

臺灣紅樹林碳匯
測量標準作業程序

2025年11月

海洋委員會

1. 前言

本方法為紅樹林碳匯納入臺灣國家溫室氣體排放清冊之評估方法，因此統一使用噸二氧化碳當量(tCO₂e)為單位。本書以碳儲量變化正值表示從大氣或其他碳庫移除溫室氣體(即儲存溫室氣體在自身碳庫內)，溫室氣體排放量正值表示排出溫室氣體到大氣或其他碳庫。本方法主要參考：

1. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 以下簡稱 2006 IPCC NIR 指南
2. 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. 以下簡稱 2013 IPCC NIR 濕地補充指南
3. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 以下簡稱 2019 IPCC NIR 指南精進內容
4. Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses. 以下簡稱 IUCN 濱海藍碳
5. 內政部營建署城鄉發展分署「106-107 年度重要濕地碳匯調查計畫」案成果報告書-附錄：濕地碳匯功能調查標準作業程序。以下簡稱內政部營建署濕地碳匯標準作業

國家特定係數參考文獻：

1. Chou, M.-Q., Lin, W.-J., Lin, C.-W., Wu, H.-H., & Lin, H.-J. (2022) Allometric equations may underestimate the contribution of fine roots to mangrove carbon sequestration. *Science of The Total Environment*, 833, 155032.
2. Li, S.-B., Chen, P.-H., Huang, J.-S., Hsueh, M.-L., Hsieh, L.-Y., Lee, C.-L., & Lin, H.-J. (2018) Factors regulating carbon sinks in mangrove ecosystems. *Global change biology*, 24(9), 4195-4210.
3. Lin, H.-J., Chen, K.-Y., Kao, Y.-C., Lin, W.-J., Lin, C.-W., Ho, C.-W. (2023) Assessing coastal blue carbon sinks in Taiwan. *Marine Research*, 3:1-17.
4. Lin, W.-J., Lin, C.-W., Wu, H.-H., Kao, Y.-C., & Lin, H.-J. (2023) Mangrove carbon budgets suggest the estimation of net production and carbon burial by quantifying litterfall. *CATENA*, 232, 107421.
5. 李世博 (2015)。臺南七股紅樹林碳收支模式。國立中興大學生命科學系學位論文。
6. 吳欣恂(2021)。水筆仔與海茄苳碳收支模式。國立中興大學生命科學系學位論文。
7. 林幸助、陳渭中 (2019)。106-107 年度重要濕地碳匯調查計畫案成果報告書-附錄：濕地碳匯功能調查標準作業程序。內政部營建署城鄉發展分署。
8. 林幸助 (2022)。臺灣沿海重要碳匯生態系統調查與評估計畫成果報告。海洋委員會海洋保育署。
9. 陳柏宏 (2014)。淡水河紅樹林及草澤植物的碳儲存量與碳收支。國立中興大學生命科學系學位論文，2014)。
10. 黃日聖 (2016)。紅樹林疏伐對碳吸存的影響。國立中興大學生命科學系學位論文。
11. 賴榮一 (2021)。氣候變遷下人工濕地植物發揮「調適」功能之研究-以高雄中都濕地公園紅樹林碳吸存功能為例。科技部。

2. 術語定義

2.1. 二氧化碳當量 (carbon dioxide equivalent, CO₂e)

各類溫室氣體相對於二氧化碳之輻射衝擊單位，係使用特定溫室氣體之重量乘以其溫暖化潛勢計算而得。需依照最新的中華民國國家溫室氣體排放清冊報告引用溫暖化潛勢。目前參考2022中華民國國家溫室氣體排放清冊報告，引用IPCC (2007) Climate Change, the Fourth Assessment Report 各溫室氣體之溫暖化潛勢，二氧化碳 (CO₂) 為1、甲烷 (CH₄) 為25、氧化亞氮 (N₂O) 為298。其中，單位重量有機碳轉換成二氧化碳當量，需乘上轉換係數44/12；單位重量氧化亞氮的氮含量轉換成氧化亞氮含量，需乘上轉換係數1.57。

2.2. 碳庫 (carbon pool)

儲存在土壤、植被、水體和大氣等儲碳載體中可以吸收和排放的碳，系統中所有碳庫總和成為碳儲量。

2.3. 碳儲量 (carbon stock)

指生態系統中儲存的碳總量，紅樹林土壤則指每公頃特定深度 (通常是1m深) 的碳含量。碳儲量可包含一個或者多個碳庫的碳總量。本方法統一以二氧化碳溫暖化潛勢作轉換，單位為 t CO₂e/ha。

2.4. 活動數據 (activity data)

根據地理資料顯示的某一地區的土地覆蓋和利用類型之變化。

2.5. 排放係數 (emission factors)

描述特定區域之有機碳含量變化。有機碳含量的變化由土地利用方式改變 (如從紅樹林變成魚塭) 或土地利用類型的內部變化 (如營養污染) 所導致。本書以碳儲量變化正值表示從大氣或其他碳庫移除溫室氣體 (即儲存溫室氣體在自身碳庫內)，溫室氣體排放量正值表示排出溫室氣體到大氣或其他碳庫。

2.6. 紅樹林 (mangroves)

由天然生長於濱海環境和海灣邊緣，平均海平面以上潮間帶潮汐棲地的樹木、灌木、棕櫚或地被蕨類植物組成之森林，高度一般超過1.5 m。臺灣紅樹林種類為海茄苳 (*Avicennia marina*)、水筆仔 (*Kandelia obovata*)、欖李 (*Lumnitzera racemosa*) 及五梨跤 (*Rhizophora stylosa*)，臺灣北部以水筆仔為優勢，南部則以海茄苳為優勢，欖李及五梨跤則分布於嘉義以南沿海地區。從自然棲地消失的細蕊紅樹 (*Ceriops tagal*) 與紅茄苳 (*Bruguiera gymnorhiza*) 曾分布於高雄沿海地區。

2.7. 地上部生物量 (aboveground biomass)

地表以上所有活體植物 (如葉、枝條等) 的質量，本方法皆指生物乾重。

2.8. 地下部生物量 (belowground biomass)

地表以下所有活體植物 (如粗根、細根等) 的質量，本方法皆指生物乾重。

2.9. 異速生長方程式 (allometric equation)

建立易於測定的生物特徵參數 (如樹高、胸徑和基徑) 和難以測定的生物特

徵參數之間的數量關係，常用於估算林木生物量。

2.10. 有機碳含量百分比 (carbon fraction)

單位質量中有機碳含量。

2.11. 自源性碳 (autochthonous carbon)

在紅樹林生態系統中，由植物吸收固定海洋和大氣中的碳並轉移到植物組織中，之後在紅樹林周遭土壤中堆積或分解。

2.12. 外源性碳 (allochthonous carbon)

源自於紅樹林以外的有機碳。

2.13. 土壤碳埋藏 (carbon burial)

短期內不被分解的有機碳，可長期儲存於土壤中而形成碳匯。

2.14. 地表高程監測系統 (surface elevation table, SET)

用於量測地表高程變化的便攜式手動操作裝置，在95%的信賴區間內的分辨率為 ± 1.5 mm。整組系統由插入式支撐台、連接器、水平手臂和測量針共4部分組成。

2.15. 地表高程變化 (surface elevation change, SEC)

紅樹林土壤表面相對於同一地點地底下基準點高度的變化量。

2.16. 碳庫差分法 (stock-difference method)

測定兩個不同時間點的有機碳儲量之變化量，可得到層級3的估測值。

2.17. 增減法 (gain and loss method)

通過間接測量碳匯系統各階段的增加與減少 (如枯落物量分解後埋藏於土壤之百分比)，估算生態系碳匯變化量。通常藉由彙整科學文獻或國家特定數據各項排放係數，加總計算後可取得層級1至層級3的估計值。

2.18. 通量法 (flux method)

通過直接測量或建模，估算土壤與植被、大氣與水體之間的溫室氣體排放或移除流通量，可得到層級2和層級3估計值。

2.19. 分區 (habitat zoning)

將存在異質性的調查區劃分成性質均一的小區。

2.20. 測站 (monitoring station)

根據目標用於量測相關指標而設置的樣方或樣地。

2.21. 枯落物 (litterfall)

指從紅樹林落下的葉、枝、莖、樹皮、花果等。

3. 臺灣紅樹林碳匯估算流程

臺灣紅樹林碳匯估算流程依照紅樹林活動數據劃定面積，以各類活動數據

紅樹林之相對應有機碳儲量或排放係數做計算。本方法主旨在測量並建立本土紅樹林在各類活動係數下的有機碳儲量或排放係數。

按照2006 IPCC NIR 指南、2013 IPCC NIR 濕地補充指南及內政部營建署濕地碳匯標準作業程序的預設假設，土地屬於一個給定土地利用20年後，將會從轉換類別變成保持類別。例如，一塊土地重新濕潤種植紅樹林後，土地利用類型就屬於「再濕潤、植被恢復和創建」。經過20年後，該土地仍維持紅樹林，土地利用類型才會轉換為「紅樹林的森林管理實踐」。土地利用類型即為活動數據，紅樹林各項活動數據之具體管理活動如下：

1. 紅樹林的森林管理實踐—種植、疏伐、皆伐、收成、木材清除、薪柴清除、木炭生產
2. 抽沙—(1)挖掘以建設港口、海港和碼頭，包含填充或疏浚以提高土地高程(2)水產養殖(3)曬鹽生產
3. 排水—水產養殖、林業、滅蚊
4. 再濕潤、植被恢復和創建—透過恢復水文和重建植被，從排水性土壤轉換為飽和性土壤

紅樹林碳匯估算之精度，同樣參考2006 IPCC NIR 指南、2013 IPCC NIR 濕地補充指南及內政部營建署濕地碳匯作業的三種估算層級 (Achard et al. 2009)，估算由精確度低至高分別如表1：

