

馬公重光海草復育
專案計畫書

版本： 1 製作日期： 2025 年 8 月 14 日

申請單位	○○企業
引用之減量方法(版次)	海草復育 第01.0版
減量方法範疇別	12 農業及土地利用
年平均移除量估計值	2 t CO ₂ e

目錄

一、專案基本資料

- (一) 公司/單位名稱
- (二) 計畫名稱
- (三) 計畫書版本與製作日期
- (四) 減量方法與範疇別
- (五) 專案總減量

二、專案活動描述

- (一) 申請類別
- (二) 專案計入期
- (三) 專案類型
- (四) 參與機構
- (五) 執行費用
- (六) 執行地點
- (七) 減量措施說明

三、減量方法應用說明

- (一) 適用條件說明
- (二) 外加性分析
- (三) 專案前後示意圖

四、計算方法

- (一) 基線排放量計算
- (二) 專案排放量計算
- (三) 洩漏量計算
- (四) 減量計算

五、環境衝擊分析與公眾意見

- (一) 環境衝擊分析
- (二) 公眾意見

附件

馬公重光海草復育專案計畫書

一、專案基本資料

(一) 公司/單位名稱：OO 企業

(二) 計畫名稱：馬公重光海草復育專案

(三) 計畫書版本與製作日期：

表 1 版本與修訂紀錄摘要

計畫書版本	製作日期	修訂內容摘要
1	○○○○/○○/○○	新撰寫

(四) 減量方法與範疇別：

減量方法：「海草復育 Seagrass Restoration」小規模減量方法學 (編號 AL-TMS0002及版本01.0)

範疇別：12 農業及土地利用

(五) 專案總減量：37公噸二氧化碳當量 (t CO₂e)

二、專案活動描述

※本專案應用範例之情境為假設模擬，範例情境不代表實際存在的現況。

(一) 申請類別：移除型；新申請。

(二) 專案計入期：

1. 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	2019年起至 2038年

2. 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
起始與結束日期	2019年起始 2038年結束

(三) 專案類型：

減碳類型：溫室氣體每年總移除量2公噸二氧化碳當量 (t CO₂e)

(四) 參與機構：

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
○○企業	企業	專案執行者 (分配80%)
澎湖縣政府農漁局	政府部門	專案補助者 (分配20%)

(五) 執行費用：

專案地點自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，2019年研究經費為4,220,000元。

(六) 執行地點：

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 (X104258.8569, Y2610059.0550)、b (X104230.9256, Y2609890.8485)、c (X104676.3844, Y2610054.8965) 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. 專案邊界

(1) 定位描述

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。其專案邊界採用全球衛星定位系統 (GPS) 進行標記；專案栽植活動後，海草床面積以科學方法進行現地調查 (圖2)。澎湖重光海草保護區面積約為66,000 平方公尺，專案邊界之總面積 1,600 平方公尺 (為海草保護區之中的 C 區位置)。

表 3 專案活動邊界之各區域

區域	專案邊界	經緯度座標
C	1,600 平方公尺	X104301.7101, Y2609950.5597

區域	專案邊界	經緯度座標
		X104321.8975, Y2609984.2066 X104384.0685, Y2609962.0472 X104330.0498, Y2609929.1806

註：本減量方法之專案邊界指專案申請者 (Project Participants, PPs) 實施海草復育活動的地理範圍。經營活動可在不同分散土地進行，各復育海草面積皆應大於 0.1 公頃。在申請專案時，專案申請者應提出以下資料證明專案邊界範圍、土地合格性及為土地權利關係人。



圖 2 專案邊界之區域

- (2) 地面基本調查資料：專案區域衛星影像圖如圖2。專案執行前，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。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。
- (3) 土地所有權證明資料：根據澎湖縣國土計畫，佐證本專案海域管轄屬於澎湖縣政府，如附件2-2。

3. 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「重光海草海草復育示範區」)，面積約66,000 平方公尺。澎湖位於亞熱帶氣候區。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)。由於缺乏地形屏蔽，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6 公尺/秒 (澎湖縣政府，2023)。依據洗宜樂等人 (2011) 之澎湖海草的分類與分布之調查，共紀錄到3科5屬7種海草，包含毛葉鹽草 (*Halophila decipiens*)、卵葉鹽草 (*H. ovalis*)、齒葉大洋草 (*Oceana serrulate*)、水韭菜 (*Syringodium isoetifolium*)、線葉二藥草 (*Halodule pinifolia*)、單脈二藥草 (*H. uninervis*)及甘草 (*Zostera japonica*)等。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 (謝恆毅與洗宜樂，2018)。日夜潮差大，約1 公尺 (林幸助，2019)。

本專案活動為澎湖縣馬公市重光海域，舊名被稱為「蝦埕」、「蝦草埕」(圖3)，是由於在海水退潮時，會露出一大片俗稱「蝦草」的「卵葉鹽草」及「線葉二藥草」

而得名 (郭金龍，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、廢水排放污染等因素之影響，使本區底土嚴重流失，並使海草棲地逐漸流失。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，使可供海草生長的面積嚴重萎縮。

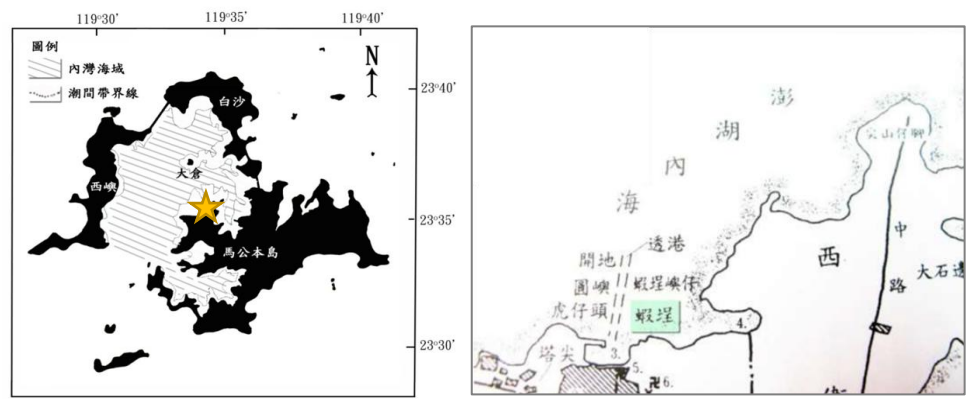


圖 3 重光淺坪海域舊名為「蝦埕」(郭金龍，2002)

(七) 減量措施說明：

1. 專案活動目的

本專案於澎湖縣馬公重光復育海草。總體目標期望是透過復育海草，增加海草床面積，進而提高澎湖縣馬公重光海草棲地之碳匯生態服務功能。因應 2023 年 2 月 15 日公布之《氣候變遷因應法》第四條，運用海草吸收二氧化碳的自然碳匯能力，協助國家達成 2050 年 (中華民國 139 年) 溫室氣體長期減量之淨零排放目標，善盡地球公民責任，減緩氣候變遷威脅。分項目標如下：

- (1) 設立海草保護區，禁止耙具干擾海草棲地，以符合濕地明智利用之精神；
- (2) 進行海草移植，恢復海草床面積；
- (3) 透過因為專案執行而新增加的海草床面積，計算溫室氣體移除量。

2. 專案活動對永續發展的貢獻

本專案於澎湖縣馬公市重光里海岸進行海草復育之移植，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。對應聯合國在 2015 年所提出的 17 項永續發展目標 (Sustainable Development Goals, SDGs) 如下表：

表 4 「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，能降低水污染，且透過自然環境之旅遊與娛樂，有助於促進心理健康。

SDGs	理由
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復育，有助於恢復海草床生態系統。

3. 專案活動之技術說明

實施技術分為兩部分，包含海草復育技術與量測技術。

(1) 海草復育技術

海草復育技術，包含海草種類選擇、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：海草種類、溫度、底質、深度、水文、鹽度等。2019 年於重光開始進行海草試種，並於2021 年進行面積複查。

