藍碳生態系行動計畫

Action Plan for Blue Carbon Ecosystem Restoration

海洋委員會 海洋保育署

Ocean Conservation Administration, Ocean Affairs Council

114 年 12 月

壹、前言

因應氣候變遷與 2050 淨零排放的目標，促使大眾關注自然生態系的儲碳能力(carbon storage)。自然體系中包括綠碳(樹木)、藍碳(海岸、海洋生態系)以及黃碳(土壤)。本策略計畫以海洋碳匯為主題，分析各國在科學研究以及經營管理層面的知識經驗與作為，進而設定臺灣推展藍碳的具體策略與執行步驟。

海洋委員會為統合及協調藍碳復育工作，本策略與行動自 108 年起開始醞釀，以過去五年時間盤點、評估，並進行試辦區域選定，盤點臺灣藍碳生態系，統計海草床(7,818 公頃)、紅樹林(938.8 公頃)、鹽沼(188.3 公頃)總面積約為 8,945 公頃，累計總年碳匯量初估可達約 47 萬公噸，112-113 年評估可開發場域，擇定 4 處地點，規劃並測試種植方式。114 年臺灣通過藍碳方法學，正式開啟「藍碳生態系行動計畫」，本行動計畫透過中長程計畫(114-119 年)擴大辦理，並結合 113 年通過之海洋保育法與相關子法，進行藍碳生態系整體之保育復育，並支持各級機關及民間企業、團體共同復育藍碳生態系。

全球藍碳生態系概況

Nellemann 等於 2009 於聯合國環境署(UNEP)報告中提到海洋儲碳能力，強調海洋儲存 93%的二氧化碳，當中有 50%，甚至達 71%是儲存在僅占 2%面積的海岸地區，包括將紅樹林、海草床及鹽沼並稱為藍碳生態系(Nellemann et al.,2009)，而後開始了許多關於藍碳生態系的調查及研究。在 Halpern 等人於 2012 年發表的海洋健康指數當中，不只一次的強調紅樹林、海草床等海洋/濱生態系在海岸防護以及儲碳的重要性，也提醒世人此類生態系在 1980 年代以來逐漸減少的趨勢，包括全球紅樹林面積從 1,880 萬公頃減少到 2006 年僅有 1,520 萬公頃(Halpern, Longo, Hardy, et al.,2012)。同樣的，高達 30%的海岸地區受到各種開發利用案的改變，造成海岸生態系的退化或消失。

海岸生態系提供了許多功能與服務，包括保護海岸、改善水質、減緩風暴侵害、防止水土流失、提供漁業資源及旅遊觀光。而藍碳生態系的海草床、紅樹林及鹽沼，吸收二氧化碳而減緩氣候變遷。依據研究，植物可以捕捉大氣中的二氧化碳，而海草、紅樹林、鹽沼植物因為能將二氧化碳儲存於生物量及土壤中(Duarte, Losada, Hendriks, Mazarrasa, & Marbà, 2013)，使得它們具有比森林更高的單位儲碳能力(圖 1)，可作為緩解氣候變化的工具，因而在淨零排放的討論中倍受關注。

各國研究團隊嘗試對於全球的紅樹林以及海草床進行評估。目前所知，紅樹林種類可能達 110 種，全球面積概估為 14.7 萬平方公里(McKenzie et al., 2020)。臺灣現存紀錄的紅樹林則有四種。至於海草的種類，全球紀錄有 72 種，總面積概估為 16 萬平方公里(Mireia Valle Tobar, 2014)。臺灣現存紀錄海草有 13 種(Liu et al.,2025)。從圖 2 及圖 3 可知，東南亞(珊瑚大三角區域)的藍碳物種多樣性特別高。

