台江國家公園七股鹽田濕地生態系服務評析及應用研究計畫

內政部國家公園署台江國家公園管理處 委託研究

中華民國 113 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

台江國家公園七股鹽田濕地生態系服務評析及應用研究計畫

受委託單位：國立成功大學

研究主持人：王筱雯教授

協同主持人：林幸助終身特聘教授、林巧雯助理教授

研究期程：113 年 1 月至 113 年 12 月

研究經費：357 萬元

內政部國家公園署台江國家公園管理處 委託研究

中華民國 113 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

中文摘要

為減緩氣候變遷之衝擊，我國已設立 2050 年淨零排放的目標，預期透過能源、產業、生活、社會轉型等策略，於 2050 年將溫室氣體排放量減少 50%，但仍有每年 133 百萬噸二氧化碳當量 (Mt CO2e yr-1)需要以棲息地復育、動植物保育、負碳農法、負排放技術等碳吸收與碳匯策略進行封存。

濕地能從大氣中吸收二氧化碳，將其轉換為有機碳儲存於土壤、底泥或植物體中形成碳匯，對於減緩氣候變遷有重大貢獻。此外，濕地具有洪氾調節、土壤形成、營養循環、生物棲息地等生態系統功能，並提供淨化水質、製造氧氣、食物來源、遊憩地景等生態系統服務，可作為氣候變遷調適策略。

七股鹽田濕地及鹿耳門鷸鴴科生態保護區為許多野生動植物的重要棲息地、覓食區、繁殖場，也是東亞與紐澳候鳥遷移路線的中繼站，具有重要生態價值。本計畫透過盤點水文歷程、動植物資源、環境地貌等資料，以及高程地形、水質變化、碳匯功能測量等現地調查數據，結合利害關係人意見瞭解七股鹽田濕地生態系統服務，並利用去年建立之方法論通則，探討計畫區域時間變異、空間分布等交互關係，以及滾動修正方法論內容，以確實反應生態系統服務之內涵；除此之外，鹿耳門鷸鴴科生態保護區則延續去年碳匯調查結果與建立屬於台灣欖李之本土異速生長方程式，進一步瞭解計畫區域之減緩氣候變遷能力，並根據計畫區域現況及氣候變遷下風險評估，採適應性管理概念提出計畫區域尺度與西南海岸濕地尺度之相關氣候變遷減緩及調適策略。透過與主管機關、管理單位、認養單位、學術單位及建立夥伴關係及落實利害關係人參與，作為未來共同維護、管理及經營之基礎。

本計畫首先針對七股鹽田濕地進行微棲地劃分，台區鹽田微棲地可劃

分為水域、裸露地及少數紅樹林植被；七股潟湖劃分為水域、沙洲、潮間帶、防風林以及紅樹林五類。於南航道、六成排水口、七股溪口、十五孔碼頭進行水質調查，四區水樣結果皆低於《重要濕地內灌溉排水蓄水放淤給水投入標準》，且水質較以往有所改善。本研究針對七股溪口紅樹林、七股台區鹽灘地水域及鄰鹽田之海草床等三種棲地類型進行碳匯調查，結果顯示七股溪口海茄苳紅樹林棲地單位面積年碳匯量 4.9174 Kg CO_2e m^{-2} yr^{-1}，七股鹽灘地水域單位面積年碳匯量 -18.3792 g CO_2e m^{-2} yr^{-1}；至於海草床棲地，若僅考量線葉二藥草的貢獻則其年碳匯量為-15.95 g CO_2e m^{-2} yr^{-1}，若以棲地環境整體考量（線葉二藥草及浮游藻類）則年碳匯量為 690.63 g CO_2e m^{-2} yr^{-1}。由於未測量海草床分布面積，故七股鹽田濕地以鹽灘地、七股海茄苳紅樹林碳匯係數乘上其相應面積，得出七股鹽田濕地則為 483390.973 Kg CO_2e yr^{-1}。

本計畫建立適合台灣欖李之地上部異速生長方程式(Biomass (kg) = 0.1397×DBH2.384+0.7405) 及地下部異速生長方程式 (Biomass (kg) = 0.0609×DBH2.063+0.2293)，並將 2023 年冬季至 2024 年秋季欖李胸高直徑(DBH)調查結果帶入本土異速生長方程式，得到鹿耳門鷸鴴科生態保護區碳匯能力 2023 年碳匯能力為-1054933.52 Kg CO_2e yr^{-1}、2024 年碳匯能力為 -1089242.42 Kg CO_2e yr^{-1}。將計算結果與國外文獻之欖李異速生長方程式計算結果相比顯示，臺灣本土欖李異速生長方程式之地上部與地下部生物量約為前人文獻異速生長方程式計算之 1.07 與 0.74 倍。表示計算地上部生物量，文獻方程式計算結果低估本土紅樹林生物量，以致於低估生長量與碳吸收量；而地下部生物量則是文獻方程式計算結果高估地下部生物量，使得整體高估了地下部生長量與碳吸收量。

然而，由於欖李與及海茄苳底土二氧化碳及甲烷通量皆以夏季高於其他季節，推測是夏季底土溫度較高，提高底土中微生物的異營呼吸作用及

產甲烷作用，因而增加底土二氧化碳及甲烷排放量，使得鷸鴴科保護區為碳源。建議可透過改善水文條件，如引進潮汐增加保護區內水文流通，藉此改變以雨水(淡水)為主要輸入水源，透過海水抑制海茄苳底土甲烷排放量，以了解部分微棲地碳排狀況是否得以改善。

以 RAWES 方法調查利害關係人，結果顯示認同七股潟湖提供 9 項服務、七股鹽田則提供 13 項服務，參照台江國家公園管理處近五年計畫，綜整出提供食物、提供遺傳資源、文化遺產、休閒娛樂與旅遊、教育和研究、淨化水質、鹽度調節、棲息地提供等 8 項應關注之生態系統服務項目，利用 InVEST 模型進行情境模擬，建議氣候變遷對策應整體考量減緩與調適間的權衡與協同，以創造共效益。

本計畫依研究成果，分別就減緩及調適面向研擬七股鹽田濕地針對氣候變遷短、中長期策略建議，而這些建議皆須考量科研資料與分析工具之不足、回應棲息地及生育地之變化，與提升生物多樣性三項課題之需求。

- 減緩策略建議【短期】

  建議選擇適宜位置漸進式增匯，並應基於公正轉型概念，持續與當地維持良好互動關係，期間監測了解紅樹林生長成效。

- 減緩策略建議【中、長期】

  建議可調查其他可作為碳匯之生態系環境或植物生育地，並基於濕地重要生態系服務，評估維持或擴增現有紅樹林之經營管理策略。

- 調適策略建議【短期】

  建議監測研究評估七股濕地生態系統服務之價值與氣候風險，並邀請利害關係人參與共同擬定調適目標及確立濕地管理願景藍圖，持續跨部門溝通協調，共同評估調適選項。

- 調適策略建議【中、長期建議】

針對七股鹽灘地，建議修復水文並建立水環境管理操作流程，據以應用且滾動檢討調適策略，並串連納入其他有效保育區。

Abstract

To mitigate the impact of climate change, Taiwan had set the goal of 2050 net zero emissions. Through strategies such as energy, industry, lifestyle, and social transformations, greenhouse gas emissions are expected to reduce by 50% in 2050; however, there will be 133 million tons of CO_2 equivalent left, which needs to be absorbed by natural carbon sinks, negative emission technologies, etc.

Wetlands not only can absorb CO_2 from the atmosphere but also be able to convert and store it in the soil, sediment, or plants, making a significant contribution to mitigating climate change. In addition, wetlands have various ecosystem functions and services such as flood regulation, soil formation, habitat diversity, and food sources, which might benefit adaptation strategies under climate change.

Qigu Salt Pan Wetland (named as Qigu below) and Sandpiper Ecological Protection Area (named as Sicao A1 below) Important Wetland both are the most important wildlife habitats in southwest Taiwan, meanwhile, they both are the sites for migratory birds on East Asian–Australasian Flyway as well. This project aims to understand the ecosystem services in Qigu through analyzing hydrological processes, flora and fauna resources, environmental topography information, and on-site investigation data such as elevation, water quality, and carbon absorption measurements, combined with stakeholders' feedbacks. Furthermore, utilizing methodologies and guidelines established last year, it explores temporal variations and spatial distributions within Qigu, making adjustments as needed to accurately reflect the essence of ecosystem service. Besides, the project continues last year's survey of carbon absorption ability in

Sicao A1 and establish Taiwan-specific allometric growth equations for Lumnitzera racemosa to better understand the project area's capacity to mitigate climate change. According to the risk assessments under the current situation and climate change, mitigation and adaptation strategies in the Qigu and Sicao A1 Important Wetland scale and the southwest coastal wetland scale will be further proposed. Through stakeholder engagement and partnerships with authorities, NGOs, and academics, a joint foundation of co-maintenance and co-management will be further established.

This project first conducted micro-habitat segmentation of the Qigu Salt Field Wetland. The salt field area's micro-habitats can be divided into water bodies, exposed land, and a small number of mangrove vegetations. The Qigu Lagoon is categorized into five types: water bodies, sandbars, intertidal zones, windbreak forests, and mangrove forests. Water quality surveys were conducted at the South Channel, the Liouchen Drainage Outlet, the Qigu river outlet and the Fifteen Hole Pier, the results from four areas were below the "Irrigation, Drainage, Water Storage, Siltation, and Water Input Standards for Important Wetlands," and water quality has improved compared to previous assessments. This research conducted carbon sink investigations across three habitat types: the mangrove forests at the Qigu River estuary, the water areas of the Qigu Salt Field area, and the seagrass beds adjacent to the salt fields. Results showed: Qigu River mouth's mangrove habitat (*A.marina*) unit area sequesters 4.9174 Kg CO_2e m^{-2} yr^{-1}; Qigu salt flat water areas have an annual carbon unit area sequestration of -18.3792 g CO_2e m^{-2} yr^{-1}. For seagrass beds, considering only *halodule pinifolia*, the annual carbon unit area sequestration is -15.95 g CO_2e m^{-2} yr^{-1}, but when considering the entire habitat environment (including *halodule pinifolia*

and phytoplankton), the annual carbon sequestration reaches 690.63 g CO_2e m^{-2} yr^{-1}. Since the distribution area of seagrass beds was not measured, the carbon sequestration capacity of the Qigu Salt Fields Wetland was calculated by multiplying the area of water and the Qigu mangrove forest carbon sequestration coefficient, resulting in 483390.973 Kg CO_2e yr^{-1}. The project established allometric growth equations for the aboveground biomass of *L. racemosa* in Taiwan (Biomass (kg) = $0.1397\times DBH^{2.384}+0.7405$) and underground allometric equations (Biomass (kg) = $0.0609\times DBH^{2.063}+0.2293$). The DBH survey results from winter in 2023 to autumn in 2024 were input into these local allometric growth equations. Therefore, The carbon sequestration capacity of Sicao A1 in 2023 was-1054933.52 Kg CO_2e yr^{-1}, and in 2024, it is-1089242.42 Kg CO_2e yr^{-1}.

The comparison of the calculation results with those from foreign literature on the allometric growth equation of *L. racemosa* shows that the aboveground and belowground biomass of Taiwan's native Avicennia marina is approximately 1.07 and 0.74 times greater than the values calculated using previous allometric growth equations from literature. The calculation of aboveground biomass using literature equations underestimates the biomass of native mangrove forests, leading to an underestimation of growth and carbon sequestration. On the other hand, the calculation of belowground biomass using literature equations overestimates the biomass, resulting in an overall overestimation of belowground growth and carbon sequestration.

However, since the CO_2 and CH_4 fluxes from the soil of *A.marina* and *L. racemosa* are higher in summer than in other seasons, it is speculated that the higher soil temperature in summer increases microbial heterotrophic respiration

and methane production in the soil, thereby increasing CO_2 and CH_4 emissions, making Sicao A1 a carbon source. It is recommended to improve the hydrological conditions, such as introducing tidal flows to increase water circulation within Sicao A1. This could alter the freshwater-dominated water input by incorporating seawater, which may suppress CH_4 emissions from the soil, in order to assess whether the carbon emission status of certain microhabitats can be improved.

Through RAWES stakeholder surveys, Qigu Lagoon was recognized as providing 9 services, Qigu Salt Pans were identified as offering 13 services. Referencing the Taijiang National Park Headquarter's recent five-year research, a comprehensive review identified eight critical ecosystem service items: food provision, genetic resource provision, cultural heritage, recreation and tourism, education and research, water purification, salinity regulation, and habitat provision. Utilizing the InVEST model for scenario simulation, the recommendation suggests that climate change strategies should holistically consider the trade-offs and synergies between mitigation and adaptation to create co-benefits.

The project ultimately This project concludes by offering short-term and medium-to-long-term recommendations based on mitigation and adaptation capacities:

- **Mitigation Strategy Recommendations [Short-term]**

  It is recommended to select suitable locations for gradual carbon sequestration, based on the concept of just transition. Maintaining good ongoing interactions with local communities is essential, and during this period, monitoring and evaluating the growth performance of the mangrove

forests should be conducted.

- **Mitigation Strategy Recommendations [Medium to Long-term]**

  It is suggested to explore other ecosystems or plant habitats that can serve as carbon sinks. Additionally, based on the important ecological services of wetlands, management strategies for maintaining or expanding existing mangrove forests should be assessed.

- **Adaptation Strategy Recommendations [Short-term]**

  It is recommended to monitor and evaluate the value of the ecosystem services and climate risks of the Qigu Wetland. Stakeholders should be invited to participate in jointly setting adaptation goals and establishing a wetland management vision blueprint. Continuous cross-departmental communication and coordination are necessary to jointly assess adaptation options.

- **Adaptation Strategy Recommendations [Medium to Long-term]**

  For the Qigu salt marsh, it is advised to restore hydrology and establish a water environment management operational process. Adaptation strategies should be applied and continuously reviewed and integrated with other effective conservation areas.

目錄

一、 計畫緣由 1

二、 計畫目標 3

2.1 計畫區域 3

2.2 工作項目 4

2.3 預期目標 5

三、 前人研究 6

3.1 生態系統功能及生態系統服務 6

3.2 濕地碳匯功能 11

3.3 七股鹽田濕地水質 14

3.4 氣候變遷減緩與調適能力 17

3.5 問題綜探 27

四、 研究地區 30

4.1 計畫區域概述 30

4.2 地文資料 33

4.3 氣象資料 36

4.4 水文資料 42

4.5 生態環境 46

五、 現地調查與評估 53

5.1 微棲地劃設 54

5.2 水文水質 59
5.3 濕地碳匯功能調查 74
5.3.1 鹿耳門鷸鴴科生態保護區 80
5.3.2 七股溪口紅樹林生態保護區 96
5.3.3 七股鹽灘地水域 102
5.3.4 鄰近鹽灘地海草生育地—西寮海草床 105
六、 生態系統服務評估 109
6.1 生態系統服評估方法論應用 109
6.2 快速評估生態系統服務方法(Rapid Assessment of Wetland Ecosystem Services, RAWES) 112
6.3 利害關係人辨識及訪談 115
6.3.1 RAWES 方法成果 115
6.3.2 盤點歷年計畫 RAWES 結果 120
6.4 應用 InVEST 模型情境模擬 125
6.4.1 InVEST 模式現況模擬 126
6.4.2 InVEST 模式未來情境模擬 128
七、 氣候變遷減緩及調適能力 130
7.1 我國因應氣候變遷政策現況描述 130
7.2 七股鹽田濕地氣候變遷預估衝擊暨管理單位因應策略 133
7.3 七股鹽田濕地減緩與調適能力建構策略 138
7.3.1 七股鹽田濕地減緩能力建構策略 138

7.3.2 七股鹽田濕地調適能力建構策略 141
7.3.3 氣候變遷減緩與調適之短、中長期策略建議 144
八、 結論與建議 148
參考文獻 156
附錄一 評選意見回覆 170
附錄二 期初意見回覆 176
附錄三 期中意見回覆 185
附錄四 期末意見回覆 194

圖目錄

圖 1. 計畫區域及範圍 3

圖 2. 生態系統功能與服務間的關聯，修改自謝蕙蓮等人(2012)、邱祈榮與林俊成(2017) (引用自台江國家公園(2023)) 7

圖 3. 研究團隊盤點七股鹽田濕地之生態系統服務功能 10

圖 4. 七股濕地各文獻歷年調查點位 17

圖 5. 減緩與調適作為於氣候及永續發展面向之關聯，修改自 Munasinghe & Swart(2005) 18

圖 6. 七項跨領域溝通整合平台 (環境部，2023) 19

圖 7.不同 SSPs 情境下，臺灣平均溫度之長期變化(單位：℃)（許晃雄等，2024） 22

圖 8. 國際與國內氣候變遷調適方法比較，修改自李欣輯(2020) 27

圖 9. 鹿耳門鷸鴴科生態保護區範圍示意圖 31

圖 10. 七股鹽田濕地範圍示意圖 33

圖 11. 鷸鴴科保護區之地質分布 34

圖 12. 鷸鴴科保護區之土地利用分布 35

圖 13. 七股鹽田濕地之地質分布 35

圖 14. 七股鹽田濕地之土地利用分布 36

圖 15. 鷸鴴科保護區鄰近測站、流域及排水系統 37

圖 16. 鷸鴴科保護區鄰近測站之雨量統計 37

圖 17. 鷸鴴科保護區鄰近測站之氣溫統計 38

圖 18. 四草潮位站之潮位統計 39
圖 19. 七股鹽田濕地鄰近測站位置示意圖 40
圖 20. 七股鹽田濕地鄰近測站月均雨量 41
圖 21. 七股鹽田濕地鄰近測站月均氣溫 41
圖 22. 將軍潮位站之潮位統計 42
圖 23. 計畫區域周遭排水系統 43
圖 24. 鹿耳門鷸鴴科生態保護區微棲地分類(引用自台江國家公園(2023)) 55
圖 25. 七股鹽田濕地之高程圖(本計畫產製) 56
圖 26. 七股鹽田濕地微棲地劃設(本計畫產製) 58
圖 27. 七股鹽田濕地水質調查樣點(本計畫產製) 60
圖 28. 七股溪流域水位高程與將軍潮位比較(本計畫產製) 63
圖 29. 總有機碳(TOC) (本計畫產製) 67
圖 30. 化學需氧量(COD) (本計畫產製) 68
圖 31. 生化需氧量(BOD) (本計畫產製) 69
圖 32. 總磷(TP) (本計畫產製) 70
圖 33. 氨氮(NH_3-N) (本計畫產製) 71
圖 34. 硝酸鹽氮(NO_3-N) (本計畫產製) 72
圖 35. 葉綠素 a (本計畫產製) 73
圖 36. 濕地溫室氣體排放測量方式 78
圖 37. 計畫區域碳匯樣點分布 79

圖 38. 樣株選定點位 80
圖 39. 欖李紅樹林生物量與生長量 85
圖 40. 欖李紅樹林枯落物量 86
圖 41. 欖李紅樹林底土溫室氣體通量 87
圖 42. 海茄苳紅樹林生物量與生長量 92
圖 43. 海茄苳紅樹林枯落物量 92
圖 44. 海茄苳紅樹林底土溫室氣體通量 93
圖 45. 七股紅樹林生物量及生長量 97
圖 46. 七股紅樹林枯落物量與組成 98
圖 47. 七股紅樹林底土溫室氣體日間與夜間通量 99
圖 48. 七股鹽灘地水層與底層溶氧代謝量 103
圖 49. 七股鹽灘地水體溫室氣體通量 104
圖 50. 西寮線葉二藥草地上部生產力調查結果。 106
圖 51. 線葉二藥草水體溫室氣體通量 107
圖 52. 生態系統服務評估方法論流程圖(引用自台江國家公園(2023)) ...111
圖 53. RAWES 方法三階段方法執行流程 113
圖 54. InVEST 結構示意圖(修改自台江國家公園(2023)) 126
圖 55. 計畫區域半徑十公里棲息地品質好壞(引用自台江國家公園(2023)) 126
圖 56. 計畫區域紅樹林種類區分與分佈(引用自李孟庭(2023)) 127
圖 57. 計畫區域現況模擬(引用李孟庭(2024)) 128

表目錄

表 1. 布袋鹽田濕地生態系統服務及其狀態指標 9

表 2. 國內外紅樹林生態系碳吸存量比較，修改自林幸助等人(2018)..... 12

表 3. 國內外紅樹林生態系碳存量比較，修改自林幸助等人(2018)..... 13

表 4. 2023 年鹿耳門鷸鴴科生態保護區碳匯評估 14

表 5. 歷年計畫水質調查項目 15

表 6. 歷年計畫水質調查結果..... 16

表 7. 計畫區域於台江國家公園計畫之使用分區 31

表 8. 本年度計畫區域兩處工作項目比較..... 53

表 9. 兩處計畫區域微棲地面積..... 54

表 10. 由北而南四處水質樣點照片及說明..... 60

表 11. 水質分析項目及測量方法..... 62

表 12. 現場水質檢測結果..... 64

表 13. 卡爾森 (Carlson) 單一參數指數判定優養化之標準 66

表 14. 四處樣區四季總有機碳檢測結果..... 67

表 15. 四處樣區四季化學需氧量檢測結果..... 68

表 16. 四處樣區四季生化需氧量檢測結果..... 69

表 17. 四處樣區四季總磷檢測結果..... 70

表 18. 四處樣區四季氨氮檢測結果..... 71

表 19. 四處樣區四季硝酸鹽氮檢測結果..... 72

表 20. 四處樣區四季葉綠素 a 檢測結果..... 73

表 21. 海茄苳及欖李紅樹林地上部異速生長方程式公式 75
表 22. 海茄苳及欖李紅樹林地下部異速生長方程式公式 75
表 23. 欖李紅樹林樣株資料..... 81
表 24. 欖李紅樹林校正後異速生長方程式..... 83
表 25. 碳匯樣點說明與現地照片..... 84
表 26. 2023 年冬季至 2024 年秋季欖李 DBH 比較表 84
表 27. 欖李紅樹林 2023 冬季至 2024 秋季碳匯量整理表 89
表 28. 欖李紅樹林不同異速生長方程式比較表 91
表 29. 海茄苳紅樹林碳匯量整理表..... 94
表 30. 七股紅樹林環境資料與現地照片..... 96
表 31. 七股海茄苳紅樹林碳匯量整理表..... 100
表 32. 臺灣海茄苳紅樹林棲地碳匯比較表..... 101
表 33. 七股鹽灘地水域碳匯量整理表..... 105
表 34. 西寮海草床碳匯估算結果..... 108
表 35. 計畫區域 RAWES 狀態指標..... 113
表 36. 七股潟湖生態系統服務評估結果..... 117
表 37. 七股鹽田生態系統服務評估結果..... 119
表 38. 近五年台江國家公園探討生態系統服務計畫列表 120
表 39. 前人研究與本計畫生態系統服務比較表 123
表 40. 區分紅樹林植被之各微棲地面積..... 127
表 41. 七股濕地生態系統服務之氣候變遷衝擊 135

表 42 七股濕地氣候變遷因應策略..... 138

表 43. 鷸鴴科生態保護區碳匯量估算..... 139

表 44. 七股鹽田濕地碳匯量估算..... 140

一、計畫緣由

聯合國政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)於第六次評估報告(AR6)指出，全球暖化幅度將在 21 世紀超過攝氏 1.5 至 2.0 度，引起諸多氣候危害如高溫、暴雨、乾旱、海平面上升等，嚴重衝擊能源、水資源、糧食、生物棲息地安全。聯合國氣候變化綱要公約第 26 次締約方大會(UNFCCC COP26)呼籲應在 2050 年達到淨零排放，以將全球暖化幅度控制在 1.5°C 以內。全球目前已有逾 130 個國家宣布推動淨零排放，我國於 2022 年 3 月公布「2050 淨零排放政策路徑藍圖」，期冀透過能源、產業、生活、社會轉型等策略，於 2050 年將溫室氣體排放量減少 50%，但仍有 133 Mt CO_2e yr^{-1} 需要以棲息地復育、動植物保育、負碳農法、負排放技術等碳吸收與碳匯策略進行封存。

根據《濕地保育法》定義，濕地為「天然或人為、永久或暫時、靜止或流動、淡水或鹹水或半鹹水之沼澤、潟湖、泥煤地、潮間帶、水域等區域」。濕地能從大氣中吸收二氧化碳，將其轉換為有機碳儲存於土壤、底泥或植物體中形成碳匯，對於減緩氣候變遷有重大貢獻。此外，濕地具有洪氾調節、土壤形成、營養循環、生物棲息地等生態系統功能，並提供淨化水質、製造氧氣、食物來源、遊憩地景等生態系統服務。

目前已有許多濕地的相關研究，包含生態資源、水文水質、生態系統服務、經濟效益等，但串聯生態系統功能、生態系統服務、碳匯功能，乃至氣候變遷減緩與調適的研究仍相當少見。有鑑於此，本團隊於 2023 年度針對鹿耳門鷸鴴科生態保護區進行調查研究，發現該區具有豐富紅樹林植被，藉由計算紅樹林棲息地之碳匯量，以評估計畫區域因應氣候變遷減緩能力，評估結果其碳匯量總和為正值，表示為碳匯系統；同時利用 RAWES 進行研究發現調節服務項目中，具有調節空氣品質、調節當地氣候、調節全球氣候、洪水災害調節、土壤侵蝕調節、淨化水質、授粉、鹽度調節、

噪音與視覺緩衝等共 9 項功能，並利用 InVEST 進行評估發現該濕地未來受到周邊工業區影響之隱憂。

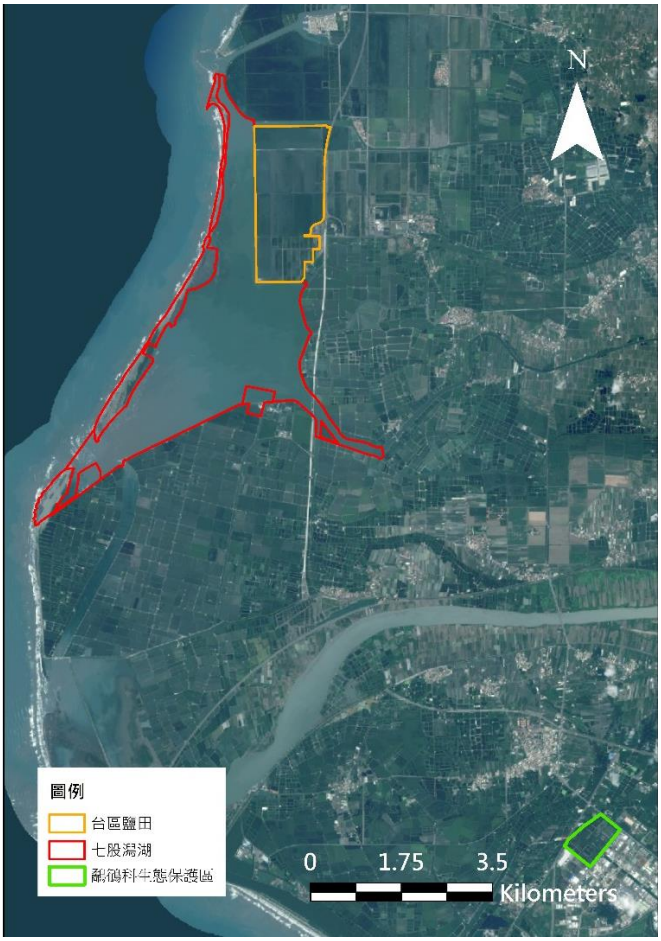
本年度擴大研究範圍至七股鹽田濕地，以本團隊多年建立之生態系統服務評析方法論為基礎進行適用與驗證，同時持續累積台江國家公園紅樹林樹種碳匯能力資料庫，並建立屬於台灣之欖李紅樹林異速生長方程式等工作。

藉由現地調查瞭解濕地生態系所提供的生態系統功能、生態系統服務及各棲息地類型的單位面積碳匯功能，建構其因果關係及交互作用，進一步評估計畫區域於現況條件及氣候變遷情境下所具備的氣候變遷減緩與調適能力，作為台江國家公園管理處擬訂國家公園計畫及濕地保育利用計畫的依據。

二、計畫目標

2.1 計畫區域

本計畫以台江國家公園鹿耳門鷸鴴科生態保護區以及七股鹽田濕地為工作地點，七股鹽田濕地工作地點包含台區鹽田及七股潟湖，共計約 1689.6 公頃、鹿耳門鷸鴴科生態保護區面積範圍 53.72 公頃。計畫區域及範圍如圖 1 所示。



(a)計畫區域分布圖



(b)鹿耳門鷸鴴科生態保護區



(c)七股鹽田濕地

圖 1. 計畫區域及範圍

2.2 工作項目

(一) 七股鹽田濕地生態系服務評析研究

1. 透過文獻資料收集彙整、現地調查及權益相關者問卷調查，盤點及評析計畫區域現況之生態系統服務，具體執行以下工作：

   (1) 執行本區域全區正射影像及高程資料收集/調查工作，並依環境現況特性，劃分各類型棲息地。

   (2) 點及評析本區域所提供之濕地生態系服務現況。

   (3) 於七股潟湖重要水體入流口，劃設樣站至少 3 處，各執行每季 1 次水質監測，項目包含水溫、溶氧、鹽度、導電度、酸鹼值(pH 值)、懸浮固體、濁度、化學需氧量、生化需氧量、總磷、氨氮、硝酸鹽氮、葉綠素 a 等。

2. 實地調查計畫區域之碳匯/碳排現況，評估其氣候變遷減緩能力，具體執行以下工作：

   (1) 於七股溪口紅樹林生態保護區-海茄苳植群、鹽埕一般管制區-鹽灘地水域，以及鄰近鹽灘地海草生育地等棲息地類型，實地調查碳匯/碳排狀況。

   (2) 綜整上述實地調查資料並收集文獻資料，運用正射影像，估算本區域氣候變遷減緩能力

3. 綜整前述資料，執行以下工作：

   (1) 盤點既有資料缺乏不足處，提出未來保育研究計畫建議。

   (2) 分析各類情境，並提出長期重點維護生態系服務項目，包含氣候變遷減緩及調適服務等，落實應用於具體經營管理策略

面向建議擬定。

(二) 鹿耳門鷸鴴科生態保護區濕地碳匯功能估算調查

1. 原則延續前期微棲地劃分類型，欖李、海茄苳植群等各設 1 樣站，執行定期碳匯/碳排現況調查，並結合正射影像資料，估算本區域氣候變遷減緩能力。

2. 協助調整適用台江地區欖李樹種之異速生長方程式，所需欖李全株由台江國家公園管理處提供，並另由台江國家公園管理處補植取樣植株之對應紅樹林樹種苗木。

3. 提供本處辦理本區域科教研基地工作坊，相關課程解說及現地實作等必要協力事項。

2.3 預期目標

(一) 預期可調查釐清計畫區域濕地生態系碳匯功能現況。

(二) 預期可篩選瞭解計畫區域濕地生態系所能提供的服務，並評析各項服務現況。

(三) 綜整提出長期重點維護生態系服務項目，落實應用於具體經營管理策略面向建議擬定。

三、前人研究

3.1 生態系統功能及生態系統服務

過去許多研究常把生態系統功能(Ecosystem Function)、生態系統服務(Ecosystem Service)或生態系服務功能混用(邱祈榮與林俊成，2017)。根據Daily (1997)定義，生態系統服務為自然生態系統及其組成物種得以維持和滿足人類生活所需要的環境條件和過程，可維持生物多樣性和提供各種生態系統產品的生產。生態系統功能是指生物、棲息地及生態系統運作或過程所產生的功能，生態系統服務是指人類直接或間接地從生態系統中獲得各種利益(Costanza et al., 1997；謝蕙蓮等人，2012；邱祈榮與林俊成，2017)，兩者關係如圖 2 所示。2005 年，聯合國千禧年生態系統評估報告(Millennium Ecosystem Assessment, 2005)建立生態系統服務與人類福祉的關聯性，並將生態系服務區分為支持、供給、調節、文化四大類別。

濕地為生物多樣性最豐富的生態系統之一，提供多項生態系統功能及服務，包括食物供應、水質淨化、防洪減災、氣候調節及生物多樣性等(Gardner et al., 2015; Montanarella et al., 2018)。據統計，全球約有 40%的生態系統服務由濕地所提供(Zedler, 2003)。過去數十年人類活動對生態系統及其周遭環境造成長期影響(Millennium Ecosystem Assessment, 2005)，1970 到 2015 年間全球濕地面積已減少將近 35% (Barbier et al., 2011; Gardner et al., 2015)，因此營造、恢復和改善濕地對於全球生態系統十分重要。

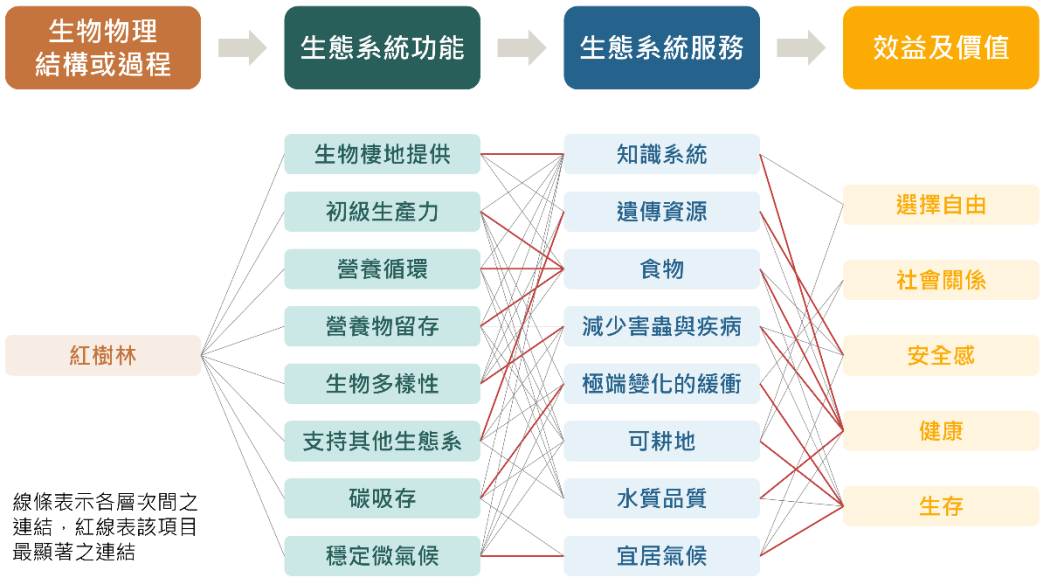


圖 2. 生態系統功能與服務間的關聯，修改自謝蕙蓮等人(2012)、邱祈榮與林俊成(2017) (引用自台江國家公園(2023))

野生生物棲息地為濕地提供的重要生態系統功能之一(National Research Council, 1992)，每年有超過六成的黑面琵鷺會到臺灣度冬，其中又以臺南市七股與安南地區數量最多，數量達 2,158 隻(中華民國野鳥學會，2022)。營造及維持水鳥喜好的濕地環境相當重要，Ma et al. (2010)歸納出水深、植被、鹽度、地貌、水位波動、食物供應、濕地連接性、濕地面積等 9 項會影響水鳥利用的因子：營造不同的水深環境能吸引不同群種之鳥類使用、季節或潮汐造成的水位不同能提升棲息地多樣性、豐富的食物供應能吸引大量水鳥，而棲息地若鹽度太高則會降低鳥類使用意願。蓄洪空間也是濕地所提供的重要生態系統服務之一(Kuo & Wang, 2018)，濕地是水與土之間的緩衝，能儲存洪水、降低洪水的高度，就算洪水量超過濕地的可容納量，濕地中的草叢、樹木也能減緩水流，紅樹林也能減少海洋或河流的洪水、甚至預防颱風來臨時所造成的洪水倒灌與經濟損失。可見濕地的土壤、水體、植物、動物及其複雜的交互關係皆共同支撐著生態系統功能及生態系統服務的供應。

為瞭解決量化不易之問題，De Groot (2010)擬定可用以量化生態系統

服務之狀態指標(State indicators)。McInnes and Everard 延續狀態指標之應用，於 2017 年提出快速評估生態系統服務之方法(Rapid Assessment of Wetland Ecosystem Services, RAWES)，並結合利益關係人參與進行生態系統服務評估。此外，生態系統服務也發展出許多基於土地利用之評估工具，如人工智慧生態系統服務模式(Artificial Intelligence for Ecosystem Services, ARIES)、生態系統服務之社會價值模式(Social Values for Ecosystem Services, SolVES)、生態系統服務與權衡之整合型量化模式(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs, InVEST)等模式，可藉由輸入不同參數及土地利用條件，模擬各情境之生態系統服務變化。

謝蕙蓮等人(2012)利用專家問卷評估 11 個淡水河生態次系統之功能及服務的強弱對應關聯性，結果顯示紅樹林、潮間帶草澤、河口河道及內陸淡水河道等生態次系統有較高的生態地位。以紅樹林為例，其具有初級生產力、營養循環、碳吸存等 9 項生態系統功能及遺傳資源、知識系統、宜居氣候等 12 項生態系統服務。邱祈榮與林俊成(2017)以生態系暨生物多樣性經濟倡議(The Economics of Ecosystems and Biodiversity, TEEB)提出的使用價值進行估算，台灣每公頃林地其林木供給服務價值約為 205 元、碳吸存調節服務效益約為 1,197 元、森林遊樂服務價值約 4,549 元。

Kuo & Wang(2018)根據生態系統服務之定義，利用狀態指標(De Groot, 2010)來量化布袋鹽田濕地在進行水管理前後生態系統服務功能變化，用以量化 11 種生態系統服務之指標如下表所示。評估結果顯示，布袋鹽田濕地可藉由水門操作提升多數生態系統服務供應能力，如食物供應、基因材料、氣候調節、自然災害調節、休閒娛樂、教育等(如表 1)。

表 1. 布袋鹽田濕地生態系統服務及其狀態指標

生態系統服務		狀態指標
供給服務	食物供應	海草、魚蟹等
	基因材料	生物量
調節服務	氣候調節	含水量
	水淨化與廢物處理	生物過濾器、水生植物、有機質等
	自然災害調節	儲水空間
	授粉	植被及昆蟲
文化服務	精神及鼓舞	人類活動資源
	休閒娛樂	人類活動資源
	美學	人類活動資源
	教育	人類活動資源
支持服務	養分循環	土壤厭氧與好氧之呼吸作用

王筱雯(2019)於以 RAWES 方法為基礎，於臺南市七股區中寮社區、頂山社區、鹽埕社區實際走訪在地聚落、漁塭、廟宇其他在地團體，與居民面對面的互動與訪談，引導在地民眾對於生活空間、特色景點及環境議題之空間區位的指認，進一步彙整七股鹽田濕地提供的生態系統服務。屬供應服務的項目包含：魚類養殖、蛤蠣養殖、蝦子養殖；屬調節服務的項目包含：滯洪功能；屬文化服務的項目包含：釣魚、風箏衝浪、遙控飛機、鳥類觀賞；屬支持服務的項目包含：生物棲息地。再透過地形高程圖、天然滯洪池滯洪量估算、水質調查、生態環境資源與土地利用等之資料蒐集，配合現勘瞭解目前鄰近各個社區的扇形鹽田、青鯤鯓鹽田、南鹽鹽田及台區鹽田之生態資源及產業活動，進而探討區域內之產業結構、管理機制及發展潛力，以嘗試建構濕地內可能之經營與管理模式。

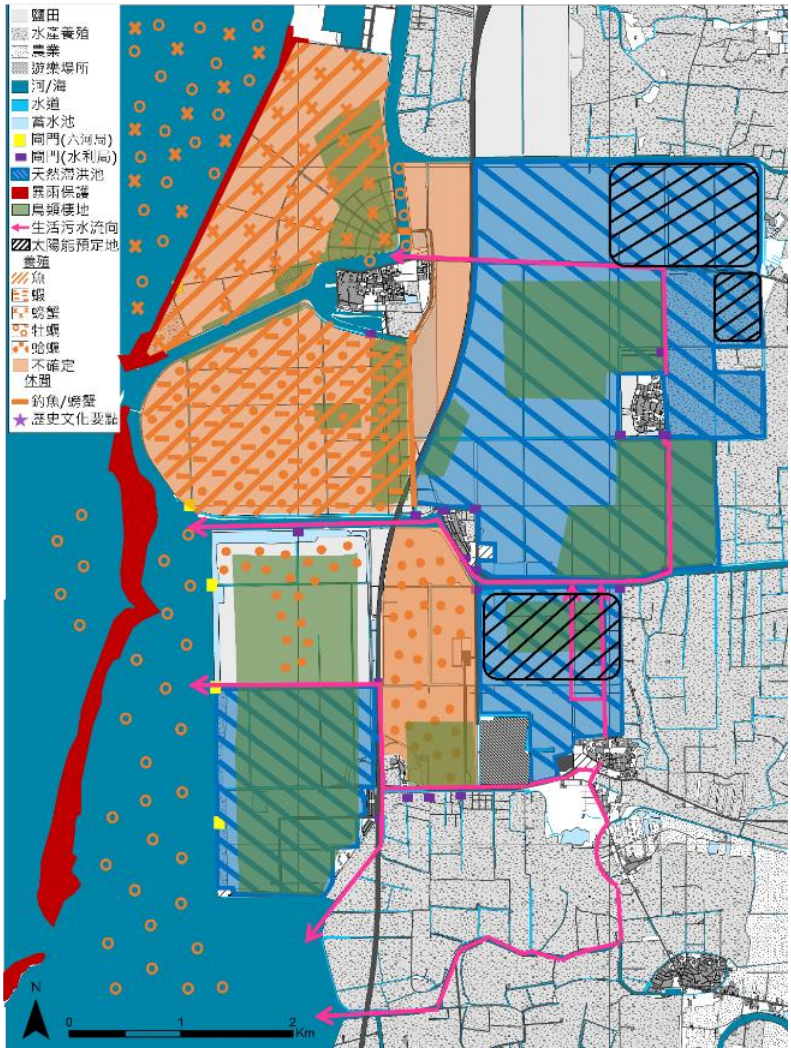


圖 3. 研究團隊盤點七股鹽田濕地之生態系統服務功能

石心柔(2020)以採用 RAWES 方法及定性或定量狀態指標，盤點及評估光電開發下對於布袋鹽田濕地生態系統服務之影響。其中淡水供應、淨化水質、養份循環、土壤形成與棲息地服務透過 InVEST 進行模擬，探討模式於濕地的適用性，以及光電開發下生態系統服務之衝擊。評估結果顯示布袋鹽田濕地具備 13 項生態系統服務，包含淡水供應、食物供應、廢物處理 3 項供給服務；空氣品質調節、當地氣候調節、洪水災害調節、淨化水質等 4 項調節服務；娛樂與旅遊、教育與研究 2 項文化服務；土壤形成、養分循環、水循環、棲息地供應等 4 項支持服務。狀態指標評估與 InVEST 模擬成果均顯示，光電開發衝擊以八區鹽田基樁式光電開發區域影響最大，

使淡水供應、淨化水質、養份循環、棲息地服務提供能力明顯降低。

2023 年《鹿耳門鷸鴴科生態保護區及周緣濕地生態服務評析可行性示範計畫》採用 RAWES 方法及定性或定量狀態指標，盤點及評估鹿耳門鷸鴴科生態保護區生態系統服務之影響。評估結果顯示 37 項生態系統服務功能中有 19 項較為顯著，參與評估的人員均認同計畫區域內具有供給服務中遺傳資源提供與觀賞資源提供等 2 項服務；在支持服務中則認同具有土壤形成、養分循環與棲息地提供等服務；在調節服務中則認同主要具有調節空氣品質、調節當地氣候以及洪水災害調節。評估分數中總平均最高的服務為棲息地提供，平均分數高達 4.6 分，其次為教育與研究平均分數達 4.2 分，而洪水災害調節服務平均分數也達 4 分。再利用 InVEST 進行模擬發現，儘管目前計畫區域評估現況結果為良好，但由於計畫區域位於工業區周遭，環境品質上仍有高機率受其影響，故建立濕地長期經營策略維持棲息地品質為管理處須執行之作為。

3.2 濕地碳匯功能

目前全球濕地面積約 700 萬平方公里，僅占全球陸地面積的 5-8% (Mitsch and Gosselink, 2007)，卻能儲存約 2.5 千兆(10^{15}) t CO_2e，佔全球總碳存量的 20-30% (Lal, 2008; Roulet, 2000; Bridgham et al., 2006)。全球濕地生態系統約能貢獻 830 Mt CO_2e yr^{-1} 之淨碳匯收益，平均可提供 118g CO_2e m^{-2} 的儲存能力(Mitsch et al., 2012)。林幸助等人(2018)指出，濕地的碳儲存量以及碳吸存能力會受地形、植被、地質條件、緯度、鹽度、溫度、光照強度、營養鹽、降水量與水體濁度等因素影響。

目前全球有許多濕地碳吸存的相關研究，但仍以泥炭地及紅樹林的研究為主。臺灣相關研究則集中在紅樹林、海草床及無植被之泥沙灘等濕地類型(林幸助等人，2018)。紅樹林主要分布於熱帶及亞熱帶地區的潮間帶，

總面積約為 16 萬平方公里(FAO, 2003)，平均每年的碳吸存量約 174 g CO_2e m^{-2} (Alongi, 2014)。在不同地區的紅樹林因其樹種(Li et al., 2018)及環境，如潮汐或極端降雨事件(Goldsmith et al., 2008)沖刷之影響，吸存量有明顯差異。Suratman (2008)指出亞洲紅樹林在不同年間碳吸存量從 90 到 230 g CO_2e m^{-2} 尺不等，Li et al. (2018)的研究顯示臺灣紅樹林的碳吸存能力也在 57 至 127 g CO_2e m^{-2} 之間不等，推論台灣紅樹林的碳吸存量較國際水準低，可能與台灣的樹種較為矮小以及分解速率較高有關。整體而言，相較其他濕地生態系統，紅樹林的生產力及碳吸存能力是相對較高。然而在部分環境良好，生產力極高的濕地，其能貢獻的碳吸存量可能超越紅樹林，如美國的佛羅里達大沼澤每年約能儲存 86-387 g CO_2e m^{-2} (Reddy et al., 1993)，或是烏干達的高生產力莎草草澤，每年的碳吸存量高達 480 g CO_2e m^{-2} (Saunders et al., 2007)。

表 2. 國內外紅樹林生態系碳吸存量比較，修改自林幸助等人(2018)

地區	緯度	經度	碳吸存 (g CO_2e m^{-2} yr^{-1})	參考文獻
全球			174	Alongi, 2012
北美地區	25-26°N	80-81°E	180	Chmura et al., 2003
亞洲			90-230	Suratman, 2008
臺灣臺南	23°07'N	120°05'E	101	Li et al., 2018
臺灣臺中	23°80'	120°27'E	127	Li et al., 2018
臺灣彰化	23°56'	120°18'E	84	Li et al., 2018
臺灣彰化	23°56'	120°18'E	57	Li et al., 2018

表 3. 國內外紅樹林生態系碳存量比較，修改自林幸助等人(2018)

地區	緯度	經度	碳存量(t CO_2e ha^{-2})	參考文獻
熱帶紅樹林(全球)			1,023±88	Donato et al., 2011
熱帶紅樹林(墨西哥)	14°43′N	92°26′W	784.5±73.5	Adame et al., 2015
熱帶人工紅樹林(越南)	10°2′N	106°52′E	889±111	Nam et al., 2016
熱帶紅樹林(越南)	8°38′N	105°05E	844±58	Nam et al., 2016
熱帶紅樹林(印尼)	5°N-10°S	105°-147°E	950.5±29.9	Alongi et al., 2016
熱帶與亞熱帶紅樹林(中國)	19°-30°N	108°-122°E	355.25±82.19	Liu et al., 2014
亞熱帶紅樹林(臺灣)	23°55′N	120°18′E	524.67±50.11	黃日聖，2016
亞熱帶紅樹林(臺灣)	24°18′N	120°32′E	1,138.8	童莉婷，2012
熱帶紅樹林(臺灣)	23°7′N	120°5′E	2,186.62	李世博，2014
亞熱帶紅樹林(臺灣)	25°9′N	121°25′E	1,055.8	陳柏宏，2013
亞熱帶紅樹林(臺灣)	25°3′N	121°30′E	612.7	陳柏宏，2013

雖然濕地能吸收大氣中 CO_2，將其轉換為有機碳儲存於濕地中，但濕地亦是溫室氣體 CH_4 排放源之一(Mitsch et al., 2013)。每年排放量約 115-227 百萬公噸(Whalen 2005, Bergamaschi et al., 2007, Bloom et al., 2010) ，約佔全球 CH_4 排放量的 20-25%，其中又以熱帶地區的稻田佔最大宗(60-80 百萬公噸)。若以整體碳收支狀況來看，全球濕地每年能從大氣中吸存 1,280 Mt CO_2e yr^{-1}，約有 448 Mt CO_2e yr^{-1} 經由 CH_4 再釋放回大氣中，因此濕地仍是良好的碳匯場所(Mitsch et al., 2012)。

本團隊於 112 年度執行台江國家公園之《鹿耳門鷸鴴科生態保護區及周緣濕地生態服務評析可行性示範計畫》，針對鹿耳門鷸鴴科生態保護區

內進行碳匯功能評估。該計畫將保護區劃分為欖李紅樹林、水域、灘地三種類型棲息地，並調查一年四季欖李紅樹林生長量變化、水域及灘地溫室氣體排放結果，進一步將測量結果進行計算以求各微棲地碳匯量並進行加總。若加總結果為正值，即為碳匯系統；反之則是碳源系統。

其中灘地棲息地每季結果皆為負值；水域棲息地每季結果則皆為正值；欖李紅樹林棲息地僅夏季因適逢連續大雨，造成欖李紅樹林生長環境改變，以致於紅樹林生長量降低，使得夏季結果呈現負值(碳源系統)，但整年度欖李紅樹林棲息地結果仍為碳匯系統。結果顯示三處棲類型地碳匯量總和為正值，表示該年度計畫區域為碳匯系統（台江國家公園，2023）。

表 4. 2023 年鹿耳門鷸鴴科生態保護區碳匯評估

棲息地類型	面積(m^2)[C]	碳匯量[B]				
		($Kg\ CO_2e\ m^{-2}\ season^{-1}$)				($Kg\ CO_2e\ m^{-2}\ yr^{-1}$)
		冬季	春季	夏季	秋季	全年
欖李紅樹林	224,250	0.3493[A]	0.3153	-0.3085	0.4074	0.7635
水域	231,530	0.1513	0.1569	0.1769	0.1212	0.6064
灘地	81,420	-0.2195	-0.2976	-0.0700	-0.1460	-0.7332
總	537,200	年碳匯量總和($Kg\ CO_2e\ yr^{-1}$)				251,917.523

※備註：

[A] 本表估算時，尚未量測 2023 年秋季至 2024 年冬季紅樹林生物量資料，以及 2024 年冬季底土溫室氣體通量測量，故 2023 年秋季至 2024 年冬季紅樹林生物量資料以 2023 年春季至秋季數據平均值推估生長量及枯落物量；以 2023 年冬季資料作為 2024 年冬季溫室氣體通量，推估冬季季系統生產量。

[B] 碳匯量結果若是正值為碳匯系統、負值為碳源系統。

[C] 為使用無人機空拍結果，並以 ArcGIS 進行人工判釋後估算出面積，故與 NDVI 判釋結果不同。

3.3 七股鹽田濕地水質

本研究蒐集了林幸助(2011)、林瑩峰(2017)、宋心怡(2019)、劉景義(2019)及王筱雯(2020)等人於七股鹽田濕地水質之研究(如圖 4)，並彙整各研究檢

測之水質項目與本計畫與濕地投入標準，如表 5 所示。上述水質調查頻度皆為一季一次，並將調查結果彙整於表 6。從表 6 監測結果中可發現流入潟湖之水源，皆會受到上游社區排水之影響，若上游有畜牧或養殖魚塭等工作，其流入潟湖中之水流，氨氮(TN 或 NH_3-N)含量會有顯著增加，研判營養物質濃度與魚塭及畜牧排水相關。

表 5. 歷年計畫水質調查項目

研究名稱	水質項目
林幸助(2011)	水溫、鹽度、電導度、溶氧量、酸鹼值(pH)、硝酸態氮、亞硝酸態氮、銨態氮、正磷酸鹽磷、矽酸鹽
林瑩峰(2017)	水溫、pH、溶氧(DO)、氧化還原電位(ORP)、電導度(EC)、濁度、懸浮固體物(SS)、生化需氧量(BOD_5)、化學需氧量(COD)、總有機碳(TOC)、硫酸鹽、氨氮、硝酸氮、亞硝酸氮、凱氏氮(TKN)、總氮、磷酸鹽、總磷(TP)、葉綠素 a、水中重金屬(砷、鉛、汞、鎘、銅、鋅、鎳、總鉻)
宋心怡(2018)	水溫、溶氧量、導電度、氨氮、硝酸鹽氮、總磷、生化需氧量、化學需氧量、懸浮固體及酸鹼值
劉景毅(2019)	酸鹼值、濁度、鹽度、溶氧、葉綠素 a 及生化需氧量
王筱雯(2020)	懸浮固體、生化需氧量、化學需氧量、氨氮、硝酸鹽氮、總磷
本計畫(2024)	水溫、溶氧、鹽度、導電度、酸鹼值、懸浮固體、濁度、化學需氧量、生化需氧量、總磷、氨氮、硝酸鹽氮、葉綠素 a
濕地投入標準	水溫、氨氮、硝酸鹽氮、總磷、生化需氧量、化學需氧量、懸浮固體及酸鹼值