(2) 量測技術

專案需培訓量測人員，以執行復育環境評估與調查之程序、量測海草移植後覆蓋率變化。

(3) 具體措施

A. 栽植方式與選種

栽植方式是使用對環境較友善的「地下莖法」(Rhizome method)。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。栽植的混合植株種類為單脈二藥草 (*Halodule uninervis*)，甘草

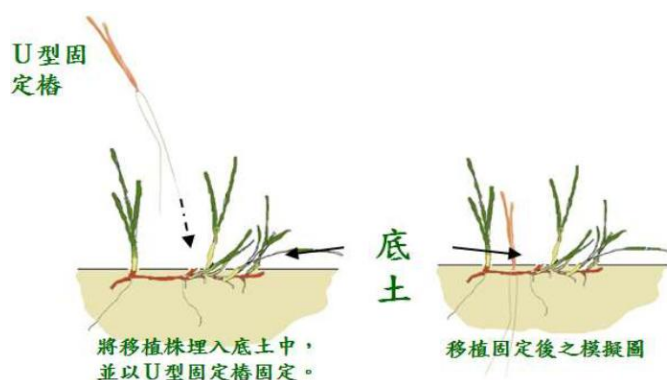


圖 4 使用 U 型環固定移植海草地下莖之模擬圖

(*Zostera japonica*) 及卵葉鹽草 (*Halophila ovalis*)(照片於附件5-3)。澎湖海洋生物研究中心開發可回收的 U 型環強化移植海草地下莖的固定 (圖4)。地下莖是選擇每根具有3 植株以上海草，其移植密度為每10 平方公分移植1根地下莖。

B. 試種與移植

2014 年8 月開始進行海草試種，種類為單脈二藥草 (*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 平方公尺)、1,500 株 (15 平方公尺)、1,800 株 (18 平方公尺) 及1,500 株 (15 平方公尺)，共計種植了6,000 株 (60 平方公尺)，其種類為單脈二藥草 (*Halodule uninervis*)，甘草 (*Zostera japonica*) 及卵葉鹽草 (*Halophila ovalis*)，種類照片詳見附件5-3。

表 5 試種記錄 (2014年8月)

栽植日期	種類	植株來源	總裁植面積	2021年生長狀況
2014 年8 月	單脈二藥草	大倉灣	0.2平方公尺	生長良好，面積擴增 340平方公尺
	卵葉鹽草			

表 6 專案區移植記錄 (2019年3月)

移植紀錄				面積			海草種類 ¹	
區域	年份	移植作業次數	移植株數	2019年 專案栽植	2021年 專案栽植後	2021年 新增面積	甘	55%
C	2019年 3月	4	100株/平方公尺，共 6,000株	栽植60 平方公尺	增至1,600 平方公尺	新增1,540 平方公尺	單	35%
							卵	10%

專案執行後海草生長良好，向外擴增至1,600 平方公尺。為簡化計算範例，假設於66,000 平方公尺的保護區中劃設1,600 平方公尺為專案邊界。

C. 經營管理

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5)。

¹ 表格中，「單」代表：單脈二藥草 (*Halodule uninervis*)；「甘」代表：甘草 (*Zostera japonica*) 及「卵」代表：卵葉鹽草 (*Halophila ovalis*)。而百分比則代表移植數比例。



圖 5 澎湖縣政府農漁局公告

D. 量測技術

除了對海草復育區進行環境評估與調查之外，專案執行後，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面積擴展比例。為了解「海草移植後覆蓋率變化」，使用 50 公尺穿越線紀錄所移植海草區域的覆蓋率。

三、減量方法應用說明

(一)適用條件說明

本專案符合環境部「海草復育」(版本01.0)減量方法，表7列出本專案活動符合減量方法的每項適用性條件，以驗證減量方法之選擇。

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.	專案活動應符合海草復育之目的，適用於「海洋或海岸型濕地」、「人為型濕地」區域。	本專案活動場域為海岸濕地。
2.	專案活動應符合海草復育之目的，並配合環境條件選用合宜的海草種類且可同時涵括以下任一項或多項之組合： (1) 水文改善 (如拆除潮汐障礙、改善水文連通性、恢復濕地潮汐或降低濕地水位等)。 (2) 沉積物改變 (如利用疏濬材料或將河流沉積物轉移至缺乏沉積物的區域等)。 (3) 鹽度改變 (如引入海水提高棲地鹽度等)。 (4) 水質改善 (如減少過多陸源營養鹽污染等)。 (5) 管理方法改善 (如移除外來種、減少草食作用等)。	(1) 本專案包含重新引入海草種植，並且禁止耙具干擾海草棲地底質，屬於 (5) 改善管理方法。 (2) 本專案活動場域曾有卵葉鹽草及線葉二藥草分布 (郭金龍，2002)，並且周遭相似棲地也有甘草分布，因此選擇摘種卵葉鹽草單脈二藥草及甘草，符合「配合環境條件選用合宜種類」的條件。
3.	除非基於海草保護之必要措施外，專案邊界內不得進行生物移除。	本專案並未額外進行生物移除。
4.	專案每年溫室氣體淨移除量應小於或等於20,000公噸二氧化碳當量 (t CO ₂ e)，且整個專案淨移除量需為正值。	本專案每年溫室氣體移除量僅有2公噸二氧化碳當量，因此符合此適用條件。

(二)外加性分析

依據民國112年10月12日環境部公布的「溫室氣體自願減量專案管理辦法」第8條第2項第3款辦理，即自願減量專案之溫室氣體每年排放量總減量小於或等於20,000公噸二氧化碳當量 (t CO₂e)，專案計畫書之外加性分析得僅分析法規外加性。法規外加性之分析，包括是否有法規強制或政策鼓勵事業體執行專案活動、確認當地法規和政策對本專案活動之要求、確認專案活動的合理性、確定是否存在潛在法律或政府變化、評估專案是否超出法規要求，並提出相關文件或證據支持。爰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)，法規外加性說明如下：

1. 不是因為法規強制性要求而執行專案：本專案根據《濕地保育法》、《重要濕地評定辦法》、《發展觀光條例》、《自然保護區設置管理辦法》、《野生動物保育法》、《文化資產保存法》、《海岸管理法》、《漁港法》、《海洋保育法》、《水污染防治法》、《農業發展條例》、《區域計畫法》、《都市計畫法》、《野生動物保育法》、《環評法》等規範，並未強制要求執行海草復育。
2. 專案活動不得違反國家相關法律、法規、政策措施，不得於法規禁止及嚴格管制區域執行專案活動，並且應符合相關技術規範：根據《文化資產保存法》第86條第1項「自然保留區禁止改變或破壞其原有自然狀態」，以及《濕地保育法》第16條第1項第一款「核心保育區：為保護濕地重要生態，以容許生態保護及研究使用為限」，本專案不屬於禁止及嚴格管制區域。此外，根據《濕地保育法》第16條第1項第二款「生態復育區：為復育遭受破壞區域，以容許生態復育及研究使用為限」及第五款「其他分區：其他供符合明智利用原則之使用」，本專案為符合「允許復育」及「明智利用」之區域。
3. 若專案活動涉及改善水質、改善水文連通性、恢復潮汐流至濕地或降低堤防濕地的水位等工程，也需要提供相關的工程許可或符合法律規範：本專案並未執行上述工程。

此外，依照專案條件得進行環境衝擊分析及公眾意見，若有影響環境之虞，將不會進行專案：依照本專案環境衝擊分析(章節六)及公眾意見(章節七)，本專案可執行海草復育自願減量措施。

(三)專案前後示意圖：



專案活動初期(引入海草栽植)



專案活動後 (海草床面積擴張)

圖 6 專案情境示意圖

(影像提供/洗宜樂)

四、減量計算說明

(一)基線排放量計算

1. 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「卵葉鹽草」及「線葉二藥草」。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。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種類，來增加海草生物量，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。