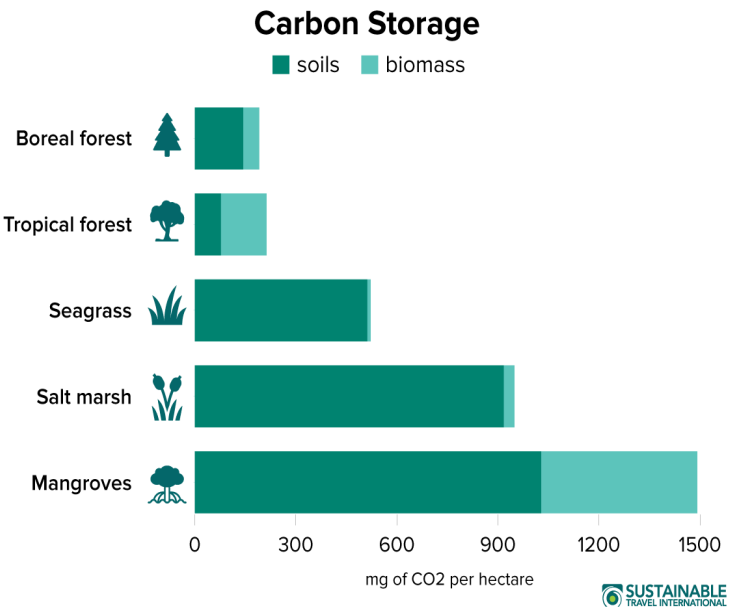

圖 1 比較不同生態系的碳儲存量（Pendleton et al. 2012 and Pan et al. 2011）

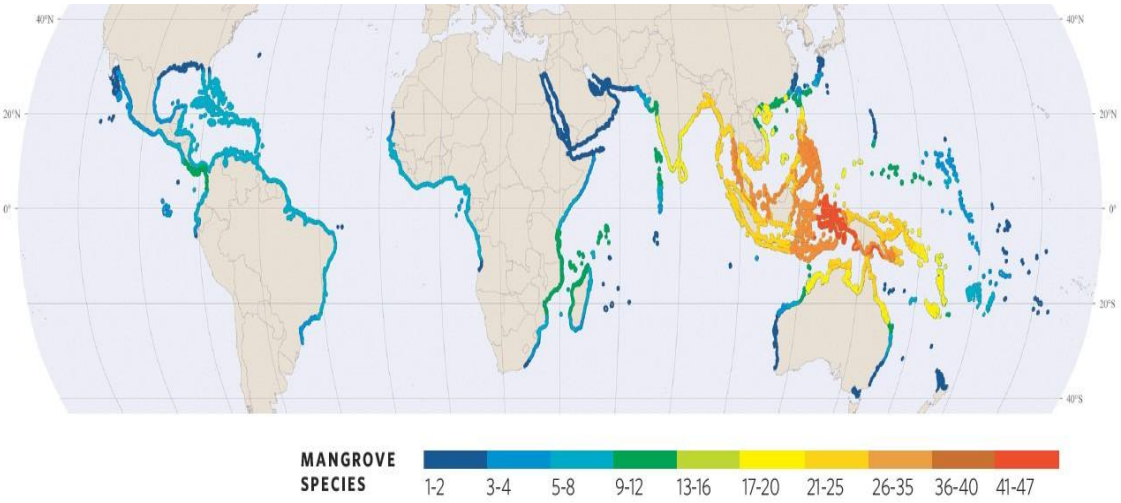

圖 2 世界紅樹林分布及種類數（Deltares, 2014）

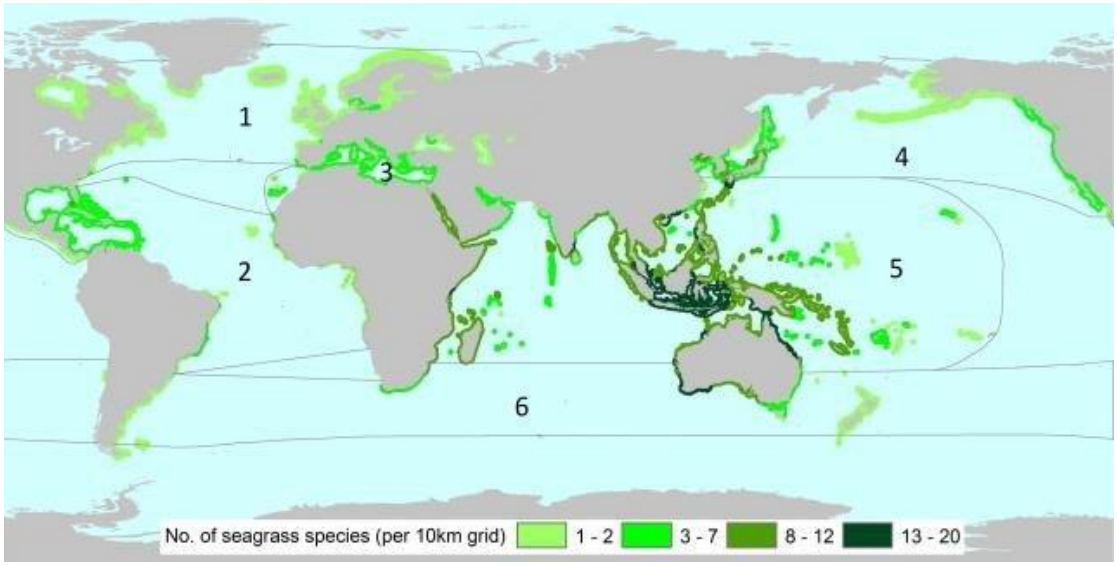

圖 3 世界海草種類分布及豐度(Short et al. 2011)

註：1. Temperate North Atlantic, 2. Tropical Atlantic, 3. Mediterranean, 4. Temperate North Pacific, 5. Tropical Indo-Pacific, 6. Temperate Southern Oceans

為此，Thorhaug 等人於 2020 年推估東南亞國家的藍碳生態系面積以及儲碳能力，認為以印尼面積最高，達 300 萬公頃；其次為菲律賓 270 萬公頃、巴布亞紐幾內亞 93 萬公頃(圖 4)(Thorhaug et al., 2020)，各國藍碳生態系都普遍面臨因為開發而使得面積銳減的壓力。

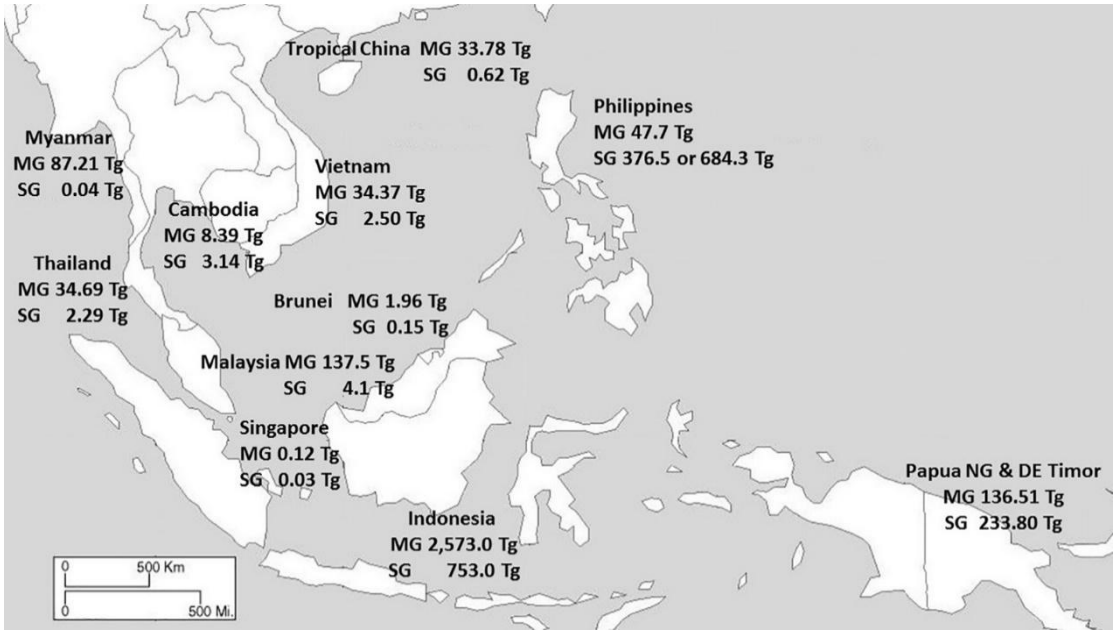

圖 4 東南亞地區紅樹林(MG)及海草床(SG)之碳儲量，最高為印尼，次之為菲律賓及巴布亞紐幾內亞(Thorhaug, 2022)

即便各國開始重視藍碳生態系，但其研究利用之歷史不若森林，藍碳相關研究數據相對不足。就國家而言，美國已將藍碳納入溫室氣體排放清冊，近期也有國家開始評估並納入。另外考量到海草床等研究數據有限，多僅估列紅樹林儲碳量，美國報告也提到，在濕地的水產養殖，例如養蝦，是 N_2O 的排放來源，反而是碳排。

與其他生態系相較，藍碳生態系復育成本並不低。根據 Elsa 等人於 2016 年統整相關分析(表 1)，在五個海洋生態系的復育案例中，以紅樹林復育成本最低，為每公頃 2,508 美元，其次為鹽沼，每公頃 15.1129 萬美元，珊瑚礁 16.2455 萬美元，牡蠣礁 18.9665 萬美元，海草床則最高，達每公頃 38.3672 萬美元，相當每公頃新臺幣 1,150 萬元。而海草床每公頃每年五十噸碳匯估計，復育每公噸的成本為新臺幣 23 萬元。

表 1 海洋生態系復育計畫之經費

TABLE 1. Median (and average in brackets) values of overall restoration cost per unit area and total restoration cost for coral reefs, seagrass, mangroves, saltmarshes, and oyster reefs.

		Restoration cost		Total restoration cost		PPP-adjusted restoration cost		PPP-adjusted total restoration cost	
Ecosystem	Economy	*N*	(2010 US$ per ha)	*N*	(2010 US$ per ha)	*N*	(2010 Int$ per ha)	*N*	(2010 Int$ per ha)
Coral reefs	Overall	42	165,607 (5,411,993)	16	162,455 (2,915,087)				
	Developed	18	1,826,651 (12,125,179)	8	282,719 (5,501,636)	19	1,489,964 (11,499,412)	8	207,247 (5,479,769)
	Developing	24	89,269 (377,104)	8	162,455 (328,537)	28	9,216 (60,726)	8	19,510 (48,309)
Seagrass	Overall	64	106,782 (399,532)	22	383,672 (699,525)				
	Developed	64	106,782 (399,532)	22	383,672 (699,525)	48	144,981 (444,604)	22	419,646 (725,326)
	Developing	…	…	…	…	…	…	…	
Mangroves	Overall	109	8,961 (62,689)	29	2,508 (15,017)				
	Developed	59	38,982 (108,828)	5	52,006 (45,311)	46	37,568 (93,281)	5	52,006 (42,801)
	Developing	50	1,191 (8,245)	24	1,771 (8,706)	44	172 (2,163)	25	230 (1,413)
Saltmarshes	Overall	73	67,128 (1,804,779)	40	151,129 (1,042,116)				
	Developed	73	67,128 (1,804,779)	40	151,129 (1,042,116)	67	75,362 (1,567,614)	35	213,690 (1,182,457)
	Developing	…	…	…	…	…	…	…	…
Oyster reefs	Overall	23	66,821 (386,783)	5	189,665 (859,080)				
	Developed	23	66,821 (386,783)	5	189,665 (859,080)	23	66,821 (386,783)	5	189,665 (859,080)
	Developing	…	…	…	…	…	…	…	…

Notes: Cost data are represented in 2010 U.S. dollars per ha accounting for inflation [consumer price index (CPI)] and in 2010 Int$ per ha taking into account the gross domestic product as estimated by the purchasing power parity (GDP; PPP). Total restoration cost includes only observations in which both capital and operating cost were reported. Data are represented as overall observations as well as projects in countries with developed and developing economies. The number of observations is indicated by *N*, while ellipses imply that no observations were available.