表 6. 歷年計畫水質調查結果

位置	前人研究	監測結果	影響來源
西南航道	林瑩峰 2017	BOD 介於 0.4~1.9 mg/L。COD 介於 3.4~8.8 mg/L。TN 介於 3.8~4.6 mg/L。TP 介於 0.2~5.1 mg/L。Chl-a 介於 2.1~3.1 mg/L。	受到青山漁港及青鯤鯓社區影排水影響
南航道(大寮排水)	林幸助 2011	葉綠素 a 介於 0.96~13.24μg/L。氨氮介於 12.4~505.2μg/L。磷酸磷介於 19.5~86.8μg/L。10 月份退潮採得較高的氮磷，推測為大寮排水帶入魚塭放流水之影響。	大寮排水為台南市佳里、西港地區相當重要的排水系統，包含有生活污水、畜牧廢水，以及魚塭養殖廢水
	宋心怡 2018	懸浮固體為 63~186 mg/L，COD 為 79~110 mg/L	
	林瑩峰 2017	BOD 介於 0.5~8.6 mg/L。COD 介於 3.2~26.4 mg/L。TN 介於 4.7~14.2 mg/L。	
觀海樓	林幸助 2011	葉綠素 a 介於 1.5~5.96μg/L。氨氮介於 12.2~85.6μg/L。磷酸磷介於 19.5~50.5μg/L。	豪雨時受陸源排入潟湖影響
六成排水	林瑩峰 2017	BOD 介於 1.3~8.8 mg/L。COD 介於 6.1~17 mg/L。TN 介於 2.5~14.9 mg/L。大腸桿菌介於 20~400 CFU/100mL。	六成排水除了龍山漁港相連結，還有龍山聚落生活污水及養殖廢水
七股溪口	林幸助 2011	葉綠素 a 介於 2.99~96.46 μg/L 為所有樣區中最高。溶氧 4.12~11.44 mg/L，夏季溶氧較高可能光合作用影響。磷酸磷介於 64~343 μg/L，可能受陸源影響。	七股溪的上游為劉厝排水，屬於七股、佳里、西港地區一代重要的排水系統，且為陸域水源投入七股鹽田濕地的主要來源
	林瑩峰 2017	BOD 介於 0.5~8 mg/L。COD 介於 11.4~21.8 mg/L。TN 介於 3.3~10.8 mg/L。大腸桿菌介於 40~400 CFU/100mL。	
六孔碼頭	林瑩峰 2017	BOD 介於 1.7~4.3 mg/L。COD 介於 4.5~13.4 mg/L。TN 介於 0.7~7.2 mg/L。	受到與潮溝相連魚塭之放流水影響
十五孔碼頭	林幸助 2011	葉綠素 a 介於 0.77~15.66μg/L。氨氮介於 12.9~138.1μg/L。磷酸磷介於 20.6~58.2μg/L。	受到大潮溝魚塭放流水影響
	林瑩峰 2017	BOD 介於 0.4~1.9 mg/L。COD 介於 3.6~13.2 mg/L。TN 介於 1.16~5.46 mg/L。葉綠素 a 介於 0.8~7.7μg/L	
網仔寮汕	劉景毅 2019	pH 值 7.97~8.17，水溫 19.1~32.0 ℃，鹽度 27.2~34.0‰，濁度 6.06~79NTU，溶氧 4.6~8.77 mg/L，葉綠素 a 0.5~13.6μg/L，BOD 0.4~4.3 mg/L。	水質穩定，鹽度受豪大雨影響，葉綠素 a 升高疑因豪雨將陸源排水帶入潟湖。

位置	前人研究	監測結果	影響來源
四區鹽田(台區、青鯤鯓、扇形、南鹽)	王筱雯，2018~2020	此四區鹽田之總磷(TP)濃度偏高，若排除降雨事件影響，濃度普遍介於 0.023-0.674 mg/L 之間，濃度高值比一般優養湖泊 0.03 mg/L 還高出許多	研判廢棄鹽田常有鳥類停棲與覓食，因鳥糞中磷含量高使鹽田整體 TP 濃度偏高



圖 4. 七股濕地各文獻歷年調查點位

3.4 氣候變遷減緩與調適能力

「減緩」和「調適」為聯合國提出因應氣候變遷兩大策略(IPCC，2007)，

「減緩」指減少人造溫室氣體排放至氣候循環中，包括溫室氣體的源頭減量與加強溫室氣體的吸存，「調適」指調整人類與自然系統透過量測或預測氣候變遷對生態環境的衝擊，及早做出因應以減少損害或開發有益的機會，培養各領域的調適能力以因應氣候變遷的影響。為完備我國氣候法制基礎以順應國際趨勢，於 2023 年 2 月 15 日總統公布將「溫室氣體減量及管理法」修正為「氣候變遷因應法」，並於《氣候變遷因應法》第五條明訂「政府應秉持減緩與調適並重之原則，確保國土資源永續利用及能源供需穩定，妥適減緩及因應氣候變遷之影響，兼顧環境保護、經濟發展、社會正義、原住民族權益、跨世代衡平及脆弱群體扶助。」

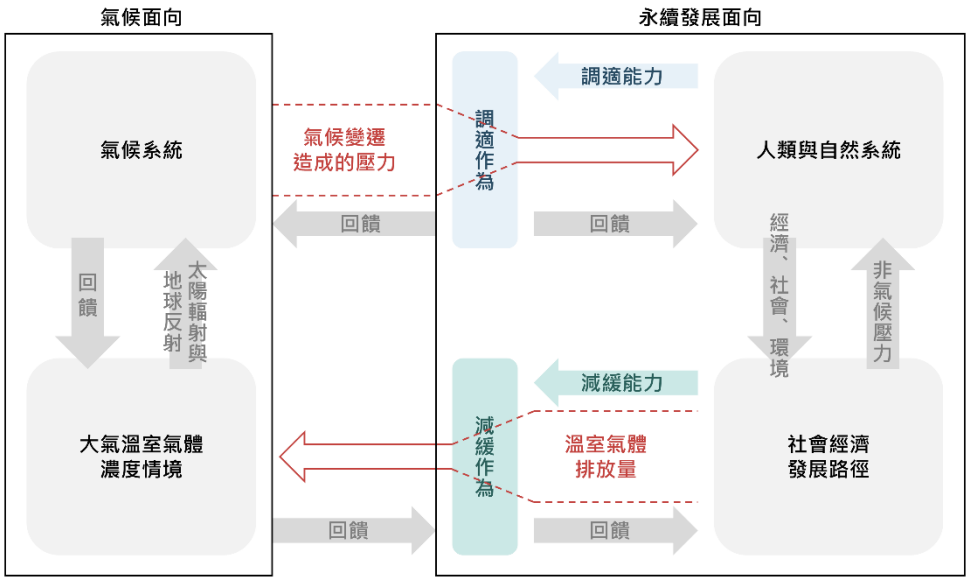


圖 5. 減緩與調適作為於氣候及永續發展面向之關聯，
修改自 Munasinghe & Swart(2005)

環境部依據《氣候變遷因應法》氣候變遷調適專章之規定，依「國家因應氣候變遷行動綱領」，並參酌整合前期行動方案執行成果及問題檢討，與各部會共同研擬「國家氣候變遷調適行動計畫（112-115 年）」，藉由環境部、國科會及中央氣象署之科學研究及風險評估，針對易受氣候變遷衝擊七項領域（健康、維生基礎設施、水資源、土地利用、海岸及海洋、能源供給及產業及農業生產及生物多樣性），協助環境部與各部會執行氣候變

遷調適行動計畫，此為未來政府各部門推動調適工作之主要行動，以具體落實政策綱領。透過各部會協作落實國家氣候變遷調適工作，輔以滾動修正原則，推動我國社會、經濟及環境之永續發展。考量「土地利用」領域為其他各調適領域之承載體，其調適策略亦可針對我國易受衝擊之災害議題進行總體規劃，故本期行動計畫中將「土地利用」領域規劃為一整合平台以進行有效整合。圖 6 為七項跨領域溝通整合平台。

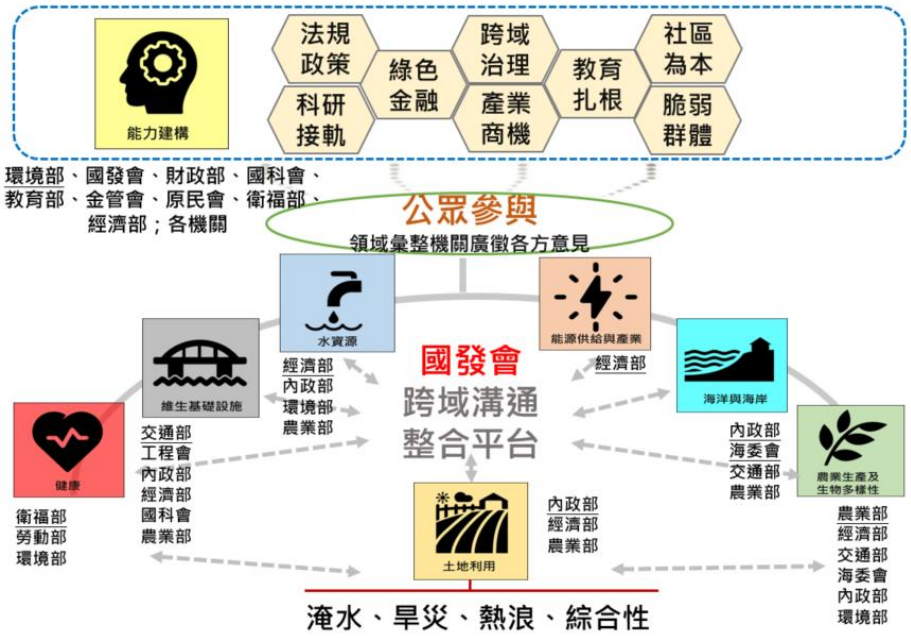


圖 6. 七項跨領域溝通整合平台 (環境部，2023)

為了順應國際趨勢，本期國家調適行動計畫研擬過程中，將自然為本解決方案（Nature-based Solutions NbS）之理念，納入調適行動計畫主軸及核心價值之一並獲得共識，由各領域彙整機關檢視可對應至 NbS 之應用範疇並進行個別行動計畫之研提，透過建立跨域資源整合平台、舉辦共學營及環境教育終生學習等方式積極推廣（環境部，2023）。

(一) 溫室氣體減量及管理法

為回應 1992 年聯合國氣候變化綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)、1997 年《京都

議定書》、2015 年《巴黎協定》及聯合國永續發展目標，我國於 2015 年正式施行《溫室氣體減量及管理法》，規範我國長期減量目標、政府機關權責、溫室氣體減量對策及教育宣導。

因應氣候變遷可能引發的衝擊及損失，行政院環境部（今環境部）於 2017 年依《溫室氣體減量及管理法》擬訂《國家因應氣候變遷行動綱領》，秉持減緩與調適兼籌並顧的精神明列我國因應氣候變遷的 10 大基本原則，提出能源、製造、運輸、住商、農業、環境 6 大減量部門，以及災害、維生基礎設施、水資源、土地使用、海岸、能源供給及產業、農業及生物多樣性、健康 8 大調適領域的行動方案，分別由各機關共同推動因應國家氣候變遷調適行動(環境部，2017)。

為強化氣候變遷減緩及調適作為以降低氣候變遷衝擊，行政院於 2022 年提出《溫室氣體減量及管理法》修正草案並將名稱修正為《氣候變遷因應法》。修正草案內容包括：納入 2050 年淨零排放目標、提升層級強化氣候治理、精進減量計畫及方案執行、調適能力建構及科研接軌、強化排放管理、徵收碳費專款專用、推動中央地方政府合作及公私協力、提升資訊透明並強化公眾參與機制等(行政院，2022)。

為配合 2023 年 2 月 15 日母法修正，環境部於 2023 年 12 月 29 日將「溫室氣體減量及管理法施行細則」修正為「氣候變遷因應法施行細則」。將中央主管機關權責事項由 13 項增為 22 項之外，更配合本次《氣候變遷因應法》強化地方政府之角色，將地方主管機關權責事項從 3 項擴增到 14 項，包含增列直轄市、縣（市）氣候變遷因應推動會之規劃及執行、氣候變遷調適執行方案之訂修、規劃及執行、協助轄內排放源操作與排放相關設施及有關資料之檢查與輔導、直轄市、縣（市）氣候變遷教育及宣導、民間團體推展、人員訓練與講習乃至於轄內氣候變遷調適及溫室氣體減量之調查、輔導及研究發展、城市

交流、產品碳足跡之查核及檢查、參與中央有關機關氣候變遷因應工作之推動等事項，落實在地氣候治理。

(二) 氣候變遷趨勢與衝擊

《國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適》(以下簡稱科學報告）為 2023 年初國家通過「氣候變遷因應法」後，國家科學及技術委員會以及環境部依法於今年五月共同發布之科學報告，該科學報告內容架構以氣候變遷科學、衝擊與調適為主。根據科學報告結果指出除非未來幾十年內大幅減少溫室氣體排放，否則本世紀暖化必然超過 1.5℃或 2℃。以台灣觀測資料顯示，平均升溫趨勢由每 10 年約 0.15℃增加至 0.27℃；臺灣周遭海平面變化趨勢因受到聖嬰現象與太平洋年代際振盪影響，自 1993 年至 2015 年每年升高約為 2.2±0.3 毫米，略低於全球平均值的每年 3.2±0.1 毫米。就未來推估來看，以 1995 年至 2014 年氣候值為基期，且使用不同 SSP 情境進行臺灣短、中、長期進行模擬，模擬結果顯示臺灣在短期(2021 年至 2040 年)平均增溫為 0.6℃至 0.8℃；但長期(2081 年至 2100 年)氣候變化，於世紀末時段不同情境出現較明顯差別，從 SSP1-2.6 增溫 1℃，至 SSP5-8.5 增溫 3.4℃。(許晃雄等，2024)。不同 SSPs 情境下之臺灣平均溫度長期變化如圖 7 所示。

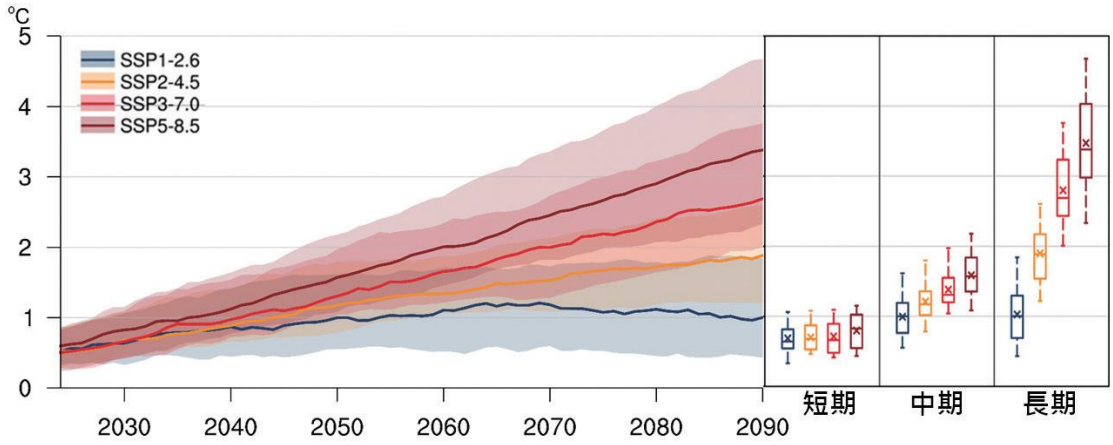


圖 7.不同 SSPs 情境下，臺灣平均溫度之長期變化(單位：℃)（許晃雄等，2024）

考量計畫區域範圍，本計畫自科學報告中篩選三種課題，分別為海平面上升與洪水課題、糧食安全課題、生態課題等綜整說明如下。以海平面上升與洪水課題，依據 IPCC AR6 全球暖化程度 1.5℃與 2.0℃的推估結果，臺灣海平面上升的程度分別為 20 公分和 34.5 公分。在全球暖化程度 2.0℃下，臺灣因海平面上升造成的海岸溢淹範圍較全球暖化程度 1.5℃更加深入內陸，且淹水深度更深，而沿海地區海岸溢淹深度超過 1.5 公尺的縣市包含新北市、桃園市、新竹縣市、彰化縣、雲林縣、嘉義縣、臺南市、高雄市、花蓮縣與臺東縣；糧食安全課題上，自 2010 年後，沿海地區的高溫危害發生事件數開始增加，並對養殖漁業生產造成養殖物種合適度改變、養殖期混亂、作業不確定性提升、突發性暴斃死亡、水質穩定度降低、作業成本增加、魚病發生率提升等生產面向的問題；生態課題引用王文千(2019)文獻指出 83 種臺灣繁殖鳥類中有 41 種鳥類具有氣候變遷高暴露度，此外因為海水增溫現象，至 2035 年臺灣沿近海總漁獲量預估將下降 2.41%（許晃雄等，2024）。

面對氣候變遷衝擊，目前各政府或企業單位之因應重點都放在減

碳與溫室氣體減量相關的議題上，例如本計畫研究範圍周邊魚塭「漁電共生」就成為多方討論的課題。從人類社會與自然生態互動的角度來看，七股魚塭養殖方式有其特殊之處，七股魚塭水路與潟湖相通，透過天然海水的漲退潮引水進行養殖而不需抽取地下水，而且七股魚塭大多採用低密度混養，提高營養源利用率、保持生物多樣性、穩定水質，而降低化學藥物的人為控制，不須頻繁抽換水，且投放較少餌料，因而可降低能源使用量與碳排放；再透過台江國家公園推動的「生態友善棲息地營造計畫」，合作的漁民在冬季曬池時連續 5 天維持 20-30 公分的水位，保留小魚小蝦給黑面琵鷺及其他水鳥食用，恢復其族群之存續與繁衍。簡言之，七股的特殊養殖模式順應自然條件（自然感潮、潟湖生態）、提高營養源利用率（低密度混養）、降低人為干預（施肥、用藥）、與水鳥共存的友善生態養殖實踐，提升了生物多樣性與環境穩定度，降低碳排放，也減少大規模單一物種的死亡風險，有利環境的永續發展。因此，考量社會永續轉型，「漁電共生」是一種路徑，而「友善生態養殖」也是另一種路徑，有需要透過科學實證及民眾參與來權衡（李明翰等，2024）。

(三) 減緩

行政院以 2005 年排放量 266 Mt CO_2e yr^{-1} 為基準，於 2018 年及 2021 年核定我國第一期(2016-2020 年)及第二期(2021-2025 年)溫室氣體階段管制目標為減量 2% (即降至 260 Mt CO_2e yr^{-1})及 10% (即降至 241 Mt CO_2e yr^{-1})，並以 2030 年減量 20%、2050 年減量 50%為長期目標(環境部，2018；國家發展委員會等，2022)。

預期 2050 年可透過能源、產業、生活、社會轉型等策略將溫室氣體排放量減少 50%，但仍有 133 Mt CO_2e yr^{-1} 需要以棲息地復育、動植物保育、負碳農法、負排放技術等碳吸收與碳匯策略進行封存。IPCC

於 2006 及 2019 年發布的 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 指出，林地、農地、牧草地、濕地、聚居地、其他土地、收穫林產品皆是重要的碳吸存源。但我國目前僅就農業部林業及自然保育署的國有林地以《第四次森林資源調查成果》及年度林業統計資料為基礎，依據 IPCC 指南及可量測、可報告與可查證(Measurable, Reportable, Verifiable, MRV)原則進行估算，每年約可提供 22 Mt CO_2e yr^{-1} 之碳吸存量(環境部，2021)，尚未納入其他六種土地利用類型及移除源。

IPCC 於 2022 年 3 月發布的 Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change 指出，全球農業、林業與其他土地使用方案的碳吸存潛力達每年 80-140 億(10^8) t CO_2e，每公噸成本低於 100 美元，其中 30-50%的碳吸存可以以每公噸二氧化碳當量低於 20 美元的價格取得，且可以快速地在大多數地區得到成效。主要是因為森林及其他生態系統(沿海濕地、泥炭地、稀樹草原與草原)的保育、改善管理及復育、熱帶地區的森林濫伐減少可以有效維持且提升碳吸存量。

然而農業、林業與其他土地使用的利用，需要克服體制、經濟及政策限制，並管理潛在的權衡取捨，其他阻礙包括制度與財政支持不足、長期外加性與權衡取捨的不確定性、治理薄弱、土地所有權不安全、低收入與無法取得替代收入來源，以及碳匯變為排放源之逆轉風險。IPCC(2022)建議可以由法規、政策、獎勵、租賃、徵收著手，並從原住民知識、在地智慧及科學知識等各種知識形式中汲取經驗。為使以土地為基礎的減緩方案發揮作用，有賴以永續發展目標為框架的綜合土地利用規劃、管理與治理，才能擴大推廣成功的政策及措施。

(四) 調適

雖然減少溫室氣體排放才是解決氣候變遷的根本之道，但是氣候變遷已對人類生活造成衝擊(行政院經濟建設委員會，2012)。相較於減緩策略，各國也開始重視及推動調適策略(Davoudi, Crawford & Mehmood, 2009)。

英國在 1997 年成立了氣候變遷衝擊計畫(Climate Impact Programme, UKCIP)，提出氣候變遷風險不確定性決策框架(Climate Change Risk-Uncertainty-Decision-Making Framework)，包含界定問題、分析問題、決策推動後續行動 4 個面向及辨識問題與目標、設立規範並界定範疇、評估風險、辨識選項、評估選項、進行決策執行推動、監測與評估 8 個階段，可協助決策者判斷何處應實際考量氣候變遷，並提出包容不確定性的調適選項。

聯合國開發計畫署(United Nations Development Programme, UNDP)於 2004 年提出調適政策架構(Adaptation Policy Framework, APF)，包含界定範疇提出計畫、評估現行脆弱度、評估未來氣候風險、研擬調適策略及持續推動調適作為的評估流程，並特別強調納入利害關係人及強化調適能力，作為指引國家設計與執行各項降低脆弱度方案之依據，輔助各國積極投入推動氣候變遷調適策略的制定與落實。

國家科學委員會於 2009 年推動氣候變遷調適科技整合研究計畫(Taiwan integrated research program on Climate Change Adaptation Technology, TaiCCAT)，參考英國氣候變遷衝擊計畫(UKCIP)、聯合國開發計畫署(UNDP)調適政策框架等，發展支援決策系統六步驟(包括界定問題與設定目標、分析現況、評估未來風險、檢視調適選項、規劃執行調適路徑、監測與修正)，希望能以相對應之工具幫助使用者制定合宜的調適策略或政策，並透過循環式進程持續滾動修正。

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, TCCIP)以 TaiCCAT 為基礎，於 2020 年提出將步驟轉換為構面的構想，雖強調依序推動的重要性，仍可因應情況與障礙彈性調整(如跳過或以不同順序推動構面)。此方式雖然犧牲了調適的整體與統一性，但或許可有效促進行動的落實，後續仍可以調適循環檢討的基本原則逐步彌補缺口，達到推動調適實際作為的統一參考框架。

TCCIP 與農業委員會農業試驗所合作，以新竹縣新豐鄉在氣候變遷下的水稻生產作為氣候變遷調適構面的示範案例(界定範疇)。新竹縣新豐鄉是新竹縣稻米的最大產區，每年產量約 1 萬公噸，1 月到 4 月底第一期作的淹田工作恰為臺灣的枯水期(檢視現況)。利用 RCP 8.5 情境進行統計降尺度，發現臺灣北端降雨量呈現減少趨勢，乾旱強度將增加約 15%(評估危害與衝擊)。與利害關係人討論後，提出旱田直播、作物品種改良、轉作/輪作、強化用水系統等可執行選項(綜整決策)，預期可較慣行農法減少 89%的用水，並於 2018 年進行現地試驗，紀錄氣象觀測資料、田區用水量、水稻性狀、生長與產量調查、米質檢測等(推動執行)。試驗結果顯示仍有整地不均影響種子發芽、鳥害影響、雜草管理等課題(檢討修正)。

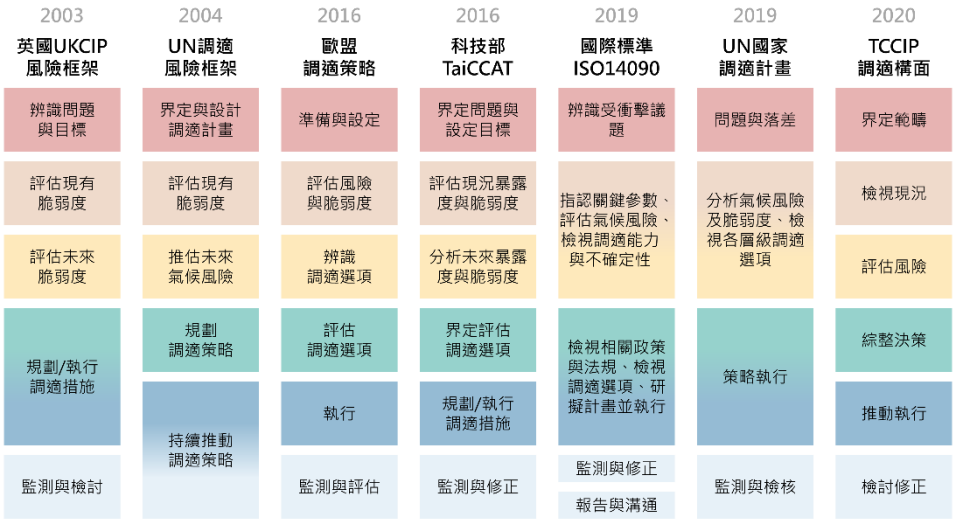


圖 8. 國際與國內氣候變遷調適方法比較，修改自李欣輯(2020)

3.5 問題綜探

面對氣候變遷的威脅，需要以減緩手段與調適策略並進。濕地所提供的碳匯功能可抵銷溫室氣體排放，減緩氣候變遷造成的極端氣候。濕地提供的生態系統功能及服務如氣候調節、滯洪減災等則可以作為氣候變遷下的調適策略。如何恢復及提升計畫區域的生態系統功能、生態系統服務和碳匯功能，及其氣候變遷減緩和調適能力，為現今的重要課題之一。

水文條件為濕地提供生態系統功能及服務的關鍵因子(Mitsch & Gosselink, 2007; Kuo & Wang, 2018)，然而臺灣時間、空間降雨不均，情況以南部尤為顯著。水域面積、水深分布、滯洪空間等又受地形高程變化影響。為妥善進行生態系統功能及生態系統服務評估，需要透過完整的地形高程、水文水質、環境地貌、動植物生態、碳吸收與碳排放量等現地基礎調查建立基線資料，以確實反應計畫區域之生態系統功能、生態系統服務及碳匯功能於月間、季間、年間之變化及空間分布。

本年度計畫範圍分為鹿耳門鷸鴴科生態保護區及七股鹽田濕地，其中對於鹿耳門鷸鴴科生態保護區長期經營管理，已於去年 2023 年計畫結果

提出兩項操作建議：藉由水門設施控管，以調節濕地內水位深度，創造不同鳥類棲息適宜棲息地，或是調節氣候變遷造成之惡化水質與暴雨時之洪汛漫淹；另一項則是管理紅樹林生長與分佈，以提供碳匯功能及創造合適生物棲息環境，進一步提高濕地生物多樣性。為了持續瞭解鹿耳門鷸鴴科生態保護區內對於氣候變遷之減緩能力，以及紅樹林於碳匯功能所扮演的角色，本計畫於今年度持續調查保護區內之紅樹林碳匯功能。

對七股鹽田濕地而言，首先成功大學水利系王筱雯團隊於 2018 年起連續三年辦理《七股鹽田濕地水文生態環境永續管理計畫》調查研究，發現鹽田停晒缺乏人為管理後衍生之聚落淹水風險及生態品質劣化等現象，研究團隊乃建議修復水道、疏通涵管，透過水環境管理情境模擬以恢復鹽田之生態系統服務功能，並藉由參與工作坊、機關對話協調，提出「台區鹽田示範區未來規劃」作為經營管理建議（王筱雯，2018；王筱雯，2019；王筱雯，2020）；其次是台鹽公司民營化後，部分鹽田收歸國有，由財政部國有財產署管理，並依據「國有非公用邊際土地提供認養促進環境保護案件處理原則」，由社團法人台灣黑面琵鷺保育學會、社團法人中華民國野鳥學會、社團法人台南市野鳥學會、社團法人台灣環境規劃協會、社團法人台灣濕地保護聯盟及社團法人中華民國荒野保護協會等 6 個環保團體以聯盟形式，分別認養臺南將軍及七股鹽灘地國有土地(約 1,230 公頃)作為生態保育使用（財政部國有財產署，2022），這些鹽田有些雖位於國家公園範圍外，但卻是重要生物例如黑面琵鷺這類保護傘頂指標生物的關鍵棲息地（郭東輝，2023），建議以公私夥伴的方式建立合作協力關係，與民間共同推動濕地保育工作；本計畫則持續盤點七股鹽田濕地之生態系統服務。

台江國家公園位於臺灣西南沿海地帶，在前述氣候變遷影響下，沿海濕地可能受到氣溫及水溫上升、海平面上升、強降雨頻率增加等因素而影響濕地生態品質並威脅其所能提供之生態系統服務，因此有需要將鹿耳門

鷸鴴科生態保護區及七股鹽田濕地放在台灣西南海岸濕地尺度作整體考量。從經營管理角度來看，濕地長期經營原則理想上應兼具促進生態系統服務最大化以有益於人類社會福祉、經營管理成本最佳化以蓄積量能面對未來氣候風險等各種課題，因此延續本研究團隊長期在七股鹽田濕地水文生態經營管理經驗與成果、以及於 2023 年在鹿耳門鷸鴴科生態保護區針對生態系統服務評估與紅樹林碳匯調查之研究成果，結合新近氣候變遷衝擊情勢與調適作為、考量近期七股鹽田濕地及周邊區域浮現之保育議題，可一併作為後續國家公園計畫通盤檢討之參考。

四、研究地區

計畫區域分別為鹿耳門鷸鴴科生態保護區及七股鹽田濕地，皆隸屬於台江國家公園管轄範圍。鹿耳門鷸鴴科生態保護區面積約 53.72 公頃，保護區域內微棲地種類具有鹽沼水域、紅樹林植被、淡水草澤、泥質灘地、潮溝水域(台江國家公園，2023)，為許多鷸科、鴴科、鷺科以及雁鴨科等棲息覓食區，更是臺灣首次發現高蹺鴴集體營巢的棲息地，具有重要生態意義；七股鹽田重要濕地具有不同樣貌之棲息地，主要分為七股沙洲、七股潟湖、七股紅樹林、七股鹽田，其中七股鹽田分為扇形鹽田、南鹽鹽田、青鯤鯓鹽田及台區鹽田，提供黑面琵鷺、東方白鸛、遊隼澤鵟、魚鷹、紅隼、小燕鷗、黑嘴鷗等多種珍貴鳥種利用，因其豐富的地景地貌、文化資產及生物資源，於 2007 年經內政部評定為國家級重要濕地（財團法人鹽光文教基金會，2005；內政部，2018）。

4.1 計畫區域概述

(一)鹿耳門鷸鴴科生態保護區

計畫區域自 1994 年停止曬鹽後因缺乏管理與維護，生態及棲息地品質劣化，2002 年由台灣濕地保護聯盟協助臺南市政府規劃挖深溝渠、增設水閘門、改變土地高程、增加保護區綠籬等棲息地改善工程，並於 2006 年正式認養。台江國家公園成立後，遂將經營管理工作交還臺南市政府農業局與台江國家公園，目前為台江國家公園所轄範圍，根據 2018 年共記錄到鳥類 9 科 26 種 3,042 隻次，5 種優勢種鳥類數量分別為，琵嘴鴨(906 隻次)、高蹺鴴(382 隻次)、蒼鷺(333 隻次)、大白鷺(251 隻次)與小白鷺(220 隻次)(台江國家公園，2019)，顯示計畫區域內環境有顯著好轉。然而，因周圍水路清淤與堤岸維修、進入工作站進行學術研究與解說教育皆須提前申請，不利環境維護及學術教育，

故於第一次通盤檢討將生態保護區內水路及道路改為特別景觀區，並重新命名為鹿耳門鷸鴴科生態保護區及鹿耳門濕地特別景觀區，使用分區、面積及資源特性整理如表 7 與圖 9。

表 7. 計畫區域於台江國家公園計畫之使用分區

使用分區	面積(ha)	資源特性
鹿耳門鷸鴴科生態保護區	43.89	1. 本區係於臺南科技工業區開發時，劃設作鷸鴴科繁殖區，且為國際級國家重要濕地之一部分，部分由舊鹽田改善為自然感潮的鹽沼濕地，棲息地已浚深達 2 公尺。 2. 本區擁有的鳥類資源，如長腳鷸（高蹺鴴）、反嘴長腳鷸（反嘴鴴）、小白鷺、大白鷺、蒼鷺、夜鷺、及度冬的黑面琵鷺等鳥種，除應持續加強保育及復育之工作外，應長期監測臺南科技工業區對鳥類繁殖的影響。 3. 本區植物在水陸交會處，以木本植物紅樹林為主，如海茄苳、欖李、紅海欖（原稱五梨跤）與土沉香等，土堤處則以濱水菜、鹽地鼠尾粟及海雀稗為主。
鹿耳門濕地特別景觀區	9.83	作為鷸鴴科繁殖區的研究工作站。未來應依據當地生態調查結果，限制進行教學參觀、生態旅遊者之數量與頻度，輔以具生態教育功能的自然公園、自然教室等，落實環境教育及保育觀念之宣導。

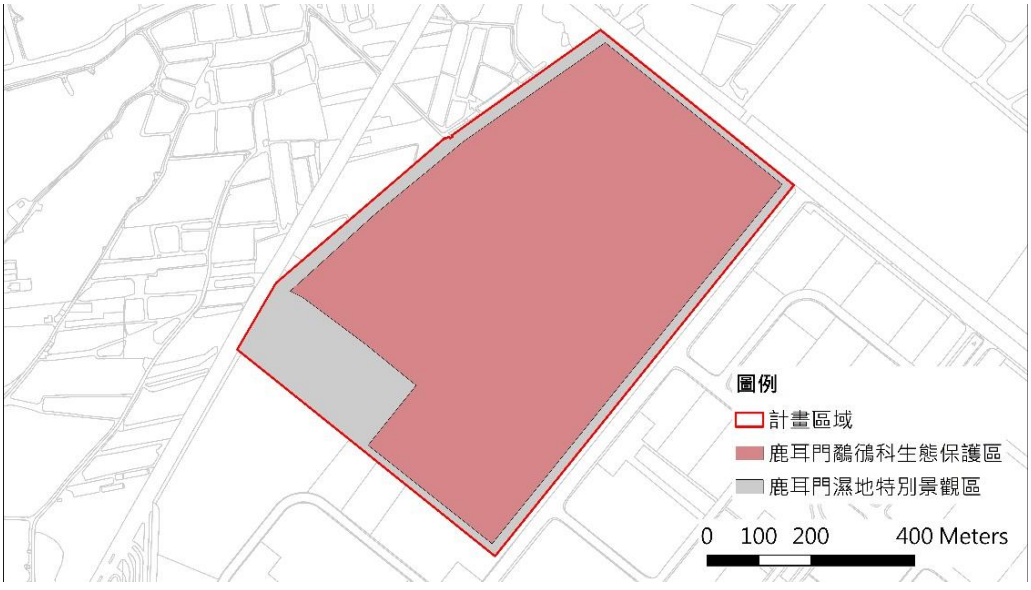


圖 9. 鹿耳門鷸鴴科生態保護區範圍示意圖

(二)七股鹽田濕地

七股鹽田濕地位於臺南市西南測沿海，包含沙洲、潟湖、廢棄鹽田、紅樹林、保安林等不同樣貌之棲息地，提供黑面琵鷺、東方白鸛、遊隼澤鵟、魚鷹、紅隼、小燕鷗、黑嘴鷗等珍貴鳥種利用，且具七股鹽場滅資建物群、七股頂山鹽警槍樓、臺鹽七股機車庫及臺南漚汪原遂園等歷史文化遺產，因其蘊含豐厚生態及人文景觀資源，內政部於2007 年評定為國家級國家重要濕地，並於 2016 年公開展示「七股鹽田重要濕地（國家級）保育利用計畫（草案)」，其範圍北起將軍漁港南側堤防，東南以「南 25-1 線」道路、「南 25 線」道路及堤防為界，並排除青鯤鯓漁港；南至七股潟湖北堤堤防，西側海域至等深線 6 公尺處，包括青山港沙洲、網仔寮沙洲及頂頭額沙洲等，面積為 3,696.75 公頃，並將本濕地定位為「臺灣西南海岸濕地保育軸之核心濕地」及「黑面琵鷺來臺度冬最重要棲息地」，並研擬「保護生物多樣性」、「參與式經營管理」及「加強環境教育」三大計畫目標，以達到濕地之保育及明智利用（內政部，2016)。七股鹽田重要濕地與台江國家公園範圍如圖 10。



圖 10. 七股鹽田濕地範圍示意圖

4.2 地文資料

(一)鹿耳門鷸鴴科生態保護區

- 地質

計畫區域於 17-19 世紀時為台江內海及離岸沙洲，1823 年 7 月豪雨造成滬汪溪(現稱將軍溪)決堤改道注入台江內海，大量泥沙使得台江內海淤積形成海埔新生地。故地質皆屬由海岸風積沙、海岸漂沙、潟湖淤泥及河道沖積物等所構成的全新世沖積層，其厚度可能超過 200 公尺(經濟部地質調查及礦業管理中心，2015；內政部國土管理署，2018)。計畫區域地質分布如圖 11。

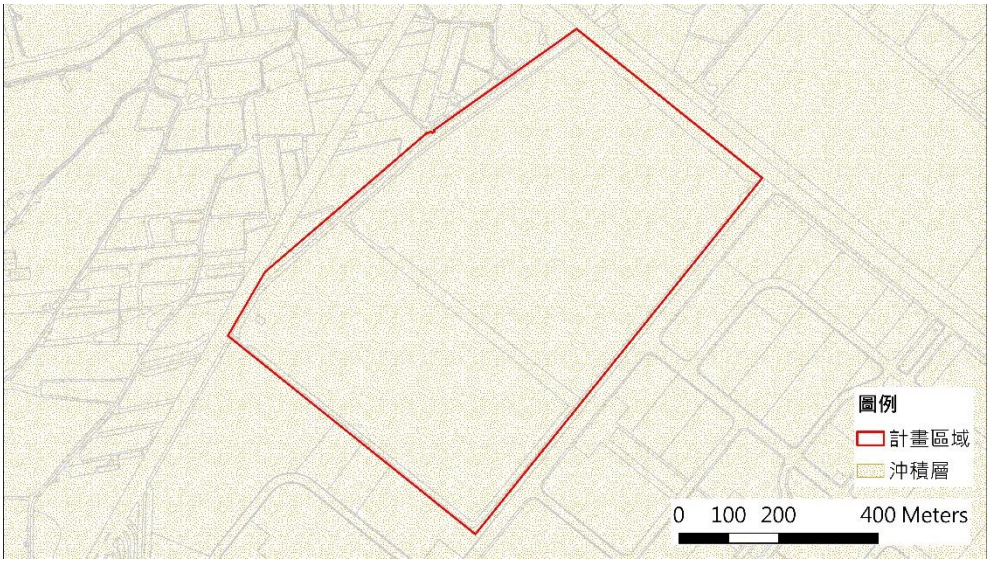


圖 11. 鷸鴴科保護區之地質分布

- 土地利用

根據內政部國土測繪中心 2016 年之調查成果，本計畫區內之第二級土地利用以濕地為主，其中有少許溝渠分布，西側有其他建築(工作站)，東側有公園綠地廣場(賞鳥亭)。東南側台南科技工業區之第二級土地利用多為製造業、其他建築、公園綠地廣場、一般道路、道路相關設施。計畫區域周邊第二級土地利用則多為水產養殖、河道、蓄水池、學校、省道、一般道路等。計畫區域土地利用如圖 12。

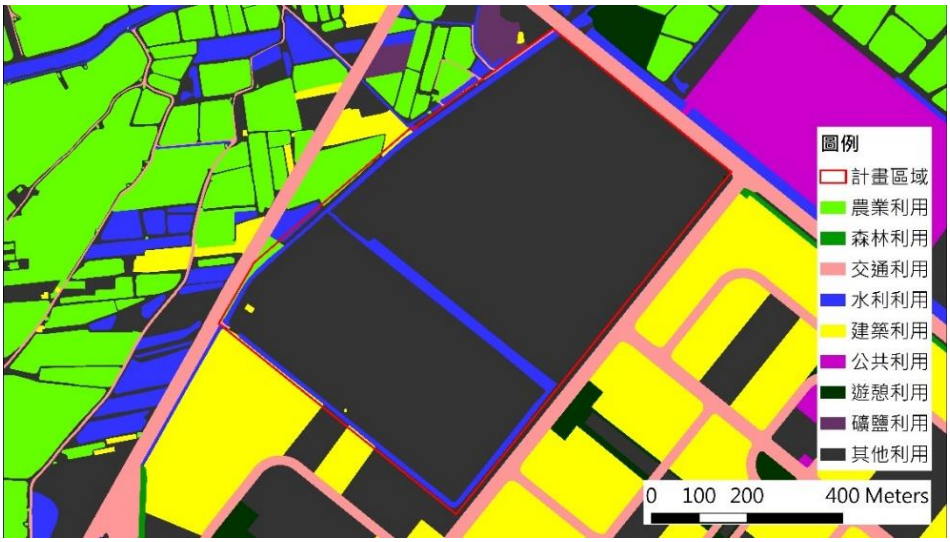


圖 12. 鷸鴴科保護區之土地利用分布

(二)七股鹽田濕地

- 地質

根據地質雲加值應用平臺資料顯示，七股鹽田濕地範圍地質主要以沉積層為主。其中潟湖範圍以臺南層為主、台區鹽田則以沖積層為大宗。計畫區域地質分布如圖 13。



圖 13. 七股鹽田濕地之地質分布

- 土地利用

根據內政部國土測繪中心 2016 年之調查成果，七股鹽田濕地範圍內土地多為海面、河道及鹽田，故現況使用類別以水利使用為最多，其次為鹽業使用。計畫區域地質分布如圖 14。

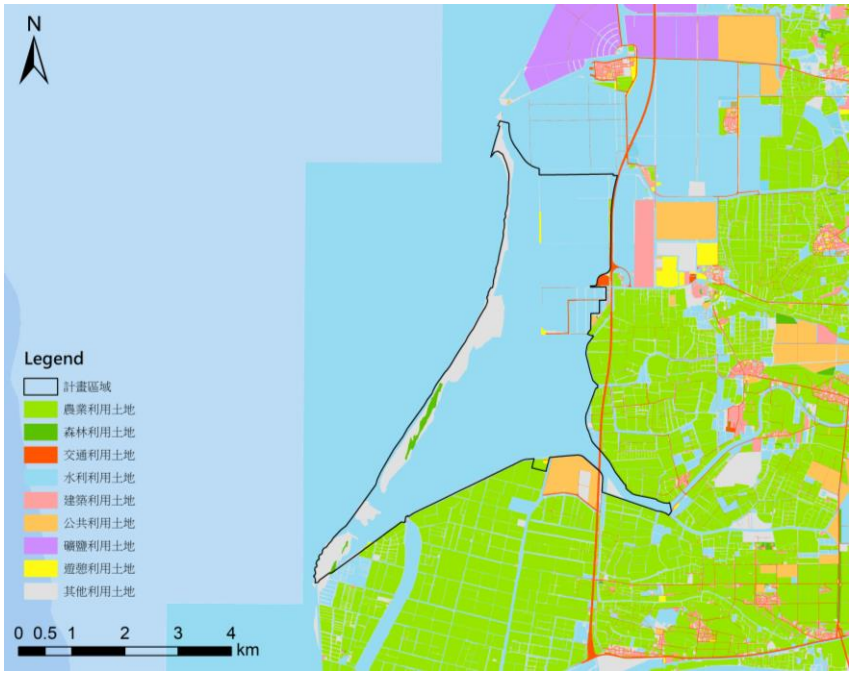


圖 14. 七股鹽田濕地之土地利用分布

4.3 氣象資料

(一)鹿耳門鷸鴴科生態保護區

鄰近計畫區域原有三座正在使用交通部中央氣象局氣象測站(圖15)。和順(C1O950)站位於安南區學東國民小學內，自 1992 年起進行雨量觀測，2013 年於原址擴充為安南(C0O950)自動氣象站，和順站已停止觀測。安平自動氣象站位於台江國家公園管理處內，自 2013 年開始進行觀測，本研究僅列安南與安平氣象站資料。經濟部水利署於四草漁港出口堤岸設置四草潮位站，自 2011 年起進行潮位、風速、風向、氣壓觀測。

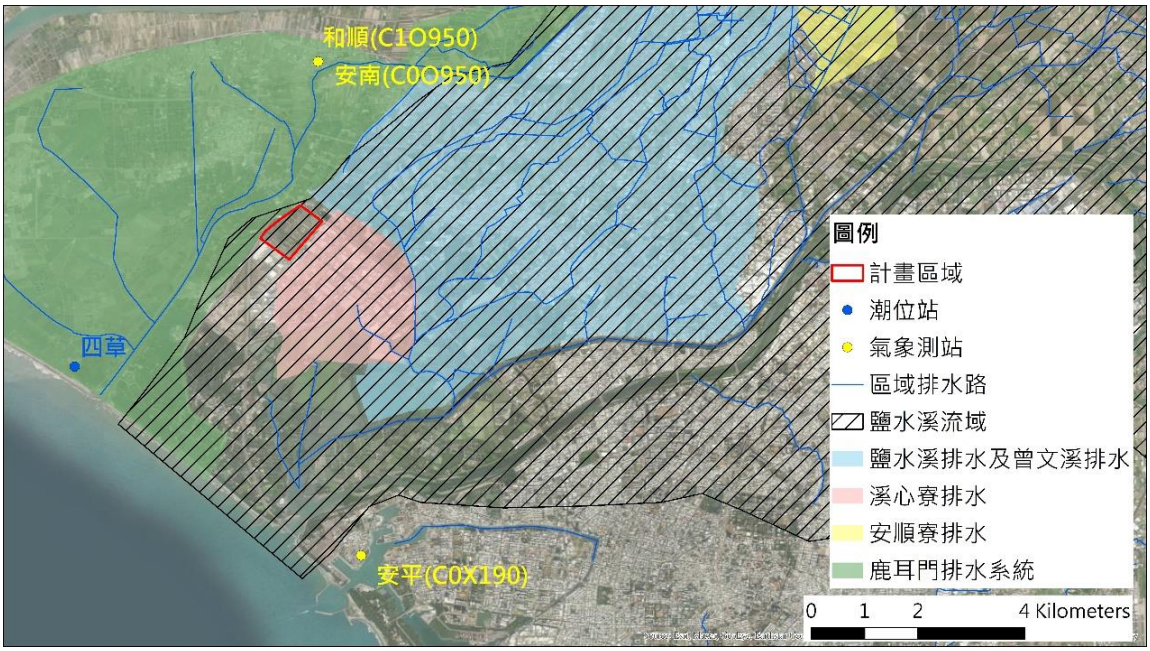


圖 15. 鷸鴴科保護區鄰近測站、流域及排水系統

- 雨量

根據中央氣象局紀錄，安南(2013-2022 年)、安平(2013-2022 年)測站年平均雨量約 1731.76、1746.05 毫米，降雨主要集中於 5 至 9 月(圖 16)，約佔全年的九成。安南及安平測站月平均月降雨量則以 8 月份 400.3 及 577.05 毫米最高，11 月份 20.25 及 13.25 毫米最低。

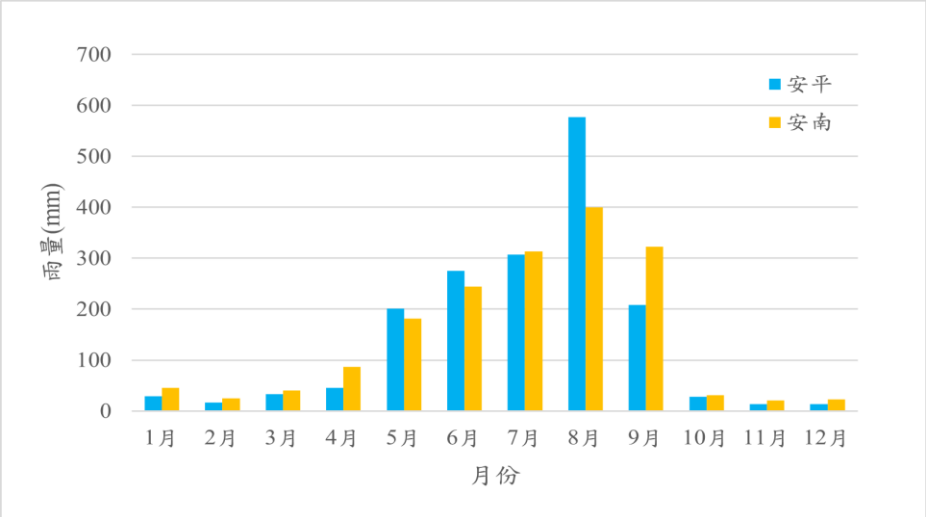


圖 16. 鷸鴴科保護區鄰近測站之雨量統計

- 氣溫

根據中央氣象局紀錄，安南(2013-2022 年)、安平(2013-2022 年)測站年均溫約攝氏 25.38 及 24.74 度(圖 17)，5 至 10 月月均溫皆高於 25 度，以 7 月份 30.14 及 29.61 度最高；12 月至隔年 2 月月均溫皆低於 20 度，以 1 月份 18.8 及 18.02 度最低。和順測站為自動雨量站，無溫度紀錄。

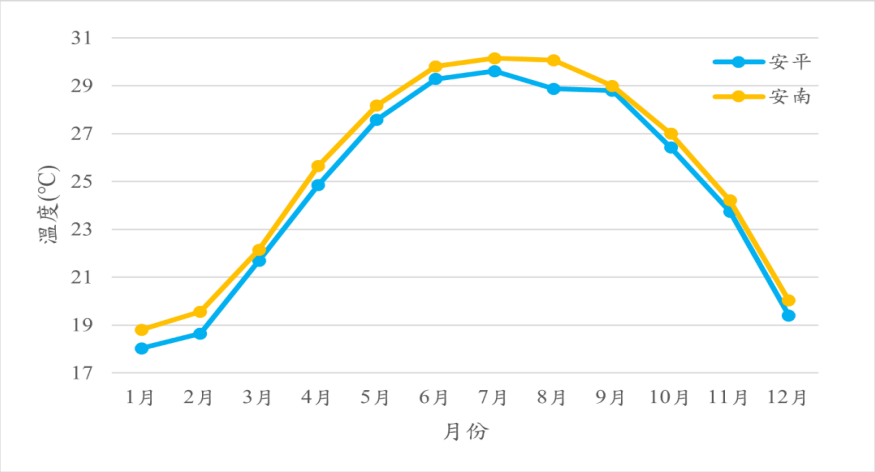


圖 17. 鷸鴴科保護區鄰近測站之氣溫統計

- 潮位

根據水利署紀錄，四草潮位站(2011-2022 年)月平均潮位介於 0.22 至 0.54 公尺(以基隆平均海水面為基準)，月平均高潮位介於 0.50 至 0.83 公尺，月平均低潮位則介於-0.06 至 0.26 公尺之間。受地球公轉軌道及月球公轉軌道影響，8 月份有較高的潮位，平均高潮位、平均潮位、平均低潮位分別為 0.83、0.54、0.26 公尺；而 1 月份潮位普遍較低，平均高潮位、平均潮位、平均低潮位分別為 0.50、0.22、-0.06 公尺(圖 18)。

