

AL-TMS0003

小規模減量方法

紅樹林植林

Mangrove Afforestation

版本 01.0

範疇別：12 農業及土地利用

I. 減量方法提案緣起及背景

氣候變遷不僅影響生態環境，更攸關全球經濟發展與人類健康。隨著各國陸續宣示溫室氣體淨零排放的目標，臺灣亦於2022年3月公布「2050淨零排放路徑藍圖」。為了達成淨零排放目標，透過「自然碳匯」之負碳技術是抵減溫室氣體排放的關鍵戰略之一，其生態系服務亦能帶來多樣化的共效益。臺灣四面環海，因具備優越地理位置，海域棲地多樣性與生態交會區等多重效應，使臺灣具有豐富且多元的海洋資源，具有發展「海洋碳匯」之潛力。全球海洋生物所捕獲和封存的碳中，至少有一半是儲存於海岸濕地「濱海藍碳生態系統」中¹。

紅樹林是主要的濱海藍碳生態系統，也是全球減緩氣候變遷重要自然解方 (nature-based solutions, NbS)。聯合國清潔發展機制 (Clean Development Mechanism, CDM) 有「劣化紅樹林棲地的造林與植林」(Afforestation and reforestation of degraded mangrove habitats) (AR-AM0014) 之方法，然而其內容繁瑣複雜，直接在臺灣執行有其困難。考量臺灣之法律規範、在地環境狀況、實際作業方式、量測程序操作技術與專案執行可行性等，修改、整合與補充其方法，目的在建立一套符合臺灣環境狀況且具可行性及品質管控之紅樹林植林之碳匯效益評估方法，以確保專案所增加碳匯具可量測、可報告與可查證性 (MRV)，促進臺灣紅樹林植林的溫室氣體自願減量專案之執行。

II. 既有減量方法差異說明

本減量方法與相關的 CDM AR-AM0014 方法之差異比較及修改原因列於表一。項目包含適用條件、專案邊界、基線移除量、專案移除量、洩漏、人為溫室氣體淨移除量與量測方法/參數之說明。

表一、本減量方法與既有減量方法差異比較表

差異說明	本減量方法 {編號/紅樹林植林}	既有減量方法 {CDM AR-AM0014/ Afforestation and reforestation of degraded mangrove habitats }
出處		CDM AR-AM0014 ver. 03.0
涉及之減量措施	紅樹林植林	造林與植林
(1)適用條件	<ol style="list-style-type: none">專案活動適用於人為型濕地，專案邊界在執行專案活動前2年內，無產業活動或執行專案活動不會導致產業外移，如閒置鹽田、閒置養殖池、閒置埤塘等。專案活動應種植紅樹林，並配合環境條件選用合宜樹種且可同時涵括以下任一項或多項之組合： (1) 水文管理 (如拆除潮汐障礙、改善水文連通性、恢復濕地潮汐或降低濕地水位等)； (2) 改變沉積物量(如利用疏濬	<ol style="list-style-type: none">專案活動用地為劣化紅樹林棲地。其劣化定義為濕地之紅樹林的森林鬱閉度低於第 5/CMP.1 號議文之林地定義「面積應大於0.05~1.0公頃以上，且應有10~30%以上的面積比例為高度在2~5m高的林木樹冠所鬱閉」之標準。專案區域內，紅樹林樹種 (mangrove species) 之種植面積應逾90%；若非紅樹林物種 (non-mangrove species) 之種植面積逾10%，則專案活動不得導致專案區域之水文、上下坡相連之濕地

¹ Blue future: Coastal wetlands can have a crucial role in the fight against climate change. Nature, 2016, 529: 255–256.

	<p>材料或將河流沉積物轉移至缺乏沉積物的區域等)；</p> <p>(3) 鹽度改變 (如引入海水提高棲地鹽度等)；</p> <p>(4) 水質改善 (如減少過多陸源營養鹽污染等)；</p> <p>(5) 管理方法改善 (如移除外來種、減少草食作用等)。</p> <p>3. 專案邊界內須進行防止種植紅樹林外溢之措施 (如於進出水口架設攔截網，阻絕紅樹林繁殖體之擴散等)。</p> <p>4. 除非基於保護紅樹林之必要措施外，不得進行林木伐除、移除植株、人為引火焚燒及移除地表枯落物、樹根及枯木等行為。</p> <p>5. 專案每年溫室氣體淨移除量應小於或等於20,000公噸二氧化碳當量 (tCO₂e)，且整個專案淨移除量需為正值。</p>	<p>區域水文之變化。</p> <p>3. 由 CDM A/R 專案活動引起的土壤擾動不得超過專案面積的10%²。</p>
(2)專案邊界	<p>1. 土地合格性</p> <p>專案區域除了滿足本方法學適用條件，專案申請者還需要提供土地合格性證明文件：</p> <p>(1) 地面基本調查資料：能表示過去土地利用狀況的高解析度地理空間資料 (如航空照片圖或衛星影像圖)。</p> <p>(2) 土地所有權證明資料：確定土地所有權才能避免專案邊界及專案活動有侵占他人土地之爭議。若為私人土地，須提供土地清冊或所有權人登記；若為國公有土地，須提供主管機關許可、授權或租賃證明等證明文件。此外，證明文件應有授權期間，並應涵蓋專案計入期間。</p> <p>2. 專案邊界範圍</p> <p>本減量方法之專案邊界指專</p>	<p>1. 專案邊界範圍</p> <p>專案活動之「專案邊界」係指擁有土地所有權或使用權的專案申請者所執行專案活動之地理範圍，植林的每塊毗林土地應有地理位置識別。</p> <p>2. 土地合格性</p> <p>於 AR-AM0014 ver. 03.0並未明文定義。但 CDM 執行理事會有提供造林與植林專案活動土地合格性的程序工具 (Procedures to demonstrate the eligibility of lands for A/R CDM project activities)，以協助評估與證明專案邊界內之土地具合格性。</p> <p>3. 碳庫及溫室氣體排放源之計算項目</p> <p>(1) 碳庫</p> <p>計算項目必須計入「地上部生物量、地下部生物量」，可自選是否計入「枯木及土壤有機碳」，不計入「枯落物」。</p> <p>(2) 溫室氣體排放源</p>

² 依據 CDM AR-AM0014。舉例來說，以 0.50 m×0.50 m (長×寬) 大小挖掘坑洞，坑洞間之間距為 3 m×3 m，此耕作方式之覆蓋率為 2.78 %，而連續耕作(continuous ploughing)則會達到 100% 覆蓋率。

	<p>案申請者實施紅樹林植林活動的地理範圍。經營活動可在不同分散土地進行，各分散之紅樹林植林面積皆應大於0.1 公頃。在申請專案時，專案申請者應提出資料證明專案邊界範圍、土地合格性及為土地權利關係人。</p> <p>另為避免影響專案邊界外的生態系統，並掌握紅樹林植林面積、擴張面積及外溢情形，建議以科學實地調查進行，輔以全球衛星定位系統 (GPS) 及地理資訊系統 (GIS) 之地理空間資料之方式進行標記，並於現地以界樁進行定位，一旦紅樹林外溢至專案邊界外須由專案申請者移除。</p> <p>碳庫計算項目</p> <p>碳庫變化、排放量及移除量的估計通常涉及五種碳庫 (IPCC 2006)。針對本方法之目的，地上部及地下部生物量為必須計入之項目；由於枯落物並非主要受影響之碳庫，因此只計算地上部、地下部生物量 (紅樹林植物體之生物量) 及土壤有機碳庫；依據保守性原則枯木不納入計算。</p> <p>溫室氣體排放源</p> <p>溫室氣體排放源分為三部分，分別為自然火災燃燒木質生物量、土壤非二氧化碳溫室氣體排放及執行專案活動使用化石燃料之溫室氣體排放。本方法不允許專案活動為整地或是森林管理之目的而燃燒木質生物量，但是受自然火災而排放之溫室氣體項目應被納入計算。若無燃燒木質生物量之行為活動，則計為零。自然火災燃燒木質生物量、土壤溫室氣體排放應計入包含甲烷 (methane, 分子式 CH₄)、氧化亞氮 (nitrous oxide, 分子式 N₂O)；執行專案活動使用化石燃料之溫室氣體排放僅計算二氧化碳 (carbon dioxide, 分子式 CO₂)、甲烷及氧</p>	<p>AR-AM0014 ver. 03.0 允許因整地或是作為森林管理之目的而燃燒木質生物量，必須計入 CH₄及 N₂O。</p> <p>4. 鑑別基線情境及證明外加性</p> <p>可應用「在 A/R CDM 專案活動中使用於鑑別基線情境以及證明外加性之結合工具」(Combined tool to identify the baseline scenario and demonstrate additionality in A/R CDM project activities) 或應用適合其專案且經過批准的標準化基線。</p> <p>5. 分層採樣</p> <p>若專案區域的生物量分佈不均時，應採取碳庫之「分層」採樣以提高生物量估算的精準度。</p>
--	--	---

化亞氮。

3. 外加性

依據民國112年10月12日環境部公布的「溫室氣體自願減量專案管理辦法」第8條第2項第3款辦理，即自願減量專案之溫室氣體每年排放量總減量小於或等於20,000公噸二氧化碳當量(tCO₂e)，專案計畫書之外加性分析得僅分析法規外加性。法規外加性之分析，包括是否有法規強制或政策鼓勵事業體執行專案活動、確認當地法規和政策對本專案活動之要求、確認專案活動的合理性、確定是否存在潛在法律或政府變化、評估專案是否超出法規要求，並提出相關文件或證據支持。

建議參考《漁業法》、《國家公園法》、《濕地保育法》、《重要濕地評定辦法》、《發展觀光條例》、《自然保護區設置管理辦法》、《野生動物保育法》、《文化資產保存法》、《海岸管理法》、《漁港法》、《海洋保育法》、《水污染防治法》、《農業發展條例》、《區域計畫法》、《都市計畫法》、《野生動物保育法》、《環評法》等規範，確認是否屬法規強制要求執行，或有違反相關法律、法規、政策措施之行為，而不得於法規禁止及嚴格管制區域執行專案活動，且應符合相關法規規範。

若專案活動涉及改善水質、改善水文連通性、恢復潮汐流至濕地或降低堤防濕地水位等工程，也需要提供相關的工程許可或符合法律規範，建議參考《環境影響評估法》、《水污染防治法》、《水利法》、《河川管理辦法》、《海岸管理法》、《國土計畫法》、《區域計畫法》、《建築法》、《文化資產保存法》、《野生動物保育法》、

	<p>《濕地保育法》及《海洋保育法》，或是中央主管機關及地方主管機關之相關規定)。此外，依照專案條件得進行環境衝擊分析及公眾意見，若有影響環境之虞，將不會進行專案。</p> <p>專案活動執行前應進行環境衝擊分析及公眾意見蒐集，並將相關分析納入專案計畫內，並以專章方式呈現。環境衝擊分析建議得參考海洋委員會公告之「海洋生物復育措施辦理原則及實施辦法」或其他國際已公開發表或官方公告可供環境衝擊分析之手冊或指南，公眾意見蒐集建議依照環境部「溫室氣體自願減量專案管理辦法」。</p>																																		
(3)基線移除量 (含基線 移除量計 算式)	$\Delta C_{BSL,t} = \Delta B_{BSL,t} + \Delta SOC_{BSL,t} - GHG_{BSL,t}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>參數</th><th>定義</th><th>單位</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\Delta C_{BSL,t}$</td><td>t年間(未執行專案活動)之基線溫室氣體淨移除量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$\Delta B_{BSL,t}$</td><td>t年間之基線紅樹林生物碳儲量的年變化量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$\Delta SOC_{BSL,t}$</td><td>t年間之紅樹林土壤碳儲量的年變化量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$GHG_{BSL,t}$</td><td>t年間基線非二氧化碳之溫室氣體排放量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>t</td><td>未執行專案之基線年，t=1, 2, 3...</td><td>yr</td></tr> </tbody> </table>	參數	定義	單位	$\Delta C_{BSL,t}$	t年間(未執行專案活動)之基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e	$\Delta B_{BSL,t}$	t年間之基線紅樹林生物碳儲量的年變化量	t CO ₂ e	$\Delta SOC_{BSL,t}$	t年間之紅樹林土壤碳儲量的年變化量	t CO ₂ e	$GHG_{BSL,t}$	t年間基線非二氧化碳之溫室氣體排放量	t CO ₂ e	t	未執行專案之基線年，t=1, 2, 3...	yr	$\Delta C_{BSL,t} = \Delta C_{TREE_{BSL,t}} + \Delta C_{SHRUB_{BSL,t}} + \Delta C_{DW_{BSL,t}}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>參數</th><th>定義</th><th>單位</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\Delta C_{BSL,t}$</td><td>t年內碳匯基線溫室氣體淨移除量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$\Delta C_{TREE_{BSL,t}}$</td><td>t年內專案邊界中基線喬木碳儲量的變化；根據工具「估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳儲量和碳儲量變化」所估算</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$\Delta C_{SHRUB_{BSL,t}}$</td><td>t年內專案邊界中基線灌木碳儲量的變化；根據工具「估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳儲量和碳儲量變化」所估算</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$\Delta C_{DW_{BSL,t}}$</td><td>t年內專案邊界中基線內枯木碳儲量的變化；根據工具「估算 A/R CDM 專案活動中枯木和枯落物的碳儲量和碳儲量變化」所估算</td><td>t CO₂e</td></tr> </tbody> </table>	參數	定義	單位	$\Delta C_{BSL,t}$	t年內碳匯基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e	$\Delta C_{TREE_{BSL,t}}$	t年內專案邊界中基線喬木碳儲量的變化；根據工具「估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳儲量和碳儲量變化」所估算	t CO ₂ e	$\Delta C_{SHRUB_{BSL,t}}$	t年內專案邊界中基線灌木碳儲量的變化；根據工具「估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳儲量和碳儲量變化」所估算	t CO ₂ e	$\Delta C_{DW_{BSL,t}}$	t年內專案邊界中基線內枯木碳儲量的變化；根據工具「估算 A/R CDM 專案活動中枯木和枯落物的碳儲量和碳儲量變化」所估算	t CO ₂ e
參數	定義	單位																																	
$\Delta C_{BSL,t}$	t年間(未執行專案活動)之基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e																																	
$\Delta B_{BSL,t}$	t年間之基線紅樹林生物碳儲量的年變化量	t CO ₂ e																																	
$\Delta SOC_{BSL,t}$	t年間之紅樹林土壤碳儲量的年變化量	t CO ₂ e																																	
$GHG_{BSL,t}$	t年間基線非二氧化碳之溫室氣體排放量	t CO ₂ e																																	
t	未執行專案之基線年，t=1, 2, 3...	yr																																	
參數	定義	單位																																	
$\Delta C_{BSL,t}$	t年內碳匯基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e																																	
$\Delta C_{TREE_{BSL,t}}$	t年內專案邊界中基線喬木碳儲量的變化；根據工具「估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳儲量和碳儲量變化」所估算	t CO ₂ e																																	
$\Delta C_{SHRUB_{BSL,t}}$	t年內專案邊界中基線灌木碳儲量的變化；根據工具「估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳儲量和碳儲量變化」所估算	t CO ₂ e																																	
$\Delta C_{DW_{BSL,t}}$	t年內專案邊界中基線內枯木碳儲量的變化；根據工具「估算 A/R CDM 專案活動中枯木和枯落物的碳儲量和碳儲量變化」所估算	t CO ₂ e																																	

