

## 【附件三】成果報告

### 封面 Cover Page

教育部教學實踐研究計畫成果報告

Project Report for MOE Teaching Practice Research Program

計畫編號/Project Number：PAG1135942

學門專案分類/Division：生技農科

計畫年度：113 年度一年期 112 年度多年期

執行期間/Funding Period：2024.08.01 – 2025.07.31

臺灣大學校園樹木碳匯計量、監測、評估與報告之教學實踐計畫

計畫主持人(Principal Investigator)：鄭智馨

協同主持人(Co-Principal Investigator)：

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：國立台灣大學/森林環境暨資源學系

成果報告公開日期：立即公開 延後公開

繳交報告日期(Report Submission Date)：2025 年 9 月 3 日

# 臺灣大學校園樹木碳匯計量、監測、評估與報告之教學實踐計畫

## 一、本文 (Content)

### 1. 研究動機與目的 (Research Motive and Purpose)

面對當前日益迫切氣候變遷議題，多數國家已在巴黎協定後，更積極推動碳排放減量與碳吸收增量措施，並希望於 2050 年時達到淨零碳排(net-zero carbon emissions)，將總碳排放量與吸收量彼此平衡(Smith et al., 2022)。國內也自 2022 年開始推動淨零碳排計畫，包括國家發展委員會提出的「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略」(國家發展委員會，2022)與農業委員會提出的「臺灣 2050 淨零轉型自然碳匯關鍵戰略行動計畫」(農業委員會，2022)，兩策略均強調森林碳匯的重要性，即國家淨零碳排策略須在能源、產業、生活與社會等層面轉型外，需積極透過自然碳匯方式增加生態環境碳匯儲存。預估 2030 年森林增匯量將為 75.8 萬噸，為農業土壤增匯量 2.9 倍，海洋增匯量的 2.2 倍(農業委員會，2022)。同樣地，企業端強調使用 100% 再生能源綠電使用(100% renewable energy, RE100)，同時也注重自然碳匯的重要，以 RE100 會員之玉山銀行為例，玉山銀行與臺灣大學的玉山臺大 ESG 百年計畫中，玉山銀行預計在 10 年時間內，認養 50 公頃實驗林林地，種下原生種的針葉五木，預期可吸附碳量相當於 617 座的大安森林公園(玉山銀行，2022)。

森林與土壤碳匯是達成淨零碳排之重要綠碳與黃碳碳庫，透過自然方式(nature-based)將大氣二氧化碳儲存於陸域生態系統，被認為是成本與效益最佳減碳方式(4 per 1000 Initiatives, 2023; Griscom et al., 2017)，使得對森林與土壤碳匯採樣、計量、報告、監測與機制了解，為現今森林環境科學需要積極教授領域(Baveye et al., 2006; Havlin et al., 2010; Bouma, 2014)。聯合國相關氣候變遷研究機構近年雖已陸續發表森林碳匯參考資料，例如 IPCC (2006)、FAO (2020)、FAO (2022)、World Bank (2022)等資料，但對多數學生而言，資料內容龐大且艱深不易閱讀，也缺乏實際野外採樣經驗可供學生實作。

現今許多著名學校已針對森林碳匯相關議題，開設昂貴線上課程，例如密西根州立大學森林學系所開設 Forest Carbon and Climate Program，每門線上課程收費 US2,500，當花費三門課程 7,500 美金修習後，可完成線上課程並獲得森林碳匯認證證書，但線上課程缺少野外經驗，使得學生是否能實際進行森林碳匯認證，仍有所存疑。

大學端如何增進森林碳匯課程之教學內涵，讓課程可接軌國際，也讓課程能整合理論與實務，結合教室內的理論學習與教室外之氣候變遷、減緩策略與企業社會責任等議題，增加學生學習動機、學習能力與問題解決能力，進而達到人才培育目標，為現今大學教育重要發展目標與方向。傳統上，森林相關課程雖安排校外教學與參訪，但融入在課程的深度與廣度普遍偏低，無法培養學生執行森林碳匯議題之能力。因此，改善現有課程成實踐育成的教學方式，提

昇學習內容以縮短學用落差，是提出本教學實踐研究計畫之主要目的。

## 2. 研究問題 (Research Question)

本教學實踐課程以森林環境暨資源學系開設之「陸域生物地球化學概論」課程為教學實踐課程，課程屬三學分課程。此課程為多數森林學系近幾年所戮力發展新課程，常被規劃成基礎必修或是選擇必修，課程講授內容包含氣候變遷、碳循環與養分循環、森林生產力、森林能量與物質交換等主題，是學習森林碳匯重要課程之一。

課程授課方式，一般以兩小時授課，外加一至三小時專題報告或是論文閱讀討論為主。在教學實踐研究計畫課程增進下，課程將在課堂講授基礎上，更強調教學實踐與碳匯議題探索，且不同於傳統實驗課程中單單要求學生動手做，讓學生僅按照實驗步驟而完成實驗，留下相對較少學習空間可創造思考或應用(Amador, 2019)，增進教學實踐教案將以探索式教學方式，藉由教學實踐研究計畫之設計，讓學生親自進行森林碳匯採樣、分析、計量與評估，將學習成效更具體與實用化(Amador and Gorres, 2004; Amador, 2019; Al-Ismaily et al., 2021)。

為驗證教學實踐研究計畫實施下，教學實踐計畫是否可幫助學生學習，我們擬定以下三個問題協助學習成效評估，包括：

1. 是否可藉由教學過程中教案設計與實際碳匯採樣、分析、計量與評估，增加學生了解森林碳匯的了解與應用？
2. 是否可藉由校園樹木調查場域特性，幫助學生了解校園樹木物種與林木碳匯如何受到校園發展影響？並進一步應用在永續校園與大學社會責任之參與？
3. 整體課程安排，是否可協助學生在面對未來環境治理時，提出可行森林碳匯之治理規劃、監測與驗證？

上述問題之回答，會透過學生學習成果報告與問卷調查方式，評估教學實踐教案實施下，學生之學習動機、學習成效及對森林碳匯採樣、分析與碳匯機制了解是否有所助益。

## 3. 文獻探討 (Literature Review)

森林碳匯是達成淨零碳排重要碳庫之一，對森林碳匯採樣、計量、報告、監測與機制的了解，為現今森林科學重要研究範疇(Baveye et al., 2006; Havlin et al., 2010; Bouma, 2014)。國內對森林碳匯議題以人工林為主，例如紅檜(劉知好與王兆桓，2008)、柳杉(Cheng et al., 2013；林笙翰等，2022)、台灣杉(鄭智馨等，2014)等人工林，或是平地造林樣區(Cheng et al., 2016)，較少著重都市林的樹木碳匯。但都市樹木生長，如同天然林或人工林樹木一般，樹木長期生長所固定二氧化碳，被視為重要森林碳匯之一(Nowak et al., 2013)。

以大安森林公園為例，許多論文引用大安森林公園每年二氧化碳吸存量為

386 公噸，不過此計算資料卻來自農委會的推估數據，並非實際量測結果。農委會僅依據 20 年生人工林林分，提出每年每公頃吸收二氧化碳 15 公噸，換算公園 25.8 公頃面積，則大安森林公園可吸收二氧化碳 386 公噸(中央通訊社，2023)。但此數據存有許多疑問，由於大安森林公園樹木並沒那麼多，估計每年吸收二氧化碳量可能僅約 110.5 至 242.6 公噸(林郁庭，2022)。對樹木實施長期生長調查以及對都市樹種生長資料建置，是準確建立都市樹木固碳能力之必須工作。