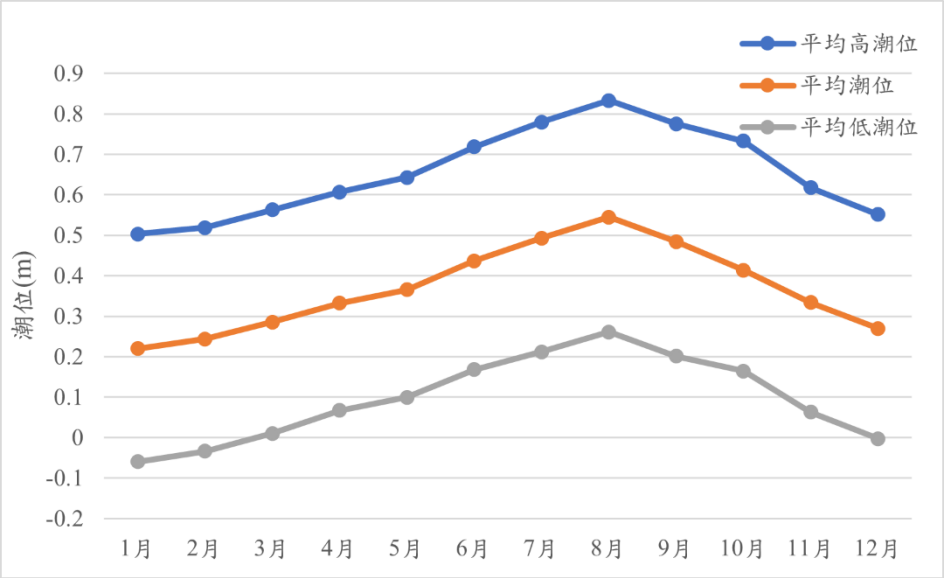


圖 18. 四草潮位站之潮位統計

(二)七股鹽田濕地

圖 19 指出七股鹽田濕地周邊有三座氣象測站，分別是鯤鯓國小(C0N010)、七股(C0X310)及水試所海水繁養殖中心(CM0130)，除了七股測站是 2015 年 12 月設站之外，水試所海水繁養殖中心為 2021 年 12 月新設站，鯤鯓國小則為 2022 年 12 月新設站。因此除了七股測站呈現六年(2018 年至 2023 年)資料之外，水試所海水繁養殖中心呈現二年資料(2022 年至 2023 年)，鯤鯓國小則呈現一年資料(2023 年)。

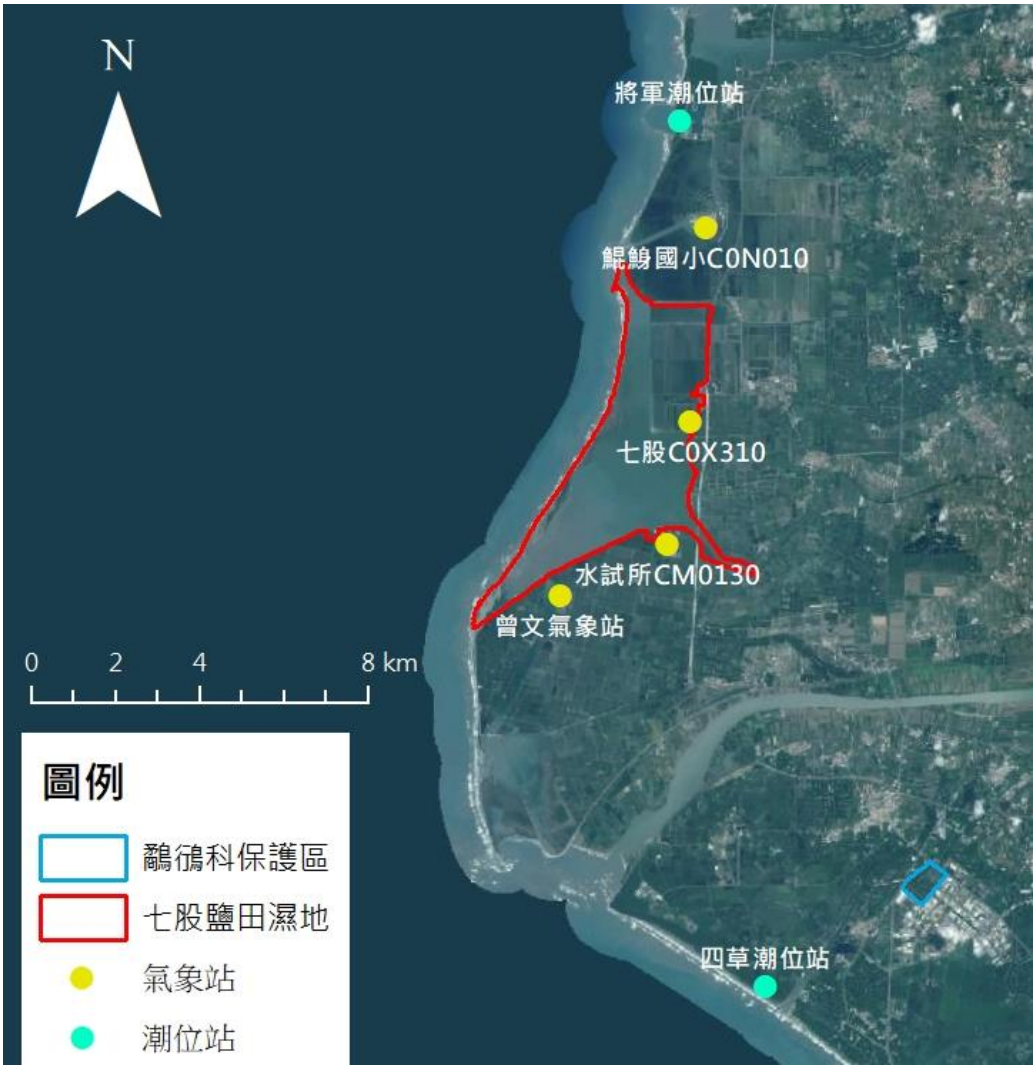


圖 19. 七股鹽田濕地鄰近測站位置示意圖

- 雨量

根據七股氣象站近年(2018 年至 2023 年)紀錄，年均雨量為 1527.1 毫米，月平均降雨量以 8 月份 555.8 毫米最高，1 月份 10.5 毫米最低(圖 20)。水試所測站(2022 年至 2023 年)年均雨量為 918.5 毫米，月平均降雨量為 7 月份 212.5 毫米最高，11 月份 0.75 毫米最低。鯤鯓國小 2023 年則以 10 月份 225.5 毫米最高，2 月、3 月、11 月及 12 月降水量皆為零。

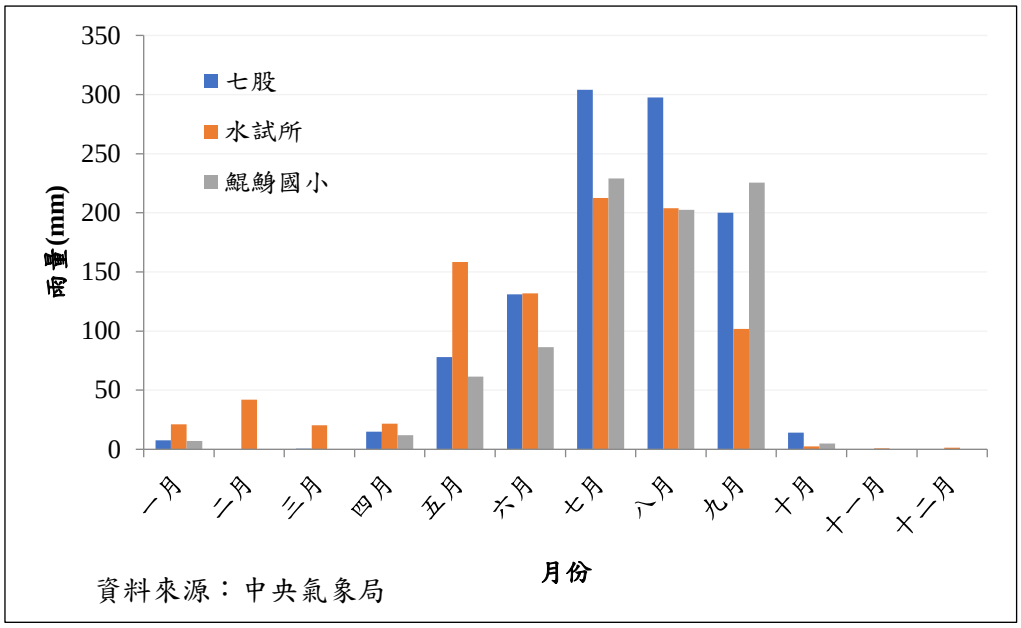


圖 20. 七股鹽田濕地鄰近測站月均雨量

- 氣溫

根據七股氣象站近年(2018 年至 2023 年)月平均月氣溫以 7 月份 29.1 ℃最高，2 月份 17.0 ℃最低。水試所測站為以 7 月份 29.5 ℃高，2 月份 17.0 ℃最低。鯤鯓國小 2023 年則以 7 月份 29.2 ℃最高，1 月份 16.8 ℃最低(圖 21)。

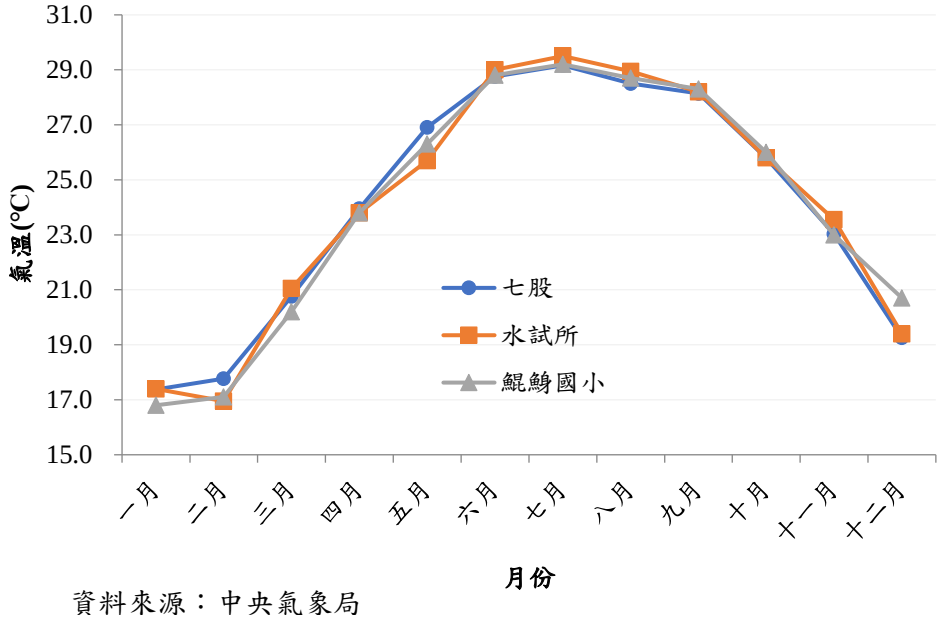


圖 21. 七股鹽田濕地鄰近測站月均氣溫

- 潮位

圖 22 為根據中央氣象局於計畫區周邊之將軍潮位站紀錄，近 20 年（2003 年至 2022 年）之平均潮位介於 0.105 m（1 月）至 0.396 m（8 月），平均高潮位介於 0.805m（1 月）至 1.063m（8 月），平均低潮位介於-0.661 m（1 月）至-0.335m（9 月）。

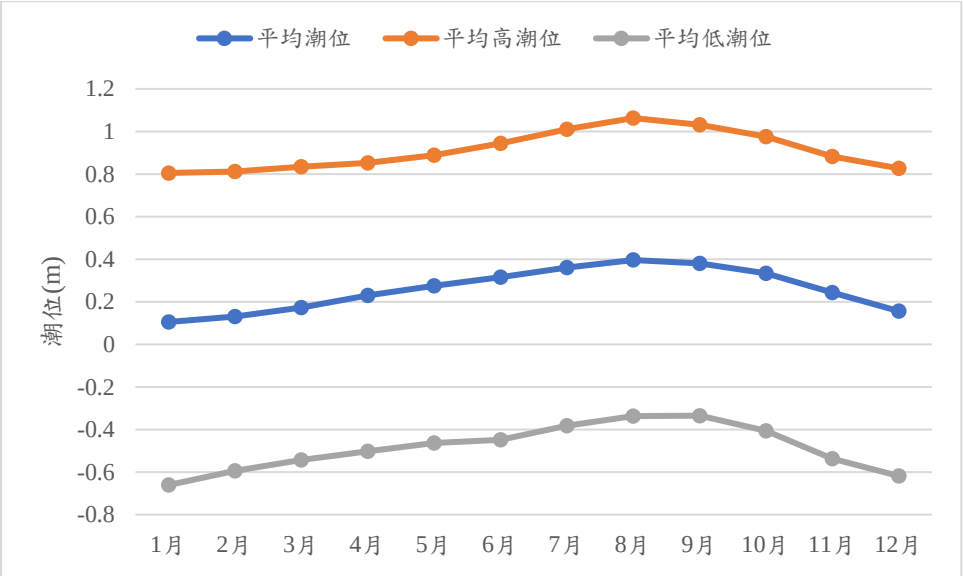


圖 22. 將軍潮位站之潮位統計

4.4 水文資料

計畫區域鹿耳門鷸鴴科生態保育區周邊有鹽水溪(中央管河川)流域內，周邊有曾文溪排水(屬鹽水溪排水系統)、溪心寮排水(屬鹽水溪排水系統)、鹿耳門排水(屬鹿耳門排水系統)；七股鹽田濕地周邊有大寮排水系統、六成排水系統、溫汪排水系統與劉厝排手系統(圖 23)。以下分別敘明：

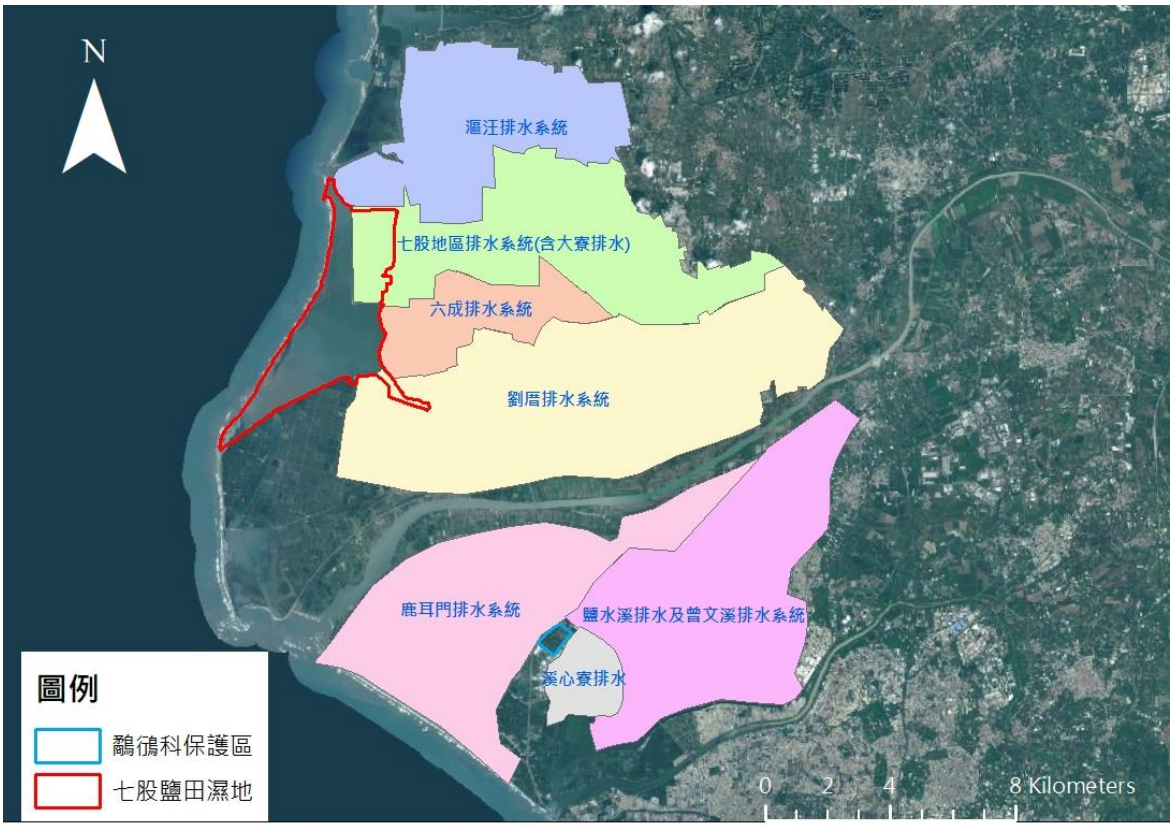


圖 23. 計畫區域周遭排水系統

- 鹽水溪流域

鹽水溪為中央管河川，以 100 年重現期距洪水設計為治理目標。主流發源於台南市龍崎區，向西流經關廟區、歸仁區、新市區、永康區，於安南區與鹽水溪排水匯合後注入臺灣海峽。幹流全長約 41.3 公里，流域面積約 343 平方公里，平均坡降約為 0.0003，權責終點之 100 年重現期流量為 2,730 立方公尺/秒，鹽水溪排水匯流前之 100 年重現期流量為 2,240 立方公尺/秒。

經濟部水利署(2015)於《鹽水溪(含支流菁拔林溪)治理計畫》指出鹽水溪主要有河川水道暢通洪流、水道沖淤變化及泥沙處理、市鎮聚落及重要產業保護、生態維護、河道環境與維護五大課題。治理基本方針以洪氾區及河川管理為主，維護河川自然之植生被覆環境，儘量減少人為工程破壞，以達河道貯蓄及滯洪功效；人口密集及土地利用

度高之河段，才以防洪構造物、儘量放寬流路及疏濬做為防洪減災之主要措施。

- 鹽水溪排水及安順寮排水系統

鹽水溪排水為中央管區域排水，以 10 年重現期距洪水設計，25 年重現期距洪水不溢堤為治理目標。主流發源自臺南市善化區，向西流經新市區、安定區、安南區後，與鹽水溪主流匯流注入臺灣海峽。主流長度約公里，集水區面積約 109 平方公里，平均坡降約為 0.0005，權責終點之 10 年重現期流量為 404 立方公尺/秒。鹽水溪排水系統包含鹽水溪排水、曾文溪排水、六塊寮排水、安順寮排水、看西排水、海尾寮排水、本淵寮排水、新吉排水及溪心寮排水等排水系統。其中鹽水溪排水、曾文溪排水及安順寮排水屬中央管排水，其餘皆為台南市管排水。

經濟部水利署(2010)於《鹽水溪排水系統-鹽水溪排水及安順寮排水治理計畫》指出鹽水溪排水主要問題為地勢平坦低窪、排水路渠底淤積嚴重、部分橋梁及排水路堤岸高度不足、受外水位頂托排水不易。故提出堤岸加高加強、疏濬、增設滯洪池、設置抽水機等治水策略，並以護坡工法、綠帶休閒景觀等方式進行水岸營造。

- 鹿耳門排水系統

鹿耳門排水系統為台南市管區域排水，以 10 年重現期距洪水設計，25 年重現期距洪水不溢堤為治理目標。主流發源自臺南市西港區，向西南流經七股區與安南區後注入臺灣海峽。主流長度約 13 公里，集水區面積約 42.2 平方公里，平均坡降約 0.0002 至 0.0005，權責終點之 10 年重現期流量為 286 立方公尺/秒。鹿耳門排水系統包含鹿耳門排水、竹筏港之一排水、竹筏港之二排水、土城仔排水、土城子一之

二排水、學甲寮排水及溪南寮排水，皆屬台南市管區域排水。

臺南市政府(2011)於《鹿耳門排水系統治理計畫》指出鹿耳門排水系統有通水斷面及堤岸高程不足、地勢平坦且低窪兩大問題，提出渠道拓寬、新建堤防、村落防護(設置圍堤、閘門、抽水機等)、加強區域滯洪及保水功能等治理策略。

- 溫汪排水系統

溫汪排水系統集水面積約 31 平方公里，主要排水系統總長度約 29 公里（圖 2-7），匯集了將軍（溫汪）都市計畫區之下水道排水，及其中、下游之農田及魚塭排水，並匯入將軍溪入海；集水區內內地勢平緩、呈東向西斜，地表高程介於 E.L. 0.2 m ~ E.L. 6 m 間，具有約 4 公里之感潮渠段，排水條件不佳（中興工程顧問股份有限公司，2010）。

- 大寮排水系統

大寮排水系統集水面積約 40 平方公里，主要排水系統總長度約 23 公里（資料來源:中興工程顧問股份有限公司，2010。圖 2-8），匯集了佳里都市計畫區下水道之排水，及其中、下游之農田及魚塭排水，並匯入七股潟湖；集水區內內地勢平緩、呈東向西斜，地表高程介於 E.L. 0.2 m ~ E.L. 8 m 間，具有約 10 公里之感潮渠段，排水條件不佳（中興工程顧問股份有限公司，2010）。此外，依據臺南市政府環境保護局於本排水系統中與本計畫區最相近的篤厚橋測站 2013 年水質監測資料顯示，此測站之河川汙染程度指數為 6.79，屬於嚴重汙染，主要原因為生化需氧量（6.05 mg/l）及氨氣（11.66mg/l）濃度過高而導致。

- 六成排水系統

六成排水全流域皆在七股區內，沿岸重要的景點更龍山宮、龍山

漁市場，龍山宮前的航道，更多家觀光用膠筏集結。(內政部，2016)

- 劉厝排水系統(七股溪)

七股溪(劉厝排水)主流發源於西港區後營國小附近的田間排水溝，其最大支流為樹林溪(七股排水)，兩水在龍雄 1 號橋會合，向西北注入七股潟湖；七股溪原為曾文溪改道後，台江內海陸浮時的曾文溪分流河，後來曾文溪本流河道穩定後，獨立成為一小溪流。(內政部，2016)

4.5 生態環境

(一)鹿耳門鷸鴴科生態保護區

- 植物

四草重要濕地共記錄到逾 200 種維管束植物(臺南市政府，2020)，因土壤鹽分過高，多為耐鹽草本植物。計畫區域依其環境特性可區分為鹽田及漁塭田埂的鹽地類型，主要植物包含鹽地鼠尾粟、濱水菜、鹽定、海雀稗、蘆葦等；鹽田及漁塭堤岸的灌叢類型，主要植物包含銀合歡、苦楝、苦林盤、鯽魚膽、馬櫻丹、土沉香、臺灣海桐等；以及水路和鹽田的紅樹林類型，主要為海茄苳及欖李(內政部國土管理署，2018；臺南市政府，2020)。

- 動物

四草重要濕地具有豐富的營養來源，提供魚蝦貝類、底棲生物、水鳥、岸鳥覓食棲息，共紀錄到鳥類 18 目 52 科逾 200 種、哺乳類 3 目 3 科 6 種、兩棲類 1 目 3 科 4 種、爬蟲類 1 目 6 科 8 種、蜻蛉目 2 科 5 種、鱗翅目 7 科 9 種、魚類 27 種、蟹類 12 科 53 種、底棲生物 22 科 28 種。其中，鳥類包含瀕臨絕種之保育類鳥種，如黑面琵鷺、遊隼、諾氏鷸、東方白鸛、黃鸝、草鴞等；珍貴稀有

之保育類鳥種，如唐白鷺、白琵鷺、魚鷹、日本松雀鷹、赤腹鷹、鳳頭蒼鷹、松雀鷹、灰面鵟鷹、鵟、灰澤鵟、澤鵟、黑鳶、蜂鷹、紅隼、小燕鷗、黑尾鷗、蒼燕鷗、鳳頭燕鷗、綬帶鳥、八哥、黑鸛、畫眉、短耳鴞、水雉、彩鷸等；其他應予保育之鳥種，如大杓鷸、琵嘴鷸、燕鴴、紅尾伯勞等(臺南市政府，2020)。

(二)七股鹽田濕地

- 植物

本濕地紅樹林大多數為海茄苳，其為紅海欖，主要以七股溪出海口，173 甲東側的海寮紅樹林面積最大，約有 5 公頃，另外鹽田中及各大小水路亦有生長。(衍生工程顧問公司，2009)近年調查，七股潟湖周緣地區包含七股鹽田區域，共發現維管束植物共 57 科 146 屬 189 種，其中裸子植物有 2 種，雙子葉植物 134 種及單子葉植物 53 種；包含特有種植物 2 種，非特有之原生植物 114 種，而歸化植物 61 種及栽培植物 12 種。（謝宗欣，2019）

七股鹽田濕地之廢曬鹽田水域，植被類型分為海岸沙地植被、鹽地沼澤植被、人工防風林植被等，海岸沙地植被主要優勢植物有馬鞍藤、濱刺麥、海埔姜、臺灣蒺藜及粗根莖莎草等；鹽地沼澤植被以海馬齒、裸花鹼蓬、蘆葦、鯽魚膽、甜根子草、鹽地鼠尾粟及中華結縷草等為主，鹽田步道上零星生長光梗闊苞菊；人工防風林植被以木麻黃為主。七股鹽田廢曬後積水形成的魚塭中有水生植被，主要以卵葉鹽藻、流蘇菜為主，亦常見甘藻、線葉二藥藻。（謝宗欣，2019）

- 陸域動物

a. 哺乳類

本濕地哺乳類共記錄 4 目 5 科 13 種。本區因屬海岸平原，哺乳類組成較為單調，其中月鼠、刺鼠及小黃鼠為特更種外，其他主要是居家、草地和農墾地的食蟲目、鼠類和蝙蝠，其中不常見種為小麝鼩及刺鼠 2 種。除家犬、家貓之外，都屬於小型的哺乳類。(衍生工程顧問公司，2009)。

b. 兩棲類

鹽田濕地環境不利兩棲類繁衍棲息，但濱海地區的人為設施如蓄水池卻間接提供兩棲類棲息環境(莊孟憲，2000)。根據衍生工程顧問公司於 2009 的調查：七股鹽田濕地僅記錄 3 科 5 種兩棲類，包括:蟾蜍科的黑眶蟾蜍、狹口蛙科的小雨蛙與赤蛙科的澤蛙、虎皮蛙及貢德氏赤蛙(衍生工程顧問公司，2009)。近年調查則僅發現澤蛙(莊孟憲，2018)。

c. 爬蟲類

鹽田環境相對均質且鹽分高，因此爬蟲類豐度低。根據衍生工程顧問公司於 2009 的調查：於計畫區內共記錄 5 科 11 種爬蟲類動物，包含保育類動物：雨傘節、眼鏡蛇；及特有種：蓬萊草蜥(衍生工程顧問公司，2009)。近年調查則有眼鏡蛇、疣尾蝎虎、長尾真稜蜥(莊孟憲，2018)。

d. 鳥類

廢曬鹽田鹽化，不利於其他產業發展，加上雲嘉南風景區的劃設以及台江國家公園的成立，保存大面積的鹽田。早期鹽田仍保有潮汐漲退功能，海水經過沉澱、蒸發與結晶三

種鹽池，不同鹽度適存各種不同底棲生物，因此蘊含豐富底棲生物相(張雍哲，2001)。開闊的地景供水鳥快速掌握環境變化，如：天敵或人為的侵擾等，人工的土堤與磚砌田埂則有抵禦沿海的強風的功效，鹽田提供跗蹠較短的鷸鴴科鳥類完善的休息與覓食環境，因此七股鹽田成為許多過境與度冬水鳥的重要棲息地(陳炤杰，2002)。

已知七股濕地全區含陸域範圍，鳥類種數估計約達 350 種以上，每年前來過冬的鳥類種類包含：雁鴨科、鷸鴴科、鷗科及鷺鷥科鳥類等，記錄約 200 種以上。其中包含許多珍貴且稀有之鳥類，譬如黑面琵鷺、東方白鸛、諾氏鷸、大杓鷸、遊隼、魚鷹、黑嘴鷗、琵嘴鷸、諾氏鷸、黑嘴端鳳頭燕鷗等多種受國際關注的鳥種以及夏候鳥小燕鷗及一般常見高蹺鴴、東方環頸鴴、小環頸鴴等鳥種（內政部，2016），其中又以黑面琵鷺最具代表性是七股地區重要的保護傘物種(呂翊維等，2015)，在南鹽鹽田近年有一穩定的黑面琵鷺族群度冬(王穎，2011)，因此成為國際鳥盟（Bird Life International）認定之臺灣重要野鳥棲息地（Important Bird Area，IBA）。另根據七股鹽田濕地水文生態環境管理規畫(王筱雯，2017)，除了黑面琵鷺、小燕鷗、大杓鷸、魚鷹等保育類鳥種外，調查再發現 3 種保育類水鳥，分別為珍貴稀有保育類琵嘴鷸與巴鴨，以及其他應予保育之半蹼鷸，另外在區外則記錄瀕臨絕種保育類諾氏鷸及名列台灣鳥類紅皮書國家極度瀕危的黑嘴鷗。

由社團法人台灣黑面琵鷺保育學會針對青鯤鯓鹽田、扇形鹽田、南鹽鹽田及臺區鹽田進行鳥類調查，鳥類共記錄 11

目 29 科 88 種 223,644 隻次，其中以雁鴨科最多，鴴科次之，並記錄有保育類鳥類 11 種，特有亞種 3 種。該計畫將樣區內 14 種優勢鳥種分為 7 類同功群進行活動水深及熱點分析，發現高視步行鷺鳥類、泛淺水鳥類及淺水潛水鳥類集中在青鯤鯓鹽田；深水覓食涉禽類主要活動範圍在青鯤鯓鹽田東側的原結晶池區以及南鹽田第 101 區；憑觸覺於灘地覓食涉禽類隨適宜的灘地環境出現而頻繁移動，無明顯熱區；憑視覺於灘地覓食涉禽類及淺水俯衝潛水鳥類主要棲息於南鹽鹽田東南側的高灘裸露地。（宋心怡，2020）

- 水域動物

相對於陸域環境的均質地景，水域環境地景較豐富，包括鹽田、河口潟湖與潮溝等淡鹹水環境，孕育多樣的水域生態。七股濕地全區有記錄的淡鹹水魚類種類共計有 78 科 257 種，以河口魚為主要組成，而吳郭魚是區域內最為易見的魚種，其次為歸屬鯔科，一般被統稱為豆仔魚的魚種，如：前鱗鮻、白鮻、大鱗鮻也相當常見，而虱目魚則為台南地區養殖業的大宗(內政部，2016)。屬於鰕虎科，偏好棲息於河口潮間帶與紅樹林潮溝等環境的彈塗魚，則被視為生態旅遊與環境教育的代表性物種(許晉榮，2005)。

依據 2010 年七股鹽田與曾文溪口濕地調查監測計畫成果報告顯示，七股地區共記錄 31 科 46 屬 64 種魚類，以鰨科、鑽嘴魚科及鯔科等為該地區的優勢物種(成大海洋生物及鯨豚研究中心，2010)。而鹽田濕地更是許多仔稚魚絕佳的成長場所。由陳明志(2012)的研究資料指出，七股鹽田共可歸類出 14 目 42 科的稚魚種類，其中以鯷科的魚種數量最多，其次則為雙邊魚科魚種。此外，發表於 2013 年的新種鰕虎科魚種—台江擬鰕虎(*Pseudogobius*

taijiangensis)，乃國立海洋大學生物研究所團隊於台江國家公園內所發現與發表的新種(內政部，2016)。

根據2016年七股鹽田濕地保育利用計畫，底棲無脊椎動物共記錄85科243種。在鹽田與曾文溪口濕地監測成果報告中亦提出七股鹽田地區的蟹類種類多以棲息於河口的梭子蟹科為主，其中又以鈍齒短槳蟳為優勢種。其他底棲生物相的部分，由2010年監測報告結果中，共採集到16科20種，其中以沙蠶科、纓鰓蟲科、肩米螺科及錐蜷科等為主要優勢種(成大海洋生物及鯨豚研究中心，2010)。

由邱郁文等人的調查，七股潟湖軟體動物記錄到33科79種，其中在南灣碼頭發現的微小微鰥烏賊是世界上體型最小的烏賊；節肢動物計17科30種，在鹽田區記錄到雙齒擬相手蟹及兇狠圓軸蟹，網仔寮沙洲則有藍紫陸寄居蟹、雙扇股窗蟹、短指和尚蟹、角眼沙蟹等；(邱郁文，2018)。七股潟湖內棲息著大量劍角新對蝦、長毛對蝦、草對蝦、短溝對蝦及近緣新對蝦的幼蝦，而潟湖外的海域則以角突仿對蝦、長角仿對蝦、中華仿對蝦、鬚赤蝦等的成蝦為主。草對蝦、日本對蝦、短溝對蝦及劍角新對蝦的幼蝦會利用七股潟湖作為生息的場所，而在潟湖中蝦種的生活史類型以河海洄游性的蝦種為主。而且，七股潟湖不僅是高經濟性遠海梭子蟹成長的棲息地，也是唇瓣烏賊幼體的覓食場，而日本暗耳烏賊則可能在七股沿海完成生活史。(陳孟仙，2019)

近年由社團法人台灣黑面琵鷺保育學會針對青鱟鯓鹽田及扇形鹽田進行水域生物調查，共計調查到75科115種，包含魚類22科38種、蝦蟹類含其他節肢動物15科28種、螺貝類18科23種、水生昆蟲2科4種及環節動物含其他無脊椎底棲動物18科22種，

未調查到特有種及保育類動物，外來種記錄到魚類 2 科 2 種、螺貝類 2 科 2 種。（宋心怡，2020）

五、現地調查與評估

本計畫有兩處計畫區域，其中一處為—鹿耳門鷸鴴科生態保護區，其現地調查重點在於延續台江國家公園 112 年度碳匯功能調查結果，以及使用台江國家公園管理處提供之欖李地上、地下部植物體，完整建立屬於台灣欖李植株之異速生長方程式。本計畫已完成調查四季之碳匯功能，以及欖李異速方程式之建立，並將 2023 年與本年度欖李調查結果，使用本方程式重新計算，以得出最符合台灣欖李紅樹林之碳匯結果。

另一處計畫區域為七股鹽田濕地，其現地調查重點在於計畫區域內高程分布、水質以及碳匯功能，並將調查結果進行微棲地類型判釋。高程測量方面，本計畫蒐集國內外研究文章、評析回顧等，且於七股鹽田濕地進行正射影像、高程資料、無人機空拍影像等現地調查，分析出七股鹽田濕地之高程分布，並完成七股鹽田濕地之微棲地類型判釋。水質測量方面，由北至南共挑選 4 處樣站，各執行每季一次水質監測，本計畫已完成四季水質調查。碳匯功能測量方面，於七股溪口紅樹林生態保護區—海茄苳植群、鹽埕一般管制區—鹽灘地水域，以及鄰近鹽灘地海草等棲息地挑選各一處樣區進行碳匯功能調查及估算，且皆已完成四季碳匯功能調查。計畫區域兩處工作項目如表 8 所示。

表 8. 本年度計畫區域兩處工作項目比較

工作項目	鹿耳門鷸鴴科生態保護區	七股鹽田濕地
高程結果分析	X	V
水質水文調查	X	V
微棲地判釋	X	V
建立欖李異速生長方程式	V	X
碳匯功能調查	V	V
生態系統服務分析	X	V

5.1 微棲地劃設

微棲地(microhabitat)是生物生存直接接觸且緊鄰的生長環境，不同的微棲地類型亦展現不同底棲生物量，並間接提供了保育水鳥、候鳥的生物充足的食物資源與棲息空間亦提供紅樹林物種良好的生長環境。

計畫區域分為台江國家公園鹿耳門鷸鴴科生態保護區以及七股鹽田濕地，本計畫整理兩處計畫區域如表 9 所示。關於兩處計畫區域之微棲地劃分方式詳細敘述於後續內文中。

表 9. 兩處計畫區域微棲地面積

面積(ha)	台區鹽田	七股潟湖	鷸鴴科生態保護區
紅樹林	0.34	10.68[A]	21.45[B]
水域	318.33	11,36.85	18.37
裸露地	67.69	-	13.9
沙洲	-	150.18	
防風林	-	21.55	-
潮間帶	-	22.24	-

※備註：

[A] 七股潟湖紅樹林是沙洲上紅樹林 5.76 公頃與七股溪口紅樹林 4.92 公頃總和。

[B] 鷸鴴科生態保護區紅樹林是海茄苳 17.52 公頃與欖李 3.93 公頃總和。

[C] 鷸鴴科生態保護區水域為淡水草澤 1.47 公頃、鹽水草澤 13.29 公頃及潮溝 3.61 公頃總和。

鹿耳門鷸鴴科生態保護區之微棲地判釋已於去年計畫完成，其微棲地判釋結果共 6 種類型，分別為：鹽沼草澤、紅樹林植被、淡水草澤、泥質灘地、潮溝水域(如圖 24)。

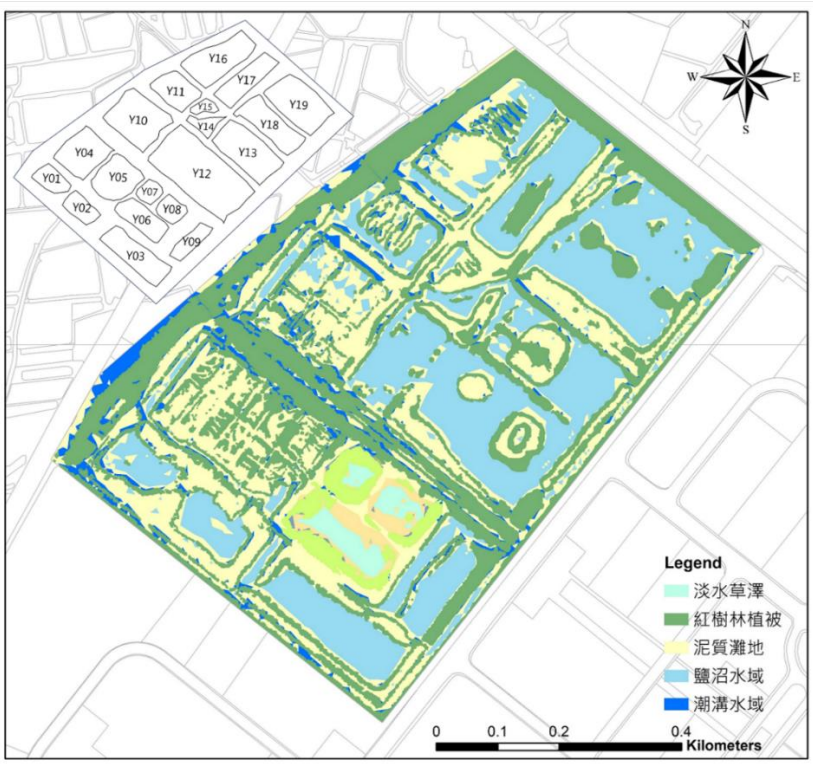


圖 24. 鹿耳門鷸鴴科生態保護區微棲地分類(引用自台江國家公園(2023))

除了細分鹿耳門鷸鴴科生態保護區內紅樹林植被樹種之外，本計畫透過地形測量、無人機空拍及收集歷年研究資料瞭解計畫區域之高程地形與探討棲息地環境差異，進行七股鹽田濕地之微棲地劃設。由於計畫範圍之七股鹽田濕地包含台區鹽田與七股潟湖，本計畫引用廖彥翔(2019)與彭皓澤(2021)於七股台區鹽田之高程測量結果，其高程測量方式為現地使用 RTK 量測及地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)當中的 IDW 內插法得到之結果，大致上整體高程呈現東高西低。

七股潟湖因幅員廣大，單靠人力難以全面涉及，若僅使用無人機進行正射影像空拍，其空拍結果易受水面波浪影響難以呈現真實高程，故本計畫引用經濟部水利署第六河川分署 2023 年測量報告之數據資料，其高程測量方式為使用 RTK 與單音束測深儀，利用聲波在水中來回傳遞速度與時間換算成底床至感應器距離，再以 GNSS 軟體進行差分處理及線性組合計算出潟湖底床高程，整體高程越往潟湖越高，呈現東低西高。七股鹽

田濕地高程如圖 25 所示。

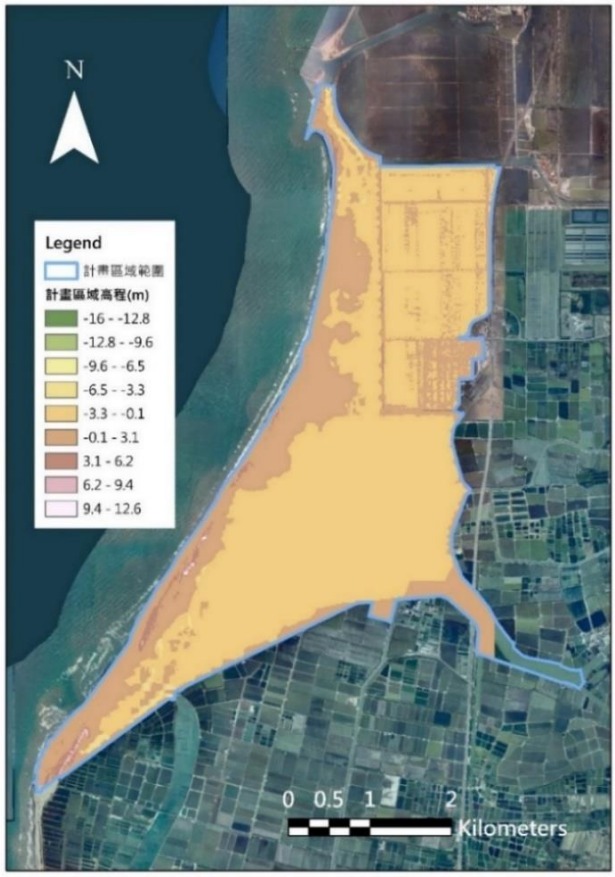


圖 25. 七股鹽田濕地之高程圖(本計畫產製)

衛星影像、空拍影像有多種類型，其中多光譜遙測影像包含多個波段組合，可以用來解釋和分析影像，藉由轉換多光譜影像中的不同波段，能使影像中的某些特徵更加明顯，常見做法為通過從兩個或多個圖像波段生成新影像，這種方法生成的影像能夠加強對目標物特性的表示(Xue and Su, 2017)。

台區鹽田前身以曬鹽為主，鹽田結構包含大、小蒸發池與結晶池，因長期曬鹽使得鹽分積聚，廢曬後因鹽度過高而使植物難以生長(臺南市政府，2013)，故本計畫忽略台區鹽田內少數植物分布，僅利用常態化差值水體指標(NDWI)進行判釋多光譜(Multi Spectral)空拍影像。

常態化差值水體指標(Normalized Difference Water Index, NDWI)是利

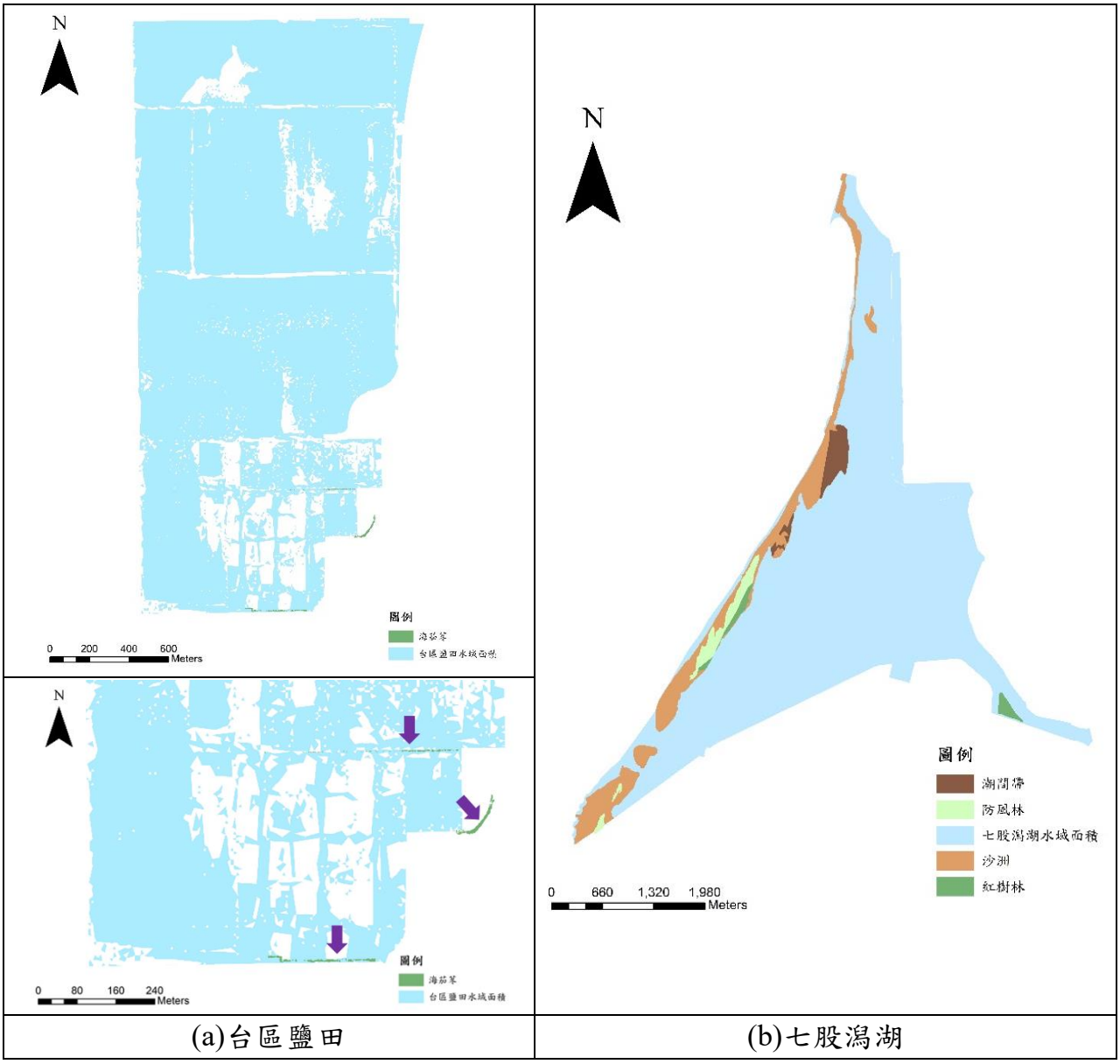
用水體對於可見綠光與近紅外光不同反射率的特性，於影像中凸顯水體分佈。NDWI 為近紅外光波段與綠光波段之差和近紅外光波段與綠光波段之和的比值(Mcfeeters, 1996)，計算公式如下：

$$NDWI = \frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN}$$

其中，NIR 為近紅外光波段，GREEN 為綠光波段。

根據 NDWI 判釋結果，台區鹽田微棲地可分為水域、裸露地及少數紅樹林植被，整體以水域為主體，水域面積約為 318.33 公頃，占台區鹽田整體面積約八成，裸露地則主要集中於較南邊之台區鹽田範圍，其中裸露地周邊有少許海茄苳紅樹林植被，但因面積太少無法使用 NDVI 進行判釋，故本計畫以人工目測進行判釋，面積約為 0.34 公頃(圖 26(a) 下圖紫色箭頭處)。台區鹽田微棲地劃分如圖 26(a)所示。

由於經濟部水利署第六河川分署 2023 年測量報告提供之七股潟湖正射影像無紀錄近紅外光波段(NIR)，無法使用常態化差值指標進行判釋，故本計畫使用七股潟湖正射影像並搭配衛星影像，以人工目視方式判釋七股潟湖區域內不同微棲地。判釋結果七股潟湖分為五種微棲地，分別為水域、沙洲、潮間帶、防風林以及紅樹林，其中水域面積占最大宗，約為 1136.85 公頃；其次是沙洲，面積約為 150.18 公頃，依序分別是七股溪口紅樹林生態保護區之紅樹林，面積約 10.68 公頃(為潟湖之紅樹林為沙洲上(5.76ha)與七股溪口紅樹林(4.92ha)總和)、潮間帶面積約為 22.24 公頃，最後是位於沙洲上之防風林，面積約為 21.55 公頃。七股潟湖微棲地劃分如圖 26(b)所示。



(a)台區鹽田　　(b)七股潟湖

圖 26. 七股鹽田濕地微棲地劃設(本計畫產製)

5.2 水文水質

水文驅使了濕地的發展及功能，水環境提供濕地中生物棲息之環境，而水循環牽動了水體的交換，並為生物提供了食物的來源。本計畫範圍雖分為鹿耳門鷸鴴科生態保護區以及七股鹽田濕地，然鹿耳門鷸鴴科生態保護區水文水質情況已於去年完成調查，故本計畫水文水質測量範圍以七股鹽田濕地為主。

(一) 水文水質樣點挑選

本計畫彙整前人研究(如表 6)與搭配碳匯調查，於七股潟湖重要水體入流口挑選四處樣點進行水質測量，由北而南分別為南航道、六成排水口、七股溪流域(臨近七股紅樹林位置)以及十五孔碼頭 (如圖 27)。其中，南航道、六成排水及十五孔碼頭因有前人進行研究，故本計畫挑選相同之點位進行水質調查，以利後續水質資料比較；七股溪流域之水文與水質，為七股海茄苳紅樹林碳匯結果影響因子之一，故於七股溪流域進行潮位與水質檢測，藉由水文與水質資料以及碳匯測量結果，分析兩者之間關聯性。各樣點現場照片及描述由北而南如表 10 所示。



圖 27. 七股鹽田濕地水質調查樣點(本計畫產製)

表 10. 由北而南四處水質樣點照片及說明

地點	GPS 點位	環境描述	現場照片
南航道	23°10'20.7"N 120°04'41.7"E	1.為大寮排水匯入潟湖出口，位於海巡署西寮執檢站前小碼頭。 2.水質採樣點位於離堤岸約3~5 公尺處浮動碼頭前。	

六成排水口	23°08'08.6"N 120°05'20.1"E	1.六成排水匯入潟湖出口，位於六成抽水站旁。 2.水質採樣點位於堤岸直接垂下水桶採水。	
七股溪流域	23°06'59.6"N 120°05'30.6"E	1.大塭寮排水與七股溪匯流處，位於紅樹林保護區南側。 2.水質採樣點位於紅樹林根系邊緣濱水處。	 (a)退潮  (b)滿潮
十五孔碼頭	23°06'48.1"N 120°03'08.0"E	1.大漕溝與潟湖匯流處，位於十五孔水門北側。 2.水質採樣點位於堤岸直接垂下水桶採水。	

(二) 水文水質測量方法

本計畫團隊以每季一次頻度，以人工目視水尺方式進行水深紀錄，並使用濁度計(HACH 2100Q)、水質儀(YSI Professional Plus，含水溫、壓力、溶氧、導電度、鹽度、酸鹼值等電極)記錄水質，且同時採集樣點水體進行化學需氧量、生化需氧量、總磷、氨氮、硝酸鹽氮、葉綠素 a 以及總有機碳(TOC)等檢驗，瞭解七股潟湖重要水體入流口水質

情況。除水質之外，本計畫亦每季於七股溪流域南側設置壓力式水位計(HOBO U20)以釐清該地潮汐水位高度變化，並搭配碳匯功能測量結果以瞭解水文條件生態系統服務關聯性，水質分析項目及測量方法如表 11 所示。

表 11. 水質分析項目及測量方法

水質分析項目(縮寫, 單位)	測量方法
現場檢測	
水溫(T, ℃)	水質儀測量
溶氧(DO, mg/L)	水質儀測量
鹽度(Sal, psu)	水質儀測量
導電度(Cond, ms/cm)	水質儀測量
酸鹼值(pH)	水質儀測量
懸浮固體(SS, mg/L)	水質儀測量
濁度(Turb, NTU)	濁度計測量
實驗室分析	
總有機碳(TOC, mg C/L)	燃燒／紅外線測定法（NIEA W530.51C）
化學需氧量(COD, mg/L)	重鉻酸鉀迴流法（NIEA W516.56A）
生化需氧量(BOD, mg/L)	水中生化需氧量檢測方法（NIEA W510.55B）
總磷(TP, mg/L)	分光光度計／維生素丙法（NIEA W427.53B）
氨氮(NH_3-N mg/L)	靛酚法（NIEA W437.52C）
硝酸鹽氮(NO_3-N mg/L)	鎘還原流動分析法（NIEA W436.52C）
葉綠素 a (ChlA-A, μg/L)	丙酮萃取法／分光光度計分析法（NIEA E507.04B）

(三) 水文水質測量結果

本計畫壓力式水位計於 2024 年 3 月 4 日至 4 月 22 日非汛期間紀錄結果，搭配水體密度及大氣壓力進行修正並換算為水深，再使用本計畫測量高程資料將水深換算為水位高程。

