



都市裡的森林實驗課

——韌性都市林實作全紀錄



農業部林業試驗所 編印





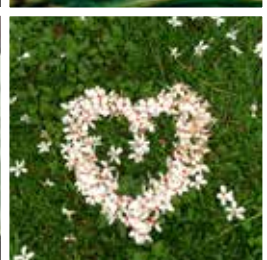
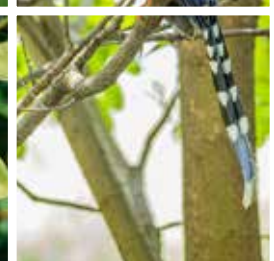
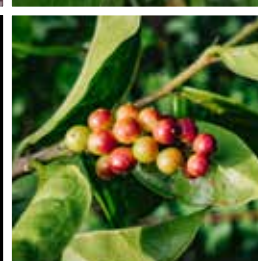
都市



裡

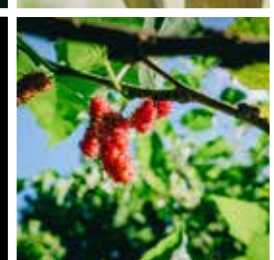


的

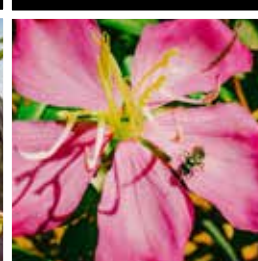


森

林



實驗



課





目錄

所長序	vi
導論：以自然為本的解決方案	1
緣起：每個人心裡都有一隻五色鳥	13
第一章：都市林的根基——土壤	24
中和四號公園裡的土壤魔法	25
第二章：都市林的骨幹——植物	40
來種複層林吧：公園裡的造林實驗	41
AI 時代的都市林管理：都市林健康風險空間智慧平台	55
選一棵堅忍卓絕的樹：都市林耐旱樹種選擇	71
第三章：都市林的住民——動物	86
節肢動物的江湖：從蜘蛛螞蟥看都市林	87
蜂回路轉：你還沒認識的都市綠地好朋友	103
聆聽都市鳥語	115
那些年我們一起追的直播：都市蛋黃區裡的鳳頭蒼鷹	131
第四章：都市林的氣息——大氣與溫度	146
公園裡的落塵俗事：都市林真的淨化了空氣嗎？	147
森境自然涼：大型都市公園的降溫實力	161
第五章：韌性森林陪伴人長出韌性——公園裡的跨界合作與公私協力	174
寫在最後：蝴蝶效應	193





攝影：黃愷茹

種下一個都市有林的未來

身為坐擁八公頃植物園、位處台北市蛋黃區內的研究機關，林業試驗所深知這片濃蔭之地是眾多都市居民與遊客心目中珍貴的秘境，每天總有絡繹不絕的人潮緩緩流入植物園，賞花、攝影、教學、運動。這片都市綠地的使用者不是只有人類，有更多生物以植物園為家，豐富的生態成為台北植物園的另一個引人之處。

除此以外，林試所也在植物園中進行了許多不同的試驗與研究，把植物園的價值與功能發揮到了極致。而這片面積足夠廣闊的區域，還能夠為周遭環境提供生態系服務功能，這些可能是一般遊客不見得會知道的事情。

在可見的未來，都市勢必會不斷擴張，綠地會益發珍貴。當我們距離山林愈來愈遠，如何讓都市中的綠地也能發揮生態系服務的功能，就是林試所希望找出的答案。

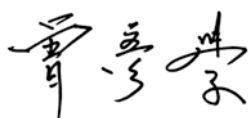
四年前，在張彬前所長的積極推動下，林試所展開了大型的跨中央與地方、公部門與民間的「韌性都市林」研究計畫。合作單位新北市中和區公所和國立臺灣圖書館，除了提供中和四號

公園作為韌性都市林示範區，在林試所進行多項森林與韌性的研究試驗之際，也協助處理公園現場發生的疑難雜症。另一個合作單位新中和社區大學則提供在地的社區資源，開辦韌性都市林志工隊社團，由林試所在社團課堂上傳授教導韌性都市林知識，並在中和四號公園手把手帶領社團及民眾親手栽下許多原生植物，期望能打造出擁有韌性核心的公園，也讓周圍居民能享受到更多自然所提供的好處。

而韌性都市林志工隊更是將所學發揚光大，不但跨域參與周邊學校與社區的活動，也將韌性都市林的概念持續推廣出去，讓影響的層面從小學生延伸到社會人士。

這個計畫雖然將在今年畫下句點，但相信其影響力會和志工與活動參與者種下的樹苗一樣，持續成長茁壯。

林業試驗所所長



A nighttime photograph of a pond with a pavilion and lights. The scene is illuminated by warm lights reflecting on the water. In the background, a large, ornate pavilion with a traditional Chinese roof is visible, surrounded by trees and other structures. The sky is dark with some clouds.

導論

以自然為本的 解決方案

日本東京的新宿御苑，是一片面積 58.3 公頃的都市庭園。幾經更迭，從原本的皇家庭園，先是成為栽種大量果樹、蔬菜的農業試驗用地，再變成現今的景觀公園，是所有民眾都能享受的美麗都市綠地。那裡除了水域、森林、草地，四季變換的迷人景致以外，最驚人的，莫過於 2004 年一篇研究報告透露的厲害功能：在夏季的夜晚，這片綠地會向外吹送出陣陣涼風。

夜間的台北植物園荷花池，令人備感清涼。攝影：黃愷茹

爲了研究這片區域的溫度變化，由日本工業大學成田健一教授等人所率領的團隊，沿著三條橫越公園的穿越線架設了共88具自動溫度記錄器，另外還在公園邊界及公園中心設置了四具三維超音波風速溫度計（three-dimensional ultrasonic anemometer-thermometers），以便紀錄在平靜狀態下冷風吹送的現象¹。

研究結果發現，公園的溫度總是比周遭建築密布的地區低，就連公園裡面的溫度也有差異。像是公園中的森林區域在白天比較涼爽，但森林中的草坪地區則是在晚上比較涼快。在有風的白天，來自這片綠色區域的冷空氣，能讓邊界以外遠達 250 公尺範圍內的溫度都降低。在晴朗穩定的午夜，每一個測量點都能測到有風從公園內往外吹，每天晚上到了十點左右，風向就很明顯地開始從公園內轉向外吹，而同時公園邊界的溫度也會下降攝氏 1°C。這就是都市中的冷島效應（urban cold island effects）。

¹ https://www.jstage.jst.go.jp/article/grj2002/77/6/77_6_403/_article





攝影：劉秋華



在鋼筋水泥密布的都市裡，這微微的攝氏 1℃ 聽起來或許沒有很多。但如果一個都市中有許多能降溫 1℃ 的綠地呢？

都市的影響

根據國際自然保護聯盟的統計，都市僅占地球陸地面積 2%-3%，卻群聚了全世界 57% 的人口。都市消耗了地球上絕大部分的資源，製造了全球四分之三的溫室氣體排放，以及全球一半的垃圾。迅速的都市化也造成龐大的壓力，持續影響都市生活環境以及都市居民的身心健康。

未來全世界將有更多人口生活在都市中，聯合國永續發展目標的第 11 項，提到了要「打造有包容性、安全、有韌性且永續的城市。」已經有許多研究顯示，接觸綠色空間可以有效改善身心健康，而建立一個韌性都市，除了軟硬體設備的提升之外，也必須照顧人心、打造綠色空間。

都市有森林，人民有保底

歷史悠久的都市中，多半都保留了一些綠地，而新興都市也不忘規劃新的公園，這些都市綠地不只賞心悅目、提供了都市居民活動休憩的空間，提高生活品質，同時也是都市中其他生物的家，而且就和其他生態系一樣，健康的都市林，也能提供生態系服務，像是調節極端氣候、授粉、傳播種子、提供養分與醫藥、文化傳承、休閒療癒等等。生態系服務是相對較新的概念，也就是從人類的角度來說明生態系能提供的好處。

什麼？每多種十棵樹就能讓人年輕七歲？

芝加哥大學的心理系副教授、環境心理學家馬克·柏曼（Marc Berman）²，對於自然環境對人類的認知與各種影響特別有興趣，爲了量化樹木對健康的影響，他將健康問卷與加拿大多倫多的衛星空照圖及樹木分布圖結合，進行比對與研究，結果顯示，居民對自己健康的認知，跟街區樹木的多寡有很大的關係，簡單來說，一個街區平均每多種十棵樹，居民對自我健康狀況的感受，就相當於個人年收入增加了一萬美元，並搬到收入中位數超過一萬美元的地區，或相當於年輕了七歲。這或許可以視爲如果都市居民生活環境中的樹木愈多，他們就覺得自己愈健康。而這還不是大面積的森林，只是都市中心的樹木而已，這些樹木可以是行道樹、或是路邊花壇或空地上的一棵樹，當然，這些樹木和公園裡的樹木一樣，都是廣義的都市林。

另外有一項研究，則是以人類健康、環境健康及都市林爲搜尋關鍵字，分析了 201 篇相關研究³，探討這些研究中提到的都市林對都市居民的健康影響，並歸納出三大影響類別，分別是降低傷害（Reducing Harm, 佔 41%，包括空汙、紫外線輻射、熱和花粉）、恢復能力（Restoring Capacities, 佔 31%，包括恢復注意力、心理健康、降低壓力和臨床結果），以及建立能力（Building Capacities, 佔 28%，包括如生育結果、活躍的生活，和體重狀態等）。這些研究的主題和方法雖然五花八門，但都指出了民眾能否接觸到樹木跟他們的健康有很重要的關係。不過就跟許多社會問題一樣，也有人提出，在美國，能接觸到都市綠色空間的機會並不平等，較富裕、白人較多的社區，所享有的綠色空間就比較貧困、有色人種較多的社區更多。

² <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://voices.uchicago.edu/bermanlab/files/2019/10/38-Neighborhood-greenspace-and-health-in-a-large-urban-center.pdf>

³ <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/12/4371>

除了對人類身心明顯可見的好處以外，都市林同時也是重要的碳匯（carbon sink），可吸收並儲存二氧化碳，根據美國環境保護局的資料，美國的森林每年可從大氣中吸取 8 億噸二氧化碳，其中有將近 4,500 萬噸是來自都市林。

從這些研究看來，只要在都市環境中多種一些樹，就能改善都市居民的身心健康狀態，理論上也可以減少政府在健康醫療方面的預算與支出，因此「以自然為本的解決方案」（Nature-based Solutions），或許就是都市居民及各國政府最經濟實惠、也最簡單的健康與景觀改善對策了。



都市中的綠地是居民放鬆身心的重要所在。攝影：黃愷茹

預約一個都市有林的未來

「以自然為本的解決方案」一詞來自國際自然保護聯盟（IUCN），指的是利用自然和健康生態系的力量來保護人類、優化基礎設施，以維護一個穩定且生物多樣的未來。自然解方的定義為：採取行動以保護、恢復、持續利用管理自然或經改造的生態系統，以有效和適應性地應對社會挑戰，同時對人類福祉和生物多樣性產生惠益。要面對的重大社會挑戰包含氣候變遷、糧食和水安全、人類健康、災害風險與生物多樣性流失等。

林業試驗所的韌性都市林計畫，呼應了以自然為本的解決方案，要用自然的解方改變都市林的樣貌，提升都市林的韌性，進而增加都市與都市居民的韌性，讓居民過更好的生活。



都市居民心目中的都市林，應該是什麼模樣？攝影：黃愷茹

你的森林是我的森林嗎？

然而，一般民眾對森林的印象，可能跟真正的森林是不一樣的。而都市居民對都市林的認知與期待，又是什麼？

當我們走進公園，會期待在公園中看到美麗的植栽，最好繁花似錦、鳥叫蟲鳴，綠蔭涼爽、空氣清新。但這一切並不會在種下幾棵樹之後就自動成形，「森林」兩字拆開來有五個木，從結構上看來，有三株相疊、也有兩木並立，正好闡述了古代人類所觀察到的森林，就是立體而豐富的結構，但現在城市居民的認知卻未必是這樣，所以「要先問民眾的想像是什麼，再來才能談到真正的森林是什麼樣子，如果我們想要有這樣一片森林的話，我們要用什麼態度去面對這個森林？」參與中和四號公園韌性都市林營造的陳一銘老師說。「如果你不能接受真正的森林那種看起來亂亂的樣子，地上有落葉什麼的，就不可能有像想像中那樣有豐富的蟲鳴鳥叫、涼爽的遮陰效果，或下雨時不會積水的環境，也永遠也不可能有一片真正的森林。」

為你擋雨截塵

真正的森林跟現在的都市林有什麼不一樣？林試所想推動的是擁有複層結構的韌性都市林，這跟野外的森林和一般的都市林又有什麼不一樣？公園裡已經有了草皮和大樹，難道還不夠嗎？

就以空氣中懸浮微粒或者雨水的截留等等效應來看，「重點其實是在於結構複雜化這件事，」一銘老師說，「一個地方只種一棵樹，跟三棵樹種在同一個點、同一個框框裡面，是不一樣的。有了上層、中層、下層，他的表面積就增加了，而且是平方正比這樣增加上去的。」植物葉片的上面下面、邊緣葉柄，都有功能，可以沉降灰塵、攔截灰塵，下雨的時候能擋雨，雨水會順著枝條把表面的灰塵帶到土壤中，而不



森林看似雜亂無章，卻孕育了豐富的生命，國際上也很早就投入研究森林浴對人類生理健康的改善效果。攝影：劉克修

是懸浮在空氣中。雨水也因為葉片的阻擋而不會直接衝擊裸露的地表，「複層的結構所做的這些事，簡單來說，我自己能想得到的，就是兩個字，緩衝。」一銘老師表示。

其他生物的棲所

計畫主持人葛兆年博士說，「生物多樣性的三個層次分別是基因、物種與地景的多樣性，生物越多樣，生態系會有更強的韌性，而健全穩固的生態系，就是由扮演各種角色的各式各樣物種所組成。當生態系中的物種慢慢減少，生態系就會愈來愈不穩固，當物種減少到臨界點時，生態系也將崩潰。」

真正的森林是複層結構，有樹冠層、中層、下層和地被層；人工規劃

種植的都市林，樹種相對單純，而無論是公園或行道樹，幾乎都不是複層結構，也有很多地方種的是外來種植物，有可能長得不好、或長得太好而壓縮到其他植物的生活空間，也不符合適地適木的造林黃金原則。

葛博士認為，想營造擁有多樣生物、具備更多生態系服務功能的都市林，在現在都市面積受限狀況下，可以嘗試在原有的公園內栽植多樣原生植物、營造從地面到樹冠層有多種植物的複層林結構，「幫都市把喪失的生物多樣性補回來，讓都市環境更有韌性。」因為多出了中喬木層、灌木層與地被植物，就會多出許多空間給各種生物棲息利用，理想上就能增加生物的多樣性，使生態系更為穩定。「因為生態系在面臨外界的干擾與衝擊的時候，會需要自我調整才能恢復到平衡狀況，而生態系的生物多樣性愈豐富，恢復平衡的韌性就愈強。所以可以說，生物多樣性是一個生態系穩定的基礎，也是韌性的基礎。」葛博士說。

擁有這樣複層結構的森林，能夠緩衝許多衝擊，無論是溫度、噪音、豪大雨、生物多樣性的喪失、周遭居民的心情，甚至房價的下跌，都能提供緩衝。「如果把緩衝換成另外一個字，那就是海綿。海綿城市，海綿不就是緩衝嗎？在我來看，一個複層林不就是一個海綿嗎？從形象上來看，這也像一片海綿，他有層次。雖然是我們早就知道的事情，但我們從現在開始、從小區域開始做、讓民眾慢慢接受這件事情，還需要花很長的時間。」一銘老師說。

打造韌性都市林，從中和四號公園開始

2020年7月，林試所和新北市中和區公所、國立臺灣圖書館簽訂了合作備忘錄，要在中和四號公園進行韌性都市林的試驗研究，包括土壤、樹種選擇、環境監測、複層林經營試驗、動物及植物調查等等。

以往公園的植物都是由管理單位種植及照顧，提供給附近居民從事觀賞、紓壓、學習等休閒活動，這次林試所卻嘗試改變居民與公園的互動關係。引導民眾學習正確的種樹護樹觀念，同時鼓勵管理單位開放民眾在公園親手種樹，之後再一路照顧直到樹木正常成長。這樣的互動模式能讓懂樹愛樹的民眾就近融入管理單位的經營作業中，樹木才能得到更好的照顧。基於以上的理念，林試所尋求和在地的新中和社區大學合作，成立韌性都市林志工隊，由林試所負責師資、規劃一系列相關課程，帶領有志參與韌性都市林營造的志工，一起維護在中和四號公園進行的實驗，營造看來雜亂的生態灌叢、進行不掃落葉的土



在中和四號公園種下多樣原生植物，為韌性都市林的實驗拉開序幕。攝影：張文誠。

壤試驗。而這同時也是一項人文社會科學研究，跨出了林試所過往只專注於自然科學領域的舒適圈。「成立志工隊是因為我們想讓韌性都市林附近的社區居民來關心及照顧這片試驗地，不僅是增加對家鄉的情感及歸屬感，當居民對土地及環境付出後，也可以獲得來自都市林生態系的服務。同時公私協力也是本次試驗的重點，我們讓民間力量參與韌性都市林的養護與推廣，公私之間相互慢慢磨合後，逐步融入都市綠地的管理維護作業中。」葛博士說。

都市林不是只局限在中和地區，其他還有許多研究與調查是在台北都會區各處及實驗室中進行。這項耗時四年、動員了許多人力物力的計畫，是全台灣第一個關於韌性都市林的整合型大型研究，至於這些研究的成果，能夠對未來世代、管理者、科學家有什麼幫助與啟發，還需要時間來持續研究與理念擴散，畢竟都市居民在追求都市的便利與舒適之際，也必須考慮到如何與都市中的自然和諧共處、共融共樂，畢竟當我們想要走向以自然為解方的途徑，也需要更了解自然，並且承諾尊重自然。

A vibrant Rainbow Lorikeet is perched on a tree trunk, looking into a hole. The bird has a blue head, yellow throat, and green body. The background is a blurred green forest.

緣起

每個人心裡都有一隻五色鳥

為什麼想改變都市林的內涵，葛博士提起之前做過的一個研究。

十年前，她在研究五色鳥。這是一種顏色亮麗卻神祕的鳥類，會在枯木的樹洞中築巢育雛。親鳥到底下了幾顆蛋、雛鳥什麼時候破殼、什麼時候離巢，都是靠一個小小的針孔攝影機觀察。

葛博士的團隊發現，都市中的五色鳥幼鳥夭折率還蠻高的，常常來不及離巢就死掉了。他們假設了很多條件，最後證實這些幼鳥是餓死的，因為食物品質不良。他們設法取得一些幼鳥，養在實驗室裡，結果發現餵幼鳥吃的是肉類或果實，對成長速度會有很大的影響：吃果實就長得慢、吃肉就長得快。

攝影：葛兆年

他們觀察都市中的五色鳥吃到的食物，發現親鳥餵雛鳥的多半是果實，肉類很少，而幼鳥沒有吃到蟲、缺乏足夠的動物性蛋白質，就無法好好長大成鳥，往往來不及長大就夭折了，不管親鳥努力餵食多少果實都沒有用。

五色鳥小孩不是吃素的

他們同時也觀察了陽明山的五色鳥，想實際了解野外的狀況。結果發現陽明山根本就是另外一個故事，因為陽明山的昆蟲多樣性比植物園高許多，蟲也很好抓，親鳥會餵非常多昆蟲給幼鳥吃，「所以陽明山的五色鳥幼鳥長得頭好壯壯，」葛博士說，而這造成的影響就是，「野外的鳥一年只要生一次就好，因為成功率很高，但都市的五色鳥可能辛苦地孵出三隻，最後卻只有一隻能離巢，親鳥可能會覺得成功的比例太低，所以休息了七到十天之後，就會再下一次蛋。」都市裡的五色鳥，可能會因為前兩窩活下來的幼鳥太少、而孵到第三窩。這樣可能導致親鳥無法好好休養生息，使得牠們健康不佳、甚至壽命縮短。

知道是食物造成的差異之後，就必須回頭探討為什麼都市裡的動物性蛋白質會這麼少。「那時我的推論是，都市中可以讓蟲棲息的地方不夠。因為都市的植物太單調，沒有食草、沒有蜜源，無法引誘蟲過來，蟲也不會居住在這裡，」葛博士說，所以即使看來綠意盎然，但昆蟲多樣性或生物量可能都很低，「所以我想不只是五色鳥，其他需要動物性蛋白質來餵養下一代的鳥類應該都會有這個問題，雖然我們只做了五色鳥，但我相信牠是一個代表。」

深入思考過後，葛博覺得都市中的植物多半是按照人類的喜好種植，並未考慮到其他生物的需求，所以如果能設法增加植物和結構上的多樣性，才能吸引到比較多昆蟲、也才能照顧到鳥類。這是她推動這項計畫的一個初衷。

按照人類需求栽植的樹木，雖然美麗壯觀，卻缺乏多樣性。攝影：葉馨惠







見樹不見林的盲點

過去在選擇都市林樹種的時候，往往注重在長得好、不易生病等維護管理上的需求，但葛博士認為其實更重要的應該是群體，「也就是森林的概念，因為那才真正可以帶給都市居民好處，單獨一棵一棵的樹長得好，但沒有成為一個森林的話，它的生態功能是很薄弱的，所以我們這個計畫想強調的，就是要建造一片森林，我們想種的不是十棵樹，而是一片森林，希望能營造成類似野外的森林那樣，擁有眾多的生命。」葛博說，「我們選擇韌性都市林這個題目，是希望能夠強化都會綠空間的功能，最主要還是希望能讓環境有更好的韌性，可以應對氣候變遷。」。

從生態到社會

「都市林也是一個生態系，而生態系中的某些功能可以協助人類抵抗環境的不適，整個來講就是一種生態系服務，可以增加環境的韌性，讓大家過比較舒適的生活，」葛博說。於是這個計畫裡就有了都市林調節氣候及空氣品質的研究，另外還有一個很重要的主題，就是生物多樣性。

「生物多樣性是生態系裡支撐的功能，雖然我們現在還不了解每一種生物很精細的功能在哪裡，但這些生物就像是疊疊樂，每抽走一個都會有一些影響。一開始我們或許不知不覺，但當生物消失到某種程度的時候，整個疊疊樂就會垮掉，生態系就崩解了。」

如果都不去維護，當生物愈來愈少，受害的就會是人類。「所以說生物多樣性並不是一個美好的名詞而已，它能支持我們都市生態系的健康，跟人類的生活是息息相關的。一個有多樣生物的都市林，可以帶給我們比較好的生活品質。」



中和四號公園內的複層林營造實驗，希望能種出有層次的森林，供更多樣的生物生存。攝影：劉克修

因為這個計畫是在以人為主體的都市中進行，所以計畫中還加入了社會研究。「除了自然的韌性之外，社會的韌性也是很重要的一環，透過這個計畫，我們鼓勵居民經由參加社區的活動，跟社區連結得更緊密，當外來狀況發生時，社區裡就有良好的鏈結可以互相支援。」再加上這個計畫想嘗試讓附近的社區實質參與都市林的管理，所以計畫中也包括要成立韌性都市林志工隊，讓經常在社區活動的居民就近照顧生活圈裡的都市林。

實驗地的選擇

臺北植物園歷史悠久、樹種眾多，有許多高大樹木、又分區營造了各種灌叢與地被植物，可以視為結構較複雜的都市林；而有哪一個公園面積相當，能容許林試所進行各種調查和實驗，還能真的讓林試所帶領志工種下大量的原生植物，引起高密度人口的關注呢？



雖然我們現在還不了解每一種生物很精細的功能在哪裡，但是這些生物就像是疊疊樂，每抽走一個都會有一些影響。



- ① 馬偕花 攝影：葉馨惠
- ② 樺斑蝶 攝影：劉克修
- ③ 台灣紋白蝶 攝影：劉克修
- ④ 流蘇樹（果實） 攝影：劉克修

臺北市區內的大型公園，多半都已經有在地社團經營，因此跨越新店溪、走入新北市看來是個好選擇。中和公園的規劃最早可追溯到 1955 年，在當時的都市計畫中一共規劃了七座公園，但最後只有四號公園真正建設完成，在 2005 年更名為八二三紀念公園，但還是有許多人習慣把這個地方稱為四號公園。

這座公園位於有大量人口的中永和交界區，由中和區公所及國立臺灣圖書館共同管理，葛博帶著計劃書造訪這兩個單位，獲得了他們的首肯及大力協助，就此展開為期四年的韌性都市林實驗計畫。





臺北植物園

成立年代：1921 年

位置：台北市中正區

面積：8.2 公頃

植物種類：2000+

綠色覆蓋率：90%

園區環境：步道、大荷花池、生態水域、古蹟建物、各生態園區



中和公園（八二三紀念公園、中和四號公園）

成立年代：1989 年完成開闢，2005 年經中和市民代表會核定改名為「八二三紀念公園」

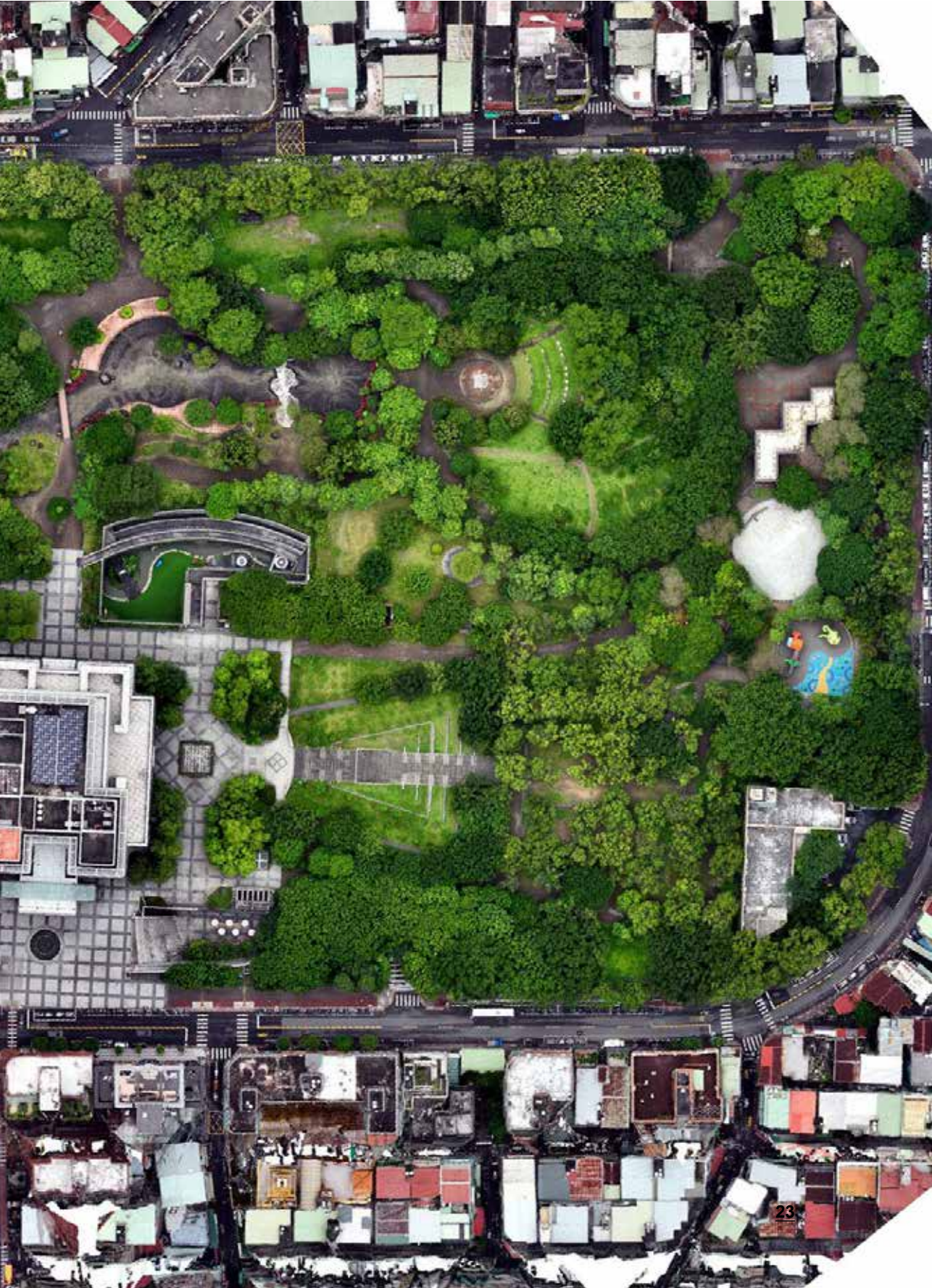
位置：新北市中和、永和交界處

面積：10.8 公頃

植物種類：99（2020 年 3/17 國臺圖資料）、林試所營造後增加 95 種

綠色覆蓋率：55%

園區環境：內有國立臺灣圖書館，佔地約四公頃，園區內有數個廣場、遛狗區、樂山區、溜冰區、兒童遊戲區、籃球場等等，是雙和地區最大的都會公園



第一章

都市林的根基——土壤

A photograph of a park with many trees and fallen leaves on the ground. The text is overlaid on the image.

