

# 臺灣低海拔棲地碳匯能力盤點

文、圖／林幸助（通訊作者 | 國立中興大學生命科學系終身特聘教授）

林蔚任（國立中興大學生命科學系博士後研究員）

陳渭中（國立中興大學生命科學系研究助理）

聯合國政府間氣候變化專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）於 2021 年發布的《第六次氣候變遷評估報告》（Sixth Assessment Report, AR6）中指出，現今大氣中溫室氣體濃度已再創新高，二氧化碳的平均濃度已超越 410 ppm，甲烷及氧化亞氮的平均濃度則為 1866 ppb 及 332 ppb，造成全球地表在過去 20 年間上升  $0.84 \sim 1.10^{\circ}\text{C}$ ，陸地溫度上升幅度（ $1.34 \sim 1.83^{\circ}\text{C}$ ）甚至高於海洋溫度上升幅度（ $0.68 \sim 1.01^{\circ}\text{C}$ ）。為了達到全球溫室氣體減量目標，聯合國氣候變化綱要公約（the United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）第 3 次大會制定簽署的《京都議定書》（Kyoto Protocol），針對簽約國訂定差異性的溫室氣體減量目標，計算「溫室氣體減量」以「淨排放量」為基準，即人為排放量減去生態環境的吸存量。臺灣雖非 UNFCCC 的會員國，但我國在 2015 年完成「溫室氣體減量及管理法」（簡稱溫管法）

的立法程序，2023 年修法完成「氣候變遷因應法」，制定氣候變遷調適策略，課徵碳費，以期降低臺灣的溫室氣體排放量。

「氣候變遷因應法」對於碳匯的定義，係指將二氧化碳或其他溫室氣體自其他排放單元或大氣中持續分離後，吸收或儲存於樹木、森林、土壤、海洋、地層、設施或場所內。自然生態系統具有初級生產者，可行光合作用吸收大氣中的二氧化碳固定在生態系統中，是自然的碳匯場所。保育及復育自然碳匯生態系統，除了能夠吸收、儲存及固定大氣中的二氧化碳，亦能抵減全國溫室氣體的排放量，有助我國於 2050 年達到碳中和（淨零排放）的國家目標。自然碳匯以海洋、土壤和森林為 3 大主要場域。根據林業保育署 2015 年完成的第 4 次森林資源調查結果，全國森林覆蓋面積為 2,197 萬公頃，由林業保育署 TaiBON 臺灣生物多樣性觀測網統計資料顯示，臺灣 1990 — 2017 年森林資源二氧化碳移除量變化為 1,900 — 2,350

萬公噸二氧化碳當量。相對於森林碳匯有詳細的研究成果，臺灣其他自然生態棲地類型的碳匯能力則較少受到重視，相關碳匯的研究及量化結果甚少。

臺灣低海拔（海拔 1,500 公尺以下）地區占全臺面積 69.1%，除森林外也包含潟湖、泥沙灘、紅樹林、海草床、鹽沼、淡水草澤、湖泊、溪流等沿海及內陸生態類型。低海拔地區也是人類活動頻繁的範圍，在人類行為的影響下，更創造出人工濕地、鹽田、埤塘及漁塭等豐富生態類型，這些低海拔地區多樣的生態類型，同時也是孕育豐富生物多樣性的棲地。林業及自然保育署（下稱林業保育署）為了保育維繫重要物種的棲地，自 1998 年起陸續辦理小尺度、區域性的瀕危物種或重要棲地的綠色給付專

案，提供經濟誘因鼓勵在地居民採取對重要物種及棲地有利的作為，意在將生態系服務效益轉化成貨幣，給付維護生態者報酬，以持續提供服務，進而達成保護生態棲地目的。然而，這些自然棲地可能也同時具有碳匯的生態服務功能，若能量化低海拔重要棲地的碳匯能力，藉由碳抵換機制提供臺灣需減碳排事業在溫室氣體排放抵換專案中，以認養、維護及保育棲地獲得碳抵換額度，同時亦可保護該棲地的生物多樣性，乃是企業與自然的雙贏策略。