(4)專案移除量 (含專案 移除計算 式)	$\Delta C_{ACTUAL,t} = \Delta C_{PROJ,t} - GHG_{fuel,t}$			$\Delta C_{ACTUAL,t} = \Delta C_{P,t} - GHG_{E,t}$ $\Delta C_{P,t} = \Delta C_{TREEPROJ,t}$ $+ \Delta C_{SHRUBPROJ,t}$ $+ \Delta C_{DWPROJ,t} + \Delta SOC_{PROJ,t}$		
	參數	定義	單位	參數	定義	單位
	$\Delta C_{ACTUAL,t}$	t 年間實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e	$\Delta C_{ACTUAL,t}$	t 年內實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
	$\Delta C_{PROJ,t}$	t 年間碳儲量的總變化量	t CO ₂ e	$\Delta C_{P,t}$	t 年內選定碳庫中碳儲量的變化	t CO ₂ e
	$GHG_{fuel,t}$	t 年間由於執行紅樹林植林專案活動，使用化石燃料之溫室氣體排放量。參照 CDM AR-Tool05 「A/R CDM 專案活動中與化石燃料燃燒有關的溫室氣體排放量估算工具」	t CO ₂ e	$GHG_{E,t}$	t 年內由於執行 A/R 專案活動，在專案邊界內增加的非 CO ₂ GHG 排放量。根據工具「估算在 A/R CDM 專案活動中可歸因於生物質燃燒而產生的非 CO ₂ 溫室氣體排放量」	t CO ₂ e
	$\Delta C_{PROJ,t}$ 計算方式同基線溫室氣體淨移除量，差異在於專案情境需實際測量，不得使用 10.1 預設數據與參數。計算如下： 即 $\Delta C_{PROJ,t} = \Delta B_{PROJ,t} + \Delta SOC_{PROJ,t} - GHG_{PROJ,t}$			$\Delta C_{TREEPROJ,t}$	t 年內專案邊界中喬木碳儲量的變化；根據工具「估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳儲量和碳儲量變化」所估算	t CO ₂ e
	參數	定義	單位	$\Delta C_{SHRUBPROJ,t}$	t 年內專案邊界中灌木碳儲量的變化；根據工具「估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳儲量和碳儲量變化」所估算	t CO ₂ e
	$\Delta B_{PROJ,t}$	t 年之專案紅樹林生物碳儲量年變化量	t CO ₂ e	$\Delta C_{DWPROJ,t}$	t 年內專案邊界中枯木碳儲量的變化；根據工具「估算 A/R CDM 專案活動中枯木和枯落物的碳儲量和碳儲量變化」所估算	t CO ₂ e
	$\Delta SOC_{PROJ,t}$	t 年之專案土壤有機碳儲量年變化量	t CO ₂ e	$\Delta SOC_{PROJ,t}$	t 年內專案中土壤有機碳儲量的變化	t CO ₂ e
	$GHG_{PROJ,t}$	t 年間之專案非二氧化碳之溫室氣體排放量	t CO ₂ e			
	t	專案執行年份，t=1, 2, 3...	yr			
(5)洩漏	依據本方法適用條件，專案活動的執行不會引起專案前產業活動之轉移，因此不考慮產業活動轉移所造成之排放。在本方法下，專案活動不具潛在洩漏，即 $LK_t = 0$ ，其中			$LK_t = LK_{AGRIC,t}$		
	參數	定義	單位	參數	定義	單位
	LK_t	t 年內因碳洩漏產生的溫室氣體排放量	t CO ₂ e	$LK_{AGRIC,t}$	t 年內農漁業活動轉	t CO ₂ e

	LK _t 為第 t 年專案活動所產生的洩漏排放量。		移造成的碳洩漏 (t CO ₂ e)。根據工具「估算因 A/R CDM 專案活動替換先前農漁業活動而增加的溫室氣體排放量」。	
(6)人為溫室氣體淨移除量	$\Delta C_{AR,t} = \Delta C_{ACTUAL,t} - \Delta C_{BSL,t} - LK_t$		$\Delta C_{AR-CDM,t} = \Delta C_{ACTUAL,t} - \Delta C_{BSL,t} - LK_t$	
	參數	定義	單位	
	$\Delta C_{AR,t}$	執行紅樹林植林專案活動而產生的人為溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e	
	$\Delta C_{ACTUAL,t}$	t 年間之實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e	
	$\Delta C_{BSL,t}$	t 年間 (未執行專案活動) 之基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e	
	LK_t	t 年間之洩漏所產生之溫室氣體排放量，依據本方法適用條件可視為零	t CO ₂ e	
(7) 量測方法/參數	專案申請者在撰寫專案設計文件時，必須提供並記錄相關量測資訊，並依據相關標準進行量測程序，且所有數據與相關資料均須以紙本與電子檔案進行保存至計入期結束後2年，包含：		「量測程序」分為四個部分，分別為「量測計畫」、「執行量測專案」、「精準度要求」、「數據要求」。	
	(1) 證明專案滿足本方法學適用條件之佐證資料與說明；		1. 「量測計畫」：量測計畫應提供收集所需的相關數據，以供查驗 (verification) 碳庫之碳儲存變化、專案排放和洩漏排放量。收集的相關數據應至少保存至最後一次核發減量額度後2年。	
	(2) 計算公式的選用、碳庫與碳儲量之材料、數據與說明；		2. 「執行量測專案」：專案設計文件 (PDD) 中應提供並記錄資訊，以確認主辦國執行受普遍公認的原則、森林盤查方法和森林管理。	
	(3) 計算專案邊界內碳排放和洩漏之材料、數據與說明。		3. 「精準度要求」：參照「估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳儲量和碳儲量變化」之要求。	
	1. 專案申請者須對專案執行期間所有專案活動進行量測或文字紀錄與說明，專案活動主要包含如：紅樹林種植、林地管理及與溫室氣體排放有關之活動進行量測與紀錄。		4. 「數據要求」：本方法中使用的工具可找到數據和參數的描述並依其要求進行量測。	
	2. 量測頻率：基線樣區的移除量量測至少須包含專案執行前一年，完整的碳儲量年變化量。專案樣區的量測頻率為至少三至五年一次量測年度，每次量測年度需進行四季採樣，且每次查證時皆須要有資料。應依據紅樹林樹種的生物學特性，			

	<p>於撰寫專案設計文件確定樣區的定期量測頻率。</p> <p>3. 精準度要求：</p> <p>(1) 碳儲量和碳儲量變化可參照 A/R CDM「估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳儲量和碳儲量變化」(Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities) 之精準度要求。</p> <p>(2) 所有使用於估算之數據與係數，其精度之優先順序應由高至低的層級(Tier)³，依序為 (a) 層級3 主要碳庫的詳細調查、定期測量或模型計算、定期測量或模型計算；層級2 國家特定資料的關鍵係數；層級1 使用 IPCC 預設的排放係數。</p> <p>依照本方法量測規範，國家特定資料的關鍵係數和 IPCC 預設係數，僅可用於專案活動前的專案計畫書估算減量額度，實際減量額度應以實際量測為依據。</p> <p>4. 樣區設置與量測：參考《濱海藍碳—紅樹林、鹽沼、海草床碳儲量及碳排放係數評估計方法 (Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows) 》(Howard et al. 2014) 或《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版。</p>	
--	---	--

III. 減量方法計算式設計概念

本減量方法計算式之設計概念詳如表二，包括基線移除量、專案移除量及其他計算式呈現之目的、原理與參採來源。

³ 參照 2006 IPCC NIR 指南、2013 IPCC NIR 濕地補充指南及內政部營建署溼地碳匯作業的三種估算層級。

表二、本減量方法計算式設計概念

	計 算 式	說明及參採來源
(1)基線移除量	$\Delta C_{BSL,t}$ $= \Delta B_{BSL,t} + \Delta SOC_{BSL,t} - GHG_{BSL,t}$ <p>(t 年間基線溫室氣體淨移除量 = t 年間基線紅樹林生物碳儲量年變化量 + t 年間基線土壤碳儲量年變化量 - t 年間基線非二氧化碳之溫室氣體排放量)</p>	基線移除量之方法主要參酌 IPCC 方法。
(2)專案移除量	$\Delta C_{ACTUAL,t} = \Delta C_{PROJ,t} - GHG_{fuel,t}$ <p>(t 年間實際溫室氣體淨移除量 = t 年間專案所有碳層碳儲量總變化量 - t 年間專案執行使用化石燃料之溫室氣體排放量)</p> <p>$\Delta C_{PROJ,t}$ 計算方式同基線溫室氣體淨移除量。</p>	專案移除量之方法主要參酌 IPCC 方法，而 $GHG_{fuel,t}$ 則依據 CDM AR-Tool05 之工具加入化石燃料之溫室氣體排放量。

IV. 小規模減量方法

1. 介紹

本減量方法的重要特性請參表三。

表三、減量方法重要特性

減量專案一般用法	本方法主要透過紅樹林植林，達成專案邊界內有機碳儲量增加之目的。
溫室氣體減量類型	移除型

2. 範疇、適用條件及生效日

2.1 範疇

本方法主要透過紅樹林植林，達成增加專案邊界內有機碳儲量之目的。

2.2 適用條件

1. 專案活動適用於人為型濕地⁴，專案邊界在執行專案活動前2年內，無產業活動或執行專案活動不會導致產業外移，如閒置鹽田、閒置養殖池、閒置埤塘等。
2. 專案活動應種植紅樹林，並配合環境條件選用合宜樹種且可同時涵括以下任一項或多項之組合：
 - (1) 水文管理 (如拆除潮汐障礙、改善水文連通性、恢復濕地潮汐或降低濕地水位等)。
 - (2) 沉積物改變 (如利用疏濬材料或將河流沉積物轉移至缺乏沉積物的區域等)。
 - (3) 鹽度改變 (如引入海水提高棲地鹽度等)。
 - (4) 水質改善 (如減少過多陸源營養鹽污染等)。
 - (5) 管理方法改善 (如移除外來種、減少草食作用等)。
3. 專案邊界內須進行防止種植紅樹林外溢之措施 (如於進出水口架設攔截網，阻絕紅樹林繁殖體之擴散等)。
4. 除非基於保護紅樹林之必要措施外，不得進行林木伐除、移除植株、人為引火焚燒及移除地表枯落物、樹根及枯木等行為。
5. 專案每年溫室氣體淨移除量應小於或等於20,000公噸二氧化碳當量 (tCO₂e)，且整個專案淨移除量需為正值。

專案執行者為佐證基線情境或專案活動符合上開條件，應提供相關資料文件，所需資料文件得參考附錄1。

2.3 生效日

生效日係以114年7月24日「環境部溫室氣體抵換專案暨自願減量專案審議會第19次會議」決議審核通過為準。

3. 名詞定義

基於本方法之目的，其相關名詞定義如下：

本減量方法相關名詞定義如下：

- (1) 紅樹林 (mangroves)：生長於海岸環境和海灣邊緣，平均海平面以上潮間帶之潮汐棲地的樹木、灌木、棕櫚或地被蕨類植物組成之森林。臺灣現存的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*)，皆為喬木種類 (在紅樹林年幼時尚未生長成喬木時，無法量測胸高直徑，因此建議參考紅樹林灌木的生物量量測方法)。因氣候條件及各紅樹林種類適應差異，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濱海地區。
- (2) 人為型濕地 (anthropogenic wetlands)：依據內政部「重要濕地評定變更廢止及民眾參與實施辦法」附表「重要濕地評定檢核表」。人為型濕地包含：養殖池、灌溉埤塘、水圳、水田、鹽田、水庫、水壩、儲水池、滯洪池、開鑿區及人工濕地。
- (3) 水文管理 (hydrological management)：如拆除潮汐障礙、改善水文連通性、恢復濕地潮汐或降低濕地水位等。

⁴ 參考內政部「重要濕地評定變更廢止及民眾參與實施辦法」附表「重要濕地評定檢核表」

- (4) 沉積物改變 (sediment alteration)：如利用疏濬材料或將河流沉積物轉移至缺乏沉積物的區域等。
- (5) 鹽度改變 (water salinity alteration)：如引入海水提高棲地鹽度等。
- (6) 水質改善 (water quality improvement)：如減少過多陸源營養鹽污染等。
- (7) 管理方法改善 (management improvement)：如移除外來種、減少草食作用等。
- (8) 紅樹林外溢 (mangrove encroachment)：紅樹林生長擴張至專案邊界外的情境。
- (9) 紅樹林擴張 (mangroves expanding)：專案邊界內紅樹林的面積增加。
- (10) 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釋放的碳。
- (11) 碳儲量 (carbon stock)：生態系統中儲存的碳總量，特別指每公頃特定深度 (紅樹林通常是1 公尺深) 土壤的碳含量。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轉換，單位為每公頃公噸二氧化碳當量 (t CO₂e/ha)。
- (12) 濕地土壤 (wetland soil)：濕地的土壤通常由有機土或礦物土組成。這些土壤可能全年或部分時間被潮汐淡水、半淡鹹水或鹹水所淹沒或飽和含水，其水深低潮時不超過6 公尺。
- (13) 自源性碳 (autochthonous carbon)：有機碳由紅樹林本身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。
- (14) 外源性碳 (allochthonous carbon)：源自於紅樹林以外的有機碳。
- (15) 地上部生物量 (aboveground biomass)：土壤層以上的植物體生物量，單位為乾重 (dry matter)，如枝、葉、種子、花、果實等。
- (16) 地下部生物量 (belowground biomass)：土壤層以下的植物體生物量，單位為乾重，如粗根、細根等。
- (17) 枯木 (dead wood)：枯落物以外的死亡生物量，如枯立木、枯倒木及直徑 ≥ 5.0 公分的枯枝、枯根與樹樁。
- (18) 枯落物 (litter)：從紅樹林落下的葉、枝、莖、樹皮、花果等。
- (19) 喬木 (tree)：樹高 ≥ 1.3 公尺且屬於**附錄2**中7 種喬木樹幹型態。
- (20) 灌木 (shrub)：樹高 < 1.3 公尺，已經是樹冠層，以葉子及枝條為主的樹木且不屬於**附錄2**中7 種喬木樹幹型態，無法量測樹胸徑之矮樹叢。
- (21) 異速生長方程式 (allometric equation)：建立易於直接測定的生物特徵參數 (如樹高、胸徑和基徑) 和難以直接測定的生物特徵參數之間的數量關係式，常用於估算林木生物量。
- (22) 有機碳含量百分比 (carbon fraction)：單位質量中有機碳含量，以百分比 (%) 表示之。
- (23) 地表高程監測系統 (surface elevation table, SET)：用於量測地表高程變化的可攜式手動操作裝置，在95%的信賴區間內的分辨率為±1.5 mm。
- (24) 土壤擾動 (soil disturbance)：導致土壤有機碳 (soil organic carbon, SOC) 減少的任何活動，例如：耕作、翻土、鬆土、挖坑、溝渠及清除樹樁等。
- (25) 單位

