

水土保持樹種固碳能力 與儲碳潛力計算資料庫之建置

行政院農業委員會水土保持局計畫
分享

國立中興大學
國際農學碩士學位學程副教授
趙國容



國立中興大學
National Chung Hsing University



前言一

水土保持與植生工程

➤ 植生工程

➤ 以植物為主要材料

- 穩定邊坡時程較長
- 附加生態系服務功能



前言一

植生工程材料

- 生態系服務功能
 - 社會文化功能
 - 景觀綠化
 - 生態系調節與支持
 - 生態環境保育
 - 水土資源保育
 - 碳儲存與吸收



(Bischetti *et al.*, 2014; Lewis, 2000; 邱清安 *et al.*, 2016)

前言一

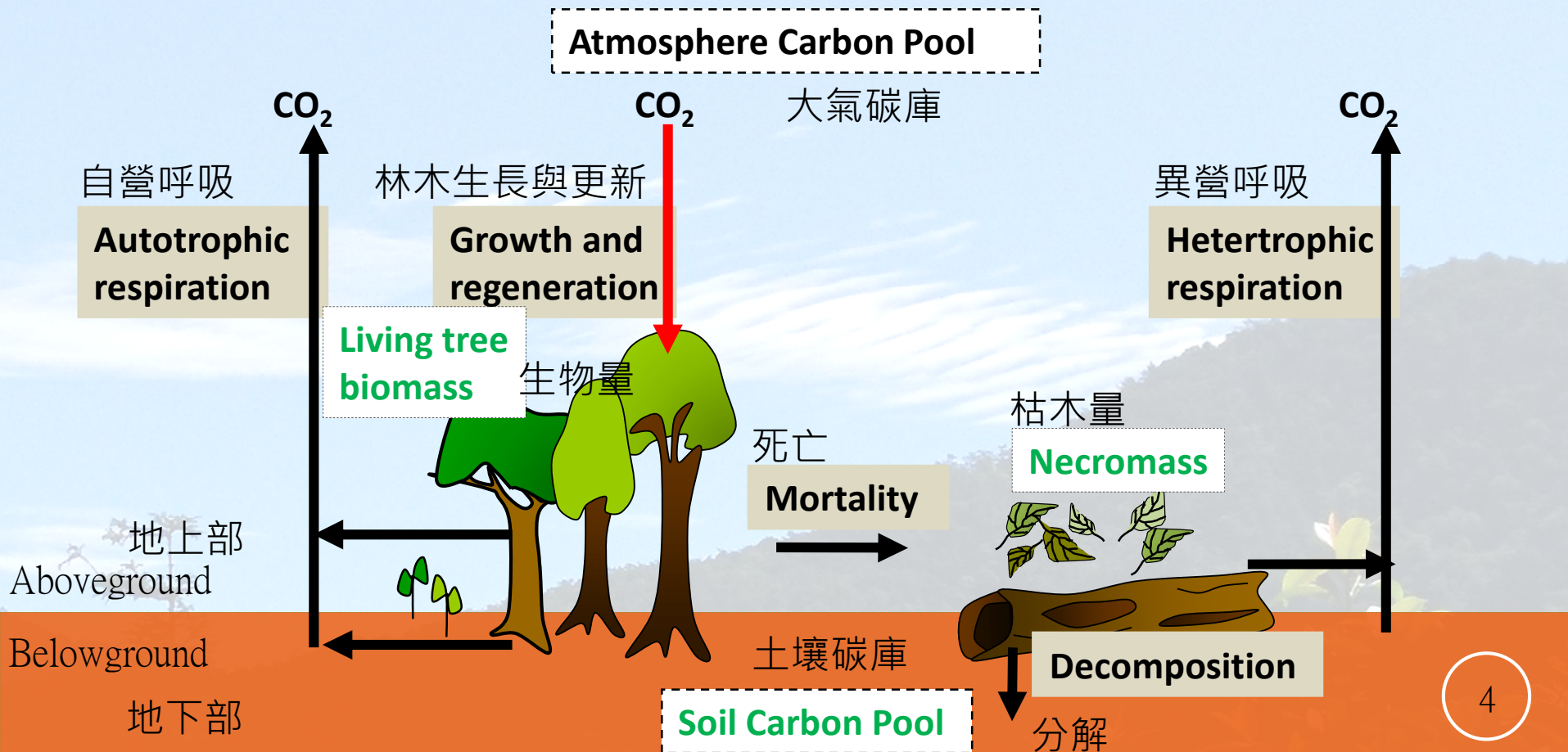
植物扮演之生態系功能：

增加大氣CO₂碳吸存

➤ 森林生態系碳循環簡圖

pools

fluxes



前言一

植物扮演之生態系功能：

增加大氣中CO₂碳吸存

➤ 人類活動與工業

➤ 已顯著提高大氣中的CO₂ (Boden *et al.*, 2017)

➤ 解決方案

➤ 減少人類碳排放

➤ 增加植物碳吸存

前言一

水保植物之選取

- 水土保持能力
 - 根固著力
 - 耐旱度.....
- 生態系功能
 - 碳吸存
 - 生物多樣性
 - 營養鹽循環
 - 復育原生植被
 - 提供原生動物棲息地..... (Chazdon and Uriarte 2016)

前言一

林木儲碳計算

- 聯合國氣候變遷問題小組IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (IPCC, 2006)

- $V = f(\text{DBH}, H)$

eqn 1

- $\text{AGB} = f(\text{DBH}, H, \rho)$

eqn 2

- $C = f(\text{AGB}, \text{CF})$

eqn 3

- V ：單株材積 (cm^3)

- DBH：胸高直徑 (cm) (本研究之參數1)

- H：樹高 (m) (本研究之參數2)

- AGB：單株生物量(kg) aboveground biomass

- ρ ：木材密度 (g/cm^3) (本研究之參數3)

- C ：單株儲碳量(kg)

- CF：碳含量(%) (本研究之參數4)