表1、碳庫估算之精確層級說明

層級	必備的資料	說明
1	使用 IPCC 估計的排放係數	層級 1 的評估在準確度和可靠性最低，使用簡易的假設和 IPCC 所發布的活動數據和排放係數之估計值。誤差範圍可能很大，其誤差範圍地上部碳庫為 $\pm 50\%$ ，而土壤碳庫則為 $\pm 90\%$ 。
2	國家特定資料的關鍵係數	層級 2 的評估使用國家或特定地點的資料，因此具有更高的準確性和解析度。一個國家應該有該國不同生態系類型的平均碳儲量資料。
3	主要碳庫的詳細調查、定期測量或模型計算	層級 3 的評估需要詳細的資料，收集各生態系統或土地利用區域中和碳儲量相關的完整資料，並隨時間重複測量關鍵碳儲量，以估算碳的變化或碳通量。碳通量的估算可以透過野外直接的現地測量或建置模型來推算之。

本土紅樹林的有機碳儲量或排放係數的測量方法，可混用上述三種準確度層級之估算。以 IUCN 濱海藍碳之標準採樣作業程序，紅樹林碳匯計算方法可分為3種：

1. 碳庫差分法：測定兩個不同時間點的有機碳儲量，碳庫變化量為溫室氣體排放等碳釋放後之結果，以取得該碳層級 3 的估計值。
2. 增減法：通過間接測量碳匯系統各階段的增加及減少(如枯落物量分解後埋藏於土壤之百分比)，估算生態系碳匯變化。通常藉由彙整科學文獻或國家特定數據各項排放係數，加總計算後取得層級 1 至層級 3 的估計值。

3. 通量法：透過直接測量或建立模型，估算土壤與植被、大氣與水體之間的溫室氣體排放或移除量，以取得層級2和層級3估計值。

4. 紅樹林碳匯計算

紅樹林碳匯由紅樹林有機碳儲量年變化量決定，意即涉及植物體光合作用淨生產，和植物體死有機質在土壤中被微生物分解等作用的二氧化碳通量結果。為符合碳匯計算的保守性原則，在特殊情況需考量非二氧化碳溫室氣體排放所抵銷的紅樹林碳匯，如低鹽度(< 18 psu)環境下的甲烷(CH₄)排放及高營養(中度優養化)環境下的氧化亞氮(N₂O)排放。紅樹林溫室氣體排放量計算如公式(1)，碳儲量變化量為正值表示從大氣或其他碳庫移除溫室氣體(即儲存溫室氣體在自身碳庫內)，溫室氣體排放量正值表示排出溫室氣體到大氣或其他碳庫。

$$CS_{Mangrove} = \Delta C_{Mangrove} - CH_4 - Mangrove - N_2O_{Mangrove} \quad \text{-----} \quad (1)$$

- $CS_{Mangrove}$ —紅樹林碳匯年變化量，單位為 t CO₂e/yr；
- $\Delta C_{Mangrove}$ —紅樹林碳儲量年變化量，單位為 t CO₂e/yr；
- $CH_4 - Mangrove$ —紅樹林甲烷(CH₄)年排放量，單位為 t CO₂e/yr；
- $N_2O_{Mangrove}$ —紅樹林氧化亞氮(N₂O)年排放量，單位為 t CO₂e/yr。

4.1. 有機碳儲量年變化量

紅樹林有機碳儲量變化量利用碳庫差分法，較能涵蓋各碳庫晝夜、季節變化之長期綜合結果，例如植物體的光合作用及呼吸作用、死有機質及土壤碳庫在不同氣溫下的分解等，如公式(2)。

$$\Delta C_{Mangrove} = \Delta C_B + \Delta C_{DOM} + \Delta C_{Soils} \quad \text{-----} \quad (2)$$

- $\Delta C_{Mangrove}$ —紅樹林有機碳儲量年變化量，單位為 t CO₂e/yr；
- ΔC_B —紅樹林生物量碳儲量年變化量，單位為 t CO₂e/yr；
- ΔC_{DOM} —紅樹林死有機質碳儲量年變化量，單位為 t CO₂e/yr；
- ΔC_{Soils} —紅樹林土壤碳儲量年變化量，單位為 t CO₂e/yr。

4.2. 生物碳儲量年變化量

紅樹林生物碳儲量變化量計算如公式(3)、(4)、(5)，公式(4)屬於層級1，估計值如表2、表3、表4；公式(5)可用於層級2、3之估算，層級2估計值如表5、表6。層級3之完整量測方式，如5.2.及5.3.小節。

$$\Delta C_B = \sum_{ij} (A_{ij} \times G_{Total_{ij}}) \times 44/12 \quad \text{-----} \quad (3)$$

- ΔC_B —紅樹林生物碳儲量年變化量，單位為 t CO₂e/yr；
- A —紅樹林面積，單位為公頃(ha)；
- G_{Total} —單位面積紅樹林碳儲量年增加量，單位為 t C/ha·yr；
- $44/12$ —有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數；
- i —紅樹林活動數據(即土地利用類型面積)，或碳層；
- j —紅樹林樹種。

層級1

$$G_{Total} = G_{AB} \times (1 + R) \times CF \quad \text{-----} \quad (4)$$

- G_{Total} —單位面積紅樹林碳儲量年增加量，單位為 t C/ha·yr；
- G_{AB} —紅樹林地上部平均年生長量(乾重)，單位為 t d.m./ha·yr；

- R —紅樹林根莖比，即地下部與地上部比例；
- CF —紅樹林有機碳含量百分比(%)。

表2、紅樹林地上部生長速率層級1估計值

氣候區	區域	地上部生長速率 (t d.m./ha·yr)	95% CI	參考文獻
熱帶	熱帶濕潤	9.9	9.4, 10.4	Ajonina 2008; Kairo et al. 2008; Alongi 2010
	熱帶乾燥	3.3	3.1, 3.5	
亞熱帶		18.1	17.1, 19.1	

表3、紅樹林地下部生物量與地上部生物量比值(R)層級1估計值

氣候區	區域	R	95% CI	參考文獻
熱帶	熱帶濕潤	0.49	0.47, 0.51	Golley et al. 1975; Tamai et al. 1986; Komiyama et al. 1987, 1988; Gong and Ong 1990; Lin et al. 1990; Pongparn 2003
	熱帶乾燥	0.29	0.28, 0.30	Golley et al. 1962; Alongi et al. 2003; Hoque et al. 2010
亞熱帶		0.96	0.91, 1.00	Briggs 1977; Lin 1989; Tam et al. 1995; Saintilan 1997

表4、紅樹林地上部生物量碳含量百分比(%)層級1估計值

組成	CF (%)	95% CI	參考文獻
葉+木	45.1	42.9, 47.1	Spain and Holt 1980; Gong and Ong 1990; Twilley et al. 1992; Bouillon et al. 2008; Saenger 2002; Alongi et al. 2003; Kristensen et al. 2008

層級2、3

$$G_{Total} = (G_{AB} \times CF_{AB} + G_{BB} \times CF_{BB}) + (G_{AB} \times CF_{AB} + G_{BB} \times CF_{BB})_{Scrub} \quad - \quad (5)$$

- G_{Total} —單位面積紅樹林碳儲量年增加量，單位為 t C/ha·yr；
- G_{AB} —紅樹林地上部平均年生長量(乾重)，單位為 t d.m./ha·yr；
- CF_{AB} —紅樹林地上部有機碳含量百分比(%)；
- G_{BB} —紅樹林地下部平均年生長量(乾重)，單位為 t d.m./ha·yr；
- CF_{BB} —紅樹林地下部有機碳含量百分比(%)；
- Scrub—紅樹林幼齡植株及灌木時期。

表5、臺灣紅樹林碳儲量年增加量(t C/ha·yr)層級2估計值

植被類型	G_{Total} (t C/ha·yr)	不確定性 U (%)	參考文獻
水筆仔 <i>Kandelia obovata</i>	23.96	19.2	陳柏宏 2014；黃日聖 2016；吳欣恂 2021；Li et al. 2018；Chou et al. 2022
海茄苳 <i>Avicennia marina</i>	11.62	53.7	李世博 2015；黃日聖 2016；吳欣恂 2021；

			賴榮一 2021；Li et al. 2018；Chou et al. 2022
欖李 <i>Lumnitzera racemosa</i>	15.75	69.1	賴榮一 2021
五梨跤 <i>Rhizophora stylosa</i>	12.35	10.0	賴榮一 2021

其中各類生物量計算使用異速生長方程式估計的冠層、樹幹及粗根生物量乾重，和使用土壤採集器直接取樣並計算的細根生物量乾重。此表數值未包含紅樹林幼齡植株及灌木時期。

表6、臺灣紅樹林地上部及地下部生物量碳含量百分比(%) 層級2估計值

植被類型	CF _{AB} (%)	不確定性 U (%)	CF _{BB} (%)	不確定性 U (%)	參考文獻
水筆仔 <i>Kandelia obovata</i>	50.3	6.2	43.2	6.4	陳柏宏 2014；黃日聖 2016；吳欣恂 2021；Li et al. 2018；Chou et al. 2022
海茄苳 <i>Avicennia marina</i>	48.0	6.4	41.69	5.1	李世博 2015；黃日聖 2016；吳欣恂 2021；賴榮一 2021；Li et al. 2018；Chou et al. 2022
欖李 <i>Lumnitzera racemosa</i>	42.5	SD: ± 2.6	42.6	SD: ± 0.1	李世博 2015
五梨跤 <i>Rhizophora stylosa</i>	44.1	SD: ± 0.3	40.5	SD: ± 0.1	李世博 2015