2. 碳庫計算項目：

本專案採用「海草復育」(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移除和基線移除而被納入該專案邊界之碳庫、溫室氣體排放源(表8)。

表 8 建議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	專案邊界內原為海草流失，地上部碳移除量假設為假設為0，為符合保守性原則。
	地下部生物量 (below-ground biomass)	CO ₂	是	專案邊界內原為海草流失，地下部碳移除量假設為假設為0，為符合保守性原則。
	碎屑 (detritus)	CO ₂	否	碎屑分解後會流入沉積物有機碳庫，依照國際間保守性作法將此碳庫排除在核算之外。
	沉積物有機碳 (sediment organic carbon)	CO ₂	是	專案邊界內原為海草流失，沉積物碳移除量假設為假設為0，為符合保守性原則。
專案活動	地上部生物量 (above-ground biomass)	CO ₂	是	專案活動的主要碳庫。
	地下部生物量 (below-ground biomass)	CO ₂	是	專案活動的主要碳庫。
	碎屑 (detritus)	CO ₂	否	因為專案活動不會顯著改變碎屑的堆積率，故保守性作法是將此碳庫排除在核算之外。
	沉積物有機碳	CO ₂	是	碳庫中的碳儲量預計會受專案活動的實施而增加。

	碳庫	氣體	是否被 納入?	說明
	(sediment or- ganic carbon)			

3. 溫室氣體排放源項目：

依據引用方法，溫室氣體排放源分為濕地沉積物非二氧化碳溫室氣體排放量及專案執行化石燃料二氧化碳排放量(表9)。本專案邊界內受潮汐影響，因此於最乾潮前後兩個小時進行水體鹽度及水質測量，以便釐清陸源水體對於是否有污染或營養鹽過高的影響。

表 9 建議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	沉積物排放	CH ₄	是	專案活動若牽涉鹽度改變應計入。若水體鹽度 < 18 psu，當次(或季度)測量應計入；若高於此鹽度標準，則可不計。
		N ₂ O	是	專案活動若牽涉水質改變應計入。若水質達到≥中度優養化 ² 等級，當次(或季度)測量應計入；若水質優養化未達此等級，則可不計。
專 案 活 動	沉積物排放	CH ₄	是	專案活動若牽涉鹽度改變應計入。若水體鹽度 < 18 psu，當次(或季度)測量應計入；若高於此鹽度標準，則可不計。
		N ₂ O	是	專案活動若牽涉水質改變應計入。若水質達到≥中度優養化 ³ 等級，當次(或季度)測量應計入；若水質優養化未達此等級，則可不計。
	化石燃料	CO ₂	是	執行專案活動作業及量測作業中，車輛運輸和機具設備移動是潛在的主要排放源。專案活動作業也包含重新補植種苗。
		CH ₄	是	執行專案活動作業及量測作業中，車輛運輸和機具設備移動是潛在的主要排放源。專案活動作業也包含重新補植種苗。
		N ₂ O	是	執行專案活動作業及量測作業中，車輛運輸和機具設備移動是潛在的主要排放源。專案活動作業也包含重新補植種苗。

² 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。化學需氧量、無機氮及活性磷酸鹽單位為每公升毫克 (mg/L)。

³ 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。化學需氧量、無機氮及活性磷酸鹽單位為每公升毫克 (mg/L)。

4. 減量計算描述：

所引用減量方法之計算公式描述如下：

(1) 基線移除量 (基線溫室氣體淨移除量)

a. 基線溫室氣體淨移除量

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

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

(t 年間基線溫室氣體淨移除量

= t 年間基線海草生物碳儲量年變化量

+ t 年間基線沉積物碳儲量年變化量

- t 年間基線非二氧化碳之溫室氣體排放量)

參數	定義	單位
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年間 (未實施專案活動) 之基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta B_{BSL,t}$	t 年間之基線海草生物碳儲量年變化量	t CO ₂ e
$\Delta SOC_{BSL,t}$	t 年間之基線沉積物碳儲量年變化量	t CO ₂ e
$GHG_{BSL,t}$	t 年間之基線非二氧化碳之溫室氣體排放量	t CO ₂ e
t	專案執行之年份，t=1, 2, 3...	yr

b. 基線海草碳儲量年變化量

依據所劃分之碳層，透過原先海草種類面積與其碳儲存年變化量，計算各基線 (BSL) 碳層之海草生物碳儲量的年變化量，即為基線海草碳儲量年變化量 ($\Delta B_{BSL,t}$)。

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

(t 年間之基線海草生物碳儲量年變化量

$$= \sum_{i \text{ 碳層 } j \text{ 種類 } t \text{ 年}} (\text{面積} \times \text{單位面積海草生長碳儲存年變化量}) \times 44/12)$$

參數	定義	單位
$\Delta B_{BSL,t}$	t 年間之基線海草碳儲量年變化量	t CO ₂ e
$A_{BSL,i,j,t}$	第 t 年之基線第 i 碳層 j 種類的面積	ha
$\Delta B_{BSL,i,j,t}$	第 t 年之基線第 i 碳層 j 種類之單位面積海草生物碳儲存年增加量	t C/ha·yr
44/12	有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數 ⁴	-

⁴ 係數來自於二氧化碳與碳之分子量比 44/12。使用於將碳量 (t C) 轉換為二氧化碳當量 (t CO₂)

i	基線之碳層，i = 1, 2, 3...	-
j	海草種類，j = 1, 2, 3...	-
t	專案執行之年份，t=1, 2, 3...	yr

c. 基線沉積物碳儲量年變化量

計算基線沉積物有機碳儲量年變化量 (ΔSOC_{BSL})，建議沙質地海草棲地優先使用 $dSOC_{i,j}$ 。

$$\Delta SOC_{BSL,t} = \sum_{ijt} (A_{BSL,i,j,t} \times dSOC_{i,j,t}) \times 44/12 \quad \text{式1-2}$$

(t 年間之基線沉積物有機碳儲量年變化量

$$= \sum_{i \text{ 碳層 } j \text{ 種類 } t \text{ 年}} (\text{面積} \times \text{自源性加外源性沉積物碳儲量年變化量}) \times 44/12)$$

參數	定義	單位
$\Delta SOC_{BSL,t}$	t 年間之基線沉積物有機碳儲量年變化量	t CO ₂ e
$A_{BSL,i,j,t}$	第 t 年之基線第 i 碳層 j 種類的面積	ha
$dSOC_{i,j,t}$	第 t 年之海草自源性加外源性沉積物碳儲量年增加量	t C/ha·yr
44/12	有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數	-
i	基線之碳層，i = 1, 2, 3...	-
j	海草種類，j = 1, 2, 3...	-
t	專案執行之年份，t=1, 2, 3...	yr

d. 基線非二氧化碳之溫室氣體排放量

$$GHG_{BSL,E,t} = \sum_{i,t} GHG_{SED,i,t} \quad \text{式1-3}$$

(t 年間基線非二氧化碳之溫室氣體排放量

$$= \sum_{i \text{ 碳層 } t \text{ 年}} \text{沉積物非二氧化碳之溫室氣體排放量})$$

參數	定義	單位
$GHG_{BSL,E,t}$	t 年間之基線非二氧化碳之溫室氣體排放量	t CO ₂ e
$GHG_{SED,i,t}$	第 t 年第 i 碳層沉積物非二氧化碳之溫室氣體排放量	t CO ₂ e/yr
i	基線之碳層，i = 1, 2, 3...	-
t	專案執行之年份，t=1, 2, 3...	yr

(2)專案移除量(專案溫室氣體淨移除量)

a. 專案溫室氣體淨移除量計算公式

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層中碳儲量總和 (專案邊界內各碳層在 t 年內的碳儲量總變化量， $\Delta C_{PROJ,t}$)，扣除受專案活動而產生的非二氧化碳之溫室氣體排放量 ($GHG_{PROJ,E,t}$)。

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

(t 年間實際溫室氣體淨移除量

c)。

= t 年間專案所有碳層碳儲量總變化量

- t 年間專案使用化石燃料之溫室氣體排放量)