中和四號公園裡的 土壤魔法

很多人都有在求學時代打掃校園的回憶，老師總要求枯枝落葉要掃乾淨，年復一年，校園裡的地表彷彿被竹掃把刮去了一層，裸露的樹根慢慢比土壤還要高出一截，每當下起大雨，總是東一處西一處的淹水，我們都以為這是常態，但真的是這樣嗎？

攝影：劉克修

在土壤科學家的眼中，都市林中土壤的角色就跟其他部分一樣重要，「跟樹一樣重要、跟人一樣重要，因為沒有土壤就沒辦法建構都市林。」研究土壤多年的王巧萍博士說，「一百年多年來，一直都有人在進行土壤的研究，尤其是化學方面，因為土壤就是由很多化學元素組成的一些礦物。」

土壤是什麼？土壤能幹嘛？

乍看之下，土壤是岩石風化之後的小顆粒礦物，是「從大石頭變小石頭，小石頭再不斷風化，一直風化到粒徑小於 2mm 以下，我們才稱之為 soil。」巧萍老師形容。「可是事實上，土壤從來無法這樣單獨存在，因為自有生命以來，土壤就不只是大石頭單純地經過物理崩解、化學淋溶等作用所形成的物質而已，土壤的形成一直都跟生物有關。」



中和四號公園內土壤實驗樣區。攝影：張文誠



土壤萌盟友團隊為公民科學活動製作的教具，展現地表枯枝落葉層中的生物多樣性。攝影：李莎莉

原來，岩石的風化除了物理性的崩解、化學性的風化以外，還有生物性的風化。所以，土壤是除了礦物顆粒以外，還加上長時間跟生物的交互作用所產生的各種有機質所組合而成。土壤中的各種礦物質為植物所需的營養元素，但植物生長還需要其他非礦物性的元素，其中最重要的氮則穩定的存在於大氣中，是植物無法直接使用的元素。除了閃電能以巨大的能量將少量的氮解離並漸次與氧作用、成為植物可以使用的硝酸鹽以外，另一個重要的途徑則是透過存在於土壤中與植物共生的固氮菌來轉換氮。而土壤有機質，則吸附這些已經溶在土壤水中的礦物質及銨態氮，讓植物得以慢慢的吸收利用。巧萍老師強調，土壤不但為植物提供了物理性的支撐力、供應植物各種營養鹽，土壤顆粒之間的孔隙，還能夠吸附貯存水分，調節水分的供應，提供人類潔淨的水源。如果沒有土壤的分解作用，地球早就被動植物的殘骸給淹沒了。除此之外，地球上有超過 1/4 的生命，是住在土壤裡的。

土壤除了上述的功能，在溫室效應、地球暖化、氣候變遷已經成為世界各國共同憂慮的今天，大家也開始在意土壤調節空氣中二氧化碳的能力。因為土壤中有兩種主要型態的碳，一種是和礦物化合在一起的無機態碳，「比方說，從大理石母岩所風化形成的土壤就含有很多碳酸鈣，這是屬於無機碳」；另一個就是上面說過的有機碳，主要是由枯枝落葉和死亡的生物分解後留下來的。在生物地質化學的作用下，土壤能吸附但也會釋出碳。「所以當落葉掉下來之後，如果能夠保留在原地分解，除了養分可以不斷循環供各種生物利用之外，過程中許多很難分解的碳，就都會留存在土壤中。」巧萍老師解釋。

土壤也有生態系服務？！

近年來，除了了解各個物種對人類、對環境的影響，科學家也開始探討「生態系服務」的重要性。所謂的生態系服務，簡單來說就是指人類在生態系中直接或間接獲得的所有福利。

韌性都市林小教室

土壤的生態系服務

- 提供食物、飼料、纖維、木材，藉由基礎生產力提供支持調節碳吸存
- 調節水與養分的有效性
- 藉由水／養分循環支持生態系服務功能
- 宿養生物多樣性，提供製藥與生化物質、調節作物授粉，蟲害與病害控制，貢獻科學發現，支持生物多樣性
- 原物料來源
- 人類活動的平台
- 保存地質與考古遺產
- 碳庫存

但都市林土壤的生態系服務功能如何？在想到都市林的時候，我們往往忽略了都市林也需要土壤、樹木的底下是真的有土壤存在。大眾平常在公園裡享受鳥語花香、運動紓壓，也會盯著主管單位打掃公園、修剪花木，但似乎從來沒聽說過有人關切公園裡的土壤怎麼了。

於是巧萍老師先從都市林的土壤功能與特質開始思考。公園中的土壤當然有物理性的支持功能，像是公園裡總是會有涼亭、桌椅，人也會在都市土壤上行走。此外，還有可以讓人在土壤上進行休閒、遊憩，當然土壤本身也提供教育的功能。但生物量的生產應該是不太容易，那麼都市林土壤是否能宿養生物多樣性、供多種生物棲息、涵養水分呢？

都市林土壤的困境

她歸納出幾個觀察：「公園土壤的第一大困境就是葉子被掃光，養分無法循環。第二是過度踐踏，第三個是動不動就被噴藥，像是樹生病了（根腐病）、有病蟲害，或者蚊子太多了，就用藥，這些都一樣會掉到土裡。除此之外另一個困境就是：沒有人在意公園的土壤，也沒有人知道公園土壤有什麼功能。」

當一個公園或都市林建好、樹種上去之後，似乎就再也沒有人在意土壤的後續了，既不知道有沒有人會去施肥，落葉也都掃得乾乾淨淨，因為大家都覺得落葉就是垃圾。這也是她看都市林最大的問題。「民眾看是落葉是垃圾，我看是營養、是動物可以吃的食物。分解完之後會變成土壤的有機質，至少讓養分可以回歸循環。」

有人覺得公園土壤太硬了，因此想到利用水刀把土壤打鬆，但因為公園土壤中沒有有機質，暫時打鬆之後，只要過一段時間，一樣還是會硬化，「因為沒有從根本去改良。」巧萍老師說。

既然都市林的土壤特質如此，那麼，想增加都市林土壤的功能、或說



在都市中，總是習慣把地表整理得乾乾淨淨。攝影：劉克修

增加其生態系服務的功能，或是想提高都市林土壤的韌性，也必須先問是想提高哪一種韌性。「我想知道在公園的水韌性，也就是說這個公園對於水的承載的能力，有沒有辦法因為土壤的性質變好、而使得水的入滲能力、吸附能力或過濾污染物的能力變好。」巧萍老師說。

在這個不是乾旱就是下暴雨的年代，她決定探討都市林土壤「承洪」的功能，「有沒有可能增加都市林土壤的承洪韌性，也就是說，下雨

韌性都市林小教室

承洪韌性

極端氣候下，降雨狀況愈來愈極端，最近幾年，台灣不是長達數月不雨，就是在極短時間內降下暴雨。過往的治理總是追求不淹水，但無論如何整治，持續打破紀錄的雨量 and 降雨強度，讓台灣各地一次次暴露在淹水的衝擊中。學者開始呼籲政府應該改為追求以「承洪韌性」為本的水患治理，也就是接受暴雨就是會造成淹水的現狀，不再追求不淹水、而是要不怕淹水；即使淹水也不會造成嚴重災害、城市機能不會因為淹水而癱瘓，可以在短時間內迅速恢復運作。這就是承洪韌性：承受洪水並迅速恢復的能力。

的時候，水能夠迅速地滲透到土壤中，而不是滯留在土壤表面變成積水，或者是嘩啦啦地直接沖到水溝裡、甚至讓沖蝕帶走一些土壤。」

另外她想探討的第二個問題，就是「為什麼在都市裡的土壤看起來狀況都這麼糟糕」。有沒有可能藉由更接近天然的操作方式，或說藉由科學家對都市土壤的理解，找出讓土壤的功能得以提升的方法。像是除了承洪的潛力以外，有沒有辦法讓都市林土壤有比較好的肥力、改善樹木的健康，並且能夠有很多的生物多樣性。她便是從這樣的角度出發、設計實驗。

「土壤的生物多樣性不會從天上掉下來。要餵養土壤，才有機會發展出土壤生物多樣性。最簡單的辦法，就是讓枯枝落葉的養分回歸土壤。」巧萍老師說。因為枯枝落葉在分解的過程中，不但可以給微生物使用，也能供養許多小型節肢動物和蚯蚓、蝸牛等生物，而這些生物的排泄物又能讓另一群微生物利用，良好的食物鏈結構，健全的養分循環，才能涵養出土壤的生物多樣性。沒有有機物質輸入的土壤，自然也很難供應其他生物的需求。

你想改善土壤，我要使用公園

如何讓枯枝落葉回歸土壤？答案很簡單，只要不掃走就可以。但光是「不要掃」就會遇到很大的阻力。「你要面對的不是科學，而是人類經營管理的態度，人的習性、人的恐慌。總是有人覺得有枯枝落葉就有老鼠、蚊蟲，有蛇。所以我們就要研究給你看，你看到的蚊蟲都不是蚊蟲，會咬你的那些都不是從土壤來的。」巧萍老師很霸氣地說。

在四號公園進行枯枝落葉回歸試驗的地方，恰好也是在地舞蹈社團每日活動的地方。那片區域的土壤光裸乾硬，每天大家運動前，都會先勤勞整理打掃，將落葉枯枝與垃圾悉心清理乾淨，大家也很自豪能維

持這片場地的整潔。然而，長期的打掃和踩踏，土壤表層其實已經結皮，造成水分不易滲入，碰到下大雨就會積水。「密實化的土壤入滲率太差，造成積水，除了有利蚊子繁衍以外，的確有些蚊蟲是從可以積水的落葉、樹洞而來。所以如何管理好落葉，避免這種狀況，還要讓落葉的養分可以回到土壤裡，餵養土壤動物，也提升土壤孔隙度，就需要瞭解不同樹種有不同的落葉品質。」巧萍老師說。

一開始，民眾直覺認為林試所的實驗（包括植樹、小樣區等等）會壓



公園裡，大家各取所需。攝影：劉克修

韌性都市林小教室

土壤結皮

土壤團粒結構不良、又重複歷經乾燥與雨水潑灑、反覆施壓等等狀況，容易使得土壤表面結成一層硬皮，水分不易滲入，植物也不易生長。



由韌性都市林志工隊支援的永小走讀活動中，土壤萌盟友成員葉馨惠為小朋友介紹土壤中的節肢動物，將土壤知識往下扎根到國小。攝影：張文誠

縮到他們固定的活動區域，又對保留枯枝落葉的實驗有疑慮，所以團隊規劃了面積一平方公尺、以低矮圍籬圍起的小小樣區，並在現場回應民眾的反彈與質疑，此外，也需要持續不斷溝通。

即使設置了實驗解說牌，這小小幾塊樣區還是常被丟垃圾，甚至狗屎。研究人員畢竟不可能常駐在樣區旁，巧萍老師說：「一個人能說的話有限，所以需要對當地有感情也支持我們的實驗的志工，才有可能長期與民眾溝通對話。而首先必須突破的認知是，讓大家知道枯枝落葉裡面不會長蚊子老鼠，還要先幫生活在裡面的生物正名。這些知識該如何傳達給民眾？」答案也是志工。

為韌性都市林志工隊上過土壤課程之後，巧萍老師便號召了對土壤有興趣的志工組成從屬團體「土壤萌盟友」，培育他們成為土壤公民科學家，一邊觀察樣區狀況，一邊持續與民眾互動、溝通，實驗也因此能順利進行。

「那時候我就是帶一個相機，天天在那邊觀察，跟那些跳舞的大姐們講說我們是在做什麼什麼，」志工隊第一屆的隊長「蟹爸」張文誠說，

「久了她們就會主動關心說你們的實驗怎麼樣，還會幫你檢查有沒有人亂丟垃圾。」而到了現在，張文誠與其他土壤萌盟友成員已經跟巧萍老師一起發表了跟土壤與公民科學家有關的科學研究，還辦了許多活動，用創意與趣味兼具的方式，把土壤知識不斷擴散出去。

要怎麼收穫，先那麼設樣區

團隊一共設置了九個小樣區，分為對照組、原地落葉組和蒐集公園多種樹的落葉混合組，每組各三個樣區。實驗開始前，他們先在框內鑿取樣土壤樣本，同時埋設掉落式陷阱進行地表土壤動物調查。每半年監測樣框內土壤碳氮濃度的變化一次，實驗期間為兩年。地表土壤動物則是每月取樣一次，持續監測 14 個月。在這些框框裡，就只是留下枯枝落葉不予掃除，不添加任何外來物質，也不加以翻攪。

枯枝落葉的歲月靜好，換來的是……

這些小樣區就這樣靜靜地存在於中和四號公園裡，由韌性都市林志工隊與跳舞大姐們一起守護。表面上是一堆枯枝落葉，但底下的世界，也有許多人類看不見的事在持續發生。雖然落葉依舊是落葉，但質疑與亂丟垃圾的情況確實漸漸變少，民眾似乎已經能接受、也習慣了它們的存在。

有一次下大雨，這片光裸區域淹了水，但誰也沒想到的是，這幾個堆著枯枝落葉的小樣區竟成了洩水口，有人看到周圍的水從這些樣區迅速流走，整片積水得以逐漸排乾。樣區中的土壤結皮是否已經被打破？土壤的結構、有機質比例是不是已經產生了變化，才能迅速吸納更多的水呢？

根據巧萍老師後續的分析，經過「不掃落葉處理」一年半之後，小樣區中土壤的碳濃度已經上升了一倍，而混合碎葉樣區的土壤碳氮濃度



大雨時土壤實驗樣區周邊已經淹水，但樣區不但沒有淹水，還迅速把水排乾了。
攝影：張文誠

與土壤中無脊椎動物的密度，也都比單純使用原處榕樹落葉的樣區更顯著。

「所以要改良不難，就是要讓土壤回復應該要有的養分循環。想想看，我們對天然森林裡的落葉是什麼態度，公園裡的土壤也應該要被那樣對待。」巧萍老師肯定地說：「可是，我們也要考慮民眾的想法，這是公園，怎麼可能不要管、不要整理、不要掃走落葉？」

這堪比無爲而治的超簡單實驗，說明了落葉的回歸不只對都市林與土壤生物來說是重要的養分來源，也能改變土壤的組成與結構，是恢復土壤生物多樣性及土壤承洪功能的重要措施。團隊證明了這是最簡單的方法，「但對於民眾的疑慮和習慣，那才是比較難達成的部分。所



民眾不習慣看到地面有枯枝落葉，因為感覺髒亂，所以志工將花朵綁成花束或排成圖案，設法讓落花落葉成為一景，留在地面，也讓養分回歸土壤。



- ① 攝影：葉馨惠
- ② 攝影：葉馨惠
- ③ 攝影：劉克修

以我們可以做到的就是和關心公園土壤品質的伙伴一起腦力激盪，看看有什麼方式可以克服。」巧萍老師補充道。

了解土壤，只是一個開始

在志工的集思廣益、腦力激盪之下，他們想出了把落葉聚集起來綁成花朵、在地上擺成花園的作法，民眾看到的不再是枯槁憔悴的枯枝落葉，而是有造型的落葉花園，既然賞心悅目，也就能容許這些枯枝落葉繼續留在地面，如此一來，這些枝葉也有機會可以就地腐爛、重新進入大自然的能量循環，讓其他生物利用。雖然這些創意對每年每公頃至少二公噸以上的落葉來說，是杯水車薪，可是是一個轉變的開始。

「所以要持續建立知識、持續創意激盪，因為知識無法成為說服民眾的唯一東西，必須是大家取得共識的情況下才能夠創造出新的作為，甚至改變原有的規範，這是一條很漫長的路。」巧萍老師說。

她還想要繼續推動的，是比幫志工隊上課更深入一點點的事情，就是讓志工、讓使用者以及公園的管轄者三方形成為可以互動的、在地的、屬於社區自己的治理團體。像中和四號公園那樣有許多不同的使用者與管理者的地方，管理單位的主政者會換人、管理單位的目標或態度也可能會改變，但唯一不變的是在地使用者，所以她對這個計畫的最終目的，也就是這樣：希望能夠陪伴韌性都市林的志工一起了解腳下這片土壤，也一起創造出他們對四號公園土壤的感情與願景。

研究主題 提高韌性都市土壤生態服務功能研究

目的 改善公園土壤結皮狀況、都市公園土壤承洪能力、枯枝落葉養分回歸效率測試

研究負責人 王巧萍

研究方法 測定土壤基本性質後，在研究小樣框內添加不同條件如完整、切碎、單純樹種或混合樹種等的枯枝落葉，利用土壤動物活動打破土壤結皮並鑽鬆土壤。

研究成果 八個月後，試驗框內土壤地面已高於框外土壤高度（土壤流失狀況改善），淹水時框內洩水速度明顯快於框外。土壤碳含量增加、土壤密度降低。

意義 只要讓枯枝落葉留在原地，就能有效改善都市林土壤結皮、硬化狀況。



第二章

都市林的骨幹——植物

來種複層林吧： 公園裡的造林實驗

推動在都市綠地營造複層林結構，嘗試將都市林賦予更接近自然的樣貌，促進都市林有更多對人類的服務，是韌性都市林研究的核心理念。並且要證明這樣的都市林真的能吸引更多生物使用、有更大的韌性，若是碰到天災也能迅速恢復運作。林試所的研究團隊在大家習慣稱為四號公園的中和八二三紀念公園設置了幾處樣區，與管理公園的中和區公所及國立臺灣圖書館（國臺圖）簽訂了合作備忘錄，進行植物、土壤與各種生物調查、氣溫與 PM2.5 研究，也廣邀附近居民，和韌性都市林志工隊與林試所一起種下數千棵原生植物。

攝影：黃憶如

在一個已經有綠地、大樹，且使用者眾多的公園內進行造林試驗，對通常只在山林走跳的林試所來說還是第一次。這次在四號公園的造林試驗有兩個目的：一是嘗試藉由加入不同層次的植物，讓都市林能呈現更接近自然的樣貌，第二則是因為目前公園裡栽種的多半是外來種植物，希望能利用這次機會，尋找適合推廣到都市中的原生植物種類，並藉由其他調查與監測，探討複層林是否真的能吸引更多生物使用。

對人類有意義，也對動物有意義的公園

韌性都市林的功能與任務有很多，像是調節氣溫、截留空汙、為居民提供休憩場所與心理支持等等，但可能有很多人都沒有意識到，都市林也是重要的生物棲地。



四號公園中設立了解說牌，說明韌性都市林研究。攝影：劉克修

韌性都市林強調的是豐富的生物多樣性能強化森林的韌性，雖然四號公園的綠覆率並不算太低，但植物層次單純，草地是草地、大樹是大樹，雖然能夠滿足各種人類需求，但對其他生物來說可能並不是非常理想。

藉由引進灌叢與地被植物，不但可以增加植物的多樣性，讓豐富的多層結構達成在降溫與空汙截留方面的功能，也能營造多樣的棲地，供野生動物使用，「野生動物的棲地，就是我的聖杯，」在韌性都市林計畫中負責志工課程、植栽試驗、也做土壤節肢動物調查的陳一銘老師說，「所以在選擇植物種類的时候，就會優先考慮可以開花結果的物種，希望動物也可以使用，而不是只考慮耐旱而已，這也是韌性都市林比較不一樣的地方。這個都市林不只需要對人類有意義，也要對動物有意義。」

育林經驗豐富的「馬爺」馬復京老師，主張借用目前已形成的環境，引進適合的物種，不必刻意移除原本就存在的樹木。「像是印度紫檀、印度黃檀這些外來物種，或者像日本時期引進的雨豆樹，都還是有功能，可以營造出一個符合或類似我們說的原生地的環境，讓其他樹可以生長。」再說，現在的公園種了許多外來樹種，「我們可以借用它的生態適應性來營造，之後也可以讓它階段性任務結束，退場。」馬老師說。「到時候再引進真正原生的、北部的低海拔的植物。」

如何在都市公園裡種出一片森林？

要種出一片物種多樣性很高的森林，並不是把一堆植物通通種下去就好，每一種植物有不同的需求，有的需要陽光，有的喜歡林下陰暗的環境，有的喜歡多一點水，有的少少水也能欣欣向榮，而且傳統的造林方式也未必適合運用在都市公園裡。



種樹之前先由馬老師講解。攝影：張文誠

「原本的想法是要密植，在一平方公尺裡面種很多很多的樹，就是參考所謂的『宮脇造林法』，可以在很短時間內變成很密很密的樹林。但是後來覺得這個在公園裡面是行不通的，大家會排斥，管理也會有困難，所以我們就做了一個變形的東西，就是在原本就有樹的地方，做林下的密植。把灌木引進去。」一銘老師說。

他們規劃直接在大樹下栽種灌叢與地被植物，設法營造出以耐蔭性植物為主的「耐蔭性社會」，馬老師說，「耐蔭性社會是出現在演替後期、比較穩定的社會。複層林形成了以後，從演替上來看就是耐蔭性社會。」

韌性都市林小教室

宮脇造林法

日本植物學家宮脇昭（Akira Miyawaki）教授研發的造林法。仿效天然林自我更新的方式，在退化的土地上密集種下多樣的當地原生植物，包括大小喬木、灌叢和地被植物，可在短短數年內營造出物種與層次都很多樣的可更新森林。而且只有初期兩三年內須要維護，之後森林就能自我更新及維持，也更能應對氣候變遷。他的靈感來自日本各地神社周邊的古老森林，這種方法特別適合在城市中的小塊土地上造林，在世界各地都廣受歡迎。

這次在四號公園造林所採用的方式，「不需要經過生態學上演替的初期、中期這樣漫長的時間，而是直接讓底下的小喬木、灌木可以慢慢生長。到時候再引進原生種，甚至鳥類就能直接把種子帶進來。」馬老師說。

無情都市擂台，活下來的才是贏家

下一步就是挑選各種適合的原生植物。到底怎樣的原生植物會適合都市環境？

民眾對都市林的期望，可能是樹形漂亮、最好還能開美麗的花朵；管理單位可能會希望不要太常掉葉子、不要長蟲、要好管理；但對科學家來說，沒有什麼比「適地適木」更重要的了：首要條件就是能適



生態灌叢刚开始营造的模样。摄影：劉秋華

應中和地區的氣候條件、海拔高度的植物種類，最好是原本就分布在台北地區的植物。另外還得考慮公園的生長環境，在沒有鬱閉大樹的遮蔭下，是否能耐旱、耐強烈陽光，但也能克服冬季陰雨連綿的天氣等等特質。

「這些是根據我們個人在森林中累積這麼久的經驗去選擇的，有些是實際觀察到的、也有根據生態學的經驗去挑選的。有些確實是在這個環境長得很好，但有可能不是這個地區的原生樹種。」馬老師表示，「但這些植物也有生態功能，可以適應目前的狀況，去營造出另一種生態環境，說不定後來也可能會被淘汰掉。」

雖然選擇的全都是本土植物，但有人覺得南部的種類不應該種在北部，也有人覺得沒有關係。「在我們棲地的概念上來看，我們都不排斥，」一銘老師說，「因為有些比較耐熱的植物往往是南部的，北部的植物種在公園裡適應性會比較差一些。」都市公園周圍往往都是車來車往的大馬路，環境乾燥、炎熱、缺水，底下的土壤狀況可能也不好，因為枯枝落葉長期被清理乾淨，養分無法循環，腐植質含量低、甚至可能回填有磚瓦、水泥之類的營建廢棄物，沒有足夠養分可供植物使用。所以在挑選植物時，還是走了廣納各路英雄好漢的路線，不全都是深山裡的奇花異卉，也有中低海拔頭好壯壯的樹種。

誰是公園的主人？

然而，在雙和之肺裡，從早到晚都有各式各樣的團體活動。無論是土風舞、太極拳還是卡拉 OK，大家各有習慣活動的範圍，不管選擇哪裡，可能都會影響到居民的生活。「有民眾跑來跟我們說，這個要框起來的地方，是他每天躺著曬太陽的地方，種植栽會影響到他的權益。」國臺圖負責協助韌性都市林計畫的祕書室主任林禹淨說。

「我們在四號公園的草地上種樹，民眾就會來看，他會覺得那是我的空間，」一銘老師觀察到。在他看來，在公園裡要把人類活動的地方跟植物生長的區域劃分開來，是非常困難的，台北植物園很早就做到了這一點，但四號公園不是台北植物園，四號公園的存在並不是為了保存樹種或進行任何實驗，而是為了在地居民的需求，包括遛狗、散步、運動、美化、舒緩身心壓力，還能提升周邊地區的價值。

「公園是大家的，」一銘老師說，為了不要對民眾造成太大的影響，林試所選擇以小面積進行地貌的改變，「從一小塊一小塊開始，慢慢地去擴散。」

2020 年 4 月，團隊先是在外型如小山丘的樂山區種下第一批 13 種共 80 棵喬木，其中不乏像是四照花、山枇杷、豆梨、青剛櫟、山柿等平常不容易見到的植物。接下來又開闢了四個生態灌叢樣區，種下會開



珍貴的公園綠地，是大人小孩都喜歡的活動空間。攝影：劉克修

出醒目花朵的灌叢植物，像是山素英、山馬茶、玉葉金花、呂宋莢蒾、台灣金絲桃等等，希望未來這些繽紛的花朵和結出的果實能吸引各種昆蟲、鳥類來利用，最好還能討路過人類的歡心。

一年之後的 2021 年，團隊在樂山區的喬木間種下其他植物，種類數量更多，像是聽來陌生的枯里珍、木薑子類、鹽膚木、紅刺蔥、九節木、太魯閣繡線菊、金花石蒜、穗花木藍、小葉黃鱗藤等在都市知名度不高的原生植物紛紛進駐，各種形狀色調的葉片、樹型、花朵、果實，讓公園的地景繽紛了起來。之後也在公園另一側樹木較稀疏的區域進行了好幾次植樹活動，廣邀附近居民參與。

公園裡的角力，你種我拔的現實

長期以來，四號公園都處於一種「開放友善」的狀態，持續有民眾捐贈各種植栽並自行種植，也有人看到林試所種樹就跟著種，或質疑為什麼志工能種而他們不能，即使設立了醒目的解說牌，解釋這裡正在進行韌性都市林的實驗，有時候樣區裡還是會「突然冒出一棵不是我們種的，」馬爺說，碰到這種情形，也只好公告移除。

另外，「植栽種下去之後的諸多破壞事件，是我們最擔心的。」國臺圖的禹淨談起實驗時說。有些或許是誤會，「因為剛開始種的植栽滿小的，有些民眾以為是雜草，就會想把它拔掉，」也有民眾因為看不順眼而「幫忙」修剪，這也寫在馬爺的實驗記錄裡。甚至有人專門拔掉像桔梗蘭之類葉片尖細修長的植物。在台北植物園不太可能發生的各種狀況，都在四號公園上演了。顯然長久以來，民眾都覺得自己對這裡有責任，應該幫忙修剪、栽植或拔草。

