

海草復育指引

海洋委員會海洋保育署

中華民國 114 年 11 月

壹、前言

本指引的最終目標是協助臺灣的政府機構、非營利組織與研究團隊，在執行海草復育計畫前能最有效地進行規劃，並從眾多復育方法中選擇與其特定場域及物種相匹配的技術，以防止因使用不適合的方法而導致復育失敗。因此，本指引的編撰，是為了強化科學與實務之間的連結，確保復育行動的科學性與有效性。此外，海草床為藍碳生態系重要組成，具固碳潛力，有助於達成氣候變遷下的碳中和目標。

貳、臺灣地區海草生態系統現況

臺灣海草床分布廣泛，從太平島、東沙島至本島與各離島皆有分布，並棲息於多樣化的泥沙及珊瑚礁底質。其中，東沙島擁有全國最完整，面積達 7,716 公頃的海草床；相較之下，臺灣本島與澎湖總面積合計約 77 公頃，分布較為零散。然而，澎湖鎮海灣近年面積顯著擴增，顯示出良好的自然恢復潛力。

儘管多數海草床規模不大，但仍是重要的魚類幼生育幼場與沿岸碳匯來源。臺灣已記錄 13 種海草，涵蓋 7 個屬，如下表

中文名	學名 (Scientific Name)	科 (Family)	屬 (Genus)	種小名 (Specific epithet)
貝克氏鹽草	<i>Halophila beccarii</i>	水蘚科	鹽草屬	beccarii
毛葉鹽草	<i>H. decipiens</i>	水蘚科	鹽草屬	decipiens
卵葉鹽草	<i>H. ovalis</i>	水蘚科	鹽草屬	ovalis
正鹽草	<i>H. major</i>	水蘚科	鹽草屬	major
小赤坎鹽草	<i>Halophila</i>	水蘚科	鹽草屬	siaochihkanensis

	<i>siaochihkanensis</i>			
泰來草	<i>Thalassia hemprichii</i>	水蘘科	泰來草屬	hemprichii
圓葉水絲草	<i>Cymodocea rotundata</i>	絲粉藻科	水絲草屬	rotundata
鋸齒葉大洋草	<i>Oceana serrulata</i>	絲粉藻科	水絲草屬	serrulata
水韭菜	<i>Syringodium isoetifolium</i>	絲粉藻科	針葉草屬	isoetifolium
鐮葉叢草	<i>Thalassodendron ciliatum</i>	絲粉藻科	叢草屬	ciliatum
線葉二藥草	<i>Halodule pinifolia</i>	絲粉藻科	二藥草屬	pinifolia
單脈二藥草	<i>H. uninervis</i>	絲粉藻科	二藥草屬	uninervis
甘草	<i>Zostera japonica</i>	鰻草科	鰻草屬	japonica

其中東沙、屏東與綠島以泰來草等穩定型(即壽命長、生長穩定)優勢種為主，具建立穩定群落與長期碳儲潛力；其他地區則多為族群波動大、更新快的前驅型物種，如卵葉鹽草與單脈二藥草，生長汰換快速，族群大小於不同季節變動較大。當前，海草生態系面臨沿岸開發與氣候變遷的壓力，導致覆蓋率下降，因此未來復育需依據各地物種與環境特性，發展適地適種的管理方式，以提升其生態韌性。

參、海草復育指導原則

綜觀過去幾十年的全球海草復育研究，歸納出以下六項原則，被認為是指導海草復育活動的重要考慮因素(Treat & Lewis, 2006；Van Katwijk et al.,2016)：

一、優先保護現存海草床

保育應始終優先於復育。海草復育不應被視為沿岸開發的補償或替代手段，更不能取代對健康棲地的保護。真正具永續性的復育，應優先改善環境條件、處理導致其衰退的根本因素，以促使海草床自然恢復與擴展。因此，人工復育應為最後的手段，僅在透過長期監測與環境評估，確認海草生態系已失去自我恢復能力、無法自然恢復時才應啟動，以避免資源浪費。

