

# 國家氣候變遷科學報告2024： 現象、衝擊與調適

## 4.5.2 海域生態

陳郁凱、李明安

農業部水產試驗所、國立臺灣海洋大學

計畫辦公室



行政法人國家災害防救科技中心  
National Science and Technology Center  
for Disaster Reduction



臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台  
Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform

指導單位



國家科學及技術委員會  
National Science and Technology Council

# 近年國內有關氣候變遷對 海域生態衝擊的**研究進展**

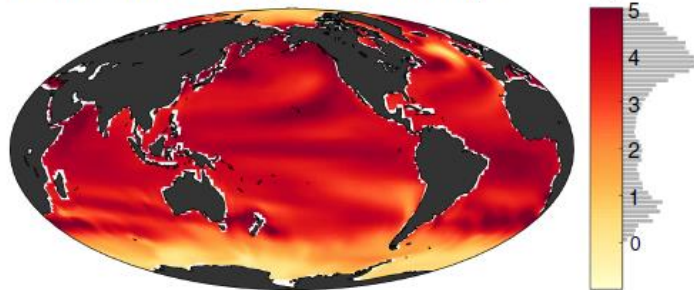
---



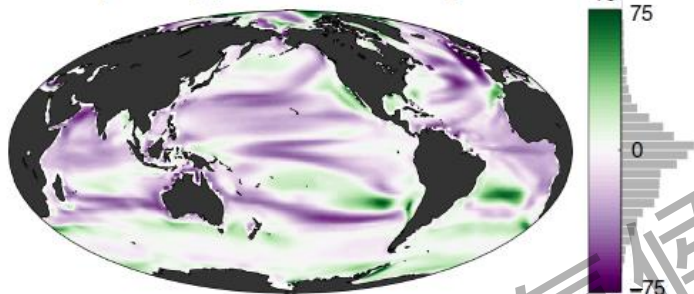
國家氣候變遷科學報告2024 現象、衝擊與調適 工作坊4

# 全球海洋生物量的變化趨勢

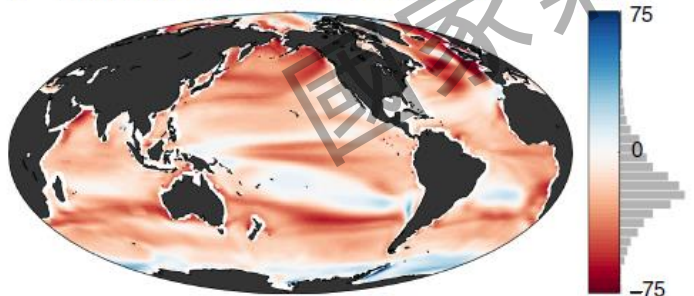
A Sea surface temperature change



B Net primary production change

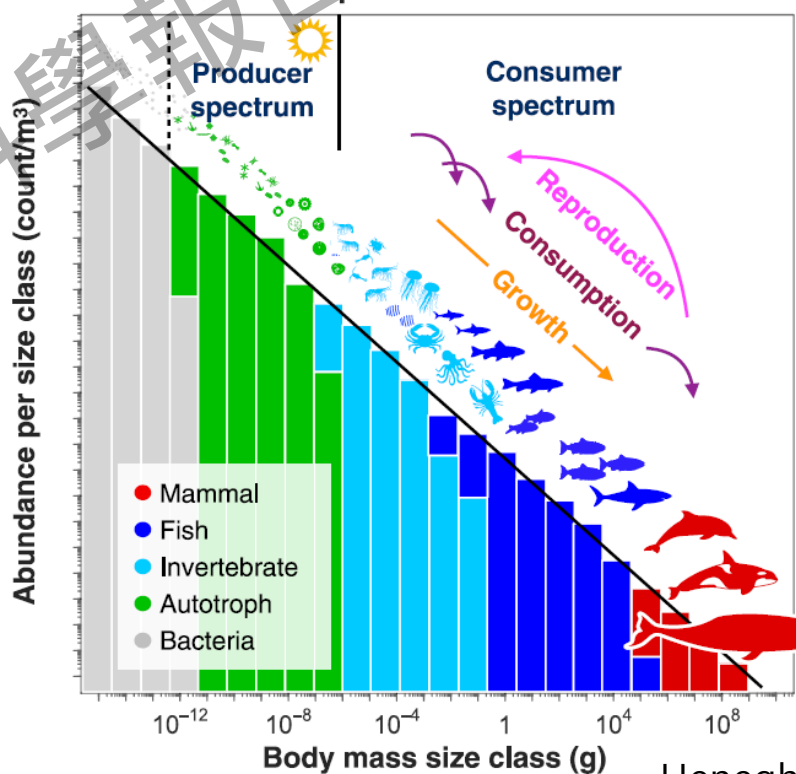


C Total consumer biomass change



► Heneghan et al. (2019) 將全球海洋生態系中各營養階層的生物量以體型大小乘以個體數的關係表示，將各階層能量的流動簡化為等幅下降、異速下降或不規則型三種的模式，模擬不同生態位階生物豐度組成比例受到各種氣候變遷物理因子變化所產生的消長。

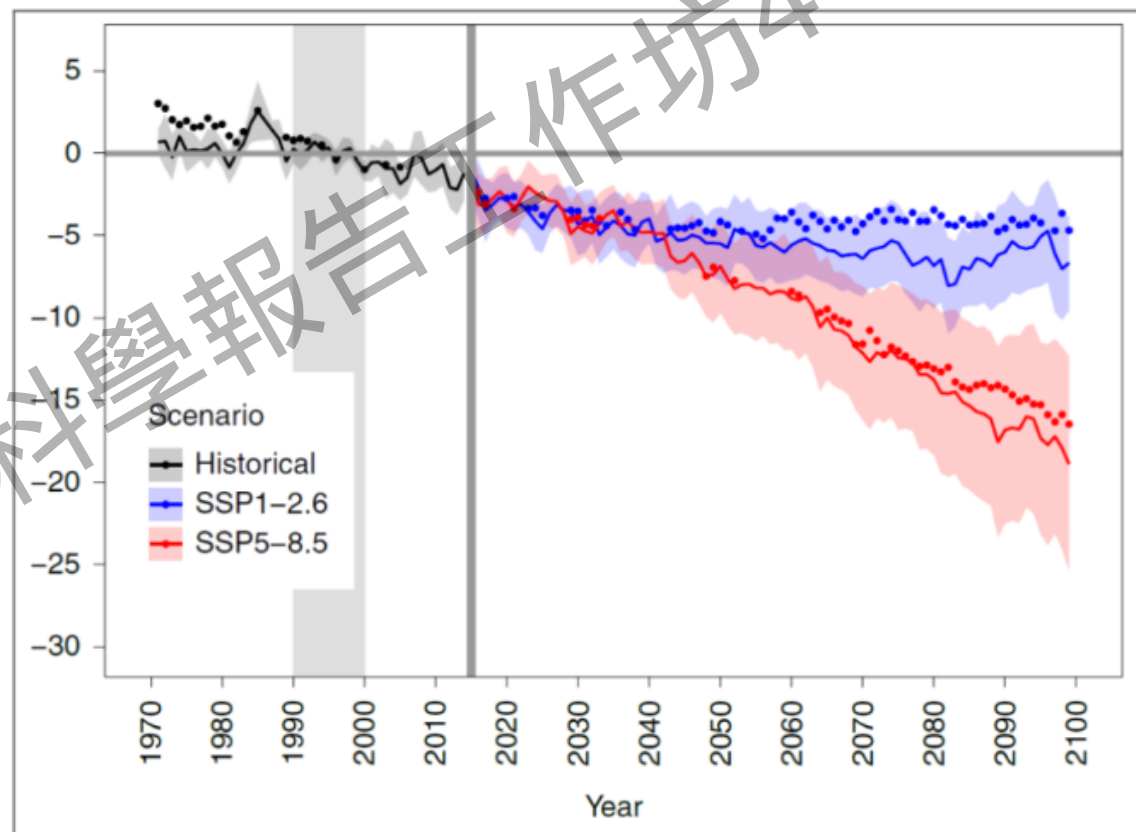
A Abundance size-spectrum



Heneghan et al. (2019)