中文	英文	縮寫
二氧化碳當量	carbon dioxide equivalent	CO ₂ e
公噸	tonne	t

乾重	dry matter	d.m.
公噸乾重	tonne dry matter	t d.m.
每公頃公噸乾重	tonne dry matter per hectare	t d.m./ha
公頃	hectare	ha

(26) 公式中的縮寫代號

中文	英文	公式中的縮寫代號
基線情境	baseline scenario	<i>BSL</i>
專案情境	project scenario	<i>PROJ</i>
洩漏	leakage	<i>LK</i>
喬木	tree	<i>TREE</i>
灌木	shrub	<i>SHRUB</i>
生物量 (生物質)	biomass	<i>B</i> 或 <i>b</i> (依公式狀況)
有機碳含量百分比	carbon fraction	<i>CF</i>
燃燒係數	combustion factor	<i>COMF</i>
排放係數	emission factor	<i>EF</i>
溫暖化潛勢	global warming potential	<i>GWP</i>
溫室氣體排放量	greenhouse gas emission	<i>GHG_E</i>
土壤有機碳	soil organic carbon	<i>SOC</i>
面積	area	<i>A</i>

4. 土地合格性

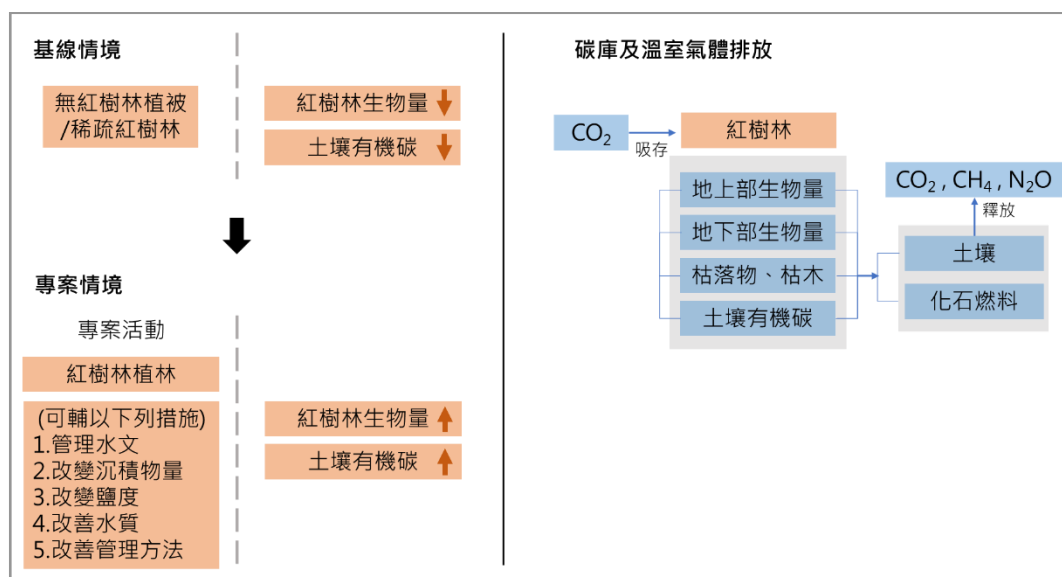
專案區域除了滿足本方法學適用條件，專案申請者 (Project Participants, PPs) 還需要提供土地合格性證明文件：

- (1) 地面基本調查資料：能表示過去土地利用狀況的高解析度地理空間資料，如航空照片圖或衛星影像圖。
- (2) 土地所有權證明資料：確定土地所有權才能避免專案邊界及專案活動有侵占他人土地之爭議。若為私人土地，須提供土地清冊或所有權人登記；若為國公有土地，須提供主管機關許可、授權或租賃證明等證明文件。此外，證明文件應有授權期間，並應涵蓋專案計入期期間。

5. 專案邊界

本減量方法之專案邊界指專案申請者實施紅樹林植林活動的地理範圍。經營活動可在不同分散土地進行，各分散之植林紅樹林面積皆應大於0.1公頃。在申請專案時，專案申請者應提出資料證明專案邊界範圍、土地合格性及為土地權利關係人。

另為避免影響專案邊界外的生態系統，並掌握紅樹林植林面積、擴張面積及外溢情形，建議以科學實地調查進行，輔以全球衛星定位系統 (GPS) 及地理資訊系統 (GIS) 之地理空間資料之方式進行標記，並於現地以界樁進行定位，一旦紅樹林外溢至專案邊界外須由專案申請者移除。



專案活動流程圖

【紅色箭頭往下表示紅樹林生物量或有機碳減少，往上則表示增加。】

碳庫變化、排放量及移除量的估計通常涉及五種碳庫 (IPCC 2006)。針對本方法之目的，地上部及地下部生物量為必須計入之項目；由於枯落物並非主要受影響之碳庫，因此只計算地上部、地下部生物量 (紅樹林植物體之生物量) 及土壤有機碳庫；依據保守性原則枯木不納入計算 (表四)。

表四、碳庫計算項目

碳庫	是否採用	理由/解釋
地上部生物量 (above-ground biomass)	是	專案活動的主要碳庫。
地下部生物量 (below-ground biomass)	是	碳庫中的碳儲量預計會受專案活動的執行而增加。
枯落物 (litter)	否	枯落物分解後會流入沉積物有機碳庫，依照國際間保守性作法將此碳庫排除在核算之外。
枯木 (dead wood)	否	基於保守性原則選擇不計入。
土壤有機碳 (soil organic carbon)	是	碳庫中的碳儲量可能會受專案活動的執行而增加。

溫室氣體排放源分為三部分，分別為自然火災燃燒木質生物量、土壤非二氧化碳溫室氣體排放及執行專案活動使用化石燃料之溫室氣體排放。本方法不允許專案活動為整地或是森林管理之目的而燃燒木質生物量，但是受自然火災而排放之溫室氣體項目應被納入計算。若無燃燒木質生物量之行為活動，則計為零。自然火災燃燒木質生物量、土壤溫室氣體排放應計入包含甲烷 (CH₄)、氧化亞氮 (N₂O)；執行專案活動使用化石燃料之溫室氣體排放需計算二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)及氧化亞氮(N₂O)之排放(表五)。

表五、溫室氣體排放項目

來源	氣體	是否採用	理由/解釋
紅樹林之木質生物量	CO ₂	否	生物量燃燒所產生的二氧化碳(CO ₂)排放量已被計入碳儲量變化之中。
	CH ₄	是	受火災燃燒木質生物量而導致甲烷(CH ₄)排放，若無自然火災，則可不計入。
	N ₂ O	是	受火災燃燒木質生物量而導致氧化亞氮(N ₂ O)排放，若無自然火災，則可不計入。
活動範圍之濕地土壤	CO ₂	否	CO ₂ 排放量已被計入碳儲量變化之中。
	CH ₄	是	若水體鹽度 < 18 psu ⁵ ，則當次(或季度)測量應計入，若水體鹽度 ≥ 18 psu 的情境則可不計入。
	N ₂ O	是	專案活動施以高營養鹽、肥料等，或水質達到 ≥ 中度優養化等級 ⁶ ，則當次(或季度)測量應計入；若水質優養化未達此等級，則可不計。
化石燃料	CO ₂	是	專案活動作業及量測作業中，車輛運輸和機具設備移動是潛在的主要排放源。專案活動作業也包含重新補植苗木及移除專案邊界外之紅樹林。
	CH ₄	是	專案活動作業及量測作業中，車輛運輸和機具設備移動是潛在的主要排放源。專案活動作業也包含重新補植苗木及移除專案邊界外之紅樹林。
	N ₂ O	是	專案活動作業及量測作業中，車輛運輸和機具設備移動是潛在的主要排放源。專案活動作業也包含重新補植苗木及移除專案邊界外之紅樹林。

6. 外加性

依據民國112年10月12日環境部公布的「溫室氣體自願減量專案管理辦法」第8條第2項第3款辦理，即自願減量專案之溫室氣體每年排放量總減量小於或等於20,000公噸二氧化碳當量(tCO₂e)，專案計畫書之外加性分析得僅分析法規外加性。法規外加性之分析，包括是否有法規強制或政策鼓勵事業體執行專案活動、確認當地法規和政策對本專案活動之要求、確認專案活動的合理性、確定是否存在潛在法律或政府變化、評估專案是否超出法規要求，並提出相關文件或證據支持。

建議參考《漁業法》、《國家公園法》、《濕地保育法》、《重要濕地評定辦法》、《發展觀光條例》、《自然保護區設置管理辦法》、《野生動物保育法》、《文化資產保存法》、《海岸管理法》、《漁港法》、《海洋保育法》、《水污染防治法》、《農業發展條例》、《區域計畫法》、《都

⁵ 依據 IPCC《對2006國家溫室氣體清冊的2013補充指南：濕地》(2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands)，設定海水水體鹽度18 psu 的標準。

⁶ 優養化指數計算方式為(E)=[化學需氧量]*[無機氮]*[活性磷酸鹽]/4500*10⁶。其中，E ≤ 3.0為輕度優養化；3.0 < E ≤ 9.0為中度優養化；E > 9.0為重度優養化。化學需氧量、無機氮及活性磷酸鹽單位為每公升毫克(mg/L)。

市計畫法》、《野生動物保育法》、《環評法》等規範，確認是否屬法規強制要求執行，或有違反相關法律、法規、政策措施之行為，而不得於法規禁止及嚴格管制區域執行專案活動，且應符合相關法規規範。

若專案活動涉及改善水質、改善水文連通性、恢復潮汐流至濕地或降低堤防濕地的水位等工程，也需要提供相關的工程許可或符合法律規範，建議參考《環境影響評估法》、《水污染防治法》、《水利法》、《河川管理辦法》、《海岸管理法》、《國土計畫法》、《區域計畫法》、《建築法》、《文化資產保存法》、《野生動物保育法》、《濕地保育法》及《海洋保育法》，或是中央主管機關及地方主管機關之相關規定。

專案活動執行前應進行環境衝擊分析及公眾意見蒐集，並將相關分析納入專案計畫內，並以專章方式呈現。環境衝擊分析建議得參考海洋委員會公告之「海洋生物復育措施辦理原則及實施辦法」或其他國際已公開發表或官方公告可供環境衝擊分析之手冊或指南，公眾意見蒐集建議依照環境部「溫室氣體自願減量專案管理辦法」。

7. 基線移除量

「基線情境」指未實施專案活動下，實際之土地利用方式及狀況。「基線溫室氣體淨移除量」係指在基線情境下，專案邊界內碳庫的碳儲量變化之總和。基線溫室氣體移除量計算時，需估算原植被及土壤每年碳儲量變化。專案申請者應評估在基線情境之下，專案邊界是否存在影響碳儲量產生重大變化之因子，需要現地調查或文獻佐證。

基線移除量計算式如下：

(1) 基線溫室氣體淨移除量

依據所選擇之碳庫，計算各基線 (BSL) 碳層之紅樹林碳儲量的年度總變化量，即為基線紅樹林碳儲量的年變化量 ($\Delta C_{BSL,t}$)。

$$\Delta C_{BSL,t} = \Delta B_{BSL,t} + \Delta SOC_{BSL,t} - GHG_{BSL,t} \quad \text{式1}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年間 (未執行專案活動) 之基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta B_{BSL,t}$	t 年間之基線紅樹林生物碳儲量的變化量	t CO ₂ e
$\Delta SOC_{BSL,t}$	t 年間之紅樹林土壤碳儲量的變化量	t CO ₂ e
$GHG_{BSL,t}$	t 年間之基線非二氧化碳之溫室氣體排放量	t CO ₂ e
t	未執行專案之基線年份，t=1, 2, 3...	yr

(2) 基線生物碳儲量年變化量

依據所選定之碳庫、分層劃分之碳層與樹種面積，計算各基線 (BSL) 碳層之紅樹林生物碳儲量的年總變化量，即為基線紅樹林生物碳儲量的年變化量 ($\Delta B_{BSL,t}$)。

$$\Delta B_{BSL,t} = \sum_{ijt} (A_{BSL,i,j,t} \times \Delta B_{BSL,i,j,t}) \times 44/12 \quad \text{式1-1}$$

參數	定義	單位
$\Delta B_{BSL,t}$	t 年間之基線紅樹林生物碳儲量的變化量	t CO ₂ e
$A_{BSL,i,j,t}$	第 t 年之基線第 i 碳層 j 樹種的面積	ha
$\Delta B_{BSL,i,j,t}$	第 t 年之基線第 i 碳層 j 樹種之單位面積紅樹林生物碳儲量年變化量	t C/ha·yr
44/12	有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數 ⁷	-

⁷ 係數來自於二氧化碳與碳之分子量比44/12。使用於將碳量 (t C) 轉換為二氧化碳當量 (t CO₂e)。

i	基線碳層，i = 1, 2, 3...	-
j	紅樹林樹種，j = 1, 2, 3...	-
t	未執行專案之基線年份，t=1, 2, 3...	yr

專案申請者可以依據1-1-1式來估算單位面積紅樹林生物碳儲量年變化量 ($\Delta B_{BSL,i,j,t}$)。若缺乏地下部資料，可使用1-1-2式估算。

$$\Delta B_{BSL,i,j,t} = \left(\Delta B_{TREEAB,i,j,t} \times CF_{TREEAB,i,j,t} + \Delta B_{TREEBB,i,j,t} \times CF_{TREEBB,i,j,t} \right) + \left(\Delta B_{SHRUBAB,i,j,t} \times CF_{SHRUBAB,i,j,t} + \Delta B_{SHRUBBB,i,j,t} \times CF_{SHRUBBB,i,j,t} \right) \quad \text{式1-1-1}$$

參數	定義	單位
$\Delta B_{BSL,i,j,t}$	第 t 年之基線第 i 碳層 j 樹種之單位面積紅樹林生物碳儲量年變化量	t C/ha·yr
$\Delta B_{TREEAB,i,j,t}$	紅樹林喬木地上部平均年生長量 (乾重)	t d.m./ha·yr
$CF_{TREEAB,i,j,t}$	紅樹林喬木地上部有機碳含量百分比	%
$\Delta B_{TREEBB,i,j,t}$	紅樹林喬木地下部平均年生長量 (乾重)	t d.m./ha·yr
$CF_{TREEBB,i,j,t}$	紅樹林喬木地下部有機碳含量百分比	%
$\Delta B_{SHRUBAB,i,j,t}$	紅樹林灌木地上部平均年生長量 (乾重)	t d.m./ha·yr
$CF_{SHRUBAB,i,j,t}$	紅樹林灌木地上部有機碳含量百分比	%
$\Delta B_{SHRUBBB,i,j,t}$	紅樹林灌木地下部平均年生長量 (乾重)	t d.m./ha·yr
$CF_{SHRUBBB,i,j,t}$	紅樹林灌木地下部有機碳含量百分比	%
TREE	喬木	-
SHRUB	灌木	-
i	基線碳層，i = 1, 2, 3...	-
j	紅樹林樹種，j = 1, 2, 3...	-
t	未執行專案之基線年份，t=1, 2, 3...	yr

$$\Delta B_{BSL,i,j,t} = \sum_{ij} \{ \Delta B_{AB,i,j,t} \times (1 + R_{BSL,i,j,t}) \times CF_{BSL,i,j,t} \} \quad \text{式1-1-2}$$

