

標案案號：OAC112025

「海洋碳匯盤查暨溫室氣體減量方法 研析及評估」

成果報告

第一冊

委託機關：海洋委員會

執行單位：國立中興大學

計畫主持人：林幸助

聯絡電話：04-22840416 轉 511

日期：中華民國 112 年 11 月

「本研究報告僅供海洋委員會施政參考，並不代表該會政策，該會保留採用與否之權利。」

摘要

自然碳匯係達成我國「2050 年淨零排放」十二項關鍵戰略中第九項戰略，其中行動策略之一是建立藍碳碳匯量測方法學及本土藍碳排放係數。臺灣四面環海，濱海藍碳生態系豐富且多樣，具備發展藍碳自然碳匯之潛力，且藍碳具有自願性碳權市場之需求，因此建立透明且公開之碳匯計算方法有其必要。本計畫聚焦於碳埋藏效率較高的濱海藍碳，盤點、回顧並彙整國際藍碳盤查及溫室氣體減量方法學，參酌臺灣現地量測之碳匯資料，研擬適用於臺灣之藍碳盤查及減量方法學，並透過國際實例，研擬將藍碳納入國家溫室氣體排放清冊之短、中、長期具體策略。

目前本計畫已完成臺灣紅樹林與海草床 2 種藍碳盤查及溫室氣體減量方法學。現行藍碳生態系碳匯盤查可參考 2006 IPCC NIR 指南、2013 IPCC NIR 濕地補充指南。盤查方法係確保藍碳量化結果具有真實與公正之科學基礎，並能符合 1. 相關性 (Relevance)、2. 完整性 (Completeness)、3. 一致性 (Consistency)、4. 準確性 (Accuracy)、5. 透明度 (Transparency) 與 6. 可比性 (Comparability)。依照盤查資料之精確度分為三個層級 (精確度由低至高為 Tier 1-3): Tier 1 為使用 IPCC 預設的排放係數進行估算；Tier 2 為使用各國關鍵特定地點之數據進行估算；Tier 3 為使用詳細核查、定時重複測量或模型計算的估算方式。在測量操作方法上，分為通量法 (Flux method)、碳庫差分法 (Stock-difference method) 與增減法 (Gain-loss)，各方法可依照實地情況混用。本計畫綜合上述資訊量化基礎原則及碳匯盤查實驗操作及估算方法，建立符合方法學 MRV 原則 (可量測 Measurement、可報告 Reporting 與可查證 Verification，MRV) 的藍碳基線盤查之標準方法。

本計畫關注的藍碳位於沿海濕地，被歸類在 2006 IPCC 國家溫室氣體清冊指南中「農業、森林與其他土地利用」裡的「濕地」類別，也就是臺灣 2022 年國家溫室氣體清冊報告第六章「土地利用、土地利用變化及林業部門」Land Use, Land-use Change & Forestry (LULUCF)。2021 年已有美國及澳洲將藍碳納入國家溫室氣體清冊。短期內 (一年) 應參照 2006 IPCC NIR 指南、2013 IPCC NIR 濕地補充指南，研擬適用於臺灣藍碳盤查方法，並召開專家會議確認之；中期 (三

年)：以美國及澳洲之溫室氣體排放清冊為例，將藍碳碳匯量納入臺灣溫室氣體排放清冊中，並持續減少臺灣藍碳數據之不確定性，建立藍碳碳匯長期資料庫；
長期(五年)：建議各土地利用類型之主管機關，定期監測並報告所管轄之藍碳土地利用資訊，建構濱海藍碳土地利用轉換矩陣，量化不同土地利用活動數據之間碳匯的轉換量。

Abstract

Natural carbon sinks are the ninth of the twelve key strategies of Taiwan to achieve the goal of "net zero emissions by 2050", of which one of the action strategies is to establish the methodology of blue carbon sink measurement and the local coefficients of blue carbon ecosystems. Taiwan is surrounded by the sea and the coastal blue carbon ecosystem is rich and diverse. Taiwan has the potential to develop natural blue carbon sinks, which has the demand for voluntary carbon market. Therefore it is necessary to establish a transparent and open calculation method for blue carbon systems. This project focuses on coastal blue carbon with high carbon sequestration efficiency, inventories, reviews and aggregates international blue carbon inventory and greenhouse gas (GHG) reduction methodologies, takes into account the carbon sink data measured locally in Taiwan, develops blue carbon inventory and reduction methodologies applicable to Taiwan, and formulates short-, medium- and long-term specific strategies for incorporating blue carbon into the national greenhouse gas emission inventory through international examples.

At present, the project has completed the inventory of two blue carbon systems in Taiwan's mangroves and seagrass beds and the greenhouse gas reduction methodology. For the current carbon sink inventory of blue carbon ecosystems, please refer to the 2006 IPCC NIR Guidelines and the 2013 IPCC NIR Wetland Supplementary Guidelines. The inventory methodology ensures that the blue carbon quantification results have a true and fair scientific basis and can meet the requirements of 1. Relevance, 2. Completeness, 3. Consistency, 4. Accuracy, 5. Transparency and 6. Comparability. According to the accuracy of the inventory data, there are three levels (Tier 1-3 accuracy, from lowest to highest): Tier 1 is estimated using IPCC preset emission factors, Tier 2 is estimated using data from key specific locations in each country, and Tier 3 is estimated using detailed verification, timed repeated measurements or model calculations. In terms of measurement operation methods, there are three methods: flux method, stock-difference method and gain-loss method. Each method can be mixed in operation according to the field situation. This project integrates the above basic principles of information quantification and the experimental operation and estimation methods of carbon sink inventory to establish a standard method for blue carbon baseline inventory that

conforms to the methodological MRV principles (Measurement, Reportable Reporting and Verifiable Verification).

The blue carbon of concern for this project is located in coastal wetlands and is classified in the "wetlands" category of "Agriculture, Forests and Other Land Use" in the 2006 IPCC National Greenhouse Gas Inventory Guide, which is the Land Use, Land-use Change & Forestry (LULUCF) in Chapter 6 of Taiwan's 2022 National Greenhouse Gas Inventory Report. In 2021, the United States and Australia have included blue carbon in their National Greenhouse Gas Inventory Report. In the short term (one year), the 2006 IPCC NIR Guidelines and the 2013 IPCC NIR Wetlands Supplementary Guidelines should be used to develop a blue carbon inventory method applicable to Taiwan and convene an expert meeting to confirm it; medium term (three years): to take the GHG emission inventory of the United States and Australia as an example, include blue carbon sinks in Taiwan's greenhouse gas emission inventory, and continue to reduce the uncertainty of Taiwan's blue carbon data for establishing a long-term database of blue carbon sinks; long-term (five years): It is recommended that the competent authorities of each land use type regularly monitor and report the blue carbon land use information under their jurisdiction, construct a coastal blue carbon land use conversion matrix, and quantify the amount of carbon sink conversion between different land use activity data.

第一冊目次

摘要	I
Abstract.....	III
第一冊目次.....	V
第一冊表次.....	VIII
第一冊圖次.....	X
第一章、前言.....	1
第一節 計畫緣起及目的	1
第二節 計畫架構及工作內容	3
一、蒐研國外藍碳碳匯量盤查實例及藍碳溫室氣體減量方法學	5
二、國際藍碳碳匯量盤查及溫室氣體減量方法學之適用性評估分析 ...	6
第二章、文獻及發展現況簡介.....	7
第一節 藍碳生態系簡介	7
一、 臺灣藍碳生態系分布及組成.....	7
二、 臺灣藍碳碳匯研究現況.....	8
三、 臺灣藍碳溫室氣體研究回顧.....	10
第二節 自然碳匯在臺灣 2050 淨零排放策略之定位	11
第三章、工作執行構想與方法.....	13
第一節 蒐研國外藍碳碳匯量盤查實例及藍碳溫室氣體減量方法學	13
第二節 國際藍碳碳匯量盤查及溫室氣體減量方法學適用性評估分析	19
第三節 其他配合事項	24

第四章、預定進度與預期工作成果.....	25
第一節 各項工作預定進度	25
第二節 進度控制	26
一、 期初階段.....	26
二、 期中階段.....	26
三、 期末進度.....	26
四、 結案成果.....	27
第三節 預期成果	28
第四節 研究預期對相關施政之助益	28
第五章、工作執行成果.....	29
第一節 蒐研國外藍碳碳匯量盤查實例及藍碳溫室氣體減量方法學	32
1. 蒐集國家溫室氣體清冊指南(2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)海洋碳匯盤查方法，以及至少 3 個國家其海洋碳匯納入溫室氣體排放清冊之盤查作法	32
2. 蒐整國際認可(如清潔發展機制(Clean Development Mechanism, CDM)及自願碳標準(Verified Carbon Standard, VCS))用於實施藍碳溫室氣體減量專案之減量方法學，內容至少包含適用條件與範疇、基線及專案減量計算方法、監測程序，並適用於 2 種以上藍碳(紅樹林、海草床、海藻或鹽沼)生態系	45
3. 蒐集國內外海洋碳匯量測技術及我國碳匯實地調查有關文獻，至少須包含紅樹林、海草床及鹽沼等藍碳種類	114
第二節 國際藍碳碳匯量盤查及溫室氣體減量方法學之適用性評估分析 ..	121
1. 分析現行主要使用之藍碳盤查及溫室氣體減量方法學適用條件及範疇、基線及專案減量計算方式，以及監測方法與參數，並詳細說明各計算方式	

及參數之內涵。	123
2.研擬 2 種以上藍碳碳匯盤查作法，需能應用於行政院環境保護署國家溫室氣體排放清冊對應項目及內容。	124
3.探討減量方法學使用預設參數、引用我國文獻數據及現場監測技術，及其適用條件及範疇，初擬至少各一式可運用於我國濱海 2 種不同之藍碳生態系，並可提送行政院環境保護署審查之減量方法學。	124
4.提出藍碳納入我國溫室氣體排放清冊之短、中、長期程因應策略與規劃建議	149
參考文獻.	154
附件一 臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序.	165
附件二 臺灣海草床碳匯測量標準作業程序.	196
附件三 小規模減量方法：臺灣紅樹林棲地的造林與植林.	230
附件四 小規模減量方法：臺灣紅樹林棲地的造林與植林之專案案例—中都濕地公園的紅樹林造林碳匯專案計畫書	285
附件五 小規模減量方法：臺灣海草床復育方法學.	322
附件六 小規模減量方法：臺灣海草床復育方法學—馬公重光海草床之碳匯專案計畫書	345

第一冊表次

表 3.1-1 國外藍碳減量方法學.....	16
表 5.1-1 濱海藍碳各類型活動數據.....	32
表 5.1-2 排放係數估算精度層級.....	33
表 5.1-3 活動數據面積淨變化-方法 1	34
表 5.1-4 活動數據面積之類型變化-方法 2 或 3	35
表 5.1-5 活動數據變化矩陣-方法 2 或 3	35
表 5.1-6 澳洲濱海藍碳碳匯計算項目.....	37
表 5.1-7 澳洲濱海藍碳排放係數估算層級.....	38
表 5.1-8 美國濱海藍碳碳匯計算項目.....	40
表 5.1-9 荷蘭濱海藍碳排放係數估算層級.....	42
表 5.1-10 《京都議定書》的三種彈性機制比較表	46
表 5.1-11 CDM 與 VCS 比較.....	50
表 5.1-12 國際碳匯增匯(溫室氣體減量)方法學列表.....	59
表 5.1-13 CDM 減量方法學適用條件比較表.....	63
表 5.1-14 Verra 公告應用 VM0033 作為減量方法學之減量專案列表.....	73
表 5.1-15 海南文昌、昌江紅樹林復育專案實施之永續發展目標.....	78
表 5.1-16 海南文昌、昌江紅樹林復育專案歷年溫室氣體移除量估算.....	79
表 5.1-17 海南文昌、昌江紅樹林復育專案歷年溫室氣體移除量估算.....	80
表 5.1-18 海南文昌、昌江紅樹林復育碳庫的選擇與原因.....	82
表 5.1-19 海南文昌、昌江紅樹林復育專案邊界內包含或排除的溫室氣體來源	82

表 5.1-20 海南文昌、昌江紅樹林復育專案監測結果.....	85
表 5.1-21 海南文昌、昌江紅樹林復育專案溫室氣體淨排放量/移除量估算...	85
表 5.1-22 維吉尼亞海岸保護區海草復育專案實施之永續發展目標.....	90
表 5.1-23 維吉尼亞海岸保護區海草復育專案歷年溫室氣體移除量估算.....	91
表 5.1-24 維吉尼亞海岸保護區海草復育碳庫的選擇與原因.....	92
表 5.1-25 維吉尼亞海岸保護區海草復育碳庫的選擇與原因.....	93
表 5.1-26 維吉尼亞海岸保護區海草復育專案邊界內預估減排量或移除量....	94
表 5.1-27 VBF 實施之永續發展目標.....	97
表 5.1-28 VBF 各專案措施預期每年淨碳效益總表.....	99
表 5.1-29 VBF 碳庫的選擇與原因.....	101
表 5.1-30 VBF 關鍵指標數據報告.....	103
表 5.1-31 VBF 專案年度報告碳效益總表.....	103
表 5.2-1 選擇碳庫以核算碳儲量的變化(專案邊界內碳匯變化的碳庫計算項目)	128
表 5.2-2 選擇核算的排放源和 GHG(專案邊界內溫室氣體釋放源的計算項目)	129
表 5.2-3 方法學比較分析.....	136
表 5.2-4 碳匯計畫的各部會分工架構建議表.....	151

第一冊圖次

圖 1.1-1 工作架構及流程圖.....	3
圖 3.0-1 工作執行及人員配置.....	13
圖 4.1-1 預定工作進度甘梯圖.....	25
圖 5.0-1 全球風險評估 2023 十大風險.....	30
圖 5.1-1 碳權機制之分類.....	47
圖 5.1-2 各信用機制類型的全球發行量(2018 年至 2022 年)World Bank(2023)	53
圖 5.1-3 按專案類別和年份發行量的百分比 World Bank (2023)	54
圖 5.1-4 《高品質藍碳的原則與指南》	59
圖 5.1-5 海南文昌、昌江紅樹林復育復育專案區域位置、邊界及範圍	77
圖 5.1-6 維吉尼亞海岸保護區海草復育專案區域位置、邊界及範圍.....	89
圖 5.1-7 VBF 專案區域位置與專案範疇.....	97
圖 5.1-8 環境部溫室氣體抵換專案流程.....	110

第二冊目次

第一冊目次.....	I
第二冊目次.....	IV
附件七 海洋碳匯盤查暨溫室氣體減量方法研析及 評估評選審查意見答覆與辦理情形說明	1
附件八 海洋碳匯盤查暨溫室氣體減量方法研析及 第一次工作會議紀錄.....	3
附件九 海洋委員會 OAC112025「海洋碳匯盤查暨溫室氣體減量方法研析及評估」期中報告審查會議紀錄	6
附件十 海洋委員會 OAC112025「海洋碳匯盤查暨溫室氣體減量方法研析及評估」期末報告審查會議紀錄	14
附件十一 氣候變遷相關中英文對照及名詞解釋.....	22
附件十二 海南文昌、昌江紅樹林復育專案.....	50
附件十三 維吉尼亞海岸保護區海草復育專案.....	88
附件十四 Vanga 藍碳專案.....	114
附件十五 濕地碳匯功能調查標準作業程序.....	135

第一章、前言

第一節 計畫緣起及目的

2015 年聯合國氣候變遷綱要公約第 21 屆締約國會議(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC);(21st session of the Conference of the Parties,COP 21)中通過《巴黎協定》(The Paris Agreement),在 196 個締約國一致同意下,要求各國推動減碳措施以降低碳排放量,控制全球氣溫與工業革命前相比最多升溫 2°C 的範圍內。為了達到全球長期溫室氣體減量目標,全球各國陸續訂出「國家自定貢獻」(Nationally Determined Contribution, NDC),並制定碳稅、碳排放交易系統、效能標準與減量目標等各式碳管理政策。然而,隨著全球對抗氣候變遷的腳步增快,並修正以控制升溫 1.5°C 為目標,我國與國際社會同步,我國於 2023 年 2 月 15 日公布將「溫室氣體減量及管理法」修正為「氣候變遷因應法」以凸顯我國完備氣候法制的指標意義,並將國家長期減量目標修改為 2050 年溫室氣體淨零排放。

依照 IUCN 的估算,全球碳循環的 83%會透過海洋。此外,人類從工業革命至 1990 年代所排放的二氧化碳也有 30%被海洋所吸收(Gruber et al., 2019),足以見得海洋在減緩氣候變遷的重要性。而儲存在海洋及沿海環境或生態系中的碳,即為海洋碳匯(也稱為藍碳)。海洋碳循環的過程中,包含了許多碳匯形式,例如水體中溶解性或顆粒性的碳、沉積物中埋藏的碳。根據 Atwood et al. (2020)估算,海洋碳儲存量的 79%位於深海底質,不過其累積 1 公尺深的沉積物就可能需要數千年至百萬年;相比之下沿海底質的累積速率,1 公尺深的沉積物僅需數百年至數千年。另外根據估算,以紅樹林、海草床及鹽沼為主的沿海生態系,只佔據了全球海床面積的 0.5%,卻可以貢獻全球海洋碳匯的 50%以上(Duarte et al., 2005; Mcleod et al., 2011; Krause-Jensen et al., 2016)。由於紅樹林、海草床及鹽沼高效率的碳埋藏,近十年來成為備受矚目的碳匯研究對象,也因此區分出濱海藍碳(coastal blue carbon)一詞特指紅樹林、海草床及鹽沼為主的沿海棲地底質所埋藏的有機碳,並用藍碳生態系特指這些沿岸生態系;另一方面,海洋藍碳(oceanic blue carbon)則是包括透過海洋生物(如植物性浮游生物和其它開放海域的生物群)及透過化學性固碳作用而儲藏至深海水域及底質

中的有機碳(del Mar Otero, 2021)。

至今許多研究皆顯示濱海藍碳生態系比起陸域森林(綠碳)具有更高的碳吸存潛力(Macreadie et al., 2019; Mcleod et al., 2011)。陸域土壤容易受到好氧微生物的分解而釋放二氧化碳，但長期處於厭氧環境的海洋沉積物，因不易分解反而能有更長久的固碳效果。因此復育及管理濱海藍碳棲地，可被視為因應氣候變遷的自然解方，理應被納入 2050 年淨零排放的途徑。同樣地，在海洋藍碳方面也發展出基於海洋的二氧化碳移除技術(CDR)，如大型藻養殖等等(Board et al., 2021)。

因應 2050 年淨零排放目標，全球自願性碳權市場的需求已大幅成長，至 2050 年則可能增長為 2020 年規模的 100 倍。藍碳為倍受全球矚目之自然碳匯，在自願性碳權需求快速成長背景下，帶動了具有海洋及沿岸濕地環境之沿海國家積極發展藍碳計畫。國際間已有藍碳碳權開發及交易實例，如肯亞 Mikoko Pamoja 紅樹林保育和復育專案、哥倫比亞紅樹林保育碳減排專案以及巴基斯坦信德省(Sindh Province)紅樹林復育專案(Delta Blue Carbon Project, DBC-1)等。

有鑑於自然碳匯係達成我國「2050 年淨零排放」十二項關鍵戰略中第九項戰略，我國四面環海、濱海藍碳生態系豐富，具備發掘藍碳自然碳匯之潛力。然而我國現今未建立標準評估認證方法，亦未有計算濱海藍碳碳匯量之方法學可供參考，且我國濱海藍碳生態系實際碳匯量仍未知。考量藍碳具有自願性碳權市場需求，建立具公正、透明且公開之碳匯計算方法尤其必要。

本計畫聚焦於碳埋藏效率較高的濱海藍碳(本計畫以下簡稱藍碳)，擬盤點、回顧並彙整國際藍碳碳匯盤查、溫室氣體減量方法學及國內外藍碳碳匯量量測方法學及調查相關文獻，並研析預設參數、我國研究數據、現地量測等碳匯量計算方法及適用範疇，研擬適用於我國藍碳碳匯量盤查作法及最佳減量方法學，並透過國際已認可的藍碳碳匯量盤查方法及國際實例，評估將我國藍碳生態系納入國家溫室氣體排放清冊之短、中、長期之因應對策，並提出具體建議。另外，海洋藍碳方面，本計畫僅針對 CDR 技術初步彙整及討論，例如臺灣大型藻類養殖的現況分析等。透過本計畫成果提供後續我國 2050 年淨零碳排目標路徑規劃，藉由

我國其他相關政策配套搭配，讓藍碳生態系保育更積極前進，跟上國際潮流，達成以自然為本保存碳匯之多贏策略。

第二節 計畫架構及工作內容

本計畫回顧國內外藍碳碳匯與溫室氣體排放的相關研究文獻，進行資料整理及分析，除了蒐集研究藍碳生態系碳匯量盤查實例及藍碳生態系溫室氣體減量方法學，同時會進行國際藍碳生態系碳匯量盤查及溫室氣體減量方法學之適用性評估分析。本計畫參照環境保護署(今環境部)「產業溫室氣體盤查流程及減量方法建立流程」及行政院農業委員會林務局(今農業部林業及自然保育署)「臺灣林業活動溫室氣體清冊編製建議流程」，擬定本計畫工作架構及流程圖(圖 1.1-1)，說明藍碳溫室氣排放體盤查及減量方法之建立所需的流程、各流程細項實務內容，並將各細項內容對應本計畫各項執行工作及負責單位。各部門溫室氣體管理，基本都需要經過盤查階段(建立排放量清冊到納入國家溫室氣體清冊)及減量階段(建立減量方法加以管理)(圖 1.1-1)。在盤查階段，需要提供環境部「排放量計算的邊界與基準年」、「可以建立排放量清冊的盤查方法」和「品質保證及控制的評估方式」。在減量階段，主要需初擬「減量方法及提出應用範例」，即可提供

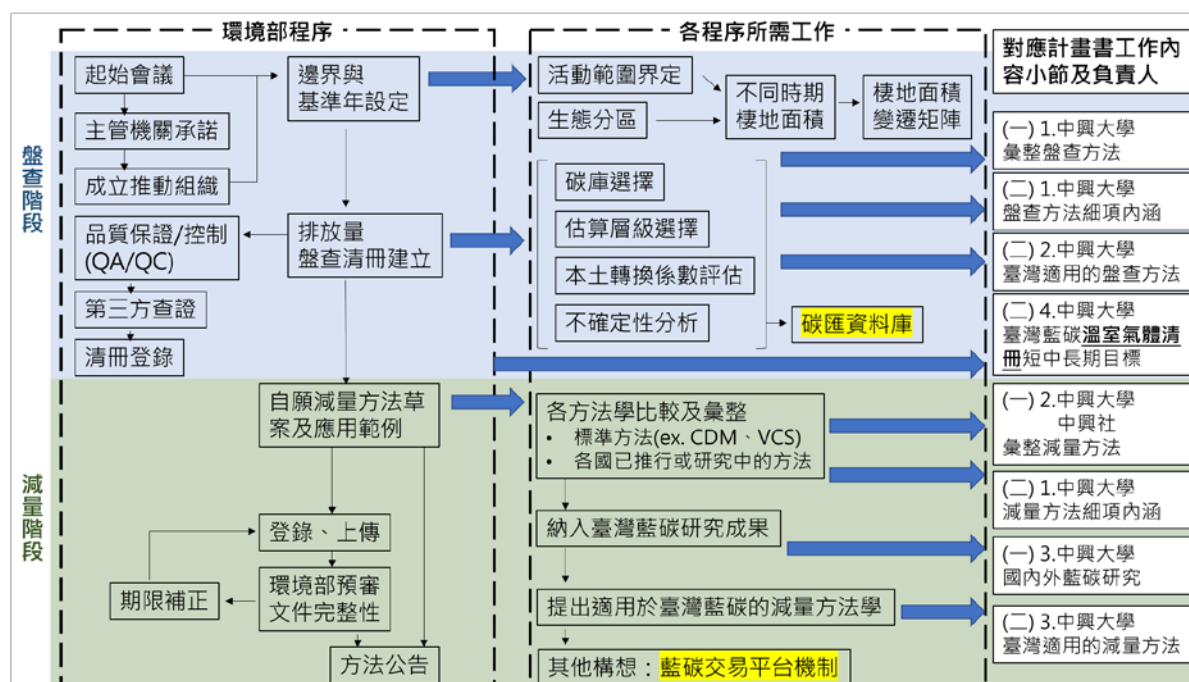


圖 1.1-1 工作架構及流程圖

資料來源:本計畫工作架構及流程圖改自環境部

給環境部進行預審等後續程序。

- 邊界與基準年設定：邊界設定應釐清藍碳棲地管理單位及權責，須先詳細說明盤查地址、地理位置，再詳細說明邊界內之藍碳植被組成、環境資訊及土地利用活動。基準年設定為藍碳棲地溫室氣體管理之比較基準。除了盤查藍碳棲地(紅樹林、海草床及鹽沼)的分布位置及彙整不同年份的面積變化，也需要考慮不同土地利用類別及彼此間碳量計算的轉換過程，因此中長期目標可規劃建立濱海藍碳土地利用轉換矩陣。
- 盤放量盤查清冊建立：須依照臺灣不同條件之藍碳棲地，擬定排放量估算流程圖，說明如何選擇適用的估算層級、碳庫量測方法等。另外，以臺灣藍碳棲地的代表性物種建立本土轉換係數，並進行排放量估算之不確定分析。
- 品質保證/控制(QA/QC)：品質控制指編制清冊時，清單編制人員應評估及維持品質，須進行定期且一致的檢驗以確保數據的一致性、正確性和完整性，同時確認及解決誤差及疏漏，最後紀錄每次品質控制活動。品質保證指規劃好的評審規則，由未直接參與清單編制及制定過程的人員進行，最好由獨立第三方執行，以確保排放量或清除量為現有方法下最佳的估算，並審查品質控制活動的有效性。藍碳棲地的排放數據品質保證/控制，除了參考 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 國家溫室氣體清冊指南的一般指導，使用已報告的國家特定排放因子和其他國家的估值，進行交叉參照以評估估值的合理性，也會研析 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands 國家溫室氣體清冊指南濕地補充指南第七章的品質控制模型，以確保藍碳棲地排放數據的正確性。
- 減量方法學草案及應用範例：彙整各標準方法學比較其基線、情境、外加性、洩漏等溫室氣體排放之計算方法，結合臺灣藍碳研究提出適用於臺灣藍碳的減量方法學。
- 其他構想：在建立排放量盤查清冊及完善減量方法學後，中長期目標可發展藍碳碳匯資料庫，以利不同年份之排放量彙整比較及評估管理。另一方面，可透過結合海發基金建構藍碳交易平台機制，促進藍碳碳權抵換。

本計畫依照下列海洋碳匯定義及範疇、盤查方法和減量方法建立流程的各項工作(圖 1.1-1)，規劃本計畫執行項目。

定義及範疇目具體如下：

- 海洋碳匯定義為儲存在海洋及沿海環境或生態系中的碳。海洋碳匯範疇包含水體中溶解性或顆粒性的碳、沉積物中埋藏的碳等，若為離岸開放海域的生物群及海床沉積物則歸類在海洋藍碳(oceanic blue carbon)，若為沿岸具有高效碳埋藏的生態系則被歸類在濱海藍碳(coastal blue carbon)。
- 濱海藍碳定義為紅樹林、海草床及鹽沼為主的沿海棲地底質所埋藏的有機碳。濱海藍碳範疇包含紅樹林(生長在熱帶或亞熱帶海岸潮間帶泥濘地之木本植物)、海草床(海洋沉水性單子葉開花草本植物)及潮汐鹽沼(鹽度高於 3-5、受潮汐影響之沿海草澤)。

目前海洋碳匯研究而言，海洋藍碳之碳匯量化及操作方式，尚有許多不確定性，具體範疇尚待確認。本計畫將以碳匯研究較為成熟且受到公認濱海藍碳做為本計畫探討之對象。

計畫執行項目具體如下：

一、蒐研國外藍碳碳匯量盤查實例及藍碳溫室氣體減量方法學

1. 蒐集國家溫室氣體清冊指南(2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)海洋碳匯盤查方法，以及至少 3 個國家其海洋碳匯納入溫室氣體排放清冊之盤查作法。
2. 蒐整國際認可(如清潔發展機制(Clean Development Mechanism, CDM)及自願碳標準(Verified Carbon Standard, VCS)用於實施藍碳溫室氣體減量專案之減量方法學，內容至少包含適用條件與範疇、基線及專案減量計算方法、監測程序，並適用於 2 種以上藍碳(紅樹林、海草床或鹽沼)生態系。

3. 蒐集國內外海洋碳匯量測技術及我國碳匯實地調查有關文獻，至少須包含紅樹林、海草床及鹽沼等藍碳種類。

二、國際藍碳碳匯量盤查及溫室氣體減量方法學之適用性評估分析

1. 分析現行主要使用之藍碳盤查及溫室氣體減量方法學適用條件及範疇、基線及專案減量計算方式，以及監測方法與參數，並詳細說明各計算方式及參數之內涵。
2. 研擬 2 種以上藍碳碳匯盤查作法，需能應用於行政院環境保護署國家溫室氣體排放清冊對應項目及內容。
3. 探討減量方法學使用預設參數，引用我國文獻數據及現場監測技術，及其適用條件及範疇，初擬至少各一式可運用於我國濱海 2 種不同之藍碳生態系，並可提送行政院環境保護署審查之減量方法學。
4. 提出藍碳納入我國溫室氣體排放清冊之短、中、長期程因應策略與規劃建議。

第二章、文獻及發展現況簡介

第一節 藍碳生態系簡介

藍碳生態系一般係指紅樹林(mangroves)、海草床(seagrass beds)及潮汐鹽沼(tidal salt marshes)等沿海植被生態系統(Mcleod et al., 2011)。大洋雖然也是藍碳生態系統，但是其碳匯技術因成本及風險仍高，仍缺乏國際公認之方法學，有待未來發展(Board, 2021)。藍碳生態系具有高等維管束植物作為生態系的初級生產者，具有極高的生產力可以吸收大氣中的碳固定在植物體當中。而藍碳植被產生大量的枯枝落葉及死亡根系，這些植物殘體會形成碎屑並被埋藏於土壤當中。藍碳生態系位於沿海地區週期性受潮汐影響，長期海水浸淹使得土壤保持在厭氧狀態，降低土壤中有機質的分解速率，進而增加土壤有機碳的累積(Chmura et al., 2003)。因此，藍碳生態系比起陸域森林(綠碳)生態系具有更高的碳匯能力(Macreadie et al., 2019; Mcleod et al., 2011)。儘管藍碳生態系的面積僅佔了近岸海域不到 2%，但其有機碳埋藏率遠比熱帶雨林高出 40 倍之多，且佔據了一半以上海洋沉積物的有機碳埋藏量(Duarte et al., 2005)。藍碳生態系中以紅樹林的土壤碳埋藏量最高(386 t C ha^{-1})；其次為潮汐鹽沼(255 t C ha^{-1})；而海草床因為有機質土壤較少而最低(108 t C ha^{-1})(Hiraishi et al. 2014)。藍碳生態系在全球分佈區位上，紅樹林主要分布在熱帶及亞熱帶地區；鹽沼主要在溫帶至極區附近；海草則是三者中全球分布範圍與面積最廣的，橫跨熱帶及溫帶地區(Davidson et al., 2019)。

一、臺灣藍碳生態系分布及組成

臺灣紅樹林分佈廣闊，主要分佈於臺灣西岸沿海地區，北界擴展至淡水河口，南界分佈至屏東大鵬灣。林等(民 108)重新盤點調查臺灣沿岸及離島地區紅樹林分佈面積，總面積至少達 680.7 ha 。臺灣紅樹林物種組成包含紅樹科(Rhizophoraceae)的水筆仔(*Kandelia obovata*)、馬鞭草科(Verbenaceae)之海茄苳(*Avicennia marina*)與五梨跤(或紅海欖 *Rhizophora stylosa*)及使君子科(Combretaceae)之欖李 (*Lumnitzera racemosa*)等 3 科 4 屬 4 種。這 4 種紅樹

林分佈約略以臺中大安為界，往南以海茄苳為優勢物種；往北則以水筆仔為優勢物種。海茄苳在臺灣的分布最北界大約位於新竹新豐，但桃園新屋溪口有零星分佈；水筆仔成林的分布最南界則大約位在彰化芳苑。欖李及五梨跤則分佈於嘉義以南地區，主要與海茄苳混生成林生長。

臺灣海草床分佈面積高達 5450 ha (林與陳, 民 108)，其中絕大部分面積分佈於東沙環礁，其餘零散分佈於臺灣本島及離島沿岸地區。臺灣已確認的海草物種共有 12 種(柯, 民 93；劉等, 民 107；Lin et al., 2005)，約為世界海草物種數的 1/6。林與陳(民 108)盤點調查臺灣主要海草物種組成有貝克氏鹽草(*Halophila beccarii*)、毛葉鹽草(*H. decipiens*)、卵葉鹽草(*H. ovalis*)、正鹽草(*H. major*)、泰來草(*Thalassia hemprichii*)、圓葉水絲草(*Cymodocea rotundata*)、鋸齒葉水絲草(*C. serrulata*)、水韭菜(*Syringodium isoetifolium*)、鐮葉叢草(*Thalassodendron ciliatum*)、線葉二藥草(*Halodule pinifolia*)、單脈二藥草(*H. uninervis*)及甘草(*Zostera japonica*)。在臺灣本島及鄰近離島的物種為貝克氏鹽草、卵葉鹽草、泰來草、單脈二藥草、線葉二藥草及甘草，其它則為僅分佈於東沙環礁或僅出現於水深 1 m 以下的亞潮帶海草(林與陳, 民 108)。其中，貝克氏鹽草僅生長於潮間帶泥灘地，被 IUCN 列為「易危」物種(Short et al., 2010)。

臺灣潮汐鹽沼僅於臺灣本島僅分佈於臺中彰化以北及離島的金門沿海地區。林與陳(民 111)盤點調查臺灣潮汐鹽沼的物種以蘆葦(*Phragmites australis*)、鹽地鼠尾粟(*Sporobolus virginicus*)、雲林莞草(*Bolboschoenus planiculmis*)及外來種互花米草(*Spartina alterniflora*)等 4 種主要物種組成。這 4 種組成的潮汐鹽沼分佈面積僅為 188.3 ha，其中以金門地區的互花米草分佈 138.5 ha 居冠，由於金門離島位於中國沿岸易受外來種入侵，林與陳(民 111)亦計算臺灣不含互花米草的潮汐鹽沼面積僅剩 49.8 ha。

二、臺灣藍碳碳匯研究現況

評估藍碳生態系碳匯的方法，除了植物體及土壤所儲存的靜態有機碳量外，碳吸存量可從生態系中碳的流動通量來衡量，即由輸入系統的碳量減去輸出系

統的碳量，剩餘的累積在生態系中的碳，即為碳匯量。過去量化藍碳生態系的碳匯常藉由建立碳收支模式來估算，包含考量藍碳植被光合作用的淨碳吸收量、土壤溫室氣體(二氧化碳及甲烷)的碳排放量及側向傳輸造成碎屑、顆粒性或溶解性有機碳的碳傳輸量等。

臺灣紅樹林碳匯已有不少研究成果。Li et al. (2018)以紅樹林碳收支模式量化2處水筆仔紅樹林(淡水河口及彰化芳苑)與2處海茄苳紅樹林(臺南七股及彰化芳苑)，吳(民 110)進一步新增新竹新豐、苗栗竹南2處水筆仔紅樹林及嘉義布袋、臺南北門2處海茄苳紅樹林碳匯量測。結果顯示水筆仔紅樹林碳匯速率為 $5.91 \sim 26.18 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，海茄苳紅樹林碳匯速率為 $1.96 \sim 5.72 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 。然後，過去研究因採樣困難多先忽略紅樹林地下部(細根)對紅樹林碳匯量的貢獻，Chou et al. (2022)及周(民 110)首次量化水筆仔及海茄苳紅樹林細根對紅樹林碳匯量的貢獻，發現兩種樹種的細根貢獻碳匯量為 $0.21 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 及 $0.92 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 。

臺灣海草床碳匯研究集中在墾丁南灣與大光潮間帶海草床及東沙島周圍亞潮帶海草床。東沙海草床碳收支研究較為完整，同時考慮海草地上與地下部生產量、草食作用、分解作用及碎屑傳輸等項目，量化碳吸存量為 $12.03 \sim 14.82 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 。墾丁海草床研究初期僅以泰來草地上部生產量、草食作用及碎屑輸出等項目建構海草床碳收支模式(Chiu et al. 2013)，量化墾丁泰來草地上部貢獻的碳吸存量為 $5.23 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 。Zou et al. (2021)進一步補齊海草地下部生產量及分解作用，重新計算墾丁泰來草及單脈二藥草的碳吸存量分為 $2.84 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 及 $5.06 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 。面對未來氣候變遷的影響下，Chen and Lin (2022)指出海平面上升及極端降雨將影響海岸環境，進一步影響海草床物種組成，而影響到海草碳匯速率。

臺灣潮汐鹽沼碳匯研究較少，陳(民 103)在淡水河感潮帶建立蘆葦生態系的碳收支模式，量化蘆葦的碳匯量為 $18.60 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 。林與陳(民 111)量化臺中高美濕地4種潮汐鹽沼植被的碳匯能力，結果發現以互花米草的碳匯量最高($24.33 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)，鹽地鼠尾粟及蘆葦次之($6.58 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、 $5.80 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)，雲林莞草最低($3.45 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)。

三、臺灣藍碳溫室氣體研究回顧

目前臺灣藍碳生態系統溫室氣體研究，多以密閉罩蓋法進行，即是在棲地營造密閉腔室並與溫室氣體分析儀相連，監測即時的溫室氣體濃度變化，再根據濃度變化速率推估之。根據紅樹林內土壤溫室氣體排放的結果，水筆仔紅樹林(樣點包含淡水河的關渡、竹圍、挖仔尾及新竹新豐、苗栗竹南、彰化芳苑)甲烷通量介於 $0.8 \sim 4.2 \mu\text{mol CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Lin et al., 2021)，二氧化碳通量介於 $0.85 \sim 5.74 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (黃，民 105；吳，民 110)；海茄苳紅樹林(樣點包含彰化芳苑、嘉義布袋、臺南北門及七股)甲烷通量介於 $14.2 \sim 94.1 \mu\text{mol CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Lin et al., 2021)，二氧化碳通量介於 $0.37 \sim 6.87 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (李，民 103；黃，民 105；吳，民 110)。其中，甲烷通量會隨鹽度增加而減少，隨著植物體通氣組織(如氣生根)增加而上升(Lin et al., 2021)。

鹽沼土壤溫室氣體通量研究方面以臺灣本島面積最大的高美濕地四種鹽沼物種為主，雲林莞草在香山也有研究結果(廖，民 101；林與陳，民 111)。各鹽沼物種之甲烷通量與二氧化碳通量分別如下：雲林莞草 $11.75 \sim 70.77 \mu\text{mol CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 及 $-1.05 \sim 2.14 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 、鹽地鼠尾粟 $0.99 \sim 3.13 \mu\text{mol CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 及 $-1.11 \sim 3.36 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 、蘆葦 $141.52 \sim 1245.22 \mu\text{mol CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 及 $-0.06 \sim 7.94 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 、互花米草 $263.16 \sim 572.52 \mu\text{mol CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 及 $0.87 \sim 14.03 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (廖，民 101；林與陳，民 111)。

臺灣海草床土壤溫室氣體通量研究僅有潮間帶之結果，包含由泰來草及單脈二藥草混生的屏東墾丁海草床，嘉義白水湖貝克氏鹽草及新竹香山甘草(廖，民 101；林與陳，民 111)。各海草床甲烷通量與二氧化碳通量分別如下：屏東墾丁海草床 $-0.57 \sim 4.58 \mu\text{mol CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 及 $-0.08 \sim 0.32 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 、貝克氏鹽草 $0.03 \sim 1.12 \mu\text{mol CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 及 $-2.05 \sim 0.44 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 、甘草 $0.19 \sim 0.96 \mu\text{mol CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 及 $-0.05 \sim 5.26 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (廖，民 101；林與陳，民 111)。

第二節 自然碳匯在臺灣 2050 淨零排放策略之定位

近年受氣候變遷的影響，各國陸續承諾淨零排放(Net Zero Emissions)，根據「經濟部 MOEA 2050 淨零排放」網站統計，截至 2022 年 10 月 26 日已有 139 國家參與為淨零努力。我國於 2022 年 3 月 30 日由國家發展委員會提出「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，說明將以四大轉型策略與兩大治理基礎推動淨零目標，其中四大轉型策略包括「能源轉型」、「產業轉型」、「生活轉型」與「社會轉型」等，兩大治理基礎則為「科技研發」與「氣候法制」，以明確的策略與治理基礎推動臺灣落實淨零轉型目標。為有效地推動轉型策略與建立完善的治理基礎，建置太陽光電等綠能、布局具長期減碳能力之負碳技術和自然碳匯均為推動之關鍵，而自然碳匯泛指自然界的碳被固定在海洋、土壤、岩石與生物體中，包括森林碳匯、土壤碳匯、海洋碳匯、生質碳匯等。

碳以不同形式在大氣、生物與土壤之間的循環傳遞，人類透過工業活動使用化石燃料製造的碳排放量，已不足以透過自然界的碳匯達成平衡。雖然森林、土壤都可固定碳，但因為土地利用方式被改變，如森林砍伐、耕犁、過度施肥等，造成全球每年約 7~21 億噸的土壤碳損失。目前約有 33%的土地因沖蝕、酸化、污染等原因出現中到高度的劣化問題，導致流失大量土壤有機碳、減少土壤生物多樣性、降低土壤複雜性，使得土壤中的碳隨著氧化亞氮排放到大氣中。自 19 世紀以來，估計已有三分之二的土壤和植被因土壤劣化而喪失碳儲量，而人類活動仍在繼續中。因此，除了強化人類活動的減碳技術、打造零碳能源系統外，如何提高自然碳匯亦為淨零目標的重點策略之一。

在海洋生態系中，紅樹林、海草床及潮汐鹽沼等沿海植被生態系統具有良好的碳匯能力，也被稱為濱海藍碳，在面對全球氣候變遷發揮著重要作用。爰此，2011 年聯合國發布的「海洋及沿海地區永續發展藍圖」報告中提出為了保護和重建海洋生態系統結構及功能，實現海洋資源和生態系統永續和公平利用，應建立全球性藍碳市場，在國際氣候變遷政策框架內使用海洋和沿海生態系的碳吸存及碳儲存的信用額度，以市場機制實現藍碳及藍碳生態系價值。目前我國在自然碳匯項目的市場開發上仍不完備，建議可從濱海藍碳項目出發，通過加強營造藍碳匯項目開發環境，以發揮市場在資源配置中的決定性作用和政府的引導作

用，吸引社會資本參與生態保育與復育，鼓勵資金投資或購買項目生產效益，除了發展海洋生態工程、生態旅遊養殖等產業，以促進經濟發展。透過將自然碳匯價值納入經濟活動，亦可提高政府、企業和大眾保護海岸生態系環境的積極性。

第三章、工作執行構想與方法

本計畫人員配置將分為「藍碳盤查方法學組」、「藍碳減量方法學組」、「方法學驗證諮詢組」、「碳匯監測技術研析組」，共計 4 組，各組人員如圖 3.0-1。



圖 3.0-1 工作執行及人員配置

第一節 蒐研國外藍碳碳匯量盤查實例及藍碳溫室氣體減量方法學

(一) 蒐集國家溫室氣體清冊指南(2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)海洋碳匯盤查方法，以及至少 3 個國家其海洋碳匯納入溫室氣體排放清冊之盤查作法

根據聯合國氣候變遷綱要公約(UNFCCC)之下的巴黎協定(Paris Agreement)，將所有締約方一同納入因應氣候變遷。為滿足巴黎協定第 13 條透明度架構及第 14 條全球盤點(Global Stocktake)，國家溫室氣體清冊(National Greenhouse Gas Inventory)扮演重要的角色。2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 國家溫室氣體清冊指南(以下簡稱 2006 IPCC NIR 指南)，公布的溫室氣體排放部門分為「能源」、「工業製程與產品使用」、「農業、森林與其他土地利用」及「廢棄物」。本計畫關注的海洋碳匯屬於沿海濕地被歸類在「農業、森林與其他土地利用」裡的「濕地」類別，以我國 2022 年國家溫室氣體清冊報告而言，應納在第六章「土地利用、土地利用變化

及林業部門」Land Use, Land-use Change & Forestry (LULUCF)之下。

有關人為活動及管理下的濕地溫室氣體排放的計算方法，列在 2006 IPCC NIR 指南第 4 卷「農業、林業和其他土地利用」，並且在 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands 國家溫室氣體清冊指南濕地補充指南(以下簡稱 2013 IPCC NIR 濕地補充指南)有詳列各類型沿海濕地(紅樹林、鹽沼及海草床)的溫室氣體通量如何計算及納入國家溫室氣體清冊。上述關於濕地溫室氣體清冊的計算方法，在我國內政部國家公園署「106-107 年度重要濕地碳匯調查計畫」附錄：濕地碳匯功能調查標準作業程序(林等，民 107)也已彙整並翻譯成中文，可參考第一章背景說明、第二章碳匯通用方法及第七章沿海濕地，詳見本計畫書第二冊附件十五。

2021 年各國國家溫室氣體清冊的初步蒐集結果，僅有美國及澳洲這 2 個國家有較詳細的將沿海濕地納入，細分成紅樹林、海草床及鹽沼並詳述計算方法。因此，本計畫會參照 2006 IPCC NIR 指南及 2013 IPCC NIR 濕地補充指南，和澳洲及美國的案例，評估臺灣現有沿海濕地調查結果納入國家溫室氣體排放的可行性。執行方式包含依照上述指南之決策樹，分類我國沿海濕地的使用情境，選定合適的計算方式等。

(二)蒐整國際認可(如清潔發展機制(Clean Development Mechanism, CDM)及自願碳標準(Verified Carbon Standard, VCS))用於實施藍碳溫室氣體減量專案之減量方法學，內容至少包含適用條件與範疇、基線及專案減量計算方法、監測程序，並適用於 2 種以上藍碳(紅樹林、海草床、海藻或鹽沼)生態系

目前各國藍碳碳匯專案開發，以清潔發展機制(CDM)及自願碳標準(VCS)之認證為主，各國持續發展紅樹林碳匯之認證項目，例如位於東非的肯亞家齊灣(Gazi Bay)的 Mikoko Pamoja 計畫主要係對紅樹林進行保護，藉此取得碳抵換量，預計在 20 年內可取得 2,482 噸 CO₂ 抵換量。此外，中國大陸「湛江紅樹林造林項目」自 2015 至 2020 年間於廣東湛江紅樹林國家級自然保護區陸續進行紅樹林造林，項目係依據 VCS 和 CCB 雙重標準認證進行開發，5 年間已造林 380

公頃，加計土壤和生物固碳量，預計可貢獻 5,880 噸 CO₂ 之減排量，而減排量之交易收益重新投入紅樹林管理與社區參與(陳等，民 110)。

當今各國藍碳碳匯開發專案(Projects)皆係紅樹林種植造林、保護維運等專案，以 Plan Vivo Certificates (PVS)為社區主導項目，然而其規模較小，可貢獻減排總量亦隨之偏小，目前通過 CDM、VCS 及 PVS 認證之有效期限內藍碳碳匯專案如表 3.1-1 所示，儘管如印尼、印度及塞內加爾等國家通過 VCS 認證制度開發之紅樹林專案總面積已超過 10,000 公頃，其減排總量仍小於森林碳匯，市場交易量亦低於強制市場，通常係非政府組織或與海洋、生態相關之人員、小型公司對此類專案較有興趣。在已開發的紅樹林碳匯專案中，專案開發方通常也作為修復專案的出資方。例如，由達能未來自然基金(Danone Fund for Nature)聯合其他企業成立的生計碳基金會(Livelihoods Carbon Fund)支援了塞內加爾南部和北部部分區域、印尼亞齊—蘇門答臘和印度孫德爾本斯 3 個地方開展紅樹林種植和修復專案並獲得碳減排量(陳等，民 110)。

日本方面，亦積極開發藍碳碳匯專案，其國土交通省港灣局(日文:国土交通省港灣局，中文以下稱交通省港灣局)針對國內海藻林及沿海濕地等自然環境，計算得出其對於二氧化碳的吸收量後，賦予碳排放權的資格，建立名為「藍碳抵換額度(Blue Carbon Offset Credit)」(以下稱藍碳信用)的交易制度。該制度自 2022 年 1 月起開始公開募集買家，試驗交易活動是在橫濱港、神戶港、德山下松港，以及北九州港等 4 處進行。該制度與相關人士，如漁業從業人員建立合作關係，除了北九州港外，橫濱港、神戶港、德山下松港皆有漁業協會投入參與，取得藍碳抵換額度。

表 3.1-1 國外藍碳減量方法學

類別	專案	發起方	地區	專案日期	專案內容和規模	預計減排量 (噸 CO ₂ /yr)	方法學
CDM	海洋群集紅樹林修復專案	海洋群落	塞內加爾辛薩盧姆和卡薩芒斯三角洲	2008.06-2038.06	劣化的濕地種植 1700 公頃紅樹林	2,704	AR-AMS0003
VCS	塞內加爾生計基金紅樹林修復專案	生計基金會	塞內加爾南部和北部的多個三角洲和河谷區域	2009.07-2039.07	修復>10000 公頃紅樹林	30,000	AR-AM0014
	印度孫德爾本斯紅樹林恢復專案	生計基金會	印度孟加拉西部地區	2010.09-2030.09	種植和修復>10000 公頃紅樹林	51,249	AR-AM0014
	印尼亞齊東海岸帶和北蘇門答臘紅樹林修復和海岸綠帶保護專案	生計基金會	印尼亞齊省東海岸和北蘇門答臘	2011.06-2031.06			AR-AM0014
	緬甸紅樹林植林及修復、可持續生計及社區發展專案	世界觀點國際基金會	緬甸伊諾瓦底省北部	2015.06-2035.06	在 2146.48 公頃劣化紅樹林開展種植		AR-AM0014
	湛江紅樹林造林項目(中國將 Projects 翻譯成項目)	自然資源部第三海洋研究所	中國湛江	2015.04-2055.04	種植 380.4 公頃紅樹林	4,020	AR-AM0014
	哥倫比亞摩洛斯基約海灣藍碳專案 "Vida Manglar"	保護國際基金會	哥倫比亞摩洛斯基約海灣	2015.05-2045.05	保護和可持續管理 7561 公頃紅樹林、沼澤及連通的水系	21,310	VM0007

類別	專案	發起方	地區	專案日期	專案內容和規模	預計減排量 (噸 CO ₂ /yr)	方法學
	海南文昌、昌江紅樹林復育專案	自然資源部第三海洋研究所	中國海南島西部	2021.05-2061.05	種植 352.89 公頃紅樹林	4,672	VM0033
	維吉尼亞海岸保護區海草復育專案	自然保護協會維吉尼亞州分會	美國維吉尼亞海岸保護區	2015.10-2045.10	復育 7,787 英畝海草床	930	VM0033
PVS	肯亞 Mikoko Pamoja 專案	肯亞海岸帶生態系統協會	肯亞加濟灣	2012-2032	保護 107 公頃紅樹林，種植 10 公頃紅樹林，並計畫每年額外種植 2000 株紅樹林	2,482	AR-AM0014
	馬達加斯加 Tahiry Honko 專案	藍色探險	馬達加斯西南部刺客灣	2017.01-2037.12	推動當地社區保護和恢復超過 1200 公頃的紅樹林，並實現可持續利用	1,443	AR-AM0014
	肯亞 Vanga 專案	肯亞海岸帶生態系統協會	肯亞南部海岸	2019-2039	阻止紅樹林劣化，推動社區為主體的紅樹林恢復，保護 460 公頃紅樹林	5,027	VM0033

資料來源：陳等 2021

(三)蒐集國內外海洋碳匯量測技術及我國碳匯實地調查有關文獻，至少須包含紅樹林、海草床及鹽沼等藍碳種類

我國海洋碳匯量測技術及實地調查結果在不同藍碳種類有不同的文獻發表。紅樹林碳匯量測技術及實地調查結果可參考Li et al. (2018)、Lin et al. (2020)、Lin et al. (2021)及Chou et al. (2022)，海草床碳匯量測技術及實地調查結果可參考Chiu et al. (2013)、Huang et al. (2015)及Zou et al. (2021)，潮汐鹽沼碳匯量測技術及實地調查結果可參考Lee et al. (2015)及林與陳(民 111)。

另外藉由文獻回顧彙整國內與國際間藍碳碳匯量測技術及實地調查相關研究文獻。將設立關鍵字如「紅樹林(mangroves)」、「海草(seagrass)」、「鹽沼(salt marshes)」、「藍碳碳匯(blue carbon sink)」、「海洋碳匯(ocean carbon sink)」等關鍵字，於國際通用資料庫如「Web of Science」、「Google Scholar」、「Google Book」等進行分年搜尋，或以臺灣博碩士論文加值系統(<https://ndltd.ncl.edu.tw/>)查找臺灣已公布的大專校院碩、博士學位論文，或以政府研究資訊系統(<https://www.grb.gov.tw/>)查找過去中央、地方政府機關單位委託研究報告，彙整藍碳碳匯相關文獻資料。

第二節 國際藍碳碳匯量盤查及溫室氣體減量方法學適用性評估分析

(一)分析現行主要使用之藍碳盤查及溫室氣體減量方法學適用條件及範疇、基線及專案減量計算方式，以及監測方法與參數，並詳細說明各計算方式及參數之內涵

現行計算藍碳生態系統溫室氣體減量的方法學，包含清潔發展機制(CDM)的紅樹林碳抵換方法學「劣化紅樹林棲地的造林與植林」(AR-AM0014)；以及由 Verra 所頒布的自願性減碳(VCS)之海草床碳抵換方法學「潮間帶濕地與海草床復育」(VM0033)、濕地碳抵換方法學「沿岸濕地復育」(VM0024)以及溫室氣體評估方法學「潮汐濕地復育與保育專案中基線碳儲量變化與溫室氣體排放的估計」(VMD0050)及「潮汐濕地復育與保育專案中碳儲量變化與溫室氣體排放與清除的方法概述」(VMD0051)等。

以國內類似的森林減量方法學為例，造林與植林碳匯專案活動(AR-TMS0001)規範專案邊界為專案申請者所管理的造林專案活動之地理範圍，可以包含多筆分散的土地。但是，每筆分散的土地皆應證明具土地合格性，提供資料證實於專案活動起始時，土地為非森林地，可以用(1)過去土地利用狀況的航空照片圖或衛星影像圖；(2)藉由地圖或數位空間資訊提供土地利用情況；或(3)地面基本調查資料，如土地清冊及所有權人登記等來進行佐證。適用條件包括(1)濕地以外的造林；(2)平地造林土壤擾動面積<40%、山坡地造林<33%；(3) 2000 年 1 月 1 日以後開始造林；(4)不會造成開始前農業活動轉移；(5)植林毗連面積應> 0.5 ha、年平均減量應< 16,000 公噸 CO₂e。

由上述減量方法學案例來看，每個專案需要明定邊界及土地合格性，前者於藍碳即為精確的分布面積盤點，後者則可能因海域所屬權不像林地所屬權較為明確，而增加藍碳碳匯專案的不確定性。此外，專案的適用條件於藍碳相關方法學則諸如：復育海草床以增加碳匯至少需要達覆蓋度 15%，才能默認為有機碳累積之區域等等(VM0033)。

綜上所述，本計畫往後將彙整擬定適用於臺灣藍碳之減量方法學的架構、流程及計算，包含確認專案邊界、基線情境、專案適用條件，量化基線排放與專

案後的專案排放，以便確認專案是否達合約減排目標，以潮間帶濕地與海草床復育方法學 VM0033 為例，排放量公式如下：

- 基線情境溫室氣體排放量

$$GHG_{BSL} = GHG_{BSL-biomass} + GHG_{BSL-soil} + GHG_{BSL-fuel}$$

其中：

GHG_{BSL} ：t 年內基線情境的溫室氣體淨排放量 (t CO₂e)

$GHG_{BSL-biomass}$ ：t 年內基線情境生物量的溫室氣體淨排放量 (t CO₂e)

$GHG_{BSL-soil}$ ：t 年內基線情境土壤有機碳的溫室氣體淨排放量 (t CO₂e)

$GHG_{BSL-fuel}$ ：t 年內基線情境化石燃料的溫室氣體淨排放量 (t CO₂e)

- 專案情境溫室氣體排放量

$$GHG_{WPS} = GHG_{WPS-biomass} + GHG_{WPS-soil} + GHG_{WPS-burn} + GHG_{WPS-fuel}$$

其中：

GHG_{WPS} ：t 年內專案情境的溫室氣體淨排放量 (t CO₂e)

$GHG_{WPS-biomass}$ ：t 年內專案情境生物量的溫室氣體淨排放量 (t CO₂e)

$GHG_{WPS-soil}$ ：t 年內專案情境土壤有機碳的溫室氣體淨排放量 (t CO₂e)

$GHG_{WPS-burn}$ ：t 年內專案情境明訂燃燒(prescribed burning)的溫室氣體淨排放量 (t CO₂e)

$GHG_{WPS-fuel}$ ：t 年內專案情境化石燃料的溫室氣體淨排放量 (t CO₂e)

(二)研擬 2 種以上藍碳碳匯盤查作法，需能應用於行政院環境保護署國家溫室氣體排放清冊對應專案及內容

現行藍碳生態系碳匯盤查可參考 2006 IPCC NIR 指南、2013 IPCC NIR 濕地補充指南。盤查原則的應用係確保溫室氣體相關資訊與量化結果具有真實與公正的基礎，共有以下原則。

1. 相關性(Relevance)：選擇適合於評估組織或產品溫室氣體排放之溫室氣體源、溫室氣體匯、碳儲存、數據及方法。
2. 完整性(Completeness)：涵蓋組織邊界中所有相關之溫室氣體排放或移除。
3. 一致性(Consistency)：對不同清單年份、氣體和類別的評估準則具有一致性使溫室氣體相關資訊能有意義的比較。
4. 準確性(Accuracy)：儘可能依據實務減少偏差與不確定性。
5. 透明度(Transparency)：揭露充分且適當的溫室氣體相關資訊，使預期使用者可以了解清單是如何編制的和做出合理可信之決策。
6. 可比性(Comparability)：國家溫室氣體清單的報告方式使其能夠與其他國家的國家溫室氣體清單進行比較。

參考 2006 IPCC NIR 指南、2013 IPCC NIR 濕地補充指南與濱海藍碳手冊(Howard et al., 2014)，依照盤查精確度能分為三個層級(精確度由低至高為 Tier 1-3)，Tier 1 為使用 IPCC 預設的排放係數進行估算；Tier 2 為使用各國關鍵特定地點之數據進行估算；Tier 3 為使用詳細核查、定時重複測量或模型計算的估算方式。在操作方法上，另有通量法(Flux method)、碳庫差分法(Stock-difference method)、收支法(Gain-loss)，各方法可依照實地情況混用。操作方法簡述如下：

1. 碳庫差分法：測定兩個不同時間點的碳儲存量之變化量，做為生態系碳吸存及溫室氣體排放等碳釋放後之結果。
2. 收支法：基於科學文獻或國家特定數據的排放係數進行估算。
3. 通量法：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量進行估算。

本計畫將綜合上述資訊量化基礎原則及碳匯盤查實驗操作及估算方法，建立符合可量測、可報告與可查證的原則(measurement, reporting and verification, 簡稱 MRV 原則)的藍碳基線盤查之標準方法。

上述排放係數之定義為描述特定區域之溫室氣體排放量或有機碳含量變化。在國家溫室氣體排放清冊中，排放係數會統一以二氧化碳當量為單位，正值表示溫室氣體排放，若是增加碳匯量則描述為碳移除量，需將碳匯量數據乘上負號來表示。

(三)探討減量方法學使用預設參數、引用我國文獻數據及現場監測技術，及其適用條件及範疇，初擬至少各一式可運用於我國濱海 2 種不同之藍碳生態系，並可提送行政院環境保護署審查之減量方法學

環境部為鼓勵國內企業投入溫室氣體減量行動，自 2010 年即發布「行政院環境保護署溫室氣體先期專案暨抵換專案推動原則」，推動溫室氣體減量。而因應 2015 年總統公布實施「溫室氣體減量及管理法」(簡稱溫管法)，所有溫室氣體管理制度皆回歸溫管法下持續推動，與參考聯合國清潔發展機制及推動原則實際推動經驗，環境部於同年發布訂定「溫室氣體抵換專案管理辦法」(簡稱管理辦法)。2018 年更進一步修正發布管理辦法，新增微型規模抵換專案類別，簡化申請作業程序，鼓勵中小企業等小型排放源參與減量，並擴及運輸及住商部門皆可加入，促進各類型排放源減量技術發展。

2021 年世界地球日，我國宣示加入「2050 年淨零排放」行列，並於 2022 年 3 月 公布我國「2050 淨零排放路徑及策略總說明」，期望在「能源、產業、生活、社會」等 4 大轉型及「科技研發」、「氣候法制」兩大治理基礎上，輔以「12 項關鍵戰略」整合跨部會資源，制定行動計畫。農業部針對 12 項關鍵戰略中第 9 項關鍵戰略「自然碳匯」研擬關鍵戰略行動計畫，並於今(2023)年 4 月公布。「自然碳匯」關鍵戰略行動計畫規劃海洋策略包括兩大項，分別為 1.強化海洋及濕地碳匯管理與 2.強化海洋碳匯相關技術科技研發能量，其中一項策略規劃執行措施即為建立海洋碳匯 MRV 機制(建立海洋碳匯量測方法學及本土海洋排放係數)。

此外，總統於今(2023)年 2 月 15 日公布將「溫室氣體減量及管理法」修正為「氣候變遷因應法」(以下簡稱氣候法)，氣候法重點包含納入 2050 年淨零排放目標、確立部會權責、增列公正轉型、強化排放管制及誘因機制促進減量、徵收碳費專款專用、增訂氣候變遷調適專章、納入碳足跡及產品標示管理機制，並強化資訊公開及公眾參與機制等。

隨著氣候法修訂，未來能源、製造、住商、運輸、農業、環境等部門皆將陸續設定階段管制目標；亦有許多企業開始進行溫室氣體減量行動，而在執行各種減量方法後，針對仍難以減少排放的溫室氣體，將可由自然碳匯如森林碳匯、海洋碳匯等達成碳中和。考量到環境與經濟之效益，相信將有更多企業可加入減少碳排放、取得碳權之行動中。

然而，要將碳匯轉為碳權，需符合 MRV 原則，碳權認證規則裡至少須包括制定者、申請者、輔導團隊、查驗單位等四個角色。非營利組織 Verra 在國際間就是「制定者」的角色，碳驗證標準(VCS)是一個全球性的碳排放驗證和認證機構，即「查驗單位」的角色，是全球最普及的碳權認證方式。通過 VCS 的認證，企業和組織可以獲得符合國際標準的碳排放證書，並將其用於碳市場上的交易。就臺灣而言，制定者即為環境部。

依環境部「溫室氣體自願減量專案管理辦法」第 3 條規定，事業或各級政府為取得自願減量專案減量額度，應檢具使用中央主管機關審定公開溫室氣體減量方法之專案計畫書及相關文件，向中央主管機關申請註冊。其中有關減量方法的部分，依照環境部「溫室氣體自願減量暨抵換資訊平臺」(以下簡稱抵換平台)國內與「造林與植林」相關之減量方法共 5 項：

i. 國內減量方法

(a) AR-TMS0001 造林與植林碳匯專案活動

ii. 國外減量方法

(a) AR-ACM0003 造林與植林地(不含濕地)

(b) AR-AM0014 棲息地劣化的紅樹林的造林與植林

(c) AR-AMS0003 應用於濕地之造林和植林專案活動

(d) AR-AMS0007 不含濕地之造林與植林專案活動

本計畫將參考二之(一)提到的 CDM 及 VSC 濕地溫室氣體減量計算方法學，探討三大臺灣藍碳生態系現地適合之監測技術和適用條件。再挑選並參考國內代表性的藍碳研究成果或調查資料，初擬至少 2 種適用於我國藍碳溫室氣體減量之標準方法學。而在國內無適用之減量方法學的前提下，將規劃與環境部相關業務單位或查驗機構橫向溝通，商討濱海藍碳減量方法學申請之可行推動機制。

(四)提出藍碳納入我國溫室氣體排放清冊之短、中、長期程因應策略與規劃建議

- 短期(一年)：參照 2006 IPCC NIR 指南、2013 IPCC NIR 濕地補充指南，初擬適用於我國藍碳盤查方法，並建議召開專家會議確立標準方法以便提交至環境部。
- 中期(三年)：以美國及澳洲之國家溫室氣體排放清冊為範例，將藍碳棲地溫室氣體排放量納入臺灣溫室氣體排放清冊，並持續蒐集國內藍碳研究資料，完善相關排放係數，並且發展藍碳碳匯資料庫，以利不同年份之排放量彙整比較及評估管理。
- 長期(五年)：彙整國內藍碳棲地土地利用資訊，並參考我國林地面積變遷矩陣，建構濱海藍碳土地利用轉換矩陣，更加精確不同土地利用活動之間碳計量的轉換。

第三節 其他配合事項

配合機關辦理計畫需求，出席本案各項相關會議，並於要求期限內提供會議資料、簡報、會議紀錄及其他機關要求文件。

第四章、預定進度與預期工作成果

第一節 各項工作預定進度

本計畫預定工作期程自決標日起至 112 年 12 月 1 日止，甘梯圖如圖 4.1-1。

年		112				
工作項目/月份		1-4	5	7-9	10	11
蒐研國外藍碳 碳匯量 盤查實 例及藍 碳溫室 氣體方 法學	國家溫室氣體清冊指南盤查方法，以及 3 個國家為案例					
	國際藍碳溫室氣體減量方法學，包含適用範疇、基線與專案計算方法及監測程序，且適用 2 種藍碳生態系					
	國內外海洋碳匯量測技術及我國碳匯實地調查有關文獻，須包含紅樹林、海草床及鹽沼等藍碳種類					
國際藍 碳碳匯 量盤查 及溫室 氣體減 量方法 學之適 用性評 估分析	詳細說明藍碳碳匯盤查及溫室氣體減量方法學適用範疇、基線與專案計算方式及監測方法與參數之內涵					
	研擬 2 種藍碳碳匯盤查作法，需能應用於行政院環境保護署國家溫室氣體排放清冊對應項目及內容					
	探討減量方法學預設參數適用範疇、我國現場監測文獻數據及技術，初擬可提送行政院環境保護署審查之 2 種不同藍碳生態系之減量方法學各一式					
	藍碳納入我國溫室氣體排放清冊之短、中、長期程因應策略與規劃建議					
其他配 合事項	配合機關辦理計畫需求，出席本案相關會議，並於期限內提供會議資料、簡報、會議紀錄及其他機關要求文件					
報告書撰寫及提送			期 中		期 末	成 果
執行進度(%)		40	50	80	90	100

圖 4.1-1 預定工作進度甘梯圖

第二節 進度控制

依據本案需求書之要求，本計畫團隊除內部之工作會議外，也將視需要與海洋委員會舉辦工作說明會議，並分 1 次期中與 1 次期末，共 2 次審查會議。

一、 期初階段

應於自決標日起 20 個日曆天內，提交工作計畫書(含計畫執行綱要、執行期程及甘特圖等)5 份及光碟 2 份，並以書面通知機關審核。

期初審查標準如下：提出工作執行規劃、期程及初步成果等。

二、 期中階段

應於 112 年 5 月 31 前提交期中報告(初稿)15 份及光碟 2 份，並交付電子檔(含 DOC 及 PDF 格式)，並以書面通知機關審核。應於機關審查通過次日起 20 日曆天內提交修正版期中報告 7 份及光碟 2 份，並以書面通知機關複審。

期中審查標準如下：一、蒐研國外藍碳碳匯量盤查實例及藍碳溫室氣體減量方法學須包含(1)完成蒐集國家溫室氣體清冊指南—海洋碳匯盤查方法，初步彙整 3 個國外海洋碳匯盤查方法(2)完成蒐整適用於 2 種以上藍碳生態系溫室氣體減量專案之國際認可溫室氣體減量方法學(3)初步蒐集國內外海洋碳匯量測技術及我國碳匯實地調查有關文獻。二、國際藍碳碳匯量盤查及溫室氣體減量方法學之適用性評估分析須包含(1)初步分析現行主要使用之藍碳盤查方法及藍碳溫室氣體減量方法學適用條件及範疇、基線、專案減量計算方式以及監測方法與參數計算方式，詳細說明各計算方式及參數之內涵(2)其他工作項目進度達 50%。三、其他配合事項須包含執行期間依機關之要求完成本案綜合事務協助，如計畫執行進度、審查及研商會議之文書彙整等綜合秘書業務。

三、 期末進度

應於 112 年 10 月 16 日前提交期末報告(初稿)15 份及光碟 2 份，並交付電子檔(含 DOC 及 PDF 格式)，並以書面通知機關審核。應於機關審查通過次日起 20 日曆天內提交修正版期末報告 7 份及光碟 2 份，並以書面通知機關複審，俟內容確認後再交付成果報告。

期末審查標準如下：各項工作進度完成 100%。

四、 結案成果

期末審查通過後，應於 112 年 12 月 1 日前提交全案成果報告 20 份及光碟 2 份，提交予機關驗收。光碟內容為各項報告之電子檔(含 DOC 及 PDF 格式)。

第三節 預期成果

- 一、建立臺灣濱海藍碳量測技術及計算臺灣濱海藍碳之碳匯量(包含紅樹林、海草床及潮汐鹽沼)。
- 二、瞭解 IPCC 國家溫室氣體清冊指南對於濱海藍碳碳匯盤查方法，並建立我國 2 種以上濱海藍碳的碳匯盤查方法。
- 三、建立我國濱海藍碳溫室氣體減量方法學，包含適用條件、範疇及計算方法。
- 四、提出濱海藍碳納入我國溫室氣體排放清冊的短、中、長期程規劃建議。

第四節 研究預期對相關施政之助益

- 一、彙整及提供主管機關我國濱海藍碳生態系碳匯基線資料。
- 二、建立我國濱海藍碳之碳匯盤查作法，並能應用於行政院環境保護署國家溫室氣體排放清冊對應項目及內容。
- 三、建立我國濱海藍碳之溫室氣體減量方法學。

第五章、工作執行成果

1980 年代起氣候變遷(climate change)便以「全球暖化」的角度備受探討¹，但當時認為影響氣候變遷之主流意見尚分為自然氣候變異(Natural Climate Variability)與人為氣候變遷(Human-induced Climate Change)，導致公眾認知與科學在共識上分歧(Dunlap, 2013)，從而降低了公眾對氣候適應和環境政策的支持(Aklin & Urpelainen, 2014; van der Linden et al., 2014)。

1988 年聯合國成立聯合國跨政府氣候變遷小組(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)每六年發表一次《氣候評估報告》；於 1990 年發表《第一次氣候評估報告》(Assessment Report 1, 簡稱 AR1)並倡議氣候變遷相關問題應透過國際協商解決，並於 2014 年之 AR5 中提出「科學家比過去更確信全球暖化是人類活動所造成」。

儘管研究逐漸證明人為因素是全球氣候變遷的主因(Landsberg, 1970)，然而當時的國際溫室氣體減量行動因為國際間無法取得共識而終告失敗。隨著時間進展，氣候變遷所產生的相關現況問題與未來風險無法再被各界忽視，包含全球暖化、生物多樣性的喪失、海平面上升、物種遷移、糧食、疾病等，及其對社會經濟所造成的風險與影響(Dangendorf et al., 2019; Rocklöv & Dubrow, 2020; Brito-Morales et al., 2020; Mukhopadhyay et al., 2021; Kikstra et al., 2021; Habibullah et al., 2022)。

2015 年於法國召開的巴黎協議在全體 195 個締約國之同意下正式通過，顯示出氣候變遷已成為全球最為關注且必須面對的重要問題。2017 年 Powell 的研究顯示人為活動造成全球暖化之共識已達到 100%；2021 年 AR6 以研究高度證明人為因素是導致氣候變遷的重要因素。氣候變遷不僅僅影響生態環境，更緊密聯繫全球經濟發展。

2005 年起世界經濟論壇(World Economic Forum, WEF)開始發布《全球風

¹ RJ Stouffer, S Manabe, K Bryan, Interhemispheric asymmetry in climate response to a gradual increase of atmospheric CO₂, Nature, 1989.