為了解決這種「你的就是我的」的曖昧狀況，團隊決定為樣區加上圍籬。「界線這件事情很重要，雖然我們一開始是希望沒有界線，但人

生態灌叢區四時有各種花果輪番現身，同時吸引了昆蟲鳥類等生物來取食利用，帶給民眾不間斷的驚奇體驗。攝影：劉克修



金花石蒜



山菅蘭



琉球莢蒾



小灰蝶



穗花木藍



枯里珍



巴陵石竹



台灣金絲桃



華八仙

類是需要界線的，給他一個界線，他會比較容易接受。」一銘老師說。在公所、國臺圖與志工隊的努力溝通與維護下，這些植栽終於慢慢長出了自己的樣子。

沒有志工，就沒有韌性都市林

幾乎所有工作人員都說最困難的就是和民眾溝通。無論是不要移除枯枝落葉的土壤實驗，還是營造中的複層林看起來亂糟糟的樣子，都多虧了志工的努力照顧、和民眾溝通，不斷地解釋說明實驗的目標與進行方式，說志工是成敗的關鍵一點也不為過。志工不但在溝通方面發揮了很大的功用，「還可以用符合民眾需求的概念去養護這個地方，



志工的悉心維護整理，是公園中複層林營造的重要環節。攝影：劉克修

因為如果沒有人去拔草，統一由管理單位去割草的話，研究人員種下去的東西可能就會被割死。」一銘老師說。

馬爺則表示，「我只是把樹種下去而已，但志工有三種角色，他們傳承我們的知識經驗、養護照顧、也把知識傳遞給其他民眾。」

禹淨也說，「我們戴著牌子去跟民眾解釋，還不如志工跟民眾溝通來得有效，因為民眾會覺得我們是在執行公務。」

經驗值 UP ！

2023 年，林試所為期四年的韌性都市林計畫結束，志工隊的營運及四號公園的造林養護，未來將由新中和社大負責。檢視目前的成果，「其實我們原始的設計大部分都有達成了，就生態設計上面，像複層林的感覺、建造的方式，感覺上都蠻有希望的，」一銘老師覺得，但將來若是在其他公園營造韌性都市林，他會考慮先不要把地被植物規劃進去，「因為很現實的，地被植物就是會長到範圍外面，變成很亂的草。」前期可以先經營喬木層、灌木層，自然會形成層次，後期再把地被植物放進去。

但嚴格來說，他認為這樣的面積還不夠大，因此不能說這個計畫就是成功了，他認為一個公園裡，森林覆蓋面積應該要有 70-80% 以上，也會有植物衰敗自然產生的孔隙。「也就是說，這個多樣性是連疾病也包括在裡面的。讓它自然循環，會有樹死亡、長出新的草皮等等。希望大家有一天能把樹木的疾病也視為演替的一部分。」能夠理解樹木的疾病與死亡也有其功能與意義。

不但不必照顧，還能節省經費？

一銘老師認為，進入公園營造韌性都市林，就是降低養護的需求。因

為生態系一旦建立起來之後，這個森林就能自行運作，若是可以不砍草、不把落葉枯枝掃走，就能確保養分回歸土壤繼續循環、供給森林使用。

但是公園可以不養護嗎？民眾可以接受嗎？公園的砍草、清掃落葉每年都花費大筆經費，若能減少養護的頻度，不但能減少開銷，而且一定會出現更多種類的野花，但前提是要民眾可以接受。

然而，民眾是真的不能接受嗎？「當你聽到一個人抗議的時候，有沒有去問有幾個人贊成？有些時候昨天還好好的樹今天就砍掉了，可能只有一個人抗議，但有 100 個人說我喜歡那棵樹。所以每砍一棵樹是不是都應該要公告，讓大家去投票看贊不贊成，也就是需要更多的公民參與啦。」他說。韌性都市林的志工課程無疑已經為這樣的公民參與鋪了一段路。



營造之後的區域，逐漸出現了複層的植被結構。攝影：劉克修

不是所有實驗都會成功，不是所有樹木都會長大

志工除了澆水、養護以外，也持續在樣區紀錄植物的生長狀況與物候，統計下來，有意外也有不意外。有些植物的存活率是百分之百，也有些種了八棵只活了三棵。有些適應得特別好，像是豆梨，兩年半的時間裡竟然長到原本的五倍高。而且因為八二三公園周邊有不少來自金門的居民，看到故鄉也有的豆梨開了花，有人覺得思鄉之情受到了撫慰而大表讚賞，「所以植物的功用遠遠超過我們的想像。」計畫主持人葛博說。

但也有些物種明顯水土不服，像是四照花，一年下來只長了三公分，「可能是溫度太高，或是棲地環境不適合。」馬老師表示。後續或許可以考慮換成比較大一點的苗木，「找根系比較夠的，我們講嫁妝啦，嫁妝夠就能對環境的適應性好一點。」如果大一點的苗木還是長不好，那這種植物可能就是真的不適合都市環境。

不過實驗就是這麼一回事。投入得再多，都無法預期成果。但團隊也累積了許多珍貴的資料，將成為未來其他韌性都市林試驗的新起點。

研究主題 建造韌性都市複層林結構與監測

目的 嘗試營造複層結構的都市森林，篩選適合都市環境的植物種類

研究負責人 馬復京、陳一銘

研究方法 挑選適合當地環境、且能供其他生物利用的原生植物栽植於中和四號公園，持續觀察監測其生長狀態。

研究成果 在中和四號公園營造出生態灌叢樣區、種下千餘苗木，並紀錄到許多原生植物在都市環境中的成長資料。

意義 測試理論是否可行、有哪些狀況需調整檢討、以找出更適合的栽植方式與植栽物種。

AI 時代的都市林管理： 都市林健康風險空間智慧平台

樹和人一樣，有生老病死。小樹苗剛種下去的時候就像小孩子，隨時間逐漸長粗長高，有了年紀以後可能會生病，若放著讓它生病不管，嚴重的時候可能就會倒下來，甚至影響周遭居民的生活。尤其都市樹木生長在人口比較多的地方，其健康與民眾生活密切相關，每棵樹木應該都要建立起基本資料，才能好好管理。

烈日當頭，都市裡的每一處樹蔭都彷彿恩賜，讓行人騎士能暫時喘一口氣，不致於被烤到昏頭。對野生動物來說，牠們在這些樹上築巢、交際、覓食，樹就是牠們棲身的家園。但當颱風、暴雨一來，卻可能讓某些樹木斷裂、傾倒，造成都市居民生命財產的危害。平日看來好好的樹，為什麼會突然倒下？當一棵樹在森林中倒下，可能不會有人聽見聲音，但一棵樹在都市中倒下，那可就不得了了。

我們需要樹，都市裡的其他生物也需要樹，但如何確保這些樹是安全可靠的，而不是都市裡的不定時炸彈，林試所副所長吳孟玲有非常實際的想法。

你不知道的樹

「台北市種了 18 萬棵公園樹和行道樹，這些樹在淨零碳排裡面扮演的角色有多少？生態服務價值有多少？其實我無法回答你，因為我沒有基礎資料。」吳副所長說。擁有美國 ISA 樹藝師認證的她，專長是樹木疾病，常常受邀到全國各機關團體講課，指導如何評估樹木的結構和健康，讓她意識到即使都市林具備非常多功能，但因為樹種本身的

韌性都市林小教室

都市林生態系服務

- 生物棲地
- 空汙微粒的攔截與隔離
- 固碳
- 調節氣溫
- 木材生產
- 攔截暴雨對土壤的衝擊
- 綠美化、提高社區價值、休憩、心理支持

特質、健康狀況、栽種環境或所在位置等種種因素交叉影響，有些樹可能會在不知不覺中成為城市炸彈，「這就是在規畫時沒有充分考慮。種樹的人、道路規劃的人都各自為政，頂多問問專家說這棵樹適不適合種在台北，然後就種下去了。」吳副座說。

都市樹木也需要健檢紀錄

20 年前，美國紐約市就開始做樹木普查，因為「樹種下去，也需要有生產履歷，」吳副座說。當你點進紐約市樹木地圖，就能看到每個地區各種了多少株樹木、再往下拉近，就能看到每株樹木長在哪個街區，若從地圖上直接點選代表單棵樹木的圓點，頁面上就會跳出每棵樹的學名、樹籍編號、最近的照片、最接近的地址、樹幹直徑、最近一次調查的日期，甚至還列出了這棵樹每年攔截了多少雨水、節省的能源、攔截的空汙量、這些生態服務的價值金額，以及每年帶來了相當於多少美元的益處。像這樣的設計，其實就是讓民眾了解都市林價值的極佳輔助。

多年來，吳副所長一直在努力推動台北市進行樹木普查並建立管理平台，最好還能結合 GPS 資料，掌握全台北市每一棵樹的狀況，「美國是直接把森林調查的方法運用在都市林，因為他們已經有 i-Tree 系統，能計算生態服務價值。包括樹木的碳排放量、空汙截留量等等，這次我們也終於說服了公園處，去進行台北市每一棵公園樹與行道樹的調查。」吳副座說。

i-Tree 自從 2006 年面世以來，全世界已經有上千社群、非營利組織、顧問、志工和學生利用 i-Tree 對單木、小片樹林、鄰里、城市、甚至整個國家進行樹木的報告評估。但 i-Tree 是根據美洲樹種所開發的系統，無法直接套用在台灣的樹種上，因為不同樹種的葉片形狀、厚度、樹葉的生長型態、樹皮表面的光滑或粗糙，都會影響到該樹種的碳吸



平台簡介

關於林木健康管理資訊平台。

健康樹木

樹木是都市之綠色基礎，提供良好的視覺景觀、淨化空氣、涵養水土等多元功能的生態服務價值。樹木的健康性及安全性，對於受保護老樹更是重要的工作，健康診斷是防治管理第一步；第二步，也最重要的一步，於診斷後提出適當的建議和防治管理的策略。

樹木健康包括樹木的外觀、結構及生長活力。在進行樹木健檢時，我們常藉由樹木的病徵及病兆來確定病因。一般而言，樹木產生健康問題的原因可分為兩大類：

1. 生物性因子：真菌、細菌、病毒、菌質體、寄生植物、線蟲、害蟲、類與其他動物及植物病原體等。
2. 非生物性因子：樹木的立地環境不佳、極端高低溫和環境乾濕度、機械損傷、土壤硬度、礦物質缺乏等。

進行樹木健檢時，往往需要結合知識、經驗、敏銳的觀察力及邏輯推演能力，因為樹木的死亡或衰弱通常是多種因素所造成的結果，需要專業人士診斷後提出適當的建議和防治管理，樹木健康檢查包括：

1. 準確的鑑定植物
2. 注意不正常的形態
3. 仔細檢查立地
4. 注意樹冠葉片顏色、大小及厚度
5. 檢查樹幹和樹枝
6. 檢查根和根領

樹木的健康診斷是一個有系統性的過程，涉及到資訊收集、敏銳的觀察力及邏輯能力分析。在衰弱的樹木上，很多原因皆能造成一樣的病徵，所以無法直接以病徵做為診斷的依據，因此在診斷時，我們需要結合樹和環境的具體資訊進行非專一性病徵的分析。

存、對落塵的截留能力等等。所以台灣若不是必須針對 i-Tree 中樹種的各種設定進行非常大幅度的調整，就是必須設計出以台灣樹種特性為基礎的管理平台。

資訊滿滿的大平台

過去台灣樹木普查的調查項目多半只有胸高、直徑，這次台北市議會撥下 5,000 萬經費給台北市公園處，將在 2022-2023 這兩年間完整調查全台北市 18 萬株的公園及行道樹，調查內容將涵蓋吳副所長規劃的 32 個項目，包括樹冠幅、東西向、南北向、樹高、樹冠狀態、樹穴大小、甚至樹木的缺陷等等，而吳副座也希望負責調查的人都來林試所受訓，「我們來教他們正確的巡察方式，標準要固定，這樣錢才不會白花。」吳副座說。

韌性都市林小教室

i-Tree

- 美國林務署開發的軟體，已經廣泛運用於都市與鄉間森林的分析與優缺點評估
- 世界各地都有人利用 i-Tree 系統回報在地單株樹木、社區樹木或城市樹木的狀況
- 現有多種擴充軟體，涵蓋了種植、樹種篩選、植樹效果追蹤、單株樹木評估等等。可量化單棵樹木的效益、碳吸存、計算樹冠覆蓋度，並能比對單一地點過去及現在的樹木覆蓋變化。
- 紐約市樹木地圖 <https://tree-map.nycgovparks.org/>
- 台北市行道樹路燈資訊網 <https://geopkl.gov.taipei/>

左頁：透過林木健康管理資訊平台，都市林可個別探討健康狀況與缺陷出現的可能，方便操作人員作業時能方便且快速了解樹木的健康狀況。
擷取自林木健康管理平台



112 年度臺北市樹木普查暨健檢教育訓練，參與人員包含官方公園管理人員及樹木保護產業從業人員。攝影：吳孟玲

因爲一棵樹底下的狀況如何，表面上是看不見也無法預測的，往往要等樹倒了才看得到有什麼問題。「所以最好能每隔幾年就做一次詳盡的大調查，累積足夠的資料，就能看出趨勢。」吳副座說。

都市樹木的困境

「說真的，都市裡面的樹木實在很可憐，」負責都市林耐旱樹種篩選研究的李俊佑說，空氣汙染、水分不足，樹穴太小等等都會影響樹木的健康，吳副座也指出，像土質不良、排水不良、種植袋沒有取下等等，也都是很常見的狀況，但這些未必能靠肉眼辨識出來，通常是等樹出了狀況才會知道。若能及早開始累積樹木普查資料，就能協助判斷樹出狀況的風險。

搭建作業進行中

在進行這次樹木調查之前，吳副座早已開始累積資料、逐步進行。她有非常明確的構想和階段規畫：「第一年的重點在於管理平台的建置，調查樹木狀況的時候，就按照我規劃的欄位勾選，像問卷調查那樣，看到什麼就勾什麼，每個欄位各有配分，勾選完後就交由 AI 判斷樹木的健康狀況。」

接下來就是風險評估，「大家常常分不清楚樹的健康和風險有什麼差別，這樣說好了，有的樹看起來很健康，但裡面可能有個大空洞，如果沒有碰到狂風暴雨，說不定屹立不搖 1000 年都不是問題。但如果每天都有很多小朋友在樹下乘涼玩耍，這棵樹又是孤立木、承風面很大，那它就有很高的風險。」吳副座解釋，「要考慮的重點包括像是樹倒了壓到人的機率、還有傷害程度。」綜合人車出現的頻率和樹的重量，就能判斷出這棵樹的風險高低。「像一棵樹倒下來，壓到的是我還是蔡英文，那個風險是不一樣的。」她用了一針見血的例子來說明。

再來就是要把病蟲害資料和圖鑑整合到系統中。林木疫病是林試所的專業領域之一，林試所也設有林木疫情鑑定資訊中心（樹醫中心），為一般民眾提供林木病蟲害查詢，將這些資訊整合到樹木管理平台後，「碰到樹病的問題時，系統就能直接抓關鍵字，如果是褐根病，就會跳出褐根病的防治方法。」吳副座說。

等這些資料跟功能都設置完成，還必須花一點時間讓平台試運轉，並持續糾錯、調整，畢竟有些問題要實際碰到了才會知道。

訪問當下，吳副座手邊已經有五萬筆調查資料可以匯入平台，之後她準備要調整配分的比例。「像是如果有褐根病，就扣 30 分，盤根就扣 10 分，樹穴太小可能影響不大，就扣個 3、5 分。」吳副座說，「這就像血壓跟膽固醇，會隨著人的年紀而有不一樣的標準。關於人類，已經有很多資料，不缺大數據，但樹的沒有，所以這 5 萬筆資料匯入之後，原先訂的這些扣分標準未必適合，在後續調整配分比例時，就會需要人工的判斷。」



所在位置可能壓到人車的樹，風險就比較高。攝影：吳孟玲

噴的是藥，還是空汙？

害都市樹木變成都市炸彈的，還有另外一種狀況。幾乎每年都可以看到這類以「蟲蟲危機」為標題的新聞，在全台灣各地輪番出現：樹上突然出現了很多毛毛蟲，民眾「非常恐慌，因為以前都沒有這樣，希望政府趕快處理。」面對這類事件，管理單位往往以噴藥解決，但真的有必要用藥嗎？要用哪種藥？該如何拿捏藥量？在自然平衡的環境中，可能每隔幾年就會出現某種蟲蟲大爆發，但總會成為某種天敵動物的盛宴，這是自然演替的正常展演。但這些昆蟲在城市中出現的脈絡到底為何，民眾往往只知其一不知其二、也不想深究，只求趕快消滅就好。

為了解決病蟲害問題，台北市都排在早上四、五點為樹木噴藥，「但那樣的噴法根本沒有用，都浪費掉了。」吳副座說。就拿常見的樟樹害蟲樟白介殼蟲來說好了，這種介殼蟲體表有硬殼保護，噴灑藥劑不一定能殺死蟲，卻可能飄散到周圍環境中，影響市民健康。如果能用注射方式，將藥劑注射到樹裡面，就能藉著樹木本身的蒸散能力，將藥物均勻輸送到全樹各處，「像美國已經不使用空中噴藥，現在最常用的就是打針，因為噴 100c.c. 的藥劑，可能只有 10 c.c. 進到樹裡，90 c.c. 都在空氣中。把系統性的藥劑直接打入樹木後，藥劑會直接往新葉跑，完全不會浪費，也不會造成周圍環境的汙染。」不管是對施作人員或周圍居民來說，這樣都是更安全的作法。

再說，其實未必需要把所有的蟲都殺死，「所謂的防治，是要把蟲的數量降到可容忍的範圍內。只要蟲的數量不再對樹造成危害，我就會把藥停掉。」吳副座說，畢竟這些蟲，也是其他生物，如鳥、蜥蜴、肉食性昆蟲等等的食物，因此判斷噴藥的時機和用量就很重要，「很多病蟲害其實是暫時性的，有些介殼蟲，在 4、5 月很嚴重，但其實早在 3 月就該噴藥了，因為到了 6、7 月梅雨季節、然後 7、8 月颱風季，



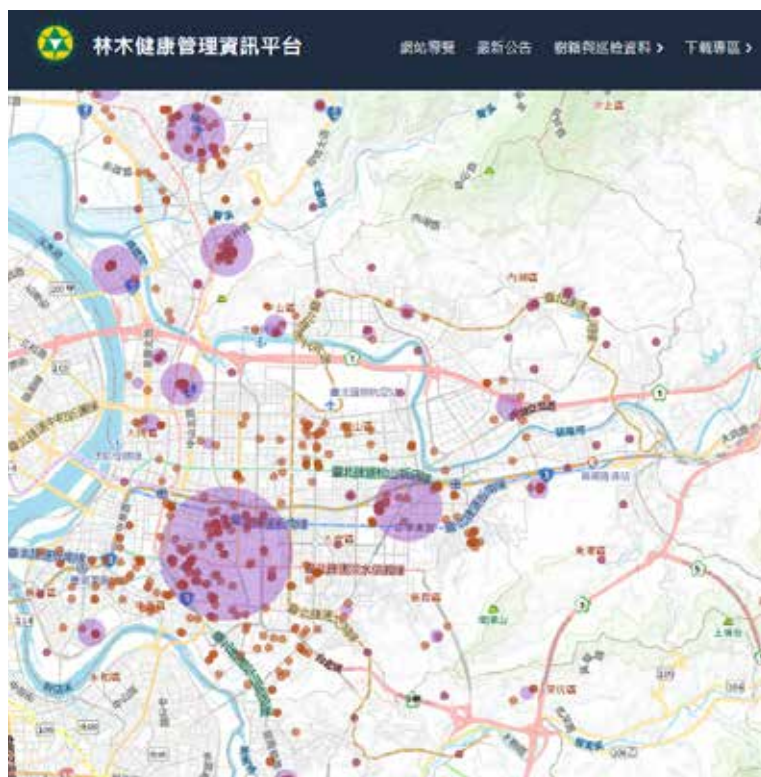
樟白介殼蟲造成樟樹枝葉枯死。攝影：吳孟玲

風雨一掃，蟲就都不見了。只要提早、少量的用藥就能阻止大爆發。若等到爆發時才噴藥，不但浪費，還會造成空汙。」吳副座指出，如果每個城市都能有一個樹木醫生，就能建議管理單位什麼時候應該噴藥，哪些狀況又不需要噴藥。她甚至還希望藉由樹木調查資料的累積，蒐集病蟲害管理的數據，比較用藥與不用藥的效果，如果數據顯示效果不佳，未來也可以檢討是否需要用藥。

她指出了一個很普遍的盲點：「大家都在意農作有冇有機，有沒有想過自己生活的城市是不是有機、是不是友善？」

樹也有醫療設備

爲了協助檢測樹木的健康狀況，吳副座引進了樹木的醫療技術和探測設備，像是能探知樹木維管束內是否能通暢流動的「樹液流動儀」，可以在需要爲樹木注射藥物時，先知道樹木的「血流」有沒有通暢流動。還有可以檢測樹幹內部是否有空洞、能確定空洞位置與大小的「應力波檢測儀」，這些都是評估樹木健康狀況的好幫手。



透過平台圖資系統，亦可顯示出褐根病等病蟲害感染熱區。
擷取自林木健康管理平台



樹穴太小造成的盤根現象。攝影：吳孟玲

平台能做什麼？

吳副座希望這個管理平台未來能提供給縣市政府專用，成為城市樹木照護的重要參考資料與輔助，將來能從平台上看到每一棵樹的生長狀況，不是只能從病蟲害的角度去看，而是可以從整體去評估一棵樹容易生病的原因，包括像樹穴太小、根系泡水、排水不良等等因素，「因為我們的健康評估中，本來就有包括生物因子和非生物因子，能夠評估各種可能的風險、危機，並建議該如何管理。」吳副座說，「有了

這些統計資料，才會知道哪些樹種該退場，哪些在城市裡面可以生長得不錯，哪些樹可以適應小的樹穴，哪些需要長條型的樹穴，或者哪些適合種在人行道，哪些又適合在公園。」未來各縣市政府也將能依照這些數據，去計算出自己的都市林在碳吸存、淨零碳排方面的貢獻、生態服務的價值有多少，面對民眾的疑問時，這些都是很重要的資料。

同樣的，未來在篩選韌性都市林的樹種時，平台的資料也可以成為輔助，「不管想分析哪一個因子，把它撈出來，就可以知道哪些樹種在哪個城市長得好，是否曾經做過評估。」吳副座說，「但台灣還沒有一個完整的樹種資料庫，有些縣市有衛星定位資料、有些沒有，每個縣市可能都各自為政，我會希望說這個系統平台能夠成為國家綠的資料庫。」

營造韌性都市林，也要從基礎開始

不過，想打造一個韌性都市，她認為應該從規劃開始，而且不能只著重建物與硬體設施，「因為綠色基礎建設跟硬體建設是一體的，在規劃的時候就必須一起啟動，這才是韌性的城市。」吳副座說。「林試所扮演的角色是樹種的選擇、樹木疾病的照顧、重要相關知識的提供、資料庫等等，但其實一開始的時候就需要有景觀園藝、也就是工法部分的專業一起參與。」

像排水系統就是很重要的基礎建設，「在紐約，公園底下都有排水系統，這些水甚至會循環再利用，這是在一開始建置公園的時候，就已經事先考慮進去的，這才是有效率的規劃。」都市樹木常見的困境也包括了排水不良，通常表面上我們看不見樹穴底下的狀況，不等到樹倒下、樹穴露出，都是看不到的。但若能在種樹之前就妥善規劃好排水系統，就能避免未來樹倒下造成損害後再花更多經費彌補。「所以未來的都市計畫應該要邀請景觀規劃的專家一起參與，事先規劃好排





水或是回收雨水的雨撲滿等等設計，才能因應極端氣候下可能出現的久旱或極端暴雨等狀況。」也能事先為都市樹木預留良好的生長空間，避免樹穴太小、植穴內還有各種管線等狀況。

雖然林試所這三年多來執行韌性都市林計畫頗受好評，但全台公園何其多，不可能全靠林試所一個一個去營造，吳副座覺得林試所更適合扮演技術指導者的角色，「我們要的是一個有規劃的綠城市，而不是沒有規劃的。」在都市公園準備要更新的時候，就能同時引進各方的專業意見，包括景觀、樹藝師、加上林試所這幾年的經驗，還有這個樹木管理平台所收集的各種資料，我們也將能期待更健康、風險也更少的韌性都市林。

傾倒後明顯可以看出根系纏住了管線或水管的大樹。若能在栽種之前就先規劃避開，就不至於造成後續的損害。

攝影：吳孟玲



研究主題 都市林健康風險空間智慧平台建置

目的 設計並建置全面的都市林樹木健康管理及風險評估平台，紀錄、監測並評估都市林樹木的健康狀態及風險，並執行樹木病蟲害的初步判斷

研究負責人 吳孟玲

研究方法 測量評估台北市樹木，蒐集各項數據，建置資料庫、持續累積資料並加以彙整。

意義 除了解個別樹木健康狀況，供管理單位使用之外，若能每幾年重新調查，就能為都市樹木的生長狀態累積非常珍貴的資料。





選一棵堅忍卓絕的樹： 都市林耐旱樹種選擇

台灣的都市到底需要怎樣的樹？是長得快？夠堅強？很漂亮？還是最好不會掉葉子、好管理？現在都市中的樹多半都已經是大樹，可能是在我們小時候、甚至出生前就已經種下，當時的選擇標準是什麼？現在還適用嗎？極端氣候帶來的考驗已經迫在眉睫，我們選擇樹種的標準是不是也需要調整？





如果你去過中華路南機場一帶，就會看到路邊的行道樹是芒果樹，每年到了花期和果期，「你都會以為地上有什麼東西壞掉了，」負責樹木耐旱性實驗的李俊佑說，「因為芒果掉得滿地。」或許你會認為，路邊長出來的芒果是市民的福利，「但問題是，它不好吃。」因此，落花落果成了清潔隊和市民的夢魘，就像果實碩大美艷，但花朵氣味彷彿腐肉的掌葉蘋婆一樣，每年總有那麼一段時間，讓市民必須捏著鼻子走過這段路。

是誰決定種什麼樹？

過去選擇都市樹木的角度，可能「一個是好看，一個是長得快，」俊佑說，為了能迅速達到美化都市景觀的效果，「這兩個最重要了，其他事情可能沒想那麼多，」但等到樹長大之後就會發現，可能發生的狀況實在太多，有些樹的根會亂竄，容易破壞路面；要不就是樹冠太大，遮蔽或妨礙到了旁邊的房舍、道路；也有的樹質地比較鬆脆，遇到颱風或大雨容易折斷、壓到人車；不然就是超會落葉，讓清潔人員疲於打掃。

就以常見的榕樹來說好了，榕樹是具有氣根且「根張」現象比較明顯的樹木，可

榕樹是具有氣根且根張現象比較明顯的樹木。攝影：劉克修

能會造成路面的破壞，但也正是因為這些特質，「它非常適合公園或是較大的綠地，當中央樹，非常美。所以，在這個位置的缺點在另一個地方會是優點，要看從什麼角度去選擇，」俊佑說，「但當然還是有一個最重要的基本原則，那就是樹要能活，不能活的話什麼都是假的。」

在森林學中，正有這麼一個選樹帝王條款：「適地適木（choose the right tree in the right place）」，像聖經、似論語般地聳立在眾人的心中。然而，究竟該如何適地適木呢？最簡單直觀的方式，便是以樹種的自然分布區域作為依歸，來確知它適合的生長環境，用以推測可能可以栽植的區域。然而，樹種的自然分布情況也會受到種間競爭及傳播能力的影響，因此無法充分展現樹種適應環境的潛能。另一群科學家，則學著另闢蹊徑，以性狀（trait）——可觀察量測的特徵——為圭臬，嘗試以表示植物適應環境的功能性狀（functional trait）來作為基準，其中與適應環境有關的生理特性，便成為科學家量測的標的。

