

國立臺灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系

博士論文



School of Forestry and Resource Conservation

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Doctoral Dissertation

臺北市都市樹木重要效益評估之研究

Study on the Important Urban Tree Benefits of Taipei City

詹為巽

Chan, Wei-Hsun

指導教授：邱祈榮 博士

Advisor: Chiou, Chyi-Rong, Ph.D.

中華民國 113 年 7 月

July, 2024



國立臺灣大學博士學位論文  
口試委員會審定書

DOCTORAL DISSERTATION ACCEPTANCE CERTIFICATE  
NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY

臺北市都市樹木重要效益評估之研究

Study on the Important Urban Tree Benefits of Taipei City

本論文係詹為巽 (D99625001) 在國立臺灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系完成之博士學位論文，於民國 113 年 6 月 24 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明。

The undersigned, appointed by the School of Forestry and Resource Conservation on 24 (date) June (month) 2024 (year) have examined a Doctoral Dissertation entitled above presented by WEI-HSUN CHAN (D99625001) candidate and hereby certify that it's worthy of acceptance.

口試委員 Oral examination committee:

邱新榮  
(指導教授 Advisor)

葉昭誠

王兆桓

林俊成

林裕仁

系 (所、學位學程) 主管 Director:

丁宗霖



## 摘要



都市中的樹木為重要的綠色資源，可以帶來多樣的生態系服務效益提升都市的環境品質，為了維持效益的提供並改善可能產生的問題。都市樹木需要進行妥善的管理維護，而了解居民對於都市樹木之效益與問題的感受，以及如何提升居民支持及參與保護都市樹木，是都市樹木管理之重要參考資訊，此外，透過準確量化評估都市樹木之生態系服務效益，亦可提供科學化之管理依據，然而國內相關研究仍付之闕如。因此本研究以臺北市為案例，首先透過問卷調查發現居民最重視都市樹木帶來之「碳吸存」效益，而對都市樹木產生的問題除「病蟲害問題」外均認為不嚴重；而根據延伸計畫行為理論模型(Extend TPB)結果，居民對都市樹木之「知覺有用性(PU)」與「知覺樹木效益(PTB)」之認知，會正向影響保護都市樹木之「態度(ATT)」與「行為意向(BI)」，因此未來可透過教育與推廣樹木之有用性以及生態系服務效益，提升居民對保護都市樹木的態度，以及支持與參與保護都市樹木的行為意向。此外，本研究針對居民較重視之「碳儲存及吸存」及「空氣污染移除」效益，應用 i-Tree Eco 完成量化計算，結果顯示臺北市碳儲存量最高之前三名樹種為榕樹 (*Ficus macrocarpa*)、白千層 (*Melaleuca leucadendra*) 與樟樹 (*Cinnamomum camphora*)，碳吸存量最高的樹種則為榕樹、樟樹以及茄苳 (*Bischofia javanica*)，空氣汙染移除量最高之前三名樹種為榕樹、樟樹及白千層，各項效益量化結果可作為不同區域與管理措施效果參考。最後，為瞭解 i-Tree Eco 是否適用於臺北市樹木效益量化分析，本研究建立茄苳、樟樹與楓香 (*Liquidambar formosana*) 之材積式與胸徑生長率式，完成碳儲存及吸存量本土化評估，結果發現以 i-Tree Eco 估算臺北市樹木之碳儲存及吸存量有高估的可能，建議 i-Tree Eco 之分析結果僅作為相對比較使用，為準確估算碳儲存及吸存量應建立各都市樹種之本土化模式。

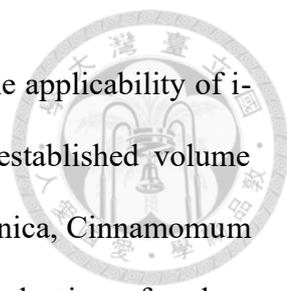
關鍵詞：都市樹木，生態系服務，行為意向，i-Tree Eco，材積式、碳儲存，碳吸存



## Abstract



Urban trees are significant green resources that enhance the environmental quality of cities and provide diverse benefits to residents. To maintain these benefits and address potential problems, urban trees require proper management and maintenance. Understanding residents' perceptions of the benefits and problems associated with urban trees, as well as how to increase their support and participation in urban tree protection, is crucial for urban tree management. Furthermore, accurately quantifying the ecosystem services provided by urban trees can offer scientific references for management. However, related research in Taiwan is still lacking. Thus, this study takes Taipei City as a case study. Through a questionnaire survey, it was found that residents prioritize the "carbon sequestration" benefits of urban trees and do not perceive most of the problems caused by urban trees, except for "pest and disease issues". Based on the Extended Theory of Planned Behavior (Extend TPB) model, residents' perceptions of the "perceived usefulness (PU)" and "perceived tree benefits (PTB)" of urban trees positively influence their "attitude (ATT)" and "behavioral intention (BI)" towards protecting urban trees. Therefore, future efforts could focus on education and promotion of the usefulness and ecosystem service benefits of trees to enhance residents' attitudes and behavioral intentions towards supporting and participating in urban tree protection. Additionally, this study applied the i-Tree Eco to quantify the benefits that residents value most, such as "carbon storage and sequestration" and "air pollution removal." The results indicate that the top three tree species in Taipei City for carbon storage are *Ficus macrocarpa*, *Melaleuca leucadendra*, and *Cinnamomum camphora*, while the top species for carbon sequestration are *Ficus macrocarpa*, *Cinnamomum camphora*, and *Bischofia javanica*. For air pollution removal, the top three species are *Ficus macrocarpa*, *Cinnamomum camphora*, and *Melaleuca leucadendra*. These quantified benefits can serve as references



for different regions and management measures. Finally, to assess the applicability of i-Tree Eco for quantifying tree benefits in Taipei City, this study established volume equations and DBH relative growth rate equations for *Bischofia javanica*, *Cinnamomum camphora*, and *Liquidambar formosana*, completing a localized evaluation of carbon storage and sequestration. The results suggest that i-Tree Eco may overestimate the carbon storage and sequestration of trees in Taipei City. Therefore, it is recommended that the results from i-Tree Eco be used only for relative comparisons, and that localized models for various urban tree species be established for accurate carbon storage and sequestration estimates.

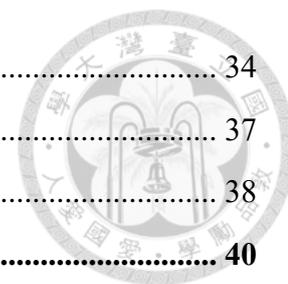
Key words: urban trees, ecosystem services, behavioral intention, volume equations, i-Tree Eco, carbon storage, carbon sequestration

# 目次



|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| 口試委員會審訂書 .....               | i         |
| 摘要 .....                     | ii        |
| Abstract .....               | iii       |
| <b>第一章 前言 .....</b>          | <b>1</b>  |
| 1.1 研究動機與背景 .....            | 1         |
| 1.2 研究目的 .....               | 4         |
| <b>第二章 文獻回顧 .....</b>        | <b>6</b>  |
| 2.1 居民對都市樹木認知 .....          | 6         |
| 2.1.1 都市樹木的效益與問題 .....       | 6         |
| 2.1.2 居民對樹木效益與問題看法 .....     | 6         |
| 2.1.3 保護樹木行為意向 .....         | 8         |
| 2.2 都市樹木生態系服務效益量化評估 .....    | 10        |
| 2.2.1 i-Tree Eco 評估流程 .....  | 10        |
| 2.2.2 應用 i-Tree 評估案例 .....   | 13        |
| 2.3 都市樹木碳儲存及吸存效益 .....       | 15        |
| 2.3.1 樹木碳儲存及吸存量評估方法 .....    | 15        |
| 2.3.2 都市樹木碳儲存及吸存計算相關研究 ..... | 17        |
| <b>第三章 研究方法 .....</b>        | <b>19</b> |
| 3.1 都市樹木認知與保護行為意向調查 .....    | 20        |
| 3.1.1 研究理論模型架構與假設 .....      | 20        |
| 3.1.2 問卷設計 .....             | 25        |
| 3.1.3 調查對象與方法 .....          | 27        |
| 3.1.4 資料分析 .....             | 27        |
| 3.2 都市樹木生態系服務效益量化評估 .....    | 30        |
| 3.2.1 分析資料 .....             | 30        |
| 3.2.2 分析方法 .....             | 31        |
| 3.3 都市樹木碳儲存及吸存效益本土化評估 .....  | 33        |
| 3.3.1 調查抽樣方法 .....           | 33        |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 3.3.2 材積調查 .....                | 34         |
| 3.3.3 胸徑生長量調查 .....             | 37         |
| 3.3.4 碳儲存及吸存量計算 .....           | 38         |
| <b>第四章 結果與討論 .....</b>          | <b>40</b>  |
| 4.1 都市樹木認知與保護行為意向調查.....        | 40         |
| 4.1.1 受訪者基本資料 .....             | 41         |
| 4.1.2 接觸都市樹木之特性 .....           | 42         |
| 4.1.3 臺北市居民都市樹木效益與問題認知 .....    | 44         |
| 4.1.4 保護都市樹木行為意向 .....          | 52         |
| 4.2 都市樹木生態系服務效益量化評估.....        | 59         |
| 4.2.1 碳儲存及吸存 .....              | 59         |
| 4.2.2 空氣汙染移除 .....              | 61         |
| 4.2.3 i-Tree Eco 於臺灣應用之限制 ..... | 62         |
| 4.3 都市樹木碳儲存及吸存效益本土化評估.....      | 63         |
| 4.3.1 材積調查 .....                | 63         |
| 4.3.2 胸徑生長量調查 .....             | 70         |
| 4.3.3 碳儲存及吸存計算 .....            | 73         |
| <b>第五章 結論與建議 .....</b>          | <b>78</b>  |
| 5.1 結論.....                     | 78         |
| 5.2 研究限制.....                   | 79         |
| 5.3 未來研究建議.....                 | 80         |
| <b>參考文獻 .....</b>               | <b>81</b>  |
| <b>附錄 .....</b>                 | <b>100</b> |



## 圖次



|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 圖 1.1 本研究目的架構圖 .....                                                    | 5  |
| 圖 2.1 i-Tree Eco 系統運作概念 .....                                           | 11 |
| 圖 3.1 本研究各項調查與評估方法流程 .....                                              | 19 |
| 圖 3.2 本研究之延伸計畫行為理論(Extend TPB)假設模型 .....                                | 24 |
| 圖 3.3 i-Tree Eco 分析流程 .....                                             | 31 |
| 圖 3.4 臺北市茄苳、樟樹及楓香之胸徑徑級分布 .....                                          | 34 |
| 圖 3.5 本研究運用 1.3m 之標示桿以進行測量位置確認 .....                                    | 37 |
| 圖 4.1 本研究模型路徑係數結果，虛線為路徑未達統計顯著水準 (** $p < 0.01$ ; *** $p < 0.001$ )..... | 55 |
| 圖 4.2 本研究 3 樹種各株樣木胸徑樹高分佈 .....                                          | 64 |
| 圖 4.3 本研究 3 樹種樣木胸徑與光達實測材積分佈 .....                                       | 65 |
| 圖 4.4 本研究調查臺北市茄苳、樟樹與楓香不同胸徑樣木之胸徑相對生長率分布 .....                            | 72 |



## 表次



|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 表 3.1 本研究問卷都市樹木效益與問題調查項目 .....                  | 26 |
| 表 3.2 臺北市數量前 10 重要路樹基本資訊 (臺北市府, 2020).....      | 31 |
| 表 3.3 本研究使用各項碳轉換係數匯整 .....                      | 39 |
| 表 4.1 受訪者基本資料與人口統計資料 .....                      | 41 |
| 表 4.2 受訪者接觸都市樹木之特性 .....                        | 42 |
| 表 4.3 受訪者前往公園綠地次數與步行所需時間交叉分析 .....              | 43 |
| 表 4.4 都市樹木效益重要性得分與因素分析結果 .....                  | 46 |
| 表 4.5 都市樹木問題嚴重性得分與因素分析結果 .....                  | 47 |
| 表 4.6 不同受訪者之社會屬性對於都市樹木效益與問題之平均數差異檢定 .....       | 51 |
| 表 4.7 測量模型(Measurement model)結果 .....           | 53 |
| 表 4.8 區別效度(Fornell-Larcker Criterion)分析結果 ..... | 54 |
| 表 4.9 結構模型各項係數分析結果 .....                        | 55 |
| 表 4.10 i-Tree Eco 計算臺北市 10 大樹種碳儲存及吸存效益結果 .....  | 60 |
| 表 4.11 i-Tree Eco 計算臺北市 10 大樹種空氣污然移除效益結果 .....  | 61 |
| 表 4.12 本研究 3 樹種光達測量結果 .....                     | 63 |
| 表 4.13 本研究 3 樹種單變數材積推估式結果 .....                 | 66 |
| 表 4.14 本研究 3 樹種雙變數材積推估式結果 .....                 | 66 |
| 表 4.15 本研究 3 樹種不同主幹推估結果比較 .....                 | 67 |
| 表 4.16 臺北市茄苳、樟樹與楓香樣木胸徑生長調查結果 .....              | 71 |
| 表 4.17 臺北市茄苳、樟樹與楓香樣木胸徑相對生長率結果 .....             | 71 |
| 表 4.18 臺北市茄苳、樟樹及楓香碳儲存量計算結果 .....                | 73 |
| 表 4.19 臺北市茄苳、樟樹及楓香之年碳吸存量計算結果 .....              | 75 |
| 表 4.20 臺北市不同徑級茄苳、樟樹及楓香碳吸存量計算結果 .....            | 77 |





# 第一章 前言

## 1.1 研究動機與背景

都市是包含了人類與自然的系統，雖然都市僅佔地球表面積之 2%，但居住於都市中人類卻使用了 75% 的自然資源(Pacione, 2009)，且世界各國目前仍快速都市化之中，預計至 2050 年全球生活在都市中的人口將達到 70%(Salbitano *et al.*, 2016)。也由於都市包含了自然環境，在高速的都市化發展的過程若沒有經過適當規劃，往往會造成都市自然生態系統遭到破壞，進而導致都市的環境品質降低(Alberti & Marzluff, 2004; Camacho-Cervantes *et al.*, 2014; Folke *et al.*, 1997; Gregg *et al.*, 2003)，因此在都市化發展的同時確保環境永續發展，對於都市民眾的生活品質至關重要，而各項永續發展策略中，透過種植或保護都市樹木等綠化作業為調適氣候變遷的主要策略之一(Lo *et al.*, 2017)，例如生長於都市中的樹木可以緩解部分因快速都市化而造成的環境問題 (Roy *et al.*, 2012)。

都市樹木是指生長在人類生活的都市或都市周邊地區的樹木，為都市中重要的綠色資源之一，包括生長在都市建築周邊、人行道、道路分隔島、公園以及空地等的樹木，通常只有單一樹幹以及明顯的樹冠，可以生長到相當高的高度並在離地面一定高度具有側枝(Nowak & Dwyer, 2007; Ponce-Donoso *et al.*, 2017; Roy *et al.*, 2012)。都市樹木可以帶來各種不同類型的生態系服務與效益，不僅美化了都市景觀，且對於調節都市各種環境衝擊有著重要的影響(Song *et al.*, 2018)，例如經過適宜管理的樹木具有改善都市空氣品質、減緩熱島效應、減少逕流與風沙，以及調適氣候變遷等功能(Nowak & Dwyer, 2007)，讓生活在都市中的人類更舒適與安全。

然而，都市樹木是需要進行維護管理作業而非任其自然生長，藉由妥善的維護可以維持或增加樹木帶來的效益，但如果未進行維護，樹木的效益則可能會下降，甚至會帶來各種問題(Miller & Sylvester, 1981)。係因都市樹木的存在並非完全正面的，已有許多研究指出樹木對都市居民生活環境會產生負面影響，以及對都市居民和管理者造成的財務、健康和維護管理負擔等問題(Dwyer *et al.*, 1992; Gorman, 2004;



Lohr *et al.*, 2004; Lyytimäki & Sipilä, 2009; Roy *et al.*, 2012)。因此，為能讓都市中的樹木帶給居民各項效益，並且減少各種可能造成的問題，都市樹木管理單位通常需要進行如樹木與其生長環境之管理、樹木普查、辦理推廣教育活動、訂定樹木和土地使用相關政策，以及編列各種工作計畫與預算等相關作業(Dwyer *et al.*, 1992)。

由於都市樹木與生活在都市中的居民息息相關，居民對於都市樹木普遍抱持正面的態度(Olivero-Lora *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2007)，也喜歡在生活的周遭有樹木等綠色植物資源，例如在都市的街道旁、居住的社區，以及生活的城市等(Dwyer *et al.*, 1991; Gorman, 2004; Hull, 1992; Lohr *et al.*, 2004)，但也認為樹木有必要進行維護和管理，以解決樹木存在所引起的問題(Jeong *et al.*, 2023)。

因此管理單位於規劃各種都市樹木維護管理活動時，藉由納入都市居民的認知作為參考資訊，將有助於各項管理規劃與提升管理效能，例如希望維持或加強民眾較重視之樹木效益，改善並減少認為較嚴重之問題，以考量種植適當的樹種與採用正確的樹木維護方法等，達到改善或提升環境品質的目標(Baur *et al.*, 2016; Camacho-Cervantes *et al.*, 2014; Gundersen & Frivold, 2008)。此外，透過了解居民對於都市樹木管理相關活動與政策的支持行為或支持意向，例如對參與相關活動或付出金錢的實際行為或支持意願等，也都有助於管理單位規劃與推動相關管理與保護行動(Coder 1996; Lohr *et al.*, 2004; Sommer *et al.* 1994)。

為了讓都市居民更容易認識與理解都市樹木所帶來的效益與重要性，透過將都市樹木所能帶來的重要生態效益以量化方式提供資訊，除了可以增加都市居民對生態效益的認知，提升居民對於管理單位進行各種都市樹木管理作業的認同感(Escobedo & Seitz, 2009)，也可以將各種效益量化結果作為相關規劃與決策之科學依據，提供證明管理預算的合理性和改善管理活動的重要資訊，以及作為民眾推廣教育資訊(Baur *et al.*, 2016; Graça *et al.*, 2018; Song *et al.*, 2018)。



目前已有例如美國林務署開發之 i-Tree Eco 等相關工具，可以進行都市樹木之生態系服務效益量化評估，讓居民能更容易理解都市樹木的重要性，例如都市樹木吸收與固定大氣中二氧化碳的碳儲存及吸存效益、攔截降雨避免造成地面衝擊的減少逕流效益，以及吸收空氣污染物質效益等(Nowak *et al.*, 2014; Russo *et al.*, 2014)，藉由各種工具協助有助於提升評估都市樹木效益的效率。

而在都市樹木可以提供的各種生態系服務效益中，樹木的碳儲存及吸存效益為廣受居民重視的效益之一，(Jim & Chen, 2006a; Lo *et al.*, 2017; Yeshitela, 2020) 此外，臺灣為因應 2050 淨零排放政策，各級政府與管理單位亦將樹木資源列為重要的路徑之一，例如臺北市政府於 2022 年通過了「臺北市淨零排放管理自治條例」，其中即明訂了推動樹木碳匯量化，以及有關提高樹木碳吸存功能等碳匯管理相關事項，因此了解都市樹木的碳儲存及吸存能力為管理上的重要資訊。

然而 i-Tree Eco 係以北美之樹木資訊開發，當應用於計算不同國家地區時有可能產生偏誤的情形，應針對當地發展合適之評估方法或參數(Aguaron & McPherson, 2012; McHale *et al.*, 2009)，國內亦有研究指出 i-Tree Eco 評估都市中樹木之碳儲存及吸存效益有高估的可能(林郁庭，2022)，此外，目前臺灣有關樹木碳儲存及吸存效益調查研究，主要為針對森林環境之樹木進行，但都市中的樹木生長環境以及種植特性與森林環境不同，例如微氣候環境、栽植密度以及養護頻率等，皆可能使樹木生長型態不同而產生碳儲存及吸存量之差異(Kramer & Kozlowski 1979; Rhoades & Stipes 1999)，因此為準確評估都市樹木之碳儲存量與碳吸存量仍有待進行本土化調整。



## 1.2 研究目的

根據前述有關都市樹木管理之研究背景，藉由了解居民對於都市樹木的認知，以及量化評估都市樹木之生態系服務效益，是都市樹木管理的重要參考資訊，然而臺灣目前相關研究仍付之闕如，因此本研究目的為以臺北市為例進行以下都市樹木相關之調查與評估。

首先，都市居民的意見是管理單位重要參考資訊，因此本研究藉由問卷調查，探討臺北市居民對於都市樹木效益與問題的看法，以及對於維護管理的支持意向等認知。完成居民認知調查後，本研究利用現有之都市樹木生態系服務效益評估工具，針對臺北市居民較重視之都市樹木生態系服務效益進行量化分析，除了讓各界更容易理解都市樹木的效益，也可以作為教育推廣與管理作業之科學依據。此外，由於都市樹木之碳儲存及吸存效益，為目前臺北市政府已納入重要政策規範應進行量化評估之效益項目，且相關研究指出利用 i-Tree Eco 進行估算有高估的可能，因此本研究另針對臺北市之樹木進行碳儲存及吸存量本土化估算，以提高評估結果的準確性和可信度。綜合上述，本研究之目的架構如圖 1.1，並整理各項目的內容如下：

1. 進行臺北市居民對都市樹木之認知調查，探討居民所重視之效益與問題項目，以及影響支持與參與保護都市樹木行為意向之因子。
2. 針對臺北市居民重視之都市樹木效益，運用現有之效益評估工具 i-Tree Eco 進行效益評估，以提供不同效益之量化資訊。
3. 針對都市樹木帶來之碳儲存及吸存效益，建構本土化之估算模式，以提供更準確之計算結果，並可作為未來臺灣都市樹木碳儲存及吸存效益評估之參考。

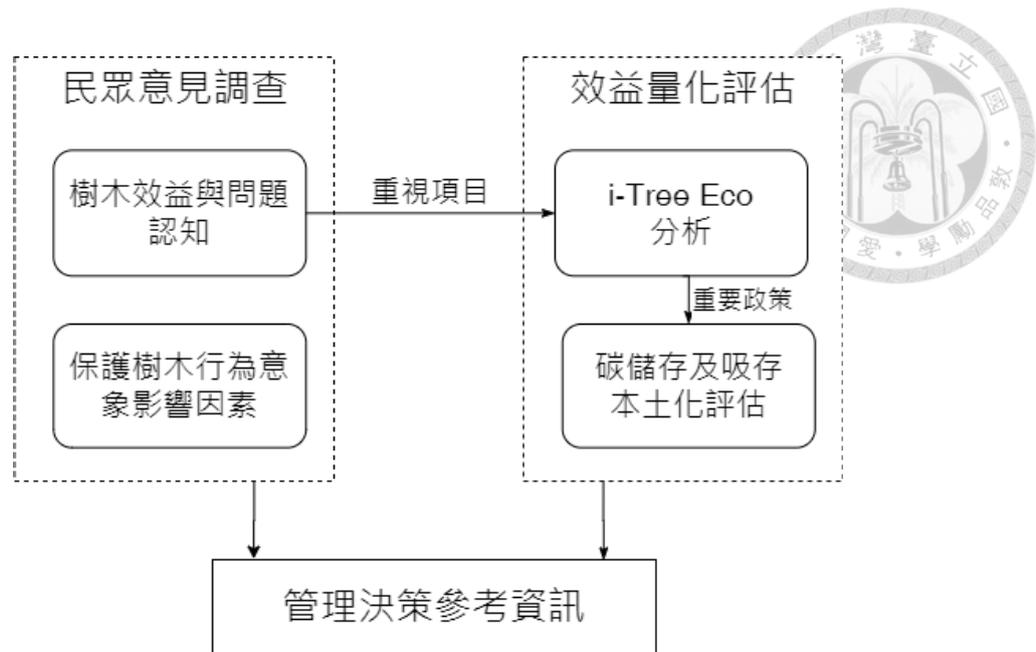


圖 1.1 本研究目的架構圖

本研究之貢獻為可提供臺北市居民對都市樹木的認知，以及都市樹木之生態系服務效益之科學量化資訊，作為管理單位制定都市樹木相關政策和管理措施的參考，亦可用於教育推廣都市樹木的重要性以及管理活動的必要性。此外，透過本土化方式以更準確地計算都市樹木的碳儲存及吸存量計算，可與應用 i-Tree Eco 完成之評估結果進行比較，將有助於管理單位推動低碳城市和擬定淨零排放策略。



## 第二章 文獻回顧

### 2.1 居民對都市樹木認知

#### 2.1.1 都市樹木的效益與問題

都市中的樹木可以提供多樣的生態系服務與效益，例如吸收二氧化碳並釋出氧氣(Cohen *et al.*, 2014; Jim & Chen, 2006a)、降低都市中的高溫與減少熱島效應(Tan *et al.*, 2016; Bowler *et al.*, 2010)、改善都市的空氣品質(Jim & Chen, 2008)、阻隔減緩噪音(Madureira *et al.*, 2015)、提供都市野生動物的棲息環境(Chiquet *et al.*, 2013)、具有教育意義以及休憩功能(Tu *et al.*, 2016; Yen *et al.*, 2017)、改善都市視覺環境(Seburanga *et al.*, 2014)以及提升不動產價值等(Jim & Chen, 2006b; Lin *et al.*, 2013)，讓居住於都市的民眾可以獲得多樣的效益，並改善都市中人工環境所產生的負面影響(Avolio *et al.*, 2015)。

然而都市樹木除了可提供民眾許多不同的效益外，同時卻也可能造成部分問題(Dwyer *et al.*, 1992; Grande-Ortiz *et al.*, 2012)，例如花粉等過敏原造成過敏(Lohr *et al.*, 2004)、枯枝落葉或落果等導致環境髒亂(Jim & Chen, 2006a; Schoreder *et al.*, 2006)或者樹木造成遮蔭等產生安全問題(Camacho-Cervantes *et al.*, 2014)。

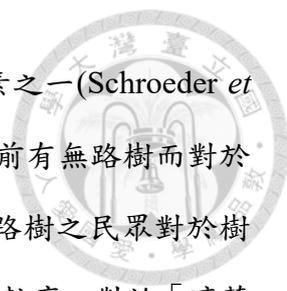
#### 2.1.2 居民對樹木效益與問題看法

都市樹木為改善都市環境的重要角色之一，在進行各種決策時納入民眾的意見是獲得支持的重要基礎，不但可以防止許多未來可能的問題，且可以主動地對其他問題進行處理，對都市樹木的規劃和管理具有直接的影響(Escobedo & Seitz, 2009; Olivero-Lora *et al.*, 2020)。也因此了解都市居民對於樹木的認知和偏好是管理單位改善都市生態的品質和效益的重要資訊(Camacho-Cervantes *et al.*, 2014; Dwyer *et al.* 1991; Goddard *et al.*, 2010; Jeong *et al.*, 2023)



根據過去針對都市民眾進行調查之相關研究，例如 Lohr *et al.* (2004)調查美國賓州華盛頓堡(Fort Washington, Pennsylvania)民眾對於都市樹木效益與問題之看法，結果顯示於 7 種效益項中以「遮蔭及降溫」、「使人感到放鬆」以及「淨化空氣」最受重視之項目，而「造成過敏」為民眾最為認同之問題項目。Jim & Chen (2006a)調查中國廣州地區民眾對於都市綠地與樹木提供之 25 項效益與 8 項問題之認知，結果顯示最重要的前 3 名樹木效益分別為「釋放氧氣」、「提升視覺環境」以及「減少噪音」等，而問題部份以「安全問題」為唯一得分達到認為嚴重的項目。Schoreder *et al.* (2006)針對美國與英國兩個社區，調查民眾對於都市樹木效益與問題認知，結果顯示 16 項效益中以「提升視覺」與「接近自然」為最受重視的項目，問題部分於 13 項中以「秋天落葉」以及「枯枝、種子掉落」屬認為較嚴重的項目。Camacho-Cervantes *et al.* (2014)針對墨西哥莫雷利亞(Morelia, Michoacán)以開放式問卷調查民眾認為樹木所帶來之效益與問題，並以「釋放氧氣」、「提供遮蔭」與「提升視覺環境」為回答率前 3 名之效益，問題部分回答率前 3 名為「造成髒亂」、「安全問題」與「造成遮蔭」。Avolio *et al.* (2015)調查美國加州伯本克(Burbank, California)民眾對於樹木效益之重要性認知，12 項效益之重要性得分均高於中間值，並以「美學價值」、「提供遮蔭」以及「淨化空氣」為得分前 3 名之重要效益。

從前述相關研究可以發現，都市樹木之效益與問題之項目眾多，不同地區與文化特性之民眾所重視的項目也有所差異，例如樹木可提供遮蔭的功能，為位處氣候溫暖的地區提供降溫的效果，因此民眾對樹木的遮蔭普遍有正面的評價(Jim & Chen, 2006a)，但在英國等平均日照較少的地區，都市樹木產生的遮蔭效果卻被認為問題而非效益(Schroeder *et al.*, 2006)。或者如沙漠地區的居民相比於擁有豐富天然森林地區的居民，不太可能會認為樹木在他們的城市中很重要(Avolio *et al.*, 2015)。

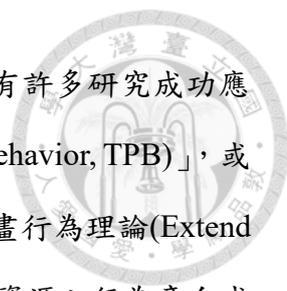


此外，民眾接觸到樹木之機會亦是影響其認知的重要因素之一(Schroeder *et al.*, 2006)，例如 Gorman (2004)對美國賓州民眾是否會因住家前有無路樹而對於樹木效益與問題的看法有所差異進行調查，結果於住家前有路樹之民眾對於樹木「提供遮蔭」與「提升視覺環境」等效益項目認同程度顯著較高，對於「遮蔽視線」以及「損壞人行道」等問題項目之嚴重程度感受亦顯著較高。

### 2.1.3 保護樹木行為意向

都市樹木要能夠持續且穩定提供人類各種效益，是需要擁有良好的保護以維持其健康才能達成(Dwyer *et al.*, 1992; Roy *et al.*, 2012; Zhao *et al.*, 2018)，也因此都市樹木管理單位必須投入經費及人力等資源，進行各種都市樹木保護相關工作。此外，由於都市樹木生長的地點為民眾日常生活很容易接觸到的區域，民眾的認知以及支持與否是影響管理單位各種樹木保護工作是否能順利進行的重要資訊(Gorman, 2004; Schroeder *et al.*, 2006)，因此藉由了解都市民眾對於保護都市樹木的態度、意向或實際行動等，將有助於管理單位執行都市樹木相關保護工作(Dwyer *et al.*, 1991; Zhao *et al.*, 2018)。