參數	定義	單位
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	t 年間實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{PROJ,t}$	t 年間專案所有碳層碳儲量總變化量，計算方法同基線溫室氣體淨移除量 ($\Delta C_{BSL,t}$)。	t CO ₂ e
$GHG_{fuel,t}$	t 年間由於執行海草復育專案活動，使用化石燃料之溫室氣體排放量。可參照 CDM AR-Tool05「A/R CDM 專案活動中與化石燃料燃燒有關的溫室氣體排放量估算工具」	t CO ₂ e

a.1. 專案化石燃料使用之排放量

專案情境中由於車輛、船隻和機具設備使用化石燃料所產生之排放量 ($GHG_{fuel,t}$)，是二氧化碳潛在的重要排放源，因此必須計入。

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

(t 年間專案使用化石燃料排放量

= \sum_{jt} 第 t 年 j 類車輛船隻/機具設備化石燃料二氧化碳排放量)

參數	定義	單位
$GHG_{fuel,t}$	t 年間由於執行專案，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 j 類型車輛船隻/機具設備化石燃料燃燒所產生的二氧化碳排放量	t CO ₂ e/yr
j	車輛船隻/機具設備之類型	-
J	車輛船隻/機具設備類型總數	-

$$\sum_{jt} ET_{FC,j,t}$$

(\sum_{jt} 第 t 年 j 類型車輛船隻/機具設備化石燃料二氧化碳排放量)

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

(直接法) 式2-1-1

$$= \left(\sum_{\text{燃料類型 } f=1}^{\text{燃料類型總數 } F} \frac{\text{j 類型車輛船隻}}{\text{機具設備消耗的燃料類型}} f \text{ 量} \right) \times (\text{二氧化碳燃料排放係數} +$$

甲烷燃料排放係數 × 甲烷全球溫暖化潛勢 +

氧化亞氮燃料排放係數 × 氧化亞氮全球溫暖化潛勢) × 燃料淨熱值)

參數	定義	單位
$ET_{FC,j,t}$	第 t 年之 j 類車輛船隻/機具設備其化石燃料燃燒所產生的二氧化碳排放量	t CO ₂ e/yr
$FC_{FC,f,j,t}$	第 t 年，車輛船隻/機具設備類型 j 消耗的燃料類型 f 量	質量或體積單位/yr

$EF_{CO_2,f}$	燃料類型 f 的二氧化碳排放係數	t CO ₂ /GJ
$EF_{CH_4,f}$	燃料類型 f 的甲烷排放係數	t CH ₄ /GJ
GWP_{CH_4}	甲烷 (CH ₄) 的全球溫暖化潛勢，估計值為 27.9，請參「預設數據與參數表1」	-
$EF_{N_2O,f}$	燃料類型 f 的氧化亞氮排放係數	t N ₂ O/GJ
GWP_{N_2O}	氧化亞氮 (N ₂ O) 的全球溫暖化潛勢，估計值為 273，請參「預設數據與參數表1」	-
NCV_f	燃料類型 f 的淨熱值	GJ/ 質量 或 體積
f	燃料之類型 (fuel types)	-
F	燃料之類型總數	-

(二)專案排放量計算

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，等於專案碳移除量 (專案溫室氣體淨移除量) 扣除基線碳移除量 (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。

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

(海草復育專案溫室氣體淨移除量

= t 年間實際溫室氣體淨移除量 - t 年間基線溫室氣體淨移除量 - t 年間洩漏溫室氣體排放量)

參數	定義	單位
ΔC_{SBR}	執行海草復育專案而產生的人為溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	t 年間之實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年間 (未執行專案) 之基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
LK_t	t 年間之洩漏所產生之溫室氣體排放量，依據本方法適用條件可視為零	t CO ₂ e

1. 所引用之預設數據與參數說明

預設數據與參數1

IPCC (GWP-100) ⁵	AR1 (1990)	AR2 (1995)	AR3 (2001)	AR4 (2007)	AR5 (2014)	AR6 (2021)
CO ₂	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
CH ₄ -non-fossil	21	21	23	25	28	27
N ₂ O	290	310	296	298	265	273

⁵ 在100年的時間框架內，聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 在各階段科學評估報告 (Assessment Reports, AR) 中所述各種溫室氣體的溫室效應對應於相同效應的二氧化碳的質量，本方法提供 AR1~AR6之 GWP-100值給申請者參考。

註：GWP 值應依據環境部所規範，其次採 IPCC 最新版評估報告。

預設數據與參數2

參數	$EF_{CO_2,f}$
單位	t CO ₂ /GJ
描述	燃料類型 f 的二氧化碳 (CO ₂) 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 (政府最新年度公告之排放係數) (d) IPCC 估計值
其他說明	-

預設數據與參數3

參數	$EF_{CH_4,f}$
單位	t CH ₄ /GJ
描述	燃料類型 f 的甲烷 (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 (政府最新年度公告之排放係數) (d) IPCC 估計值
其他說明	-

預設數據與參數4

參數	$EF_{N_2O,f}$
單位	t N ₂ O/GJ
描述	燃料類型 f 的氧化亞氮 (N ₂ O) 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(政府最新年度公告之排放係數) (d) IPCC 估計值
其他說明	-

(三)洩漏量計算

本專案邊界內僅禁止在海草床上因使用耙具採貝而破壞海草床，依據本方法之適用條件，本專案並無產業活動轉移至專案邊界外，因此在符合本方法學適用條件下，專案活動不具潛在洩漏，即 $LK_t = 0$ 。

(四)減量計算

1. 基線移除量（基線溫室氣體淨移除量）

本專案活動執行前邊界之海草床已流失，而海草棲地原先的碳儲量流失，屬於排放源系統(即移除量為負值之系統)。因此，基線情境假設為0，屬於保守性原則之估算。

以2021年為例，該年間基線溫室氣體淨移除量：

$$\Delta C_{BSL,t} = 0 \quad \text{式1}$$

2. 專案移除量（專案溫室氣體淨移除量）

(1) 專案溫室氣體淨移除量

以2021年為例，該年實際溫室氣體淨移除量：

$$\begin{aligned}
 \Delta C_{ACTUAL,t} &= \Delta C_{PROJ,t} - GHG_{PROJ,t} \quad \text{式2} \\
 &= 2.2642 \text{ (2021年專案海草碳儲量及沉積物碳儲量年變化量之二氧化碳淨移除量總和)} - 0 \text{ (2021年專案非二氧化碳之溫室氣體排放量)} \\
 &= 2.2642 \text{ t CO}_2 \text{ e}
 \end{aligned}$$

a. 專案海草碳儲量年變化量

2021年專案海草碳儲量之淨移除量：

$$\begin{aligned}
 \Delta B_{PROJ,t} &= \sum_{ij} (A_{PROJ,i,j,t} \times \Delta B_{PROJ,i,j,t}) \times 44/12 \quad \text{式1-1} \\
 &= [0.0539 \text{ (單脈二藥草公頃)} \times 1.2836 \text{ (單脈二藥草生物量碳儲存年增加量}^6\text{)} \\
 &\quad + 0.0847 \text{ (甘草公頃)} \times 1.2110 \text{ (甘草生物量碳儲存年增加量}^7\text{)} + 0.0154 \text{ (卵葉鹽草公頃)} \times 1.4584 \text{ (卵葉鹽草生物量碳儲存年增加量}^8\text{)}] \times 44/12
 \end{aligned}$$

