

珊瑚保種基地「珊瑚方舟」 成果報告

工作案號：AEA1258003

受託單位：國立中山大學

計畫主持人：塗子萱助理教授

合作主持人：宋克義教授、王志騰副教授

中華民國 114 年 4 月 25 日

摘 要

位處高雄的永安天然氣接收站港內海域提供了珊瑚保種的特殊環境，其主要優勢為防波堤設施提供的物理屏障保護使其免受颱風大浪侵襲以及港區管理嚴格，禁止漁業活動等條件。本計畫主要目的為運用此環境優勢，建立臺灣首座珊瑚方舟，為本土珊瑚多樣性保育提供重要庇護基地。本計畫執行項目包含透過實驗室的珊瑚生理研究探討光度對珊瑚耐熱性的影響以及永安天然氣接收站港內系統性環境調查，同時建立珊瑚移植的標準處理流程並依據先期實驗結果設計及架設珊瑚養殖平台。

在珊瑚生理研究方面實驗結果顯示，珊瑚的耐熱性存在明顯種間差異，團塊狀與平鋪狀珊瑚的耐熱能力顯著高於枝狀珊瑚。在弱光條件下（12 至 100 PAR），光照強度上升時不會導致珊瑚耐熱性顯著下降。但當光度提高至 400 PAR 時，簡單軸孔珊瑚及萼形柱珊瑚等枝狀珊瑚的耐熱性顯著下降。在相同光度下，若提供食物，則可提昇維氏腦紋珊瑚與密集迷紋珊瑚高耐熱性，但對其他種類珊瑚則無影響。

在野外環境研究方面，本研究在 2024 年夏天執行遮光實驗，探討遮光是否能有效阻止或減緩永安天然氣接收站港內海域內珊瑚的白化現象，並調查港內水溫的水平與垂直分布、光線在此混濁水域的吸收性。水文調查結果顯示，港區的防波堤結構提供了良好的物理屏障，顯著減少了海浪對珊瑚的直接衝擊，創造出更為穩定的生長環境，但液化天然氣所產生的冷排水則集中在底部，無法有效降溫表層海水。野外調查結果進一步證實，永安天然氣接收站港內的珊瑚在 2-4 公尺深度處較不易白化，這些發現為珊瑚養殖平台的最佳放置深度提供了重要依據，同時證實遮光技術可有效降低珊瑚白化率。

為減低珊瑚移植過程中的損耗，並有效在永安天然氣接收站港內建立珊瑚方舟，本計畫建立以中繼站為緩衝點的長距離珊瑚活體運送程序，設計以及依先期調查結果規劃養殖平台放置深度，後成功佈放適合永安天然氣接收站環境條件的珊瑚養殖平台。計畫執行期間，本團隊已在永安天然氣接收站港內設置兩組珊瑚養殖平台，並從東沙、澎湖南方四島、桃園大潭藻礁、臺東、墾丁、小琉球等地區移植珊瑚至永安天然氣接收站的珊瑚方舟內養殖，截至 2025 年 1 月調查移植珊瑚共存活 29 屬 74 種 220 株珊瑚。

經過 18 個月的珊瑚移植及養殖過程，兩組珊瑚方舟的設置展現出足以抵禦颱風、西南氣流以及東北季風的穩定性。然而在養殖方面，需多加考慮冬季時珊瑚對充足光線的需求，而第一組平台式的珊瑚養殖設施在此方面存在不足。因此，後續將以懸浮架裝置進行珊瑚移植，並持續觀察珊瑚生長狀況，同時收集永安天然氣接收站港內的水文資料，做為未來養護珊瑚方舟的重要依據。

Abstract

The marine area within the Yongan Liquefied Natural Gas (LNG) Terminal harbor in Kaohsiung provides a special environment for coral conservation. Its main advantages include physical barrier protection from breakwaters that shield against typhoon waves and strict harbor management that prohibits fishing activities. The main purpose of this project is to utilize these environmental advantages to establish Taiwan's first coral ark, providing an important sanctuary for the conservation of native coral diversity. This project includes coral physiological research in the laboratory to explore the effects of light intensity on coral heat tolerance, systematic environmental surveys in the Yongan LNG Terminal harbor, establishing standard procedures for coral transplantation, and designing and setting up coral cultivation platforms based on preliminary experimental results.

In terms of coral physiological research, the results showed significant interspecific differences in coral heat tolerance, with massive and encrusting corals showing significantly higher heat tolerance than branching corals. Under low light conditions (12 to 100 PAR), increasing light intensity did not significantly reduce coral heat tolerance. However, when light intensity increased to 400 PAR, the heat tolerance of branching corals such as *Acropora austera* and *Pocillopora damicornis* decreased significantly. At the same light intensity, providing food could enhance the heat tolerance of *Platygyra verweyi* and *Leptoria phrygia*, but had no effect on other coral species.

In terms of field environmental research, shading experiments were conducted in the summer of 2024 to investigate whether shading could effectively prevent or reduce coral bleaching in the marine area of the Yongan LNG Terminal harbor. We also surveyed the horizontal and vertical distribution of water temperature and light absorption in this turbid water area. The hydrological survey results showed that the breakwater structure of the port provided good physical barriers, significantly reducing direct wave impact on corals and creating a more stable growth environment. However, the cold water discharged from the LNG liquefaction process was concentrated at the bottom and could not effectively cool the surface seawater. Field survey results further confirmed that corals at depths of 2-4 meters within the Yongan LNG Terminal harbor were less prone to bleaching. These findings provided important basis for determining the optimal depth for coral cultivation platform placement and confirmed that shading techniques can effectively reduce coral bleaching rates.

To reduce losses during coral transplantation and effectively establish a coral ark in the Yongan LNG Terminal harbor, this project established a long-distance coral transport procedure using relay stations as buffer points. We designed and planned the cultivation platform placement depth based on preliminary survey results, and successfully deployed coral cultivation platforms suitable for the environmental conditions of the Yongan LNG Terminal harbor. During the project period, our team set up two coral cultivation platforms in the Yongan LNG Terminal harbor and transplanted corals from Dongsha, the South Penghu Islands, Taoyuan Datan Algal Reef, Taitung, Kenting, and Xiaoliuqiu to the coral ark in the Yongan LNG Terminal harbor. As of January 2025, 220 transplanted coral colonies from 29 genera and 74 species have survived.

After 18 months of coral transplantation and cultivation, the two coral arks have demonstrated stability sufficient to withstand typhoons, southwestern airflows, and northeastern monsoons. However, in terms of cultivation, the need for adequate light for corals during winter needs to be considered, and the first platform-type coral cultivation facility was insufficient in this regard. Therefore, suspended frame devices will be used for future coral transplantation, and coral growth will be continuously observed, while hydrological data from the Yongan LNG Terminal harbor will be collected as an important reference for future maintenance of the coral ark.

目 錄

第 1 章	前言.....	1
第 2 章	研究目的及計畫目標.....	8
第 3 章	研究方法.....	11
3-1.	珊瑚養殖平台及懸浮架設置.....	11
3-1-1.	設置區域.....	11
3-1-2.	設置方法.....	12
3-1-3.	珊瑚固定方法.....	17
3-2.	珊瑚採集及運輸方法.....	17
3-3.	遮光方法研發.....	24
3-3-1.	實驗室光度實驗.....	24
3-3-2.	野外現地遮光實驗.....	29
3-4.	永安天然氣接收站港內現地珊瑚穩定碳氮同位素測定.....	31
3-5.	永安天然氣接收站港內海域光度及水溫監控.....	33
3-6.	永安天然氣接收站港內原生珊瑚群聚白化調查.....	36
第 4 章	結果與討論.....	39
4-1.	珊瑚方舟設置結果.....	39
4-2.	珊瑚採集和移植結果.....	42
4-3.	實驗室光度實驗結果.....	49
4-4.	永安天然氣接收站港內現地珊瑚穩定碳氮同位素測定結果.....	56
4-5.	永安天然氣接收站野外光度和水溫觀測結果.....	57
4-6.	永安天然氣接收站港內現有珊瑚白化情況.....	69
4-7.	大潭藻礁柴山多杯孔珊瑚移植馴養結果.....	73
第 5 章	綜合討論.....	80
5-1.	珊瑚採集及養殖方法.....	80
5-2.	遮光實驗.....	84
5-3.	永安天然氣接收站港內光度及水溫分層影響珊瑚養殖部署的深度.....	86
第 6 章	結論與建議.....	88
參考文獻	91
附錄一、永安天然氣接收站港內原生珊瑚及珊瑚方舟內的珊瑚種類比較.....		96
附錄二、移植進珊瑚方舟內珊瑚其來源、編號及目前狀態.....		102
附件一、珊瑚移植標準步驟及方法.....		108
附件二、第二組平台其中三組懸浮架上附著生物的變化.....		112
附件三、永安天然氣接收站港內珊瑚方舟計畫相關問答.....		113
附件四、期中報告委員意見及回覆.....		118
附件五、期末報告委員意見及回覆.....		125

圖 目 錄

圖 3-1. 永安天然氣接收站港內南堤區域兩組珊瑚方舟架設位置圖	11
圖 3-2. 珊瑚養殖平台設計示意圖	13
圖 3-3. 珊瑚養殖籃	13
圖 3-4. 珊瑚養殖籃懸掛示意圖	14
圖 3-5. 珊瑚養殖平台錨繩配置與影響範圍示意圖	14
圖 3-6. 珊瑚養殖懸浮架示意圖	15
圖 3-7. 兩種珊瑚平台設置方式示意圖	16
圖 3-8. 珊瑚養殖籃或懸浮架內珊瑚固定方式示意圖	17
圖 3-9. 珊瑚採集及短暫安置情形	19
圖 3-10. 珊瑚包裝與運輸情形	20
圖 3-11. 珊瑚暫養於中繼站情形	20
圖 3-12. 珊瑚養殖平台內珊瑚養殖籃內實際情形	21
圖 3-13. 珊瑚運送之潮濕無水法（乾包法）	23
圖 3-14. 弱光實驗中珊瑚片段設置示意圖	26
圖 3-15. 弱光實驗設置情況	27
圖 3-16. 弱光實驗實驗過程中水缸溫度加溫變化	27
圖 3-17. 強光實驗中珊瑚片段設置示意圖	28
圖 3-18. 南堤區域水溫／光度計串佈放	29
圖 3-19. 野外遮光實驗，飛行傘遮光示意圖	31
圖 3-20. 港內、外水下溫度計佈放地點	34
圖 3-21. 港內水下溫鹽深儀佈放地點	34
圖 3-22. 珊瑚岩心採集地點	37
圖 3-23. 測量線上未經處理過的灰階值	38
圖 3-24. 以移動平均法處理過的珊瑚骨骼測量線	38
圖 4-1. 珊瑚養殖平台架設過程	40
圖 4-2. 改良後新架設的珊瑚養殖籃	41
圖 4-3. 珊瑚養殖懸浮架實際設置情形	41
圖 4-4. 永安天然氣接收站港內現地與移植之珊瑚種類范恩圖	43
圖 4-5. 弱光實驗中餵食處理對珊瑚在不同光度類別下的 BTI ₃₀ 平均值比較	50
圖 4-6. 強光實驗中無餵食條件下五種珊瑚的 BTI ₃₀ 值比較	53
圖 4-7. 強光實驗中有餵食條件下五種珊瑚的 BTI ₃₀ 值比較	53
圖 4-8. 永安天然氣接收站港內及屏東萬里桐五種現生珊瑚的碳氮同位素分析結果	56
圖 4-9. 永安天然氣接收站港內南堤 2023 年 6 月 26 日至 30 日不同水深的光照變化	58
圖 4-10. 永安天然氣接收站港內南堤 2023 年 6 月 26 日至 6 月 30 日各深度與水深 1 公尺的光線相對強度	58

圖 4-11. 永安天然氣接收站港內南堤 2023 年 6 月 26 日至 6 月 30 日海域光線隨著水深的平均衰減.....	59
圖 4-12. 永安天然氣接收站港內南堤 2023 年 11 月 8 日至 15 日不同深度光線強度變化.....	59
圖 4-13. 永安天然氣接收站港內南堤 2022 年 4 月 22 日至 2024 年 12 月 19 日每日最高水溫.....	61
圖 4-14. 永安天然氣接收站港內東堤 2022 年 4 月 22 日至 2024 年 12 月 19 日每日最高水溫.....	61
圖 4-15. 永安天然氣接收站港內北堤 2022 年 4 月 22 日至 2024 年 12 月 19 日每日最高水溫.....	62
圖 4-16. 永安天然氣接收站港外北堤 2022 年 4 月 22 日至 2024 年 12 月 19 日每日最高水溫.....	62
圖 4-17. 永安天然氣接收站港外港內從 2022 年 6 月至 10 月每日最高水溫之溫差.....	63
圖 4-18. 永安天然氣接收站港外港內從 2024 年 8 月至 12 月每日最高水溫之溫差.....	64
圖 4-19. 永安天然氣接收站港內南堤 2023 年 6 月 26 日至 6 月 30 日，0 至 7 公尺不同深度的水溫與氣溫變化趨勢.....	65
圖 4-20. 永安天然氣接收站港內南堤 2023 年 11 月 8 日至 11 月 14 日，0 至 7 公尺不同深度水溫及氣溫的連續記錄.....	66
圖 4-21. 2023 年 1 月 11 日溫鹽深儀佈放 21 個樣點的水溫剖面.....	67
圖 4-22. 2023 年 1 月 11 日調查 21 個點位.....	68
圖 4-23. 比較 2024 年 8 月 13 日至 10 月 31 日期間，珊瑚養殖籃內與永安天然氣接收站其他樣點的每日最高水溫.....	69
圖 4-24. 利用 X 光機拍攝之永安天然氣接收站港內海域三個樣站的微孔珊瑚骨骼切片.....	70
圖 4-25. 永安天然氣接收站港內微孔珊瑚 2018 至 2022 年各年度的骨骼拓展速率.....	71
圖 4-26. 永安天然氣接收站港內 南堤、東堤、北堤的微孔珊瑚骨骼拓展速率與東沙及屏東萬里桐地區的比較.....	71
圖 4-27. 永安天然氣接收站港內不同深度的珊瑚覆蓋率變化.....	72
圖 4-28. 永安天然氣接收站港內不同深度的白化珊瑚所佔的比例.....	73
圖 4-29. 柴山多杯孔珊瑚（編號 G2-3-19A）採集過程.....	74
圖 4-30. 柴山多杯孔珊瑚（編號 G2-3-1A）採集過程.....	75
圖 4-31. 柴山多杯孔珊瑚（編號 G2-3-18）採集過程.....	76
圖 4-32. 柴山多杯孔珊瑚移植後生長情況.....	77
圖 4-33. 柴山多杯孔珊瑚移植後生長情況.....	78
圖 4-34. 珊瑚養殖平台內珊瑚養殖籃的框邊找到新附苗的珊瑚.....	79

表 目 錄

表 1-1. 在臺灣其他地區設置珊瑚方舟之比較	5
表 1-2. 兩種避免珊瑚白化的實驗方法之比較	6
表 1-3. 永安天然氣接收站港內作為珊瑚方舟之特色列表	7
表 2-1. 本期計畫期程表及甘特圖	9
表 3-1. 港內南堤區域內兩組珊瑚方舟分布範圍座標	12
表 3-2. 港內水下溫度計及溫鹽深儀佈放地點座標	35
表 3-3. 珊瑚岩心採集地點座標	38
表 4-1. 珊瑚養殖平台內移植的珊瑚種類及數量	44
表 4-2. 珊瑚養殖懸浮架內移植的珊瑚種類及數量	46
表 4-3. 弱光實驗中珊瑚在不同光度條件與餵食處理下的 BTI ₃₀	51
表 4-4. 強光實驗中不同珊瑚種類的 BTI ₃₀	54
表 4-5. 珊瑚的狀態（健康或白化）與是否遮光之獨立性分析	55
表 5-1. 徒手拾起珊瑚和工具採集珊瑚的採集方式比較	81
表 5-2. 珊瑚養殖平台和懸浮架比較	81

第1章 前言

當海水溫度過高時，與珊瑚共生的共生藻（zooxanthellae，主要為蟲黃藻屬 *Symbiodinium* spp.）會從珊瑚宿主組織中被驅離或釋出，導致珊瑚失去色素而呈現透明狀態，僅能看到白色的骨骼結構稱為珊瑚白化（coral bleaching）。若此狀態持續，可能造成珊瑚死亡。目前世界各地大規模的珊瑚白化現象，主要由人類活動引起的氣候變遷所導致，海水溫度異常升高嚴重衝擊珊瑚礁生態系 (Hoegh-Guldberg, 1999; Wilkinson and Souter, 2008)。過去 40 年間，珊瑚大規模白化和死亡事件已在多個海域發生 (Donner et al., 2017; Skirving et al., 2019)。近期大規模珊瑚白化現象發生在 2014 到 2017 年間及 2020 年，澳洲大堡礁受創尤為嚴重 (McWhorter et al., 2022)。研究估計，若全球氣溫上升 1.5°C，可能失去 70 至 90% 的珊瑚礁生態系；若上升至 2°C，則可能會失去超過 99% 的珊瑚礁 (Frieler et al., 2013; Hoegh-Guldberg et al., 2018; Schleussner et al., 2016)。除了呼籲全球減少溫室氣體排放外以減緩氣候變遷，科學家也提出其他珊瑚礁保育策略，例如：劃設海洋保護區、尋找耐熱的珊瑚共生藻品系、特別保護尚未受白化威脅的超級珊瑚礁 (Rivera, 2018)、尋找環境較為混濁，但能保護珊瑚避免白化的淺海域，以及本計畫將採用的珊瑚方舟概念 (Comte and Pendleton, 2018; Hoegh-Guldberg, 1999)，進行珊瑚保種，為未來保留希望。

由於全球暖化趨勢仍未扭轉 (Virgen-Urcelay and Donner, 2023)，目前全球珊瑚礁保育策略採取多方向並行方式，以增加成功的機會。臺灣珊瑚礁分布地區常面臨高度遊憩壓力大（如墾丁或小琉球），或受全球暖化導致的高水溫壓力，例如位處偏遠離島的東沙潟湖或太平島 (Tkachenko and Soong, 2017)。根據美國國家海洋暨大氣總署（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）利用衛星觀測資料監測全球珊瑚礁熱壓力狀態，南臺灣每年 8、9 月為珊瑚熱壓力最高的季節，此時珊瑚大量白化甚至死亡的機率顯著提升 (<https://coralreefwatch.noaa.gov/index.php>)。除了拯救現有珊瑚的努力方興未艾

(Saravanan et al., 2017)。另外一個方向是保留未來的希望，即採用類似諾亞方舟的概念為珊瑚保種(Zoccola et al., 2020)，使未來無論環境改善或科技進步，我們仍擁有可供復育的珊瑚材料。珊瑚與植物不同，沒有能長時間休眠的種子，但珊瑚本身不會老化(Soong et al., 1999; Bythell et al., 2018)，良好環境下可長期存活。在此條件下，尋找水溫穩定的自然環境或發展避免珊瑚白化／死亡的方法成為珊瑚保種的重要方向。

為了提高珊瑚保種計畫的成功性，了解珊瑚白化的生理機制至關重要。研究顯示珊瑚白化與共生藻光合作用系統在高溫高光照條件下產生的氧化壓力密切相關。在高溫環境下，強光會導致共生藻光合作用系統產生過量活性氧，超過其抗氧化系統的清除能力，最終導致共生藻被珊瑚驅離或自行離開珊瑚組織。珊瑚失去能量來源後，若不能及時恢復共生關係，將面臨死亡風險。根據這一機制，研究已證實，降低水溫和減少光照強度是避免珊瑚白化的兩個有效途徑(Tagliafico et al., 2022)。這些科學發現為本計畫的珊瑚保種策略提供了理論基礎。

在臺灣，若要進行珊瑚保種計畫可以分為兩種不同的發展方向包含基於自然海域的野外保種養殖及人工養殖系統建立(Cohen, 2019)。這兩種策略各具特點，適用於不同的保育需求與條件(表 1-1)。就野外保種養殖而言，高雄港內海域及東沙外環礁珊瑚礁區為兩個具代表性的場址。東沙外環礁因擁有世界上最大的內波系統(Reid et al., 2019; Wang et al., 2007; Tkachenko and Soong, 2017)，能將深海冷水帶至淺層珊瑚礁區，使其成為全球超級珊瑚礁之一(Rivera, 2018)。此自然冷水現象創造了獨特的生態環境，使東沙外環礁至今未曾經歷大規模珊瑚白化事件，成為全球少數能自然抵禦高溫威脅的珊瑚棲地。然而，值得注意的是，同處東沙環礁但位於環礁內的瀉湖區域，卻在高水溫期間頻繁發生珊瑚大規模白化，已歷經 1998 年、2008 年、2016 年等多次珊瑚死亡事件(Cantin et al., 2014; Baker et al., 2008; DeCarlo et al., 2017)，凸顯海洋環境特性對珊瑚生存的重要影響。

位處高雄的永安天然氣接收站港內海域提供了另一種野外保種的特殊場域，因其具備多項獨特優勢使其成為理想的珊瑚保種基地。首先，其地理位置便利、

監測條件良好且能即時應對環境變化是此場域的重要特性。此區域免受河流污染和颱風大浪侵襲，同時沒有遊客干擾和交通運輸困難等問題，可為珊瑚提供穩定的生存環境。永安天然氣接收站港內對珊瑚的保護效果主要可能來自三個關鍵因素：（1）防波堤設施提供的物理屏障保護、（2）天然氣液化過程產生的冷排水降溫效應，以及（3）水體混濁度產生的自然遮光作用。這些環境特性共同營造出適合珊瑚生存的獨特棲地條件。雖位於臺灣西部沙岸，但其人工基質已形成一個實質受保護的海域生態系統。國立中山大學研究團隊現場調查發現永安天然氣接收站港內有 130 種石珊瑚（宋，2023），均具備共生藻及造礁潛力，假以時日可能進一步形成珊瑚礁。

此接收碼頭運作 30 多年來，海域內已有多種天然附苗後生長的珊瑚，生長狀況良好，明確顯示當地海域能提供珊瑚適合生存的條件。這些特性使其特別適合作為珊瑚保育基地，尤其對於臺灣數百種造礁珊瑚中的溫度敏感物種、已受天災嚴重損害的種類，或缺乏其他保護選項的珊瑚進行移植保種。相較於野外保種養殖，人工養殖系統則提供了高度可控的環境條件，能夠精確調節水溫、光照及水質等關鍵參數，特別適合進行特定珊瑚種類的保種研究。然而，此方法也面臨空間限制和高昂維護成本等挑戰，難以大規模應用於多樣性珊瑚的保種工作。這兩種發展方向的優缺點比較詳見表 1-2，在制定珊瑚保種策略時，需根據保育目標、資源條件及目標物種的特性，選擇最適合的方法或結合多種方法，以達到最佳保育效果。

基於永安天然氣接收站港內海域的特殊條件，本計畫選擇其作為珊瑚方舟基地。與全球其他珊瑚保育方法相比，這種保育模式展現獨特創新性。不同於夏威夷的冷凍珊瑚精子保存方法 (Hagedorn et al., 2012)、地中海的水族養護(Ounaïs, 2008)，美國佛羅里達州的分散保育系統(Guy, 2023)，或澳洲將超過 800 種珊瑚集中於非展示用途大型水族館的養殖方式(Zoccloa et al., 2020)，本計畫充分利用現有產業設施在半開放海域進行保育，成功平衡了自然環境與人為管理的優勢。

然而，即使永安天然氣接收站港內擁有多項環境特殊性，進行野外珊瑚方舟計畫時，仍不可避免地會受到全球氣候變遷的影響。隨著氣溫持續上升，海水溫度也將隨之升高，增加珊瑚白化的風險。因此，為確保珊瑚方舟計畫的長期成功，發展有效的珊瑚白化預防策略至關重要。根據前述珊瑚白化的生理機制，減緩珊瑚共生藻所受的溫度和光照壓力是兩個關鍵方向。透過適當的環境調控，可以顯著降低珊瑚白化的發生機率，增加珊瑚保種計畫的成功率。本計畫將研究遮光和降溫兩種策略在永安天然氣接收站港內海域的應用效果，以減少珊瑚白化發生的機率。透過文獻初步分析結果（表 1-2）顯示，遮光方法在野外規模控制、維持有效處理、硬體投資和運作能量支出等方面具有明顯優勢，特別適合在永安天然氣接收站港內這樣的半開放海域環境中應用。

對臺灣中油公司而言，此珊瑚保育計畫代表了自身運用其專業優勢，積極履行環境保護、社會責任和公司治理（Environmental, Social and Governance, ESG）責任。這種產業設施與生態保育相結合的模式實現了資源的高效利用，為全球珊瑚礁保育提供了可持續發展的創新範例。通過建立永安天然氣接收站港內珊瑚方舟基地，可為珊瑚保種提供實際場所，也為類似保育項目的推廣建立可複製的經驗模式，使此保育成果能推廣至臺灣和世界上其他合適的人工港口，不限於天然氣接收站，擴大保育影響力。

本計畫利用臺灣中油公司永安天然氣接收站港內的優勢執行珊瑚方舟計畫，接收站本身條件是其他單位很難達成的部分，目前民眾普遍認知並且認同海洋環境保護的議題，若臺灣中油公司在環境議題上能夠有成功個案，將能獲得關注，體認中油在環境議題上的付出，建立良好名聲，價值很難計算，特色如表 1-3。

表 1-1.在臺灣其他地區設置珊瑚方舟之比較

	設置地區		
可能面臨的問題	在天然氣接收站： 永安	在超級珊瑚礁： 東沙的外環礁	在水族研究相關的場館中： 屏東海生館
水溫	跟附近海域水溫差不大；排放冷卻水有調整潛力。	比其他海域水溫低(包括東沙潟湖)。	利用電力維持養殖系統的水溫。
傳染病	附近上游的珊瑚礁區在小琉球，藉由距離獲得部分保護。	開放水域無法控制。	規模小，一旦發現，容易清除。
珊瑚白化	水溫較低或者光度較低，避免珊瑚發生白化死亡是本案要解決的主要風險。	目前尚未發生大量珊瑚白化。	人工控溫，不應發生白化。
海水域規模	大(約 4 平方公里)	很大(約 100 平方公里)	小(約 100 平方公尺)
人為操作強度	低度	無	高度
限制	<ol style="list-style-type: none"> 1. 天然氣接收運作是本業，研究人員進出有限制。 2. 目前冷水未能發揮功能，仍需技術突破。 3. 相關知識有限。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 地理位處偏遠，執法難度高。 2. (研究)人員不容易前往 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 遊客需求是本業 2. 研究單位發表成果為目標，不是珊瑚保種。 3. 空間有排擠效應 4. 規模小，不可預期因素造成死亡。 5. 連續維持水質監控
優勢	<ol style="list-style-type: none"> 1. 防波堤硬體以及冷水和混濁海水 2. 類海洋保護區 	<p>海域大，珊瑚多，現成的海洋保護區(國家公園)。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 專業人員照護 2. 附近是珊瑚礁海域

表 1-2. 兩種避免珊瑚白化的實驗方法之比較。*代表相對優勢。

比較項目	實驗方法	
	遮光	降低水溫
防止珊瑚白化	理論上有效，文獻少	理論上有效，文獻多*
野外規模	可以很小、容易局部遮光處理*	野外水體大，控制水溫不容易
維持有效處理	製造／維持陰影相對容易*	冷水重，會下沉，若要維持低水溫比較挑戰
硬體投資	設置遮光網相對簡單*	包含幫浦、水塔、水管系統、噴灑系統等，比較複雜
運作時能量支出	沒有*	冷卻所需能量費用高，除非冷卻水免費（例如天然冷水、天然氣接收站的冷排水）
維護費	低*	系統複雜，維護費高
操作的季節	夏天，日照強的時候	夏天，水溫高的時候
和全球變遷的關係	沒有	直接
擴大應用潛力	高*	低
相對優勢	6 項	1 項

表 1-3. 永安天然氣接收站港內作為珊瑚方舟之特色列表

項目	特色
海洋保育	永安天然氣接收站港內向外伸出兩公里的防波堤、操作時產生的冷水，以及棧橋下的陰影處，都有潛力能作為保護珊瑚的可能工具和方法，免於珊瑚白化。 利用本身優勢參與海洋保育，有助在地認同和國際名聲，並可配合 ESG、SDGs 需求。
水面空間	場內淺海消波塊可以用來固定浮動碼頭，或者利用其他方法，創造移植珊瑚生長的場所。 消波塊表面的現生珊瑚不需另外的空間。
陸上空間需求	檢疫站：中山大學和其他養殖單位提供珊瑚檢疫空間。
排放水對珊瑚是否安全	排放水可用在養殖業，也可以養珊瑚。永安天然氣港內已知有 130 種珊瑚，水質安全無虞。
人員進出港區管制	人為干擾少，本來就是有效的類海洋保護區。
天然災害	防波堤保護，沒有大浪侵襲。
傳染性珊瑚疾病	遠離天然珊瑚礁，感染機會小，但仍需防止感染。移入的珊瑚需經檢查／檢疫，並經常檢查現有珊瑚狀況。
是否曾發生過珊瑚大量白化	2024 年夏天發生大量珊瑚白化。（可參考本計畫第四章 4-5 節）

第2章 研究目的及計畫目標

本研究計畫主要目的為研究如何運用永安天然氣接收站港內海域的獨特環境優勢，建立珊瑚保種基地，為臺灣珊瑚提供保育場所，同時作為未來珊瑚復育工作的重要起點。在過程中發展利用遮光原理保護珊瑚免受白化死亡威脅的方法，並且能運用到其他海域，短期目標是分期達成收納臺灣造礁珊瑚種類。

本期計畫具體目標為在高雄永安天然氣接收站港內海域內建立（一）兩個珊瑚養殖平台設施、（二）從外部環境採集珊瑚樣本，移植至設置完成的珊瑚養殖平台，並且進行持續監測，評估珊瑚適應狀況及生長情形。進行（三）珊瑚遮光的實驗室操作性實驗及野外實驗，及評估遮光對於珊瑚的實質效果，並且分析對珊瑚的影響。除了移植外部珊瑚進天然氣接收站外，本計畫亦將持續關注現地的130種石珊瑚，包括（四）記錄永安天然氣接收站港內、港外海域的水溫資料、（五）永安天然氣接收站港內現場珊瑚白化調查。相關期程安排列於表 2-1 內。

表 2-1. 計畫期程甘特圖及工作完成項目規定

分項計畫 重點工作項目	112 年 9 月至 114 年 2 月，共 18 個月																	補充說明	
	112 年				113 年												114 年		
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1		2
A. 工作執行計畫																			
文獻回顧																			已完成
規劃養殖珊瑚平台																			已完成
訂定珊瑚採樣、移植及馴養標準作業程序																			已完成
運送珊瑚、養殖實驗測試																			已完成
接收站內珊瑚岩心採集及分析																			已完成
B-1. 野外工作項目																			
設置養殖珊瑚平台																			已完成
設置珊瑚檢疫站																			已完成
野外珊瑚採樣																			已完成
珊瑚移植安置於珊瑚方舟																			已完成
野外珊瑚遮光實驗																			已完成
海域水溫監測																			已完成
永安天然氣接收站內珊瑚白化調查																			已完成
B-2. 實驗室工作項目																			
珊瑚遮光實驗																			已完成
C. 結果分析																			
移植珊瑚種類統計																			已完成
移植珊瑚存活分析																			已完成
實驗室遮光實驗結果																			已完成
D. 計畫報告撰寫 (季報、期中、期末報告)																			已完成
完成進度百分比	5	10	20	30	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100		

工作完成項目

	呈現於報告位置	是否完成
3.3.1 珊瑚方舟設置及執行	第四章 4-1 節，設置兩組珊瑚養殖平台並每個月進永安天然氣接收站內進行維運。	已完成
3.3.1.1 設置珊瑚養殖平台	第四章 4-1 節，設置兩組珊瑚養殖平台並每個月進永安天然氣接收站內進行維運。	已完成
3.3.1.2 珊瑚遮光實驗	第四章 4-4 節，於永安天然氣接收站港內南堤架設一組遮光布，且分析遮光與否與現地珊瑚是否白化之間的關係。	已完成
3.3.1.3 珊瑚種類移植	第四章 4-2 節，總共移植 74 種珊瑚，其中 47 種不與永安天然氣接受站港內的珊瑚種類重複。	已完成
3.3.1.4 珊瑚養殖平台水溫監測	第四章 4-4 節，監測永安天然氣接收站港內 3 個樣站、港外 1 個樣站，以及珊瑚養殖平台下的水溫。	已完成

第3章 研究方法

本團隊為執行珊瑚方舟計畫，以永安天然氣接收站港內為基地，將分成五個部分執行：（1）珊瑚養殖平台及懸浮架設置、（2）珊瑚採集和移植、（3）遮光方法研發、（4）永安天然氣接收站港內海域水溫監控，以及（5）港內現有珊瑚白化調查。

3-1. 珊瑚養殖平台及懸浮架設置

3-1-1. 設置區域

經與永安天然氣接收站港內廠方協調結果，最終同意於港內南堤區域進行珊瑚養殖平台及懸浮架設置，共架設兩組不同方式之珊瑚方舟，第一組為珊瑚養殖平台，第二組為養殖懸浮架，其架設之固定位置如圖 3-1 所示，分布範圍座標於表 3-1。

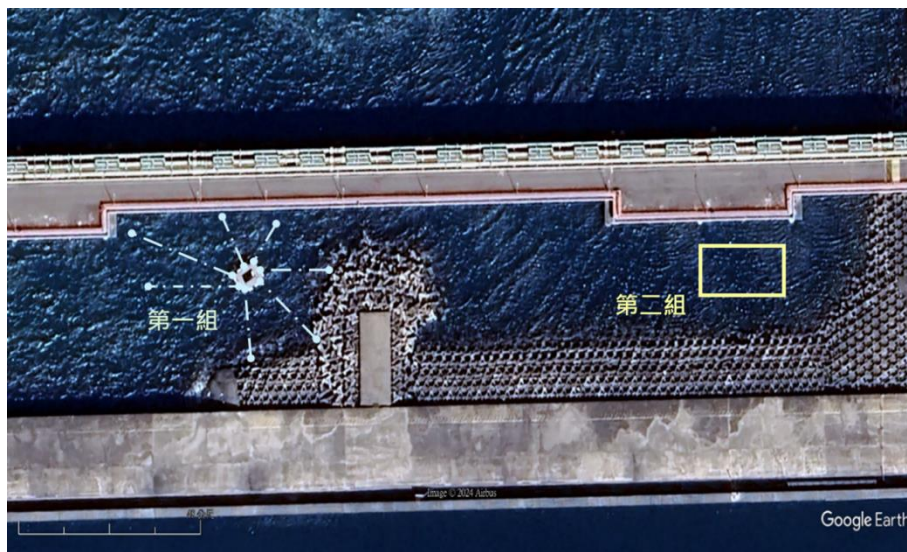


圖 3-1. 永安天然氣接收站港內南堤區域兩組珊瑚方舟架設位置圖。第一組為珊瑚養殖平台，內有珊瑚養殖籃，第二組為養殖懸浮架。

表 3-1. 港內南堤區域內兩組珊瑚方舟分布範圍座標

珊瑚方舟	座標點位或範圍
第一組（珊瑚養殖平台）	22° 48.383' N, 120° 12.114' E
第二組（珊瑚養殖懸浮架）	22° 48.395' N, 120° 12.187' E 至 22° 48.398' N, 120° 12.194' E

3-1-2. 設置方法

目前永安天然氣接收站港內消波塊上存有自然附著生長的珊瑚群聚，主要分佈於水深 1 至 4 公尺處，為確保珊瑚養殖平台不會對現地珊瑚產生不良影響，平台設置於水深超過 4 公尺，且下方無現生珊瑚的區域，有效避免遮蔽現有珊瑚群落所需的光照。本計畫設計的第一組珊瑚養殖平台（圖 3-2）採用模組化結構，整體尺寸為長 6 公尺 × 寬 4.5 公尺，中央設計為長 3 公尺 × 寬 2 公尺的鏤空區域，內置放長 1.5 公尺 × 寬 1.2 公尺 × 高 0.4 公尺的不鏽鋼珊瑚養殖籃（圖 3-3）於水下 2 公尺處。養殖籃透過六條高強度纜繩網綁使其懸掛於水層中，並在纜繩與平台接觸點以及與養殖籃連接處安裝防磨套，有效防止水流與風浪長期作用下的纜繩模索斷裂風險（圖 3-4）。

為穩固珊瑚養殖平台在水中的位置，一共配置了四支繫纜樁和六個錨定固定組，作為固定平台及養殖籃的支撐點。另外平台周邊也繫綁船用碰墊，避免平時會與消波塊或海堤或棧橋下橋墩碰撞，風浪不好時也避免其碰撞過大而造成損害。整組養殖平台以錨繩及鐵鍊固定於消波塊或船錨，其錨繩設置方向以及平台可能影響範圍如圖 3-5 所示。

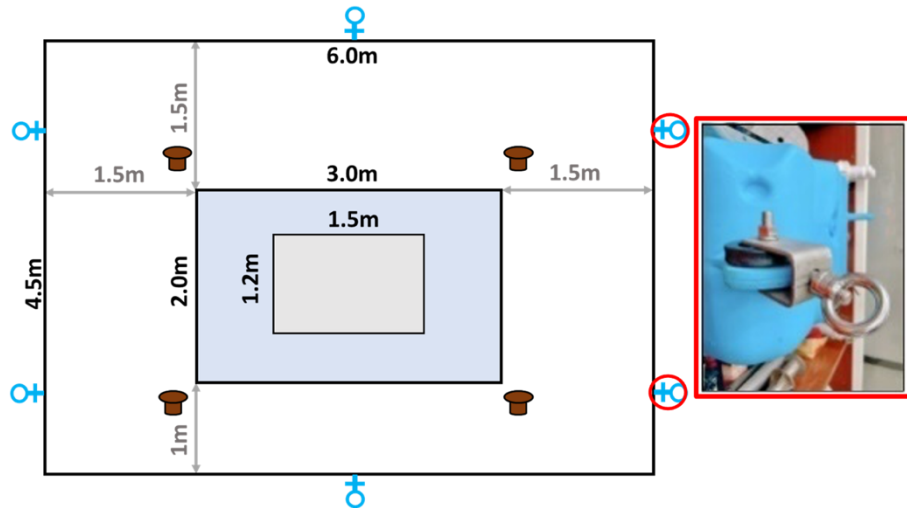


圖 3-2. 珊瑚養殖平台設計示意圖。白色區域約長 6 公尺×寬 4.5 公尺為可行走的浮動平台，中間藍色鏤空區域約長 3 公尺×寬 2 公尺為珊瑚養殖區，灰色區域約長 1.5 公尺×寬 1.2 公尺×高 0.4 公尺為珊瑚養殖籃。棕色圖示為繫纜樁；藍色圓環為錨定固定組，右方圖示為其實際組裝結果。



圖 3-3. 珊瑚養殖籃。尺寸為長 1.5 公尺×寬 1.2 公尺×高 0.4 公尺，放置於珊瑚養殖平台內鏤空區域。

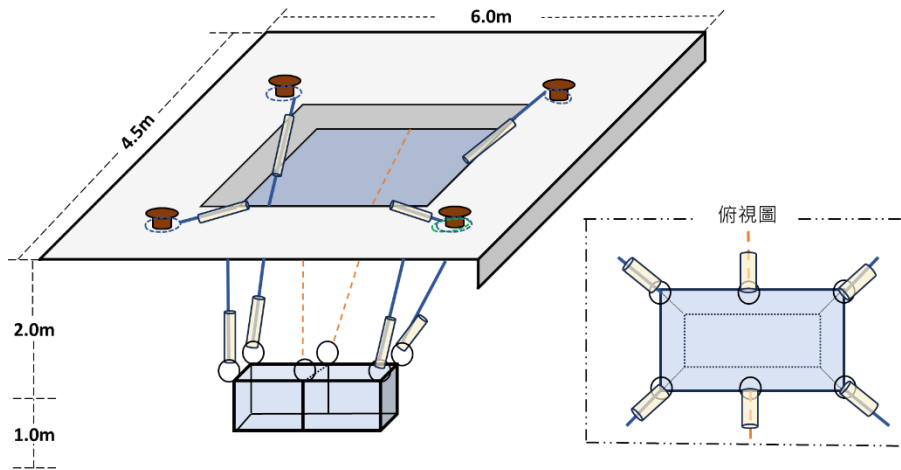


圖 3-4. 珊瑚養殖籃懸掛示意圖。珊瑚養殖籃將放置於珊瑚養殖平台內鏤空區域，固定於水下 2 公尺處，鐵框與平台之間以纜繩固定。

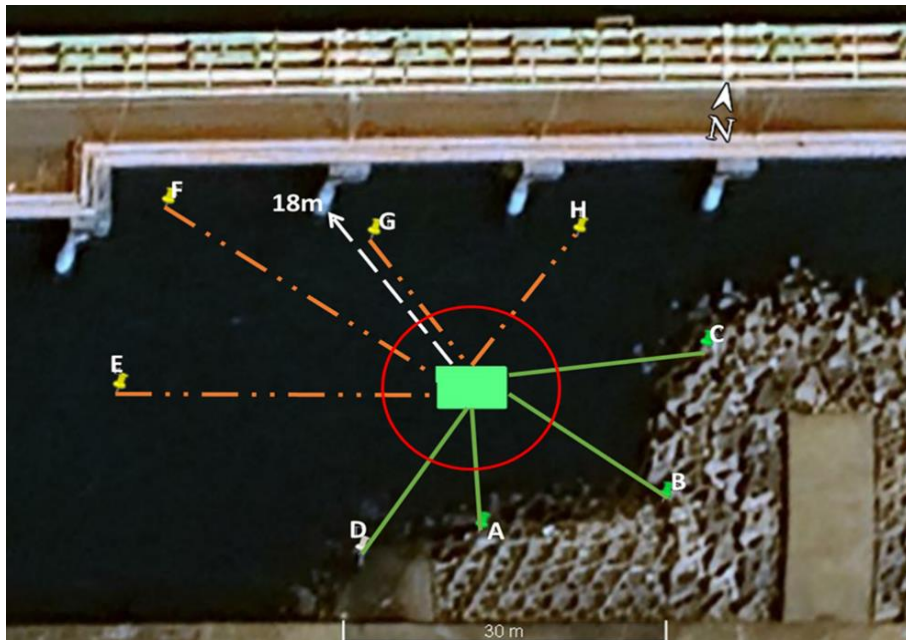


圖 3-5. 珊瑚養殖平台錨繩配置與影響範圍示意圖。A 至 D 為消波塊固定點位置；E 至 H 為使用船錨作為固定點位置；橘色及綠色線為錨繩長度與方向；紅色線為養殖平台估計影響範圍。