都市樹木所生長的範圍是民眾日常生活密切接觸的區域，當建築及人口密度越高的地區樹木與民眾也更為接近，當一個地區擁有良好規劃與維護的樹木除了可以讓民眾有更佳的接觸經驗外，更可以提升其吸引力(Dwyer *et al.*, 1992)，例如北美地區多數民眾在選擇住宅區和社區時希望能欣賞樹木(Ostoic *et al.*, 2017; Nesbitt *et al.*, 2017)，民眾對於都市樹木的效益重要性認知會影響其協助維護、管理及保護樹木之意願與行為，以及對於各種和都市樹木有關的活動支持度(Ostoic *et al.*, 2017; Nesbitt *et al.*, 2017)，當民眾對於都市樹木所帶來之效益認知越強，其參與相關活動的意願也越高(Coder, 1996; Dwyer *et al.*, 2002; Lohr *et al.*, 2004)



有關保護都市樹木等環境資源之相關研究部分，目前已有許多研究成功應用 Ajzen (1991) 所發展之「計畫行為理論(Theory of Planned Behavior, TPB)」，或以「計畫行為理論(TPB)」模型額外加入其他構念之「延伸計畫行為理論(Extend Theory of Planned Behavior, Extend TPB)」，分析各種保護環境資源之行為意向或行為，其中行為部分由於各種環境資源之實際保護工作，多數並非沒有相關專業能力之民眾可以參與進行，因此相關研究多透過對於資源保護計畫之支持或參與意向、支付相關保護費用之意向或是願付金額(WTP)等進行調查。例如民眾保護水資源願意支付之費用(Cooper *et al.*, 2004)，支付保護都市森林的遊憩效益費用之行為意向(Bernath & Roschewitz, 2008)，民眾保護都市綠地願意支付的費用(WTP) (Lo & Jim, 2010; López-Mosquera *et al.*, 2014)，對於保護都市樹木相關計畫(urban trees programs)的支持意向(Zhao *et al.*, 2018)，對於集水區森林保護倡議(protection initiatives)參與意向(Empidi & Emang, 2021)等。根據這些有關保護環境資源之研究，對於保護環境資源具有正面「態度 (Attitude, ATT)」的人，認為家庭和同伴支持的「主觀規範 (subjective norm, SN)」，以及相信自己有能力參與的「知覺行為控制 (perceived behavioral control, PBC)」，會具有更強的保護「行為意向 (behavior intention, BI)」或實際行為。



## 2.2 都市樹木生態系服務效益量化評估

都市樹木可帶來多元的生態系服務，而各種生態系服務民眾較難直接理解其效益，因此透過將各種效益以量化或貨幣化方式評估，可以提供明確的量化資訊，可以讓民眾更容易理解這些效益對人類的重要性，進而提高對環境的保護意識以及對於管理的支持。而有關都市樹木生態系服務評估部分，目前已有相關工具可用於進行都市樹木之生態系服務量化評估，例如 CTCC (CUFR Tree Carbon Calculator)、i-Tree Eco 以及 UFORE (Urban Forest Effects Model) 等，讓使用者可針對所感興趣的都市樹木進行如碳儲存及吸存、減少逕流以及淨化空氣等不同效益計算。

其中 i-Tree Eco 是由美國林務署(U.S. Forest Service)於 2006 年所開發，目的係針對都市林生態系服務效益進行評估與管理，為廣泛受到使用的工具之一，目前已有超過 50 個國家曾應用於評估當地的都市樹木效益，也是常被相關研究應用於都市樹木效益評估之工具(Aguaron & McPherson, 2012; Russo *et al.*, 2014; Rogers *et al.*, 2015; Seed Consulting Services, 2016; Steenberg *et al.*, 2023)，下列針對 i-Tree Eco 進行評估之流程，以及可評估之生態系服務種類與原理等進行說明。

### 2.2.1 i-Tree Eco 評估流程

i-Tree Eco 的運作流程如圖 2.1，其分析基本假設為樹木的功能與價值會受到型態結構影響，因此首先藉由分析目標都市樹木之結構與組成，再以各種樹木結構資訊進行各種效益評估。首先由使用者輸入藉由樹木普查或樣區調查取得之樹木基本資訊，蒐集如樹種、株數、胸徑與樹高等可直接測量的樹木結構屬性資料，再藉由包含了各種轉換模型的物種資料庫，推算如葉面積與生物量等其他不易直接測量的結構屬性，再結合目標分析地區之空氣污染與降雨量等環境資料後，經過系統之模型完成樹木可提供之生態系服務效益數量與價值計算(Nowak, 2021)。

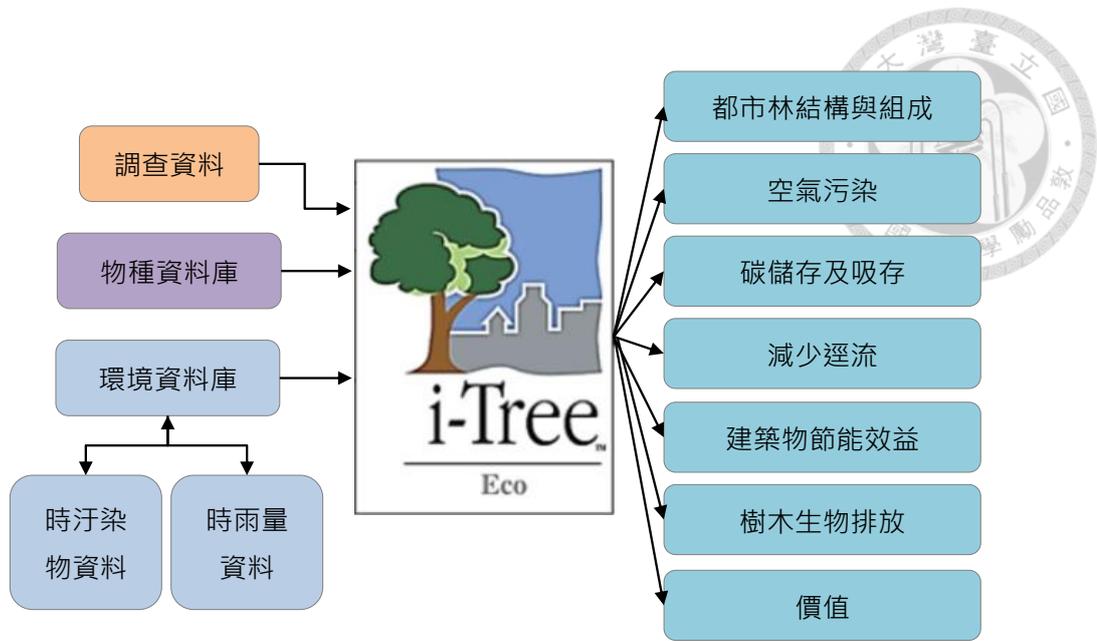


圖 2.1 i-Tree Eco 系統運作概念

而 i-Tree Eco 可評估空氣汙染移除、碳儲存及吸存、減少逕流、建築物節能效益及樹木生物排放等 5 項都市樹木之生態系服務效益，其中又以碳儲存及吸存、減少逕流以及空氣汙染移除為較常被探討的效益項目，因此下列針對此 3 項效益之模型原理進行說明。

### 2.2.1.1 碳儲存及吸存

因人類工業化發展使大氣中二氧化碳等溫室氣體濃度增加，是導致全球暖化的原因之一，而樹木透過光合作用將二氧化碳轉化為其生物量並儲存於樹幹、枝葉及根部等，有助於減緩因二氧化碳濃度上升造成的氣候變遷(Cohen *et al.*, 2014; Nowak & Crane, 2002)，樹木對於吸收大氣中二氧化碳的效益又可分為 2 大部分，包括已固定於樹木體內的碳儲存效益，以及隨著時間因持續光合作用吸收大氣中二氧化碳的碳吸存效益。i-Tree Eco 之碳儲存及吸存模組可分別計算樹木之碳儲存量以及碳吸存量，其中碳儲存量是依據使用者輸入之樹種、胸徑與樹高等樹木資料，完成各株樹木的全株生物量推估，再乘上碳含量 0.5 得到樹木的碳儲存量。而碳吸存量是依據不同樹種生長速率，以年生



長量 0.58 cm、0.84 cm 或 1.09 cm，依各地無霜期日數按比例計算年生長量 (Fleming, 1988; Frelich, 1992; Nowak, 1994)，計算預估生長後之碳儲存量，再與原碳儲存量相減即為樹木之年碳吸存量。最後將碳儲存及吸存量轉換為二氧化碳量後，乘上每公噸二氧化碳價格約 51.23 美元，計算都市樹木帶來之碳儲存及吸存價值(Nowak, 2021)。

### 2.2.1.2 減少逕流

在發生降雨事件的期間，一部分的降雨會被樹木之葉片、枝條與樹冠等截取，而另一部分則流向地面，當水量大於下方的土壤入滲速度時，未滲入土壤的降雨即成為地表徑流。而都市地區的地表徑流可能會將各種污染物排入溝渠、溪流、濕地和海洋等(Hirabayashi, 2012)，因此了解樹木對於減少逕流的效果可以提供管理單位相關參考資訊。而都市樹木減少逕流效益的主要影響因素部分，首先為降雨事件的時間以及強度，當越集中且高強度之降雨穿落至地面的雨水越多，再來為樹木本身之特性，例如葉片屬於針葉或闊葉樹種、生活型為常綠或落葉樹種、樹木的大小、葉面積等樹木結構。藉由上述各項因子，經本模組計算各樹木樹冠可攔截的雨水、地表可儲存之水量以及蒸散作用散失的水量等，進行推估當有樹木覆蓋時地表之逕流量，以及若沒有樹木覆蓋時之逕流量，最後兩者之差值即為樹木可帶來的減少逕流總量(Hirabayashi, 2013; Hirabayashi, 2015)。最後再以控制洪水之平均成本每加侖 0.008936 美元換算為減少逕流價值(Nowak, 2021)。

### 2.2.1.3 空氣汙染移除

都市地區普遍存在著空氣汙染物的問題，各種空氣汙染物可能導致能見度降低、對人類健康不利，損害建築或景觀材料以及生態系統等問題，而都市樹木具有直接清除空氣中的汙染物，以及調節都市氣溫進而減少能源消耗，從而減少能源來源排放的空氣汙染物的功能(Nowak & Dwyer, 2000)。都市樹木可以直接移除空氣中的汙染物質包含如臭氧(O<sub>3</sub>)、一氧化碳(CO)、二氧化氮(NO<sub>2</sub>)以及二



氧化硫(SO<sub>2</sub>)等，或吸收攔截空氣中的懸浮微粒如 PM<sub>10</sub> 以及 PM<sub>2.5</sub>，以改善都市中的空氣品質(Nowak *et al.*, 2018)。而本模型是透過不同樹木之葉面積等特性，結合分析地區之降雨量以及各項空氣汙染物質數量資料，再依據各樹木對於不同空氣汙染物質的吸收與乾沉降量，計算各株樹木於非降雨之時段所攔截空氣中汙染物質之數量，再依不同空氣汙染物質之外部價格，或以與汙染物質相關之健康因素發生之次數與金額，如特定不良健康事件相關醫療費用與生產力損失等計算空氣汙染移除效益的價值。

### 2.2.2 應用 i-Tree 評估案例

英國倫敦地區曾於 2014 年使用 i-Tree Eco，進行樹木之生態系服務效益以及價值計算。經過抽樣調查 721 個樣區，推算倫敦地區都市樹木密度約為每公頃 53 株，於 15.9 萬公頃之面積中共約有 842 萬株樹木。再以 i-Tree Eco 評估倫敦地區 4 項重要生態系服務效益總價值共約 2.85 億英鎊，其中價值最高的為碳儲存及吸存效益，倫敦之都市樹木共儲存約 236.7 萬公噸二氧化碳，同時每年可吸存約 7.7 萬公噸二氧化碳，換算價值共 1.47 億英鎊，其次為空氣汙染移除效益價值約 1.26 億英鎊、減少逕流效益價值約 0.12 億英鎊，以及建築物節能效益約 30 萬英鎊(Rogers *et al.*, 2015)。

澳洲南部 Unley 市於 2015 年使用 i-Tree Eco 進行都市中樹木之生態系服務效益以及價值計算，最終完成評估 18 樹種共 15,660 株路樹之 3 項效益價值約 8.3 萬美元，其中價值最高的為碳儲存及吸存效益，共儲存約 11,003 公噸二氧化碳，及每年可吸存約 609 公噸二氧化碳，總計價值約 7.3 萬美元，其次減少逕流效益價值約 9,214 美元，最後為空氣汙染移除效益價值約 1,047 美元(Seed Consulting Services, 2016)。



牛津大學運用 i-Tree Eco 進行牛津地區之都市樹木生態系服務效益以及價值計算，透過調查區域內 201 個 0.04 公頃樣區，推算牛津地區之都市樹木共有約 24.8 萬株，經計算 3 項重要生態系服務效益價值約 2,132 萬英鎊，其中價值最高的為碳儲存及吸存效益，共儲存約 28 萬公噸二氧化碳，及每年可吸存約 9,240 公噸二氧化碳，總計價值約 1,942 萬英鎊，其次為空氣汙染移除效益價值約 178 萬英鎊以及減少逕流效益價值約 12 萬英鎊(Oxford City Council, 2021)。



## 2.3 都市樹木碳儲存及吸存效益

### 2.3.1 樹木碳儲存及吸存量評估方法

#### 2.3.1.1 碳儲存及吸存計算公式

為計算樹木已固定於樹幹等生物體內之碳儲存量，以及透過光合作用於一段時間內之碳吸存量，目前主要根據 IPCC (2006)建議之樹木碳轉換公式進行計算，首先於進行樹木之碳儲存量計算時，係透過樹木之主幹材積( $V_{\text{trunk}}$ )計算碳儲存量( $C_{\text{tree}}$ )如式(1)，而碳吸存量( $\Delta C_{\text{tree}}$ )部分則可透過兩種方法進行計算，分別為「儲存量變化法」以及「增減法」，其中「儲存量變化法」是透過計算2個不同期間，所有樹木之碳儲存量變化如式(2)，而「增減法」則是透過計算一定期間之主幹材積生長量( $\Delta V_{\text{trunk}}$ )計算碳吸存量( $\Delta C_{\text{tree}}$ )如式(3)。

將前述主幹材積( $V_{\text{trunk}}$ )或主幹材積生長量( $\Delta V_{\text{trunk}}$ )，乘上各種轉換係數即可換算為碳量，係數項目包括透過「基礎木材密度(basic wood density, BD)」將材積換算為「主幹生物量」，再利用「生物量擴展係數(biomass expansion factor, BEF)」將「主幹生物量」轉換為包含枝條與樹葉之「地上部生物量」，並以「根莖比(root shoot ratio, R)」再將「地上部生物量」推估至「全株生物量」，最後「全株生物量」乘「碳含量(carbon fraction, CF)」，即可將材積轉換為樹木之碳儲存量或碳吸存量。

$$C_{\text{tree}} = V_{\text{trunk}} \times \text{BD} \times \text{BEF} \times (1+R) \times \text{CF} \quad (1)$$

$$\Delta C_{\text{tree}} = C_{\text{tree}(T2)} - C_{\text{tree}(T1)} \quad (2)$$

$$\Delta C_{\text{tree}} = \Delta V_{\text{trunk}} \times \text{BD} \times \text{BEF} \times (1+R) \times \text{CF} \quad (3)$$

註： $C_{\text{tree}}$  為碳儲存量， $\Delta C_{\text{tree}}$  為碳吸存量， $V_{\text{trunk}}$  為主幹材積， $\Delta V_{\text{trunk}}$  為主幹材積生長量，BD 為基礎木材密度，BEF 為生物量擴展係數，R 為根莖比，CF 為碳含量

#### 2.3.1.2 樹木材積式

根據前述有關樹木之碳儲存計算公式，計算時首先需要樹木之材積資訊，一般進行樹木材積估算時，係透過調查樹木之胸高直徑(diameter at breast



height, DBH)等基本型態資訊後，利用材積式(allometric models)推估樹木之材積，再以材積為基礎進行碳儲存量估算。由於樹木主要之碳儲存集中於地上部樹幹(Keeling & Phillips, 2007 ; Fang *et al.*, 2001)，材積之估算是否準確為影響最終估算結果的重要因素(Yoon *et al.*, 2013)。

然而過去樹木材積式多為估算林業生產量使用，因此係以森林環境之樹木建立，但森林環境與都市環境之樹木生長型態有所差異，利用森林環境所建立的材積推估式並不能準確的呈現都市樹木生長情況(McHale *et al.*, 2009; Aguaron & McPherson, 2012)，於估算都市樹木之材積時如直接引用森林環境建立之材積式，將導致結果產生偏誤(McPherson & Simpson, 1999; Pataki *et al.*, 2006)。Nowak (1994)曾指出運用森林環境之材積式估算都市樹木材積有高估之可能性，故應將估計值乘上 0.8 之校正參數。然而因各樹種特性不同，以校正參數進行計算可能無法適用於所有樹種(Yoon *et al.*, 2013)。因此，為能準確估算都市樹木之材積，應針對生長於都市環境之樹木建立材積式，且針對各不同地區建立之材積式亦可獲得較通用性模式準確之結果。

目前國際上已有針對都市樹木進行調查並建立都市環境之樹木材積式，再進行碳儲存量估算作業之相關研究，如 Nowak & Crane (2002)估算全美國都市樹木碳儲存量，Soares *et al.* (2011)估算葡萄牙首都里斯本(Lisbon, Portugal)之都市路樹效益，以及 Aguaron & McPherson (2012)估算美國加州沙加緬度(Sacramento) 郡之都市林碳儲存等。國內亦有相關研究進行平地或都市樹木之碳儲存推估研究，然而因缺乏針對生長於都市環境樹木建立之材積式，相關研究估算時係利用以國內森林環境建立之材積式(廖宜緯等，2011)，或以林務局(1997)之通用材積式進行材積推估(王義仲等，2016、Wang *et al.*, 2013)，因此，應建立適用國內都市環境樹木之材積式以提升估算準確性。



### 2.3.2 都市樹木碳儲存及吸存計算相關研究

有關都市樹木或都市林之碳儲存或碳吸存效益，目前已有相關研究以不同空間尺度進行探討，例如國家層級或城市層級之整體碳儲存及吸存能力之大尺度研究，其次為探討都市中公園或綠地等之中尺度研究，最後則是針對單一或特定樹種進行調查之小尺度研究。

首先國家層級或城市層級等大尺度研究部分，Myeong *et al.* (2006)以美國紐約州 Syracuse 市為例，運用衛星影像以及建立地面調查估算之碳儲存結果，建立 NDVI 與碳儲存之關係式，以不同年度衛星影像比較碳儲存量變化，以 1999 年地面樣區碳儲存資料與 NDVI 建立迴歸式，評估不同年度之碳儲存量。Steenberg *et al.* (2023)針對加拿大全國都市林，運用正射影像與衛星影像計算樹冠覆蓋面積後，再建立不同地區地面調查資料，使用 i-Tree 估算加拿大全國都市林碳儲存與碳吸存，最後以各地區樹冠覆蓋面積換算完成加拿大全國都市林碳儲存與碳吸存估算。Aguaron & McPherson (2012)針對美國加州 Sacramento 郡，以樣區調查資料應用四種不同模式推估都市林碳儲存，包含 i-Tree Eco、i-Tree Streets、CUFR Tree Carbon Calculator (CTCC)與 Urban General Equations (UGEs)，碳儲存結果以 i-Tree Eco 最低，可能與其使用森林環境推樹木材積估式有關，此外 i-Tree Eco 計算之碳吸存亦相對較低則與本模式考慮了樹冠狀態與存活率有關。Nowak & Crane (2002)以美國全國都市林為對象，透過樣區調查都市林結構組成，並使用過去已建立之生物量推估式與固定根莖比計算生物量，以及不同條件下之生長量與枯死量等，利用美國林務署樹木資料庫與 UFORE 模型，計算各城市之都市林碳儲存能力。

屬於都市公園綠地等中尺度研究部分，Brilli *et al.* (2019) 針對義大利 Florence 之都市公園中約 8600 株樹木，利用空載光達建立樹冠高度模型(CHM)，與地面資料結合建立地表材積關係式後，利用二時期之空載光達資料據以比較不同時期之碳儲存變化。Wang *et al.* (2013)則是以台灣 5 個公園為例，透過設置地面樣區調查後，將調查樹木資料透過材積式計算材積後，再以相關之文獻之密度、生物量擴展



係數、根莖比與碳含量等轉換係數完成碳儲存量計算。

最後針對單一或特定樹種之小尺度研究，Park *et al.* (2018)以韓國 Daejeon 市 5 種樹木為例，以光學測量樹木分段直徑計算材積，以及自地面測量之樹冠面積，建立胸徑及樹冠面積二種材積式，結果發現以胸徑建立之材積式準確度較高，再藉以用於推估碳儲存使用。McHale *et al.* (2009)調查美國科羅拉多州 Fort Collins 市 11 樹種，地面光達調查樣木材積建立胸徑材積式，再將材積乘上文獻之各樹種密度資料換算生物量，與以森林建立之生物量推估式進行比較，發現部分文獻材積式估算之變異可達 60~300%。Tanhuanpää *et al.* (2017)針對單一樹種，以光達調查建立樣木地上部材積建立胸徑材積式，並將樣木砍伐秤重進行生物量調查，同時利用樣木胸徑透過以森林建立之生物量推估式計算，以進行差異比較。經比較實際砍伐測量結果，以森林建立之生物量式會高估主幹部分生物量，但低估枝條部分生物量，而使用光達建立材積式結合樹種密度可較精準的計算主幹生物量。

歸納前述不同尺度之研究可以發現，依調查範圍的大小不同各研究所選用之調查與計算方法有所區別，應係考量調查成本(經費與時間)而選擇不同之調查與評估方法。首先中、大尺度研究因範圍較廣，多使用航照或衛星影像等遙測圖資，並結合地面樣區調查資料進行整體研究範圍碳匯推估，或於研究範圍內進行樣區調查後，再使用相關碳計算模型進行評估，優點係可以較低成本且快速完成大範圍之碳儲存量推估，提供都市林管理之參考依據。而小尺度研究主要針對目標樹種之材積或生物量進行調查與建立相對關係式，因此對單一樣木利用不同方法進行詳細之調查與建模。



### 第三章 研究方法

本章分別就民眾都市樹木效益認知與保護行為意向調查、臺北市重要樹木生態系服務效益量化評估，以及針對碳儲存及吸存效益進行本土化評估之方法說明，整體之研究方法流程如圖 3.1。首先民眾對都市樹木效益認知與保護行為意向調查部分，是透過問卷調查分別就模型假設、調查方法與資料分析方法等進行說明；臺北市重要樹木生態系服務效益量化評估部分，包含分析所使用之樹木資料以及使用之評估方法等；最後針對碳儲存及吸存效益之本土化評估，本研究以臺北市常見重要樹種為例，說明自樹木抽樣調查、材積式建置及碳儲存及吸存量估算等方法。

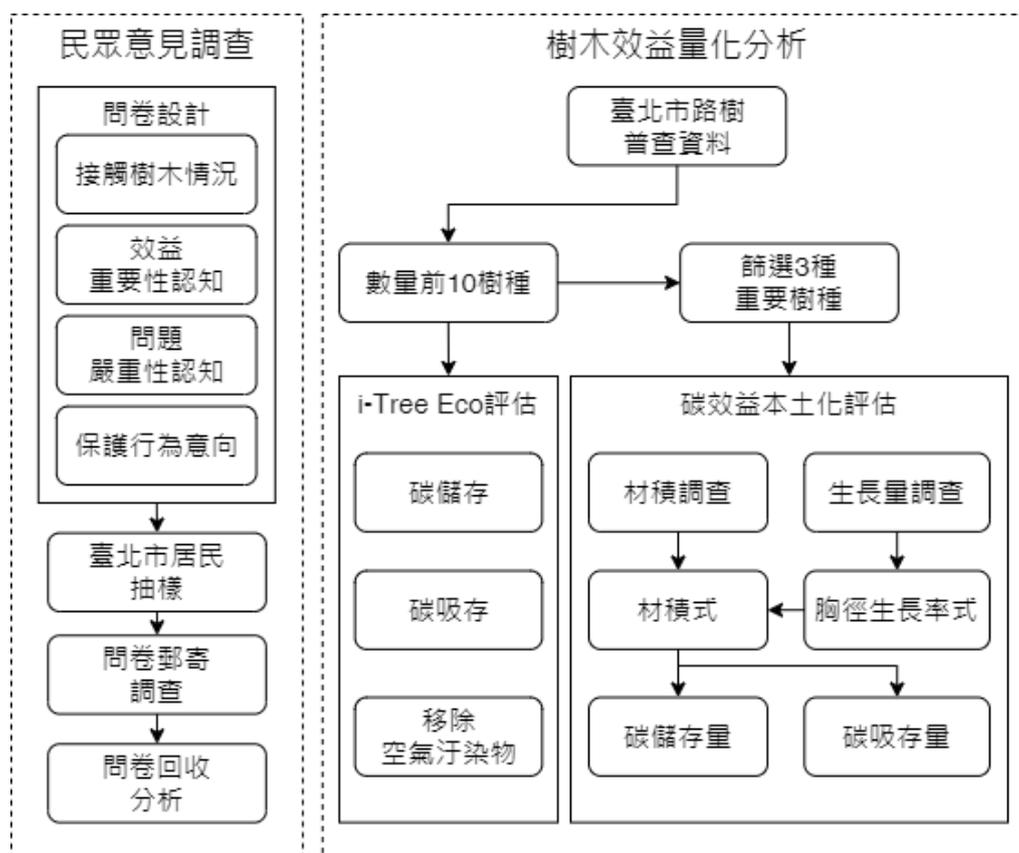


圖 3.1 本研究各項調查與評估方法流程



### 3.1 都市樹木認知與保護行為意向調查

本部分係透過問卷調查方式，針對臺北市居民對於都市樹木之效益重要性與問題嚴重性之認知，以及對於支持或參與保護都市樹木之行為意向進行調查。主要調查內容包含臺北市居民對於各種都市樹木所帶來的效益與問題認知，以及應用「延伸計畫行為理論(Extend TPB)」進行模型假設，探討居民支持或參與保護都市樹木行為意向之影響因子，詳細問卷設計以及分析方法說明如後。

#### 3.1.1 研究理論模型架構與假設

##### 3.1.1.1 計畫行為理論 (TPB)

「計畫行為理論(TPB)」是 Ajzen (1991)以「理性行為理論(Theory of Reasoned Action, TRA)」為基礎，除「主觀規範 (SN)」與「態度 (ATT)」兩變項外，將「知覺行為控制 (PBC)」加入理論架構中。於 TPB 理論模型中，「行為意向(BI)」是指個人採取某行為的傾向與意願程度，會受到個人的「態度(ATT)」、「主觀規範(SN)」以及「知覺行為控制(PBC)」影響。其中「主觀規範(SN)」是指人對於是否採取某特定行為所感受到的社會壓力，或當受到親人或同儕等具有影響力的人，對於某件事進行推薦時是否也會對此事感到興趣；「態度(ATT)」是表示人對於特定事物或某種行為所給予的評價，如喜歡或不喜歡的感覺，或正面與負面的評價；「知覺行為控制(PBC)」則是指一個人認自己是否有完成特定事物的資源，如擁有的金錢或時間等(Ajzen & Madden, 1986)。因此，本研究首先根據計畫行為理論之架構提出下列假設：

**H1:** 主觀規範 (SN) 正向影響支付保護都市樹木費用行為意向 (BI)。

**H2:** 態度 (ATT) 正向影響支付保護都市樹木費用行為意向 (BI)。

**H3:** 知覺行為控制 (PBC) 正向影響支付保護都市樹木費用行為意向 (BI)。



### 3.1.1.2 延伸計畫行為理論 (Extend TPB)

目前「計畫行為理論(TPB)」已廣泛應用於各種研究中，有助於解釋調查對象之行為意向，同時「計畫行為理論(TPB)」亦具有相當之彈性，Ajzen (1991) 曾指出除了原理論模型架構外，可視研究需求於模型再加入其他構念，且即使一構念並未於過去之研究文獻中使用依然可以被納入，用以調查目標之行為意向，讓研究者可以應用於更多不同研究目標或領域(Greaves *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2015)，即「延伸計畫行為理論(Extend TPB)」模型。因此，本研究為探討臺北市居民對於都市樹木帶來的功能或效益等認知，與其保護都市樹木行為意向之間的相互關係，除前述「計畫行為理論(TPB)」之基本假設外，另外於模式中加入民眾對於都市樹木之「知覺有用性(perceived usefulness, PU)」及「知覺樹木效益(perceived tree benefits, PTB)」兩項構念，探討各項構念對支付保護都市樹木費用「行為意向(BI)」的影響。

### 3.1.1.3 知覺有用性(PU)

首先「知覺有用性(PU)」是指個人認為某項事物可以讓其獲得之好處，即認為都市樹木在心理和身體上使他們受益的一種知覺(Davis *et al.*, 1989; Yen *et al.*, 2017)，以都市綠地或都市樹木而言，是指可以帶來例如休閒(relaxation)、娛樂(recreation)、提升生活品質(living quality)以及增加財產價值(property value)等(Balram & Dragičević, 2005; Wan *et al.*, 2018)。

過去有相關研究指出「知覺有用性(PU)」與個人之「行為意向(BI)」間存在顯著相關，當一個人對於某件事物的「知覺有用性(PU)」認知越高時會提升其「行為意向(BI)」(Balram & Dragičević, 2005; Wan *et al.*, 2018; Yen *et al.*, 2017)。同時「知覺有用性(PU)」可以量化個人對於事物之「態度(ATT)」，亦有研究指出「知覺有用性(PU)」對「態度(ATT)」具有正向的關係，且「態度(ATT)」中介「知覺有用性(PU)」對「行為意向(BI)」的影響 (Altawallbeh *et al.*, 2015;

Chuang *et al.*, 2016; Ignacio *et al.* 2019; Jahangir & Begum, 2008; Yen *et al.*, 2017)。