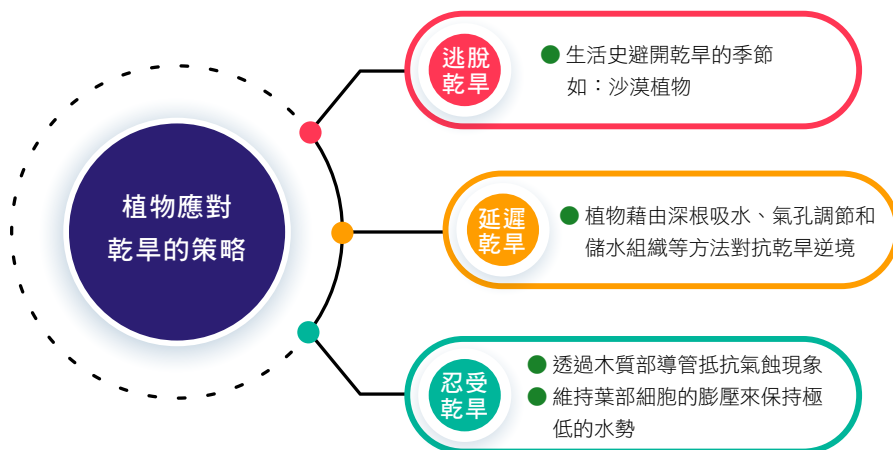
人選之樹

國外已經有許多選樹資料庫，如 i-tree, SelecTree, Ci-Tree 等等，只要輸入土壤條件、氣候條件、需要的樹高、是否會落葉、花色、果實形態……等等屬性，就能告訴使用者有哪些適合的樹種。但台灣目前的作法，多半還是傾向詢問專家學者、由專家學者推薦。但他們也會因為自己的背景與經驗，而有個人的偏好與限制。當詢問的對象不一樣時，可能就會得到完全不一樣的結果，「像是分類學者跟生態學家、園藝學者就會差很多，」沒有一個大家都可以參考的標準，只是一直從舊的資料去撈，似乎也很難撈出新的東西來。像是如果請教的專家是曾經待過行政單位的，他們的推薦就會特別少，「因為他們有很多現場經驗、會擔心維護管理和國賠問題，所以選擇就會較保守。」俊

佑說。另外，許多樹木圖鑑、手冊，在樹種特性方面，有時候會出現互相矛盾的資訊，像是毛柿的耐旱性，在不同圖鑑中就有強、中、弱等完全不一樣的描述，讓使用者難以判斷。另外像是樹種的抗汙染能力，如哪些樹種適合種在工業區或高汙染地區，也幾乎完全沒有資料可參考，就是因為很少人做過相關實驗、沒有數據。

從經驗到實驗

在沒有完整環境分析資料與樹種特性資料的狀況下，是無法做出有系統的選擇的，所以現在的第一步，應該是要去收集這些重要的樹種特性資料，如耐旱性。「因為我們還沒有累積足夠的資料。」俊佑說，他希望能跳脫過往這種「投票式」的樹種選擇，從零開始累積、建立資料庫，成為往後選擇樹種時的客觀依據。



面對乾旱，樹是戰還是逃？

中研院已經預測，未來台灣的氣候變遷會呈現春雨日數減少、降雨量減少、連續不降水日數變多的狀況，也就是乾的時間會愈來愈長，濕的時候暴雨也會益趨嚴重。另外，因為都市還有熱島效應的問題，都市裡的乾、熱狀況也會愈來愈明顯，而植穴問題一直是都市林的痛點，樹穴狹小會使得樹木根系受阻，所以如果能夠選擇比較耐旱的樹種，就能減少澆灌成本，同時也能避免樹種在遭遇乾旱逆境後，因長得不好而須要換掉的維護管理成本。

該如何挑選耐旱的樹種？首先必須了解植物在遭遇乾旱時可能採行的三種策略，再從中檢測植物的耐旱力（如 p.75 頁表）。

植物在應對乾旱時可能採取的有三種策略¹，其中樹木會採取延遲乾旱及忍受乾旱兩種策略，但此二策略並非彼此競合，樹木可兼用兩策略來面對乾旱事件，如：黃槿採取忍受乾旱策略，但也有密集根系²。構樹、恆春厚殼樹在乾季落葉，僅留極少部分葉片，此為延遲乾旱策略，這些樹種具有一定程度的耐旱能力。

至於科學家該如何測驗植物的耐旱能力？當然不能等一棵樹枯死了才推論它耐不耐旱。測量植物葉片在失去膨壓因而萎凋的「膨壓喪失點葉部水勢」（leaf water potential at turgor loss point, 簡稱 π_{tlp} ）就是科學家推測樹木耐旱性的方式之一。當植物葉片在愈低的水勢下才喪失膨壓，就代表該植物在生理上愈能忍受缺水不萎凋、耐旱性愈好。雖然植物不會只靠一種策略去度過水分逆境，但都市中的樹木多半生長環境受限，無法靠著深根或儲水等策略對抗乾旱，因此，以 π_{tlp} 來看樹種的耐旱能力，是很有參考價值的。

¹ 修改自 Delzon, S., 2015. New insight into leaf drought tolerance. *Functional Ecology* 29, 1247–1249.

² Kuo, Y.-L., Yang, Y.-P., & Peng, S.-H., 2017. Variations in the predawn leaf water potential and photosynthetic rate during the dry season and drought-tolerance mechanisms of coastal tree species. *Taiwan Journal of Forest Science* 32(2), 131–144.

A large, mature tree with a thick, dark trunk and a dense canopy of leaves in shades of red, orange, and green. The tree is the central focus of the image. In the background, a paved path leads through a park with other trees and a few people walking. A person is sitting on a bench in the foreground, looking towards the tree. The sky is visible through the branches, showing a bright sun.

阻斷對樹梢處葉片水分的供給、讓葉片枯落，也是樹木面對乾旱的策略之一。

攝影：葉馨惠

水勢？水是？

水勢（water potential），並不是一個直觀的概念，用最簡單的說法，水勢是量化水的潛能的參數，水勢的大小可以決定水的流向，水會從水勢高的地方往低的地方流動。葉部水勢可以表現葉片裡的水分狀態，用來評估植物的水分供應和水分狀況。而葉部膨壓喪失點指的是葉片中的水分已經降到無法支撐結構、細胞內壓力已降到最低點的狀態。目前國外已經累積數百種植物的分析資料，顯示膨壓喪失點葉部水勢 π_{up} 確實可以用於預測植物對乾旱的反應，同時， π_{up} 也代表在這個值的土壤水勢之下，萎凋的植物已無法再從土壤中吸取水分，所以 π_{up} 值越負的植物，在水分較低的土壤中還可能吸收水分，因此耐旱性也愈佳。

樹葉裡的點點滴滴

但膨壓喪失點葉部水勢（ π_{up} ）非常難測量，過去只能靠人工使用儀器，一片一片樹葉慢慢測量。測量時必須眼明手快、一心多用，一邊操控壓力旋鈕、對葉片反覆施加壓力，同時仔細觀察葉柄什麼時候滲出水來，還要持續記錄壓力和葉片重量。這種方法既繁瑣又耗時，一個人一天可能還測不到三片葉子，無法在短時間內分析大量樣本不說，還有許多限制，像是葉柄太短、葉子太大或是肉質葉片，都很難操作。但偏偏這就是植物耐旱性的重要基本資料，沒有人一片一片樹葉去施壓，就擠不出這些重要的數據。也因此國內植物的耐旱數據累積得非常緩慢。

山不轉路轉，樹不轉實驗轉

既然直接測量 π_{up} 曠日廢時，那就另闢蹊徑吧？美國加州洛杉磯大學的團隊發現 π_{up} 與另一個植物性狀「飽和葉部滲透勢」（ π_o ，osmotic



耐旱樹種實驗採樣：理想中的樣本樹應該生長在寬闊不受限的環境中，枝條也不能受到其他樹木遮蔽。攝影：徐露玉

potential at full hydration) 有密切的相關性，這時如能快速地測量 π_o ，並透過兩者之間的關係，便能達到快速獲得 π_{up} 的目標。2012 年該團隊便建立了快速測量 π_o 的辦法，他們將飽含水分的葉片打成葉錠，用液態氮冷凍後再放進名為「滲透勢計」的儀器測量，他們以加州大學洛杉磯分校校園附近的 15 種樹木，以及中國雲南西雙版納熱帶森林中的 15 個樹種為測量對象，用傳統方法及滲透勢計法測量這 30 種樹種的 π_{up} 及 π_o ，並據此建立了 π_o - π_{up} 的迴歸線，以後就可以直接用滲透勢計所測得的 π_o 來換算出 π_{up} ，作為植物耐旱性的指標。

韌性都市林小教室

滲透勢計法

以打孔器從飽水狀態的葉片取出 4-8mm 大小的葉錠，先浸入液態氮以破壞細胞壁、釋出細胞質，再放入滲透勢計內測量溶質勢，所得結果即為該葉片的 π_o ，之後可以利用 π_o - π_{up} 的迴歸線推估該植物的 π_{up} 。



上：採下的葉片要先保水24小時後再進行實驗。圖為台灣欒樹。

攝影：洪庭毅

下：以打孔器打下實驗用的葉錠，必須避開主脈和次脈，避免葉脈中的水分影響判讀。攝影：洪庭毅

穿林剪葉打葉鉞

既然有了比較快的辦法，就卯起來做吧。不過需要確定的事情還很多，像是每一個氣候區系的植物都有不同特性，外國的迴歸線未必適合台灣的樹，所以俊佑鎖定了常見的都市林樹種，分別在 5 月和 11 月到台大校園和大安森林公園採集如樟樹、茄冬、苦楝等樹種進行實驗。

我們有自己的線了！

滲透勢計法加快了實驗速度，改善了因為實驗進度太慢、可能會從夏季做到秋季，因而無法判斷測到的是季節變異還是真正差異的一大缺點。

林試所成功建立了台灣自己的迴歸線，與美國團隊建立的迴歸線略有不同，這也表示各生物群系的 π_o 與 π_{ip} 迴歸線確實不一樣，美國團隊做的迴歸線中並未包括台灣常見的植群如楝科、桑科、榆科等，而台灣有許多植物有乳汁，也可能會影響葉片的滲透勢值，並影響到實驗結果，這些都是未來可以再進一步探討的問題。

為了確定季節是否會影響植物的調節策略，他們分別在 5 月和 11 月採集同一棵樹木的葉片進行測量，為了把誤差降到最低，第一次採葉子時就需要記錄下每一棵樣本樹的精確 GPS 資料，以排除可能會因為樣

韌性都市林小教室

迴歸線

建立迴歸線，是一種統計學上分析數據的方式，藉由數據的一致性，解釋某些現象的表現。目的在於以特定變數預測目標變數，並探索變數之間關係、關係強度及迴歸線模型的解釋能力等。本文使用簡單線性迴歸，希望透過線性模型、利用較容易測量的 π_o 預測 π_{ip} 。

本來自不同樹而造成的個體差異。而實驗結果顯示，樹種和採樣時間都會顯著影響 π_{up} ，表示都市林樹木的 π_{up} 確實會跟著季節調整，以因應乾季的水分逆境。

當然更重要的是，他們也找出了 17 種常見的都市林樹木的 π_{up} ，確認了在這一點上各種植物的耐旱能力排名。像是耐旱前三名分別是黃連木、苦楝和樟樹，最後一名則是茄冬。

涓涓細流匯入世界之海

俊佑提到，國外可能有八、九個植物特性可以去推估植物對水分逆境的處理能力，「我們可能還提不出來這些東西，因為光是一個葉片耐旱性就做了多久，」過去只有國立屏東科技大學的郭耀綸老師以傳統壓力室計法蒐集樹種的 π_{up} 數據，進度非常緩慢，現在郭老師已經退休，目前完成 100 多種植物。新研究方法的出現，總算為研究人員打開了一條新的道路。

「或許短期內無法立刻看到成效，但我們在做的事情很重要，以後也可能會進入像 TRY 這樣的國際資料庫中。國外在整合，我們也要跟著

韌性都市林小教室

TRY Plant Trait Database 國際植物性狀資料庫是由未來地球計畫 (Future Earth)、德國馬斯克普朗克生物地球化學研究所 (the Max Planck Institute for Biogeochemistry) 及德國整合生物多樣性研究中心 (German Centre for Integrative Biodiversity Research, 即 iDiv) 率領的一群植物科學家所共同維護、免費且公開的國際植物性狀資料庫，目前已經有了 1,500 萬種以上的植物性狀資料。

<https://www.try-db.org/TryWeb/Home.php>

苦楝耐旱能力佳，花量多又有香氣，每年三月開花時總會掀起一波追花潮，同時也吸引許多鳥類和昆蟲取食。

攝影：鍾慧元







一起整合。因為現在很多分析都是從這個資料庫中取資料，我們一同投入才會真的慢慢讓那個拼圖越來越完整。」俊佑說，「生理因子的資料，雖然蒐集起來有許多困難，但不做就是零，一定要慢慢把拼圖拼起來，雖然一定會有人批評，說我們只看了一點點，但這就像瞎子摸象一樣，有一堆瞎子的話，總有一天我們會把象給摸出來。」

研究主題 評估台北市林常見樹種的耐旱能力

目的 針對目前都市林常見樹種，找出其耐旱能力排名

研究負責人 李俊佑、林冠穎、張勵婉

研究方法 利用效率較好的滲透勢計（VAPRO 5600 vapor pressure osmometer）測量各種常見都市林樹種葉片的飽和滲透勢（ π_o ），並據此建立 π_o - π_{up} 迴歸線，藉此推測出各樹種的膨壓喪失點葉部水勢（ π_{up} ），找出耐旱性較佳的樹種。

研究成果 建立臺灣樹木的 π_o - π_{up} 迴歸線，使我們能利用滲透勢計法快速量化樹種的耐旱性，作為未來挑選耐旱樹種的參考，現已應用於測量台北市常見都市林樹種之耐旱性，並持續累積樹種耐旱性資料。

意義 為樹木性狀資料庫累積資料，並探勘常見都市林樹種的耐旱能力。





攝影：黃愷茹

3

第三章

都市林的住民——動物





節肢動物的江湖： 從蜘蛛螞蟻看都市林

觀察過排成一排搬著食物的螞蟻嗎？看過像芝麻一樣的小小蟲一眨眼就跳走不見了嗎？土壤中的小動物對我們來說陌生又有距離，但在科學家的眼中，牠們除了具有重要的生態意義，還能當作環境的指標。

都市林有非常多功能，包括遮蔭、截留 PM2.5、緩衝降雨對地表的衝擊……等等，其中有一項很重要的，就是作為生物的棲地。陳一銘老師這幾年持續推動都市複層林的營造，希望能為都市環境中的生物提供更多棲地。理論上，當棲地的多樣性增加之後，生物的多樣性應該也會跟著增加。但沒有經過科學驗證的想法不能直接當成事實，必須經過審慎的調查、實驗、研究，才能確認。

森林的底層居民

為了探討都市複層林是否真的能涵養更豐富的生物多樣性，陳一銘決定以地表節肢動物作為調查對象，「因為地表節肢動物的採集相對比較容易。」他笑著說。節肢動物是很大的類群，多樣性本來就高，就連都市中也能看到各式各樣的節肢動物。不管是六隻腳的昆蟲如螞蟥和小蜂、八隻腳的蜘蛛、或是很多腳的馬陸、鼠婦，都是都市公園中常見的節肢動物。

設定樣區時，他把植物多樣、許多地方有複層結構的台北植物園視為複層林，而植物覆蓋面積、複層結構都較少的中和四號公園則視為單層林。陳一銘說：「在目前的公園管理方式中，過度割草、清掃枯枝落葉都是常態，這樣會對這些地面的節肢動物造成什麼影響？複層林的營造是否真的可以如我們想像的，涵養出更豐富的生物多樣性？」要回答這些問題，第一步就是要調查都市林底層在不同的管理方式下，各自的生物多樣性如何？

不過，森林的經營管理模式所造成的影響，需要經過長時間的自然演替，才可能看出差異，因此除了中和四號公園與台北植物園以外，他還多選了一個條件不同的棲地進行調查，以推測改變經營模式後所可能帶來的影響。位於都會邊緣地區、連接到複層次生林的郊山——中和圓通寺步道雀屏中選，成為他的第三個實驗樣區。

為了蒐集標本，只好請君入甕

他和助理李伶玲在這三個地方各設置了九個樣點，將離心管埋在土裡、開口朝上，做成掉落式陷阱（pit-fall）。每個月調查一次、陷阱每次開放 24 小時，讓蟲蟲自己掉進去。

雖是被動等待節肢動物自己送上門來，但前置作業仍是必須的，每個月固定造訪三處地方各九個樣點，也讓助理伶玲有了許多自己的觀察。

「中和四號公園特別難做，許多方面都和另外兩個地方不太一樣，」她說，每次 5 月到 9 月這段時間，也就是夏天的時候，中和四號公園的土壤經過太陽曝曬，就會變得像沙漠一樣又乾又鬆，土壤雖不會結



採樣的第一步，就是挖個洞把採樣管埋進土裡。攝影：李伶玲



成硬塊，但打洞用的管子敲下去再拔起來，整個洞就像散沙一樣坍掉了，有時還得靠鏟子輔助挖掘，才能把採樣管順利地埋下去。麻煩的還有採樣管破掉，「因為四號公園的土裡面有比較多碎磚瓦之類的人工碎石，」但下雨時又很容易出現積水，「常常可以看到黑冠麻鷺吃湯麵，」她笑著形容黑冠麻鷺從積水中拉出蚯蚓的模樣。

另外還有一個四號公園限定的現象，「松鼠其實蠻喜歡圍觀你在幹嘛，可能覺得會有吃的吧，」佾玲說，「有些愛媽會叫松鼠的名字，然後開始餵牠們，可是事實上等愛媽走了，我們經過同一條路，松鼠也是會衝過來。有些松鼠被養得很胖，靠近你的時候，會覺得有點可怕，不知道會不會突然攻擊你。」而牠們也會因為好奇或者覓食，把管子咬破。

有時候，樹下還會出現成堆的飼料，不知道是要餵給松鼠、鳥兒還是其他動物吃，但這就跟沒有撿走的狗便便一樣，會吸引很多蟲在附近飛來飛去，不但造成環境的髒亂，也可能造成採樣管裡出現很多蒼蠅。「其實蒼蠅不是我們主要調查的對象，因為管子埋在地裡面，而蒼蠅是飛在



四號公園的松鼠好奇心強、膽子又大，會主動靠近人類。攝影：劉克修



等待鑑定的節肢動物浸液標本。攝影：李伶玲

空中的，理論上應該不會很多，但卻有可能因為這些狀況而變多。」顯然四號公園和人類的密切關係，確實會影響到其他生物的狀態。

是節肢動物，還是截肢動物？

每個月收回樣本之後，就要帶回實驗室篩蟲、清洗、分類。採樣管裡面本來就會加入泡泡水，伶玲要先把枝葉、蝸牛（「蝸牛有黏液，會讓整管都很黏滑，」伶玲補充說）、蚯蚓等非目標物挑出來，用紗布濾出節肢動物，清洗之後再放入小瓶中以酒精保存。但他們沒有想到，只是在肥皂水裡泡短短 24 小時就會造成問題，她常常撿到斷手斷腳，或是看到這裡一個螞蟻的頭、那裡一個誰的胸部，而因為滲透壓的關係，常常發生蜘蛛的腹部爆掉的狀況，無法看到生殖器官，連雌雄都不能判斷、就更別說科了。搞清楚原因之後，他們就會先在泡泡水中加鹽，才終止了這類「截肢動物」的出現。

清洗過之後，要把這些小小蟲製成浸液標本，才能在顯微鏡底下清點數量、辨識分類。

三年下來，他們一共抓到 2 萬多隻節肢動物，體型多半都在 5mm 以內，螞蟻還算比較大的，彈尾目的更小，而像是半翅目的蚜蟲或薊馬，



大家都喜愛的草地：看似單純，對
蜘蛛螞蟻來說卻已是複雜的江湖。
攝影：劉克修





這次研究中新紀錄屬小蜂，錐頭緣腹細蜂屬的寄生蜂。影像來源：林業試驗所昆蟲標本館

則特別難挑，「如果挑出來之後再放回去，有時候就會找不到，或者一不小心就會被水流走，因為實在是太小了。」佾玲說。她也從一開始每次要花一個星期以上才能把蟲分完的新手，練到後來只要三天左右就能完成。而他們還在挑蟲的過程中找到了一個新紀錄屬，「是從來不知道台灣也有的一個屬，錐頭緣腹細蜂屬的寄生蜂，」陳一銘在韌性都市林的研討會中公布了這個發現，「這也告訴我們，其實我們對這個層面的節肢動物了解是完全不夠的。」

韌性都市林小教室

● 節肢動物

是動物界中所屬物種最多的「門」，身體表面有幾丁質的「殼」，肌肉組織附著在殼內，因此稱為外骨骼。身體分節且兩側對稱，包括有昆蟲、蜘蛛、蠍子、蝦蟹、蜈蚣、馬陸、鼠婦等等。

● 彈尾目

又稱跳蟲，是沒有翅膀的小型節肢動物，體型通常不到 3mm，尾端常具有彈器而善跳躍。通常棲息在土壤或枯枝落葉中，以吃碎屑為主。彈尾目過去曾被認為是昆蟲，現在已經從昆蟲綱中分出來。

● 膜翅目

昆蟲綱中的一個目，具有膜質、透明的翅膀，體型多半不大，包括了各種蜂和螞蟥，被認為是昆蟲綱第二大目。

● 半翅目

昆蟲綱中的一個目，因成員中有些翅膀是基部一半為革質、端部一半是膜質透明（如椿象）而得名。成蟲和若蟲都有吸管狀的吻突，可吸食植物汁液或獵捕其他小生物，包括椿象、蚜蟲、介殼蟲、粉蝨、蟬等等。

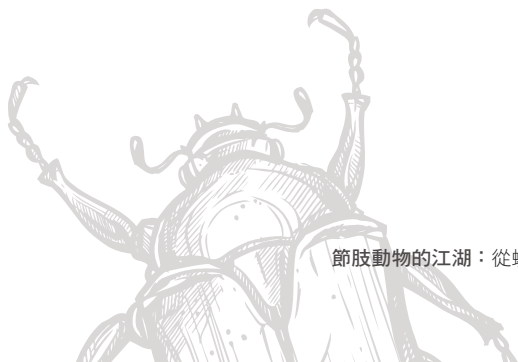
他們依照生物個體型態構造直觀的進行區分，構造不一樣的生物就給予編號，如蜘蛛 A 種、B 種……，可以直接進行群聚生態或多物多樣性評估的運算，暫時解決難以知道每一個物種正式學名的困難。

研究的最後一步，就是根據採集到的每個物種或形態種的數量資料，將每個樣點當作一個群體，然後以組成成分去評估每個群體間的相似性，再給予多維度的排序，如此科學家便得以觀察不同地點的生物群體間的關係或特性。

哪裡的蟲最多？

從 2020 年 5 月到 2022 年 5 月，三年研究期間，他們總共收集到 16,524 隻昆蟲，分屬 14 個目。其他節肢動物則有 11,141 隻。彈尾目和膜翅目就佔了總數量的 82%。

彈尾目、半翅目跟蟎類的數量在三個樣區之間有明顯的差異，而且都是中和四號公園最多、台北植物園最少，這點也讓陳一銘大感意外。因為大型公園時常砍草、掃除落葉，勢必會影響依賴枯枝落葉層維生的生物，所以照理說四號公園中的節肢動物多樣性應該會比較低。「結果地面調查做完，從數量來看，高度管理跟低度管理的公園之間的差異，竟然沒有很大。」





他原本的設想是，複層林地面的昆蟲數量可能會比草地多，但調查結果卻顯示未必如此。陳一銘覺得最大的因素或許是陽光。「因為陽光本來就是能量，是生產力，而在某一個層面來說，比方說地面的生產力，在沒有樹的地方是比有樹的地方更高的，因為陽光可以直達地表。同時，「我做的是地棲性、地表的節肢動物，經常砍草的地方，可能因為有更多被切碎的植物殘體，讓地表節肢動物的食物來源更豐富。」但這還需要更進一步研究。

原本以為草地的節肢動物會比複層林少，但實驗結果卻不完全支持這個想法。攝影：葉馨惠



當然也別忘了，複層林的生物多樣性是從地面涵蓋到樹頂的，然而草坪的上方卻空無一物。

出乎科學家意料的初步調查結果

陳一銘解釋說，「直觀的來看，植物園、四號公園和圓通寺的地表節肢動物豐富性並沒有明顯差異，但是這三個地方，就某些層面來講，節肢動物類群的結構可能是完全不一樣的，所以要做得很細緻啦。」

所謂的做得很「細緻」，首先就是必須對那些生物類群有很詳細的了解，才有辦法更進一步的解釋「現象」。也就是說，「沒辦法單純地用多跟少來看這一件事。」陳一銘說，「所以我們又再從眾多的生物樣本中挑選膜翅目以及蜘蛛目進行『種級』分類，這樣才能從群聚和多樣性的層面來探討。」種級的鑑定專業而耗時，這就是為什麼科學家們必須先以「形態種」的技巧來快速達成群聚分析的目標。

蜘蛛螞蟻透露的線索

以這三個地方所採到的膜翅目與蜘蛛目種類及數量進行群聚分析，果然發現了不同的故事。

膜翅目又分為蜂與螞蟻二大類，離心管陷阱採集到的蜂幾乎全都是小型寄生蜂，也就是小蜂類。因此科學家也得以分別從小蜂、螞蟻以及

韌性都市林小教室

形態種

依照生物個體型態構造直觀的進行區分，構造不一樣的生物就給予編號，如蜘蛛 A 種、B 種……，可以直接進行群聚生態或多物多樣性評估的運算，暫時解決難以知道每一個物種正式學名的困難。



蜘蛛的群聚來看三個公園之間的異同，結果發現——牠們的故事全然不同。

先說小蜂，這三個公園的小蜂種類數量組成並沒有顯著的差異。組成類似，用通俗的說法就是沒有特色，所以小蜂可能不是好的指標。但是，四號公園的小蜂多樣性顯然比較高，這可能就是前面所說的「向陽處生產力高」的緣故。

至於螞蟥，這三個公園中，植物園和圓通步道之間的距離是最遠的，但這兩個公園的螞蟥種類、數量、組成卻有相似之處，只有四號公園的螞蟥相與眾不同。因此從螞蟥來看，可以說四號公園是一個不一樣的棲地。

事實上，這個結果讓陳一銘百思不得其解，因為並不符合棲地多樣化的生態原則。從頭開始思考之後，他推翻了自己原本的假設，意識到必須拋開先入為主的觀念，重新看待樣區棲地的意義，他恍然大悟，「原來，四號公園只是一個『有樹的綠地』而已！」因此，若是都市林營造成

上：顯微鏡下各種微小的節肢動物，需要一隻一隻細分到型態種。攝影：李伶玲

中：此次調查中找到的螞蟥，必須透過顯微鏡才能看清楚特徵。攝影：李伶玲

下：2022 年 4 月在圓通步道採集到的吉梯細顎針蟻。鑑定及攝影：李錦城

功，就會徹底改變地表節肢動物的組成。某些類群如寄生蜂，其多樣性或許就會降低，但這也再次提醒了我們，森林化（植物增加、棲地增加等等改變）帶來的會是「立體空間」的生物多樣性！

最後是地棲性蜘蛛，但這又是另外一個故事了。「蜘蛛的種類與數量的組成，在三個公園都是不一樣的。」陳一銘說，「這是有趣的結果，但並不容易解釋，是因為棲地的孤立阻隔造成的嗎？雖然還不清楚，但這個不一樣也讓我們知道蜘蛛可能會是好用的監測指標。」

從多樣性的表現看來，圓通步道次生林的地表蜘蛛多樣性顯著較高，這會不會暗示著，蜘蛛組成的改變，或許來自森林複層化的結果？也就是說，連植物園都還只能算是單層林！然而，無論如何，因為只有三個樣區，而且三個地方都不一樣，所以未來如果想用蜘蛛當作指標，「可能就要再找 20 個樣區出來，因為絕對不可能 20 個樣區都不同，研究人員只要能從中找出共同點，就一定能分析出其中的關聯。」陳一銘解釋，這次只研究了地表的節肢動物，「如果希望知道節肢動物整體的狀況，或許可以改變調查方式，去調整合個垂直的空間，或改用另一種比較沒有選擇性的取樣方法，比方說掛在空中之類。」陳一銘說，他也還在思考。

調查的結果或許只要幾張圖表、幾頁文字就能說完，但調查的過程可能卻需耗時數月、甚至數年才能累積到足夠的資訊，得到有決定性、或沒有決定性的結論。陷阱的設置、昆蟲的蒐集都不難，物種的辨識，並爬梳出這些現象之間的關聯性、找出合理的解釋，才是最耗時耗力耗腦的部分。

森林比我們想像的更複雜

細微的節肢動物展現出的動態變化，給陳一銘的體會是「四號公園其



三個樣區的蜘蛛相都不一樣，也讓陳一銘有了重新定義樣區棲地的想法。
攝影：劉克修

實是一個完全不同的棲地，就是一個「『長了樹的綠地』，儘管一開始我們是把四號公園視為單層林。而植物園雖然有森林的性質，但其實還是單層林。或許只有圓通寺步道才勉強可以稱得上是複層林，或是一個鄰近複層林的森林公園。」

唯有從這樣的角度去看，才能把一開始鬼打牆的糾結解開。爲什麼四號公園的森林複層化反而降低了地棲動物的多樣性？那是因爲四號公園根本還沒森林化。

那麼，如果公園綠地森林化，會產生什麼變化？因爲植物增加了，會造成遮蔭增加，草地的生產力就會降低，而地表節肢動物的數量也會降低，那寄生蜂的多樣性可能就會跟著下降。這是從草地轉變成森林的正常現象，至少在初期會是這樣——因爲這是兩種完全不同的棲地，所以螞蟻、蜘蛛相也會跟著改變！但別忘了，立體結構將會帶來更高的多樣性，雖然這次實驗並沒有涵蓋到這部分，卻是未來可以繼續探索的主題。

森林化的初期是單層林，當單層林走向複層化，可能又會觀察到蜘蛛相的改變和多樣性的增加。由於蜘蛛是掠食者，所以有可能代表整個多樣性的增高趨勢——這是陳一銘的推論，還不能確定。但陳一銘很高興地說，想通了棲地這個環節之後，許多疑惑都迎刃而解。眼前的節肢動物似乎膨脹了很多倍，展現出的可能性和意義一點都不輸森林中那些更明顯、更碩大或更鮮豔的生物。

不管科學家專注的是森林中的龐大或細微，那種彷彿在迷霧中前進的探索過程、恐怕是研究中最孤獨也最迷人之處。

研究主題 地表節肢動物多樣性與生態功能探討

目的 了解中和四號公園、台北植物園及中和圓通寺步道的節肢動物多樣性組成，以解析公園都市林的棲地特性，並找出適合作為指標、用於長期監測的類群

研究負責人 陳一銘

研究方法 以 pit-fall（掉落式陷阱）收集樣本，帶回實驗室製成浸液標本後加以辨識並統計分析。

研究成果

1. 中和四號公園、台北植物園和圓通寺步道的小蜂類組成類似，但中和公園的多樣性明顯較高。
2. 植物園和圓通寺步道的螞蟥組成類似，但四號公園則特別不同。
3. 這三個公園的地表蜘蛛組成都不相同，而且以圓通寺步道的多樣性明顯較高。

意義 當公園從傳統的綠地（如中和四號公園）轉為森林化（如植物園、圓通寺步道），棲息其中的物種組成也會轉變，不同的類群跟棲息地表現也不一樣。對蜘蛛、螞蟥而言，不同的公園可能都是不一樣的江湖。所以這兩類生物可以當作環境指標，尤其是蜘蛛可能更敏感。

A close-up photograph of a bee on a blue flower in a lush green field. The bee is positioned on the left side of the frame, facing right, with its wings spread. The flower is a vibrant blue with many small, tubular florets. The background is a dense, out-of-focus green field of similar plants, creating a sense of depth and a natural habitat. The lighting is bright and natural, highlighting the textures of the bee and the flower.