參數	定義	單位
$\Delta B_{BSL,i,j,t}$	第 t 年之基線第 i 碳層 j 樹種之單位面積紅樹林生物碳儲量年變化量	t C/ha·yr
$\Delta B_{AB,i,j,t}$	紅樹林地上部平均年生長量 (乾重)	t d.m./ha·yr
$R_{BSL,i,j,t}$	第 t 年之第 i 碳層 j 樹種的根莖比，即地下部生物量與地上部生物量比值	-
$CF_{BSL,i,j,t}$	第 t 年之第 i 碳層 j 樹種有機碳含量百分比 (%)	%
i	基線碳層，i = 1, 2, 3...	-
j	紅樹林樹種，j = 1, 2, 3...	-
t	未執行專案之基線年份，t=1,2,3...	yr

(3) 基線土壤碳儲量年變化量

提供專案申請者兩種子公式 ($aSOC_{i,j,t}$ 或 $dSOC_{i,j,t}$) 及經驗值 (EF_{Soils})，以計算土壤有機碳儲量年變化量 ($\Delta SOC_{BSL,t}$)。 $aSOC_{i,t}$ 為自源性土壤碳儲量年變化量，而 $dSOC_{i,j,t}$ 為自源性加外源性土壤碳儲量年變化量。使用之優先順序為 $aSOC_{i,j,t}$ (式1-2-1)、 $dSOC_{i,j,t}$ (式1-2-2) 及 EF_{Soils} 。專案申請者可考量環境、成本等條件自選，但應於專案申請文件中進行說明並記錄。計算公式如下：

$$\Delta SOC_{BSL,t} = \sum_{ijt} A_{BSL,i,j,t} \times (aSOC_{i,j,t} \text{ 或 } dSOC_{i,j,t} \text{ 或 } -EF_{Soils}) \times 44/12$$

式1-2

參數	定義	單位
$\Delta SOC_{BSL,t}$	t 年間之基線土壤有機碳儲量變化量	t CO ₂ e
$A_{BSL,i,j,t}$	第 t 年之基線第 i 碳層 j 樹種的面積	ha
$aSOC_{i,j,t}$	第 t 年紅樹林自源性土壤碳儲量年變化量	t C/ha·yr
$dSOC_{i,j,t}$	第 t 年紅樹林自源加外源性土壤有機碳儲量年變化量	t C/ha·yr
EF_{Soils}	第 t 年紅樹林土壤碳排放係數。估計值可視現地土壤狀態參考「數據與參數表12」之估計值。係數正值表示碳排放，負值表示碳吸存。	t C/ha·yr
44/12	有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數	-
i	基線碳層，i = 1, 2, 3...	-
j	紅樹林樹種，j = 1, 2, 3...	-
t	未執行專案之基線年份，t = 1, 2, 3...	yr

(a) 自源性土壤碳儲量年變化量

$$aSOC_{i,j,t} = LI_{AB,i,j,t} \times W_{LI_{AB,i,j,t}} + LI_{BB,i,j,t} \times W_{LI_{BB,i,j,t}}$$

式1-2-1

參數	定義	單位
$aSOC_{i,j,t}$	紅樹林自源性土壤碳儲量年變化量	t C/ha·yr
$LI_{AB,i,j,t}$	紅樹林地上部枯落物年增加量	t C/ha·yr
$W_{LI_{AB,i,j,t}}$	紅樹林地上部枯落物分解剩餘量百分比	%
$LI_{BB,i,j,t}$	紅樹林地下部死亡細根年增加量	t C/ha·yr
$W_{LI_{BB,i,j,t}}$	紅樹林地下部死亡細根分解剩餘量百分比	%
i	基線碳層，i = 1, 2, 3...	-
j	紅樹林樹種，j = 1, 2, 3...	-
t	未執行專案之基線年份，t = 1, 2, 3...	yr

(b) 以地表高程監測系統 (SET) 量測自源性加外源性土壤碳儲量年變化量

$$dSOC_{i,j,t} = SEC_{i,j,t} \times SBD_{i,j,t} \times CF_{Soils,i,j,t}$$

式1-2-2

參數	定義	單位
$dSOC_{i,j,t}$	紅樹林土壤有機碳儲量年變化量	t C/ha·yr
$SEC_{i,j}$	紅樹林地表高程年變化量	cm/yr
$SBD_{i,j}$	紅樹林土壤總體密度	g/cm ³
$CF_{Soils,i,j}$	紅樹林土壤有機碳含量百分比	%
i	基線碳層，i = 1, 2, 3...	-
j	紅樹林樹種，j = 1, 2, 3...	-
t	未執行專案之基線年份，t = 1, 2, 3...	yr

(4) 基線非二氧化碳之溫室氣體年排放量

非二氧化碳之溫室氣體排放量分為兩部分，包括自然火災及濕地土壤排放。

$$GHG_{BSL,t} = \sum_{it} (GHG_{FF_TREE,t} + GHG_{SED,i,t}) \quad \text{式1-3}$$

參數	定義	單位
$GHG_{BSL,t}$	t 年間之基線非二氧化碳之溫室氣體排放量	t CO ₂ e
$GHG_{FF_TREE,t}$	第 t 年受火災所引起的林木地上部生物量燃燒，並造成非二氧化碳之溫室氣體排放量	t CO ₂ e/yr
$GHG_{SED,i,t}$	第 t 年之第 i 碳層的土壤非二氧化碳之溫室氣體排放量	t CO ₂ e/yr
i	基線之碳層，i = 1, 2, 3...	-
t	專案執行之年份，t=1, 2, 3...	yr

考慮專案邊界內受自然火災所引起的林木地上部生物量燃燒，並造成非二氧化碳之溫室氣體排放，即甲烷 (CH₄) 和氧化亞氮 (N₂O) 排放。使用溫暖化潛勢 (GWP) 將非二氧化碳之溫室氣體轉換為二氧化碳當量 (CO₂e)。

$$GHG_{FF_TREE,t} = 0.001 \times \sum_{i,t} \{ A_{SPF,i,t} \times b_{TREE,i,tL} \times COMF_i \times (EF_{CH_4} \times GWP_{CH_4} + EF_{N_2O} \times GWP_{N_2O}) \} \quad \text{式1-3-1}$$

參數	定義	單位
$GHG_{FF_TREE,t}$	第 t 年因火災所引起的林木地上部生物量燃燒，並造成非二氧化碳之溫室氣體排放量	t CO ₂ e/yr
$A_{SPF,i,t}$	第 t 年第 i 碳層所發生的燃燒面積	ha
$b_{TREE,i,tL}$	火災發生前，專案最近一次查證時，第 i 碳層單位面積林木地上部生物量。如果只發生地表火，林木之地上部生物量未受燃燒，則設 $b_{TREE,i,t}$ 為零	t d.m/ha
tL	火災發生前，最近一次查證的時間	-
$COMF_i$	第 i 碳層燃燒係數 (combustion factor)	-
EF_{CH_4}	甲烷 (CH ₄) 排放係數	kg CH ₄ /t 燃燒的乾物質
EF_{N_2O}	氧化亞氮 (N ₂ O) 排放係數	kg N ₂ O/t 燃燒的乾物質
GWP_{CH_4}	甲烷 (CH ₄) 的全球溫暖化潛勢，依 IPCC 之 GWP 估計值	-
GWP_{N_2O}	氧化亞氮 (N ₂ O) 的全球溫暖化潛勢，依 IPCC 之 GWP 估計值	-
i	基線碳層，i = 1, 2, 3...	-
t	專案執行年份，t=1, 2, 3...	yr
0.001	單位轉換常數，將公斤 (kg) 轉為噸 (t)	-

由於濕地土壤具有溫室氣體排放之特徵，因此應考慮計入活動範圍之濕地土壤的溫室氣體排放量。使用溫暖化潛勢 (GWP) 將非二氧化碳之溫室

氣體轉換為二氧化碳當量 (CO₂e)。專案申請者可透過下列條件，評估是否應計入甲烷 (CH₄) 和氧化亞氮 (N₂O) 之排放量：

- (a) 水體鹽度為0至18 psu 時，當次 (或季) 測量應考慮計入甲烷 (CH₄) 之排放量；若鹽度高於18 psu 時，則可不計入甲烷 (CH₄) 之排放量。
- (b) 專案邊界若無輸入含氮的生活污水或養殖污水，且水質未達中度優養化等級時，當次 (或季) 測量可不計入氧化亞氮 (N₂O) 之排放量。水質達中度優養化等級，則需測量氧化亞氮 (N₂O) 之排放量。優養化指數計算方式為 $(E) = [\text{化學需氧量}] \times [\text{無機氮}] \times [\text{活性磷酸鹽}] / 4500 \times 10^6$ 。其中， $E \leq 3.0$ 為輕度優養化； $3.0 < E \leq 9.0$ 為中度優養化； $E > 9.0$ 為重度優養化。化學需氧量、無機氮及活性磷酸鹽單位為每公升毫克 (mg/L)。

$$GHG_{SED,i,t} = A_{i,t} \times (GHG_{CH_4,i,t} \times GWP_{CH_4} + GHG_{N_2O,i,t} \times GWP_{N_2O}) \quad \text{式1-3-2}$$

參數	定義	單位
$GHG_{SED,i,t}$	第 t 年第 i 碳層的濕地土壤排放量	t CO ₂ e/yr
$A_{i,t}$	第 t 年第 i 碳層的土地面積	ha
$GHG_{CH_4,i,t}$	第 t 年第 i 碳層的甲烷 (CH ₄) 排放量	t CH ₄ /ha·yr
$GHG_{N_2O,i,t}$	第 t 年第 i 碳層的氧化亞氮 (N ₂ O) 排放量	t N ₂ O/ha·yr
GWP_{CH_4}	甲烷 (CH ₄) 的全球溫暖化潛勢，預設數據與參數1	-
GWP_{N_2O}	氧化亞氮 (N ₂ O) 的全球溫暖化潛勢，預設數據與參數1	-
i	基線碳層，i = 1, 2, 3...	-
t	專案執行年份，t = 1, 2, 3...	yr

8. 專案移除量

專案執行後，專案邊界內受專案活動而產生的專案溫室氣體淨移除量，即專案所增加之碳匯量。

(1) 專案溫室氣體淨移除量

估算方式為專案邊界內各碳庫中碳儲量之總和 (專案邊界內碳庫在 t 年內碳儲量的總變化量， $\Delta C_{PROJ,t}$)，扣除執行專案活動使用化石燃料的排放量 ($GHG_{fuel,t}$)。專案溫室氣體淨移除量 ($\Delta C_{ACTUAL,t}$) 計算公式如下。

$$\Delta C_{ACTUAL,t} = \Delta C_{PROJ,t} - GHG_{fuel,t} \quad \text{式2}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	t 年間之實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{PROJ,t}$	t 年間之所有碳庫碳儲量總變化量，計算方法同基線溫室氣體淨移除量 ($\Delta C_{BSL,t}$)，差異在於專案情境需依照「11.1 應量測之數據與參數」實際測量所需參數，不得使用「11.1 應量測之數據與參數」所提供的參數數值直接估算。	t CO ₂ e
$GHG_{fuel,t}$	t 年間由於執行紅樹林植林專案活動，使用化石燃料之溫室氣體排放量。可參照 CDM AR-Tool05「A/R CDM 專案活動中與化石燃料燃燒有關的溫室氣體排放量估算工具」	t CO ₂ e

專案邊界內各碳庫在 t 年間碳儲量總變化量 ($\Delta C_{PROJ,t}$) 之計算方式同基線溫室氣體淨移除量 (式1)，差異在於專案情境需實際測量，不得使用10.1預設數據與參數。計算如下：

$$\Delta C_{PROJ,t} = \Delta B_{PROJ,t} + \Delta SOC_{PROJ,t} - GHG_{PROJ,t} \quad \text{式2-1}$$

參數	定義	單位
$\Delta B_{PROJ,t}$	t 年之專案紅樹林生物碳儲量年變化量	t CO ₂ e
$\Delta SOC_{PROJ,t}$	t 年之專案土壤有機碳儲量年變化量	t CO ₂ e
$GHG_{PROJ,t}$	t 年間之專案非二氧化碳之溫室氣體排放量	t CO ₂ e
t	專案執行年份，t=1, 2, 3...	yr

(2) 專案活動中使用化石燃料所產生的溫室氣體年排放量

專案活動中 (包含紅樹林植林的每一次補植、量測及移除專案邊界外之紅樹林等)，使用化石燃料之車輛運輸及機具設備是重要的二氧化碳潛在排放源。排放來源包括移動式及固定式兩種類型：移動式排放類型如卡車、拖拉機等；而固定式排放類型，如鏈鋸等可攜式設備和水泵 (water pumps) 等固定設備。

$$GHG_{fuel,t} = \sum_{j=1}^J ET_{FC,j,t} \quad \text{式2-2}$$

參數	定義	單位
$GHG_{fuel,t}$	t 年間由於執行植林專案活動，使用化石燃料之溫室氣體排放量	t CO ₂ e
$ET_{FC,j,t}$	第 t 年 j 類型車輛/機具設備其化石燃料燃燒所產生的二氧化碳排放量	t CO ₂ e/yr
j	車輛/機具設備類型	-
J	車輛/機具設備類型總數	-

$ET_{FC,j,t}$ 估算可用直接法與間接法，其中間接法公式中參數選擇的優先順序為 $\left(n \times \frac{MT_{j,t}}{TL_{j,t}} \times AD_{j,t}\right)$ 、 $(NV_{j,t} \times TD_{j,t})$ 及 $(MT_{j,t} \times TD_{j,t})$ 。

$$\sum_{j=1}^J ET_{FC,j,t}$$

(a) 直接法

$$= \sum_{f=1}^F FC_{FC,f,j,t} \times (EF_{CO2,f} + EF_{CH4,f} \times GWP_{CH4} + EF_{N2O,f} \times GWP_{N2O}) \times NCV_f \quad \text{式2-2-1}$$

(b) 間接法

$$= \sum_{f=1}^F \left(n \times \frac{MT_{j,t}}{TL_{j,t}} \times AD_{j,t} \right) \text{ or } (NV_{j,t} \times TD_{j,t}) \text{ or } (MT_{j,t} \times TD_{j,t}) \times SECK_{j,f,t} \times (EF_{CO2,f} + EF_{CH4,f} \times GWP_{CH4} + EF_{N2O,f} \times GWP_{N2O}) \times NCV_f$$

(移動式) 式2-2-2

$$= \sum_{f=1}^F NE_{j,t} \times TU_{j,t} \times SECU_{j,f,t} \times (EF_{CO2,f} + EF_{CH4,f} \times GWP_{CH4} + EF_{N2O,f} \times GWP_{N2O}) \times NCV_f$$