臺灣大學校園樹木如同其他都市林或是大安森林公園般，具備樹木碳匯能力(Cox, 2012; De Villiers et al., 2014; Sharma et al., 2021)，且相較於大安森林公園的碳匯推估，學校有完整樹木調查資料，特別是 2012 年臺灣大學總務處曾作過校園樹木普查，當時紀錄校總區與水源校區樹木共計 1 萬餘棵，並將每棵樹木位置與樹木資訊建置成臺大樹語網站(<https://map.ntu.edu.tw/ntutree/>)，提供上網查詢使用。若再次進行校園樹木普查，預期可了解個別樹木生長狀況，並提供校方校園樹木碳儲存量(carbon storage)與碳匯(carbon sequestration)資訊，以此作為大學社會責任(university social responsibility, USR)之重要指標(<https://www.ftis.org.tw/active/download/sp111090510075267b.pdf>)。調查結果也可幫助了解不同樹種間或是不同位置間，校園樹木之生長與死亡狀況，也能適時更新樹語網站資訊內容，避免現存樹木無法與樹語網站地圖互相對照之困擾。

自 2012 年的校園樹木普查後，樹木歷經 11 年生長、移除、死亡、新生等過程，已出現許多改變。在此緣由下，課程規劃抽樣調查 500–1000 株校園樹木，透過系統性與科學性調查方式，了解校園樹木生長概況，評估校園樹木碳匯能力。

教學實踐研究計畫將提供校方與參與學生等多方面效益，包括：

1. 提供校園樹木碳儲存量與碳匯量，作為大學社會責任之永續環境維持重要指標(Vasilescu et al., 2010)，並訓練學生建立科學公民能力與強化永續環境素養。
2. 提供了解十年間樹木死亡與生長概況，特別是不同校地間(e.g. 傳園、農場作物標本園，椰林大道、園藝系與生工系花圃)，樹木死亡率與生長速率差異，以及樹木生長差異如何受到土壤(e.g. 樹穴大小、立地土壤環境)與樹冠健康(e.g. 樹冠開闊程度、樹木傷害)之影響。
3. 協助樹語網站內容更新，更新資料可供校方更有效率管理校園樹木，也讓捐贈者(學校有提供平台提供樹木認養)追蹤捐贈樹木之最新生長。
4. 提供學生參與教學實踐學習機會，讓學生實際參與校方樹木調查維護與樹語網站後台管理，鼓勵學生將此調查計畫作為學士論文修習，並應用調查結果參與林學研討會論文發表，相關內容進行科學論文投稿(Cox, 2012)。

在大學環境教育課程中，適時地加入現地學習(field practice)與實作經驗(hands-on experiences)，為現今著名大學對環境科學的教學建議(Halvin et al.,

2010; Field et al., 2011)，反應多元化的學習環境，可幫助學生學習碳匯議題，促進碳匯人才的培育，達到即學即用與學用合一之教學成效。類似教學增進方案，如探索式教學、問題導向式教學與主題式教學等增進教學方式，同樣被應用在其它大學的環境課程上(Andrews and Frey, 2015; Amador 2019; Al-Isamily et al., 2021)。因此，適當的教學創新，預期能有效整合理論與實務，讓教室內的理論學習與教室外的氣候變遷、減緩策略與企業社會責任議題彼此結合，增加學生學習動機、主動學習能力與問題解決能力，進而達到人才培育目標。

#### **4. 教學設計與規劃 (Teaching Planning)**

113 學年第一學期 (2023 年) 「陸域生物地球化學概論」課程規劃臺灣大學校園樹木調查作為教學實踐研究計畫場域，校園樹木不同年代完整調(普)查紀錄(路統信，1963、1964；劉儒淵，1974；張育森，2008；臺大樹語網站，2023)，提供良好環境學習場域，讓學生了解校園樹木物種多樣性與森林碳匯潛能。本教學實踐研究計畫課程目標，除了讓學生了解森林碳匯減緩氣候變遷所扮演角色外，更是要讓學生實際操作森林碳匯採樣、分析與計量、理解森林碳匯機制與潛能，以及能夠提出森林碳匯的減碳計畫書。

上年度(112 年度)課程授課方式，以兩小時授課，外加一至三小時專題報告或是論文閱讀討論。在教學實踐研究計畫推動下，我們將會利用原有之專題報告時間，專注教學實踐研究計畫之執行，實踐課程規劃並不影響正課授課，反而可讓理論與應用、方法與實作並重並行，學生學習成果與知識養成可具體化呈現。課程預計以每組 2-3 位學生進行分組，各組別依照所分配區域與樹種，進行校園樹木物種調查、樹木基本性狀量測、樹木健康度與立地環境紀錄等。

#### **5. 研究設計與執行方法 (Research Methodology)**

##### **樹木取樣**

預計在校總區 M、N、E、S、SE 校地中(圖一)，進行樹木基本性狀再調查。樹木選擇方式，將依 2012 年所調查之現有校園樹木樹種組成比例，依各樹種隨機選擇調查樹木。調查過程中，參與學生(調查者)將依照選定樹木，進行樹牌、位置與 GPS 定位確認後，再進行樹木性狀量測。



圖一、校總區校地分類，M、N、E、S、SE 為此次再調查樹區區域。

樹木性狀調查項目，除樹語網站所列胸高直徑(diameter at breast height, DBH)、胸圍、樹冠面積等性狀量測外，同時評估樹木立地土壤狀況與樹冠生長位置與健康狀況，本次調查內容多於較上次普查內容，充分的調查資訊，能更為了解校園樹木生長與土壤環境、樹木樹冠位置、樹木健康程度間的相關性。

### 學生分組與訓練

現地調查時，將以 2-3 位學生為一組，一人負責量測，一人拍照與樹木、土壤外觀觀測，另一人記錄。量測結束後，彙整資料分析，統計分析利用 R 軟體計算，資料繪圖與資料處理則利用 iTree Tool software (<https://www.itreetools.org/>, Novak et al., 2013)、SigmaPlot、QGIS 等軟體進行。

### 儀器與器材

本計畫使用儀器有手持式 GPS 定位儀、Leica 光學測距儀(含攝影鏡頭與角度)與樹冠分析儀等，量測器材則有 10 米量測桿、樹木胸徑捲尺、記錄夾、記錄本與相機等。量測前，學生均獲完整儀器器材訓練與練習，始能進行量測。

### 協助樹語網站更新

樹木基本性狀調查後，同時也將調查結果內容進行相對應樹語網站資料更新，讓學生參與網站後台管理。此外，調查結果將寫成研究報告方式，協助學生將調查結果以研討會或論文形式發表。

### 樹木死亡與生長評估

調查結果將比較 2012 年與 2023 年間，校園樹木死亡率與生長量，死亡率計算為所選擇樹木中，死亡或消失樹木所佔比率；生長量為兩調查時間下，樹木 DBH、樹高與樹木生物量之增加量，生長數據可提供了解校園樹木 DBH、樹高與生物量年生長狀況。

調查結果也將進一步分析不同樹種間的死亡率與生長差異，以及分析樹木

生長是否受到土壤與樹冠影響。基本上，當土壤物理狀況不好，樹穴面積小，土壤易淹水或土壤嚴重壓實等，均會影響樹木生長；當樹冠呈現生長衰退與枯萎時，同樣也會影響樹木生長。

