

109 - 110 年度
新竹市香山重要濕地（國家級）
台灣旱招潮蟹族群、
經濟性採集底棲無脊椎動物生態暨
濕地水質監測調查計畫

成果報告

國立清華大學
分析與環境科學研究所
楊樹森

中華民國一一〇年九月

目 錄

摘 要	1
Abstract	2
壹、前言	3
一、香山國家級重要濕地環境概說	3
(一) 氣候概說	3
(二) 水文概說	7
二、遊客活動型態及經營管理現況	10
三、生物資源研究歷史與現況	11
(一) 經濟性採集底棲物種	11
(二) 台灣早招潮蟹	13
(三) 香山濕地探索 app	16
貳、計畫目標	18
參、執行方法及步驟	19
一、監測調查位置及測站分布	19
(一) 水質監測站分布	19
(二) 方格星蟲監測站分布	20
(三) 環文蛤與公代監測站分布	21
二、調查項目及方法	23
(一) 水質分析	23
(二) 臺灣早招潮蟹族群量調查	26
(三) 全區軟體動物種類普查	30
(四) 方格星蟲生態監測	33
(五) 環文蛤生態監測	36
(六) 船形薄殼蛤(公代)生態監測	39
三、資料分析方法	41
(一) 資料儲存格式與作圖軟體	41

(二) 體長—體重關係	41
(三) 體長頻度與族群生物學參數推斷	42
肆、結果	44
一、水質監測	44
(一) 鹽度	46
(二) 溫度與 pH 值	47
(三) 溶氧	48
(四) 懸浮固體	49
(五) 生化需氧量	50
(六) 氨氮	51
(七) 亞硝酸鹽	52
(八) 硝酸鹽	53
(九) 無機氮	54
(十) 磷酸鹽	56
(十一) 矽酸鹽	57
(十二) 河川汙染指數	58
(十三) 討論	59
(十四) 概要	66
二、台灣早招潮蟹族群量調查	67
(一) 族群數量、密度與棲地情況變化	67
(二) 族群分布模式	70
(三) 概要	71
三、軟體動物種類普查結果	77
四、方格星蟲生態監測	87
(一) 各樣區密度	88
(一) 各月體長頻度分布與幼體補充時間推估	88
(二) 體長—體重關係	91

(三) 控制樣區內外個體棲息密度差異	92
(四) 討論	93
(五) 概要	95
五、環文蛤生態監測	96
(一) 各樣區棲息密度	96
(二) 各月體長頻度分布與幼貝補充時間推估	98
(三) 體長 - 體重關係	99
(四) 控制樣區內外個體棲息密度之差異	100
(五) 討論	104
(六) 概要	107
六、公代生態監測	109
(一) 各樣區密度	109
(二) 體長 - 體重關係	111
(三) 各月體長頻度分布與幼貝補充時間推估	111
(四) 控制樣區內外族群結構差異	113
(五) 討論	116
(六) 概要	120
伍、綜合討論及經營管理策略	121
一、水質監測	121
二、台灣早招潮蟹棲地經營	121
三、經濟性採集底棲無脊椎動物資源經營管理	122
陸、結論	127
柒、參考資料	128
一、參考法規	128
二、參考文獻	129
捌、期末審查意見回覆	133
玖、附錄	135

表 目 錄

表 1、各水質測站位置之經緯度。.....	20
表 2、方格星蟲、環文蛤與公代監測站經緯度資料與主要監測物種。..	22
表 3、各項水質指標檢測方法與標準法規編號對照表。.....	24
表 4、河川污染指數（RPI）基準值。.....	25
表 5、底質標準篩分離之粒徑分類表。.....	32
表 6、各樣點五季水質數據。.....	45
表 7、調整河川汙染指數成分前後對照表。.....	65
表 8、109 年度香山濕地台灣早招潮蟹族群調查結果。.....	73
表 9、110 年度香山濕地台灣早招潮蟹族群調查結果。.....	75
表 10、香山濕地 2 季香山濕地軟體動物普查結果。.....	80
表 11、香山濕地 109 至 110 年各樣區裸體方格星蟲密度統計。.....	90
表 12、香山濕地裸體方格星蟲控制區內外密度統計表。.....	93
表 13、香山濕地 109 至 110 年各區環文蛤密度統計。.....	97
表 14、香山濕地環文蛤控制區內外密度統計表。.....	101
表 15、環文蛤體長與年齡關係文獻整理。.....	104
表 16、香山濕地 109 至 110 年各區公代密度統計。.....	110
表 17、香山濕地控制區內外公代密度統計表。.....	114
表 18、三種經濟性採集底棲無脊椎動物族群動態推估結果。.....	124