碳含量百分比測量組織包含地上部葉子、枝條及地下部粗根。此表數值未包含紅樹林幼齡植株及灌木時期。

4.3. 死有機質碳儲量年變化量

由於紅樹林死有機質碳庫佔整體碳庫的比例較小，而且紅樹林死有機質的變化量涉及自源性產生、潮汐等水文作用的外源性輸出及輸入，和生地化作用產生的二氧化碳等溫室氣體排放，因此一般情況採用層級1。通常假設死有機質碳庫在生物量碳庫及土壤碳庫間維持動態平衡，因此死有機質碳庫變化為0。若紅樹林枯木比例較高，則需要將枯木納入死有機質碳庫，並計算其碳儲量變化量，計算公式如(6)、(7)及(8)。層級3之完整量測方式，如5.4.小節。

$$\Delta C_{DOM} = A_{ij} \times \Delta DW_{ij} \times 44/12 \text{ ----- (6)}$$

- ΔC_{DOM} —紅樹林死有機質碳儲量年變化量，單位為 t CO₂e/yr；
- A —紅樹林面積，單位為公頃 (ha)；
- ΔDW —紅樹林死有機質碳儲量年變化量，單位為 t C/ha·yr；
- 44/12—有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數；

- i —紅樹林活動數據(即土地利用類型面積)，或碳層；
- j —紅樹林樹種。

層級1

$$\Delta DW = G_{Total} \times F_{D/G} \text{ -----} \quad (7)$$

- ΔDW —紅樹林死有機質碳儲量年變化量，單位為 t C/ha·yr；
- G_{Total} —單位面積紅樹林生物碳儲量年增加量，單位為 t C/ha·yr；
- $F_{D/G}$ —紅樹林枯木碳儲量與紅樹林生物碳儲量之比值，可參考測量值 6.23% (陳鷺真等 2023)。

層級2、3

$$\Delta DW = \Delta DW_{DS1} + \Delta DW_{DS2} + \Delta DW_{DS3} \text{ -----} \quad (8)$$

- ΔDW —紅樹林死有機質碳儲量年變化量，單位為 t C/ha·yr；
- $DS1$ —腐爛層級 1 的枯木，還殘留多數葉子及枝條，可使用生物量異速生長方程式計算其單一時間點的所有 DS1 枯木碳儲量，或是將總生物量碳儲量乘上 2.5% (Howard 2014)；
- $DS2$ —腐爛層級 2 的枯木，僅剩少數枝條，使用生物量異速生長方程式計算其單一時間點的碳儲量，再依照其殘留枝條量選擇乘上 10-20% (Howard 2014)；
- $DS3$ —腐爛層級 3 的枯木，進一步腐爛已失去大部分體積的枯立木或枯倒木，須個別計算體積、樹密度，並帶入腐爛層級 3 的枯木有機碳含量，以估算腐爛層級 3 的枯木碳儲量。

4.4. 土壤有機碳儲量年變化量

紅樹林土壤有機碳儲量變化量計算如公式 (9)、(10)、(11)、(12)、(13)。層級1如公式 (9)，目前僅有再濕潤及排水土地有排放係數(EF)估計值，可參照表 7、表8；層級2、3之估算方法 (1) 屬於土壤碳庫差分法，用於考慮外源性及自源性有機碳的共同沉積結果，參照公式 (10)、(11)；層級2、3之估算方法 (2) 屬於增減法，能較準確量化紅樹林自源性有機碳埋藏之貢獻，參照公式 (12)、(13) 估計值如表9、表10。依照臺灣河口紅樹林腹地較小、季節水流變動較大，導致土壤擾動較多，建議使用層級2、3之估算方法 (2)，除了變異較低，在碳匯計算上也符合保守性原則。層級3之完整量測方式，如5.5.小節。

層級1：

$$\Delta C_{Soils} = A_{ij} \times -EF_{ij-Soils} \times 44/12 \text{ -----} \quad (9)$$

- ΔC_{Soils} —紅樹林有機土壤碳儲量年變化量，單位為 t CO₂e/yr；
- $EF_{ij-Soils}$ —紅樹林土壤碳排放係數，單位為 t C/ha·yr；
- A —紅樹林面積，單位為公頃 (ha)；
- $44/12$ —有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數；
- i —紅樹林活動數據(即土地利用類型面積)，或碳層；
- j —紅樹林樹種。

表7、重建植被、再濕潤 (EF_{RE-Soils}) 有機及礦物聚合土壤年排放係數 (t C/ha·yr)
層級1估計值

生態系	EF _{RE} (t C/ha·yr)	95% CI	參考文獻
紅樹林	-1.62	-1.3, -2.0	Breithaupt et al. 2012; Chmura et al. 2003; Fujimoto et al. 1999; Ren et al. 2010

此處排放係數負值表示土壤有機碳儲量年變化正值，即為土壤有機碳儲量增加

表8、排水性 (EF_{DR-Soils}) 有機及礦物土壤的年排放係數 (t C/ha·yr) 層級1估計值

生態系	EF _{DR} (t C/ha·yr)	95% CI	參考文獻
潮間帶草澤和紅樹林	7.9	5.2, 11.8	Camporese et al. 2008; Deverel and Leighton, 2010; Hatala et al. 2012; Howe et al. 2009; Rojstaczer and Deverel, 1993

此處排放係數正值表示土壤有機碳儲量年變化負值，即為土壤有機碳儲量減少

層級2、3之方法 (1)：

$$\Delta C_{Soils} = A_{ij} \times CAR_{ij} \times 44/12 \quad \text{-----} \quad (10)$$

$$CAR_{ij} = SEC_{ij} \times SBD_{ij} \times CF_{ij-Soils} \quad \text{-----} \quad (11)$$

- ΔC_{Soils} —紅樹林土壤有機碳儲量年變化量，單位為 t CO₂e/yr；
- A —紅樹林面積，單位為公頃 (ha)；
- CAR —紅樹林土壤有機碳埋藏速率，單位為 t C/ha·yr；
- $44/12$ —有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數；
- SEC —紅樹林地表高程年變化量，單位為 cm/yr；
- SBD —紅樹林土壤總體密度，單位為 g/cm³；
- CF_{Soils} —紅樹林土壤有機碳含量百分比 (%)；
- i —紅樹林活動數據(即土地利用類型面積)，或碳層；
- j —紅樹林樹種。

層級2、3之方法 (2)：

$$\Delta C_{Soils} = A_{ij} \times \Delta C_{A-Soils} \times 44/12 \quad \text{-----} \quad (12)$$

$$\Delta C_{A-Soils} = (LF_{ij} \times W_{ij-LF} + FRM_{ij} \times W_{ij-FRM}) \quad \text{-----} \quad (13)$$

- ΔC_{Soils} —紅樹林土壤有機碳儲量年變化量，單位為 t CO₂e/yr；
- A —紅樹林面積，單位為公頃 (ha)；
- $\Delta C_{A-Soils}$ —紅樹林自源性土壤有機碳儲量年增加量，單位為 t C/ha·yr；
- $44/12$ —有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數；
- LF —紅樹林地上部枯落物年增加量，單位為 t C/ha·yr；
- W_{LF} —紅樹林地上部枯落物分解剩餘量百分比 (%)；
- FRM —紅樹林地下部死亡細根年增加量，單位為 t C/ha·yr；
- W_{FRM} —紅樹林地下部死亡細根分解剩餘量百分比 (%)；
- i —紅樹林活動數據(即土地利用類型面積)，或碳層；
- j —紅樹林樹種。

表9、臺灣紅樹林土壤有機碳儲量年變化 (t C/ha·yr) 層級2估計值

植被類型	$\Delta C_{A-Soils}$ (t C/ha·yr)	不確定性 U (%)	參考文獻
水筆仔 <i>Kandelia obovata</i>	1.11	36.8	陳柏宏 2014；黃日聖 2016；吳欣恂 2021； Li et al. 2018；Chou et al. 2022
海茄苳 <i>Avicennia marina</i>	1.20	36.0	李世博 2015；黃日聖 2016；吳欣恂 2021； 賴榮一 2021；Li et al. 2018；Chou et al. 2022
欖李 <i>Lumnitzera racemosa</i>	1.70	113.2	賴榮一 2021
五梨跤 <i>Rhizophora stylosa</i>	1.01	112.8	賴榮一 2021

此估計值為臺灣本土研究數據，採用增減法測量並加總地上部枯落物及地下部死細根分解後剩餘的不易分解有機碳，作為紅樹林對土壤碳埋藏的貢獻。五梨跤地下部死細根分解由水筆仔及海茄苳之平均值作推算 (Chou et al. 2022)，欖李尚未包含地下部死細根分解。此處土壤有機碳儲量年變化正值，即為土壤有機碳儲量增加。

表10、臺灣紅樹林地上部枯落物分解剩餘量百分比 (%) 層級2估計值

植被類型	W_{LF} (%)	不確定性 U (%)	參考文獻
水筆仔 <i>Kandelia obovata</i>	14.8	38.7	Lin et al. 2023
海茄苳 <i>Avicennia marina</i>	10.9	34.4	Lin et al. 2023
欖李 <i>Lumnitzera racemosa</i>			
五梨跤 <i>Rhizophora stylosa</i>			

此百分比已考慮紅樹林枯落物之碎屑橫向通量之結果 (Lin et al. 2023)。

4.5. 甲烷排放速率

紅樹林甲烷 (CH₄) 排放計算如公式 (14)、(15)，在層級1僅有再濕潤土地有估計值，如表11；層級3之完整量測方式，如5.6.小節。依照2013 IPCC NIR 濕地補充指南，水體鹽度小於18 psu 才需考慮甲烷排放量，如表11。在臺灣僅有少數靠近河道上游的紅樹林，在退潮時鹽度才會低於18 psu，因此一般情況下可忽略不計。

$$CH_{4-Mangrove} = \sum_{ij} (A_{ij} \times EF_{ij-CH_4} \times GWP_{CH_4}) \quad \text{-----} \quad (14)$$

$$EF_{ij-CH_4} = CH_{4-Soils} + CH_{4-Trees} \quad \text{-----} \quad (15)$$

• $CH_{4-Mangrove}$ —紅樹林甲烷 (CH₄) 年排放量，單位為 t CO₂e/yr；

- A —紅樹林面積，單位為公頃 (ha)；
- EF_{ij-CH_4} —單位面積紅樹林甲烷 (CH_4) 年排放量，單位為 $t\ CH_4/ha\cdot yr$ ；
- GWP_{CH_4} — CH_4 溫暖化潛勢；
- $CH_4-Soils$ —單位面積紅樹林土壤甲烷 (CH_4) 年排放量，單位為 $t\ CH_4/ha\cdot yr$ ；
- $CH_4-Trees$ —單位面積紅樹林樹幹甲烷 (CH_4) 年排放量，單位為 $t\ CH_4/ha\cdot yr$ ；
- i —紅樹林活動數據(即土地利用類型面積)，或碳層；
- j —紅樹林樹種。