### 校園樹木碳儲存量與碳吸存

在 2012 年資料中，並未進行樹木碳匯量計算，本計畫將對 2012 年校園樹木碳儲存量進行推估，主要透過美國農業部整理全世界樹木生物量評估軟體 i-Tree Tool Software。此外，依據調查樹木建立之樹木碳量增加率，進一步推估 2023 年校園樹木碳儲存量，並計算 2012 年至 2023 年間，校園樹木年碳匯量(吸存量)。樹木碳匯計算步驟如下：

(步驟一) 計算調查樹木 2012 年與 2023 年間的碳匯增加比率：

$$\text{調查樹木碳匯增加比率 (\%)} = (\text{2023 年調查樹木碳匯量} / \text{2012 年調查樹木碳匯量}) \times 100\% - 1$$

(步驟二) 2012 年校園樹木碳儲存量：

2012 年校園樹木普查每木生物量推估，依據 DBH、樹高與樹木木材密度等資料，進行單株樹木生物量推估(i-Tree Tool software; Chave et al., 2014; 林郁庭, 2022)，加總所有樹木，即可得到 2012 年校園樹木碳儲存量。

(步驟三) 應用步驟一比例關係與步驟二結果，推估 2023 年校園樹木碳儲存量與每年碳匯量

$$\text{2023 校園樹木碳儲存量} = \text{2012 校園樹木碳儲存量} \times (1 + \text{調查樹木碳匯增加比率})$$

$$\text{校園樹木年碳匯吸存量} = (\text{2023 年校園樹木碳儲存量} - \text{2012 校園樹木碳儲存量}) / 11$$

## 6. 教學暨研究成果 (Teaching and Research Outcomes)

### [第一部分] 臺灣大學校園樹木調查成果

#### 校園樹木物種與數量分析

依據樹語網站資料，2012 年台大校園樹木數量共計 12,863 棵，物種組成則包含 84 科、234 屬、368 種物種(Table 1)。在校園樹木物種組成上，外來物種計 210 種，台灣原生種計 158 種，外來物種佔比約為 57%。校園樹木喬木物種數量為 325 種，灌木物種數量為 43 種，喬木樹種數量佔比約為 88%。此外，共有 32 種校園樹木物種屬台灣紅皮書的特有種，以及 23 種瀕危物種 (Table 1)，佔比分別為 8.4%與 5.9%。校園樹木以豆科、棕櫚科與桑科的物種數量佔比最高，分別為 26 種、24 種與 23 種(Table 2)。

在校園樹木整體數量中，校園樹木的外來物種樹木數量為 6,329 棵，原生種樹木數量為 6,534 棵，外來物種樹木數量佔比約為 50.7%。台灣特有種與瀕危物種樹木數量分別為 563 與 1,314 棵，佔比為 4.3%與 10.2%。數量前二十名的常見樹種，包含正榕(*Ficus microcarpa*)、楓香(*Liquidamber formosana*)、龍柏(*Juniperus chinensis*)、樟樹(*Camphora officinarum*)與白千層(*Melaleuca cajuputi*)等，其樹木數量分別為 672、667、589、559 與 529 棵，前二十種樹種樹木數量

約佔樹木總數量的 57% (Table 3)。

2024 年校園樹木數量為 10,626 棵，物種組成包含 83 科、226 屬、352 種物種。相較 2012 年，物種組成減少 6 科、17 屬與 34 種，新增 4 科、9 屬與 19 種，淨改變為減少 2 科、8 屬與 15 種。喬木物種的總數量及其外來與本土物種數量均呈現減少，灌木物種數量則與 2012 年相同，不過特有種與瀕危物種的物種數量則分別淨增加 1 種與 3 種物種，物種數量佔比稍稍提升至 9.6%與 6.5%。2024 年校園樹木，以棕櫚科、豆科與桑科的樹木物種數量最多，分別為 23、24 與 23 種，物種數量最多的前十科，除大戟科增加一種樹種外，多數科別維持或減少物種數量，但 2024 年前十多物種之科別，相同於 2012 年前十多物種數量之科別(Table 2)。

在校園樹木整體數量上，相較 2012 年，2024 年仍持續生長的樹木計 8,614 棵，消失樹木計 4,249 棵，而新增樹木為 2,012 棵，呈現校園樹木整體數量的淨減少，減少樹木數量計 2,237 棵，約佔校園樹木總數的 17.4% (Table 3)。2024 年校園樹木原生種數量為 5,420 棵，外來種數量為 5,206 棵，外來樹種佔比減少至 49.5%，特有種與瀕危物種樹木數量分別為 520 與 1,247 棵，佔比稍稍提高至 4.9%與 11.8%。

校園樹木數量前二十名的樹種，約佔樹木數量總數 57% (Table 3; Figure 5)，以楓香、樟樹、蒲葵(*Livistona chinensis*)、大王椰子(*Roystonea regia*)與正榕較多，2024 年時，其數量分別為 632、530、490、456 與 442 棵。相較 2012 年，不同物種間數量變化差異甚大，以數量總數前二十種樹種為例，各樹種的數量淨變化介於-234 到 102 之間，除了小葉欖仁與茄苳分別淨增加 12 與 102 棵之外，其餘樹種數量皆呈現淨減少(Table 3)。

**Table 1.** Species richness, composition and abundance of woody plants on the main campus of National Taiwan University in 2012 and 2024

	Species richness/Abundance		2012 - 2024			$\Delta$
	2012	2024	Growth	Loss	Recruit	
<b>Species richness</b>						
Families/genus/species						
Families	84	82	78	-6	4	-2
Genus	234	226	217	-17	9	-8
Species	368	353	334	-34	19	-15
Native/Alien						
Native	158	155	144	-14	11	-3
Alien	210	198	190	-20	8	-12
Trees/shrubs						
Trees	325	309	293	-32	16	-16
Native	144	142	131	-13	11	-2
Alien	181	167	162	-19	5	-14
Shrubs	43	44	41	-2	3	+1
Native	14	13	13	-1	0	-1
Alien	29	31	28	-1	3	+2
Endemic species	32	34	28	-4	6	+2
Threatened/extinct species <sup>b</sup>	23	19	16	-7	3	-4
<b>Abundance</b>						
Native/Alien						
Native	6329	5420	4328	-2001	1092	-909
Alien	6534	5206	4286	-2248	920	-1328
Trees/shrubs						
Trees	12648	10519	8538	-4110	1981	-2129
Native	6285	5397	4306	-1979	1091	-888
Alien	6363	5122	4232	-2131	890	-1241
Shrubs	215 <sup>a</sup>	107	76	-139	31	-108
Native	44	23	22	-22	1	-21
Alien	171	84	54	-117	30	-87
Endemic species	563	520	384	-179	136	-43
Threatened/extinct species <sup>b</sup>	1316	1249	1082	-234	167	-67

<sup>a</sup>Abundance in shrubs excluded thickly planted and hedge shrubs and the data was largely

underestimated

<sup>b</sup>Species belong to categories of Vulnerable, Endangered, Critical Endangered, and Extinct in the Wild basing on the Red List of Vascular Plants of Taiwan, 2017

**Table 2.** Top ten families with the largest number of species on the main campus of National Taiwan University in 2012 and 2024