註：依據 2010 通膨估算已開發及開發中國家之復育成本(Bayraktarov et al., 2016)

就海洋而言，目前公認具備藍碳的區域主要在濱海生態系，特別是生產力較高的海岸濕地，紅樹林、海草床及鹽沼等，可以從大氣中大量捕捉碳並儲存之。由於「藍碳」所處環境較穩定，被認為吸收儲存的碳量比森林更有效率。這些海岸濕地雖只占海洋面積<2%，卻能累積高達 50%海洋儲碳量。

自然碳匯是碳匯中少數透過「增加碳吸存」的方式，也提供許多生態系服務的效益，儼然已成為企業購買碳權的新興標的。然而，相較於發展較早的森林碳匯，海洋碳匯因環境變動性高，計算較為複雜，整體仍在發展階段。不過，全球主流的碳權驗證機構(如Verra)已為藍碳專案建立國際公認的計算方法學，為市場奠定基礎。這股趨勢也反映在各國的實踐上，例如日本有部分企業向民間團體投資種植藍碳；新加坡也設立了以自然為本的碳權交易市場，鼓勵企業透過自願性市場購買碳權以抵銷碳足跡。

以蘋果公司為例，2018 年與 Conservation International 合作保護及復育 Cispatá Bay 的 27,000 英畝紅樹林，估計整片林木在生命周期內可阻隔 100 萬公噸的二氧化碳。(Apple,2019)，其承諾於 2030 年供應鏈及產品生命週期將實現淨零碳排(Apple, 2020)，即以自然碳匯為其解方，多方努力達成 2030 碳中和之目標。

貳、臺灣藍碳生態系概況

海草床

海草床是三大藍碳生態系中面積最大的，108 年調查結果顯示其面積達 5,456 公頃，至少 18 處，99%位於東沙(5,420 公頃)，其他分布於臺灣本島西海岸、澎湖及金門之潮間帶，面積計 36.8 公頃，以屏東海口(4.38 公頃)、嘉義好美寮(1.56 公頃)及白水湖(1.48 公頃)之海草床面積最大，離島以澎湖鎮海的海草床面積最大，面積達 25.3 公頃(海洋保育署,2020)。

113 年調查海草床分布於本島西岸新竹至屏東及小琉球、綠島、澎湖、金門及東沙等離島，各地之優勢海草物種不盡相同。本島中、北部及金門皆以甘草為優勢；嘉南地區以貝克氏鹽草為優勢物種；屏東及綠島普遍以泰來草較為優勢；澎湖地區則以單脈二藥草或卵葉鹽草為優勢種；東沙海草多樣性最高。臺灣海草床整體面積達 7,818 公頃（含南沙、東沙)，較 108 年度調查結果(5,481 公頃)增加 43%，主要增加面積之地區為澎湖鎮海灣及東沙環礁海草床(海洋保育署,2024)。

海草依生活史及棲地底質類型區分進行估算，個別代表性海草物種碳匯能力(MgC 公頃$^{-1}$yr^{-1},每年每公頃(多少)公噸的碳)及碳儲存量(MgC 公頃$^{-1}$,每公頃(多少)公噸的碳)數值如下：泰來草(演替晚期-沙質) 2.93 及 9.69、單脈二藥草(演替早期-沙質) 5.15 及 8.91、甘草(演替早期-泥質)6.22 及 10.50、貝克氏鹽草(演替早期-泥質)4.78 及 15.09、東沙海草(亞潮帶)14.73 及 26.38。臺灣地區海草床每年總共可吸存的碳(碳匯能力)為 80,250.79MgCyr^{-1}，現存的碳(碳儲存量)為 143,784.30Mg C((多少)公噸的碳)(海洋保育署,2022)。

紅樹林

108 年調查紅樹林分布總計 31 處,紅樹林於民國 65~100 年間在臺灣本島的面積由 178 公頃增加至 586 公頃，108 年加上離島地區調查，總面積至少達 680.7 公頃。臺灣最大的紅樹林分布地分別位於淡水河口(含挖子尾、竹圍、關渡、社子島及蘆洲)(125.6 公頃)、四草(87 公頃)及北門至學甲沿岸(97.5 公頃)，其它規模較大(面積>30 公頃)的紅樹林分布地包括芳苑(35.5 公頃)、朴子溪口(68 公頃)及大鵬灣(65 公頃)。離島部分，澎湖、金門的紅樹林均以海茄苳為主要樹種，兩分布地面積均不到 5 公頃(海洋保育署,2020)。

113 年調查結果顯示分布於本島西海岸及澎湖、金門 2 離島，本島分布範圍北起淡水河口挖子尾地區南至屏東大鵬灣地區。臺灣本島中、南部紅樹林多以海茄苳最為優勢，嘉義鰲鼓是全臺唯一以欖李為明顯優勢物種之紅樹林分布地。新竹以北之紅樹林優勢物種，逐漸由海茄苳轉為水筆仔，其中桃園新屋為海茄苳成林分布的最北界。整體臺灣紅樹林面積達 938.8 公頃，較 108 年度調查結果(680.7 公頃)增加 38%。

以臺灣紅樹林文獻彙整出各紅樹林物種的碳匯能力(MgC 公頃$^{-1}$yr^{-1}) 及碳儲存量(MgC

公頃$^{-1}$)數值如下：水筆仔 25.07 及 257.59、海茄苳 12.81 及 292.23、欖李 17.45 及 134.50、五梨跤 13.37 及 211.93。依照各物種分布面積，臺灣地區紅樹林每年總共可吸存的碳(碳匯能力)11,182.69MgCyr^{-1}，現存的碳(碳儲存量)為 181,559.89MgC(海洋保育署,2022)。

潮汐鹽沼

110 年盤點潮汐鹽沼 7 處，面積約 188.33 公頃，其中金門的互花米草佔了整體 68%。就臺灣本島而言，分布最廣的物種為蘆葦，面積約 36.14 公頃，其次依序為互花米草、鹽地鼠尾栗及雲林莞草。

實地採集估算鹽沼代表物種碳匯能力(MgC 公頃$^{-1}$yr^{-1})及碳儲存量(MgC 公頃$^{-1}$)數值如下：雲林莞草 3.45 及 59.38、鹽地鼠尾粟 6.58 及 53.26、蘆葦 5.80 及 76.32、互花米草 24.33 及 91.89。臺灣地區鹽沼每年總共可吸存的碳(碳匯能力)3,660.99MgCyr^{-1}，現存的碳(碳儲存量)為 16,000.25MgC。