從監測資料顯示七股溪流域與將軍潮位站滿潮時間近乎同步，退潮時七股溪流域與將軍潮位站則會有約 2 小時延遲。推測是因為七股

溪口入水道較將軍潮位入水道窄，再加上鄰近七股溪口高程較七股潟湖內部約 3 公尺，故退潮時潮水較難以排出。監測結果如圖 28 所示。

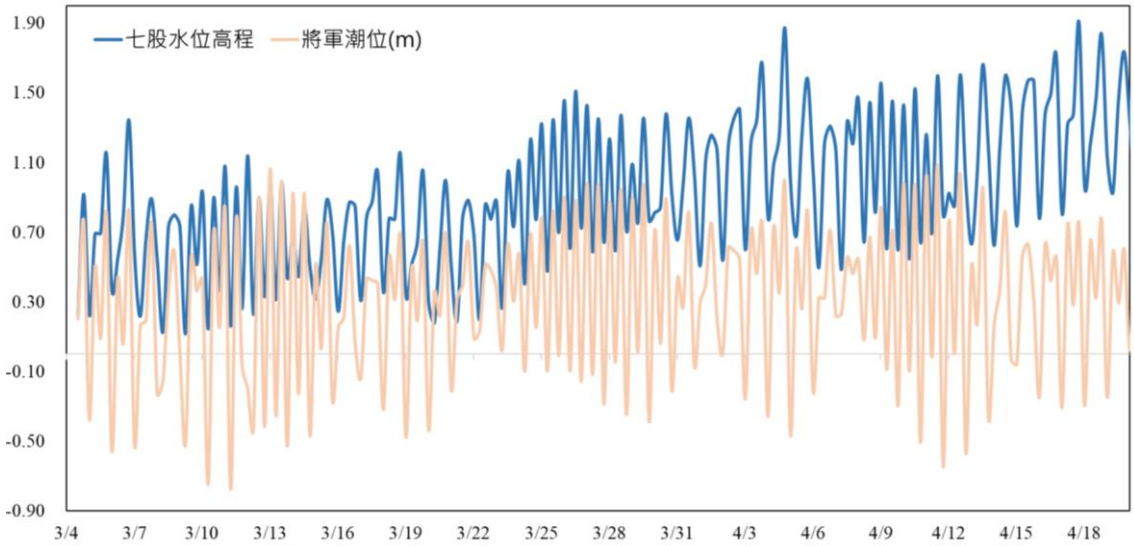


圖 28. 七股溪流域水位高程與將軍潮位比較(本計畫產製)

本計畫分別於 2024 年 2 月、5 月、8 月以及 10 月完成四處樣點冬季、春季、夏季、秋季之水質調查，其中南航道與七股溪流域為本計畫人工設置 2 米水尺，六成排水口以及十五孔碼頭則有官方設置之水深測量設備。由於 5 月調查時間適逢滿潮，故四處水深皆較深，其中南航道與七股溪流域於現場觀察時未發現水尺，故推測當時水位已高於水尺本身高度，僅能推估範圍而無法得出確切值。除此之外，8 月調查時，前往南航道設置水尺處道路因被雨水淹沒而無法前往；10 月調查時則發現原設置水尺處，水尺不復存在反而變成一根水泥管，故南航道 8 月與 10 月皆無水深數據。現場水質檢測結果如表 12 所示。

根據結果可發現四處樣區中，導電度、總溶解固體、鹽度三者 8 月與 10 月調查結果遠少於 2 月與 5 月，推測 7 月底與 9 月底因颱風凱米與山陀兒帶來豐沛雨水，稀釋水中總溶解固體、鹽度濃度，然而大量雨水伴隨而來之濁流流入，使得四處樣區濁度大幅上升。

表 12. 現場水質檢測結果

項目	月份	南航道	六成 排水口	七股溪 流域	十五孔 碼頭
水深(cm)	2 月	73	210	50	148
	5 月	>135	260	>128	167
	8 月	ND	183	37	119
	10 月	ND	158	25	114
溫度(℃)	2 月	26.9	26.1	25.7	25.2
	5 月	27.9	27.8	28.3	27.5
	8 月	34	32.7	35	31.3
	10 月	29.9	35.6	32.2	29.1
溶氧(mg/L)	2 月	5.34	5.7	4.07	5.46
	5 月	5.32	4.37	3.87	5.13
	8 月	5.5	4.03	3.46	3.4
	10 月	5.07	4.49	5.51	3.33
導電度 (μs/cm)	2 月	55188	59477	57572	54976
	5 月	54460	53571	50003	53945
	8 月	18175	17799	12885	42068
	10 月	19165	19172	21642	46413
總溶解固體 (mg/L)	2 月	35896	38655	36947	35728
	5 月	35402	34822	32508	35062
	8 月	11817	11569	8360	27343
	10 月	12462	12463	14064	30171
鹽度 (psu)	2 月	36.57	39.79	37.8	36.43
	5 月	35.98	35.32	32.68	35.6
	8 月	10.63	10.4	7.29	26.84
	10 月	11.32	11.31	12.89	30.3
pH 值	2 月	8.28	8.11	8.06	8.3
	5 月	8.38	8.21	8.24	8.41
	8 月	7.23	7.2	6.92	7.07

	10 月	7.66	7.54	7.45	7.47
濁度 (NTU)	2 月	10.2	20.2	20.7	4.49
	5 月	12.8	20.9	50.1	12.4
	8 月	43.6	48.9	86.5	12.4
	10 月	29.6	49.1	50.6	52.7

除了現場水質檢測項目之外，本計畫亦將水樣送實驗室進行分析(如表 14 至表 20 以及圖 29 至圖 35)，並將結果與前人文獻資料以及法規規定進行比較。整體而言，四區水樣結果皆低於《重要濕地內灌溉排水蓄水放淤給水投入標準》。本計畫亦列出前人文獻水質數據之最高值與最低值，並以虛線連接代表水質範圍。

結果顯示四處樣區 8 月與 10 月 TOC、BOD 與 COD 濃度較 2 月與 5 月皆有上升，推測為 7 月底凱米颱風以及 9 月底山陀兒颱風帶來大量雨水，雨水中流經魚塭、蚵田等富含 TOC、BOD、COD 等環境，再流入計畫區域水域中，儘管如此，BOD 與 COD 檢驗結果仍是低於法規標準，顯示水質較以往有顯改善。本計畫進一步使用化學需氧量(COD)與生化需氧量(BOD)之比值(COD/BOD)做為水質狀況參考。由於調查區域環境水樣含有廢污水成分與鄰近社區之生活污水、畜牧廢水及魚塭養殖為主之排放源，其中生活污水及畜牧廢污水 COD/BOD 較低。然而，由於調查區域屬於下游，表示有大量水體來自於上游廢污水累積，這些來自廢污水因已在河川流動許久，裡面 BOD 早已被分解，剩下難分解有機物即為 COD。再加上感潮帶來海水，因在鹽分影響下，污泥微生物分解有機物活性低，故海水很難測出 BOD，兩者因素影響下使得計畫區域水體整體 COD/BOD 較高。然而，由於本計畫調查水樣以環境水樣為主，並非新鮮廢污水，故 COD/BOD 比值大小僅能說明水體中難分解有機物多寡，無法實際得知有機物本身是何

種物質，以及水域中是否還含有其他污染物質。

根據環境部提供之卡爾森 (Carlson) 單一參數指數判定優養化之標準(表 13)，葉綠素 a 以及總磷(TP)為判斷水體是否優養化之標準，除此之外，水體中之由氨氮硝化為硝酸鹽氮亦為藻類增生養分來源之一。自圖 32 至圖 35 顯示除了本年度南航道與葉綠素 a 8 月與 10 月有三處樣區(南航道、六成排水口、十五孔碼頭)高於前人研究之外，其餘檢測項目(總磷、氨氮、硝酸鹽氮)於 8 月及 10 月皆少於前人研究結果，且亦低於法規標準。除此之外，檢測結果可看出 2017 年時，四處樣區之硝酸鹽氮、氨氮以及總磷濃度皆偏高，其中總磷濃度在四處樣區中甚至遠高於法規標準，推測當時水體有優養化趨勢。為改善水質問題，臺南市政府於 2019 年完成劉厝排水水質淨化場用以淨化七股、佳里及西港等 3 區民生污水及畜牧排放水，故本計畫測得之葉綠素 a、總磷(TP)、硝酸鹽氮水質數據皆遠低於 2017 年結果。

表 13. 卡爾森 (Carlson) 單一參數指數判定優養化之標準

等級	總磷 (μg/L)	葉綠素 a (μg/L)	透明度 (m)
貧養	< 12	< 2.6	> 4
普養	12 ~ 24	2.6 ~ 7.2	2 ~ 4
優養	> 24	> 7.2	< 2

表 14. 四處樣區四季總有機碳檢測結果

總有機碳(TOC)				
	南航道	六成排水口	七股溪流域	十五孔碼頭
二月	4.8	5.1	6.6	6.0
五月	1.6	3.7	4.6	2.2
八月	9.4	10.6	7.7	7.3
十月	13.5	11.9	10	8.6
法規/規定上限	無			

(單位：mg C/L)

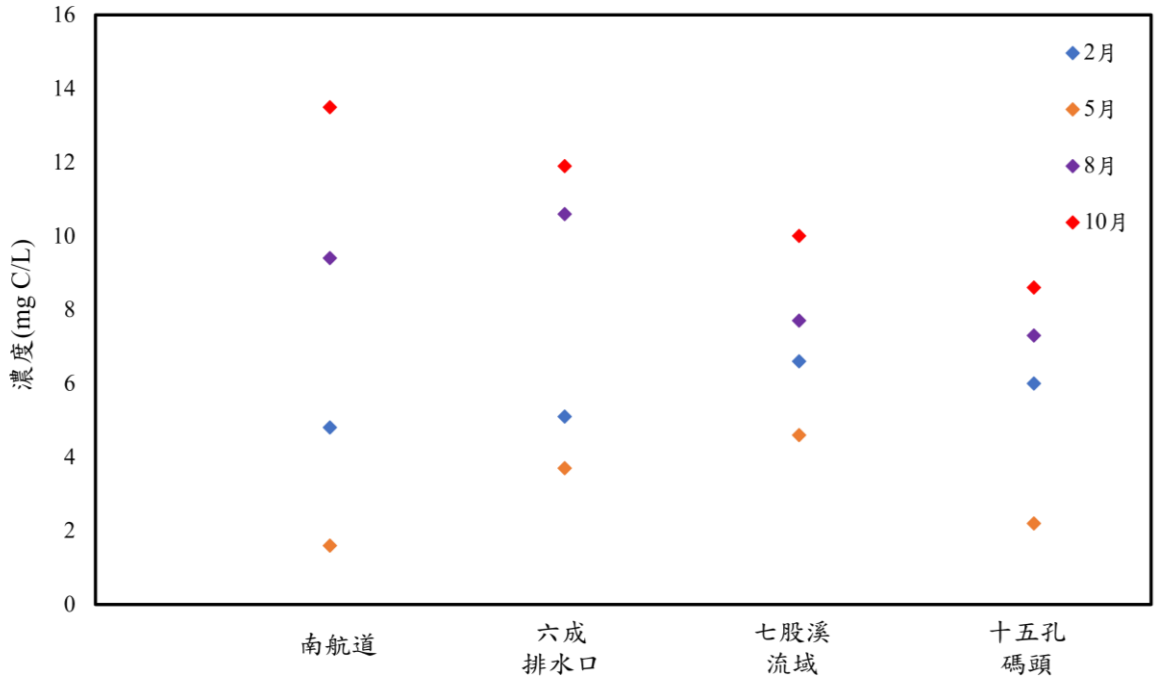


圖 29. 總有機碳(TOC) (本計畫產製)

表 15. 四處樣區四季化學需氧量檢測結果

化學需氧量(COD)				
	南航道	六成排水口	七股溪流域	十五孔碼頭
二月	35.6	36.8	45.4	42.2
五月	23.4	20.4	34.8	42.7
八月	44	47.8	48.4	42.8
十月	37.1	35.5	43	33.5
法規/規定上限	75			

(單位：mg/L)

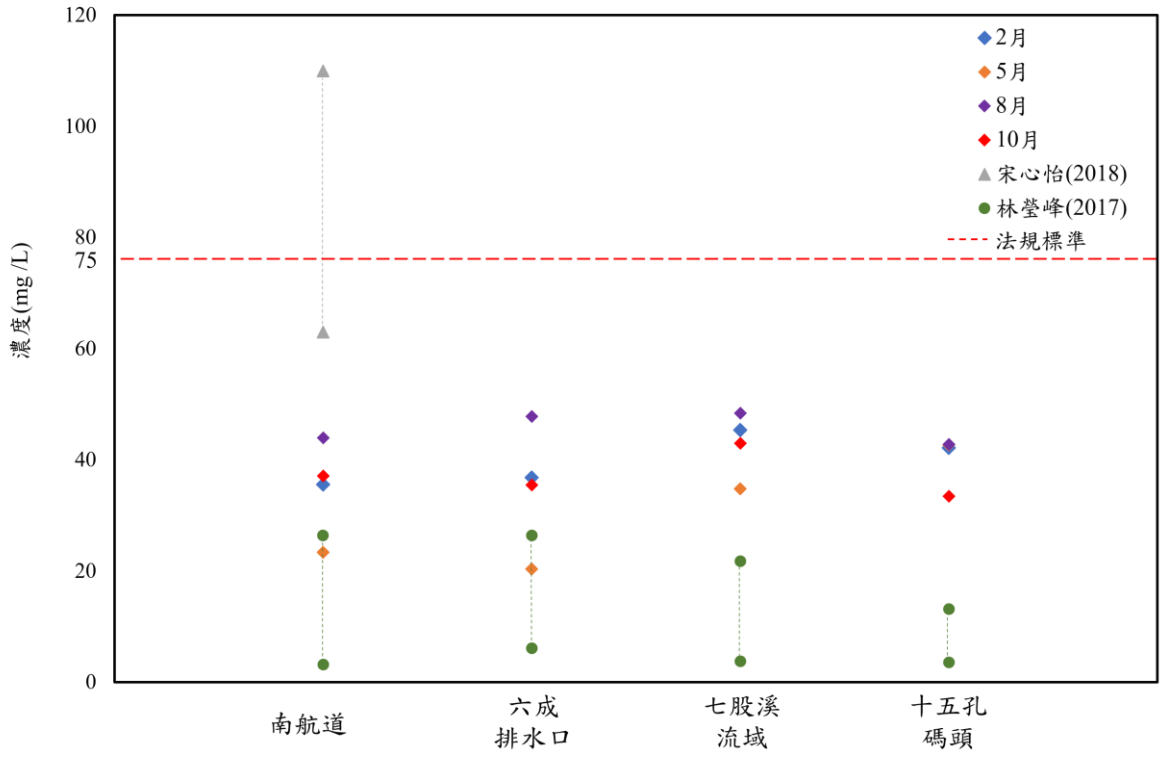


圖 30. 化學需氧量(COD) (本計畫產製)

表 16. 四處樣區四季生化需氧量檢測結果

生化需氧量(BOD)				
	南航道	六成排水口	七股溪流域	十五孔碼頭
二月	3.9	4.2	5.4	5.1
五月	2.2	ND	4.9	8.2
八月	8.1	9	7.1	6.9
十月	7.2	6.6	7.8	6.4
法規/規定上限	22.5			

(單位：mg/L)

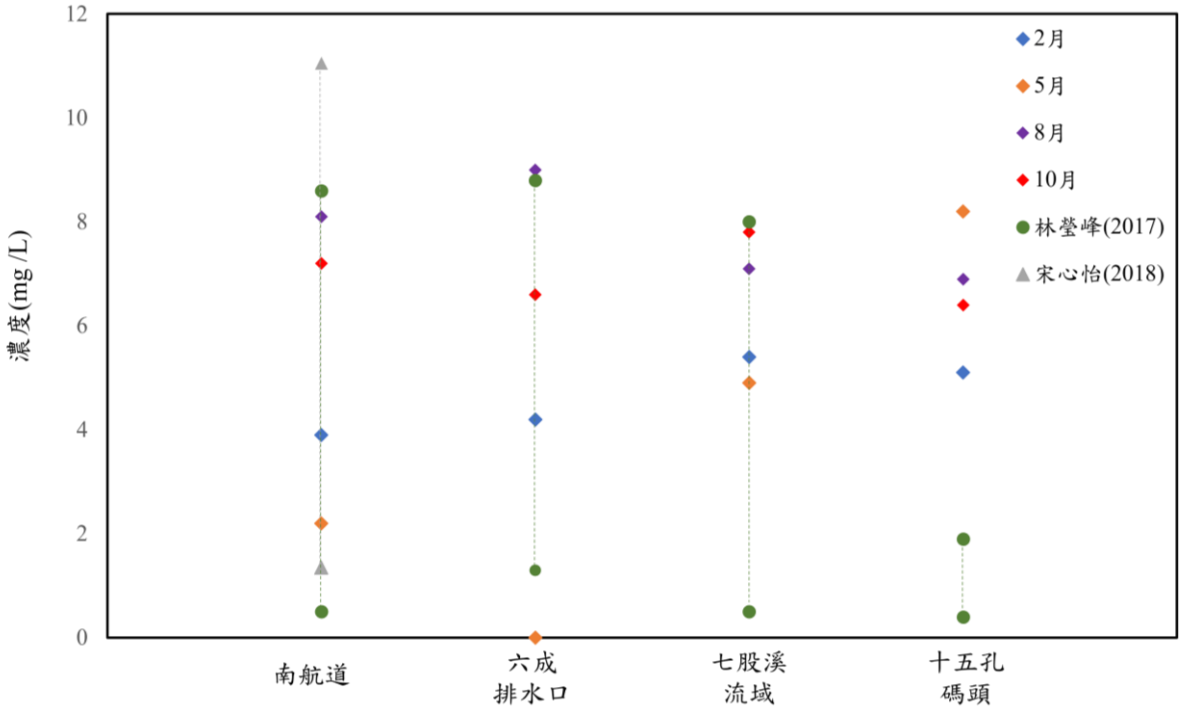


圖 31. 生化需氧量(BOD) (本計畫產製)

表 17. 四處樣區四季總磷檢測結果

總磷(TP)				
	南航道	六成排水口	七股溪流域	十五孔碼頭
二月	0.076	0.181	0.531	0.051
五月	0.027	0.098	0.23	0.039
八月	0.208	0.339	0.614	0.085
十月	0.349	0.389	0.145	0.086
法規/規定上限	2			

(單位：mg/L)

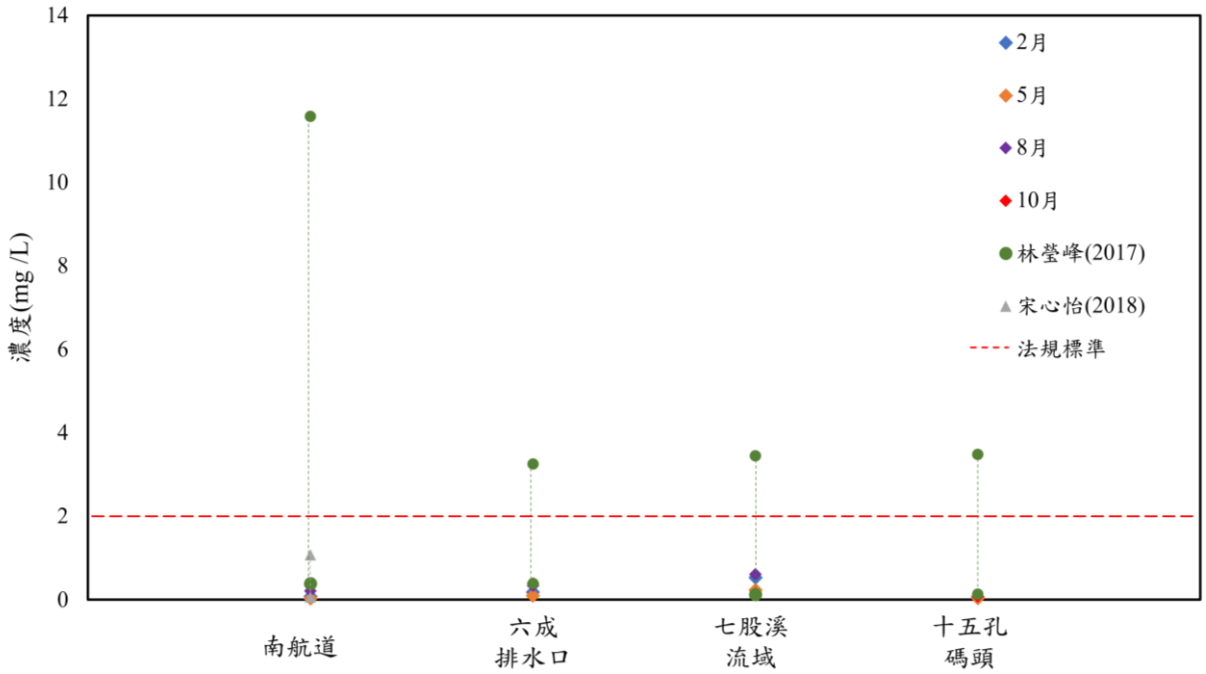


圖 32. 總磷(TP) (本計畫產製)

表 18. 四處樣區四季氨氮檢測結果

氨氮(NH_3-N)				
	南航道	六成排水口	七股溪流域	十五孔碼頭
二月	0.09	0.31	0.99	0.07
五月	0.05	0.16	<0.02	0.05
八月	0.48	0.48	1.64	0.3
十月	0.84	0.35	0.57	0.15
法規/規定上限	7.5			

(單位：mg/L)

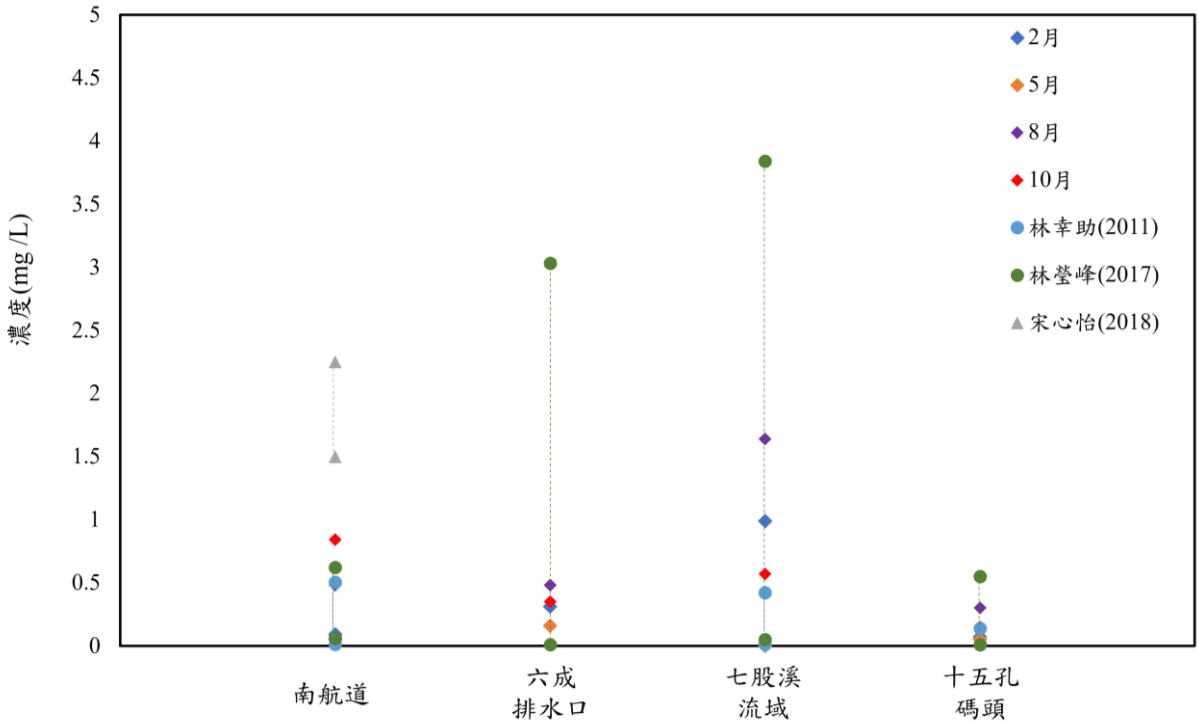


圖 33. 氨氮(NH_3-N) (本計畫產製)

表 19. 四處樣區四季硝酸鹽氮檢測結果

硝酸鹽氮(NO_3-N)				
	南航道	六成排水口	七股溪流域	十五孔碼頭
二月	0.07	0.19	0.23	0.03
五月	0.02	0.13	0.02	0.08
八月	0.1	0.12	0.1	0.1
十月	0.06	0.19	0.15	0.11
法規/規定上限	37.5			

(單位：mg/L)

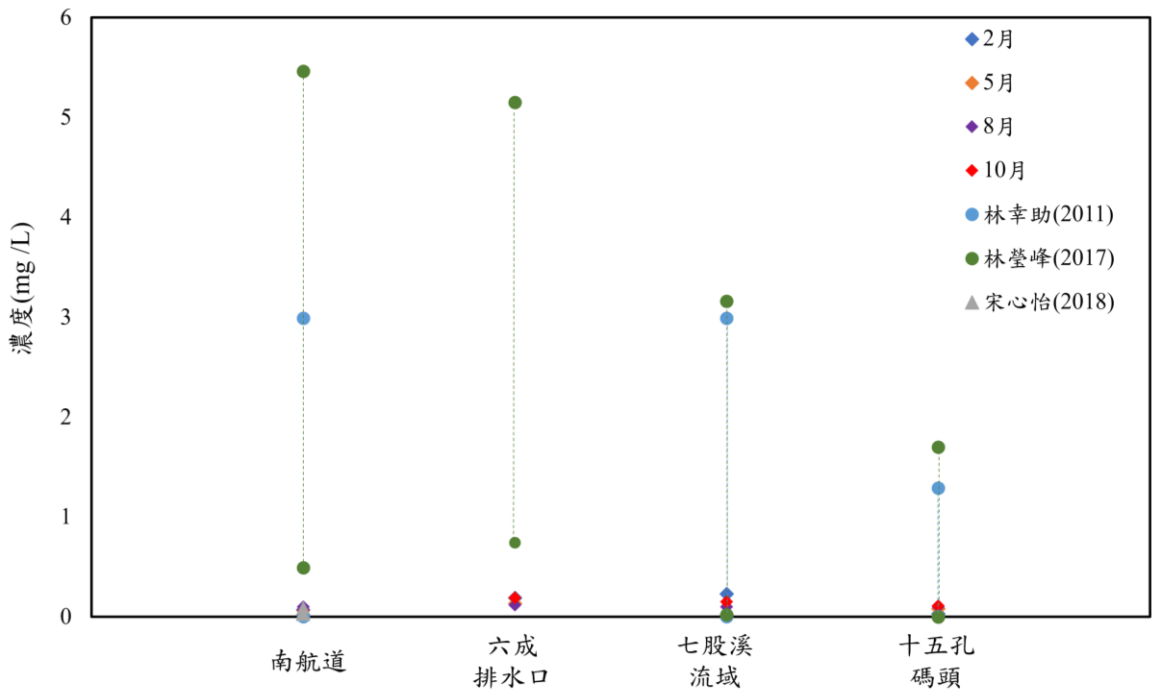


圖 34. 硝酸鹽氮(NO_3-N) (本計畫產製)

表 20. 四處樣區四季葉綠素 a 檢測結果

葉綠素 a				
	南航道	六成排水口	七股溪流域	十五孔碼頭
二月	1.1	3.3	18.2	1.3
五月	2.4	8.2	24.3	3.4
八月	73.3	43.7	43.6	4.6
十月	44.8	50.7	6	21
法規/規定上限	無			

(單位：ug/L)

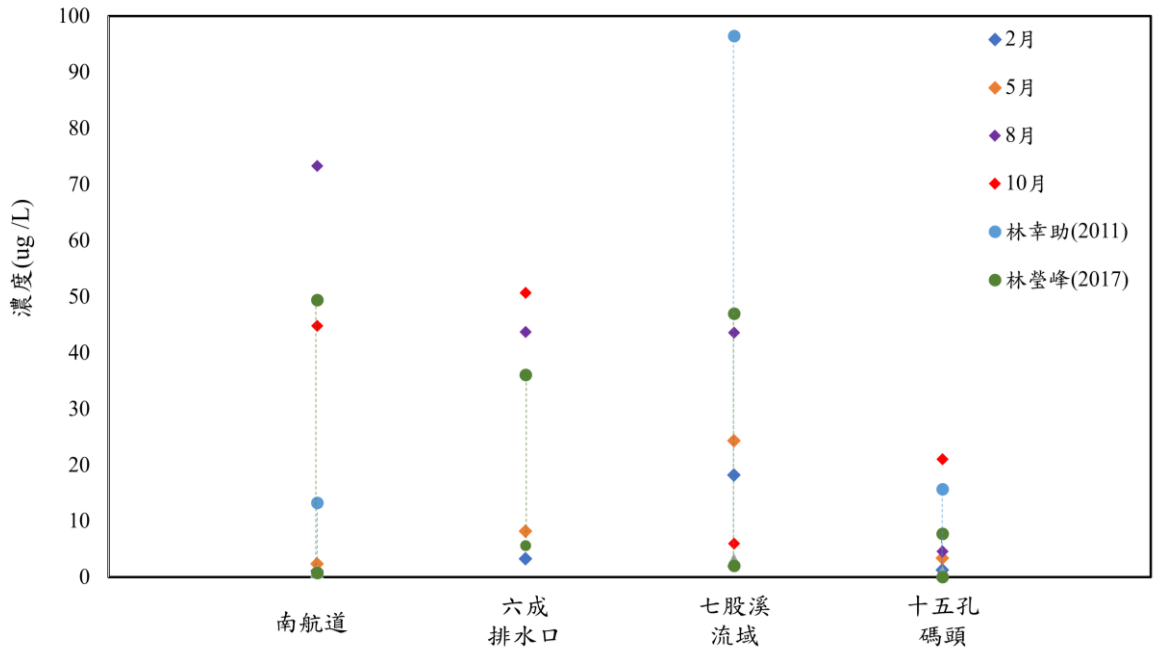


圖 35. 葉綠素 a (本計畫產製)

5.3 濕地碳匯功能調查

濕地是地球上最重要的生態系統及天然資源之一，具有高基礎生產量、高水位、厭氧性底部環境及低有機物分解速率，因此濕地能從大氣中吸收二氧化碳(CO_2)，轉換為有機碳儲存於濕地土壤、底泥或植物體中。因此，在全球溫室氣體管理上，濕地扮演可減緩氣候異常之角色(林幸助等人，2018)。

(一) 濕地碳匯測量方法概述

濕地碳匯的調查方法可以分為碳儲量差分法(Stock difference approach)及碳收支法(Gain-loss approach)。碳儲量差分法是利用濕地碳庫(Carbon Pool)在固定時間內的碳儲量變化，推算濕地的碳匯量。碳庫是指濕地內儲存碳元素的場所，濕地生態系可包含 5 種碳庫：(1)植物地上部生物量；(2)植物地下部生物量；(3)枯木；(4)枯落物及(5)土壤有機質。透過測量這 5 種碳庫內有機碳的累積速率，即可推算濕地碳匯量，但仍無法瞭解碳匯量變化機制。但過去研究指出枯木碳庫及枯落物碳庫的碳儲存量變化不明顯(李世博，2014；王筱雯，2023)，計算碳匯時常會忽略不計。碳收支法是根據碳質量平衡理論作為基礎，分別計算各項進入(Input)及離開(Output)濕地的碳質量通量，再加總進入的通量扣除離開的通量，即可計算濕地的碳累積通量，推算濕地的碳匯量。

每種棲息地類型以測量棲息地內植物碳吸收量(碳出入量)及土壤的溫室氣體排放量(碳輸出量)，加總兩種方向的碳通量以計算各棲息地的碳匯量。紅樹林與海草植物碳吸收量以碳儲量差分法進行測量，水體浮游藻類光合作用碳吸收量以溶氧代謝法進行測量計算，灘地底棲藻類光合作用碳吸收量以直接測量二氧化碳吸收量進行測量。

(二) 紅樹林棲息地碳匯測量方法

紅樹林碳匯計算包含測量紅樹林植物地上部、地下部的生長量及地上部枯落物量，並測量土壤溫室氣體排放量，經由植物吸收量及土壤溫室氣體排放量計算紅樹林棲息地的碳匯量。

- 紅樹林植物生長量

紅樹林植物地上部及地下部碳匯量透過碳庫差分法計算，藉由每季節測量紅樹林地上部及地下部的生物量，透過前後兩季生物量變化可以計算每季的植物碳匯量。紅樹林的生物量透過測量樹高 1.3 公尺處的樹徑(DBH)，帶入異速生長方程式(Allometric equation)估算。各種紅樹林植物地上部及地下部的異速生長方程式如表 21 及表 22。

表 21. 海茄苳及欖李紅樹林地上部異速生長方程式公式

樹種	地上部生物量異速生長方程式	引用文獻
海茄苳	Biomass (kg) = $0.1948\times DBH^{2.299}+0.9198$	黃日聖 (2016)
欖李	Biomass (kg) =$0.1397\times DBH^{2.384}+0.7405$	本計劃產製

註：DBH 為樹高 130 cm 處樹徑(cm)。

表 22. 海茄苳及欖李紅樹林地下部異速生長方程式公式

樹種	地下部生物量異速生長方程式	引用文獻
海茄苳	Biomass (kg) = $1.28\times DBH^{1.17}$	Comley and McGuinness (2005)
欖李	Biomass (kg) =$0.0609\times DBH^{2.063}+0.2293$	本計劃產製

註：DBH 為樹高 130 cm 處樹徑(cm)。

其中海茄苳地上部異速生長方程式，已經由黃日聖(2016)實際測量彰化芳苑海茄苳紅樹林地上部生物量後完成校正；欖李地上部

與地下部之異速生長方程式，為本計畫透過台江國家公園管理處提供欖李地上、地下部植物體，事先測量植株 1.3 公尺處樹徑帶入異速生長方程式計算植物生物量，再利用熱風烘箱以 60°C 溫度烘乾植物體至恆重，透過線性回歸得到公式預測生物量與實際生物量的關係式，用以校正國外建立的欖李地上、地下部異速生長方程式。關於欖李異速生長方程式於 5.3.1 節詳細說明。

- 枯落物量

紅樹林樣區內隨機架設 3 個 30 ×30 cm 的正方形塑膠籃，內部置入 1 mm 的尼龍網後，於下次採樣時將塑膠籃收集到的枯落物進行回收。枯落物攜回實驗室後進行清洗並以熱風烘箱以 60°C 烘乾秤重，一處樣區 3 個塑膠籃內枯落物量取平均值，即可計算枯落物量(g DW m^{-2} d^{-1})。

- 紅樹林底土溫室氣體排放量

紅樹林底土碳匯量透過碳收支法計算，藉由每季節測量土壤溫室氣體排放量計算，包含二氧化碳、甲烷及氧化亞氮氣體通量。溫室氣體排放量測量使用密閉罩蓋法(Migné et al. 2002)，協同主持人林幸助教授及林巧雯教授有多年經驗及濕地相關研究成果(Lee et al. 2011, Lin et al. 2020, Lin et al. 2021)，首先將不銹鋼鋼圈插入底土 5 至 10 公分深作為底座，以直徑 30 公分的半圓形透明罩蓋作為上半部，兩者以燕尾夾夾緊設置在紅樹林土壤表層形成密閉空間，利用管線連接密閉罩蓋與甲烷/二氧化碳微量氣體分析儀(LI-7810, LICOR)及氧化亞氮微量氣體分析儀(LI7820, LICOR)，透過 7 至 10 分鐘固定時間測量下，以簡單線性回歸計算固定時間內溫室氣體濃度的變化量(ppm s^{-1})，推算紅樹林底土表層溫室氣體的排放量(mg CO_2/CH_4/N_2O m^{-2} h^{-1})。

(三) 水域棲息地碳匯測量方法

水域棲息地碳匯使用碳收支法計算，加總水域棲息地垂直與水平碳傳輸量計算，因保護區內水體為封閉水體，水體交換不明顯，因此水體水平傳輸量暫不考慮。水體垂直碳傳輸通量考慮水體浮游藻類光合作用造成的碳吸存量、浮游藻類與底棲生物貢獻的呼吸作用及水體與大氣介面的甲烷排放量。

水體生物代謝作用的碳傳輸量，會藉由溶氧代謝法從水體溶氧量(Dissolved Oxygen)的變化推算水體的碳通量。在水體表面設置連續式溶氧記錄器(U26-001, Onset)，於每季連續設置 3 至 5 天，監測水體表層約 10 公分深處的 24 小時溶氧數值，每 30 分鐘記錄 1 次。隨後將整日的溶氧變化結果，參考 Odum (1956)提出的溶氧代謝模式計算水體整日的總基礎生產量(Gross primary production, GPP)、系統呼吸量(Ecosystem respiration, ER)及淨系統代謝量(Net ecosystem metabolism, NEM)。其中 NEM 表示水體氧氣產生及消耗的淨值，利用光合作用商數(Photosynthetic quotient)代表浮游藻類光合作用產生氧氣及吸收二氧化碳的比值為 1.25 (Descy et al. 1987)，將水體的氧氣交換量換算成水體與大氣介面的二氧化碳通量。

水體與大氣介面的溫室氣體通量利用浮體罩蓋法(Floating chamber method)(圖 36)進行測量，利用保麗龍作為底座，使壓克力透明半圓形罩蓋漂浮在水面上，並使用 PVC 水管固定浮體罩蓋的位置，利用管線連接甲烷/二氧化碳微量氣體分析儀(LI-7810, LI-COR)及氧化亞氮微量氣體分析儀(LI-7820, LI-COR)，測量 7 至 10 分鐘連續時間內浮體罩蓋內溫室氣體的濃度變化，以簡單線性回歸計算固定時間內的氣體濃度變化量(ppm s^{-1})，換算水體與大氣介面溫室氣體的排放量(mg CO_2/CH_4/N_2O m^{-2} h^{-1})。

	
密閉罩蓋法	浮體罩蓋法

圖 36. 濕地溫室氣體排放測量方式

(四) 海草棲息地碳匯測量方法

海草碳匯計算包含測量海草植物地上部、地下部的生長量及測量土壤溫室氣體排放量，經由植物吸收量及土壤溫室氣體排放量計算海草棲息地的碳匯量。本研究經過 2023 年 12 月 6 日的現勘結果，預計測量線葉二藥草的生長量，及生長水體的溫室氣體排放量，以計算海草棲息地的碳匯量。

戳針標記法用於長帶形葉片海草地上部生長量，需要利用針頭從葉鞘一側刺穿海草葉片，大約 7 天後採收。將採收之樣本帶回實驗室清洗後，依照葉鞘與葉片之標記點，取下葉片新生長的部分烘乾秤重，即為新增的海草葉片生物量。將新增的海草葉片生物量除以戳針標記後放置的時間和標記之株數，平均後乘以單位面積之海草株數，即可得到該季節長帶形海草單位面積時間地上部生長量。

海草底土溫室氣體排放量測量方法使用密閉罩蓋法進行測量，測量方法與紅樹林底土溫室氣體測量方法相同。

(五) 計畫區域碳匯功能調查

本計畫經與管理處討論後，挑選台江國家公園之「鹿耳門鷸鴴科

生態保護區」內海茄苳與欖李紅樹林棲息地各一樣區，及「七股鹽田重要濕地」內海茄苳紅樹林棲息地、西寮海草棲息地及水域棲息地各一樣區進行碳匯功能調查，其中水域棲息地僅測量溫室氣體排放量。各樣點皆會區分四季進行碳匯調查，以滿足空間與時間的異質性。其中，碳匯調查季節劃分為以 3~5 月為春季，6~8 月為夏季，9~11 月為秋季，12 月至隔年 2 月為冬季。再將量測之各項參數為先測量獲得以日為單位數值結果，再以該季節日數計算以季節為單位結果，再以四季結果相加以估算整年的碳匯結果。

兩計畫區域各樣點之詳細調查結果於 5.3.1 至 5.3.4 詳細說明。計畫區域碳匯調查樣點分布如圖 37 所示。



(a)七股鹽田濕地　　(b)鹿耳門鷸鴴科生態保護區

圖 37. 計畫區域碳匯樣點分布

5.3.1 鹿耳門鷸鴴科生態保護區

(一) 欖李異速生長方程式

本計畫於 2024 年 4 月 19 日與台江國家公園管理處進行現勘，並選定五處、共選定 25 株欖李紅樹林作為試驗樣株，且於 2024 年 5 月 10 日將已擇定之樹木進行基礎形質測量，其中編號 5 因樹型過小無法使用異速生長方程式計算生物量，故未納入校正公式的計算當中。台江國家公園管理處於 2024 年 7 月委託廠商施作砍除選定樣株，現場裁切至適當大小後，送至國立中興大學進行植株生物量秤重。選定點位與樣株資料如圖 38 與表 23 所示。



圖 38. 樣株選定點位

表 23. 欖李紅樹林樣株資料

編號	種類	株數	GPS 座標	樹高(cm)	基部樹徑(cm)	胸高樹徑(cm)	植株照片
1	大樹	5	23°02'48.2"N 120°08'08.5"E	223 至 274	8.9 至 26.5	6.1 至 16.5	
2	大樹	10	23°02'55.0"N 120°08'14.3"E	229 至 324	6.1 至 23.5	4 至 14.5	
3	大樹	4	23°02'55.1"N 120°08'14.5"E	181 至 251	11 至 14.5	4 至 10	
4	大樹	2	23°02'55.1"N 120°08'14.7"E	270 至 318	15 至 21.5	6 至 13	

5	小樹	5	23°02'57.3"N 120°08'17.2"E	93 至 127	5 至 10.5	-	

本計畫中興大學團隊將欖李植株區分地上部與地下部，並清洗乾淨植株上殘留土壤後，以 60°C 烘箱烘乾至恆重，使用電子秤測量生物量乾重。欖李地上部依據不同枝條明顯區分，地下部則因部分相鄰植株地下部交錯生長，難以單獨區分單株植株地下部，故處理時以鄰近植株的總和進行生物量秤重，在計算時則依實際秤得地上部乾重比例，分配單株地下部乾重。

測量結果地上部生物量為 1.60 至 14.04 Kg、地下部生物量為 0.36 至 5.50 Kg。再使用 Kangkuso et al.(2016)之異速生長方程式計算 21 株欖李地上部生物量，計算結果範圍為 0.93 至 13.84 Kg；欖李地下部生物量則使用 Perera (2012)之異速生長方程式進行計算，計算結果為 0.48 至 6.10 Kg。本計畫將實際秤重生物量結果與 Kangkuso et al.(2016)及 Perera (2012) 預估之生物量進行線性回歸，再將此二關係式與 Kangkuso et al.(2016)及 Perera (2012)異速生長方程式結合並校正，即可得到屬於臺灣欖李之地上部與地下部異速生長方程式。校正前後方程式如表 24 所示。

表 24. 欖李紅樹林校正後異速生長方程式

部位	本土欖李異速生長方程式 (校正後)	文獻異速生長方程式 (校正前)	引用文獻
地上部	Biomass (kg) $=0.1397\times DBH^{2.384}+0.7405$	Biomass (kg) = $0.184\times DBH^{2.384}$	Kangkuso et al. (2016)
地下部	Biomass (kg) = $0.0609\times DBH^{2.063}+0.2293$	Biomass (kg) = $0.118\times DBH^{2.063}$	Perera et al. (2012)

DBH 為樹高 1.3 m 處樹徑。(單位：公分)

(二) 樣點選擇

鹿耳門鷸鴴科生態保護區欖李之碳匯測量樣點，是從 2023 年《鹿耳門鷸鴴科生態保護區及周緣濕地生態服務評析可行性示範計畫》三處樣區中挑選一處樣點(Y05 區)，此處水深無劇烈變化，環境條件相對穩定，且此區欖李樹徑變化量較其他兩區顯著，並預計於期末完整比較今年度與去年度碳匯調查結果，以瞭解欖李碳匯功能之變化；海茄苳則挑選位於 Y11 區之一處測量樣點，並挑選出此處樹高與樹徑較小者，以測出較為顯著之樹徑變化量。本計畫於 2 月、5 月、8 月及 10 月已完成 2024 年冬季、春季、夏季與秋季，欖李與海茄苳紅樹林之碳匯功能調查，四季調查之兩種紅樹林、與三種底土溫室氣體皆各有五重複。鹿耳門鷸鴴科生態保護區之碳匯樣點說明與現地照片如表 25 所示。

表 25. 碳匯樣點說明與現地照片

物種	地點區域	GPS 座標	樣點環境說明	現地照片
欖李	Y05	23°02'49.4"N 120°08'21.4"E	1. 為去年計畫之其中調查點位之一 2. 水深無劇烈變化，環境較穩定	
海茄苳	Y11	23°3'1.5"N, 120°8'22.8"E	較靠近岸上之一整排海茄苳密林。	

(三) **欖李**紅樹林碳匯調查

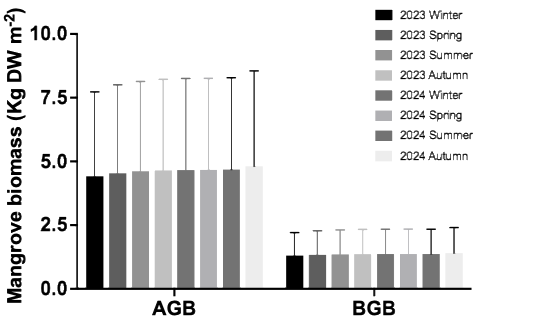
欖李紅樹林為延續 2023 年調查結果，本計畫比較 2023 年與 2024 年欖李胸高直徑(DBH)調查資料發現，三處樣區中之 DBH 無大幅增加，以致於地上部及地下部生長量緩慢。2023 年冬季至 2024 年秋季 DBH 比較如表 26 所示。

表 26. 2023 年冬季至 2024 年秋季欖李 DBH 比較表

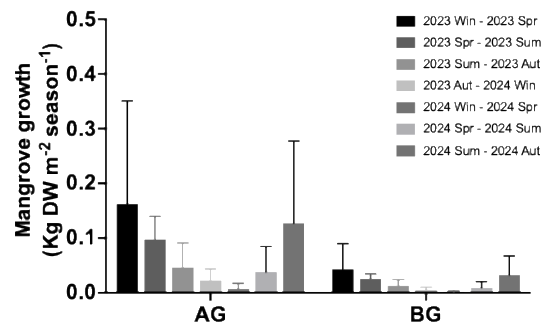
地點	欖李胸高直徑 DBH(cm)							
	2023 冬	2023 春	2023 夏	2023 秋	2024 冬	2024 春	2024 夏	2024 秋
Y04	1.36±0.37	1.35±0.27	1.38±0.30	1.40±0.29	1.42±0.29	1.42±0.30	1.42±0.30	1.49±0.31
Y05	3.10±1.30	3.19±1.28	3.22±1.29	3.24±1.28	3.25±1.29	3.25±1.29	3.28±1.30	3.33±1.33
Y06	3.34±0.71	3.38±0.71	3.39±0.81	3.36±0.86	3.36±0.86	3.36±0.86	3.38±0.84	3.38±0.84

- 生物量及生長量

本計畫將 2023 年冬季至 2024 秋季測量 DBH 帶入本土欖李異速生長方程式。欖李紅樹林地上部生物量及地下部生物量以 2024 秋季最高(4.81 ± 3.75、1.40 ± 1.01 Kg DW m^{-2})，2023 冬季最低(4.42 ± 3.31、1.30 ± 0.91 Kg DW m^{-2})，如圖 39 (a)所示；欖李紅樹林地上部及地下部生長量以 2023 冬季至 2023 春季最高(0.162 ± 0.188、0.043 ± 0.047 Kg DW m^{-2} $season^{-1}$)，2024 冬季至 2024 春季最低(0.007 ± 0.010、0.002 ± 0.002 Kg DW m^{-2} $season^{-1}$)，如圖 39 (b)所示。



(a)地上部生物量(AGB)及地下部生物量(BGB)



(b)地上部生長量(AG)及地下部生長量(BG)

圖 39. 欖李紅樹林生物量與生長量

- 枯落物量

欖李紅樹林枯落物量皆以 2023 秋季及 2024 秋季較高(1.644 ± 0.247, 1.676 ± 0.245 g DW m^{-2} d^{-1})，以 2023 秋季較低(1.008 ± 0.471 g DW m^{-2} d^{-1})。2023 夏季至秋季時適逢連續大雨，2024 夏季至秋季時有多個颱風侵襲臺灣，使得兩年度秋季欖李紅樹林枯落物量皆增加。2023 年春季至 2024 秋季欖李紅樹林枯落物量。如圖 40 所示。

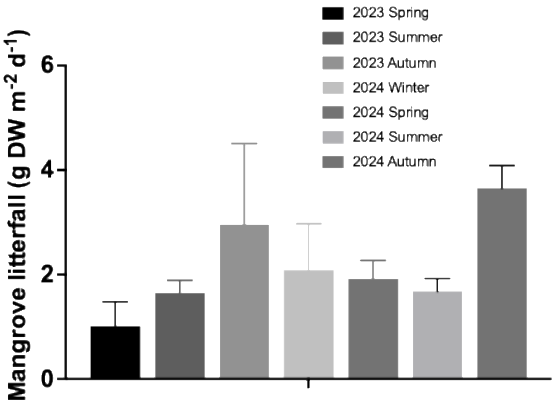


圖 40. 欖李紅樹林枯落物量

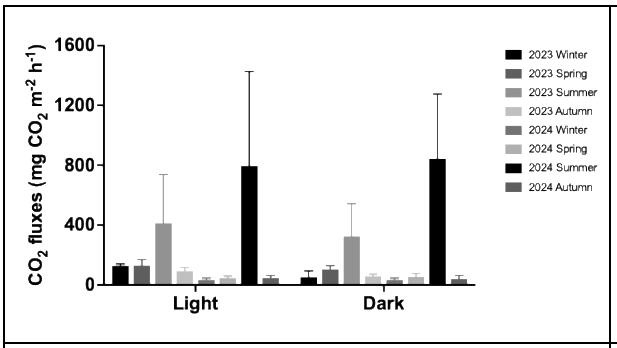
- 底土溫室氣體通量

本計畫使用透光壓克力罩蓋模擬紅樹林棲地底土日間狀態，利用不透光壓克力罩蓋模擬紅樹林底土夜間狀態，分別估算紅樹林底土日間及夜間的溫室氣體通量。

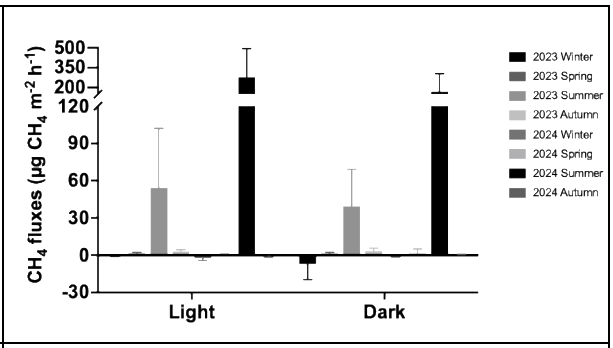
欖李紅樹林底土二氧化碳日間及夜間通量在兩年度間接呈現夏季較高，冬季較低之變化，其中又以 2024 夏季日間及夜間二氧化碳通量(795.82 ± 631.64、 842.22 ± 434.25 mg CO_2 m^{-2} h^{-1})高於 2023 夏季日間及夜間二氧化碳通量(411.36 ± 327.94, 324.60 ± 219.10 mg CO_2 m^{-2} h^{-1})，如圖 41(a)；而底土甲烷日間及夜間通量亦呈現相同季節性變化趨勢，亦以 2024 夏季日間及夜間通量甲烷通量(276.13 ± 217.23, 169.60 ± 135.34 μg CH_4 m^{-2} h^{-1})高於 2023 夏季的甲烷通量(54.28 ± 47.87, 39.12 ± 30.34 μg CH_4 m^{-2} h^{-1})，如圖 41(b)；底土氧化亞氮日間及夜間通量則是以冬、春季較高，夏、秋季較低，甚至在 2023 秋季有氧化亞氮呈吸收結果，如圖 41(c)。

溫室氣體排放根據季節不同而有所差異，是由於溫度是主要影響微生物生理代謝的活動的環境因子，溫度越高時，微生物生理代謝會較快。底土二氧化碳通量主要為底土中微生物異營呼吸作用，

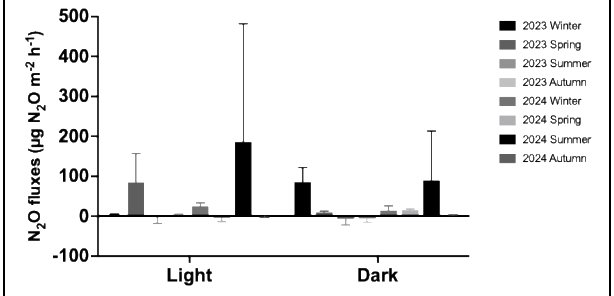
底土甲烷通量主要為底土中微生物之產甲烷作用。夏季時日間及夜間溫度較高，提高微生物生理代謝作用，因而增加底土二氧化碳及甲烷排放量。又因 2023 夏季臺南市安南區適逢連續大雨，造成計畫區域環境變為潮濕淹水，增加紅樹林底土厭氧環境，並降低底土中的含氮物質，進而降低紅樹林底土氧化亞氮通量。



(a)底土二氧化碳(CO_2)日間(Light)及夜間(Dark)通量。



(b)底土甲烷(CH_4)日間(Light)及夜間(Dark)通量。



(c)底土氧化亞氮(N_2O)日間(Light)及夜間(Dark)通量。

圖 41. 欖李紅樹林底土溫室氣體通量

- 欖李紅樹林碳匯估算

本計畫已完成 2023 冬季至 2024 秋季期間，計畫區域內欖李紅樹林碳匯計算(如表 27)。除 2023 春季至 2023 夏季與 2024 春季至 2024 夏季時，欖李紅樹林因底土溫室氣體排放量較高，而呈現碳排放結果(-0.3940、-1.5892 Kg CO_2e m^{-2} $season^{-1}$)，其他季節區間欖李紅樹林皆呈現碳吸收的狀態(0.1747 ~ 0.6696 Kg CO_2e m^{-2} $season^{-1}$)。以 2023 冬季至 2024 冬季計算 2023 年欖李紅樹林的年碳匯量為 0.3864 Kg CO_2e m^{-2} $season^{-1}$，顯示為碳吸收(碳匯)；因未進行 2025 冬季的碳匯數據，以 2023 秋季至 2024 秋季試算 2024 年計畫區域內欖李紅樹林每平方公尺年碳匯量為-0.4866 Kg CO_2e m^{-2} $season^{-1}$，則轉變為碳排放(碳源)。

