

建立復育海草床增匯方法學及增匯誘因機制之研究
The establishment of the methodology and of seagrass restoration for carbon
sequestration motivation

計畫編號:112 前瞻-18.3.4 水-A1

研究人員:冼宜樂、許嘉閔、葉宇庭

中文摘要

本研究以國際碳認證體系及國內「濕地碳匯功能調查標準作業程序」的基礎上，針對復育海草床區增匯的方法進行實作與確認，並提出更具效率或提高準確度的調查方法，同時也建議針對在亞潮帶所復育的海草床，應增加復育海草床海域海水化學特性之監測，有助了解海草碳匯之路徑，進而提升碳匯之效益。

本研究在 112 年 6 月至 8 月間於通梁海草復育區完成 100m² 海草的移植，所移植的海草種類為單脈二藥草、卵葉鹽草及甘草等 3 種進行混植，其比例依序為 60%、30%及 10%。生物擾動是造成海草移植初期脫落的主因，改善此現象可於海草移植後，使用剪刀將地上部的葉片剪除，可降低被生物擾動的頻率。海草移植後，生物多樣性組成與豐度都有提高的現象。

並於 112 年 6 月 6 日辦理「重光海草床復育活動-打造海洋生物一個家」，偕同社區民眾至「重光海草復育示範區」辦理海草復育活動及海草復育區導覽，由重光里長與社區理事長帶領社區民眾共計有 61 人參與，全程也完成了海草移植面積 30m²。未來可藉由海草移植技術推廣至社區，並媒合企業參與 ESG。

關鍵詞：海草床、復育、增匯

The establishment of the methodology and of seagrass restoration for carbon sequestration motivation

Abstract

This study is based on the international certification system for carbon credit and “Standard Operating Procedure for Survey of Wetland Carbon Sequestration Function”, and focuses on the implementation and verification of restoration methods which may enhance carbon sequestration in seagrass beds. We have proposed methodologies to improve survey efficiency and accuracy. Concurrently, we recommend monitoring the seawater chemical characteristics in the restored areas to gain a better understanding of the carbon sequestration pathway and enhance overall effectiveness.

In this study, we transplanted seagrass covering an area of 100m² to the restoration area in Tongliang from June to August 2023. The transplanted seagrass species includes *Halodule uninervis*(60%), *Halophila ovalis*(30%), and *Zostera japonica*(10%). Biological disturbances were recognized as the predominant factor contributing to the early detachment of seagrass during transplantation. To alleviate this occurrence, the above-ground leaves were excised following transplantation to thereby diminish the incidence of disturbances caused by marine organisms. Following seagrass transplantation, there was an observed increase in both the diversity and abundance of organisms.

On June 6th, 2023, we hosted an event titled "Restoration of Chongguang Seagrass - Creating a Home for Marine Life". We conducted activities related to seagrass restoration and guided tours in the Chongguang seagrass restoration demonstration area. Led by the chief of Chongguang village and the chairman of community development association, a total of 61 community members participated, and the entire event included the transplantation of seagrass covering an area of 30m². We hope to promote transplantation techniques within communities and facilitate corporate participations through ESG initiatives in the future.

Keywords: seagrass bed; restoration; carbon sequestration

一、前言

海草 (Seagrass) 是海洋環境中沉水性開花植物的統稱，分布於熱帶及亞熱帶的沿岸有光層淺水域，具有直立的枝葉及匍匐的地下莖不斷擴展延伸，整體的生態系稱為海草床 (Seagrass meadow)，為沿岸藍碳的其中一種。海草床生態系是最具生產力的生態系之一 (Zieman and Wetzel, 1980)，綿密的海草床植被是許多海洋生物極佳的棲息環境，是一些大型的海洋動物如綠蠵龜 (*Chelonia mydas*) 與儒艮 (*Dugong dugon*) 賴以生活的重要棲地 (Short *et al.*, 2007)，也是魚類重要的育成場 (Cullen-Unsworth *et al.*, 2014; Duffy, 2006; Orth, *et al.*, 1984; Waycott, *et al.*, 2009; 洗等, 2012)，更與當地的漁業資源動態有著密切的關係。一般來說，同為沙質地，在有海草分布的棲地，其海洋生物的種類與豐度通常都比沒有海草分布的來得高 (李, 2009; 邱, 2009)。除此之外，大面積的海草床具有減緩波浪、保護海岸、行光合作用所釋放出的氧氣，更能提升海水及底土的溶氧量。而海水中的微量元素或養分也可經由海草進行循環，更有益於穩定海中沉積物並能淨化水質 (Cullen-Unsworth *et al.*, 2014; 林及蕭, 2010)。全球海草床生長分布的面積雖不大，僅佔海洋的 0.3% (Moore, 2003)，從海水中固定二氧化碳轉為能量存於海草植株中，卻能固定約 10% 的海洋總固碳量，是全球碳循環中很重要的碳庫之一 (Duarte *et al.*, 2010; Fourqurean *et al.*, 2012)。

全球海草床受到人為活動、海岸開發、天然災害及全球氣候變化之影響，使面積逐年消失 (Japar and Zokaria, 2003)，林 (2006) 墾丁國家公園海域沿岸海草床優養化監測報告指出，造成海草生態系不良影響的主要因子大致分為三大類：1. 氣候因子 (颱風、酷暑、嚴冬及缺水)；2. 生物因子 (附生藻類及藻華)；3. 人為因子 (漁業活動、優養化、除草劑及土地利用活動等)。自 1990 年以來，全球每年海草床的消失面積平均約為 110 平方公里，估計約為全部海草面積的 7%。自 19 世紀以來，全球海草床約有 29 % 的海草生態環境已經流失。近幾十年來消失的速度更是急劇上升，流失的趨勢持續增加 (Park & Lee, 2007; Waycott *et al.*, 2009)，約有 14% (約有 10 種) 的海草種類瀕臨滅絕 (Short *et al.*, 2011)。這些現象在台灣也如出一轍，使海草床的面積不增反減。根據過去調查結果，澎湖為臺灣海草多樣性僅次於東沙環礁海床的熱點，包括海草種類及分布面積都僅次於東沙環礁 (林, 2019^a)。洗等 (2011^{a, b}) 過去在澎湖共調查了 1 市 3 鄉 20 處海域均有海草分布，所紀錄的海草種類共計 5 種海草，包括水蘚科 (Hydrocharitaceae) 的卵葉鹽草 (*Halophila ovalis*) 及毛葉鹽草 (*H. decipiens*)；粉絲草科 (Cymodoceaceae) 的單脈二藥草 (*Halodule uninervis*) 及線葉二藥草 (*H. pinifolia*)；大葉草科 (Zosteraceae) 的甘草 (*Zostera japonica*) 等，佔了臺灣海草種類 (12 種) 總數近一半。林 (2019^b) 也盤點了澎湖 3 處海草現況，包括鎮海、沙港及重光等。洗等 (2020) 針對澎湖鎮海灣 (包括講美、鎮海、巷子及岐頭等 4 村) 海域完成了海草潛在保育區熱點劃設等相關調查。並指出澎湖的「鎮海灣」海草床，在水泥化海岸線及消波塊數量增加下，水文改變造成海沙飄移或堆積，而頻繁的漁業行為與航道疏濬等因素，使沿岸海域的環境驟變，造成大面積海草床被

掩埋或原本連續性的海草床被切割成為片段，以致海草床面積逐漸萎縮，讓海草消失的速度越來越快(洗等, 2011^a)，海草床的復育及保護已到刻不容緩的時刻。

全球為因應「2050 淨零碳排」，各國政府與企業不僅投入碳交易市場外，也積極復育藍碳生態系統，如日本橫濱藍碳補償信用計畫，利用部分船舶入場費和公司捐贈作為環境保護和恢復活動的資助計畫(Kuwae et al., 2022)；西班牙電網公司(Red Electrica)資助的馬略卡島(Mallorca)波連卡灣(Pollenca Bay)種植大洋海神草(*Posidonia oceanica*)的復育計畫(del Mar Otero, M., 2021)。從上述海草床的生態功能、效益，所面臨的威脅及碳匯能力等，均突顯海草床的復育迫切性。而國內有關海草床的修復或復育，最早始於2013年，由本所澎湖海洋生物研究中心在澎湖通梁淺坪海域(洗等, 2013)。檢視國內有關海草以無性生殖復育的方法，主要以根狀莖法(Rhizome method)與塊狀法(Plug method)2種，洗等(2013)比較此2種復育方法指出，挖起相同面積的海草，以「塊狀法」的方式僅從甲處移至乙處，面積擴散效益小；而「根狀莖法」可使原面積增加至少4倍以上，其海草移植後的擴散效益遠高於「塊狀法」。同時也探討原海草床被移除後的復原能力，在覆蓋率50%以上的海草床進行移除後，經107日海草覆蓋率從0%已恢復至54.4%；2014年試驗共種植了60平方公尺的海草，初移植期間(經移植5個月)，其拓張率增加了0.7倍(洗等, 2013及2014)。之後仍持續觀察，經5(2018)年後，海草已拓生成460平方公尺(增生8倍)；經9(2022)年後，拓生成2300平方公尺(增生38倍)。而有性生殖的方式，目前僅趙(2018)探討卵葉鹽草溫度與鹽度對種子發芽之影響研究，發現以低鹽度(10ppt)最適海草萌芽。

海草生態系具有良好的固碳能力，但這些研究多聚焦於沉積物含碳量及有機碳的埋藏速度等課題。如Mcleod et al., (2011)研究指出，藍碳植被擁有高生產力，大量的枯枝落葉及根系會累積埋藏於土壤中。Serrano et al., (2019)探討澳洲沿海植被生態系統指出，海草之土壤碳埋藏率(carbon sequestration rates)為2.5-3.5 Tg C yr⁻¹，比其他兩種藍碳生態系統(紅樹林：0.4 - 1.4 Tg C yr⁻¹；鹽沼：0.48 -0.54 Tg C yr⁻¹)高出許多。而海水中溶解態二氧化碳的濃度才是控制海洋能否吸收大氣二氧化碳的關鍵因子(Tokoro et al., 2014)。也就是說沉積物中碳的埋藏量並不等於大氣二氧化碳的吸收量，唯有對海草床海氣二氧化碳交換進行直接的觀察，才能確切得知海草生態系對大氣二氧化碳的吸收量。