蜂回路轉： 你還沒認識的都市綠地好朋友

花 開正盛，蝴蝶翩然而至，真是美。你衝過去想拍下蝴蝶美麗的模樣，結果發現旁邊還有隻蜂也在花間穿梭，那是虎頭蜂嗎？還是蜜蜂？牠會叮我嗎？被叮到會怎麼樣？

「別慌！」是林試所福山研究中心的蜂類專家陸聲山博士最想告訴你的事。

「蜂類面臨最大的問題，就是民眾的不了解，」陸博士說，民眾可能沒有意識到，除了蜜蜂和虎頭蜂以外，自然界還有許多不同的蜂，而沒有把蜂加以區別的結果，就是容易誤會所有的蜂都會螫人，「只要有人被虎頭蜂螫到就會上新聞，但其實國外統計過，被狗這類家中動物咬到所造成的人類傷害案件，比被蜂螫的還要多。」

都市綠地的蜂

就像城市裡能看到各種鳥類和昆蟲，都市裡有蜂也是很正常的。這些蜂類和其他生物，都靠著都市中逐漸減少、破碎化的綠地存活下來，雖然較少受到關注，但都市蜂類在生態系中的重要性，卻一點都不輸給其他比較醒目或體型更大的都市生物。

一般民眾對蜂的印象多半帶著誤解和想像，所以陸博士希望能藉由韌性都市林的計畫，去了解都市綠地中有螫蜂類的族群狀況、最好還能藉由公民科學的推廣，讓社會大眾能夠對蜂有多一些認識。

蜂是重要的授粉昆蟲，直接影響到許多農作物的結實與生產，大眾可能會以為蜜蜂和虎頭蜂只有鄉間或郊野才有，但其實像柏林、倫敦、墨爾本、溫哥華等國外大都市，都已經做過都市蜂類的基礎調查研究，

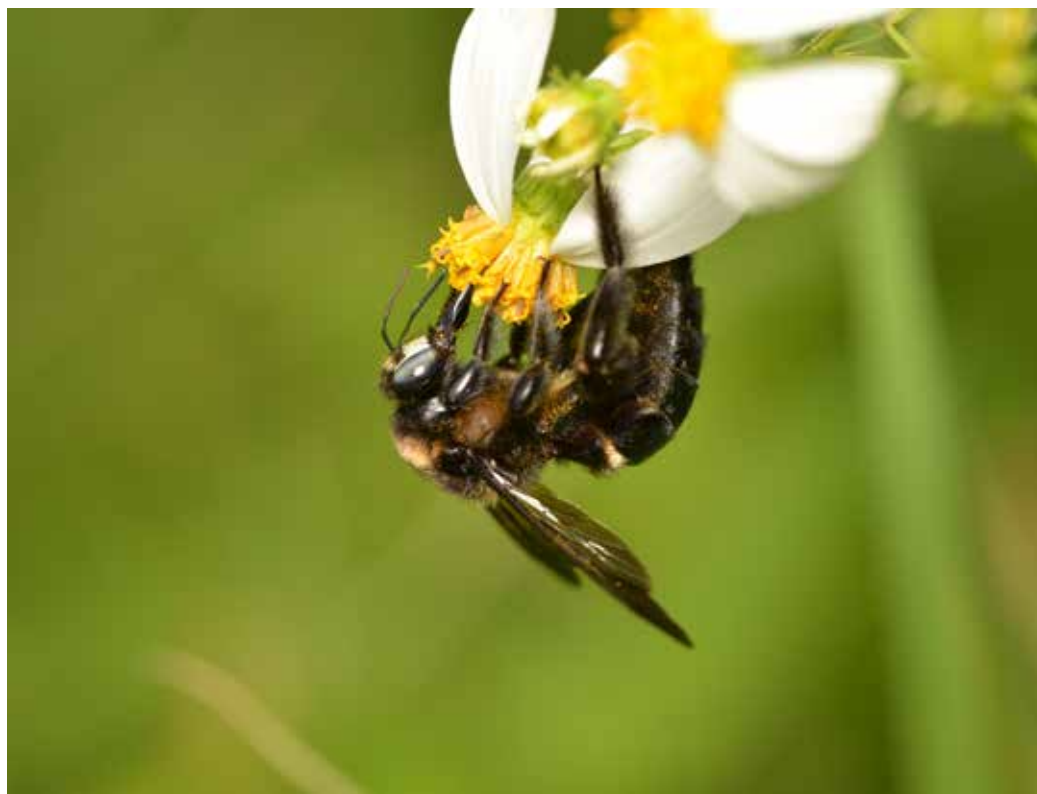
韌性都市林小教室

蜂的生態系服務

- 調節：調節生態系統與過程，如抑制蟲害、授粉、族群調節
- 供給：如提供營養、生物醫藥
- 支持：協助維護其他生態系統，如傳播種子、促進分解
- 文化：教育、娛樂或保育（如虎頭蜂酒、虎頭蜂月餅、釀酒酵母的保存與品系發展）

台灣的都市蜂類調查才剛起步，這次韌性都市林計畫在台北植物園與中和四號公園進行的調查，是台灣第一次針對都市環境進行的有螫蜂多樣性調查，希望能夠建立起都市林中有螫蜂的基礎生態與分布資料。

蜂是生態系中的要角，和其他生物之間有多種共同演化和相互利用的關係，從生態角度來看，不同的蜂類扮演了授粉者、寄生者和捕食者的角色，光是在族群調節的部分，目前已知至少有 3 萬種有螫蜂類會捕食或寄生在各種節肢動物身上，能幫忙維持大自然食物鏈的平衡，



蜂是重要的授粉者，圖中為木蜂屬（*Xylocopa*）。攝影：葉文琪

避免危害到其他植物或無脊椎動物。就像以寄生性的平腹小蜂抑制荔枝椿象，就是利用了這種關係，而胡蜂捕食的效益，甚至可能跟食蟲性的鳥類、哺乳類和兩棲類差不多。

不是每隻蜂都有螫針

蜂是昆蟲綱、膜翅目的昆蟲，根據其胸部和腹部連接處是否會縮成細腰狀，又分為廣腰亞目和細腰亞目（「蜂腰」就是這麼來的）。全世界共有超過 15 萬種蜂，我們最熟悉的名稱大概就是虎頭蜂和蜜蜂了，但其實，只有會釀蜜的才能稱為「蜜」蜂，英文稱為 *bee*。但人類會加以利用的、會釀蜜的蜂種類並不多，全世界也不過 10 種，蜂的世界裡有更多的是也可稱為黃蜂的胡蜂類，這就是英文中的 *wasp*，而其中又包含了虎頭蜂、長腳蜂、蜾蠃（讀音為「果裸」）……等許多類群。

蜂的食性非常多元，在都市綠地裡常見的就有狩獵蜂、寄生蜂和授粉蜂。而按照其生活型態，又能分成群居和獨居，蜜蜂和虎頭蜂就是群居，但狩獵蜂、寄生蜂、甚至授粉蜂則有許多是獨居性的，在巢中為自己的後代留下食物後就會離開。

而且，也不是所有的蜂都有螫針，螫針是產卵管特化所形成的器官，「馬雅人會飼養無螫蜂，東南亞也有三、四十種無螫蜂，台灣剛好是無螫蜂分布的北界，只有一種無螫蜂，」陸博士說，「是社會性的、也會釀蜜，所以現在也有人在推廣飼養這種無螫蜂。」

除了大型的胡蜂類，其實許多蜂的體型都很小，「有的甚至像螞蟥、蒼蠅一樣小，」陸博士說，「你可能連看到都不知道那是蜂。」

蜜蜂？虎頭蜂？傻傻分不清楚

除了食性不同，「大部分的蜂其實都不會主動叮人，社會性的蜜蜂或

虎頭蜂，都是爲了防禦才會攻擊，這一點跟獨居性的蜂不一樣。獨居性的蜂主要是在捕捉獵物時才會螫刺，把獵物螫昏後再帶回去，所以牠螫刺的目的不一樣。」陸博士指出，社會性的胡蜂與蜜蜂是親子共存，同時有蜂后和幼蟲存在，通常都是爲了保

護家園才會傾巢而出。而獨居蜂則多半是築完巢就離開了，所以危險性比社會性蜂類小非常多，通常也不會主動攻擊。「就算牠在你家牆角築窩了，你可能都不會注意到牠，因爲頂多就是這麼一隻。」所以陸博士很希望能夠爲蜂正名，教大家認識各種蜂的行爲與特色，把虎頭蜂和其他的蜂類區分開來，了解在都市中可能碰到哪些蜂類、牠們又有什麼行爲特徵，才不會因爲誤解而讓其他蜂類擔了罵名。



中和公園內的東方蜂。攝影：劉克修

韌性都市林小教室

韌性都市林有螫蜂調查成果

時間：2020 年 2 月至 2022 年 12 月

調查成果：近三年的調查，共記錄到 11 科、41 屬、73 種有螫蜂

中和公園：56 種

台北植物園：68 種

種數最多前三類：

胡蜂科、蜜蜂科、切葉蜂科

隻次最多前三類：

蜜蜂科、胡蜂科、隧蜂科

植物園的各科種類均略高於中和公園（隧蜂科除外），中和公園沒有記錄到蛛蜂科和蟻蜂科，兩樣區的有螫蜂類相似性高達 69.9%。



不是每一種植物都仰賴蜂作為傳粉者，有些有其他的授粉策略。而四號公園生態灌叢中栽植的野牡丹，就是很受訪花性蜂類青睞的植物之一，圖中為銅翼皆木蜂 (*Xylocopa tranquebarorum*)。攝影：劉克修

「調查結果發現，其實我們都市環境中蜂的多樣性還不錯，尤其是植物園。之前我們都在森林地區調查，沒有想到都市公園裡的蜂也那麼多。」陸博士說。為期將近三年的調查中，在台北植物園內記錄到的蜜蜂科及胡蜂科種類都明顯比中和公園多，而台北植物園的寄生性有螫蜂也明顯比中和公園多，或許是因為台北植物園的植物比較多樣、複雜，因此有比較多可供寄生的目標獵物。

公園裡的蜂都吃什麼？

根據陸博士的團隊在植物園與四號公園中對蜂類造訪的蜜粉源植物的觀察與分析，他們發現這些有螫蜂類拜訪頻率最高的都是大花咸豐草，其他還有黃荊、黃鵪菜、細葉雪茄花、麒麟花等較低矮的灌叢或地被植物，而這些植物也是最常因為公園除草遭砍除的對象。所以，大型

公園的砍草頻率若是能夠降低，就能增加蜂類的食物來源，還能節省人力與經費。

而在他們觀察期間，四號公園中的野牡丹，就被蜂造訪了 600 多次，這一點，協助調查的葉文琪先生說，可能是因為野牡丹的花朵本來就比較會吸引蜂去利用，而一開始在四號公園栽種生態灌叢植物時，或許沒有特別去思考蜂喜好的蜜粉源植物，而只是從人類的角度去挑選，像全年都會開花的玉葉金花，對蜂就沒有什麼吸引力，「因為有些植物沒有蜜也沒有什麼粉，它們有自己授粉的機制，像是風力、或是自花授粉，這些就不會吸引到蜂。」葉文琪解釋。

植物園因為植物多樣性較高、層次也比較複雜，所以蜜粉源植物幾乎是中和四號公園的兩倍，但兩個地方的有蜚蜂仍有 69.9% 是一樣的種類，而隨著複層林的營造，中和四號公園的植物多樣性增加後，團隊也觀察到有許多蜂類和其他授粉昆蟲造訪，可以預期未來蜂類的多樣性應該會持續增加。

這兩處樣區中的有蜚蜂類，都以狩獵蜂類占比最高。這些狩獵蜂捕食的獵物主要包含隧蜂、蛾類幼蟲、蟋蟀及螽斯，蚜蟲、蠅類和蜘蛛，顯示都市綠地其實具備相當豐富的昆蟲及節肢動物多樣性，才能支持這麼多樣的狩獵蜂。

而除了食物以外，棲地對蜂也非常重要。蜂需要築巢的材料、也需要能築巢的地方，即使是狩獵蜂，是為了要餵食幼蟲而狩獵，自己還是可能去訪花，「這些都是將來的經營管理需要注意的。我們除了提供食物，像是栽種蜜粉源植物以外，也需要營造棲地，」多層次的植被，能供養更多蜂類捕食的獵物，陸博士說，「現在的問題就是我們不知道這些蜂原來的棲地是什麼樣子，公園裡面常常是一有空地就要種樹，但這樣可能會讓某些蜂類所需要的平坦或開闊地面消失，因為有些蜂是築巢在地面上的。」

非寄生性的有螫蜂多半具有撫育子代的築巢習性，但需要的材料和地點都不一樣。有些會築出規模龐大的蜂巢，也有些會在地面挖洞築巢（包括泥土或沙層），有些是唧泥築巢、有些是築巢在竹管或木頭縫隙、孔洞之中，或者是在草莖的髓心中築巢。

木石竹管，歡迎獨居蜂入住

近年來流行的獨居蜂旅館，就是模擬某些蜂會使用的天然環境，像是洞穴、縫隙、竹管，或小蠹蟲、天牛之類昆蟲鑽出來的孔洞。陸博士建議公園綠地可以嘗試設置獨居蜂旅館，用木頭、竹管、草莖與土磚



細腰亞目的蜂，擁有「蜂腰」。圖中是獨居性的紅腳細腰蜂，準備將獵物螽斯帶回巢穴，牠會將卵產在獵物身上，讓獵物成為幼蜂的儲備糧食。攝影：葉文琪

等多種材質來營造棲地，能有助增加這些蜂類的築巢機會與密度，但「這樣的獨居蜂旅館大概只能收到三分之一的蜂，三分之二以上的蜂可能還是要自己想辦法去挖洞。」陸博士說，所以未來公園也可以考慮保留一些裸露的泥土地面或沙地給這類蜂使用。

而獨居蜂旅館也很適合作為公民科學家的自然觀察教材，可以觀察到蜂的許多行為和食性。

他也希望公園的綠地、甚至行道樹能夠作為暫時性的串連通道，當蜂在某些地區受到干擾時，可以先把這些地方當作暫時的踏板，慢慢移居到其他地方。

關於虎頭蜂，你所不知道的 point

但不管做多少研究，他最期望的還是消弭大眾對蜂類的負面印象，因為蜂類對生態系、對整個人類世界都太重要了。大家聽到就怕的虎頭蜂，每年光是在築巢育幼期間消耗掉的昆蟲生物量就重達好幾公斤，對於維持生態系中植食性節肢動物的族群平衡很重要，就連牠們的蜂巢，也都是「環保材質」。

虎頭蜂會用大顎刮下木材纖維、混合口內分泌的液體製成紙漿築巢，還會用精巧的外殼包住裡面的巢脾，幫幼蟲遮風擋雨。但到了繁殖末期，就會有寄生昆蟲進駐，暴露在野外環境中的虎頭蜂巢，也會逐漸腐朽，當巢掉落的時候，無法長大的幼蟲就會成為其他生物可以利用的蛋白質，「不只窩裡面的幼蟲，整個窩都是食物啊，」陸博士說。而且，也不是每種虎頭蜂的攻擊性都很強，有一些個性比較溫和，有時只要避開牠們出入的動線、或是了解蜂巢處於哪一個階段，就能人蜂相安無事，未必需要冒著危險摘除。

而虎頭蜂的文化服務也不可小覷，除了台灣人喜歡用虎頭蜂泡酒以外，虎頭蜂還默默地「培育」了世界葡萄酒產業，甚至可以說，沒有虎頭蜂，可能就沒有葡萄酒、啤酒和麵包可以享用了。

虎頭蜂的肚子裡沒有蛔蟲，但有酵母菌

原來釀葡萄酒需要的釀酒酵母（*Saccharomyces cerevisiae*）必須仰賴虎頭蜂才能度冬。葡萄表皮上本來就有釀酒酵母，但這種酵母菌性喜溫暖，只要天氣一冷就會死亡。而虎頭蜂跟我們一樣愛吃美味的葡萄，當牠們啃咬葡萄時，就順便把葡萄上的酵母菌也吃進了肚子裡，「因為這種社會性的蜂會越冬，酵母菌會在蜂后的腸道中生存，等冬天過了之後，這些酵母菌就可以經由液體食物的交換跑到工蜂身上，」陸



虎頭蜂會以植物纖維製成的紙漿築巢，而這樣的巢到了繁殖期末時，通常也已逐漸腐爛，成為其他生物的食物，是從裡到外的環保材質。圖為黃腰虎頭蜂。攝影：葉文琪

博士說，而工蜂在餵養幼蟲時，也會把酵母菌傳給幼蟲。到了第二年，當新生的工蜂叮咬葡萄時，也就把酵母菌又「種」回到葡萄上。

義大利的學者解剖了春夏秋三季在義大利葡萄園中找到的虎頭蜂，在牠們的腸道中總共找到 17 種不同的釀酒酵母菌株。而發表在《美國國家科學院院刊》上的一篇研究，更發現虎頭蜂的腸子不只是酵母菌度冬的好地方，同時還是育種的培養皿。因為這些酵母菌會利用度冬期間雜交，因此虎頭蜂不但保了種，還促進了釀酒酵母新品系的生成，在腸道中孕育出風味不同的新菌株；因此，不同地區的葡萄酒，才會擁有獨特的風味。

雖然虎頭蜂惡名在外，但不可諱言，今天人類能夠釀出這麼多采多姿的葡萄酒，可能也要感謝虎頭蜂的祕密貢獻呢。認識牠們、了解牠們，給牠們足夠的生存空間、尊重牠們的生活方式，是所有和我們共存的野生動物都需要，也都應該享有的。





研究主題 都市林有蜚蜂多樣性調查

目的 了解中和四號公園及台北植物園的有蜚蜂多樣性組成，透過兩樣區有蜚蜂多樣性的比較，探討複層林營造及棲地改善的效果。

研究負責人 陸聲山

研究方法 每月以固定樣線調查記錄中和四號公園中的蜂類物種，並以台北植物園為對照樣區。

研究成果 初步了解台北植物園及中和四號公園的蜂類多樣性，並確定蜂類喜好造訪的蜜粉源植物。

意義 透過公民科學教育提升社會大眾對蜂類的認識與了解，並嘗試以有蜚蜂做為都市林生態變化及棲地品質的生物指標。



A Taiwan Blue Bird is perched on a tree branch. The bird has a black head and neck, a bright red beak, and a yellow eye. Its body is a vibrant blue, and its long tail features a pattern of black and white horizontal stripes. The background is a soft-focus view of green leaves and brown branches.

聆聽都市鳥語

在各種野生動物中，鳥類是相對容易觀察的
一群，從高山到海洋，從森林到都市，鳥
類廣泛地分布在各類型的環境中，因此常被科
學家們拿來當作識別生態系健康的指標生物。
從市區的街頭到近郊河口或湖泊濕地，「整個
大台北地區的中心，也就是整個淡水河流域，
都有各式各樣的鳥類跟我們一起生活在這裡」。

台灣藍鵲。攝影：賴曉嫻

除了一年到頭都在台灣的留鳥，也有隨著季節變換來到台灣的候鳥，有些只是短暫經過，也有些是特地來到這裡度冬。「如果大家可以用耳朵傾聽、用眼睛觀察的話，就能發現許多鳥類真的是跟我們一起生活在都市的多樣環境裡。」林試所森林保護組的鳥類學家傅淑瑋說。

身為恐龍後裔的鳥類，因為型態、食性及行為表現上的差異，適應不同類型的棲地環境。有些融入都市生活的鳥種，像是枝頭的斯氏繡眼、白頭翁，街頭的麻雀、鴿子、斑鳩，或近年來公園、校園常見的黑冠麻鷺，大家應該都不陌生。這次計畫的目的，就是希望能了解都市複層環境中的鳥類多樣性是否比枝葉覆蓋較低的環境多？是否符合科學家對複雜的空間結構能孕育更多樣物種的假設。

大學時代就開始跟著袁孝維老師在中海拔山區進行冠羽畫眉合作生殖研究的傅淑瑋，這次將眼光放回了自已生活的都市，跑遍了整個大台北地區進行都市的鳥類調查。她認為，在枝葉覆蓋度較高的都市林中，外來種鳥類應該比較難有立足之地，「因為枝葉覆蓋度較高，相對提供較多樣的生態棲位，是一些原生鳥類偏好棲息的環境，但對於目前在台北市區較優勢的外來鳥種來說，是比較不喜歡的棲位。」她說。

韌性都市林小教室

生態棲位

Ecological niche，又稱為生態區位。是指一個物種在生活的生態系中所居住的環境，以及他的生活習性。有一種比喻說，生態棲位就好比一個物種的職業。

鳥類的生態系服務

- 取食及調節其他生物數量、維持生態平衡
- 授粉、植物的種子傳播
- 賞鳥、攝影、心理寄託



黑冠麻鷺現在已經是都市公園綠地常見的原生種鳥類，很難想像 20 多年前我們對這種鳥類幾乎一無所知，隨著牠們慢慢習慣都市生活，我們也愈來愈習慣看到牠們出現在都市中。攝影：葉馨惠

外來種鳥類和原生種，有什麼不一樣？

當她在幫韌性都市林志工上鳥類課程的時候，志工們很關心的就是「原生種跟外來種鳥類到底有什麼不一樣，我們怎麼知道哪些是外來種？」

原生種是指物種自然地分布於一個地區，包含全年定居台灣的鳥種（留鳥）及隨著季節遷移來台的候鳥（夏候鳥、冬候鳥及過境鳥）。憑著良好飛行能力來到台灣繁殖、度冬或短暫經過的候鳥，像是冬候鳥黑面琵鷺、過境鳥灰面鵟鷹，都是鳥友隨著季節非追不可的大明星。外來種鳥類則可能是籠中逸鳥、或因不當放生而生存在台灣野外環境的鳥類，是因為人為因素造成牠們出現在自然分布範圍之外。有些適應力較強的外來種，在找到適合的棲地後開始繁衍，長久下來產生了數量可觀的後代，可能壓縮到生態棲位類似的本土鳥類生存空間。像是台灣原生的冠八哥，隨著引進的八哥族群快速擴張、再加上適合的棲地遭到開發，數量逐漸減少，在 2008 年被列為珍貴稀有的二級保育類野生動物。還有意外從私人動物園逸出的埃及聖鸛，1984 年首度在關渡發現六隻，之後便逐漸擴散到全臺的河口濕地，一度高達上萬隻。從 2019 年開始，政府已經耗費超過 7,000 萬元經費移除埃及聖鸛，以降低對本土鷺科鳥類的衝擊。外來種的影響，就是如此可觀又昂貴。

韌性都市林小教室

候鳥遷徙路線

候鳥在繁殖地與越冬區之間遷徙時使用的飛行路線，通常跨越大陸，也常越過海洋。並非單一的狹窄路線，而是範圍廣闊的區域。有六條跨越了歐亞、非洲和澳大利西亞，北美洲也有四條南北向的主要遷飛區。澳大利西亞泛指澳洲、紐西蘭及附近的南太平洋諸島。

八大遷飛路線為：東大西洋遷移線、黑海—地中海遷移線、西亞—東非遷移線、中亞遷移線、東亞—澳大利西亞遷移線、美洲太平洋遷移線、美洲密西西比遷移線、美洲大西洋遷移線。



原生的小白鷺和入侵的埃及聖鸛使用的繁殖環境類似。攝影：陳加盛

台北市每四隻鳥就有一隻是外來種？

埃及聖鸛已有林務局專業人員移除，但還有許多小型外來種鳥類在台灣站穩腳跟，除了野鴿、家八哥、白尾八哥，還有白腰鵲鵯、亞洲輝棕鳥……等等。根據傅淑瑋在大台北地區不同環境的樣區中調查，「大概每四隻鳥會有一隻是外來種，這樣的比例已經很難忽略外來鳥種對台北這個城市的影響。」

鳥類能利用的環境非常多樣，從建築物很多的都市環境，到農田較多的鄉村、茂密的森林環境，河口濕地、甚至遼闊的大海，都有不同種類的鳥類生存，而鳥類的嘴巴形狀和身體構造，會決定牠們利用資源的方式，也就是牠們的生態棲位。

像白冠雞有蹼，可以在水面上游泳抓昆蟲，涉禽如鷺鷥和鸕鶿科鳥類



則有雙長腿，方便在淺水處走動覓食，猛禽長著利爪和彎鉤狀的鳥喙，用於捕捉和撕裂獵物，所以不同種類的鳥類會有各自喜好覓食的環境。「外來種野鴿和家八哥，牠們的型態比較適合在地面找東西吃。」傅淑瑋說。

「以台北都會區來看，目前數量比較多且常見的是野鴿、白尾八哥和家八哥這些喜歡空曠地面的外來種。而像白腰鵲鴝或黑喉噪眉這類偏好森林環境的外來種在台北都市地區的數量相對較少。」傅淑瑋說，「野鴿原始的棲息環境是岩壁、峭壁，現在牠們在都市中利用建物陽台和屋頂、高架橋墩下的平台繁殖，巢只需要簡單幾根枝條就完成，下個兩顆蛋就開始孵，繁殖效率很高，而且這些位置都是人類很難到達、清除的地方。」