表 27. 欖李紅樹林 2023 冬季至 2024 秋季碳匯量整理表

	紅樹林碳吸收量 [A]				底土碳排放量 [B]			紅樹林碳匯 [C] (H)
	紅樹林地上部生長量 (A)	紅樹林枯落物量 (B)	地上部淨初級生長量 (C)	地下部淨初級生長量 (D)	底土二氧化碳通量 (E)	底土甲烷通量 (F)	底土氧化亞氮通量 (G)	
	(Kg DW m^{-2} $season^{-1}$)	(g DW m^{-2} $season^{-1}$)	(Kg C m^{-2} $season^{-1}$)	(Kg C m^{-2} $season^{-1}$)	(Kg CO_2 m^{-2} $season^{-1}$)	(g CH_4 m^{-2} $season^{-1}$)	(g N_2O m^{-2} $season^{-1}$)	(Kg CO_2e m^{-2} $season^{-1}$)
2023 冬季 – 2023 春季	0.1625	92.76	0.1086	0.0182	0.2600	0.0029	0.1103	0.1747
2023 春季 – 2023 夏季	0.0971	151.21	0.1056	0.0108	0.8205	0.1045	-0.0093	-0.3940
2023 夏季 – 2023 秋季	0.0457	269.68	0.1342	0.0053	0.1623	0.0065	-0.0058	0.3506
2023 秋季 – 2024 冬季	0.0221	189.56	0.0900	0.0024	0.0725	-0.0037	0.0413	0.2551
2024 冬季– 2024 春季	0.0075	176.72	0.0783	0.0009	0.1093	0.0017	0.0115	0.1779
2024 春季– 2024 夏季	0.0380	154.16	0.0817	0.0039	1.8041	0.5019	0.3129	-1.5892
2024 夏季– 2024 秋季	0.1266	332.02	0.1951	0.0138	0.0958	-0.0002	0.0022	0.6696
2023 年欖李紅樹林棲地每平方公尺年碳匯量 (Kg CO_2e m^{-2} yr^{-1})								0.3864 [D]
2024 年欖李紅樹林棲地每平方公尺年碳匯量 (Kg CO_2e m^{-2} yr^{-1})								-0.4866 [E]

※備註：

[A] 紅樹林碳吸收量以正值表示吸收，負值表示排放。地上部淨初級生長量為地上部生長量及枯落物量的總和(C=(A+B/1000)*42.54%)，42.54%為紅樹林生物量中碳含量的比例，地下部淨初級生長量即為地下部生長量。

[B] 底土碳排放量以正值表示排放，負值表示吸收。二氧化碳、甲烷及氧化亞氮的暖化潛勢分別為 1、27 及 273。

[C] 紅樹林碳匯以正值表示碳匯，負值表示碳源。碳匯量為紅樹林碳吸收量扣除底土溫室氣體排放量(H=(C+D)×44/12-E×1-F×27/1000-G×273/1000)。

[D]2023 年欖李紅樹林棲地年碳匯量，以 2023 年冬季至 2024 年冬季間四季碳匯資料加總計算。

[E]2024 年欖李紅樹林棲地年碳匯量，以 2023 年秋季至 2024 年秋季間四季碳匯資料加總計算。

- 欖李紅樹林異速生長方程式生長量估算比較

本計畫比較 2023 冬季至 2024 秋季不同異速生長方程式生長量評估結果，以瞭解本土與國外文獻欖李異速生長方程式計算結果之差異。比較結果可看出針對地上部，臺灣本土欖李異速生長方程式約為國外文獻之 1.07 倍，表示計算地上部生物量，文獻方程式計算結果低估本土紅樹林生物量，以致於低估生長量與碳吸收量；而地下部則約為 0.74 倍，顯示在地下部生物量，文獻方程式計算結果高估地下部生物量，使得整體高估了地下部生長量與碳吸收量。

表 28. 欖李紅樹林不同異速生長方程式比較表

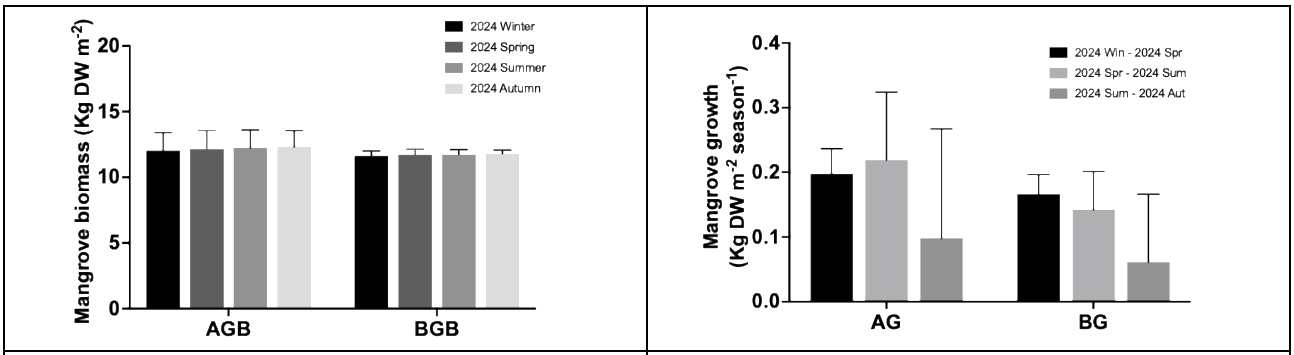
	地上部 Kg m^{-2} $season^{-1}$			地下部 Kg m^{-2} $season^{-1}$		
	文獻方程式	本土方程式	本土結果/文獻結果	文獻方程式	本土方程式	本土結果/文獻結果
2023 冬	4.06	4.42	1.09	1.73	1.30	0.76
2023 春	4.22	4.53	1.08	1.79	1.33	0.75
2023 夏	4.32	4.61	1.07	1.82	1.35	0.74
2023 秋	4.36	4.64	1.06	1.84	1.36	0.74
2024 冬	4.38	4.66	1.06	1.85	1.37	0.74
2024 春	4.39	4.66	1.06	1.85	1.37	0.74
2024 夏	4.42	4.68	1.06	1.86	1.37	0.74
2024 秋	4.59	4.81	1.05	1.92	1.40	0.73

(四) **海茄苳**紅樹林碳匯調查

- 生物量及生長量

海茄苳紅樹林地上部與地下部生物量皆以秋季較高(12.31 ± 1.23、11.80 ± 0.27 Kg DW m^{-2})，冬季較低(12.02 ± 1.37、11.64 ± 0.37 Kg DW m^{-2})，如圖 42(a)。海茄苳地上部生長量以 2024 夏季至 2024 秋

季間較高(0.22 ± 0.10 Kg DW m^{-2} $season^{-1}$)，以 2024 冬季至 2024 春季間較低(0.10 ± 0.17 Kg DW m^{-2} $season^{-1}$)；海茄苳地下部生長量以 2024 冬季至 2024 春季間較高(0.17 ± 0.03 Kg DW m^{-2} $season^{-1}$)，以 2024 夏季至 2024 秋季間較低(0.06 ± 0.11 Kg DW m^{-2} $season^{-1}$)，如圖 42(b)



(a) 地上部生物量(AGB)及地下部生物量(BGB)

(b)地上部生長量(AG)及地下部生長量(BG)

圖 42. 海茄苳紅樹林生物量與生長量

- 枯落物量

海茄苳紅樹林枯落物量於 2024 秋季最高(4.24 ± 0.42 g DW m^{-2} d^{-1})，2024 夏季最低(1.21 ± 0.21 g DW m^{-2} d^{-1})，推測本年度夏秋間颱風頻繁，增加紅樹林的枯落物量。如圖 43 所示。

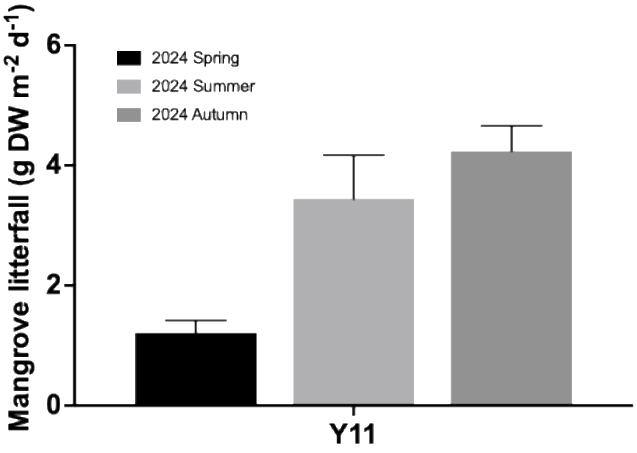
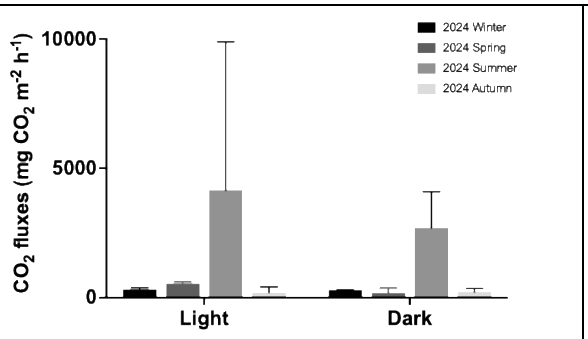


圖 43. 海茄苳紅樹林枯落物量

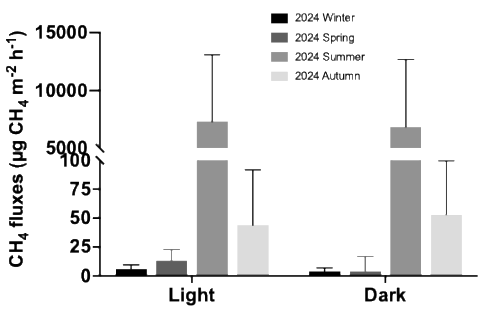
- 底土溫室氣體通量

本計畫使用透光壓克力罩蓋模擬紅樹林棲地底土日間狀態，利用不透光壓克力罩蓋模擬紅樹林底土夜間狀態，分別估算紅樹林底土日間及夜間的溫室氣體通量。

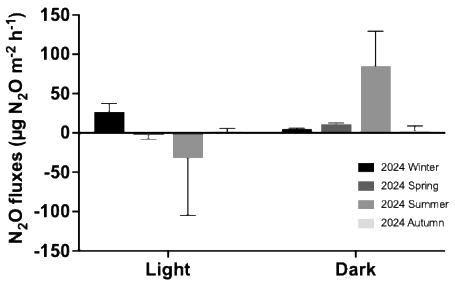
海茄苳紅樹林底土二氧化碳的日間及夜間通量在夏季(4145.57 ± 5745.09、2694.69 ± 1397.73 mg CO_2 m^{-2} h^{-1})顯著高於其他三季，如圖 44(a)；底土甲烷日間與夜間通量亦呈現相同趨勢，以夏季(7315.16 ± 5767.72、 6857.63 ± 5830.68 μg CH_4 m^{-2} h^{-1})顯著高於其他三季，如圖 44(b)。底土氧化亞氮的日間通量以冬季最高(26.91 ± 10.50 μg N_2O m^{-2} h^{-1})，夏季最低(-32.48 ± 72.35 μg N_2O m^{-2} h^{-1})，夜間通量以夏季最高(85.15 ± 44.19 μg N_2O m^{-2} h^{-1})，秋季最低(3.38 ± 5.47 μg N_2O m^{-2} h^{-1})，如圖 44(c)。



(a)底土二氧化碳(CO_2)日間(Light)及夜間(Dark)通量。



(b)底土甲烷(CH_4)日間(Light)及夜間(Dark)通量。



(c)底土氧化亞氮(N_2O)日間(Light)及夜間(Dark)通量。

圖 44. 海茄苳紅樹林底土溫室氣體通量

- 海茄苳紅樹林碳匯估算

本計畫已完成 2024 冬季至 2024 秋季期間海茄苳紅樹林碳匯計算(如表 29)。海茄苳紅樹林碳匯量在春季至夏季為碳排放狀態(-6.9294 Kg CO_2e m^{-2} $season^{-1}$)，主要由於紅樹林底土溫室氣體(二氧化碳、甲烷)排放量大幅增加所造成。由於尚未進行 2024 年秋季至 2025 年冬季之胸高樹徑測量，以及 2025 年冬季底土溫室氣體通量調查，故本計畫以今年度前三季數據平均值推估 2024 年秋季至 2025 年冬季生長量及枯落物量，並以 2024 年冬季底土溫室氣體資料作為 2025 年冬季溫室氣體通量進行估算，估算結果海茄苳紅樹林每平方公尺年碳匯量為-6.1621 Kg CO_2e m^{-2} $season^{-1}$，為碳排放(碳源)。

表 29. 海茄苳紅樹林碳匯量整理表

	紅樹林碳吸收量 A				底土碳排放量 B			紅樹林碳匯 C (H)
	紅樹林地上部生長量 (A)	紅樹林枯落物量 (B)	地上部淨初級生長量 (C)	地下部淨初級生長量 (D)	底土二氧化碳通量 (E)	底土甲烷通量 (F)	底土氧化亞氮通量 (G)	
	(Kg DW m^{-2} $season^{-1}$)	(g DW m^{-2} $season^{-1}$)	(Kg C m^{-2} $season^{-1}$)	(Kg C m^{-2} $season^{-1}$)	(Kg CO_2 m^{-2} $season^{-1}$)	(g CH_4 m^{-2} $season^{-1}$)	(g N_2O m^{-2} $season^{-1}$)	(Kg CO_2e m^{-2} $season^{-1}$)
冬季-春季	0.1978	111.04	0.1482	0.0796	0.9063	0.0198	0.0080	-0.0740
春季-夏季	0.2188	316.61	0.2570	0.0681	7.6850	15.6889	0.0473	-6.9294
夏季-秋季	0.0977	385.90	0.2321	0.0292	0.4549	0.1060	0.0059	0.4988
秋季-冬季 D	0.1715	271.18	0.2125	0.0590	0.6437	0.0105	0.0328	0.3425
海茄苳紅樹林棲地每平方公尺年碳匯量(Kg CO_2e m^{-2} yr^{-1})								-6.1621 E

※備註：

[A] 紅樹林碳吸收量以正值表示吸收，負值表示排放。地上部淨初級生長量為地上部生長量及枯落物量的總和(C=(A+B/1000)*48%)，48%為海茄苳植物碳含量的比例，地下部淨初級生長量即為地下部生長量。

[B] 底土碳排放量以正值表示排放，負值表示吸收。二氧化碳、甲烷及氧化亞氮的暖化潛勢分別為1、27 及 273。

[C] 紅樹林碳匯以正值表示碳匯，負值表示碳源。碳匯量為紅樹林碳吸收量扣除底土溫室氣體排放量(H=(C+D)×44/12-E×1-F×27/1000-G×273/1000)。

[D]2024 秋季至 2025 冬季資料因尚未進行現地調查，本研究以前三季數據的平均值推估生長量及枯落物量。2025 冬季尚未進行底土溫室氣體通量測量，目前先以 2024 冬季資料作為代替。

[E]2024 年海茄苳紅樹林棲地每平方公尺年碳匯量，以 2024 年冬季至 2025 年冬季間四季碳匯資料加總計算。

5.3.2 七股溪口紅樹林生態保護區

(一) 樣點選擇

七股溪口紅樹林生態保護區(以下簡稱七股紅樹林)由海茄苳(*A.marina*)純林組成。本計畫原預計延續李世博於2014年之研究樣點，但於調查前現勘並未發現2014年設置碳匯調查樣區，研判在近10年過程中，樣區標誌及標線已被破壞。故考量研究人員安全與人力可及情況下，在七股溪口紅樹林相同位置重新設置3處樣區(A至C)進行碳匯調查，並分別於2月、5月、8月及10月完成冬季、春季、夏季與秋季碳匯調查，再將3樣區碳匯調查結果取平均值呈現。七股紅樹林環境資料與現地照片如表 30所示。

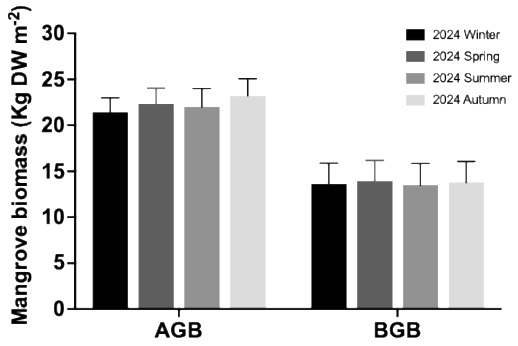
表 30. 七股紅樹林環境資料與現地照片

樣區	GPS 座標	環境說明	現地照片
A	23°7'0.17"N 120°5'29.92"E	1. 紅樹林之樹密度分布為三樣區次高。 2. 氣生根密度為三樣區最少。	
B	23°7'1.28"N 120°5'27.51"E	1. 紅樹林之樹密度分布為三樣區中最少。 2. 氣生根密度為三樣區次高。	
C	23°7'2.76"N, 120°5'22.61"E	1. 紅樹林之樹密度分布為三樣區中最多。 2. 氣生根密度為三樣區最高。	

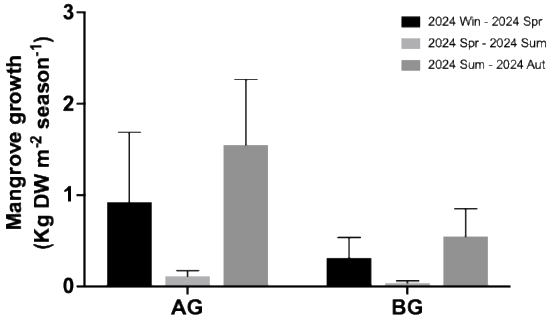
(二) 七股紅樹林生物量及生長量

七股海茄苳紅樹林地上部與地下部生物量皆以秋季較高、冬季較低—秋季地上部為 23.23 ± 1.85 Kg DW m^{-2} 與地下部為 13.79 ± 2.29 Kg DW m^{-2}、冬季地上部為 21.42 ± 1.58 Kg DW m^{-2} 與地下部為 13.62 ± 2.26 Kg DW m^{-2}；海茄苳地上部與地下部生長量皆以 2024 夏季至 2024 秋季間較高、2024 春季至 2024 夏季間較低—夏季至秋季地上部為 1.60 ± 0.79 Kg DW m^{-2} $season^{-1}$ 與地下部為 0.56 ± 0.33 Kg DW m^{-2} $season^{-1}$、春季至夏季地上部為 0.11 ± 0.06 與地下部為 0.04 ± 0.02 Kg DW m^{-2} $season^{-1}$)。

因受 7 月凱米颱風及 10 月山陀兒颱風影響，夏季調查發現有 5 株樹已被折斷，秋季調查發現有 2 分支已被折斷，因此夏季海茄苳紅樹林地上部與地下部生物量略低於春季調查結果(如圖 45(a))，2024 春季至 2024 夏季間紅樹林地上部與地下部生長量亦較低(如圖 45(b))。



(a)地上部生物量(AGB)與地下部生物量(BGB)



(b)地上部生長量(AG)與地下部生長量(BG)

圖 45. 七股紅樹林生物量及生長量

(三) 七股紅樹林枯落物量

七股海茄苳紅樹林枯落物量於 2024 秋季最高，秋季枯落物量為 5.49 ± 0.34 g DW m^{-2} d^{-1}，2024 夏季最低，秋季枯落物量為 1.45 ± 0.38 g DW m^{-2} d^{-1}，推測本年度夏秋間颱風頻繁，以致於增加紅樹林的枯落物量(如圖 46)。

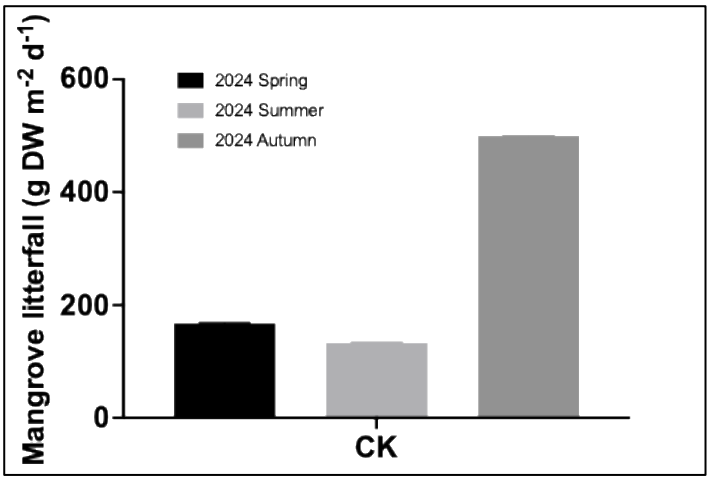


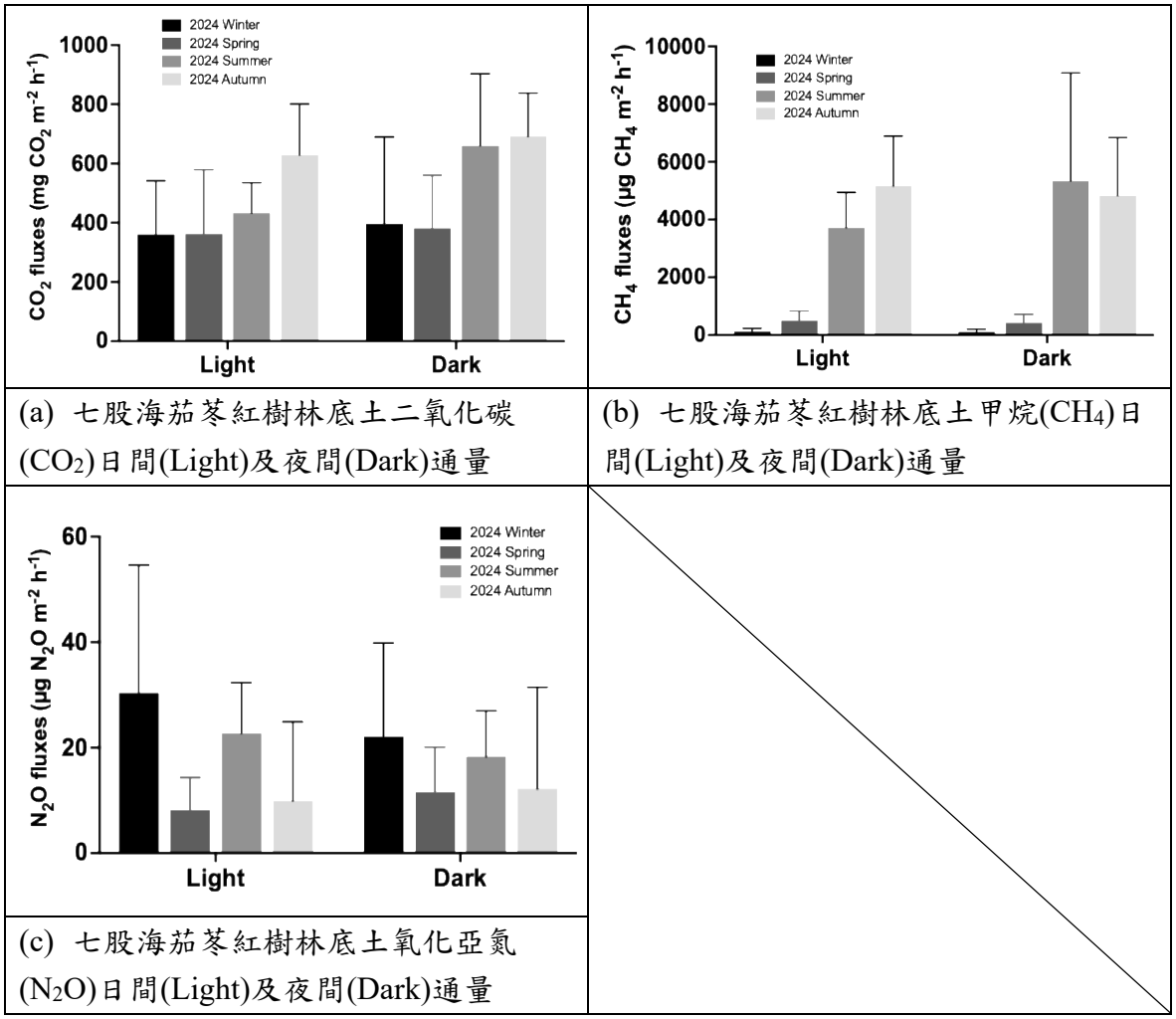
圖 46. 七股紅樹林枯落物量與組成

(四) 七股紅樹林底土溫室氣體通量

本計畫使用透光壓克力罩蓋模擬紅樹林棲地底土日間狀態，利用不透光壓克力罩蓋模擬紅樹林底土夜間狀態，分別估算紅樹林底土日間及夜間的溫室氣體通量。

七股海茄苳紅樹林底土二氧化碳日間通量在夏、秋季較高(432.26 ± 102.87、628.58 ± 172.77 mg CO_2 m^{-2} h^{-1})，冬、春季較低(359.67 ± 182.38、361.63 ± 217.84 mg CO_2 m^{-2} h^{-1})，二氧化碳夜間通量亦呈現相同趨勢(如圖 47(a))；底土甲烷日間通量在夏、秋季較高(3715.53 ± 1227.52、5159.29 ± 1732.73 μg CH_4 m^{-2} h^{-1})，冬、春季較低(108.31 ± 118.60、491.14 ± 345.63 μg CH_4 m^{-2} h^{-1})，甲烷夜間通量亦呈現相同趨勢(如圖 47(b))；底土氧化亞氮日間及夜間通量皆以冬季較高(30.30 ± 24.29、22.04 ± 17.79 μg N_2O m^{-2} h^{-1})，春季較低(8.12 ± 6.21、11.54 ± 8.51 μg N_2O m^{-2}

h^{-1}) (如圖 47(c))。



(a) 七股海茄苳紅樹林底土二氧化碳(CO_2)日間(Light)及夜間(Dark)通量

(b) 七股海茄苳紅樹林底土甲烷(CH_4)日間(Light)及夜間(Dark)通量

(c) 七股海茄苳紅樹林底土氧化亞氮(N_2O)日間(Light)及夜間(Dark)通量

圖 47. 七股紅樹林底土溫室氣體日間與夜間通量

(五) 七股紅樹林碳匯估算

本研究已完成 2024 冬季至 2024 秋季期間七股海茄苳紅樹林碳匯計算，海茄苳紅樹林碳匯量在各季節間略有差異(-0.9692 ~ 2.7188 Kg $CO_2e\ m^{-2}\ season^{-1}$)，整合呈現碳吸收(碳匯)。其中夏季至秋季間因受颱風影響，枯落物量大幅增加，因此造成當季碳匯量增加。

由於尚未進行 2024 年秋季至 2025 年冬季之胸高樹徑測量，以及 2025 年冬季底土溫室氣體通量調查，故本計畫以今年度前三季數據平均值推估 2024 年秋季至 2025 年冬季生長量及枯落物量，並以 2024 年

冬季底土溫室氣體資料作為 2025 年冬季溫室氣體通量進行估算。估算結果七股海茄苳紅樹林每平方公尺年碳匯量為 4.9174 Kg CO_2e m^{-2} yr^{-1}。七股海茄苳紅樹林碳匯量如表 31 所示。

表 31. 七股海茄苳紅樹林碳匯量整理表

	紅樹林碳吸收量 A				底土碳排放量 B			紅樹林碳匯 C (H)
	紅樹林地上部生長量 (A)	紅樹林枯落物量 (B)	地上部淨初級生長量 (C)	地下部淨初級生長量 (D)	底土二氧化碳通量 (E)	底土甲烷通量 (F)	底土氧化亞氮通量 (G)	
	(Kg DW m^{-2} $season^{-1}$)	(g DW m^{-2} $season^{-1}$)	(Kg C m^{-2} $season^{-1}$)	(Kg C m^{-2} $season^{-1}$)	(Kg CO_2 m^{-2} $season^{-1}$)	(g CH_4 m^{-2} $season^{-1}$)	(g N_2O m^{-2} $season^{-1}$)	(Kg CO_2e m^{-2} $season^{-1}$)
冬季-春季	0.9244	167.55	0.5241	0.1341	0.8186	1.0027	0.0214	1.5619
春季-夏季	0.1133	133.39	0.1184	0.0164	1.1853	9.8408	0.0456	-0.9692
夏季-秋季	1.5504	499.74	0.9841	0.2326	1.4413	10.9082	0.0241	2.7188
秋季-冬季 D	0.8627	266.89	0.5422	0.1277	0.8290	0.2231	0.0564	1.6059
七股海茄苳紅樹林棲地每平方公尺年碳匯量(Kg CO_2e m^{-2} yr^{-1})								4.9174 E

※備註：

A 紅樹林碳吸收量以正值表示吸收，負值表示排放。地上部淨初級生長量為地上部生長量及枯落物量的總和(C=(A+B/1000)*48%)，48%為海茄苳植物碳含量的比例，地下部淨初級生長量即為地下部生長量。

B 底土碳排放量以正值表示排放，負值表示吸收。二氧化碳、甲烷及氧化亞氮的暖化潛勢分別為 1、27 及 273。

C 紅樹林碳匯以正值表示碳匯，負值表示碳源。碳匯量為紅樹林碳吸收量扣除底土溫室氣體排放量(H=(C+D)×44/12-E×1-F×27/1000-G×273/1000)。

D2024 秋季至 2025 冬季資料因尚未進行現地調查，本研究以前三季數據的平均值推估生長量及枯落物量。2025 冬季尚未進行底土溫室氣體通量測量，目前先以 2024 冬季資料作為代替。

[E]2024 年海茄苳紅樹林棲地年碳匯量，以 2024 年冬季至 2025 年冬季間四季碳匯資料加總計算。

(六) 海茄苳紅樹林碳匯比較

由於關於海茄冬紅樹林之研究成果眾多，本計畫匯整不同地地區之關於海茄冬紅樹林碳匯資料，並與本計畫兩處計畫區域調查結果作比較。比較結果如表 32。

表 32. 臺灣海茄苳紅樹林棲地碳匯比較表

	地上部淨初級生長量	地下部淨初級生長量	底土二氧化碳通量	底土甲烷通量	底土氧化亞氮通量	紅樹林碳匯	參考文獻
單位 / 地點	Kg C m^{-2} yr^{-1}	Kg C m^{-2} yr^{-1}	Kg CO_2 m^{-2} yr^{-1}	g CH_4 m^{-2} yr^{-1}	g N_2O m^{-2} yr^{-1}	Kg CO_2e m^{-2} yr^{-1}	
七股溪口紅樹林	2.169	0.511	4.2742	21.9820	0.1484	4.9174	本研究資料
鷸鴴科保護區	0.850	0.236	9.6899	15.8252	0.0940	-6.1608	本研究資料
彰化芳苑	1.186	0.381	3.0873	1.333	N.D.	2.6224	Lin et al. (2023)
嘉義布袋	0.738	0.262	1.3127	4.000	N.D.	2.2460	Lin et al. (2023)
臺南北門	0.549	0.159	1.4520	4.500	N.D.	1.0225	Lin et al. (2023)
臺南七股	1.044	0.220	6.1783	1.333	N.D.	-1.5796	Lin et al. (2023)

5.3.3 七股鹽灘地水域

(一) 樣點選擇

鹽灘地水域樣區位於台區鹽田南側之觀海樓旁 (23° 8' 42.25" N, 120° 4' 37.54" E)，本計畫已完成鹽灘地四季水域溫室氣體排放通量測量。

(二) 七股鹽灘地水層與底層溶氧代謝量

本計畫測量七股鹽灘地水域之水層與底層溶氧代謝量，藉以推算水體浮游藻與底土浮游藻光合作用與呼吸作用造成之溶氧變化量，進一步推算鹽灘地水域內之二氧化碳通量。水層淨初級生產量(Net primary production, NPP)與總初級生產量(Gross primary production, GPP)呈現相同季節變化，以冬、春季較高，夏、秋季較低；水層呼吸量(Community respiration, CR)則以秋季較高(148.83 ± 20.05 mg C m^{-3} h^{-1})，春季較低(97.28 ± 16.59 mg C m^{-3} h^{-1})。底層 NPP 與 GPP 呈現相同季節變化，以春、秋季較高，冬、夏季較低。底層 CR 則以秋季較高(28.57 ± 11.73 mg C m^{-2} h^{-1})，其他三季較低(4.69 ± 0.32 ~ 6.58 ± 0.00 mg C m^{-3} h^{-1})。七股鹽灘地水層與底層溶氧代謝量如圖 48 所示。

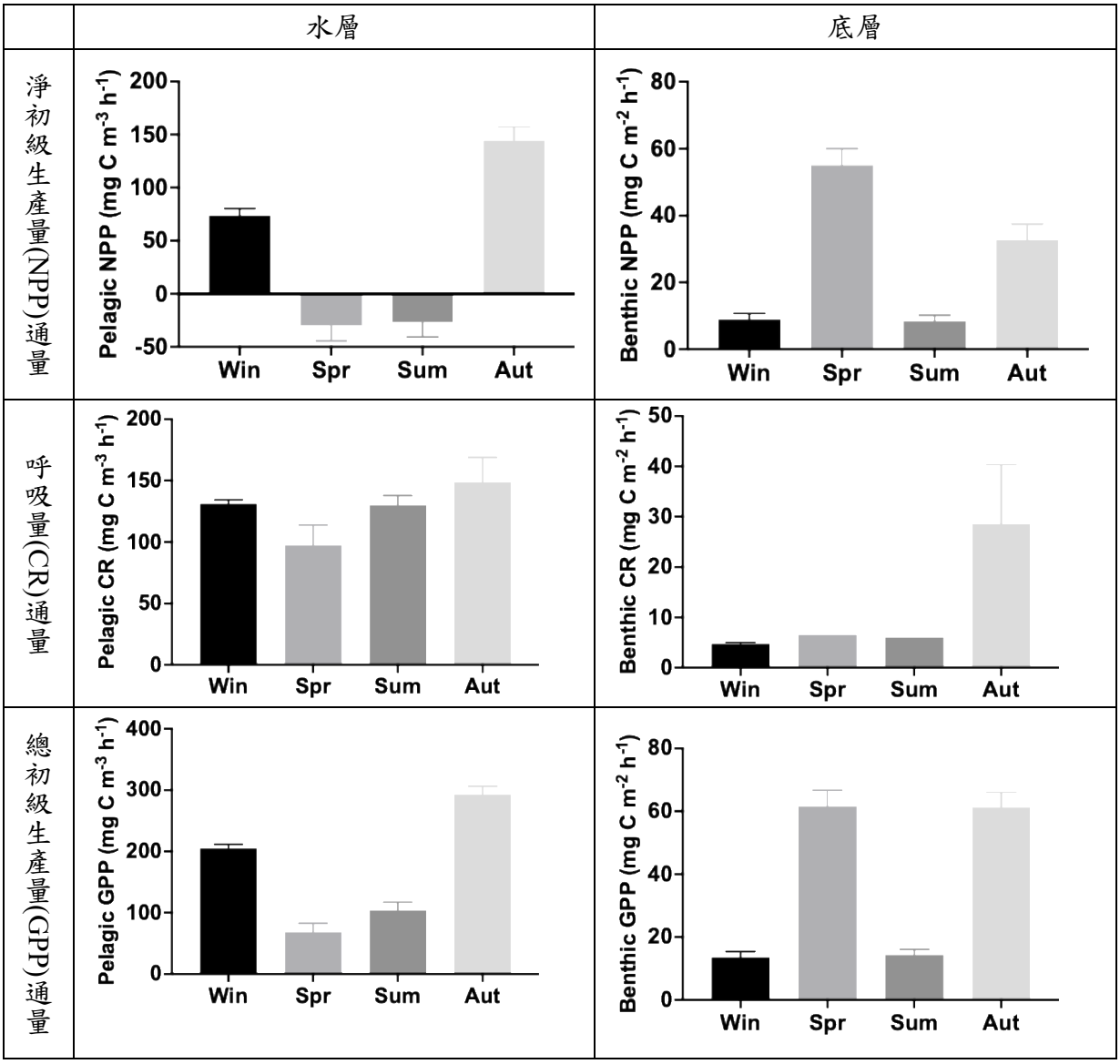
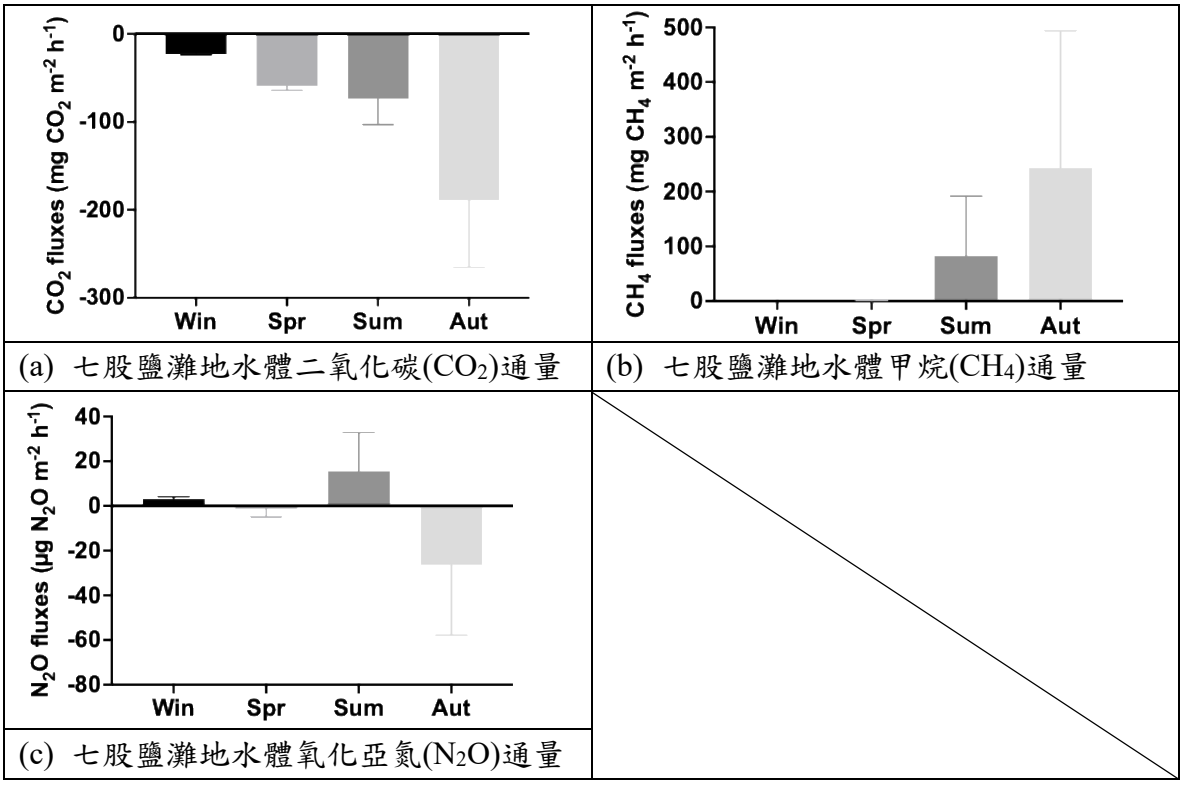


圖 48. 七股鹽灘地水層與底層溶氧代謝量

(三) 七股鹽灘地水體溫室氣體通量

七股鹽灘地水體二氧化碳通量在四季皆為負值，以秋季最低(-189.36 ± 75.83 mg CO_2 m^{-2} h^{-1})，顯示為七股鹽灘地水體呈現二氧化碳吸收(碳匯)，如圖 49(a)所示；水體甲烷通量以秋季較高(243.06 ± 250.82 mg CH_4 m^{-2} h^{-1})，冬、春季較低(0.07 ± 0.03 ~ 0.98 ± 0.53 mg CH_4 m^{-2} h^{-1})，如圖 49(b)所示；水體氧化亞氮通量則以冬、夏季為排放狀態(3.09 ± 0.98, 15.48 ± 17.29 mg N_2O m^{-2} h^{-1})，春、秋季為吸收狀態(-1.13 ± 3.80, -26.28 ± 31.53 mg N_2O m^{-2} h^{-1})，如圖 49(c)所示。



(a) 七股鹽灘地水體二氧化碳(CO_2)通量　(b) 七股鹽灘地水體甲烷(CH_4)通量

(c) 七股鹽灘地水體氧化亞氮(N_2O)通量

圖 49. 七股鹽灘地水體溫室氣體通量

(四) 七股鹽灘地水域碳匯估算

本計畫以水體二氧化碳通量作為鹽灘地水層浮游藻與底層底棲藻共同貢獻碳吸存量，以水體甲烷通量及氧化亞氮通量作為棲地碳排放量。七股鹽灘地碳匯結果在冬季及春季為碳吸收(碳匯)，夏季及秋季因甲烷大量增加，使得七股鹽灘地轉變為碳排放(碳源)。七股鹽灘地每平方公尺年碳匯量為 -18.3792 g CO_2e m^{-2} yr^{-1}。七股鹽灘地碳匯量如表 33 所示。

表 33. 七股鹽灘地水域碳匯量整理表

	藻類碳吸存量 [A]		水體溫室氣體通量 [B]		鹽灘地水域碳匯 [C] (E)
	浮游藻淨初級生產量 (A)	底棲藻淨初級生產量 (B)	甲烷通量 (C)	氧化亞氮通量 (D)	
	($g\ C\ m^{-2}\ season^{-1}$)	($g\ C\ m^{-2}\ season^{-1}$)	($g\ CH_4\ m^{-2}\ season^{-1}$)	($mg\ N_2O\ m^{-2}\ season^{-1}$)	($Kg\ CO_2e\ m^{-2}\ season^{-1}$)
冬季	28.0758	19.5679	0.1515	6.8154	0.1687
春季	-34.4641	118.6913	2.1092	-2.4501	0.2526
夏季	-35.8975	18.3730	182.8202	34.1734	-5.0097
秋季	72.2887	71.2634	530.8441	-57.3986	-13.7908
七股鹽灘地水域每平方公尺年碳匯量($g\ CO_2e\ m^{-2}\ yr^{-1}$)					-18.3792

※備註：

[A] 藻類碳吸存量以正值為碳吸收，負值為碳排放。

[B] 水體溫室氣體通量以正值表示溫室氣體排放，負值表示溫室氣體吸收。二氧化碳、甲烷及氧化亞氮的暖化潛勢分別為 1、27 及 273。

[C] 七股鹽灘地水域碳匯以正值表示碳匯，負值表示碳源。碳匯量為藻類碳吸存量扣除水體溫室氣體排放量(E=((A+B)*44/12-C×27-D×273/1000)/1000)。

5.3.4 鄰近鹽灘地海草生育地—西寮海草床

(一) 樣區設置

海草樣區挑選西部濱海快速公路與南 25 線道交匯處之海草生育地(23°10' 22.97" N, 120°5' 29.46" E)，此廢棄漁塭內的海草物種為線葉二藥草(*Halodule pinifolia*)。經繞行魚塭一圈，目視線葉二藥草生長於魚塭邊緣處，假設邊緣 1 公尺處為線葉二藥草生長區域，線葉二藥草生長面積約為 428 m^2。另調查線葉二藥草覆蓋度約為 11.3%至 18.7%，

線葉二藥草密度約為 0.22 至 0.47 shoots m^{-2}。

(二) 線葉二藥草生產力

西寮線葉二藥草(*Halodule pinifolia*)生產力以冬季較高(0.093 ± 0.029 mg DW $shoot^{-1}$ d^{-1})，秋季較低(0.049 ± 0.004 mg DW $shoot^{-1}$ d^{-1})(如圖 50)。

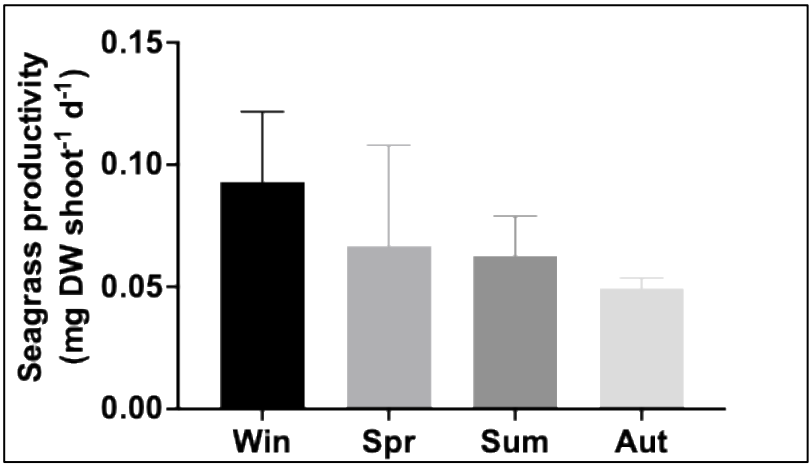
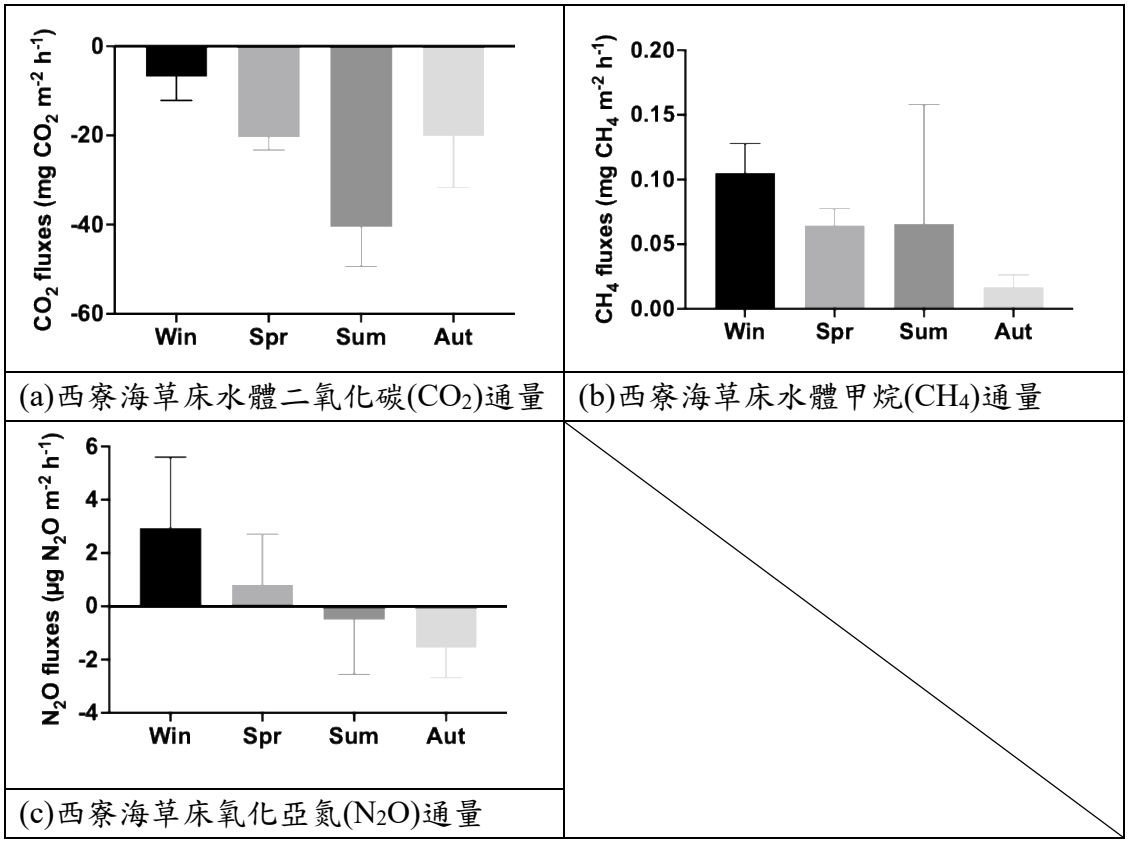


圖 50. 西寮線葉二藥草地上部生產力調查結果。

(三) 初級生產力與溫室氣體通量

西寮海草床水體二氧化碳通量在四季調查結果皆為負值(如圖 51(a))，顯示二氧化碳皆為吸收狀態；水體甲烷通量以冬季最高，秋季最低；水體氧化亞氮通量則以冬季最高(如圖 51(b))，秋季最低(如圖 51(c))。



(a)西寮海草床水體二氧化碳(CO_2)通量　(b)西寮海草床水體甲烷(CH_4)通量

(c)西寮海草床氧化亞氮(N_2O)通量

圖 51. 線葉二藥草水體溫室氣體通量

(四) 西寮海草床碳匯估算

由於海草床與大氣介面二氧化碳交換量，主要由系統中初級生產者(線葉二藥草與浮游藻類)進行光合作用與呼吸作用所提供。故本計畫除了實地測量線葉二藥草地上部與地下部生產力，另測量海草床水體之二氧化碳通量，以估算線葉二藥草與浮游藻類光合作用與呼吸作用所造成的水體二氧化碳通量，進一步試算西寮海草床整體碳匯量。

根據調查結果顯示若僅考量線葉二藥草所貢獻之碳吸存量，西寮海草床四季碳匯量皆為負值，年碳匯量為-15.95 g CO_2e m^{-2} yr^{-1}，顯示為碳排放(碳源)；若以水體二氧化碳通量作為線葉二藥草與浮游藻類共同貢獻碳吸存量，西寮海草床四季碳匯量則為正值，年碳匯量為690.63 g CO_2e m^{-2} yr^{-1}，顯示為碳吸收(碳匯)。西寮海草床碳匯計算結果如表 34 所示。

表 34. 西寮海草床碳匯估算結果

	線葉二藥草碳吸存量 [A]		水體溫室氣體通量 [B]			海草棲地碳匯 [E]	
	地上部生產力 [C] (A)	地下部生產力 [D] (B)	二氧化碳通量 (C)	甲烷通量 (D)	氧化亞氮通量 (E)	(F)	(G)
單位	(mg C m^{-2} $season^{-1}$)	(mg C m^{-2} $season^{-1}$)	(g CO_2 m^{-2} $season^{-1}$)	(g CH_4 m^{-2} $season^{-1}$)	(mg N_2O m^{-2} $season^{-1}$)	(g CO_2e m^{-2} $season^{-1}$)	
冬季	0.6626	0.4417	-15.0225	0.2319	6.4871	-8.0282	47.0502
春季	0.7876	0.5251	-44.2457	0.1390	1.7445	-4.2244	158.0050
夏季	0.8049	0.5366	-89.4450	0.1453	-1.0855	-3.6218	324.3382
秋季	0.7598	0.5065	-43.9960	0.0371	-3.3745	-0.0758	161.2382
西寮海草床每平方公尺年碳匯量 (g CO_2e m^{-2} yr^{-1})						-15.9502	690.6317

※備註：

[A] 線葉二藥草碳吸存量以正值為碳吸收，負值為碳排放。

[B] 水體溫室氣體通量以正值表示溫室氣體排放，負值表示溫室氣體吸收。二氧化碳、甲烷及氧化亞氮的暖化潛勢分別為 1、27 及 273。

[C] 以東沙海域的單脈二藥草(*Halodule uninervis*)碳含量為 35.78%(黃衍勳，2012)，估算線葉二藥草地上部生產力的碳吸收量。

[D] 以墾丁南灣及大光潮間帶的單脈二藥草(*Halodule uninervis*)地上部與地下部生產力比值為 1.5，估算線葉二藥草地下部生產力(Zou et al. 2021)。

[E] 海草棲地碳匯以正值表示碳匯，負值表示碳源。由於海草棲地的水體二氧化碳通量可由水體中的線葉二藥草與浮游藻類的光合作用所提供，因此以線葉二藥草碳吸收量扣除水體溫室氣體通量計算海草棲地碳匯(F=(A+B)×44/12/1000-D×27-E×273/1000)，另以水體二氧化碳通量扣除甲烷與氧化亞氮通量計算海草棲地碳匯(G=-C×44/12-D×27-E×273/1000)。

六、生態系統服務評估

經濟價值為生態系統服務常用評估方法之一，包含市場價格法、條件評估法、旅行成本法、替代成本法等(農業部林業及自然保育署，2016)，雖然可與開發價值進行比較，但容易受單價、估算方法、貨幣、利率、折現率影響。本計畫強調生態系統服務之重要性，透過現地調查、利害關係人訪談及狀態指標等方式，以定性或定量描述生態系統服務，並使用去年建立之方法論通則，進一步探討計畫區域時間變異、空間分布等交互關係，以及滾動修正方法論內容，以確實反應生態系統服務之內涵，以供台江國家公園管理處作為經營管理之參考依據。以下茲就生態系統服務評估方法論通則、利害關係人辨識及訪談、評估方法進行說明。