第二組的珊瑚養殖設置不同於第一組平台設置的方式，是利用現地消波塊作為基樁直接固定養殖珊瑚的鐵架並搭配浮球設計，使整個鐵架結構能夠穩定懸浮於水層中。針對不同珊瑚類型的生長特性與研究需求，本計畫共設計出兩種不同的珊瑚養殖懸浮架（1）多珊瑚式及（2）柵欄式。多珊瑚式的尺寸為長 40 公分 × 寬 40 公分，鏤空設計，可同時將團塊狀珊瑚、枝狀珊瑚進行固定（圖 3-6），有效的利用空間；柵欄式為針對蕈珊瑚馴養使用，蕈珊瑚在野外屬於游離(free living)的生活方式，沒有附著於礁體，故不將蕈珊瑚固定於鐵架上進行馴養。整套懸浮式養殖系統具有多項優勢，包含：整體裝置是沉沒於水中，不易被外部人員干擾；安裝過程簡便快速，大幅減少施工時間；系統維護要求低。

兩組珊瑚養殖平台的差異在於設置的方式，第一組平台使用的方式為懸掛式吊掛珊瑚養殖框，因為使用浮動平台，所以在固定平台上的施工工程繁複；然而第二組是利用浮球浮力拉起整個懸浮架，使其懸浮於水層之中，每組架子會與消波塊間的鐵鍊固定，施工較為簡易（圖 3-7）；兩種珊瑚養殖方式皆可以調整珊瑚馴養時的深度。



圖 3-6. 珊瑚養殖懸浮架示意圖（多珊瑚式）。多珊瑚式及柵欄式懸浮架主要差異在下方鐵架形式不同。

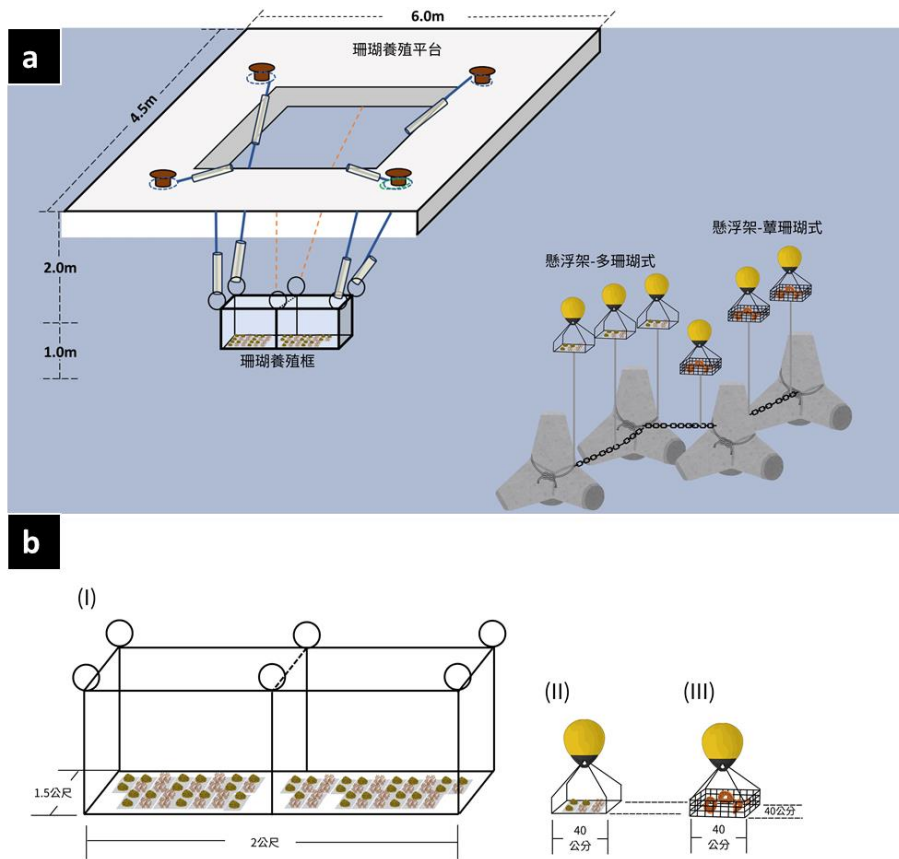


圖 3-7. 兩種珊瑚平台設置方式示意圖。(a)珊瑚養殖平台下的珊瑚養殖籃及兩種懸浮架之野外設置示意圖。(b)三種養殖設備的尺寸圖，(I)珊瑚養殖籃、(II)懸浮架及(III)柵欄式懸浮架。

3-1-3. 珊瑚固定方法

移植的珊瑚會置放在珊瑚養殖籃及懸浮架內，珊瑚依型態大致能分成團塊狀及枝狀珊瑚兩種型態，固定方式略有差異。團塊狀珊瑚的固定以長 10 公分 × 寬 15 公分的 PVC 發泡板作為基座，並在板上挖凹洞增加表面摩擦力，以塑鋼土將珊瑚黏於發泡板，並於發泡板上四個角落各鑽一個孔洞，再以束帶將發泡板與養殖籃或懸浮架彼此固定（圖 3-8）。此方法可以避免珊瑚在養殖框內滾動外，也不會直接與束帶接觸而影響生長。枝狀珊瑚的部分，若枝狀珊瑚較小，則依照上述團塊狀珊瑚固定方式固定，但枝狀珊瑚若是大於 10 公分以上，則會直接以束帶固定於養殖框或懸浮架上。珊瑚固定在 PVC 發泡板上後，每株珊瑚都會有專屬的編號，編號的設置方式為採集地點後加珊瑚採集流水號。每株珊瑚其獨有的編號會打在鋼製標籤上，鋼製標籤則會黏於標籤束帶，繫緊於 PVC 發泡板上的洞，作為移植珊瑚的辨識。



圖 3-8. 珊瑚養殖籃或懸浮架內珊瑚固定方式示意圖。以 PVC 發泡板及塑鋼土固定珊瑚。束帶標籤上的文字為該珊瑚的流水編號（D046）。

3-2. 珊瑚採集及運輸方法

本計畫進行珊瑚採集工作，目標區域為臺灣各面臨白化壓力的海域，包含東沙環礁、澎湖南方四島、琉球嶼、桃園大潭藻礁、臺東及屏東墾丁等地。採集作

業嚴格遵循法規規範，每次活動前均向各別海域主管機關提出申請並取得核准，確保完全符合生態保育相關法規要求。整個採集與運輸過程包含以下主要步驟：

1. 申請許可：向各海域主管機關正式提出研究採集申請許可，確保所有採集活動均符合法規要求。
2. 現地潛水調查採集：由專業潛水團隊在獲准的區域進行珊瑚採集工作（圖 3-9.），採集方式如前述，最大限度減少對原棲地的干擾。
3. 短暫安置：採集後的珊瑚樣本是採集地點進行短暫安置，包括：在海洋國家公園，東沙管理站的保育中心進行暫時養護或近岸海中進行臨時養護（圖 3-11）。
4. 運輸：根據採集地點的不同，採樣不同的運輸方式（圖 3-10）將珊瑚樣本送至屏東林邊，東沙環礁使用飛機，其他離島使用船隻，臺灣本島區域則使用車輛運輸。
5. 中繼養護：所有珊瑚樣本會先送至屏東林邊的中繼站，早期 2023 年 7 月有部分珊瑚也曾經過中油綠能科技研究所的暫時養護（圖 3-11）。
6. 檢疫與適應：在林邊養殖場進行檢疫和適應環境的過程，確保珊瑚健康狀況良好。
7. 最終移植：完成檢疫後的健康珊瑚樣本最終移植至永安天然氣接收站的珊瑚養殖平台（圖 3-12）。

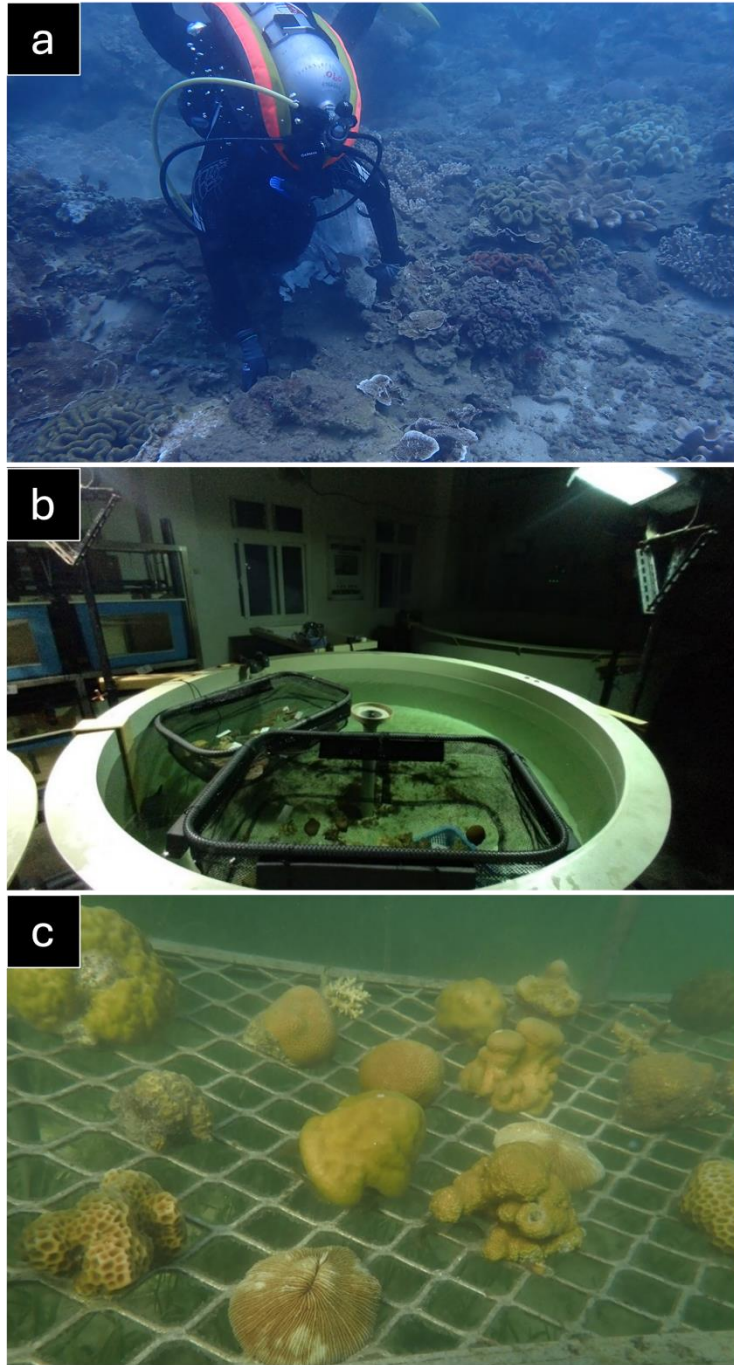


圖 3-9. 珊瑚採集及短暫安置情形。(a)採集地點潛水員撿拾珊瑚斷枝，影像拍攝於 2023 年 7 月 7 日；(b)珊瑚暫養於海管處東沙管理站的保育中心內，影像拍攝於 2023 年 7 月 10 日；(c)珊瑚暫養於東沙島周邊海域，影像拍攝於 2023 年 7 月 17 日。

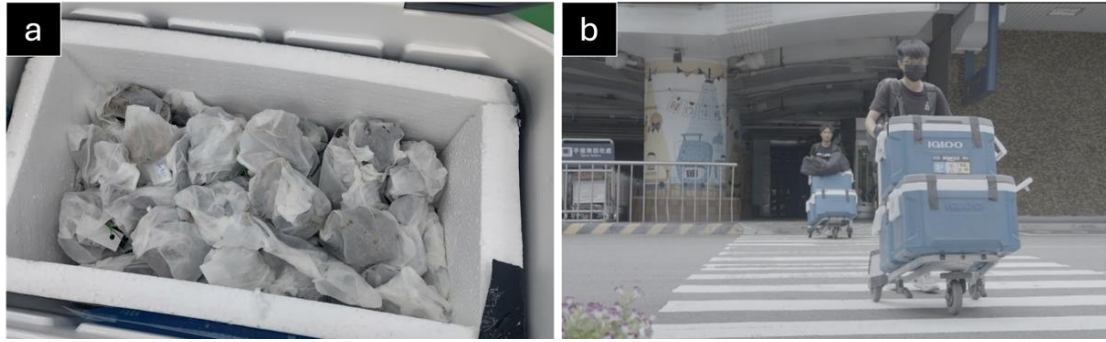


圖 3-10. 珊瑚包裝與運輸情形。珊瑚採集後使用乾包法包裝珊瑚，(a)乾包法包裝後置於保麗龍盒及冰桶內；(b)從採樣東沙攜回珊瑚的運送情形，後續將送至林邊中繼站。影像拍攝於 2023 年 7 月 13 日。

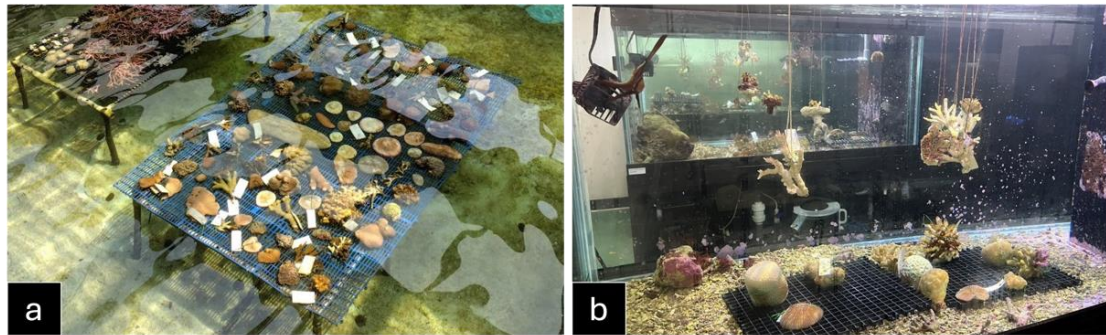


圖 3-11. 珊瑚暫養於中繼站情形。(a)林邊養殖場；(b)臺灣中油綠能科技研究所。影像拍攝於 2023 年 7 月 13 日。

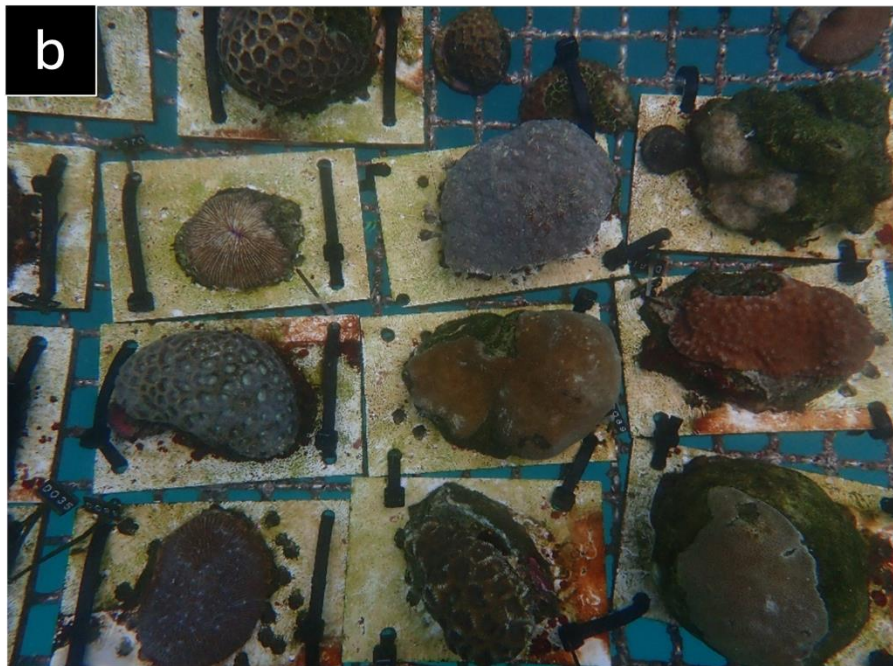
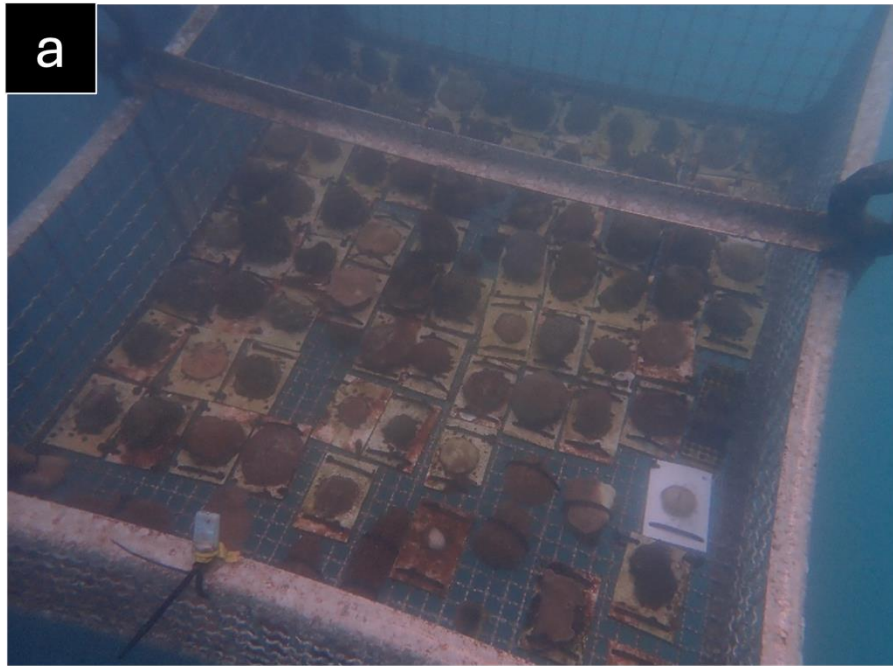


圖 3-12. 珊瑚養殖平台內珊瑚養殖籃內實際情形。(a)養殖籃整體情形；(b)養殖籃內珊瑚近照。影像拍攝於 2023 年 5 月 21 日。

為建立具有豐富遺傳多樣性的珊瑚種源庫，本計畫原則上每個種類需要不同海域來源的個體，以每種珊瑚各 30 株為目標，若現地採集過程不足同種珊瑚共 30 株，則以採集其他種珊瑚做為取代，至少完成五種珊瑚的養殖。

基於生態保育需求，本計畫主要聚焦於以下五個關鍵類別：

A. 對溫度敏感的珊瑚種類

優先移植對海水溫度變化高度敏感的珊瑚種類，如軸孔珊瑚科 (Acroporidae) 及某些角菊珊瑚屬 (*Favites*) 的物種。這些珊瑚通常是易受溫度波動影響種類。

B. 生態區位特殊珊瑚

特別關注於僅分佈於東沙環礁潟湖內而外環礁未見的珊瑚種類，因潟湖內環境易受全球變遷所帶來的高水溫而造成珊瑚白化現象。

C. 高白化風險區域內珊瑚

主動從高白化風險區域採集健康珊瑚樣本，在大規模白化事件發生前將其轉移至珊瑚方舟。

D. 工程影響區域珊瑚

從預定工程區域，如港區擴建、入水口建設等可能會影響珊瑚生長的區域進行救援性移植。這類移植既可挽救原本將因工程而喪失的珊瑚，也能增加方舟計畫的珊瑚多樣性。

E. 保育類珊瑚

特別優先移植法定保育類珊瑚，本計畫執行期間已獲海洋保育署許可採集的柴山多杯孔珊瑚 (*Polycyathus chaishanensis*)。相關移植結果詳述於章節 4-6 之中。

在水下採集珊瑚時優先選擇因颱風或大浪已自然鬆脫的珊瑚群體，最大限度減少對原生棲地干擾。若無法找到足夠已脫離底質的珊瑚群體，則會使用工具並謹慎採集仍固著的珊瑚，採集尺寸控制在 5 至 20 公分之間。採集後的珊瑚樣本會先進行短期馴養，將樣本放置於室內水缸或者岸邊臨時設施中，讓珊瑚逐步適

應並恢復。在運送前一天會將珊瑚移至室內控制環境，水溫將控制在 26°C 至 28°C 範圍內，為長途運輸做好準備。珊瑚運送時利用潮濕無水法（又稱乾包法，如圖 3-13 所示）。此方法的優勢為可以減輕運輸重量，同時通過保持珊瑚組織濕潤來確保其存活。

以下為打包珊瑚的流程：

- (1) 先利用廚房紙巾沾濕海水，將珊瑚包覆住圖 3-13。
- (2) 將包好的珊瑚放到保麗龍盒內。
- (3) 原則上，箱子底部放置較大顆、較重的團塊珊瑚，上層放枝狀珊瑚。
- (4) 放完所有珊瑚後，需防止珊瑚相互碰撞，且務必將底部海水倒光。
- (5) 最後將保麗龍箱放置冰桶內，在上飛機前（或搭車前）確實阻絕陽光直接曝曬，可在保麗龍外放保冷包維持一定的環境，避免溫度產生劇烈改變。



圖 3-13. 珊瑚運送之潮濕無水法（乾包法）。以廚房紙巾沾濕海水並包覆珊瑚。

3-3. 遮光方法研發

因永安天然氣接收站海域在 2024 年夏季觀察到大量珊瑚白化現象，基於此情況，本計畫進行了珊瑚遮光方法的研究，分為實驗室遮光實驗和野外現地遮光實驗兩個互補的研究方向。

本研究假設適當降低光照強度可能有助於減緩珊瑚在高溫環境下的白化現象。此假設基於高溫與強光的協同作用會增加光合作用中的氧化壓力，導致珊瑚與共生藻的共生關係崩解。通過在實驗室和野外同時進行研究，我們得以在控制環境中確定減低光照是否有助於延緩白化現象發生，並在實際海域環境中驗證其應用效果。

遮光方法應用於兩個主要研究對象：（1）從各海域移植到珊瑚養殖平台的珊瑚樣本，以及（2）永安天然氣接收站港內海域消波塊上原生的珊瑚群聚。遮光干預在夏季高風險期實施，即水溫偏高且光照強度達到峰值的月份。在這些條件下，珊瑚面臨最大的白化風險。其他月份因水溫相對較低，珊瑚白化風險顯著降低，因此無需進行遮光處理。

3-3-1. 實驗室光度實驗

實驗室遮光實驗是在控制環境中，系統性測試不同光照強度、食物是否充足等因子對各類珊瑚的影響。通過精確控制水溫、光照時長及強度，確定各珊瑚種類的光照耐受閾值，做為了解光度和食物對於珊瑚面對高溫環境下的反應程度。為了解珊瑚在面對溫度脅迫時的反應機制，本研究設計了不同光照強度以及營養條件的實驗，旨在探究光照環境及營養狀況對珊瑚耐熱性的影響。

(1) 弱光實驗

弱光實驗的珊瑚樣本採自屏東萬里桐，選擇代表不同生長類型的四種珊瑚：枝狀珊瑚為萼形柱珊瑚(*Stylophora pistillata*)和簡單軸孔珊瑚(*Acropora austera*)、團塊狀珊瑚為維氏腦紋珊瑚(*Platygyra verweyi*)、平鋪狀珊瑚為密集迷紋珊瑚(*Leptoria phrygia*)。每種珊瑚野外採集至少 5 株，回到實驗室後分切成適當大小

的片段進行後續實驗，這些分切的片段用於實驗觀察(圖 3-14)，以確保數據的代表性與可靠性。

實驗水缸光度條件設計分為四個梯度：中光度區(100 PAR)、中低光度區(70 PAR)、低光度區(40 PAR)和弱光度區(12 PAR)。使用可調整光度 LED 水族燈，營造不同光度環境，並使用水溫／光度紀錄器(HOBO Pendant MX Temp/Light, HOBO, USA)監測，確保各區域光度維持在設定值範圍內(圖 3-15)。實驗系統採用長 233 公分 × 寬 58 公分 × 高 32 公分的水族箱，總水體容量為 432 公升，鹽度控制在 32-33‰之間。水缸相關設置以及光度單位轉換則參照 Wang 等人(2022)中所述。

本實驗於 2023 年 5 月 15 日至 6 月 2 日期間進行，分為兩個主要部分：評估四種珊瑚在有餵食與無餵食條件下，在四種不同光度環境中的高溫耐受性。珊瑚餵食實驗設置如下：餵食組珊瑚從野外採集回實驗室後經過兩週的馴養，期間每週餵養三次，實驗開始升溫後則改為每日升溫前將珊瑚置於 2 公升海水容器中進行投餌餵食 30 分鐘，餵食完成後移回實驗缸，後續升溫加熱實驗期間不再餵食；無餵食組一樣經歷兩週的馴養，期間每週餵食 3 次，實驗開始升溫後停止餵食。

餵食配方組成為：混合 0.1 克冷凍浮游生物、0.1 克市售珊瑚專用餌料、2 毫升攝食誘餌劑、0.25 毫升胺基酸液及 0.24 克冷凍輪蟲，以 200 毫升海水混合均勻使用。

加溫方法如下，本實驗的起始溫度為 27 °C，每天於中午 12 時增加約 1 °C 的水溫，經過 10 天加熱到 35 °C 後，維持 35 °C 至珊瑚完全白化或實驗結束(圖 3-16)。每天在早上 9 時及下午 4 時固定拍攝珊瑚白化情形，本實驗將根據 Wang 等人(2022)的研究方法，利用珊瑚白化時間指數法(Bleaching Time Index, BTI)進行白化速率分析。由於過去傳統觀察珊瑚白化現象會因為觀察者的主觀判斷而較不客觀，根據前人研究，影像上的觀測與珊瑚的共生藻密度及葉綠素含量有顯著相關性(Bryant et al., 2017)，也代表可以利用影像作為參考珊瑚健康狀態的依據，故我們可以藉由利用分析所拍攝的珊瑚照片上的灰值數值(gray value)，透

過灰階上的變化，了解珊瑚白化時顏色改變的進程，利用此方法可以更為客觀且能重複測量。在本實驗中依照前人文獻參考 BTI₃₀ 作為珊瑚耐高溫的指標(Wang et al., 2022)，其中 BTI₃₀ 數值「30」意指實驗開始進行時每天會增加水溫 1 °C，加溫直到 35 °C，並維持在 35 °C，觀察珊瑚白化 30%所需的時間；在加熱的過程中，利用標準化的拍照方式記錄每株實驗珊瑚其顏色狀況，作為分析實驗中珊瑚白化程度的依據，而 BTI₃₀ 數值越高，表示珊瑚白化速率越慢，也就是越耐熱(Wang et al., 2022)。

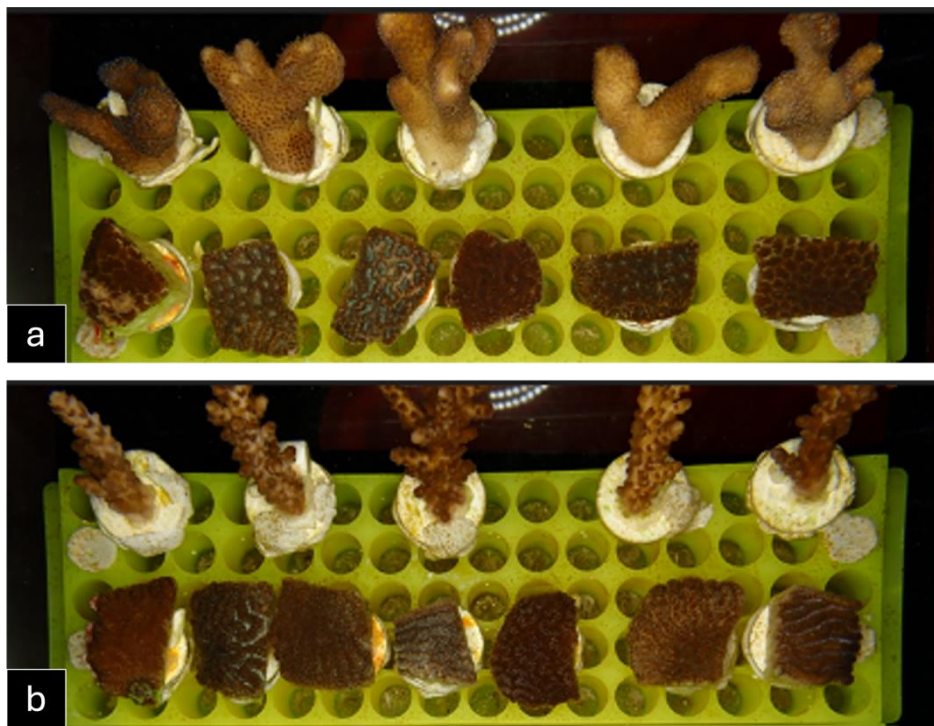


圖 3-14. 弱光實驗中珊瑚片段設置示意圖。(a)上排為枝狀珊瑚萼形柱珊瑚(*Stylophora pistillata*)，下排為平鋪狀珊瑚密集迷紋珊瑚(*Leptoria phrygia*)；(b)上排為枝狀珊瑚簡單軸孔珊瑚(*Acropora austera*)，下排為團塊狀珊瑚維氏腦紋珊瑚(*Platygyra verweyi*)。



中光區 中低光區 低光區 弱光區

圖 3-15. 弱光實驗設置情況。由左至右分為四區，分別是中光度區（100 PAR）、中低光度區（70 PAR）、弱光度區（40 PAR）和低光度區（12 PAR）。

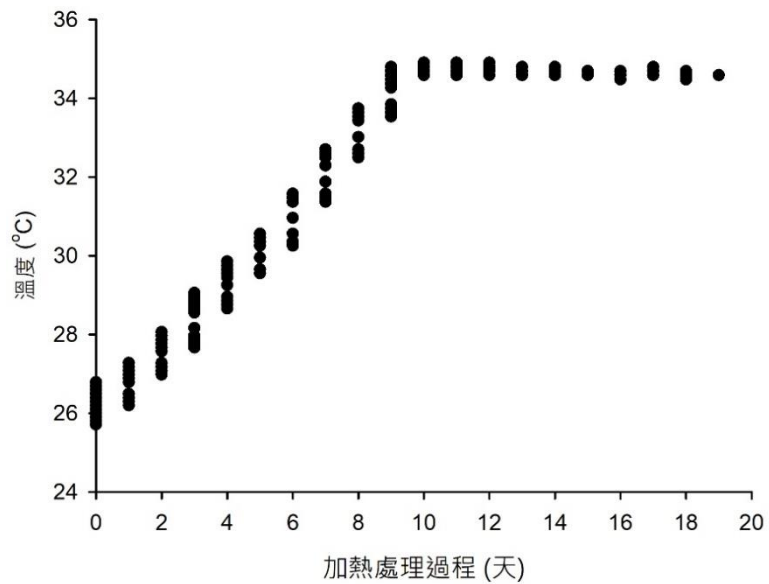


圖 3-16. 弱光實驗實驗過程中水缸溫度加溫變化。

(2) 強光實驗

根據弱光實驗的結果，我們於 2024 年 2 月 20 日至 2024 年 3 月 28 日進行第二次實驗，測試在較強光度下餵食對不同種珊瑚耐熱反應實驗。珊瑚一樣採集自屏東萬里桐，強光實驗的珊瑚除了弱光的四種珊瑚外，新增團塊狀的鐘型微孔珊瑚(*Porites lutea*) (圖 3-17)，共 5 種珊瑚，珊瑚樣本處理方式則與弱光實驗相同。

實驗水缸光度的設計分成 2 組，分別是中光度區 (100 PAR) 和高光區 (400 PAR)，其他餵食餌料成分、餵食條件、加熱方法以及分析方法與弱光實驗相同。

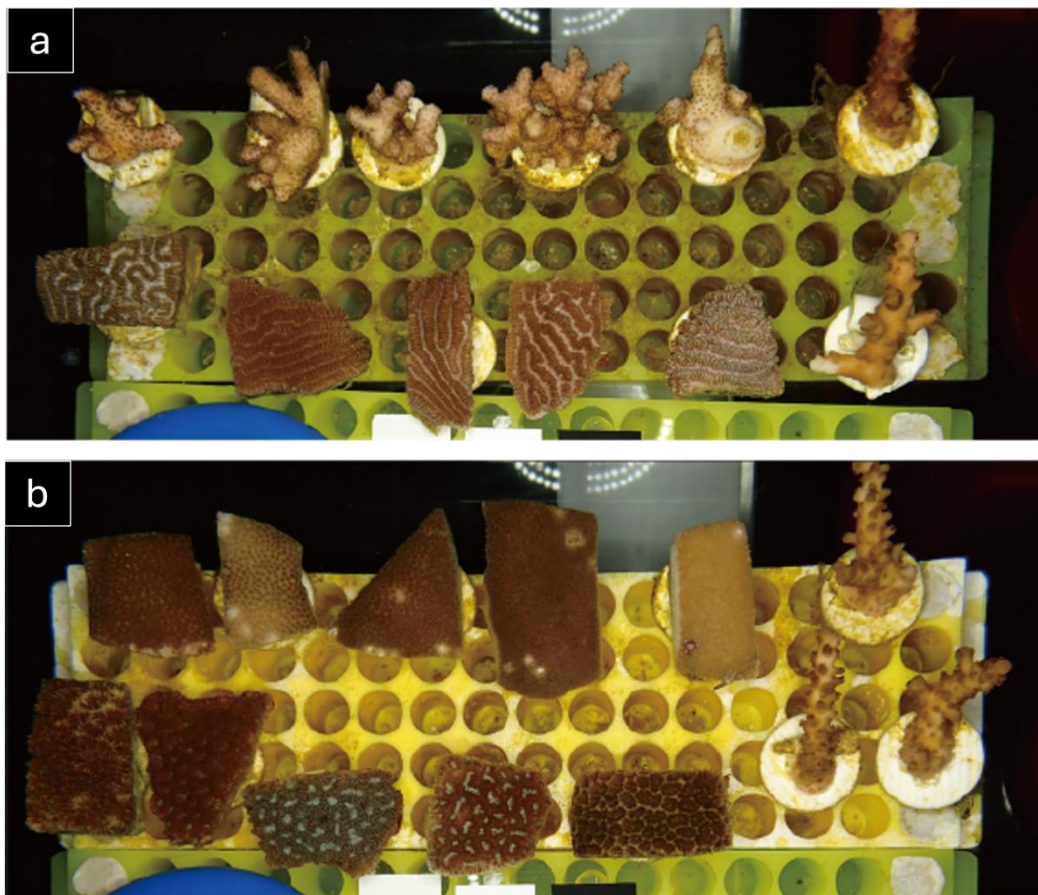


圖 3-17. 強光實驗中珊瑚片段設置示意圖。(a)上排為枝狀珊瑚萼形柱珊瑚(*Stylophora pistillata*)，下排為平鋪狀珊瑚密集迷紋珊瑚(*Leptoria phrygia*)；(b)上排左側為團塊狀珊瑚鐘型微孔珊瑚(*Porites lutea*)，上排右側為枝狀珊瑚簡單軸孔珊瑚(*Acropora austra*)，下排為團塊狀珊瑚維氏腦紋珊瑚(*Platygyra verweyi*)。

3-3-2. 野外現地遮光實驗

(1) 水溫及光度觀測方法

為了解永安天然氣接收站港內不同水層光線吸收性質，探討不同水深的水溫／光度數值，以及計算光衰減係數(Kirk, 1994)，作為珊瑚養殖及遮光實驗依據。本團隊在 2023 年 6 月 26 日至 6 月 30 日及 2023 年 11 月 8 日至 11 月 13 日於永安天然氣接收站港內南堤（22° 48.390' N, 120° 12.158' E）處佈放兩次水溫／光度計串，如圖 3-18 所示，每公尺水深放置一個水溫／光度紀錄器(HOBO Pendant MX Temp/Light, HOBO, USA)，從空氣中 0 公尺至水下 7 公尺不同深度進行監測。設備以重鎚錨定，頂部配有紅色浮標以標示位置及提供浮力（圖 3-18）。每台紀錄器每五分鐘記錄一筆資料，所收集的數據用以了解夏季、秋季南堤區域不同水深的溫度及光度變化。

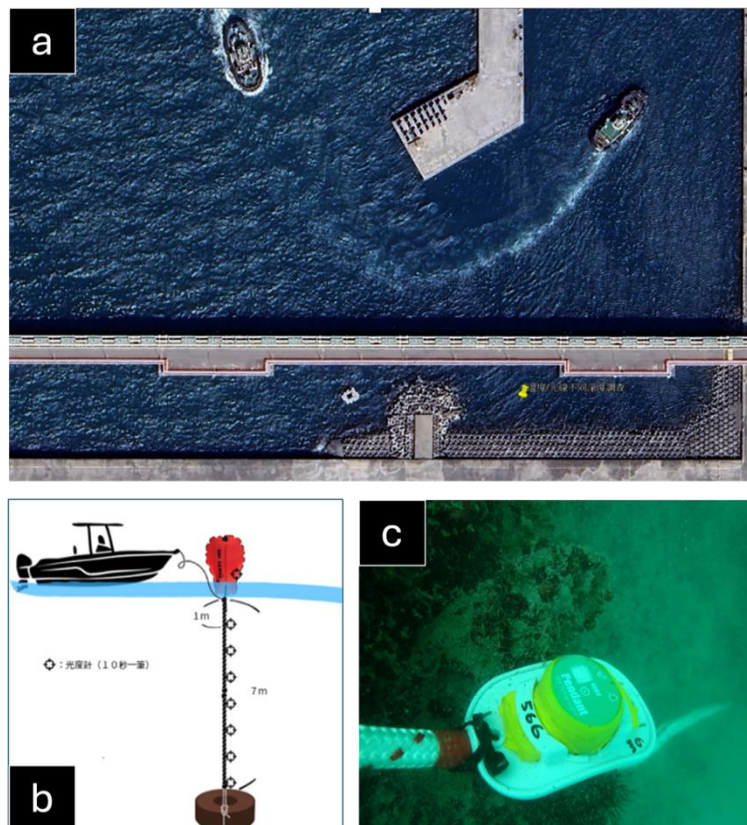


圖 3-18. 南堤區域水溫／光度計串佈放。佈放時間為 2023 年 6 月及 11 月，(a) 設置地點；(b)部署示意圖；(c)水深 6 公尺處實際佈放情形。

(2) 野外現地遮光實驗方法

以飛行傘的構想現地遮光為原則，不移動珊瑚至陰影處，運用遮光原理，以遮光布保護永安天然氣接收站港內當地現有的珊瑚。為了瞭解野外遮光效果，本團隊在珊瑚出現大白化現象之前架設遮光布，且於遮光布旁，水深深度相同，但無遮光區域下的珊瑚做為比較；遮光布使用長 4 公尺 × 寬 2 公尺的帆布，帆布繫上數顆浮球使其能懸浮於水層中，並以繩索固定於下方消波塊上，帆布離水面約 1 公尺處，不出水面，如圖 3-19 所示。本團隊於 2024 年 7 月 10 日時完成遮光布的設置，設置點位為 22° 48.384' N, 120° 12.153' E，以遮光布遮蔽水深約 2.5 公尺的現地珊瑚，設置完畢後，潛水員於遮光布正下方進行 4 公尺 × 寬 2 公尺的面積進行調查，使用標準色卡拍攝並標記調查區域內的珊瑚，記錄其遮光前的珊瑚狀態；對照組的部分，選在距離遮光布旁 5 公尺的等深度的珊瑚，調查範圍一樣為 4 公尺 × 寬 2 公尺的面積，拍攝及記錄白化前的珊瑚狀態。

2024 年 9 月高水溫的夏季結束後，本團隊再次拍攝相同區域範圍下的珊瑚，拍攝的照片帶回實驗室利用 Coral Point Count with Excel extensions (CPCE) 圖像分析軟體進行分析，此分析是參考 Kohler and Gill (2006) 所發表的方法。在每張照片上隨機撒 30 個點，通過人工判讀方式確認珊瑚是否呈現健康或白化狀態。最後以卡方分析 (Chi-square analysis) 進行獨立性檢定，評估珊瑚的健康狀態與遮光處理之間是否存在顯著關聯。