家八哥的適應力也很強，像路燈的空隙、交通號誌的孔洞，都可以看到外來種八哥築巢繁殖。

- ① 外來種鳥類白腰鵲鴝近年愈發常見。攝影：賴曉嫻
- ② 原生鳥類黑枕藍鶇。攝影：陳睿騏
- ③ 夜鷺是台灣水域常見的鳥類。攝影：陳加盛
- ④ 亞洲輝椋鳥是近年來逐漸擴散的外來種鳥類。攝影：賴曉嫻

何處是鳥家

空間異質度理論（spatial heterogeneity theory）認為，環境空間的結構愈複雜，能提供的生態棲位就愈多，這樣便能降低物種間的競爭、容納更多生物種類，物種多樣性也就愈高。翻譯成白話文的意思就是：環境中不同的棲地越多，就能提供越多種類、習性不同的生物使用。推動營造韌性都市林，理論上除了能獲得降低噪音、截留空汙、降低溫度等好處以外，還能營造更多樣的棲地，供更多物種進駐。

從這樣的理論出發，傅淑瑋開始探討都市林的鳥類多樣性。目前，她和團隊完成了台北市與新北市 13 個公園、共 48 處小樣區的植被結構與鳥類調查的分析，探討都市林中不同公園間的鳥類多樣性差異。

在劃分樣區的時候，她並不是把各個公園視為一個完整的複層林或單層林，而是在各公園裡挑出 3 個 $20 \times 60 \text{ m}^2$ 的樣區，並以「枝葉總覆蓋度」來展現樣區植被的覆蓋程度，團隊共同調查範圍內每株喬木、灌叢、草本植物的分布面積，再計算出這個指數。

以歌聲會鳥

為了配合鳥類活動的高峰時段，調查必須在大清早五點左右就開始，每次約三個小時，眼耳並用地邊看邊聽，有些喜歡在枝條間活動的鳥類並不容易看見，但牠們愛鳴唱，所以鳥叫聲也是鳥種辨識的重要依據。各個樣點每個月都必須調查一次，在現場仔細聆聽 10 分鐘的鳥音，記下數量和種類。為了知道不同環境的樣區會有什麼鳥類出沒，帶著望遠鏡到處查探的他們，難免會被當作怪人，「但大眾比我預期的更友善，更常遇到的是跟我們打招呼、好奇我們在做什麼的人，」傅淑瑋說，「因為我也有些樣點設在道路上，看我們拿著望遠鏡往高處看，民眾還以為我們是來看房子的。」



兩年調查期間，他們在公園中記錄到 34 種 3,062 隻次的鳥類，其中原生種為 26 種 2,214 隻次，外來種則是 8 種 848 隻次。原生種中，以冠層活動的鳥種及隻次比較多，其次是地面活動的鳥種，在灌叢活動的鳥種最少；外來種則以地面活動的鳥種數及隻次佔多數，冠層活動鳥種佔少數。

團隊在台北植物園裡的觀察是，上有大樹、下有灌叢的地方，確實會有一些灌叢鳥種出現，但都市裡記錄到的灌叢鳥種出現比例很低，不像在郊區森林下的灌叢中可能會看到小彎嘴、山紅頭等鳥類。「可能因為牠們都是仰賴灌叢、高草叢來移動」，在灌草叢沒有連續相連接的都市環境中，「牠們就比較不容易移動到都市中心。但也有些候鳥是偏好在灌叢裡活動的，像是遠東樹鶯或黃尾鸝，牠們飛行的能力比較好，就有機會飛進都市公園裡面。」傅淑瑋說。

多樣的環境，多樣的鳥

「整體來看，都市環境中在灌叢活動的鳥比例很少，至少需要有複層的森林環境，喜歡灌叢的鳥類才可能躲藏在裡面，如果只有上層樹木的環境，灌叢鳥種連站立躲藏的枝條都沒有，」傅淑瑋指出，「但如果林下有灌叢的話，野鴿、八哥就比較難進去，因為牠們的體型無法在灌叢中行動、找東西吃，所以下層有灌叢的話，可以減少這幾種外來種進去活動，也可能讓某些候鳥在過境的時候來使用這些地方。」

在公園特性及植被結構與鳥種多樣性的分析方面，原生鳥種類數並沒有跟公園及樣區特性有明顯的相關性，但是在枝葉總覆蓋度較高的樣區，觀察到數量較多的原生鳥種，跟較少的外來種類數跟數量。

團隊記錄到的外來鳥種占了陸鳥種類的 23.5%，數量則占陸鳥隻次的 27.7%，在大台北地區的公園裡優勢分布的前三名是野鴿、家八哥和

白尾八哥。目前在中和四號公園裡的外來種鳥類比例比植物園高，「除了他們喜歡開闊草地外，加上有些民眾會大量的餵食」。而台北植物園因為植物栽植的比較鬱閉，「這三種喜歡在地面活動的外來種在台北植物園裡就不容易觀察到，但是喜歡在樹林活動的亞洲輝椋鳥就會出現。」淑瑋說。

除了灌叢環境能影響出現的鳥種外，傅淑瑋還觀察到另一個重點，那就是水。

「台北植物園除了樹林比較鬱閉之外，還營造了許多處流動的水域，例如：荷花池和水生植物區，這些區域會吸引一些偏好水域環境的鳥，像是翠鳥、鷺鷥、白腹秧雞、紅冠水雞等原生鳥種，會穩定出現。」因為這些近自然的水域為牠們提供了魚、螺和水草等食物。而四號公園目前在開闊的廣場上只有一個不流動的水池，雖然有些小魚，但沒有水生植物跟其他生物，許多喜歡水域環境的鳥種就比較難出現。

花果昆蟲都是鳥類的食物，營造多樣的棲地，也能提供更多食物給鳥類。

① 雀榕 攝影：劉克修

② 小葉桑 攝影：劉克修

③ 侏儒蜻蜓 攝影：劉秋華

④ 蝦蟇天蛾幼蟲 攝影：劉克修



她也觀察到，就以台北植物園和中和四號公園來說，兩者在兩個整年中記錄到的鳥種數其實是差不多的，但組成上，台北植物園的原生種比較多，而四號公園的外來種比例較高。顯然，植物園維持的灌叢和水域環境，可能就是其他原生種有機會生存的位置。

研外之意：研究裡沒說的事

擁有大面積且接近自然的水域環境，或許在管理上會比較辛苦，但這樣的地方會吸引蜻蜓等昆蟲、水中也有許多生物，能增加許多喜歡在水域活動的物種。陳一銘認為就算沒有大面積的水域，只要有一個小小的水池，讓鳥類有可以喝水、沾水的地方，就有機會吸引鳥類停留使用。韌性都市林志工隊後來也在四號公園裡挖了一個小小的生態池，就是希望能吸引更多生物進駐。

除了盡量保留河濱濕地這類天然環境外，另一方面，都市面積有限，



紅嘴黑鵲在都市中已經很常見。攝影：許嘉錦

也可以朝改善都市綠地垂直結構的方向思考，像是補強一些原生的灌叢、草本植物，減少不透水層的面積，讓步道、人爲設施再縮減，露出可吸收水分的土壤，能營造出更多樣的棲地。

鳥類的糞便造成街頭的髒亂，也可能會散播疾病。傅淑瑋認爲，原生種鳥類生存受限於環境中可以獲得的資源，族群數量會自然調節，也會與人保持適當距離，然而人爲餵食支持了相當數量的野鴿族群，牠們體型較大、數量又多，製造的糞便量也很明顯。而餵食也可能造成野鳥群聚，導致鳥類傳染病擴散，像今年在大安森林公園繁殖的鳳頭蒼鷹，就因爲幼鳥吃下感染毛滴蟲的野鳥而陸續死亡，最後導致育雛失敗。



台北植物園荷花池常可看到翠鳥造訪。攝影：許嘉錦



植物園的水域環境，吸引了許多喜愛水域的鳥類來利用。攝影：黃愷茹



觀察野生動物、甚至和牠們互動，總是能帶給我們極大的樂趣與撫慰，但人類常常因為不了解自然的規律而做出可能弊大於利的事情，像是誤把學飛的幼鳥當成孤兒「救援」，害牠們親子分離；又或是餵食野生動物，餵的人可能沒辦法預期到，當餵飽了野鴿群，連鎖效應卻造成鳳頭蒼鷹的育雛失敗。餵養過度的流浪貓狗族群，卻造成仰賴自然環境生存的穿山甲、山羌、石虎等野生動物受害。

過去我們可能很難知道都市中野生動物彼此之間的關係，但在研究人員與鳥類愛好者耗時追蹤觀察、累積各類資訊之後，我們終於開始逐漸了解牠們之間錯綜複雜的關係，人類能夠做的、對野生動物最好的事情，不是讓牠們不愁吃喝，而是為牠們營造適合的棲地，讓牠們能按照自己的本能生活。

韌性都市林志工隊在中和四號公園設置了一個小小的生態池，提供鳥兒一個可以喝水、沾水的地方。
攝影：劉克修





研究主題 鳥類群聚與棲地利用特性與差異研究

目的 比較鳥類在都市不同公園綠地中的物種多樣性及群聚組成，分析影響外來種及原生種鳥類在都市棲息的關鍵因子，了解都市棲地提供的生態服務功能。

研究負責人 傅淑瑋

研究方法 記錄 60x60m² 範圍的樣區內看到、聽到的鳥種及數量，再以統計軟體分析與環境因子間的相關性。

研究成果 樣區枝葉總覆蓋度、公園內樹木面積對公園陸鳥的組成有明顯的影響，偏好冠層活動的鳥種傾向出現在枝葉覆蓋較高的區域，地面活動的鳥種則喜歡枝葉覆蓋較少的樣區。隨樣區裡枝葉總覆蓋度的增加，觀察到原生種數量增加，外來鳥種數及數量減少的趨勢。

意義 都市公園中，較高的森林枝葉覆蓋不利野鴿、白尾八哥等地面活動的優勢外來種鳥類，但有數量較多的本土鳥種活動於其中。此外如營造近自然水域，有機會增加都市鳥種的多樣性。



那些年我們一起追的直播： 都市蛋黃區裡的鳳頭蒼鷹

每年春天鳳頭蒼鷹育雛期間，台灣猛禽研究會都會架起相機，帶著觀眾關切大安森林公園裡黃恩萼家的一舉一動，隨著牠們的生活點滴驚嘆或開心。雖然恩萼終究難逃城市路殺，已化身成為猛禽研究會的珍貴標本，但這幾年的觀察，仍為學者提供了非常多珍貴的研究資料，讓我們對牠們多了一些些了解。



牠們為什麼會選擇進入都市生活，我們只能猜測，但怎樣的都市環境才能得到牠們的青睞，在林試所和猛禽研究會的攜手合作下，已經有了初步的研究成果。

定居都市的最大型猛禽

在大眾的認知中，猛禽，應該是在空中翱翔、用銳利的目光尋找獵物，一旦發現，便帥氣地猛然撲下獵殺，這種場景，跟都市車水馬龍的環境，似乎一點也扯不上關係。20多年前，曾經有人在都市中目擊猛禽，但當時只認為是偶發事件，這些頂級獵食者可能只是剛好經過罷了。到了2004年，有人在市區撿到了落巢的猛禽雛鳥，這才讓學者專家確定，真的有猛禽在都市中築巢繁殖。

這種猛禽就是鳳頭蒼鷹，牠不但是在都市中築巢繁殖的猛禽中體型最大的，也是所謂的保護傘物種。「保護了牠，你就保護了牠底下的所有生物，牠本身就有生物多樣性的意涵在內。」計畫負責人葛兆年說。「保護了牠的棲地，也就等於保護了棲地中的所有生物。」

台灣猛禽研究會從2013年開始追蹤在台北地區繁殖的鳳頭蒼鷹，十年下來已經累積了不少重要的資料。鳳頭蒼鷹選擇入住都市的原因，也

韌性都市林小教室

鳳頭蒼鷹的生態系服務

- 食物鏈頂端捕食者，是生態系健康的指標
- 抑制其他較多產的物種如野鴿、鼠類的數量、維持生物的多樣性平衡
- 直播成為吃瓜群眾的感情寄託與討論主題、社會凝聚力，同時也成為保育觀念的傳遞與討論場所
- 保護傘物種（Umbrella species）不僅本身具有保育價值，透過保育這個物種，也能連帶保護支持這個物種的所有生物與環境。石虎也是很重要的保護傘物種。



大安女王黃恩萼。攝影：廖榮鑫

許是因為公園的樹已經長大、也許是因為都市的生態比我們想像得更豐富、食物也更多，但還有另一個可能，「都市裡面可能比較沒有天敵，」在另一個場合談到為什麼有些野生動物會選擇在都市生活時，森林保護組的陳一銘指出，「如果在森林裡面，就可能有蛇、有其他猛禽去攻擊牠的巢，所以都市裡面的繁殖成功率可能是比較高的。」

但這並不代表都市生活沒有其他的風險，像是窗殺、車禍、毒鼠藥、黏鼠板、樹木的不當修剪，甚至噪音，「有一年五月天在大安森林公園辦出道不知幾周年的演唱會，我們那時候都蠻擔心的，因為有些個體雖然沒差，但也有些可能會跑走。幸好後來沒有觀察到有什麼異樣。」台灣猛禽研究會負責這項合作研究計畫的調查員王李廉說。

大安女王黃恩萼

王李廉也是幫明星鷹媽黃恩萼掛上腳環的關鍵人物。2019年，猛禽研



猛禽研究會的研究人員會挑選適當的日子用吊車上到巢邊，把雛鳥帶下來進行健康檢查、並掛上腳環。幼鳥離巢之後，鳥友就能憑著腳環的顏色與編號知道是哪一年、哪一巢的鳳頭蒼鷹。影像提供：台灣猛禽研究會

究會要去幫那巢雛鳥上腳環，「我們都是晚上用吊車上去，結果上到巢邊的時候母鳥沒有睡著，也沒有跳開，就是在巢裡面威嚇，那我想既然沒離開就乾脆一起抓下來，上完腳環再還回去。」王李廉邊說邊示範如何把雌鷹包起來帶下樹，在地面等待的團隊也迅速完成所有工作。因為這次成功替雌鷹套上了編號為 N2 的黃色腳環，她自此有名有姓，成為大安女王「黃恩萼」。但在能監測鷹巢之前，研究人員必須先找到哪裡有鷹巢。「我們先鎖定的目標當然一定是都市裡面的綠地，而且是有森林型的綠地。」葛博說，「我們先選擇公園調查，是因為公園是開放性的空間，不需要事先申請。」

鳳頭蒼鷹也愛蛋黃區？

研究人員帶著望遠鏡，剔除掉離山區較近的士林、北投、南港、內湖、文山等區，針對台北市中心的行政區，「看到公園就進去向樹上看，如果是一望無際的草皮就不用看了，因為牠一定要適合的環境，以經驗來說，至少要 10 公尺高度的樹才比較有可能。」葛博形容說，除了樹要夠高大，鳳頭蒼鷹對樹型也是很挑剔的，「像椰子樹那種細細高高、胸徑太小的也不行，胸徑至少要有 20 多公分，我們就按照這個標準去找。植物園裡面有上百棵樹都有達到這個標準，每一棵樹都要去看上面的枝條有沒有作巢的痕跡。所以光是一個植物園就要走很久很久。」

在計畫執行的 2020 和 2021 年間，研究人員就這樣土法煉鋼，徒步行訪了台北市內 107 個公園，在這兩年分別找到 10 巢和 11 巢鳳頭蒼鷹繁殖巢，有 64% 的繁殖巢選擇榕樹，另外的 36% 則是包括楓香在內的 7 個樹種。



舉頭望鳥巢，到底是誰家？

如果看到大樹的分岔處有樹枝築成的大型鳥巢，就要再進一步判斷巢的主人到底是松鼠、喜鵲、黑冠麻鷺，還是鳳頭蒼鷹。這幾種動物的巢都是以樹枝為主、體積龐大，但還是有些細節可供分辨。黑冠麻鷺的巢看起來很簡陋，僅用樹枝鋪排堆疊，很少用樹葉，「喜鵲巢會有很多人造物，像鐵絲衣架什麼的，而且用的樹枝比較粗，有時候會疊起來，像球那樣立體。但鳳頭的巢就是碗狀的，頂端可能會有一些新鮮的葉子，大概 50 到 60 公分，剛好可以放一隻鳳頭進去。」王李廉



左頁：至少要 10 公尺以上的大樹，才可能受到鳳頭蒼鷹的青睞。攝影：葉馨惠



- ① 黑冠麻鷺巢 攝影：洪美珠
- ② 喜鵲巢 攝影：洪美珠
- ③ 鳳頭蒼鷹巢 攝影：洪美珠
- ④ 松鼠巢 攝影：葛兆年

說，「如果是松鼠巢，會有很多葉子穿插。喜鵲巢的位子會很暴露，像鐵塔、黑板樹之類。黑板樹上的大巢通常都是喜鵲巢，因為牠沒在怕的。」

找到巢後，研究人員在繁殖期間時不時就要到樹下去繞繞，看看有沒有鳳頭蒼鷹站在巢上或附近，地面有沒有掉下來的樹枝、或白色的便便、食物殘骸等等，以便確定是不是今年使用的巢。「今年的巢可能會有一些吃剩的骨頭啊、毛等等的。」葛博說，「鳳頭蒼鷹抓到鳥類獵物的時候，會先把毛拔光再吃肉。」所以如果下次看到滿地羽毛卻不見屍體或骨頭，可能就是鳳頭蒼鷹這類猛禽的傑作。



直播讓大家有機會觀察到鳳頭蒼鷹的許多行為，恩寧張開翅膀為幼鳥擋雨，成了經典的「媽媽傘」畫面。影像提供：台灣猛禽研究會

確定是今年有「營業」的鳳頭蒼鷹巢之後，就是守株待鷹，並測量巢樹周遭的綠地範圍、人工設施等等環境條件。

都市鳳頭蒼鷹的食衣住行

既然有了攝影機，研究人員終於有機會知道都市裡的鳳頭蒼鷹都吃些什麼。「鳳頭蒼鷹是森林性猛禽，在森林裡的靈活度非常高，所以牠是有能力在樹上抓食物的，可是根據我們的調查，牠還是會以地上的食物為大宗。這個就不確定是不是因為都市地面的食物真的太多了，像自助餐廳一樣可以隨便選，牠根本不用跑到森林裡面。可能啦。」葛博說。「我以前有看過鳳頭蒼鷹追赤腹松鼠，數據裡面也是有看到牠帶赤腹松鼠回巢，所以牠是抓得到的。但抓地上的還是容易很多。」

王李廉也說，這幾年來，他們觀察到鳳頭蒼鷹帶回巢的獵物大概 60%-70% 都是鳥，「很多都是斑鳩、金背鳩的小孩，牠們去掏人家巢。因為輕鬆好到手，肉多、處理也容易，沒有攻擊力。應該說，鳩鴿類的巢數量也很多，容易找。另外有 20% 是鼠，有老鼠也有松鼠，還有個位數的蜥蜴。」有一年，他們觀察到鳳頭蒼鷹帶了一隻有掛腳環的五色鳥回巢，這才和做五色鳥調查研究的葛兆年聯繫上，就此開始合作。「那次我們都不知道是該道歉還是該怎樣才好，自己小孩犯錯的感覺。」王李廉笑著說。



參加韌性都市林研討會的學員在參觀中和四號公園複層林營造的成果時，驚嚇到用餐中的鳳頭蒼鷹，牠把才撕了幾口的新鮮老鼠留在地面，停在枝頭等待人群離開。
攝影：鍾慧元



有一點很特別：植物園的鳳頭蒼鷹有吃一些臭鼬，也就是錢鼠，但大安森林公園的巢沒有錄到過錢鼠，王李廉說，「所以這跟環境是有關係的。」葛博也說：「國外有研究說都市裡面的食物密度比較高，就是我們說的鴿子啦、老鼠、松鼠，數量會比在林地裡面多。」這其實是顛覆一般人印象的，「所以國外的研究發現，猛禽在都市裡的活動範圍會稍微小一點。」但是這其中還有很多變異，像是年紀較小的猛禽活動範圍會比較大。不過基於國內對都市鳳頭蒼鷹的研究，大家不約而同地發現了同一個結果，「樹林面積就是鳳頭蒼鷹選擇巢位的關鍵，就是無論如何，樹林面積一定要夠大。」葛博說，所以一旦確定了鷹巢的位置，就開始去收環境資料，「科學研究就是說，你要從很多很多的考慮因素裡面去篩選出最重要的，其中樹林跟草地的面積我們是用衛星影像去辨識。」

嬌客最愛八公頃豪宅庭院，森景第一排

「根據我們的研究，應該是半徑 300-500 公尺範圍內，是牠關注的範圍。300 公尺應該是一個關鍵。」從面積來看的話，雖說鳳頭蒼鷹巢周邊的森林面積從一點多公頃到七或八公頃都有，但森林面積越小，出現繁殖巢的機率就越低，但如果森林面積有達到七或八公頃，就幾乎都有鳳頭蒼鷹繁殖巢。「換句話說，若想要鳳頭蒼鷹來築巢，在台北市裡八公頃左右的森林應該是一個保證值，那牠的關注區就是方圓 300-500 公尺以內的範圍。」葛博說。「換算成公頃的話，就是 28-75 公頃之間，是牠會搜尋食物的範圍。」王李廉也說，有一次一位鳥友在師大發現一隻鳳頭蒼鷹在捕獵，就一路跟著那隻鳳頭蒼鷹，結果發現是大安森林公園的雄鷹，「因為雄鷹沒有上腳環，所以就跟著看牠飛到哪裡。」

除了大片、連續的森林以外，鳳頭蒼鷹也要水。不一定要大河流或大

池塘，那種小小淺淺的積水處就可以了。「根據我們蒐集的資料，牠選擇的地方都會有水出現，這跟我們長期做都市鳥類觀察也都是吻合的，當這個區域有水的時候，這邊的鳥類多樣性就會很高。水是很多鳥類都需要的資源，所以如果一個公園希望有很多鳥去的話，我們會建議做一個小小的水池，不用很大，直徑小於一公尺的就可以了，那就能讓很多鳥有一個沾水的空間，鳥要洗澡的基本上是很淺的水，牠不是泡在水裡，而是站在水裡沾水、再把水抖掉。藉此清洗掉身上的粉屑、蟲啊什麼的。」葛博說。

還有一點很出葛博的意外，印象中，鳳頭蒼鷹築巢的樹都距離馬路不遠，但是當分析數據出來，卻發現牠們其實會刻意遠離人工設施，選擇距離道路與建築物較遠的大樹築巢。也沒有看到牠們像紐約的紅尾



雌鷹腳環上明顯的 N2 編號，是恩萼得名的由來。牠總是細心處理食物之後，才會餵給雛鳥吃。影像提供：台灣猛禽研究會



鷲那樣，直接利用建築物築巢繁殖，所以牠們可能還是排斥這些跟原生環境大不相同的人工設施，尚未真正適應都市環境。

直播打開無限可能

鳳頭蒼鷹的直播，牽動了許多網友的心，「我們有同事的家人天天都要配三餐看，像是一種心情的寄託，網友也會 kuso，學恩尊罵另一半廣志、說牠怎麼那麼粗魯，食物都用丟的，不像恩尊會仔細把食物整理好再餵給寶寶吃。」葛博說，猛禽研究會在追蹤鷹蹤方面比較低調，但葛博卻認為，若是能推廣給更多民眾認識、了解這些猛禽，就能有更多力量保護牠們。

去年（2022）在高雄，樹木修剪工程意外破壞了一個鳳頭蒼鷹巢，高雄鳥會立刻發起搶救行動，用綠色的塑膠菜籃做了一個臨時鳥巢，裝著雛鳥送回樹上，而鷹爸鷹媽也不負眾望，繼續照顧菜籃中的雛鳥。政府單位配合育雛暫時停工，周圍居民也成了最佳觀察員，隨時回報雛鳥的狀況，最後牠們不但掛上了腳環，也成功離巢，這就是一個公私協力、群眾合作的最好例子。

王李廉也說：「以前大家遇到了幼鳥可能就收著養、或者馬上餵食餵水，但現在大家都知道要先通知動保處，如果遇到有什麼狀況上網詢問，網友也會幫忙回答該找哪些單位，我覺得保育意識是有起來的。」

今年（2023）大安森林公園直播的繁殖巢，因為兩隻雛鳥都感染了毛滴蟲死亡而告失敗，讓收看直播的網民都非常惋惜，但網友們仍持續觀看空巢的直播，同時也在討論是餵食野鳥造成的群聚現象導致毛滴蟲擴散，使得鳳頭蒼鷹容易捉到病鳥當食物，最後導致幼鳥死亡，直播台也因此成為保育觀念的另一種擴散起源。

常住台灣的日行性猛禽，包括最近很紅的黑翅鵟，一共只有九種，像

是大冠鷲、林鵟、黑鳶、熊鷹，體型都相當大，需要更大的領域來支持，「都市能不能找到這麼大的領域，我是覺得有點困難。」葛博說。

「我們的研究就是讓我們有一點點的線索，去回答說鳳頭蒼鷹需要多大的領域生活。我想我只能很大膽的說，鳳頭蒼鷹可能已經是一個極限了，比牠大的這些猛禽要在都市中找到足夠的棲地及食物生養小孩應該相當困難。但誰又知道呢？如果都市有更多友善野鳥的作為，也許哪一天，牠們也會來定居。」

研究主題 指標動物鳳頭蒼鷹繁殖棲地選擇探討

目的 了解鳳頭蒼鷹在都市環境中對築巢環境的要求

研究負責人 葛兆年

研究方法 徒步巡查台北市人口密集區內公園，尋找鳳頭蒼鷹巢。發現後持續追蹤，計算繁殖成功率，調查巢樹特徵、巢樹所在綠地特徵，並以衛星影像判讀巨棲地特徵。

研究成果 鳳頭蒼鷹築巢與都市林面積有密切的關聯，沒有足夠的都市林，鳳頭蒼鷹不太可能築巢，也通常會選擇在離道路、房子較遠，人造鋪面較少的地方築巢。

意義 了解鳳頭蒼鷹在台北市區的巢位特徵，未來都市林規畫時就能納入牠對環境的需求。





攝影：黃愷茹



第四章

都市林的氣息

——大氣與溫度

公園裡的落塵俗事： 都市林真的淨化了空氣嗎？

這是一項登上國際 SCI 期刊：《環境管理期刊》（Journal of Environmental Management）的研究，探討都市林是否真的如我們想像，能攔截汙染物、淨化空氣，也是國內第一個此類型研究。實驗過程辛苦繁複，而最重要的是：都市林淨化的效果，可能和你以為的很不一樣。

紫爆的台中市。影像提供：蘇子豪

有許多人覺得，養植物好處多多，白天可以吸收二氧化碳、釋出氧氣，還能過濾空氣中的汙染物，而且賞心悅目。

賞心悅目絕對沒錯，但葉片上常常會積灰塵，得常常擦擦洗洗，才能翠綠又光亮……且慢！葉片上積的灰塵其實是有研究價值的，也是育林組蘇子豪博士這篇研究的內容之一：那是植物葉片攔截下來的懸浮微粒、也就是所謂的「滯塵」，只不過他研究的不是家裡的盆栽，而是都市中的樹木。

這個實驗其實做了好幾件事，計算都市林葉片上一定時間內累積的懸浮微粒截留（乾沉降通量）、分析了其中的重金屬成分；分析台北植



公園是重要的都市綠地，也是民眾喜歡的休憩場所。攝影：黃愷茹

物園和中和四號公園這兩座大型都市公園內外的表土，以判斷都市林截留的效果；並且以移動式儀器監測這兩處都市林內外的懸浮微粒濃度，探討都市公園內空氣品質的改良狀況。

一葉能否知塵

PM2.5 是近年來大家都很關切的議題，但從樹木葉片的截留來分析，則是台灣少有人研究的主題，「一般環境領域的人看的是比較大尺度的，如一大片森林大概可以截留多少 PM2.5，但森林系或植物領域的人，可能會更關注身邊的植物與人的連結。」蘇博士說。