6.1 生態系統服評估方法論應用

本計畫延續 2023 年鹿耳門鷸鴴科生態保護區執行之工作項目，綜整並建立具有系統性之方法論，以期許將此方法論延伸並應用至各濕地環境。由於目前評估環境生態服務方法論眾多，但依據本團隊 2023 年度工作經驗，大部分生態系統服務並沒有被明確辨識，若濕地具有現地調查數據資料，便能加速進行生態系統服務辨識。根據本計畫對於計畫區域以及台江國家公園之瞭解，建議評析一濕地之方法順序：進行現地調查為首要，其次是生態系統服務評估（本研究乃利用訪談利害關係人與 RAWES 方法進行分析），最後為模型情境模擬評估（本研究使用 InVEST 模式進行該濕地現況評估或未來情形預估）。方法論流程圖如圖 42 所示，以下為方法論內容詳細說明：

1. 現地調查：濕地對於減緩與調適氣候變遷扮演重要角色，為了瞭解一個濕地實際情況與樣貌，現場調查為不可忽略之步驟，亦是整個方法論之基礎。濕地本身具有環境條件眾多，例如：水文、高程地

形、碳匯功能、生態多樣性等。其中，水文是濕地生物群們食物的來源，即是造就濕地生態多樣性之重要關鍵，可利用水質儀等儀器設備定期監測；濕地中生長著多樣化植物具有提供碳匯功能，可藉由測量紅樹林生長量變化估算而得。現地調查目的除了瞭解濕地現況，調查資料也可運用於後續濕地生態系統服務評估。

2. 生態系統服務評估：目前已發展出相當多樣的生態系統服務評估方法，包括質性評估與量化評估。本研究採用國際濕地公約建議的快速評估生態系統服務方法(RAWES)，其適用於跨多個空間尺度之大尺度評估，亦可適用於小尺度的現況評估。應用此方法上考慮了所有生態系服務和服務類別，從支持服務、調節服務、文化服務與供給服務，RAWES 方法以服務受益者的角度，建立一共同基線來比較生態系統服務結果。然而此方法評估基礎，需基於已經取得的大量的相關資訊與知識，且尚缺乏對生態系結構與服務之間複雜關係以及生態過程與服務發揮與保育之間聯繫的科學解釋。儘管如此，此方法評估原則明確，應用簡單，且評估速度相對較其他方法更加快速，為本計畫使用之原因。

3. 模型情境模擬評估：生態系統服務模型可用以模擬呈現該生態系統，諸如 InVEST、SolVEST 及 ARIES 等，本研究採用 InVEST 模式，其以土地利用為分析基礎，透過結合地理資訊系統，利用空間化及視覺化的方式呈現生態系服務評估結果，並可以地圖形式呈現，彌補過去生態系服務評估模型所欠缺的價值評估法與空間特徵解釋。模式優勢是可以透過模擬未來情境數據的設定，進行未來情境模擬分析以進行比較；評估結果視覺化與未來情境可模擬性是 InVEST 與其他模型相比更能廣泛應用於環境相關決策的原因(詹為巽，2019)。然而，在針對土地利用變化較小，區域土地利用種類單一的

環境，較難精確展現可視化生態服務水準的差異，因此模式適用於大尺度或跨時空的生態服務系統評估，模式評估仰賴子模式的開發，目前可針對淡水生態系、陸地生態系、海洋生態系及都市生態系進行評估，但針對文化服務中，教育與研究、歷史價值等尚缺乏評估工具，因此評估結果尚無法涵蓋完整生態服務系統。以「棲息地品質(Habitat Quality)」模式為例，InVEST 模型須先依據微棲地分類與內政部國土測繪中心國土利用現況調查成果，完成土地利用劃分，並依據不同土地利用類別，參考 InVEST 建議參數，如距離參數、影響權重參數等，來設定每種土地分類的棲息地適宜性，以及其與各環境威脅因子之相對敏感性。

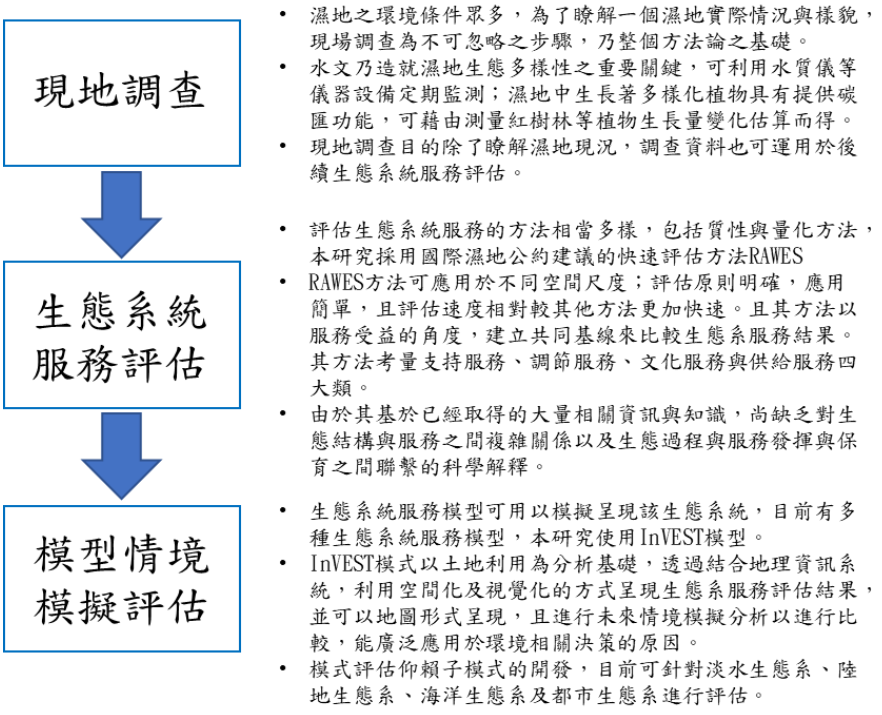


圖 52. 生態系統服務評估方法論流程圖(引用自台江國家公園(2023))

現地調查須根據經費多寡、管理策略決定調查之面向以及優先順位，其中現地調查後取得之資料處理亦須根據儀器或資料限制、實際需求、人力所能及之範圍等條件進行調整，如：去年使用 NDWI 與 NDVI 分別進行

鹿耳門鷸鴴科保護區內水域及植被判釋，然而今年由於台區鹽田內之植被數量稀少，難以使用 NDVI 進行判釋，故僅能以 NDWI 進行整體水域環境評估，再以人工判釋台區鹽田內植被位置與面積，而七股潟湖則是因正射影像無使用 NDWI 與 NDVI 所需之近紅外光波段(NIR)，故其為棲地劃設僅能以人工判釋；RAWES 方法僅提供快速評估，仍需要更多科學研究資料以及更細節之現地調查資料加以補充，並持續滾動調整。除此之外，若調查區域涉及兩處以上，建議可將調查區域進行區分並辨識不同區域之利害關係人，以取得更精確之評估結果；InVEST 模型受限於模式本身輸入參數假設，故每一個使用者須瞭解每一個子模式所代表之意義以及應用方式。儘管 InVEST 模型具有模擬研究區域未來土地利用之能力，然而自然生態環境具變動特性，使用者須收集大量資料以瞭解研究區域內各變因資料，以推估研究區域內之環境變化。故除了 InVEST 模型外，亦可考量使用其他模型進行分析模擬的可能性。綜合上述結果，生態系統服務為一個動態過程，需要長時間監測並滾動調整，故須提出長期調整策略。

6.2 快速評估生態系統服務方法(Rapid Assessment of Wetland Ecosystem Services, RAWES)

RAWES 方法共分為三個階段(McInnes & Everard, 2017)。首先依 RAWES 評估中建議準備(Preparation)階段選定 2 位以上研究人員，以瞭解 RAWES 所涵蓋之生態系統服務內涵，及其對應現地指標。接著現地評估(Field Assessment)階段透過訪談在地居民、NGO 團體、養殖漁民以及管理單位等利害關係人，參考 McInnes & Everard (2017)及 De Groot (2010)對於狀態指標之定義與建議，評估計畫區域所供應的生態系統服務。最後研究人員於資訊管理(Information Management)階段進行討論並總結現地觀察與訪談結果，完成資料紀錄與建檔。上述三個階段流程如圖 53 所示。

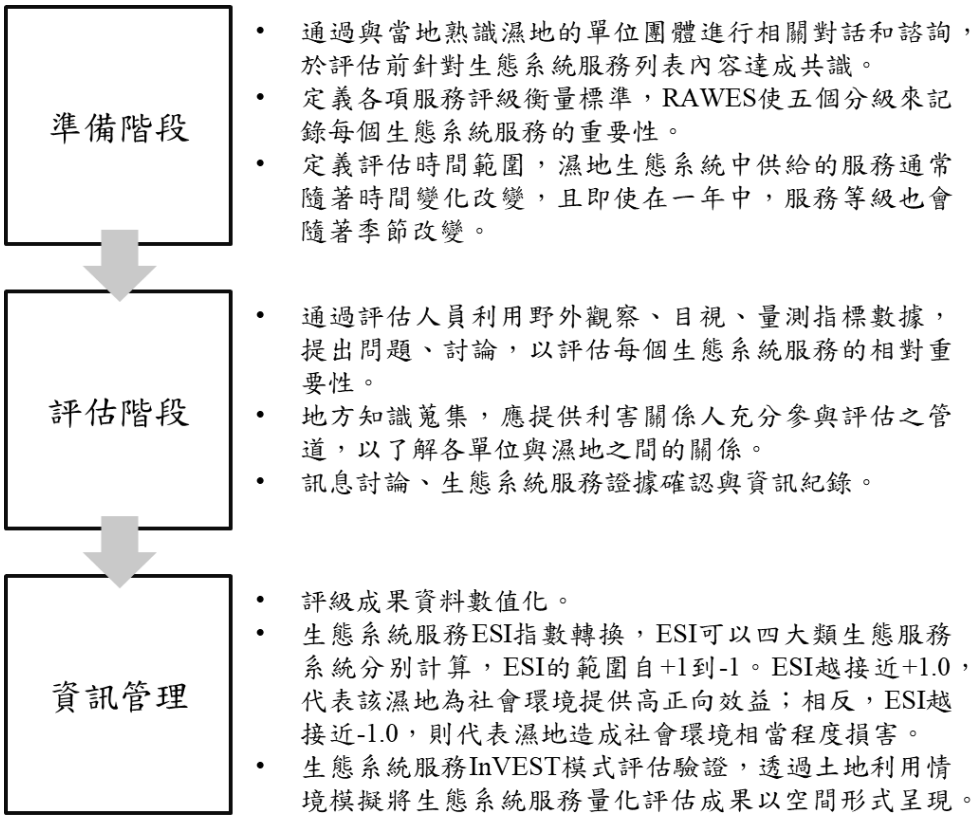


圖 53. RAWES 方法三階段方法執行流程

RAWES 方法將濕地提供之生態系統服務細分為 37 項，本計畫採用 De Groot 於 2010 年提出的狀態指標(state indicators)概念，將狀態指標修改成較為淺顯易懂之文字敘述，用以做為各項生態系統服務之說明描述，方便利害關係人進行判斷。計畫區域 RAWES 狀態指標如表 35 所示。

表 35. 計畫區域 RAWES 狀態指標

生態系統服務		RAWES 狀態指標
供給服務	提供淡水	提供飲用水、灌溉用水、淡水養殖等。
	提供食物	供應魚類，藻類等。
	提供天然材料	供應木材、稻草、動物纖維
	提供燃料	提供可做為燃料使用之資源。
	提供遺傳資源	提供物種繁殖場所。
	提供觀賞資源	提供資源作為裝飾或觀賞等。
	黏土礦物資源提供	提供具有經濟價值土壤或礦物。
	廢物處理	提供周邊環境廢棄物、廢污水處理場域等。

	從自然空氣或水流中獲取能量	風力發電，水力發電，太陽能發電等。
調節服務	調節空氣品質	清除由汽車排放、工廠煙囪、農地揚灰等空氣污染物。
	調節當地氣候	利用紅樹林林蔭降溫，調節當地微氣候。
	調節全球氣候	具有固碳效益功能。
	水調節	區域水體在雨季可供保存或乾季可供利用調節。
	洪水災害調節	提供抵禦洪水災害調節。
	暴風災害調節	提供抵禦颱風或海浪侵蝕災害調節。
	害蟲管理	抵禦病蟲害的調節。
	人類疾病調節	提供人類疾病抵禦調節。
	動物疾病調節	提供動物疾病抵禦調節。
	植物疾病調節	提供植物疾病抵禦調節。
	土壤侵蝕調節	提供土壤因風化、水流或其他原因侵蝕調節。
調節服務	淨化水質	提供水質淨化。
	授粉	提供蜜蜂、蝴蝶等昆蟲為植物和農作物傳粉。
	鹽度調節	濕地中的淡水提供阻截鹽水的天然屏障。
	火勢調節	提供天然障礙或維持區域濕潤環境以攔截火勢蔓延等。
	噪音與視覺緩衝	濕地樹木或高蘆葦吸收及緩衝噪音的影響。
文化服務	文化遺產	具有歷史意義可做為傳統利用或是位於國家文化景觀中。
	休閒娛樂與旅遊	可提供休閒娛樂場所且具重要性。
	美學價值	提供濕地美學價值。
	精神與宗教價值	提供精神價值或宗教價值等。
	靈感價值	提供靈感價值。
	社會關係	提供良好社會互動關係。
	教育和研究	進行環境教育或長期研究監控之區域。
支持服務	土壤形成	沉積物或有機質沉積。
	初級生產力	提供植物生長能量，讓植物們可以生產食物或作為觀賞資源。
	養分循環	農地營養物質輸入、植物內部養分循環提供等。
	水循環	蒸發或蒸散作用局部水循環、地表水與地下水進行交換區域。
	棲息地提供	存在重要棲息地環境與物種，並受保育關注之地區。

6.3 利害關係人辨識及訪談

利害關係人通常能由公共政策相對應的關係進行初步盤點，再透過基本資料(如保育利用計畫、經營營運計畫)、環境因素(如法規、政策)、專案前例等、腦力激盪、專家意見等方式辨識利害關係人及建立權力關係(林沂曄，2018)。以計畫區域為例，潛在利害關係人包含內政部國土管理署(重要濕地主管機關)、農業部林業及自然保育署(野生動物保護區主管機關)、台江國家公園管理處(國家公園主管機關及重要濕地管理單位)、臺南市政府(野生動物保護區管理單位)、社團法人台灣濕地保護聯盟(前野生動物保護區管理單位)、經濟部水利署第六河川分署(水利主管機關)，周邊則有農民、漁民、居民、地主等。

本計畫主持人王筱雯教授研究團隊長期關注七股鹽田濕地，本計畫搭配團隊研究室之其他研究，參與其於今年 5 月 20 日在臺南市七股區辦理之工作坊，以逐項說明方式請利害關係人進行七股潟湖與七股鹽田生態系統服務評估。參與工作坊之利害關係人眾多，除了七股區當地居民，亦有認養七股鹽田濕地之單位，如台南鳥會。整體參與評估之利害關係人可分為七股潟湖與七股鹽田兩類，七股潟湖之利害關係人為：利用七股沙洲及潟湖進行養殖與捕魚維生之漁民，以及經營遊憩船筏之船家；而七股鹽田之利害關係人為以生態保育為目標認養停晒鹽田之民間團體，以及與七股鹽田濕地於地緣關係或日常生活具有緊密相關之里長或社區發展協會總幹事等。本計畫透過與利害關係人進行訪談，瞭解其對計畫區域的利用，進而判釋計畫區域潛在生態系統服務與狀態指標資料。

6.3.1 RAWES 方法成果

本計畫於今年 5 月 20 日邀請 32 位利害關係人進行七股潟湖與七股鹽田生態系統服務評估，參與評估之利害關係人為利用七股沙洲及潟湖

進行養殖與捕魚維生之漁民，以及經營遊憩船筏之船家、以生態保育為目標認養停晒鹽田之民間團體，以及與七股鹽田濕地於地緣關係或日常生活具有緊密相關之里長或社區發展協會總幹事等。評估方式首先為計畫人員以口語化用詞逐一向利害關係人解釋每項生態系統服務，再請利害關係人根據自身經驗或知識判斷七股潟湖或七股鹽田有/無/不確定是否包含該項生態系統服務，選擇有設為 1 分、不確定設為 0 分、沒有設為 -1 分，將每項服務三者結果加總後取分數大於 0 者，即為具有該項生態系統服務。

評估結果顯示利害關係人認同七股潟湖具有 23 項服務—供給服務中提供食物、提供遺傳資源與提供觀賞資源等 3 項服務；調節服務中調節空氣品質、調節當地氣候、水調節、洪水災害調節、暴風災害調節、動物疾病調節、土壤侵蝕調節、淨化水質以及鹽度調節等 9 項服務；文化服務中文化遺產、休閒娛樂與旅遊、美學價值、精神與宗教價值、靈感價值、社會關係、教育和研究等 7 項服務；支持服務中土壤形成、初級生產力、養分循環與棲息地提供等 4 項服務。而七股鹽田則具有 30 項服務—供給服務中提供淡水、提供食物、提供遺傳資源、提供觀賞資源與從自然空氣或水流中獲取能量等 5 項服務;調節服務中調節空氣品質、調節當地氣候、調節全球氣候、水調節、暴風災害調節、人類疾病調節、動物疾病調節、植物疾病調節、土壤侵蝕調節、淨化水質、授粉、火勢調節以及鹽度調節等 13 項服務；文化服務中文化遺產、休閒娛樂與旅遊、美學價值、精神與宗教價值、靈感價值、社會關係、教育和研究等 7 項服務；支持服務中土壤形成、初級生產力、養分循環、水循環與棲息地提供等 5 項服務。兩處評估結果如表 36 與表 37 所示。

根據評估結果指出，利害關係人認同七股潟湖與七股鹽田皆具有以下生態系統服務：供給服務 3 項—提供食物、提供遺傳資源與提供觀賞

資源；調節服務 8 項—調節空氣品質、調節當地氣候、水調節、暴風災害調節、動物疾病調節、土壤侵蝕調節、淨化水質以及鹽度調節；文化服務 7 項—文化遺產、休閒娛樂與旅遊、美學價值、精神與宗教價值、靈感價值、社會關係、教育和研究；支持服務 4 項—土壤形成、初級生產力、養分循環與棲息地提供，總計 22 項。根據方法論流程圖(圖 52)，針對計畫區域之七股鹽田濕地，本計畫目前已完成高程分析以及冬季與春季之水質水文與碳匯功能調查，並已訪談利害關係人得到初步 RAWES 分析結果。

表 36. 七股潟湖生態系統服務評估結果

生態系統服務	服務項目	有提供	不確定	沒有提供	計算結果
供給服務	提供淡水	3	1	3	0
	提供食物	10	0	0	10
	提供天然材料	2	3	3	-1
	提供燃料	0	4	3	-3
	提供遺傳資源	6	0	0	6
	提供觀賞資源	6	0	0	6
	黏土礦物資源提供	1	4	2	-1
	廢物處裡	1	4	3	-2
	從自然空氣或水流中獲取能量	3	0	3	0
調節服務	**調節空氣品質**	5	0	1	4
	調節當地氣候	8	0	0	8
	調節全球氣候	2	1	3	-1
	水調節	6	0	1	5
	洪水災害調節	6	0	0	6
	暴風災害調節	6	0	0	6
	害蟲管理	3	3	4	-1

	人類疾病調節	2	3	3	-1
	動物疾病調節	3	1	1	2
	植物疾病調節	1	5	1	0
	土壤侵蝕調節	3	3	1	2
	淨化水質	2	3	1	1
	授粉	0	3	3	-3
	鹽度調節	4	1	1	3
	火勢調節	0	1	3	-3
	噪音與視覺緩衝	1	1	2	-1
文化服務	**文化遺產**	4	0	0	4
	休閒娛樂與旅遊	4	1	0	4
	美學價值	5	0	0	5
	精神與宗教價值	4	3	1	3
	靈感價值	3	5	0	3
	社會關係	2	1	1	1
	教育和研究	3	0	1	2
支持服務	**土壤形成**	3	4	1	2
	初級生產力	3	1	1	2
	養分循環	4	1	1	3
	水循環	1	8	1	0
	棲息地提供	7	1	0	7

表 37. 七股鹽田生態系統服務評估結果

生態系統服務	服務項目	有提供	不確定	沒有提供	計算結果
供給服務	**提供淡水**	5	3	4	1
	提供食物	5	1	3	2
	提供天然材料	0	2	8	-8
	提供燃料	1	0	8	-7
	提供遺傳資源	4	0	3	1
	提供觀賞資源	9	0	0	9
	黏土礦物資源提供	1	2	5	-4
	廢物處裡	0	4	3	-3
	從自然空氣或水流中獲取能量	6	0	0	6
調節服務	**調節空氣品質**	3	2	1	2
	調節當地氣候	4	1	0	4
	調節全球氣候	3	2	0	3
	水調節	4	2	0	4
	洪水災害調節	2	1	2	0
	暴風災害調節	5	1	0	5
	害蟲管理	2	2	3	-1
	人類疾病調節	3	3	0	3
	動物疾病調節	4	1	1	3
	植物疾病調節	3	3	0	3
	土壤侵蝕調節	3	2	0	3
	淨化水質	2	3	0	2
	授粉	1	6	0	1
	鹽度調節	3	1	0	3
	火勢調節	3	2	2	1
	噪音與視覺緩衝	1	4	1	0
文化服務	**文化遺產**	4	1	0	4
	休閒娛樂與旅遊	3	1	1	2
	美學價值	5	1	0	5

	精神與宗教價值	2	3	1	1
	靈感價值	3	1	2	1
	社會關係	3	2	0	3
	教育和研究	7	0	0	7
支持服務	**土壤形成**	6	2	0	6
	初級生產力	4	0	3	1
	養分循環	3	4	0	3
	水循環	3	3	0	3
	棲息地提供	9	0	0	9

6.3.2 盤點歷年計畫 RAWES 結果

除訪談利害關係人對於生態系統服務之瞭解外，為進一步瞭解生態系統服務對於七股鹽田濕地目前應用性與未來發展性，本計畫亦針對七股潟湖、七股鹽田及周邊魚塭作範圍，爬梳台江國家公園近五年(2019-2023 年)研究計畫，分析計畫研究內容是否具有可直接或間接證明七股鹽田濕地所能提供之生態系統服務。本計畫盤點計畫涉及七股鹽田濕地之研究計畫類型主要包含生物調查、環境調查、文化資產、棲息地經營管理。近五年計畫盤點與內容說明如表 38 所示。

表 38. 近五年台江國家公園探討生態系統服務計畫列表

年份	計畫名稱	說明
108~112	生態友善棲息地理念推廣及先期發展規劃計畫、國際遷移物種生態友善棲息地營造試驗計畫、生態友善棲息地營造保育綠色地圖推廣及輔導計畫	連結私有魚塭養殖產業與冬候鳥棲息地間的保育關係，營造漁塭成為生態友善棲息地，以確保黑面琵鷺等遷移物種棲息地環境。七股濕地周邊魚塭為黑面琵鷺重要度冬棲息地。
108~112	台江國家公園及其週緣地區黑面琵鷺數量調查	台江國家公園及其週緣地區黑面琵鷺族群監測，以瞭解其對棲息地的選擇與需求，族群發展趨勢。七股濕地周邊魚塭為黑面琵鷺重要度冬棲息地。

112	台江地區常民產業文化發展及相關文物調查計畫—以漁撈（含鹽業）文化應用為例	內海周緣民眾皆須倚賴採捕維生，系統性的整理台江一帶海埔地的產業活動，以及常民所使用的工具、器物是如何製造及使用、其型式與生活環境等之關係，並紀錄特殊漁獲如環文蛤、土龍、花跳、鰻魚苗等漁具、漁法。
109	台江國家公園陸蟹生態調查	針對台江國家公園陸域範圍進行全區潮上帶陸蟹的種類、微棲地、分布及繁殖季調查。七股潟湖為其調查範圍。
109	台江地區無形文化資產暨文獻資料蒐集計畫成果報告書	研究台江地區宗教祭祀文化、節慶風俗與漁鄉生活、口傳傳說、故事及俚諺、表演藝術與工藝等無形文化資產。研究範圍包含七股濕地周邊社區。
108~109	七股鹽田重要濕地（國家級）生態及水質基礎調查計畫	七股南鹽鹽田、臺區鹽田、扇形鹽田及青鯤鯓鹽田等四處停晒鹽田之鳥類、魚類（含甲殼類）、底棲（軟體動物、螺貝及甲殼類）、水質、底質等基礎調查
108	南鹽鹽田東南側棲息地水門操作規劃及試驗報告書	南鹽鹽田東南側棲息地係黑面琵鷺度冬族群棲息地熱點，盤點七股南鹽鹽田水利設施，調查水位、地形高程，進行引水試驗
108	台江國家公園陸域哺乳類生態資源基礎調查	對台江國家公園陸域哺乳類基礎生態資料進行調查，以瞭解資源現況，並提供台江國家公園管理處經營管理及解說教育之參考依據。計畫範圍包含七股潟湖及鹽田。
108	台江文化保存及創新應用(3/3)-台江地名書寫計畫暨史普知識推廣	台江及周邊範圍內之古今地名變遷調查研究，詮釋台江先民拓墾歷史脈絡與文化意義，藉探訪當地耆老或文史工作者，發掘屬於台江在地的故事，並可作為解說教育之用。研究範圍包含七股濕地。
108	台江國家公園植物資源調查	針對台江國家公園範圍之七股潟湖周緣地區、曾文溪口周緣地區、鹿耳門溪口周緣地區及四草周緣地區，通盤調查植物資源現況，並建置紅樹林物種及稀有植物分布資訊。

108	台江國家公園海域生態系生物資源調查與多樣性保育研究(4/4)	調查台江國家公園亞潮帶海域（海管一及海管二）魚、蝦、蟹、頭足及螺貝類的物種多樣性為主要目標，也收集及分析園區海域的水文水質、底質、浮游植物藻類、浮游動物等環境及生物資料。

本計畫將評估結果與 2018 年《七股鹽田濕地水文生態環境永續管理計畫》、阮庭大 2022 年碩士論文，以及台江國家公園近五年計畫關於七股鹽田濕地之生態系統服務結果進行比較，四者比較結果如表 39 所示。其中台江國家公園近五年計畫指出可指涉 12 項生態系統服務，但此僅表示其他生態系統服務項目有其研究缺口，而非七股鹽田濕地沒有這些生態系統服務項目。

表 39 指出本計畫、台江國家公園(2018)、阮庭大(2022)以及近五年計畫結果，皆認同七股鹽田濕地之供給服務具有 2 項，為提供食物與提供遺傳資源；調節服務具有 1 項，為淨化水質；文化服務具有 3 項，為文化遺產、休閒娛樂與旅遊以及教育和研究，共計 6 項。表示此 6 項服務較為貼近利害關係人之生活，較不受時間或不同利害關係人生活經驗影響而改變。除了上述 6 項之外，根據近年調查結果及利害關係人分享內容發現調節服務中之鹽度調節以及支持服務中之棲息地提供，也為近幾年利害關係人較為認可之服務項目。由此可知，影響評估結果因素除利害關係人之生活經驗、觀察角度與詮釋方式不同之外，隨著時間演進與環境變化，利害關係人對於七股鹽田濕地利用程度及熟悉度皆有所不同，亦會使得評估結果略有差異。此外，歷年計畫目前還未證明但後續可延伸探討有供給服務之提供燃料，以及調節服務之洪水災害調節、害蟲管理、授粉、調節全球氣候，例如濕地碳匯能力已由本計畫作初步探討，但諸如生物調查有植物、昆蟲與哺乳類，則蝙蝠等生物是否有抑制害蟲功能？而昆蟲與哪些植物有授粉關聯？民眾有談及早期撿拾薪材

及停晒鹽田之滯洪功能等，皆可延伸探討。

生態系統服務中除了調節服務需要長時間監測觀察證明其成效之外，供給服務與文化服務為較顯著直接對於人類社會提供利益之服務。然而，相較於其他三項服務，支持服務卻是常被忽略的生態系統服務，原因在於人類社會難以從此項服務中獲取實質上利益。儘管如此，支持服務本身仍佔有不可或缺之重要性─支持服務為使供給、調節與文化服務等三項服務得以運作之基石且有助於維持生物多樣性，其中生物多樣性更是維持生態系品質與韌性之關鍵因素。

根據表 36 與表 37 評分結果指出棲息地提供為利害關係人與研究人員等皆共同認可之支持服務項目，然而亦應考量支持服務中其他服務對於生物多樣性與生態系之影響。除此之外，雖然棲息地提供是利害關係人等主要認可之生態系統服務，但受訪者對於該項考量對象主要以針對候鳥及涉禽棲息地為主，進而忽略了其他也應受到重視之棲息地環境如植物生育地、底棲動物及魚類棲息地。

表 39. 前人研究與本計畫生態系統服務比較表

生態系統服務		台江 (2018)	阮庭大 (2022)	本計畫 (2024)	台江近五年計畫
供給服務	提供淡水				
	提供食物	V※	V	V	V
	提供天然材料				
	提供燃料				△※
	提供遺傳資源	V	V	V	V
	提供觀賞資源	V		V	
	提供黏土礦物資源				
	廢棄物處理	V			
	從自然空氣或水流中獲取能量		V		

調節服務	調節空氣品質			V	
	調節當地氣候	V	V	V	
	調節全球氣候		V		△
	水調節		V	V	
	洪水災害調節	V	V		△
	暴風災害調節		V	V	
	害蟲管理				△
	人類疾病調節				
	動物疾病調節			V	
	土壤侵蝕調節		V	V	
	淨化水質	V	V	V	V
	授粉	V	V		△
	鹽度調節		V	V	V
	火勢調節				
	噪音與視覺緩衝				
文化服務	文化遺產	V	V	V	V
	休閒娛樂與旅遊	V	V	V	V
	美學價值			V	
	精神與宗教價值			V	V
	靈感價值		V	V	V
	社會關係		V	V	V
	教育和研究	V	V	V	V
支持服務	土壤形成		V	V	
	初級生產力			V	
	養分循環	V		V	V
	水循環				
	棲息地提供		V	V	V

※V 為具有該項服務；空白為沒有該項服務；△為後續可深入調查

6.4 應用 InVEST 模型情境模擬

InVEST 模型系統已發展出多種服務和多種目標功能，被用來解決過去自然資源管理方案多關注於單一目標的問題，包含產水量服務、碳儲存量服務、生物多樣性服務與土壤保持服務等，且根據詹為巽(2019)中提及InVEST 具有下列幾項特性與優勢：

1. InVEST 各模組可根據使用者所擁有之資料量進行模式參數設定，各項資料與參數可以透過自訂或參考官方之建議數值進行設定，依不同地區因地制宜調整參數，因此相當具有彈性可應用於各個不同國家環境。
2. 可透過模擬未來情境之數據的設定(如土地利用型不同年度間之變化)，或使用其開發之情境模擬功能，進行未來情境模擬分析以進行比較。
3. 透過結合地理資訊系統(geographic information system, GIS)，利用空間化及視覺化的方式呈現生態系服務評估結果，並可以地圖形式呈現，彌補過去生態系服務評估模型所欠缺價值評估法與空間特徵解釋，也因此 InVEST 與其他模型相比更能廣泛應用於環境相關決策。

InVEST 模型可模擬不同棲息地與不同土地利用情景下生態服務系統物質量和價值量變化，評估結果有助於管理與合理利用土地等自然資源、保護生物多樣性、協調生態系統保護與保護區發展之間的關係，維繫社會和自然的利益平衡，故本計畫為使用 InVEST 3.13.0 模型，其結構示意圖如圖 54 所示。

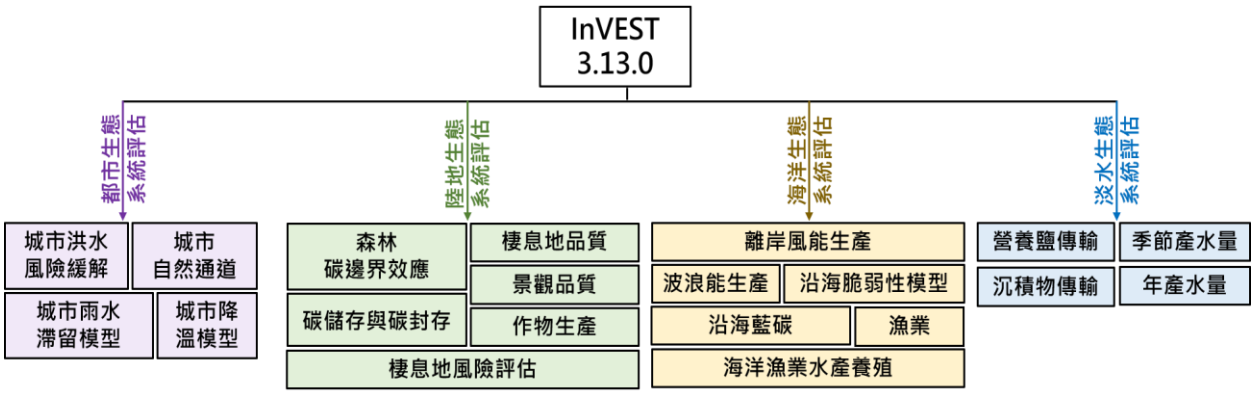


圖 54. InVEST 結構示意圖(修改自台江國家公園(2023))

6.4.1 InVEST 模式現況模擬

本團隊於 2023 年利用 InVEST 中「棲息地品質(Habitat Quality)」子模式模擬計畫區域半徑十公里棲息地品質，模擬結果顯示計畫區域目前雖然屬於品質良好(如圖 55 黑圈處)，但由於其位於工業區周遭，未來環境品質上仍有高機率受工業區等人為活動影響。

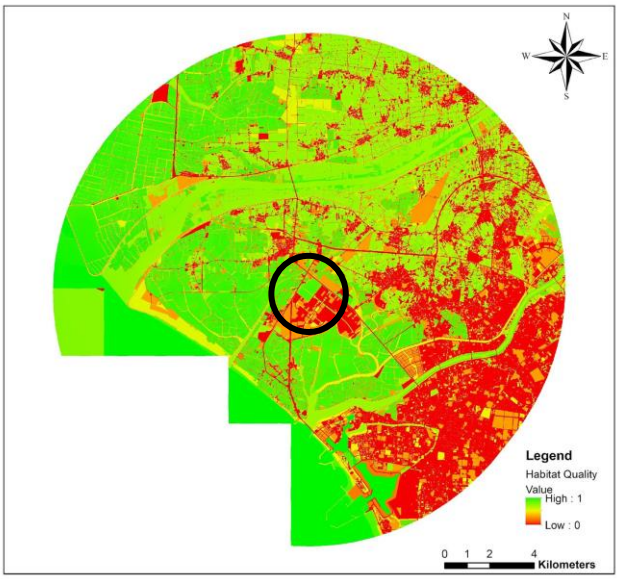


圖 55. 計畫區域半徑十公里棲息地品質好壞(引用自台江國家公園(2023))

除此之外，隨著氣候變遷影響逐漸顯著，紅樹林蘊藏之碳匯能力逐漸受到重視，故增加紅樹林已成為減緩氣候變遷解方之一，然而紅樹林數量多寡以及分布情形亦會影響保護區品質，如何在碳匯能力以及維持

計畫區域內棲地品質兩者之間取得平衡，為管理單位須正視之重要議題。

本計畫引用李孟庭(2024)部分研究結果—以下簡稱該研究—使用 InVEST 模擬計畫區域內紅樹林擴張並探討擴張後帶來之影響。為了使模擬結果更加精確，該研究使用人工數化大致將紅樹林植被區分欖李與海茄苳，其中計畫區域內雖有紅海欖紅樹林，但因數量過少故忽略。人工數化結果欖李面積約為 3.93 公頃，約佔整體紅樹林面積 18.3%；海茄苳面積約為 17.52 公頃，約佔整體紅樹林面積 81.7%。紅樹林種類區分與分佈結果與各微棲地面積分別如圖 56 與表 40 所示。

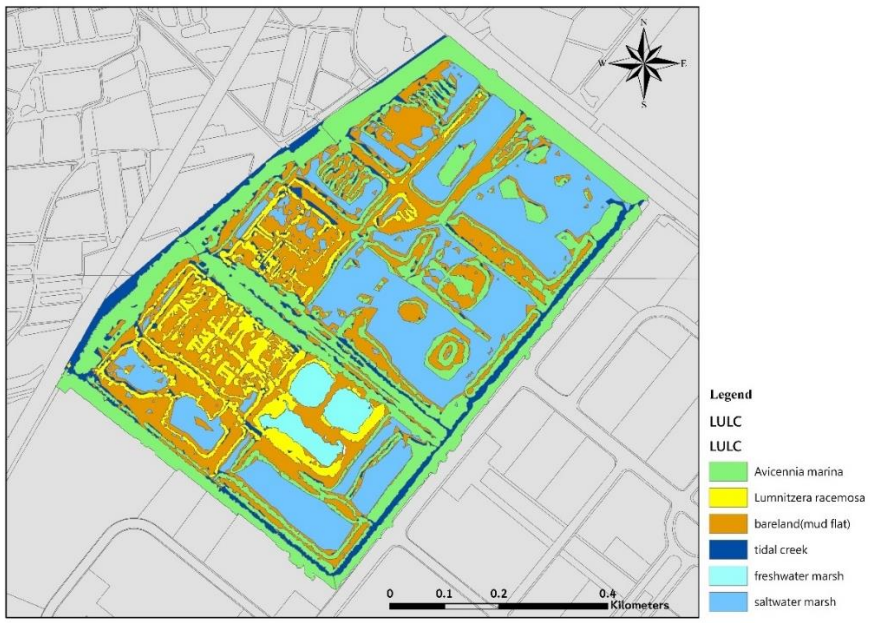


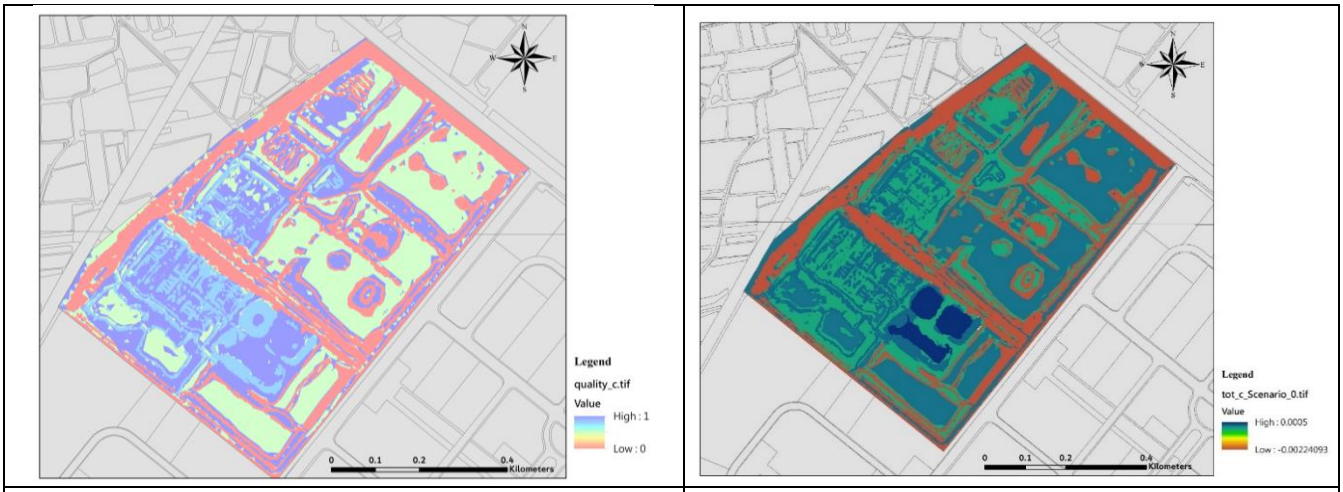
圖 56. 計畫區域紅樹林種類區分與分佈(引用自李孟庭(2023))

表 40. 區分紅樹林植被之各微棲地面積

微棲地類型	分佈面積(ha)
海茄苳(Avicennia marina)	17.52
欖李(Lumnitzera racemosa)	3.93
灘地(Bareland)	13.9
淡水草澤(Freshwater marsh)	1.47
潮溝(Tidal Creek)	3.61
鹽水草澤(Saltwater marsh)	13.29

該研究根據 2017 年《台灣維管束植物紅皮書》中欖李與海茄苳之分類，設定海茄苳為強勢物種，並引用台江國家公園(2023)年碳匯調查結果，以及本計畫之海茄苳紅樹林調查結果，使用 InVEST 中之「棲息地品質(Habitat Quality)」與「碳儲存與碳封存 (Carbon Storage and Sequestration)」子模型進行模擬，分別模擬計畫區域棲息地品質與碳匯系統現況。

根據模擬結果，計畫區域內佈滿海茄苳之潮溝棲息地品質最低，鄰近潮溝之水域棲息地因海茄苳種子以水流進行傳播，故該棲息地品質次之，而欖李紅樹林與灘地因缺乏水域面積，海茄苳較難以生長，故棲息地品質最高；由於海茄苳為碳源，故模擬結果顯示潮溝處為碳匯量最低，欖李與淡水草澤最高。計畫區域模擬結果如圖 57 所示。



(a)棲息地品質　(b)碳封存分布

圖 57. 計畫區域現況模擬(引用李孟庭(2024))

6.4.2 InVEST 模式未來情境模擬

由於 InVEST 模式限制無法模擬計畫區域未來高程變化，李孟庭(2024)在此前提設計兩種模擬情境—情境一為汛期時海茄苳種子隨著水流繁殖，以致於整體擴張百分之五十；根據台江國家公園(2023)調查結果，計畫區域內海茄苳為每平方公尺 2.49 株，故將情境二為根據 Ho et

al.(2017)提出之最佳海茄苳紅樹林種植密度—每平方公尺種植一株。

情境一模擬結果指出海茄苳紅樹林生長擴張 50%後，整體棲息地品質下降，除了欖李紅樹林與灘地因缺乏水域面積，海茄苳較難以生長故下降度少。而由於海茄苳數量增加，整體碳排放量大幅上升；情境二模擬結果指出整體棲息地品質提升，且由於海茄苳數量減少，碳排放量降低。目前模擬結果雖指出海茄苳增生會使得整體棲息地品質下降，然而實際下降比例，以及受影響之物種仍需更長期監測與調查以強化論述。

目前研究指出，若紅樹林擴張的生態系統與涉禽棲息的生態系統有所衝突時，需要一個解決衝突的過程，並需要仔細考量替代性管理方案(Choi et al., 2021)，國際上針對氣候變遷減緩與調適策略，亦強調雖持續推動減緩作為並擴大規模，然氣候變遷之衝擊已無法避免，因而持續強化調適行動是面對氣候變遷不可或缺之工作，然而減緩與調適之科研知識與權益關係對象可能不盡相同，片面的減緩策略有可能提高曝露與脆弱、降低了調適能力，反之亦然，因而需從整體考量減緩與調適間的權衡與協同，創造共效益，以強化氣候變遷韌性(OECD, 2021)。

本計畫應用生態系統服務評估方法論三步驟，並以鹿耳門鷸鴴科生態保護區為例進行未來情境模擬，足證氣候變遷減緩與調適需考量大尺度與長時段，從不同需求面權衡生態系統服務間的得與失，並據以提供有目標的管理策略，作為經營管理決策之參考。

七、氣候變遷減緩及調適能力

隨著極端氣候現象加劇，氣候變遷減緩及調適已然是刻不容緩且人人皆須面對之議題，除了各國政府與企業訂定相應因應政策之外，我國政府亦於 2012 年「國家氣候變遷調適政策綱領」，且於 2023 年將「溫室氣體減量及管理法」修正為「氣候變遷因應法」，同年也核定「國家氣候變遷調適行動計畫（112-115 年）」，同時也完成「地方氣候變遷調適作業指引」供地方政府做為政策執行之參考依據。

隨著氣候變遷日益加劇，臺南市海岸線與臨海地區明顯受到威脅，臺南市政府針對沿海地區對於海平面上升帶來之問題，如：土地流失問題、淹水頻率上升、海岸濕地遭受破壞等問題，參考經濟部水利署「強化台南西南地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫」訂定相應調適計畫。

調適能力故為必然進行行動，亦須同步執行減緩溫室氣體排放之問題。本計畫區域之七股鹽田濕地與鹿耳門鷸鴴科保護區為藍碳生態系，具有定義的紅樹林、海草棲地及潮汐鹽沼等沿海植被生態系統(James et al., 2024)，能略盡減緩氣候變遷棉薄之力。

7.1 我國因應氣候變遷政策現況描述

為完備我國氣候法制基礎以順應國際趨勢，於 2023 年 2 月 15 日總統公布將「溫室氣體減量及管理法」修正為「氣候變遷因應法」。此外，行政院於 2012 年 6 月 25 日核定「國家氣候變遷調適政策綱領」，從國家整體發展的角度，訂定氣候變遷調適政策願景、目標及調適策略；為了於政策綱領之架構下，為進一步將調適策略轉為行動，由科技部、交通部、經濟部、內政部、行政院農業委員會、衛生福利部分別成立 8 個調適工作分組，歷經 2 年 3 輪各工作分組及「規劃推動氣候變遷調適政策綱領及行動計畫」專案小組討論，針對各調適領域訂定完整行動方案，再由國家發展委員會

整合完成「國家氣候變遷調適行動計畫（102-106 年）」，係未來政府各部門推動調適工作之主要行動，以具體落實政策綱領。2023 年核定「國家氣候變遷調適行動計畫（112-115 年）」，計畫中增加納入固定暖化情境、調適框架設定、公眾參與及以自然為本的解決方案（Nature-based Solutions，NbS）等重要概念，並透過藉由部會協作落實國家氣候變遷調適工作。同時也完成「地方氣候變遷調適作業指引」宣告調適推動工作將由中央發展至地方政府層級之氣候變遷調適計畫，作為地方政府推動永續發展所必然需要擔負之任務。爰此，臺南市政府先於 101 年 12 月 22 日公布「臺南市低碳城市自治條例」，劃分市府相關機關業務權責分工，以有效減緩氣候變遷之影響，建立具調適機能之低碳城市；再於民國 102 年正式展開地方調適行動。

臺南市政府於 109 年公布「臺南市氣候變遷調適計畫 2020 修正版」，分別召開八大調適領域（災害領、水資源、維生基礎設施、海岸、土地使用、農業生產及生物多樣性、能源供給與產業、健康）之協商整合工作會議，針對各領域調適行動計畫進行充分討論與評估後，共產出 109 年度之 53 項調適行動計畫，界定出「災害」及「水資源」為臺南市調適之關鍵領域，訂定節水及降雨耐受程度 2 大調適目標（臺南市政府，2020）。

針對海岸領域，該計畫認為氣候變遷所造成海平面上升，除了使原本地層下陷嚴重地區之衝擊更為厲害外，對海岸造成的影響包含土地流失問題、淹水頻率上升、地面水質改變、海岸濕地遭受破壞、地下水污染、水資短缺、影響農業與水產養殖業以及海岸休閒功能降低等，而隨著全球氣候變遷的影響，臺南市的海岸線與臨海地區也已明顯受到威脅，並參考經濟部水利署「強化台南西南地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫」，發現臺南市以七股、安南區及安平區相對脆弱度較高，需強化其調適行動。其對應之調適行動包括：1.配合人工養灘加高沙洲避免海岸線退縮、海堤高程防護。2.布設海岸防護結構物(沙腸袋)。3.推動海岸法，律定權責

單位。4.規劃第二道防線，設置防潮閘，並加強抽排水整治（臺南市政府，2020）。

為呼應 2050 年前達成淨零排放目標並兼顧永續發展需求，臺南市政府特制定「臺南市淨零永續城市管理自治條例」草案，該自治條例共分總則、溫室氣體減量、氣候變遷調適、循環永續推動、淨零綠生活推廣、罰則及附則等七章。自治條例草案若通過後，台南市低碳城市自治條例將廢止，屆時推動目標以實質降低碳排、加速推動綠能、優化節電設備、發展綠色運輸、氣候變遷調適及循環永續生活為 6 大核心項目。

臺南市政府於113年8月公布「臺南市氣候變遷調適執行方案(初稿)」，考量地方之地理特徵、自然環境、土地利用狀況及社會經濟背景等因素，分析氣候變遷趨勢及地方施政藍圖，以界定出「維生基礎設施領域」、「土地利用領域」與「水資源領域」作為關鍵領域，再針對此三項關鍵領域檢討其氣候變遷調適目標、策略及措施。「維生基礎設施領域」的調適策略有(1)整合都市防洪治水韌性調適能力、(2)強化道路橋樑韌性調適能力、(3)建置維生管線調適平台；「水資源領域」調適策略有(1)開發多元水資源、(2)落實節水作為、(3)強化水資源因應氣候變遷備援管理、(4)強化水源涵養功能及供水品質；「土地利用領域」調適策略有(1)檢討空間規劃或土地使用管制、(2)因應極端降雨趨勢，導入基地保水設施、(3)因應極端高溫趨勢，(4)提升都市環境調適能力。該執行方案並提出六項能力建構策略：(1)推動調適相關法規政策轉型、(2)推動企業氣候風險資訊揭露、(3)落實氣候變遷科研及風險辨識評估、(4)強化氣候變遷全民教育、人才培育及公民意識提升、(5)推動因地制宜及以社區為本之地方調適作為、(6)強化有形文化資產之氣候變遷調適能力（臺南市政府，2024）。其中「落實氣候變遷科研及風險辨識評估」策略雖提出以「國家重要濕地保育計畫」作為調適措施，然僅推動環教宣導及辦理保育利用計畫，未能彰顯濕地之功能與生態服務，

及其所能提供作為氣候變遷減緩與調適之能力，且七股鹽田重要濕地及曾文溪口重要濕地之保育利用計畫也尚未核定。而海岸領域未列為關鍵領域，則臺南市的海岸線與臨海地區雖已受到海平面上升等明顯威脅（臺南市政府，2020），其所規劃的調適行動策略成效仍有待評估。

7.2 七股鹽田濕地氣候變遷預估衝擊暨管理單位因應策略

(一) 七股鹽田濕地可預見衝擊

面對氣候變遷威脅，Sweet et al. (2017)指出 2050 年全球海平面於理想情況可能會上升 0.34 公尺，極端情況會上升 0.63 公尺；而 2100 年海平面上升於理想情況可能達 1.00 公尺，極端情況可能達 2.50 公尺。經濟部水利署(2020)利用東石、將軍等潮位站進行統計，結果顯示嘉義、臺南沿海平均每年上升 0.55-0.58 公分。若依照此趨勢發展，2050 年累積上升量將達 0.17 公尺，2100 年累積上升量更達 0.45 公尺，若再加上 50 年重現期之暴潮溢淹(+1.68 公尺)，計畫區域淹水深度可能達 0.78-2.18 公尺(以計畫區域高程為海拔 1 公尺計)。

以生態面向而言，已有研究指出氣候變遷海平面上升對海岸生物多樣性影響，特別是涉禽棲息地縮減以及淹水造成營巢繁殖失敗(Galbraith et al., 2002; Pol et al., 2024)。王文千預估全台 83 種繁殖鳥類於 2041-2060 年及 2061-2080 年處於高曝露狀態者，各有 41 種，其中評估此 83 種繁殖鳥類中將面臨高脆弱者共有 13 種（王文千，2019）。若以台江國家公園為主要評估範圍，則 2041-2080 年處於高曝露狀態者共有 17 種鳥類，其中位於本計畫範圍內者有 5 種，分別為小雲雀、灰頭鷸鶯、斑文鳥、赤腰燕、洋燕等；位於台江國家公園範圍內且將面臨高脆弱者有 8 種，分別為黑枕藍鶲、北方中杜鵑、灰頭鷸鶯、樹鵲、棕沙燕、白頭翁、五色鳥及鳳頭蒼鷹等，其中位於本計畫範圍內者有灰頭

鷸鶯、棕沙燕及白頭翁 3 種。

魚類資源面向而言，氣候變遷造成水溫上升及海水酸化等影響，將更不利於魚蝦蟹貝等水生物棲息繁衍（戴昌鳳，2017）。根據陳孟仙團隊研究結果指出，七股沿海過去 10 年來蝦類群聚組成正逐漸以暖水性蝦種為優勢（陳孟仙，2019），而七股潟湖與過去 1995-1998 年的研究相比，相同有 60 種魚，新增了 67 種魚種，有 49 種魚消失。整體而言，25 年來七股潟湖為多種熱帶與亞熱帶魚種育幼場，提供這些魚種生活史中不可或缺棲息地，然而七股潟湖魚類群聚卻有明顯變動，從過去是以鯔科(Mugilidae)魚類為主群聚，目前為以鰏科(Leiognathidae)魚類為優勢群聚，且整體群聚傾向小型表層魚類群聚（陳孟仙，2023）。