表11、由紅樹林或潮間帶草澤再濕潤土地的甲烷排放係數 ($EF_{CH_4-REwet}$) 層級1估計值

植被類型	鹽度 (psu)	$EF_{CH_4-REwet}$ ($t\ CH_4/ha\cdot yr$)	95% CI	參考文獻
潮間帶淡水和鹹水草澤及紅樹林	< 18	1.937×10^{-1}	9.98×10^{-2} , 3.58×10^{-1}	Keller et al. 2013; Ma et al. 2012; Poffenbarger et al. 2011; Sotomayor et al. 1994; Tong et al. 2010
潮間帶鹽水草澤和紅樹林	> 18	0		

此處排放係數正值表示甲烷排放

4.6. 氧化亞氮排放速率

紅樹林 N_2O 排放估算層級2、3如公式 (16)、(17)，在層級1僅有水產養殖有估計值，可用漁獲量資料代入計算，如表12；層級3之完整量測方式，如5.6.小節。依照2013 IPCC NIR 濕地補充指南，有關水產養殖活動才需考慮 N_2O 排放量，如表12。

$$N_2O_{Mangrove} = \sum_{ij} (A_{ij} \times EF_{ij-N_2O} \times GWP_{N_2O}) \quad \text{-----} \quad (16)$$

$$EF_{ij-N_2O} = N_2O_{Soils} + N_2O_{Trees} \quad \text{-----} \quad (17)$$

- $N_2O_{Mangrove}$ —紅樹林氧化亞氮 (N_2O) 年排放量，單位為 $t\ CO_2e/yr$ ；
- A —紅樹林面積，單位為公頃 (ha)；
- EF_{ij-N_2O} —單位面積紅樹林氧化亞氮 (N_2O) 年排放量，單位為 $t\ N_2O/ha\cdot yr$ ；
- GWP_{N_2O} —氧化亞氮 (N_2O) 溫暖化潛勢；
- N_2O_{Soils} —單位面積紅樹林土壤氧化亞氮 (N_2O) 年排放量，單位為 $t\ N_2O/ha\cdot yr$ ；
- N_2O_{Trees} —單位面積紅樹林樹幹氧化亞氮 (N_2O) 年排放量，單位為 $t\ N_2O/ha\cdot yr$ ；
- i —紅樹林活動數據(即土地利用類型面積)，或碳層；
- j —紅樹林樹種。

表12、水產養殖紅樹林、潮間帶草澤及海草床的氧化亞氮排放係數 (EF_{F-N₂O}) 第1層級估計值

EF _{F-N₂O} (t N ₂ O-N/t fish produced)	95% CI	參考文獻
1.69×10^{-3}	$0, 3.8 \times 10^{-3}$	Hu et al. 2012

氧化亞氮之氮含量 (N₂O-N) 轉換為氧化亞氮含量 (N₂O) 需乘上轉換係數為1.57，此處排放係數正值表示氧化亞氮排放。

5. 紅樹林有機碳儲量及排放係數量測技術

5.1. 量測分區及測站設置

量測分區及測站設置需權衡所需量測精度及成本 (時間、人力、資金)。分區可依照活動數據 (如土地利用的轉變)、生物特徵 (如紅樹林種類、樹齡及植株密度)，或是依照環境條件分區 (如水文地貌特徵、土壤類型)。測站設計可依照量測目的採用 (1) 線性設計：用於測量分區變量對碳庫的影響，如垂直海岸線分布的測站，可了解不同潮位對碳庫的影響；(2) 隨機設計：在不清楚樣區碳儲量分布或可能是均勻分布時使用；(3) 網格設計：於地圖上放置網格，每個網格內僅採樣單點，確保測站分布整個範圍。如圖1，每個測站面積至少5 m × 5 m (Howard et al. 2014)。



圖1、測站排列策略 (a) 線性設計 (b) 隨機設計 (c) 網格設計

5.2. 生物量及生長量

測量紅樹林在不同時點的單位面積生物量，相減後即為單位面積時間紅樹林生物量生長量，如公式 (18)、(19)。一般間隔為一年，最短間隔為一季。

$$G_{AB} = (AB_{t2} - AB_{t1}) / (t_2 - t_1) \quad (18)$$

$$G_{BB} = (BB_{t2} - BB_{t1}) / (t_2 - t_1) \quad (19)$$

- G_{AB} —紅樹林地上部平均年生長量 (乾重)，單位為 t d.m./ha·yr；
- AB —紅樹林單位面積地上部生物量乾重，單位為 t d.m./ha；
- G_{BB} —紅樹林地下部平均年生長量 (乾重)，單位為 t d.m./ha·yr；
- BB —紅樹林單位面積地下部生物量乾重，單位為 t d.m./ha；
- t —量測時間點。

5.2.1. 喬木

紅樹林生物量主要以異速生長方程式估算，包含樹冠層、樹幹及粗根。利用異速生長方程式計算樣區內每棵紅樹林的生物量，依照各植物組織 (地上部及地下部) 的有機碳含量百分比轉換後加總，即可得到單株紅樹林植物體碳儲量。最後利用單位面積紅樹林植株密度轉換，即可得到紅樹林單位面積碳儲量。異速生長方程式及相關參數，參考附件8.5。量測一般使用樹高尺測量樹高、樹徑

尺測量樹徑，由於樹幹生長方式有許多型態，測量其胸徑的方式可參考圖2，各類樹型胸徑測量位置說明如下：

- 樹木直高且有主幹，胸徑可從地面開始平行於主幹測量至 1.3 m 處
- 樹木生長在斜坡上，須從斜坡上側開始平行於主幹測量至 1.3 m 處
- 樹木斜著生長，須根據自然角度平行於主幹測量至 1.3 m 處
- 樹木在 1.3 m 以下就出現分叉，須量測分叉底下不遠處
- 樹木分叉很接近地面時，須當成兩棵樹分別平行於主幹測量至 1.3 m 處
- 樹基部隆起 > 1.3 m，須於隆起處上端不遠處
- 樹幹具有支持根，以最上端的支持根往上 1.3 m 處

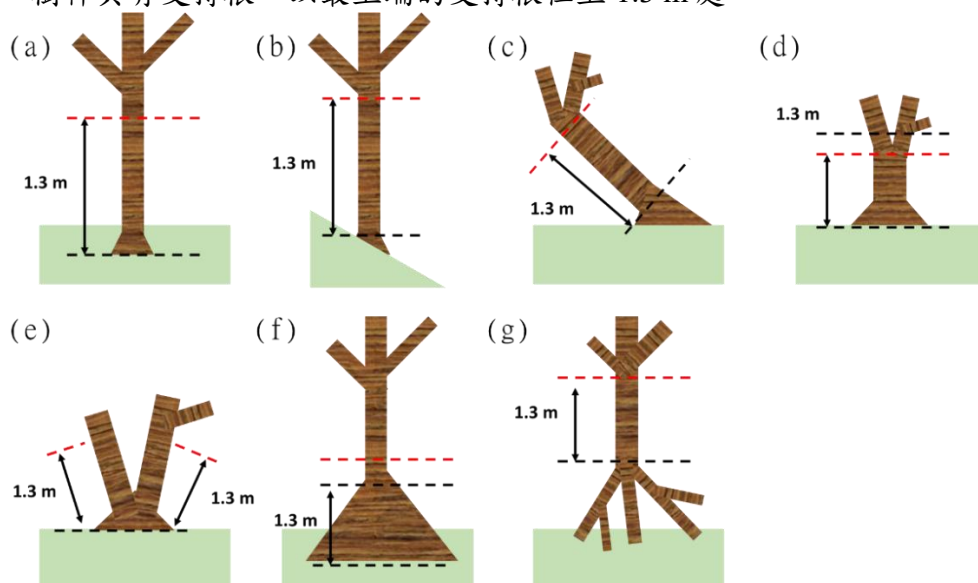


圖2、各類樹型胸徑測量位置 (如圖中紅色標記處)

5.2.2. 灌木

紅樹林樹種型態多樣，部分灌木種類的成熟樹高可 > 2.5 m，亦有成熟樹高 < 1 m 的種類。臺灣紅樹林種類皆屬於喬木，因此本方法描述的灌木是參照鄰近地區紅樹林異速生長方程式的未成熟樹苗 (如附件8.5)，即不屬於圖2之七種樹幹型態且無法量測樹胸徑之矮樹叢，例如 1.3 m 已經是樹冠層，以葉子及枝條為主的樹木。臺灣紅樹林灌木 (矮樹叢) 除了使用附件8.5的異速生長方程式，也可以使用覆蓋度、樹冠體積、樹冠面積、冠幅和支持根數量等參數，建立合適的異速生長方程式。覆蓋度一般使用 2 m × 2 m 的樣框，量測灌木與棲地的相對覆蓋度。冠幅一般是測量最寬的冠幅，以及垂直最寬冠幅的最短冠幅。結合橢圓形面積公式將冠幅數據帶入橢圓長軸及短軸，就能算出樹冠面積。將冠層面積乘上冠層深度成為冠層體積。此外，灌木木材密度及有機碳含量在國際間預估值也是較少，因此可另行測量建立。