本文藉由搜集已發表的期刊論文及研究報告，盤點彙整臺灣 13 種低海拔棲地類型碳匯。盤點結果顯示，臺灣低海拔棲地類型中，具有草本或木本植物的棲地類型具有較高的碳匯能力，例如竹林（ $-2.57 \sim 14.52 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ）、



■ 濕地可提供多樣生態的形成。圖為臺東關山人工濕地。

紅樹林 ( $-3.83 \sim 196.92 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ )、海草床 ( $0.29 \sim 13.66 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ )、鹽沼 ( $0.95 \sim 24.33 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) 及淡水草澤 ( $0.53 \sim 34.82 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) 等棲地；僅有水域構成的棲地類型，碳匯能力較低，有些甚至呈現碳排放的環境，例如湖泊 ( $-0.093 \sim 0.888 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ )、水庫 ( $-4.227 \sim 2.370 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ )、埤塘 ( $-2.44 \sim -0.71 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) 及溪流 ( $-0.95 \sim 0.55 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) 等棲地。未來可利用各種棲地類型在臺灣的分布面積，計算臺灣低海拔地區的總碳匯能力，納入達成 2050 年淨零碳排放目標之碳吸存路徑，作為以自然為本的解決方法，以保育生物多樣性及減緩溫室氣體排放。

## 低海拔自然棲地碳匯能力盤點結果

臺灣竹林共收集 11 篇文獻資料，涵蓋 9 處竹林地，累計有 5 種竹種，分別為孟宗竹 (*Phyllostachys pubescens*)、桂竹 (*Phyllostachys makinoi*)、馬來麻竹 (*Dendrocalamus asper*)、巨竹 (*Dendrocalamus giganteus*) 及臺灣矢竹 (*Arundinaria usawai*)。各種竹種的碳匯量依序為  $2.90 \sim 8.13$ 、 $-2.57 \sim 9.89$ 、 $14.43 \sim 14.52$ 、 $9.6$  及  $5.36 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 。其中負值表示碳排放，正值表示碳吸存。依據林業保育署第 4 次全國森林資源調查成果，全臺竹

林面積佔 132,607 公頃，以 5 種竹林碳匯量的平均值 ( $7.21 \pm 4.97 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) 推算全臺灣竹林的碳匯量，每年可吸收  $956,338 \text{ Mg C yr}^{-1}$ ，為重要碳吸存系統。

臺灣紅樹林碳匯資料相對完整，本文共收集 24 篇文獻資料，涵蓋 18 處紅樹林。臺灣現存紅樹林植物共有 4 種，分別為水筆仔 (*Kandelia obovata*)、海茄苳 (*Avicennia marina*)、五梨跤 (*Rhizophora stylosa*) 及欖李 (*Lumnitzera racemosa*)，各種紅樹林的碳匯量依序為  $-3.83 \sim 37.36$ 、 $-1.81 \sim 196.92$ 、 $4.78 \sim 49.20$ 、 $5.85 \sim 31.57 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 。依據全臺灣紅樹林面積調查成果，全臺紅樹林面積為 680.7 公頃，以 4 種紅樹林碳匯量的平均值 ( $26.08 \pm 39.90 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) 推算全臺灣紅樹林棲地的碳匯量，每年可吸收  $18,209 \text{ Mg C yr}^{-1}$ ，為重要碳吸存系統。

臺灣湖泊共收集 8 篇文獻資料，涵蓋 7 處湖泊，多數研究僅測量水體碳吸存或溫室氣體排放結果，僅有夢幻湖及雙連埤等 2 處湖泊碳匯研究額外考慮湖泊濱岸地區的植物碳吸存量及溫室氣體排放量與水生植物碳吸存量。此 2 處湖泊的碳匯量分別為  $114.65$  及  $112.58 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，但若僅考慮湖泊水體部份，則湖泊棲地碳匯量為  $-0.404 \sim 0.888 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，平均值為  $0.057 \pm 0.732 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，為小量碳吸存系統。