計畫成果一

➤ 建置台灣地區

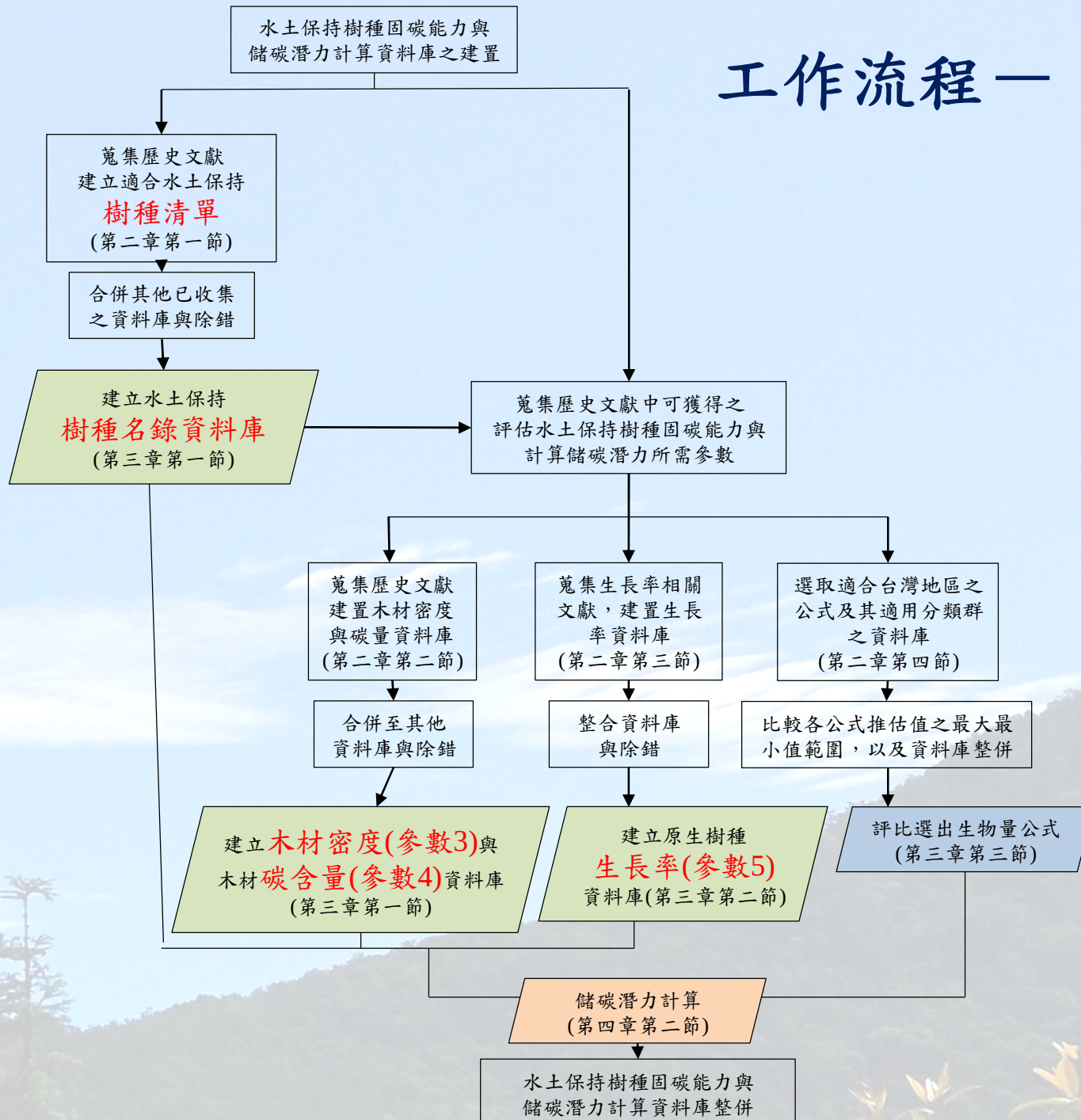
➤ 常用水土保持樹種之生物量推估參數資料庫與Excel工作表

- 1.建立常用水土保持樹種名錄資料庫
- 2.建立木材密度資料庫(參數3)
- 3.建立木材碳含量資料庫資料庫(參數4)
- 4.評比選出合適的生物量公式

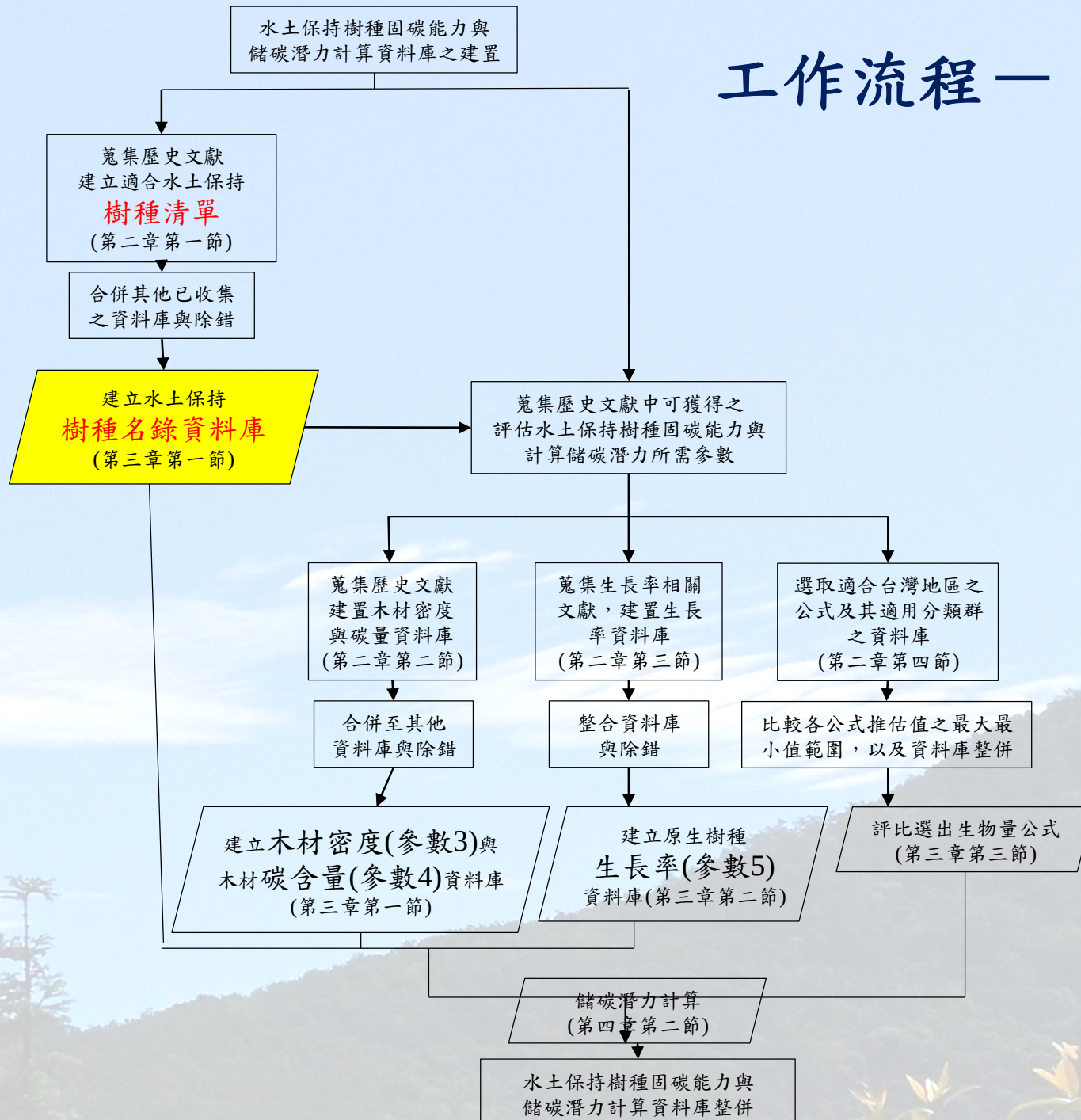
➤ 原生樹種的生長率資料庫與Excel工作表

- 5.建立生長率資料庫

工作流程一



工作流程一



研究方法一

建立水土保持樹種名錄資料庫

➤ 資料蒐集與建檔

➤ 水保植物相關文獻:水土保持樹種

(e.g., 林信輝, 2007; 林信輝 et al., 2008; 林信輝 and 歐辰雄, 2002a)

建立水土保持樹種名錄資料庫

國內歷年水土保持植物相關出版叢書與圖鑑 (共20冊) (例)

[illegible]

研究方法一

建立水土保持樹種名錄資料庫

➤ 資料蒐集與建檔

➤ 水保植物相關文獻:水土保持樹種

(e.g., 林信輝, 2007; 林信輝 et al., 2008; 林信輝 and 歐辰雄, 2002a)

➤ 台灣地區森林動態樣區:原生植物名冊

➤ 熱帶雨林

➤ 南仁山樣區I、南仁山樣區II (Chao et al., 2010a))