圖 目 錄

圖 1、香山濕地棲地定義範圍。.....	4
圖 2、香山氣象站 97 至 109 年氣候圖。.....	5
圖 3、香山氣象站 97 至 109 年風花圖。.....	6
圖 4、香山濕地漲潮水流向示意圖。.....	9
圖 5、冬季死亡的公代，在距離表層數公分的位置留下空殼。.....	13
圖 6、台灣早招潮蟹於洞口修築的煙囪狀構造。.....	14
圖 7、95 年至 108 年香山濕地台灣早招潮蟹族群量估計圖。.....	16
圖 8、已開發完成且上線使用之香山濕地探索指南 app。.....	17
圖 9、2011–2021 年水質調查測站分佈。.....	19
圖 10、方格星蟲監測站位置。.....	20
圖 11、環文蛤與公代監測站位置。.....	21
圖 12、臺灣早招潮蟹類族群調查之活動樣框。.....	26
圖 13、108 年度香山濕地客雅水資源回收中心周邊台灣早招潮蟹穩定族群分布區域。.....	27
圖 14、108 年度香山濕地海山漁港藍天橋周邊台灣早招潮蟹穩定族群分布區域。.....	28
圖 15、108 年度香山濕地鹽港溪出海口周邊台灣早招潮蟹穩定族群分布區域。.....	29
圖 16、軟體動物調查區域與穿越線。.....	30
圖 17、粒徑中值分析四分度量法示意圖。.....	31
圖 18、裸體方格星蟲外觀與吻器形態。.....	34
圖 19、裸體方格星蟲體型形質測量之方式。.....	34
圖 20、星蟲採集工具——四齒釘耙。.....	35
圖 21、不同體型之環文蛤。.....	37
圖 22、邊長為 2×3 公尺的控制區。.....	37
圖 23、環文蛤體型形質測量之方式。.....	38

圖 24、公代高密度聚集的棲息位置，受干擾時因緊閉雙殼而噴水。	40
圖 25、公代體型形質測量之方式。	40
圖 26、各樣點於五季之中的鹽度變化。	46
圖 27、各樣點於五季次之 pH 值變化。	47
圖 28、各樣點於五季之中的溶氧量變化，不同顏色分別代表計算河川汙染指數時獲得的點數。	48
圖 29、各樣點於五季之中的懸浮固體量變化，不同顏色分別代表計算河川汙染指數時獲得的點數。	50
圖 30、各樣點於五季之中的生化需氧量變化，不同顏色分別代表計算河川汙染指數時獲得的點數。	51
圖 31、各樣點於五季之中的氨氮濃度變化，不同顏色分別代表計算河川汙染指數時獲得的點數。	52
圖 32、各樣點於五季之中的亞硝酸鹽濃度變化。	53
圖 33、各樣點於五季之中的硝酸鹽濃度變化。	54
圖 34、各樣點於五季之中的無機氮濃度變化。	56
圖 35、各樣點於五季之中的磷酸鹽濃度變化。	57
圖 36、各樣點於五季之中的矽酸鹽濃度變化。	58
圖 37、各樣點五季河川汙染指數（RPI）值變化。	59
圖 38、大庄溪第四季之水質情況。	60
圖 39、金城湖水中的藻類。	61
圖 40、各樣點的氮磷比狀況與比較。	63
圖 41、109–110 香山濕地北側台灣早招潮觀察樣區編號與範圍。	69
圖 42、109–110 年香山濕地南側台灣早招潮觀察樣區編號與範圍。	70
圖 43、95 至 110 年度香山濕地台灣早招潮蟹估計族群量成長曲線。 .	72
圖 44、本計畫於香山濕地潮間帶新紀錄到的綠螂。	77
圖 45、熟知物種分布的沿海居民會特定採補的雙殼貝。	78
圖 46、使用解剖顯微鏡搭配顯微影像擷取系統所拍攝的底棲微型軟體動物樣本照片。	79
圖 47、裸體方格星蟲的洞穴，掘開可見星蟲。	87