二、支持自然恢復與生態功能維護

若復育場址符合以下條件，應鼓勵自然恢復而非完全依賴人工種植。如滿足兩個條件：(1)環境條件滿足目標海草物種生存需求(2)有充足自然補充來源（種子庫、漂流碎片、附近健康草地）。

三、復育的優先順序

為提升成本效益與生態穩定性，建議依循由低至高介入手段推動復育

（一）第一步：消除導致海草衰退的因素

若環境壓力未獲有效解除，任何復育行動皆可能功虧一簣。為減緩人為干擾，常見的保育措施包括設置海洋保護區以限制漁撈活動、禁止使用如底拖網等具破壞性的漁具，並限制使用耙具或小尖鋤挖掘螺貝類等作業，以避免對海草床，特別是以卵葉鹽草屬為主的海草生態系造成破壞。強化廢水處理減少優養化，並於沿岸開發階段避免與海草棲地重疊。這些改善有助於抑制退化，恢復海草自然擴展的可能性。

(二) 第二步：營造有利條件，支持海草群落的自然恢復

與其立即進行人工植栽，此階段更著重於穩定底質、恢復水文連通性，或透過工程設施如貽貝礁與人工沙洲來降低擾動與侵蝕，創造有利於自然著生的環境。

(三) 第三步：克服入添瓶頸

入添量若因生殖能力下降或擴散來源不足而受限，應評估其補充來源，並透過區域保護區網絡強化族群間連通性。若為自我入添地區，則應在繁殖季節加強管理，減少干擾，以提升種子沉降與萌芽成功率。

四、啟動海草復育時機

(一) 啟動海草復育的時機（第四步）是在前述三項步驟均已實施，

但經執行單位評估後確認自然恢復仍無明顯成效時，方可進入。

之所以建議由執行單位自行評估，是因為自然恢復會受到許多外在因素（如時間與空間尺度）的影響，且不同物種在不同地區的反應也不盡相同，加上目前台灣尚無相關研究可供依循。此階段屬於高度介入行為，包含以種子進行有性繁殖，或是利用繁養殖場培育的帶根莖植株、草塊、斷枝等材料進行無性移植。為避免資源浪費與失敗風險，執行此步驟前，必須建立在清楚的診斷與環境可行的前提之下。

（二）啟動復育的條件

1. 前提步驟已完成：前期的監測、評估與分析等步驟均已實施。
2. 自然恢復成效不彰：在採取初步措施後，海草床仍無法依靠自身力量明顯恢復。
3. 衰退原因已釐清：已有清楚的科學診斷，了解造成海草消失或退化的主要原因。
4. 環境條件可行：經評估確認目標區域的環境（如水質、底質、光照）是適合海草生存的。

（三）移除環境壓力的具體舉例

1. 改善水質：處理污水排放，減少水體中的懸浮沉積物與營養鹽，提升海水清澈度。
2. 穩定底質：避免會改變海床質地或造成底質流失的開發或人

為活動。

3. 確保光照充足：解決造成光線不足的原因，例如水質混濁或水面上的遮蔽物。
4. 減少物理擾動：管制會直接破壞海草的活動，如不當的漁業行為（拖網）、船隻下錨或工程施工。

（四）「不適合復育」情況的判斷標準

1. 該地原非海草棲地：歷史調查顯示該區域從未有海草自然分佈，這意味著其環境條件本身可能就不適合海草生長。
2. 環境壓力未解除：造成海草退化的根本原因（如前述的水質惡化、物理擾動等）依然存在。在這些問題解決前貿然植栽，失敗風險極高且浪費資源。
3. 缺乏自然補充來源且環境未改善：雖然可透過人工方式引入種子或植株，但若周遭已無健康的天然海草族群可作為補充來源，同時環境壓力也未改善，則復育成功的機率極低。
4. 整體而言，成功的海草復育策略應以問題診斷為基礎、環境改善為優先，才能有效提升成效與生態系的恢復力。

五、建立苗圃與風險分散原則

為提升海草復育的成功率，近幾年從國際珊瑚復育的經驗中，在移植復育的行動中已應用苗圃(nursery)的概念(i.e. Howlett et al.