環境領域的研究方式，可能是在冠層外面和冠層下方都架設檢測儀器，再搭配風向風速資料，就能推估外面空氣中的汙染物在經過這處冠層之後大概剩下多少。但蘇博士指出：「這種方法比較適用在均質的森林，像平地造林之類。在都市公園這樣的地方，基本上並不是只有樹，還會有一些人工設施、建物，就不適合這種方式，所以我們才會直接去採葉子來做，因為以小尺度來說這是可以得到準確數據的方法，也是現在國際上比較通用的方法。」

不過早期懸浮微粒的研究並不特別重視粒徑，就只是把葉子上所有的顆粒物都洗下來定量。「現在大家的檢測技術愈來愈好，我們就會聚

韌性都市林小教室

PM2.5

飄浮在空氣中的粒狀汙染物稱為「懸浮微粒」（particulate matter，簡稱 PM），直徑小於或等於 2.5 微米（ μm ）的粒子，就稱為 PM2.5。這個數字相當於人類頭髮直徑的 28 分之一，能夠經由鼻腔、咽喉進入肺泡、甚至跑到血液中，長期下來可能會造成過敏、氣喘，甚至增加心血管疾病的風險。不過 PM2.5 只是微粒的大小，不一定都是有毒的，有些植物也會散發出 PM，像是花粉。真正具有強烈毒害的，主要還是攜帶高重金屬或有機汙染物含量的 PM2.5。

焦在小的顆粒物，那種能夠進入肺部、肺泡、甚至血液循環的，像是PM2.5。」蘇博士說，「所以後來就是從單純的滯塵量的研究，一路精細到去了解葉子上能夠截留到多少的PM2.5。」

聽過乾沉降嗎？

蘇博士的研究分析了公園內外的表土和葉片的截留，以了解葉片的截留能力、還有都市公園樹木對污染物的過濾效果。而所謂的乾沉降，就是大氣中的污染物在沒有下雨的時候脫離大氣的一種方式，這些顆粒物會因為重力作用或是隨風移動而沉降到地表或其他物體的表面。

「從我們呼吸的角度來說，理論上乾沉降應該要越多越好，」蘇博士



台北植物園中樹木高大多樣、層次複雜，風會被切成小小的渦流，使得污染物更容易接觸到樹葉、被樹葉截留。攝影：洪美珠

說。因為掉得愈多，就表示空氣愈乾淨。而從植物截留的角度來看，會希望留得愈多愈好。但這是否表示空氣愈髒，才會有愈多微粒留在葉子上？

「如果我們覺得一張桌子摸起來很髒，是不是就代表這個空間好像很髒？但其實這是兩回事，我們呼吸的時候，在意的是空間中的汙染物濃度，所以一方面要了解汙染物的濃度怎麼變化，也要去了解它沉降下來多少。所以我們以植物的角度來看，會希望能夠去定量看看植物截留了多少，截留得愈多，就表示植物愈能幫我們淨化空氣。」蘇博士說，而定量，就是要去評價植物對淨化空氣到底有多少貢獻。

葉上塵土生，到底截多少

蘇博士就讀中興大學森林系研究所時期，就持續在台中進行測量樹葉截留汙染物的實驗，但他邊做也邊思考，樹木截留了這麼多，周遭的空氣是不是真的有被淨化？「因為這是兩件事。」他說。

當他在台北進行都市林乾沉降實驗的時候，在兩處公園設置了多個樣點，利用移動式儀器測量空氣中的汙染物濃度，並探討樹木比較多的台北植物園裡面，汙染物的濃度是否真的有下降，裡面的植物是不是真的截留比較多汙染物，而空氣是不是真的變乾淨了。

如何測量葉片的滯塵

想知道公園內外葉片截留量的差異，首先必須選擇兩處公園內外都有樹種，同時還得注意洗的過程中不能有干擾，「比方說乳汁，」蘇

韌性都市林小教室

截留

指植物枝葉攔截降水（如雨水）或空氣中懸浮微粒的現象。

博士解釋說，「纖毛可能還可以濾掉，可是乳汁就不行，再來就是最好要原生的樹種。」原來，這個實驗必須耗費大量人力與時間去採集、清洗樹葉，層層過濾粒徑不同的微粒，從 PM100 濾到 PM10、最後到 PM2.5，「這樣的資料得來不易，非常珍貴，我們希望能把這個精力保留給原生樹種，之後比較有機會去推廣跟解說，所以一樣一樣看下來，又要兩個公園都有，那現場就只有樟樹了。」

每次實驗大概都需要採 150 到 200 片的樹葉，「這跟葉面積有關係，大概要採到 1,500 到 2,000 平方公分，所以洗完葉子還要去掃描，計算面積多大。」蘇博士解釋，「程序真的蠻複雜的，光是要剪哪個位置的葉子，就是一個問題，因為必須考慮冠層上面到下面、內部到外部要如何平均，才能得到有代表性的樣本，」外圍的葉片通常比較多截留、下面的也會比較多，因為都市通常會有從地面浮起來的揚塵，「所以需要訂一個範圍，採的時候必須夠隨機，各個部位都要少量的採。」

採下來的樹葉頂多只能冰三天、最好馬上洗，但這些沉積物又可能跟水起反應，所以必須立刻過濾，過濾又有好幾道，濾紙很容易受到空間濕度的影響，因為上面的截留量非常小，只要空間濕度起了變化，就可能測不到，所以不只要控制空間濕度，還要利用空白試驗預先排除掉不穩定的濾紙，再把濾紙用超純水潤濕、烘乾，再潤濕、烘乾，達到恆重，才可以用來過濾，過濾之後還要再經過同樣的步驟，確認到底濾到多少。最後還要把上面截留到的東西拿去做重金屬檢測，如果太少還會測不出來，「等於是你必須考慮當時的背景汙染強不強，再去增減要採多少葉子，只要量有變動，後面洗的部分也要依序調整。」

樹上樹下、裡面外面

除了採樹葉回去實驗室洗，也要採集兩處公園內外的表土，以檢驗土中較長時間累積的乾沉降，或樹葉截留經降雨淋洗下來後，在土壤中

被吸附的重金屬等（採集的時間和地點有很嚴格的條件），並仔細記錄從上一次下雨（理論上超過一定強度的下雨能將葉面及空氣中的落塵都洗到地上）之後所發生的嚴重空汙記錄，做為參考。而且不是各採一份樣本就好，實驗重視的是必須有足夠的重複，才能確認排除例外現象。所以，兩處公園，他們一共採了 16 份樟樹葉片樣本。



上；將葉片截留 PM 用超純水淋洗後過濾。攝影：蘇子豪

下；將濾紙截留 PM 進行秤重定量。攝影：蘇子豪

同時，他們在台北植物園設置了 18 個移動式監測樣點、中和四號公園則有 28 個，不只記錄空氣的 PM2.5 濃度數據，也記錄各樣點的遊客數量，藉此找出遊客熱區，並分析熱區是否和汙染濃度較高的地點重疊、人類的活動是否會影響汙染。

有趣的是，當環境汙染濃度普通時，兩處公園內外的數據都差不多，看不出都市林是不是真的截留了很多汙染，「但當空汙非常嚴重的時候，尤其是像紫爆那種，就可能差到 20-30%。」蘇博士指出。也就是說，空氣好的時候，都市林截留的效果不明顯，但空氣差時就很明顯，但這還有另一個重點，「我們可能更要注意的是 PM2.5 中的有害物質，這才能更體現森林淨化空氣的效果，因為森林裡面會有自源性的 PM 跑出來，這些相對來講是比較無害的，也沒有辦法單純用濃度去定量森林有沒有淨化空氣，所以要從有害的成分去著手，這個……又要再做很多實驗了。」蘇博士笑著說。

採不完的葉子，做不完的實驗

蘇博士說，之前在台中做這個研究的時候，每個月都要採 45 包樹葉，包括不同地區和樹種，「45 包基本上就是要做一個月，根本沒有時間



高精度攜帶式 PM2.5 檢測設備，當天為紫爆日，在植物園外部檢測到高濃度。

攝影：蘇子豪

放假，等於是這個月做完，下個月馬上又要開始，洗葉子、秤濾紙，還要掃描、計算、濾紙酸消化、再去檢測重金屬，一套工作進行完就一個月了……所以說這個資料真的是非常珍貴，我自己去看國際上都沒有人這樣大範圍、多樣點、多樹種來全面性地做，嚴格來說，我們真的是第一個，所以一投國際期刊很快就被接受了，這真的是非常重要的基礎資料。」

植物園的樹葉截留量較高，所以植物園的空氣就比較髒嗎？

「單純從結果看，植物園裡的樟樹真的截留了比較多，跟公園外面的差異大概多了一兩倍，如果是中和四號公園的話，內外的截留都是一點點，都很低。」蘇博士說。可能是因為四號公園多半是單層結構，通透性很好，風一吹，汙染物就被帶走了。

而植物園「因為冠層結構複雜，風吹過去的時候會被切成很多小小的渦流，懸浮微粒可能就會在裡面飄啊飄，有更多機會跟葉子接觸，就可能被截留得更多。」像是被葉子的結構如溝槽、毛或葉脈等卡住。這也代表植物園中的複層結構確實能截留更多的乾沉降。「因為那個真的很小，用電子顯微鏡去掃描的時候，就是頭髮粗細的 28 分之一，就是小到會卡在一些小突起的地方。」蘇博士笑著說。但是這些汙染物會被複雜的植物結構卡住，也會造成另一個可能性，就是被遊客吸進去。

複層林結構複雜，汙染物進去的時候不容易那麼快擴散出去，也會被截留，所以做出來的結果是，樹會有淨化的效果，可是很慢、是小小的。像四號公園，因為沒有什麼樹，風一吹就乾淨了。但壞處就是，沒有風的時候，汙染物一樣能長驅直入，而沒有了樹木的截留與屏障幫助，「要嘛大好要嘛大壞，」蘇博士說，「所以我們也發現，樹木

淨化效果比較差的是四號公園，植物園雖然可能因為結構的關係，會讓汙染物被卡住，但我們也沒有發現裡面有比外面高的情況，這也代表說，這些植物的截留還是有過濾空氣的功能。」

而在表土的重金屬分析方面，「土壤中的重金屬是長時間累積的，可能是大氣直接掉下來沉降的，也有從葉子上被雨水洗下來、然後被土壤吸附，當然也有可能因為下雨而流失，但無論如何，是這個環境中動態平衡的結果，反映出的是比較長期的環境狀況，所以我們才會用乾沉降代表短期、而用表土的重金屬反映長期的環境狀況。」蘇子豪說。



葉片表面細微的結構，都可能卡住細小的懸浮微粒。
攝影：劉秋華

分析結果也發現，兩個公園的趨勢類似，都是公園外面的重金屬顯著比公園裡面更高，也就代表長期下來，公園內的植物真的截留或吸收了許多污染物。

還有一個更令人意外的發現，就是中和四號公園的沙坑處也是污染的熱點。而沙坑是家長和小朋友都非常喜歡的設施，所以或許我們平常都忽略了沙坑也可能是 PM 的來源之一。

用美國的軟體估台灣的樹

由美國林務署開發的 i-Tree 軟體有各種延伸應用版本，其中的 i-Tree Eco，已經先設好了乾沉降的參數，只要使用者把樹的高度、胸高、直徑、冠層這些資料輸進去，再輸入這棵樹附近測站的污染濃度數據，就會自動計算出這棵樹截留了多少 PM_{2.5}。甚至還能換算成價格，像是 PM 的單價、固碳的單價，這樣就能估計出一棵樹可以有多少經濟貢獻，這聽起來很厲害，但，美國的樹跟台灣的樹，功能是一樣的嗎？

「這就是重點，我們做的時候就發現，他用一個參數去模擬所有的樹，而這個參數大概是 20 幾個樹種的平均值，而且是以針葉樹為主，」蘇博士說，「所以那時候我就在想說，國際上怎麼沒有人在做驗證？一直到 2022 年，他們自己的團隊終於提出報告說，未來應該要有更多像這樣的研究去作在地化的驗證，因為像我們在台灣做，就發現他們的模型其實大部分都是高估的。」

蘇博士對比後發現，若是將中和四號公園內外採樣的結果與 i-Tree Eco 模擬出來的結果相對照，軟體其實高估了，但 i-Tree Eco 模擬和台北植物園內部採樣的結果則很相近。蘇博士指出，「重點就在於，植物園裡面有非常多的樹種、而且樹木高低差異又很大。」

所以如果想要精準量化植物園到底能截留多少 PM_{2.5}，就必須去測量



中和四號公園的通透性較好，汙染物容易被吹散。
攝影：葉馨惠



不同樹種、不同高度葉片的截留量，「採集葉片時的位置也必須均勻選擇，才能綜合評價這個公園的平均大概如何。」他認為，我們不一定要開發自己的系統，但 i-Tree Eco 軟體需要後端的校正，也就是把每個地區樹種的特性都考慮進去，這樣才符合科學精神。「但我們現在只有一段時間的資料，也只做了一個樟樹，但既然已經有了濃度資料，其實就可以去測公園裡其他的樹種。」

可惜的是，台灣目前森林研究的學生就這麼少，「我們實驗室現在也是斷層，就沒有人在做。」他的語氣不無遺憾。但還是期待將來有一天能帶著自己的學生，慢慢把這些基礎資料都補起來。

如何評價一棵樹

幾年研究做下來，蘇博士有一個感覺，許多人都認為植物能淨化空氣，可是到底能淨化什麼、淨化的能力到哪裡，大家基本上是沒有概念的，而且還會加以神話，總覺得當你走在樹下、或晚上公園的空氣一定比較好，但科學家實測出來的卻完全不是這麼一回事，他覺得應該要尊重科學，除了實際定量以外，也要能客觀、綜合地評價一棵樹，不要過度放大任何單一功能。「我會覺得樹就跟自己家人一樣，有優點也有缺點，有些樹排放的萜烯類，如果是在山區、在天然林裡面可能很不錯，可是在市區時，就可能跟交通排放的氮氧化物起反應，就會變成臭氧了。」

所以，樹所在的地點也會影響它的優點和缺點，「所以我認為，說樹可以截留雨水、可以固碳、可以截留空汙，這些都需要建立在科學的基礎上，綜合去看，才能比較完整地去說為什麼要多種樹，而不是盲目地說種了樹就一定可以怎樣。」他說。

韌性都市林小教室

萜烯類

主要是由植物產生的有機化合物，往往具有強烈的氣味，有些植物產生萜烯類，是為了嚇阻或吸引其他生物。常見的萜烯類包括檸檬烯（柑橘味）、芳樟醇（花香味）等等，也有些動物也分泌萜烯類。



他也提到，環工領域很少針對植物研究，是因為他們認為植物截留的量對於大氣來說很本不到百分之一，但真正深入研究之後才會發現，其實在某些特定條件下，是遠超過百分之一的，但那必須真正做實驗才能了解。所以要有正確的科學觀念、要用理性的頭腦去看待，「不然就可能被某些環團帶著起舞。」但最重要的是，他說，「我們要客觀去看待樹木，要經過一連串的設計、排除問題，最後去定量，哪怕最後定量出來的量不符合預期，都還是要心存感謝，因為這些都是樹額外貢獻給你的生態系服務。」

研究主題 都市林樹種截留大氣懸浮微粒的通量及乾沉降速度研究

目的 探討公園淨化空氣的普遍認知是真的嗎？能否量化？

研究負責人 蘇子豪

研究方法 在公園內外進行移動式懸浮微粒濃度監測，探討公園樹木對空氣品質的改善效果，並採取兩處公園內外的表土及樟樹葉片進行乾沉降通量測定，並分析其中的重金屬成分。

研究成果 如果以極值計算，中和四號公園呈現出較高的 PM2.5 減緩率，而若以平均值計算，則台北植物園的減緩率較高。

意義 台北植物園內部 PM2.5 濃度相對穩定，不易受外面風速影響，中和四號公園通透性較佳，PM2.5 容易被吹散。所以不是樹多就一定讓空氣變好，必須經過科學的驗證才能確知，而大眾對於樹木濾淨空氣的功效也不應抱持太多想像。



森境自然涼： 大型都市公園的降溫實力

太陽一大，就想趕快躲進公園裡、樹蔭下，若能有絲絲涼風吹拂，那就更好了。但是，每一座公園都一樣涼快嗎？公園的每一個角落，都一樣涼快嗎？夠大的都市綠地，是不是真的能有效降溫？草地跟大樹的降溫效果，是一樣的嗎？讓林試所的研究人員為你搭起監測儀器，探究這飄渺隱約的氣溫差異。

攝影：黃煒茹

當你從博愛路的入口走進台北植物園，就彷彿走入世外桃源，不，應該說市內桃源，不只覺得清涼，連空氣都彷彿暗了幾個色階，不那麼刺眼、不那麼熾熱，是舒服的青綠滿眼，即使有陽光灑落，也一樣輕鬆涼爽。那是一種好像身心都輕鬆下來的感覺，腳步可以放慢，外面的事情就留在圍牆外吧。

是因為植物園種滿參天老樹，和一區一區高低錯落的茂密植被，營造出寧靜悠遠的氣氛，讓人覺得神清氣爽，還是這些植物真的讓氣溫降低了？韌性都市林計畫嘗試探討大家都覺得真實存在的「都市林降溫效果」，在兩個結構不一樣的大型都市公園中，監測林下、硬鋪面與公園外馬路旁的溫度，嘗試找出大型公園的溫度影響力。



台北植物園內植物茂密多層次，即使走在步道上也一樣涼爽。攝影：洪美珠

原來溫度不只是溫度，乾球濕球黑球各有巧妙不同

「樹木本身就有遮蔭的效果，可以抵擋太陽的日照能量，把能量給阻隔，」負責這項實驗的劉宇軒說，「另一個功能則是蒸發散，把熱給帶走。」所以相較於光裸的硬鋪面，有樹的地方，就已經先擁有這兩種降溫機制，那麼，我們在森林裡感覺到的蔭涼，跟真正的氣溫是一樣的嗎？

「溫度其實受到很多東西的影響，everything is connected.」劉宇軒說。「光是一個降溫，可能就跟大氣物理和環境都有高度相關，就是一個跨領域的事情。」走在植物園裡，我們所感受到的，其實不只是單純的氣溫而已，空氣中的濕度、太陽輻射的熱度，都會影響你的感受。那麼，這樣的感受是可以量化的嗎？

這就是所謂的熱舒適度，有儀器可以協助測量，也有公式可以計算，正式名稱是「綜合溫度熱指數」（WBGT），用來表示環境空氣中的

韌性都市林小教室

綜合溫度熱指數計算公式

$$WBGT = 70\% \times Tw + 20\% \times Tg + 10\% \times Td$$

Tw：自然濕球溫度（wet bulb temperature, °C），與濕度有關

Tg：黑球溫度（globe temperature, °C），與輻射熱有關

Td：乾球溫度，與氣溫有關

乾球溫度計：傳統溫度計，可測量氣溫。

濕球溫度計：溫度計的球體被包在一塊特殊布料中，這塊布料經由毛細作用、以蒸餾水保持濕潤，測得的溫度是由實際空氣溫度與濕度決定。

黑球溫度計：利用「黑體輻射」的概念，用一定規格的中空黑色不反光銅球模擬黑體，中央設有溫度計，測得的溫度稱為黑球溫度，代表輻射熱的效應。

相關資訊可參考：https://www.wbgt.env.go.jp/zh-tw/wbgt_lp.php



用來測量氣溫、相對濕度、風速、黑球溫度、綜合溫度熱指數等數據的「熱指數氣象追蹤器（Kestrel 5400）」。

攝影：劉宇軒



濕熱狀況。在熱舒適度指數超過 28°C 的時候，就可能對人體造成危害。而勞動部也以這個指數為依據，對高溫環境中的工作制定了嚴格的規範，視工作勞動的輕重程度，限制了每小時能暴露在高溫環境中的時間。林試所的研究團隊也是採用這個指數來測量大型公園的降溫效益。

如何測量公園的溫度？

實驗開始時，思考方式天馬行空的劉宇軒，就不斷反覆想著該如何測量公園的溫度，該選擇哪個地點才有代表性？要測多久？應該設在公園的正中心嗎？還是茂密的林下？草地上？人行道硬鋪面？還是圍牆邊？一開始想的本來是單純測量台北植物園裡面的各種樣點，單純比

較裡面草地、水泥硬鋪面等等不同環境地景的溫度，再去四號公園測類似點位的溫度。「可是後來因為點位太多了，原先的想法是每個點測量三分鐘，但這樣時間又太短了，」因為他們用於測量的儀器是熱指數氣象追蹤儀，上面的黑球需要一點反應時間，大概是七分鐘左右，「所以我們開始慢慢調整，把觀測時間拉長、樣點減少。」劉宇軒說。

設計實驗的時候總是充滿理想，但現實也總是會給人挫折，他們也在開始執行之後，才發現之前疏於考慮的問題，實驗也從一開始分別測量台北植物園與中和四號公園的樣點，調整成同步測量兩處公園。「因為每一天的天候狀況都不一樣，不同日期測的話，資料會沒有辦法做比較，」森林生態組組長王相華說，「要同步才行。」

至於哪個地方才能代表公園的溫度，「我們在兩處公園各選一個核心區參考點，固定設置在接近公園正中心的人行硬鋪面上，另外在鬱閉度較好的林下設三個樣點，道路上也設三個樣點。」森林與公園外的道路樣點都是移動式的，四組人馬兵分兩個公園，一組負責林下樣點，一組負責馬路樣點。

苦行實驗進行中

在疫情正熱的 2021 年，林試所團隊開始了兩地的同步測量工作，在那年的 4、5、8、9 月，選擇天氣相對較晴朗穩定的日子進行測量，核心區參考點位固定不動，其他一切都是兩個公園同步，儀器架設的高度也都固定在 1.5 公尺，「要把變數控制到最少，」王組長說。測量工作需要兩組工作人員，從早上六點鐘準點開始，兩邊公園都是林下與馬路同時測量 15 分鐘後，兩組同步各自移往下一個樣點，繼續測量 15 分鐘再移往下一個，三個樣點都測量完畢之後，可以稍微休息等到下一個雙數整點（6、8、10、12、14、16、18、20 點）再繼續進行下一輪測量，就這樣從早上六點量到晚上八點，記錄兩處公園一整天的



- ① 台北植物園內林下樣點。攝影：劉宇軒
- ② 中和四號公園林下樣點。攝影：劉宇軒
- ③ 台北植物園核心區硬鋪面樣點。攝影：施郁庭
- ④ 中和四號公園核心區硬鋪面樣點。攝影：施郁庭

①	②
③	④

溫度、相對濕度與風速變化，包括了車水馬龍的上班時間、正中午太陽發威的時間，還有太陽下山後逐漸冷卻的時間。

劉宇軒說，曾有文獻提到公園緩衝的能力、也就是影響的程度，是像同心圓這樣往外擴散的，愈往外，影響力就愈小，但是由於人力有限，所以沒有辦法監測這種「冷島效應」的梯度。也因此他們這次監測的公園外部樣點設在比較遠的地方，才能看出明顯的溫度差異，如果真的要了解公園降溫效果的梯度，未來可能就要在公園周邊設置比較密集的樣點測量，「如果有經費、設備跟人力的話。」王組長說。

數據會說話

以這兩處地點作為比較，是因為台北植物園的綠覆率比較高，結構也比較多層次，而中和四號公園則是以單層結構為主。當資料統計出來，兩相對照，得到的結果有意外也有不意外。兩個公園的林下樣點，溫度都是最低的，公園外的樣點則是最高的，毫無懸念。但是在硬鋪面的部份，台北植物園內硬鋪面的溫度，跟林下樣點的溫度差異不顯著，即使正午也是一樣（小於 0.02°C ），但中和四號公園的硬鋪面樣點，在中午時分的溫度差了 1.22°C 。若是進一步比較綜合溫度熱指數後可發現，台北植物園中午時段的林下比人行硬鋪面低了 0.9°C ，而中和四號公園林下竟然降低高達 4.5°C 。

兩個公園的相對濕度曲線都差不多，相對濕度最低的都是中午 12 點的公園外，最高的也都是晚上 8 點的公園內林下。

風速紀錄方面，比較令人意外的是，台北植物園外的風速全時段都測得到，中午到下午的時段風速最高，但植物園內的風速明顯小很多，或許是因為複層結構讓外面的風吹不進來。相較之下，中和四號公園內外的風速差異小、公園內的風速也高於台北植物園內部。這也顯示

複層林、高綠覆率的台北植物園通風性是比較不好的，相對濕度也比較高，所以風對植物園內的溫度影響可能比較小。

涼爽與硬鋪面的距離

王組長說，「從這個實驗可以看出來，不管是多大的公園，就算只是一棵行道樹，只要在樹蔭底下，降溫的效應其實都差不多，但這個沒有擴散性。」也就是說，樹可以遮擋陽光的熱，但只要離開樹蔭，就會感覺到熱。

從整個公園的角度來看，若想讓公園裡所有的人、無論是在樹蔭底下或是硬鋪面上，都能感受到一定的舒適度，「公園的綠覆率可能就要高一點，結構也要多層次一點。」王組長總結說。「這可以解釋為什麼在公園裡面，大家都想要跑到樹底下去，因為市政府管理的公園，很多都是單層次的，大樹底下沒有多層次的植被妨礙，溫度又比較舒適，自然大家都喜歡在樹蔭底下活動。」

他解釋說，台北植物園硬鋪面上的舒適度和林下差異不大，所以民眾就會樂意使用硬鋪面上的座椅，而不會特別跑到大樹底下，「對公園管理者來說，應該都會希望民眾在公園裡是按照規劃的動線活動，而不是隨便跑到樹底下，因為常常踩踏其實對土壤也不好，對他們的維護管理也會造成干擾，」王組長說，「這個研究成果，對公園的管理者或規劃者來說，會是一個很好的參考資料，如果將來有機會整理一個公園、或是再重新規劃新的公園，若是想讓整個環境的舒適度都很平均的話，可以考慮多營造一些森林，尤其是複層結構的森林。」



中和四號公園裡的大樹下是保證涼爽的地方。如何讓公園的降溫效果能擴及周邊區域，是未來管理單位可以思考的方向。攝影：劉克修

從溫度看都市規劃

負責執行實驗的劉宇軒，想到的是人類持續開發、大規模砍伐熱帶雨林，破壞了森林覆蓋，導致散熱速度變慢、造成了氣候的改變，「都市熱島是 1860 年代才出現的名詞，不曉得有沒有更早的，而正式提出是在 1958 年。可以很確定的是從工業革命開始，地球的溫度就不斷增高，所以說不定，都市的不斷增加，也導致地球上很多地方的溫度變高了，」劉宇軒說，「我覺得這是有關係的，都市熱島跟全球暖化也有關係。因為人類的活動增加，才會有那麼多的都市，我自己是這樣覺得，因為環環相扣，everything is connected. 如果沒有那麼多都市，散熱可能就會比較快，全球暖化的溫度或許就不會上升得那麼快。」

在研究的過程中，他也發現其實還有很多事情是可以從政策面著手的，現在已經有許多研究投入探討綠地空間該如何配置，把風向、太陽直射的走向都列入考慮，建物的距離、角度、方位都會影響都市通風的效果，決定熱氣能不能由自然的風帶出去。如果能夠在規劃時就考慮到這些概念性的問題，就可以省下許多事後補救的功夫，也是行政與管理單位可以思考的方向。

可以一起努力的事

想解決都市熱島這個大問題，需要的不只是種樹而已，合理的城市規劃、政策面的改革都會有很大的影響，也會需要跨領域的溝通協調，像是不同單位合作減少城市的硬鋪面之類。「其實我不知道我們的影響力到什麼程度，所以我會覺得，當研究做到最後，如果沒有回歸到人民的期待和政策願景，這些成果是不是就無法運用？我會一直去思考這些。」一個研究或許很難改變什麼現實，但確定了公園複層結構的降溫效果可以從大樹底下擴及旁邊的硬鋪面、使用者能夠明確感受到舒適度的差異，或許就能鼓勵更多公園管理者改變原有的維管與規劃思維，不僅為使用者的感受著想，還能擴大思考整個公園能替周遭環境帶來的降溫效益。