5.3. 植物體有機碳含量百分比及碳儲量

將野外採集的紅樹林植物體各組織，包含地上部葉子、枝條及地下部粗根，帶回實驗室清洗烘乾，加以磨碎並用 0.5 mm 之篩網過篩，並進行碳元素分析。將屬於地上部及地下部植物組織碳含量百分比各別平均，即為紅樹林植物體地上部及地下部有機碳含量百分比數值。將紅樹林生物量及有機碳含量百分比相乘，即為紅樹林單位面積碳儲量，如公式 (20)、(21)。

$$C_{AB} = AB_t \times CF_{AB} \quad \text{-----} \quad (20)$$

$$C_{BB} = BB_t \times CF_{BB} \quad \text{-----} \quad (21)$$

- C_{AB} —紅樹林單位面積地上部生物碳儲量，單位為 t C/ha；
- AB —紅樹林單位面積地上部生物量乾重，單位為 t d.m./ha；
- CF_{AB} —紅樹林地上部有機碳含量百分比 (%)；
- C_{BB} —紅樹林單位面積地下部生物碳儲量，單位為 t C/ha；
- BB —紅樹林單位面積地下部生物量乾重，單位為 t d.m./ha；
- CF_{BB} —紅樹林地下部有機碳含量百分比 (%)；
- t —量測時間點。

5.4. 枯木

由於腐爛程度1和2的枯木可由活生物量異速生長方程式及對應估計值比例計算而來，因此在此專門說明腐爛程度3枯木的計算方式。枯木碳儲量由枯木體積、枯木木材密度及枯木有機碳含量相乘而得。枯木體積計算方式分為2階段，首先是枯立木頂端直徑可以用錐體方程式估算，如公式 (22)，其餘枯立木體積可用截頂圓錐的方式計算，如公式 (23)。

$$d_{top} = d_{base} - \{100 \times th \times [(d_{base} - d_{bh})/130]\} \quad \text{-----} \quad (22)$$

- d_{top} —頂端直徑，單位為 cm。若計算結果為負值，以 0 代替；
- d_{base} —基徑，單位為 cm；
- d_{bh} —胸徑，單位為 cm；
- th —樹高，單位為 cm。

$$v_{DW} = [\pi \times (100 \times th)]/12 \times [d_{base}^2 + d_{top}^2 + (d_{base} \times d_{top})] \quad \text{---} \quad (23)$$

- v_{DW} —紅樹林枯木體積，單位為 cm^3 ；
- th —樹高，單位為 cm；
- d_{top} —頂端直徑，單位為 cm，若計算結果為負值，以 0 代替；
- d_{base} —基徑，單位為 cm。

5.5. 土壤

5.5.1. 地表高程變化

量測紅樹林地表高程變化 (SEC)，是使用地表高程監測系統 (SET) 進行。SET 系統分為固定樁和測量臂兩個部分，如圖3。固定樁是一個深達地下岩層固定點的連續不鏽鋼裝置。在安裝時，盡量使之觸及岩層無法繼續下推為止；測量臂是配有測量針的高程監測儀。在測定時，將測量臂連接到固定樁突出地表的頂部，使測量針垂直向下接觸土壤表面，記錄每根針在測量臂上方的高度。重複上述操作直至完成4個方向 (東西南北) 的測量。計算前後兩次測定測量針的高度差值，取每個方向測量針高度差均值作為該方向地表高程變化量。取4個方向的地表高程變化量均值作為地表高程變化量，結合前後兩次測定時間長度，得到樣方內年均地表高程變化。

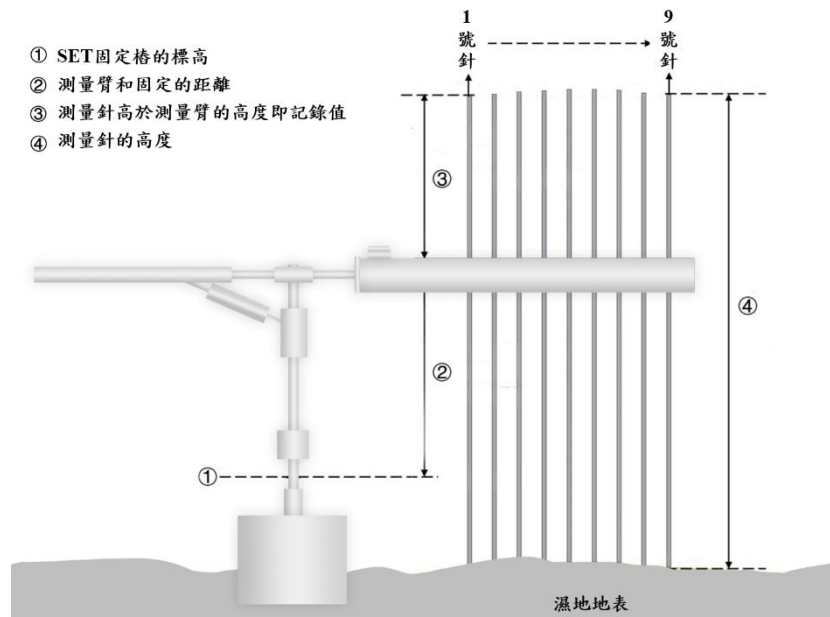


圖3、地表高程監測系統(SET)

5.5.2. 土壤總體密度

野外採集依照土柱二次取樣法 (Howard et al. 2014)，使用不鏽鋼底土採集管 (圖4a) 採集30 cm 深的土壤樣本，再用小型採集器 (圖4b) 取樣0 - 10、10 - 20和10 - 30 cm 各層之土壤。將樣本冷藏於4°C，帶回實驗室烘乾至恆重。將每個小採集器的土壤樣本乾重除以採集體積即為土壤總體密度。

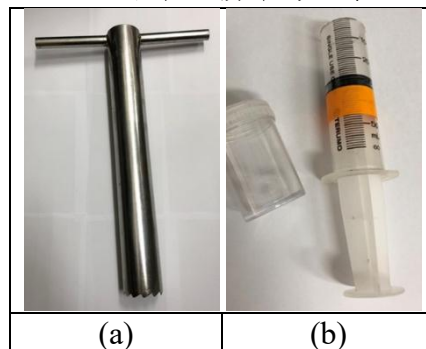


圖4、表層土壤採集器

(a)不鏽鋼底土採集管(b)小型採集器

5.5.3. 土壤有機碳含量百分比

同5.5.2.採集方法，實驗室分析階段，將採集所得之土壤樣本冷凍乾燥、均質後以0.5 mm 篩網過篩。用酸洗去除無機碳，再以二次水清洗避免後續元素分析因酸液殘留而產生誤差。最後將去除酸液的土壤樣本冷凍乾燥，進行碳元素分析，即可得到各層土壤有機碳含量百分比 (Howard et al. 2014)。

5.5.4. 地上部枯落物

於紅樹林樹冠下架設枯落物承接籃 (例如直徑40 cm 的塑膠籃)，承接籃內部需縫製0.5 mm 網目的網子。每2個月收集一次籃中枯落物，持續一年後加總即可知道單位面積枯落物年增加量。每次蒐集的枯落物須經過清洗，60°C 烘乾至恆重。每次枯落物回收的時間間隔需小於2個月，以避免枯落物過度分解。承接籃

的架設高度也需要避開潮汐浸淹的風險 (Lin et al. 2023)。要計算枯落物對紅樹林土壤的碳貢獻，尚須綜合側向碎屑通量及分解之結果 (Lin et al. 2023)。

5.5.5. 地下部死細根

同5.5.2.土柱二次取樣法採集0 - 60 cm，每10 cm 一層之各層土壤，帶回實驗室使用0.5 mm 的不鏽鋼篩網並鋪上0.1 mm 的雪沙布過篩清洗，並集中其中細根 (Chou et al. 2022)。再利用比重分離法 (Robertson et al. 1993)，利用二氧化矽溶液分離出活細根及死細根。隨後將各層死細根烘乾至恆重，並加總各層死細根乾重，已得到該季的死細根含量。一年採集四季，利用後一季減掉前一季得到每季之前的死細根變化量，最後將每季的死細根變化量加總即可得到死細根年增加量 (Chou et al. 2022)。

5.5.6. 分解剩餘量

用5.5.4方法收集枯落物以及5.5.5方法收集活細根，將其各自陰乾24小時，隨後取20 g 枯落物及2 g 活細根分別放入網目0.1 mm 的分解袋 (規格15 cm × 10 cm)，最後將分解袋放回紅樹林地表，地下部細根分解袋需埋至10 cm、30cm 和60cm。分解袋在300天內需不定期回收5 - 7次，剛開始間隔1個星期，一個月後拉逐漸拉長間隔時間至1個月、2個月至3個月時間。每次回收後須清洗樣本並烘乾至恆重。最後依照 Olson (1963) 的指數迴歸模型計算，即可得到分解剩餘百分比 (Chou et al. 2022; Lin et al. 2023)。

5.6. 非二氧化碳溫室氣體年排放量

使用密閉罩蓋法，將密閉罩蓋在棲地土壤、水體或植物體上，再連接至溫室氣體分析儀，計算罩蓋內溫室氣體濃度隨時間的變化量 (Lin et al. 2020)。隨後考量罩蓋體積、測量溫度和罩蓋覆蓋在棲地土壤、水體或植物體上的面積，和各溫室氣體的二氧化碳當量進行換算，即可得到單位面積單位時間棲地土壤、水體或植物體的溫室氣體排放量 ($\text{t CO}_2\text{e/ha}\cdot\text{yr}$)。常用罩蓋 (圖5) 及儀器之相關參數，詳見附件8.1-8.4。紅樹林土壤溫室氣體測量需考慮棲地積水，例如封閉水域之紅樹林在積水情況可用浮體罩蓋測量溫室氣體。另外，也需考慮特定種類紅樹林的氣生根對棲地土壤之影響，例如海茄苳紅樹林土壤溫室氣體測量，須將罩蓋罩在氣生根密度具有代表性之區域。若於低水位時期，紅樹林樣區仍被水淹沒 (無法使用土壤溫室氣體量測樣框罩蓋)，可改以水體溫室氣體罩蓋進行量測。如樣區未全部裸露仍有部分浸泡於潮池海水中，先是以代表性區域進行測量，或是選擇以土壤裸露之區域進行測量。因為水體的溫室氣體排放會低於土壤直接排放的溫室氣體，因此選擇測量土壤溫室氣體較符合保守性估計原則 (避免高估碳匯量)。樹幹溫室氣體通量需考量樹幹形態之差異，參考 Jeffrey et al. (2019) 將每株紅樹林的樹幹依離地高度劃分為四個區間：0 - 40、40 - 85、85 - 140、140 - 200 cm，於各區間安裝樹幹罩蓋進行溫室氣體測量 (圖5d、e)。將樹幹各區間視為一圓柱體，利用各區間間距與該區間樹幹周長計算該區間樹幹的表面積。再將各區間樹幹表面積和單位樹幹表面積溫室氣體通量計算並加總，即可得到單株紅樹林的樹幹溫室氣體通量。最後利用紅樹林植株密度計算，即可得到單位面積紅樹林棲地的樹幹溫室氣體通量。

