

2024 年大安森林公園自然碳匯調查期末報告

113 年 12 月 15 日

摘要

樹木碳匯調查摘要

完成第三次大安森林公園樹木普查工作，共計調查到 143 種植物，5,378 棵樹木與 134 叢竹類。整理與分析三次大安森林公園樹木普查資料，估算大安森林公園碳儲存量與碳吸存量變化情形。經修正 2024 年 11 月康芮颱風造成碳儲存量損失 48.655ton C 後，樹木碳儲存量變為 $1556.83 - 48.655 = 1508.175\text{ton C}$ 。修正 2021 年到 2024 年碳儲量增加為 228.145ton C，年平均碳吸存量 76.05ton C 相當於年度二氧化碳吸收量 278.85ton CO₂e/year。滾動修正年度樹木生長預測模式，因柶科植物有大王椰子、蒲葵、華盛頓椰子、亞力山大椰與羅比親王海棗，將這五種植物去除後，生長預測式(R^2 為 0.6252)： $y = 0.2219 \times x^{-0.77}$ ，其中 x = 2021 年各樹種平均胸徑； y = 2021 至 2024 年胸徑連年生長率。

水體碳匯調查摘要

針對生態池的水體碳匯與溫室氣體排放進行監測，期望能為都市水體的碳動態提供實證數據。自 113 年 9 月至 113 年 12 月調查的初步研究結果顯示，生態池底泥的碳含量約為 3.1-4.3 tons C ha⁻¹，且在研究期間並無顯著變化，因此底泥碳排放量可視為零。水體的溫室氣體排放主要以二氧化碳 (CO₂) 為主，占總排放量的 99.2%，而甲烷 (CH₄) 與氧化亞氮 (N₂O) 的排放量則相當微量。CO₂ 的排放量範圍約為 0.009 – 0.026 tons CO₂ ha⁻¹ d⁻¹，而 CH₄與 N₂O 的排放則呈現低排放甚至負排放的情況，分別介於 -0.00047 – 0.00052 tons CO₂e ha⁻¹ d⁻¹與 -0.00147 – 0.00295 tons CO₂e ha⁻¹ d⁻¹。綜合分析 9 月至 12 月的數據，整體生態池的碳排放係數約為 0.0010 tons CO₂e ha⁻¹ month⁻¹。研究結果顯示，大安森林公園的生態池在冬季期間對於碳排放的貢獻有限，並可能在都市碳平衡中扮演一定的調節角色。本研究提供了關於都市生態池碳循環的重要數據，未來可作為評估都市水體碳管理策略與環境永續規劃的重要參考。

壹、前言

近年來隨著氣候變遷因應法通過，2050 年淨零排放入法的熱度，讓森林碳匯議題，日益獲得社會大眾重視。但因國內缺乏量化森林碳匯的相關研究報告，讓最為大眾周知的大安森林公園每年吸存碳匯量有多少？都欠缺完整 MRV (Measuring, Reporting, and Verification, MRV) 機制來完成大安森林公園每年吸存碳匯量調查。經大安森林公園之友基金會支持，臺大森林系團隊於 2019 年完成第一期每木調查，得以估算大安森林公園樹木碳儲存量。後續又於 2021 年進行第二次每木調查，除估算大安森林公園樹木碳儲存量，並利用前後兩期建立的每木調查成果，發展適用於大安森林公園的單木年碳吸存量估算模式，據以推算出 2022 年大安森林樹木碳匯：年度碳吸存量 129.33 Ton-CO₂ 當量，算是國內公園碳吸存估算之先驅。

然而森林碳匯年度碳吸存量估算，需要定期進行監測，更新年度碳吸存量，方能永續提供相關碳匯碳吸存資訊，做為國內碳匯知識正確及量化資訊。為永續提供大安森林公園樹木年度碳吸存量資訊，需要建立能夠永續監測及實地每木調查機制。為此，大安森林公園之友基金會於 2023 年 7 月舉辦大安森林公園「以樹之名」氣候行動研習營，透過 24 小時理論與實作的訓練，並舉辦實作考核，考核不通過者，尚須補考，總計培訓 33 位調查志工。本計畫將運用訓練合格的調查志工，透過完善的管理機制，建立國內樹木碳匯調查公民科學家，長期協助估算大安森林公園樹木年度碳吸存量。

大安森林公園於 2019 年始進行樹木普查工作，迄今已有五年左右，為進一步掌握目前樹木株數、大小等資訊，乃進行本次樹木普查工作，希望能藉由樹木普查成果作為公園經營管理依據。

另外自然碳匯尚包括水體碳匯，本年度亦將正式進行水體溫室氣體量測工作，透過不同儀器量測水體表面之溫室氣體通量及水岸土壤表面溫室氣體通量量測，探索公園內水體的溫室氣體排放及吸存情況。

本次調查為大安森林公園全區樹木普查，同時收集樹木基本資料，作為長期生長評估及行道樹樹木管理的參考。

貳、執行期間

113 年 1 月 1 日至 113 年 12 月 31 日

參、工作項目

一、樹木碳匯調查

1. 樹木調查分區規劃：

全區樹木依照道路、性質、距離劃分劃分成 19 個調查區域。每個調查區域

由一個調查小隊認養調查。

本次調查因已有過去樹木定位位置，乃採用樹木觀察紀錄平臺 APP，藉由 APP 即時紀錄既有樹木調查資訊。同時亦請調查人員核對平臺內樹木資訊的正確性：如樹種資訊、生長狀況(如死亡)及樹木位置，必要時可拍照記錄樹木現況，或加註調查時特別紀錄，如 1.3 公尺位置膨大，往上多少公分等資訊。

調查過程中，如發現新栽植樹木或過去漏掉登錄的樹木，則請依照新增樹木流程，將新樹木登錄到平臺，做為以後調查對象。關於樹木觀察紀錄平臺 APP 將於日後擇時辦理講習班，講解操作要項。

2. 調查人員分組規劃

為發揮有效管控調查進度與調查品質，將 2 位志工組成調查小隊。同時，為求調查品質，將胸徑、樹高調查分離。由志工擔任胸徑調查小隊專心調查胸徑，確保累積調查經驗完成調查工作；因人力測量樹高誤差值較大，為求精確，將由空載光達(LiDAR)方式進行。此外，另將組訓 2-3 個調查小隊，施予特訓培訓成為調查稽核小隊，複查調查小隊調查結果，做為調查工作的內稽機制。

每位志工可參與不同調查項目的調查小隊，如胸徑調查小隊、樹高調查小隊即稽核小隊，目前規劃不同調查小隊如下：

A. 胸徑調查小隊：2 位志工組成 1 個胸徑調查小隊，專責胸徑量測。

B. 調查稽核小隊：2 位志工組成 1 個調查稽核小隊，專責稽核複查胸徑。

3. 樹高調查

本次樹高測量將藉由空載光達(LiDAR)方式，以無人機裝載光達掃描儀器，從空中進行大安森林公園全區光達資料建立，再經由光達資料配合樹木每木位置，透過自行發展的程式進行每木樹高量測工作。

為準備無人機光達掃描將委託專業公司，由大安森林公園之友基金會發函公園路燈管理處同意後，再向航管機關申請飛航許可後，進行掃描。預計於 113 年 4 月 15 日到 5 月 20 日間進行掃描，掃描範圍為大安森林公園四周道路(和平東路、新生南路、信義路及建國南路範圍內)。

4. 調查實施

預計於 113 年 1 月至 113 年 4 月完成初次調查，並於 113 年 5 月完成至少 300 株樹木複查工作。光達樹高掃描於 5 月 31 日前掃描完成，並進行樹高量測分析。

5. 碳匯計算

本計畫受限於經費與時間，將僅進行生物量部分的碳量的估算，不進行枯落物及土壤碳量的估算。林木碳匯量估算方面為配合傳統調查方式，一般以樹幹材積、生物量、碳量級二氧化碳當量的程序，並配合適當轉換參數進行估算：

在林木碳匯估算一般係調查林木胸徑與樹高，配合形數估算出林木的樹幹材積後，再依木材密度估算出幹材生物量，接著以生物量擴展係數包含枝葉部分估算算出地上部生物量，再依根莖比例估算出地下部加總成為總生物量，配合碳含量比例計算出林木碳量，或稱碳儲存量，最後配合二氧化碳分子式，計算出林木二氧化碳當量。在此，木材密度與碳含量比例會依樹種差異甚大，若無個別樹種資訊，則採 IPCC 預設值 0.5 亦可。

林木估算方面可用 IPCC 標準方法或直接以地上部生物量 (AGB) 估算為之：
A、IPCC 公式

$$V = FF * (DBH)^2 * \pi * H$$

$$AGB = V * \rho * BEF$$

$$C = AGB \times (1 + R) \times CF$$

B、Chave et al. (2014) 提出之地上部生物量 (AGB) 估算公式：

$$AGB = 0.0673 \times (\rho \times (DBH^2) \times H)^{0.976}$$

$$C = AGB \times (1 + R) \times CF$$

C：單株儲碳量(kg) DBH：胸高直徑(m) H：樹高(m) V：樹幹材積 AGB：地上部生物量 ρ ：木材密度(g/cm ³) BEF：生物量擴展係數 R：根莖比 CF：碳含量	使用數值： 木材密度(ρ)：0.5 生物量擴展係數(BEF)-人工闊葉林：1.4 根莖比(R)-人工闊葉林：0.24 碳含量(CF)-人工闊葉林：0.4691
---	--

直接估算地上部生物量將可以避免林木形數的問題，形數常指胸高形數：樹木實際材積與胸高直徑為圓配合樹高形成圓柱體的比例，國內針葉樹形數約為 0.40-0.55，闊葉樹形數 0.40-0.53。

然而上述形數值屬於一般林木正常生長情形，但於都市樹木因為長期受到修剪影響，尤其在控制高度的強度頂端修剪作業下，其形數會偏高的。因此，將導入過去在大安森林公園應用地面光達掃描，估算出來的部分樹種的形數資料，做為修正大安森林公園形數使用。最後將比較不同估算方法的結果，以期得到最佳估算方法。

最後將參照過去 108 年及 110 年調查成果，計算不同年度間的碳吸存量，並評估修正過去建立生長預測模式估算年度碳吸存量結果，做為長期碳吸存監測評估。

二、水體碳匯調查

1. 水體溫室氣體量測

以漂浮式氣體罩(floating chamber)進行量測水體表面之溫室氣體通量，以氣體罩(static chamber)進行水岸土壤表面溫室氣體通量量測，以 IRGA(infrared gas analyzer)進行 CO₂、CH₄ 與 N₂O 分析，每月一次。

2. 底泥採集

以底泥採樣器進行採集與底泥深度量測，分析總有機碳含量，每季一次。

3. 水樣採集：以採集瓶採集水體樣品，分析其營養鹽與可溶解性有機碳含量。

肆、預計工作成果

1. 完成第三次大安森林公園樹木普查工作
2. 整理與分析三次大安森林公園樹木普查資料，估算大安森林公園碳儲存量與碳吸存量變化情形。
3. 滾動修正年度樹木生長預測模式，估算大安森林公園樹木年度生長量與碳吸存量，以瞭解大安森林公園樹木碳吸存表現。
4. 取得大安森林公園水體溫室氣體排放量數據，計算三種溫室氣體之二氧化碳排放當量。
5. 取得底泥有機碳通量變化，分析計算底泥碳儲速率。

伍、計畫成果

一、完成第三次大安森林公園樹木普查工作

(一)樹種組成與數量

根據 2024 年調查結果公園有 5,378 棵樹木與 134 叢竹類(圖 1)調查到 143 種植物。



圖 1、2024 年大安森林公園樹木位置

表 1、138 種樹木之株數

編號	樹種	株數	編號	樹種	株數
1	黑板樹	598	35	芒果樹	26
2	白榕	543	36	蓮霧	26
3	榕樹	465	37	蘭嶼羅漢松	25
4	阿勒勃	340	38	黃連木	23
5	楓香	319	39	穗花棋盤腳	36
6	茄苳	292	40	錫蘭饅頭果	22
7	水黃皮	232	41	木棉	21
8	印度紫檀	204	42	稜果榕	21
9	樟樹	196	43	鳳凰木	21
10	臺灣欒樹	185	44	大葉桃花心木	19
11	苦楝	130	45	蒲葵	19
12	大王椰子	117	46	側柏	18
13	艷紫荊	80	47	九芎	17
14	白千層	75	48	光蠟樹	16
15	欖	67	49	楊梅	15
16	肯氏南洋杉	60	50	龍柏	15
17	印度橡膠樹	52	51	大葉桉	14
18	雀榕	52	52	洋玉蘭	13
19	榔榆	52	53	黃果垂榕	13
20	朱蕉	51	54	欖仁	13
21	菲島福木	50	55	小葉桑	12
22	羅比親王海棗	49	56	山櫻花	12
23	水柳	46	57	竹柏	12
24	烏白	44	58	紅楠	12
25	孟加拉榕	43	59	小葉南洋杉	11
26	小葉欖仁	41	60	酒瓶椰子	11
27	盾柱木	41	61	朴樹	10
28	第倫桃	38	62	青剛櫟	10
29	落羽松	36	63	水社柳	9
30	大花紫薇	32	64	白肉榕	9
31	華盛頓椰子	30	65	厚皮香	9
32	白玉蘭	27	66	流蘇	9
33	厚葉榕	27	67	番石榴	9
34	旅人蕉	27	68	臺灣烏心石	9

編號	樹種	株數	編號	樹種	株數
69	亞力山大椰子	8	104	珊瑚刺桐	2
70	洋紅風鈴木	8	105	桂花	2
71	斑葉垂榕	8	106	魚木	2
72	澳洲茶樹	8	107	菲律賓榕	2
73	麵包樹	8	108	黃金風鈴木	2
74	長葉榕	6	109	黃椰子	2
75	風箱樹	17	110	酪梨	2
76	梅花	6	111	構樹	2
77	提琴葉榕	6	112	臺灣海桐	2
78	無患子	6	113	銀樺	2
79	五彩千年木	5	114	鐵冬青	2
80	青楓	5	115	千頭木麻黃	1
81	柚子	5	116	大寒櫻	1
82	森氏紅淡比	5	117	大葉合歡	1
83	杜英	4	118	山芙蓉	1
84	金露花	4	119	山黃梔	1
85	春不老	4	120	山黃麻	1
86	香楠	4	121	日日櫻	1
87	高山榕	4	122	羊蹄甲	1
88	棍棒椰子	4	123	李	1
89	蘭嶼烏心石	4	124	枇杷	1
90	九重葛	3	125	柿子	1
91	木賊葉木麻黃	3	126	紅粉撲花	1
92	石朴	3	127	郁李	1
93	亞里垂榕	3	128	海南山菜豆	1
94	菩提樹	3	129	斑葉小葉欖仁	1
95	象耳榕	3	130	斑葉印度橡膠樹	1
96	龍眼	3	131	番仔林投	1
97	大葉山欖	2	132	菲律賓饅頭果	1
98	月橘	2	133	象牙木	1
99	水同木	2	134	楓港柿	1
100	血桐	2	135	臺東漆	1
101	披針葉饅頭果	2	136	臺灣赤楠	1
102	柳丁	2	137	臺灣胡頹子	1
103	洋紫荊	2	138	叢立孔雀椰子	1



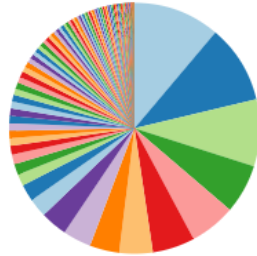
圖 2、2024 年大安森林公園竹類位置

表 2、5 種竹類之數量

編號	樹種	數量
1	綠竹	69
2	金絲竹	38
3	葫蘆竹	15
4	長枝竹	1
5	刺竹	1

樹種數量前七名依序為黑板樹、白榕、榕樹、阿勒勃、楓香、茄苳與水黃皮共有 2,786 棵，佔全部樹木數量 51.97%(圖 4)

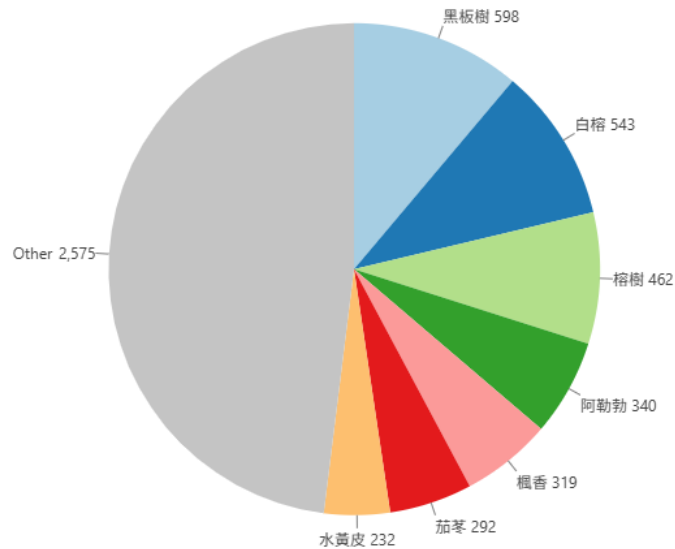
樹種株數分佈



黑板樹 11.15%	白榕 10.13%	榕樹 8.62%	阿勒勃 6.34%	楓香 5.95%	茄苳 5.45%	水黃皮 4.33%	印度紫檀 3.81%	樟樹 3.66%	臺灣欒樹 3.45%
苦楝 2.42%	大王椰子 2.18%	艷紫荊 1.49%	白千層 1.40%	欖 1.25%	肯氏南洋杉 1.12%	印度橡膠樹 0.97%	榔榆 0.97%	雀榕 0.97%	朱蕉 0.95%
菲島福木 0.93%	羅比親王海棗 0.91%	水柳 0.86%	烏白 0.82%	孟加拉榕 0.80%	小葉欖仁 0.76%	盾柱木 0.76%	第倫桃 0.71%	落羽松 0.67%	
大花紫薇 0.60%	華盛頓椰子 0.56%	厚葉榕 0.50%	旅人蕉 0.50%	白玉蘭 0.50%	芒果樹 0.48%	蓮霧 0.48%	蘭嶼羅漢松 0.47%	穗花棋盤腳 0.43%	
黃連木 0.43%	錫蘭餛頭果 0.41%	木棉 0.39%	稜果榕 0.39%	鳳凰木 0.39%	大葉桃花心木 0.35%	蒲葵 0.35%	側柏 0.34%	九芎 0.32%	光蠟樹 0.30%
楊梅 0.28%	龍柏 0.28%	大葉桉 0.26%	欖仁 0.24%	洋玉蘭 0.24%	黃果垂榕 0.24%	小葉桑 0.22%	山櫻花 0.22%	竹柏 0.22%	紅楠 0.22%
小葉南洋杉 0.21%	酒瓶椰子 0.21%	朴樹 0.19%	青剛櫟 0.19%	厚皮香 0.17%	水社柳 0.17%	流蘇 0.17%	番石榴 0.17%	白肉榕 0.17%	
臺灣烏心石 0.17%	亞力山大椰子 0.15%	斑葉垂榕 0.15%	洋紅風鈴木 0.15%	澳洲茶樹 0.15%	麵包樹 0.15%	提琴葉榕 0.11%	梅花 0.11%	無患子 0.11%	

圖 3、5378 棵樹木之圓餅圖

樹種株數分佈



黑板樹 11.15% (598)	白榕 10.13% (543)	榕樹 8.62% (462)	阿勒勃 6.34% (340)	楓香 5.95% (319)	茄苳 5.45% (292)	水黃皮 4.33% (232)	Other 48.03% (2,575)
------------------	-----------------	----------------	-----------------	----------------	----------------	-----------------	----------------------

圖 4、樹種數量前七名

(二)公園面積與區域編號

大安森林公園面積 25.9269 ha，公園規劃十九個區域(圖 5)

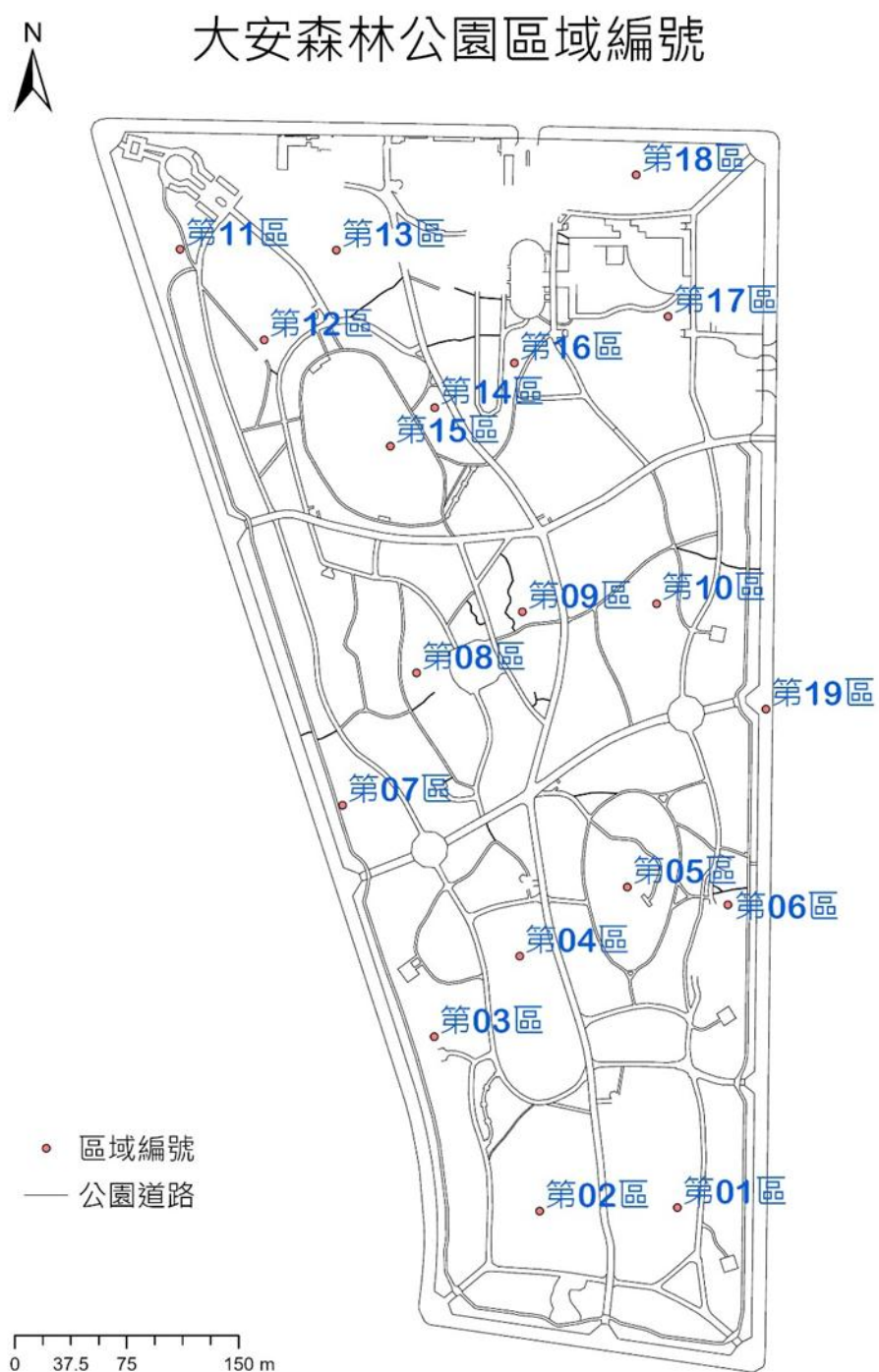


圖 5、大安森林公園十九個區域

表 3、公園各區株數

大安森林公園區域	株數
01 區（5 號出口東南側榕樹區）	426
02 區（公園 7 號公廁周邊）	257
03 區（1 號公共廁所周邊）	261
04 區（台水健身房周邊）	212
05 區（氣象站周邊）	491
06 區（錫葉藤花廊）	284
07 區（9 號至 10 號出口間榕樹區）	196
08 區（音樂台周邊）	462
09 區（螢火蟲生態區）	153
10 區（3 號至 4 號出口樹木群）	519
11 區（11 號至 10 號出口樹木群）	323
12 區（大生態池北邊涼亭區）	120
13 區（公園 4 號公廁周邊）	218
14 區（大生態池周邊）	134
15 區（大生態池島上）	38
16 區（籃球場周邊）	396
17 區（兒童遊戲區周邊）	297
18 區（捷運站 5 號出口）	90
19 區（公園外圍行道樹）	501
總和	5378

(二)公園樹木胸徑分佈

樹木胸徑最小值為 01 公分與最大值為 223.44 公分，胸徑平均值 32.18cm 與

中位數 28.9cm，偏度 2.28 為右偏分佈，峰度 20.01 為高峽鋒，尾部在右邊；主峰在左邊(圖 6)。

有一半樹木的胸徑分佈在 20~40 公分範圍；胸徑 50 公分以下株數佔 87%；胸徑 50 公分以上株數佔 13%。

表 4、樹木胸徑株數分布表

DBH(cm)	株數	累積株數	相對株數(%)	相對累積株數(%)
0~10	249	249	4.64	4.64
10~20	939	1188	17.52	22.16
20~30	1728	2916	32.23	54.39
30~40	1151	4067	21.47	75.86
40~50	606	4673	11.30	87.17
50~60	412	5085	7.69	94.85
60~70	161	5246	3.00	97.85
70~80	68	5314	1.27	99.12
80~90	14	5328	0.26	99.38
90~100	9	5337	0.17	99.55
over100	24	5361	0.45	100.00

Diameter distribution in 2024 Daan forest park

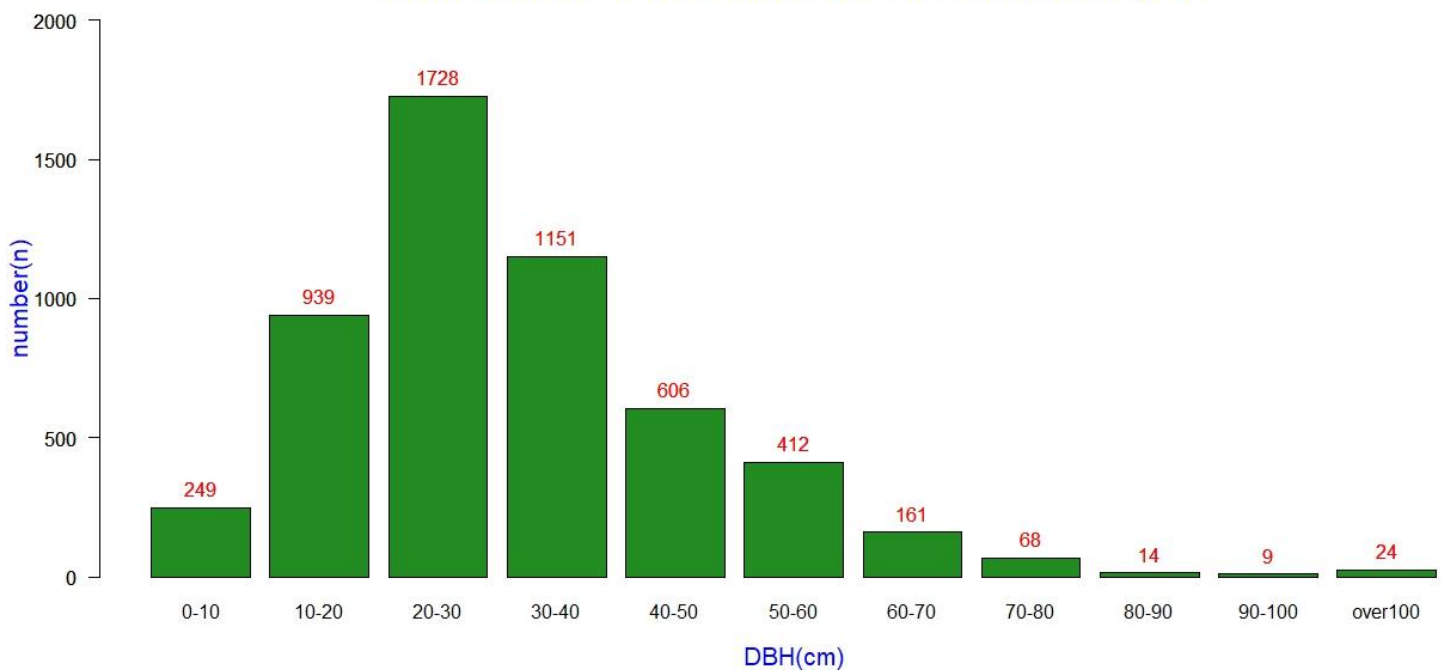


圖 6、2024 年樹木胸徑分佈長條圖

(三)林木樹高分佈

樹高最小值 1.31 公尺與最大值 23.8 公尺，偏度 0.23 為不明顯右偏分佈，尾部在右邊，峰度 2.551 為常態鋒(圖 7)。樹高平均值 10.82 公尺、中位數 10.59 公尺與標準差 3.72 公尺。

有一半樹木高度分布在 06~13 公尺範圍；樹高 13 公尺以下株數佔 70%；樹高 13 公尺以上株數佔 30%。

表 5、林木樹高株數分布表

Height(m)	株數	累積株數	相對株數(%)	相對累積株數(%)
less02	17	17	0.32	0.32
2~3	24	41	0.45	0.76
3~4	73	114	1.36	2.13
4~5	143	257	2.67	4.79
5~6	209	466	3.90	8.69
6~7	391	857	7.29	15.99
7~8	496	1353	9.25	25.24
8~9	524	1877	9.77	35.01
9~10	514	2391	9.59	44.60
10~11	534	2925	9.96	54.56
11~12	436	3361	8.13	62.69
12~13	415	3776	7.74	70.43
13~14	447	4223	8.34	78.77
14~15	349	4572	6.51	85.28
15~16	301	4873	5.61	90.90
16~17	213	5086	3.97	94.87
17~18	130	5216	2.42	97.30
18~19	72	5288	1.34	98.64
19~20	38	5326	0.71	99.35
over20	35	5361	0.65	100.00