險感知調查》(Global Risks Percept Survey, GRPS)，該報告經由分析全球重要風險事件，以評估全球在短期、中期與長期的重大影響，並提出結果與因應未來 10 年風險之建議。在《2023 全球風險報告》(Global Risk Report, 2023)全球未來 10 年的前十項主要風險中環境風險占了六項，其前五項風險排名依序為：減緩氣候變遷失敗、氣候變遷調適失敗、自然災害與極端天氣事件、生物多樣性損失與生態系統失衡、大規模的非自願遷移。

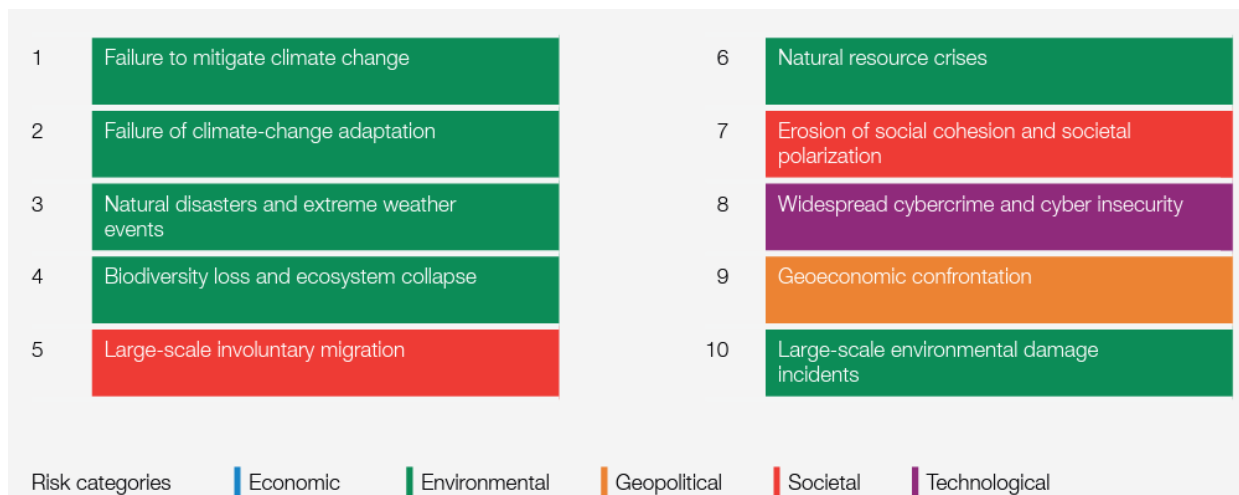


圖 5.0-1 全球風險評估 2023 十大風險

各國間開始重視溫室氣體之減量，陸續承諾淨零排放(Net Zero Emissions)目標及展開行動，並促使企業間跟進。截止自 2023 年 4 月，有 128 個國家、127 個區域、247 個城市與 908 間公司，已宣示或規劃淨零(net zero tracker, 2023)。我國於 2021 年亦正式宣布 4 月 22 日世界地球日宣示，2050 淨零轉型也是臺灣的目標；政府隔年 3 月及 12 月分別公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」及「12 項關鍵戰略行動計畫」。淨零的基礎來自科學概念，在此必須強調有效實踐目標的關鍵並非在訂定年份達成；而是盡可能遵循溫室氣體淨零排放限制升溫 1.5°C 目標的減量路徑(Sun et al., 2021)。這代表除了努力讓人為造成的溫室氣體排放極小化之外，有效利用負碳技術、碳匯等方法抵消的重要性。

健康的海洋可提供健全的海洋生態系統服務，包含支持、調節、供給、服務等四大功能，本計畫之主軸「碳匯」即為海洋生態系統服務的調節功能之項目之一。然而，不當的管理與利用以至於降低生態系統服務功能，如管理不當或受開

墾的自然濕地，使原本的碳吸存功能轉換為碳排放(Li et al., 2018)。因此，顯然必須先進行「盤查」確切了解我國濱海藍碳資源狀況，同時應準備策略以確保現有碳匯(陸地、濱海和海洋等)不會受環境劣化影響而產生碳排放或減少碳儲量；例如透過碳市場的經濟誘因促使企業減量，這同時也顯示出「溫室氣體減量方法學」的重要性。

接下來將依序說明第一節「蒐研國外藍碳碳匯量盤查實例及藍碳溫室氣體減量方法學」；第二節「國際藍碳碳匯量盤查及溫室氣體減量方法學之適用性評估分析」。

第一節 蒐研國外藍碳碳匯量盤查實例及藍碳溫室氣體減量方法學

依照 2006 IPCC NIR 指南之藍碳碳匯盤查指導，並藉由國外已發表的國家溫室氣體清冊為案例，具體了解將濱海藍碳棲地納入國家溫室氣體清冊之作法及成果。再結合蒐研國內外藍碳量測之相關文獻，了解國際主流的藍碳量測技術，同時了解國內藍碳棲地之實地情況，以利建立臺灣藍碳盤查方法學。此外，也蒐研國際認可之藍碳溫室氣體減量方法學，如清潔發展機制(CDM)及自願碳標準(VCS)，以利建立臺灣藍碳溫室氣體減量方法學。

1. 蒐集國家溫室氣體清冊指南(2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)海洋碳匯盤查方法，以及至少 3 個國家其海洋碳匯納入溫室氣體排放清冊之盤查作法

(一)2006 IPCC NIR 指南及 2013 IPCC NIR 濕地補充指南藍碳碳匯盤查指導

1. 藍碳碳匯盤查流程

先將沿海濕地依照土地利用類型做分類，即建立濱海藍碳棲地之活動數據，詳見表 5.1-1。再依照各種藍碳棲地及活動數據，選擇對應的排放係數估算溫室氣體排放量。排放係數為正值表示碳排放，排放係數為負值表示碳吸存(即所謂碳匯)。排放係數之估算層級分為三種精度，層級 1-3 表示估算精度由低至高，詳見表 5.1-2。

表 5.1-1 濱海藍碳各類型活動數據

活動	子活動	受影響植被類型
與二氧化碳排放量和吸收量有關的活動		
紅樹林的森林管理實踐	種植、疏伐、收成、木材清除、薪柴清除、木炭生產	紅樹林
抽沙	挖掘以建設港口、海港和碼頭；填充或疏浚以提高土地高程	紅樹林、潮汐鹽沼、海草床

	水產養殖(結構)	紅樹林、潮汐鹽沼
	曬鹽生產(結構)	紅樹林、潮汐鹽沼
排水	水產養殖、林業、滅蚊	紅樹林、潮汐鹽沼
再濕潤，植被恢復和重建	透過恢復水文和重建植被，從排水土壤轉換為飽和土壤	紅樹林、潮汐鹽沼
	未排水土壤的植被重新建立	海草床
與非二氧化碳排放有關的活動		
水產養殖	水產養殖的氧化亞氮排放	紅樹林、潮汐鹽沼、海草床
再濕潤土壤	恢復水文狀態後改變為自然植被的甲烷排放	紅樹林、潮汐鹽沼

表 5.1-2 排放係數估算精度層級

層級	必備的資料	說明
1	使用 IPCC 預設的排放係數	Tier 1 的評估在精確度和可靠性最低，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正負 50%，而土壤碳庫則為正負 90%。
2	國家特定資料的關鍵係數	Tier 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。例如，一個國家可能知道該國不同生態系類型的平均碳儲量。

3	主要碳庫的詳細調查、定期測量或模型計算	Tier 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。
---	---------------------	--

2. 藍碳相關土地利用面積計算

2006 IPCC NIR 指南描述了三種表示土地面積的方法。方法 1 提供每個土地利用類別總面積的數據，但不提供類別之間面積變化的詳細信息，並且除了在國家或區域層面外，在空間上並不明確。使用方法 1，可以檢測類別之間的總淨轉換，但不能檢測導致這些淨變化的土地利用類別之間的個別變化（即增加和/或損失）。方法 2 使用調查樣本或其他形式的數據來追蹤類別（例如，林地到農田、農田到林地和草地到農田）之間的個別土地利用變化，但不提供空間明確的位置數據。方法 1 和方法 2 一般由政策而定的邊界（如縣市邊界）估算改土地類型在此邊界內的淨面積變化，無法得知確切的空間分布變化。方法 3 通過提供空間明確的位置數據（如 GPS 座標範圍）擴展了方法 2，例如具有空間識別樣本位置的調查和從遙感產品中導出的地圖。這三種方法並不是 3 種層次，也並不會互相排斥。3 種活動數據面積測量方法舉例，請參考表 5.1-3、表 5.1-4 及表 5.1-5。

表 5.1-3 活動數據面積淨變化-方法 1

沿海濕地類別	2022 年面積	2023 年面積	面積淨變化
紅樹林	9	11	+2
海草床	20	17	-3
潮汐鹽沼	4	5	+1

總共	33	33	0
----	----	----	---

表 5.1-4 活動數據面積之類型變化-方法 2 或 3

2022 年 沿海濕地類別	2023 年 沿海濕地類別	面積
紅樹林	紅樹林	8
紅樹林	海草床	0
紅樹林	潮汐鹽沼	1
海草床	紅樹林	2
海草床	海草床	17
海草床	潮汐鹽沼	1
潮汐鹽沼	紅樹林	1
潮汐鹽沼	海草床	0
潮汐鹽沼	潮汐鹽沼	3
總共		33

表 5.1-5 活動數據變化矩陣-方法 2 或 3

2022 年 2023 年	紅樹林	海草床	潮汐鹽沼	最新面積
紅樹林	8	2	1	11
海草床		17		17
潮汐鹽沼	1	1	3	5
最初面積	9	20	4	33
淨變化	+2	-3	+1	0

(二)已納入濱海藍碳碳匯的國外國家溫室氣體排放清冊

目前僅有澳洲及美國之國家溫室氣體排放清冊將濱海藍碳納入，其中又以澳洲的估算更為詳盡(Australian Government, 2021; United States, 2021)。本計畫另會以鄰近國家—日本為例(Japan, 2021)，在沒有國內盤查資料時，仍可遵照 2006 IPCC NIR 指南之藍碳碳匯盤查指導進行欄位建立及描述。

1. 澳洲國家溫室氣體排放清冊之藍碳棲地部分

在澳洲境內的所有土地皆被視為管理土地，因此全國土地皆會納入國家溫室氣體清冊。不過，自然干擾所引發的野火所導致的溫室氣體排放，被視為自然背景排放，會額外估算以釐清人為活動溫室氣體排放的趨勢。

(1) 澳洲藍碳棲地分類

根據澳洲森林定義，紅樹林屬於 8 種原生森林之一。因此紅樹林被歸類在澳洲國家溫室氣體清冊森林土地中的其他自然森林，在後續部分活動數據會與陸域森林分開描述。海草床及潮汐鹽沼則被歸類在濕地中。

(2) 澳洲藍碳棲地相關活動數據

在澳洲國家溫室氣體清冊的活動數據分類，與紅樹林相關的活動數據包括森林地維持森林地、濕地轉變成森林地、森林地轉為農地、草地及居住地；海草床相關的活動數據為濕地維持濕地，其中也包含疏浚項目移除海草所產生的溫室氣體排放。潮汐鹽沼相關的活動數據包含濕地維持濕地、濕地轉為農地、草地及居住地。

(3) 澳洲藍碳棲地面積估算

澳洲使用 2006 IPCC NIR 指南中描述的方法 1 和 3 來監測土地利用、土地利用變化和林業。主要監測系統是用於辨識林地和森林覆蓋變化的遙測計畫，遙測計畫由工業、科學、能源和資源部 (Department of Industry, Science, Energy and Resources) 實施。國家森林覆蓋圖的時間序列從 1972 年到 2020 年，跨越了近 50 年，並且自 2004 年以來每年匯總一次。地圖能夠以 25 m x 25 m 的分辨率檢測森林覆蓋的精細比例變化。維持森林地的森林管理面積數據，來自澳大利亞國家森林和木材產品統計、澳大利亞森林狀況報告和相關文獻。

透過土地利用、土地利用變化和林業地圖，框列出 3 種濱海藍碳棲地分布及面積，再將澳洲海岸線區分成 7 區 (東北、東、東南、南、西南、西、西北)，再依照各區海岸線的紅樹林及海草床物種相對豐度做加權計算，得出各紅樹林及海草床物種的在各區的分布面積。潮汐鹽沼則沒有進一步作物種區分。

(4) 澳洲藍碳棲地排放係數所採納之計算項目

紅樹林、海草床及潮汐鹽沼碳匯計算項目如表 5.1-6，其中海草地上部可能因高輸出量而沒有被納入植物體碳庫。

表 5.1-6 澳洲濱海藍碳碳匯計算項目

	碳含量	木 材 密度	地 上 部 生物量	地 下 部 生物量	木 材 碎屑	非 木 材 碎屑	土 壤 有 機碳
紅樹林	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
海草床	✓			✓			✓
潮汐鹽沼	✓		✓	✓		✓	✓

(5) 澳洲藍碳棲地排放係數建立

濱海藍碳僅計算二氧化碳排放量相關項目，如表 5.1-7，並未量化甲烷及氧化亞氮。濕地維持濕地類別中，僅有水產養殖子分類，有量化氧化亞氮排放量；建造淡水池塘會量化甲烷排放量。各濱海藍碳棲地活動數據地排放係數估算層級，如表 5.1-7。當其他土地利用轉變為藍碳棲地，排放係數估算會著重在土壤再濕潤導致的溫室氣體通量。當藍碳棲地轉為其他土地利用，排放係數除了考量土壤排水導致的溫室氣體通量，也需要考慮藍碳植物被移除的碳庫減少。

表 5.1-7 澳洲濱海藍碳排放係數估算層級

棲地	涉及的活動數據	估算層級	估算 CO ₂ 排放係數
紅樹林	森林地維持森林地	T2, T3	CS, M
	濕地轉變成森林地	T2	CS
	森林地轉為農地	T3	M
	森林地轉為草生地	T3	M
	森林地轉為居住地	T2, T3	CS, M
海草床	濕地維持濕地	T2	CS
潮汐鹽沼	濕地維持濕地	T2	CS
	濕地轉為農地	T1	D
	濕地轉為草生地	T1	D
	濕地轉為居住地	T2	CS
	土地轉為濕地	T3	M

T1=層級 1，T2=層級 2，T3=層級 3，CS=國家特定數據，M=模型，D= IPCC 估計值。

2. 美國國家溫室氣體排放清冊之藍碳棲地部分

美國國家溫室氣體清冊僅納入受管理活動的土地，未受管理之土地主要由位置偏遠、社會無法進入的區域組成。

(1) 美國藍碳棲地分類

美國國家溫室氣體排放清冊依照 2013 IPCC NIR 濕地補充指南，將濱海藍碳棲地(紅樹林、海草床及潮汐鹽沼)皆歸類在沿海濕地的項目中。其中，美國溫室氣體清冊的分類將樹高大於 5 m 的紅樹林歸類在森林，樹高小於 5 m 的紅樹林才歸類在沿海濕地。另外，美國海草床受人為影響導致碳庫變化的數據不足，因此未納入美國國家溫室氣體清冊當中。

(2) 美國藍碳棲地相關活動數據及排放係數所採納之計算項目

在美國國家溫室氣體清冊之中的濱海藍碳活動數據分類主要描述在沿海濕地維持沿海濕地的類別下，並對下列排放量和移除量進行了量化：

- A. 仍為沿海植被濕地的沿海植被濕地的碳庫變化和甲烷排放
- B. 植被沿海濕地轉變為無植被開闊水域沿海濕地的碳儲量變化
- C. 無植被開闊水域沿海濕地轉變為植被沿海濕地的碳儲量變化
- D. 沿海濕地水產養殖的氧化亞氮排放

在沿海濕地維持沿海濕地的類別中，主要以有植被、無植被的子分類進行排放量計算。當其他土地利用轉變為藍碳棲地，或是當藍碳棲地轉為其他土地利用，美國的計算概念與澳洲類似。前者排放係數的計算著重在土壤再濕潤導致的溫室氣體通量，後者排放係數除了考量土壤排水導致的溫室氣體通量，也需要考慮藍碳植物被移除的碳庫減少。

(3)美國藍碳棲地面積估算

根據 2006 IPCC NIR 指南，清單機構選擇的方法或方法組合應反映計算需求和國情。美國使用 2006 IPCC NIR 指南中的計算方法 3，呈現土地利用和土地利用轉換的數據。數據來源為以下 3 個數據庫：三個主要數據庫是美國農業部(the U.S. Department of Agriculture, USDA)國家資源清單(National Resources Inventory, NRI)、美國農業部林務局(the USDA Forest Service, USFS)森林清單和分析 (Forest Inventory and Analysis, FIA)數據庫，以及多分辨率土地特徵聯盟(the Multi-Resolution Land Characteristics Consortium, MRLC)國家土地覆蓋數據集(National Land Cover Dataset, NLCD)。如果在過去 20 年內未發生土地利用變化，土地將被視為保留在同一類別中(例如，濕地維持濕地)。如果土地根據當前用途進行轉化或是轉化為當前用途之前的最近用途(例如，農地轉化為林地)，則將土地分類為土地利用變化類別。

(4)美國藍碳棲地排放係數建立

美國國家溫室氣體清冊參照 2006 IPCC NIR 指南，排放係數測量項目包含與二氧化碳有關的排放項目，包含生物量、死有機質(dead organic matter)及土壤有機碳等，以及非二氧化碳溫室氣體排放項目(甲烷及氧化亞氮)，如表 5.1-8。生物量碳庫變化測量方法，先使用遙測及相關調查計畫之數據量化地上部生物量碳庫變化，再利用 2006 IPCC NIR 指南根莖比數據推算地下部生物量碳庫變化。其餘碳庫變化計算方式如下：死有機質碳庫變化採用 Tier 1 方法計算、土壤碳庫變化採用 Tier 2 方法計算、土壤甲烷排放使用 Tier 1 方法計算，以及氧化亞氮採用 Tier 1 方法計算。

表 5.1-8 美國濱海藍碳碳匯計算項目

沿海濕地類型	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
--------	-----------------	-----------------	------------------

	生物量	死有機質	土壤		
植被維持植被	✓		✓	✓	
植被轉換成無植被	✓	✓	✓	✓	
無植被轉換成植被	✓	✓	✓	✓	
養殖					✓

3. 荷蘭國家溫室氣體排放清冊之藍碳棲地部分

由於荷蘭自然且達穩定生長時期的植被主要為森林，因此，除了自然水體和沿海沙地外，沒有人為干預的土地都被森林覆蓋。雖然荷蘭對於森林可能有不同程度的管理，但所有森林都與自然氣候植被相對接近，而廣泛的人為干預會造成與自然植被不同的植被類型，例如荒地和自然草地；更高程度的人為干預則可能是農業草地；一般而言，耕地和定居點類別中的系統存在不同程度的人為干預，而定居點則係由人類創建，此邏輯在土地分配給土地利用類別時得以遵循。此外，當土地既不符合前述的任何土地利用類別，又符合 2006 年 IPCC 指南對濕地的定義時，則將其分配給濕地，包括開放水域。

(1) 荷蘭藍碳棲地分類

荷蘭國家溫室氣體排放清冊依照 IPCC 2006b 指南進行土地利用類別分類，只有蘆葦沼澤（Reed Marshes）和開放水體（Open Water）被納入「濕地」土地利用類別。

(2) 荷蘭藍碳棲地相關活動數據

荷蘭濕地類別主要包括開放水域和被淹沒的土地，活動數據則為濕地維持濕地（4D1, Wetlands remaining Wetlands）與於土地轉變成濕地（4D2, Land converted to Wetlands）。

(3) 荷蘭藍碳棲地面積估算

荷蘭以 25m x 25m (0.0625 公頃) 的分辨率檢測地理分層 (Kramer et al. 2009; van den Wyngaert et al. 2012)，與聯合國氣候變化框架公約報告方法一致 (IPCC 2006b 第 3 章中的方法 3)。該方法是荷蘭自現有土地利用資料庫進行清查後選擇的 (Nabuurs et al. 2003)。不同土地利用類別間的面積轉換係基於全面的地圖套疊，形成國家尺度的土地利用間變化矩陣 (Nabuurs et al. 2003)，目前是以 1970 年、1990 年、2004 年、2009 年、2013 年、2017 年和 2021 年 1 月 1 日代表期間的土地利用變化情形。

(4) 荷蘭藍碳棲地排放係數

荷蘭假設各溼地類型的土壤碳儲量與森林土地相同，即無論濕地中的實際土壤類型，其土壤碳儲量皆被假設為與相同土壤類型的森林土地相同。CO₂ 以 Tier 1、Tier 2 進行估算，N₂O 以 Tier 2 進行估算，排放係數包括國家特定數據 (CS) 與 IPCC 預設值 (D)；CH₄ 排放由於缺乏數據而未估算。荷蘭亦將持續滾動式精進濕地排放量和移除量的估算方法。

依照 IPCC 2006b 指南，由於濕地類別主要包括開放水域和被淹沒的土地，對於濕地維持濕地 (4D1, Wetlands remaining Wetlands)，不考慮生物量、死有機質和土壤中的碳儲量變化，碳排放係數估算層級如表 5.1-9。對於土地轉變成濕地 (4D2, Land converted to Wetlands)，被淹沒的土地和開放水域中的生物量和死有機質，碳儲量被視為 0；對於從其他土地利用轉變為濕地的情況，荷蘭採用儲存量變化法 (Stock Difference Method)，假設轉變前存在的所有生物量和有機物中的碳都被排放出來。

表 5.1-9 荷蘭濱海藍碳排放係數估算層級

沿海濕地類型	生物量	生物量	死有機	礦質	有機	其他
--------	-----	-----	-----	----	----	----

		增益 (BG)	損失 (BL)	質 (DM)	土壤 (MS)	土壤 (OS)	野火 (WF)
濕地維持濕地		NE,ns			NA	NO	IE
土地 轉 變 成 濕 地	森林土地 (FL)	NE,ns	T2	T2	T2	T2	
	耕地 (CL)		T1	體減量 方法學 之應用 NE	T2	T2	
	草地 (GL)		T1、T2		T2	T2	
	聚落 (Sett)		NO		T2	NO	
	其他土地 (OL)				T2		

註：NE,ns_未估計碳庫變化，無顯著重要性；NA_用於採用 Tier 1 碳庫平衡假設的情境；NO_碳庫無變化；IE_碳庫變化已在其他章節說明計算。

4. 日本國家溫室氣體排放清冊之藍碳棲地部分

日本國家溫室氣體清冊並未將濱海藍碳納入，在濕地項目的子分類也有其他缺值。不過日本有將活動數據先分類好，並對數據進行以下描述：該類別不生產該氣體的排放，以 NA 表示；未估計該分類，以 NE 表示；該分類項目無生產或使用(如停產)，以 NO 表示；該分類項目排放量已作估計，但列在清冊中其他分類項目，以 IE 表示。

在日本國家溫室氣體清冊濕地分類中，濕地維持濕地的子分類並沒有溫室氣體排放數據，僅有土地轉為濕地(主要為水壩)的溫室氣體排放數據，其中包含有生物量(估算層級 Tier 2)及死有機質(估算層級 Tier 2)的溫室氣體排放，此外也有描述濕地的土壤無機碳變化量在土地類型轉換後仍保持不變。

5. 他國國家溫室氣體清冊之蒐研結論

臺灣國家溫室氣體清冊可參考日本先將土地利用類型(活動數據)建立明

確定義，並詳述各土地利用類型間的轉換(土地利用變化矩陣)。確保每個活動數據有對應的排放係數，並且沒有重複計算。當濱海藍碳棲地有不同物種混生的情況，在估計濱海藍碳排放係數時，可參照澳洲作法利用物種相對豐度進行排放係數的加權。若部分土地利用類型之分類仍有困難，或是排放係數建立的資源有限，也可參考美國作法將分類化簡，例如把紅樹林、潮汐鹽沼和海草床個別轉換成泥灘地的情況，都視為有植被轉換成無植被濕地。

2. 蒐整國際認可(如清潔發展機制(Clean Development Mechanism, CDM)及自願碳標準(Verified Carbon Standard, VCS))用於實施藍碳溫室氣體減量專案之減量方法學，內容至少包含適用條件與範疇、基線及專案減量計算方法、監測程序，並適用於 2 種以上藍碳(紅樹林、海草床、海藻或鹽沼)生態系

(一)、 國際溫室氣體減量方法學簡介

聯合國為了達到穩定並維持大氣中溫室氣體濃度之目的，在 1992 年通過《聯合國氣候變化框架公約》(UNFCCC)以達全球溫室氣體減量之目的；自 1995 年起，其公約締約方每 2 年召開締約方大會(Conferences of the Parties, 簡稱 COP)。1997 年 COP3 中簽署的《京都議定書》(Kyoto Protocol)於 2005 年 2 月生效，其目的為「將大氣中的溫室氣體含量穩定在一個適當的水準，以保證生態系統的平滑適應、食物的安全生產和經濟的可持續發展」，並為了協助各國履行溫室氣體減量的承諾，建立了三種碳排放減量的「彈性機制」(Flexible Mechanisms)又被稱為「京都機制」，包含共同履行(Joint Implementation, 簡稱 JI)、清潔發展機制(CDM)以及排放交易(Emission Trading, 簡稱 ET)等(Kyoto Protocol, 1997)(表 5.1-10)，其中僅有清潔發展機制(CDM)的對象包含非規範國家，亦是發展最為成功之機制。2014 年 COP20 的「利馬氣候行動呼籲」(Lima Call for Climate Action)提倡「各國宣告承擔減量責任，共同分擔溫室氣體減量義務」。隨之於 2015 年在 196 個締約國一致的同意下，通過相比《京都議定書》更具約束力的 COP21《巴黎協定》期望透過要求各國提出「國家自主貢獻」(NDC)之集體合作法制框架，共同應對氣候變遷的威脅；其中第 2.1.(a) 條明文約定「將全球平均氣溫升幅控制在不超過工業化前水平之 2°C 以內，並致力於控制在 1.5°C 內目標」；2021 年於 COP26 完成《巴黎協定》第六條(Article 6)之條文修訂，以「京都機制」作為理念，提供了更多元的減碳機制，包含如 6.2 條文的合作方法(Cooperative Approaches, CA)與國際可移轉減緩成果(Internationally transferred mitigation outcomes, ITMOs)之交易制度；6.4 條文的永續發展機制(Sustainable Development Mechanism, SDM)；以及 6.8 條文非市場方法(Non-Market Approaches, NMAs)。

表 5.1-10 《京都議定書》的三種彈性機制比較表

機制項目	共同履行(JI)	清潔發展機制(CDM)	排放交易(ET)
《京都議定書》	第六條	第十二條	第十七條
適用對象	規範國家	規範國家 非規範國家	規範國家
監督／執行機構	監督委員會 (Supervisory Committee)	清潔發展機制登記處 (CDM Registry)	國家登記處 (National Registry)
作用簡述	減排單位核證的 轉讓或獲得	減排單位的轉讓	減排單位核證的轉讓或獲得
信用額度	排放減量單位 (ERUs)	已驗證減量額度 (CERs)	排放減量單位(ERUs)、已驗證減量額度(CERs)、配額單位(AAUs)、移除單位(RMUs)

註 1：規範國家是指《京都議定書》中附件一所列締約方。

註 2：碳權單位 1 ERU = 1 CER = 1 AAU = 1 RMU = 1 CO₂e(二氧化碳當量)。

資料來源：Kyoto Protocol(1997)，由本研究彙整。

世界銀行將這種透過經濟誘因而促進減量之機制稱為「碳定價」² (Carbon Pricing)，而將溫室氣體排放量訂定價格的方法則稱為「碳定價措施」(Carbon Pricing Instrument，簡稱 CPI)，其依照定價方式能分為「直接」與「間接」碳定價(World Bank, 2022；柳婉郁，2022)，又稱為「顯性」與「隱性」。其中「直接(顯性)碳定價」是直接對每噸二氧化碳當量(tCO₂e)的碳排放量進行標價，包含如「碳稅」(carbon taxes)、「碳排放交易系統」(emission trading schemes, ETS)以及「碳信用機制」(carbon credit mechanism)即俗稱的「碳權機制」(以下以碳權機制稱之)；而「間接(隱性)碳定價」則是透過制定或調整相關價格以間接影響碳排放量，包含如燃料稅或與能源相關的燃料補貼。其中「碳權機制」

² 碳定價 (Carbon Pricing)：「碳定價是一種成本效益政策工具，主要為因應全球氣候邊境管制策略所推行，對溫室氣體排放量進行定價，從而減少排放量，進而促進經濟獎勵提高排放清除量」(World Bank, 2022)。

分為兩類、三種機制，包含能進行跨國交易的第一類(1)國際機制，即聯合國的清潔發展機制(CDM)；以及(2)獨立機制，即依據 COP26《巴黎協定》第六條第 4 項所產生的第三方認證機構，和僅能夠在各國內進行交易的第二類(3)國內機制，如我國的溫室氣體抵換平台(圖 5.1-1)。因此，減排量亦分為 CERs 和 VERs 兩種已驗證減量額度 (Certified Emission Reductions, CERs) 是特指由 CDM 專案之溫室氣體減排量，由聯合國 EB 批准並簽發；自願減排量 (Voluntary Emission Reduction, VERs) 則是經過聯合國指定的第三方認證機構核證的溫室氣體減排量，即為由聯合國 EB 指定的認證和審核實體 (DOE) 簽發。由於 CERs 的執行標準與嚴謹性皆較高，通常 CERs 可以被轉換 VERs；此外，因 VERs 市場沒有公定的法規和標準，所以不同的標準，其價格也會有所差異。

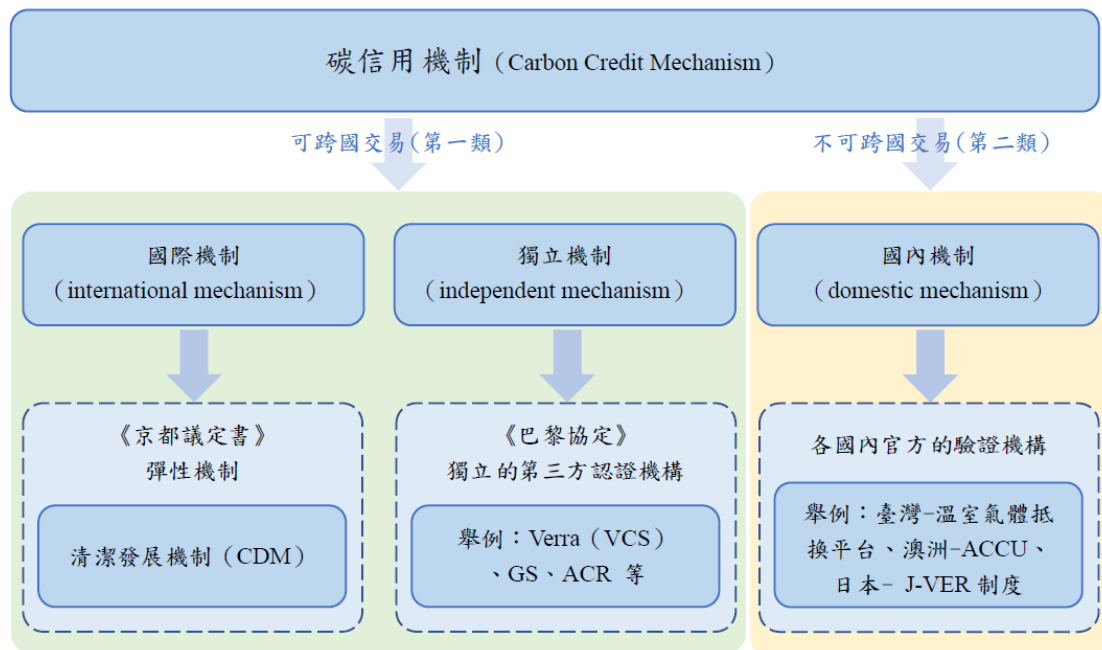


圖 5.1-1 碳權機制之分類

資料：本研究彙整。

依照「碳交易市場」則可以分為兩大類型，分別是國家、地區或國際碳排機制透過法規或政策對溫室氣體總量進行監察與管制的「強制性市場」(regulated market)主要為「配額型交易」(Allowance-based transactions)，即是以排放

權配額(Allowance)進行交易，例如歐盟排放交易體系(European Union Emission Trading Scheme, EU ETS)；以及非受監察與管制下的「自願性市場」(voluntary market)；自願性市場能為國家、公司、非營利組織和個人提供買賣碳權(carbon credit，又稱碳信用)途徑，通常是經由減量專案所產生「專案型交易」(Project-based transactions)。

國際間的溫室氣體減量相關的倡議行動亦同時在各界陸續萌芽，並發展出相關標準與方法。包含像是世界企業永續發展協會(World Business Council for Sustainable Development, WBCSD)與世界資源研究院(WRI)所發起溫室氣體盤查議定書倡議行動(GHG Protocol Initiative)，並於 2004 年發布溫室氣體議定書(GHG Protocol)；而國際標準組織(International Standard Organization, ISO)於 2006 年 3 月發布的溫室氣體管理之 ISO 14064 系列標準方法，即是參照溫室氣體議定書(GHG Protocol)亦成為現今國際主流的溫室氣體盤查(量化)標準之一；其 ISO 14064-2 計畫層級溫室氣體排放減量或移除增量之量化、監督及報告附指引之規範，即是針對減量之標準。

經由上述已簡介了溫室氣體減量的背景，若要「減量」則代表需要先盤查並量化溫室氣體再了解能夠減少的排放量(emission)與增加的移除量(removals)。

「溫室氣體減量方法學」即係指針對量化溫室氣體排放量之減量與移除量之增量所進行的計算方法、要求與程序；其內容通常亦提供鑑別專案邊界、基線、外加性以及相關監測之參數。溫室氣體減量方法學對於量化溫室氣體之精確度、合適性以及產生受認證之碳權額度至關重要。每一種方法學會有針對目的而訂定的名稱與編號，以代表該方法學所使用的技術或工程；而「整合性方法學」(approved consolidated methodologies, ACM)則為整合兩種或兩種以上之方法學。受認證之各驗證機構則會定期審查所批准之減量方法學，以確保其可持續地反映最佳實踐、科學共識以及隨著時間進展而變化的產業市場條件和技術發展，而對於溫室氣體減量有興趣的參與者，則可依據自身狀況選擇合適之方法學進行申請。截止於 2023 年 2 月，目前主要的國際認證機構(碳權機制第一類)包含國際機制的聯合國清潔發展機制(CDM)；以及獨立機制的第三方認證機構與其碳標準，如：Verra 公司底下的自願碳標準(Voluntary Carbon Standard，簡稱 VCS)、黃金標準(Gold.

Standard, 簡稱 GS)、美國碳註冊登記處(American Carbon Registry, 簡稱 ACR)等。

(二)、 國際溫室氣體減量認證機構與碳標準簡介

● 國際機制

1. 清潔發展機制(CDM)

清潔發展機制(CDM)是《聯合國氣候變化框架公約》在 COP3(京都會議)通過的《京都議定書》附件一締約方在境外實現部分減排承諾的一種履約機制。至 2023 年 5 月止, UNFCCC 已核發 2,398,920,925 噸 CERs。UNFCCC 賦予每一種方法學一個編號與名稱,代表此方法學所使用的技術或工程,而整合性方法學(approved consolidated methodologies, ACM)即為整合兩種或兩種以上之方法學,依據減量規模的大小又分為大規模(AM)和小規模(AS)。CDM 依計畫屬性範疇分類(Sectoral Scope)分為 15 類,第 1 到 3 類為能源類別;第 4 到 9 類為工商製造業類別;第 10 類及第 11 類分別為溫室氣體相關逸散類別;第 12 類為溶劑之使用;第 13 類為廢棄物處理及棄置;第 14 類及 15 類則分別為造林及農業類別。依據其類別與規模,減量方法學分為 5 類:(1)清潔發展機制計畫活動減量方法(Methodologies for CDM project activities);(2)小規模清潔發展機制計畫活動減量方法(Methodologies for small scale CDM project activities);(3)整合性清潔發展機制計畫活動減量方法(Consolidated Methodology);(4)造林與植林清潔發展機制計畫活動減量方法(Methodologies for afforestation and reforestation CDM project activities);(5)小規模造林與植林清潔發展機制計畫活動減量方法(Methodologies for small scale A/R CDM project activities)。除此之外,在 CDM 計畫下取得之排放減量,須具有真實(real)、可測量(measurable)及長期利益(longtermbenefit)等特性,且須符合外加性(Additionality)原則。CDM 計畫之執行包含 8 個步驟,依序為:計畫識別、計畫設計與描述、計畫批准、計畫確證、計畫註冊、監測與實施、減排量之查證與驗證及核發 CERs。其計畫週期(Project Cycle),包括建立 CDM 計畫活動、分別

向投資國及地主國提出計畫申請、CDM 計畫登錄、CDM 計畫執行監督、查證與驗證短期額度(temporary CERs, tCERs)及長期額度 (long CERs, lCERs)核發等六項主要工作項目。清潔發展機制(UNFCCC-CDM)執行理事會(EB)會透過受執行理事會認證並由締約方大會指定的法律實體(Designated Operational Entity, DOE)的認可程序，來認可想開展 CDM 專案的審定/核查業務的申請公司。

- 獨立機制

1. VCS 自願碳標準(VCS)

VCS 自願碳標準是出自於 2007 年創立的美國公司 Verra，其下管理的計劃除了有驗證碳標準(VCS)計劃，亦有氣候、社區和生物多樣性標準(CCB)計劃³、永續發展影響驗證標準計劃(Sustainable Development Verified Impact Standard, SD VISta)等計劃。VCS 是 2022 年全球發行量最多的碳信用，達全球發行量的 42% (World Bank, 2023)；其碳信用 (Credits) 稱為經認證之碳單位 (Verified Carbon Units, VCUs)，核證僅關注於溫室氣體減排或移除量。計畫完整性與品質之驗證與核實流程則是由確證 / 查證機構 (validation/verification bodies, VVB)執行，VVB 為 Verra 批准的合格、獨立的第三方審核員。

表 5.1-11 CDM 與 VCS 比較

	清潔發展機制(CDM)	自願碳標準(VCS)
審定/核查的第三方機構	DOE	VVB
適用對象	UN 規範國家與非規範國家	任何參與者
查驗證準則	UNFCCC	UNFCCC/CCAR/ISO 14065

³ CCB 標準是由五個國際非政府組織所合作的氣候、社區和生物多樣性聯盟 (Climate, Community & Biodiversity Alliance, CCBA) 於 2004 年所制定，2005 年所推出 (Niles et al, 2005)，並於 2014 年 11 月起由 Verra 管理。CCB 標準能為實施專案所產生的社會和環境提供效益提供品質保證，而 VCS 則是對量化的溫室氣體減排量和移除量進行確證和登記，因此若單獨使用 CCB 標準並無法獲得減排證書，而被建議結合兩者使用 (Conservation International, 2012)。

引用之方法學/外加性	CDM	CDM/CCAR/VCS
減量額度	tCERs/1CERs	VCUs
計入期	10 或 7 年，展延 2 次(21 年)	10 年展延 2 次(30 年)
費用	高	高
嚴謹性	高	中
批准登入時程	長	中
市場價值	高	中
發布日期	1997	2007.11.19

2. 黃金標準(Gold Standard，簡稱 GS)

全球目標的黃金標準 (Gold Standard for Global Goals, GS4GG)，於 2003 年由世界自然基金會 (World Wide Fund For Nature)、南南-南北合作組織 (South-South North Initiative, SSN) 和歐洲的國際太陽組織 (Helio International) 等非政府組織發起 (Gold Standard, 2023)。GS 碳標準的碳信用認證上除了關注在溫室氣體減量之外，亦關注於環境和社會效益。2022 年 3 月 14 日起，所有申請專案必須符合 SDG 13 (氣候行動) 及其他 2 項的聯合國 SDGs 目標，才可以獲得認證。其碳信用稱為黃金標準自願減排量 (GS Voluntary Emission Reduction, GS VER)，佔 2022 年全球碳信用發行量的 8.2%，為全球排名第三高 (World Bank, 2023)。

3. 美國碳註冊登記處 (American Carbon Registry，簡稱 ACR)

ACR 成立於 1996 年，為 Winrock International 旗下的非營利公司 (American Carbon Registry, 2023) ACR 的方法和協議均是基於國際標準組織 (ISO)14064；而其 VVB 必須滿足 ISO 14065 和 ISO14066 中，所規定的能力要求，並在相關專案類別獲得 IAF 會員認可。其信用為氣候儲備噸 (Emission reduction Tonne, ERT)。

● 國內機制

1. 澳洲碳信用單位 (Australian Carbon Credit Unit, 簡稱 ACCU)

澳洲碳信用單位 (ACCU) 計畫，在過去稱為減排基金 (emission Reduction Fund, ERF)，屬於澳洲政府之法遵計畫。其法源依據是 2011 年第 101 號法案 (Carbon Credits Act 2011) 以及 2015 年碳信用(碳農業倡議)規則 (Australia Government Clean Energy Regulator, 2023)。而 ACCU 計畫的完整性審查，是由澳洲政府任命獨立小組來進行。

● 以下簡介各信用機制類型與專案類別的全球發行量：

針對各信用機制類型的全球發行量，由圖 5.1-2 可見碳信用市場至 2019 年後兩年的快速成長，在 2021 年開始微幅下降。以碳信用額度的發行比例而言，獨立機制之自願性市場在近四年 (2019 年至 2022 年) 皆發行了各年度主要的碳信用額度量，但 2022 年相比 2021 年下降了 22%；其中，2022 年獨立機制的發行量又以 VCS 佔 42% 最高。國際機制的清潔發展機制 (CDM) 在 2022 年的發行量則相比 2021 年呈現上升，佔 2022 年發行總量的 32 %。

由於現階段碳市場的主要需求端為企業自願性碳市場，並隨著國際間、各國內與供應鏈要求使需求擴大。同時，越來越多國家陸續建立強制性或自願性碳信用機制。依據 International Carbon Action Partnership (2023) 的資料，排放交易體系 (Emission Trading System, ETS) 在全球國家或區域，已生效的共計 29 個、正在考慮建置的共計 11 個、開發中的 8 個，總計 48 個。其中，日本在 2010 年已設有東京 ETS 和埼玉 ETS，於 2023 年 4 月再推出其排放交易系統 GX-ETS (GX リーグにおける排出権取引制度)，並於 10 月 11 日開啟碳信用 GX-ETS 交易；該機制分為三階段進行，由自願性循序至付費市場。而依據紐西蘭政府《2002 年氣候變遷因應法》第 215 條的報告，計畫在 2025 年透過紐西蘭排放交易系統 (NZ ETS) 對農業排放進行碳定價，將成為全球第一個對農業排放進

行定價的國家。

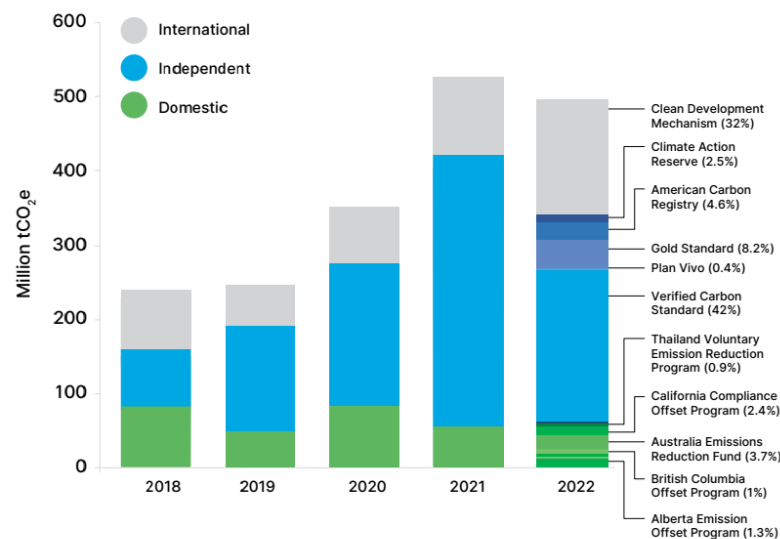


圖 5.1-2 各信用機制類型的全球發行量（2018 年至 2022 年）World Bank（2023）

以專案類別的年度發行量而言（圖 5.1-3），2022 年以再生能源的發行量佔比約 55% 最高。但 World Bank（2023）指出由於再生能源成本下降（Duffy et al., 2020；Luderer et al., 2022），大型再生能源專案的碳信用額度的發行量可能會隨著時間而減少。而與藍碳相關的林業和土地利用活動之專案類別則在近年受到外界的質疑（Greenfield, 2023；West et al., 2020；West et al., 2023），被指出碳信用額度的方法誇大了對於避免森林砍伐和減緩氣候變遷的影響。碳信用發行量在 2022 年相比 2021 年呈現下降（World Bank, 2023）。不過由於林業和土地利用活動之專案類別除了具有溫室氣體減量效益之外，林業和土地利用活動之專案類別亦附帶其他生態、環境與社會經濟效益。World Bank（2023）也指出以自然為本的林業和土地利用活動之碳信用越來越受關注，其中新註冊專

案的 54% 屬於為林業和土地利用活動類別，因此被認為未來有擴大供應的潛力。

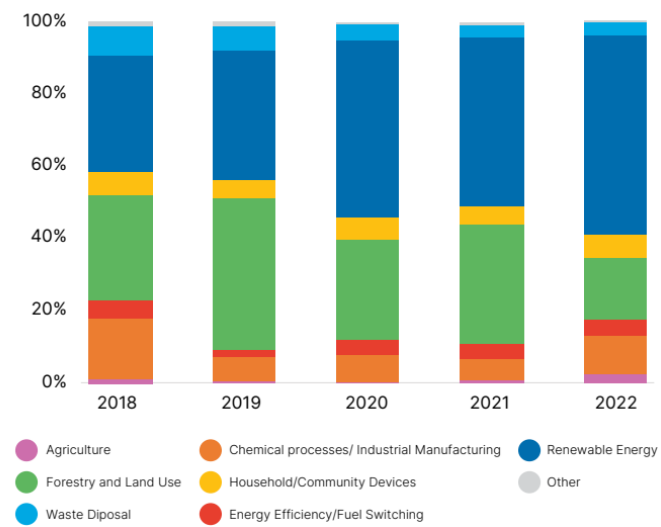


圖 5.1-3 按專案類別和年份發行量的百分比 World Bank (2023)

標準名稱	清潔發展機制（CDM）	碳驗證標準（VCS）	黃金標準（GS）	美國碳註冊登記處（ACR）	澳洲碳信用單位（ACCU）
主要管理組織	聯合國	Verra	黃金標準基金會（Gold Standard Foundation）	Winrock International	澳洲政府
成立年份	1997 年通過《京都議定書》	2007 年(Verra 創立)	2003 年	1996 年	2011 年
計畫類別	法遵計畫（政府）	自願性計畫（NGOs）	自願性計畫（NGOs）	自願性計畫（NGOs）	法遵計畫（政府）
參與限制	有	無	無	無	無
地理範圍	發展中國家	國際	國際	美國，部分國際	澳洲
適用範圍	國家抵銷	企業抵銷	企業抵銷	企業抵銷	企業抵銷
碳信用額度（carbon credits）類型	核證減排量（CERs）	自願減排量（Voluntary Emission Reduction, VERs）	VERs	VERs	VERs
碳信用額度名稱	CERs；長期已經驗證減量額度（long-term CER，簡稱 l-CER）；臨時已經驗證減量額度（temporary CER，簡稱 t-CER）	VCU	GS VERs	ERT	ACCU
認證碳抵銷計畫時是否會要求其他的社會	否	否，僅關注溫室氣體減量	是，以聯合國永續發展目標（SDG）為核心	否	否

和環境效益貢獻					
2022 年額度發行量 World Bank（2023）	32%	42%（全球最高）	8.2%	4.6%	3.7%
網頁	https://cdm.unfccc.int/about/index.html	https://verra.org/programs/verified-carbon-standard/	https://www.goldstandard.org/	https://americancarbonregistry.org/	https://www.cleanenergyregulator.gov.au/OSR/ANREU/types-of-emissions-units/australian-carbon-credit-units

(三)、 國際藍碳溫室氣體減量方法學之蒐研

「碳」依據不同的特徵、分布、來源與儲存方式等，學者們以碳的顏色作為分類(Zinke, 2020；USGS, 2022)，常見的分類包含「黑碳」、「棕碳」、「紅碳」、「藍碳」、「綠碳」以及「青碳」等。其中，因為「碳吸存」(Carbon sequestration)而引起學者們主興趣的為「綠碳」、「藍碳」以及「青碳」。「綠碳」是指「陸域植物透過光合作用將二氧化碳儲存於植物體及土壤的碳」；「藍碳」是指「海洋生態系統中所儲存和隔離的濱海藍碳(coastal carbon)」(Nellemann et al., 2009)；而近期才被納入碳顏色分類法的「青碳」則是指「內陸淡水濕地中的碳」(Nahlik and Fennessy, 2016)。在不同分類的碳之中，「綠碳」是相對較早受到關注的碳之一，也發展為現今最為成熟與廣為人知的碳信用機制。隨著科學的進展，學者們開始研究海洋生態系統對於碳儲存的能力與貢獻。尤其是紅樹林、海草床以及鹽沼等藍碳生態系統，透過優越的碳儲存能力在減緩氣候變遷方面的重要性(Duarte et al., 2009；Serrano et al., 2019)以及其管理策略(Moritsch et al., 2009)，使得越來越多研究開始關注「藍碳」。

由於聯合國氣候變化框架公約之下 1997 年 COP3 的《京都議定書》的「清潔發展機制」(CDM)、2013 年 12 月 COP19 通過「降低森林砍伐與森林劣化所導致的碳排放 +」(Reduced Emissions from Deforestation and Forest Degradation +, REDD +⁴)、2015 年 COP21《巴黎協定》及其 2021 年於 COP26 完成修訂的第六條條文等，陸續地直接或間接為藍碳碳匯專案提供了市場機遇，使「藍碳」逐漸成為現今受到全球關注的潛力性市場。2022 年在 COP27 上，自然保護協會(The Nature Conservancy, TNC)聯合 Salesforce、Conservation International、Ocean Risk and Resilience Action Alliance(ORRAA)、Friends of Ocean Action/Ocean Action Agenda at the World Economic Forum 以及 Meridian Institute 等多家機構，發布了《高品質藍碳的原則與指南》(High-Quality Blue Carbon Principles and Guidance)(圖 5.1-4)更加展現出國際間

⁴ 「降低森林砍伐與森林退化所導致的碳排放 + (Reduced Emissions from Deforestation and Forest Degradation +, REDD +)」目的指透過提供經濟誘因鼓勵各國保留、復育和永續管理林地。

對「藍碳」專案及其碳權機制重視程度。

截止至 2023 年 3 月，藍碳碳匯之專案在 CDM 和 VCS 皆已建立了相關的方法學；舉例而言，包含清潔發展機制(CDM)的紅樹林減量方法學「劣化紅樹林棲地的造林與植林」(AR-AM0014)；以及由 Verra 所頒布的自願性減碳(VCS)之海草床碳減量方法學「潮間帶濕地與海草床復育」(VM0033)、濕地減量方法學「沿岸濕地復育」(VM0024)以及溫室氣體評估方法學「潮汐濕地復育與保育專案中基線碳儲量變化與溫室氣體排放的估計」(VMD0050)及「潮汐濕地復育與保育專案中碳儲量變化與溫室氣體排放與清除的方法概述」(VMD0051)等。其中已開發的專案主要屬紅樹林相關專案，其內容主要包含劣化或喪失紅樹林區域之造林，或者紅樹林保護和永續利用等。例如位於東非的肯亞家齊灣(Gazi Bay)的 Mikoko Pamoja 計畫主要係對紅樹林進行保護，藉此取得碳抵換量，預計在 20 年內可取得 2,482 噸 CO₂ 抵換量。中國大陸「湛江紅樹林造林項目」自 2015 至 2020 年間於廣東湛江紅樹林國家級自然保護區陸續進行紅樹林造林，專案係依據 VCS 和 CCB 雙重標準認證進行開發，5 年間已造林 380 公頃，加計土壤和生物固碳量，預計可貢獻 5,880 噸 CO₂ 之減排量，而減排量之交易收益重新投入紅樹林管理與社區參與(陳等人，民 110)。

臺灣為典型海島國家，由於周圍海域其地質、地形、氣候、潮汐與波浪作用之不同，而產生多樣化型態的海洋生態系，亦有被稱之為「藍碳生態系統」的紅樹林、海草床以及鹽沼等棲地，具備發掘藍碳自然碳匯之潛力。其中，紅樹林主要分布於臺灣西海岸及零星分布於澎湖與金門；海草床主要分布於東沙環礁、澎湖及零星分布於臺灣西海岸與恆春半島；鹽沼則主要分布於台中高美濕地(林，民 109)。然而，我國環境部現階段的抵換專案中與藍碳較具相關性的方法學僅有與濕地相關的「復育紅樹林以及濕地造林」，對於海洋藍碳減量方法學的建構尚在摸索階段。因此，接下來將針對前述背景說明中，已提出了目前主要的國際認證機構(碳權機制第一類)與「濱海藍碳」相關之國際溫室氣體減量方法學進行蒐整、簡介說明，以作為臺灣建構濱海藍碳減量方法學的借鏡。

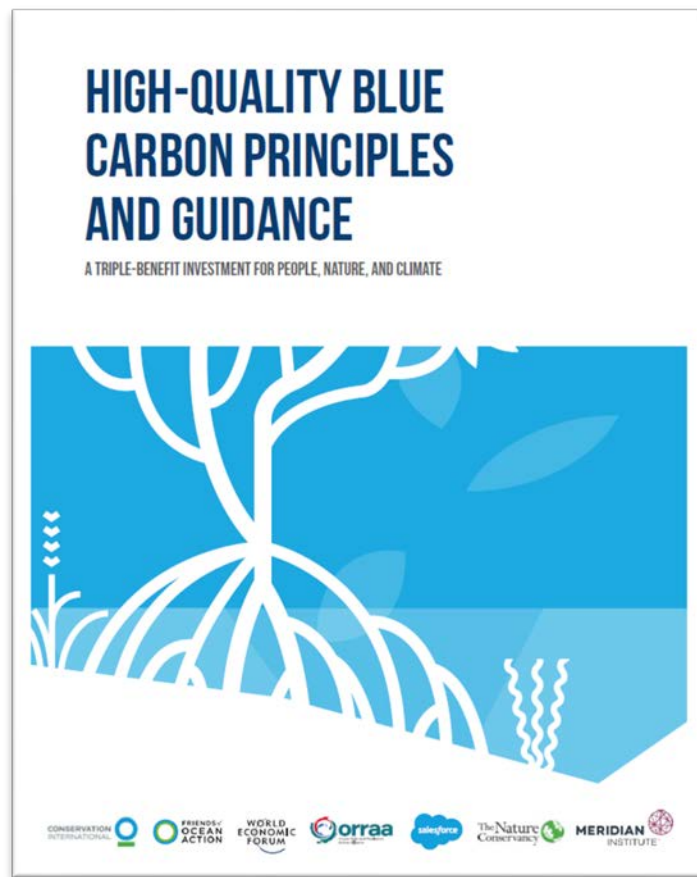


圖 5.1-4 《高品質藍碳的原則與指南》

資料：The Nature Conservancy(2022)。

表 5.1-12 國際碳匯增匯(溫室氣體減量)方法學列表

認證機構	編號	方法名稱	類別
CDM	AR-AMS0003	濕地造林與植林	造林與植林
	AR-AM0014	劣化紅樹林棲地的造林與植林	造林與植林
VCS	VM0004	避免泥灘地森林利用轉換	避免土地利用轉換
	VM0007	REDD+方法論框架	避免土地利用轉換
	VM0024	濱岸濕地復育	復育濕地

	VM0027	重新導水進入熱帶泥灘地	復育濕地
	VM0033	潮間帶濕地與海草床復育	復育濕地
	VM0036	重新導水進入溫帶泥灘地	復育濕地
	VMD0050	潮汐濕地復育與保育專案中基線碳儲量變化與溫室氣體排放的估計	復育濕地
	VMD0051	潮汐濕地復育與保育專案中碳儲量變化與溫室氣體排放與移除的方法概述	復育濕地
	VMD0052	潮汐濕地恢復和保護專案活動的外加性論證	復育濕地

註：VM0007 適用於專案和非專案的森林砍伐、劣化、造林、植林以及濕地劣化與修復活動，但不包含加強森林管理、減緩受非法砍伐而造成的劣化，包括紅樹林。

● 清潔發展機制(CDM)

(1) AR-AMS0003 濕地造林與植林

A. 方法概述

透過清潔發展機制(CDM)之專案活動進行小規模造林與植林(afforestation and reforestation, A/R)。

B. 適用情況

- (a) 專案地點符合潮間帶濕地(intertidal wetlands)、氾濫平原之無機土壤(flood plain areas on inorganic soils)、季節性洪水區(Seasonally flooded areas)之濕地類別。
- (b) 專案執行時不會導致專案區域或其連接之水文發生變化。
- (c) 由 A/R CDM 專案活動引起的土壤擾動不超過專案面積的 10%。
- (d) 專案活動的土地不包含泥炭土(peat)。

C. 基線情境溫室氣體移除量

$$\Delta C_{BSL,t} = \Delta C_{TREE_BSL,t} + \Delta C_{SHRUB_BSL,t} + \Delta C_{DW_BSL,t}$$

其中：

參數	定義	單位
$\Delta C_{BSL,T}$	t 年內基線情境中溫室氣體移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{TREE_BSL,t}$	t 年內基線情境中喬木(tree)碳儲量的變化	t CO ₂ e
$\Delta C_{SHRUB_BSL,t}$	t 年內基線情境中灌木(shurb)碳儲量的變化	t CO ₂ e
$\Delta C_{DW_BSL,t}$	t 年內基線情境中枯木(dead wood)碳儲量的變化	t CO ₂ e

D. 專案情境溫室氣體移除量

$$\Delta C_{P,t} = \Delta C_{TREE_PROJ,t} + \Delta C_{SHRUB_PROJ,t} + \Delta C_{DW_PROJ,t} + \Delta C_{SOC_PROJ,t}$$

其中：

參數	定義	單位
$\Delta C_{P,T}$	t 年內專案情境中溫室氣體移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{TREE_PROJ,t}$	t 年內專案情境中喬木(tree)碳儲量的變化	t CO ₂ e
$\Delta C_{SHRUB_PROJ,t}$	t 年內專案情境中灌木(shurb)碳儲量的變化	t CO ₂ e
$\Delta C_{DW_PROJ,t}$	t 年內專案情境中枯木(dead wood)碳儲量的變化	t CO ₂ e
$\Delta C_{SOC_PROJ,t}$	t 年內專案情境中土壤有機碳(soil organic carbon)碳儲量的變化	

E. 實際溫室氣體移除量

$$\Delta C_{ACTUAL,t} = \Delta C_{P,t} - GHG_{E,t}$$

其中：

參數	定義	單位
$\Delta C_{ACTUAL,T}$	t 年內實際的溫室氣體移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{P,T}$	t 年內專案情境中溫室氣體移除量	t CO ₂ e
$GHG_{E,T}$	實施 A/R 專案增加的非 CO ₂ 排放量	t CO ₂ e

(2) AR-AM0014 劣化紅樹林棲地的造林與植林

A. 方法概述

透過清潔發展機制(CDM)之專案活動對劣化的紅樹林棲地進行造林與植林(A/R)。

B. 適用情況

- (a) 專案地點符合劣化紅樹林棲地(degraded mangrove habitat)。
- (b) 專案執行需種植超過 90%之紅樹林樹種(mangrove species)；若種植超過 10%之非紅樹林樹種(non-mangrove species)，則不得導致專案區域之水文、與其連接之上下游水文產生變化。
- (c) 由 A/R CDM 專案活動引起的土壤擾動不超過專案面積的 10%。

F. 基線情境溫室氣體移除量

$$\Delta C_{BSL,t} = \Delta C_{TREE_BSL,t} + \Delta C_{SHRUB_BSL,t} + \Delta C_{DW_BSL,t}$$

其中：

參數	定義	單位
$\Delta C_{BSL,T}$	t 年內基線情境中溫室氣體移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{TREE_BSL,t}$	t 年內基線情境中喬木(tree)碳儲量的變化	t CO ₂ e
$\Delta C_{SHRUB_BSL,t}$	t 年內基線情境中灌木(shurb)碳儲量的變化	t CO ₂ e
$\Delta C_{DW_BSL,t}$	t 年內基線情境中枯木(dead wood)碳儲量的變化	t CO ₂ e

G. 專案情境溫室氣體移除量

$$\Delta C_{P,t} = \Delta C_{TREE_PROJ,t} + \Delta C_{SHRUB_PROJ,t} + \Delta C_{DW_PROJ,t} + \Delta C_{SOC_PROJ,t}$$

其中：

參數	定義	單位
$\Delta C_{P,T}$	t 年內專案情境中溫室氣體移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{TREE_PROJ,t}$	t 年內專案情境中喬木(tree)碳儲量的變化	t CO ₂ e
$\Delta C_{SHRUB_PROJ,t}$	t 年內專案情境中灌木(shurb)碳儲量的變化	t CO ₂ e
$\Delta C_{DW_PROJ,t}$	t 年內專案情境中枯木(dead wood)碳儲量的變化	t CO ₂ e
$\Delta C_{SOC_PROJ,t}$	t 年內專案情境中土壤有機碳(soil organic carbon)碳儲量的變化	t CO ₂ e

H. 實際溫室氣體移除量

$$\Delta C_{ACTUAL,t} = \Delta C_{P,t} - GHG_{E,t}$$

其中：

參數	定義	單位
$\Delta C_{ACTUAL, T}$	t 年內實際的溫室氣體移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{P, T}$	t 年內專案情境中溫室氣體移除量	t CO ₂ e
$GHG_{E, T}$	實施 A/R 專案增加的非 CO ₂ 排放量	t CO ₂ e

表 5.1-13 CDM 減量方法學適用條件比較表

減量規模	編號	名稱	適用條件
小規模	AR-AMS0003	濕地造林與植林(3.0 版)	1. 專案土地需符合下列濕地類別之一： (1) 潮間帶 (2) 氾濫平原(屬無機土壤) (3) 水庫或水體邊緣的季節性氾濫區域 2. 專案活動不得改變當地水文 3. 土壤擾動面積不得超過 10% 4. 專案活動土地不得含有泥炭土
	AR-AMS0007	濕地以外棲地的造林與植林(3.1 版)	1. 專案地點不屬於濕地類別。 2. 若土地含有有機土壤、土地於基線受到使用和管理時，於專案活動引起的土壤擾動不超過專案面積的 10%。
大規模	AR-AM0014	劣化紅樹林棲地的造林與植林(3.0 版)	1. 專案土地為劣化的紅樹林棲地 2. 專案得種植紅樹林或非紅樹林植物，但專案若種植超過 10%的非紅樹林植物，則不能改變當地水文 3. 土壤擾動面積不得超過 10%

- VCS 自願碳標準(Voluntary Carbon Standard，簡稱 VCS 又稱為 Verra)

(3) VM0004 避免泥炭森林土地利用轉換

A. 方法概述

量化基線情境(baseline scenarios)與專案情境(project scenarios)之地

上部碳儲量與泥炭土(peatland)溫室氣體排放，以避免泥炭森林的土地利用轉換。

B. 適用情況

- (a) 專案區域符合熱帶泥炭沼澤森林(tropical peat swamp forest)之定義。
其中，泥炭定義為有機質 $\geq 65\%$ 且厚度 $\geq 50 \text{ cm}^2$ 之有機土壤。
- (b) 基線情境參考京都議定書 Decision 5/CMP.1 之段落 22。泥炭排放量(深度 ≤ 1 公尺)使用淨排放量。假設每公頃可收穫的木材總體積(或生物量)以當地木材市場上最具商業價值之木材計算。
- (c) 專案僅適用於防止已知的土地利用轉換(包括企業或政府部門；不包括社區團體、組織、個人或家庭)，不適用於避免森林劣化(degradation)。
- (d) 專案定義之土地利用轉換包括不會導致毀林的自然資源活動(例如：擇伐(selective logging)、收穫薪柴(fuelwood)與非木材林產品(*Non-Timber Forest Products*, NTFP)等)；不包括人類住區(例如：城鎮、村莊等)或直接導致森林砍伐的人類活動(例如：農業或牧場開墾)。

I. 基線情境溫室氣體排放量

$$C_{BSL} = \sum_{t=1}^{t^*} \sum_{i=1}^{m_{BL}} C_{B,it}$$

$$C_{B,it} = \Delta C_{B,AG,it} + E_{B,p,it}$$

其中：

參數	定義	單位
C_{BSL}	基線情境下泥炭土溫室氣體排放和地上部生物量碳儲量變化	t CO ₂ e
$C_{B,it}$	第 t 年第 i 層基線情境下泥炭土溫室氣體排放和地上部生物量碳儲量變化	t CO ₂ e
$\Delta C_{B,AG,it}$	第 t 年第 i 層基線情境下地上部生物量碳儲量變化	t CO ₂ e
$E_{B,p,it}$	第 t 年第 i 層基線情境下泥炭土溫室氣體排放	t CO ₂ e

(4) VM0007 減少因不當伐林與森林劣化所造成的溫室氣體排放(REDD+)方法論

框架

A. 方法概述

此方法論為模組(modules)和工具(tools)的彙編。透過決策樹之定義選擇適合的方法。

本文的模組和工具適用於：

- (a) 避免計畫內毀林(Avoiding Planned Deforestation, APD)與避免計畫外毀林(Avoiding Unplanned Deforestation and forest Degradation, AUDD)
- (b) 減少因森林劣化(degradation)產生的碳排放
- (c) 植樹造林、植林和恢復植被(Afforestation, reforestation and revegetation activities, ARR)
- (d) 避免計畫內濕地劣化(Avoiding Planned Wetland Degradation, APWD)與避免計畫外濕地劣化(Avoiding Unplanned Wetland Degradation, AUWD)
- (e) 復育濕地生態系(Restoration of Wetlands Ecosystems, RWE)

B. 適用情況

決定 REDD 專案類型之決策樹

在基線情況下，森林是否預計轉換為非林地(non-forest)，或者預計轉換為受管理的人工林(managed tree plantation)？			
是		否	
土地是否合法授權轉換為非林地或受管理的人工林		基線中的森林是否預計因薪材(fuelwood)或木炭(charcoal)生產而劣化？	
是	否	是	否
避免計畫內毀林 (APD)	避免計畫外毀林 (AUDD)	避免森林劣化	非 VCS REDD+ 框架中的方法學

(5) VM0024 沿岸濕地復育

A. 方法概述

量化濕地創造(creating)(恢復已劣化為開放水域的濕地)專案的溫室氣體減排效益。主要包含基質建立(substrate establishment)和植被建立(vegetation establishment)兩個項目。

B. 適用情況

- (a) 專案地點需滿足潮汐或河口、開闊水域(open water)和劣化濕地(degraded wetland)的定義，並在沒有專案活動的情況下保持開放水域。
- (b) 專案活動透過基質建立或(和)植被建立創造新的濕地。
- (c) 專案活動不得降低地下水位深度。
- (d) 實施植樹造林、植林和植被恢復(ARR)和復育生態系統(RWE)專案活動與建立木本植被時不得進行商業採伐活動、施氮肥或使泥炭地排水。
- (e) 需證明專案不會對水文相連區域產生負面影響。

(6) VM0027重新導水進入熱帶泥炭地

A. 方法概述

透過建造永久性(permanent)和(或)暫時性(temporary)的結構(例如：水壩)，重新導水進入已排水之熱帶泥炭地。

B. 適用情況

- (a) 專案地點符合混生熱帶泥炭地(ombrogenous tropical peatland)之定義，位於東南亞(馬來西亞、印尼、汶萊或巴布新幾內亞)境內。
- (b) 專案地點包含一個或多個完整的流域，該流域不能與專案外相鄰的泥炭地和非泥炭地區域進行水文連接，且不能包含已施用或計劃施用氮肥的區域。
- (c) 基線情境和專案情境的地下水位需使用最新版本的 SI T R04 模型進行建模，且年平均水位須小於 1 公尺。
- (d) 專案進行時，不得包括毀林(deforestation)、森林劣化(forest degradation)、作物生產(crop production)或動物放牧(grazing of

animals)等土地利用轉變(land use conversion)。且不得從事農業活動、建造額外的排水水道或其他類型的基礎設施。

- (e) 專案進行時，不得對專案外流域的水文造成負面影響(包括土地使用計劃、法律或資源特許權)。不得取代專案外流域的合法土地使用活動，且需證明無其他排水活動計畫於專案地點實施。
- (f) 利用永久性和暫時性結構導水至專案地點，從而提高其年平均水位。
- (g) 需證明基線情境和專案情境之間的溫室氣體通量在 100 年內存在顯著差異。

C. 基線情境溫室氣體排放量

$$\Delta C_{BSL} = \sum_{t=1}^{t_{max}} \Delta C_{BSL,t}$$

其中：

參數	定義	單位
ΔC_{BSL}	基線情境中泥炭地於排水狀態的溫室氣體淨排放量	t CO ₂ e
$\Delta C_{BSL,t}$	基線情境中所有碳庫在時間 t 內的淨碳儲量變化	t CO ₂ e

D. 專案情境溫室氣體排放量

$$\Delta C_P = \sum_{t=1}^{t_{crediting_period}} \Delta C_{Pr,t}$$

其中：

參數	定義	單位
ΔC_P	專案情境的淨溫室氣體排放量	t CO ₂ e
$\Delta C_{Pr,t}$	專案情境在時間 t 內的淨溫室氣體排放量	t CO ₂ e

(7) VM0033 潮間帶濕地與海草床復育

A. 方法概述

透過增加生物量、增加本地土壤有機碳、增加鹽度或改變土地利用(減少 CH₄、N₂O 排放)、減少土壤流失(減少 CO₂ 排放)等方式，復育潮間帶濕地以減少(reduction)、移除(removal)溫室氣體。

B. 適用情況

- (a) 專案地點符合潮間帶濕地(包含海草床)之定義。
- (b) 專案執行項目包括創造、復育或管理水文條件、改變鹽度、改變沉積物供應、改善水質、引入本地植物群落與改進管理實踐等。
- (c) 若專案聲稱由於泥炭火災減少導致溫室氣體排放減少，則必須滿足以下條件：
 - 證明專案地點經常受到火災的威脅(主要由人為導致)。
 - 導水後的泥炭地必須與火災管理相結合。
- (d) 在具有有機土壤的地層中，導水需與植林、植林與植被恢復(ARR)結合。
- (e) 專案不適用於下列狀況：
 - 森林經營改善(Improved Forest Management, IFM)和減少因不當伐林與森林劣化所造成的溫室氣體排放(REDD)。
 - 基線情境包括商業林業。
 - 專案情境降低地下水位(除非將開闊水域轉變為潮汐濕地或改善與蓄水水域的水文連接)、有機土壤燃燒。
 - 專案地點與鄰近地區的水文連通性導致溫室氣體排放量顯著增加、施用氮肥。

C. 基線情境溫室氣體排放量

$$GHG_{BSL} = GHG_{BSL-biomass} + GHG_{BSL-soil} + GHG_{BSL-fuel}$$

其中：

參數	定義	單位
GHG_{BSL}	t 年內基線情境的溫室氣體淨排放量	t CO ₂ e
$GHG_{BSL-biomass}$	t 年內基線情境生物量的溫室氣體淨排放量	t CO ₂ e
$GHG_{BSL-soil}$	t 年內基線情境土壤有機碳的溫室氣體淨排放量	t CO ₂ e
$GHG_{BSL-fuel}$	t 年內基線情境化石燃料的溫室氣體淨排放量	t CO ₂ e

D. 專案情境溫室氣體排放量

$$GHG_{WPS} = GHG_{WPS-biomass} + GHG_{WPS-soil} + GHG_{WPS-burn} + GHG_{WPS-fuel}$$

其中：

參數	定義	單位
GHG_{WPS}	t 年內專案情境的溫室氣體淨排放量	t CO ₂ e
$GHG_{WPS-biomass}$	t 年內專案情境生物量的溫室氣體淨排放量	t CO ₂ e
$GHG_{WPS-soil}$	t 年內專案情境土壤有機碳的溫室氣體淨排放量	t CO ₂ e
$GHG_{WPS-burn}$	t 年內專案情境明訂燃燒(prescribed burning)的溫室氣體淨排放量	t CO ₂ e
$GHG_{WPS-fuel}$	t 年內專案情境化石燃料的溫室氣體淨排放量	t CO ₂ e

(8) VM0036 重新導水進入溫帶泥灘地

A. 方法概述

估算重新導水進入溫帶泥灘地減少的溫室氣體排放。

B. 適用情況

- (a) 專案地點符合泥炭地定義且位於溫帶氣候區。
- (b) 專案地點為不營利或不再營利的林業，計畫開始前兩年已無開採、農業活動。
- (c) 基線情境下泥灘地需為排水狀態。可能有生物量燃燒；不得有採集或收集薪材之商業活動。
- (d) 專案情境不得發生泥炭提取、燃燒，生物量燃燒與氮肥使用。
- (e) 專案執行必須包括以下內容：
 - 溫室氣體減量效益不因區域外發生的排水活動產生負面影響。
 - 避免由於活動轉移(activity shifting)、市場效應(market effects)和水文連通性引起洩漏(leakage)。
- (f) 導水後的土地利用僅限以下項目：
 - 林業(包括生物量生產；不包括森林經營改善(IFM)和 REDD)。
 - 農業(不包括農業土地管理(Agricultural Land Management, ALM))。
 - 自然保育、娛樂。
- (g) 若專案聲稱由於泥炭火災減少導致溫室氣體排放減少，則必須滿足以下條

件：

- 證明專案地點經常受到火災的威脅。
- 若無法使用默認程序(default procedure)評估基線情境下火災造成的溫室氣體排放，則必須保守的不考慮此類排放。
- 導水後的泥炭地必須與火災管理相結合。

C. 基線情境的溫室氣體排放

$$GHG_{BSL} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{M_{BSL}} \left(-\frac{44}{12} \times \Delta C_{BSL-NP,ijt} + GHG_{drained,ijt} \right)$$

其中：

參數	定義	單位
GHG_{BSL}	t 年內基線情境的溫室氣體淨排放量	t CO ₂ e
$\Delta C_{BSL-NP, i, t}$	第 t 年 第 i 層基線情境中非泥炭碳庫的淨碳儲量變化	t C yr ⁻¹
$GHG_{drained, i, t}$	第 t 年 第 i 層基線情境中土壤(soil)、低地植被(lower ground vegetation)和枯落物(litter)的溫室氣體排放	t CO ₂ e yr ⁻¹

D. 專案情境的溫室氣體排放

$$GHG_{WPS} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{M_{WPS}} \left(-\frac{44}{12} \times \Delta C_{WPS-NP,ijt} + GHG_{rewetted,ijt} \right)$$

其中：

參數	定義	單位
GHG_{WPS}	t 年內專案情境的溫室氣體淨排放量	t CO ₂ e
$\Delta C_{WPS-NP, i, t}$	第 t 年 第 i 層專案情境中非泥炭碳庫的淨碳儲量變化	t C yr ⁻¹
$GHG_{rewetted, i, t}$	第 t 年 第 i 層專案情境中泥炭土導水後的溫室氣體排放	t CO ₂ e yr ⁻¹

(9) VMD0050 潮汐濕地復育與保育專案中基線碳儲量變化與溫室氣體排放的估計

A. 方法概述

提供建立濕地復育與保育(Wetlands Restoration and Conservation, WRC)中潮汐濕地基線情境的程序；估算專案情境土壤溫室氣體排放減少和清除的程序；計算淹沒(submergence)和侵蝕(erosion)對潮汐濕地土壤有機碳影響的程序。屬於濕地生態系統恢復(RWE)和保護完整濕地(Conservation of Intact Wetlands, CIW)專案活動。

B. 適用情況

適用於 VCS methodology VM0007 中定義的潮汐濕地復育和保育(WRC)專案。

C. 潮汐濕地復育和保育(Wetlands Restoration and Conservation, WRC)

- (a) 專案地點需符合國際公認的濕地定義(例如：IPCC、拉姆薩爾濕地公約)。常見的濕地類型包括泥炭地(peatland)、鹽沼(salt marsh)、潮汐淡水沼澤(tidal freshwater marsh)、紅樹林(mangroves)、洪氾區森林(wet floodplain forests)、濕草原(prairie potholes)和海草床(seagrass meadows)。
- (b) 需證明基線情境與專案情境的溫室氣體減排量在 100 年內有顯著差異。
- (c) 受潮汐影響的專案需考慮海平面上升對專案邊界的影響。
- (d) 為了避免有計劃的濕地劣化 (Avoiding Planned Wetland Degradation, APWD)，必須確定專案區域和代理區域。
- (e) 為了避免計劃外濕地劣化(AUWD)，必須確定專案區域、濕地劣化參考區域和滲漏區域。

(10) VMD0051潮汐濕地復育與保育專案中碳儲量變化與溫室氣體排放與清除的方法概述

A. 方法概述

提供估算潮汐濕地在濕地復育與保育(WRC)專案中，使土壤碳排放減少和清除的程序；提供計算淹沒和侵蝕對生物量和潮汐濕地土壤有機碳的影響的程序。屬於濕地生態系統恢復(RWE)和保護完整濕地(CIW)專案活動。

B. 適用情況

適用於 VCS methodology VM0007 中定義的潮汐濕地復育和保育(WRC)專案。

(11) VMD0052 潮汐濕地恢復和保護專案活動的額外性論證

A. 方法概述

用於確定 GHG 排放數據的默認因子(default factor)和標準(standard)，任何證明額外性的數據必須從公認的來源獲得。例如 IPCC 2006 年國家溫室氣體清單指南(IPCC 2006 Guidelines for National GHG Inventories)或 IPCC 2003 年土地利用良好實踐指南(IPCC 2003 Good Practice Guidelines for Land Use, Land-Use Change and Forestry.)。

B. 適用情況

適用於 VCS methodology VM0007 中定義的潮汐濕地復育和保育(WRC)專案。

(四)、 國際藍碳溫室氣體減量方法學之應用

根據前段所蒐整之方法學，本計畫進一步針對應用 VM0033 作為減量方法學之減量專案進行研析，Verra 所公告相關專案共 15 筆，如表 5.1-13 所示，申請地區大部分為亞洲國家。以下針對「海南文昌、昌江紅樹林復育專案」與「維吉尼亞海岸保護區海草復育專案」，以及「PVS 肯亞 Vanga 藍碳計畫」分別進行簡述。

表 5.1-14 Verra 公告應用 VM0033 作為減量方法學之減量專案列表

ID	專案名稱	發起單位	AFOLU 活動	狀態	國家/ 地區	年度減排量 之估算	地區	專案日期	
4607	Kosher Blue Carbon -1	Kosher Climate India Pvt. Ltd.	植樹造林和再植綠 化 (Afforestation, Reforestation, and Revegetation, ARR)	正在驗證中	印度	75516	亞洲	2023- 01-01	2082- 12-31
4563	Allcot Blue Carbon Mangrove Project In Senegal (Abc Mangrove Senegal)	ALLCOT A.G.	濕地修復和保護 (Wetlands Restoration and CONservation, WRC)	正在驗證中	塞內 加爾	74732	非洲	2022- 08-01	2052- 07-31
4539	Community-Based Mangrove Conservation And Restoration In Sierra Leone	West Africa Blue	ARR; 減少森林砍伐 和森林劣化的排放 量 (Reducing Emissions from Deforestation and Forest	正在開發中	獅子山	258000	非洲	2023- 07-01	2073- 06-30

ID	專案名稱	發起單位	AFOLU 活動	狀態	國家/ 地區	年度減排量 之估算	地區	專案日期	
			Degradation, REDD) ; WRC						
4541	Sundari Mangrove Restoration Project In The Indian Sundarbans	Multiple Proponents	ARR; WRC	正在驗證中	印度	32618	亞洲		
4194	Mangrove Reforestation In Danzhou, Hainan Province	Hainan University	ARR; WRC	正在開發中	中國	4839	亞洲	2020- 06-01	2050- 05-31
3967	Valle Lagunare - Val Doga', Caposile - Venice Carbon Credit Assessment In COntrolled Lagoon Environment	Società AgriCOla Blue Valley Srl	ARR	正在驗證中	義大利	150531	歐洲	2022- 01-01	2041- 12-31
3897	Mangrove Restoration Project In Wenchang And Changjiang, Hainan	Multiple Proponents	ARR	申請註冊和 驗證批准	中國	4672	亞洲	2021- 05-03	2061- 05-02
3818	Blue Carbon Mitigation Through COmmunity Based Mangrove Restoration	Worldview International Foundation	ARR; WRC	正在驗證中	緬甸	259130	亞洲	2021- 05-29	2041- 05-28
3730	Climate Action In Myanmar Through A COmmunity-Based Mangrove Restoration	Worldview International Foundation	ARR; WRC	正在驗證中	緬甸	91861	亞洲	2022- 05-10	2047- 05-09

ID	專案名稱	發起單位	AFOLU 活動	狀態	國家/ 地區	年度減排量 之估算	地區	專案日期	
3365	Developing Voluntary Carbon Market Project For Sundarban Tiger Reserve In India	Sundarban Tiger Conservation Foundation Trust (STCFT)	ARR; WRC	正在開發中	印度	57587	亞洲	2018-10-01	2048-09-30
3230	Abu Ali Island Mangrove Planting Project - Eastern Province Saudi Arabia	SAUDI ARABIAN OIL CO. (ARAMCO)	ARR; WRC	申請註冊和 驗證批准	沙烏地 阿拉伯	1627	中東	2017-03-01	2077-02-28
2842	Restoring Mangroves In Mexico's Blue Carbon ECOSystems	BlueMX Mangrove A.C.	ARR; WRC	正在開發中	墨西哥	868302	拉丁 美洲	2016-06-13	2046-06-12
2500	Bonos Del Jaguar Azul	Ban.CO ₂ de Carbono Mestizo	ARR; WRC	正在開發中	墨西哥	48518	拉丁 美洲	2016-07-16	2046-07-15
2360	Virginia COast Reserve Seagrass Restoration Project	The Nature CONservancy	WRC	正在開發中	美國	930	北美 洲	2015-10-07	2045-10-06
2250	Delta Blue Carbon - 1	Multiple Proponents	ARR; WRC	已註冊	巴基 斯坦	2407629	亞洲	2015-02-19	2075-02-18

1. 海南文昌、昌江紅樹林復育專案

「海南文昌、昌江紅樹林復育專案」位於海南島北部文昌市東閣鎮、文教鎮、東郊鎮、文城鎮、鋪前鎮、金山鎮沿海地區，海南島西部長江黎族自治縣珠碧江口。計畫發起單位為自然資源部第三海洋研究所(Third Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, 簡稱「TIO-MNR」)和 SEE Foundation.。

由於未適當保護和過多人為干擾，專案區域紅樹林資源自 1950 年起遭到嚴重破壞，海南省紅樹林總面積於 1950 年為 9,992 公頃，於 1998 年減少至 4,772 公頃，專案旨在通過於退化的紅樹林生態系統上植樹來增加碳固存，並為當地永續發展做出貢獻。

為保護及可持續管理和復育紅樹林資源，1981 年建立了自然保護區，根據「海南省紅樹林保護條例」自然保護區內不得進行池塘養殖和圍墾，但當地漁民仍進行海水養殖，造成水污染、土壤擾動等人類活動破壞紅樹林的復育，專案通過海灘紅樹林人工造林，擴大了紅樹林面積，提高紅樹林品質，有效保護紅樹林生態系統，保護紅樹林種資源和珍稀瀕危野生動物資源。同時，該專案實施亦提高紅樹林防風浪、防淤護灘、固岸護堤、防災減災等生態功能，保障人民生命財產安全。

(1) 專案區域位置

該專案位於中國海南省文昌市及昌江黎族自治縣，地理坐標為東經 $108^{\circ}38'$ 至 $111^{\circ}03'$ ，北緯 $18^{\circ}53'$ 至 $20^{\circ}10'$ 之間，根據「氣候、社區和生物多樣性標準(CCB 標準)」(The Climate, Community and Biodiversity Standards, CCB Standards)，文昌市和昌江黎族自治縣被定義為專案區域，其位置、邊界及範圍如圖 5.1-5 所示。



圖 5.1-5 海南文昌、昌江紅樹林復育復育專案區域位置、邊界及範圍

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

(1) 永續發展目標

為解決氣候變遷、經濟成長、社會平權、貧富差距等問題，聯合國（United Nations）於 2015 年 9 月 25 日通過「2030 永續發展目標（Sustainable Development Goals, SDGs）」，包含 17 項 SDGs 目標，海南文昌、昌江紅樹林復育專案實施，有助於實現如表 5.1-15 所示之目標。

表 5.1-15 海南文昌、昌江紅樹林復育專案實施之永續發展目標

目標	說明
 1 消除貧窮	所有參與紅樹林種植、苗木運輸的員工工資為 200-400 人民幣（29.00-58 美元）/天；監工每月的工資約為 3,000 人民幣（434.99 美元）；來自當地貧困家庭的婦女和弱勢群體不僅獲得了平等的機會，而且有意識地確保他們能夠成為專案的一部分，這些措施可以提高當地居民的收入，減少貧困。
 3 健康與福祉	專案參照「中華人民共和國勞動法」，因地制宜，保障勞動者的健康和安全。工人健康和安全政策包括提供工傷事故健康保險計劃和疏散計劃等項目，並由當地自然資源規劃局和林業局實施。
 5 性別平等	專案實施期間，約有 3,112 名當地居民參與了專案活動，其中 1,980 名是婦女，通過接受紅樹林種植和管理技能的培訓，並與其他員工一起參與社區活動，女性比只做家務可以獲得更多的幸福感，有助於增強婦女權能，並建設社區在性別和紅樹林管理方面的能力。
 13 氣候行動	專案目的是通過種植紅樹林來復育退化的紅樹林生態系統，通過增加土壤有機質或避免土壤退化，達到溫室氣體減量，減輕氣候變化對當地生態環境的影響。
 14 海洋生態	專案在沿海地區種植紅樹林，有助於恢復沿海棲息地並保護海洋生物（如魚類、貝殼和其他底棲生物）。
 15 陸地生態	專案可以提高紅樹林植被的質量和數量，並為鳥類提供更多的棲息地，從而加強生物多樣性保護。

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

(1) 計畫期程

根據 VCS 標準(版本 4.3)，專案開始日期係指實施導致溫室氣體排放減少或減量的活動日期，此專案開始日期為 2021 年 5 月 3 日(開始種植)，專案計算週期為 2021 年 5 月 3 日至 2061 年 5 月 2 日，有效期為 40 年，與 CCB 效益評估期相同。

(2) 溫室氣體移除量估算

植樹造林計畫實施將有助溫室氣體排放清除，該專案預計於 40 年內清除 186,884 噸二氧化碳排放量(tCO_{2e})，年均溫室氣體移除量為 4,672 噸(tCO_{2e})(如表 5.1-16 所示)。

表 5.1-16 海南文昌、昌江紅樹林復育專案歷年溫室氣體移除量估算

年	溫室氣體 移除量估算 (tCO _{2e})	年	溫室氣體 移除量估算 (tCO _{2e})	年	溫室氣體 移除量估算 (tCO _{2e})	年	溫室氣體 移除量估算 (tCO _{2e})
1	2,449	11	4,829	21	4,829	31	4,829
2	3,807	12	4,829	22	4,829	32	4,829
3	4,114	13	4,829	23	4,829	33	4,829
4	4,216	14	4,829	24	4,829	34	4,829
5	4,318	15	4,829	25	4,829	35	4,829
6	4,420	16	4,829	26	4,829	36	4,829
7	4,523	17	4,829	27	4,829	37	4,829
8	4,625	18	4,829	28	4,829	38	4,829
9	4,727	19	4,829	29	4,829	39	4,829
10	4,829	20	4,829	30	4,829	40	4,829
溫室氣體移除量總計估算(tCO _{2e})							186,884
計算週期(年)							40
年均溫室氣體移除量							4,672

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

(2) 專案邊界

專案邊界為海南省文昌市和昌江黎族自治縣的行政邊界。因專案區不涉及泥炭地，因此不計算泥炭耗竭時間(Peat depletion time, PDT)。基線情境之土壤有機碳耗竭時間(Soil Organic Carbon Depletion Time, SDT)為可能的時間邊界，這將限制專案有效主張活動產生的去除量的持續時間。對於未量化基線減排量的專案（即僅限於生物質和/或土壤中 GHG 減排量的計算），無需估算 SDT。

專案區域土壤為濱海砂土，不包括有機土及泥炭土，且礦質土土壤有機碳（Soil Organic Carbon, SOC）含量較低，此種土壤特徵無法為地層區分提供依據。專案實施前，當地生態系統退化，養殖池塘廢棄多年，退化的紅樹林棲息地幾乎完全沒有任何植被，因此，植被覆蓋不會產生地層。經評估，專案區域未來不會受到海平面上升的影響。因此，基線情景沒有分層。

由於專案區域種植的紅樹林種類和密度不同，累積生物量也不同，因此，專案分層主要根據植被類型和種植密度進行(如表 5.1-17 所示)。因為專案情境下的甲烷排放量與基線情境相比沒有增加，因此，專案情境中來自土壤之甲烷排放以保守方式忽略不計。

表 5.1-17 海南文昌、昌江紅樹林復育專案歷年溫室氣體移除量估算

種類	樹種	種植年	面積 (公頃)	分層
紅樹科 (<i>Rhizophoraceae</i>)	紅海欖(<i>Rhizophora stylosa</i>)、 正紅樹(<i>Rhizophora apiculata</i>)、	2021 年	170.72	1
紅樹科 (<i>Rhizophoraceae</i>)	水筆仔(<i>Kandelia candel</i>)、 木欖(<i>Bruguiera gymnorhiza</i>)、 海蓮(<i>Bruguiera sexangula</i>)、 紅蕊紅樹(<i>Ceriops tagal</i>)	2022 年	115.67	2
非紅樹科紅樹林 (<i>Non-Rhizophoraceae mangrove</i>)	桐花樹(<i>Aegiceras Corniculatum</i>)、 白骨壤(<i>Avicennia marina</i>)、 總狀樹(<i>Lumnitzera racemose</i>)	2021 年	50.04	3

種類	樹種	種植年	面積 (公頃)	分層
半紅樹林 (<i>Semi-mangrove</i>)	巴戟天(<i>Morinda citrifolia</i>)、 水黃皮(<i>Pongamia pinnata</i>)	2021 年	16.46	4

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

根據中國自然資源部 2022 年 4 月發布的「2021 年中國海平面公報」，1980 年至 2021 年間，海南島西部東方市海平面上升率為每年 3-4 毫米，海口市海平面上升率為每年 4-5 毫米，預計未來 30 年海南沿海海平面將上升 0.9-1.9m，即未來海南島周邊海平面上升速度與過去幾十年相似。雖然這兩個專案區域都沒有基於土壤增生率現場測量的文獻數據，但專案認為未來海平面上升不會導致專案區域紅樹林的消失，這是因為天然紅樹林的臨海邊界在過去幾十年裡一直保持穩定，甚至可以延伸。最近在與文昌相鄰的海口市東寨港紅樹林中進行的一項研究，測量到地表增生率為每年 13.3-57.9 毫米和地表高程變化率為每年 7.9-35.5 毫米，高於海平面上升速度率，因此，推測海平面上升不會導致紅樹林覆蓋範圍的喪失。

對於量化 CO₂ 減排量的專案，如果在專案開始後的 100 年內，專案邊界在累積碳損失方面未能達到顯著差異（≥ 5%），則不符合基線排放減少的認證資格，而這些區域必須進行繪製。該專案沒有聲稱由於恢復活動而避免了土壤排放(停止損失)，因此，無需評估 100 年專案和基線情境之間土壤有機碳（Soil Organic Carbon, SOC）儲量的差異。

根據所應用的方法 VM0033(2.0 版)，依照 VCS 規定，必須對建立的緩衝區進行地圖繪製。專案區域位於廢棄的水產養殖池塘內，該池塘已取消任何養殖活動，通過在專案區域開放池塘實現潮汐連通。根據 VCS 規則第 3.10.4 節，它與陸地上其他濕地不具有水文連通性，僅與鄰近海水保持潮汐連通性，復育工程不會改變專案區域潮汐連接，即不會對專案區域水文產生負面影響，導致溫室氣體排放大幅增加。專案所在區域滿足 VCS 規則第 3.10.4 條第(2)條規定。因此，本專案不涉及建立緩衝區。

(3) 碳庫

專案邊界內所包含和排除的碳庫，彙整如表 5.1-18 所示。

表 5.1-18 海南文昌、昌江紅樹林復育碳庫的選擇與原因

碳庫	是否包含	原因/說明
地上部樹木生物量 (Aboveground tree biomass)	是	包含基線情境下的地上部樹木生物量。 包含專案情境下的地上部樹木生物量。
地上部非樹木生物量 (Aboveground non-tree biomass)	否	專案啟動前，專案區域無活的非林木植物。
地下部生物量 (Below-ground biomass)	是	包含基線情境下的地下部生物量。 包含專案情境下的地下部生物量。
枯落物 (Litter)	否	此碳庫在 WRC 方法中是可選擇的。
枯木 (Dead wood)	否	此碳庫在 WRC 方法中是可選擇的。
土壤 (Soil)	是	包含基線情境下的土壤有機碳儲量。 包含專案情境下的土壤有機碳儲量。
木製品 (Wood products)	否	與基線情境無關，故在專案情境中以保守方式忽略不計。

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

(4) 溫室氣體的來源

專案邊界內所包含和排除的溫室氣體，彙整如表 5.1-19 所示。

表 5.1-19 海南文昌、昌江紅樹林復育專案邊界內包含或排除的溫室氣體來源

來源	氣體	是否包含	原因/說明
基 線	微生物產生的甲烷 CH ₄	否	該專案不會導致鹽度或甲烷排放量發生變化。
	脫硝/硝化 N ₂ O	否	在基線情境中以保守方式忽略不計
	生物質和 CO ₂	否	在基線情境中以保守方式忽略不計
	有機土壤 CH ₄	否	在基線情境中以保守方式忽略不計

來源		氣體	是否包含	原因/說明
	的燃燒	N ₂ O	否	在基線情境中以保守方式忽略不計
	化石燃料使用	CO ₂	否	在基線情境中以保守方式忽略不計
		CH ₄	否	在基線情境中以保守方式忽略不計
		N ₂ O	否	在基線情境中以保守方式忽略不計
專案	微生物產生的甲烷	CH ₄	否	該專案不會導致鹽度或甲烷排放量發生變化。
	脫硝/硝化	N ₂ O	否	與基線情境相比，專案區域不涉及農業活動和化肥。
	生物質的燃燒	CO ₂	否	不適用，該專案不涉及生物質燃燒。
		CH ₄	否	不適用，該專案不涉及生物質燃燒。
		N ₂ O	否	不適用，該專案不涉及生物質燃燒。
	化石燃料使用	CO ₂	否	報告對化石燃料使用造成的溫室氣體排放進行了估算，並證明這些排放是合理的最低限度。
		CH ₄	否	在專案燃料使用中並非重要排放源。
		N ₂ O	否	在專案燃料使用中並非重要排放源。

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

(5) 監測計畫

專案執行過程中，監測項目應滿足「VM0033 潮汐濕地和海草恢復方法論 v2.0」相關工具適用性條件。

- i. 邊界監控：專案邊界坐標應嚴格按照規定進行測量和管理，並保存在 GIS 檔案中文件需要於專案期結束後至少保存兩年，為獲得有效、可靠的邊界資訊，監測團隊需使用 GPS 或其他可驗證的方法來驗證專案邊界，確定實際造林範圍。若實際邊界大於專案工程設計邊界，超出部分不計入專案工程邊界；若實際邊界小於專案工程設計邊界，專案工程邊界應以實際邊界為準。邊界有任何變化都必須通過 GPS 或適當的空間數據(例如衛星圖像)來定位。
- ii. 審查適用性清單：若邊界發生任何變化，監測小組應仔細檢查

適用條件的具體清單，紀錄每個監測週期的所有相關結果，若不符合適用條件，專家小組應評估情況並將偏差或方法變更提交 Verra 批准。本次監測期間，專案邊界未發生變化，也未發生不符合適用條件的情況。

監測所選碳庫之碳儲量變化，首次監測，若區域和邊界發生變化，則專案的碳分層需要更新。若碳層數量和面積發生變化，則需要重新計算樣區數量。本次監測期間，根據具體紅樹林樹種、種植密度和年份，將原有的 4 個地層進一步劃分為 13 個地層，樣區尺寸設置為 4m×4m 的矩形土地(植物密度:1m×1m、16m²)或 10m×10m(植物密度:2m×2m、100m²)。

專案選擇方法(a，通過測量樣區進行估算)進行監測，該方法根據樣區測量估算樹木碳儲量，抽樣設計採用分層隨機抽樣方法。樣區數量計算(Calculation of number of the sample plots) 最終樣區數量 n 為 36 個。

專案選擇固定面積樣區進行隨機採樣計算，測量樣區中超過最小尺寸的所有樹木，並估計每棵樹的生物量，將單棵樹的生物量相加，並將總和除以樣區面積，得到樣區生物量值。

專案採用的樹種均為鄉土樹種，包括紅樹科、非紅樹科、半紅樹三大類，監測期間，所有紅樹樹種的直徑均低於公式適用的直徑範圍，故參考 AR-TOOL14 (version 04.2) 附錄 1 估算樣區內樹苗的平均生物量。並進行樹木和灌木的碳儲量和碳儲量變化估算之監測。專案監測結果及溫室氣體淨排放移除量估算，如表 5.1-20 及表 5.1-21 所示。