➤ 熱帶風衝矮林

➤ 欖仁樣區 (Chao et al., 2007b)

➤ 亞熱帶闊葉林

➤ 福山樣區和蓮華池樣區 (McEwan et al., 2011)

➤ 中海拔闊葉林

➤ 北東眼山樣區 (Song et al., 2010)

台灣中低海拔森林動態樣區

北東眼山森林動態樣區

1996年設立 3 ha
2000 m

殼斗科 (Fagaceae)
茶科 (Theaceae)
樟科 (Lauraceae)

蓮華池森林動態樣區

2007年設立 25 ha
667–845 m

殼斗科 (Fagaceae)
樟科 (Lauraceae)
茜草科 (Rubiaceae)

福山森林動態樣區

2004年設立完成 25 ha
600–733 m

殼斗科 (Fagaceae)
樟科 (Lauraceae)
山龍眼科 (Proteaceae)

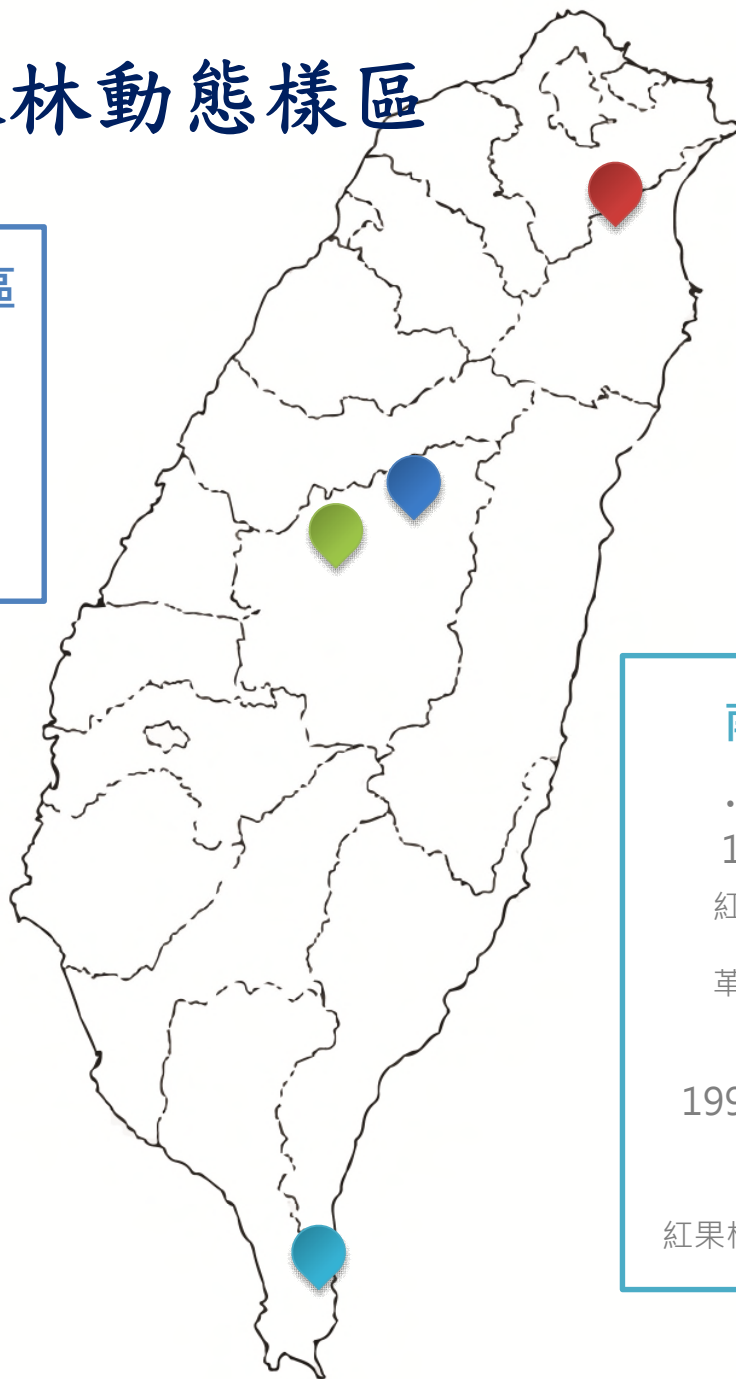
南仁山森林動態樣區

• 欖仁溪樣區 284–341 m
1999年設立完成 5.88 ha

紅花八角 (*Illicium arborescens*)
長尾栲 (*Castanopsis carlesii*)
革葉冬青 (*Ilex cochinchinensis*)

• 溪谷樣區 196–275 m
1999年設立完成 2.1+0.64 ha

茄苳 (*Bischofia javanica*)
白榕 (*Ficus benjamina*)
紅果柃木 (*Dysoxylum hongkongense*)