⁶ 單脈二藥草生物碳儲存年變化量，引用自林幸助等人(2024)建立海草生態系碳匯量測方法學及本土碳匯係數研究。

⁷ 甘草生物碳儲存年變化量，引用自林幸助等人(2023)臺灣海草床碳匯測量標準作業程序。

⁸ 卵葉鹽草生物量碳儲存年變化量，引用自林幸助等人(2024)建立海草生態系碳匯量測方法學及本土碳匯係數研究。

$$= [0.0692 \text{ (單脈二藥草生物量溫室氣體移除量)} + 0.1026 \text{ (甘草生物量溫室氣體移除量)} + 0.0225 \text{ (卵葉鹽草生物量溫室氣體移除量)}] \times 44/12$$

$$= 0.7121 \text{ t CO}_2\text{e}$$

b. 專案沉積物碳儲量年變化量

2021年專案沉積物碳儲量年變化量之淨移除量： $dSOC_{i,j,t}$ 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。

$$\Delta SOC_{PROJ,t} = A_{PROJ,i,j,t} \times aSOC_{i,j,t} \times 44/12 \quad \text{式1-2}$$

$$= A_{PROJ,i,j,t} \times aSOC_{i,j,t} \times 44/12$$

$$= [0.0539 \text{ (單脈二藥草公頃)} \times -0.0381 \text{ (單脈二藥草沉積物碳儲存年變化量}^9) + 0.0847 \text{ (甘草公頃)} \times 5.0059 \text{ (甘草沉積物碳儲存年變化量}^{10}) + 0.0154 \text{ (卵葉鹽草公頃)} \times 0.0879 \text{ (卵葉鹽草沉積物碳儲存年變化量}^{11})] \times 44/12$$

$$= [-0.0021 \text{ (單脈二藥草生物量溫室氣體移除量)} + 0.4240 \text{ (甘草生物量溫室氣體移除量)} + 0.0014 \text{ (卵葉鹽草生物量溫室氣體移除量)}] \times 44/12$$

$$= 1.5521 \text{ t CO}_2\text{e}$$

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，於2019海草移植期間進行排放。二氧化碳(CO₂)排放係數2.6060 每公升 公斤二氧化碳(KgCO₂/L) 引用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」中項目 Gas/Diesel Oil。

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

t 年間專案化石燃料排放量 = \sum_{jt} 第t年j類型車輛船隻/機具設備化石燃料二氧化碳排放量

$$\sum_{jt} ET_{FC,j,t} = \sum_{f=1}^F FC_{FC,f,j,t} \times (EF_{CO_2,f} + EF_{CH_4,f} \times GWP_{CH_4} + EF_{N_2O,f} \times GWP_{N_2O}) \times NCV_f \quad \text{(直接法) 式2-1-1}$$

2019年車輛船隻/機具設備化石燃料二氧化碳排放量

$$= \text{消耗燃料量 } 150 \text{ (L)} \times (\text{二氧化碳燃料排放係數 } 2.6060317920 \text{ (KgCO}_2\text{/L)} + \text{甲烷燃料排放係數 } 0.000137 \text{ (KgCH}_4\text{/L)} \times 27 \text{ 甲烷全球溫暖化潛勢} + \text{氧化亞氮燃料排放係數 } 0.000137 \text{ (KgN}_2\text{O/L)} \times 273 \text{ 氧化亞氮全球溫暖化潛勢}) / \text{單位換算 } 1000$$

$$\approx 0.3971 \text{ t CO}_2\text{e}$$

(2)洩漏

2019年至2038年間各年度皆依據方法學之適用條件，洩漏溫室氣體排放量 $LK_t = 0 \text{ t CO}_2\text{e}$ 。

(3)減量

⁹ 單脈二藥草沉積物碳儲存年變化量，引用自林幸助等人(2024)建立海草生態系碳匯量測方法學及本土碳匯係數研究。

¹⁰ 甘草沉積物碳儲存年變化量，引用自林幸助等人(2023)臺灣海草床碳匯測量標準作業程序。

¹¹ 卵葉鹽草沉積物碳儲存年變化量，引用自林幸助等人(2024)建立海草生態系碳匯量測方法學及本土碳匯係數研究。

以2021年為例，海草復育專案活動而產生的人為溫室氣體淨移除量：

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

= 2.2642 實際溫室氣體淨移除量 - 0 基線溫室氣體淨移除量 - 0 洩漏溫室氣體排放量

= 2.2642 t CO₂e 移除量

表 10 專案活動移除量列表

年份	面積 (ha)				生物 二氧化碳 移除量 (t CO ₂ e)	沉積物 二氧化碳 移除量 (t CO ₂ e)	化石燃料 二氧化碳 排放量 (t CO ₂ e/yr)	各年間 專案 溫室氣體 移除量
	擴張 面積 (外加性)	單脈 二藥草	卵葉 鹽草	甘草				
2019	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			0.3971	-0.3971
2020	0.0770	0.0270	0.0424	0.0077	0.3561	0.7760		1.1321
2021	0.1540	0.0539	0.0847	0.0154	0.7121	1.5521		2.2642
2022	0.1540	0.0539	0.0847	0.0154	0.7121	1.5521	0.3971	1.8672
2023	0.1540	0.0539	0.0847	0.0154	0.7121	1.5521		2.2642
2024	0.1540	0.0539	0.0847	0.0154	0.7121	1.5521		2.2642
2025	0.1540	0.0539	0.0847	0.0154	0.7121	1.5521	0.3971	1.8672
2026	0.1540	0.0539	0.0847	0.0154	0.7121	1.5521		2.2642
2027	0.1540	0.0539	0.0847	0.0154	0.7121	1.5521		2.2642
2028	0.1540	0.0539	0.0847	0.0154	0.7121	1.5521	0.3971	1.8672
2029	0.1540	0.0539	0.0847	0.0154	0.7121	1.5521		2.2642
2030	0.1540	0.0539	0.0847	0.0154	0.7121	1.5521		2.2642
2031	0.1540	0.0539	0.0847	0.0154	0.7121	1.5521	0.3971	1.8672
2032	0.1540	0.0539	0.0847	0.0154	0.7121	1.5521		2.2642
2033	0.1540	0.0539	0.0847	0.0154	0.7121	1.5521		2.2642
2034	0.1540	0.0539	0.0847	0.0154	0.7121	1.5521	0.3971	1.8672
2035	0.1540	0.0539	0.0847	0.0154	0.7121	1.5521		2.2642
2036	0.1540	0.0539	0.0847	0.0154	0.7121	1.5521		2.2642
2037	0.1540	0.0539	0.0847	0.0154	0.7121	1.5521		2.2642
2038	0.1540	0.0539	0.0847	0.0154	0.7121	1.5521	0.3971	1.8672
2019- 2038					13.1744	28.7138	2.7795	39.1087

1. 各年間專案溫室氣體移除量

= 海草二氧化碳移除量 + 沉積物二氧化碳移除量 - 化石燃料之溫室氣體排放量

2. 化石燃料之溫室氣體排放量於2019年為海草移植作業產生之二氧化碳排放量，其餘為假定每3至5年進行一次移除量監測所使用化石燃料之二氧化碳排放量。

計入期計算摘要

單年期間	基線移除量 (t CO ₂ e)	專案活動移除量 (t CO ₂ e)	洩漏量 (t CO ₂ e)	總移除量 (t CO ₂ e)
2019年	0	0	0	0
2020年	0	1	0	1
2021年	0	2	0	2
2022年	0	2	0	2
2023年	0	2	0	2
2024年	0	2	0	2
2025年	0	2	0	2
2026年	0	2	0	2
2027年	0	2	0	2
2028年	0	2	0	2
2029年	0	2	0	2
2030年	0	2	0	2
2031年	0	2	0	2
2032年	0	2	0	2
2033年	0	2	0	2
2034年	0	2	0	2
2035年	0	2	0	2
2036年	0	2	0	2
2037年	0	2	0	2
2038年	0	2	0	2
總計	0	37	0	37

註：本專案為應用案例，僅有一筆活動數據，專案申請者之「量測頻率」應至少在三至五年量測一次。從2019年至2038年20年間，基線移除量及專案移除量四捨五入至整數位後，再行計算淨移除量，年平均移除量估計值為 $37/20 = 1.8500 \text{ t CO}_2\text{e} \approx 2 \text{ t CO}_2\text{e}$ 。

