



精進估算植生工法之碳吸存量— 台灣中低海拔樹種樹高異速方程式與 不耐陰木本和草本植物的生長速率

農村水保署專題討論分享

1

國立中興大學
國際農學碩士學位學程
趙國容

農業部農村發展及水土保持署

中華民國113年07月



國立中興大學

National Chung Hsing University

植生工程生態功能

- ▶ 植生工程以植物為材料
 - ▶ 透過植物的根系促進邊坡穩固
 - ▶ 營造原生動物的生育棲地多樣性
 - ▶ 增益植生工程在碳吸存生態系服務之貢獻

(Rey et al., 2019)

20230620 南瀛天文館

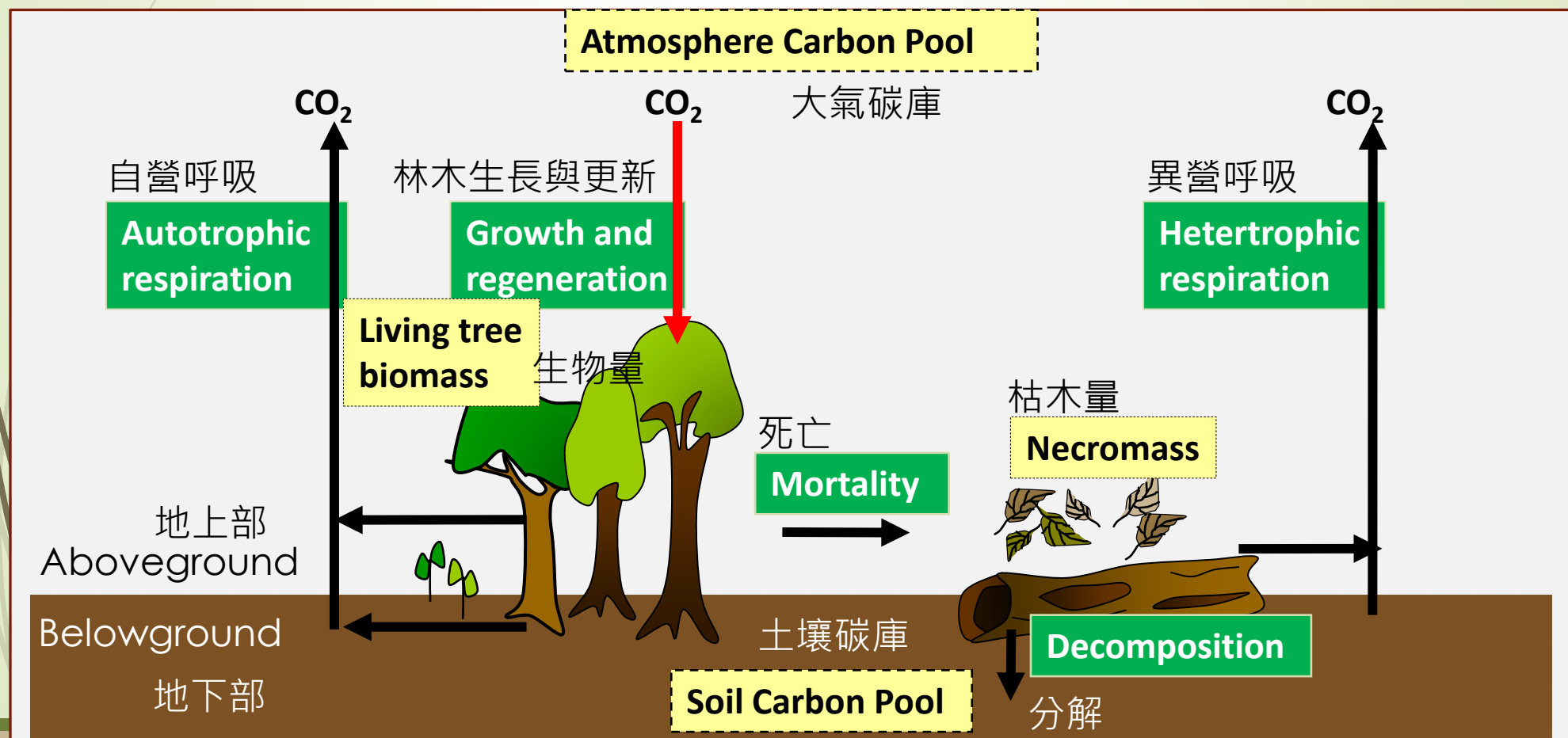


碳如何被吸收?

Pools

Fluxes

植物的光合作用



自然生態系的**碳吸存**生態系服務

- ➡ **碳庫**：碳儲存（碳銀行）
 - ➡ 碳排放通量：將碳排至大氣中
 - ➡ **碳吸收**通量：固定碳於碳庫中（碳固定）
- ➡ **碳匯**：碳吸收 $>$ 碳排放
 - ➡ 賺錢!!!
- ➡ 碳源：碳吸收 $<$ 碳排放
 - ➡ 賠錢!!!
- ➡ 碳中和：碳吸收 = 碳排放
 - ➡ 淨零碳排



祕魯

樹木碳儲量的計算

► 聯合國政府間氣候變遷專門委員會IPCC
Intergovernmental Panel on Climate Change
(IPCC, 2006, 2019)

- 材積 $V = f(DBH, H)$
- 生物量 $AGB = f(DBH, H, \rho)$
- 碳儲量 $C = f(AGB, CF)$

- V: volume 單株材積 (cm³)
 - DBH: Diameter at breast height 胸高直徑 (cm) (野外調查)
 - H: tree height 樹高 (m) (野外調查)
- AGB: aboveground biomass 單株生物量(kg)
 - ρ : wood density 木材密度 (g/cm³)
- **C: carbon stock** 單株碳儲量(kg)
 - CF: Carbon fraction; carbon content; carbon concentration 碳含量(%)

植生工程碳吸存生態系服務:碳儲存

► 如何估算施作工區的碳儲存量?

► 木本植物

- 胸高直徑、樹高、木質密度、碳含量等參數
- 已建置臺灣地區480種常見水土保持木本植物
 - 木材密度和碳含量資料庫 (趙國容 et al., 2022)
- 仍需要胸高直徑與樹高等參數

► 草本植物

- 國外推估生物量之公式(異速方程式, allometric equation)
(Axmanová et al., 2012; Huang et al., 2022)
- 仍需要推估碳含量之參數