Top 10 Families (# of species)	
2012	Fabaceae (26), Arecaceae (24), Moraceae (23), Lauraceae (19), Malvaceae (19), Euphorbiaceae (18), Myrtaceae (15), Rosaceae (13), Rutaceae (11), Rubiaceae (10),
2024	Arecaceae (24), Fabaceae (23), Moraceae (23), Euphorbiaceae (19), Malvaceae (19), Lauraceae (18), Myrtaceae (13), Rosaceae (12), Rubiaceae (9), Rutaceae (9)

**Table 3.** Abundances by species ranking and the changes between 2012 and 2024 on the NTU main campus

Species	2012	Ranking	2024	Ranking	2012-2024			Net (#)
	Abundance (#)		Abundance (#)		Growth	Disappear	Recruit	
					(#)	(#)	(#)	
<i>Ficus microcarpa</i>	672	1	442	5	400	-272	42	-230
<i>Liquidambar formosana</i>	667	2	633	1	590	-77	43	-34
<i>Juniperus chinensis</i>	589	3	429	6	413	-176	16	-160
<i>Camphora officinarum</i>	559	4	530	2	414	-145	116	-29
<i>Melaleuca cajuputi</i>	525	5	419	7	409	-116	10	-106
<i>Livistona chinensis</i>	509	6	490	3	473	-36	17	-19
<i>Dyopsis lutescens</i>	486	7	302	10	295	-191	7	-184
<i>Roystonea regia</i>	477	8	456	4	439	-38	17	-21
<i>Ficus benjamina</i>	386	9	152	16	145	-241	7	-234
<i>Koelreuteria henryi</i>	327	10	322	8	243	-84	79	-5
<i>Prunus campanulata</i>	309	11	285	11	181	-128	104	-24
<i>Terminalia mantalyi</i>	308	12	320	9	248	-60	72	12
<i>Osmanthus fragrans</i>	275	13	192	13	164	-111	28	-83
<i>Eucalyptus robusta</i>	213	14	89	27	89	-124	0	-124

<i>Cassia fistula</i>	177	15	131	21	127	-50	4	-46
<i>Camellia japonica</i>	176	16	149	17	147	-29	2	-27
<i>Mangifera indica</i>	170	17	147	18	118	-52	29	-23
<i>Nageia nagi</i>	169	18	144	20	130	-39	14	-25
<i>Bischofia javanica</i>	169	19	271	12	139	-30	132	102
<i>Chionanthus retusus</i>	165	20	145	19	114	-51	31	-20
Others	5,535		4,578		3,336	-2,199	1,242	-957
<b>All Trees</b>	<b>12,863</b>		<b>10,626</b>		<b>8,614</b>	<b>-4,249</b>	<b>2,012</b>	<b>-2,237</b>

NOTE: Results show that of the 20 most dominant species in 2012 and 2024, there are 18 species (highlighted in boldface type) in common.

### 樹木胸高直徑與樹高調查

2012 年多數校園樹木 DBH 小於 20 cm，或是樹高小於 8 m。不過，校園內仍有大型樹木存在，DBH 大於 80 cm 樹木，合計 340 棵，佔 2.6%，樹高高於 20 m 樹木計 23 棵，佔 0.2%。所有校園樹木於 2012 年時的平均 DBH 為 24.2 cm，平均樹高為 7.6 m，但不同樹種間差異甚大，若以數量前二十種樹種為例，平均 DBH 大於 40 cm 樹種計有正榕、白千層、大葉桉等大型喬木，但桂花(*Osmanthus fragrans*)、山櫻花(*Prunus campanulate*)、山茶花(*Camellia japonica*)等小喬木，其平均 DBH 則低於 10 cm (Table 4)。同樣地，平均樹高大於 10 m 的樹種有大王椰子(*Roystonea regia*)、楓香、小葉欖仁(*Terminalia mantalyi*)、白千層與大葉桉等，但流蘇(*Chionanthus retusus*)、龍柏、山櫻花、桂花、山茶花等小喬木，平均樹高低於 5 m (Table 5)。

經過十二年的變化，2024 年校園樹木平均 DBH 為 30.6 cm，平均樹高為 10.1 m。整體而言，校園樹木大小呈現淨增長趨勢，相較 2012 年，2024 年校園樹木平均 DBH 增加 6.4 cm，平均樹高增加 2.5 m。DBH 大於 80 cm 樹木計 585 棵，較 2012 年增加 245 棵，比例增加至 5.6%，樹高高於 20 m 樹木計 455 棵，較 2012 年增加 432 棵，比例增加至 4.3%。

以數量排名前二十數種為例，2012 年至 2024 年留存樹木的 DBH 生長增加介於 0.5 – 23.2 cm，平均單株樹木 DBH 生長增加超過 10 cm 樹種計有正榕、垂榕、茄苳、芒果與白千層等，DBH 生長小於 4 cm 以下數種則有蒲葵、大王椰子、龍柏、桂花、山茶花與竹柏(*Nageia nagi*)等。平均樹高生長超過 3.5 m 計有楓香、小葉欖仁、白千層、茄苳與正榕，樹高生長低於 1 m 則有黃椰子、龍柏、山茶花、桂花與流蘇等。不同樹種間約略呈現大喬木的平均 DBH 與樹高生長明顯高於小喬木的平均 DBH 與樹高生長，而棕櫚科的蒲葵與大王椰子則呈現僅明顯樹高生長，DBH 則無明顯變化。此外，2012 年至 2024 年間消失樹木的 DBH 與樹高，雖然以 DBH < 20 cm 或是樹高 < 8 m 樹木佔多數，但仍有部分大樹的消失。新增樹木同樣以 DBH < 20 cm 或是樹高 < 8 m 樹木佔多數，但仍有部分大樹的新增。消失與新增樹木的平均 DBH 與平均樹高，受到大樹移植影響，部分物種新增樹木的平均 DBH 反而高於原有平均 DBH，而非小樹苗

的種植。

**Table 4.** Mean of diameter at breast height (DBH) of trees by species abundance and the relative DBH changes between 2012 and 2024 on the NTU main campus

Species	2012	2024	2012-2024			$\Delta$ Net (cm)
	DBH (cm)	DBH (cm)	$\Delta$ Growth (cm)	Disappear (cm)	Recruit (cm)	
<i>Ficus microcarpa</i>	47.9	73.4	23.2	-41.1	51.1	25.5
<i>Liquidambar formosana</i>	27.6	35.4	9.2	-29.0	18.6	7.8
<i>Juniperus chinensis</i>	14.4	18.1	2.7	-11.5	6.9	3.7
<i>Camphora officinarum</i>	31.1	38.1	8.9	-23.3	21.9	7.1
<i>Melaleuca cajuputi</i>	53.9	63.4	10.2	-55.1	51.1	9.5
<i>Livistona chinensis</i>	24.5	25.0	0.5	-24.5	26.2	0.5
<i>Chrysalidocarpus lutescens</i>	10.5	14.7	3.7	-9.7	17.4	4.3
<i>Roystonea regia</i>	39.0	39.6	0.6	-36.3	34.9	0.6
<i>Ficus benjamina</i>	35.7	50.2	14.9	-35.4	30.5	14.4
<i>Koelreuteria henryi</i>	24.3	30.8	9.6	-22.6	21.5	6.5
<i>Prunus campanulata</i>	9.0	11.6	3.7	-9.3	10.1	2.6
<i>Terminalia mantalyi</i>	24.2	29.1	7.8	-21.4	16.7	4.9
<i>Osmanthus fragrans</i>	6.8	9.9	3.1	-6.1	7.8	3.1
<i>Eucalyptus robusta</i>	41.9	48.6	6.5	-41.9	NA	6.6
<i>Cassia fistula</i>	20.0	24.2	4.0	-18.7	15.8	4.2
<i>Camellia japonica</i>	5.9	9.1	3.3	-6.1	5.1	3.2
<i>Mangifera indica</i>	26.9	35.0	10.4	-24.2	20.8	8.1
<i>Bischofia javanica</i>	26.5	31.2	14.0	-17.5	19.4	4.7
<i>Nageia nagi</i>	12.4	16.0	3.5	-11.2	13.8	3.6
<i>Chionanthus retusus</i>	15.5	19.3	5.5	-13.3	9.8	3.8
<b>All Trees</b>	<b>24.2</b>	<b>30.6</b>	<b>7.4</b>	<b>-20.6</b>	<b>17.5</b>	<b>6.4</b>