# 全球海洋生物量的變化趨勢

- ▶ Tittensor et al. (2021)以最新的集成模型 (CMIP6-forced Fish-MIP ensemble )模擬顯示，無論在高強度減碳調適(strong-mitigation)或是高度碳排放 (high-emission) 的情境下，2030年後全球海洋生物量下降的幅度逐年加劇，而在高碳排情境2060年後生物量將快速且大幅度的下降，此預測結果也再一次的凸顯減碳的重要性。



未來全球海洋生物量的變化趨勢(Tittensor et al., 2021)；藍色為高強度減碳調適情境，紅色為高度碳排放情境。

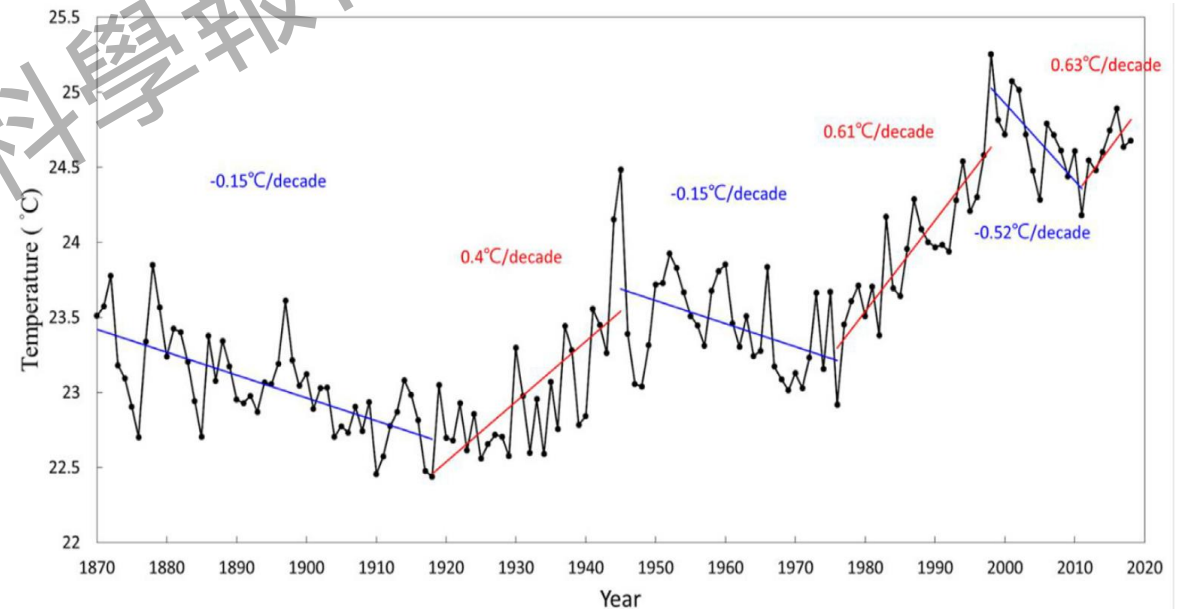
# 臺灣周邊的海洋生態系



來源:中研院生物多樣性數位博物館網頁

# 氣候變遷的主要衝擊

- ▶ 氣候變遷仍持續發展中，以臺灣海峽為例，自2012年起暖化停滯伴隨的海表增溫停滯現象已逐漸被快速增溫取代，**增溫的幅度約為 $0.63^{\circ}\text{C decade}$**  (Lee et al., 2021)，而海水暖化可能導致水溫垂直和水平分布型態改變，亦迫使棲息其中的生物發生適應上的改變。
- ▶ 然而，多數的海洋生態系由於缺少長期的基礎數據作為背景資訊，不易比較分析過往與現今之差異，故難以斷定目前的觀察到的現象與氣候變遷間直接的因果關係。



1870-2020年臺灣海峽長期表水溫變動(Lee et al., 2021)

# 沿岸生態系

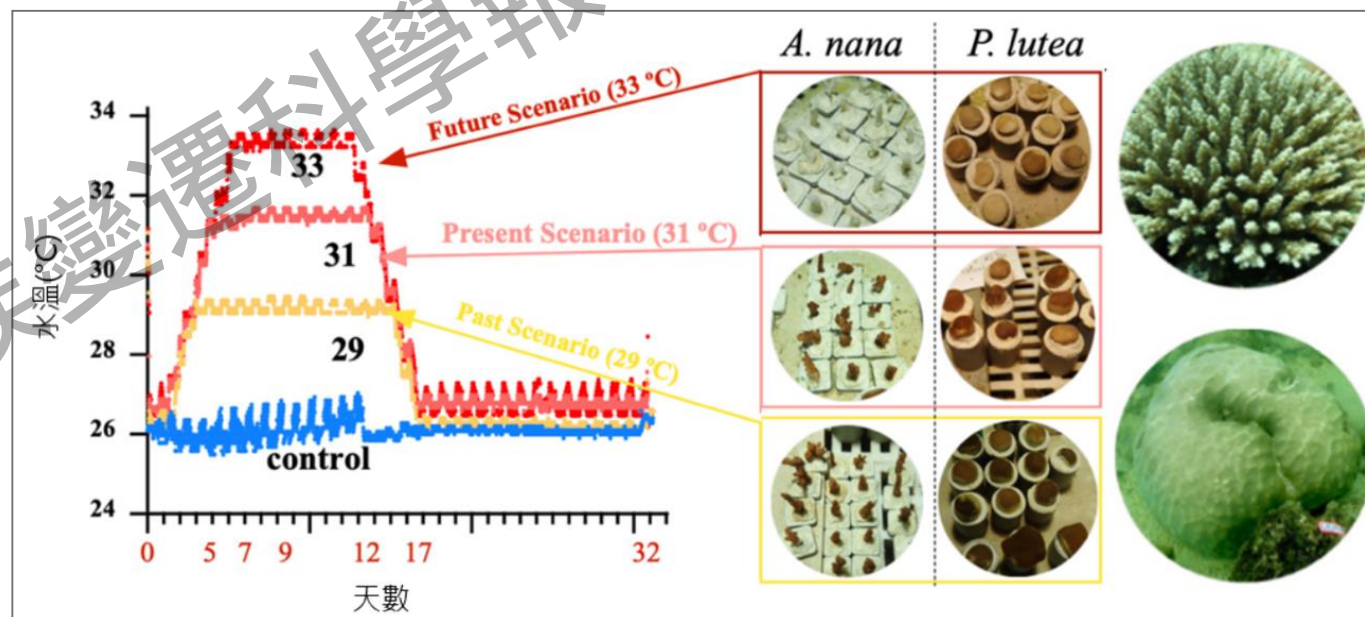
## ► 珊瑚礁

墾丁國家公園兩種珊瑚於29°C以及31°C的熱逆境歷經一週後仍未有明顯白化，處於健康的狀態，而當水溫若高達33°C，快速生長型的細枝軸孔珊瑚死亡率明顯較高，成長緩慢的鐘形微孔珊瑚熱耐受能力較佳；推論在溫度壓力下珊瑚宿主能與較耐熱的共生藻共生而提升其熱耐受能力。