表 5.1-20 海南文昌、昌江紅樹林復育專案監測結果

Strata <i>i</i>	Unit	Total	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13
<i>A_{PROJ<i>i</i>}</i>	ha	237.22	32.98	13.99	10.27	10.38	17.19	2.91	80.45	5.45	41.04	3.71	5.29	13.56
<i>w_i</i>	<i>i</i>		13.90%	5.90%	4.33%	4.38%	7.25%	1.23%	33.91%	2.30%	17.30%	1.56%	2.23%	5.71%
<i>w_i²</i>			1.93%	0.35%	0.19%	0.19%	0.53%	0.02%	11.50%	0.05%	2.99%	0.02%	0.05%	0.33%
<i>s_i</i> (preliminary samples)	tdm·ha ⁻¹	0.06	0.03	0.02	0.02	0.03	0.07	0.03	0.02	0.05	0.18	0.02	0.08	0.07
<i>s_i</i> (full samples)	tdm·ha ⁻¹		0.03	0.02	0.02	0.03	0.07	0.03	0.02	0.05	0.18	0.02	0.08	0.07
<i>s²_u/n_i</i>			0.0002	0.0001	0.0002	0.0002	0.0015	0.0002	0.0001	0.0008	0.0111	0.0002	0.0021	0.0016
<i>b_{TREE}</i> (preliminary samples)	tdm·ha ⁻¹	0.59	0.33	0.61	0.84	0.51	2.04	0.14	0.56	0.34	0.40	0.56	0.38	0.26
<i>Δb_{TREE}</i> (full samples)	tdm·ha ⁻¹	0.59	0.33	0.61	0.84	0.51	2.04	0.14	0.56	0.34	0.40	0.56	0.38	0.26
<i>E</i>	tdm·ha ⁻¹	0.06												
<i>t_{VAL}</i> (to calculate <i>n</i>)	<i>i</i>	1.645												
<i>t_{VAL}</i> (to calculate <i>u_{ΔC}</i>)	<i>i</i>	1.711												
<i>n_i</i>		2.45	0.16	0.05	0.05	0.05	0.21	0.01	0.22	0.05	1.38	0.02	0.08	0.17
<i>n_i</i>		36	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<i>u_{ΔC}</i>		5.51%												
<i>ΔC_{TREE}</i>	tCO ₂ ·ha ⁻¹		0.57	1.05	1.45	0.87	3.52	0.25	0.97	0.59	0.69	0.97	0.66	0.45
<i>ΔC_{TREE}</i>	tCO ₂	-242	-19	-15	-15	-9	-61	-1	-78	-3	-28	-4	-3	-6
<i>GHG_{WPS-soil,i,t}</i>	tCO ₂	-106	-	-26	-11	-	-44	-	-	-	-21	-3	-2	-

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

表 5.1-21 海南文昌、昌江紅樹林復育專案溫室氣體淨排放量/移除量估算

西元 (年)	基線排放或移除 估算 (tCO _{2e})	專案排放或移除 估算 (tCO _{2e})	洩漏排放 估算 (tCO _{2e})	溫室氣體淨減排量或 移除量估算 (tCO _{2e})
	<i>GHG_{BSL}</i>	<i>GHG_{WPS}</i>	<i>GHG_{LK}</i>	<i>NER_{RWE}</i>
2021	0	-2,449	0	2,449
2022	0	-3,807	0	3,807
2023	0	-4,114	0	4,114
2024	0	-4,216	0	4,216
2025	0	-4,318	0	4,318
2026	0	-4,420	0	4,420
2027	0	-4,523	0	4,523
2028	0	-4,625	0	4,625
2029	0	-4,727	0	4,727
2030	0	-4,829	0	4,829
2031	0	-4,829	0	4,829
2032	0	-4,829	0	4,829
2033	0	-4,829	0	4,829
2034	0	-4,829	0	4,829

西元 (年)	基線排放或移除 估算(tCO _{2e})	專案排放或移除 估算(tCO _{2e})	洩漏排放 估算(tCO _{2e})	溫室氣體淨減排量或 移除量估算(tCO _{2e})
	<i>GHG_{BSL}</i>	<i>GHG_{WPS}</i>	<i>GHG_{LK}</i>	<i>NER_{RWE}</i>
2035	0	-4,829	0	4,829
2036	0	-4,829	0	4,829
2037	0	-4,829	0	4,829
2038	0	-4,829	0	4,829
2039	0	-4,829	0	4,829
2040	0	-4,829	0	4,829
2041	0	-4,829	0	4,829
2042	0	-4,829	0	4,829
2043	0	-4,829	0	4,829
2044	0	-4,829	0	4,829
2045	0	-4,829	0	4,829
2046	0	-4,829	0	4,829
2047	0	-4,829	0	4,829
2048	0	-4,829	0	4,829
2049	0	-4,829	0	4,829
2050	0	-4,829	0	4,829
2051	0	-4,829	0	4,829
2052	0	-4,829	0	4,829
2053	0	-4,829	0	4,829
2054	0	-4,829	0	4,829
2055	0	-4,829	0	4,829
2056	0	-4,829	0	4,829
2057	0	-4,829	0	4,829
2058	0	-4,829	0	4,829
2059	0	-4,829	0	4,829
2060	0	-4,829	0	4,829
總計	0	-186,884	0	186,884

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

2. 維吉尼亞海岸保護區海草復育專案

「維吉尼亞海岸保護區海草復育專案 (VIRGINIA COAST RESERVE SEAGRASS RESTORATION PROJECT)」是由自然保護協會 (TNC) 的維吉尼亞州分會 (Virginia State Chapter) 管理和實施的專案。該專案主要目標是復育維吉尼亞海岸保護區 (Virginia Coast Reserve, 簡稱 VCR) 的海草床。

美國東岸 VCR 海濱地區是一個龐大而複雜的沿海海洋生態棲息地, 包括沼澤、潮汐河流、淺海灣和隔離島嶼 (barrier islands)。在 1930 年之前, 大葉藻科 (Eelgrass, *Zostera marina*) 作為一種原生海草, 廣泛分布於 VCR 的沿海海灣, 但在 20 世紀 30 年代初期, *Labyrinthula zosterae* (*L. zosterae*, 一種微生物) 大爆發以及 1933 年的 Chesapeake-Potomac 颶風的強大影響, 導致維吉尼亞沿海海灣大葉藻科的海草種群大規模死亡。

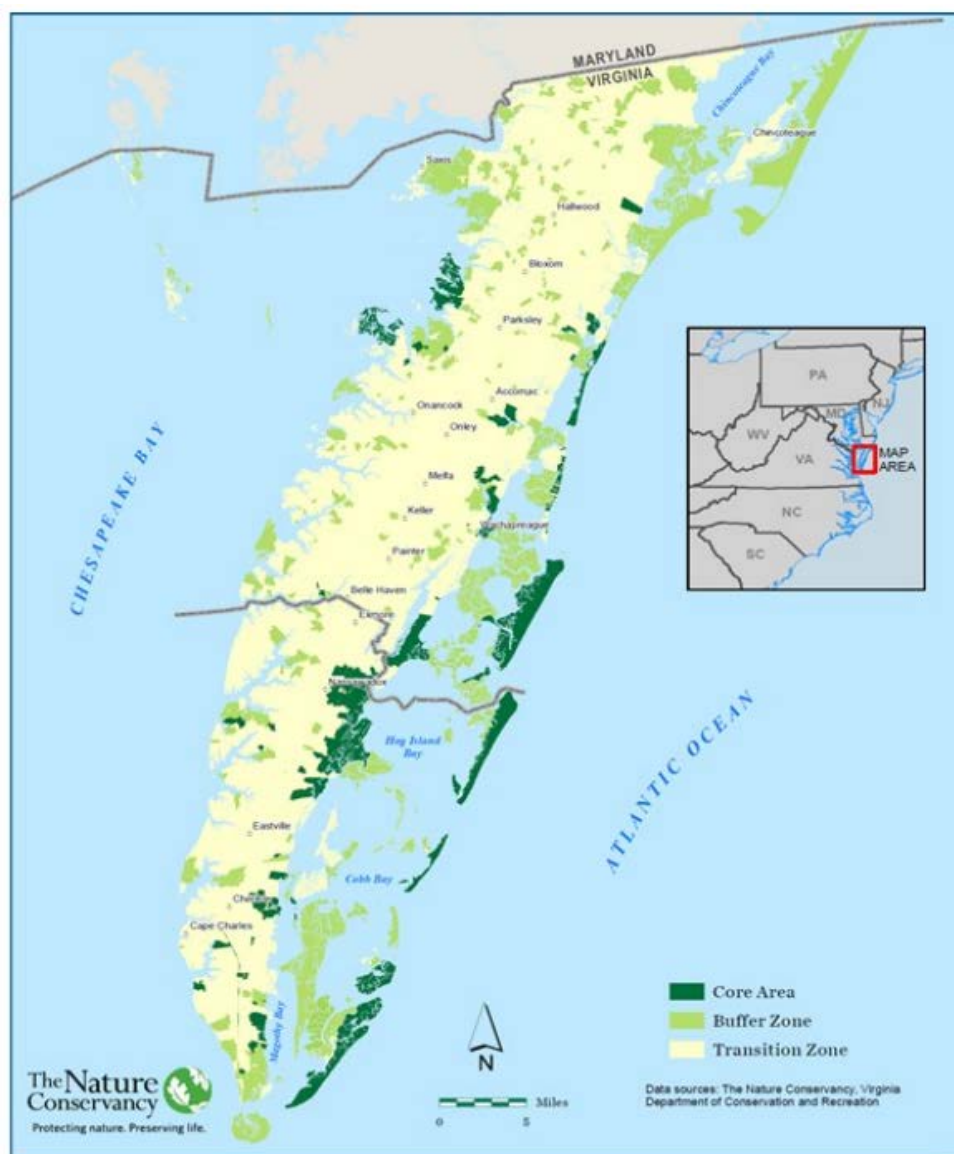
VCR 專案始於 2015 年, 期通過直接種植來復育 VCR 的海草床。直到 1990 年代末, VCR 沿海海灣中一直沒有海草床, 直到南灣重新出現小型自然大葉藻科, 顯示海草生長的條件已經回歸到 VCR。1999 年, TNC 和維吉尼亞海洋科學研究所 (Virginia Institute of Marine Science, VIMS) 開始在 VCR 進行大規模的大葉藻科復育工作。從 1999 年到 2014 年, TNC 和 VIMS 在 South, Cobb, Spider Crab 和 Hog Island Bays 種植了 185 公頃的大葉藻科種子, 加速了 VCR 沿海海灣中大葉藻科的自然擴散。

自 2015 年專案開始, 大葉藻科的復育工作已經最大程度地實現了自然復原, 繼續增加種子的添加是為了進一步擴大 VCR 沿海海灣中的海草覆蓋範圍。通過直接種植復育區域的數據顯示, 可生長面積比自然生長的分布更廣, 顯示繼續添加種子可使大葉藻科覆蓋面積達到 107 平方公里。在碳專案中, 將繼續進行直接種植復育區域, 以進一步擴大海草覆蓋範圍。

自執行 VCR 專案起, 維吉尼亞大學 (UVA) 和 VIMS 一直研究該專案, 探討擴大 VCR 海草覆蓋的長期影響以及海草床在減緩氣候變化方面的潛在作用。海草復育直接增加了沉水性植物 (SAV) 和海洋沉積物中的碳儲存, 增強了從大氣中去除溫室氣體 (GHG) 排放的效果。在 30 年的計入期內, 該專案活動估計將產生 40,486 噸二氧化碳當量的淨減排效益。

(1) 專案區域位置

該專案位於美國維吉尼亞海岸保護區，專案邊界於維吉尼亞東岸的沿海灣區域內實例占地約 7,787 英畝，如圖 5.1-6 所示，包括：位於維吉尼亞州諾桑普頓（Northampton County, Virginia）邊界約 8,500 英畝，包括：南至 Sand Shoal Channel，東至 Gull Marsh，西至 Elkins 和 Eckichy Marshes，北至 Gull Marsh 北端和 Crabbing Marsh 南端。其中，該專案排除了區域內私人租賃之貝類養殖區，約 712.74 英畝，及其臨近 200 英尺緩衝區。



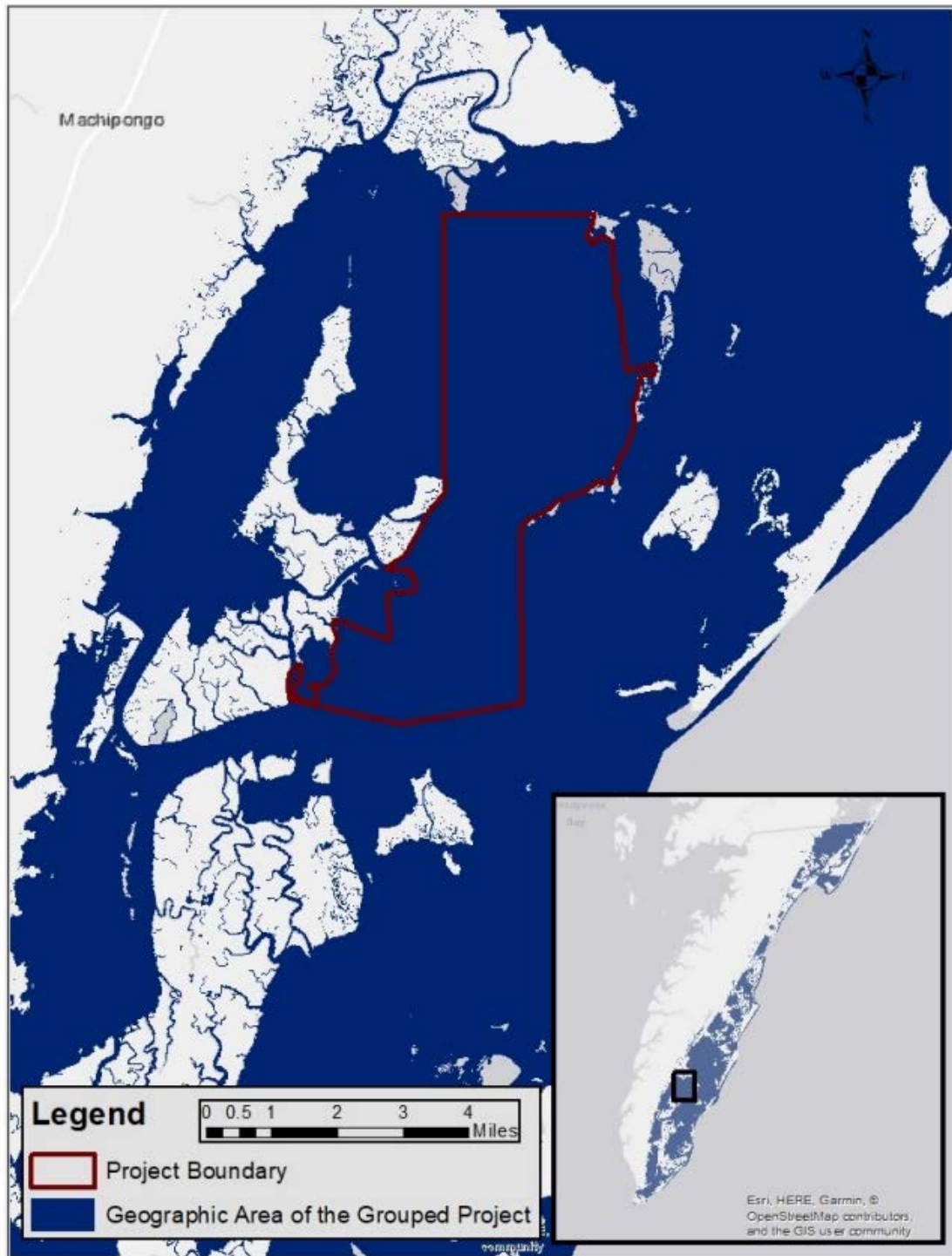


圖 5.1-6 維吉尼亞海岸保護區海草復育專案區域位置、邊界及範圍

資料來源：VCS-Project-Description_VCR_V4_20211203-FINAL，2022

(2) 永續發展目標

維吉尼亞海岸保護區海草復育專案實施，有助於實現如表 5.1-22 所示之 SDGs 目標。2018 年，美國永續發展報告提供了對 50 個州在永續發展目標方面的基線評估，發現在對抗由人類引起的氣候變化方面需要取得重大進展。儘管 2018 年的報告未評估 SDG 14 的進展，但海洋生態為國家永續發展的重要優先事項。

海洋的永續性對全球食品系統、生計和環境健康至關重要。然而，在美國的次國家級別監測海洋是具有挑戰性的。儘管沿海州可能更直接參與導致海洋資源惡化的產業，但內陸州的需求也推動了不可持續的海洋利用。由於這類複雜性的原因，故海洋資源主要在州際、國家和國際層面進行管理。

表 5.1-22 維吉尼亞海岸保護區海草復育專案實施之永續發展目標

目標	說明
	專案雖然有助於美國實現 SDG 13 和 SDG 14 的進展，但對於監測和報告方面沒有正式的規定。
	

資料來源：VCS-Project-Description_VCR_V4_20211203-FINAL, 2022

(3) 計畫期程

專案計算週期為 30 年，從 2015 年 10 月 7 日開始，至 2045 年 10 月 6 日結束。

(4) 溫室氣體移除量估算

專案估算與專案活動相關的復育區域，以及專案活動可歸因的非相

鄰海草床區域預計的未來面積。預計於 30 年內清除 27,902 噸二氧化碳排放量(tCO_{2e})，年均溫室氣體移除量為 930 噸(tCO_{2e})(如表 5.1-23 所示)。

表 5.1-23 維吉尼亞海岸保護區海草復育專案歷年溫室氣體移除量估算

年	溫室氣體 移除量估 算(tCO _{2e})	年	溫室氣體 移除量估算 (tCO _{2e})	年	溫室氣體 移除量估 算(tCO _{2e})	年	溫室氣體 移除量估 算(tCO _{2e})
0	0	8	580	16	957	24	1,482
1	0	9	636	17	1,012	25	1,551
2	0	10	684	18	1,075	26	1,627
3	6	11	732	19	1,137	27	1,699
4	113	12	782	20	1,205	28	1,773
5	229	13	823	21	1,271	29	1,853
6	467	14	870	22	1,339	30	1,151
7	525	15	913	23	1,410	-	-
溫室氣體移除量總計估算(tCO _{2e})							27,902
計算週期(年)							30
年均溫室氣體移除量							930

資料來源：VCS-Project-Description_VCR_V4_20211203-FINAL, 2022

(5) 專案邊界

專案邊界為維吉尼亞東岸的沿海灣區域內實例占地約 7,787 英畝。專案內每個專案活動實例的專案區域將根據重新種植的日期分層，以便在計量過程中應用適當的土壤 CO₂ 排放因子。鑒於海草在不同的光線和深度環境下可能有不同反應，應用方法允許區分出現在不同深度的海草床區域，前提是存在明確或相對突然的水深和底質變化。根據應用方法，監測專案時可以對分層進行事後修訂。另專案將排除專案開始前每個專案活動內的海草床區域。僅估算海草復育區域中種植種中所產生的新海草床。如果新海草床由自然擴展產生的，並與海草復育區域相鄰，則也將納入專案計算。若有復育海草床與現有海草床融合的情況下，則將劃定兩個海草床間的界線，並排除計算現有海草床。專案開始後於至少四

年內觀察到的非相鄰海草床區域也將被劃定估算。儘管種子密度在種植時通常距離源頭約 300 - 400 米，但透過 1990 年代觀察到來自於欽科提格海灣(ChinCoteague Bays)的大葉藻科海草種子重新出現在南灣，顯見海草種子的傳播距離極遠。此外，由復育種子產生的新海草床區域在估算上，非相鄰海草床區域的百分比，不得超過復育海草床面積相對於總海草床面積的比例。

在定義地理專案邊界和地層時，專案必須考慮預期的相對海平面上升以及向陸地擴展專案區域的潛力，以評估濕地遷移、淹沒和侵蝕的情形。根據 Wachapreague, VA (1978 – 2019, NOAA) 收集的經同行評審的發表數據確定，在專案區域，預測相對海平面上升率為每年 5.48 ± 0.60 毫米。然而，已觀察到在 VCR 的復育海草床中的地表增積速率約為每年 6.0 毫米。因此，由於復育海草床增加了地表堆積，預計專案區域在 100 年後的深度將保持在對大葉藻科建立和長期存活至關重要的範圍內，即 0.8 至 1.5 米 MSL。故預測專案區域內濕地邊界 100 年內保持不變。

對於量化減少 CO₂ 排放的專案，專案區域如果在專案開始後的 100 年內未實現累積碳損失的顯著差異 (≥5%) 則不符合條件，且必須對這些區域進行量測。由於該專案不量化 CO₂ 排放減少，僅量化 CO₂ 的移除，因此，不適用此要求。

(6) 碳庫

專案邊界內所包含和排除的碳庫，彙整如表 5.1-24 所示。

表 5.1-24 維吉尼亞海岸保護區海草復育碳庫的選擇與原因

碳庫	是否包含	原因/說明
地上部樹木生物量 (Aboveground tree biomass)	否	復育大葉藻科發生在沒有活樹木植被的水底地帶。
地上部非樹木生物量 (Aboveground non-tree biomass)	是	在基準情境中，碳庫的碳儲量可能會增加，在專案情境中可能會增加或減少。
地下部生物量	是	在基準情境中，必須包括地下部生物量。

碳庫	是否包含	原因/說明
(Below-ground biomass)		在專案情境中，地下部生物量可以包括，也可以謹慎地省略。
枯落物 (Litter)	否	對於 WRC 方法來說，碳庫是選擇性的。枯枝落葉只在與草本生物量的量化相關時間間接包括在內。
枯木 (Dead wood)	否	對於 WRC 方法來說，碳庫是選擇性的。
土壤 (Soil)	是	由於專案活動的實施，土壤有機碳儲量可能會增加。
木製品 (Wood products)	否	復育大葉藻科發生在水下底部，沒有活樹木植被存在。

資料來源：VCS-Project-Description_VCR_V4_20211203-FINAL, 2022

(7) 溫室氣體的來源

專案邊界內所包含和排除的溫室氣體，彙整如表 5.1-25 所示。

表 5.1-25 維吉尼亞海岸保護區海草復育碳庫的選擇與原因

	來源	氣體	是否包含	原因/說明
基線	微生物產生的甲烷	CH ₄	否	在基線情境中以保守方式忽略不計
	脫硝/硝化	N ₂ O	否	在基線情境中以保守方式忽略不計
	化石燃料使用	CO ₂	否	在基線情境中以保守方式忽略不計
		CH ₄	否	在基線情境中以保守方式忽略不計
		N ₂ O	否	在基線情境中以保守方式忽略不計
專案	微生物產生的甲烷	CH ₄	是	在專案情境中，低鹽度和淡水區域可能是潛在主要排放源。
	脫硝/硝化	N ₂ O	是	可能因專案活動而增加。
	化石燃料使用	CO ₂	是	在專案情境中，是潛在的主要排放源。該專案確認石化燃料的排放極小，請參閱文件第 4.2.5 節。
		CH ₄	否	在專案燃料使用中非重要排放源。
		N ₂ O	否	在專案燃料使用中非重要排放源。

資料來源：VCS-Project-Description_VCR_V4_20211203-FINAL, 2022

(8) 監測計畫

監測計畫包括獲取、紀錄、編製和分析監測數據和參數的過程和時間表。該專案將執行以下監測任務：

- 監測項目碳儲量變化和溫室氣體排放
- 估算事後淨碳儲量變化和溫室氣體排放

有關每個監測任務的描述，包括技術要求、測量參數、收集數據和數據收集技術、監測頻率、品質保證和品質控制（QA/QC）程序，以及資料儲存程序等說明如下。

- i. 海草床復育區域位置：每年透過 TNC 使用地理資訊系統(GIS) 進行每個專案活動實例中海草床復育區域位置和面積的紀錄和儲存。
- ii. 海草分布與密度：專案區域內海草床邊界至少每 5 年確定一次。TNC 使用地理資訊系統（GIS）來劃定和儲存沿海草床的邊界；每年由 VIMS 使用多光譜航空影像繪製的水下水生植物（SAV）分布和密度資訊，以利於劃定專案中包含的海草床邊界。調查作法包括定期航拍、繪製、地面調查、海草分布與密度資料的替代來源。
- iii. 以及每隔 5 年確定專案淨碳儲量變化和溫室氣體排放。

專案溫室氣體淨排放移除量估算如表 5.1-26 所示。

表 5.1-26 維吉尼亞海岸保護區海草復育專案邊界內預估減排量或移除量

專案年	日曆年	估計的基線排放量或移除量 (tCO ₂ e)	估計的專案減排量或移除量 (tCO ₂ e)	估計的洩漏量 (tCO ₂ e)	估計的 GHG 淨減排量或移除量 (tCO ₂ e)
0	2015	0	0	0	0
1	2016	0	0	0	0
2	2017	0	0	0	0
3	2018	0	6	0	6
4	2019	0	113	0	113

專案年	日曆年	估計的基線排放量或移除量 (tCO ₂ e)	估計的專案減排量或移除量 (tCO ₂ e)	估計的洩漏量 (tCO ₂ e)	估計的 GHG 淨減 排量或移除量 (tCO ₂ e)
5	2020	0	229	0	229
6	2021	0	467	0	467
7	2022	0	525	0	525
8	2023	0	580	0	580
9	2024	0	636	0	636
10	2025	0	684	0	684
11	2026	0	732	0	732
12	2027	0	782	0	782
13	2028	0	823	0	823
14	2029	0	870	0	870
15	2030	0	913	0	913
16	2031	0	957	0	957
17	2032	0	1,012	0	1,012
18	2033	0	1,075	0	1,075
19	2034	0	1,137	0	1,137
20	2035	0	1,205	0	1,205
21	2036	0	1,271	0	1,271
22	2037	0	1,339	0	1,339
23	2038	0	1,410	0	1,410
24	2039	0	1,482	0	1,482
25	2040	0	1,551	0	1,551
26	2041	0	1,627	0	1,627
27	2042	0	1,699	0	1,699
28	2043	0	1,773	0	1,773
29	2044	0	1,853	0	1,853
30	2045	0	1,151	0	1,151
總計		0	27,902	0	27,902

資料來源：VCS-Project-Description_VCR_V4_20211203-FINAL, 2022

3. Vanga 藍碳專案

「Vanga 藍碳專案 (The Vanga Blue Forest, VBF)」旨在阻止進一步森林砍伐和防止紅樹林退化，同時維持其提供的商品和服務，改善社區生計做出貢獻，以及專案在 20 年減少排放超過 93,077 噸的二氧化碳。

專案選擇 Vanga 紅樹林作為試驗範疇係因其擁有廣泛的自然資源，包括：紅樹林、陸地沿海森林、海草床、珊瑚和漁業，且當地社區對此些資源的分配與管理係屬當地治理結構管轄，其對於林業，已頒布《森林法》(2005 年)；對於海洋相關資源已於 2008 年頒布《漁業法》，該法允許社區透過制定當地參與性森林管理計劃 (PFMP) 來開發自然資源，而萬加已有經批准之 PFMP。在專案的碳抵換計算及規劃，則使用 VCS 提出之「VM0033：潮汐濕地和海草復育方法」、AR-Tool14，以及 IPCC(2013)發表之《國家溫室氣體清單指南：濕地》執行。

該地區過去的二十年間，紅樹林面積估計每年減少 1.2%，相當於每年損失 60 公頃的紅樹林，高於肯亞全國紅樹林消失的平均速率(0.7%)。Vanga 紅樹林的消失和轉變，其根本原因為人口的增加、當地居民的貧困狀況、治理不善與對紅樹林生態系統價值的認知缺乏，其中，治理不善的行為包含：非法採伐以及砍伐紅樹林以作為農業與人類居住區域。專案將透過 20 年結合社區生計活動的管理，減少 100,379 噸二氧化碳當量的排放，除了緩解氣候變化的效益外，預期在該地區發展多種社區和生物多樣性之效益，如：提升當地教育和衛生，以及增加漁業資源和恢復力等。

(1) 專案區域位置

VBF 專案位於肯亞(Kenya)南海岸的誇勒縣(Kwale County)(經緯度為：南緯 40° 39' 00"；東經 39° 13' 00")，當地跨域紅樹林係從肯亞希莫尼(Shimoni)延伸至坦桑尼亞(Tanzania)的坦噶(Tanga)，總面積約 5,000 公頃，當地將其劃分為：萬加(Vanga)、金博(Jimbo)、基韋古 (Kiwegu)、馬約雷尼 (Majoreni)和四伊(Sii)島。Sii 島為 Kisite Mpunguti 海洋保護區

的重要緩衝區，係因島上的生物多樣性和對當地漁業的貢獻而得名。部分大陸地區（Mainland）以及 Sii 島紅樹林被定義為專案區域，其位置、邊界及範圍如圖 5.1-7 所示。

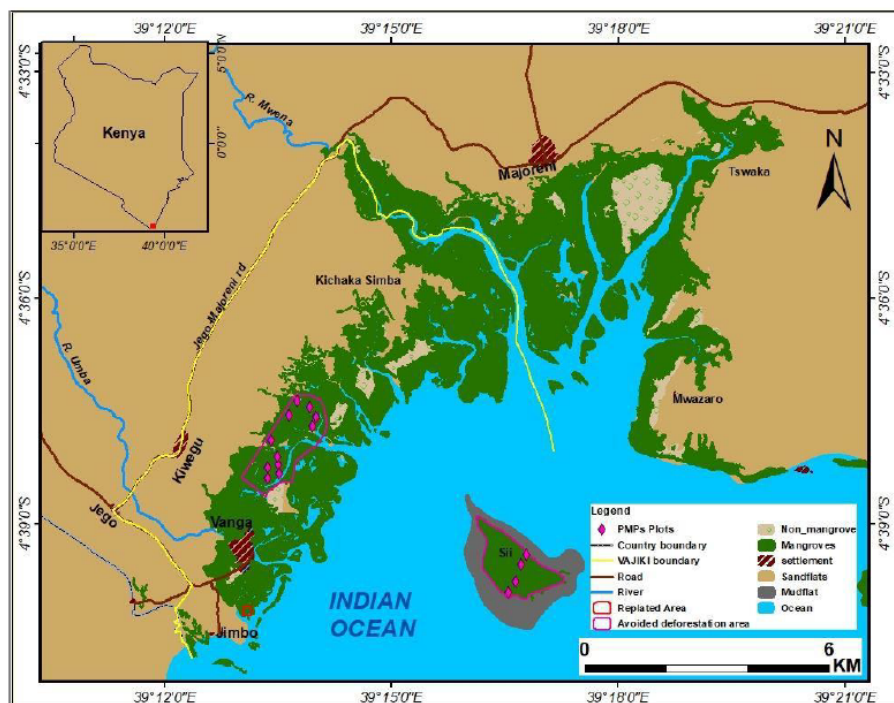


圖 5.1-7 VBF 專案區域位置與專案範疇

資料來源：<https://www.planvivo.org/vanga-documents>

(2) 永續發展目標

VBF 專案直接響應之聯合國永續持續發展目標(SDG)，包含：SDG 13(氣候行動)和 SDG 14(保育海洋及海洋資源)，間接響應 SDG 1(消除貧困)、SDG2(終止飢餓)、SDG 4(優質教育)、SDG 6(清潔飲水與衛生設施)、SDG 8(體面工作與經濟增長)，以及 SDG 15(陸地生態)，相關說明綜整於表 5.1-27。

表 5.1-27 VBF 實施之永續發展目標

直接響應之 SDG	綜合說明
	本專案之範疇包含兩部分，分別為大陸地區以及 Sii 島，宗旨為防止兩範疇內之既有紅樹林遭到濫伐，以維持紅樹林商品和服務的永續提供，並期望在 20 年內防止排放超過

	93,077 噸二氧化碳，且 Sii 島為海洋保護區的重要緩衝區，故亦納入維護島上生物多樣性之目標。
間接響應之 SDG	綜合說明
	本專案範疇內之紅樹林，預計可透過專案之執行保育 22.1 公頃(ha)之紅樹林免於濫伐，且預計一年之碳權銷售額為 35,133 美元，將用於支持當地居民教育、當地用水、公共衛生以及環境保護等方面之社區發展項目。本專案若成功落實，將產生碳匯外的效益，包括：增加漁業和其他生物多樣性、保護海岸線以及民生生計，例如：養蜂業、小規模農業和紅樹林生態旅遊觀光業等。
	
	
	
	
	

資料來源：<https://www.planvivo.org/vanga-documents>

(3) 計畫期程

VBf 專案的計入期為 20 年（即 2019 年至 2039 年）。這是 Plan Vivo 標準允許的最短期限，對於新的紅樹林森林成熟需要的時間大多數估計也是如此。

為避免森林砍伐，建議的期限被認為足以實現有意義的生態影響，有關

紅樹林生物多樣性和生態系統的復育，根據 Gazi Bay Mikoko Pamoja 的經驗，生物量和吸收方面的可量測變化需要 3-5 年，而樹根數量和人為干預跡象的變化則需要 1 年。

(4) 溫室氣體移除量估算

VBF 專案將從 Vanga 紅樹林總面積（4,428 公頃）中指定 460 公頃。專案區域將包括 450 公頃的避免砍伐，5.0 公頃的已建立紅樹林人工林和每年 0.25 公頃的新人工林/復育森林，為期 20 年。針對 1991 年至 2016 年間 Landsat 衛星影像分析顯示，Vanga 4,428 公頃的整體紅樹林覆蓋率估計每年損失 0.5%。預期將執行各項專案措施以提高 Vanga 紅樹林品質，恢復其完整性，減緩或停止紅樹林碳庫之損失。根據 IPCC 方法和指南（2003 年版）進行推估，VBF 專案每年的淨碳效益為 6,702 噸二氧化碳當量；若納入滲漏與其他風險評估後，每年的實際溫室氣體淨碳效益為 5,027 噸二氧化碳當量（表 5.1-28）。另目前表 5.1-28 呈現之數字僅為預測值，一旦執行專案措施，將可能會有所不同。

表 5.1-28 VBF 各專案措施預期每年淨碳效益總表

類型(活動)	專案面積 (ha)	基線排放 (t CO ₂ e/yr)	專案的減排量/ 移除量 (t CO ₂ e/yr)	碳洩漏 (t CO ₂ e/yr)	風險緩衝的扣 減-碳效益 20% (t CO ₂ e/yr)	淨碳效益 (t CO ₂ e/yr)
區域 1 避免 退化(Sii Island)	200	0	1,721	86	344	1,291
區域 2 避免 退化 (Mainland)	248	0	4,282	214	856	3,211
區域 1 避免 森林砍伐 (AGB)	200	0	53	2.65	10.6	40
區域 2 避免 森林砍伐 (AGB)	250	0	260	13	52	195
區域 1 和 2 避免森林砍 伐(土壤碳)	44	0	273	14	55	205

類型(活動)	專案面積 (ha)	基線排放 (t CO ₂ e/yr)	專案的減排量/ 移除量 (t CO ₂ e/yr)	碳洩漏 (t CO ₂ e/yr)	風險緩衝的扣 減-碳效益 20% (t CO ₂ e/yr)	淨碳效益 (t CO ₂ e/yr)
重新造林(區域 3, old stands in Jimbo)	5	0	102	5	20	77
生態復育區 (區域 4, new plantation)	0.25	0	11	1	2	8
總計(噸 CO ₂)					1,340	5,027

資料來源：<https://www.planvivo.org/vanga-documents>

(5) 專案邊界

專案邊界為肯亞(Kenya)南海岸，如圖 5.1-5 所示之 Sii 島（區域 1，200 公頃）與部分大陸地區（Mainland，區域 2，250 公頃），執行措施包括：

- i. 防止紅樹林退化/增加碳儲量（區域 1）
- ii. 維持紅樹林生態/避免退化（區域 2）
- iii. 重新造林（區域 3）
- iv. 恢復生態系統（區域 4）

(6) 碳庫

包含地上部生物量(Above Ground Biomass, AGB)、地下部生物量(Below Ground Biomass, BGB)和地下 1 m 的土壤碳，相關選擇原因說明如表 5.1-29 所示。

表 5.1-29 VBF 碳庫的選擇與原因

碳庫	計算	影響	評估與說明
地上部生物量 (包含活樹與死樹) (live and dead trees)	是	高	根據該區域已發布和本地化的相對關係式，可以輕鬆量化和監測。
地下部生物量(地下 60 公分以下之活根與死根) (live and dead roots down to 60 cm below ground)	是	中	根據已確定的芽：根比估算。紅樹林的根系生物量可高達地上部生物量的 50%。
地下 1 m 的土壤碳 (Soil carbon down to 1 m)	是	高	● 紅樹林生態系統； 占生態系統總碳儲量的 90%。 ● 小規模森林砍伐造成的沉積物碳損失基於 Lang' at 等人（2014 年）在專案區域附近進行的碳通量實驗。
枯木 (Dead wood)	否	低	這裡不計算死木碳，因為大部分倒下的木頭都是由社區收集用作柴火的。
枯落物 (Litter)	否	低	垃圾碳不包括在內，因為它會被螃蟹或潮汐清除； 並部分融入沉積物碳中。

資料來源：<https://www.planvivo.org/vanga-documents>

(7) 監測計畫

i. 關於監測方法選擇的說明：

(a) 永久樣區(Permanent Monitoring Plots, PMP)：專案參考源自 Gazi 的 Mikoko Pamoja 樣區數據，以使用配對設計檢測每個樣區的樹樁數量變化。並使用適當的相對關係式 (Allometric Equation, 源自肯亞對這些物種的研究)，根據對 PMP 中所有樹木的測量來估計生物量增加。

(b) 永久樣區外之活動：使用兩種方法監控這些樣區之外的活動，包括 (1)定期進行周邊巡邏和出入點觀察，森林偵察員將每週進行一次定性監測，並紀錄任何變化或入侵的跡象。(2)每五年執行一次冠層變化遙測（因需

KMFRI 專業工作人員的技術操作)，透過遙測來確認總冠層覆蓋度的變化。

ii. 社會經濟影響：VAJIKI 藍碳計畫的社會經濟影響監測為每年報告一次，並與基線進行比較。在監測過程中，將根據上一年實際的產出、成果和影響來評估專案的投入。結果將通過報告、簡報和演示等多種媒體提供給所有主要利益相關者和感興趣的各方，並用於討論次年之工作計畫以及由銷售碳權的優先社區計畫，這些收益是根據上一年工作專案的成功執行所獲得的。

iii. 環境和生物多樣性之影響：專案除了監測和評估生態系統服務的變化外，還將監測其他生物多樣性影響。每年需監測以更新紅樹林中魚類、軟體動物和腹足動物等動物群的豐富度和多樣性，並確定避免砍伐森林和重新造林活動區域的土壤增生和侵蝕率，其對於確定紅樹林生態系統功能的恢復以及評估專案目標是否實現至關重要。KMFRI 將透過其研究量能對社區進行有關環境和生物多樣性影響的參與式監測和培訓。監測結果將按照 Plan Vivo 指南每年報告一次。

iv. 海草：自願海草管理區(The Voluntary Seagrass Management Area, CMA)將根據海草觀察協議進行監測，該協議是一項全球科學、非破壞性、參與性海草評估和監測計劃，本監測調查每年進行一次。專案將對監測數據進行評估，以告知將海草保護和監測納入技術規範。ACES(Association for COastal ECOsystem Services) 作為專案協調員，積極從政策、財務和技術角度探索將海草納入 PES 專案的潛力，初步納入將使專案能夠探索將海草納入 PES 專案的後勤和財務可行性，並獲得充分認可碳或其他效益。若海草保護的初步實施可行且成功，技術規範的未來迭代可能會以更全面的方式納入海草藍碳。

v. 與社區共享監測結果並用於適應性管理：所有監測數據的副本將由 Vanga 計畫協調員集中保存，並開放給任何人檢查。主要監測結果（特別是樹樁數量、覆蓋度和生物量積累）的摘要將公開於專案永久展示板上，年度報告將由 VBF(Vanga Blue Forest)委員會共同撰寫並與 VBF 委員會充分討論。

(8) 監測計畫

本專案於 2019 年至 2039 年，目前已執行三年之監測計畫，其所產製之報告內容包含：最新現況、監測項目之數據、成本及效益等，目前最新年度 (2022 年) 監測報告之關鍵指標數據彙整如表 5.1-30，而碳效益總表彙整如表 5.1-31 所示。

表 5.1-30 VBF 關鍵指標數據報告

區域	森林屬性	面積 (ha)	2021 年測值	基線	評論	達到監測目標
1 (Sii 島)	地上部生物量 (AGB)(t dw)	361	294	261	AGB 出現大幅度增長，可能為去年低估所致；平均每個樣區的樹樁從 0.75 個增加到 2 個，亦可能是統計誤差，目前未發現樹木遭砍伐。	是
	樹樁數量	200	75	200		是
2 (大陸地區)	地上部生物量 (t dw)	84	78	75	AGB 增加，樹樁減少，其原因可能為每個區域的平均數量比 Sii 島大，導致統計誤差；目前觀察後並無發現樹木遭砍伐。	是
	樹樁數量	945	1136	1364		是
區域 3	樹樁數量	未知	未知	未知	考慮到其他目標，預計將從 2023 年開始執行監測。	否
區域 4	復育跡象	定性描述	未測得	每月 2 棵樹(面積覆蓋率 23%)	水文復育作為已開始，包含：建立了新的排水系統，並在苗圃中準備了超過 1,000 棵樹，以便在需要時進行種植	是

資料來源：<https://www.planvivo.org/vanga-documents>

表 5.1-31 VBF 專案年度報告碳效益總表

監測項目	指標及測量數據	效益(outcome)
門檻量測(Threshold measures)	樹樁計數	沒有明顯增加
	明顯砍伐的證據	沒有明顯砍伐的證據
避免退化(區域 1)	預設測值(Default measure)為每年	$199 \times 8.65 = 1,721$

監測項目	指標及測量數據	效益(outcome)
	每公頃 8.65 噸 CO ₂	
避免退化(區域 2)	預設測值(Default measure)為每年每公頃 17.3 噸 CO ₂	247.5*17.3 = 4,282
避免森林砍伐(ABG) (區域 1 和 2)	5 年透過衛星監測取得資訊；每年亦會執行實地調查和閾值測量，若滿足門檻，則每年得計 309 噸 CO ₂	309 噸 CO ₂
避免森林砍伐(土壤碳) (區域 1 和 2)	5 年透過衛星監測取得資訊；每年亦會執行實地調查和閾值測量，若滿足門檻，則每年得計 273 噸 CO ₂	273 噸 CO ₂
重新造林(區域 3)	樹樁計數和生長增量；每年將累積 102 噸 CO ₂	尚未量測
生態復育區(區域 4)	實現自然恢復的長期目標，每年 10.5 噸 CO ₂	本項工作為今年開始，減少 10.5 噸二氧化碳
總計(噸 CO ₂)	6,596	

資料來源：<https://www.planvivo.org/vanga-documents>

(五)、臺灣溫室氣體減量方法學背景

隨著 2015 年聯合國氣候變遷綱要公約(UNFCCC)第 21 屆締約國會議(COP 21)中通過《巴黎協定》(The Paris Agreement)，在 196 個締約國一致同意下，要求各國推動減碳措施以降低碳排放量，控制全球氣溫與工業革命前相比最多升溫 2°C 的範圍內。為達到全球長期目標，全球各國陸續訂出「國家自定貢獻(NDC)」，並制定碳稅、碳排放交易系統、效能標準與減量目標等各式碳管理政策。儘管臺灣並非聯合國會員亦於 2015 年主動提出了「國家自主貢獻」報告書，訂定於 2030 年溫室氣體排放量相對現況發展趨勢推估情境(Business As Usual，簡稱 BAU)減量 50%⁵之承諾目標⁶；於同年 6 月通過「溫室氣體減量及管理法」，明定 2050 年溫室氣體減量目標為 2005 年排放水準 50%以下。2022 年 3 月 30 日，由國家發展委員會(以下簡稱，國發會)發布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，說明將以四大轉型策略與兩大治理基礎推動淨零目標，其中四大轉型策略包括「能源轉型」、「產業轉型」、「生活轉型」與「社會轉型」等，兩大治理基礎則為「科

⁵ 50% 約為 214 百萬公噸二氧化碳當量。

⁶ 目標期間為 2021 年 1 月 1 日至 2030 年 12 月 31 日。

技研發」與「氣候法制」，以明確的策略與治理基礎推動臺灣落實淨零轉型目標；並於本年度 2023 年 2 月 15 日將「溫室氣體減量及管理法」修正為「氣候變遷因應法」，其重點納入 2050 年淨零排放目標、確立部會權責、增列公正轉型、強化排放管制及誘因機制促進減量、徵收碳費專款專用、增訂氣候變遷調適專章、納入碳足跡及產品標示管理機制，並強化資訊公開及公眾參與機制等。

在亞洲的各國企業，基本上可以依循「清潔發展機制」(CDM)以及「自願碳標準」(VCS)兩大方法在碳權市場進行掛牌交易。由於臺灣並非聯合國會員亦非《京都議定書》的規範國家(即《京都議定書》附件一所列締約方)，除了無法進行共同履行(Joint Implementation, JI)以及排放交易(Emissions Trading, ET)機制外，無法直接透過 CDM 進行碳權交易；除此之外，亦不受《巴黎協定》第六條規範，無法執行條文 6.2 的國家間減量交易，也無法參與條文 6.4 的碳權認證。然而，CDM 標準方法仍是現今國際上嚴謹性最高，亦為我國環境部認可之減量方法。從《京都議定書》公佈到至今，國內已有多位學者針對我國取得境外碳權、接軌國際碳權交易的方法進行了多元討論(莊與連，2011；莊，2012；陳，2012)。

為了因應國際淨零排放趨勢，積極因應全球環境情勢，創造臺灣轉型機會，民國 112 年 8 月 22 日環境保護署改制為環境部，整合事權擴增業務，系統性處理氣候變遷、資源循環、化學物質管理、環境品質管理及強化環境科研等五大環境議題，成立氣候變遷署、資源循環署、化學物質管理署、環境管理署等四個三級機關以及國家環境研究院⁷。為加速完善我國因應氣候變遷法制與組織，「氣候變遷署」業務執掌有關氣候變遷政策與法規、淨零排放路徑與國家階段管制目標政策、溫室氣體減量政策與法規、溫室氣體盤查…等規劃、研擬、推動、執行、協調及監督作為。以下針對近期環境部現行制度與法規進行說明。

1. 我國環境部現行制度與法規

要將碳匯轉為碳權，需符合監測、報告與驗證機制(MRV)，且碳權認證規則裡至少須包括制定者、申請者、輔導團隊、查驗單位等四個角色。就臺灣而言，制定者即為環境部。過去若欲取得抵換額度係依「溫室氣體抵換專案管理辦法」

⁷ 環境部簡介，<https://www.moeenv.gov.tw/page/5A0E27584B528FF5>。

規定辦理，然因應「氣候變遷因應法」公告，環境部重新檢視「溫室氣體抵換專案管理辦法」與過去的執行經驗，於民國 112 年 10 月 12 日發布「溫室氣體自願減量專案管理辦法⁸」（下稱自願減量辦法），旨在鼓勵事業及各級政府執行自願減量專案，期以讓減量專案者透過取得減量額度後進行移轉或交易，形成減量誘因機制，以促進淨零排放目標之達成。

自願減量辦法規範事業或各級政府向中央主管機關申請自願減量專案，應依規定格式將指定資料上傳至指定資訊平台，並檢具申請書向中央主管機關提出申請，取得註冊，其中，事業或各級政府若使用之溫室氣體減量方法經中央主管機關指定為應確證者，則應檢附查驗機構出具之確證總結報告。即使用無指定確證方式之溫室氣體減量方法，因減量措施技術成熟、減量計算簡易明確，故而明文簡化其自願減量專案之申請資料。

然而，針對藍碳這類新興碳匯議題，技術尚未成熟、減量計算不易者，若欲申請抵換專案，而標的專案為引用 CDM 減量方法學，且各項條件均適用於該專案，可加以翻譯後直接引用該方法學進行抵換專案之申請；若 CDM 減量方法學適用條件不適用於標的專案，或引用非 CDM（如 VCS 機構）之減量方法學，則需申請新減量方法學。

依據自願減量辦法第十九條，事業或各級政府向中央主管機關申請審定新溫室氣體減量方法或既有溫室氣體減量方法修訂，應上傳 1. 室氣體減量方法草案、2. 差異對照表與說明（既有溫室氣體減量方法修訂需提供）、3. 溫室氣體減量方法草案應用範例、4. 其他經中央主管機關指定文件至指定資訊平台，並檢具申請書向中央主管機關提出申請，交由中央主管機關進行審議。另根據第十二條規範，中央主管機關可於必要時，指定溫室氣體減量方法中減量措施或減量成果之確證或查證方式。根據本計畫研析之減量方法學「CDM AR-AM0014」與「Verra VM0033」，因並非完全符合本土適用條件，因此，將會需要提送減量方法學（草案）與應用範例等相關資料上傳至指定資訊平台，交由環境部審議，以利未來申請抵換專案之使用。

⁸ 溫 室 氣 體 自 願 減 量 專 案 管 理 辦 法 ，
<https://gazette.nat.gov.tw/egFront/detail.do?metaid=143986&log=detailLog>

本計畫彙整過去「溫室氣體抵換專案管理辦法」與「溫室氣體自願減量專案管理辦法」申請流程如圖 5.1-8。主要分為註冊申請與額度申請兩個主要程序，在減量方法學之運用上，需於撰寫抵換專案計畫書時優先研析其可適用性，並在註冊申請通過後，依據該減量方法學進行監測與提出相關監測報告書，始得申請減量額度。

「溫室氣體抵換專案管理辦法(民國 107 年 12 月 27 日)」

- 一、申請書。
- 二、查驗機構出具之計畫型抵換專案確證總結報告。
- 三、經確證之計畫型抵換專案計畫。
- 四、未向其他國內外機關（構）重複申請減量額度文件。
- 五、其他經中央主管機關指定文件。

符合微型規模之計畫型抵換專案，外加性分析得僅分析法規外加性。

申請者上傳資料，
註冊申請(第7條)

- 不得申請：(第4條)
- 一、已申請再生能源憑證者。
 - 二、屬本法第16條第1項公告之排放源且溫室氣體年排放量平均達2.5萬公噸二氧化碳當量以上者。

中央主管機關審查
(第8條)

設溫室氣體減量成效
認可審議會(第20條)

完成註冊者

- 一、申請書。
- 二、查驗機構出具之查證總結報告。
- 三、經查證之監測報告書。
- 四、溫室氣體減量無重複計算之相關證明。
- 五、其他經中央主管機關指定文件。

申請者上傳資料，
減量額度申請(第9條)

申請者上傳資料，
開立排放源帳戶(第5條)

中央主管機關審查
(第10條)

中央主管機關審查
(第6條)

審查通過

審查通過

減量額度之用途(第21條)：

- 一、國內排放源自願減量之抵換。
- 二、相關法規溫室氣體減量承諾之抵換。
- 三、其他經中央主管機關認可之用

依據減量成效換算、
核定減量額度(第19條)

核撥

開立排放源帳戶
(第18條)

(1)計畫型抵換專案申請者

「溫室氣體抵換專案管理辦法(民國 107 年 12 月 27 日)」

- 一、申請書。
- 二、查驗機構出具之方案型抵換專案確證總結報告。
- 三、經確證之方案型抵換專案計畫書及子專案計畫書各一份(具備一致性)。
- 四、未向其他國內外機關(構)重複申請減量額度文件。
- 五、其他經中央主管機關指定文件。

符合微型規模之方案型抵換專案，外加性分析得僅分析法規外加性。

申請者上傳資料，
註冊申請(第11條)

不得申請：(第4條)

- 一、已申請再生能源憑證者。
- 二、屬本法第16條第1項公告之排放源且溫室氣體年排放量平均達2.5萬公噸二氧化碳當量以上者。

中央主管機關審查
(第12條)

設溫室氣體減量成效
認可審議會(第20條)

完成註冊者

- 一、申請書。
- 二、查驗機構出具之查證總結報告。
- 三、經查證之監測報告書。
- 四、溫室氣體減量無重複計算之相關證明。
- 五、其他經中央主管機關指定文件。

申請者上傳資料，
減量額度申請(第13條)

申請者上傳資料，
開立排放源帳戶(第5條)

中央主管機關審查
(第14條)

中央主管機關審查
(第6條)

審查通過

審查通過

減量額度之用途(第21條)：

- 一、國內排放源自願減量之抵換。
- 二、相關法規溫室氣體減量承諾之抵換。
- 三、其他經中央主管機關認可之用

依據減量成效換算、
核定減量額度(第19條)

核撥

開立排放源帳戶
(第18條)

(2)方案型抵換專案申請者

「溫室氣體自願減量專案管理辦法(民國 112 年 10 月 12 日)」

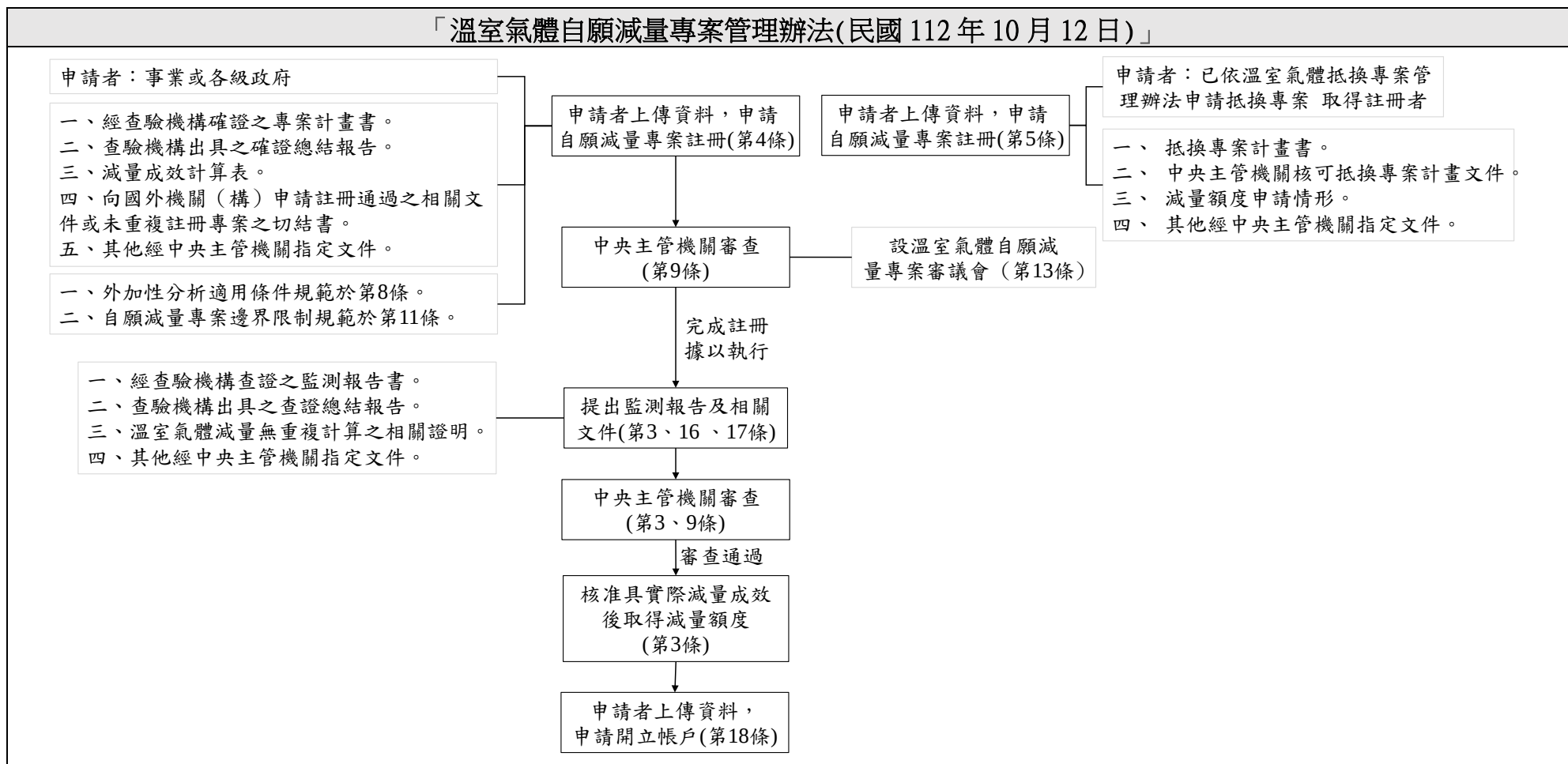


圖 5.1-8 環境部溫室氣體抵換專案流程

資料來源：本計畫蒐整。

(六)、 臺灣發展藍碳抵換的建議或藍碳減量專案規劃

針對本報告研析內容，使用 SWOT 分析國內發展濱海藍碳之溫室氣體自願性減量專案的優勢(strength)、劣勢(weakness)，以及市場中的機會(opportunity)與威脅(threat)，並針對結果提出未來發展方向或解決方案。SWOT 分析(SWOT Analysis)即態勢分析法，20 世紀 80 年代初由美國舊金山大學的管理學教授韋里克提出，適合用於擬定長期組織策略的管理工具；由於其簡單性，自模型開發以來持續在業界和學術界中使用(Ghazinoory and Azadegan-Mehr, 2011)。

- 優勢(strength)：
 - (1) 台灣地理與生態環境具發展藍碳的優勢。
台灣濱海具有被稱為藍碳生態系的紅樹林、海草床及潮汐鹽沼等沿海植被生態系統。
 - (2) 藍碳具市場吸引力。
藍碳具有固碳量大、效率高、儲存時間長等特點，除專案本身碳權價值外亦具有生態系統服務功能。
 - (3) 藍碳的初步資源資料。
臺灣學者及政府已具有初步海草床、紅樹林及潮汐鹽沼生態系之資源資料。
- 機會(opportunity)：
 - (1) 預計未來自然碳匯的需求量會擴大。
World Bank(2023)指出以自然為本的林業和土地利用活動之碳信用越來越受關注，其中新註冊專案的 54% 屬於為林業和土地利用活動類別，因此被認為未來有擴大供應的潛力。
 - (2) 各政府單位配合國家 2050 淨零政策積極透過相關計畫進行研發與提出障礙性上政策的輔助。
此處所指之障礙性，是指藍碳專案活動可能面臨的所有障礙，包含如投資、技術、社會狀況、土地所有權等方面的障礙。這些障礙會降低專案申請者執行專案的意願，但同時也能成為評估專案是否具有外加性的依據，即障礙分析 (Barrier Analysis)。
- 威脅(threat)：
 - (1) 碳洩漏。
自然之氣候變遷、人為之環境干擾等因素可能直接造成濱海藍碳碳匯的溫室氣體排放。以氣候變遷而言，海平面上升、極端氣候等問題都可能造成藍碳生態系的影響，例如 Chen and Lin(2022)指出海平面上升及極端降雨將影響海岸環境，進一步影響海草床物種組成，而影響到海草碳匯速率；海草葉片長度及植株密度也容易受到水位等環境條件限制(陳，民 110)。
 - (2) 碳交易的潛在風險，如漂綠、碳權詐騙。

- 劣勢(weakness)：
 - (1) 供給量不明確：藍碳生態系截止至 2023 年 7 月，尚未納入國家溫室氣體排放清冊，代表藍碳棲地規模尚無法確定、能提供給市場之供給量有限。
 - (2) 技術層面：監測相對綠碳困難、缺乏專業人員執行專案、缺乏藍碳相關之溫室氣體自願性減量方法學、碳匯相關專案缺乏可驗證機構、缺乏再利用價值方案。
 - (3) 資料層面：缺乏本土排放係數。
 - (4) 資金成本：專案執行成本可能相對較高、濱海藍碳尚缺乏經濟價值與再利用價值。
 - (5) 除濱海藍碳之外，其他海洋藍碳在外加性或專案邊界等證明與規劃尚具有挑戰性。
 - (6) 法律規範：我國海洋空間規劃之法律《海域管理法》草案尚未完善，海域空間之使用可能產生爭議。《海域管理法》第六條「海域功能區之劃設」分為 16 項，但藍碳專案之歸類是否屬於「二、環境保護之需要」、「三、海洋生物資源之保育」、「九、自然與文化資產之保存」或是「十一、其他公共利益之需要」尚不明確。

-	優勢（strength）	劣勢（weakness）
-	台灣地理與藍碳生態環境	截止至 2023 年 7 月，尚未納入國家溫室氣體排放清冊，藍碳棲地規模尚無法確定、能提供給市場之供給量有限
-	具市場吸引力：藍碳具有固碳量大、效率高、儲存時間長等特點，除專案本身碳權價值外亦具有生態系統服務功能	技術層面、資料層面的障礙性都會使專案執行成本與難度相對較高，且濱海藍碳尚缺乏經濟價值與再利用價值
-	臺灣學者及政府已具有初步海草床、紅樹林及潮汐鹽沼生態系之資源資料	法律規範的完整性，如：《海域管理法》草案尚未完善
機會（opportunity）	SO（優勢＋機會） 運用優勢發展更多機會	WO（劣勢＋機會） 降低劣勢增加機會
預計未來自然碳匯的需求量會擴大	- 經由碳權交易所之教育宣導，讓有興趣的申請者更了解自願性減量專案與其申請方式 - 透過計畫定期追蹤國有藍碳面積變化 - 結合 SDGs、ESG、生態系統服務價值，以提高對專案之附加價值	- 盤點我國公有及私有藍碳棲地面積、彙整現有棲地資料，掌握供給量 - 透過政府計畫有助於障礙性之輔助（包含如：培訓專業執行人員、驗證機構，建構本土方法學、排放係數，並持續發展海洋碳匯之負碳技術與再利用技術等），能降低申請者成本並提高意願
各政府單位配合國家 2050 淨零政策積極透過相關計畫進行研發		
威脅（threat）	ST（優勢＋威脅） 運用優勢避免或抵禦威脅	WT（劣勢＋威脅） 降低劣勢避免威脅
潛在風險，如漂綠、碳權詐騙	自然碳匯可考量建立碳信用緩衝庫（carbon credit buffer pool）概念，即部分比例碳權不可用於交易，以預防自然或人為洩漏	可參考國外經驗，建立完善的法律規範與制度，保障參與者的權益（包含如：海洋功能區劃應考量入藍碳專案、公有地使用權等）
碳洩漏：自然之氣候變遷、人為之環境干擾等因素可能直接造成濱海藍碳碳匯的溫室氣體排放		

3. 蒐集國內外海洋碳匯量測技術及我國碳匯實地調查有關文獻，至少須包含紅樹林、海草床及鹽沼等藍碳種類

濱海藍碳(紅樹林、海草床及潮汐鹽沼)是公認的碳匯(Howard et al., 2014)，植物體、死有機質及土壤為三種最基本的碳匯測量項目。本章節將彙整藍碳碳匯研究，並簡介基礎碳匯項目的量測技術，並且描述植物體碳庫的不同量測方式、分辨土壤碳庫自源性及異源性有機碳的方式等。進一步討論其他濱海藍碳的碳匯效益及影響因素，例如量化總鹼(total alkalinity, TA_{alk})輸出對海洋固碳的可能貢獻(Reithmaier et al., 2021)、量化碳酸鈣生成對藍碳碳匯可能的效益抵銷等(Van Dam et al., 2021)。

(一)紅樹林碳匯量測技術

1.紅樹林碳庫量測

臺灣紅樹林碳匯量測研究，使用碳收支技術計算各碳庫間的轉換通量，例如植物體生長有多少比例成為枯落物並於現地分解後形成土壤有機碳(吳，民 110；Li et al., 2018)或是死細根分解對土壤碳埋藏的貢獻(周，民 110；Chou et al., 2022)。目前所計算出來的紅樹林植物體及土壤碳儲量年增加量總和為水筆仔 25.07 t C ha⁻¹ yr⁻¹、海茄苳 12.81 t C ha⁻¹ yr⁻¹、欖李 17.45 t C ha⁻¹ yr⁻¹和五梨跤 13.37 t C ha⁻¹ yr⁻¹(吳，民 110；周，民 110；Li et al., 2018；Chou et al., 2022)。碳收支的優點是可以用較低的成本釐清紅樹林沉積物中自源性的碳埋藏貢獻，但無法得知沉積物的沉積速率及外源性碳埋藏的貢獻。

根據 Gu et al.(2022)紅樹林植物體淨生產力(NPP)在國際上常用的測量方法有以下 3 種：枯落物產量及生長量加總法(the litterfall plus incremental growth method, LG)、光衰减/氣體交換監測法(the light attenuation / gas exchange method, LA)和液流測量法(the sap flow method, SF)比較了 3 種方法並建立轉換模型，以利不同方法間的比較。

- 枯落物產量及生長量加總法(LG)：攔截枯落物並使用異速生長方程式估算林木增加之生物量，最廣泛且公認為最準確之方法，也是臺

灣紅樹林最常用的方法，但很難獲得較小時間尺度的連續數據

- 光衰減/氣體交換監測法(LA)：測量冠層葉片光反應曲線，因此僅計算光合作用，未計算呼吸作用，會導致 NPP 高估，但可精準快速得反應季節差異
- 液流測量法(SF)：測量樹液流參數及同位素，以推估 NPP，此方法成本高，易受高鹽度及濕度限制

在土壤碳儲量量測的方法中，以土壤碳庫差分法(Soils carbon stock difference method)及地表高程變化法(Surface elevation change method)較為常見，並且量化的結果可以包含紅樹林自源性、異源性及土壤沉積物累積和侵蝕的綜合影響。2 種方法的計算方式及比較如下：

- 土壤碳庫差分法：於兩個時間點分別採集土芯樣本並計算及有機碳含量(建議採集深度為 1 m)，再將兩個時間點有機碳含量相減，即可得到土壤有機碳儲量變化量。此方法成本較低，但精度也較低。可搭配地表高程變化量進行修正(Howard et al., 2014)。
- 地表高程變化法：利用直達母岩層地表高程監測系統(surface elevation table, SET)量化沉積物高程變化，計算表層沉積物有機碳儲量變化率。此方法精度較高，但架設 SET 所需技術較難及成本較高，因此建議選定代表性樣點測量地表高程變化量，鄰近地區參照代表性樣點之地表高程變化量數據即可(中華人民共和國福建省質量技術監督局，民 112)。

根據國際紅樹林碳匯的研究，也有提出依照紅樹林樹齡區分樣區的實驗設計，因為紅樹林植物體碳吸存及土壤有機碳儲存量在不同樹齡間有顯著差異(Azman et al., 2023)。

2. 紅樹林其他碳匯效益量測

溫室氣體的排放會抵消紅樹林碳匯效益。臺灣研究參照主流做法，利用密閉照蓋法測量紅樹林土壤的溫室氣體排放(甲烷及氧化亞氮)，此方法也能應用在紅樹林樹幹及漲潮後水體的溫室氣體測量(楊，民 112；Lin et al., 2020；Lin et al., 2021)。

在紅樹林側向運輸方面，臺灣研究以量化潮汐輸出及輸入的 POC 及 DOC 為主，透過漲潮前中後的水體顆粒性有機碳(POC)及溶解性(DOC)濃度計算而得(吳，民 110；Li et al., 2018)。國際上的紅樹林碳匯研究趨勢，逐漸關注到藍碳系統輸出的溶解性有機碳(DOC)一部份將成為難以分解得形式存在海洋水層中(Middelburg, 2018)。同時部分溶解性無機碳(DIC)會成為總鹼流向海洋，增加海洋吸收大氣二氧化碳的能力(Saderne et al., 2021)，在 Reithmaier et al.(2021)也提出透過二硫化鐵生成量推算紅樹林總鹼生成的技術。

(二)海草床碳匯量測技術

1. 海草床碳庫量測

臺灣海草床碳匯研究在植物體碳吸存上使用戳針標記法或綁線法，測量單位時間新增的地上部生物量，即海草葉片生產力(Short and Coles, 2001)。戳針標記法用在帶狀葉片的海草物種，綁線法用於卵圓形葉片之海草物種，同時綁線法也能適用於所有海草物種的地下部生物量生產力(Short and Coles, 2001)。其中，值得注意的是海草床地上部的周轉是三大濱海藍碳中最快的，例如臺灣研究指出海草地上部碎屑高達 68%會向外輸出(邱，民 103；Chiu et al., 2013)。此外，海草葉片長度及植株密度也容易受到水位等環境條件限制(陳，民 110)，所以海草地上部生物量很難像紅樹林一樣成為長期碳庫。因此，澳洲國家溫室氣體清冊計算長期碳庫變化量時，海草地上部生長量就忽略不計(Australian Government, 2021)。不過海草地上部生物量是海草床生態系健康的重要指標，也可以用來估算地下部生物量，因此仍在碳

匯量測上有重要意義。例如，Stankovic et al.(2021)就發展出海草覆蓋度計算海草床各碳庫碳儲存量的經驗公式，利用海草床覆蓋度估算地上部生物量，再從地上部生物量依序測量地下部生物量及土壤有機碳儲存量。

一般海草床土壤碳儲變化量的測量方式，仍然較常使用土壤碳庫差分法及地表高程變化法，概念及操作如同本節紅樹林所描述方式。在亞潮帶海草床的土壤碳庫差分法土芯樣本採集因為水下操作環境，須更加注意避免土芯滑落，建議可使用土芯捕捉器(Core catcher)(Howard et al., 2014)，同時也須特別注意土芯壓縮效應及相應校正計算(Howard et al., 2014)。在臺灣墾丁潮間帶海草床則使用營釘紀錄長期底土深度變化，加上土壤有機質含量及有機碳含量百分比資料，即可計算出海草床土壤碳儲變化量(鄒，民 110；Zou et al., 2021)。此方法適用於沉積物深度小於 0.3 m 的潮間帶海草床，屬於地表高程變化法。另外，在歐洲也有使用震波測量海草床沉積物深度的方法(del Mar Otero, 2021)。

目前臺灣海草床碳匯排放係數之估算，植物體碳吸存以戳針法及綁線法為主(鄒，民 110；林與陳，民 111；Zou et al., 2021)，並且依照棲地類型及物種個體大小區分成泰來草(沙質地後期演替型)、單脈二藥草(沙質地早期演替型)、甘草(泥質地早期演替型)和貝克氏鹽草(泥質地早期演替型)四種代表類型(林與陳，民 111)。目前所計算出來的海草床植物體及土壤碳儲量年增加量總和為泰來草 $2.93 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、單脈二藥草 $5.15 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、甘草 $6.22 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 和貝克氏鹽草 $4.78 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，東沙島亞潮帶海草床為 $14.73 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ (林與陳，民 111；Huang et al., 2015)，其中泰來草及單脈二藥草土壤碳儲量年增加量是以地表高程變化法計算(林與陳，民 111)，甘草及貝克氏鹽草是以土壤碳庫差分法計算(林與陳，民 111)。

在臺灣墾丁潮間帶海草床的海草地下部分解實驗，已透過收支法的概念釐清海草床沉積物有機碳的自源性貢獻比例(鄒，民 110；Zou et al., 2021)。在濱海藍碳生態系中可以透過收支法及土壤碳庫差分法，用最低成本的方式評估自源性及異源性有機碳通量。其餘評估土壤有機碳來源的技術包含同位素及 eDNA(Wesselmann et al., 2021；Dahl et al., 2023)，這 2 種方法雖然成本較高，但分辨有機碳來源的精度也較高，除了能分辨陸源性有機碳，

甚至能分析出由大型藻類貢獻的有機碳(Dahl et al., 2023)。

2. 海草床其他碳匯效益量測

在海草床溫室氣體測量的研究中，多以密閉照蓋法進行，海草床的甲烷排放量是所有濱海藍碳生態系中最少的(林與陳，民 111)。在國外研究另有使用渦流協方差法，在水域封閉、碳酸鈣生成較多的海草床中架設通量塔測量總體棲地的二氧化碳通量，結果顯示海草床生態系中其他生物的鈣化作用可能抵銷海草床的碳匯功能(Van Dam et al., 2021)。在臺灣中觀生態池的研究中，也有發現海草能提升珊瑚鈣化的能力。不過，在東沙島海草床的研究中也指出海草根圈分泌的酸性物質能促進碳酸鈣沉積物溶解成總鹼，提升海洋吸收大氣二氧化碳的能力(Chou et al., 2021)。因此，海草床的碳酸鈣生成及總鹼釋出將會是藍碳碳匯研究的下一個重要課題。

(三) 潮汐鹽沼碳匯量測技術

潮汐鹽沼植物體碳吸存速率的量測方法有兩種，收割法及異速生長方程式法(Howard et al., 2014)。收割法是採集不同時間點的地上部及地下部生物量，將兩個時間點的生物量差值視為生長量(Howard et al., 2014)。優點是短期內的調查(如一年度)採樣數量較少，對棲地干擾較低；缺點是誤差較大，若測量季節間的生產力，較容易受物候影響。建議兩次採集時間可間隔一年，比較同個季節下的生物量。異速生長方程式法是先記錄樣框中的鹽沼植物的莖幹數量及植株高度，並採集樣框中的鹽沼烘乾秤重，每物種至少 50 株，建立各鹽沼物種異速生長方程式，後續即可用莖幹數量及植株高度計算單位面積的鹽沼生物量(Howard et al., 2014)。在前期對棲地干擾較大，需依照不同氣候帶、棲地類型及不同物種，建立各自的異速生長方程式，才能更精準量化。在量化溫室氣體排放方面，也有文獻建立利用土壤鹽度預測鹽沼甲烷排放的迴歸式(Poffenbarger et al., 2011)。不過，也有文獻指出藍碳甲烷排放變異大，部分鹽度 >18 psu 的環境下，仍有很多的甲烷排放

(Needelman et al., 2018)。因此，建議仍需對當地有基礎的甲烷排放調查，例如測量過國家代表性藍碳棲地的甲烷排放，以免直接使用公式而產生較大的誤差。

臺灣潮汐鹽沼主要為雲林莞草、鹽地鼠尾粟、蘆葦及外來種的互花米草，其餘較屬於濱海植物的耐鹽性草生地植物。目前已將高美濕地作為代表性樣點，量化潮汐鹽沼物種的植物體及土壤碳儲存的年變化量總和，分別為雲林莞草 $3.45 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、鹽地鼠尾粟 $6.58 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、蘆葦 $5.80 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 和互花米草 $24.33 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ (林與陳，民 111)。在臺灣的潮汐鹽沼土壤碳匯計算是使用土壤碳庫差分法(林與陳，民 111；Lee et al., 2015)，之後也能規劃使用地表高程變化法進行更精確的量測。在臺灣潮汐鹽沼的甲烷通量測量結果顯示，越大型的鹽沼物種是越良好的氣體通道，甲烷透過潮汐鹽沼的排放量可能會高於紅樹林沉積物的甲烷排放量(林與陳，民 111)。

近年國外的潮汐鹽沼碳匯研究指出潮汐鹽沼的距海遠近，會影響潮汐鹽沼沉積物的有機碳來源，越靠近陸地的潮汐鹽沼沉積物會有較多的有機碳含量；越靠近海洋的潮汐鹽沼沉積物會有更多海洋藻類形成的有機碳以及其他海洋生物形成的碳酸鈣(Gorham et al., 2021；Mueller et al., 2023)。此外，利用碳同位素分辨潮汐鹽沼的有機碳來源，鄰近潮上帶植物貢獻的有機碳也會較難與潮汐鹽沼的自源性有機碳做區分(Gorham et al., 2021)。在不同潮位之間，也發現浸淹時間及波浪影響鹽沼生物量及分解，低潮位的生物量分解後容易隨波浪累積在高潮位，或往海洋輸出(Ostermann et al., 2021)。另一方面，靠近海洋的潮汐鹽沼與鄰近海洋生態系統的碳酸鈣相關作用，也是尚待更多研究釐清(Perera et al., 2022)。在藍碳棲地間的交互作用也是較少被提到的部分，根據 Huxham et al. (2018)彙整，潮汐鹽沼及紅樹林可以幫海草床攔截沉積物及吸收陸源性的營養鹽污染，因此可以降低海草床的濁度和避免海草床藻類過多；而海草床及紅樹林也能抵銷波浪，保護高潮位的鹽沼及底質碳埋藏。

而遙測相關技術，也有具有應用在鹽沼復育成效及管理策略評估的潛力，例如利用衛星的中級解析度成像分光輻射度計(MODIS)，來繪製潮汐濕地的生物物理特性，評估鹽沼復育成效(Ghosh et al., 2016)，以及利

用光達測量高程，監測鹽沼隨海平面上升能向內陸延伸的空間(Chmura, 2013)。

(四)藍碳碳匯量測技術之國內執行建議

上述藍碳監測技術，部分已是 IPCC 及國際公認的藍碳碳匯盤查方法，在本計畫中也已經將其併入《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》及《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》，包含紅樹林植物體碳庫使用枯落物產量及生長量加總法(簡稱異速生長方程式法)；紅樹林土壤碳庫為泥質地需使用增減法(即量化植物組織分解後對土壤的有機碳貢獻)，替代方法為地表高程變化法(詳見附件一)；海草床植物體碳庫使用戳針標記法或綁線法，海草床土壤碳庫若為沙質土壤需使用地表高程變化法(或表層土壤碳庫差分法)、泥質地則使用增減法(詳見附件二)。這些方法，基本上也都是各國盤查藍碳棲地的標準做法。

未來藍碳納入清冊除了用上述方法測量碳匯量建立排放係數之外，建立監測機制及活動數據定期盤點的方法也不可或缺，其中簡化流程、資金及人力成本，也是考量的重點。在甲烷溫室氣體測量方面，前期可實測臺灣代表性藍碳棲地的甲烷通量，搭配建立碳匯及環境因子資料庫，再使用鹽度及甲烷經驗公式的概念評估各藍碳棲地的甲烷通量(Poffenbarger et al., 2011)，如此便能降低現地甲烷測量所需的儀器成本。活動數據方面，可透過專門的計畫，跨領域整合及比較各項遙測技術用在藍碳盤查的可行性及成本估算，例如光達及MODIS(Chmura, 2013; Ghosh et al., 2016)。在長期監測機制方面，提高藍碳排放係數的精度，也可利用紅樹林樹齡(Azman et al., 2023)、鹽沼高程(Ostermann et al., 2021)，和海草床潮間帶及亞潮帶分區，以更精確的量化藍碳碳匯。

第二節 國際藍碳碳匯量盤查及溫室氣體減量方法學之適用性評估分析

「自然碳匯」係達成我國「2050 年淨零排放」十二項關鍵戰略中第九項戰略，為了滿足臺灣溫室氣體自願性減量交易系統之下對於海洋碳匯專案之計量與監測需求，本研究針對濱海藍碳之紅樹林、海草床提出 MRV 原則之減量方法學。本方法除了參考聯合國氣候變遷框架公約(UNFCCC)之清潔發展機制(CDM)、政府間氣候變化專門委員會(IPCC)《農業、林業和其他土地利用》、《土地利用、土地利用變化和林業較佳作法指南》及《2013 年 IPCC 國家溫室氣體清冊濕地補充指南》；參考國際自願性市場相關減量專案案例與文獻，並回顧我國現有紅樹林碳匯相關研究與方法，以建構合宜臺灣濱海棲地狀況之方法。

藍碳碳匯量盤查方法學與溫室氣體減量方法學，分別為國家溫室氣體清冊盤查方法和碳信用(碳權)機制之中的溫室氣體減量方法學；前者用於量化、追蹤及報告各國的溫室氣體排放量以履行國際氣候協議之要求，後者用於量化受專案活動而產生的額外減排量與增加的移除量，以及碳交易中碳抵換額度(或稱碳信用、碳權)的確證及查證。同時，依照藍碳碳匯量盤查方法學所建立的國家特定排放或碳匯係數，也會是自願減量方法學的重要參考數據。

以欲以增匯申請自願減量專案的企業為例，企業需依照「溫室氣體自願減量專案管理辦法」(以下簡稱自願減量辦法)第四條按規定格式將指定資料上傳至指定資訊平台，並檢具申請書向中央主管機關提出申請，取得註冊。其中，事業或各級政府若使用之溫室氣體減量方法經中央主管機關指定為應確證者，則應檢附查驗機構出具之確證總結報告。將上述拆解為自願減量方法學與盤查方法學進行說明，即是指欲申請專案之企業或機構(以下稱專案申請者)在環境部「溫室氣體自願減量暨抵換資訊平臺」能搜尋到我國核可的國內及國外之減量方法(基於藍碳屬於碳移除，本報告稱之為自願減量方法學)，減量方法學著重在量化專案活動能額外(外加性)產生的減排量或移除量。透過減量方法學中的計算量化減排量或移除量時，當專案申請者無法獲得專案活動地點的排放係數，則可以透過國家溫室氣體清冊(由盤查方法學建立)中的排放係數進行計算。此時，依據自願減量辦法第十六條規劃企業申請核發自願減量專案減量額度時，應依規定格式將監

測報告書、查驗機構出具之查證總結報告與其他指定文件等資料上傳至指定資訊平台，並檢具申請書向中央主管機關提出申請。而查驗機構需要有碳匯盤查方法的專業背景，才能評估專案執行者提交的增匯成效報告是否合理，是否可通過查證。少數情況下，專案執行者也可利用碳匯盤查方法學實測專案範圍的碳匯增加量，直接證明增匯成效的，然而實測碳匯量會導致成本提高。以下簡述國家溫室氣體清冊盤查方法及我國自願減量方法學之差異：

1. 目的和範圍：

- 自願減量方法學：自願減量方法學主要用於評估特定實體（如企業、工廠或特定專案）的減排/增匯成效。這些實體可能自行設定減排/增匯目標，實施減排措施或是透過復育自然碳匯棲地，來符合外加性以取得碳抵換額度。
- 國家溫室氣體清冊計算方法：國家溫室氣體清冊計算方法則是用於整個國家的溫室氣體排放評估。它涵蓋各個經濟部門和活動，包括工業、能源、農業、運輸和土地利用和土地利用轉換等，並且需要報告全國的排放數據。濕地之溫室氣體排放量/碳匯量則屬於土地利用和土地利用轉換之章節。

2. 法律要求：

- 自願減量方法學：自願減量通常不受國際公約強制要求及約束，是一種基於自主原則的行為。參與者可能選擇參加自願計劃，但不一定要遵守公約規定，因此各國及各種機構能發展出各自的機制。
- 國家溫室氣體清冊計算方法：國家溫室氣體清冊計算方法受國際公約要求及約束，國家需要按照特定的時間表和規定向國際機構報告其排放數據，這是為確保國家遵守國際氣候協議的承諾而設計的。國家溫室氣體清冊計算、彙整及報告，主要參照 2006 IPCC NIR 指南，濕地溫室氣體及碳匯量計算方式補充於 2013 IPCC NIR 濕地補充指南，各章節細節增修內容補充於 2019 IPCC NIR 指南精進內容。

3. 範圍和規模：

- 自願減量方法學：通常用於小規模實體或項目的排放評估，例如單一工

廠、企業或特定氣候項目，因次減量方法一般僅限各專案範圍。

- 國家溫室氣體清冊計算方法：該方法的範圍更大，需要考慮整個國家的排放來確保全國層面的報告。這包括各種不同行業和活動的排放，例如工業、農業、能源生產、運輸和土地利用和土地利用轉換等。

4. 報告和透明度：

- 自願減量方法學：報告通常是自願性的，參與者可能自行選擇要報告的信息和數據，這也導致報告的不同機制的報告一致性和可比性較低，例如黃金標準(GS)將永續發展目標(SDGs)納入減量方法學必要項目，自願碳標準(VCS)則沒有此項目要求。

- 國家溫室氣體清冊計算方法：受國際標準和透明度要求的約束，報告需要經過驗證，以確保數據的可靠性和可比性。這些報告是公開透明的，可以由國際社會審查和評估。報告之不確定性、品質保證/管控(QA/QC)及時間序列一致性參照 2006 IPCC NIR 指南，濕地溫室氣體及碳匯量計算方式補充於 2013 IPCC NIR 濕地補充指南，各章節細節增修內容補充於 2019 IPCC NIR 指南精進內容。

1. 分析現行主要使用之藍碳盤查及溫室氣體減量方法學適用條件及範疇、基線及專案減量計算方式，以及監測方法與參數，並詳細說明各計算方式及參數之內涵。

本計畫參考 2006 IPCC NIR 指南、2013 IPCC NIR 濕地補充指南及 2019 IPCC NIR 指南精進內容等文件分析並建立濱海藍碳方法學，目前進度已完成《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序初版》(詳見附件一)，包含植物體碳庫、死有機質碳庫及土壤碳庫變化量量測。以臺灣情況而言，地上部枯落物的累積不明顯，為可忽略的死有機質碳庫。不過仍有零星枯立木、枯倒木應納入死有機質碳庫，雖然多數臺灣紅樹林碳匯文獻未量化枯木，但本計畫仍將枯木量測方法納入以利後續數據建立。《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序初版》整理了植物體及土壤碳庫碳儲量變化量不同估算精度層級(Tier 1-3)的計算方法，也包含 Tier 3 的現地監測操作。

紅樹林碳匯系統透過植物體光合作用固定大氣中的二氧化碳並儲存至土壤中，同時因為生長於河口等易於堆積及厭氧底質的環境，因此土壤碳庫可以持續累積及保存。紅樹林碳匯之中土壤碳庫是最長期的碳庫(Howard et al., 2014)，根據中國紅樹林盤查經驗，植物體碳庫的增加量也能持續 60 年(陳，民 112 年，私人通訊)。《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序初版》也考量了厭氧環境及污水影響導致甲烷及氧化亞氮排放量增加的可能性，因此納入了甲烷及氧化亞氮排放量的量測方式。在 2013 IPCC NIR 濕地補充指南中，考量紅樹林棲地的鹽度條件可能抑制甲烷生成，因此界定鹽度 >18 psu 可將甲烷排放是為 0；氧化亞氮排放量也只在有進行養殖活動的紅樹林中測量。因此，甲烷及氧化亞氮是成本及資源較少時可省略的監測項目。二氧化碳的通量計算，則以植物體、死有機質及土壤碳庫的碳儲量變化量為主。

藍碳溫室氣體減量方法學適用條件及範疇、基線及專案減量計算方式，以清潔發展機制(CDM)之「AR-AM0014 劣化紅樹林棲地的造林與植林」(Afforestation and reforestation of degraded mangrove habitat)(AR-AM0014)以及 VCS 自願碳標準(Verra)之「潮間帶濕地與海草床復育」(Methodology for Tidal Wetland and Seagrass Restoration)(VM0033)進行分析，詳見第五章第二節第三小節及附件三「臺灣紅樹林棲地的造林與植林」溫室氣體自願減量專案方法學。

2. 研擬 2 種以上藍碳碳匯盤查作法，需能應用於行政院環境保護署國家溫室氣體排放清冊對應項目及內容。

目前進度已完成 2 種藍碳碳匯盤查作法，《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序初版》(詳見附件一)及《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序初版》(詳見附件二)。

3. 探討減量方法學使用預設參數、引用我國文獻數據及現場監測技術，及其適用條件及範疇，初擬至少各一式可運用於我國濱海 2 種不同之藍碳生態系，並可提送行政院環境保護署審查之減量方法學。

由於估算尺度的不同，其考量因子會有所不同，進而會產生不同評估等級的分辨率或準確性。因此本節將針對國際藍碳溫室氣體減量方法學進行適用性之評估，以評估現有國際藍碳溫室氣體減量方法學是否適宜作為我國濱海藍碳之減量方法學。由於本研究著重在紅樹林與海草床之濱海藍碳，因此在本章節將先針對紅樹林與海草床，分別選擇以清潔發展機制(CDM)之「AR-AM0014 劣化紅樹林棲地的造林與植林」(Afforestation and reforestation of degraded mangrove habitat)(AR-AM0014)以及 VCS 自願碳標準(Verra)之「潮間帶濕地與海草床復育」(Methodology for Tidal Wetland and Seagrass Restoration)(VM0033)說明溫室氣體減量方法學適用條件及範疇、基線及專案減量計算方式，以及監測方法與參數，並詳細說明各計算方式及參數之內涵；再比較我國狀況提出修正特點並於附件三、四提供本研究團隊所初擬之「臺灣紅樹林棲地的造林與植林」溫室氣體自願減量專案方法學與其「高雄市中都濕地公園專案案例」；並於附件五、六提供初擬之「臺灣海草床復育方法學」與「澎湖縣重光專案案例」。

➤ 紅樹林

(一)、 AR-AM0014 劣化紅樹林棲地的造林與植林

紅樹林之方法學主要針對清潔發展機制(CDM)之「AR-AM0014 劣化紅樹林棲地的造林與植林」(Afforestation and reforestation of degraded mangrove habitat)(AR-AM0014)進行適用性評估分析。因此，以下將針對 AR-AM0014 詳細說明其方法學計算方式及參數之內涵。

1. 簡介

本方法學允許對劣化紅樹林棲地進行造林與植林。方法學允許種植紅樹林樹種和非紅樹林物種，但如果種植超過面積 10% 的非紅樹林物種，則不得改變專案區域的水文。方法學引起的土壤擾動面積，限制不得超過 10%。採用本方法學的專案活動可以選擇排除或包含核算任何枯木(dead wood)和土壤有機碳的碳庫(carbon pools)，但不得包含枯落物的碳庫(litter carbon pool)。基線情境及專案情境概念圖。

2. 範疇、適用性和生效日期

2.1. 範疇

本方法學之活動適用對劣化的紅樹林棲地進行造林與植林 (afforestation and reforestation, 簡稱 A/R)。

2.2. 適用性

本方法學之適用條件如下：

- (1) 專案活動用地為劣化紅樹林棲地(degraded mangrove habitat)。
- (2) 專案區域需種植超過 90% 之紅樹林樹種(mangrove species)；若種植超過 10% 之非紅樹林物種(non-mangrove species)，專案活動則不得導致專案區域之水文、上下坡相連之濕地區域水文之變化。
- (3) 由 A/R 清潔發展機制(CDM)專案活動引起的土壤擾動不得超過專案面積的10%⁹。

應用本方法學的專案活動，還應符合所包含的工具及其適用條件並應用於專案活動。

2.3. 生效日期

本專案修訂版本的生效日期為 2013 年 10 月 4 日，同為執行理事會(EB) 75 會議報告發布日期。

3. 規範性參考(normative references)

本方法的應用不可缺少以下文件：¹⁰

⁹ 例如，以 3 公尺 × 3 公尺 的間距挖 0.50 公尺 × 0.50 公尺（長 × 寬）的坑，其覆蓋率相當為 2.78%；連續耕作（continuous ploughing）面積則等於達到覆蓋率 100%。

¹⁰ 文件的詳細內容可於下列網址線上查閱：
<http://cdm.unfccc.int/Reference/index.html>

(1) 清潔發展機制專案標準；

(2) A/R 方法學工具：

- A. 「在 A/R CDM 專案活動中使用於確認基線情境(baseline scenario)以及證明外加性之結合工具」；
- B. 「估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木(shrubs)的碳儲量和碳儲量變化」；
- C. 「估算 A/R CDM 專案活動中枯木和枯落物(litter)的碳儲量和碳儲量變化」；
- D. 「估算在 A/R CDM 專案活動中可歸因於生物量燃燒而產生的非 CO₂ 溫室氣體(Greenhouse Gas，簡稱 GHG)排放量」；
- E. 「估算因 A/R CDM 專案活動替換先前農業活動而增加的溫室氣體排放量」。

4. 定義

(1) 定義適用於以下文件¹¹：

- A. 「清潔發展機制詞彙表」；
- B. 「第 5/CMP.1 號議文之附件中，有關清潔發展機制下造林與植林專案活動的模式和程序(A/R CDM 模式和程序)」；
- C. 「2003年 IPCC土地利用、土地利用變化及林業(Land Use, Land-use Change & Forestry，簡稱 LULUCF)的良好作法指南(LULUCF GPG)」。

(2) 出於本方法的目的，還適用以下特定定義：

¹¹ 文件的詳細內容可於下列網址查閱：

- (a) <<http://cdm.unfccc.int/Reference/index.html>>;
- (b) <<http://cdm.unfccc.int/Reference/COPMOP/index.html>>;
- (c) <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.html>>.

