

NAMR-S-111015 (自行研究報告)

臺灣西部及離島海域海洋生態系水下聲景監測

(正式報告)

中華民國 111年 12月

NAMR-S-111013（自行研究報告）

臺灣西部及離島海域海洋生態系水下聲景監測

（正式報告）

主辦單位：本院海洋生態及保育研究中心

研究主持人：許世霖

協同主持人：江國辰、張至維

研究期程：中華民國111年4月至111年12月

研究經費：新臺幣50萬元

中華民國 111年12月

「本研究報告絕無侵害他人智慧財產權之情事，如有違背願自負 民、刑事責任。」

目錄

提 要	IV
一、研究緣起	V
二、研究方法及過程	V
三、重要發現	V
四、主要建議事項	VI
Abstract.....	VII
I. Purpose	VII
II. Methods and Procedures	VII
III. Results.....	VII
IV. Suggestions.....	VIII
第一章 前 言	- 1 -
第一節 研究緣起與背景	- 1 -
第二節 研究目的及研究重點	- 1 -
第三節 研究內容及文獻回顧	- 2 -
第四節 預期目標	- 3 -
第二章 研究方法與步驟	- 4 -
第一節 被動聲學量測	- 4 -
第二節 聲學資料分析	- 8 -
第三節 海草床底棲生物調查	- 8 -
第三章 結果與討論	- 9 -
第一節 澎湖隘門珊瑚礁被動聲學量測資料	- 9 -
第二節 澎湖鎮海海草床被動聲學量測資料	- 32 -
第三節 聲壓值比較	- 52 -
第四節 海草床大型無脊椎動物調查	- 54 -
第四章 結 論	- 75 -
參考文獻	- 76 -

表次

表 1. 站點佈放資料 -----	4 -
表 2. ST-300 規格表-----	6 -
表 3. 物種總計表 -----	54 -
表 4. 物種調查比較表 -----	55 -
表 5. 各月份軟體動物之分析 -----	56 -

圖次

圖 1. 澎湖珊瑚礁 (左) 及海草床 (右)被動聲學量測點位-----	5 -
圖 2. ST300 實體外觀圖-----	5 -
圖 3. 澎湖縣隘門珊瑚礁-----	6 -
圖 4. 澎湖縣鎮海海草床-----	7 -
圖 5. 海草床採樣方框及穿越線調查 -----	8 -
圖 6. 澎湖隘門珊瑚礁 4 月份水下聲景頻譜圖 -----	9 -
圖 7. 澎湖隘門珊瑚礁 5 月份水下聲景頻譜圖 -----	11 -
圖 8. 澎湖隘門珊瑚礁 6 月份水下聲景頻譜圖-----	13 -
圖 9. 澎湖隘門珊瑚礁 7 月份水下聲景頻譜圖 -----	15 -
圖 10. 澎湖隘門珊瑚礁 8 月份水下聲景頻譜圖-----	17 -
圖 11. 澎湖隘門珊瑚礁 9 月份水下聲景頻譜圖-----	19 -
圖 12. 澎湖隘門珊瑚礁 10 月份水下聲景頻譜圖-----	21 -
圖 13. 澎湖隘門珊瑚礁 11 月份水下聲景頻譜圖-----	23 -
圖 14. 澎湖隘門珊瑚礁 12 月份水下聲景頻譜圖-----	25 -
圖 15. 澎湖隘門珊瑚礁-天竺鯛科魚類(Apogonidae)生物訊號分析-----	27 -
圖 16. 澎湖隘門珊瑚礁 6 月份溫度變化圖-----	28 -
圖 17. 澎湖隘門珊瑚礁 7 月份溫度變化圖-----	28 -
圖 18. 澎湖隘門珊瑚礁 8 月份溫度變化圖-----	29 -
圖 19. 澎湖隘門珊瑚礁 9 月份溫度變化圖-----	29 -
圖 20. 澎湖隘門珊瑚礁 10 月份溫度變化圖-----	30 -
圖 21. 澎湖隘門珊瑚礁 11 月份溫度變化圖-----	30 -
圖 22. 澎湖隘門珊瑚礁 12 月份溫度變化圖-----	31 -
圖 23. 澎湖鎮海海草床 5 月份水下聲景頻譜圖-----	32 -
圖 24. 澎湖鎮海海草床 6 月份水下聲景頻譜圖-----	34 -
圖 25. 澎湖鎮海海草床 7 月份水下聲景頻譜圖-----	36 -
圖 26. 澎湖鎮海海草床 8 月份水下聲景頻譜圖-----	38 -
圖 27. 澎湖鎮海海草床 9 月份水下聲景頻譜圖-----	40 -
圖 28. 澎湖鎮海海草床 10 月份水下聲景頻譜圖-----	42 -
圖 29. 澎湖鎮海海草床 11 月份水下聲景頻譜圖-----	44 -
圖 30. 澎湖鎮海海草床 12 月份水下聲景頻譜圖-----	46 -
圖 31. 澎湖鎮海海草床 6 月份溫度變化圖-----	48 -
圖 32. 澎湖鎮海海草床 7 月份溫度變化圖-----	48 -
圖 33. 澎湖鎮海海草床 8 月份溫度變化圖-----	49 -
圖 34. 澎湖鎮海海草床 9 月份溫度變化圖-----	49 -
圖 35. 澎湖鎮海海草床 10 月份溫度變化圖-----	50 -

提 要

關鍵詞：水下聲景、被動式聲學調查、生態調查

本研究根據國家海洋研究 109 年「我國海洋生態調查監測網與監測規範建立之整體規劃」成果報告書所規劃臺灣及離島周邊海域計 15 個海洋生態系及 54 個長期生態監測站，選擇離島澎湖縣湖西鄉隘門珊瑚礁、澎湖縣白沙鄉鎮海海草床進行聲學資料蒐集。藉由頻譜分析探討珊瑚礁及海草床的海洋生態系水下聲景頻率及能量變化，並持續監測海洋生態系水下噪音的時空變化。經過聲學資料分析結果，可以發現澎湖隘門珊瑚礁 111 年 4 月至 12 月的水下聲景，魚類及無脊椎動物的生物音係為珊瑚礁生態系聲景的主要組成，無脊椎動物的聲音為寬頻頻率範圍由 1kHz 超過 5kHz，魚類聲音頻譜則低於 2kHz，並且有 3 種頻帶。澎湖鎮海海草床 111 年 5 月至 12 月的水下聲景，海草床水下聲景與珊瑚礁水下聲景不同，本研究無記錄到魚類的聲音，但有無脊椎動物刮食活動的聲音，頻率低於 1kHz。分析珊瑚礁魚類生物訊號，參考 Chang et.al (2022)所發表於臺灣東沙群島紀錄的天竺鯛科 (Apogonidae) 聲音，隘門珊瑚礁亦有記錄到相同的鳴響聲 (hoot call)。澎湖隘門珊瑚礁 111 年 6 月至 8 月珊瑚礁的海水溫度可高於 30°C 以上，9 月的海水溫度低於 30°C 以下，10、11 月的海水溫度低於 26°C，12 月的海水溫度低於 22°C。澎湖鎮海海草床 6 月的海水溫度可高於 25°C 以上，7 月、8 月海水溫度較高且變化明顯，平均溫度高於 30°C，9 月的海水溫度最高海水溫度可達 32°C，平均低於 28°C 以下，10 月的海海水溫度平均高於達 26°C，11、12 月的海水溫度平均低於 25°C 以下，海草床的溫度受日照及潮汐影響，溫度變化較大。珊瑚礁聲壓值 111 年 5 至 12 月聲壓值介於 69 至 83 分貝之間，海草床聲壓值介於 62 至 83 分貝。海草床大型無脊椎動物採集，共記錄 5 門 60 科 82 屬 105 種，其中多為軟體動物門及節肢動物門之種類，分別為 52 種及

40 種。

一、研究緣起

海洋水下聲景 (Underwater Soundscape) 是指海洋中的環境音 (Geophony)、生物音 (Biophony) 與人為音 (Anthropophony) 等三大聲音來源，環境音如地震、降雨；生物音如鯨豚鳴唱；人為音如船舶引擎。使用水下麥克風蒐集水下的聲音，並將聲音經過數位處理及程式分析，可以使我們瞭解海洋中的環境音、生物音、人為音的頻率範圍或響度大小，也可進一步探討聲音與棲地的互動，人為活動如何影響生物及環境。本研究根據國家海洋研究 109 年「我國海洋生態調查監測網與監測規範建立之整體規劃」成果報告書所規劃臺灣及離島周邊海域計 15 個海洋生態系及 54 個長期生態監測站，進行本案研究點規劃，選擇離島澎湖縣湖西鄉隘門珊瑚礁、澎湖縣白沙鄉鎮海海草床進行聲學資料蒐集，藉由頻譜分析探討珊瑚礁及海草床海洋生態系水下聲景頻率及能量變化，並持續監測海洋生態系水下噪音的時空變化。

二、研究方法及過程

本研究於澎湖隘門海域珊瑚礁與鎮海海域海草床進行水下聲景記錄及聲學分析。其中聲學資料之蒐集以勞務委請澎湖當地潛水人員協助佈放水下麥克風，而聲學資料分析則由本案計畫主持人執行。另為探討海草床聲學與生態，係以合作研究方式由澎湖科技大學水產養殖系團隊協助鎮海海草床大型無脊椎動物調查。

三、重要發現

本研究利用 MATLAB 軟體進行快速傅立葉轉換 (FFT) 運算(以小時為單位)畫出時頻譜圖。並參考 Chang et.al (2022)所發表於臺灣東沙群島紀錄的天竺鯛科 (Apogonidae) 聲音，隘門珊瑚礁亦有記錄到相同的鳴

響聲 (hoot call)，經由波形圖及頻譜圖比對魚類的脈衝數目及能量值進行比對，隘門珊瑚礁的魚類聲音可推論為天竺鯛，後續將再詳細比對聲音的各項物理性質，及進行長期的聲學調查及生物相調查。比較珊瑚礁 111 年 5 至 12 月聲壓值，發現不同月份之中午時段聲壓值較低，推論為中午時段珊瑚礁魚類及無脊椎動物活動較少所致。8 月份的聲壓值顯示，於傍晚與夜間聲壓值高於其他月份，而 11 月及 12 月份則較低。比較海草床 111 年 5 至 12 月聲壓值，不同月份的聲壓值無明顯差異，另與此處(澎湖鎮海海草床)大型無脊椎動物調查結果比較發現，此樣區以軟體動物門與節肢動物門為最多，而生物聲音分析顯示，均與調查結果相符，多由軟體動物及節肢動物組成，而魚類聲音則較少。海草床大型無脊椎動物調查，111 年共記錄 5 門 60 科 82 屬 105 種，其中多為軟體動物門及節肢動物門之種類，分別為 52 種及 40 種。在與林等 (2019) 之調查結果比較後發現，林等 (2019) 共記錄 8 門 50 科 65 屬 83 種，而在本次研究調查則未發現海綿動物門、半索動物門及蠕蟲動物門，另在軟體動物門及節肢動物門之種類多於林等 (2019) 之記錄。

四、主要建議事項

- (一) 持續長期記錄水下聲景及環境因子，以長期監測各類海洋生態系噪音的時空變動。
- (二) 建議後續研究加入影像學、環境DNA分子生物技術、生態基礎調查，藉以佐證聲學資料分析。

Abstract

Keywords: Underwater soundscapes, passive acoustic surveys, ecological surveys

I. Purpose

Different marine ecosystems have special "soundscapes", including background noise and special signal sounds that constitute the ecological environment inhabited by marine organisms. The purpose of this study is to measure the underwater soundscape of coral reefs and seagrass beds by analyzing the sound information to understand the background and special signals of the ecosystem in order to establish the spatial and temporal information for long-term underwater soundscape monitoring.

II. Methods and Procedures

In this study, we plan to conduct long-term underwater soundscape measurements using bottom-anchored underwater microphones in the coral reefs of Penghu Aimen and the seagrass beds of Penghu Jhenhai. For the analysis of the collected passive acoustic data, the analysis and calculation of spectrograms are mainly performed because the collected data are mainly backgrounding noise. The acquired acoustic data were separated from animal sounds and environmental noise to systematically build a marine eco-acoustic database. In order to explore the animal acoustics and sound sources of the Penghu marine ecosystem, an ecological survey of the Penghu marine ecosystem is conducted once a month. The survey site was Jhenhai, Penghu. The macroinvertebrates were surveyed using a delineated survey method. The collected samples were analyzed for biodiversity and compared with marine bioacoustics.

III. Results

The underwater soundscape analysis from May to December at the Penghu Aai Men coral reef showed that the biological sound relationships of fish and

invertebrates were the main components of the soundscape of the coral reef ecosystem, and the invertebrate sounds were broadband frequencies ranging from 1 kHz to 5 kHz, while the fish sound spectrum was lower than 2 kHz and had three frequency bands. Analysis of the underwater soundscape of the seagrass beds in Penghu Town Sea from May to December showed that the underwater soundscape of the seagrass beds was different from that of the coral reefs, and no fish sounds were recorded in the seagrass bed sample area, but invertebrate sounds were present. In addition, because the seagrass beds are located closer to the shore, the frequency spectrum is different due to the influence of high and low tide, but the seagrass beds are affected by high and low tide, so the underwater microphone will be exposed to the water at low tide, resulting in some audio files only recording airborne sounds. In addition, the bubble sound of photosynthesis in the seagrass bed is not obvious in the seagrass bed of Penghu Township. After consulting with experts, it is suggested to use underwater radios with cables to record the very small bubble sound, so that the seagrass bed can be adjusted for the seagrass recording technology.

In the future, the number of underwater microphones will be increased in the Aai Men coral reef sample area to facilitate more complete underwater soundscape data collection.

In this study, a total of 105 species of macroinvertebrates were recorded in 5 phyla, 60 families and 82 genera, of which 52 and 40 species of molluscs and arthropods, respectively, were recorded in the seagrass beds. In the future, we will gradually record the sounds of various groups of mollusks in order to clarify the biological attribution of the sounds, which will be more accurate for future biological comparison analysis..

IV. Suggestions

(1) Continuous long-term recording of underwater soundscape and environmental factors for long-term monitoring of temporal and spatial changes of various marine ecosystem noises.

(2) It is suggested that subsequent studies should include imaging, environmental DNA molecular biotechnology, and ecological base investigation to support the analysis of acoustic data.

第一章 前言

第一節 研究緣起與背景

近年來，全球重視藍色經濟發展的趨勢下，進行海洋資源的開發與利用是提升國際競爭力的重要利基。然而在海洋經濟發展中，所產生的水下噪音對海洋環境影響問題是近年較受關注的議題，也讓許多國家投入相當程度的研究發展資源，像是長期利用水下聲學技術調查海洋哺乳類生態、制定離岸工程水下噪音規範、建立海洋哺乳類動物聽力閾值保護規定，或建立生態系聲景等，均是為了保護海洋資源及生態。

「水下聲景」係為海洋環境中匯集各種不同的聲音而形成，其中高頻率的聲音來自於風、降雨、雷電，低頻的聲音來自於海浪或海流等自然現象產生，而生物所產生的聲音是屬於間歇性的(Cotter, 2008)。Pijanowski et al. (2011)將聲景的概念分為生物音(合唱、鳴叫、警告、溝通)、環境或物理音(海浪、風、閃電)和人為音(海上活動、船舶引擎)三種聲音。然而使用水下麥克風蒐集水下的聲音，並將聲音經過數位化處理及程式分析，除能瞭解海洋中的生物音、環境音、人為音的頻率範圍及響度大小外，亦可進一步利用分析資訊探討聲音與棲地的互動，以及人為活動是否影響生物及環境等訊息。

第二節 研究目的及研究重點

由於海洋環境因人類活動影響而面臨一定程度的壓力，需透過長期性與基礎性的調查研究來擬定海洋環境永續利用之管理策略。有鑑於國家海洋研究院(簡稱國海院)為國家海洋研究機構，進行長期性、應用性、基礎性之生態調查研究為其重要目標，因此本研究依據國海院 109 年「我國海洋生態調查監測網與監測規範建立之整體規劃」成果報告書所規劃之臺灣及離島周邊海域(15 個海洋生態系及 54 個長期生態監測站)，分別

選擇澎湖縣湖西鄉隘門及白沙鄉鎮海之珊瑚礁生態系與海草床生態系進行聲學資料蒐集，且透過頻譜分析探討珊瑚礁及海草床的海洋生態系水下聲景頻率及能量變化，藉由分析聲音資訊得知生態系的背景及特殊訊號，以期建立長期水下聲景監測之時空變動資訊。

第三節 研究內容及文獻回顧

傳統的生物調查技術需耗費較多的人力及成本，也無法進行長期及大範圍的調查(Burivalova et al., 2019)，因此使用水下聲景技術進行調查已被認為是可行的方法，尤其是廣泛應用於海洋動物生態研究之被動式聲學監測(PAM)(Erbe et al., 2015; Pieretti et al., 2017；林等，2018)，例如：Erbe et al. (2016)於澳洲海域利用被動式聲學監測技術進行長期且大範圍水下聲景調查，其調查目標包含鯨豚、魚類及無脊椎動物等；Tonolla et al. (2011)在美國近岸河口利用被動式水下聲學監測技術進行水下聲景調查，並比較不同水文地貌的河流聲景及其聲壓值。有此可知，被動式水下聲學監測能運用於各類型的海洋生態調查，也可運用於較小範圍的生態監測。但水下聲景調查也需考量水下聲音的複雜程度及不同的水下環境該如何進行調查等問題，然而所得之數據又如何能取用及分析，亦是目前熱門的研究議題。

國內早期水下聲學的相關研究均以國防監測或科學研究為主，如：1985 年國防部龍睛計畫(SOSUS)、2001 年亞洲海域國際聲學實驗總計畫(ASIAEX)，近年我國政府進一步推動離岸風電開發計畫又再度受到關注。目前國內水下聲學研究多應用於海洋生物聲學、離岸風電場噪音監測、漁業資源探測等方面(周，2011；周及魏，2012；周及陳 2013、2014；林等，2013；黃等，2013；黃等，2015；Guan et al., 2015；楊等 2020；溫，2020；湛與魏，2021；Chang et al., 2022；Kelly et al., 2022)，然而應用於生態系

調查方面僅 Lin et al. (2021)針對臺灣東北部海域進行水下聲景進行音源分析研究，以及許(2021)針對離岸風電場及珊瑚礁生態系進行水下聲景量測。因此，為使國內之聲學資料更加完臻，持續建立國內長期的生態系聲學資料亦有其必要性及重要性。

第四節 預期目標

- 一、完成 111 年西部海域及離島水下聲景量測與分析。
- 二、逐步建立海洋水下聲學網站。
- 三、完成澎湖海草床無脊椎生物調查及動物聲學初步比對。

第二章 研究方法與步驟

第一節 被動聲學量測

本計畫於澎湖縣隘門珊瑚礁進行每月 3 至 4 天水下聲景資料蒐集、澎湖鎮海海草床進行每月 1 至 2 天水下聲景資料蒐集，各測站點位資料請參閱表 1 及圖 1。本研究使用之水下麥克風係採用紐西蘭 Ocean Instruments 公司產品 SoundTrap ST300 採樣頻率為 96KHz，靈敏度經校正為-153 dB re 1 μ Pa，該公司水下麥克風自身噪音較小，小於零級海域高頻噪音，電池續航力可達 7 天以上(圖 2；規格詳如表 2)；澎湖隘門珊瑚礁樣區如圖 3、澎湖鎮海海草床樣區如圖 4。

表 1. 站點佈放資料

點位	經緯度	佈放時間	水深
澎湖隘門珊瑚礁	(119°38'30.78"E 23°33'17.80"N)	4 月至 12 月	10m
澎湖鎮海海草床	(119°36'18.43"E 23°38'53.99"N)	5 月至 12 月	2m(漲潮)

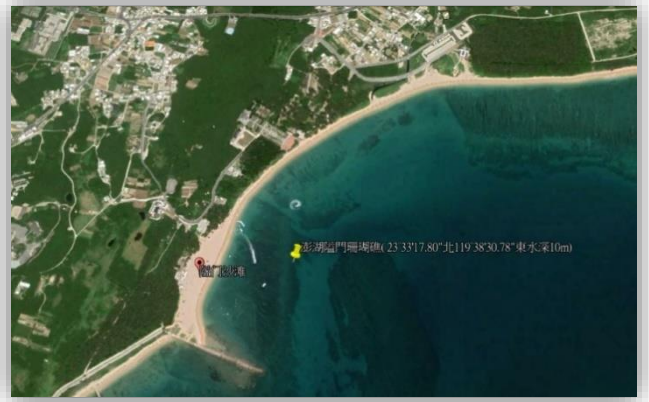


圖 1. 澎湖珊瑚礁 (左) 及海草床 (右)被動聲學量測點位



圖 2. ST300 實體外觀圖

表 2. ST-300 規格表

項目	規格
Bandwidth	20 Hz 至 60 kHz(正負 3dB)
Self-noise	低於 35 dB re 1 μ Pa
Sample rates	192、96、64、48、32、16 kHz
Batteries	內部電池 13 天/外接電池 70 天
ADC	16-bit SAR
Maximum Depth	500 公尺
Dimensions	200 厘米(長)x 60 厘米(直徑)
Weight	500 公克重(空氣中)



圖 3. 澎湖縣隘門樣區珊瑚礁生態系現況圖



圖 4. 澎湖縣鎮海樣區海草床生態系現況圖

第二節 聲學資料分析

一、傅立葉轉換

傅立葉轉換是常被用來分析訊號的工具，以數學式表示：

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot \exp(-i2\pi ft) dt$$

F (t) 為聲音訊號時序列。再透過快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)對欲分析的訊號進行計算，以求能快速獲得水下頻譜特徵。

二、窄頻頻譜

窄頻頻譜定義為 1Hz 頻寬內之聲壓位準，聲壓位準 (Sound Pressure Level, SPL) 為聲音量之通稱，單位為 dB re 1μPa (即以 1 μPa 為標準)。本研究就海洋生態系之 SPLrms 討聲壓值變化。

第三節 海草床底棲生物調查

底棲生物調查則是針對無脊椎動物類群，包含軟體動物、節肢動物等大型底棲生物進行調查，其調查方法以穿越線法 (Line transect methods) 進行(圖 5)。利用營釘將 25 公尺之穿越線拉直固定後，以穿越線左右兩側垂直延伸 5 公尺為採集區域，並放置 1 m x 1 m 的採樣方框，方框中規劃 100 格長、寬各 10 cm 的小格，調查時沿著穿越線兩邊放置共 20 格之方框，並記數格中所有螺貝類。



圖 5. 海草床採樣方框及穿越線調查

第三章 結果與討論

第一節 澎湖隘門珊瑚礁被動聲學量測資料

經過聲學資料分析結果，可以發現澎湖隘門珊瑚礁 4 月至 12 月的水下聲景、魚類及無脊椎動物的生物音係為珊瑚礁生態系聲景的主要組成。其中無脊椎動物的聲音為寬頻頻率範圍由 1kHz 超過 5kHz，魚類聲音頻譜則低於 2kHz，並且有 3 種頻帶，相關頻譜圖如圖 6 至圖 14 所示。

一、4 月份頻譜資料，調查時間是 111 年 4 月 6 日至 4 月 7 日

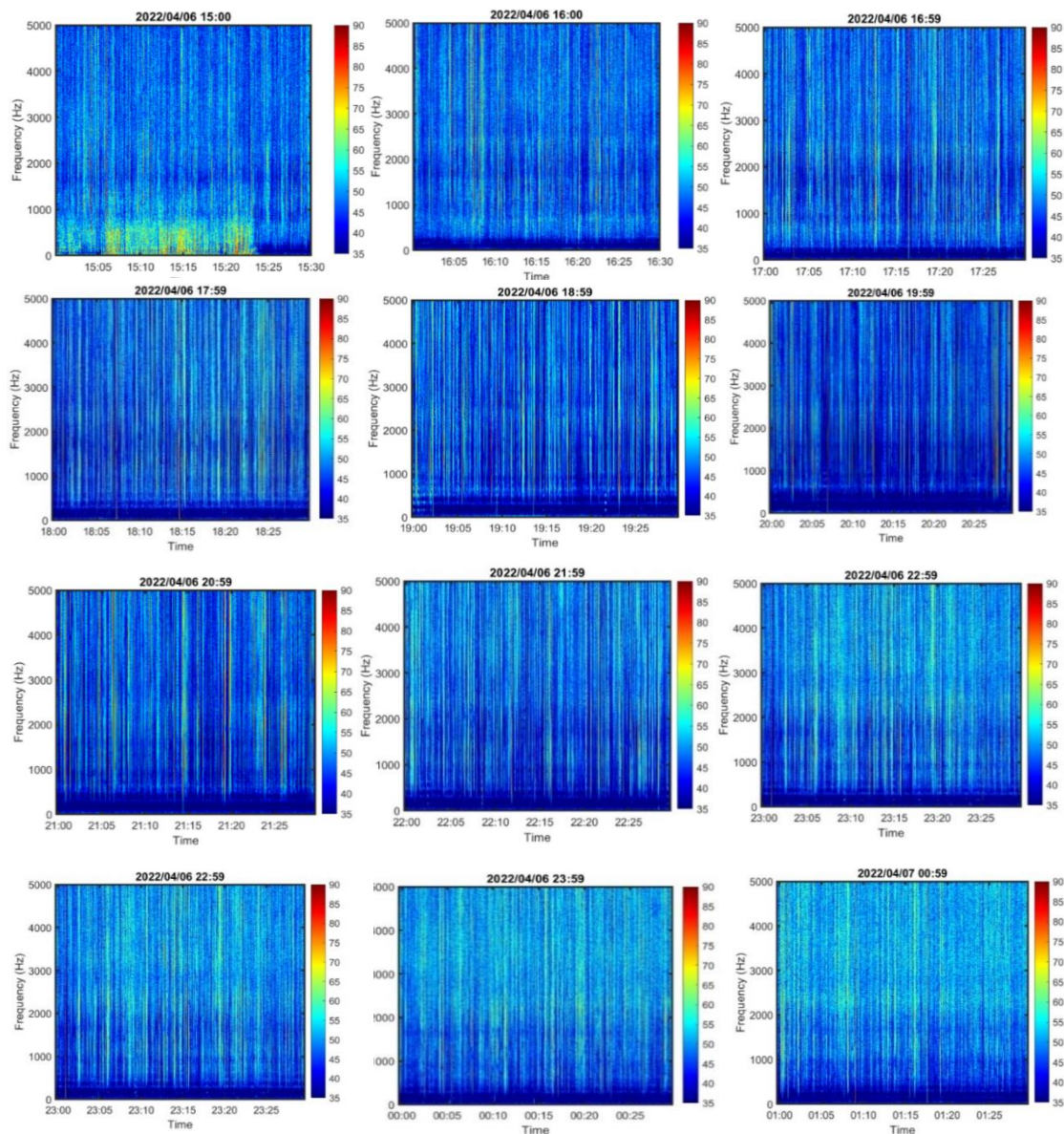


圖 6. 澎湖隘門珊瑚礁 4 月份水下聲景頻譜圖

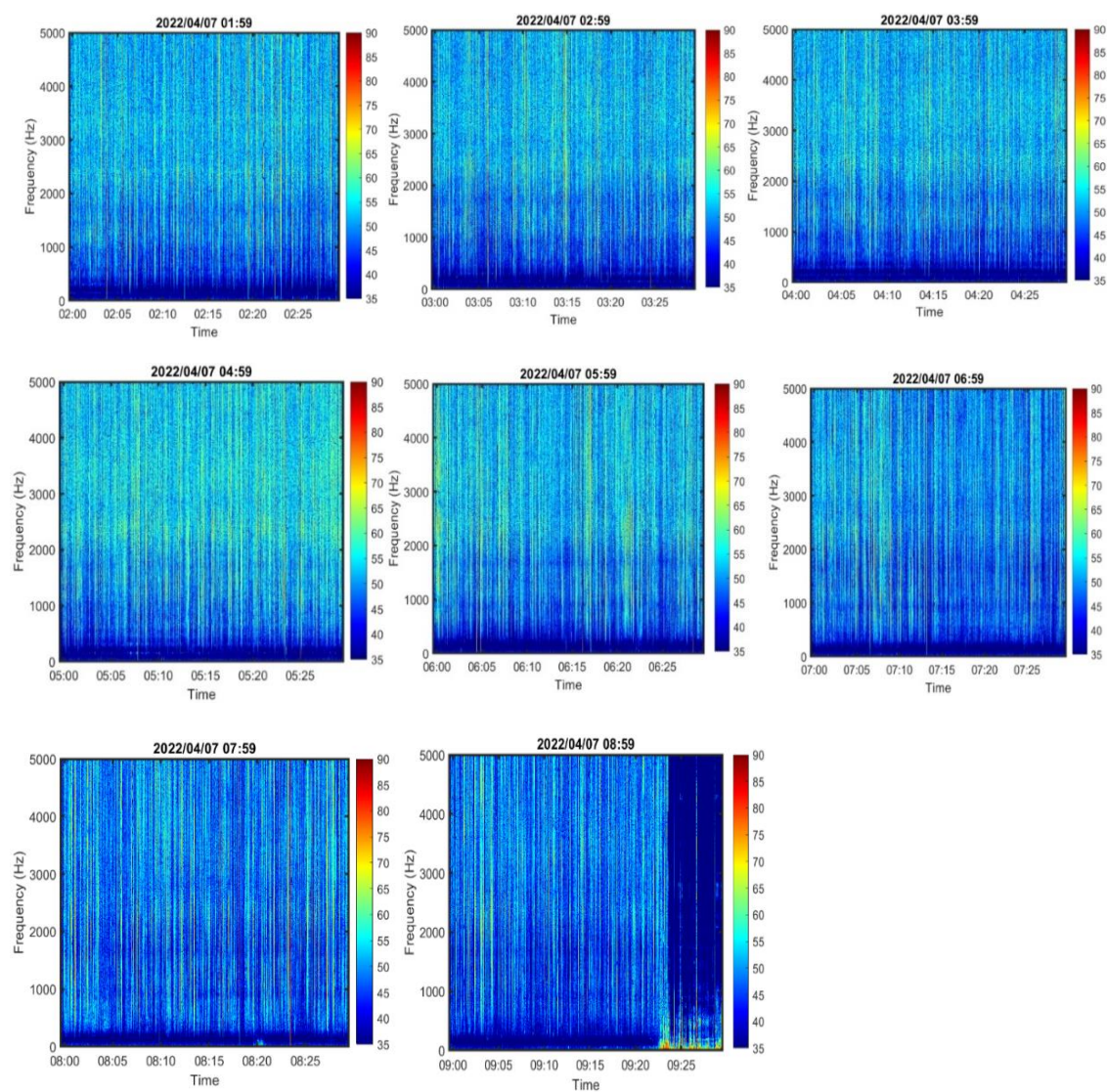


圖 6. 澎湖隘門珊瑚礁 4 月份水下聲景頻譜圖(續)