2021)，以減低對野外母族群的影響，因此未來海草復育應使用相同概念，以建立苗圃為野外復育之第一步驟，苗圃建立的地點需接近未來野外復育場址，以增加移植成功率。

苗圃建立後，為提升野外海草復育的成功率，應從空間、時間、物種與遺傳來源等層面分散風險，避免集中作業導致整體失敗。

具體做法如下

(一)分散空間與時間風險

1. 應考量強水流、波浪、生物擾動及海平面上升等高風險區域。
2. 季節變化（如風暴、乾旱、鹽度與溫度變異）亦可能造成植株減少。
3. 應依季節與潮汐條件選擇適當時機進行植栽。
4. 建議採分批、跨地點、跨時程進行復育作業。

(二)多來源植株:選用來自多個母群體遺傳組成需無顯著差異的植株，能保留遺傳多樣性，可避免近親繁殖與提升遺傳多樣性，並降低單一族群失敗風險。惟須注意避免跨地區移植導致基因污染，建議參照當地遺傳研究資料，提升整體適應力與生存率。

(三)多物種搭配

1. 採用多種當地適應良好的海草物種，可提升復育草地的生態功能與穩定性。

2. 避免單一物種、單一地點、單一時間的大量作業，降低整體復育失敗風險。

(四)執行具經濟與生態效益規模的復育：小面積復育常因規模過小導致失敗，植群難以維持。研究指出，復育面積達 0.1 公頃以上較能抵抗不利環境與提升存活率，有助於穩定底質與自然補充。建議以「公頃」為基本單位，取代「平方米」的零星種植方式。

肆、海草復育的六步驟規劃流程

本指引建議採用適應性管理框架，透過以下六個步驟協助管理者設計、執行及修正復育計畫，以提高成功率。

一、步驟一：設立目標與目的

復育的最終目的不僅是重建海草本身，更應包含恢復其生態系統功能。因此，計畫應確定明確的復育目標和績效標準。前期研究需透過歷史資料與現地調查，繪製出現有海草分佈圖，並劃定需復育的退化區域，作為後續行動的基礎。

二、步驟二：選擇地點並進行基線調查與評估

(一)場址選擇是復育成功的關鍵。應依據以下四大面向，對候選地點及捐贈母族群進行系統性評估：

1. 歷史與現況分析。

2. 物理條件。
3. 化學與生物環境。
4. 人為與後勤因素。

評估時除參考本指引所提供的檢核清單，也應結合文獻資料、
現地調查與在地專家建議，才能全面掌握場址的復育潛力與
限制。詳如附表 1

(二)基線調查:包括復育海草前基地之碳匯、生物多樣性、水質與底
質等基線資料，並做評估。

(三)捐贈母族群選擇標準

選擇一個合適的捐贈母族群（Donor Population）來建立苗圃與
評估復育場址同等重要，一個理想的捐贈地點應符合以下標準：

1. 規模足夠大：以便能收穫足夠的植物材料或種子，且採集
行為不至於對母族群造成過度衝擊。
2. 狀態良好：捐贈族群應健康、茂密，以提供高品質的復育
材料或具有高活力的種子。
3. 生物地理區域一致：捐贈地點應與復育地點位於相同的生
物地理區域內，以確保物種的環境適應性。
4. 鄰近性：捐贈地點應盡可能靠近復育地點，以減少運輸過
程對植株造成的壓迫，並降低運輸成本與後勤的複雜性。

5. 考量族群遺傳結構：應評估並了解復育場址的歷史族群與潛在捐贈母族群之間的遺傳關係，建議使用簡易分子標記（如 microsatellite、SNPs）或依現有文獻及族群地理分布初步推估，以維持遺傳多樣性並避免基因污染（如不建議泰來草種植在澎湖縣海域，因為泰來草海草並非澎湖自然海域的海草物種）。

三、 步驟三:選擇復育方法

過去已開發多種復育技術，成功與否高度依賴場址評估與選擇。應依據復育目標規模與預期成果、可用預算、當地環境條件與物流安排、執行人員對技術的熟悉度與偏好。建議於大規模復育前，依目標物種特性，先進行小規模試驗以驗證方法的適用性與可行性。