(固定式) 式2-2-3

參數	定義	單位
$ET_{FC,j,t}$	第 t 年 j 類型車輛/機具設備其化石燃料燃燒所產生之二氧化碳排放量	t CO ₂ e/yr

$FC_{FC,f,j,t}$	第 t 年 j 類型車輛/機具設備消耗的燃料類型 f 量	質量或體積單位/yr
$EF_{CO_2,f}$	燃料類型 f 的二氧化碳排放係數	t CO ₂ /GJ
$EF_{CH_4,f}$	燃料類型 f 的甲烷排放係數	t CH ₄ /GJ
GWP_{CH_4}	甲烷 (CH ₄) 的全球溫暖化潛勢，估計值為 27.9，請參「預設數據與參數表 1」	-
$EF_{N_2O,f}$	燃料類型 f 的氧化亞氮排放係數	t N ₂ O/GJ
GWP_{N_2O}	氧化亞氮 (N ₂ O) 的全球溫暖化潛勢，估計值為 273，請參「預設數據與參數表 1」	-
NCV_f	燃料類型 f 的淨熱值 (net calorific value, NCV)	GJ/質量或體積
n	回程負載 (return load) 的指標 ⁸	-
$MT_{j,t}$	第 t 年 j 類型車輛運載的總質量。當無法取得參數 $\frac{MT_{j,t}}{TL_{j,t}}$ 時，可以使用 $\frac{MT_t}{TL_{av,t}}$ (總運載質量/車輛類型中運載最多負載的指標性車輛類型) 作替換	t
$TL_{j,t}$	第 t 年 j 類型車輛的載重能力 (load capacity)	t
$AD_{j,t}$	第 t 年 j 類型車輛的平均單程距離	km
$NV_{j,t}$	第 t 年 j 類型車輛的數量	-
$TD_{j,t}$	第 t 年 j 類型車輛的總行駛距離 (包括返程)	km
$SECK_{j,f,t}$	第 t 年 j 類型車輛對於燃料 i 的特定能耗	燃料量/km
$NE_{j,t}$	第 t 年 j 類型機具設備的數量	-
$TU_{j,t}$	第 t 年 j 類型機具設備的總使用時間	小時
$SECu_{j,f,t}$	第 t 年 j 類型機具設備對於燃料 f 的特定能耗	燃料量/小時
j	車輛船隻/機具設備類型	-
J	車輛船隻/機具設備類型總數	-
f	燃料類型 (fuel types)	-
F	燃料類型總數	-

9. 洩漏排放

依據本方法適用條件，專案活動的執行不會引起專案前產業活動之轉移，因此不考慮產業活動轉移所造成之排放。在本方法下，專案活動不具潛在洩漏，即 $LK_t = 0$ ，其中 LK_t 為第 t 年專案活動所產生的洩漏排放量。

10. 淨移除量

專案活動所產生之人為溫室氣體淨移除量，等於專案碳匯量 (專案溫室氣體淨移除量) 扣除基線碳匯量 (基線溫室氣體淨移除量) 以及洩漏所產生之溫室氣體排放量。

計入期間 y 年之減量計算如下：

$$\Delta C_{AR,t} = \Delta C_{ACTUAL,t} - \Delta C_{BSL,t} - LK_t \quad \text{式3}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{AR,t}$	執行紅樹林植林專案活動而產生的人為溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e

⁸ 當回程負載為滿載時 (搭載其他商品)，n = 1。當回程負載為空載時，n = 2。如果不能證明回程負載為滿載，則 n = 2。

$\Delta C_{ACTUAL,t}$	t 年間之實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年間 (未執行專案活動) 之基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
LK_t	t 年間洩漏所產生之溫室氣體排放量，依據本方法適用條件可視為零	t CO ₂ e

10.1 預設數據與參數說明 (視必要)

根據環境部自願減量專案規定，預設數據與參數是指「該參數在註冊階段確定數值後，後續監測期間不用（不能）監測其數值」。

預設數據與參數1

參數	<i>COMF</i>																
單位	-																
描述	針對每種植被類型的燃燒係數 (Combustion factor)																
資料來源	使用資料來源的優先順序： (a) 專案申請者於專案邊界內透過實地調查之資料 (應提供透明且可信之資料佐證) (b) 當地區域或相似生態條件之調查資料 (c) 國家級的資料 (如溫室氣體盤查資料) (d) CDM 方法估計值。資料來源：A/R Methodological Tool Estimation of non-CO ₂ GHG emissions resulting from burning of biomass attributable to an A/R CDM project activity																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>林型</th><th>平均林齡 (年)</th><th>估計值</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">熱帶森林</td><td>3-5</td><td>0.46</td></tr> <tr> <td>6-10</td><td>0.67</td></tr> <tr> <td>11-17</td><td>0.50</td></tr> <tr> <td>大於等於18</td><td>0.32</td></tr> <tr> <td>溫帶森林</td><td>所有</td><td>0.45</td></tr> </tbody> </table>	林型	平均林齡 (年)	估計值	熱帶森林	3-5	0.46	6-10	0.67	11-17	0.50	大於等於18	0.32	溫帶森林	所有	0.45	
林型	平均林齡 (年)	估計值															
熱帶森林	3-5	0.46															
	6-10	0.67															
	11-17	0.50															
	大於等於18	0.32															
溫帶森林	所有	0.45															
其他說明	-																

預設數據與參數2

參數	EF _{CH4}							
單位	g CH ₄ /kg 燃燒的乾物質							
應用公式	1-3-1							
描述	CH ₄ 排放係數							
資料來源	<p>使用資料來源的優先順序：</p> <p>(a) 專案申請者於專案邊界內透過實地調查之資料 (應提供透明且可信之資料佐證)</p> <p>(b) 當地區域或相似生態條件之調查資料</p> <p>(c) 國家級的資料 (政府最新年度公告之排放係數)</p> <p>(d) CDM 方法估計值。資料來源： A/R Methodological Tool Estimation of non-CO₂ GHG emissions resulting from burning of biomass attributable to an A/R CDM project activity</p> <table><tr><td>林型</td><td>估計值</td></tr><tr><td>熱帶森林</td><td>6.8</td></tr><tr><td>其他森林</td><td>4.7</td></tr></table>		林型	估計值	熱帶森林	6.8	其他森林	4.7
林型	估計值							
熱帶森林	6.8							
其他森林	4.7							
其他說明	-							

預設數據與參數3

參數	EF_{N_2O}						
單位	g N ₂ O/kg 燃燒的乾物質						
應用公式	1-3-1						
描述	N ₂ O 排放係數						
資料來源	<p>使用資料來源的優先順序：</p> <p>(a) 專案申請者於專案邊界內透過實地調查之資料 (應提供透明且可信之資料佐證)</p> <p>(b) 當地區域或相似生態條件之調查資料</p> <p>(c) 國家級的資料 (政府最新年度公告之排放係數)</p> <p>(d) CDM 方法估計值。資料來源：A/R Methodological Tool Estimation of non-CO₂ GHG emissions resulting from burning of biomass attributable to an A/R CDM project activity</p> <table border="1"> <tr> <th>林型</th><th>估計值</th></tr> <tr> <td>熱帶森林</td><td>0.20</td></tr> <tr> <td>其他森林</td><td>0.26</td></tr> </table>	林型	估計值	熱帶森林	0.20	其他森林	0.26
林型	估計值						
熱帶森林	0.20						
其他森林	0.26						
其他說明	-						

預設數據與參數4

IPCC (GWP-100) ⁹	AR1 (1990)	AR2 (1995)	AR3 (2001)	AR4 (2007)	AR5 (2014)	AR6 (2021)
CO ₂	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
CH ₄ -non-fossil	21	21	23	25	28	27
N ₂ O	290	310	296	298	265	273

註：GWP 值應依據環境部所規範，其次採 IPCC 最新版評估報告。

預設數據與參數5

參數	EF_{CO_2f}
單位	t CO ₂ /GJ
描述	燃料類型 f 的 CO ₂ 排放係數
資料來源	<p>使用資料來源的優先順序：</p> <p>(a) 專案申請者於專案邊界內透過實地調查之資料 (應提供透明且可信之資料佐證)</p> <p>(b) 當地區域或相似生態條件之調查資料</p> <p>(c) 國家級的資料 (政府最新年度公告之排放係數)</p> <p>(d) IPCC 估計值</p>
其他說明	-

預設數據與參數6

參數	EF_{CH_4f}
單位	t CH ₄ /GJ
描述	燃料類型 f 的 CO ₂ 排放係數

⁹ 在100年的時間框架內，聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 在各階段科學評估報告 (Assessment Reports, AR) 中所述各種溫室氣體的溫室效應對應於相同效應的二氧化碳的質量，本方法提供 AR1~AR6之 GWP-100值給申請者參考。

資料來源	使用資料來源的優先順序： (e) 專案申請者於專案邊界內透過實地調查之資料(應提供透明且可信之資料佐證) (f) 當地區域或相似生態條件之調查資料 (g) 國家級的資料(政府最新年度公告之排放係數) (h) IPCC 估計值
其他說明	-

預設數據與參數7

參數	$EF_{N_2O,f}$
單位	t N ₂ O/GJ
描述	燃料類型 f 的 N ₂ O 排放係數
資料來源	使用資料來源的優先順序： (i) 專案申請者於專案邊界內透過實地調查之資料(應提供透明且可信之資料佐證) (j) 當地區域或相似生態條件之調查資料 (k) 國家級的資料(政府最新年度公告之排放係數) (l) IPCC 估計值
其他說明	-

11. 量測方法

量測作業、基線移除量、專案移除量及減量計算需蒐集之相關變數及數據和資訊說明。若量測之變數涉及演算法或計算式之計算，亦需加以說明其演算法或計算式，請參11.1小節「應量測之數據與參數」。

1. 基線及專案量測

專案申請者在撰寫專案設計文件(project design document, PDD)時，必須提供並記錄相關量測資訊，並依據相關標準進行量測程序，且所有數據與相關資料均須以紙本與電子檔案進行保存至計入期結束後2年，包含：

- (a) 證明專案滿足本方法學適用條件之佐證資料與說明；
- (b) 計算公式的選用、碳庫與碳儲量之材料、數據與說明；
- (c) 計算專案邊界內碳排放和洩漏之材料、數據與說明。

(1) 專案活動之量測

專案申請者須對專案執行期間所有專案活動進行量測或文字紀錄與說明，專案活動主要包含如：紅樹林種植、林地管理及與溫室氣體排放有關之活動進行量測與紀錄。

紅樹林種植：種源選擇、育苗、整地方式、存活率、試種、補植等；

林地管理：撫育、病蟲害防治等；

災害：毀林、颱風等。

(2) 量測頻率

基線樣區的移除量量測至少須包含專案執行前一年，完整的碳儲量年變化量。專案樣區的量測頻率為至少三至五年一次量測年度，每次量測年度需進行四季採樣，且每次查證時皆須要有資料。應依據紅樹林樹種的生物學特性，於撰寫專案設計文件確定樣區的定期量測頻率。

(3) 精準度要求

- (a) 碳儲量和碳儲量變化參照 A/R CDM 「估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳儲量和碳儲量變化 (Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities)」之精準度要求。
- (b) 所有使用於估算之數據與係數，其精度之優先順序應由高至低的層級 (Tier)¹⁰，依序為層級3 主要碳庫的詳細調查、定期測量或模型計算；層級2 國家特定資料的關鍵係數；層級1 使用 IPCC 預設的排放係數。

2. 基線及專案樣區設置與量測

(1) 樣區設置

參照《濱海藍碳—紅樹林、鹽沼、海草床碳儲量及碳排放係數評估計方法》(Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows) (Howard et al. 2014)、《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版。

(a) 一般性要求

- i. 應滿足調查目的及準確度的要求；
- ii. 應涵蓋所有調查分層，並反映各分層的生態特徵；
- iii. 優先選擇干擾少的位置設置；
- iv. 地上部生物量、地下部生物量樣區應一致；
- v. 盡量減少對紅樹林生態系的干擾和破壞；
- vi. 為了避免邊際效應，樣方邊緣應離地塊邊界至少10 公尺以上。

(b) 分層設置方法

若專案邊界內紅樹林生物量分布不均時，則應採取碳庫之「分層 (stratification)」或稱「碳層」採樣，以提升基線及專案活動期間碳匯估算的準確性。可依專案區域之地形和海岸線長度設置分層 (如植被種類、植被密度、地質特徵及排水狀況等)，每個分層考慮離岸距離和主要紅樹林植被群落類型設置調查樣區，其分層數量設置要求如下表。

專案邊界長度 (公里)	分層數量
≤ 0.3	≥ 1
> 0.3, ≤ 2	≥ 2
> 2	每公里加1, ≥ 2

(c) 分層內樣區數量

每個分層依據實際地形設置至少3個樣區。

(d) 樣區大小

- i. 每個調查樣區設置3 個10 公尺×10 公尺的固定樣區，各樣區紅樹林植被密度和生長狀況應盡量相似。
- ii. 若調查樣區所在區域的紅樹林群落以灌木為主或是紅樹林樹密度過高 (>5 株/平方公尺)，可改為5 公尺×5 公尺的固定樣區。

(2) 碳儲量變化的量測

(a) 喬木生物碳儲量的量測，量測步驟依序如下

現地調查各樹種生物量異速生長方程式所需要的喬木參數，如樹高 (H)、基徑 (D₀)、胸高直徑 (DBH) 等。

¹⁰ 參照 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作業的三種估算層級。

將樣區中各樹種的喬木生物量加總，使用公式1-1計算樣區的喬木生物碳儲量及各碳層 i 的平均單位面積喬木生物碳儲量。

計算第 i 碳層樣本的平均值 (平均單位面積喬木生物碳儲量的估計值) ($C_{TREE,i,t}$) 及變異數 ($S_{C_{TREE,i,t}}^2$)。

$$C_{TREE,i,t} = \frac{\sum_{p=1}^{n_i} C_{TREE,p,i,t}}{n_i} \quad \text{式 a-1}$$

$$S_{C_{TREE,i,t}}^2 = \frac{\sum_{p=1}^{n_i} (C_{TREE,i,t} - C_{TREE,p,i,t})^2}{n_i(n_i-1)} \quad \text{式 a-2}$$

參數	定義	單位
$C_{TREE,i,t}$	第 t 年第 i 碳層平均單位面積喬木生物碳儲量的估計值	t CO ₂ e/ha
$C_{TREE,p,i,t}$	第 t 年第 i 碳層樣區 p 的單位面積喬木生物碳儲量	t CO ₂ e/ha
n_i	第 i 碳層的樣區數	-
$S_{C_{TREE,i,t}}^2$	第 t 年第 i 碳層的平均單位面積喬木生物碳儲量估計值的變異數	-
i	基線碳層，i = 1, 2, 3...	-
p	樣區數，p = 1, 2, 3...	-
t	專案執行年份，t = 1, 2, 3...	yr

計算專案整體平均估計值 (平均單位面積喬木生物碳儲量的估計值) ($C_{TREE,t}$) 及變異數 ($S_{C_{TREE,t}}^2$)。

$$C_{TREE,t} = \sum_{i=1}^M (W_i \times C_{TREE,i,t}) \quad \text{式 a-3}$$

$$S_{C_{TREE,t}}^2 = \sum_{i=1}^M (W_i^2 \times \frac{S_{C_{TREE,i,t}}^2}{n_i}) \quad \text{式 a-4}$$