本所澎湖漁業生物研究中心自2012至2014年間，即已完成澎湖海草床分布調查與建立海草復育技術(洗等, 2011^a；洗等, 2011^b)。本計畫將以此為基礎，於澎湖通梁潮下帶海草復育區，進行海草床復育，並以國際碳認證體系之「海草床碳匯計量方法學」如由全球碳匯認證機構Verra所頒布的自願性減碳(VCS)之海草床碳抵換方法學(VM0033)、IUCN地中海藍碳復育手冊(IUCN 2021)、濱海藍碳手冊(Howard et al., 2014)、濕地碳匯功能調查標準作業程序(林, 2018)的基礎上，開發與建立適合國內「海草床復育增匯方法學」，並探討不同年度所復育

的海草床其增匯效益之差異。同時結合社區並輔導企業參與及經營海草復育，最後達到復育海草床並抵換碳匯之目的。

二、材料與方法

(一) 研究海域概述

「通梁海草床復育區」，距岸最近處約 1km，周長近 3km，長度近 1200m、寬度近 450m，從 google 衛星影像呈三角形，面積達 30 公頃（圖 1）。水位介於 0.6-3m 深的亞潮帶，底質以沙質地為主，為海草適合生長的海域。地理位置雖處於澎湖內海，但位處偏僻，人煙罕至，加上退潮最低水位約 0.6m，不僅不適合漁撈作業，也不利潮間帶產業活動，人為擾動低，相當有利作為海草復育區（圖 2）。

(二) 建立海草床復育增匯方法學

1. 基線調查

(1) 基線普查

① 樣區設置

海草床基線樣區設置方式有 3 種類型，包括線性、隨機及網格等。為了解「通梁海草床復育區」全盤基線現況，本調查樣區設置採用網格布放，每一網格樣區尺寸為 100m×100m（面積為 1 公頃），復育區海域共劃設成 36 個網格（圖 3）。

② 海草分布與底質現況調查

底質組成的調查係仿國際珊瑚礁總體檢（Reef Check）的方法，在所劃設的每一樣區，使用 100m 穿測線，每隔 50cm 為一個觀測點（每一測線計有 200 觀測點），記錄底質類型之出現頻度，作為所列的調查海域各類底質組成所佔比例之依據。

(2) 固定測站設置及監測

依據基線普查之結果，選擇 3 處海草生長較穩定的區域設置固定穿越線。也將依海草分布的廣度，設置 15-100m 長度的穿越線，並在每一穿越線依長度比例設置 5 個觀察點進行調查。調查與監測項目如下：

① 海草種類組成

參照海草種類篩選流程圖進行二分法篩選，分成線葉型與卵葉型二分法。再參照臺灣海草分類與分布之研究（柯 2004）海草的辨識特徵進行分類。卵葉型海草特徵不易辨識，必要時需進一步再以 DNA 進行鑑定。

② 海草覆蓋度

參照 Saito & Atobe(1970)及 Short & Coles(2003)之方法，於所設定的海草床樣區有海草處進行調查，於穿越線上所有觀察點進行調查，即至少 5 重複。每個觀察點的兩側放置不鏽鋼網格樣框（50 cm×50cm；每小格為 10 cm x10 cm，共 25 小格，圖 4）。再根據基質與海草覆蓋的比例，以覆蓋度級數(0, 1, 2, 3, 4, 5)給予每小格評分，每個樣框共有 25 個評分，將評分記錄於紀錄板上（表 1）。

覆蓋度之平均數

$$= (75a + 37.5b + 18.75c + 9.38d + 4.69e + 0f) / 25$$

即為代表該樣框的覆蓋度。

③植株密度

參照 Saito & Atobe (1970) 及 Short & Coles (2003) 之方法，完成前述覆蓋率的調查，計算左右樣框正中間的 1 小格（共 10 小格，圖 5 及 6）內海草株數，最後將 10 小格的數值進行平均，即為該位置的植株密度（shoots cm^{-2} ）。

④海草庇護高度

完成覆蓋度的調查後，蒐集該樣點所有海草植株。現場以直尺隨機測量，若觀測對象為線葉型海草，測量其第二葉長（圖 7）；若觀測對象為卵葉型，則測量海草的地上部（即由底土至海草葉片最高處），隨機測量數量至少 20 重複。測值即為該樣區該物種的海草庇護高度（線葉型海草可直接進行量測，類卵葉型海草則需加上地下莖部分。）。

⑤海草物候

採集植株，將樣框中的海草採集並置入採樣袋中，攜回於實驗室分別計算葉片、雄花、雌花果實的數量（圖 8）。其單位經面積換算為每平方米植株數量，原採樣面積為 0.0625m^2 ，乘以 16 倍為 1m^2 的密度。

(3)海草植物體碳匯調查

因海草床為重要的「濱海藍碳」，此項調查可幫助了解地區性海草床的碳匯能力，執行項目包括海草地上部/地下部生物量及其葉片生產力。

① 海草地上部/地下部生物量

使用鏟子採集 1 小格(100cm^2)的海草，共採至少 3 重複，將採集之海草以冷藏方式帶回實驗室，並儘速清洗。將地上部(葉片及葉鞘)與地下部(根、莖)分離秤重，將地下部及地上部生物量之比值(root/shoot ratio, R/S ratio)，評估海草生長的能量投資情形（圖 9）。

② 葉片生產力

依照線葉型與卵葉型海草種類選擇「戳針法」與「綁線標記法」來估計其生產力（圖 10），茲將此兩種方法敘述如下：

戳針法:

本法適用於生長點位於葉片基部之線葉型海草，以 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 的樣框(水泥釘+塑膠繩)標記範圍，框數至少 3 重複，此範圍內至少要有多於 10 株的優勢種海草。將針在海草葉鞘或老葉與新葉之基部垂直穿過，確認針頭穿過所有葉片後，以不折傷葉片之原方向拔出。樣框內所有海草皆以此方式作上記號，並避免重複標記同一株海草。數天後，回收做過記號之海草，以每株海草針孔痕為基準，尋找其它葉片上的針孔痕處，此相對於葉鞘上針孔痕的距離，意即其它葉片新長出來的片段。

綁線標記法:

本法適用於生長點位於葉片基部之類卵葉型海草。找出卵葉型海草的生長端，在生長尖端後至少第三個節間綁上棉線，甚至綁在更後面的節間，最後記錄綁線處至生長尖端內所有葉片長度。數天後回收有綁線的生長端，並再次量取綁線處至生長尖端內所有葉長，新生長出的葉片也要量記，最後配合

海草的葉長與乾重之關係式，計算生長端上所有葉片新增加的重量，除以生長天數與密度後即可得到一個生長端的生產力。每株海草的重複數至少標記 10 處的生長點，每次調查至少 3 重複。

(4) 海草生長底土狀況

本項調查可了解海草生長之底土狀況，基礎調查所需之調查項目包括底土深度、底土粒徑、底土有機質。

① 底土深度

在穿越線兩側尋找代表該樣區之地點，以臨近測量海草覆蓋度地區為佳。隨機以營釘垂直戳入底土，並以直尺量測並記錄營釘在底土內的深度，至少進行 5 重複（圖 11）。

② 底土粒徑

在穿越線兩側尋找代表該樣區之地點，以臨近測量海草覆蓋度地區為佳。使用自製的 PVC 採泥器，直徑約 10 cm，垂直取樣約 10 cm 深度的底土至樣罐，至少 3 重複（圖 12）。攜回實驗室，使用烘箱以 60℃ 進行 24 小時烘乾去除水分，再使用搖篩機將烘乾的底土過篩，進行底土粒徑分析。參照謝等（1993）方法視海草床底土性質選擇以乾篩選法或濕篩選法進行分析流程。依照粒徑中間值對照 Folk（1966）質地分類表，得到底土的質地類別。

③ 底土有機質

在穿越線周圍尋找代表該樣區之地點，以臨近測量海草覆蓋度地區為佳。同樣使用自製的 PVC 採泥器，垂直取樣，深度至採泥器無法繼續深入底土為止，將所採集的底泥從採泥器卸出，量測其深度，所採底土每 10cm 的厚度用樣本袋進行分裝並標示深度（圖 13）。以冷藏方式帶回帶回實驗室，需要盡快完成實驗，或以冷凍進行長期保存。以秤盤裝土，並送入烘箱以 60 °C 烘乾 3 天。秤重、獲得乾重(W_{dry})。再送入高溫灰化爐以 450 °C 灰化 4 小時以去除有機質。秤取其灰化重(W_{ash})。根據 Hillel（2004）的方程式計算有機質含量(OM%)：

$$OM\% = 100\%(W_{dry} - W_{ash}) / W_{dry}$$

(三) 海草床復育

藍碳活動的範圍包括保護（避免向大氣釋放溫室氣體）和恢復/創造（建立從大氣吸收 CO₂ 和/或減少 CH₄ 排放）。而海草床的復育可以保護生態系統免於退化，或經由生長植被的形式增強土壤和沉積物中碳的儲存（創造碳匯來封存碳）。海草床復育的方法大致可分為分株移植法（根狀莖法）、草塊移植法及種子法等 3 大類（李等，2010；張等，2013；上野等，2003；冼等，2014），本計畫所採用的方法即為根狀莖法。

1. 移植海草來源與移植方法

本研究所使用之海草，均採集本中心於 103 年於大倉灣所種植覆蓋率在 50% 以上的海草床，所用的海草為卵葉鹽草（*Halophila ovalis*；H. o.）、單脈二藥草（*Halodule uninervis*；H. u.）及甘草（*Zostera japonica*；Z. j.）等種類，移植的方法係將所採集海草植株的根狀莖使用 U 型金屬固定夾固定於移植海域底質的「根狀莖法」（圖 14 及 15），移植密度為 100 株/m²，全程計畫預定種植 100m²。

2. 海草移植種類

(1) 卵葉鹽草 (圖 16)

本種普遍分布於印度-太平洋海域。生長快速，可在不穩定和沉積環境中迅速生長且生長良好，可經常曝露於潮間帶的空氣中，從潮間帶到水深 20m 處均有分布，生長環境也多樣化，從泥地、泥沙或珊瑚碎屑均可生長。為海草床發展的先驅物種之一，同時也是儒艮與海龜的食物來源之一。

(2) 單脈二藥草 (圖 17)

本種分布於印度-太平洋海域。從潮間帶到水深 20m 處均有分布，在 0-3m 潟湖亞潮帶和珊瑚礁周邊非常常見。在高密度生長區可形成大量的種子庫，生長與拓殖非常快，可以忍受中度干擾，為海草床發展的先驅物種之一，是最受儒艮與海龜歡迎的食物之一，經常被啃食嚴重 (Birch & Birch, 1984)。

(3) 甘草 (圖 18)