以環境平均溫度而言，根據《國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適》指出台灣目前平均升溫趨勢由每 10 年約 0.15℃增加至 0.27℃，並預估世紀中平均增溫為 0.6℃至 0.8℃，世紀末依照不同情境模擬將有機會增溫 1℃至 3.4℃。

根據上述研究資料指出氣候變遷對於整體溫度、海平面高低、漁業資源、生態環境等皆有顯著影響，其中本計畫範圍之一—七股鹽田濕地位於沿海，受到海平面上升與淹水、漁業資源及生態等多面向衝擊將更為直接且顯著。故本研究針對七股鹽田濕地生態系統服務進行探討，提出六項受普遍認同之生態系統服務：包括提供食物、提供遺傳資源、文化遺產、休閒娛樂與旅遊、教育和研究、淨化水質等；另外鹽度調節、棲息地提供也為近年利害關係人較為肯認的項目。結合前述對氣候變遷影響之探討，可推測此八項生態系統服務未來也將受到氣候變遷衝擊（如表 41）。

表 41. 七股濕地生態系統服務之氣候變遷衝擊

生態系統服務項目	氣候變遷衝擊
提供食物	海水溫度改變進而影響水中生物繁殖，海平面上升衝擊瀉湖生態，將影響漁業資源。
提供遺傳資源	瀉湖及鹽田濕地棲息地之喪失將影響水中生物及候鳥等生物多樣性。
文化遺產	漁業因環境變化而轉型或沒落，影響聚落人口組成，而廟宇活動也因而停滯或消失，這些無形與有形遺產恐受到影響。
休閒娛樂與旅遊	地景環境變動將影響遊憩船筏與賞鳥等人為活動。
教育和研究	針對氣候變遷影響瀉湖與鹽田濕地之相關科學研究尚且不足，建議進行長期調查與監測。
淨化水質	瀉湖及鹽田濕地喪失，可能影響牡蠣、紅樹林及濱海植物淨化功能。
鹽度調節	海平面上升恐影響地下水層。
棲息地提供	瀉湖、紅樹林、鹽田等生物棲息地將受到氣溫、海平面上升、乾旱及暴雨等影響而降低棲息地品質（覓食區減少、繁殖率降低），若棲息地喪失，則生物不一定成功另覓適宜環境，或因而面臨滅絕風險。

綜合上述說明，可發現氣候變遷衝擊七股鹽田濕地整體生態環境，而生態環境進一步影響人為活動，故本計畫建議後續應就科研資料與分析工具、棲地及生育地、生物多樣性三項課題如何回應氣候變遷進行深入探究。

1. 科研資料與分析工具之不足：政府在編製國家氣候變遷科學報告時已敘明在科研資料及分析工具仍有所不足，若將尺度縮小到台江國家公園甚至七股濕地時更是如此，需要長期累積足夠的環境及生物資料以作為研究分析基礎，並援引或發展後續因應氣候風險的分析工具與回應衝擊的政策工具。
2. 回應棲息地及生育地之變化：對七股濕地生態系統服務最關鍵的影響在於對棲息地造成的衝擊，首先鹽田或瀉湖環境的改變直接影響濕地所具備的水質及鹽度調節能力；其次則是動物棲息地及

植物生育地的劣化或喪失影響生物多樣性，更造成魚類或植物資源的種類或生產力的下降；第三是鹽田與潟湖可能逐漸不再提供休閒旅遊及文化遺產研究的資源與材料。

3. 提昇生物多樣性：棲息地變化與喪失直接影響生物多樣性之良窳，以及生物多樣性所能提供遺傳資源的可能性。魚類或植物資源的種類或生產力的下降也影響食物的供給。生物多樣性的降低也影響生態旅遊、環境教育及科學研究的潛力。

(二) 將生態系統服務概念納入上位計畫

台江國家公園位於臺灣西南沿海地帶，隨著氣候變遷影響加劇，將導致海平面上升、生物多樣性降低、低地淹沒及濕地喪失與海岸線侵蝕等衝擊，皆為管理處必須因應之課題。為了因應氣候變遷帶來之影響，台江國家公園管理處於 107 年度「台江國家公園計畫（第一次通盤檢討）」，將氣候變遷課題納入考量，其相關因應策略條列如下：

- 減緩策略

(1) 區域合作增加實質保護面積與生態功能，檢討擴大保護區之範圍，增加碳匯面積，協助減輕溫室氣體之影響。同時協助區外自然生態環境復育工作，提昇河川生態健康品質。

(2) 鼓勵既有聚落社區進行綠色更新，包括綠能的應用與生活方式的改變，以減少碳排。

(3) 改善園區公共交通運輸服務，推動低碳低耗能運具，強化區域步道連結，限制私人汽機車之使用，以減少溫室氣體排放。並推動綠色建築與基礎服務設施之更新，降低建築設計營建與公共設施之能耗。

- 調適策略

(1) 減少非氣候性壓力來源：棲息地破碎化或消失、污染、強勢物種的入侵，會減少自然系統對於氣候變遷的耐受度與適應力，減少相關因素，可強化自然系統的耐性。

(2) 強化保護區之生態性功能與生物多樣性：健康、生物多樣性高的生態系統對有助於減緩氣候變遷的影響。生物的耐候性可藉由保護多種生態功能族群、族群中的種類、以及其數量之多樣性而強化。

(3) 強化重要棲息地與其緩衝區之串聯：改善棲息地的串聯以利於物種遷徙，以因應氣候變遷。

(4) 積極施行管理手段與復育策略：施行可有效促成物種、棲息地，以及生態系統對適應氣候變遷能力之策略。例如復育相關物種，種植耐候性高之植栽、移入增加相關物種的數量等。

(5) 強化環境監測：對於未來的氣候變遷以及管理策略的有效性總是有很高的不確定性，因此必須進行對於施行策略對於生態系統之影響及其健康的監測。

以七股鹽田濕地作為氣候變遷因應對象，於減緩政策略上，棲息地的經營朝向維持或增加綠碳、藍碳能力；而調適策略上，除了持續監測研究，則須開始執行提升棲息地之生態品質並保全其生物多樣性，將提升棲息地品質作為基礎，支持其他生態系統服務對人類社會的利益。然而，此兩項策略皆涉及對空間上經營管理共識與願景，因此本計畫研擬七股鹽田濕地因應對策如表 42，亦建議後續國家重要濕地保育利用計畫再檢討時也應納入考量。

表 42 七股濕地氣候變遷因應策略

氣候變遷因應策略		本濕地可能之因應對策
減緩	增加碳匯面積	維持或增加綠碳、藍碳能力
	群落社區綠能更新	非本計畫內容
	園區低碳交通與綠建築	非本計畫內容
調適	減少非氣候性壓力來源	基於科學基礎之經營管理，提昇濕地生態品質，強化其生態系統服務功能並提高其生物多樣性，以提昇氣候韌性
	強化保護區之生態性功能與生物多樣性	
	強化重要棲息地與其緩衝區之串聯	強化與其他可能之保育區進行串連，以維持或營造適宜棲息地
	積極施行管理手段與復育策略	依功能分區及經營目標並考量成本效益以執行經營管理及復育措施
	強化環境監測	持續監測工作，納入氣候變遷及生態系統服務考量，並依策略目標增加監測項目

7.3 七股鹽田濕地減緩與調適能力建構策略

針對鷸鴴科生態保護區之減緩與調適能力已於台江國家公園(2023)提出相關建議，故僅計算海茄苳紅樹林以及使用校正後欖李異速生長方程式之欖李紅樹林，兩處棲地之氣候變遷減緩能力。本計畫以提出七股鹽田濕地之生態系統服務以及相關政策需求為主，接續分別就七股鹽田濕地之減緩能力與調適能力提出長期建構之策略建議。

7.3.1 七股鹽田濕地減緩能力建構策略

(一) 計畫區域減緩能力(碳匯)調查結果

本計畫分別彙整兩處計畫區域—鷸鴴科生態保護區之欖李與海茄苳紅樹林兩種棲地，以及七股溪口海茄苳紅樹林、台區鹽田及鄰鹽田之海草床等三種棲地類型進行碳匯調查，並將各自單位面積之碳匯係數

乘上表 9 之面積，以評估計畫區域對於氣候變遷減緩能力。

- 鹿耳門鷸鴴科生態保護區

計畫區域內欖李為 2023 年與 2024 調查結果，並以本計畫建立之本土欖李異速生長方程式進行數據校正；海茄苳則是本年度開始調查。由於本計畫皆未測量保護區內水域及裸露地之溫室氣體排放量，故本計畫沿用 2023 年調查結果進行估算。鷸鴴科生態保護區碳匯能力估算結果如表 43 所示。

自表 43 可看出鷸鴴科生態保護區兩年來皆為碳排放(碳源)，且欖李(圖 41)與及海茄苳(圖 47)底土二氧化碳及甲烷通量皆以夏季高於其他季節，推測是夏季底土溫度較高，提高底土中微生物的異營呼吸作用及產甲烷作用，因而增加底土二氧化碳及甲烷排放量。故本計畫建議可透過改善鷸鴴科保護區水文條件，以了解部分微棲地碳排狀況是否得以改善，例如引進潮汐增加保護區內水文流通，藉此改變以雨水(淡水)為主要輸入水源，透過海水抑制海茄苳底土甲烷排放量。

表 43. 鷸鴴科生態保護區碳匯量估算

	面積 (ha)	單位面積碳匯能力		單位	碳匯能力	
欖李	3.93	2023 年	0.3864	Kg CO_2e m^{-2} yr^{-1}	2023 年	15185.52
		2024 年	-0.4866		2024 年	-19123.38
海茄苳	17.52	-6.1621		Kg CO_2e m^{-2} yr^{-1}	-1079599.92	
水域	18.37[B]	0.6064[A]		Kg CO_2e m^{-2} yr^{-1}	111395.68	
裸露地	13.9	-0.7332[A]		Kg CO_2e m^{-2} yr^{-1}	-101914.8	
2023 年鷸鴴科生態保護區年碳匯量(Kg CO_2e yr^{-1})					-1054933.52[C]	
2024 年鷸鴴科生態保護區年碳匯量(Kg CO_2e yr^{-1})					-1089242.42 [C]	

※備註：

[A] 數據引用自台江國家公園(2023)碳匯調查資料。

[B] 鷸鴴科生態保護區水域為淡水草澤 1.47 公頃、鹽水草澤 13.29 公頃及潮溝 3.61 公頃總和。

[C] 四處微棲地總和。

- 七股鹽田濕地與西寮海草床

由於本計畫僅測量七股鹽田濕地之海茄苳紅樹林與水域之碳匯結果，無裸露地、沙洲、防風林、潮間帶等資料，故無碳匯能力結果。另外，雖然本計畫有調查西寮海草床之碳匯，然而未實際量測海草床於水面下實際分布面積，故無海草床之面積資料，其碳匯能力結果亦無法計算。以上缺漏之數據資料，建議管理處未來可進行調查以瞭解七股鹽田濕地整體碳匯功能。七股鹽田濕地評估結果如表 44 所示。

表 44. 七股鹽田濕地碳匯量估算

	台區鹽田 (ha)	七股潟湖 (ha)	海草床	單位面積碳匯能力		單位	碳匯能力
海茄苳	0.34	10.68[A]	-[E]	4.9174		$Kg\ CO_2e\ m^{-2}\ yr^{-1}$	541897.48
水域	-	1136.85	-	未測量		-	-
裸露地	67.69	-	-	未測量		-	-
鹽灘地水域	318.33			-18.3792		$g\ CO_2e\ m^{-2}\ yr^{-1}$	-58506507.36
沙洲	-	150.18	-	未測量		-	-
防風林	-	21.55	-	未測量		-	-
潮間帶	-	22.24	-	未測量		-	-
海草	-	-	未測量	-15.9502[B]	690.6317[C]	$g\ CO_2e\ m^{-2}\ yr^{-1}$	-
七股鹽田濕地年碳匯量($Kg\ CO_2e\ yr^{-1}$)							483390.973[D]

※備註：

[A] 七股瀉湖紅樹林是沙洲上紅樹林 5.76 公頃與七股溪口紅樹林 4.92 公頃總和。

[B] 海草棲地水體二氧化碳通量可由水體中線葉二藥草與浮游藻類光合作用提供，故以線葉二藥草碳吸收量扣除水體溫室氣體通量計算海草棲地碳匯。

[C] 另以水體二氧化碳通量扣除甲烷與氧化亞氮通量計算海草棲地碳匯。

[D] 僅海茄苳與鹽灘地總和。

[E] 表示無此項。

(二) 減緩能力建構

1. 多樣增匯選項：藍碳生態系包括紅樹林、海草床及感潮濕地之外，還有相當多生態系統及植物都具有碳匯能力(James et al., 2024; Adame et al., 2024)，國內也有針對海岸造林達成多目標效益的嘗試，白千層、木麻黃等樹種亦納入考量(李俊佑等，2024)。

2. 維持現有紅樹林：七股溪口紅樹林生態保護區及網仔寮汕紅樹林撫育區的維持，考量未來瀉湖變化及海平面上升可否兼具海岸保護及防洪功能。

3. 台區鹽田增匯：(1)台區鹽田為管理處目前在七股較易管理之鹽田，可為現階段增匯首選區位。(2)紅樹林的栽種考量多樣性，納入真紅樹林植物、半紅樹林植物及紅樹林伴生植物作選擇。

7.3.2 七股鹽田濕地調適能力建構策略

(一) 生態系統服務能力結果

根據表 19 與表 20 評估結果顯示利害關係人認同七股瀉湖在調節服務上提供 9 項服務—調節空氣品質、調節當地氣候、水調節、洪水災害調節、暴風災害調節、動物疾病調節、土壤侵蝕調節、淨化水質以及鹽度調節；而在七股鹽田則提供 13 項調節服務—調節空氣品質、調節當地氣候、調節全球氣候、水調節、暴風災害調節、人類疾病調節、動物疾病調節、植物疾病調節、土壤侵蝕調節、淨化水質、授粉、火勢調

節以及鹽度調節。綜整以上評估結果，七股鹽田濕地皆具有調節空氣品質、調節當地氣候、水調節、暴風災害調節、動物疾病調節、土壤侵蝕調節、淨化水質以及鹽度調節等共 8 項調節服務。

(二) 調適能力建構

根據 RAWES 評估結果可知計畫區域具有多項調節服務，然而調節服務之成效仍需長時間持續調查監測。除此之外，計畫區域內生態系環境品質好壞以及後續長期經營管理維護結果，皆與各項服務息息相關，故除了重視調節服務之外，仍需納入其他服務作為管理之參考。以下為本計畫提出之經營管理建議：

1. 台區鹽田經營管理：

(1) 除了增匯目標，應兼顧候鳥棲息地需求、社區防洪需求等多目標與共效益。

(2) 規劃階段既透過參與式程序與各利害關係人建立共識，共學共好，避免經營成果失焦甚至造成衝突。

(3) 考量鹽田生態品質作為基礎，需先重建水路系統並建立水環境管理操作程序。

2. 提升鹽田濕地生態品質：鹽田停晒缺乏人為管理後，衍生生態品質劣化及聚落淹水風險等問題。台江國家公園曾透過以社區為本，跨部門協調，納入生態系統服務作綜整探討評估，其對策是修復水道、疏通涵管以重建鹽田水路系統，透過水門操作及水環境管理情境模擬以提升停晒鹽田之生態系統服務功能（王筱雯，2017；王筱雯，2018；王筱雯，2019）。

過去計畫亦藉由參與工作坊、機關對話協調，提出「台區鹽田示範區未來規劃」作為經營管理建議，並提出「七股區 18 號水門生

態引水操作程序」於候鳥季進行生態引水、「濕地復育滾動式管理程序」結合水門操作小組及科學諮詢作為適應性管理示範（王筱雯，2020）。

3. 串連納入其他有效保育區域：

(1) 鄰近七股濕地有廣大魚塭，其水文透過潮溝、排水道與潟湖互動，而生態上也是候鳥棲息覓食區域，應持續推動國家公園生態友善養殖棲息地營造策略。

(2) 現有國家公園範圍未能完整涵蓋指標物種所需棲息地，而七股鹽田濕地雖列入國家級重要濕地，然其保育利用計畫尚未核定，加上台鹽民營化後，部分鹽田收歸國有；然而有些鹽田雖位於國家公園範圍外，卻是重要生物例如黑面琵鷺這類保護傘頂指標生物的關鍵棲息地，這些國有鹽灘地約一千多公頃，已由民間團體認養作為保育使用，可嘗試建立夥伴關係作為國家公園保育措施之延伸。

4. 強化參與及夥伴關係：

(1) 在盤點生態系統服務過程中，發現七股濕地之利害關係者繁多，而七股濕地之生態系統服務項目也涉及眾多民眾，包括鄰近村里生產、生活都與潟湖息息相關，亦有部分民眾利用鹽田所提供的食物及防洪等功能，因而民眾參與及支持仍是保育措施推動的重要環節。

(2) 七股潟湖與沙洲受到氣候變遷與非氣候因素之影響，其環境的變化涉及環境、水利、農政與觀光等部門，因而跨部門溝通協調與合作亦有其必要。

7.3.3 氣候變遷減緩與調適之短、中長期策略建議

依本計畫研究成果，分別就減緩及調適面向研擬七股鹽田濕地針對氣候變遷短、中長期策略建議，而這些建議皆須考量科研資料與分析工具之不足、回應棲息地及生育地之變化，與提升生物多樣性三項課題之需求。

1. 減緩策略建議

- 短期建議

(1) 選擇適宜位置漸進式增匯

說明：目前紅樹林樹種已被證明具有碳匯能力，而七股鹽田濕地亦位於適合紅樹林生長緯度與海岸地帶，其中台區鹽田是由台江國家公園管理處所轄管土地，故本計畫建議管理處修復台區鹽田整體水路系統，逐步改善鹽田環境與品質，以建立適合紅樹林生長環境，輔以人工栽植適當紅樹林樹種，當可增進該地碳匯能力。

(2) 持續與當地維持良好互動關係

說明：由於台區鹽田水門目前仍是受管控情況，鹽田水體難以交換，使得整體水域生物多樣性及植生狀況不佳。故本計畫建議可持續與在地利害關係人進行妥適溝通討論，並朝可於此區域執行多樣增匯措施試驗為目標。

(3) 了解紅樹林綜效

說明：碳匯功能雖然是生態系統服務項目之一，但考量生物多樣性及生物棲地兩項課題，以及鹿耳門鷸鴴科保護區之生態系統服務評估結果，本計畫建議在碳匯與其他生態系統服務之間進行整體競合與綜效，權衡減緩與調適以達到共效益。

- 中、長期建議

1. 調查其他可作為碳匯之生態系環境或植物生育地

說明：藍碳生態系包括紅樹林、海草床及感潮濕地之外，還有眾多生態系統及植物都具有碳匯能力(James et al., 2024; Adame et al., 2024)，國內也有針對海岸造林達成多目標效益嘗試，白千層、木麻黃等樹種亦納入考量(李俊佑等，2024)。故本計畫建議評估台江國家公園範圍內海草床、泥灘地等生態系之碳匯能力，現有或增植其他具碳匯能力之樹種，推動減緩同時亦能增進生物多樣性。

2. 維持或擴增現有紅樹林

說明：七股溪口紅樹林生態保護區及網仔寮汕紅樹林撫育區是七股濕地現存面積較大片之紅樹林，考量未來瀉湖變化及海平面上升可否兼具海岸保護及防洪功能，本計畫建議在科研結果可行基礎上及民眾溝通認可儘量維持或擴增。

(一)調適策略建議

- 短期建議

1. 監測研究評估七股濕地生態系統服務之價值與氣候風險

說明：本計畫雖調查出七股鹽田濕地共同具有 22 項生態系統服務（七股鹽田有 30 項，七股瀉湖有 23 項），而台江國家公園管理處近五年之研究計畫可指涉生態系統服務者僅 12 項，且這些研究計畫並未直接揭示研究結果與生態系統服務兩者關聯性。這表示七股濕地的價值仍未完全被彰顯，在面對氣候衝擊仍尚未得到充分研究與分析支持。因此，本計畫建議管理處於未來的研究計畫中，可以將調查結果與生態系統服務以及氣候變遷問題相互結合，以利後續調適策略提供評估依據，例如調查項目成果可否指涉相關生態系統服務，有助評估濕地

管理之綜效，又例如造成濕地鹽度變化之因素，在於濕地鹽度會影響該濕地碳匯估算之差異，皆有必要作深入探討。

2. 民眾參與共同擬定調適目標及確立濕地管理願景藍圖

說明：生態系統服務的提出有其關鍵用意，是讓民眾瞭解生態系所能提供社會福祉從而取得民眾對保育政策與行動支持。七股濕地之利害關係者繁多，而七股濕地之生態系統服務項目也涉及眾多在地居民，包括鄰近村里生產、生活都與潟湖息息相關，亦有部分民眾利用鹽田所提供的食物及防洪等功能。因此建議濕地管理願景藍圖可透過家園守護圈及國際濕地公約推動的CEPA行動計畫,爭取民眾參與及支持,而細部調適目標（甚至減緩目標）也建議在民眾認可基礎上來推動，避免良善美意遭到誤導與誤解。

3. 評估調適選項

說明：除了增匯目標，應兼顧候鳥棲息地需求、社區防洪需求等多目標與共效益，規劃階段除了立基於科學研究作研擬，建議透過參與式程序與各利害關係人建立共識，共學共好，避免經營成果失焦甚至造成衝突。

4. 持續跨部門溝通協調

說明：

(1) 七股潟湖與沙洲受到氣候變遷與非氣候因素之影響，其環境的變化涉及環境、水利及農政，甚至觀光等部門，因而跨部門溝通協調與合作亦有其必要。

(2) 七股鹽田尚有多處聚落，民眾對防洪、產業與觀光亦多有期待，雖非管理處職責，也應向民眾展現積極主動的跨部門協調。

- 中、長期建議

(一) 修復水文並建立水環境管理操作流程

說明：鹽田停晒缺乏人為管理後，衍生生態品質劣化及聚落淹水風險等問題。建議修復水道、疏通涵管以重建鹽田水路系統，透過水門操作及水環境管理情境模擬以提升停晒鹽田之生態系統服務功能。

(二) 應用且滾動檢討調適策略

說明：氣候變遷未來情境乃在有限資料下所作的推估，存在時間與強度的不確定性，調適策略需因應最新現況、衝擊與選項路徑作適時檢討修正。因此建議採取適應性管理，因應國家公園管理計畫通盤檢討時一併滾動式調整。

(三) 串連納入其他有效保育區。

說明：

(1) 鄰近七股濕地有廣大魚塭，其水文透過潮溝、排水道與潟湖互動，而生態上也是候鳥棲息覓食區域，建議持續推動國家公園生態友善養殖棲息地營造策略。

(2) 現有國家公園範圍未能完整涵蓋指標物種所需棲息地，而七股鹽田濕地雖列入國家級重要濕地，然其保育利用計畫尚未核定，加上台鹽民營化後，部分鹽田收歸國有；然而有些鹽田雖位於國家公園範圍外，卻是重要生物例如黑面琵鷺這類保護傘頂指標生物的關鍵棲息地，這些國有鹽灘地約一千多公頃，已由民間團體認養作為保育使用，建議嘗試建立夥伴關係作為國家公園保育措施之延伸。

八、結論與建議

(一)結論

本計畫範圍為七股鹽田濕地與鹿耳門鷸鴴科生態保護區，此兩者皆為許多野生動植物的重要棲息地、覓食區、繁殖場，也是東亞與紐澳候鳥遷移路線的中繼站，具有重要生態價值。本計畫透過文獻資料收集彙整、現地調查及利害關係人問卷調查，盤點及評析計畫區域現況之生態系統服務，以及藉由實地調查計畫區域之碳匯功能，評估其氣候變遷減緩能力。

1. 七股鹽田濕地微棲地劃分

鹿耳門鷸鴴科生態保護之微棲地劃設已於去年計畫完成，故本計畫微棲地劃設以七股鹽田濕地為主。本計畫蒐集廖彥翔(2019)與彭皓澤(2021)於台區鹽田之高程測量結果，以及經濟部水利署第六河川分署2023 年測量報告分析出七股鹽田濕地之高程地形，並使用正射影像進行NDWI 以及人工判釋七股鹽田濕地各微棲地類型。結果顯示台區鹽田以水域佔 318.33 公頃、裸露地佔 67.69 公頃及海茄苳紅樹林為 0.34 公頃；七股潟湖微棲地判釋結果共五種微棲地，分別為水域 1136.85 公頃、沙洲 150.18 公頃、潮間帶 22.24 公頃、防風林 21.55 公頃以及海茄苳紅樹林 10.68 公頃。

2. 七股鹽田濕地水質調查

本計畫亦於七股鹽田濕地挑選四處樣區進行水質調查，並於 2 月、5 月、8 月及 10 月完成冬季、春季、夏季、秋季之水質檢測分析，調查結果顯示，四處樣區水質各類參數濃度大多為 2 月高於 5 月，推測因 5 月進入梅雨季帶來雨水稀釋水體各類參數濃度導致，且導電度、總溶解固體、鹽度三者 8 月與 10 月調查結果遠少於 2 月與 5 月，推測 7 月底與 9 月底因颱風凱米與山陀兒帶來豐沛雨水，稀釋水中總溶解固體、鹽

度濃度，然而大量雨水伴隨而來之濁流流入，使得四處樣區濁度大幅上升。除此之外，本計畫亦將所測得之水質資料與前人文獻進行比較，發現四處樣區水質皆符合法規標準且大致上皆低於前人研究結果。四處樣區 8 月與 10 月 TOC、BOD 與 COD 濃度較 2 月與 5 月皆有上升，推測 7 月底與 9 月底因颱風帶來雨水流經魚塭、蚵田等富含 TOC、BOD、COD 等環境，再流入計畫區域水域中，儘管如此，BOD 與 COD 檢驗結果仍是低於法規標準，顯示水質較以往有顯改善。

3. 計畫區域碳匯能力調查與本土欖李異速生長式建立

本計畫區域之鹿耳門鷸鴴科生態保護區與七股鹽田濕地內之海茄苳與欖李紅樹林植群，以及鹽田濕地周緣之西寮海草床與鹽灘地水域中藻類等，皆為本計畫區域內減緩氣候變遷之重要角色。由於台灣關於欖李紅樹林相關研究較少，且缺乏適用於台灣欖李之異速生長方程式，故本計畫利用台江公園管理處提供之欖李植株，與前人文獻 Kangkuso et al.(2016) 地上部異速生長方程式及 Perera (2012) 地下部異速生長方程式進行結合與校正，求得台灣本土欖李異速生長方程式為地上部 Biomass (kg) $=0.1397\times DBH^{2.384}+0.7405$ ；地下部 Biomass (kg) $=0.0609\times DBH^{2.063}+0.2293$，並將 2023 年冬季至 2024 年秋季於鹿耳門鷸鴴科生態保護區內量測之胸高直徑(DBH)帶入兩方程式，以求得符合台灣欖李之碳匯係數。

本計畫將各棲地類型調查之碳匯係數乘上其相應面積，得出鹿耳門鷸鴴科生態保護區碳匯能力 2023 年碳匯能力為-1054933.52 Kg $CO_2e\ yr^{-1}$、2024 年碳匯能力為-1089242.42 Kg $CO_2e\ yr^{-1}$，顯示兩年來皆為碳排放(碳源)；七股鹽田濕地則為 483390.973 Kg $CO_2e\ yr^{-1}$，是為碳吸收(碳匯)，並將計算結果與國外文獻之欖李異速生長方程式計算結果相比顯示，臺灣本土欖李異速生長方程式之地上部與地下部生物量約為前人文獻異

速生長方程式計算之 1.07 與 0.74 倍。表示計算地上部生物量，文獻方程式計算結果低估本土紅樹林生物量，以致於低估生長量與碳吸收量；而地下部生物量則是文獻方程式計算結果高估地下部生物量，使得整體高估了地下部生長量與碳吸收量。

然而，由於欖李與及海茄苳底土二氧化碳及甲烷通量皆以夏季高於其他季節，推測是夏季底土溫度較高，提高底土中微生物的異營呼吸作用及產甲烷作用，因而增加底土二氧化碳及甲烷排放量，使得鷸鴴科保護區為碳源。故本計畫建議可透過改善鷸鴴科保護區水文條件，以了解部分微棲地碳排狀況是否得以改善，例如引進潮汐增加保護區內水文流通，藉此改變以雨水(淡水)為主要輸入水源，透過海水抑制海茄苳底土甲烷排放量。

4. 七股鹽田濕地生態系統服務評估與模擬

除了藉由現地調查瞭解七股鹽田濕地環境現況之外，本計畫進行七股潟湖與七股鹽田生態系統服務評估，評析結果顯示利害關係人認為七股鹽田濕地整體具有 22 項生態系統服務。而本計畫進一步將評估結果與 2018 年《七股鹽田濕地水文生態環境永續管理計畫》、阮庭大 2022 年碩士論文，以及台江國家公園近五年計畫關於七股鹽田濕地之生態系統服務結果進行比較。

比較結果指出四者皆認同七股鹽田濕地之供給服務具有 2 項，為提供食物與提供遺傳資源；調節服務具有 1 項，為淨化水質；文化服務具有 3 項，為文化遺產、休閒娛樂與旅遊以及教育和研究，共計 6 項。表示此 6 項服務較為貼近利害關係人之生活，較不受時間或不同利害關係人生活經驗影響而改變。除了上述 6 項之外，調節服務中之鹽度調節以及支持服務中之棲息地提供，也為近幾年利害關係人較為認可之服務項目。由此可知，影響評估結果因素除利害關係人之生活經驗、觀察角度

與詮釋方式不同之外，隨著時間演進與環境變化，利害關係人對於七股鹽田濕地利用程度及熟悉度皆有所不同，亦會使得評估結果略有差異。

儘管碳匯能力對於氣候變遷減緩扮演舉足輕重地位，然而若太過於偏頗於某一生態系統服務，易使整體棲息地單一化。故本計畫引用李孟庭(2024)研究結果，該研究將鷸鴴科保護區內海茄苳紅樹林設定為威脅物種且設計兩種模擬情境—情境一為汛期時海茄苳種子隨著水流繁殖，以致於整體擴張百分之五十；根據台江國家公園(2023)調查結果，計畫區域內海茄苳為每平方公尺 2.49 株，故將情境二為根據 Ho et al.(2017)提出之最佳海茄苳紅樹林種植密度—每平方公尺種植一株。

情境一模擬結果指出海茄苳紅樹林生長擴張 50%後，整體棲息地品質下降，除了欖李紅樹林與灘地因缺乏水域面積，海茄苳較難以生長故下降度少。而由於海茄苳數量增加，整體碳排放量大幅上升；情境二模擬結果指出整體棲息地品質提升，且由於海茄苳數量減少，碳排放量降低。目前模擬結果雖指出海茄苳增生會使得整體棲息地品質下降，然而實際下降比例，以及受影響之物種仍需更長期監測與調查以強化論述。

(二)建議

本計畫依研究成果，分別就減緩及調適面向研擬七股鹽田濕地針對氣候變遷短、中長期策略建議，而這些建議皆須考量科研資料與分析工具之不足、回應棲息地及生育地之變化，與提升生物多樣性三項課題之需求。

1. 減緩策略建議

- 短期建議

(1) 選擇適宜位置漸進式增匯

說明：建議管理處修復台區鹽田整體水路系統，逐步改善鹽田環境與品質，以建立適合紅樹林生長環境，輔以人工栽植適當紅樹林樹種，當可

增進該地碳匯能力。

(2) 持續與當地維持良好互動關係

說明：由於台區鹽田水門目前仍是受管控情況，鹽田水體難以交換，使得整體水域生物多樣性及植生狀況不佳。故本計畫建議可持續與在地利害關係人進行妥適溝通討論，並朝可於此區域執行多樣增匯措施試驗為目標。

(3) 了解紅樹林綜效

說明：本計畫建議在碳匯與其他生態系統服務之間進行整體競合與綜效，權衡減緩與調適以達到共效益。

- 中、長期建議

(1) 調查其他可作為碳匯之生態系環境或植物生育地

說明：本計畫建議評估台江國家公園範圍內海草床、泥灘地等生態系之碳匯能力，現有或增植其他具碳匯能力之樹種，推動減緩同時亦能增進生物多樣性。

(2) 維持或擴增現有紅樹林

說明：七股溪口紅樹林生態保護區及網仔寮汕紅樹林撫育區是七股濕地現存面積較大片之紅樹林，考量未來潟湖變化及海平面上升可否兼具海岸保護及防洪功能，本計畫建議在科研結果可行基礎上及民眾溝通認可儘量維持或擴增。

2. 調適策略建議

- 短期建議

(1) 監測研究評估七股濕地生態系統服務之價值與氣候風險

說明：本計畫建議管理處於未來的研究計畫中，可以將調查結果與生態

系統服務以及氣候變遷問題相互結合，以利後續調適策略提供評估依據，例如調查項目成果可否指涉相關生態系統服務，有助評估濕地管理之綜效，又例如造成濕地鹽度變化之因素，在於濕地鹽度會影響該濕地碳匯估算之差異，皆有必要作深入探討。

(2) 民眾參與共同擬定調適目標及確立濕地管理願景藍圖

說明：七股濕地之生態系統服務項目也涉及眾多在地居民，包括鄰近村里生產、生活都與潟湖息息相關，亦有部分民眾利用鹽田所提供的食物及防洪等功能。因此建議濕地管理願景藍圖可透過家園守護圈及國際濕地公約推動的 CEPA 行動計畫，爭取民眾參與及支持。

(3) 評估調適選項

說明：除了增匯目標，應兼顧候鳥棲息地需求、社區防洪需求等多目標與共效益，規劃階段除了立基於科學研究作研擬，建議透過參與式程序與各利害關係人建立共識，共學共好，避免經營成果失焦甚至造成衝突。

(4) 持續跨部門溝通協調

說明：

- 七股潟湖與沙洲受到氣候變遷與非氣候因素之影響，其環境的變化涉及環境、水利及農政，甚至觀光等部門，因而跨部門溝通協調與合作亦有其必要。
- 七股鹽田尚有多處聚落，民眾對防洪、產業與觀光亦多有期待，雖非管理處職責，也應向民眾展現積極主動的跨部門協調。

- 中、長期建議

(1) 修復水文並建立水環境管理操作流程

說明：本計畫建議修復水道、疏通涵管以重建鹽田水路系統，透過水門

操作及水環境管理情境模擬，以提升停晒鹽田之生態系統服務功能。

(2) 應用且滾動檢討調適策略

說明：調適策略需因應最新現況、衝擊與選項路徑作適時檢討修正。因此建議採取適應性管理，因應國家公園管理計畫通盤檢討時一併滾動式調整。

(3) 串連納入其他有效保育區。

說明：

- 鄰近七股濕地有廣大魚塭，其水文透過潮溝、排水道與潟湖互動，而生態上也是候鳥棲息覓食區域，建議持續推動國家公園生態友善養殖棲息地營造策略。
- 現有國家公園範圍未能完整涵蓋指標物種所需棲息地，而七股鹽田濕地雖列入國家級重要濕地，然其保育利用計畫尚未核定，加上台鹽民營化後，部分鹽田收歸國有；然而有些鹽田雖位於國家公園範圍外，卻是重要生物例如黑面琵鷺這類保護傘頂指標生物的關鍵棲息地，這些國有鹽灘地約一千多公頃，已由民間團體認養作為保育使用，建議嘗試建立夥伴關係作為國家公園保育措施之延伸。

隨著極端氣候現象加劇，氣候變遷減緩及調適已然是刻不容緩且人人皆須面對之議題，目前各政府或企業相關單位多將因應重點著眼於減碳等與溫室氣體減量有關之議題上，我國亦將藍碳納入作為氣候變遷減緩工具之一。藍碳生態系除了傳統所定義的紅樹林、海草床及潮汐鹽沼等沿海植被生態系統之外，廣義而言也包括泥灘地、雙枚貝床、岩床、珊瑚礁、珊瑚藻床等生態系統(James et al., 2024)，提供減緩氣候變遷方法更寬廣研究空間。然而如何在減緩氣候變遷與整體生態系統服務之間達成平衡，仍是不容忽視的部分。

普遍來說，目前氣候變遷之減緩與調適大部分由不同政策團體主導，以特定知識與資訊為基礎，動員不同利害關係人應對不同技術和挑戰。然而，生態系統服務為一個動態過程，需要長時間監測並滾動調整，且各項服務彼此之間環環相扣，且減緩與調適兩者之間具有相互關聯性，若能朝共同解決或執行之方面著手，其影響和有效性可大幅增加。而政策制定者與執行者需權衡減緩和調適目標，以及氣候和其他環境政策之優先性與可行性，妥善利用與分配大自然資源，除了能維持生態系特徵與運作，同時有助於人類社會永續福祉(Catherine & Mikaela, 2021; OECD, 2021)。

參考文獻

- Adame, M. F., Santini, N., Tovilla, C., Vázquez-Lule, A., Castro, L., & Guevara, M. (2015). Carbon stocks and soil sequestration rates of tropical riverine wetlands. *Biogeosciences, 12*(12), 3805-3818.
- Alongi, D. M. (2014). Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual review of marine science, 6*, 195-219.
- Assessment, M. E. (2005). *Ecosystems and human well-being: wetlands and water*: World resources institute.
- Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological monographs, 81*(2), 169-193.
- Change, I. C. (2014). Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 1454, 147.
- Change, I. C. (2022). Impacts, Adaptation and Vulnerability. In: IPCC.
- CHANGE, O. C. (2007). Intergovernmental panel on climate change. World Meteorological Organization, 52.
- Choi, C.-Y., Xiao, H., Jia, M., Jackson, M. V., Lai, Y.-C., Murray, N. J., Gibson, L., & Fuller, R. A. (2022). An emerging coastal wetland management dilemma between mangrove expansion and shorebird conservation. Conservation Biology, 36, e13905.
- Comley, B. W., & McGuinness, K. A. (2005). Above-and below-ground biomass, and allometry, of four common northern Australian mangroves. Australian Journal of Botany, 53(5), 431-436.
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., hannon, B., . . .

Paruelo, J. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. nature, 387(6630), 253-260.

- Daily, G. C. (1997). Introduction: What Are Ecosystem Services? Nature's Services: Societal Dependece on Natural Ecosystems. In: Island Press. Washington, DC: Gretchen C. Daily.
- Davoudi, S., Crawford, J., & Mehmood, A. (2009). *Planning for climate change: strategies for mitigation and adaptation for spatial planners*: Earthscan.
- De Groot, R. S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., & Willemen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. Ecological complexity, 7(3), 260-272.
- Descy, J. P., Servais, P., Smitz, J. S., Billen, G., & Everbecq, E. (1987). Phytoplankton biomass and production in the River Meuse (Belgium) (Vol. 21): Elsevier.
- Fan, K.-C. (2008). Population structure, allometry and above-ground biomass of Avicennia marina forest at the Chishui River Estuary, Tainan County, Taiwan. 林業研究季刊, 30(2), 1-15.
- Galbraith, H., Jones, R., Park, R., Clough, J., Herrod-Julius, S., harrington, B., & Page, G. (2002). Global Climate Change and Sea Level Rise: Potential Losses of Intertidal habitat for Shorebirds. Waterbirds: *The International Journal of Waterbird Biology,* 25(2), 173–183. http://www.jstor.org/stable/152209
- Gardner, B. (2015). A review and analysis of the use of 'habit'in understanding, predicting and influencing health-related behaviour. *Health psychology review, 9*(3), 277-295.

- Gevana, D., & Im, S. (2016). Allometric models for Rhizophora stylosa Griff. in dense monoculture plantation in the Philippines. *Malaysian Forester*, 79(1&2), 39-53.
- James, K., Macreadie, P. I., Burdett, H. L., Davies, I., & Kamenos, N. A. (2024). It's time to broaden what we consider a 'blue carbon ecosystem'. Global Change Biology, 30, e17261. https://doi.org/10.1111/gcb.17261
- Kangkuso, A., Jamili, J., Septiana, A., Raya, R., Sahidin, I., Rianse, U., . . . Nadaoka, K. (2016). Allometric models and aboveground biomass of Lumnitzera racemosa Willd. forest in Rawa Aopa Watumohai National Park, Southeast Sulawesi, Indonesia. Forest science and technology, 12(1), 43-50.
- Komiyama, A., Poungparn, S., & Kato, S. (2005). Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. Journal of tropical ecology, 21(4), 471-477.
- Kuo, P. H., & Wang, H. W. (2018). Water management to enhance ecosystem services in a coastal wetland in Taiwan. Irrigation and Drainage, 67, 130-139.
- Lal, R. (2008). Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 363*(1492), 815-830.
- Lee, L.-H., Hsieh, L.-Y., & Lin, H.-J. (2011). In situ production and respiration of the benthic community during emersion on subtropical intertidal sandflats. Marine Ecology Progress Series, 441, 33-47.
- Li, S. B., Chen, P. H., Huang, J. S., Hsueh, M. L., Hsieh, L. Y., Lee, C. L., & Lin, H. J. (2018). Factors regulating carbon sinks in mangrove ecosystems. *Global Change Biology, 24*(9), 4195-4210.
- Li, S. B., Chen, P. H., Huang, J. S., Hsueh, M. L., Hsieh, L. Y., Lee, C. L., & Lin, H. J. (2018). Factors regulating carbon sinks in mangrove ecosystems.

Global Change Biology, 24(9), 4195-4210.

- Lin, C.-W., Kao, Y.-C., Chou, M.-C., Wu, H.-H., Ho, C.-W., & Lin, H.-J. (2020). Methane emissions from subtropical and tropical mangrove ecosystems in Taiwan. Forests, 11(4), 470.
- Lin, C.-W., Kao, Y.-C., Lin, W.-J., Ho, C.-W., & Lin, H.-J. (2021). Effects of pneumatophore density on methane emissions in mangroves. Forests, 12(3), 314.
- Lin, W. J., Lin, C. W., Wu, H. H., Kao, Y. C., & Lin, H. J. (2023). Mangrove carbon budgets suggest the estimation of net production and carbon burial by quantifying litterfall. *Catena*, *232*, 107421.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., . . . Gomis, M. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 2.
- McInnes, R. J., & Everard, M. (2017). Rapid Assessment of Wetland Ecosystem Services (RAWES): An example from Colombo, Sri Lanka. Ecosystem Services, 25, 89-105.
- Migné, A., Davoult, D., Spilmont, N., Menu, D., Boucher, G., Gattuso, J. P., & Rybarczyk, H. (2002). A closed-chamber CO2-flux method for estimating intertidal primary production and respiration under emersed conditions. Marine Biology, 140(4), 865-869.
- Mitsch W.J., G. J. G. (2007). *Wetlands, 4th ed.*: Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Mitsch, W. J., Bernal, B., Nahlik, A. M., Mander, Ü., Zhang, L., Anderson, C. J., . . . Brix, H. (2013). Wetlands, carbon, and climate change. *Landscape ecology, 28*, 583-597.

- Mitsch, W. J., Zhang, L., Stefanik, K. C., Nahlik, A. M., Anderson, C. J., Bernal, B., . . . Song, K. (2012). Creating wetlands: primary succession, water quality changes, and self-design over 15 years. *Bioscience, 62*(3), 237-250.
- Munasinghe, M., & Swart, R. (2005). Primer on climate change and sustainable development: facts, policy analysis, and applications (Vol. 3): Cambridge University Press.
- Odum, H. T. (1956). PRIMARY PRODUCTION IN FLOWING WATERS. Limnology and Oceanography, 1(2), 102-117.
- OECD. (2021). Strengthening Adaptation-Mitigation Linkages for a Low-Carbon, ClimateResilient Future. (online) https://doi.org/10.1787/23097841.
- Olila, O., & Reddy, K. (1993). Phosphorus sorption characteristics of sediments in shallow eutrophic lakes of Florida. *Archiv für Hydrobiologie*, 45-65.
- Perera, K. (2012). Carbon retention capacity of two mangrove species, Bruguiera gymnorrhiza (L.) Lamk. and Lumnitzera racemosa Willd. in Negombo estuary, Sri Lanka.
- Saunders, M., Jones, M., & Kansiime, F. (2007). Carbon and water cycles in tropical papyrus wetlands. *Wetlands Ecology and Management, 15*, 489-498.
- Swart, R., Bergamaschi, P., Pulles, T., & Raes, F. (2007). Are national greenhouse gas emissions reports scientifically valid? *Climate Policy, 7*(6), 535-538.
- Sweet, W., hamlington, B., Kopp, R. E., Weaver, C., Barnard, P. L., Bekaert, D., . . . Zuzak, C. (2022). *Global and regional sea level rise scenarios for the United States*. Retrieved from

- Van de Pol, M., Bailey, L.D., Frauendorf, M. Et al. (2024). Sea-level rise causes shorebird population collapse before habitats drown. Nat. Clim. Chang. 14, 839–844. Https://doi.org/10.1038/s41558-024-02051-w
- Whalen, S. (2005). Biogeochemistry of methane exchange between natural wetlands and the atmosphere. *Environmental Engineering Science, 22*(1), 73-94.
- Zedler, J. B. (2003). Wetlands at your service: reducing impacts of agriculture at the watershed scale. *Frontiers in Ecology and the Environment, 1*(2), 65-72.
- Zieman, J. C. (1974). Methods for the study of the growth and production of turtle grass, Thalassia testudinum König. Aquaculture, 4, 139-143.
- 中華民國野鳥學會，2022，2022 黑面琵鷺全球同步普查結果。
- 中興工程顧問股份有限公司，2010，「易淹水地區水患治理計畫第 1 階段實施計畫縣管區排「劉厝、六成、七股地區(含大寮排水)及溫汪排水系統規劃」，經濟部水利署。
- 內政部，2016，七股鹽田重要濕地(國家級)保育利用計畫(草案)。
- 內政部，2016，七股鹽田重要濕地(國家級)保育利用計畫書(草案)。
- 內政部，2018，20 公尺網格數值地形模型資料。
- 內政部，2018，台江國家公園計畫(第 1 次通盤檢討)計畫書。
- 內政部，2018，四草重要濕地(國際級)保育利用計畫。
- 內政部，2018，四草重要濕地(國際級)保育利用計畫書(核定本)。
- 內政部土地測量局，2006，e-GPS 衛星基準站即時動態定位系統 VBS-RTK 定位測試成果報告。
- 王文千，2019，臺灣繁殖鳥類氣候變遷脆弱性評估。國立成功大學生命科學系未出版碩士論文。
- 王筱雯，2017，七股鹽田濕地水文生態環境永續管理規劃。台江國家

公園管理處委託辦理計畫。

- 王筱雯，2017，擴大形塑友善冬候鳥利用棲息地暨濕地標章輔導認證推廣計畫。台江國家公園委託計畫。
- 王筱雯，2018，七股鹽田濕地水文生態環境永續管理計畫。台江國家公園委託計畫。
- 王筱雯，2019，七股鹽田濕地水文生態環境永續管理計畫。台江國家公園委託計畫。
- 王筱雯，2019，南鹽鹽田東南側棲地水門操作規劃及試驗。台江國家公園管理處委託辦理計畫。
- 王筱雯，2019，南鹽鹽田東南側棲息地水門操作規劃及試驗報告書，台江國家公園委託研究計畫。
- 王筱雯，2020，七股鹽田濕地水文生態環境永續管理計畫。台江國家公園委託計畫。
- 王筱雯，2023，鹿耳門鷸鴴科生態保護區及周緣濕地生態服務評析可行性示範計畫。台江國家公園委託計畫。
- 玉山國家公園管理處，科研成果，https://www.ysnp.gov.tw/FileList/C004100
- 石心柔，2020，太陽光電開發對鹽田濕地生態系統服務影響性評估。國立成功大學水利及海洋工程學系研究所碩士學位論文。
- 交通部氣象局，觀測資料查詢，https://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/index.jsp
- 成大海洋生物及鯨豚研究中心，2010，99 年臺南縣七股鹽田濕地與曾文溪口濕地調查監測計畫成果報告。臺南縣政府。
- 行政院，2022，《溫室氣體減量及管理法》修正草案。
- 行政院農業委員會林業試驗所，2017，i-Tree 愛樹有一套－都市林管理

與生態效益評估新方向。

- 何昕家、葉凱翔、蔡宜佳、黃天麒、李妮庭、蔡政惠、舒玉，2020，臺灣國家公園科學研究教育推展規劃案。玉山國家公園管理處委託辦理計畫。
- 呂翊維、洪貫捷、邱柏瑩，2015，臺灣重要野鳥棲地手冊第二版。行政院農業委員會林務局，臺北市。
- 宋心怡，2019，107-108 年度七股鹽田國家級重要濕地生態及水質基礎調查計畫，台江國家公園委託研究計畫。
- 宋心怡，2020，108-109 年度七股鹽田重要濕地（國家級）生態及水質基礎調查計畫，台江國家公園委託研究計畫。
- 宋心怡，2020，108-109 年度七股鹽田重要濕地（國家級）生態及水質基礎調查計畫。台江國家公委託調查計畫。
- 李世博，2014，台南七股紅樹林碳收支模式。國立中興大學生命科學系碩士學位論文。
- 李明翰、連威迪、陳莉涵、王筱雯，2024，綠色協商：淨零碳排的在地詮釋與實作─以七股友善生態養殖為例。發表於「台灣科技與社會研究學會 2024 年會」。
- 李欣輯，2020，從氣候變遷資料應用到調適知識的 TCCIP。臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫成果交流會，臺灣臺北，2020 年 11 月 27 日。
- 李俊佑、林冠穎、劉宇軒、王相華、張勵婉，2024，海岸鹽濕地開溝築堤造林的土壤碳匯調查與效益。林業研究專訊，第 31 卷，第 3 期，頁 17-23。
- 李國忠，2003，為都市注入活力的魔法師。科學發展，366 期。
- 阮庭大，2022，海平面上升對生態系統服務與風險認知之影響—以七

股沿海地區為例。國立成功大學自然災害減災及管理國際碩士學位學程碩士論文。

- 林幸助，2011，台江國家公園及周緣地區重要生物類群分佈及海岸濕地河口生態系變遷。台江國家公園委託計畫。
- 林幸助、陳琦玲、陳添水，2018，106-107 年度重要濕地碳匯調查計畫。內政部國土管理署城鄉發展分署委託計畫。
- 林俊全，鄭宏祺，黃光瀛，2013，七股潟湖沙洲地形變遷及保育策略之研究，國家公園學報 2013 年第二十三卷第一期。
- 林瑩峰，2017，台江地區水質土壤底泥測定監測計畫。台江國家公園委託計畫。
- 邱祈榮、林俊成，2017，森林生態系服務面面觀。科學發展，529 期。
- 邱郁文，2018，106-107 年度曾文溪口、四草、七股鹽田及鹽水溪口重要濕地(國際級、國家級)基礎調查計畫。台江國家公園委託調查計畫。
- 柳婉郁，2022。邁向淨零排放—都市林生態與永續發展座談會，線上 2022 年 12 月 28 日。
- 衍生工程顧問有限公司，2009，台江黑水溝國家公園區內生態旅遊資源調查暨經營管理先期規劃案。內政部營建署委託規劃計畫。
- 財產部國有財產署：國產署今日舉辦 1,490 公頃國有非公用邊際土地提供環保團體認養簽約儀式（2022/4/29）https://www.mof.gov.tw/singlehtml/384fb3077bb349ea973e7fc6f13b6974?cntId=3fa5cb0eaf3c4dc9a9d45a64c130bf9d
- 財團法人鹽光文教基金會，2005，台灣鹽業實錄，台鹽實業股份有限公司
- 國家發展委員會、行政院環境部、經濟部、科技部、交通部、內政部、行政院農業委員會、金融監督管理委員會，2022，2050 淨零排放政策

路徑藍圖。

- 張雍哲，2001，鹽田對東南亞遷移性候鳥及臺灣水鳥生存的重要性。臺灣濕地第 24 期。
- 張靜宜，2023，台江地區常民產業文化發展及相關文物調查計畫—以漁撈（含鹽業）文化應用為例，台江國家公園委託研究計畫。
- 莊孟憲，2000，四草濕地的青蛙。臺灣濕地第 15 期。
- 莊孟憲，2018，台江國家公園陸域兩棲爬蟲類生態資源基礎調查。台江國家公園委託調查計畫。
- 許晃雄、王嘉琪、陳正達、李明旭、詹士樑 (2024)。國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適 [許晃雄、李明旭 主編]。國家科學及技術委員會與環境部聯合出版。
- 許晉榮，2005，臺南西南沿海常見魚類。臺灣濕地第 58 期。
- 郭東輝，2019，107 年台江國家公園及其週緣地區黑面琵鷺數量調查。台江國家公園委託研究計畫。
- 郭東輝，2020，108 年台江國家公園及其週緣地區黑面琵鷺數量調查，台江國家公園委託研究計畫。
- 郭東輝，2021，109 年台江國家公園及其週緣地區黑面琵鷺數量調查，台江國家公園委託研究計畫。
- 郭東輝，2022，110 年台江國家公園及其週緣地區 黑面琵鷺數量調查，台江國家公園委託研究計畫。
- 郭東輝，2023，111 年台江國家公園及其週緣地區黑面琵鷺數量調查，台江國家公園委託研究計畫。
- 陳一夫，2019，生態友善棲息地理念推廣及先期發展規劃計畫，台江國家公園委託研究計畫。
- 陳一夫，2020，109 年度國際遷移物種生態友善棲息地營造試驗計畫，