Tree height distribution in 2024 Daan forest park

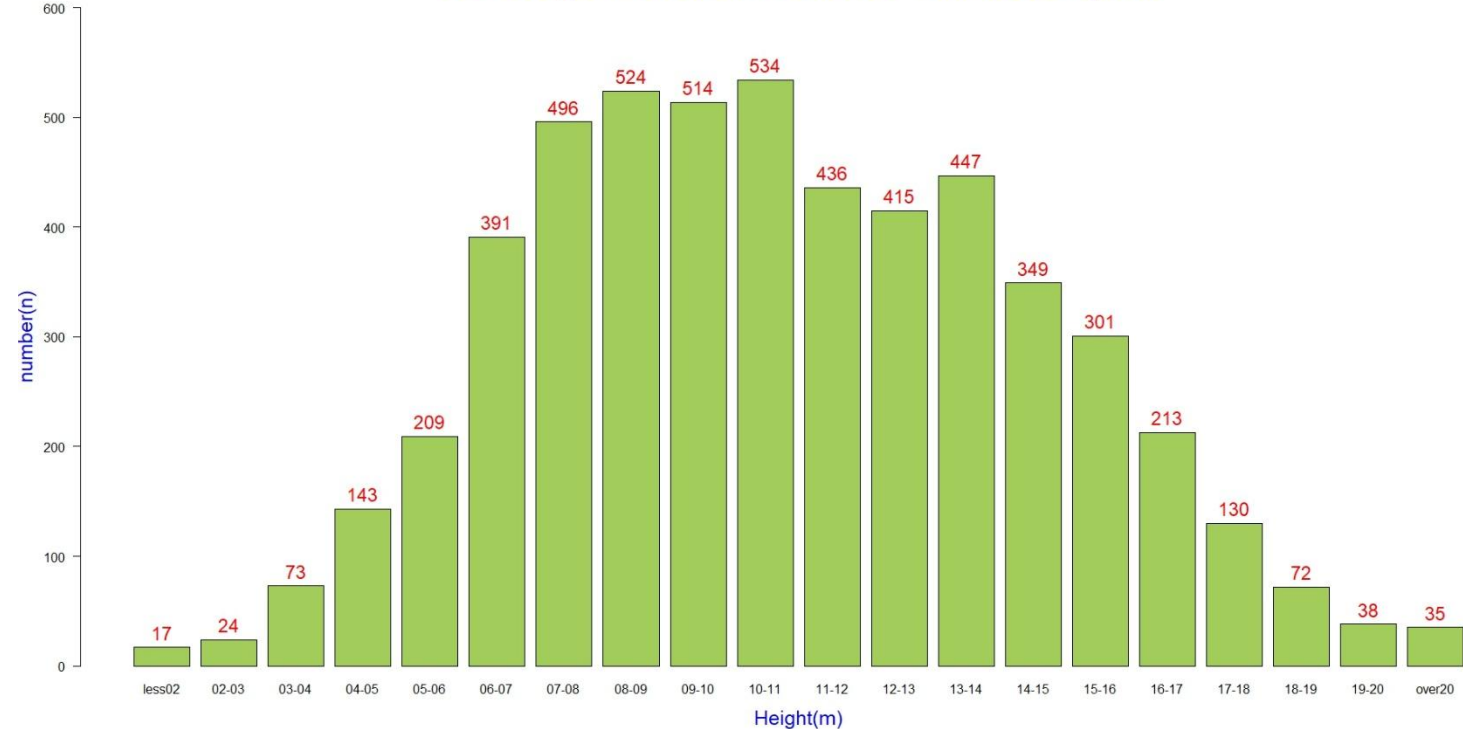


圖 7、2024 年林木樹高分佈長條圖

二、整理與分析第三次大安森林公園樹木普查資料，估算大安森林公園碳儲存量與碳吸存量變化情形。

(一)邱祈榮、林郁庭(2024)研究大安森林公園樹木碳匯公式中，其中以

$C = (\text{DBH}/100)^2 / 0.4 * \pi * H * \text{FF} * D * (1+R) * \text{CF}$ 最適合計算樹木碳匯。

H：樹高(m) DBH:胸高直徑(cm) FF：形數(0.8889)

D:木材密度 R:根莖比(0.24) CF:樹種碳含量

形數(FF)使用鄧翔耀使用地面光達測量大安森林公園 23 株樹木推估的係數
(鄧翔耀，2021)

木材密度與樹種碳含量參考趙國容(2019)建置臺灣地區植物碳吸存能力資料，
缺少密度或碳含量之樹種有九重葛、五彩千年木、李、柚子、柳丁、紅粉撲花、
郁李、旅人蕉、梅花、番仔林投、酪梨、菲島福木、水柳、小葉南洋杉、肯氏南洋杉
、金露花、第倫桃、台灣胡頹子與台灣海桐，密度或碳含量係數以 0.5 數值代替。

(二)棕櫚科植物碳匯計算

碳匯公式為： $\text{Ln}(C) = -3.64 + 1.84 * \ln(\text{DBH}/100) + 0.88 * \ln(H)$

(三)公園樹木碳儲存量計算

1.棕櫚科植物有 241 棵，碳儲存量總和 5.51ton C；非棕櫚科植物有 5,137 棵，
碳儲存量總和 1551.32 ton C，全部樹木碳儲存量為 1556.83ton C，
公園面積 25.9269 ha，2024 年平均每公頃碳儲存量 60.047 ton C/ha。

2.邱祈榮、林郁庭(2024)計算 2021 年公園樹木碳儲存量為 1280.03ton C，2021 到
2024 年公園碳儲存量增加 276.8 ton C，年平均碳吸存量 92.26ton C，相當於年平均
二氧化碳吸收量 338.28 ton CO₂e/year。

3.2024 年 11 月康芮颱風造成碳儲存量損失 48.655ton C，公園樹木碳儲存量變為
 $1556.83 - 48.655 = 1508.175\text{ton C}$ 。

修正 2021 年到 2024 年碳儲量增加為 228.145ton C，年平均碳吸存量 76.05ton C
相當於年二氧化碳吸收量 278.85ton CO₂e/year。

2024年樹種碳儲存量 ton C

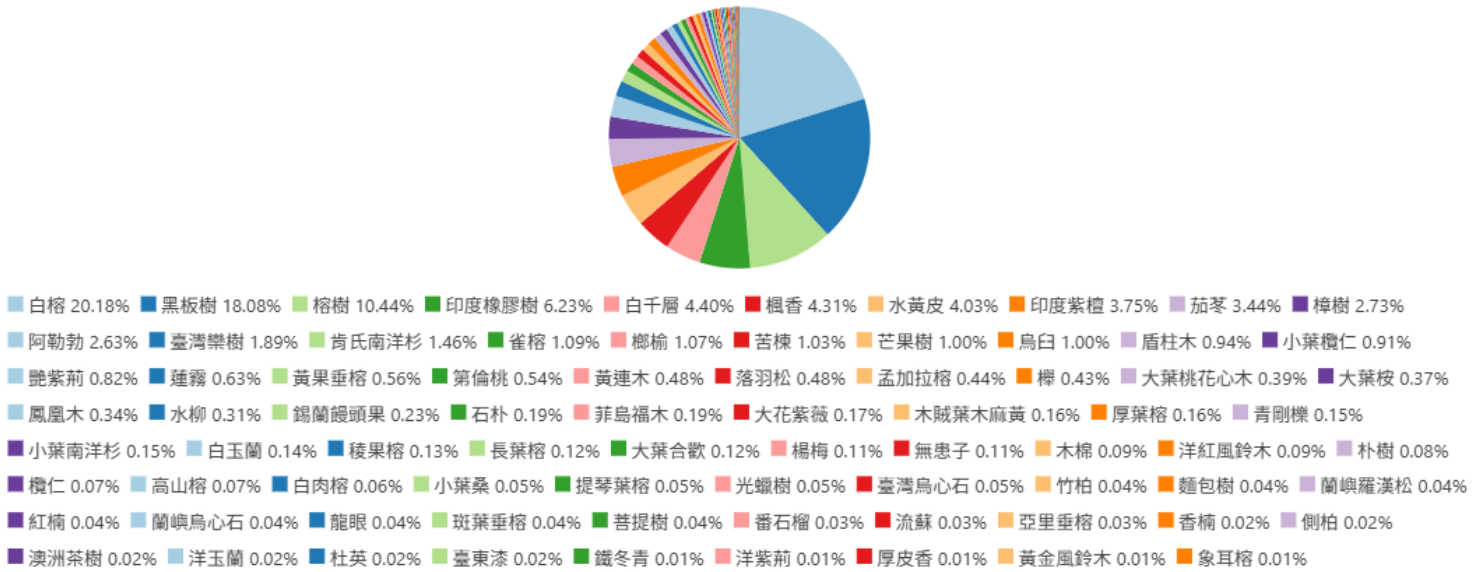


圖 8、樹種碳儲存量之圓餅圖

2024年樹種碳儲存量 ton C

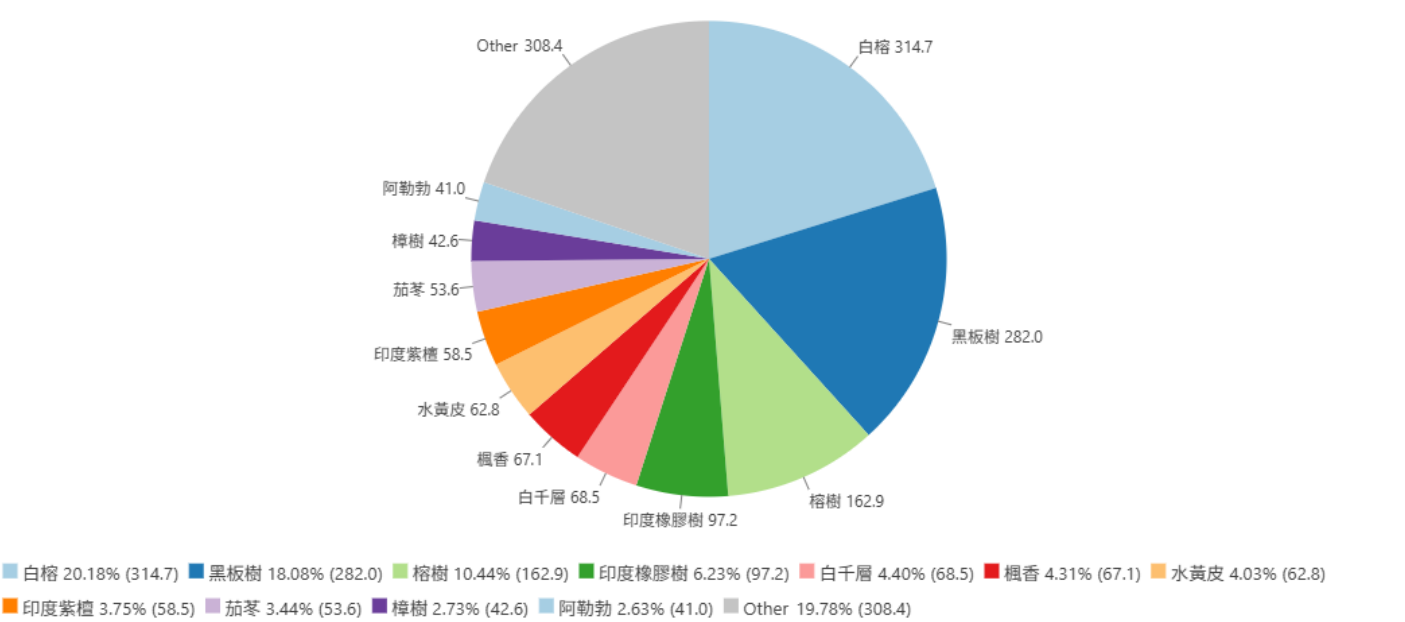


圖 9、樹種碳儲存量前十名

(四)公園各區樹木碳儲量總和

碳儲存量前幾名區域為 01 區、10 區、19 區、11 區與 02 區(圖 10)。

1.01 區樹木碳儲存量總和 207.497ton C，碳儲存量主要來自榕樹、白榕、印度橡膠樹

、黑板樹與水黃皮(圖 11)。

2.10 區樹木碳儲存量總和 145.804ton C，碳儲存量主要來自印度紫檀、白榕、黑板樹

、印度橡膠樹與榕樹(圖 12)。

3.19 區樹木碳儲存量總和 139.45ton C，碳儲存量主要來自白千層、楓香、樟樹、盾柱木與櫟(圖 13)。

4.11 區樹木碳儲存量總和 137.317ton C，碳儲存量主要來自黑板樹、白榕、水黃皮 與台灣欒樹(圖 14)。

5.02 區樹木碳儲存量總和 128.641ton C，碳儲存量主要來自白榕、榕樹、黑板樹與黃果垂榕(圖 15)。

表 6、公園各區碳儲存量

大安森林公園區域	碳儲存量 (ton C)
01 區 (5 號出口東南側榕樹區)	207.497
02 區 (公園 7 號公廁周邊)	128.641
03 區 (1 號公共廁所周邊)	112.545
04 區 (台水健身房周邊)	63.14
05 區 (氣象站周邊)	52.383
06 區 (錫葉藤花廊)	99.419
07 區 (9 號至 10 號出口間榕樹區)	69.834
08 區 (音樂台周邊)	91.546
09 區 (螢火蟲生態區)	19.391
10 區 (3 號至 4 號出口樹木群)	145.804
11 區 (11 號至 10 號出口樹木群)	137.317
12 區 (大生態池北邊涼亭區)	43.947
13 區 (公園 4 號公廁周邊)	44.098
14 區 (大生態池周邊)	25.991
15 區 (大生態池島上)	13.688
16 區 (籃球場周邊)	60.545
17 區 (兒童遊戲區周邊)	85.359
18 區 (捷運站 5 號出口)	23.581

19 區（公園外圍行道樹）	139.45
總和	1556.83

碳儲存量前五名區域

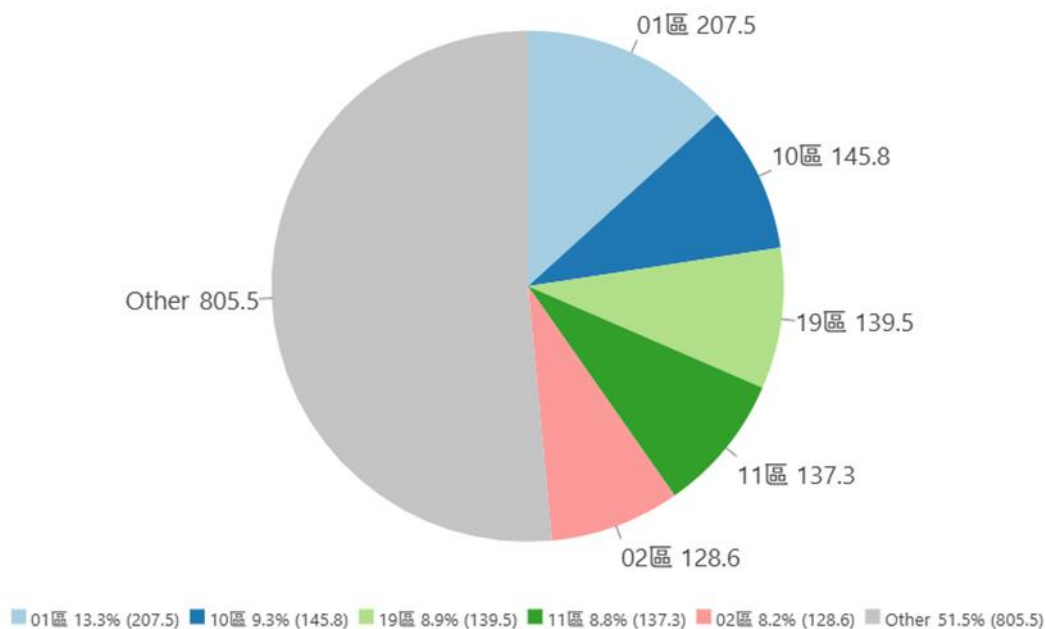


圖 10、公園碳儲存量前五名區域

01區(5號出口東南側榕樹區)

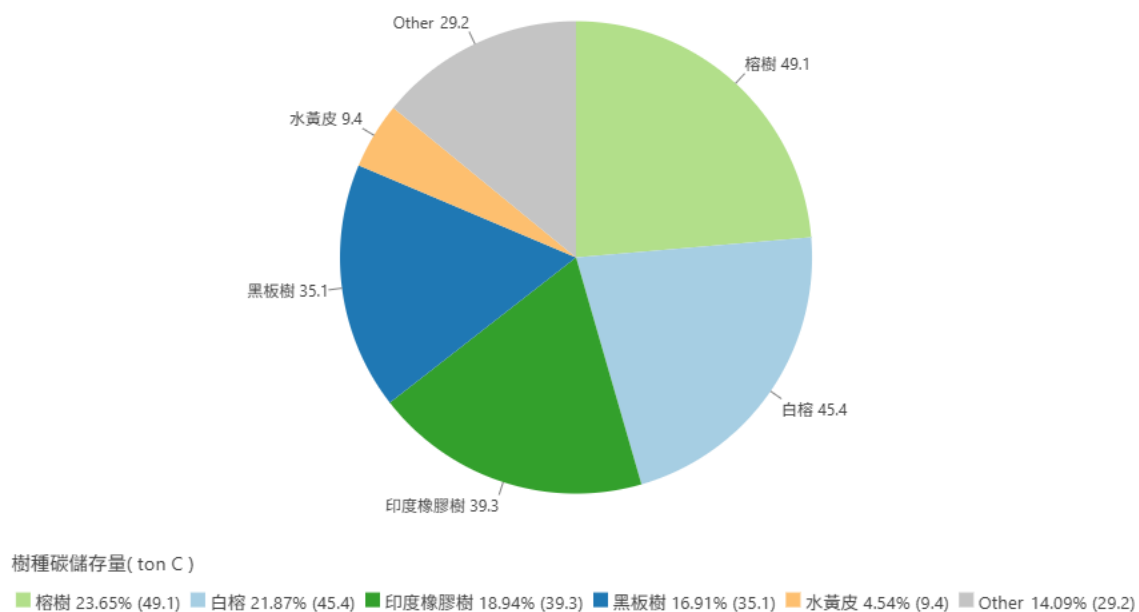


圖 11、01 區（5 號出口東南側榕樹區）碳儲存量

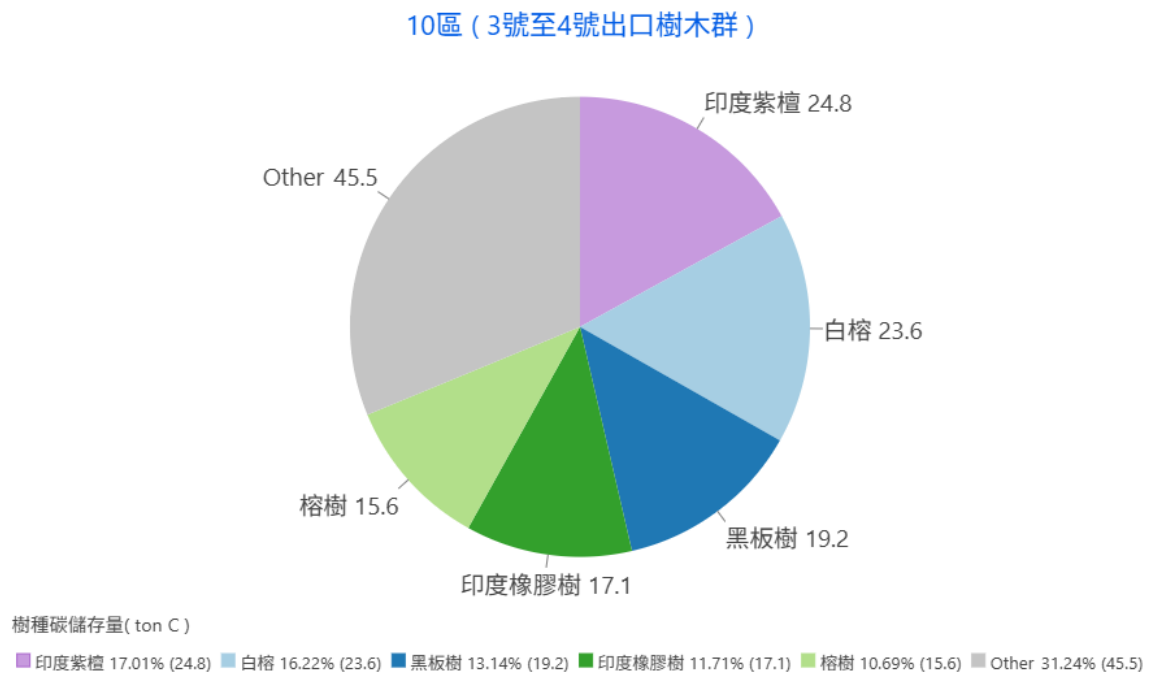


圖 12、10 區（3 號至 4 號出口樹木群）碳儲存量

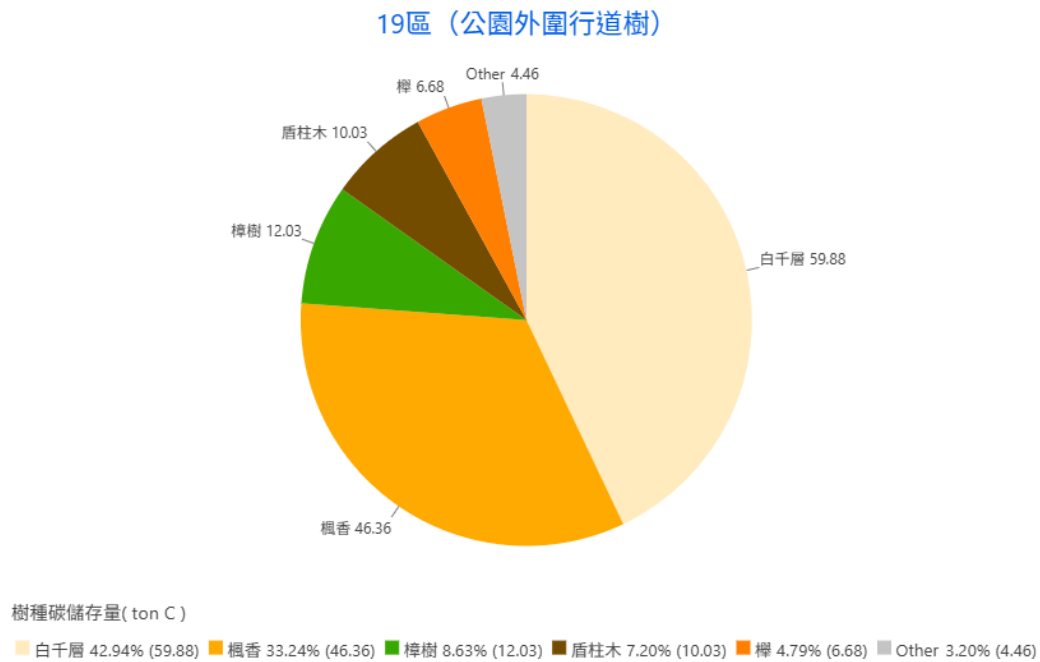


圖 13、19 區（公園外圍行道樹）碳儲存量

11區（11號至10號出口樹木群）

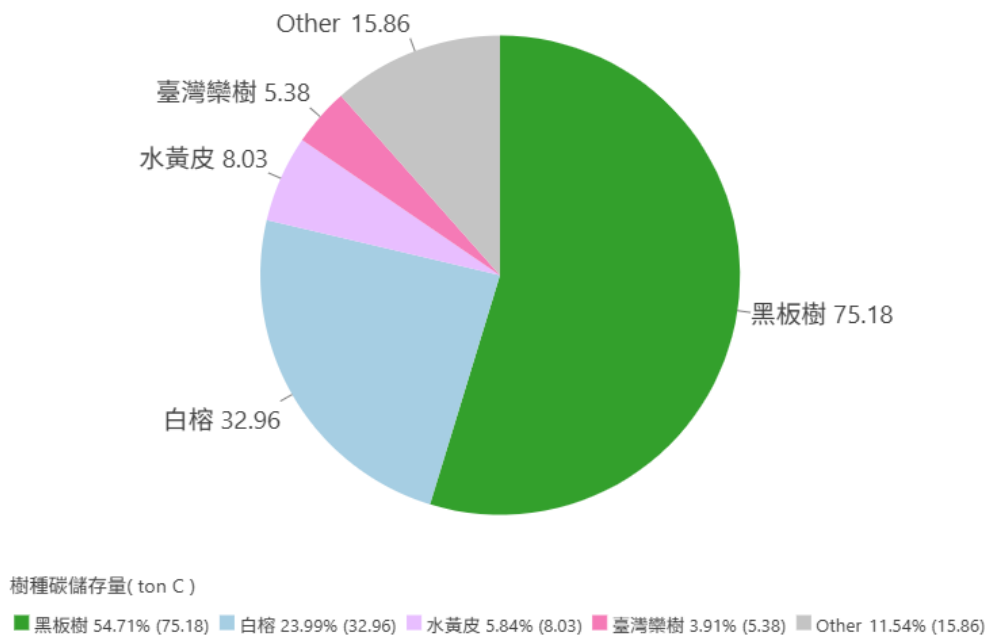


圖 14、11 區（11 號至 10 號出口樹木群）

02區（公園7號公廁周邊）

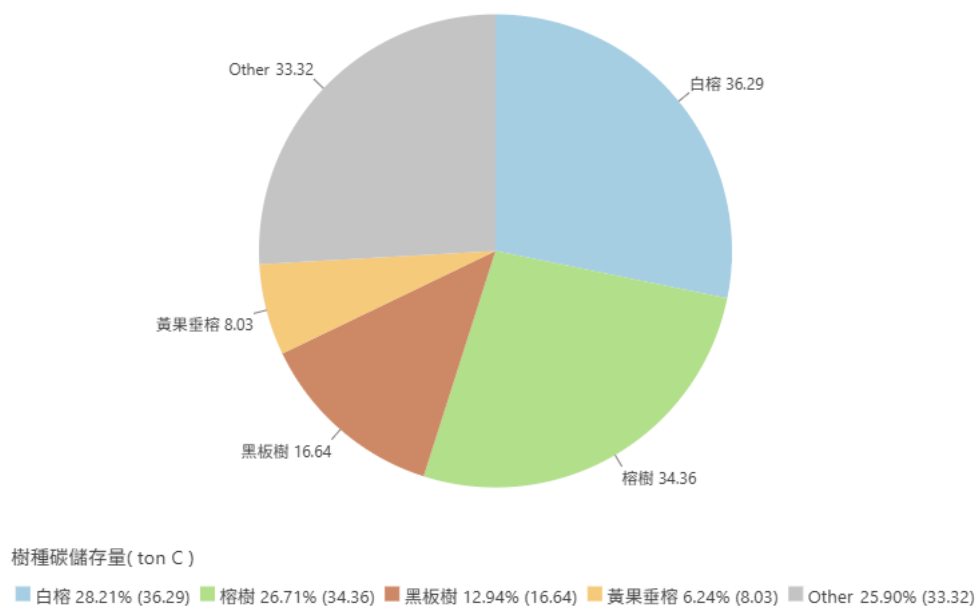


圖 15、02 區（公園 7 號公廁周邊）

三、康芮颱風造成大安森林公園碳儲存量損失

(一)2024 年 10 月 29 日~11 月 01 日發布康芮颱風警報，颱風過後人員進行現場樹木風災評估，颱風造成大安森林公園共 94 棵風倒木(表 7)，依據 2024 年最新樹木調查

資料來計算颱風造成公園碳匯損失量。

表 7、94 棵風倒木調查資料

系統樹木序號	樹種名稱	X 坐標	Y 坐標	胸徑(cm)	樹高(m)	D	CF	碳儲存量 (ton C)
2059	大花紫薇	121.534638	25.030738	26.50	8.59	0.55	0.451	0.13
5140	大花紫薇	121.536162	25.031604	23.70	8.22	0.55	0.451	0.10
5328	大花紫薇	121.535656	25.031731	20.10	9.44	0.55	0.451	0.08
2040	大花紫薇	121.534435	25.030885	17.50	10.86	0.55	0.451	0.07
5370	大葉桃花心木	121.535805	25.031874	26.10	10.63	0.50	0.473	0.15
2812	水柳	121.536692	25.031068	8.20	6.86	0.40	0.481	0.01
3827	白玉蘭	121.536996	25.030072	28.40	11.23	0.49	0.470	0.18
3202	白玉蘭	121.535403	25.030927	20.80	8.62	0.49	0.470	0.07
2886	白玉蘭	121.536992	25.031335	19.70	10.25	0.49	0.470	0.08
709	白榕	121.535716	25.026626	62.90	11.01	0.53	0.438	0.88
5495	白榕	121.536811	25.032722	59.10	11.19	0.53	0.438	0.79
635	白榕	121.535696	25.02632	56.50	16.08	0.53	0.438	1.03
643	白榕	121.535839	25.026309	55.90	17.74	0.53	0.438	1.11
3742	白榕	121.537219	25.031352	54.00	13.47	0.53	0.438	0.79
1998	白榕	121.53452	25.030352	52.50	15.12	0.53	0.438	0.84
3412	白榕	121.534739	25.032548	51.00	12.44	0.53	0.438	0.65
641	白榕	121.535773	25.026309	49.40	18.44	0.53	0.438	0.90
1517	白榕	121.535967	25.02891	11.50	6.30	0.53	0.438	0.02
2606	印度紫檀	121.536353	25.030009	33.50	13.17	0.58	0.470	0.35
2588	印度紫檀	121.536188	25.029691	29.60	12.56	0.58	0.470	0.26
2725	印度紫檀	121.53643	25.030064	23.10	4.85	0.58	0.470	0.06
497	印度橡膠樹	121.534783	25.028927	70.70	12.62	0.62	0.454	1.54
2938	印度橡膠樹	121.534162	25.031701	43.60	11.26	0.62	0.454	0.52
1328	孟加拉榕	121.536881	25.027286	115.40	11.92	0.41	0.454	2.56
2448	肯氏南洋杉	121.5357	25.029966	32.00	17.54	0.45	0.482	0.34
1002	阿勒勃	121.535651	25.028729	26.30	10.61	0.80	0.484	0.25
2598	阿勒勃	121.536452	25.029795	23.00	8.37	0.80	0.484	0.15