植生工程碳吸存生態系服務:碳吸收

- 如何推估施作工區未來的碳吸收量?
 - 木本植物的生物量生長速率(Hilty et al., 2021)
 - 草本植物的生物量生長速率



過往研究尚待解決之處

► 植物耐陰性的影響

► 水保植物多為不耐陰植物

► 非耐陰性樹種生長於崩塌地或陽光充足的區域

► 以功能性狀分群建立所需的參數和方程式

白匏子



百喜草



過往研究尚待解決之處

► 植物耐陰性的影響

► 水保植物多為不耐陰植物

► 非耐陰性樹種生長於崩塌地或陽光充足的區域

► 以功能性狀分群建立所需的參數和方程式

白匏子

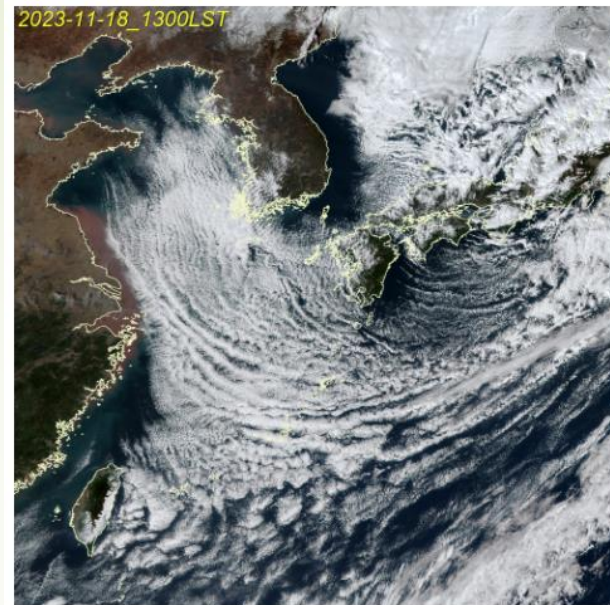


百喜草

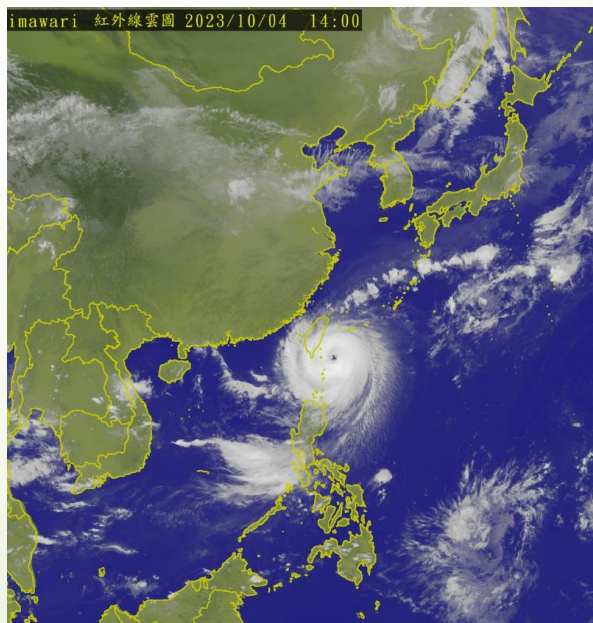


過往研究尚待解決之處

- ➡ 台灣的氣候型態
 - ➡ 東北季風
 - ➡ 颱風
- ➡ 國外的公式是否適用於臺灣？



2023/11/18東北季風



2023/10/04 小犬颱風

研究目標與研究目的

研究目標

- 精進估算台灣中低海拔原生與水土保持植物
 - 碳儲存量之參數(樹高)
 - 碳吸收量之參數(生長速率)

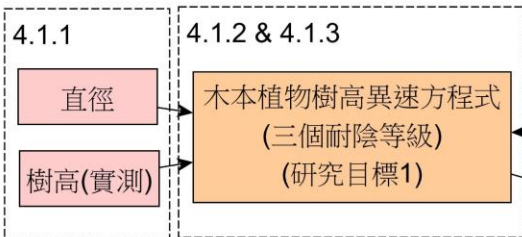
研究目的

- 不同耐陰等級原生樹種之樹高異速方程式
- 不同耐陰等級原生樹種平均生物量生長速率
- 不耐陰草本植物的生物量及生物量生長速率

研究流程圖

第4章實施方法與步驟

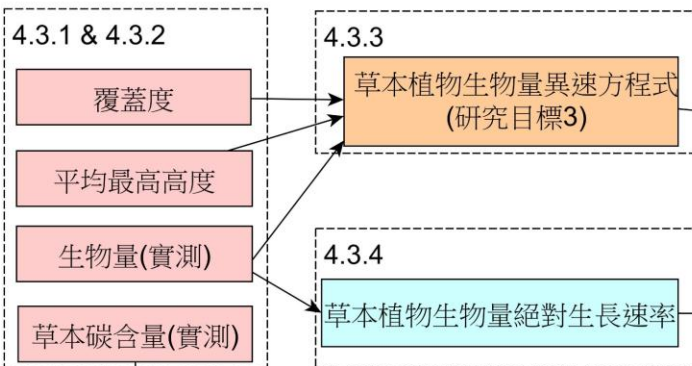
4.1 木本植物樹高



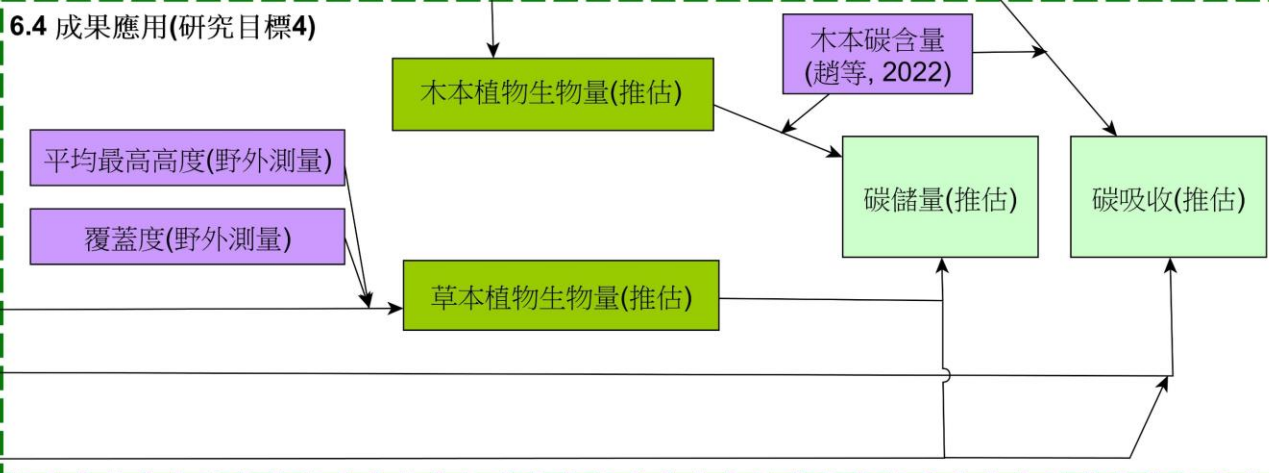
4.2 木本植物地上部生物量相對生長速率



4.3 不耐陰草本植物生物量和生物量絕對生長速率



6.4 成果應用(研究目標4)