臺灣水庫共收集 12 篇文獻資料，涵蓋 7 處水庫。水庫碳匯僅計算水庫水體的碳吸存及溫室氣體排放結果，水庫棲地碳匯量為  $-4.23 \sim 2.37 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，平均值為  $-0.48 \pm 1.38 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，為碳排放系統。

臺灣埤塘共收集 2 篇文獻資料，涵蓋 3 處埤塘，其中僅有高榮 731 號埤塘有額外考慮湖泊濱岸地區的植物碳吸存量及溫室氣體排放量與水生植物碳吸存量，但碳匯量為  $-2.44 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，為顯著碳排放系統。其他 2 處埤塘為桃園大圳 12-14 號池及臺南虎頭埤，此 2 處僅考慮水體的碳吸存及溫室氣體排放結果，碳匯量分別為  $-0.71$  及  $-0.96 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，同樣也是碳排放系統。

臺灣漁塭棲地共收集 3 篇文獻資料，涵蓋 9 處漁塭，但多數漁塭僅測量水體的二氧化碳吸收量或者甲烷排放量，僅有一篇同時測量魚塭水體二氧化碳及甲烷通量，計算漁塭棲地碳匯為  $5.93 \pm 13.36 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，為碳吸存系統。依據農業部漁業署統計 9 大類（文蛤、白蝦、七星鱸、金目鱸、鰻魚、青斑、龍膽石斑、虱目魚、吳郭魚）養殖漁塭面積總共為 25,441 公頃，臺灣漁塭棲地碳匯量為每年可吸收  $150,862 \text{ Mg C yr}^{-1}$ ，為重要碳吸存系統。

臺灣海草床碳匯資料相對完整，本文共收集 10 篇文獻資料，涵蓋 9 處海草床，累計彙整臺灣常見單一物種海草床碳匯研究，包含甘草（*Zostera japonica*）、

泰來草（*Thalassia hemprichii*）、單脈二藥草（*Halodule uninervis*）、貝克氏鹽草（*Halophila beccarii*）及卵葉鹽草（*Halophila ovalis*）等 5 種海草種類，各種海草種類的碳匯量依序為  $1.20 \sim 6.22$ 、 $2.84 \sim 6.17$ 、 $2.72 \sim 5.15$ 、 $4.78 \sim 4.02 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 。東沙島北岸及潟湖內的混生海草床的碳匯量（ $10.69 \sim 13.66 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ）比臺灣單一物種海草床的碳匯量較高。東沙島周圍海草床面積亦高達 5,420 公頃，佔全臺海草分布面積的 99%。以東沙島海草的碳匯量估算全臺灣的海草碳匯量，約為  $65,989 \text{ Mg C yr}^{-1}$ ，為重要碳吸存系統。

臺灣鹽沼共收集 5 篇文獻資料，涵蓋 4 處鹽沼棲地。臺灣常見的鹽沼植物包含 3 種原生植物為蘆葦（*Phragmites australis*）、雲林莞草（*Bolboschoenus planicumis*）及鹽地鼠尾粟（*Sporobolus virginicus*）及 1 種外來種為互花米草（*Spartina alterniflora*）。4 種鹽沼的碳匯能力以互花米草最高（ $13.87 \pm 5.28 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ）、蘆葦（ $7.86 \pm 3.01 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ）及鹽地鼠尾粟（ $5.25 \pm 1.33 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ）次之，雲林莞草最低（ $2.02 \pm 0.74 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ）。依據全臺灣鹽沼面積調查成果，全臺鹽沼面積為 188 公頃，以 4 種鹽沼碳匯量的平均值（ $7.43 \pm 6.72 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ）推算全臺灣鹽沼的碳匯量，每年可吸收  $1,399 \text{ Mg C yr}^{-1}$ ，為碳吸存系統。