根據 113 年調查結果(鹽沼部分採用 108 年調查，表 2)，全臺藍碳生態系總面積達 8,945 公頃(紅樹林 938.8 公頃；海草床 7,818 公頃；鹽沼 188.3 公頃)；總碳吸存速率達 133,690 t C yr-1 (紅樹林 14,868 t C yr-1；海草床 115,161 t C yr-1；鹽沼 188.3 t C yr-1)；總碳儲量達 469,660 t C (紅樹林 247,418 t C；海草床 206,242 t C；鹽沼 15,999 t C)。

表 2 臺灣三種自然碳匯生態系之面積、碳儲存量 (113 年調查)

類別	地點(處)	面積(公頃)	碳儲存量(萬公噸 C)	碳儲存量/公頃
紅樹林	43	938.8	24.742	263.10
海草床	22	7,818	20.624	26.35
鹽沼	7	188.3	1.6	84.97
總量	72	8,945	46.966	52.43

參、 臺灣藍碳發展之現況與挑戰

依據環境部「我國國家溫室氣體排放清冊報告(2024 年版)」,我國 2022 年溫室氣體總排放量為 2 億 8,596 萬公噸，淨排放量約為 2 億 6,413 萬公噸二氧化碳當量(MtCO2e)，其中能源產業排放占比最高，約占總體排放量 66.4%。

至於自然碳匯(土地利用、土地利用變化及林業部門等)，以林地計算，為 2,183 萬公噸。換言之，我國現行溫室氣體排放清冊上，自然碳匯約為碳排量的 7.63％(各類林地總面積 218.8 萬公頃)。而倘以 2024 年之藍碳儲存量與林地相比，藍碳生態系碳儲量約為林地的 2.1 ％。

儘管藍碳生態系展現出可觀的潛力，但要將其納入國家碳排清冊或與碳權機制接軌，國內仍有多項程序性的議題必須克服，其本行動計畫後續策略所要應對的核心議題如下：

一、 藍碳基線資料待建立

（一）我國現行的國家溫室氣體排放清冊在 LULUCF 部門(土地利用、土地利用改變及林業部門)僅納入「林地」的碳匯統計，其他五大土地類別（農地、草地、濕地、聚居地、其他土地）數據尚未被納入。其中藍碳屬於濕地類別，囿於溼地涉及機關管理層面較複雜，目前尚無臺灣整體濕地的碳匯基線資料，故需先建置基線，才能進一步比較藍碳的變化量。

（二）海保署於 108 年以及 112-113 年的委託調查計畫，初步建立藍碳生態系之面積與碳儲存量基線，但仍需持續擴充與深化，以作為後續評估復育增匯成效的科學依據，其執行之調查計畫如下:

1. 為了解臺灣紅樹林以及海草床分布範圍，自 108 年辦理「108 年度紅樹林生態系調查計畫」及「108 年度海草床生態系調查計畫」。鑒於海洋藍碳生態系在淨零排放扮演的重要生態系角色，續於 110 年辦理「臺灣沿海重要碳匯生態系統調查與評估計畫」跨年度計畫(110 年-111 年)，進一步調查臺灣地區三大濱海重要碳匯生態系統(含紅樹林、海草床及鹽沼)碳吸收與儲存量，以及土壤溫室氣體排放量等，以評估臺灣沿岸碳匯量。

2. 112 年-113 年辦理「臺灣海洋碳匯潛力復育點調查與評估計畫」，工作項目為

（1）彙整及分析紅樹林與海草床棲地在臺灣及離島地區分布之歷史變遷。

（2）蒐集並分析各國紅樹林及海草床碳匯復育與經營管理之案例。

（3）實地調查各紅樹林與海草床棲地分布現況及面積(分別為紅樹林 43 處、海草床 22 處及採用 108 年調查潮汐鹽沼 7 處，計 72 處；面積約 8,945 公頃)。

(4) 蒐集優勢紅樹林樹種及優勢海草種類之代表性棲地四季環境資料。

(5) 彙整紅樹林及海草床之植物與土壤碳吸收量、儲存量及土壤溫室氣體排放量。

(6) 盤點紅樹林及海草床潛在復育點(包含東沙、本島及離島)。

(7) 估算臺灣地區紅樹林及海草床潛力復育點之碳匯量。

二、 需挑選適宜復育區域

(一) 藍碳生態系的復育並非隨處可行，其奠基於恢復受人為破壞的棲地，且需要合適的溫度、鹽度、砂量等天然環境條件才能穩定成長。根據海保署盤點，目前雲嘉南地區的閒置魚塭、嘉義布袋的低利用鹽田，以及小琉球、澎湖的低利用漁港最具復育潛力。未來如何透過建立合作網絡，以劃定適宜的復育棲地，將是推動復育工作的基礎。

(二) 釐清土地權屬與取得，潛在的復育場域可能涉及不同管理單位，例如國有財產署、國家公園署等機關。因此，在推動復育前，必須與相關土地所有者研商用地取得方式，建立清晰的權責與合作模式，才能確保復育工作的順利進行。

(三) 初步執行之復育計畫成果如下:

1. 111 年辦理「澎湖淺坪海域棲地復育研究」計畫，於澎湖縣池西淺坪海域，針對已復育珊瑚的礁體周邊具沙質的海域選擇適宜生長的海域，進行海草移植，使用之海草採集以水試所 103 年於澎湖大倉灣所種植覆蓋率在 50%以上之海草床，所用之海草為卵葉鹽草、單脈二藥草及甘草等種類，已完成海草 60 平方公尺栽植試驗。

2. 112 年-113 年辦理「澎湖海草復育示範區推動計畫」及「海草復育最適棲地模型建構及移植試驗計畫」，工作項目分別為:

(1)「澎湖海草復育示範區推動計畫」

A. 於澎湖地區擇定 3 處進行底質環境調查,針對適合海草生長之海域進行評估與分析，於重光潛在海草復育區計移植 10,500 株海草，面積達 105 平方公尺，並於移植後返回觀察至少 4 次，探討移植存活率及成長率。

B. 於澎湖尖山海域完成 100 平方公尺之珊瑚移植，並於移植後返回觀察至少 4 次，探討移植存活率及成長率，比較海草、珊瑚共同復育及單一復育兩者間的成長差異。

C. 針對澎湖地區社區居民、學校師長與學生或企業辦理海草與珊瑚保

育復育講座 8 場次及復育活動 2 場次。

D. 完成 2 部海草復育紀錄短片。

(2)「海草復育最適棲地模型建構及移植試驗計畫」

A. 擇定臺灣海域至少 14 處海草床，蒐集涵蓋 4 季至少 5 種海草的棲地環境資料、現地光合作用效率，及至少 5 種海草的根莖錨定力。

B. 購置水棲植物、藻類光合作用測定儀一台及辦理操作工作坊 2 場次。

C. 建構最適棲地模型，選取至少 2 個適合復育之棲地，及製作海草最適復育棲地模型及復育指引。

D. 進行小規模環境復原與移植試驗，並針對移植前與後樣區內植株進行長期光合作用效率監測。

E. 製作海草棲地環境改善與移植紀錄短片至少 1 部。

三、 藍碳尚未納入國家溫室氣體排放清冊

我國現行的國家溫室氣體清冊在土地利用、土地利用改變及林業部門（LULUCF）的統計中，目前僅納入林地的數據，其他五大類土地，包括農地、草地、濕地、聚居地及其他土地，尚未納入計算。為使 LULUCF 部門的統計更為完備，環境部已規劃三階段建置程序，預計在 116 年底前完成所有六大土地類別的納入。其中，藍碳屬於濕地類別，因涉及多個部會的管理權責，需先釐清權責後，由各主責機關分別進行統計計算，最終由主政機關整合納入國家清冊。