\* NA= Non Available

**Table 7.** Mean of height of trees by species abundance and the relative changes between 2012 and 2024 on the NTU main campus

Species	2012	2024	2012-2024			$\Delta$ Net (m)
	Height (m)	Height (m)	$\Delta$ Growth (m)	Disappear (m)	Recruit (m)	
<i>Ficus microcarpa</i>	8.8	12.3	3.5	-8.2	8.9	3.5
<i>Liquidambar formosana</i>	10.2	15.2	5.4	-10.6	9.5	5.0

<i>Juniperus chinensis</i>	4.5	5.3	0.9	-4.4	3.6	0.8
<i>Camphora officinarum</i>	8.9	11.7	3.2	-7.3	8.4	2.8
<i>Melaleuca cajuputi</i>	10.4	14.5	4.0	-10.0	13.0	4.1
<i>Livistona chinensis</i>	9.1	10.5	1.5	-9.3	8.1	1.4
<i>Chrysalidocarpus lutescens</i>	6.8	6.8	0.2	-7.1	6.3	0.0
<i>Roystonea regia</i>	13.1	14.5	1.6	-13.6	8.2	1.4
<i>Ficus benjamina</i>	9.8	12.9	3.1	-9.6	7.8	3.1
<i>Koelreuteria henryi</i>	7.9	10.2	2.9	-7.3	7.8	2.3
<i>Prunus campanulata</i>	4.2	4.8	1.0	-4.3	4.1	0.6
<i>Terminalia mantalyi</i>	11.0	13.9	4.7	-10.8	7.7	2.9
<i>Osmanthus fragrans</i>	2.8	3.5	0.7	-2.7	3.1	0.7
<i>Eucalyptus robusta</i>	10.4	12.4	2.3	-10.5	NA	2.0
<i>Cassia fistula</i>	7.3	9.3	1.8	-7.0	8.7	2.0
<i>Camellia japonica</i>	3.1	3.4	0.3	-3.2	3.1	0.3
<i>Mangifera indica</i>	8.0	10.6	2.9	-7.3	8.0	2.6
<i>Bischofia javanica</i>	7.5	9.7	3.8	-6.3	7.8	2.2
<i>Nageia nagi</i>	6.5	8.2	1.5	-5.8	7.9	1.7
<i>Chionanthus retusus</i>	4.7	5.3	0.9	-4.3	3.6	0.6
<b>All Trees</b>	<b>7.6</b>	<b>10.1</b>	<b>2.7</b>	<b>-6.5</b>	<b>6.8</b>	<b>2.5</b>

\* NA= Non Available

## 樹木碳儲存量與碳吸存量調查

校園植物個別單株林木的碳量計算乃利用 i-Tree Eco 軟體，輸入物種、DBH 與樹高後，可獲得個別林木的生物碳量。2012 年時，校園所有植物的平均單株碳量為 0.333 ton C，但不同樹種間差異甚大，以數量前二十種樹種為例，大型樹木如白千層、正榕與大葉桉等，單株平均碳量大於 0.750 ton C；小型灌木或小喬木，如桂花與山茶花，平均單株碳量小於 0.035 ton C (Table 8)。加總所有單株樹木碳量，即可得到不同物種於校園內的生物碳量，Table 9 列出校園樹木碳量總如最多二十種樹種，樹木碳量排名並不同於樹木數量排名，樹種碳量除了數量外，亦受到樹木大小的影響。2012 年校園植物中，以白千層、正榕、樟樹的樹木碳量最高，分別為 1,100.3、775.2 與 313.5 ton C，此外，垂榕、大葉桉、楓香與印度橡膠樹(*Ficus elastica*)等的樹木碳量亦超過 100 ton C。2012 年台大校園樹木的總碳儲存量為 4,271.5 ton C，碳量排名前二十多樹種貢獻 3,496.5 ton C，約佔 81.8%。

2024 年校園樹木碳量則同樣呈現明顯變化，校園樹木平均單株碳量為 0.525 ton C，較 2012 年平均單株碳量高 0.192 ton C (Table 8)。前二十種樹種留存樹木受到平均 DBH 與樹高均增加下，樹種平均單株碳量亦呈現增加趨勢，

留存樹木平均單株碳量生長增加超過 0.7 ton C 物種，計有正榕、白千層、垂榕與茄苳等物種，亦有單株生長增加小於 0.03 ton C 樹種，如黃椰子、蒲葵、大王椰子、山茶花與桂花等。加總單株樹木生物碳量，可發現經過了十二年的變化，2024 年校園樹種碳量排名前三名樹木物種同樣以白千層、正榕、樟樹的樹木碳量最高(Table 9)，分別為 1,172.3、1,061.2 與 468.9 ton C，持續生長樹木碳量較 2012 年增加 321.2、469.6 與 165.8 ton C，但受到死亡與新增樹木影響，淨碳量變化為增加 72、286 與 155.5 ton C。此外，林木碳量超過 100 ton C 物種則包含垂榕、楓香、台灣欒樹、茄苳、小葉欖仁與黑板樹(*Alstonia scholaris*)等物種。以碳量排名前二十名樹種為例，2012 年至 2024 年間持續生長留存樹木均呈現碳量生長增加，增加量介於 4.9 ton C 至 469.6 ton C 間，消失樹木所減少碳量介於-1.5 ton C 至-266.6 ton C 間，新增樹木則介在 0 ton C 與 59.9 ton C 間，多數樹種的樹木新增碳量高於消失碳量，呈現淨碳量的增加；但大葉榕、垂榕與印度橡膠樹則呈現碳量的減少，減少淨碳量分別為-65.0、-30.9 與-25.3 ton C。

2024 年校園樹木總碳儲存量為 5,521.8 ton C，相較 2012 年，持續生長樹木增加 2,111.7 ton C，新增樹木亦提供 339.9 ton C，但消失樹木則減少-1,201.3 ton C，校園樹木碳量淨變化為增加 1,250.3 ton C，相當於 104.2 ton year<sup>-1</sup> 的年碳吸存量，顯示台大校園在過去十二年間，校園樹木整體呈現淨碳吸存狀態 (Table 9)。

**Table 8.** Average carbon storage of individual tree by species ranking and the changes between 2012 and 2024 on the NTU main campus