四、 步驟四:制定復育行動計畫

成功的復育計畫仰賴縝密的規劃與時程安排。行動計畫應包含：損害評估、復育目標與績效標準、方法選擇、成本效益分析、許可申請、地點選擇、植栽原料取得、種植規劃、成功標準與監測計畫等。同時，應全面估算前期調查、執行、監測、人力及設備等各項成本。詳如附表 2

五、 步驟五:執行復育

依據行動計畫實際執行復育工作。此階段涉及具體的操作方法、人力安排與現場維護，需注意以下要點

(一)作業方式與地點標記

1. 在亞潮帶深水區：通常需透過水肺潛水並由具專業資格之人員操作。
2. 潮間帶深水區：可採用浮潛進行植栽。
3. 潮間帶淺水區：可於退潮時進行步行植栽，但若底質鬆軟，仍須評估安全性與成效。
4. 所有作業區域應設置清楚標記，便於後續監測與維護，例如竹竿、浮標、測線或界樁等工具。

(二)植栽技術要點：建議使用如 U 型鐵絲等工具固定植株，匍匐莖與根部朝下，以棉線綁緊後插入沉積物中。成功定植後可取回再利用，亦可選擇使用可生物降解材料如竹籤或麻繩網結構。部分地區亦可使用如填砂麻布袋等作為人工基質，提升固定效果，尤其適用於波浪較強之潮間帶。有鑑於全球及臺灣的海草復育技術正處於快速發展階段，上述列舉之技術要點旨在提供基礎框架，未來任何經試驗證明適用於臺灣海草物種的新式技術、器具或材料，皆可納入應用，以鼓勵技術創新並保留應用彈性。

(三)執行時機與間距

1. 應綜合考量氣候變遷如海平面上升及季節性氣候變化（如季風、颱風、豪雨）、場址條件（如波浪強度）及海草物種的生理週期。以臺灣為例，春季與秋季是較佳的復育時機，此係根據水溫、海象穩定性與海草物種生長季節性之綜合評估。需特別注意，部分物種如鹽草屬(*Halophila*)在秋冬有落葉期，不宜在此期間進行復育。
2. 種植單元的間距：最佳間距依物種與種植方法而異，文獻建議範圍為 0.5 至 2 公尺之間。

（四）人力安排與社區參與

可透過與在地社區、學校、志工或 NGO 合作，導入公民科學的參與機制，協助進行種植、資料紀錄與基礎監測。社區的參與不僅能提升執行效率，也能促進大眾對海草保育的社會認同與支持。

（五）後續維護

植栽完成後，需視現場狀況進行地點維護。必要的干預措施可能包括減少生物擾動（如草食動物啃食），或減緩因浪潮與水流造成的沖刷等，並應避免復育區遭受人為踩踏、挖掘及與在地社群、權責機關協力，防止廢水或汙染物進入復育區。

六、 步驟六：監測與評估

(一) 監測指標

1. 基本指標：

- i. 存活率：為最基本指標，用以衡量復育材料（如移植苗、草皮或種子）在經過一段時間後的存活情形，通常以百分比表示。此指標能有效反映初期種植操作的成效與環境適應情況。
- ii. 平面覆蓋率：則有助於評估植被是否持續擴展，或在面積上出現衰退。此指標通常透過設置樣框並使用具比例尺的俯視攝影方式進行監測，搭配隨機或固定樣點抽樣，以量化植群在空間上的分布變化與覆蓋趨勢。

2. 生態功能指標：建議納入復育前生態資料、生物多樣性、水質改善程度、底質穩定性、是否提供育種場功能、魚類群聚密度及碳儲量變化等指標，評估整體生態效益。其中碳儲量可依總有機碳（TOC）搭配沉積物深度估算，或以呼吸與光合作用差值間接推估，作為量化依據。

(二) 監測時程

1. 復育前基線調查及復育後第 1~3 年：每季至少一次（至少共四次）；第 4~5 年：每半年至少一次。
2. 考量潮汐週期與季節變化（如季風、雨季、夏冬季），一年一