研究方法一

建立水土保持樹種名錄資料庫

➤ 學名與生活型

➤ 臺灣生物多樣性資訊機構資料庫為準

➤ Taiwan Biodiversity Information Facility, 2019

➤ 中央研究院生物多樣性研究中心

➤ 台灣植物誌第二版為輔

➤ Editorial Committee of the Flora of Taiwan, 1994–2003

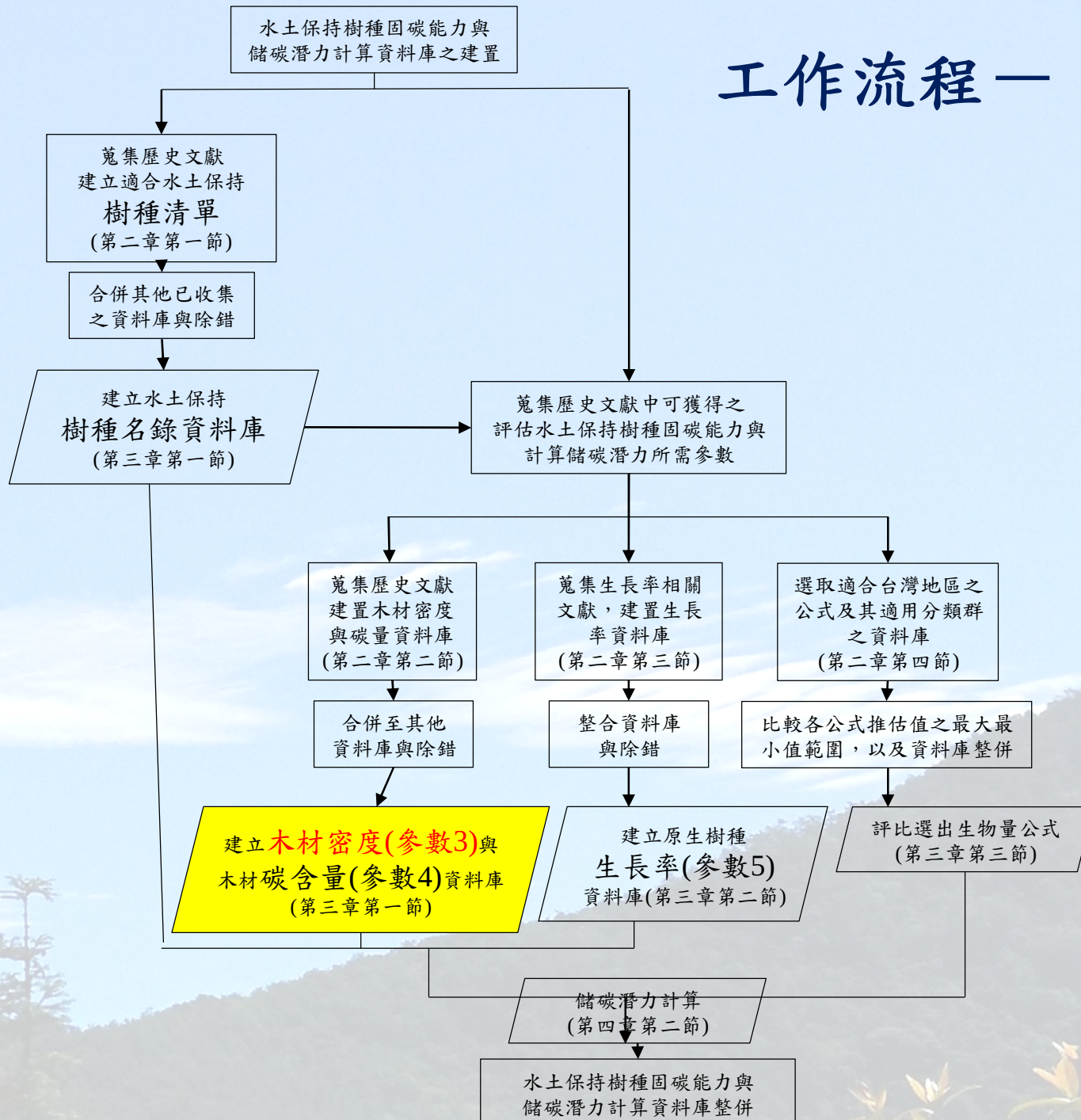
➤ 台灣植物誌編輯委員會

結果一

► 水土保持樹種名錄資料庫(共477筆)

1	學名_APGIV	中名_TaiBIF	生活型	種原	適應海拔	原始林	坡地	崩塌地	農村	濱水	海岸	紅樹林	適生環境
2	<i>Abies kawakamii</i>	台灣冷杉	喬木	特有種	高	1							原始林
3	<i>Acacia confusa</i>	相思樹	喬木	原生種	中、低		1	1	1	1	1		坡地、崩
4	<i>Acalypha suirensiensis</i>	花蓮鐵莧	喬木	特有種	低	1							原始林
5	<i>Acer buergerianum</i>	台灣三角楓	喬木	特有種	低				1	1	1		農村、濱
6	<i>Acer morrisonense</i>	台灣紅榨槭	喬木	特有種	中、高	1							原始林
7	<i>Acer serrulatum</i>	青楓	喬木	特有種	中、低	1	1	1	1				原始林、
8	<i>Adansonia digitata</i>	猴猴木	喬木	外來種	低				1				農村
9	<i>Adinandra formosana</i>	台灣楊桐	喬木	特有種	中、低	1		1					原始林、
10	<i>Aglaia elliptifolia</i>	大葉樹蘭	灌木	原生種	低	1							原始林
11	<i>Aglaia formosana</i>	紅柴	喬木	原生種	低	1	1		1		1		原始林、
12	<i>Aglaia odorata</i>	樹蘭	喬木	外來種	低				1				農村
13	<i>Alniphyllum pterospermum</i>	假赤楊	喬木	原生種	中、低	1							原始林
14	<i>Alnus formosana</i>	台灣赤楊	喬木	特有種	高、中、低	1	1	1	1	1			原始林、
15	<i>Alstonia scholaris</i>	黑板樹	喬木	外來種	低				1		1		農村、海
16	<i>Antidesma hiiranense</i>	南仁五月茶	喬木	特有種	低	1							原始林

工作流程一



研究方法一

建立木材密度資料庫

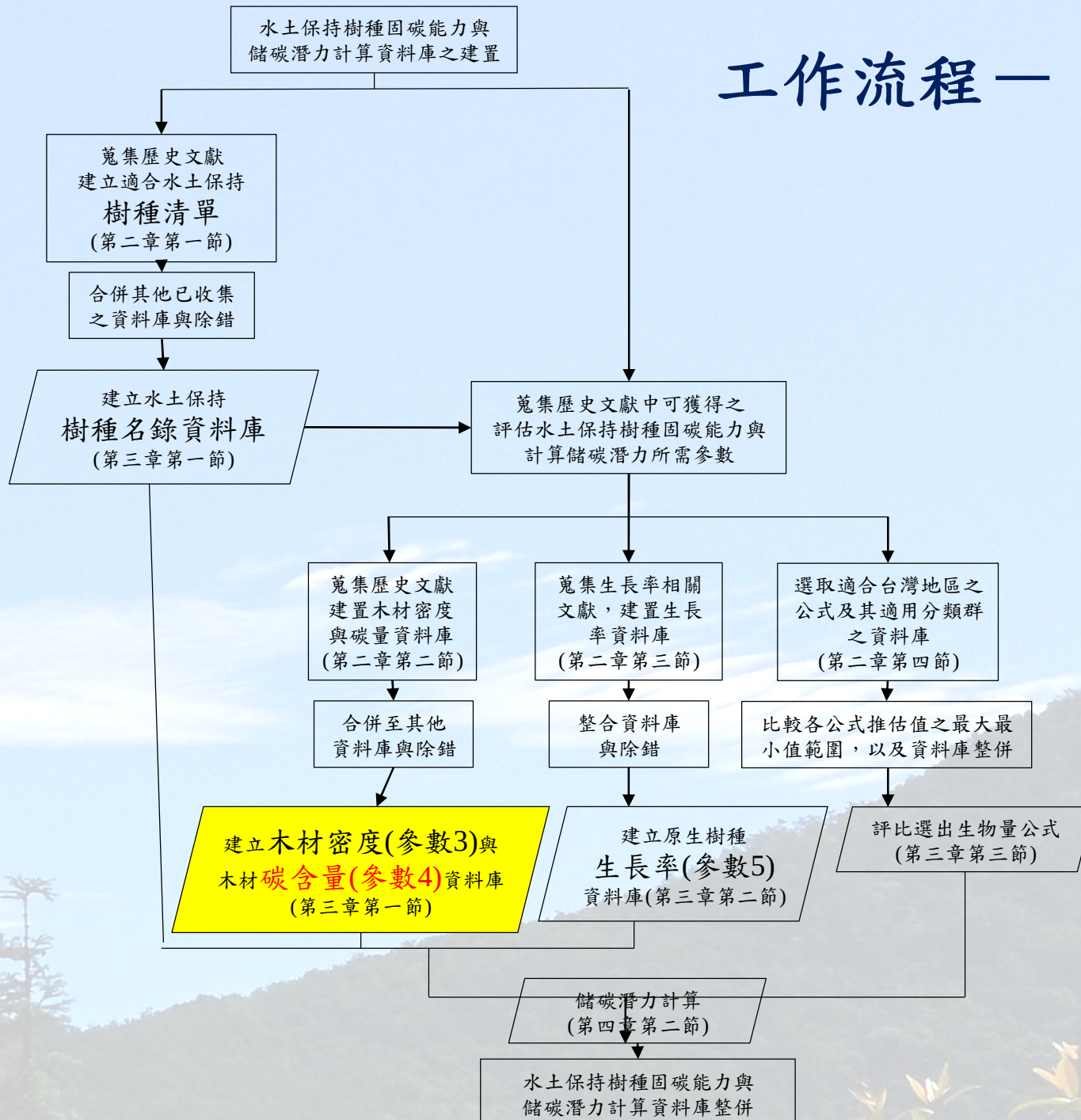
➤ 文獻蒐集

- 國內優先，國外為輔
- e.g., Harja et al., 2016; Lin et al., 2002; Zanne et al., 2009
- 全球木材密度資料庫
 - (Global Wood Density Database)
- 國內森林動態樣區資料庫