建立方程式參數

應用方程式參數

異速方程式

生長速率

生物量推估

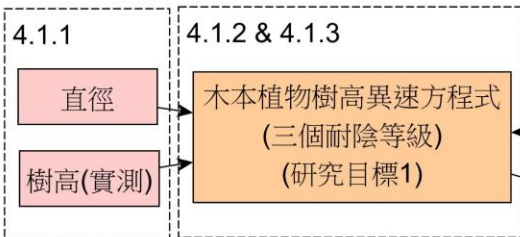
碳吸存推估

第6章討論與後續成果應用

研究流程圖

第4章實施方法與步驟

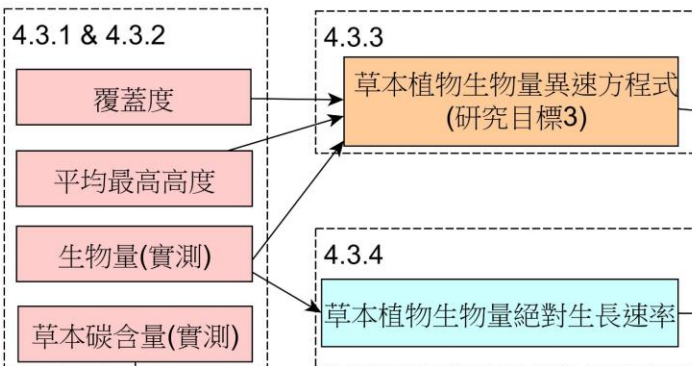
4.1 木本植物樹高



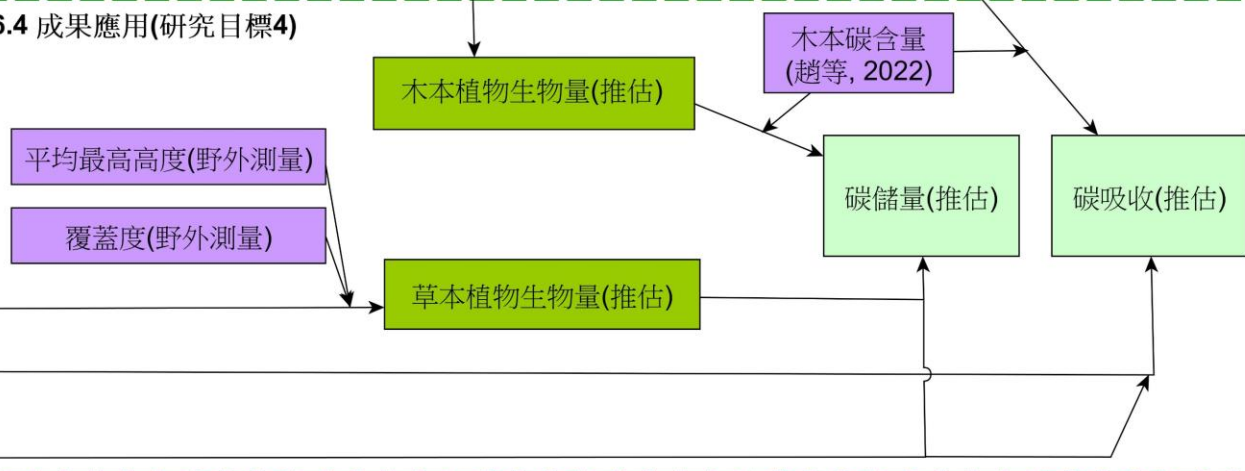
4.2 木本植物地上部生物量相對生長速率



4.3 不耐陰草本植物生物量和生物量絕對生長速率



6.4 成果應用(研究目標4)



建立方程式參數

應用方程式參數

異速方程式

生長速率

生物量推估

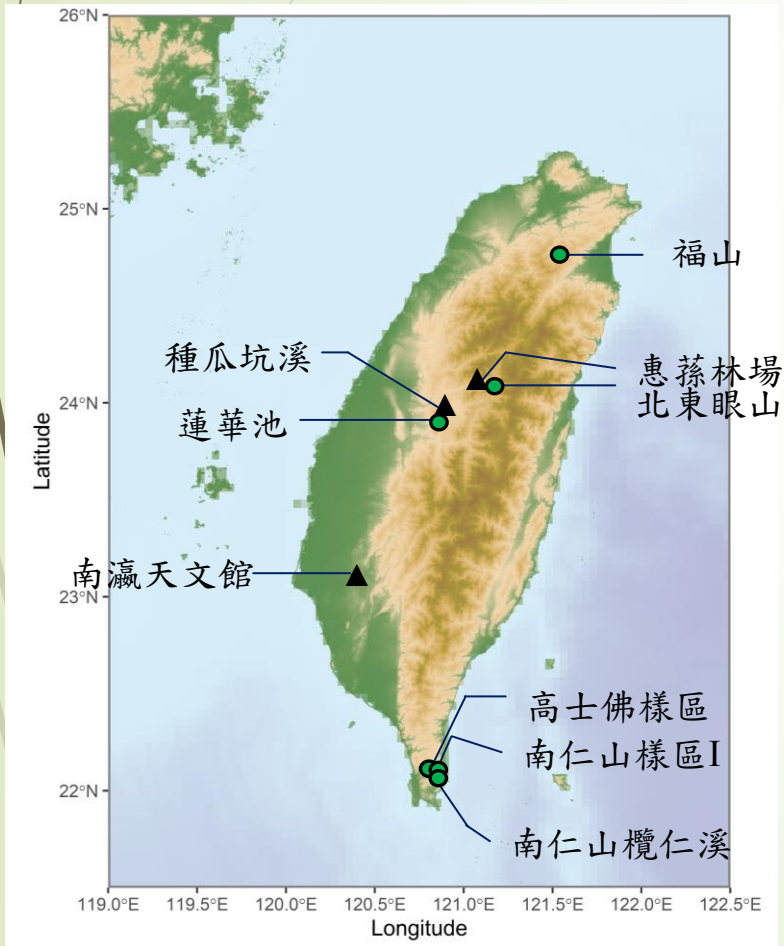
碳吸存推估

第6章討論與後續成果應用

研究樣區-1：木本植物

樣區

- 6個原生林樣區(森林動態樣區) ●
- 3個次生林樣區(新設樣區) ▲
- 量測各樣區內植株的胸高直徑及樹高



研究方法-1：木本植物

■ 樹高模型

■ 以光合作用潛力(A_{max})分級

(Kuo et al., 2022)

■ 非耐陰性樹種： $A_{max} > 21 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

■ 中等耐陰性樹種： $A_{max} 14.9 \text{ to } 21 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

■ 耐陰性樹種： $A_{max} \leq 14.9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

■ 模型篩選：AIC及RMSE篩選

(AIC: Akaike information criterion)

(RMSE: root mean square error)

■ Power model: $H = aD^b$

■ Richard model: $H = H_a[1 - \exp(-aD)]^b$

■ Weibull model: $H = H_a[1 - \exp(-aD^b)]$

■ Non-rectangular hyperbola model

$$H = \frac{aD + H_a - [(aD + H_a)^2 - 4b \times a \times D \times H_a]^{0.5}}{2b}$$