1893	阿勒勃	121.535411	25.029243	22.30	10.69	0.80	0.484	0.18
5734	阿勒勃	121.535542	25.032031	17.20	9.67	0.80	0.484	0.10
5737	阿勒勃	121.535557	25.031895	16.50	10.32	0.80	0.484	0.09
5736	阿勒勃	121.535565	25.031961	14.10	8.59	0.80	0.484	0.06
1885	阿勒勃	121.535396	25.029218	13.00	6.61	0.80	0.484	0.04
3156	洋紫荊	121.534958	25.031842	25.40	7.91	0.47	0.484	0.10
1671	盾柱木	121.536661	25.029732	141.00	12.81	0.57	0.484	6.09
1646	盾柱木	121.536838	25.029352	113.00	14.02	0.57	0.484	4.28
1712	盾柱木	121.536697	25.029407	112.70	10.57	0.57	0.484	3.21
1670	盾柱木	121.536726	25.029757	45.40	12.05	0.57	0.484	0.59
4852	盾柱木	121.537433	25.030165	42.40	14.60	0.57	0.484	0.63
4901	盾柱木	121.537359	25.025983	36.20	6.57	0.57	0.484	0.21
1676	苦楝	121.536528	25.029691	94.00	9.16	0.54	0.466	1.76
2561	苦楝	121.535967	25.029495	32.90	10.02	0.54	0.466	0.24
3374	苦楝	121.53489	25.03282	30.60	10.66	0.54	0.466	0.22
3095	茄苳	121.533691	25.03259	30.70	7.77	0.58	0.447	0.16
2793	茄苳	121.536641	25.030997	22.30	8.34	0.58	0.447	0.09
5352	茄苳	121.53585	25.032747	22.30	6.76	0.58	0.447	0.08
5432	茄苳	121.536588	25.032216	16.40	5.88	0.58	0.447	0.04
3483	雀榕	121.534342	25.03173	54.90	5.93	0.43	0.454	0.30
1390	提琴葉榕	121.536564	25.027687	27.00	9.48	0.41	0.454	0.11
4416	菩提樹	121.533318	25.032945	33.00	14.02	0.41	0.454	0.25
4445	菩提樹	121.533513	25.032832	31.00	15.77	0.41	0.454	0.24
627	黃果垂榕	121.535643	25.026319	64.30	18.90	0.53	0.438	1.57
702	黃果垂榕	121.535878	25.026614	55.70	18.48	0.53	0.438	1.15
630	黃果垂榕	121.535727	25.026426	46.20	16.06	0.53	0.438	0.69
5435	黃金風鈴木	121.53666	25.032224	19.90	8.03	0.49	0.513	0.07
5433	黃金風鈴木	121.536603	25.032251	19.10	8.49	0.49	0.513	0.07
940	黃連木	121.535948	25.028111	49.70	12.40	0.48	0.447	0.57
4764	黃連木	121.53611	25.03338	10.10	4.81	0.48	0.447	0.01
1411	黑板樹	121.536527	25.028016	112.10	10.96	0.38	0.501	2.27
1406	黑板樹	121.536681	25.02801	107.70	11.52	0.38	0.501	2.20
3741	黑板樹	121.537264	25.031318	64.40	10.60	0.38	0.501	0.72
4367	黑板樹	121.53324	25.032852	61.00	15.76	0.38	0.501	0.97
2139	楊梅	121.534686	25.030273	17.30	7.27	0.70	0.463	0.06
4791	楓香	121.535649	25.033354	14.00	6.31	0.49	0.489	0.03
984	榔榆	121.535907	25.028217	31.30	11.51	0.77	0.485	0.36

928	椰榆	121.535731	25.02817	24.60	12.37	0.77	0.485	0.24
3787	榕樹	121.537143	25.030251	70.40	14.64	0.41	0.454	1.17
545	榕樹	121.534535	25.029554	61.50	1.43	0.41	0.454	0.09
3482	榕樹	121.534351	25.031771	38.90	7.47	0.41	0.454	0.18
2392	榕樹	121.535902	25.030243	24.90	6.17	0.41	0.454	0.06
1401	綠竹	121.536809	25.027786	NA	16.20	NA	NA	NA
3241	臺灣樂樹	121.534292	25.031506	25.60	6.81	0.60	0.474	0.11
5333	臺灣樂樹	121.535919	25.032204	17.80	6.43	0.60	0.474	0.05
5427	樟樹	121.536416	25.032128	23.00	8.17	0.51	0.469	0.09
5538	樟樹	121.53506	25.032553	18.90	7.66	0.51	0.469	0.06
5453	樟樹	121.536486	25.032334	12.30	5.71	0.51	0.469	0.02
5367	龍柏	121.535978	25.032101	8.70	4.23	0.48	0.521	0.01
2743	艷紫荊	121.53696	25.030548	33.70	13.32	0.76	0.484	0.48
2733	艷紫荊	121.536523	25.029905	33.50	13.14	0.76	0.484	0.47
3657	艷紫荊	121.537052	25.031438	26.10	10.33	0.76	0.484	0.22
2771	艷紫荊	121.536082	25.030976	25.20	13.09	0.76	0.484	0.26
2761	艷紫荊	121.536058	25.030779	23.90	9.22	0.76	0.484	0.17
3626	艷紫荊	121.537036	25.03163	23.30	11.75	0.76	0.484	0.20
2774	艷紫荊	121.536149	25.031013	21.80	8.13	0.76	0.484	0.12
5424	艷紫荊	121.536239	25.032094	20.70	7.96	0.76	0.484	0.11
2888	艷紫荊	121.536959	25.031411	19.80	9.11	0.76	0.484	0.11
3617	艷紫荊	121.536972	25.03171	19.40	9.34	0.76	0.484	0.11
5080	艷紫荊	121.536547	25.031311	19.20	11.68	0.76	0.484	0.14
5396	艷紫荊	121.536393	25.031611	18.80	6.53	0.76	0.484	0.07
2592	艷紫荊	121.536251	25.029724	17.80	6.87	0.76	0.484	0.07
2736	艷紫荊	121.536919	25.030416	17.80	7.81	0.76	0.484	0.08
3820	艷紫荊	121.536869	25.029978	17.80	5.51	0.76	0.484	0.06
2889	艷紫荊	121.536911	25.031394	17.70	7.65	0.76	0.484	0.08
2587	艷紫荊	121.536143	25.029671	14.80	7.01	0.76	0.484	0.05
5419	艷紫荊	121.536596	25.031415	14.70	12.57	0.76	0.484	0.09
	總和							48.66

(二)因為綠竹缺少每一桿胸徑資料，因此不納入碳匯計算。剩餘 93 棵風倒木由 29 種樹種組成，各樹種碳儲存量如表二。康芮颱風造成損失 48.655ton C，公園碳儲存量變為 $1556.83 - 48.655 = 1508.175\text{ton C}$ 。

表 8、29 種樹木的碳儲存量總和

編號	樹種	株數	碳匯 (ton C)
1	盾柱木	6	15.002
2	白榕	9	7.01
3	黑板樹	4	6.158
4	黃果垂榕	3	3.413
5	豔紫荊	18	2.897
6	孟加拉榕	1	2.555
7	苦楝	3	2.218
8	印度橡膠樹	2	2.057
9	榕樹	4	1.499
10	阿勃勒	7	0.857
11	印度紫檀	3	0.67
12	榔榆	2	0.606
13	黃連木	2	0.578
14	菩提樹	2	0.49
15	大花紫薇	4	0.381
16	茄苳	4	0.369
17	肯氏南洋杉	1	0.337
18	白玉蘭	3	0.333
19	雀榕	1	0.302
20	樟樹	3	0.165
21	台灣欒樹	2	0.16
22	大葉桃花心木	1	0.148
23	黃花風鈴木	2	0.136
24	提琴葉榕	1	0.111
25	洋紫荊	1	0.101
26	楊梅	1	0.061
27	楓香	1	0.026
28	水柳	1	0.008
29	龍柏	1	0.007
總和		93	48.655

(三)風倒木位置與道路距離關係

使用 ArcGIS Pro 在地圖帶入 94 棵風倒木座標與公園道路資料，使用

Select by Location 功能來選取公園道路某距離內有多少棵風倒木，結果距離道路 04 公尺內有 49 棵風倒木及 08 公尺內有 76 棵風倒木(表 9)。

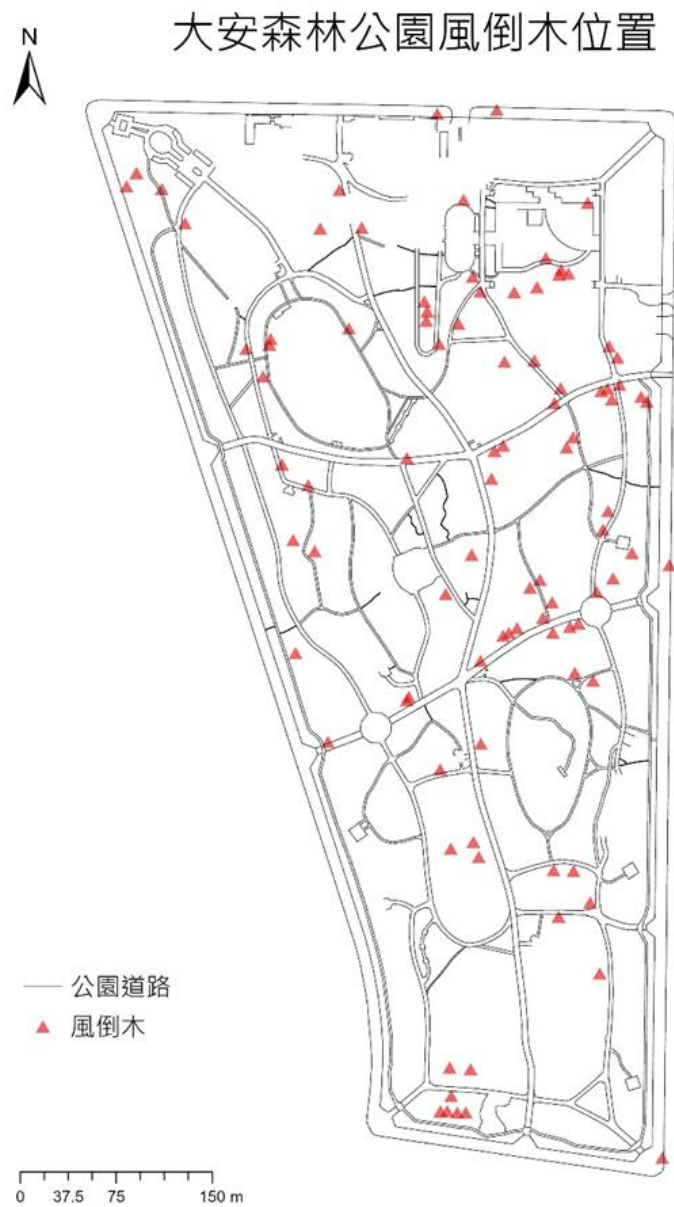


圖 16、大安森林公園 94 棵風倒木位置

表 9、風倒木位置與道路距離關係

風倒木與道路距離(m)	株數	平均樹高(m)	累積株數	相對株數(%)	相對累積株數(%)
less01	6	9.55	6	6.38	6.38
01~02	18	9.31	24	19.15	25.53
02~03	13	10.09	37	13.83	39.36
03~04	12	9.19	49	12.77	52.13
04~05	7	11.4	56	7.45	59.57
05~06	8	10.81	64	8.51	68.09
06~07	4	9.24	68	4.26	72.34
07~08	8	8.59	76	8.51	80.85
08~10	2	16.46	78	2.13	82.98
10~11	3	13.18	81	3.19	86.17
11~12	2	18.09	83	2.13	88.30
12~14	4	9.57	87	4.26	92.55
14~15	1	8.17	88	1.06	93.62
15~16	4	12.17	92	4.26	97.87
16~22	2	12.41	94	2.13	100.00

距離道路 04 公尺內 49 棵風倒木佔全部 52%；道路 08 公尺內 76 棵風倒木佔全部 81%。風倒木距離道路 12 公尺以內之平均樹高皆大於 12 公尺，表示 83 棵風倒木阻礙道路可能性大；風倒木距離道路 12 公尺以外之平均樹高皆小於 12 公尺，表示 11 棵風倒木阻礙道路可能性小。

(四)兩個年度 UAV 光達資料來偵測風倒木周圍高度變化

94 棵風倒木座標當作圓心，以半徑兩公尺畫一個圓形並搜索範圍內 2024 與 2025 兩個年度網格(50cm*50cm)利用網格高度資料，94 個圓形範圍內全部網格進行計算，計算方式為 2025 年高度減去 2024 年高度後全部相加起來，94 個圓

形範圍內網格高度變化總和介於 -946.76~266.16m 之間，平均網格高度變化總和 -353.24m，標準差為 230.55m。

總和數值越小，代表樹木周圍 2025 年網格高度遠小於 2024 年網格高度，表示有明顯產生樹冠孔隙(canopy gap)陽光能照入地表；總和數值越大，代表樹木周圍 2025 年網格高度遠高於 2024 年網格高度，表示樹冠孔隙小且陽光難照入地表。

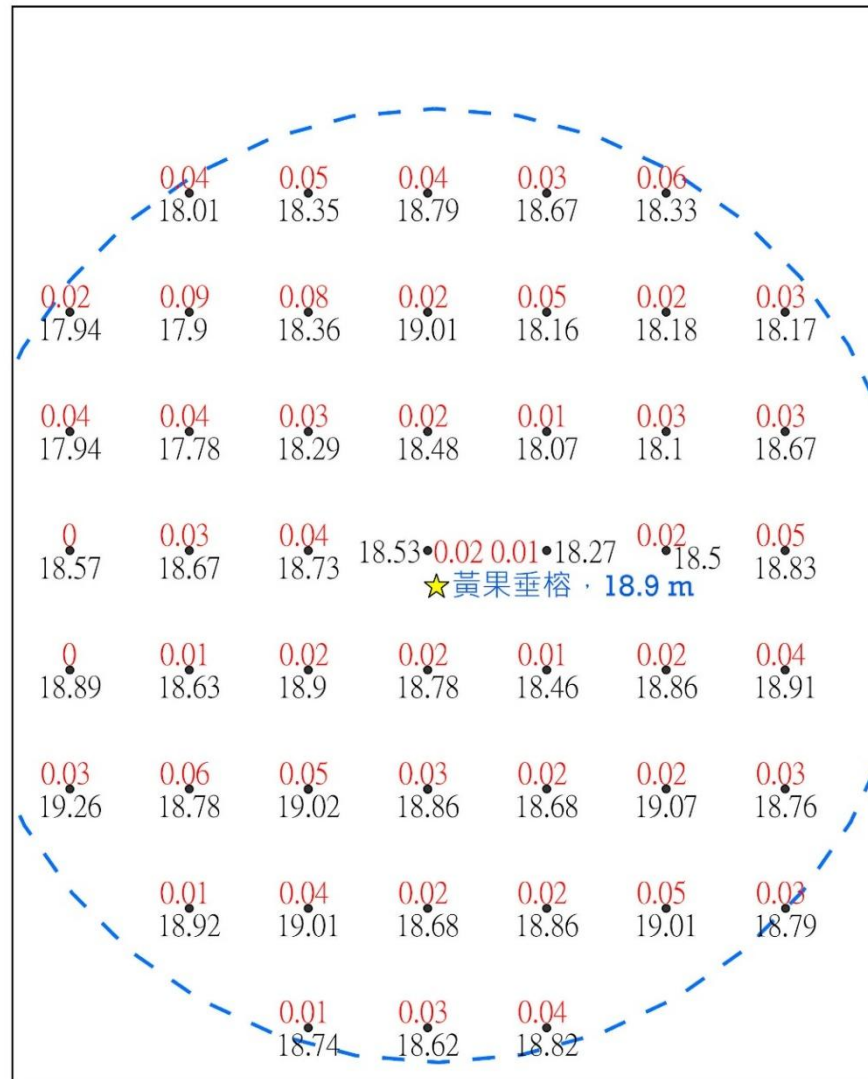
表 10、2024 年與 2025 年風倒木周圍網格高度變化總和

編號	系統樹木序號	樹種名稱	網格高度變化總和
1	627	黃果垂榕	-946.76
2	4367	黑板樹	-916.09
3	641	白榕	-813.92
4	630	黃果垂榕	-793.74
5	635	白榕	-764.79
6	1671	盾柱木	-716.94
7	1646	盾柱木	-710.84
8	1998	白榕	-708.99
9	2743	艷紫荊	-643.92
10	3741	黑板樹	-631.03
11	2606	印度紫檀	-618.64
12	1670	盾柱木	-617.13
13	3742	白榕	-605.99
14	1712	盾柱木	-594
15	3626	艷紫荊	-582.82
16	4445	菩提樹	-577.72
17	497	印度橡膠樹	-575.02
18	643	白榕	-547.87
19	5495	白榕	-522.12
20	1328	孟加拉榕	-516.5
21	4416	菩提樹	-516.28
22	1401	綠竹	-515.36
23	5370	大葉桃花心木	-509.3
24	702	黃果垂榕	-505.91
編號	系統樹木序號	樹種名稱	網格高度變化總和
25	1411	黑板樹	-501.51
26	1406	黑板樹	-472.24
27	3412	白榕	-446

28	2588	印度紫檀	-439.28
29	1517	白榕	-439.02
30	5328	大花紫薇	-437.56
31	3156	洋紫荊	-431.53
32	3095	茄苳	-423.35
33	1390	提琴葉榕	-422.83
34	2938	印度橡膠樹	-422.77
35	2733	艷紫荊	-413.56
36	2059	大花紫薇	-410.12
37	928	榔榆	-402.15
38	3202	白玉蘭	-401.8
39	5424	艷紫荊	-397.04
40	3617	艷紫荊	-390.57
41	3820	艷紫荊	-386.47
42	709	白榕	-384.67
43	1893	阿勒勃	-369.12
44	3482	榕樹	-357.42
45	5737	阿勒勃	-356.33
46	3374	苦楝	-354.73
47	2448	肯氏南洋杉	-351.15
48	5427	樟樹	-349.19
49	5734	阿勒勃	-345.24
50	2598	阿勒勃	-343.74
51	5435	黃金風鈴木	-341.57
52	5140	大花紫薇	-336.81
53	2889	艷紫荊	-334.98
54	1676	苦楝	-332.98
55	5080	艷紫荊	-324.63
56	3241	臺灣樂樹	-312.03
57	2761	艷紫荊	-308.7
58	2888	艷紫荊	-308.26
59	2587	艷紫荊	-297.21
60	5333	臺灣樂樹	-294.72
編號	系統樹木序號	樹種名稱	網格高度變化總和
61	1885	阿勒勃	-293.98
62	1002	阿勒勃	-293.97
63	5432	茄苳	-291.47

64	3657	艷紫荊	-284.03
65	5433	黃金風鈴木	-273.91
66	3483	雀榕	-259.3
67	2886	白玉蘭	-252.54
68	4791	楓香	-225.11
69	5396	艷紫荊	-213.6
70	2736	艷紫荊	-201.02
71	2139	楊梅	-200.1
72	2392	榕樹	-198.49
73	2561	苦楝	-195.02
74	5352	茄苳	-191.32
75	5453	樟樹	-181.47
76	2771	艷紫荊	-175.49
77	3827	白玉蘭	-171.58
78	4764	黃連木	-156.88
79	2774	艷紫荊	-128.47
80	4901	盾柱木	-100.54
81	984	榔榆	-79.72
82	545	榕樹	-51.09
83	5367	龍柏	-42.67
84	2592	艷紫荊	-38.34
85	2812	水柳	-30.84
86	2793	茄苳	-23.16
87	3787	榕樹	-17.46
88	940	黃連木	-10.47
89	5538	樟樹	-1.38
90	2725	印度紫檀	0.42
91	2040	大花紫薇	3.23
92	5419	艷紫荊	89.49
93	5736	阿勒勃	112.58
94	4852	盾柱木	266.16

風倒木_黃果垂榕



0 0.3 0.6 1.2 m

- 2025高度值
- 2024高度值
- ★ 風倒木座標

圖 17、系統編號 627 黃果垂榕周圍網格高度值

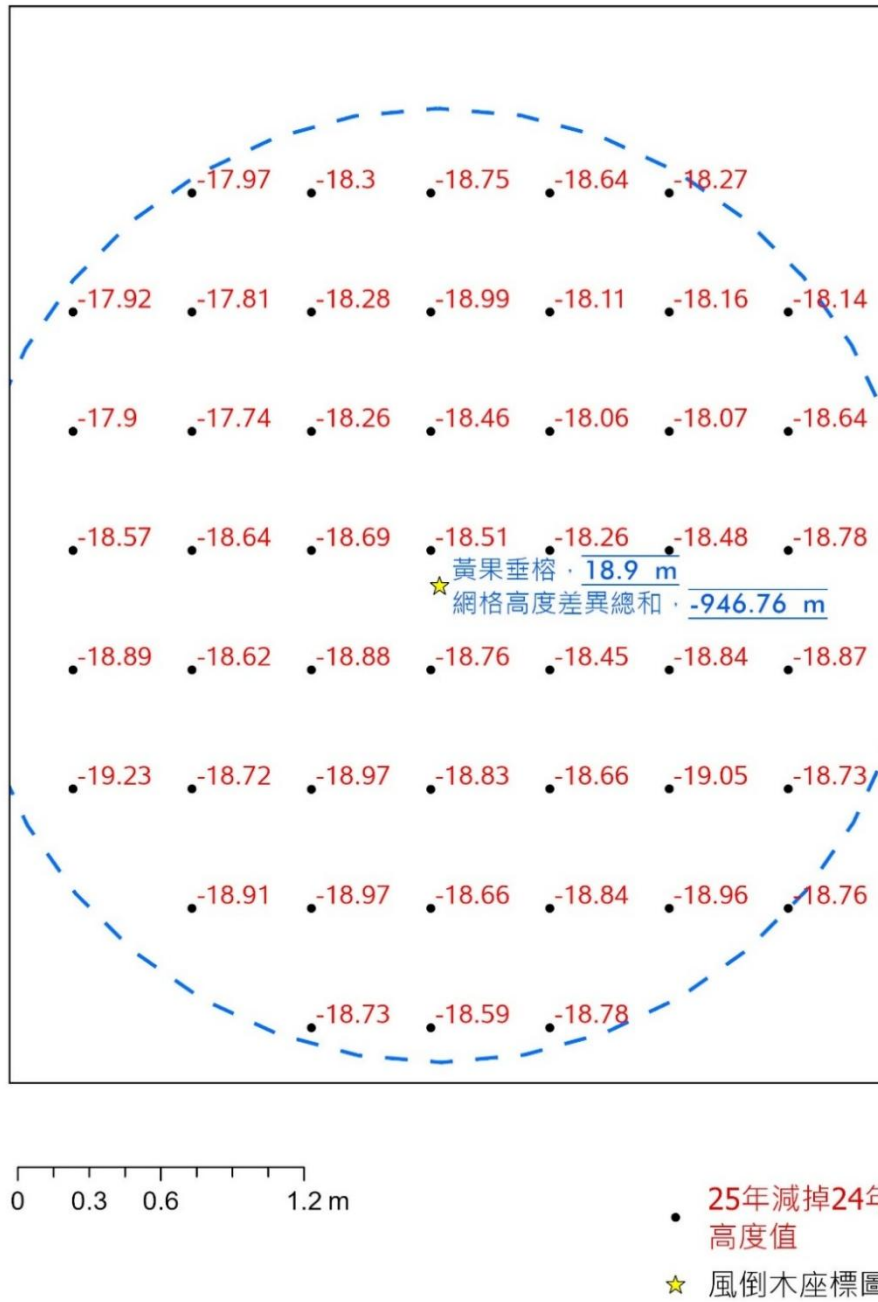


圖 18、系統編號 627 黃果垂榕周圍網格高度值變化

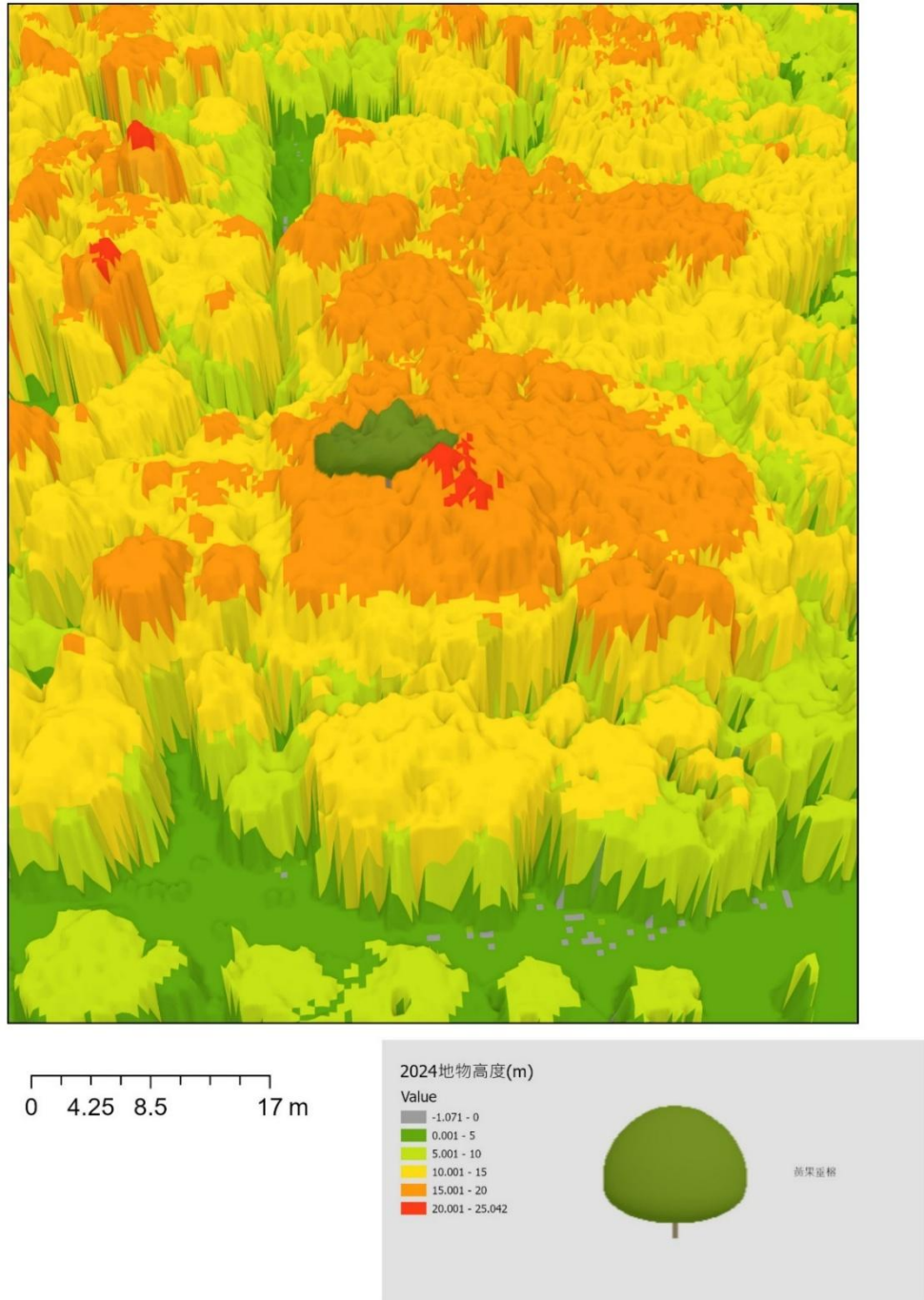
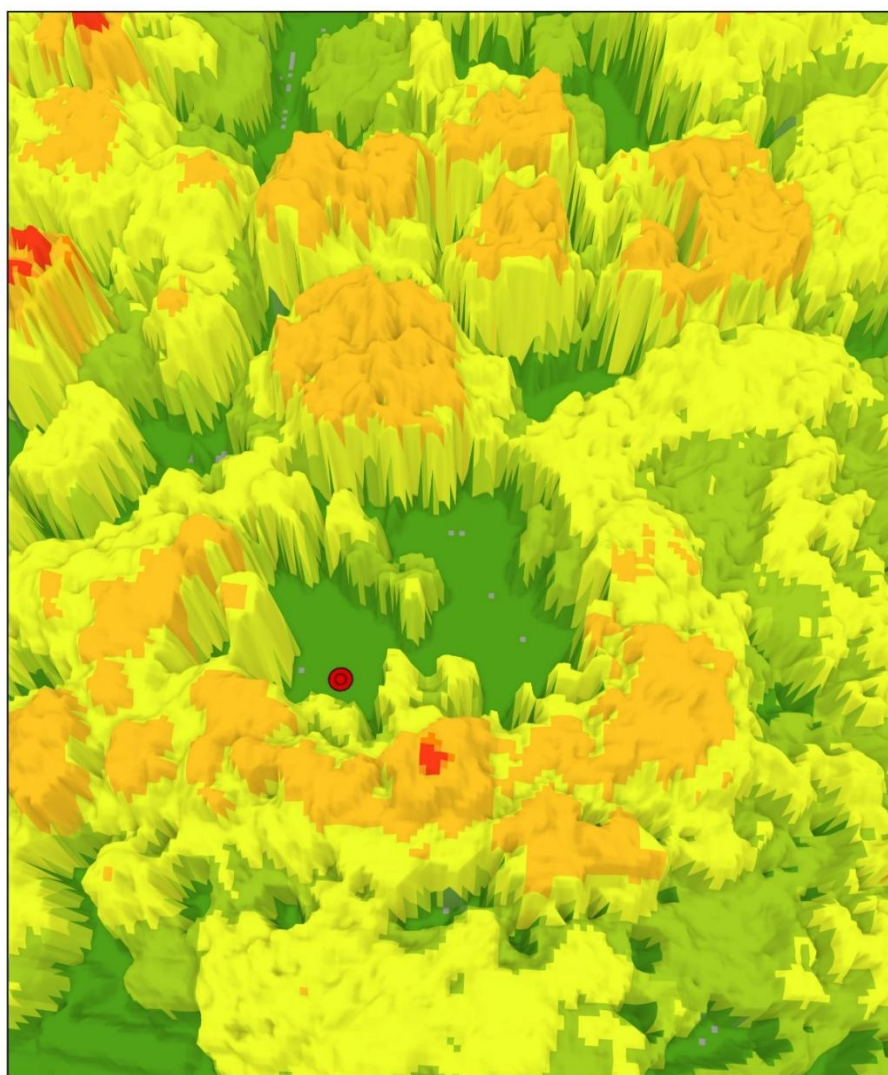


圖 19、2024 年系統編號 627 黃果垂榕周圍高程立體圖

系統編號 627 黃果垂榕位置為圓心，以半徑兩公尺畫一個圓形並搜索範圍內全部網格，2024 年網格高度平均有 18m，但 2025 年網格高度平均不到 0.1m(圖 17)顯示風倒木可能被移除或未補植新樹木，因此 2025 年高程立體圖有明顯空洞(圖 20)



0 5 10 20 m

2025地物高度(m)