Species	2012	2024	2012-2024			$\Delta$ Net (t)
	Average C storage (t)	Average C storage (t)	Average C Storage (t)			
			$\Delta$ Growth (t)	Disappear (t)	Recruit (t)	
<i>Ficus microcarpa</i>	1.154	2.406	1.174	-0.895	1.461	1.253
<i>Liquidambar formosana</i>	0.170	0.282	0.135	-0.232	0.077	0.112
<i>Juniperus chinensis</i>	0.063	0.102	0.032	-0.040	0.021	0.039
<i>Camphora officinarum</i>	0.561	0.885	0.400	-0.339	0.335	0.324
<i>Melaleuca cajuputi</i>	2.096	2.798	0.785	-2.298	1.737	0.702
<i>Livistona chinensis</i>	0.067	0.077	0.010	-0.070	0.070	0.010
<i>Dyopsis lutescens</i>	0.026	0.034	0.009	-0.026	0.036	0.009
<i>Roystonea regia</i>	0.167	0.185	0.020	-0.162	0.108	0.017
<i>Ficus benjamina</i>	0.553	1.201	0.704	-0.563	0.569	0.648

<i>Koelreuteria henryi</i>	0.278	0.480	0.265	-0.242	0.252	0.203
<i>Prunus campanulata</i>	0.028	0.046	0.031	-0.033	0.030	0.018
<i>Terminalia mantalyi</i>	0.186	0.313	0.182	-0.135	0.079	0.127
<i>Osmanthus fragrans</i>	0.014	0.031	0.018	-0.011	0.017	0.017
<i>Eucalyptus robusta</i>	0.762	1.092	0.350	-0.775	0	0.331
<i>Cassia fistula</i>	0.170	0.246	0.073	-0.150	0.103	0.077
<i>Camellia japonica</i>	0.011	0.030	0.020	-0.013	0.006	0.019
<i>Mangifera indica</i>	0.293	0.489	0.257	-0.255	0.176	0.196
<i>Bischofia javanica</i>	0.479	0.773	0.777	-0.295	0.222	0.294
<i>Nageia nagi</i>	0.073	0.120	0.049	-0.065	0.073	0.047
<i>Chionanthus retusus</i>	0.089	0.144	0.075	-0.067	0.032	0.055
Others	0.196	0.348	0.139	-0.105	0.021	0.152
<b>All Trees</b>	<b>0.333</b>	<b>0.525</b>	<b>0.245</b>	<b>-0.284</b>	<b>0.178</b>	<b>0.192</b>

NOTE: Net Annual Average Carbon Sequestration (per tree) is calculated as **0.016 ton C year<sup>-1</sup>**

**Table 9.** Carbon storage of trees by specie ranking and the changes between 2012 and 2024 on the NTU main campus

Species	2012 C storage (t)	Ranking	2024 C storage (t)	Ranking	2012-2024			$\Delta$ Net (t)
					$\Delta$ Growth (t)	Disappear (t)	Recruit (t)	
<i>Melaleuca cajuputi</i>	1,100.3	1	1,172.3	1	321.2	-266.6	17.4	72.0
<i>Ficus microcarpa</i>	775.2	2	1061.2	2	469.6	-243.4	59.9	286.0
<i>Camphora officinarum</i>	313.5	3	468.9	3	165.8	-49.2	38.8	155.5
<i>Ficus benjamina</i>	213.4	4	182.5	5	101.3	-136.2	4.0	-30.9
<i>Eucalyptus robusta</i>	162.2	5	97.2	8	31.1	-96.1	0.0	-65.0
<i>Liquidambar formosana</i>	113.6	6	178.8	6	79.6	-17.8	3.3	65.1
<i>Ficus elastica</i>	106.1	7	80.8	14	19.0	-45.6	1.2	-25.3
<i>Koelreuteria henryi</i>	90.8	8	154.6	7	64.3	-20.4	19.9	63.8
<i>Bischofia javanica</i>	81.0	9	209.6	4	108.1	-8.9	29.3	128.5
<i>Roystonea regia</i>	79.8	10	84.2	12	8.7	-6.2	1.8	4.4
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	60.7	11	80.2	15	25.5	-8.2	2.3	19.6
<i>Ficus caulocarpa</i>	59.4	12	88.9	11	38.7	-9.2	0.0	29.5
<i>Terminalia mantalyi</i>	57.3	13	100.1	9	45.2	-8.1	5.7	42.7
<i>Alstonia scholaris</i>	52.4	14	105.6	10	37.6	-6.2	21.7	53.2
<i>Mangifera indica</i>	49.8	15	71.9	16	30.3	-13.3	5.1	22.1
<i>Juniperus chinensis</i>	37.3	16	43.9	22	13.2	-7.0	0.3	6.6
<i>Swietenia macrophylla</i>	38.4	17	71.3	17	34.4	-1.5	0.0	32.9
<i>Ficus superba</i>	37.0	18	85.6	13	33.4	-17.2	32.4	48.6

<i>Delonix regia</i>	34.2	19	45.2	18	18.5	-8.9	1.4	11.0
<i>Livistona chinensis</i>	34.1	20	37.7	23	4.9	-2.5	1.2	3.6
Others	775.0		1,101.5		461.2	-228.8	94.0	596.2
<b>All Trees</b>	<b>4,271.5</b>		<b>5,521.8</b>		<b>2111.7</b>	<b>-1,201.3</b>	<b>339.9</b>	<b>1,250.3</b>

NOTE: Net Annual Carbon Sequestration is calculated as **104.2 ton C year<sup>-1</sup>**

### 台大校園樹木碳吸存：與其他大學比較

以 i-Tree Eco 對台大校園樹木進行 2012 年與 2024 年的生物碳量計算，分別為 4,271.5 與 5,521.8 ton C。相較於其它大學，台大校園樹木不僅呈現較高的物種數量(353 種)與株樹數量 (10,515 棵)，其碳儲存量亦高於其他大學(Table 10)。台大校園樹木碳量高於 University of Georgia 的 3,450.4 ton C (Fox, 2020)、紐西蘭 KIWI University 的 1,585.0 ton C (De Villiers et al., 2014) 與 California State University 的 862.0 ton C (Cox, 2012)等。2012 年與 2024 年間，校園植物碳量增加 1250.3 ton C，相當於平均年碳吸存量為 104.2 ton C year<sup>-1</sup>。此數值亦高於其它大學的年碳吸存量，如紐西蘭 KIWI University 的 69.0 ton C year<sup>-1</sup> (De Villiers et al., 2014)、University of Georgia 的 64.9 ton C year<sup>-1</sup> (Fox, 2020)與 California State University 的 42.0 ton C year<sup>-1</sup> (Cox, 2012)等。

**Table 10.** Comparison of survey area, tree abundance, carbon storage, and carbon sequestration of campus trees between NTU and other universities.