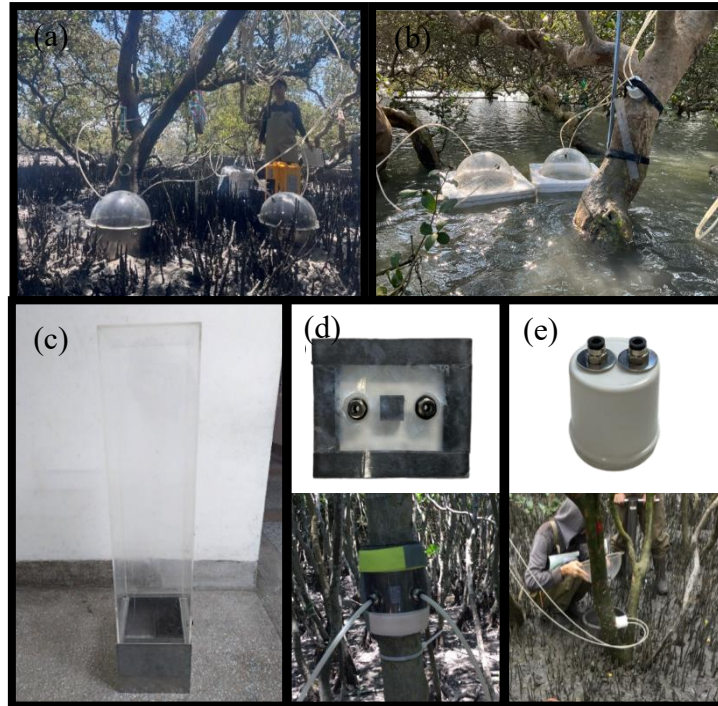


圖5、紅樹林溫室氣體量測常用之各類型罩蓋

(a) 土壤圓形罩蓋 (b) 水體浮體罩蓋 (c) 土壤長柱體罩蓋 (d) 樹幹半剛性罩蓋 (e) 樹幹圓柱形罩蓋

6. 品質保證與管控

6.1. 完整性

完整的紅樹林溫室氣體排放清單包括前述的溫室氣體排放速率估計值。應注意不要列入已經算入其它農業、林業和其他土地利用領域 (AFOLU) 各章節或重複計算各碳庫的溫室氣體排放速率。特別是部分濕地可能接收含有高營養含量的非點排放源的污水和沉澱物，這些濕地釋放的有機或無機氮以及有機碳，可能已包括在林地或農田，或廢棄物部門的估算方法中。如果能證實這些濕地碳或氮的非點排放源，較佳作法是在合適的清單部門和類別中報告相關的溫室氣體排放。

6.2. 不確定性

層級1之估計值不確定性可參考2006 IPCC NIR 指南和內政部營建署濕地碳匯標準作業 (林幸助與陳渭中 2019)；層級2、3之估計值不確性可參考可參考2006 IPCC NIR 指南和2022中華民國國家溫室氣體排放清冊報告第六章其中的林業部門計算方式。紅樹林面積變化因使用航照圖，無法用統計方法估算不確定性，且屬於國家統計資料，因此依照2006 IPCC NIR 指南將不確定性設定為5%。國家特定紅樹林碳儲量增加量之不確定性採用誤差傳播法，藉由各係數文獻數值、標準差與標準誤計算不確定性，如公式 (24)、公式 (26)、公式 (26)、公式 (27)。不同係數採用加法計算時，不確定性總和需使用加法規則，如公式 (28)；不同係數採用乘法計算時，不確定性總和需使用乘法規則，如公式 (29)。

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{-----} \quad (24)$$

• SD —標準差；

- x_i —第 i 筆係數數值；
- $\bar{x}$ —文獻收集之係數平均值；
- n —數據筆數。

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}} \text{ -----} \quad (25)$$

- SE —標準誤；
- SD —標準差；
- n —數據筆數。

$$U = \frac{SD \times 1.96}{\bar{x}} \times 100\% \text{ -----} \quad (26)$$

- U —不確定性；
- SD —標準差；
- $\bar{x}$ —文獻收集之係數平均值。

$$U = \frac{SE \times 1.96}{\bar{x}} \times 100\% \text{ -----} \quad (27)$$

- U —文獻數量或計算數據為 30 筆以上之不確定性；
- SE —標準誤；
- $\bar{x}$ —文獻收集之係數平均值。

$$U_{total} = \sqrt{\frac{(U_1 \times E_1)^2 + (U_2 \times E_2)^2 + \dots + (U_n \times E_n)^2}{E_1 + E_2 + \dots + E_n}} \text{ -----} \quad (28)$$

- U_{total} —不確定性之總和(加法規則)；
- U_1, U_2, U_n —不同變量的不確定性；
- E_1, E_2, E_n —不同變量。

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \text{ -----} \quad (29)$$

- U_{total} —不確定性之總和(乘法規則)；
- U_1, U_2, U_n —不同變量的不確定性。

6.3. 時間序列一致性

明確定義紅樹林之活動數據，並持續使用是一種較佳的作法。時間序列的一致性中要求在整個時間序列中需使用相同的方法。每當使用新的方法時，時間序列中的所有數值應該使用新方法重新計算，並報告為何新的方法被認為更準確或更不精確。重新計算以前數據時的一個潛在問題是某些過去的數據可能無法使用。克服這一限制之相關詳細方法，請參考2006 IPCC NIR 指南第一卷第五章，在兩次紅樹林資源調查期間，可使用內差法推得各年度紅樹林種類分布面積之數據。

6.4. 品質保證/品質控制

品質保證/品質控制 (QA/QC) 是對於國家溫室氣體排放的定期審查，以促進國家溫室氣體清冊的透明度、一致性、可比較性、完整性及準確性。關於品質保證/品質控制 (QA/QC) 規定的制定和執行在2013 IPCC NIR 濕地補充指南，國內特定排放係數須建立固定紅樹林樣區定期量測，以確保其準確性。

7. 本方法碳匯項目及建議量測方法

本方法針對估算層級2-3的紅樹林排放係數，整理各項目量測及計算方法，如表13。

表13、臺灣紅樹林排放係數估算層級2-3計算方法彙整表

紅樹林 排放係數項目		是否需要計算	估算層級2-3計算方法
植物體 碳庫	地上部	重要碳匯項目	碳庫差分法- 異速生長方程式法
	地下部	重要碳匯項目	
死有機質碳庫		一般不計算，僅在 底表死有機質層明 顯時計算	碳庫差分法
土壤碳庫		重要碳匯項目	增減法(優先使用)- 計算植物體分解後，對土壤碳庫 的貢獻
			碳庫差分法- 1.用 SET 量測地表高程變化 2.無法計算高程變化時，需計算 表層30 cm 各層土壤之碳庫變化
非二氧 化碳 溫室氣 體排放	甲烷	一般不計算，僅在 低潮時水體鹽度 < 18psu 時計算	通量法- 密閉罩蓋法
	氧化 亞氮	一般不計算，僅在 營養污染時計算	

7. 參考文獻

- 行政院環保署 (2022)。2022 中華民國國家溫室氣體排放清冊報告，頁6-1 – 6-15。
- 李世博 (2015)。臺南七股紅樹林碳收支模式。國立中興大學生命科學系學位論文。
- 吳欣恂 (2021)。水筆仔與海茄苳碳收支模式。國立中興大學生命科學系學位論文。
- 林幸助、陳渭中 (2019)。106-107年度重要濕地碳匯調查計畫案成果報告書-附錄：濕地碳匯功能調查標準作業程序。內政部營建署城鄉發展分署。
- 林幸助、邵廣昭 (2020)。我國海洋生態調查監測網與監測規範建立之整體規劃，國家海洋研究院。
- 林幸助 (2022)。臺灣沿海重要碳匯生態系統調查與評估計畫成果報告。海洋委員會海洋保育署。
- 高語岑 (2021)。臺灣紅樹林土壤甲烷排放量。國立中興大學生命科學系學位論文。
- 陳柏宏 (2014)。淡水河紅樹林及草澤植物的碳儲存量與碳收支。國立中興大學生命科學系學位論文，。
- 陳鷺真、孟越、張家林、林幸助、沈群紅、顧肖璇、吳瓏 (2023)。海峽兩岸共通紅樹林碳庫增量監測與計量技術規程。中華人民共和國福建省。
- 黃日聖 (2016)。紅樹林疏伐對碳吸存的影響。國立中興大學生命科學系學位論文。
- 楊少鈞 (2023)。紅樹林樹幹溫室氣體排放量。國立中興大學生命科學系學位論文。
- 賴榮一 (2021)。氣候變遷下人工濕地植物發揮「調適」功能之研究-以高雄中都濕地公園紅樹林碳吸存功能為例。科技部。
- Ajonina, G. N. (2008). Inventory and modelling mangrove forest stand dynamics following different levels of wood exploitation pressures in the Douala-Edea Atlantic coast of Cameroon, Central Africa. *Mitteilungen der Abteilungen für Forstliche Biometrie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*, 2.
- Alongi, D. (2009). *The energetics of mangrove forests*. Springer Science & Business Media.
- Alongi, D. M., Clough, B. F., Dixon, P., & Tirendi, F. (2003). Nutrient partitioning and storage in arid-zone forests of the mangroves *Rhizophora stylosa* and *Avicennia marina*. *Trees*, 17, 51-60.
- Bouillon, S., Borges, A. V., Castañeda-Moya, E., Diele, K., Dittmar, T., Duke, N. C., Kristensen, E., Lee, S. Y., Marchand, C., Middelburg, J. J., Rivera-Monroy, V. H., Smith, T. J. & Twilley, R. R. (2008) Mangrove production and carbon sinks: A revision of global budget estimates. *Global Biogeochemical Cycles* 22(2).
- Breithaupt, J. L., Smoak, J. M., Smith, T. J., Sanders, C. J. & Hoare, A. (2012) Organic carbon burial rates in mangrove sediments: Strengthening the global budget. *Global Biogeochemical Cycles* 26.
- Briggs, S. V. (1977) Estimates of biomass in a temperate mangrove community. *Australian Journal of Ecology* 2(3): 369-373.
- Camporese, M., Putti, M., Salandin, P. & Teatini, P. (2008) Spatial variability of CO₂ efflux in a drained cropped peatland south of Venice, Italy. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences* 113(G4).
- Change, C. (2007). IPCC fourth assessment report. The physical science basis, 2, 580-