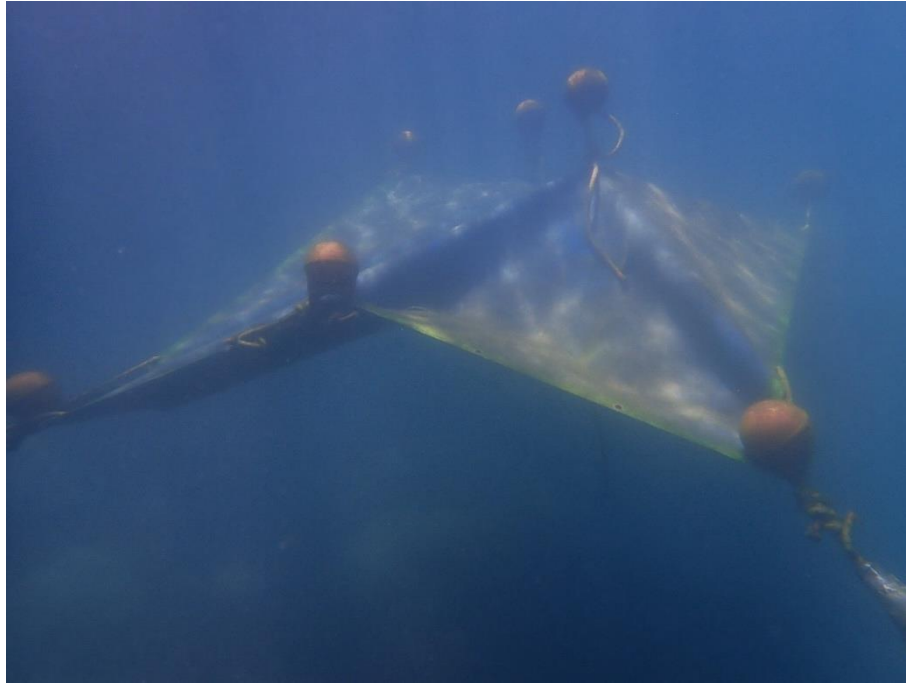


圖 3-19. 野外遮光實驗，飛行傘遮光示意圖。帆布下方遮蔽則為永安天然氣接收站港內原生珊瑚礁群聚。

3-4. 永安天然氣接收站港內現地珊瑚穩定碳氮同位素測定

為了瞭解永安天然氣接收站原生珊瑚群聚的營養來源，將採集永安天然氣接收站港內 5 種珊瑚組織，包括細枝鹿角珊瑚(*Pocillopora damicornis*)、密集迷紋珊瑚、軸孔珊瑚屬的一種(*Acropora* sp.)、維氏腦紋珊瑚與鐘型微孔珊瑚，以及從屏東萬里桐採集相同種類的珊瑚組織做為對照組。每種珊瑚各採集五株，採集後分離組織進行穩定碳氮同位素的分析。以下為樣本組織分離、樣本純化及穩定碳氮同位素的測定方法，修改自 Baumann 等人 (2021)。

A. 採集與珊瑚組織的分離

從野外採集回來的珊瑚，可能因環境條件改變而產生黏液變得不穩定，故會先放置海水缸進行一個晚上的馴養，水族養殖條件與光度實驗的處理方式相同。隔日使用液態氮將馴養後的珊瑚樣本冷凍並放入保存於 -80°C 。珊瑚組織的分離過程首先將樣本解凍，然後使用高壓水槍以 4°C 、10 毫升的 3% NaCl 溶液沖刷

組織。獲得的懸浮液經組織研磨器處理，以分解較大塊的組織。研磨後的濾液需小心避開沉澱物（如細小碎裂的骨骼），再將其轉移至冷凍離心管中保存。

B. 樣本純化

上述濾液置於冷凍離心機（Himac SCR 20B, HITACH, Japan）中，以 3000 rpm 離心 5 分鐘，然後將上層液與沉澱物分別收集至離心管中。沉澱物以 5 毫升 3% NaCl 溶液懸浮後，再以 1500 rpm 離心 5 至 10 分鐘，並將此次離心所得的上層液混合至第一次離心後收集的上層液中。混合後上層液收集後，以 3% NaCl 溶液定容至 15 毫升，並儲存於 -80 °C。沉澱物則以 5 毫升二次水懸浮後，同樣儲存於 -80 °C。最後以鋁箔紙包覆離心管並戳洞，然後置於桌上型冷凍乾燥機（FD2-6P-D, KINGMECH, Taiwan）中進行冷凍乾燥。

C. 穩定碳氮同位素測定方法

珊瑚組織內的穩定碳氮同位素分析使用元素分析儀銜接同位素比值質譜儀（elemental analyzer-isotope Ratio Mass Spectrometry, EA-IRMS），此系統採用連續流進樣模式（continuous flow inlet, ConFlo IV）串連元素分析儀（Flash 2000, Thermo Fisher Scientific, USA）以及質譜儀（Delta V Plus, Thermo Fisher Scientific, USA）。取前述 3 至 10 毫克冷凍乾燥樣本，封裝於錫囊中後進行測定。

穩定碳同位素（ $\delta^{13}\text{C}$ ）和氮同位素（ $\delta^{15}\text{N}$ ）以 δ 符號表示，計算公式如下：

$$\delta(\text{‰}) = \left(\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 1000, \text{ 其中 } R = \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \text{ 或 } \frac{^{15}\text{N}}{^{14}\text{N}}$$

$\delta^{13}\text{C}$ 樣本為對國際標準品 V-PDB (Vienna Pee Dee Belemnite) (0.0112372) 的比較結果； $\delta^{15}\text{N}$ 則使用大氣 N_2 (0.0036765) 作為比較。分析的絕對精確度 (1σ) 為 0.2‰，適用於 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 。

3-5. 永安天然氣接收站港內海域光度及水溫監控

對於天然氣接收站的水溫監控，除了從 2022 年 6 月時佈放水下溫度計（HOBO Water Temperature Pro v2 Data Logger, HOBO, USA）記錄永安天然氣接收站港內的資料之外（圖 3-20），於 2023 年 1 月 11 日利用溫鹽深儀（CTD，SBE 37 SMP, Sea-Bird Scientific, USA）進行一次港內 21 個樣點的垂直剖面調查（圖 3-21），包含不同深度的水溫紀錄。本次調查港內側站的水深約 7 公尺至 12 公尺，CTD 從船上緩慢下降到水底，以每秒 0.5 公尺速度下放，資料每 7 秒鐘記錄一筆，收集該水層的垂直剖面水溫資料。水下溫度計及 CTD 佈放座標詳列於表 3-2。



圖 3-20. 港內、外水下溫度計佈放地點。佈放時間自 2022 年 6 月到目前。

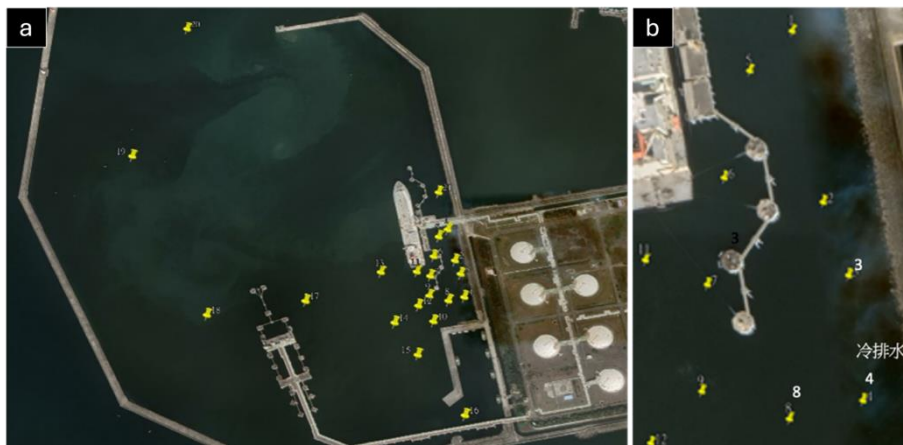


圖 3-21. 港內水下溫鹽深儀佈放地點。(a)全部樣點的位置；(b)冷排水口附近，包括最接近排水口的 3 號、4 號和 8 號樣點。

表 3-2. 港內水下溫度計及溫鹽深儀佈放地點座標

佈放儀器	樣點名稱	深度 (公尺)	座標點位
水下溫度計	港內南堤	2	22° 48.390' N, 120° 12.168' E
	港內東堤	2	22° 48.671' N, 120° 12.149' E
	港內北堤	2	22° 48.812' N, 120° 12.125' E
	港外北堤	2	22° 48.814' N, 120° 12.154' E
溫鹽深儀	1	7	22° 48.736' N, 120° 12.122' E
	2	8	22° 48.680' N, 120° 12.133' E
	3	8	22° 48.656' N, 120° 12.142' E
	4	7	22° 48.615' N, 120° 12.147' E
	5	10	22° 48.723' N, 120° 12.107' E
	6	10	22° 48.688' N, 120° 12.098' E
	7	13	22° 48.653' N, 120° 12.092' E
	8	10	22° 48.606' N, 120° 12.121' E
	9	12	22° 48.618' N, 120° 12.090' E
	10	10	22° 48.573' N, 120° 12.096' E
	11	12	22° 48.661' N, 120° 12.070' E
	12	12	22° 48.601' N, 120° 12.072' E
	13	12	22° 48.661' N, 120° 12.011' E
	14	12	22° 48.572' N, 120° 12.033' E
	15	12	22° 48.516' N, 120° 12.070' E
	16	10	22° 48.413' N, 120° 12.144' E
	17	12	22° 48.612' N, 120° 11.888' E
	18	12	22° 48.590' N, 120° 11.728' E
	19	12	22° 48.879' N, 120° 11.592' E
	20	12	22° 49.124' N, 120° 11.675' E
	21	8	22° 48.804' N, 120° 12.108' E

3-6. 永安天然氣接收站港內原生珊瑚群聚白化調查

因 2024 年 6 月開始，全台各珊瑚分佈區域陸續有白化現象發生，本團隊於 2024 年 9 月 16 日在永安天然氣接收站港內進行原生珊瑚群聚白化調查，選擇南堤、北堤消波塊上共 2 個點位進行穿越線調查。在每個樣點位分別設置兩種水深（2 公尺及 4 公尺）的調查區域，拉設至少 25 公尺平行岸邊的等深度的穿越線，沿線約每 0.5 公尺拍攝一張珊瑚照片，同時以水下錄影方式記錄珊瑚白化情形。所有拍攝的照片照片使用 CPCE 軟體進行分析，在每張照片上隨機撒點 30 個標點，以人工方式判斷標點是否有珊瑚，若是珊瑚的話是否有白化，計算出的結果可以呈現不同深度的珊瑚覆蓋率及白化珊瑚的比例。

此外，為了瞭解永安天然氣接受站港內原生珊瑚群聚過去是否曾經歷過白化事件，本研究採用珊瑚骨骼分析技術。珊瑚骨骼能夠記錄其生長過程中遭遇的環境壓力，特別是白化事件會在珊瑚骨骼中形成可辨識的壓力條帶（Stress band），這些條帶可作為珊瑚曾經歷白化或大量死亡的佐證（Cantin and Lough, 2014）。透過分析這些歷史記錄，我們能夠了解永安天然氣接收站港內珊瑚過去的生長狀況及其面對環境變化的反應。

本團隊以團塊狀微孔珊瑚(*Porites*)作為指標物種，於 2023 年 6 月 26 日在永安天然氣接收站港內的南堤、東堤及北堤 3 個樣站鑽取珊瑚岩心（圖 3-22、表 3-3），同時參考本團隊於東沙以及屏東萬里桐採集的珊瑚岩心樣本作為對照。採樣過程使用水下電鑽（Nemo V2 Divers Edition, Nemo Power Tools, USA）搭配管外徑為 64.2 毫米的鑽石鑽管工具進行。原則上鑽取的珊瑚岩心長度至少需達 10 公分以上，越長的珊瑚岩心越能夠判讀更早期的資料。若在鑽取過程中岩心完整未斷，則可鑽取長達 25 公分的樣本（受鑽管長度限制）。

採集回來的珊瑚岩心經過在 50 °C 溫度下烘乾後，使用圓鋸機從珊瑚岩心縱切切成 6 毫米厚的薄片，其切線必須包含珊瑚最大生長軸，再以 X 光機拍攝珊瑚骨骼薄片，功率輸出介在 60-75kV 之間。X 光影像上可看出珊瑚骨骼因密度不

同在影像上呈現出明暗帶，這些高低密度的交替帶可作為估計珊瑚骨骼年直線擴展速率的指標（Knutson et al., 1972）。

為進行詳細分析，我們將拍攝好的 X 光影像進行對比度增強，以提高灰階變化的可辨識度，並使用 ImageJ 軟體進行灰階值分析。在每根珊瑚岩心的 X 光影像上，拉出一條垂直於明暗帶的測量線，每個像素對應的實際長度約 0.125 公分，並在測量點獲取灰階數值。然而，由於原始數據變異較大，轉折點不易判斷（圖 3-23），因此採用移動平均法（Moving Average）進行數據處理，透過將測量線上每 30 個數值取平均，生成平滑的連續觀察值，以清晰呈現珊瑚骨骼的生長速率趨勢（圖 3-24）。分析中，波谷至下個波谷的距離被視為珊瑚一年骨骼直線擴展的估值，其中灰階數值高代表骨骼密度較高，在 X 光影像上呈現亮帶；灰階數值低則代表骨骼密度較低，呈現暗帶。在計算珊瑚骨骼的年度生長速率時，利用骨骼密度明暗帶推算其年度直線拓展生長速率。為確保數據一致性，若珊瑚岩心因斷裂而分成兩截，則僅取上半部分進行計算，以避免數據偏差。



圖 3-22. 珊瑚岩心採集地點。採集時間為 2023 年 6 月，A 為南側消波塊、B 為東側消波塊、C 為北側消波塊。

表 3-3. 珊瑚岩心採集地點座標

地點	座標點位
A. 南側消波塊	22° 48.385' N, 120° 12.172' E
B. 東側消波塊	22° 48.662' N, 120° 12.155' E
C. 北側消波塊	22° 48.811' N, 120° 12.127' E

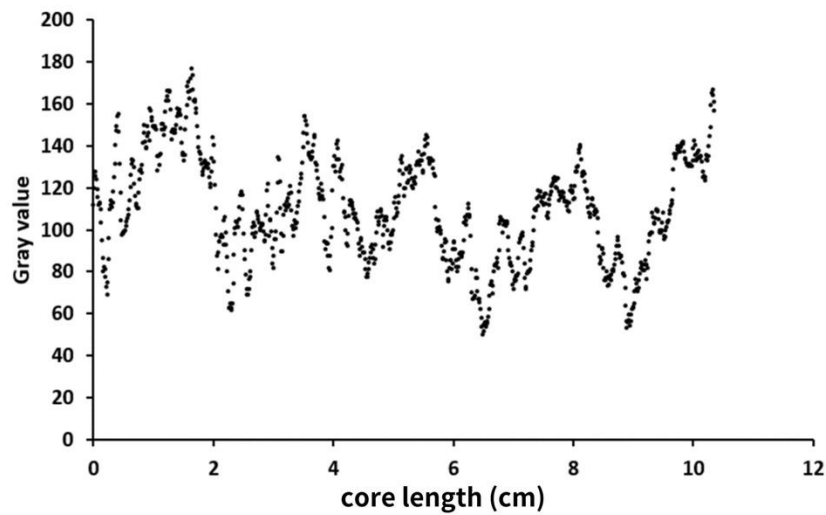


圖 3-23. 測量線上未經處理過的灰階值 (gray value)。0 公分處為現生珊瑚表面的位置。

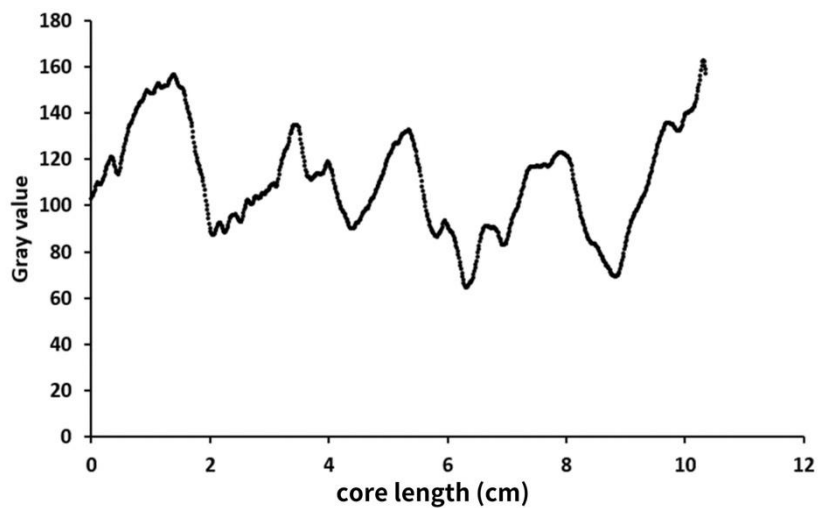


圖 3-24. 以移動平均法處理過的珊瑚骨骼測量線。每 30 個灰階值之移動平均數值範例，0 公分處為現生珊瑚表面的位置。

第4章 結果與討論

4-1. 珊瑚方舟設置結果

本團隊於 2023 年 11 月 10 日進行珊瑚養殖平台的架設，首先先在永新碼頭請廠商現場組裝浮筒，再利用漁船將組裝完成的平台從永新漁港拖行至永安天然氣接收站港內南堤進行架設（圖 4-1a）。固定珊瑚養殖平台使用的繩索是 20 毫米的編織繩，每條編織繩的頭、尾都設置眼環保護套，減少繩索因摩擦而斷掉的风险；平台以鐵鍊和錨繩與消波塊做連結（圖 4-1b），在沒有消波塊的一側，則是下拋 20 公斤的船錨將其固定，確保平台的水平移動只會在有限的範圍之內。設置完成之後（圖 4-1c & d），本團隊每個月定期確認平台狀況，檢查項目包括繩索是否磨損需要更換、平台結構完整性、浮筒氣密性等，確保養殖平台持續穩定運作。珊瑚養殖籃原使用塑膠籃或塑膠籃外加鐵框的方式進行養殖，但在 2023 年 12 月 15 日以及 2024 年 1 月 30 日勘查結果發現，塑膠籃無法撐過東北季風風浪，故在 2024 年 3 月 21 日改架設不鏽鋼製的鐵框（圖 4-2），作為改良後的方案。

第二組珊瑚養殖懸浮架於 2024 年 10 月在南堤設置完成，利用現地的消波塊，以懸浮方式設置，共設置 20 個懸浮架（圖 4-3），包括多珊瑚式及柵欄式各 10 個。這兩種不同類型的懸浮架分別針對不同珊瑚生長形態與研究需求進行設計，能夠有效應對珊瑚各種生長型態的養殖需求。

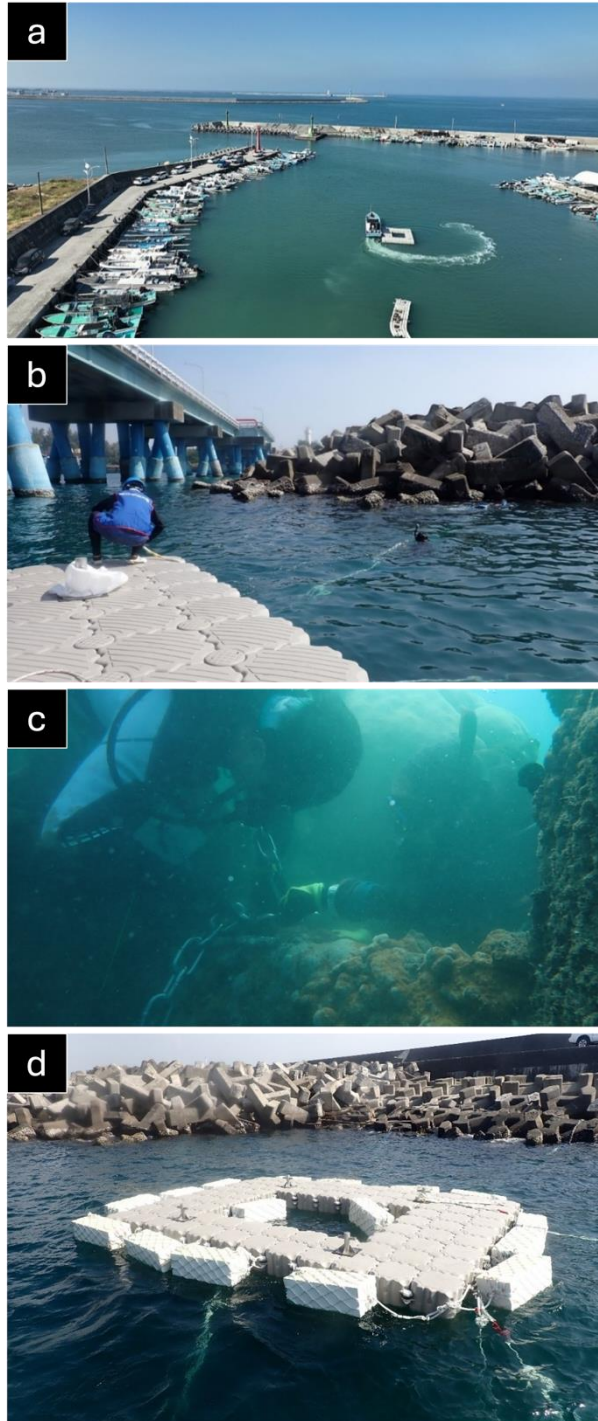


圖 4-1. 珊瑚養殖平台架設過程。架設日期為 2023 年 12 月 15 日，(a)漁船從永新漁港拖行珊瑚養殖平台之空拍圖；(b)水下人員將錨繩拉至岸邊消波塊進行固定；(c)水下人員將鐵鍊與錨固定於消波塊上；(d)設置完成的珊瑚養殖平台。



圖 4-2. 改良後新架設的珊瑚養殖籃。設置於 2024 年 3 月 21 日，替換掉原先的塑膠籃。

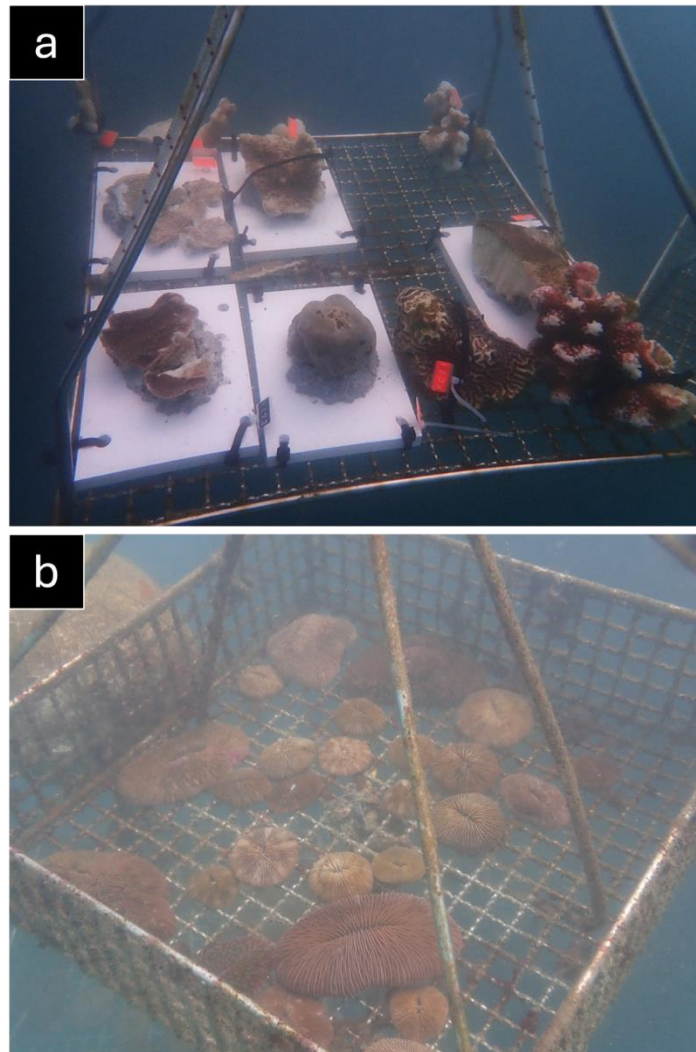


圖 4-3. 珊瑚養殖懸浮架實際設置情形。懸浮架設置水深約 4 公尺，(a)多珊瑚式；(b)柵欄式。影像拍攝於 2024 年 10 月 17 日。

4-2. 珊瑚採集和移植結果

在執行本研究計畫的 18 個月當中，本團隊移植且成功存活的珊瑚，統計至 2025 年 1 月共有了 12 科 29 屬 74 種珊瑚，共 220 株珊瑚群體(詳如表 4-1、表 4-2、附錄三)，包括容易受到環境威脅的軸孔珊瑚科(Acroporidae)、鹿角珊瑚科(Pocilloporidae)、蕈珊瑚科(Fungiidae)、常見的微孔珊瑚科(Poritidae)、繩紋珊瑚科(Merulinidae)的物種進行移植，也包含向海保署申請的 3 株柴山多杯孔珊瑚。表 4-1 為第一組珊瑚養殖平台內移植的珊瑚種類及數量，從 2024 年 5 月一共移入 104 株珊瑚群體，在 2024 年 10 月統計時，發現有僅 10 株珊瑚群體死掉，存活率達 90.4%，然而到了 2025 年 01 月調查時結果顯示存活珊瑚群體僅剩 12 株，存活率急劇下降至 12.7%。可能造成珊瑚死亡的原因討論於後。

表 4-2 則列出放置於第二組珊瑚養殖平台的珊瑚種屬，2024 年 11 月 5 日一共計有 69 種 208 株珊瑚，安置於 20 座的懸浮架中。從 2025 年 1 月進港調查結果顯示置於懸浮架中的移植珊瑚生長狀況良好，存活率達 100%，顯示懸浮架養殖方式較第一組平台更為穩定有效。

截至 2025 年 1 月的調查永安天然氣接收站港內原生珊瑚種類及本團隊野外採集移入的珊瑚種類，港內計有 13 科 38 屬 177 種珊瑚。本團隊所採集的珊瑚有 27 種與現地珊瑚重複(圖 4-4)，47 種不重複，提升了港內珊瑚物種多樣性。新增種類數較多的珊瑚為表孔珊瑚屬及蕈珊瑚屬物種，其次為軸孔珊瑚屬及角菊珊瑚屬物種。經過本次研究計畫的引入，目前港內珊瑚種類分布情況為：軸孔珊瑚屬物種最多，共 29 種；表孔珊瑚屬次之，共 22 種；盤星珊瑚屬、角菊珊瑚屬和蕈珊瑚屬種類各 12 種。這五類珊瑚的種類數量已占總體珊瑚種類的近一半(附錄一)，移入的珊瑚所安置的養殖框編號及狀態詳見附錄二。

另外，海洋委員會海洋保育署及桃園市政府亦同意採集桃園大潭藻礁柴山多杯孔珊瑚三株移植至永安天然氣接收站港內，採集及移植過程詳述於章節 4-6。

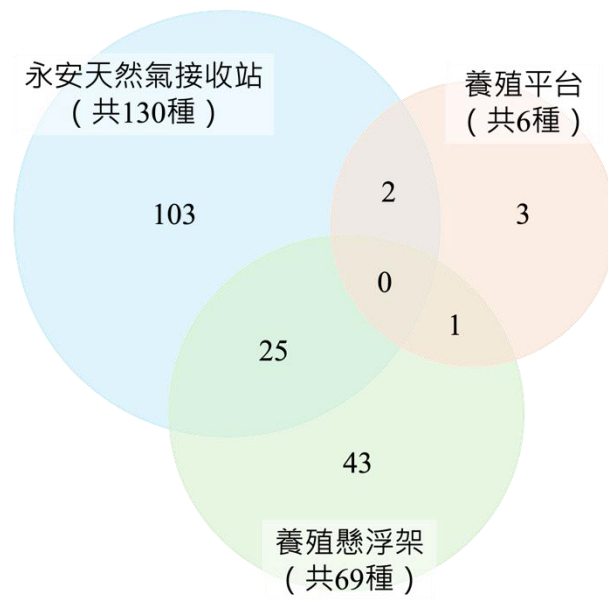


圖 4-4. 永安天然氣接收站港內現地與移植之珊瑚種類范恩圖。珊瑚種類數目詳列於附錄一，永安天然氣接收站參考自宋（2023），養殖平台及養殖懸浮架內的珊瑚種類為 2025 年 1 月調查結果。

表 4-1. 珊瑚養殖平台內珊瑚在 2024 年 5 月移入，後續在 2024 年 10 月以及 2025 年 1 月進行存活數量盤點。

科名	屬名	學名	中文名	數量		
				2024 年 5 月	2024 年 10 月	2025 年 1 月
Hexacorallia			六放珊瑚綱			
Acroporidae	<i>Montipora</i>	<i>M. gaimardi</i>	橫錯表孔珊瑚	1	1	0
		<i>M. grisea</i>	青灰表孔珊瑚	1	0	0
		<i>M. tuberculosa</i>	結節表孔珊瑚	1	1	0
Agariciidae	<i>Pavona</i>	<i>P. danai</i>	達氏雀屏珊瑚	1	0	0
Coscinaraeidae	<i>Psammococora</i>	<i>P. exese</i>	指突篩珊瑚	2	1	0
Caryophylliidae	<i>Polycyathus</i>	<i>P. chaishanensis</i>	柴山多杯孔珊瑚	3	3	3
Dendrophylliidae	<i>Turbinaria</i>	<i>T. irregularis</i>	不規則盤珊瑚	2	2	0
		<i>T. mesenterina</i>	膜形盤珊瑚	2	2	0
		<i>T. stellulata</i>	小星盤珊瑚	3	3	0
Fungiidae	<i>Cycloseris</i>	<i>C. sinensis</i>	中國圓萼珊瑚	1	1	0
		<i>Danafungia</i>	<i>D. horrida</i>	粗刺萼珊瑚	6	6
	<i>D. scruposa</i>	<i>D. sp.</i>	礁刺萼珊瑚	3	3	0
				9	9	1
		<i>Fungia</i>	<i>F. fungites</i>	真萼珊瑚	1	0
	<i>Herpolitha</i>	<i>H. limax</i>	蛞蝓匐石珊瑚	2	1	0
	<i>Sandalolitha</i>	<i>S. dentata</i>	鋸齒展珊瑚	1	1	0
		<i>S. robusta</i>	強壯展珊瑚	1	1	0
	<i>Lithophyllon</i>	<i>L. concinna</i>	和諧萼珊瑚	8	7	5
	<i>Leptastrea</i>	<i>L. transversa</i>	橫柔星珊瑚	1	1	1
	<i>Platygyra</i>	<i>P. pini</i>	小腦紋珊瑚	1	1	0
	<i>Sinuorota</i>	<i>S. hexagonalis</i>	六角曲萼珊瑚	1	1	1
	Lobophylliidae	<i>Lobophyllia</i>	<i>L. radians</i>	輻紋瓣葉珊瑚	3	3
Merulinidae	<i>Cyphastrea</i>	<i>C. microphthalma</i>	小葉細星珊瑚	1	1	0
		<i>Dipsastraea</i>	<i>D. danae</i>	達氏盤星珊瑚	2	2
	<i>D. faviaformis</i>	<i>D. speciosa</i>	似菊盤星珊瑚	1	1	0
			環盤星珊瑚	1	1	0
				1	1	0
	<i>Favites</i>	<i>F. abdita</i>	隱藏角菊珊瑚	1	1	0
		<i>F. flexuosa</i>	柔角菊珊瑚	1	1	0
		<i>F. magnistellata</i>	大角菊珊瑚	6	6	0
	<i>Goniastrea</i>	<i>G. edwardsi</i>	艾氏角星珊瑚	13	13	0
		<i>G. favulus</i>	似菊角星珊瑚	1	1	0
	<i>Hydnophora</i>	<i>H. microconos</i>	小礁珊瑚	2	2	0
	<i>Leptoria</i>	<i>L. irregularis</i>	不規則迷紋珊瑚	2	1	0
		<i>L. Phrygia</i>	密集迷紋珊瑚	1	1	0
	<i>Paragoniastrea</i>	<i>P. deformis</i>	變形似角星珊瑚	1	1	0

科名	屬名	學名	中文名	數量		
				2024年 5月	2024年 10月	2025年 1月
Poritidae	<i>Porites</i>	<i>P. nigrescens</i>	歧枝微孔珊瑚	1	1	0
		<i>P. lutea</i>	鐘型微孔珊瑚	4	2	0
		<i>P. okinawensis</i>	沖繩微孔珊瑚	1	1	0
		<i>P. solida</i>	堅實微孔珊瑚	1	1	0
		<i>P. sp.</i>		10	10	0
總計						
9科	23屬		40種	104株	94株	12株

表 4-2. 珊瑚養殖懸浮架內珊瑚皆為 2024 年 11 月 5 日移入，後續在 2025 年 1 月進行數量盤點。

科名	屬名	學名	中文名	數量	
				2024 年 11 月	2025 年 1 月
Hydrozoa			水螅綱		
Milleporidae	<i>Millepora</i>	<i>M. tenera</i>	平滑千孔珊瑚	1	1
Octocorallia			八放珊瑚綱		
Helioporidae			藍珊瑚科		
	<i>Heliopora</i>	<i>H. coerulea</i>	藍珊瑚	15	15
Hexacorallia			六放珊瑚綱		
Acroporidae			軸孔珊瑚科		
	<i>Acropora</i>	<i>A. aspera</i>	矛枝軸孔珊瑚	2	2
		<i>A. cf. aculeus</i>	尖銳軸孔珊瑚	1	1
		<i>A. cf. anthocercis</i>	花束軸孔珊瑚	1	1
		<i>A. cf. lutkeni</i>	粗短軸孔珊瑚	1	1
		<i>A. digitifera</i>	指形軸孔珊瑚	1	1
		<i>A. exquisita</i>	精緻軸孔珊瑚	1	1
		<i>A. nana</i>	細枝軸孔珊瑚	1	1
		<i>A. secale</i>	穗枝軸孔珊瑚	2	2
		<i>A. sp.</i>		3	3
	<i>Astreopora</i>	<i>A. cf. myriophthalma</i>	蜂巢星孔珊瑚	1	1
		<i>A. incrustans</i>	殼狀星孔珊瑚	8	4
		<i>A. sp.</i>		1	1
	<i>Isopora</i>	<i>I. brueggemanni</i>	鈍枝同孔珊瑚	1	1
Agariciidae			蓮珊瑚科		
	<i>Pachyseris</i>	<i>P. rugosa</i>	變異波紋珊瑚	1	1
		<i>P. speciosa</i>	環形波紋珊瑚	1	1
Dendrophylliidae			樹珊瑚科		
	<i>Turbinaria</i>	<i>T. irregularis</i>	不規則盤珊瑚	3	2
Fungiidae			蕈珊瑚科		
	<i>Cycloseris</i>	<i>C. cf. costulata</i>	直肋圓蕈珊瑚	1	1
		<i>C. cf. cyclolites</i>	正圓蕈珊瑚	1	1
		<i>C. costulata</i>	直肋圓蕈珊瑚	2	2
		<i>C. cyclolites</i>	正圓蕈珊瑚	22	22
		<i>C. vaughani</i>	佛氏圓蕈珊瑚	4	4
	<i>Danafungia</i>	<i>D. scruposa</i>	確刺蕈珊瑚	1	1
	<i>Herpolitha</i>	<i>H. limax</i>	蛞蝓匐石珊瑚	1	1
	<i>Lithophyllon</i>	<i>L. concinna</i>	和諧蕈珊瑚	2	2
	<i>Lobactis</i>	<i>L. scutaria</i>	盾形葉蕈珊瑚	19	19
	<i>Pleuractis</i>	<i>P. granulosa</i>	顆粒側蕈珊瑚	10	10
		<i>P. gravis</i>	沉重側蕈珊瑚	2	2
		<i>P. moluccensis</i>	摩鹿加側蕈珊瑚	1	1

科名	屬名	學名	中文名	數量	
				2024年11月	2025年1月
	<i>Sandalolitha</i>	<i>S. robusta</i>	強壯展珊瑚	2	2
Lobophylliidae			瓣葉珊瑚科		
	<i>Lobophyllia</i>	<i>L. recta</i>	直紋瓣葉珊瑚	2	2
Merulinidae			繩紋珊瑚科		
	<i>Cyphastrea</i>	<i>C. chalcidicum</i>	礁突細星珊瑚	2	2
		<i>C. microphthalma</i>	小葉細星珊瑚	2	2
	<i>Dipsastraea</i>	<i>D. pallida</i>	圈紋盤星珊瑚	1	1
	<i>Echinopora</i>	<i>E. gemmacea</i>	芽棘孔珊瑚	2	2
	<i>Favites</i>	<i>F. chinensis</i>	中國角菊珊瑚	2	1
		<i>F. colemani</i>	柯曼角菊珊瑚	1	1
		<i>F. magnistellata</i>	大角菊珊瑚	1	1
		<i>F. valenciennesii</i>	華倫角菊珊瑚	1	1
	<i>Goniastrea</i>	<i>G. edwaedsi</i>	艾氏角星珊瑚	2	2
		<i>G. pectinata</i>	翼形角星珊瑚	2	2
		<i>G. retiformis</i>	網紋角星珊瑚	1	1
	<i>Leptoria</i>	<i>L. irregularis</i>	不規則迷紋珊瑚	1	1
		<i>L. phrygia</i>	密集迷紋珊瑚	1	1
	<i>Merulina</i>	<i>M. cylindrica</i>	柱形繩紋珊瑚	1	1
	<i>Montipora</i>	<i>M. cf. turgescens</i>	膨脹表孔珊瑚	1	1
		<i>M. confusa</i>	迷紋表孔珊瑚	1	1
		<i>M. danae</i>	圓突表孔珊瑚	2	2
		<i>M. digitata</i>	指形表孔珊瑚	1	1
		<i>M. mollis</i>	柔和表孔珊瑚	2	2
		<i>M. peltiformis</i>	翼形表孔珊瑚	1	1
	<i>Paragoniastrea</i>	<i>P. australensis</i>	澳洲角星珊瑚	1	1
	<i>Platygyra</i>	<i>P. contorta</i>	卷曲腦紋珊瑚	1	1
		<i>P. lamellina</i>	片腦紋珊瑚	3	3
		<i>P. pini</i>	小腦紋珊瑚	2	1
Pocilloporidae			鹿角珊瑚科		
	<i>Pocillopora</i>	<i>P. cf. brevicornis</i>	短枝鹿角珊瑚	4	4
		<i>P. cf. grandis</i>	巨枝鹿角珊瑚	3	3
		<i>P. damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	22	22
		<i>P. cf. meandrina</i>	紋形鹿角珊瑚	1	1
		<i>P. verrucosa</i>	疣鹿角珊瑚	13	13
		<i>P. sp.</i>		1	1
Poritidae			孔珊瑚科		
	<i>Porites</i>	<i>P. cf. okinawensis</i>	沖繩微孔珊瑚	1	1
		<i>P. cf. stephensoni</i>	史氏微孔珊瑚	1	1
		<i>P. cylindrica</i>	細柱微孔珊瑚	15	15

科名	屬名	學名	中文名	數量	
				2024年11月	2025年1月
		<i>P. lichen</i>	地衣微孔珊瑚	1	1
		<i>P. lobata</i>	團塊微孔珊瑚	1	1
		<i>P. lutea</i>	鐘型微孔珊瑚	1	1
總計					
10 科	27 屬		69 種	216 株	208 株

4-3. 實驗室光度實驗結果

(1) 弱光實驗結果

在弱光實驗中，我們研究了四種珊瑚在不同光度環境下（中光度：100 PAR、中低光度：70 PAR、弱光度：40 PAR、低光度：12 PAR）逐漸升溫至 35°C 時的白化表現（圖 4-5、表 4-3）。實驗採用 BTI₃₀ 作為評估指標，數值越高表示珊瑚的耐熱性越強。

從表 4-1 數據可見，在有餵食條件下，維氏腦紋珊瑚與密集迷紋珊瑚在所有光度條件下均表現出較高的 BTI₃₀ 值（約 10.5~11.7 天），而萼形柱珊瑚和簡單軸孔珊瑚的 BTI₃₀ 值明顯較低（約 7.9~8.7 天）。通過 Fridman Test 檢定分析，結果顯示同一種珊瑚在四種不同光度條件下的 BTI₃₀ 值並無統計學上的顯著差異 ($p > 0.05$)。此部分結果顯示在本實驗設定的光度範圍內（12 至 100 PAR），光照強度對各珊瑚耐熱性的影響並不顯著。然而，不同種類珊瑚間的耐熱性差異則非常明確，維氏腦紋珊瑚與密集迷紋珊瑚表現出更強的耐熱能力。