圖 48、容易被誤認為裸體方格星蟲的洞口形態。	88
圖 49、香山濕地方格星蟲逐月體長頻度分析結果。	89
圖 50、香山濕地方格星蟲幼體每月入添比例估算結果。	91
圖 51、香山濕地裸體方格星蟲體長 - 體重迴歸關係。	92
圖 52、香山濕地環文蛤體長頻度與生長曲線分析結果。	98
圖 53、香山濕地環文蛤幼貝每月入添比例模擬估算結果。	99
圖 54、香山濕地環文蛤體長-體重迴歸關係。	100
圖 55、計畫期初統計控制區內外環文蛤族群結構結果。	102
圖 56、計畫期中統計控制區內外環文蛤族群結構結果。	103
圖 57、使用文蛤篩網挑選捕撈貝類個體大小。	107
圖 58、香山濕地公代體長 - 體重迴歸關係。	111
圖 59、香山濕地公代體長頻度與生長曲線模擬結果。	112
圖 60、香山濕地公代幼貝每月入添比例估算結果。	113
圖 61、計畫期中統計控制區內外公代族群結構結果。	116
圖 62、香山濕地 109 與 110 年度 7 至 9 月公代殼長比較圖。	119
圖 63、海灘封閉時間與三種經濟性採集底棲無脊椎動物族群繁殖時程。	124

摘 要

109 - 110 年度 5 季次調查結果顯示香山濕地陸源水體多屬於中度汙染狀態，輸入濕地的淡水水源氨氮濃度仍然偏高。根據 109 與 110 年台灣早招潮蟹族群監測結果，香山濕地台灣早招潮蟹棲息分佈已經擴張至紅樹林清除之後的高灘地，族群數量相較上兩個調查年度有明顯上升，110 年度總數達 43 萬，證實移除紅樹林有助台灣早招潮蟹族群數量的增長與維持。香山濕地潮間帶出現的軟體動物共計有 23 科 57 種，新紀錄物種為 Glauconomitidae 綠螂科的綠螂（*Glauconome chinensis*）。重要經濟性採集底棲無脊椎動物，以體長頻度分析系統（electronic length frequency analysis, ELEFAN）估算個體本托蘭斐成長方程式（von Bertalanffy growth function, VBGF）中的成長參數及幼體加入母族群的時間。VBGF 方程式如下：

$$L_t = L_{\infty} \left[1 - e^{-K(t-t_0) + \left(\frac{CK}{2\pi}\right) \sin 2\pi(t-t_s)} \right]$$

方格星蟲體長資料以 5.6mm 為組距，估得個體成長 K 值為 1.3，極限體長 L_{∞} 為 152.63mm、 σ 為 4.48，幼體入添主要發生在 9 月至翌年 1 月，佔所有入添星蟲的 51%，尤以 10 月至 12 月為入添高峰。環文蛤體長資料以 2.08mm 為組距，估得個體成長參數 K 值為 0.35、 L_{∞} 為 53.29mm、 σ 為 3.00，幼貝全年均有入添，最高峰發生在 9 至 12 月，佔全年入添幼體量的 43%。公代體長資料以 2.65mm 為組距，估得個體成長 K 值為 2.0、 L_{∞} 為 55.53mm、 σ 為 3.79。香山濕地的公代主要於 1 - 2 月入添，佔所有入添幼體 85%。針對經濟性採集物種，根據成長參數及幼體添入族群模式，未來經營管理策略的討論一併呈現在報告中。

Abstract

The terrigenous water source for Siang-Shan Wetland mostly in middle level pollution based on quarterly sampling analysis from 2020 to 2021, the ammonium nitrogen contamination was still too high in general. Population monitoring results of *Xeric formosans* (Rathbone, 1921) in 2020 and 2021 indicated that large scale population re-colonization on all of the high tide zone after mangrove forest was removed, estimated total population size over 430,000. The intertidal zone of Siang-Shan Wetland, 57 species of Mollusca belong to 23 family were recorded contemporary, *Glaucanome chinensis* (綠螂) belong to Glauconomitidae (綠螂科) was new record. The basic population biology of economical important benthic invertebrates were study by electronic length frequency analysis (ELEFAN). The length frequency was analyzed to estimate the parameters of von Bertalanffy growth function (VBGF) and the timing of recruitment.