根據上述相關研究結果，本研究針對「知覺有用性(PU)」提出下列兩項假設，分別為民眾對「知覺有用性(PU)」認知會正向影響其支付保護都市樹木費用「行為意向(BI)」，以及正向影響其保護都市樹木的「態度(ATT)」。

**H<sub>4a</sub>**: 知覺有用性 (PU) 正向影響支付保護都市樹木費用行為意向 (BI)。

**H<sub>4b</sub>**: 知覺有用性 (PU) 正向影響支付保護都市樹木費用的態度(ATT)。

#### 3.1.1.4 知覺樹木效益(PTB)

「知覺樹木效益(PTB)」是指民眾對於都市樹木所帶來的各種生態系服務效益的認知，例如降低都市高溫(Tan *et al.*, 2016; Bowler *et al.*, 2010)及吸收二氧化碳(Cohen *et al.*, 2014; Jim & Chen, 2006a)等「氣候效益(climate benefits)」、減少空氣汙染((Jim & Chen, 2008)及噪音汙染(Madureira *et al.*, 2015)等「環境品質效益(environmental quality benefits)」、具有教育文化意義以及休憩功能(Tu *et al.*, 2016; Yen *et al.*, 2017)的「教育與休憩效益(educational and leisure benefits)」、改善城市景觀與地景(Hladnik & Pirnat, 2011; Seburanga *et al.*, 2014)的「美學與地景效益(aesthetics and landscape benefits)」，以及提升不動產價值(Jim & Chen, 2006b; Lin *et al.*, 2013)的「經濟效益(economic benefits)」等。

可以發現樹木之效益與類型眾多，且因不同生活地區以及文化特性等影響，民眾對於效益的認知也會有所差異(Avolio *et al.*, 2015; Camacho-Cervantes *et al.*, 2014; Jim & Chen, 2006a; Schroeder *et al.*, 2006)，但即便對各項效益的認知程度不同，民眾對於各種效益的知覺與「態度(ATT)」間仍有密切的關聯(Coley *et al.*, 1997; Giles-Corti *et al.*, 2005)，同時也會影響其對於各種與都市樹木有關的活動支持度(Ostoić *et al.*, 2017; Nesbitt *et al.*, 2017)，且當民眾對於都市樹木所帶來的效益認知越高，其參與或支持的「行為意向(BI)」也越高(Coder,

1996; Dwyer *et al.*, 2002; Lohr *et al.*, 2004)。

因此，本研究針對知覺樹木效益提出下列兩項假設，當民眾對於「知覺樹木效益(PTB)」認知越高，會正向影響其支付保護都市樹木費用「行為意向(BI)」，同時亦正向影響其保護都市樹木的態度(ATT)。

**H5a:** 知覺樹木效益 (PTB) 正向影響支付保護都市樹木費用行為意向 (BI)。

**H5b:** 知覺樹木效益 (PTB) 正向影響支付保護都市樹木費用的態度(ATT)。

### 3.1.1.5 研究假設

最後，根據前述各項假設，本研究之「延伸計畫行為理論(Extend TPB)」假設模型如圖 3.2，其中橢圓形為本研究 7 項構念，包含方框內為原始的「計畫行為理論(TPB)」模型之「主觀規範(SN)」、「態度(ATT)」、「知覺行為控制(PBC)」及「行為意向(BI)」，以及兩項本研究增加之構念「知覺有用性(PU)」及「知覺樹木效益(PTB)」，理論架構共包含七條路徑，即為待驗證的七項假設 H<sub>1</sub>、H<sub>2</sub>、H<sub>3</sub>、H<sub>4a</sub>、H<sub>4b</sub>、H<sub>5a</sub>、H<sub>5b</sub>。

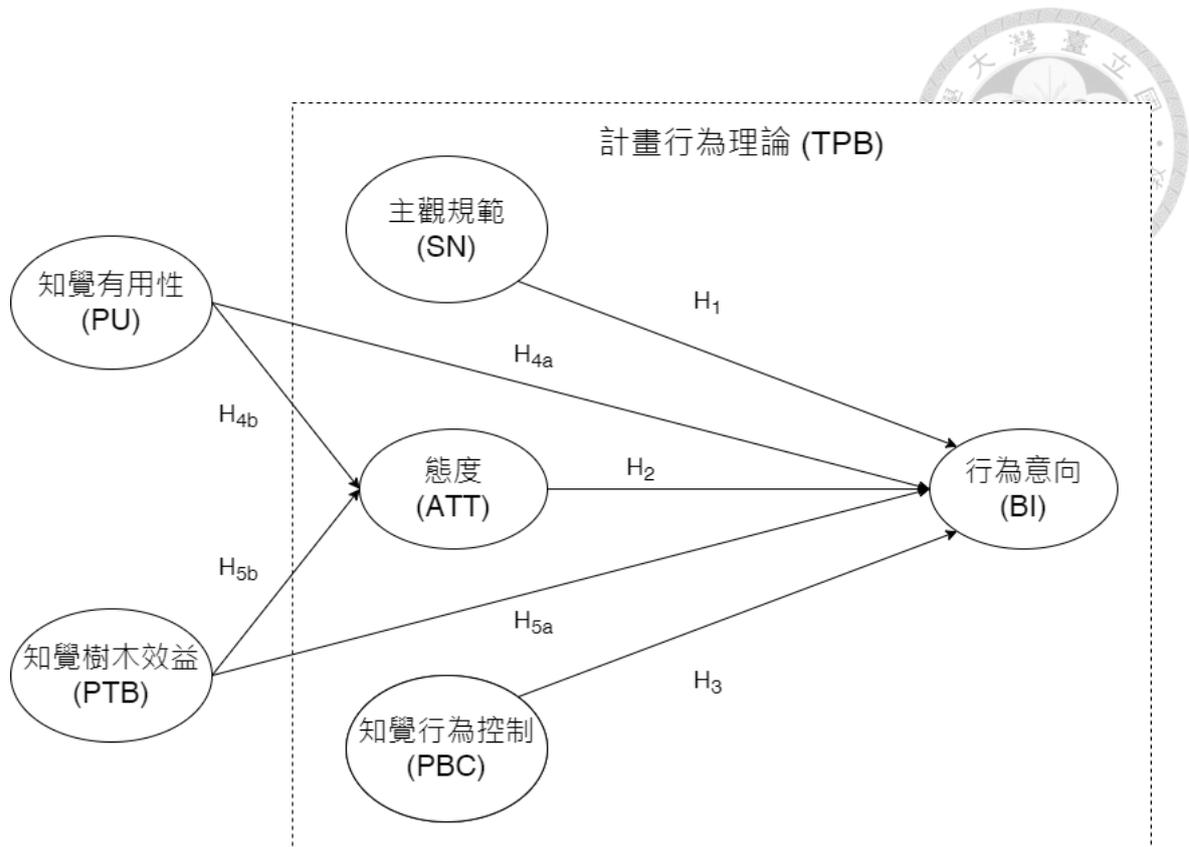


圖 3.2 本研究之延伸計畫行為理論(Extend TPB)假設模型



### 3.1.2 問卷設計

本研究問卷共分為四大部分，第一部分調查受訪者接觸都市樹木的機會，由於民眾於都市地區主要可接觸到的樹木為路樹或存在於公園與綠地之樹木，因此本部分調查受訪者「是否會在路樹下行走」、「是否會使用公園綠地」、「使用公園綠地頻率」、「使用公園綠地類型」以及「使用目的」等項目進行調查；第二部分調查受訪者對於都市樹木效益與問題之認知，由於效益與問題之項目眾多，本研究經參考相關都市樹木可提供之效益與問題文獻，調查樹木提供如「碳吸存」、「淨化空氣」、「減緩強風」、「提供生物棲息環境」及「提供休憩空間」等共 20 項效益之重要程度，以及可能造成之「落葉等影響環境」、「病蟲害問題」及「損壞人行道」等 10 項問題的嚴重程度，詳細項目及參考文獻如表 3.1。本部分問項採 7 點量表進行調查，以 1 表示非常不重要(不嚴重)、4 表示普通以及 7 表示非常重要(嚴重)，由受訪者依其感受程度於 7 項目中進行圈選；第三部份為本研究「延伸計畫行為理論模型(Extend TPB)」相關問項，其中「計畫行為理論(TPB)」核心架構之「態度(ATT)」、「主觀規範(SN)」、「知覺行為控制(PBC)」及「行為意向(BI)」等 4 大構念之問項係參考相關研究進行調整設計 (Ajzen, 1991, López-Mosquera *et al.*, 2014, Wan & Shen, 2015, Yen *et al.*, 2017, Zhang *et al.*, 2007)。而本研究加入之兩項延伸構念部分「知覺有用性(PU)」之問項修改自 Balram & Dragičević (2005) 及 Wan & Shen (2015)，「知覺樹木效益(PTB)」修改自 Jim & Chen (2006a)、Schroeder *et al.* (2006)及 Wan & Shen (2015)。本部分亦使用 7 點量表進行調查。以 1 表示非常不同意、4 表示普通以及 7 表示非常同意，由受訪者依其感受程度於 7 項目中進行圈選；最後，第四部分調查受訪者的一般資訊，例如性別、年齡與教育程度等。

問卷完成設計後於 2019 年 3 月於臺北植物園進行前測，總計回收 50 份前測問卷，並以極端組檢定進行項目分析，結果顯示各題項具有內部一致性，因此不刪減題項完成正式問卷定稿。



表 3.1 本研究問卷都市樹木效益與問題調查項目

| 項目            | 參考文獻          |
|---------------|---------------|
| <b>都市樹木效益</b> |               |
| 釋放氧氣          | C, E          |
| 碳吸存           | A, C, E       |
| 降低氣溫          | B, C, D, E    |
| 提供遮蔭          | B, C, D       |
| 淨化空氣          | A, C, E, F    |
| 減緩強風          | C, D, F       |
| 減少噪音          | A, B, C, D, E |
| 減少雨水沖刷        | A, C, E       |
| 減少洪水發生        | A, C, E       |
| 阻隔強光          | C, E          |
| 增加隱私感         | B, F          |
| 提供生物棲息環境      | A, B, C, D, E |
| 提供休憩空間        | A, C          |
| 提供接觸自然的機會     | A, C, F       |
| 具有文化意義        | C, E          |
| 教育的功能         | C, E          |
| 美學價值          | C, E, F       |
| 提升視覺環境        | B, D, F       |
| 紓壓效果          | D, F          |
| 經濟效益          | A, C, E, F    |
| <b>都市樹木問題</b> |               |
| 落葉等影響環境       | B, C, D, F    |
| 枯枝掉落影響行人安全    | B, C, F       |
| 病蟲害問題         | B, C, F       |
| 影響視線          | B, F          |
| 導致環境陰暗        | B, C, F       |
| 遮蔽招牌、建築外觀     | D, F          |
| 可能造成過敏        | B, D, F       |
| 損壞人行道         | B, D, F       |
| 維護需要經費        | C, D          |
| 陰暗角落等安全問題     | B, C, D, F    |

註：A: Dwyer *et al.* (1992), B: Gorman (2004), C: Jim & Chen (2006a), D: Lohr *et al.* (2004), E: Roy *et al.* (2012), F: Schroeder *et al.* (2006)



### 3.1.3 調查對象與方法

本研究以臺北市居民為研究對象進行抽樣及問卷調查作業，首先臺北市(25°2' N, 121°33' E)面積約 271.8 平方公里，人口約 260 萬人，臺北市範圍又可分為 12 個行政區，為臺灣北部重要都市之一，且臺北市內擁有超過 8 萬株之路樹(台北市政府，2020)，居民日常生活可輕易接觸到樹木資源。

樣本挑選部分，一般進行問卷調查的方式有例如電話訪談、街頭訪問、紙本郵寄問卷調查或網路問卷調查等，各種方法均可讓研究者以隨機抽樣的方式進行調查(Neuman, 2013)，而本次調查主要對象為對居於臺北市之民眾，因此選擇以透過紙本問卷郵寄方式進行。調查年齡層部分係以成年民眾為調查對象，並參考 Bernath & Roschewitz (2008)調查瑞士蘇黎世地區民眾之郵寄問卷研究，以 18 至 75 歲之臺北市居民為母體進行抽樣。目標樣本數部份經計算於 95%信心水準(confidence level)及正負 5%抽樣誤差(confidence interval)之條件下所需最小樣本數為 384 份(Thompson, 2002)，然而採用郵寄問卷方式進行調查回收率可能較低約 10%-15% (高玉芳，2001)，因此本研究規劃抽取 3,000 名民眾為問卷郵寄樣本。首先自內政部戶政司提供之 18 至 75 歲臺北市各行政區民眾資料，依臺北市各行政區之人口數比例(內政部，2019)分配抽樣數，再以隨機抽樣方式共抽出 3,000 名問卷郵寄對象，將問卷、調查說明及回郵信封一併於 2019 年 4 月寄送，並請受訪者於完成填答後寄回。

### 3.1.4 資料分析

本研究問卷完成回收及資料建檔後，進行下列資料統計分析，包含 1.各問卷項目之描述性統計分析、2.因都市樹木效益與問題之項目眾多，本研究利用因素分析將都市樹木效益與問題進行共同因素萃取，探討都市樹木效益與問題之主要組成因素。3.利用獨立樣本 t 檢定(Independent t-test)及變異數分析(analysis of variance, ANOVA)等，分析不同受訪者特性對於都市樹木效益與問題因素之感受

差異。4.利用偏最小平方法結構方程模型(PLS-SEM)分析本研究假設之延伸計畫行為理論模型，有關 PLS-SEM 之詳細分析方法說明如後。



#### 3.1.4.1 PLS-SEM 分析流程

結構方程模型(SEM)是用於測量具有多個測量項目(measurement items)的構念(construct)之間的統計關係(Chin, 1998; Jöreskog & Sörbom, 1989)，本研究使用 PLS-SEM 進行分析，PLS-SEM 是透過一系列的加權迴歸方程式所完成，並求得結構模型最佳化(Hair *et al.*, 2017)。PLS-SEM 主要可用於進行預測分析之研究(Chin *et al.*, 2016)，且 PLS-SEM 對預測理論的發展以及解釋變異的研究而言，是較佳的統計方法 (Hair *et al.*, 2017)。由於本研究旨在探討民眾支付保護都市樹木費用之行為意向(BI)，因此適合使用 PLS-SEM 進行分析。

本研究使用 Smart PLS 3.0 軟體(Ringle *et al.*, 2015)進行資料分析以及研究假設模型評估，使用 PLS-SEM 分析時分為 2 個步驟，首先第一步是計算測量模型(Measurement model)，以評估測量項目於統計上之信度(reliability)與效度(validity)。第二步為評估結構模型(Structural model)中各項假設之關係及統計顯著性等(Sarstedt *et al.*, 2017)。

#### 3.1.4.2 測量模型(Measurement model)評估

首先針對測量模型之建構信度(construct reliability)與效度(validity)進行評估，包含指標信度(indicator reliability)、組合信度(composite reliability, CR)、聚合效度(convergent validity)及區別效度(discriminant validity)等(Hair *et al.*, 2017)，各項指標之評估準則如下：

- (1)指標信度(indicator reliability)是指模型中組成潛在變項之各指標因素負荷量(factor loading)應  $> 0.5$  (Hulland, 1999)。
- (2)各潛在變項之組合信度(composite reliability, CR)應  $> 0.6$  (Hair *et al.* 2017)。
- (3)收聚合效度是以潛在變項之平均變異抽取量(average variance extracted, AVE)

應  $> 0.5$  為門檻(Fornell & Larcker, 1981), 表示其可解釋 50%以上指標之變異, 以及各潛在變項之 Cronbach's alpha 值應  $> 0.7$  (Hair *et al.*, 2013)表示具有內部一致性(internal consistency reliability)。

(4)區別效度(discriminant validity)係以 Fornell-Lacker's 準則(Fornell-Lacker's criterion), 以模型中各潛在變項之平均變異抽取量(AVE)平方根應大於該潛在變項與模型中其他潛在變項之相關係數(Fornell & Larcker, 1981), 表示各構念之間具有明顯的差異。

### 3.1.4.3 結構模型(Structural model)評估

完成測量模型評估後, 即可進一步針對結構模型進行評鑑, 包含了共線性(collinearity)、路徑係數顯著性檢定(t-value)、判定係數 ( $R^2$ )及影響效果( $f^2$ ) (Hair *et al.*, 2017)。首先結構模型共線性係以變異係數膨脹因子(variance inflation factor, VIF)進行檢驗, 當  $VIF \geq 5$  表示模型可能存在潛在的貢獻性問題(Hair *et al.*, 2012)。PLS-SEM 路徑係數之顯著性檢定部分, 係透過無母數統計之拔薛法(bootstrap process)進行, 一般係利用研究蒐集之樣本以隨機抽取方式重新產生 1000 組子樣本(sub-samples)以計算 t-value(Chin, 1998)。而其他評鑑結構模型之指標部分,  $R^2$  為衡量內因構念(endogenous construct)之變異可被解釋的量, 其值介於 0~1 間, 當值越高代表解釋力越高, 一般  $R^2$  值於 0.19-0.33 具低解釋力、0.33-0.67 具中解釋力, 及  $\geq 0.67$  為具有高度解釋力(Sarstedt *et al.*, 2017)。其次  $f^2$  係評估外因構念對於內因構念之影響力(即對  $R^2$  之影響), 當  $f^2$  介於 0.02-0.15 稱為小效果, 0.15-0.35 稱為中效果,  $\geq 0.35$  稱為大效果(Cohen, 1988)。



### 3.2 都市樹木生態系服務效益量化評估

為評估臺北市都市樹木可帶來之生態系服務效益量化資訊，本研究使用 i-Tree Eco 進行臺北市重要路樹之生態系服務效益分析作業，分析效益項目包含「碳儲存及吸存」以及「空氣汙染移除」等 2 項臺北市居民較重視的樹木效益，且為相關研究常使用 i-Tree Eco 分析之都市樹木效益(Aguaron & McPherson, 2012; Rogers *et al.*, 2015; Steenberg *et al.*, 2023)，下列針對使用 i-Tree Eco 進行分析所需之資料項目以及方法分別說明。

#### 3.2.1 分析資料

使用 i-Tree Eco 進行分析時，首先需建立目標分析樹木之基本特性資料表，因此本研究首先依臺北市之路樹普查資料進行重要樹木篩選作業。由於一般都市之路樹種類眾多，因此相關針對都市路樹進行 i-Tree Eco 分析時多針對數量較多之樹種進行分析，例如 Seed Consulting Services (2016)調查澳洲 Unley 市之路樹效益時，即針對 18 物種共約 70%數量之路樹進行分析。

根據臺北市路樹普查資料，生長於臺北市之人行道、安全島與綠地等之路樹共有約 8.8 萬株，統計物種組成包含 55 科 135 屬共 192 種物種，由於臺北市路樹種類眾多，以單一樹種之數量進行排序後，臺北市數量最多之路樹種類為榕樹 (*Ficus microcarpa*)，佔台北市路樹約 14%，其次依序為茄苳(*Bischofia javanica*)佔 11%、樟樹(*Cinnamomum camphora*)佔 10%、楓香(*Liquidambar formosana*)佔 8% 及台灣欒樹(*Koelreuteria elegans*)佔 8%，可以發現僅數量前 5 之樹種即已佔台北市路樹總數之 50%以上。而除前述 5 大樹種外，其餘樹種之數量均佔 5%以下，數量排名 6 至 10 名分別依序為白千層(*Melaleuca leucadendra*)佔 5%、黑板樹 (*Alstonia scholaris*)佔 5%、小葉欖仁(*Terminalia mantaly*)佔 3%、大花紫薇 (*Lagerstroemia flos-reginae*)佔 3%，以及水黃皮(*Millettia pinnata*)佔 2%，總計數量前 10 之樹種已佔台北市路樹之 69%，因此本研究即以此數量前 10 名之樹種



為例，抽取各株樹木普查之胸徑與樹高資料建立提供 i-Tree Eco 作業之資料表，各樹種數量與基本資料統計如表 3.2。

表 3.2 臺北市數量前 10 重要路樹基本資訊 (臺北市政府，2020)

| 樹種   | N (%)        | DBH (cm) |      |       | H (m) |     |           |
|------|--------------|----------|------|-------|-------|-----|-----------|
|      |              | Mean     | SD   | Range | Mean  | SD  | Range     |
| 榕樹   | 12,357 (14%) | 39.8     | 18.2 | 3-190 | 9.8   | 3.9 | 0.5-30.5  |
| 茄苳   | 9,513 (11%)  | 27.5     | 12.9 | 2-95  | 8.3   | 3.4 | 0.7-23.9  |
| 樟樹   | 8,363 (10%)  | 31.6     | 14.5 | 1-100 | 9.6   | 3.5 | 2.0-27.4  |
| 楓香   | 7,030 (8%)   | 21.5     | 13.2 | 2-96  | 8.3   | 3.9 | 1.5-26.6  |
| 臺灣欒樹 | 6,696 (8%)   | 23.0     | 9.5  | 2-82  | 7.5   | 2.3 | 1.5-20    |
| 白千層  | 4,847 (5%)   | 39.0     | 16.0 | 2-138 | 10.2  | 3.8 | 1.2-27.8  |
| 黑板樹  | 4,450 (5%)   | 39.4     | 14.1 | 4-120 | 10.1  | 3.4 | 0.5-26    |
| 小葉欖仁 | 2,842 (3%)   | 27.8     | 10.4 | 4-67  | 10.2  | 3.3 | 1.9-22.3  |
| 大花紫薇 | 2,344 (3%)   | 17.8     | 8.6  | 3-80  | 6.2   | 2.2 | 1.77-18.5 |
| 水黃皮  | 2,137 (2%)   | 20.4     | 6.8  | 3-66  | 6.6   | 1.8 | 0.5-18.5  |

註：樹高小於 1.3m 為測量 0.3m 直徑

### 3.2.2 分析方法

本研究使用 i-Tree Eco 6.0.34 版本軟體，進行臺北市前 10 大樹種之「碳儲存及吸存」以及「空氣汙染移除」等 2 項效益量化分析作業，而使用 i-Tree Eco 進行分析流程如圖 3.3，各項流程之內容說明如後。

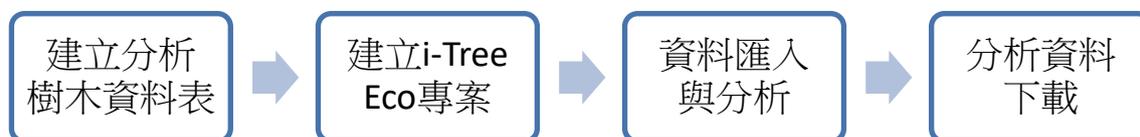


圖 3.3 i-Tree Eco 分析流程



1. 建立樹木資料表：

首先針對目標分析之區域或樹木進行資料蒐集，以建立匯入系統所需之樹木資料表，資料表內容至少必須包含樹木之樹種、胸徑以及樹高資訊，可根據調查範圍透過樹木普查作業或採取樣區調查方式進行。

2. 建立分析專案：

完成擬分析樹木之資料蒐集與資料表建置後，即可使用 i-Tree Eco 軟體建立分析專案，依據需求設定專案所在城市之基本資訊，以及調查蒐集之樹木資料所包含之調查項目等基本資訊。

3. 資料匯入與分析：

將前述已完成之目標分析樹木資料表，匯入完成基本資料設定之 i-Tree Eco 專案，並進行各項欄位定義作業，經系統檢核資料無誤後即可將專案資料上傳至 i-Tree Eco 系統伺服器進行各項效益計算作業，本研究共輸入 10 樹種計 60,578 株樹木基本資訊進行分析。

4. 分析報告與資料下載

系統於分析作業完成後，即自動通知可透過 i-Tree Eco 軟體進行分析成果下載作業，i-Tree Eco 提供之成果內容包含依匯入樹種統計之各項效益結果，以及依據不同效益項目，提供至單一株樹木之效益數量資訊等，本研究再依據相關分析結果進行統計作業。



### 3.3 都市樹木碳儲存及吸存效益本土化評估

為進行生長於都市地區樹木之碳儲存及吸存量評估，根據 IPCC (2006)之碳計算公式，樹木之材積量或材積生長量為影響計算結果之首要因素，因此本研究規劃以臺北市數量較多之 3 種樹種為例，進行材積與胸徑生長量調查作業，以建立各樹種之材積推估式與推估材積生長量，作為碳儲存及吸存量計算基礎。然而臺北市數量最多之榕樹因具有氣生根，導致實際材積與胸徑不易測量計算，因此本研究以數量第 2~4 名之茄苳、樟樹以及楓香 3 樹種進行調查。

#### 3.3.1 調查抽樣方法

首先調查樣木抽樣規劃部分，經參考相關建立都市樹木材積式研究，多數研究為能涵蓋不同胸徑大小範圍，係以胸徑進行分層取樣，而樣木數主要介於 10 至 50 株(McHale *et al.*, 2009; McPherson *et al.*, 2016; Pillsbury *et al.*, 1998; Yoon *et al.*, 2013)，因此本研究規劃以胸徑大小進行分層取樣作業，首先以臺北市樹木普查資料，以胸徑 5cm 為 1 徑級針對 3 種目標樹種製作之徑級分佈圖如圖 3.4。材積調查之樣木部分，於各個徑級中各隨機抽樣 2-4 株樣木，各樹種分別抽樣 40 株樣木進行調查。

生長量調查之樣木部分，因調查作業相對較為容易，為取得較多之樣本，本研究於各徑級隨機抽取 4-8 株樣木，各樹種分別抽取 120 株樹木進行調查作業。此外，因生長量調查為針對同一樣木進行多次調查作業，為確認是否為同株樣木，本研究係利用臺北市路樹普查資料各株樹木之單一編碼，配合綁於各株路樹之編碼標牌，以進行再次調查之樣木確認作業。

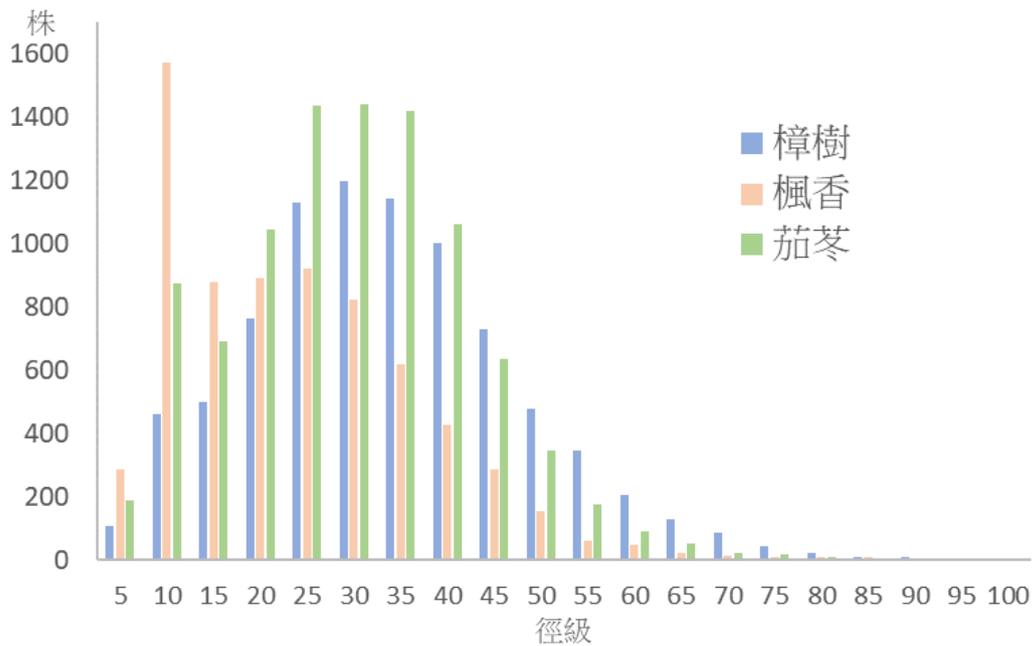


圖 3.4 臺北市茄苳、樟樹及楓香之胸徑徑級分布

### 3.3.2 材積調查

#### 3.3.2.1 材積調查方法

傳統建立樹木材積式，係將樹木伐倒後測量以獲得材積資訊，進而進行材積式的建立，但生長於都市環境之樹木多屬於民眾日常直接會接觸到之路樹或公園路樹等，並無法隨意將其進行伐採調查，因此折衷之方式有透過人工地面測量(Pillsbury *et al.*, 1998)或以地面光達(LIDAR, Light Detection And Ranging)等進行測量(Lefsky & McHale, 2008; Hildebrandt & Lost, 2012; Vonderach *et al.*, 2012; Wu *et al.*, 2013)，再進行材積計算及材積式建立。

因此，本研究利用地面光達進行調查作業，掃瞄測量建立各株樣木之點雲(point cloud)資料，使用之光達儀器為 Focus3D S120 (FARO Technologies, Inc., USA)雷射掃瞄儀，其測量範圍為 0.6 m-120 m，測距誤差為 $\pm 2$  mm。於掃瞄測量時，本研究根據樣木之枝條多寡與生長情形，於周邊設置至少 3 點以上之掃瞄站，並使用球型規標作為點雲拼接基準點，且同步拍攝現場照片供內業後續比對，以取得不同角度與主要枝條之掃瞄結果，於外業掃描建立樣木立體點

雲資料。再利用點雲資料處理軟體(Riscan Pro, RIEGL, Austria)，以每 0.5 m 進行分段，使用長短軸平均法測量各株樣木樹幹不同高度之直徑。材積計算部分採用 Smalian 公式計算加總各分段材積如式(4)，以計算各株樣木之主幹材積 ( $V_{trunk}$ )。

$$V = \left[ \sum_{i=1}^{n-2} L_1 \frac{(A_i + A_{i+1})}{2} \right] + \left[ L_2 \frac{(A_{n-1})}{3} \right] \quad (4)$$