進一步比較餵食與否對珊瑚耐熱性的影響，研究發現不同珊瑚種類的反應各不相同（圖 4-5、表 4-3）。簡單軸孔珊瑚在中低光度（70 PAR）條件下，有餵食組的 BTI₃₀ 值顯著高於無餵食組 ($p < 0.05$)，顯示出營養補充可提高其在特定光照條件下的耐熱能力。密集迷紋珊瑚則在中光度（100 PAR）和中低光度（70 PAR）條件下，有餵食組的 BTI₃₀ 值顯著高於無餵食組 ($p < 0.05$)（圖 4-5），說明較高光照環境中營養補充對其耐熱性的促進作用更為明顯。相比之下，萼形柱珊瑚及維氏腦紋珊瑚在所有光度條件下，餵食與非餵食組間的 BTI₃₀ 值差異均未達到顯著差異，顯示出這兩種珊瑚的耐熱性受餵食狀態影響較小。

弱光實驗結果顯示珊瑚的耐熱性存在明顯的種間差異，我們的結果顯示，團塊狀的維氏腦紋珊瑚和平鋪狀的密集迷紋珊瑚均表現出顯著高於枝狀萼形柱珊瑚和簡單軸孔珊瑚的耐熱能力。此部分實驗結果與 Marshall 和 Baird (2000) 的研究結果相符，在大堡礁的調查中發現團塊狀珊瑚通常比枝狀珊瑚具有更低的白化

敏感性。這種差異可能與珊瑚群體形態密切相關，團塊狀和平鋪狀珊瑚具有更緻密的組織結構，可能提供較有效的熱緩衝機制。此外，如 Berkelmans 和 Van Oppen (2006) 的研究結果顯示，共生藻組成差異也可能是影響耐熱性的關鍵因素。

在弱光實驗設定的光度範圍（12 至 100 PAR）內，光照強度對同一種珊瑚的耐熱性影響並不顯著。然而，Anthony 等人（2007）的研究表明，光照強度與溫度之間存在明顯的協同作用，共同影響珊瑚的能量平衡和死亡風險。他們發現在高溫條件下，高光照可以顯著加劇珊瑚白化和死亡風險，而低光照環境則可能提供一定程度的保護。我們的實驗中未觀察到顯著的光照效應，可能是因為所設定的光度範圍相對較窄。

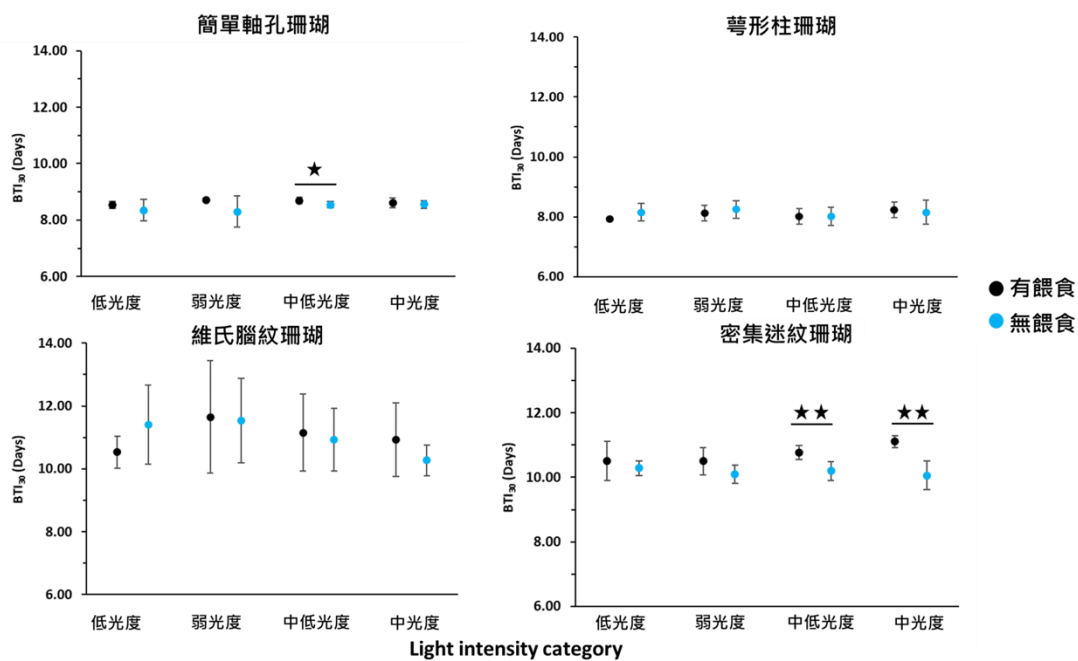


圖 4-5. 弱光實驗中餵食處理對珊瑚在不同光度類別下的 BTI₃₀ 平均值比較。光度類別分別為：低光度（12 PAR）、弱光度（40 PAR）、中低光度（70 PAR）及中光度（100 PAR）。誤差線代表標準偏差。橫線表示在相同光度條件下，餵食處理組間的統計檢定結果。★代表 p 值 < 0.05，★★代表 p 值 < 0.01。

表 4-3. 弱光實驗中珊瑚在不同光度條件與餵食處理下的 BTI₃₀平均值 ± 標準偏差 (天)

珊瑚物種	餵食處理	低光度 (12 PAR)	弱光度 (40 PAR)	中低光度 (70 PAR)	中光度 (100 PAR)
簡單軸孔珊瑚	有餵食	8.55 ± 0.12	8.70 ± 0.07	8.70 ± 0.07	8.62 ± 0.17
	無餵食	8.35 ± 0.38	8.30 ± 0.56	8.55 ± 0.11	8.55 ± 0.13
萼形柱珊瑚	有餵食	7.93 ± 0.05	8.12 ± 0.26	8.01 ± 0.26	8.23 ± 0.26
	無餵食	8.16 ± 0.29	8.25 ± 0.29	8.01 ± 0.30	8.16 ± 0.39
維氏腦紋珊瑚	有餵食	10.53 ± 0.51	11.66 ± 1.79	11.15 ± 1.23	10.93 ± 1.17
	無餵食	11.41 ± 1.26	11.54 ± 1.35	10.93 ± 0.99	10.27 ± 0.48
密集迷紋珊瑚	有餵食	10.50 ± 0.61	10.50 ± 0.42	10.77 ± 0.21	11.11 ± 0.19
	無餵食	10.28 ± 0.22	10.09 ± 0.29	10.20 ± 29	10.06 ± 0.44

餵食因素的影響呈現出更為複雜的模式。在較高光照環境(70 至 100 PAR)下,簡單軸孔珊瑚和密集迷紋珊瑚的餵食組均表現出顯著高於非餵食組的耐熱能力。這與 Fabricius 等人(2013)的研究相呼應,他們發現營養補充對不同珊瑚種類的耐熱性影響各異。這種差異性反應可能反映了不同珊瑚種類在能量分配策略上的差異,某些種類可能更依賴異營養獲取能量來增強環境適應能力。

整體而言,弱光實驗研究結果顯示珊瑚耐熱性是由多種因素共同調控的複雜特性,包括種類特異性、形態結構、光照環境及營養狀態等。

(2) 強光實驗結果

此部分延續弱光實驗的設計框架,進一步測試了 5 種珊瑚在更高光度環境下的耐熱表現。除了原先在弱光實驗中使用的四種珊瑚外,還增加了鐘型微孔珊瑚作為研究對象。實驗設計包含兩種光度條件(高光度 400 PAR 及中光度 100 PAR)以及有無餵食處理,通過測量 BTI₃₀ 值來評估珊瑚的耐熱能力。結果顯示,光度強弱對不同珊瑚種類的耐熱性產生了不同的影響。

在無餵食條件下,Mann-Whitney Rank sum test 分析結果顯示,簡單軸孔珊瑚及萼形柱珊瑚的 BTI₃₀ 數值在不同光度處理間存在顯著差異,均以中光度環境中的耐熱性顯著高於高光度環境(圖 4-7、表 4-4)。相較之下,其他三種珊瑚(維氏腦紋珊瑚、密集迷紋珊瑚及鐘型微孔珊瑚)在無餵食條件下,其 BTI₃₀ 數值不因光度變化而產生顯著差異(圖 4-6)。餵食處理組的結果呈現類似結果,同樣透過 Mann-Whitney Rank sum test 分析結果顯示,簡單軸孔珊瑚及萼形柱珊瑚在有餵食條件下,高、中光度間的 BTI₃₀ 具有顯著差異(圖 4-7),且均以中光度環境下的 BTI₃₀ 較高。而其餘三種珊瑚的 BTI₃₀ 在中、高中度之間則未有顯著差異。

這些發現與弱光實驗的結果形成了對比。在弱光實驗中(12 至 100 PAR),光度變化對珊瑚耐熱性的影響相對有限(圖 4-5),而當光度進一步提高至 400 PAR 時,某些珊瑚種類(如簡單軸孔珊瑚及萼形柱珊瑚)的耐熱能力則顯著下降。

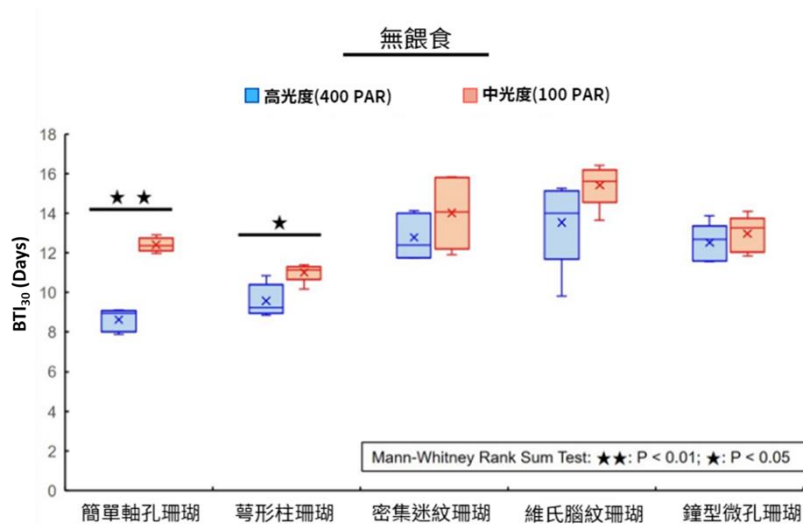


圖 4-6. 強光實驗中無餵食條件下五種珊瑚的 BTI₃₀值比較。盒鬚圖中，橫線代表中位數，X 代表平均值，盒子的上下邊緣分別代表第一及第三的四分位數，末端線段代表數值的最大值和最小值。Mann-Whitney Rank Sum Test: ★代表 p 值<0.05，★★代表 p 值<0.01。

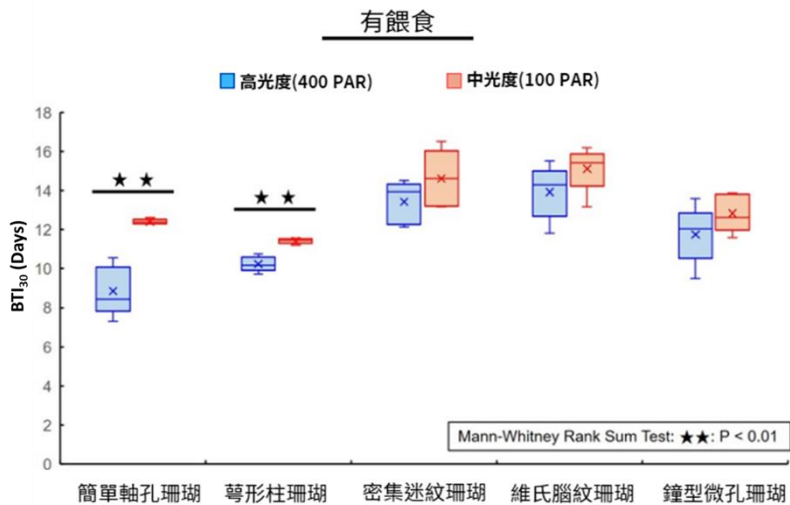


圖 4-7. 強光實驗中有餵食條件下五種珊瑚的 BTI₃₀值比較。盒鬚圖中，橫線代表中位數，X 代表平均值，盒子的上下邊緣分別代表第一及第三的四分位數，末端線段代表數值的最大值和最小值。Mann-Whitney Rank Sum Test: ★代表 p 值<0.05，★★代表 p 值<0.01。

表 4-4. 強光實驗中不同珊瑚種類的 BTI₃₀ 平均值 ± 標準偏差 (天)

珊瑚種類	餵食處理	中光度 (100 PAR)	高光度 (400 PAR)
簡單軸孔珊瑚	有餵食	12.41 ± 0.13	8.86 ± 1.25
	無餵食	12.41 ± 0.36	8.63 ± 0.58
萼形柱珊瑚	有餵食	11.42 ± 0.14	10.24 ± 0.38
	無餵食	11.02 ± 0.48	9.58 ± 0.82
密集迷紋珊瑚	有餵食	14.61 ± 1.46	13.42 ± 1.09
	無餵食	14.01 ± 1.82	12.78 ± 1.15
維氏腦紋珊瑚	有餵食	15.12 ± 1.15	13.93 ± 1.38
	無餵食	15.42 ± 1.06	13.53 ± 2.19
鐘型微孔珊瑚	有餵食	12.84 ± 0.97	11.75 ± 1.47
	無餵食	12.97 ± 0.92	12.52 ± 0.96

(3) 野外現地遮光實驗結果

2024 年 6 月起，臺灣各珊瑚群聚分布區域陸續出現白化現象後，本團隊於 2024 年 7 月在永安天然氣接收站港內南堤消波塊上設置遮光布進行實驗。於 2024 年 9 月的調查結果顯示，在有遮光組的 850 個觀測點中，有 832 個點（97.9%）顯示珊瑚處於健康狀態，18 個點（2.1%）顯示白化現象。相較之下，在無遮光組的 656 個觀測點中，有 512 個點（78.0%）顯示珊瑚健康，144 個點（22.0%）顯示白化現象。通過卡方分析（Chi-square analysis）進行獨立性檢定，結果顯示 $\chi^2 = 151.7$ ， $df = 1$ ， $p\text{-value} < 0.0001$ ，確認珊瑚的健康狀態與是否採用遮光處理之間存在顯著的關聯性（表 4-5）。

本實驗雖於 2024 年 7 月 10 日架設光度計於有遮光布及無遮光區域進行光度比較，但於 2024 年 12 月 10 日回收時，光度計資料毀損，故在本次計畫中沒有收集到遮光的光度資料。

表 4-5. 珊瑚的狀態（健康或白化）與是否遮光之獨立性分析

處理 珊瑚狀態	遮光	無遮光	p-value (Chi-square)
	健康	832	512
白化	18	144	

4-4. 永安天然氣接收站港內現地珊瑚穩定碳氮同位素測定結果

穩定碳氮同位素分析結果顯示，永安天然氣接收站港內的五種珊瑚其 $\delta^{15}\text{N}$ 比例均顯著高於屏東萬里桐的同種珊瑚。這一結果表明永安天然氣接收站港內的珊瑚營養獲取模式主要為異營性攝食方式（圖 4-8）。此分析結果與現有已發表的科學文獻觀點類似，如 Fox 等人（2018）發現在初級生產力較高的水域中，珊瑚會增加異營性攝食的比例。該研究顯示，衛星測量的近岸葉綠素 a 濃度可以解釋全球珊瑚異營營養變化 77% 的變異，說明環境中的食物可用性是決定珊瑚營養策略的關鍵因素。其他研究成果也指出，在光照受限的環境中，珊瑚會通過增加異營性攝食來補充能量需求（Anthony and Fabricius, 2000）。本研究中永安天然氣接收站港內的珊瑚表現出較高的異營營養特性，可能反映了該環境中有較豐富的懸浮有機物質或光照條件的差異。此外，Ferrier-Pagès 等人（2011）進一步指出，具有較高異營營養比例的珊瑚可能在面對熱脅迫時具有更強的恢復力。

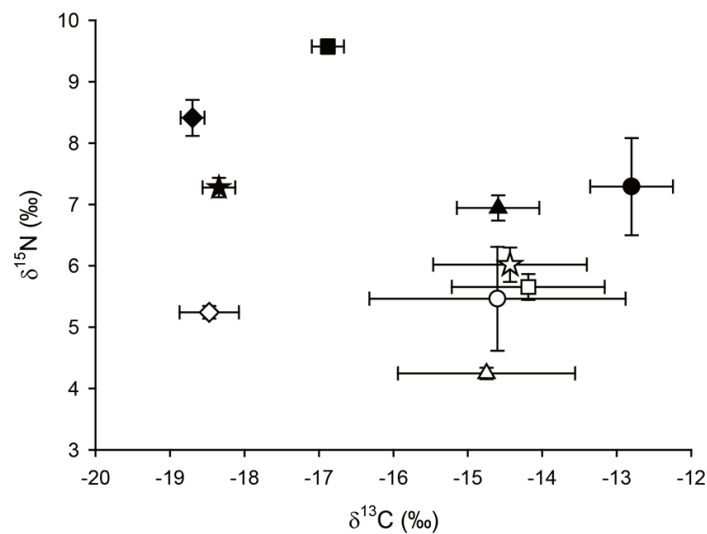


圖 4-8. 永安天然氣接收站港內及屏東萬里桐五種現生珊瑚的碳氮同位素分析結果。實心代表永安天然氣接受站、空心代表屏東萬里桐；◆：細枝鹿角珊瑚、★：維氏腦紋珊瑚、■：密集迷紋珊瑚、▲：軸孔珊瑚屬的一種、●：鐘型微孔珊瑚。

4-5. 永安天然氣接收站野外光度和水溫觀測結果

(1) 永安天然氣接收站港內光度隨水深之變化

由於天然氣接收站海域水體混濁，為瞭解光度隨深度變化的趨勢，我們使用 2023 年夏季（6 月 26 日至 6 月 30 日）的資料進行分析（圖 4-9）。分析結果顯示 4 至 5 公尺的水深區域光線強度經常達到 10,000 lux（圖 4-9），而在 7 公尺水深處的光線強度僅為 1 公尺水深處的 3%（圖 4-10）。經由光衰減係數公式計算，1 到 7 公尺水深之間的光衰減係數為 0.56 m^{-1} （圖 4-11）。這一數值顯示永安天然氣接收站港內的水體比一般珊瑚礁水域混濁程度高，光線在水層中被吸收速率較快。相較之下，一般大洋海水的光衰減係數僅在 0.04 至 0.20 m^{-1} 之間（海水越清澈，光衰減係數越低）。

2023 年 11 月 8 日起連續六天，本團隊於永安天然氣接收站港內南堤水域進行第二次水溫/光度計串佈放，調查不同深度的光線強度變化。結果顯示每天中午時分的光度強度仍經常超過 10,000 lux（圖 4-12）。這些光度調查資料顯示，永安天然氣接收站港內海域適合珊瑚生長的深度空間被壓縮在相對狹窄的水深範圍內。實際觀察也證實，在 6 公尺以下的水深幾乎找不到需依賴光合作用的造礁珊瑚。相對的在一般珊瑚礁，造礁珊瑚的分布可以超過 20 公尺水深。

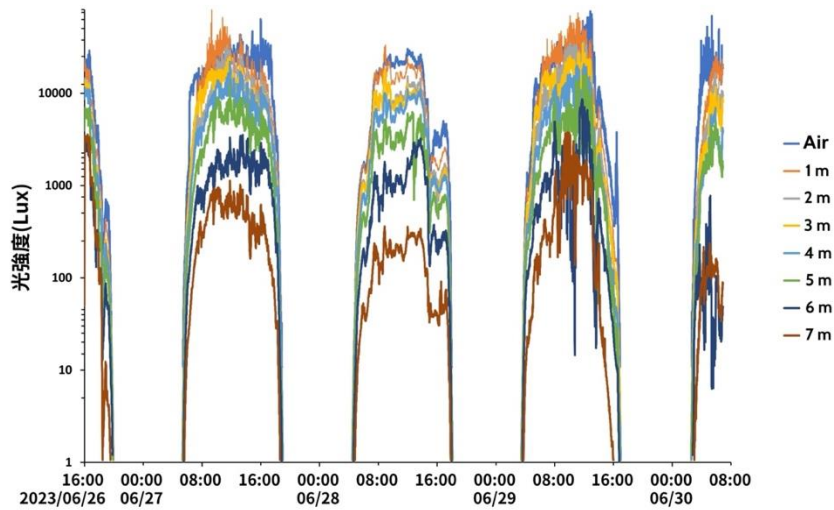


圖 4-9. 永安天然氣接收站港內南堤 2023 年 6 月 26 日至 30 日不同水深的日照變化。圖中顯示水面(Air)及 1 至 7 公尺水深處的光照強度，以對數尺度(lux)呈現。

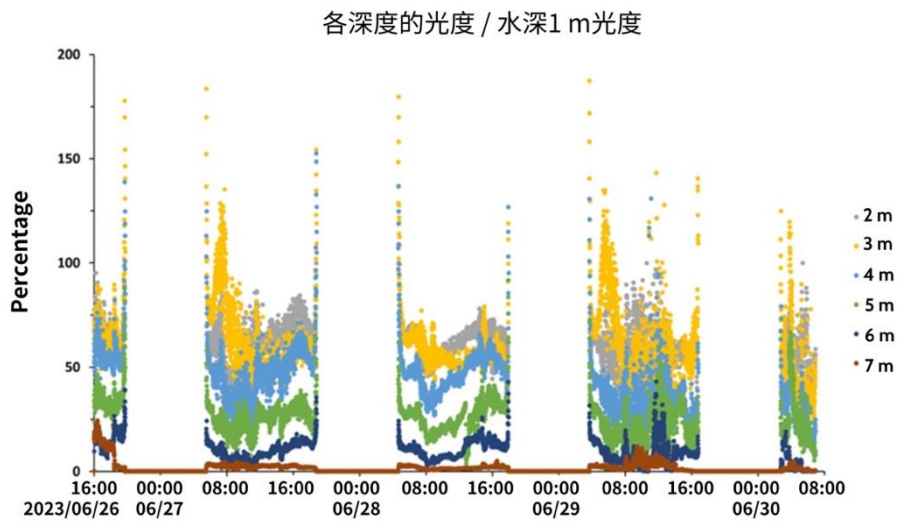


圖 4-10. 永安天然氣接收站港內南堤 2023 年 6 月 26 日至 6 月 30 日各深度與水深 1 公尺的光線相對強度(%) (相對強度：和 1 公尺的光度相比)。

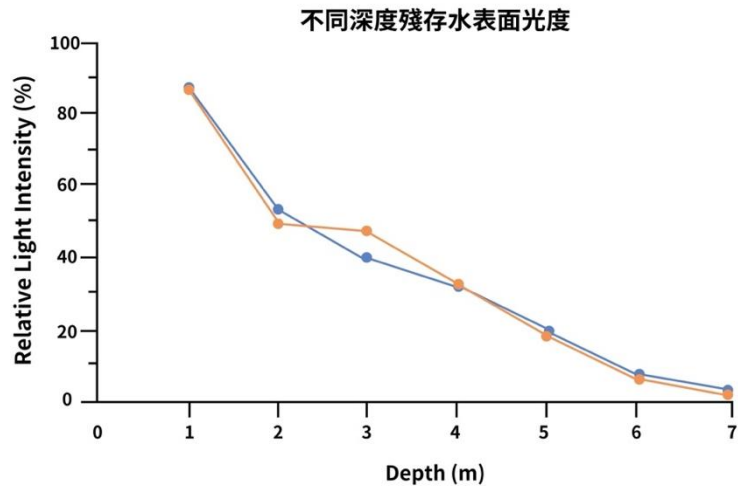


圖 4-11. 永安天然氣接收站港內南堤 2023 年 6 月 26 日至 6 月 30 日海域光線隨著水深的平均衰減。只估算水表面光線大於 10000 lux (橘線) 以及大於 30000 lux (藍線) 的時間區段。

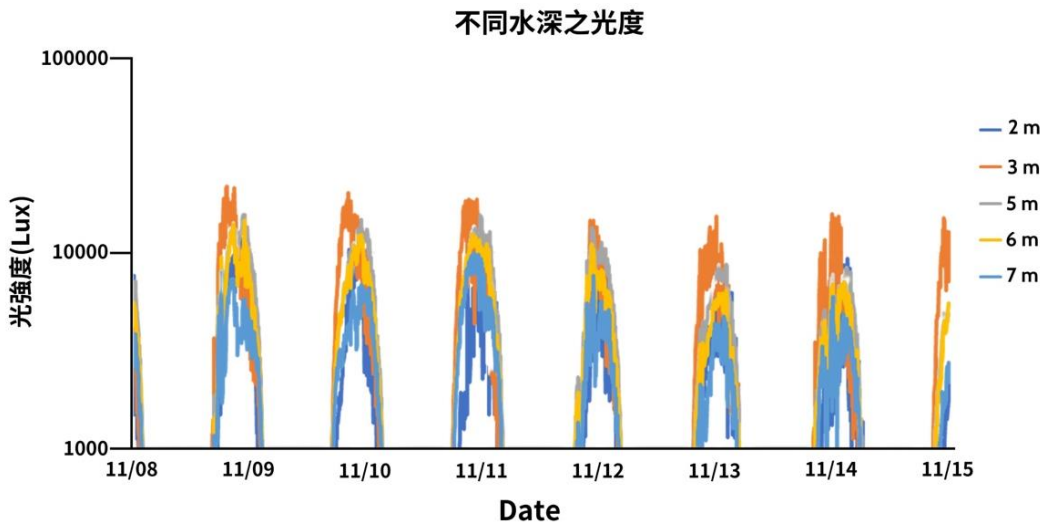


圖 4-12. 永安天然氣接收站港內南堤 2023 年 11 月 8 日至 15 日不同深度光線強度變化。一共佈放八組水溫／光度計在空氣中到 7 公尺水深，但 1 和 4 公尺水深光度計未能回收。

(2) 永安天然氣接收站港內港水溫分析

為分析探討永安天然氣接收站港內水溫的時空變化，以及水溫對珊瑚生存的潛在影響。本團隊從 2022 年 4 月 12 日開始持續收集港內、外水溫資料，後續的分析分為下列四個面向：(A) 2022 年至 2024 年各樣站水溫變化、(B) 永安天

然氣接收站港內、外夏天水溫比較、(C) 不同深度水溫的變化，以及 (D) 永安天然氣接收站港內冷卻水排放對珊瑚生存環境的影響評估。

A. 2022 年至 2024 年各樣站水溫變化

本團隊從 2022 年 4 月 12 日開始持續收集港內、外水溫資料，其中在此計畫開始實際佈放溫度計的時間是 2023 年 11 月 26 日，故缺漏了 2023 年 8 月 25 日至 2023 年 11 月 25 日期間的數據；而永安天然氣接收站港外北堤從 2022 年 10 月 29 日至 2024 年 8 月 12 日的資料缺漏，中間經歷儀器資料毀損、儀器不見，故港外北堤的資料僅有 2022 年 4 月 12 日至 2022 年 10 月 28 日，以及 2024 年 8 月 13 日至 2024 年 12 月 19 日。

根據 2022 年至 2024 年港內南堤、東堤及北堤的日最高溫資料分析，計算得出最高月均溫 (Maximum Monthly Mean) 約落在 31-32°C 之間，主要出現在七、八月期間。此數值後續被採用做為評估永安天然氣接收站港內珊瑚白化風險的臨界值。港內三個樣點 (港內南堤、東堤及北堤) 的水溫變化並無太大差異，以 31-32°C 作為珊瑚白化臨界值來看，每年的 6 月開始水溫會接近或超過此臨界值，直到進入 10 月時，大部分的時間才開始降至安全範圍，而冬天時水溫約落在 22 至 23 度之間 (圖 4-13 至圖 4-15)。港外北堤雖僅涵蓋部分季節，但水溫的時變化與港內相似 (圖 4-16)。

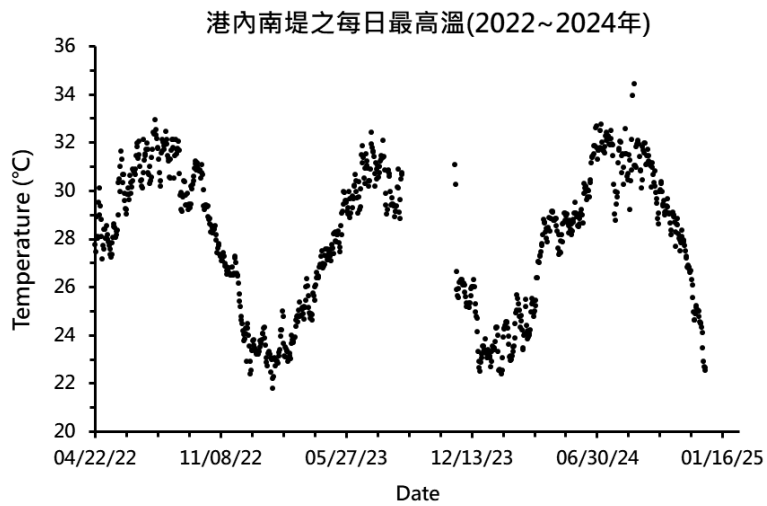


圖 4-13. 永安天然氣接收站港內南堤 2022 年 4 月 22 日至 2024 年 12 月 19 日每日最高水溫。

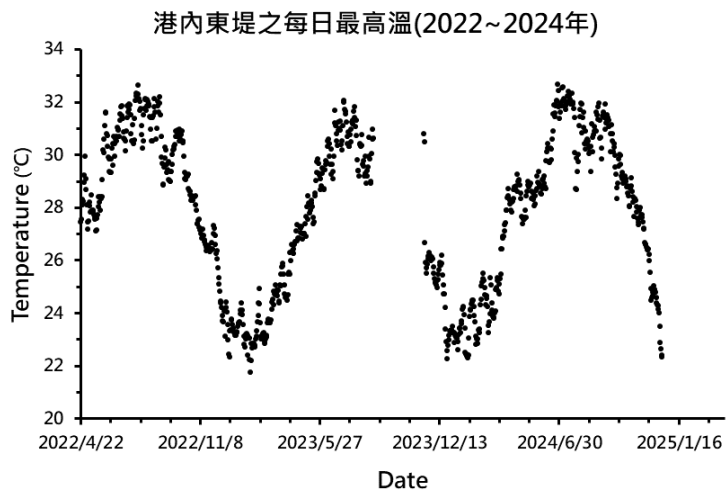


圖 4-14. 永安天然氣接收站港內東堤 2022 年 4 月 22 日至 2024 年 12 月 19 日每日最高水溫。

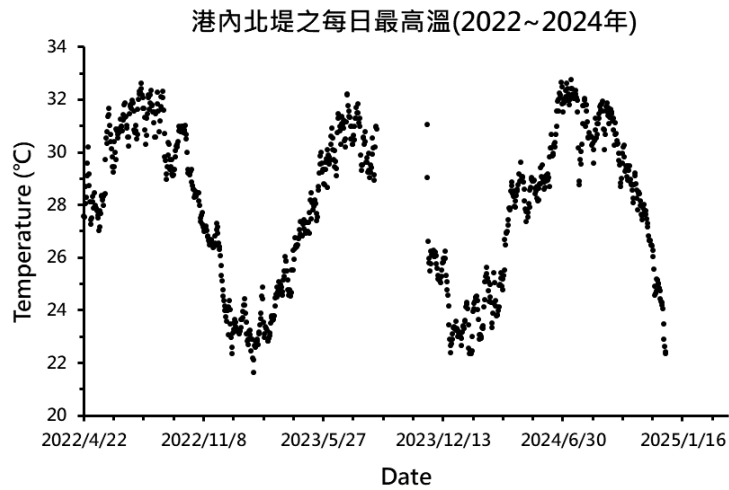


圖 4-15. 永安天然氣接收站港內北堤 2022 年 4 月 22 日至 2024 年 12 月 19 日每日最高水溫。

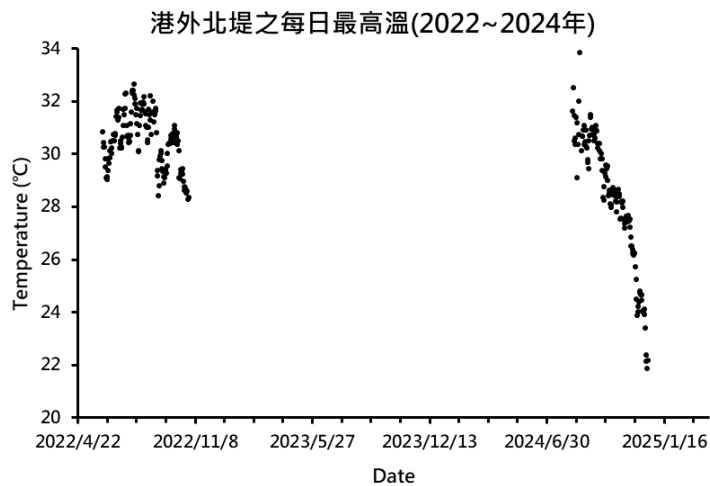


圖 4-16. 永安天然氣接收站港外北堤 2022 年 4 月 22 日至 2024 年 12 月 19 日每日最高水溫。

B. 永安天然氣接收站港內、外夏季水溫比較

本研究比較了 2022 年 6 月 1 日至 2022 年 10 月 24 日，以及 2024 年 8 月 13 日至 2024 年 12 月 19 日期間港內三個樣點（南堤、東堤、北堤）與港外北堤的水溫數據。分析方法為計算港外北堤每日最高水溫減去港內各測點每日最高水溫的差值，藉此評估港內外水溫變化模式。

研究結果顯示明顯的季節性差異：夏季期間（六月至十月），永安天然氣接收站港內水溫普遍高於港外水溫，溫差值主要分布在 -1°C 至 0°C 之間，偶爾達到 -1°C （圖 4-17）。相反地，冬季期間（尤其是初冬），港內水溫則低於港外水溫，溫差值在八月初甚至達到正 3.7°C ，隨著秋季進入冬季，溫差逐漸縮小但仍維持正值（圖 4-18）。

此季節性溫差變化的現象，主要可歸因於港內水體較小且與外界水體交換受限。較小的水體使港內區域在夏季更易受熱，導致水溫升高；同理，在冬季也更容易散熱冷卻，形成水溫較低的狀況。這種熱量傳導特性符合小型半封閉水體相較於大型開放水域，對環境溫度變化反應更為敏感的物理特性。

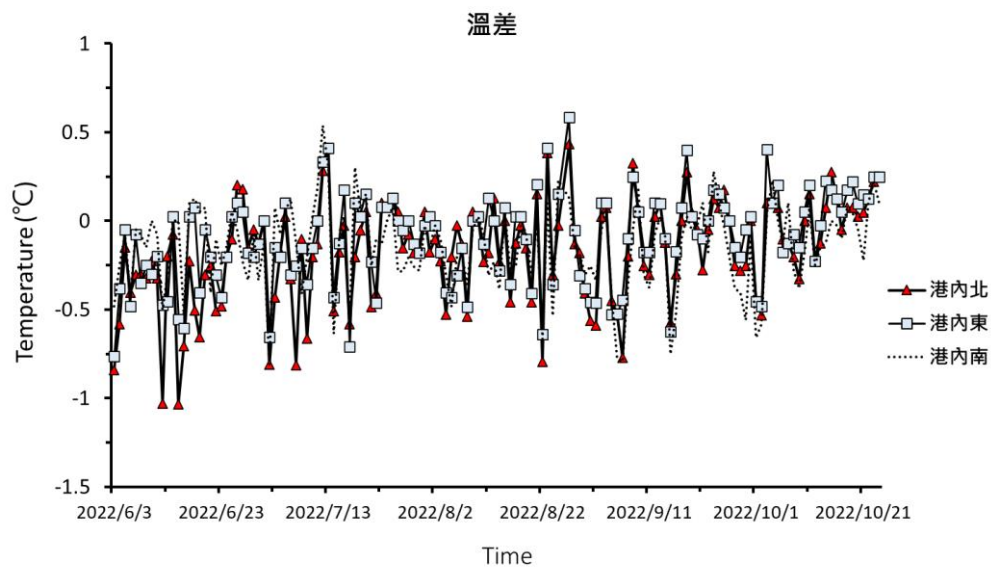


圖 4-17. 永安天然氣接收站港外港內從 2022 年 6 月至 10 月每日最高水溫之溫差。溫差值為港外北堤每日最高溫各自減去港內三個樣點每日最高溫。

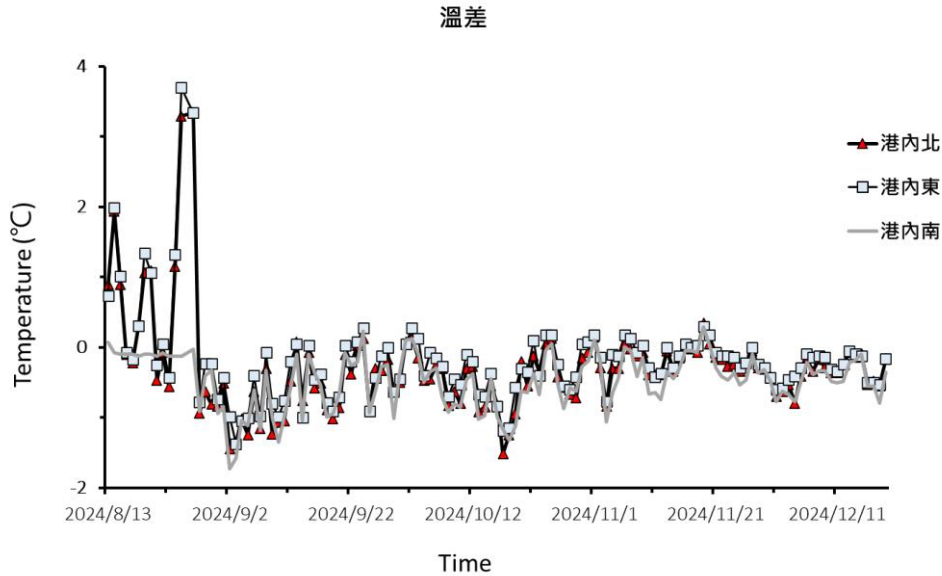


圖 4-18. 永安天然氣接收站港外港內從 2024 年 8 月至 12 月每日最高水溫之溫差。溫差值為港外北堤每日最高溫各自減去港內三個樣點每日最高溫。

C. 永安天然氣接收站港內的海水水溫有分層嗎？

根據 2023 年夏季(6 月 26 日至 30 日)與秋冬季(11 月 8 日至 15 日)的水溫與光度計調查結果，顯示永安天然氣接收站港內海水具有顯著的季節性溫度變化特徵。

夏季白天，水體存在明顯的垂直溫度分層現象，其中 1 公尺與 5 公尺水深的水溫最高可相差 2.5°C (圖 4-19)，而 2 公尺水深的水溫顯著高於水底，顯示淺層水體受太陽輻射影響較大。此外，1 至 7 公尺水深的水溫均可超過 30°C，顯示整體水層處於高溫狀態 (圖 4-19)。秋冬季期間，水體的垂直溫差相對較小，顯示水層較為穩定，水溫變化幅度顯著低於夏季。夜間時，不同水深間的溫度差異縮小，顯示水層混合作用加強，使各水層溫度趨於均勻 (圖 4-20)。日夜溫度變化特徵方面，無論是 6 月或 11 月的調查，2 公尺內的水溫變化幅度最大，而 3 公尺及更深的水層則相對穩定，日夜溫度變化幅度有限，顯示較深層水體受日照影響較小 (圖 4-20)。

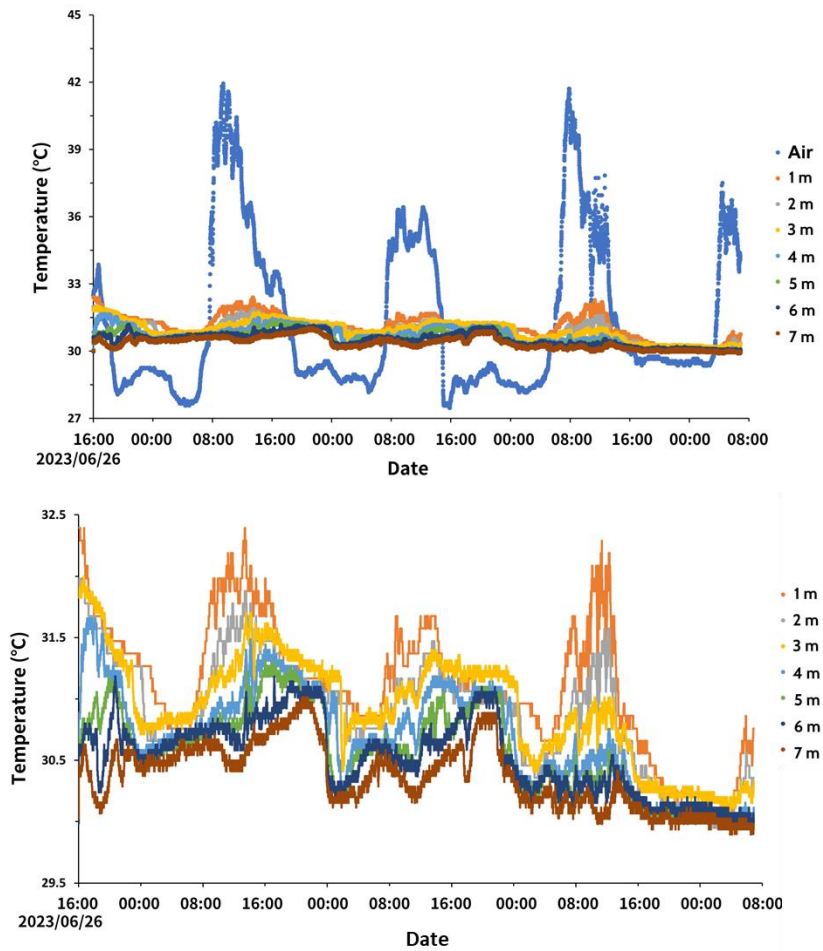


圖 4-19. 永安天然氣接收站港內南堤 2023 年 6 月 26 日至 6 月 30 日，0 至 7 公尺不同深度的水溫與氣溫變化趨勢。上圖 顯示氣溫（0 公尺）及不同水深（1-7 公尺）水溫的連續記錄。下圖 則移除氣溫數據，以更清楚呈現 1-7 公尺水層的溫度變化趨勢。