本種在東亞地區主要分布於臺灣、琉球群島及香港等 (柯, 2004)。在澎湖大倉灣所復育的海草床為單脈二藥草及卵葉鹽草混植。

(4) 結合社區進行海草床復育

依據冼等 (2011、2020) 澎湖海草床基礎生態調查研究與近年持續調查澎湖潛在海草復育區熱點之結果，在經由社區說明與訪談使社區了解海草復育之重要性，並經由棲地環境的現勘與選擇適當區域，偕同社區一同進行海草復育，藉以提高社區參與度。

三、結果與討論

(一) 建立海草床復育增匯方法學

1. 基線調查

(1) 海草分布與底質基線普查

所調查的 38 公頃海域，海底地貌呈現平緩態勢，地形未有太大的起伏現象。底質主要由沙及海草 2 種組成，其中沙質底的普查出現率為 56.0%，海草的出現率為 44.0%。海草普查覆蓋率分成 A-C 共 3 個等級 (A 為 0-15%，B 為 16-35%，C 為 36-50%)，其中覆蓋率 A 等級 44.7%、B 等級 26.3%、C 等級 28.9% (圖 19)。

基線普查係針對未知海域棲地環境所進行初步的調查，如底質現況與海草分布情形，才能進一步掌握基線環境現況與規劃後續固定測站的設置。本調查係仿以水肺潛水進行珊瑚礁總體檢 (Reef Check) 的方法，由於調查海域範圍廣大，水域深度平均約 1.5m-2m，能見度高，將原採用水肺潛水的方式，改採用浮潛並輔以小艇拖曳的「船曳法」進行，不僅大幅縮短調查時間，提高調查效率外，可以更快速掌握海草床復育區基線現況。

(2) 固定測站設置及監測

從海草分布與底質基線普查結果顯示，測站 22、3 及 36 海草出現率分別為 100%、94.0% 及 95.5%，因此以這 3 測站做為永久測站，分別為測站 1、2 及 3，穿越線長度設定為 100m，分別於 20m、40m、60m、80m 及 100m 處，各設置 1 個觀測點進行相關調查與監測，相關經緯度列於表 3。

① 海草種類組成

在進行植株密度時，共採集樣本 30 個 10cm × 10cm 的樣框，經分類

與計量後，所紀錄的海草種類計有單脈二藥草 (H. u.)、卵葉鹽草 (H. o.) 及甘草 (Z. j.) 等共 3 種，其組成比例依序分別為 62.7%、28.9%及 8.4% (圖 20)。

② 植株密度

所紀錄的 3 種海草，依海草種類加以說明 3 個測站之海草密度。所採集的 30 個樣區，主要優勢的單脈二藥草，有 18 個樣框記錄到，出現率為 60.0%，植株密度介於 5-86 株/100cm²，平均為 18.6±23.7 株/100cm²；其次依序為卵葉鹽草有 17 個樣框記錄到，出現率為 56.7%，植株密度介於 3-41 株/100cm²，平均為 8.6±11.5 株/100cm²；甘草有 8 個樣框記錄到，出現率為 26.7%，植株密度介於 3-23 株/100cm²，平均為 2.5±5.3 株/100cm²。

③ 海草覆蓋度

3 條固定穿越線的平均覆蓋率，測站 1 以 56.7±17.4%最高，其次依序分別為測站 2 (41.9±31.2%) 與測站 3 (0.4±0.7%) (表 4)。所測得 1 及 2 測站的覆蓋率與普查的海草出現率 (100%及 94.0%) 之結果相符，但測站 3 的穿越線布放與原設置點有偏差 (95.5%與 0.4±0.7%)，主要是本次調查布放穿越線時以 GPS 作為布放的依據，水下未增設固定樁作為輔助，以致穿越線前後出現偏差所致。為改善此一現象，所劃設的固定測站將於水下加設固定樁，改善與避免因穿越線的布放而出現誤差。

④ 海草庇護高度

海草庇護高度隨著海草種類的不同而有差異，一般來說以線葉型的海草其葉片長度較卵葉型的葉片高。所調查的 3 條固定穿越線海草種類為線葉型海草與卵葉型海草混生，其比率分別為 71.1%及 28.9%。所記錄的 30 個樣框中，有海草樣框的計有 21 個，其中僅有 1 個樣框的海草為卵葉型的卵葉鹽草，其餘 20 個樣框為線葉型的單脈二藥草和甘草。整體來說，海草庇護高度介於 0.3-9.3cm 之間，平均為 4.0±3.4cm；以固定測站 1 海草的平均庇護高度為 7.1±1.7cm 最高；固定測站 2 次之，平均庇護高度為 4.7±2.6cm，而測站 3 因穿越線沒布放在海草床上，平均庇護高度僅為 0.3±0.5cm。海草庇護高度作為評計以海草床為居所或庇護所動物之效能，庇護高度愈高，可供生物躲棲的空間愈高 (Short and Coles 2003)。藍碳生態系統中的碳分為內源碳和外源碳，而海草床的土壤中大約有 50%的碳屬外源碳 (Kennedy et al., 2010)，主要是海草床的冠層 (庇護高度) 和根系可以有效捕獲流經海草床的沉積物，使之沉積到海草床的碳庫中。

⑤ 海草物候

5 月間觀察通梁海草復育區的 3 種海草物候，3 條固定穿越線均有記錄的卵葉鹽草均有紀錄到果實，平均密度為 1±2 顆/100cm²；餘零子僅在測站 1 有紀錄。而單脈二藥草與甘草則未發現其花與果實。

(3) 海草植物體碳匯調查

因海草床為重要的「濱海藍碳」，此項調查可幫助了解地區性海草床的碳匯能力，執行項目包括海草地上部/地下部生物量及其葉片生產力。

① 海草地上部、地下部生物量及地上部/地下部之比值

一般來說，海草發展初期總生物量較低，隨著種群生長發育，總生物量會達最高值，在進入發展蟄伏期間，總生物量逐漸遞減 (邱等, 2013)。

單脈二藥草地上部重量介於 0-2.6 g/100cm² 之間，平均為 1.08±1.48

g/100cm²；地下部重量介於 0-9.0 g/100cm² 之間，平均為 3.42±5.15 g/100cm²。地上部/地下部之比值介於 0-0.40 之間，平均為 0.32±0.09。所設定的 3 條固定穿越線，平均生物量以測站 2 的地上部與地下部最高，分別為 2.3±0.4 g/100cm² 及 7.2±2.6 g/100cm²，平均地上部/地下部之比值為 0.36±0.06。

卵葉鹽草地上部重量介於 0-0.8 g/100cm² 之間，平均為 0.5±0.6 g/100cm²；地下部重量介於 0-1.6 g/100cm² 之間，平均為 1.2±1.3 g/100cm²。地上部/地下部之比值介於 0.09-0.53 之間，平均為 0.43±0.21。所設定的 3 條固定穿越線，平均生物量以測站 1 的地上部與地下部最高，分別為 0.5±0.3 g/100cm² 及 1.2±0.5 g/100cm²，平均地上部/地下部之比值為 0.47±0.08。

甘草地上部重量介於 0-0.3 g/100cm² 之間，平均為 0.4±0.4 g/100cm²；地下部重量介於 0-0.4 g/100cm² 之間，平均為 0.8±0.6 g/100cm²。地上部/地下部之比值介於 0.34-1.03 之間，平均為 0.70±0.33。所設定的 3 條固定穿越線，平均生物量以測站 1 的地上部與地下部最高，分別為 0.3 g/100cm² 及 0.4±0.1 g/100cm²，平均地上部/地下部之比值為 0.93±0.14。

藉由海草地上部與地下部重量比值之大小可判斷海草植株生長之階段（邱等，2013）。經由季節性海草地上部與地下部重量之比值的變化差異，如比值逐月持續增加時，為海草生長發育期；反之，比值逐月持續減小，為海草蛻伏期。從上述 3 種海草的地上部與地下部重量比值來看，單脈二藥草及卵葉鹽草比值偏低，分別為 0.36±0.06 及 0.47±0.08，推測為發展初期的階段；而甘草的比值較高，推測為接近發展高峰的階段。

② 葉片生產力

海草葉片生產力所使用的「戳針法」與「綁線標記法」一般用於自然海草床調查用，因本研究係探討復育海草床增匯，故移植或復育的海草生產力之評估，為復育海草床重要之指標。緣此，進行本項調查與評估前，須於育苗池內先培育單脈二藥草、卵葉鹽草及甘草等 3 種海草，再進行葉片生產力的評估。

上述 3 種海草的育苗，已於 9 月 12 日進行作業，目前海草生長穩定，但隨著季節的更替，時序已進入海草蛻伏期的冬季，本項評估將於明年春末（約 4 月底 5 月初）海草生長期進行本項評估。

(4) 海草生長底土狀況

① 底土深度

每一條固定穿越線同時進行左右 2 側進行檢測，每側共計有 5 個測點，每 1 測點進行 5 重複，每一測線共進行 50 個檢測數據。所設置的 3 條固定穿越線檢測結果，整體來說底土厚度介於 14.4-100cm 之間，底土平均厚度為 75.6±32.0cm。3 條固定穿越線以測站 3 地底土最厚，平均厚度高達 98.7±2.3cm，其次為測站 1，厚度高為 95.1±11.2cm，測站 2 平均厚度最淺，僅 32.9±10.9cm（表 5）。林及蕭（2010）調查東沙海草床的環境因子指出，底土厚度與海流影響有很大的關係。從地理位置來看，測站 2 的位置較接近跨海大橋，並緊鄰嶺仔尾滬東側，推測測站 2 可能受海流影響所致，底土厚度為 3 條固定穿越線最。

② 底土粒徑

底土的粒徑組成直接影響海草的生長與分布。林及劉（2018）在東沙環礁海草生態相調查指出，底土粒徑太大不適合海草生長，粉泥及黏土含量的

多寡則會影響大型無脊椎動物的豐度。適合海草棲息生長的底土粒徑以極細砂（0.0625mm 以上）至極粗砂（2mm 以下）的範圍之間，粒徑在 2mm 以上的礫石與卵石之底土，顆粒過大，不利海草根部分之短毛鈎攀附；0.0625mm 以下的粉泥及黏土則因顆粒過小，因具黏性，比例過高時易造成海草葉片被覆蓋，進而影響其光合作用。經檢視通梁海草復育區 3 條固定穿越線底土粒徑分布大致相近，整體底土粒徑適合海草生長的比例達 98.1%，顯示通梁海草復育區底土粒徑之組成相當適合海草生長（圖 21、22 及表 6）。