Value

-6.108 - 0

0.001 - 5

5.001 - 10

10.001 - 15

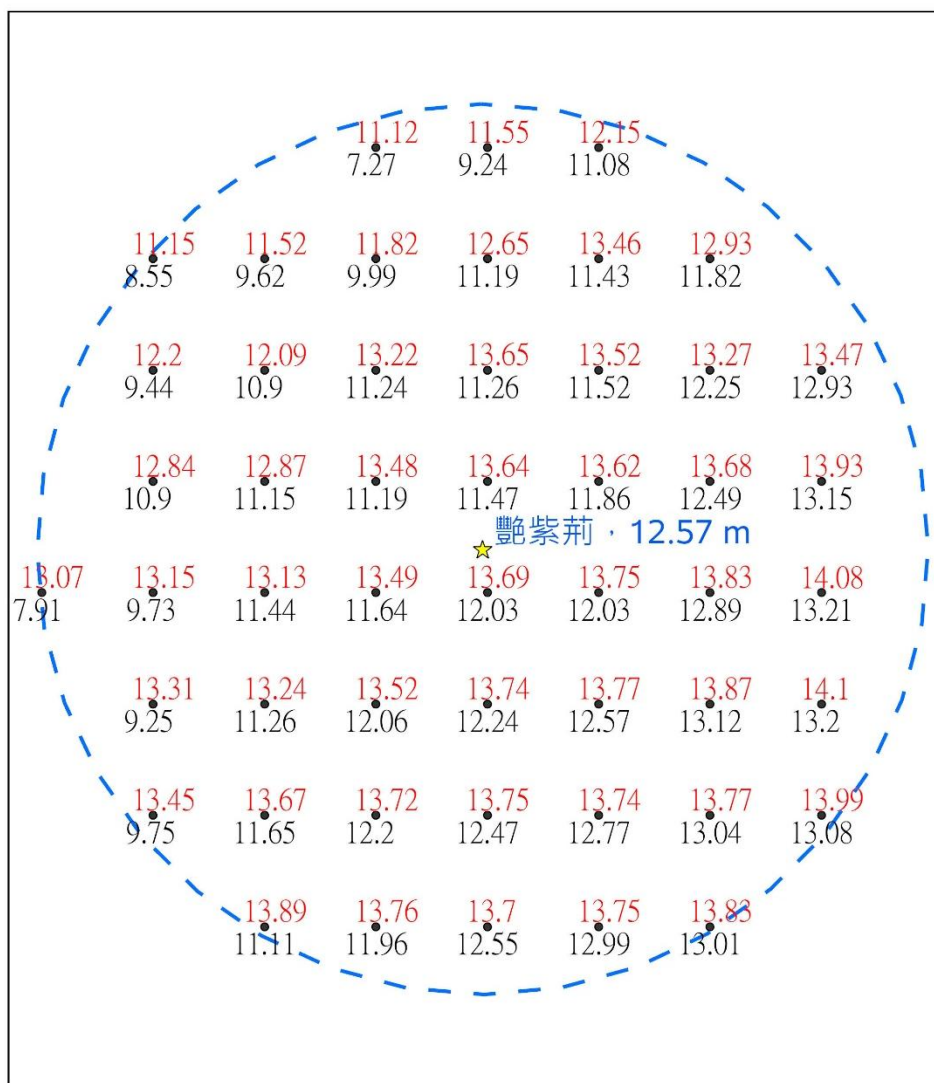
15.001 - 20

20.001 - 20.356

20.357 - 24.767

黃果垂榕

圖 20、2025 年系統編號 627 黃果垂榕周圍高程立體圖



0 0.25 0.5 1 m

- 2025高度值
- 2024高度值
- ★ 風倒木座標圖

圖 21、系統編號 5419 艷紫荊周圍網格高度值

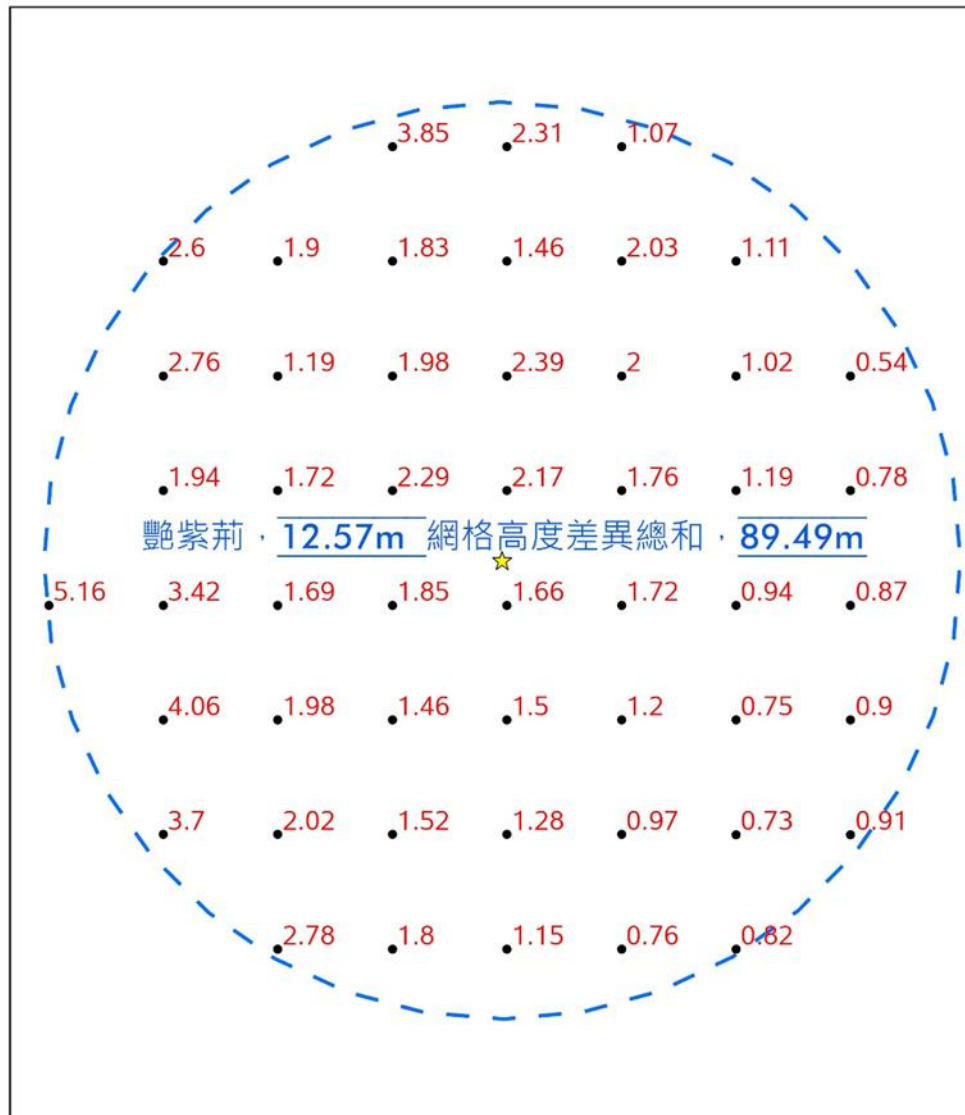


圖 22、系統編號 5419 艷紫荊周圍網格高度值變化



圖 23、2024 年系統編號 5419 艷紫荊周圍高程立體圖

系統編號 5419 艷紫荊位置為圓心，以半徑兩公尺畫一個圓形並搜索範圍內全部網格，2024 年網格高度平均有 11.4m，但 2025 年網格高度平均到 13.2m(圖 21)顯示可能為被壓木且周圍樹木長高，因此 2025 年高程立體圖沒有空洞(圖 24)

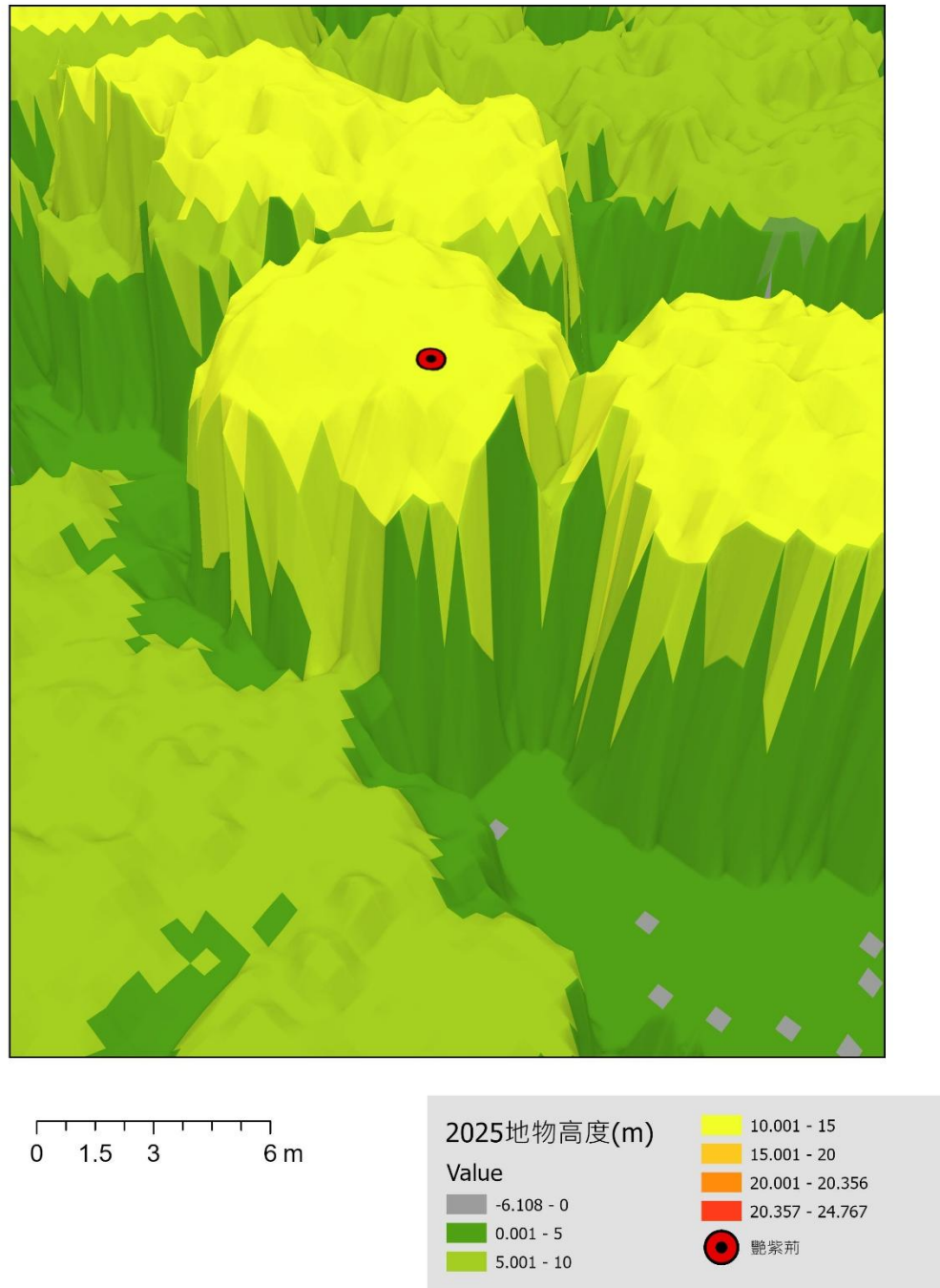


圖 24、2025 年系統編號 5419 艷紫荊周圍高程立體圖

四、滾動修正年度樹木生長預測模式，估算大安森林公園樹木年度生長量與碳吸存量，了解大安森林公園樹木碳吸存表現。

(一)樹木生長預測模式

1.2021 及 2024 年兩年度樹木胸徑調查資料建立胸徑及胸高斷面積連年生長率迴歸式。

根據 2021 及 2024 年之調查，為排除測量誤差，本研究在計算生長率時先將胸徑生長量

大於 3 公分或小於 0 公分排除，再將株數小於 5 的樹種排除，最後納入生長率計算之樹木共 2,415 株。

2.胸徑連年生長率(%)

=2021 至 2024 年各樹種平均胸徑生長量 $\div$ 3 $\square$ 2021 年各樹種平均胸徑

=2021 至 2024 年各樹種平均胸徑連年生長量 $\div$ 2021 年各樹種平均胸徑

表 11、計算胸徑連年生長率的樹種

樹種	株數	平均胸徑 生長量(cm)	平均胸徑連年 生長量(cm)	平均胸徑 (2021 年)	胸徑連年 生長率(%)
1. 山櫻花	5	1.32	0.44	7.56	5.838
2. 菲島福木	24	1.38	0.46	8.98	5.121
3. 流蘇	5	1.66	0.55	12.64	4.378
4. 紅楠	6	1.72	0.57	14.55	3.933
5. 龍柏	11	0.78	0.26	6.65	3.922
6. 朴樹	7	2.10	0.70	18.44	3.796
7. 黃連木	6	1.87	0.62	17.18	3.621
8. 檫	45	1.95	0.65	18.12	3.581
9. 白玉蘭	11	1.51	0.50	14.87	3.382
10. 艷紫荊	43	1.73	0.58	17.55	3.291
11. 蘭嶼羅漢松	13	0.78	0.26	8.64	3.022
12. 臺灣烏心石	5	1.22	0.41	14.62	2.782
13. 錫蘭饅頭果	7	1.73	0.58	21.16	2.723
14. 穗花棋盤腳	6	0.67	0.22	8.22	2.705
15. 洋玉蘭	7	1.00	0.33	13.63	2.446
16. 楊梅	11	1.36	0.45	18.69	2.422
17. 大花紫薇	28	1.39	0.46	19.33	2.389
18. 臺灣欒樹	118	1.66	0.55	24.08	2.298
19. 竹柏	8	0.88	0.29	13.10	2.242
20. 厚葉榕	12	1.49	0.50	22.19	2.241
21. 洋紅風鈴木	7	1.30	0.43	20.04	2.162
22. 麵包樹	7	1.59	0.53	24.71	2.139
23. 蓮霧	9	1.95	0.65	30.48	2.136
24. 印度紫檀	108	1.52	0.51	24.37	2.073
25. 欖仁	8	1.23	0.41	19.84	2.058
26. 楓香	213	1.49	0.50	25.42	1.959
27. 苦楝	97	1.18	0.39	20.12	1.956
28. 樟樹	126	1.62	0.54	27.84	1.939
29. 小葉欖仁	22	1.65	0.55	28.35	1.934

30. 稜果榕	10	1.40	0.47	25.02	1.865
31. 大葉桃花心木	7	1.70	0.57	31.46	1.801
32. 落羽松	18	1.67	0.56	31.18	1.788
33. 盾柱木	11	1.57	0.52	29.69	1.766
34. 茄苳	188	1.35	0.45	25.86	1.738
35. 鳳凰木	16	1.46	0.49	28.22	1.728
36. 肯氏南洋杉	38	1.62	0.54	31.49	1.719
37. 水柳	14	0.94	0.31	18.58	1.688
38. 榕樹	145	1.40	0.47	27.90	1.674
39. 第倫桃	30	1.31	0.44	26.25	1.664
40. 孟加拉榕	19	1.26	0.42	25.34	1.655
41. 阿勒勃	181	0.90	0.30	18.26	1.641
42. 水黃皮	144	1.11	0.37	23.79	1.556
43. 榔榆	21	1.23	0.41	27.14	1.509
44. 雀榕	22	1.28	0.43	28.42	1.503
45. 烏白	20	1.17	0.39	26.93	1.454
46. 木棉	11	0.89	0.30	20.88	1.424
47. 黑板樹	236	1.46	0.49	35.68	1.368
48. 羅比親王海棗	24	0.34	0.11	8.71	1.288
49. 黃果垂榕	6	1.45	0.48	38.03	1.271
50. 白千層	25	1.56	0.52	49.11	1.059
51. 印度橡膠樹	8	1.10	0.37	35.48	1.034
52. 白榕	146	1.40	0.47	45.53	1.027
53. 芒果樹	12	1.12	0.37	43.58	0.854
54. 大王椰子	58	0.56	0.19	29.41	0.635
55. 蒲葵	5	0.42	0.14	24.08	0.579
56. 華盛頓椰子	19	0.63	0.21	45.95	0.458
57. 亞力山大椰子	6	0.18	0.06	16.30	0.375
總和	2415				

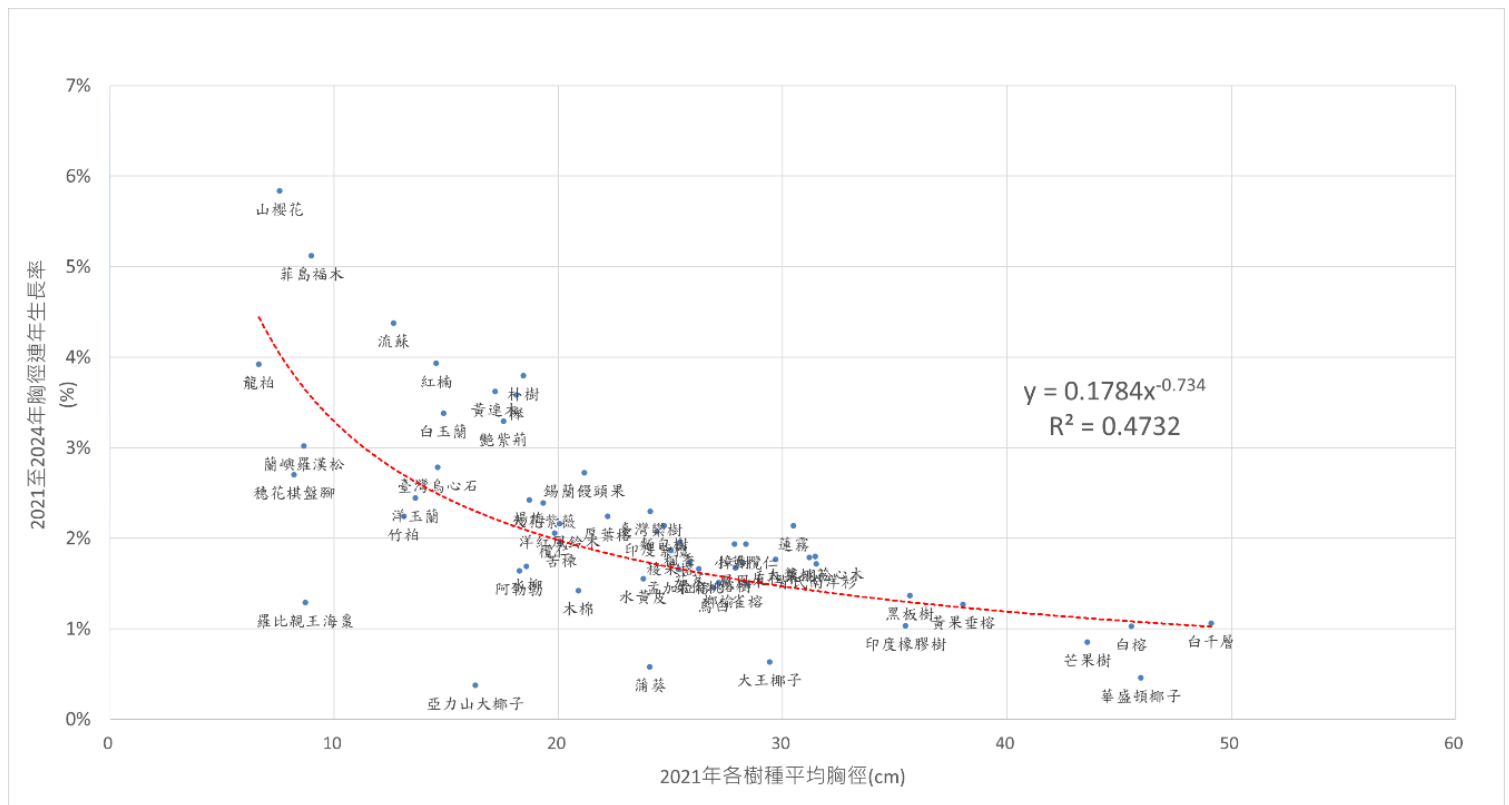


圖 25、2021 年各樹種平均胸徑與 2021~2024 年胸徑連年生長率關係圖

圖 25 可以發現兩者呈現乘冪關係，迴歸方程式 R^2 為 0.4732:

$$y = 0.1784 \times x^{-0.734}$$

x = 2021 年各樹種平均胸徑； y = 2021 至 2024 年胸徑連年生長率

3. 棕櫚科植物有大王椰子、蒲葵、華盛頓椰子、亞力山大椰子與羅比親王海棗，棕櫚科植物達到生理成熟期後胸徑生長緩慢，為了改善生長預測模式，將這五種植物去除後迴歸方程式 R^2 為 0.6252 (圖 26)

$$y = 0.2219 \times x^{-0.77}$$

x =2021 年各樹種平均胸徑； y =2021 至 2024 年胸徑連年生長率

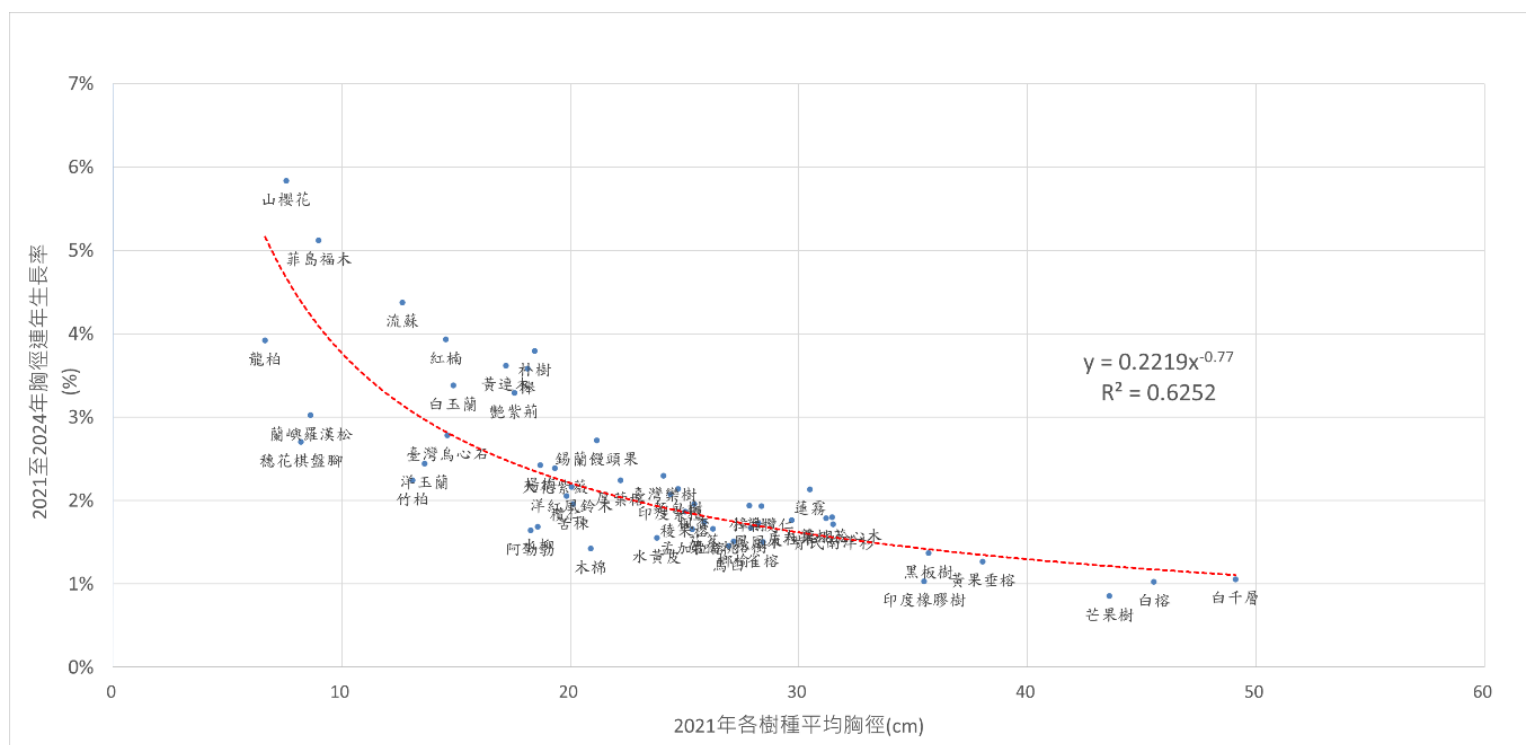


圖 26、2021 年各樹種平均胸徑與 2021~2024 年胸徑連年生長率關係圖
(去除棕櫚科植物)

4. 平均胸徑 20cm 當作界線來觀察資料，左半邊是平均胸徑小於 20cm 的資料分佈分散；右半邊是胸徑大於 20cm 的資料分佈集中，平均胸徑小於 20cm 的資料產生一個迴歸式；平均胸徑大於 20cm 的資料也產生一個迴歸式。

(1) 平均胸徑小於 20cm 的迴歸方程式 R^2 為 0.293 (圖 27)

$$y = 0.1164 \times x^{-0.513}$$

x = 2021 年各樹種平均胸徑； y = 2021 至 2024 年胸徑連年生長率

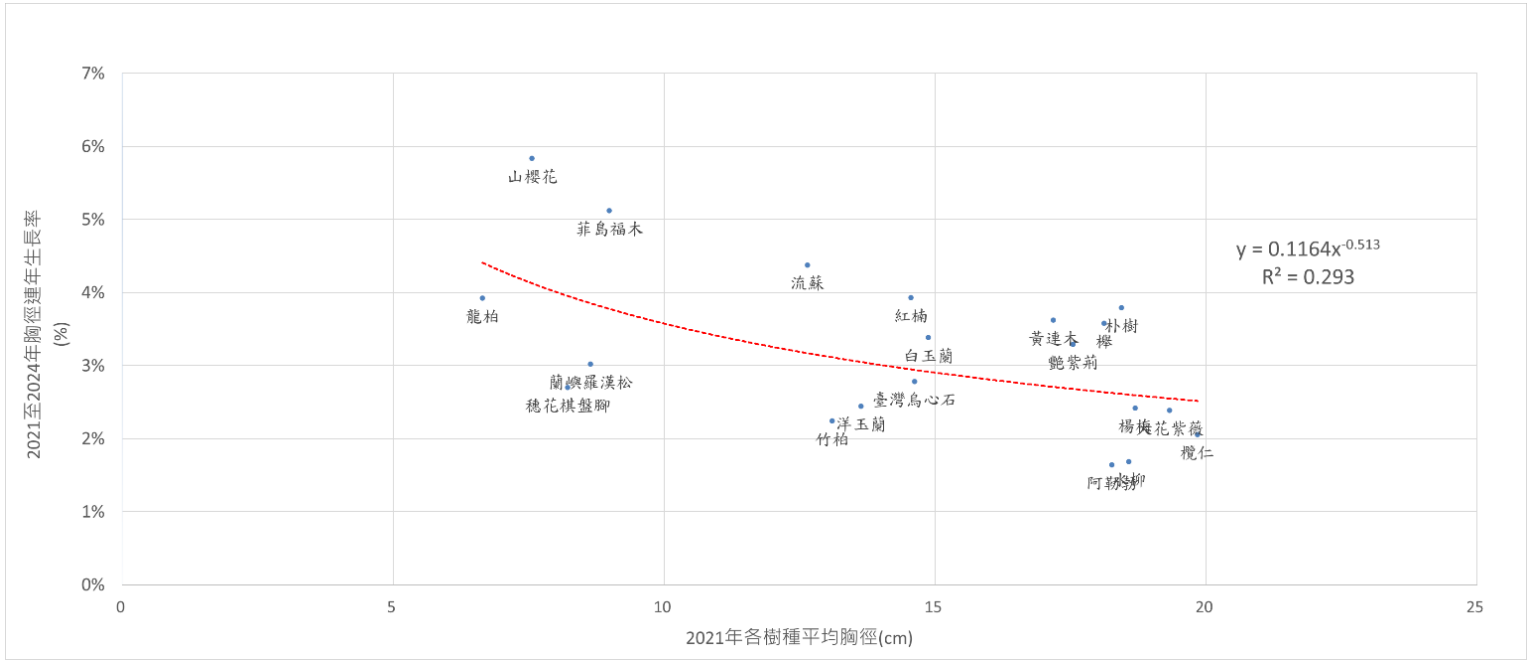


圖 27、2021 年各樹種平均胸徑與 2021~2024 年胸徑連年生長率關係圖
(樹種平均胸徑小於 20cm)

(2)平均胸徑大於 20cm 的迴歸方程式 R^2 為 0.5256 (圖 28)

$$y = 0.3297 \times x^{-0.894}$$

x = 2021 年各樹種平均胸徑； y = 2021 至 2024 年胸徑連年生長率

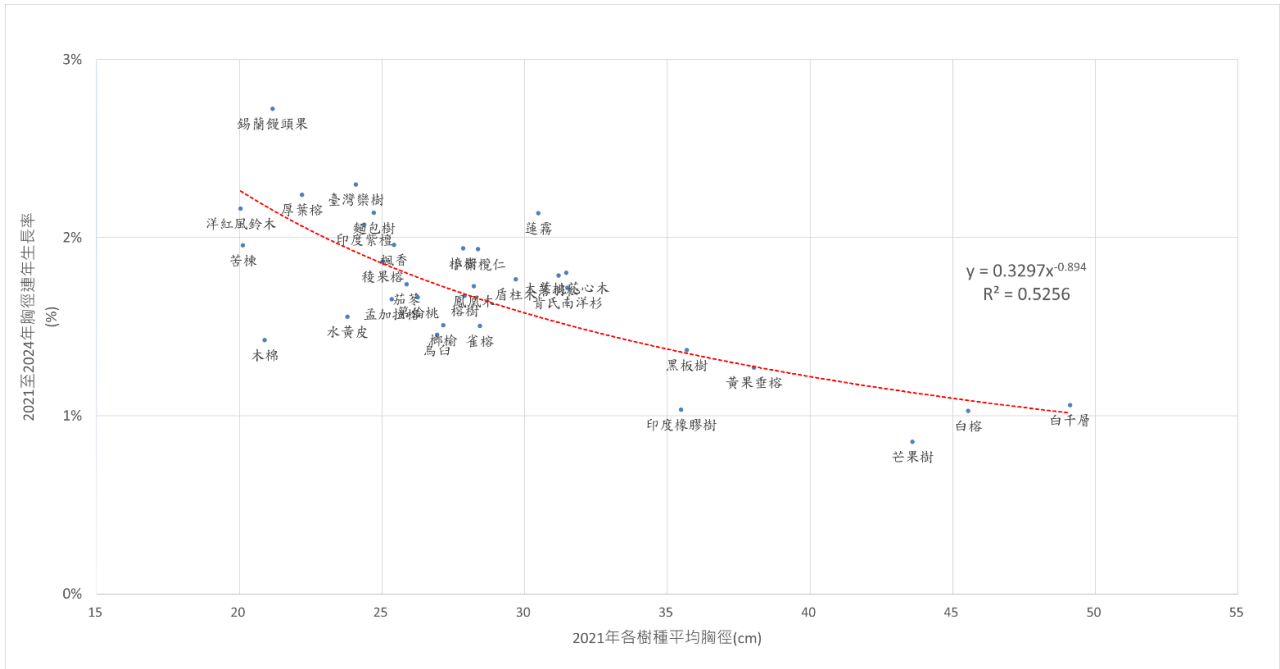


圖 28、2021 年各樹種平均胸徑與 2021~2024 年胸徑連年生長率關係圖
(樹種平均胸徑大於 20cm)