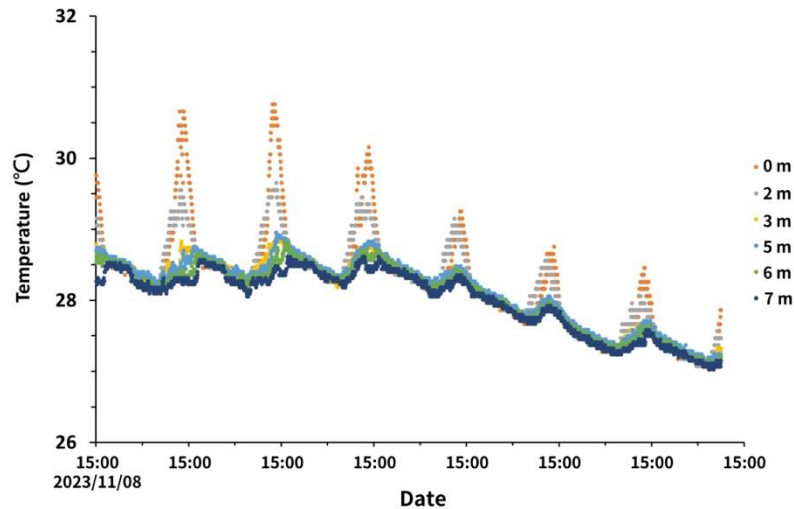


圖 4-20. 永安天然氣接收站港內南堤 2023 年 11 月 8 日至 11 月 14 日，0 至 7 公尺不同深度水溫及氣溫的連續記錄，遺失 1 公尺及 4 公尺數據。

D. 永安天然氣接收站港內冷卻水排出能夠幫助港內珊瑚避免因為水溫過高而導致的白化嗎？

2023 年 1 月 11 日利用 CTD 進行永安天然氣接收站港內海域內 21 個地點的水溫垂直剖面調查（圖 3-21），其中包含不同深度的水溫紀錄（圖 4-21）。因為 CTD 是從船上緩慢下降到水底，且資料記錄為每 7 秒鐘一筆，因此某些深度會有資料中斷的狀況發生。測量結果顯示，冷卻水排放後的去向主要集中在最接近排水口的 3 個測站（#3、#4、#8），在這些位置，水溫出現最大 3°C 的下降，且冷卻水主要沉降於 2 至 4 公尺深的水層，形成一層冷水區（圖 4-22）。然而，其他 18 個測站的水溫並未出現顯著變化，顯示冷卻水的影響範圍並未廣泛擴散至整個港內水域。

冷卻水的沉降特性意味著其主要聚集於海底，而非擴散至整個水層。由於珊瑚生長的主要深度多位於較淺的水層（如 1 至 5 公尺），這些冷卻水可能無法有效影響珊瑚生長區域的水溫。儘管從數據上可觀察到局部冷卻效應，但這種效應僅限於靠近排水口的少數區域，並未影響更廣泛的水域。此外，雖然我們能夠從測量結果推測冷卻水的初步流向，但目前的數據仍無法完全排除它可能進一步擴散到測站範圍之外的區域（圖 4-22）。

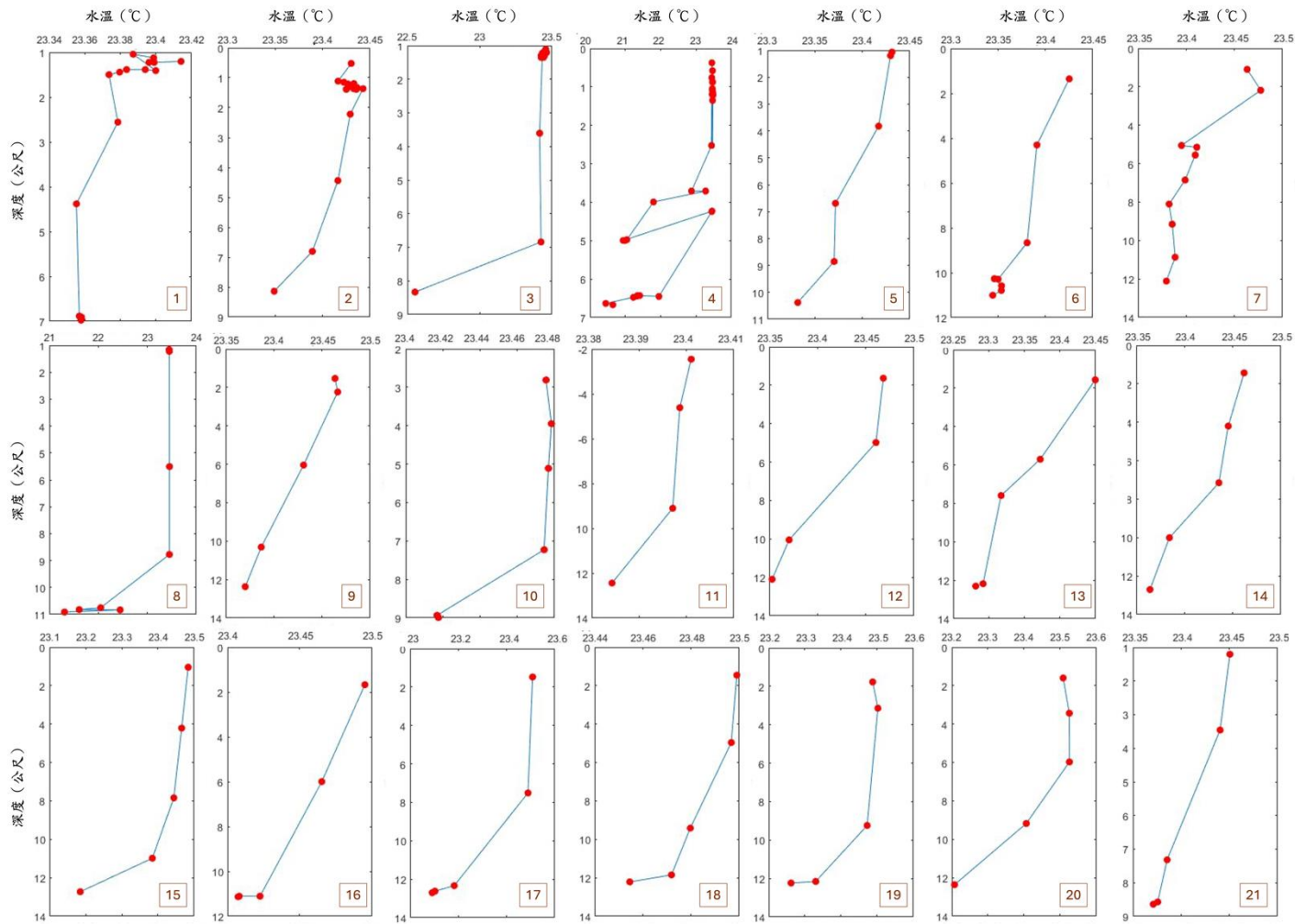


圖 4-21. 2023 年 1 月 11 日溫鹽深儀佈放 21 個樣點的水溫剖面。

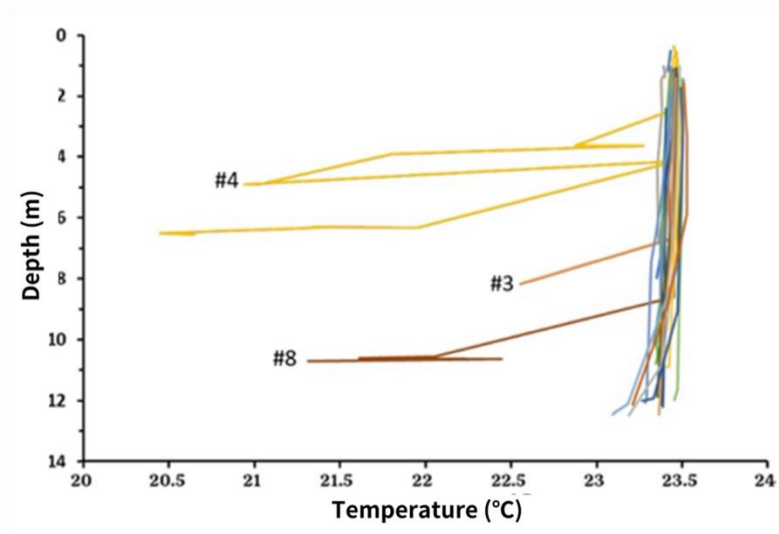


圖 4-22. 2023 年 1 月 11 日調查 21 個點位，其中 3 號、4 號和 8 號樣點發現冷水之蹤跡，都是靠近冷排水口的位置。

E. 珊瑚養殖籃內與永安天然氣接收站港其他樣點水溫比較

本研究的珊瑚養殖籃所在的水深約 2~3 公尺間，但資料回收時溫度計損壞，故使用養殖平台下另一個放置水深 1 公尺的溫度計資料作為與其他樣站的比較。水溫資料使用的是 2024/8/13~2024/10/31，從八月開始到九月底間，可以看出養殖平台下水深 1 公尺的水溫經常比其他樣站高，然而在十月期間有幾天水溫比其他樣點高，可能是因為這其間有兩個颱風經過，離水面淺處更容易受到風浪影響而水溫比較低（圖 4-23）。

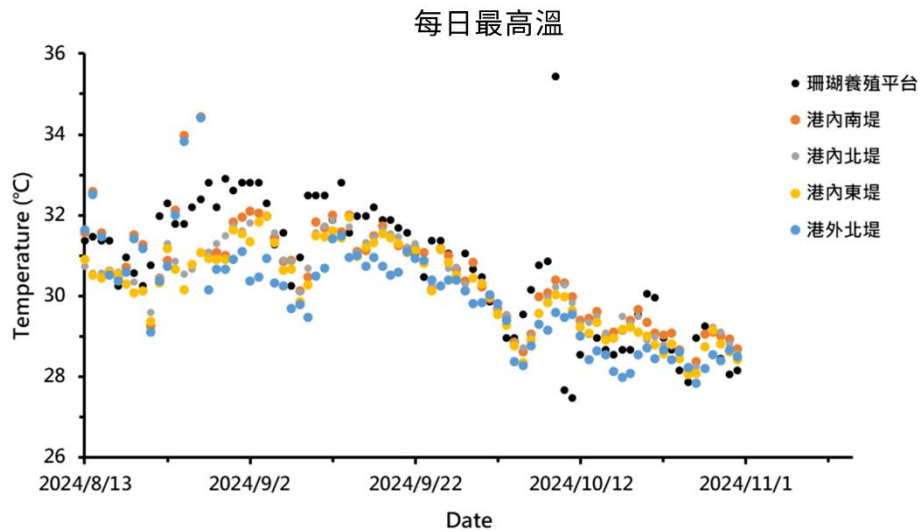


圖 4-23. 比較 2024 年 8 月 13 日至 10 月 31 日期間，珊瑚養殖籃內與永安天然氣接收站其他樣點的每日最高水溫。

4-6. 永安天然氣接收站港內現有珊瑚白化情況

(1) 珊瑚岩心分析

本研究於永安天然氣接收站港內的南堤、東堤及北堤採集珊瑚岩心樣本，其中南堤 7 根、東堤 6 根、北堤 4 根，岩心長度介於 8 至 22 公分之間（圖 4-24）。分析結果顯示，2018 至 2022 年間，永安港內珊瑚年骨骼拓展速率（skeletal extension rate）變化介於 1.5 至 2.1 公分，其中 2019 年與 2020 年的速率最高，達 2.1 公分 \pm 0.3 公分，而 2022 年略降至 1.8 公分 \pm 0.1 公分（圖 4-25）。比較不同樣點珊瑚的年骨骼拓展速率，南堤與北堤的速率相對較快，平均達 2.1 公分 \pm 0.1 公分，而東堤的速率則較低，僅 1.6 公分 \pm 0.1 公分（圖 4-26）。這些結果顯示，永安港內的珊瑚骨骼拓展速率顯著快於其他地區，例如東沙微孔珊瑚的速率約為 1.4 公分 \pm 0.1 公分，屏東萬里桐則約為 1.6 公分 \pm 0.1 公分。

若和其他珊瑚礁區域的微孔珊瑚相比，永安港內的珊瑚骨骼生長速率亦明顯較高。根據 Cantin 等人（2010）的研究，熱帶地區的微孔珊瑚生長速率平均約

為 1.2 至 1.8 公分/年，而 Lough 和 Barnes (2000) 在大堡礁的研究也顯示，珊瑚骨骼生長速率通常落在 1.0 至 1.6 公分/年。相比之下，永安港內南堤與北堤的微孔珊瑚生長速率達到 2.1 公分/年，顯示該區珊瑚在近年來的生長條件可能較為有利，或環境壓力相對較小。然而，從岩心 X 光影像 (圖 4-24) 觀察，永安港內的珊瑚並未顯示明顯的壓力條帶，與 Knutson 等人 (1972) 所指出的環境壓力 (如溫度、鹽度變化或污染) 可能導致珊瑚骨骼密度異常的現象不同，這進一步支持了該區域可能具有穩定的生長環境。

這些結果顯示，永安港內的微孔珊瑚相較於其他地區具有較快的骨骼生長速率，但其原因仍需進一步探討，特別是環境因子如水溫變化、營養供應或水流動力的影響。此外，雖然當前數據未顯示明顯的環境壓力訊號，但長期監測仍是必要的，以確認是否有隱性壓力影響珊瑚的生長動態。

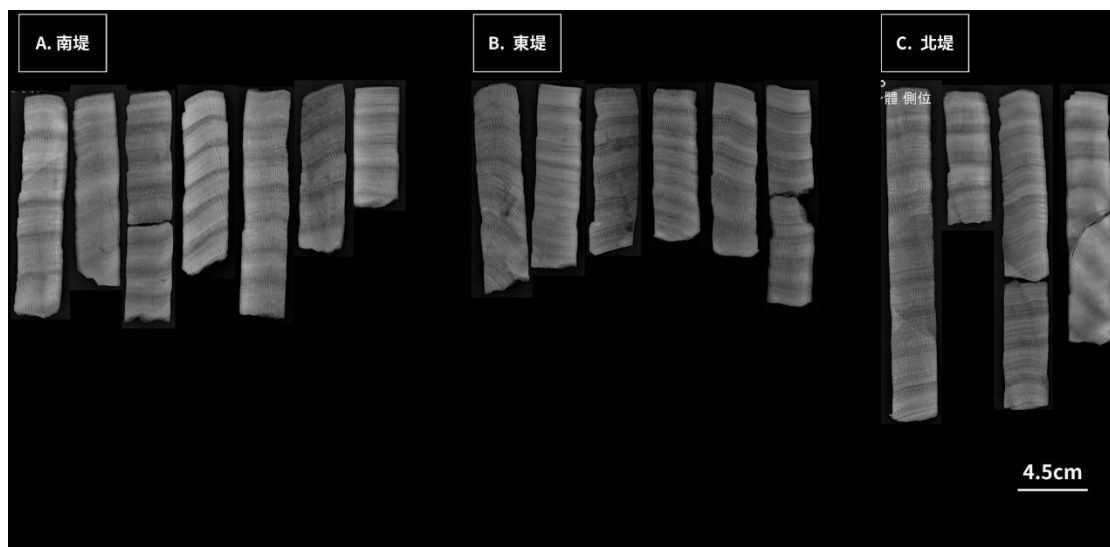


圖 4-24. 利用 X 光機拍攝之永安天然氣接收站港內海域三個樣站的微孔珊瑚骨骼切片。

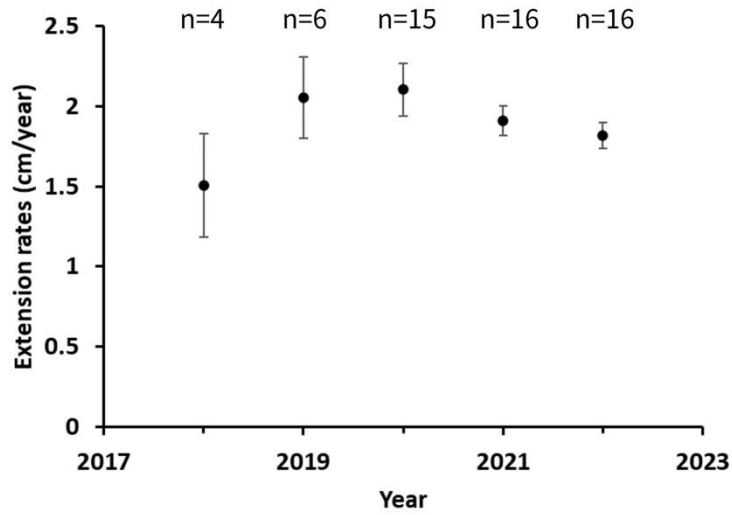


圖 4-25. 永安天然氣接收站港內微孔珊瑚 2018 至 2022 年 各年度的骨骼拓展速率。數據顯示不同年份的生長速率變化，樣本數 (n) 因岩心長度不同而有所差異，導致各年度可分析的樣本數量不一致。誤差線為標準誤差。

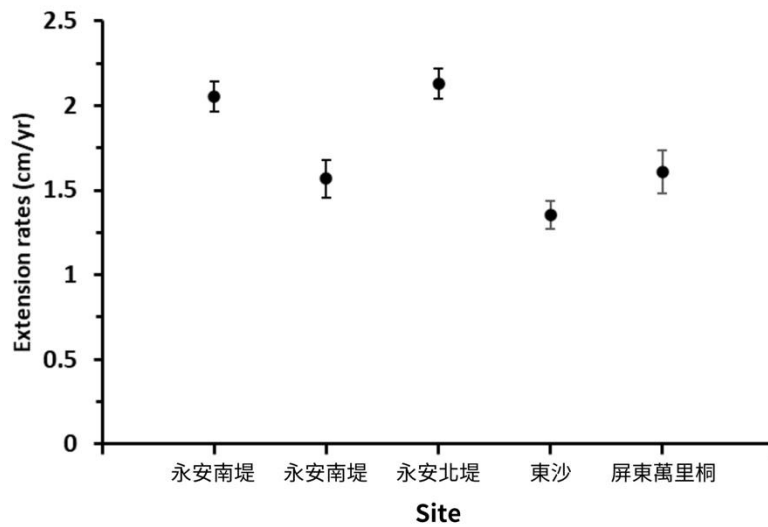


圖 4-26. 永安天然氣接收站港內 南堤、東堤、北堤的微孔珊瑚骨骼拓展速率與東沙及屏東萬里桐地區的比較。誤差線為標準誤差。

(2) 永安天然氣接收站港內珊瑚白化發生情形

2024 年 10 月調查永安天然氣接受站港內的南堤、東堤和北堤消波塊上原生珊瑚的白化狀況，分成兩個深度（淺區：1 至 2 公尺；深區：3 至 4 公尺），比較珊瑚的覆蓋率和白化的比例。調查結果顯示，淺區的珊瑚平均覆蓋比例為 $64.6\% \pm 5.38\%$ ，深區為 $64.0\% \pm 6.49\%$ ，差異不大（圖 4-27），珊瑚白化的比例分別為淺區 $42.7\% \pm 9.71\%$ ，在深區為 $21.0\% \pm 13.39\%$ （圖 4-28），兩個深度差別顯著（Mann-Whitney Rank sum test），以淺區珊瑚白化的比例比較高。

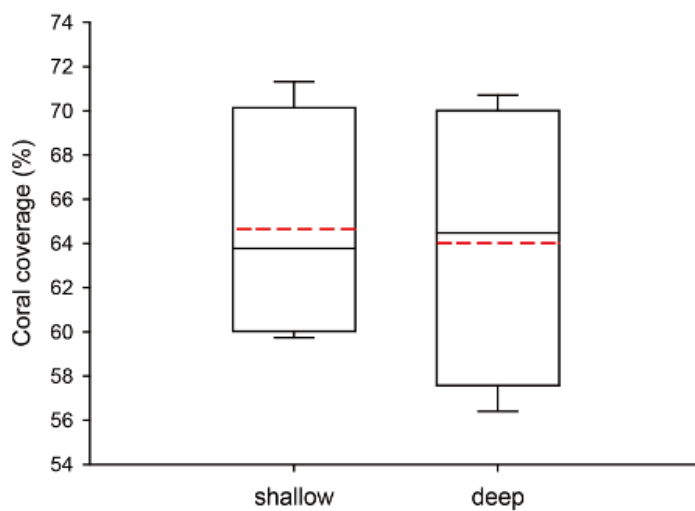


圖 4-27. 永安天然氣接收站港內不同深度的珊瑚覆蓋率變化。紅色虛線代表平均值。（shallow 的水深介於 1 至 2 公尺，deep 的水深介於 3 至 4 公尺）。

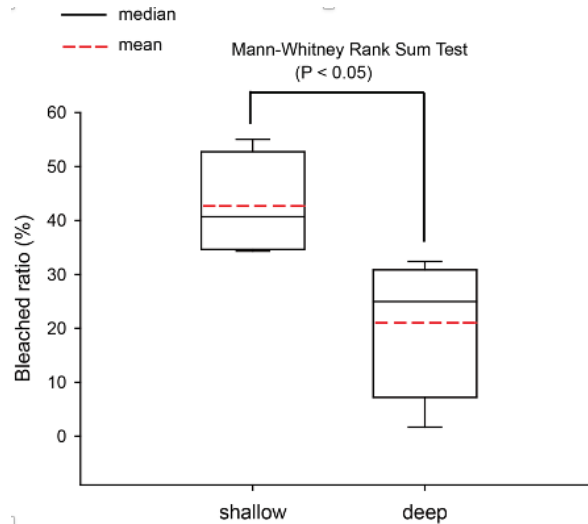


圖 4-28. 永安天然氣接收站港內不同深度的白化珊瑚所佔的比例。紅色虛線代表平均值。（shallow 的水深介於 1 至 2 公尺，deep 的水深介於 3 至 4 公尺）。

4-7. 大潭藻礁柴山多杯孔珊瑚移植馴養結果

本研究於 2024 年 6 月 5 日在大潭藻礁採集三株可能受環境影響而面臨生存風險的柴山多杯孔珊瑚，編號分別為 G2-3-19A（圖 4-29）、G2-3-1A（圖 4-30）、G2-3-18（圖 4-31），這些珊瑚來自可能被沉積物覆蓋、水位過淺導致曝曬風險，或礁體結構已經不穩定的區域。為確保採集合法性，本研究依循海洋保育署的規範，所採集的珊瑚尺寸皆控制在 30 平方公分內。在大潭藻礁的採集作業中，本團隊於找到目標珊瑚後，皆進行採集前與採集後的影像記錄，確保採集標的的完整性與尺寸符合規範（圖 4-29 至圖 4-31）。採集過程使用鑿子與鐵鎚，小心地將珊瑚自礁體上分離，並確保不影響周邊的珊瑚生長。若周圍有零星的小型珊瑚個體，亦會一併收集，帶回永安天然氣接收站 進行馴養與後續研究。

大潭藻礁的柴山多杯孔珊瑚被馴養在第一組平台下的養殖籃中，觀察結果顯示，G2-3-19A 在移植後不久開始出現珊瑚體變白與部分死亡的現象，至 2025 年 1 月時，其珊瑚蟲幾乎完全死亡，且珊瑚結構已被沉積物覆蓋（圖 4-33）。相比之下，G2-3-1A 與 G2-3-18 在 2024 年 12 月時仍可見存活的珊瑚組織，但到了 2025 年 1 月，兩株珊瑚亦不明原因幾乎全數死亡。然而，在最近一次的 2025

年 2 月 26 日的觀測中，G2-3-1A 與 G2-3-18 珊瑚的珊瑚蟲組織又再次長回，顯示柴山多杯孔珊瑚的生長與存活變化極為迅速，可能受環境條件的影響而產生動態變化（圖 4-32、圖 4-33）。

此外，在 2024 年 12 月 20 日調查時，在第一組珊瑚養殖平台上養殖籃的邊框上記錄到新附苗的珊瑚，亦即該株珊瑚群體在 5 個月內即長至 3.5 公分（圖 4-34），初步判斷可能是 *Cladopsammia* sp. 或 *Culicia* sp.。

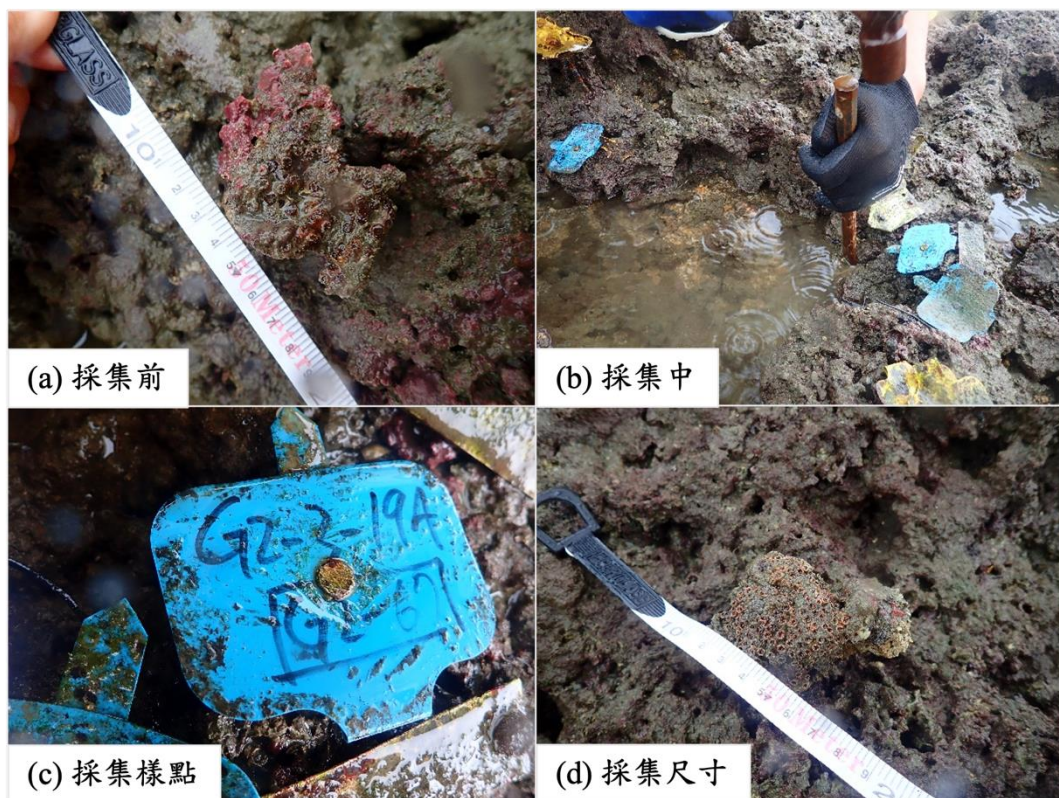


圖 4-29. 柴山多杯孔珊瑚（編號 G2-3-19A）採集過程。

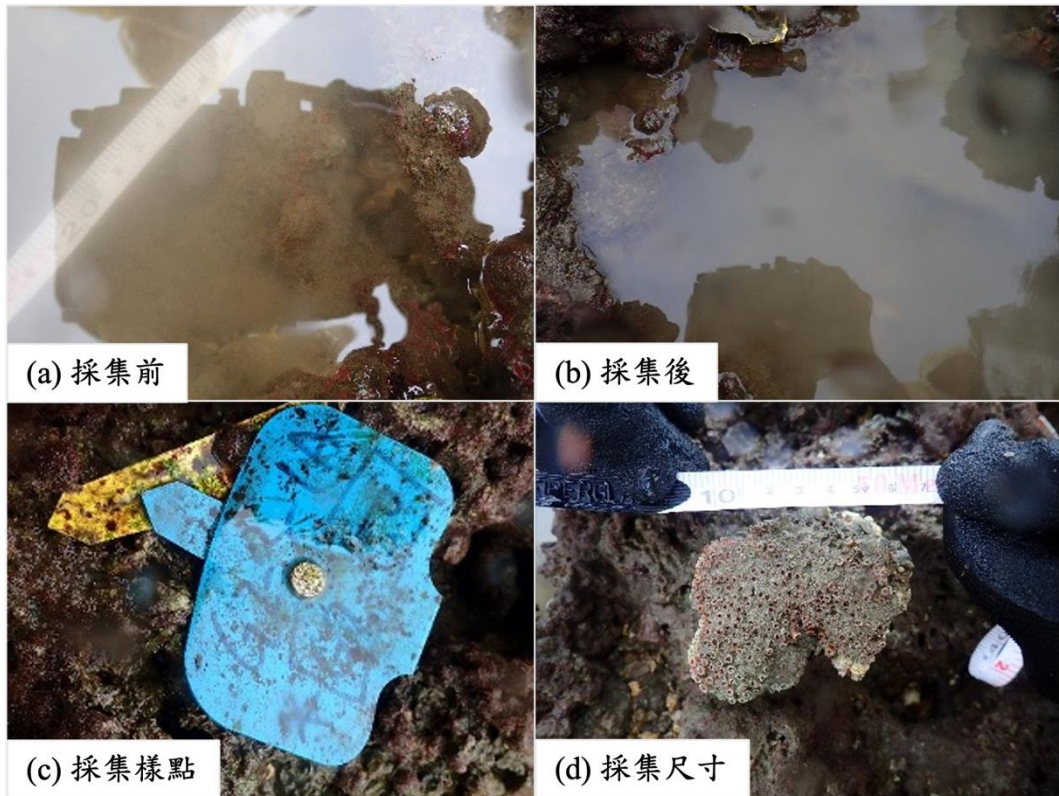


圖 4-30. 柴山多杯孔珊瑚（編號 G2-3-1A）採集過程。

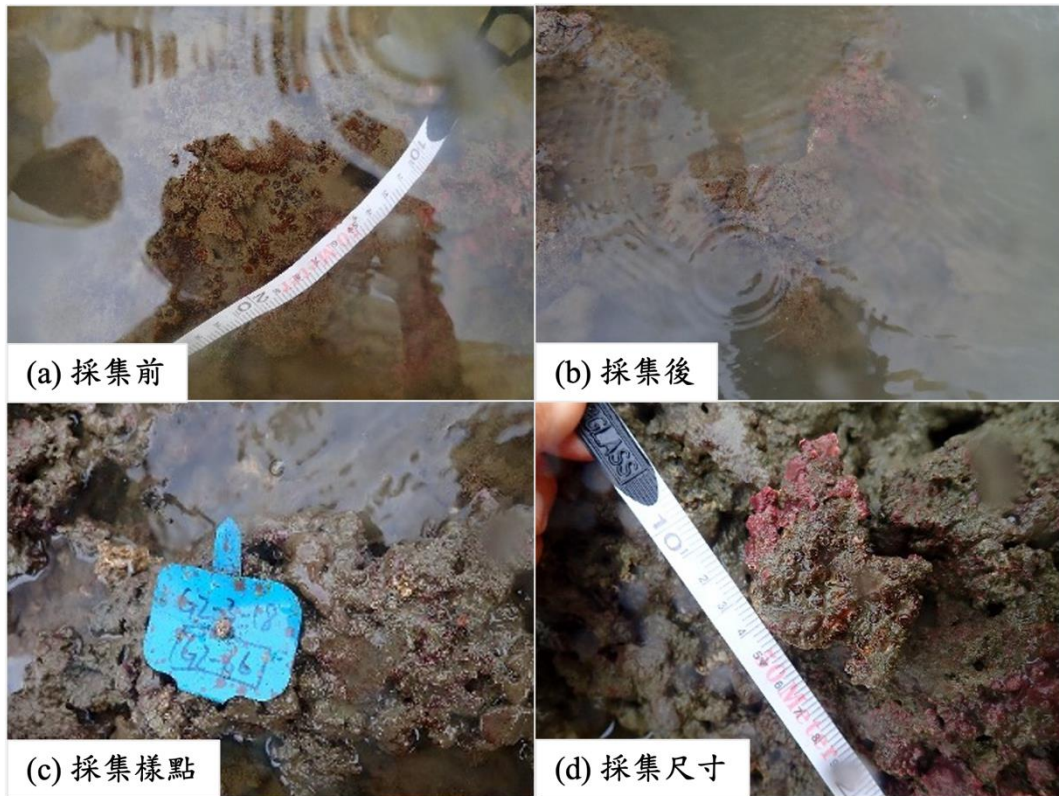


圖 4-31. 柴山多杯孔珊瑚 (編號 G2-3-18) 採集過程。

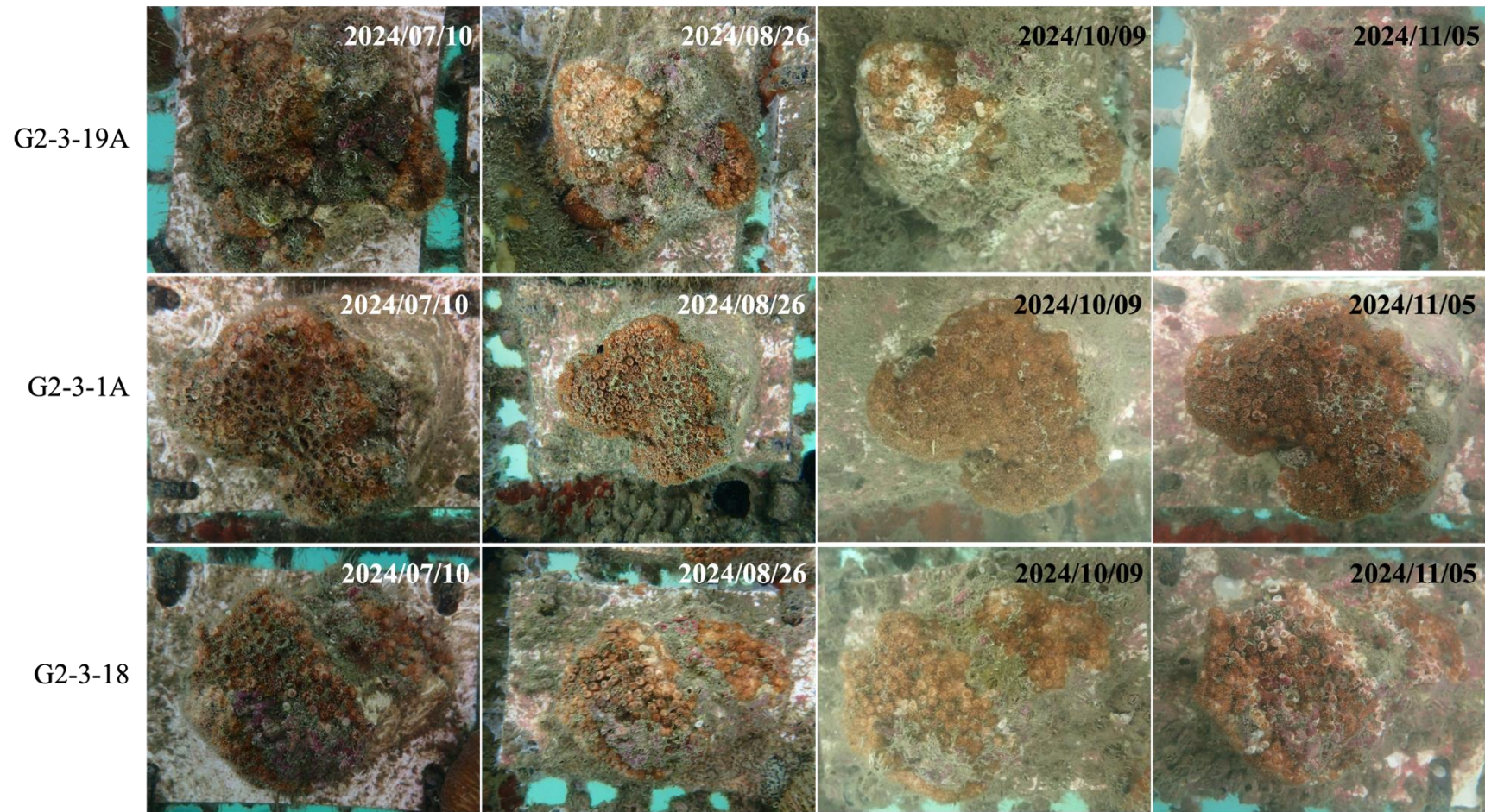


圖 4-32. 柴山多杯孔珊瑚移植後生長情況。珊瑚為 2024 年 7 月 10 日移入移入第一組珊瑚養殖平台內，後續分別在 2024 年 8 月、10 月以及 11 月進場觀測，評估期移植後生長情況。

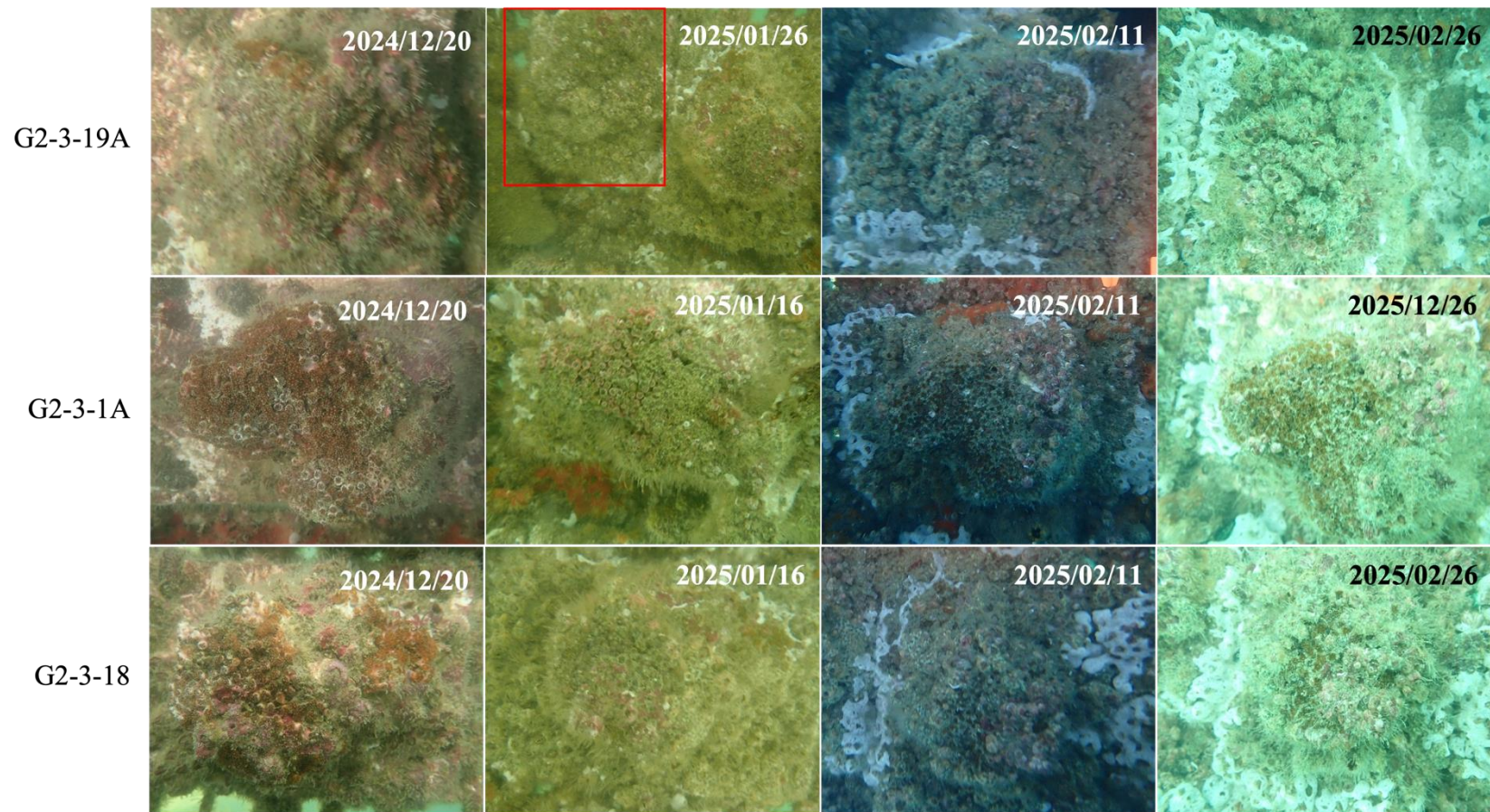


圖 4-33. 第一組珊瑚養殖平台內柴山多杯孔珊瑚自 2024 年 12 月 20 日至 2025 年 2 月 26 日生長狀態。

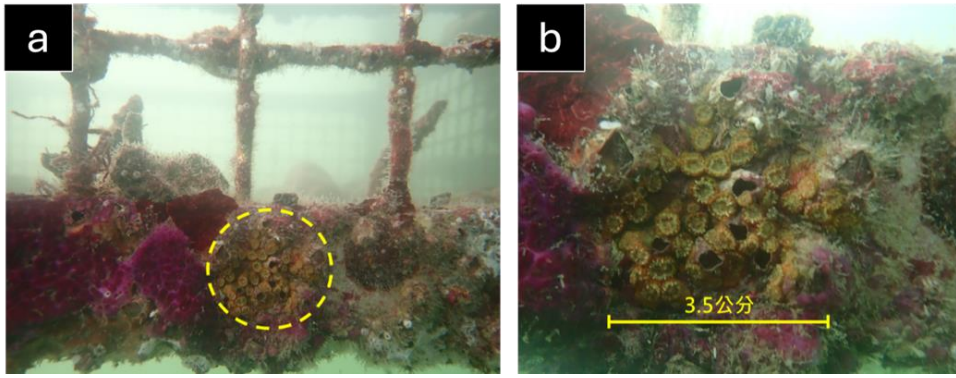


圖 4-34. 珊瑚養殖平台內珊瑚養殖籃的框邊找到新附苗的珊瑚。(a)養殖籃框邊情形；(b)該珊瑚近照。影像拍攝於 2024 年 12 月 20 日。

第5章 綜合討論

5-1. 珊瑚採集及養殖方法

在此計畫中，本團隊從跟主管機關申請採集許可，到野外實際採集珊瑚樣本以及和永安天然氣接收站廠方，累積了許多溝通及執行任務經驗。從珊瑚方舟計畫保種的觀點，我們在乎的是珊瑚種類的數目，然而在執行上，會遇到下列議題而使採集計畫有些限制，包括（1）主管機關須考量多方面的意見和觀感，像若是在潛水客較多，或者生態保護區進行珊瑚採集，因為採集方式是以鐵鎚、鑿子敲下珊瑚，這樣採集方式通常會被要求盡量避開人潮眾多的地點，以免造成公共觀點不佳，另一個生態保護區則是希望不要採集過多的珊瑚，因而限制採集珊瑚數量；（2）若改以撿珊瑚為主的採集方式，會遇到工作的季節和珊瑚的種類上有限制，在颱風過後採集珊瑚，其健康狀況會較難掌握。整體來說，這些經驗對於未來持續進行珊瑚移植計畫是相當助益，更有效率地執行珊瑚方舟保種的構想。