The VBGF as follow:

$$L_t = L_\infty [1 - e^{-K(t-t_0) + \left(\frac{CK}{2\pi}\right) \sin 2\pi(t-t_s)}]$$

The length frequency of peanut worms (*Sipunculus nudus*) was grouped by 5.6mm interval, the estimated $K = 1.3$; $L_\infty = 152.63\text{mm}$; $\phi = 4.48$, estimated 51% of total larva recruitment happened between September to January of next year, the highest recruitment peak between September to December. The length frequency of *Cyclina sinensis* was group by 2.08mm interval, the estimated $K = 0.35$; $L_\infty = 53.29\text{mm}$; $\phi = 3.00$, larvae recruitment all year round, estimated 43% of total larva recruitment happened between September to December. The length frequency of *Laternula marilina* was group by 2.65mm interval, the estimated $K = 2.0$; $L_\infty = 55.53\text{mm}$; $\phi = 3.79$, estimated 85% of total larva recruitment happened between January to February each year. For each economical important species, according to their growth parameters and recruitment pattern, discussions of future management strategy were also presented in this report.

壹、前言

一、香山國家級重要濕地環境概說

（一）氣候概說

香山國家級重要濕地位於新竹市濱海，大部分區域屬於新竹市濱海野生動物保護區，依《濕地保育法》與內政部 104 年 1 月 28 日台內營字第 1040800278 號令公告，香山重要濕地範圍包括客雅溪及鹽港溪出海口，北起客雅溪口（含金城湖附近），南至無名溝（新竹市、苗栗縣交界），東至海岸線，西至最低潮線（不包含現有海山漁港、浸水垃圾掩埋場及客雅污水處理廠）。本計畫範圍除依濕地法劃設面積共約 1,768.16 公頃外，尚以濕地功能完整性劃設 9.63 公頃區外緩衝區，總面積為 1,777.79 公頃（如圖 1）。

香山濕地位於北迴歸線以北，屬於亞熱帶氣候區。根據中央氣象局香山氣象站設站至 109 年共 13 年統計資料顯示，此地年平均溫 22.67°C，標準差為 0.37°C，最暖月為 7 月，平均有 29°C，最冷月分為 1 月，平均 15.56°C，氣候圖如圖 2。新竹地區全年總日照時數約 1771.8 小時，佔可能日照時數約 40%。（資料來源：交通部中央氣象局，2021）

本區氣候主要受東北季風和旺盛的西南氣流所影響，每年 10 月至翌年 3 月受強盛東北季風吹拂，平均風速約每秒 1 公尺，而這段期間每月最大陣風風速可高達每秒 10 公尺以上，最高可達每秒 15 公尺；春末起至夏季，除了北半球亞熱帶地區盛行的東北信風外，則是由旺盛的西南氣流自海面帶入溼氣（如圖 3）。年平均降雨量 1476 毫米，標準差為 470 毫米。降雨主要集中在 5 至 8 月，這段期間為較潮溼的季節，其中尤以 5、6 月的降雨最為明顯，7 月及 8 月為炎熱的夏季，降雨並不特別明顯，但是颱風及午後雷陣雨容易形成大量降雨，河川因而形成暴洪。當河川輸量大時，濕地鹽度的變化最為明顯，近河口處鹽度可下降至淡水程度。10

月至翌年 1 月為乾季，月平均降雨約 60.22 毫米（圖 2）。近十年來，香山測站之年均溫呈現上升趨勢，降水量則高低互見；2020 年度香山氣象站之年均溫為設站以來最高，但降雨量為設站以來最低（附圖 1、附圖 2）。