註：V 為材積，A 為段木之斷面積， $L_1$  為枝幹之段長， $L_2$  為稍端之段長

### 3.3.2.2 材積式選擇

於進行材積式建立時一般常用的有單變數(胸徑)與雙變數(胸徑與樹高)模式(McHale *et al.*, 2009; Pillsbury *et al.*, 1998; Schumacher, 1933; Yoon *et al.*, 2013)，分別如式(5)及式(6)，而雖然僅透過胸徑即可建立用於推估材積之相對關係式，但包含樹高之模式一般可獲得更好之推估結果(Pillsbury *et al.*, 1998)，亦可提升於不同區域與氣候等環境變異應用之準確性(Sanders, 1984; Yoon *et al.*, 2013)，但由於樹高資料於一般樹木調查時，相對較不容易進行測量且會增加調查成本，也因此部分調查作業僅針對胸徑進行，為增加本次建立材積式未來應用彈性，本研究分別進行 2 種類型之模式建立。

$$V1 = a \times D^b \quad (5)$$

$$V2 = a \times D^b \times H^c \quad (6)$$

註：V1 為單變數材積式，V2 為雙變數材積式，D 為胸高直徑，H 為樹高，a、b、c 為模式參數

為了解本研究建立之材積式之預測能力，本研究以均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)及平均絕對百分比誤差(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)進行評估如式(7)及式(8)，當 RMSE 越小代表該模式之預測準確度越佳，而 MAPE 之預測能力可分 4 個階級，分別為極佳(<10%)、優良(10%~19%)、合理(20%~49%)及不正確( $\geq 50\%$ )(Lewis, 1982)。



$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - F_i)^2}{n}} \quad (7)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right|}{n} \times 100 \quad (8)$$

註： $A_i$  為觀察值， $F_i$  為推估值， $n$  為樣本數

### 3.3.2.3 不同材積估算方式比較

目前國內相關研究於估算都市樹木材積時，主要使用林務局(1997)建議之通用材積式(王義仲等，2016、Wang *et al.*, 2013)，通用材積式是假設樹幹為一圓錐體，利用樹木之胸高斷面積乘上樹高，再依不同類型樹木乘上平均形數 0.45 後計算樹木主幹材積如式(9)。此外，相關針對臺灣森林碳匯之研究(林俊成等，2014、莊采蓁等，2019、陳忠義，2017、蕭聖儒，2016)，則多引用羅紹麟、馮豐隆(1986)針對國內一般闊葉樹建立之材積式如式(10)。

$$V_{TFB} = D^2 \times 0.79 \times H \times 0.45 \quad (9)$$

$$V_{Lo} = 0.0000862 \times D^{1.8742} \times H^{0.8671} \quad (10)$$

註： $D$  為胸高直徑(cm)， $H$  為樹高(m)，0.45 為平均形數

因此，針對主幹材積推估部分，將以本研究建立之雙變數主幹材積式 ( $V_{2trunk}$ )、林務局通用材積式( $V_{TFB}$ )以及羅紹麟、馮豐隆(1996)之一般闊葉樹材積式( $V_{Lo}$ )，帶入臺北市政府路樹普查資料之胸高直徑與樹高資料進行材積估算後，比較本研究針對生長於臺北市都市環境之茄苳、樟樹以及楓香所建立之主幹材積式估算結果，與常用材積推估方法之結果之差異。



### 3.3.3 胸徑生長量調查

#### 3.3.3.1 調查方法

本研究針對各株樣木調查離地 1.3 公尺處之胸徑，共進行 2 次調查作業以計算其胸徑生長量，第 1 次調查作業於 2020 年冬季進行，再於 2022 年冬季進行第 2 次調查，藉由 2 次調查結果計算胸徑之年平均生長量。調查方法部分，本研究利用直徑捲尺進行樣木胸徑調查作業。此外，由於本調查屬多次監測測量，為確保各次調查作業測量位置相同，以降低因胸徑尺測量位置不同造成的誤差，一般於森林永久樣區等調查作業，是透過於測量位置以鋁釘固定樹木編號牌，但為避免傷害都市樹木以及美觀等因素，於臺北市區調查時並未進行樹牌釘定作業，因此本研究改以 1.3 公尺長之標示桿(圖 3.5)，藉由調查時於樣木樹幹南側將標示桿倚靠於樹幹作為測量位置基準，以減少不同次測量位置差異之誤差。而樹木除胸徑生長外，每年亦會有樹高之生長，然而因都市路樹常有人為修剪，且短期之樹高生長量並不明顯(林郁庭，2022)，因此本研究僅調查計算各樣木之胸徑生長量。



圖 3.5 本研究運用 1.3m 之標示桿以進行測量位置確認



### 3.3.3.2 胸徑相對生長率計算

根據 2 次樣木胸徑調查結果，以 2020 年之胸徑測量結果為基期，計算各株樣木之胸徑相對生長率如式(11)，並以各株樣木之 2020 年胸徑與胸徑相對生長率結果，利用單變數模式(Pommerening and Muszta, 2015; 林郁庭, 2022)建立胸徑相對生長率曲線如式(12)，用以進行臺北市茄苳、樟樹與楓香路樹之胸徑年生長量推估使用。

$$RGR = \frac{(D2 - D1)}{2} \times \frac{1}{D1} \quad (11)$$

$$RGR = a \times D1^b \quad (12)$$

註：RGR 為相對相對生長率，D1 為 2020 年測量胸高直徑(cm)，D2 為 2022 年測量胸高直徑(cm)，a、b 為模式參數

### 3.3.4 碳儲存及吸存量計算

#### 3.3.4.1 計算公式

根據 IPCC (2006)之碳轉換公式，樹木之碳量可依據樹木之主幹材積及各項轉換係數進行計算，首先碳儲存量( $C_{tree}$ )係利用主幹材積( $V_{trunk}$ )進行計算如式(13)，本研究係將 3 種目標樹種之臺北市樹木普查資料，利用本研究建立之主幹材積式( $V_{trunk}$ )進行主幹材積估算。

而碳吸存量( $\Delta C_{tree}$ )部分，由於臺北市路樹眾多，本研究難以全面調查測量後利用「儲存量變化法」進行計算，因此藉由抽樣調查各樹種之胸徑相對生長率後，再以「增減法」，藉由計算各株樹木之年材積生長量( $\Delta V_{trunk}$ )，以計算年碳吸存量。首先同樣以 3 種目標樹種之臺北市樹木普查資料為基期，帶入本研究建立之胸徑相對生長率式，以推估 1 年之生長後胸徑資料，再將基期與預估生長後之胸徑資料帶入本研究建立之主幹材積式( $V_{trunk}$ )，即可計算 1 年之預估材積生長量如式(14)。



$$C_{tree} = V_{trunk} \times BD \times BEF \times (1+R) \times CF \quad (13)$$

$$\Delta C_{tree} = \Delta V_{trunk} \times BD \times BEF \times (1+R) \times CF \quad (14)$$

註： $C_{tree}$  為碳儲存量， $\Delta C_{tree}$  為碳吸存量， $V_{trunk}$  為主幹材積， $\Delta V_{trunk}$  為主幹材積生長量，BD 為基礎木材密度，BEF 為生物量擴展係數，R 為根莖比，CF 為碳含量

### 3.3.4.2 轉換係數選用

本研究採用之碳儲存與碳吸存量計算各項係數部分整理如表 3.3，依據各樹種分別說明如後，首先茄苳之基礎木材密度(BD)及碳含量(CF)採用林裕仁等(2002)針對臺灣產闊葉樹之茄苳木材測定結果，分別為 0.65 及 0.4678，生物量擴展係數(BEF)及根莖比(R)則採用行政院環境保護署(2021)針對臺灣產闊葉樹之相關文獻係數採平均值或中位數，分別為 1.40 及 0.24。

樟樹之基礎木材密度(BD)及碳含量(CF)採用林裕仁等(2002)針對臺灣產闊葉樹之樟樹木材測定結果，分別為 0.37 及 0.47，生物量擴展係數(BEF)及根莖比(R)則採用李宣德、馮豐隆(2010)以臺灣森林資源調查之樟樹資料建立之數值，分別為 1.34 及 0.407。

楓香之基礎木材密度(BD)及生物量擴展係數(BEF)採用行政院環境保護署(2021)針對臺灣產闊葉樹之相關文獻係數採平均值或中位數，分別為 0.56 及 1.40，根莖比(R)及碳含量(CF)採用林國銓等(2009)針對臺東地區楓香人工林之測定結果，分別為 0.216 及 0.488。

表 3.3 本研究使用各項碳轉換係數匯整

|    | 基礎木材密度<br>(BD) | 生物量擴展係數<br>(BEF) | 根莖比<br>(R) | 碳含量比例<br>(CF) |
|----|----------------|------------------|------------|---------------|
| 茄苳 | 0.65           | 1.40             | 0.240      | 0.4678        |
| 樟樹 | 0.37           | 1.34             | 0.407      | 0.4700        |
| 楓香 | 0.56           | 1.40             | 0.216      | 0.4880        |



## 第四章 結果與討論

本章調查與分析內容分為三大部分，第一部分為民眾對於都市樹木效益認知與保護行為意向調查結果，包括基本資料分析、效益與問題認知以及保護行為意向模型結果；第二部分為利用 i-Tree Eco 進行臺北市數量前 10 之樹種之碳儲存及吸存以及空氣汙染移除效益計算結果；最後為以臺北市 3 種重要都市樹木為例進行本土化之碳儲存及吸存量調查分析結果，包括利用地面光達進行之材積調查、材積式建立、生長量調查以及碳儲存及吸存量計算結果等。

### 4.1 都市樹木認知與保護行為意向調查

首先為本研究問卷調查回收情形，本研究共計回收 445 份問卷，回收率為 14.8%，扣除無效問卷後以 434 份有效問卷進行後續分析，有效問卷率約 97.5%。此外，為確認本研究獲得樣本數是否適宜進行後續之 PLS-SEM 分析，本研究參考 Hair *et al.* (2011)建議，用於 PLS-SEM 分析之最小樣本數應為研究假設模型中直接指向依變項關聯數量之 10 倍以上，本研究假設之依變項關聯數量為 7 個(圖 3.2)，因此最小之樣本數至少應大於 70。同時，本研究另應用 G\*Power 3.1 軟體(Faul *et al.*, 2007)，藉由顯著水準( $\alpha$ )、效果量(effect size,  $f^2$ )以及最大之依變項直接關聯數量等(number of predictors, np)，分析統計檢定所需樣本數(Akter *et al.*, 2011; Cohen, 1988; Faul *et al.*, 2007)，經計算本研究之最小樣本需求為 138 份( $\alpha = 0.05$ ;  $f^2 = 0.15$ ; np = 5)，其中效果量(effect size) 0.15 表示透過統計分析可檢定中等水準之關係強度(Cohen, 1988)，且此效果量(effect size)亦常被用於估計分析樣本數使用(Akter *et al.*, 2011; Wan & Shen, 2015; Wan *et al.*, 2018)，因此本次調查所獲得樣本數可滿足分析所需之最小樣本數量。



#### 4.1.1 受訪者基本資料

本次調查受訪者各項基本資料詳如表 4.1，首先，在性別方面以女性受訪者略多於男性，分別佔 55.8%和 44.2%；受訪者年齡分布則以 35 至 44 歲的受訪者最多佔 23.9%，其次是 45 至 54 歲和 55 至 64 歲，分別佔 20.6%和 20.0%，而 18 至 24 歲的受訪者最少佔 5.8%；教育程度部分，超過一半的受訪者擁有專科\大學以上學歷，其中具有專科或大學學歷佔 58.1%，擁有研究所以上學歷佔 19.1%，而僅 6.2%的受訪者學歷為國中以下。

為評估本研究所收集樣本的基本特性是否與臺北市的人口資料相符，本研究將調查結果與臺北市統計資料(臺北市政府，2019)進行比對，並以卡方適合度檢定 (Test of Goodness-of-Fit) 分析各項基本特性與人口資料的分佈比例是否相一致。結果顯示各項基本特性分析結果卡方值均無統計上顯著差異，顯示本研究調查之受訪者數量在這 4 項基本性並沒有偏向某一特定群體。

表 4.1 受訪者基本資料與人口統計資料

| 項目                                                                 | 樣本(%) | 人口統計 (%) | 項目                                                                 | 樣本(%) <sup>1</sup> | 人口統計 (%) |
|--------------------------------------------------------------------|-------|----------|--------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|
| <b>性別 (<math>\chi^2 = 1.21</math> <math>p &gt; 0.05</math>)</b>    |       |          | <b>居住行政區 (<math>\chi^2 = 9.90</math> <math>p &gt; 0.05</math>)</b> |                    |          |
| 男                                                                  | 44.2  | 47.1     | 士林區                                                                | 9.9                | 10.7     |
| 女                                                                  | 55.8  | 52.9     | 大同區                                                                | 5.0                | 4.8      |
| <b>年齡 (<math>\chi^2 = 1.46</math> <math>p &gt; 0.05</math>)</b>    |       |          | 大安區                                                                | 13.8               | 11.6     |
| 18-24                                                              | 5.8   | 7.2      | 中山區                                                                | 7.1                | 8.6      |
| 25-34                                                              | 16.2  | 16.6     | 中正區                                                                | 6.9                | 6.0      |
| 35-44                                                              | 23.9  | 22.6     | 內湖區                                                                | 12.4               | 10.8     |
| 45-54                                                              | 20.6  | 19.9     | 文山區                                                                | 9.3                | 10.3     |
| 55-64                                                              | 20.0  | 19.8     | 北投區                                                                | 6.0                | 9.6      |
| 65-75                                                              | 13.5  | 13.9     | 松山區                                                                | 8.8                | 7.7      |
| <b>教育程度 (<math>\chi^2 = 7.93</math>, <math>p &gt; 0.05</math>)</b> |       |          | 信義區                                                                | 8.2                | 8.4      |
| 國小以下                                                               | 1.6   | 2.1      | 南港區                                                                | 5.2                | 4.6      |
| 國中                                                                 | 4.6   | 5.4      | 萬華區                                                                | 7.4                | 7.1      |
| 高中(職)                                                              | 16.6  | 21.1     |                                                                    |                    |          |
| 專科 \ 大學                                                            | 58.1  | 55.2     |                                                                    |                    |          |
| 研究所及以上                                                             | 19.1  | 16.2     |                                                                    |                    |          |



#### 4.1.2 接觸都市樹木之特性

受訪者接觸都市樹木的特性結果統計如表 4.2，首先接觸到都市樹木的機會部分，有 92.4%的受訪者會在有路樹的人行道行走，83.1%的受訪者經常在有樹木的公園綠地等地方活動。而使用公園綠地的頻率方面，多數受訪者每月前往 5 次以下佔 50.7%，其次為每月 6-10 次佔 22.8%，並且以前往往家附近的公園綠地為主佔 81.9%；而前往公園綠地所需時間大多在 3-5 分鐘或 5-10 分鐘，分別佔 27.7%及 28.2%。受訪者主要前往的公園類型為鄰里公園佔 68.9%，其次為都會公園以及河濱公園，分別佔 40.0%及 30.0%；前往公園的主要目的部分，有 71.9%的受訪者是散步，其次為休息放鬆佔 56.9%以及運動健身佔 42.8%。

表 4.2 受訪者接觸都市樹木之特性

| 項目                      | 百分比 (%)           | 項目                   | 百分比 (%) |
|-------------------------|-------------------|----------------------|---------|
| <b>是否會在有路樹的人行道行走</b>    |                   | <b>前往的公園綠地走路約需時間</b> |         |
| 會                       | 92.4 <sup>1</sup> | 1 分鐘內                | 9.2     |
| 不會                      | 7.6               | 1-3 分鐘               | 15.1    |
| <b>是否會使用公園綠地等有樹木的地方</b> |                   | 3-5 分鐘               | 27.7    |
| 會                       | 83.1              | 5-10 分鐘              | 28.2    |
| 不會                      | 16.9              | 10 分鐘以上              | 19.8    |
| <b>使用公園綠地的頻率(次/月)</b>   |                   | <b>使用公園綠地類型(複選)</b>  |         |
| 5 次以下                   | 50.7              | 自然公園                 | 6.1     |
| 6-10 次                  | 22.8              | 都會公園                 | 40.0    |
| 11-15 次                 | 5.8               | 鄰里公園                 | 68.9    |
| 16-20 次                 | 7.9               | 河濱公園                 | 30.0    |
| 20 次以上                  | 12.8              | <b>使用公園綠地原因(複選)</b>  |         |
| <b>平時前往的公園綠地位於</b>      |                   | 散步                   | 71.9    |
| 住家附近                    | 81.9              | 運動健身                 | 42.8    |
| 學校或辦公場所附近               | 4.8               | 休息放鬆                 | 56.9    |
| 其他                      | 3.3               | 欣賞風景                 | 21.9    |
|                         |                   | 親子活動                 | 24.7    |
|                         |                   | 其他                   | 6.7     |

根據本次調查結果，臺北市受訪者平常接觸到路樹的比例相當高，主要可能因為臺北市大多數主要道路都種有路樹，因此市民在外出時非常容易接觸到樹木。儘管每月前往公園綠地的市民比例相對稍低，但仍然有超過 8 成的市民每月會前往公園綠地。然而觀察受訪者使用公園綠地之結果可以發現，超過半數會前往公園綠地之受訪者每月前往次數為 5 次以下(50.7%)，為探討是否與前往所需時間有關，本研究透過交叉表分析前往公園綠地所需走路時間，以及受訪者前往次數之關係(表 4.3)，結果顯示兩者之間呈現顯著的負相關(Pearson  $R = -0.138$ ,  $p < 0.05$ )，表示當步行前往公園綠地時間越長，受訪者前往的次數較少。根據世界衛生組織(World Health Organization, WHO)建議，都市綠地應具有良好的可及性，讓居民能在步行 5 分鐘內到達距離住家最近的公園綠地 (WHO, 2016)。然而本次調查結果顯示，有 48% 的受訪者前往公園綠地所需的時間超過 5 分鐘，顯示臺北市地區的公園綠地普及性仍有改進的空間。

表 4.3 受訪者前往公園綠地次數與步行所需時間交叉分析

|         | 每月前往公園綠地次數        |        |         |         |        |
|---------|-------------------|--------|---------|---------|--------|
|         | 5 次以下             | 6-10 次 | 11-15 次 | 16-20 次 | 20 次以上 |
| 1 分鐘內   | 2.9% <sup>1</sup> | 2.6%   | 0.0%    | 0.9%    | 2.6%   |
| 1-3 分鐘  | 6.5%              | 4.7%   | 0.9%    | 0.3%    | 2.6%   |
| 3-5 分鐘  | 14.4%             | 5.3%   | 1.8%    | 2.1%    | 3.8%   |
| 5-10 分鐘 | 16.1%             | 5.9%   | 2.1%    | 3.2%    | 2.1%   |
| 10 分鐘以上 | 10.6%             | 4.4%   | 1.2%    | 1.5%    | 1.8%   |

註：<sup>1</sup>皮爾森相關係數  $R = -0.138$  ( $p < 0.05$ )



### 4.1.3 臺北市居民都市樹木效益與問題認知

#### 4.1.3.1 效益重要性與問題嚴重性得分

本次調查受訪者對於都市樹木效益認知之重要性平均得分與排序如表 4.4，得分越高表示認為該項目越重要，而受訪者認為最重要之效益項目為「碳吸存」效益，其次 2-5 名依序為「釋放氧氣」、「降低氣溫」、「提供遮蔭」及「淨化空氣」。而受訪者認為重要程度較低的項目則為「經濟效益」及「增加隱私感」。可以發現各項效益之重要性分數均高於代表「普通」之 4 分，且除了「經濟效益」以及「增加隱私感」外，各效益平均得分均高於 5 分，這也顯示臺北市受訪者普遍認為樹木各種效益均為重要的。

而受訪者對於都市樹木帶來的問題嚴重性部分，各項問題認知平均得分與排序詳如表 4.5，當得分越高表示認為該問題越嚴重。結果顯示受訪者認為嚴重性較高之前 3 名項目分別為「病蟲害問題」、「陰暗角落等安全問題」以及「枯枝掉落影響行人安全」，得分最低的前 3 名項目則為「遮蔽招牌、建築外觀」。根據各項問題之平均得分可以發現除了「病蟲害問題」之得分大於 4 分外，其餘各項問題皆低於「普通」之 4 分，即受訪者對於都市樹木可能產生問題認知並未達嚴重的程度。

根據調查結果可以發現，受訪者對於都市樹木帶來之效益大多認為是重要的，而對於樹木造成的問題大多認為不嚴重，經比較相關調查民眾對於都市樹木效益與問題認知之研究文獻，Graça *et al.* (2018)發現相較於都市樹木帶來的文化效益，居民更重視樹木對於改善空氣品質等環境效益；Olivero-Lora *et al.* (2020)曾指出大多數居民對都市樹木的整體態度是正面的，而且比負面態度更為常見。Camacho-Cervantes *et al.* (2014)調查發現，即使居民認為都市樹木可能會造成部分的問題與損害，但對於樹木可以帶來的效益更感興趣，並且認為都市應該有更多的樹木。Jeong *et al.* (2023)調查發現都市居民大多喜愛樹木帶來的提供遮蔭與淨化空氣等環境效益，同時也認為樹木產生的枯枝落葉等是最嚴重的問題。



此外亦有許多調查民眾對於效益部分之認知平均分數皆高於中間值，對於可能造成的問題認知平均分數則皆低於中間值(Avolio *et al.*, 2015; Jim & Chen, 2006a; Lohr *et al.*, 2004)，顯示一般而言都市民眾對於樹木的認知是正面的。

#### 4.1.3.2 因素分析結果

本研究針對都市樹木效益以及問題，分別透過因素分析進行共同因素萃取作業，於進行分析前首先以取樣適切性量數值(Kaiser-Meyer-Olkin, KMO)是否大於 0.6(Kaiser, 1974)，以及 Bartlett 球形檢定(Bartlett's Test of Sphericity)是否達到顯著判斷本次調查資料是否適合進行因素分析(Bartlett, 1951)。結果顯示都市樹木效益以及問題兩部分之 KMO 值分析結果均大於 0.6，分別為都市樹木效益之 0.912，以及都市樹木問題之 0.891，且效益與問題之 Bartlett 球形檢定值均達顯著。因此本研究進一步以因素分析之主成分法進行因素抽取，同時使用最大變異法進行因素轉軸後，再以特徵值(eigenvalue)大於 1 為標準抽取因素及命名。此外，完成各項都市樹木效益與問題因素抽取後，針對各項因素透過 Cronbach's  $\alpha$  係數進行信度分析，以檢驗各因素組成項目之內部一致性，而 Cronbach's  $\alpha$  值一般認為如大於 0.8 即具有良好之信度，若低於 0.6 則表示項目應進行調整(Cronbach, 1951)。

根據因素分析結果，臺北市受訪者對於都市樹木之 20 項效益重要性認知共可抽取出 3 個因素，累積解釋變異達 63.2%，各因素之信度 Cronbach's  $\alpha$  值皆達 0.8 以上。3 項因素所包含效益詳如表 4.4，本研究依各因素所包含效益進行因素命名如下：

1. 「氣候調節」：本因素共包含 5 項效益，平均得分 6.42 分，為重要性得分平均最高之因素，因素主要組成項目亦為受訪者認為最重要之效益，包含「碳吸存」、「釋放氧氣」、「降低氣溫」、「提供遮蔭」及「淨化空氣」等，即得分排序前 5 名之效益。

2. 「降低環境衝擊」：本因素包含 6 項效益，平均得分 5.44 分，包含「阻隔強光」、「減少洪水發生」、「減緩強風」、「減少雨水沖刷」、「減少噪音」及「增加隱私感」等，而本因素之項目為受訪者相對認為重要性較低之效益。
3. 「生態與社會文化」：本因素包含 9 項效益，因素平均得分 5.80 分，包含如「提供休憩空間」、「提供接觸自然的機會」、「紓壓效果」、「提供生物棲息環境」、「提升視覺環境」、「教育的功能」、「具有文化意義」、「美學價值」以及「經濟效益」等。

表 4.4 都市樹木效益重要性得分與因素分析結果

| 項目             | 平均          | 標準差          | 排序 | 因素<br>負荷量 | Cronbach's<br>$\alpha$ | 解釋變異<br>量(%) |
|----------------|-------------|--------------|----|-----------|------------------------|--------------|
| <b>氣候調節</b>    | <b>6.42</b> | <b>0.750</b> |    |           | <b>0.895</b>           | <b>23.4</b>  |
| 碳吸存            | 6.54        | 0.875        | 1  | 0.870     |                        |              |
| 釋放氧氣           | 6.53        | 0.862        | 2  | 0.817     |                        |              |
| 降低氣溫           | 6.37        | 1.016        | 3  | 0.713     |                        |              |
| 提供遮蔭           | 6.33        | 1.025        | 4  | 0.536     |                        |              |
| 淨化空氣           | 6.33        | 1.005        | 4  | 0.611     |                        |              |
| <b>降低環境衝擊</b>  | <b>5.44</b> | <b>1.160</b> |    |           | <b>0.874</b>           | <b>21.4</b>  |
| 阻隔強光           | 5.72        | 1.369        | 11 | 0.684     |                        |              |
| 減少洪水發生         | 5.68        | 1.503        | 13 | 0.696     |                        |              |
| 減緩強風           | 5.57        | 1.381        | 16 | 0.657     |                        |              |
| 減少雨水沖刷         | 5.45        | 1.542        | 17 | 0.760     |                        |              |
| 減少噪音           | 5.42        | 1.422        | 18 | 0.713     |                        |              |
| 增加隱私感          | 4.79        | 1.662        | 19 | 0.730     |                        |              |
| <b>生態與社會文化</b> | <b>5.80</b> | <b>0.970</b> |    |           | <b>0.849</b>           | <b>17.4</b>  |
| 提供休憩空間         | 6.30        | 0.996        | 6  | 0.730     |                        |              |
| 提供接觸自然的機會      | 6.26        | 1.045        | 7  | 0.765     |                        |              |
| 紓壓效果           | 6.14        | 1.150        | 8  | 0.765     |                        |              |
| 提供生物棲息環境       | 6.12        | 1.165        | 9  | 0.415     |                        |              |
| 提升視覺環境         | 5.77        | 1.376        | 10 | 0.709     |                        |              |
| 教育的功能          | 5.69        | 1.348        | 12 | 0.699     |                        |              |
| 具有文化意義         | 5.65        | 1.420        | 14 | 0.640     |                        |              |
| 美學價值           | 5.58        | 1.395        | 15 | 0.767     |                        |              |
| 經濟效益           | 4.69        | 1.780        | 20 | 0.507     |                        |              |

註：KMO = 0.912 ; Barlett's  $\chi^2 = 5294.921$  ;  $p < 0.001$



而對於都市樹木問題嚴重性認知部分，10 項問題共可抽取出 2 個因素，累積解釋變異量達 63.8%，各問題因素 Cronbach's  $\alpha$  值皆達 0.8 以上。2 項因素所包含問題項目詳表 4.5，並依各因素所包含問題項目命名如下：

1. 「環境品質破壞」：本因素共包含 3 項問題，因素平均得分 3.95 分，本因素組成包含之項目為受訪者相對認為較嚴重的問題，包含唯一嚴重性得分高於 4 分之「病蟲害問題」，以及排序第 3 之「枯枝掉落影響行人安全」與排序第 5 之「落葉等影響環境」等 3 項問題。
2. 「安全與維護問題」：本因素包含 7 項問題，因素平均得分 3.29 分，包含如「陰暗角落等安全問題」、「需要維護經費」、「可能造成過敏」、「影響視線」、「導致環境陰暗」、「損壞人行道」以及「遮蔽招牌、建築外觀」等 7 項問題。

表 4.5 都市樹木問題嚴重性得分與因素分析結果

| 項目             | 平均          | 標準差          | 排序 | 因素負荷量 | Cronbach's $\alpha$ | 解釋變異量(%) |
|----------------|-------------|--------------|----|-------|---------------------|----------|
| <b>環境品質破壞</b>  | <b>3.95</b> | <b>1.509</b> |    |       | 0.880               | 25.7     |
| 病蟲害問題          | 4.40        | 1.841        | 1  | 0.804 |                     |          |
| 枯枝掉落影響行人安全     | 3.77        | 1.735        | 3  | 0.845 |                     |          |
| 落葉等影響環境        | 3.68        | 1.680        | 5  | 0.800 |                     |          |
| <b>安全與維護問題</b> | <b>3.29</b> | <b>1.282</b> |    |       | 0.825               | 38.1     |
| 陰暗角落等安全問題      | 3.92        | 1.858        | 2  | 0.692 |                     |          |
| 需要維護經費         | 3.73        | 1.779        | 4  | 0.660 |                     |          |
| 可能造成過敏         | 3.21        | 1.660        | 6  | 0.699 |                     |          |
| 影響視線           | 3.16        | 1.662        | 7  | 0.727 |                     |          |
| 導致環境陰暗         | 3.15        | 1.541        | 8  | 0.768 |                     |          |
| 損壞人行道          | 3.01        | 1.687        | 9  | 0.689 |                     |          |
| 遮蔽招牌、建築外觀      | 2.85        | 1.584        | 10 | 0.780 |                     |          |

註：KMO = 0.891 ; Barlett's  $\chi^2 = 2301.284$  ;  $p < 0.001$



#### 4.1.3.3 臺北市民眾都市樹木效益與問題認知特性

觀察受訪者對於臺北市都市樹木之效益與問題認知調查結果可以發現，受訪者對於各項效益因素重要性認知之平均得分皆大於 5 分，而各項問題因素之嚴重性認知平均得分皆小於 4 分，顯示受訪者對於臺北市之都市樹木抱持正面看法。

各項效益認知組成之因素部分，以「氣候調節」為最受重視的效益因素，推測係因「氣候調節」組成之「碳吸存」與「釋放氧氣」等效益係一般人對於樹木主要功能的印象，再加上近年大眾對於氣候變遷議題的重視，也因此本項因素之重視程度亦較高。效益因素重要性認知第二名為「生態與社會文化」因素，根據本次調查結果有超過 80%的受訪者平時會使用有樹木的公園從相關休憩活動，因此對於樹木帶來「提供休憩空間」以及「提供接觸自然的機會」等效益亦相對較重視。而「降低環境衝擊」因素則是受訪者認重要程度相對較低之效益因素，主要由於本項因素之組成項目為樹木「阻隔強光」照射進房屋、「減少洪水發生」以及「減緩強風」等樹木可以對周遭環境帶來的直接物理效益，但臺北市之居民住家窗外大多沒有樹木，可能因此使受訪者對於相關效益的重要性感程度較低。

樹木造成的問題部分，雖然 2 項問題因素之嚴重性程度均低於中間值，但「環境品質破壞」之平均得分已接近中間值(平均 3.95)，其包含之「病蟲害問題」為唯一受訪者認知達嚴重的問題項目，且其他兩項亦為嚴重性得分相對較高之問題項目，受訪者整體而言對樹木所造成環境品質破壞相關問題之嚴重性感受較高，