二、5 月份頻譜資料，調查時間是 5 月 20 日至 5 月 21 日

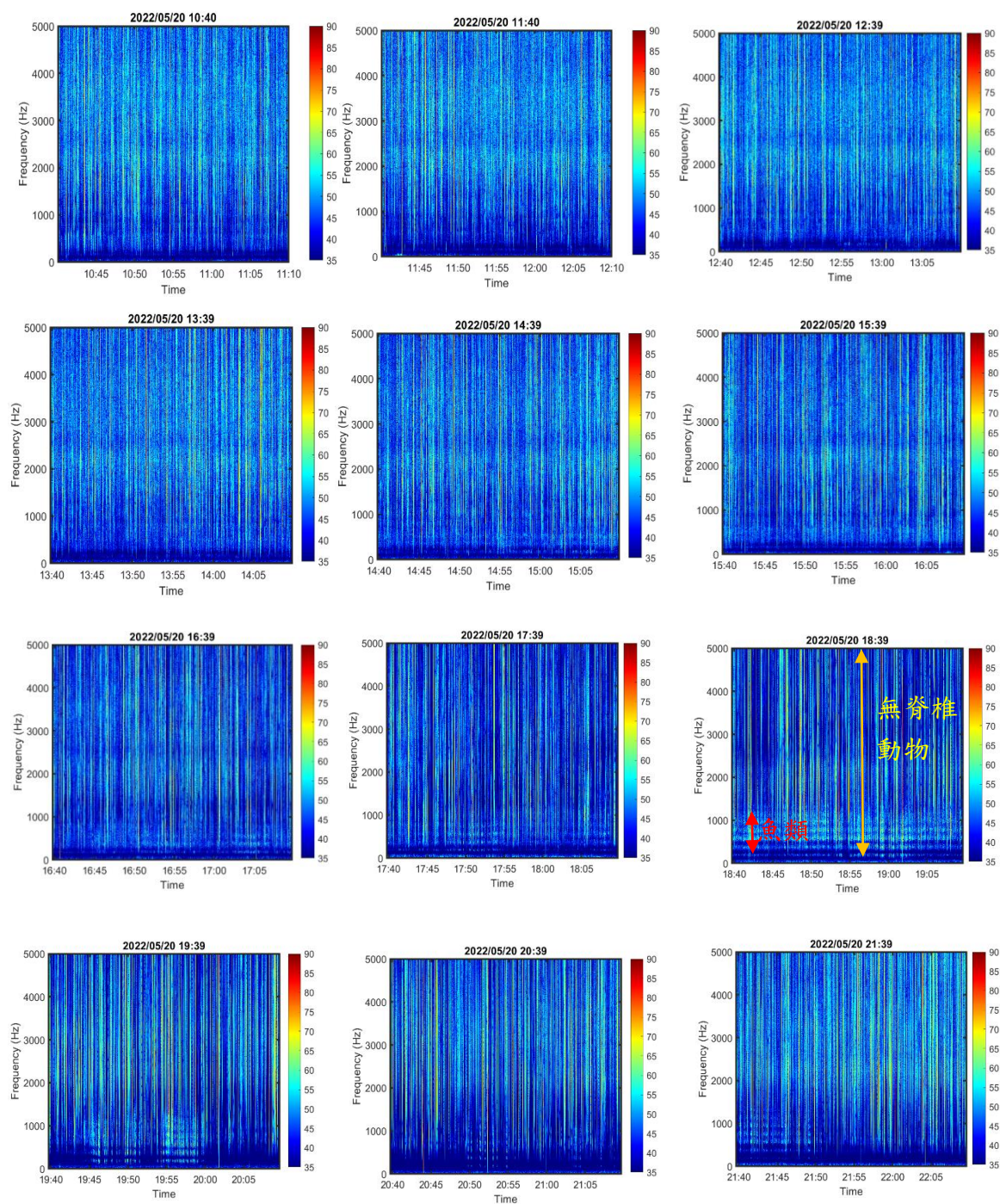


圖 7. 澎湖隘門珊瑚礁 5 月份水下聲景頻譜圖

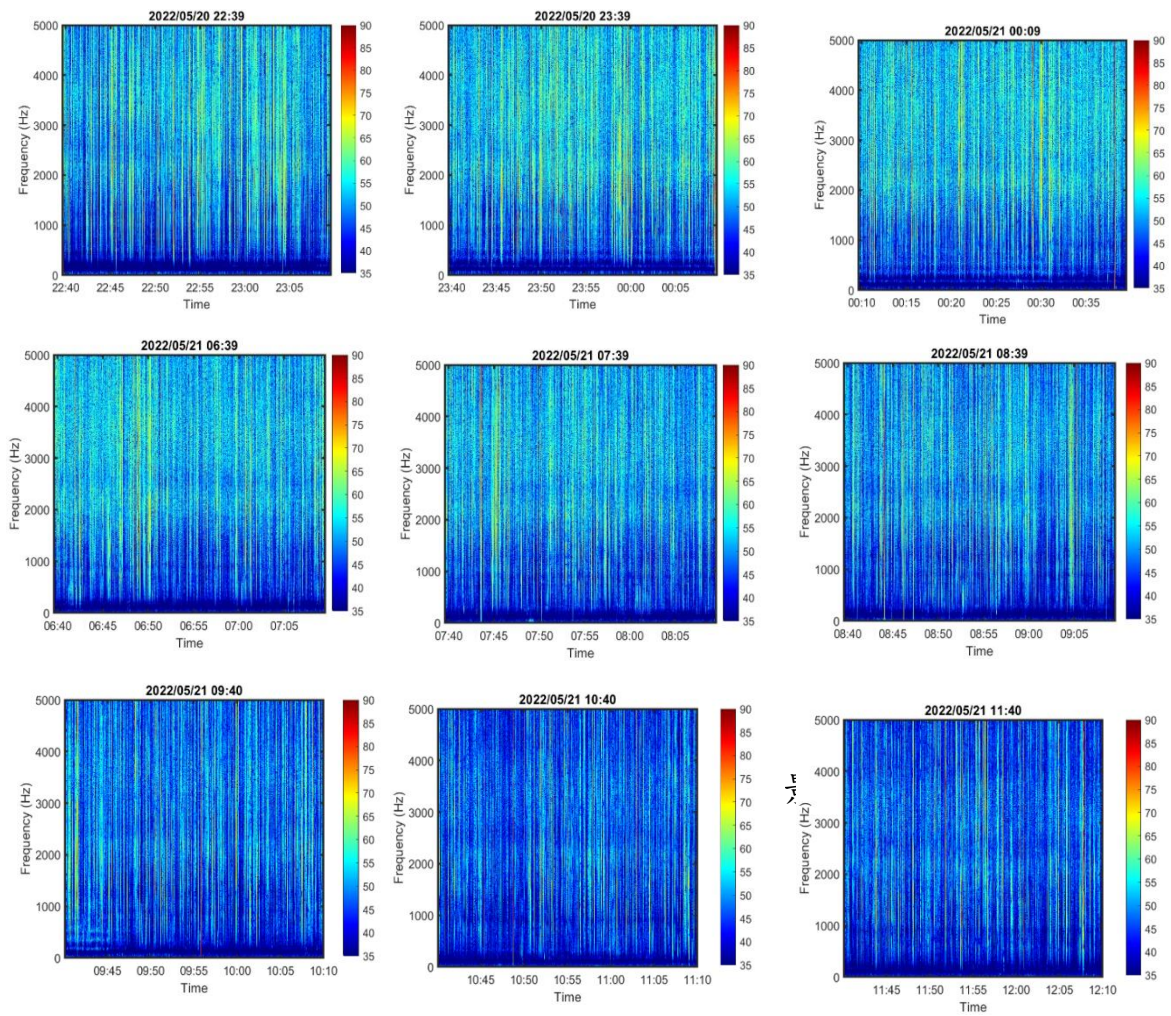


圖 7. 澎湖隘門珊瑚礁 5 月份水下聲景頻譜圖(續)

三、6 月份頻譜資料，調查時間是 6 月 30 日至 7 月 1 日

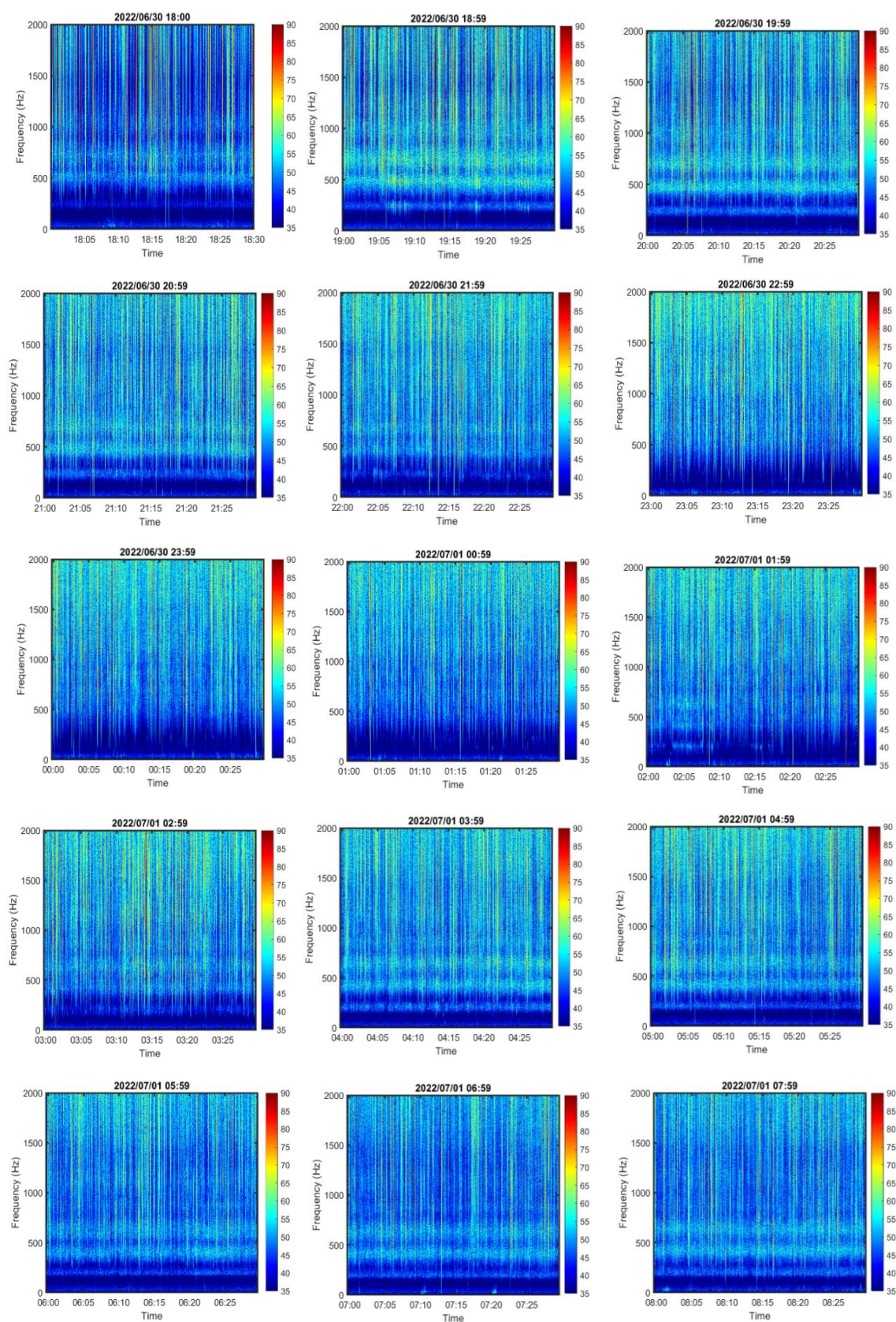


圖 8. 澎湖隘門珊瑚礁 6 月份水下聲景頻譜圖

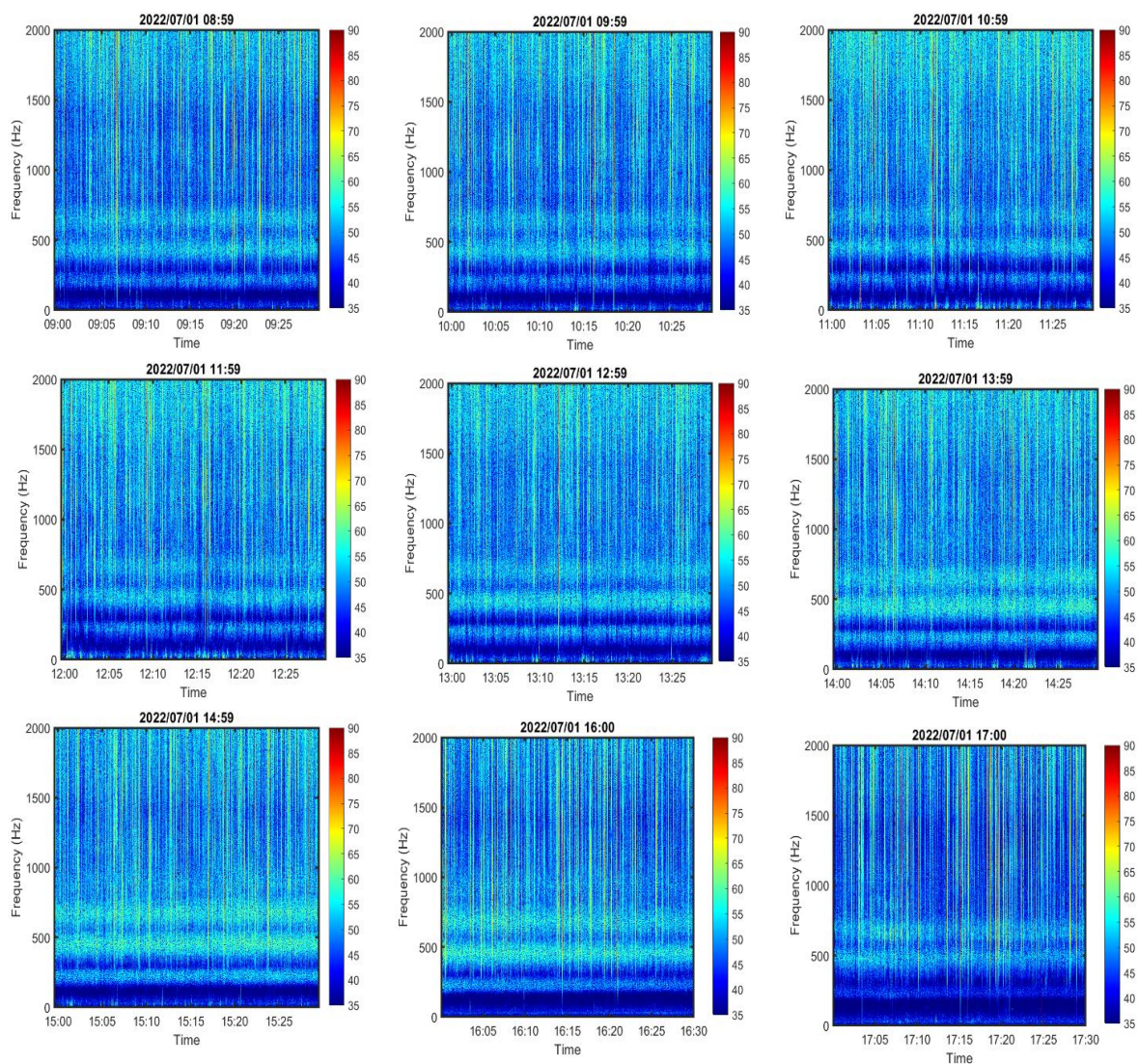


圖 8. 澎湖隘門珊瑚礁 6 月份水下聲景頻譜圖(續)

四、7 月份頻譜資料，調查時間是 7 月 21 日至 7 月 22 日

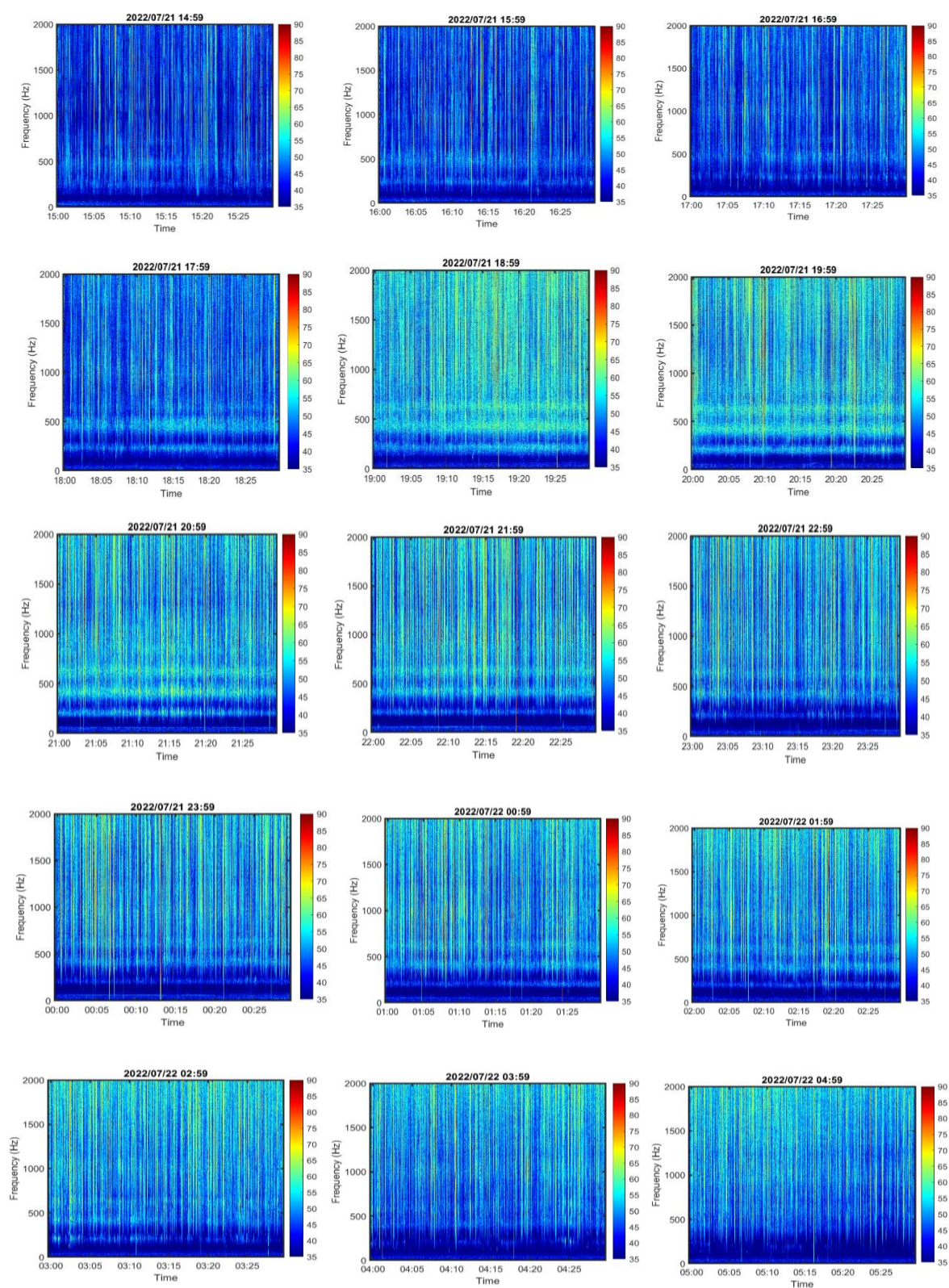


圖 9. 澎湖隘門珊瑚礁 7 月份水下聲景頻譜圖

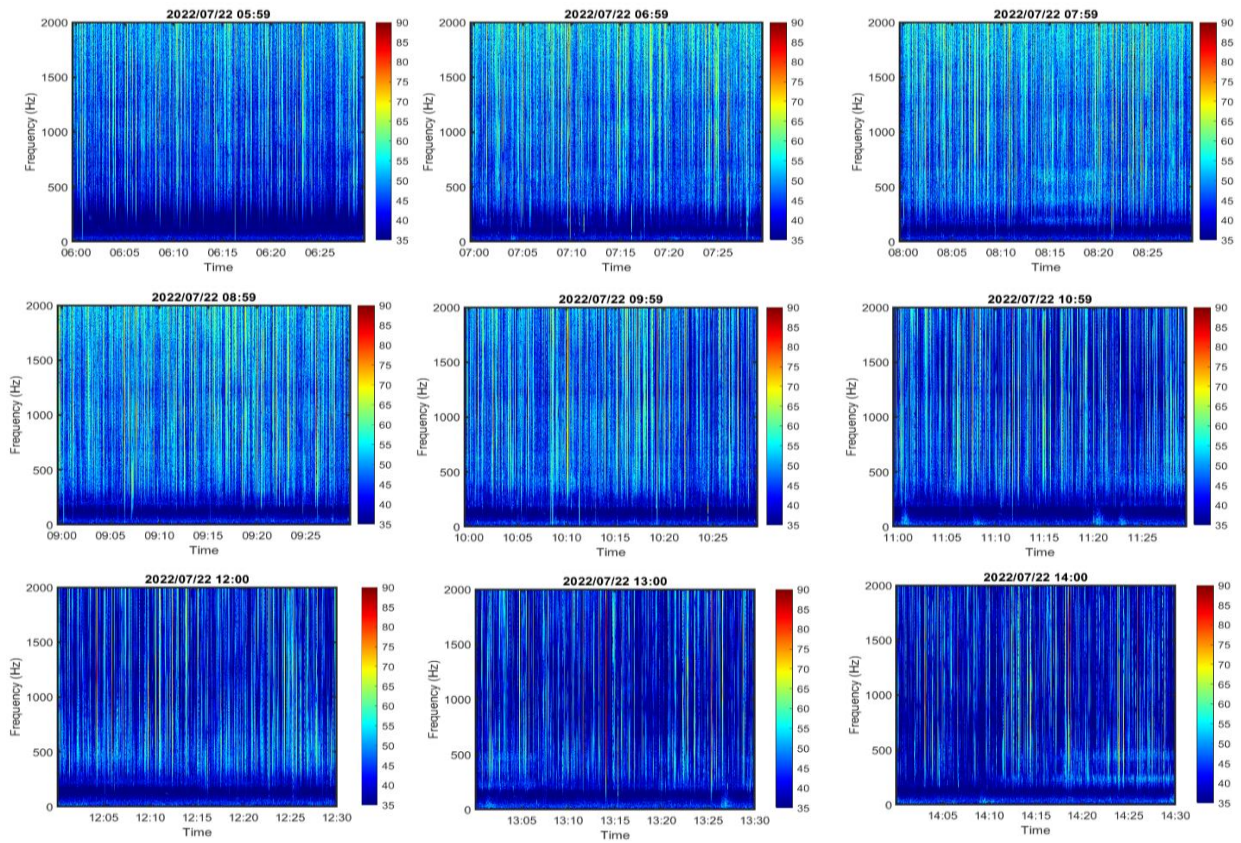


圖 9. 澎湖隘門珊瑚礁 7 月份水下聲景頻譜圖(續)