結果一 木材密度資料庫

- 國內文獻及森林動態樣區樹種
 - 138種
- 全球資料庫活樹的樹種密度資料
 - 119種
- 資料庫現況
 - 種階層密度，共257種 (53.9%)
 - 屬階層密度，共169種 (35.4%)
 - 科階層密度，共 41種(8.6%)
 - 缺值 (#N/A)，共 10種(2.1%)
- 種階層的密度平均值
 - $0.55 \pm 0.13 \text{ (g cm}^{-3}\text{)}$
 - 若必要時可以採用此平均值

工作流程一



研究方法一

建立木材碳含量資料庫

➤ 文獻蒐集

- e.g., Chao et al., 2017; Elias and Potvin, 2003; Lamtom and Savidge, 2003; Lin et al., 2002; Martin and Thomas, 2011
- 求出平均值與最小值

研究方法一 建立木材碳含量資料庫

➤ 蓮華池樹種碳含量測量(共65種)



(a) 木材樣本



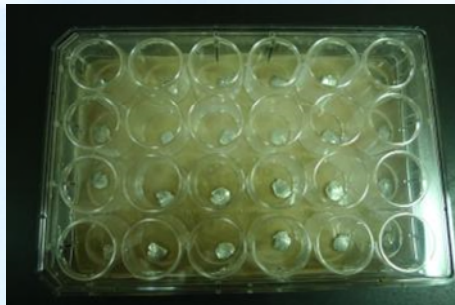
(b) 磨粉機



(c) 篩網過篩



(d) 樣本瓶



(e) 元素分析儀樣本



(f) 元素分析儀。

研究方法一

建立木材碳含量資料庫

➤ 文獻蒐集

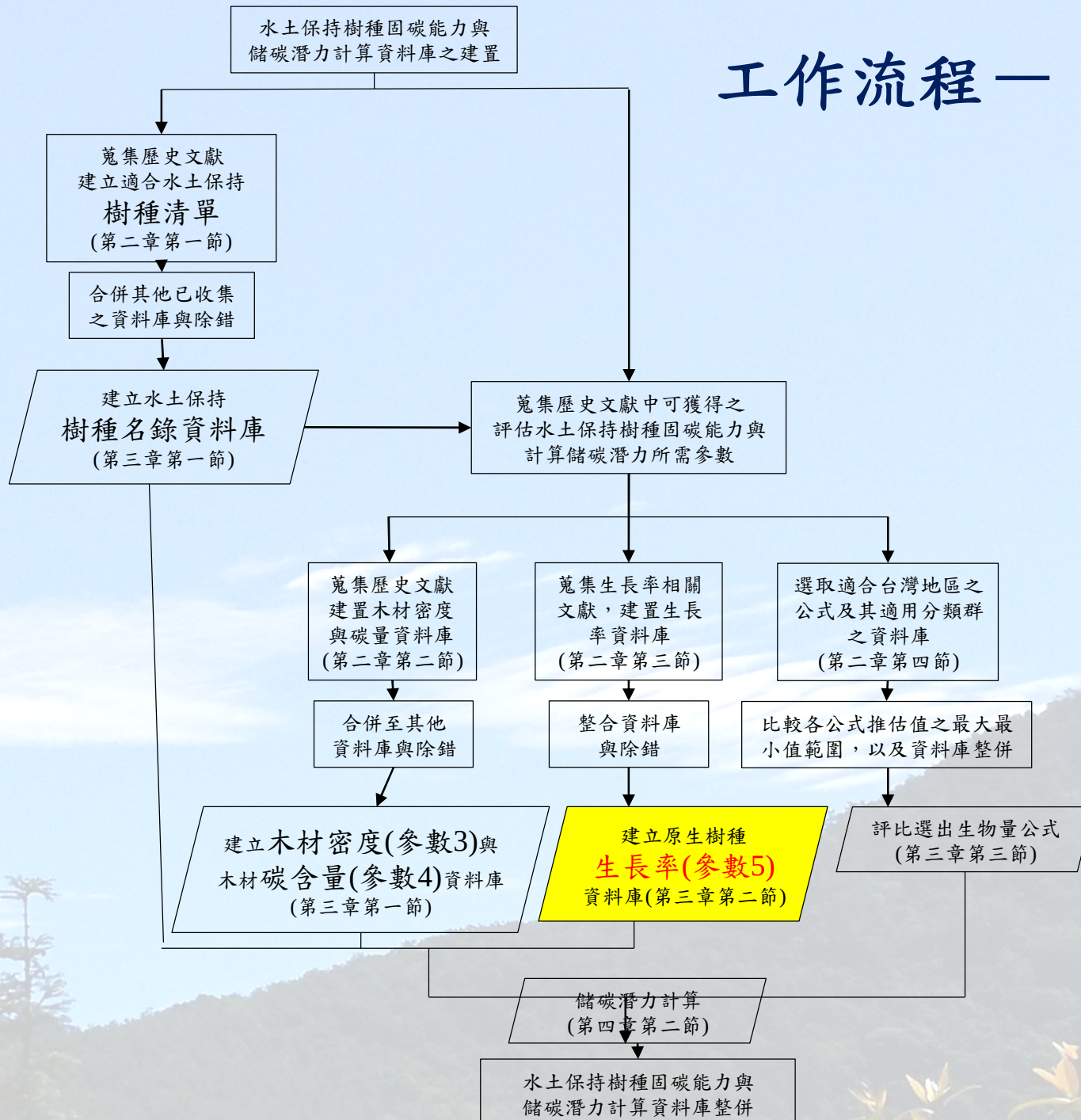
➤ e.g., Chao et al., 2017; Elias and Potvin, 2003; Lamtom and Savidge, 2003; Lin et al., 2002; Martin and Thomas, 2011

➤ 求出平均值

結果一 碳含量資料庫

- 本計畫實際測量樣本
 - 66種
 - 共198棵植株
- 文獻資料
 - 31種物種
- 資料庫現況
 - 種階層碳含量，共計 97種(20.3%)
 - 屬階層碳含量，共計168種(35.2%)
 - 科階層碳含量，共計150種(31.4%)
 - 缺值 (#N/A)，共計62種(13.0%)
- 資料庫內種階層平均值
 - $46.0 \pm 1.8 \% (g\ g^{-1})$
 - 碳含量闕如之種類，若必要時可以採用此平均值

工作流程一



研究方法一

建立生長率資料庫

- 目前台灣地區森林動態樣區每木調查資料
 - 所有胸高直徑大於1 cm 的個體
 - 測量直徑 Measuring diameter (DBH)
 - 鑑定物種 Identifying species
 - 標上標牌 Tagging



研究方法一

建立生長率資料庫

- 目前台灣地區森林動態樣區的每木調查資料
 - 建立原生樹種的生長率資料庫 (e.g., Chao et al., 2010a; Song et al., 2010)
- 相對直徑生長率
 - (relative diameter annual growth rate)
 - 指存活個體之相對直徑年增長率
 - $= (\ln \text{時間點} t \text{之直徑} - \ln \text{時間點} 0 \text{之直徑}) / t$