研究主題 大台北地區都市公園之熱舒適度改善效果

目的 探討不同綠覆結構的都市公園對減緩熱島效應的影響

研究負責人 劉宇軒

研究方法 分別於台北植物園及中和四號公園設置林下、人行硬鋪面及園區外馬路上等監測點，同步進行熱舒適度紀錄及監測，並加以分析。

研究成果 在台北植物園內林下及人行硬鋪面的熱舒適度差異不大，但中和四號公園的林下及硬鋪面之舒適度有顯著差異。

意義 未來可供管理單位作為營造管理之參考。





5 第五章

韌性森林陪伴人長出韌性—— 公園裡的跨界合作與公私協力

攝影：劉秋華



自從要在中和四號公園種一片韌性都市林的想法成形以來，計畫主持人葛兆年就開始思考到底該如何維護這片新生的試驗地。育林的初期勢必需要養護，交由林試所的種樹團隊嗎？不太可能。他們想到的解決辦法，是四號公園周邊的社區居民。

一場誰都沒有想到影響會這麼大的社會參與實驗，就這麼開始了。

剛接觸韌性都市林計畫的時候，森林經營組的黃愷茹才剛離開林務局、來到林試所沒多久。相較於業務性質、常接觸群眾並舉辦各種活動的林務局，林業試驗所幾乎僅僅專注於研究領域，在面對一般民眾時，雖然有研究人員的光環，卻也有太過理想的包袱。而這個計畫飛天遁地、包羅萬象，每個參與者的研究主題和範圍都不一樣，彼此之間也幾乎沒有交集，讓她在一開始時毫無頭緒，不知道自己負責的社會韌性部分到底該怎麼進行。

「我覺得社會韌性最棒的就是溝通，可是我很難代表他們用我自己的話去說，因為大家的專業都不一樣。」愷茹形容。

2023 年 1 月 6 日，是韌性都市林志工隊的期末成果發表會。經歷了三年疫情、久旱及暴雨的淬鍊，能堅持到這次期末的成員，都已經不再是當年連韌性和都市林到底有什麼關係都搞不清楚的素人了。

每個小組都拿出了豐富的簡報，展示辛苦營造維護的小樣區裡出現了什麼沒見過的生物、開出了什麼花朵、又引來多少人駐足讚嘆。從一開始總是有民眾抱怨雜亂，到大家都能欣賞豐富植被所帶來的生機盎然，志工們說起這個笑淚交織的過程，自己也跟著笑淚交織了起來。

也有志工帶著自己從課程中獲得的知識，橫向推展出去，結合附近國小的校外走讀教學、童軍團的活動，將隱藏在四號公園中的知識直接扦插到小朋友的童年教育，為他們打下生態與韌性的概念基礎。

韌性都市林小教室

社會韌性

指社群在碰到不良事件（adverse event）時的耐受及恢復運作的能力。所謂的不良事件可能會是天災、經濟衰退或社會動盪等。這又包括了個人與社群在適應變化、維持社會凝聚力與身心健康方面的能力。





位於中和四號公園內的
國立臺灣圖書館。
攝影：劉克修

但在走到這一天之前，葛博與愷茹已經奔波許久，必須為能合理合法地在中和四號公園內進行實驗，打通好所有的關節。

利害關係單位——中和區公所與國立臺灣圖書館

葛博帶著簡單的企畫書去找當時的中和區長賴俊達尋求合作，沒想到他竟然立刻就答應了，「中和是一個韌性城市，」賴區長說，「韌性都市林正好跟打造韌性城市很有關連性，透過這樣的計畫，可以重新去思考什麼叫韌性。」他指出，國際韌性城市年會中曾經提到，一個韌性城市涵蓋了經濟力、社會力、文化力與環境力四種面向，韌性都市林就是環境力的一部分。

這一次的合作，除了讓他了解到都市林能提供非常豐富的生態系服務以外，他也深刻體會到韌性都市林不但提升了生態的韌性，也能促進與社區連結的韌性。「成功可以複製，典範可以移轉，」賴區長說，



中和四號公園就是附近國小校外教學的最佳地點。攝影：葉馨惠

2020 年中和區獲得了衛福部主辦的健康城市獎－韌性與創新獎，他也很希望能將這次與林試所合作的成功經驗，推廣給其他行政單位。

除了公所以外，四號公園還有另外一個管理單位，那就是國立臺灣圖書館。而國臺圖也扮演了盡責的在地協力角色，不但全

力支持、幫忙協調調整清掃工作，在面臨公園使用者的「客訴」之際，誠懇地和民眾溝通，也無償提供志工上課的教室，並在地下室安排了一個空間，供志工隊夥伴使用。2023 年初才接任的曹翠英館長說，「永續發展中就提到了人跟土地、生態和環境經濟社會的連結，這已經是普世價值，沒有人能迴避，每個人都有責任。我們很幸運的在這片綠地環境中，能夠做一些只有我們能做的事情。」



志工隊在國臺圖裡的祕密基地。攝影：鍾慧元

樣區的守護者

葛博在國外進修時曾參加志工在公園種樹的活動，但她意識到，要讓志工照顧一片森林遠比種樹要困難得多，需要幫他們培養出專業。

台北植物園雖然擁有歷史悠久的志工隊，但不可能派他們到中和去照顧一個毫無地緣與情感連結的地方。愷茹也認為，若只是找志工在活動時種樹，會有點像找工讀生，活動結束之後，關係就會跟著結束。但韌性都市林不只需要照顧、養護一段時間，也會需要對動植物、環境、土壤的相關知識，所以在培養韌性都市林志工方面所需要的資源，

是比工讀生更多的，她提出了與中和地區的社區大學合作、並開設整學期課程的建議。

「我們的感覺就是躬逢其盛，」新中和社大副理事長劉素嵐說，「韌性都市林的這個概念，我們覺得非常棒，因為需要召集中永和的居民，所以我們就來扮演這個角色，負責這些行政工作。因為林試所開出的課程與師資非常精彩，我們也覺得大家看到這些課程內容一定都會很想來幫忙，所以我們也有一個篩選機制。」

雖說主要是以能否服務為標準之一，但來報名的人幾乎「各個都是身懷絕技，都是喜歡生態、自然的人，」副理事長形容，因為中間牽涉到服務，需要大家輪流來照顧苗木，所以相較於其他課程，又多了些限制和要求。「如果幾次沒來，我們會請你先休息，把名額讓出來給其他有興趣的人。因為我們必須維持一定的人力，而且我們又有林試所提供的這麼好的師資，只收保證金而已，等於是免費的課程，所以報名的人非常多。」

誤入韌性都市林的小白兔

每個人都懷抱著不同的認知與想像來參加志工隊。「我被疫情困住了。」爽朗的李莎莉說。原本退休後想去旅行、參加戶外志工服務，卻先應徵上了生命線志工，接了半年的求救電話。「我自己內心的垃圾就夠多的了，人家還一直丟垃圾給我們，」就在連自己都想去諮商的時候，她的舅舅看到韌性都市林志工隊的招生訊息，想到了每天都要去四號公園遛狗的她。她以為可以來改造四號公園的生態，覺得很棒。對於什麼是韌性，什麼又是都市林，則毫無概念。

而點子王「蟹爸」張文誠本來就是生物系畢業，家住在四號公園旁邊

的他，自稱從小就在四號公園這片地方偷挖番薯、焗窯、抓鴨子，看到四號公園要打造韌性都市林的消息，便想要為當時才小一的兒子「小蟹」種一棵樹，陪伴他長大。在參加志工隊期間，他發揮了當年在中研院當研究助理時做實驗的精神，幾乎每天都去記錄樣區的變化，同時也與公園使用者聊天，將實驗的目的與概念，一點一滴地傳達給在地的民眾。

大家都尊稱一聲「Lucas 大哥」的劉克修，本來就在臺大農場擔任志工，看到「韌性都市林」這個新名詞感到相當好奇，「之前荒野在推公園生態化，」所以想來看看「這個到底是什麼東西。」他具備非常豐厚的自然相關知識背景，有空就會為鳥會帶領解說活動，莎莉形容他根本就是講師級的人物，而他也為複層林的樣區做了非常精采的影像紀錄。

而本來就參加許多社大課程、也是國臺圖志工的陳秀鳳，說自己在參加韌性都市林志工隊課程之前，從來沒關心過四號公園，每次都是直



韌性都市林志工每周都需要達到規定的服務時數。攝影：張文誠

接走進圖書館值勤，結束就回家，不曾踏入四號公園。不過童年生活在偏遠山區的她，本來就很喜歡植物，看到韌性都市林志工需要種樹，就覺得非常想參加。加入之後，所學到的植物知識竟然意外地和她童年在山上的回憶連結了起來，重新認識了記憶中的眾多原生植物。

是韌性都市林，還是韌性都市人？

在都市林計畫的框架下，「你希望是都市林給人韌性，還是人給都市林韌性？這中間是有一個網絡的關係，」愷茹說，「比方說南亞海嘯，或邁阿密風災之後，都市綠地可以讓社區的關係比較緊密，像是居民會去重建綠地，得到一些療癒，這個就是都市綠地給在地居民的一種心理的、歸屬感、支持感的韌性。」

雖然沒有碰到大地震或海嘯帶來的毀滅性災難，但韌性都市林計畫卻碰上了百年一遇的 Covid-19 疫情，而中和四號公園就恰恰位於台灣疫情初起的其中一個重災區旁邊。

回想起那一段三級歲月，志工們認為四號公園其實是最不該關閉的地方。「因為公園本來就是撫慰人心的地方，」莎莉說。在那段期間，她的心情一直隨著疫情起伏波動，但只要能進去公園拔草，「我就覺得非常的平靜。」無論是除草或者看著自己栽下的植物，「我覺得我是在自修，自己修復自己的情緒。」

更重要的是他們認識了一群厲害的朋友，有志工夥伴在成果發表會上說，他們的生活圈擴大了、知識增加了，「原來土壤裡面有這麼多的微生物，還有好多我們想都沒有想過的事情，像有一堂課是讓樹醫生實際教我們怎麼修剪樹，之前根本沒想到會有這種機會，還認識了很多原生的植物。」秀鳳說。

當然這並不代表志工的工作就沒有困難，像是層出不窮的破壞事件，

彼此之間對志工隊願景、責任與理念的意見相左；還有對樣區的維護照顧，十分耗費體力，他們必須排班澆水，而公園面積廣大、又有高低落差，這些對志工來說都是很大的考驗。

有種渴，叫志工擔心你渴

植栽剛種下去的時候，志工們總是擔心植物水喝不夠，對於什麼時候該澆、什麼時候不用，彼此之間意見分歧。其實這一點老師們也各有看法，除了最初幾周是真的需要密集澆水以促進新的根系正常生長外，有老師覺得拉長澆水間隔，正好可以測試植物的韌性。但對志工來說，親手栽下的植物彷彿是不能放著不管的小孩，大家還是非常積極地去澆水。



志工維護各自負責的生態灌叢樣區。攝影：葉馨惠

由於取水地點距離植栽區相當遠，一開始也不是每個人都有推車或拖車可以載水，大家多半是提著大牛奶罐或水桶來回取水，在平均年紀 56 歲的志工群中，漸漸開始有人出現提水過度造成的傷害，甚至因此受家人責備，有些人也因此退出。

但也不是沒有正面的案例，有位志工因為生病的關係，原本必須仰賴登山杖才能平穩行走，但澆水的勞動竟改善了他的肌力，家人也由原先的不贊成，轉而為樂意陪他到公園服務。

超人觀點

擔任韌性都市林志工隊顧問的「超人老師」陳超仁，花了非常多時間陪伴學員，也「圓融地緩衝了許多在公務體制中被視為理所當然的要求或規則，並將之轉譯成學員可以接受並遵守的行動指令，」愷茹形



園區內水源不多，必須靠人力運水澆灌樣區。對平均年齡 56 歲的志工來說，是很沉重的負擔。攝影：葉馨惠

容，而且超人老師還能毫不費力地把每位老師的授課內容帶入原生植物、生物多樣性與韌性都市林的理念架構之中。

超人老師看到的，其實是這個計畫另一個更有影響力的重點：「現在政府在推動國土生態綠網，講的是生態棲地的串接，但裡面對於都會區的生態營造卻較少著墨，」超人老師說，「我覺得都會區其實是更重要的。因為都會區有更多人口，若能在都會區進行韌性都市林營造，能使大眾看到更多生態，環境保育的觀念就可以從實際參與及觀察過程獲得，生態共識亦能逐步建立，因此覺得這個計畫對國家生態有很大的影響，只要在都會區裡營造一個韌性都市林，讓周邊的民眾可以來認識及參與，影響力就能擴散出去。」

他認為，若是能讓很多公園移植這次的經驗，並讓大家了解，應該讓公園朝自然狀態發展、或者說，在大型地公園裡面保留一些分區，維持類似這種模擬自然森林的樣貌，則都市中的這麼多公園、行道樹，甚至家庭的庭院，慢慢地就能串接起來，都市公園就成為節點、變成生態跳島、連成廊道，生態綠網在都市裡面就可以連結起來。

在他眼中，公園地區在人類聚居及改變之前有可能是當地生態最豐富的地方，但在人類進行開發之後，生態變得貧瘠，「有了這個機會，在公園裡面進行韌性都市林營造，其實就可以讓一般民眾真正體會到自然的演替、生態的意義。或許很多人都有生態的理念，但沒有實際操作的機會，此案例正好可以實際動手參與，就能印證很多事情，而且最重要的是，計劃中有很多志工參與，理念相同的人一起做，效果就非常棒，因為過去較少這樣操作，本次執行所能夠帶動出來的討論，造成的影響會非常的廣。」他說。

他也覺得，志工就是韌性都市林的種子，把這些種子散播到社區去，讓他們在社區中成長茁壯，「我們沒有這麼多的老師可以到處去教學，讓志工去傳播這些理念，效果會很好。因為他們來參加這個課程以前，

觀念想法跟一般民眾是一樣的，在經過兩三年的課程訓練及實際操作之後，他們的想法改變了，因為是過來人，他走過的那個歷程就能讓他將心比心、知道該如何去慢慢地影響其他人。」超人老師說，「其實公園也是一個圖書館，讓大家閱讀自然。更好的是如何把公園裡的生態資源連結到圖書館裡面的東西。」

在志工之間更細節的相處與分工、磨合方面，超人老師也有自己的觀察，「因為每個人有每個人的看法，基本上必須先從尊重開始，才能談到共同的理念。如果想法有出入，再來看能怎麼協調。」最辛苦的部分就是每個人的個性不一樣，必須花時間、想辦法跟他們討論。而他最擔心的，就是會不小心刺傷別人，講話的時候，難免因為一時不察或時間不夠而沒有顧及別人的感受，這可能就要再想辦法去化解。「人之間的問題，是比觀念的傳達更困難的。」即使已經運作了兩三年，也還是有人不認同某些觀念。

像澆水這件事，超人老師也覺得前兩個禮拜澆一下，後續如果長不好就算了。「因為我們在說的韌性就是這樣，長不出來就讓他退場。但當你看到大家很認真的在澆水，實在也不能潑他冷水。」超人老師笑著說。

不過看著大家從一開始練習制式的解說，到最後只要民眾質疑一出現，志工們就能直接流暢開講，已經可以「解說於無形」，變得很生活化，超人老師心裡也覺得很欣慰。

韌性都市林小教室

國土生態綠網

由林務局提出，目的在於建置與維護國土生態保育的綠色網絡，串連東西向的河川、綠帶，連結山脈至海岸，編織森川里海間的廊道，使之成為生物能利用的安全網。簡單來說，就是調查整合出可供生物使用的閒置國有或公有土地，拆除已經無用但可能會影響動物移動的設施如馬路或建築物，連結起破碎的棲地，增進生物交流的機會。



超人老師認為都市公園也是國土生態綠網的重要部分，可以成為節點、跳島，將野生動物可以使用的綠地慢慢串接起來。攝影：劉克修

雖說有人因為時間因素或意見不合而離開志工隊，但他說自己其實不介意志工隊的人數多寡，因為有了這樣的觀念之後，他們雖然離開志工隊，也可以出去繼續影響別的地方，把觀念外溢出去。

無法寫進結案報告的故事

幾乎每一堂志工課程，愷茹都跟著一起上課。有些課程，就連森林系畢業的她也覺得天啊這含金量太高了，必須拼命做筆記，「有一次講植物生理學，老師不是告訴你每天要澆水幾次，而是植物在什麼狀況下會需要水、植物缺水的时候要怎麼給水，像這樣子非常原則性、概念性的知識。」她也覺得，很多人是爲了這個而來，「但其實我們的課程有要求一個星期必須有兩小時的養護服務，我本來想像說，大家學完這一套東西之後，就可以好好運用在養護上，但我卻沒有想到養

護知識和養護實作之間還是有一個抽象的距離，而且會有這麼多需要養護的面相、養護的負擔會這麼大。」也有些人只想上課、無法配合服務，這些都造成了志工之間的摩擦。

但她一開始也沒有意識到，對都會區學員來說，能在公園種下自己專屬照顧的植物，是多麼意義深重的事。

不只是實驗，同時也是橋梁

每年，林試所和其他研究機構執行的研究和調查可能數以千計，大眾卻少有機會接觸，更不要說理解、甚至運用。但這次因為有了志工的參與，韌性都市林實驗就從科學實驗跨進了社會學研究，不但做了造林實驗，也在無意間打造了人與人的連結、培養出志工的韌性，同時也能將實驗的成果往外宣傳、擴散。而志工在吸取知識之後再繼續發展出來的其他活動與嘗試，更是葛博、愷茹、一銘老師、馬爺、巧萍老師等幾位持續在四號公園陪伴的老師所沒有預想到的。

對愷茹而言，在這次的實驗中，有太多無法量化的經歷，像是志工彼此之間的互動磨合、實驗與公園使用者的摩擦、林試所在志工期待中的角色、還有林試所實際上所能做到的事，她也必須不斷調整自己的心情與心態，才能保持研究熱忱地進行觀察。

她在四個單位、老師與學員之間扮演居間協調的角色，而不是自己直接「做到」、「完成」了什麼，這些也都沒有辦法寫進她的研究報告中。

但她覺得技術或實驗或成果都還是其次，她最希望的是讓大家知道有韌性都市林這樣的概念存在，也希望大眾能逐漸接受林試所把自然的樣貌及影響力移置到都市裡。「你不會種沒關係，但你不要嫌棄它。」愷茹說，「有些公園的使用者跟我反應不太習慣我們將不同種類、形狀、高矮的植物鑲嵌栽種在一起。可能這幾十年來，我們都一直被教

導說，景觀應該是什麼模樣，要很整齊，也就是說我們都有一個很傳統的印象，那現在應該就是要打破那個印象，讓大家知道說，複層林乍看之下是雜亂的，但你一靠近，就會看到很多微小、美好的事物。在那一瞬間，整個人彷彿被帶往大自然中，那其實是你內心深處一直渴望親近之所在。」她期待都市居民都可以與生活當中的自然元素產生更多的關聯感，如果覺得都市中的自然遠遠不夠，就走到社區或公園的綠地中，去尋找它、創造它。

研究名稱 社會參與及都市林經營管理體系建立研究

目的 透過公私協力與志工培力，建造中和四號公園內的生態灌叢及複層林試驗樣區，並將知識擴散至周邊社區與居民，促進社區參與。

研究負責人 葛兆年、黃愷茹、王巧萍、歐書寰

研究方法 (一) 公私協力的韌性都市林志工培訓：與中和區公所、國臺圖、新中和社大建立合作平台會議，開辦韌性都市林志工隊培訓課程，並在四號公園舉辦灌叢生態化、營造生態複層林、韌性都市林導覽等植樹推廣活動。

(二) 對四號公園管理單位進行目標管理一致性的分析，並對公園使用者進行生態營造後的使用後評估。

(三) 志工的參與動機、學習歷程及學習產出的評估。

研究結果 (一) 建構公私協力的合作網絡機制，持續養護四號公園的韌性都市林試驗基地、擴散韌性都市林的價值與知識。

(二) 管理者肯定韌性都市林的生態與環境教育功能，並願意持續支持。

(三) 志工團隊可視為一學習型實踐社群，除了同心養護四號公園的生態試驗區，也能在不同情境下分享與擴散韌性都市林的知識，但需要專家引導與實作陪伴。

意義 參與此實驗的任何一個行動者，都成為韌性都市林社會韌性網絡的一份子，不僅僅是付出，去成就營造四號公園的韌性都市林基地，也在參與過程中得到了回饋。管理者看待公園不再只是一個提供民眾活動的空間，也認識了公園在城市生態系的價值。志工在學習與服務過程中找到日常生活的寄託，擴展了生活圈、找到夥伴、鍛鍊體力。有更多民眾，也發現了近在咫尺的自然，甚至進一步關注其中。這個研究的影響力仍持續擴散與增強，期許韌性成為都市林的日常。



攝影：張文誠



寫在最後：蝴蝶效應



2021年1月21日，志工隊的工具第一次有了自己的家（工具間），大家正在清點。
攝影：張文誠

2019 年底，世界因為 Covid-19 而緊急煞車，台灣則很幸運地比其他地方都慢了一段時間才進入全面三級管制，儘管社會運作、生產消費、醫療、貿易等等全面遭受衝擊，但大疫三年之後，台灣社會終究能逐步復甦，重新前進。韌性都市林計畫也在這樣的環境下，默默耕耘了三年多，彷彿跟著世界局勢，一起測試人性與自然的韌性。無論是這個計畫或台灣社會，都沒有因為這次疫情而一蹶不振，世人都看到了韌性的重要性，社會與民眾在遭到打擊之後慢慢找到新的生活節奏，或許再也無法完全恢復到昔日的模樣，但也達到了另一個平衡，就像野火燒過的林地，雖有生物死亡，但會有新的小苗萌蘖，重新長成另一種生態。

在這樣的時空背景下，進行一個跟韌性有關的計畫，確實是一種出乎意料、卻也極為巧合的機緣。研究人員在計劃期間完成無數次的蜂花蟲鳥調查、土壤實驗、帶著志工在中和四號公園栽下成百上千株原生植物，觀察照料這些植物在都市環境中成長，測了公園裡的溫度、風向、採樹葉回去測試葉片的耐旱性、或是洗洗看葉片表面的落塵裡有多少重金屬、並努力打造一個樹木管理平台。這些都是實驗本來就預計要完成的部分。

然而還有更多是科學家們沒有預想到的成果：志工隊走出了自己的路，帶著韌性都市林課程中所學的知識，踏入學校、童軍團、社區活動，自己開發教材、設計遊戲，在四號公園舉辦各種活動推展重要的生態與保育觀念，帶領更多孩子走入城市進行自然觀察，還參與了相關研究報告的撰寫，更在工作坊中無私地和其他有興趣的民眾分享這一切經驗與心得。

林試所並非無心插柳，培育在地團隊本就是計畫的一部分，讓志工隊和四號公園裡的造林實驗用自己的步調與方式繼續前進，只是沒預期到志工隊的發展就跟植物一樣有機，不受傳統窠臼限制，反而產出了

這麼多精采的成果。雖然一路走來並非平坦的康莊大道，但就像真實的自然其實也充滿了各種天災，需要持續面對各種挑戰。

但也因為這項計畫，有人發表了研究報告登上 SCI、有人通過研究所口試、有人得了獎、有人交到了和原本生活圈子不一樣的朋友，而四號公園得到了能展現原生植物生命力的生態灌叢，和持續拔高的原生種樹木。那林試所得到了什麼？照理來說，當研究結束，科學家們就會寫成報告並收納進政府研究資訊系統，等待未來有人要進行類似研究時，循著網路上的蛛絲馬跡找來。但計畫主持人葛博士卻覺得不應該只是這樣。

為什麼她會想要穿越研究的高牆，做這一件跨領域、跨地域，還必須投入許多精力與時間的計畫？我很好奇。

有一年她到美國波特蘭世界林業中心實習，在當地參加了很多跟保育有關的活動，像是到公園划船看鳥、跟著指導員認鳥寫紀錄，也學習偵查危害樹木的昆蟲。「我發現這些活動經常是由許多單位共同辦理，而且有些是跨領域的公部門和民間組織。參加的年齡層也很廣，從小朋友到銀髮族都有，當我看到很年幼的孩子搖搖晃晃地拿著鏟子努力刨土，要在公園種下一棵小樹苗，我非常感動，也明白從此他將與自然結下不解之緣。」葛博士說，「台灣擁有非常豐富多樣的生態，而且身邊就有很多生物跟我們一起生活，這個計畫若能打通一個自然的頻道，就能幫忙大家接收到自然的訊息以及大自然給予的力量」。她覺得這個計畫要做的不只是發現新知，還要是能突破同溫層，找到更多夥伴將知識擴散出去。

當時她聽到的，是“Do the research! Find the partner! Educate the people!”或許可以翻譯成「獻身研究！攜手夥伴！點燃眾人智慧的火花！」吧，這句話也讓葛博士意識到，除了研究，自己能做的其實還

有很多，只要多跨一步、多說幾句，就能讓知識傳得更遠、影響更多人。

科學家是一群天性好奇的人，探索各種有興趣了解的事，但他們不見得善於社交，也不見得會想到除了埋頭研究之外，自己還有其他的影響力。殊不知外界其實也對科學家充滿了好奇，所以當林試所踏出了專注實驗的高塔，和新中和社大合作開課，就立刻吸引了許多人報名、想要一窺堂奧。

這三年多的實驗中，研究人員不只做了原本規畫要進行的實驗，大半也都踏出了舒適圈，或許是上課分享、或許是手把手帶著志工種樹、做實驗，相信除了實驗成果以外，也激發了很多新的想法和友誼，雖然多了許多過去沒有的任務，但看著這個計畫竟然能牽起這麼多線、開展出這麼多影響，想必大家都會覺得經歷了一段奇妙旅程，原本嚴肅的研究機構也慢慢地打開了一道縫隙，有了和大家交流的機會，也看到了自己播下去的小苗。

相信其他接觸過這個計畫的人，不管是一次植樹活動、一場講座，或在網路上看到相關的報導、活動的照片，被訪談、被紀錄，甚至只是和公園中揮汗的志工微笑點頭、和研究人員擦身而過，都可能碰觸到關於韌性的訊息、甚至開啓了接收自然的頻道，成為都市林擴散漣漪的一部分。

感謝所有曾經參與韌性都市林計畫、志工隊、推廣活動與其他各種延伸計畫的你。是你們讓這個計畫長出了自己的樣子、有了超乎預期的展現，讓韌性都市林的概念得以擴散，且讓我們期待，所有播下去的幼苗，都能持續成長，展現出自己的韌性。



2022 年 11 月在中和四號公園舉辦的植樹活動，志工與林試所研究人員帶著參與民眾在孔隙區種下悉心培育的原生種植物。攝影：鍾慧元



攝影：劉克修



國家圖書館出版品預行編目資料

都市裡的森林實驗課：韌性都市林實作全紀錄／

鍾慧元撰文．－ 臺北市：農業部林業試驗所，

民112.09

208 面；17×23.5 公分

ISBN 978-626-7368-16-9 (平裝)

1.CST: 都市生態學

545.12

112014478

都市裡的森林實驗課——韌性都市林實作全紀錄

發行人 曾彥學

策畫 葛兆年

主編 葛兆年、黃愷茹

撰文 鍾慧元

責任編輯 鍾慧元

助理編輯 劉俐君

審稿 劉一新

顧問 王巧萍、王李廉、王相華、吳孟玲、李俊佑、林冠穎、張勵婉、馬復京、陳一銘、陳超仁、陸聲山、傅淑璋、黃愷茹、葉文琪、葛兆年、劉宇軒、蘇子豪

攝影 吳孟玲、李伶玲、李莎莉、李錦城、俞凱倫、施郁庭、洪美珠、洪庭毅、徐露玉、張文誠、台灣猛禽研究會、陳加盛、陳睿騏、許嘉錦、黃愷茹、葉文琪、葉馨惠、葛兆年、廖榮鑫、劉宇軒、劉克修、劉秋華、賴曉嫻、鍾慧元、蘇子豪

美術編輯 許明峯

出版單位 農業部林業試驗所

地址 100051 台北市中正區南海路 53 號

電話 02-2303-9978

傳真 02-2314-2234

網址 <http://www.tfri.gov.tw>

印刷 麥克馬林有限公司

出版日期 中華民國一一二年九月

定價 新台幣 300 元整

ISBN 978-626-7368-16-9

GPN 1011201136

國家圖書館出版品預行編目 (CIP)

圖文有著作權，未經同意請勿使用