（二）海草床復育

使用「根狀莖法」於澎湖通梁海域進行海草床復育，於 6 月至 8 月的 3 個月間，分別移植 13 m²、40 m² 及 47 m²，共完成海草床復育 100m²（圖 23 及表 7），移植密度為 100 株/m²，共移植 10,000 株。所移植的海草種類有單脈二藥草、卵葉鹽草及甘草進行混植，其混植比例分別為 60%、30%及 10%。

海草在移植後，不同月別所移植的海草脫落率依序為 16%、14%及 9%，平均為 13%。脫落的原因主要是受雜食性的臭都魚（*Siganus fuscescens*）苗啃食的生物性擾動影響所致（圖 24）。改善此現象可於海草移植後，使用剪刀將地上部的葉片剪除，可降低被生物擾動的頻率；本年度在 7 月前所完成的 40m²，其根部多數已著床，並未受颱風影響而流失。10 月間觀察所移植海草的地上部，仍常遭臭都魚啃食，使地上部的葉片覆蓋度偏低，僅約 5-10%左右，這是海草初移植最常見的現象（圖 25）。但此現象卻可增加海草地下莖的發展，目前地下莖均有向外擴散的現象，使所移植的海草更加穩固於海床上。此現象也將持續維持至明年春季，在水溫提升後，海草葉片將會從所蟄伏的地下莖迅速成長，便具有形成海草床之雛形。

在海草尚未移植前的沙質底質，常見的生物僅見飛白楓海星（*Archaster typicus*）。隨著移植海草的增生，所出現的生物種類也逐漸增加，魚類部分如古氏土魷（*Dasyatis kuhlii*）、奧奈鑽嘴魚（*Gerres oyena*）、海龍（*Syngnathidae*）、洋鑽秋姑魚（*Upeneus tragula*）、臭都魚及右鰾科（*Soleidae*）等（圖 26）。大型無脊椎動物如頭足類的烏賊（*Sepiidae*）及卵；腹足類的紅袖鳳凰螺（*Euprotomus bulla*）、臺灣榧螺（*Oliva mustelina*）及玉螺（*Naticidae*）的卵團沙碗；甲殼類的沙蝦（*Penaeidae*）、遠海梭子蟹（*Portunus pelagicus*）、槍蝦（*Alpheidae*）（圖 27）。

海草移植最適時機之探討，可從 2 個角度來分析，首先從海草地下莖儲存澱粉效能的角度來看，海草進行光合作用所產生的碳水化合物，最後會以澱粉的型態儲存在海草地下莖中，以備渡冬所需（Olive et al., 2007）。冬季因溫度和光照不足，使得光合作用減緩，減低了海草的生產力，海草需依賴地下莖所儲存的澱粉才能渡冬（Alcoverro et al., 2001）。澱粉是否能儲存，取決於生長季節末前，光合作用（碳增益）與呼吸作用（碳需求）的平衡，如以養分儲存渡冬的角度來看，海草移植應在春末及秋初（5 月至 9 月間）海草生長的主要期間，進行移植。另海草在移植時，如能配合所移植海草種類的果實期間進行移植，除可藉由海草地下莖向外擴散的方式來增加海草面積外，同時可經由所移植海草所長出的果實之種子散播的有性生殖，使所移植的海床上形成海草種子庫，提高海草復育的效能。從表 8 所移植 3 種海草的果實期資料顯示，單脈二藥草和卵葉鹽草果實期全年具有 2 期，單脈二藥草為 2-6 月及 10-11 月；卵葉鹽草為 4-7 月及 9-12 月。甘草全年僅有 1 期，3-6 月間（柯，2004；趙，2018）。其中在 4-6 月間的果實期都有涵蓋到所移植的 3 種海草。綜合上述，以所移植的 3 種海草來看，海草移植效益最佳的期間以 5-6 月間最理想，而 5-9 月間為適合海草移植的期間。

藍碳活動的範圍包括保護（避免向大氣釋放溫室氣體）和恢復/創造（建立從大氣吸收 CO₂ 和/或減少 CH₄ 排放）。而海草床的復育可以保護生態系統免於退化，或經由生長植被的形式增強土壤和沉積物中碳的儲存（創造碳匯來封存碳）。

（三）結合社區進行海草床復育

本所澎湖漁業生物研究中心近年來投入相當多心力進行澎湖沿岸海域海草相關調查研究與復育。研究過程中也發現因人為因素或全球氣候變遷影響，導致供給海洋生物幼生的食物來源或提供躲棲的海草床大量流失，因而衝擊到漁業資源之結構與海洋生物的多樣性降低，尤以澎湖內海最為明顯與嚴重。

位於澎湖內海的重光淺坪海域，從澎湖舊地名便指出此區稱為「蝦埕」，意旨此區為佈滿海草的淺坪。因岸邊養豬廢排水和民生費排水都直接進入海草床淺坪環境，使海草床大量萎縮；加上航道的開挖與疏濬，使海草床底土嚴重流失，加劇海草床流失速度，又海草床常有大量的貝類資源，吸引很多以耙具採集的民眾大量採耙，致使海草床消失。在社區陳里長的陳情之下，澎湖縣政府農漁局邀請水試所澎湖漁業生物研究中心、葉竹林議員及社區民眾於 103 年 7 月 13 日進行會勘，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（圖 28）。因本中心於 102 年於通梁海域亞潮帶研究與探討無性生殖的方式進行海草復育，會勘後澎湖縣政府農漁局將重光列為海草復育（潮間帶）示範區，因會勘時仍有許多民眾以耙具採貝，因此還特別公告禁止在復育示範區內使用小鋤頭或耙具採捕貝類。103 年 8 月間，於重光海草復育示範區試種 0.2m² 的海草，種類為單脈二藥草及卵葉鹽草 2 種，經 1 年之後，面積擴增近 20 m²。經 8 年後（110 年），海草面積擴增至 340 m²（圖 29）。104 年 5 月間，於重光海草復育示範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」，移植了面積 13m² 的海草，種類同為單脈二藥草及卵葉鹽草 2 種，經 7 年後（110 年），面積擴增近 180 m²（圖 30）。106 年間，由農業部水產試驗所澎湖漁業生物研究中心執行澎湖縣政府農漁局棲地劣化改善計畫，於重光海草復育示範區有計畫性的種植 60 m² 的海草，種類同為單脈二藥草及卵葉鹽草 2 種，經 4 年後（110 年），面積擴增近 1600 m²（圖 31）。經歷 10 年後，重光里陳里長於（111）年 6 月 27 日再次邀請相關單位會勘及媒體報導本區海草復育的現況後，農漁局於 111 年 10 月 1 日將「海草復育示範區」公告修正為「海草保護區」，此為臺灣首次為保護海草所進行的行政公告（圖 32）。為更積極達到海草復育之目的，以本中心所建立的海草移植技術為基礎，邀請社區民眾參與海草復育，以彰顯政府對示範區之重視，並藉由與社區民眾面對面的說明海草床生態系與漁業資源的重要性，以達到海草復育與資源增裕之教育推廣目的。

緣此，本中心於 112 年 6 月 6 日星期二下午 15 時至 18 時辦理「重光海草床復育活動-打造海洋生物一個家」，偕同社區民眾至「重光海草復育示範區」辦理海草復育活動及海草復育區導覽，由重光里長與社區理事長帶領社區民眾共計有 61 人參與。所辦理的教育推廣，主要介紹澎湖海草床過去的榮景與現在的情形，並與耆老對談重光海草床消失原因與潛在威脅、如何改善及社區可扮演的角色等，藉以喚起社區的參與感（圖 33）。並與耆老對談，如何協助回溯重光潛在海草復育區過去的情形及未來復育的方向（圖 34）。復育活動，主要是讓社區民眾瞭解海草根狀莖的移植方法，以利協助未來社區進行海草復育之推行，全程共完成了面積 30m² 的海草移植（圖 35 及 36）。

四、結論與建議

(一) 結論

1. 建立海草床復育增匯方法學

(1) 基線調查

基線普查方法改採用浮潛並輔以小艇拖曳的「船曳法」進行，大幅縮短調查時間，提高調查效率外，可以更快速掌握海草床復育區基線現況。

(2) 固定測站

測站的設置雖有航海儀器 GPS 加以設定，但每次使用仍會因儀器接收衛星時的誤差，導致調查時穿越線有偏移的現象。為改善此一現象，在所劃設的固定測站於水下加設固定樁，GPS 輔以找尋點位，可確保所調查的固定測站之準確度。

(3) 監測項目與時機

目前所監測的項目以海草植物體碳匯和底土碳匯為主。由於復育海草床增匯方法學所監測項目眾多，執行一次的監測調查，往往需要至少約連續 10 個工作日左右，如遇冬季的東北季風或是颱風等惡劣天候時，不利進行長時間的監測採樣工作進行。

2. 海草床復育

(1) 本計畫於 112 年 6 月至 8 月間於通梁海草復育區完成 100m² 海草的移植，生物擾動是造成海草移植初期脫落的主因，改善此現象可於海草移植後，使用剪刀將地上部的葉片剪除，可降低被生物擾動的頻率。

(2) 所移植的海草種類為單脈二藥草、卵葉鹽草及甘草等 3 種進行混植，其比例依序為 60%、30%及 10%。

(2) 海草移植後，生物多樣性組成與豐度都有提高的現象。

3. 結合社區進行海草床復育

本中心於 112 年 6 月 6 日辦理「重光海草床復育活動-打造海洋生物一個家」，偕同社區民眾至「重光海草復育示範區」辦理海草復育活動及海草復育區導覽，由重光里長與社區理事長帶領社區民眾共計有 61 人參與，全程也完成了海草移植面積 30m²。

(二) 建議

1. 海草床基線普查，建議採用本研究所採用浮潛並輔以小艇拖曳的「船曳法」進行，可快速掌握海草床復育區基線現況。

2. 以 GPS 輔以找尋固定測站，並於水下加設固定樁，可確保固定測站之準確度。

3. 由於通梁海草復育區位於澎湖內海亞潮帶，全年被海水所淹沒，海水環境封存藍碳的機制與效益對 CO₂ 的封存扮演重要角色，但目前所訂的監測項目並未涵蓋（如海水與孔隙水碳化學參數等）。未來應增加復育海草床海域海水化學特性之監測，有助了解海草碳匯之路徑，進而提升碳匯之效益。建議未來可與國立臺灣海洋大學周文臣老師團隊合作，共同建立國內復育海草床增匯方法學。