#### 4.1.3.4 與不同地區民眾認知比較

為瞭解臺北市居民對樹木效益與問題之認知，與臺灣不同城市或不同國家地區之民眾看法之異同，本研究進一步與國內外相關調查結果進行比較。國內研究部分，歐聖榮、高必嫻(1998)曾針對臺中地區民眾對於路樹的偏好進行調查，並將路樹的效益分為2項因素，分別為「增加美觀」以及「改善環境」。而臺中民眾於2項效益因素中較為重視的為「增加美觀」，其包括提升視覺愉悅性和提供遮蔽等效益。此外，該研究於將都市樹木問題分為「影響安全性」和「環境衛生性」2項因素，其中對於「影響安全性」的重視程度較高。整體而言與本次針對臺北市民眾調查之效益與問題組成因素相似。

Jim & Chen (2006a)調查廣州地區民眾對樹木及綠地提供之環境效益認知，其將效益分為6大類，分別為「微氣候」、「環境品質」、「環境功能」、「休憩與地景」、「經濟效益」以及「其他功能」，調查結果以「微氣候」為民眾認為最重要的因素，包含了如釋放氧氣、吸收二氧化碳等效益。

Schroeder *et al.* (2006)調查民眾對於路樹之效益與問題因素進行比較，效益部分共分為4項因素，包含「無形效益」、「有形效益」、「季節美學」與「遮蔭」，其中對於如提升視覺、親近自然等屬「無形效益」之認知較高。而針對樹木問題則分為2項因素，分別為「昆蟲與樹液」因素，包含了樹木之病蟲害問題，以及樹木落葉與汁液等造成之環境髒亂問題。另外「一般性困擾」因素則包含了樹木遮蔽視線、樹根破壞人行道與建築等問題。整體而言，雖然此調查並未納入都市樹木之氣候相關效益，但屬「無形效益」之親近自然、提升視覺等效益，與本次調查結果之「生態與社會文化」因素項目相近，而樹木問題因素組成部分亦與本研究調查之問題項目屬性差異不大。



#### 4.1.3.5 不同受訪者特性認知比較

為進一步探討不同之受訪者特性，對於都市樹木之效益以及問題的看法是否有所差異，本研究將 3 項效益因素「氣候調節」、「降低環境衝擊」與「生態與社會文化」，以及 2 項問題因素「環境品質破壞」及「安全與維護問題」，分別根據不同之受訪者特性進行檢定，包括「性別」、「路樹下行走」與「使用公園綠地」等特性進行獨立樣本 t 檢定，以及「年齡」、「教育程度」及「使用公園頻率」等特性進行變異數分析(ANOVA)，如具顯著差異再以 Scheffe 法進行事後比較(Post hoc)分析各項特性之間的差異。

分析結果顯示臺北市不同受訪者之特性，對於都市樹木效益或問題因素之認知結果是相近的，僅「性別」、「教育程度」及「使用公園綠地」等 3 項特性，於部分因素之認知有顯著差異，而其餘之「年齡」、「路樹下行走」與「使用公園頻率」等特性於各效益與問題因素皆無顯著差異，詳細分析結果如表 4.6。首先不同「性別」之間認知存在顯著差異之因素為都市樹木效益之「降低環境衝擊」( $t = -2.417, p < 0.05$ )及「生態與社會文化」( $t = -3.127, p < 0.01$ )因素，皆為「女性」重要性認知高於「男性」，顯示女性對於都市樹木所提供之提升環境品質以及教育與文化相關效益之重視程度高於男性，Graça *et al.* (2018)指出女性較男性更重視都市樹木的文化相關效益

不同「教育程度」間認知具有顯著差異之因素為都市樹木問題之「安全與維護問題」( $F = 4.022, p < 0.01$ )，經事後比較為「小學以下」受訪者之嚴重程度認知顯著高於「專科\大學」與「研究所以以上」受訪者，Graça *et al.* (2018)亦曾指出具較低學歷之受訪者，相較於大學或更高學歷受訪者更重視樹木造成的損害問題，推論可能因較高教育程度之受訪者對於樹木可能產生之問題較為了解與認識，因此對於各種安全維護問題之嚴重性認知較低

而是否「使用公園綠地」之認知存在顯著差異之因素為樹木效益之「生態與社會文化」( $t=2.110, p<0.05$ ), 「會」使用之受訪者重要性認知顯著高於「不會」使用, 應係受訪者主要使用公園綠地係為散步、休息以及運動等目的, 因此對於提供休憩空間、提供接觸自然的機會, 以及紓壓效果等重要性認知較高。

表 4.6 不同受訪者之社會屬性對於都市樹木效益與問題之平均數差異檢定

| 項目                  | 氣候調節   | 降低環境<br>衝擊 | 生態與社會<br>文化 | 環境品質<br>破壞 | 安全與維護<br>問題        |
|---------------------|--------|------------|-------------|------------|--------------------|
| <b>性別 (t 值)</b>     | -1.802 | -2.417*    | -3.127**    | 0.006      | -0.232             |
| 男                   | 6.35   | 5.29       | 5.64        | 3.95       | 3.27               |
| 女                   | 6.48   | 5.56       | 5.93        | 3.95       | 3.30               |
| <b>年齡 (F 值)</b>     | 1.140  | 0.903      | 0.919       | 0.918      | 0.536              |
| 18-24               | 6.32   | 5.39       | 5.59        | 3.95       | 3.49               |
| 25-34               | 6.37   | 5.29       | 5.66        | 3.77       | 3.20               |
| 35-44               | 6.44   | 5.48       | 5.80        | 4.21       | 3.31               |
| 45-54               | 6.47   | 5.57       | 5.84        | 3.97       | 3.25               |
| 55-64               | 6.55   | 5.52       | 5.93        | 3.79       | 3.13               |
| 65-75               | 6.28   | 5.22       | 5.80        | 3.98       | 3.36               |
| <b>教育程度 (F 值)</b>   | 0.81   | 1.192      | 1.508       | 3.043      | 4.022**            |
| 小學以下                | 6.57   | 5.55       | 6.27        | 4.05       | 4.36 <sup>a</sup>  |
| 國中                  | 6.28   | 5.53       | 5.93        | 4.47       | 3.68 <sup>ab</sup> |
| 高中職                 | 6.37   | 5.56       | 5.80        | 4.41       | 3.63 <sup>ab</sup> |
| 專科\大學               | 6.46   | 5.44       | 5.84        | 3.87       | 3.19 <sup>ab</sup> |
| 研究所以上               | 6.32   | 5.18       | 5.60        | 3.68       | 3.06 <sup>b</sup>  |
| <b>路樹下行走 (t 值)</b>  | 1.656  | 0.915      | 1.844       | -1.185     | -1.530             |
| 會                   | 6.44   | 5.45       | 5.82        | 3.93       | 3.26               |
| 不會                  | 6.21   | 5.26       | 5.50        | 4.25       | 3.62               |
| <b>使用公園綠地 (t 值)</b> | 0.987  | -0.379     | 2.110*      | -1.221     | -1.586             |
| 會                   | 6.44   | 5.43       | 5.85        | 3.91       | 3.25               |
| 不會                  | 6.35   | 5.49       | 5.58        | 4.15       | 3.51               |
| <b>使用公園頻率 (F 值)</b> | 0.841  | 1.537      | 2.291       | 1.645      | 1.088              |
| 5 次以下               | 6.39   | 5.35       | 5.73        | 4.08       | 3.40               |
| 6-10 次              | 6.54   | 5.66       | 5.92        | 3.81       | 3.19               |
| 11-15 次             | 6.27   | 5.08       | 5.56        | 4.15       | 3.41               |
| 16-20 次             | 6.45   | 5.58       | 6.14        | 3.48       | 3.02               |
| 20 次以上              | 6.43   | 5.41       | 6.02        | 3.64       | 3.07               |

註：\* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$  小寫字母表示同質子集



#### 4.1.4 保護都市樹木行為意向

##### 4.1.4.1 測量模型(Measurement model)結果

本研究測量模型各項指標分析結果如表 4.7，首先 24 項測量指標之因素負荷量(factor loading)介於 0.66-0.95，均高於 Hulland (1999)建議之 0.50。其次，本研究模型 6 個潛在變項之組合信度(CR)介於 0.64-0.91 間，分別為「態度(ATT)」0.79、「主觀規範(SN)」0.91、「知覺行為控制(PBC)」0.73、「知覺有用性(PU)」0.70、「知覺樹木效益(PTB)」0.64 以及「行為意向(BI)」0.70，均高於 Hair *et al.*, (2017)建議值 0.6，而平均變異抽取量(AVE)分別為「態度(ATT)」0.95、「主觀規範(SN)」0.97、「知覺行為控制(PBC)」0.89、「知覺有用性(PU)」0.90、「知覺樹木效益(PTB)」0.89 以及「行為意向(BI)」0.90，亦高於 Fornell & Larcker (1981)建議之門檻值 0.5。同時各潛在變項之 Cronbach's alpha 均高於 0.8，表示各項目具有內部一致性(internal consistency reliability) (Hair *et al.*, 2013)。最後各潛在變項之區別效度(Discriminant validity)部分結果如表 4.8，結果顯示各潛在變項 AVE 平方根均大於與模型中其他潛在變項之相關係數。因此整體而言各項測量模式之組合信度(construct reliability)與效度(validity)均達到測量模型評鑑要求，可進入下一步之結構模型(structural model)評鑑。

表 4.7 測量模型(Measurement model)結果

| 測量指標                                             |                       | Mean (SD)   | FL   | AVE  | CR   |
|--------------------------------------------------|-----------------------|-------------|------|------|------|
| <b>態度 (ATT) (<math>\alpha = 0.93</math>)</b>     |                       |             |      | 0.95 | 0.79 |
| ATT1                                             | 保護都市樹木是必須的            | 6.36 (0.94) | 0.87 |      |      |
| ATT2                                             | 保護都市樹木是有用的            | 6.35 (0.91) | 0.91 |      |      |
| ATT3                                             | 保護都市樹木是具有生態價值的        | 6.22 (1.01) | 0.89 |      |      |
| ATT4                                             | 保護都市樹木是有正面意義的         | 6.34 (0.91) | 0.92 |      |      |
| ATT5                                             | 保護都市樹木可以維持各種都市樹木效益    | 6.03 (1.07) | 0.84 |      |      |
| <b>主觀規範 (SN) (<math>\alpha = 0.96</math>)</b>    |                       |             |      | 0.97 | 0.91 |
| SN1                                              | 家人認為應該參與保護都市樹木時我會參與   | 4.80 (1.56) | 0.94 |      |      |
| SN2                                              | 重要的人認為應該參與保護都市樹木時我會參與 | 4.85 (1.55) | 0.95 |      |      |
| SN3                                              | 我重視的人支持我參與保護都市樹木時我會參與 | 4.84 (1.56) | 0.95 |      |      |
| <b>知覺行為控制 (PBC) (<math>\alpha = 0.82</math>)</b> |                       |             |      | 0.89 | 0.73 |
| PBC1                                             | 我擁有足夠的資源參與保護都市樹木      | 4.05 (1.67) | 0.84 |      |      |
| PBC2                                             | 如果我想要，我能參與保護都市樹木      | 4.79 (1.62) | 0.88 |      |      |
| PBC3                                             | 我覺得參與保護都市樹木對我來說很容易    | 3.75 (1.55) | 0.84 |      |      |
| <b>知覺有用性 (PU) (<math>\alpha = 0.86</math>)</b>   |                       |             |      | 0.90 | 0.70 |
| PU1                                              | 我會到有都市樹木的地方放鬆身心       | 5.61 (1.46) | 0.88 |      |      |
| PU2                                              | 我會到有都市樹木的地方進行休閒遊憩活動   | 5.65 (1.43) | 0.87 |      |      |
| PU3                                              | 都市樹木能提升我的生活環境品質       | 5.95 (1.19) | 0.87 |      |      |
| PU4                                              | 如果我的房地產周邊有都市樹木價值會提升   | 5.19 (1.51) | 0.69 |      |      |
| <b>知覺樹木效益 (PTB) (<math>\alpha = 0.86</math>)</b> |                       |             |      | 0.89 | 0.64 |
| PTB1                                             | 都市樹木能提供調節氣候效益         | 6.51 (0.85) | 0.81 |      |      |
| PTB2                                             | 都市樹木能提供環境品質效益         | 6.41 (0.93) | 0.82 |      |      |
| PTB3                                             | 都市樹木能提供教育與遊憩效益        | 6.15 (1.04) | 0.86 |      |      |
| PTB4                                             | 都市樹木能提供美學與景觀效益        | 5.92 (1.18) | 0.80 |      |      |
| PTB5                                             | 都市樹木能提供經濟效益           | 5.09 (1.56) | 0.66 |      |      |
| <b>行為意向 (BI) (<math>\alpha = 0.86</math>)</b>    |                       |             |      | 0.90 | 0.70 |
| BI1                                              | 如果有機會我將參與保護都市樹木       | 4.62 (1.59) | 0.89 |      |      |
| BI2                                              | 我支持加強保護都市樹木           | 5.74 (1.32) | 0.70 |      |      |
| BI3                                              | 我未來打算參與保護都市樹木         | 4.28 (1.58) | 0.89 |      |      |
| BI4                                              | 我會鼓勵其他人參與保護都市樹木       | 4.87 (1.56) | 0.85 |      |      |

註： $\alpha$  = Cronbach's  $\alpha$ , SD = 標準差, FL = 因素負荷量, AVE = 平均變異抽取量, CR = 組合信度

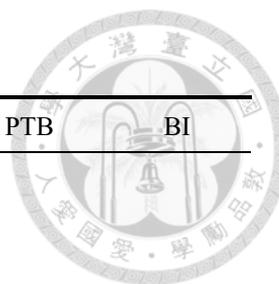


表 4.8 區別效度(Fornell-Larcker Criterion)分析結果

| 變項  | ATT         | SN          | PBC         | PU          | PTB         | BI          |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ATT | <b>0.89</b> |             |             |             |             |             |
| SN  | 0.32        | <b>0.96</b> |             |             |             |             |
| PBC | 0.22        | 0.55        | <b>0.86</b> |             |             |             |
| PU  | 0.55        | 0.42        | 0.44        | <b>0.84</b> |             |             |
| PTB | 0.63        | 0.28        | 0.21        | 0.59        | <b>0.80</b> |             |
| BI  | 0.43        | 0.65        | 0.75        | 0.57        | 0.40        | <b>0.84</b> |

註：對角線粗體為各變項之平均變異抽取量(AVE)平方根

#### 4.1.4.2 結構模型(Structural model)結果

結構模型評鑑部分，透過 Smart PLS 軟體以拔靴法(bootstrap re-sampling method)將本研究蒐集之樣本重複抽取 1000 份子樣本(sub-samples)進行分析後，本研究結構模型中各項係數以及顯著性分析結果如表 4.9 及圖 4.1。首先模型中各潛在變項之 VIF 值均  $<5$ ，表示各潛在變項間並沒有共線性(collinearity)問題。而各項模型假設中除「知覺樹木效益(PTB)」對「行為意向(BI)」之影響外，其他各項模型假設路徑均達統計顯著水準。而模型對於「態度(ATT)」及「行為意向(BI)」兩項內因變項分別擁有中等( $R^2=0.44$ )及高度( $R^2=0.70$ )之解釋力，可以進行模型各項參數、顯著性及假說之結果探討。

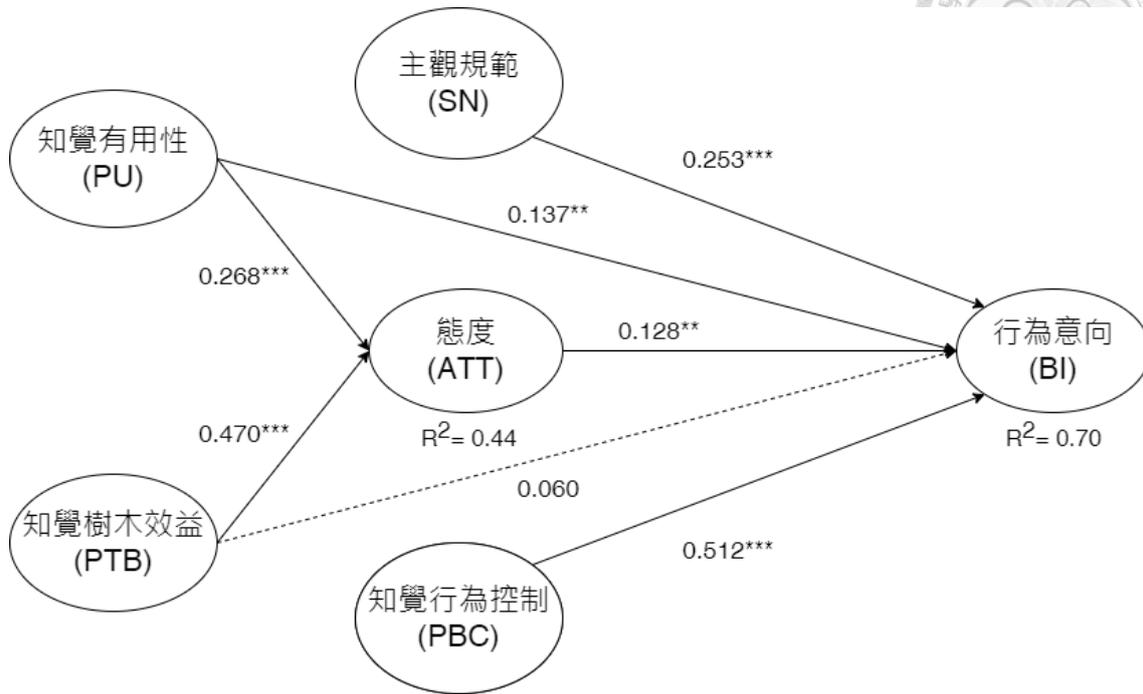


圖 4.1 本研究模型路徑係數結果，虛線為路徑未達統計顯著水準 (\*\* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.001$ )

表 4.9 結構模型各項係數分析結果

| 研究假設                    | M     | SD    | t-value   | VIF   | $f^2$ | 影響效果           |       |       | 假設推理 |
|-------------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|----------------|-------|-------|------|
|                         |       |       |           |       |       | 直接 ( $\beta$ ) | 間接    | 總效果   |      |
| H <sub>1</sub> SN→BI    | 0.254 | 0.054 | 4.666***  | 1.548 | 0.140 | 0.253          |       | 0.253 | 支持   |
| H <sub>2</sub> ATT→BI   | 0.126 | 0.046 | 2.787**   | 1.818 | 0.030 | 0.128          |       | 0.128 | 支持   |
| H <sub>3</sub> PBC→BI   | 0.513 | 0.046 | 11.215*** | 1.558 | 0.573 | 0.512          |       | 0.512 | 支持   |
| H <sub>4a</sub> PU→BI   | 0.138 | 0.044 | 3.094**   | 1.981 | 0.032 | 0.137          | 0.034 | 0.171 | 支持   |
| H <sub>4b</sub> PU→ATT  | 0.267 | 0.060 | 4.497***  | 1.537 | 0.084 | 0.268          |       | 0.268 | 支持   |
| H <sub>5a</sub> PTB→BI  | 0.058 | 0.036 | 1.648     | 1.942 | 0.006 | 0.060          | 0.060 | 0.120 | 未支持  |
| H <sub>5b</sub> PTB→ATT | 0.472 | 0.059 | 7.913***  | 1.537 | 0.258 | 0.470          |       | 0.470 | 支持   |

註: M = 平均, SD = 標準差, VIF = 變異數膨脹因子, \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ ,  $\beta$  = 路徑係數(直接效果)



#### 4.1.4.3 研究假設檢定結果

根據結構模型各項路徑係數檢定結果，首先 3 項 TPB 核心構念「主觀規範(SN)」、「態度(ATT)」與「知覺行為控制(PBC)」對「行為意向(BI)」均有顯著正向影響，其中「主觀規範(SN)」之總效果為 0.253 ( $\beta_{SN \rightarrow BI} = 0.253, t = 4.666, f^2 = 0.140, p < 0.001$ )，「態度(ATT)」之總效果為 0.128 ( $\beta_{ATT \rightarrow BI} = 0.128, t = 2.787, f^2 = 0.030, p < 0.01$ )，以及「知覺行為控制(PBC)」之總效果為 0.512 ( $\beta_{PBC \rightarrow BI} = 0.512, t = 11.215, f^2 = 0.573, p < 0.001$ )，因此 H<sub>1</sub>、H<sub>2</sub> 及 H<sub>3</sub> 等 3 項假設皆成立。表示認為家庭和同伴支持的「主觀規範(SN)」，對於保護都市樹木具有正面的「態度(ATT)」，以及相信自己有能力參與的「知覺行為控制(PBC)」，對於保護都市樹木費用支付「行為意向(BI)」也會越高。

本研究增加之 2 項延伸構念對於支付保護樹木費用「行為意向(BI)」的影響部分，僅「知覺有用性(PU)」具有顯著之正向影響，其總效果為 0.171 ( $\beta_{PU \rightarrow BI} = 0.137, t = 3.094, f^2 = 0.032, p < 0.01$ )，而「知覺樹木效益(PTB)」之影響於統計上則不顯著，因此假設 H<sub>4a</sub> 成立但拒絕假設 H<sub>5a</sub>。另外，2 項延伸構念對「態度(ATT)」皆有顯著之正向影響，其中「知覺有用性(PU)」之總效果為 0.268 ( $\beta_{PU \rightarrow ATT} = 0.268, t = 4.497, f^2 = 0.084, p < 0.001$ )，以及「知覺樹木效益(PTB)」之總效果為 0.470 ( $\beta_{PTB \rightarrow ATT} = 0.470, t = 7.913, f^2 = 0.258, p < 0.001$ )，假設 H<sub>4b</sub> 及 H<sub>5b</sub> 成立。表示當對於從都市樹木可獲得之好處等「知覺有用性(PU)」越認同時，保護都市樹木的「態度(ATT)」會越正面，同時支付保護都市樹木費用的「行為意向(BI)」也會越高，而民眾對都市樹木帶來各種生態系服務等「知覺樹木效益(PTB)」的認知越強，僅會提升保護都市樹木之「態度(ATT)」，並間接影響支付保護都市樹木費用的「行為意向(BI)」。

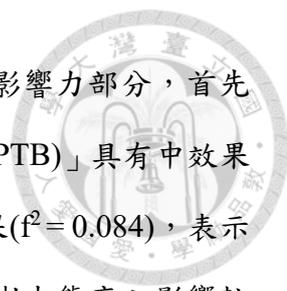


#### 4.1.4.4 影響支付保護都市樹木費用行為意向主要因素

首先，本研究模型結果與 Ajzen (1991) 所提出之計畫行為理論，以及不同領域應用計畫行為理論之實證研究結果一致 (Maichum *et al.*, 2016; Thompson & Hansen, 2013; Wan & Shen, 2015; Yen *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2019)，即受訪者之「主觀規範(SN)」、「態度(ATT)」及「知覺行為控制(PBC)」等 3 項計畫行為理論核心構念，皆會顯著影響其支付保護都市樹木費用的「行為意向(BI)」。

而本研究增加之 2 項延伸構念部分，受訪者於都市樹木的「知覺用性(PU)」對「態度(ATT)」及「行為意向(BI)」皆有顯著影響，同時「知覺樹木效益(PTB)」亦對「態度(ATT)」具有顯著影響，此結果與過去探討「知覺有用性(PU)」(Altawallbeh *et al.*, 2015; Balram & Dragičević, 2005; Jahangir & Begum, 2008; Wan *et al.*, 2018; Yen *et al.*, 2017)，以及「知覺樹木效益(PTB)」(Coley *et al.*, 1997; Giles-Corti *et al.*, 2005) 對「態度(ATT)」及「行為意向(BI)」影響之相關研究結果相符。

然而本研究結果顯示，「知覺樹木效益(PTB)」對「行為意向(BI)」之影響並不顯著，此與部分研究結果不同 (Coder, 1996; Dwyer *et al.*, 2002; Lohr *et al.*, 2004)，過去亦曾有針對都市綠地之研究發現，民眾對生態系服務效益的認知與「行為意向(BI)」之關係並不顯著 (Wan & Shen, 2015)，一個可能的原因為都市中大多為小型綠地或生長較分散的樹木，相較於大片森林可提供之生態系服務效益，部分例如減少噪音或空氣污染等效益較不明顯 (Lo & Jim, 2012)，且生活於都市的民眾對都市樹木及綠地等需求較高 (Lam *et al.*, 2005)，因此造成對樹木提供的生態系服務的認知與支付保護都市樹木費用「行為意向(BI)」的關係不顯著。



進一步探討本研究模型中各項外因構念對內因構念的影響力部分，首先對「態度(ATT)」有顯著影響之構念中，以「知覺樹木效益(PTB)」具有中效果的影響力( $f^2 = 0.258$ )，「知覺有用性(PU)」之影響力屬小效果( $f^2 = 0.084$ )，表示民眾對於都市樹木的生態系服務效益認知，對其保護都市樹木態度之影響較大。而對「行為意向(BI)」具顯著影響之構念部分，以「知覺行為控制(PBC)」具有大效果的影響力( $f^2 = 0.573$ )，其他3個構念則均屬小效果影響力，依序為「主觀規範(SN)」( $f^2 = 0.140$ )、「知覺有用性(PU)」( $f^2 = 0.032$ )以及「態度(ATT)」( $f^2 = 0.030$ )。也就是支付保護都市樹木費用的行為意向，受到民眾認為本身財力或能力是否足夠之影響最大，其次是周邊其他人的影響，而對於都市樹木的有用性認知及保護都市樹木的態度的影響相對較小。過去有研究指出「知覺行為控制(PBC)」為影響受訪者支付「行為意向(BI)」之最主要因素(Wan & Shen, 2015; Zhao *et al.*, 2018)，同時亦有研究指出「態度(ATT)」對於支付「行為意向(BI)」僅具有較弱之影響力(Altawallbeh *et al.*, 2015; Wicker, 1969)，但即使構念於模型中的影響力較低，並不表示該構念對模型的影響不重要(Limayem & Cheung, 2011)。

根據本研究調查結果，如都市樹木管理單位期望提升民眾對於保護都市樹木費用之支付行為意向，可以從讓民眾更了解都市樹木的有用性及效益面著手，Lo & Jim (2012) 曾指出都市民眾普遍較重視都市樹木、綠地等的休憩功能，但對於他們的環境和社會功能的關注卻較少，因此可透過鼓勵民眾到可以接觸都市樹木的環境進行休閒活動，教育及推廣都市樹木對於個人身心與改善環境的好處，以及都市樹木可以提供哪些生態系服務效益，除了可以提高民眾保護都市樹木之「態度(ATT)」以及「行為意向(BI)」外，當個人對於保護都市樹木的「態度(ATT)」及「行為意向(BI)」提升後，亦會進而影響周邊其他人，即他人受「主觀規範(SN)」的影響，都有助於提升民眾對於相關保護都市樹木活動的支持以及支付相關保護費用的意向。



## 4.2 都市樹木生態系服務效益量化評估

### 4.2.1 碳儲存及吸存

首先臺北市 10 大樹種之碳儲存及吸存量計算結果，以及各樹種排序整理如表 4.10。碳儲存效益部分，前 10 大樹種共儲存 26,575 ton C，各樹種總碳儲存量介於 260 ton C 至 8030 ton C，其中儲存量最高之前 3 樹種依序為榕樹(8,030 ton C)、白千層(4,768 ton C)以及樟樹(4,403 ton C)，而儲存量最低的樹種為大花紫薇(260 ton C)；各樹種單株碳儲存量介於 109 kg C 至 984 kg C 間，前 3 名之樹種分別為白千層(984 kg C)、榕樹(650 kg C)以及樟樹(526 kg C)，單株碳儲存量最低的樹種則為楓香(109 kg C)，平均而言臺北市前 10 大路樹每株之碳儲存量為 439kg C。

碳吸存效益部分，前 10 大樹種每年可吸存共 1,476 ton C，各樹種總碳吸存量介於 25 ton C 至 348 ton C 間，其中總吸存量最高之前 3 之樹種依序為榕樹(348 ton C/yr)、樟樹(312 ton C/yr)以及茄苳(234 ton C/yr)，最低的樹種為大花紫薇(25 ton C/yr)；而各樹種單株碳吸存量介於 7.8 kg C 至 45.7 kg C 間，前 3 名之樹種分別為白千層(45.7 kg C/yr)、樟樹(45.7 kg C/yr)以及榕樹(28.1 kg C/yr)，單株碳吸存量最低的樹種則為楓香(7.8 kg C/yr)，平均而言臺北市前 10 大路樹每株之碳吸存量為 24.4 kg C/yr。

根據分析結果可以發現，榕樹雖然單株平均之碳儲存與碳吸存分別為 10 樹種中第 2 及第 3 位，但因榕樹之株數較多，因此整體之碳儲存及吸存效益仍為臺北市最高之樹種，而楓香雖為臺北市數量第 4 位之樹種，但其碳儲存及吸存能力均為 10 樹種之末，因此總碳儲存量與吸存量僅為 10 樹種中第 7 位，因此各樹種可帶來之碳儲存及吸存效益量除了受到株數影響外，不同樹種之大小以及其他生長特性也是影響整體效益提供的因素。

而各樹種之碳儲存及吸存效益與其他研究相比，Rogers *et al.* (2015)調查英國倫敦 125 種都市樹木之碳儲存量，各樹種單株平均碳儲存介於 2 kg C 至 5,031 kg C，碳吸存量則為 0.1 kg C/yr 至 62.8 kg C/yr；Seed Consulting Services (2016) 計算澳洲 Unley 市 58 種都市樹木，各樹種單株平均碳儲存量介於 2 kg C 至 2,680 kg C，碳吸存量則為 0.1 kg C/yr 至 54 kg C/yr；Oxford City Council (2021) 計算英國牛津地區 72 種都市樹木之單株碳儲存量，各樹種平均碳儲存介於 8 kg C 至 7,501 kg C，碳吸存量則為 0.2 kg C/yr 至 56.3 kg C/yr。