臺灣泥沙灘碳匯資料也相對完整，共收集 6 篇文獻資料，涵蓋 11 處臺灣西海岸及離島沿岸的泥沙灘棲地。泥沙灘棲地碳匯量為 -0.26 ~ 5.57

Mg C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>，平均值為 0.99 ± 1.71 Mg C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>，為碳吸存系統。

臺灣淡水草澤棲地共收集 3 篇文獻資料，涵蓋 2 處淡水草澤棲地。

臺灣低海拔不同棲地類型之碳匯能力文獻資料盤點

棲地類型	資料組	碳吸存速率 (Mg C ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	二氧化碳當量吸存速率 (Mg CO <sub>2</sub> eq. ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )
竹林	11	7.21 ± 4.97 (-2.57 ~ 14.52)	26.45 ± 18.20 (-9.41 ~ 53.22)
紅樹林	24	26.08 ± 39.90 (-3.83 ~ 196.92)	64.84 ± 65.29 (-27.63 ~ 204.31)
湖泊	8	28.50 ± 52.54 (-0.09 ~ 114.65)	92.80 ± 175.94 (-3.87 ~ 419.33)
水庫	12	-0.48 ± 1.38 (-4.23 ~ 2.37)	-4.42 ± 7.45 (-26.39 ~ 8.26)
埤塘	2	-1.37 ± 0.94 (-2.44 ~ -0.71)	-20.03 ± 16.65 (-38.41 ~ -5.96)
漁塭	3	5.93 ± 13.36 (-0.01 ~ 40.85)	21.67 ± 49.04 (-0.38 ~ 149.80)
海草床	10	4.77 ± 3.50 (0.29 ~ 13.66)	17.49 ± 12.85 (1.06 ~ 50.09)
鹽沼	5	7.43 ± 6.72 (0.95 ~ 24.33)	27.20 ± 24.66 (3.48 ~ 89.21)
泥沙灘	6	0.99 ± 1.71 (-0.26 ~ 5.57)	3.40 ± 6.49 (-2.83 ~ 20.43)
淡水草澤	3	15.22 ± 16.06 (0.53 ~ 34.82)	55.79 ± 58.90 (1.94 ~ 127.68)
溪流	3	-4.14 ± 5.25 (-9.80 ~ 0.55)	-35.93 ± 19.10 (-14.69 ~ 29.59)
人工濕地	4	35.09 ± 58.29 (-0.13 ~ 138.80)	103.68 ± 224.75 (-53.91 ~ 500.14)
鹽田	2	2.93 ± 6.73 (-1.83 ~ 7.69)	10.03 ± 23.67 (-6.71 ~ 26.77)

註：以平均值 ± 標準差方式呈現，括號內表示最小值及最大值。



此 2 處淡水草澤分別位於淡水河流域的關渡重要濕地及中興新洲，以蘆葦 (*Phragmites australis*) 及巴拉草 (*Brachiaria mutica*) 為優勢物種。以相同植被類型相比，淡水草澤蘆葦 ( $3.76 \sim 34.82 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) 具有比鹽沼更高的碳匯能力。

臺灣溪流共收集 3 篇文獻資料，涵蓋臺灣北部的淡水河及中部的七家灣溪。淡水河流域水體的碳匯能力為  $-9.80 \sim -3.16 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，顯示為碳排放系統。七家灣溪流域水體的碳匯能力則為  $0.553 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，顯示為小量碳吸存系統。

臺灣人工濕地共收集 4 篇文獻資料，涵蓋 4 處人工濕地。人工濕地水域的碳匯能力為  $-0.13 \sim 138.80 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，若計算人工濕地內水生植物的碳匯能力，人工濕地則具有高度碳

匯能力 ( $138.80 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ )，但若僅計算人工濕地內水體浮游藻及底土底棲藻的碳匯能力，人工濕地的碳匯能力較低 ( $-0.13 \sim 15.47 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ )，顯示濕地水生植物是人工濕地碳匯的主要貢獻者。