- A. 劣化紅樹林棲地(Degraded mangrove habitat)— 指濕地在自然狀態下，紅樹林植被得以生長並具通常被鹹水或半鹹水淹沒的土壤或沉積物，且受其影響導致森林覆蓋度低於主辦締約方根據第 5/CMP.1 號議文(A/R CDM 模式和程序)附件第 8 段¹²向清潔發展機制執行委員會(Executive Board of the CDM，簡稱委員會)報告的標準；
- B. 土壤干擾(Soil disturbance)- 指導致土壤有機碳(soil organic carbon，簡稱 SOC)減少的任何活動，例如：耕作、翻土、鬆土、挖坑和溝渠、清除樹樁等。

5. 基線以及監測方法(Baseline and monitoring methodology)

5.1. 選擇核算的碳庫和溫室氣體

(1) 表5.2-1表示為了核算碳儲量變化而選擇的碳庫。

表 5.2-1 選擇碳庫以核算碳儲量的變化(專案邊界內碳匯變化的碳庫計算項目)

碳庫	是否採用	理由/解釋
地上部生物量(Above-ground biomass)	是	為專案活動影響的主要碳庫
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實施而增加
枯落物(Litter)	否	枯落物的生物量由於受到潮汐流的影響而導致高周轉率(turnover)和流失(displacement)。因為專案活

¹² F. 參與要求

7. CDM 模式和程序中的 F 條款，包含在第 17/CP.7 議文的附錄中，應適用於 CDM 下的造林和重新造林項目活動，並互相調整適用。

如果非附錄 I 國家選擇並通過其指定的國家當局向執行委員會報告，則其可以承辦 CDM 下的造林和重新造林項目活動：

- (a) 單一最小樹冠覆蓋率在 10% 至 30% 之間；
- (b) 單一最小土地面積在 0.05 公頃至 1 公頃之間；
- (c) 單一最小樹高在 2 公尺至 5 公尺之間。

上述第 8(a)至(c)段所選擇的值應固定於第一承諾期結束前註冊的所有 CDM 下的造林和植林專案活動中。

		動不會降低枯落物的堆積率，故保守選項是將此碳庫排除在核算之外。
枯木及土壤有機碳 (Dead wood and Soil organic carbon)	自選	碳庫中的碳儲量可能會受專案活動的實施而增加

(2) 表5.2-2表示為了核算所需要選擇的排放源和相關溫室氣體(GHG)。

表 5.2-2 選擇核算的排放源和 GHG(專案邊界內溫室氣體釋放源的計算項目)

來源	氣體	是否採用	理由/解釋
木質生物量 (woody biomass) 的燃燒	CO ₂	否	生物質燃燒所產生的 CO ₂ 排放量已被計入碳儲量的變化
	CH ₄	是	本方法學允許為整地(site preparation)或是作為森林管理的一部分而燃燒木質生物量
	N ₂ O	是	本方法學允許為整地或是作為森林管理的一部分而燃燒木質生物量

5.2. 定義基線情境並證明外加性

(1) 專案申請者(Project participants，簡稱 PPs)應定義基線並通過以下選項之一，以證明專案活動屬於外加性：

(a) 應用「在 A/R CDM 專案活動中使用於確認基線情境以及證明外加性之結合工具」；或者

(b) 應用適用於其專案經批准的標準化基線。

5.3. 分層(Stratification)

(1) 如果專案區域的生物量分佈不均時，應採取分層以提高生物量估算的精準度。為了使碳匯的溫室氣體移除量的估算達到最佳精準度，基線和專案情境(project scenarios)可能適用於不同的分層。尤其：

- A. 對於碳匯的基線溫室氣體淨移除量，通常根據主要植被類型及其樹冠覆蓋度(crown cover)和/或土地利用類型對區域進行分層；
- B. 對於碳匯的實際溫室氣體淨移除量，專案活動前所估算的分層是根據專案種植/管理計劃；專案活動後所估算的分層則根據實際執行的專案

種植/管理計劃。如果自然或人為影響(例如局部火災)或其他因素(例如土壤類型)顯著變更專案區域的生物量分佈模式，則須相應修訂事後分層。

5.4. 碳匯的基線溫室氣體淨移除量

(1) 由碳匯移除之基線溫室氣體淨移除量(基線情境溫室氣體移除量)，計算如下：

$$\Delta C_{BSL,t} = \Delta C_{TREE_BSL,t} + \Delta C_{SHRUB_BSL,t} + \Delta C_{DW_BSL,t} \quad \dots\dots\dots \text{公式(1)}$$

其中：

參數	定義	單位
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年內碳匯的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(tree)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(shurb)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(dead wood)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

5.5. 碳匯的實際溫室氣體淨移除量

(1) 由於專案活動所產生的溫室氣體排放，包含草本植被清除、化石燃料燃燒、化肥施用、木材使用、枯枝落葉分解和樹木的細根固氮、專案邊界內進行道路建設以及運輸等，應被視為不足以影響而計為零。

(2) 碳匯的實際溫室氣體淨移除量(實際溫室氣體移除量)，計算如下：

$$\Delta C_{ACTUAL,t} = \Delta C_{P,t} - GHG_{E,t} \quad \dots\dots\dots \text{公式(2)}$$

其中：

參數	定義	單位
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	t 年內碳匯的實際溫室氣體淨移除量。	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
$GHG_{E,t}$	t 年內由於實施 A/R 專案活動，在專案邊界 (project boundary) 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

(3) 專案所擇定的碳匯在 t 年內的碳儲量變化(專案情境溫室氣體移除量)，計算如下：

$$\Delta C_{P,t} = \Delta C_{TREE_PROJ,t} + \Delta C_{SHRUB_PROJ,t} + \Delta C_{DW_PROJ,t} + \Delta SOC_{PROJ,t}$$

..... 公式(3)

其中：

參數	定義	單位
$\Delta C_{P,t}$	t 年內選定碳庫中碳儲量的變化。	t CO ₂ e
$\Delta C_{TREE_PROJ,t}$	t 年內專案中喬木(tree)碳儲量的變化；根據工具「估算 A/R CDM 專案活動中樹木和灌木的碳儲量和碳儲量變化」所估算。	t CO ₂ e
$\Delta C_{SHRUB_PROJ,t}$	t 年內專案中灌木(shurb)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
$\Delta C_{DW_PROJ,t}$	t 年內專案中枯木(dead wood)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
$\Delta dSOC_{PROJ,t}$	t 年內專案中土壤有機碳(soil organic carbon)碳儲量的變化。	t CO ₂ e

(4) t 年內專案邊界中 SOC 庫的碳儲量變化，估算如下：

$$\Delta SOC_{PROJ,t} = \frac{44}{12} \times \sum_{t=1}^t A_{PLANT,t} \times dSOC_t \times 1 \text{ year} \quad \dots\dots\dots$$

公式(4)

其中：

參數	定義	單位
$\Delta SOC_{PROJ,t}$	t 年內專案邊界中 SOC 碳儲量的變化。	t CO ₂ e
$A_{PLANT,t}$	t 年內的種植面積。	ha
$dSOC_t$	t 年內專案邊界中 SOC 碳儲量的變化率。 除非能夠提供透明且可驗證的資料來證明不同的值，否則將使用以下估計值：(a) $dSOC_t = 0.05 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 對於 $t = t_{PLANT}$ 到 $t = t_{PLANT} + 20$ 年之間的時間採用此估計值，其中 t_{PLANT} 是種植年份；(b) $dSOC_t = 0 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 對於 $t > t_{PLANT} + 20$ 。	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹

5.6. 碳洩漏(Leakage)

(1) 碳洩漏量估算如下：

$$LK_t = LK_{AGRIC,t} \dots\dots\dots \text{公}$$

式(5)

其中：

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)。	t CO ₂ e
$LK_{AGRIC,t}$	t 年內農業活動轉移造成的碳洩漏；根據工具「估算因 A/R CDM 專案活動替換先前農業活動而增加的溫室氣體排放量」所估算。	t CO ₂ e

5.7. 碳匯的人為溫室氣體淨移除量

(1) 碳匯的人為溫室氣體匯淨移除量，計算如下：

$$\Delta C_{AR-CDM,t} = \Delta C_{ACTUAL,t} - \Delta C_{BSL,t} - LK_t \dots\dots\dots \text{公式(5)}$$

其中：

參數	定義	單位
$\Delta C_{AR-CDM,t}$	t 年內碳匯的人為溫室氣體淨移除量。	t CO ₂ e
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	t 年內碳匯的實際溫室氣體淨移除量。	t CO ₂ e
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年內碳匯的基線溫室氣體淨移除量。	t CO ₂ e

LK_t	t 年內碳洩漏引起的溫室氣體排放量。	t CO ₂ e
--------	--------------------	---------------------

5.8. 計算臨時已驗證減量額度(temporary CER, tCERs)以及長期已驗證減量額度(long-term CER, lCERs)

(1) tCERs 和 lCERs 的驗證期為 $T = t_2 - t_1$ (其中 t_1 和 t_2 是年份；分別為驗證期開始和結束的時間)，計算如下

$$tCER_{t_2} = \sum_{t_1}^{t_2} \Delta C_{AR-CDM,t} \dots\dots\dots \text{公式(7)}$$

$$lCER_{t_2} = \sum_{t_1+1}^{t_2} \Delta C_{AR-CDM,t} \dots\dots\dots \text{公式(8)}$$

其中：

參數	定義	單位
$tCER_{t_2}$	t_2 年內已驗證減量額度的臨時單位量。	t CO ₂ e
$lCER_{t_2}$	t_2 年內已驗證減量額度的長期單位量。	t CO ₂ e
$\Delta C_{AR-CDM,t}$	t 年內碳匯的人為溫室氣體淨移除量。	t CO ₂ e
t_1, t_2	分別為驗證期開始和結束的年份。	t CO ₂ e

(2) 如果 $lCER_{t_2} < 0$ ，則 $lCER_{t_2}$ 表示自上次認證以來由於碳匯的人為溫室氣體淨移除量逆轉而應替換的 lCERs 數量。

6. 監測程序(Monitoring procedure)

6.1. 監測計劃

(1) 監測計劃應規定收集所有必要的相關數據：

- (a) 查證已滿足第 3 和 4 段所列的適用條件；
- (b) 查證選定碳庫中碳儲量的變化；
- (c) 查證專案排放量和洩漏排放量。

(2) 收集的數據應至少保存至專案活動的最後一次核發減量權證後兩年。

6.2. 實施監測專案

- (1) 專案設計文件(project design document, PDD)中應提供並記錄資訊，以確認主辦國實施受普遍公認的原則、森林盤查方法和森林管理。如果此類原則和方法未知或不可用，則應正確、記錄和應用盤查操作(inventory operations)的標準操作程序(SOP)和品質控制/品質保證(quality control/quality assurance, QA/QC)程序，包括現場數據收集和數據管理。建議可使用或改編已出版的手冊，或由「2003年 IPCC 土地利用、土地利用變更及林業的良好做法指南」取得 SOP 步驟。

6.3. 精準度要求

- (1) 對於本方法學，精準度要求是指工具「估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木(shrubs)的碳儲量和碳儲量變化」中所列出之要求。

6.4. 本方法學的數據要求

- (1) 數據和參數的描述可以在本方法學中使用的工具中找到。
- (2) 測量獲得的數據和參數應按工具要求進行監測。

(二)、 AR-AM0014 方法學適用性重點分析與評估

AR-AM0014 之編號依據 UNFCCC 對方法學命名與編號的方式，即可了解是屬於造林與植林(AR)之大規模(AM)0014 方法學。因此，考量台灣紅樹林棲地面積，就需要對其規模限制或其條件作調整。除此之外，於第三點適用條件進行了重點說明。

1. CDM 造林專案之合格性

CDM 造林專案之合格性是審核計畫的首要關鍵問題，即是指專案申請者須提供相關佐證文件以證明專案邊界內範圍的土地符合 CDM 之造林專案的規範，以避免不當的造林活動。此規範即為 UNFCCC 所規範的造林與植林標準，其中造林(Afforestation)是指過去 50 年內非森林的土地受人為活動而轉變為森林；植林

(Reforestation)則是指過去 50 年內曾經為森林轉變為非森林的土地後，受人為活動轉變為森林。植林活動限制於 1989 年 12 月 31 日後才予以承認並依據第 5/CMP.1 號議文有關清潔發展機制下造林與植林專案活動的模式和程序中第 8 條之標準森林「最小面積應在 0.05~1.0 公頃以上，且應有 10~30%以上的面積比例為高度在 2~5 公尺高的林木樹冠所覆蓋」。除此之外，在 CDM 之造林專案中的方法學之土地背景皆是以劣化之土地作為專案執行之土地，因此儘管未明文規範「棲地環境狀況之標準」但若能證明屬於「劣化」(Degraded)或「劣化中」(Degrading)將有助於專案的審核。對於土地劣化之評估在 UNFCCC 的規範中，可分為有既有文件紀錄佐證與無既有文件紀錄佐證兩種狀況。有既有文件紀錄佐證可以透過該地區 10 年內地區性、當地性、國家性、國際性級別的文件資料，或是使用具可信度的研究文獻、參與性鄉村評估(participatory rural appraisal, PRA)、衛星航照圖等。無既有文件紀錄佐證則可透過直接或間接性佐證，直接性即是透過現地測量土地劣化指標或參與性鄉村評估(participatory rural appraisal, PRA)佐證；間接性則是透過與該地或已被證明劣化之土地進行劣化指標的比較。

2. CDM 造林專案之外加性

外加性(Additionality)即是指由於專案活動的實施，導致相比「基線情境」產生額外的溫室氣體之減量或碳匯之增加量。CDM 執行委員會針對減量計畫之外加性要求極為嚴格，是專案能否通過批准並登錄的重要因素。因此，CDM 執行委員會除了提供「外加性論證與評估工具」之外，針對造林專案亦有「在 AR CDM 專案活動中使用於確認基線情境以及證明外加性之結合工具」。

3. AR-AM0014 的適用條件

以下簡易列出 R-AM0014 的適用條件與臺灣狀況之差異，並於(三)「AR-AM0014 方法學適用性修正特點」以表格呈現 AR-AM0014 狀況分析與臺灣狀況之考量。

(1) 劣化紅樹林的定義

依據第 5/CMP.1 號議文有關清潔發展機制下造林與植林專案活動的模式和程序中第 8 條之標準，森林定義「最小面積應在 0.05~1.0 公頃以上，且應有 10~30%以上的面積比例為高度在 2~5 公尺高的林木樹冠所覆蓋」。因此 AR-AM0014 設定低於此標準時，代表森林處於劣化狀態。然而依據臺灣紅樹林的盤查資料分布面積約為 1.00 公頃到 79.5 公頃雖可符合面積條件，但臺灣紅樹林部分樣點是否能達到樹高 2~5 公尺的條件可能相對困難，因此應對劣化紅樹林標準做調整。

(2) 法律規範

不同國家對於法律規範、作業程序與標準會有所差異，因此勢必需要將其考量進入以符合在地狀況。舉例來說在 AR-AM0014 中，允許整地、管理之目的引火焚燒木質生物量，但臺灣在造林、植林及森林經營的過程大部分都不採行引火焚燒之方式，應調整以符合我國林業作業、規範方式。

(三)、 AR-AM0014 方法學適用性修正特點

聯合國清潔發展機制(CDM)是現行最為嚴格的溫室氣體減量方法學。方法學之工具內容具有專業性，增加其在國內的推行難度。在用適用評估分析方面，著重在考量我國法律規範、在地環境狀況、實際造林作業方式、土地判釋資料年份的可獲得性、專案執行可行性等，對其方法學進行調整與補充，以下依據方法學項目以表 5.2-3 呈現 AR-AM0014 方法學與臺灣在地狀況考量比較說明。

表 5.2-3 方法學比較分析

方法學項目	AR-AM0014 狀況分析	臺灣狀況之考量
規模	1. 大規模	1. 考量本方法學應可通用於大與小減量規模，因此本方法不限使用於大規模
法規、作業原則		1. 《森林法》 2. 《文化資產保存法》 3. 《氣候變遷因應法》 4. 《濕地保育法》

		5. 《野生動物保育法》 6. 農業部《生態造林作業原則》、《保安林施業方法 ¹³ 》
適用條件	1. 專案土地為劣化的紅樹林棲地，其劣化定義為濕地之紅樹林的森林覆蓋率低於第 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 2~5 公尺高的林木樹冠所覆蓋」之標準 2. 專案得種植紅樹林或非紅樹林植物，但專案若種植超過 10% 的非紅樹林植物，則不能改變當地水文 3. 土壤擾動面積不得超過 10%	1. 調整劣化紅樹林棲地的定義為紅樹林植被狀況無法同時滿足密度 ≥ 1050 株/ha ¹ 且鬱閉度 ≥ 0.20 之條件 2. 須補充規範種植合適我國之紅樹林原生物種，並配合環境條件選用合宜樹種 3. 考量在紅樹林棲地在造林與植林過程中，會造成較大的土壤擾動；因此改以專案活動後專案邊界內土壤擾動程度應控在 10%
專案邊界	1. 專案活動土地合格性須於 1989 年 12 月 31 日以後的任何時期皆處於非森林狀態	1. 由於紅樹林棲地利用衛星影像、遙測技術、空中無人載具等方式判斷棲地狀況，尚具有侷限性與不確定性，土地合格性可考量是否應限制須以實地調查之方式
外加性	1. 外加性要求極為嚴格	1. 臺灣允許法規外加性
基線及專案碳儲存變化量計算	1. 允許整地、管理之目的引火焚燒木質生物量 2. 碳庫計算項目必須計算地上部及地下部生物量，不計入枯落物但枯木及土壤有機碳具選擇性 3. 計算方式附有額外性工具文件進行說明，因工具文件多且羅列多項計算方式與情況，使內容顯得	1. 國內造林、植林及森林經營過程大部分都不採行引火焚燒之方式，應調整以符合我國林業作業、規範方式 2. 應明確訂定碳庫計算項目或設計清楚碳庫計算項目選擇依據方式，減少專案申請者之選擇性差異。除此之外，考量紅樹林根系可能提高土壤有機碳碳庫中的碳儲量應計入

¹³ 保安林：保安林是森林環境為特定公益功能為目的而設置之保護林，依據功能分為共計 16 種類別。與紅樹林相關之保育林，如保安林編號第 1071 號「淡水紅樹林保安林」；第 2018 號「北門雙春保安林」等。

	相當複雜不直觀	3. 計算公式應以清晰及容易理解方式詳細說明計算方式，並說明如何取得計算參數 4. 彙整並提供我國紅樹林樹種之方法學相關參數
監測	1. 採用專案國家普遍使用於森林資源調查的監測做法或政府間氣候變遷專家小組採用的作法	1. 在監測頻率方面，由於國內沒有明確規範濱海棲地資源調查頻率，應考量執行抵換專案之經濟效益與濱海棲地狀況，擬定合適之監測頻率；訂定為首次調查後應於三至十年監測一次，且應於每次查證時皆要有相關監測資料，如專案結束後三年要再次交易，則應於三年內再監測一次 2. 須擬定專案後定期報告之頻率

➤ 海草床

由於淨零議題，為了改善溫室氣體排放問題，世界各地陸續進行濕地復育，透過藍碳減少環境中的溫室氣體排放量。濕地復育能獲得包括創造野生動物棲息地、復育水質和水量、提供暴雨時之保護與食品生產，以及減少溫室氣體 (GHG) 排放和減緩氣候變化等效益。而「VCS VM0033 潮汐濕地和海草復育方法」即為透過創造和/或管理健康、永續的濕地生態系統的專案活動，進而獲得溫室氣體的減排量與移除量，並予以量化與規定其相關程序之方法學。

(一)、 VM0033 潮間帶濕地與海草床復育

本方法學文件中概述復育潮汐濕地而實施的專案活動可能包括創造、復育和/或管理水文條件、沉積物供應、鹽度特徵、水質和/或本地植物群落；旨在復育和創造潮汐濕地的各種專案活動，並估算在基於此類活動導致生態變化(例如，增加的植被覆蓋、地下水位深度變化)的減排量與移除量。此外，本方法學亦探討建立樹木植被的潛勢，因此，本方法學被歸類為復育濕地生態系統 (Restoring Wetland Ecosystems, RWE) 及造林、植林與植被復育 (Afforestation, Reforestation and Revegetation, ARR) 方法學；適用於全球各地的專案及所有潮汐濕地系統，即潮汐森林(如紅樹林)、潮汐鹽沼和海草床。VCS VM0033 文件中共分為 10 項章節與 2 項附錄，包括：(1)來源、(2)方法概述、(3)定義、(4)適用條件、(5)專案邊界、(6)基線情境、(7)外加性、(8)GHG 減排與移除的量化、(9)監測、(10)參考文獻、附錄 1 木製品的長期碳儲存、附錄 2 活動方法。以下重點說明關於本方法學的內容適用條件與專案邊界、基線及專案減量計算方法、監測程序。

適用條件

- (1) 復育潮汐濕地(包括海草床，依據本方法對潮汐濕地的定義)的專案活動是符合條件的。
- (2) 專案活動可以包括以下任何一項或多項組合：

- (a) 創造、復育和/或管理水文條件(如拆除潮汐障礙物)。
 - (b) 改變沉積物供應(如有利地利用疏濬材料或將河流沉積物轉移至缺乏沉積物的區域)。
 - (c) 改變鹽度特性(如將潮汐恢復到受潮汐限制的區域)。
 - (d) 改善水質(如減少養分負荷，或減少養分滯留時間)。
 - (e) (重新)引入本土植物群落(如重新種植或植林)。
 - (f) 改善管理方法(如移除外來物種、減少放牧)。
- (3) 在專案開始前，專案區域需符合以下條件之一：
- (a) 不受任何可能將用地轉移至專案區域以外的影響，並以下列至少一種方法進行證明：
 - i. 在專案開始前，該專案區域已被廢棄兩年以上。
 - ii. 由於鹽漬侵蝕、市場力量或其他因素而使得專案區域用於商業利用(如貿易)不具營利性。此外，專案區域的基線情境中不會進行木材採伐。
 - iii. 在國內不會發生因新的農業用地而導致其他濕地劣化的情況，或通過強制執行的法律予以禁止。

或

- (b) 屬於可在遷移到專案區域外的土地使用方式，但在此情況下，不應計算該土地使用方式的基線排放量，並且國內進一步開墾濕地用於新的農業/水產養殖用地的情況不會發生或已被法律禁止。

或

- (c) 在專案認證期間內，該專案區域將繼續以類似的服務或產量水準進行土地利用(例如採集蘆葦或乾草、採集柴火、自給自足的捕撈等)。

專案申請人必須根據可驗證的資訊，例如法律法規、管理計畫、年度報告、年度財務報表、市場研究、政府研究或土地利用規劃報告和文件等，證明符合以上(a)、(b)或(c)中的一種。

- (4) 專案區域可能存在活樹植被，並且在基線情境和專案情境下均可能受到碳儲量變化(例如由於採伐)的影響。
- (5) 專案活動可能包括對草本和灌木地上部生物量進行控制性燃燒(覆蓋物燃燒)。
- (6) 如果專案申請人預計通過減少泥炭火災的頻率來獲得減量額度，專案活動必須包括重新濕化和火災管理的組合。
- (7) 如果專案申請人預計通過減少泥炭火災的頻率來獲得減量額度，則必須證明現場火災的頻繁威脅存在，且有機土壤的燃燒原因是人為的(例如，泥炭的排水、縱火)。
- (8) 在有機土壤層中，造林、植林與植被復育(ARR)活動必須結合重新濕化。

但若有以下情況，則該專案活動不適用於本方法學：

- (1) 專案活動符合改善森林管理(IFM)或毀林及森林劣化排放溫氣體之減量(REDD)。
- (2) 基準活動包含商業林業。
- (3) 除非專案將開放水域轉換為潮汐濕地或改善與集水區之間的水文連通性，否則專案活動會降低地下水位。
- (4) 專案區域與相鄰區域的水文連通性導致專案區域以外的溫室氣體排放顯著增加，此時本方法學不適用。
- (5) 專案活動包含有機土壤的燃燒。
- (6) 專案認證期間，在專案區域內使用氮肥，如化肥或糞肥。

1. 專案邊界

專案邊界又分為時間邊界、地理邊界、或碳庫的納入、以及溫室氣體來源的納入等 4 項，以下簡要說明，相關公式與說明請見附錄六。

(1) 時間邊界包括泥炭耗竭時間(Peat depletion time, PDT)與土壤有機碳耗竭時間(SDT)

(a) 時間邊界包括泥炭耗竭時間(PDT)：因排水泥炭地容易受到氧化和下沉的影響，而導致原本擁有泥炭的區域在認證期間結束前可能會失去所有泥炭。當所有泥炭消失或泥炭深度達到不再發生氧化或其他損失的程度時(例如，平均地下水位深度)，稱為 PDT。專案若不量化基準減排量(即僅限制計算生物質和/或土壤中的 GHG 減排量)，則無需估算 PDT。

(b) 土壤有機碳耗竭時間(SDT)：對於未量化基準減排量的專案(即僅限於生物質和/或土壤中 GHG 減排量的計算)，無需估算 SDT。

(c) 若專案活動計算生物質和/或土壤以外的 GHG 減排量，則須於專案開始時針對該區域內每個不同的地層進行 PDT 與 SDT 之計算。

(2) 地理邊界

專案申請人必須在專案活動開始時定義專案區域的地理範圍。必須使用遠端感測資料、公開的地形圖和資料、土地行政和所有權記錄，及/或其他官方文件，以便清楚劃定專案範圍。由於專案活動中可能包含多個不同的土地區域，因此，每個區域都必須有唯一的地理標識，與提供以下資訊：

- 專案區域的名稱(包括分隔號碼、當地名稱(如有))
- 每個獨立土地的唯一標識符。
- 區域地圖(最好是數字格式)。
- 專案區域必須按照 VCS 規則進行地理參考並以數字格式提供。
- 總面積。

● 土地權利持有人和使用權的詳細資訊。

- a) 分層：如果專案啟動時的專案區域不是同質的，可以進行分層，以提高碳儲量和 GHG 通量估算的準確性和精確性。若使用分層，則基線情境和專案情境需要不同的分層，以實現 GHG 淨減排量和移除量在估算上最佳準確性。其標的包括可能針對專案區域內的有機土壤區域、海草床、原生生態系統、植被覆蓋分層(用於採用預設 SOC 沉積率)、鹽度分層(用於計算甲烷)、缺乏潮汐交換的水體等進行分層。
- b) 海平面上升：當定義地理專案範圍和地層時，專案申請人必須考慮預期的相對海平面上升以及向陸地擴展專案區域的潛勢，以考慮濕地遷徙、淹沒和侵蝕的情況。專案範圍在專案認證期間內不能更改。在專案區域內，濕地邊界的預測必須以地圖的形式呈現，詳細劃定這些邊界，從專案開始到結束，按照海平面上升的變化速率和 $t = 100$ 應適當相應的間隔進行呈現。針對海平面上升，需估算受侵蝕地層的面積，此類預測受到特定專案環境條件的影響，對於複雜的專案，應該利用經驗豐富的地貌學家或沿海工程師的專業知識。
- c) 不符合條件的濕地區域：對於量化 CO₂ 減排量的專案，如果在專案開始後的 100 年內，專案區域在累積碳損失方面未能達到顯著差異($\geq 5\%$)，則不符合基線排放減少的認證資格，而這些區域必須進行繪製。
- d) 緩衝區域：此外，專案活動亦必須依照 VCS 規定，對建立的緩衝區進行地圖繪製。

(3) 碳庫

本方法學在碳庫的選擇上可包括地上樹木生物量(Aboveground tree biomass)、地上非樹木生物量(Aboveground non-tree biomass)、地下部生物量(Below-ground biomass)、枯枝落葉(Litter)、枯木(Dead wood)、土壤(Soil)、木製品(Wood products)其中，如果省略的碳儲量減少或 GHG 排放增加總和低於專案產生的 GHG 總量的 5%，則無需計算省略之碳庫。

(4) 溫室氣體的來源

本方法學在不同情境下溫室氣體來源的選擇上可包括：

A. 基線情境

- i. 微生物產生的 CH_4
- ii. 反硝化/硝化的 N_2O
- iii. 生物質和有機土壤的燃燒 CO_2 、 CH_4 、 N_2O
- iv. 化石燃料使用 CO_2

B. 專案情境

- v. 微生物產生的 CH_4
- vi. 反硝化/硝化的 N_2O
- vii. 生物質的燃燒 CO_2 、 CH_4 、 N_2O
- viii. 化石燃料使用 CO_2 ：在土壤運輸和機械車輛移動的 RWE 專案情境中，是潛在的主要排放源。但在無土壤運動(例如紅樹林造林)的專案情境中不予考慮。

其中，如果省略的碳儲量減少或 GHG 排放增加的總和低於專案所產生的總溫室氣體效益的 5%，則無需計算省略的 GHG 來源。

2. 基線

基線情境必須使用最新版本的 CDM AR-Too102 綜合工具來確定，以識別 A/R CDM 專案活動的基線情境並證明外加性。該工具專為 CDM A/R 專案活動設計，並在本方法學中使用。

3. 專案減量計算方法

專案減量計算方法分為基線排放量、專案排放量、重新濕化和火災管理(火災減少價值, Fire Reduction Premium)導致的減排量、洩漏、以及 GHG 淨減排量與移除量的計算, 以下逐一簡述, 相關公式與說明請見附錄六。

- (1) 基線排放量說明了通用作法、海平面上升的計算、基線情境下生質碳庫的淨碳儲量變化、基線情境下土壤的 GHG 淨排放量、與基線情境下化石燃料使用的排放量等計算方法。
- (2) 專案排放量說明了通用作法、海平面上升的計算、專案情境下生質碳庫的淨碳儲量變化、專案情境下土壤的 GHG 淨減排量與移除量、與專案情境下預定燃燒非 CO₂ 的淨排放量、化石燃料使用的排放量等計算方法。
- (3) 重新濕化和火災管理(火災減少價值)導致的減排量著重於因重新濕化和火災管理減少火災的減排量, 此計算方法必須應用最新版本的「VMD0046 WRC 專案活動中土壤碳儲量變化和 GHG 排放的監測方法」來估算火災減少價值。
- (4) 洩漏分為活動轉移損失和市場損失, 以及生態洩漏兩個部分。
 - A. 活動轉移損失和市場損失旨在確保不會發生活動轉移損失和市場損失, 因此, 當符合此方法學的適用條件時, 可以假設活動轉移損失和市場損失為零。
 - B. 生態洩漏係在符合本方法學的適用條件項目中, 可以透過專案設計限制各項因素的變化不影響整體 GHG 排放, 故在專案活動中可以假設不存在生態損失。然而, 若設計階段預計水文變化將影響專案區域外的 GHG 排放, 則專案設計必須調整以將這些區域納入專案範圍內。
- (5) GHG 淨減排量與移除量說明了 GHG 減排量的計算方法、不確定性的估算、經認證之碳單位(Verified Carbon Units, VCU)的計算方法等。

4. 監測程序

專案監測的主要目標是在每次進行驗證前之額度監測期間可靠地量化專案情境中的碳儲量和溫室氣體排放，具體任務如下：

- 監測專案的碳儲量變化和溫室氣體排放。
- 估算專案執行後的淨碳儲量變化、GHG 排放量和 GHG 減排量。

監測計劃必須包含以下至少的信息：

- 對應進行的每項監測任務的描述以及其技術要求。
 - 需要測量的參數。
 - 需要收集的數據和數據收集技術。
 - 監測的頻率。
 - 質量保證和質量控制(QA/QC)程序。
 - 數據存檔程序。
 - 監測團隊和管理層的角色、責任和能力。
- (1) 不確定性和品質管理：品質管理程序需要用於數據和資訊的管理，包括評估與專案和基線情境相關的不確定性。在實際範圍內，應該盡量降低與 GHG 減排和移除量化相關的不確定性。
- (2) 專家判斷：在方法的選擇和闡釋、填補可用數據中的缺漏、不確定性範圍中選擇數據方面，可由專家判斷進行確認。從領域專家獲得明確的判斷，關於最佳估計和不確定性，為本方法學相當重要的程序之一。專案申請人必須參考 IPCC 2006 年良好實踐指南(Good Practice Guidance)中第 2 章(數據收集方法，特別是第 2.2 節)和附錄 2A.1 提供的指導進行專家判斷。
- (3) 專案實施的監測：須提供並紀錄以下資訊於說明中，以進行確認。
- A. 對於所有濕地區域，須紀錄專案區域的地理位置。地理位置可以透過現場調查(如使用 GPS)或使用地理參考空間數據(如地圖、GIS 數據集、正

射攝影或地理參考遙感影像)來完成確認。前述要求同樣適用於分層的紀錄。

B. 須實施普遍接受的土地利用盤點和管理原則。

C. 必須通過規範的監測方法確保持續符合本方法學的適用條件。

- (4) 分層和抽樣架構：將專案區域分層成相對均質的單元將可因為每個均質單元內的變異性較低，使得測量精確度提高而不會過度增加成本，或在每個均質單元內減少成本而不會降低測量精確度。專案申請人必須在說明中提供預先分層的專案區域或證明其缺乏分層的合理性。預先定義的分層數量和範圍可能在專案驗證期間(或之後)發生變化。
- (5) 草本植被的抽樣：地上草本質量定義為包括活植物量和枯萎植物量的碳庫。可以通過將整個濕樣本乾燥至恆定重量，或者透過將已量測子樣本的濕重進行乾燥以確定乾濕重的轉換因子，來確定各樣品乾重。由於地上重量可能有很強的季節性，平均碳庫必須從至少兩個樣本中計算，這兩個樣本代表最小和最大的碳儲量。或者可從最小碳儲量樣本中保守估計碳庫。
- (6) 用於估算土壤碳含量的土壤取樣方法：可以通過確定在一致的參考水準上累積的有機碳來估算土壤有機碳。
- (7) CH₄和 N₂O 排放量的監測：可以使用密閉室技術(Closed Chamber Technique)或無室技術(Chamber-Less Technique，如渦流協方差通量)直接測量 CH₄和 N₂O 排放。對於渦流協方差通量，必須遵循 VCS VM0024 海岸濕地創造方法中提供的指南，並考慮相關的指導方針。
- (8) 土壤沉降監測：如果將排水濕地的土壤沉降作為碳損失和 CO₂ 排放的代表，應用的技術和計算必須遵循國際應用標準或相關科學文獻或手冊中明確規定的當地標準。隨著時間的推移，有機土壤表面的沉降必須相對於一個基準面進行測量(如使用固定在礦物質底土中的柱子)。用於水位深度監測的浸入式井也可以用於沉降監測，優點是水位深度和沉降在同一位置進行監測。在可能發生火災的地區，最好也設置鐵柱；如果柱子因火災而損失，必須安裝

新的柱子。在評估碳損失時，由火災引起的高度損失必須與由有機土壤微生物氧化引起的損失分開處理。

(9) 估算侵蝕土壤深度和暴露於好氧條件下的土壤深度：土壤碳損失可能因以下機制發生。

A. 在濕地邊緣或河岸的垂直邊緣侵蝕，通常發生在受到海浪影響的濕地邊緣。

B. 水平表面土壤侵蝕。

C. 土壤暴露於好氧條件。

(10) 監測地下水位：如果地下水位被作為碳損失和 GHG 排放的指標，則在專案或代理區域中監測水位必須基於適當的地層進行測量。地下水位深度的測量可以使用數據紀錄器和最小-最大設備，或使用簡單的水位計進行連續監測。應用的技術必須遵循國際應用標準或相關科學文獻或手冊中的當地標準。

(二)、 VM0033 方法學適用性重點分析與評估

VM0033 被設計為適用於全球之復育和創造潮汐濕地系統的各種專案活動，潮汐濕地即包含潮汐森林(如紅樹林)、潮汐鹽沼和海草床；因此，內容較為複雜不易大眾理解。VM0033 的部分方法與 IPCC 濕地補充指南的方法一致，但提供了更多的量化方法。除此之外，本團隊亦發現 VM0033 所使用的公式、數學符號和單位雖然多數正確，但依然有一些錯誤，例如 VM0033 之公式：20、71、72、73。這個發現與澳洲國家級科技研究機構聯邦科學暨工業研究院（英語：Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation，CSIRO）2019 年的研究報告一致。對此，本團隊考量將海草床部分獨立提出，詳見附件五、六初擬之「臺灣海草床復育方法學」與「澎湖縣重光專案案例」，並建議未來若要以 VM0033 作為借鏡，建立合併棲地、管理與復育之減量方法學應謹慎評估並修正其內容。

4. 提出藍碳納入我國溫室氣體排放清冊之短、中、長期程因應策略與規劃建議

將藍碳納入臺灣國家溫室氣體清冊，除了依照 IPCC 系列指南及國際認可之藍碳盤碳匯查方法，完成建立臺灣藍碳碳匯盤查方法學。仍需符合溫室氣體清冊報告一致性之問題，即藍碳棲地面積至少需回溯估計至 1990 年，以便計算藍碳棲地在減緩臺灣溫室氣體排放的一致貢獻。同時，依照 IPCC 系列指南藍碳碳匯歸屬於濕地類別中的沿海濕地，然而目前各類濕地類別之活動數據及碳匯計算仍未確定，使得藍碳棲地僅能估算「維持沿海濕地」的碳匯貢獻，尚無法估計「轉換為沿海濕地」的碳匯貢獻。要釐清各類濕地之活動數據，需要各部會協調，以臺灣沿海濕地為例，海洋棲地保育由海委會主責，濕地主管機關又屬於國家公園署，在沿海濕地所屬的國家溫室氣體清冊章節「土地利用、土地利用變化及林業部門(LULUCF)」又以農業部負責統計。

在各部會針對濕地納入國家溫室氣體清冊之分工及程序未確定前，建議先利用 2006 IPCC NIR 指南活動數據估算方法 1 確定「維持沿海濕地」之面積並估算碳匯量。因不涉及土地利用轉換，可能較不影響整體國家溫室氣體排放清冊之架構，是目前將藍碳碳匯納入國家溫室氣體清冊較可行的方案。而中長期計畫再往方法 2 或方法 3 估算「轉換為沿海濕地」之面積及計算碳匯量，逐步提高臺灣藍碳碳匯估算精度即可。2006 IPCC NIR 指南活動數據估算方法 1 詳見第五章第一節第一小節。

(一)短期(一年內)：參照 IPCC 系列指南規則完成藍碳納入國家清冊之基礎方向及數據，並促進各部會協調訂定臺灣濕地碳匯盤查框架

- 1.完成主要藍碳棲地(紅樹林及海草床為主)之碳匯盤查方法：本計畫依照國際認可之藍碳盤查方法(2006 IPCC NIR 指南、2013 IPCC NIR 濕地補充指南等)之成果，已完成《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》及《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》。此項目已藉由此計畫及今年度漁業署計畫完成上述兩份方法學，後續待相關單位進行審查。

- 2.彙整「維持沿海濕地」(紅樹林及海草床為主)之排放係數：為避免涉及沿海濕地之外的濕地土地利用類型及類型間的轉換，先彙整臺灣主要藍碳棲地(紅樹林及海草床)在近二十年內未發生土地利用變化下的排放係

數，即土地類型屬於「維持紅樹林」及「維持海草床」之排放係數。並列出其中排放係數研究較少的項目，規劃後續監測計畫，以完善藍碳排放係數。以紅樹林各物種碳匯研究為例，五梨跤及欖李目前的相關研究數據較少，可作為後續碳匯研究計畫之標的。此項目目前有海保署、漁業署在調查紅樹林及海草床面積，濕地活動數據的規畫在內政部及工研院皆有進行，但尚未整合及定案各類濕地的活動數據分類方式。

- 3.以 2006 IPCC NIR 指南活動數據估算方法 1 計算「維持沿海濕地」之面積：將藍碳碳匯納入國家溫室氣體排放清冊需符合報告時間序列的一致性，因此需回溯估計 1990 年至 2023 年藍碳棲地的變化，並且釐清此 33 年間臺灣主要的藍碳棲地屬於「維持沿海濕地」活動數據分類的面積。根據 IPCC 指南，面積回溯估算的方式為內插法，利用兩個監測時間點的面積的變化率，估算這期間逐年的面積變化。若無法推估至 1990 年，則用追溯後最靠近 1990 年的面積資料，假定面積從 1990 年至該年份皆維持。須注意所有面積估算方式皆須遵守保守性原則。同時，活動數據計算需考量所有子類型的面積，例如紅樹林及海草床的代表性物種分布面積。此計畫目前有本計畫、海保署等計畫初步提出回溯估算的方式。

上述 1.-3.項中本計畫已完成紅樹林及海草床盤查方法和排放係數，後續完善完成面積估算回溯至 1990 年，就可先試算「維持沿海濕地」之碳匯量，並召開專家會議及提送至相關機關審查。

- 4.協調各部會討論濕地納入國家溫室氣體清冊之分工及程序：依照國家溫室氣體清冊的分類藍碳屬於沿海濕地，隸屬「土地利用、土地利用變化及林業部門(LULUCF)」章節下的濕地類別。而符合拉姆薩公約之濕地分類類型定義之土地又包含水田、水產養殖、河川、減河、運河、溝渠、水庫、湖泊、蓄水池、水道沙洲灘地、海面、濕地及灘地等，所涉及的管理單位包含農業部、農業部林業及自然保育署、經濟部水利署、內政部國家公園署、海委會等等。因此，將藍碳納入國家溫室氣體清冊前，需要與各部會討論訂定濕地碳匯盤查框架，以釐清各部會在計算各類濕地碳匯之分工、程序及各自主責的濕地類型，確保沿海濕地(藍碳)碳匯估算不會與其他濕地或土地利用類型重複計算。清楚整體濕地碳匯盤查框架後，再將「維

持沿海濕地」之碳匯量納入國家溫室氣體清冊，才能確保後續納入其他濕地類型時各類型濕地界定標準的一致性。本計畫依照藍碳棲地涉及的管理機關，以及有執行碳匯相關計畫的單位，建議各部會分工架構如表 5.2-4。活動數據方面，整體濕地需要由國家公園署彙整，其中沿海濕地可以由海洋保育相關事務的協調機關海保署負責三種盤查藍碳棲地的盤查和彙整。排放係數方面，長期監測可由有相關計畫的單位持續進行，其中部分紅樹林也屬於農業部管理的自然保留區，因此紅樹林排放係數監測計畫可由農業部林業及自然保育署負責；海草床長期監測目前有漁業署規畫第二年的計畫，因此海草床排放係數監測計畫可繼續由漁業署負責；潮汐鹽沼由於多分布於各地方政府管理的沿海濕地，因此可由國家公園署統一規畫進行潮汐鹽沼碳匯長期監測。藍碳棲地排放係數彙整，如同活動數據一樣也建議由海保署和國家公園署彙整。其他欄位是考量藍碳生態系可分布於鹽田及魚塭，日後推動藍碳自願減量方法學也可能用到低利用度鹽田及魚塭，因此若要進行藍碳復育等土地利用調查及規畫，其中鹽田多屬於國家風景區為觀光署主責，而魚塭為漁業署負責。此項目目前各部會尚未協調，僅有本計畫及相關計畫提出初步建議。

表 5.2-4 碳匯計畫的各部會分工架構建議表

藍碳棲地	活動數據		排放係數		其他
	盤查	規畫/彙整	長期監測	彙整	
紅樹林	海保署	國家公園署 海保署	林業署	國家公園署 海保署	觀光署 漁業署
海草床			漁業署		
潮汐鹽沼			國家公園署		

(二)中期(三年內):參照 IPCC 系列指南規則及臺灣濕地碳匯盤查框架項目，精進藍碳排放係數及各類型濕地活動數據

- 1.釐清「維持各類型濕地」的活動數據：依照臺灣濕地碳匯盤查框架之分工，彙整各類型濕地之主責部會所提供的濕地活動數據，以便與沿海濕地活動數據比對，確保無重複計算。同時，至少每三年進行一次沿海濕地

面積盤查，並且參考 2006 IPCC NIR 指南第一卷第五章和我國國家溫室氣體清冊之林業部門，使用內插法推估各盤查年份之間的沿海濕地面積。目前此計畫有內政部及工研院進行，但尚未整合及定案各類濕地的活動數據分類方式。

2. 執行藍碳排放係數長期監測機制：根據 IPCC 規定，為確保排放係數品質須進行品質保證/控制(QA/QC)，即針對排放係數定期審查。透過劃設永久樣區和定期監測計畫，並參照 2013 IPCC NIR 濕地補充指南第七章的品質控制模型，以確保藍碳棲地排放係數的正確性。劃設排放係數長期監測樣區時，需考慮不同活動數據的子類型。以紅樹林而言，在臺灣北部為水筆仔優勢，南部則是海茄苳優勢，其餘物種零星分布。因此，水筆仔的長期監測樣點建議設在北部，如淡水河；海茄苳及五梨跤可設置在南部的「好美寮濕地」。以海草床而言，98%的海草床都屬於亞潮帶子類，並位於東沙島。在東沙島，不同海草物種的分布有依照水深分區的趨勢，日後可朝此方向劃分不同物種的長期監測樣點。此項目目前僅在此計畫及漁業署計畫提出紅樹林及海草床長期監測的初步構想。

3. 建立其他濕地類型碳匯盤查方法學：依照臺灣濕地碳匯盤查框架針對各類型濕地發展碳匯盤查方法學，以利後續估算各類濕地及各類轉換為濕地之排放係數，確保國家溫室氣體清冊濕地章節的完整性。目前其他濕地排放係數的彙整包含林業署及國家公園署皆有在進行，但尚未提出完整碳匯量測方法學。

4. 建立「維持各類型濕地」之排放係數：彙整國內各類型濕地碳匯研究成果，並利用各濕地類型碳匯盤查方法學測量及計算「維持各類型濕地」之排放係數。目前其他濕地排放係數的彙整包含林業署及國家公園署皆有在進行。

中期目標核心在於落實藍碳排放係數的長期監測，以降低藍碳碳匯國家特定係數(Tier 2 估算)的不確定性；完成「建立各類轉換為濕地之活動數據」之前置作業，也是日後提高全國藍碳碳匯估算精確度的重要工作。

(三)長期(五年內)：參照 IPCC 系列指南規則及臺灣濕地碳匯盤查框架執行經驗，建立各類轉換濕地之活動數據及排放係數

- 1.釐清其他 LULUCF 類別轉換為濕地之活動數據：參考林業土地利用矩陣，計算轉換為濕地之活動數據，並且促進各部會建立活動數據之地理資訊系統(GIS)，以便日後更精準地釐清各土地利用類型之維持與轉換。
- 2.建立「轉換為沿海濕地」之排放係數：依照臺灣藍碳碳匯盤查方法學，測量轉變為沿海濕地未達 20 年之沿海濕地排放係數。同時，建立濕地碳匯資料庫彙整各類濕地排放係數，以利後續排放係數之精進。
- 3.建立「轉換為沿海濕地」之排放係數長期監測機制：劃設樣區並透過定期監測計畫，確保「轉換為沿海濕地」之排放係數品質。

長期目標核心在於「建立各類轉換濕地之活動數據」，以估算「轉換為沿海濕地」之碳匯量，完善全國藍碳碳匯估算。同時，發展濕地碳匯資料庫，彙整各類濕地活動數據及排放係數，以利不同年份之排放量彙整比較及評估管理。例如，利用資料庫彙整每個量測樣點的紅樹林排放係數，和樹齡、樹密度、土壤密度等影響碳匯量的生物及環境因子，就能釐清紅樹林隨著樹齡及植株密度而改變的碳匯能力，以及不同土壤條件下的有機碳埋藏速率，以提高紅樹林排放係數的準確性。長期目標皆處於初步構想，尚未有計畫執行沿海濕地轉換的活動數據和排放係數的建立。

參考文獻

(一)、 中文

1. 期刊

- (1) 王相華、傅淑瑋、鄧國禎、洪西洲、廖學儀，〈臺灣紅樹林面積變遷及物種組成現況〉，《臺灣林業》41(民104年4月)：47-51。
- (2) 邱祈榮、莊媛卉，〈國家溫室氣體排放清冊林業部門編撰實務說明。臺灣林業〉，《臺灣林業》42(民105年8月)：18-30。
- (3) 莊昇勳，〈南非德班會議後之國際碳市場 發展觀察與我國可能之參與〉，《永續產業發展季刊》58(民101年5月)：45-49。
- (4) 莊昇勳、連興隆，〈碳外匯在境外碳權經營與國際合作的應用〉，《碳經濟》21(民100年)：53-56。
- (5) 陳丁章，〈我國碳交易機制與國際接軌的可行性評估〉，《臺灣科技法律與政策論叢》9卷2期(民101年12月)：171 - 223。
- (6) 陳光程、王靜、許方宏、楊袁筱月、范敏、黃山楓、王振楊、楊彪、聶曦、陳順洋、張晶、陳彬，〈濱海藍碳碳匯項目開發現狀及推動我藍碳碳匯項目開發的建議〉，《應用海洋學學報》41(民110年)：177-184。

2. 圖書、論文與報告

- (1) 中國國家林業局《碳匯造林項目設計文件編制指南》(LY/T 2743-2016) (中國國家林業局，民 105 年)
- (2) 中華人民共和國國家發展和改革委員會，《AR-CM-001-V01 碳匯造林項目方法學》(中國北京：中華人民共和國國家發展和改革委員會，民 102 年)。
- (3) 中華人民共和國福建省質量技術監督局，《福建地方標準—海峽兩岸共通紅樹林碳匯監測與計量技術規程》(中國北京：ch 福建省質量技術監督局，民 112 年)。
- (4) 行政院農業委員會，《臺灣 2050 淨零轉型「自然碳匯」關鍵戰略行動計畫(核定本)》(台北市：行政院農業委員會，民 112 年 4 月)。
- (5) 行政院環境保護署，《溫室氣體專用名詞手冊》(台北市：行政院環境保護署，民 99 年 7 月)。
- (6) 行政院環境保護署氣候變遷辦公室，《氣候變遷相關中英文對照及名詞解釋》(台北市：行政院環境保護署氣候變遷辦公室，民 99 年 7 月)。
- (7) 吳欣恂，《水筆仔與海茄苳碳收支模式》(台中市：國立中興大學，民 110)。
- (8) 李世博，《臺南七股紅樹林碳收支模式》(台中市：國立中興大學，民 103)。

- (9) 周孟群,《紅樹林細根生物量對碳收支之貢獻》(台中市:國立中興大學,民 110)。
- (10) 林幸助,《我國海洋生態調查監測網與監測規範建立之整體規劃》(高雄市,國家海洋研究院,民 109 年 8 月)。
- (11) 林幸助,陳彤昀,《108 年紅樹林生態系調查計畫成果報告書》(高雄市:海洋委員會海洋保育署,民 108)。
- (12) 林幸助、陳彤昀,《108 年海草床生態系調查計畫成果報告書》(高雄市:海洋委員會海洋保育署,民 108)。
- (13) 林幸助、陳冠宇,《臺灣沿海重要碳匯生態系統調查與評估計畫成果報告書》(高雄市:海洋委員會海洋保育署,民 111)。
- (14) 林幸助、陳渭中,《106-107 年度重要濕地碳匯調查計畫-附錄:濕地碳匯功能調查標準作業程序》(台北市:內政部國土管理署城鄉發展分署,民 107)。
- (15) 邱仕涵,《墾丁大光潮間帶泰來草床之無脊椎動物群集及碳收支模式》(台中市:國立中興大學,民 103)。
- (16) 柯智仁,《臺灣海草分類及分布之研究》(高雄市:國立中山大學,民 93)。
- (17) 柳婉郁,《碳匯之發展趨勢及國內策略研析》(台北市:財團法人中技社,民 111 年 12 月),頁 211-262。
- (18) 陳柏宏,《淡水河紅樹林及草澤植物的碳儲存量與碳收支》(台中市:國立中興大學,民 103)。
- (19) 陳冠宇,《氣候變遷對熱帶藍碳系統的影響-墾丁潮間帶海草之競爭、消長及影響因素》(台中市:國立中興大學,民 110)。
- (20) 黃日聖,《紅樹林疏伐對碳吸存之影響》(台中市:國立中興大學,民 105)。
- (21) 廖璟郡,《新竹香山濕地植物之碳吸存量》(台中市:國立中興大學,民 101)。
- (22) 楊少鈞,《紅樹林樹幹溫室氣體排放量》(台中市:國立中興大學,民 112)。
- (23) 鄒宜芳,《海草地下部生產力對潮間帶海草床碳匯之貢獻》(台中市:國立中興大學,民 110)。
- (24) 劉弼仁、林幸助、楊明德,《東沙環礁海草生態相調查》(高雄市:海洋國家公園管理處,民 107)。
- (25) 廣東省環境廳,《廣東省林業碳匯普惠方法學》(中國廣東:廣東省環境廳,民 111 年)。
- (26) 薛美莉,《消失中的濕地森林:記臺灣的紅樹林》(南投縣:行政院特有生物研究中心,民 84)。

3. 網頁資料

- (27)國家發展委員會，〈臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明〉（民 111 年 3 月 30 日）。<
https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=DEE68AAD8B38BD76 > (1 Mar. 2023).
- (28)環境部簡介，<https://www.moenv.gov.tw/page/5A0E27584B528FF5>。
- (29)環境部發布「溫室氣體自願減量專案管理辦法」及「溫室氣體排放量增量抵換管理辦法」，
<https://enews.moenv.gov.tw/Page/3B3C62C78849F32F/82daef64-3816-42ef-af0f-eb58fd46a927>。
- (30)溫室氣體自願減量專案管理辦法草案總說明，
<https://enews.moenv.gov.tw/DisplayFile.aspx?FileID=866D87060A3AD819>。

(二)、 英文

1. 期刊

- (1) A. M. Nahlik, and M. S. Fennessy. “Carbon storage in US wetlands,” *Nature Communications* 7, no. 1 (Dec. 2016): 1-9.
- (2) B. A. Needelman, I. M. Emmer, S. Emmett-Mattox, S. Crooks, J. P. Megonigal, D. Myers, M. P. J. Oreska and K. McGlathery. “The science and policy of the verified carbon standard methodology for tidal wetland and seagrass restoration,” *Estuaries and Coasts* 41, (Jun. 2018): 2159-2171.
- (3) B. R. Van Dam, M. A. Zeller, C. Lopes, A. R. Smyth, M. E. Böttcher, C. L. Osburn, T. Zimmerman, D. Profrock, J. D. Fourqurean and H. Thomas. “Calcification-driven CO₂ emissions exceed “Blue Carbon” sequestration in a carbonate seagrass meadow,” *Science Advances* 7 no.51 (Dec. 2021) eabj1372.
- (4) B. W. Heumann, and B. W. “Satellite remote sensing of mangrove forests: Recent advances and future opportunities,” *Progress in Physical Geography* 35, (2011): 87-108.
- (5) C. Gorham, P. S. Lavery, J. J. Kelleway, P. Masque, and O. Serrano. “Heterogeneous tidal marsh soil organic carbon accumulation among and within temperate estuaries in Australia,” *Science of The Total Environment* 787, (May. 2021): 147482.

- (6) C. M. Duarte, J. J. Middelburg, and N. Caraco. "Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle," *Biogeosciences* 2 (Feb. 2005): 1-8.
- (7) C. W. Lin, Y. C. Kao, M. C. Chou, H. H. Wu, C. W. Ho, and H. J. Lin. "Methane emissions from subtropical and tropical mangrove ecosystems in Taiwan," *Forests* 11 (Apr. 2020): 470.
- (8) C. W. Lin, Y. C. Kao, W. J. Lin, C. W. Ho, and H. J. Lin. "Effects of pneumatophore density on methane emissions in mangroves," *Forests* 12 (Mar. 2021): 314.
- (9) D. Krause-Jensen, and C. M. Duarte. "Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration," *Nature Geoscience* 9 (Sep. 2016): 737-742.
- (10) E. Mcleod, G. L. Chmura, S. Bouillon, R. Salm, M. Björk, C. M. Duarte, C. E. Lovelock, W. H. Schlesinger, and B. R. Silliman. "A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂," *Frontiers in Ecology and the Environment* 9 (Jan. 2011): 552-560.
- (11) G. L. Chmura. "What do we need to assess the sustainability of the tidal salt marsh carbon sink?," *Ocean & Coastal Management* 83 (Sep. 2013): 25-31.
- (12) G. L. Chmura, S. C. Anisfeld, D. R. Cahoon, and J. C. Lynch. "Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils," *Global biogeochemical cycles* 17 (Dec. 2003): 1111.
- (13) G. M. Reithmaier, S. G. Johnston, T. Junginger, M. M. Goddard, C. J. Sanders, L. B. Hutley, D.T. Ho and D. T. Maher. "Alkalinity production coupled to pyrite formation represents an unaccounted blue carbon sink," *Global biogeochemical cycles* 35 no.4 (Mar. 2021) e2020GB006785.
- (14) H. E. Landsberg. "Man-Made Climatic Changes: Man's activities have altered the climate of urbanized areas and may affect global climate in the future," *Science* 170, no. 3964 (Dec. 1970): 1265-1274.
- (15) H. J. Lin., L. Y. Hsieh, and P. J. Liu. "Seagrasses of Tongsha Island, with descriptions of four new records to Taiwan," *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 46 (Apr. 2005): 163-168.
- (16) H. J. Poffenbarger, B. A. Needelman, & J. P. Megonigal. "Salinity influence on methane emissions from tidal marshes,"

- Wetlands 31, no.5 (Jul. 2011): 831-842.
- (17)I. Brito-Morales, D. S. Schoeman, J. G. Molinos, M. T. Burrows, C. J. Klein, N. Arafeh-Dalmau, and A. J. Richardson. "Climate velocity reveals increasing ex-posure of deep-ocean biodiversity to future warming," Nature Climate Change 10, no. 6 (May. 2020): 576-581.
 - (18)J. J. Middelburg. "Reviews and syntheses: To the bottom of carbon processing at the seafloor," Biogeosciences 15 (Jan. 2018): 413 – 427.
 - (19)J. Powell. "Scientists reach 100% consensus on anthropogenic global warming," Bulletin of Science, Technology & Society 37, no. 4 (2017): 183-184.
 - (20)J. Rocklöv, R. Dubrow. "Climate change: an enduring challenge for vector-borne disease prevention and control," Nature immunology 21, no. 5 (2020): 479-483.
 - (21)J. S. Kikstra, P. Waidehlich, P. Rising, D. Yumashev, C. Hope, and C. M. Brierley. "The social cost of carbon dioxide under climate-economy feedbacks and temperature variabil-ity," Environmental Research Letters 16, no. 9 (Feb. 2021): 094037.
 - (22)K. Y. Chen, and H. J. Lin. "High-resolution mapping of seagrass biomass dynamics suggests differential response of seagrasses to fluctuating environments," Diversity 14 (Nov. 2022): 999.
 - (23)L. Zinke. "The colours of carbon," Nature Reviews Earth & Environment 1, no. 3 (Mar. 2020): 141-141.
 - (24)M. Aklin and J. Urpelainen. "Perceptions of scientific dissent undermine public support for environmental policy," Environmental Science & Policy 38,(Apr. 2014): 173-177.
 - (25)M. Dahl, M. E. Asplund, S. Bergman, M.Björk, S. Braun, E. Löfgren, E. Martandi, P. Masque, R. Svensson and M. Gullström, "First assessment of seagrass carbon accumulation rates in Sweden: A field study from a fjord system at the Skagerrak coast," PLOS Climate 2, no.1 (Jan. 2023): e00000099.
 - (26)M. Huxham, D. Whitlock,M. Githaiga and A. Dencer-Brown, "Carbon in the coastal seascape: how interactions between mangrove forests, seagrass meadows and tidal marshes influence carbon storage," Current Forestry Reports 4, (Apr. 2018): 101-110.
 - (27)M.M. Moritsch, K.B. Byrd, M. Davis, A. Good, J. Z. Drexler, J. T.

- Morris, I. Woo, L. Windham-Myers, E. Grossman, G. Nakai, K. L. Poppe, and J. M. Rybczyk. “Can Coastal Habitats Rise to the Challenge? Resilience of Estuarine Habitats, Carbon Accumulation, and Economic Value to Sea-Level Rise in a Puget Sound Estuary,” *Estuaries and Coasts* 45 (May. 2022): 2293–2309.
- (28)M. Q. Chou, W. J. Lin, C. W. Lin, H. H. Wu, and H. J. Lin. “Allometric equations may underestimate the contribution of fine roots to mangrove carbon sequestration,” *Science of The Total Environment* 833 (Aug. 2022): 155032.
- (29)M. S. Azman, S. Sharma, M. L. Hamzah, R. M. Zakaria, K. Palaniveloo, and R. A. MacKenzie. “Total ecosystem blue carbon stocks and sequestration potential along a naturally regenerated mangrove forest chronosequence ,” *Forest Ecology and Management* 527 (Jan. 2023): 120611.
- (30)M. Stankovic, R. Ambo-Rappe, F. Carly, F. Dangan-Galon, M. D. Fortes, M. S. Hossain, W. Kiswara, C. V. Luong, P. Minh-Thuj, A. K. Mishra, T. Noiraksar, N. Nurdin, J. Panyawai, E. Rattanachot, M. Rozaïmi, U. S. Htun, and A. Prathep, “Quantification of blue carbon in seagrass ecosystems of Southeast Asia and their potential for climate change mitigation,” *Science of the Total Environment* 783 (Aug. 2021): 146858.
- (31)M. S. Habibullah, B. H. Din, S. H. Tan, and H. Zahid. “Impact of climate change on biodiversity loss: global evidence,” *Environmental Science and Pollution Research* 29, no. 1 (2022): 1073-1086.
- (32)M. Wesselmann, N. R. Geraldi, C. M. Duarte, J. Garcia-Orellana, R. Díaz-Rúa, A. Arias-Ortiz, I. E. Hendriks, E. T. Apostolaki and N. Marbà. “Seagrass (*Halophila stipulacea*) invasion enhances carbon sequestration in the Mediterranean Sea,” *Global Change Biology* 27, no.11 (Feb. 2021): 2592-2607.
- (33)N. Perera, E. Lokupitiya, D. Halwatura, and S. Udagedara. “Quantification of blue carbon in tropical salt marshes and their role in climate change mitigation,” *Science of the Total Environment* 820 (2022): 153313.
- (34)N. C. Davidson, and C. M. Finlayson. “Updating global coastal wetland areas presented in Davidson and Finlayson,” 70 (Jan. 2019): 1195-1200.
- (35)N. Gruber, D. Clement, B. R. Carter, R. A. Feely, S. Van Heuven,

- M. Ishii, R. M. KEY, A. Kozyr, S.K. Lauvset, C. Lo Monaco, J. T. Mathis, A. Murata, A. Olsen, F. F. Perez, C. L. Sabine, T. Tanhua, and R. Wanninkhof. "The oceanic sink for anthropogenic CO₂ from 1994 to 2007," *Science* 363 (Mar. 2019): 1193-1199.
- (36)O. Serrano, C.E. Lovelock, and B. Atwood. "Australian vegetated coastal ecosystems as global hotspots for climate change mitigation," *Nature Communications* 10 (Oct. 2019): 4313.
- (37)P. I. Macreadie, A. Anton, J. A. Raven, N. Beaumont, R. M. Connolly, D. A. Friess, J. J. Kelleway, H. Kennedy, T. Kuwae, and P. S. Lavery. "The future of Blue Carbon science," *Nature communications* 10 (Sep. 2019): 1-13.
- (38)P. Mueller, L. Kutzbach, T. J. Mozdzer, E. Jespersen, D. C. Barber and F. Eller. "Minerogenic salt marshes can function as important inorganic carbon stores," *Limnology and Oceanography* 9999. (Nov. 2023):1-11.
- (39)Roque, B. M., Venegas, M., Kinley, R. D., de Nys, R., Duarte, T. L., Yang, X., & Kebreab, E. (2021). Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. *Plos one*, 16(3), e0247820.
- (40)R. E. Dunlap. "Climate change skepticism and denial: An introduction," *American behavioral scientist* 57, no.6 (Feb. 2013): 691-698.
- (41)R. Mukhopadhyay, B. Sarkar, H. S. Jat, P. C. Sharma, and N. S. Bolan. "Soil sa-linity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food secu-rity," *Journal of Environmental Management* 280 (2021): 111736.
- (42)R. Stouffer, S. Manabe, and K. Bryan. "Interhemispheric asymmetry in climate re-sponse to a gradual increase of atmospheric CO₂," *Nature* 342 (Jul. 1998): 660-662.
- (43)S. B. Li, P. H. Chen, J. S. Huang, M. L. Hsueh, L. Y. Hsieh, C. L. Lee, and H. J. Lin. "Factors regulating carbon sinks in mangrove ecosystems," *Global change biology* 24 (May 2018): 4195-4210.
- (44)S. C. Lee, C. J. Fan, Z. Y. Wu, and J. Y. Juang. "Investigating effect of environmental controls on dynamics of CO₂ budget in a subtropical estuarial marsh wetland ecosystem," *Environmental Research Letter* 10 (Feb. 2015): 025005.
- (45)S. Dangendorf, C. Hay, F. M. Calafat, M. Marcos, C. G. Piecuch, K. Berk, and J. Jensen. "Persistent acceleration in global sea-

- level rise since the 1960s,” *Nature Climate Change* 9, no. 9 (Aug. 2019): 705-710.
- (46) S. Ghosh, D. R. Mishra and A. A. Gitelson. “Long-term monitoring of biophysical characteristics of tidal wetlands in the northern Gulf of Mexico—A methodological approach using MODIS,” *Remote Sensing of Environment* 173, (Dec. 2016): 39-58.
- (47) S. Ghazinoory, M. Abdi, and M. Azadegan-Mehr. “SWOT methodology: a state-of-the-art review for the past, a framework for the future,” *Journal of business economics and management* 12, 1 (Apr. 2011): 24-48.
- (48) S. H. Chiu, Y. H. Huang, and H. J. Lin. “Carbon budget of leaves of the tropical intertidal seagrass *Thalassia hemprichii*,” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 125 (Jul. 2013): 27-35.
- (49) S. L. Van der Linden, A. A. Leiserowitz, G. D. Feinberg, and E. W. Maibach. “How to communicate the scientific consensus on climate change: plain facts, pie charts or meta-phors?,” *Climatic Change* 126 (Feb. 2014): 225-262.
- (50) T. B. Atwood, A. Witt, J. Mayorga, E. Hammill, and E. Sala. “Global patterns in marine sediment carbon stocks,” *Frontiers in Marine Science* 7 (2020): 165.
- (51) T. D. Pham, N. Yokoya, D. T. Bui, K. Yoshino, and D. A. Friess. “Remote sensing approaches for monitoring mangrove species, structure, and biomass: Opportunities and challenges,” *Remote Sensing* 11, (2019): 203.
- (52) T. Sun, I.B. Ocko, and E. Sturcken. “Path to net zero is critical to climate out-come,” *scientific reports* 11 (Nov. 2021): 22173.
- (53) T. S. Ostermann, M. Kleyer, M. Heuner, E. Fuchs, S. Temmerman, K. Schoutens, J. T. Bouma and V. Minden. “Hydrodynamics affect plant traits in estuarine ecotones with impact on carbon sequestration potentials,” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 259 (Jun. 2021): 107464.
- (54) V. Saderne, M. Fusi, T. Thomson, A. Dunne, F. Mahmud, F. Roth, S. Carvalho and C. M. Duarte. “Total alkalinity production in a mangrove ecosystem reveals an overlooked Blue Carbon component,” *Limnology and oceanography letters* 6, no.2 (Oct. 2021): 61-67.
- (55) W. C. Chou, L. F. Fan, C. C. Yang, Y. H. Chen, C. C. Hung, W. J. Huang, Y. Y. Shih, K. Soong, H. C. Tseng, G. C. Gong, H. Y. Chen

- and C. K. Su. “A Unique Diel Pattern in Carbonate Chemistry in the Seagrass Meadows of Dongsha Island: The Enhancement of Metabolic Carbonate Dissolution in a Semienclosed Lagoon,” *Frontiers in Marine Science* 8 (Nov. 2021): 717685.
- (56)X. Gu, H. Zhao, C. Peng, X. Guo, Q. Lin, Q. Yang, and L. Chen. “The mangrove blue carbon sink potential: Evidence from three net primary production assessment methods,” *Forest Ecology and Management*, 504 (Jan. 2022): 119848.
- (57)Y. F. Zou, K. Y. Chen, and H. J. Lin. “Significance of belowground production to the long-term carbon sequestration of intertidal seagrass beds,” *Science of The Total Environment* 800 (Dec. 2021): 149579.
- (58)Y. H. Huang, C. L. Lee, C. Y. Chung, S. C. Hsiao, and H. J. Lin. “Carbon budgets of multispecies seagrass beds at Dongsha Island in the South China Sea,” *Marine Environmental Research* 106 (May. 2015): 92-102.

2. 圖書、論文與報告

- (1) Australian Government, National Inventory Report 2019—The Australian Government Submission to the United Nations Framework Convention on Climate Change (Australia, Department of Industry, Science and Resources, 2021).
- (2) Board, O. S., National Academies of Sciences, Engineering, & Medicine, A Research Strategy for Ocean-based Carbon Dioxide Removal and Sequestration (Washington: National Academies Press, 2021) .
- (3) CCB & VCS Project Description, Mangrove restoration project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.
- (4) Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdes, L., DeYoung, C., Fonseca, L., & Grimsditch, G., Blue carbon : the role of healthy oceans in binding carbon : a rapid response assessment (UNEP, 2009).
- (5) del Mar Otero, M., Manual for the creation of blue carbon projects in Europe and the Mediterranean (Spain: IUCN, Center for Mediterranean Cooperation, 2021), 144.
- (6) Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., & Tanabe K., 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared

- by the National Greenhouse Gas Inventories Programme (Japan: Intergovernmental Panel on Climate Change, Institute for Global Environmental Strategies (IPCC- IGES), 2006).
- (7) Short Frederick T. and Coles Robert G., 2001 Global seagrass research methods (Amsterdam: Elsevier, 2001).
 - (8) Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G., 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands (Switzerland: IPCC, 2014).
 - (9) Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E., Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves (Arlington, VA, USA: IUCN, 2014).
 - (10) Japan, National Greenhouse Gas Inventory Report of JAPAN (Japan, Ministry of the Environment, 2021).
 - (11) Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., & Wagner, F., Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (Japan: Intergovernmental Panel on Climate Change, National Greenhouse Gas Inventories Programme (IPCC-NGGIP), 2003).
 - (12) Restore America' s Estuaries, & Silvestrum, VM0033 METHODOLOGY FOR TIDAL WETLAND AND SEAGRASS RESTORATION (State of Washington: VERRA, 2021).
 - (13) UNFCCC, U., CDM methodology booklet (Bonn, Germany: United Nations Framework Convention on Climate Change, 2022).
 - (14) United States, Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks (United States, Environmental Protection Agency, 2021).
 - (15) VCS-Project-Description_VCR_V4_20211203-FINAL, 2022.

3. 網頁資料

- (1) “Carbon Rainbow,” USGS , 19 May. 2023,
<<https://www.usgs.gov/media/images/carbon-rainbow>> (19 May. 2023) .
- (2) “Global Risk Report 2023,” World Economic Forum, 1 Jan. 2023,
<https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2023/in-full?_gl=1*8gsfan*_up*MQ..&gclid=CjwKCAjwvJyjBhApEiWAWz2nLTPM6B1DF_DPXUDLiQ31bUrLMBj147wCrNF1JxU1SNclhY6GDocLUhoCjFoQAvD_BwE>
(Apr. 2023) .