表 4.10 i-Tree Eco 計算臺北市 10 大樹種碳儲存及吸存效益結果

| 樹種   | 株數     | 總儲存量<br>(ton C) | 單株儲存量<br>(kg C) | 總吸存量<br>(ton C/yr) | 單株吸存量<br>(kg C/yr) |
|------|--------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| 榕樹   | 12,357 | 8,030 (1)       | 650 (2)         | 348 (1)            | 28.1 (3)           |
| 茄苳   | 9,513  | 4,157 (4)       | 437 (4)         | 234 (3)            | 24.6 (4)           |
| 樟樹   | 8,363  | 4,403 (3)       | 526 (3)         | 312 (2)            | 37.3 (2)           |
| 楓香   | 7,030  | 764 (7)         | 109 (10)        | 55 (7)             | 7.8 (10)           |
| 臺灣欒樹 | 6,696  | 1,439 (6)       | 215 (7)         | 103 (5)            | 15.3 (8)           |
| 白千層  | 4,847  | 4,768 (2)       | 984 (1)         | 221 (4)            | 45.7 (1)           |
| 黑板樹  | 4,450  | 1,659 (5)       | 373 (5)         | 78 (6)             | 17.6 (7)           |
| 小葉欖仁 | 2,842  | 708 (8)         | 249 (6)         | 52 (8)             | 18.2 (6)           |
| 大花紫薇 | 2,344  | 260 (10)        | 111 (9)         | 25 (10)            | 10.5 (9)           |
| 水黃皮  | 2,137  | 387 (9)         | 181 (8)         | 48 (9)             | 22.4 (5)           |
| 小計   | 60,579 | 26,575          | -               | 1,476              | -                  |

註：括弧內為排序



#### 4.2.2 空氣汙染移除

臺北市 10 大樹種之空氣汙染移除效益數量計算結果以及各樹種排序整理如表 4.11，前 10 大樹種每年共可移除 29,694 kg 之空氣汙染物，各樹種之總空氣汙染移除量介於 230 kg/yr 至 8,218 kg/yr，前 3 名依序為榕樹(8,218 kg/yr)、樟樹(5,046 kg/yr)以及白千層(3,411 kg/yr)，最低的樹種為大花紫薇(230 kg/yr)；各樹種單株平均空氣汙染移除量介於 0.10 kg/yr 至 0.70 kg/yr，前 3 名樹種分別為白千層(0.70 kg/yr)、榕樹(0.67 kg/yr)以及樟樹(0.60 kg/yr)，最低的同樣為大花紫薇(0.10 kg/yr)，平均而言臺北市前 10 大路樹每株之空氣汙染移除量為 0.49 kg/yr。

與相關研究比較，Seed Consulting Services (2016)分析澳洲都市 58 種都市樹木之平均單株空氣汙染移除量介於 0.1 kg/yr 至 1.3 kg/yr；Oxford City Council (2021)計算英國牛津地區 72 種都市樹木平均單株空氣汙染移除量主要介於 0.1 kg/yr 至 1.4 kg/yr。

表 4.11 i-Tree Eco 計算臺北市 10 大樹種空氣汙染移除效益結果

| 樹種   | 株數     | 汙染移除量<br>(kg/yr) | 單株汙染移除量<br>(kg/yr) |
|------|--------|------------------|--------------------|
| 榕樹   | 12,357 | 8,218 (1)        | 0.67 (2)           |
| 茄苳   | 9,513  | 2,870 (5)        | 0.30 (8)           |
| 樟樹   | 8,363  | 5,046 (2)        | 0.60 (3)           |
| 楓香   | 7,030  | 3,209 (4)        | 0.46 (5)           |
| 臺灣欒樹 | 6,696  | 2,737 (6)        | 0.41 (6)           |
| 白千層  | 4,847  | 3,411 (3)        | 0.70 (1)           |
| 黑板樹  | 4,450  | 2,513 (7)        | 0.56 (4)           |
| 小葉欖仁 | 2,842  | 1,064 (8)        | 0.37 (7)           |
| 大花紫薇 | 2,344  | 230 (10)         | 0.10 (10)          |
| 水黃皮  | 2,137  | 396 (9)          | 0.19 (9)           |
| 小計   | 60,579 | 29,694           | -                  |

註：括弧內為排序



#### 4.2.3 i-Tree Eco 於臺灣應用之限制

根據本研究以 i-Tree Eco 量化分析臺北市前 10 大樹種之「碳儲存及吸存」以及「空氣汙染移除」效益結果可以發現，不同樹種所帶來之效益總量並不一定與株數相關，也會受到不同樹種之特性與樹木大小等影響，而都市樹木管理單位可以藉由 i-Tree Eco 完成估算各樹種不同效益之量化資訊，以進行區域間之比較，或作為管理措施效果檢驗之參考依據。

而本研究為評估 i-Tree Eco 是否適合臺灣直接應用，進一步將臺北市之評估結果與其他研究進行比較，然而因「空氣汙染移除」會受到各地之空氣汙染物質濃度影響，因此本研究針對「碳儲存及吸存」效益進行比較。以 i-Tree Eco 分析臺北市前 10 大樹種之單株平均碳儲存量約為每株 438.7 kg C，單株平均碳吸存量則約為每株 24.4 kg C/yr，然而 Nowak and Crane (2002)以 i-Tree Eco 評估美國不同城市之碳儲存及碳吸存量，不同城市之樹木平均單株碳儲存約介於每株 130~245 kg C，而平均單株碳吸存量則介於每株 4.5~8.1 kg C/yr，可以發現 i-Tree Eco 評估臺北市樹木之結果約為美國地區之 2~3 倍。

而臺灣相關研究部分，林郁庭(2022)亦曾發現應用 i-Tree Eco 評估臺北市大安森林公園樹木之碳儲存及吸存效益，其結果與應用臺灣之樹木材積模型與碳轉換係數計算結果相比，於碳儲存量約高估 1.5 倍，碳吸存量則高估約 2 倍，顯示臺灣若直接引用 i-Tree Eco 之碳儲存及吸存效益計算結果有高估的可能，如希望獲得準確之效益量化資訊，需要進行後續本土化估算模式之建立。



### 4.3 都市樹木碳儲存及吸存效益本土化評估

本以臺北市數量較多之茄苳、樟樹以及楓香路樹為例，建立 3 樹種適用於臺北市環境之碳儲存及吸存效益評估使用資訊，以及碳儲存及吸存量計算，本部分分別從 3 樹種之臺北市路樹材積調查結果、生長量調查結果以及最終完成 3 樹種之碳儲存及吸存量計算結果進行說明。

#### 4.3.1 材積調查

經本研究利用地面光達掃瞄調查 3 樹種之樣木取得點雲資料後，完成各株樣木之立體點雲資料拼接誤差均小於 0.5mm，再以各株樣木點雲資料測量胸徑與樹高資訊，以及使用 Smalian 公式計算主幹之材積結果如表 4.12，首先茄苳樣木胸徑最小為 6.5 cm，最大達 83.4 cm，樹高則介於 3.7 m 至 15.9 m；樟樹樣木胸徑部分最小為 5.6 cm，最大達 98.8 cm，樹高則介於 3.7 m 至 22.0 m；楓香樣木胸徑部分最小為 6.7 cm，最大達 66.3 cm，樹高則介於 4.5 m 至 17.4 m。詳細 3 樹種各株樣木之胸徑與樹高分布如圖 4.2。

而 3 樹種以光達實測材積部份，茄苳各株樣木之主幹材積( $V_{trunk}$ )介於 0.01  $m^3$  至 2.55  $m^3$ ；樟樹各株樣木之主幹材積( $V_{trunk}$ )介於 0.01  $m^3$  至 5.17  $m^3$ ；楓香各株樣木之主幹材積( $V_{trunk}$ )介於 0.01  $m^3$  至 1.83  $m^3$ 。詳細各株樣木胸徑與材積計算結果分布如圖 4.3。

表 4.12 本研究 3 樹種光達測量結果

| 樹種 | n  | DBH(cm)  | Height(m) | 主幹材積( $m^3$ ) |                 |
|----|----|----------|-----------|---------------|-----------------|
|    |    |          |           | Range         | Mean $\pm$ SD   |
| 茄苳 | 40 | 6.5-83.4 | 3.7-15.9  | 0.01-2.55     | 0.79 $\pm$ 0.66 |
| 樟樹 | 40 | 5.6-98.8 | 3.7-22.0  | 0.01-5.17     | 1.66 $\pm$ 1.45 |
| 楓香 | 40 | 6.7-66.3 | 4.5-17.4  | 0.01-1.83     | 0.74 $\pm$ 0.57 |

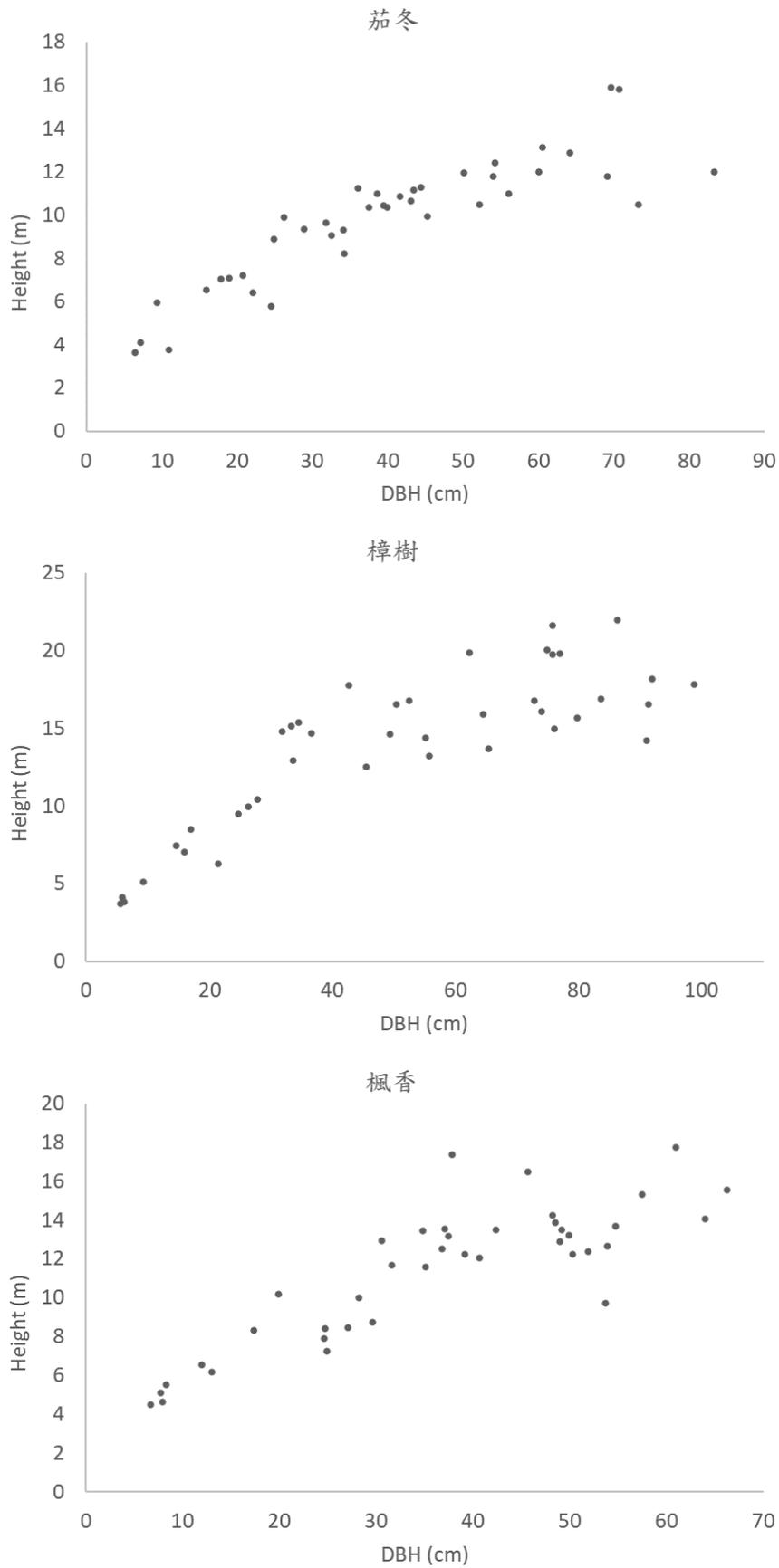


圖 4.2 本研究 3 樹種各株樣木胸徑樹高分佈

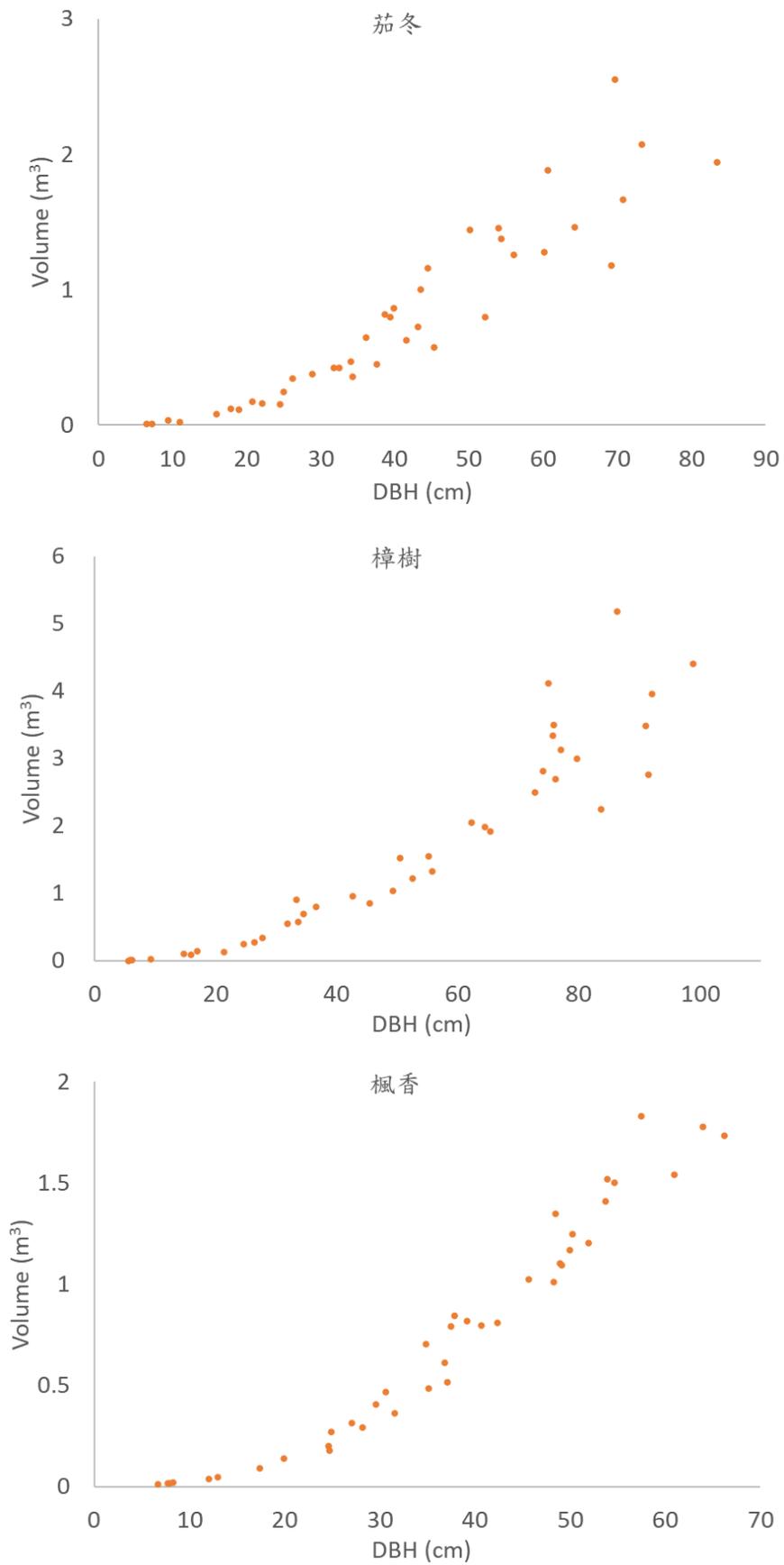


圖 4.3 本研究 3 樹種樣木胸徑與光達實測材積分佈



### 4.3.1.1 材積式建立

利用本研究調查 3 樹種樣木之胸徑、樹高及材積資料，完成主幹材積( $V_{trunk}$ )之單變數及雙變數 2 種類型材積式建立，模式參數推估結果分別如表 4.13 及表 4.14，以下依不同樹種分別說明材積式推估結果。

首先，茄苳之主幹材積式部份，單變數之( $V1_{trunk}$ )與雙變數( $V2_{trunk}$ )式之均方根誤差(RMSE)分別為 0.316 及 0.258，平均絕對百分比誤差(MAPE)分別為 24.1%及 15.9%，分別屬於合理(20%-50%)以及優良(10%-20%)之推估結果；樟樹主幹材積式部份，單變數之( $V1_{trunk}$ )與雙變數( $V2_{trunk}$ )式之均方根誤差(RMSE)分別為 0.564 及 0.309，平均絕對百分比誤差(MAPE)分別為 20.5%及 13.2%，分別屬於合理(20%-50%)以及優良(10%-20%)之推估結果；最後楓香主幹材積式部份，單變數之( $V1_{trunk}$ )與雙變數( $V2_{trunk}$ )式之均方根誤差(RMSE)分別為 0.144 及 0.142，平均絕對百分比誤差(MAPE)分別為 11.7%及 11.5%，皆為優良(10%-20%)之推估結果。

表 4.13 本研究 3 樹種單變數材積推估式結果

| 樹種 | $V1_{trunk}=a \times D^b$ |       | RMSE  | MAPE  |
|----|---------------------------|-------|-------|-------|
|    | a                         | b     |       |       |
| 茄苳 | $1.7189 \times 10^{-4}$   | 2.220 | 0.316 | 0.241 |
| 樟樹 | $1.5881 \times 10^{-4}$   | 2.277 | 0.564 | 0.205 |
| 楓香 | $1.4524 \times 10^{-4}$   | 2.305 | 0.144 | 0.117 |

表 4.14 本研究 3 樹種雙變數材積推估式結果

| 樹種 | $V2_{trunk}=a \times D^b \times H^c$ |       |       | RMSE  | MAPE  |
|----|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|    | a                                    | b     | c     |       |       |
| 茄苳 | $9.1762 \times 10^{-5}$              | 1.436 | 1.524 | 0.258 | 0.159 |
| 樟樹 | $9.1081 \times 10^{-5}$              | 1.599 | 1.206 | 0.309 | 0.132 |
| 楓香 | $1.2701 \times 10^{-4}$              | 2.164 | 0.261 | 0.142 | 0.115 |

根據本研究調查結果，3種樹種之材積式推估表現均相當優良，僅使用胸徑進行預測之單變數材積式即具有相當好的材積估計能力，且可以發現當模式加入樹高變數後，各樹種材積式之均方根誤差(RMSE)及平均絕對誤差百分比(MAPE)均降低，即雙變數模式預測表現更佳，此與 Pillsbury *et al.* (1998)針對北美地區都市樹木，以及 Yoon *et al.* (2013)針對韓國 5 種常見路樹，建立單變數與雙變數材積式結果一致。

因此，本研究建置之材積式可應用於後續碳儲存及吸存計算時，推估各樹種之材積使用。此外，相關研究未來欲進行臺北市都市環境之茄苳、樟樹以及楓香路樹主幹材積推估時，亦可應用本研究建立之 3 樹種不同材積式，並依其調查作業是否蒐集樹高資料，選用單變數或雙變數材積式。

#### 4.3.1.2 材積推估結果比較

根據臺北市路樹普查茄苳、樟樹以及楓香等 3 樹種之胸徑與樹高資料，帶入本研究建立之主幹雙變數材積式( $V_{2trunk}$ )，林務局通用材積式( $V_{TFB}$ )以及羅紹麟、馮豐隆 (1986)之一般闊葉樹材積式( $V_{Lo}$ )，完成主幹材積估算結果比較如表 4.15，

表 4.15 本研究 3 樹種不同主幹推估結果比較

| 樹種 | 材積式          | N     | 材積 (m <sup>3</sup> ) |                |       | 差異   |
|----|--------------|-------|----------------------|----------------|-------|------|
|    |              |       | Range                | Mean ±SD       | Sum   |      |
| 茄苳 | $V_{2trunk}$ | 9,513 | 0.0002-5.3363        | 0.3887 ±0.4502 | 3,697 | -    |
|    | $V_{TFB}$    |       | 0.0001-5.8112        | 0.3332 ±0.3921 | 3,170 | -14% |
|    | $V_{Lo}$     |       | 0.0002-5.4027        | 0.3740 ±0.3986 | 3,557 | -4%  |
| 樟樹 | $V_{2trunk}$ | 8,363 | 0.0003-5.1559        | 0.4697 ±0.4812 | 3,928 | -    |
|    | $V_{TFB}$    |       | 0.0001-6.4459        | 0.4959 ±0.5657 | 4,147 | +6%  |
|    | $V_{Lo}$     |       | 0.0002-5.9538        | 0.5390 ±0.5618 | 4,507 | +15% |
| 楓香 | $V_{2trunk}$ | 7,030 | 0.0008-5.0316        | 0.2722 ±0.3917 | 1,914 | -    |
|    | $V_{TFB}$    |       | 0.0005-6.4726        | 0.2667 ±0.4468 | 1,875 | -2%  |
|    | $V_{Lo}$     |       | 0.0009-5.8490        | 0.2944 ±0.4456 | 2,070 | +8%  |



首先茄苳 9,513 株之主幹材積推估結果部分，以本研究建立主幹材積式 ( $V_{2trunk}$ )推估之單株平均材積以及合計材積分別為  $0.3887 \text{ m}^3$  與  $3,697 \text{ m}^3$ ，以林務局通用材積式( $V_{TFB}$ )推估結果為  $0.3332 \text{ m}^3$  與  $3,170 \text{ m}^3$ ，以一般闊葉樹材積式( $V_{Lo}$ )推估結果為  $0.3740 \text{ m}^3$  與  $3,557 \text{ m}^3$ ，使用通用材積式( $V_{TFB}$ )與一般闊葉樹材積式( $V_{Lo}$ )推估之茄苳主幹材積結果均低於本研究雙變數主幹材積式，當用於計算臺北市整體茄苳主幹材積結果分別低估約 14% ( $V_{TFB}$ )以及 4% ( $V_{Lo}$ )。

樟樹 8,363 株之主幹材積推估結果，以本研究建立主幹材積式( $V_{2trunk}$ )推估之單株平均材積以及合計材積分別為  $0.4697 \text{ m}^3$  與  $3,928 \text{ m}^3$ ，而以林務局通用材積式( $V_{TFB}$ )推估結果為  $0.4959 \text{ m}^3$  與  $4,147 \text{ m}^3$ ，以一般闊葉樹材積式( $V_{Lo}$ )推估結果為  $0.5390 \text{ m}^3$  與  $4,507 \text{ m}^3$ 。使用通用材積式( $V_{TFB}$ )與一般闊葉樹材積式( $V_{Lo}$ )推估之樟樹主幹材積結果，均高於以本研究雙變數主幹材積式，當用於計算臺北市整體樟樹主幹材積結果分別高估約 6% ( $V_{TFB}$ )以及 15% ( $V_{Lo}$ )。

最後，楓香 7,030 株之主幹推估材積推估結果部分，以本研究建立主幹材積式( $V_{2trunk}$ )推估之單株平均材積以及合計材積分別為  $0.2722 \text{ m}^3$  與  $1,914 \text{ m}^3$  ( $V_{2trunk}$ )，而以林務局通用材積式( $V_{TFB}$ )推估結果為  $0.2667 \text{ m}^3$  與  $1,875 \text{ m}^3$ ，以一般闊葉樹材積式( $V_{Lo}$ )推估結果為  $0.2944 \text{ m}^3$  與  $2,070 \text{ m}^3$ 。使用通用材積式( $V_{TFB}$ )推估之楓香主幹材積結果低於以本研究雙變數主幹材積式，而使用一般闊葉樹材積式( $V_{Lo}$ )之推估結果則高於本研究雙變數主幹材積式，當用於計算臺北市整體楓香主幹材積結果分別低估約 2% ( $V_{TFB}$ )以及高估約 8% ( $V_{Lo}$ )。



造成推估結果差異之原因部分，由於林務局通用材積式主要是用於快速推估林木生產量使用，且主要用於主幹明顯之針葉樹種，其假設樹木主幹為一圓錐狀，再以胸高形數(預設為 0.45)進行計算，然而本研究調查之 3 種樹種為闊葉樹，茄苳與樟樹之樹型與針葉樹種相比具有較多分枝，進而使通用材積式估算結果產生落差，而楓香雖然為闊葉樹種，但其屬於主幹較明顯之樹型，也因此主幹材積推估結果落差相對較小。

而使用森林環境建立之一般闊葉樹材積式( $V_{Lo}$ )時，因森林與都市生長環境不同，且森林之材積式主要用於推估未來生產量，於樣木選擇偏向選取生長良好之樹木，使材積推估結果有高估的可能。此外，都市樹木常有人為修枝或樹冠修剪作業均可能造成主幹生長差異(McHale *et al.*, 2009)。國外相關調查都市環境樹木研究亦曾有類似之結果，例如 Aguaron & McPherson (2012)指出以森林環境建立之材積式會高估都市環境樹木之材積 3% 至 26%，而 McHale *et al.* (2009)調查則指出因不同樹種生長特，以傳統森林環境建立之材積式，與以都市環境樹木建立之材積式推估差異範圍介於-96%至+109%。

根據本研究結果，如應用林務局通用材積式( $V_{TFB}$ )或一般闊葉樹材積式( $V_{Lo}$ )進行臺北市 3 種樹種之主幹材積推估，並進一步應用於如碳儲存量計算等其他以材積為基礎之分析，將會使結果產生大小不等的偏誤。因此未來於進行臺北市都市環境之樹木主幹材積推估時，應使用以都市環境建立之材積式，避免使用傳統森林環境常用材積推估方法。



#### 4.3.2 胸徑生長量調查

根據 2020 年與 2022 年共 2 期之胸徑調查結果，首先調查樣木數量部分，由於本研究部分之調查樣木遭到移除，或其樹木普查標示牌遺失等因素，導致 2022 年無法進行重複調查，因此最終各樹種完成 2 期調查之樣木數分別為茄苳 105 株、樟樹 110 株以及楓香 113 株，完成計算 3 樹種之胸徑平均年生長量結果統計如表 4.16。

臺北市 3 樹種之路樹中，以茄苳之胸徑平均年生長量 0.75 cm 為最高，各茄苳樣木胸徑年生長量則介於<0.1 cm 至 2.00 cm，其次為楓香胸徑平均年生長量 0.74 cm，各楓香樣木胸徑年生長量介於<0.1 cm 至 1.85 cm，而樟樹胸徑平均年生長量 0.58 cm 為 3 樹種中最低，各樟樹樣木胸徑年生長量介於<0.1 cm 至 1.65 cm。另以 ANOVA 檢定結果顯示，3 樹種之胸徑年平均生長量具有顯著差異( $F=4.652, p < 0.01$ )，透過 Scheffe 法進行事後比較(Post hoc)，係茄苳與楓香胸徑平均年生長量顯著高於樟樹。

而本研究 3 樹種於臺灣造林地環境之胸徑生長量調查相關調查研究方面，茄苳部分邱志明等(2012)曾調查花蓮地區 10 年生，林分平均胸徑 13.2cm 之茄苳平地造林地，胸徑年生長量為 0.62 cm；樟樹部分，邱志明等(2012)調查花蓮地區 10 年生，林分平均胸徑 11.1cm 之樟樹平地造林地，胸徑年生長量為 0.57 cm，以及林俊成等(2014)調查台東地區 13 年生，平均胸徑 17.0 cm 之樟樹人工林，胸徑年生長量為 0.76 cm；最後楓香部分，林國銓等(2009)調查台東地區 10 年生，林分平均胸徑 16.9 cm 之楓香人工林，胸徑年生長量為 0.73 cm，以及邱志明等(2012)調查花蓮地區 10 年生，林分平均胸徑 10.9 cm 之楓香平地造林地，胸徑年生長量為 1.02 cm。

表 4.16 臺北市茄苳、樟樹與楓香樣木胸徑生長調查結果

| 樹種 | n   | 胸徑生長量 (cm/yr) |                         |
|----|-----|---------------|-------------------------|
|    |     | Range         | Mean ±SD                |
| 茄苳 | 105 | <0.1 - 2.00   | 0.75 <sup>a</sup> ±0.48 |
| 樟樹 | 110 | <0.1 - 1.65   | 0.58 <sup>b</sup> ±0.44 |
| 楓香 | 113 | <0.1 - 1.85   | 0.74 <sup>a</sup> ±0.44 |

註：小寫字母表示同質子集

最後，為進行 3 樹種各株路樹之年生長量推估作業，本研究利用 3 樹種之樣木胸徑平均生長量調查結果，以 2020 年調查之胸徑資料為基期，計算各株樣木胸徑相對生長率，3 樹種各株樣木胸徑與胸徑相對生長率分布如圖 4.4，並完成胸徑與胸徑相對生長率曲線式適配，3 樹種之模式參數結果詳如表 4.17，用於計算臺北市 3 樹種路樹之年胸徑生長量，以結合前述之材積式計算各株樹木之年材積生長量，以及計算各樹種之碳吸存量使用。

表 4.17 臺北市茄苳、樟樹與楓香樣木胸徑相對生長率結果

| 樹種 | 胸徑相對生長率       |      | 相對生長率式 $GR=aD^b$ |        |        |
|----|---------------|------|------------------|--------|--------|
|    | Range         | Mean | a                | b      | RMSE   |
| 茄苳 | <0.1 – 17.6 % | 3.1% | 1.4437           | -1.266 | 0.0241 |
| 樟樹 | <0.1 – 15.7 % | 2.5% | 1.5650           | -1.379 | 0.0213 |
| 楓香 | <0.1 – 21.1 % | 4.3% | 2.2842           | -1.427 | 0.0290 |