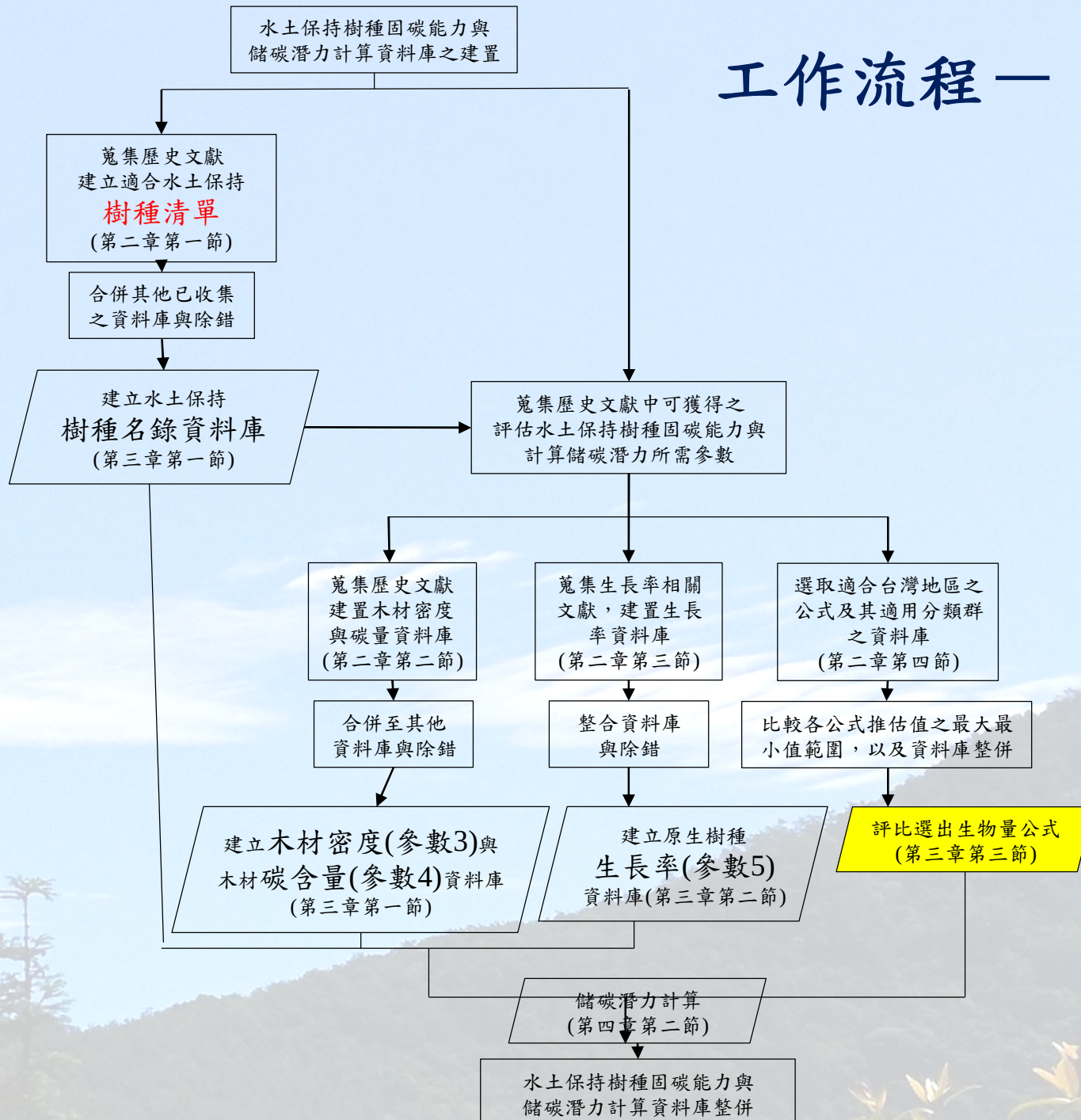
結果—生長率資料庫

➤ 台灣原生樹種天然林內

➤ 相對生長率

	A	B	C	D	E
1	科名_APGIV	屬名_APGIV	學名_APGIV	中名_TaiBIF	相對直徑生長率
2	Euphorbiaceae	Acalypha	<i>Acalypha suirenbiensis</i>	花蓮鐵莧	0.017
3	Sapindaceae	Acer	<i>Acer serrulatum</i>	青楓	0.007
4	Pentaphylacaceae	Adinandra	<i>Adinandra formosana</i>	台灣楊桐	0.014
5	Meliaceae	Aglaia	<i>Aglaia elliptifolia</i>	大葉樹蘭	0.013
6	Styracaceae	Alniphyllum	<i>Alniphyllum pterospermum</i>	假赤楊	0.010
7	Phyllanthaceae	Antidesma	<i>Antidesma hiiranense</i>	南仁五月茶	0.015
8	Phyllanthaceae	Antidesma	<i>Antidesma japonicum</i> var. <i>densiflorum</i> Hu	密花五月茶	0.020
9	Araliaceae	Aralia	<i>Aralia decaisneana</i>	鵲不踏	0.028
10	Fabaceae	Archidendron	<i>Archidendron lucidum</i>	領垂豆	0.036
11	Primulaceae	Ardisia	<i>Ardisia cornudentata</i> subsp. <i>Morrisonensis</i>	玉山紫金牛	0.004
12	Primulaceae	Ardisia	<i>Ardisia crenata</i>	鐵雨傘	0.010
13	Primulaceae	Ardisia	<i>Ardisia quinqueгона</i>	小葉樹杞	0.011
14	Primulaceae	Ardisia	<i>Ardisia sieboldii</i>	樹杞	0.016

工作流程一



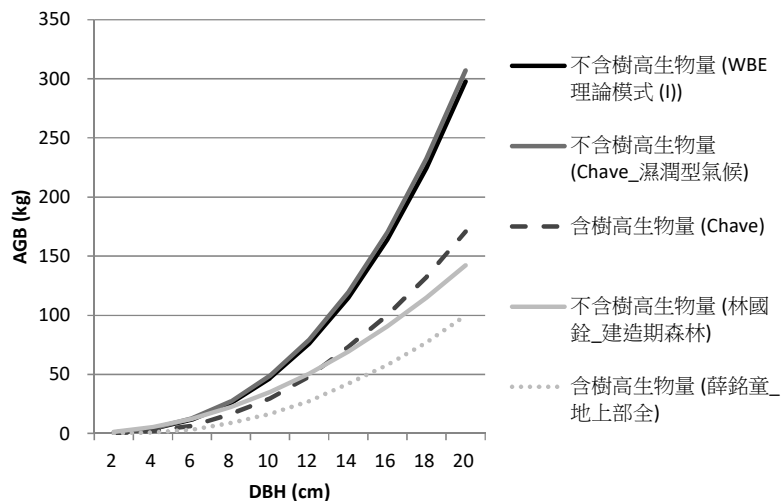
研究方法一

評選生物量公式

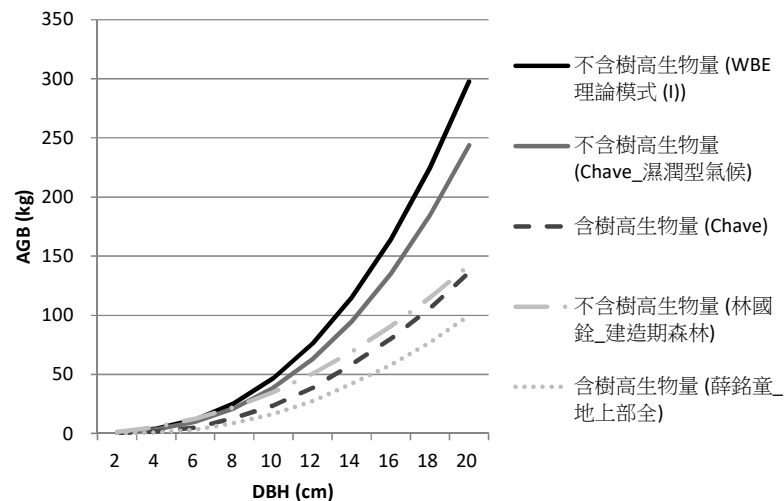
- 國內地上部生物量推估公式
 - e.g., 孫正華 et al., 2011; 孫銘童 and 許博行, 2003; 林國銓 et al., 2001; 洪富文 et al., 1986
- 國際常用的熱帶地區的生物量公式
 - 根據跨樣區比較而求出的公式
(e.g., Chave et al., 2014)
 - $AGB = 0.0673 \times (\rho DBH^2 H)^{0.976}$
 - AGB：地上部生物量 (kg)
 - DBH：胸高直徑 (cm)
 - ρ ：木材密度 (g/cm³)
 - H：樹高 (m)
- 比較
 - 國內與國內公式所估算生物量之差異