- (3) “High-Quality Blue Carbon Principles and Guidance” Seeks to Drive Sustainability and Equity in the Blue Carbon Market,” The Nature Conservancy, 2022, < <https://www.nature.org/en-us/newsroom/blue-carbon-principles-guidance/>>
- (4) “Intent to integrity,” NET ZERO TRACKER, 2023, <<https://zerotracker.net/>> (Apr. 2023) .
- (5) “Issuance Certified Emission Reduction,” Issuance Certified Emission Reduction (CERs), 19 May. 2023, <https://cdm.unfccc.int/Issuance/cers_iss.html> (19 May. 2023) .
- (6) “Kyoto protocol 1997,” UNFCCC, 2011, < http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php >
- (7) “Ocean Turf Grass,” The IUCN Red List of Threatened Species, 2010, <<https://www.iucnredlist.org/species/173342/6995080>> (26 May 2023) .
- (8) “Publication: State and Trends of Carbon Pricing 2022,” World Bank, 2022, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/37455> License: [CC BY 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/) IGO.” <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/37455>
- (9) <https://www.planvivo.org/vanga-documents>

附件一 臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序

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

1.前言

本方法學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。負值表示排出溫室氣體到大氣或其他碳庫，正值表示移除大氣或其他碳庫的溫室氣體(即儲存溫室氣體在自身碳庫)。本方法學主要參考：

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. 內政部國土管理署城鄉發展分署「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, 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.
4. 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。
5. 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。
6. 林幸助、陳渭中(2021)。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。內政部國土管理署城鄉發展分署。
7. 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。

8. 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)。
9. 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。
10. 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暖化潛勢計算而得。依照 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 各溫室氣體之暖化潛勢，二氧化碳為 1、甲烷為 25、氧化亞氮為 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 3.67；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 1 公尺深)的碳含量。碳儲量可包含一個或者多個碳庫的碳總量。本方法學統一以二氧化碳暖化潛勢作轉換，單位為 t CO₂e ha⁻¹。

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(如海草床中的營養汙染)所導致。本書以正號表示增加之碳匯量做計算；若應用於臺灣國家溫室氣體排放清冊時，增加之碳匯量描述為碳移除量，需將碳匯量數據乘上負號來表示。

2.6.紅樹林 (mangroves)

由天然生長於海岸環境和海灣邊緣，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。臺灣紅樹林物種為海茄苳(*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，南部則以海茄冬為優勢，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，本方法學皆指生物量乾重。

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，本方法學皆指生物量乾重。

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.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。

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

用於監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。

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

紅樹林沉積物表面相對於同一地點地底下基準點高度的變化量。

2.15.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，得到 Tier 3 的估測值。

2.16.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，加總計算後取得 Tier 1 至 Tier 3 的估計值。

2.17.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，得到 Tier 3 和 Tier 2 估計值。

2.18.分區 (habitat zoning)

將存在異質性的調查區劃分成性質均一的小區。

2.19.測站 (monitoring station)

根據目標用於監測相關指標而設置的樣方或樣地。

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。本方法學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，從排水土壤轉換為飽和土壤

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濕地碳匯作業的三種估算層級，估算精確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(Achard et al., 2009)

層級	必備的資料	說明
1	使用 IPCC 估計的排放係數	Tier 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正負 50%，而土壤碳庫則為正負 90%。
2	國家特定資料的關鍵係數	Tier 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。例如，一個國家可能知道該國不同生態系類型的平均碳儲量。
3	主要碳庫的詳細調查、定期測量或模型計算	Tier 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，以取得該碳庫 Tier 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 Tier 1 至 Tier 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 Tier 3 和 Tier 2 估計值。

4.紅樹林碳匯計算

紅樹林碳匯由紅樹林有機碳儲存年變化量決定，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，如低鹽度環境下的甲烷排放及高營養鹽環境下的氧化亞氮排放。紅樹林溫室氣體排放量計算如公式(1)，碳儲量增加為正值、溫室氣體排放量為負值。

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

- $CS_{Mangrove}$ —紅樹林碳匯年變化量，單位為 $t\ CO_2e\ yr^{-1}$ ；
- $\Delta C_{Mangrove}$ —紅樹林碳儲存年變化量，單位為 $t\ CO_2e\ yr^{-1}$ ；
- $CH_4-Mangrove$ —紅樹林甲烷年排放量，單位為 $t\ CO_2e\ yr^{-1}$ ；
- $N_2O_{Mangrove}$ —紅樹林氧化亞氮年排放量，單位為 $t\ CO_2e\ yr^{-1}$ 。

4.1.有機碳儲存變化量

紅樹林有機碳儲存變化量利用碳庫差分法，較能涵蓋各碳庫晝夜、季節變化

之綜合結果，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)。

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

- $\Delta C_{Mangrove}$ —紅樹林有機碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e yr⁻¹；
- ΔC_B —紅樹林生物量碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e yr⁻¹；
- ΔC_{DOM} —紅樹林死有機質碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e yr⁻¹；
- ΔC_{Soils} —紅樹林土壤碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e yr⁻¹。

4.2 生物量碳儲存變化量

紅樹林生物量碳儲存變化量計算如公式(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 之完整監測方式，如 5.2.及 5.3.小節。

$$\Delta C_B = \sum_{ij} (A_{ij} \times G_{Total_{ij}}) \times 3.67 \quad \text{-----} \quad (3)$$

- ΔC_B —紅樹林生物量碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e yr⁻¹；
- A —紅樹林面積，單位為公頃(ha)；
- G_{Total} —單位面積紅樹林生長之碳儲存年增加量，單位為 t C ha⁻¹ yr⁻¹；
- 3.67—有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數；
- i —紅樹林樹種；
- j —紅樹林活動數據，即土地利用類型面積。

層級 1

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

- G_{Total} —單位面積紅樹林生長之碳儲存年增加量，單位為 t C ha⁻¹ yr⁻¹；
- G_{AB} —紅樹林地上部生物量平均年生長量(乾重)，單位為 t d.m. ha⁻¹ yr⁻¹；
- 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、紅樹林地上部生物量生長(t d.m. ha⁻¹ yr⁻¹)層級 1 估計值

氣候區	區域	地上部生物量生長 (t d.m. ha ⁻¹ yr ⁻¹)	95% CI	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	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; Pongpam, 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, 1.0	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	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

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

- G_{Total} —單位面積紅樹林生長之碳儲存年增加量，單位為 $t\ C\ ha^{-1}\ yr^{-1}$ ；
- G_{AB} —紅樹林地上部生物量平均年生長量(乾重)，單位為 $t\ d.m.\ ha^{-1}\ yr^{-1}$ ；
- CF_{AB} —紅樹林地上部有機碳含量百分比(%)；
- G_{BB} —紅樹林地下部生物量平均年生長量(乾重)，單位為 $t\ d.m.\ ha^{-1}\ yr^{-1}$ ；
- 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、臺灣紅樹林生長之碳儲存年增加量($t\ C\ ha^{-1}\ yr^{-1}$)層級 2 估計值

植被類型	G_{Total} ($t\ C\ ha^{-1}\ yr^{-1}$)	不確定性 U (%)	引用
水筆仔 <i>Kandelia obovata</i>	23.96	42.4	陳，2014；黃，2016；吳，2021；Li et al., 2018；Chou et al., 2022
海茄苳 <i>Avicennia marina</i>	11.62	96.3	李，2015；黃，2016；吳，2021；賴，2021；Li et al., 2018；Chou et al., 2022
欖李 <i>Lumnitzera racemosa</i>	15.75	100.8	賴，2021；黃，2021 (私人通訊)
五梨跤 <i>Rhizophora stylosa</i>	12.35	69.1	賴，2021；黃，2021 (私人通訊)

其中各生物量算法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 (%)	引用
水筆仔 <i>Kandelia obovata</i>	50.3	13.8	43.2	14.3	陳，2014；黃，2016；吳，2021；Li et al., 2018；Chou et al., 2022
海茄苳 <i>Avicennia marina</i>	48.0	14.3	41.69	11.3	李，2015；黃，2016；吳，2021；賴，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，2015
五梨跤 <i>Rhizophora stylosa</i>	44.1	SD: ±0.3	40.5	SD: ±0.1	李，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 死有機質碳儲存變化量

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，死有機質碳庫變化為 0。部分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 之完整監測方式，如 5.4.小節。

$$\Delta C_{DOM} = A_{ij} \times \Delta DW_{ij} \times 3.67 \quad \text{-----} \quad (6)$$

- ΔC_{DOM} —紅樹林死有機質碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e yr⁻¹；
- A —紅樹林面積，單位為公頃(ha)；
- ΔDW —紅樹林死有機質碳儲存年變化量，單位為 t C ha⁻¹ yr⁻¹；
- 3.67—有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數；
- i —紅樹林樹種；
- j —紅樹林活動數據，即土地利用類型面積。

層級 1

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

- ΔDW —紅樹林死有機質碳儲存年變化量，單位為 $t\ C ha^{-1} yr^{-1}$ ；
- G_{Total} —單位面積紅樹林生長之碳儲存年增加量，單位為 $t\ C ha^{-1} yr^{-1}$ ；
- $F_{D/G}$ —紅樹林枯木碳儲量與紅樹林生物量碳儲量之比值，可帶入大陸地區的測量值 6.23% (陳，2023)。

層級 2、3

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

- ΔDW —紅樹林死有機質碳儲存年變化量，單位為 $t\ C ha^{-1} yr^{-1}$ ；
- $DS1$ —腐爛層級 1 的枯木，還殘留多數葉子及枝條，可使用活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，或是將總活生物量碳儲量乘上 2.5% (Howard, 2014)；
- $DS2$ —腐爛層級 2 的枯木，僅剩少數枝條，使用活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 土壤有機碳儲存變化量

紅樹林土壤有機碳儲存變化量計算如公式(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綜合結果，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，導致土壤沉積物擾動較多，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 之完整監測方式，如 5.5.小節。

層級 1：

$$\Delta C_{Soils} = A_{ij} \times EF_{ij-Soils} \times 3.67 \text{ ----- (9)}$$

- ΔC_{Soils} —紅樹林有機土壤碳儲存年變化量，單位為 $t\ CO_2e\ yr^{-1}$ ；
- $EF_{ij-Soils}$ —紅樹林土壤碳排放係數，單位為 $t\ C ha^{-1} yr^{-1}$ ；
- A —紅樹林面積，單位為公頃(ha)；
- 3.67—有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數；
- i —紅樹林樹種；
- j —紅樹林活動數據，即土地利用類型面積。

表 7、開始重建植被再濕潤(EF_{RE-Soils})有機及礦物聚合土壤的年度排放係數(t C ha⁻¹ yr⁻¹)層級 1 估計值

生態系	EF _{RE} (t C ha ⁻¹ yr ⁻¹)	95% CI	引用
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

此處正值表示土壤有機碳儲存年變化正值，即為土壤有機碳儲量增加

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

生態系	EF _{DR} (t C ha ⁻¹ yr ⁻¹)	95% CI	引用
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

此處負值表示土壤有機碳儲存年變化負值，即為土壤有機碳儲量減少

層級 2、3 之方法(1)：

$$\Delta C_{Soils} = A_{ij} \times CAR_{ij} \times 3.67 \quad \text{-----} \quad (10)$$

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

- ΔC_{Soils} —紅樹林土壤有機碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e yr⁻¹；
- 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⁻¹ yr⁻¹；
- 3.67—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⁻¹；
- SBD —紅樹林土壤總體密度，單位為 g cm⁻³；
- CF_{-Soils} —紅樹林土壤有機碳含量百分比(%)；
- i —紅樹林樹種；
- j —紅樹林活動數據，即土地利用類型面積。

層級 2、3 之方法(2)：

$$\Delta C_{Soils} = A_{ij} \times \Delta C_{A-Soils} \times 3.67 \quad \text{-----} \quad (12)$$

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

- ΔC_{Soils} —紅樹林土壤有機碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e yr⁻¹；
- 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存年增加量，單位為 t C ha⁻¹ yr⁻¹；
- 3.67—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 $\text{t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ；
- 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 $\text{t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ；
- W_{FRM} —紅樹林地下部死亡細根分解剩餘量百分比(%)；
- i —紅樹林樹種；
- j —紅樹林活動數據，即土地利用類型面積。

表 9、臺灣紅樹林土壤有機碳儲存年變化($\text{t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)層級 2 估計值

植被類型	$\Delta C_{A-Soils}$ ($\text{t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)	不確定性 U (%)	引用
水筆仔 <i>Kandelia obovata</i>	1.11	89.7	陳，2014；黃，2016；吳，2021；Li et al., 2018；Chou et al., 2022
海茄苳 <i>Avicennia marina</i>	1.20	75.9	李，2015；黃，2016；吳，2021；賴，2021；Li et al., 2018；Chou et al., 2022
欖李 <i>Lumnitzera racemosa</i>	1.70	160.2	賴，2021；黃，2021(私人通訊)
五梨跤 <i>Rhizophora stylosa</i>	1.01	151.0	賴，2021；黃，2021(私人通訊)

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的有機碳，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。此處土壤有機碳儲存年變化正值，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 (%)	引用
水筆仔 <i>Kandelia obovata</i>	14.8	94.7	Lin et al., 2023
海茄苳 <i>Avicennia marina</i>	10.9	68.9	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 甲烷排放量

紅樹林甲烷排放計算如公式(14)、(15)，在層級 1 僅有再濕潤土地有估計值，如表 11；層級 3 之完整監測方式，如 5.6.小節。依照 2013 IPCC NIR 濕地補充指南，水體鹽度小於 18psu 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，並且只在退潮時鹽度才會低於 18psu，因此一般情況下可忽略不計。

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

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

- $CH_{4-Mangrove}$ —紅樹林甲烷年排放量，單位為 t CO₂e yr⁻¹；
- 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年排放量，單位為 t CH₄ ha⁻¹ yr⁻¹；
- GWP_{CH_4} —甲烷暖化潛勢；
- $CH_{4-Soils}$ —單位面積紅樹林土壤甲烷年排放量，單位為 t CH₄ ha⁻¹ yr⁻¹；
- $CH_{4-Trees}$ —單位面積紅樹林樹幹甲烷年排放量，單位為 t CH₄ ha⁻¹ yr⁻¹；
- i —紅樹林樹種；
- j —紅樹林活動數據，即土地利用類型面積。

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_{CH₄-REwet})層級 1 估計值

植被類型	鹽度 (psu)	EF _{CH₄-REwet} (t CH ₄ ha ⁻¹ yr ⁻¹)	95% CI	引用
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		

此處負值表示有機碳儲存被甲烷排放所抵銷

4.6 氧化亞氮排放量

紅樹林氧化亞氮排放估算層級 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 之完整監測方式，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氧化亞氮排放量，如表 12。

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

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

- $N_2O_{Mangrove}$ —紅樹林氧化亞氮年排放量，單位為 t CO₂e yr⁻¹；
- 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年排放量，單位為 t N₂O ha⁻¹ yr⁻¹；
- GWP_{N_2O} —氧化亞氮暖化潛勢；
- N_2O_{Soils} —單位面積紅樹林土壤氧化亞氮年排放量，單位為 t N₂O ha⁻¹ yr⁻¹；
- N_2O_{Tress} —單位面積紅樹林樹幹氧化亞氮年排放量，單位為 t N₂O ha⁻¹ yr⁻¹；
- i —紅樹林樹種；
- j —紅樹林活動數據，即土地利用類型面積。

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 per t-fish produced)	95% CI	引用
-1.69×10 ⁻³	0, -3.8×10 ⁻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，此處負值表示有機碳儲存被氧化亞氮排放所抵銷

5.紅樹林有機碳儲存及排放係數監測技術

5.1.監測分區及測站設置

監測分區及測站設置需權衡所需監測精度及成本(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(如紅樹林物種、樹齡及植株密度)，或是依照環境條件分區(如水文地貌特徵、沉積物類型)。測站設計可依照監測目的採用(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)。

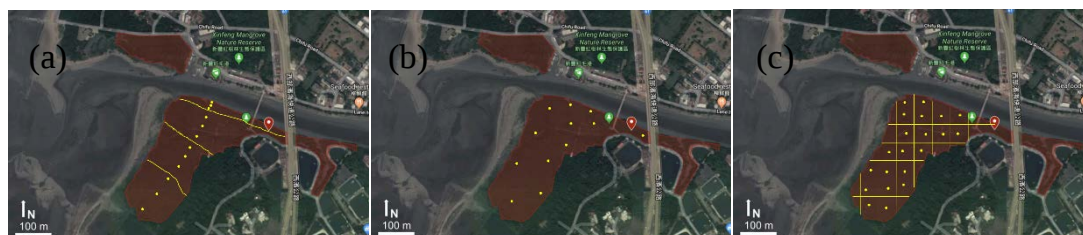


圖 1、測站排列策略(a)線性設計(b)隨機設計(c)網格設計

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。

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

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

- G_{AB} —紅樹林地上部生物量平均年生長量(乾重)，單位為 t d.m. ha⁻¹ yr⁻¹；
- AB —紅樹林單位面積地上部生物量乾重，單位為 t d.m. ha⁻¹；
- G_{BB} —紅樹林地下部生物量平均年生長量(乾重)，單位為 t d.m. ha⁻¹ yr⁻¹；
- BB —紅樹林單位面積地下部生物量乾重，單位為 t d.m. ha⁻¹；
- t —監測時間點。

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。監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：

- a. 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
- b. 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
- c. 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
- d. 樹木在 1.3 m 以下就出現分叉，須量測分叉底下不遠處
- e. 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
- f. 樹基部隆起超過 1.3 m，須於隆起處上端不遠處
- g. 樹幹具有支持根，以最上端的支持根往上 1.3 m 處

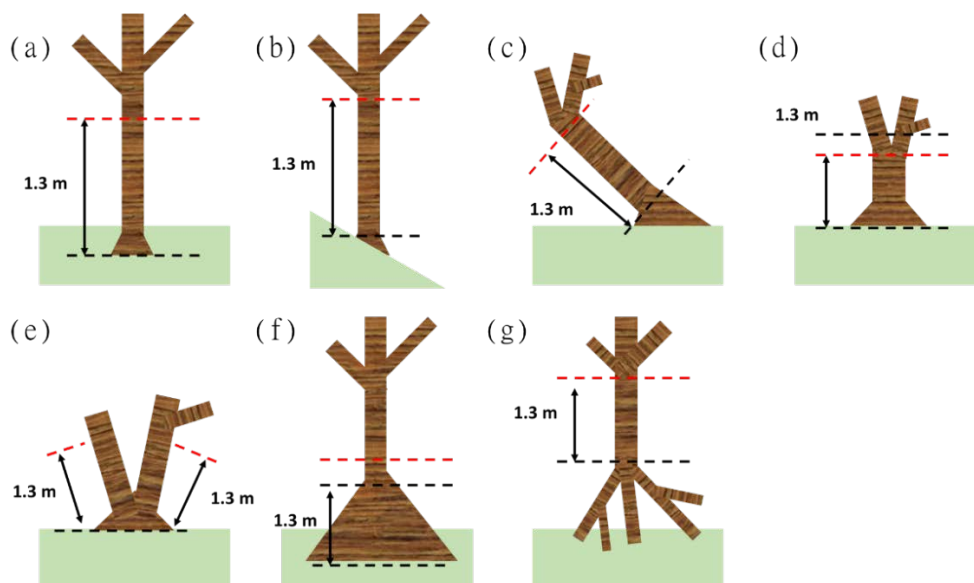


圖 2、各類樹型胸徑測量位置(如圖中紅色標記處)

5.2.2. 灌木

紅樹林樹種型態多樣，部分灌木物種的成熟樹高可大於 2.5 m，亦有成熟樹高小於 1 m 的物種。臺灣紅樹林物種皆屬於喬木，因此本方法學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及為冠層體積。此外，灌木木材密度及有機碳含量在國際的預估值也是較少，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

將野外採集的红樹林植物體各組織，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)。

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

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

- C_{AB} —紅樹林單位面積地上部生物量碳儲量，單位為 t C ha⁻¹；
- AB —紅樹林單位面積地上部生物量乾重，單位為 t d.m. ha⁻¹；
- 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量碳儲量，單位為 $t\ C\ ha^{-1}$ ；
- BB —紅樹林單位面積地下部生物量乾重，單位為 $t\ d.m.\ ha^{-1}$ ；
- CF_{BB} —紅樹林地下部有機碳含量百分比(%);
- t —監測時間點。

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 的枯木的計算方式。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 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

監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沉積物表面，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。

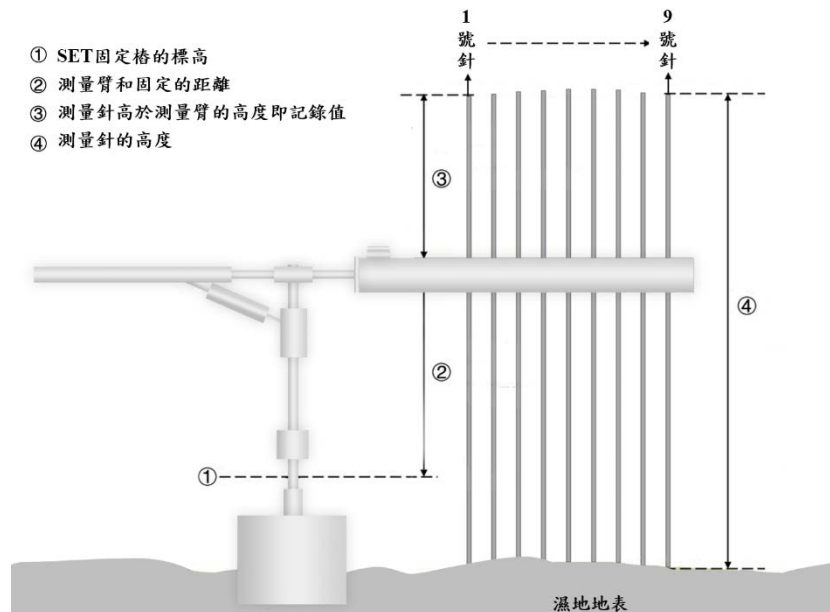


圖 3、紅樹林地表高程監測系統(SET)

5.5.2.土壤總體密度

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

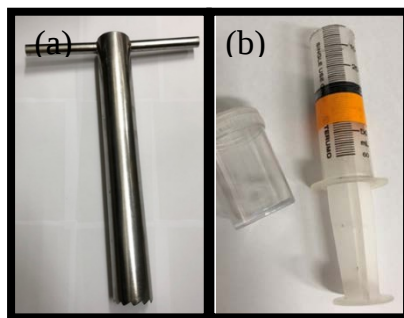


圖 4、表層土壤採集器

(a)不鏽鋼底土採集管(b)小型採集器

5.5.3.土壤有機碳含量百分比

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

5.5.4.地上部枯落物

於紅樹林樹冠下架設枯落物承接籃(例如直徑 40 cm 的塑膠籃)，承接籃內部需縫製 0.5 mm 網目的網子。每 2 個月收集一次籃中枯落物，持續一年後加總即

可知道單位面積枯落物年增加量。每次蒐集的枯落物須經過清洗，60°C 烘乾至恆重。每次枯落物回收的時間間隔需小於 2 個月，以避免枯落物分解過多。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)，利用二氧化矽容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 天內需回收 5-7 次，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排放

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 ($\text{t CO}_2 \text{e ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$)。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，也需考慮物種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。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。

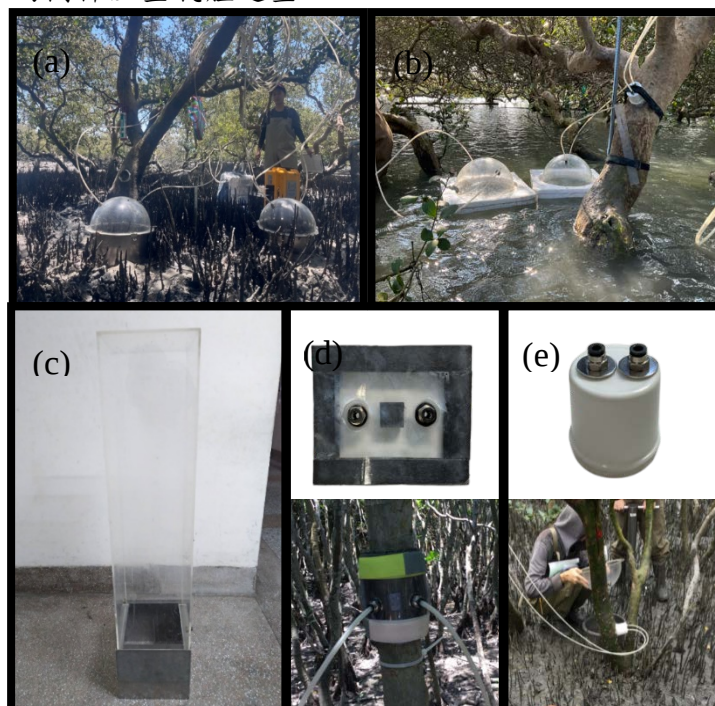


圖 5、紅樹林溫室氣體量測常用之各類型罩蓋

(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清單包括如上文所描述的管理紅樹林的排放估計值。採用高層級方法和資料的各國，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)各章或重複計算各碳庫的溫室氣體排放。

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 指南和內政部濕地碳匯標準作業；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。紅樹林面積變化因結合航照圖，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存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(25)；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(26)；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(27)。

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

- 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 —CF 數據筆數。

$$U = \frac{SD \times 1.96}{\bar{x}} \times 100\% \quad \text{-----} \quad (25)$$

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

$$U_{total} = \sqrt{\frac{(U_1 \times E_1)^2 + (U_2 \times E_2)^2 + \dots + (U_n \times E_n)^2}{E_1 + E_2 + \dots + E_n}} \quad \text{-----} \quad (26)$$

- 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。

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \quad \text{-----} \quad (27)$$

- 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物種分布面積之數據。

6.4.品質保證/管控

品質保證/管控 (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/管控 (QA/QC) 規定的制定和實施在 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監測，以確保其準確性。

7. 本方法學碳匯項目及建議量測方法

本方法學針對估算層級 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，需計算表層各層土壤碳庫變化
非二氧化碳 溫室氣體排放	甲烷	一般不計算，僅在鹽度<18psu 時計算	通量法- 密閉罩蓋法
	氧化亞氮	一般不計算，僅在營養汙染時計算	

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(2021)。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。內政部國土管理署城鄉發展分署。
- 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，2014)。
- 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。
- 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*

- Change, C. (2007). IPCC fourth assessment report. The physical science basis, 2, 580-595.
- Chmura, G. L., Anisfeld, S. C., Cahoon, D. R. & Lynch, J. C. (2003) Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils. *Global Biogeochemical Cycles* 17(4).
- Chou, M. Q., Lin, W. J., Lin, C. W., Wu, H. H., & Lin, H. J. (2022). Allometric equations may underestimate the contribution of fine roots to mangrove carbon sequestration. *Science of The Total Environment*, 833, 155032.
- Clough, B.F., Dixon, P., Dalhaus, O., 1997. Allometric relationships for estimating biomass in multi-stemmed mangrove trees. *Aust. J. Bot.* 45, 1023–1031.
- Comley, B.W., McGuinness, K.A., 2005. Above-and below-ground biomass, and allometry, of four common northern Australian mangroves. *Aust. J. Bot.* 53, 431–436.
- Deverel, S. J. & Leighton, D. A. (2010) Historic, recent, and future subsidence, Sacramento-San Joaquin Delta, California, USA. *San Francisco Estuary and Watershed Science* 8(2): 1-23.
- Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
- Fujimoto, K., Imaya, A., Tabuchi, R., Kuramoto, S., Utsugi, H. & Murofushi, T. (1999) Below-ground carbon storage of Micronesian mangrove forests. *Ecological Research* 14(4): 409-413.
- Golley, F. B., McGuinness, K., Clements, R. G., Child, G. I. & Duever, M. J. (1975) Mineral cycling in a tropical moist ecosystem. Athens, GA, USA: University of Georgia Press.
- Golley, F. B., Odum, H. T. & Wilson, R. F. (1962) The structure and metabolism of a Puerto Rican red mangrove forest ecosystem. Athens, GA, USA: University of Georgia Press.
- Gong, W. K. & Ong, J. E. (1990) Plant biomass and nutrient flux in a managed mangrove forest in Malaysia. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 31(5): 519-530.
- Gevana, D., & Im, S. (2016). Allometric models for *Rhizophora stylosa* Griff. in dense monoculture plantation in the Philippines. *Malaysian Forester*, 79(1&2), 39-53.
- Hatala, J. A., Detto, M., Sonnentag, O., Deverel, S. J., Verfaillie, J. & Baldocchi, D. D. (2012) Greenhouse gas (CO₂, CH₄, H₂O) fluxes from drained and flooded agricultural peatlands in the Sacramento-San Joaquin Delta. *Agriculture Ecosystems & Environment* 150: 1-18.
- Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G. (2014). 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland.

- Hoque, A., Sharma, S., Suwa, R., Mori, S. & Hagihara, A. (2012) Seasonal variation in the size-dependent respiration of mangroves *Kandelia obovata*. Marine Ecology Progress Series 404: 31-37.
- Hoque, A.T.M.R., Sharma, S., Hagihara, A., 2011. Above and below-ground carbon acquisition of mangrove *Kandelia obovata* trees in Manko wetland, Okinawa, Japan. Int.J.Envirion. 1, 7–13.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E. (2014). Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses.
- 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 gymnorhiza* (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.
- Poungparn, S., Komiyama, A., Patanaponpaipoon, P., Jintana, V., Sangtjean, 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°C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，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，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(m²) 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 cm³) S_{wedges}：半剛性罩蓋中央氯丁橡膠(CR)泡沫帶之面積(4 cm²)

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，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] ⁻¹	120	1000
GLA132	ppm CH ₄ [20 sec] ⁻¹	180	1
LI-7810 (CO ₂)	ppm CO ₂ [1sec] ⁻¹	3600	1000
LI-7810 (CH ₄)	ppb CH ₄ [sec] ⁻¹	3600	1000
LI-7820 (N ₂ O)	ppb N ₂ O [sec] ⁻¹	3600	1000
F：氣體通量(mmol CO₂ m⁻² h⁻¹)及(μmol CH₄/N₂O m⁻² h⁻¹) 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⁻¹ mol⁻¹) T：絕對溫度(K) A：罩蓋底面積(m²)，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，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	$B = 0.03203(D_{1/10}^2 \cdot H)^{1.058}$	-	-	-	-	Khan et al. 2009
	地下部	$B = 0.0483(D_{1/10}^2 \cdot H)^{0.834}$	-	-	-	-	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。

附件二 臺灣海草床碳匯測量標準作業程序

臺灣海草床碳匯 測量標準作業程序

林幸助、陳冠宇

2023 年 11 月

1.前言

本方法學為海草床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(t CO₂e)為單位。本書從碳匯角度出發，正值表示移除大氣或其他碳庫的溫室氣體(即儲存溫室氣體在自身碳庫)，負值表示排出溫室氣體到大氣或其他碳庫。本方法學主要參考：

6. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 以下簡稱 2006 IPCC NIR 指南。
7. 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
8. 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
9. 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
10. 內政部國土管理署城鄉發展分署「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。以下簡稱內政部濕地碳匯標準作業

國家特定係數參考文獻：

11. Huang, Y. H., Lee, C. L., Chung, C. Y., Hsiao, S. C., & Lin, H. J. (2015). Carbon budgets of multispecies seagrass beds at Dongsha Island in the South China Sea. *Marine Environmental Research*, 106, 92-102.
12. Zou, Y. F., Chen, K. Y., & Lin, H. J. (2021). Significance of belowground production to the long-term carbon sequestration of intertidal seagrass beds. *Science of The Total Environment*, 800, 149579.
13. 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。

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暖化潛勢計算而得。依照 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 各溫室氣體之暖化潛勢，二氧化碳為 1、甲烷為 25、氧化亞氮為 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 3.67；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，海草床土壤則指每公頃特定深度的碳含量(國際標準採用 1 公尺深，可視各國海草床土壤深度做調整)。碳儲量可包含一個或者多個碳庫的碳總量。本方法學統一以二氧化碳暖化潛勢作轉換，單位為 $\text{t CO}_2\text{e ha}^{-1}$ 。

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類型的內部變化(如海草床中的營養汙染)或土地利用方式改變(如從紅樹林變成魚塭)所導致。本書以正號表示增加之碳匯量做計算；若應用於臺灣國家溫室氣體排放清冊時，增加之碳匯量描述為碳移除量，需將碳匯量數據乘上負號來表示。

2.6.海草床 (seagrass beds)

可以完全生活在海水(鹽水)中的沉水性被子植物總稱為海草，多分布於潮間帶、亞潮帶，在魚塭及鹽田也能生長。臺灣海草床物種高達 12 種，包含泰來草(*Thalassia hemprichii*)、圓葉水絲草(*Cymodocea rotundata*)、鋸齒葉水絲草(*C. serrulata*)、卵葉鹽草(*Halophila ovalis*)、正鹽草(*H. major*)、毛葉鹽草(*H. decipiens*)、貝克氏鹽草(*H. beccarii*)、水韭菜(*Syringodium isoetifolium*)、鐮葉叢草(*Thalassiodendron ciliatum*)、線葉二藥草(*Halodule pinifolia*)、單脈二藥草(*H. uninervis*)及甘草(*Zostera japonica*)，其中有 98% 的海草床面積位於東沙島亞潮帶。臺灣本島的潮間帶海草則是以分布於沙質地的泰來草及單脈二藥草為主，以及分布於泥質地的貝克氏鹽草及甘草為代表。

2.7.地上部生物量 (aboveground biomass)

地表以上所有活體植物(如葉片、果實等)的質量，本方法學皆指生物量乾重。

2.8.地下部生物量 (belowground biomass)

地表以下所有活體植物(如水平莖、根等)的質量，本方法學皆指生物量乾重。

2.9.海草覆蓋度及碳儲量經驗公式 (cover-biomass-soil organic carbon model)

透過建立參數間轉換的迴歸式，可藉由觀測海草床覆蓋度估算地上部生物量，再從地上部生物量估算地下部生物量，最後藉由地下部生物量估算土壤碳儲

存量(Stankovic et al., 2018)。

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)

在海草床生態系統中，由植物吸收固定海洋和大氣中的碳並轉移到植物組織中，之後在海草床周遭土壤中堆積或分解。

2.12.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。

2.13.沉積物深度變化 (surface elevation change, SEC)

海草床沉積物從表面到底岩的深度變化量。

2.14.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，得到 Tier 3 的估測值。

2.15.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(如地下部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，加總計算後取得 Tier 1 至 Tier 3 的估計值。

2.16.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，得到 Tier 3 和 Tier 2 估計值。

2.17.分區 (habitat zoning)

將存在異質性的調查區劃分成性質均一的小區。

2.18.測站 (monitoring station)

根據目標用於監測相關指標而設置的樣方或樣地。

3.臺灣海草床碳匯估算流程

臺灣海草床碳匯估算流程依照海草床活動數據劃定面積，以各類活動數據海草床之相對應有機碳儲量或排放係數做計算。本方法學主旨在測量並建立本土海草床在各類活動數據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海草床後，土地利用類型就屬於「再濕潤、植被恢復和創建」。經過 20 年後，該土地仍維持海草床，土地利用類型才會轉換為「溼地維持濕地」。土地利用類型即為活動數據，海草床各項活動數據之具體管理活動如下：

1. 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
2. 再濕潤、植被恢復和創建—透過恢復水文和重建植被，從排水土壤轉換為飽和土壤

海草床碳匯估算之精度，同樣參考 2006 IPCC NIR 指南、2013 IPCC NIR 濕地補充指南及內政部濕地碳匯作業的三種估算層級，估算精確由精確度低至高分別如表 1：

表 14、碳庫估算之精確層級說明(Achard et al., 2009)

層級	必備的資料	說明
1	使用 IPCC 預設的排放係數	Tier 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預設值。誤差範圍可能很大，其誤差範圍地上部碳庫正負 50%，而土壤碳庫則為正負 90%。
2	國家特定資料的關鍵係數	Tier 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。例如，一個國家可能知道該國不同生態系類型的平均碳儲量。
3	主要碳庫的詳細調查、定期測量或模型計算	Tier 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。

本土海草床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，海草床匯計算方法可分為 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，以取得該碳庫 Tier 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(如地下部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 Tier 1 至 Tier 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 Tier 3 和 Tier 2 估計值。

4.海草床碳匯計算

海草床碳匯由海草床有機碳儲存年變化量決定，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海草床碳匯，如低鹽度環境下的甲烷排放及高營養鹽環境下的氧化亞氮排放。海草床溫室氣體排放量計算如公式(1)，碳儲量增加為正值、溫室氣體排放量為負值。

$$CS_{Seagrass} = \Delta C_{Seagrass} + CH_{4-Seagrass} + N_2O_{Seagrass} \quad (28)$$

- $CS_{Seagrass}$ —海草床碳匯年變化量，單位為 $t CO_2e yr^{-1}$ ；
- $\Delta C_{Seagrass}$ —海草床碳儲存年變化量，單位為 $t CO_2e yr^{-1}$ ；
- $CH_{4-Seagrass}$ —海草床甲烷年排放量，單位為 $t CO_2e yr^{-1}$ ；
- $N_2O_{Seagrass}$ —海草床氧化亞氮年排放量，單位為 $t CO_2e yr^{-1}$ 。

4.1.有機碳儲存變化量

海草床有機碳儲存變化量利用碳庫差分法，較能涵蓋各碳庫晝夜、季節變化之綜合結果，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)。

$$\Delta C_{Seagrass} = \Delta C_B + \Delta C_{DOM} + \Delta C_{Soils} \quad (29)$$

- $\Delta C_{Seagrass}$ —海草床有機碳儲存年變化量，單位為 $t CO_2e yr^{-1}$ ；
- ΔC_B —海草床生物量碳儲存年變化量，單位為 $t CO_2e yr^{-1}$ ；
- ΔC_{DOM} —海草床死有機質碳儲存年變化量，單位為 $t CO_2e yr^{-1}$ ；
- ΔC_{Soils} —海草床土壤碳儲存年變化量，單位為 $t CO_2e yr^{-1}$ 。

4.2 生物量碳儲存變化量

海草床生物量碳儲存變化量計算如公式(3)、(4)、(5)，公式(4)屬於層級 1，部分參數估計值如表 2；公式(5)可用於層級 2、3 之估算，層級 2 估計值如表 3、表 4。層級 3 之完整監測方式，如 5.2.及 5.3.小節。

$$\Delta C_B = \sum_{ij} (A_{ij} \times \Delta B_{Total_{ij}}) \times 3.67 \quad (30)$$

- ΔC_B —海草床生物量碳儲存年變化量，單位為 $t CO_2e yr^{-1}$ ；
- A —海草床面積，單位為公頃(ha)；
- ΔB_{Total} —單位面積海草床生長之碳儲存年增加量，單位為 $t C ha^{-1} yr^{-1}$ ；
- 3.67 —有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數；

- i —海草床物種；
- j —海草床活動數據，即土地利用類型面積。

層級 1

$$\Delta B_{Total} = \Delta B_A \times (1 + R) \times CF \quad (31)$$

- ΔB_{Total} —單位面積海草床生長之碳儲存年增加量，單位為 $t\ C\ ha^{-1}\ yr^{-1}$ ；
- ΔB_A —海草床地上部生物量平均年生長量(乾重)，單位為 $t\ d.m.\ ha^{-1}\ yr^{-1}$ ；
- R —海草床根莖比，即地下部與地上部比例；
- CF —海草床地上部及地下部平均有機碳含量百分比(%)。

表 15、海草床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	R	95% CI	文獻
熱帶	1.7	1.5, 1.9	Aioi and Pollard, 1993; Brouns, 1985; Brouns, 1987; Coles et al., 1993; Daby, 2003; Devereux et al., 2011; Fourqurean et al., 2012; Halun et al., 2002; Holmer et al., 2001; Ismail, 1993; Lee, 1997; Lindeboom and Sandee, 1989; McKenzie, 1994; Mellors et al., 2002; Moriarty et al., 1990; Nienhuis et al., 1989; Ogden and Ogden, 1982; Paynter et al., 2001; Poovachiranon and Chansang, 1994; Povidisa et al., 2009; Rasheed, 1999; Udy et al., 1999; van Lent et al., 1991; van Tussenbroek, 1998; Vermaat et al., 1993; Vermaat et al., 1995; Williams, 1987
亞熱帶	2.4	2.3, 2.6	Aioi, 1980; Aioi et al., 1981; Asmus et al., 2000; Bandeira, 2002; Boon, 1986; Brun et al., 2009; Collier et al., 2009; de Boer, 2000; Devereux et al., 2011; Dixon and Leverone, 1995; Dos Santos et al., 2012; Dunton, 1996; Fourqurean et al., 2012; Hackney, 2003; Herbert and Fourqurean, 2008; Herbert and Fourqurean, 2009; Holmer and Kendrick, 2012; Jensen and Bell, 2001; Kim et al., 2012; Kirkman and Reid, 1979; Kowalski et al., 2009; Larkum et al., 1984; Lee et al., 2005; Lee et al., 2005b; Lipkin, 1979; Longstaff et al., 1999; Masini et al., 2001; McGlathery et al., 2012; McMahan, 1968; Meling-Lopez and Ibarra-Obando, 1999; Mukai et al., 1979; Paling and McComb, 2000; Park et al., 2011; Powell, 1989; Preen, 1995; Schwarz et al., 2006; Stevensen, 1988; Townsend and Fonseca, 1998; Udy and Dennison, 1997; van Houte-Howes et al., 2004; van Lent et al., 1991; van Tussenbroek, 1998; Walker, 1985; West and Larkum, 1979; Yarbro and Carlson, 2008

溫帶	1.3	1.1, 1.5	Agostini et al., 2003; Cebrian et al., 2000; Fourqurean et al., 2012; Hebert et al., 2007; Holmer and Kendrick, 2012; Larned, 2003; Lebreton et al., 2009; Lillebo et al., 2006; Marba and Duarte, 2001; McRoy, 1974; Olesen and Sand-Jensen, 1994; Rismondo et al., 1997; Sand-Jensen and Borum, 1983; Terrados et al., 2006
----	-----	----------	---

層級 2、3

$$\Delta B_{Total} = (\Delta B_A \times CF_A + \Delta B_B \times CF_B) \text{ ----- (32)}$$

- ΔB_{Total} —單位面積海草床生長之碳儲存年增加量，單位為 $\text{t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ；
- ΔB_A —海草床地上部生物量平均年生長量(乾重)，單位為 $\text{t d.m. ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ；
- CF_A —海草床地上部有機碳含量百分比(%)；
- ΔB_B —海草床地下部生物量平均年生長量(乾重)，單位為 $\text{t d.m. ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ；
- CF_B —海草床地下部有機碳含量百分比(%)。

表 16、臺灣海草床生長之碳儲存年增加量($\text{t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)層級 2 估計值

植被類型		ΔB_{Total} ($\text{t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)	不確定性 U (%)	引用
潮間帶 沙質地	泰來草 <i>Thalassia hemprichii</i>	2.84	135.2	林，2022；Zou et al., 2021
	單脈二藥草 <i>Halodule uninervis</i>	5.06	136.6	林，2022；Zou et al., 2021
潮間帶 泥質地	甘草 <i>Zostera japonica</i>	1.21	81.2	林，2022；Zou et al., 2021
	貝克氏鹽草 <i>Halophila beccarii</i>	5.16	201.2	林，2022
亞潮帶	東沙海草	13.43	105.6	Huang et al., 2015; Zou et al., 2021

使用戳針法及綁線法量化單位時間海草地上部及地下部生長量；東沙海草床為多物種混生，此表僅以幾種優勢物種進行估計。

表 17、臺灣海草床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 (%)	引用
潮間帶 沙質地	泰來草 <i>Thalassia hemprichii</i>	30.4	2.4	35.7	2.5	Huang et al., 2015
	單脈二藥草	30.4	15.4	31.6	5.2	Huang et al., 2015

	<i>Halodule uninervis</i>					
潮間帶 泥質地	甘草 <i>Zostera japonica</i>	38.8	7.1	33.4	8.4	林，2022
	貝克氏鹽草 <i>Halophila beccarii</i>	28.0	9.9	24.7	66.5	林，2022
亞潮帶	東沙海草	30.79	5.2	31.85	17.8	Huang et al.,2015

海草地上部碳含量百分比測量組織為葉片，地下部則包含垂直莖、水平莖及根。

4.3 死有機質碳儲存變化量

由於海草床死有機質碳庫佔整體碳庫的比例較小，而且海草床死有機質的變化量涉及自源性產生、潮汐等水文作用的輸出及輸入，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，死有機質碳庫變化為 0。部分潮汐交換較差或脫落葉片較容易累積的海草床，則需要使用層級 2、3 之計算方法，計算公式如(6)。層級 3 之完整監測方式，如 5.4.小節。

$$\Delta C_{DOM} = A_{ij} \times \Delta DOM_{ij} \times 3.67 \quad \text{-----} \quad (33)$$

- ΔC_{DOM} —海草床死有機質碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e yr⁻¹；
- A —海草床面積，單位為公頃(ha)；
- ΔDOM —海草床死有機質碳儲存年變化量，單位為 t C ha⁻¹ yr⁻¹；
- 3.67—有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數；
- i —海草床物種；
- j —海草床活動數據，即土地利用類型面積。

4.4 土壤有機碳儲存變化量

海草床土壤有機碳儲存變化量計算如公式(7)、(8)、(9)、(10)、(11)。層級 1 如公式(7)，目前僅有重建植被再濕潤土地有排放係數(EF)預設值，可參照表 5；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綜合結果，參照公式(8)、(9)，預設值如表 6；層級 2、3 之估算方法(2)屬於增減法，能較準確量化海草床自源性有機碳埋藏貢獻，參照公式(10)、(11)。依照 2013 IPCC NIR 濕地補充指南，海草床底質皆屬於無機土壤，須以土壤碳庫差分法(層級 2、3 之估算方法(1))計算土壤有機碳儲量。不過，臺灣海草床底質可分為沙質及泥質，泥質海草床多分布於粉泥黏土含量較多的河口、泥灘地或是廢棄鹽田。由於臺灣河口季節水流變動較大，導致泥質地海草床的沉積物擾動較多，因此建議使用增減法(層級 2、3 之估算方法(2))計算泥質海草床的土壤有機碳儲量，除了變異較低，在碳匯計算上也符合保守性原則。層級 3 之完整監測方式，

如 5.5.小節。

層級 1：

$$\Delta C_{Soils} = A_{ij} \times EF_{ij-Soils} \times 3.67 \quad \text{-----} \quad (34)$$

- ΔC_{Soils} —海草床有機土壤碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e yr⁻¹；
- $EF_{ij-Soils}$ —海草床土壤碳排放係數，單位為 t C ha⁻¹ yr⁻¹；
- A —海草床面積，單位為公頃(ha)；
- 3.67—有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數；
- i —海草床物種；
- j —海草床活動數據，即土地利用類型面積。

表 18、開始重建植被再濕潤(EF_{RE-Soils})有機及礦物聚合土壤的年度排放係數(t C ha⁻¹ yr⁻¹)層級 1 估計值

生態系	EF _{RE} (t C ha ⁻¹ yr ⁻¹)	95% CI	引用
海草床	0.43	0.2, 0.7	Mateo and Romero, 1997; Serrano et al., 2012

此處正值表示土壤有機碳儲存年變化正值，即為土壤有機碳儲量增加。

層級 2、3 之方法(1)：

$$\Delta C_{Soils} = A_{ij} \times CAR_{ij} \times 3.67 \quad \text{-----} \quad (35)$$

$$CAR_{ij} = SEC_{ij} \times SBD_{ij} \times CF_{ij-Soils} \quad \text{-----} \quad (36)$$

- ΔC_{Soils} —海草床土壤有機碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e yr⁻¹；
- A —海草床面積，單位為公頃(ha)；
- CAR —海草床土壤有機碳埋藏速率，單位為 t C ha⁻¹ yr⁻¹；
- 3.67—有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數；
- SEC —海草床地表高程年變化量，單位為 cm yr⁻¹；
- SBD —海草床土壤總體密度，單位為 g cm⁻³；
- CF_{-Soils} —海草床土壤有機碳含量百分比(%)；
- i —海草床物種；
- j —海草床活動數據，即土地利用類型面積。

表 19、臺灣海草床土壤有機碳儲存年變化(t C ha⁻¹ yr⁻¹)層級 2 估計值

植被類型		CAR (t C ha ⁻¹ yr ⁻¹)	不確定性 U (%)	引用
潮間帶 沙質地	泰來草 <i>Thalassia hemprichii</i>	0.09	24.2	Zou et al., 2021
	單脈二藥草 <i>Halodule uninervis</i>	0.09	24.2	Zou et al., 2021

潮間帶 泥質地	甘草 <i>Zostera japonica</i>	5.01	233.1	林，2022
	貝克氏鹽草 <i>Halophila beccarii</i>	-0.38	4373.4	林，2022
亞潮帶	東沙海草	1.30	164.2	Huang et al.,2015; Zou et al., 2021

目前泥質地海草床尚缺乏增減法所估算的土壤有機碳儲存年變化，因此皆採用碳庫差分法之數據，估算本土海草床單位面積的土壤碳匯量。從泥質地海草床的不確定性結果可看出，碳庫差分法用在泥質地會有誤差過大的問題，後續建議以增減法量化泥質地海草床土壤碳匯量。此處土壤有機碳儲存年變化正值，即為土壤有機碳儲量增加。

層級 2、3 之方法(2)：

$$\Delta C_{\text{Soils}} = A_{ij} \times \Delta C_{A-\text{Soils}} \times 3.67 \quad \text{-----} \quad (37)$$

$$\Delta C_{A-\text{Soils}} = (DA_{ij} \times W_{ij-DA} + DB_{ij} \times W_{ij-DB}) \quad \text{-----} \quad (38)$$

- ΔC_{Soils} —海草床土壤有機碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e yr⁻¹；
- A —海草床面積，單位為公頃(ha)；
- $\Delta C_{A-\text{Soils}}$ —海草床自源性土壤有機碳儲存年增加量，單位為 t C ha⁻¹ yr⁻¹；
- 3.67—有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數；
- DA —海草床地上部碎屑年增加量，單位為 t C ha⁻¹ yr⁻¹；
- W_{DA} —海草床地上部碎屑分解剩餘量百分比(%)；
- DB —海草床地下部碎屑年增加量，單位為 t C ha⁻¹ yr⁻¹；
- W_{DB} —海草床地下部碎屑分解剩餘量百分比(%)；
- i —海草床物種；
- j —海草床活動數據，即土地利用類型面積。

4.5 甲烷排放量

海草床甲烷排放計算如公式(12)，層級 3 之完整監測方式，如 5.6.小節。依照 2013 IPCC NIR 濕地補充指南，水體鹽度小於 18psu 才需考慮甲烷排放量。臺灣海草床生長在受海水影響明顯的亞潮帶或潮間帶，或廢棄鹽田等鹽度較高之區域，鹽度皆大於 18 psu，因此一般情況下可忽略不計。

$$CH_{4-\text{Seagrass}} = \sum_{ij} (A_{ij} \times EF_{ij-CH_4} \times GWP_{CH_4}) \quad \text{-----} \quad (39)$$

- $CH_4 \text{ Mangrove}$ —海草床甲烷年排放量，單位為 t CO₂e yr⁻¹；
- A —海草床面積，單位為公頃(ha)；
- EF_{CH_4} —單位面積海草床甲烷年排放量，單位為 t CH₄ ha⁻¹ yr⁻¹；
- GWP_{CH_4} —甲烷暖化潛勢；
- i —海草床物種；

- j —海草床活動數據，即土地利用類型面積。

4.6 氧化亞氮排放量

海草床氧化亞氮排放估算層級 2、3 如公式(13)，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 7；層級 3 之完整監測方式，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氧化亞氮排放量，如表 8。

$$N_2O_{Seagrass} = \sum_{ij} (A_{ij} \times EF_{ij-N_2O} \times GWP_{N_2O}) \quad \text{-----} \quad (40)$$

- $N_2O_{Mangrove}$ —海草床氧化亞氮年排放量，單位為 t CO₂e yr⁻¹；
- A —海草床面積，單位為公頃(ha)；
- EF_{N_2O} —單位面積海草床氧化亞氮年排放量，單位為 t N₂O ha⁻¹ yr⁻¹；
- GWP_{N_2O} —氧化亞氮暖化潛勢；
- i —海草床樹種；
- j —海草床活動數據，即土地利用類型面積。

表 20、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 per t-fish produced)	95% CI	引用
-1.69×10 ⁻³	0, -3.8×10 ⁻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，此處負值表示有機碳儲存被氧化亞氮排放所抵銷。

5.海草床有機碳儲存及排放係數監測技術

5.1.監測分區及測站設置

監測分區及測站設置需權衡所需監測精度及成本(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(如海草床物種)，或是依照環境條件分區(如水文地貌特徵、沉積物類型)。測站設計可依照監測目的採用(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)。

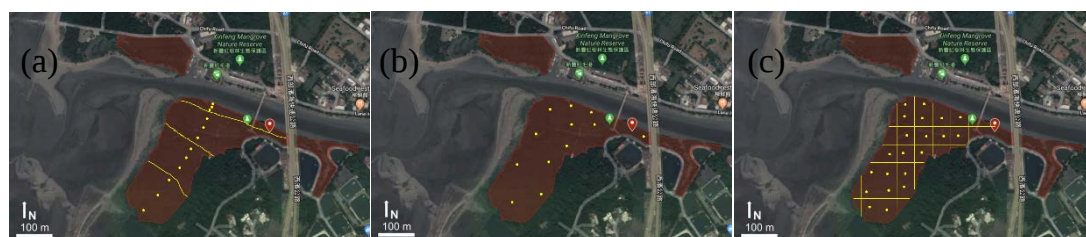


圖 6、測站排列策略(a)線性設計(b)隨機設計(c)網格設計

5.2.生物量及生長量

海草床生物量生長量可分為長時間尺度(詳見 5.2.1-2 小節)及短時間尺度(詳見 5.2.3.1-2 小節)之方法，概念皆為測量海草床在不同時點的單位面積生物量，相減後即為單位面積時間海草床生物量生長量。長時間尺度的方法測量間隔為一年，選擇不同年份相同季節比較生物量變化量，在臺灣建議以春夏季海草生物量最多的季節進行監測；短時間尺度的方法需進行四季監測，測量每日單位面積平均生物量生長量($\Delta B_{AorB-season}$)，再換算成一整年的單位面積生物量生長量，如公式(14)。

$$\Delta B_{AorB} = \sum \Delta B_{AorB-season} \times t_{season} \times 10^{-2} \quad (41)$$

- ΔB_{AorB} —海草地上部或地下部生物量生長量(乾重)，單位為 $t \text{ d.m. ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ；
- $\Delta B_{AorB-season}$ —各季節海草地上部或地下部每日生物量生長量(乾重)，單位為 $g \text{ d.m. m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ；
- t_{season} —各季節天數(days)；
- 10^{-2} —重量及面積單位轉換係數。

5.2.1.破壞性收割法

在海草床中選定地上部疏密程度具有代表性的區域，放置面積固定 100 cm^2 的鐵框，利用鏟子沿鐵框周圍將海草挖起，篩除底質後攜回實驗室，每個採集點至少 3 重複。採集後的生物量攜回實驗室區分地上部(葉子)及地下部(直立莖、水平莖及根)，以 60°C 烘乾並記錄乾重，即為單位面積生物量。



圖 7、海草生物量破壞性收割法(採集後示意圖)

5.2.2. 覆蓋度轉換生物量之經驗公式

覆蓋度、地上部生物量及地下部生物量為海草床監測的重要參數，透過建立參數間轉換的迴歸式，可藉由觀測海草床覆蓋度估算地上部生物量，再從地上部生物量估算地下部生物量(Stankovic et al., 2018)。目前臺灣尚待建立覆蓋度、地上部生物量及地下部生物量的關係式，建立方法須以覆蓋度級數作為海草地上部疏密程度級數，依照不同覆蓋度級數採集至少 6 重複數的海草生物量，即可畫出海草床覆蓋度估算地上部生物量的迴歸式(Mumby, et al, 1997; Short and Coles, 2001; Stankovic et al., 2018)。由於族群穩定的海草床覆蓋度會呈現動態的季節消長(Chen and Lin, 2022)，因此若使用覆蓋度轉換生物量之經驗公式估算海草床生物量的年變化，需要以不同年份的相同季節進行比較，一般建議以海草覆蓋度最多的季節進行比較。

5.2.3. 海草生長量標記法

依照海草個體大小，用鐵絲及鋼釘設置 100 或 400 cm² 的方形樣框作為標記海草生長量之量測範圍。一般而言，海草地上部生長量使用 100cm² 的方形樣框即可；海草地下部生長量則可能因為水平莖芽點數量較少，需使用 400 cm² 的方形樣框(Zou et al., 2021)。每個鐵絲方框範圍為 1 重複，至少需要 3 重複。海草地上部生長量需依照不同葉片型態選擇相應的標記方式(詳見 5.2.3.1. 小節)，海草地下部生長量則統一使用綁線法做標記(詳見 5.2.3.2. 小節)(Short and Coles, 2001)。

5.2.3.1. 地上部生長量

戳針標記法用於長帶形葉片海草地上部生長量，如公式(15)、(16)、圖 3 及表 8。需要利用針頭從葉鞘一側刺穿海草葉片，大約 7 天後採收。將採收之樣本帶回實驗室清洗後，依照葉鞘與葉片之標記點，取下葉片新生長的部分烘乾秤重，即為新增的海草葉片生物量(d.m.NL)。將新增的海草葉片生物量除以標記後放置的時間(t_L)和成功標記之株數(N_S)，平均後回乘單位面積之海草株數(D_S)，即可得到該季節長帶形海草單位面積時間地上部生長量(Short and Coles, 2001)。

$$\Delta B_{A-season} = G_{LS} \times D_S \quad \text{-----} \quad (42)$$

$$G_{LS} = \frac{d.m.NL}{N_S \times t_L} \quad \text{-----} \quad (43)$$

- $\Delta B_{A-season}$ —各季節海草地上部每日生物量生長量(乾重)，單位為 $\text{g d.m. m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ；
- G_{LS} —每株海草地上部每日生物量生長量(乾重)，單位為 g d.m. shoot^{-1} ；
- D_S —單位面積海草株數，單位為 shoots m^{-2} ；
- $d.m.NL$ —新增的海草葉片生物量(乾重)，單位為 g ；
- N_S —樣框內成功標記之株數 (shoots)；
- t_L —標記後放置的時間(days)。

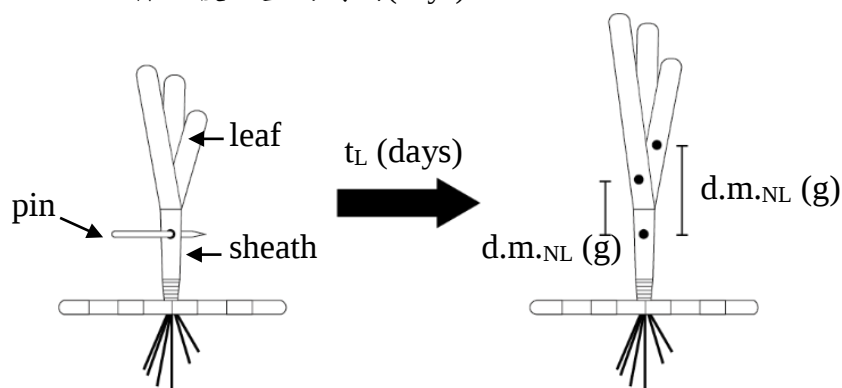


圖 8、長帶形海草地上部生長量戳針標記法

pin:戳針；leaf:葉子；sheath:葉鞘； t_L :戳針標記後放置的時間； $d.m.NL$:新增的海草葉片生物量(乾重)。

綁線法用於卵圓形葉片海草地上部生長量，如公式(17)、(18)、(19)、圖 4 及表 8。依照海草水平莖芽點算起的第一株海草綁上棉線標記為基準點，此株海草及棉線基準點向芽點反方向的 2-3 株海草地上部為原先就存在的植株，雙片葉對生的卵圓形海草需要記錄葉片長寬、葉柄長度，多葉蓮座狀生長的海草葉片上以剪刀剪出缺口做記號。接著將水平莖及芽點埋回土壤，大約 7 天後採收。將採收之樣本帶回實驗室清洗後，依照棉線基準點判斷，向芽點方向新長出的植株葉片皆為新生長的海草地上部生物量；原先就存在海草植株需要再次記錄葉片長寬、葉柄長度(雙片葉對生)，或是計算被標記的葉片後所新生的海草葉片(多葉蓮座狀)。利用卵圓形海草葉片的長寬，以橢圓形公式計算葉片面積，再藉由卵圓形海草葉面積及生物量迴歸公式，計算標記前後海草葉片的面積變化所增加的葉片生物量。同時以葉柄長度及海草生物量迴歸公式計算標記前後海草葉柄的長度變化所增加的葉柄生物量。蓮座狀生長的海草葉片則依照一開始標記時留下的葉片缺口為基準，區分固有葉片及新生葉片。由於蓮座生長的海草物種個體太小，不易量測葉片長寬及葉柄長，因此以新生葉片作為新生生物量即可。最後，加總隨芽點生長新生的地上部生物量($d.m.NL$ - forward)和原先海草植株所增加的地上部生物量($d.m.NL$ -backward)，除以標記後放置的時間(t_R)，即可得到每個水平莖芽點單位時

間的地上部生長量(G_{LR})。將每個水平莖芽點單位時間的地上部生長量(G_{LR})乘上單位面積水平莖芽點密度(D_R)，即可得到卵圓形海草單位面積時間地上部生長量(Short and Coles, 2001)。

$$\Delta B_{A-season} = G_{LR} \times D_R \quad \text{-----} \quad (44)$$

$$G_{LR} = \frac{d.m.NL}{N_R \times t_R} \quad \text{-----} \quad (45)$$

$$d.m.NL = d.m.NL-forward + d.m.NL-backward \quad \text{-----} \quad (46)$$

- $\Delta B_{A-season}$ —各季節海草地上部每日生物量生長量(乾重)，單位為 $g \text{ d.m. m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ；
- G_{LR} —每段海草水平莖近芽點處地上部每日生物量生長量(乾重)，單位為 $g \text{ d.m. shoot}^{-1}$ ；
- D_R —單位面積海草水平莖數量，單位為 shoots m^{-2} ；
- $d.m.NL$ —新增的海草葉片生物量(乾重)，單位為 g ；
- N_R —樣框內成功標記之水平莖芽點數(shoots)；
- t_R —標記後放置的時間(days)；
- $d.m.NL-forward$ —標記基準點向芽點方向新生之葉片生物量(乾重)，單位為 g ；
- $d.m.NL-backward$ —標記基準點向芽點反方向新生之葉片生物量(乾重)，單位 g 。

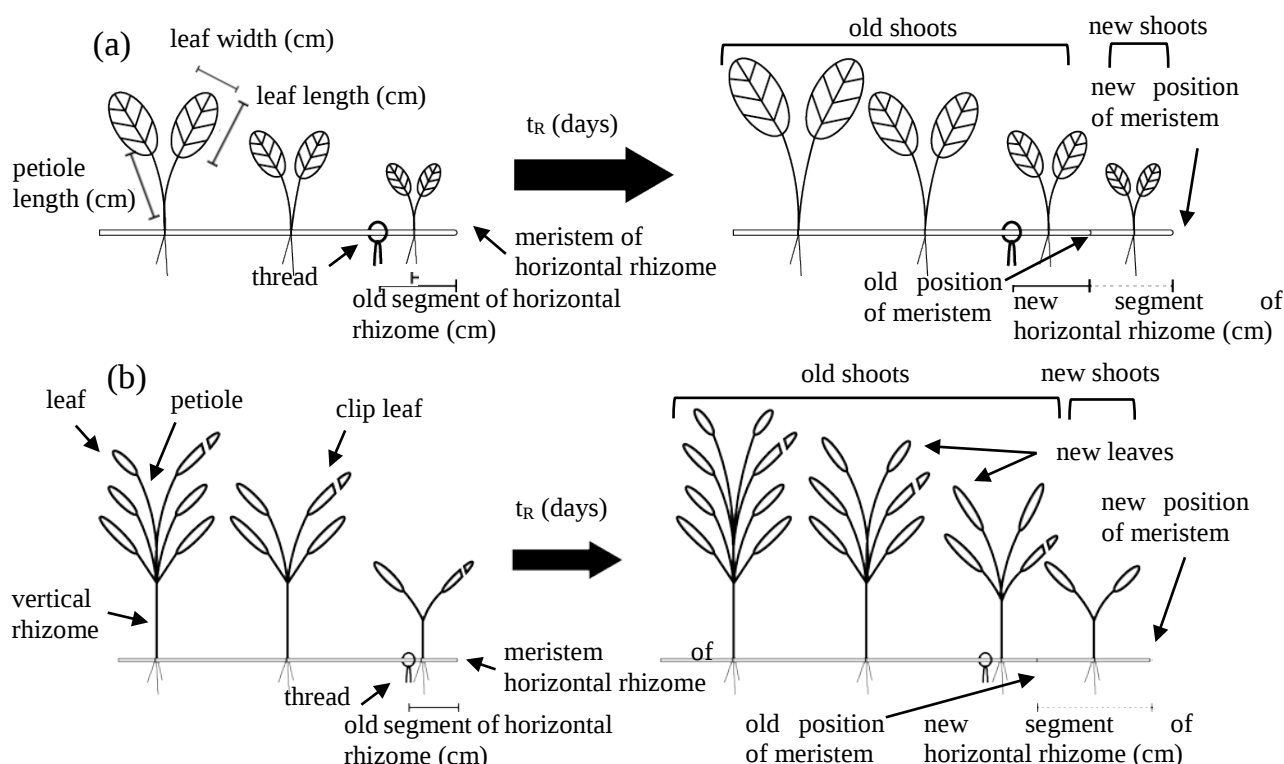


圖 9、卵圓形海草地上部生長量綁線法(a)雙片葉對生(b)多葉蓮座狀

leaf width: 葉寬；leaf length: 葉長；leaf: 葉子；petiole length: 棉線；old segment of horizontal rhizome: 原先的水平莖片段(第一株海草至水平莖芽點)； t_R : 綁線標記後

放置的時間；meristem of horizontal rhizome:水平莖芽點；old shoots:原先的植株；new shoots:新生的植株；old position of meristem:水平莖芽點原先的位置；new segment of horizontal rhizome:新生的水平莖片段(水平莖芽點原先的位置至新的位置)；new position of meristem:水平莖芽點新的位置；leaf:葉子；petiole:葉柄；vertical rhizome:垂直莖；clip leaf:剪去葉片一角之標記；new leaves:葉片缺口標記後新生之葉片。

5.2.3.2.地下部生長量

地下部生長量使用綁線法測量，卵圓形葉片之海草僅需計算水平莖生長量(G_R)，長帶形葉片之海草需再包含垂直莖生長量(G_S)，如公式(20)、(21)、(22)、(23)、圖 4、圖 5 及表 8。水平莖生長量與 5.2.3.2.卵圓形葉片海草地上部生長量標記的綁線法相似，如圖 4。依照海草水平莖芽點算起的第一株海草綁上棉線標記為基準點，記錄棉線基準點與水平莖芽點之長度，再將水平莖及芽點埋回土壤。大約 7-40 天後採收，依照海草個體大小差異選擇放置時間(詳見表 8)。將採收之樣本帶回實驗室清洗後，截下棉線標記點到水平莖芽點之間的水平莖，並且扣除一開始標記時棉線基準點與水平莖芽點之長度的片段，烘乾至恆重並秤重即為新增的水平莖生物量($d.m._R$)。將新增的水平莖生物量($d.m._R$)除以單位面積水平莖芽點數量(N_R)，再除以標記後放置的時間(t_R)，即為每個海草水平莖芽點單位時間水平莖生長量(G_R) (Short and Coles, 2001)。

長帶形葉片的海草物種，需另外計算直立莖生長量，需要參數包含葉間期(PI_L)、垂直莖節數(N_{SN})及垂直莖乾重($d.m._{SN}$)。由於長帶形海草葉片基部的生長點在長出新葉片時，在垂直莖上會產生新的節，因此計算垂直莖上的節數可以回推垂直莖生長時間。每一節的生長時間即為葉間期(PI_L)，葉間期須利用地上部戳針法(如 5.2.3.1)，標記點需盡可能接近葉基部，待 7-10 天回收標記之海草樣本後，計算平均每株成功標記的海草植株裡有多少沒有戳針針孔的新生葉片數(N_{NL})，將戳針標記後放置的時間(t_L)除以每株海草的新生葉片數(N_{NL})，即可得到葉間期(PI_L)。將每株海草垂直莖截下計算節數後烘乾至恆重。將垂直莖乾重($d.m._{SN}$)除以垂直莖節數(N_{SN})和葉間期(PI_L)，即為每株海草單位時間垂直莖生長量(G_S) (Short and Coles, 2001)。

$$\Delta B_{B-season} = G_R \times D_R + G_S \times D_S \quad \text{-----} \quad (47)$$

$$G_R = \frac{d.m._R}{N_R \times t_R} \quad \text{-----} \quad (48)$$

$$G_S = \frac{d.m._{SN}}{N_{SN} \times PI_L} \quad \text{-----} \quad (49)$$

$$PI_L = \frac{t_L}{N_{NL}} \quad \text{-----} \quad (50)$$

- $\Delta B_{B-season}$ —各季節海草地下部每日生物量生長量(乾重)，單位為 $g \text{ d.m. m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ；

- G_R —由海草水平莖芽點每日新生成之水平莖生物量生長量(乾重)，單位為 g d.m. shoot^{-1} ；
- D_R —單位面積海草水平莖數量，單位為 shoots m^{-2} ；
- G_S —每株海草每日垂直莖生物量生長量(乾重)，單位為 g d.m. shoot^{-1} ；
- D_S —單位面積海草株數，單位為 shoots m^{-2} ；
- $d.m._R$ —新增的海草水平莖生物量(乾重)，單位為 g ；
- N_R —樣框內成功標記之水平莖芽點數(shoots)；
- t_R —標記後放置的時間(days)；
- $d.m._{SN}$ —海草垂直莖生物量(乾重)，單位為 g ；
- N_{SN} —垂直莖節數；
- PI_L —葉間期(days)；
- t_L —戳針標記後放置的時間(days)；
- N_{NL} —新生葉片數。

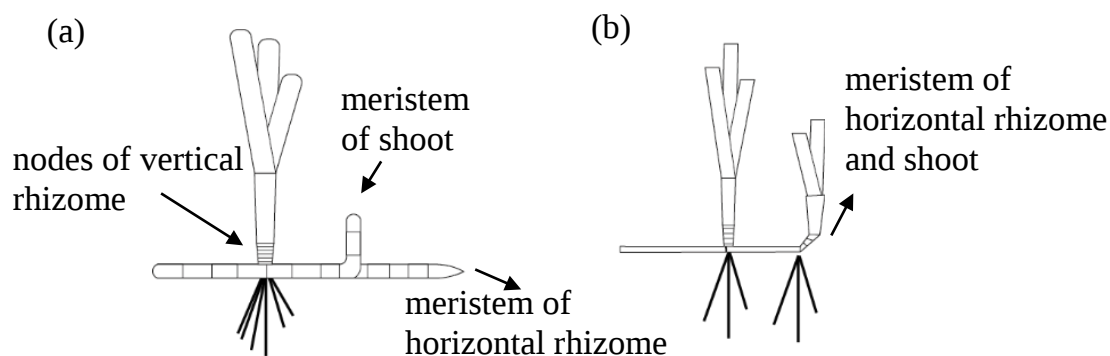


圖 10、海草床地下部構造及型態(a)雙生長點(b)單一生長點

nodes of vertical rhizome: 垂直莖節點；meristem of shoot: 植株生長點；meristem of horizontal rhizome: 水平莖生長點；meristem of horizontal rhizome and shoot: 垂直莖及植株共同生長點。

表 21、各海草物種生長量之標記方法

海草物種	部位	葉片形狀/ 生長型態	生活史	樣框 面積 cm^2	放置 天數	生長量 標記方法
泰來草	地上部	長帶形	個體大/ 周轉慢	100	6-8	戳針法
	地下部	具垂直莖/ 獨立水平 莖芽點		400	45- 50	綁線法計算水平莖，並用 葉間期計算垂直莖
單脈 二藥草	地上部	長帶形	個體中/ 周轉快	100	6-8	戳針法
	地下部	具垂直莖/ 水平莖芽 點具海草		400	15- 20	綁線法計算水平莖，並用 葉間期計算垂直莖

		植株				
甘草	地上部	長帶形	個體中/ 周轉快	100	6-8	戳針法
	地下部	具垂直莖/ 水平莖芽 點具海草 植株		400	15- 20	綁線法計算水平莖，並用 葉間期計算垂直莖
貝克氏 鹽草	地上部	卵圓形、具 葉柄/蓮座 生長	個體小/ 周轉快	100	6-8	綁線法，並製造缺角標記 老葉，以及棉線基準點後 2-3 株海草新分支之植株
	地下部	獨立水平 莖芽點		100	6-8	綁線法，並計算棉線基準 點後 2-3 株海草新分枝之 水平莖
卵葉 鹽草	地上部	卵圓形、具 葉柄	個體小/ 周轉快	100	6-8	綁線法，並以葉面積及葉 柄長度之生物量迴歸公 式計算葉片生物量變化
	地下部	獨立水平 莖芽點		100	6-8	綁線法

5.3.植物體有機碳含量百分比

將野外採集的海草植物體各組織，包含地上部葉子、葉柄及地下部垂直莖、水平莖和根，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，即為海草床植物體地上部及地下部有機碳含量百分比數值(Howard et al. 2014)。

5.4.死有機質及碳含量百分比

海草床的死有機質由枯落葉片、死水平莖和果實等組成，且容易被水流帶離海草床，因此各類海草床中地表死有機碳庫僅占一小部分或可以忽略。測定方式為隨機樣框(100-2500 cm²)採樣，將框內所有枯落葉片等死有機質帶回實驗室清洗及烘乾至恆重，即為單位面積死有機質乾重。將烘乾的死有機質樣本，使用 5.3. 植物體有機碳分析方式，磨碎並用 0.5 mm 之篩網過篩，並進行碳元素分析，即可得到死有機質碳含量百分比。將單位面積死有機質乾重乘上死有機質碳含量百分比，即可得到單位面積海草床死有機質碳儲量(Howard et al. 2014)。

5.5.土壤

海草床土壤碳儲量變化量計算方式分為土壤碳庫差分法及增減法。

土壤碳庫差分法適用沙質地海草床，計算參數詳見 5.5.1.-5.5.3.及 5.5.6.小節。底土深度較淺可使用 5.5.1.方法測量地表高程變化之海草床，土壤碳儲量變化量計算如公式(8)、(9)；底土深度太淺，無法量測地表高程變化之海草床，土壤碳儲

量變化之測量方式需將表層 30 cm 土壤分層，計算各層土壤碳儲量(g C cm^{-2})，將加總各層土壤在不同年份的碳儲量變化量，即可得到海草床土壤碳儲量變化量($\text{g C cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)。土壤分層至少為深度 0-10 cm、10-20 cm 及 20-30 cm，共三層。若人力等實驗資源允許，應增加分層數量(如深度 0-5 cm、5-10 cm、10-15 cm、15-20 cm、20-25 cm 及 25-30 cm)，以提高估算精度。或是利用 5.5.6.小節的經驗公式方法，測量不同年份的土壤碳儲量後相減，也能得到海草床土壤碳儲量變化量($\text{g C cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)。

增減法適用泥質地海草床，計算參數詳見 5.5.4.小節，土壤碳儲量變化量計算如公式(10)、(11)。增減法所量化的土壤碳儲量變化量，僅包含海草床自源性的土壤碳埋藏貢獻。

5.5.1.地表高程變化

監測海草床地表高程變化(SEC)，可使用 30-60 cm 之營釘由土壤表層垂直向下戳至底岩，藉由營釘總長度減掉露出土表之長度，即為底土深度。不同年份的底土深度相減，即可得到海草床地表高程變化率(cm yr^{-1})。

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 6a)採集 30 cm 深的土壤樣本，再用小型採集器(圖 6b)取樣 0-10、10-20 和 10-30 cm 各層之土壤。將樣本冷藏於 4°C ，帶回實驗室烘乾至恆重。將每個小採集器的土壤樣本乾重除以採集體積即為土壤總體密度。可測量土壤地表高程變化的海草床，僅需計算表層 0-5 cm 深的土壤總體密度，可用小型採集器直接從土壤表層採集。

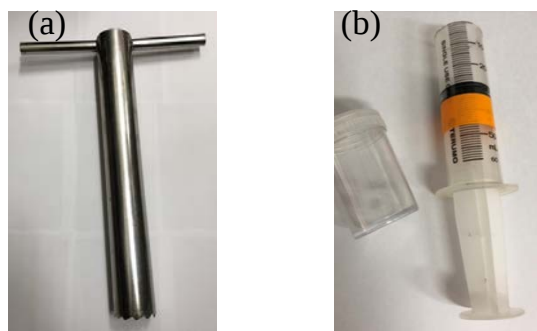


圖 11、表層土壤採集器
(a)不鏽鋼底土採集管(b)小型採集器

5.5.3.土壤有機碳含量百分比及土壤碳儲量

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. 分解剩餘量及海草床自源性的土壤碳埋藏貢獻

海草床分解實驗參考 Mateo and Romero (1996) 的做法，用 5.2.1 方法收集海草地上部及地下部組織，將清洗後的地上部及地下部擦乾，各別取 5-20 g 放入網目 0.1 mm 的分解袋(規格 15 cm × 10 cm)，最後將分解袋放回海草床待不同時間點回收並測量其分解剩餘量。若人力等實驗資源允許，放入分解袋中的新鮮樣本應盡量達 20 g，以確保能測得海草組織分解剩餘的重量。地上部分解袋放置於海草床地表，地下部分解袋需埋至 5-10 cm。分解袋在 300 天內需回收 5-7 次，例如放置 14、30、60、120、240 天之後收回，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(Zou et al., 2021)。

海草床自源性的土壤碳埋藏貢獻計算如公式(10)、(11)，其中的參數海草地上部碎屑(DA)由海草床地上部生物量生長量乾重(ΔB_A)減掉海草床碎屑輸出量(DA_{out}，詳見 5.5.5. 小節)，單位為 t d.m. ha⁻¹ yr⁻¹；海草地下部碎屑(DB)，可直接以海草床地下部生物量生長量乾重(ΔB_B)數值做估算，單位為 t d.m. ha⁻¹ yr⁻¹。由於僅有海草床地上部容易隨水流輸出，因此需要考慮側向運輸後剩餘的碎屑，才會留在海草床中的分解；地下部從新生、枯死到分解都在土壤裡，且不易區分剛死亡的地下部，所以可以直接用地下部每年新增的生物量作為地下部碎屑的年增加量。

5.5.5. 海草床碎屑輸出量

選定採樣區後清除卡在底土和海草植被上的碎屑及落葉，罩上 30*30*45 cm³ 之網袋(如圖 7)，以收取新凋落而被海浪或海流帶離的海草地上部落葉碎屑，但不撿拾留在土表的碎屑。每次碎屑收集網放置時間為兩天，取回網內碎屑以 60 °C 烘乾至恆重除以放置時間，即可得到每日海草床碎屑輸出量 g d.m. m⁻² d⁻¹(Huang et al., 2015)。於四季量測每日海草床碎屑輸出量平均後轉換時間及面積單位，即可得到海草床碎屑輸出量(DA_{out})，單位為 t d.m. ha⁻¹ yr⁻¹。



圖 12、海草床碎屑攔截網

5.5.6. 海草地下部生物量及土壤碳儲量經驗公式

海草床地下部生物量為重要的土壤有機碳來源，透過建立參數間轉換的迴歸式，可藉由 5.2.1.實際採集的地下部生物量或由 5.2.2.所估計的地下部生物量，估算海草床土壤碳儲量(Stankovic et al., 2021; Stankovic et al., 2018)。目前臺灣尚待建立地下部生物量與土壤碳儲量的關係式，建立方法須在同一樣框內採集地下部生物量(詳見 5.2.1.)及土壤碳儲量(詳見 5.5.3.)樣本，採集足夠重複數後即可畫出地下部生物量與土壤碳儲量的迴歸式(Stankovic et al., 2021; Stankovic et al., 2018)。

5.6.非二氧化碳溫室氣體排放

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($\text{t CO}_2\text{e ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$)。常用罩蓋(圖 8)及儀器之相關參數，詳見附件 8.1-8.3。海草床土壤溫室氣體測量需考慮棲地積水，例如封閉水域之海草床在積水情況可用浮體罩蓋測量溫室氣體。

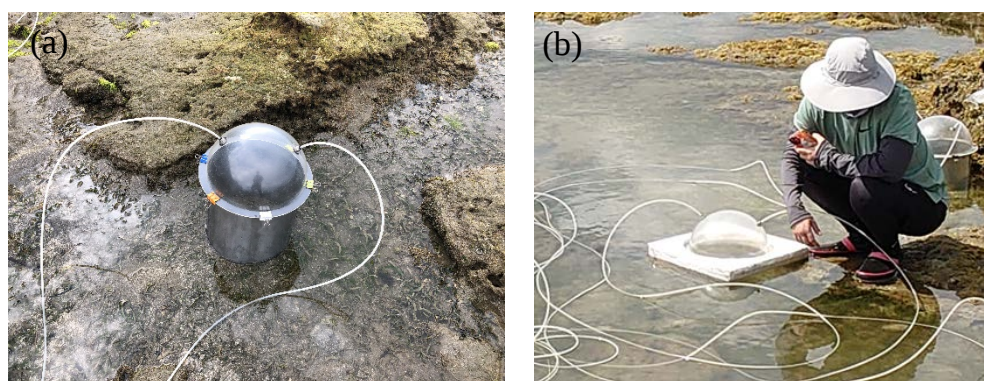


圖 13、海草床溫室氣體量測常用之各類型罩蓋
(a)土壤圓形罩蓋(b)水體浮體罩蓋

6.品質保證與管控

6.1.完整性

完整的海草床溫室氣體清單包括如上文所描述的管理海草床的排放估計值。採用高層級方法和資料的各國，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)各章或重複計算各碳庫的溫室氣體排放。

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 指南和內政部濕地碳匯標準作業；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。海草床面積變化因結合航照圖，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%。國家特定海草床碳儲存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(25)；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(26)；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(27)。

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{-----} \quad (51)$$

- 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 —CF 數據筆數。

$$U = \frac{SD \times 1.96}{\bar{x}} \times 100\% \quad \text{-----} \quad (52)$$

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

$$U_{total} = \sqrt{\frac{(U_1 \times E_1)^2 + (U_2 \times E_2)^2 + \dots + (U_n \times E_n)^2}{E_1 + E_2 + \dots + E_n}} \quad \text{-----} \quad (53)$$

- 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。

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \quad \text{-----} \quad (54)$$

- 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

明確定義海草床之活動數據，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 指南第一卷第五章及濕地，在兩次海草床資源調查期間，可使用內差法推得各年度海草床物種分布面積之數據。

6.4.品質保證/管控

品質保證/管控（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/管控（QA/QC）規定的制定和實施在 2013 IPCC NIR 濕地補充指南，國內特定排放係數須建立固定海草床樣區定期監測，以確保其準確性。

7.本方法學碳匯項目及建議量測方法

本方法學針對估算層級 2-3 的海草床排放係數，整理各項目量測及計算方法，如表 9。

表 22、臺灣海草床排放係數估算層級 2-3 計算方法彙整表

海草床 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	澳洲國家溫室氣體清冊沒計算	碳庫差分法- 1.帶狀型葉片：戳針法 2.非帶狀型葉片：綁線法
	地下部	重要碳匯項目	碳庫差分法- 1.水平莖：綁線法 2.垂直莖：葉間期計算
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	沙質土壤	重要碳匯項目	碳庫差分法- 1.用營釘量測地表高程變化 2.無法計算高程變化時，需計算表層各層土壤碳庫變化
	泥質土壤	重要碳匯項目	增減法- 計算植物體分解後，對土壤碳庫的貢獻
非二氧化碳 溫室氣體排放	甲烷	一般不計算，僅在鹽度<18psu 時計算	通量法- 密閉罩蓋法
	氧化亞氮	一般不計算，僅在營養汙染時計算	

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。
- 林幸助、陳渭中(2021)。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。內政部國土管理署城鄉發展分署。
- 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。
- Agostini, S., Pergent, G. & Marchand, B. (2003) Growth and primary production of *Cymodocea nodosa* in a coastal lagoon. *Aquatic Botany* 76(3): 185-193.
- Aioi, K. (1980) Seasonal change in the standing crop of eelgrass *Zostera marina* in Odawa Bay, Central Japan. *Aquatic Botany* 8(4): 343-354.
- Aioi, K., Mukai, H., Koike, I., Ohtsu, M. & Hattori, A. (1981) Growth and organic production of eelgrass *Zostera-marina* in temperate waters of the Pacific coast of Japan. 2. Growth Analysis in Winter. *Aquatic Botany* 10(2): 175-182.
- Aioi, K. & Pollard, P. C. (1993) Biomass, Leaf growth and loss rate of the seagrass *Syringodium isotifolium* on Dravuni Island, Fiji. *Aquatic Botany* 46(3-4): 283-292.
- Asmus, R. M., Sprung, M. & Asmus, H. (2000) Nutrient fluxes in intertidal communities of a South European lagoon (Ria Formosa) - similarities and differences with a northern Wadden Sea bay (Sylt-Romo Bay). *Hydrobiologia* 436(1-3): 217-235.
- Bandeira, S. O. (2002) Leaf production rates of *Thalassodendron ciliatum* from rocky and sandy habitats. *Aquatic Botany* 72(1): 13-24.
- Boon, P. I. (1986) Nitrogen pools in seagrass beds of *Cymodocea serrulata* and *Zostera capricorni* of Moreton Bay, Australia. *Aquatic Botany* 25(1): 1-19.
- Brouns, J. (1985) A comparison of the annual production and biomass in three monospecific stands of the seagrass *Thalassia hemprichii* (Ehrenb) Aschers. *Aquatic Botany* 23(2): 149-175.
- Brouns, J. (1987) Aspects of production and biomass of four seagrass species *Cymodoceoideae* from Papua New Guinea. *Aquatic Botany* 27(4): 333-362.
- Brun, F. G., van Zetten, E., Cacabelos, E. & Bouma, T. J. (2009) Role of two contrasting ecosystem engineers *Zostera noltii* and *Cymodocea nodosa* on the food intake rate of *Cerastoderma edule*. *Helgoland Marine Research* 63(1): 19-25.
- Cebrian, J., Pedersen, M. F., Kroeger, K. D. & Valiela, I. (2000) Fate of production of the seagrass *Cymodocea nodosa* in different stages of meadow formation. *Marine Ecology Progress Series* 204: 119-130.
- Change, C. (2007). IPCC fourth assessment report. The physical science basis, 2, 580-595.
- Chen, K. Y., & Lin, H. J. (2022). High-Resolution Mapping of Seagrass Biomass

- Dynamics Suggests Differential Response of Seagrasses to Fluctuating Environments. *Diversity*, 14(11), 999
- Coles, R. G., Long, W. J. L., Watson, R. A. & Derbyshire, K. J. (1993) Distribution of Seagrasses, and Their Fish and Penaeid Prawn Communities, in Cairns Harbour, a Tropical Estuary, Northern Queensland, Australia. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 44(1): 193-210.
- Collier, C. J., Lavery, P. S., Ralph, P. J. & Masini, R. J. (2009) Shade-induced response and recovery of the seagrass *Posidonia sinuosa*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 370(1-2): 89-103.
- de Boer, W. F. (2000) Biomass dynamics of seagrasses and the role of mangrove and seagrass vegetation as different nutrient sources for an intertidal ecosystem. *Aquatic Botany* 66(3): 225-239.
- Daby, D. (2003) Effects of seagrass bed removal for tourism purposes in a Mauritian bay. *Environmental Pollution* 125(3): 313-324.
- Devereux, R., Yates, D. F., Aukamp, J., Quarles, R. L., Jordan, S. J., Stanley, R. S. & Eldridge, P. M. (2011) Interactions of *Thalassia testudinum* and sediment biogeochemistry in Santa Rosa Sound, NW Florida. *Marine Biology Research* 7(4): 317-331.
- Dos Santos, V. M., Matheson, F. E., Pilditch, C. A. & Elger, A. (2012) Is black swan grazing a threat to seagrass? Indications from an observational study in New Zealand. *Aquatic Botany* 100: 41-50.
- Dixon, L. K. & Leverone, J. R. (1995) Light requirements of *Thalassia testudinum* in Tampa Bay, Florida: final report.
- Dunton, K. H. (1996) Photosynthetic production and biomass of the subtropical seagrass *Halodule wrightii* along an estuarine gradient. *Estuaries* 19(2B): 436-447.
- Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
- Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marba, N., Holmer, M., Mateo, M. A., Apostolaki, E. T., Kendrick, G. A., Krause-Jensen, D., McGlathery, K. J. & Serrano, O. (2012) Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience* 5(7): 505-509.
- Hackney, J. W. (2003) Morphometric variability and allometric relationships in the seagrass *Thalassia testudinum* in Florida Bay. In: University of North Carolina.
- Halun, Z., Terrados, J., Borum, J., Kamp-Nielsen, L., Duarte, C. M. & Fortes, M. D. (2002) Experimental evaluation of the effects of siltation-derived changes in sediment conditions on the Philippine seagrass *Cymodocea rotundata*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 279(1-2): 73-87.
- Hebert, A. B., Morse, J. W. & Eldridge, P. M. (2007) Small-scale heterogeneity in the

- geochemistry of seagrass vegetated and non-vegetated estuarine sediments: causes and consequences. *Aquatic Geochemistry* 13(1): 19-39.
- Herbert, D. A. & Fourqurean, J. W. (2008) Ecosystem structure and function still altered two decades after shortterm fertilization of a seagrass meadow. *Ecosystems* 11(5): 688-700.
- Herbert, D. A. & Fourqurean, J. W. (2009) Phosphorus Availability and Salinity Control Productivity and Demography of the Seagrass *Thalassia testudinum* in Florida Bay. *Estuaries and Coasts* 32(1): 188-201.
- 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.
- Holmer, M., Andersen, F. O., Nielsen, S. L. & Boschker, H. T. S. (2001) The importance of mineralization based on sulfate reduction for nutrient regeneration in tropical seagrass sediments. *Aquatic Botany* 71(1): 1-17.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E. (2014). Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses.
- 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.
- Huang, Y. H., Lee, C. L., Chung, C. Y., Hsiao, S. C., & Lin, H. J. (2015). Carbon budgets of multispecies seagrass beds at Dongsha Island in the South China Sea. *Marine Environmental Research*, 106, 92-102.
- Ismail, N. (1993) Preliminary study of the seagrass flora of Sabah, Malaysia. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science* 16(2): 111-118.
- Jensen, S. & Bell, S. (2001) Seagrass growth and patch dynamics: cross-scale morphological plasticity. *Plant Ecology* 155(2): 201-217.
- Kim, S. H., Kim, Y. K., Park, S. R., Li, W. T. & Lee, K. S. (2012) Growth dynamics of the seagrass *Halophila nipponica*, recently discovered in temperate coastal waters of the Korean peninsula. *Marine Biology* 159(2): 255-267
- Kirkman, H. & Reid, D. D. (1979) A study of the role of the seagrass *Posidonia australis* in the carbon budget of an estuary. *Aquatic Botany* 7(2): 173-183.
- Kowalski, J. L., DeYoe, H. R. & Allison, T. C. (2009) Seasonal Production and Biomass of the Seagrass, *Halodule wrightii* Aschers. (Shoal Grass), in a Subtropical Texas Lagoon. *Estuaries and Coasts* 32(3): 467-482.
- Larkum, A. W. D., Collett, L. C. & Williams, R. J. (1984) The standing stock, growth and shoot production of *Zostera capricorni* aschers. in Botany Bay, New South Wales, Australia. *Aquatic Botany* 19(3-4): 307-327.