IPCC所預測2050年水溫 (33°C)

2018年前後之白化事件水溫 (31°C)

1998年聖嬰大規模珊瑚白化水溫 (29°C)



過去、近期及未來三種水溫架構測試兩種珊瑚的熱耐受能力 (Keshavmurthy et al., 2022)

# 沿岸生態系

- ▶ 墾丁國家公園海域內受到升溫海水影響或溫差變化大的區域，珊瑚的共生藻會以較具耐熱性的種類為優勢，且共生藻種類會隨著季節而變化，藉由**改變體內既有不同抗熱性之共生藻相對豐度**，來度過熱逆境所帶來之生存壓力(Keshavmurthy et al., 2019)。
- ▶ 近期發現珊瑚骨骼中的厭氧光合自營的**共伴細菌(綠硫菌/厚壁菌門)具有固氮能力**，在珊瑚骨骼中可能參與氮的循環代謝，對於珊瑚的活存與環境變遷之間的關係可能是未來研究珊瑚共伴菌的重要方向(Yang et al., 2020)。
- ▶ Dang et al. (2020) 在墾丁、綠島、蘭嶼的研究指出，的數量與新生珊瑚的豐度呈顯著正相關，顯示在過度漁撈的珊瑚礁區，**草食性的海膽**有控制藻類數量的功能，有助新生珊瑚爭取生長空間，具有幫助珊瑚礁回復氣候衝擊的作用。
- ▶ 珊瑚礁遭受氣候衝擊的**生態韌性(ecological resilience)**也是近年的研究重點，本理論認為珊瑚礁生態系統的整體恢復，必須結合生態、環境、管理、社會經濟四個子系統，建立一套適應性韌性基礎管理提供永續管理決策(Bang et al., 2021)。



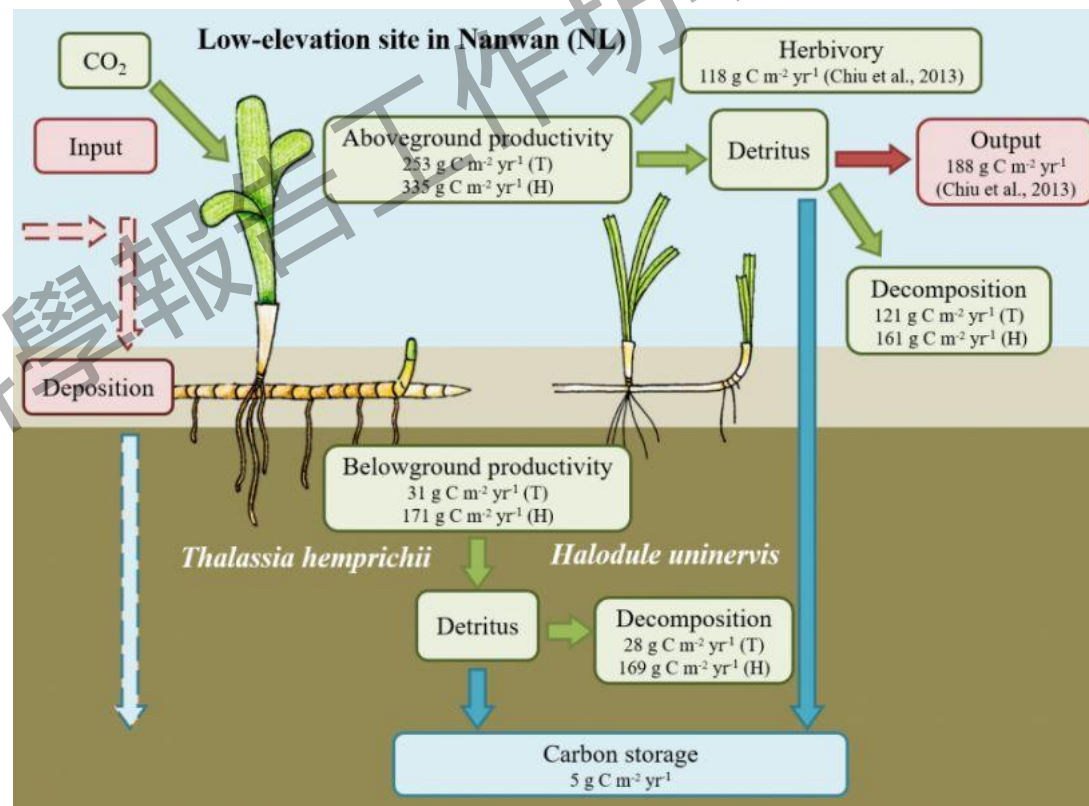
# 沿岸生態系

## ▶ 海草床

估算南灣潮間帶泰來草地下部生產量的碳吸存速率是  $0.3-4.7 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，單脈二藥草則為  $1.5-2.3 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，能貢獻53%的潮間帶低潮位長期底土有機碳匯量(Zou et al., 2021)。

海草地下部面對環境改變時的形態適應在不同物種之間存在差異，因此未來環境因子的變動將影響海草床組成比例(Chen and Lin, 2022)。

**地下部生產力是潮間帶海草床碳匯的重要來源**，且生長緩慢的大型海草透過地下部儲存較多的碳，未來海草床碳收支的估算中應該被量化納入。



墾丁南灣潮間帶泰來草及單脈二藥草海草床的碳收支流程  
(資料來源：Zou et al., 2021)

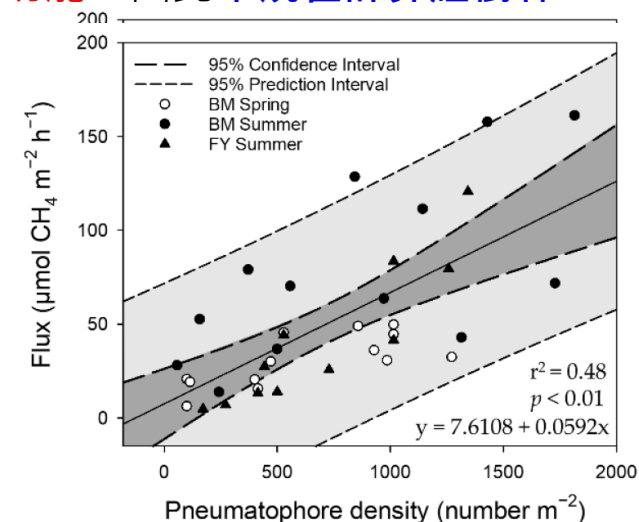
# 沿岸生態系

## ▶ 濕地與紅樹林

內政部營建署於104年制定公布「濕地保育法」，均以專章進行了明確的定義與規範。濕地具有極佳的碳匯功能，然其底部厭氧環境亦為溫室氣體甲烷、氧化亞氮的產生源，近年仍持續精進相關參數的估算 (Lin et al., 2020; Lin et al., 2021)。

Lin et al. (2021a) 測量臺灣西部沿海十處水筆仔及海茄荃紅樹林之10cm底土內的甲烷排放量，海茄荃透過呼吸根作為甲烷排放的管道，甲烷通量介於 $2.1 \sim 765.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ，顯著高於水筆仔( $-1.7 \sim 16.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )及裸灘( $-0.7 \sim 7.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )，佔土壤碳埋藏率約170.7-894.8%，幾乎完全抵消了紅樹林的藍碳功能，因此**甲烷在計算紅樹林碳吸存量時為不可忽略的支出**。