臺灣鹽田棲地共收集 2 篇文獻資料，涵蓋 2 處鹽田，分別為嘉義布袋鹽田及臺南井仔腳瓦盤鹽田，2 處鹽田的碳匯能力分別為  $-1.83$  及  $7.69 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，可能為碳排放或碳吸存系統。

綜合低海拔棲地碳匯能力盤點結果，具有草本或木本植物的棲地類型具有較高的碳匯能力，例如竹林、紅樹林、海草床、鹽沼及淡水草澤等棲地；湖泊若考慮濱岸植被的碳匯能力，亦較水體的碳匯能力高；人工濕地若考慮濕地內水生植物的碳匯能力，也



■ 保育紅樹林可增加自然棲地面積，便可提升碳匯儲量。圖為嘉義好美寮五梨跤與海茄苳混生紅樹林。

較濕地水體的碳匯能力高。反之，僅有水域構成的棲地類型，碳匯能力較低或呈現碳排放系統，如湖泊、水庫、埤塘及溪流等棲地。未來需要搭配臺灣低海拔地區各類型棲地的分布面積與活動數據，計算各種棲地類型的總碳匯能力，並嘗試找出碳匯熱區，進行有效保育及復育的積極經營管理措施。

### 提升低海拔自然棲地碳匯建議

因為低海拔棲地具有草本或木本植物，有較高的碳匯能力，因此維護這些棲地類型的植物持續生長，持續累積自然棲地碳匯量及生物多樣性是首要任務。具體建議如下：

#### 增加自然棲地面積

復育自然棲地的覆蓋面積，能夠增加自然棲地的碳匯儲量。臺灣陸域森林覆蓋面積已接近飽和，但海岸地區仍有許多區域能夠復育紅樹林、海草床或鹽沼，例如在沿海原本生長紅樹林或海草床地區復育海岸植被，除了能替代防波堤或消波塊之功能，亦能增加自然棲地的碳匯量。過去臺灣漁業活動繁盛而興建許多漁港，但現今有些漁港使用率隨著漁獲量減少、從業人口降低而下降，這些廢棄漁港的空間可評估作為海草床的復育棲地。溪流高灘地亦可考慮復育淡水草澤，除了能增加野生物利用的棲地空間，亦可增加河川流域的碳匯能力。



■ 桃園高榮埤塘（野生動物保護區）

### 實施輪伐經營管理措施

針對覆蓋面積已飽和的竹林棲地，建議可實施輪伐管理措施以增加竹林的碳匯量。利用每年砍伐已經成熟的竹子，不僅空出的棲地面積可提供具高碳匯能力的新竹林生長，增加碳匯量，砍伐收成的竹材亦可被製成建築、家具或竹製品等產品，對二氧化碳有長期固定的效果，使生命週期較短的竹子在採伐加工後能延長碳儲存的生命週期。紅樹林棲地亦可實施輪伐或疏伐等經營管理措施，但砍伐後的紅樹林木材仍須進一步利用及加工，延長碳儲存的生命週期。淡水草澤棲地的蘆葦能定期收穫加工成坐墊、涼席、門簾等產品，亦可將植物生長時吸收的二氧化碳持續固定在產品當中。

### 低海拔自然棲地碳匯能力總結

本文完成盤點臺灣低海拔共 13 種棲地，分別為竹林、紅樹林、湖泊、水庫、埤塘、漁塭、海草床、鹽沼、泥沙灘、淡水草澤、溪流、人工濕地及鹽田等棲地類型，其中有草本或木本植物的棲地類型具有較高的碳匯能力，如竹林、紅樹林、海草床、鹽沼及淡水草澤等棲地；僅有水域構成的棲地類型，則碳匯能力較低或呈現碳排放的環境，例如湖泊、水庫、埤塘及溪流等棲地。因為低海拔棲地中，具有草本或木本植物的棲地有較高的碳匯能力，因此維護這些棲地類型的植物持續生長，持續累積自然棲地碳匯量及生物多樣性是首要任務。🌿

（參考文獻請逕洽作者）



■ 蘭陽溪松蘿淡水草澤