五、8 月份頻譜資料，調查時間是 8 月 23 日至 8 月 24 日

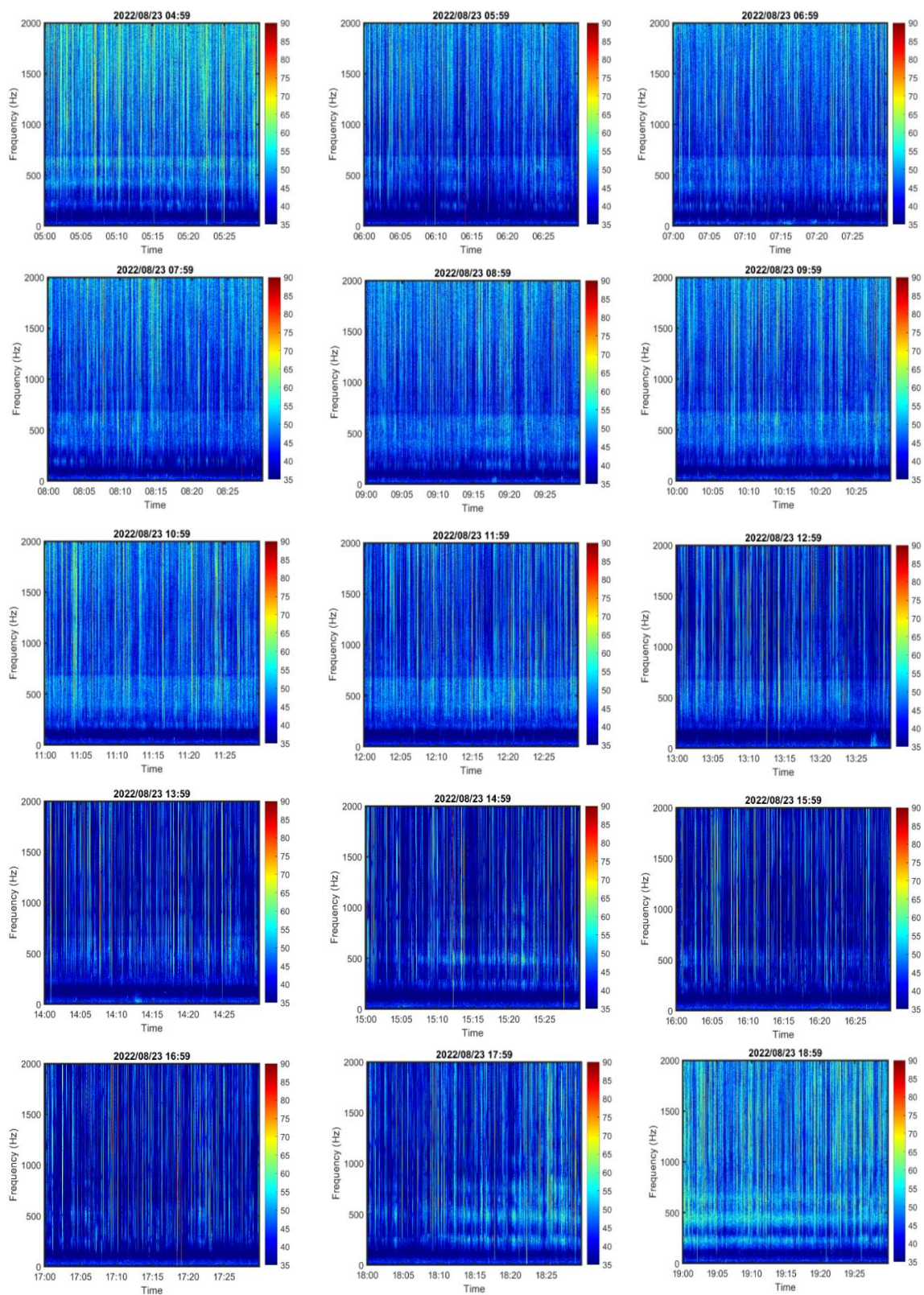


圖 10. 澎湖隘門珊瑚礁 8 月份水下聲景頻譜圖

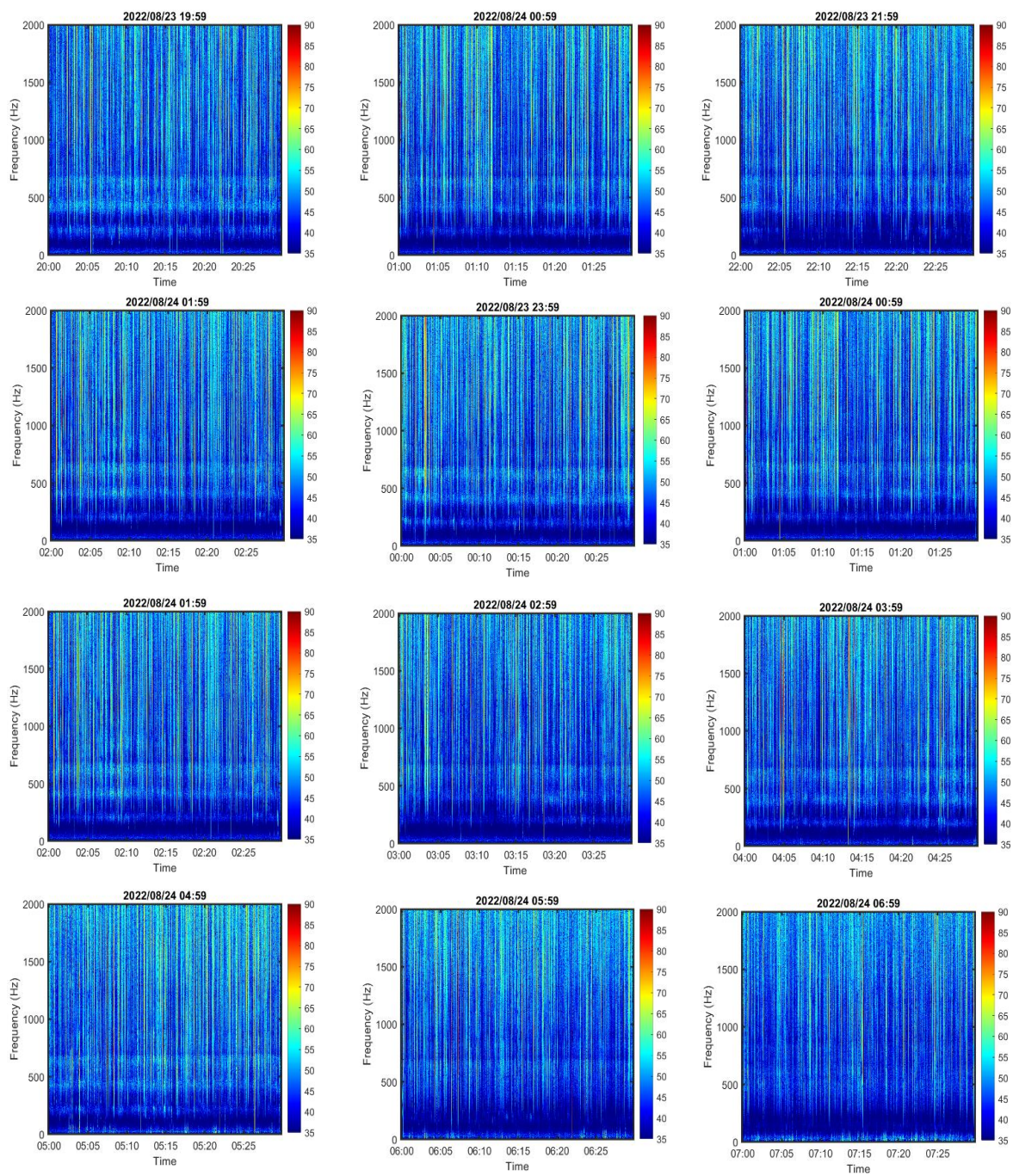


圖 10. 澎湖隘門珊瑚礁 8 月份水下聲景頻譜圖(續)

六、9 月份頻譜資料，調查時間是 9 月 14 日至 9 月 15 日

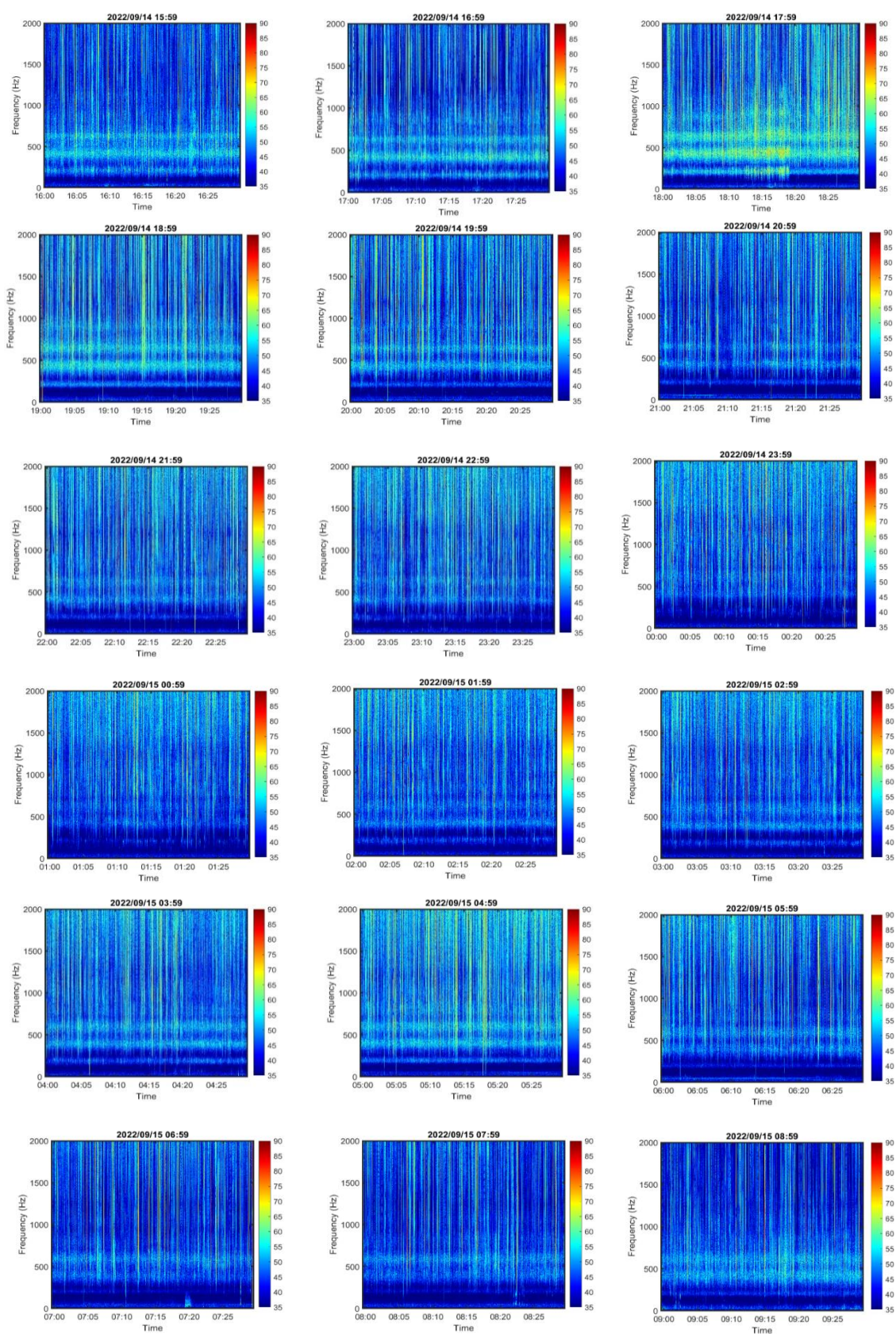


圖 11. 澎湖隘門珊瑚礁 9 月份水下聲景頻譜圖

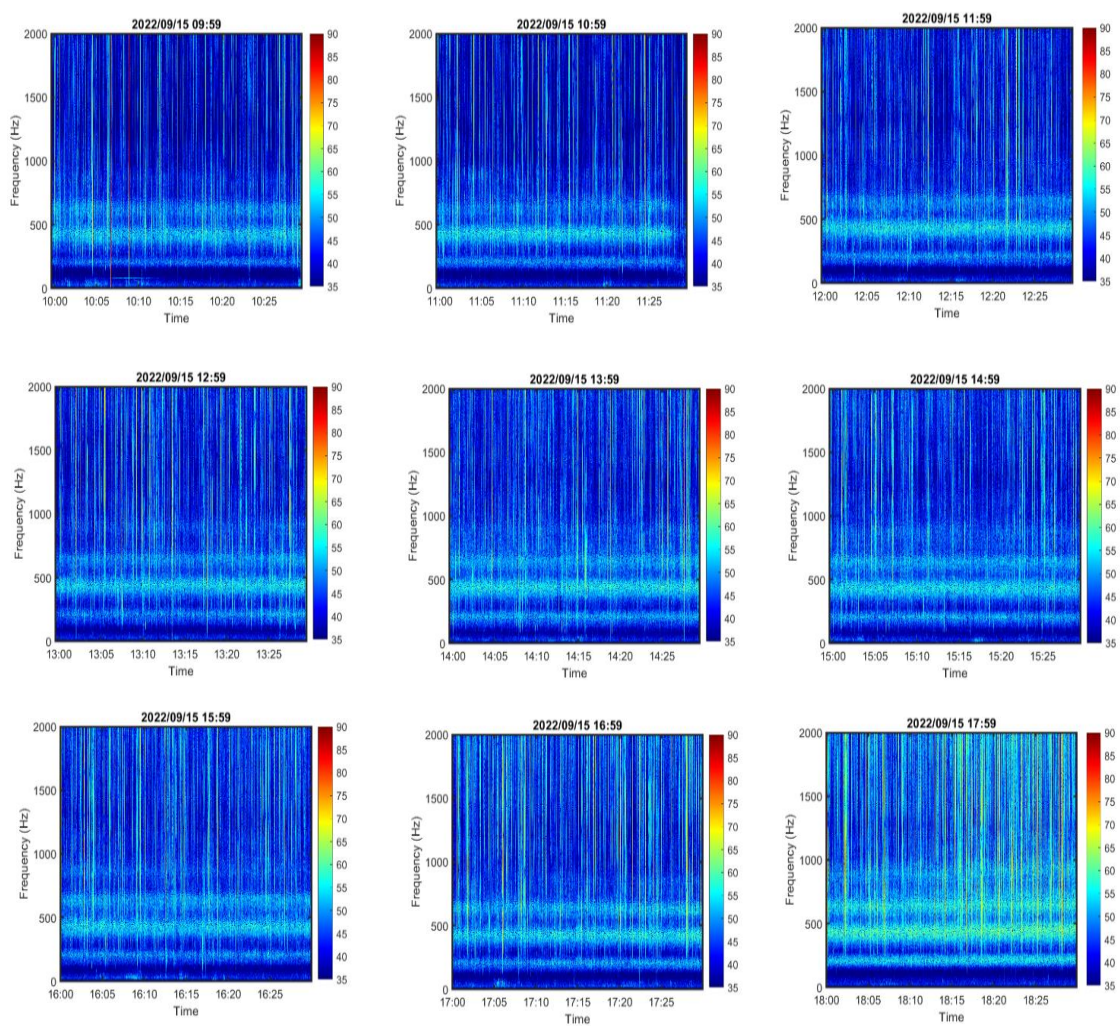


圖 11. 澎湖隘門珊瑚礁 9 月份水下聲景頻譜圖(續)

七、10 月份頻譜資料，調查時間是 10 月 20 日至 10 月 21 日

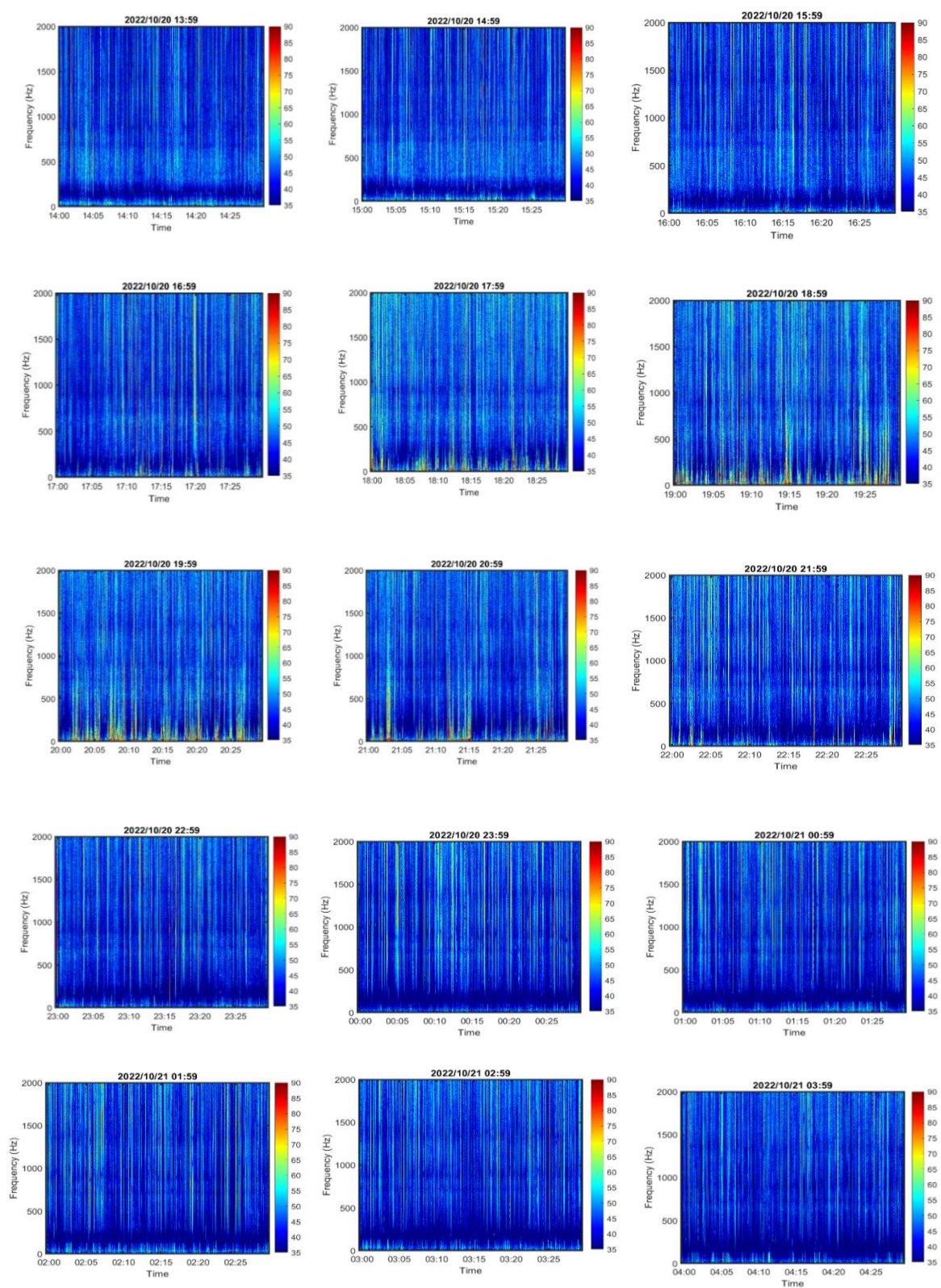


圖 12. 澎湖隘門珊瑚礁 10 月份水下聲景頻譜圖

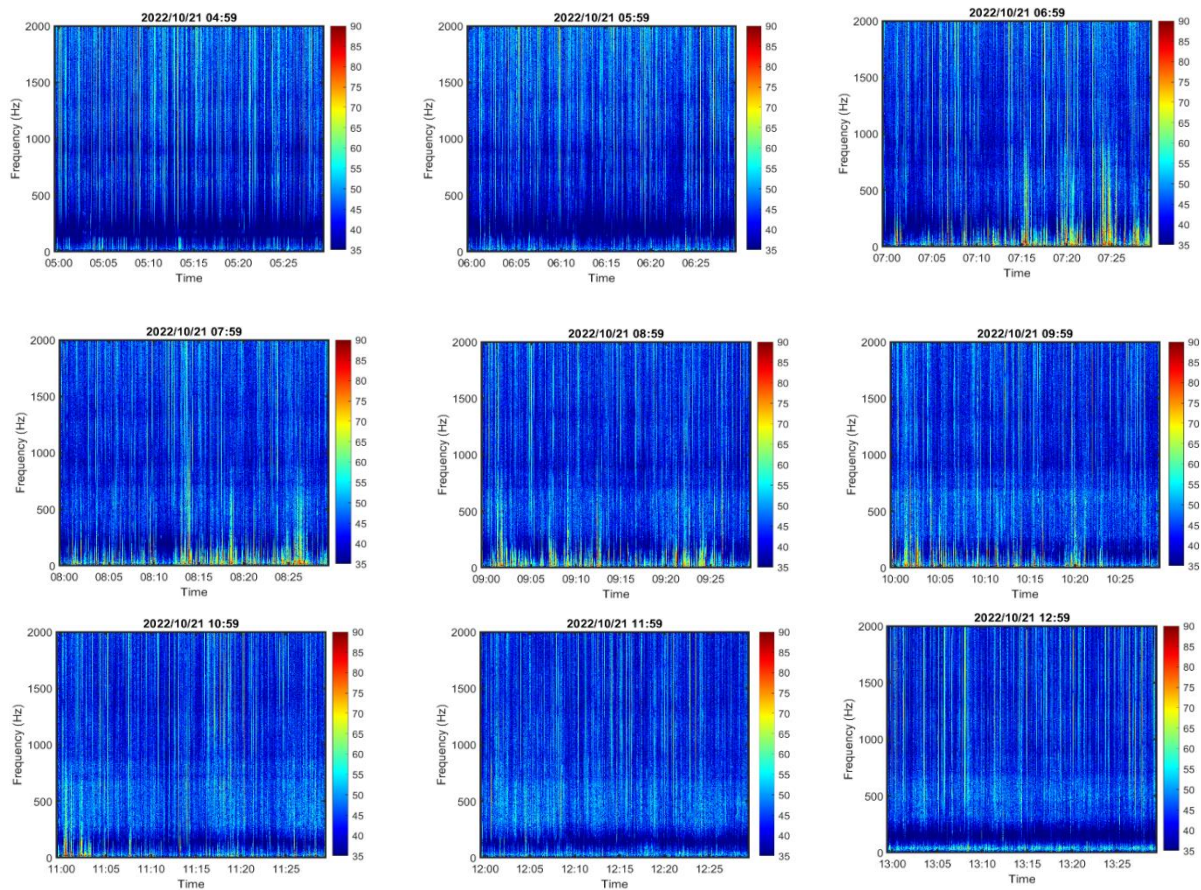


圖 12. 澎湖隘門珊瑚礁 10 月份水下聲景頻譜圖(續)

八、11 月份頻譜資料，調查錄時間是 11 月 15 日至 11 月 16 日

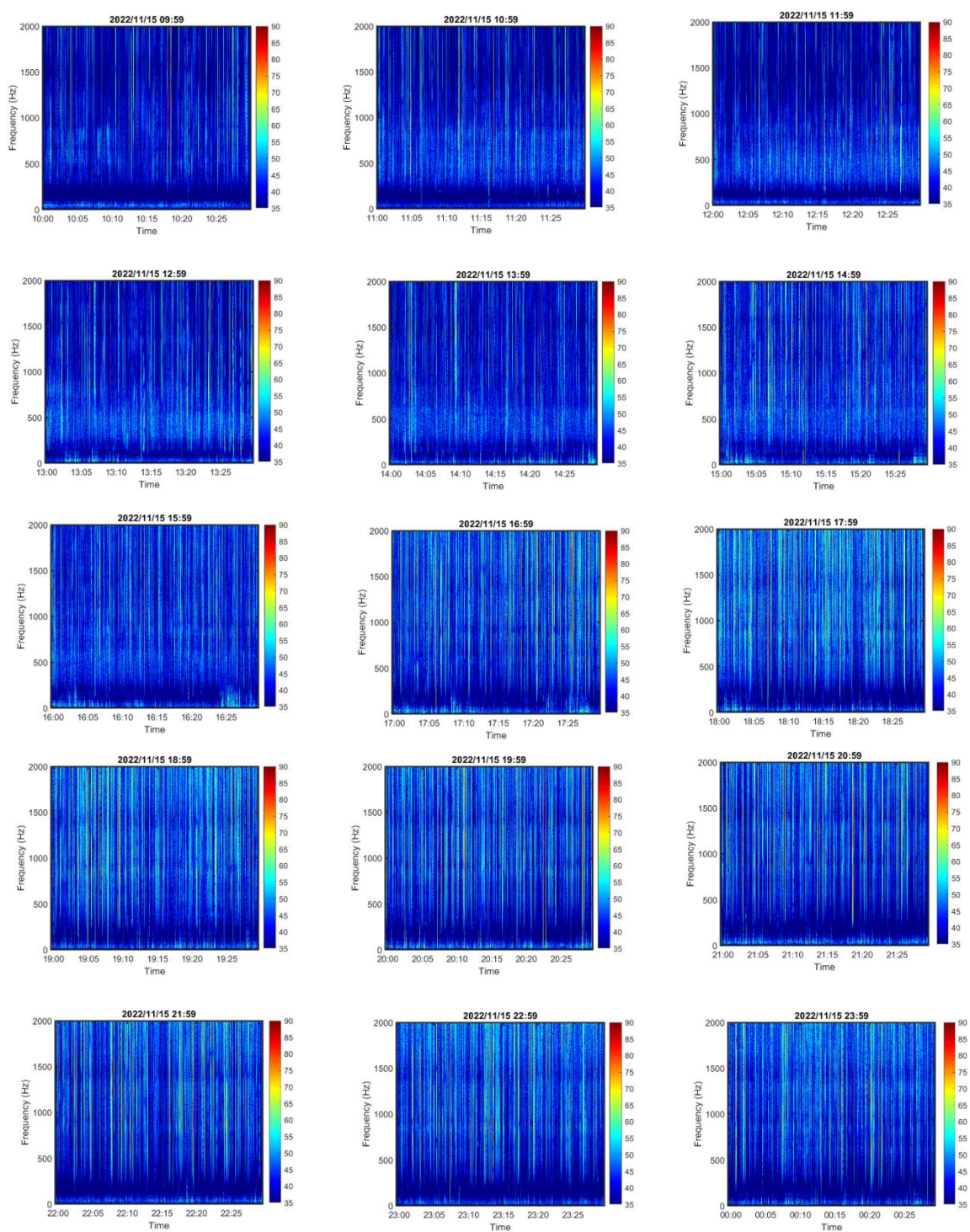


圖 13. 澎湖隘門珊瑚礁 11 月份水下聲景頻譜圖

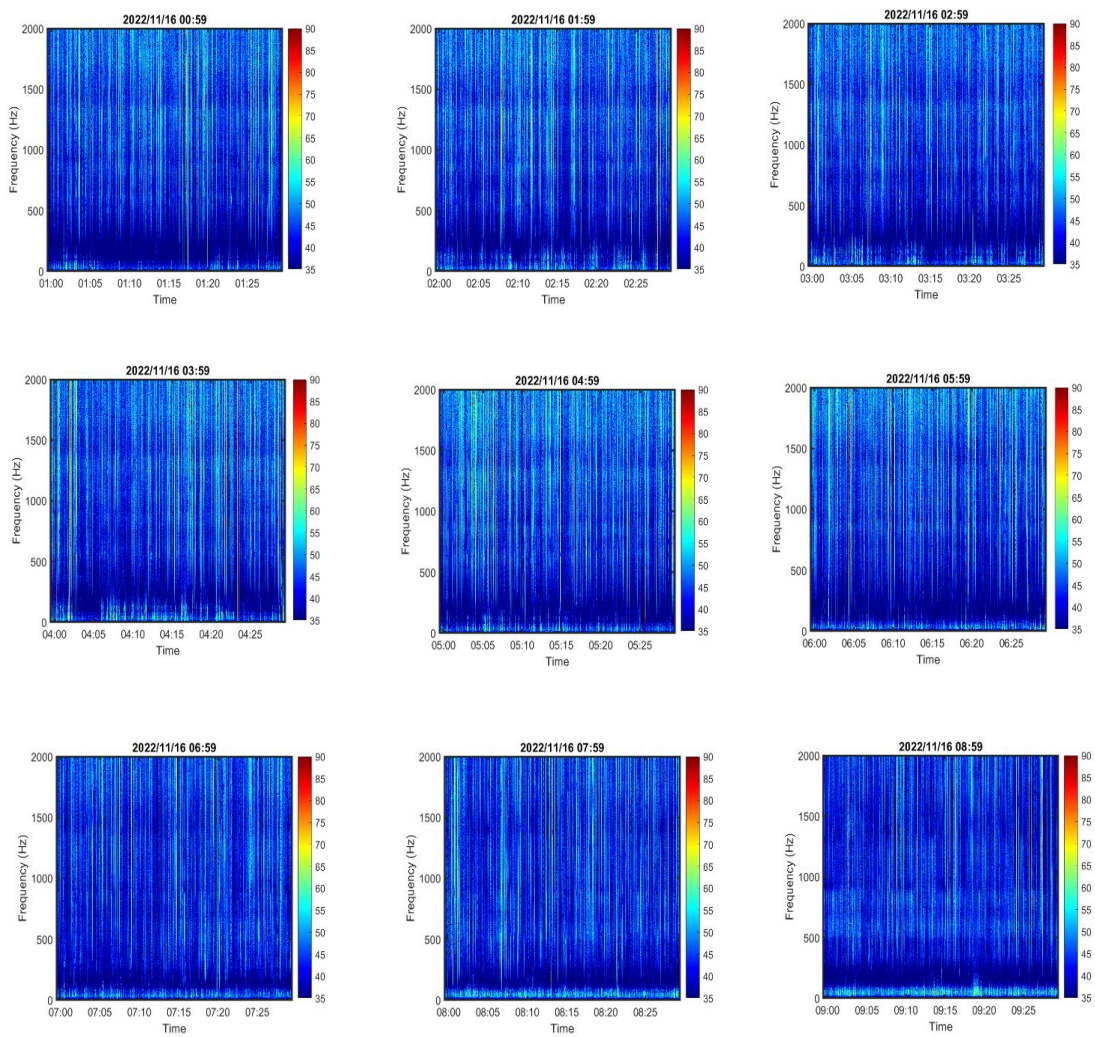


圖 13. 澎湖隘門珊瑚礁 11 月份水下聲景頻譜圖(續)