(二)大安森林公園樹木年度生長量(annual growth)

挑選株數大於等於 30 棵樹種，共有 31 種樹木(4552 棵)分別計算直徑、斷面積、樹高、材積與碳匯生長量。

1.直徑生長(diameter growth)

表 12、2021~2024 年樹種直徑生長量

樹種	株數	2021 平均直徑(cm)	2024 平均直徑(cm)	年直徑生長量(cm/y)
1. 雀榕	52	33.41	40.06	2.17
2. 印度橡膠樹	47	46.16	51.82	1.89
3. 水柳	46	20.94	26.26	1.58
4. 白榕	543	44.93	48.51	1.19
5. 榕樹	462	35.57	38.9	1.11
6. 艷紫荊	80	18.94	21.75	0.87
7. 檳	67	17.87	20.39	0.83
8. 臺灣樂樹	185	23.25	25.81	0.82
9. 榔榆	52	26.24	28.74	0.80
10. 樟樹	196	27.84	30.27	0.79
11. 盾柱木	41	32.58	35.12	0.78
12. 茄苳	292	26.24	28.55	0.77
13. 白千層	75	52.59	54.95	0.73
14. 肯氏南洋杉	60	32.20	34.44	0.72
15. 小葉欖仁	41	28.71	30.80	0.70
16. 印度紫檀	204	26.56	28.66	0.69
17. 菲島福木	50	9.78	11.87	0.67
18. 落羽松	36	29.59	31.90	0.66
19. 黑板樹	598	39.24	41.08	0.61
20. 苦楝	130	21.34	23.02	0.54
21. 楓香	319	26.57	28.22	0.54
22. 水黃皮	232	25.34	26.87	0.50
23. 第倫桃	38	26.43	27.90	0.49
24. 大花紫薇	32	19.33	20.75	0.47
25. 烏白	44	30.61	31.94	0.45
26. 大王椰子	117	29.36	30.20	0.27
27. 華盛頓椰子	30	46.51	47.19	0.23
28. 阿勒勃	340	19.02	19.62	0.20
29. 朱蕉	51	4.50	4.65	0.00
30. 羅比親王海棗	49	9.12	9.06	-0.02

31. 孟加拉榕	43	30.64	30.34	-0.10
----------	----	-------	-------	-------

2.斷面積生長(basal area growth)

表 13、2021~2024 年樹種斷面積生長量

樹種	株數	2021 平均斷面積(m ²)	2024 平均斷面積(m ²)	年斷面積生長量(m ² /y)
1. 雀榕	52	0.103	0.150	0.015
2. 印度橡膠樹	47	0.291	0.330	0.013
3. 榕樹	462	0.137	0.162	0.009
4. 白榕	543	0.175	0.198	0.008
5. 水柳	46	0.039	0.061	0.007
6. 白千層	75	0.231	0.251	0.006
7. 盾柱木	41	0.088	0.104	0.005
8. 黑板樹	598	0.133	0.146	0.004
9. 榔榆	52	0.057	0.070	0.004
10. 肯氏南洋杉	60	0.085	0.097	0.004
11. 茄苳	292	0.059	0.070	0.004
12. 樟樹	196	0.070	0.081	0.004
13. 小葉欖仁	41	0.070	0.081	0.004
14. 印度紫檀	204	0.060	0.071	0.003
15. 落羽松	36	0.073	0.085	0.003
16. 臺灣欖樹	185	0.047	0.057	0.003
17. 艷紫荊	80	0.030	0.040	0.003
18. 烏白	44	0.088	0.096	0.003
19. 欖	67	0.026	0.033	0.002
20. 楓香	319	0.061	0.069	0.002
21. 水黃皮	232	0.054	0.061	0.002
22. 大王椰子	117	0.070	0.076	0.002
23. 第倫桃	38	0.056	0.063	0.002
24. 華盛頓椰子	30	0.182	0.188	0.002
25. 苦楝	130	0.043	0.049	0.002
26. 大花紫薇	32	0.031	0.035	0.002
27. 菲島福木	50	0.009	0.013	0.001
28. 阿勒勃	340	0.030	0.032	0.001
29. 朱蕉	51	0.002	0.002	0.000
30. 羅比親王海棗	49	0.007	0.006	0.000
31. 孟加拉榕	43	0.099	0.096	-0.001

3.樹高生長(height growth)

表 14、2019~2024 年樹種樹高生長量

樹種	株數	2019 平均樹高(m)	2024 平均樹高(m)	年樹高生長量(m/y)
1. 菲島福木	50	5.35	10.43	0.98
2. 水黃皮	232	8.85	12.21	0.67
3. 羅比親王海棗	49	3.91	6.77	0.55
4. 艷紫荊	80	8.06	10.01	0.39
5. 榔榆	52	9.15	11.06	0.38
6. 烏白	44	10.35	12.22	0.37
7. 水柳	46	6.57	8.67	0.37
8. 印度紫檀	204	10.91	12.73	0.36
9. 大花紫薇	32	6.85	8.63	0.36
10. 雀榕	52	8.45	9.94	0.30
11. 落羽松	36	10.20	12.14	0.28
12. 大王椰子	117	11.29	12.71	0.28
13. 茄苳	292	7.31	8.69	0.28
14. 臺灣樂樹	185	7.36	8.69	0.26
15. 樟樹	196	8.21	9.32	0.22
16. 華盛頓椰子	30	10.08	11.11	0.21
17. 阿勒勃	340	7.53	8.48	0.18
18. 孟加拉榕	43	5.68	6.57	0.18
19. 黑板樹	598	13.57	14.45	0.17
20. 印度橡膠樹	52	11.16	12.01	0.17
21. 苦楝	130	7.39	8.06	0.13
22. 小葉欖仁	41	11.49	12.12	0.13
23. 白榕	543	13.13	13.63	0.10
24. 榕樹	462	9.27	9.74	0.09
25. 朱蕉	51	2.38	7.50	0.06
26. 盾柱木	41	10.61	10.89	0.06
27. 肯氏南洋杉	60	15.36	15.60	0.05
28. 白千層	75	10.91	10.98	0.01
29. 楓香	319	10.93	10.67	-0.05
30. 第倫桃	38	10.44	8.93	-0.30
31. 欖	67	10.32	8.10	-0.32

4.材積生長(volume growth)

扣除棕欏科植物(大王椰子、華盛頓椰子與羅比親王海棗)剩餘 4361 棵來計算材積生長量。形數(0.4)使用鄧翔耀使用地面光達測量大安森林公園 23 株樹木推估的係數(鄧翔耀，2021)

表 15、2021~2024 年樹種材積生長量

樹種	株數	2021 平均材積(m ³)	2024 平均材積(m ³)	年材積生長量(m ³)
1. 印度橡膠樹	47	1.836	2.702	0.079
2. 雀榕	52	0.435	0.618	0.060
3. 白榕	543	0.994	1.172	0.057
4. 黑板樹	598	0.799	0.903	0.034
5. 白千層	75	1.074	1.185	0.034
6. 印度紫檀	204	0.289	0.385	0.031
7. 水柳	46	0.121	0.228	0.030
8. 榔榆	52	0.227	0.321	0.030
9. 盾柱木	41	0.377	0.475	0.029
10. 肯氏南洋杉	60	0.544	0.631	0.028
11. 水黃皮	232	0.207	0.291	0.027
12. 烏白	44	0.408	0.484	0.025
13. 小葉欖仁	41	0.382	0.455	0.024
14. 落羽松	36	0.332	0.432	0.024
15. 茄苳	292	0.190	0.258	0.023
16. 樟樹	196	0.268	0.336	0.022
17. 艷紫荊	80	0.110	0.171	0.019
18. 臺灣樂樹	185	0.158	0.213	0.018
19. 大花紫薇	32	0.089	0.125	0.012
20. 菲島福木	50	0.025	0.061	0.012
21. 榕樹	462	0.672	0.705	0.011
22. 苦楝	130	0.151	0.182	0.010
23. 楓香	319	0.304	0.327	0.007
24. 阿勒勃	340	0.098	0.114	0.005
25. 朱蕉	51	0.002	0.005	0.000
26. 檳	67	0.111	0.110	0.000
27. 第倫桃	38	0.232	0.229	-0.001
28. 孟加拉榕	43	0.357	0.315	-0.014

5.碳儲存量生長(carbon storage growth)

表 16、2021~2024 年樹種碳儲存量(ton C)生長

樹種	株數	2021 平均碳儲存量	2024 平均碳儲存量	年碳吸存	定期碳吸存
1. 印度橡膠樹	47	1.422	1.606	0.061	8.614
2. 雀榕	52	0.234	0.332	0.032	5.003
3. 榔榆	52	0.233	0.330	0.031	4.838
4. 白榕	543	0.510	0.593	0.028	42.749
5. 白千層	75	0.875	0.966	0.028	6.255
6. 水黃皮	232	0.198	0.278	0.026	17.944
7. 印度紫檀	204	0.217	0.289	0.024	14.388
8. 盾柱木	41	0.287	0.362	0.022	2.763
9. 艷紫荊	80	0.112	0.173	0.019	4.554
10. 烏白	44	0.297	0.353	0.019	2.457
11. 小葉欖仁	41	0.291	0.345	0.018	2.254
12. 黑板樹	598	0.419	0.473	0.018	32.369
13. 肯氏南洋杉	60	0.337	0.391	0.017	3.146
14. 茄苳	292	0.136	0.185	0.016	14.171
15. 水柳	46	0.064	0.121	0.016	2.212
16. 樟樹	196	0.177	0.222	0.015	8.607
17. 落羽松	36	0.195	0.254	0.014	1.525
18. 臺灣欒樹	185	0.124	0.167	0.014	7.643
19. 菲島福木	50	0.025	0.062	0.012	1.778
20. 大花紫薇	32	0.061	0.085	0.008	0.783
21. 苦楝	130	0.105	0.127	0.007	2.779
22. 阿勒勃	340	0.105	0.122	0.006	5.693
23. 榕樹	462	0.345	0.355	0.005	4.381
24. 楓香	319	0.201	0.216	0.005	4.674
25. 朱蕉	51	0.000	0.000	0.000	0.000
26. 檫	67	0.106	0.105	0.000	-0.029
27. 第倫桃	38	0.224	0.221	-0.001	-0.105
28. 孟加拉榕	43	0.183	0.161	-0.007	-0.939
總和					200.507

表 17、木材密度與碳轉換係數

樹種	木材密度(D)	碳含量(C)	D*C
1. 阿勒勃	0.8	0.4844	0.388
2. 榔榆	0.77	0.4846	0.373
3. 菲島福木	0.74	0.5	0.370
4. 艷紫荊	0.76	0.4844	0.368
5. 第倫桃	0.7	0.5	0.350
6. 櫟	0.73	0.4766	0.348
7. 水黃皮	0.7	0.4953	0.347
8. 臺灣欒樹	0.6	0.4743	0.285
9. 印度橡膠樹	0.62	0.4536	0.281
10. 盾柱木	0.57	0.4844	0.276
11. 小葉欖仁	0.57	0.4838	0.276
12. 印度紫檀	0.58	0.4702	0.273
13. 九芎	0.6	0.4505	0.270
14. 烏白	0.57	0.4643	0.265
15. 茄苳	0.58	0.4473	0.259
16. 苦楝	0.54	0.4663	0.252
17. 大花紫薇	0.55	0.4505	0.248
18. 樟樹	0.51	0.47	0.240
19. 楓香	0.49	0.489	0.240
20. 肯氏南洋杉	0.45	0.5	0.225
21. 落羽松	0.42	0.5074	0.213
22. 朱蕉	0.42	0.5	0.210
23. 雀榕	0.43	0.4536	0.195
24. 水柳	0.4	0.4813	0.193
25. 黑板樹	0.38	0.5005	0.190
26. 孟加拉榕	0.41	0.4536	0.186
27. 榕樹	0.41	0.4536	0.186
28. 白榕	0.41	0.4536	0.186

6.樹種年生長量(Annual growth of tree species)

表 18、2021~2024 年各樹種年生長量

樹種	年直徑生長量 (cm/y)	年斷面積生長量 (m ² /y)	年樹高生長量 (m/y)	年材積生長量 (m ³ /y)	年碳吸存 (ton C/y)
1. 印度橡膠樹	1.89	0.015	0.17	0.079	0.061
2. 雀榕	2.17	0.015	0.30	0.060	0.032
3. 榔榆	0.80	0.004	0.38	0.030	0.031
4. 白榕	1.20	0.009	0.10	0.057	0.028
5. 白千層	0.73	0.006	0.01	0.034	0.028
6. 水黃皮	0.50	0.002	0.67	0.027	0.026
7. 印度紫檀	0.69	0.003	0.36	0.031	0.024
8. 盾柱木	0.78	0.005	0.06	0.029	0.022
9. 艷紫荊	0.87	0.003	0.39	0.019	0.019
10. 烏白	0.45	0.003	0.37	0.025	0.019
11. 小葉欖仁	0.70	0.004	0.13	0.024	0.018
12. 黑板樹	0.61	0.004	0.17	0.034	0.018
13. 肯氏南洋杉	0.72	0.004	0.05	0.028	0.017
14. 茄苳	0.77	0.004	0.28	0.023	0.016
15. 水柳	1.58	0.007	0.37	0.030	0.016
16. 樟樹	0.79	0.004	0.22	0.022	0.015
17. 落羽松	0.66	0.003	0.28	0.024	0.014
18. 臺灣欒樹	0.82	0.003	0.26	0.018	0.014
19. 菲島福木	0.67	0.001	0.98	0.012	0.012
20. 大花紫薇	0.47	0.002	0.36	0.012	0.008
21. 苦楝	0.54	0.002	0.13	0.010	0.007
22. 阿勃勒	0.20	0.001	0.18	0.005	0.006
23. 榕樹	1.14	0.009	0.09	0.011	0.005
24. 楓香	0.54	0.002	-0.05	0.007	0.005
25. 朱蕉	0.00	0.000	0.06	0.000	0.000
26. 檳	0.83	0.002	-0.32	0.000	0.000
27. 第倫桃	0.49	0.002	-0.30	-0.001	-0.001
28. 孟加拉榕	-0.10	-0.001	0.18	-0.014	-0.007

7. 討論

(1)定期碳儲存量總和表示 2021~2024 年這段時間內 28 種樹木碳儲存量增加 200.507ton C，定期碳儲存量生長前幾名為白榕 42.749、黑板樹 32.369、水黃皮 17.944、印度紫檀 14.388

與茄苳 14.171ton C(表 16)是影響公園碳吸存量的關鍵樹種。

(2)白榕、黑板樹與榕樹的木材密度與碳含量偏低(表 17)但這三種樹木的株數與材積量在公園所佔的比例大，白榕、黑板樹、榕樹與印度橡膠樹在 2021 年平均胸徑在 30cm 以上(表 12)隨著林齡增加

有較多斷面積生長、材積生長與碳吸存，這四種樹種佔全部碳儲存量達 55%。

(3)年樹高生長量前幾名有菲島福木、羅比親王海棗、艷紫荊、榔榆、烏白與水柳(表 14)這些樹種胸徑較小或株數較少，造成樹種年碳吸存量較少。

(4)台灣欖、第倫桃與楓香之樹高生長量為負值(表 14)，但直徑生長量為正值。

因為樹高參數使材積與碳儲存量也為負值。這三種樹種主要栽植在公園外圍馬路與人行道旁邊 (圖 29)，2019 到 2024 年楓香平均高度從 10.3 到 9.73 公尺、欖平均高度從 10.03 到 7.91 公尺 (圖 31)與第倫桃平均高度從 10.44 到 8.93 公尺，猜測樹木受到人為定期修剪影響，造成樹木高度降低。



圖 29、樹高生長量負值樹種

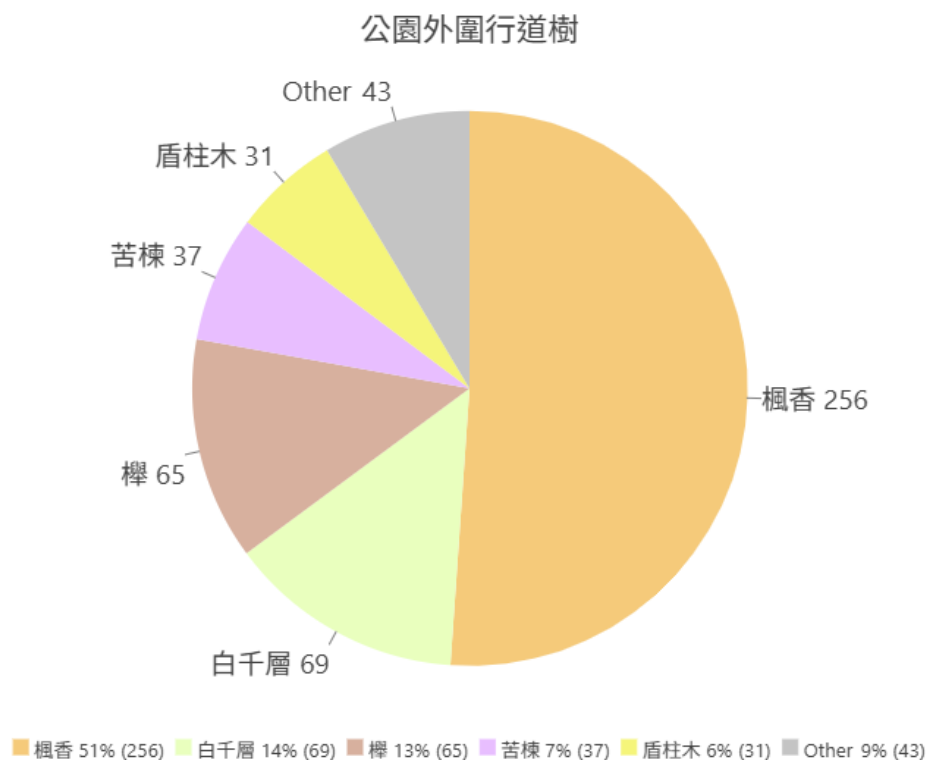


圖 30、19 區（公園外圍行道樹）樹種組成

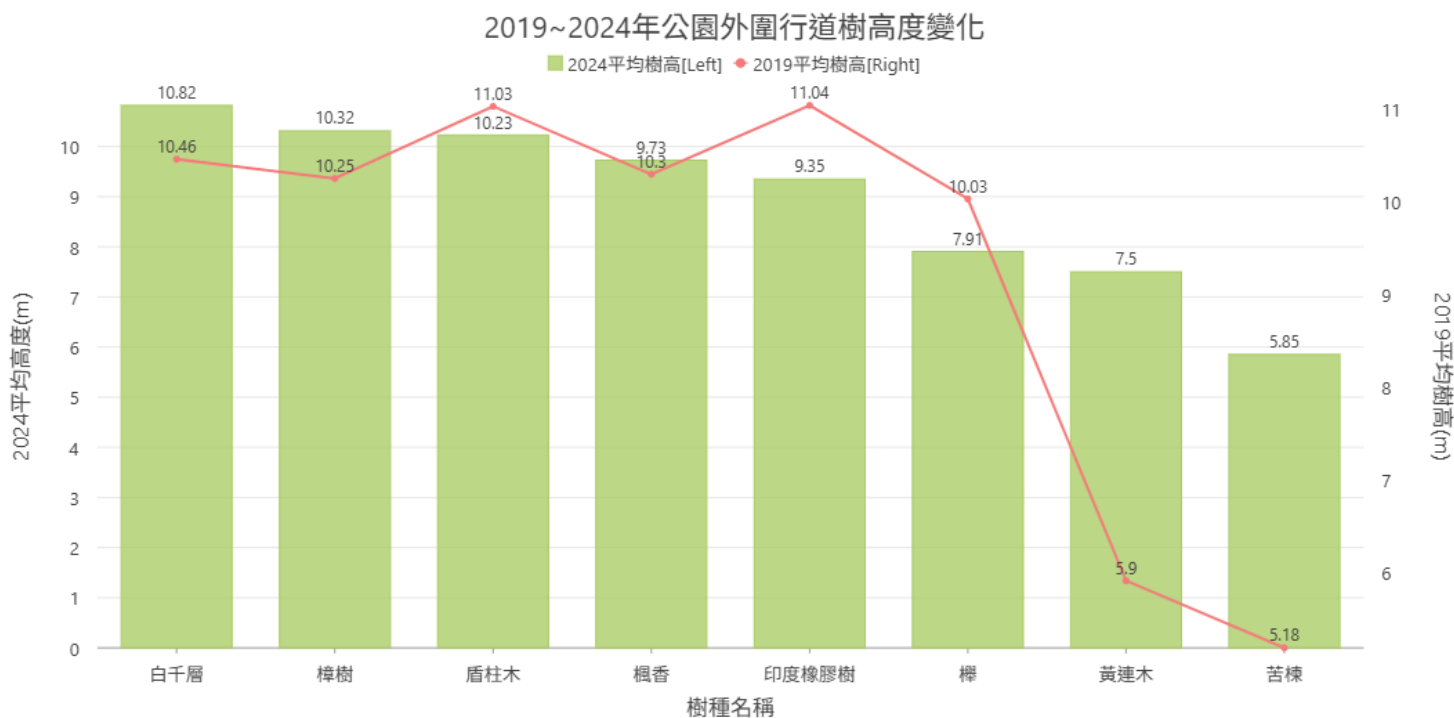


圖 31、公園外圍行道樹高度變化

五、2021 與 2024 年胸徑資料分析

選擇年直徑生長量前幾名與株數前幾名樹種(表 12)2021 年胸徑當作 X 變數與 2024 年胸徑當作 Y 變數，繪製散佈圖(scatter plot)觀察資料分布趨勢；配置簡單直線迴歸(simple linear regression)線性模式描述並預測兩個變數的關係，距離迴歸線越遠

的資料，表示兩個年度調查資料差距越大。

計算決定係數(Coefficient determination)記為 R^2 ，代表線性模式解釋 Y 變數的變異程度。

(一)雀榕

52 棵雀榕年直徑生長量 2.17 cm/y 是全部樹種中最大，分布在迴歸線上方的

資料

表示 2024 年資料數據偏大(圖 32)。

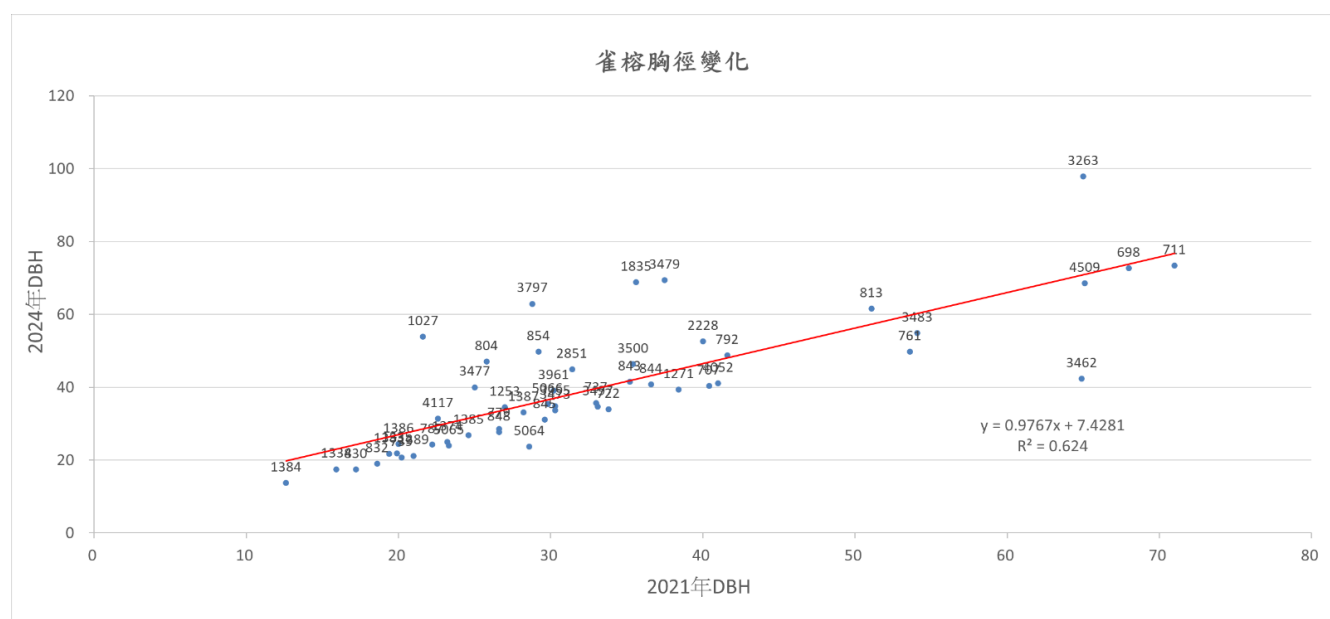


圖 32、2021 與 2024 雀榕胸徑變化

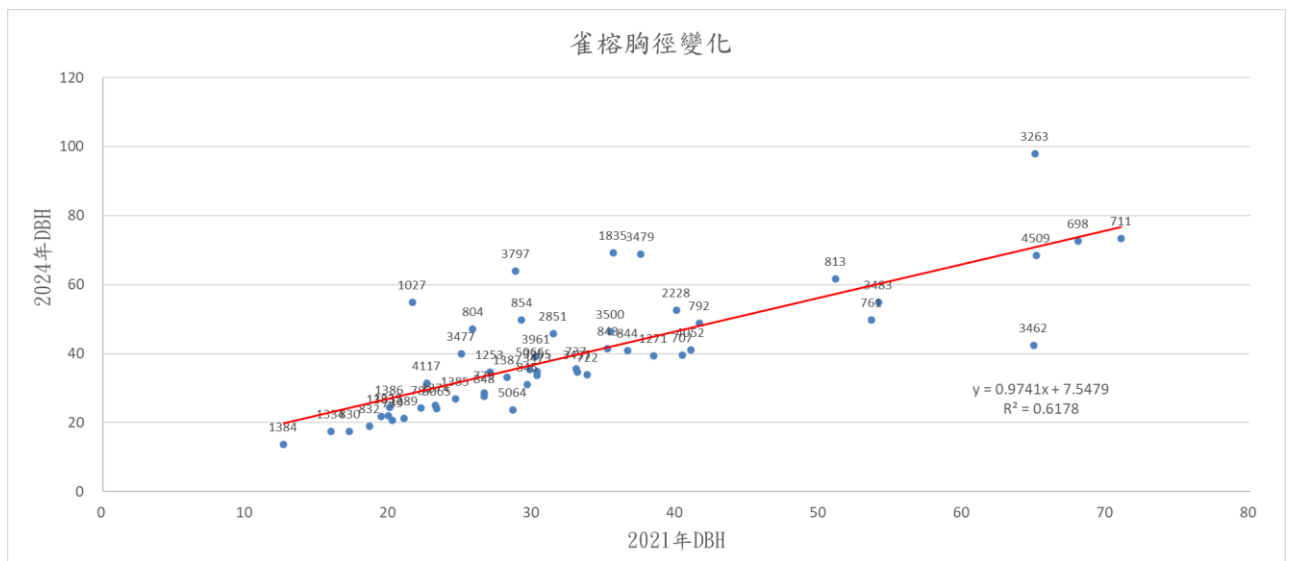


圖 33、2021 與 2024 雀榕胸徑變化(2025 複查胸徑)

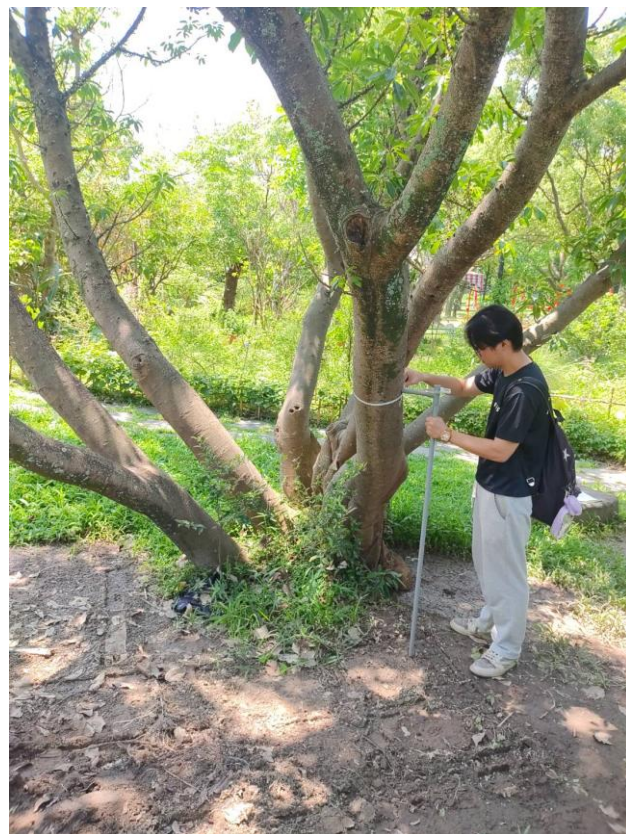


圖 34、測量雀榕分岔主幹胸徑

2025 年 5 月現場複查 22 棵離群值，發現 2021 年雀榕胸徑數值不正確，推測當時測人員遇到分岔木時，沒有測量全部分岔主幹，只測量有掛樹牌主幹胸徑，造成 2024 年雀榕胸徑明顯大於 2021 年胸徑。

複查 22 棵雀榕離群值後，回歸式判定係數 0.62 保持不變(圖 33)。

(二)印度橡膠樹

2024 年 3 月調查 52 棵胸徑，年直徑生長量 2.63 cm/y；2025 年 3 月複查胸徑後挑選 47 棵，年直徑生長量 1.89 cm/y，資料分布集中且 R^2 達到 0.92(圖 35)。