4. 復育海草床增匯相關監測作業，建議於天候較穩定的春末至秋初的季節進行監測。
5. 海草移植後，可使用剪刀將地上部的葉片剪除，降低或改善被生物擾動的頻率。
6. 依據所移植的 3 種海草營養的儲存與果實期，在澎湖移植效益最佳的期間以 5-6 月間最理想，而 5-9 月間為適合海草移植的期間。
7. 未來可藉由海草移植技術推廣至社區，並媒合企業參與 ESG。

五、參考文獻

- 李承錄 (2009) 墾丁大光泰來草與單脈二藥草海草床之魚類群聚變化與胃內含物研究。中興大學碩士論文。
- 李森、范航清、邱龐龍、石雅君 (2010) 海草床恢復研究進展。生態學報，30(9)：2443-2453。
- 邱龐龍、范航清、李宗善、劉國華、石雅君、李 森 (2013) 瀕危海草貝克喜鹽草的種群動態及土壤種子庫-以廣西珍珠灣為例。生態學報，33 (19)：6163-6172。
- 冼宜樂、鐘金水、林綉美、涂詩韻、鄭靜怡、歐麗榛、黃文卿、蔡萬生 (2011^a) 澎湖海草床基礎生態調查之研究。澎湖縣政府農漁局委託計畫結案報告，67 頁。
- 冼宜樂、鐘金水、林綉美、涂詩韻、鄭靜怡、歐麗榛、黃文卿、蔡萬生 (2011^b) 澎湖海草的分類與分布。水試專訊，34:27-31。
- 冼宜樂、鐘金水、林綉美、黃文卿、鄭靜怡、歐麗榛、蔡萬生 (2012) 澎湖大倉灣海草床魚類群聚初探。水試專訊 39：5-9。
- 冼宜樂、鐘金水、林金榮 (2013) 澎湖海域海草(床)生態調查及與漁業資源保育相關性研究—海草移植技術研究。水產試驗所 2013 年報。
- 冼宜樂、鐘金水、林金榮 (2014) 澎湖海域海草(床)生態調查及與漁業資源保育相關性研究 (IV) -海草移植技術研究-2。行政院農業委員會水產試驗所科技計畫成果報告，16 頁。
- 冼宜樂、陳俊廷、楊子泰、蔡忠和、陳岳川、歐啟明、方鵬和、劉再豐、謝恆毅 (2020) 潛在保育區熱點劃設季保護區巡守隊強化計畫。澎湖縣政府農漁局委託計畫，324 頁。
- 林幸助 (2006) 墾丁國家公園海域長期生態研究計畫-墾丁國家公園海域沿岸海草床優養化監測報告。內政部營建署墾丁國家公園管理處委託研究報告。
- 林幸助、蕭淑娟 (2010) 東沙海域大型藻類生物量與海草物候、生產力調查。海洋國家公園管理處委託辦理研究報告，135 頁。
- 林幸助、劉弼仁 (2018) 東沙環礁海草生態相調查。海洋國家公園管理處委託辦理研究報告，155 頁。
- 林幸助 (2019^a) 108 年海草床生態系調查計畫成果報告書。海洋委員會海洋保育署委託研究計畫，178 頁。
- 邱士涵 (2009) 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。中興大學碩士論文。
- 柯智仁 (2004) 臺灣海草分類與分布之研究。國立中山大學生物科學系碩士論文，99 頁。
- 張沛東、曾星、孫燕、張秀梅 (2013) 海草植株移植方法的研究進展。海洋科學，

37(5) : 100-107。

- 趙元寧 (2018) 澎湖卵葉鹽草生物量季節性變化及溫度與鹽度對種子發芽影響之研究。國立澎湖科技大學水產資源與養殖碩士學位論文，103 頁。
- 謝蕙蓮、黃守忠、李坤瑄、陳章波 (1993) 潮間帶底棲生態調查法。生物科學。36(2):71-80。
- 上野成三、高山百合子、前川行幸、原条誠也 (2003) 播種・株植が不要なアマモ移植方法の現地実験。海岸工學論文集，50：1261-1265。
- Alcoverro. T., Manzanera. M., & Romero. J. (2001) .Annual metabolic carbon balance of the seagrass *Posidonia oceanica*: the importance of carbohydrate reserves. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 211:105-116.
- Cullen-Unsworth, L. C., Nordlund, L. M., Paddock, J., Baker, S, McKenzie, L. J., & Unsworth, R. J. (2014) . Seagrass meadows globally as a coupled social-ecological system: Implications for human wellbeing. *Marine Pollution Bulletin*, 83(2), 387-397.
- Del Mar Otero, M. (2021). Manual for the creation of blue carbon projects in Europe and the Mediterranean.
- Duarte, C. M., Marba, N., Gacia, E., Fourqurean, J. W., Beggins, J., Barron, C., & Apostolaki, E. T. (2010) . Seagrass community metabolism: Assessing the carbon sink capacity of seagrass meadows. *Global Biogeochemical Cycles*, 24 (GB4032) .
- Duffy, J. E. (2006). Biodiversity and the functioning of seagrass ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 311, 233-250.
- 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. (2010) . Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature geoscience*, 5(7), 505-509.
- 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.
- Japar, Sidik. B., and Zakaria, M. H. (2003) .Seagrasses in Malaysia. *Seagrass Ecosystem: Resource Status*: 22-37.
- Kennedy H, Beggins L, Duarte C. M. (2003) . Seagrass sediments as a global carbon sink: Isotopic constraints. *Global Biogeochemical Cycles*, 24.
- Kuwae, T., Watanabe, A., Yoshihara, S., Suehiro, F., & Sugimura, Y. (2022). Implementation of blue carbon offset crediting for seagrass meadows, macroalgal beds, and macroalgae farming in Japan. *Marine Policy*, 138, 104996.
- Mcleod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., et al. (2011) 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(10), 552-560.
- Moore, R. M. (2003). Marine sources of volatile organohalogens. *Natural Production of Organohalogen Compounds*, 85-101.
- Olive, I., Brun, F. G., Vergara, J. J., & Perez-Llorens. J. L. (2007). Effects of light and biomass partitioning on growth, photosynthesis and carbohydrate content of the seagrass *Zostera noltii* Hornem. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*
- Orth, R. J., Heck, K. L., & van Montfrans, J. (1984). Faunal communities in seagrass beds: a review of the influence of plant structure and prey characteristics on predator-prey relationships. *Estuaries*, 7, 339-350.
- Park, J. I., & Lee, K. S. (2007). Site-specific success of three transplanting methods

- and the effect of planting time on the establishment of *Zostera marina* transplants. *Marine Pollution Bulletin*, 54(8), 1238-1248.
- Saito Y, Atobe S (1970) Phytosociological study of intertidal marine algae. I. Usujiri Benten-Jima, Hokkaido. *Bulletin of the Faculty of Fisheries, Hakkaido University*, 21:37-69.
- Serrano, O., Lovelock, C.E., Atwood, T.B., Macreadie, P.I., Canto, R., Phinn, S., Arias-Ortiz, A., Bai, L., Baldock, J., Bedulli, C., and Carnell, P. (2019) Australian vegetated coastal ecosystems as global hotspots for climate change mitigation. *Nature communications*, 10(1), 1-10.
- Short FT, and Coles RG (2003) *Global Seagrass Research Methods*. Elsevier, The Netherlands.
- Short, F. T., Carruthers, T., Dennison, W., & Waycott, M., (2007) Global seagrass distribution and diversity: a bioregional model. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 350 (1-2), 3– 20.
- Tokoro, T., Hosokawa, S., Miyoshi, E., Tada, K., Watanabe, K., Montani, S., Kayanne, H., Kuwae, T. (2014) Net uptake of atmospheric CO₂ by coastal submerged aquatic vegetation. *Global change biology*, 20(6), 1873-1884.
- Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J. B., Orth, R. J., Dennison, W. C., Olyarnik, S., Calladine, A., Fourqurean, J. W., Heck, K. L., Hughes A. R., Kendrick G. A., Kenworthy W. J., Short F. T., and Williams, S. L. (2009) .Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 106(30),12377-123281.
- Ziman JC, Wetzel RG (1980). Productivity in seagrasses: methods and rates, Phillips RC, McRoy CP (eds), *Handbook of seagrass biology*. Garland STPM, New York, p87-116.