九、12 月份頻譜資料，調查時間是 12 月 5 日至 12 月 6 日

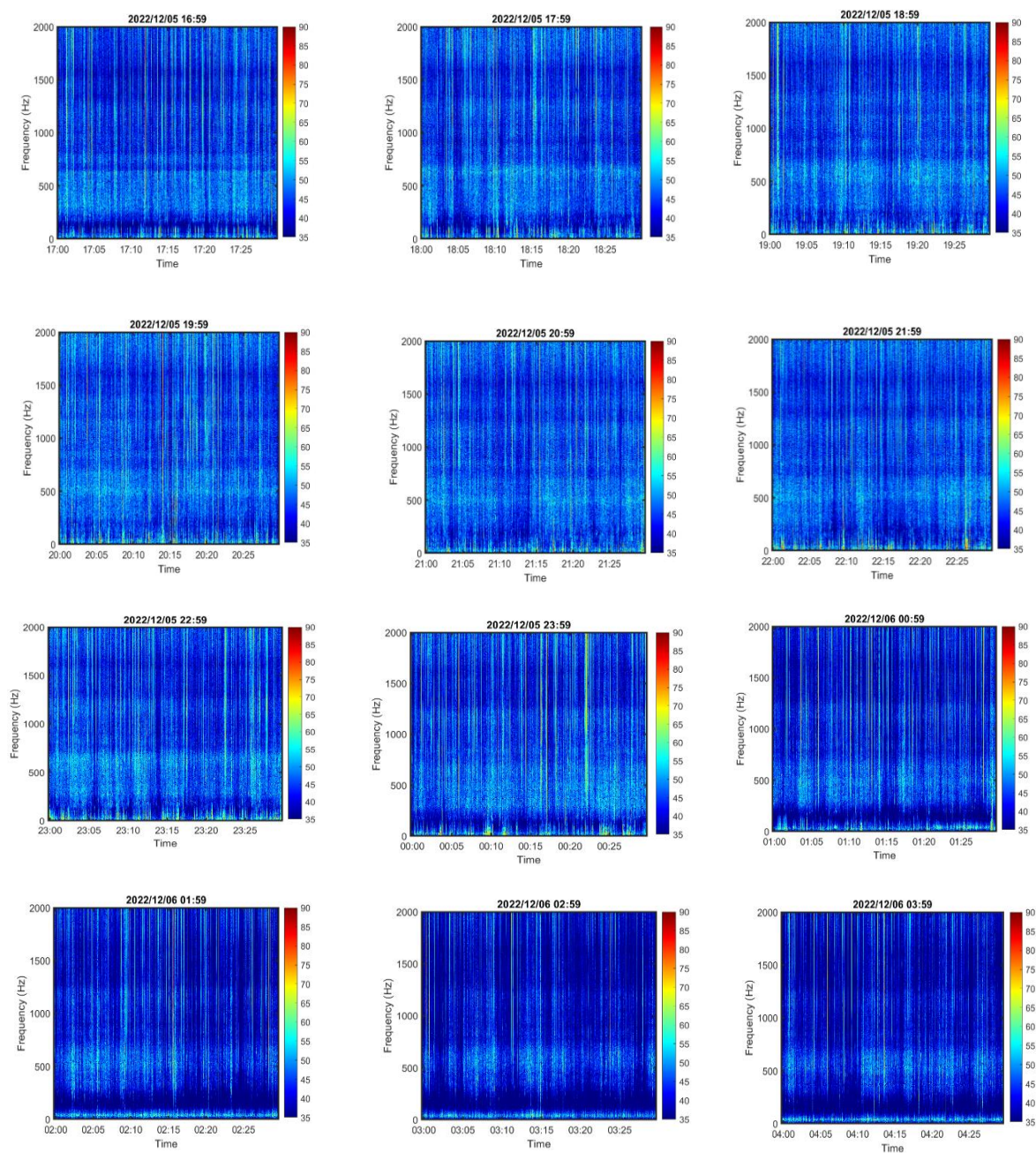


圖 14. 澎湖隘門珊瑚礁 12 月份水下聲景頻譜圖

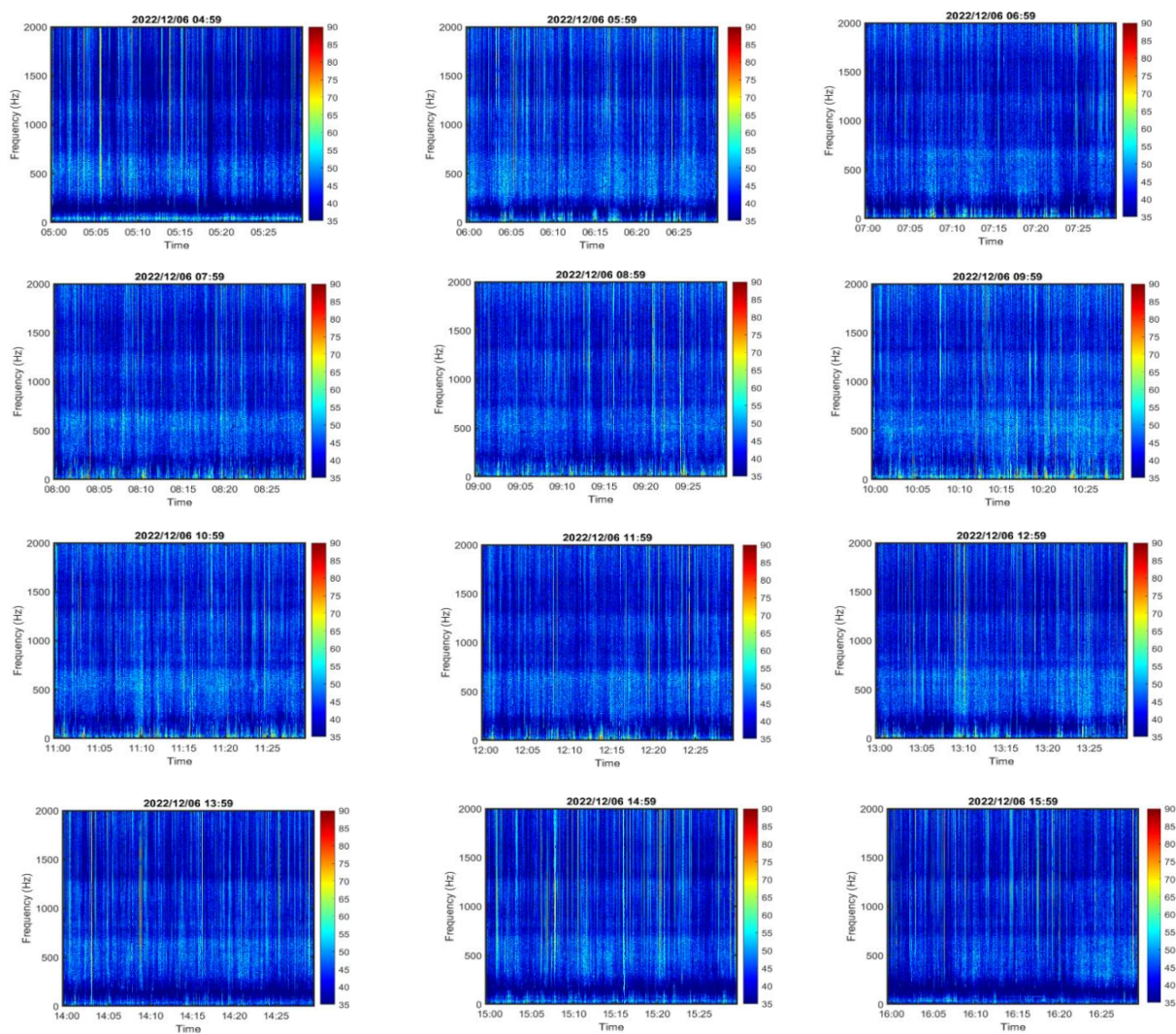


圖 14. 澎湖隘門珊瑚礁 12 月份水下聲景頻譜圖(續)

十、珊瑚礁魚類生物訊號

本研究以 111 年 5 月 20 日至 23 日為例，利用 MATLAB 軟體進行快速傅立葉轉換 (FFT) 運算(以小時為單位)，並畫出時頻譜圖分析生物訊號，且以秒為單位畫出時頻譜圖。此外，隘門珊瑚礁經由波形圖及頻譜圖比對魚類的脈衝數目及能量值，發現與 Chang et al. (2022)所發表於臺灣東沙群島紀錄的天竺鯛科(Apogonidae)鳴響聲(hoot call)相符，故推測為天竺鯛的類群，後續將再詳細比對聲音的各項物理性質(圖 15)。

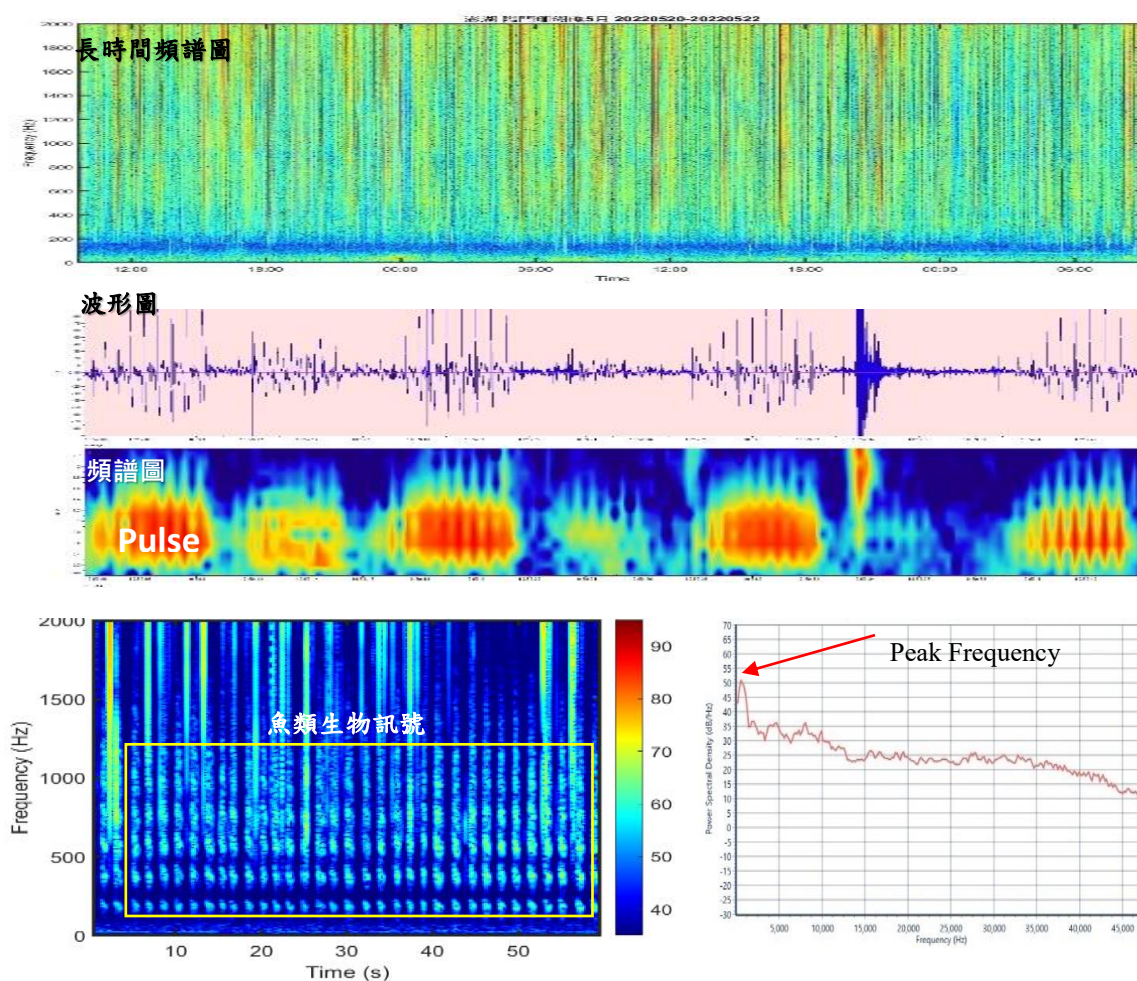


圖 15. 澎湖隘門珊瑚礁-天竺鯛科魚類(Apogonidae)生物訊號分析

十一、溫度

為瞭解澎湖隘門珊瑚礁不同季節溫度變化，根據 111 年 6 月至 12 月海水溫度紀錄，可以發現 6、7、8 月珊瑚礁的海水溫度可高於 30°C 以上，9 月的海水溫度低於 30°C 以下，10、11 月的海水溫度低於 26°C，12 月的海水溫度低於 22°C。

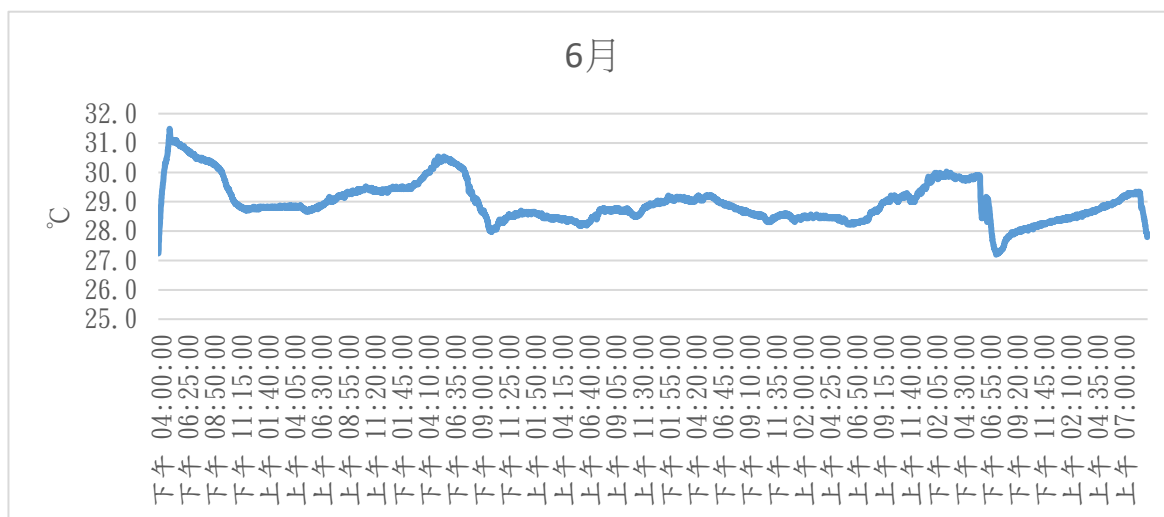


圖 16. 澎湖隘門珊瑚礁 6 月份溫度變化圖

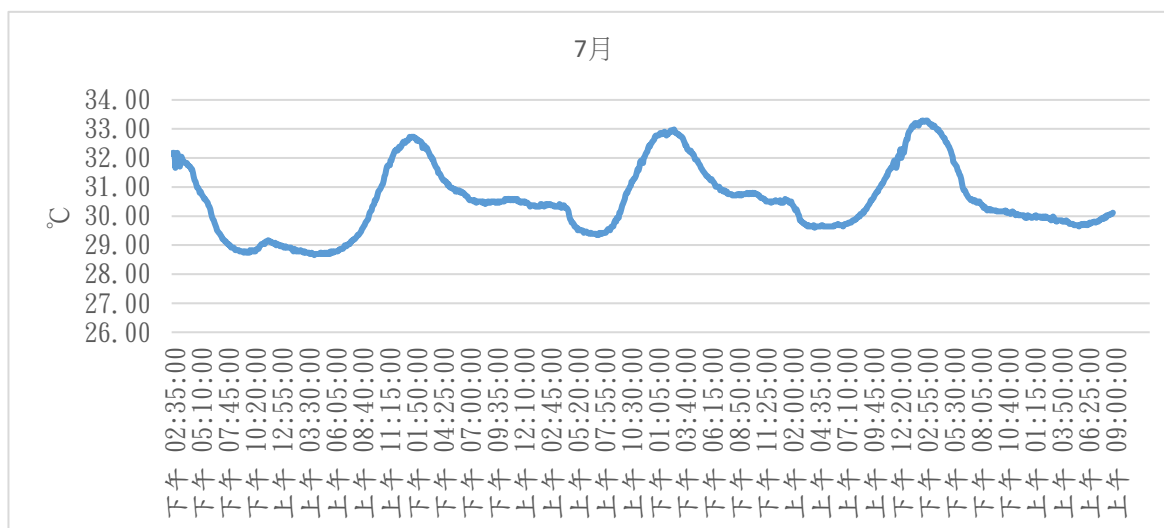


圖 17. 澎湖隘門珊瑚礁 7 月份溫度變化圖

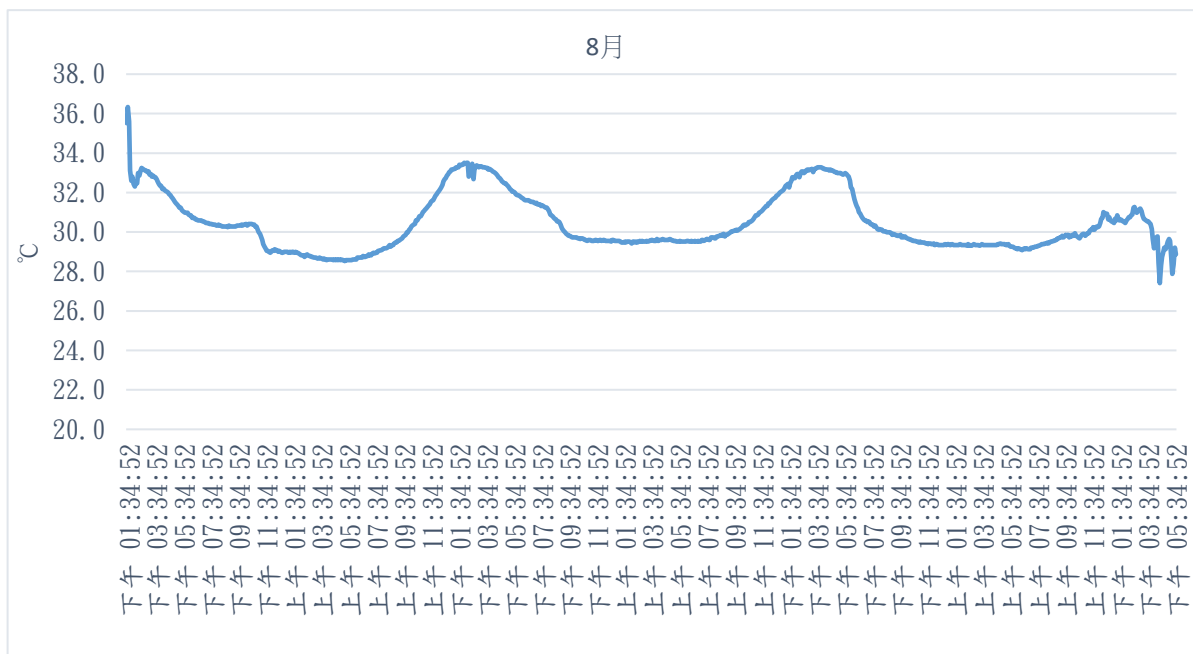


圖 18. 澎湖隘門珊瑚礁 8 月份溫度變化圖

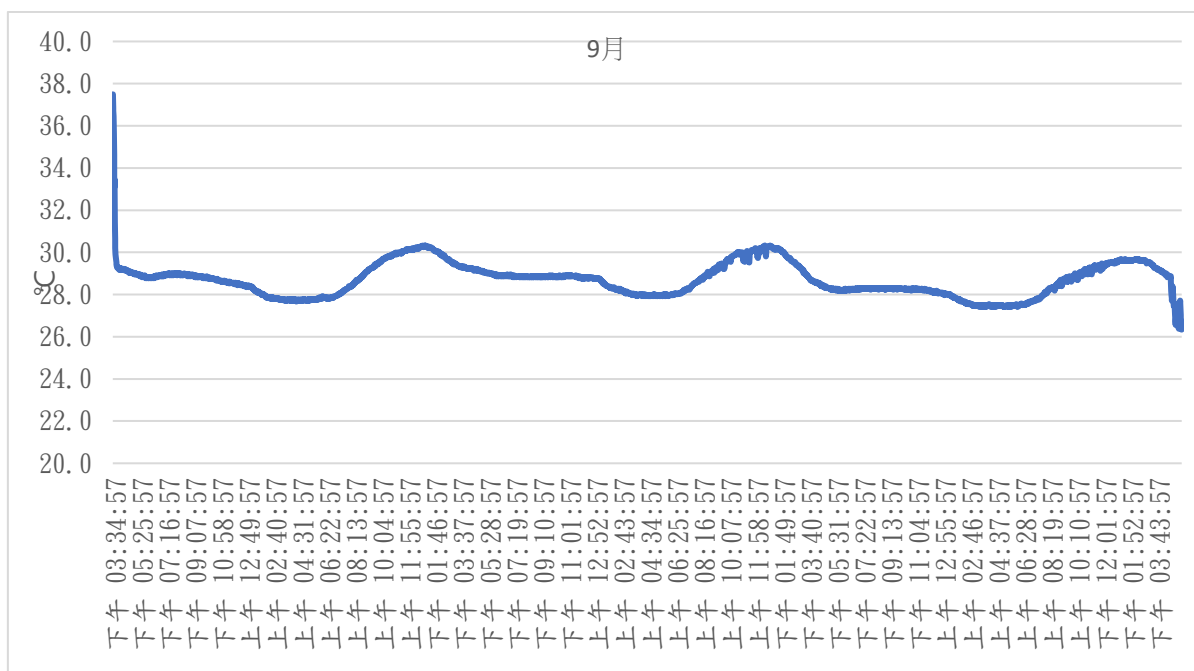
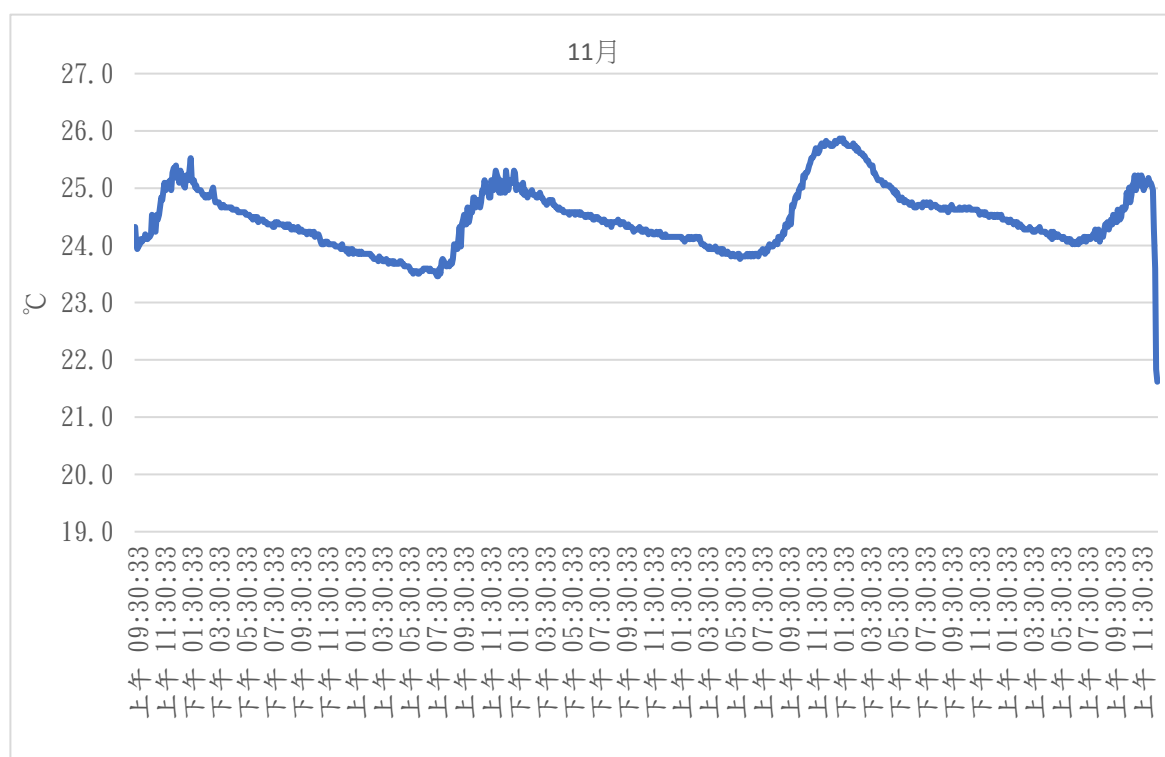
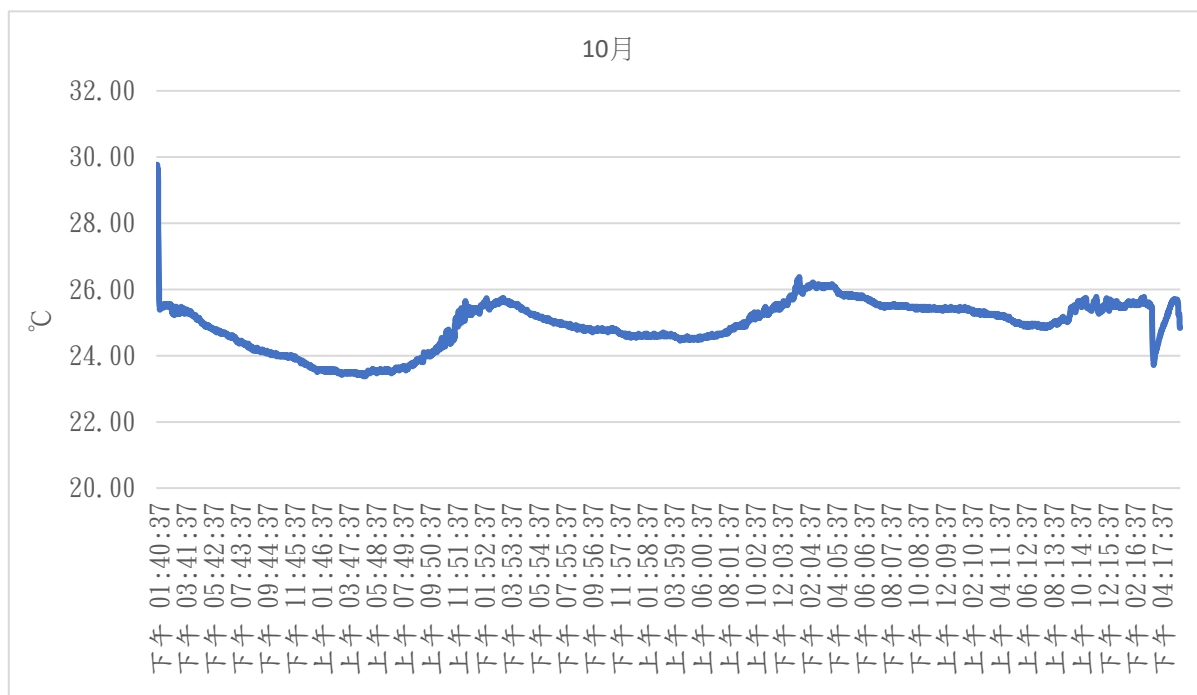