參數	定義	單位
$C_{TREE,t}$	第 t 年專案邊界內的平均單位面積喬木生物碳儲量的估計值	t CO ₂ e/ha
$C_{TREE,i,t}$	第 t 年之第 i 碳層平均單位面積喬木生物碳儲量的估計值	t CO ₂ e/ha
W_i	第 i 專案碳層面積與專案總面積之比	-
n_i	第 i 碳層樣區數	-
$S_{C_{TREE,t}}^2$	第 t 年之專案總平均單位面積喬木生物碳儲量估計值的變異數	-
$S_{C_{TREE,i,t}}^2$	第 t 年之第 i 碳層平均單位面積喬木生物碳儲量估計值的變異數	-
M	專案邊界內估算喬木生物碳儲量的碳層總數	-
i	基線碳層，i = 1, 2, 3...	-
p	樣區數，p = 1, 2, 3...	-
t	專案執行年份，t = 1, 2, 3...	yr

計算專案整體平均單位面積喬木生物碳儲量的不確定性。

$$u_{C_{TREE,t}} = \frac{t_{VAL} \times S_{C_{TREE,t}}}{C_{TREE,t}} \quad \text{式 a-5}$$

參數	定義	單位
$u_{C_{TREE,t}}$	第 t 年，專案邊界內平均單位面積喬木生物碳儲量估計值的不確定性 (相對誤差之上限)。相對誤差應 < 10%，即抽樣精度 > 90%	%
t_{VAL}	可靠度指標：信賴水準 (confidence level) 為 90% 且自由度等於 n-M 的情況下 (其中 n 為專案邊界內樣區總數；M 為喬木生物量估算碳層總數)，查 t 分佈雙尾分位數表 (Two-sided Student's t-value) 可取得 t 值。 例如：信賴水準 (confidence level) 為 90%，自由度為 45 時，雙尾 t 分佈的 t 值在 Excel 電子表中輸入「=TINV(0.10, 45)」可得到 t 值為 1.679	-
$C_{TREE,t}$	第 t 年專案邊界內喬木生物碳儲量的估計值	t CO ₂ e/ha
$S_{C_{TREE,t}}$	第 t 年之專案邊界內喬木生物碳儲量估計值變異數的算術平方根 (即標準誤)	t CO ₂ e/ha

計算第 t 年專案邊界內的喬木生物總碳儲量：

$$C_{TREE,t} = A \times C_{TREE,t} \quad \text{式 a-6}$$

參數	定義	單位
$C_{TREE,t}$	第 t 年專案邊界內喬木生物碳儲量的估計值	t CO ₂ e
$C_{TREE,i,t}$	第 t 年專案邊界內單位面積喬木生物碳儲量估計值	t CO ₂ e/ha
A	專案邊界內各碳層的總面積	ha
t	專案執行年份，t=1, 2, 3...	yr

計算專案邊界內喬木生物碳儲量的年變化量。假設一段時間內，喬木生物量的呈線性變化。

$$dC_{TREE(t_2,t_1)} = \frac{C_{TREE,t_2} - C_{TREE,t_1}}{t_2 - t_1} \quad \text{式 a-7}$$

參數	定義	單位
$dC_{TREE(t_2,t_1)}$	專案邊界內喬木生物碳儲量的年變化量	t CO ₂ e/yr
$C_{TREE,t}$	第 t 年專案邊界內喬木生物碳儲量的估計值	t CO ₂ e
$C_{TREE,p,i,t}$	第 t 年第 i 碳層 p 樣區的單位面積喬木生物碳儲量	t CO ₂ e/ha
t_2, t_1	專案活動開始的第 t ₁ 年和第 t ₂ 年，且 t ₁ ≤ t ₂	-

計算第 t 年 (t₁ ≤ t ≤ t₂) 時，專案邊界內喬木生物量碳儲量的變化量：

$$\Delta C_{TREE,t} = dC_{TREE(t_1,t_2)} \times t \quad \text{式 a-8}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{TREE,t}$	專案邊界內喬木生物碳儲量的變化量	t CO ₂ e
$dC_{TREE(t_2,t_1)}$	專案邊界內喬木生物碳儲量的年變化量	t CO ₂ e/yr
t_1, t_2	專案活動開始的第 t ₁ 年和第 t ₂ 年，且 t ₁ ≤ t ₂	-
t	t 年	yr

(b) 土壤有機碳儲量的量測

專案邊界內土壤有機碳儲量的量測，應用公式1-3完成。執行方式可參考《濱海藍碳—紅樹林、鹽沼、海草床碳儲量及碳排放係數評估方法》(Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows) (Howard et al. 2014) 及《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版。

(3) 資料品質控制和校正

以喬木為例 (灌木的方法相同)，喬木平均生物量最大允許相對誤差的計算公式如下：

$$RE_{max} = u_{C_{TREE,t}}$$

參數	定義	單位
RE_{max}	相對誤差之上限	%
$u_{C_{TREE,t}}$	第 t 年，專案邊界內平均單位面積喬木生物碳儲量估計值的不確定性。相對誤差應 < 10%，即抽樣精準度 > 90%	%
t	專案執行之年份，t=1,2,3...	yr

如果 $RE_{max} > 10\%$ (即抽樣精準度 < 90%)，專案申請者可選擇 (a)額外增加樣區數量；或 (b)估算碳儲量變化時，進行不確定性折減 (uncertainty discount)，來達到精準度要求。其中，(b)使用下列方法：

$$\Delta C_{TREE(t_1,t_2)} \geq 0, \text{ 則 } \Delta C_{TREE,t} = \Delta C_{TREE(t_1,t_2)} \times (1 - DR)$$

$$\Delta C_{TREE(t_1,t_2)} < 0, \text{ 則 } \Delta C_{TREE,t} = \Delta C_{TREE(t_1,t_2)} \times (1 + DR)$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{TREE(t_1,t_2)}$	在前次監測時間 t_1 與後次監測時間 t_2 之間，專案邊界內喬木生物碳儲量的變化量	t CO ₂ e
DR	折減率 (DR)	
	相對誤差範圍 (不確定性)	折減率 (DR)
	≤ 10	0
	> 10, ≤ 20	6
	> 20, ≤ 30	11
	> 30	需額外增加樣區數，以達到精準度要求
t	專案執行年份，t=1, 2, 3...	yr

(4) 水質量測

若專案邊界內受潮汐影響，須於最乾潮前後兩個小時進行水質測量，以便釐清陸源水體對於是否有污染或營養鹽過高的影響。下列水質項目之中，(a)與(b)分別攸關甲烷和氧化亞氮排放，為每個量測年度必要的水質量測項目，除非可佐證專案區域位與海洋連通性高，屬於高鹽度及低營養鹽之水域。下列項目可參照環境部「環境檢驗測定機構許可資料¹¹」選擇並委託檢驗公司進行分析。若無檢驗機構，仍需參考環境部、國內主管機關公告之方

¹¹ 環境檢驗測定機構許可資料 https://data.moenv.gov.tw/dataset/detail/NIEA_P_02

法或國際標準做法。例如 W44720C 水中鹽度檢測方法－導電度法，截止 2025/01/17 仍無任何檢驗室申請。

- (a) 鹽度：水體鹽度小於 18 psu，則當次測量需計算土壤甲烷(CH₄)排放量。使用鹽度計量測，每個量測年度進行四季量測，每次量測在一個樣站內至少 5 重複。
- (b) 優養程度：水體優養化指數達中度標準，當次測量需計入氧化亞氮排放量。優養化指數計算方式為 $(E) = [\text{化學需氧量}] \times [\text{無機氮}] \times [\text{活性磷酸鹽}] / 4500 \times 10^6$ 。其中， $E \leq 3.0$ 為輕度優養化； $3.0 < E \leq 9.0$ 為中度優養化； $E > 9.0$ 為高度優養化。若當次測量達中度優養化等級，則需測量氧化亞氮(N₂O)排放量。化學需氧量、無機氮及活性磷酸鹽單位為每公升毫克(mg/L)。每個量測年度進行四季量測，每次量測在一個樣站內至少 3 重複。
- (c) 濁度：使用濁度計紀錄水體濁度，或使用水下光度計紀錄水體光遞減係數(Lorenzen, 1972)，光遞減係數數值越大，表示水中植被能使用的光度越小，即表示水體越混濁。每個量測年度進行四季量測，每次量測在一個樣站內至少 5 重複。
- (d) 溶氧濃度：使用溶氧計紀錄水體溶氧濃度。每個量測年度進行四季量測，每次量測在一個樣站內至少 5 重複。
- (e) 酸鹼值：使用 pH 計紀錄水體 pH 值。每個量測年度進行四季量測，每次量測在一個樣站內至少 5 重複。
- (f) 葉綠素 a 濃度：可參照環境部「環境檢驗測定機構許可資料」選擇並委託檢驗公司進行分析，水體採集每個量測年度進行四季量測，每次量測在一個樣站內至少 3 重複。

(5) 環境部及國家環境研究院公告之方法

量測紅樹林有機碳、溫室氣體排放及水質參數，除了利用本方法學提供之方法或引用其他科學文獻之方法，也可參考環境部及國家環境研究院公告之方法，例如「碳、氫、硫、氧、氮元素含量檢測方法－元素分析儀法(NIEA M403.03B)」、「土壤有機質測定方法－燃燒/紅外線測定方法」、「土壤檢測方法總則(NIEA S103.61C)」及底泥採樣方法(NIEA S104.30C)之土壤採樣、保存及前處理等規範、「水中總有機碳檢測方法－燃燒/紅外線測定法(NIEA W530.51C)」、「水中總有機碳檢測方法－過氧焦硫酸鹽紫外光氧化/紅外線測定法(NIEA W531.51C)」、「水中總有機碳檢測方法－過氧焦硫酸鹽加熱氧化/紅外線測定法(NIEA W532.53C)」、「水中總有機碳檢測方法－過氧焦硫酸鹽紫外光氧化/薄膜電導度計測定法(NIEA W534.50C)」。

11.1 應量測數據與參數

數據與參數表 1

數據/參數	A_i
數據單位	公頃 (ha)
描述	第 i 碳層的面積
數據來源	現地量測或地理資訊系統 (GIS) 量測
量測程序	地面面積量測儀器或地理資訊系統 (GIS) 空間資訊資料
量測頻率	每 3 至 5 年一次，自願減量專案註冊前及申請查證前再進行量測

QA/QC 程序	採用國家森林資源清查或森林規劃設計調查所使用的品質保證和品質控制 (QA/QC) 程序；若沒有可用資料，則可使用 IPCC GPG LULUCF 2003 中說明的 QA/QC 程序。收集的相關數據至少保存至最後一次核發減量額度後2年
備註	喬木以 <i>TREE</i> 表示；灌木以 <i>SHRUB</i> 表示 基線情境下以 <i>BSL</i> 表示；專案情境下以 <i>PROJ</i> 表示

數據與參數表2

數據/參數	$\Delta B_{BSL,i,j,t}$	
數據單位	t C/ha·yr	
描述	第 t 年之基線第 i 碳層 j 樹種之單位面積紅樹林生物碳儲量年變化量	
數據來源	(1)現地量測 (2)註冊階段，專案計畫書可使用：層級2估計值（林幸助與陳冠宇 2023；Huang et al. 2015; Zou et al. 2021）東沙海草為多海草種類分布面積加權平均之結果	
	植被類型	ΔB
	水筆仔 <i>Kandelia obovata</i>	23.96
	海茄苳 <i>Avicennia marina</i>	11.62
	欖李 <i>Lumnitzera racemosa</i>	15.75
	五梨跤 <i>Rhizophora stylosa</i>	12.35
量測程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版	
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化	
QA/QC 程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版	
備註	基線情境以 <i>BSL</i> 表示；專案情境以 <i>PROJ</i> 表示	

數據與參數表3

數據/參數	$\Delta B_{TREEorSHRUB AB,i,j,t}$
數據單位	t d.m./ha·yr
描述	紅樹林喬木或灌木地上部平均年生長量(乾重)
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	基線情境以 <i>BSL</i> 表示；專案情境以 <i>PROJ</i> 表示；喬木以 <i>TREE</i> 表示；灌木以 <i>SHRUB</i> 表示

數據與參數表4

數據/參數	$CF_{TREEABorBB,i,j,t}$
數據單位	-
描述	喬木樹種 j 生物量中的有機碳含量百分比(%)，使用於將生物量轉換為碳量
數據來源	使用資料來源的優先順序： (a) 專案申請者於專案邊界內透過實地樹種調查之參數(應提供透明且可信之資料佐證) (b) 現有、公開發表、當地區域或相似生態條件之參數

	(c) 縣市政府的資料 (如相關研究計畫報告) (d) 國家級的資料 (如溫室氣體盤查資料) (e) CDM 方法預估值 (0.47)
量測程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	基線情境下以 CF_{TREE_BSLj} 表示；專案情境下以 CF_{TREE_PROJj} 表示；地上部以 AB 表示；地下部以 BB 表示

數據與參數表5

數據/參數	$CF_{SHRUB_ABorBB,i,j,t}$
數據單位	-
描述	灌木樹種 j 生物量中的有機碳含量百分比 (%), 使用於將生物量轉換為碳量
數據來源	使用資料來源的優先順序： (a) 專案申請者於專案邊界內透過實地樹種調查之參數 (應提供透明且可信之資料佐證) (b) 現有、公開發表、當地區域或相似生態條件之參數 (c) 縣市政府的資料 (如相關研究計畫報告) (d) 國家級的資料 (如溫室氣體盤查資料) (e) CDM 方法估計值 (0.47)
量測程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	基線情境下以 CF_{SHRUB_BSLj} 表示；專案情境下以 CF_{SHRUB_PROJj} 表示；地上部以 AB 表示；地下部以 BB 表示

數據與參數表6

數據/參數	$f_j(x_1, x_2, x_3, \dots)$
數據單位	t d. m./ha
描述	使用樹種 j 的參數 (x_1, x_2, x_3, \dots) 如樹高 (H)、基徑 (D_0)、胸高直徑 (DBH) 等，轉換為生物量的異速生長方程式。參數依樹種不同而異，再使用單位面積紅樹林植株密度轉換成單位面積紅樹林生物量
數據來源	使用資料來源的優先順序： (a) 專案申請者於專案邊界內透過實地樹種調查所獲得之樹種參數，建構之異速生長方程式 (應提供透明且可信之資料佐證) (b) 現有、公開發表、當地區域或相似生態條件之異速生長方程式 (c) 縣市政府的異速生長方程式 (如相關研究計畫報告) (d) 國家級的異速生長方程式 (如溫室氣體盤查資料)
量測程序	
量測頻率	
QA/QC 程序	
備註	第 (b) 項，可參考使用附錄3紅樹林生物量異速生長方程式