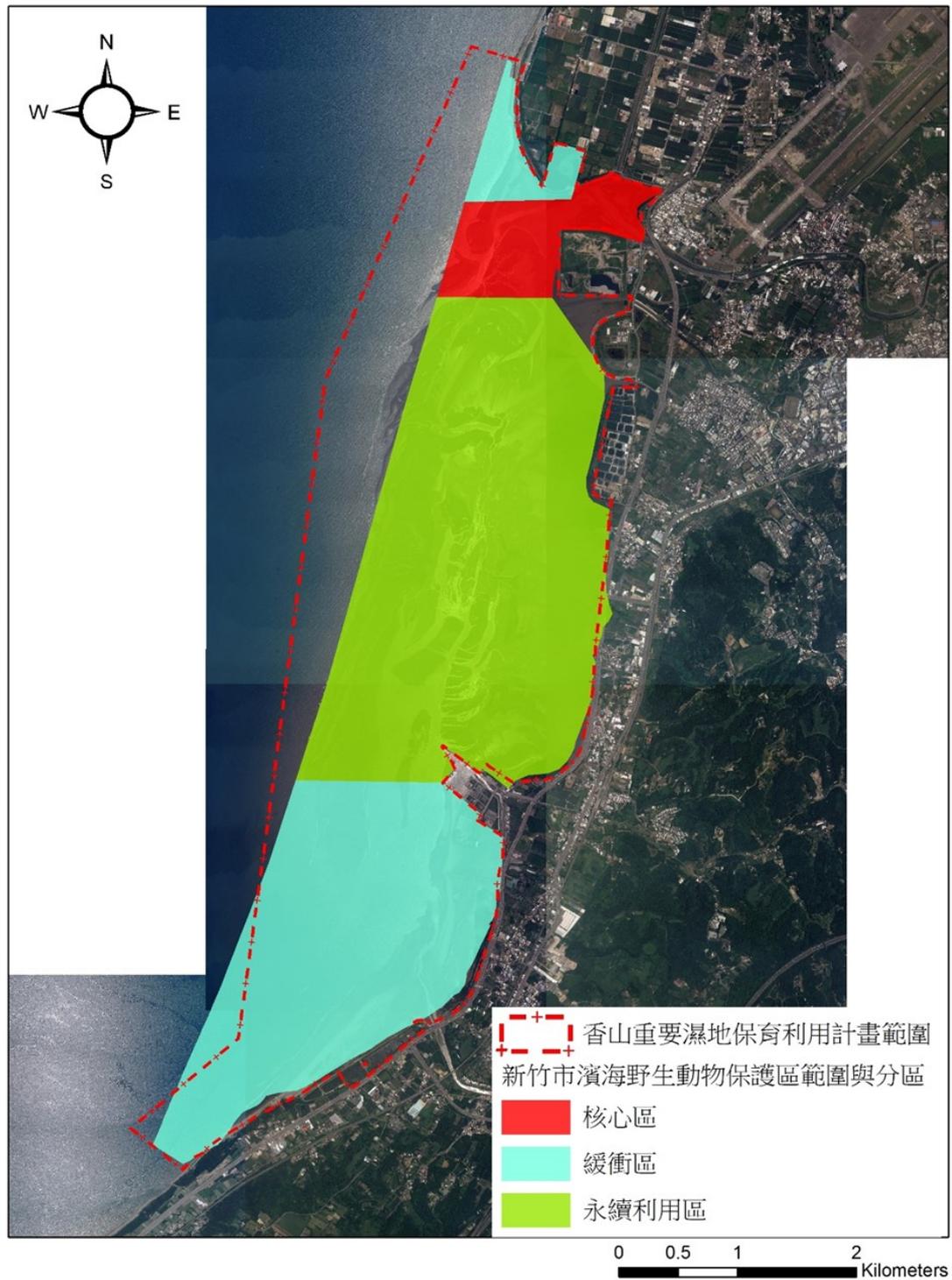


圖 1、香山濕地棲地定義範圍。

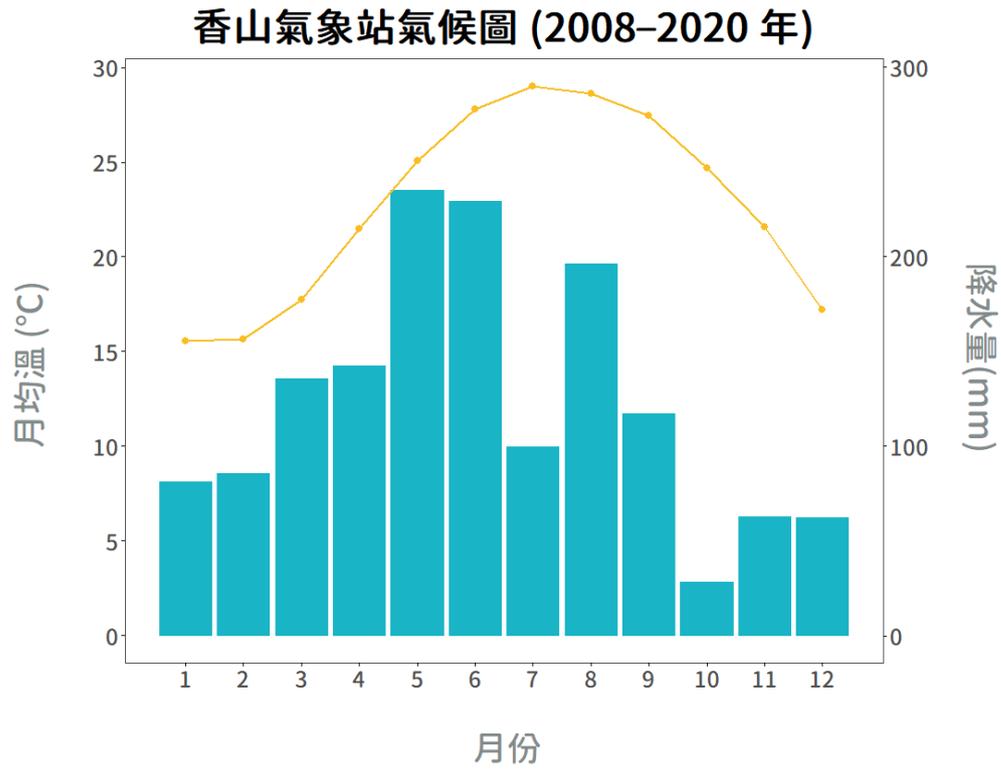


圖 2、香山氣象站 97 至 109 年氣候圖。

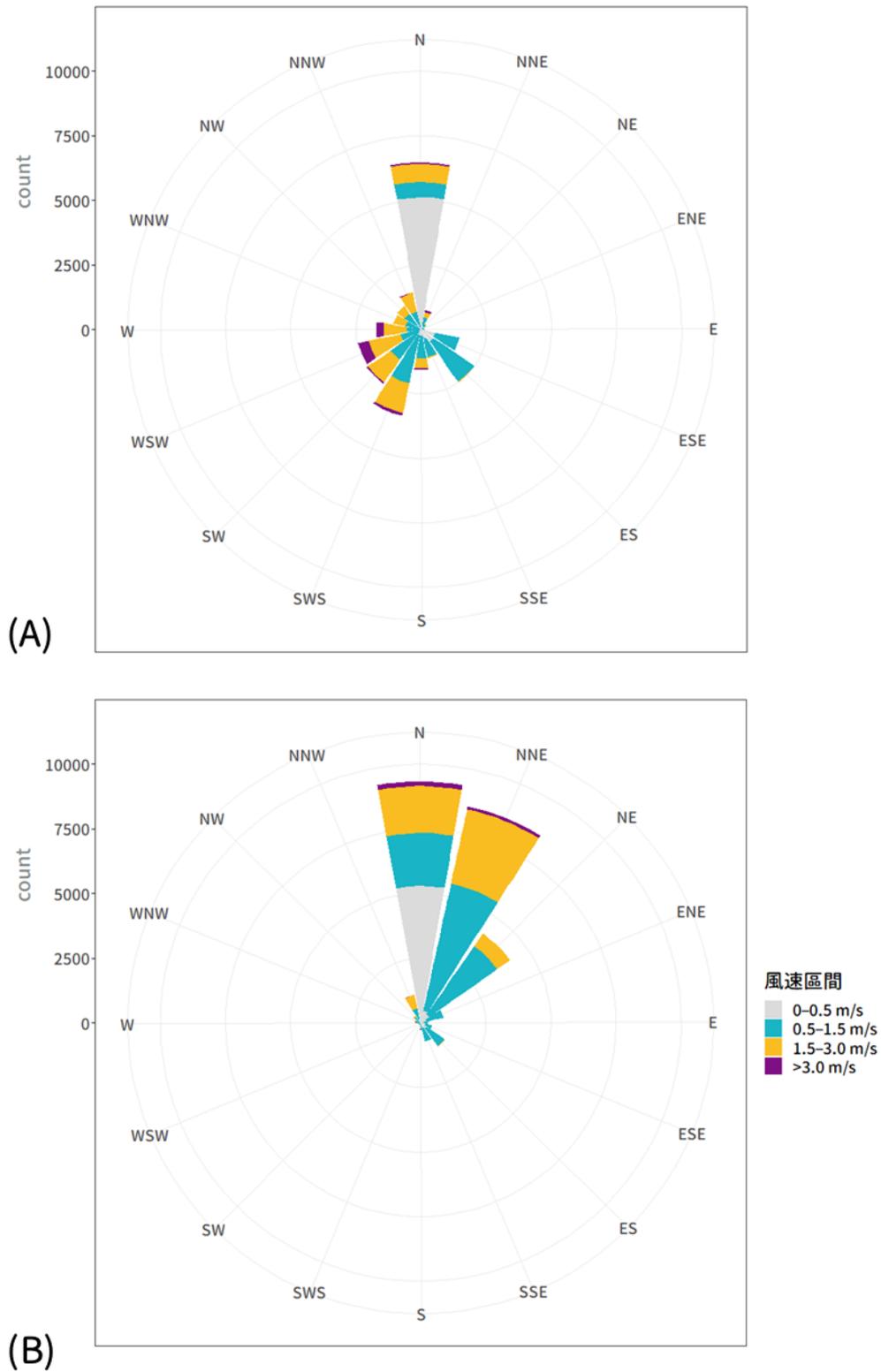


圖 3、香山氣象站 97 至 109 年風花圖。(A) 香山氣象站夏季風花圖。(B) 香山氣象站冬季風花圖。

（二）水文概說

香山濕地為感潮之濕地環境，每日有高低潮各兩次，間隔時間約 12 小時 25 分鐘，潮差最大可達約 5 公尺，平均潮差在 3.34 至 3.51 公尺間。