圖 19. 澎湖隘門珊瑚礁 9 月份溫度變化圖



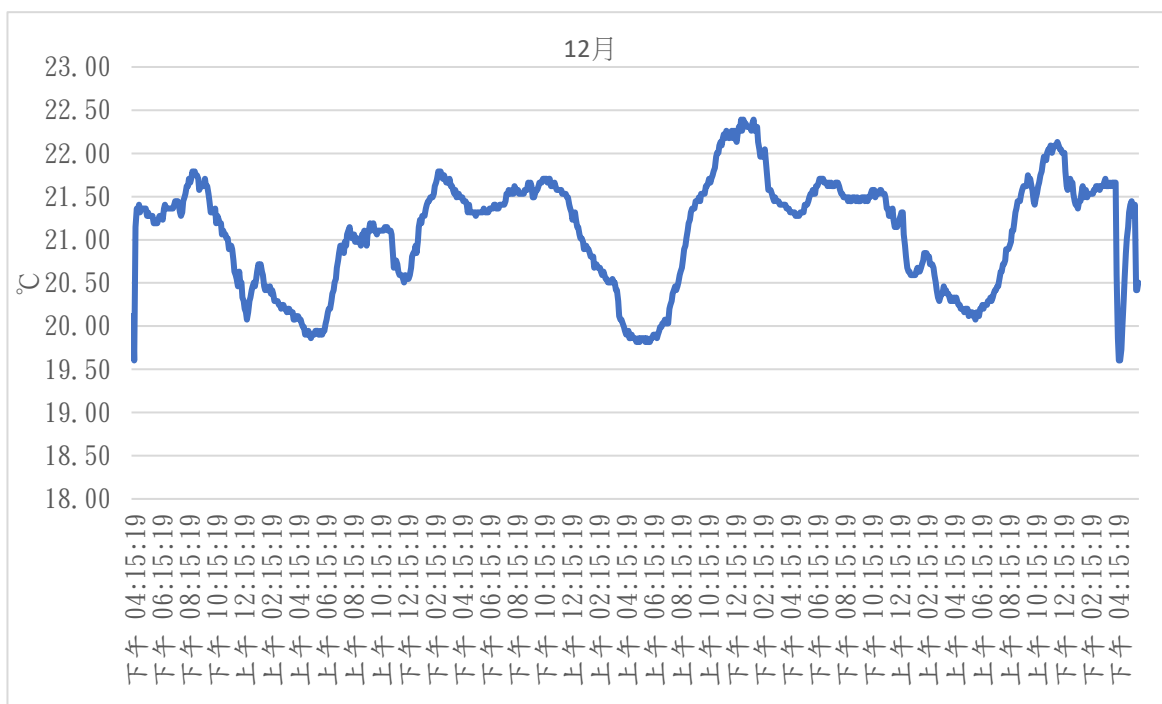


圖 22. 澎湖隘門珊瑚礁 12 月份溫度變化圖

第二節 澎湖鎮海海草床被動聲學量測資料

本研究經過聲學資料分析結果發現，澎湖鎮海海草床 111 年 5 月至 12 月的水下聲景，海草床水下聲景與珊瑚礁水下聲景不同，本研究雖無魚類聲音的紀錄，卻有無脊椎動物刮食活動的聲音，其頻率低於 1kHz。另因為海草床位置較為近岸，受到漲潮及退潮影響之頻譜圖亦不同，漲潮時海水進入海草床，使頻譜圖背景噪音降低；退潮時則會記錄到較多背景噪音，初步推論可能是海草床退潮後使水位下降，致使水下麥克風部份露出水面，因此會有超過 5kHz 的背景噪音。相關頻譜圖如圖 23 至圖 30 所示。

一、5 月份頻譜資料，調查時間是 5 月 18 日至 5 月 19 日

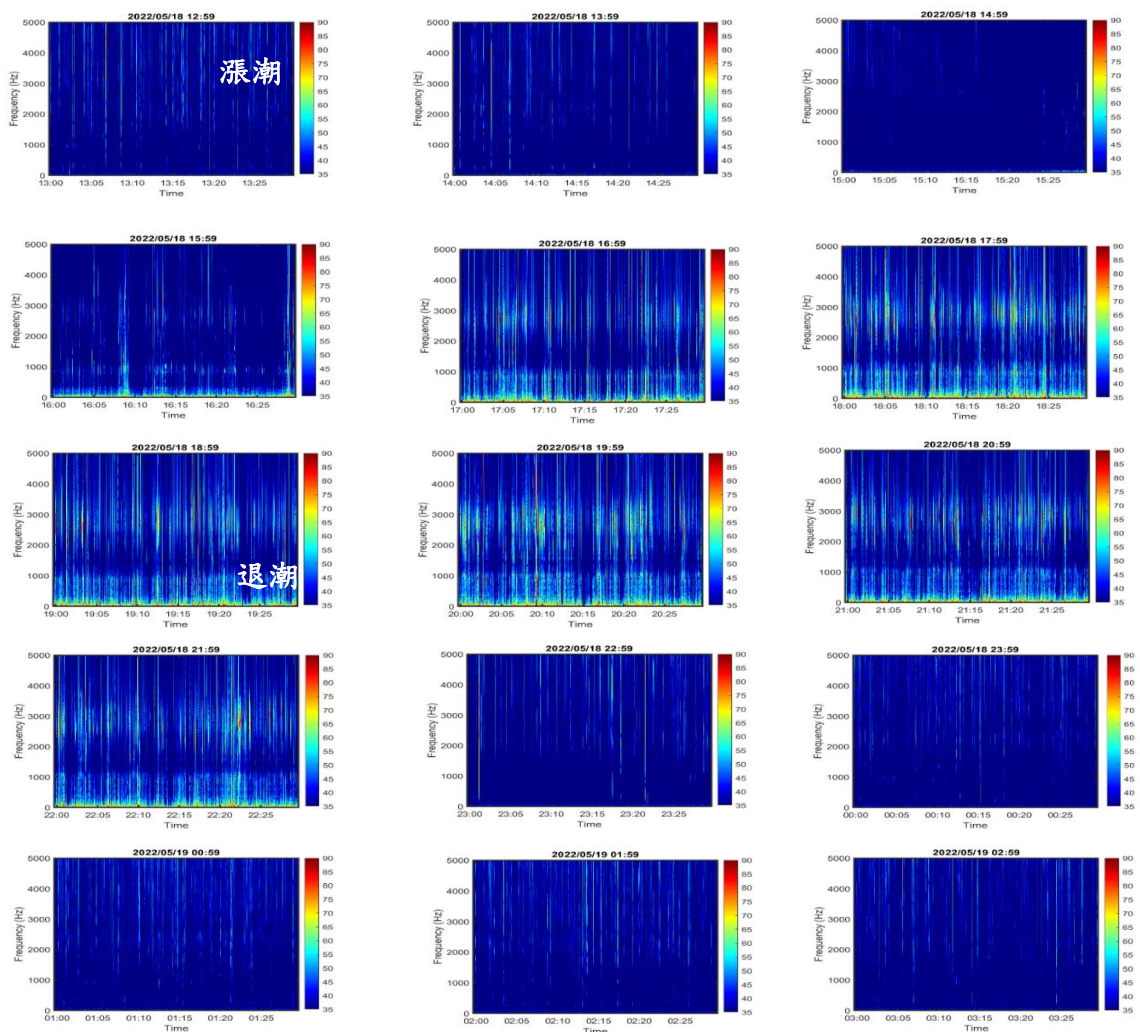


圖 23. 澎湖鎮海海草床 5 月份水下聲景頻譜圖

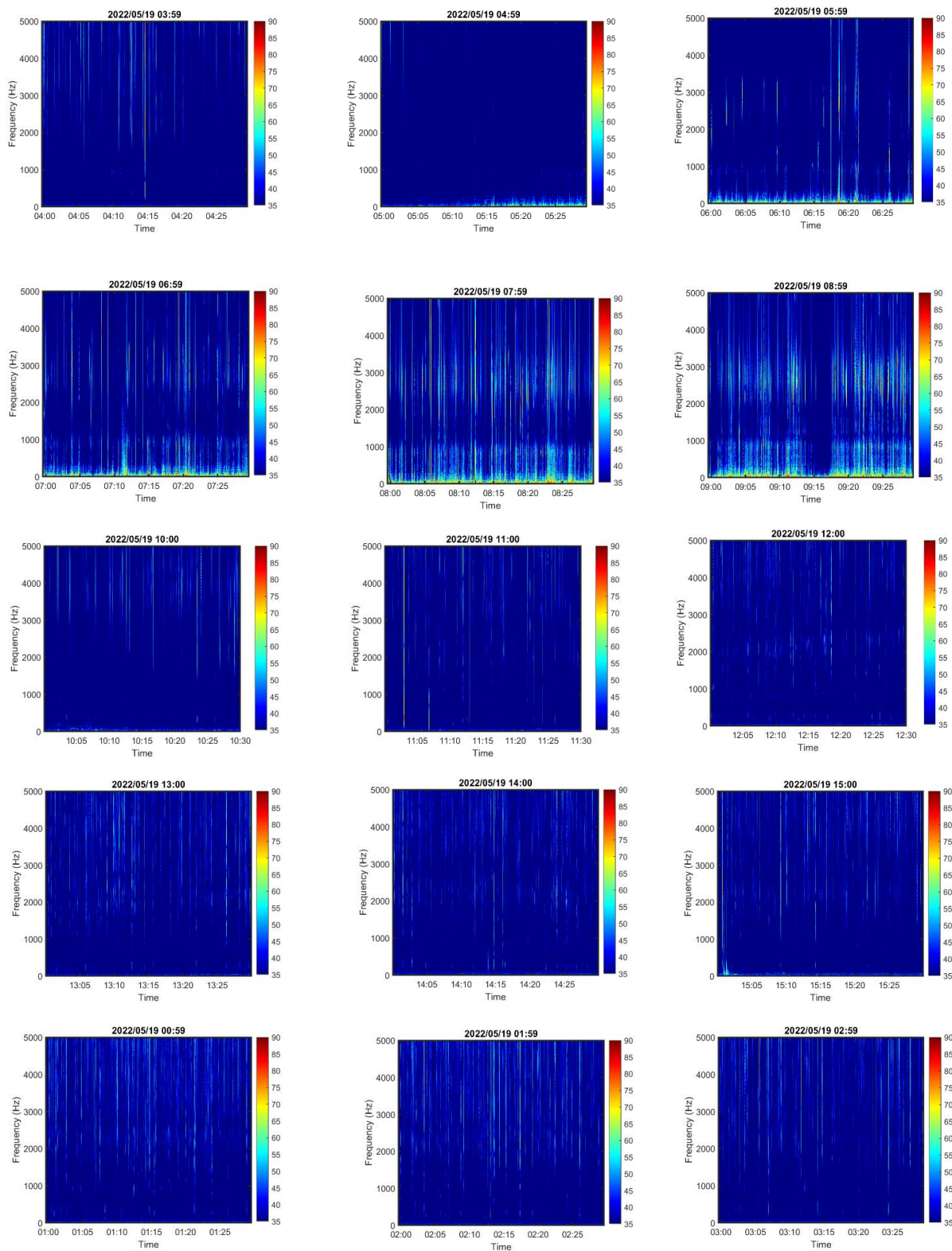


圖 23. 澎湖鎮海海草床 5 月份水下聲景頻譜圖(續)

二、6 月份頻譜資料，調查時間是 6 月 28 日至 6 月 29 日

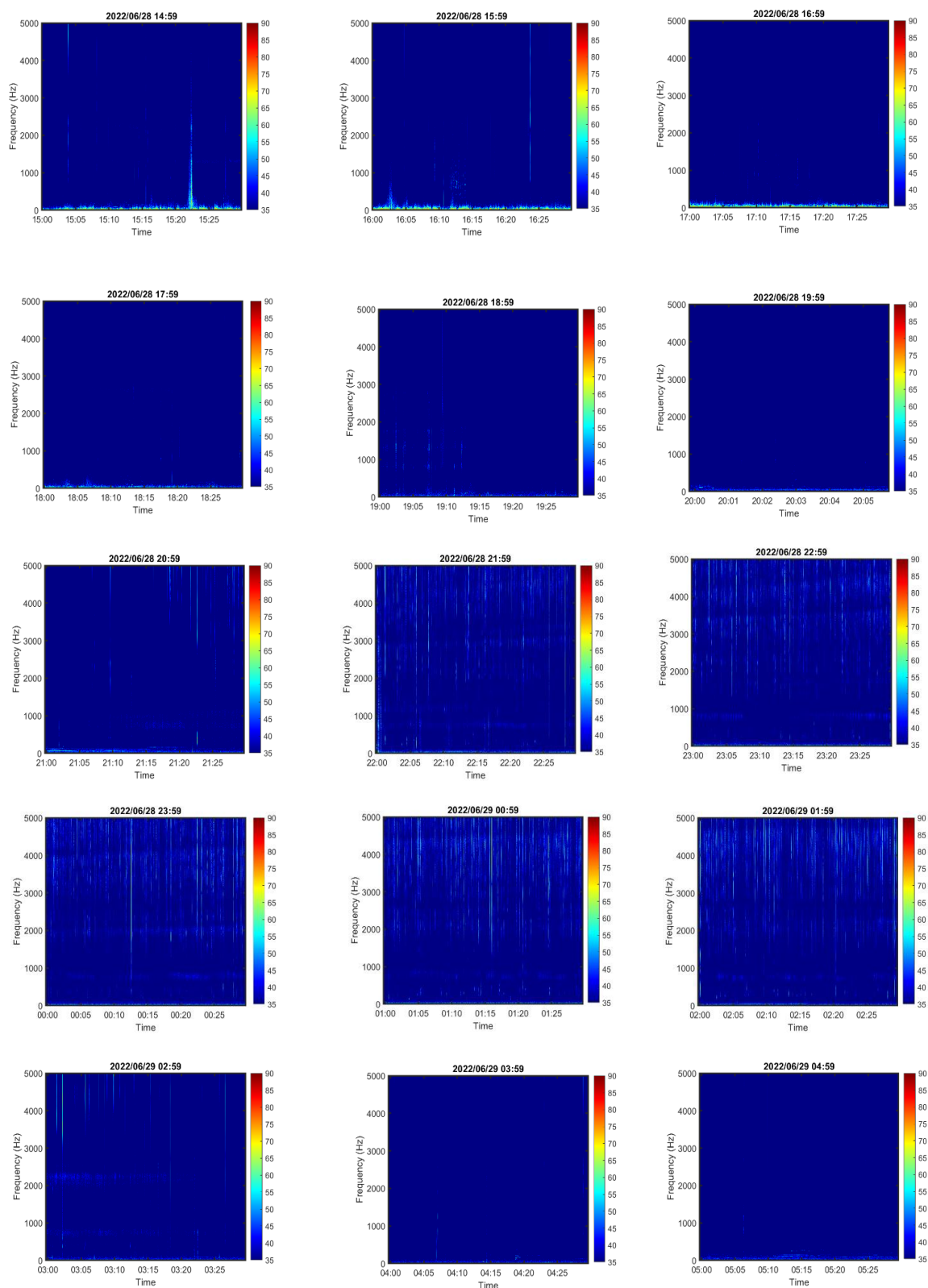


圖 24. 澎湖鎮海海草床 6 月份水下聲景頻譜圖

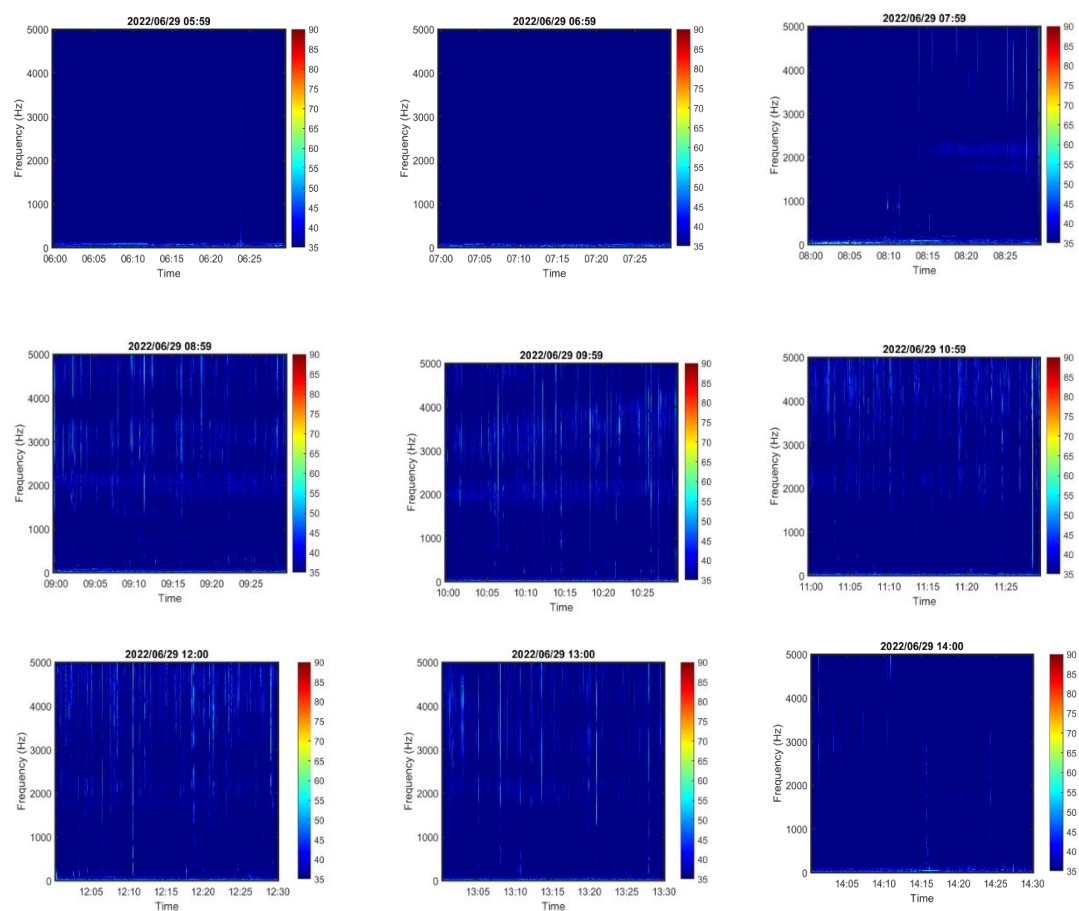


圖 24. 澎湖鎮海海草床 6 月份水下聲景頻譜圖(續)

三、7 月份頻譜資料，調查時間是 7 月 25 日至 7 月 26 日

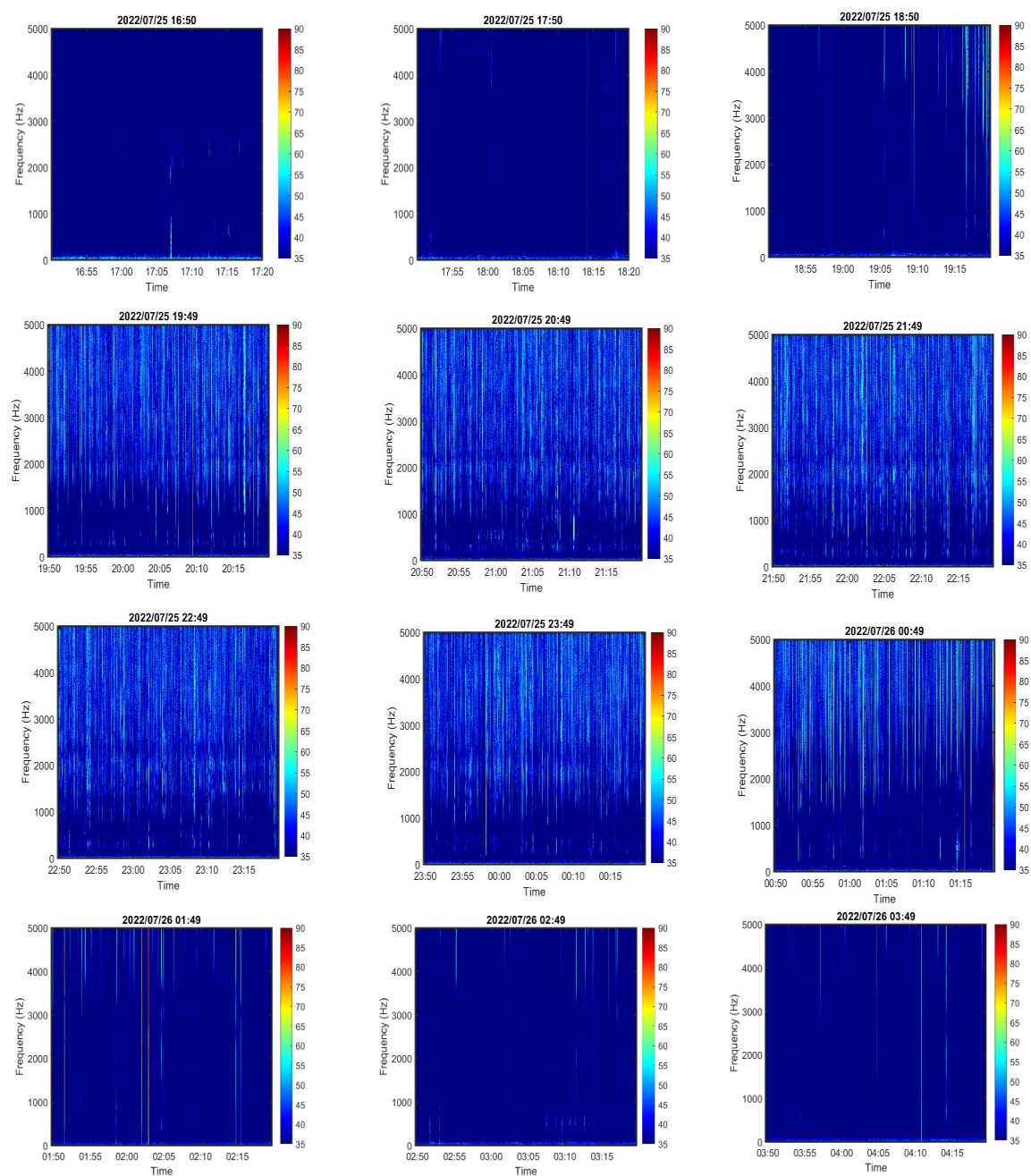


圖 25. 澎湖鎮海草床 7 月份水下聲景頻譜圖

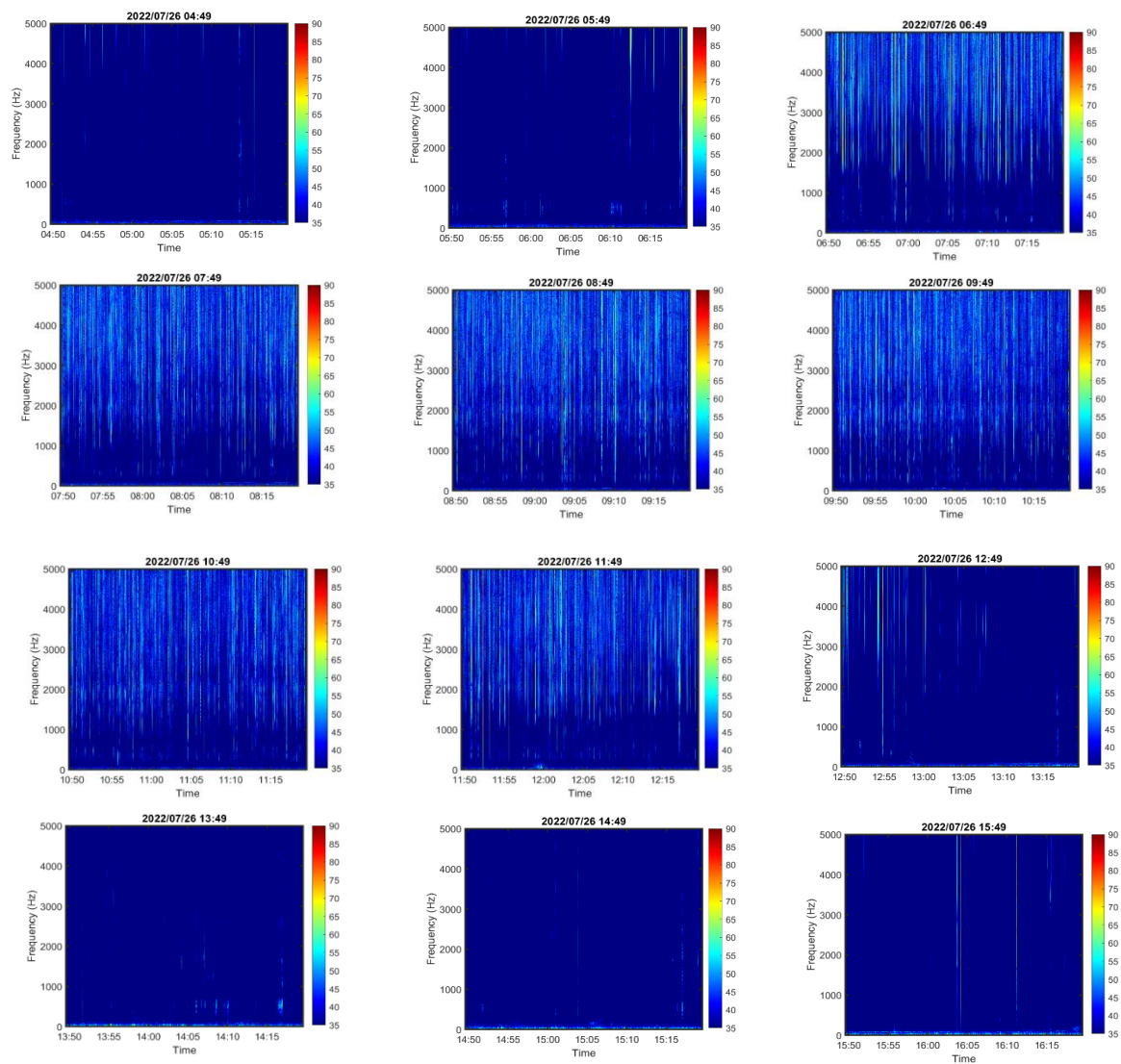


圖 25. 澎湖鎮海海草床 7 月份水下聲景頻譜圖(續)