海保署自 108 年起已著手盤點藍碳生態系面積，未來將持續推動調查與盤點，並視需要納入圖資與空間資訊，以配合環境部建置濕地細分類資料。

四、 需設立專案查驗機構

依環境部事業溫室氣體排放量資訊平台查詢，目前國內專案型查驗機構僅有 3 家，且尚無具農業及土地利用（B-12）類別資格之查驗機構，然藍碳方法學即屬此類別。為因應藍碳方法學審議通過，海保署已接洽相關查驗機構並徵詢申請意願，目前僅 2 家表示有意申請；另農業部則因應「改進農業土壤管理方法學」審議通過，刻正輔導財團法人農業科技研究院申請 B-12 類別查驗資格。海保署亦將持續追蹤並接洽潛在查驗機構，並提供必要資訊與協助，輔導其順利取得資格。

五、 碳匯的永久性

(一)海草床等藍碳生態系受自然擾動與人為活動影響顯著，存在劣化與反轉的風

險，特別是在颱風、海水混濁或棲地破壞等情境下，固碳效果可能快速喪失。為確保已核發的減量額度具持續性，「藍碳方法學」在審議過程中，委員建議方法學需補充明確的修復與補償機制，包括災後減量額度的認定標準、劣化後的修復措施，以及專案邊界內如何維持長期碳匯存在的管理規範，以降低碳匯不確定性並保障專案可信度。

（二）為此「藍碳方法學」已納入以「不確定性抵減碳儲量變化（移除量）」之設計，確保在環境變動下碳匯估算具有保守性。此外，亦建議未來審查機構可參考國際作法，透過設計緩衝碳庫占比等方式，進一步降低自然碳庫因環境變化而產生的不確定性，確保碳匯效益之穩健與持續性。

肆、 藍碳生態系復育策略

在 108 至 112 年的調查基礎上，海保署將持續與相關機關協作，建構合作網絡，逐步建立我國周邊沿海的碳匯潛力點資料，並推動海草床等藍碳生態系的復育與栽植面積提升。期能藉由「海洋碳匯」助力，協助我國邁向 2050 淨零排放目標，整體藍碳行動計畫將以六大策略為推動核心，其說明如下:

一、 科學盤點，確認優先復育區域

（一） 在先前盤點基礎上，全臺灣海洋碳匯潛力復育點結果顯示，並優先選擇適宜海草生存或既有海草物種之點位，以雲嘉南地區之適合藍碳增植之魚塭、嘉義布袋之低利用鹽田以及小琉球、澎湖地區的低利用漁港最具復育潛力。粗估潛在復育範圍約 33.38 公頃之欖李、227.56 公頃之五梨跤、461 公頃之貝克氏鹽草，以及合計約 401 公頃之泰來草、單脈二藥草及卵葉鹽草。推估復育紅樹林及海草床可增加之潛在碳吸存速率約分別為 3,622.7 及 4,267.5 t C yr-1；碳儲量約分別為 52,716.4 及 10,541.5 公噸。持續推動海草床、紅樹林及鹽沼等沿岸海洋碳匯之調查，尋找復育潛力點。

（二） 海保署將持續全面盤點我國藍碳資源，並建立碳匯基線評估，內容涵蓋現有藍碳生態系的碳匯能力、碳儲存量與溫室氣體（CO_2 與 CH_4）排放量，並追蹤歷年碳儲存量變化。同時，將依沿海濕地土地利用類型分類，整合人為活動數據與碳匯資料，繪製藍碳生態系與活動分布圖，據以排序優先復育點位，進一步評估全臺海域的碳匯潛力。

二、 確認責任與資源，建立合作網絡

（一）研討各機關的分工，海洋委員會、海洋保育署、國家海洋研究院、農業部漁業署及內政部國家公園署主責推動執行，部分工作將與各直轄市及縣（市）政府、在地團體、各大專院校與財團法人研究機構及民眾協力推動，工作分工如下表 3

表 3 各機關分工表

策略	措施	主責單位
強化海洋及濕地碳匯管理	推動漁業資源保育區碳匯效益與管理	農業部(漁業署)
	建立海洋碳匯 MRV 機制	農業部(水產試驗所)
	結合管理，強化濕地自然碳匯功能	內政部國家公園署
	海洋碳匯生態系(海草床、紅樹林及鹽沼等）調查及復育工作	海洋委員會(海洋保育署)、農業部(漁業署、水產試驗所)
強化海洋碳匯相關技術科技研發能量	海洋碳匯技術及效益評估	農業部(水產試驗所)
	建立海洋及濕地方法學	農業部(漁業署、水產試驗所)
	開發沿岸大型原生植物體海洋碳匯增量技術與量測方法	海洋委員會（國家海洋研究院）
	驗證機構	農業部、海洋委員會

（二） 根據海保署先前盤點復育藍碳生態系潛力點位基礎(如表 4)，持續與地方對話，加強在地參與，建立海洋碳匯及其他生態系護管機制，為此，需媒合地方政府、在地團體及企業等，共同保育及海洋生態系維護與復育及其他生態系區域，推動藍碳經營管理，並積極邀請各機關於權管轄區範圍，選擇適宜的示範地區與海保署及相關機關協調合作推動可參與藍碳生態系復育工作，促進復育海洋生態系，於潛力復育區增植海洋藍碳，提升我國濱海藍碳碳儲量。

表 4 盤點復育藍碳生態系潛力點位表

潛力復育地區	生態系類型及物種	適合增植區域	潛力復育面積(公頃)	潛力增加碳量(ｔｃ)
雲嘉南地區	紅樹林(欖李、五梨跤)	適合藍碳增植之魚塭	260.94	52,716.4
嘉義縣	海草床(貝克氏鹽草)	低度利用鹽田	461	6,956.49
小琉球及澎湖	海草床(泰來草、單脈二藥草、卵葉鹽草)	低度利用漁港	400.97	3,585.04

三、 建構藍碳方法學

（一） 沿岸藍碳生態系（紅樹林、海草床及潮汐鹽沼）相較於森林「綠碳」，具有更高碳儲存效率，在自然碳匯中扮演重要角色。為達成 2050 淨零排放目標，藍碳應納入國家溫室氣體排放清冊，為了將藍碳納入，需先建立標準海洋藍碳測量方法。聯合國清潔發展機制（CDM）雖已提出相關方法，但內容繁複，難以直接套用於臺灣，考量在地法規、環境條件與技術操作需求，我國有必要參考

國際標準並建構本土化的藍碳效益評估方法，以確保碳匯成果具可量測、報告與查證性，並作為推動藍碳自願減量專案及復育工作的依據。

（二） 國內藍碳方法學推動進度

1. 海洋委員會於 112 年研擬完成「臺灣紅樹林棲地的造林與植林」、「臺灣海草復育方法學」2 種溫室氣體減量方法學，及「臺灣紅樹林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」2 種藍碳碳匯盤查方法學。

2. 海洋委員會與農業部於 113 年 3 月 6 日聯名向環境部提出「海草復育」及「紅樹林植林」兩項溫室氣體減量方法草案申請，於 113 年 7 月 9 日環境部召開第 1 次專案小組審查會議，委員對土地合格性、生態衝擊等提出疑慮，決議補件後再審，並於 113 年 12 月 4 日完成修正版本函送環境部審定。

3. 114 年 1 月 23 日環境部召開「海草復育及紅樹林植林」溫室氣體減量方法草案第 2 次專案小組審查會議，委員要求釐清外加性、適用條件及執行程序，包括紅樹林對防洪影響與歷史分布舉證，皆須納入考量，會議結論補件後再審，並於 114 年 3 月 23 日前完成補正送審。