(五)量測計畫

1. 建議量測之數據與參數

本專案於監測期間所需要量測的數據和參數如下表所示，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甲烷 (CH₄) 以及氧化亞氮 (N₂O)，量測數據，詳見附件5-1 樣區檢測點潮位基本資料。

(2) 量測參數

現地量測及應用範例引用參數：

數據與參數表1

數據/參數	$A_{i,j,t}$
數據單位	ha
描述	第 t 年之第 i 碳層的 j 種類面積
數據來源	現地調查
應用的數值	移植後之種類與面積紀錄
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，若面積或種類改變應進行修正，並請查驗機構於查證時確認
量測頻率	應至少於三至五年量測一次，且應於每次查證時皆要有相關量測資料
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	-

數據與參數表2

數據/參數	$\Delta B_{BSL,i,j,t}$		
數據單位	t C/ha·yr		
描述	t 年之基線第 i 碳層種類 j 之單位面積海草生長碳儲存年增加量		
數據來源	海洋委員會112年委託計畫：海洋碳匯盤查暨溫室氣體減量方法研析及評估、《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》(林幸助與陳冠宇 2023)		
應用的數值	植被類型		$\Delta B_{PRO,i,j,t}$
	潮間帶 沙質地	泰來草 <i>Thalassia hemprichii</i>	2.84
		單脈二藥草 <i>Halodule uninervis</i>	1.28
	潮間帶 泥質地	甘草 <i>Zostera japonica</i>	1.21
		貝克氏鹽草 <i>Halophila beccarii</i>	5.16
		卵葉鹽草 <i>Halophila ovalis</i>	1.46

	亞潮帶	東沙海草	13.43
	本專案引用《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》表3、澎湖海草生長碳儲存年增加量(林幸助等，2024)。		
數據選擇或量測方法和程序	依據《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》(林幸助與陳冠宇 2023)， $\Delta B_{PRO,i,j,t}$ 之估計值為「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」；東沙海草棲地為多海草種類混生，此表僅以多種優勢海草種類進行估計		
數據用途	應用於公式1-1		
備註	-		

數據與參數表3

數據/參數	$dSOC_i$		
數據單位	t C/ha·yr		
描述	海草自源性及外源性沉積物碳儲存年增加量		
數據來源	海洋委員會112年委託計畫：海洋碳匯盤查暨溫室氣體減量方法研析及評估、《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》(林幸助與陳冠宇 2023)		
應用的數值	植被類型		$dSOC$
	潮間帶 沙質地	泰來草 <i>Thalassia hemprichii</i>	0.09
		單脈二藥草 <i>Halodule uninervis</i>	-0.04
	潮間帶 泥質地	甘草 <i>Zostera japonica</i>	5.01
		貝克氏鹽草 <i>Halophila beccarii</i>	-0.38
		卵葉鹽草 <i>Halophila ovalis</i>	0.09
	亞潮帶	東沙海草	1.30
	本專案引用《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》表6、澎湖海草沉積物碳儲存年增加量(林幸助等，2024)。		
數據選擇或量測方法和程序	依據《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》(林幸助與陳冠宇 2023)， $dSOC_i$ 之估計值為臺灣本土研究數據。目前泥質地海草棲地尚缺乏增減法所估算的沉積物有機碳儲存年變化($aSOC_i$)，因此採用碳庫差分法之數據，估算本土海草棲地單位面積的沉積物碳移除量($dSOC_i$)。此處沉積物有機碳儲存年變化正值為增加。		
數據用途	應用於公式1-2		

備註	-
----	---

2. 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0-10公分的C類型(30.5%)、退潮後無積水的A類型(24.3%)及退潮後積水在10-30公分的D類型(9.7%)，分布圖詳見附件5-1。

(2) 底質現況

11.5 ha 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5-2。

3. 採樣計畫

若藉由採樣方法確認上述量測的數據和參數，應依照國際清潔發展機制(CDM)專案和專案活動之採樣和調查標準程序(Standard for sampling and surveys for CDM project activities and programme of activities)中採樣計畫之建議，提供採樣計畫之描述。

4. 量測計畫其他要素

(1) 專案申請記錄：

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

- 證明專案滿足本方法學適用條件之佐證資料與說明。
- 計算選擇公式、碳庫與碳儲量之材料、數據與說明。
- 計算專案邊界內碳排放和洩漏之材料、數據與說明。

(2) 專案量測記錄：

專案申請者須對專案執行期間所有專案活動進行量測或文字紀錄與說明，以及與溫室氣體排放有關之活動進行量測與紀錄。

(3) 量測頻率：

專案樣區的量測頻率為至少三至五年量測一次，且每次查證時皆須要有資料。

(4) 精準度要求：

- 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。

- b. 所有使用於估算之數據與係數，其精度之優先順序應由高至低的層級 (Tier)¹²，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。

依照本方法量測規範，國家特定資料的關鍵係數和 IPCC 預設係數，僅可用於專案活動前的專案計畫書估算減量額度，實際減量額度應以實際量測為依據。

五、環境衝擊分析與公眾意見

(一)環境衝擊分析

對於環境衝擊分析，本專案評估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。若專案活動的執行，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			×	執行專案並不會對水域產生明顯的空氣污染
	水質影響	√		-	執行專案在移植、量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	√		-	執行專案可能會造成輕微噪音
自然生態環境	水文			×	執行專案並不會對水文產生明顯影響
	沉積物		√	++	可提高碳存量
	生物多樣性	√		--	執行專案可能會影響原棲息於專案邊界之物種，進而降低生物多樣性
			√	++	透過復育海草床，有助於恢復海草床生態系進而提高生物多樣性，如海草床可作為魚、蝦、螺貝類等棲息地
	棲地		√	++	原環境主為泥灘地，除了美化與綠化環境，亦重現棲地的面貌與環境
	海岸防護		√	+	海草床具有沉降泥砂、穩固底質、防止海岸侵蝕之海岸防護功能
社會與人文	漁業資源	√		-	在栽植期間，人員進出可能會對家計型漁業者造成輕微影響
			√	++	透過復育海草床，有助於恢復海草床生態系，進而增加漁業資源及未來種苗放流之選擇

¹² 參照 2006 IPCC NIR 指南及2013 IPCC NIR 濕地補充指南之三種估算層級。

環境	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，透過發展夥伴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，海草床生態系之展示具有教育性質，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

(二)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」；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。