（表 5-1）

珊瑚的採集時機大部分是自然界在災難發生時，例如颱風侵襲或者發生珊瑚大白化之際，都會造成珊瑚的受損面積或死亡數量龐大，且大多時候是不可逆的死亡。尤其是珊瑚大白化時，影響的範圍遠超過颱風橫掃珊瑚礁所帶來的影響，且種類與深度也非颱風可以比擬。颱風經過的區域會隨著水深越深，而影響越小 (Hughes and Connell, 1999)。但在全球暖化的影響之下，因海水升溫，即便分佈於水深十公尺的珊瑚都有可能白化。即使水深能做為其中一種庇護所，但對於一些對熱較敏感的珊瑚來說，恐怕是無法避免白化的風險。此外，Eyal 等人(2022)研究指出，中光層的珊瑚更容易面對珊瑚白化的壓力，過去其生長環境不會有白化的風險，但隨著全球氣候改變，中光層的珊瑚對熱沒有抵抗力、耐受性差，在未來也是需要被持續關注的群體。

表 5-1. 徒手採集珊瑚和工具採集珊瑚的採集方式比較 (*表示優勢)

層面\比較	徒手採集珊瑚	工具採集珊瑚
種類多樣性	少，枝狀珊瑚為主	多*
適合季節	颱風過後，或受珊瑚礁區受物理侵襲後	沒限制*
珊瑚健康狀況	珊瑚狀態不一致	可選擇狀況較好的珊瑚*
申請許可	比較容易*	限制比較多

設置第一組珊瑚養殖平台的過程中發現了一些問題，例如 (1) 設置工程浩大，雖然適合利用平台進行實驗，但是若要放大尺度，增加浮動平台數目，則成本較高，(2) 單位規模大，風險集中，設計複雜，一旦要移動位置，需牽涉到多根纜繩的移動，(3) 浮在水面上會累積海漂垃圾，雖然有魚礁效果可以吸引魚群聚集，但上方的浮動平台同時也吸引漁民靠泊。為了解決上述問題，第二組平台設計了水下的懸浮架 (圖 4-3)，基本上利用單根繩索固定在纏繞在消波塊上的鐵鍊，後上繫浮球，使珊瑚懸浮架會漂浮在水層中，遠離有泥沙的海底。懸浮架的單位大小或者養殖珊瑚的水深可以隨需要時進行調整 (表 5-2)。

表 5-2. 珊瑚養殖平台和懸浮架比較 (*表示優勢)

項目\比較	珊瑚養殖平台	懸浮架
浮力來源	72 個浮筒	單一浮球
深度	平台位於水面 / 珊瑚籃設置於水下 2 公尺處	整體設施皆位於水面下，懸浮架設置於水下 2~4 公尺之間
水平移動位置	複雜 (因具有 8 個固定點)	簡單 (因僅有單一固定點)*

珊瑚所在水深是否受潮汐影響而改變	不會	會隨潮汐變化所在深度
單位面積	大 (≥4 x 4 平方公尺)	小 (<1 x 1 平方公尺) *
單位成本	高 (材料費 > 15 萬/單位)	低 (材料費\$2000/單位) *
後續調整困難程度	一次設置完後難以大幅度調整	可以多次調整，包括離水高度、珊瑚架的位置*
衍生問題	(1) 漂流垃圾堆積 (2) 漁民使用養殖平台 (3) 防撞碰墊被拿走 (4) 繩索斷裂會撞消波塊或海堤	下方繩索斷裂，裝置會浮出水面
單珊瑚	固定在板上後，固定在架子上	有柵欄的養殖框架可以直接馴養 (圖 4-3)

2025 年 1 月，從野外移到永安天然氣接收站港內海域的珊瑚僅剩 12 株珊瑚於第一組平台下的養殖籃中，大部分是以懸浮式懸浮架的方式進行馴養，正規劃未來將把第一組平台的珊瑚移動至懸浮架上。因為從 2024 年 12 月開始注意到第一組平台中的珊瑚開始被附著生物以及懸浮物覆蓋，移植進來的珊瑚開始出現部分死亡，直到 2025 年 1 月正式確定珊瑚大規模受到影響，移植進入的 94 株珊瑚中 (截至 2024 年 10 月計算，表 4-1)，已有 82 株珊瑚死亡。影響珊瑚生長的因素除了高水溫外，高沉積速率或低光度環境也考驗珊瑚的存活，且不同的珊瑚種類也會有耐受度的差異，並影響著珊瑚的生長 (Rogers, 1990)。據 2023 年 6 月的光度調查，夏季時永安天然氣接收站港內水深兩公尺的光度約水表面光度的 50%，而冬季時的光日照時間或強度短且弱於夏季，不利於珊瑚生長。永安天然

氣接收站港內的光度已經較低，加上大面積的珊瑚養殖平台，遮掉了更多的日光，推測此為造成第一組平台的珊瑚在冬天死亡的原因。

珊瑚採集結果的部分，與原本永安天然氣接收站港內現地珊瑚重複的種類共 27 種，目前總計有 177 種珊瑚存活在永安天然氣接收站港內中，未來將考慮採集在野外容易受溫度影響的珊瑚，和以臺灣命名的種類（臺灣表孔珊瑚、臺灣側萼珊瑚）、保育類福爾摩沙偽絲珊瑚等，同時增加永安天然氣接收站港內的珊瑚種類數量，利用目前懸浮架的養殖方式，使珊瑚可以在合適的水深中存活。夏季時，可以將珊瑚所在水深調整至 3 到 4 公尺間，避免強光照射；冬季時，可以將懸浮架的高度調整成 1 至 2 公尺間，確保珊瑚能有足夠的光線可以利用。後續規劃將持續採集不同種類的珊瑚，增加永安天然氣接收站港內珊瑚的多樣性，豐富港內的生態系，同時更能了解哪些種類的珊瑚適合移植至接收站內。

由於我們發現第一組平台的珊瑚養殖框有入添新的珊瑚，未來亦可以考慮佈放附苗板，了解永安天然氣接收站港內棲地的珊瑚入添情況，或者藉由觀察野外小個體的族群（珊瑚尺寸小於 5 公分）是哪些珊瑚，與現地珊瑚進行比較，探討整個珊瑚族群的動態(Miller et al., 2000)，了解哪類珊瑚是適合存活於這類型的棲地環境，對於後續移植進永安天然氣接收站的策略有所幫助這部分在未來也可以持續探討及試驗。此外，在永安天然氣接收站港內的養殖珊瑚的經驗，也可以嘗試應用在臺灣其他具備消波塊及海堤的港口。根據宋（2023）的調查顯示，臺灣西部海岸珊瑚調查發現，若棲地類型僅有消波塊，沒有像港口邊阻擋風浪侵蝕的海堤，則尺寸較大的珊瑚難以固著於底質上，珊瑚幾乎為平鋪式的型態，推測是因為風浪會將尺寸大的珊瑚破壞(Adjeroud, 1997; Adjeroud et al., 2007)，且珊瑚種類單一，多為微孔珊瑚屬及角星珊瑚屬這類較耐高溫及混濁水體的珊瑚(Halford et al., 2004)。此外，有水平空間的棲地類型也相當重要，據野外的觀察，若棲地僅有垂直面，則珊瑚也僅能以平鋪式的方式生長，珊瑚成長變得立體時，則難以固著於垂直壁上，因此人工棲所若能擁有（1）較穩定且避風浪的環境和（2）水平生長空間，則珊瑚則有機會附苗及形成珊瑚群落。Becker 和 Mueller(2001)也曾

比較三種方式（水族缸、開放式海域及珊瑚礁區）進行珊瑚移植後的養殖，發現在封閉水族缸內容易遇到疾病問題，若是開放式海域像是沿岸，則會有水溫動盪大、沉積物多或人為漁具纏繞，而天然珊瑚礁區則有固定珊瑚的方法須要嚴格檢視，因此在野外少人為干擾的半封閉海域是目前珊瑚養殖成功率最高的方法。

5-2. 遮光實驗

為了瞭解在高水溫的珊瑚是否可以因為環境食物充足或者光度低的情況下，而有較佳的耐熱反應，本實驗利用了 BTI₃₀ 做為參考數值，在實驗室結果顯示：

（1）光度的強弱對於特定種類珊瑚有影響（簡單軸孔珊瑚、萼形柱珊瑚），對於平鋪狀或團塊狀的珊瑚並無顯著影響；（2）食物充足的環境對於珊瑚並未發現較能耐高溫，各種珊瑚並不會因為有餵食而較不易白化。從圖 4-5 至圖 4-7 實驗中結果可以看出對於迷紋珊瑚、維氏腦紋珊瑚和微孔珊瑚來說，食物充裕或者光度都不是使其白化的原因。但對於軸孔珊瑚和萼柱珊瑚來說，光度可能是影響其白化的其中因素之一，同時亦推測遮光／低光度，對永安天然氣接收站港內的枝狀珊瑚可能有保護力，而目前並無相關結果或研究，需要進一步驗證。過去許多研究已證實枝狀珊瑚類對於熱較為敏感，是因為其共生藻多為 Clade C，雖然能提供較高的光合作用產能，但遇到高溫時也較容易離開珊瑚。然而，我們觀察到永安天然氣接收站內現軸孔珊瑚屬物種為主要的優勢種類，這也代表永安天然氣接收站有特別的優勢，可以使這些易受溫度影響的珊瑚妥善存活，可能的假設包括（1）永安港內的濁度降低環境光度、（2）枝狀珊瑚不以 Clade C 為主，而是 Clade D、（3）枝狀珊瑚所在水深比其他團塊型的珊瑚來得較深，具有保護效果。另外，這與 Loya 等人 (2001) 於 1998 年全球規模珊瑚大白化後，調查日本琉球的珊瑚白化與復原情況，他們發現平鋪狀與團塊狀的珊瑚都比枝狀的珊瑚不易白化，而且復原速度快。推測此與珊瑚組織厚度有非常高的相關性，平鋪狀與

團塊狀的珊瑚組織都比較厚（大於 3 毫米），而枝狀珊瑚的組織厚度都在 1 至 2 毫米之間，與本次實驗的結果符合。

永安天然氣接收站原先是河口地形，營養來源會比正常珊瑚礁區來得高，經穩定碳氮同位素的驗證，永安天然氣接收站港內的珊瑚是以異營方式生存，以環境中的浮游生物為食，但環境中食物充裕似乎不是造成珊瑚較不易白化的主因，而是生活的水層深度及光度。

從野外實驗的部分探討，野外觀察到不同深度的珊瑚，水深四公尺的珊瑚其白化的比例顯著比水深兩公尺的珊瑚較低（圖 4-28），以光度資料顯示，在水深四公尺的地方光度相較於兩公尺者又減少了 20% 的光度，此與 van Woessik 等人 (2012) 觀察過濁度高、光度低的區域結果相似，其珊瑚白化比例也較低，此種類型的棲地有成為高水溫、高光度下的庇護所之機會。

本研究將濁度高的想法應用在野外的現地珊瑚遮光，表 4-5 的結果顯示，珊瑚的狀態（健康或白化）的比例與是否遮光有顯著相關，從資料可看出有遮光珊瑚白化比例較低，以上的現象提供我們了解若水體中的光度降低時，對於珊瑚面對高溫時，可以減少其珊瑚白化程度。但以遮蔽光線對延緩珊瑚白化的效果要視珊瑚種類而定，以實驗室遮光實驗的結果來看，簡單軸孔珊瑚和萼柱珊瑚會因為光度較低而相較不易白化，故遮光對此兩種珊瑚來說可能會有幫助。雖然文獻上顯示，餵食會讓珊瑚比較不易白化 (Lyndby et al., 2019)，但餵食的效果似乎跟珊瑚對異營營養的依賴高低有關 (Grottoli et al., 2006)，對異營營養來源依賴高的珊瑚種類，其受熱白化的難易會受到有無餵食比較明顯的影響。

根據永安天然氣接收站港內採集的珊瑚骨骼 X 光分析，我們並未觀察到壓力條帶的存在。雖然 2024 年夏季水下溫度計經常記錄到超過 30°C 的高水溫，且我們也在野外觀察到珊瑚白化現象，但經過秋季和冬季的恢復期後，2025 年 2 月的正式調查測結果顯示，該區域並未出現大規模珊瑚死亡現象。這一發現表明永安天然氣接收站港內珊瑚在此次白化事件中受影響有限。然而，我們仍需要謹慎看待這一結果，這並不意味著未來珊瑚白化現象不會再次發生或不會導致更嚴重

的後果。永安天然氣接收站港內的深區和淺區，雖然只有 2 公尺的深度差別，但是在珊瑚白化的比例上，卻有明顯的差別，這個結果有應用在珊瑚方舟上的價值，也就是說從外面移進來的珊瑚，應該優先部署在 3 至 4 公尺水深，最後，至於造成現地珊瑚白化差別的原因是溫度還是光度？目前的資料並沒有辦法回答。

5-3. 永安天然氣接收站港內光度及水溫分層影響珊瑚養殖部署的深度

根據光度及水溫分層調查結果來看，影響我們安排移植珊瑚時，馴養珊瑚時的深度考量，以各個水深進行討論：（1）接近水面（0~1 公尺水深）顯然是溫度最高的地方，再加上光度最強，不應該考慮將珊瑚馴養於此深度；（2）2 公尺水深，白天的水溫明顯比 0~1 公尺的水面溫度低，光線降低 50% 左右，比較起水面，已經有明顯的改變；（3）4 公尺水深，比起水面和 2 公尺水深白天的水溫又更降低，光線降低到 30%；（4）6 公尺水深水溫仍然小幅下降，光線降低到水面的 10% 以下。從避免珊瑚白化的角度，值得實際來測試比較 2 公尺和 4 公尺兩組深度，在這兩個深度永安天然氣接收站港內的消波塊上都天然附著生長的珊瑚，至少牠們在這些狀況下生存並沒有問題。

從 2022 年及 2024 年的水溫資料來看每年最熱的季節是出現在 6~9 月之間，但仍會受到颱風的影響（2024 年共 3 個颱風經過高雄海域）。颱風造成海水攪動，使得深度分層發生變化，另外降雨也有可能打斷溫度在夏天持續升高的趨勢。目前我們對大規模珊瑚白化現象的理解是高水溫的持續累積，以臺灣海域來說，若在水溫高的季節有西南氣流或者颱風經過，亦可減緩現地珊瑚白化的風險。

冷卻水比較重，向下沉是物理現象。理論上，當然可以設法讓冷水分散，設法延長留在淺水域的時間，進而降低水面附近的水溫，但是這項工作需要硬體的設置，牽涉複雜，並非本計畫所能包含。冷卻水在排水溝中由於快速流動的關係，不會分層，深淺的溫度趨向一致，在不影響接收站運作的安全前提下或許值得未來探討如何加以利用，來安置珊瑚方舟計畫中的珊瑚。

總結來說，水體的混濁度可能可以幫助區域的珊瑚減緩白化情況(Teixeira et al., 2019; van Woesik et al., 2012)，因為水體的懸浮物可以反射光線，使得輻射降低，珊瑚的白化比例也會下降，常出現於近岸的珊瑚礁區中(Golbuu et al., 2007; Wanger et al., 2010)，永安天然氣接收站港內位在臺灣西部沿岸，水體屬於高懸浮物性質，雖然懸浮物會覆蓋在珊瑚體上，但因永安天然氣接收站港內的天然氣船進出港內頻繁，水體攪動大，懸浮物經常性的擾動，所以在野外觀察時也鮮少發現因懸浮物覆蓋而死亡的珊瑚群體。儘管永安天然氣接收站港內不屬於典型的珊瑚礁棲地類型，沒有清澈透明水體，而是充滿懸浮漂沙及浮游生物的水體。但在此情況下，過去調查永安天然氣接收站港內南堤的珊瑚覆蓋率也達到至少 30% (宋，2023)，且未有珊瑚白化大量死亡情形，珊瑚是能夠確實存活此環境中，而同時永安天然氣接收站港內確實能夠提供重要的遮蔽，讓珊瑚免於被大浪侵襲，作為一個穩固的庇護所，在此建議未來能夠持續養殖不同種的珊瑚，及持續監測永安天然氣接收站港內的水文特性，分析水體性質，包括溫度、光度、營養鹽濃度變化及監測水體濁度，作為珊瑚方舟計畫的重要背景資訊。

第6章 結論與建議

在過去的調查中，已知永安天然氣接收站港內珊瑚種類已達 130 種(宋, 2023)，是為在臺灣西海岸泥沙岸棲地類型下，目前觀察到最多珊瑚種類的地點；然而，本研究為了深入了解永安天然氣接收站是哪些優勢提供珊瑚棲所，以及是否能作為合適的珊瑚方舟選項，以下將分項進行總結：

1. 被移植的珊瑚適合存活在永安天然氣接收站嗎？

- (1) 以本團隊設置兩組珊瑚方舟的結果來看，第一組珊瑚養殖平台珊瑚從 2024 年 5 月移進港內開始馴養，到 2024 年 10 月存活率為 90.4%，到 2025 年 1 月時存活率僅剩 12.7%；另一組平台因設置時間較短，從 2024 年 11 月移進後，到 2025 年 1 月，存活率為 100%，需要持續觀察。
- (2) 珊瑚移植進永安港內後，其養殖設施/架子都需要定時清理（本團隊是每月進港清理，可參考附件二），**建議未來仍須定期清理附著在架子上的附著生物和沉積物盡可能的清除，避免覆蓋於珊瑚之上導致死亡。**
- (3) 以移植進來的珊瑚來看，萼珊瑚類、盤星珊瑚屬、角菊珊瑚屬、細星珊瑚屬，目前較為適應永安天然接收站的環境，珊瑚生長狀況良好，**建議未來可以朝這些種類的珊瑚進行移植，增加港內珊瑚種類的豐富度。**
- (4) 但有觀察到移植進港的鹿角珊瑚屬較容易死亡，此部分需要再釐清是運送環節導致珊瑚變得脆弱，還是永安港內的環境不適合鹿角珊瑚生長，**建議未來可以用其他方式運送鹿角珊瑚，或者調整鹿角珊瑚的環境水深，提供更充分的陽光。**
- (5) 由於第一組平台下的珊瑚僅剩 12 株，本團隊將盡速把珊瑚移植懸浮架上進行馴養，未來將以懸浮式的方式養殖珊瑚，並且每月記錄各株珊瑚的狀態。

2. 永安天然氣接收站的環境能使珊瑚較不易白化嗎？

- (1) 以野外的觀察結果來說，永安天然氣接收站港內的水深 2~4 公尺的現生珊瑚確實會白化，但白化後卻沒有大量死亡，所以我們在珊瑚岩心中並未發現明顯的壓力條帶。
 - (2) 在野外設置遮光布對永安天然氣接收站現地珊瑚進行遮光，減緩珊瑚白化確實有幫助，遮光布的架設過程並不困難，但是尺度有限，若想要以本研究中的方法，模組化到各地則會花費相當大的成本，且考慮到臺灣屬於西南氣流、颱風常經地帶，建議可以研究其他更有效益及穩固的方式進行遮光，減緩珊瑚受到高溫、高強光的影響。
 - (3) 本團隊所設置的第一組平台，有經歷過 2024 年永安的夏、秋季節，其高水溫並未造成珊瑚的白化及死亡，推測是浮動平台的架設也為平台下的珊瑚遮蔽些許光線，使其珊瑚免於白化。每年六月開始，
 - (4) 每年六月開始，永安天然氣接收站港內的水溫逐漸上升，整個夏季幾乎都處在超過 31°C 的水溫中，永安港內的冷排水對於整體環境並未提供幫助，冷水沉在海底（水深超過 10 公尺），永安港內的石珊瑚所棲息的範圍約水深 7 公尺左右，故無法使用到冷排水的優勢。
 - (5) 永安天然氣接收站獨特環境則是水體混濁，水中的懸浮物對於珊瑚的存活有相當程度的影響，過多的懸浮物會覆蓋在珊瑚體上，容易造成珊瑚蟲部分死亡，但清除效率好的珊瑚，就能適應永安港內的環境；永安水體混濁的特性，可以減緩強光對珊瑚的影響，珊瑚白化的程度和時間會相較於能見度好的珊瑚礁區小。
 - (6) 建議未來監測永安港內的水溫、水體濁度，或者架設沉積物收集器，以了解永安水文特性。
3. 在第一組珊瑚養殖平台下的珊瑚養殖籃框旁，發現新生珊瑚。
- (1) 其新生珊瑚長的與宋（2023）在永安南堤、沉澱池內的珊瑚相像，但本團隊認為此珊瑚並非柴山多杯孔珊瑚，有可能是 *Cladopsammia* sp.

或 *Culicia* sp.，其珊瑚在永安港內常見，建議未來進行珊瑚採樣，以了解是哪種珊瑚。

- (2) 此珊瑚的發現，引起本團隊的注意，永安港內現生珊瑚共有 130 種，但僅有發現這種珊瑚的附苗，那其他種類珊瑚的幼生呢？建議未來可以考慮放置附苗板，或者調查現地的小珊瑚(珊瑚體尺寸小於 5 公分)，紀錄其種類和數量，了解永安港內珊瑚入添之情況。

本研究計畫總結

1. 永安天然氣接收站其環境特殊，擁有延伸出去的海堤保護港內的珊瑚免於風浪影響，其水體混濁亦可幫助珊瑚減緩白化死亡的風險。
2. 本團隊已建立珊瑚採集及養殖的標準流程，其方法能適用在臺灣各地進行珊瑚採集，並且順利運送至目標地點以利馴養。
3. 本團隊在野外所架設的珊瑚養殖平台、水下的懸浮架，可以挺過西南氣流、颱風及東北季風，確保珊瑚不會因養殖設備毀損而死亡。
4. 為了使永安天然氣接收站能成為珊瑚保種基地，建議長期監測永安港內水溫、濁度、營養鹽等參數，了解永安水文特性以利調整為來珊瑚養殖策略。

參考文獻

- 宋克義 (2023) 臺灣西部海岸兩種保育類珊瑚調查。成果報告。臺灣中油股份有限公司。
- 黃湘倫 (2019) 為什麼微孔珊瑚是東沙環礁中最大的團塊狀珊瑚。碩士論文。國立中山大學。
- Adjeroud, M. (1997). Factors influencing spatial patterns on coral reefs around Moorea, French Polynesia. *Marine Ecology Progress Series*, 159, 105-119.
- Adjeroud, M., Pratchett, M. S., Kospartov, M. C., Lejeusne, C., & Penin, L. (2007). Small-scale variability in the size structure of scleractinian corals around Moorea, French Polynesia: patterns across depths and locations. *Hydrobiologia*, 589, 117-126.
- Anthony, Kenneth RN, Sean R. Connolly, and Ove Hoegh-Guldberg. (2007). Bleaching, energetics, and coral mortality risk: Effects of temperature, light, and sediment regime. *Limnology and oceanography*, 52(2), 716-726.
- Baumann, J. H., Bove, C. B., Carne, L., Gutierrez, I., and Castillo, K. D. (2021). Two offshore coral species show greater acclimatization capacity to environmental variation than nearshore counterparts in southern Belize. *Coral Reefs*, 40(4), 1181-1194.
- Baker, Andrew C., Peter W. Glynn, and Bernhard Riegl. (2008). Climate change and coral reef bleaching: An ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook. *Estuarine, coastal and shelf science*, 80(4), 435-471.
- Berkelmans, Ray, and Madeleine JH Van Oppen. (2006). The role of zooxanthellae in the thermal tolerance of corals: a ‘nugget of hope’ for coral reefs in an era of climate change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273(1599), 2305-2312.
- Bryant, D. E. P., Rodriguez-Ramirez, A., Phinn, S., González-Rivero, M., Brown, K. T., Neal, B. P., ... and Dove, S. (2017). Comparison of two photographic methodologies for collecting and analyzing the condition of coral reef ecosystems. *Ecosphere*, 8(10), e01971.
- Bythell, J. C., Brown, B. E., and Kirkwood, T. B. (2018). Do reef corals age? *Biological Reviews*, 93(2), 1192-1202.
- Cacciapaglia, C., and van Woesik, R. (2016). Climate-change refugia: Shading reef corals by turbidity. *Global change biology*, 22(3), 1145-1154.
- Cantin, N. E., Cohen, A. L., Karnauskas, K. B., Tarrant, A. M., & McCorkle, D. C. (2010). Ocean warming slows coral growth in the central Red Sea. *Science*, 329(5989), 322-325.
- Cantin, N. E., and Lough, J. M. (2014). Surviving coral bleaching events: *Porites* growth anomalies on the Great Barrier Reef. *PloS one*, 9(2), e88720.

- Cohen, A. (2019). Hope for coral reefs. *Nature*, 575, 2021.
- Comte, A., and Pendleton, L. H. (2018). Management strategies for coral reefs and people under global environmental change: 25 years of scientific research. *Journal of Environmental Management*, 209, 462-474.
- DeCarlo, T. M., Cohen, A. L., Wong, G. T., Davis, K. A., Lohmann, P., and Soong, K. (2017). Mass coral mortality under local amplification of 2°C ocean warming. *Scientific reports*, 7(1), 44586.
- Donner, S. D., Rickbeil, G. J., and Heron, S. F. (2017). A new, high-resolution global mass coral bleaching database. *PloS one*, 12(4), e0175490.
- Eyal, G., Laverick, J. H., Ben-Zvi, O., Brown, K. T., Kramer, N., Tamir, R., ... & Pandolfi, J. M. (2022). Selective deep water coral bleaching occurs through depth isolation. *Science of the Total Environment*, 844, 157180.
- Fabricius, K. E., Cséke, S., Humphrey, C., and De'ath, G. (2013). Does trophic status enhance or reduce the thermal tolerance of scleractinian corals? A review, experiment and conceptual framework. *PloS one*, 8(1), e5439
- Ferrier-Pagès, C., Hoogenboom, M., & Houlbrèque, F. (2011). The role of plankton in coral trophodynamics. *Coral reefs: An ecosystem in transition*, 215-229.
- Fox, M. D., Williams, G. J., Johnson, M. D., Radice, V. Z., Zgliczynski, B. J., Kelly, E. L., ... & Smith, J. E. (2018). Gradients in primary production predict trophic strategies of mixotrophic corals across spatial scales. *Current Biology*, 28(21), 3355-3363.
- Frieler, K., Meinshausen, M., Golly, A., Mengel, M., Lebek, K., Donner, S. D., & Hoegh-Guldberg, O. (2013). Limiting global warming to 2 °C is unlikely to save most coral reefs. *Nature Climate Change*, 3(2), 165–170.
- Golbuu, Y., Victor, S., Penland, L., Idip, D., Emaurois, C., Okaji, K., ... and Van Woessik, R. (2007). Palau's coral reefs show differential habitat recovery following the 1998-bleaching event. *Coral reefs*, 26, 319-332.
- Grottoli, A. G., Rodrigues, L. J., & Palardy, J. E. (2006). Heterotrophic plasticity and resilience in bleached corals. *Nature*, 440, 1186–1189.
- Guy, A. (2023). Ecosystem Reboot: How scientists are building an inside-out Noah's Ark for Florida's vanished coral reefs. Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology.
- Hagedorn, M., Carter, V. L., Henley, E. M., Van Oppen, M. J., Hobbs, R., and Spindler, R. E. (2017). Producing coral offspring with cryopreserved sperm: a tool for coral reef restoration. *Scientific reports*, 7(1), 14432.
- Halford, A., Cheal, A. J., Ryan, D., & Williams, D. M. (2004). Resilience to large-scale disturbance in coral and fish assemblages on the Great Barrier Reef. *Ecology*, 85(7), 1892-1905.

- Hughes, T. P., & Connell, J. H. (1999). Multiple stressors on coral reefs: A long-term perspective. *Limnology and oceanography*, 44(3, part2), 932-940.
- Hoegh-Guldberg, O. (1999). Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and freshwater research*, 50(8), 839-866.
- Hoegh-Guldberg, O., Kennedy, E. V., Beyer, H. L., McClennen, C., and Possingham, H. P. (2018). Securing a long-term future for coral reefs. *Trends in Ecology and Evolution*, 33(12), 936-944.
- Kirk, J. T. (1994). Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge: university press.
- Knutson, D. W., Buddemeier, R. W., and Smith, S. V. (1972). Coral chronometers: seasonal growth bands in reef corals. *Science*, 177(4045), 270-272.
- Kohler, K. E., and Gill, S. M. (2006). Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers & Geosciences*, 32(9), 1259-1269.
- Lafratta, A., Fromont, J., Speare, P., and Schönberg, C. H. L. (2016). Coral bleaching in turbid waters of north-western Australia. *Marine and Freshwater Research*, 68(1), 65-75.
- Lough, J. M., & Barnes, D. J. (2000). Environmental controls on growth of the massive coral Porites. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 245(2), 225-243.
- Loya, Y., Sakai, K., Yamazato, K., Nakano, Y., Sambali, H., & Van Woesik, R. (2001). Coral bleaching: the winners and the losers. *Ecology letters*, 4(2), 122-131.
- Lyndby, N. H., Holm, J. B., Wangpraseurt, D., Ferrier-Pagès, C., & Köhl, M. (2019). Bio-optical properties and radiative energy budgets in fed and unfed scleractinian corals (*Pocillopora* sp.) during thermal bleaching. *Marine Ecology Progress Series*, 629, 1-17.
- Marshall, P. A., and Baird, A. H. (2000). Bleaching of corals on the Great Barrier Reef: differential susceptibilities among taxa. *Coral reefs*, 19, 155-163.
- McWhorter, J. K., Halloran, P. R., Roff, G., Skirving, W. J., Perry, C. T., and Mumby, P. J. (2022). The importance of 1.5 °C warming for the Great Barrier Reef. *Global Change Biology*, 28(4), 1332-1341.
- Miller, M. W., Weil, E., & Szmant, A. M. (2000). Coral recruitment and juvenile mortality as structuring factors for reef benthic communities in Biscayne National Park, USA. *Coral reefs*, 19, 115-123.
- Ounais, N. (2008). Aslo Nice 2009: the Oceanographic Museum of Monaco. *Limnology and Oceanography Bulletin*, 17(4), 115-116.

- Reid, E. C., DeCarlo, T. M., Cohen, A. L., Wong, G. T., Lentz, S. J., Safaie, A., ... and Davis, K. A. (2019). Internal waves influence the thermal and nutrient environment on a shallow coral reef. *Limnology and Oceanography*, 64(5), 1949-1965.
- Rivera, H. (2018). Searching for 'Super Reefs': Corals are threatened by changing ocean conditions. *Oceanus*, 53(2), 15-20.
- Rogers, C. S. (1990). Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Marine ecology progress series. Oldendorf*, 62(1), 185-202.
- Saravanan, R., Ranjith, L., Jasmine, S., and Joshi, K. K. (2017). Coral bleaching: Causes, consequences and mitigation. *Marine Fisheries Information Service; Technical and Extension Series*, (231), 3-9.
- Schleussner, C. F., Lissner, T. K., Fischer, E. M., Wohland, J., Perrette, M., Golly, A., ... and Schaeffer, M. (2016). Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: the case of 1.5 °C and 2 °C. *Earth system dynamics*, 7(2), 327-351.
- Skirving, W. J., Heron, S. F., Marsh, B. L., Liu, G., De La Cour, J. L., Geiger, E. F., and Eakin, C. M. (2019). The relentless march of mass coral bleaching: a global perspective of changing heat stress. *Coral reefs*, 38(4), 547-557.
- Soong, K., Chen, C. A., and Chang, J. C. (1999). A very large poritid colony at Green Island, Taiwan. *Coral Reefs*, 18, 42-42.
- Tagliafico, A., Baker, P., Kelaher, B., Ellis, S., and Harrison, D. (2022). The effects of shade and light on corals in the context of coral bleaching and shading technologies. *Frontiers in Marine Science*, 9, 919382.
- Teixeira, C. D., Leitão, R. L., Ribeiro, F. V., Moraes, F. C., Neves, L. M., Bastos, A. C., ... and Moura, R. L. (2019). Sustained mass coral bleaching (2016–2017) in Brazilian turbid-zone reefs: taxonomic, cross-shelf and habitat-related trends. *Coral Reefs*, 38, 801-813.
- Tkachenko, K. S., and Soong, K. (2017). Dongsha Atoll: A potential thermal refuge for reef-building corals in the South China Sea. *Marine environmental research*, 127, 112-125.
- Van Woesik, R., Irikawa, A., Anzai, R., and Nakamura, T. (2012). Effects of coral colony morphologies on mass transfer and susceptibility to thermal stress. *Coral Reefs*, 31, 633-639.
- Virgen-Urcelay, A., and Donner, S. D. (2023). Increase in the extent of mass coral bleaching over the past half-century, based on an updated global database. *PloS one*, 18(2), e0281719.

- Wang, J. T., Chu, C. W., and Soong, K. (2022). Comparison of the bleaching susceptibility of coral species by using minimal samples of live corals. *PeerJ*, 10, e12840.
- Wang, Y. H., Dai, C. F., and Chen, Y. Y. (2007). Physical and ecological processes of internal waves on an isolated reef ecosystem in the South China Sea. *Geophysical Research Letters*, 34(18).
- Wagner, D. E., Kramer, P., and Van Woesik, R. (2010). Species composition, habitat, and water quality influence coral bleaching in southern Florida. *Marine Ecology Progress Series*, 408, 65-78.
- Wilkinson, C., and Souter, D. (2008). Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005. Global Coral Reef Monitoring Network.
- Zoccola, D., Ounais, N., Barthelemy, D., Calcagno, R., Gaill, F., Henard, S., ... and Allemand, D. (2020). The World Coral Conservatory (WCC): A Noah's ark for corals to support survival of reef ecosystems. *PLoS Biology*, 18(9), e3000823.