4. 114 年 4 月 21 日環境部召開「海草復育」第 3 次審查會議，請申請單位依委員意見修正草案，包含釐清人工濕地定義、研議最小面積限制，並制定海草床碳匯測量標準作業程序，補充環境衝擊與外加性內容，修正後送交環境部公開徵詢及後續審議。

5. 114 年 5 月 12 日環境部召開「紅樹林植林」第 3 次審查會議，委員建議名稱應回歸「植林」、明確人工濕地定義與適用範圍，並強調設置邊界與防擴張機制，所有專案應納入環境衝擊分析與公眾參與，修正後送交環境部公開徵詢及後續審議。

6. 環境部於 114 年 7 月 24 日召開「溫室氣體抵換專案及自願減量專案審議會」第 19 次會議，進行「紅樹林植林」及「海草復育」二項方法學之審議，會議決議兩案修正後通過，並公告於「溫室氣體自願減量暨抵換資訊平臺」。

四、 輔導自願減量專案示範案例及實地操作

為促進我國邁向淨零排放，環境部依「氣候變遷因應法」第 25 條第 4 項訂定「溫室氣體自願減量專案管理辦法」，鼓勵事業及各級政府執行自願減量專案。參與者可藉由擴大減量種類、對象及範圍，在取得減量額度後進行移轉或交易。我國藍碳方法學已完成建構並審議通過，透過復育與植林專案可增加專案邊界內有機碳儲存量，作為制度化推動藍碳復育及碳抵減專案的重要依據。海保署除積極輔導查驗機構設立亦導入 ESG 與海洋生態系多元價值理念，媒合具永續願景之企業，共同建立藍碳示範區，推動涵蓋種植、維護至監測的完整復育流程，並累積可複製之經驗，吸引更多企業投入，逐步奠定

自願減量專案的發展基礎。

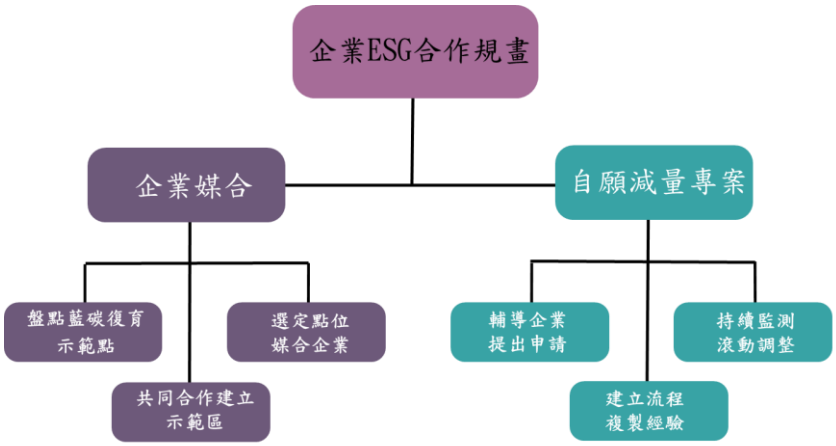

圖 5. 企業 ESG 合作規劃

五、 研發與引進國內外相關技術

現階段海洋委員會除了開發沿岸藍碳生態系藍碳碳匯潛能外，亦積極辦理開發、研究其他具潛力之海洋碳匯生態系，如「開發沿岸大型原生植物體量化培育技術與植被碳匯量測方法，研發海域大型原生植物體量化增匯培育模組，同時輔以水下聲學量之建立，量測生態棲地植物活性與效率」及「開發增量海洋生態碳匯潛力技術與效益評估，提升海洋碳匯調查技術能力」，至於新興科技以及海洋、微藻或其他科技研發則由國科會負責，將持續掌握最新之進展期待未來開發更多元之海洋碳匯，以利我國達成 2050 年淨零排放目標。

六、 推動公私協力、培育藍碳專業人才

（一）現行我國碳匯量據評估，透過疏伐現有紅樹林栽種面積，預估可提高 30%之碳匯量，以目前預估之 64,156(公噸/年)碳匯量計算，可增加 19,274(公噸/年)碳匯量。現行臺灣沿海海草床(不含東沙)碳匯資源預估量為 1,820(公噸/年)。估計若臺灣本島及澎湖(不含金門)之海草床面積增加 1 倍，搭配紅樹林疏伐作業，每年增加之碳匯量為 21,067 公噸，以 OECD 建議 2030 年最低碳定價每公噸 60 歐元(約臺幣 2,000 元)計算，每年總值約 4,200 萬臺幣；若以歐盟去年底最高的碳價 90 歐元計算，價值為約每年 6,300 萬臺幣，預計可帶動可觀之經濟效益。

（二）健全的藍碳生態系，除碳匯功能之外，還有水源涵養、淨化空氣、海岸防護、逆轉土壤劣化、生物多樣性及休閒遊憩等價值，鼓勵在地團體及地方政府參與復育，及維護海洋碳匯評估可增加面積及碳匯量，並持續與地方合作與對話，找到社區參與合作的網絡架構，擴大海洋碳匯生態系的保育、復育推動及維護管理。同時讓企業參與海洋自然碳匯 ESG 專案，媒合平台擇區域試辦，逐年增加海洋保護區內之碳匯潛力區域進

行復育，進而制定增量方案，並建構碳匯認證。

（三）推動藍碳關注區域內之公私協力，進行環境營造及維護，與教育單位合作發展藍碳生態系環境教育及培育藍碳人才，推動藍碳教育向下扎根，納入課綱等工作，以「保護棲地」、「復育物種」及「推廣知識」三大方向進行，並邀集 NGO、NPO 及研究機構加入，延伸藍碳人才培育量能，同時積極參與國際型研討會及成果發表，提升我國海洋生態保育事務之國際能見度及貢獻。

伍、 藍碳生態系復育行動

海保署藍碳生態系復育推動，規劃六年期(114 年-119 年)中長程計畫，進行盤點調查、示範場域建置與監測驗證，奠定科學基礎與技術模式；並以前瞻至 2030 年為長程目標，逐步擴大復育規模、建立跨部會治理架構，銜接「2050 淨零排放路徑」，形塑具韌性與永續性的藍碳治理模式，本行動計畫已獲行政院核定「臺灣海域生態守護計畫(114-119 年)」，總經費 2 億 5 佰萬元，其中規劃辦理藍碳資源動態監測 36 處及海洋自然碳匯維護或增量 25 處，並分階段推動說明如下:

一、 114 年-116 年完善制度面、擴大復育藍碳生態

(一) 調查並建立復育機制

1. 賡續進行盤點全國藍碳生態系面積、碳匯潛力點復育可行性評估，並以地區性啟動系統調查，建立海草床分布與現況資料庫，遴選具復育潛力的灣澳、潟湖或港灣場域，進行環境分析及苗圃設置。同時，將持續推動本「藍碳生態系行動計畫」，以生物多樣性維護為核心，透過調查監測、優先物種復育與跨領域合作，逐步建構具永續性與韌性的藍碳治理模式。

2. 擬訂海草復育指引

為配合「海洋保育法」第 20 條所定海洋生物復育措施辦理原則，並協助海草床生態系管理者規劃與設計復育計畫，海保署擬訂「海草復育指引」，作為推動海草復育及永續管理行動的重要依據。該指引提供具適應性的管理方法，整合海草床生態特性、環境條件及歷年復育經驗，協助管理者制定明確計畫並有效執行，提升復育成功率與調整彈性。同時，透過標準化操作與科學化決策，指引不僅支援海洋碳匯增量及藍碳生態系保育，也促進中央、地方及在地社群的協作，確保海草復育工作能持續推動、有效管理，成為我國沿岸藍碳生態系永續管理行動的核心支柱。