六、圖

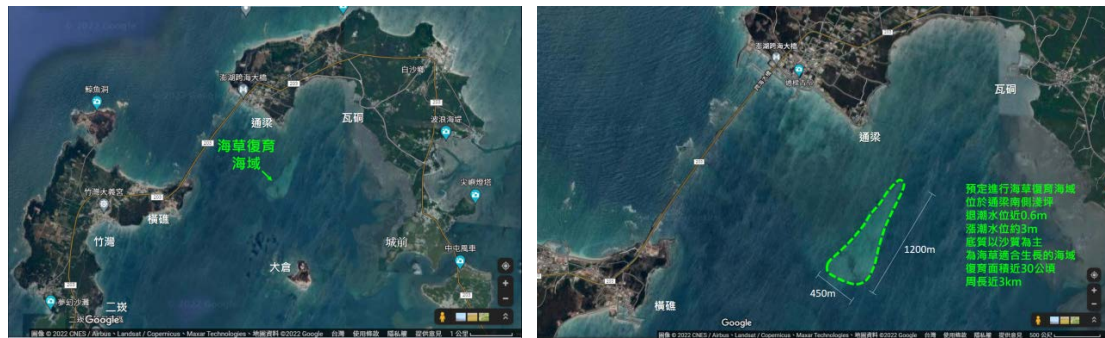


圖 1. 通梁海草復育區地理位置（圖左）與範圍（圖右）



圖 2. 通梁海草復育區位處亞潮帶，光照充足，適合海草生長。

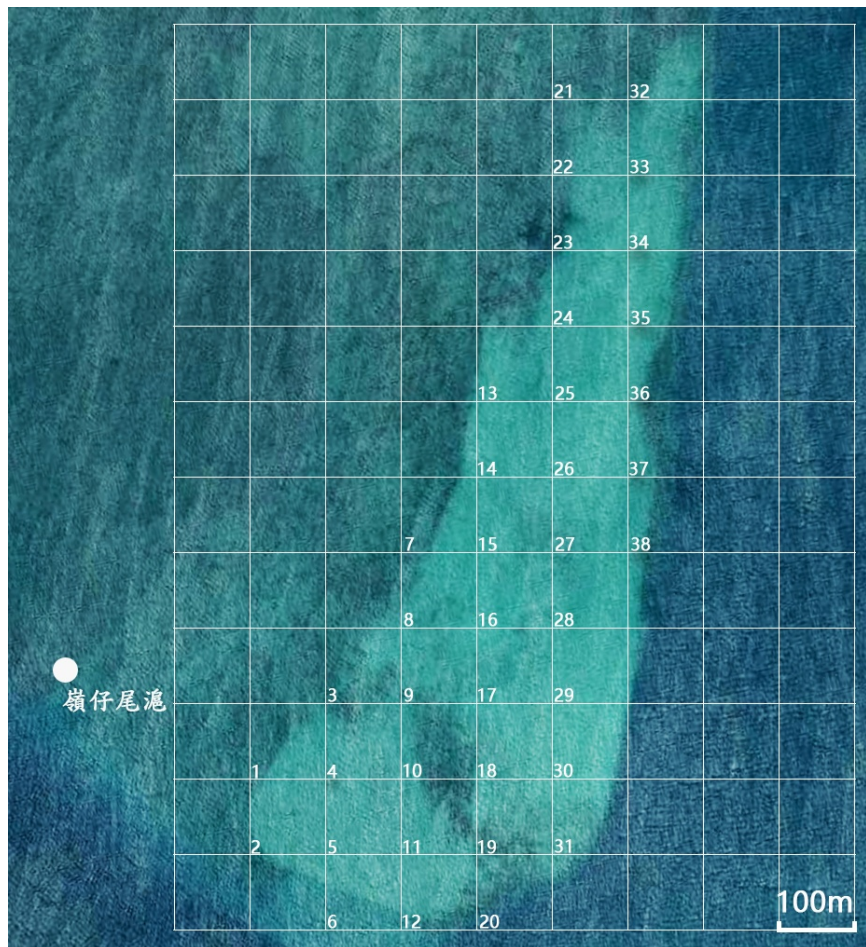


圖 3. 通梁海草復育區樣區採網格分布，每 1 網格所涵蓋面積為 1 公頃。

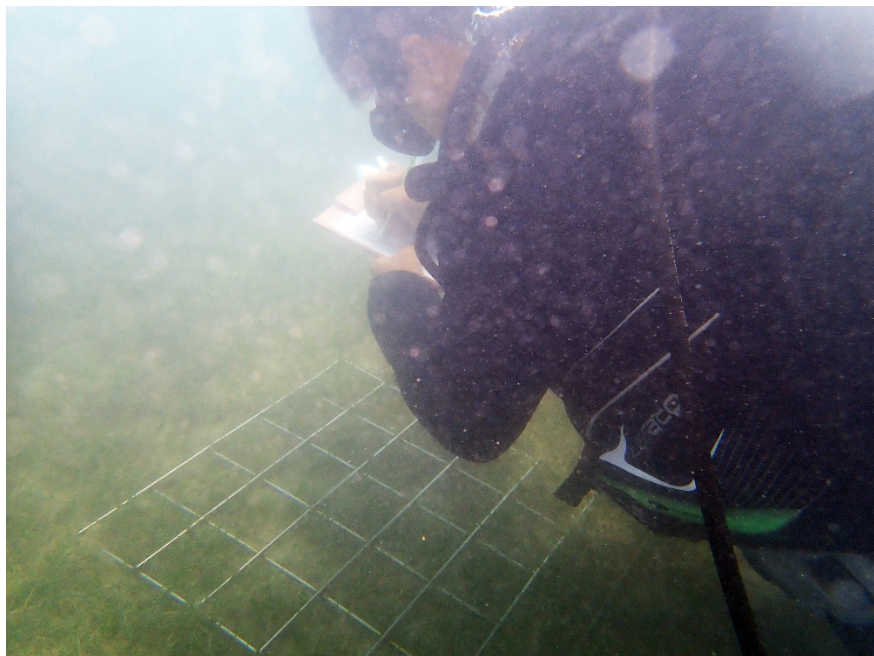


圖 4. 海草覆蓋度調查

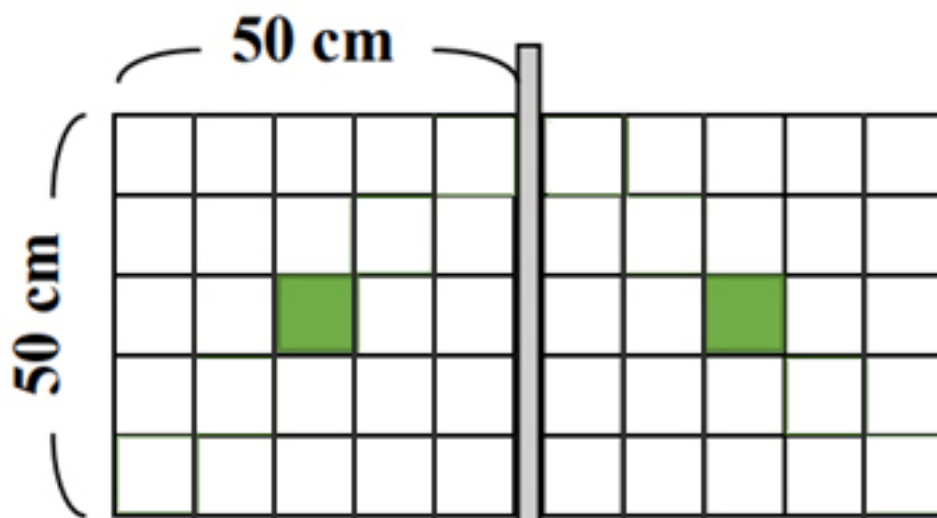


圖 5. 測量植株密度所用小格式意圖

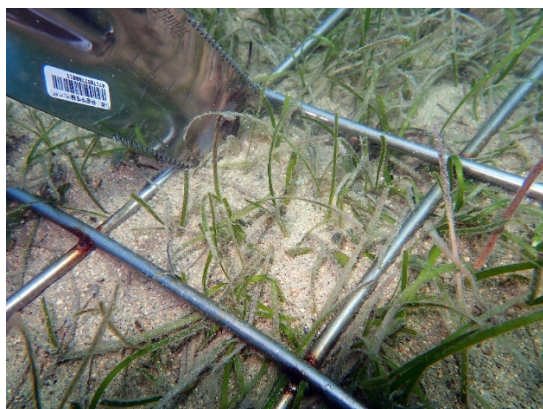


圖 6. 海草植株密度採樣



圖 7. 海草庇護高度調查



卵葉鹽草雄花苞

圖 8. 海草（卵葉鹽草）物候調查



卵葉鹽草果實



圖 9. 海草地上部/地下部生物量檢測分析



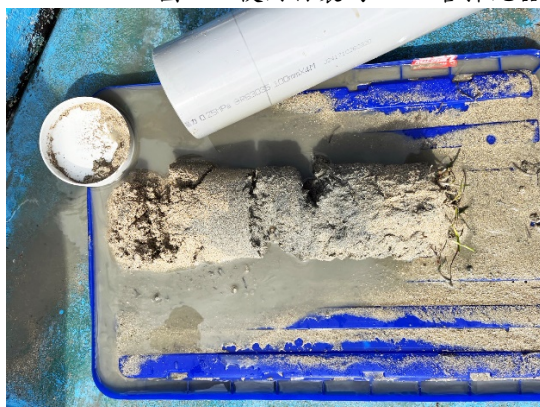
圖 10. 海草葉片生產力調查



圖 11. 底土深度調查



圖 12. 使用自製的 PVC 管採泥器進行海草床底土採樣



採泥器所採集的底土



底土每 10cm 的厚度用樣本袋進行分裝並標示深度

圖 13. 底土有機質採樣分析

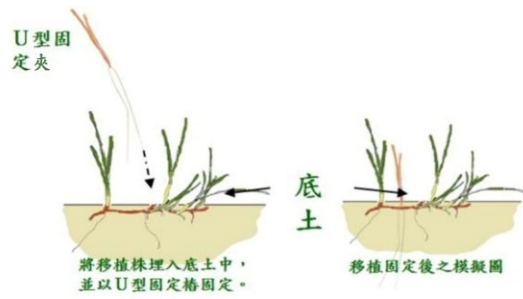


圖 14. 海草移植根狀莖法之模擬圖



圖 15. 海域海草移植作業情形

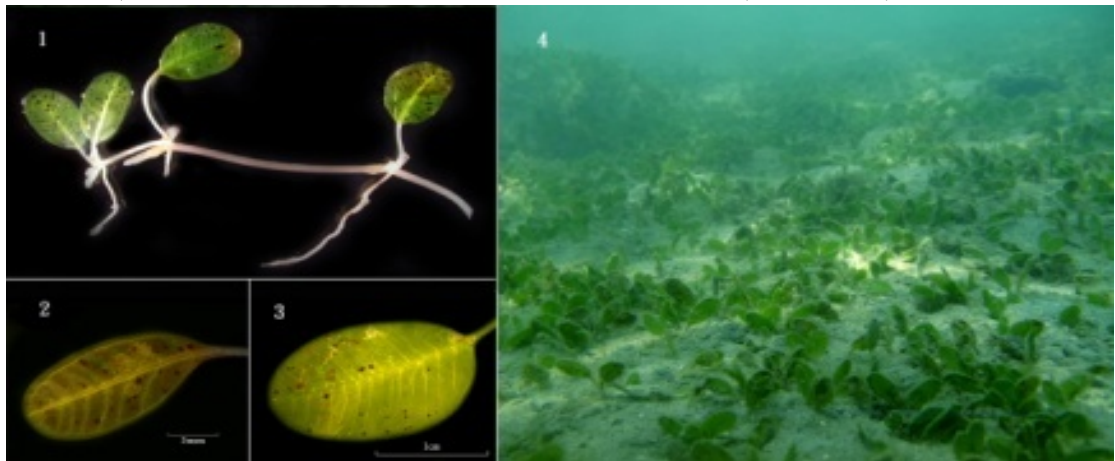


圖 16. 海草移植的種類，卵葉鹽草。

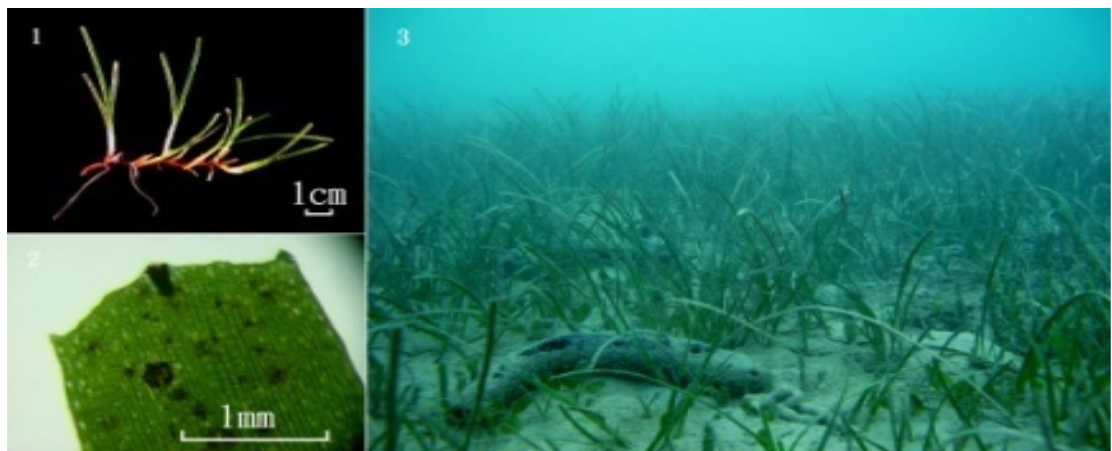


圖 17. 海草移植的種類，單脈二藥草。



圖 18. 海草移植的種類，甘草。

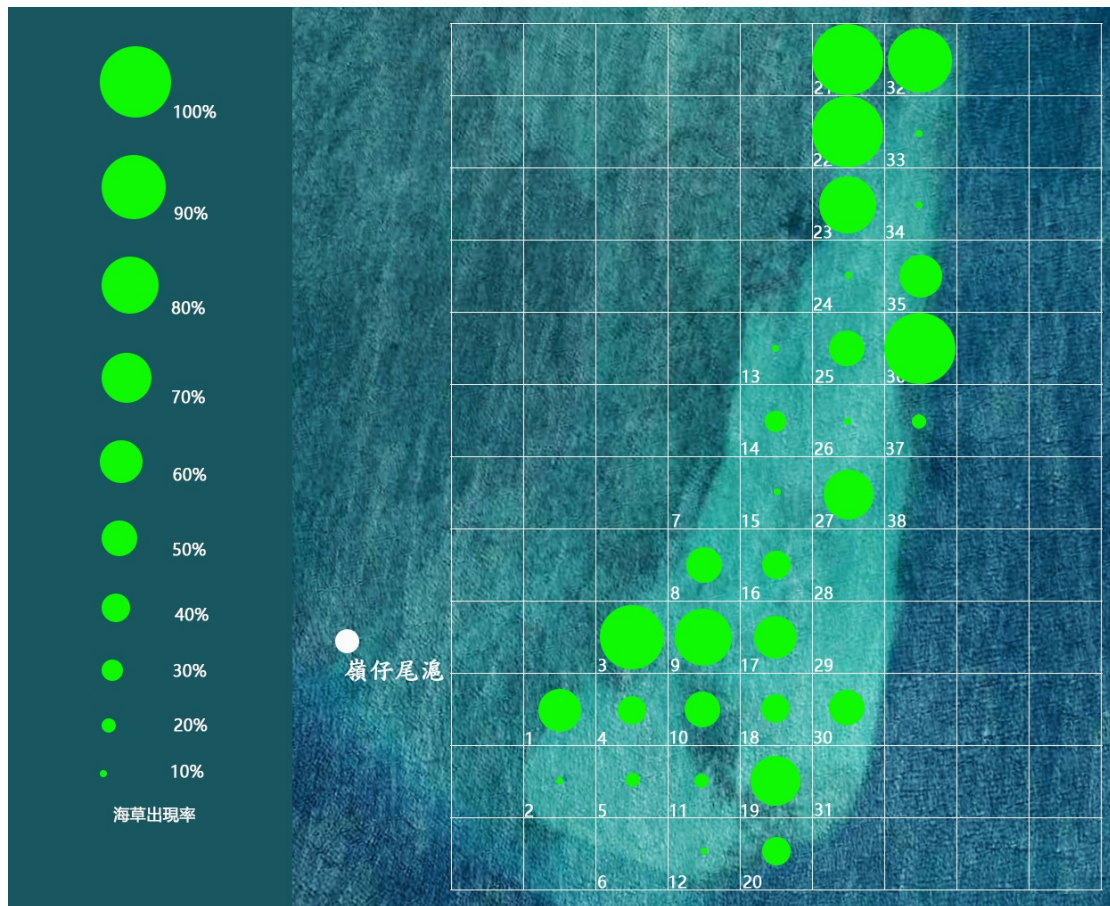


圖 19. 2023 年通梁海草復育區各測站海草出現率分布圖

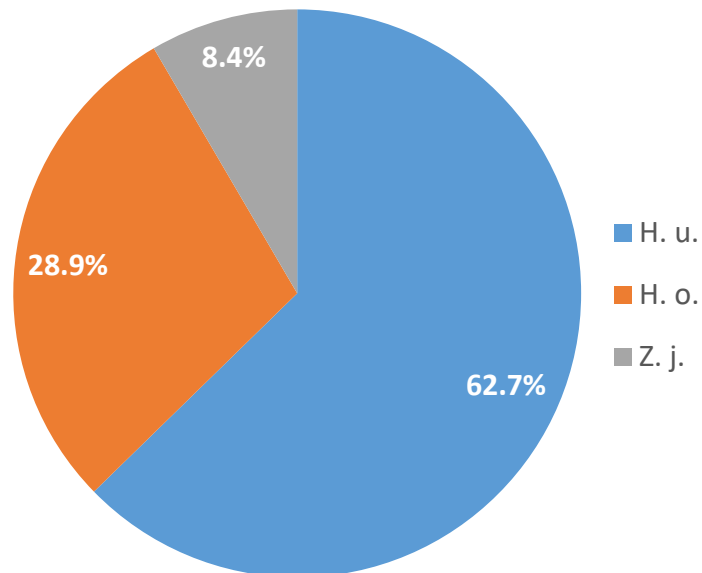


圖 20. 通梁海草復育區海草床固定測線 3 種海草比例圖

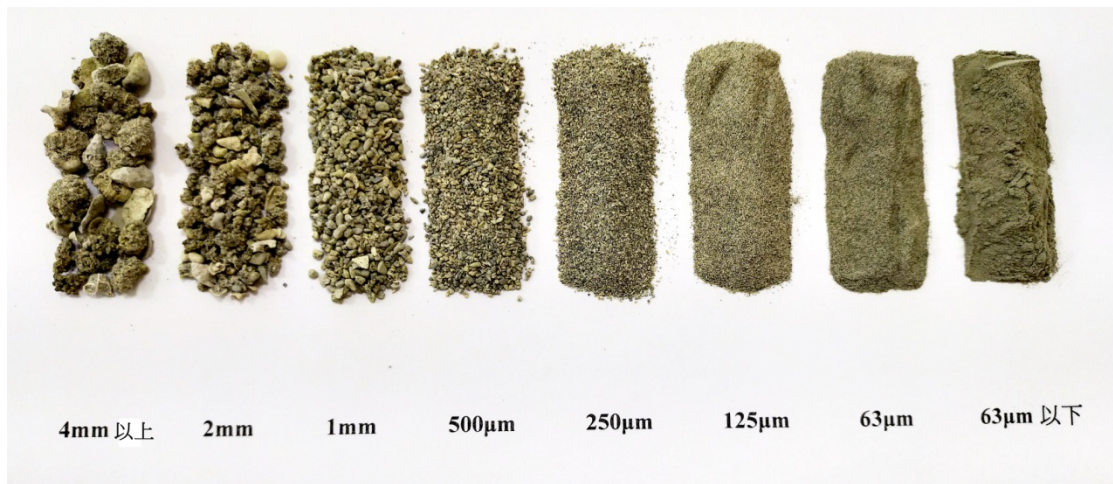


圖 21. 海草床底土不同粒徑示意圖

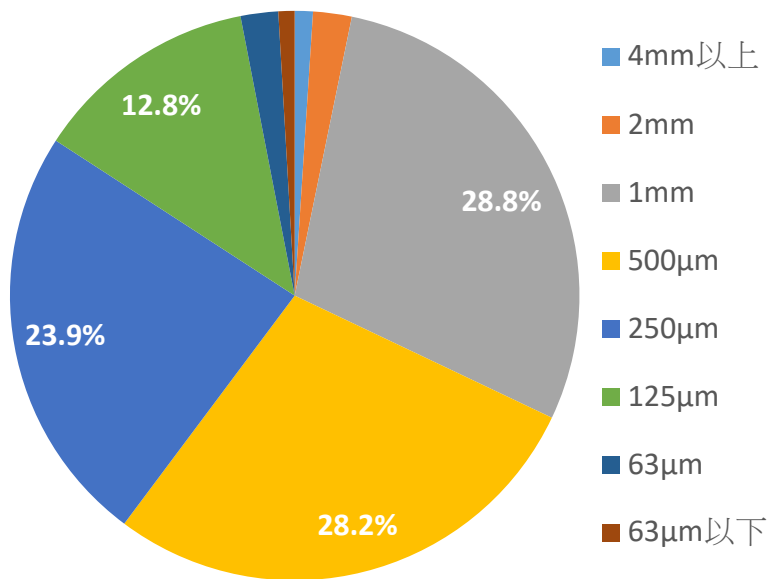


圖 22. 通梁海草復育區海草床固定測線底土粒徑比例圖



圖 23. 於通梁海草復育區所移植的海草植株



圖 24. 臭都魚啃食海草對初移植的海草擾動影響大



圖 25. 被臭都魚啃食後移植海草的地上部覆蓋率驟減