註：GR 為相對生長率，D 為胸高直徑(cm)，a、b 為模式參數

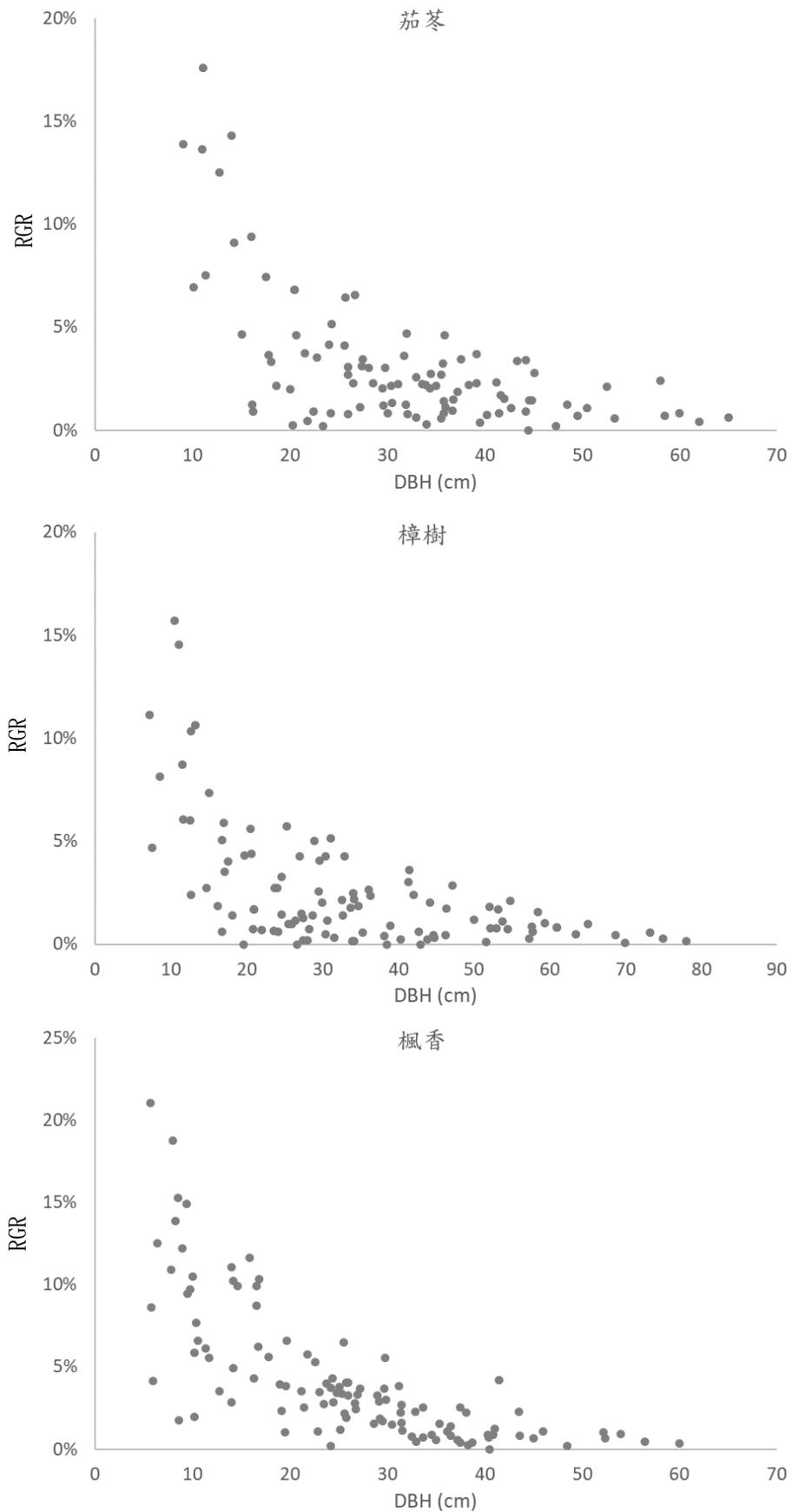


圖 4.4 本研究調查臺北市茄苳、樟樹與楓香不同胸徑樣木之胸徑相對生長率分布



### 4.3.3 碳儲存及吸存計算

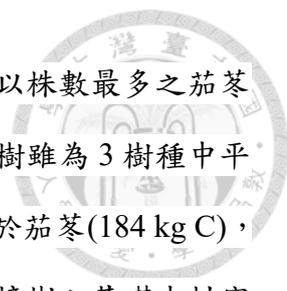
#### 4.3.3.1 碳儲存量

本研究利用臺北市路樹普查中茄苳、樟樹以及楓香之胸徑資料，透過本研究建立 3 樹種之單變數主幹材積式計算主幹材積後，再以碳儲存計算之式(13)完成碳儲存量計算，並與前述利用 i-Tree Eco 完成之 3 樹種碳儲存計算結果整理如表 4.18。

首先茄苳以本研究建立材積式計算之碳儲存量結果，9,513 株之總儲存量共 1,753 ton C，單株碳儲存量介於 0.4-2,230 kg C，平均為 184 kg C，而透過 i-Tree Eco 計算之碳儲存量結果為本研究計算之 2.3 倍以上，總碳儲存量共 4,157 ton C，單株碳儲存量介於 0.2-7,500 kg C，平均為 437 kg C；樟樹本研究計算結果 8,363 株總碳儲存量共 1,487 ton C，單株碳儲存量介於 0.1-1,862 kg C，平均為 178 kg C，而透過 i-Tree Eco 計算之碳儲存量結果為本研究計算近 3 倍，總碳儲存量共 4,403 ton C，單株碳儲存量介於 0.2-6,086 kg C，平均為 526 kg C；最後楓香本研究計算結果 7,030 株總碳儲存量共 889 ton C，單株碳儲存量介於 0.3-2,506 kg C，平均為 127 kg C，而透過 i-Tree Eco 計算之楓香碳儲存量結果，相較於茄苳與樟樹與本研究計算結果較接近，總碳儲存量共 764 ton C，單株碳儲存量介於 0.2-2,504 kg C，平均為 109 kg C。

表 4.18 臺北市茄苳、樟樹及楓香碳儲存量計算結果

| 樹種 | N     | DBH<br>(Mean ±SD) | 總碳儲存量<br>(ton C) |        |     | 平均單株碳儲存量<br>(kg C) |        |                 |
|----|-------|-------------------|------------------|--------|-----|--------------------|--------|-----------------|
|    |       |                   | 本研究              | i-Tree | 本研究 | 本研究<br>Range       | i-Tree | i-Tree<br>Range |
|    |       |                   |                  |        |     |                    |        |                 |
| 茄苳 | 9,513 | 27.5 ±12.9        | 1,753            | 4,157  | 184 | 0.4-2,230          | 437    | 0.2-7,500       |
| 樟樹 | 8,363 | 31.6 ±14.5        | 1,487            | 4,403  | 178 | 0.1-1,862          | 526    | 0.2-6,086       |
| 楓香 | 7,030 | 21.5 ±13.2        | 889              | 764    | 127 | 0.3-2,506          | 109    | 0.2-2,504       |



根據本研究計算之 3 樹種碳儲存量結果，總碳儲存量以株數最多之茄苳最高，其次為樟樹及楓香，然而平均單株碳儲存量部分，樟樹雖為 3 樹種中平均胸徑最大之樹種，但其平均單株碳儲存量(178 kg C)卻小於茄苳(184 kg C)，因此經檢視各樹種之碳轉換係數(表 3.3)可以發現，主要應樟樹之基礎木材密度(BD)為 0.37，相較於茄苳之 0.65 以及楓香之 0.56 低 30%以上，因此由材積進行轉換後之碳儲存量亦較少。

與國內相關研究比較，林郁庭(2022)分析臺北市大安森林公園中所有樹木之平均碳儲存量約介於每株 170~250 kg C，與本次計算臺北市 3 樹種路樹單株平均相近。而與 i-Tree Eco 計算結果比較，首先 3 樹種之碳儲存量排序與本研究計算不同，經 i-Tree Eco 計算碳儲存量最高的樹種為樟樹，且茄苳及樟樹之碳儲存量均高於本研究計算 2 倍以上，而楓香則略低於本研究計算碳儲存量，過去亦有相關研究指於不同國家使用 i-Tree Eco 計算碳儲存效益時，根據不同之樹種會產生高估或低估的情形(Aguaron & McPherson, 2012; Dale, 2014; Russo *et al.*, 2014)。

而造成計算結果落差可能係由於 i-Tree Eco 核心使用之樹木生物量推估式為北美環境之森林樹木模式，並將估算結果乘以 0.8 之校正係數進行計算，當其資料庫缺乏某特定樹種之相關資料時，則以同屬物種之平均值，或以整體闊葉樹或針葉樹之平均值代替(Nowak *et al.*, 2013; Nowak, 2021)，然而不同國家之氣候、雨量以及生育地等環境因子不同，即使相同樹種之生長亦會有差異，且 i-Tree Eco 係於其伺服器進行計算作業並回傳結果資訊，使用者無法得知其實際所使用之模式，此外 i-Tree Eco 不論樹種均以碳含量比例 0.5 進行轉換，都是使 i-Tree Eco 計算結果與本研究產生差距之原因。



### 4.3.3.2 碳吸存量

以臺北市路樹普查資料為基期，分別利用 3 樹種之胸徑年相對生長率式計算預估一年後之胸徑，並利用本研究建立之 3 樹種主幹材積式計算主幹材積生長量，透過碳吸存計算之式(14)完成 3 樹種之年碳吸存量計算，並與利用 i-Tree Eco 完成之 3 樹種碳吸存計算結果整理如表 4.19。

首先茄苳以本研究建立材積式計算之碳吸存量結果，9,513 株之總吸存量共計 66 ton C/yr，單株碳吸存量介於 0.8-22.5 kg C/yr，平均為 6.9 kg C，而透過 i-Tree Eco 計算之碳吸存量結果為本研究計算之 3.5 倍以上，總碳吸存量共計 234 ton C/yr，單株碳吸存量介於 0.6-42.8 kg C/yr，平均為 24.6 kg C/yr；樟樹本研究計算結果 8,363 株總碳吸存量共計 35 ton C/yr，單株碳吸存量介於 0.4-11.6 kg C/yr，平均為 4.1 kg C/yr，而透過 i-Tree Eco 計算之碳吸存量結果為本研究計算 8 倍以上，總碳吸存量共計 312 ton C/yr，單株碳吸存量介於 0.5-90.1 kg C/yr，平均為 37.3 kg C/yr；最後楓香路樹本研究計算結果，7,030 株總碳吸存量共計 37 ton C/yr，單株碳吸存量介於 1.0-19.6 kg C/yr，平均為 5.3 kg C/yr，而透過 i-Tree Eco 計算之楓香碳吸存量結果，相較於茄苳與樟樹與本研究計算結果較接近，總碳吸存量共計 55 ton C/yr，單株碳吸存量介於 0.3-55.7 kg C/yr，平均為 7.8 kg C/yr。

表 4.19 臺北市茄苳、樟樹及楓香之年碳吸存量計算結果

| 樹種 | N     | DBH<br>(Mean ±SD) | 總碳吸存<br>(ton C/yr) |        | 平均單株碳吸存 (kg C/yr) |          |                 |          |
|----|-------|-------------------|--------------------|--------|-------------------|----------|-----------------|----------|
|    |       |                   | 本研究                | i-Tree | 本研究<br>Range      | i-Tree   | i-Tree<br>Range |          |
| 茄苳 | 9,513 | 27.5 ±12.9        | 66                 | 234    | 6.9               | 0.8-22.5 | 24.6            | 0.6-42.8 |
| 樟樹 | 8,363 | 31.6 ±14.5        | 35                 | 312    | 4.1               | 0.4-11.6 | 37.3            | 0.5-90.1 |
| 楓香 | 7,030 | 21.5 ±13.2        | 37                 | 55     | 5.3               | 1.0-19.6 | 7.8             | 0.3-55.7 |



可以發現 3 樹種之碳吸存量排序與碳儲存量不同，首先樟樹因平均胸徑生長量較低，以及前述之樟樹基礎密度(BD)較低，也因此本研究計算結果樟樹碳吸存能力為 3 樹種中最低。

與國內相關研究比較，林郁庭(2022)分析臺北市大安森林公園中所有樹木之平均年碳吸存量約介於每株 5.0~7.3 kg C/yr，與本次計算臺北市 3 樹種路樹單株平均碳吸存量相近。而 i-Tree Eco 計算 3 樹種之碳吸存能力結果則以樟樹為最高，推測造成此結果的原因除因 i-Tree Eco 使用之推估模式差異外，由於 i-Tree Eco 計算碳吸存量，是假定各樹種均以固定之平均年生長量(Nowak, 2021)，因此不論樹木之胸徑大小其假設生長量均相同，未考慮不同徑級大小樹木之胸徑生長差異，而樹木當胸徑越大時，相同的胸徑生長量所轉換之材積量高於胸徑較小之樹木，也是使 i-Tree Eco 計算樟樹碳吸存量較高的原因。

而為了解不同大小樹木之碳吸存能力差異，本研究另依據 3 樹種之胸徑資料，以胸徑四分位數將各樹種分級，統計不同徑級之平均生長量以及碳吸存能力如表 4.20，可以發現各樹種徑級由小至大，胸徑平均生長量均有下降趨勢，但平均碳吸存量皆上升，即各樹種胸徑越大之樹木雖然生長量降低，但仍可提供較高之碳吸存量。

最後，本研究蒐集 3 樹種於臺灣造林地環境之碳吸存能力相關調查研究，茄苳部分，蕭聖儒(2016)調查台中地區 13 年生平均胸徑 10.5 cm 之平地造林，平均單株碳吸存量為 2.0 kg C/yr，陳忠義(2017)調查屏東地區 7 年生平均胸徑 7.2 cm 平地造林，平均單株碳吸存量為 5.4 kg C/yr；樟樹部分，林俊成等(2014)調查台東地區 13 年生平均胸徑 17.0 cm 人工林，平均單株碳吸存量為 3.7 kg/yr；最後楓香部分，林國銓等(2009)調查台東地區 26 年生人工林，平均單株碳吸存量為 2.8 kg C/yr，陳忠義(2017)調查屏東地區 7 年生平均胸徑 6.6 cm 平地造林，平均單株碳吸存量為 3.5 kg C/yr，莊采蓁等(2019)調查南投地區 7 年生平均胸徑 6.9 cm 人工林，平均單株碳吸存量為 1.8 kg C/yr。可以發現生長於臺

北市之茄苳與楓香之小徑級路樹，以本研究結果推估之年碳吸存量高於部分造林地，顯示臺北市之路樹應具有一定之碳吸存能力及提供減碳之效益，後續可針對更多樹種進行調查作業，將可以提供管理單位於有新植或路樹更新時，如有增加減碳能力需求之目的時作為樹種選擇之參考。

表 4.20 臺北市不同徑級茄苳、樟樹及楓香碳吸存量計算結果

| 樹種 | 徑級  | DBH (cm) | N     | 平均生長量 (cm/yr) | 總碳吸存量 (ton C/yr) | 平均碳吸存 (kg C/yr) |
|----|-----|----------|-------|---------------|------------------|-----------------|
| 茄苳 | I   | ≤19      | 2,544 | 0.77          | 8.1              | 3.2             |
|    | II  | 19~27    | 2,237 | 0.62          | 13.4             | 6.0             |
|    | III | 27~36    | 2,555 | 0.58          | 20.4             | 8.0             |
|    | IV  | >36      | 2,177 | 0.53          | 23.9             | 11.0            |
| 樟樹 | I   | ≤22      | 2,239 | 0.59          | 4.8              | 2.1             |
|    | II  | 22~31    | 2,148 | 0.45          | 7.7              | 3.6             |
|    | III | 31~40    | 1,918 | 0.40          | 8.9              | 4.6             |
|    | IV  | >40      | 2,058 | 0.36          | 13.1             | 6.3             |
| 楓香 | I   | ≤10      | 1,861 | 1.01          | 4.1              | 2.2             |
|    | II  | 10~20    | 1,769 | 0.72          | 7.2              | 4.1             |
|    | III | 20~30    | 1,743 | 0.58          | 10.7             | 6.2             |
|    | IV  | >30      | 1,657 | 0.48          | 15.2             | 9.1             |



## 第五章 結論與建議

都市樹木可提供多樣的效益並提升居民的福祉，然而要能穩定發揮其效益需要進行持續且妥善的管理維護作業，本研究調查結果可做為都市樹木管理單位於進行各種管理規劃決策，以及未來都市樹木相關研究之參考資訊，為本研究的重要貢獻，以下針對本研究各項調查分析結論、本研究限制以及未來研究建議方向分別說明。

### 5.1 結論

1. 根據臺北市居民對於都市樹木效益與問題之認知調查結果，臺北市居民最重視樹木的「碳吸存」以及其他與「氣候調節」相關之效益，而對於樹木帶來的問題除「病蟲害問題」外均認為不嚴重，顯示目前臺北市對於都市樹木可能產生之問題管理得宜。
2. 本研究調查臺北市居民對都市樹木的相關看法，可以作為管理單位進行維護管理作業優先性與注意項目之參考依據，亦可提供未來都市於植樹時樹種挑選參考，以維持與提升樹木帶來的效益，並優先處置以解決或降低樹木產生的問題，例如防治樹木病蟲害即可列為優先順序較高的作業項目。
3. 根據本研究延伸計畫行為理論模型分析結果，居民對於都市樹木的有用性與生態系服務效益的知覺，會正向影響保護都市樹木的態度與行為意向，因此可透過例如辦理相關活動或撰寫教案，推廣宣導樹木的好處以及可帶來的生態系服務效益，將有助於提升民眾對保護都市樹木的態度，以及支持與參與保護都市樹木之行為意向。
4. 本研究應用 i-Tree Eco 針對臺北市居民較重視之「碳儲存及吸存」與「空氣汙染移除」效益，完成臺北市路樹前 10 大樹種之效益量化評估，分析結果可作為不同區域或不同樹種之比較依據，提供管理單位制定各項措施與資源分配的參考，以及作為對民眾進行推廣教育都市樹木效益之科學化資訊。

- 
5. 針對都市樹木之「碳儲存及吸存」效益，本研究為臺灣首次針對都市樹木，透過調查建立樹木材積式以及胸徑相對生長率式進行碳儲存及吸存量估算，本研究建立茄苳、樟樹及楓香 3 樹種之 2 類型材積式以及胸徑相對生長率推估式，可提供未來臺北市相關研究與評估使用，避免因引用森林建立之材積式可能產生之偏誤。
  6. 經使用本研究建立臺北市茄苳、樟樹及楓香 3 樹種之材積式與胸徑生長率推估式，完成 3 樹種之碳儲存及吸存量計算，結果顯示茄苳為臺北市碳吸存潛力最高之路樹，此外，本研究發現如以 i-Tree Eco 進行臺北市路樹之碳儲存及吸存量估算，依不同樹種特性有過於高估的情況，因此國內於應用 i-Tree Eco 所量化之都市樹木效益結果應謹慎使用。

## 5.2 研究限制

1. 有關都市居民對於樹木之效益與保護行為意向等認知，本次係針對臺北市居民進行抽樣調查，然而臺灣不同城市之氣候條件、樹木種類、數量、栽植特性與管理維護方式不盡相同，其他都市居民之認知特性是否與臺北市相同仍待進一步調查分析。
2. 本研究應用 i-Tree Eco，完成臺北市路樹之「碳儲存及吸存」與「空氣汙染移除」效益量化分析，然而 i-Tree Eco 所使用之模型以及各種參數，係以北美洲地區之樹種以及氣候環境建立，因此臺灣直接應用所計算之效益結果可能存在偏誤，例如碳儲存及吸存量即有高估的情況，但現階段應用仍可作為臺灣不同都市或不同目標評估區域之相對比較，以及評估對於都市樹木各項管理措施前後之效果評估依據。
3. 本研究建立之茄苳、樟樹及楓香等 3 樹種之材積式與胸徑相對生長率式，係以臺北市環境路樹進行調查與模式適配，因此是否適用於臺灣其他地區之都市樹木仍待進一步調查確認。

- 
4. 本研究估算臺北市茄苳、樟樹及楓香之碳吸存量，係使用單變數(胸徑)材積式進行材積生長量計算。主要係考量樹木之樹高測量易產生人為誤差，且都市路樹常進行修剪活動易使調查結果失真，因此本研究於材積生長推估未納入樹高變數。

### 5.3 未來研究建議

1. 根據本研究調查，樹木產生之「病蟲害問題」為臺北市居民認為嚴重性相對較高之項目，因此未來可再針對民眾所接觸到之樹木病蟲害類型擴大調查，以進一步提供管理單位進行防治與處理之參考資訊。
2. 本研究係以臺北市居民為案例進行調查分析，未來可再針對台灣不同城市之民眾進行調查，以比較分析不同地區民眾使接觸都市樹木的機會與習慣等，以及對於都市樹木效益與問題等認知等是否有所差異。
3. 由於目前臺灣直接應用 i-Tree Eco 進行都市樹木效益評估有高估的可能，未來如希望提升其評估之準確性，應透過與 i-Tree Eco 進行合作，針對其各種效益模型分析時所需之各樹種材積、生物量與葉面積等參數，建立國內樹種資料並提供納入 i-Tree Eco 模式，以提升臺灣分析應用之準確性。
4. 本研究已建立臺北市 3 常見重要樹種之材積式與胸徑相對生長率式，未來可再針對其他之都市樹種進行調查與推估式建立，提升各種都市樹木之材積與生長量估算準確度，以及可進一步計算不同樹種之碳儲存及吸存能力，將可作為管理單位於進行低碳城市或淨零排放策略擬定時之參考資訊，例如於新植或樹木更新時，即可將不同之樹種碳吸存能力納入樹種選擇之參考。
5. 本研究係以臺北市樹木普查資料為基礎，計算臺北市 3 樹種之碳儲存及吸存量潛力，未來可再進一步調查研究期間內所新增與移除之樹木資料，例如新栽植樹木可帶來之碳吸存量，以及調查因樹木修剪或樹木移除之碳儲存及吸存量損失，以評估都市樹木實際之淨碳吸存效益。

## 參考文獻

內政部 (2019) 內政部戶政司全球資訊網人口統計資料庫。

<https://www.ris.gov.tw/app/portal/346>。

王義仲、趙宗玲、林志欽 (2016) 基隆市空義品質淨化區林木生長之碳削減調查。

華岡農科學報 38：53-68。

行政院環境保護署(2021) 中華民國國家溫室氣體清冊報告。臺北市，

[https://unfccc.saveoursky.org.tw/nir/tw\\_nir\\_2021.php](https://unfccc.saveoursky.org.tw/nir/tw_nir_2021.php)

李宣德、馮豐隆 (2010) 台灣地區樟樹生物量擴展係數之建立。林業研究季刊 32(3):

45-54。

林俊成、劉一新、湯適謙 (2014) 闊葉樹混合林之生長表現與碳儲存量變化。林業

研究季刊 36(1): 57-66。

林務局 (1997) 台灣林產處分調查用立木材積表。台灣省林務局。252 頁。

林國銓、杜清澤、黃菊美(2009)台東地區相思樹與楓香兩人工林碳累積量。林業研

究季刊 31(3): 55-68。

林裕仁、劉瓊霏、林俊成 (2002) 台灣地區主要用材比重與碳含量測定。台灣林業

科學 17(3)：291-299。

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。國立臺灣

大學森林環境暨資源學系碩士論文。63 頁。

邱志明、鍾智昕、唐盛林、呂明倫、王慈憶 (2012) 平地造林重要之樹種林分密度

與生長特性。平地造林試驗研究監測研討會 1-19 頁。

高玉芳 (2001) 尋找閱聽人—網際網路閱聽人調查方法及其相關問題之探討。國立

政治大學廣播電視學系碩士論文。161 頁。

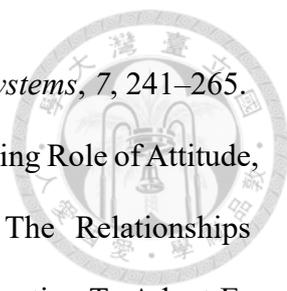
莊采蓁、林政融、顏添明 (2019) 楓香人工幼齡林林分結構之量化及碳吸存能力之

評估—以惠蓀林場為例。林業研究季刊 41(1):65-80。

陳忠義 (2017) 以三種方法探討平地造林樹種碳吸存。國立臺灣大學生物資源暨農



- 學院森林環境暨資源學系博士論文，125 頁。
- 廖宜緯、陳美光、陳羽康、鐘玉龍、吳守從 (2011) 台糖公司屏東縣平地造林碳貯存量調查。中華林學季刊 44(3)：373-384。
- 臺北市政府 (2019) 臺北市政府民政局統計資料庫。  
<http://pxweb.ca.gov.taipei/pxweb/Dialog/statfile9-ca.asp>。
- 臺北市政府 (2020) 臺北市路樹資訊網，<https://geopkl.gov.taipei/>。(Accessed 2020.05.03)。
- 歐聖榮、高必嫻 (1998) 台中地區居民對路樹屬性偏好之研究。中國園藝 44(3):275-295。
- 蕭聖儒 (2016) 赤桉、白千層與茄苳人工林之碳吸存及植群結構。國立中興大學森林學系碩士學位論文，53 頁。
- 羅紹麟、馮豐隆 (1986) 台灣第一次林相變更造林木生長情形及生長量調查計劃報告。林務局。89 頁。
- Aguaron, E., & McPherson, E. G. (2012). Comparison of Methods for Estimating Carbon Dioxide Storage by Sacramento's Urban Forest. In R. Lal & B. Augustin (Eds.), *Carbon Sequestration in Urban Ecosystems* (pp. 43–71). Springer Netherlands.  
[https://doi.org/10.1007/978-94-007-2366-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-007-2366-5_3)
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211.
- Ajzen, I., & Madden, T. J. (1986). Prediction of goal directed behavior: Attitudes, intentions, and perceived behavioral control. *Journal of Experimental Social Psychology*, 22(5), 453–474.
- Akter, S., D'Ambra, J., & Ray, P. (2011). *An evaluation of PLS based complex models: The roles of power analysis, predictive relevance and GoF index.*
- Alberti, M., & Marzluff, J. M. (2004). Ecological resilience in urban ecosystems: linking

- 
- urban patterns to human and ecological functions. *Urban Ecosystems*, 7, 241–265.
- Altawallbeh, M., Soon, F., Thiam, W., & Alshourah, S. (2015). Mediating Role of Attitude, Subjective Norm And Perceived Behavioural Control In The Relationships Between Their Respective Salient Beliefs And Behavioural Intention To Adopt E-Learning Among Instructors In Jordanian Universities. *Journal of Education and Practice*, 6(11), 152–159.
- Avolio, M. L., Pataki, D. E., Pincetl, S., Gillespie, T. W., Jenerette, G. D., & McCarthy, H. R. (2015). Understanding preferences for tree attributes: The relative effects of socio-economic and local environmental factors. *Urban Ecosystems*, 18(1), 73–86. <https://doi.org/10.1007/s11252-014-0388-6>
- Balram, S., & Dragievi, S. (2005). Attitudes toward urban green spaces: Integrating questionnaire survey and collaborative GIS techniques to improve attitude measurements. *Landscape and Urban Planning*, 71(2–4), 147–162. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(04\)00052-0](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(04)00052-0)
- Bartlett, M. S. (1951). The effect of standardization on a Chi-square approximation in factor analysis. *Biometrika*, 38(3), 337–344.
- Baur, J. W. R., Tynon, J. F., Ries, P., & Rosenberger, R. S. (2016). Public attitudes about urban forest ecosystem services management: A case study in Oregon cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 17, 42–53. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.03.012>
- Bernath, K., & Roschewitz, A. (2008). Recreational benefits of urban forests: Explaining visitors' willingness to pay in the context of the theory of planned behavior. *Journal of Environmental Management*, 89(3), 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.059>
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape*

and *Urban Planning*, 97(3), 147–155.

Brilli, L., Chiesi, M., Brogi, C., Magno, R., Arcidiaco, L., Bottai, L., Tagliaferri, G., Bindi, M., & Maselli, F. (2019). Combination of ground and remote sensing data to assess carbon stock changes in the main urban park of Florence. *Urban Forestry & Urban Greening*, 43, 126377. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126377>

Camacho-Cervantes, M., Schondube, J. E., Castillo, A., & MacGregor-Fors, I. (2014). How do people perceive urban trees? Assessing likes and dislikes in relation to the trees of a city. *Urban Ecosystems*, 17(3), 761–773. <https://doi.org/10.1007/s11252-014-0343-6>

Chin, H. C., Choong, W. W., Alwi, S. R. W., & Mohammed, A. H. (2016). Using Theory of Planned Behaviour to explore oil palm smallholder planters' intention to supply oil palm residues. *Journal of Cleaner Production*, 126, 428–439.

Chin, W. W. (1998). Issues and opinion on structural equation modeling. *Management Information Systems Quarterly*, 22(1), 7–16.

Chiquet, C., Dover, J. W., & Mitchell, P. (2013). Birds and the urban environment: The value of green walls. *Urban Ecosystems*, 16(3), 453–462.

Chuang, L.-M., Chen, P.-C., & Chen, Y.-Y. (2016). The determinant factors of employees' behavioral intention in green building restaurants—Integration TRA and TAM. *Universal Journal of Management*, 4(12), 704–713. <https://doi.org/10.13189/ujm.2016.041207>

Coder, K. D. (1996). *Trees and humankind: Cultural and psychological bindings*. University of Georgia Cooperative Extension Service Forest Resources Unit.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd edition). Erlbaum.