Campus	Species richness	Tree Abundance (#)	Carbon Storage (t)	Actual Carbon Sequestration (t C yr <sup>-1</sup> )	i-tree Eco Prediction
National Taiwan University main campus (2024)	305	10,515	5,521.8	104.2	161.1
University of Georgia (2020)	201	6,915	3,450.4		64.9
KIWI University (2014)	>200	4,137	1,585.0		69.0
California State University, Northridge (2012)	>200	3,900	862.0		42.0

## [第二部分] 教學反饋

### (1) 教學過程與成果、教師教學反思與學生學習回饋

校園樹木栽植始自日治時代的臺北帝國大學開始，當年以植物園的概念，收集南洋地區熱帶樹種栽植在校園內，樹木沉靜的守候與見證臺大九十餘載的歷史。校園樹木不僅是校園中最重要綠色資產，樹木的栽植演變也代表著校園發展與城市成長的歷程(張青森，2016)。臺大校園植物的調查與量測並不是特別的事，森林環境暨資源學系服務與學習課程曾於2021年時，協助調查122棵校園樹木，但修課學生僅隨意在校園內進行樹木調查，未詳實紀錄樹木編號，調查結果數據與樹語網站資料間亦出現相當大差異，兩者間無法比對，並不清楚個別樹木生長概況。同樣地，校園規劃小組也曾於2009年、2013年與2020年時，進行臺大校園生物多樣性指標、基礎物種調查與監測，連續性調查資料，可了解不同年度校園生物多樣性改變過程，但校規小組監測計畫僅進行樹木物種鑑定，同樣並無校園樹木每木調查資料([https://cpo.ntu.edu.tw/News\\_n\\_166504\\_sms\\_101454.html](https://cpo.ntu.edu.tw/News_n_166504_sms_101454.html))。

現有校園樹木生長概況之較大問題，在於並不清楚個別樹木生長概況。校園樹木再次普查，能反應個別樹木生長狀況，更有效率管理照護校園植物，調查結果提供對校方校園樹木碳儲存量與碳匯能力的了解，作為重要永續校園指標之一，也可適時更正樹語網站內容，降低網站地圖錯誤數據。

加入臺大校園樹木現地調查的教學實踐研究計畫，提供了學生瞭解森林碳匯的良好學習環境，課程專業教授與學生實踐計畫執行，讓學生具備樹木物種辨識能力，瞭解校園物種之生物多樣性，基本量測技能與樹木碳匯採樣，提升對森林碳匯採樣、評估與機制的了解。本課程整體學習效益包括：

1. 課程安排包含野外採樣、室內分析、文獻閱讀、校規小組與園藝股訪談、期末報告計畫撰寫，由基礎至實務之應用，課程整合連貫且具整體性，不會流於片段，能深入專精了解。

2. 基礎、理論、方法與統整課程並重並行，學習成果與知識養成可具體化呈現。
3. 課程以問題導向學習與專題討論報告方式進行，讓學生能夠整合過去所學，了解自己學了什麼，並能加以應用，培養學生解決的問題，例如從研究或產業界找問題，也提早與未來研究或產業界志向有所連結，培養競爭力與就業力。
4. 老師可分階段驗收課程成效，了解學生學習狀況，檢視學習成果。

## (2) 建議與省思 (Recommendations and Reflections)

本教學實踐研究計畫整合理論與實作，讓教室內的理論學習與教室外的社會議題結合，增加學生學習研究動機，解決社會或產業問題，讓其學習志向與未來研究或產業有所連結，發揮教學實踐研究計畫之育成效果。

在教學上，學生評鑑分數分別為陸域生物地球化學概論 4.67 分(4.67/5)、森林土壤學暨實驗為 4.56 分(4.56/5)，以下則為學生在教學評鑑上的意見回饋：

### [陸域生物地球化學概論課程]

1. 謝謝老師 2. 了解生物圈、地質圈與土壤圈之間的關係 老師教學很用心。3. 課程內容準備豐富且深入，安排的校園樹木調查計畫，以及指定的課後作業，也很具有延伸學習與思考的幫助。 老師教學時，除了課本知識的教導，投影片中更安排許多思考問題，引導學生延伸思考，對於章節重點能進一步深入學習。 修完本學期的陸域生物地球化學概論，帶給我最大的收穫，是更瞭解地球化學的領域（地質、土壤、大氣、水文）與森林生態系的交互作用，以及元素循環對於生態系的重要性（影響氣候變遷、土壤營養、生物生長等層面），讓我對於森林環境的概覽，帶來全面且深入的收穫。

### [森林土壤學暨實驗]

1. 到很多土壤相關知識。 2.1. 透過作業可以好好複習上課內容 2. 上課速度、步調蠻適中的，大部分內容都能聽懂、跟上 3. 有時候會提早下課，好開心！ 4. 祝老師腳踏車環島平安、順利、開心！ 3.1.土壤的特性 2.12 種土綱的不同與特色

課程結束後，我們已整理部分結果並進行論文投稿發表，用以提升學生研究動能。以國外大學為例，目前校園林木碳匯發表的文章並不少見(Fox et al., 2020; Liu et al., 2017; Sharma et al., 2021; Vasilescu et al., 2010; Cox, 2012; De Villiers et al., 2014)。我們初步完成計畫與教學成果的發表，為學校教育與校園樹木盡一份感恩心力，目前計有一篇國際研討會論文發表，課程助教曾雲晞同學於 2025 年 3 月參與京都大學與臺灣大學的聯合研討會，發表資訊如下：

**Diversity, growth, and biomass carbon sequestration potential of woody plants on the main campus of National Taiwan University between 2012 and 2024**

Yun-Hsi Tseng\* and Chih-Hsin Cheng

School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University,  
Taipei, Taiwan

\*[R13625038@ntu.edu.tw](mailto:R13625038@ntu.edu.tw)

**Abstract**

The main campus of the National Taiwan University (NTU) is characterized by its green space. The green space provides staff, students, and residents a relaxing place. It also offers numerous environmental benefits, such as preserving biodiversity, improving air quality, shading and reducing the urban heat island effect, decreasing rainwater runoff, and carbon dioxide sequestering. To emphasize the values of the campus trees, the NTU implemented a survey of the campus trees in 2012 and recorded each tree with species, location, diameter at breast height (DBH), and tree height. After 12 years, the status of campus trees altered dramatically. A new survey was thus conducted in 2024. This survey aimed to evaluate the changes in mortality, growth, and biomass of each tree. A total of 12,831 trees, consisting of 84 families, 234 genera, and 368 species, were recorded in 2012. However, the total number of trees decreased to 10,515 trees in 2024. The net decrease of campus trees was 2,316, balanced with a disappearance of 4,227 trees and a recruitment of 1,911 trees. The total species richness in 2024 was 352 species, representing a loss of 35 species and an addition of 19 new species. The most abundant twenty tree species accounted for 56.9% of the total trees, and *Ficus microcarpa*, *Liquidambar formosana*, and *Juniperus chinensis* were the most common tree species. The new survey also found that the surviving campus trees continued to grow. The average DBH increased by 6.4 cm, from 24.2 cm in 2012 to 30.6 cm in 2024, and the average tree height increased by 2.5 meters, from 7.6 m to 10.1 m. The growth of tree size would enhance biomass carbon sequestration on campus. The total carbon storage of trees on the main campus was 4,271.5 tons in 2012 and increased to 5,521.8 tons in 2024. The net increase was 1,250.3 tons, balanced with an increment of 2,111.7 tons from the survived trees, a loss of 1,201.3 tons from the disappeared trees, and an extra gain of 339.9 tons from the recruited trees. The annual carbon sequestration rate at NTU main campus is thus 104.2 tons C per year. The result indicates that the campus trees at NTU main campus are in a state of net carbon sequestration, which positively contributes to achieving the goal of carbon neutrality.