(二) 推動藍碳復育示範場

114 年度補助學校辦理海洋藍碳生態系復育行動計畫之「建構低度利用魚塭轉型藍碳海草床及紅樹林之示範場暨可行性評估」及「墾丁後灣海草復育與苗圃設立試驗」及委託國立臺東大學執行「台東海草藍碳行動復育、教育與在地共創計畫」，並視推動成果持續辦理。

1. 「建構低度利用魚塭轉型藍碳海草床及紅樹林之示範場暨可行性評估」

(1) 調查高雄市低度利用／閒置魚塭水域的藍碳潛勢區域，並建立詳細的藍碳生態地圖，面積：0.5 公頃以上。

(2) 評估高雄市養殖魚塭適合種植紅樹林與台灣原生海草的區域,並通過實地調查、栽種與效益測量量化其碳吸存效益。

(3) 建構示範藍碳魚塭場域，提供魚塭水域的藍碳植被的復育方案／建議，包括植被選擇、棲地改善、長期管理策略。

2. 「墾丁後灣海草復育與苗圃設立試驗」

(1) 復育棲地與苗圃的選擇:復育選址優先考量原有海草棲地但因破壞而消失之區域，或評估廢棄且不再使用之人工設施（如漁港）是否具備轉型為適合海草生長棲地之潛力。

(2) 復育前後環境與生物多樣性比較:本計畫將以後灣、南仁港在移植前後進行當地的海草床周邊的生物相的調查(包括大型底棲性無脊椎動物與魚類)與環境調查(水質與底質),比較海草移植前後的生物與環境狀況。

(3) 海草物候學調查:以物種為主選定代表性棲地,每月進行一次調查與觀察。泰來草部分，選擇屏東地區的海口、萬里桐、大光及港仔鼻等棲地作為觀測區域；貝克氏鹽草則以嘉義白水湖鹽田為主要調查場域；卵葉鹽草則選定澎湖鎮海灣棲地進行調查;單脈二藥草調查範圍包含海口、大光及澎湖鎮海灣；線葉二藥草則集中於屏東海口地區進行觀察；甘草則選定澎湖鐵線與五德，以及新竹香山地區作為調查據點。調查將以長期觀測方式,掌握各物種在不同棲地中的分布變化與生育狀況，以作為後續復育與保育策略擬定之依據。

(4) 海草種子種類的選擇與採集:優先以泰來草進行試驗,但如果其它種類的海草也有果實也會同時進行採集與培養,以培育各種海草的種子及幼苗。

(5) 海草幼苗培育及海草植株搶救:採集自野外的種子將進行發芽條件與基質試驗;颱風過後則於岸邊收集被沖上岸的海草植株進行搶救與馴養，待生長穩定後，移植至後灣與南仁港進行培育。

(6) 海草移植方式試驗及移植後的追蹤:以澎湖石滬概念,利用天然礁石防止海浪掏空底質，進行海草移植試驗。移植後的海草將定期進行海草進行植株存活率、植株密度估算、生長速率測量，以了解海草復育的狀況。

3. 114-116 年執行台東「台東海草藍碳行動復育、教育與在地共創計畫」

(1) 台東地區海域海草分布普查與基礎調查:於台東地區濱海沿岸進行海

草資源現況調查，記錄其分布範圍(GPS 座標)、海草種類、密度與生長狀況等相關資料，建立基礎資料庫，作為後續復育及藍碳潛力評估之依據。

(2) 台東海草復育適生環境之探勘與分析:探勘台東縣具環境穩定且人為干擾相對較低之水域或場域，如自然灣澳、潟湖、港灣內水體或其他具復育潛力之點位，進行環境因子（如水質、水流、光照、鹽度等）與底質特性調查，分析其海草復育適合度，並彙整調查結果撰寫分析報告，遴選最具潛力之場域作為海草復育苗圃。

(3) 舉辦藍碳工作坊與社區參與行動，推動海草復育教育與公民科學:規劃並執行藍碳主題工作坊至少 3 場次，每場次至少各 15 人，結合在地原住民團體或居民共同參與，強化社區對海草復育與藍碳概念的認知與實踐，培力在地藍碳公民科學家，透過標準化記錄流程與數據回報機制，提升在地居民對其貢獻價值的認同，強化社群自我監測與自主保育的持續動能，促進地方永續與知識共創，達成激發社會責任目標及藍碳人才培育。

(4) 藍碳生態系海草現勘及推廣教育影像紀錄:為提升大眾對藍碳生態系統重要性的認識與參與，透過影像紀錄的方式，完整呈現台東地區海草床現勘過程、復育潛力場域的環境調查、藍碳工作坊進行實況，以及在地原住民團體與社區居民參與藍碳行動的過程與成果，製作台東海草探勘及工作坊紀錄短片 1 部。

(三) 在地推動與跨機關協作整合

為建置藍碳公民科學家示範場域，海保署推動「臺南藍碳永續保育願景平台會議」機制，透過公民科學方式建立長期監測機制，強化在地社群與學校參與，並盤點台江四草湖與鹽水溪灘地等具藍碳潛力場域，研議示範點推動策略及跨機關協作，促進資源整合與共識凝聚。

(四) 推動「藍碳復育行動聯盟」

為進一步強化藍碳推動效能，海保署籌組「藍碳復育行動聯盟」，邀集已具合作關係之夥伴，包括國立中山大學、國立臺東大學、國立高雄科技大學、國立東華大學等學術機構，以及高雄市政府與農業部等相關機關共同參與，期透過本聯盟之合作機制，促進藍碳方法學應用、復育技術研發與教育推廣等工作。

(三) 藍碳人才培育

1. 邁向淨零轉型，114 年-116 年推動藍碳教育向下扎根，納入中小學課程，並鼓勵大學師資開設相關課程，培育藍碳人才，以「保護棲地」、「復育物

種」及「推廣知識」三大方向進行，建立獎勵制度，並邀集 NGO、NPO 及研究機構加入，延伸藍碳人才培育量能，每年預計培育 100 名。

2. 以藍碳生態系復育行動教育推廣為目標，透過多元化的宣導渠道，如開設專題課程、線上或數位平台推廣，並透過書籍、雜誌等平面媒體展示藍碳生態系資源價值。

3. 結合縣市政府與社區組織、學術研究，辦理講座、展覽及工作坊，走入地方社區、學校、企業等團體，以提高民眾對藍碳生態系之重視。

4. 以互動與體驗式開設生態旅遊或導覽，讓民眾走進紅樹林、海草床及鹽沼等藍碳生態區探索，實際感受生態系統的服務價值了解它們的功能性，並組織志工活動，激發社會責任給予認可或獎勵，讓更多人投入藍碳生態系復育行動。

二、 117 年-119 年-藍碳增植復育、建立資源長期監測

（一）完成 15 處藍碳增植復育

海保署推動的濱海藍碳生態系營造計畫，核心目標是以生物多樣性為基礎，復育退化的生態系與物種，從而提升生態功能與碳匯效益。透過復育行動，此計畫不僅能有效固碳並增進生物多樣性，更能強化海岸帶面對氣候變遷與天然災害的韌性，達成永續生態的目標。媒合地方政府、在地團體及企業等，共同保育及海洋生態系維護與復育及其他生態系區域，推動藍碳經營管理，復育海洋生態系，增植海洋藍碳，提升我國濱海藍碳碳儲量，並規劃於 117 年-119 年，完成 15 處海洋自然碳匯的維護或增量工作。