附錄一、永安天然氣接收站港內原生珊瑚及珊瑚方舟內的珊瑚種類比較。永安現地調查資料參考自宋(2023)；珊瑚方舟調查日期為 2025 年 1 月。

科名	屬名	學名	中文名	永安原生	珊瑚方舟 平台 懸浮架
Hydrozoa			水螅綱		
Milleporidae	<i>Millepora</i>	<i>M. tenera</i>	平滑千孔珊瑚		v
Octocorallia			八放珊瑚綱		
Helioporidae			藍珊瑚科		
	<i>Heliopora</i>	<i>H. coerulea</i>	藍珊瑚		v
Hexacorallia			六放珊瑚綱		
Acroporidae			軸孔珊瑚科		
	<i>Acropora</i>	<i>A. anthocercis</i>	花束軸孔珊瑚	v	
		<i>A. aspera</i>	矛枝軸孔珊瑚	v	v
		<i>A. austrea</i>	簡單軸孔珊瑚	v	
		<i>A. cf. aculeus</i>	尖銳軸孔珊瑚		v
		<i>A. cf. anthocercis</i>	花束軸孔珊瑚		v
		<i>A. cf. lutkeni</i>	粗短軸孔珊瑚		v
		<i>A. cytheria</i>	輻板軸孔珊瑚	v	
		<i>A. digitifera</i>	指形軸孔珊瑚	v	v
		<i>A. divaricate</i>	兩叉軸孔珊瑚	v	
		<i>A. donei</i>	董氏軸孔珊瑚	v	
		<i>A. exquisita</i>	精緻軸孔珊瑚		v
		<i>A. glauca</i>	板葉軸孔珊瑚	v	
		<i>A. grandis</i>	巨枝軸孔珊瑚	v	
		<i>A. hyacinthus</i>	桌形軸孔珊瑚	v	
		<i>A. intermedia</i>	中間軸孔珊瑚	v	
		<i>A. listeri</i>	列枝軸孔珊瑚	v	
		<i>A. loripes</i>	羅立軸孔珊瑚	v	
		<i>A. lutkeni</i>	粗短軸孔珊瑚	v	
		<i>A. millepora</i>	多孔軸孔珊瑚	v	
		<i>A. muricata</i>	美麗軸孔珊瑚	v	
		<i>A. nana</i>	細枝軸孔珊瑚	v	v
		<i>A. samentosa</i>	短小軸孔珊瑚	v	
		<i>A. samoensis</i>	三毛亞軸孔珊瑚	v	
		<i>A. scale</i>	穗枝軸孔珊瑚	v	v
		<i>A. solitaryensis</i>	單獨軸孔珊瑚	v	
		<i>A. sp.</i>			v
		<i>A. tenuis</i>	柔枝軸孔珊瑚	v	
		<i>A. tumida</i>	隆起軸孔珊瑚	v	

科名	屬名	學名	中文名	珊瑚方舟	
				永安原生	平台 懸浮架
		<i>A. valida</i>	變異軸孔珊瑚	v	
	<i>Astreopora</i>	<i>A. cf. myriophthalma</i>	蜂巢星孔珊瑚		v
		<i>A. incrustans</i>	殼狀星孔珊瑚		v
		<i>A. sp.</i>			v
	<i>Isopora</i>	<i>I. bruggemanni</i>	鈍枝同孔珊瑚		v
Agariciidae			蓮珊瑚科		
	<i>Leptoseris</i>	<i>L. explanata</i>	環形柔紋珊瑚	v	
		<i>L. foliosa</i>	葉形柔紋珊瑚	v	
		<i>L. mycetoseroides</i>	網格柔紋珊瑚	v	
		<i>L. scabra</i>	鱗柔紋珊瑚	v	
		<i>L. tubulifera</i>	管形柔紋珊瑚	v	
	<i>Pavona</i>	<i>P. explanulata</i>	薄葉雀屏珊瑚	v	
		<i>P. frondifera</i>	卷葉雀屏珊瑚	v	
		<i>P. venosa</i>	脈結雀屏珊瑚	v	
	<i>Pachyseris</i>	<i>P. rugosa</i>	變異波紋珊瑚		v
		<i>P. speciosa</i>	環形波紋珊瑚		v
Caryophylliidae			葵珊瑚科		
	<i>Polycyathus</i>	<i>P. chaishanensis</i>	柴山多杯孔珊瑚	v	v
Dendrophylliidae			樹珊瑚科		
	<i>Turbinaria</i>	<i>T. irregularis</i>	不規則盤珊瑚		v
		<i>T. peltata</i>	盾形盤珊瑚	v	
Euphylliidae					
		<i>T. reniformis</i>	腎形盤珊瑚	v	
		<i>T. stellulata</i>	小星盤珊瑚	v	
	<i>Galaxea</i>	<i>G. astreata</i>	星形棘杯珊瑚	v	
Fungiidae					
	<i>Cycloseris</i>	<i>C. cf. costulata</i>	直肋圓萼珊瑚		v
		<i>C. cf. cyclolites</i>	正圓萼珊瑚		v
		<i>C. costulata</i>	直肋圓萼珊瑚		v
		<i>C. cyclolites</i>	正圓萼珊瑚		v
		<i>C. vaughani</i>	佛氏圓萼珊瑚		v
	<i>Danafungia</i>	<i>D. scruposa</i>	礁刺萼珊瑚		v
		<i>D. sp.</i>			v
	<i>Herpolitha</i>	<i>H. limax</i>	蛞蝓匐石珊瑚		v
	<i>Leptastrea</i>	<i>L. bewickensis</i>	小柔星珊瑚	v	
		<i>L. purpurea</i>	紫柔星珊瑚	v	
		<i>L. transversa</i>	橫柔星珊瑚	v	v
	<i>Lithophyllon</i>	<i>L. concinna</i>	和諧石葉珊瑚		v v

科名	屬名	學名	中文名	永安原生	珊瑚方舟	
					平台	懸浮架
		<i>L. undulatum</i>	波形石葉珊瑚	v		
	<i>Lobactis</i>	<i>L. scutaria</i>	盾形葉萼珊瑚			v
	<i>Pleuractis</i>	<i>P. granulosa</i>	顆粒側萼珊瑚			v
		<i>P. gravis</i>	沉重側萼珊瑚			v
		<i>P. moluccensis</i>	摩鹿加側萼珊瑚			v
	<i>Sandalolitha</i>	<i>S. robusta</i>	強壯履珊瑚			v
	<i>Sinuorota</i>	<i>S. hexagonalis</i>	六角曲萼珊瑚		v	
Lobophylliidae			瓣葉珊瑚科			
	<i>Acanthastrea</i>	<i>A. echinata</i>	多刺棘星珊瑚	v		
		<i>A. hemprichii</i>	聯合棘星珊瑚	v		
	<i>Echinophyllia</i>	<i>E. aspera</i>	粗糙刺葉珊瑚	v		
		<i>E. orpheensis</i>	錐突刺葉珊瑚	v		
	<i>Lobophyllia</i>	<i>L. agaricia</i>	蓮形瓣葉珊瑚	v		
		<i>L. corymbosa</i>	束形瓣葉珊瑚	v		
		<i>L. hatai</i>	盃形瓣葉珊瑚	v		
		<i>L. hemprichii</i>	聯合瓣葉珊瑚	v		
		<i>L. radians</i>	輻紋瓣葉珊瑚	v		v
		<i>L. recta</i>	直紋瓣葉珊瑚	v		
		<i>L. valenciennesii</i>	華倫瓣葉珊瑚	v		v
Merulinidae			繩紋珊瑚科			
	<i>Cyphastrea</i>	<i>C. chalcidicum</i>	礁突細菊珊瑚			v
		<i>C. microphthalma</i>	小葉細星珊瑚	v		
	<i>Dipsastraea</i>	<i>D. amicorum</i>	和平盤星珊瑚	v	v	
		<i>D. danai</i>	達氏盤星珊瑚			
		<i>D. faviaformis</i>	似菊盤星珊瑚	v		
		<i>D. favus</i>	正盤星珊瑚	v		
		<i>D. matthaii</i>	馬賽盤星珊瑚	v		v
		<i>D. pallida</i>	圈紋盤星珊瑚	v		
		<i>D. rosaria</i>		v		
		<i>D. rotumana</i>	羅氏盤星珊瑚	v		
		<i>D. speciosa</i>	環盤星珊瑚	v		
		<i>D. truncata</i>	截短盤星珊瑚	v		
		<i>D. vietnamensis</i>	越南盤星珊瑚	v		
	<i>D. maritima</i>	海洋盤星珊瑚	v		v	
	<i>Echinopora</i>	<i>E. gemmacea</i>	小芽棘孔珊瑚			
	<i>Favites</i>	<i>F. abdita</i>	隱藏角菊珊瑚	v		
		<i>F. acuticollis</i>	尖銳角菊珊瑚	v		v
		<i>F. chinensis</i>	中華角菊珊瑚			v

科名	屬名	學名	中文名	珊瑚方舟	
				永安原生	平台 懸浮架
		<i>F. colemani</i>	柯曼角菊珊瑚	v	
		<i>F. complanata</i>	板葉角菊珊瑚	v	
		<i>F. flexuosa</i>	柔角菊珊瑚	v	
		<i>F. halicora</i>	實心角菊珊瑚	v	v
		<i>F. magnistellata</i>	大角菊珊瑚		
		<i>F. paraflexuosa</i>	似柔角菊珊瑚	v	v
		<i>F. pentagona</i>	五邊角菊珊瑚	v	
		<i>F. stylifera</i>	小柱角菊珊瑚	v	v
		<i>F. valenciennesii</i>	華倫角菊珊瑚		v
	<i>Goniastrea</i>	<i>G. edwardsi</i>	艾氏角星珊瑚	v	
		<i>G. favulus</i>	似菊角星珊瑚	v	v
		<i>G. pectinata</i>	翼形角星珊瑚	v	v
		<i>G. retiformis</i>	網紋角星珊瑚	v	
	<i>Hydnophora</i>	<i>H. bonsai</i>	膨確珊瑚	v	
		<i>H. microconos</i>	小確珊瑚	v	v
	<i>Leptoria</i>	<i>L. irregularis</i>	不規則迷紋珊瑚	v	v
		<i>L. phrygia</i>	密集迷紋珊瑚	v	
	<i>Merulina</i>	<i>M. ampliata</i>	片形繩紋珊瑚	v	v
		<i>M. cylindrica</i>	柱形繩紋珊瑚		
	<i>Montipora</i>	<i>M. capricornis</i>	卡島表孔珊瑚	v	
		<i>M. aequituberculata</i>	瘦葉表孔珊瑚	v	
		<i>M. altasepta</i>	直枝表孔珊瑚	v	
		<i>M. cactus</i>	仙人掌表孔珊瑚	v	
		<i>M. carinata</i>	突脊表孔珊瑚	v	v
		<i>M. cf. turgescens</i>	膨脹表孔珊瑚		v
		<i>M. confusa</i>	迷紋表孔珊瑚		
		<i>M. crassituberculata</i>	厚瘤表孔珊瑚	v	v
		<i>M. danae</i>	圓突表孔珊瑚		v
		<i>M. digitata</i>	指形表孔珊瑚		
		<i>M. effusa</i>	多疣表孔珊瑚	v	
		<i>M. foliosa</i>	葉形表孔珊瑚	v	
		<i>M. friabilis</i>	易脆表孔珊瑚	v	
		<i>M. grisea</i>	青灰表孔珊瑚	v	
		<i>M. hispida</i>	鬚棘表孔珊瑚	v	
		<i>M. hodgsoni</i>	侯氏表孔珊瑚	v	
		<i>M. informis</i>	變形表孔珊瑚	v	v
		<i>M. mollis</i>	柔和表孔珊瑚		v
		<i>M. peltiformis</i>	翼形表孔珊瑚		

科名	屬名	學名	中文名	珊瑚方舟	
				永安原生	平台 懸浮架
		<i>M. setosa</i>	毛茸表孔珊瑚	v	
		<i>M. spongodes</i>	海綿表孔珊瑚	v	
		<i>M. stellata</i>	星枝表孔珊瑚	v	
	<i>Mycedium</i>	<i>M. elephantotus</i>	象鼻斜花珊瑚	v	
		<i>M. mancaoi</i>	蔓草斜花珊瑚	v	
		<i>M. robokaki</i>	小斜花珊瑚	v	v
	<i>Paragoniastrea</i>	<i>P. australensis</i>	澳洲角星珊瑚		
		<i>P. deformis</i>	變形似角星珊瑚	v	
		<i>P. russelli</i>	羅素角菊珊瑚	v	
	<i>Platygyra</i>	<i>P. acuta</i>	尖銳腦紋珊瑚	v	v
		<i>P. contorta</i>	卷曲腦紋珊瑚	v	
		<i>P. daedalea</i>	大腦紋珊瑚	v	v
		<i>P. lamellina</i>	片腦紋珊瑚	v	v
		<i>P. pini</i>	小腦紋珊瑚	v	
		<i>P. ryukyuensis</i>	琉球腦紋珊瑚	v	
		<i>P. sinensis</i>	中國腦紋珊瑚	v	
		<i>P. verweyi</i>	韋氏腦紋珊瑚	v	
Pocilloporidae			鹿角珊瑚科		
	<i>Pocillopora</i>	<i>P. acuta</i>	銳枝鹿角珊瑚	v	v
		<i>P. agrandis</i>	巨枝鹿角珊瑚	v	v
		<i>P. brevicornis</i>	短枝鹿角珊瑚	v	v
		<i>P. damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	v	
		<i>P. kellekeri</i>	柯氏鹿角珊瑚	v	v
		<i>P. meandrina</i>	紋形鹿角珊瑚	v	v
		<i>P. sp.</i>			v
		<i>P. verrucosa</i>	疣鹿角珊瑚	v	
Poritidae					
	<i>Porites</i>	<i>P. annae</i>	疣突微孔珊瑚	v	v
		<i>P. cf. okinawensis</i>	沖繩微孔珊瑚		v
		<i>P. cf. stephensoni</i>	史氏微孔珊瑚		v
		<i>P. cylindrica</i>	細柱微孔珊瑚		
		<i>P. densa</i>	緊密微孔珊瑚	v	v
		<i>P. lichen</i>	地衣微孔珊瑚	v	v
		<i>P. lobata</i>	團塊微孔珊瑚	v	v
		<i>P. lutea</i>	鐘型微孔珊瑚	v	
		<i>P. rus</i>	聯合微孔珊瑚	v	
		<i>P. solida</i>	堅實微孔珊瑚	v	
Psammocoridae			沙珊瑚科		

科名	屬名	學名	中文名	永安原生	珊瑚方舟	
					平台	懸浮架
	<i>Psammocora</i>	<i>P. contigua</i>	連續沙珊瑚	v		
		<i>P. digitata</i>	指形沙珊瑚	v		
		<i>P. nierstraszi</i>	曲紋沙珊瑚	v		
		<i>P. profundacella</i>	深室沙珊瑚	v		
		<i>P. stellata</i>	星形沙珊瑚	v		
總計						
13 科	38 屬		177 種	130 種	6 種	69 種

附錄二、移植進珊瑚方舟內珊瑚其來源、編號及目前狀態。

養殖籃編號	珊瑚編號	學名	中文名稱	來源	現況	備註
珊瑚養殖籃	G2-3-19A	<i>Polycyathus chaishanensis</i>	柴山多杯孔珊瑚	桃園大潭	存活	
珊瑚養殖籃	G2-3-1A	<i>Polycyathus chaishanensis</i>	柴山多杯孔珊瑚	桃園大潭	存活	
珊瑚養殖籃	G2-3-18	<i>Polycyathus chaishanensis</i>	柴山多杯孔珊瑚	桃園大潭	存活	
珊瑚養殖籃	D070	<i>Danafungia</i> sp.		東沙	存活	
珊瑚養殖籃	D064	<i>Lithophyllon concinna</i>	和諧葶珊瑚	東沙	存活	
珊瑚養殖籃	D065	<i>Lithophyllon concinna</i>	和諧葶珊瑚	東沙	存活	
珊瑚養殖籃	D066	<i>Lithophyllon concinna</i>	和諧葶珊瑚	東沙	存活	
珊瑚養殖籃	D067	<i>Lithophyllon concinna</i>	和諧葶珊瑚	東沙	存活	
珊瑚養殖籃	D075	<i>Lithophyllon concinna</i>	和諧葶珊瑚	東沙	存活	
珊瑚養殖籃	D047	<i>Leptastrea transversa</i>	橫柔星珊瑚	東沙	存活	
珊瑚養殖籃	D072	<i>Sinuorota hexagonalis</i>	六角曲葶珊瑚	東沙	存活	
珊瑚養殖籃	D043	<i>Dipsastraea danae</i>	達氏盤星珊瑚	東沙	存活	
S05	S05-1	<i>Pleuractis granulosa</i>	顆粒側葶珊瑚	小琉球	存活	
S05	S05-2	<i>Pleuractis granulosa</i>	顆粒側葶珊瑚	小琉球	存活	
S05	S05-3	<i>Pleuractis granulosa</i>	顆粒側葶珊瑚	小琉球	存活	
S05	S05-4	<i>Pleuractis granulosa</i>	顆粒側葶珊瑚	小琉球	存活	
S05	S05-5	<i>Pleuractis granulosa</i>	顆粒側葶珊瑚	小琉球	存活	
S05	S05-6	<i>Pleuractis granulosa</i>	顆粒側葶珊瑚	小琉球	存活	
S05	S05-7	<i>Pleuractis granulosa</i>	顆粒側葶珊瑚	小琉球	存活	
S05	S05-8	<i>Lithophyllon concinna</i>	和諧石葉珊瑚	小琉球	存活	
S05	S05-9	<i>Cycloseris</i> cf. <i>cyclolites</i>	正圓葶珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-1	<i>Sandalolitha robusta</i>	強壯屐珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-2	<i>Sandalolitha robusta</i>	強壯屐珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-3	<i>Lobactis scutaria</i>	盾形葉葶珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-4	<i>Lobactis scutaria</i>	盾形葉葶珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-5	<i>Lobactis scutaria</i>	盾形葉葶珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-6	<i>Lobactis scutaria</i>	盾形葉葶珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-7	<i>Lobactis scutaria</i>	盾形葉葶珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-8	<i>Lobactis scutaria</i>	盾形葉葶珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-9	<i>Lobactis scutaria</i>	盾形葉葶珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-10	<i>Lobactis scutaria</i>	盾形葉葶珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-11	<i>Lobactis scutaria</i>	盾形葉葶珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-12	<i>Pleuractis granulosa</i>	顆粒側葶珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-13	<i>Pleuractis gravis</i>	沉重側葶珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-14	<i>Pleuractis gravis</i>	沉重側葶珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-15	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓葶珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-16	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓葶珊瑚	小琉球	存活	

養殖籃編號	珊瑚編號	學名	中文名稱	來源	現況	備註
S06	S06-17	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓葷珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-18	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓葷珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-19	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓葷珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-20	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓葷珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-21	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓葷珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-22	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓葷珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-23	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓葷珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-24	<i>Cycloseris vaughani</i>	佛氏圓葷珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-25	<i>Cycloseris vaughani</i>	佛氏圓葷珊瑚	小琉球	存活	
S06	S06-26	<i>Cycloseris vaughani</i>	佛氏圓葷珊瑚	小琉球	存活	
S07	S07-1	<i>Cycloseris costulata</i>	直肋圓葷珊瑚	墾丁	存活	
S07	S07-2	<i>Cycloseris costulata</i>	直肋圓葷珊瑚	墾丁	存活	
S07	S07-3	<i>Lobactis scutaria</i>	盾形葉葷珊瑚	墾丁	存活	
S07	S07-4	<i>Lobactis scutaria</i>	盾形葉葷珊瑚	墾丁	存活	
S07	S07-5	<i>Lobactis scutaria</i>	盾形葉葷珊瑚	墾丁	存活	
S07	S07-6	<i>Lobactis scutaria</i>	盾形葉葷珊瑚	墾丁	存活	
S07	S07-7	<i>Lobactis scutaria</i>	盾形葉葷珊瑚	墾丁	存活	
S07	S07-8	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓葷珊瑚	墾丁	存活	
S07	S07-9	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓葷珊瑚	墾丁	存活	
S07	S07-10	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓葷珊瑚	墾丁	存活	
S07	S07-11	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓葷珊瑚	墾丁	存活	
S07	S07-12	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓葷珊瑚	墾丁	存活	
S07	S07-13	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓葷珊瑚	墾丁	存活	
S08	L051	<i>Goniastrea pectinata</i>	翼形角星珊瑚	小琉球	存活	
S08	L054	<i>Leptoria irregularis</i>	不規則迷紋珊瑚	小琉球	存活	
S08	L061	<i>Platygyra contorta</i>	捲曲腦紋珊瑚	小琉球	存活	
S08	L062	<i>Pachyseris rugosa</i>	皺紋厚絲珊瑚	小琉球	存活	
S08	L094	<i>Goniastrea retiformis</i>	網狀角星珊瑚	小琉球	存活	
S08	T014	<i>Acropora cf. anthocercis</i>	花束軸孔珊瑚	臺東	存活	
S08	T016	<i>Pocillopora cf. brevicornis</i>	短枝鹿角珊瑚	臺東	存活	
S11	K006	<i>Heliopora coerulea</i>	藍珊瑚	墾丁	存活	
S11	K027	<i>Pocillopora verrucosa</i>	疣鹿角珊瑚	墾丁	存活	
S11	K028	<i>Pocillopora cf. grandis</i>	巨枝鹿角珊瑚	墾丁	存活	
S11	K032	<i>Montipora mollis</i>	柔和表孔珊瑚	墾丁	存活	
S11	K057	<i>Favites valenciennesii</i>	華倫角菊珊瑚	墾丁	存活	
S11	K076	<i>Pocillopora cf. grandis</i>	巨枝鹿角珊瑚	墾丁	存活	
S11	K077	<i>Pachyseris speciosa</i>	標準厚絲珊瑚	墾丁	存活	
S11	K095	<i>Astreopora</i>	星孔珊瑚	墾丁	存活	
S11	K107	<i>Platygyra lamellina</i>	片腦紋珊瑚	墾丁	存活	

養殖籃編號	珊瑚編號	學名	中文名稱	來源	現況	備註
S11	T023	<i>Montipora mollis</i>	柔和表孔珊瑚	臺東	存活	
S11	T030	<i>Acropora cf. aculeus</i>	尖銳軸孔珊瑚	臺東	存活	
S14	D158	<i>Acropora aspera</i>	矛枝軸孔珊瑚	東沙	存活	
S14	D159	<i>Porites cylindrica</i>	細柱微孔珊瑚	東沙	存活	
S14	D160	<i>Porites cylindrica</i>	細柱微孔珊瑚	東沙	存活	
S14	D161	<i>Porites cylindrica</i>	細柱微孔珊瑚	東沙	存活	
S14	D162	<i>Porites cylindrica</i>	細柱微孔珊瑚	東沙	存活	
S14	D164	<i>Acropora aspera</i>	矛枝軸孔珊瑚	東沙	存活	
S14	D165	<i>Porites cylindrica</i>	細柱微孔珊瑚	東沙	存活	
S14	D166	<i>Acropora exquisita</i>	精緻軸孔珊瑚	東沙	存活	
S14	D167	<i>Porites cylindrica</i>	細柱微孔珊瑚	東沙	存活	
S14	D168	<i>Porites cylindrica</i>	細柱微孔珊瑚	東沙	存活	
S14	D169	<i>Porites cylindrica</i>	細柱微孔珊瑚	東沙	死亡	2025/02 觀察已死亡
S14	D170	<i>Porites cylindrica</i>	細柱微孔珊瑚	東沙	存活	
S14	D172	<i>Porites cylindrica</i>	細柱微孔珊瑚	東沙	存活	
S14	D173	<i>Porites cylindrica</i>	細柱微孔珊瑚	東沙	死亡	2025/02 觀察已死亡
S14	D174	<i>Montipora digitata</i>	指形表孔珊瑚	東沙	存活	
S14	D175	<i>Porites cylindrica</i>	細柱微孔珊瑚	東沙	存活	
S14	D176	<i>Porites cylindrica</i>	細柱微孔珊瑚	東沙	存活	
S14	T007	<i>Heliopora coerulea</i>	藍珊瑚	臺東	存活	
S14	T008	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	臺東	存活	
S14	T011	<i>Pocillopora verrucosa</i>	疣鹿角珊瑚	臺東	死亡	2025/02 觀察已死亡
S14	T029	<i>Heliopora coerulea</i>	藍珊瑚	臺東	存活	
S15	K021	<i>Platygyra lamellina</i>	片腦紋珊瑚	墾丁	存活	
S15	K034	<i>Goniastrea edwardsi</i>	艾氏角星珊瑚	墾丁	存活	
S15	K042	<i>Pocillopora verrucosa</i>	疣鹿角珊瑚	墾丁	存活	
S15	K067	<i>Acropora cf. lutkeni</i>	粗短軸孔珊瑚	墾丁	存活	
S15	K074	<i>Pocillopora verrucosa</i>	疣鹿角珊瑚	墾丁	存活	
S15	K084	<i>Pocillopora verrucosa</i>	疣鹿角珊瑚	墾丁	存活	
S15	K086	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	墾丁	存活	
S15	K091	<i>Porites cf. stephensoni</i>	史提芬微孔珊瑚	墾丁	存活	
S15	K123	<i>Montipora confusa</i>	迷紋表孔珊瑚	墾丁	存活	
S19	D171	<i>Porites cylindrica</i>	細柱微孔珊瑚	東沙	存活	
S19	L041	<i>Porites lobata</i>	團塊微孔珊瑚	小琉球	存活	
S19	L076	<i>Echinopora gemmacea</i>	芽棘孔珊瑚	小琉球	存活	
S19	L086	<i>Echinopora gemmacea</i>	芽棘孔珊瑚	小琉球	存活	

養殖籃編號	珊瑚編號	學名	中文名稱	來源	現況	備註
S19	T001	<i>Acropora digitifera</i>	指形軸孔珊瑚	臺東	存活	
S19	T004	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	臺東	存活	
S19	T009	<i>Acropora secale</i>	穗枝軸孔珊瑚	臺東	存活	
S19	T012	<i>Acropora secale</i>	穗枝軸孔珊瑚	臺東	存活	
S19	T021	<i>Heliopora coerulea</i>	藍珊瑚	臺東	存活	
S20	L031	<i>Merulina cylindrica</i>	柱形繩紋珊瑚	小琉球	死亡	2025/02 觀察已死亡
S20	L132	<i>Astreopora incrustans</i>	殼狀星孔珊瑚	小琉球	存活	
S20	L126	<i>Astreopora incrustans</i>	殼狀星孔珊瑚	小琉球	存活	
S20	L131	<i>Astreopora incrustans</i>	殼狀星孔珊瑚	小琉球	存活	
S20	未標籤 4	<i>Turbinaria irregularis</i>	不規則盤珊瑚	小琉球	存活	
S20	L122	<i>Favites chinensis</i>	中華角菊珊瑚	小琉球	存活	
S20	L120	<i>Platygyra pini</i>	小腦紋珊瑚	小琉球	存活	
S20	L121	<i>Cyphastrea chalcidicum</i>	錐突細星珊瑚	小琉球	存活	
S20	L128	<i>Astreopora incrustans</i>	殼狀星孔珊瑚	小琉球	存活	
S22	K021	<i>Millepora tenera</i>	平滑千孔珊瑚	墾丁	存活	
S22	K054	<i>Lobophyllia recta</i>	直紋瓣葉珊瑚	墾丁	存活	
S22	K071	<i>Favites pentagona</i>	五邊角菊珊瑚	墾丁	存活	
S22	K078	<i>Dipsastraea pallida</i>	圈紋盤星珊瑚	墾丁	存活	
S22	K088	<i>Montipora danae</i>	圓突表孔珊瑚	墾丁	存活	
S23	D163	<i>Porites cylindrica</i>	細柱微孔珊瑚	東沙	存活	
S23	K036	<i>Goniastrea edwardsi</i>	艾氏角星珊瑚	墾丁	存活	
S23	K045	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	墾丁	存活	
S23	K052	<i>Pocillopora cf. brevicornis</i>	短枝鹿角珊瑚	墾丁	死亡	2025/02 觀察已死亡
S23	K061	<i>Acropora sp.</i>	sp.軸孔珊瑚	墾丁	存活	
S23	K080	<i>Pocillopora verrucosa</i>	疣鹿角珊瑚	墾丁	存活	
S23	K085	<i>pocillopora cf. meandrina</i>	紋形鹿角珊瑚	墾丁	存活	
S23	K105	<i>Acropora sp.</i>	sp.軸孔珊瑚	墾丁	存活	
S23	K116	<i>Pocillopora cf. brevicornis</i>	短枝鹿角珊瑚	墾丁	存活	
S23	K122	<i>Isopora bruggemanni</i>	鈍枝同孔珊瑚	墾丁	存活	
S23	K124	<i>Acropora sp.</i>	sp.軸孔珊瑚	墾丁	存活	
S23	K125	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	墾丁	存活	
S25	L002	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S25	L015	<i>Astreopora cf. myriophthalma</i>	蜂巢星孔珊瑚	小琉球	存活	
S25	L016	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S25	L025	<i>Pocillopora verrucosa</i>	疣鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S25	L032	<i>Heliopora coerulea</i>	藍珊瑚	小琉球	存活	

養殖籃編號	珊瑚編號	學名	中文名稱	來源	現況	備註
S25	L037	<i>Paragoniastrea australensis</i>	澳洲似角星珊瑚	小琉球	存活	
S25	L040	<i>Helipora coerulea</i>	藍珊瑚	小琉球	存活	
S25	L042	<i>Acropora nana</i>	細枝軸孔珊瑚	小琉球	存活	
S25	L046	<i>Pocillopora</i> sp.		小琉球	死亡	2025/02 觀察已死亡
S25	L056	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S25	L057	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S25	L064	<i>Helipora coerulea</i>	藍珊瑚	小琉球	存活	
S25	L067	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S25	L068	<i>Pocillopora verrucosa</i>	疣鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S25	L077	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S25	L087	<i>Helipora coerulea</i>	藍珊瑚	小琉球	存活	
S25	L092	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S25	L097	<i>Helipora coerulea</i>	藍珊瑚	小琉球	存活	
S25	L038	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S25	L044	<i>Helipora coerulea</i>	藍珊瑚	小琉球	存活	
S25	L093	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S26	K011	<i>Platygyra lamellina</i>	片腦紋珊瑚	墾丁	存活	
S26	K058	<i>Favites magnistellata</i>	大角菊珊瑚	墾丁	存活	
S26	K087	<i>Pocillopora verrucosa</i>	疣鹿角珊瑚	墾丁	存活	
S26	K114	<i>Porites lutea</i>	鐘形微孔珊瑚	墾丁	存活	
S26	K131	<i>Montipora peltiformis</i>	翼形表孔珊瑚	墾丁	存活	
S26	K143	<i>Porites</i> cf. <i>okinawensis</i>	沖繩微孔珊瑚	墾丁	存活	
S26	T010	<i>Cyphastrea microphthalma</i>	小葉細星珊瑚	臺東	存活	
S26	T024	<i>Cyphastrea chalcidicum</i>	錐突細星珊瑚	臺東	存活	
S26	T026	<i>Cyphastrea microphthalma</i>	小葉細星珊瑚	臺東	存活	
S28	L013	<i>Pocillopora verrucosa</i>	疣鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S28	L019	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S28	L035	<i>Pocillopora</i> cf. <i>brevicornis</i>	短枝鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S28	L043	<i>Helipora coerulea</i>	藍珊瑚	小琉球	存活	
S28	L047	<i>Pocillopora</i> cf. <i>grandis</i>	巨枝鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S28	L053	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S28	L073	<i>Helipora coerulea</i>	藍珊瑚	小琉球	存活	
S28	L088	<i>Helipora coerulea</i>	藍珊瑚	小琉球	存活	
S28	L091	<i>Pocillopora verrucosa</i>	疣鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S28	L105	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S28	L022	<i>Pocillopora verrucosa</i>	疣鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S28	L036	<i>Helipora coerulea</i>	藍珊瑚	小琉球	存活	

養殖籃編號	珊瑚編號	學名	中文名稱	來源	現況	備註
S28	L049	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S28	L063	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S28	L101	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S28	L107	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S28	L072	<i>Pocillopora verrucosa</i>	疣鹿角珊瑚	小琉球	存活	
S29	K055	<i>Lobophyllia recta</i>	直紋瓣葉珊瑚	墾丁	存活	
S29	K059	<i>Goniastrea pectinata</i>	翼形角星珊瑚	墾丁	存活	
S29	K062	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚	墾丁	存活	
S29	K104	<i>Porites lichen</i>	地衣微孔珊瑚	墾丁	存活	
S29	K133	<i>Montipora danae</i>	圓突表孔珊瑚	墾丁	存活	
S29	K133	<i>Montipora cf. turgescens</i>	膨脹表孔珊瑚	墾丁	存活	
S29	T025	<i>Heliopora coerulea</i>	藍珊瑚	臺東	存活	
S29	K090	<i>Turbinaria irregularis</i>	不規則盤珊瑚	墾丁	存活	
S29	KXXX	<i>Leptoria phrygia</i>	密集迷紋珊瑚	墾丁	存活	
S29	無標籤-3	<i>Favites colemani</i>	柯氏角菊珊瑚		存活	標籤掉落
S113	S113-1	<i>Lobactis scutaria</i>	盾形葉萼珊瑚	小琉球	存活	
S113	S113-2	<i>Lobactis scutaria</i>	盾形葉萼珊瑚	小琉球	存活	
S113	S113-3	<i>Lobactis scutaria</i>	盾形葉萼珊瑚	小琉球	存活	
S113	S113-4	<i>Lobactis scutaria</i>	盾形葉萼珊瑚	小琉球	存活	
S113	S113-5	<i>Lobactis scutaria</i>	盾形葉萼珊瑚	小琉球	存活	
S113	S113-6	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓萼珊瑚	小琉球	存活	
S113	S113-7	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓萼珊瑚	小琉球	存活	
S113	S113-8	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓萼珊瑚	小琉球	存活	
S113	S113-9	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓萼珊瑚	小琉球	存活	
S113	S113-10	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓萼珊瑚	小琉球	存活	
S113	S113-11	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓萼珊瑚	小琉球	存活	
S113	S113-12	<i>Cycloseris cyclolites</i>	正圓萼珊瑚	小琉球	存活	
S113	S113-13	<i>Danafungia scruposa</i>	皺刺萼珊瑚	小琉球	存活	
S113	S113-14	<i>Cycloseris vaughani</i>	佛氏圓萼珊瑚	小琉球	存活	
S113	S113-15	<i>Herpolitha limax</i>	蛞蝓匐石珊瑚	小琉球	存活	
S113	S113-16	<i>Pleuractis moluccensis</i>	摩鹿加側萼珊瑚	小琉球	存活	
S113	S113-17	<i>Pleuractis granulosa</i>	顆粒側萼珊瑚	小琉球	存活	
S113	S113-18	<i>Pleuractis granulosa</i>	顆粒側萼珊瑚	小琉球	存活	
S113	S113-19	<i>Lithophyllon concinna</i>	和諧石葉珊瑚	小琉球	存活	
S113	S113-20	<i>Cycloseris cf. costulata</i>	直肋圓萼珊瑚	小琉球	存活	

附件一、珊瑚移植標準步驟及方法

(一) 採集珊瑚申請

因珊瑚為野生動物，故須遵守我國野生動物保育法相關規定，向主管機關申請研究及採集許可，申請內容包含研究目的及方法、採集方法、採集目標種類、採集數量、採集大小等相關資訊，主管機關同意後才能為之。

(二) 採集工具及設備

- **陸地上須先預備工具：**冰桶（視採集珊瑚多寡決定需準備多少個冰桶（40~50L））、打氣機（水體有 15 L 則搭配出風量每分鐘 1 L 的打氣機一台，以此類推）、風管、打氣石、廚房紙巾、保麗龍盒、保冷包等。
- **水下所需工具：**潛水裝備、鐵鎚、鑿子、手套、PP 夾鏈袋、網袋。

(三) 珊瑚採集

因珊瑚採集過程會需要在水下停留一定時間，尋找適合移植的珊瑚種類，以及減少採集時對原生珊瑚群體的損傷，建議以水肺潛水方式進行，增加在水下的活動時間。

• 採集過程：

(1) 備便所有水下工具後，以潛水方式抵達採樣區域，尋找特定種類及目標尺寸的珊瑚。

(2) 珊瑚採集分成兩種方式：

A. 徒手採集單體型或斷枝珊瑚：

若預計採集種物種為蕈珊瑚等單體型珊瑚，未固定於底質上，或已從底質脫落或斷裂的珊瑚，可以直接撿拾。採集目標珊瑚後將珊瑚放置於各別夾鏈袋內，以免珊瑚間碰撞破壞珊瑚組織。

B. 以工具採集目標珊瑚

若預計採集種類在採集當下未找到斷枝於海床上，則會選定適當大小的珊瑚群體，原則上採集珊瑚時，珊瑚體的最大直徑應超過 5 公分，尺寸太小的珊瑚容易因環境改變而死亡；再以鐵鎚及鑿子採集其部份組織，確保原始珊瑚群體能夠繼續生長。確定採集目標後，以鑿子對準珊瑚下方的底質，避免直接敲取珊瑚，或破壞到鄰近其他非目標珊瑚群體。

(四) 珊瑚離水後的處理

珊瑚採集完畢，離水後，依距離中繼站位置決定運送方式，當運送時間在 4 小時以內採用：(1) 珊瑚以海水浸泡的方式運送，若超過 4 小時以上或運送時不能有水體則以 (2) 珊瑚以潮濕無水法 (乾包法) 的方式運送。

(1) 海水浸泡法：當珊瑚運送時間在 4 個小時內時建議使用。

- A. 珊瑚離水後直接放置冰桶內，原則上珊瑚堆疊放方式以重的、團塊狀的珊瑚先放底部。
- B. 向上堆疊的珊瑚的重量要越來越輕，尤其建議枝狀珊瑚放置團塊型珊瑚的上方，避免被其他重量較重的珊瑚壓斷。
- C. 冰桶內的海水高度應淹過珊瑚高度，避免珊瑚暴露於空氣中。
- D. 再開啟水族用打氣機，保持水體中氧氣足夠，避免珊瑚缺氧。
- E. 裝有珊瑚的冰桶請勿在太陽下曝曬，須放置有遮蔽的地方。

(2) 潮濕無水法：

- A. 先利用廚房紙巾沾濕海水，將珊瑚包覆住。
- B. 將包好的珊瑚放到保麗龍盒內，箱子底部放置較大顆、較重的團塊珊瑚，上層放枝狀珊瑚，避免被其他重量較重的珊瑚壓斷。
- C. 放完所有珊瑚後，需防止珊瑚相互碰撞，且務必將底部海水倒光。
- D. 最後將保麗龍箱放置冰桶內，可在保麗龍外放冷凍過的保冷包吸收熱量，維持環境溫度穩定，避免溫度產生劇烈改變。保冷包禁止放在保麗龍內與珊瑚接觸，珊瑚有可能因此凍壞死亡。

E. 冰桶請勿在太陽下曝曬，須放置有遮蔽的地方。

(五) 珊瑚移植進永安天然氣接收站的前置作業

珊瑚依型態可分成團塊狀及枝狀珊瑚兩種型態，固定方式略有差異。

(1) 團塊狀珊瑚：

- A. 以長 10 公分 × 寬 15 公分的 PVC 發泡板作為基座，並在板上挖凹洞增加表面摩擦力，發泡板上四個角落各鑽一個孔洞。
- B. 以塑鋼土將珊瑚黏於發泡板上，並於發泡板孔洞上以束帶繫上珊瑚鋼製標籤。

(2) 枝狀珊瑚：

- A. 若是尺寸較小的枝狀，則依照上述團塊狀珊瑚固定方式固定。
- B. 若是大於 10 公分以上，則會直接以束帶固定於懸浮架上，束帶固定的位置盡量會在枝狀珊瑚的主幹上，避免珊瑚斷掉。


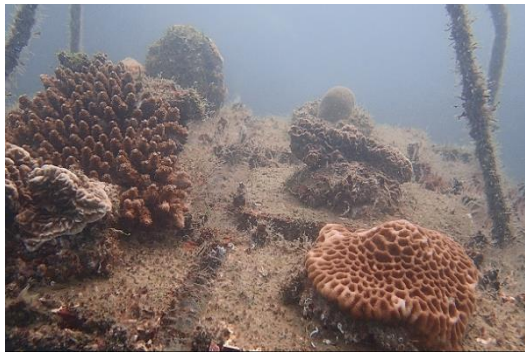
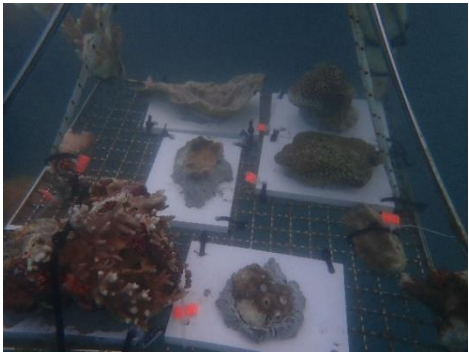

(六) 珊瑚移植進入珊瑚方舟

因為珊瑚須從野外或中繼站移植進入珊瑚方舟，故作業時間會是影響珊瑚存活的重要關鍵。

- (1) 海水浸泡法：因珊瑚運送時間已達 4 小時，若珊瑚已運送至船上/海邊，需先用現地海水重新置換冰桶內的海水，可以避免珊瑚產生過多的黏液，造成水體缺氧使珊瑚死亡。冰桶須放置於陰影處下，或者拿厚帆布遮住，避免冰桶加熱後水體過熱，容易造成珊瑚死亡。
- (2) 潮濕無水法：因珊瑚離水時間可以較長，雖然不需要添加海水至冰桶內，但若紙巾已乾掉，應潑灑些許海水，保持紙巾濕潤。冰桶須放置於陰影處下，或者拿厚帆布遮住，避免冰桶加熱後水體過熱，容易造成珊瑚死亡。

潛水員將珊瑚放置網袋袋中，到目標懸浮架旁後，利用束帶將珊瑚板固定在懸浮架上，珊瑚板固定時不能互相重疊，且珊瑚體不能相互接觸，避免珊瑚的觸手會互相干擾；固定好珊瑚板後，需記錄懸浮架的編號及拍攝珊瑚下水時的照片，作為往後監測珊瑚健康狀況時的依據。

附件二、第二組平台其中三組懸浮架上附著生物的變化。懸浮架內珊瑚自 2024/10/17 至 2025/01/16，珊瑚存活率為 100%。

日期 懸浮架	2024/10/17	2024/11/28	2025/01/16
S06			
S08			
S11			

附件三、永安天然氣接收站港內珊瑚方舟計畫相關問答

Q1. 珊瑚方舟計畫到底是什麼？

Ans 借用諾亞方舟的概念，在珊瑚礁大量破壞的時代背景下，把每個種類的珊瑚保護一小部分作為未來復育時的種源。

Q2. 「珊瑚方舟」是個概念，實際上不同的做法大概有哪些？

Ans 例如：1. 在大型水族館中長期畜養各個種類的珊瑚。2. 聯合研究/學術單位分散畜養不同種類珊瑚。3. 冷凍保存珊瑚精子、卵子、胚胎、組織，並且研究未來解凍的技術。4. 在目前尚未受到大白化影響的特殊棲息地加強保護珊瑚。

Q3. 為什麼不加強保護天然的珊瑚礁，要來從事「珊瑚方舟」的研發和測試？

Ans 兩個概念互相並不排斥，完全可以共存。保護天然珊瑚礁是生態尺度的現在進行式，「珊瑚方舟」是保住機會給未來。

- (1) 空間尺度相差大：天然珊瑚礁基本上以平方公里為單位，珊瑚方舟規模小很多，比較容易控制管理。
- (2) 管理權責明確：天然珊瑚礁海域利用者眾多，各方看法不同，需要有政府統合；「珊瑚方舟」有單一的權責單位，有單純的目標，相對容易進行。
- (3) 全球暖化影響天然珊瑚礁的趨勢尚未改變，破壞的尺度大。
- (4) 海水升溫效應目前仍是一個無法克服的問題，每次熱浪侵襲時，珊瑚都無法跨過白化的關卡，單純保護天然珊瑚礁是否能因應全球暖化，效果存疑。

Q4. 為什麼在永安天然氣接收站港內進行「珊瑚方舟」計畫？

Ans

- (1) 在臺灣西部沙質海岸，接收站成立大約 40 年來，目前已經發現 130 種珊瑚，顯然具備珊瑚生長條件，目前尚未發現有珊瑚白化後而大量死亡的現象。
- (2) 天然氣接收站屬於國家重要基礎建設，有現成的警察和海巡，一般人不得進入干擾。
- (3) 接收站有伸出長達 2 公里的防波堤保護，一方面接收站港內不受大浪侵擾，另一方面附近河川水影響小。
- (4) 天然氣接收站運作時排放冷水，可能可以協助降溫，減少發生珊瑚大量白化的機會（目前找不到支持的證據，因為冷水很快沉降到比珊瑚生長更深的深度去。）
- (5) 中山大學研究人員有相關專長和願景。
- (6) 臺灣中油公司願意支持。

Q5. 從其他海域移植珊瑚到天然氣接收站海域是不是會有外來種的疑慮?

Ans 不至於，包括比較遠的東沙環礁都是在西太平洋，距離頂多幾百公里，平時就在交流；並沒有計畫要從大西洋或者南半球等其他地理區移植珊瑚過來。

Q6. 移植珊瑚會不會有傳播疾病的風險?

Ans 我們有檢疫的規劃和做法，避免傳播疾病。

Q7. 為什麼說天然氣接收站的冷卻水沒有發揮保護當地珊瑚免於白化的功能?

Ans 1.實際研究當地冷卻水的去向，發現它們很快地沉到海底，已經超過當地珊瑚生長的深度。2.在夏天珊瑚大白化容易發生的季節，用溫度記錄器比較接收站內和外的海水溫度，在珊瑚生長的深度接收站內海水溫度並沒有比較低的現象。

Q8 永安天然氣接收站港內有 130 種珊瑚，接收站外卻屈指可數，關鍵環境差別是什麼？永安天然氣接收站港內珊瑚都在哪裡?

Ans 可能的因素包括:

- (1) 沒有大浪侵襲，珊瑚可以累積。
- (2) 河川水不容易影響到接收站內，珊瑚存活率高。
- (3) 港內水質比較混濁，降低光線強度，減少珊瑚白化的傷害。
- (4) 更好的證據在收集中，但是缺少其他港口的珊瑚資料。永安天然氣接收站港內珊瑚只分佈在淺水域的消波塊上，水深五、六公尺以內。垂直碼頭壁上幾乎沒有珊瑚，港口內一般海底沉積物厚、光線暗，也沒有珊瑚存在。

Q9 「珊瑚方舟計畫」主要的工作項目為何?