四、8 月份頻譜資料，調查時間是 8 月 17 日至 8 月 18 日

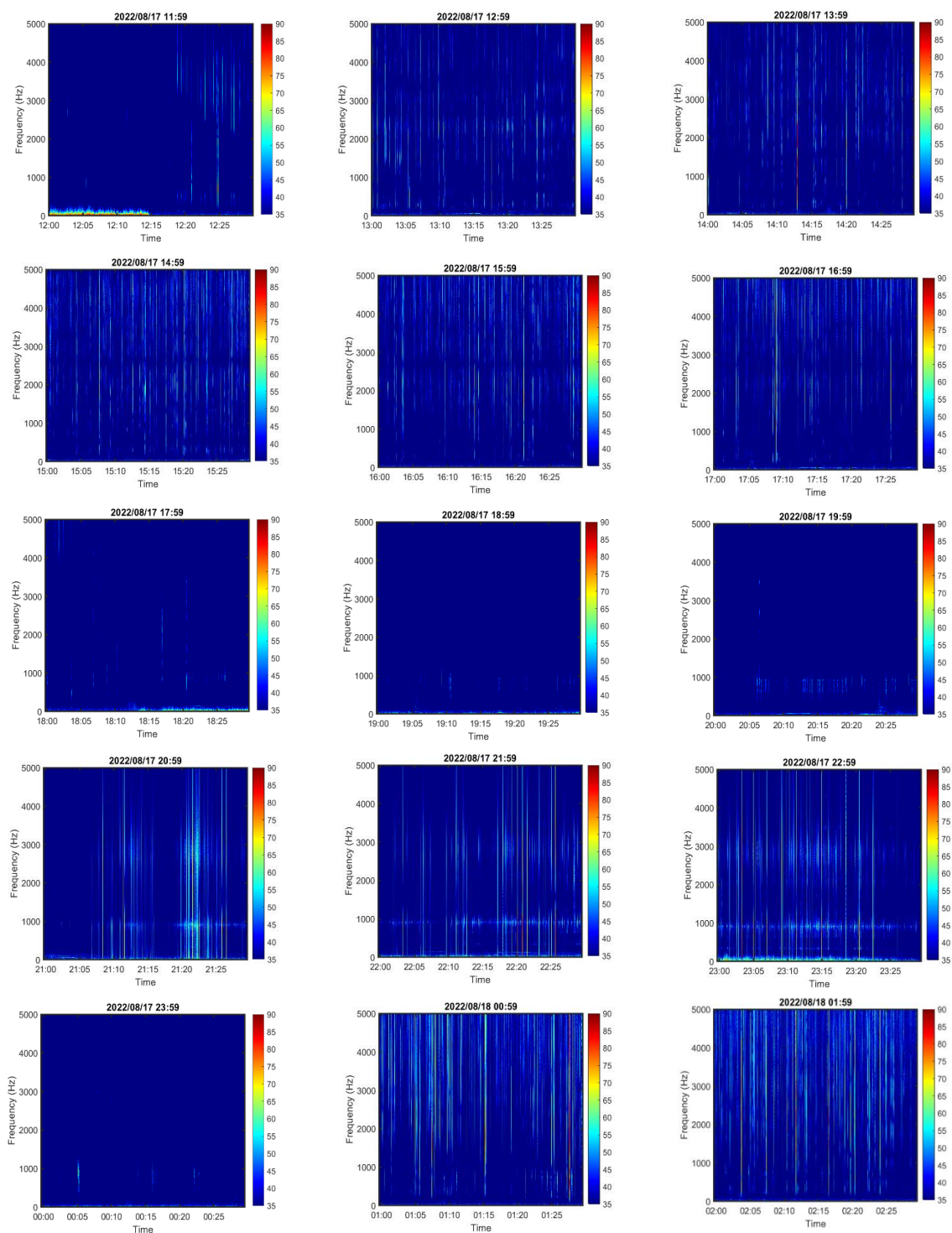


圖 26. 澎湖鎮海海草床 8 月份水下聲景頻譜圖

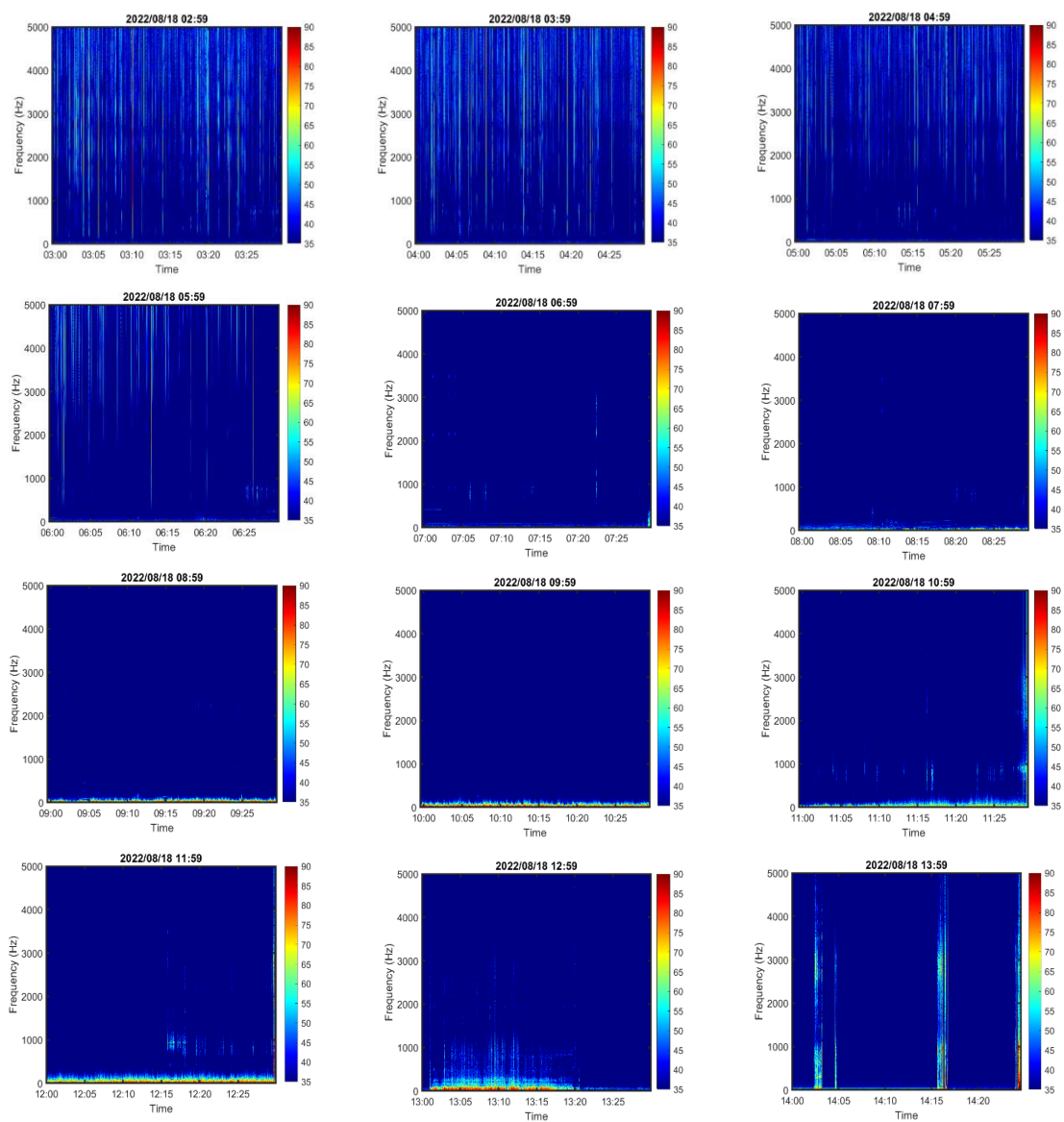


圖 26. 澎湖鎮海海草床 8 月份水下聲景頻譜圖(續)

五、9 月份頻譜資料，調查時間是 9 月 12 日至 9 月 13 日

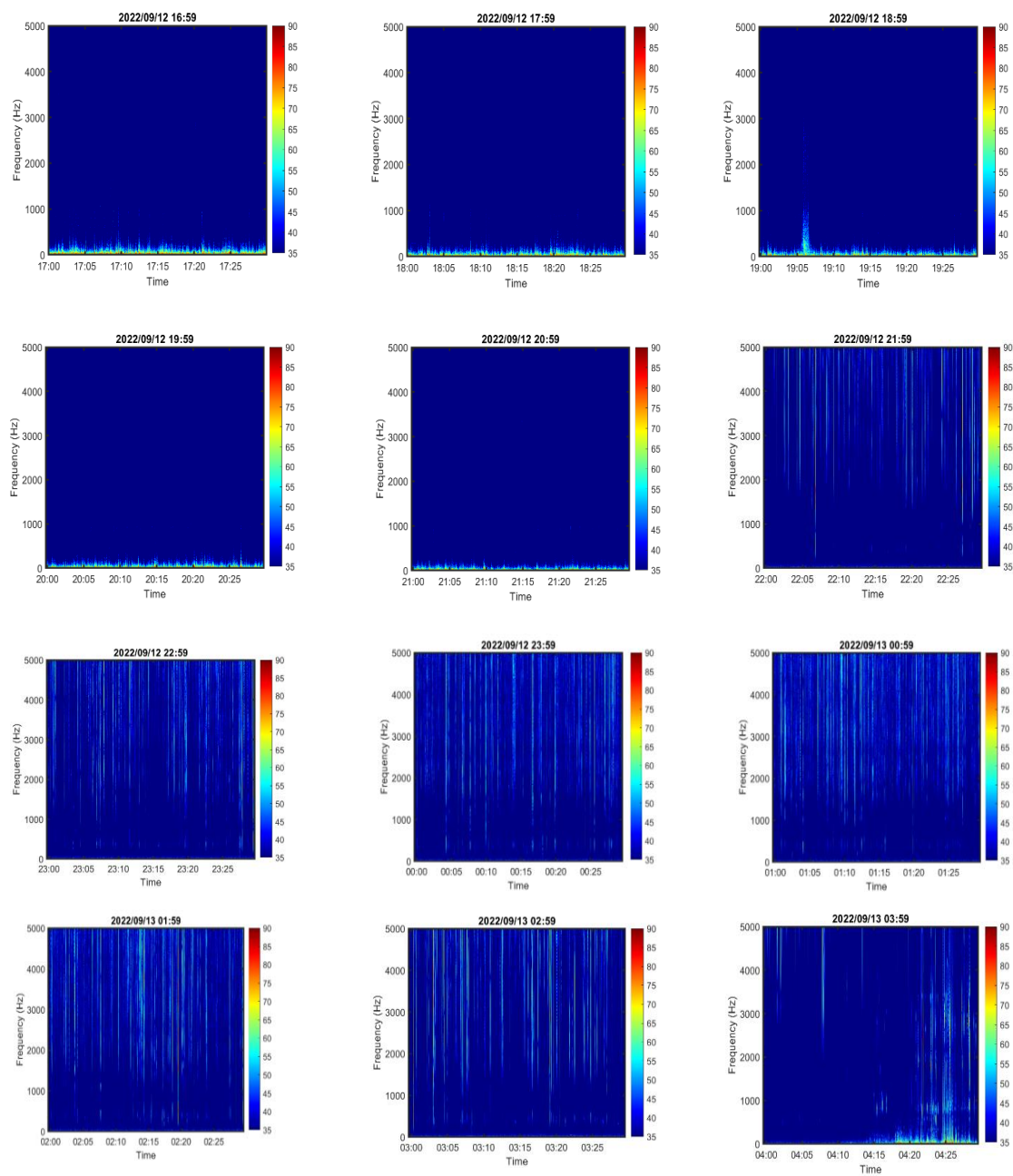


圖 27. 澎湖鎮海草床 9 月份水下聲景頻譜圖

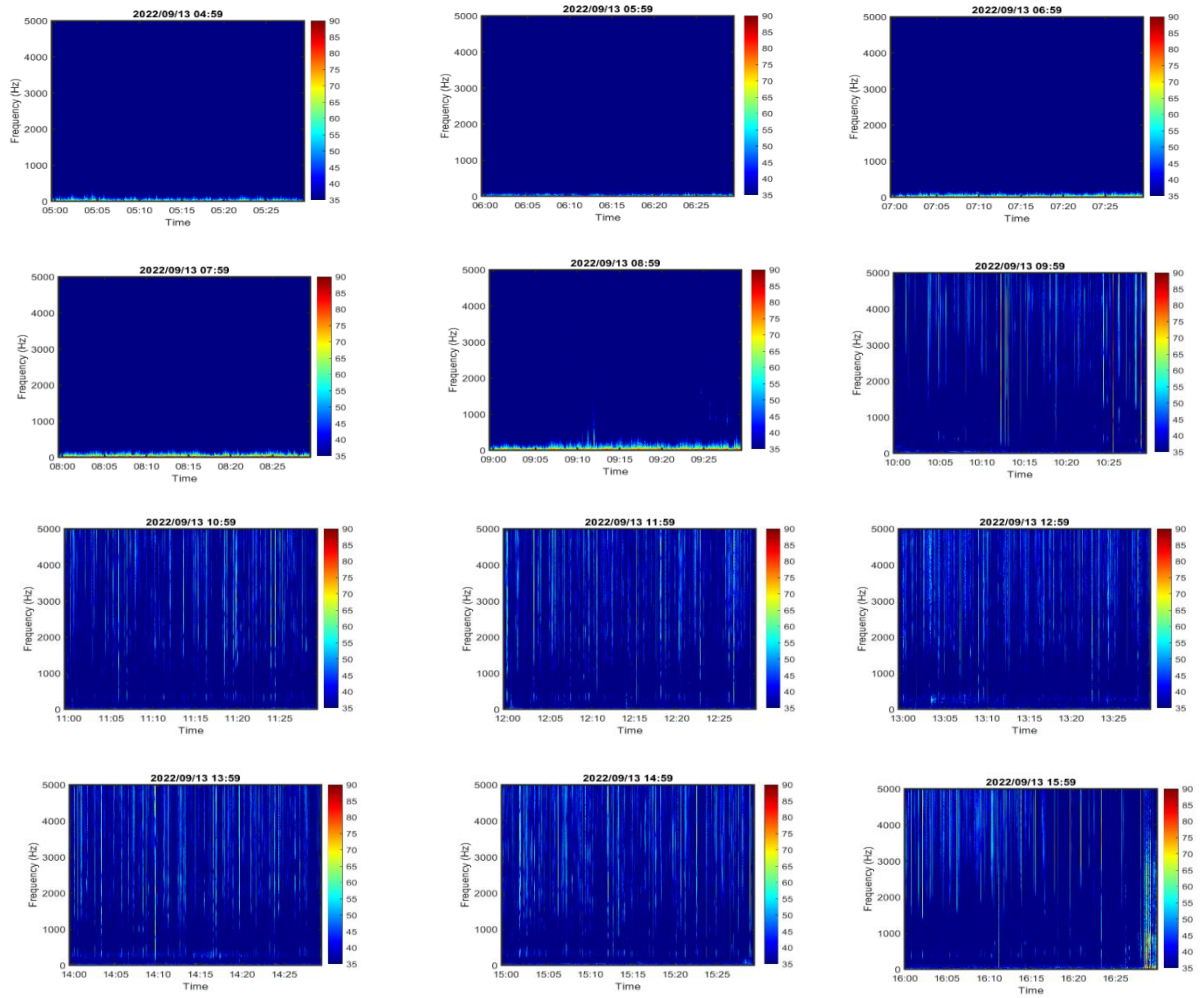


圖 27. 澎湖鎮海海草床 9 月份水下聲景頻譜圖(續)

六、10 月份頻譜資料，調查時間是 10 月 24 日至 10 月 25 日

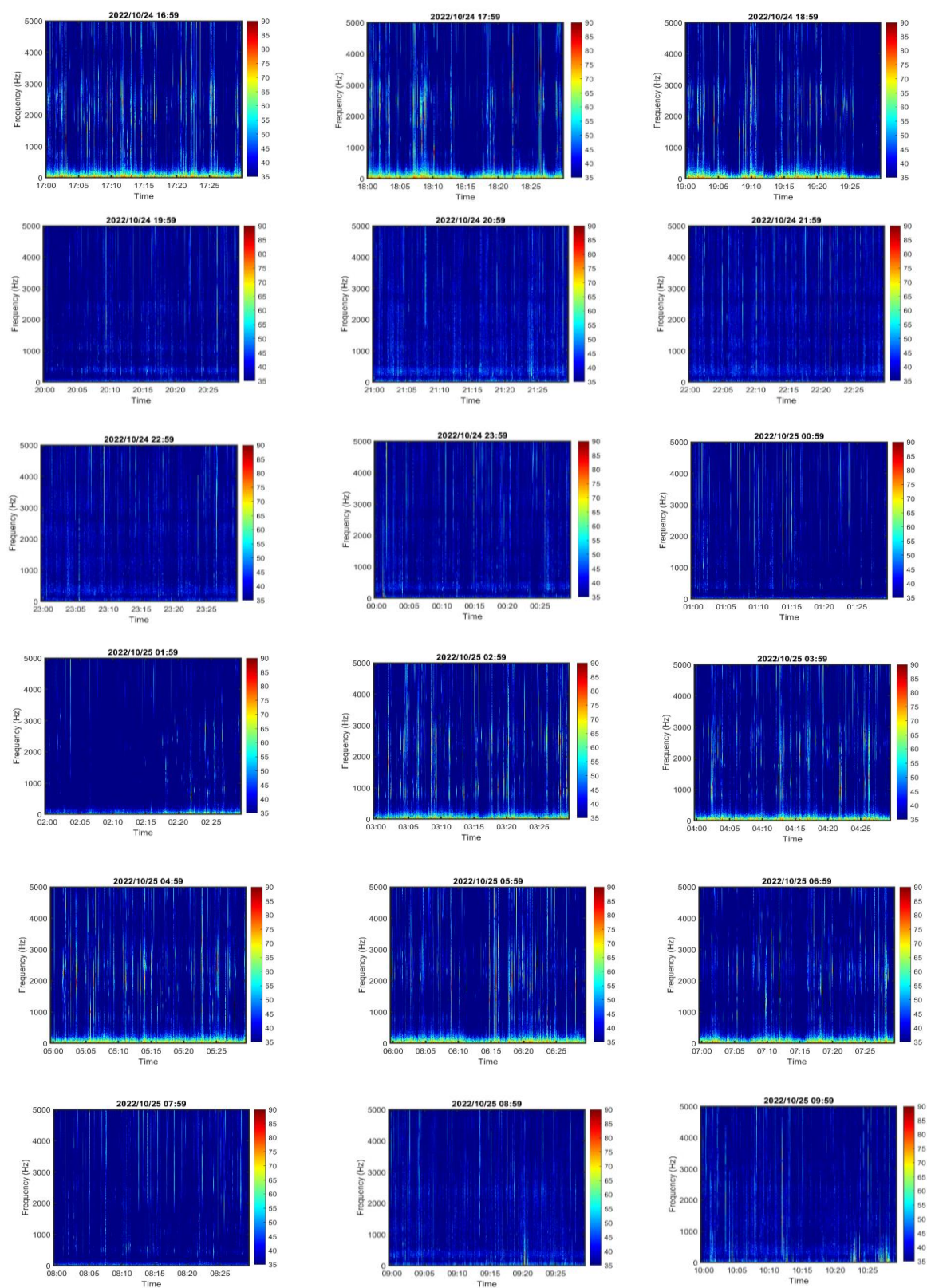


圖 28. 澎湖鎮海海草床 10 月份水下聲景頻譜圖

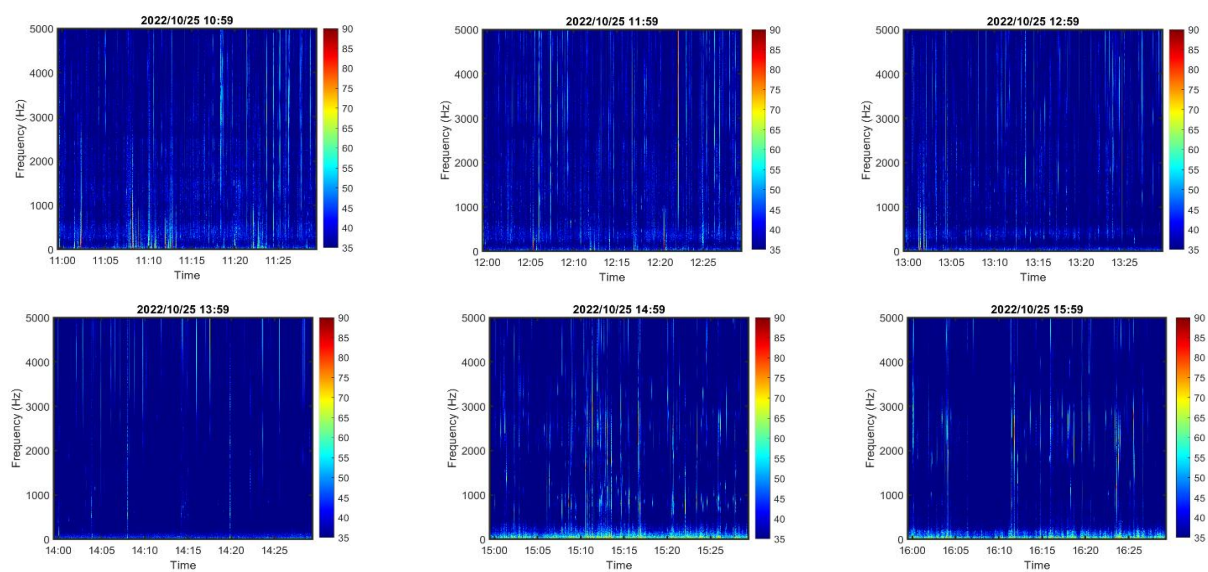


圖 28. 澎湖鎮海海草床 10 月份水下聲景頻譜圖(續)

七、11 月份頻譜資料，調查時間是 11 月 21 日至 11 月 22 日

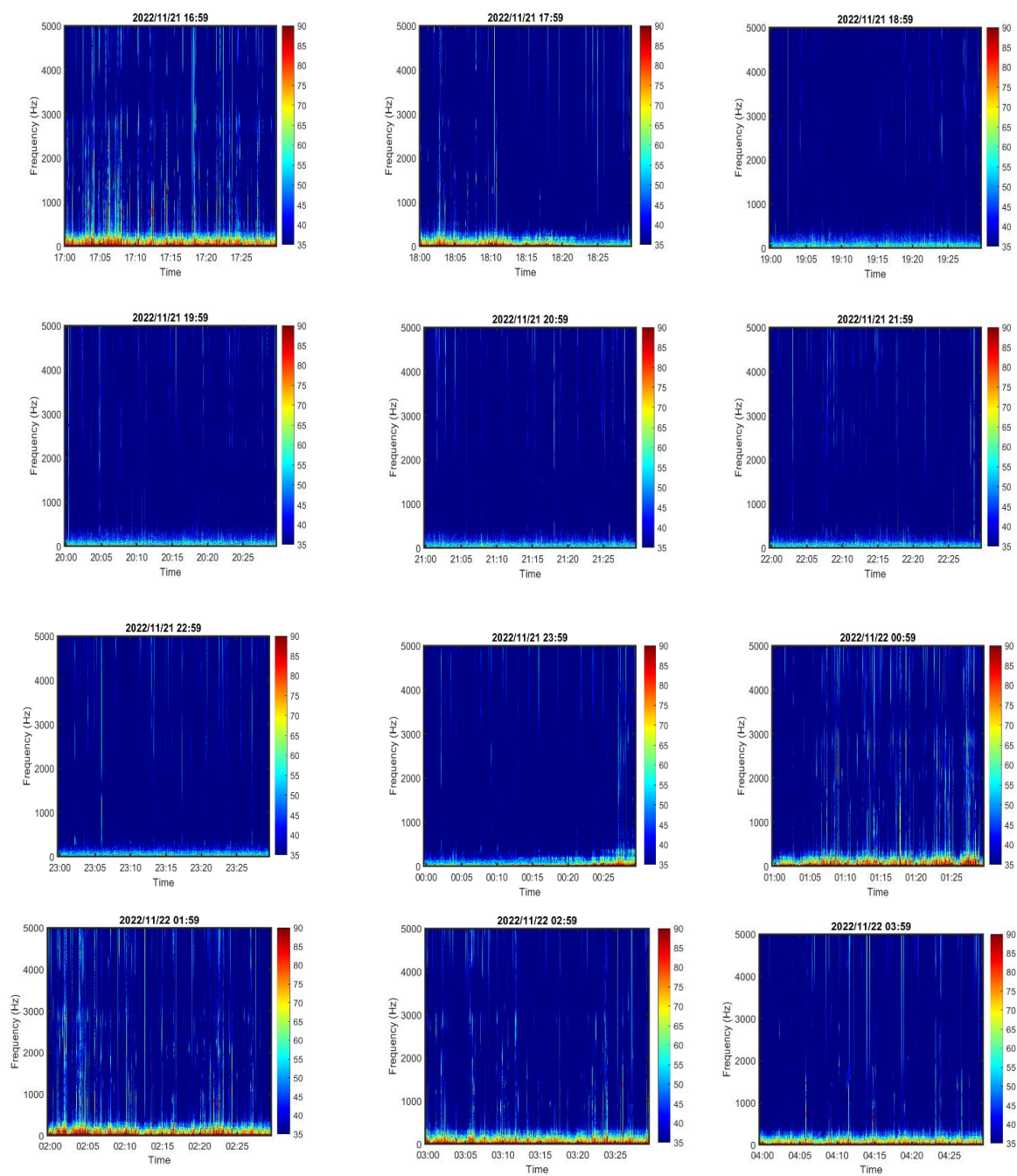


圖 29. 澎湖鎮海草床 11 月份水下聲景頻譜圖

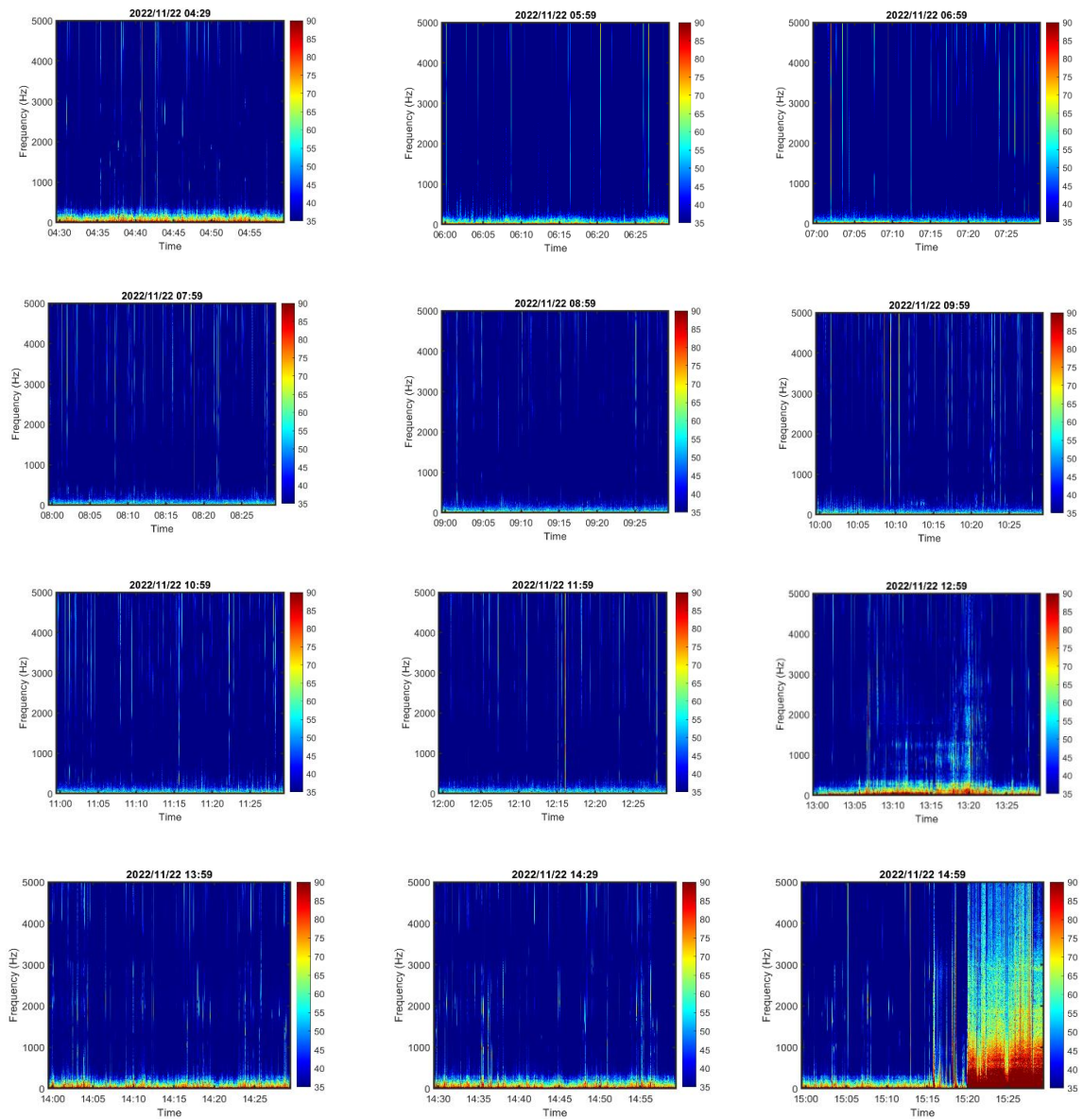


圖 29. 澎湖鎮海海草床 11 月份水下聲景頻譜圖(續)