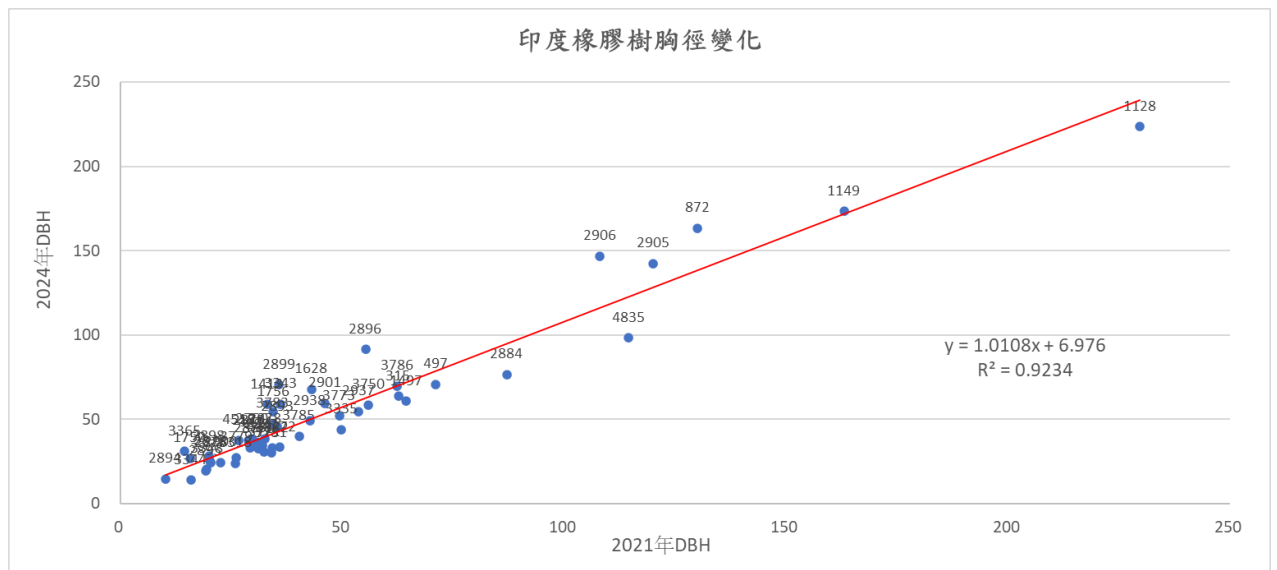


圖 35、2021 與 2024 印度橡膠樹胸徑變化



圖 36、皮尺測量印度橡膠樹胸徑

(三)白榕

543 棵白榕年直徑生長量 1.2 cm/y，大部分資料分布在迴歸線附近；少部分資料偏小或偏大(圖 37)。

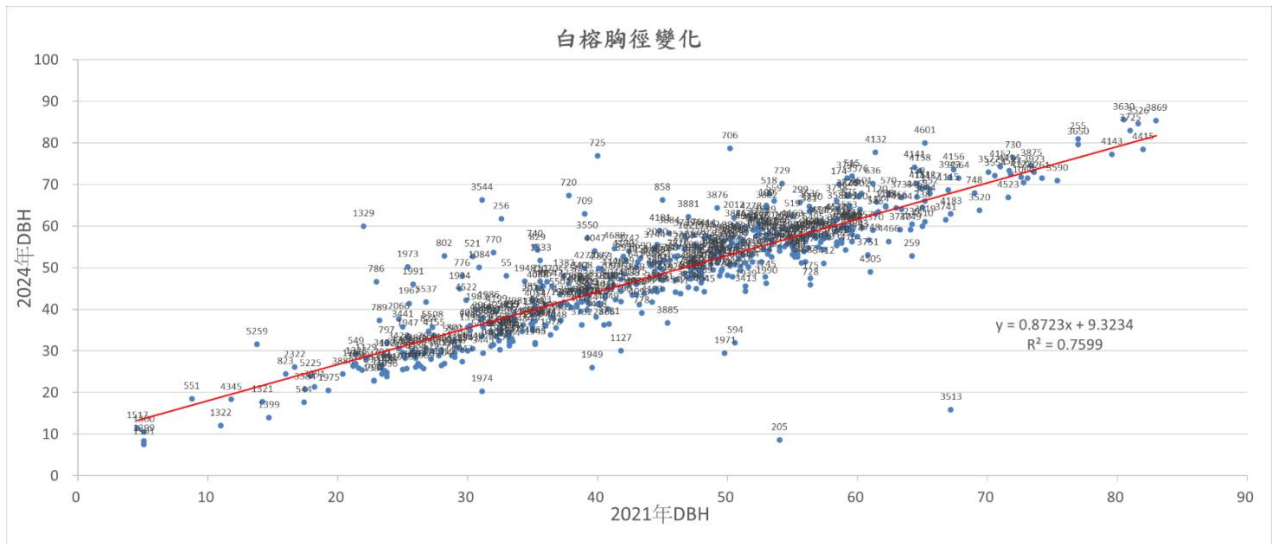


圖 37、2021 與 2024 白榕胸徑變化

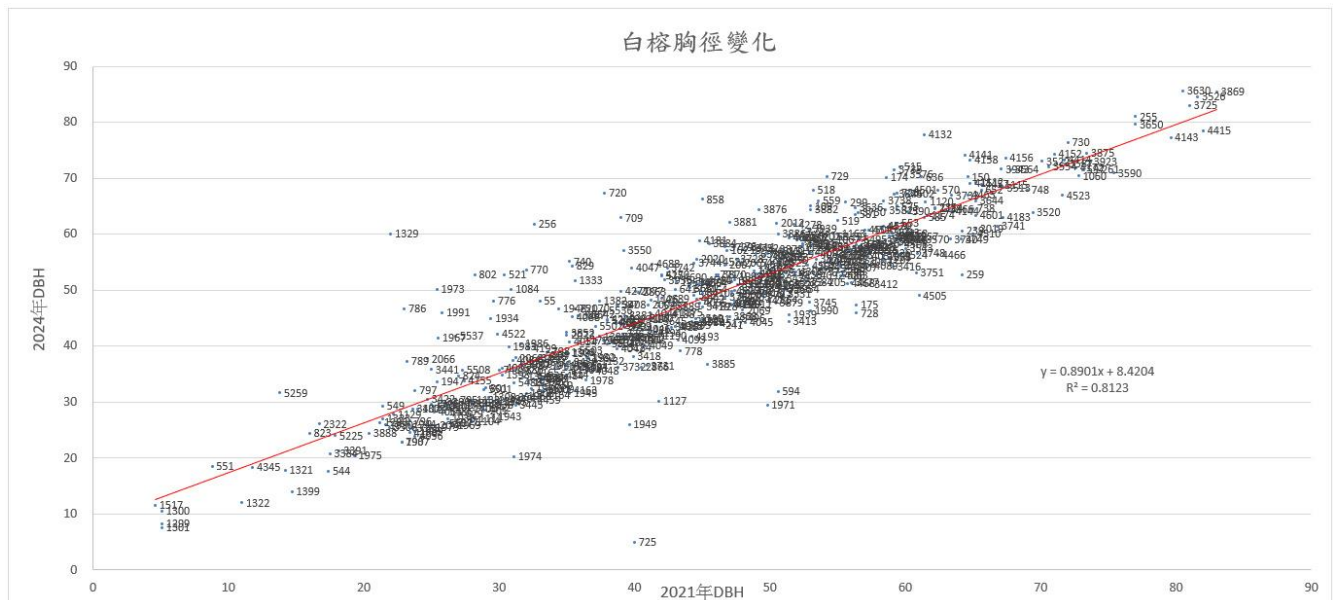


圖 38、2021 與 2024 白榕胸徑變化(2025 複查胸徑)



圖 39、皮尺測量白榕胸徑

2025 年 5 月現場複查 51 棵離群值，發現少數 2021 年白胸徑數值不正確，推測當時測人員遇到分岔木，沒有測量全部分岔主幹，只測量有掛樹牌主幹胸徑。2024 年調查胸徑時，少數白榕沒避開支持根或氣根，造成 2024 年胸徑大於 2021 年胸徑。

複查 51 棵白榕離群值後，回歸式判定係數從 0.76 上升到 0.81(圖 38)。

(五)榕樹

462 棵榕樹年直徑生長量 1.14 cm/y，大部分資料分布在迴歸線附近；少部分資料明顯偏小或偏大(圖 39)。

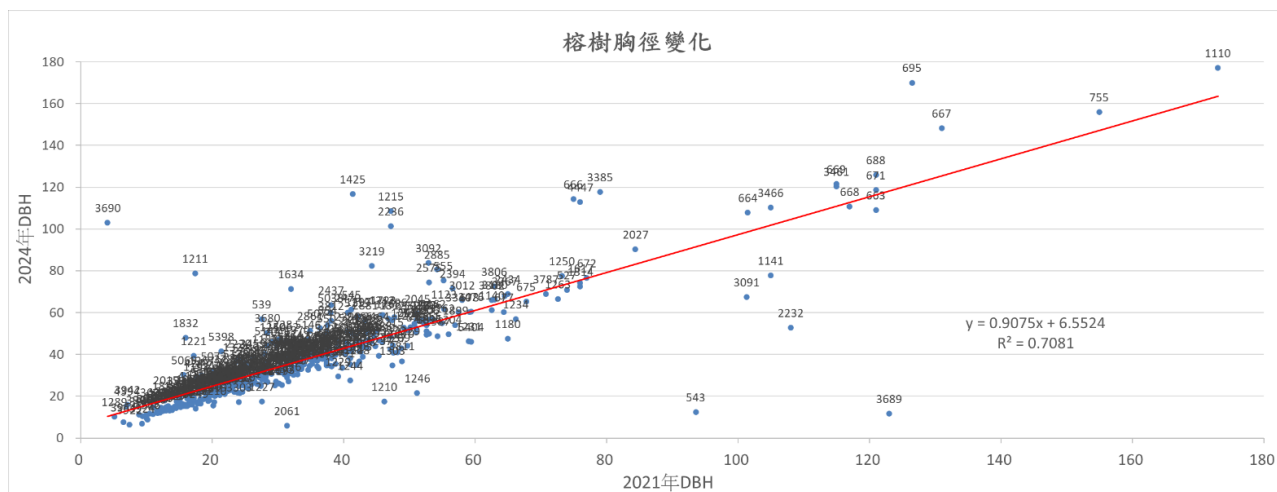


圖 39、2021 與 2024 榕樹胸徑變化

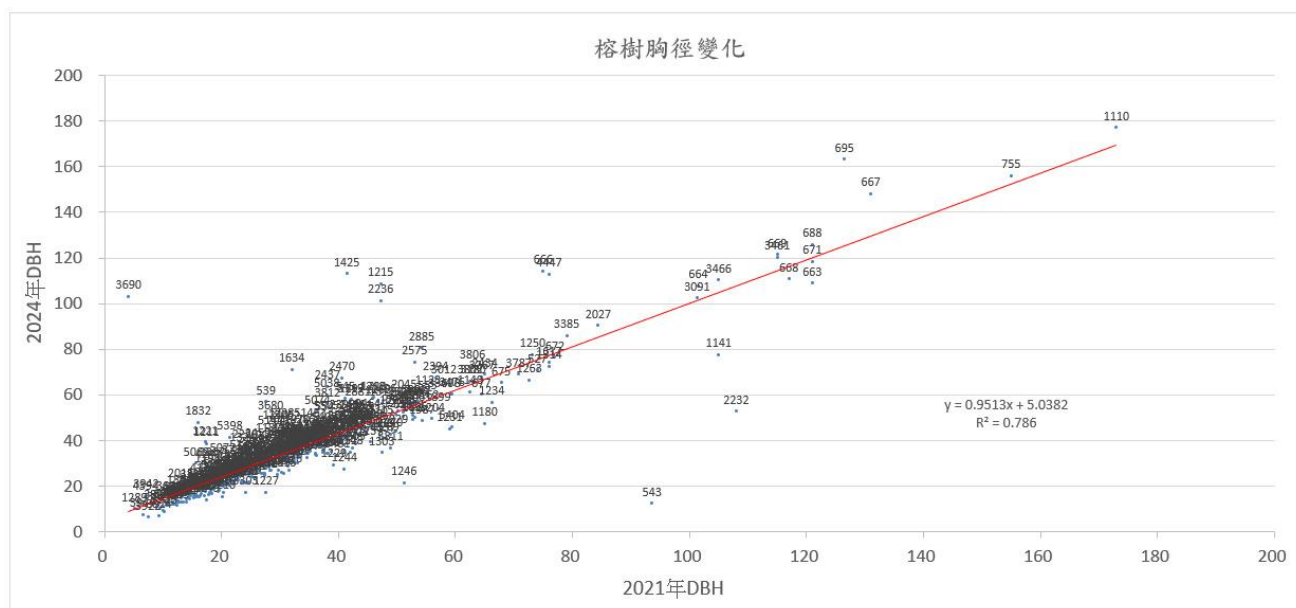


圖 40、2021 與 2024 榕樹胸徑變化(2025 複查胸徑)

2025 年 5 月現場複查 58 棵榕樹離群值，發現少數榕樹胸徑數值不正確，測量榕樹胸徑沒避開支持根或氣根，造成 2024 年胸徑明顯大於 2021 年胸徑。複查 58 棵榕樹胸徑，回歸式判定係數從 0.71 上升到 0.79(圖 40)。

(六)茄苳

292 棵茄苳年直徑生長量 0.77 cm/y，大部分資料分布在迴歸線附近；少部分資料偏小或偏大(圖 41)。

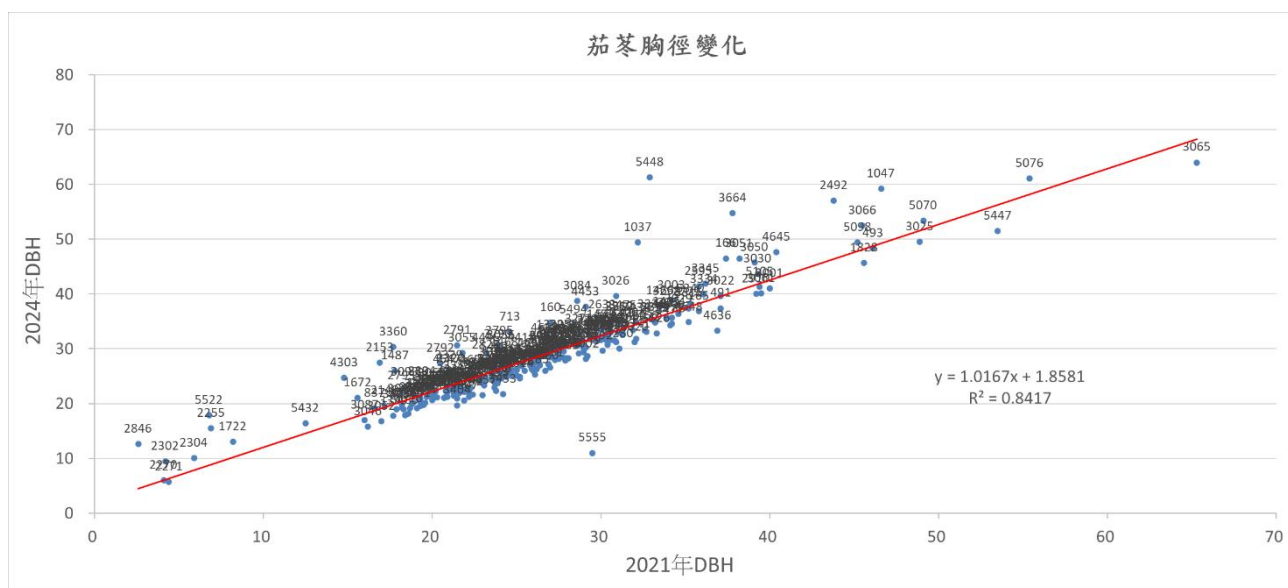


圖 41、2021 與 2024 茄苳胸徑變化

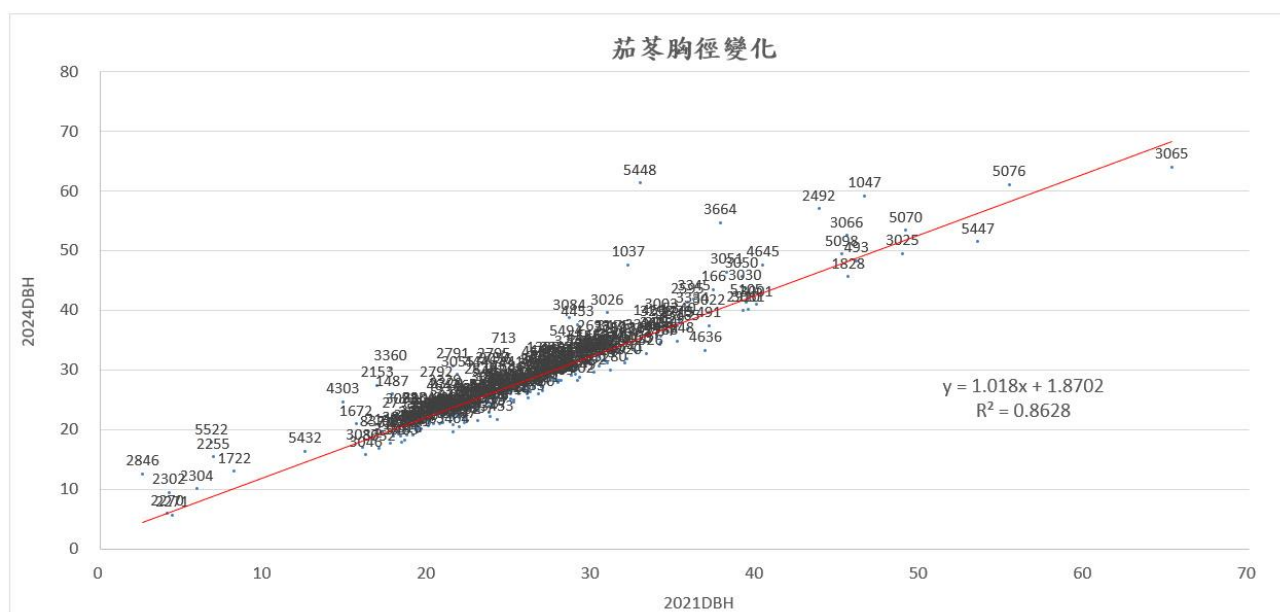


圖 42、2021 與 2024 茄苳胸徑變化(2025 複查胸徑)

2025 年 5 月現場複查 23 棵茄苳離群值，複查結果和 2024 測量值幾乎一樣。

複查 23 棵茄苳胸徑，回歸式判定係數從 0.84 上升到 0.86(圖 42)。

(七)黑板樹

598 棵黑板樹年直徑生長量 0.61 cm/y，資料分布集中迴歸線附近且 R^2 達到 0.92 (圖 43)。

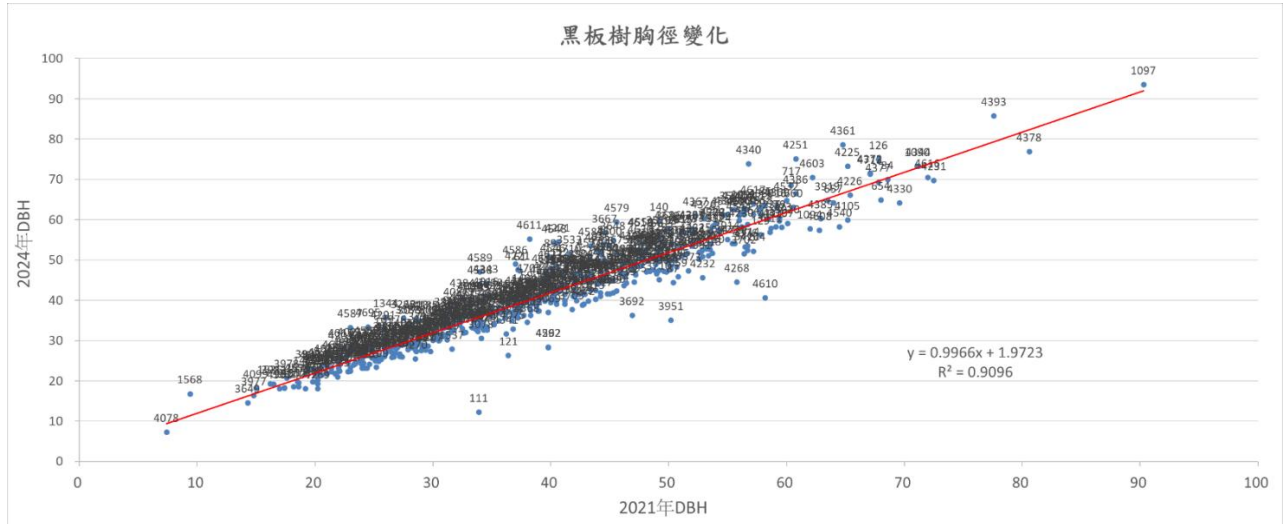


圖 43、2021 與 2024 黑板樹胸徑變化

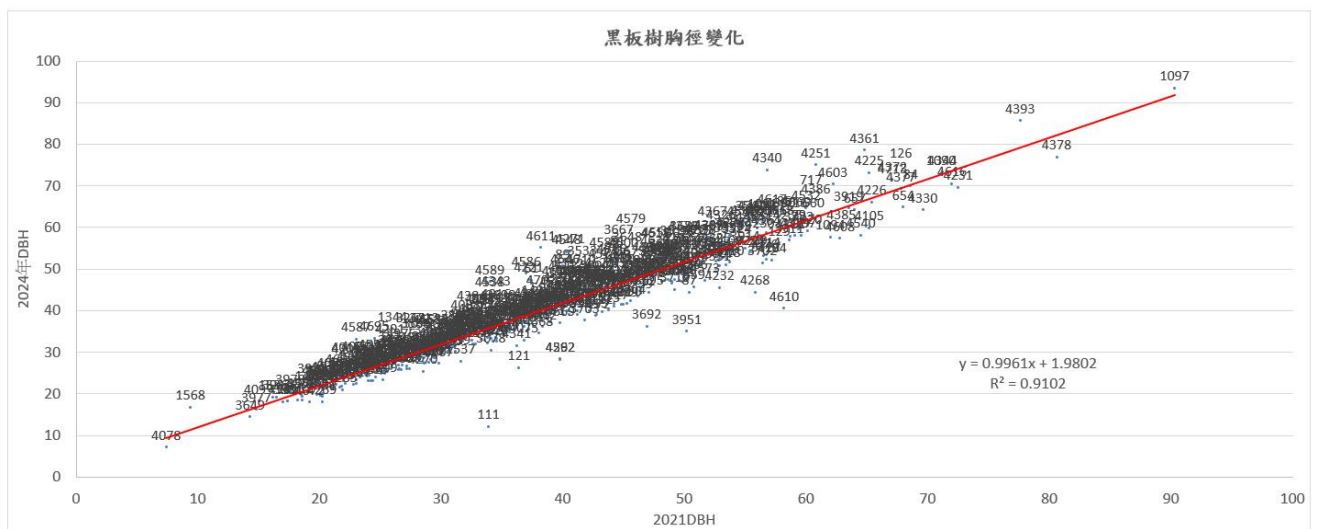


圖 44、2021 與 2024 胸徑變化(2025 複查胸徑)

2025 年 5 月現場複查 21 棵黑板樹離群值，複查結果和 2024 測量值幾乎一樣。

複查 21 棵黑板樹胸徑，回歸式判定係數 0.91 維持不變(圖 44)。

六、2019 與 2024 年樹高資料分析

選擇年樹高生長量前幾名與株數前幾名樹種(表 14)2019 年樹高當作 X 變數與 2024 年樹高當作 Y 變數，繪製散佈圖(scatter plot)觀察資料分布趨勢；配置簡單直線迴歸(simple linear regression)線性模式描述並預測兩個變數的關係，距離迴歸線越遠

的資料，表示兩個年度調查資料差距越大。

計算決定係數(Coefficient determination)記為 R^2 ，代表線性模式解釋 Y 變數的變異程度。

(一)菲島福木

50 棵黑板樹年樹高生長量 0.97 m/y，大部分資料分布迴歸線上方，表示 2024 年資料大於 2019 年資料。(圖 45)。

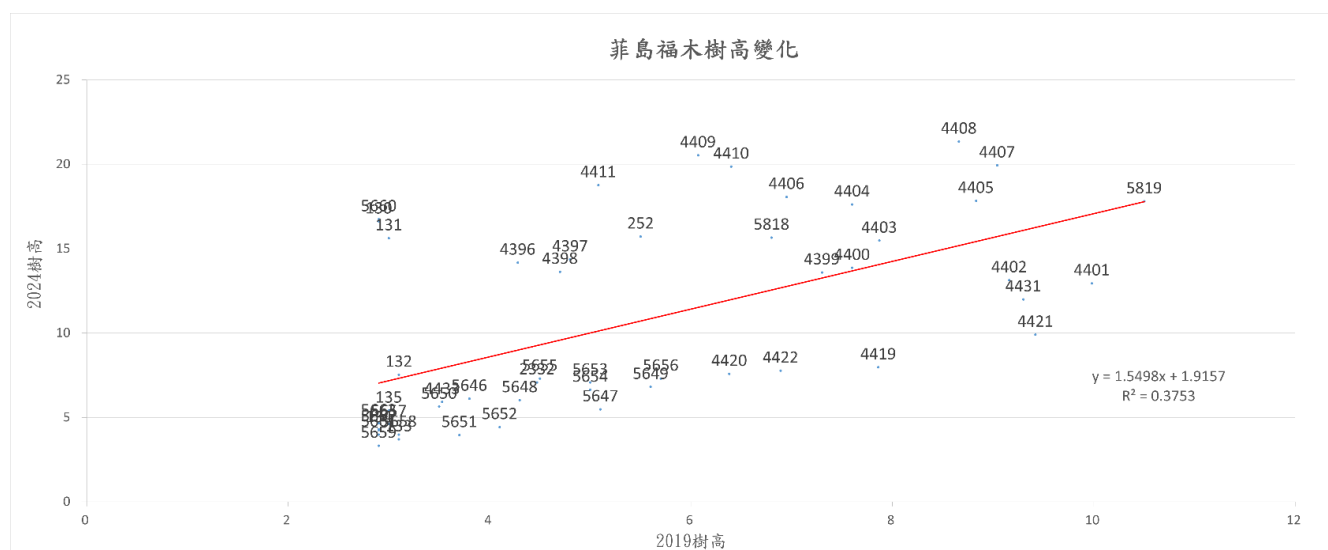


圖 45、2019 與 2024 菲島福木樹高變化

(二)水黃皮

2024 年實測 59 棵水黃皮樹高，2019 年樹高當作 X 變數與 2024 年樹高當作 Y 變數，資料分散在迴歸線上下區域 (圖 46)。

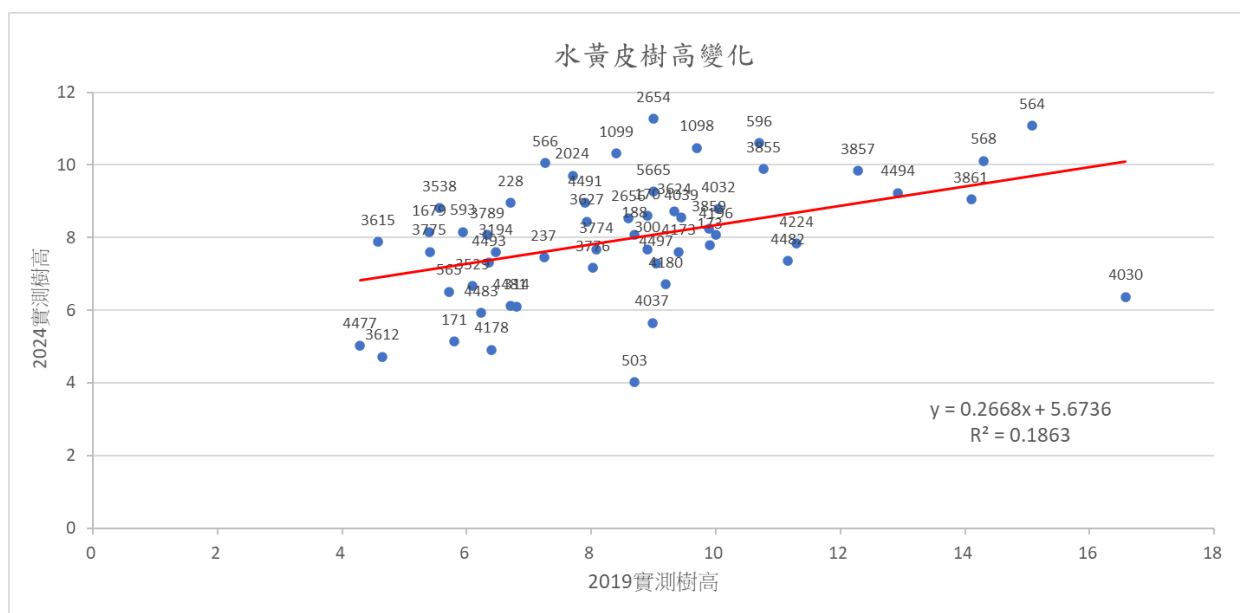


圖 46、水黃皮 2019 實測樹高與 2024 實測樹高變化

2024 年光達測量 173 棵水黃皮樹高，2019 年樹高當作 X 變數與 2024 年光達樹高當作 Y 變數，資料分散在迴歸線上下區域 (圖 47)。

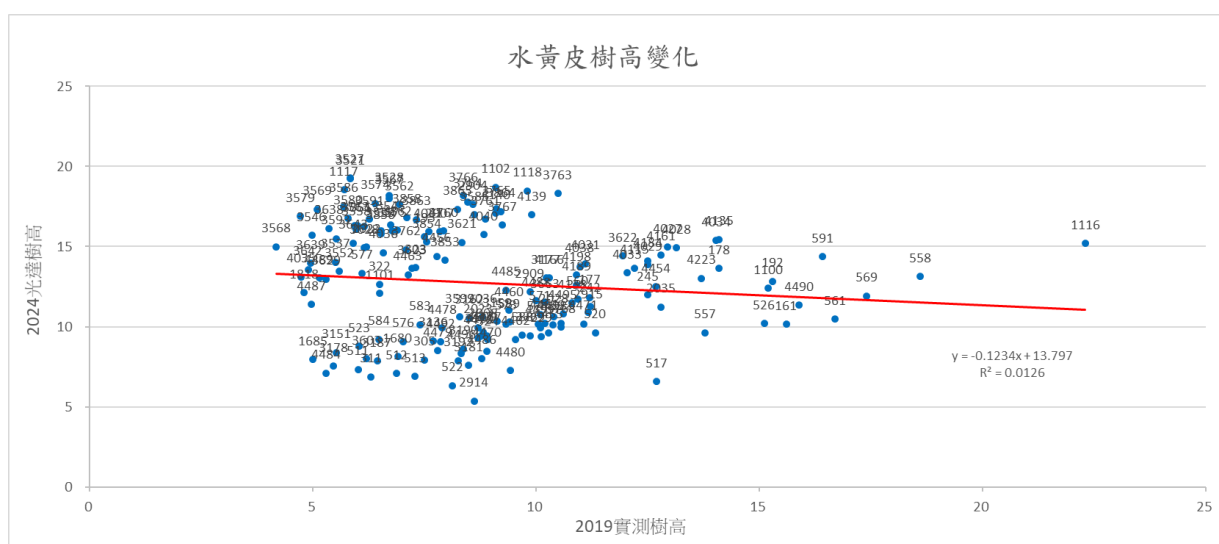


圖 47、水黃皮 2019 實測樹高與 2024 光達樹高變化

2024 年實測 59 棵水黃皮樹高與光達測量 173 棵水黃皮樹高，兩筆資料合併 共 232 棵水黃皮，樹高生長量 0.67 m/y， R^2 為 0 表示非線性關係。因為多數水黃皮生長在榕樹與黑板樹樹冠下方，不適合使用光達測量樹高 (圖 48)。