- Chmura, G. L., Anisfeld, S. C., Cahoon, D. R. & Lynch, J. C. (2003) Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils. *Global Biogeochemical Cycles* 17(4).
- Chou, M. Q., Lin, W. J., Lin, C. W., Wu, H. H., & Lin, H. J. (2022). Allometric equations may underestimate the contribution of fine roots to mangrove carbon sequestration. *Science of The Total Environment*, 833, 155032.
- Clough, B.F., Dixon, P., Dalhaus, O., 1997. Allometric relationships for estimating biomass in multi-stemmed mangrove trees. *Aust. J. Bot.* 45, 1023–1031.
- Comley, B.W., McGuinness, K.A., 2005. Above-and below-ground biomass, and allometry, of four common northern Australian mangroves. *Aust. J. Bot.* 53, 431–436.
- Deverel, S. J. & Leighton, D. A. (2010) Historic, recent, and future subsidence, Sacramento-San Joaquin Delta, California, USA. *San Francisco Estuary and Watershed Science* 8(2): 1-23.
- Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
- Fujimoto, K., Imaya, A., Tabuchi, R., Kuramoto, S., Utsugi, H. & Murofushi, T. (1999) Below-ground carbon storage of Micronesian mangrove forests. *Ecological Research* 14(4): 409-413.
- Golley, F. B., McGuinness, K., Clements, R. G., Child, G. I. & Duever, M. J. (1975) Mineral cycling in a tropical moist ecosystem. Athens, GA, USA: University of Georgia Press.
- Golley, F. B., Odum, H. T. & Wilson, R. F. (1962) The structure and metabolism of a Puerto Rican red mangrove forest ecosystem. Athens, GA, USA: University of Georgia Press.
- Gong, W. K. & Ong, J. E. (1990) Plant biomass and nutrient flux in a managed mangrove forest in Malaysia. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 31(5): 519-530.
- Gevana, D., & Im, S. (2016). Allometric models for *Rhizophora stylosa* Griff. in dense monoculture plantation in the Philippines. *Malaysian Forester*, 79(1&2), 39-53.
- Hatala, J. A., Detto, M., Sonnentag, O., Deverel, S. J., Verfaillie, J. & Baldocchi, D. D. (2012) Greenhouse gas (CO₂, CH₄, H₂O) fluxes from drained and flooded agricultural peatlands in the Sacramento-San Joaquin Delta. *Agriculture Ecosystems & Environment* 150: 1-18.
- Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G. (2014). 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland.
- Hoque, A., Sharma, S., Suwa, R., Mori, S. & Hagihara, A. (2012) Seasonal variation in the size-dependent respiration of mangroves *Kandelia obovata*. *Marine Ecology Progress Series* 404: 31-37.
- Hoque, A.T.M.R., Sharma, S., Hagihara, A., 2011. Above and below-ground carbon acquisition of mangrove *Kandelia obovata* trees in Manko wetland, Okinawa, Japan. *Int.J.Enviro.* 1, 7–13.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E. (eds.) (2014) Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA.
- Howe, A. J., Rodriguez, J. F. & Saco, P. M. (2009) Surface evolution and carbon sequestration in disturbed and undisturbed wetland soils of the Hunter estuary, southeast Australia. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 84(1): 75-83.

- Hu, Z., Lee, J. W., Chandran, K., Kim, S. & Khanal, S. K. (2012) Nitrous Oxide (N₂O) Emission from Aquaculture: A Review. *Environmental Science & Technology* 46(12): 6470-6480.
- Jeffrey LC, Reithmaier G, Sippo JZ, Johnston SG, Tait DR, Harada Y, Maher DT. 2019. Are methane emissions from mangrove stems a cryptic carbon loss pathway? Insights from a catastrophic forest mortality. *New Phytologist* 224: 146 – 154.
- Kairo, J. G., Lang'at, J. K. S., Dahdouh-Guebas, F., Bosire, J. & Karachi, M. (2008) Structural development and productivity of replanted mangrove plantations in Kenya. *Forest Ecology and Management* 255(7): 2670-2677.
- Keller, J. K., Sutton-Grier, A. E., Bullock, A. L. & Megonigal, J. P. (2013) Anaerobic metabolism in tidal freshwater wetlands: I. Plant removal effects on iron reduction and methanogenesis. *Estuaries and Coasts* 36: 457-470.
- Khan, M.N.I., Suwa, R., Hagihara, A., 2009. Biomass and above-ground net primary production in a subtropical mangrove stand of *Kandelia obovata* (S., L.) Yong at Manko wetland, Okinawa, Japan. *Wetlands Ecol. Manag.* 17, 585–599.
- Komiyama, A., Moriya, H., Prawiroatmodjo, S., Toma, T. & Ogino, K. (1988) Primary productivity of mangrove forest. Ehime University, Ehime, Japan.
- Komiyama, A., Ogino, K., Aksornkoae, S. & Sabhasri, S. (1987) Root biomass of a mangrove forest in southern Thailand. 1. Estimation by the trench method and the zonal structure of root biomass. *Journal of Tropical Ecology* 3: 97-108.
- Kristensen, E., Bouillon, S., Dittmar, T. & Marchand, C. (2008) Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. *Aquatic Botany* 89(2): 201-219.
- Li, S. B., Chen, P. H., Huang, J. S., Hsueh, M. L., Hsieh, L. Y., Lee, C. L., & Lin, H. J. (2018). Factors regulating carbon sinks in mangrove ecosystems. *Global change biology*, 24(9), 4195-4210.
- Lin, C. W., Kao, Y. C., Chou, M. C., Wu, H. H., Ho, C. W., & Lin, H. J. (2020). Methane emissions from subtropical and tropical mangrove ecosystems in Taiwan. *Forests*, 11(4), 470.
- Lin, P., Lu, C., Wang, G. & Chen, H. (1990) Biomass and productivity of *Bruguiera sexangula* mangrove forest in Hainan Island, China. *Journal of Xiamen University (Natural Science)* 29: 209-213.
- Lin, P. (1989) Biomass and element cycle of *Kandelia* forest in China. Xiamen: Xiamen Univ. Press.
- Lin, W. J., Lin, C. W., Wu, H. H., Kao, Y. C., & Lin, H. J. (2023). Mangrove carbon budgets suggest the estimation of net production and carbon burial by quantifying litterfall. *CATENA*, 232, 107421.
- Ma, A., Lu, J. & Wang, T. (2012) Effects of elevation and vegetation on methane emissions from a freshwater estuarine wetland. *Journal of Coastal Research* 6: 1319-1329.
- Olson, J. S. (1963). Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44(2), 322-331.
- Perera, K. A. R. S. (2012). Carbon retention capacity of two mangrove species, *Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Lamk. and *Lumnitzera racemosa* Willd. in Negombo estuary, Sri Lanka.
- Poffenbarger, H. J., Needelman, B. A. & Megonigal, J. P. (2011) Salinity influence on methane emissions from tidal marshes. *Wetlands* 31(5): 831-842.
- Poungporn, S., Komiyama, A., Patanaponpaipoon, P., Jintana, V., Sangtiew, T., Tanapermpool, P., Piriyaota, S., Maknual, C., & Kato, S. (2003). Site-independent allometric relationships for estimating above-ground weights of mangroves. *Tropics*, 12(2), 147-158.