H (m)為樹高、 DBH (cm)為木本植物的胸高直徑、 H_a 為最大樹高值

結果-1.1：樹高模型建立

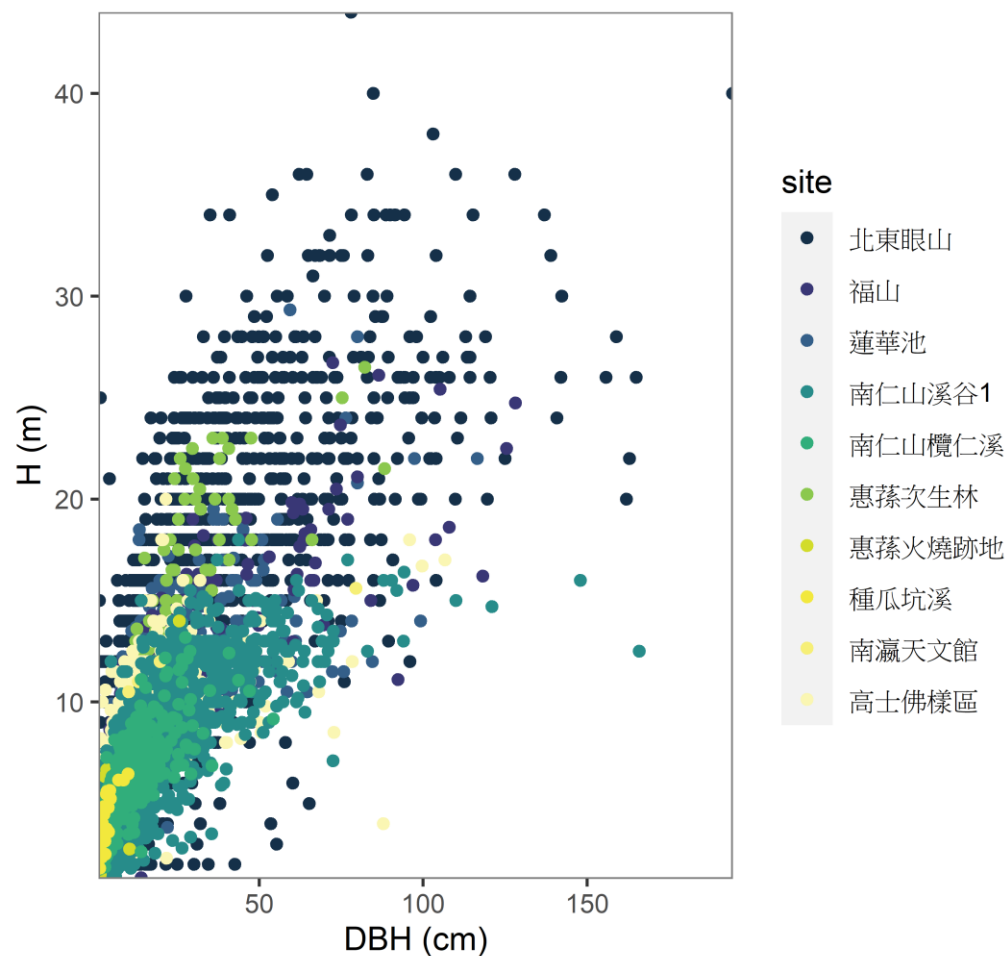
➡ 共計24,243筆胸高直徑與樹高資料庫

➡ 木本植物物種：

➡ 218種

➡ 111屬

➡ 49科



結果-1.2：不同耐陰等級的樹高模型

最佳樹高模型

耐陰性物種：Weibull model

$$H = 32.61 \times (1 - \exp(-0.054 \times (DBH^{0.693})))$$

中等耐陰性物種：Weibull model

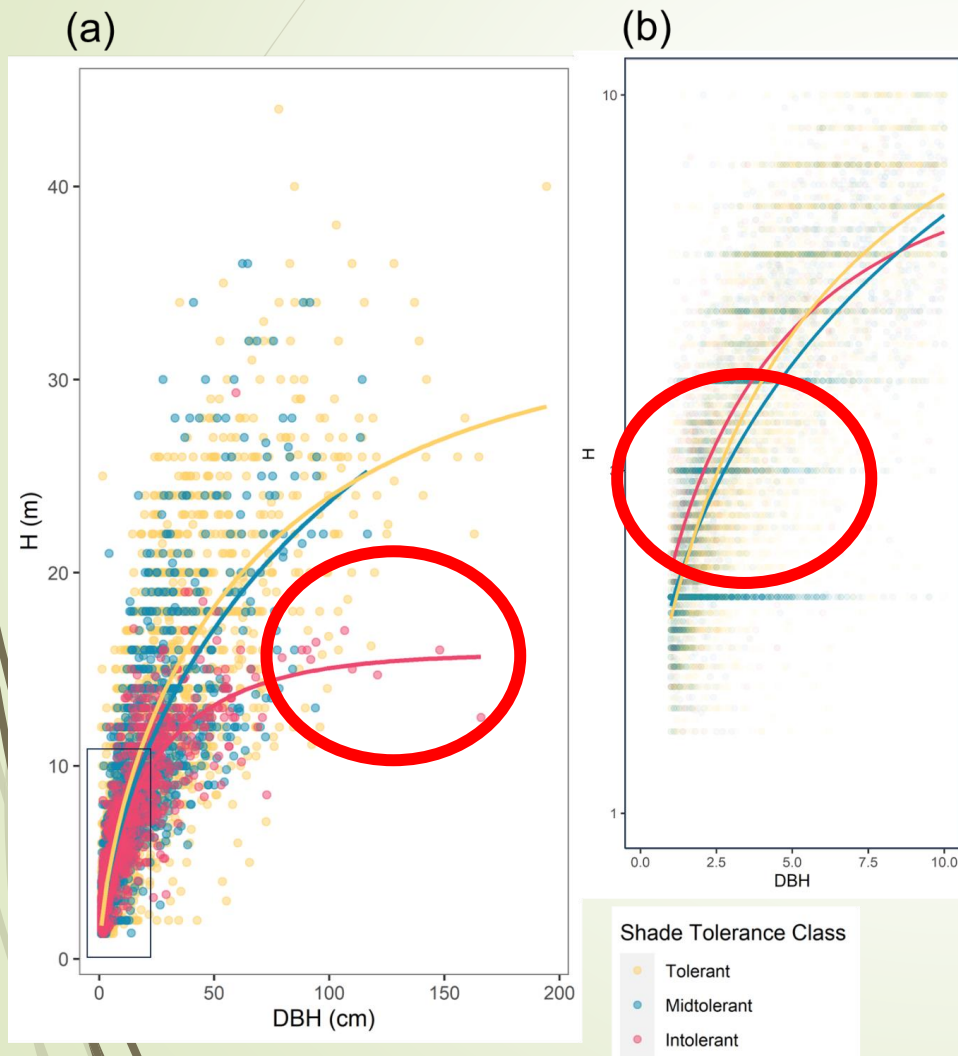
$$H = 46.47 \times (1 - \exp(-0.038 \times (DBH^{0.633})))$$

非耐陰性物種：Richards model

$$H = 15.77 \times (1 - \exp(-0.025 \times DBH))^{0.540}$$

Shade Tolerance Class

- tolerant
- midtolerant
- intolerant



討論-1：木本植物樹高模型

➤ 應用層面

- 更新趙國容 et al. (2022)所建置的資料庫
- 建立不同耐陰樹種的樹高公式，以推估生物量

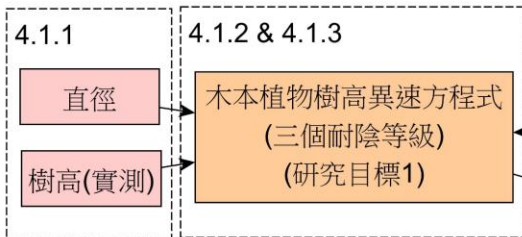
➤ 未來待解決問題

- 尚未考慮樹種本身的生活型(喬木與灌木)