Cohen, P., Potchter, O., & Schnell, I. (2014). The impact of an urban park on air pollution

- 
- and noise levels in the Mediterranean city of Tel-Aviv, Israel. *Environmental Pollution*, 195, 73–83.
- Coley, R. L., Kuo, F. E., & Sullivan, W. C. (1997). Where does community grow? The social context created by nature in urban public housing. *Environment and Behavior*, 29(4), 468–494.
- Cooper, P., Poe, G. L., & Bateman, I. J. (2004). The structure of motivation for contingent values: A case study of lake water quality improvement. *Ecological Economics*, 50(1–2), 69–82. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.009>
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297–334.
- Dale, M. J. (2014). EVALUATION OF METHODS FOR QUANTIFYING CARBON STORAGE OF URBAN TREES IN NEW ZEALAND.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *Management Information Systems Quarterly*, 13(3), 319–340.
- Dwyer, J. F., McPherson, E. G., Schroeder, H. W., & Rowntree, R. A. (1992). Assessing the benefits and costs of the urban forest. *Journal of Arboriculture*, 18(5), 227–234.
- Dwyer, J. F., Nowak, D. J., & Watson, G. W. (2002). Future directions for urban forestry research in the United States. *Journal of Arboriculture*, 28(5), 231–236.
- Dwyer, J. F., Schroeder, H. W., & Gobster, P. (1991). The significance of urban trees and forests: Toward a deeper understanding of values. *Journal of Arboriculture*, 17(10), 276–284.
- Empidi, A., & Emang, D. (2021). Understanding public intentions to participate in protection initiatives for forested watershed areas using the Theory of Planned Behavior: A case study of Cameron Highlands in Pahang, Malaysia. *Sustainability*,



13(8), 4399. <https://doi.org/10.3390/su13084399>

- Escobedo, F., & Seitz, J. (2009). The costs of managing an urban forest. FOR 217. Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences. [http://edis.ifas.ufl.edu/document\\_fr279](http://edis.ifas.ufl.edu/document_fr279)
- Fang, J. Y., Chen, A. P., Peng, C. H., Zhao, S. Q., & Ci, L. G. (2001). Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, 292, 2320-2322.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G\* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191.
- Fleming, L. E. (1988). Growth estimation of street trees in central New Jersey. New Brunswick, NJ: Rutgers University. pp. 143.
- Folke, C., Jansson, A., Larsson, J. & Costanza, R. (1997). Ecosystem appropriation by cities. *Ambio*, 26, 167–172.
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39–50.
- Frelich, L. E. (1992). Predicting dimensional relationships for Twin Cities shade trees. St. Paul, MN: University of Minnesota, Department of Forest Resources. pp. 33.
- Friedrich, D. (2022). Consumer and expert behaviour towards biobased wood-polymer building products: A comparative multi-factorial study according to theory of planned behaviour. *Architectural Engineering and Design Management*, 18(1), 73–92. <https://doi.org/10.1080/17452007.2020.1865867>
- Giles-Corti, B., Broomhall, M. H., Knuiiman, M., Collins, C., Douglas, K., Ng, K., Lange, A., & Donovan, R. J. (2005). Increasing walking: How important is distance to, attractiveness, and size of public open space? *American Journal of Preventive*

*Medicine*, 28(2), 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2004.10.018>

Goddard, M. A., Dougill, A. J., Benton, T.G. (2010). Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments. *Trends in Ecology & Evolution*, 25, 90–98.

Gorman, J. (2004). Residents' opinions on the value of street trees depending on tree location. *Journal of Arboriculture*, 30(1), 36–44.

Graça, M., Queirós, C., Farinha-Marques, P., & Cunha, M. (2018). Street trees as cultural elements in the city: Understanding how perception affects ecosystem services management in Porto, Portugal. *Urban Forestry & Urban Greening*, 30, 194–205. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.02.001>

Grande-Ortiz, M. A., Ayuga-Téllez, E., & Contato-Carol, M. L. (2012). Methods of tree appraisal: a review of their features and application possibilities. *Arboriculture & Urban Forestry*, 38(4), 130-140.

Greaves, M., Zibarras, L. D., & Stride, C. (2013). Using the Theory of Planned Behavior to explore environmental behavioral intentions in the workplace. *Journal of Environmental Psychology*, 34, 109–120.

Gregg, J. W., Jones, C. G., Dawson, T. E. (2003). Urbanization effects on tree growth in the vicinity of New York City. *Nature*, 424, 183–187.

Gundersen, V. S., & Frivold, L. H. (2008). Public preferences for forest structures: are view of quantitative surveys from Finland, Norway and Sweden. *Urban Forestry & Urban Greening*, 7(4), 241-258.

Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2017). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)* (2nd ed.). Sage.

Hair, J. F., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2011). PLS-SEM: Indeed a silver bullet. *The Journal of Marketing Theory and Practice*, 19(2), 139–152.



Hair, J. F., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2012). Partial Least Squares: The Better Approach to Structural Equation Modeling? *Long Range Planning*, 45(5–6), 312–319.

Hair, J. F., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2013). Partial least squares structural equation modeling: Rigorous applications, better results and higher acceptance. *Long Range Planning*, 46(1–2), 1–12.

Hildebrandt, R., & Iost, A. (2012). From points to numbers: a database-driven approach to convert terrestrial LiDAR point clouds to tree volumes. *European Journal of Forest Research*, 131(6), 1857-1867.

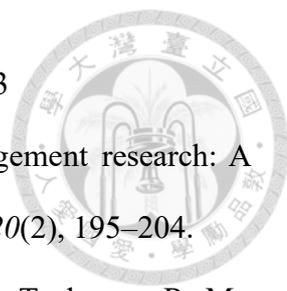
Hirabayashi, S. (2012). i-Tree Eco Precipitation Interception Model Descriptions. [http://www.itreetools.org/eco/resources/iTree\\_Eco\\_Precipitation\\_Interception\\_Model\\_Descriptions\\_V1\\_2.pdf](http://www.itreetools.org/eco/resources/iTree_Eco_Precipitation_Interception_Model_Descriptions_V1_2.pdf)

Hirabayashi, S. (2013). i-Tree Eco precipitation interception model descriptions. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service; Kent, OH: Davey Tree Expert Co.; and other cooperators. pp. 21  
[https://www.itreetools.org/eco/resources/iTree\\_Eco\\_Precipitation\\_Interception\\_Model\\_Descriptions.pdf](https://www.itreetools.org/eco/resources/iTree_Eco_Precipitation_Interception_Model_Descriptions.pdf)

Hirabayashi, S. (2015). i-Tree Eco United States county-based hydrologic estimates. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service; Kent, OH: Davey Tree Expert Co.; and other cooperators.  
[http://www.itreetools.org/landscape/resources/Eco\\_US\\_county-based\\_hydrologic\\_estimates.pdf](http://www.itreetools.org/landscape/resources/Eco_US_county-based_hydrologic_estimates.pdf)

Hladnik, D., & Pirnat, J. (2011). Urban forestry-Linking naturalness and amenity: The case of ljubljana, Slovenia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10(2), 105–112.

Hull, R. B. (1992). How The Public Values Urban Forests. *Arboriculture & Urban*

- 
- Forestry*, 18(2), 98–101. <https://doi.org/10.48044/jauf.1992.023>
- Hulland, J. (1999). Use of partial least squares in strategic management research: A review of four recent studies. *Strategic Management Journal*, 20(2), 195–204.
- Ignacio, J. J., Malenab, R. A., Pausta, C. M., Beltran, A., Belo, L., Tanhueco, R. M., Promentilla, M. A., & Orbecido, A. (2019). A perception study of an integrated water system project in a water scarce community in the Philippines. *Water*, 11(8), 1593. <https://doi.org/10.3390/w11081593>
- IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa K., Ngara, T., and Tanabe, K.(eds). Published: IGES, Japan.
- Jahangir, N., & Begum, N. (2008). The role of perceived usefulness, perceived ease of use, security and privacy, and customer attitude to engender customer adaptation in the context of electronic banking. *African Journal of Business Management*, 2(1), 32–40.
- Jeong, N.-R., Han, S.-W., & Ko, B. (2023). Understanding Urban Residents' Perceptions of Street Trees to Develop Sustainable Maintenance Guidelines in the Seoul Metropolitan Area, Korea. *Forests*, 14(4), 837. <https://doi.org/10.3390/f14040837>
- Jim, C. Y., & Chen, W. Y. (2006a). Impacts of urban environmental elements on residential housing prices in Guangzhou (China). *Landscape and Urban Planning*, 78(4), 422–434.
- Jim, C. Y., & Chen, W. Y. (2006b). Perception and attitude of residents toward urban green spaces in Guangzhou (China). *Environmental Management*, 38(3), 338–349. <https://doi.org/10.1007/s00267-005-0166-6>
- Jim, C. Y., & Chen, W. Y. (2008). Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China). *Journal of Environmental Management*,



88(4), 665–676.

Jöreskog, K. G., & Sörbom, D. (1989). *LISREL 7: A guide to the program and applications*. SPSS.

Kaiser, H. F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39, 31–36.

Keeling, H. C., & Phillips, O. L. (2007). The global relationship between forest productivity and biomass. *Global Ecology and Biogeography*, 16(5), 618–631.

Kramer, P. J. & Kozlowski, T. T. (1979). *Physiology of Plants*. Academic Press, San Diego CA. pp. 495.

Lam, K.-C., Ng, S.-L., Hui, W.-C., & Chan, P.-K. (2005). Environmental quality of urban parks and open spaces in Hong Kong. *Environmental Monitoring and Assessment*, 111(1–3), 55–73.

Lefsky, M., & McHale, M. (2008). Volume estimates of trees with complex architecture from terrestrial laser scanning. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2, 1–19.

Lewis, E. B. (1982) Control of body segment differentiation in drosophila by the bithorax gene complex. *Embryonic development, Part A: Genetic Aspects*. pp. 269–288.

Limayem, M., & Cheung, C. M. (2011). Predicting the continued use of Internet-based learning technologies: The role of habit. *Behaviour & Information Technology*, 30(1), 91–99.

Lin, I. H., Wu, C., & De Sousa, C. (2013). Examining the economic impact of park facilities on neighboring residential property values. *Applied Geography*, 45, 322–331.

Lo, A. Y., & Jim, C. (2010). Willingness of residents to pay and motives for conservation of urban green spaces In the compact city of Hong Kong. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9(2), 113–120.

Lo, A. Y., & Jim, C. (2012). Citizen attitude and expectation towards greenspace provision

in compact urban milieu. *Land Use Policy*, 29(3), 577–586.

Lo, A. Y., Byrne, J. A., & Jim, C. Y. (2017). How climate change perception is reshaping attitudes towards the functional benefits of urban trees and green space: Lessons from Hong Kong. *Urban Forestry & Urban Greening*, 23, 74–83.  
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.03.007>

Lohr, V., Pearson-Mims, C., Tarnai, J., & Dillman, D. (2004). How Urban Residents Rate and Rank the Benefits and Problems Associated with Trees in Cities. *Arboriculture & Urban Forestry*, 30(1), 28–35. <https://doi.org/10.48044/jauf.2004.004>

López-Mosquera, N., García, T., & Barrena, R. (2014). An extension of the Theory of Planned Behavior to predict willingness to pay for the conservation of an urban park. *Journal of Environmental Management*, 135, 91–99.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.019>

Lyytimäki, J., Sipilä, M. (2009). Hopping on one leg—the challenge of ecosystem disservices for urban green management. *Urban Forestry & Urban Greening*, 8, 309–315.

Madureira, H., Nunes, F., Oliveira, J. V., Cormier, L., & Madureira, T. (2015). Urban residents' beliefs concerning green space benefits in four cities in France and Portugal. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(1), 56–64.

Maichum, K., Parichatnon, S., & Peng, K.-C. (2016). *Application of the Extended Theory of Planned Behavior Model to Investigate Purchase Intention of Green Products among Thai Consumers*. 20.

McHale, M. R., Burke, I. C., Lefsky, M. A., Peper, P. J., & McPherson, E. G. (2009). Urban forest biomass estimates: Is it important to use allometric relationships developed specifically for urban trees? *Urban Ecosystems*, 12(1), 95–113.  
<https://doi.org/10.1007/s11252-009-0081-3>

McPherson, E. G., van Doorn, N. S., & Peper, P. J. (2016). Urban Tree Database and Allometric Equations. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-235. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. pp. 86.

McPherson, E. G., & Simpson, J. R. (1999). Carbon dioxide reductions through urban forestry: guidelines for professional and volunteer tree planters. PSW GTR-171. USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Center for Urban Forest Research, Albany, CA. pp. 237.

Miller, R.W., & Sylvester, W.A. (1981). An economic evaluation of the pruning cycle. *Journal of Arboriculture*, 7(4):109–112.

Myeong, S., Nowak, D. J., & Duggin, M. J. (2006). A temporal analysis of urban forest carbon storage using remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 101(2), 277–282. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.12.001>

Nesbitt, L., Hotte, N., Barron, S., Cowan, J., & Sheppard, S. R. (2017). The social and economic value of cultural ecosystem services provided by urban forests in North America: A review and suggestions for future research. *Urban Forestry & Urban Greening*, 25, 103–111.

Neuman, W. L. (2013). *Social research methods: Qualitative and quantitative approaches*. Pearson Education Ltd.

Nowak, D. J. (1994). Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. In: McPherson, E. G., D. J. Nowak and R. A. Rowntree, Editors, Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project. Gen. Tech. Rep. NE-186. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. pp. 83-94.

Nowak, D. J. (2021). *Understanding i-Tree: 2021 Summary of programs and methods*



(NRS-GTR-200-2021; p. NRS-GTR-200-2021). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. <https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-200-2021>

Nowak, D. J., & Crane, D. E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116(3), 381–389. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7)

Nowak, D. J., & Dwyer, J. F. (2007). Understanding the Benefits and Costs of Urban Forest Ecosystems. In *Urban and Community Forestry in the Northeast* (2nd ed, pp. 25–46).

Nowak, D. J., Greenfield, E. J., Hoehn, R. E., & Lapoint, E. (2013). Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*, 178, 229–236. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.019>

Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.028>

Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Doyle, M., McGovern, M., & Pasher, J. (2018). Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019>

Nowak, D. J., & Dwyer, J. F. (2000). Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. *Handbook of urban and community forestry in the northeast*. New York, NY: Kluwer Academics/Plenum: 11-22.

Nowak, D. J., Greenfield, E.J., Hoehn, R. E., & Lapoint, E. (2013) Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States.

*Environmental Pollution*, 178, 229-236.

Olivero-Lora, S., Meléndez-Ackerman, E., Santiago, L., Santiago-Bartolomei, R., & García-Montiel, D. (2020). Attitudes toward Residential Trees and Awareness of Tree Services and Disservices in a Tropical City. *Sustainability*, 12(1), 117. <https://doi.org/10.3390/su12010117>

Ostoić, S. K., van den Bosch, C. C. K., Vuletić, D., Stevanov, M., Živojinović, L., Mutabdžija-Bećirović, S., Lazarević, J., Stojanova, B., Blagojević, D., Stojanovska, M., Nevenić, R., & Malovrh, S. P. (2017). Citizens' perception of and satisfaction with urban forests and green space: Results from selected Southeast European cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 23, 93–103.

Oxford City Council (2021). Oxford i-Tree Eco Report 2021. <https://www.oxford.gov.uk/downloads/file/860/oxford-i-tree-eco-study>

Pacione, M. (2009). *Urban Geography: A Global Perspective*. London: Routledge.

Park, J. H., Baek, S. G., Kwon, M. Y., Je, S. M., & Woo, S. Y. (2018). Volumetric equation development and carbon storage estimation of urban forest in Daejeon, Korea. *Forest Science and Technology*, 14(2), 97–104. <https://doi.org/10.1080/21580103.2018.1452799>

Pataki, D. E., Alig, R. J., Fung, A. S., Golubiewski, N. E., Kennedy, C. A., Mcpherson, E. G., Nowak, D. J., Pouyat, R. V., & Romero Lankao, P. (2006). Urban ecosystems and the North American carbon cycle. *Global Change Biology*, 12(11), 2092–2102. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01242.x>

Pillsbury, N. H., Reimer, J. L., & Thompson, R. P. (1998). Tree Volume Equations for Fifteen Urban Species in California, Technical Report No. 7. Urban Forest Ecosystems Institute, California Polytechnic State University, San Luis Obispo. pp. 64.

Ponce-Donoso, M., Vallejos-Barra, O., & Escobedo, F. J. (2017). Appraisal of urban trees using twelve valuation formulas and two appraiser groups. *Arboriculture & Urban Forestry*, 43(2), 72–82.

Pommerening, A., & Muszta, A. (2015). Methods of modelling relative growth rate. *Forest Ecosystem*, 2,5. <https://doi.org/10.1186/s40663-015-0029-4>

Rhoades R. W., & Stipes, R. J. (1999). Growth of trees on Virginia Tech campus in response to various factors. *Journal of Arboriculture*, 25(4), 211-217.

Ringle, C. M., Wende, S., & Becker, J.-M. (2015). *SmartPLS 3*. SmartPLS GmbH. <http://www.smartpls.com>

Rogers, K., Sacre, K., Goodenough, J., & Doick, K. J. (2015). *Valuing London's urban forest: Results of the London i-Tree Eco Project*. Treeconomics.

Roy, S., Byrne, J., & Pickering, C. (2012). A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(4), 351–363. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.06.006>

Russo, A., Escobedo, F. J., Timilsina, N., Schmitt, A. O., Varela, S., & Zerbe, S. (2014). Assessing urban tree carbon storage and sequestration in Bolzano, Italy. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 10(1), 54–70. <https://doi.org/10.1080/21513732.2013.873822>

Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M., & Chen, Y. (2016). Guidelines on urban and peri-urban forestry. FAO Forestry Paper, pp. 178.

Sanders, R. A. (1984). Some determinants of urban forest structure. *Urban Ecology*, 8(1-2), 13-27.

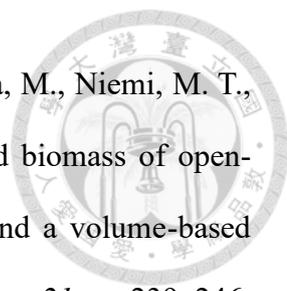
Sarstedt, M., Ringle, C. M., & Hair, J. F. (2017). Partial Least Squares Structural Equation Modeling. In C. Homburg, M. Klarmann, & A. Vomberg (Eds.), *Handbook of*



*Market Research* (pp. 1–40). Springer International Publishing.

[https://doi.org/10.1007/978-3-319-05542-8\\_15-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-05542-8_15-1)

- Schroeder, H., Flannigan, J., & Coles, R. (2006). Residents' attitudes toward street trees in the UK and U.S. Communities. *Arboriculture & Urban Forestry*, 32(5), 236–246.
- Schumacher, H. (1933). Logarithmic Expression of Timber-tree Volume. *Journal of Agricultural Research*, 47, 719-734.
- Seburanga, J. L., Kaplin, B. A., Zhang, Q.-X., & Gatesirea, T. (2014). *Amenity trees and green space structure in urban settlements of Kigali, Rwanda*. 13(1), 84–93.
- Seed Consulting Services (2016). Tree Ecosystem Services Assessment, Ridge Park. A report prepared for the City of Unley, South Australia.
- Soares, A. L., Rego, F. C., McPherson, E. G., Simpson, J. R., Peper, P. J., & Xiao, Q. (2011). Benefits and costs of street trees in Lisbon, Portugal. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10(2), 69-78.
- Sommer, R., Learey, F., Summit, J., & Tirrell, M. (1994). The social benefits of resident involvement in tree planting. *Journal of arboriculture*, 20, 170–175.
- Song, X. P., Tan, P. Y., Edwards, P., & Richards, D. (2018). The economic benefits and costs of trees in urban forest stewardship: A systematic review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.11.017>
- Steenberg, J. W. N., Ristow, M., Duinker, P. N., Lapointe-Elmrabti, L., MacDonald, J. D., Nowak, D. J., Pasher, J., Flemming, C., & Samson, C. (2023). A national assessment of urban forest carbon storage and sequestration in Canada. *Carbon Balance and Management*, 18(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s13021-023-00230-4>
- Tan, Z., Lau, K. K.-L., & Ng, E. (2016). Urban tree design approaches for mitigating daytime urban heat island effects in a high-density urban environment. *Energy and Buildings*, 114, 265–274.

- 
- Tanhuanpää, T., Kankare, V., Setälä, H., Yli-Pelkonen, V., Vastaranta, M., Niemi, M. T., Raisio, J., & Holopainen, M. (2017). Assessing above-ground biomass of open-grown urban trees: A comparison between existing models and a volume-based approach. *Urban Forestry & Urban Greening*, 21, 239–246. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.12.011>
- Thompson, D. W., & Hansen, E. N. (2013). *Carbon Storage on Non-industrial Private Forestland: An Application of the Theory of Planned Behavior*. 27.
- Thompson, S. K. (2002). Sampling. Wiley, New York. pp. 367.
- Tu, G., Abildtrup, J., & Garcia, S. (2016). Preferences for urban green spaces and peri-urban forests: An analysis of stated residential choices. *Landscape and Urban Planning*, 148, 120–131.
- Vonderach, C., Vogtle, T., Adler, P. & Norra, S. (2012). Terrestrial laser scanning for estimating urban tree volume and carbon content. *International Journal of Remote Sensing*, 33(21), 6652-6667.
- Wan, C., & Shen, G. Q. (2015). Encouraging the use of urban green space: The mediating role of attitude, perceived usefulness and perceived behavioural control. *Habitat International*, 50, 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.08.010>
- Wan, C., Shen, G. Q., & Choi, S. (2018). The moderating effect of subjective norm in predicting intention to use urban green spaces: A study of Hong Kong. *Sustainable Cities and Society*, 37, 288–297. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.11.022>
- Wang, Y.-C., Lin, M.-Y., Ko, S.-H., & Lin, J.-C. (2013). Carbon Storage Benefit by Trees of Air Quality Purification Zones in Taiwan's Five Municipalities. *Taiwan Journal of Forest Science*, 28(4), 159–169. [https://doi.org/10.7075/TJFS.201312\\_28\(4\).0001](https://doi.org/10.7075/TJFS.201312_28(4).0001)
- WHO (2016). Urban green spaces and health. Copenhagen: WHO Regional Office for



Europe.

Wicker, A. (1969). Attitudes versus actions: The relationship of verbal and overt behavioural responses to attitude objects. *Journal of Social Issues*, 25(4), 41–78.

Wu, B., Yu, B., Yue, W., Shu, S., Tan, W., Hu, C., Huang, Y., Wu, J., & Liu, H. (2013). A voxel-based method for automated identification and morphological parameters estimation of individual street trees from mobile laser scanning data. *Remote Sensing*, 5(2), 584-611.

Yen, Y., Wang, Z., Shi, Y., Xu, F., Soeung, B., Sohail, M. T., Rubakula, G., & Juma, S. A. (2017). The predictors of the behavioral intention to the use of urban green spaces: The perspectives of young residents in Phnom Penh, Cambodia. *Habitat International*, 64, 98–108. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.04.009>

Yeshitela, K. (2020). Attitude and Perception of Residents towards the Benefits, Challenges and Quality of Neighborhood Parks in a Sub-Saharan Africa City. *Land*, 9(11), 450. <https://doi.org/10.3390/land9110450>

Yoon, T. K., Park, C.W., Lee, S. J., Ko, S., Kim, K. N., Son, Y., Lee, K. H., Oh, S., Lee, W.-K. & Son, Y. (2013). Allometric equations for estimating the aboveground volume of five common urban street tree species in Daegu, Korea. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(3), 344-349.

Zhang Y., Hussain, A., Deng, J., & Letson, N. (2007). Public attitudes toward urban trees and supporting urban tree programs. *Environment and Behavior*, 39(6), 797-814. <https://doi.org/10.1177/0013916506292326>

Zhang, L., Fan, Y., Zhang, W., & Zhang, S. (2019). Extending the Theory of Planned Behavior to Explain the Effects of Cognitive Factors across Different Kinds of Green Products. *Sustainability*, 11(15), 4222. <https://doi.org/10.3390/su11154222>

Zhao, Z., Zhang, Y., & Wen, Y. (2018). *Residents' Support Intentions and Behaviors*

*Regarding Urban Trees Programs: A Structural Equation Modeling-Multi Group  
Analysis. 11.*



## 附錄

### 都市樹木效益知覺與保(養)護意向調查



(※在您開始填答問卷前，請先閱讀以下說明)

都市樹木是指路樹、公園、花園以及任何位在城市角落裡的樹木，都市中的樹木具有改善空氣品質、減少熱島效應以及減緩強風吹襲等功能，提供人類許多有形或無形的效益。而都市樹木的保護需要花費相當的人力以及經費，例如適當的修剪、病蟲害防治、施肥以及澆水等等各種工作，因此是否保護得宜是都市樹木能否穩定提供各種效益的基石。本調查希望了解您平時接觸都市樹木的機會、對於樹木所提供效益的感受、對於保護都市樹木的看法以及參與都市樹木保護的意願等，請您依序填答下列問題。

第一部份、此部分希望瞭解您平常接觸到都市樹木之情況 (請在適當之打 V)

1. 請問您接觸路樹的機會...

- (1) 您的住家窗外是否有路樹？ 1)有 2)無
- (2) 您平常是否會在有路樹的人行道行走？ 1)會 2)不會
- (3) 您是否喜歡在有路樹的人行道行走？ 1)喜歡 2)不喜歡 3)沒意見

2. 請問您接觸公園綠地樹木的機會...

- (1) 您平常是否會前往都市中公園綠地等有樹木的地方？ 1)會 2)不會(請跳至第二部分)
- (2) 如果會，請問您前往使用公園綠地的頻率約為？ \_\_\_\_\_次/月
- (3) 請問您常前往的公園綠地位於？  
1)住家附近 2)學校或辦公場所附近 3)其他\_\_\_\_\_
- (4) 請問您前往的公園綠地走路約需...  
1)1 分鐘內 2)1~3 分鐘 3)3~5 分鐘 4)5~10 分鐘 5)10 分鐘以上，約\_\_分鐘
- (5) 請問您常去的公園綠地是屬於下列哪種類型？(可複選)  
1)自然公園(例如關渡自然公園等) 2)都會公園(例如大安森林公園、青年公園等)  
3)鄰里公園 4)河濱公園
- (6) 請問您前往使用的主要目的為？(可複選)  
1)散步 2)運動健身 3)休息放鬆 4)欣賞風景 5)親子活動  
6)其他\_\_\_\_\_

## 第二部分、您對於都市樹木所提供之效益與缺點的看法



(一)請您針對各項都市樹木效益，依認為之重要性於適當之數字圈選。

「1」：非常不重要 ← 「4」：普通 → 「7」：非常重要。

|                              | 重要程度 |   |   |   |   |   |   |
|------------------------------|------|---|---|---|---|---|---|
|                              | 低    |   |   |   |   |   | 高 |
| 1.釋放氧氣- 樹木光合作用可以產生氧氣         | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 2.碳吸存- 吸收大氣中的二氧化碳，減緩溫室效應     | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 3.降低氣溫- 讓周圍環境氣溫降低            | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 4.提供遮蔭- 樹冠可以減緩陽光直射           | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 5.減緩強風- 避免強風直接吹襲             | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 6.淨化空氣- 樹木可以攔截、吸收空氣污染物質      | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 7.減少噪音- 阻隔、降低噪音              | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 8.阻隔強光- 阻擋、減少強光或反光照射         | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 9.增加隱私感- 提供視線的阻隔             | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 10.減少雨水沖刷- 避免降雨直接衝擊地表        | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 11.減少洪水發生- 攔截部分雨水或逕流水        | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 12.提供其他生物棲息環境- 提供如鳥類、昆蟲等棲地   | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 13.提供休憩空間- 如公園綠地等人類休憩環境      | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 14.提供接觸自然的機會- 於都會環境就可以接觸樹木   | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 15.具有文化意義- 例如地方的珍貴老樹等        | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 16.教育的功能- 可作為自然環境教育的教材       | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 17.美學價值- 賞花、樹型、葉變色等          | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 18.提升視覺環境- 遮蔽令人不悅景色提升整體視覺感受  | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 19.紓壓效果- 例如樹木景觀、公園綠地讓人可以放鬆身心 | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 20.經濟效益- 例如提升周遭房地產價值         | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

(二)請您針對都市樹木潛在缺點，依認為之嚴重性於適當之數字圈選。

「1」：非常不嚴重 ← 「4」：普通 → 「7」：非常嚴重。

|                       | 嚴重程度 |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------|------|---|---|---|---|---|---|
|                       | 低    |   |   |   |   |   | 高 |
| 1.落葉、落果等影響環境          | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 2.枯枝掉落等影響下方行人安全       | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 3.病蟲害影響生活品質 (例如荔枝椿象等) | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 4.影響視線                | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 5.隔絕光線導致環境陰暗          | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 6.遮蔽招牌、建築外觀           | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 7.可能會造成過敏             | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 8.損壞人行道               | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 9.維護需要經費              | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 10.樹木遮蔽產生陰暗角落等社會安全問題  | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

### 第三部分、您對都市樹木保護之議題的看法。

下列選項中，有關參與保護都市樹木之方式是指支付額外的金錢給予管理單位進行保護都市樹木相關作業。



| 請您依照對各項陳述的認同程度於適當之數字圈選。<br>「1」：非常不同意 ← 「4」：普通 → 「7」：非常同意。 | 同意程度 |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------------------------------------------|------|---|---|---|---|---|---|
|                                                           | 低    |   |   |   |   |   | 高 |
| 1.我認為保護都市樹木是必須的                                           | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 2.我認為保護都市樹木是有用的                                           | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 3.我認為保護都市樹木是具有生態價值的                                       | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 4.我認為保護都市樹木是有正面意義的                                        | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 5.我認為保護都市樹木可以維持各種都市樹木效益                                   | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 6.我的家人認為我應該參與保護都市樹木時，我會參與                                 | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 7.對我重要的人認為我應該參與保護都市樹木時，我會參與                               | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 8.我重視的人支持我參與保護都市樹木時，我會參與                                  | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 9.我擁有足夠的資源（時間或金錢等）參與保護都市樹木                                | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 10.是否要參與保護都市樹木完全由我自己決定                                    | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 11.如果我想要，我能參與保護都市樹木                                       | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 12.我覺得參與保護都市樹木對我來說很容易                                     | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 13.我會到有都市樹木的地方放鬆身心                                        | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 14.我會到有都市樹木的地方進行休閒遊憩活動                                    | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 15.都市樹木能提升我的生活環境品質                                        | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 16.如果我的房地產周邊有都市樹木價值會提升                                    | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 17.都市樹木能提供 <u>調節氣候</u> 效益 (e.g. 降低溫度、吸收二氧化碳等)             | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 18.都市樹木能提供 <u>環境品質</u> 效益 (e.g. 減少空氣汙染、阻隔噪音等)             | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 19.都市樹木能提供 <u>教育與遊憩</u> 效益 (e.g. 接觸自然、休憩空間等)              | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 20.都市樹木能提供 <u>美學與景觀</u> 效益 (e.g. 賞花、賞葉等)                  | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 21.都市樹木能提供 <u>經濟效益</u> (e.g. 提升周邊房地產價值等)                  | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 22.如果有機會我將參與保護都市樹木                                        | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 23.我支持加強保護都市樹木                                            | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 24.我未來打算參與保護都市樹木                                          | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 25.我會鼓勵其他人參與保護都市樹木                                        | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

第四部分、您的個人基本資料 (請在適當之打 V)

1.性別：(1)男 (2)女

2.出生年分：民國\_\_\_\_\_年

3.學歷：(1)小學以下 (2)國中 (3)高中職 (4)專科 (5)大學 (6)研究所以上