香山濕地的潮間帶漂沙主要來自頭前溪及鳳山溪，由北往南在濕地外側形成隆起的沙汕，這些沙汕的地勢，甚至可高於濕地內部灘地。夏季颱風洪水期間，更會由雪山山系帶下大量土石，增加沙汕的面積。每日漲潮期間，大部分沙汕及濕地被潮水掩蓋，海水會先從潮溝由南往北流入灘地，因為受到沙汕的阻隔，灘地內除了潮溝，海水流速與上漲速度極為緩慢；當潮高大於沙汕的高度時，潮流的方向則受到臺灣海峽的影響，潮水則由北方向南擠入灘地，美山、朝山、海山漁港北堤及鹽港溪口的潮水流速相對較高。退潮時則反方向流出，潮流的方向受到臺灣海峽影響，潮水由南方向北流入臺灣海峽，當潮水抵達沙汕之後，受阻隔的海水轉成北向南由潮溝流出，潮溝因而受到侵蝕切割（如圖 4）。

本區域海岸依據經濟部水利署民國 102 年的調查結果，客雅溪以北至頭前溪出海口南側之海岸，受新竹（南寮）漁港防波堤與橫向構造物（如橋樑、攔河堰、固床工等）攔阻砂源、漂砂以及河川輸砂量減少影響，海岸呈現持續後退「侵蝕」情形。民國 98 年 7 月至 102 年 10 月，部分海岸灘線已退至堤址，而港南濱海風景區以南至客雅溪出海口海岸段，沙洲變遷幅度甚大，灘線大幅度往陸側縮減，河口變動幅度達約 180 公尺。客雅溪以南至鹽港溪段海岸則呈「侵淤互現」的趨勢，但整體而言大致往陸側消退為主。

香山濕地周邊河川由北而南包含客雅溪、三姓溪、大庄溪、洪水港溪及鹽港溪，以客雅溪和鹽港溪為主要水系。根據環保署 2020 年水質報告，香山濕地沿海海域水質良好，而客雅溪流域屬中度污染，鹽港溪流域為輕度污染，濕地的水質狀況密切地影響依此生存的豐饒物種與人類活動。