研究流程圖

第4章實施方法與步驟

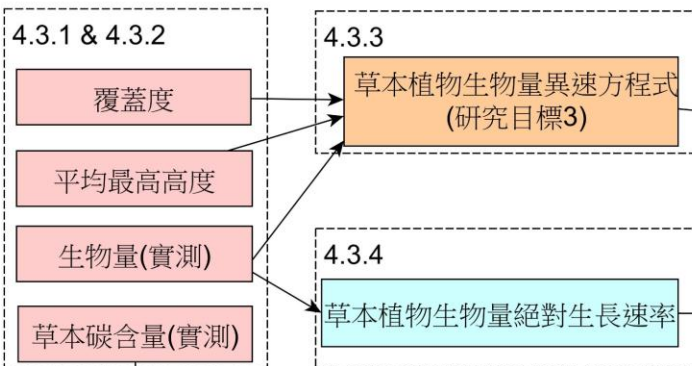
4.1 木本植物樹高



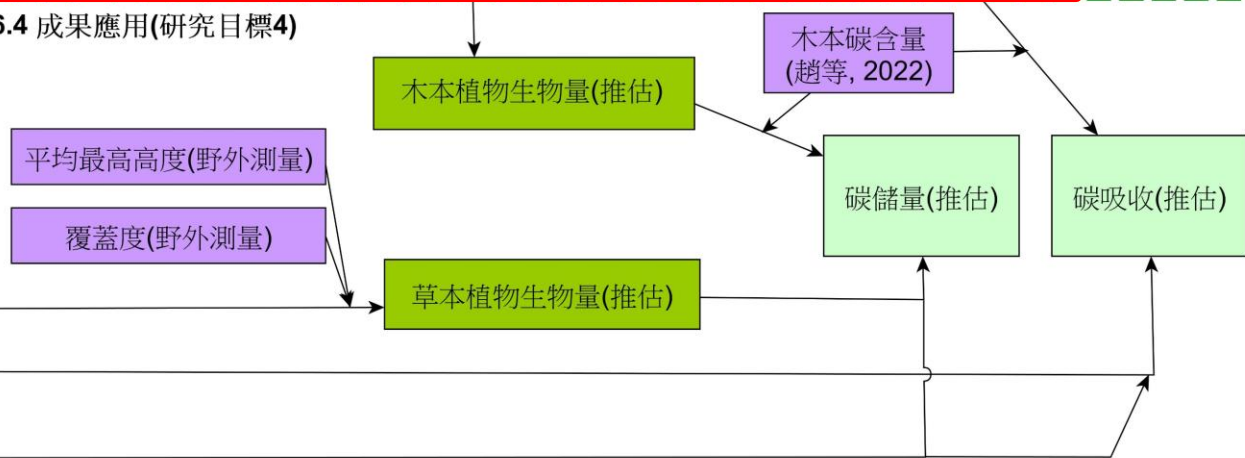
4.2 木本植物地上部生物量相對生長速率



4.3 不耐陰草本植物生物量和生物量絕對生長速率



6.4 成果應用(研究目標4)



建立方程式參數

應用方程式參數

異速方程式

生長速率

生物量推估

碳吸存推估

第6章討論與後續成果應用

研究方法-2：木本植物

■ 推估地上部生物量異速方程式：

■ Chave model: $AGB_{est} = 0.0673 \times (\rho D^2 H)^{0.976}$ (Chave et al., 2014)

■ 胸徑：樣區野外調查資料

■ 木材密度：木材密度資料庫 (趙國容 et al., 2022)

■ 樹高：三種耐陰性等級的樹高模型 (本研究)

■ 地上部生物量相對生長速率計算

■ 兩個調查區間皆存活植株

■ 植物生物量相對生長速率(yr^{-1}) $RGR = \frac{\ln \frac{AGB_{t=2}}{AGB_{t=1}}}{\Delta t}$

■ AGB_t 為時間 t 的生物量; Δt 為時間差

結果-2：不同耐陰樹種的生長量

- ➡ 共有1,224,133筆調查資料
- ➡ 篩選兩次調查都存活的植株
 - ➡ 共計457,465筆、190種
 - ➡ **非耐陰性樹種**的生物量相對生長速率為最高
 - ➡ 山胡椒 ($3.463 \text{ kg kg}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)
 - ➡ 山黃麻 ($0.516 \text{ kg kg}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)
 - ➡ 白匏子 ($0.305 \text{ kg kg}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)
 - ➡ **耐陰、中等耐陰樹種**生物量相對生長速率為最慢
 - ➡ 恆春紅豆樹($0.0003 \text{ kg kg}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)
 - ➡ 松田氏冬青($0.0005 \text{ kg kg}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)
 - ➡ 深山野牡丹 ($0.0017 \text{ kg kg}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)

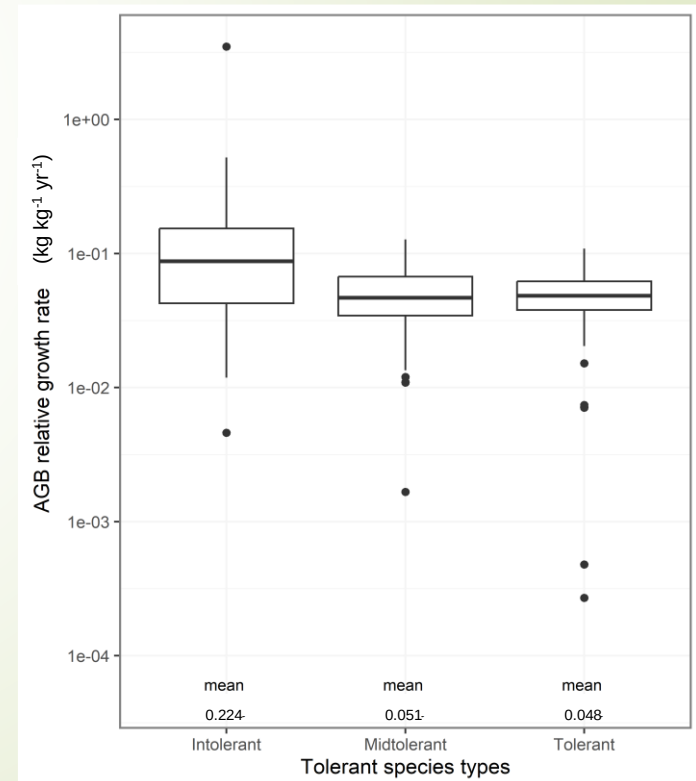
討論-2：木本植物生長速率

► 不同耐陰等級樹種的生物量相對生長速率

► 非耐陰性樹種為最快

- 適應崩塌地的強光和乾燥的環境極佳
- 適合崩塌地的固碳樹種

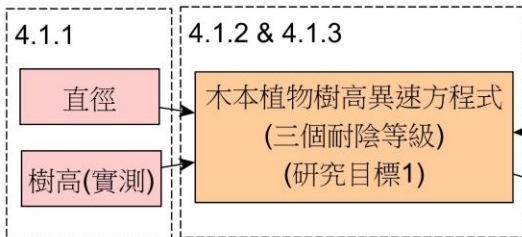
物種耐陰等級	生物量年相對生長速率 ($\text{kg kg}^{-1} \text{yr}^{-1}$)
耐陰性物種	0.048
中等耐陰性物種	0.051
非耐陰性物種	0.224