（二）完成 21 處藍碳資源監測

海保署將持續蒐集我國紅樹林、海草床及鹽沼等藍碳生態系的相關資料，規劃在 117 年-119 年，完成 21 處藍碳資源的動態監測。同時透過在地社群參與與公民科學監測，建立由下而上的守護力量，完善長期監測體系，共同促進生物多樣性回復、維護生態平衡，透過掌握資源的現況與變化趨勢，將資訊作為未來規劃、管理與保育策略的重要依據，進而增進藍碳生態系的韌性與永續性。同時，將致力於發展與精進藍碳復育及增匯技術，並積極參與國際研討及成果交流，藉此提升我國在藍碳保育領域的國際能見度與貢獻。

陸、 未來展望

本行動計畫奠基於近五年的調查與評估，為我國藍碳生態系復育勾勒出明確藍圖。面對 2050 淨零排放的全球目標，海洋碳匯不僅是應對氣候變遷的重要解方，更是維護臺灣海域生物多樣性與提升海岸韌性的關鍵基石。

從科學盤點、方法學建構，到示範場域推動與公私協力深化，本計畫各項策略皆致力於克服現有挑戰，並將藍碳潛力轉化為具體減碳貢獻，透過六年期中長程計畫的落實，我們將有系統地擴大復育規模、健全治理機制、培育專業人才，為藍碳永續發展奠定堅實基礎。

展望未來，計畫的推進需仰賴各級政府、在地社群、學術單位與企業的共同努力，唯有凝聚多方力量，方能將藍碳願景化為實際行動，不僅助力我國淨零轉型，更為下一代守護一個健康而具韌性的海洋。

參考文獻

Halpern, B., Longo, C., hardy, D. et al. (2012). An index to assess the health and benefits of the global ocean. *Nature,* 488, 615–620. https://doi.org/10. 1038/nature11397。

Bayraktarov, E., Saunders, M. I., Abdullah, S., Mills, M., Beher, J., Possingham, H. P., ... & Lovelock, C. E. (2016). The cost and feasibility of marine coastal restoration. Ecological Applications, 26(4), 1055-1074。

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)。

Duarte, C. M., Losada, I. J., Hendriks, I. E., Mazarrasa, I., & Marbà, N. (2013). The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. Nature climate change, 3(11), 961-968。

Davidson, N. C., & Finlayson, C. M. (2019). Updating global coastal wetland areas presented in Davidson and Finlayson (2018). *Marine and Freshwater Research*, *70*(8), 1195-1200。

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。

Jørgensen, S. E. (Ed.). (2009). *Ecosystem ecology*. Academic press。

Ho, C. W., Huang, J. S., & Lin, H. J. (2018). Effects of tree thinning on carbon sequestration in mangroves. *Marine and Freshwater Research*, *69*(5), 741-750。

Kuwae, Tomohiro, et al. (2022) Implementation of blue carbon offset crediting for seagrass meadows, macroalgal beds, and macroalgae farming in Japan. Marine Policy 138. 104996。

Lee, S. Y., Kristensen, E., & Twilley, R. R. (2017). *Mangrove ecosystems: a global biogeographic perspective*. Springer Science+ Business Media。

Mcleod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., ... & Silliman, B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO_2. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *9*(10), 552-560。

Mireia Valle Tobar (2014) Seagrass meadows under a changing climate: habitat modelling, restoration and monitoring. Biodiversity and Ecosystem Functioning and Management。

McKenzie, L. J., Nordlund, L. M., Jones, B. L., Cullen-Unsworth, L. C., Roelfsema, C., & Unsworth, R. K. (2020). The global distribution of seagrass meadows. Environmental

Research Letters, 15(7), 074041。

Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdés, L., De Young, C., Fonseca, L., Grimsditch, G. (2009). Blue Carbon. A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal, www.grida.no。

Nakamura, F. (2022). Green Infrastructure and Climate Change Adaptation: Function, Implementation and Governance (p. 506). Springer Nature。

Polidoro, B., Carpenter, K., Collins, L., Duke, N., Ellison, A., Ellison, J., . . . Ong, J. (2010). The loss of species: mangrove extinction risk and geographic areas of global concern. *PLoS ONE*, *5*(4), e10095。

Pan, S. H., Ho, C. W., Lin, C. W., Huang, S. C., & Lin, H. J. (2021). Differential Response of Macrobenthic Abundance and Community Composition to Mangrove Vegetation. *Forests*, *12*(10), 1403。

Short, F. T., Coles, R., Waycott, M., Bujang, J. S., Fortes, M., Prathep, A., ... & Makm, I. (2010). Halophila beccarii, The IUCN Red List of Threatened Species 2010 e. T173342A6995080。

Shih, S. S., Hsieh, H. L., Chen, P. H., Chen, C. P., & Lin, H. J. (2015). Tradeoffs between reducing flood risks and storing carbon stocks in mangroves. *Ocean & Coastal Management*, *105*, 116-126。

Thorhaug, A., Gallagher, J. B., Kiswara, W., Prathep, A., Huang, X., Yap, T. K., ... & Berlyn, G. (2020). Coastal and estuarine blue carbon stocks in the greater Southeast Asia region: Seagrasses and mangroves per nation and sum of total. Marine Pollution Bulletin, 160, 111168。

Erftemeijer, P. L. A. (2020). Guidelines for seagrass ecosystem restoration in the western Indian ocean region. The United Nations Environment Programme。

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。

Wester, L., & Lee, C. T. (1992). Mangroves in Taiwan: Distribution management and values. *Geoforum*, *23*(4), 507-519。

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 siaochihkanensis*(Hydrocharitaceae), a new species from Penghu County, Taiwan.

Taiwania, 70(3):505-511.

王相華，傅淑瑋，鄧國禎，洪西洲，廖學儀。2015。臺灣紅樹林面積變遷及物種組成現況。臺灣林業 41: 47-51。

林幸助，何瓊紋，陳彤昀。2019。108 年紅樹林生態系調查計畫期末報告書。海洋委員會海洋保育署。

林幸助，陳彤昀。2019。108 年海草床生態系調查計畫期末報告書。海洋委員會海洋保育署。

林幸助，陳彤昀。2021。全球暖化對臺灣藍碳生態系與碳匯功能之影響計畫期末報告。綠色和平。

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。

海洋委員會海洋保育署。2022。「110-111 年臺灣沿海重要碳匯生態系統調查與評估計畫」成果報告。

葉秋妤。2005。臺灣沿海濕地草澤之植物之植群生態研究。國立中山大學生物科學系學位論文。

行政院農業部。2023。臺灣 2050 淨零轉型「自然碳匯」關鍵戰略行動計畫。

劉弼仁、林幸助、楊明德。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計畫成果報告。

行政院環境部。2021。2021 年國家溫室氣體排放清冊報告(2021 年版）。

蘋果官網,(2019,Apr.). 保育紅樹林，保護世界的命脈. https://www.apple.com/tw/newsroom/2019/04/conserving-mangroves-a-lifeline-for-the-world/。

蘋果官網,(2020,Jul.).Apple 承諾要在 2030 年對供應鏈和產品實現 100%碳中和. https://www.apple.com/tw/newsroom/2020/07/apple-commits-to-be-100-percent-carbon-neutral-for-its-supply-chain-and-products-by-2030/。

U.S. EPA (2022). https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-04/us-ghg-inventory-2022-main-text.pdf。

The Mangrove Alliance, https://www.mangrovealliance.org/best-practice-guidelines-for-mangrove-restoration/。