**Key words:** carbon storage, carbon sequestration, urban green space, sustainability

## 7. 結論

藉由教學、理論與實作課程的結合，本教學實踐計畫讓學生獲得多方面效益，包括：

1. 實際樹木調查經驗(hands-on experiences)，並以此調查結果作為學士與碩士論文的研究題目、或是學術研討會的參與。
2. 了解十年間校園樹木之生長與死亡概況，計算校園樹木碳儲存量與碳匯量(碳吸存量)。
3. 進行臺大樹語網站之前台與後台的管理與更新。

同樣地，在計畫教學成果上，我們除了讓學生實際參與外，亦包括以下的教學與永續校園管理成效：

1. 學生參與總時數遠超過 1,500 小時(包括打工時數)。
2. 已有研討會口頭論文發表，”NTU-京都大學雙邊研討會”。
3. 學生具備樹木調查、網站管理經驗與熟悉 i-Tree 軟體操作。
4. 對校方永續辦公室、總務處、校規小組等單位，這些單位了解臺大校園樹木數量呈現減少，但碳吸存量增加趨勢，每年校園樹木碳匯量  $104.2 \text{ ton C yr}^{-1}$ ，數值超過國外大學數據。
5. 調查結果亦協助校方更有效率地進行校園樹木管理，現今校園樹木作為財務管理處之護樹捐贈計畫(<https://ntufinance.wixsite.com/ntutree>)，提供校方額外經費以保護照顧綠色資產，而捐贈者可將姓名與一小段話語放在樹牌當中，供表揚紀念。更新後的樹語網站，讓捐贈者可即時了解樹木生長狀況。

## 二、參考文獻 (References)

- 中央通訊社。2023。種樹 vs 種電 6 / 大安森林公園能吸多少碳 學界倡議培養氣候公民科學家。 <https://www.cna.com.tw/news/ahel/202306190019.aspx>
- 玉山銀行。2022。影響力獲 RE100 肯定玉山金控再創淨零新里程。中時新聞網。 <https://www.esunbank.com.tw/news>。
- 林郁庭。2022。都市樹木之固碳能力推估—以台北市大安森林公園為例。碩士論文。臺灣大學森林環境暨資源學系。
- 林筌翰、陳秋萍、鄭智馨。2022。台灣北部柳杉人工林之生長評估。中華林學季刊。55:103-122。
- 路統信。1963。臺灣大學校園之樹木。科學農業。11:268-275。322-320。
- 路統信。1964。臺灣大學校園之樹木(續)。科學農業。12:78-86。
- 張青森。2008。臺大自然美: 臺大校園植物導覽手冊。臺灣大學出版中心。台北。
- 國家發展委員會。2022。臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明。國家發展委員會。 <https://www.ndc.gov.tw>
- 農業委員會。2022。臺灣 2050 淨零轉型自然碳匯關鍵戰略行動計畫。農業委員會。 <https://www.coa.gov.tw>
- 臺大樹語。2023。臺灣大學樹語網站。  
<https://map.ntu.edu.tw/ntutree/#RwdApp.NtuTreeMapActivity> Access on Dec 11 2023。
- 劉知妤、王兆桓。2008。以林齡-蓄積量模式估算柳杉及檜木人工林的碳吸存量。宜蘭大學生物資源學刊。4:35-45。
- 劉儒淵。1974。臺灣大學校園之植物。森林。8:46-72。
- 鄭智馨、洪志祐、黃于軒、李俊佑、陳秋萍、白創文。2014。溪頭台灣杉人工林之林分特性與發展。中華林學季刊。47:155-168。

4 per 1000 Initiative. 2023. The International “4 per 1000” Initiative: soil for food and climate. Montpellier, France. <https://4p1000.org>.

Al-Ismaily, S., A. Al-Mayhai, H. Al-Busaidi, A. Kachimov, D. Blackburn, A. Al-Maktoumi, and B. Al-Siyabi. 2021. Soil skills challenge: a problem-based field competition towards active learning for BCs. Geoscience students. *Geoderma* 385:1149903.

Amador, J.A., and J.H. Görres. 2004. A problem-based learning approach to teaching introductory soil science. *Journal of Natural Resources and Life Sciences Education* 33:21–27.

Amador, J.A. 2019. Active learning approaches to teaching soil science at the college level. *Frontiers in Environmental Science* 7:111.

Andrews, S.E. and S.D. Frey. 2015. Studio structure improves student performance in an undergraduate introductory soil science course. *Natural Science Education* 44:60-68.

Baveye, P., A.R. Jacobson, S.E. Allaire, J.P. Tandarich, and R.B. Bryant. 2006. Whither goes soil science in the United States and Canada? *Soil Science* 171:501-518.

Bouma, J. 2014. Soil science contributions towards sustainable development goals and their implementation: linking soil functions with ecosystem services. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177:111-120.

Chave, J., M. Réjou-Méchain, A. Búrquez, E. Chidumayo, M.S. Colgan, and W.B. Delitti. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* 20:3177-3190.

Cheng, C.H., C.Y. Hung, C.P. Chen, and C.W. Pei. 2013. Biomass carbon accumulation in aging Japanese cedar plantations in Xitou, central Taiwan. *Botanical Studies* 54:60.

- Cheng, C.H., Y.S. Huang, O.V. Menyailo, and C.T. Chen. 2016. Stand development and aboveground biomass accumulation in cropland afforestation in Taiwan. *Taiwan Journal of Forest Science* 31:105-118.
- Cox, H.M. 2012. A sustainability initiative to quantify carbon sequestration by campus trees. *Journal of Geography* 111:173-183.
- De Villiers, C., S. Chen, C. Jin, and Y. Zhu. 2014. Carbon sequestered in the trees on a university campus: a case study. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*. 5:149-171.
- FAO. 2020. A protocol for measurement, monitoring, reporting and verification of soil organic carbon in agricultural landscapes- GSOC-MRV Protocol. Rome. Italy.  
<https://doi.org/10.4060/cbo509rn>
- FAO. 2021. Recarbonizing Global Soils. Volume 1 - Volume 6. Rome, Italy.  
<https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb6606en/>
- Field, D.J., D. Yates, A.J. Koppi, A.B. McBratney, and L. Jarrett. 2017. Farming a modern context of soil science learning and teaching. *Geoderma* 289:117-123.
- Fox, W., P. Dwivedi, R.C. Lowe III, S. Welch, and M. Fuller. 2020. Estimating carbon stock of live trees located on the main campus of the University of Georgia. *Journal of Forestry* 118:457-465.
- Griscom et al. (32 authors). 2017. Natural climate solutions. *Proceedings of National Academy of Science* 114:11645-11650.
- Havlin, J., N. Balster, S. Chapman, D. Ferris, T. Thompson, and T. Smith. 2010. Trends in soil science education and employment. *Soil Science Society of America Journal* 74:1429-1432.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES. Japan.

[https://www.researchgate.net/publication/259575269\\_IPCC\\_2006\\_Guidelines\\_for](https://www.researchgate.net/publication/259575269_IPCC_2006_Guidelines_for)  
r\_

Liu, J., M. Yu, K. Tomlinson, and J.W. Ferry Slik. 2017. Patterns and drivers of plant biodiversity in Chinese university campuses. *Landscape and Urban Planning* 164:64-70.

Nowak, D.J., E. Greenfield, R.E. Hoehn, and E. Lapoint. 2013. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*. 178:229-236.

Sharma, R., L. Pradhan, M. Kumari, and P. Bhattacharya. 2021. Assessment of carbon sequestration potential of tree species in Amity University Campus Noida. *Environmental Sciences Proceedings* 3:52.

Smith, H.B., N.E. Vaughan, and J. Forster. 2022. Long-term national climate strategies bet on forests and soils to reach net-zero. *Communications Earth & Environment* 3:305.

Vasilescu, R., C. Barna, M. Epure, and C. Baicu. 2010. Developing university social responsibility: a model for the challenges of the new civil society. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 2:4177-4182.

World Bank. 2021. Soil organic carbon MRV sourcebook for agricultural landscapes. World Bank, Washington DC. USA.

### 三、附件 (Appendix)

無