- Larned, S. T. (2003) Effects of the invasive, nonindigenous seagrass *Zostera japonica* on nutrient fluxes between the water column and benthos in a NE Pacific estuary. *Marine Ecology Progress Series* 254: 69-80.
- Lebreton, B., Richard, P., Radenac, G., Bordes, M., Breret, M., Arnaud, C., Mornet, F. & Blanchard, G. F. (2009) Are epiphytes a significant component of intertidal *Zostera noltii* beds? *Aquatic Botany* 91(2): 82-90.
- Lee, K. S., Park, S. R. & Kim, J. B. (2005) Production dynamics of the eelgrass, *Zostera marina* in two bay systems on the south coast of the Korean peninsula. *Marine Biology* 147(5): 1091-1108.
- Lee, S. Y. (1997) Annual cycle of biomass of a threatened population of the intertidal seagrass *Zostera japonica* in Hong Kong. *Marine Biology* 129(1): 183-193.
- Lee, S. Y., Oh, J. H., Choi, C. I., Suh, Y. & Mukai, H. (2005) Leaf growth and population dynamics of intertidal *Zostera japonica* on the western coast of Korea. *Aquatic Botany* 83(4): 263-280
- Lillebo, A. I., Flindt, M. R., Pardal, M. A. & Marques, J. C. (2006) The effect of *Zostera noltii*, *Spartina maritima* and *Scirpus maritimus* on sediment pore-water profiles in a temperate intertidal estuary. *Hydrobiologia* 555: 175-183.
- Lindeboom, H. J. & Sandee, A. J. J. (1989) Production and consumption of tropical seagrass fields in Eastern
- Lipkin, Y. (1979) Quantitative aspects of seagrass communities, particularly of those dominated by *Halophila stipulacea*, in Sinai (Northern Red Sea). *Aquatic Botany* 7(2): 119-128.
- Longstaff, B. J. & Dennison, W. C. (1999) Seagrass survival during pulsed turbidity events: the effects of light deprivation on the seagrasses *Halodule pinifolia* and *Halophila ovalis*. *Aquatic Botany* 65(1-4): 105-121.
- Indonesia measured with bell jars and microelectrodes. *Netherlands Journal of Sea Research* 23(2): 181-190.
- Marba, N. & Duarte, C. M. (2001) Growth and sediment space occupation by seagrass *Cymodocea nodosa* roots. *Marine Ecology Progress Series* 224: 291-298.
- Mateo, M. A. & Romero, J. (1997) Detritus dynamics in the seagrass *Posidonia oceanica*: Elements for an ecosystem carbon and nutrient budget. *Marine Ecology Progress Series* 151(1-3): 43-53.
- Mateo, M. A., & Romero, J. (1996). Evaluating seagrass leaf litter decomposition: an experimental comparison between litter-bag and oxygen-uptake methods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 202(2), 97-106.
- McGlathery, K. J., Reynolds, L. K., Cole, L. W., Orth, R. J., Marion, S. R. & Schwarzschild, A. (2012) Recovery trajectories during state change from bare sediment to eelgrass dominance. *Marine Ecology Progress Series* 448: 209-221.

- McKenzie, L. (1994) Seasonal changes in biomass and shoot characteristics of a *Zostera capricorni* Aschers. Dominant meadow in Cairns Harbour, northern Queensland. *Marine and Freshwater Research* 45(7): 1337-1352.
- McMahan, C. A. (1968) Biomass and salinity tolerance of shoalgrass and manateegrass in Lower Laguna Madre, Texas. *The Journal of Wildlife Management* 32(3): 501-506
- McRoy, C. P. (1974) Seagrass productivity: Carbon uptake experiments in eelgrass, *Zostera marina*. *Aquaculture* 4: 131-137.
- Meling-Lopez, A. E. & Ibarro-Obando, S. E. (1999) Annual life cycles of two *Zostera marina* L-populations in the Gulf of California: contrasts in seasonality and reproductive effort. *Aquatic Botany* 65: 59-69.
- Mellors, J., Marsh, H., Carruthers, T. J. & Waycott, M. (2002) Testing the sediment-trapping paradigm of seagrass: Do seagrasses influence nutrient status and sediment structure in tropical intertidal environments? *Bulletin of Marine Science* 71(3): 1215-1226.
- Moriarty, D. J., Roberts, D. G. & Pollard, P. C. (1990) Primary and bacterial productivity of tropical seagrass communities in the Gulf of Carpentaria, Australia. *Marine Ecology Progress Series* 61: 145-157.
- Mukai, H., Aioi, K., Koike, I., Iizumi, H., Ohtsu, M. & Hattori, A. (1979) Growth and organic production of eelgrass *Zostera marina* L. in temperate waters of the pacific coast of Japan. I. Growth analysis in spring–summer. *Aquatic Botany* 7: 47-56.
- Mumby, P. J., Edwards, A. J., Green, E. P., Anderson, C. W., Ellis, A. C., & Clark, C. D. (1997). A visual assessment technique for estimating seagrass standing crop. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 7(3), 239-251.
- Nienhuis, P., Coosen, J. & Kiswara, W. (1989) Community structure and biomass distribution of seagrasses and macrofauna in the Flores Sea, Indonesia. *Netherlands Journal of Sea Research* 23(2): 197-214.
- Ogden, J. C. & Ogden, N. B. (1982) A preliminary study of two representative seagrass communities in Palau, Western Caroline Islands (Micronesia). *Aquatic Botany* 12: 229-244.
- Olesen, B. & Sand-Jensen, K. (1994) Biomass-density patterns in the temperate seagrass *Zostera marina*. *Marine Ecology-Progress Series* 109: 283-283.
- Olson, J. S. (1963). Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44(2), 322-331.
- Paling, E. I. & McComb, A. J. (2000) Autumn biomass, below-ground productivity, rhizome growth at bed edge and nitrogen content in seagrasses from Western Australia. *Aquatic Botany* 67(3): 207-219.
- Park, S. R., Kim, Y. K., Kim, J.-H., Kang, C.-K. & Lee, K.-S. (2011) Rapid recovery of

- the intertidal seagrass *Zostera japonica* following intense Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) harvesting activity in Korea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 407(2): 275-283.
- Paynter, C. K., Cortés, J. & Engels, M. (2001) Biomass, productivity and density of the seagrass *Thalassia testudinum* at three sites in Cahuita National Park, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop* 49(Suppl 2): 265-272.
- Poovachiranon, S. & Chansang, H. (1994) Community structure and biomass of seagrass beds in the Andaman Sea. I. Mangrove-associated seagrass beds. *Phuket Marine Biological Center Research Bulletin* 59: 53-64.
- Povidisa, K., Delefosse, M. & Holmer, M. (2009) The formation of iron plaques on roots and rhizomes of the seagrass *Cymodocea serrulata*(R. Brown) Ascherson with implications for sulphide intrusion. *Aquatic Botany* 90(4): 303-308.
- Powell, G. V., Kenworthy, J. W. & Fourqurean, J. W. (1989) Experimental evidence for nutrient limitation of seagrass growth in a tropical estuary with restricted circulation. *Bulletin of Marine Science* 44(1): 324-340.
- Preen, A. (1995) Impacts of dugong foraging on seagrass habitats: observational and experimental evidence for cultivation grazing. *Marine ecology progress series*. Oldendorf 124(1): 201-213.
- Rasheed, M. A. (1999) Recovery of experimentally created gaps within a tropical *Zostera capricorni*(Aschers.) seagrass meadow, Queensland Australia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 235(2): 183-200.
- Rismondo, A., Curiel, D., Marzocchi, M. & Scattolin, M. (1997) Seasonal pattern of *Cymodocea nodosa* biomass and production in the lagoon of Venice. *Aquatic Botany* 58(1): 55-64
- Sand-Jensen, K. & Borum, J. (1983) Regulation of growth of eelgrass(*Zostera marina* L.) in Danish coastal waters. *Marine Technology Society Journal* 17(2): 15-21.
- Schwarz, A.-M., Morrison, M., Hawes, I. & Halliday, J. (2006) Physical and biological characteristics of a rare marine habitat: sub-tidal seagrass beds of offshore islands. Department of Conservation.
- Short, F. T., & Coles, R. G. (Eds.). (2001). *Global seagrass research methods*. Elsevier.
- Stankovic, M., Ambo-Rappe, R., Carly, F., Dangan-Galon, F., Fortes, M. D., Hossain, M. S., Kiswara, W., Luong, C. V., Minh-Thu, P., Mishra, A. K., Noiraksar, T., Nurdin, N., Panyawai, J., Rattanachot, E., Rozaimi, M., Htun, U. S., & Prathep, A. (2021). Quantification of blue carbon in seagrass ecosystems of Southeast Asia and their potential for climate change mitigation. *Science of the Total Environment*, 783, 146858.
- Stankovic, M., Tantipisanuh, N., Rattanachot, E., & Prathep, A. (2018). Model-based approach for estimating biomass and organic carbon in tropical seagrass

- ecosystems. Marine Ecology Progress Series, 596, 61-70.
- Townsend, E. C. & Fonseca, M. S. (1998) Bioturbation as a potential mechanism influencing spatial heterogeneity of North Carolina seagrass beds. Marine Ecology Progress Series 169: 123-132.
- Udy, J. W. & Dennison, W. C. (1997) Growth and physiological responses of three seagrass species to evaluated sediment nutrients in Moreton Bay, Australia. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 217: 253-277.
- Van Houte-Howes, K., Turner, S. & Pilditch, C. (2004) Spatial differences in macroinvertebrate communities in intertidal seagrass habitats and unvegetated sediment in three New Zealand estuaries. Estuaries 27(6): 945-957.
- Van Lent, F., Nienhuis, P. & Verschuure, J. (1991) Production and biomass of the seagrasses *Zostera noltii* Hornem. and *Cymodocea nodosa*(Ucria) Aschers. at the Banc d'Arguin (Mauritania, NW Africa): a preliminary approach. Aquatic Botany 41(4): 353-367.
- Van Tussenbroek, B. I. (1998) Above-and below-ground biomass and production by *Thalassia testudinum* in a tropical reef lagoon. Aquatic Botany 61(1): 69-82.
- Vermaat, J., Agawin, N., Duarte, C., Fortes, M., Marba, N. & Uri, J. (1995) Meadow maintenance, growth and productivity of a mixed Philippine seagrass bed. Marine ecology progress series. Oldendorf 124(1): 215-225.
- Vermaat, J., Beijer, J., Gijlstra, R., Hootsmans, M., Philippart, C., Van den Brink, N. & Van Vierssen, W. (1993) Leaf dynamics and standing stocks of intertidal *Zostera noltii* Hornem. and *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson on the Banc d'Arguin (Mauritania). Hydrobiologia 258(1): 59-72.
- Walker, D. (1985) Correlations between salinity and growth of the seagrass *Amphibolis antarctica*(labill.) Sonder & Aschers., In Shark Bay, Western Australia, using a new method for measuring production rate. Aquatic Botany 23(1): 13-26.
- West, R. & Larkum, A. (1979) Leaf productivity of the seagrass, *Posidonia australis*, in eastern Australian waters. Aquatic Botany 7: 57-65.
- Williams, S. L. (1987) Competition between the seagrasses *Thalassia testudinum* and *Syringodium filiforme* in a Caribbean lagoon. Marine Ecology Progress Series 35: 91-98.
- Yarbro, L. A. & Carlson Jr, P. R. (2008) Community oxygen and nutrient fluxes in seagrass beds of Florida Bay, USA. Estuaries and Coasts 31(5): 877-897.
- Zhongming, Z., Linong, L., Xiaona, Y., Wangqiang, Z., & Wei, L. (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

Zou, Y. F., Chen, K. Y., & Lin, H. J. (2021). Significance of belowground production to the long-term carbon sequestration of intertidal seagrass beds. *Science of The Total Environment*, 800, 149579.

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°C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，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
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，2022)

8.3 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] ⁻¹	120	1000
GLA132	ppm CH ₄ [20 sec] ⁻¹	180	1
LI-7810 (CO ₂)	ppm CO ₂ [1sec] ⁻¹	3600	1000
LI-7810 (CH ₄)	ppb CH ₄ [sec] ⁻¹	3600	1000
LI-7820 (N ₂ O)	ppb N ₂ O [sec] ⁻¹	3600	1000
F：氣體通量(mmol CO₂ m⁻² h⁻¹)及(μmol CH₄/N₂O m⁻² h⁻¹) 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⁻¹ mol⁻¹) T：絕對溫度(K) A：罩蓋底面積(m²)，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，2022)

附件三 小規模減量方法：臺灣紅樹林棲地的造林與植林

小規模減量方法撰寫格式

減量方法封面應包含下列資訊：

TMS-L/II/III.000←僅由本署編列

小規模減量方法

臺灣紅樹林棲地的造林與植林

版本 01.0→僅由本署編列

範疇別： 14 造林與植林

林幸助、呂佳宜

2023年11月

I. 減量方法提案緣起及背景

氣候變遷不僅影響生態環境，更緊密連繫著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，我國亦於2022年3月正式公布「臺灣2050淨零排放路徑藍圖」。為了達到碳中和之目標，透過「自然碳匯」之負碳技術是抵減溫室氣體的重要方法之一，其生態系服務亦能帶來多樣化的附加價值。臺灣四面環海，是典型的海島國家，因具備優越地理位置、海域棲地型態多樣性高與生態交會區效應等多重因子，使台灣具有相當豐富且多元的海洋自然資源，亦具有發展「海洋碳匯」之潛力。依據聯合國之評估¹⁴，全球海洋生物所捕獲（captured）和封存（sequestered）的碳中，更有至少一半是儲存於海岸型濕地「濱海藍碳生態系統」之中。

聯合國清潔發展機制（Clean Development Mechanism，CDM）是現行較嚴格的溫室氣體減量方法學。目前 CDM 有「劣化紅樹林棲地的造林與植林」（Afforestation and reforestation of degraded mangrove habitats）（AR-AM0014）之方法學，然而其內容具有專業性與複雜性，直接在臺灣推行有困難。考量臺灣之法律規範、在地環境狀況、實際造林作業方式、監測程序之操作技術與專案執行可行性等，本提案對其方法學進行調整與補充，目的在建立一套符合臺灣環境狀況且具可行性及品質之紅樹林棲地的造林與植林碳匯效益評估方法，以確保專案所產生碳匯量可進行量測、報告、查證，並促進臺灣紅樹林棲地造林與植林專案的溫室氣體自願性減量專案之碳交易。

¹⁴ Blue future: Coastal wetlands can have a crucial role in the fight against climate change. Nature, 2016, 529: 255–256.

II. 既有減量方法差異說明

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/臺灣紅樹林棲地的造林與植林}	既有減量方法 { AR-AM0014/ Afforestation and reforestation of degraded mangrove habitats }
出處		AR-AM0014 ver. 03.0
涉及之減量措施	造林與植林	造林與植林
(1)適用條件	1. 專案活動的土地為2016年11月4日 以來的劣化紅樹林棲地且專案起始時間不得早於西元□□年□月□日（本專案公告日期）。其專案邊界之土地或海域權屬清晰，具有土地所有權證明或經主管機關核可之使用證明文件。 2. 本方法學之專案活動適用於濱海濕地之劣化紅樹林棲地，其劣化紅樹林棲地是指植被狀況無法同時滿足樹密度每公頃 ≥ 1050株且鬱閉度 (crown cover) ≥ 0.20之條件。 【修改劣化紅樹林棲地的定義】 3. 專案活動不得違反國家相關法律、法規、政策措施，且應符合相關技術規範。【補充規範】 4. 專案邊界需種植超過 90% 之紅樹林樹種；若種植超過 10% 之非紅樹林物種，專案活動則不得導致專	1. 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2~5公尺高的林木樹冠所鬱閉」之標準。 2. 專案區域需種植超過 90% 之紅樹林樹種；若種植超過 10% 之非紅樹林物種，專案活動則不得導致專案區域之水文、上下坡相連之濕地區域水文之變化。 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%。

	案區域之水文、上下坡相連之濕地區域水文之變化。 5. 專案活動後專案邊界內所引起的土壤擾動不得超過專案面積的10%。【修改土壤擾動之規範】 6. 專案活動所種植之紅樹林物種須為臺灣原生物種，並配合環境條件選用合宜樹種。【補充規範所植栽之紅樹林原生物種】 7. 專案活動不得採取人為引火焚燒方式對林地進行清除或管理。【依據臺灣造林作業規範修改】 8. 專案活動不得移除地表枯落物、樹根、枯木。【補充規範】 9. 專案活動不會造成專案開始前農漁業活動的變更。【補充規範】	
(2)專案邊界	1. 專案邊界範圍 專案活動之「專案邊界（project boundary）」係指擁有土地所有權或使用權的專案申請者（project participants, PPs）所實施專案活動之地理範圍，其範圍可包含多筆分散之紅樹林棲地。專案申請者須提供土地所有權或政府相關單位核發的使用權證明。其專案邊界應分為「專案前邊界」及「專案後邊界」，專案執行之地點須以經緯度座標標記。專案申請者須提供資料以證實專案邊界內紅樹林棲地，於專案活動起始前（即基線情境）符	1. 專案邊界範圍 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實施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。 2. 土地合格性 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

	合適用條件，得透過下列方式及文件進行專案活動起始前之情況證明，其優先順序為：（1）經碳匯查驗機構之實地調查，得輔以衛星影像、遙測技術、空中無人載具（Unmanned Aerial Vehicle）等分析，但不得作為主要證明文件；（2）一年內國家級別之調查或清冊資料。 2. 土地合格性 專案申請者須提供資料以證實專案邊界內紅樹林棲地，於專案活動起始前（即基線情境）符合適用條件，得透過下列方式及文件進行專案活動起始前之情況證明，其優先順序為：（1）經碳匯查驗機構之實地調查，得輔以衛星影像、遙測技術、空中無人載具（Unmanned Aerial Vehicle）等分析，但不得作為主要證明文件；（2）一年內國家級別之調查或清冊資料。 3. 碳庫及溫室氣體排放源之計算項目 (1) 碳庫 計算項目必須計入「地上部生物量」、「地下部生物量」、「土壤有機碳」，可自選是否計入「枯落物」。	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。 3. 碳庫及溫室氣體排放源之計算項目 (1) 碳庫 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」。 (2) 溫室氣體排放源 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。 4. 鑑別基線情境及證明外加性 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。 5. 分層採樣
--	---	--

	木」，不計入「枯落物」。【修改土壤有機碳庫為必須計入】 (2) 溫室氣體排放源 本專案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。溫室氣體排放源分為兩部分，分別為自然火災以及海岸型濕地沉積物的釋放；依據條件狀況必須計入 CH₄及 N₂O。【修改並補充計入條件】 4. 鑑別基線情境及證明外加性 (1) 鑑別基線情境 「基線情境」係指專案活動起始前，實際之土地利用方式及狀況。 (2) 證明外加性 專案申請者須提供與「外加性」證明相關的資料、原理、假設、理由和文本，並由主管機關認可的獨立第三方查證機構進行可信度評估。依循環保署抵換專案制度小規模減量方法對外加性之規範需符合法規外加性及障礙分析四擇一（投資障礙、技術障礙、普遍性障礙或其他障礙）。 5. 分層採樣 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	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。
--	---	---

	(stratification)」採樣，以增加基線及專案活動期間碳匯估算的準確性，因此應依據影響碳儲量的因素做為分層標準。本專案之分層現象主要取決於造林及經營管理計畫，分層可分為「事前分層」和「事後分層」。																									
(3)基線排放(含基線排放計算式)	在基線排放與專案排放之計算，本專案提供專案申請者各兩種計算方法，其方法之優先順序為分別為「方法一」以及「方法二」，專案申請者可考量環境、成本擇一進行計算；但是基線情境與專案情境所選擇的計算方式必須維持一致性。 方法一【補充方法】 $\Delta C_{BSL,t} = \Delta C_{MangroveBSL,t}$ $= \Delta B_{MangroveBSL,t} + \Delta C_{DWBSL,t} + \Delta SOC_{BSL,t}$ <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 年碳匯的基線溫室氣體淨移除量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$\Delta C_{MangroveBSL,t}$</td><td>t 年之基線紅樹林碳儲量的年變化量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$\Delta B_{MangroveBSL,t}$</td><td>t 年之基線紅樹林生物量碳儲量的年變化量</td><td>t CO₂e</td></tr> </tbody> </table>	參數	定義	單位	$\Delta C_{BSL,t}$	t 年碳匯的基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e	$\Delta C_{MangroveBSL,t}$	t 年之基線紅樹林碳儲量的年變化量	t CO ₂ e	$\Delta B_{MangroveBSL,t}$	t 年之基線紅樹林生物量碳儲量的年變化量	t CO ₂ e	$\Delta C_{BSL,t} =$ $\Delta C_{TREEBSL,t} + \Delta C_{SHRUBBSL,t}$ $+ \Delta C_{DWBSL,t}$ <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 年內碳匯的基線溫室氣體淨移除量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$\Delta C_{TREEBSL,t}$</td><td>t 年內專案邊界中基線喬木 (tree) 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>$\Delta C_{SHRUBBSL,t}$</td><td>t 年內專案邊界中基線灌木 (shurb) 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> </tbody> </table>	參數	定義	單位	$\Delta C_{BSL,t}$	t 年內碳匯的基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e	$\Delta C_{TREEBSL,t}$	t 年內專案邊界中基線喬木 (tree) 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	$\Delta C_{SHRUBBSL,t}$	t 年內專案邊界中基線灌木 (shurb) 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																								
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年碳匯的基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e																								
$\Delta C_{MangroveBSL,t}$	t 年之基線紅樹林碳儲量的年變化量	t CO ₂ e																								
$\Delta B_{MangroveBSL,t}$	t 年之基線紅樹林生物量碳儲量的年變化量	t CO ₂ e																								
參數	定義	單位																								
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年內碳匯的基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e																								
$\Delta C_{TREEBSL,t}$	t 年內專案邊界中基線喬木 (tree) 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																								
$\Delta C_{SHRUBBSL,t}$	t 年內專案邊界中基線灌木 (shurb) 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 年之基線 枯木碳儲量 的年變化量	t CO ₂ e
	$\Delta SOC_{BSL,t}$	t 年之紅樹 林土壤碳儲 量的年變化 量	t CO ₂ e
方法二【簡化 CDM 之計算】 $\Delta C_{BSL,t} = \Delta C_{TREE_BSL,t}$ $+ \Delta C_{SHRUB_BSL,t} + \Delta C_{DW_BSL,t}$			
	參數	定義	單位
	$\Delta C_{BSL,t}$	t 年碳匯的 基線溫室氣 體淨移除量	t CO ₂ e
	$\Delta C_{TREE_BSL,t}$	t 年之專案 邊界內基線 喬木碳儲量 的年變化量	t CO ₂ e
	$\Delta C_{SHRUB_BSL,t}$	t 年之專案 邊界內基線 灌木碳儲量 的年變化量	t CO ₂ e
	$\Delta C_{DW_BSL,t}$	t 年之專案 邊界內基線 枯木碳儲量 的年變化量	t CO ₂ e

$\Delta C_{DW_BSL,t}$	t 年內專案邊界 中基線內枯木 (dead wood) 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 排放(含 專案排 放計算 式)	$\Delta C_{ACTUAL,t} = \Delta C_{P,t} - GHG_{E,t} - GHG_{fuel,t}$ $GHG_{E,t} = GHG_{FF_TREE,t} + \sum_{i=1} GHG_{SED,i,t}$			$\Delta C_{ACTUAL,t} = \Delta C_{P,t} - GHG_{E,t}$ $\Delta C_{P,t} = \Delta C_{TREEPROJ,t} + \Delta C_{SHRUBPROJ,t} + \Delta C_{DW_PROJ,t} + \Delta SOC_{PROJ,t}$		
	參數	定義	單位	參數	定義	單位
	$\Delta C_{ACTUAL,t}$	t 年內碳匯的實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e	$\Delta C_{ACTUAL,t}$	t 年內碳匯的實際溫室氣體淨移除量	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	$\Delta C_{P,t}$	t 年內選定碳庫中碳儲量的變化	t CO ₂ e
	$GHG_{E,t}$	t 年內由於實施 A/R 專案活動，在專案邊界內增加的非 CO ₂ GHG 排放量；並將「專案前」之估算設為零	t CO ₂ e	$GHG_{E,t}$	t 年內由於實施 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
	$GHG_{fuel,t}$	t 年內由於實施 A/R 專案活動，在專案邊界內使用化石燃料的排放量	t CO ₂ e	$\Delta C_{TREEPROJ,t}$	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
	$GHG_{FF_TREE,t}$	第 t 年之受自然火災所引起的林木地上部生物量燃燒，並造成非二氧化碳溫室氣體排放	t CO ₂ e	$\Delta C_{SHRUBPROJ,t}$	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	t CO ₂ e
	$GHG_{SED,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層的海岸型濕地沉積物排放量	t CO ₂ e			

	專案邊界內碳庫在 t 年內的碳儲量總變化（$\Delta C_{P,t}$）依據「方法一」與「方法二」之不同進行說明。 方法一【補充方法】 計算方式同基線排放計算式。 方法二【簡化 CDM 之計算】 $\Delta C_{P,t} =$ $\Delta C_{TREE_{PROJ},t} + \Delta C_{SHRUB_{PROJ},t}$ $+ \Delta C_{DW_{PROJ},t} + \Delta SOC_{PROJ,t}$		和灌木的碳儲量和碳儲量變化」所估算																
		$\Delta C_{DW_{PROJ},t}$	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 年內專案中土壤有機碳碳儲量的變化	t CO ₂ e															
	<table><tr><th>參數</th><th>定義</th><th>單位</th></tr><tr><td>$\Delta C_{TREE_{PROJ},t}$</td><td>t 年內專案邊界中喬木碳儲量的變化</td><td>t CO₂e</td></tr><tr><td>$\Delta C_{SHRUB_{PROJ},t}$</td><td>t 年內專案邊界中灌木碳儲量的變化</td><td>t CO₂e</td></tr><tr><td>$\Delta C_{DW_{PROJ},t}$</td><td>t 年內專案邊界中枯木碳儲量的變化</td><td>t CO₂e</td></tr><tr><td>$\Delta SOC_{PROJ,t}$</td><td>t 年內專案中土壤有機碳碳儲量的變化</td><td>t CO₂e</td></tr></table>	參數	定義	單位	$\Delta C_{TREE_{PROJ},t}$	t 年內專案邊界中喬木碳儲量的變化	t CO ₂ e	$\Delta C_{SHRUB_{PROJ},t}$	t 年內專案邊界中灌木碳儲量的變化	t CO ₂ e	$\Delta C_{DW_{PROJ},t}$	t 年內專案邊界中枯木碳儲量的變化	t CO ₂ e	$\Delta SOC_{PROJ,t}$	t 年內專案中土壤有機碳碳儲量的變化	t CO ₂ e			
參數	定義	單位																	
$\Delta C_{TREE_{PROJ},t}$	t 年內專案邊界中喬木碳儲量的變化	t CO ₂ e																	
$\Delta C_{SHRUB_{PROJ},t}$	t 年內專案邊界中灌木碳儲量的變化	t CO ₂ e																	
$\Delta C_{DW_{PROJ},t}$	t 年內專案邊界中枯木碳儲量的變化	t CO ₂ e																	
$\Delta SOC_{PROJ,t}$	t 年內專案中土壤有機碳碳儲量的變化	t CO ₂ e																	
(5)洩漏	依據本方法學之適用條件，專案實施不會引起專案前農漁業活動之轉移，此外不考慮專案前農漁業活動之轉移所造成之排放；而專案活動	$LK_t = LK_{AGRIC,t}$ <table><tr><th>參數</th><th>定義</th><th>單位</th></tr><tr><td>LK_t</td><td>t 年內因碳洩漏</td><td>t CO₂e</td></tr></table>			參數	定義	單位	LK_t	t 年內因碳洩漏	t CO ₂ e									
參數	定義	單位																	
LK_t	t 年內因碳洩漏	t CO ₂ e																	

	中運輸工具與燃油機械已歸類於專案排放源，因此本方法學下，造林活動不具潛在洩漏，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。	<table> <tr> <td></td><td>產生的溫室氣體排放量</td><td></td></tr> <tr> <td>$LK_{AGRIC,t}$</td><td>t 年內農漁業活動轉移造成的碳洩漏 (t CO₂e)；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」</td><td>t CO₂e</td></tr> </table>		產生的溫室氣體排放量		$LK_{AGRIC,t}$	t 年內農漁業活動轉移造成的碳洩漏 (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」	t CO ₂ e									
	產生的溫室氣體排放量																
$LK_{AGRIC,t}$	t 年內農漁業活動轉移造成的碳洩漏 (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」	t CO ₂ e															
(6)人為溫室氣體淨移除量	參照 AR-AM0014 ver. 03.0。	$\Delta C_{AR-CDM,t} = \Delta C_{ACTUAL,t} - \Delta C_{BSL,t} - LK_t$ <table> <tr> <th>參數</th><th>定義</th><th>單位</th></tr> <tr> <td>$\Delta C_{AR-CDM,t}$</td><td>t 年內碳匯的人為溫室氣體淨移除量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$\Delta C_{ACTUAL,t}$</td><td>t 年內碳匯的實際溫室氣體淨移除量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$\Delta C_{BSL,t}$</td><td>t 年內碳匯的基線溫室氣體淨移除量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>LK_t</td><td>t 年內因碳洩漏產生的溫室氣體排放量</td><td>t CO₂e</td></tr> </table>	參數	定義	單位	$\Delta C_{AR-CDM,t}$	t 年內碳匯的人為溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e	$\Delta C_{ACTUAL,t}$	t 年內碳匯的實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e	$\Delta C_{BSL,t}$	t 年內碳匯的基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e	LK_t	t 年內因碳洩漏產生的溫室氣體排放量	t CO ₂ e
參數	定義	單位															
$\Delta C_{AR-CDM,t}$	t 年內碳匯的人為溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e															
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	t 年內碳匯的實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e															
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年內碳匯的基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e															
LK_t	t 年內因碳洩漏產生的溫室氣體排放量	t CO ₂ e															
(7)監測方法/參數	「監測程序」主要參照 AR-AM0014 ver. 03.0。「監測頻率」訂定為首次調查後應於三至十年監測一次，且應於每次查證時皆要有相關監測	「監測程序」分為四個部分，分別為「監測計畫」、「實施監測專案」、「精準度要求」、「數據要求」。															

	資料。	1. 「監測計畫」：監測計畫應提供收集所需的相關數據，以供查證（Verification）碳庫之碳儲存變化及、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權證後2 年。 2. 「實施監測專案」：專案設計文件（PDD）中應提供並記錄資訊，以確認主辦國實施受普遍公認的原則、森林盤查方法和森林管理。 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。 4. 「數據要求」：本方法學中使用的工具可找到數據和參數的描述並依其要求進行監測。
--	-----	---

III. 減量方法計算式設計概念

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)基線排放	方法一 $\Delta C_{BSL,t}$ $= \Delta C_{Mangrove_{BSL,t}} + \Delta C_{DW_{BSL,t}} + \Delta SOC_{BSL,t}$ 方法二 $\Delta C_{BSL,t} = \Delta C_{TREE_{BSL,t}} + \Delta C_{SHRUB_{BSL,t}} + \Delta C_{DW_{BSL,t}}$	基線排放之方法一主要參酌 IPCC 方法；方法二則參酌 AR-AM0014 ver. 03.0。
(2)專案排放	$\Delta C_{ACTUAL,t} = \Delta C_{P,t} - GHG_{E,t} - GHG_{fuel,t}$ 方法一 $\Delta C_{P,t}$ = 計算方式同基線排放計算式。 方法二 $\Delta C_{P,t} = \Delta C_{TREE_{PROJ,t}} + \Delta C_{SHRUB_{PROJ,t}} + \Delta C_{DW_{PROJ,t}} + \Delta SOC_{PROJ,t}$	專案排放之方法一主要參酌 IPCC 方法；方法二則參酌 AR-AM0014 ver. 03.0。其中，$GHG_{E,t}$ 參酌中國海南紅樹林造林/再造林碳匯計畫方法學（HN2023001-V01）加入海岸型濕地沉積物的釋放，而 $GHG_{fuel,t}$ 則依據 CDM AR-Tool05 之工具加入化石燃料之二氧化碳排放量。

IV. 小規模減量方法(草案)

1. 介紹

表三為本減量方法的重要特性：

表三、減量方法重要特性

減量專案一般用法	本專案主要透過對紅樹林棲地進行造林與植林，進而達到增加專案邊界內碳儲量之目的
溫室氣體減量類型	CO ₂ 減量

2. 範疇、適用條件及生效日期

2.1 範疇

本專案主要透過對紅樹林棲地進行造林與植林，進而達到增加專案邊界內有機碳儲量之目的。

2.2 適用條件

本方法學適用於臺灣的紅樹林造林與劣化紅樹林棲地的植林。使用本溫室氣體減量方法學之紅樹林造林與植林專案必須滿足以下適用條件：

- (1) 專案活動的土地為2016年11月4日¹⁵以來的劣化紅樹林棲地且專案起始時間不得早於西元○○年○月○日（本專案公告日期）。其專案邊界之土地或海域權屬清晰，具有土地所有權證明或經主管機關核可之使用證明文件。
- (2) 本方法學之專案活動適用於濱海濕地之劣化紅樹林棲地，其劣化紅樹林棲地是指植被狀況無法同時滿足樹密度每公頃 ≥ 1050 株且鬱閉度 (crown cover) ≥ 0.20 之條件。
- (3) 專案活動不得違反國家相關法律、法規、政策措施，且應符合相關技術規範。
- (4) 專案邊界需種植超過 90% 之紅樹林樹種；若種植超過 10% 之非紅樹林物種，專案活動則不得導致專案區域之水文、上下坡相連之濕地區域水文之變化。
- (5) 專案活動後專案邊界內所引起的土壤擾動不得超過專案面積的 10%。

¹⁵ 2016 年 11 月 4 日為《巴黎協定》生效日期。

(6) 專案活動所種植之紅樹林物種須為臺灣原生物種，並配合環境條件選用合宜樹種。

(7) 專案活動不得採取人為引火焚燒方式對林地進行清除或管理。

(8) 專案活動不得移除地表枯落物、樹根、枯木。

(9) 專案活動不會造成專案開始前農漁業活動的變更。

此外，使用本方法學時，還須滿足相關步驟中的其他條件。

2.3 生效日期

生效日係以□□年□月□日「行政院環境保護署溫室氣體先期專案暨抵換專案審議會第□次會議」決議審核通過為準。

3. 名詞定義

出於本專案方法之目的，其相關名詞定義如下：

1. 紅樹林 (mangroves)：由天然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，高度一般超過1.5 公尺。臺灣紅樹林物種為海茄苳 (*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，南部則以海茄冬為優勢，欖李及五梨跤則分布於嘉義以南沿海地區。目前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. 造林 (afforestation)：藉由植樹、播種或人為促進種子自然傳播，使過去50年內非紅樹林棲地的土地受人為活動而轉變為紅樹林。
3. 植林 (reforestation)：藉由植樹、播種或人為促進種子自然傳播，使過去50年內曾經為紅樹林棲地轉變為無林地的土地後，受人為活動再次轉變為紅樹林。
4. 碳庫 (carbon pool)：儲存在土壤、植被、水體和大氣等碳儲載體中可以吸收和釋放的碳。
5. 碳儲量 (carbon stock)：藍碳生態系統中儲存的碳總量，特別指每公頃特定深度（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

法學統一以二氧化碳暖化潛勢作轉換，單位為 $t\ CO_2e\ ha^{-1}$ 。

6. 碳匯 (carbon sink)：將二氧化碳或其他溫室氣體自排放單元或大氣中持續分離後，吸收或儲存之樹木、森林、土壤、海洋、地層、設施或場所的有機碳。
7. 濱海濕地 (coastal wetland)：底質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，並生長有維管束植物。
8. 紅樹林原生物種：臺灣現存紅樹林原生物種為海茄苳 (*Avicennia marina*)、水筆仔 (*Kandelia obovata*)、欖李 (*Lumnitzera racemosa*) 及五梨跤 (*Rhizophora stylosa*)。
9. 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)，包含枝、皮、種子、花、果實等。
10. 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 (dry matter)，包含粗根、細根等。
11. 劣化紅樹林棲地 (degraded mangrove habitat)：因自然 (颱風、病蟲害等) 或人為因素 (污染、水利海岸工程、砍伐、鹽田開闢、養殖漁塭等)，導致專案邊界內紅樹林植被狀況無法同時滿足樹密度每公頃 ≥ 1050 株，且鬱閉度 ≥ 0.20 之條件，或生態系統結構和功能受損，其穩定度、抗干擾能力下降，且難以自然恢復之紅樹林。
12. 枯木：枯落物以外的死亡生物量，包含枯立木、枯倒木，以及直徑 ≥ 5.0 公分的枯枝、枯根與樹樁。
13. 喬木：樹高大於或等於 1.3 公尺且屬於附錄一中 7 種喬木樹幹型態。
14. 灌木：樹高小於 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一中 7 種喬木樹幹型態，無法於量測樹胸徑之矮樹叢。
15. 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，常用於估算林木生物量。
16. 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。
17. 地表高程監測系統 (surface elevation table, 簡稱 SET)：用於監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 $\pm 1.5\ mm$ 。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。

18. 土壤擾動 (soil disturbance)：導致土壤有機碳 (soil organic carbon，簡稱 SOC) 減少的任何活動，例如：耕作、翻土、鬆土、挖坑和溝渠、清除樹樁等。
19. 基線情境：指在沒有造林專案活動時，最能合理代表專案邊界內土地利用及管理的情境。
20. 專案情境：指在擬定的紅樹林棲地造林與植林專案活動下的土地利用和管理情境。
21. 專案邊界 (project boundary)：係指擁有土地所有權或使用權的專案申請者 (project participants, PPs) 所實施專案活動之地理範圍。
22. 基線排放：指在沒有進行紅樹林棲地造林與植林專案活動之前，基線情境之下所產生的溫室氣體排放量。
23. 基線溫室氣體淨移除量：指在沒有專案活動時，專案邊界內未來溫室氣體排放量及移除量之和。
24. 專案溫室氣體淨移除量：指專案活動時，專案邊界內溫室氣體排放量及移除量之和。
25. 外加性：由於專案活動的實施，導致相比「基線情境」產生額外的溫室氣體之減量或移除量之增加，包含法規性、投資性、障礙性、普遍性等分析。
26. 單位

中文	英文	縮寫
二氧化碳當量	carbon dioxide equivalent	CO ₂ e
噸	tonne	t
乾重	dry matter	d.m.
噸乾重	tonne dry matter	t d.m.
每公頃噸乾重	tonne dry matter per hectare	t d.m. ha ⁻¹
公頃	hectare	ha

27. 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>
碳洩漏量	leakage	<i>LK</i>
喬木	tree	<i>TREE</i>
灌木	shrub	<i>SHRUB</i>
生物量	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>
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. 專案邊界與分層

(1) 專案邊界

專案活動之「專案邊界（project boundary）」係指，擁有土地所有權或使用權的專案申請者（project participants, PPs）所實施專案活動之地理範圍，其範圍可包含多筆分散之紅樹林棲地。專案申請者須提供土地所有權或政府相關單位核發的使用權證明。其專案邊界應分為「專案前邊界」及「專案後邊界」，其「專案前邊界」係指專案設計與開發階段所訂定之計畫實施專案活動之邊界；「專案後邊界」係指專案活動之實際實施、監測所確認以及專案查核的專案邊界。「專案後邊界」之面積誤差不得超過「專案前邊界」的±5%。專案執行之地點須以經緯度座標標記，並以 TM2（二度分帶投影坐標）-TWD97（1997臺灣大地基準）之格式書寫；其「專案前邊界」可採用下列建議之方式進行標記，包含(a)全球衛星定位系統(GPS)；(b)地理資訊系統(GIS)

輔助之地理空間資料（航空照片圖或衛星影像圖）、森林分布圖；「專案後邊界」則須以科學性之實地調查進行，輔以建議之方式進行標記。

(2) 分層採樣分析法

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）」採樣，以增加基線及專案活動期間碳匯估算的準確性。因此，應依據影響碳儲量的因素做為分層標準。碳儲量的影響因子包含植被種類、密度、土地利用方式、潛在的土地利用方式、土壤性質、地貌特徵（地質特徵、排水狀況）、距海遠近等（Hiraishi, 2014）。本專案之分層現象主要取決於造林及經營管理計畫，分層可分為「事前分層」和「事後分層」。考量基線情境與專案情境可能具有不同的分層因子，其「事前分層」可再分為「基線事前分層」以及「專案事前分層」；「基線事前分層」主要包含植被類型、冠層覆蓋率、土地利用類型；「專案事前分層」則主要依據專案設計之造林或管理模式分層，包含樹種、樹齡、造林時間、間伐、輪伐期等。如果受到自然或人為因素影響（例如局部火災）或其他因素（例如土壤類型）顯著變更專案邊界內生物量之分佈模式，則須相應修訂「事後分層」。分層之大小和數量應該綜合考慮精確度、所需時間和可利用資源三者的平衡。

5. 土地合格性

專案申請者須提供資料以證實專案邊界內紅樹林棲地，於專案活動起始前（即基線情境）符合適用條件，得透過下列方式及文件進行專案活動起始前之情況證明，其優先順序為：（a）經碳匯查驗機構之實地調查，得輔以衛星影像、遙測技術、空中無人載具（Unmanned Aerial Vehicle）等分析，但不得¹⁶作為主要證明文件；（b）一年內國家級別之調查或清冊資料。

¹⁶ 利用衛星影像、遙測技術、空中無人載具等方式，尚具有侷限性與不確定性（Heumann, 2011；Howard et al., 2014；Pham et al., 2019）。

6. 碳庫及溫室氣體排放源之計算項目

(1) 碳庫

碳庫變化、排放量以及移除量的估計通常會涉及五種碳庫（IPCC, 2006）。針對本專案之目的，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，因此考量保守性¹⁷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；枯木則可視監測困難的程度，由專案申請者自選（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	為專案活動影響的主要碳庫
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實施而增加
枯落物(Litter)	否	枯落物的生物量由於受到潮汐與海流的影響而導致高周轉率（turnover）和流失（displacement）。因為專案活動不會降低枯落物的堆積率，故保守性作法是將此碳庫排除在核算之外。
枯木(Dead wood)	是	碳庫中的碳儲量可能會受專案活動的實施而增加，但若專案邊界內紅樹林之枯木具有監測上之困難，可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實施而增加。

¹⁷ 專案申請者可依據實際資料的可取得性、成本有效性、保守性原則等，選擇是否計入碳庫。

(2) 溫室氣體排放源

溫室氣體排放源分為三部分，分別為自然火災以及海岸型濕地沉積物、化石燃料使用的排放。本專案不允許專案活動為整地（site preparation）或是森林管理之目的而燃燒木質生物量（woody biomass），但是受自然火災而釋出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。其燃燒木質生物量之溫室氣體與海岸型濕地沉積物的釋放項目，應計入包含甲烷（methane，分子式 CH_4 ）、氧化亞氮（nitrous oxide，分子式 N_2O ）（表五）。

表五、溫室氣體釋放項目

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 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 CH_4 釋出，若無自然火災則可不計入。
	N_2O	是	受火災燃燒木質生物量而導致 N_2O 釋出，若無自然火災則可不計入。
沉積物的釋放	CO_2	否	CO_2 排放量已被計入碳儲量變化之中。
	CH_4	是	海水水體鹽度 < 18 的情境 ¹⁸ 應計入，若海水水體鹽度 ≥ 18 的情境則可不計入。
	N_2O	是	專案期施以高營養鹽、肥料等，海水水體達到≥中度優養化等級 ¹⁹ 應計入，若水體為低營養鹽的情境或未達條件則可不計入。
化石燃料	CO_2	是	專案活動作業中，車輛運輸和機具設備移動是潛在的主要排放源。
	CH_4	否	在專案中，並非主要的排放源。
	N_2O	否	在專案中，並非主要的排放源。

¹⁸ 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 的標準。

¹⁹ 優養化指數計算方式為 $(E) = [\text{化學需氧量}] * [\text{無機氮}] * [\text{活性磷酸鹽}] / 4500 * 10^6$ 。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。

7. 專案期與計入期

專案申請者必須明確說明專案活動的「起始日」、「計入期」和「專案期」，並針對擇訂之日期進行說明。其中，專案活動的「起始日」，係指本專案之減量措施已完成招標程序、已完成發包簽約或建造完成之日期，起始時間不得早於西元○○年○月○日（本專案公告日期）；「計入期」是指專案活動相對於基線情境額外產生溫室氣體減排量的時間區間，專案計入期以完成註冊日後（審議會通過）起計算；計入期之限制則依據「溫室氣體自願減量專案管理辦法」。

8. 基線情境鑑定與外加性證明

「基線情境」係指專案活動起始前，實際之土地利用方式及狀況。得依據以下建議方式佐證，其佐證之優先順序為如下：（1）經碳匯查驗機構之實地調查、（2）國家級別土地利用情況的記錄資料，得輔以土地所有者或使用者在擬議專案運行期間有關土地管理或土地投資的計劃做為佐證資料。

「外加性」（**Additionality**）即係指實施本專案造林及在造林之專案活動下所增加的生態系統碳儲量（專案情境），扣除未實施造林計畫下的生態系統碳儲量（基線情境），所產生的外加性碳儲量。為達到本專案增加碳匯之目的，專案申請者應評估並提供專案活動有助於增加紅樹林棲地之碳匯量證明。專案申請者須提供與「外加性」證明相關的資料、原理、假設、理由和文本，並由主管機關認可的獨立第三方查證機構進行可信度評估。外加性之規範，需符合「溫室氣體自願減量專案管理辦法」。

9. 基線排放

「基線情境」係指專案活動起始前，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，專案邊界內碳庫的總碳儲量變化之和。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。基於本專案之目的與方法，依據「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(版本04.2)」(**Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities**)之方法學工具，當滿足下列條件即可將基線中樹木之碳儲量計為零，否則應加以計算，條件包含 (a) 專案前的樹木在專案活動的計入期內不會被砍伐、清理或移除；(b) 專案前的樹木在專案活動的計入期內不會因專案中種植的樹木競爭或因專案實施而死亡；(c) 監測碳儲量時，專案前的樹木未與專案活動所種植的樹木一起監測，但專案前的樹木會持續存在並符合基線情境，且在專案活動的計入期內受到監測。

本專案提供專案申請者各兩種計算方法，其方法之優先順序為分別為「方法一」以及「方法二」，專案申請者可考量環境與成本擇一進行計算；但是基線情境與專案情境所選擇的計算方式必須維持一致性。

方法一

(1) 基線溫室氣體淨移除量計算公式

依據所選擇之碳庫，計算各基線（BSL）碳庫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（ $\Delta C_{Mangrove_BSL}$ ）。

$$\begin{aligned}\Delta C_{BSL,t} &= \Delta C_{Mangrove_BSL,t} \\ &= \Delta B_{Mangrove_BSL,t} + \Delta C_{DW_BSL,t} + \Delta SOC_{BSL,t}\end{aligned}\quad \text{式1}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年（未實施專案活動）之碳匯的基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{Mangrove_BSL,t}$	t 年之基線紅樹林碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$\Delta B_{Mangrove_BSL,t}$	t 年之基線紅樹林生物量碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$\Delta C_{DW_BSL,t}$	t 年之基線枯木碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$\Delta SOC_{BSL,t}$	t 年之紅樹林土壤碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
t	專案執行之年份，t =1,2,3...	yr

(2) 基線生物量碳儲存年變化量計算公式

依據所選擇之碳庫、劃分之碳庫層與樹種面積，計算各基線（BSL）碳庫層之紅樹林生物量碳儲量的年度總變化量，即為基線紅樹林生物量碳儲量的年變化量（ $\Delta B_{Mangrove_BSL}$ ）。

$$\Delta B_{Mangrove_BSL,t} = \sum_{ij} (A_{BSL,i,j,t} \times \Delta B_{BSL,i,j,t}) \times 3.67 \quad \text{式1-1}$$

參數	定義	單位
$\Delta B_{Mangrove_BSL,t}$	t 年之基線紅樹林生物量碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$A_{BSL,i,j,t}$	t 年之基線第 i 碳庫層 j 樹種的面積	ha

參數	定義	單位
$\Delta B_{BSL,i,j,t}$	t 年之基線第 i 碳庫層樹種 j 之單位面積紅樹林生長之碳儲存年增加量	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
3.67	有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數 ²⁰	-
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-
j	紅樹林樹種，j = 1,2,3...	-
t	專案執行之年份，t =1,2,3...	yr

專案申請者可以依據下列1-1-1或1-1-2式，擇一來估算單位面積紅樹林生長之碳儲存年增加量（ $B_{BSL,i,j,t}$ ），公式使用之優先順序為1-1-1、1-1-2。

$$\Delta B_{BSL,i,j,t} = (\Delta B_{TREE_AB,i,j,t} \times CF_{TREE_AB,i,j,t} + \Delta B_{TREE_BB,i,j,t} \times CF_{TREE_BB,i,j,t}) + (\Delta B_{SHRUB_AB,i,j,t} \times CF_{SHRUB_AB,i,j,t} + \Delta B_{SHRUB_BB,i,j,t} \times CF_{SHRUB_BB,i,j,t}) \quad \text{式1-1-1}$$

參數	定義	單位
$\Delta B_{BSL,i,j,t}$	t 年之基線第 i 碳庫層樹種 j 之單位面積紅樹林生長之碳儲存年增加量	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
ΔB_{AB}	紅樹林地上部生物量平均年生長量（乾重）	t d.m. ha ⁻¹
CF_{AB}	紅樹林地上部有機碳含量百分比	%
ΔB_{BB}	紅樹林地下部生物量平均年生長量（乾重）	t d.m. ha ⁻¹
CF_{BB}	紅樹林地下部有機碳含量百分比	%
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-
j	紅樹林樹種，j = 1,2,3...	-
t	專案執行之年份，t =1,2,3...	yr

²⁰ 係數 3.67 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）。

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

參數	定義	單位
$\Delta B_{BSL,i,j,t}$	t 年之基線第 i 碳庫層樹種 j 之單位面積紅樹林生長之碳儲存年增加量	t C ha ⁻¹ y ⁻¹
$\Delta B_{AB,i,j,t}$	紅樹林地上部生物量平均年生長量（乾重）	t d.m. ha ⁻¹
$R_{BSL,i,j,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層樹種 j 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 碳庫層之紅樹林有機碳含量百分比（%）	%
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-
j	紅樹林樹種，j = 1,2,3...	-
t	專案執行之年份，t =1,2,3...	yr

(3) 基線枯木碳儲存年變化量計算公式

基線枯木碳儲量的年變化（ ΔC_{DW_BSL} ），估算如下：

$$\Delta C_{DW_BSL,t} = A_{BSL,i,j,t} \times C_{DW_BSL,i,t(1-2)} \times 3.67 \quad \text{式1-2}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{DW_BSL,t}$	t 年之基線枯木碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$A_{BSL,i,j,t}$	t 年之基線第 i 碳庫層 j 樹種的面積	ha
$C_{DW_BSL,i,t(1-2)}$	公式 1-2，t 年之基線枯木碳儲量的年變化量	-
3.67	有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數	-
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-
j	紅樹林樹種，j = 1,2,3...	-
t	專案執行之年份，t =1,2,3...	yr

$$C_{DW_BSL,i,t,1-2} = B_{BSL,i,t} \times DF_{DW} \quad \text{式 1-2-1}$$

參數	定義	單位
$B_{BSL,i,t}$	t 年之基線第 i 碳庫層樹種 j 之單位面積紅樹林生長之碳儲存年增加量	t C
DF_{DW}	專案邊界內枯木碳儲量與活木碳儲量的比值，可使用估計值 6.23%	%

(4) 基線土壤碳儲存年變化量計算公式

本專案提供專案申請者兩個子公式（ $aSOC_{i,j,t}$ 或 $dSOC_{i,j}$ ）及一個參數（ EF_{Siols} ），以計算土壤有機碳碳儲量的年變化（ ΔSOC_{BSL} ），使用之優先順序為 $aSOC_{i,j,t}$ （式1-3-1）²¹、 $dSOC_{i,j}$ （式1-3-2）、 EF_{Siols} ，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，估算如下：

$$\Delta SOC_{BSL,t} = A_{BSL,i,j,t} \times (aSOC_{i,j,t} \text{ 或 } dSOC_{i,j} \text{ 或 } EF_{Siols}) \times 3.67 \quad \text{式1-3}$$

參數	定義	單位
$\Delta SOC_{BSL,t}$	t 年之基線土壤有機碳碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$A_{BSL,i,j,t}$	t 年之基線第 i 碳庫層 j 樹種的面積	ha
$dSOC_{i,j}$	紅樹林土壤有機碳碳儲量的變化率	t CO ₂ e
$aSOC_{i,j,t}$	紅樹林自源性土壤碳儲存年增加量	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
EF_{Siols}	紅樹林土壤碳排放係數	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
3.67	有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數	-

²¹ 基於保守性原則 $aSOC_{i,j,t}$ 僅計算自源性土壤碳，並未計入外源性土壤碳；而 $dSOC_{i,j}$ 、 EF_{Siols} 則包含外源性土壤碳，因此使用之優先順序為 $aSOC_{i,j,t}$ 、 $dSOC_{i,j}$ 、 EF_{Siols} 。

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

式1-3-1

參數	定義	單位
$aSOC_{i,j,t}$	紅樹林自源性土壤碳儲存年增加量	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
$LI_{AB,i,j}$	紅樹林地上部枯落物年增加量	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
$W_{LI_AB,i,j}$	紅樹林地上部枯落物分解剩餘量百分比	%
$LI_{BB,i,j}$	紅樹林地下部死亡細根年增加量	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
$W_{LI_BB,i,j}$	紅樹林地下部死亡細根分解剩餘量百分比	%

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

式1-3-2

參數	定義	單位
$dSOC_{i,j}$	紅樹林土壤有機碳儲量的變化率	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
$SEC_{i,j}$	紅樹林地表高程年變化量	cm yr ⁻¹
$SBD_{i,j}$	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	%

方法二

(1) 基線溫室氣體淨移除量計算公式

此方法須將紅樹林物種分為喬木與灌木，分別計算喬木、灌木與枯木碳儲量的年變化量，但基線並不計算土壤有機碳碳庫。

$$\Delta C_{BSL,t} = \Delta C_{TREE_BSL,t} + \Delta C_{SHRUB_BSL,t} + \Delta C_{DW_BSL,t}$$

式2

參數	定義	單位
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年（未實施專案活動）之碳匯的基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{TREE_BSL,t}$	t 年之專案邊界內基線喬木碳儲量的年變化量	t CO ₂ e

參數	定義	單位
$\Delta C_{SHRUB_BSL,t}$	t 年之專案邊界內基線灌木碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$\Delta C_{DW_BSL,t}$	t 年之基線枯木碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
t	專案執行之年份，t =1,2,3...	yr

(2) 基線生物量碳儲存年變化量計算公式

依據所劃分之碳庫層，計算各基線（BSL）碳庫層之喬木碳儲量的年度總變化量，即為基線喬木碳儲量的年變化量（ $\Delta C_{TREE_BSL,t}$ ）。喬木碳儲量的年變化量（ $\Delta C_{TREE_BSL,t}$ ）是假設兩次連續驗證之間（第 t_1 年至第 t_2 年）的喬木碳儲量的年變化呈現線性進行計算。

$$\Delta C_{TREE_BSL,t} = \sum_{i=1} \Delta C_{TREE_BSL,i,t} = \sum_{i=1} \left(\frac{C_{TREE_BSL,i,t_2} - C_{TREE_BSL,i,t_1}}{t_2 - t_1} \right) \quad \text{式2-1}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{TREE_BSL,t}$	t 年之專案邊界內基線喬木碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$\Delta C_{TREE_BSL,i,t}$	t 年之第 i 碳庫層的喬木碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$C_{TREE_BSL,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層之喬木碳儲量	t CO ₂ e
t_1, t_2	專案開始後的第 t_1 及 t_2 年，且 $t_1 \leq t \leq t_2$ ；其 $t_2 - t_1$ 值不一定為整數，例如 4 年 5 個月為 4.417 年	yr
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-
t	專案執行之年份，t =1,2,3...	yr

喬木碳儲量（ $C_{TREE_BSL,i,t}$ ）是經由各紅樹林物種之喬木生物量（ $B_{TREE_BSL,i,j,t}$ ）之有機碳含量百分比將喬木生物量轉為碳量，再使用二氧化碳與碳之分子量比（ $44/12 = 3.67$ ）將碳量（t C）轉換為二氧化碳當量（t CO₂e），因此第 t 年之專案邊界內基線喬木碳儲量（ $C_{TREE_BSL,i,t}$ ）估算方法如下：

$$C_{TREE_BSL,i,t} = 3.67 \times \sum_{j=1} (B_{TREE_BSL,i,j,t} \times CF_{TREE_BSL,t}) \quad \text{式2-1-1}$$

參數	定義	單位
$C_{TREE_BSL,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層樹種 j 之喬木碳儲量	t CO ₂ e
$B_{TREE_BSL,i,j,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層樹種 j 之生物量	t.d.m
$CF_{TREE_BSL,t}$	喬木樹種 j 生物量中的有機碳含量百分比 (%)	%
3.67	有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數	-
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-
j	紅樹林樹種，j = 1,2,3...	-
t	專案執行之年份，t = 1,2,3...	yr

基線喬木生物量 ($B_{TREE_BSL,i,j,t}$) 則是透過各物種之異速生長方程式 (allometric equation) 估算該樹種的單株植物體的地上部生物量，求得單株地上部生物量 (AB) 後，再利用根莖比，即地下部生物量與地上部生物量比值 (R) 轉換為植物體總生物量，再乘上該樹種每公頃株數 (N) 與面積 (A)，即可求得該樹種每公頃喬木生物量，計算公式如下：

$$B_{TREE_BSL,i,j,t} = f_j(x_{1,l}, x_{2,l}, x_{3,l}, \dots) \times (1 + R_{TREE_BSL,i,j,t}) \times N_{TREE,l,j,i} \times A_{TREE,i} \quad \text{式2-1-1-1}$$

參數	定義	單位
$B_{TREE_BSL,i,j,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層樹種 j 之單位面積喬木生物量	t.d.m.
$f_j(x_{1,l}, x_{2,l}, x_{3,l}, \dots)$	第 t 年之第 i 碳庫層樹種 j 的參數 ($x_1, x_2, x_3 \dots$)，其異速生長方程式之參數依樹種不同而異，如樹高、直徑、胸高直徑 (DBH) 等	t.d.m
$R_{TREE_BSL,i,j,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層樹種 j 的根莖比，即地下部生物量與地上部生物量比值	-
$N_{TREE,l,j,i}$	第 t 年之第 i 碳庫層樹種 j 的植株數	株·ha ⁻¹
$A_{TREE,i}$	第 i 碳庫層的喬木面積	ha
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-
j	紅樹林樹種，j = 1,2,3...	-

參數	定義	單位
t	專案執行之年份，t =1,2,3...	yr

(3) 基線灌木碳儲量的變化計算公式

依據所劃分之碳庫層，計算各基線（BSL）碳庫層之灌木碳儲量的年度總變化量，即為基線灌木碳儲量的年變化量（ $\Delta C_{SHRUB_BSL,t}$ ）。假設兩次連續驗證之間（第 t_1 年至第 t_2 年）的灌木碳儲量的年變化呈現線性，則基線灌木碳儲量的年變化量（ $\Delta C_{SHRUB_BSL,i,t}$ ）估算如下：

$$\Delta C_{SHRUB_BSL,t} = \sum_{i=1} \Delta C_{SHRUB_BSL,i,t}$$

$$= \sum_{i=1} \left(\frac{C_{SHRUB_BSL,i,t_2} - C_{SHRUB_BSL,i,t_1}}{t_2 - t_1} \right) \quad \text{式2-2}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{SHRUB_BSL,t}$	t 年之專案邊界內基線灌木碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$\Delta C_{SHRUB_BSL,i,t}$	t 年之第 i 碳庫層的灌木碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$C_{SHRUB_BSL,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層之灌木碳儲量	t CO ₂ e
t_1, t_2	專案開始後的第 t_1 及 t_2 年，且 $t_1 \leq t \leq t_2$ ；其 $t_2 - t_1$ 值不一定為整數，例如 4 年 5 個月為 4.417 年	yr
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-
t	專案執行之年份，t =1,2,3...	yr

第 t 年之專案邊界內基線灌木碳儲量（ $C_{SHRUB_BSL,i,t}$ ）估算方法如下：

$$C_{SHRUB_BSL,i,t} = 3.67 \times CF_{SHRUB_BSL,j} \times (1 + R_{SHRUB}) \times A_{SHRUB,i} \times B_{SHRUB_BSL,i,t} \quad \text{式2-2-1}$$

參數	定義	單位
$C_{SHRUB_BSL,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層樹種 j 之灌木碳儲量	t CO ₂ e
$B_{SHRUB_BSL,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層樹種 j 之灌木生物量	t.d.m

$CF_{SHRUB_BSL,j}$	灌木樹種 j 生物量中的有機碳含量百分比 (%)	%
R_{SHRUB}	第 t 年之第 i 碳庫層灌木樹種 j 的根莖比，即地下部生物量與地上部生物量比值	-
$A_{SHRUB,i}$	第 i 碳庫層的灌木面積	ha
3.67	有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數	-
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-
j	紅樹林樹種，j = 1,2,3...	-
t	專案執行之年份，t =1,2,3...	yr

基線單位面積的灌木生物量 (B_{SHRU_BSL}) 是使用灌木冠蓋鬱閉度進行計算。專案邊界依據灌木之覆蓋度進行碳分層，若鬱閉度 $\leq 5\%$ 的區域則視為單一碳庫層，其灌木生物量視為零；若灌木鬱閉度 $\geq 5\%$ 的碳庫層，則以下列公式進行計算。

$$B_{SHRUB_BSL,i,t} = BDR_{SF} \times B_{AB} \times CC_{SHRUB_BSL,i,t} \quad \text{式2-2-1-1}$$

參數	定義	單位
$B_{SHRUB_BSL,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層單位面積灌木樹種 j 之生物量	t.d.m
BDR_{SF}	灌木鬱閉度為 1 (即 100%) 時，平均每公頃灌木的地上部生物量，與專案邊界內平均每公頃灌木地上部生物量的比值	-
B_{AB}	專案邊界內平均每公頃之地上部生物量	t.d.m
$CC_{SHRUB_BSL,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層灌木的鬱閉度，以小數表示比例，如鬱閉度為 10%則標示為 0.10	-

(4) 基線枯木碳儲量的變化計算公式

公式2-3枯木碳儲量的年變化量($\Delta C_{DW_BSL,t}$)是假設兩次連續驗證之間(第 t_1 年至第 t_2 年)的枯木碳儲量的年變化呈現線性進行計算。

$$\Delta C_{DW_BSL,t(2-3)} = \sum_{i=1} \left(\frac{C_{DW_BSL,i,t_2} - C_{DW_BSL,i,t_1}}{t_2 - t_1} \right) \quad \text{式2-3}$$

$$C_{DW_BSL,i,t} = C_{TREE_BSL,i,t} \times DF_{DW} \quad \text{式2-3-1}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{DW_BSL,t(2-3)}$	t 年之專案邊界內基線喬木碳儲量的年變化量	t CO2e
$C_{DW_BSL,i,t}$	公式 2-3，t 年之第 i 碳庫層的枯木碳儲量	t CO2e
$C_{TREE_BSL,i,t}$	t 年之第 i 碳庫層的喬木碳儲量	t CO2e
DF_{DW}	專案邊界內枯木碳儲量與活木儲量的比值，可使用估計值	%

10. 專案排放

專案實施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。其估算方式為專案邊界內各碳庫中碳儲量之總和（即，專案邊界內碳庫在 t 年內的碳儲量總變化， $\Delta C_{P,t}$ ），扣除受專案活動而產生的非 CO₂ 溫室氣體排放量（ $GHG_{E,t}$ ）以及在專案邊界內使用化石燃料的排放量（ $GHG_{fuel,t}$ ）。專案溫室氣體淨移除量（ ΔC_{ACTUAL} ）計算公式如下；其中專案邊界內碳庫在 t 年內的碳儲量總變化（ $\Delta C_{P,t}$ ）依據「方法一」與「方法二」之不同進行說明。

(1) 專案溫室氣體淨移除量

$$\Delta C_{ACTUAL,t} = \Delta C_{P,t} - GHG_{E,t} - GHG_{fuel,t} \quad \text{式3}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	第 t 年之碳匯的實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{P,t}$	第 t 年之選定碳庫中碳儲量的總變化	t CO ₂ e
$GHG_{E,t}$	t 年內由於實施 A/R 專案活動，在專案邊界內增加的非 CO ₂ GHG 排放量；並將「專案前」之估算設為零	t CO ₂ e

參數	定義	單位
$GHG_{fuel,t}$	t 年內由於實施 A/R 專案活動，在專案邊界內使用化石燃料的排放量。參照 CDM AR-Too105「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

方法一

專案邊界內各碳庫在 t 年內選定碳庫中碳儲量的總變化 ($\Delta C_{P,t}$) 之計算方式同基線溫室氣體淨移除量 (式1)，計算如下：

$$\begin{aligned}\Delta C_{P,t} &= \Delta C_{MangrovePROJ,t} \\ &= \Delta B_{MangrovePROJ,t} + \Delta C_{DWBSL,t} + \Delta SOC_{PROJ,t}\end{aligned}$$

式3-1

參數	定義	單位
$\Delta B_{MangrovePROJ,t}$	t 年之專案紅樹林生物量碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$\Delta C_{DWPROJ,t}$	t 年之專案枯木碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$\Delta SOC_{PROJ,t}$	t 年之專案土壤有機碳碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
t	專案執行之年份，t =1,2,3...	yr

專案申請者應留意以下兩點 (a) 基線情境與專案情境所選擇的計算方式必須維持一致性，即若在基線情境時選擇使用「方法二」，在專案情境時則不得選擇「方法一」；(b) 要將公式中代表基線情境之縮寫“BSL”替換為專案情境之縮寫“PROJ”。

方法二

專案邊界內碳庫在 t 年內的碳儲量總變化 ($\Delta C_{P,t}$)，在此方法須將紅樹林物種分為喬木與灌木，分別計算喬木、灌木與枯木碳儲量的年變化量，其計算方式同基線溫室氣體淨移除量（式 2），再加總土壤有機碳儲量的變化量。

$$\Delta C_{P,t} = \Delta C_{TREE_PROJ,t} + \Delta C_{SHRUB_PROJ,t} + \Delta C_{DW_PROJ,t} + \Delta SOC_{PROJ,t}$$

式3-2

參數	定義	單位
$\Delta C_{P,t}$	第 t 年之選定碳庫中碳儲量的總變化	t CO ₂ e
$\Delta C_{TREE_PROJ,t}$	第 t 年之專案邊界內喬木碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$\Delta C_{SHRUB_PROJ,t}$	第 t 年之專案邊界內灌木碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$\Delta C_{DW_PROJ,t}$	第 t 年之專案邊界內枯木碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$\Delta SOC_{PROJ,t}$	第 t 年之專案邊界內土壤有機碳儲量的年變化量	t CO ₂ e

a) 專案喬木碳儲量的變化計算公式

專案邊界內喬木碳儲量變化 ($\Delta C_{TREE_PROJ,t}$) 的計算方式如下。其中，專案喬木生物量 ($B_{TREE_PROJ,i,j,t}$) 使用與前述相同之公式2-1-1-1，但計算專案情境時須留意要將公式中代表基線情境之縮寫“BSL”替換為專案情境之縮寫“PROJ”。

$$\Delta C_{TREE_PROJ,t} = \sum_{i=1} \Delta C_{TREE_PROJ,i,t}$$

$$= \sum_{i=1} \left(\frac{C_{TREE_PROJ,i,t_2} - C_{TREE_PROJ,i,t_1}}{t_2 - t_1} \right) \quad \text{式3-2-1}$$

$$C_{TREE_PROJ,i,t} = 3.67 \times \sum_{j=1} (B_{TREE_PROJ,i,j,t} \times CF_{TREE_PROJ,j}) \quad \text{式3-2-2}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{TREE_PROJ,t}$	t 年之專案邊界內專案喬木碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$\Delta C_{TREE_PROJ,i,t}$	t 年之第 i 碳庫層內專案喬木碳儲量的年變化量	t CO ₂ e

參數	定義	單位
$C_{TREE_PROJ,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層內專案之喬木碳儲量	t CO ₂ e
t_1, t_2	專案開始後的第 t_1 及 t_2 年，且 $t_1 \leq t \leq t_2$ ；其 $t_2 - t_1$ 值不一定為整數，例如 4 年 5 個月為 4.417 年	yr
$B_{TREE_PROJ,i,j,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層樹種 j 之生物量	t.d.m
$CF_{TREE_PROJ,j}$	喬木樹種 j 生物量中的有機碳含量百分比 (%)	%
3.67	有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數	-
i	基線之碳庫層， $i = 1, 2, 3 \dots$	-
j	紅樹林樹種， $j = 1, 2, 3 \dots$	-
t	專案執行之年份， $t = 1, 2, 3 \dots$	yr

b) 專案灌木碳儲量的變化計算公式

估算灌木碳儲量變化 ($\Delta C_{SHRUB_PROJ,t}$) 的計算方式與喬木碳儲量變化 ($\Delta C_{TREE_PROJ,t}$) 的計算方式相同，使用公式3-2-1與公式3-2-2。其專案灌木生物量的計算方式 ($B_{SHRUB_PROJ,i,j,t}$) 使用與基線灌木生物量的計算方式 ($B_{SHRUB_BSL,i,j,t}$) 相同之公式2-2-1-1，但計算專案情境時須留意要將公式中代表基線情境之縮寫“BSL”替換為專案情境之縮寫“PROJ”。

c) 專案枯木碳儲量的變化計算公式

估算專案枯木碳儲量的變化 ($\Delta C_{DW_PROJ,t}$) 的計算方式與基線枯木碳儲量的變化 ($\Delta C_{DW_BSL,t}$) 的計算方式相同，使用公式2-3與公式2-3-1。

d) 專案土壤有機碳儲量的變化計算公式

$$\Delta SOC_{PROJ,t} = 3.67 \times \sum_{t=1}^t A_{PLANT,t} \times dSOC_t \times 1 \text{ year} \quad \text{式3-2-3}$$

參數	定義	單位
$\Delta SOC_{PROJ,t}$	第 t 年之專案邊界內土壤有機碳儲量的變化	t CO ₂ e
$A_{PLANT,t}$	t 年之種植面積	ha
$dSOC_t$	第 t 年之專案邊界內土壤有機碳儲量的變化率	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹

(2) 專案邊界內非二氧化碳之溫室氣體排放量

非二氧化碳之溫室氣體排放量分為兩部分，自然火災以及海岸型濕地沉積物的排放。

$$GHG_{E,t} = GHG_{FF_TREE,t} + \sum_{i=1} GHG_{SED,i,t} \quad \text{式3-3}$$

參數	定義	單位
$GHG_{E,t}$	t 年內由於實施 A/R 專案活動，在專案邊界內增加的非 CO ₂ GHG 排放量；並將「專案前」之估算設為零	t CO ₂ e
$GHG_{FF_TREE,t}$	第 t 年之受火災所引起的林木地上部生物量燃燒，並造成非二氧化碳溫室氣體排放	t CO ₂ e
$GHG_{SED,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層的海岸型濕地沉積物排放量	t CO ₂ e

依據本方法學之適用條件，專案活動不得使用火燒方式對林地進行清理，因此火災主要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，並造成非二氧化碳溫室氣體排放，即 CH_4 和 N_2O 排放。由於在「專案前」一般無法了解專案邊界內火災發生的狀況，因此不考慮其排放量，即 $\text{GHG}_{E,t} = 0$ ；「專案後」估算則以最近一次查證時之碳庫層與各碳庫層之林木地上部生物量資料進行計算，自然火災所產生之非二氧化碳之溫室氣體排放量公式如下。

$$\text{GHG}_{FF_TREE,t} = 0.01 \times \sum_{i=1}^M \{ A_{SPF,i,t} \times b_{TREE,i,tL} \times \text{COMF}_{CH_4} \times (EF_{CH_4} \times \text{GWP}_{CH_4} + EF_{N_2O} \times \text{GWP}_{N_2O}) \}$$

式3-3-1

參數	定義	單位
$\text{GHG}_{FF_TREE,t}$	第 t 年之受火災所引起的林木地上部生物量燃燒，並造成非二氧化碳溫室氣體排放	t CO ₂ e
$A_{SPF,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫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 碳庫層的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 ⁻³
tL	火災發生前，最近一次查證的時間	yr ⁻¹
COMF_i	第 i 碳庫層的燃燒係數 (combustion factor)	-
EF_{CH_4}	CH ₄ 排放係數	g CH ₄ (kg 燃燒的乾物質) ⁻¹
EF_{N_2O}	N ₂ O 排放係數	g N ₂ O (kg 燃燒的乾物質) ⁻¹
GWP_{CH_4}	CH ₄ 的全球暖化潛勢，依 IPCC 之 GWP 估計值	-
GWP_{N_2O}	N ₂ O 的全球暖化潛勢，依 IPCC 之 GWP 估計值	-
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-
t	專案執行之年份，t =1,2,3...	yr
0.001	單位轉換值，將公斤 (kg) 轉為噸 (t) 的常數	-

由於海岸型濕地沉積物具有溫室氣體排放之特徵，因此應考慮計入海岸型濕地沉積物之溫室氣體排放量。「專案前」之估計可設為零，即 $GHG_{E,t} = 0$ ；「專案後」則應現地測量 CH_4 和 N_2O 之排放量。使用暖化潛勢（GWP）將非二氧化碳之溫室氣體轉換為二響化碳當量（ CO_2e ）。專案申請者應考量下列情境狀況，鑑別是否應計入 CH_4 和 N_2O 之排放量：

- a) 鹽度為0至18度時，應考慮計入 CH_4 之排放量；鹽度高於18度時，則可不計入 CH_4 。
- b) 專案邊界若無輸入含氮的生活污水或養殖污水，專案活動中沒有進行施肥、排乾土壤水分等活動，海水水體達到<中度優養化等級，則可不計入 N_2O 。

$$GHG_{SED,i,t} = A_{i,t} \times (GHG_{CH_4,i,t} \times GWP_{CH_4} + GHG_{N_2O,i,t} \times GWP_{N_2O})$$

式3-3-2

參數	定義	單位
$GHG_{SED,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層的海岸型濕地沉積物排放量	t CO_2e
$A_{i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層的土地面積	ha
$GHG_{CH_4,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層的 CH_4 排放量	t CO_2e
$GHG_{N_2O,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層的 N_2O 排放量	t CO_2e
GWP_{CH_4}	CH_4 的全球暖化潛勢，依 IPCC 之 GWP 估計值	-
GWP_{N_2O}	N_2O 的全球暖化潛勢，依 IPCC 之 GWP 估計值	-
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-
t	專案執行之年份，t =1,2,3...	yr

(3) 專案活動中化石燃料所產生的二氧化碳排放量

專案活動中，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。

$$GHG_{fuel,t} = \sum_{j=1}^J ET_{FC,j,t} \quad \text{式3-3-3}$$

參數	定義	單位
$GHG_{fuel,t}$	t 年內由於實施 A/R 專案活動，在專案邊界內使用化石燃料的排放量	t CO ₂ e
$ET_{FC,j,t}$	第 t 年之 j 類車輛/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
j	車輛/機具設備之類型	-
J	車輛/機具設備之類型總數	-

其中， $ET_{FC,j,t}$ 的估算具有直接法與間接法等兩種方法，其中間接法公式中參數選擇的優先順序為

$$(n \times \frac{MT_{j,t}}{TL_{j,t}} \times AD_{j,t})、(NV_{j,t} \times TD_{j,t})、(MT_{j,t} \times TD_{j,t})：$$

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

$$= \sum_{f=1}^F FC_{FC,f,j,t} \times EF_{CO2,f} \times NCV_f \quad (\text{直接法}) \text{式3-3-3-1}$$

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

(間接法 - 移動式) 式3-3-3-2

$$= \sum_{f=1}^F NE_{j,t} \times TU_{j,t} \times SECu_{j,f,t} \times EF_{CO2,f} \times NCV_f \quad (\text{間接法 - 固定式}) \text{式3-3-3-3}$$

參數	定義	單位
$ET_{FC,j,t}$	第 t 年之 j 類車輛/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
$FC_{FC,f,j,t}$	第 t 年，車輛/機具設備類型 j 消耗的燃料類型 f 量	質量或體積單位/年
$EF_{CO2,f}$	燃料類型 f 的二氧化碳排放係數	t CO ₂ / GJ
NCV_f	燃料類型 f 的淨熱值	GJ / 質量或體

參數	定義	單位
		積
n	回程負載 (return load) 的指標 ²²	-
$MT_{j,t}$	年度 t 內車輛類型 j 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) 來替代	公噸
$TL_{j,t}$	第 t 年之車輛類型 j 的載重能力 (load capacity)	公噸
$AD_{j,t}$	第 t 年之車輛類型 j 的平均單程距離	公里
$NV_{j,t}$	第 t 年之車輛類型 j 的數量	-
$TD_{j,t}$	第 t 年之車輛類型 j 的總行駛距離 (包括返程)	公里
$SECK_{j,f,t}$	第 t 年之車輛類型 j 對於燃料 i 的特定能耗	燃料量/公里
$NE_{j,t}$	第 t 年之機具設備類型 j 的數量	-
$TU_{j,t}$	第 t 年之機具設備類型 j 的總使用時間	小時
$SECu_{j,f,t}$	第 t 年之機具設備類型 j 對於燃料 f 的特定能耗	燃料量/小時
f	燃料之類型 (fuel types)	-
F	燃料之類型總數	-

²² 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。

11. 洩漏

依據本方法學之適用條件，專案實施不會引起專案前農漁業活動之轉移，此外不考慮專案前農漁業活動之轉移所造成之排放；而專案活動中運輸工具與燃油機械已歸類於專案排放源，因此本方法學下，造林活動不具潛在洩漏，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。

12. 減量

專案活動所產生之人為溫室氣體淨移除量即人為溫室氣體之減量，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。

$$\Delta C_{AR,t} = \Delta C_{ACTUAL,t} - \Delta C_{BSL,t} - LK_t \quad \text{式4}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{AR,t}$	第 t 年之人為溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	第 t 年之碳匯的實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年（未實施專案活動）之碳匯的基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
LK_t	第 t 年之洩漏所產生之溫室氣體排放量，依據本方法學適用條件可視為零	t CO ₂ e

12.1 預設數據與參數說明（視必要）

數據與參數表1

參數	$CF_{TREE,j}$
單位	-
應用公式	2-1-1、3-1-2
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
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 方法學預計值0.47
其他說明	基線情境下以 $CF_{TREE,BSL,j}$ 表示；專案情境下： $CF_{TREE,PROJ,j}$ 表示

數據與參數表2

參數	$CF_{SHRUB,j}$
單位	-
應用公式	2-2-1
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
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 方法學預計值0.47

其他說明	基線情境下以 $CF_{SHRUB_BSL,j}$ 表示；專案情境下： $CF_{SHRUB_PROJ,j}$ 表示
------	--

數據與參數表3

參數	$f_j(x_{1,l}, x_{2,l}, x_{3,l}, \dots)$
單位	t d. m.
應用公式	2-1-1-1、
描述	使用樹種 j 的參數 ($x_1, x_2, x_3 \dots$) 如樹高、直徑、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
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）
其他說明	-

數據與參數表4

參數	$R_{TREE_BSL,j}$
單位	-
應用公式	2-1-1-1
描述	根莖比，即地下部生物量與地上部生物量比值
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）
其他說明	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： $R_{TREE_PROJ,j}$ 表示
--	--

數據與參數表5

參數	B_{UB}																				
單位	t d. m. ha ⁻¹																				
應用公式	2-2-1-1																				
描述	平均每公頃之地上部生物量																				
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) 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) 使用 IPCC GPG-LULUCF 2003的3A.1.4表中的估計值： <table><tr><td>國家</td><td>材積（地上部） m3/ha</td><td>生物量（地上部） t/ha</td><td>來源</td></tr><tr><td>中國</td><td>52</td><td>61</td><td>NI</td></tr><tr><td>日本</td><td>145</td><td>88</td><td>F</td></tr><tr><td>越南</td><td>38</td><td>66</td><td>ES</td></tr><tr><td>泰國</td><td>17</td><td>29</td><td>NI</td></tr></table>	國家	材積（地上部） m3/ha	生物量（地上部） t/ha	來源	中國	52	61	NI	日本	145	88	F	越南	38	66	ES	泰國	17	29	NI
國家	材積（地上部） m3/ha	生物量（地上部） t/ha	來源																		
中國	52	61	NI																		
日本	145	88	F																		
越南	38	66	ES																		
泰國	17	29	NI																		
其他說明	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。 注：使用於方法二																				

數據與參數表6

參數	DF_{DW}				
單位	%				
應用公式	1-2-1、2-3-1				
描述	專案邊界內枯木碳儲量與活木儲量的比值				
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) 使用中國紅樹林枯木佔喬木碳儲量比值的估計值： <table border="1"> <tr> <td>參數</td><td>DF_{DW}</td></tr> <tr> <td>枯木佔喬木碳儲量比值</td><td>6.23%</td></tr> </table>	參數	DF_{DW}	枯木佔喬木碳儲量比值	6.23%
參數	DF_{DW}				
枯木佔喬木碳儲量比值	6.23%				
其他說明	-				

數據與參數表7

參數	$aSOC_t$
單位	$t\ C\ ha^{-1}\ yr^{-1}$
應用公式	1-3、1-3-1
描述	紅樹林自源性土壤碳儲存年增加量
說明	使用資料來源的優先順序： (a) 使用現地 SET (surface elevation table)之調查資料 (b) 使用當地區域或相似生態條件之 SET 調查資料 (c) 使用具代表性之 SET 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）
其他說明	-

數據與參數表8

參數	$dSOC_t$													
單位	$t\ C\ ha^{-1}\ yr^{-1}$													
應用公式	1-3、1-3-2													
描述	t 年內專案邊界中土壤有機碳儲量的變化率													
說明	使用資料來源的優先順序： (e) 使用現地 SET 之調查資料 (f) 使用當地區域或相似生態條件之 SET 調查資料 (g) 使用具代表性之 SET 調查資料 (h) 估計值（海南省生態環境廳，2023） <table><tr><td>海岸紅樹林類型</td><td>沉積物類型</td><td>$dSOC_{i,j,t}$</td></tr><tr><td rowspan="2">開闊海岸型</td><td>細顆粒</td><td>0.5</td></tr><tr><td>粗顆粒</td><td>0.2</td></tr><tr><td rowspan="2">河口、內灣、潟湖</td><td>細顆粒</td><td>1.2</td></tr><tr><td>粗顆粒</td><td>0.5</td></tr></table>	海岸紅樹林類型	沉積物類型	$dSOC_{i,j,t}$	開闊海岸型	細顆粒	0.5	粗顆粒	0.2	河口、內灣、潟湖	細顆粒	1.2	粗顆粒	0.5
海岸紅樹林類型	沉積物類型	$dSOC_{i,j,t}$												
開闊海岸型	細顆粒	0.5												
	粗顆粒	0.2												
河口、內灣、潟湖	細顆粒	1.2												
	粗顆粒	0.5												
其他說明	依據巫登－溫特瓦分級（Udden-Wentworth grade scale），細顆粒沉積物是以粒徑<63 μm 的顆粒主的沉積物；粗顆粒沉積物則是以粒徑≥63 μm 的顆粒為主的沉積物。													

數據與參數表9

參數	$COMF$
單位	-
應用公式	3-3-1
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 方法學估計值，如下 <table><tr><td>林型</td><td>平均林齡(年)</td><td>預計值</td></tr><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></table>	林型	平均林齡(年)	預計值	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)	預計值														
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	-															

數據與參數表10

參數	EF_{CH_4}						
單位	$g\ CH_4\ (kg\ 燃燒的乾物質)^{-1}$						
應用公式	3-3-1						
描述	CH ₄ 排放係數						
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 方法學估計值，如下 <table border="1"> <tr> <th>林型</th><th>預計值</th></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	預計值	熱帶森林	6.8	其他森林	4.7
林型	預計值						
熱帶森林	6.8						
其他森林	4.7						
其他說明	-						

數據與參數表11

參數	EF_{N_2O}						
單位	$\text{g N}_2\text{O} (\text{kg 燃燒的乾物質})^{-1}$						
應用公式	3-3-1						
描述	N_2O 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（如溫室氣體盤查資料） (l) CDM 方法學估計值，如下 <table border="1"> <tr> <td>林型</td><td>預計值</td></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	預計值	熱帶森林	0.20	其他森林	0.26
林型	預計值						
熱帶森林	0.20						
其他森林	0.26						
其他說明	-						

數據與參數表12

參數	EF_{Soils}
單位	$\text{t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$
應用公式	1-3
描述	紅樹林土壤碳排放係數

資料來源	使用資料來源的優先順序： (m) 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） (n) 當地區域或相似生態條件之調查資料 (o) 國家級的資料（如溫室氣體盤查資料） (p) 目前僅有重建植被再濕潤估計值，如下 <table><tr><th>生態系</th><th>預計值</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>	生態系	預計值	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	預計值	引用					
紅樹林	1.62	Breithaupt et al., 2012; Chmura et al., 2003; Fujimoto et al., 1999; Ren et al., 2010					
其他說明	-						

數據與參數表13

參數	EF_{CO_2}
單位	t CO ₂ / GJ
應用公式	3-3-3-1、3-3-3-2、3-3-3-3
描述	CO ₂ 排放係數
資料來源	使用資料來源的優先順序： (q) 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） (r) 當地區域或相似生態條件之調查資料 (s) 國家級的資料（如溫室氣體盤查資料） (t) IPCC
其他說明	-