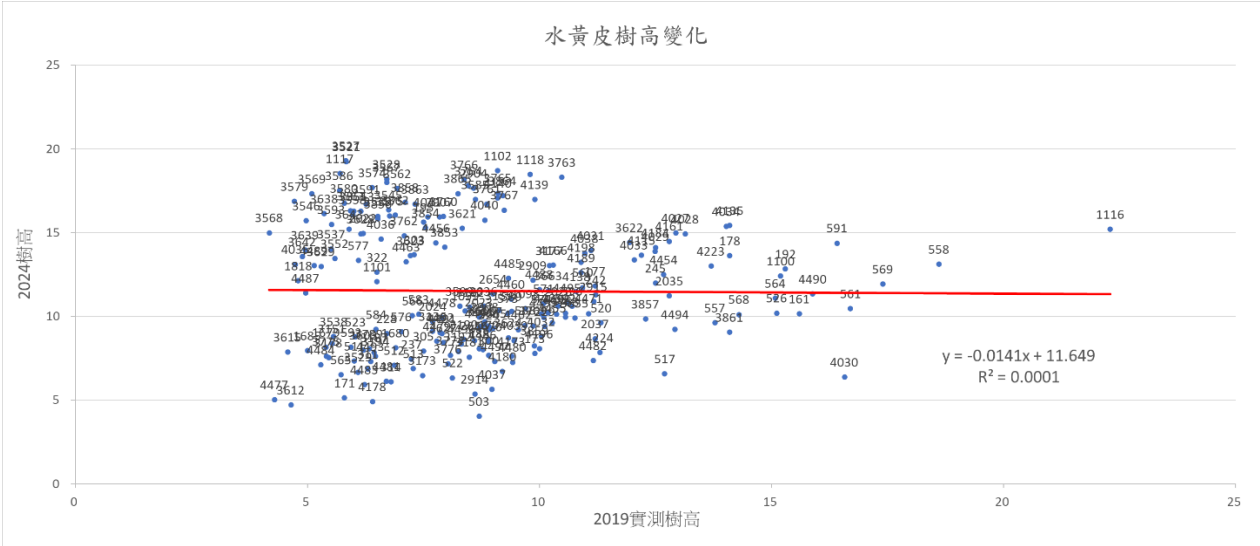


圖 48、水黃皮 2019 實測樹高與 2024 樹高變化

(三)印度紫檀

204 棵印度紫檀年樹高生長量 0.37 m/y，部分資料分布迴歸線上方，表示 2024 年資料大於 2019 年資料(圖 49)。

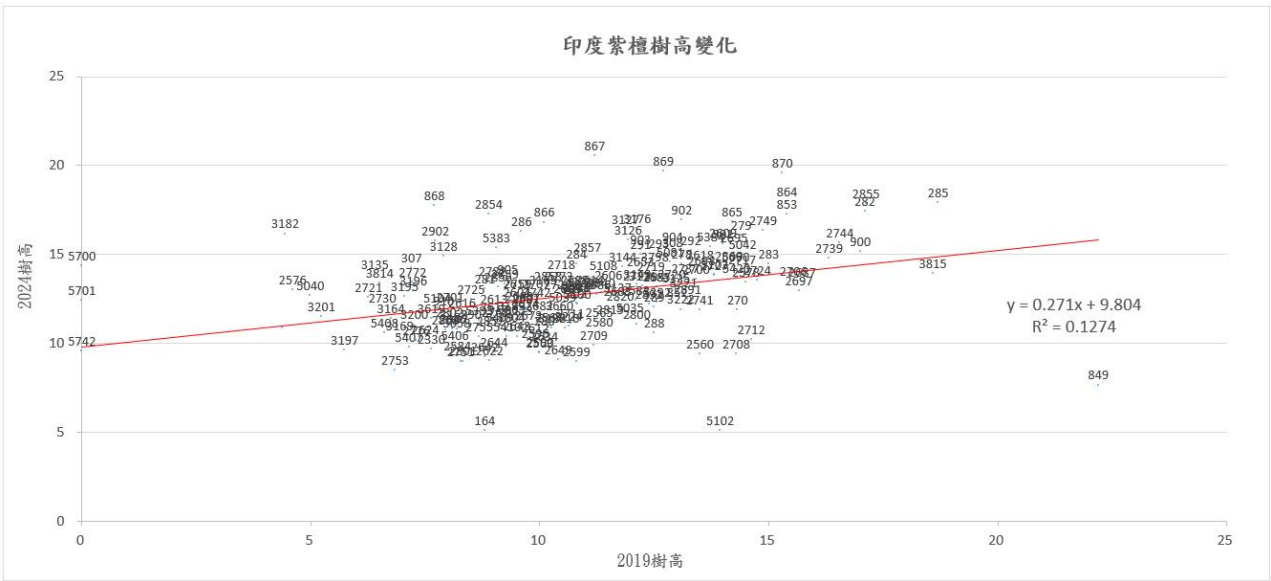


圖 49、印度紫檀 2019 實測樹高與 2024 樹高變化

(四)茄苳

292 棵茄苳年樹高生長量 0.28 m/y，部分資料分布迴歸線上方，表示 2024 年資料大於 2019 年資料(圖 50)。

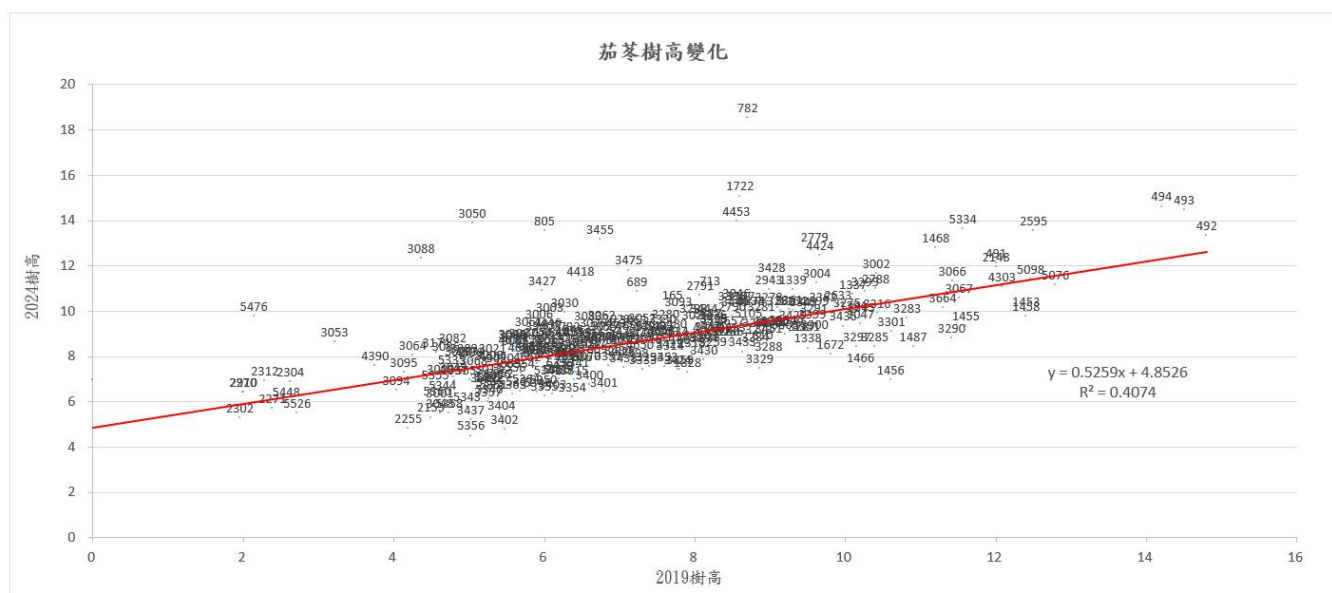


圖 50、茄苳 2019 實測樹高與 2024 樹高變化

(五)黑板樹

598 棵黑板樹年樹高生長量 0.17 m/y，大部分資料分布迴歸線上方與下方，表示 2024 年資料大於跟小於 2019 年資料各佔一半(圖 51)。

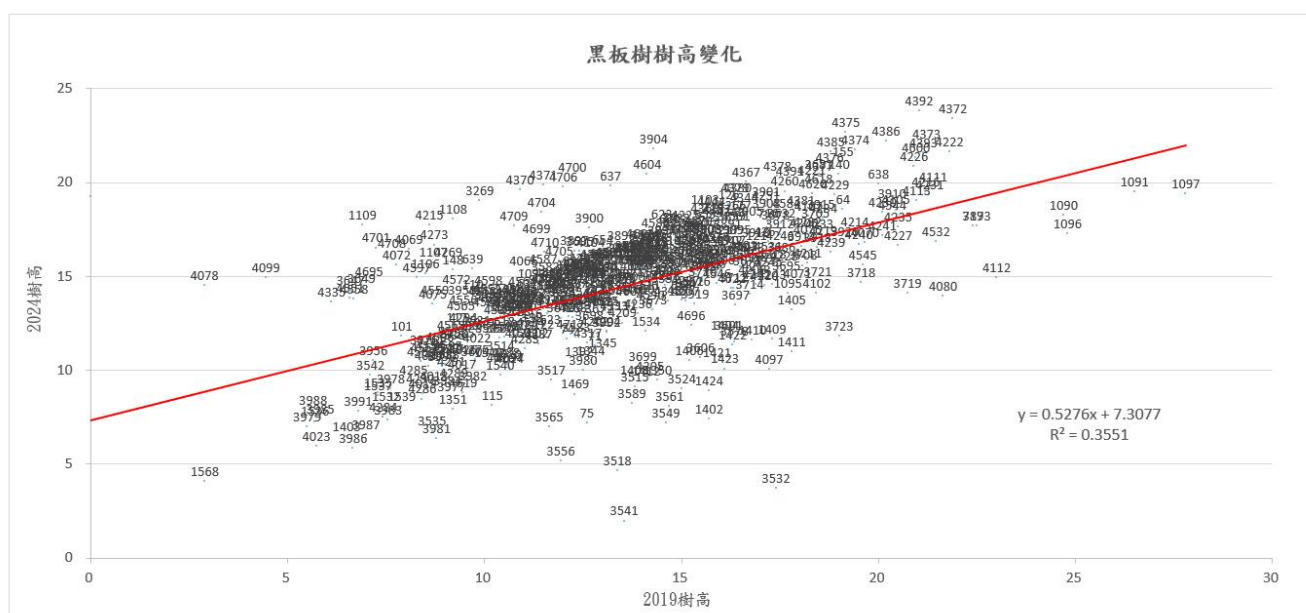


圖 51、黑板樹 2019 實測樹高與 2024 樹高變化

(六)白榕

543 棵白榕年樹高生長量 0.13 m/y，大部分資料分布迴歸線上方與下方，表示 2024 年資料大於跟小於 2019 年資料各佔一半(圖 52)。

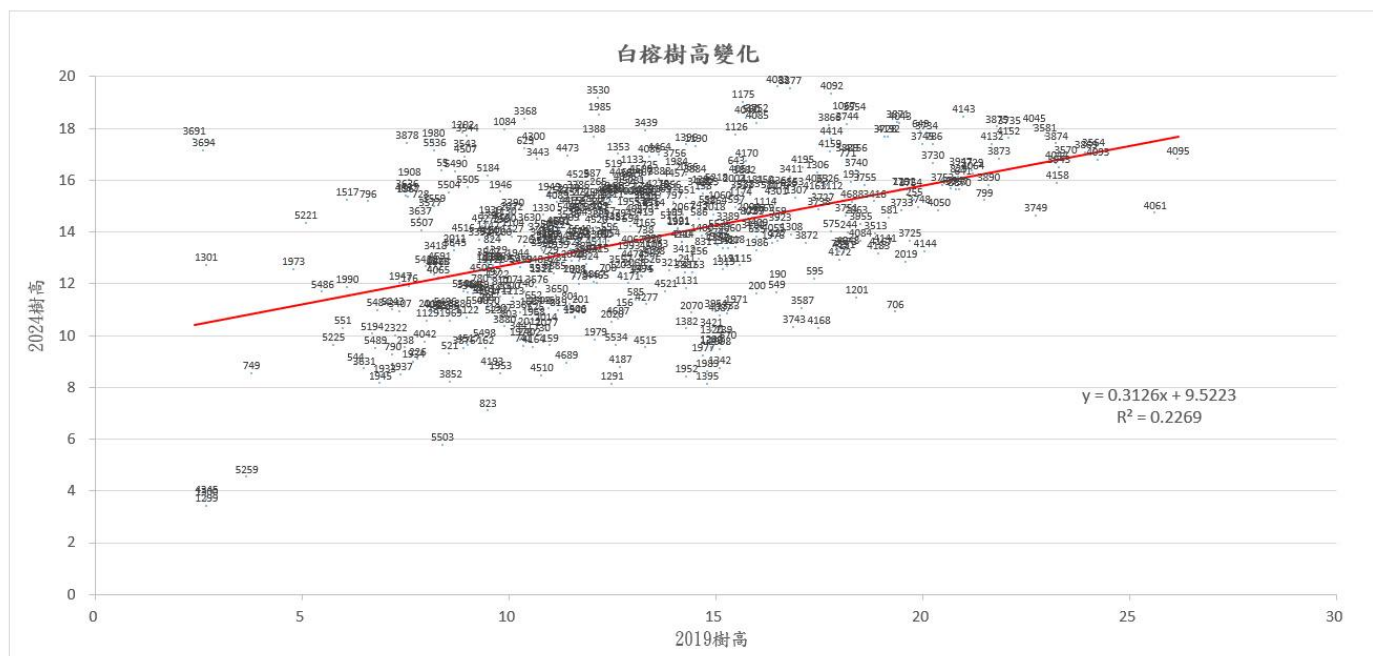


圖 52、白榕 2019 實測樹高與 2024 樹高變化

(七)榕樹

462 棵榕樹年樹高生長量 0.09m/y，迴歸線上方資料分布零散；迴歸線下方資料分布集中(圖 53)。

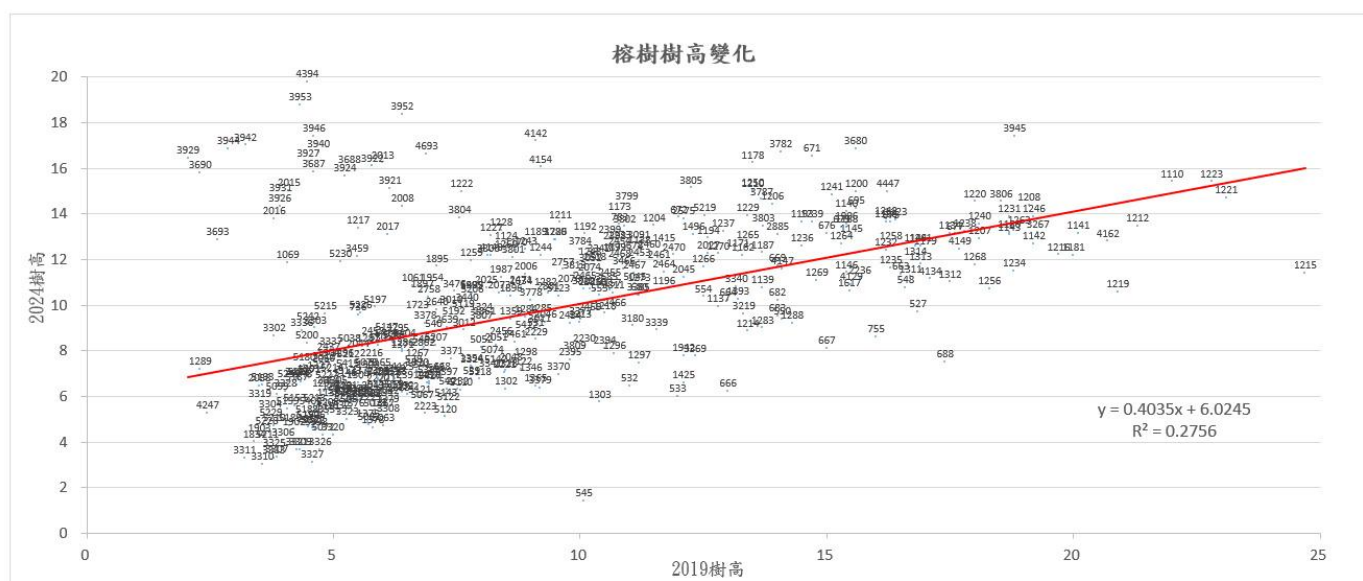


圖 53、榕樹 2019 實測樹高與 2024 樹高變化

(八) 楓香

319 棵楓香年樹高生長量 -0.05 m/y ，迴歸線上方資料分布集中；迴歸線下方資料分布零散(圖 54)。

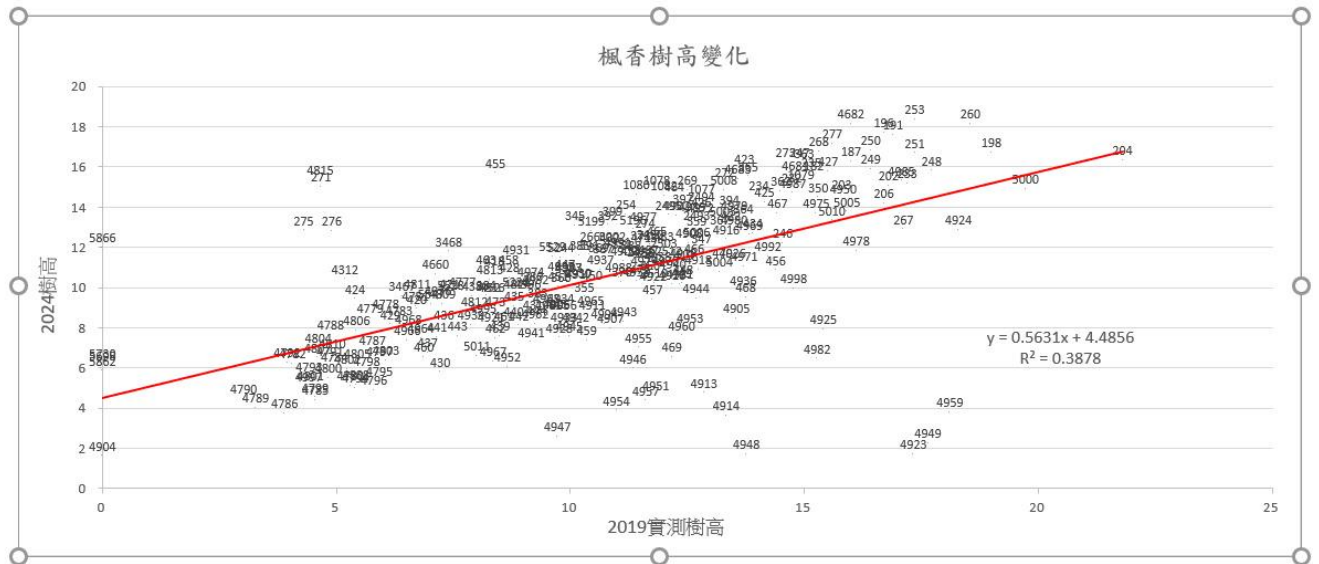


圖 54、楓香 2019 實測樹高與 2024 樹高變化

(九) 第倫桃

38 棵第倫桃年樹高生長量 -0.3 m/y ，斜率 -0.16 表示大部分 2024 年樹高小於 2019 年樹高(圖 55)。

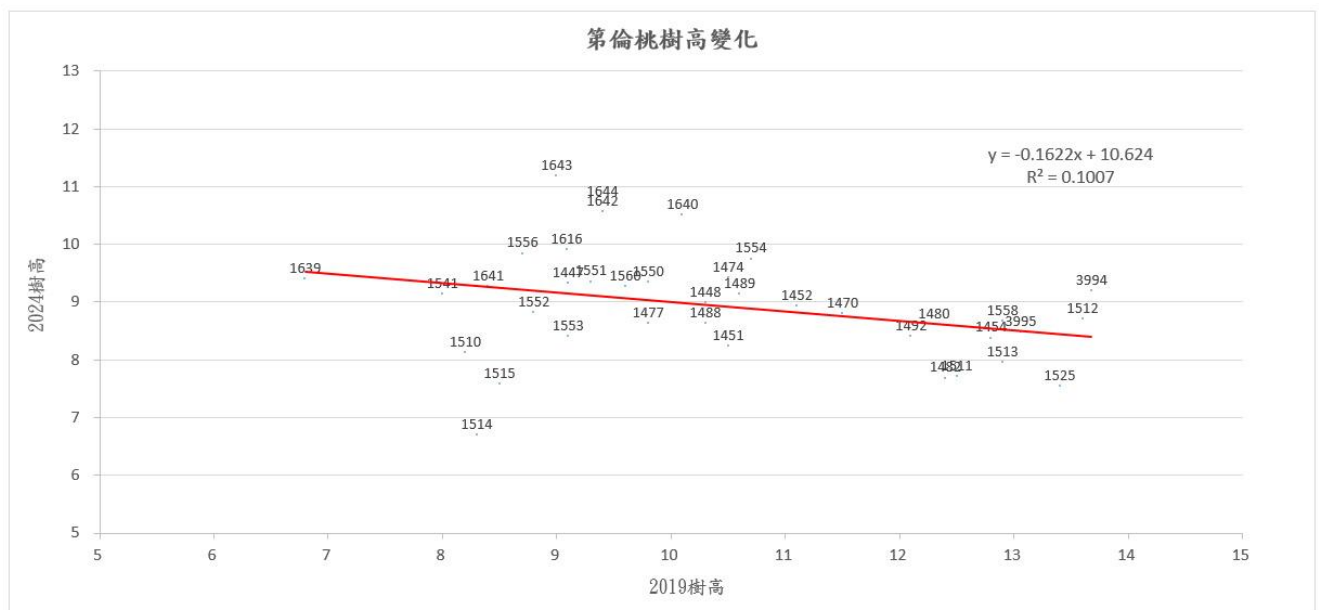


圖 55、第倫桃 2019 實測樹高與 2024 樹高變化

(十)台灣檫

67 棵台灣檫樹高生長量 -0.32 m/y ， R^2 為 0 表示非線性關係，表示大部分 2024 年樹高小於 2019 年樹高(圖 56)。

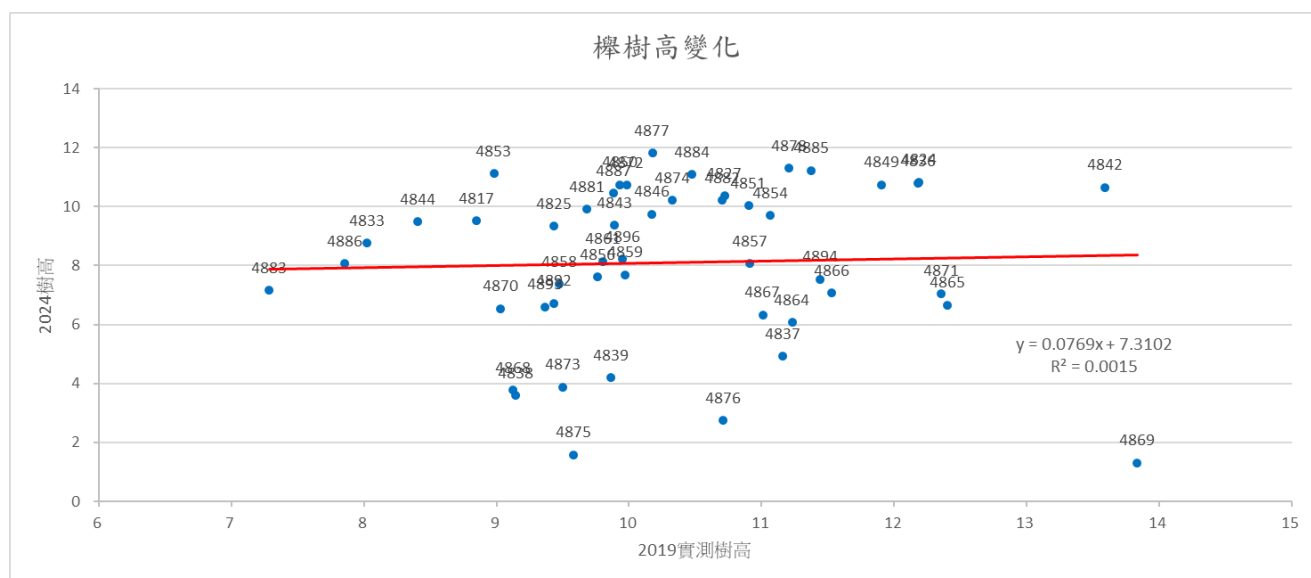


圖 56、台灣檫 2019 實測樹高與 2024 樹高變化

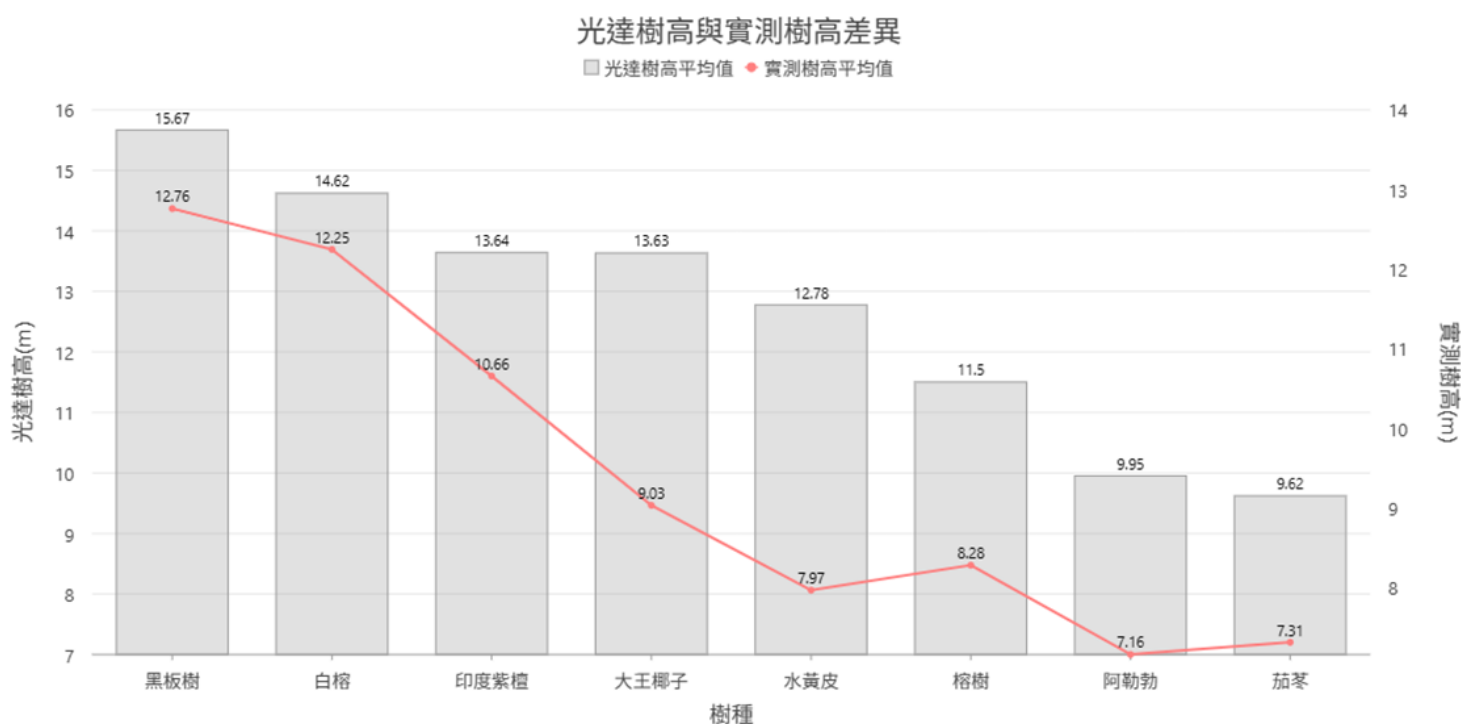


圖 57、八種樹木光達樹高長條圖與實測樹高折線圖

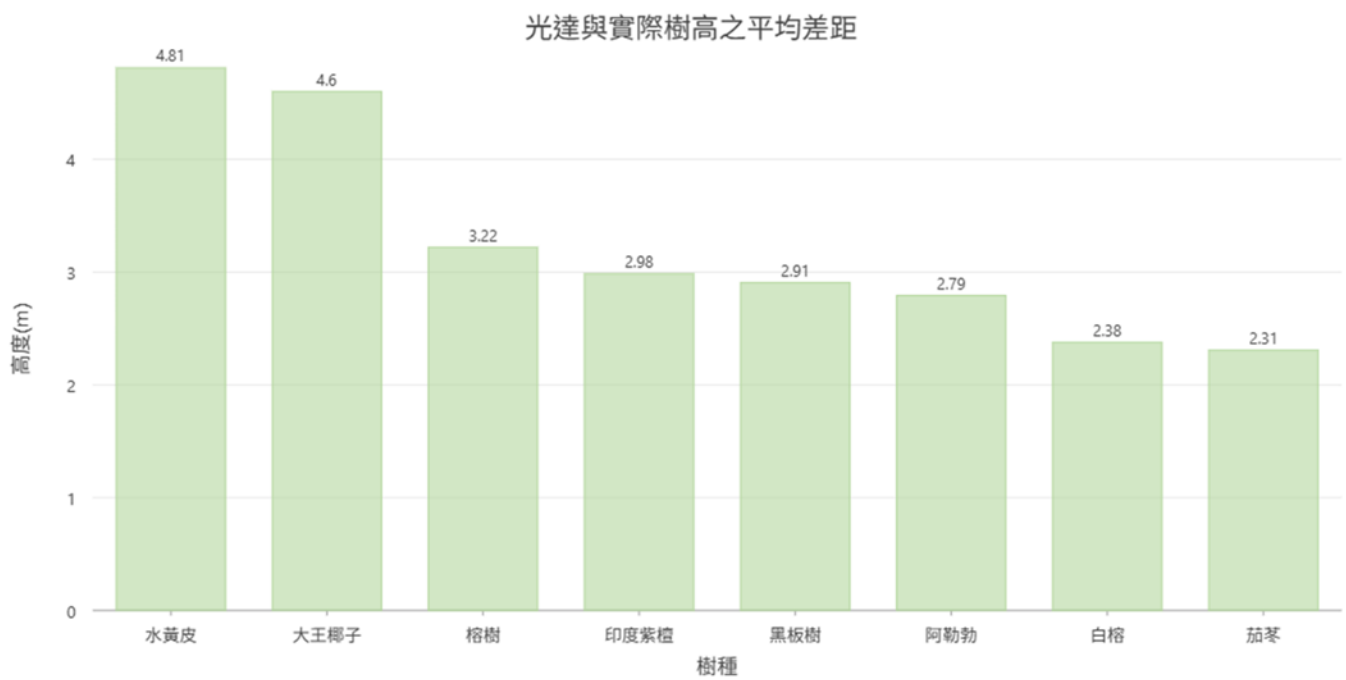


圖 58、八種樹木光達與實測樹高差距

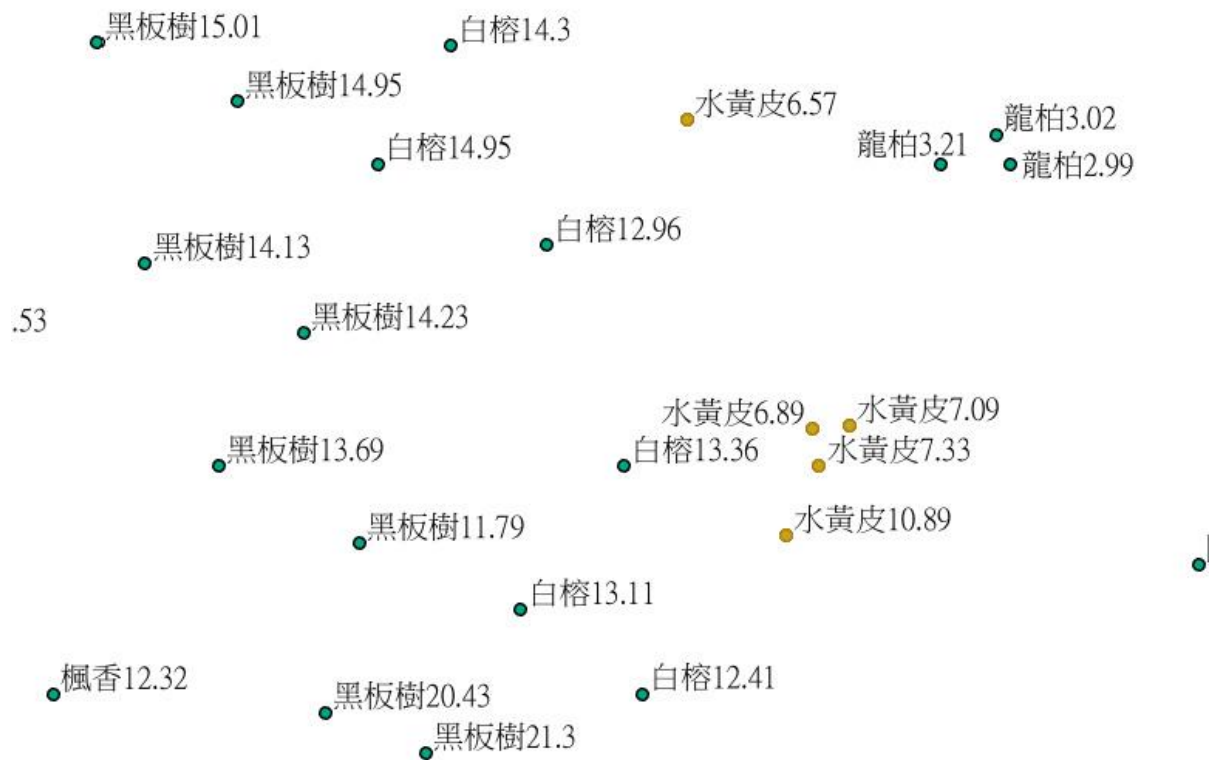


圖 59、水黃皮被壓木

八種樹木光達高度皆大於實測高度兩公尺，樹高差距最大樹種為水黃皮與大王椰子，實際測量大王椰子樹高時，因為頂端葉片不納入碳匯計算，測高桿只伸長到莖部頂端因此實測樹高遠小於光達樹高在預期中。水黃皮生長在黑板樹與榕樹周圍，成為被壓木使光達高度與實測高度差距最大(圖 58)。

柒、樹木碳匯結論

- 一、完成第三次大安森林公園樹木普查工作，共計調查到 143 種植物，5,378 棵樹木與 134 叢竹類。
- 二、整理與分析三次大安森林公園樹木普查資料，估算大安森林公園碳儲存量與碳吸存量變化情形。成果如下：
 1. 棕櫚科植物有 241 棵，碳儲存量總和 5.51ton C；非棕櫚科植物有 5,137 棵，碳儲存量總和 1551.32 ton C，全部樹木碳儲存量為 1556.83ton C，公園面積 25.9269 ha，2024 年平均每公頃碳儲存量 60.047 ton C/ha。
 2. 依邱祈榮、林郁庭(2024)計算 2021 年公園樹木碳儲存量為 1280.03ton C，2021 到 2024 年公園碳儲存量增加 276.8 ton C，年度平均碳吸存量 92.26ton C，相當於年平均二氧化碳吸收量 338.28 ton CO₂e/year。
 3. 2024 年 11 月康芮颱風造成碳儲存量損失 48.655ton C，公園樹木碳儲存量變為 1556.83 - 48.655 = 1508.175ton C。修正 2021 年到 2024 年碳儲量增加為 228.145ton C，年平均碳吸存量 76.05ton C 相當於年度二氧化碳吸收量 278.85ton CO₂e/year。
- 三、滾動修正年度樹木生長預測模式，用以估算大安森林公園樹木為來年度生長量與碳吸存量，結果如下：

因棕櫚科植物有大王椰子、蒲葵、華盛頓椰子、亞力山大椰與羅比親王海棗，棕櫚科植物達到生理成熟期後胸徑生長緩慢，為了改善生長預測模式，將這五種植物去除後，生長預測式(R² 為 0.6252)如下：

$$y = 0.2219 \times x^{-0.77}$$

x = 2021 年各樹種平均胸徑； y = 2021 至 2024 年胸徑連年生長率

2024 年大安森林公園自然碳匯-水體碳匯調查

委辦單位：大安森林公園之友基金會

中華民國 114 年 2 月

摘要

台北市大安森林公園的生態池作為都市綠地的一部分，除了提供景觀與生態棲地功能外，其在碳循環與溫室氣體排放方面的角色尚未被充分探討。本研究針對該生態池的水體碳匯與溫室氣體排放進行監測，期望能為都市水體的碳動態提供實證數據。自 113 年 9 月至 113 年 12 月調查的初步研究結果顯示，生態池底泥的碳含量約為 3.1-4.3 tons C ha⁻¹，且在研究期間並無顯著變化，因此底泥碳排放量可視為零。水體的溫室氣體排放主要以二氧化碳（CO₂）為主，占總排放量的 99.2%，而甲烷（CH₄）與氧化亞氮（N₂O）的排放量則相當微量。CO₂的排放量範圍約為 0.009–0.026 tons CO₂ ha⁻¹ d⁻¹，而 CH₄與 N₂O 的排放則呈現低排放甚至負排放的情況，分別介於-0.00047 – 0.00052 tons CO₂e ha⁻¹ d⁻¹與-0.00147 – 0.00295 tons CO₂e ha⁻¹ d⁻¹。綜合分析 9 月至 12 月的數據，整體生態池的碳排放係數約為 0.0010 tons CO₂e ha⁻¹ month⁻¹。研究結果顯示，大安森林公園的生態池在冬季期間對於碳排放的貢獻有限，並可能在都市碳平衡中扮演一定的調節角色。本研究提供了關於都市生態池碳循環的重要數據，未來可作為評估都市水體碳管理策略與環境永續規劃的重要參考。

關鍵詞：生態池、溫室氣體排放、碳盤查。

目錄

摘要.....	74
目錄.....	76
圖目錄.....	77
第一章、 前言	78
1.1 研究動機	78
1.2 研究目的	78
第二章、 實驗方法	79
2.1 實驗現地概況及配置	79
第三章、 研究結果探討	83
3.1 大安森林公園水體底泥碳含量變化分析	83
3.2 大安森林公園生態池的溫室氣體排放	84
3.3 大安森林公園水體碳排放係數	86
第四章、 結語	87
參考文獻.....	88

圖目錄

圖一：大安森林公園生態池採樣點分布圖	79
圖二：碳氮氫硫元素分析儀	80
圖三：溫室氣體監測器	81
圖四：漂浮式氣罩	81
圖五：大安森林公園生態池，底泥碳含量變化圖。誤差線表示 1 個 標準差。	83
圖六：大安森林公園生態池之水體二氧化碳排放通量	84
圖七：大安森林公園生態池之水體甲烷排放通量	85
圖八：大安森林公園生態池之水體氧化亞氮排放通量	85

第一章、前言

1.1 研究動機

近年來隨著氣候變遷因應法通過，2050 年淨零排放入法的熱度，讓森林碳匯議題，日益獲得社會大眾重視。但因國內缺乏量化森林碳匯的相關研究報告，讓最為大眾周知的大安森林公園每年吸存碳匯量有多少？都欠缺完整 MRV (Measuring, Reporting, and Verification, MRV) 機制來完成大安森林公園每年吸存碳匯量調查。經大安森林公園之友基金會支持，臺大森林系團隊於 2019 年完成第一期每木調查，得以估算大安森林公園樹木碳儲存量。後續又於 2021 年進行第二次每木調查，除估算大安森林公園樹木碳儲存量，並利用前後兩期建立的每木調查成果，發展適用於大安森林公園的單木年碳吸存量估算模式，據以推算出 2022 年大安森林樹木碳匯：年度碳吸存量 129.33 Ton-CO₂ 當量，算是國內公園碳吸存估算之先驅。

然而除估算大安森林公園樹木年度碳吸存量外，自然碳匯尚包括水體碳匯，本年度將正式進行水體溫室氣體量測工作，透過不同儀器量測水體表面之溫室氣體通量及水岸土壤表面溫室氣體通量量測，探索公園內水體的溫室氣體排放及吸存情況。

期望藉由本計畫的執行成果，更全面的了解大安森林公園的自然碳匯效益。

1.2 研究目的

本計畫於大安森林公園之生態池進行全尺度的採樣調查，藉由分析底泥與植物體碳含量以及水面所排放的三種溫室氣體，包含二氧化碳、甲烷與氧化亞氮，量化大安森林公園生態池之碳排放係數。

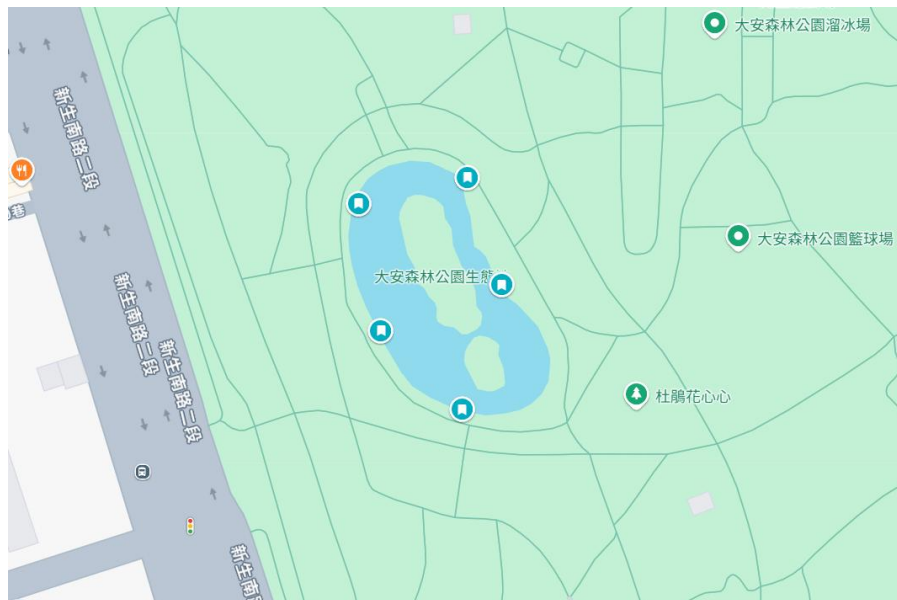
研究目標包含下列三個項目：

1. 分析大安森林公園生態池底泥之碳含量變化。
2. 量化大安森林公園生態池水體之溫室氣體排放。
3. 研析大安森林公園生態池之水體碳排係數與碳匯價值。

第二章、實驗方法

2.1 實驗現地概況及配置

本研究計畫正式的量測期間為 113/9-114/8。於每個月的月底，進行相關的採樣分析工作。計畫執行初期，進行了一次現勘，並選定生態池湖面五個地點作為後續採樣的範圍，並於現勘時進行 GPS 位置標定，確保後續量測的地點能具備一致性，而使其數據能有較佳代表性（圖一）。



圖一：大安森林公園生態池採樣點分布圖

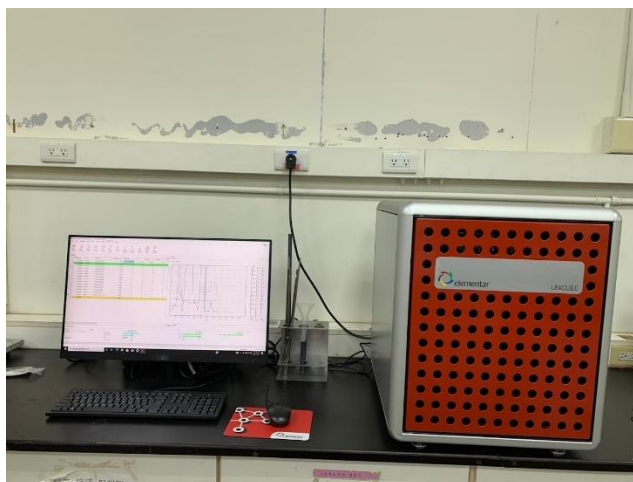
2.2 底泥樣品採集與分析

採樣當日，於所設定的各個採樣點進行溫室氣體的量測與湖泊底泥的採集。

每個樣點的底泥採集，使用直徑 2.54 公分的底泥採樣器進行採樣，並取至生態池底部礫石層上方之底泥，保存於乾淨的封口袋中，同時記錄採樣深度，之後將樣品並放置於攜帶式的保冷箱回實驗室進行後續的有機碳氮分析。

檢測底泥樣品中之總氮與總碳含量方式係依據美國國家環境保護局(Environmental

Protection Agency, EPA)之報告操作。將風乾後之樣品以陶瓷研鉢磨碎，秤重完後以錫箔紙包裹並使其成膠囊狀，接著將錫箔紙小膠囊送樣進元素分析儀(Elementar vario el cube, Elementar, Langenselbold, Germany) 進行檢測 (圖二)。而在元素分析儀中會以燃燒法進行元素測定，利用氦氣 (He) 作為載流氣體，氧氣 (O₂) 則作為助燃氣體，氦氣用來清空進樣閥門中的其他氣體避免汙染，在儀器內部將欲分析之樣品，經由垂直式燃燒管再加上錫箔紙的助燃，樣品會在瞬間高溫燃燒氧化，完全燃燒後再以銅做為還原劑，生成氮氣(N₂)及二氧化碳(CO₂)之混合物，再利用分離管分離後，通過熱傳導偵檢器(thermal conductivity detector, TCD)，透過不同氣體間的熱導率差異檢測及分析其含量。

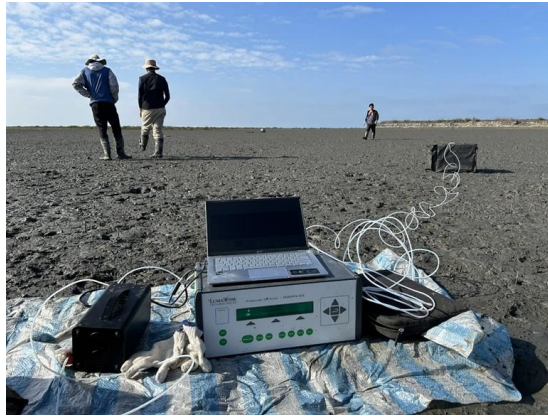


圖二：碳氮氫硫元素分析儀

2.3 溫室氣體通量量測與計算

水體溫室氣體的量測，則使用漂浮式氣體罩(floating chamber)進行量測水體表面之溫室氣體通量。以直徑 20 公分，高度 10 公分的氣體罩(static chamber)進行水岸土壤表面溫室氣體通量量測。並搭配 IRGA(infrared gas analyzer) (INNOVA 1512, Advanced Technology, Germany)進行 CO₂、CH₄ 與 N₂O 分析。該 IRGA 機器為半自動的溫室氣體量測儀，能以 50 秒的頻率進行氣體罩內的三種溫室氣體濃度量測 (圖三、圖四)。機器採用了紅外光聲譜技術，其原理基於紅外光吸收和光聲效應。首先，溫室氣體分子會吸收特定波長的紅外光，導致光強減弱。接著，被吸收的紅外光能量會轉化為氣體分子的