研究流程圖

第4章實施方法與步驟

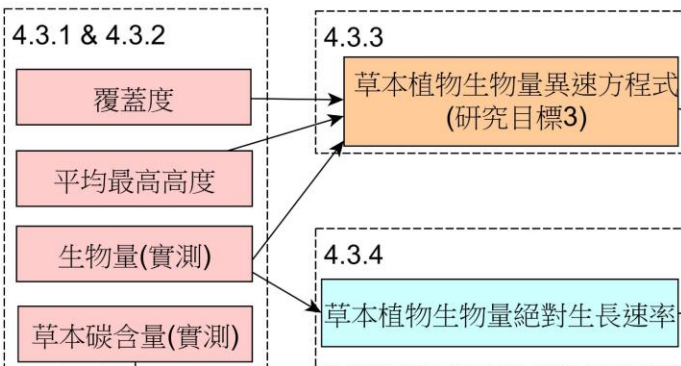
4.1 木本植物樹高



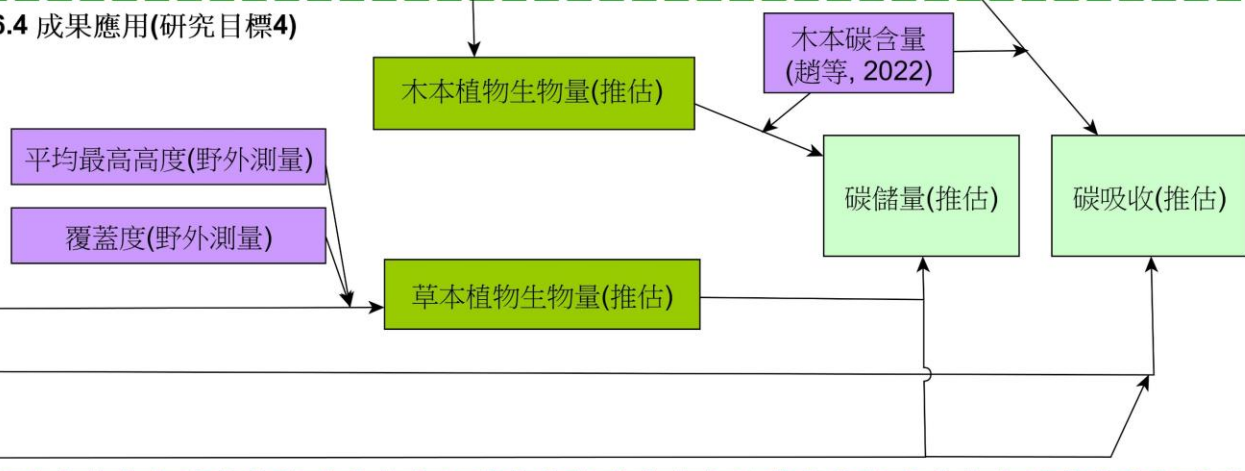
4.2 木本植物地上部生物量相對生長速率



4.3 不耐陰草本植物生物量和生物量絕對生長速率



6.4 成果應用(研究目標4)



建立方程式參數

應用方程式參數

異速方程式

生長速率

生物量推估

碳吸存推估

研究樣點與方法-3：草本植物

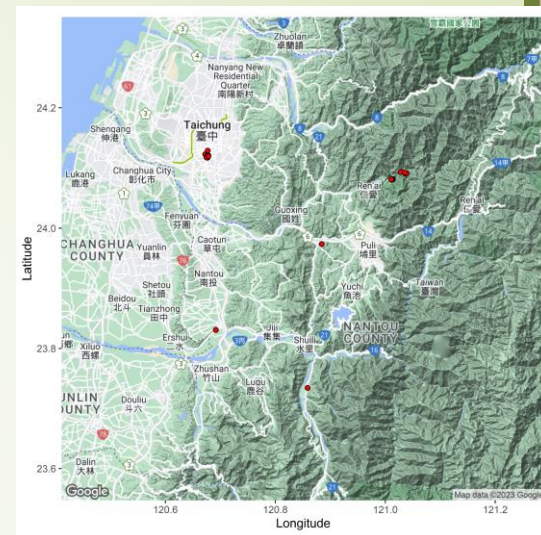
野外調查

設立樣框(n=38)

每個樣區選取數個1 m × 1 m 樣框

樣框內畫分為9個小樣方

量測草本總覆蓋度及草本平均高度



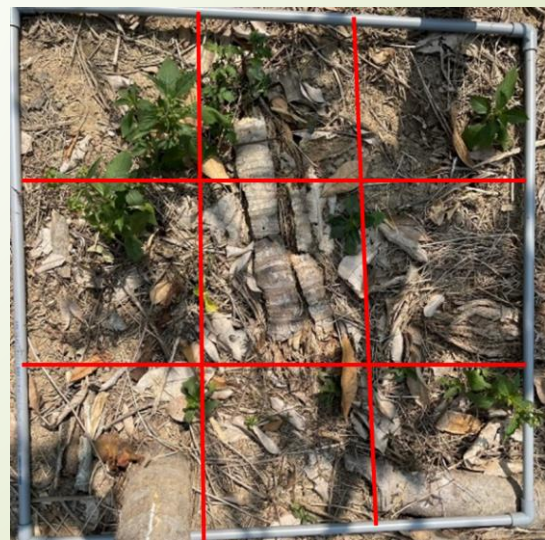
(a)



(b)



(c)



研究方法-3：草本植物

AGB_o	AGB_o	AGB_o
AGB_o	AGB_o	AGB_o
AGB_o	AGB_o	AGB_h BGB_h

生物量的計算

其中1格採收植株地上部與地下部

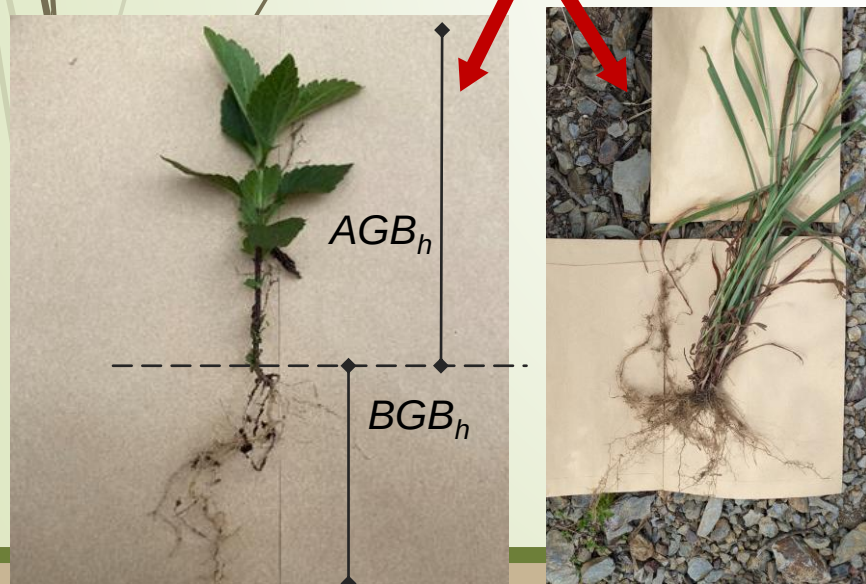
烘箱內65°C烘乾，分部位秤乾重

計算地下部/地上部乾重的根莖比： $r = \frac{BGB_h}{AGB_h}$

分部位磨粉並以元素分析儀測定草本植物碳含量

其餘8格採收植株地上部

烘箱內65°C烘乾秤乾重

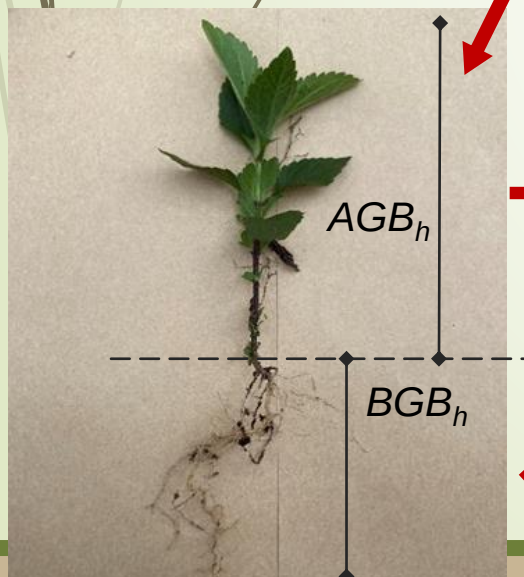


BGB_h ：採收小樣方的地下部生物量(g)

AGB_h ：採收小樣方的地上部生物量 (g)

研究方法-3：草本植物

AGB_o	AGB_o	AGB_o
AGB_o	AGB_o	AGB_o
AGB_o	AGB_o	AGB_h BGB_h



➡ 碳儲量計算 $TC = \frac{AGB_{all} \times C_{av,A} + BGB_{all} \times C_{av,B}}{A}$

➡ $AGB_{all} = AGB_h + AGB_o$

➡ $BGB_{all} = AGB_{all} \times r$

➡ AGB_{all} ：地上部生物量 (g)