數據與參數表14

IPCC (GWP-100)	AR1 (1990)	AR2 (1995)	AR3 (2001)	AR4 (2007)	IAR5 (2014)	AR6 (2021)
CO ₂	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
CH ₄ -fossil	21	21	23	25	28	29.8
N ₂ O	290	310	296	298	265	273

13. 監測程序

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監測資訊，並依據相關標準進行監測程序，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：

- (1) 證明專案滿足本方法學適用條件之佐證資料與說明；
- (2) 計算選擇公式、碳庫與碳儲量之材料、數據與說明；
- (3) 計算專案邊界內碳排放和洩漏之材料、數據與說明。

1. 專案活動之監測：專案申請者須對專案執行期間所有專案活動進行監測或文字紀錄與說明，專案活動主要包含如：造林與植林、林地管理，以及與溫室氣體排放有關之活動進行監測與紀錄。

- (1) 造林與植林：種源選擇、育苗、整地方式、存活率、試種、補植等；
- (2) 林地管理：撫育、病蟲害防治等；
- (3) 災害：毀林、颱風等。

2. 監測頻率：專案樣區的監測頻率為至少三至十年監測一次，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監測頻率。

3. 精準度要求：

(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。

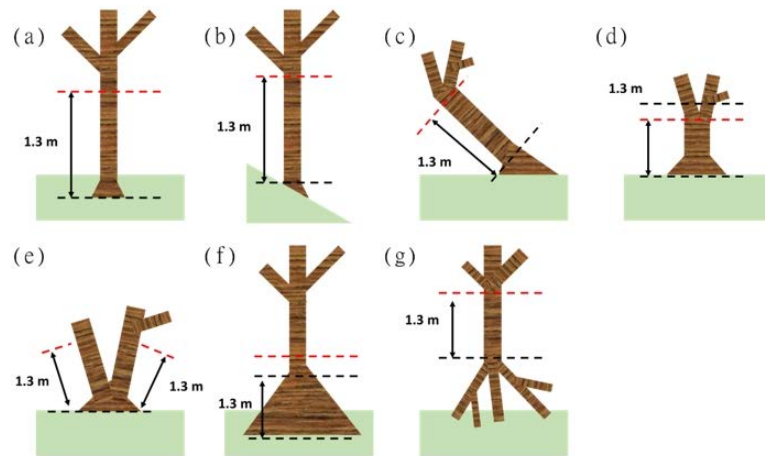
(2) 所有使用於估算之數據與係數，其精度之優先順序應由高至低的層級 (Tier)²³，依序為 (a) Tier 3 主要碳庫的詳細調查、定期測量或模型計算；(b) Tier 2 國家特定資料的關鍵係數；(c) 使用 IPCC 預設的排放係數。

4. 樣區設置與監測：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)、《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》。

²³ 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。

14. 附錄

附錄一、喬木



附圖 1 各類型樹型胸徑測量處

喬木監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（中興大學，2023）：

- a. 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
- b. 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
- c. 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
- d. 樹木在 1.3 m 以下就出現分叉，須量測分叉底下不遠處
- e. 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
- f. 樹基部隆起超過 1.3 m，須於隆起處上端不遠處
- g. 樹幹具有支持根，以最上端的支持根往上 1.3 m 處

15. 參考文獻

- (1) 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).
- (2) 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.
- (3) Heumann, B. W. (2011). Satellite remote sensing of mangrove forests: Recent advances and future opportunities. *Progress in Physical Geography*, 35(1), 87-108.
- (4) 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.
- (5) Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E.(2014). Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses.
- (6) 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).
- (7) 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.
- (8) UNFCCC, U. (2022). CDM methodology booklet. Bonn, Germany: United Nations Framework Convention on Climate Change.
- (9) 中華人民共和國國家發展和改革委員會 (2013) 。《碳匯造林項目方法學》（版本 V.01.0） 。中華人民共和國國家發展和改革委員會 。
- (10) 中華人民共和國林業局 (2016) 。《碳匯造林項目設計文件編制指南》（LY/T 2743-2016） 。中華人民共和國林業局 。
- (11) 中華人民共和國林業局 (2016) 。《紅樹林建設技術規程》（LY/T 1938-2011） 。中華人民共和國林業局 。

- (12) 海南省生態環境廳 (2023) 。《海南紅樹林造林/再造林碳匯項目方法學》(2023年)
(編號 HN2023001-V01) 。海南省生態環境廳。
- (13) 廣東省環境廳 (2023) 。《廣東省林業碳匯普惠方法學》(2023年版)(編號2023001-V01) 。廣東省環境廳。
- (14) 林幸助與陳冠宇 (2023) 。《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》。

附件四 小規模減量方法：臺灣紅樹林棲地的造林與植林之
專案案例—中都濕地公園的紅樹林造林碳匯專案計畫書

行政院環境保護署溫室氣體計畫型抵換專案計畫書格式

(第3.1版)

一、計畫型抵換專案計畫書格式說明

- (一) 本格式旨在協助專案申請者完成計畫型抵換專案計畫書（以下簡稱專案計畫書）。
- (二) 業者欲向本署提出計畫型抵換專案註冊，及請查驗機構進行專案計畫書確證時，應依本署最新版格式提出完整的專案計畫書格式撰寫。
- (三) 若專案計畫書內任何一章節不適用於該專案，應於該章節說明理由。
- (四) 在專案計畫書中有關年份或期間之描述，請以民國年展現。
- (五) 在專案計畫書中的數值表示方式，包括用於計算排放減量/移除量的數值，應以國際標準格式來表示，例如1,000表示一千和1.0表示一。使用重量單位時，為確保報告內容的透明和清晰，應註明其相當的國際標準單位(例如公噸、公升)和定額規範(例如千萬、百萬)，並以科學記號表示較大的數值，(例如一百萬等於 10^6 ，以及十億等於 10^9)。
- (六) 在專案計畫書中以經緯度座標標記專案執行地點時，請以實際減量發生之工廠(廠)公司、或機構(關)之大門所在位置之座標為主。請參考二萬伍仟分之一地形圖、伍仟分之一航照圖、或具有 GPS 定位功能之電子設備，針對其大門正中央所在位置進行座標定位，並以 TM2(二度分帶投影坐標)-TWD97(1997台灣大地基準)格式填寫。倘以 TM2-TWD67格式進行定位，應以下列公式轉換為 TM2-TWD97格式填寫。倘 TWD67座標為(X67, Y67)，則 TWD97座標依下列公式計算：TWD97座標:($X97 = X67 + 828$, $Y97 = Y67 - 207$)

二、專案計畫書涵蓋內容說明

(一) 專案計畫書應包含下列資料：

- | | |
|-----------|----------------|
| (1)專案活動描述 | (2)減量方法描述及應用說明 |
| (3)外加性分析 | (4)減量或移除量計算說明 |
| (5)監測計畫 | (6)專案活動期程描述 |
| (7)環境衝擊分析 | (8)公眾意見描述 |

(二) 專案申請者應提送完整的專案計畫書，連同相關附件，交予本署審查通過之查驗機構確證該專案活動。

計畫型抵換專案計畫書封面應包含下列資訊：

中都濕地公園的紅樹林造林碳匯專案計畫書	
版本：_____	製作日期：_____年____月____日

專案活動所屬之 方案型專案	☐ 本專案活動屬_____ 方案型專案之子專案 ☒ 不適用
申請單位	○○公司
引用的減量方法 和其範疇別	臺灣紅樹林棲地的造林與植林 範疇別： 14 造林與植林
年平均移除量估 計值	46.01 t CO ₂ e

中都濕地公園的紅樹林造林碳匯專案計畫書

一、專案活動之一般描述

(一) 專案名稱

專案活動名稱：中都濕地公園的紅樹林造林碳匯專案活動

表 1 版本與修訂紀錄表

版本	日期	修訂內容摘要

減量方法範疇別：類別14：造林與植林。

(二) 專案參與機構描述

表 2 專案參與機構描述

參與機構名稱	參與單位性質	角色說明
中興大學生命科學系	教學研究機構	專案開發者與執行者
輔仁大學學校財團法人 輔仁大學景觀設計學系	教學研究機構	專案合作者與執行者
中冶環境造形顧問有限公司	私人企業	執行者
科技部	政府部門	專案補助者

(三) 專案活動描述

1. 專案活動目的

本專案對高雄中都濕地公園進行紅樹林復育之造林。總體目標期望是透過紅樹林之造林，增加高雄中都濕地公園在紅樹林生態系統服務上之價值，並因應 2023年 2月 15日公布之《氣候變遷因應法》第四條，國家溫室氣體長期減量目標為 2050年（中華民國 139年）達成溫室氣體淨零排放，運用紅樹林吸收二氧化碳的能力，為區域環境溫室氣體排放量問題發揮「調適」功能。個別目標如下：

- (1) 運用景觀設計強化植物對碳吸存功能的成效；
- (2) 提供四種紅樹植物的研究模場；
- (3) 提出調整公園區內紅樹林經營管理模式；
- (4) 強化環境教育；
- (5) 依 IPCC 公布之研究方法執行調查工作。

2. 專案活動地點與環境描述

(1) 專案活動地點

本專案活動地點為高雄市三民區中都濕地（圖1）的「紅樹林生態保護區」（圖2）。中都濕地是依

據高雄市政府擬訂的「中都地區工業區都市重劃案」第 42、68 期重劃。重劃區的規劃範圍包含公 1、公 4、公 5 用地以及文中、文小預留地，總面積為 12.6 公頃（圖3）；而中都濕地之面積為 11.6 公頃。

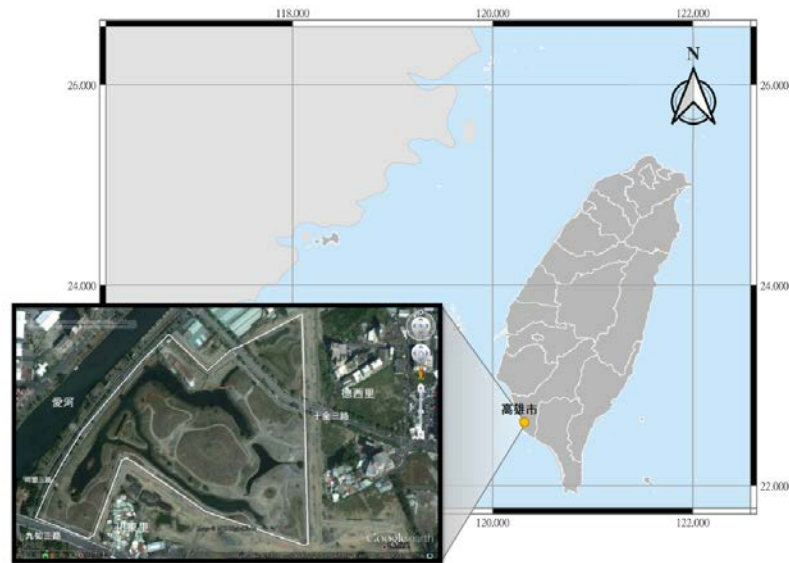


圖 1 專案活動位置圖

中都濕地公園的規劃設計是以重建高雄市紅樹林生態系統為原則。其中，園區內所規劃之植栽區域分為「入口意象區」、「海岸林植被區」、「耐鹽性水生植被觀測區」，以及本專案活動之「紅樹林生態保護區」等四區（圖2）。而圍繞於中都濕地內中央島的水域泥灘地即為紅樹林栽植復育地。

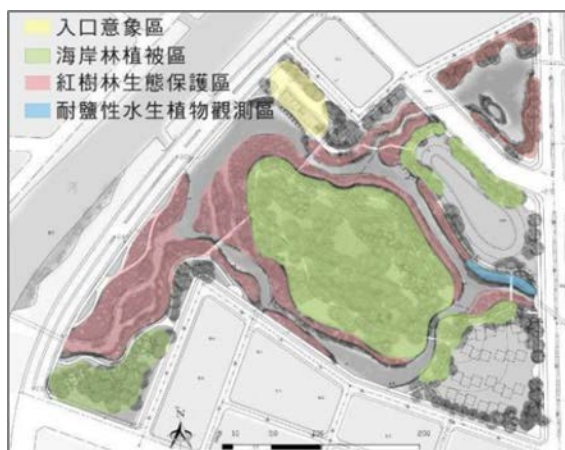


圖 2 植栽分區配置圖

資料來源：中冶環境造形顧問有限公司

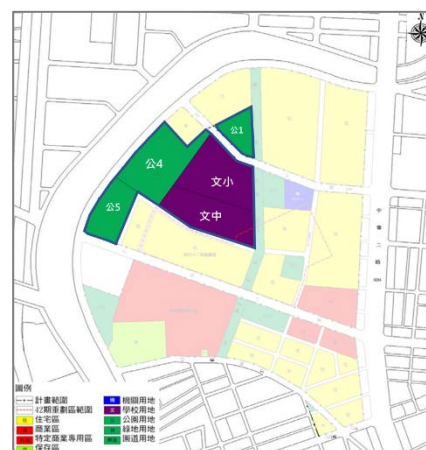


圖 3 高雄中都地區都市計畫圖

資料來源：高雄市政府(2008)，本專案再製

(2) 環境描述

本專案活動地點高雄市，屬熱帶季風氣候，全年平均較臺南以北的副熱帶季風氣候更為溫暖，同時

也因地處台灣南部，相較於台灣其它城市之旱季更明顯。雨季為每年 5月至 9月，降下全年 9成雨量；冬季平均每月僅3 天降雨，為旱季。

高雄臨海區原為潟湖與海灣地形，是臺灣紅樹林最重要的生長地之一，包含水筆仔(*Kandelia obovata* Sheue, Liu & Young)、五梨跤(*Rhizophora stylosa* Griff.)、海茄苳(*Avicennia marina* (Forsk.) Vierh)以及欖李(*Lumnitzera racemosa* Willd.)、細蕊紅樹(*Ceriops tagal*(Perr.)C. B. Robinson)及紅茄苳(*Bruguiera gymnorhiza* (L.) Lamk.)等六種紅樹林物種。明清時期，先民以「港」來稱呼愛河的各個河段。早年愛河中游被稱為「龍水港」，其周邊埤塘密佈，河的南側是茂密的紅樹林，也就是現在的中都濕地公園(圖4、5)。隨著日治時期填海造地、港口碼頭的建設以及 1950年代後快速的都市發展，使原先生長於河口及濱海的紅樹林逐漸消失。

中都濕地所在區域於民國 44年被規劃為工業區，基地原為合板工廠，工廠旁有貯木池(圖6)與愛河銜接，利於透過愛河將木材運送至基地內(圖7)。後合板工廠撤離，貯木池成為一荒廢水域。由於中都濕地距離愛河出海口僅約2.5 公里處，公園內主要河道與愛河有兩處水閘門相連接，因此濕地之水文與水質主要受愛河影響，公園內河道的漲退潮高低落差與亦愛河相同，形成泥灘地環境。「中都濕地公園」之規劃設計以重建高雄市紅樹林生態系統為原則，藉由愛河與海水連接之環境條件，復育已然消失的紅樹林生態及海岸林帶，營造成適合候鳥的棲息環境。



圖 4 日治二萬分之一台灣堡圖-明治版(中研院人社中心地理資訊科學研究專題中心，2023)



圖 5 1942-日治二萬五千分之一地形圖-昭和修正版(中研院人社中心地理資訊科學研究專題中心，2023)



圖 6 1959 年林商號合板股份有限公司廠房內的貯木池（國家文化資料庫，1975）



圖 7 貯木池與愛河銜接。1951 年漂浮於愛河上的木材（高雄歷史博物館）

3. 資金來源說明

民國108年國科會學術補助計畫「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」，研究經費共計 585,000元。

4. 專案活動對永續發展的貢獻

健康的生態系統能夠提供健全的「生態系統服務」（Ecosystem Services），包含「支持」、「供給」、「調節」及「文化」等功能。紅樹林生態系統服務與聯合國在 2015年所提出的 17 項永續發展目標（Sustainable Development Goals, SDGs）中，對 13 項 SDGs 具有貢獻；其中與 4 項 SDGs 有密切的相關性，包含 SDG 12 負責任的消費和生產、SDG 13氣候行動、SDG 14 海洋生態和 SDG 15 陸地生態（Bimrah et al., 2022）。

本專案活動於高雄中都濕地公園進行紅樹林復育之造林，其專案活動所產生之「紅樹林生態系統服務」功能，如下：（1）「支持」，提供作為鳥類棲地；（2）「調節」，紅樹林植物體經由光合作用所吸收並固定大氣中二氧化碳屬於自然碳匯（carbon sink）、防止水土流失、淨化水質、可容納約 50,000 m³ 的蓄水量發揮滯洪與蓄洪功能；（3）「文化」，提供人們自然的育教娛樂場所並助於身心健康。因此可提供下列貢獻，包含：SDG 13 氣候行動，其次為 SDG 3 良好健康和福祉、SDG 4 優質教育、SDG 6 淨水與衛生、SDG 11 永續城市與社區等目標。

5. 預期減量成果

單年期間	年排放減量/移除量估計值 (單位：公噸 CO ₂ 當量)
2011年	-0.12
2012年	6.28
2013年	12.54
2014年	18.87

2015年	25.16
2016年	31.45
2017年	37.75
2018年	44.04
2019年	50.33
2020年	56.63
2021年	62.92
2022年	61.93
2023年	60.93
2024年	59.94
2025年	58.94
2026年	57.95
2027年	56.96
2028年	55.96
2029年	54.97
2030年	53.98
2031年	52.98
總移除量估計值 (單位：公噸 CO ₂ 當量)	920.39
計入期總年數	20
計入期平均移除量估計值 (單位：公噸 CO ₂ 當量)	43.83

6. 若為小規模專案，應論證其專案活動並非屬大規模專案之拆解活動

依據 CDM「小規模拆解評估規範(4.1版本)」(Assessment of debundling for small-scale project activities)，第五節方法程序，第 5.1 條如果已註冊的小規模清潔發展機制 (CDM) 專案活動，或已提出另一項註冊申請的小規模 CDM 專案活動符合以下條件，則擬議之小型專案活動將被視為大規模專案之拆解活動：

(1) 有相同的專案申請者 (project participants)；(2) 屬於相同的專案類別和技術/措施；(3) 在過去 2 年內已註冊；以及 (4) 其專案邊界與擬議的小規模活動之最近點距離在專案邊界的 1 公里以內。由於本專案活動不符合上述條件，因此並非屬大規模專案之拆解活動。

(四) 專案活動之技術說明

1. 實施技術

實施技術分為兩部分，包含植林與紅樹林經營技術、監測計畫技術。

(1) 植林與紅樹林經營技術

植林與紅樹林經營技術，包含樹種選擇、苗木來源、栽植撫育等。紅樹林生態系由於和一般陸域生

態系不同，栽植前應先考量生育地特性，如：樹種、溫度、底土、水文、鹽度等。本專案於 2011年至 2013 年實施造林，分別在種植初期、完工後三年及五年至現場觀察並記錄生長狀況。2018年 6月至現場觀察，紅樹林生長穩定。其中，2011年中都濕地開園階段栽植復育紅樹種類為水筆仔、五梨跤、海茄苳以及欖李等四種紅樹林物種。為提高中都濕地內進行復育種植的紅樹物種及其伴生植物對環境的適應性及存活率，以幼苗進行栽植並建立了試種、換種機制。栽植完工與公園保固期間，承攬廠商需觀察、判斷幼苗存活情形進行補植或更換。由於中都濕地公園之定位為生態公園，但建成之後經營管理方式是以都市公園的方式執行。2019年 9月底現場進行調查時，水筆仔因部分苗木來自臺灣北部，氣候因素生長不佳，僅存 5株。

(2) 監測計畫技術

專案需培訓監測人員，以操作抽樣、檢測環境因子之程序。

2. 具體措施

(1) 栽植

2011 年中都濕地開園階段栽植復育紅樹種類為水筆仔、五梨跤、海茄苳以及欖李等四種（表3）。栽植方式為胎生苗直插（直播）法，苗木高度皆選擇大於等於 20公分之健壯苗木，栽植密度為每平方公尺 5株（照片記錄，詳見附件 4-2）。

表 3 紅樹苗木來源與生長狀況表

樹種	栽植日期	苗木來源	栽植數量	苗木規格	栽植密度	栽植與生長狀況
水筆仔	2011 年1 月22 日	臺北淡水河出海口	280	$h \geq 20\text{cm}$	5 株/ m^2	全數枯死-初期施工栽植
	2013 年1 月22 日	高雄援中港溼地	30	$h \geq 20\text{cm}$		生長良好-高雄鳥會補植
五梨跤	2011 年1 月22 日	屏東大鵬灣	800	$h \geq 20\text{cm}$	5 株/ m^2	全數枯死-初期施工栽植
	2013 年7 月30 日	台南四鯤鯓	45	$h \geq 20\text{cm}$		存活18 株-高雄鳥會補植
海茄苳	2011 年 1 月 22 日	屏東大鵬灣	1200	$h \geq 20\text{cm}$	5 株/ m^2	生長良好-初期施工栽植
欖李	2011 年 1 月 22 日	屏東大鵬灣	1600	$h \geq 20\text{cm}$	5 株/ m^2	生長良好-初期施工栽植

(2) 補植與換種

觀察、判斷幼苗存活情形，視生長情況、遇有植株死亡或缺漏則予以補植與換種（表3）。五梨跤與水筆仔紅樹林苗木種植時間為 2011年 1月 22日，栽植後三周後具有苗幹白化枯乾、幼葉掉落現象，分別於同年 2月 10日以及 2月 13日全數枯萎死亡，故公園開闢階段並無再栽植此兩種植物，而補植生長良好的欖李及海茄苳。

表 4 第一次調查-種植初期記錄 (2011.01.22-02.22)

樹種	栽植日期	苗木來源	樹苗生長狀況	
水筆仔	2011 年1 月22 日	臺北淡水	2011 年2 月13 日	全數死亡
五梨跤	2011 年1 月22 日	屏東大鵬灣	2011 年2 月10 日	全數死亡
海茄苳	2011 年1 月22 日	屏東大鵬灣	存活率高、生長良好	
欖李	2011 年1 月22 日	屏東大鵬灣	存活率高、生長良好	

表 5 第二次調查-完工三年後記錄 (2014.03.05)

樹種	種植類型	栽植日期	地點	株樹	樹苗生長狀況
水筆仔	補植	2012 年11 月	生態小島	300	存活率100%
	試種	2012 年11 月	桑科榕屬島前	30	
五梨跤	試種	2013 年7 月30 日		45	存活率40%
海茄苳	新植	2013 年8 月8 日		5	存活率80%
	2011 年1 月種植迄今復育成效佳，存活率100%				
欖李	2011 年1 月種植迄今復育成效佳，存活率100%				

表 6 第三次調查-完工後五年記錄 (2016.01.22)

樹苗生長狀況			
樹種	種植階段	第五年生長記錄	生長狀況
水筆仔		80-100 公分	良好
五梨跤	補植後存活	氣根向外生長，支持根明顯茁壯	良好
海茄苳	20 公分胎生苗	1.9 公尺	良好
欖李	20 公分胎生苗	1.4 公尺	良好

(3) 撫育

栽植初期施用肥料。

(4) 經營管理方式

中都濕地公園之定位為生態公園，但建成之後經營管理方式是以都市公園的方式執行。園區之經營管理由高雄市政府工務局養護工程處四維養護工程隊辦理，管理主要以紅樹植物為主，中央大島及桑科榕屬島復育則長期以都市公園草坪修剪的方式執行。

(5) 監測計畫技術

為了瞭解碳吸存量，本專案於園內設置三處樣站進行抽樣，採樣期間自 2019年 9月至 2020年 6月。

環境因子之檢測，則分為水質與營養鹽地分析（檢測數據詳見，附件4-1）。

二、減量方法適用性及外加性分析描述

(一) 專案活動採用之減量方法

1. 環境部「臺灣紅樹林棲地的造林與植林」（版本）
2. UNFCCC CDM「小規模拆解評估規範」（第4.1版）（“Assessment of debundling for small-scale project activities ,Version 04.1”）

(二) 適用條件與原因

本專案活動符合環境部「臺灣紅樹林棲地的造林與植林」（版本）減量方法，於表7 陳列本專案活動符合減量方法的每項適用性條件，以證明減量方法之選擇，其證明文件放置附件3「引用減量方法之適用性」中。

表 7 適用條件與原因表

項次	減量方法之適用條件	本專案活動之適用原因
1.	土地為2016年11月4日以後的劣化紅樹林棲地且專案起始時間不得早於西元□□年□月□日（本專案公告日期）。專案邊界之土地或海域權屬清晰，具有土地所有權證明或經主管機關核可之使用證明文件。	專案活動於2009年規劃，2011年以後開始造林。 土地權屬清晰，屬於高雄市政府。
2.	本方法學之專案活動適用於濱海濕地之劣化紅樹林棲地，其劣化紅樹林棲地是指植被狀況無法同時滿足樹密度每公頃 ≥ 1050 株且鬱閉度（crown cover） ≥ 0.20 之條件。	中都濕地區域在 1950年前原有紅樹林，由於都市發展而使紅樹林逐漸消失，屬於劣化紅樹林棲地。
3.	專案活動不得違反國家相關法律、法規、政策，且應符合相關技術規範。	本專案活動符合相關技術規範。
4.	專案邊界需種植超過 90% 之紅樹林樹種；若種植超過 10% 之非紅樹林物種，專案活動則不得導致專案區域之水文、上下坡相連之濕地區域水文之變化。	本專案之專案邊界種植超過 90% 之紅樹林樹種，符合適用條件。
5.	專案活動後專案邊界內所引起的土壤擾動不得超過專案面積的 10%。	專案活動後管理主要以紅樹植物為主，但並未引起超過專案面積 10% 的土壤擾動。
6.	專案活動所種植之紅樹林物種須為臺灣原生物種，並配合環境條件選用合宜樹種。	2011年中都濕地開園階段栽植復育紅樹種類為水筆仔、五梨跤、海茄苳以及欖李

		等四種紅樹林物種，皆為臺灣原生物種，並配合高雄環境條件選用。
7.	專案活動不得採取人為引火焚燒方式對林地進行清除或管理。	本專案活動並無採用引火焚燒方式對林地進行清除或管理，符合適用條件。
8.	專案活動不得移除地表枯落物、樹根、枯木。	本專案活動前主要為泥灘地環境，並保留既有大喬木。
9.	專案活動不會造成專案開始前農漁業活動的變更。	本專案活動前主要為泥灘地環境，不會造成專案開始前農漁業活動的變更。

(三) 專案邊界及土地合格性

1. 專案邊界

專案執行之地點高雄中都濕地公園，經緯度座標（TWD97, TM2）為 176706.59, 2505321.16。其規劃區域範圍為公 1、公 4、公 5 公園用地，以及周邊文中、文小學校預定地，土地產權屬於高雄市政府。專案邊界為「紅樹林生態保護區」。其「專案前邊界」採用全球衛星定位系統（GPS）進行標記；「專案後邊界」以科學性之實地調查進行，並輔以空拍攝影繪製之方式進行標記（圖8）。「專案後邊界」之總面積 11,535平方公尺，其誤差未超過「專案前邊界」總面積 12,100平方公尺的 $\pm 5\%$ 。

物種	面積（平方公尺）	
	專案前	專案後
水筆仔	400	17.00
五梨跤	1,500	61.00
海茄苳	3,200	6,420
欖李	7,000	5,037
總計	12,100	11,535

註：「專案前邊界」並無紅樹林植被，表格中「專案前」之紅樹林植被為預計種植面積。

(1) 碳庫

本專案「臺灣紅樹林棲地的造林與植林」（版本）減量方法，以下表明確敘述產生減排量/移除量之範疇界定，並描述為了計算專案排放和基線排放而被納入該專案邊界之碳庫、溫室氣體排放源。

表 8 計入的碳庫與其溫室氣體

	碳庫	氣體	是否被納入?	說明
基線	地上部生物量 (above-ground biomass)	CO ₂	是	為專案活動影響的主要碳庫。但若專案活動實施前，地上部生物量之碳儲量變化不顯著則可忽略不計。
	地下部生物量	CO ₂	是	碳儲量預計會受專案活動的實施而增加。但若專案

	碳庫	氣體	是否被 納入?	說明
	(below-ground biomass)			活動實施前，地下部生物量之碳儲量變化不顯著則可忽略不計。
	枯落物 (Litter)	CO ₂	否	因為專案活動不會降低枯落物的堆積率，故保守性作法是將此碳庫排除在基線核算之外。
	枯木 (Dead wood)	CO ₂	否	基於保守性原則選擇不計入。
	土壤有機碳 (Soil organic carbon)	CO ₂	是	碳儲量預計會受專案活動的實施而增加。但若專案活動實施前，土壤有機碳之碳儲量變化不顯著則可忽略不計。
專案活動	地上部生物量 (above-ground biomass)	CO ₂	是	為專案活動影響的主要碳庫。
	地下部生物量 (below-ground biomass)	CO ₂	是	碳儲量預計會受專案活動的實施而增加。
	枯落物 (Litter)	CO ₂	否	因為專案活動不會降低枯落物的堆積率，故保守性作法是將此碳庫排除在專案核算之外。
	枯木 (Dead wood)	CO ₂	否	基於保守性原則選擇不計入。
	土壤有機碳 (Soil organic carbon)	CO ₂	是	碳庫中的碳儲量可能會受專案活動的實施而增加。

(2) 溫室氣體排放源

本專案採用並符合環境部「臺灣紅樹林棲地的造林與植林」（版本）減量方法，因此本專案不允許專案活動為整地（site preparation）或是基於森林管理之目的而燃燒木質生物量，但考量自然火災與海岸型濕地沉積物的溫室氣體排放。

表 9 計入的溫室氣體排放源項目

	排放源	氣體	是否被 納入?	說明
基線	燃燒木質生物量	CO ₂	否	所產生的 CO ₂ 排放量已被計入碳儲量變化之中，因此不重複計算。
		CH ₄		專案活動實施前無自然火災而釋出溫室氣體。
		N ₂ O		
	海岸型濕地沉積物	CO ₂	否	所產生的 CO ₂ 排放量已被計入碳儲量變化之中，因此不重複計算。
		CH ₄		專案活動實施前，海岸型濕地沉積物變化不顯著則可忽略不計。
		N ₂ O		
專案活動	燃燒木質生物量	CO ₂	否	所產生的 CO ₂ 排放量已被計入碳儲量變化之中，因此不重複計算。
		CH ₄		本專案活動期間並無自然火災而釋出溫室氣體。
		N ₂ O		
	海岸型濕地沉積物	CO ₂	否	所產生的 CO ₂ 排放量已被計入碳儲量變化之中，因此不重複計算。
		CH ₄		本專案活動期間，現地測量鹽度皆高於18度時，則可不計入 CH ₄ 。

	排放源	氣體	是否被 納入?	說明
	化石燃料	N ₂ O		專案活動雖有肥料之輸入，但水體數值小於中度優養化等級，則可不計入 N ₂ O。
		CO ₂	是	專案活動作業中，車輛運輸和機具設備移動是潛在的主要排放源。
		CH ₄	否	在專案中，並非主要的排放源。
		N ₂ O	否	在專案中，並非主要的排放源。

(3) 分層採樣

本專案之分層現象主要取決於造林及經營管理計畫，分層可分為「事前分層」和「事後分層」。由於基線情境主要為泥灘地且專案活動保留了基線原有的大型喬木，因此不進行「事前分層」。「事後分層」則是依據不同樹種進行分層，藉由計算不同的樹種的碳儲量，以增加紅樹林碳匯移除量的準確性（圖 8）。



圖 8 不同紅樹林物種的專案後分布
(江政人先生攝影繪製 2019-10-28)

2. 合格性

專案活動實施前，主要土地屬於泥灘地僅有少數大型喬木，符合劣化紅樹林棲地「無法同時滿足樹密度每公頃 ≥ 1050 株且鬱閉度 (crown cover) ≥ 0.20 之條件」；佐證資料如圖 9 重劃前衛星影像圖，以及國家級別的紀錄資料「變更高雄市原都市計畫區(三民區部分)中都地區工業區及第四十二期重劃區主要計畫書(第一階段)」。

(四) 基線情境之選擇與說明

重劃前中都地區位於高雄愛河之中下游，在 1950 年之前具有紅樹林。於民國 44 年此區域被規劃為工業區作為合板工廠並具有貯木池，隨後工廠撤離，貯木池亦成為荒廢的泥灘地水域。規劃區域範圍為公 1、公 4、公 5 公園用地，以及周邊文中、文小學校預定地，在重劃前為工業區、泥灘地、水泥住宅與道路。此區域難以自然恢復紅樹林生態系統，並符合劣化紅樹林棲地之條件。本專案活動之「紅樹林生態保護區」的基線情境主要為荒廢之泥灘地水域，並以國家級別的紀錄資料「變更高雄市原都市計畫區(三民區部分)中都地區工業區及第四十二期重劃區主要計畫書(第一階段)」的「重劃區變更計畫圖」（圖 10）作為佐證土地利用方式及情況。



圖 9 重劃前衛星影像圖

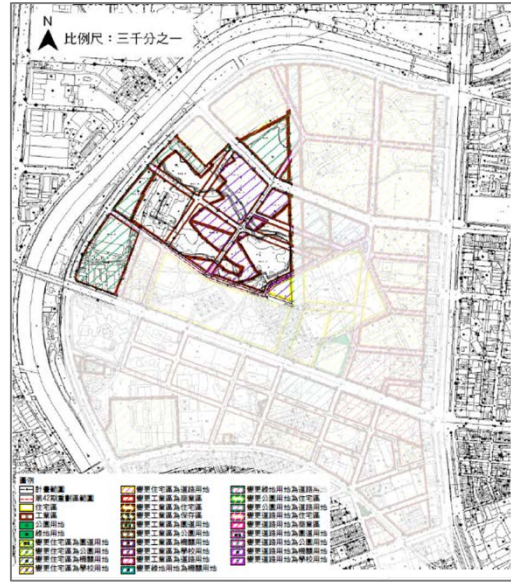


圖 10 重劃區變更計畫圖

資料來源：高雄市政府(2008)，本專案再製

(五) 外加性之分析與說明

依循環環境部抵換專案制度小規模減量方法對外加性之規範，需符合法規外加性及障礙分析四擇一（投資障礙、技術障礙、普遍性障礙或其他障礙）。而依據 2018年 12月 27日環境部公布的「溫室氣體抵換專案管理辦法修正草案總說明」第七條第二項第三款辦理，即符合「溫室氣體每年總減量小於或等於二萬公噸二氧化碳當量者」，專案得僅分析法規外加性，且得免除環境衝擊分析及公眾意見。以下依序提出本專案活動具有外加性之佐證說明（照片詳見附件3）：

1. 「法規外加性」

本專案活動符合國家現有的任何法律、法規、政策措施，及相關技術規範。截止至 2023年 8月，國內法規並未對造林與植林要求進行溫室氣體排放減量/移除量技術。

2. 「障礙分析（Barrier Analysis）」

本專案活動地點由於長期人為活動因素，導致專案邊界內紅樹林植被達到劣化之狀況條件難且難以自然恢復，符合「生態條件障礙」。且在監測計畫之技術，包含抽樣與環境因子檢測等，都必須額外培訓監測人員，因此符合「技術障礙」。

3. 「普遍性分析」

本專案擬議的專案活動於 2011年在高雄並沒有相似規模的紅樹林造林活動，因此本專案活動並非普遍存在。

三、減量/移除量計算說明

(一) 減量/移除量計算描述

1. 所引用減量方法之計算公式描述

本專案所使用之計算公式，是依據「臺灣紅樹林棲地的造林與植林」（版本）減量方法中所提供的計算方法「方法一」。

(1) 基線排放（碳匯之基線溫室氣體淨移除量）

依據「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（版本04.2）」（Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities）之方法學工具，當專案之基線情境符合條件時，可將基線中樹木之碳儲量計為零，否則應加以計算。

(a) 碳匯之基線溫室氣體淨移除量（ $\Delta C_{BSL,t}$ ），計算如下：

$$\begin{aligned}\Delta C_{BSL,t} &= \Delta C_{Mangrove_{BSL,t}} \\ &= \Delta B_{Mangrove_{BSL,t}} + \Delta C_{DW_{BSL,t}}\end{aligned}\quad \text{式1}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年（未實施專案活動）之碳匯的基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{Mangrove_{BSL,t}}$	t 年之基線紅樹林碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$\Delta B_{Mangrove_{BSL,t}}$	t 年之基線紅樹林生物量碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$\Delta C_{DW_{BSL,t}}$	t 年之基線枯木碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
t	專案執行之年份，t=1,2,3...	yr

(b) 基線紅樹林生物量碳儲存年變化量

$$\Delta B_{Mangrove_{BSL,t}} = \sum_{ij} (A_{BSL,i,j,t} \times B_{BSL,i,j,t}) \quad \text{式1-1}$$

參數	定義	單位
$\Delta B_{Mangrove_{BSL,t}}$	t 年之基線紅樹林生物量碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$A_{BSL,i,j,t}$	t 年之基線第 i 碳庫層 j 樹種的面積	t CO ₂ e
$B_{BSL,i,j,t}$	t 年之基線第 i 碳庫層樹種 j 之單位面積紅樹林生長之碳儲存年增加量	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-
j	紅樹林樹種，j = 1,2,3...	-
t	專案執行之年份，t = 1,2,3...	yr

單位面積紅樹林生長之碳儲存年增加量（ $B_{BSL,i,j,t}$ ）

$$\begin{aligned}B_{BSL,i,j,t} &= (B_{TREE_AB,i,j,t} \times CF_{TREE_AB,i,j,t} + B_{TREE_BB,i,j,t} \times CF_{TREE_BB,i,j,t}) + (B_{SHRUB_AB,i,j,t} \times \\ &\quad CF_{SHRUB_AB,i,j,t} + B_{SHRUB_BB,i,j,t} \times CF_{SHRUB_BB,i,j,t})\end{aligned}\quad \text{式1-1-1}$$

參數	定義	單位
$B_{BSL,i,j,t}$	t 年之基線第 i 碳庫層樹種 j 之單位面積紅樹林生長之碳儲存年增加量	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
B_{AB}	紅樹林地上部生物量平均年生長量（乾重）	t d.m. ha ⁻¹
CF_{AB}	紅樹林地上部有機碳含量百分比	%
B_{BB}	紅樹林地下部生物量平均年生長量（乾重）	t d.m. ha ⁻¹
CF_{BB}	紅樹林地下部有機碳含量百分比	%
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-
j	紅樹林樹種，j = 1,2,3...	-
t	專案執行之年份，t = 1,2,3...	yr

(2) 專案排放（碳匯之專案溫室氣體淨移除量）

(a) 碳匯之專案溫室氣體淨移除量，計算如下：

$$\Delta C_{ACTUAL,t} = \Delta C_{P,t} - GHG_{E,t} - GHG_{fuel,t} \quad \text{式3}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	第 t 年之碳匯的實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{P,t}$	第 t 年之選定碳庫中碳儲量的總變化	t CO ₂ e
$GHG_{E,t}$	實施 A/R 專案活動之第 t 年，在專案邊界內增加的非 CO ₂ GHG 排放量，並將「專案前」之估算設為零	t CO ₂ e
$GHG_{fuel,t}$	t 年內由於實施 A/R 專案活動，在專案邊界內使用化石燃料的排放量。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

其中，專案邊界內碳庫在 t 年內的碳儲量總變化（ $\Delta C_{P,t}$ ）計算方式同基線溫室氣體淨移除量式1但增加土壤碳儲存年變化量。並將公式中代表基線情境之縮寫“BSL”替換為專案情境之縮寫“PROJ”。專案土壤碳儲存年變化量計算公式，如下：

$$\Delta SOC_{BSL,t} = A_{BSL,i,j,t} \times (aSOC_{i,j,t}) \times 3.67 \quad \text{式3-1-1}$$

參數	定義	單位
$\Delta SOC_{BSL,t}$	t 年之基線土壤有機碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$A_{BSL,i,j,t}$	t 年之基線第 i 碳庫層 j 樹種的面積	ha
$aSOC_{i,j,t}$	紅樹林自源性土壤碳儲存年增加量	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
3.67	有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數	-

(b) 專案邊界內非二氧化碳之溫室氣體排放量

本專案非二氧化碳之溫室氣體排放量分為兩部分，自然火災以及海岸型濕地沉積物的釋放。

$$GHG_{E,t} = GHG_{FF_TREE,t} + \sum_{i=1} GHG_{SED,i,t} \quad \text{式3-2}$$

參數	定義	單位
$GHG_{E,t}$	實施 A/R 專案活動之第 t 年，在專案邊界內增加的非 CO ₂ GHG 排放量；並將「專案前」之估算設為零	t CO ₂ e
$GHG_{FF_TREE,t}$	第 t 年之受火災所引起的林木地上部生物量燃燒，並造成非二氧化碳溫室氣體排放	t CO ₂ e
$GHG_{SED,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層的海岸型濕地沉積物排放量	t CO ₂ e

由於在「專案前」一般無法了解專案邊界內火災發生的狀況，因此不考慮其排放量，即 $GHG_{E,t} = 0$ 。「專案後」估算則以最近一次查證時之碳庫層與各碳庫層之林木地上部生物量資料進行計算，自然火災所產生之非二氧化碳之溫室氣體排放量公式如下。

$$GHG_{FF_TREE,t} = 0.01 \times \sum_{i=1}^M \{A_{SPF,i,t} \times b_{TREE,i,tL} \times COMF_{CH_4} \times (EF_{CH_4} \times GWP_{CH_4} + EF_{N_2O} \times GWP_{N_2O})\} \quad \text{式3-2-1}$$

參數	定義	單位
$GHG_{FF_TREE,t}$	第 t 年之受火災所引起的林木地上部生物量燃燒，並造成非二氧化碳溫室氣體排放	t CO ₂ e
$A_{SPF,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫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 碳庫層的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 ⁻¹
tL	火災發生前，最近一次查證的時間	yr ⁻¹
$COMF_i$	第 i 碳庫層的燃燒係數 (combustion factor)	-
EF_{CH_4}	CH ₄ 排放係數	g CH ₄ (kg 燃燒的乾物質) ⁻¹
EF_{N_2O}	N ₂ O 排放係數	g N ₂ O (kg 燃燒的乾物質) ⁻¹
GWP_{CH_4}	CH ₄ 的全球暖化潛勢，預計值為28	-
GWP_{N_2O}	N ₂ O 的全球暖化潛勢，預計值為298	-
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-
t	專案執行之年份，t = 1,2,3...	yr

0.001	單位轉換值，將公斤（kg）轉為噸（t）的常數	-
-------	------------------------	---

由於海岸型濕地沉積物具有溫室氣體排放之特徵，因此應考慮計入海岸型濕地沉積物之溫室氣體排放量。「專案前」之估計可設為零，即 $GHG_{E,t} = 0$ ，「專案後」則應現地測量 CH_4 和 N_2O 之排放量。依據 IPCC（2021），使用暖化潛勢（GWP）將非二氧化碳之溫室氣體轉換為二疊化碳當量（CO₂e）。 CH_4 之 GWP 值為 28； N_2O 之 GWP 值為 298。專案申請者應考量下列情境狀況，鑑別是否應計入 CH_4 和 N_2O 之排放量：

- 鹽度為0至18度時，應考慮計入 CH_4 之排放量；鹽度高於18度時，則可不計入 CH_4 。
- 專案邊界若無輸入含氮的生活污水或養殖污水，專案活動中沒有進行施肥、排乾土壤水分等活動，且海水水體達到<中度優養化等級，則可不計入 N_2O 。

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

參數	定義	單位
$GHG_{SED,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層的海岸型濕地沉積物排放量	t CO ₂ e
$A_{i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層的土地面積	ha
$GHG_{CH_4,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層的 CH_4 排放量	t CO ₂ e
$GHG_{N_2O,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層的 N_2O 排放量	t CO ₂ e
GWP_{CH_4}	CH_4 的全球暖化潛勢，估計值為28	-
GWP_{N_2O}	N_2O 的全球暖化潛勢，估計值為298	-
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-
t	專案執行之年份，t = 1,2,3...	yr

(3) 洩漏

依據本方法學之適用條件，專案實施不會引起專案前農漁業活動之轉移，此外專案活動中運輸工具與燃油機械已歸類於專案排放源。因此本方法學下，造林活動不具潛在洩漏，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。

(4) 減量

專案活動所產生之人為溫室氣體淨移除量即人為溫室氣體之減量，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。

$$\Delta C_{AR,t} = \Delta C_{ACTUAL,t} - \Delta C_{BSL,t} - LK_t \quad \text{式4}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{AR,t}$	第 t 年之人為溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	第 t 年之碳匯的實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e

$\Delta C_{BSL,t}$	t 年（未實施專案活動）之碳匯的基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
LK_t	第 t 年之洩漏所產生之溫室氣體排放量，依據本方法學適用條件可視為零	t CO ₂ e

2. 所引用之預設數據與參數說明

參數	$B_{PROJ,i,j,t}$
單位	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
應用公式	1-1
描述	t 年之基線第 i 碳庫層樹種 j 之單位面積紅樹林生長之碳儲存年增加量
說明	本專案引用《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》表5

參數	$aSOC_t$
單位	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
應用公式	3-1-1
描述	紅樹林自源性土壤碳儲存年增加量
說明	使用資料來源的優先順序： (a) 使用現地地表高程監測系統 (surface elevation table，簡稱 SET)之調查資料 (b) 使用當地區域或相似生態條件之 SET 調查資料 (c) 使用具代表性之國家級的資料（如溫室氣體盤查資料）
其他說明	本專案引用《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》表9

(二) 減量/移除量計算

1. 基線排放（碳匯之基線溫室氣體淨移除量）

本專案活動執行前邊界主要為泥灘地，具有少數喬木但專案活動並不會移除專案前的喬木或導致其死亡；專案前喬木並未與專案活動所種植之紅樹林一起進行監測，但專案前的樹木會持續存在並符合基線情境。因此，符合「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（版本04.2）」（Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities）方法學工具之情境，可假設基線淨溫室氣體移除量為零。

$$\Delta C_{BSL,t} = 0$$

2. 專案排放（碳匯之專案溫室氣體淨移除量）

(1) 碳匯之專案溫室氣體淨移除量，以第十年(即2021單年內)作為舉例，計算如下：

$$\begin{aligned}\Delta C_{ACTUAL,t} &= \Delta C_{P,t} - GHG_{E,t} - GHG_{fuel,t} \\ &= 62.92 - 0 - 0 \\ &= 62.92 \text{ t CO}_2\text{e}\end{aligned}\quad \text{式3}$$

專案邊界內碳庫在 t 年內的碳儲量總變化 ($\Delta C_{P,t}$) 計算方式同基線溫室氣體淨移除量式1，並將公式中代表基線情境之縮寫”BSL”替換為專案情境之縮寫”PROJ”。其中，在第十年(即2021單年內)的碳儲量總變化 ($\Delta C_{P,t}$) 計算如下。以下，以第十年(即2021單年內)作為舉例。

(a) 專案生物量碳儲存年變化量計算，如下：

在第十年(即2021單年內)的生物量碳儲存年變化量計算如式1。其中， $B_{PROJ,i,j,t}$ 使用《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》的估計值。

$$\begin{aligned}\Delta B_{MangrovePROJ,t} &= \sum_{ij} (A_{PROJ,i,j,t} \times B_{PROJ,i,j,t}) \\ &= 0.0017 \times 23.96 \text{ (水筆仔)} + 0.0061 \times 12.35 \text{ (五梨跤)} + 0.6420 \times 11.62 \text{ (海茄苳)} + 0.5037 \times 15.75 \text{ (欖李)} \\ &= 0.0407 + 0.0753 + 7.4600 + 7.9333 \\ &= 15.5094 \text{ t C /年}\end{aligned}\quad \text{式1}$$

由於本應用案例缺乏資料，無法使用式1-1-1、1-1-2計算，其餘年份生物量碳儲年變化量須由紅樹林生長曲線推估，不過紅樹林生長曲線研究尚為空缺，因此依照臺灣海茄苳紅樹林樹齡10年和40年的生物量碳儲年變化量估算(賴，2021；Lin et al, 2023)。將臺灣不同樹齡的海茄苳紅樹林除以單位面積樹密度，標準化單位面積樹密度為1 m²，樹齡10年的生物量碳儲量年變化為17.03 t C tree⁻¹ yr⁻¹、40年為8.96 t C tree⁻¹ yr⁻¹、75年為23.03 t C tree⁻¹ yr⁻¹、100年為5.32 t C tree⁻¹ yr⁻¹、120年為5.58 t C tree⁻¹ yr⁻¹(賴，2021；Lin et al, 2023)。其中，由於樹齡75年的紅樹林樣點為七股紅樹林保護區，現地潮汐良好且有許多鳥糞有機質，將其視為生長良好的特例而剷除。其餘紅樹林樹齡與生物量碳儲年變化量的趨勢可發現，如本專案邊界的紅樹林單位面積樹密度1.5 m²的情況下，10-40年間紅樹林每年約減少0.99 t CO₂e ha⁻¹ yr⁻¹，樹齡到55年後生物量碳儲年變化量才會持平。因此，依照保守估計本專案前10年紅樹林生物量碳儲年變化量每年遞增6.29 t CO₂e ha⁻¹ yr⁻¹，第11年至20年每年遞減0.99 t CO₂e ha⁻¹ yr⁻¹。

(b) 專案土壤碳儲存年變化量²⁴計算公式，如下：

²⁴ 此處 $aSOC_{i,j,t}$ 的估計值是使用《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》所彙整

$$\Delta SOC_{PROJ,t} = A_{PROJ,i,j,t} \times (aSOC_{i,j,t}) \quad \text{式3-1-1}$$

$$= 0.0017 \times 1.11 \text{ (水筆仔)} + 0.0061 \times 1.01 \text{ (五梨跤)} + 0.6420 \times 1.2 \text{ (海茄苳)} + 0.5037 \times 1.7 \text{ (欖李)}$$

$$= 0.0019 + 0.0062 + 0.7704 + 0.8563$$

$$= 1.6347 \text{ t C/年}$$

使用有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數 3.67，將 C 轉換為 CO₂e

$$(15.5094 + 1.6347) \times 3.67 = 62.92 \text{ t CO}_2\text{e}$$

(c) 專案邊界內非二氧化碳之溫室氣體排放量

本專案執行期間之內並無發生自然火災，且經由現地監測計畫並無達到海岸型濕地沉積物釋放條件，因此專案邊界內非二氧化碳之溫室氣體排放量為零。

$$GHG_{E,t} = GHG_{FF_TREE,t} + \sum_{i=1} GHG_{SED,i,t} \quad \text{式3-2}$$

$$GHG_{E,t} = 0$$

(d) 專案活動中化石燃料所產生的二氧化碳排放量

本專案執行期間之內，於2011年以及2013年有使用柴油貨車運輸紅樹林幼苗(表10)，屬於移動式排放源。CO₂ 排放係數 2.6060 (KgCO₂/L)²⁵引用環境保護署(今環境部)國家溫室氣體登錄平台「溫室氣體排放係數管理表6.0.4版」。2011年專案活動中化石燃料所產生的二氧化碳排放量，計算如下。

$$GHG_{fuel,t} = \sum_{j=1}^J ET_{FC,j,t} \quad \text{式3-3-3}$$

$$= \sum_{f=1}^F FC_{FC,f,j,t} \times EF_{CO2,f} \times NCV_f \quad \text{(直接法) 式3-3-3-1}$$

$$= (34.09 + 10.58)(L) \times 2.6060 \text{ (KgCO}_2\text{/L)} \times 10^{-3}$$

$$= 0.1164 \approx 0.12 \text{ t CO}_2\text{e}$$

以相同方式計算2013年專案活動中化石燃料所產生的二氧化碳排放量為0.03 t CO₂e；因此，專案活動中化石燃料所產生的總二氧化碳排放量為0.15 t CO₂e。

的臺灣本土研究數據。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的有機碳，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。此處土壤有機碳儲存年變化正值，即為土壤有機碳儲存量增加。

²⁵ IPCC 2006 年柴油 CO₂ 排放係數為 20.2 (kgC/GJ)

20.2× 碳氧化因子 1 × (44/12) × 1000 = 74,100

74,100 × 4186.8 × 10⁻⁹ × 10⁻³ = 3.10E-04

3.10E-04 × 熱值 8400.00 (Kcal/L) = 2.6060 (KgCO₂/L) = EF_{CO2,f} 排放係數

表 10 車輛運輸之油量

樹種	栽植日期	苗木來源	地點	來回總距離(公里)	用油量(升)
水筆仔	2011 年1 月22 日	臺北淡水河出海口	高雄中都濕地	344*2=688	34.09
	2013 年1 月22 日	高雄援中港溼地		13.3*2=26.6	2.64
五梨跤	2011 年1 月22 日	屏東大鵬灣		53.2*2=106.4	10.54
	2013 年7 月30 日	台南四鯤鯓		53.4*2=106.8	10.58
海茄苳	2011 年1 月22 日	屏東大鵬灣		-	
欖李	2011 年1 月22 日	屏東大鵬灣		-	
總計					57.85

(2) 洩漏

依據本方法學之適用條件，專案實施不會引起專案前農漁業活動之轉移，此外專案活動中運輸工具與燃油機械所造成之排放已歸於專案排放量之中。因此 $LK_t = 0$ 。

(3) 減量

專案活動所產生之人為溫室氣體淨移除量即人為溫室氣體之減量，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，如式4。以2021年作為計算舉例，如下。

$$\begin{aligned}\Delta C_{AR,t} &= \Delta C_{ACTUAL,t} - \Delta C_{BSL,t} - LK_t \\ &= 62.92 - 0 - 0 = 62.92 \text{ t CO}_2\text{e}\end{aligned}\quad \text{式4}$$

(三) 計入期計算摘要

單年期間	基線移除量 (公噸 CO ₂ e)	專案活動移除量 (公噸 CO ₂ e)	洩漏量 (公噸 CO ₂ e)	總移除量 (公噸 CO ₂ e)
2011年	0	-0.12	0	-0.12
2012年	0	6.28	0	6.28
2013年	0	12.54	0	12.54
2014年	0	18.87	0	18.87
2015年	0	25.16	0	25.16
2016年	0	31.45	0	31.45
2017年	0	37.75	0	37.75
2018年	0	44.04	0	44.04
2019年	0	50.33	0	50.33
2020年	0	56.63	0	56.63
2021年	0	62.92	0	62.92
2022年	0	61.93	0	61.93

2023年	0	60.93	0	60.93
2024年	0	59.94	0	59.94
2025年	0	58.94	0	58.94
2026年	0	57.95	0	57.95
2027年	0	56.96	0	56.96
2028年	0	55.96	0	55.96
2029年	0	54.97	0	54.97
2030年	0	53.98	0	53.98
2031年	0	52.98	0	52.98
總量	0	920.39	0	920.39

四、監測計畫

(一) 應被監測之數據與參數

以下表格為本專案活動於監測期間所需要監測的數據和參數，分別描述了如何實際收集，並提供詳細具體的資訊。

- (1) 本專案需記錄並提供資料以佐證水體不會釋放 CH_4 以及 N_2O ，監測數據，詳見附件4-1 樣區檢測點潮位基本資料。
- (2) 監測參數

數據/參數	$A_{i,j,t}$
數據單位	ha
描述	第 t 年之第 i 碳庫層的 j 物種面積
數據來源	GIS 測量
應用的數值	由○○公司栽種之樹種與面積紀錄
量測方法和程序	專案活動開始時，以 GIS 進行分層面積測量，於申請減量額度查證時核對數據，若面積或樹種改變應進行修正，並請查驗機構於查證時確認
監測頻率	應至少於三至十年監測一次，且應於每次查證時皆要有相關監測資料
QA/QC 程序	資料應至少保存至計入期結束後兩年
數據用途	以計算專案溫室氣體淨移除量，包含使用於式 1 及式 3-1-1
備註	-

(二) 抽樣計畫

依依《臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序》之研究方法執行調查工作。抽樣調查對象為2011 年高雄市政府栽種以及2013 年社團法人高雄市野鳥學會補植之四種紅樹樹苗（當時栽植規格為 $h \geq 20\text{cm}$ 苗木），現階段四種紅樹平均高度為1.4 - 1.6 公尺，水筆仔最低為1.2 公尺海茄苳最高可達2.1 公尺，2019 年9 月底現場進行現地調查時，由於水筆仔僅存5 株，因此並未針對水筆仔做調查，在計算使用層級2 之係數。於公園內針對紅樹林植物設置三處樣站（圖 11），分別為海茄苳調查站（ $22^{\circ}38'51.07''\text{N}120^{\circ}17'08.13''\text{E}$ ）、欖李調查站（ $22^{\circ}38'49.70''\text{N}120^{\circ}17'08.42''\text{E}$ ）、五梨跤的調查站（ $22^{\circ}38'48.55''\text{N}120^{\circ}17'03.89''\text{E}$ ），時間起自2019 年09 月01 日至2020年6 月30 日止。

(1) 樣區劃設

三處樣站分別畫設樣區為海茄苳 (5 m × 2 m)、欖李 (5 m × 2 m)及五梨跤 (20 m × 1 m)。

(2) 採樣時間

採樣期間自2019 年9 月至2020 年6 月，四種紅樹採樣均採集4 次樣本。4 次溫度資訊參考中央氣象局高雄氣象站所提供之氣溫資料。分別於秋季（第1 次: 2019 年9 月26-27 日）、冬季（第2 次: 2020 年1 月21-22 日）、春季（第3 次: 2020 年4 月27-28 日）、夏季（第4 次: 2020 年7 月23-24 日；8 月31-9 月1 日）、冬季（重複: 2020年12 月16 日），考慮愛河潮汐帳退潮、天氣以及人員調配等因素進行採樣與相關數據調查，調查結束後前往中興大學生命科學系實驗室與貴儀中心進行研究分析。

(3) 環境因子

現地監測的環境因子²⁶分別為（a）水質；（b）營養鹽。其中水質使用多參數綜合水質儀，於滿潮前1 個小時測量每個樣站水體溫度（Temperature）、鹽度（Salinity）、溶氧量（Dissolved oxygen, DO）及酸鹼值（pH）實驗期間各月平均氣溫及雨量值，取自中央氣象局高雄氣象站；營養鹽分析於各樣站現場以不透光褐色瓶採集，保冷帶回中興大學實驗室分析。

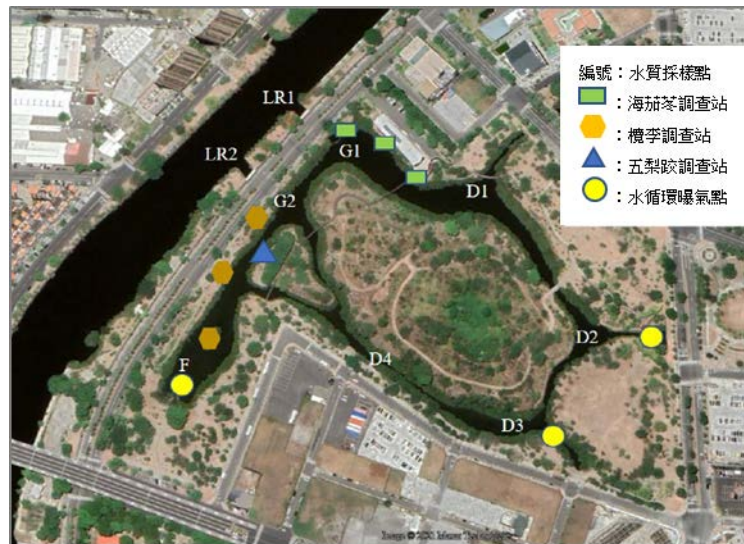


圖 11 調查樣區位置圖

(三) 監測計畫其他要素

1. 品質控制與品質保證（QA/QC）：可參考「2003年 IPCC 土地利用、土地利用變化及林業的良好作法指南（IPCC GPG-LULUCF 2003）」（IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, 2003）。
2. 秉持可量測、可報告、可查證（measurement, reporting and verification, MRV）原則：應確保實地測量結果據可靠性、核查樣地及其測量品質。

²⁶ 樣區檢測點潮位基本資料，詳見附件 4-1。

五、專案活動期程描述

(一) 專案活動執行期間

專案執行期限為 20 年。專案活動的「起始日」，係指本專案之減量措施已完成發包簽約之造林實施日期。

專案執行期限	20 年
起始與結束日期	2011 年起至 2031 年

(二) 專案計入期

專案「計入期」是指專案活動相對於基線情境額外產生溫室氣體減排量的時間區間，專案計入期以完成註冊日後（審議會通過）起計算。

計入期	20 年
是否延展	不延展
起始與結束日期	2011 年起始 2031 年結束

六、環境衝擊分析

對於環境衝擊分析，本專案評估了專案活動的實施對於當地生活環境、自然生態環境、社會經濟與人文環境以及景觀等四個項目的環境影響。假使專案活動的實施，可能造對上述四個項目造成重大之衝擊，則必須對衝擊進一步分析與評估。

項目	中項目	影響階段		影響程度	影響說明
		施工	完成		
生活環境	空氣污染	√		--	施工時可能會造成塵土飛揚
	水質影響	√		-	在施工階段可能會影響水質
			√	+	紅樹林具有淨化水質之功能
	噪音影響	√		-	施工期間可能會造成輕微噪音
自然生態環境	水文			×	水文主要是受愛河所影響
	土壤		√	++	提高碳匯量
	物種的生物多樣性	√		--	施工可能會影響原棲息於荒廢水域之物種，進而降低生物多樣性
			√	+	不同功能多樣性的生態區塊，有助於提高生物多樣性
	鳥類		√	++	可作為鳥類棲息地
	生態		√	++	原環境主為泥灘地，除了美化與綠化

					環境，亦重現河川棲地的面貌與紅樹林環境
社會 與 人 文 環 境	土地利用	√		-	在造林期間，栽植人員進出對沿線住家會造成輕微影響
			√	+	更有效的規劃了土地利用空間
	文化史蹟		√	++	重現愛河溪流生態與人文歷史
	社會結構		√	+	社區、學校、NGO 與企業參與經營管理，透過發展夥伴關係建立社區認同與凝聚向心力
	環境意識		√	++	具紅樹林展示教育性質，有助於提升環境意識
景觀	景觀美質		√	++	提高環境美感

+ + + ：重度負面影響 - - - ：重度負面影響
 + + ：中度負面影響 - - ：中度負面影響
 + ：輕度負面影響 - ：輕度負面影響
 × ：無影響

七、公眾意見描述

「文化高雄：中都濕地」公聽會。於民國 99 年 1 月 12 日（星期二）PM 14：00 在高雄市議會1樓中型會議室舉辦「文化高雄：中都濕地」公聽會。

八、附件

應檢附之文件包含：

- 一、專案執行相關單位基本資料(附表)
- 二、引用減量方法之適用性
- 三、外加性說明附件
- 四、事前推估減量之背景資訊
- 五、監測計畫之背景資訊
- 六、公開說明會照片與會議紀錄

附件1、專案執行相關單位基本資料

附表 1 專案執行相關單位基本資料

申 請 單 位			
單位名稱	○○公司		
統一編號			
單位地址			
聯絡人		聯絡電話	
電子郵件		傳真號碼	

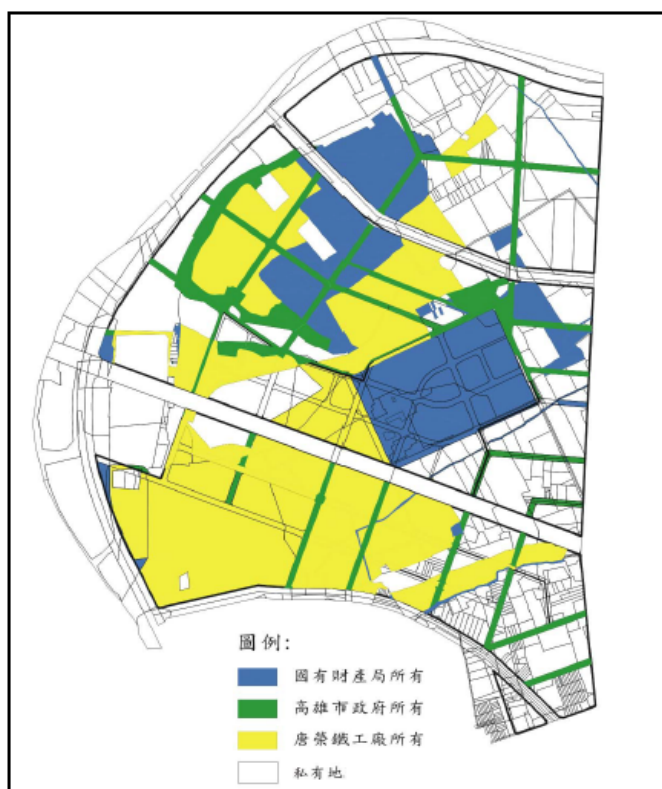
實 際 減 量 單 位			
單位名稱			
統一編號			
單位地址			
聯絡人		聯絡電話	
電子郵件		傳真號碼	

註：實際減量單位與申請單位相同者免填。

附件2、引用減量方法之適用性

附件2-1 土地所有權屬

所有權人	面積 (公頃)	比例 (%)
中華民國	10.3172	15.84
高雄市	7.0756	10.87
唐榮公司	20.6191	31.66
其他私有地	27.1063	41.63
合計	65.1182	100.00



附圖 1 土地所有權屬示意圖
(高雄市政府，2008)

附件3、外加性說明附件

- (1) 由於長期人為活動因素，導致專案邊界內紅樹林植被達到劣化之狀況條件難且難以自然恢復，符合「生態條件障礙」。



附圖 2 專案執行前

- (2) 監測計畫之技術，包含抽樣與環境因子檢測等，都必須額外培訓監測人員，因此符合「技術障礙」。



附圖 3 監測人員進行紅樹林水質採樣培訓

附件4、監測計畫之背景資訊 - 專案活動監測資料

附件4-1 樣區檢測點潮位基本資料

	溫度	鹽度	導電度	溶氧	溶氧%	酸鹼值pH	濁度
G1	27.9	15.6	22.5	2.56	32.5	7.53	10.2
	28.7	18.6	29.8	1.64	20.9	7.51	7.5
	28.8	18.7	30	1.99	25.9	7.57	7.1
G2	29.6	22.4	35.2	2.14	28.1	7.51	5.6
	30	25.6	39.8	2.15	32.4	7.54	5.4
	29.8	23.7	37.1	1.6	20.9	7.53	4.3
LR1	27.6	10.1	17.03	1.84	23.1	7.64	10.2
	27.6	10.3	17.27	1.4	18.6	7.65	10.3
	27.3	9.2	15.72	1.51	18.6	7.64	9.8
LR2	27.9	11	18.54	2.22	28	7.62	11.1
	27.8	10.7	18.07	1.84	23.3	7.61	9.4
	28.1	11.7	19.6	0.45	4.9	7.58	9.9
F	28.9	40	37	3.08	40	7.56	4.8
	28.9	29.8	36.8	2.33	29.8	7.54	5.4
	29.3	31.6	38.8	2.41	31.6	7.59	12.5
D1	29.9	25.1	39	4.54	60.1	7.6	3.4
	29.7	24.1	37.7	4.33	57.8	7.59	3.2
	29.6	24.2	38.1	3.91	53.5	7.57	3.3
D2	31	25	39.5	2.11	28.5	7.42	7.9
	31	24.8	39	1.99	26.8	7.44	6.7
	31	23.7	37.1	2.14	28.5	7.42	7
D3	30.8	25.6	40	2.78	37.2	7.45	4
	30.9	25.5	40	2.69	36	7.47	4.1
	31	25.6	40.2	2.45	33	7.44	4
D4	30.2	25.5	40	1.5	20.1	7.41	3.1
	30.2	25.5	39.9	1.59	21	7.42	3.3
	30.3	25.6	40.1	1.49	19.9	7.4	3.1

2019 秋季樣區檢測點高潮位基本資料							
	溫度	鹽度	導電度	溶氧	溶氧%	酸鹼值pH	濁度
G1	25.7	15	44.7	3.78	46.4	7.82	4
	25.7	15.5	44.8	3.86	47.1	7.83	12.2
	25.7	15.8	44.6	3.64	44.5	7.82	3.4
G2	25.8	15.7	38.6	2.52	30.6	7.69	7.9
	25.8	17.4	38.7	2.94	36.1	7.72	9.6
	25.8	14	38.6	3.65	44.6	7.74	8.5
LR1	25.9	6.4	32.7	4.09	50.3	7.73	8.4
	26	6.4	32.4	4	49.1	7.73	7.1
	25.9	6.2	32.6	4.41	54.2	7.74	4.1
LR2	25.9	6.9	32.8	3.84	47.8	7.71	3.7
	26.1	7	32.2	3.97	48.8	7.72	3
	26.1	7	32.2	4.42	53.6	7.72	6.3
F	26.14	16.8	28.1	10.94	153.6	8.31	9
	26.19	16.8	27.9	10.25	143.3	8.34	11.7
	26.19	16.8	28.1	10.66	142.3	8.33	10.7
D1	26.2	26.9	43.3	3.71	45.8	7.8	14
	26.1	27.1	43.1	3.7	45.8	7.79	13.8
	26.2	27.3	42.7	3.71	45.8	7.81	13.8
D2	26.9	21.3	35.6	5.55	69.6	7.85	9.1
	26.8	22	35.9	5.56	69.7	7.84	9.1
	27	22.2	35.7	5.56	69.5	7.88	9.2
D3	26.3	21.9	34.9	3.57	43.9	8.09	13.1
	26.3	22	35.1	3.53	43.7	8.11	13.1
	26.3	21.9	34.6	3.53	43.9	8.13	13
D4	26.3	24.2	37.8	7.06	87.7	7.93	13.2
	26.4	24.1	38.1	7.05	87.4	7.89	12.5
	26.4	24	38.1	7.02	87.1	7.93	12.7

2019 冬季樣區檢測點高潮位基本資料							
	溫度	鹽度	導電度	溶氧	溶氧%	酸鹼值pH	濁度
G1	25.7	15	44.7	3.78	46.4	7.82	4
	25.7	15.5	44.8	3.86	47.1	7.83	12.2
	25.7	15.8	44.6	3.64	44.5	7.82	3.4
G2	25.8	15.7	38.6	2.52	30.6	7.69	7.9
	25.8	17.4	38.7	2.94	36.1	7.72	9.6
	25.8	14	38.6	3.65	44.6	7.74	8.5
LR1	25.9	6.4	32.7	4.09	50.3	7.73	8.4
	26	6.4	32.4	4	49.1	7.73	7.1
	25.9	6.2	32.6	4.41	54.2	7.74	4.1
LR2	25.9	6.9	32.8	3.84	47.8	7.71	3.7
	26.1	7	32.2	3.97	48.8	7.72	3
	26.1	7	32.2	4.42	53.6	7.72	6.3
F	26.14	16.8	28.1	10.94	153.6	8.31	9
	26.19	16.8	27.9	10.25	143.3	8.34	11.7
	26.19	16.8	28.1	10.66	142.3	8.33	10.7
D1	26.2	26.9	43.3	3.71	45.8	7.8	14
	26.1	27.1	43.1	3.7	45.8	7.79	13.8
	26.2	27.3	42.7	3.71	45.8	7.81	13.8
D2	26.9	21.3	35.6	5.55	69.6	7.85	9.1
	26.8	22	35.9	5.56	69.7	7.84	9.1
	27	22.2	35.7	5.56	69.5	7.88	9.2
D3	26.3	21.9	34.9	3.57	43.9	8.09	13.1
	26.3	22	35.1	3.53	43.7	8.11	13.1
	26.3	21.9	34.6	3.53	43.9	8.13	13
D4	26.3	24.2	37.8	7.06	87.7	7.93	13.2
	26.4	24.1	38.1	7.05	87.4	7.89	12.5
	26.4	24	38.1	7.02	87.1	7.93	12.7

2019 秋季樣區檢測點低潮位基本資料							
	溫度	鹽度	導電度	溶氧	溶氧%	酸鹼值pH	濁度
G1	31.8	26.2	40.6	5.87	80.2	7.78	8
	31.9	25.8	40.1	6.18	83.9	7.76	7.8
	31.6	25.7	39.9	5.61	76.3	7.78	9.1
G2	31.1	25.2	39.2	5.38	72.5	7.7	3.6
	31.2	25.6	39.7	5.33	72.3	7.75	4.9
	31.3	26.2	40.6	5.12	69.5	7.76	4.7
LR1	30.8	18.3	29.3	3.88	52.9	7.66	9.2
	29.3	17.3	28.1	3.23	43	7.68	6.7
	30.7	18.4	29.9	2.53	54	7.63	9.3
LR2	31	15.4	25	5.08	68.6	7.68	8.5
	30.7	15.4	25	3.39	40.5	7.69	9
	30.7	15.6	25.4	3.04	40.7	7.66	8
F	32.6	26.7	41.1	2.6	63.1	7.6	8.4
	32.4	25.8	40	5.47	75.5	7.77	14.2
	32.5	26.5	40	5.26	73.3	7.68	16.6
D1	32	25.1	38.6	5.09	69.6	7.62	5.3
	32	24.4	38.4	5.03	68.5	7.63	4.2
	31.9	24.3	38.4	4.93	67	7.62	3.9
D2	32.2	25.2	39.1	5.82	80.1	7.7	9.8
	32.3	25.5	39.4	6.14	84.3	7.68	11.2
	32.2	25.4	40.1	7.25	99.6	7.67	9.5
D3	32.2	25.4	39.6	5.22	71.3	7.71	14.3
	32.2	25.3	40.1	5.26	72.1	7.71	15.9
	32.2	25.4	39.9	4.93	67.7	7.7	16.9
D4	32.2	27	42.1	4.11	56.5	7.56	15.1
	32.2	27	42	4.1	56.2	7.56	16.3
	32.1	27.1	42.1	3.89	53.5	7.58	17.8

2019 冬季樣區檢測點低潮位基本資料							
	溫度	鹽度	導電度	溶氧	溶氧%	酸鹼值pH	濁度
G1	25.5	24.7	38.8	3.84	46.5	7.71	8
	25.4	24.9	39.1	3.58	42.7	7.69	3
	25.3	25.2	39.5	3.48	42.2	7.69	2.4
G2	27.1	24.3	38.1	5.33	67	7.79	6.3
	27	23.9	37.6	4.87	61.1	7.77	6
	26.6	22.2	35.2	4.98	61.5	7.67	4
LR1	24.4	18.2	29.3	3.48	42.2	7.68	12.3
	24.6	18.6	30	3.45	41.4	7.65	13.4
	24.9	17.9	28.9	2.96	35.6	7.56	7
LR2	24.8	19.2	30.8	3.17	35.6	7.65	8.5
	24.8	18.9	30.5	2.95	38.2	7.65	8.2
	24.8	19.5	31.3	2.82	35.6	7.63	11.4
F	28.8	26.9	41.6	11	143.1	8.18	28
	29.2	26.9	41.7	11.2	146.1	8.18	20.3
	27.7	26.9	41.7	9.42	119.7	8.12	13.3
D1	25.5	24.7	39.2	2.05	25.6	7.57	10.1
	25.6	24.6	38.4	1.99	24.6	7.58	10.4
	25.6	24.7	38.6	1.96	24.2	7.57	10.3
D2	26.4	22.1	34.8	2.7	33.7	7.57	7.8
	26.4	21.5	34.6	2.66	33	7.58	7.9
	26.4	21.3	34.5	2.59	32.5	7.57	10.3
D3	24.7	18.7	25.4	1.88	22.6	7.78	20.8
	24.6	18.3	26.5	1.87	25.1	7.84	20.9
	24.6	17.7	25.5	1.9	22.7	7.84	21.2
D4	25.1	22.1	34.9	5.08	61.4	7.8	10.1
	25.1	22.3	35.1	5.13	62.7	7.84	10.2
	25.1	22.4	35	5.17	62.8	7.86	10.3

	溫度	鹽度	導電度	溶氧	溶氧%	酸鹼值pH	濁度
G1	28.3	27.3	42.3	5.87	75.4	7.87	9.3
	28.3	28	43.2	5.65	74.8	7.87	10.6
	28.4	29.7	45.6	5.77	74.4	7.87	8.8
G2	28.5	30	46	5.82	75	7.83	8
	28.2	28.5	44	5.37	69.1	7.8	8.5
	28.2	29.2	44.9	5.74	73.6	7.87	8.9
LR1	28.4	29.1	44.8	10.69	138.9	8.16	8.1
	28.5	29.3	45.1	10.05	133.4	8.15	5.8
	27.8	29.5	45.4	10.81	138.4	8.17	5.7
LR2	28.9	29.5	45.2	12.16	158.1	8.24	4.6
	28.8	29.5	45.4	12.09	157	8.24	4.8
	28.6	29.4	45.2	12.21	157.1	8.25	7.9
F	29	28.4	43.7	5.89	77.2	7.84	25.6
	29	28.6	44	5.84	76.6	7.85	26.7
	28.9	28.6	44.1	6.14	81.1	7.87	33.7
D1	28.3	26.3	43.3	7.21	88.6	7.97	13.1
	28.4	27	43.4	7.08	83.8	7.98	13
	28.4	27.4	42.8	6.93	83.1	7.98	13.2
D2	27.7	14.3	19.9	10.81	133.1	7.84	8.9
	27.7	13.8	18.7	10.58	132.1	7.83	8.8
	27.7	14.7	19.58	10.46	131.8	7.83	8.6
D3	29	27.9	43	6.25	82	7.95	9.3
	28	28	43.2	6.26	83.5	7.95	9.3
	28.9	28.1	42.6	6.2	85.2	7.96	9.3
D4	28.5	27.1	42.2	4.15	53.6	7.82	6
	28.5	27.1	42.1	4.77	58.6	7.84	5.9
	28.4	27.1	42.2	4.66	56.3	7.83	5.9

2020 春季樣區檢測點高潮位基本資料							
	溫度	鹽度	導電度	溶氧	溶氧%	酸鹼值pH	濁度
G1	30.4	28.7	43.7	11.91	158.6	8.29	14.5
	30.2	29	44.5	12.33	124.9	8.26	15.4
	30.1	27.6	42.6	5.52	151.4	8.3	15
G2	29.4	29.6	45.2	5.4	72.3	7.82	4.1
	29.5	29.5	45.3	5.05	70.4	7.85	4
	29.5	29.7	45.3	11.4	66.2	7.9	9
LR1	30.2	27.8	42.8	18.14	240.5	8.63	7.8
	30.3	29.2	43.5	14.97	198.4	8.53	8.4
	30.2	27.7	42.7	18.77	249.9	8.63	7.2
LR2	29.8	27.7	42.7	18.34	241	8.67	11
	30	28	43.2	19.47	257.1	8.64	8
	29.7	27.9	43.2	19.47	240	8.63	9
F	30.6	30.1	46	6.9	91.8	8.05	35.5
	30.4	30	46.2	4.05	51	8.03	37.5
	30.4	30	46.1	3.99	53.1	7.99	37.1
D1	30.8	28.8	41.2	16.84	229.4	8.55	16.6
	30.8	27.6	42	16.79	228.2	8.57	16.7
	30.8	29.5	41.7	16.85	230.1	8.59	16.6
D2	31.4	25.4	40	15.92	217.9	8.61	15.6
	31.4	25.5	40.2	15.99	217.8	8.61	15.3
	31.4	25.5	40.2	16.04	216.9	8.62	14.3
D3	29.7	26.3	41.2	7.67	96	8.44	8.5
	29.7	26.3	41.2	7.5	96	8.43	8.6
	29.7	26.3	41.2	7.44	95.7	8.41	8.8
D4	29.7	28.6	42.7	7.96	102.7	8.43	11.4
	29.7	28.7	43	7.96	105.1	8.43	11.4
	29.7	28.6	42.7	7.96	105.1	8.44	11.5

2020 夏季樣區檢測點高潮位基本資料							
	溫度	鹽度	導電度	溶氧	溶氧%	酸鹼值pH	濁度
G1	32.9	22.2	34.9	4.66	65.5	7.55	14.4
	32.8	22.1	34.8	4.69	65.3	7.56	13.1
	32.9	21.9	34	4.62	65.6	7.57	13
G2	33.4	21	33.2	4.06	57	7.58	15.1
	33.3	22.2	34.9	3.05	42.9	7.55	11.7
	33.3	22.9	35.9	3.81	53.2	7.6	10.8
LR1	32.5	12.8	21.1	3.26	45.7	7.93	10.4
	32.9	14.6	24.1	3.25	45.3	7.99	11.7
	32.9	14.1	23	3.24	45.1	7.96	10
LR2	33.1	13.6	22.7	4.8	66.9	7.58	9.3
	33	14.4	23.5	5.08	70.9	7.56	9.1
	33.2	14.6	23.8	4.18	58.3	7.53	10.2
F	34.3	22.6	35.4	2.58	36.2	7.29	7.6
	34.3	22.5	35.3	2.57	36.2	7.3	7.5
	34.2	22.6	35.4	2.55	35.9	7.32	7.4
D1	32.1	21.2	33.8	3.15	43.2	7.38	9.9
	32.5	21.1	33.7	3.55	48.8	7.49	8.1
	33	21.3	32.9	4	55.9	7.57	7.6
D2	31	14.6	24.1	4.23	56.9	7.69	12
	30.5	13	21.7	4.06	54.1	7.69	11.3
	30.5	12.2	20.4	3.84	51.1	7.71	11.1
D3	31.8	17.8	28.9	1.06	14.5	7.67	19.6
	31.7	18.9	30.4	0.57	7.8	7.6	18
	31.8	18.4	29.7	0.7	9.6	7.62	17.9
D4	31.8	21.9	34.9	2.95	40.4	7.53	7.3
	31.9	21.9	34.7	2.89	39.4	7.55	7.6
	32	22	35	2.74	37.4	7.56	8.6

2020 夏季樣區檢測點低潮位基本資料							
	溫度	鹽度	導電度	溶氧	溶氧%	酸鹼值pH	濁度
G1	33.2	23.2	36.3	4.83	67.9	7.53	12.6
	33	23.8	37.1	5.39	73.9	7.66	11.5
	33.1	24.1	37.5	5	69.8	7.71	13.6
G2	34.2	20.2	31.9	6.38	89.3	7.89	10.4
	34.3	20.3	32	5.63	82.6	7.81	7.2
	34.4	20.2	32	5.64	80.3	7.85	4.7
LR1	34	17	27.4	9.48	133.9	8.02	11
	34	17.4	27.9	9.06	128.5	8.09	8.7
	34	17.4	27.9	8.81	124.8	8.03	6.4
LR2	35.6	14	22.8	16.74	243.6	8.62	18.6
	35.6	13.8	22.6	17.91	277.4	8.71	18.4
	35.8	13.9	22.8	19.62	287.4	8.69	14.4
F	36.1	22.5	35.1	11.88	168.4	8.21	43.5
	37	21.8	34.2	7.91	112.7	8.23	36.9
	37.2	22.1	34.6	12.09	173.3	8.21	15.8
D1	33.8	17.2	27.3	7.23	107.1	7.62	6.3
	33.8	16.9	27.4	7.6	107.6	7.65	6.2
	33.8	16.8	27.2	7.86	110.5	7.66	5.8
D2	33.5	11.9	20.7	6.95	95	7.86	6.4
	33.6	11.4	21.3	6.42	88.3	7.87	6
	33.5	12.8	22.6	6.48	89.6	7.85	6.6
D3	33.7	16.7	26.6	8.93	125.6	7.89	7.9
	33.7	16.9	25.7	8.45	114.4	7.87	7.8
	33.8	16.8	25.4	8.67	122	7.82	7.7
D4	34	19.6	32	5.45	77	7.62	11.6
	34	19.7	31.9	5.45	76.9	7.59	11.6
	34	19.7	31.7	5.11	72.2	7.63	11.7

附件4-2 造林紀錄

2011 年1 月22 日	
五梨跤試種 (賴榮一攝)	水筆仔試種 (賴榮一攝)
	
2011 年2 月22 日	2011 年2 月13 日
欖李復育生長良好 (賴榮一攝)	海茄苳復育生長良好 (賴榮一攝)
	
2014 年3 月5 日	2014 年3 月5 日
欖李復育生長良好 (崔景攝)	海茄苳復育生長良好 (賴榮一攝)
	

2016 年1 月22 日	
欖李生長良好 (賴榮一攝)	海茄苳生長良好 (賴榮一攝)
	
五梨跤生長良好 (賴榮一攝)	水筆仔生長良好 (賴榮一攝)
	

附件5、公開說明會照片與會議紀錄



附圖 4 高雄中都濕地公園公聽會
(高雄市議會公共關係室，2010)

文獻

1. Bimrah, K., Dasgupta, R., Hashimoto, S., Saizen, I., & Dhyani, S. (2022). Ecosystem services of mangroves: A systematic review and synthesis of contemporary scientific literature. *Sustainability*, 14(19), 12051.
2. 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.
3. 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。
4. 高雄市政府(2008)。變更高雄市原都市計畫區(三民區部分)中都地區工業區及第四十二期重劃區主要計畫書(第一階段)
5. 中研院人社中心地理資訊科學研究專題中心(2023)。「1942-日治二萬五千分之一地形圖(昭和修正版)」圖層預覽。https://gis.sinica.edu.tw/showwmts/index.php?s=kaohsiung&l=JM25K_1942
6. 中研院人社中心地理資訊科學研究專題中心(2023)。「日治二萬分之一台灣堡圖-明治」。<https://gissrv4.sinica.edu.tw/gis/kaohsiung.aspx>
7. 國家文化資料庫(1975)。1959年林商號合板股份有限公司廠房內的貯木池。https://nrch.culture.tw/view.aspx?keyword=%E8%A8%98%E6%86%B6%E5%BA%AB&s=630534&id=0005028932&proj=MOC_IMD_001
8. 高雄市議會公共關係室(2010)。縣市合併應重視水域系統整治之整合。https://www.kcc.gov.tw/News_Content.aspx?n=47&s=2238

附件五 小規模減量方法：臺灣海草床復育方法學

小規模減量方法撰寫格式

減量方法封面應包含下列資訊：

TMS-L/II/III.000←僅由本署編列

小規模減量方法

臺灣海草床復育方法學

版本 01.0→僅由本署編列

範疇別： 16 其他

林幸助、呂佳宜

2023年11月

I. 減量方法提案緣起及背景

全球氣候變遷所產生的影響逐漸擴大，不僅影響生態環境，更緊密連動著人類的健康與全球經濟、社會發展。海草床是海洋生物熱點，是海洋生物棲息、繁殖和覓食的棲地。然而，由於自然與人為因素所造成海草床之破壞，導致全球性海草床面積縮減，而在各地陸續發起海草床的復育行動。雖然各地區之復育的主要原因有所差異，但不可忽視的是，海草床生態系統服務中「調節」功能之一，即是能作為儲存二氧化碳的碳匯（carbon sink）。自然碳匯此種以「自然為本的解方」（Nature-based Solutions, NbS）是成為達到淨零目標中，重要的負碳技術與途徑之一。依據聯合國之評估²⁷，全球海洋生物所捕獲（captured）和吸存（sequestered）的碳中，更有至少一半是儲存於海岸濕地或濱海藍碳生態系統之中。然而，目前聯合國清潔發展機制（Clean Development Mechanism, CDM）在「濱海藍碳生態系統」的方法學中，僅有具有「劣化紅樹林棲地的造林與植林」（Afforestation and reforestation of degraded mangrove habitats）（AR-AM0014）之方法學。

因此，本提案目的在於參考國際海草床認證方法，建立一套符合臺灣環境且具可執行性及品質之海草床棲地復育與減量方法學，以確保專案所產生外加性碳匯量可進行量測、報告、查證，並促進臺灣海草床復育專案的溫室氣體自願性減量專案之碳交易。

²⁷ Blue future: Coastal wetlands can have a crucial role in the fight against climate change. Nature, 2016, 529: 255–256.