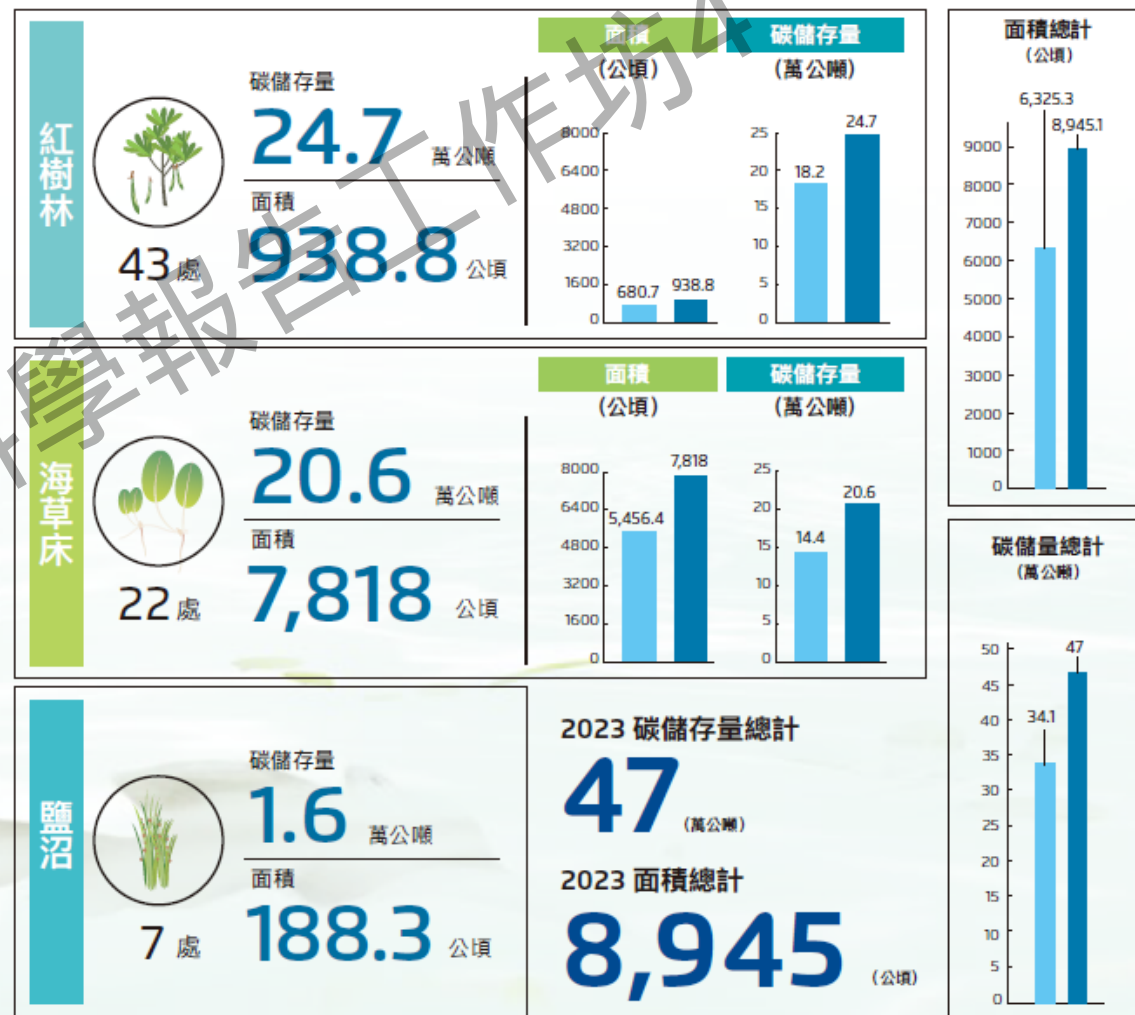
臺灣目前僅存四種紅樹林中，目前僅海茄荃與水筆仔的碳收支被量化，南部主要樹種欖李、五梨跤的調查闕如，且**過去碳收支研究多忽略溫室氣體排放、紅樹林地下部生物量及草食作用量**，未來期能完成臺灣四種紅樹林碳收支完整拼圖。



海茄荃呼吸根密度與全年甲烷通量呈正相關(Lin et al., 2021)

# 2023 年臺灣海洋藍碳資源統計

- ▶ 2023 年調查紅樹林43 處總面積達938.8 公頃，北部集中在雙北地區；南部以嘉南地區最多，整體面積較之前年度為高。
- ▶ 調查臺灣本島及鄰近離島海草床20 處，加計南沙25 公頃、東沙島7,716 公頃，22 處海草床面積增至7,818 公頃。
- ▶ 自2019 年度起陸續盤點記錄，總計碳儲量約**34 萬公噸**。最新估算紅樹林碳儲存量約24.7 萬公噸、海草床20.6 萬公噸、鹽沼1.6 萬公噸，總計碳儲量**增加為47 萬公噸**。

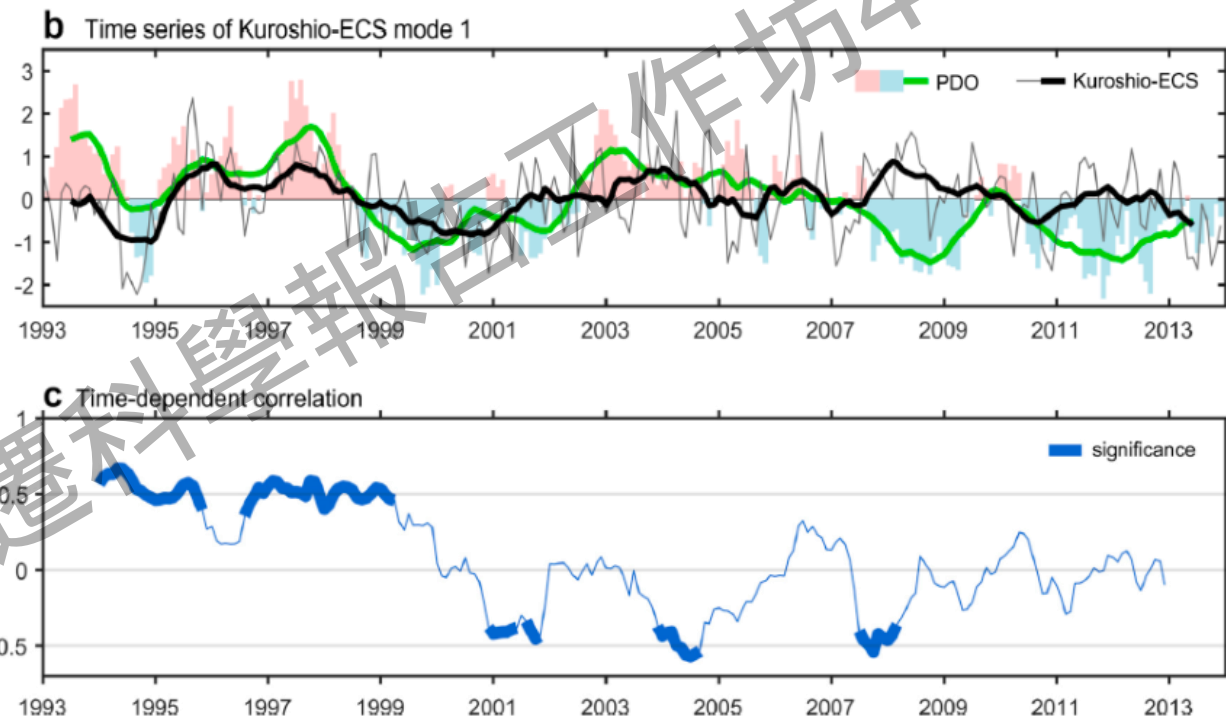


# 離岸生態系

## ► 黑潮大洋區

在1990年後期，太平洋年代際振盪(PDO)轉換至負相位所引起的黑潮長週期變化，影響了氣候系統的能量平衡，使得推估黑潮未來年際變異性變的困難，亦會影響魚類的洄游路徑與分布(Wu, 2013; Wang & Wu, 2019)。