台江國家公園委託研究計畫。

- 陳一夫，2021，110 年度國際遷移物種生態友善棲息地營造試驗計畫，台江國家公園委託研究計畫。
- 陳一夫，2022，111 年生態友善棲息地營造保育綠色地圖推廣及輔導計畫，台江國家公園委託研究計畫。
- 陳一夫，2023，112 年度生態友善棲息地營造保育綠色地圖推廣及輔導計畫，台江國家公園委託研究計畫。
- 陳孟仙，2017，台江國家公園海域生態系生物資源調查與多樣性保育研究（2/4）。台江國家公園委託計畫。
- 陳孟仙，2019，台江國家公園海域生態系生物資源調查與多樣性保育研究（4/4）。台江國家公園委託計畫。
- 陳孟仙，2019，台江國家公園海域生態系生物資源調查與多樣性保育研究。台江國家公園委託調查計畫。
- 陳孟仙，2023，台江國家公園之永續發展-台江國家公園之永續發展(總計畫)。國家科學及技術委員會補助研究計畫。
- 陳柏宏，2013，淡水河紅樹林及草澤植物的碳儲存量與碳收支。國立中興大學生命科學系碩士學位論文。
- 陳炤杰，2002，七股地區水鳥覓食行為及棲地利用之研究成果報告。行政院國家科學委員會。
- 彭皓澤，2022，潮汐沖洗對七股鹽田濕地鹽度的影響。國立成功大學水利及海洋工程學系研究所碩士學位論文。
- 童莉婷，2012，高美濕地土壤碳存量之時空變化。國立中興大學生命科學系碩士學位論文。
- 黃日聖，2016，紅樹林疏伐對碳吸存的影響。國立中興大學生命科學系碩士學位論文。

- 楊豐安， 2011，利用泥沙收支方法探討七股潟湖演變，國立成功大學水利與海洋工程學系未出版碩士論文。
- 經濟部水利署(2015)於《鹽水溪(含支流茄拔林溪)治理計畫》
- 經濟部水利署，2010，鹽水溪排水系統-鹽水溪排水及安順寮排水治理計畫。
- 經濟部水利署，2015，第三代淹水潛勢圖。
- 經濟部水利署，2019，韌性水城市評估地方政府首長參考手冊。
- 經濟部水利署，2020，臺南市一級海岸防護計畫。
- 經濟部水利署，2021，近海水文年報，中華民國一一零年臺灣水文年報。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所，2017，紅樹林疏伐操作參考手冊。
- 經濟部水利署第六河川分署，2023，臺南市一級海岸防護整合規劃及防護計畫通盤檢討
- 經濟部地質調查及礦業管理中心，地質資料整合查詢圖台，https://gis3.moeacgs.gov.tw/gwh/gsb97-1/sys8/t3/index1.cfm
- 詹為巽、盧學甫、林俊成，森林生態系服務效益評估—InVEST 之運用。第 26 卷 第 5 期 (151 號-2019 年出版)林業論壇，26(5)，p.54－57
- 廖彥翔，2019，七股鹽田濕地水門操作策略之研究。國立成功大學水利及海洋工程學系研究所碩士學位論文。
- 臺南市政府，2011，鹿耳門排水系統治理計畫。
- 臺南市政府，2013，台區鹽田濕地保育行動計畫
- 臺南市政府，2020，臺南市四草野生動物保護區保育計畫書(修正版)
- 臺南市政府，2020，臺南市氣候變遷調適計畫 2020 修正版。
- 臺南市政府，2023，臺南市第二期溫室氣體減量執行方案（核定本）。
- 臺南市政府，2024，臺南市氣候變遷調適執行方案(初稿)。
- 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台，調適百寶箱，

https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ark.aspx

- 劉正元，2019，108 年度台江文化保存及創新應用(3/3)-台江地名書寫計畫暨史普知識推廣，台江國家公園委託研究計畫。
- 劉建男，2019，台江國家公園陸域哺乳類生態資源基礎調查，台江國家公園委託研究計畫。
- 劉烘昌，2020，台江國家公園陸蟹生態調查，台江國家公園委託研究計畫。
- 劉景毅。(2019)。七股潟湖與沙洲復育規劃及試驗。台江國家公園委託計畫。
- 戴文鋒，2020，台江地區無形文化資產暨文獻資料蒐集計畫成果報告書，台江國家公園委託研究計畫。
- 戴昌鳳，2017，氣候變遷對臺灣海洋環境的衝擊與因應策略。引自林俊全、周桂田主編《氣候變遷下的國家發展藍圖》。
- 環境部，2017，國家因應氣候變遷行動綱領。
- 環境部，2018，中華民國國家溫室氣體排放清冊報告。
- 環境部，2021，中華民國國家溫室氣體排放清冊報告。
- 環境部，2023，國家氣候變遷調適行動計畫（112-115 年）（核定本）。
- 環境部，全國環境水質監測資訊網，https://wq.moenv.gov.tw/EWQP/zh/Encyclopedia/NounDefinition/Pedia_18.aspx
- 謝宗欣，2019，台江國家公園植物資源調查，台江國家公園委託研究計畫。
- 謝宗欣，2019，台江國家公園植物資源調查。台江國家公園委託調查計畫。

- 謝宗欣、胡翠玲，2019，台江植物：頂尖生存高手。台江國家公園管理處
- 謝蕙蓮、錢玉蘭、李培芬、吳珮瑛、陳義雄，2012，淡水河生態系之服務機制、價值評估及效益移轉--水域食物網之功能損失分析、現存生態價值評估與復育之應用(I)。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。

附錄一　評選意見回覆

附錄一 台江國家公園七股鹽田濕地生態系服務評析及應用研究計畫評選意見回覆及辦理情形

時間：中華民國 112 年 12 月 22 日(星期五)上午 9 時 30 分整

地點：台江國家公園管理處 2 樓第 1 會議室

主持人：賴副處長 建良

報告人：王筱雯 教授

審　查　意　見	辦　理　情　形
委員 A	
1.有關調查時間，可否配合氣候的環境來進行，12~2 月的冬季氣溫常低於 20℃，3~5 月為春季，溫度已昇高但尚未降雨，屬於溫暖乾燥，6~8 月高溫潮溼的夏季，9~11 月屬於秋季，但 10 月以後才會進入乾季。取樣時間能否和氣候相搭配。	水質規劃之調查以每季節調查一次為原則，分別於 2 月(冬季)、3~5 月(春季)、6~8 月(夏季)及 9~11 月(秋季)進行調查。 碳匯規劃之調查時間以每季節調查一次為原則。待工作會議及人力與設備配置確認後，冬季調查時間預計於 3 月完成，其餘皆以 3~5 月(春季)、6~8 月(夏季)及 9~11 月(秋季)進行。
2.有關欖李的取樣，在土壤部分可否分層取樣，地下可否用 50 公分來分層。	欖李異速生長方程式建立使用的欖李地上部與地下部土壤樣本，皆由台江國家公園管理處提供。若管理處能提供以 50 公分分層採樣之土壤樣品，本計畫便能分層計算地下部生物量。
3.有關海草生長量測量，測量的物種有哪些?用生物重量是否可行?	經過 112 年 12 月 6 日的現勘結果，本計畫預計測量海草—線葉二藥草之生長量，及其生長水體之溫室氣體排放

	量，以計算海草棲息地的碳匯量。 海草生長量測量方式為:以綁線方式作為記號,測量在固定時間內海草增加之生物量，進一步計算海草的生長量。
委員 B	
1.關於各項碳匯測量，建議詳細說明調查點的空間選擇以及頻度，因為濕地具有某些空間異質性。	碳匯調查點位的選擇考量,以對於調查人員操作安全的地區為優先選擇。七股鹽田濕地會測量紅樹林、海草及鹽田水域的碳匯量，區分四季進行碳匯調查，以滿足空間與時間的異質性。
2.關於浮體罩蓋法，建議說明實驗設備，及是否測量到底泥的代謝。	浮體罩蓋法(Floating chamber method)用於測量水體和大氣介面的溫室氣體排放通量,利用保麗龍作為底座,使壓克力透明半圓形罩蓋漂浮在水面上,並使用 PVC 水管固定浮體罩蓋的位置，利用管線連接溫室氣體分析儀器,測量7~10 分鐘內連續時間內浮體罩蓋內溫室氣體的濃度變化,以簡單線性回歸計算固定時間內的氣體濃度變化量,換算水體與大氣介面溫室氣體的排放量。 浮體罩蓋法測量的通量為水體及底土沉積物共同排放溫室氣體的綜合結果，故包含底泥代謝的結果。
3.關於海草碳匯量，建議說明如何處理螺貝等動物附著及減少誤差之方式。有關成長量的測量，請再說明。	海草生長量以綁線方式作為記號,測量在固定時間內海草增加之生物量,進一步計算海草的生長量。樣品挑選會使用沒有被生物附著或啃食的葉片進行測

	量，以降低草食作用對海草初級生產量的影響。
4.關於 INVEST 模型中的棲息地品質，建議說明需要輸入的參數。	InVEST 模型須先依據微棲地分類與內政部國土測繪中心國土利用現況調查成果，完成土地利用劃分，並依據不同土地利用類別，參考 InVEST 建議參數，如距離參數、影響權重參數等，來設定每種土地分類的棲息地適宜性，以及其與各環境威脅因子之相對敏感性。
5.關於氣候變遷調適，建議說明探討的主題是環境、社區或機關，並說明可能相關的項目。	本計畫將參照國家氣候變遷調適準則所述七大易受衝擊領域與能力建構，配合七股鹽田濕地樣貌，以社區為本，納入生態系服務與過去歷史樣貌，如生態保育、沙洲潟湖變遷面向、養殖與產業面向等，做綜整探討。
6.關於參考書目，建議再做排序。	感謝委員建議，已將參考書目進行重新排序。
委員 C	
1.研究方向及重點符合當前關注議題，且有七股研究的基礎，團隊也具相當研究經歷，成果可期。	感謝委員肯定
2.樣區及採樣點未見清楚標示，也請說明選取標準。	在水質與碳匯樣點選取上，皆以調查人員操作安全且可觸及之地區為優先選擇。樣區標示與選取標準皆已補充於工作計畫書第 53 到 55 頁中。
3.有關欖李異速生長的重要性，海茄苳若使用國外資料是否適合臺灣的條	應用於海茄苳之異速生長方程式雖為國外所建立，但黃日聖(2016)曾利用彰

件。	化芳苑的海茄苳進行驗證，公式結果預測生物量(x)與實際生物量(y)的回歸式為 y=1.0943x+0.9198，顯示國外建立的異速生長方程式經回歸調整後可用於臺灣的海茄苳紅樹林。
4.補充說明有關「科教研基地工作坊」的協助事項。	計畫團隊將參考 112 年度試辦經驗，提供管理處辦理 113 年度科教研基地工作坊之相關必要協力，如經驗分享、師資或人力資源等。
5.海草床種類也包含貝氏鹽草、卵葉鹽草，在大小尺寸、綁線標誌可行性，建議後續調整。	經 112 年 12 月 6 日現勘發現，台江國家公園管理處指定區域內以線葉二藥草為主，因此規劃以此種海草為碳匯測量物種，並利用綁線法進行線葉二藥草之初級生產量調查。初期調查會針對指定區域內的海草種類進行初步調查，以瞭解分佈種類及面積等基礎資料。
委員 D	
1.有關權益相關人可能包含水門管理機關、土地管理機關、當地漁業生產者及使用者等，對濕地生態服務之想法及認知可能有相當大落差，未來如何歸納分析，建議補充說明。	依照過去於七股鹽田區域辦理之工作坊經驗，不同權益關係人所關切或認知的生態服務確實不同。本計畫將歸納整理歷次訪談權益關係人對濕地生態服務的瞭解程度以及不同關係人之間的認知差異，以及透過進一步訪談增加權益關係人對生態服務認知，並根據這些資料來提出經營管理面向策略。
委員 E	
1.針對計畫工作項目包含碳匯調查等	(1) 碳匯調查會盡量以每季節之晴天

項目，容易受到氣候條件及人力可及性等外在因素，且本計畫區域更廣泛，所需投入人力應需更多，未來如何應對克服上述外在因素。	進行測量，以避免氣候不佳等因素受干擾與影響。因應本計畫包含鷸鴴科保護區及七股鹽田濕地，其中七股鹽田濕地又涵蓋海草、紅樹林及鹽田棲息地類型，計畫內容實屬龐大。為完成上述工作項目，本年度計畫將在經費許可範圍內安排更多人手協助執行計畫內容，以期在期限內完成計畫目標。 (2) 由於水質調查與碳匯調查皆有七股紅樹林樣區，故水質調查時間盡量與碳匯調查時間搭配調查。
委員 F	
1.針對計畫工作內容所需劃設樣區，是否可補充說明。	在水質與碳匯樣點選取上，皆以調查人員操作安全且可觸及之地區為優先選擇。樣區標示已補充於工作計畫書第 53 到 55 頁中。
2.有關在計畫執行所建議模式或調查得之碳排係數，是否可應用至其他濕地，或需再進行參數調整。	IPCC(2006)針對不同發展程度的國家提供三種不同層級的國家溫室氣體盤查方法，當目標濕地缺乏碳排係數資料時，除了使用 IPCC 第一層級—IPCC 預設的排放係數之全球通用係數，作為目標濕地的碳排係數外，亦可參考 IPCC 第二層級—使用國家特定地點的數據，利用國家其他相似濕地的碳排係數。故本計畫執行所計算的各棲息地類型碳排係數，可提供應用至其他同類型濕地區域。

附錄二　期初意見回覆

附錄二 台江國家公園七股鹽田濕地生態系服務評析及應用研究計畫期初意見回覆及辦理情形

時間：中華民國 113 年 02 月 01 日上午 10 時整

地點：台江國家公園管理處 2 樓第 1 會議室

主持人：謝處長 偉松

報告人：王筱雯 教授

審　查　意　見	辦　理　情　形
薛美莉委員	
1.本案主要為調查濕地碳匯，建議在水質調查部分應加入 TOC 分析。	感謝建議，已於水質調查檢測項目新增 TOC。
2.頁 13 副熱帶用詞建議統一為「亞熱帶」。	感謝建議，已進行修正。
3.本案執行區域鹿耳門鷸鴴科生態保護區應為國際級國家重要濕地(頁 28 內文)。	感謝建議，已進行修正。
4.圖 21 氣溫中水試所資料請再確認。	感謝建議，已進行修正。
5.頁 44 鹿耳門鷸鴴科生態保護區中植物「地鼠尾粟」，請更正為鹽地鼠尾粟。	感謝建議，已進行修正。
6.頁 47 保育類名詞寫法請參照農業部法規名詞。	保育類名詞寫法已參照野生動物保育法及農業部陸域保育類野生動物名錄

	進行修正。
7.頁 48 內文所述蝦虎科應係鰕虎科。	感謝建議，已進行修正。
8.頁 49 內文所述「隻齒擬相手蟹」請再確認物種名。	感謝建議，已修正為「雙齒擬相手蟹」。
9.頁 57 紅樹林植物生長量，但該段內文應係枯枝落葉收集。	感謝建議，已進行修正。
10.本案提出七股潟湖中的海草床調查，建議應先釐清潟湖中的海草組成。	本計畫於 112 年 12 月 6 日進行計畫區域場勘，僅觀察到線葉二藥草。後於 113 年 2 月 6 日進行冬季碳匯調查，亦僅觀察到線葉二藥草於淺水域生長。 此計畫區域部分水深高度未知，不易進行海草組成調查。
王一匡委員	
1.計畫基本資料豐富，工作內容繁多。	感謝委員肯定
2.有關紅樹林及水域棲息地碳匯測量，建議列出計算公式。	感謝建議，碳匯計算相關公式已列於期中報告中。
3.有關氣候變遷減緩部分，除了溫室氣體收支現況計算，建議考慮進一步減緩的可能性。	感謝建議，本計畫根據不同棲息地環境之碳匯量與溫室氣體調查結果，預計於期末分析碳匯功能對於氣候變遷減緩能力。
4.有關於調適的部分，例如洪泛問題，建議進一步說明背景及問題，說明調適主體及議題。簡報說明較清楚，建	已於期中報告內彙整與說明氣候變遷調適背景及議題等相關資料。

議整理後納入。	
5.有關生態系服務，因現地調查工作種類多，建議說明優先順序。	本計畫現地調查為根據去年建立方法論提及之必要環境調查。 生態系服務多著重於與利害關係人之訪談，然而生態系服務討論面向眾多，本計畫難以全面探討。
6.有關圖 11，因為沒有高程變化，建議可以不用放。	感謝建議，已進行修正。
邱郁文委員	
1.生態系服務以滾動式調整，由國際級到國家級濕地研究評析出不同項目，也建議除了大方向也落實在地議題。本計畫應由七股在地反應並建議國家的方向，同時新的光電議題也須列入。	感謝建議。 光電為氣候變遷減緩方式之一，如本計畫研究範圍周邊魚塭「漁電共生」，因其特殊養殖模式順應自然條件、提高營養源利用率、降低人為干預、與水鳥共存友善等生態養殖實踐等，有利環境的永續發展，亦是目前多方討論課題（李明翰等，2024）。除了光電等硬體設備之外，回歸自然運作系統為長期之目標，故碳匯功能亦為重要氣候變遷減緩方法。
2.摘要內有提到多樣項目的調查，也有動物調查，建議文字上改用盤點。	本計畫除彙整有關計畫區域之前人文獻內容(盤點)，亦須進行現地調查以取得最新資料(調查)。故已於摘要區分說明盤點項目以及調查項目。

3.工作期程內未列到關係權益人訪談相關期程。	利害關係人訪談期程包含於「生態系統功能及服務評估」期程中。
4.有關本區受到潮汐影響造成感潮或乾潮灘地，以及其可能影響到的環境狀況，因此要注意材料方法中有關潮汐或日夜等狀況，並補充說明。	感謝建議，已將潮汐與日夜等環境因素等說明列於期中報告。
5.本區海草組成，資料彙整後可以做為基礎資料的校正。	本計畫於 112 年 12 月 6 日進行計畫區域場勘，僅觀察到線葉二藥草。後於 113 年 2 月 6 日進行冬季碳匯調查，亦僅觀察到線葉二藥草於淺水域生長。 此計畫區域部分水深高度未知，不易進行海草組成調查。
6.有關文獻建議增補上頁 67「強化臺南.....」的引用來源，並考量「野溪塌陷.....」等內文敘述，以及頁 55 枯木碳庫及枯落物碳庫不明顯等字句，也列出文獻清單。	1. 感謝建議，已於期中報告書補上頁 55 與頁 67 之參考文獻。 2. 頁 67 提及脆弱度較高之七股、安南區及安平區地質條件為地勢平緩之沖積層(經濟部，地質資料整合查詢)，無野溪塌陷潛在威脅，已於內文中修改。
7.團隊努力值得肯定，加油。	感謝肯定
謝宗欣委員	
1.七股潟湖及附近濕地有多種海生高等維管束植物，目前計畫中要量測線葉二藥藻(頁 87)，請問其他類水生植	本計畫前後兩次(112 年 12 月 6 日及 113 年 2 月 6 日)於計畫區域海草水域調查，僅發現線葉二藥草生長，並無卵

物所佔比例，卵葉鹽藻數量似乎比線葉二藥藻更多，在某些區域貝克氏鹽藻也很多，在靜水魚塭夏季時有流蘇菜大量生長，提供參考。	葉鹽草的植群分佈。 卵葉鹽草生長機制屬於拓殖型(Colonizing)生長，這類型海草依賴大量地下種子庫，且這些種子具有長時間的休眠期，在環境條件下能快速發芽生長。然而，當環境惡劣時，這類型海草地上部分會迅速消失，因此可能會觀察到大量生長和消失週期。未來各季節進行碳匯調查時，將再觀察是否有卵葉鹽草植群分佈。
2.頁 39 水試所氣溫資料異常，再請確認。	感謝建議，已進行修正。
企劃經理科鄭脩平科長	
1.計畫針對濕地生態系服務訪談利害關係人，受訪人員對生態系服務內容是否容易瞭解，特別是社區相關訪談人，建議訪問內容可採取與其生活較相關議題或實質內容，應可更容易聚焦議題，而避免模糊化探討內容。	本計畫搭配本團隊王筱雯教授研究室其他研究於今年 5 月 20 日在臺南市七股區辦理之工作坊，以逐項說明方式請利害關係人進行七股潟湖與七股鹽田生態系統服務評估。
保育研究科王建智科長	
1.本計畫工作項目如先前議程說明所述，經業務單位查核受託單位所提送期初工作計畫書，已分別針對契約要求工作項目，規劃對應調查研究方法及內容，相關內容業說明於期初報告	感謝肯定

及簡報，尚符契約規定工作內容。	
2.針對欖李異速生長方程式校正項目，將由本處委託專業園藝廠商採取欖李地上部、地下部植株，也請受託單位協助所需植株標示及必要之樣株採集前形質測量。	本計畫已挑選預計採集之欖李樹木，並已完成採集前欖李樹木之 1.3 公尺處樹徑及數高的樹型參數測量，以進行後續異速生長方程式的校正。
3.頁 53 規劃進行之水質檢測方法，建議可列表說明檢測項目對應方法；頁 54-55 所列各樣點，建議可表列說明樣點環境特性並附圖對照。	感謝建議，已將頁 53 之水質檢測對應方法以及頁 54-55 之樣點描述新增於期中報告內。
4.有關鷸鴴科保護區科教研工作坊，規劃在今年度 3 月 16-17 日辦理，再請受託單位提供生態服務評析說明及驗證實作等協助。	謹遵辦理。本計畫已於 3 月 16-17 日提供鷸鴴科生態保護區科教研工作坊生態服務評析資料與授課。
保育研究科林哲宇技士	
1.本計畫屬性為委託研究計畫，後續請參考相關作業規定所載格式撰寫及印製各期報告。	謹遵辦理。
2.本計畫針對本處園區範圍內之七股鹽田濕地，規劃採用 RAWES 方法執行濕地生態系服務評析，考量該濕地包含有鹽灘地以及七股潟湖等2種不同類型濕地，預計利害關係人組成應也不一致，請再針對鹽灘地及潟湖，	本計畫對於七股濕地以及七股鹽田之訪談利害關係人詳如頁 87 所示，訪談內容皆以評估現有兩處之生態系統服務情況為主，評析結果如表 36 與表 37。

評估訪談人名單及預計訪談之議題，俾完善本計畫生態服務評析結果。	
3.承上，所評析各項生態服務也請參考本處歷年辦理計畫成果，評析是否可驗證對應生態服務，不足處也請協助提出後續研究計畫建議。	本計畫初步彙整台江國家公園近五年七股相關計畫，並篩選對應之生態系統服務項目，並預計於期末提供未對應之項目提出未來規畫建議。
賴建良副處長	
1.本計畫是以七股鹽田濕地為主，當時的濕地保育利用計畫尚在草案公展階段，相關文獻引用及內文說明再請修正調整。	感謝建議，已修改為七股鹽田重要濕地（國家級）保育利用計畫（草案）。
2.濕地及海岸管理現由國家公園署主管，本處則是受委任代管重要濕地，計畫內容可能不只有純粹生物及環境探討，再請受託單位思考計畫可探討議題。	感謝建議。 本計畫完全同意濕地工作牽涉範圍廣泛，然而本計畫範圍僅有七股鹽田濕地之水質、高程與碳匯功能現場調查，以及生態系服務評析與微棲地劃分；鹿耳門鷸鴴科生態保護區則僅有碳匯功能現場調查，難以全面探討整體影響因子。

3.計畫預計訪談對象也請納入七股鹽田鹽灘地目前認養之6個NGO單位。	目前六個認養團隊中，以台灣黑面琵鷺保育學會、台灣濕地保護聯盟及台南市野鳥學會在認養區有較多的實務活動。研究團隊與台灣濕地保護聯盟及台灣黑面琵鷺保育學會長期有針對停晒鹽田保育進行經驗交流，而今年度辦理工作坊台南市野鳥學會也有參與分享意見。
謝偉松處長	
1.本計畫是參考去年度於鷸鴴科生態保護區示範計畫，沿用方法論及操作經驗於七股鹽田重要濕地執行，也請受託單位整合多年來於七股地區操作經驗，相信可取得良好研究成果。	感謝肯定。
2.有關鷸鴴科生態保護區科教研工作坊，再請受託單位提供相關協力事宜。	謹遵辦理。已於3月16-17日協助鷸鴴科生態保護區科教研工作坊辦理事宜。

附錄三　期中意見回覆

附錄三 台江國家公園七股鹽田濕地生態系服務評析及應用研究計畫期中意見回覆及辦理情形

時間：中華民國 113 年 08 月 01 日上午 10 時整

地點：台江國家公園管理處 2 樓第 1 會議室

主持人：謝處長 偉松

報告人：王筱雯 教授

審　查　意　見	辦　理　情　形
薛美莉委員	
1.本報告中有關保育類物種中的保育等級不一致，例如黑面琵鷺在頁 45、48 所述保育等級不同。	感謝委員建議，已進行修正。
2.表 1 中提到布袋鹽田生態系服務功能是否漏列生物(基因)多樣性支持，且於頁 10 中提到布袋鹽田具淡水供應的功能與表 1 似乎未配合。	表 1 與頁 10 之生態系統服務引用資料不同，表 1 為 Kuo & Wang(2018) 引用 De Groot(2010)，而頁 10 為石心柔(2020)引用 McInnes & Everard(2017)，故兩者評估結果不完全相同。
3.頁 90 提到問卷結果訪查人數應於報告中說明。	感謝委員建議，已將問卷訪查人數列於期末報告中。
4.本案執行海草床碳匯調查，建議可加入海草生物量數據。若非本計畫執行項目可收集文獻進行分析。	本計畫皆有量測冬季與春季海草生物量：冬季海草地上部生物量為 14.72±0.76g m^{-2}、地下部生物量為 23.30±14.54 g m^{-2}；春季地上部生物量為 18.32±8.53 g m^{-2}、地下部生物量為 43.94±5.67 g m^{-2}。將於期末報告中呈現四季海草地上及地下部生物量完整調查結果。
5.報告中提出降低欖李土壤呼吸	保護區內欖李土壤溫度較高，造成土壤呼吸

作用，其操作策略可於後續報告提出，以利後續經營管理建議。	作用旺盛。由於保護區內沒有大型樹木可以提供遮蔭，且未與水域直接相連。建議可改善保護區內鬱閉度，減少太陽光直接照射底土以降低土壤溫度，達到降低土壤呼吸作用成效。
6.頁 39，雨量請加入總雨量。	感謝委員建議，已進行補充。
王一匡委員	
1.計畫基本資料豐富，工作內容繁多。	感謝委員肯定。
2.報告中有些圖圖說標示字體不利閱讀，例如圖 3、圖 35 等。	感謝委員建議，已進行修正。
3.表 6，有關磷酸鹽等的單位，請檢查。	感謝委員建議，已進行修正。
4.有些圖建議說明資料來源，例如圖 11、圖 12 等。	感謝委員建議，已進行修正。
5.圖 29，有些資料標示被遮蓋，建議考量呈現方式。	感謝委員建議，已增加表格標示水質資料。
6.有關生態系服務訪談，建議說明執行方式。	本計畫人員向利害關係人說明每項生態系統服務內容及意義，並請關係人們根據自身經驗與了解對七股潟湖與七股鹽田進行評估。
7.建議檢視引用文章是否在參考文獻，例如阮廷大(2022)。	感謝建議，已進行修正並重新確認參考文獻完整性。
8.圖 32-40，建議說明樣本數。	感謝委員建議，紅樹林與海草樣本數已詳列於期末報告內。
9.有關減緩與調適，建議將簡報內容納入報告。	感謝建議，已予以納入報告補充敘明。

10.有關紅樹林底土溫室氣體吸收，建議討論可能機制。	冬季時各樣點土壤溫度不超過 30°C，是適合各類藻類生長溫度，因此能吸收大量二氧化碳進行光合作用用以生長；反之，春季土壤溫度逐漸提升，使得土壤中藻類生物量下降，讓整體土壤吸收二氧化碳能力同時降低。 土壤對甲烷吸收機制則可能是來自於甲烷氧化菌等化學自營微生物推動。氧化亞氮為土壤中細菌硝化與反硝化作用中間產物，其中以將硝酸鹽轉換為氮氣之反硝化作用為氧化亞氮排放最主要來源，且此反應適合在缺氧狀態下進行，因此土壤含水量較高的海茄苳樣區有較高氧化亞氮吸收量。
邱郁文委員	
1.實驗設計嚴謹，符合計畫需求，可以解決計畫核心問題，值得肯定。	感謝委員肯定。
2.摘要內容尚未更新內文成果，也請期末加入計畫成果。	感謝委員建議，已重新確認並進行修正。
3.本計畫主軸之一是欖李，請問是否可以列表臺灣其他地方的相關資訊。	臺灣目前尚未有關於欖李碳匯係數之研究成果，難以列表臺灣其他地點相關資訊。 海茄苳碳匯係數具有較多研究成果，已列表整理海茄苳碳匯係數相關資訊於期末報告中。
4.將減緩和調適分開論述，是值得深化，也是釐清紅樹林管理的思辨議題。	感謝委員肯定。

5.有關文獻中「許(2024)」中談到氣候變遷有 41 種鳥類受到威脅,請進一步說明並協助過篩 41 種鳥類有哪些是台江或是計畫區域分布物種。	經查 83 種繁殖鳥類中於 2041 至 2080 年共有 52 種鳥類處於高曝露狀態，其中位於台江公園範圍內有 17 種；位於計畫區域內有 5 種，分別為小雲雀、灰頭鷦鶯、斑文鳥、赤腰燕、洋燕等。其餘鳥類種類詳列於期末報告中。
6.本區潮汐與灘地漲退潮之時間差 2 小時，與曾文溪口一致。	感謝委員肯定。
7.有關生態系服務的因子篩選及指認面向,是否會影響到呈現結果。	快速評估生態系統(RAWES)為針對濕地快速評估方法之一，會根據評估者專業知識與生活經驗而有所差異。因此本計畫彙整歷年評估結果作深入分析並進行滾動檢討。
8.同意建議中所述加強水門管理及紅樹林管理,但非無差異的復植。	感謝委員肯定。
9.認同科研基地環境優化及基礎設施，以成為基礎研究執行場域。	感謝委員肯定。
謝宗欣委員	
1.有關海茄苳生長量(頁 73-74)，圖 32(a)的冬季和春季生物量皆相同,是否能再於圖加上數字或列表說明;有關海茄苳生長量部分，其變異程度相當大，能否加以討論。	由於鷸鴴科保護區之海茄苳生物量冬季與春季差異不大，因此結果圖上顯示近乎相同，已列表呈現四季生物量結果於期末報告中。 七股海茄苳紅樹林生物量的變異程度較大，是因為三樣區之間生物量變異較大造成。
2.在枯落物方面，圖 33a (頁 74)缺少冬季圖示，圖 33b 欖李掉落物	紅樹林枯落物測量方式為蒐集兩季之間枯落物量計算，因此本計畫第一季(冬季)架設

中沒有看到花的部分，是否今年有發現差異。	枯落物籃後，第二季(春季)才蒐集到紅樹林枯落物數據，因此冬季沒有枯落物結果。 欖李花期以夏季為主，春季已於 5 月進行採樣，本計畫將於夏季採樣時再確認欖李枯落物組成是否有花，進一步將四季枯落物結果彙整並呈現於期末報告。
3.表 19、20 (頁 91)，內容和結果皆很相似，其評分標準的計算值宜校準，兩者如沒有太多區別，且又相近，能否合併表 19 和表 20。	表 20 內評分數值為誤植，已修正於期末報告中。 由於表 19 與修正後表 20 評分結果不相同，故不進行兩表合併。
保育研究科王建智科長	
1.本計畫工作項目如先前議程說明所述，經業務單位查核受託單位所提送期中報告，本階段成果包含計畫範圍現地高程調查及微棲地初步劃設、定期水質調查，並進行海茄苳植群、海草床及鹽灘地水域之濕地碳匯係數 2 季調查，業初步完成濕地快速評估生態系服務等工作，尚符契約規定工作內容。	感謝肯定。
2.微棲地劃設建議可參考近年濕地自然碳匯估算所採用之各項濕地子類別再行細部判釋，所判釋得各子類別面積可作為活動數據，並應用於估算七股鹽田濕	本計畫利用人工數化方式並搭配各項濕地子類別將七股潟湖判釋為水域、沙洲、潮間帶、防風林、紅樹林等共五項微棲地；利用 NDWI 與人工數化將台區鹽田判釋紅樹林、灘地與水域等三處微棲地。

地氣候變遷減緩功能。	
3.今年度尚包含進行欖李異速生長方程式校正工作，有關欖李樣株業於 7 月中旬採樣完成並送至中興大學，再請協助後續分析事宜，所校正完成方程式，再請套用更新 112-113 年度欖李碳匯係數及碳匯量估算。	欖李樣株正進行烘乾程序，屆時於期末報告內呈現校正後之欖李異速生長方式，並更新 112-113 年度欖李碳匯係數及碳匯量估算。
4.計畫採用 RAWES 評析七股鹽田濕地所具有之濕地生態服務，其中有 6 項生態服務為貼近在地利害關係人，也包含有鹽度調節及棲息地提供等生態服務，應可列為七股鹽田濕地建議長期維護之項目，後續再請協助評估如何與氣候變遷調適扣合，並提出維護該項生態服務之經營管理策略面向建議。	隨著氣候變遷帶來之海水溫升高、海平面上升及棲地劣化或喪失等影響，使得生態系統服務可能有所調整。然而，由於氣候變遷影響尚須更充足研究資料佐證，現階段管理策略建議除了持續研究（尤其是納入生態系統服務及氣候變遷影響）之外，也需要多結合漁民、民間團體等利害關係人以獲取現地第一手資料有助評估管理對策，詳細內容已納入氣候變遷減緩及調適能力評估章節敘明。
5.本計畫研究項目相對少見且新穎，再請評估是否可在計畫完成後，摘錄部份成果並投稿於國家公園學報，例如欖李異速生長方程式校正成果，及濕地生態服務評析研究初探等內容，俾增加本處研究成果可見性。	謹遵辦理。
保育研究科林哲宇技士	

1.碳匯係數現地調查，今年度樣站設計包含有鷸鴴科保護區海茄苳、欖李，以及七股鹽田濕地中之海茄苳、海草生育地及鹽灘地水域，相關建議依序說明如下： (1) 海茄苳及欖李之每季生長量調查均採用現地量測植株胸高徑，並套用既有之異速生長方程式，再請列表補充說明每季所測量得胸高徑數值，及對應生物量。 (2) 承上，欖李碳匯係數調查，再請協助綜整 112-113 年度資料。 (3) 海草生育地碳匯係數測量方法敘述運用海草葉面積及乾重之線性方程式，再請補充方程式內容。另前期研究現地也有卵葉鹽草分布，是否近期調查有發現? 並請協助評估該樣區海草分布面積供為估算海草碳匯量。	(1) 海茄苳地上部生物量計算已套用校正後之異速生長方程式，地下部生物量方程式尚未進行過校正。每季所測紅樹林樹徑及對應生物量數值，將列表呈現於期末報告內。 (2) 112-113 年欖李碳匯係數結果將在台灣欖李異速生長方程式建立後，再重新計算更新。 (3) 海草碳匯係數計算中，關於線葉二藥草生長量測量方式，經第一季試驗後，改以戳針法進行，因此毋須建立海草葉面積及乾重之線性方程式，海草戳針法之調查方法將更新於期末報告。本計畫於 2023 年 12 月進行現勘與 2024 年 2 月及 5 月進行調查皆未發現卵葉鹽草分布。線葉二藥草分佈面積待秋季調查時進行測量。
2.有關濕地生態服務評析工作，頁 87 所述各單位名稱再請更新為組改後資料，另外頁 91-94 所評	感謝建議，已進行修正。

析生態服務判釋內容應有誤植，再請檢視更新。	
謝偉松處長	
1.期中報告所列建議說明可在鷸鴴科生態保護區裸灘地增加紅樹林栽植，水域則可種植耐鹽水生維管束植物等增匯策略，也請於期末報告評估在臺區鹽田之各項增匯策略，包含紅樹林栽植、鹽灘地水文棲地復育等。	建議可利用如水路疏通、涵管修復及水門操作等之適當水文管理、增高臺區鹽田周遭土堤，並篩選適合臺區鹽田環境之紅樹林樹種，自台江國家公園處內之紅樹林苗圃或取用野生紅樹林胎生苗進行栽植。除此之外，台區鹽田之利害關係者繁多，亦有部分民眾利用鹽田所提供食物及防洪等功能，故民眾參與及支持亦是生態保育重要環節。詳細內容詳列於入氣候變遷減緩及調適能力評估章節。
2.本處這1-2年濕地自然碳匯相關研究成果豐碩，再請協助整理年度計畫成果資料，供本處於 11 月時之北回歸線論壇中發表。	謹遵辦理。
3.針對臺區鹽田區域，請六孔站、保育科預先研議規劃各項紅樹林物種栽植試驗或活動等方案，並於明年度試辦。	感謝建議。

附錄四　期末意見回覆

附錄四 台江國家公園七股鹽田濕地生態系服務評析及應用研究計畫期末意見回覆及辦理情形

時間：中華民國 113 年 12 月 11 日下午 2 時整

地點：台江國家公園管理處 2 樓第 1 會議室

主持人：謝處長 偉松

報告人：王筱雯 教授

審　查　意　見	辦　理　情　形
薛美莉委員	
1.有關本提到多種碳相關單位，建議採用統一的單位，不要使用中文及英文相互使用，以避免混淆。	感謝委員建議，已經將碳相關單位統一修正為英文單位。
2.本案整合各濕地之生態系統服務，其內容七股潟湖 9 項，鹽田 13 項以及以往計畫 8 項，建議應總整為表，並敘及其功能差異為何，以利了解各濕地的差異。	感謝委員建議，文中提及生態系統服務七股潟湖 9 項與鹽田 13 項，分別是指七股潟湖與鹽田提供的調節服務，且共同擁有 8 項調節服務，並非是指以往計畫 8 項。
3.本計畫摘要第 II 頁提出建議項目似乎過於空泛，建議應提出較明確建議，以利台江國家公園管理處經營管理策略擬定。	感謝委員建議，已進行修正。
4.本案碳吸存及碳儲存如以”季”為單位，建議應先釐清春、夏、秋、冬的起迄時間。	本計畫碳匯調查時間以 3~5 月為春季，6~8 月為夏季，9~11 月為秋季，12 月至隔年 2 月為冬季。
5.頁 22 中提到生態課題，其中臺灣繁殖鳥類是否予本計畫範圍相關，應加	科學報告中評估 83 種繁殖鳥類，其中處於高暴露者有 17 種位於台江國家公

審　查　意　見	辦　理　情　形
以釐清。	園，而位於本計畫範圍者則有 5 種，已詳細補充於內文。
6.本文中提及多種濕地調查之物種，但報告中多以俗名，建議可整理名錄以對應其生態資源。	感謝委員建議。該小節僅彙整各個文獻呈現該濕地生態資源狀況，以作為研究基地之背景說明。
7.文中提到台江擬蝦虎為新種而非”品種。	感謝建議，已進行修正。
8.本案建立臺灣本土之欖李異速生長方程式，建議可將目前建立之方程式與其他地區差異呈現。	透過校正後臺灣本土欖李異速生長方程式，與前人文獻異速生長方程式分別計算鷸鴴科生態保護區內欖李生物量，計算結果為校正後臺灣本土欖李異速生長方程式之地上部與地下部生物量約為前人文獻異速生長方程式計算的 1.07 與 0.74 倍。 表示計算地上部生物量，文獻方程式計算結果低估本土紅樹林生物量，以致於低估生長量與碳吸收量；而地下部生物量則是文獻方程式計算結果高估地下部生物量，使得整體高估了地下部生長量與碳吸收量。
王一匡委員	
1.本計畫成果豐碩，有幾點以下討論。	感謝委員肯定。
2.有關鷸鴴科生態保護區，報告圖 40 所呈現資料，建議對季節差異及可能因素做討論，及說明調查時間及天氣狀況等，所形成可能影響，另建議說明	鷸鴴科生態保護區內欖李及海茄苳底土二氧化碳及甲烷通量皆以夏季高於其他季節，推測是夏季底土溫度較高，提高底土中微生物的異營呼吸作用及

審　查　意　見	辦　理　情　形
重複數。	產甲烷作用，因而增加底土二氧化碳及甲烷排放量。 鷸鴴科生態保護區四季調查之兩種紅樹林、與三種底土溫室氣體皆各有五重複。
3.有關碳匯估算，建議說明計算方法。	碳匯估算各項參數為先測量獲得以日為單位數值結果，再以該季節日數計算以季節為單位結果，再以四季結果相加以估算整年的碳匯結果，已納入成果報告書中。
4.表 27，建議說明填寫人數及數值是否為平均。	感謝委員建議，已新增利害關係人總人數與補充說明數值計算方式於成果報告中。
5.6-4-1 節，有關模擬紅樹林擴張，建議說明未來會造成紅樹林擴張的驅動因素。	感謝委員建議，6.4.1 為計畫區域現況模擬，6.4.2 才是模擬未來紅樹林擴張，故驅動因素詳細說明補充於 6.4.2。
6.6-4-2 節，建議說明棲息地品質的評估因素，以及說明”其他棲息地”等文字	感謝委員建議，根據李孟庭(2024)模擬結果，棲息地評估結果根據為 InVEST 模式提供之數據。 內文中提及「其他棲息地」指除了海茄苳紅樹林以外之棲息地，已補充敘述於成果報告中。
7.7-3-2 節，建議說明如何恢復七股鹽田生態系服務。	感謝委員建議，本段文字建議主旨為提升停晒鹽田之生態品質，而非恢復成鹽田生態系統服務功能。內文已予以修正補充敘明。

審　查　意　見	辦　理　情　形
8.有些引用文獻未放在參考文獻，例如王文千 2019，Pol et al. 2024 等。	感謝委員建議，已新增並確認參考文獻完整性。
9.表 30，有建議後續探討議題，建議說明。	已補充於內文敘明。
邱郁文委員書面審查意見	
1.計畫成果達成預期效應，針對鹽田之生態功能以及潛在生態價值，進行探討，完成目標。	感謝委員肯定。
2.相關生物多樣性資料、物種資訊，應有精進之空間。此外成果如何進一步貼合現況實際情形，如水體交換不良濕地，如何透過水圳水門來改善水體交換，以及微環境差異局部劣化、人為干擾及先天限制等，藉由報告結果逐步揭示，這些都影響如何提升生態服務價值，也有突破性結果。	感謝委員肯定。
3.本研究中以微棲地的概念，區分地景多樣性進行評估，方法學上是正確的，但是在這個尺度之下，在台江地區實際上在不同的地點微棲地具有相當大的差異，比如不同區塊的鹽田，在鹽度以及潮汐交換的梯度，會有相當大的差異，將造成碳匯能力估算上的差異，也建議列入後續研究的方向。	感謝委員建議。已將建議之相關後續研究方向列入成果報告書中。
4.在生態系統服務評估模擬，但海茄苳	感謝委員建議。模擬結果雖指出海茄苳

審　查　意　見	辦　理　情　形
生長擴張會壓縮到其他棲息地的空間分佈，水域和灘地的面積減少，在無經營管理情況下，雖然碳匯能力增加，對於其他生態系統可能產生不利影響，也建議日後在此加強論述，以提供更明智之經營管理策略。	增生會壓縮到其他棲息地空間分布，然而實際壓縮比例，以及受影響之物種仍需更長期監測與調查以強化論述，並已將相關建議納入成果報告書中。
謝宗欣委員	
1.頁 81 圖 40，海茄苳和欖李之紅樹林底土溫室氣體通量，其中春季海茄苳的二氧化碳濃度大量增加，但欖李卻僅微量增加，請問其原因為何?	根據鷸鴴科生態保護區內整年度紅樹林底土溫室氣體通量結果，欖李及海茄苳底土二氧化碳及甲烷通量皆以夏季高於其他季節，推測是夏季底土溫度較高，提高底土中微生物的異營呼吸作用及產甲烷作用，因而增加底土二氧化碳及甲烷的排放量。
2.七股紅樹林整體為碳匯，但鷸鴴科保護區卻為碳源，兩者是植被差異或是環境水文差異導致。	推測由於鷸鴴科保護區內水體與外界交換量較差，主要以雨水(淡水)補充水源為主，因此鷸鴴科保護區內海茄苳底土甲烷排放較七股海茄苳紅樹林高，造成鷸鴴科保護區內海茄苳為碳源。
3.頁 90，西寮海草床結果中，圖 46 顯示冬季生產力最高，圖 47 則是水體二氧化碳通量是夏季吸收力最高，何以兩者不相關。	圖 46 是指線葉二藥草的初級生產力，圖 47 二氧化碳通量是指水體與大氣介面二氧化碳交換量，會與水體中初級生產量及呼吸作用共同影響。 由於西寮海草床水體中還有浮游藻類作為初級生產者，可行光合作用影響水體表面的二氧化碳通量，因而造成水體

審　查　意　見	辦　理　情　形
	與線葉二藥草的碳吸收能力峰值季節不同。
4.頁 93 欖李樣株資料，表 25 中共計有 26 株，但僅使用 21 株，建議註明未使用的株數，或予以刪除。	本計畫調查前的現勘並未發現 103 年設置的碳匯調查樣區，研判在近 10 年過程中，樣區標誌及標線已被破壞，因此本計畫在七股溪口紅樹林的相同位置重新設置 3 個樣區進行碳匯調查。，並已於成果報告中予以註明。
環境維護科呂宗憲科長	
1.有關七股溪口所測得水位變化資料，與將軍測站比較，漲潮時幾乎一致，但退潮時七股溪口延遲 2 小時，其可能原因為何？	推測七股溪口入水道較將軍潮位入水道窄，再加上鄰近七股溪口高程較七股潟湖內部約 3 公尺，故退潮時潮水較難以排出，已補充於成果報告內說明
2.七股溪口紅樹林，過往於 103 年曾有碳匯調查研究，為何未能繼續原樣點延續調查？	原預計延續李世博於 2015 年之研究樣點，但由於時間過久，已經找不到原先研究樣點，故重新設置調查點。
3.微棲地判釋分析，於鷸鴴科生態保護區判釋程度似乎相較七股潟湖、鹽田精細，可能原因為何？另外鷸鴴科保護區內有淡水草澤，若未來有機會改變地形引入潮汐水源，是否可提供評估建議。	感謝建議。由於鷸鴴科生態保護區截至今年(2024)共為兩年研究成果，故資料較為充足。此外，相較於鷸鴴科生態保護區，七股潟湖與鹽田幅員廣大，人力難以實際走訪涉及，故僅能使用資料收集、空拍圖，搭配人工數化與 NDWI 進行微棲地判釋。 推測是夏季底土溫度較高，提高底土中微生物的異營呼吸作用及產甲烷作用，因而增加底土二氧化碳及甲烷排放量

審　查　意　見	辦　理　情　形
	使得保護區整體呈碳排放。故本計畫建議可透過改善鷸鴴科保護區水文條件，以了解部分微棲地碳排狀況是否得以改善，詳細敘述已補充於成果報告內說明。
保育研究科王建智科長	
1.本計畫工作項目如先前議程說明所述，經業務單位查核受託單位所提送期末報告，本階段成果包含計畫範圍各類型棲地劃分、定期水質調查，並完成海茄苳植群、海草床及鹽灘地水域之濕地碳匯係數 4 季調查，業完成濕地生態系服務評析與提出具體經營管理策略建議等工作，尚符契約規定工作內容。	感謝肯定。
2.摘要部分，針對結論建議可分項說明，並應增加建議事項，包含短期、中長期，及各自適宜內容。	感謝建議，已進行修正。
3.頁 14 表 4 為去年度成果摘錄，應於備註說明與今年度調查成果差異之項目及原因，避免誤解。	感謝建議，已進行修正。
4.頁 54-57 所說明各類型棲地劃分結果，建議除內文說明，可再增列表格說明各類型棲地面積，並於備註說明空拍影像日期。另外頁 57 之七股潟湖紅樹林面積應有誤植(頁 127 之數	感謝建議，已更正七股紅樹林面積分為七股溪口紅樹林與沙洲上紅樹林，已補充表格並說明。

審　查　意　見	辦　理　情　形
據也是誤植)，再請確認實際面積。	
5.頁 62 七股溪口水位比將軍測站水位高之原因為何？未來如需辦理鹽田引水試驗，建議採納哪處測站之水位標準。	本計畫七股溪口水位資料僅收集一個多月資料，只能呈現可能趨勢，無法代表完整實際狀況。若未來引水試驗則需要於試驗地鄰近位置進行更長時間監測。
6.頁 78 內文應為欖李及海茄苳碳匯係數調查成果，目前仍有誤植及未更新資料，再請檢視修正；各碳匯係數現地調查成果應表列數據說明各季成果，並記載所需備註說明。另外欖李係數再請評估以校正後之異速生長方程式更新。	感謝建議，已更正碳匯調查結果並列表於成果報告內。
7.本計畫研究項目相對少見且新穎，再請評估是否可在計畫完成後，摘錄部份成果並投稿於國家公園學報，俾增加本處研究成果可見性。	謹遵辦理。
8.鷸鴴科保護區部分微棲地為碳排放狀況，再請協助提供具體改善建議(例如潮汐引水等水文改善)，供本處據以辦理。	具體建議已加入成果報告內，包括：透過改善鷸鴴科保護區水文條件，以了解部分微棲地碳排狀況是否得以改善，例如引進潮汐增加保護區內水文流通，藉此改變以雨水(淡水)為主要輸入水源，透過海水抑制海茄苳底土甲烷排放量。
保育研究科林哲宇技士	
1.頁 74 紅樹林碳匯係數測量方法，其中生長量所採用異速生長方程式是	感謝建議，已將調查資料改為本土欖李異速生長方程式重新計算。

審　查　意　見	辦　理　情　形
否可改用本計畫校正之方程式？	
2.頁 82 之七股溪口海茄苳碳匯係數調查，同樣應表列數據說明各季成果，整合今年度之碳匯係數所採估算方式也請備註補充說明，所估算係數再請確認；頁 85 圖 42 枯落物因風災而增加，再請評估是否需校正，另圖中尚缺少 2024 冬季枯落物數據，再請補充。	感謝建議，已將海茄冬碳匯係數列表於成果報告內。 目前仍無法區分及校正因風災增加枯落物量，未來如果有機會可用其他年度但相同季節的數據嘗試校正。 2024 冬季為七股溪口海茄苳紅樹林的第一季(冬季)調查，故該季為初次架設枯落物蒐集籃，第二季(春季)開始回收枯落物計算枯落物生產量。因此，2024 冬季沒有枯落物數據。
3.承上鹽田水域及海草床之碳匯係數也請比照前期方式表列數據說明，另外海草床如以所在水域環境整合估算為正值碳匯，惟此係數如何估算碳匯量，再請補充說明。	感謝建議，已將鹽田水域及海草床之碳匯係數列表於成果報告內。
4.綜上，再請協助運用所判釋棲地面積及對應碳匯係數，估算各區域之年度碳匯量。	感謝建議，已新增於成果報告內。
5.頁 115 表 31 中，針對鷸鴴科保護區業再精細判釋該區域之各類型棲地面積，惟建議可補充說明碳匯係數引用來源，如為本計畫，也應以校正更新後之數據，如為文獻引用數據則應備註說明，並請留意所採用單位是否一致。	感謝建議。表 31 為本計畫引用李孟庭(2024)研究結果，並非本計畫工項，已在內文中進行修正並說明。

審　查　意　見	辦　理　情　形
6.有關本計畫生態系服務評析結果，進一步針對未來氣候變遷因應策略，提出減緩及調適能力建構策略，成效良好。相關內容再請增列小節說明分短、中長期建議策略內容，供本處據以執行。	感謝建議。已新增 7.3.3 小節詳細說明短、中長期建議策略內容。
謝偉松處長	
1.本計畫研究內容相對新穎，請協助於摘要及結論等內容，以更口語化方式呈現，俾利閱讀。報告內容所採用單位標準，也請一致化。	謹遵辦理。
2.有關計畫所校正欖李異速生長方程式，再請補充本土校正後方程式與國外環境方程式，其 2 者差異。	透過校正後臺灣本土欖李異速生長方程式,與前人文獻異速生長方程式分別計算鷸鴴科生態保護區內欖李生物量,計算結果為校正後臺灣本土欖李異速生長方程式之地上部與地下部生物量約為前人文獻異速生長方程式計算的 1.07 與 0.74 倍。表示計算地上部生物量,文獻方程式計算結果低估本土紅樹林生物量,以致於低估生長量與碳吸收量;而地下部生物量則是文獻方程式計算結果高估地下部生物量,使得整體高估了地下部生長量與碳吸收量。
3.本計畫屬性為委託研究，後續再請協助轉化研究成果並投稿於國家公園學報。	謹遵辦理。