結果一 生物量公式評比

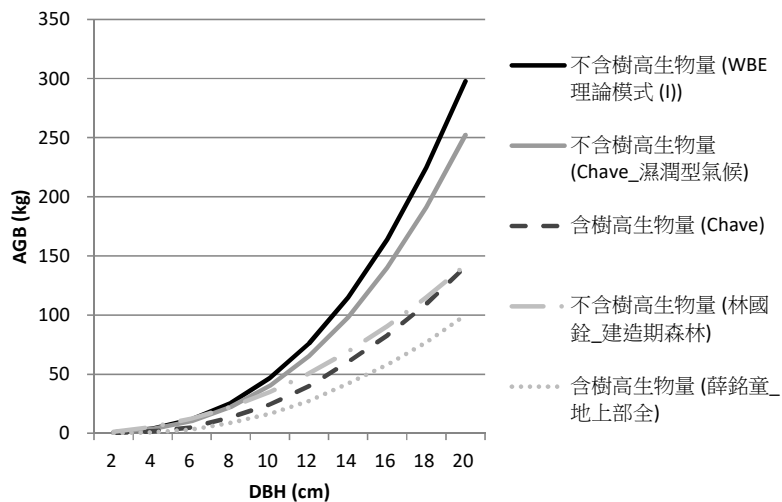
相思樹



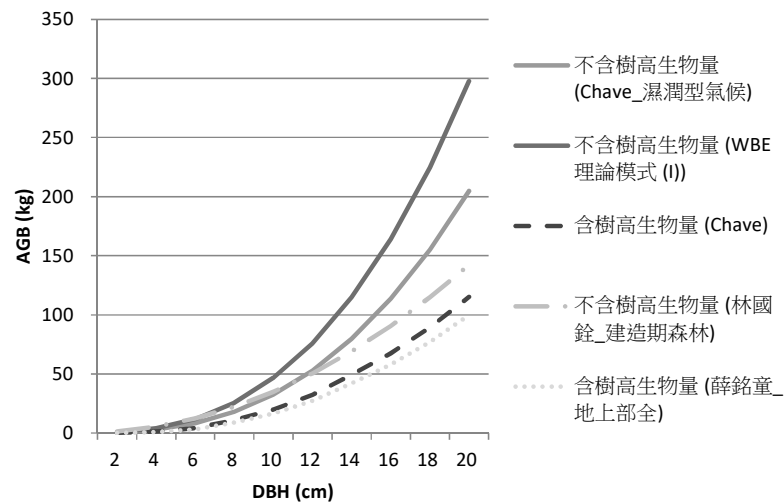
茄苳



九芎



楓香



結果一

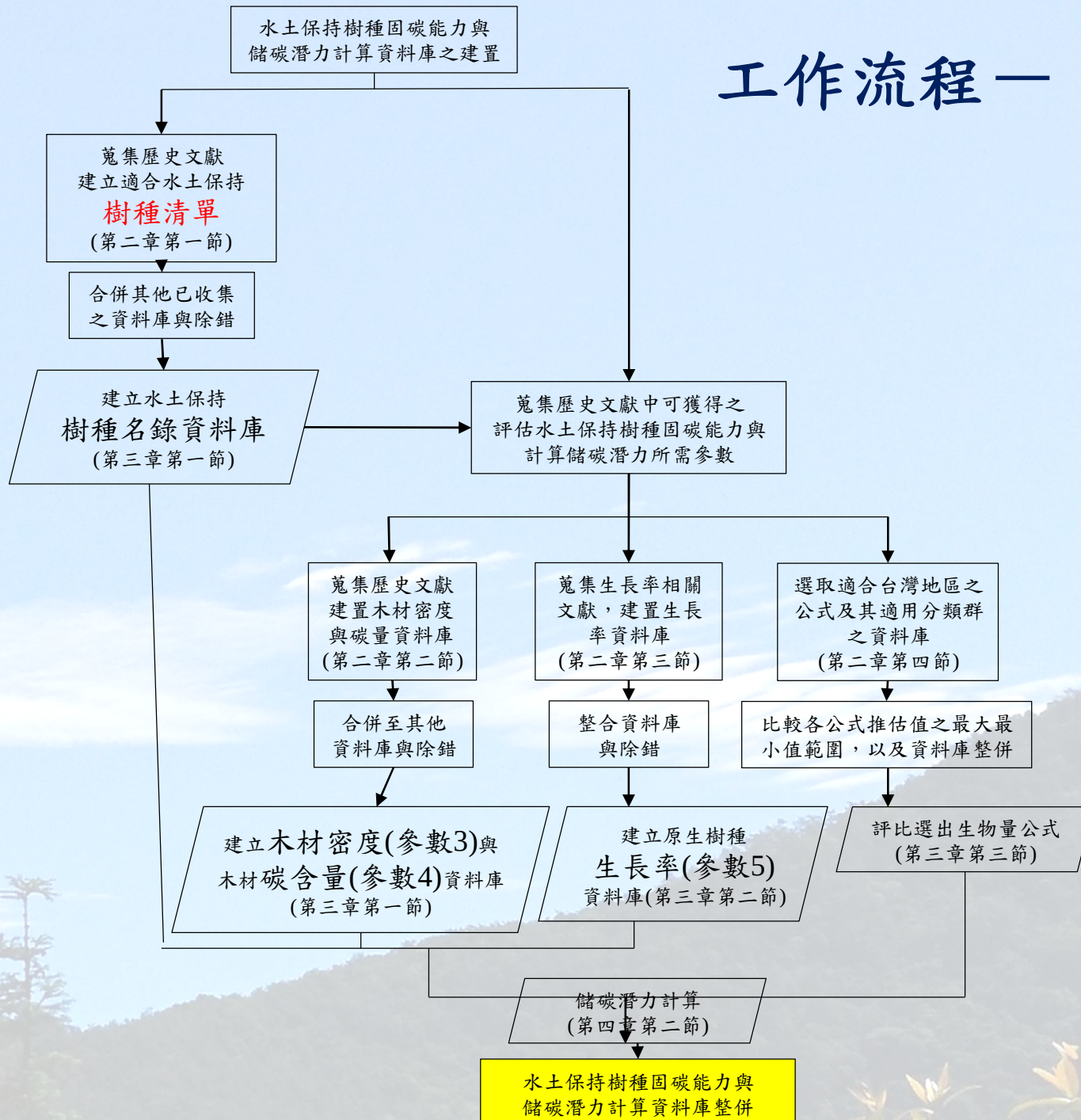
碳儲量計算

- 物種碳儲量之計算根據Chave *et al.* (2014)之公式與IPCC (2006)修正為

- $C = AGB \times BEF \times (1+R) \times CF$
 $= 0.0673 \times (\rho DBH^2 H)^{0.976} \times BEF \times (1+R) \times CF$ eqn 14