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、量測計畫之背景資訊
- 六、公開說明會照片與會議紀錄

附件1

附表、專案執行相關單位基本資料

申 請 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	

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

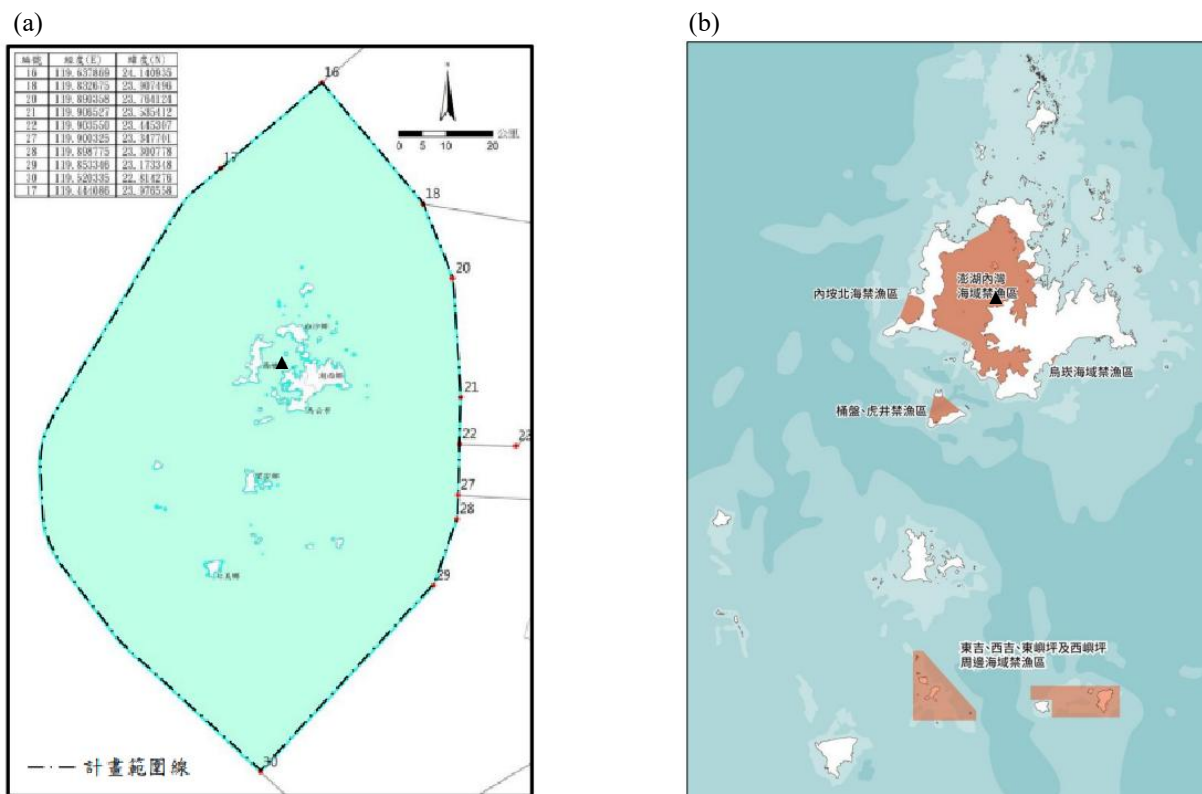
附件2 引用減量方法之適用性

附件2-1 佐證資料表

章節/項目		是否符合	佐證資料
適用條件	1. 專案活動應符合海草復育之目的，適用於「海洋或海岸型濕地」、「人為型濕地」區域。	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	專案活動邊界符合「海洋或海岸型濕地」、「人為型濕地」。
	2. 專案活動應種植海草，並配合環境條件選用合宜的海草種類且可同時涵括以下任一項或多項之組合： (1) 水文管理 (如拆除潮汐障礙、改善水文連通性、恢復濕地潮汐或降低濕地水位等)。 (2) 沉積物改變 (如利用疏濬材料或將河流沉積物轉移至缺乏沉積物的區域等)。 (3) 鹽度改變 (如引入海水提高棲地鹽度等)。 (4) 水質改善 (如減少過多陸源營養鹽污染等)。 (5) 管理方法改善 (如移除外來種、減少草食作用等)。	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	1. 提供復育前的棲地照片及海草復育紀錄。 2. 工程前環境(水文、水質或底質等)數據及改善工程紀錄。 3. 提供種植的海草種類分布與棲地文獻，以佐證專案邊界環境條件與該海草棲地相近。
	3. 除非基於保護海草之必要措施，專案邊界內不得進行生物移除。	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	以專案執行前後棲地生態環境照片對比進行佐證。
	4. 專案每年溫室氣體淨移除量應小於或等於20,000公噸二氧化碳當量(t CO ₂ e)，且整個專案淨移除量需為正值。	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	以「自願減量專案計畫書」之計入期摘要，佐證溫室氣體每年排放量總減量小於或等於20,000公噸二氧化碳當量(t CO ₂ e)，提供專案計算說明及估算依據等。
土地合格性	1. 地面基本調查資料：能表示過去土地利用狀況的高解析度地理空間資料。	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	提供航空照片圖或衛星影像圖。
	2. 土地所有權證明資料：確定土地所有權才能避免專案邊界及專案活動有侵占他人土地之爭議。	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	若為私人土地，須提供土地清冊或所有權人登記；若為國公有土地，須提供主管機關許可、授權或租賃證明等證明文件。此外，證明文件之授權期間應註明須涵蓋專案計入期期間。

附件2-2 土地所有權屬

中央政府必須擬定國家海域管理綱領，建立及施行海域使用之規劃與管理制度，並應進行海域功能區劃，並得將海域劃分為海洋保護區、漁業作業區、港口航運區、觀光遊憩區、能礦資源區、文化資產區、傳統海域區、災害防護區、工程用海區、特殊用海區、海洋復育區、保留待定區等眾多種類之使用分區。根據澎湖縣國土計畫，本專案海域管轄屬於澎湖縣政府，且被劃分為禁漁區(附圖1)。



資料來源：行政院公告各直轄市、縣(市)國土計畫海域管轄範圍(108.7.12)

附圖 1 土地所有權

(a) 澎湖縣國土計畫範圍；(b) 澎湖禁漁區；▲為本專案位置

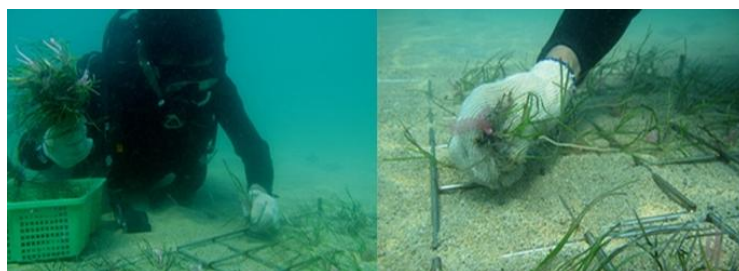
附件3、外加性說明附件

- (1) 由於長期人為活動因素，導致專案邊界內海草床流失狀況已達難以自然恢復之程度，符合「生態條件障礙」。其原因包含專案邊界(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。



附圖 2 生物基質完全被剷除(左)；民眾進行採貝作業(右)

- (2) 海草復育技術與量測技術，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 3 以地下莖法進行海草移植

附件4、事前推估減量之背景資訊

重光海草床因為碼頭航道的開挖與疏濬、海岸線水泥化、廢水排放污染，以及民眾使用耙具採貝等因素，使得原先的海草床幾乎成為了裸灘。因此本專案基線情境可視為無植被區域，基線移除量計為零，符合保守性原則。

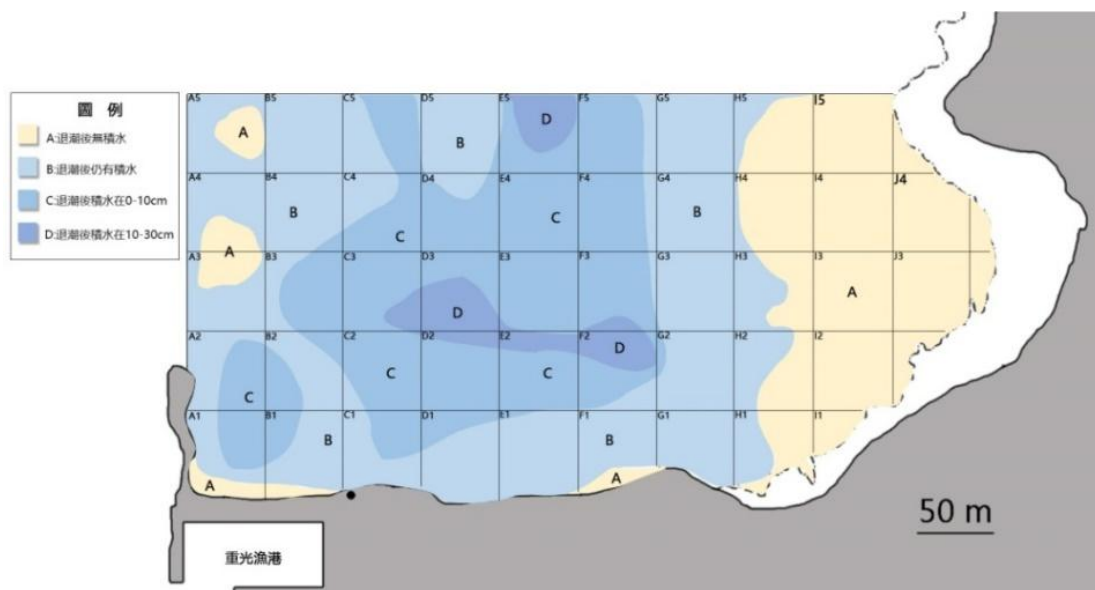


附圖 4 重光海草床專案前照片

(圖片來源：公視 <https://ourisland.pts.org.tw/content/11047>)