次的監測建議安排於海草生長旺季，第一年數據可作為後續
監測時間規劃的依據。

（三）適應性管理

若監測顯示存活率過低，需評估是否調整工法或更換地點；若
嘗試數次後仍無明顯效益，則應考慮停止計畫，並將經驗分享，
作為未來計畫的參考。

肆、海草復育方法

全球已發展出多種海草復育技術，主要分為利用植株進行移植的
「無性繁殖」，以及透過種子進行播種的「有性繁殖」兩大類。

一、無性繁殖（植株移植）

此方法是將帶有根莖的植株、草塊或斷枝，從健康的捐贈區
經過人工繁殖培育後，再移植至復育區。

（一）裸根栽培法(Bare-root planting)：移植僅含莖葉與根系的單株。

此法可減輕搬運重量，但植株定植的穩定性較低，需耗費大
量人工固定。適用情境：潮間帶或淺水區、人力可及、波浪影
響較小之區域。

（二）帶沉積物法(Plugs)：將海草連同底質與根系一同挖取並移植，

建議採樣密度不超過母床面積之 5%，並優先選擇生長旺盛、
族群密度高之區塊。此法因保留了原有生長環境，植株存活

率與定植穩定性較高，但運輸困難，且對捐贈區的族群耗損風險較高。適用情境：捐贈地距離近、交通方便、生長環境相似之地點。

二、有性繁殖（種子播種）

此方法是採集海草的種子或果實，直接在復育區進行播撒或定點播種，過程中必須注意野外種子的採集數量，避免因過度採集，導致原生母族群無法順利繁衍與形成補充群。

（一）優點：能增加遺傳多樣性，對捐贈區衝擊小，且適合進行大規模、低成本的復育。

（二）缺點：需掌握物候資訊才能順利採種，且種子從萌芽到成株的存活率極低（常低於10%），僅適用於海象穩定的低能量環境。

（三）適用情境：海象穩定之低能量環境、有效種子來源地、適合大面積種植。

伍、參考文獻

- 任玄、高宏明(2014) 遙測影像用於東沙環礁棲地變遷及圖譜建置之研究。海洋國家公園管理處委託研究報告。
- 朱慧娟(2017) 東沙海草床生態系夏季與冬季碳化學系統之比較研究。國立臺灣海洋大學海洋環境與生態研究所碩士論文。
- 李承錄(2009) 墾丁大光泰來草(*Thalassia hemprichii*)與單脈二藥草(*Halodule uninervis*)海草床之魚類群聚變化與魚類為內含物研究。國立中興大學生命科學系碩士論文。
- 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研究報告。
- 林幸助(2019) 108 年海草床生態調查。海洋委員會海洋保育署委託研究報告。
- 林幸助(2020) 我國海洋生態調查監測網與監測規範建立之整體規劃。海洋委員會國家海洋研究院委託研究報告。
- 林幸助(2024) 臺灣海洋碳匯潛力復育點調查與評估計畫。海洋委員會海洋保育署委託研究報告。
- 冼宜樂、鐘金水、林金榮(2013) 水產試驗所年報。
- 邱仕涵(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。國立中興大學生命科學系碩士論文。

柯智仁(2004) 臺灣海草分類及分布之研究。國立中山大學生物科學系碩士論文。

康恩誠(2021) 東沙海草床冬夏兩季有機碳與碳酸鈣代謝狀態與二氧化碳源匯的關係。國立臺灣海洋大學海洋環境與生態研究所碩士論文。

陳冠宇(2020) 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。國立中興大學生命科學系碩士論文。

陳品均(2022) 墾丁海口海草床春秋兩季二氧化碳源匯狀態與有機碳和無機碳代謝之關係。國立臺灣海洋大學海洋環境與生態研究所碩士論文。

葉乙蓉(2023) 東沙島卵葉鹽草物候與種子庫的季節性變動。國立中山大學海洋生物科技暨資源學系研究所。

彭上恩(2016) 季節變化、聖嬰南方震盪與颱風對於潮間帶熱帶海草床之影響-以墾丁為例。國立中興大學生命科學系碩士論文。

黃永吉(2008) 甘草在臺灣之族群動態。國立中興大學生命科學系碩士論文。

黃衍勳(2011) 東沙海域海草的生產力與碳收支。國立中興大學生命科學系碩士論文。

楊長暢(2019) 東沙島小瀉湖海草床碳化學的四季變化及其調控機制。

國立臺灣海洋大學海洋環境與生態研究所碩士論文。

趙元寧(2018) 澎湖卵葉鹽草(*Halophila ovalis*) 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養殖系水產資源與養殖碩士班。