- Ren, H., Chen, H., Li, Z. a. & Han, W. (2010) Biomass accumulation and carbon storage of four different aged *Sonneratia apetala* plantations in Southern China. *Plant and soil* 327(1-2): 279-291.
- Robertson, A. I., & Dixon, P. (1993). Separating live and dead fine roots using colloidal silica: an example from mangrove forests. *Plant and Soil*, 157, 151-154.
- Rojstaczer, S. & Deverel, S. J. (1993) Time dependence in atmospheric carbon inputs from drainage of organic soils. *Geophysical Research Letters* 20(13): 1383-1386.
- Saenger, P. (2002) *Mangrove ecology, silviculture and conservation*. Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Saintilan, N. (1997) Above-and below-ground biomasses of two species of mangrove on the Hawkesbury River estuary, New South Wales. *Marine and Freshwater Research* 48(2): 147-152.
- Siegenthaler A, Welch B, Pangala SR, Peacock M, Gauci V. 2016. Semi-rigid chambers for methane gas flux measurements on tree stems. *Biogeosciences* 13: 1197 – 1207.
- Sotomayor, D., Corredor, J. E. & Morrell, J. M. (1994) Methane flux from mangrove sediments along the southwestern coast of Puerto Rico. *Estuaries* 17: 140-147.
- Spain, A. V. & Holt, J. A. (1980) The elemental status of the foliage and branch-wood of seven mangrove species from northern Queensland. In: *Division of Soils divisional report; no. 49*, eds. J. A. Holt & C. D. o. Soils, [Melbourne]: CSIRO.
- Tam, N., Wong, Y., Lan, C. & Chen, G. (1995) Community structure and standing crop biomass of a mangrove forest in Futian Nature Reserve, Shenzhen, China. *Hydrobiologia* 295(1-3): 193-201.
- Tamai, S., Tabuchi, R., Ogino, K. & Nakasuga, T. (1986) Standing biomass of mangrove forests in southern Thailand. *Journal of the Japanese Forestry Society* 68(9): 384-388.
- Tong, C., Wang, W.-Q., Zeng, C.-S. & Marrs, R. (2010) Methane (CH₄) emission from a tidal marsh in the Min River estuary, southeast China. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering* 45: 506-516.
- Twilley, R., Chen, R. & Hargis, T. (1992) Carbon sinks in mangroves and their implications to carbon budget of tropical coastal ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution* 64(1-2): 265-288.
- Zhongming, Z., Linong, L., Xiaona, Y., Wangqiang, Z., & Wei, L. (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

8. 附件

8.1. 溫室氣體分析儀列表

儀器型號 (公司名稱)	測量氣體 (濃度單位)	數據記錄時間	測量範圍/誤差
LI-820 (LICOR)	CO ₂ (ppm)	LI1400 資料收集器，每 30 秒記錄一筆	0 - 20000 ppm / 野外氣溫 30 ℃ 時 ± 22 ppm
GLA132 (ABB)	CH ₄ (ppm)	每 20 秒記錄一筆	0 - 100 ppm / ± 0.2 - 0.5 ppb
LI-7810 (LICOR)	CO ₂ (ppm) CH ₄ (ppb)	每 1 秒記錄一筆	CO ₂ : 0 - 10000 ppm / 400 ppm 時 ± 3.5 ppm CH ₄ : 0 - 100 ppm / 2000 ppb 時 ± 1 ppb
LI-7820 (LICOR)	N ₂ O	每 1 秒記錄一筆	N ₂ O: 0 - 100 ppm / 330 ppb 時 ± 0.4 ppb

資料來源：「臺灣沿海重要碳匯生態系統調查與評估計畫」成果報告 (林幸助 2022)

8.2. 土壤溫室氣體測量常用罩蓋列表

	V (罩蓋體積，L)	A (罩蓋底面積，m ²)	使用情境
圓框 圓罩蓋	6.4 L+土壤及積水層以上之金屬 框深度 m × 圓框罩蓋底面積 m ²	0.07	積水不深
方框 方罩蓋	53.125 L+土壤及積水層以上之金 屬框深度 m × 方框罩蓋底面積 m ²	0.0625	積水不深，但具有較 高的植物組織，例如 較高的紅樹林氣生根 和鹽沼植株
浮體罩蓋	6.4 L+浮體罩蓋固定腔室深度 0.02 m × 圓框罩蓋底面積 m ²	0.07	積水

資料來源：「臺灣沿海重要碳匯生態系統調查與評估計畫」成果報告 (林幸助 2022)

8.3. 樹幹溫室氣體測量常用罩蓋列表

公式： $V_{ts} = \left\{ \frac{HL}{(D_{stem}+2T)} \times \left[\left(\frac{D_{stem}+2T}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{stem}}{2} \right)^2 \right] - V_{wedges} \right\} / 1000$
公式： $S_{ts} = \left[\frac{HL}{(D_{stem}+2T)} \times D_{stem} - S_{wedges} \right] / 10000$
V_{ts} ：半剛性罩蓋體積 (L) S_{ts} ：半剛性罩蓋底面積 (m ²) D_{stem} ：半剛性罩蓋所處高度之樹幹直徑 (cm) H ：半剛性罩蓋寬度 (7 cm) L ：半剛性罩蓋長度 (10 cm) T ：半剛性罩蓋厚度 (1.5 cm) V_{wedges} ：半剛性罩蓋中央氯丁橡膠 (CR) 泡沫帶之體積 (6 cm ³) S_{wedges} ：半剛性罩蓋中央氯丁橡膠 (CR) 泡沫帶之面積 (4 cm ²)

由於半剛性罩蓋體積會隨樹幹直徑而改變，因此藉由此表公式計算半剛性罩蓋於每一次測量時的體積與底面積 (Siegenthaler et al. 2016；楊少鈞，2023)

半剛性罩蓋改良自 Siegenthaler et al. (2016)，由透明的再生聚酯 (rPET) 礦泉水瓶製成：從瓶子上割下長14 cm，寬11 cm 的塑膠片，並在塑膠片周圍與中央黏上寬2 cm，厚1.5 cm 的氯丁橡膠 (CR) 泡沫帶，鑽出兩個小孔後再裝上轉接頭以接上管子。進行測量時，事先用束帶將罩蓋固定在樹幹上，即可進行測量。測量結束後，罩蓋不保留在樹幹上。圓柱形罩蓋由體積為0.2 L，白色的聚丙烯 (PP) 油墨罐製成：從蓋子上割下面積為16 cm²的正方形，並在罐子底部鑽出兩個小孔，再裝上轉接頭以接上聚氯乙烯 (PVC) 管。

8.4. 溫室氣體排放量計算公式及各儀器單位轉換係數

公式： $F = (flux \times V \times t) \times (R \times T \times A)^{-1} \times unit^{-1}$			
溫室氣體分析儀	<i>flux</i>	t	unit
LI-820	ppm CO ₂ /30 sec	120	1000
GLA132	ppm CH ₄ /20 sec	180	1
LI-7810 (CO ₂)	ppm CO ₂ /sec	3600	1000
LI-7810 (CH ₄)	ppb CH ₄ /sec	3600	1000
LI-7820 (N ₂ O)	ppb N ₂ O/sec	3600	1000
F：氣體通量(mmol CO₂/m²h)及(μmol CH₄/N₂O/m²h) <i>flux</i>：迴歸線斜率，數值單位因儀器不同 <i>V</i>：罩蓋體積(L)，數值因罩蓋不同，詳見 8.2.、8.3. <i>t</i>：時間轉換，數值單位因儀器不同 <i>R</i>：理想氣體常數，0.082 (L atm/K·mol) <i>T</i>：絕對溫度 (K) <i>A</i>：罩蓋底面積 (m²)，數值因罩蓋不同，詳見 8.2.、8.3. <i>unit</i>：單位轉換係數，數值單位因儀器不同			

資料來源：「臺灣沿海重要碳匯生態系統調查與評估計畫」成果報告(林幸助 2022)

8.5 紅樹林生物量異速生長方程式

樹種	部位	異速生長方程式	胸徑/ 基徑	樹 高	測定 指標	生 態 型	參考文獻
水筆仔 <i>Kandelia obovata</i>	地上部	$B = 0.03203 (D_{1/10}^2 H)^{1.058}$	-	-	-	-	Khan et al. 2009
	地下部	$B = 0.0483 (D_{1/10}^2 H)^{0.834}$	-	-	-	-	Hoque et al. 2011
	地上部	$B = 0.01016 \cdot (D_0)^{2.454}$	-	< 2	D_0	幼齡植株	陳鷺真等 2023
	地下部	$B = 0.007649 \cdot (D_0)^{2.064}$					
	地上部	$B = 0.03999 \cdot (DBH^2 \cdot H)^{1.053}$	4.4-12.6	3.4-5.5	DBH, H	喬木	陳鷺真等 2023
	地下部	$B = 0.02972 \cdot (DBH^2 \cdot H)^{0.990}$					
	地下部	$B = 0.00698 \cdot DBH^{2.610}$					
海茄苳 <i>Avicennia marina</i>	地上部	$B = 0.178 \cdot (DBH)^{2.299}$	-	-	-	-	Clough et al. 1997
	地下部	$B = 1.28 \cdot (DBH)^{1.17}$	-	-	-	-	Comley and McGuinness 2005
	地上部	$B = 0.9462 \cdot (DBH^2 \cdot H)^{0.529}$	8.3-14.3	3.1-5.6	DBH, H	喬木	陳鷺真等 2023
	地下部	$B = 0.0796 \cdot (DBH^2 \cdot H)^{0.615}$					
	地上部	$B = 0.076123 \cdot (D_0^2 \cdot H)^{0.222}$	3.7-4.6	< 2	D_0, H	灌木	陳鷺真等 2023
	地下部	$B = 0.040168 \cdot (D_0^2 \cdot H)^{0.126}$					

五梨跤 <i>Rhizophora stylosa</i>	地上部	$B = 0.045 \cdot D_{30}^{2.868}$	-	-	-	-	Gevana and Im 2016
	地下部	$B = 0.134 \cdot D_{30}^{2.40}$					
	地上部	$B = 0.07689 \cdot (DBH^2 \cdot H)^{0.989}$	<12.6	4-6.5	DBH, H	喬木	陳鷺真等 2023
	地下部	$B = 0.09818 \cdot (DBH^2 \cdot H)^{1.049}$					
欖李 <i>Lumnitzera racemosa</i>	地上部	$B = 0.114 \cdot (DBH)^{2.523}$	4.2-15.4		DBH		Perera et al. 2012
	地下部	$B = 0.118 (DBH)^{2.063}$	4.2-15.4		DBH		
注：B (生物量) 單位為 kg ；DBH (胸徑) 從樹基部算起離地 1.3 m 高的樹徑，單位為 cm；D ₀ (基徑) 地面根頸處的樹幹直徑，單位為 cm；D _{1/10} ：1/10 樹高處直徑，單位為 cm；D ₃₀ ：最高支持根之上 30 cm 樹高處直徑，單位為 cm；H (樹高)，單位為 m。							