八、12 月份頻譜資料，調查時間是 12 月 15 日至 12 月 16 日

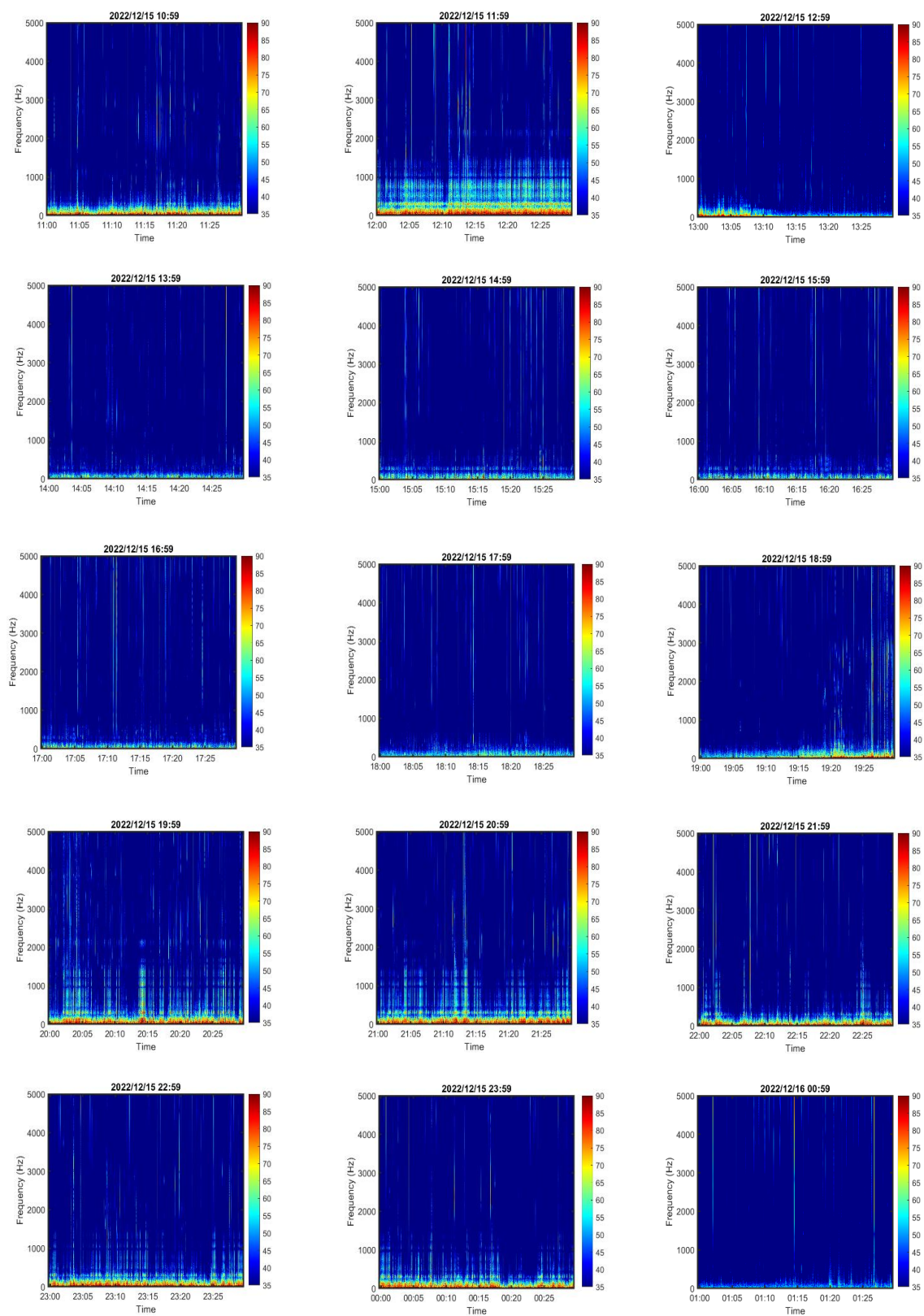


圖 30. 澎湖鎮海海草床 12 月份水下聲景頻譜圖

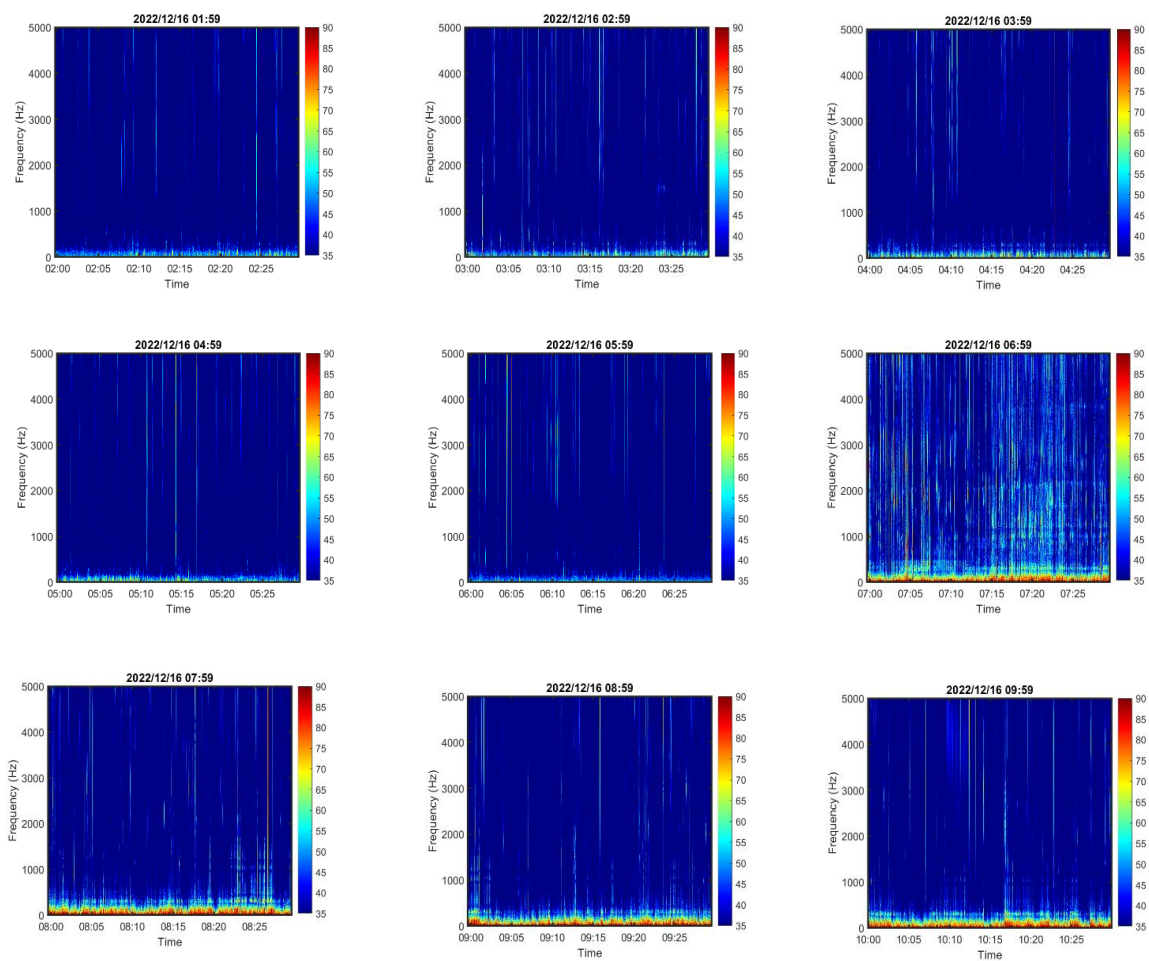


圖 30. 澎湖鎮海海草床 12 月份水下聲景頻譜圖(續)

九、溫度

為瞭解澎湖鎮海海草床不同季節之溫度變化，根據本研究 111 年 6 月至 12 月海水溫度紀錄，可以發現 6 月份海水溫度可高於 25°C 以上；7 月、8 月海水溫度較高且變化明顯，平均溫度高於 30°C；9 月的海水溫度最高海水溫度可達 32°C，平均低於 28°C 以下；10 月的海水溫度平均高於 26°C；11、12 月的海水溫度平均低於 25°C 以下。海草床因屬於沿岸地形，受漲退潮影響，受日光照射影響大，使海草床溫度變化較大。

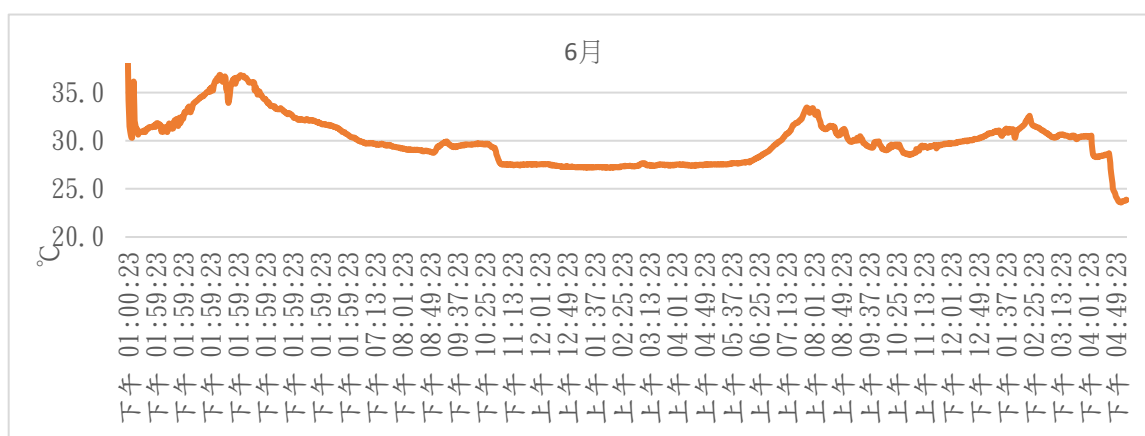


圖 31. 澎湖鎮海海草床 6 月份溫度變化圖

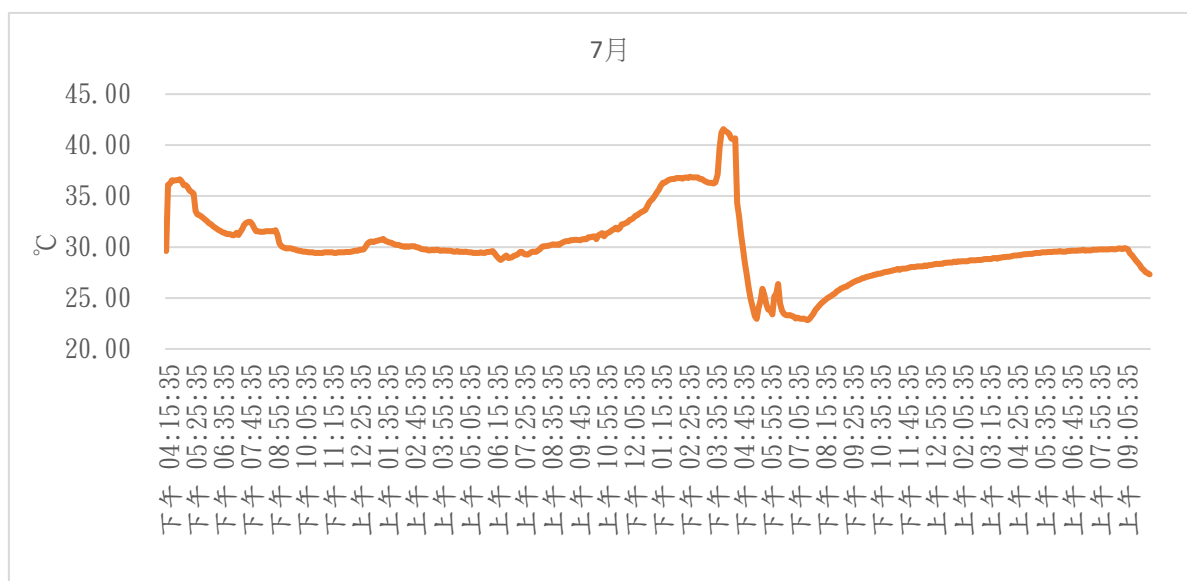


圖 32. 澎湖鎮海海草床 7 月份溫度變化圖

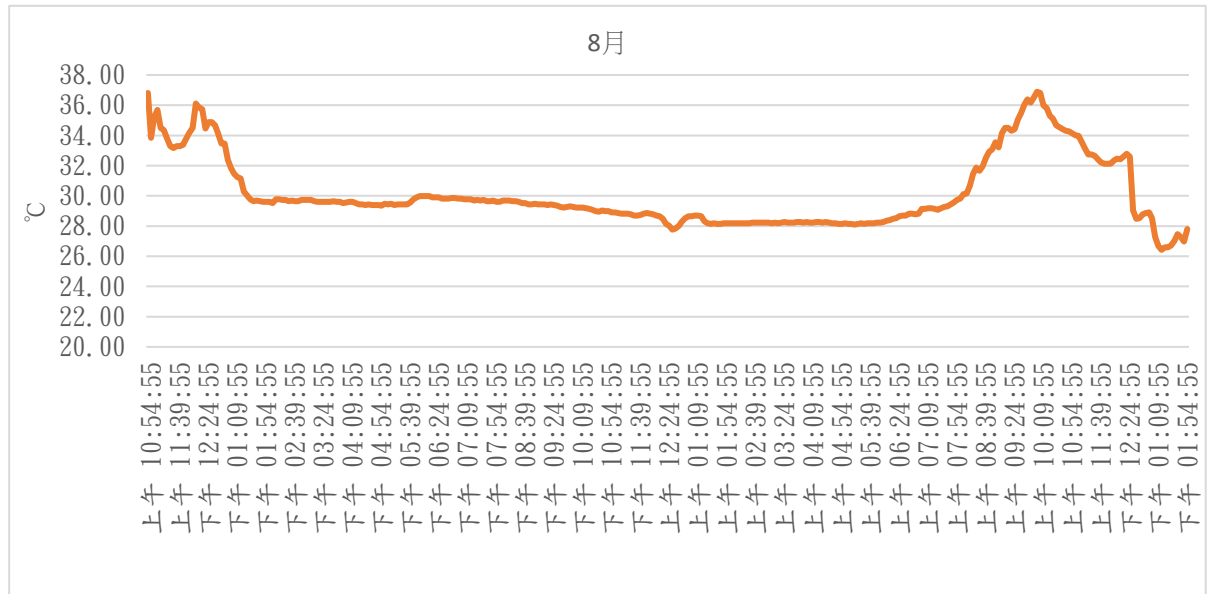


圖 33. 澎湖鎮海海草床 8 月份溫度變化圖

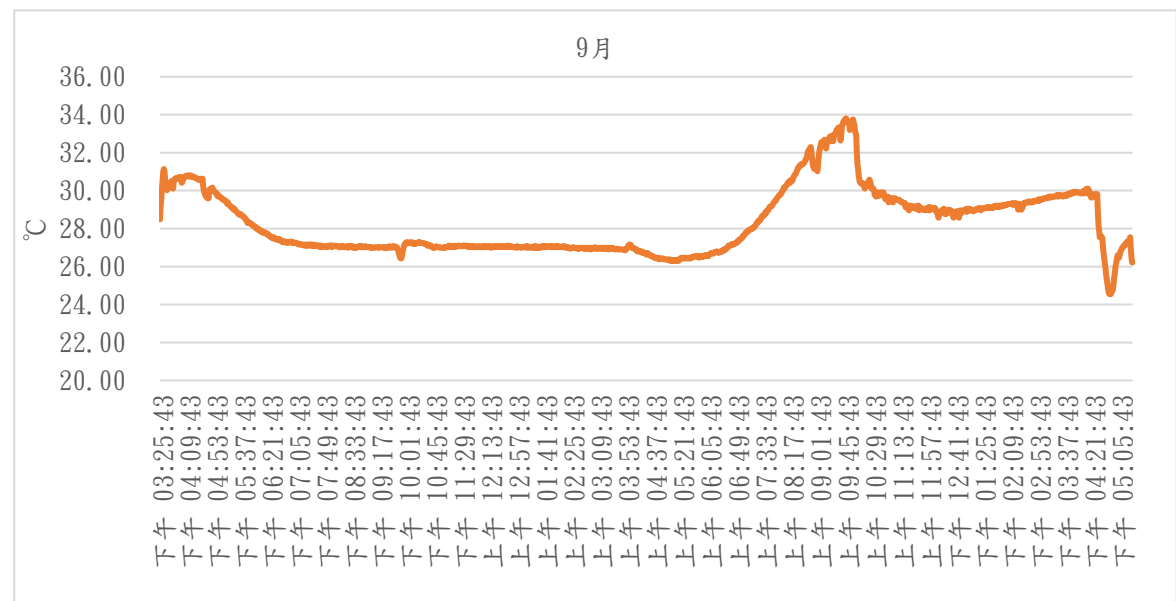


圖 34. 澎湖鎮海海草床 9 月份溫度變化圖

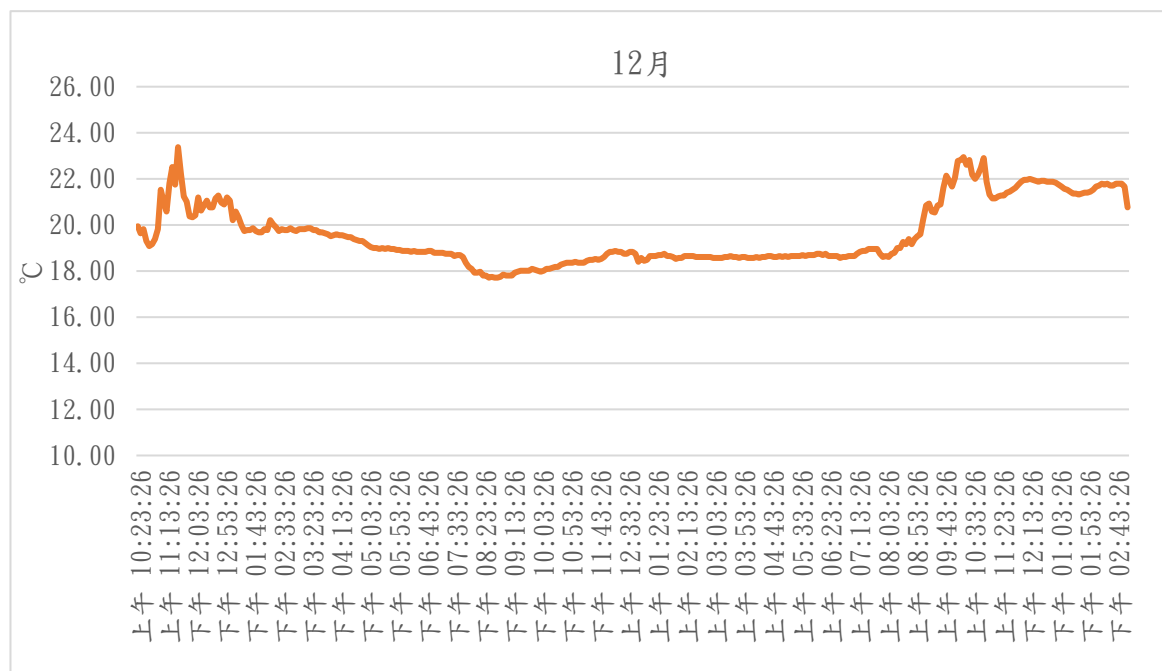


圖 37. 澎湖鎮海海草床 12 月份溫度變化圖

第三節 聲壓值比較

比較珊瑚礁 111 年 5 至 12 月聲壓值 (圖 38)，發現不同月份之中午時段聲壓值較低，推論為中午時段珊瑚礁魚類及無脊椎動物活動較少所致。8 月份的聲壓值顯示，於傍晚與夜間聲壓值高於其他月份，而 11、12 月份則略低，珊瑚礁聲壓值 5 月份至 12 月份聲壓值介於 69 至 83 分貝之間。

比較海草床 111 年 5 至 12 月聲壓值 (圖 39)，不同月份的聲壓值無明顯差異，海草床並無紀錄到魚類聲音，僅有無脊椎動物活動聲音，背景噪音受潮汐之影響，漲潮海水進入海草床，背景噪音降低，退潮時則有較多露出空氣的背景噪音，另因澎湖鎮海海草床為澎湖貝類採集點，因此也有人為活動的噪音，海草床聲壓值介於 62 至 83 分貝。

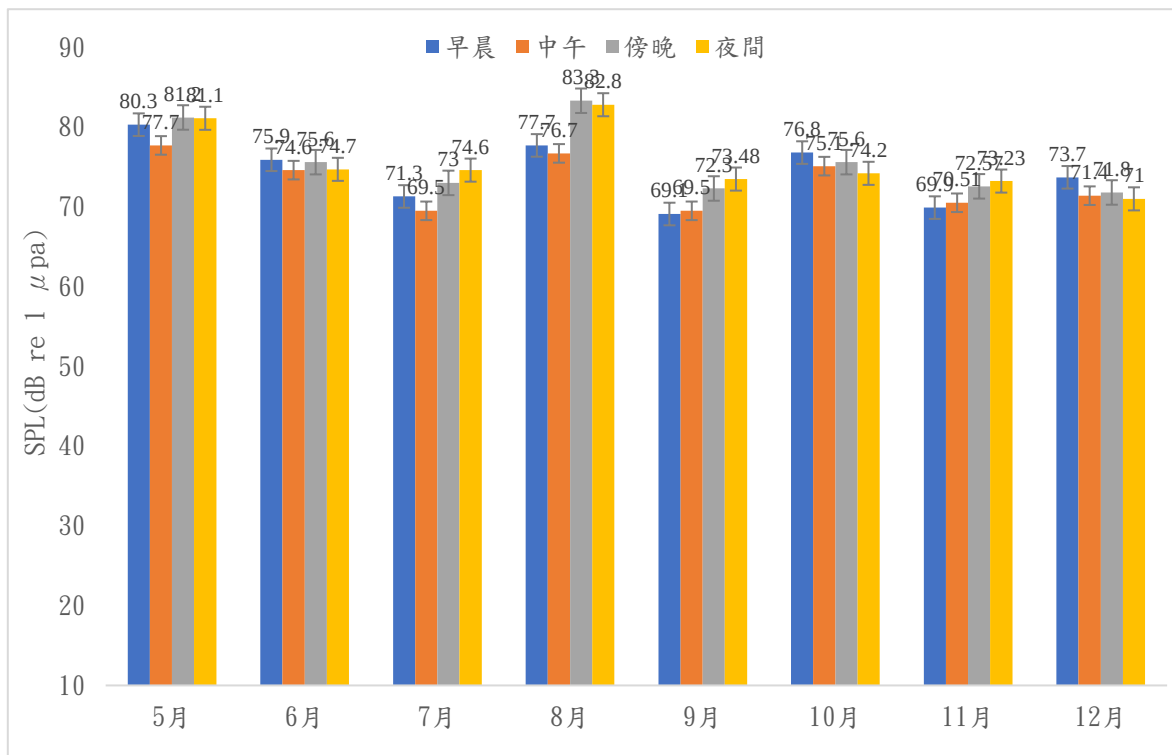


圖 38. 澎湖隘門珊瑚礁 5 月至 12 月聲壓值

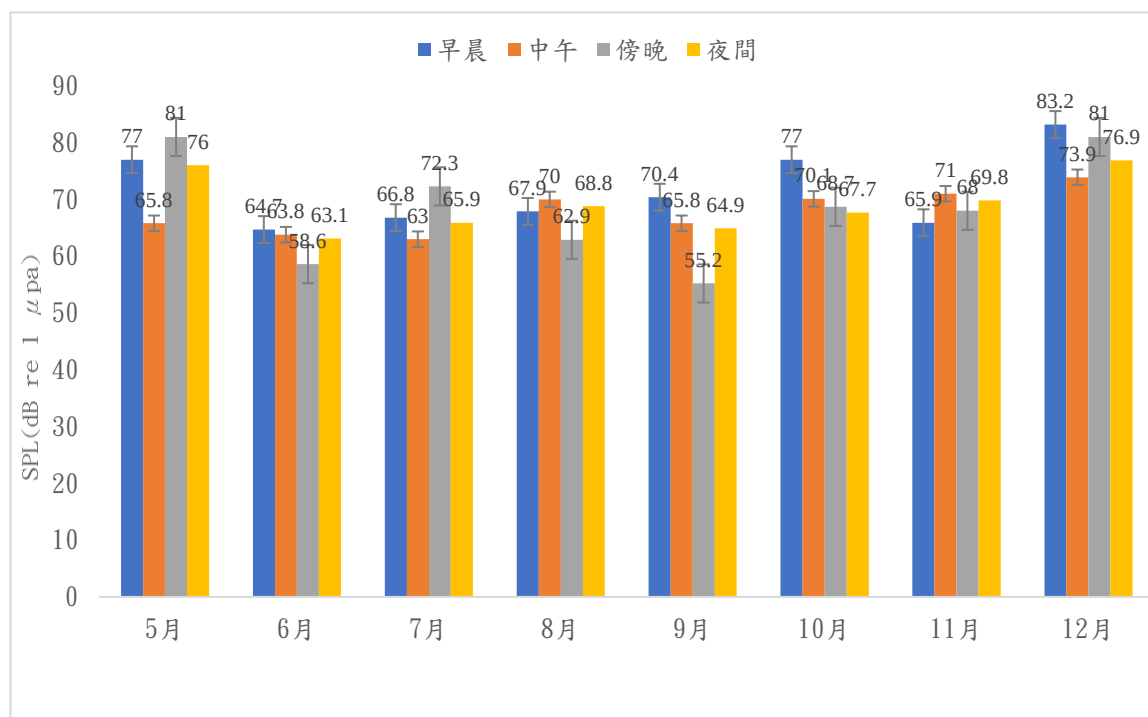


圖 39. 澎湖鎮海海草床 5 月至 12 月聲壓值

第四節 海草床大型無脊椎動物調查

一、物種統計

本研究於 111 年 3 月至 12 月共記錄 5 門 60 科 82 屬 105 種(表 3)，其中多為軟體動物門及節肢動物門之種類，分別為 52 種及 40 種。在與林等 (2019) 之調查結果比較後發現，林等 (2019) 共記錄 8 門 50 科 65 屬 83 種，而在本次研究調查則未發現海綿動物門(Porifera)、半索動物門(Hemichordata)及蠕蟲動物門(Echiuroidea)。