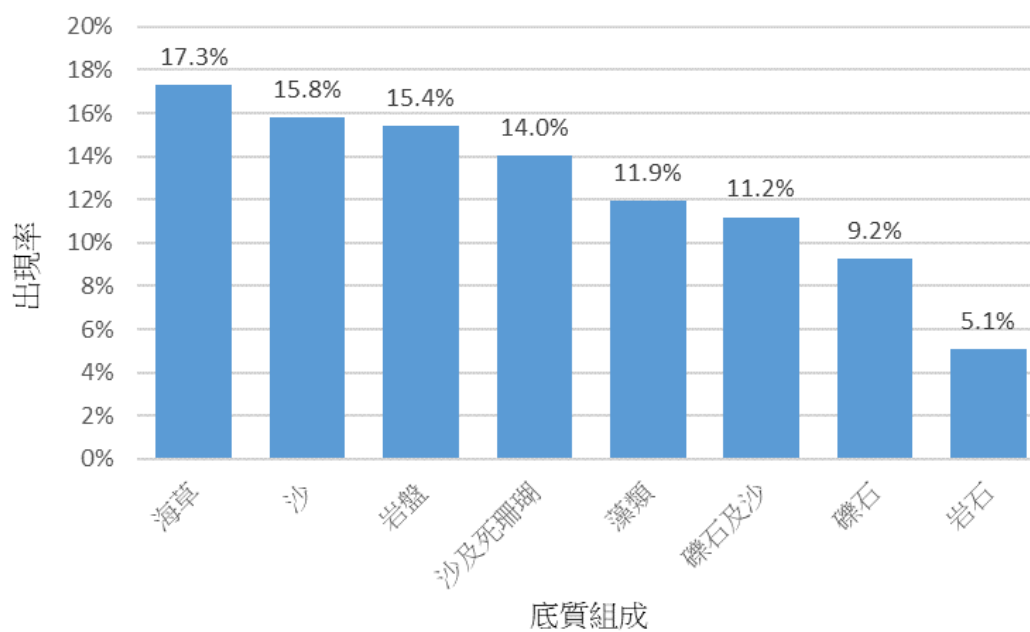
附件5、量測計畫之背景資訊 - 專案活動量測資料

附件5-1 退潮時期海水水位分布圖



附圖 5 重光海草保護區退潮時期海水水位分布圖 (洗宜樂提供)

附件5-2 底質組成現況



附圖 6 重光海草保護區底質組成 (洗宜樂提供)

附件5-3 栽植記錄

1. 海草種類

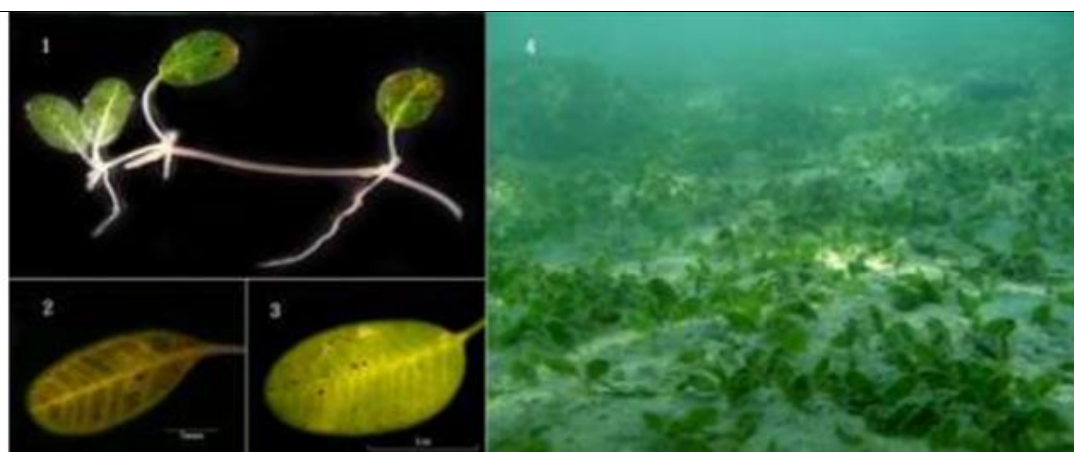
單脈二藥草 (冼宜樂攝)



甘草 (冼宜樂攝)



卵葉鹽草 (冼宜樂攝)



附件5-4 本專案及國際相關研究之海草碳移除速率

種類及碳庫	文獻原始單位	標準單位 (t C/ha·yr)	參考資料
甘草 <i>Zostera japonica</i> 植物體碳庫	1.21 t C/ha·yr	1.21	林幸助，2023 林幸助，2024
單脈二藥草 <i>Halodule uninervis</i> 植物體碳庫	1.28 t C/ha·yr	1.28	林幸助，2024
卵葉鹽草 <i>Halophila ovalis</i> 植物體碳庫	1.46 t C/ha·yr	1.46	林幸助，2024
甘草 <i>Zostera japonica</i> 沉積物碳庫	5.01 t C/ha·yr	5.01	林幸助，2023 林幸助，2024
單脈二藥草 <i>Halodule uninervis</i> 沉積物碳庫	-0.04 t C/ha·yr	-0.04	林幸助，2024
卵葉鹽草 <i>Halophila ovalis</i> 沉積物碳庫	0.09 t C/ha·yr	0.09	林幸助，2024
大葉草 <i>Zostera marina</i> 地上部	524-928 g DW/m ² ·yr	2.03-3.60 ¹³	Röhr et al. 2016
熱帶混生海草床 地上部	1.19 g C/m ² ·day	4.34	Rasheed et al. 2008
熱帶混生海草床 沉積物碳庫	0.43 t C/ha·yr	0.43	IPCC 2013

註：粗體字為本專案採用之估計值

¹³ 單位轉換使用甘草地上部有機碳含量百分比38.76%，引用自林幸助 (2022) 臺灣沿海重要碳匯生態系統調查與評估計畫。

附件6、公開說明會照片與會議紀錄



附圖 7 重光海草保護區—公眾參與活動紀錄
(影像提供／冼宜樂)

參考文獻

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. 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.
3. Rasheed, M. A., Dew, K. R., McKenzie, L. J., Coles, R. G., Kerville, S. P., & Campbell, S. J. (2008). Productivity, carbon assimilation and intra-annual change in tropical reef platform seagrass communities of the Torres Strait, north-eastern Australia. *Continental Shelf Research*, 28(16), 2292-2303.
4. Röhr, M. E., Boström, C., Canal-Vergés, P., & Holmer, M. (2016). Blue carbon stocks in Baltic Sea eelgrass (*Zostera marina*) meadows. *Biogeosciences*, 13(22), 6139-6153.
5. 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。
6. 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。
7. 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。
8. 林幸助與陳冠宇 (2023) 。《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》。海洋委員會。
9. 林幸助、林巧雯、塗子萱、劉弼仁 (2024)。建立海草生態系碳匯量測方法學及本土碳匯係數研究。農業部漁業署112年度科技計畫。
10. 林幸助 (2022)。臺灣沿海重要碳匯生態系統調查與評估計畫。海洋委員會海洋保育署。
11. 郭金龍(2002)。臺灣地名辭書卷六：澎湖縣。國史館臺灣文獻館。
12. 澎湖縣政府 (2023) 。季風。澎湖縣政府。
<https://www.penghu.gov.tw/ch/home.jsp?id=10013>
13. 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>
14. 澎湖縣政府(2021)。110年澎湖縣國土計畫。澎湖縣政府。
15. 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。
16. 國家海洋研究院(2019)。108年海域管理法制立法研究（正式報告）。國家海洋研究院委託研究。