II. 減量方法計算式設計概念

表一、本減量方法計算式設計概念

	計 算 式	說明及參採來源
(1)基線排放	$\Delta C_{BSL,t}$ $= \Delta C_{SeagrassBSL,t}$ $= \Delta B_{SeagrassBSL,t}$ $+ \Delta SOC_{BSL,t}$ $- GHG_{BSL,E,t}$	基線排放主要參酌 IPCC 方法與。
(2)專案排放	$\Delta C_{ACTUAL,t}$ $= \Delta C_{P,t}$ $- GHG_{PROJ,E,t}$ $- GHG_{fuel,t}$ $\Delta C_{P,t} = \text{計算方式同}$ 基線排放計算式	專案排放主要參酌 IPCC 方法。

III. 小規模減量方法(草案)

1. 介紹

表三為本減量方法的重要特性：

表二、減量方法重要特性

減量專案一般用法	本方法學旨在透過復育（restoring）海草床的專案活動，而達到專案邊界內移除量增加或排放量減少之目的。
溫室氣體減量類型	CO ₂ 減量

復育之專案活動預計透過下列方式以獲得溫室氣體減排量或移除量：（1）增加海草物種之生物量；（2）改變海岸濕地沉積物之釋放因子，進而減少二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亞氮（N₂O）等溫室氣體排放量。

2. 範疇、適用條件及生效日期

2.1 範疇

本方法學旨在透過復育（restoring）海草床的專案活動，進而達到專案邊界內移除量增加或排放量減少之目的。

2.2 適用條件

本方法學適用於海草床的復育與創造活動。使用本溫室氣體減量方法學必須滿足以下適用條件，若滿足本方法學之適用條件，則視為不會發生活動轉移之碳洩漏和市場洩漏：

- (1) 專案活動符合海草床復育。
- (2) 專案活動可以包含以下任一項或多項之組合：
 - (a) 復育；
 - (b) 改變鹽度；
 - (c) 改變水質；
 - (d) 重新引入臺灣原生海草物種。
- (3) 專案活動前的專案邊界需符合以下（a）、（b）、（c）條件之一，並提供可查證之佐證資料（例如法規、財務報表、市場研究、政府級別的研究、土地利用規劃報告或文件等）：
 - (a) 土地利用方式不會導致碳轉移至專案邊界之外。可透過以下方式之一進行佐證：
 - i. 專案活動開始前，該專案邊界已荒廢兩年以上；
 - ii. 不具商業利用價值與營利性，且基線情境不會進行生物量採集活動；
 - iii. 受強制性法規所規範禁止。
 - (b) 土地利用方式可能會導致碳轉移至專案邊界之外。此狀況不計算基線排放量，且不得具有新的人為活動造成海草床劣化（例如開闢新的漁業用地）或已受到強制性法規所規範禁止。
 - (c) 專案活動之計入期內，維持原本的土地利用方式（例如漁撈）。

本方法學不適用於以下情況：

- (1) 由於專案邊界與相鄰區域之水文的連通性，導致專案邊界內溫室氣體會產生顯著的變動。
- (2) 專案活動會導致地下水位降低。

此外，使用本方法學時，還須滿足相關步驟中的其他條件。

● 2.3 生效日期

生效日係以□□年□月□日「行政院環境保護署溫室氣體先期專案暨抵換專案審議會第□次會議」決議審核通過為準。

3. 名詞定義

出於本專案方法之目的，其相關名詞定義如下：

1. 海草床 (seagrass bed)：海草為沉水性的被子植物，海草床分布於全球熱帶和溫帶淺海域，是重要的濱海生態系之一。
2. 臺灣原生海草床物種：目前臺灣已確認的海草種類達 12 種，包括貝克氏鹽草 (*Halophila beccarii*)、毛葉鹽草 (*H. decipiens*)、卵葉鹽草 (*H. ovalis*)、正鹽草 (*H. major*)、泰來草 (*Thalassia hemprichii*)、圓葉水絲草 (*Cymodocea rotundata*)、鋸齒葉水絲草 (*C. serrulata*)、水韭菜 (*Syringodium isoetifolium*)、鐮葉叢草 (*Thalassiodendron ciliatum*)、線葉二藥草 (*Halodule pinifolia*)、單脈二藥草 (*H. uninervis*) 及甘草 (*Zostera japonica*)。
3. 碳庫 (carbon pool)：儲存在土壤、植被、水體和大氣等碳儲載體中可以吸收和釋放的碳，系統中所有碳庫總和形成碳儲量。
4. 碳儲量 (carbon stock)：藍碳生態系統中儲存的有機碳總量，特別指每公頃特定深度（通常是 1 公尺深）土壤的有機碳含量。碳儲量可包含一個或者多個碳庫的有機碳總量。本方法學統一以二氧化碳當量作轉換，單位為 $\text{t CO}_2\text{e ha}^{-1}$ 。
5. 碳匯 (carbon sink)：將二氧化碳或其他溫室氣體自排放單元或大氣中持續分離後，吸收或儲存之樹木、森林、土壤、海洋、地層、設施或場所。
6. 沿海濕地 (coastal wetland)：底質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，並生長有維管束植物。
7. 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)，包含枝、皮、種子、花、果實等。
8. 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 (dry matter)，包含粗根、細根等。
9. 劣化海草床 (degraded seagrass bed)：因自然或人為因素影響，導致海草床的物理、化學或

生物特性受到損害，進而減少了海草床的生物多樣性、土壤碳庫，或其他海草床生態系統功能，且難以自然恢復。

10. 海草床復育 (seagrass bed Restoration)：在劣化 (degraded) 或轉化 (converted) 的海草床中，重建 (re-establishing) 或改善其水文、鹽度、水質、沉積物供應、植被。
11. 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。
12. 基線情境：指在沒有植草專案活動時，最能合理代表專案邊界內土地利用及管理的情境。
13. 專案情境：指在擬定的海草床復育專案活動下的土地利用和管理情境。
14. 專案邊界 (project boundary)：係指擁有土地所有權或使用權的專案申請者 (project participants, PPs) 所實施專案活動之地理範圍。
15. 基線排放：指在沒有進行海草床復育專案活動之前，基線情境之下所產生的溫室氣體排放量。
16. 基線溫室氣體淨移除量：指在沒有專案活動時，專案邊界內未來溫室氣體排放量及移除量之和。
17. 專案溫室氣體淨移除量：指專案活動後，專案邊界內溫室氣體排放量及移除量之和。
18. 外加性：由於專案活動的實施，導致相比「基線情境」產生額外的溫室氣體之減量或移除量之增加量，其佐證方式包含法規性、投資性、障礙性、普遍性等分析。
19. 單位

中文	英文	縮寫
二氧化碳當量	carbon dioxide equivalent	CO ₂ e
噸	tonne	t
乾重	dry matter	d.m.
噸乾重	tonne dry matter	t d.m.
每公頃噸乾重	tonne dry matter per hectare	t d.m. ha ⁻¹
公頃	hectare	ha

20. 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>
碳洩漏量	leakage	<i>LK</i>
生物量	biomass	<i>B</i>
有機碳含量百分比	carbon fraction	<i>CF</i>
排放係數	emission factor	<i>EF</i>
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. 專案邊界與分層

(1) 專案邊界

專案活動之「專案邊界（project boundary）」係指，擁有土地所有權或使用權的專案申請者（project participants, PPs）所實施專案活動之地理範圍，其範圍可包含多筆分散之海草床棲地。專案申請者須使用現地調查或遙測資料、公開地形圖、土地所有權或政府相關單位核發的使用權證明，以便明確劃定專案範圍。在描述專案邊界時，必須提供以下資訊：

- (a) 專案邊界²⁸名稱（包含地名、經緯度座標²⁹）；
- (b) 區域地圖、標記³⁰；
- (c) 專案總面積；

²⁸ 應分為「專案前邊界」及「專案後邊界」，其「專案前邊界」係指專案設計與開發階段所訂定之計畫實施專案活動之邊界；「專案後邊界」係指專案活動之實際實施、監測所確認以及專案查核的專案邊界。

²⁹ 應以 TM2（二度分帶投影坐標）-TWD97（1997 臺灣大地基準）之格式書寫。

³⁰ 「專案前邊界」可採用下列建議之方式進行標記，包含（1）全球衛星定位系統（GPS）；（2）地理資訊系統（GIS）輔助之地理空間資料（航空照片圖或衛星影像圖）；「專案後邊界」則須以科學性之實地調查進行，輔以建議之方式進行標記。

(d) 土地所有權或政府相關單位核發的使用權證明；

(2) 分層採樣分析法

若專案邊界內生物量分布不均時，則應採取碳庫之「分層 (stratification)」採樣，以增加基線及專案活動期間碳匯估算的準確性。因此，應依據影響碳儲量的因素做為分層標準。碳儲量的影響因子包含植被種類、密度、土地利用方式、潛在的土地利用方式、土壤性質、地貌特徵（地質特徵、排水狀況）、距海遠近等（Hiraishi, 2014）。由於海草床會受不同光照與深度條件所影響，因此專案申請者可以透過明顯或相對陡峭的深度、基質變化及經營管理計畫，來將不同深度海草床區域的進行分層。分層可分為「事前分層」和「事後分層」。考量基線情境與專案情境可能具有不同的分層因子，其「事前分層」可再分為「基線事前分層」以及「專案事前分層」，分層之大小和數量應該綜合考慮精確度、所需時間和可利用資源三者的平衡。此外，對於海草床復育專案，專案申請者應量化受專案活動影響而產生的海草床擴展比例，而非直接種植或播種的結果。

5. 土地合格性

專案申請者須提供資料以證實專案邊界內海草床，於專案活動起始前（即基線情境）符合適用條件，得透過下列方式及文件進行專案活動起始前之情況證明，其優先順序為：（a）經碳匯查驗機構之實地調查。得輔以衛星影像、遙測技術、空中無人載具（Unmanned Aerial Vehicle）、水下無人載具（Remote Operated Vehicle, ROV）等分析，但不得³¹作為主要證明文件；（b）一年內國家級別之調查或清冊資料。

6. 碳庫及溫室氣體排放源之計算項目

(1) 碳庫

針對本專案之目的，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，因此考量保守性³²只計算地上部、地下部生物量（海草床植物體之生物量）及土壤有機碳庫。如果碳庫所增加或減少的碳儲量或溫室氣體釋放量小於專案活動產生的溫室氣體總移除

³¹ 利用衛星影像、遙測技術、空中無人載具等方式，尚具有侷限性與不確定性（Heumann, 2011；Howard et al., 2014；Pham et al., 2019）。

³² 專案申請者可依據實際資料的可取得性、成本有效性、保守性原則等，選擇是否計入碳庫。

量的 5%，則可忽略不計。專案申請者亦可以參考 CDM AR-Tool04 來判斷該碳庫是否可以忽略不計。

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	為專案活動影響的主要碳庫。
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實施而增加
枯落物 (Litter)	否	枯落物的生物量由於受到潮汐與海流的影響而導致高周轉率 (turnover) 和流失 (displacement)。因為專案活動不會顯著改變枯落物的堆積率，故保守性作法是將此碳庫排除在核算之外。
土壤有機碳 (Soil organic carbon)	是	碳庫中的碳儲量預計會受專案活動的實施而增加。

(2) 溫室氣體排放源

溫室氣體排放源包含，微生物、海岸型濕地沉積物的釋放，以及化石燃料的使用。由於正常情況下臺灣海草床之環境難以達到發生自然野火的條件，且臺灣在造林作業規範，不採取人為引火焚燒方式對林地進行清除或管理，因此自然火災並非海草床主要的溫室氣體釋放項目。在基線情境下，CH₄ 和 N₂O 的排放量可以依據保守性原則設為零。如果專案申請者能證明相較於基線情境，專案情境下的 CH₄ 或 N₂O 排放量並未增加，則這些溫室氣體排放量亦可不計算。

表五、溫室氣體釋放項目

來源		氣體	是否採用	理由/解釋
基線	沉 積 物 的釋放	CH ₄	是	專案活動若包含改變鹽度應計入。海水水體鹽度 < 18 的情境應計入，若未達到條件則可不計。
		N ₂ O	是	專案活動若包含改變水質應計入。使得海水水體達到≥中度優養化等級 ³³ 應計入，若未達到條件則可不計。
	化 石 燃 料	CO ₂	是	在基線情境中可以依保守性排除。
		CH ₄	否	在基線情境中可以依保守性排除。
		N ₂ O	否	在基線情境中可以依保守性排除。
專案	沉 積 物 的釋放	CH ₄	是	專案活動若包含改變鹽度應計入。海水水體鹽度 < 18 的情境應計入，若未達到條件則可不計。
		N ₂ O	否	專案活動若包含改變水質，依據適用條件不得於專案期施以氮肥，但若海水水體達到≥中度優養化等級應計入。
	化 石 燃 料	CO ₂	是	復育作業中，運輸和機具移動是潛在的主要排放源。
		CH ₄	否	在專案中，並非主要的排放源。
		N ₂ O	否	在專案中，並非主要的排放源。

³³ 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。

7. 專案期與計入期

專案申請者必須明確說明專案活動的「起始日」、「計入期」和「專案期」，並針對擇訂之日期進行說明。其中，專案活動的「起始日」，係指本專案之減量措施已完成招標程序、已完成發包簽約或建造完成之日期，起始時間不得早於西元○○年○月○日（本專案公告日期）；「計入期」是指專案活動相對於基線情境額外產生溫室氣體減排量的時間區間，專案計入期以完成註冊日後（審議會通過）起計算；計入期之限制則依據「溫室氣體自願減量專案管理辦法」。

8. 基線情境鑑定與外加性證明

「基線情境」係指專案活動起始前，實際之土地利用方式及狀況。得依據以下建議方式佐證，其佐證之優先順序為如下：（1）經碳匯查驗機構之實地調查、（2）國家級別土地利用情況的記錄資料。得輔以土地所有者或使用者在擬議專案運行期間有關土地管理或土地投資的計劃做為佐證資料。

「外加性」(Additionality)即係指實施本專案活動下所增加的生態系統碳儲量(專案情境)，扣除未實施復育計畫下的生態系統碳儲量(基線情境)，所產生的外加性碳儲量。為達到本專案增加碳匯之目的，專案申請者應評估並提供專案活動有助於增加海草床棲地之碳匯量證明。專案申請者須提供與「外加性」證明相關的資料、原理、假設、理由和文本，並由主管機關認可的獨立第三方查證機構進行可信度評估。外加性之規範，需符合「溫室氣體自願減量專案管理辦法」。

9. 基線排放

「基線情境」係指專案活動起始前，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，專案邊界內碳庫的總碳儲量變化之和。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。

(1) 基線溫室氣體淨移除量計算公式

依據所選擇之碳庫，計算各基線(BSL)碳庫層之海草床碳儲量的年度總變化量，即為基線海草床碳儲量的年變化量($\Delta C_{Seagrass_BSL}$)。

$$\Delta C_{BSL,t} = \Delta C_{Seagrass_BSL,t}$$

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

參數	定義	單位
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年（未實施專案活動）之碳匯的基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{Seagrass_{BSL,t}}$	t 年之基線海草床碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$\Delta B_{Seagrass_{BSL,t}}$	t 年之基線海草床生物量碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$\Delta SOC_{BSL,t}$	t 年之土壤碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$GHG_{BSL,E,t}$	在專案邊界的非 CO ₂ GHG 排放量	t CO ₂ e
t	專案執行之年份，t=1,2,3...	yr

A. 基線生物量碳儲存年變化量計算公式

依據所選擇之碳庫與劃分之碳庫層，透過所復育之海草床物種面積與其碳儲存年增加量，計算各基線（BSL）碳庫層之海草床碳儲量的年度總變化量，即為基線海草床碳儲量的年變化量（ $\Delta C_{Seagrass_BSL}$ ）。

$$\Delta B_{Seagrass_{BSL,t}} = \sum_{ij} (A_{BSL,i,j,t} \times \Delta B_{BSL,i,j,t}) \times 3.67 \quad \text{式1-1}$$

參數	定義	單位
$\Delta B_{Seagrass_{BSL,t}}$	t 年之基線海草床生物量碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$A_{BSL,i,j,t}$	t 年之基線第 i 碳庫層 j 物種的面積	ha
$\Delta B_{BSL,i,j,t}$	t 年之基線第 i 碳庫層物種 j 之單位面積海草床生長之碳儲存年增加量	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
3.67	有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數 ³⁴	-
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-

³⁴ 係數 3.67 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）。

j	海草床物種，j = 1,2,3...	-
t	專案執行之年份，t = 1,2,3...	yr

專案申請者可以依據下列1-1-1或1-1-2式，擇一來估算單位面積海草床生長之碳儲存年增加量（ $B_{BSLi,j,t}$ ），公式使用之優先順序為1-1-1、1-1-2。

$$\Delta B_{BSLi,j,t} = (\Delta B_{AB,i,j,t} \times CF_{AB,i,j,t} + \Delta B_{BB,i,j,t} \times CF_{BB,i,j,t}) \quad \text{式1-1-1}$$

參數	定義	單位
$B_{BSLi,j,t}$	t 年之基線第 i 碳庫層物種 j 之單位面積海草床生長之碳儲存年增加量	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
ΔB_{AB}	海草床地上部生物量平均年生長量（乾重）	t d.m. ha ⁻¹
CF_{AB}	海草床地上部有機碳含量百分比	%
ΔB_{BB}	海草床地下部生物量平均年生長量（乾重）	t d.m. ha ⁻¹
CF_{BB}	海草床地下部有機碳含量百分比	%
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-
j	海草床物種，j = 1,2,3...	-
t	專案執行之年份，t = 1,2,3...	yr

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

參數	定義	單位
$\Delta B_{AB,i,j,t}$	海草床地上部生物量平均年生長量（乾重）	t d.m. ha ⁻¹
$R_{BSLi,j,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層物種 j 的根莖比，即地下部生物量與地上部生物量比值	-
$CF_{BSLi,j,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層之海草床有機碳含量百分比（%）	%
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-
j	海草床物種，j = 1,2,3...	-

t	專案執行之年份，t=1,2,3...	yr
---	--------------------	----

B. 基線土壤碳儲存年變化量計算公式

本專案提供專案申請者兩個子公式（ $aSOC_{i,j,t}$ ）、（ $dSOC_{i,j}$ ）及一個參數（ EF_{Siols} ），以計算土壤有機碳儲量的年變化量（ ΔSOC_{BSL} ），使用之優先順序為 $aSOC_{i,j,t}$ （式1-2-1）³⁵、 $dSOC_{i,j}$ （式1-2-2）、 EF_{Siols} ，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，估算如下：

$$\Delta SOC_{BSL,t} = A_{BSL,i,j,t} \times (aSOC_{i,j,t} \text{ 或 } dSOC_{i,j} \text{ 或 } EF_{Siols}) \times 3.67$$

式1-2

參數	定義	單位
$\Delta SOC_{BSL,t}$	t 年之基線土壤有機碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$A_{BSL,i,j,t}$	t 年之基線第 i 碳庫層 j 樹種的面積	ha
$dSOC_{i,j}$	海草床土壤有機碳儲量的變化率	t CO ₂ e
$aSOC_{i,j,t}$	海草床自源性土壤碳儲存年增加量	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
EF_{Siols}	海草床土壤碳排放係數。目前僅有重建植被再濕潤土地有排放係數(EF)估計值 0.43。	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
3.67	有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數	-

$$aSOC_{i,j,t} = DA_{AB,i,j} \times W_{LI_AB,i,j} + DB_{BB,i,j} \times W_{LI_BB,i,j}$$

式1-2-1

參數	定義	單位
$aSOC_{i,j,t}$	海草床自源性土壤碳儲存年增加量	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
$DA_{AB,i,j}$	海草床地上部碎屑年增加量	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹

³⁵ 基於保守性原則 $aSOC_{i,j,t}$ 僅計算自源性土壤碳，並未計入外源性土壤碳；而 $dSOC_{i,j}$ 、 EF_{Siols} 則包含外源性土壤碳，因此使用之優先順序為 $aSOC_{i,j,t}$ 、 $dSOC_{i,j}$ 、 EF_{Siols} 。

$W_{LI_AB,i,j}$	海草床地上部碎屑分解剩餘量百分比	%
$DB_{BB,i,j}$	海草床地下部死亡細根年增加量	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
$W_{LI_BB,i,j}$	海草床地下部死亡細根分解剩餘量百分比	%

$$dSOC_{i,j,t} = SEC_{i,j} \times SBD_{i,j} \times CF_{Soils,i,j} \quad \text{式1-2-2}$$

參數	定義	單位
$dSOC_{i,j}$	海草床土壤有機碳儲量的變化率	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
$SEC_{i,j}$	海草床地表高程年變化量	cm yr ⁻¹
$SBD_{i,j}$	海草床土壤總體密度	g cm ⁻³
$CF_{Soils,i,j}$	海草床土壤有機碳含量百分比	%

C. 基線非二氧化碳之溫室氣體排放量

$$GHG_{BSL,E,t} = \sum_{i=1} GHG_{SED,i,t} \quad \text{式1-3}$$

參數	定義	單位
$GHG_{BSL,E,t}$	在專案邊界的非 CO ₂ GHG 排放量	t CO ₂ e
$GHG_{SED,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層的海岸型濕地沉積物排放量	t CO ₂ e

專案活動若包含改變海岸濕地沉積物溫室氣體排放因子之專案活動，包含改變鹽度及水質，應現地測量 CH₄ 和 N₂O 之排放量，並計入海岸濕地沉積物之溫室氣體排放量。依據 IPCC 之暖化潛勢（GWP）將非二氧化碳之溫室氣體轉換為二氧化碳當量（CO₂e）。除專案活動之外，專案申請者應考量下列情境狀況，鑑別是否應計入 CH₄和 N₂O 之排放量：

- 鹽度為0至18度時，應考慮計入 CH₄之排放量；鹽度高於18度時，則可不計入 CH₄。
- 專案邊界若海水水體<中度優養化等級，則可不計入 N₂O。

$$GHG_{SED,i,t} = A_{i,t} \times (GHG_{CH_4,i,t} \times GWP_{CH_4} + GHG_{N_2O,i,t} \times GWP_{N_2O})$$

式1-3-1

參數	定義	單位
$GHG_{SED,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層的海岸濕地沉積物排放量	t CO ₂ e
$A_{i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層的土地面積	ha
$GHG_{CH_4,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層的 CH ₄ 排放量	t CO ₂ e
$GHG_{N_2O,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層的 N ₂ O 排放量	t CO ₂ e
GWP_{CH_4}	CH ₄ 的全球暖化潛勢，估計值為 27.9	-
GWP_{N_2O}	N ₂ O 的全球暖化潛勢，估計值為 273	-
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-
t	專案執行之年份，t = 1,2,3...	yr

10. 專案排放

專案實施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，即專案所增加之碳儲量。

(1) 專案溫室氣體淨移除量 (ΔC_{ACTUAL})

估算專案溫室氣體淨移除量 (ΔC_{ACTUAL}) 之方式為將專案邊界內各碳庫中碳儲量之總和 (即，專案邊界內碳庫在 t 年內的碳儲量總變化， $\Delta C_{P,t}$)，扣除受專案活動而產生的非 CO₂ 溫室氣體排放量 ($GHG_{PROJ,E,t}$) 以及在專案邊界內使用化石燃料的排放量 ($GHG_{fuel,t}$)。

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

參數	定義	單位
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	第 t 年之碳匯的實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{P,t}$	第 t 年之選定碳庫中碳儲量的總變化，計算方法同基線溫室氣體淨移除量 ($\Delta C_{BSL,t}$)。撰寫專案時，專案申請者應留意將公式中代表基線情境之縮寫” BSL” 替換為專案情境之縮寫” PROJ”	t CO ₂ e
$GHG_{PROJ,E,t}$	實施 A/R 專案活動之第 t 年，在專案邊界內的非 CO ₂ GHG 排放量，計算方法同基線非 CO ₂ GHG 排	t CO ₂ e

	放量 ($GHG_{BSL,E,t}$)。撰寫專案時，專案申請者應留意將公式中代表基線情境之縮寫” BSL” 替換為專案情境之縮寫” PROJ”	
$GHG_{fuel,t}$	t 年內由於實施 A/R 專案活動，在專案邊界內使用化石燃料的排放量。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

(2) 專案活動中化石燃料所產生的二氧化碳排放量

專案活動中，使用石化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。

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

參數	定義	單位
$GHG_{fuel,t}$	t 年內由於實施 A/R 專案活動，在專案邊界內使用化石燃料的排放量	t CO ₂ e
$ET_{FC,j,t}$	第 t 年之 j 類車輛/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
j	車輛/機具設備之類型	-
J	車輛/機具設備之類型總數	-

其中， $ET_{FC,j,t}$ 的估算具有直接法與間接法等兩種方法，其中間接法公式中參數選擇的優先順序

為 $(n \times \frac{MT_{j,t}}{TL_{j,t}} \times AD_{j,t})$ 、 $(NV_{j,t} \times TD_{j,t})$ 、 $(MT_{j,t} \times TD_{j,t})$ ：

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

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

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

(間接法 - 移動式) 式2-1-2

$$= \sum_{f=1}^F NE_{j,t} \times TU_{j,t} \times SECU_{j,f,t} \times EF_{CO2,f} \times NCV_f \quad \text{(間接法 - 固定式) 式2-1-3}$$

參數	定義	單位
$ET_{FC,j,t}$	第 t 年之 j 類車輛/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
$FC_{FC,f,j,t}$	第 t 年，車輛/機具設備類型 j 消耗的燃料類型 f 量	質量或體積 單位/年
$EF_{CO_2,f}$	燃料類型 f 的二氧化碳排放係數	t CO ₂ / GJ
NCV_f	燃料類型 f 的淨熱值	GJ/ 質 量 或 體積
n	回程負載（return load）的指標 ³⁶	-
$MT_{j,t}$	年度 t 內車輛類型 j 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）來替代	公噸
$TL_{j,t}$	第 t 年之車輛類型 j 的載重能力（load capacity）	公噸
$AD_{j,t}$	第 t 年之車輛類型 j 的平均單程距離	公里
$NV_{j,t}$	第 t 年之車輛類型 j 的數量	-
$TD_{j,t}$	第 t 年之車輛類型 j 的總行駛距離（包括返程）	公里
$SECK_{i,f,t}$	第 t 年之車輛類型 j 對於燃料 i 的特定能耗	燃料量/公里
$NE_{j,t}$	第 t 年之機具設備類型 j 的數量	-
$TU_{j,t}$	第 t 年之機具設備類型 j 的總使用時間	小時
$SECu_{j,f,t}$	第 t 年之機具設備類型 j 對於燃料 f 的特定能耗	燃料量/小時

³⁶ 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。

f	燃料之類型 (fuel types)	-
F	燃料之類型總數	-

11. 洩漏

依據本方法學之適用條件，若滿足本方法學之適用條件，則視為不會發生活動轉移之碳洩漏和市場洩漏，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。

12. 減量

專案活動所產生之人為溫室氣體淨移除量即人為溫室氣體之減量，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。

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

參數	定義	單位
$\Delta C_{AR,t}$	實施海草床復育專案活動而產生的人為溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	第 t 年之碳匯的實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年(未實施專案活動)之碳匯的基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
LK_t	第 t 年之洩漏所產生之溫室氣體排放量，依據本方法學適用條件可視為零	t CO ₂ e

12.1 預設數據與參數說明(視必要)

數據與參數表1

參數	$R_{BSL,i,j,t}$
單位	-
應用公式	1-1-2

描述	海草床根莖比，即地下部與地上部比例								
說明	使用資料來源的優先順序： (a) 使用現地 SET 之調查資料 (b) 使用當地區域或相似生態條件之 SET 調查資料 (c) 使用具代表性之 SET 調查資料 (d) 估計值（林幸助與陳冠宇，2023） <table border="1"> <tr> <th>氣候區</th><th>R</th></tr> <tr> <td>熱帶</td><td>1.7</td></tr> <tr> <td>亞熱帶</td><td>2.4</td></tr> <tr> <td>溫帶</td><td>1.3</td></tr> </table>	氣候區	R	熱帶	1.7	亞熱帶	2.4	溫帶	1.3
氣候區	R								
熱帶	1.7								
亞熱帶	2.4								
溫帶	1.3								
其他說明									

數據與參數表2

參數	$aSOC$
單位	$t\ C\ ha^{-1}\ yr^{-1}$
應用公式	1-2-1
描述	海草床自源性土壤碳儲存年增加量
說明	使用資料來源的優先順序： (a) 使用現地地表高程監測系統（surface elevation table，簡稱 SET）之調查資料 (b) 使用當地區域或相似生態條件之 SET 調查資料 (c) 使用具代表性之國家級的資料（如溫室氣體盤查資料）
其他說明	-

13. 監測方法

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監測資訊，並依據相關標準進行監測程序，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：

- (1) 證明專案滿足本方法學適用條件之佐證資料與說明；
 - (2) 計算選擇公式、碳庫與碳儲量之材料、數據與說明；
 - (3) 計算專案邊界內碳排放和洩漏之材料、數據與說明。
1. 專案活動之監測：專案申請者須對專案執行期間所有專案活動進行監測或文字紀錄與說明，以及與溫室氣體排放有關之活動進行監測與紀錄。
 2. 監測頻率：專案樣區的監測頻率為至少三至十年監測一次，且每次查證時皆須要有資料。
 3. 精準度要求：
 - (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。
 - (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)³⁷，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；(b) 層級2 國家特定資料的關鍵係數；(c) 層級1使用 IPCC 預設的排放係數。
 4. 樣區設置與監測：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)、《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》。

³⁷ 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。

14. 參考文獻

- (1) 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).
- (2) Heumann, B. W. (2011). Satellite remote sensing of mangrove forests: Recent advances and future opportunities. *Progress in Physical Geography*, 35(1), 87-108.
- (3) 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.
- (4) Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E.(2014). Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses.
- (5) 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).
- (6) 林幸助與陳冠宇 (2023) 。《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》。
- (7) 林幸助、陳渭中(2021) 。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。

附件六 小規模減量方法：臺灣海草床復育方法學—馬公重
光海草床之碳匯專案計畫書

環境部溫室氣體計畫型抵換專案計畫書格式

(第3.1版)

一、計畫型抵換專案計畫書格式說明

- (一) 本格式旨在協助專案申請者完成計畫型抵換專案計畫書（以下簡稱專案計畫書）。
- (二) 業者欲向本署提出計畫型抵換專案註冊，及請查驗機構進行專案計畫書確證時，應依本署最新版格式提出完整的專案計畫書格式撰寫。
- (三) 若專案計畫書內任何一章節不適用於該專案，應於該章節說明理由。
- (四) 在專案計畫書中有關年份或期間之描述，請以民國年展現。
- (五) 在專案計畫書中的數值表示方式，包括用於計算排放減量/移除量的數值，應以國際標準格式來表示，例如1,000表示一千和1.0表示一。使用重量單位時，為確保報告內容的透明和清晰，應註明其相當的國際標準單位(例如公噸、公升)和定額規範(例如千萬、百萬)，並以科學記號表示較大的數值，(例如一百萬等於 10^6 ，以及十億等於 10^9)。
- (六) 在專案計畫書中以經緯度座標標記專案執行地點時，請以實際減量發生之工廠(廠)公司、或機構(關)之大門所在位置之座標為主。請參考二萬伍仟分之一地形圖、伍仟分之一航照圖、或具有 GPS 定位功能之電子設備，針對其大門正中央所在位置進行座標定位，並以 TM2(二度分帶投影坐標)-TWD97(1997台灣大地基準)格式填寫。倘以 TM2-TWD67格式進行定位，應以下列公式轉換為 TM2-TWD97格式填寫。倘 TWD67座標為(X67, Y67)，則 TWD97座標依下列公式計算：TWD97座標:(X97 = X67+ 828, Y97 = Y67- 207)

二、專案計畫書涵蓋內容說明

(一) 專案計畫書應包含下列資料：

- | | |
|-----------|----------------|
| (1)專案活動描述 | (2)減量方法描述及應用說明 |
| (3)外加性分析 | (4)減量或移除量計算說明 |
| (5)監測計畫 | (6)專案活動期程描述 |
| (7)環境衝擊分析 | (8)公眾意見描述 |

(二) 專案申請者應提送完整的專案計畫書，連同相關附件，交予本署審查通過之查驗機構確證該專案活動。

計畫型抵換專案計畫書封面應包含下列資訊：

馬公重光海草床之碳匯專案計畫書	
版本：_____	製作日期：_____年____月____日

專案活動所屬之 方案型專案	☐ 本專案活動屬_____ 方案型專案之子專案 ☒ 不適用
申請單位	○○公司
引用的減量方法 和其範疇別	臺灣海草床復育方法學 範疇別： 16 其他
年平均移除量估 計值	4.1758 t CO ₂ e

馬公重光海草床之碳匯計畫書

一、專案活動之一般描述

(一) 專案名稱

專案活動名稱：馬公重光海草床之碳匯專案活動

表 1 版本與修訂紀錄表

版本	日期	修訂內容摘要

減量方法範疇別：類別14：造林與植林。

(二) 專案參與機構描述

表 2 專案參與機構描述

參與機構名稱	參與單位性質	角色說明
中興大學生命科學系	教學研究機構	專案開發者與執行者
澎湖海洋生物研究中心	研究機構	專案合作者與執行者
澎湖縣政府農漁局	政府部門	專案補助者

(三) 專案活動描述

1. 專案活動目的

本專案對澎湖縣馬公重光進行海草床復育。總體目標期望是透過增加海草物種生物量進行海草床之復育，進而提高澎湖縣馬公重光在海草床生態系統服務上之價值，並因應 2023年 2月 15日公布之《氣候變遷因應法》第四條，國家溫室氣體長期減量目標為 2050年（中華民國 139年）達成溫室氣體淨零排放，運用海草床吸收二氧化碳的能力，為溫室氣體排放量問題發揮「調適」功能。個別目標如下：

- (1) 改善與營造已劣化的海草床棲地，以達到海洋資源永續的目標；
- (2) 增加漁業資源及未來種苗放流之選擇；
- (3) 強化海洋環境教育。

2 專案活動地點與環境描述

(1) 專案活動地點

本專案活動地點為澎湖縣馬公市重光里海岸的「海草保護區」(X104472.7796, Y2609931.2198)。其保護區由重光里海域 a (X104265.7850, Y2610067.8752)、b (X104657.9691, Y2609940.2216)、c (X104634.0030, Y2610033.1902) 三點緯度座標(TM2-TWD97)所連接之範圍水域。

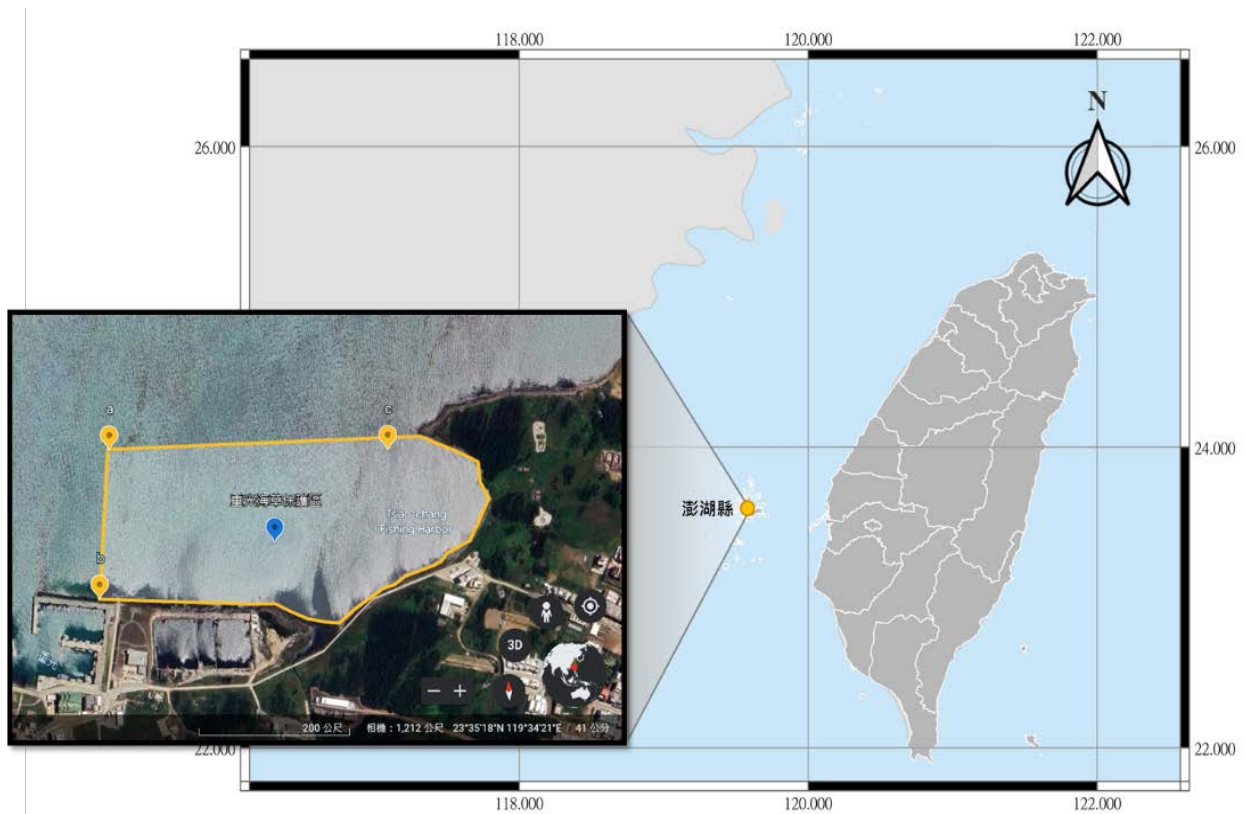


圖 1 專案活動位置圖

(2) 環境描述

本專案活動地點澎湖縣馬公市重光里淺坪海岸（澎湖縣內海）「海草保護區」（2013年原稱為「重光海草復育示範區」）。

澎湖群島位居臺灣海峽中央，大小之散佈島嶼共計64 座。由於北回歸線穿越，屬於亞熱帶氣候區。全年的平均溫度為23.5 度，以1月均溫16.9 度最低，7 月均溫28.7 度最高（澎湖縣馬公市所，2016）。此外，澎湖由於位於季風標準區域且缺乏地形屏蔽，而具有強勁的季風與風速；其風速自10月後自翌年1月都維持在6m/s（澎湖縣政府，2023）。依據冼等人(2011)之澎湖海草的分類與分布之調查，共紀錄到3科5屬7種之海草，水蘗科鹽草屬的毛葉鹽草（*Halophila decipiens*）、卵葉鹽草（*H. ovalis*）；粉絲藻科粉絲藻屬的鋸齒葉水絲藻（*Cymodocea serrulata*）、針葉藻屬的水韭菜（*Syringodium isoetifolium*）；二藥草屬的線葉二藥草（*Halodule pinifolia*）、單脈二藥草（*H. uninervis*）；甘草科矮甘草屬的甘草（*Nanozostera japonica*）及甘藻科矮甘藻屬的甘藻（*Nanozostera japonica*）。其中，本專案活動地點重光海域底質表層以粗砂為主，沙層下則含有大小不一珊瑚碎屑，並有許多無脊椎生物棲息於其間（謝與冼，2018）；日夜潮差大，約1 公尺（林，2019）。

澎湖縣馬公市重光里位在火燒坪以北，原稱為「後窟潭」。重光威靈殿（又稱後窟潭威靈殿）後方到透港（航道名）之間，此海域之舊名被稱為「蝦埕」、「蝦草埕」（圖2），是由於在海水退潮時，會露出一大片俗稱「蝦草」的「卵葉鹽藻」及「線葉二藥藻」而得名（郭，2002）。隨著受氣候變遷、碼頭航道的開挖與疏濬、耙具採貝、海岸線水泥化、廢水排放之汙染等因素之影響，使本區底土嚴重流失，並使海草床逐漸劣化與流失。2014年7月13日澎湖縣政府農漁局邀請水試所澎湖漁業生物研究中心及社區民眾進行會勘，發現原有的海草床已不復見，且底土流失嚴重，近岸處岩盤與礫石外露，使可供海草床生長的面積嚴重萎縮。除了破壞到海洋生物食物來源，進而衝擊到沿岸漁業結構與降低海洋生物多樣性，亦造成了二氧化碳的釋放。

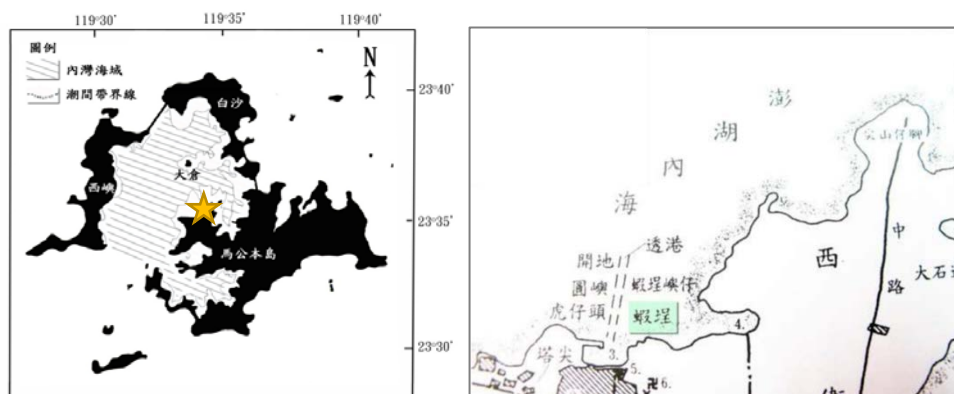


圖 2 重光淺坪海域舊名為「蝦埕」（郭，2002）

3 資金來源說明

專案活動地點自2014年起依澎湖縣政府農漁局之相關委託研究計畫辦理，包含2015年「澎湖內海潮間帶棲地劣化改善與監測」、2019年「澎湖海域礁區覆網調查暨覆網清除驗證及潮間帶棲地劣化調查計畫」中重光海草床復育部分。

4 專案活動對永續發展的貢獻

健康的生態系統能夠提供健全的「生態系統服務」(Ecosystem Services)，包含「支持」、「供給」、「調節」及「文化」等功能。健康的海草床生態系統亦能提供廣泛的生態系統服務，將其與聯合國在2015年所提出的17項永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDGs)進行對比，最少會與其中3項SDGs具有密切的關聯性，包含SDG 12 負責任的消費和生產、SDG 13 氣候行動、SDG 14 海洋生態。

本專案活動於澎湖縣馬公市重光里海岸進行海草床復育之移植，其專案活動所產生之「海草床生態系統服務」功能，包含如下：(1)「支持」，提供作為魚、蝦、螺貝類與棘皮動物等棲地與覓食場所；(2)「供給」，具有經濟或食用價值的魚、蝦和螺貝類，可作為漁業資源；(3)「調節」，海草植物體經由光合作用所吸收並固定大氣中二氧化碳屬於自然碳匯(carbon sink)，海草床亦有海岸保護、淨化水質等功能；(4)「文化」，提供人們自然的育教娛樂場所並助於身心健康。因此，可提供下列永續發展的貢獻，包含：SDG 13 氣候行動，其次為SDG 3 良好健康和福祉、SDG 4 優質教育、SDG 6 淨水與衛生、SDG 12 負責任的消費和生產、SDG 11 永續城市與社區、SDG 14 海洋生態等目標(表3)。

表 3 「海草床生態系統服務」功能對 SDGs 的貢獻

SDGs	理由
SDG 3 良好健康和福祉	海草床具有淨化水質的功能，能降低水汙染；且透過自然環境之旅遊與娛樂，有助於促進心理健康。
SDG 4 優質教育	持續邀請民眾與學童參海草環境教育與移植活動，有助於促進永續發展。
SDG 6 淨水與衛生	海草床具有淨化水質的功能。
SDG 11 永續城市與社區	海草床在重光里海岸具有文化意義，透過復育海草床有助於保護重光里的文化。
SDG 12 負責任的消費和生產	實踐自然漁業資源的永續管理與利用，並透過邀請社區民眾參與復育活動，促進對自然漁業資源永續的認知與意識。
SDG 13 氣候行動	海草床屬於自然碳匯，具有吸收並固定大氣中二氧化碳的能力，有助於減緩和調適氣候變遷所帶來的衝擊。
SDG 14 海洋生態	本專案活動透過海草床復育，有助於恢復海草床生態系統。

5 預期減量成果

單年期間	年排放減量/移除量估計值 (單位：公噸 CO ₂ 當量)
2014年	0
2015年	4.1758
2016年	4.1758
2017年	4.1758
2018年	4.1758
2019年	4.1758
2020年	4.1758
2021年	4.1758
2022年	4.1758
2023年	4.1758
2024年	4.1758
2025年	4.1758
2026年	4.1758
2027年	4.1758
2028年	4.1758
2029年	4.1758
2030年	4.1758
2031年	4.1758
2032年	4.1758
2033年	4.1758
2034年	4.1758
總移除量估計值 (單位：公噸 CO ₂ 當量)	83.516
計入期總年數	20
計入期平均移除量估計值 (單位：公噸 CO ₂ 當量)	4.1758

註：本專案為應用案例，專案申請者之「監測頻率」應至少在一至三年監測一次。

6 若為小規模專案，應論證其專案活動並非屬大規模專案之拆解活動

依據 CDM「小規模拆解評估規範(4.1版本)」(Assessment of debundling for small-scale project activities)，第五節方法程序，第 5.1 條如果已註冊的小規模清潔發展機制(CDM)專案活動，或已提出另一項註冊申請的小規模 CDM 專案活動符合以下條件，則擬議之小型專案活動將被視為大規模專案之拆解活動：

(1) 有相同的專案申請者(project participants)；(2) 屬於相同的專案類別和技術/措施；(3) 在過去 2 年內已註冊；以及(4) 其專案邊界與擬議的小規模活動之最近點距離在專案邊界的 1 公里以內。由於本專案活動不符合上述條件，因此並非屬大規模專案之拆解活動。

(四) 專案活動之技術說明

1. 實施技術

實施技術分為兩部分，包含海草床復育技術、監測計畫技術。

(1) 海草床復育技術

海草床復育技術，包含物種選擇、植株來源、試種與移植作業等。海草床生態系由於和一般陸域生態系不同，移植前應先考量生育地特性，如：物種、溫度、底質、深度、水文、鹽度等。2014 年於重光開始進行海草試種，分別於2015及2019 年進行海草移植。

(2) 監測計畫技術

專案需培訓監測人員，以執行復育環境評估與調查之程序、監測海草移植後覆蓋率變化。

2. 具體措施

(1) 栽植方式與選種

栽植方式是使用對環境較友善的「根狀莖法」(Rhizome method)，將混合植株在通梁具沙質地的亞潮帶(subtidal zone)淺坪海域進行海草無性生殖的復育，澎湖海洋生物研究中心並開發可回收的 U 型環強化移植海草的固定(圖3)。根狀莖是選擇每根具有3 植株以上海草，其移植密度為每10 平方公分移植1 根狀莖。所使用的海草植株是採集自大倉灣，由澎湖海洋生物研究中心以人工移植所形成的海草床作為植株來源。栽植的混合植株物種為單脈二藥草(Halodule uninervis)，甘草(Nanozostera japonica)及卵葉鹽草(Halophila ovalis)(照片於附件3-3)。

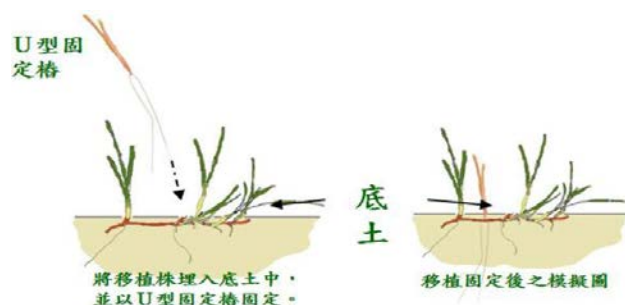


圖 3 使用 U 型環固定移植海草之模擬圖

(2) 試種與移植

2014 年8 月開始進行海草試種，物種為單脈二藥草（*Halodule uninervis*）及卵葉鹽草（*Halophila ovalis*），試種總面積為0.2 平方公尺。2015 年移植總面積31.5 平方公尺，其中包含於5 月將海草床移植活動結合環境教育，於移植區帶領文光國小及興仁國小辦理「為小小魚兒種一畝田-海草移植活動」。經觀察、判斷海草存活情形，於2019 年3 月間進行4 次計畫性的海草移植，分別種了1,200 株（12 m²）、1,500 株（15 m²）、1,800 株（18 m²）及1,500 株（15 m²），共計種植了6,000 株（60 m²），其物種為物種為單脈二藥草（*Halodule uninervis*），甘草（*Nanozostera japonica*）及卵葉鹽草（*Halophila ovalis*），物種照片詳見附件3-3。此外，為減少海草在移植後被人為活動耙除之風險，將專案邊界分為兩區域（分別為 C-1 區移植27 m²及 C-2 區移植33 m²）。

表 4 試種記錄（2014.08）

栽植日期	物種	物種來源	總栽植面積	2021年生長狀況
2014 年8 月	單脈二藥草	大倉灣	0.2 m ²	生長良好， 面積擴增 340 m ²
	卵葉鹽草			

表 5 移植記錄（2015.08-2021）

區域	日期(年)	移植作業次數	密度	總株數	總面積(m ²)		海草種類 ³⁸		
					栽植	至2021年擴增	甘	單	卵
A	2014	1	1株/10cm ²	20	0.2	340	55%	35%	10%
B	2015	5	(100株/m ²)	3,150	31.5	180			
C	2019	4		6,000	60	1600			
C-1	-	-		-	27	-			
C-2	-	-		-	33	-			

³⁸ 表格中，「單」代表：單脈二藥草（*Halodule uninervis*）；「甘」代表：甘草（*Nanozostera japonica*）及「卵」代表：卵葉鹽草（*Halophila ovalis*）。而百分比則代表移植數比例。

(3) 經營管理方式

2013 年澎湖縣政府農漁局公告馬公市重光里潮間帶海域為「重光海草復育示範區」，禁止在復育示範區內使用小鋤頭或耙具採捕貝類而破壞海草床。隨後，於 2022 年10 月1 日將「海草復育示範區」公告修正為「海草保護區」並調整其範圍（圖4）。



圖 4 澎湖縣政府農漁局公告

(4) 監測計畫技術

除了對海草復育區進行環境評估、調查之外；專案活動執行後，由於初移植時易受生物或海流的擾動脫落，且基於方法學應量化受專案活動影響而產生的海草床擴展比例，為了解「海草移植後覆蓋率變化」，使用 50m 穿側線紀錄所移植海草區域的覆蓋率。

二、減量方法適用性及外加性分析描述

(一) 專案活動採用之減量方法

1. 環境部「臺灣潮汐濕地與海草床復育方法學」（版本）
2. UNFCCC CDM「小規模拆解評估規範」（第4.1版）（“Assessment of debundling for small-scale project activities ,Version 04.1”）

(二) 適用條件與原因

本專案活動符合環境部「臺灣潮汐濕地與海草床復育方法學」（版本）減量方法，於表7 陳列本專案活動符合減量方法的每項適用性條件，以證明減量方法之選擇。

表 7 適用條件與原因表

項次	減量方法之適用條件	本專案活動之適用原因
1.	專案活動符合海草床復育。	本專案活動屬於海草床復育。
2.	專案活動包含以下任一項或多項之組合：	本專案活動屬於（d）重新引入臺灣原生海草物種。

	(a) 復育； (b) 改變鹽度； (c) 改變水質； (d) 重新引入臺灣原生海草床物種；	
3.	專案活動前的專案邊界需符合以下(a)、(b)、(c)條件之一，並提供可查證之佐證資料（例如法規、財務報表、市場研究、政府級別的研究、土地利用規劃報告或文件等）。	本專案符合(c)專案活動之計入期內，維持原本的土地利用方式。
項次	減量方法之不適用情況	本專案活動之適用原因
5.	由於專案邊界與相鄰區域之水文之聯通性，導致專案邊界內溫室氣體產生顯著的變動。	本專案並不會由於專案邊界與相鄰區域之水文之聯通性，導致專案邊界內溫室氣體產生顯著的變動。
6.	專案活動會導致地下水位降低。	本專案活動不會導致地下水位降低。

(三) 專案邊界及土地合格性

1. 專案邊界

專案執行之地名為澎湖縣馬公市重光里「海草保護區」，經緯度座標(TM2-TWD97)為(X104472.7796, Y2609931.2198)。其規劃區域土地產權屬於澎湖縣政府。專案邊界之區域依據試種到移植之年份進行分區，分為A區至C區（包含子區域C-1及C-2）。其「專案前邊界」採用全球衛星定位系統(GPS)進行標記；「專案後邊界」以科學性之現地調查進行(圖5)。「專案後邊界」之總面積151.7平方公尺，其誤差未超過「專案前邊界」總面積平方公尺的±5%（表6）。

表 6 專案活動邊界之各區域

區域	面積（平方公尺）			經緯度座標
	栽植年份	專案前邊界	專案後邊界	
A	2014 年	0.2 m ²	0.2 m ²	23°35'12.25N 119°34'19.85E
B	2015 年	32 m ²	31.5 m ²	23°35'12.81N 119°34'18.27E
C	2019 年	60 m ²	60 m ²	-
C-1		25 m ²	27 m ²	23°35'12.81N 119°34'18.27E
C-2		35 m ²	33 m ²	23°35'12.04N 119°34'21.84E

註：「專案前邊界」係指專案設計與開發階段所訂定之計畫實施專案活動之邊界；「專案後邊界」係指專案活動之實際實施、監測所確認以及專案查核的專案邊界。因此，「專案前邊界」並無海草床植被，表格中「專案前邊界」之海草面積為預計栽植面積；「專案後邊界」之海草面積則為實際栽植面積。

(1) 碳庫



圖 5 專案邊界之區域

本專案採用「臺灣潮汐濕地與海草床復育方法學」（版本）減量方法，以下表明確敘述產生減排量/移除量之範疇界定，並描述為了計算專案排放和基線排放而被納入該專案邊界之碳庫、溫室氣體排放源。

表 7 計入的碳庫與其溫室氣體

	碳庫	氣體	是否被納入?	說明
基線	地上部生物量 (above-ground biomass)	CO ₂	是	為專案活動影響的主要碳庫。但若專案活動實施前，地上部生物量之碳儲量變化不顯著則可忽略不計。
	地下部生物量 (below-ground biomass)	CO ₂	是	碳儲量預計會受專案活動的實施而增加。但若專案活動實施前，地下部生物量之碳儲量變化不顯著則可忽

	碳庫	氣體	是否被 納入?	說明
專案活動				略不計。
	枯落物 (Litter)	CO ₂	否	因為專案活動不會降低枯落物的堆積率，故保守性作法是將此碳庫排除在基線核算之外。
	土壤有機碳 (Soil organic carbon)	CO ₂	是	碳儲量預計會受專案活動的實施而增加。但若專案活動實施前，土壤有機碳之碳儲量變化不顯著則可忽略不計。
	地上部生物量 (above-ground biomass)	CO ₂	是	為專案活動影響的主要碳庫。
	地下部生物量 (below-ground biomass)	CO ₂	是	碳儲量預計會受專案活動的實施而增加。
	枯落物 (Litter)	CO ₂	否	因為專案活動不會降低枯落物的堆積率，故保守性作法是將此碳庫排除在專案核算之外。
	土壤有機碳 (Soil organic carbon)	CO ₂	是	碳庫中的碳儲量可能會受專案活動的實施而增加。

(2) 溫室氣體排放源

表 8 計入的溫室氣體排放源項目

排放源		氣體	是否被 納入?	說明
基線	沉積物的釋放	CH ₄	是	專案活動若包含改變鹽度應計入。海水水體鹽度 < 18 的情境應計入，若未達到條件則可不計。
		N ₂ O	是	專案活動若包含改變水質應計入。使得海水水體達到>中度優養化等級應計入，若未達到條件則可不計。
	化石燃料	CO ₂	是	在基線情境中可以依保守性排除。
		CH ₄	否	在基線情境中可以依保守性排除。
		N ₂ O	否	在基線情境中可以依保守性排除。
專案活動	沉積物的釋放	CH ₄	是	專案活動若包含改變鹽度應計入。海水水體鹽度 < 18 的情境應計入，若未達到條件

排放源		氣體	是否被納入?	說明
	放			則可不計。
		N ₂ O	是	專案活動若包含改變水質，依據適用條件不得於專案期施以氮肥，但若海水水體達到≥中度優養化等級應計入。
	化石燃料	CO ₂	是	復育作業中，運輸和機具移動是潛在的主要排放源。
		CH ₄	否	在專案中，並非主要的排放源。
		N ₂ O	否	在專案中，並非主要的排放源。

(3) 分層採樣

本專案之分層現象主要取決於栽植及經營管理計畫，分層可分為「事前分層」和「事後分層」。由於基線情境之海草床已劣化且專案活動保留了基線原有的植被，因此不進行「事前分層」。「事後分層」則是依據不同海草床物種進行分層，藉由計算不同的樹種的碳儲量，以增加海草床碳匯移除量的準確性。

2. 合格性

專案活動實施前，主要底質表層主要屬於粗砂，沙層下則含有大小不一珊瑚碎屑，狀況符合劣化海草床棲地；佐證資料以澎湖縣政府農漁局2015 年之委託研究計畫「澎湖內海潮間帶棲地劣化改善與監測」之國家級別紀錄資料，作為土地利用方式及情況之佐證。

(四) 基線情境之選擇與說明

本專案活動地區位於澎湖縣馬公市重光里淺坪海岸（澎湖縣內海）「海草保護區」。重光里原稱為「後窟潭」。重光威靈殿後方到透港之間，此海域在海水退潮時，會露出一大片俗稱「蝦草」的「卵葉鹽藻」及「線葉二藥藻」。依據澎湖海洋生物研究中心近數十年的觀察與記錄，澎湖重光海草床已有明顯萎縮的現象，亟待復育。因此，重光海域難以自然恢復海草床生態系，符合劣化海草床棲地之條件。本專案活動預計在「海草保護區」，透過重新引入臺灣原生海草床物種，來增加海草的生物量，進而復育海草床，符合方法學專案活動的適用條件。基線情境為 2014年8月海草試種前，以澎湖縣政府農漁局2015 年之委託研究計畫「澎湖內海潮間帶棲地劣化改善與監測」之國家級別紀錄資料，作為土地利用方式及情況之佐證。

(五) 外加性之分析與說明

依循環環境部抵換專案制度小規模減量方法對外加性之規範，需符合法規外加性及障礙分析四擇一

（投資障礙、技術障礙、普遍性障礙或其他障礙）。而依據 2018年 12月 27日環境部公布的「溫室氣體抵換專案管理辦法修正草案總說明」第七條第二項第三款辦理，即符合「溫室氣體每年總減量小於或等於二萬公噸二氧化碳當量者」，專案得僅分析法規外加性，且得免除環境衝擊分析及公眾意見。以下依序提出本專案活動具有外加性之佐證說明（照片詳見附件2）：

1. 「法規外加性」

本專案活動符合國家現有的任何法律、法規、政策措施，及相關技術規範。截止至 2023年 8月，國內法規並未對海草床復育活動要求進行溫室氣體排放減量/移除量技術。

2. 「障礙分析（Barrier Analysis）」

本專案活動地點由於長期人為活動與自然因素，導致專案邊界內海草床劣化且難以自然恢復，符合「生態條件障礙」。且在監測計畫之技術，包含海草床復育技術與監測計畫技術等，都必須額外培訓監測人員，因此符合「技術障礙」。

3. 「普遍性分析」

本專案擬議的專案活動於 2014年在澎湖並沒有相似規模的海草床復育活動，亦為臺灣截止於2023年9月唯一的海草復育區，因此本專案活動並非普遍存在。

三、減量/移除量計算說明

(一) 減量/移除量計算描述

2. 所引用減量方法之計算公式描述

(1) 基線排放

(a) 基線溫室氣體淨排放量（ GHG_{BSL} ），計算如下：

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

參數	定義	單位
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年（未實施專案活動）之碳匯的基線溫室氣淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{SeagrassBSL,t}$	t 年之基線海草床碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$\Delta B_{SeagrassBSL,t}$	t 年之基線海草床生物量碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$\Delta SOC_{BSL,t}$	t 年之土壤碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$GHG_{BSL,E,t}$	在專案邊界的非 CO ₂ GHG 排放量	t CO ₂ e
t	專案執行之年份，t = 1, 2, 3...	yr

(b) 基線生物量碳庫之淨排放量

$$\Delta B_{SeagrassBSL,t} = \sum_{ij} (A_{BSL,i,j,t} \times \Delta B_{BSL,i,j,t}) \times 3.67 \quad \text{式1-1}$$

參數	定義	單位
$\Delta B_{SeagrassBSL,t}$	t 年之基線海草床生物量碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$A_{BSL,i,j,t}$	t 年之基線第 i 碳庫層 j 物種的面積	ha
$\Delta B_{BSL,i,j,t}$	t 年之基線第 i 碳庫層物種 j 之單位面積海草床生長之碳儲存年增加量	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
3.67	有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數 ³⁹	-
i	基線之碳庫層，i = 1,2,3...	-
j	海草床物種，j = 1,2,3...	-
t	專案執行之年份，t=1,2,3...	yr

(c) 基線土壤碳儲存年變化量計算公式

$$\Delta SOC_{BSL,t} = A_{BSL,i,j,t} \times aSOC_{i,j,t} \times 3.67 \quad \text{式1-2}$$

參數	定義	單位
$\Delta SOC_{BSL,t}$	t 年之基線土壤有機碳碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$A_{BSL,i,j,t}$	t 年之基線第 i 碳庫層 j 樹種的面積	ha
$aSOC_{i,j,t}$	海草床自源性土壤碳儲存年增加量	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
3.67	有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數	-

(d) 基線非二氧化碳之溫室氣體排放量

$$GHG_{BSL,E,t} = \sum_{i=1} GHG_{SED,i,t} \quad \text{式1-3}$$

參數	定義	單位
$GHG_{BSL,E,t}$	在專案邊界的非 CO ₂ GHG 排放量	t CO ₂ e
$GHG_{SED,i,t}$	第 t 年之第 i 碳庫層的海岸型濕地沉積物排放量	t CO ₂ e

(2) 專案排放

(a) 專案溫室氣體淨移除量，計算如下：

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

參數	定義	單位
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	第 t 年之碳匯的實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e

³⁹ 係數 3.67 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)。

$\Delta C_{P,t}$	第 t 年之選定碳庫中碳儲量的總變化，計算方法同 線溫室氣體淨移除量（ $\Delta C_{BSL,t}$ ）。撰寫專案時，專 案申請者應留意將公式中代表基線情境之縮寫”BS 替換為專案情境之縮寫”PROJ”	t CO ₂ e
$GHG_{PROJ,E,t}$	實施 A/R 專案活動之第 t 年，在專案邊界內的非 CO ₂ GHG 排放量，計算方法同基線非 CO ₂ GHG 排 放量（ $GHG_{BSL,E,t}$ ）。撰寫專案時，專案申請者應 意將公式中代表基線情境之縮寫”BSL”替換為專案 境之縮寫”PROJ”	t CO ₂ e

(a) 專案化石燃料使用之排放量

專案情境中由於車輛和機具設備使用石燃料所產生之排放量（ GHG_{PROJ_fuel} ），是二氧化碳潛在的重
要排放源，因此必須計入。

$$GHG_{PROJ_fuel} = - \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I GHG_{PROJ_fuel,i,t} \quad \text{式2-3}$$

$$GHG_{PROJ_fuel,i,t} = \sum_{j=1}^J ET_{FC,j,t} \quad \text{式2-3-1}$$

參數	定義	單位
GHG_{BSL_fuel}	專案情境中，至 T 年之化石燃料的淨排放量	t CO ₂ e
$GHG_{BSL_fuel,i,t}$	基線情境中分層 i 在第 t 年，化石燃料之 GHG 排 量	t CO ₂ e
$ET_{FC,j,t}$	第 t 年之 j 類車輛/機具設備其化石燃料燃燒所產 的二氧化碳排放量	t CO ₂ e
j	車輛/機具設備之類型	-
J	車輛/機具設備之類型總數	-
I 和 i	分層，i = 1,2,3...I 層	-
T 和 t	專案執行之年份，t = 1,2,3...T 年	yr

$$= \sum_{f=1}^F FC_{FC,f,j,t} \times EF_{CO2,f} \times \sum_{j=1}^J ET_{FC,j,t} \quad \text{(直接法) 式2-1-1}$$

參數	定義	單位
$ET_{FC,j,t}$	第 t 年之 j 類車輛/機具設備其化石燃料燃燒所產 的二氧化碳排放量	t CO ₂ e
$FC_{FC,f,j,t}$	第 t 年，車輛/機具設備類型 j 消耗的燃料類型 量	質量或體積單 年
$EF_{CO2,f}$	燃料類型 f 的二氧化碳排放係數	t CO ₂ / GJ

NCV_f	燃料類型 f 的淨熱值	GJ/質量或體積
f	燃料之類型 (fuel types)	-
F	燃料之類型總數	-

(3) 洩漏

依據方法學之適用條件，若滿足方法學之適用條件，則視為不會發生活動轉移之碳洩漏和市場洩漏，即 $GHG_{LK}=0$ 。

(4) 減量

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

參數	定義	單位
$\Delta C_{AR,t}$	實施海草床復育專案活動而產生的人為溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	第 t 年之碳匯的實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年（未實施專案活動）之碳匯的基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
LK_t	第 t 年之洩漏所產生之溫室氣體排放量，依據本方法學適用條件可視為零	t CO ₂ e

7 所引用之預設數據與參數說明

數據與參數表1

參數	$\Delta B_{BSL,i,j,t}$
單位	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
應用公式	1-1
描述	t 年之基線第 i 碳庫層樹種 j 之單位面積海草長生長之碳儲存增加量
說明	本專案引用《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》

數據與參數表2

參數	aSOC
單位	t C ha ⁻¹ yr ⁻¹
應用公式	1-2
描述	海草床自源性土壤碳儲存年增加量

說明	使用資料來源的優先順序： (d) 使用現地地表高程監測系統 (surface elevation table，簡稱 SET)之調查資料 (e) 使用當地區域或相似生態條件之 SET 調查資料 (f) 使用具代表性之國家級的資料（如溫室氣體盤查資料）
其他說明	本專案引用《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》

(二) 減量/移除量計算

1. 基線排放

本專案活動執行前邊界之海草床已劣化且專案活動保留了基線原有的植被，且基線情境碳庫所增加或減少的碳儲量或溫室氣體釋放量小於專案活動產生的溫室氣體總移除量的 5%，則可忽略不計。

$$\Delta C_{BSL,t} = 0 \quad \text{式1}$$

2. 專案排放

(1) 專案溫室氣體淨移除量，計算如下：

$$\begin{aligned} \Delta C_{ACTUAL,t} &= \Delta C_{P,t} - GHG_{PROJ,E,t} - GHG_{fuel,t} \\ &= 4.5667 - 0 - 0.3909 = 4.1758 \text{ t C/年} \end{aligned} \quad \text{式2}$$

(a) 專案生物量碳庫之淨移除量

$$\begin{aligned} \Delta B_{SeagrassPROJ,t} &= \sum_{ij} (A_{PROJ,i,j,t} \times \Delta B_{PROJ,i,j,t}) \times 3.67 \\ &= 0.0742 \square 5.06 \text{ (單脈二藥草)} + 0.1166 \square 1.21 \text{ (甘草)} + 0.0212 \square \square 5.16 \text{ (卵葉鹽草使用貝克氏鹽草係數)} \\ &= 0.3755 + 0.1411 + 0.1094 \\ &= 0.6259 \text{ t C/年} \end{aligned} \quad \text{式1-1}$$

(b) 專案土壤碳儲存年變化量計算公式

$aSOC_{i,j,t}$ 的估計值是使用《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》所彙整的臺灣本土研究數據。

$$\begin{aligned} \Delta SOC_{BSL,t} &= A_{BSL,i,j,t} \times aSOC_{i,j,t} \times 3.67 \\ &= A_{BSL,i,j,t} \times aSOC_{i,j,t} \text{ (最後，再同乘3.67)} \\ &= 0.0742 \square \square 0.09 \text{ (單脈二藥草)} + 0.1166 \square 5.01 \text{ (甘草)} + 0.0212 \square \square 1.30 \text{ (卵葉鹽草使用同為亞潮帶海草的東沙海草係數)} \\ &= 0.0067 + 0.5842 + 0.0276 \\ &= 0.6184 \text{ t C/年} \end{aligned} \quad \text{式1-2}$$

使用有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數 3.67，將專案生物量碳庫、土壤之溫室氣體淨排放量與移除量之 C 轉換為 CO₂e

$$(0.6259 + 0.6184) \times 3.67 = 4.5667 \text{ t CO}_2\text{e}$$

(c) 專案化石燃料使用之排放量

本專案執行期間之內僅有汽油工作艇之船外機具有化石燃料使用之排放量，屬於移動式排放源。
CO₂ 排放係數 2.6060 (KgCO₂/L) 引用環保署國家溫室氣體登錄平台「溫室氣體排放係數管理表 6.0.4版」中項目 Gas/Diesel Oil。

$$GHG_{PROJ_fuel} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I GHG_{PROJ_fuel,i,t} \quad \text{式2-3}$$

$$GHG_{PROJ_fuel,i,t} = \sum_{j=1}^J ET_{FC,j,t} \quad \text{式2-3-1}$$

$$= \sum_{f=1}^F FC_{FC,f,j,t} \times EF_{CO_2,f} \times NCV_f \quad (\text{直接法}) \text{式2-3-1-1}$$

$$= 150 \text{ (L)} \times 2.6060 \text{ (KgCO}_2\text{/L)} \times 10^{-3}$$

$$\doteq 0.3909 \text{ t CO}_2\text{e}$$

(2) 洩漏

依據方法學之適用條件， $GHG_{LK} = 0$ 。

(3) 減量

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

$$= 4.1758 - 0 - 0 = 4.1758 \text{ t CO}_2\text{e 移除量}$$

(三) 計入期計算摘要

單年期間	基線移除量 (公噸 CO ₂ e)	專案活動移除量 (公噸 CO ₂ e)	洩漏量 (公噸 CO ₂ e)	總移除量 (公噸 CO ₂ e)
2014年	0	0	0	0
2015年	0	4.1758	0	4.1758
2016年	0	4.1758	0	4.1758
2017年	0	4.1758	0	4.1758
2018年	0	4.1758	0	4.1758
2019年	0	4.1758	0	4.1758
2020年	0	4.1758	0	4.1758
2021年	0	4.1758	0	4.1758
2022年	0	4.1758	0	4.1758
2023年	0	4.1758	0	4.1758
2024年	0	4.1758	0	4.1758
2025年	0	4.1758	0	4.1758
2026年	0	4.1758	0	4.1758
2027年	0	4.1758	0	4.1758
2028年	0	4.1758	0	4.1758
2029年	0	4.1758	0	4.1758
2030年	0	4.1758	0	4.1758
2031年	0	4.1758	0	4.1758
2032年	0	4.1758	0	4.1758
2033年	0	4.1758	0	4.1758
2034年	0	4.1758	0	4.1758
總計	0	83.516	0	83.516
計入期總年數	20			
計入期年平均	0	4.1758		4.1758

註：本專案為應用案例，僅有一筆活動數據，專案申請者之「監測頻率」應至少在一至三年監測一次。

四、監測計畫

(一) 應被監測之數據與參數

以下表格為本專案活動於監測期間所需要監測的數據和參數，分別描述了如何實際收集，並提供詳細具體的資訊。

- (1) 本專案需記錄並提供資料以佐證 CH_4 以及 N_2O 排放狀況。
- (2) 監測參數

數據/參數	$A_{i,j,t}$
數據單位	ha
描述	第 t 年之第 i 碳庫層的 j 物種面積
數據來源	現地調查
應用的數值	移植後之樹種與面積紀錄
量測方法和程序	專案活動開始時，以現地調查進行分層面積測量，於申請減量額度查證時核對數據，若面積樹種改變應進行修正，並請查驗機構於查證時認
監測頻率	應至少於三至十年監測一次，且應於每次查證皆要有相關監測資料
QA/QC 程序	資料應至少保存至計入期結束後兩年
數據用途	式1-2-1
備註	-

(二) 海草床復育環境調查

2014年，於專案執行前進行海草床復育環境評估與調查。專案執行後，於112年由農業部水產試驗所澎湖漁業生物研究中心執行海保署「112年澎湖海草復育示範推動計畫」，再次對海草復育區進行環境調查。

(1) 退潮時期海水水位分布現況

所調查11.5公頃的試驗海域，地貌多平緩無淤積隆起的現象，退潮後仍有積水的 B 類型為全區所占比例最高，為35.5%；其次依序為退潮後積水在0-10cm 的 C 類型（30.5%）、退潮後無積水的 A 類型（24.3%）及退潮後積水在10-30cm 的 D 類型（9.7%），分布圖詳見附件3-1。

(2) 底質現況

11.5公頃的面積底質組成計有8種類別，其中以海草17.3%的出現率最高；其次依序分別為沙15.8%、岩盤15.4%、沙及死珊瑚的混合基質14.0%、藻類11.9%、礫石及沙的混合基質11.2%、礫石9.2%及岩石5.1%，統計圖詳見附件3-2。

(三) 監測計畫其他要素

1. 品質控制與品質保證 (QA/QC)：可參考「2003年 IPCC 土地利用、土地利用變化及林業的良好作法指南 (IPCC GPG-LULUCF 2003)」(IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, 2003)。
2. 秉持可量測、可報告、可查證 (measurement, reporting and verification, MRV) 原則：應確保實地測量結果據可靠性、核查樣地及其測量品質。

五、專案活動期程描述

(一) 專案活動執行期間

專案執行期限為 20 年。專案活動的「起始日」，係指本專案之減量措施已完成發包簽約之移植實施日期。

專案執行期限	20 年
起始與結束日期	2014 年起至 2034 年

(二) 專案計入期

專案「計入期」是指專案活動相對於基線情境額外產生溫室氣體減排量的時間區間，專案計入期以完成註冊日後（審議會通過）起計算。

計入期	20 年
是否延展	不延展
起始與結束日期	2014 年起始 2034 年結束

六、環境衝擊分析

對於環境衝擊分析，本專案評估了專案活動的實施對於當地生活環境、自然生態環境、社會經濟與人文環境以及景觀等四個項目的環境影響。假使專案活動的實施，可能造對上述四個項目造成重大之衝擊，則必須對衝擊進一步分析與評估。

項目	中項目	影響階段		影響程度	影響說明
		施工	完成		
生活環境	空氣汙染			×	專案活動並不會對水域產生明顯的空氣汙染
	水質影響	√		-	專案活動在移植、監測階段可能會影響水質
			√	+	海草床具有淨化水質之功能
	噪音影響	√		-	專案活動可能會造成輕微噪音
自然生態環	水文			×	專案活動並不會對水文產生明顯影響
	土壤		√	++	可提高碳存量
	物種的生物 樣性	√		--	專案活動可能會影響原棲息於專案邊界之物種，進而 低生物多樣性
			√	++	透過復育海草床，有助於恢復海草床生態系進而提高 物多樣性，如海草床可作為魚、蝦、螺貝類等棲息地
	生態		√	++	原環境主為泥灘地，除了美化與綠化環境，亦重現河 棲地的面貌與紅樹林環境
	海岸防護		√	+	海草床具有沉降泥砂、穩固底質、防止海岸侵蝕之海 防護功能
社會與人文 境	漁業資源	√		-	在栽植期間，人員進出可能會對家計型魚業者造成輕 影響
			√	++	透過復育海草床，有助於恢復海草床生態系，進而增 漁業資源及未來種苗放流之選擇
	文化史蹟		√	++	重現重光海草床生態系與人文歷史
	社會結構		√	++	社區、學校、NGO 與企業參與經營管理，透過發展 關係建立社區認同與凝聚向心力
	環境意識		√	++	除辦理海草環境教育與復育活動之外，海草床生態系 展示具有教育性質，有助於提升環境意識
景觀	景觀美質		√	++	提高環境美感

+++ ：重度負面影響

--- ：重度負面影響

++ ：中度負面影響

-- ：中度負面影響

+ ：輕度負面影響 - ：輕度負面影響
× ：無影響

七、公眾意見描述

2014 年7月13日澎湖縣政府農漁局邀請水試所澎湖漁業生物研究中心及社區民眾進行會勘。2015 年「為小小魚兒種一畝田-海草移植活動」；以及2019 年藉由「澎湖海洋生物棲地今昔與復育&海草移植活動」與「認識澎湖的海草與海草的復育」等活動，讓社區民眾或學校師生參與並表達意見。

八、附件

應檢附之文件包含：

- 一、專案執行相關單位基本資料(附表)
- 二、引用減量方法之適用性
- 三、外加性說明附件
- 四、事前推估減量之背景資訊
- 五、監測計畫之背景資訊
- 六、公開說明會照片與會議紀錄

附件1、專案執行相關單位基本資料

附表 1 專案執行相關單位基本資料

申 請 單 位			
單位名稱	○○公司		
統一編號			
單位地址			
聯絡人		聯絡電話	
電子郵件		傳真號碼	

實 際 減 量 單 位			
單位名稱			
統一編號			
單位地址			
聯絡人		聯絡電話	
電子郵件		傳真號碼	

註：實際減量單位與申請單位相同者免填。

附件2、外加性說明附件

- (1) 由於長期人為活動因素，導致專案邊界內海草床達到劣化之狀況條件難且難以自然恢復，符合「生態條件障礙」。其劣化原因包含專案邊界（即海草保護區與其周圍）具有貝類資源，民眾以耙具在退潮之後裸露的生物基質（海草與藻類）上進行採貝作業，造成生物基質完全被剷除。
- (2) 海草床復育技術與監測計畫技術，包含環境調查、移植作業等，都必須額外培訓人員，因此符合「技術障礙」。



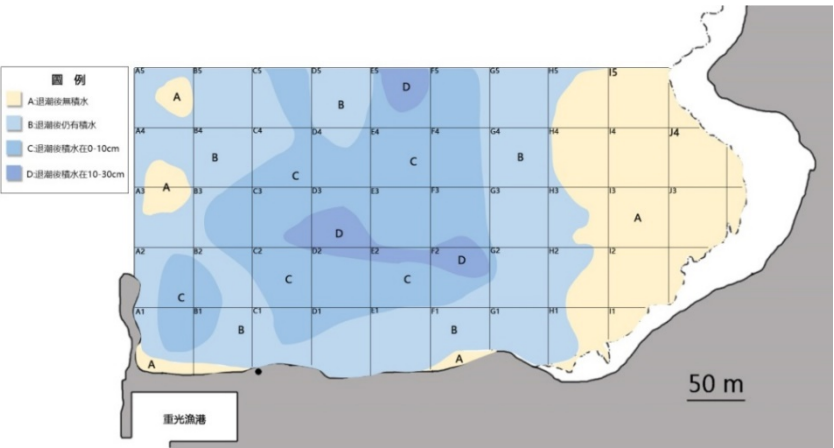
附圖 2 生物基質完全被剷除(左)；民眾進行採貝作業(右)



附圖 3 以根狀莖法進行海草移植

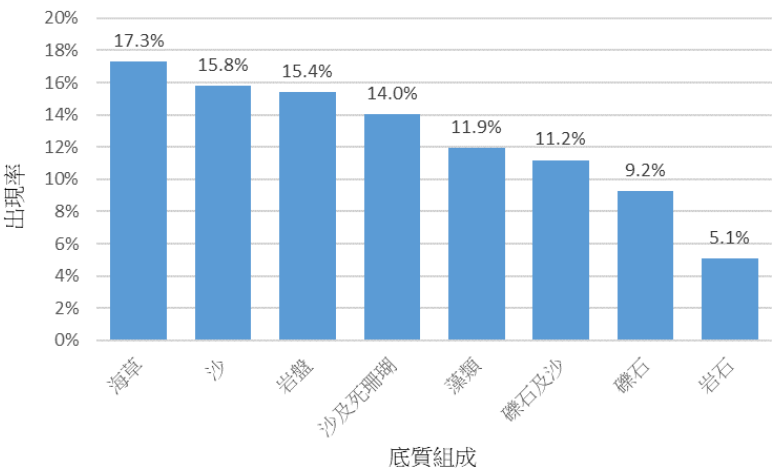
附件3、監測計畫之背景資訊 - 專案活動監測資料

附件3-3退潮時期海水水位分布圖



附圖 4 重光海草保護區退潮時期海水水位分布圖（冼宜樂提供）

附件3-2底質組成現況



附圖 5 重光海草保護區底質組成（冼宜樂提供）

附件3-3 栽植紀錄

1. 物種

單脈二藥草 (冼宜樂攝)
 Figure 1: Monostachys perfoliata. (1) Whole plant with roots and leaves. (2) Close-up of a leaf showing venation. (3) Field view of the plant. Scale bars: 1cm (1), 1mm (2).
甘草 (冼宜樂攝)
 Figure 2: Glycyrrhiza glabra. (1) Close-up of a leaf showing venation. (2) Close-up of a leaf showing venation. (3) Field view of the plant. Scale bars: 2mm (1), 2mm (2).
卵葉鹽草 (冼宜樂攝)
 Figure 3: Enteromorpha flexilis. (1) Whole plant with roots and leaves. (2) Close-up of a leaf showing venation. (3) Close-up of a leaf showing venation. (4) Field view of the plant. Scale bars: 1cm (1), 1cm (2), 1cm (3).

文獻

● 英文

1. Bimrah, K., Dasgupta, R., Hashimoto, S., Saizen, I., & Dhyani, S. (2022). Ecosystem services of mangroves: A systematic review and synthesis of contemporary scientific literature. *Sustainability*, 14(19), 12051.

● 中文

2. 冼宜樂、鐘金水、林綉美、黃文卿、鄭靜怡、歐麗榛、林金榮(2015)。澎湖內海潮間帶棲地劣化改善與監測。澎湖縣政府農漁局勞務委託結案報告書。
3. 冼宜樂、鐘金水、林綉美、黃文卿、鄭靜怡、歐麗榛、蔡萬生(2011)。澎湖海草的分布與調查。
4. 林幸助(2019)。108 年海草床生態系調查計畫。海洋委員會海洋保育署委託成果報告書。
5. 郭金龍(2002)。臺灣地名辭書卷六：澎湖縣。國史館臺灣文獻館。
6. 澎湖縣政府(2023)。季風。澎湖縣政府。<https://www.penghu.gov.tw/ch/home.jsp?id=10013>
7. 澎湖縣馬公市公所(2016)。自然環境及產業。澎湖縣馬公市公所。
<https://www.penghu.gov.tw/Tmakun/ch/home.jsp?id=156&act=view&dataserno=201707030001>
8. 謝恆毅、冼宜樂(2018)。澎湖海域礁區覆網調查暨覆網清除驗證及潮間帶棲地劣化調查計畫。澎湖縣政府農漁局勞務委託結案報告書。