表 3. 澎湖鎮海海草床大型無脊椎動物各門物種總計表

門 Phylum	科 family	屬 genus	種 species
刺胞動物門 Cnidaria	3	3	3
環節動物門 Annelida	2	2	2
軟體動物門 Mollusca	26	39	52
節肢動物門 Arthropoda	23	32	40
棘皮動物門 Echinodermata	6	6	8
共 5 門	60	82	105

表 4. 澎湖鎮海海草床大型無脊椎動物比較表

門	108 海委會海保署計畫 林等(2019)			本研究		
	科	屬	種	科	屬	種
刺胞動物門 Cnidaria	2	2	2	3	3	3
海綿動物門 Porifera	1	1	1	0	0	0
半索動物門 Hemichordata	1	1	1	0	0	0
蠕蟲動物門 Echiura	1	1	1	0	0	0
軟體動物門 Mollusca	24	31	37	26	39	52
環節動物門 Annelida	3	3	3	2	2	2
節肢動物門 Arthropoda	12	20	31	23	32	40
棘皮動物門 Echinodermata	6	6	7	6	6	8
合 計	50	65	83	60	82	105

二、軟體動物多樣性指數分析

本研究針對軟體動物門海蜷科、蝾螺科、蓮花青螺科、骨螺科、滿月蛤科、石鶯科、牡蠣科、簾蛤科、寶螺科、殼菜蛤科、鐘螺科、峨螺科、織紋螺科、蜆螺科以及玉螺科類群進行計算，其多樣性指數詳如表 5。

表 5. 澎湖鎮海海草床各月份軟體動物之多樣性指數分析

統計分析	月 份								
	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月
豐度	4.70	4.68	4.55	4.34	4.64	5.09	5.50	5.86	5.59
均勻度	0.1	0.04	0.05	0.08	0.06	0.07	0.19	0.19	0.14
優勢度	0.91	0.96	0.95	0.92	0.94	0.93	0.78	0.66	0.71
歧異度	0.11	0.05	0.06	0.09	0.06	0.08	0.22	0.23	0.16

三、澎湖鎮海海草床無脊椎動物物種名錄

◎為常見種

分類階層	中文名	拉丁學名	
刺胞動物門 Cnidaria			
珊瑚綱 Anthozoa			
海葵目 Actiniaria			
海葵科 Actiniidae	擬骨節海葵	<i>Paracondylactis hertwigi</i>	◎
角海葵目 Cerianthidia			
角海葵科 Cerianthidae	蕨形角海葵	<i>Cerianthus filiformis</i>	
八放珊瑚綱 Octocorallia			
海鰓目 Pennatulacea			
箸海鰓科 Virgulariidae	香燭海筆	<i>Virgularia juncea</i>	◎
環節動物門 Annelida			
多毛綱 Polychaeta			
仙蟲目 Amphinomida			
仙蟲科 Amphinomidae	扁猶帝蟲	<i>Eurythoe complanata</i>	◎
纓鰓蟲目 Sabellida			
纓鰓蟲科 Sabellidae	印度光纓蟲	<i>Sabellastarte indica</i>	
軟體動物門 Mollusca			
多板綱 Polyplacophora			
石鰲目 Chitonida			
石鰲科 Chitonidae	大駝石鰲	<i>Liolophura japonica</i>	◎
薄石鰲科 Ischnochitonidae	薄石鰲	<i>Ischnochiton comptus</i>	
掘足綱 Scaphopoda			
象牙貝目 Dentalioida			
象牙貝科 Dentaliidae	象牙貝的一種	<i>Dentalium</i> sp.	
腹足綱 Gastropoda			
原始腹足目 Archaeogastropoda			
蓮花青螺科 Lottiidae	花青螺	<i>Nipponacmea schrenckii</i>	
鐘螺目 Trochida			
鐘螺科 Trochidae	草蓆鐘螺	<i>Monodonta labio</i>	
	齒輪鐘螺	<i>Trochus sacellum</i>	
	彩虹蝸螺	<i>Umbonium vestiarium</i>	
蝾螺科 Turbinidae	高腰蝾螺	<i>Turbo stenogyrus</i>	◎
	珠螺	<i>Lunella coronate</i>	◎
	瘤珠螺	<i>L. granulate</i>	◎
蜆形目 Cycloneritida			
蜆螺科 Neritidae	漁舟蜆螺	<i>Nerita albicilla</i>	◎
	玉女蜆螺	<i>N. polita</i>	◎
	粗紋蜆螺	<i>N. undata</i>	◎
玉黍螺目 Littorinimorpha			
玉黍螺科 Littorinidae	芝麻玉黍螺	<i>Littoraria lutea</i>	

	多彩玉黍螺	<i>L. pallescens</i>	
	粗紋玉黍螺	<i>L. scabra</i>	
	波紋玉黍螺	<i>L. undulata</i>	◎
蛇螺科 Vermetidae	大蛇螺	<i>Serpulorbis imbricatus</i>	◎
寶螺科 Cypraeidae	阿拉伯寶螺	<i>Cypraea arabica</i>	◎
	愛龍寶螺	<i>C. errones</i>	◎
玉螺科 Naticidae	小灰玉螺	<i>Natica gualteriana</i>	◎
	腰帶玉螺	<i>N. vitellus</i>	
新腹足目 Neogastropoda			
骨螺科 Muricidae	角岩螺	<i>Mancinella tuberosa</i>	◎
	蚶岩螺	<i>Reishia clavigera</i>	◎
	結螺	<i>Tenguella granulate</i>	◎
峨螺科 Buccinidae	褐線峨螺	<i>Japeuthria cingulate</i>	◎
織紋螺科 Nassariidae	正織紋螺	<i>Niotha livescens</i>	
吸螺目 Sorbeoconcha			
海蜷科 Batillariidae	多型海蜷	<i>Batillaria multiformis</i>	◎
	黑瘤海蜷	<i>B. sordida</i>	◎
	燒酒海蜷	<i>B. zonalis</i>	◎
縮柄眼目 Systellommatophora			
石礪科 Onchidiidae	石礪	<i>Onchidium verruculatum</i>	◎
雙殼綱 Bivalvia			
鬚魁蛤目 Arcida			
鬚魁蛤科 Arcidae	鬚魁蛤	<i>Barbatia foliata</i>	
貽貝目 Mytiloida			
殼菜蛤科 Mytilidae	黑石蜊	<i>Lithophaga teres</i>	
	土嘴瓜殼菜蛤	<i>Modiolus metcalfei</i>	◎
鶯蛤目 Pterioida			
鶯蛤科 Pteriidae	臺灣鶯蛤	<i>Pinctada chemnitzii</i>	◎
	日本鶯蛤	<i>P. martensii</i>	
江珧蛤科 Pinnidae	黑旗江珧蛤	<i>Atrina vexillum</i>	◎
	尖角江珧蛤	<i>Pinna muricata</i>	◎
牡蠣目 Ostreoida			
牡蠣科 Ostreidae	棘牡蠣	<i>Crassostrea echinata</i>	
	黑齒牡蠣	<i>Saccostrea mordax</i>	◎
簾蛤目 Venerida			
簾蛤科 Veneridae	餅乾鏡蛤	<i>Dosinia biscocta</i>	
	厚殼縱簾蛤	<i>Gafrarium tumidum</i>	◎
	斜肋縱簾蛤	<i>G. pectinatum</i>	◎
	臺灣環簾蛤	<i>Marcia hiantina</i>	
	鍊珠簾蛤	<i>Periglypta corbis</i>	
	小眼花簾蛤	<i>Ruditapes variegata</i>	◎
	花斑淺蜊	<i>Tapes platyptycha</i>	◎
櫻蛤科 Tellinidae	銼紋櫻蛤	<i>Scutarcopagia scobinata</i>	

鳥蛤目 Cardiida			
鳥蛤科 Cardiidae	黃邊糙鳥蛤	<i>Vasticardium flavum</i>	◎
滿月蛤目 Lucinoida			
滿月蛤科 Lucinidae	胭脂滿月蛤	<i>Codakia punctata</i>	
	美姬滿月蛤	<i>Epicodakia bella</i>	
頭足綱 Cephalopoda			
管魷目 Teuthida			
槍魷科 Loliginidae	萊氏擬烏賊	<i>Sepioteuthis lessoniana</i>	
節肢動物門 Arthropoda			
螯肢亞門 Chelicerata			
肢口綱 Merostomata			
劍尾目 Xiphosura			
蠶科 Limulidae	中華蠶	<i>Tachypleus tridentatus</i>	
甲殼亞門 Crustacea			
鞘甲綱 Thecostraca			
無柄目 Sessilia			
藤壺科 Balanidae	紋藤壺	<i>Amphibalanus amphitrite</i>	◎
	多肋小笠藤壺	<i>Tetraclitella multicostata</i>	◎
軟甲綱 Malacostraca			
口足目 Stomatopoda			
假蝦蛄科 Pseudosquillaidae	多毛假蝦蛄	<i>Pseudosquilla ciliata</i>	
端足目 Amphipoda			
跳蝦科 Talitridae	扁跳蝦的一種	<i>Platorchestia</i> sp.	◎
等足目 Isopoda			
海蟑螂科 Ligiidae	奇異海蟑螂	<i>Ligia exotica</i>	◎
十足目 Decapoda			
對蝦科 Penaeidae	鬚赤蝦	<i>Metapenaeopsis barbata</i>	
	溝甲對蝦	<i>Penaeus canaliculatus</i>	
	寬溝對蝦	<i>P. latisulcatus</i>	
	短溝對蝦	<i>P. semisulcatus</i>	
蜆蝦科 Stenopodidae	蜆蝦	<i>Stenopus hispidus</i>	
槍蝦科 Alpheidae	葉齒鼓蝦	<i>Alpheus lobidens</i>	◎
長臂蝦科 Palaemonidae	長臂蝦的一種	Unidentified Palaemonidae	
	江瑤蝦的一種	<i>Conchodytes</i> sp.	
	鋸齒長臂蝦	<i>Palaemon serrifer</i>	
活額寄居蟹科 Diogenidae	隱伏硬殼寄居蟹	<i>Calcinus latens</i>	◎
	寬胸細螯寄居蟹	<i>Clibanarius eurysternus</i>	
	下棘細螯寄居蟹	<i>C. infraspinatus</i>	
寄居蟹科 Paguridae	小形寄居蟹	<i>Pagurus minutus</i>	◎
棉蟹科 Dromiidae	虛幻隱綿蟹	<i>Alcockdromia fallax</i>	
饅頭蟹科 Calappidae	逍遙饅頭蟹	<i>Calappa philargius</i>	◎
玉蟹科 Leucosiidae	豆形拳蟹	<i>Pyrhila pisum</i>	
寶石蟹科 Mithracidae	拳折額蟹	<i>Micippa philyra</i>	

菱蟹科 Parthenopidae	環狀隱足蟹	<i>Cryptopodia fornicata</i>	
梭子蟹科 Portunidae	鋸緣青蟹	<i>Scylla serrata</i>	
	鈍齒短槳蟹	<i>Thalamita crenata</i>	◎
	底棲短槳蟹	<i>T. prymna</i>	◎
	雙額短槳蟹	<i>T. sima</i>	
扇蟹科 Xanthidae	正直愛潔蟹	<i>Atergatis integerrimus</i>	
	溝痕皺蟹	<i>Leptodius affinis</i>	◎
	細巧皺蟹	<i>L. gracilis</i>	◎
大眼蟹科 Macrophthalmidae	粗掌開口蟹	<i>Chaenostoma crassimanus</i>	
	東方開口蟹	<i>C. orientale</i>	
和尚蟹科 Mictyridae	短指和尚蟹	<i>Mictyris brevidactylus</i>	◎
沙蟹科 Ocypodidae	角眼沙蟹	<i>Ocypode ceratophthalmus</i>	
	北方丑招潮蟹	<i>Gelasimus borealis</i>	
	呼喚丑招潮蟹	<i>G. vocans</i>	
相手蟹科 Sesarmidae	小型相手蟹	<i>Nanosesarma minutum</i>	
	斑點擬相手蟹	<i>Parasesarma pictum</i>	
	平背蜞	<i>Gaetice depressus</i>	
弓蟹科 Varunidae			
棘皮動物門 Echinodermata			
海星綱 Asteroidea			
顯帶目 Valvatida			
飛白楓海星科 Archasteridae	飛白楓海星	<i>Archaster typicus</i>	◎
瘤海星科 Oreasteridae	原瘤海星	<i>Protoreaster nodosus</i>	
海膽綱 Echinoidea			
冠海膽目 Diadematoida			
冠海膽科 Diadematidae	沙氏冠海膽	<i>Diadema savignyi</i>	
海膽目 Echinoida			
球海膽科 Strongylocentrotidae	馬糞海膽	<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>	
刻肋海膽科 Temnopleuridae	雜色角孔海膽	<i>Salmacis sphaeroides</i>	
海參綱 Holothuroidea			
楯手目 Aspidochirotida			
海參科 Holothuriidae	黑海參	<i>Holothuria atra</i>	◎
	棕環海參	<i>H. fuscocinerea</i>	
	黃疣海參	<i>H. hilla</i>	◎

四、澎湖鎮海海草床無脊椎動物物種圖片

(一) 刺胞動物門(Cnidaria)



擬骨節海葵 *Paracondylactis hertwigi*



蕨形角海葵 *Cerianthus filiformis*



香燭海筆 *Virgularia juncea*

(二) 環節動物門(Annelida)



扁猶帝蟲 *Eurythoe complanata*



印度光纓蟲 *Sabellastarte indica*

(三)軟體動物門(Mollusca)



大駝石鰈 *Liolophura japonica*



薄石鰈 *Ischnochiton comptus*



象牙貝的一種 *Dentalium* sp.



花青螺 *Nipponacmea schrenckii*



草蓆鐘螺 *Monodonta labio*



齒輪鐘螺 *Trochus sacellum*



高腰蝾螺 *Turbo stenogyrus*



珠螺 *Lunella coronata*



瘤珠螺 *Lunella granulata*



漁舟蜑螺 *Nerita albicilla*



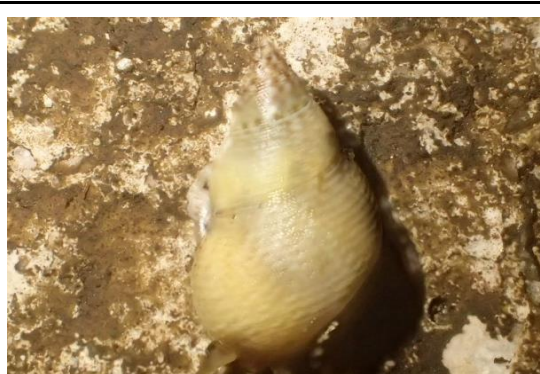
玉女蜑螺 *Nerita polita*



粗紋蜑螺 *Nerita undata*



芝麻玉黍螺 *Littoraria lutea*



多彩玉黍螺 *Littoraria pallescens*



粗紋玉黍螺 *Littoraria scabra*



波紋玉黍螺 *Littoraria undulata*



大蛇螺 *Serpulorbis imbricatus*



阿拉伯寶螺 *Cypraea arabica*



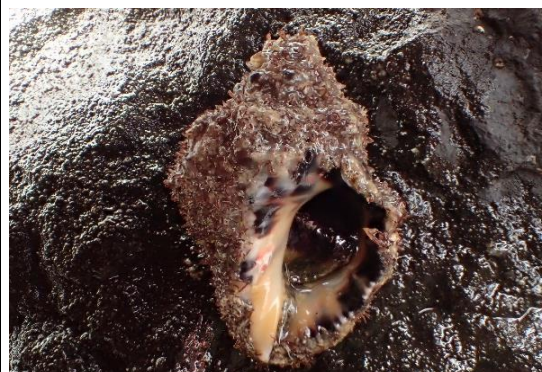
愛龍寶螺 *Cypraea errones*



小灰玉螺 *Natica gualteriana*



腰帶玉螺 *Natica vitellus*



角岩螺 *Mancinella tuberosa*



蚵岩螺 *Reishia clavigera*



結螺 *Tenguella granulate*



褐線峨螺 *Japeuthria cingulate*



正織紋螺 *Niotha livescens*



多型海蜷 *Batillaria multiformis*



黑瘤海蜷 *Batillaria sordida*



燒酒海蜷 *Batillaria zonalis*



石磧 *Onchidium verruculatum*



鬚魁蛤 *Barbatia foliata*



黑石蜊 *Lithophaga teres*



土嘴瓜殼菜蛤 *Modiolus metcalfei*



臺灣鶯蛤 *Pinctada chemnitzii*



日本鶯蛤 *Pinctada martensii*



黑旗江珧蛤 *Atrina vexillum*



尖角江珧蛤 *Pinna muricata*



棘牡蠣 *Crassostrea echinata*



黑齒牡蠣 *Saccostrea mordax*



餅乾鏡蛤 *Dosinia biscocta*



厚殼縱簾蛤 *Gafrarium tumidum*



斜肋縱簾蛤 *Gafrarium pectinatum*



臺灣環簾蛤 *Marcia hiantina*



鍊珠簾蛤 *Periglypta corbis*



小眼花簾蛤 *Ruditapes variegata*



花斑淺蜊 *Tapes platyptycha*



銼紋櫻蛤 *Scutarcopagia scobinata*



黃邊糙鳥蛤 *Vasticardium flavum*



胭脂滿月蛤 *Codakia punctata*



美姬滿月蛤 *Epicodakia bella*



萊氏擬烏賊 *Sepioteuthis lessoniana*

(四)節肢動物門(Arthropoda)



中華鱟 *Tachypleus tridentatus*



紋藤壺 *Amphibalanus amphitrite*



多肋笠藤壺 *Tetracitella multicostata*



多毛假蝦蛄 *Pseudosquilla ciliata*



扁跳蝦的一種 *Platorchestia* sp.



奇異海蟑螂 *Ligia exotica*



鬚赤蝦 *Metapenaeopsis barbata*



溝甲對蝦 *Penaeus canaliculatus*



寬溝對蝦 *Penaeus latisulcatus*



短溝對蝦 *Penaeus semisulcatus*



蜆蝦 *Stenopus hispidus*



葉齒鼓蝦 *Alpheus lobidens*



長臂蝦的一種 Unidentified Palaemonidae



江瑤蝦的一種 *Conchodytes* sp.



鋸齒長臂蝦 *Palaemon serrifer*



隱伏硬殼寄居蟹 *Calcinus latens*



寬胸細螯寄居蟹 *Clibanarius eurysternus*



下棘細螯寄居蟹 *Clibanarius infraspinatus*



小形寄居蟹 *Pagurus minutus*



虛幻隱綿蟹 *Aloekdromia fallax*



逍遙饅頭蟹 *Calappa philargius*



豆形拳蟹 *Pyrhila pisum*



拳折額蟹 *Micippa philyra*



環狀隱足蟹 *Cryptopodia fornicata*



鋸緣青蟹 *Scylla serrata*



鈍齒短槳蟹 *Thalamita crenata*



底棲短槳蟹 *Thalamita prynna*



雙額短槳蟹 *Thalamita sima*



正直愛潔蟹 *Atergatis integerrimus*



溝痕皺蟹 *Leptodius affinis*



細巧皺蟹 *Leptodius gracilis*



粗掌開口蟹 *Chaenostoma crassimanus*



東方開口蟹 *Chaenostoma orientale*



短指和尚蟹 *Mictyris brevidactylus*



角眼沙蟹 *Ocypode ceratophthalmus*



北方丑招潮蟹 *Gelasimus borealis*



呼喚丑招潮蟹 *Gelasimus vocans*



小型相手蟹 *Nanosesarma minutum*



斑點擬相手蟹 *Parasesarma pictum*



平背蜞 *Gaetice depressus*

(五)棘皮動物門(Echinodermata)



飛白楓海星 *Archaster typicus*



原瘤海星 *Protoreaster nodosus*



沙氏冠海膽 *Diadema savignyi*



馬糞海膽 *Hemicentrotus pulcherrimus*



雜色角孔海膽 *Salmacis sphaeroides*



黑海參 *Holothuria atra*



棕環海參 *Holothuria fuscocinerea*



黃疣海參 *Holothuria hilla*

第四章 結論

澎湖隘門珊瑚礁 111 年 5 月至 12 月的水下聲景分析顯示，魚類及無脊椎動物的生物音係為珊瑚礁生態系聲景的主要組成，無脊椎動物的聲音為寬頻頻率，其範圍由 1kHz 超過 5kHz，魚類聲音頻譜則低於 2kHz，並且有 3 種頻帶。澎湖鎮海海草床 111 年 5 月至 12 月的水下聲景分析顯示，海草床水下聲景與珊瑚礁水下聲景較為不同，於海草床樣區無記錄到魚類的聲音，但有無脊椎動物活動的聲音。另因為海草床位置較為近岸，受到漲潮及退潮影響之頻譜圖不同，在退潮時，水下麥克風會露出水面，導致部分音檔僅記錄到空氣中的聲音。另外有關海草床光合作用之氣泡聲音，在澎湖鎮海海草床並不明顯，經請教專家後，建議改用有纜線的水下收音器，以利記錄極微小的氣泡聲，為後續可調整進行海草床錄音之技術。

本研究顯示，澎湖隘門珊瑚礁之魚類聲音於夜間多於日間，表示珊瑚礁魚類多為夜行性動物，但其他珊瑚礁魚類聲音如雀鯛科或鱗魷科的聲音則無紀錄，未來將於隘門樣區增加水下麥克風數量，以利蒐集更完整之水下聲景資料。

本研究調查之海草床大型無脊椎動物於 111 年 3 月至 12 月共記錄 5 門 60 科 82 屬 105 種，其中多為軟體動物門及節肢動物門之種類，分別為 52 種及 40 種。經與本研究聲學資訊比對發現，海草床多為軟體動物刮食活動之聲音，與調查結果相符，多為軟體動物門之種類，未來將逐步進行各類群聲音之錄製，以期釐清音訊之歸屬生物，對於未來進行生物比對分析能較為精確。

參考文獻

- Bohnenstiehl, D. R., Lyon, R. P., Caretti, O. N., Ricci, S. W., & Eggleston, D.B. (2018) Investigating the utility of ecoacoustic metrics in marine soundscapes. *Journal of Ecoacoustics*, 2(2), 1.
- Boyle, K.S., Hightower, C.L., Reid Nelson, T., & Powers, S.P. (2022) Use of passive acoustic monitoring to estimate fishing effort on artificial reefs in Alabama during the recreational red snapper fishing season. *Fisheries Research*, 249, 106262
- Cato, D. H., Noad, M. J., & McCauley, R. D. Passive acoustics as a key to the study of marine animals. (2005) *Sounds in the sea: From ocean acoustics to acoustical oceanography*. Cambridge MA; pp. 411–429.
- Chang, H. J., Mok, H. K., Fine, M. L., Soong, K.Y., Chen, Y. Y., & Chen, T. Y. (2022) Vocal repertoire and sound characteristics in the variegated cardinalfish, *Fowleria variegata* (Pisces: Apogonidae). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 152(6), 3716-3727.
- Danielsen, F., Sørensen, M. K., Olwig, M. F., Selvam, V., Parish, F., Burgess, N. D., Hiraishi, T., Karunakaran, V. M., Rasmussen, M. S., Hansen, L. B., Quarto, A., & Suryadiputra, N. (2005) The Asian tsunami: a protective role for coastal vegetation. *Science* 310, 643-643.
- Guan, S., Lin, T. H., Chou, L. S., Vignola, J., Judge, J., & Turo, D. (2015) Dynamics of soundscape in a shallow water marine environment: A study of the habitat of the Indo-Pacific humpback dolphin. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 137(5), 2939-2949.
- Indeck, K. L., P. Simard, S. Gowans, S. Lowerre-Barbieri., & D. A. Mann. (2015) A severe red tide (Tampa Bay, 2005) causes a decrease in biological sound. *Royal Society Open Science*. open sci, 2: 150337.
- Jesse R. Barber., Kevin R. Crooks., & Kurt M. Fristrup. (2010) The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends in Ecology and Evolution*, 25: 180–189.
- Lamont, T. A. C., Williams, B., Chapuis, L., Prasetya, M. E., Seraphim, M. J., Harding, H. R., May, E. B., Janetski, N., Jompa, J., Smith, D.J., Radford, A. N., & Simpson, S. D. (2020) The sound of recovery: Coral reef restoration success is detectable in the soundscape. *Journal of Applied Ecology*, 59: 742-756.
- Lin, T. H., Akamatsu, T., & Tsao, Y. (2021) Sensing ecosystem dynamics via audio source separation: A case study of marine soundscapes off northeastern Taiwan. *PLOS Computational Biology*, 17(2), e1008698.
- Lin, H. J., Hsieh, L. Y., & Liu, P. J. (2005) Seagrasses of Tongsha Island, with descriptions of four new records to Taiwan. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 46: 163-168.
- Worm, B., Barbier, E. B., Beaumont, N., Duffy, J. E., Folke, C., Halpern, B. S.,

Jackson, J. B. C., Lotze H. K., Micheli, F., Palumbi, S., & Sala, R., E. (2006) Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science* 314, 787-790.

林子皓、Shane Guan、周蓮香 (2013) 從海洋聲景探討中華白海豚的棲地特徵。臺灣聲學學會第二十八屆學術研討會論文集，台北市。

林子皓、楊信得、黃鈞漢、姚秋如。(2018 年 5 月)。在李慶烈(主持)，被動式水下聲學監測離岸風場海洋動物生態活動。第 20 屆水下技術研討會暨科技部、文化部成果發表會，新北市，臺灣。

林幸助、陳彤昀、李承錄 (2019) 海草床生態系調查計畫。海洋委員會海洋保育署，高雄市。

林幸助、邵廣昭、黃守忠、陳彤昀、陳渭中、柯智仁、廖品琇 (2020) 我國海洋生態調查監測網與監測規範建立之整體規劃。國家海洋研究院，高雄市。

周蓮香(2011)中華白海豚族群生態監測及聲學監測系統規劃。行政院農業委員會林務局委託研究計畫。

周蓮香、陳琪芳(2013)中華白海豚族群生態與棲地環境噪音監測。行政院農業委員會林務局委託研究計畫。

周蓮香、陳琪芳(2014)中華白海豚族群生態與棲地環境噪音監測。行政院農業委員會林務局委託研究計畫。

周蓮香、魏瑞昌(2012)中華白海豚族群生態與棲地環境噪音監測。行政院農業委員會林務局委託研究計畫。

黃柏崴、莫顯蕎、陳琪芳、張至維(2015)苗栗彰化沿海石首魚鳴音組成之空間變異與鱗鰭叫姑魚干擾鳴音特性初探。2015 年魚類學會第六屆第三次會員大會暨論文發表暨海峽兩岸魚類學術交流研討會，台北市，臺灣。

黃星翰、賴繼昌、楊清閔、呂學榮、吳龍靜 (2013) 應用水槽型實驗解析大眼鯛之聲學反射特性。水試專訊，4-8 頁。

莫顯蕎、陳正虔 (2018)。海洋的聲音生態與保育。科技大觀園，552：58-65。

楊瑋誠、李沛沂、周蓮香、陳琪芳 (2020) 離岸風電場近海鯨豚族群健康評估與水下聲景資料建置。國家海洋研究院委託研究計畫。

溫國彰 (2020) 桃園藻礁開發的噪音與沈積物對於魚類及聲景多樣性的影響。科技部補助計畫。

湛翔智、魏瑞昌 (2021) 離岸風電場生態保育環境監測研究-鯨豚族群與水下聲景建置。國家海洋研究院委託研究計畫。

許世霖 (2021) 離岸風電場噪音及珊瑚礁生態系水下聲景監測計畫。國家海洋研究院研究計畫。