- C：單株儲碳量(kg)
- AGB：地上部生物量 (kg)
- BEF：生物量擴展係數 (主幹擴展為地上部;本研究採計1)
- R：根莖比 (本研究採計0.24)
- CF：碳含量(%)
- DBH：胸高直徑 (cm)
- H：樹高 (m)
- ρ ：木材密度 (g/cm³)

工作流程一



應用一

水土保持植物清單

- 可依照海拔、生育環境
- 選取適生之水土保持植物

A	B	C	D	E	F	G
項次	請選擇海拔範圍	請選擇生育環境	請選擇樹種	科名	學名	種原
1	中	中海拔_坡地	相思樹	Fabaceae	Acacia confusa	原生種
2	中	中海拔_坡地	茄苳	Phyllanthaceae	Bischofia javanica	原生種
3	中	中海拔_坡地	樟樹	Lauraceae	Cinnamomum camphora	原生種
4	中	中海拔_坡地	九芎	Lythraceae	Lagerstroemia subcordata	原生種
5	中	中海拔_坡地	楓香	Altingiaceae	Liquidambar formosensis	原生種
6	中	中海拔_坡地	烏皮九芎	Styracaceae	Styrax formosanus var. sinensis	原生種
7	中	中海拔_坡地	大葉楠	Lauraceae	Machilus japonica var. formosensis	原生種
8	中	中海拔_坡地	白臼	Euphorbiaceae	Sapium discolor	原生種
9	中	中海拔_坡地	台灣二葉松	Pinaceae	Pinus taiwanensis	特有種

應用一

森林儲碳潛力計算:生物量

- 可依照海拔、生育環境
- 選取適生之水土保持植物
- 試算儲碳量(直徑請設定 ≥ 5 cm)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
項次	請選擇海拔範圍	請選擇生育環境	請選擇樹種	科名	學名	種原	密度	碳含量	請輸入DBH	請輸入樹高	生物量	儲碳量
1	中	中海拔_坡地	相思樹	Fabaceae	Acacia confusa	原生種	0.48	47.17	10.00	7.00	19.52	11.42
2	中	中海拔_坡地	茄苳	Phyllanthaceae	Bischofia javanica	原生種	0.58	46.78	8.00	6.00	13.20	7.65
3	中	中海拔_坡地	樟樹	Lauraceae	Cinnamomum camphora	原生種	0.44	47.00	12.00	10.00	36.35	21.19
4	中	中海拔_坡地	九芎	Lythraceae	Lagerstroemia subcordata	原生種	0.67	45.04	10.00	9.00	34.88	19.48
5	中	中海拔_坡地	楓香	Altingiaceae	Liquidambar formosensis	原生種	0.83	48.80			0.00	0.00
6	中	中海拔_坡地	烏皮九芎	Styracaceae	Styrax formosanus var. sinensis	原生種	0.51	44.98			0.00	0.00
7	中	中海拔_坡地	大葉楠	Lauraceae	Machilus japonica var. formosensis	原生種	0.50	44.82			0.00	0.00
8	中	中海拔_坡地	白栂	Euphorbiaceae	Sapium discolor	原生種	0.48	47.85			0.00	0.00
9	中	中海拔_坡地	台灣二葉松	Pinaceae	Pinus taiwanensis	特有種	0.70	49.23			0.00	0.00

應用一

森林儲碳潛力計算：生長率

➤ 原始林內物種之生長率與目標直徑所需年之推估

➤ (資料為根據光度較暗的原始林內之生長，故為下限值)

學名	中名	相對直徑 生長率	起始 直徑	目標 直徑	所需 時間t(年)
<i>Schima superba</i>	木荷	0.142	2.00	10	11.4
<i>Trema orientalis</i>	山黃麻	0.105	2.00	10	15.4
<i>Mallotus paniculatus</i>	白匏子	0.097	2.00	10	16.7
<i>Macaranga tanarius</i>	血桐	0.084	2.00	10	19.1
<i>Melanolepis multiglandulosa</i>	蟲屎	0.038	2.00	10	42.7
<i>Mallotus japonicus</i>	野桐	0.034	2.00	10	47.4
<i>Prunus phaeosticta</i> var. <i>phaeosticta</i>	墨點櫻桃	0.031	2.00	10	51.9
<i>Celtis formosana</i>	石朴	0.029	2.00	10	56.0
<i>Litsea acuminata</i>	長葉木薑子	0.024	2.00	10	68.3
<i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>carlesii</i>	長尾尖葉櫟	0.023	2.00	10	69.8

$$t = (\ln(\text{目標直徑}) - \ln(\text{起始直徑})) / \text{相對直徑年生長率}$$

應用一 與遙測技術結合

- 空中遙測技術研究
 - UAV
 - 航空照片
 - 衛星影像等
- 地面實際調查
 - 水土保持植物辨識
 - 水土保持植物樣區
 - 地形
- 固碳能力資料庫(本研究)
 - 密度
 - 碳含量
 - 相對生長率



資料庫應用限制

- 木材密度
 - 477種中，有10%物種使用科階層或為缺值
 - 平均值 0.55 ± 0.13 (g cm⁻³)，但建議應再擴充資料庫
- 木材碳含量
 - 477種中，雖有54%物種使用科階層或為缺值
 - 但因為變異度小，可以直接使用平均值 46.0 ± 1.8 % (g g⁻¹)
- 生長率
 - 使用鬱閉林內的生長調查值，對於崩塌地的生長可能低估
 - 沒有加入直徑生長的上限值，對於大於10年以上的推估，可能過於高估，建議加入上限值
 - 只能推估 ≥ 5 cm 以上的植株，對於 < 5 cm 以下的植株，建議建立適合小徑級之公式

誌謝

- 感謝東海大學江智民老師、國立中山大學張楊家豪老師、國立中興大學宋國彰老師、國立嘉義大學趙偉村老師與林業試驗所張勵婉研究員提供森林動態樣區研究資料
- 感謝行政院農業委員會水土保持局經費支持

敬請指教！



Jul 2008 南仁山



南仁山森林動態樣區

· 溪谷樣區 196–275 m
1999年設立完成 2.1+0.64 ha

茄苳 (*Bischofia javanica*)

白榕 (*Ficus benjamina*)

紅果欖木 (*Dysoxylum hongkongense*)



南仁山森林動態樣區

• 欖仁溪樣區 284–341 m
1999年設立完成 5.88 ha

紅花八角 (*Illicium arborescens*)
長尾栲 (*Castanopsis carlesii*)
革葉冬青 (*Ilex cochinchinensis*)

Feb 2013 南仁山



福山森林動態樣區

2004年設立完成 25 ha

600–733 m

殼斗科 (Fagaceae)

樟科 (Lauraceae)

山龍眼科 (Proteaceae)



Feb 2012 蓮華池



蓮華池森林動態樣區

2007年設立 25 ha
667–845 m

殼斗科 (Fagaceae)
樟科 (Lauraceae)
茜草科 (Rubiaceae)



Oct 2007 北東眼山



北東眼山森林動態樣區

1996年設立 3 ha
2000 m

殼斗科 (Fagaceae)
茶科 (Theaceae)
樟科 (Lauraceae)