數據與參數表7

數據/參數	B_{AB}															
數據單位	t d. m./ha															
描述	平均每公頃之地上部生物量															
數據來源	<p>使用資料來源的優先順序：</p> <p>(a) 專案申請者於專案邊界內透過實地調查之資料 (應提供透明且可信之資料佐證)</p> <p>(b) 當地區域或相似生態條件之調查資料</p> <p>(c) 縣市政府的資料 (如相關研究計畫報告)</p> <p>(d) 國家級的資料 (如溫室氣體盤查資料)</p> <p>(e) 使用 IPCC GPG-LULUCF 2003的3A.1.4表中的估計值：</p> <table><tr><td>國家</td><td>生物量 (地上部) t/ha</td><td>來源</td></tr><tr><td>中國</td><td>61</td><td>NI</td></tr><tr><td>日本</td><td>88</td><td>F</td></tr><tr><td>越南</td><td>66</td><td>ES</td></tr><tr><td>泰國</td><td>29</td><td>NI</td></tr></table>	國家	生物量 (地上部) t/ha	來源	中國	61	NI	日本	88	F	越南	66	ES	泰國	29	NI
國家	生物量 (地上部) t/ha	來源														
中國	61	NI														
日本	88	F														
越南	66	ES														
泰國	29	NI														
量測程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版															
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化															
QA/QC 程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版															
備註	IPCC GPG-LULUCF 2003的3A.1.4表中的數值，來源：NI 代表國家清冊、ES 代表估計值、F 代表農糧組織數據。															

數據與參數表8

數據/參數	$R_{TREE_BSL,j}$
數據單位	-
描述	根莖比，即地下部生物量與地上部生物量比值
數據來源	<p>使用資料來源的優先順序：</p> <p>(a) 專案申請者於專案邊界內透過實地樹種調查之參數 (應提供透明且可信之資料佐證)</p> <p>(b) 現有、公開發表、當地區域或相似生態條件之參數</p> <p>(c) 縣市政府的資料 (如相關研究計畫報告)</p> <p>(d) 國家級的資料 (如溫室氣體盤查資料)</p>
量測程序	
量測頻率	
QA/QC 程序	
備註	喬木以 R_{TREE} 表示；灌木以 R_{SHRUB} 表示。 基線情境下以 $R_{TREE_BSL,j}$ 表示；專案情境下以 $R_{TREE_PROJ,j}$ 表示

數據與參數表9

數據/參數	$CF_{BSL,i,j,t}$
數據單位	%
描述	第 t 年之第 i 碳層 j 種類之 (全株) 紅樹林有機碳含量百分比
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版

量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	-

數據與參數表10

數據/參數	$aSOC_t$		
數據單位	t C/ha·yr		
描述	紅樹林自源性土壤碳儲量年變化量		
數據來源	使用資料來源的優先順序：		
	(a) 使用現地之調查資料		
	(b) 使用當地區域或相似生態條件之調查資料		
	(c) 使用具代表性之調查資料		
	(d) 使用具代表性之國家級的資料 (如溫室氣體盤查資料)		
	(e) 估計值 (林幸助與陳冠宇 2023；Li et al. 2018；Chou et al. 2022)		
	植被類型	W_{LI_AB} (%)	不確定性 (%)
	水筆仔 <i>Kandelia obovata</i>	1.11	36.7
	海茄苳 <i>Avicennia marina</i>	1.20	36.0
	欖李 <i>Lumnitzera racemosa</i>	1.70	113.2
	五梨跤 <i>Rhizophora stylosa</i>	1.01	112.8
量測程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版		
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化		
QA/QC 程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版		
備註	-		

數據與參數表10

數據/參數	$dSOC_{i,j}$
數據單位	t C/ha·yr
描述	第 t 年紅樹林自源加外源性土壤有機碳儲量年變化量
數據來源	(1)現地量測
量測程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	基線碳層，i = 1, 2, 3...；海草種類，j = 1, 2, 3...

數據與參數表12

數據/參數	EF_{Soils}
數據單位	t C/ha·yr
描述	紅樹林土壤碳排放係數
數據來源	使用資料來源的優先順序：
	(a) 使用現地之調查資料
	(b) 使用當地區域或相似生態條件之調查資料
	(c) 使用具國家代表性之調查資料

	<p>(d) IPCC 土壤排放係數估計值。資料來源：2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands Table 4.12及 Table 4.13</p> <p>開始重建植被再濕潤有機及礦物聚合土壤的估計值，排放係數負值，表示從大氣中吸存二氧化碳</p> <table><tr><th>生態系</th><th>EF_{Soils}</th><th>引用</th></tr><tr><td>紅樹林</td><td>-1.62</td><td>Breithaupt et al. 2012; Chmura et al. 2003; Fujimoto et al. 1999; Ren et al. 2010</td></tr></table> <p>排水性有機及礦物土壤的年排放係數的估計值，排放係數正值，表示排放二氧化碳到大氣中</p> <table><tr><th>生態系</th><th>EF_{Soils}</th><th>引用</th></tr><tr><td>潮間帶草澤和紅樹林</td><td>7.9</td><td>Camporese et al., 2008; Deverel and Leighton, 2010; Hatala et al., 2012; Howe et al., 2009; Rojstaczer and Deverel, 1993</td></tr></table>	生態系	EF_{Soils}	引用	紅樹林	-1.62	Breithaupt et al. 2012; Chmura et al. 2003; Fujimoto et al. 1999; Ren et al. 2010	生態系	EF_{Soils}	引用	潮間帶草澤和紅樹林	7.9	Camporese et al., 2008; Deverel and Leighton, 2010; Hatala et al., 2012; Howe et al., 2009; Rojstaczer and Deverel, 1993
生態系	EF_{Soils}	引用											
紅樹林	-1.62	Breithaupt et al. 2012; Chmura et al. 2003; Fujimoto et al. 1999; Ren et al. 2010											
生態系	EF_{Soils}	引用											
潮間帶草澤和紅樹林	7.9	Camporese et al., 2008; Deverel and Leighton, 2010; Hatala et al., 2012; Howe et al., 2009; Rojstaczer and Deverel, 1993											
量測程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版												
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化												
QA/QC 程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版												
備註	-												

數據與參數表13

數據/參數	$LI_{AB,i,j,t}$
數據單位	t d.m./ha·yr
描述	紅樹林地上部枯落物年增加量
數據來源	<p>使用資料來源的優先順序：</p> <p>(a) 專案申請者於專案邊界內透過實地樹種調查之參數 (應提供透明且可信之資料佐證)</p> <p>(b) 現有、公開發表、當地區域或相似生態條件之參數</p> <p>(c) 縣市政府的資料 (如相關研究計畫報告)</p> <p>(d) 國家級的資料 (如溫室氣體盤查資料)</p>
量測程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	-

數據與參數表14

數據/參數	$W_{LI_AB,i,j,t}$
數據單位	t d.m./ha·yr
描述	紅樹林地上部枯落物分解剩餘量百分比
數據來源	<p>使用資料來源的優先順序：</p> <p>(a) 專案申請者於專案邊界內透過實地樹種調查之參數 (應提供透明且可信之資料佐證)</p> <p>(b) 現有、公開發表、當地區域或相似生態條件之參數</p> <p>(c) 縣市政府的資料 (如相關研究計畫報告)</p> <p>(d) 國家級的資料 (如溫室氣體盤查資料)</p>

	(e) 估計值 (林幸助與陳冠宇 2023；Lin et al. 2023)		
	植被類型	$W_{LI_AB}(\%)$	不確定性 (%)
	水筆仔 <i>Kandelia obovata</i>	14.8	38.7
	海茄苳 <i>Avicennia marina</i>	10.9	34.4
	欖李 <i>Lumnitzera racemosa</i>	-	-
	五梨跤 <i>Rhizophora stylosa</i>	-	-
量測程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版		
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化		
QA/QC 程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版		
備註	-		

數據與參數表15

數據/參數	$LI_{BB,i,j,t}$
數據單位	t d.m./ha·yr
描述	紅樹林地下部死亡細根年增加量
數據來源	使用資料來源的優先順序： (a) 專案申請者於專案邊界內透過實地樹種調查之參數 (應提供透明且可信之資料佐證) (b) 現有、公開發表、當地區域或相似生態條件之參數 (c) 縣市政府的資料 (如相關研究計畫報告) (d) 國家級的資料 (如溫室氣體盤查資料)
量測程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	-

數據與參數表16

數據/參數	$W_{LI_BB,i,j,t}$
數據單位	%
描述	紅樹林地下部死亡細根分解剩餘量百分比
數據來源	使用資料來源的優先順序： (a) 專案申請者於專案邊界內透過實地樹種調查之參數 (應提供透明且可信之資料佐證) (b) 現有、公開發表、當地區域或相似生態條件之參數 (c) 縣市政府的資料 (如相關研究計畫報告) (d) 國家級的資料 (如溫室氣體盤查資料)
量測程序	《臺灣海草床(或紅樹林)碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣海草床(或紅樹林)碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	-

數據與參數表17

數據/參數	$SEC_{i,t}$
數據單位	cm/yr
描述	紅樹林地表高程年變化量
數據來源	現地量測

量測程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	每3至5年一次，每次至少涵蓋冬夏季變化
QA/QC 程序	採用《濱海藍碳—紅樹林、鹽沼、海草床碳儲量及碳排放係數評估方法》(Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows) (Howard et al. 2014) 之程序
備註	-

數據與參數表18

數據/參數	$SBD_{i,t}$
數據單位	g/cm
描述	紅樹林土壤總體密度
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	採用《濱海藍碳—紅樹林、鹽沼、海草床碳儲量及碳排放係數評估方法》(Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows) (Howard et al. 2014) 之程序
備註	-

數據與參數表19

數據/參數	$CF_{Soils,i,t}$
數據單位	%
描述	紅樹林土壤有機碳含量百分比
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	採用《濱海藍碳—紅樹林、鹽沼、海草床碳儲量及碳排放係數評估方法》(Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows) (Howard et al. 2014) 之程序
備註	-

數據與參數表20

數據/參數	$A_{SPF,i,t}$
數據單位	公頃 (ha)
描述	第 t 年第 i 碳層所發生的燃燒面積
數據來源	現地量測或地理資訊系統 (GIS) 量測
量測程序	地面面積量測儀器或地理資訊系統 (GIS) 空間資訊資料
量測頻率	每3至5年一次，自願減量專案註冊前及申請查證前再進行量測
QA/QC 程序	採用國家森林資源清查或森林規劃設計調查所使用的品質保證和品質控制 (QA/QC) 程序；若沒有可用資料，則可使用 IPCC GPG LULUCF 2003 中說明的 QA/QC 程序。收集的相關數據至少保存至最後一次核發減量額度後2年
備註	喬木以 <i>TREE</i> 表示；灌木以 <i>SHRUB</i> 表示

	基線情境下以 <i>BSL</i> 表示；專案情境下以 <i>PROJ</i> 表示
--	--

數據與參數表21

數據/參數	$b_{TREE,i,tL}$
數據單位	t d.m/ha
描述	火災發生前，專案最近一次查證時，第 <i>i</i> 碳層單位面積林木地上部生物量。如果只發生地表火，林木之地上部生物量未受燃燒，則設 $b_{TREE,i,tL}$ 為零
數據來源	現地量測
量測程序	採用國家森林資源清查或森林規劃設計調查
量測頻率	每3至5年一次，自願減量專案註冊前及申請查證前再進行量測
QA/QC 程序	採用國家森林資源清查或森林規劃設計調查所使用的品質保證和品質控制 (QA/QC) 程序；若沒有可用資料，則可使用 IPCC GPG LULUCF 2003 中說明的 QA/QC 程序。收集的相關數據至少保存至最後一次核發減量額度後2年
備註	喬木以 <i>TREE</i> 表示；灌木以 <i>SHRUB</i> 表示 基線情境下以 <i>BSL</i> 表示；專案情境下以 <i>PROJ</i> 表示

數據與參數表22

數據/參數	tL
數據單位	-
描述	火災發生前，最近一次查證的時間
數據來源	現地量測
量測程序	採用國家森林資源清查或森林規劃設計調查
量測頻率	每3至5年一次，自願減量專案註冊前及申請查證前再進行量測
QA/QC 程序	採用國家森林資源清查或森林規劃設計調查所使用的品質保證和品質控制 (QA/QC) 程序；若沒有可用資料，則可使用 IPCC GPG LULUCF 2003 中說明的 QA/QC 程序。收集的相關數據至少保存至最後一次核發減量額度後2年
備註	喬木以 <i>TREE</i> 表示；灌木以 <i>SHRUB</i> 表示 基線情境下以 <i>BSL</i> 表示；專案情境下以 <i>PROJ</i> 表示

數據與參數表23

數據/參數	GHG_{CH_4} 、 GHG_{N_2O}
數據單位	t CH ₄ or N ₂ O /ha·yr
描述	專案邊界內濕地土壤表面溫室氣體排放量，每年每公頃噸
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	採用《濱海藍碳—紅樹林、鹽沼、海草床碳儲量及碳排放係數評估方法》(Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows) (Howard et al. 2014) 之程序
備註	-

數據與參數表24

數據/參數	x_1, x_2, x_3, \dots
數據單位	以長度為單位，如公分 (cm)
描述	參數。喬木常見之參數如樹高 (H)、基徑 (D ₀)、胸高直徑 (DBH)；灌木常見之參數如樹高 (H)、冠幅 (W)、冠徑 (P)。
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	採用《濱海藍碳—紅樹林、鹽沼、海草床碳儲量及碳排放係數評估計方法》(Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows) (Howard et al. 2014) 之程序
備註	-

數據與參數表25

數據/參數	$N_{TREE,i,j,t}$
數據單位	株數/公頃
描述	林分密度，即第 t 年第 i 碳層樹種 j 的每公頃株數
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	採用《濱海藍碳—紅樹林、鹽沼、海草床碳儲量及碳排放係數評估計方法》(Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows) (Howard et al. 2014) 之程序
備註	基線情境下以 <i>BSL</i> 表示；專案情境下以 <i>PROJ</i> 表示

數據與參數表26

數據/參數	$ET_{FC,j,t}$
數據單位	t CO ₂ e/yr
描述	第 t 年 j 類型車輛船隻/機具設備其化石燃料燃燒所產生之二氧化碳排放量
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	每一次專案活動
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表27

數據/參數	$FC_{FC,f,j,t}$
數據單位	質量或體積單位/yr
描述	第 t 年 j 類型車輛船隻/機具設備消耗的燃料類型 f 量
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	每一次專案活動
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

備註	-
----	---

數據與參數表28

數據/參數	NCV_f
數據單位	GJ/質量或體積
描述	燃料類型 f 的淨熱值 (net calorific value, NCV)
數據來源	熱值可以自行檢測或由供應商提供，惟均須由取得 CNS 17025 或 ISO/IEC 17025 認證之實驗室或檢測機構檢測
量測程序	-
量測頻率	-
QA/QC 程序	-
備註	-

數據與參數表29

數據/參數	$MT_{j,t}$
數據單位	t
描述	第 t 年 j 類型車輛船隻運載的總質量。當無法取得參數 $\frac{MT_{j,t}}{TL_{j,t}}$ 時，可以使用 $\frac{MT_t}{TL_{av,t}}$ (總運載質量/車輛船隻類型中運載最多負載的指標性車輛船隻類型) 來替換
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	每一次專案活動皆須紀錄所使用之車輛或船隻總質量
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表30

數據/參數	$TL_{j,t}$
數據單位	t
描述	第 t 年 j 類型車輛船隻的載重能力 (load capacity)
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	每一次專案活動皆須紀錄所使用之車輛或船隻載重能力
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表31

數據/參數	$AD_{j,t}$
數據單位	km
描述	第 t 年 j 類型車輛船隻的平均單程距離
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	每一次專案活動皆須紀錄所使用之車輛或船隻平均單程距離
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表32