振動能量，引起氣體溫度週期性變化，產生聲波。機器配備高靈敏度的聲波感測器，能夠檢測到這些微弱的聲波，並根據聲波強度來確定氣體濃度。



圖三：溫室氣體監測器



圖四：漂浮式氣罩

每一採樣點的溫室氣體量測時間為 15 分鐘，並取得 18 筆的濃度資料後，將這 18 筆資料進行線性回歸，經過統計檢定斜率，在具有顯著性的條件下，其斜率認定為濃度的變化量(即溫室氣體排放速率)。

所取得的排放速率，另將以 IPCC 2013 年所出的 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands 與 VM0024 等方法學的計算方式進行排放係數的計算。具體計算方式如下公式：

$$F = \frac{V}{A} \frac{p}{RT} \frac{dc}{dt}$$

F：氣體排放通量 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)；

V：箱體體積 (L)；

A：箱體表面積 (m^2)；

p：採樣狀態之氣壓 (atm)；

T：採樣狀態之氣溫 (K)；

R：理想氣體常數 ($0.082 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)

dc/dt：氣體濃度對時間的線性迴歸的斜率 ($\mu\text{L L}^{-1} \text{hr}^{-1}$)。

而對於甲烷與氧化亞氮兩者溫室氣體的排放，轉換為二氧化碳當量的計算方式，如下：

$$F_{CH_4CO_2e} = F_{CH_4} \times 16 \times 25 \times 10^{-3}$$

$F_{CH_4CO_2e}$ ：甲烷之二氧化碳排放當量 ($\text{mg CO}_2\text{e m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)

F_{CH_4} ：前式所計算出之甲烷氣體排放通量 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)

16：甲烷之分子量

25：甲烷於一百年周期下之二氧化碳當量

10^{-3} ：單位轉換係數($\mu\text{g to mg}$)

$$F_{N_2O_{CO_2e}} = F_{N_2O} \times 44 \times 298 \times 10^{-3}$$

$F_{N_2O_{CO_2e}}$ ：氧化亞氮之二氧化碳排放當量 ($\text{mg CO}_2\text{e m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)

F_{N_2O} ：前式所計算出之氧化亞氮氣體排放通量 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)

44：氧化亞氮之分子量

298：氧化亞氮於一百年周期下之二氧化碳當量

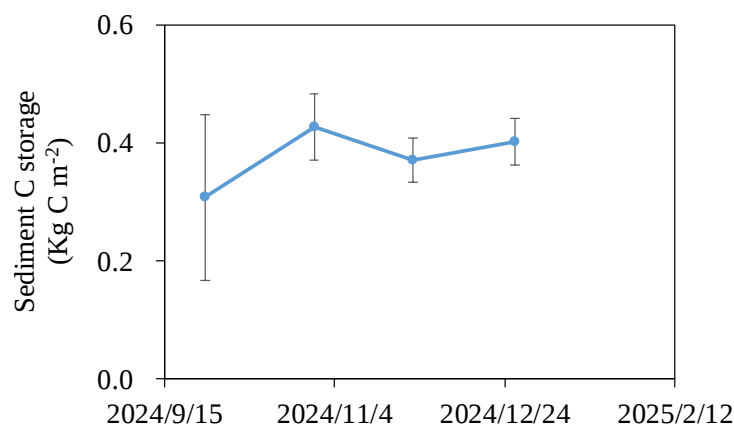
10^{-3} ：單位轉換係數($\mu\text{g to mg}$)

第三章、研究結果探討

3.1 大安森林公園水體底泥碳含量變化分析

大安森林公園水體底泥，在 113 年 9 月至 12 月的四個月採樣過程中，大約維持 0-1 公分的深度。而從所採集的底泥碳含量數據可看出，其平均碳含量大約在 0.31-0.43 Kg C m⁻² (3.1-4.3 tons C ha⁻¹)之間(圖五)，標準差約為 0.04-0.14 Kg C m⁻²。

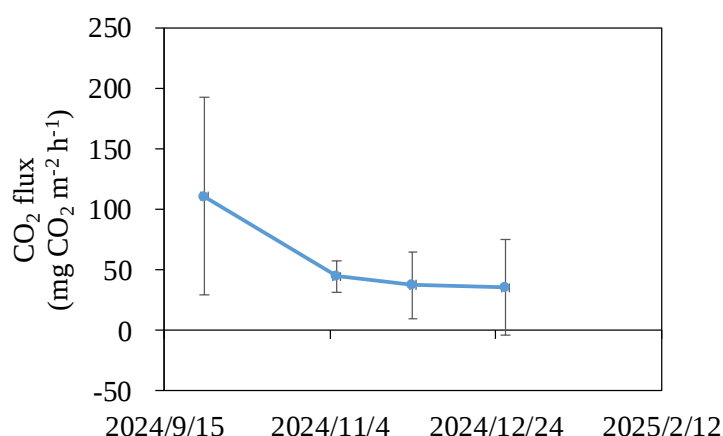
四個月的數據進行線性迴歸分析後，可計算其底泥碳吸存速率，然而斜率經過 t-test 統計檢定後，並無統計顯著性(p>0.21)，因此在這段時間的底泥並無明顯碳吸存的貢獻。其主要可能理由在於自然碳匯系統無論是底泥或是土壤，其變動速率多需長期分析才能觀察到顯著變化差異，四個月的檢測時間尚無法確認其變化趨勢與變化量。有待後續更長時間監測結果，才能評估其具體的貢獻。



圖五：大安森林公園生態池，底泥碳含量變化圖。誤差線表示 1 個標準差。

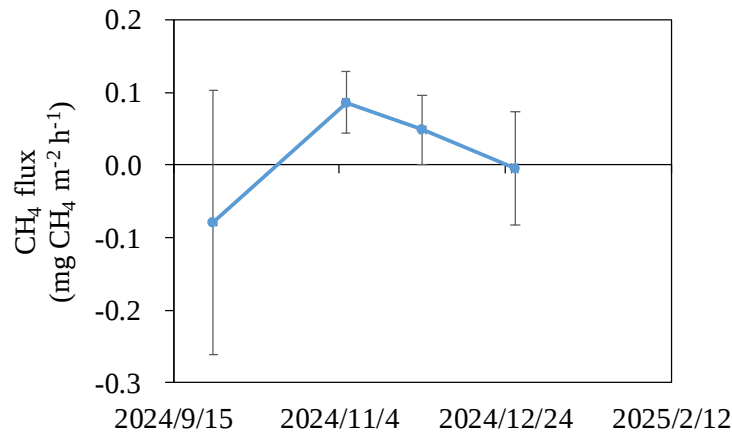
3.2 大安森林公園生態池的溫室氣體排放

自九月開始，所調查四個月的生態池水體溫室氣體排放結果顯示，水體主要的溫室氣體排放來自於二氧化碳，佔了整體的溫室氣體排放的 99.2%，其通量為 35-110 $\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ ($0.009 - 0.026 \text{ tons CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$)，且隨調查的時間越接近年末而降低排放量（圖六）。整體趨勢與國際上對於厭氧土壤生態系的排放趨勢類似，隨氣溫下降而排放量下降。



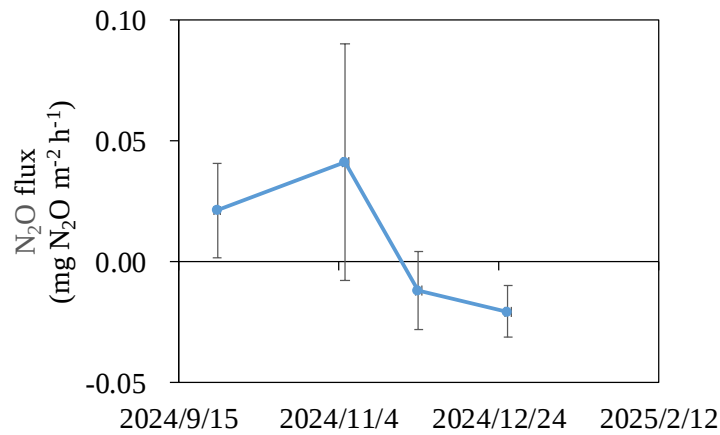
圖六：大安森林公園生態池之水體二氧化碳排放通量

甲烷的通量部分，則呈現非常微量，排放不明顯的狀況。四個月的排放量大約居於 $-0.08 - 0.09 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ ($-0.00047 - 0.00052 \text{ tons CO}_{2e} \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$)。另外由於排放量非常微小，因此並沒有觀察到明顯的季節差異（圖七）。推測可能主要原因在於大多數生態池水面水深不到 50 公分，且底泥深度較淺，因而並沒有產生明顯的厭氧環境條件，導致產甲烷作用不明顯。



圖七：大安森林公園生態池之水體甲烷排放通量

同樣的狀況發生在氧化亞氮的排放通量，整體而言占總溫室氣體排放比例非常少，四個月的排放量大約介於 $-0.02 - 0.04 \text{ mg N}_2\text{O m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ ($-0.00147 - 0.00295 \text{ tons CO}_{2e} \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) (圖八)，並且隨著時間接近年底，已無正排放。整體大安森林公園生態池的 N_2O 排放微乎其微的原因主要應在於並無明顯的營養鹽水體流入，因此主要以硝化作用或是脫氮作用的中間產物 N_2O 較不易出現。



圖八：大安森林公園生態池之水體氧化亞氮排放通量

3.3 大安森林公園水體碳排放係數

統整過去四個月所盤查的水體底泥碳含量的變化以及溫室氣體排放通量的結果，由於底泥含碳量在統計檢定下視為沒有改變，因此水體底床的底泥碳排放係數為 0。

因為本計畫於大安森林公園水域量測的結果，其依據 Tier 3 等級的碳庫差分法計算碳排，水體的二氧化碳排放已經考慮($\Delta C = C_{in} - C_{out}$ ，底泥碳含量變化為等號左項，二氧化碳排放為等號右項之 C_{out})，因此實際上計算水體的碳排放僅需額外考慮甲烷與氧化亞氮溫室氣體排放的二氧化碳當量。

經過計算，其平均每個月的月碳排係數為 $0.0010 \text{ tons CO}_2\text{e ha}^{-1} \text{ month}^{-1}$ 。整體而言較傳統淡水濕地或是水稻田的溫室氣體排放係數為低 ($-2.75 - 48.6 \text{ tons CO}_2\text{e ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ；Naser et al. 2020, Song et al. 2009, Kandel et al. 2019)。

若依據台北市政府工務局的資料，其生態池水域面積為 0.7 公頃作為活動數據，則初估大安森林公園的水體碳排放量為 $0.0007 \text{ tons CO}_2\text{e month}^{-1}$ 。雖然目前所調查的四個月時間主要為秋冬季，然而若以等比例進行計算，則可能之年溫室氣體排放量的二氧化碳當量約在 $0.0087 \text{ tons CO}_2\text{e yr}^{-1}$ ，或是約 $8.4 \text{ kg CO}_2\text{e yr}^{-1}$ 。

第四章、結語

經過目前從 113 年 9 月至 113 年 12 月的大安森林公園水體碳排放量測結果，初步可得到的主要結果如下：

- 初步結果顯示該生態池在冬季期間對碳排放的貢獻有限。
- 底泥碳含量穩定，約為 $3.1\text{--}4.3 \text{ tons C ha}^{-1}$ ，未隨時間顯著變化。
- 水體的溫室氣體排放主要以二氧化碳 (CO_2) 為主，占總排放量的 99.2%，而甲烷 (CH_4) 與氧化亞氮 (N_2O) 排放量極低，部分時段甚至呈現負排放。
- CO_2 的排放量範圍為 $0.009 - 0.026 \text{ tons CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ， CH_4 為 $-0.00047 - 0.00052 \text{ tons CO}_2\text{e ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ， N_2O 為 $-0.00147 - 0.00295 \text{ tons CO}_2\text{e ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ，顯示該水體的 CH_4 與 N_2O 排放貢獻可忽略不計。
- 9 月至 12 月期間，生態池的碳排放係數約為 $0.0010 \text{ tons CO}_2\text{e ha}^{-1} \text{ month}^{-1}$ ，反映其整體碳釋放速率相對較低。

參考文獻

- ◆ Kandel, T. P., P. E. Lærke, C. C. Hoffmann, and L. Elsgaard. 2019. Complete annual CO₂, CH₄, and N₂O balance of a temperate riparian wetland 12 years after rewetting. *Ecological Engineering*, 127: 527-35
- ◆ Naser, Habib Mohammad, Osamu Nagata, Sarmin Sultana, and Ryusuke Hatano. 2020. Carbon Sequestration and Contribution of CO₂, CH₄ and N₂O Fluxes to Global Warming Potential from Paddy-Fallow Fields on Mineral Soil Beneath Peat in Central Hokkaido, Japan. *Agriculture*, 10: 6
- ◆ Song, Changchun, Xiaofeng Xu, Hanqin Tian and Yiyong Wang. 2009. Ecosystem–atmosphere exchange of CH₄ and N₂O and ecosystem respiration in wetlands in the Sanjiang Plain, Northeastern China. *Global Change Biology*, 15: 692-705