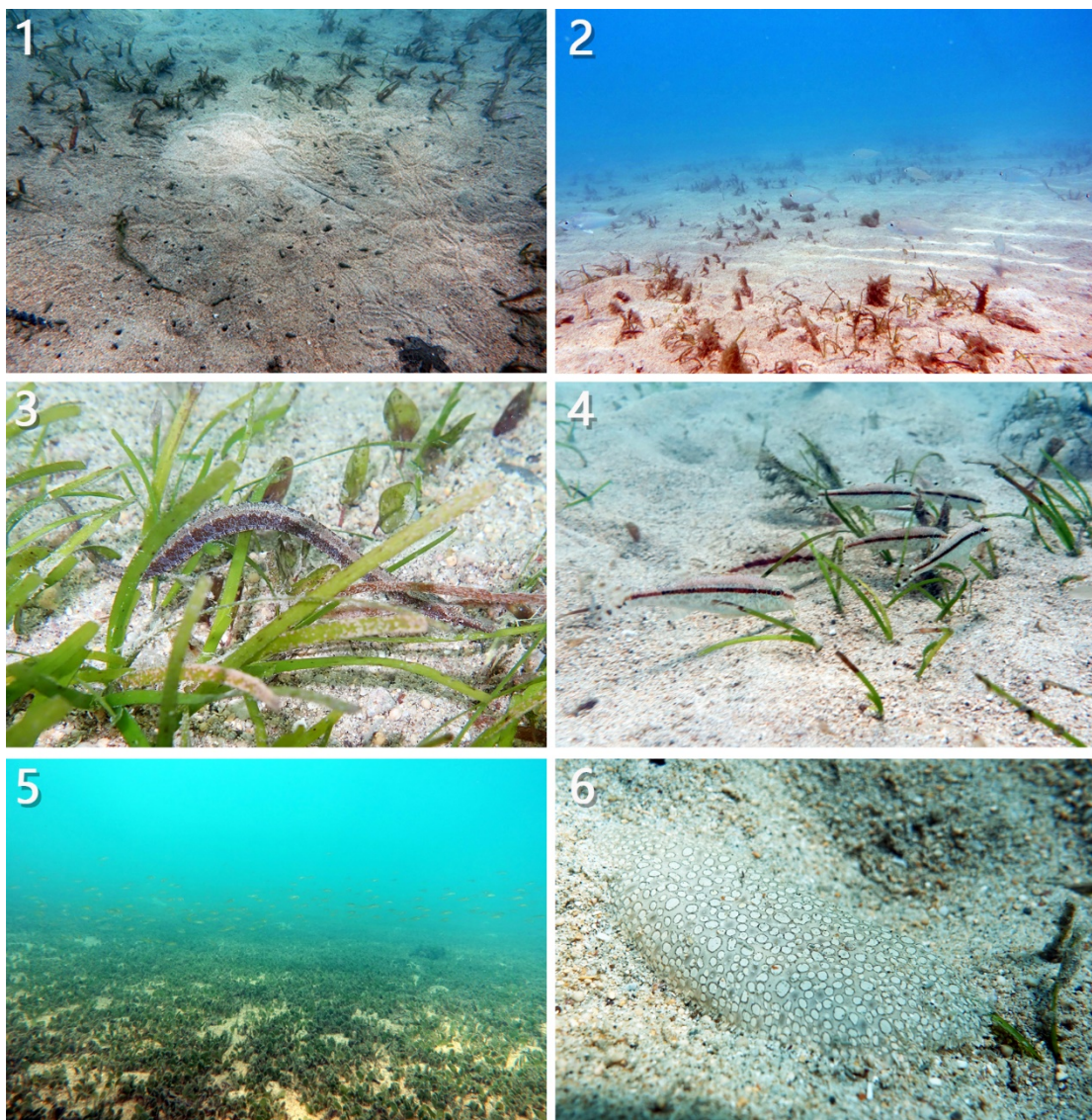


圖 26. 海草逐漸增生共棲出現的魚類也有增加的趨勢（1. 古氏土魷；2. 奧奈鑽嘴魚；3. 海龍；4. 洋鑽秋姑魚；5. 臭都魚； 6. 右鰾）



圖 27. 海草逐漸增生共棲出現的大型無脊椎動物也有增加的趨勢(1. 烏賊; 2. 烏賊卵; 3. 沙蝦; 4. 遠海梭子蟹; 5. 槍蝦; 6. 紅袖鳳凰螺; 7. 臺灣框螺; 8. 玉螺卵團沙碗)

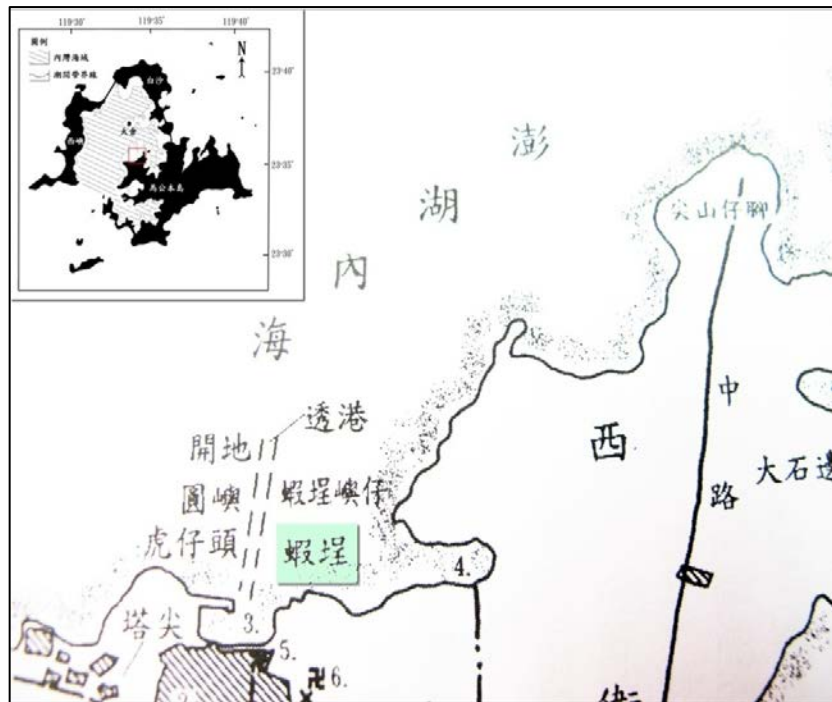


圖 28. 重光海草復育區地理位置圖



103 年 8 月間試種 0.2 m² 海草



經 1 年後面積增加至 20 m²



經 8 年後面積增加至 340 m²

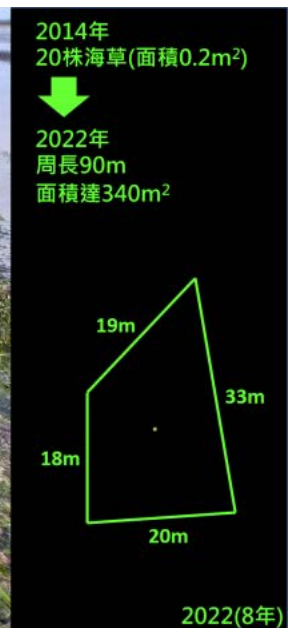


圖 29. 重光潮間帶海域試種 0.2m² 的海草經 8 年後以擴生至 340m²。



2015年為小小魚兒種一畝田-海草移植活動



圖 30. 2015 年在重光潮間帶海域辦理的「為小小魚兒種一畝田-海草移植活動」



圖 31. 重光海草復育示範區所復育的海草分布現況 (110 年)



111年6月27日重光陳里長再度邀請相關單位會勘

111年10月1日澎湖縣政府將海草復育示範區公告成為海草保護區

圖 32. 澎湖縣政府於 111 年 10 月 1 日將「重光海草復育示範區」修正為「重光海草保護區」



圖 33. 「重光海草床復育活動-打造海洋生物一個家」之專題演講辦理情形



圖 34. 活動期間與當地耆老互動



圖 35. 由本中心所製作的海草植株供社區民眾移植復育用



圖 36. 大家一起彎腰種海草



七、表

表 1 海草覆蓋度評分級數與覆蓋度算法

評分級數	覆蓋百分比(中位點)	小格數	覆蓋度
5	50-100%(75.00%)	a	75.00 a
4	25-50%(37.50%)	b	37.50 b
3	12.5-25%(18.75%)	c	18.75 c
2	6.25-12.5%(9.38%)	d	9.38 d
1	<6.25%(3.13%)	e	3.13 e
0	0%(0%)	f	0 f

表 2 Folk(1966)粒徑分類表

粒徑中值範圍 (mm)	粒徑中值類群 (mm)	粒徑類型
>4	>4	卵石 Pebble
4-2	2	礫石 Granule
2-1	1	極粗砂 Very coarse sand
1-0.5	0.5	粗砂 Coarse sand
0.5-0.25	0.25	中等砂 Medium sand
0.25-0.125	0.125	細砂 Fine sand
0.125-0.0625	0.0625	極細砂 Very fine sand
<0.0625	<0.0625	粉泥 Silt 及黏土 Clay