例如日本鰻(*Anguilla japonica*)完全仰賴捕撈天然鰻苗，鰻苗會隨著北赤道洋流及黑潮長距離的輸送至東亞各國沿岸，然而氣候變遷造成北赤道洋流及黑潮的流速強弱發生變化，不利於鰻苗傳輸，將影響臺灣所捕獲鰻苗的數量。



(b)PDO指數的移動平均值與黑潮在東海陸棚段的流速特徵向量之時間序列圖

(c)兩者相關係數在1999年之前多為高度正相關，其後呈間斷性相關或無相關性  
(資料來源：Wu et al., 2013)

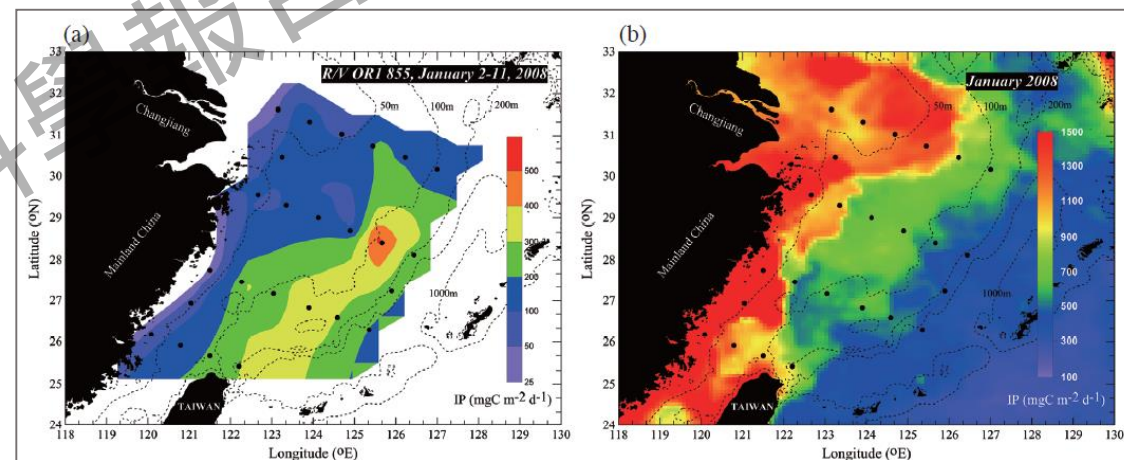
# 離岸生態系

## ► 基礎生產力

Gong et al. (2017)以光合作用效率—可見光亮度曲線(PB-E curve)估算東海陸棚冬季透光層中的基礎生產力平均值為  $186 \pm 117 \text{ mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ，由於冬季水團的垂直混合均勻，因此光照並非主要影響因子，水溫差異與營養鹽的多寡才是造成東海陸棚基礎生產力不均的主因，並指出**衛星遙測數值可能有高估的情形**。

國內有許多研究探討VGPM推算基礎生產力應用於臺灣周邊海域的準確性。Shih et al. (2021) 比較南海長期實測資料與模式估值，結果顯示VGPM的估值高出實測值約50%，主因在於衛星估算有光層深度與實測深度並不一致，然而VGPM在水平大範圍、較長時間尺度上的估值是可信的。

由於**影響基礎生產力變化的因子相當多**，近年國內相關研究，仍著重於解碼、**量化影響基礎生產力變化極其複雜的機制**。

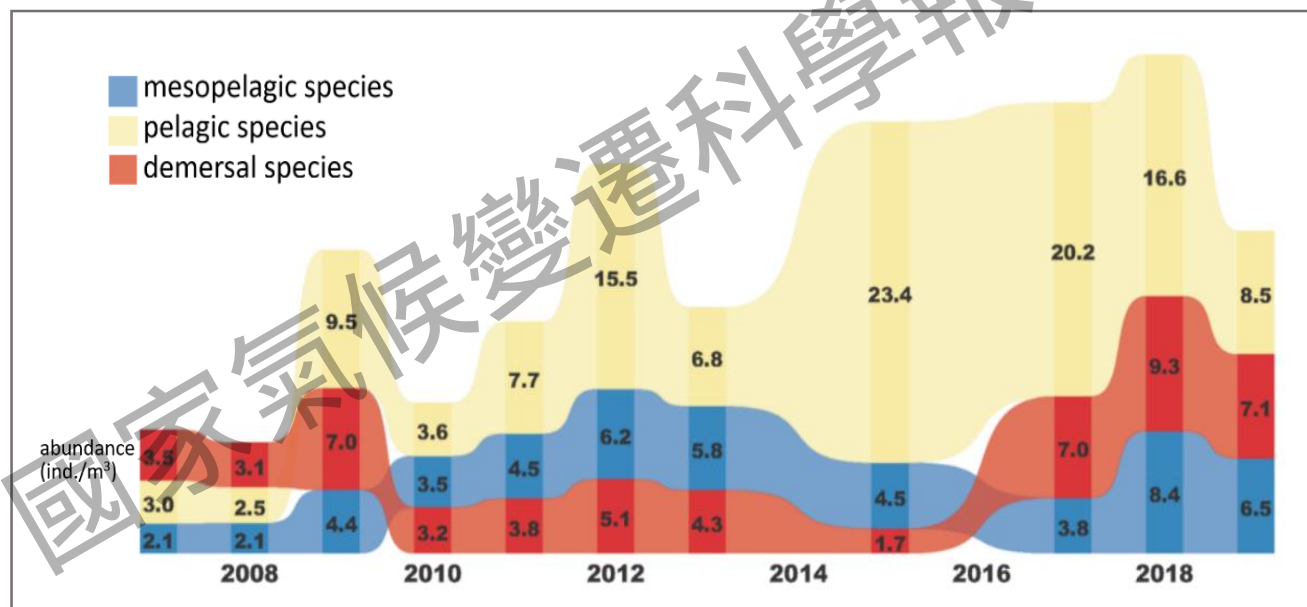


利用PB-E curve估算之透光層基礎生產力 (a) 與衛星測量數值分布 (b) 之比較 (Gong et al., 2017)

# 離岸生態系

## ▶ 仔稚魚與浮游動物

農業部水產試驗所於2003年開始執行「[臺灣周邊海域漁場環境監測計畫](#)」，利用試驗船觀測有系統地建立水文與生物時空分布資訊。研究發現在2007-2009年豐度較高的底層魚類仔稚魚，於2010年起已逐漸為表層及中層魚類取代，且往後數年表層魚類仔魚豐度呈現變動往上的趨勢，惟分析結果未能明確指向何環境因子所導致。



2007年至2019年臺灣周邊海域表層、中層及底層性的仔稚魚平均豐度變化

(資料來源：Yen et al., 2022)