鄒宜芳(2021) 海草地下部生產力對潮間帶海草床碳匯之貢獻。國立中興大學生命科學系碩士論文

劉亭之(2013) 東沙環礁海草與珊瑚生態系碳化學之比較與研究。國立臺灣海洋大學海洋環境化學與生態研究所碩士論文。

劉弼仁、林幸助(2018) 東沙環礁海草生態相調查。海洋國家公園管理處委託研究報告。

Howlett, L., Camp, E. F., Edmondson, J., Henderson, N., & Suggett, D. J. (2021). Coral growth, survivorship and return-on-effort within nurseries at high-value sites on the Great Barrier Reef. *PLoS One*, 16(1), e0244961.

Pi-Jen LIU#, Chiao-Wen LIN#, Hsing-Juh LIN#, Wei-Jen LIN, Li-Te HSIEH, Cheng-Xuan CAI, Ming-Yang HONG, Pei-Luen LU,* (2025, Mar). *Halophila siaoehkanensis*(Hydrocharitaceae), a new species from Penghu County, Taiwan. *Taiwania*, 70(3):505-511.

Chou, W. C., Chu, H. C., Chen, Y. H., Syu, R. W., Hung, C. C., & Soong, K. (2018). Short-term variability of carbon chemistry in two contrasting

- seagrass meadows at Dongsha Island: implications for pH buffering and CO₂ sequestration. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 210, 36-44.
- Chou, W. C., Fan, L. F., Yang, C. C., Chen, Y. H., Hung, C. C., Huang, W. J., Shih, Y. Y., Soong, K., Tseng, H. C., Gong, G. C., Chen, H. Y., & Su, C. K. (2021). 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, 717685.
- Cuba, T. R., (2003). An independent, third party, assessment of the mega unit sea grass relocation technique. Paper presented at the submerged aquatic habitat restoration in estuaries: Issues, options and priorities, March 11-13, 2003. Mote marine laboratory, Sarasota, FL, 51 pp.
- den Hartog, C. (1970). The sea-grasses of the world. North-Holland, Amsterdam.
- Donatelli, C., Ganju, N.K., Kalra, T.S., Fagherazzi, S., & Leonardi, N. (2019). Changes in hydrodynamics and wave energy as a result of seagrass decline along the shoreline of a microtidal back-barrier estuary. *Advances in Water Resources*, 12, 183-192.
- Duarte, C. M., Kennedy, H., Marbà, N., & Hendriks, I. (2013). Assessing the

- capacity of seagrass meadows for carbon burial: current limitations and future strategies. *Ocean and Coastal Management*, 83, 32-38.
- Erftemeijer, P. L. A. (2020). Guidelines for seagrass ecosystem restoration in the western Indian ocean region. The United Nations Environment Programme.
- Fan, L. F., Qiu, S. Q., & Chou, W. C. (2021). Carbonate chemistry of the Dongsha Atoll Lagoon in the northern South China Sea. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 32, 399-409.
- Greening, H., & Janicki, A. (2006). Towards reversal of eutrophic conditions in a subtropical estuary: water quality and seagrass response to nitrogen loading reductions in Tampa Bay, Florida, USA. *Environmental Management*, 38, 163-178.
- Heck, K. L. Jr., Hays, G., & Orth, R. J. (2003). Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. *Marine Ecology Progress Series*, 253, 123-136.
- Hendriks, I. E., Olsen, Y. S., Ramajo, L., Basso, L., Steckbauer, A., Moore, T. S., Howard, J., & Duarte, C. M. (2014). Photosynthetic activity buffers ocean acidification in seagrass meadows. *Biogeosciences*, 11(2), 333-346.
- Hori, M., Suzuki, T., Monthum, Y., Srisombat, T., Tanaka, Y., Nakaoka, M.,