數據/參數	$NV_{j,t}$
數據單位	-
描述	第 t 年 j 類型車輛船隻的數量
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	每一次專案活動皆須紀錄所使用之車輛或船隻數量
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表33

數據/參數	$TD_{j,t}$
數據單位	km
描述	第 t 年 j 類型車輛船隻的總行駛距離 (包括返程)
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	每一次專案活動皆須紀錄所使用之車輛或船隻總行駛距離
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表34

數據/參數	$SECK_{j,f,t}$
數據單位	燃料量/km
描述	第 t 年 j 類型車輛船隻對於燃料 i 的特定能耗
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	每一次專案活動皆須紀錄所使用之車輛或船隻的特定能耗
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表35

數據/參數	$NE_{j,t}$
數據單位	-
描述	第 t 年 j 類型機具設備的數量
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	每一次專案活動皆須紀錄所使用之機具設備的數量
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表36

數據/參數	$TU_{j,t}$
數據單位	小時
描述	第 t 年 j 類型機具設備的總使用時間
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

量測頻率	每一次專案活動皆須紀錄所使用之機具設備總時數
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表37

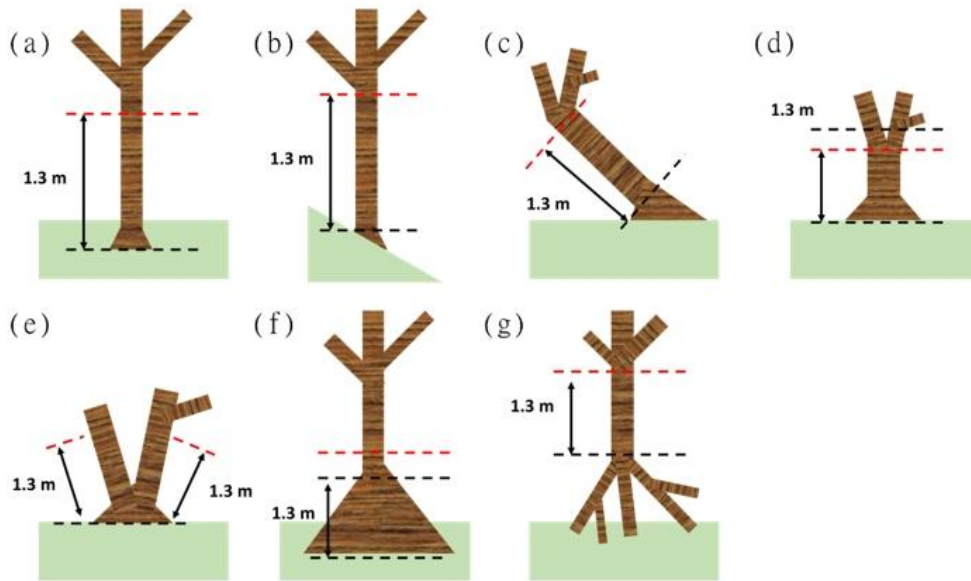
數據/參數	$SECu_{j,f,t}$
數據單位	燃料量/小時
描述	第 t 年 j 類型機具設備對於燃料 f 的特定能耗
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	一次專案活動皆須紀錄所使用之機具設備的特定能耗
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

附錄1. 佐證資料勾選表

章節/項目		是否符合	佐證資料
適用條件	1. 專案活動適用於人為型濕地，專案邊界在執行專案活動前2年內，無產業活動或執行專案活動不會導致產業外移，如閒置鹽田、閒置養殖池、閒置埤塘等。	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	1. 專案邊界符合人為型濕地。 2. 專案邊界內2年內的照片佐證產業活動。
	2. 專案活動應種植紅樹林，並配合環境條件選用合宜樹種且可同時涵括以下任一項或多項之組合： (1)水文管理(如拆除潮汐障礙、改善水文連通性、恢復濕地潮汐或降低濕地水位等)； (2)沉積物改變(如利用疏濬材料或將河流沉積物轉移至缺乏沉積物的區域等)； (3)鹽度改變(如引入海水提高棲地鹽度等)； (4)水質改善(如減少過多陸源營養鹽污染等)； (5)管理方法改善(如移除外來種、減少草食作用等)。	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	1. 提供紅樹林植林前照片及植林紀錄。植林紀錄包含紅樹林種類、種植株數及種植面積等。 2. 提供種植的紅樹林種類分布與棲地文獻，以佐證專案邊界內環境與該種紅樹林棲地相近。 3. 環境(水質及底質等)改善工程紀錄、工程前後環境數據等。
	3. 專案邊界內須進行防止植林紅樹林外溢之措施(如於進出水口架設攔截網，阻絕紅樹林繁殖體之擴散等)。	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	1. 防止植林紅樹林外溢之措施。 2. 周邊棲地監測計畫。
	4. 本減量方法規範專案邊界內的喬木，除基於森林保護之必要措施外，不得進行以下林業管理方式：林木伐除、移除植株、人為引火焚燒，及移除地表枯落物、樹根及枯木。	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	提供專案執行之植林及管理紀錄，包含專案執行前之林木、地表枯落物、樹根及枯木等環境照片。

	5. 專案每年溫室氣體淨移除量應小於或等於20,000公噸二氧化碳當量 (tCO ₂ e)，且整個專案淨移除量需為正值。	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	以「自願減量專案計畫書」之計入期摘要，佐證溫室氣體每年排放量總減量小於或等於20,000公噸二氧化碳當量 (tCO ₂ e)，提供專案計算說明及估算依據等。
土地合格性	1. 地面基本調查資料：能表示過去土地利用狀況的高解析度地理空間資料。	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	提供航空照片圖或衛星影像圖。
	2. 土地所有權證明資料：確定土地所有權才能避免專案邊界及專案活動有侵占他人土地之爭議。	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	若為私人土地，須提供土地清冊或所有權人登記；若為國公有土地，須提供主管機關許可、授權或租賃證明等證明文件。此外，證明文件應有授權期間，並應涵蓋專案計入期期間。

附錄2. 喬木各類型樹型胸徑測量處



附圖 1 各類型樹型胸徑測量處

喬木量測之測量其胸徑的方式可參考附圖1，各類樹型胸徑測量位置說明如下(林幸助與陳冠宇 2023)：

- 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

附錄3.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 ob- ovata</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。							

資料來源：《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》林幸助與陳冠宇 (2023)。

減量方法資料

版次	日期	修訂記錄
01.0	114年7月24日	「環境部溫室氣體抵換專案暨自願減量專案審議會第19次會議」決議審核通過。

参考文献

- (1) 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.
- (2) 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).
- (3) 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).
- (4) 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.
- (5) Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., & Tanabe K. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Intergovernmental Panel on Climate Change, Institute for Global Environmental Strategies (IPCC- IGES).
- (6) 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.
- (7) GOFC-GOLD (2009). A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in forest remaining forests, and forestation (GOFC-GOLD Report Version COP15-1). Global Observations of Forest Cover and Land-use Dynamics (GOFC-GOLD) Project Office.
- (8) 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.
- (9) Heumann, B. W. (2011). Satellite remote sensing of mangrove forests: Recent advances and future opportunities. *Progress in Physical Geography*, 35(1), 87-108.
- (10) 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. IUCN.
- (11) Ho CW, Huang JS, Lin HJ 2018 Effects of tree thinning on carbon sequestration in mangroves. *Marine & Freshwater Research*, 69: 741–750.
- (12) 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.
- (13) 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.
- (14) Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., & Wagner, F. (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Intergovernmental Panel on Climate Change, National Greenhouse Gas Inventories Programme (IPCC-NGGIP).
- (15) Pham, T. D., Yokoya, N., Bui, D. T., Yoshino, K., & Friess, D. A. (2019). Remote sensing approaches for monitoring mangrove species, structure, and biomass: Opportunities and challenges. *Remote Sensing*, 11(3), 230.
- (16) 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.
- (17) Rojstaczer, S. & Deverel, S. J. (1993) Time dependence in atmospheric carbon inputs from drainage of organic soils. *Geophysical Research Letters* 20(13): 1383-1386.
- (18) UNFCCC, U. (2022). CDM methodology booklet. Bonn, Germany: United Nations Framework Convention on Climate Change.
- (19) 林幸助、陳冠宇 (2023) 《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》。
- (20) 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。
- (21) 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。
- (22) 謝蕙蓮、黃守忠、李坤瑄、陳章波 (1993)。潮間帶底棲生態調查法。生物科學：7180。

臺灣紅樹林碳匯
測量標準作業程序

林幸助、陳冠宇

2023年11月

海洋委員會、農業部

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

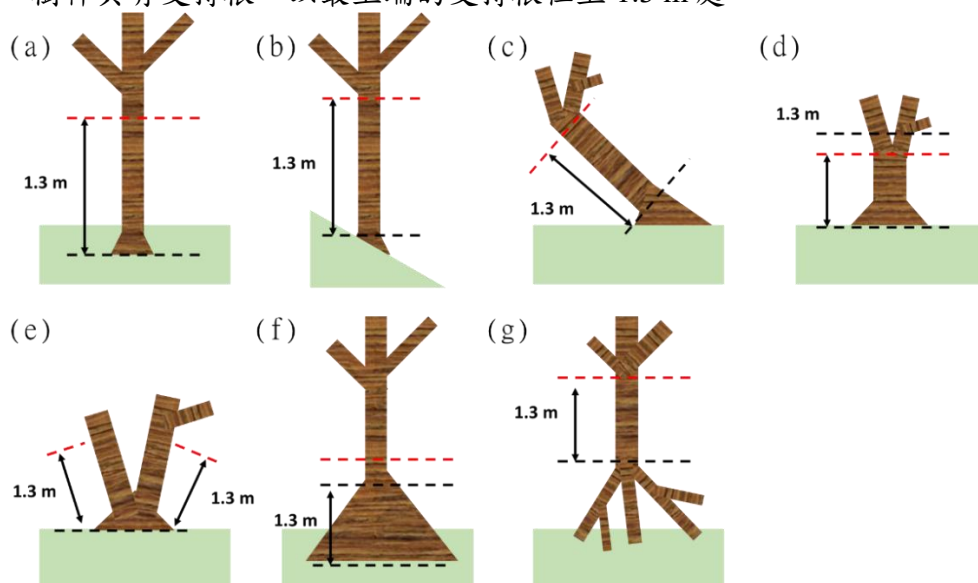


圖2、各類樹型胸徑測量位置 (如圖中紅色標記處)

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。

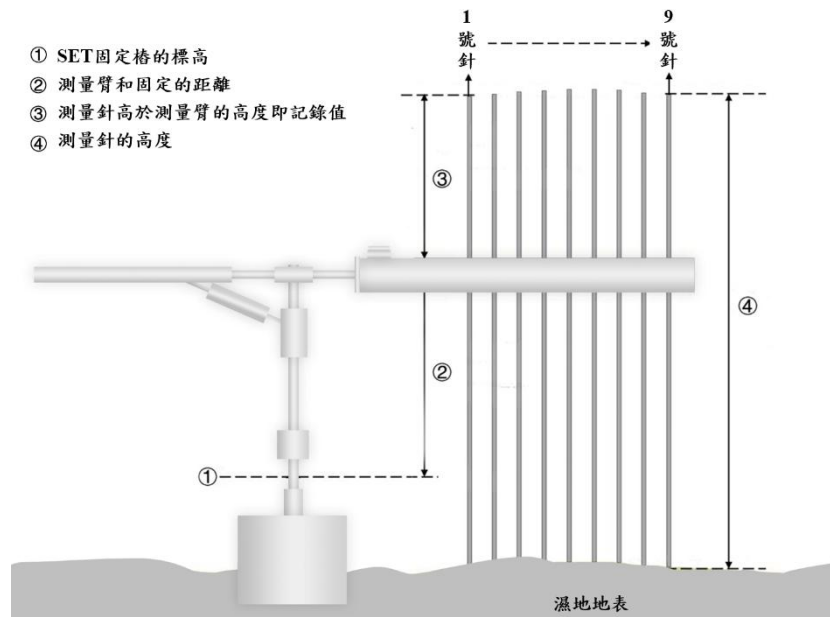


圖3、地表高程監測系統(SET)

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℃，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。

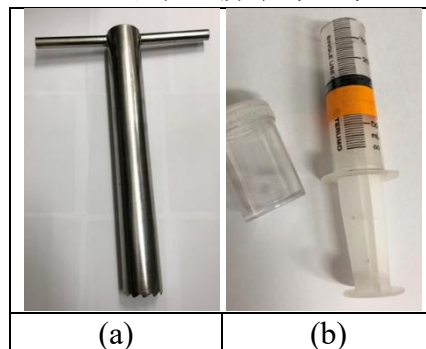


圖4、表層土壤採集器

(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℃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 ($\text{t CO}_2\text{e/ha/yr}$)。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。

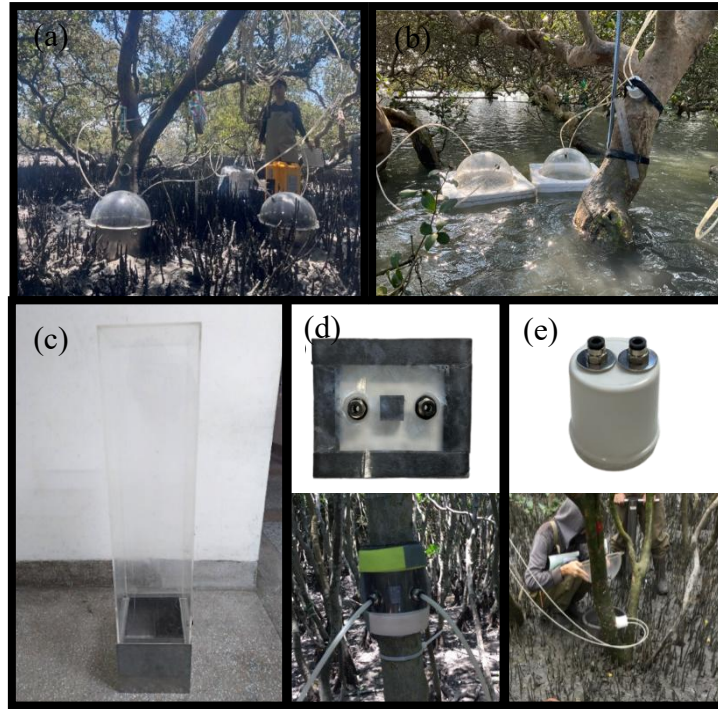


圖5、紅樹林溫室氣體量測常用之各類型罩蓋

(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., Imaaya, 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 × V × t) × (R × T × A) ⁻¹ × unit ⁻¹			
溫室氣體分析儀	flux	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 CO ₂ /m ² h)及(μmol CH ₄ /N ₂ O/m ² h) flux：迴歸線斜率，數值單位因儀器不同 V：罩蓋體積(L)，數值因罩蓋不同，詳見 8.2.、8.3. t：時間轉換，數值單位因儀器不同 R：理想氣體常數，0.082 (L atm/K·mol) T：絕對溫度 (K) A：罩蓋底面積 (m ²)，數值因罩蓋不同，詳見 8.2.、8.3. unit：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	$B = 0.118 \cdot (DBH)^{2.063}$	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；D₀ (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；D₃₀：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。