# 氣候變遷調適與科研缺口

---



國家氣候變遷科學報告工作坊4

# 氣候變遷的主要衝擊

- ▶ 以全球性尺度而言，臺灣位處西北太平洋海域，此區的海水異常升溫現象 (Marine Heatwaves) 強度不算高，造成的生物大量死亡事件或者是棲地環境所受衝擊都不大，而**東太平洋則是受衝擊最嚴重的地方** (Smith et al., 2023)。

受文者：農業部水產試驗所

發文日期：中華民國114年2月7日

發文字號：日經組漁字第1140000098號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：無

主旨：有關2024年全球魚粉生產增加26%，主要是秘魯產量增至3倍，彌補其他國家之減產，報請察參。

說明：

- 一、日刊港都新聞本(2025)年2月7日報導，國際水產原料貿易組織——國際魚粉魚油機構 (IFFO，總部：倫敦) 於本(2025)年2月4日發布報告，推測2024年全球魚粉生產量較前一年增加26%，魚油生產量則增加12%。
- 二、該數據基於IFFO會員國 (秘魯、智利等12國) 統計，其中魚粉產量占全球總產量的40%，魚油則占50%。此次產量增加主要受到秘魯增產的影響，該國魚粉生產量約占全球總產量的20%。2024年秘魯中北部海域的漁獲量 (第一、二漁期合計) 達到481萬公噸，較2023年漁獲低迷的不良漁年 (El Niño影響) 成長至3.4倍，產量大幅回升。
- 三、IFFO解釋稱：「秘魯在聖嬰現象 (El Niño) 過後的增產，彌補了其他地區供給量的減少。」特別是在歐洲海域，由於海洋環境惡化，漁獲量較去年減少超過10萬公噸。



# 氣候變遷的主要衝擊

- ▶ 相較於氣候變遷的影響，人類活動對於臺灣海域生態系的破壞更為直接、快速與劇烈。 例如泥沙灘、河口潟湖、濕地與海草床常面臨工業區、港口與垃圾場等開發案的威脅，紅樹林、珊瑚礁與藻礁常受到汙水排放的影響，而岩礁與大洋受到的人為干擾程度相對較小。
- ▶ 在尚未釐清氣候變遷對海洋生物影響機制前，便應該研擬可行的調適與預防策略，將已造成嚴重衝擊的人為因子加以控管，使生態系維持健康狀態，才有機會減輕未來氣候變遷所可能帶來更大的衝擊

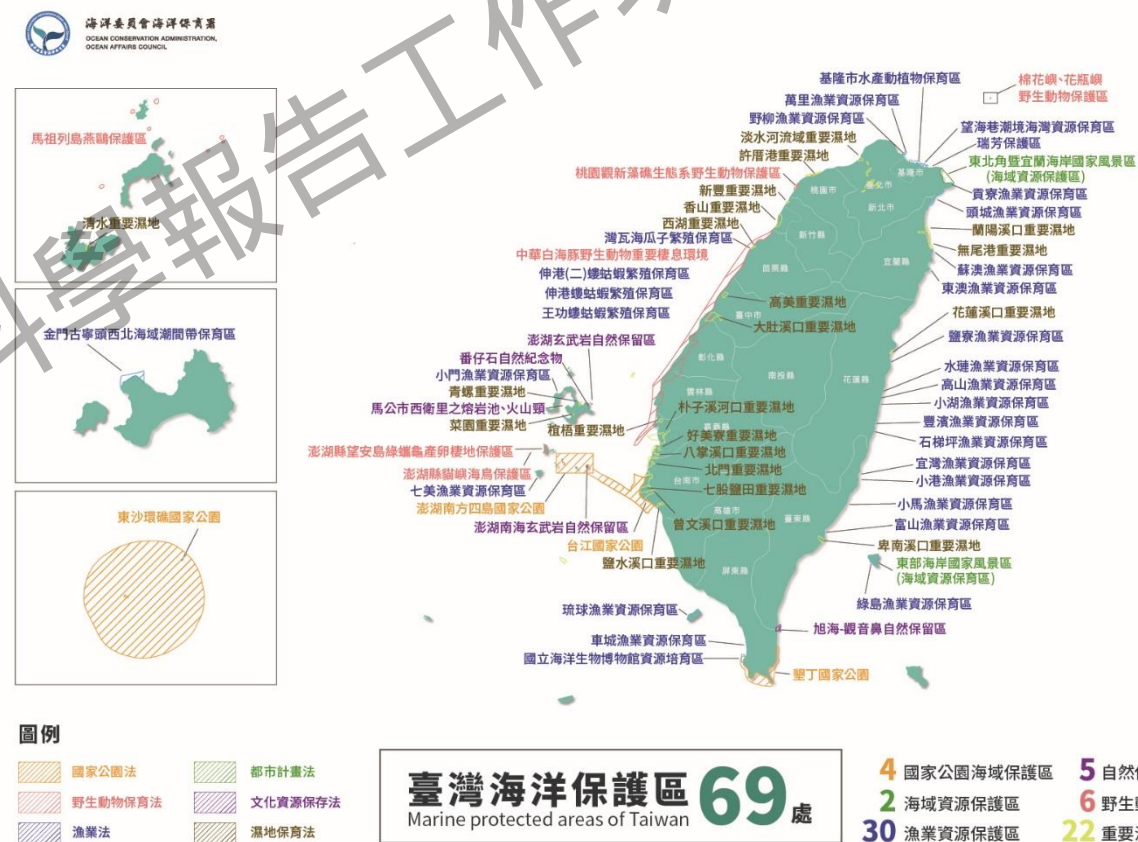
國家氣候變遷科學報告

# 我國近年有關海洋生態保育的調適作為

## 1. 維護健全海洋生態系，提昇因應氣候變遷調適能力。

▶ **劃設海洋保護區**(Marine Protected Area, MPA)係復育海洋生物多樣性及漁業資源最有效的方法。截至2023年12月，我國目前有6種類型共69處海洋保護區 (MPA)，海域保護面積約有8.38%。

▶ **海洋保育署**於2019年起定期召開「臺灣海洋保護區整合平臺」會議，邀請各中央目的事業主管機關與會，並視討論議題邀請相關地方政府機關、專家學者與NGO參加，透過各種作為逐步改善、提升海洋保護區的效力。



臺灣各種類型之海洋資源保育區 (來源：海洋保育署)

# 近年國內有關海洋保護區的科學研究

- ▶ Chen et al. (2018) 透過經濟學觀點分析探討臺灣28個漁業資源保護區所提供的生態系服務功能，以貨幣價值予以量化使民眾可更容易真實感受到生態系經濟價值的存在。
- ▶ Chao (2018) 以綠島海洋保護區成功為案例，探討政府推動、中間團體與社區參與之間的協調與資源整合之分析。
- ▶ Chung et al. (2019) 以澎湖南方四島保育區為例，嘗試發展可平衡各方利益的海洋保護區設計與區分模式。
- ▶ Hung et al. (2021) 探討彰化沿海濕地之美食奧螞姑蝦保護區之執行成效，結果顯示螞姑蝦的主要棲地可能已經轉移。
- ▶ Chung and Jao (2022) 回顧臺灣46個海洋保護區的管理架構與實施成效，並提出執行上可加強整合性與永續性的建議。
- ▶ 邵廣昭 (2022) 強調海洋保護區網絡的建置，因為大多物種之幼生為漂浮性，其生活始終漂流、擴散及洄游所歷經之距離及時間長短不同，途中會經歷各種不同的棲地，因此**建議以海流系統考慮重點保護區**。