表 3 通梁海草復育區固定測站經緯度一覽表

固定測站	經緯度	
測站 1	119°33'58"56E ; 23°38'42"47N	119°33'59"40E ; 23°38'45"58N
測站 2	119°33'41"31E ; 23°38'20"02N	119°33'42"41E ; 23°38'23"02N
測站 3	119°33'59"27E ; 23°38'32"22N	119°34'00"20E ; 23°38'35"34N

表 4 通梁海草復育區海草床固定測線 2023 年春季覆蓋率、庇護高度及底土厚度一覽表

	測站 1	測站 2	測站 3
覆蓋率(%)	56.7±17.4	41.9±31.2	0.4± 0.7
庇護高度(cm)	7.1±1.7	4.7±2.6	0.3± 0.5
底土厚度(cm)	90±15	34±11	99± 3

表 5 通梁海草復育區海草床固定測線底土厚度一覽表 (cm)

測點 \ 測站	測站 1		測站 2		測站 3	
	左測線	右測線	左測線	右測線	左測線	右測線
1	100.0	100.0	31.6	39.6	100.0	100.0
2	85.0	100.0	32.2	32.1	100.0	100.0
3	100.0	100.0	35.6	25.1	100.0	100.0
4	100.0	100.0	21.4	14.4	100.0	96.0
5	66.2	100.0	50.6	46.1	94.0	96.6
平均	90.2	100.0	34.3	31.5	98.8	98.5

表 6 通梁海草復育區 3 條固定穿越線底土粒徑分布一覽表

底土粒徑 \ 測站	1	2	3	平均
4mm 以上	1.1%	0.8%	1.2%	1.0%
2mm	1.8%	2.8%	2.0%	2.2%
1mm	29.3%	31.2%	26.1%	28.8%
500μm	29.8%	25.8%	28.9%	28.2%
250μm	24.0%	21.7%	26.2%	23.9%
125μm	11.7%	13.6%	13.0%	12.8%
63μm	1.6%	2.7%	2.2%	2.1%
63μm 以下	0.8%	1.5%	0.5%	0.9%

表 7 澎湖通梁海草復育區 2023 年海草移植月別面積一覽表

移植月別	海草移植面積 (m ²)	海草移植種類與比例
6 月	13	單脈二藥草、卵葉鹽草及甘草進行混植，其混植比例分別為 60%、30% 及 10%，
7 月	40	
8 月	47	
合計	100	

表 8 移植海草種類果實期出現月別

海草種類 \ 月別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
單脈二藥草												
卵葉鹽草												
甘草												

備注：資料引用於柯（2004）趙（2018）