➡ AGB_h ：採收小樣方的地上部生物量 (g)

➡ AGB_o ：其餘小樣方的地上部生物量 (g)

➡ BGB_{all} ：總地下部生物量 (g)

➡ r ：根莖比

➡ TC ：草本植物的單位面積總碳儲量 ($g\ C\ m^{-2}$)

➡ $C_{av,A}$ ：地上部碳含量之平均值 (%)

➡ $C_{av,B}$ ：地下部碳含量之平均值 (%)

➡ A ：樣框面積 (m^2)

研究方法-3：草本植物

■ 草本植物生物量的異速方程式

■ 生物量的預估模型

■ 植物類別：單雙混合、雙子葉、單子葉植物

■ 資料參數(x)：覆蓋度、高度、覆蓋度 $\times$ 高度

■ 預估的模型：

■ 線性模型： $y = ax$

■ 指數模型： $y = a \times \exp(x^b)$

■ 乘冪式： $y = x^a$

■ 以AIC(Akaike information criterion)篩選模型

研究方法-3：草本植物

■ 草本植物生物量絕對生長速率

■ 生長量的測定

■ 於國立中興大學南方綠川河堤岸(康堤)

■ 種植百喜草(*Paspalum notatum*)並澆水照護

■ 2023年3月種植

■ 2023年5月收割草本地上部乾重

■ $AGB\ (g\ m^{-2})$

■ 計算3個月地上部的生物量絕對生長速率

■ $AGB\ absolute\ growth\ rate\ (AGR, g\ m^{-2}\ month^{-1}) =$

$$AGR = \frac{\Delta AGB}{\Delta t} = \frac{AGB_{t=2} - AGB_{t=1}}{t_2 - t_1}$$

AGB_t ：草本植物時間 t 單位面積地上部乾重

t ：時間(month)



結果-3：草本植物生物量異速方程式參數

■ 草本植物樣框(n=38)

- 平均根莖比： 0.587 ± 0.526
- 平均地上部碳含量： $40.3 \pm 2.3 \%$
- 平均地下部植株碳含量： $27.6 \pm 9.7 \%$

結果-3：草本植物生物量異速方程式

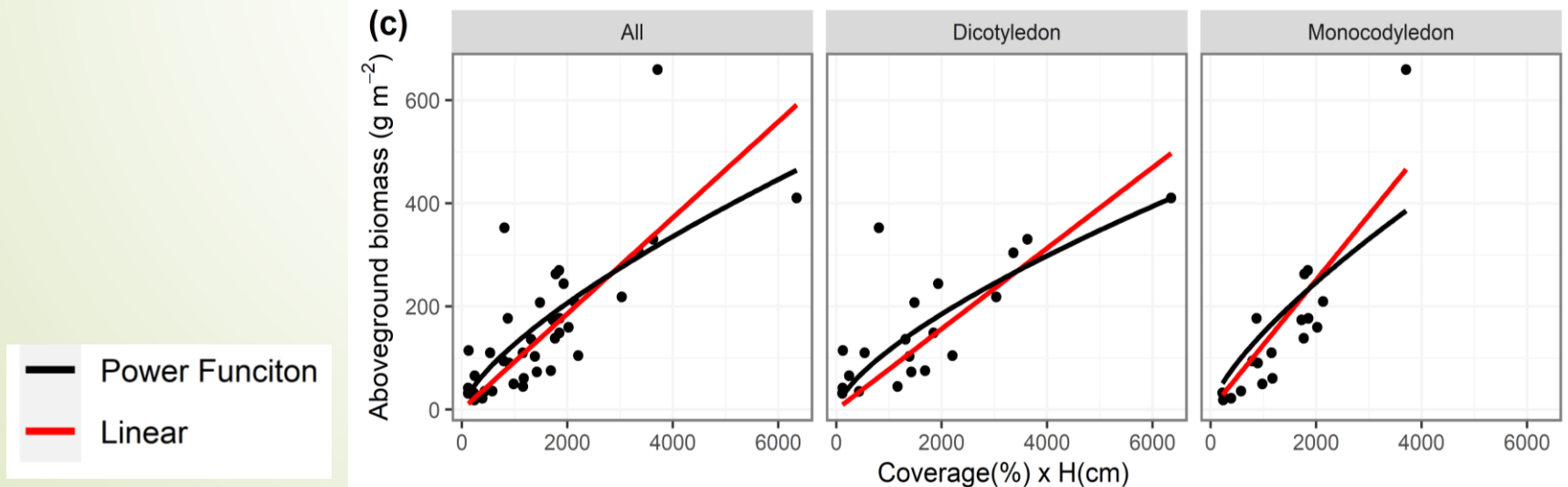
➡ 草本植物地上部生物量生長模型

➡ 以覆蓋度(C) $\times$ 高度(H)為最佳模型

➡ 單雙混合：線性模型 $y = 0.005 \times C \times H$

➡ 雙子葉：線性模型 $y = 0.005 \times C \times H$

➡ 單子葉：乘冪式 $y = (C \times H)^{0.59}$



結果-3：草本植物生物量絕對生長速率

- 本研究種植3個月左右的百喜草樣區
 - 覆蓋度有 $69.5 \pm 14.2 \%$
 - 平均植株高度為 $34.6 \pm 6.0 \text{ cm}$
 - 平均絕對生長速率為 $20.1 \pm 14.2 \text{ g m}^{-2} \text{ month}^{-1}$



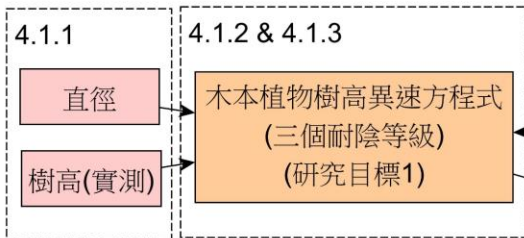
討論-3：草本植物碳儲量的估算

- 建立生物量異速方程式
 - 覆蓋度及高度乘積為最佳地上部生物量估算參數
 - 支持Huang et al. (2022)
- 生長速率研究限制
 - 本研究時間僅為春末夏初的3個月(最佳生長月份)
 - 會受到氣溫、雨量、土壤條件、物種來源與照護等影響
 - 本研究的生長速率則僅供參考
 - 建議各工區以使用草本植物地上部生物量異速方程式模型推估為佳