Ans

- (1) 不同種類珊瑚運送的技術。
- (2) 不同種類珊瑚移植到永安的技術。
- (3) 驗證永安天然氣接收站港內天然和移植的珊瑚是否存活率高，是否受到珊瑚大量白化的威脅。
- (4) 不同種類珊瑚耐受高水溫能力比較和改進的方法。
- (5) 測試遮光對避免不同種類珊瑚白化的方法。

Q10 在天然海域珊瑚大白化是由高水溫造成，為什麼遮光可以降低白化的機會?

Ans 根據現在的理論，在高水溫下光合作用產生的自由基，無法快速代謝消除，就會造成珊瑚白化，因此除了降低水溫以外，降低光合作用速率也是一個合理的途徑，這是利用遮光的原理。

Q11 如果遮光有效，為什麼其他國家/地區沒有在應用？

Ans

- (1) 遮光技術應用在海上有規模上的限制，尤其如果目標是天然珊瑚礁規模的保育，就算硬體上不是問題，還會有其他的生態效應，難以預估後果。
- (2) 但是如果應用在空間上小規模的平靜海域就有克服的機會。
- (3) 一旦小規模遮光發展出可行的方法/模組，就可以推廣到很多個港口，藉由數量分散風險，增加珊瑚方舟概念成功的機會。

Q12 冷卻水是接收站的優勢，為什麼不是測試的優先事項？

Ans 冷卻水密度高，比重大，從接收站出水口排出以後很快沉降到海底，連在出水口附近的珊瑚都沒有受惠於附近的冷水。永安天然氣接收站港內珊瑚的分佈深度在 1-5 公尺，超過這個深度光線就太暗，珊瑚無法生存。除非冷水分佈方面有突破，否則目前狀況難以利用。另外，冷水只有在熱浪來時才需要，一般季節，冷水的入添反而有造成冷白化的效果。在大尺度的海水中想要透過冷水降低水表面附近的溫度，操作困難。

Q13 除了降溫和遮光還有其他的原理可以降低珊瑚白化的機會嗎？

Ans 珊瑚可以從攝食有機物得到營養和能量，有幫助熬過困難的階段，因此增加來自有機顆粒的營養是另外一個降低珊瑚白化的可能，目前偏重在理論的驗證，應用的潛力有待開發。

Q14 永安天然氣接收站港內海域內的珊瑚曾經發生過大量白化嗎？

Ans

- (1) 用 X 光觀察接收站海域內微孔珊瑚骨骼的生長密度紋，並未發現異常。
- (2) 跟經常發生大白化的東沙瀉湖內微孔珊瑚 X 光影像比較，兩地都沒有發現所謂的壓力條帶(stress bands)。
- (3) 目前增加(曾經發生過大白化的)墾丁海域的微孔珊瑚骨骼標本，並且增加 Micro-CT 分析的方法。
- (4) 目前的結論: 無法確定。

Q15 永安天然氣接收站港內是臺灣唯一適合的「珊瑚方舟」地點嗎？

Ans 當然不只，其他大小港口包含漁港都有可能適合。例如花蓮和平港也有團隊移植大浪打破的珊瑚在港內測試中。

永安進行的計畫希望能夠

- (1) 找到海岸設施(港口)內關鍵的環境條件，這將有助於發掘和開發更多適合的地點。
- (2) 測試並且開發降低珊瑚發生白化的可行機制。

(3) 測試發展簡單的應用模組，不只可以在永安進行，到時候有說服力可以應用到更多適合的場域，儘管一般港口，不管是商用或漁用，人為干擾變動大，無法像永安天然氣接收站港內專用港一樣單純。

Q16 為什麼要在永安天然氣接收站港內進行遮光實驗，不在容易白化的珊瑚礁區進行實驗？

Ans 永安天然氣接收站港內進行遮光實驗是為了測試淺的水域是否能夠避免白化，實驗的結果可以告訴我們未來佈放更多珊瑚在永安天然氣接收站港內時可以運用的深度。在容易白化的珊瑚礁區進行遮光實驗，目的是驗證遮光的效果，曾經在東沙小規模進行，這個部分也很有應用的價值，可以針對稀少的珊瑚種類，不移動的條件下，進行在地保護。

Q17 為什麼永安天然氣接收站港內的微孔珊瑚長得這麼快？一年超過兩公分（是全台最快的）。

Ans 這個現象是個意外發現，跟「珊瑚方舟」概念的關係還沒有深入探討，我們研究的主軸是避免珊瑚白化/死亡，由於珊瑚不會老化，只要不死亡就有希望，珊瑚生長的速度不是目前的重點。

Q18 實驗室內比較不同珊瑚物種耐熱程度差別在「珊瑚方舟」計畫的意義是什麼？

Ans

- (1) 珊瑚白化的發生會因為物種、光線、營養而不同，一旦能夠區分各個物種耐受性高或低，對移植牠們的優先順序、深度都可加以區分。
- (2) 室內珊瑚對光線的反應可以幫助我們決定野外遮光程度以及移植深度。
- (3) 營養角色目前排在第二研究順位。

Q19 珊瑚種類這麼多，永安天然氣接收站港內真的適合所有的種類嗎？

Ans 未必，例如需要水流強的柳珊瑚就未必合適在比較封閉的水域中；住在較深海域的珊瑚也不見得適合在永安天然氣接收站港內的淺水域中；儘管如此，還是有好幾百種很可能適合的種類，可以在這裡躲過颱風、污染和夏天的高溫水。

Q20 全球暖化的危機尚未看到盡頭，本計畫有可能撐到用得到的時候嗎？

Ans 大哉問。

- (1) 目前的研究參與人員包括年輕的研究助理，可能都看不到全球暖化危機解除那一天，因此傳承是本計畫重要的部分。
- (2) 天然氣部分一般粗略估計以 2050 年的需求作為指引，其中變數很大，屆時對天然氣接收站的需求，屬於未知數，臺灣中油公司和天然氣接收站的轉型屬於必然，儘管發生時間才是重點。

(3) 目前全球珊瑚礁大量白化事件持續發生中，一旦大量死亡的現象發生，一方面重視海洋生態的程度會增加，另外一方面珊瑚保種的時機也將錯過。

Q21 解決二氧化碳排放的問題不是比較重要嗎?為什麼要來救珊瑚?

Ans 解決二氧化碳排放的問題需要很長的時間和全球的投入，珊瑚遇到的危機卻在短時間內就可能沒有回頭路，同時面對/解決兩個問題完全沒有抵觸。本「珊瑚方舟」計畫只要保種。

Q22 天然氣只是過渡期的燃料，2050 年以後可能通通都使用再生性能源，到時候沒有永安天然氣接收站港內港口，珊瑚方舟計畫裡的珊瑚未來是什麼?

Ans 在永安天然氣接收站港內進行的實驗如果發展出遮光的模組對拯救珊瑚有效，那麼可以推廣到其他的海域去，接棒完成保種任務。

Q23 有珊瑚物種真的已經在過去幾十年內消失了嗎?

Ans 以大西洋的 *Acropora palmata* 為例，從 1980 到 2006 已經減少了 80% 到 97%。全球性的滅種，尤其是海底下的物種，需要很長時間才會被注意到；另一方面，滅種也未必容易發生，因為大海實在太大了，而我們觀察/調查過的海域實在是太少了；地區性的消失比較可能實際發生和被注意到。

附件四、期中報告委員意見及回覆

一、陳委員仲吉

編號	委員意見	回覆
1	請補充摘要以利閱讀。	已補充，謝謝委員指教。
2	有關各章節之安排，建議作如下之變動調整： 第四章計畫期程及甘特圖，建議不列章節並移入第二章最後。 第六章預期成果及效益，亦不列入章節，而將其置於計畫期程及甘特圖後，第五章參考文獻同樣不列入章節。 增加第四章為初步結論與建議。	已修改完畢，謝謝委員指教。
3	表 1-2 和表 1-3(P.5~8)：其中部分內容宜提供量化數據作為說明，例如：何謂海水規模？(大、很大、小?)	已補充，謝謝委員指教。
4	報告中相關的相片，宜標註拍攝日期。	已補充，謝謝委員指教。
5	表 3-1(P.22)：目前馴養在珊瑚養殖平臺內的珊瑚種類，建議宜說明選定之原因或珊瑚之特色為何？	已補充於 P.13，謝謝委員指教。
6	請說明由遮光實驗的結果，對未來珊瑚移植有何應用上之意義？	謝謝委員指教，實驗室的遮光實驗用於理解珊瑚在低光照條件下的生理反應，以及珊瑚在此狀態下，是否可以減緩因高溫造成的白化。然而永安天然氣接收站港內屬於濁度較高的水體，對於珊瑚亦是形成天然的遮光效果，有機會利於移植進港的珊瑚生存。
7	圖 3-32(P.34)：由海域光線隨著水深深度的衰減圖，可以看出目前移植知珊瑚皆放置於水深 4 公尺以下；而在水深 4~5m，其光照強度幾乎減至表層光照前度之 20~30% 以下，可否說明先前移植之珊瑚原生棲地之光照強度，是否納入移植之考量？另外，本研究中並未說明目前移植之珊	移植珊瑚的原生棲息地光線強度並未納入移植之考量，由於水質比較清澈，它們的光線強度都比永安來得高。 移植到永安以後珊瑚籃的水深是 2 公尺左右。 移植珊瑚存活率視種類而定，枝狀珊瑚存活率低，團塊狀珊瑚存

	瑚存活率、生長率是否測量，未來建議將此納入測量之考慮？	活率高，將在期末報告提供存活率資料，生長速率並未測量，謝謝委員指教。
8	圖 3-37(P.38)：建議圖中宜標註測站號碼，尤其是圖 3-43：#3、#4、#8 等。	已補充，謝謝委員指教。
9	P.43：港內現有珊瑚白化調查部分，結果是否顯示港內的珊瑚無白化？宜說明清楚。(是否無壓力條帶呈現，就無白化？)	至期中報告日前尚未調查港內珊瑚白化情形，目前預計 2024 年 8 月進行調查。 目前藉由珊瑚岩心判斷永安是否有珊瑚白化過，但現階段的結果顯示，沒有明顯白化過的痕跡，分析還需要再討論，將在期末報告提出，謝謝委員指教。
10	P.43：今年永安天然氣接收站港內會發生珊瑚大白化嗎？此部分宜詳細說明相關調查方法，以及量化白化之方式為何？	目前(2024.07.10)已觀察到有白化跡象，但尚未量化，調查方法已補充在 P.40，謝謝委員指教。
11	目前移植珊瑚之放置方式，是否有較強之風浪，可能影響其存活？風浪如果損害珊瑚籃，就會影響珊瑚的生存。	確實，繩索一旦斷掉，或珊瑚籃一旦翻覆，裡面的珊瑚就危險了，持續改進設計中，也可能放棄目前吊掛的方式，謝謝委員指教。
12	建議測量懸浮固體(SS)。	我們已經估算光衰減係數來研究需要的遮光，並沒有測量懸浮物體的規劃，現場觀察發現水層的混濁程度變化大，推理懸浮物變化大，謝謝委員指教。

二、戴委員昌鳳

編號	委員意見	回覆
1	本計畫包含多項工作項目和成果，建議應加上摘要，以呈現整體成果，並便於了解。	已補充，謝謝委員指教。
2	珊瑚養殖平臺的面積甚大(6 m*4.5 m)，造價不菲，但養殖籃的面積卻甚小(1.5m 公分×.2m)，且能容納的珊瑚有限，為何不使用其他更經濟的珊瑚養殖方式？	珊瑚養殖平台實際上可以放置兩個鐵框，一個鐵框內可以放滿 100 左右的珊瑚，也很好管理，養殖平台最大的問題有二，(1) 浮動平台容易受釣客干擾、(2)

		<p>養殖籃目前是懸吊式，太容易受風浪影響，上述兩個缺點是目前養殖方式需要改進方向，目前正在研發其他方法，謝謝委員指教。</p>
3	<p>目前移植至鐵框內的珊瑚排列相當緊密，將來各自成長之後該如何處理？</p>	<p>目前珊瑚都固定在各自的 PVC 發泡板上，可以獨立移出，謝謝委員指教。</p>
4	<p>優先移植的珊瑚(P.16)對溫度敏感的珊瑚種類(大多為分枝狀)，但目前馴養在珊瑚養殖平臺的珊瑚(P.22~23，表 3-1)大多來自東沙環礁瀉湖，皆為歷經數次白化、對溫度不敏感的團塊狀珊瑚，並無迫切的保種需求。建議參考 IUCN 的珊瑚紅色目錄，優先選擇對溫度敏感的瀕危物種為養殖對象。</p>	<p>遵照辦理，謝謝委員指教。</p>
5	<p>報告中的敘述有些不一致或互相矛盾，如 P.32 第 9 行：「餵食的效果在測試珊瑚中都沒有發現」，但 P.26 末行「餵食的簡單軸孔珊瑚與迷紋珊瑚都有比無餵食的同種珊瑚有顯著提高耐熱能力」，兩者互相矛盾。關於水溫垂直分布的敘述也是如此，P.40 標題：「永安天然氣接收站港內的水溫有分層，水溫會因為深度有明顯差別嗎？」即是矛盾描述，圖 3-40、3-41 的水溫分布有分層現象，太過牽強。</p>	<p>已修正，謝謝委員指教。</p>
6	<p>遮光實驗結果指出其效果視種類而異，那是否將來的現地遮光實驗也需視珊瑚種類組成而定？</p>	<p>是的。目前珊瑚有分區現象，北堤以枝狀珊瑚為主，南堤以團塊狀珊瑚為主，正在進行野外遮蔽光線實驗，謝謝委員指教。。</p>
7	<p>P.4：有關東沙外環礁是超級珊瑚礁及內環礁有許多珊瑚死亡的敘述，請補引用文獻。</p>	<p>已補充，謝謝委員指教。</p>
8	<p>P.6：東沙環礁冷水湧升能持續多久其實已有許多報導，永安天然氣接收站港內並不是「實質的海洋保護區」，頂多可算為「類保護區」。</p>	<p>修改文字，避免誤解，謝謝委員指教。</p>

9	P.10 第 8 行末：「以及平台可能……」語意不全。	已修改，謝謝委員指教。
10	P.34：圖 3-32 之 X 軸標示應是水深 (depth)。	已修改，謝謝委員指教。
11	參考文獻有些漏列，如 Wilkinson and Souter 2008, Frieler et al., 2013；有些則是報告未引用，如 Baker et al., 2008, Cantin et al., 2014; Cohen, 2019，請檢查修正。	已修改，謝謝委員指教。

三、陳委員璋玲

編號	委員意見	回覆
1	期中內容大致完整，予以肯定。	謝謝委員肯定。
2	缺乏摘要，建議補充。另建議第三章研究方法及目前結果，將研究方法和目前結果各分成單章，即第三章和第四章。且在分出的第四章「目前結果」，建議有一小節，綜整研究成果及本計畫尚待完成之事項。	已修改，謝謝委員指教。
3	表 1-3(P.6~7)：優缺點分析表，項目-海洋保育，缺點提及天然氣接收站任務和海洋保育無關，建議就海洋保育工作是否影響接收站運作或功能的角度來說明，敬請參考。水面空間需求的缺點提及珊瑚生長最好區域在南堤消坡塊區，但該處非冷排水影響，此點為何是缺點？有否較合宜的說明？	已修改表格，謝謝委員指教。
4	建議於第二章，輔以架構圖，清楚逐一列出本計畫的工項(實驗室及野外珊瑚遮光效應、紀錄海域水溫資料、永安天然氣接收站港內現地白化調查)，以及完成這些工項最終目的—南堤水域是否適合作為珊瑚保種地點。 另就報告內容的安排上，建議依前述的架構圖，逐一條理地呈現研究結果，並分析各工項的完成結果—實驗和現地調查數據，進一步推估接收站(南區消波塊的環境條件)是否適合作為保	已大幅修改，為了確定珊瑚養殖計畫成功，故我們在進行過程中經常滾動式調整方法，目前難以直接說明各工向之進度，但會在期末報告時確實呈現，謝謝委員指教。

編號	委員意見	回覆
	種基地。例如本計畫進行現地調查，包括珊瑚生長情形、是否從未有白化的指標、水溫、現場濁度/光度，以及室內和野外實驗結果，移植珊瑚的生長情形等。依據這些研究成果，據以分析及論述南堤水域是否適合作為珊瑚保種地點，或應在什麼環境條件下，啟動環境條件的變更(如啟動遮避或冷水排放的條件)，以利珊瑚生長。	
5	整體而言，研究團隊逐一進行計畫工項，但建議應注意本計畫的最主要目的—永安天然氣接收站港內(本計畫實施的地點—南堤水域)是否適合作為珊瑚保種的基地，或在什麼條件下，適合作為珊瑚保種的基地，並於期末報告時適度以科學數據回應此問題。	將在期末報告統整說明，謝謝委員指教。

四、內政部國家公園署海洋國家公園管理處

編號	委員意見	回覆
1	建議固定式珊瑚架平臺，供未來珊瑚保種的實際操作。	目前積極研究中其他方法，謝謝委員指教。
2	報告著重在濁度、遮光、攝食，至於永安珊瑚的共生藻，是否會因為同種珊瑚但有不同的共生藻類型，造成永安珊瑚存活率高？	有此可能，但未列入本期計畫工作，謝謝委員指教。
3	永安海域濁度高，水深4m處，光照就是表水層20~30%，本身就有遮光效果。珊瑚卻可以生長良好，因此主要問題可能還是水溫。	水溫高是珊瑚白化問題的根源，本計畫希望能找到實際可行的解方，使永安海域成為珊瑚方舟，謝謝委員指教。

五、綠能科技研究所

編號	委員意見	回覆
1	平臺設置點位規劃有2個優先地點及1個第二地點，請說明本次第一階段以「第二地點」為優先的原因。	永安天然氣接收站港內對運用棧橋支撐樁有保留意見，謝謝委員指教。

2	目前已完成的實驗，室內遮光實驗所設定之光照強度是以光合作用有效輻射(PAR)的強度做設計，與野外直接測定的光照強度(LUX)單位不同，其參考價值並無明確說明。另外，P.31 提及實驗室內是藉由「降低光度」來模擬永安天然氣接收站港內廠的「水體混濁」狀態，那是否有機會直接於設置地點選擇有一個固定的深度即可達成所需的光照？而不需要再另外進行遮光處理？	市面上水下連續記錄器的單位是 LUX，做實驗選擇 PAR 是為了與其他研究做比較；實際上光線變異很大，我們要找的是定性的趨勢。 遮光處理的目的是為了做實驗，驗證接收站內珊瑚是否受惠於光線變弱？實際移植進入接收站海域的時候，確實是以深度為依歸，謝謝委員指教。
3	水溫監控點在永安天然氣接收站港內外皆有，唯獨似乎無見平臺設置點處的點位，建議可與平臺一同長期設置，以供後續現地遮光實驗結果的討論。	經過兩年的水溫監測，接收站海域垂直有溫差，水平可以視為一個點，謝謝委員指教。
4	報告第四章的查核事項欄位空白，請補充。	已修改，謝謝委員指教。
5	「計畫報告撰寫」之期程規劃應更明確。	已修改，但大多野外作業都在滾動式調整，故期程時間會較長，謝謝委員指教。
6	整體實驗內容建議多考量本案的目的性，才更容易在期末時提供切合本案的結論與建議。	實驗的目的皆是圍繞在探討永安天然氣接收站港內是否合適馴養珊瑚，以及永安廠內環境和珊瑚特性，在期末時會加以探討，謝謝委員指教。

六、天然氣事業部

編號	委員意見	回覆
1	根據在港區設置攔油索或其它水下物件的經驗，只要有繫繩，因為海浪經年累月造成固定點磨損甚至斷裂是時間問題，可以理解永安天然氣接收站港內廠不允許於棧橋繫繩的考量。	謝謝委員指教。
2	本計畫於觀塘藻礁區採集 3 株柴山多杯孔珊瑚，請說明這些珊瑚預計的研究或保育用途，並提供採集過程照片及記錄。	已補充在圖 4-14，謝謝委員指教。

3	後續倘有變更養殖平台設置方法，建議應先跟永安廠進行討論。	遵照辦理，謝謝委員指教。
4	根據在港區設置攔油索或其它水下儀器(潮波流儀)的經驗，只要有繫繩，因為海浪經年累月造成固定點磨損甚至斷裂是時間問題，倘計畫過程中發現可能是人為因素導致繩索斷裂，也請調查團隊及時反應至天然氣事業部，以利內部溝通及時處理。	遵照辦理，謝謝委員指教。

七、環境保護及生態保育處

編號	委員意見	回覆
1	先前在永安天然氣接收站港內因研究而設立的浮球，幾年內就已佈滿珊瑚，建議可以考慮養殖平台以外的珊瑚養殖方式。	目前重新規畫研擬中，謝謝委員指教。
2	野外遮光實驗的光照度應設置光度計量化，以利後續分析比較。	野外將設置，謝謝委員指教。
3	綜合實驗室弱光實驗(II)，光度變化由高光度(400PAR)降至低光度(100PAR)時可提高軸孔和萼柱之耐熱性，但中光度以下(100~12PAR)之變化對珊瑚耐熱無顯著影響，此結果是否應於野外實驗中考量？也許受混濁海水影響，永安的自然環境本身就未達高光度(400PAR)？	本實驗所進行的遮光實驗，並非模擬野外情況，而是想藉由實驗室的控制實驗，了解在不同光度下，珊瑚面對高水溫時的白化反應；另外也會將此結果做為野外實驗的考量，謝謝委員指教。
4	P27 遮光實驗 Y 軸的尺度建議統一，以利檢視不同光度間的差異。	已修改，謝謝委員指教。

附件五、期末報告委員意見及回覆

一、陳委員璋玲

編號	委員意見	回覆
1	本報告內容大致完整，架構清晰，研究方法及結果內容紮實，完成計畫原訂工項，予以高度肯定。	謝謝委員肯定。
2	P1，第四行，「主要由人類是人類活動引起的…」，有冗字，請修改。	已修正，謝謝委員指教。
3	P3，第一大段，有多處文字重覆撰寫，請確認並修改	已修正，謝謝委員指教。
4	P6，表 1-1，最右欄，屏東海生館，海水域規模小(約 100 平方公里)，面積單位有誤，請再確認。	已修正，謝謝委員指教。
5	P8，表 1-3，最後一列提及 2024 年夏天發生大量珊瑚白化，請問此結果是本計畫去年的研究嗎？若是，建議補充文獻，另若有多大比例的面積白化，亦建議補充。	已修正，謝謝委員指教。
6	P15，圖 3-6，提及多珊瑚式及柵欄式懸浮架主要差異在鐵架形式不同，建議再補充說明二者在鐵架形式有那方面的不同，以利二者差異。又前者是用於團塊珊瑚和枝狀珊瑚，後者用於蕈珊瑚，請問此設計是基於什麼考量？建議說明。 另此養殖懸浮架係位於水深幾公尺？置放幾個？亦請補充。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 多珊瑚式（現已修正名稱為懸浮架）與柵欄式懸浮架最大的差異是在柵欄式的周邊有 5 公分高的圍欄，防止蕈珊瑚因海浪搖晃擺盪而掉出懸浮架外。 2. 設計上有差異的考量點是在於，在野外環境的團塊狀及枝狀珊瑚是固著在底質上，而蕈珊瑚是以游離(free living)的方式生活，於是我們在固定方式上考慮到珊瑚原本的生活方式，所以才有兩種懸浮架的設計。 3. 懸浮架所在的水深為 2~5 公尺間，目前總共 20 組，詳細內容可以參考第四章 4-1 小節。
7	P16-17，建議補充本計畫採集珊瑚的資訊，包括採集的區域、珊瑚種類及株數等，可以表呈現相關內容。	已補充於附錄二，謝謝委員建議。

8	<p>P20, 餵食組和無餵食組二者處理差異的地方不僅是實驗開始前有無餵食 30 分鐘的差異, 還包括後者(對照組)在實驗前 2 週, 每週餵 3 次, 請問對實驗設計的緣由為何?</p> <p>另此設計是否會造成對照組和處理組的差異不是只有單一的有無餵食的因素? 建議予以釐清。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 餵食組和無餵食組, 在實驗開始前的馴養皆為每週餵食 3 次, 總共餵食兩週, 為了確保兩組別的珊瑚是在相同且健康的狀態準備進行實驗。實驗開始進行時, 餵食組的珊瑚會再每日升溫前餵食 30 分鐘, 無餵食組則完全不餵食。 2. 實驗設計上差異為有無餵食組, 及光度的不同, 謝謝委員指教。
9	<p>P42, 圖 4-9, 提及養殖平台共 6 種珊瑚, 但表 4-1, 呈現養殖平台移入 40 種, 且 P41 提及永安天然氣港內有 177 種, 但圖 4-9 僅呈現 130 種, 請再確認相關數字, 還是。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 表 4-1 列出養殖平台共移入 40 種珊瑚, 但最後本計畫僅計算存活的 6 種珊瑚。 2. P41 所提及的天然氣接收站共有 177 種, 是原本的永安現生的 130 種珊瑚加上移植進來的 47 種, 總計為 177 種, 謝謝委員指教。
10	<p>P69, 第 4 行, 平均覆蓋比例為「6 圖 4-26%±5.38%」, 筆誤, 請確認並修改。另圖 4-31, 紅色虛線及實線代表的意義, 請於圖中說明。</p>	<p>已修正, 謝謝委員指教。</p>
11	<p>本研究最重要的產出, 是永安接收站港內水域條件是否可做為珊瑚保種基地。基於, 建議於頁 78, 綜合討論, 建議增加最後一節(未來建議或綜合評估), 提出(1) 就永安接收站港內水域條件, 以及是否加上人為的那些條件(如養殖籃或懸浮架的深度、光度多強時予以遮光), 並和國外已具規模野外珊瑚保種案例作比較(若有), 評估港內作為珊瑚方舟的可行性高、(2) 提出未來研究方向, 尤其港內消坡塊已發現有 130 種石珊瑚成長, 成為珊瑚棲地, 是否可進一步評估此區域作為保種的</p>	<p>已補充於第六章結論與建議中, 謝謝委員建議。</p>

	<p>基地、(3)本研究發現柴山多杯孔珊瑚存活變化快速及短時間(5個月)新附苗生長的現象、(4)深澳電廠水域的消坡塊亦有珊瑚生長，就本研究的研究成果，未來亦可進一步評估該處是否適合作為珊瑚保種基地。</p>	
--	---	--

二、戴委員昌鳳

編號	委員意見	回覆
1	<p>本計畫工作內容包含多項野外和實驗室的繁重工作，且皆有一執行成果，顯見團隊非常努力，成果值得肯定。</p>	<p>已補充，謝謝委員指教。</p>
2	<p>珊瑚在運送和馴養過程中是否有死亡？請提供珊瑚的存活率或死亡率。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本團隊於第一次採集珊瑚時，在運送過程中因人為疏失造成珊瑚死亡，該次的珊瑚死亡率為100%，在之後運送珊瑚的過程則不再出現過損失，詳細的珊瑚運送標準步驟及方法可見附件一。 2. 第二次遇到珊瑚死亡則是出現在珊瑚養殖平台下的養殖籃中，珊瑚死亡率達88.5%，推測是因為附著生物生長速度過快，而導致珊瑚被覆蓋後死亡。
3	<p>表4-1及表4-2的珊瑚種類請依大類(石珊瑚、藍珊瑚、千孔珊瑚)區分，石珊瑚(Scleractinia)請依科別排列。</p>	<p>已修正，謝謝委員指教。</p>
4	<p>上述養殖珊瑚的原生地(採集地)建議標註。鑒於珊瑚在移植之後，可能因生長環境改變而與原生地之形態有甚大差異，建議未來若持續執行方舟計畫時，應對各珊瑚株建立系統性的編號，以便追蹤其演變，即使將來珊瑚長大之後分株或移植至他處，亦可追蹤</p>	<p>本團隊對採集到的珊瑚，其編號方式為採集地點+流水編號，每株珊瑚都會有專屬的編號，方法已補充在第三章3-1-3節中，謝謝委員指教。</p>

	其來源與去處。	
5	<p>養殖平台的珊瑚經過不到一年之後 (2024/5~2025/1) 存活率僅 12.7%，懸浮架經過 2 個月的珊瑚存活率為 100%，兩者時間跨距不同，尚不足以支持懸浮架養殖較優。養殖平台珊瑚在冬季大量死亡推測為光度不足、附著生物及沉積物覆蓋所致，但懸浮架養殖同樣會受到這些因子的影響。</p>	<p>目前本團隊每個月持續追蹤懸浮架中珊瑚的狀態。長期觀察懸浮架是否為較適合方案。目前認為懸浮架上方的浮球較小，遮蔽到的光線較不會影響到珊瑚的生長，但懸浮架上仍有相當多的附著生物，需要每月進港清理，謝謝委員指教。</p>
6	<p>養殖平台珊瑚一年內的存活率低，是否意味著本計畫場地並非適合作為珊瑚方舟之地點？或者，若要使本基地成為珊瑚方舟，該改善哪些環境因子？</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本團隊將長期觀察目前移植進天然氣接收站港內的珊瑚，並且分析存活的珊瑚種類有哪些較為適合，或者哪些珊瑚有適應環境之可能。 2. 影響珊瑚的存活主要因素包括水溫、光線，目前本團隊有能力調整的部分為珊瑚養殖方式，以及珊瑚馴養的水深深度，未來可以考慮嘗試利用其他方式或者換地點進行珊瑚馴養，以了解永安天然氣接收站是否能真正做為合適的珊瑚方舟基地。
7	<p>建議於報告末加上「結論與建議」，以供委託單位未來施政之參考。</p>	<p>已補充，謝謝委員指教。</p>
8	<p>一些文字錯誤請更正，如 p. 6，海水域規模之右欄：小 (約 1000 平方公里)、p. 37，4. 運輸：…採樣 (取) 不同的運輸方式…、p. 69，第 4 行末：6 圖 4-26%±5.38%。</p>	<p>已修正，謝謝委員指教。</p>
9	<p>未來計畫執行之珊瑚來源，建議優先考量小琉球及澎湖內海或北海的珊瑚。</p>	<p>未來將會優先考慮小琉球及澎湖內海或北海的珊瑚，謝謝委員指教。</p>
10	<p>微孔珊瑚骨骼缺乏壓力帶可能係因永安港區珊瑚之抗壓性較強，雖有白化，但對其生理影響不大，</p>	<p>謝謝委員指教。</p>

	復原能力強，故未留下壓力帶。	
--	----------------	--

三、陳委員仲吉

編號	委員意見	回覆
1	本期末報告基本符合本計畫工作內容要求。	謝謝委員肯定。
2	建議將第五章「綜合討論」修改為「結論與建議」，並條列具體結論與相關建議，以確保研究成果能有助於未來珊瑚保種基地的發展。	已新增第六章 結論與建議，謝謝委員建議。
3	目前兩組珊瑚養殖平台共成功移植 220 株珊瑚，涵蓋 74 種，展現良好的存活率。關於珊瑚移植，宜建議未來可考慮適合移植的珊瑚種類，以提升移植效益。	已補充，謝謝委員建議。
4	遮光研究結果顯示遮光可有效降低珊瑚白化，但需進一步探討遮光強度與持續時間的最佳組合，以確保珊瑚獲取足夠光照以維持光合作用。	謝謝委員指教，以目前野外遮光結果來看，珊瑚是否白化與遮光確實有顯著相關性存在，但至於是否合乎效益則有待商榷，執行野外遮光的困難原因如下： 首先需在野外珊瑚尚未白化前進行架設遮光，且當年需要有白化事件發生，最後遮光裝置必須撐過像是颱風、豪大雨等氣候，才有機會了解遮光有效的程度。
5	餵食實驗顯示，某些珊瑚（如簡單軸孔珊瑚、密集迷紋珊瑚）在餵食後耐熱性提升。建議進一步探討不同營養來源對珊瑚耐熱能力的影響，並分析不同營養成分（如氮、磷、碳的比例）對珊瑚耐熱性的影響。	因珊瑚吃的是微型餌料，若要探討珊瑚所吃的營養成分各無機物的比例，則需先開發 microcapsule 型餌料，方能進行實驗，謝謝委員指教。
6	不同水深對珊瑚存活率的影響結果顯示，水深 4m 的白化率較低。建議進一步探討流速、溶氧濃度及其他水文參數是否為影響因素，以完整評估水深對珊瑚存活率的影響機制。	謝謝委員指教，目前認為雖然水深 4 公尺的珊瑚白化比例較水深 2 公尺少，但這兩種深度的珊瑚覆蓋率實際上是沒有顯著差異的。所以，以目前的狀態來說，永安天然氣接收站港內的珊瑚適合生存的水深為 2~4

編號	委員意見	回覆
		公尺之間，其水文參數的差異並不影響現生珊瑚的存活狀態，雖然白化程度上有差異。
7	造成現地珊瑚白化差異的主要因素究竟是溫度還是光度？目前資料尚無法明確回答。宜建議未來如何設計相關實驗，以解析影響珊瑚白化的關鍵因子。	以目前的野外觀察及實驗室內的結果來看，無法判斷出是溫度或者光度影響現地珊瑚白化差異。永安天然氣接收站的水體環境複雜，加上天然氣船進出港內頻繁，水體擾動多，影響水體光度，故永安天然氣接收站港內不見得是合適的研究珊瑚白化區域，可以考慮在其他能見度好，且水體干擾少的珊瑚礁區域進行試驗，謝謝委員指教。
8	利用冷卻水降溫來安置珊瑚方舟計畫中的珊瑚，似乎是一項可行方案。建議提供更詳細的改善措施，並綜合現有數據與研究結果，提出在永安天然氣接受站港內建立珊瑚保種基地(珊瑚方舟)的具體實施方案。	降低水溫確實可以減緩珊瑚所在的熱壓力，但若要是能使用永安天然氣接收站的冷排水，則會需要改變現有設施，以目前來說是沒有辦法使用現有的冷排水進行相關試驗，謝謝委員指教
9	未來可以增加 particle 之成分分析(Turbidity)，另外 Turbidity 之來源為何？	<ol style="list-style-type: none"> 1. 未來將考慮在不同地點觀測水體濁度，或者收集現地沉積物，以了解港內水文特性。 2. 目前認為永安天然氣接收站港內水體混濁，是因為港內屬於半封閉的設施，容易堆積淤沙於港內；淤沙的來源可能是從臺灣西海岸其他區域經由海流帶來的，一旦進入港內，就難以擴散出去。
10	有關 1-2m 及 3-4m 的白化比例不同之原因，宜在未來進一步探討瞭解。	以目前的觀察來看，珊瑚白化成度有水深上的差異，可能的原因是不同水深的水溫、光度不同，造成珊瑚白化程度不同，但至於哪個因子為主因，仍需要再詳細探討，謝謝委員指教。

四、內政部國家公園署海洋國家公園管理處

編號	委員意見	回覆
1	遮光試驗相信在夏季是有效的，在未來實務上如何應用？因為只適合可控制的小範圍。	謝謝委員指教，以目前野外遮光結果來看，執行野外遮光相當困難，原因包括：需在野外珊瑚尚未白化前進行架設遮光、當年需要有白化事件發生、遮光裝置，必須撐過像是颱風、豪大雨等氣候，才有機會達到遮光效果。以本研究的結果來說，遮光原則確實有效果，但實際上野外大規模的遮光應用會需要投入更多的成本才能實踐。
2	水下的籠具，藻類或附著物的多久清除一次？是否考慮懸掛式的培育試驗，不是放在籃子內(類似蚵架)，適合在比較平靜的水域。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝委員指教，本團隊每個月至少進港一次進行清理，會盡可能的刷掉懸浮架上的附著生物，以及堆積在 PVC 發泡板上的沉積物。 2. 蚵架的養殖方式適合用於枝狀珊瑚，團塊狀珊瑚若以此方式養殖，珊瑚可能會有某一側照不到陽光，且有容易掉落的風險。
3	養殖試驗死亡率較高的種類以及存活率較高的種類為何？和目前永安港內的珊瑚種類比較如何？	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以目前的養殖試驗來看，最高死亡率是發生在第一次運送珊瑚的過程，後來第二次大規模的死亡是發生在第一組平台的珊瑚養殖籃中(可參考表 4-1)。 2. 目前在第一組珊瑚養殖平台內在養殖中死亡的珊瑚種類，與永安天然氣接收站港內的珊瑚種類重疊共 17 種珊瑚，分別為小葉細星珊瑚、似菊盤星珊瑚、環盤星珊瑚、隱藏角菊珊瑚、柔角菊珊瑚、艾氏角星珊瑚、似菊角星珊瑚、小礁珊瑚、橫柔星珊瑚、不規則迷紋珊瑚、密集迷紋珊瑚、青灰表孔珊瑚、變形似角星珊瑚、小腦紋珊瑚、鐘型微孔

編號	委員意見	回覆
		珊瑚、堅實微孔珊瑚及小星盤珊瑚。
4	建議可以列出永安港內的優勢種或是在名錄表格加上豐度，可以更容易理解實驗結果。	謝謝委員提出的建議，但目前永安天然氣接收站內的調查主要著重於物種多樣性的評估，尚未進行豐度估算，未來將會納入調查項目之一。
5	建議未來可以增加嘗試珊瑚著苗試驗。	未來將會納入調查項目之一，或者進行現場小珊瑚(珊瑚尺寸小於5公分)的組成調查，謝謝委員指教。

五、綠能科技研究所

編號	委員意見	回覆
1	結案報告建議針對本案各項查核內容執行期程及狀況進行說明，以便案件結案的工項確認。	已補充在表 2-1. 甘特圖中，謝謝委員建議。
2	表 2-1. 本期計畫期程表及甘特圖，請留意上方時間軸的月份與年份切齊狀態，並確認此為「預定時間表」亦或為「實際執行期程」。	已修改表 2-1，謝謝委員建議。
3	本案提供珊瑚方舟復育工作之相關知識背景，並以本公司的自有場域為據點，雖然獨有之 LNG 冷排水並未發揮我們原以為會有的效果，但針對珊瑚養殖平台設計方法與珊瑚種源中繼流程建立，落實環境保護工作，並可提供未來相關工作之規劃參考，予以肯定。	謝謝委員肯定。

六、天然氣事業部

編號	委員意見	回覆
1	遮光實驗顯示可有效降低珊瑚白化率，具有應用潛力。然而，本廠需確保遮光設備不影響 LNG 船卸收相關作業。建議補充設備固定方式，確保其穩定性。	未來將會加強穩定性，謝謝委員建議。

2	第一組珊瑚方舟為浮動平台式，但經過實際操作發現管理不易，且海漂垃圾容易堆積影響設施運作，建議於下一期計畫變更為水下懸浮式，以利後續管理維運。	未來將會養殖方式變更為水下懸浮架的養殖方式，謝謝委員建議。
---	--	-------------------------------

七、環境保護及生態保育處

編號	委員意見	回覆
1	增加移植 SOP，並以附錄方式呈現(或手冊方式)，內容包含以下幾點建議供參： (1) 珊瑚採集時間、方式、大小、保存方式、時間限制、包覆方式。 (2) 暫存點設備配置(水溫、水質、餵食、時間)。 (3) 移植(時間、黏著固定方式、水深)。 (4) 平台樣式比較說明，並說明利用時機。	(1)~(3) 已新增於附件一，(4) 於第三章 3-1-2 節說明，謝謝委員建議。
2	期末報告未見於珊瑚養殖平台設置水下溫度計監測水溫，和港內其他樣點比較分析，此為工項之一，應補充完成。	已補充於第四章結果的 4-3 節中，謝謝委員指教。
3	建議新增各月份拍攝移植珊瑚之照片。	謝謝委員建議，由於照片過多，我們繳交成果報告時會將整理完畢的照片檔案一起提供。
4	P69，建議新增珊瑚白化及回復情形之照片。	謝謝委員建議，由於僅做 2024 年 10 月的一次性的珊瑚白化野外調查，並未在珊瑚白化期間進行調查作業。
5	P83，岩心分析建議新增永安與其他地方採集或其他文獻比較之討論。	已補充於第四章 4-6 節，謝謝委員指教。
6	P84，有關 2024 年珊瑚白化討論，建議新增臺灣其他地區白化及復原情形，以利探討永安棲地優勢。	從 2024 年 3 月，大堡礁海洋公園管理局正式宣告，大堡礁正經歷第 7 次的大規模珊瑚白化。爾後，臺灣周遭海域從 6 月開始陸續傳出珊瑚大量白化的

		情形，以小琉球為例，超過 20%的珊瑚有白化現象，西南部海域的珊瑚在白化現象後又接連經歷 3 個颱風的侵襲，但因後續監測結果尚未評估，目前仍不確定 2024 年白化事件以及颱風事件所帶來的影響。
7	實驗室遮光實驗，同種珊瑚在弱光組和強光組在中光度（100PAR）的表現差異似乎很大？	謝謝委員提出，維氏腦紋珊瑚在中低光度起始的光照強度下，確實對升溫所帶來的白化情形產生明顯的個體間差異。
8	方舟以保種為目的，應該以人為介入少，穩定的方向為主要考量。未來懸浮架數量多，依季節調整珊瑚水深的建議似乎不實際，應整合遮光實驗、現場光照溫度資料、白化調查等結果，來考量未來珊瑚方舟的設置方向。	遵照辦理，謝謝委員建議。
9	建議於綜合討論新增珊瑚方舟後續養護建議及本計畫小結，以利本公司辦理後續維護之參考。	遵照辦理，謝謝委員建議。