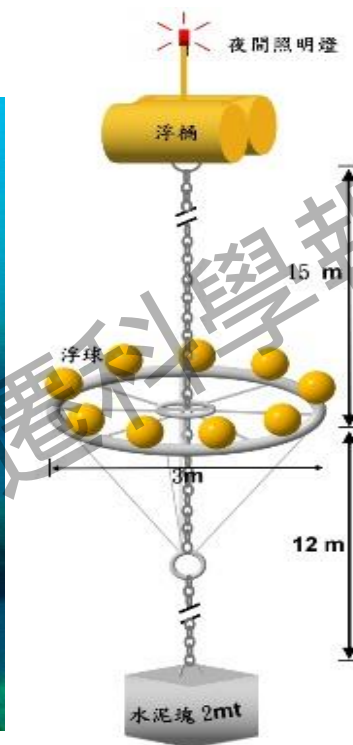
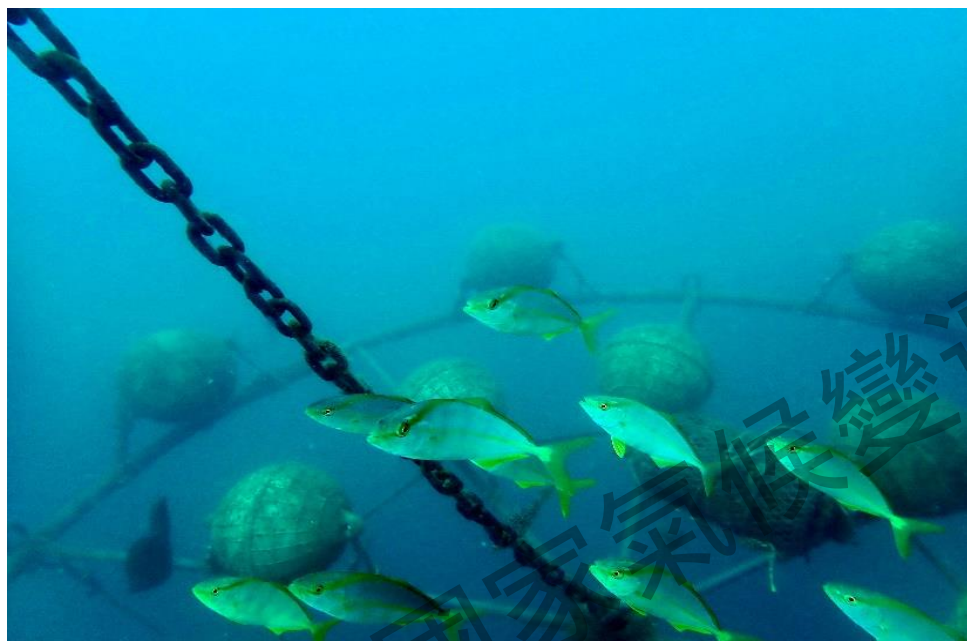
# 漁場環境復育與改善

- ▶ 水試所近年發展「**離岸風場藻貝類養殖之海洋碳匯應用**」技術，投入人工藻場的建置研究與應用，成功開發中國半葉馬尾藻及粉葉馬尾藻等2種藻苗繩與藻磚的附苗與育苗技術，並透過模擬離岸風機設置海域表層和底層環境，已掌握快速建置人工藻場的關鍵技術。
- ▶ 藻體在生長過程會吸收大量二氧化碳，未來可望貢獻我國的海洋碳匯能力，而人工藻場多層次的立體空間則提供了大量餌料生物的棲息環境，更成為海洋生物重要的產卵場、哺育場及覓食場，能提高海洋生物的多樣性，有助於改善劣化的海洋生物棲地。



圖4.5.2.11 馬尾藻人工藻床試驗與棲息生物

我國西部沿海離岸風場海域的風機持續建置中，原有的漁業活動受到限制，使得離岸風場海域成為海洋生物的「類保護區」。



# 我國近年有關海洋生態保育的調適作為

## 2. 建立長期海域生態調查監測體系：

▶ 國家海洋研究院執行「我國海洋生態調查監測網與監測規範建立之整體規劃」研究(2020)：

(1) 訂定適用不同類型海洋生態系的生態調查與監測規範。

(2) 篩選具代表性且適宜設置長期監測站之區域，形成臺灣海洋生態監測網。

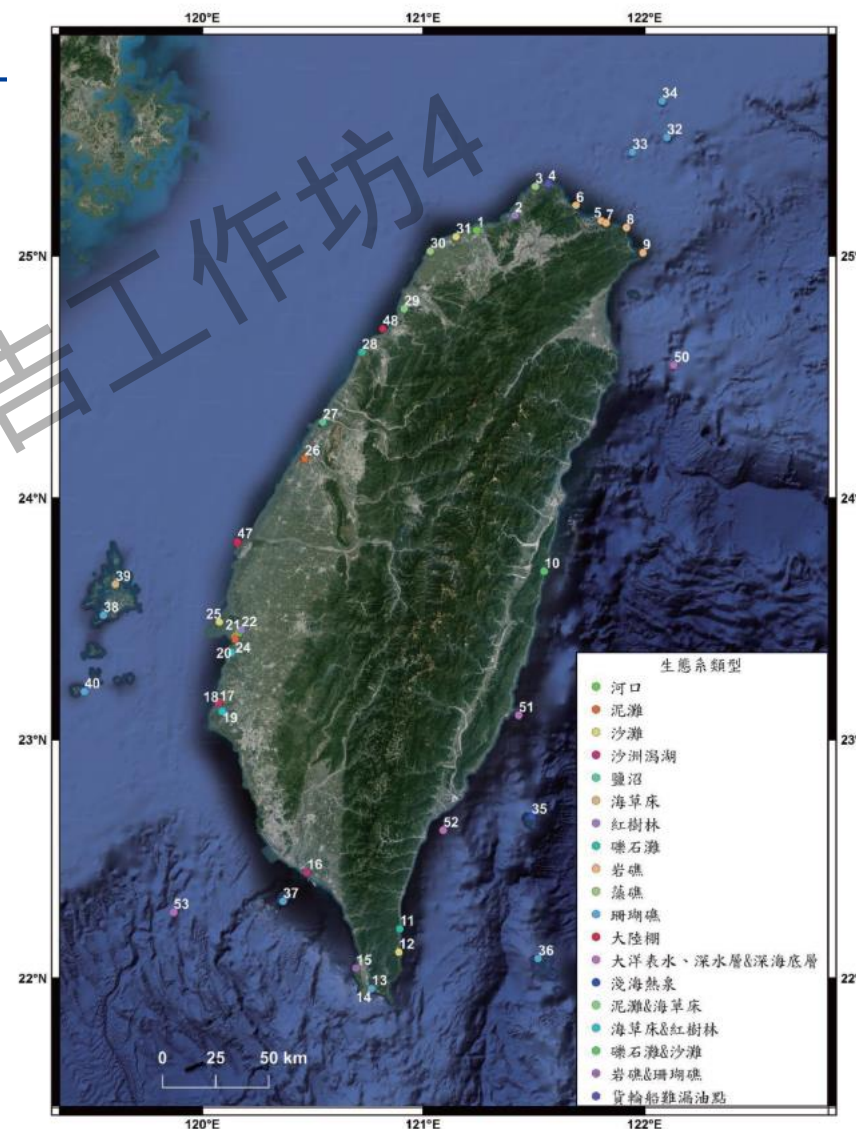
(3) 建置海洋生態監測資料庫，建置標準化原始資料以利未來研究者共享。

國家氣候變遷科學報告工作坊4

## ► 設置長期監測站之熱點篩選依據：

- (1) 已設立保護區
- (2) 大眾關注之地點 (如重要保育類動物的熱區)
- (3) 各海洋生態系類型中之代表性地點
- (4) 已累積長期性觀測資料，並建立生態資料庫之地點
- (5) 適宜進行長期生態監測站設置之地點
- (6) 考慮北、中與南部之氣候差異及東、西海岸之地理差異
- (7) 各類型海洋生態系至少擇一設置長期生態監測站。