研究流程圖

第4章實施方法與步驟

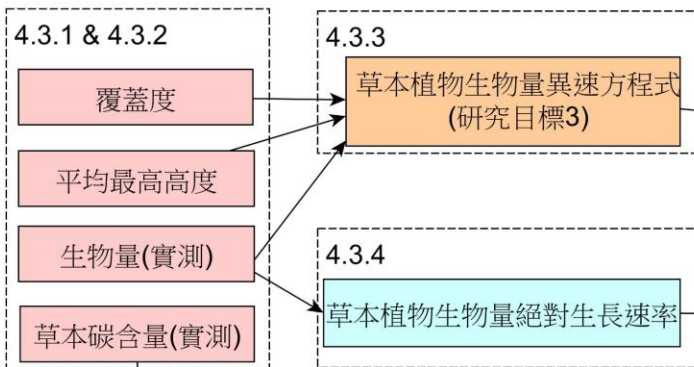
4.1 木本植物樹高



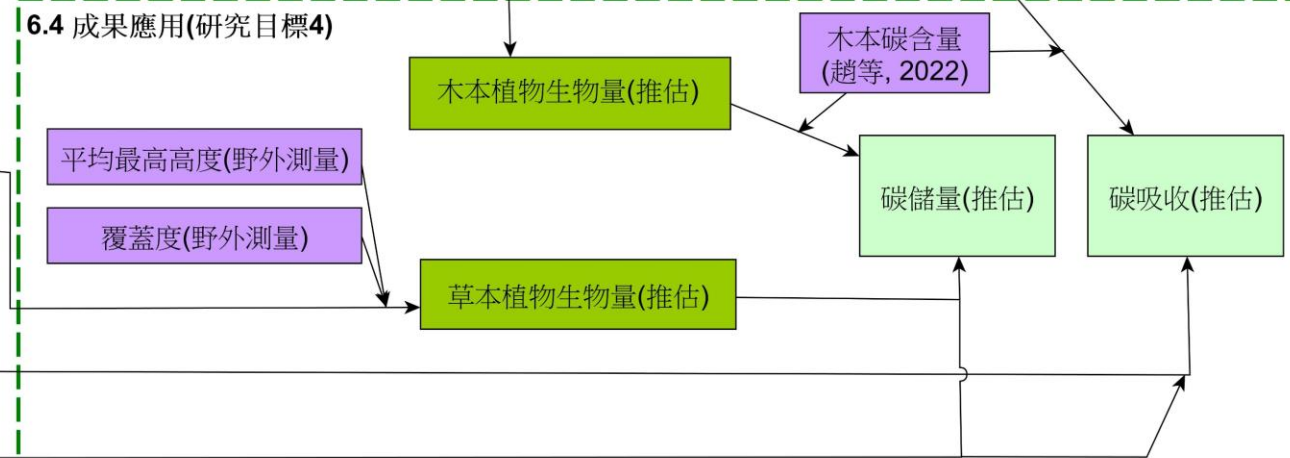
4.2 木本植物地上部生物量相對生長速率



4.3 不耐陰草本植物生物量和生物量絕對生長速率



6.4 成果應用(研究目標4)



建立方程式參數

應用方程式參數

異速方程式

生長速率

生物量推估

碳吸存推估

成果應用:木本植物資料庫

➡ 輸入野外調查資料即推估

➡ 現地地上部生物量

➡ 未來地上部生物量

1. 輸入物種

2. 輸入野外調查的胸徑資料(下限5 cm)

3. 輸入生長年數(上限20年)

使用者自行輸入

物種	胸徑 (cm)	地上部 生物量 (kg)	樹高(m)	木材密 度(g m ⁻³)	木材密度來源	耐陰等級	光合作用潛 力 μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	耐陰等級 來源	耐陰等級 相對生長 速率(yr ⁻¹)	生長年 數Y	預估Y年後 的地上部生 物量	預估Y年後 的地上部碳 儲量
豬腳楠	10.2	26.59	7.72	0.570	Local_species	tolerant	14.5	Species	0.036	15	45.3	20.4
青楓	7.0	8.60	5.67	0.518	Global_genus	midtolerant	16.5	Species	0.051	15	18.5	9.0
白朮子	5.0	3.85	4.96	0.510	Local_species	intolerant	29.4	Species	0.305	15	374.6	167.1

成果應用：草本資料庫

輸入野外調查資料即推估

■ 現地儲碳量

■ 未來儲碳量

1. 判定植物類型

2. 輸入覆蓋度(上限100%)

3. 輸入高度(上限90 cm)

4. 輸入推估生長季月份(上限6個月)

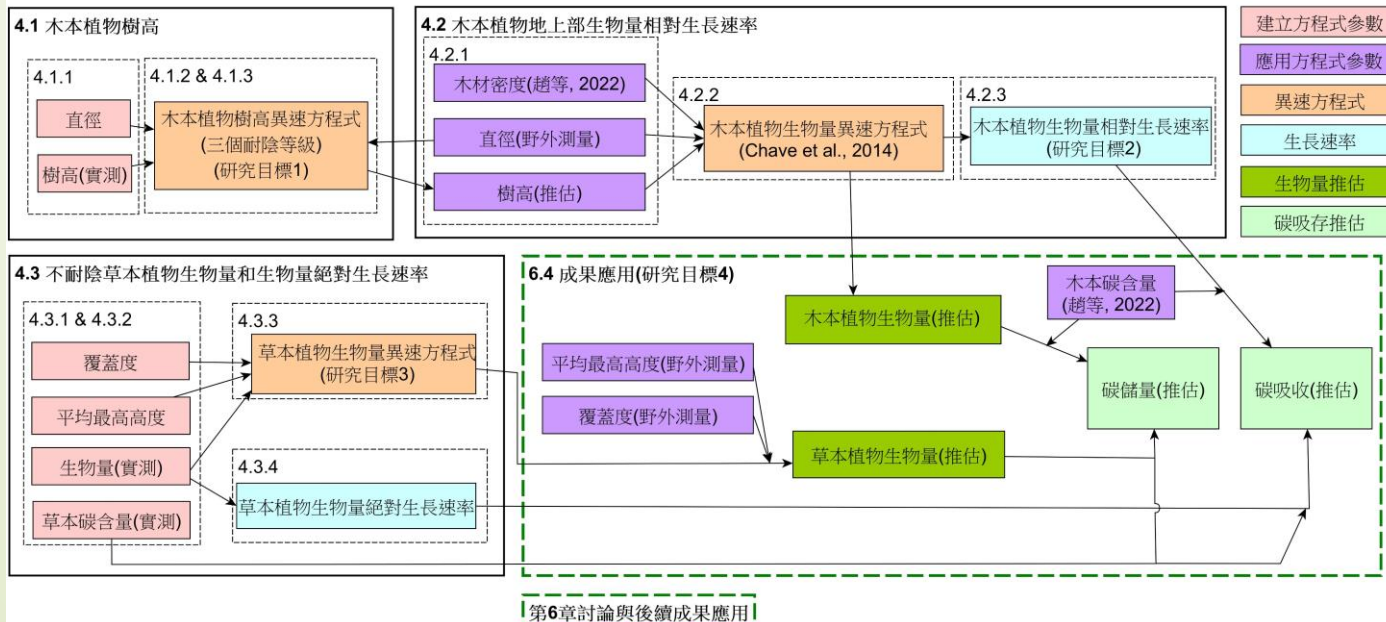
使用者自行輸入

植物類型	覆蓋度(%)	高度(cm)	地上部生物量(g m ⁻²)	根莖比	地下部生物量(g m ⁻²)	地上部碳含量	地下部碳含量	總生物量(g m ⁻²)	總碳儲量(g C m ⁻²)	生長速率(g m ⁻² month ⁻¹)	推估生長季月份M(month)	推估M月份後總碳儲量(g C m ⁻²)
單子葉、雙子葉混合	90	60	270.00	0.587	158.5	0.403	0.276	428.49	152.55	20.1	1	163.91
雙子葉植物	10	40	20.00	0.587	11.7	0.403	0.276	31.74	11.30	20.1	3	45.37
單子葉植物	5	20	15.14	0.587	8.9	0.403	0.276	24.02	8.55	20.1	5	65.34

結論

- 建立不同耐陰等級原生樹種之樹高異速方程式
- 建立不同耐陰等級原生樹種生物量相對平均生長速率
- 建立不耐陰草本植物的生物量異速方程式與生物量絕對生長速率
- 可應用於推估植生工程工區的碳吸存生態系服務(碳儲存、碳吸收)

第4章實施方法與步驟



感謝聆聽
敬請指教

20230620 南瀛天文館