- & Mukai, H. (2009). High seagrass diversity and canopy-height increase associated fish diversity and abundance. *Marine Biology*, 156, 1447-1458.
- Huang, Y. H., Hsiao, S. C., Lee, C. L., Chung, C. Y., & Lin, H. J. (2015). Carbon budgets of multispecies seagrass beds at Dongsha Island in the South China Sea. *Marine Environmental Research*, 106: 92-102.
- Larkum, A. W. D., & den Hartog, C. (1989). Evolution and biogeography of seagrasses. *Biology of seagrasses*. Elsevier, Amsterdam.
- Lee, C. L., Huang, Y. H., Chung, C. Y., Hsiao, S. C., & Lin, H. J. (2015). Herbivory in multi-species, tropical seagrass beds. *Marine Ecology Progress Series*, 525, 65-80.
- Lee, C. L., Lin, W. J., Liu, P. J., Shao, K. T., & Lin, H. J. (2021). Highly productive tropical seagrass beds support diverse consumers and a large organic carbon pool in the sediments. *Diversity*, 13(11), 544.
- Macreadie, P. I., Costa, M.D.P., Atwood, T.B., Friess, D.A., Kelleway, J.J., Kennedy, H., Lovelock, C.E., Serrano, O., & Duarte, C.M. (2021). Blue carbon as a natural climate solution. *Nature Reviews Earth and Environment*, 2 (12), 826-839.
- Orth, R. J., Carruthers, T. J., Dennison, W. C., Duarte, C. M., Fourqurean, J. W., Heck, K. L., & Short, F. T. (2006). A global crisis for seagrass

ecosystems. *Bioscience*, 56(12), 987-996.

Orth, R.J., Moore, K.A., Marion, S.R., Wilcox D.J., & Parrish, D.B. (2012).

Seed addition facilitates eelgrass recovery in a coastal bay system. *Marine Ecology Progress Series*, 448, 177-195.

Pezner, A. K., Courtney, T. A., Chou, W. C., Chu, H. C., Frable, B. W.,

Kekuewa, S. A., Soong, K., Andreas, Y. W., & Andersson, A. J. (2024).

Coral growth along a natural gradient of seawater temperature, pH, and oxygen in a nearshore seagrass bed on Dongsha Atoll, Taiwan. *PloS one*, 19(10), e0312263.

Swingle, S. (2003). Port manatee seagrass restoration program. *Florida Engineering Society Journal*, April 2003, 12-13.

Tai, J. H., Chou, W. C., Hung, C. C., Wu, K. C., Chen, Y. H., Chen, T. Y.,

Gong, G. C., Shiah, F. K., & Chow, C. H. (2020). Short-term variability of biological production and CO₂ system around Dongsha Atoll of the northern south China sea: Impact of topography-flow interaction. *Frontiers in Marine Science*, 7, 511.

Treat, S.F., & Lewis III R.R. (eds.) (2006). *Seagrass restoration: Success, failure, and the costs of both*. Selected papers presented at a workshop, Mote marine laboratory, Sarasota FL, March 11-12, 2003. Lewis

environmental services, Valrico FL (USA), June 2006, 175 pp.

van Katwijk, M. M., Bos, A. R., De Jonge, V. N., Hanssen, L. S. A. M., Hermus,

D. C. R., & De Jong, D. J. (2009). Guidelines for seagrass restoration: Importance of habitat selection and donor population, spreading of risks, and ecosystem engineering effects. *Marine Pollution Bulletin*, 58(2), 179-188.

van Katwijk, M.M., Thorhaug, A., Marbà, A.N., Orth, R.J., Duarte, C.M., Kendrick, G.A., Althuizen, I.H.J., Balestri, E., Bernard, G., Cambridge, M.L., Cunha, A., Durance, C., Giesen, W., Han, Q., Hosokawa, S., Kiswara, W., Komatsu, T., Lardicci, C., Lee, K.-S., Meinesz, A., Nakaoka, M., O' Brien, K.R., Paling, E.I., Pickerell, C., Ransijn, A.M.A., & Verduin, J.J. (2016). Global analysis of seagrass restoration: the importance of large-scale planting. *Journal of Applied Ecology*, 53, 567-578.