該報告共提出53個建議設置長期監測站之熱點，長期目標是結合全國產、官、學及民眾之力量，形成遍佈於臺灣周邊海域以及主要離島的海洋生態監測網。



- ▶ **海洋公民科學 (citizen science)** 是一種公民參與科學調查的方法，透過全國公民在廣泛的區域及時間尺度，擴大科學家執行調查與監測海洋資料的能力，常見的有物種分布調查、外來種紀錄與移除、海洋垃圾、MPA或是敏感生物保育等議題，而實施的內容包含標定、測量、採樣、分析、標識等。
- ▶ 海洋保育署有鑑於公民科學家資料蒐集的廣泛性，以及其延伸的教育推廣功能，於2022年研擬「**臺灣海洋公民科學家行動策略**」，逐步擴展並期望確保海洋公民科學資料的品質與完整性，同時也將引導支持更多民眾投身參與海洋公民科學，一同為海洋環境帶來正向改變。
- ▶ **海洋保育在地守護計畫**：以「海洋公民調查」、「棲地復育行動」、「友善釣魚行動」、「潔淨海洋行動」、「海洋保護區巡護」及「海洋保育推廣」六大主題，鼓勵在地社區、民間團體、學校等多方參與海洋保育事務，以建立多元夥伴關係，共同促進永續發展願景，達長期守護在地海洋環境之目標



# 國家海洋資料庫及共享平台

- ▶ 為建構完整海洋大數據，海洋委員會轄下之國家海洋研究院於2022年完成National Ocean Database And Sharing System(NODASS)建置，目前整合64個資料集涵蓋113個子項，彙集10大類海洋相關核心資料，提供時空查尋、圖資搜尋、生態資料查詢、繪圖套疊、資料動態展示等多元服務，初步達成海洋資料流通共享之政策目標。

國家海洋資料庫及共享平台

動態消息 資料集 API介面服務 服務使用條款 下載專區 常見問題 教學影片 意見回饋 相關網站

首頁 / 資料集

正規化資料 其他涉海資料

國家海洋研究院進行原始資料蒐集、與資料正規化，例如轉換為SHP檔案格式等，同時建立圖資的時間與空間屬性，以整合成國家海洋資訊圖資。整合後的資料再根據資料特性，整合進主題空間資料庫。為遵循「達爾文核心集 (Darwin Core)」與國際地理資訊系統協會 (Open Geospatial Consortium, OGC) 的技術標準規範，發展自動化整合工具，進行標準化後，將整合後的資料進一步整合至空間資訊圖資資料庫，以提供更多應用加值服務。

資料集 44 資料集子項 86 資料量 205,453 GB 資料筆數 14,025,390,592

來源	類別	資料集歸類	子項名稱	提供單位	說明	原始數據	資料集屬性	資料下載
觀測調查	海水水質	水產試驗所海域環境資料	臺灣周邊海域漁場環境資料(溫度、葉綠素、衛星水溫影像圖)	農業部水產試驗所	臺灣周邊海域漁場環境資料，資料包含:觀測水溫、鹽度、葉綠素濃度分布，與衛星水溫影像圖。	有	開放資料	來源連結

Top

# 我國近年有關海洋生態保育的調適作為

## 3. 落實海洋生態系之經營與管理。

我國於2018年成立海洋委員會，統合規劃與推動海洋事務，並在2019年通過《海洋基本法》，著手推動《海洋保育法》、《海域管理法》及《海洋產業發展條例》等海洋三法之立法工作，其中《**海洋產業發展條例**》業於2023年經立法院三讀通過，《**海洋保育法**》則於2024年7月12日三讀通過，將作為整體海洋保育的專責法律規範。

隸屬海委會之**海洋保育署**，以持續性的科學基礎、資訊公開、與公私部門合作三項基本原則，檢視臺灣海洋環境與生物的變化，利用科技與群眾參與，建立海洋保育與國人的連結，近年在海洋保育上已有許多創新作為。

## ▶ 各種保育計畫與工作準則：

「海洋生態系調查指引」、「海洋保育類野生動物救援組織網」、「鯨豚觀察員制度」、「鯨豚保育計畫」、「友善釣魚行動方案」、「白海豚保育計畫」、「黑嘴端鳳頭燕鷗保育計畫」等，並已預告「海龜保育計畫草案」及「三棘鬻保育計畫草案」；新增修訂《海洋野生動物評估分類作業要點》、《海洋野生動物重要棲息環境劃設作業要點》等，做為劃設保護區之基準；配合國際公法發展推動《海洋污染防治法》修訂，朝徵收海洋污染防治費、成立海洋污染防治基金及海上處理廢棄物等方向努力。

## ▶ 增設16處海洋保育站，招募54名海洋保育巡查員：

致力執行「向海致敬—海岸清潔維護計畫」、「海洋污染監測與應處計畫」、「向海致敬—臺灣海域生態環境守護計畫」等計畫。

## ▶ 海洋保育在地守護計畫：

以「海洋公民調查」、「棲地復育行動」、「友善釣魚行動」、「潔淨海洋行動」、「海洋保護區巡護」及「海洋保育推廣」六大主題，鼓勵在地社區、民間團體、學校等多方參與海洋保育事務，以建立多元夥伴關係，共同促進永續發展願景，達長期守護在地海洋環境之目標。

# 2017版科學報告有關海洋生態調適之建議

1. 將相關調適措施列為國家施政的重大政策
2. 改善沿海地區綜合管理制度
3. 強化公權力與相關法律；
4. 厲行迴避、減輕與補償保育措施
5. 進行政策跨領域溝通協商
6. 地方團體在地管理
7. 支持有系統且長期的基礎科學研究
8. 強化地區性的人為活動影響研究

# 科研缺口

## ▶ 長期監測資料不足

國內除了珊瑚礁與大洋性漁業資源累積較多資料，有關海洋生態與氣候變遷直接相關的研究案例仍少，主要係因許多生態系缺乏過去長期背景資料可供比較分析。

## ▶ 欠缺整合性的理論模式


經濟性物種研究較多，但仍著重於個別物種與因子間關係的基礎研究，較缺乏生態系統層面的影響及機制探討，有關非經濟物種的研究資料更少，因此目前國內尚難以建立評估及預測氣候衝擊的模式。

## ▶ 研擬可行的預防性策略

降低氣候變遷對於海洋生態系的衝擊，最迫切的是建立生態環境本身的韌性。相較於氣候變遷的影響，人為活動對於臺灣海域生態系的破壞更為直接與劇烈。因此，在科研尚未釐清氣候變遷對生物影響機制前，應先行研擬可行的預防性策略，先將已造成嚴重衝擊的人為因子加以控管，使生態系能維持健康狀態，才有機會減輕未來氣候變遷所可能帶來更大的衝擊。

謝謝聆聽 敬請指教

**TCCIP** 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台  
Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform

指導單位  **NSTC** 國家科學及技術委員會  
National Science and Technology Council

計畫辦公室  **NCDR** 行政法人國家災害防救科技中心  
National Science and Technology Center  
for Disaster Reduction