Vaudrey, J.M.P., Kremer, J.N., Branco, B.F., & Short, F.T. (2010). Eelgrass recovery after nutrient enrichment reversal. *Aquatic Botany*, 93, 237-243.

附表1 海草復育場址與捐贈母族群評估檢核表

評估面向	檢核項目	檢核內容說明
歷史與現況分析	歷史海草分佈	透過航空攝影、地圖或文獻回顧，確認該地點過去是否有海草存在。
	現有海草分佈	透過實地繪圖與調查，了解目前的海草分布狀況，並記錄任何損失、衰減或損害的證據。
	衰退原因	調查並確認先前導致海草衰退或消失的原因是否已獲得改善或逆轉。
	過往復育經驗	查詢在類似的場址中，過去的海草復育計畫是否曾經成功過。
物理環境條件	光線供應	評估場址的光照條件是否能滿足海草的最低光線要求（通常為表面輻射量的15-20%）。
	水深與潮汐特徵	場址的水深和潮汐特性應與附近自然、健康的海草床相似。
	潮汐變動程度	評估在退潮時，海草曝露於空氣中的風險與時間長度。
	浪潮與風暴暴露	確認地點的波浪能量與受暴風影響的程度，不應超過目標海草物種的物理耐受極限。
	基質/沉積物組成與厚度	分析底質的顆粒組成（泥、沙、礫）與厚度，是否適合海草的根系抓附與生長。
	沉積物不穩定性	評估是否存在嚴重的侵蝕或堆積現象，這些不穩定的底質可能會阻礙復育。
化學與生物條件	水質	檢測水體的濁度、營養鹽、有機物及污染物濃度，確保在安全範圍內。
	溫度與鹽度	確認場址的溫度和鹽度變化範圍在目標物種的生理容忍限度之內。
	生物干擾	評估是否存在高度的生物擾動或草食動物啃食壓力，這些因素可能會阻礙復育成功。
人為與後勤因素	人為結構限制	確認場址是否受到航道、疏浚、碼頭或其他人類活動結構(如避免使用耙具或小尖鋤挖掘螺貝類等作業)的直接影響。
	與自然海草床的距離	評估與最近的健康海草床（可作為捐贈母族群或自然入添來源）的距離。

	鄰近生態系	附近是否存在珊瑚礁、紅樹林或牡蠣礁等有助於穩定環境、提供正向回饋的生態系統。另海草床及其復育區應以海草為主，若發現零星紅樹林小苗應立即移除，避免影響海草復育；紅樹林僅可分布於鄰近區域，不得混生於海草床內。
	後勤考量	評估場址的可及性、運輸便利性，以及相關的制度和法律問題。
氣候變遷與未來情境	海平面上升影響	評估場址是否有足夠的向陸擴展腹地，以應對未來海平面上升對海草床造成的淹沒或棲地縮減威脅。

附表2 海草復育行動計畫檢核表

類別	項目	內容說明
計畫內容	損害評估	評估海草損害或損失的大小、規模與原因。
	復育目標與績效標準	依據歷史狀況，確定具體的復育目標和可衡量的績效標準。
	方法選擇與成本效益分析	確定適當的修復方法，並對潛在的干預選項進行成本效益分析。
	地點選擇與許可申請	選擇最適合的復育地點，並評估所需的許可證及其他法律要求。
	植栽原料取得	規劃如何獲取移植所需的植物、草塊或種子等材料。
	種植規劃	選擇最合適的種植方法、物種、種植間距，並評估最佳的移植或播種時機。
	成功標準與監測計畫	制定明確的成功標準與指標，並規劃後續的監測工作。監測項目與復育前監測項目一致，包括碳匯、生物多樣性、底質與水質等。 碳匯監測方法請參照:林幸助、陳冠宇 2025 臺灣海草床碳匯測量標準作業程序，海洋保育署 生態監測方法請參照:林幸助、邵廣昭 2020 我國海洋生態調查監測網與監測規範建立之整體規劃，國家海洋研究院
成本估算	各項成本	前期調查與地點劃定
		種植與補植作業
		監測與後續管理
		一般開支（如人力、設備、交通、餐食、保險與地圖繪製等）