自客雅溪口以南的海岸依序有客雅溪河口濕地，三姓溪及大庄溪口草澤濕地，香山泥灘濕地、海山罟紅樹林濕地及南港沙灘濕地等多樣貌的環境，各類棲地孕育了多樣豐富底棲動物，根據多篇新竹市濱海生物相調查的成果，保護區內含有貝類 118 種、蟹類 43 種以上、多毛類 30 餘種、魚類 208 種（楊樹森，2011）。多樣且豐富的底棲生物也吸引大批水鳥覓食棲息，區內曾記錄了 277 種遷移性鳥類及留鳥（楊樹森，2011）。潮間帶岸邊也多處的沙丘景觀，以及數種定沙植物，如海馬齒、馬鞍藤、鹽定、蔓荊、濱刺麥等，將沙丘點綴得綠意盎然，沙丘植物不但有保護海岸線的功能，更具有自然教育與景觀的價值。

因豐富的生態資源，香山濕地漁業活動頻繁，其歷史亦已超過 100 年，早期漁民牡蠣養殖以插篔為之，目前已不存在此一養殖方式，現階段取而代之的是平掛式的養殖方式，蚵民利用退潮至蚵田整理採收，漲潮後牡蠣浸泡在水中過濾食物顆粒。除了養蚵之外，計畫範圍內尚有捕捉紅蟳及土龍、蛇籠捕蟹、定置的刺網漁業、捕捉海蟲、耙取文蛤、挖掘環文蛤及公代等種類的漁業活動。根據楊蕙禎（2009）的調查資料與實地參訪，可發現主要進行漁業採集的地方為浸水垃圾掩埋場以南到海山漁港北，貝類採集多聚集於美安檢所以南至海山漁港北端靠外蚵架之處。

而依據新竹市政府的調查結果，香山濕地內土地使用現況主要為水利使用及其他使用，比例各為 50.65% 及 48.53%，水利使用部分，主要為水道沙洲和海面，其他使用部分則為灘地、崩塌地及空置地。本研究區範圍多屬海域、灘地，並未記錄地籍資料，陸地部分僅為金城湖及其附近 21.4 公頃的公有地，原本分屬新竹市政府、財部國有財產局與行政院國軍退除役官兵輔導委員會管理，102 年 4 月已全數撥交新竹市政府管理（新竹市政府，2016）。



圖 4、香山濕地漲潮潮水流向示意圖。黑色箭頭為漲潮初期，潮水由潮溝湧入；紅色箭頭為漲潮晚期，潮水越過沙汕；黃色箭頭為退潮初期，潮水越過沙汕退至台灣海峽；藍色箭頭為退潮晚期，潮水由潮溝流出濕地。

106 年度紅樹林大規模清除之後，濕地表面底質因為潮汐流動改變，水資源回收中心至低潮線間出現大面積沙質灘地，而美山永續利用區表面的含泥量則增加。106 年紅樹林清除之後的高灘地，目前已經有相當數量的台灣早招潮蟹移入棲息，108 年度季末估算總族群量達 23 萬隻，族群量比 106 年調查增加約一倍。賞蟹步道及蚵民運送牡蠣的停車區，底棲無脊椎動物多樣性與鄰近的永續利用區相近，賞蟹步道可以輕易看見 5-6 種濕地常見蟹類，步道兩側較為泥濘，需嚴禁遊客進入。

二、遊客活動型態及經營管理現況

新竹市濱海 17 公里海岸線的腳踏車道蜿蜒圍繞在香山濕地的西側，假日湧入的遊客從南寮漁港騎腳踏車到新竹市與苗栗交界的南港，沿途會停下休息，但因為有腳踏車牽絆（時間因素及個人攜帶財務因素），所以不會在同一地點停留太久，或是將腳踏車停放後進入到濕地。相較於台中高美濕地，新竹市濱海區域 17 公里海岸線的遊客都在 17 公里海岸線的腳踏車道上移動，或者在固定的停留點欣賞濕地風景，對濕地造成的壓力較小。沿海的居民或者是對濕地比較熟悉的市民，除了體驗腳踏車和欣賞風景之外，濕地可以採集的軟體動物則更具吸引力，這些採集活動型態，並非典型的遊憩行為，而是比較接近於採集自然資源的漁民。

楊蕙禎（2009）對於新竹市濱海野生動物保護區人類活動型態及管理現況進行分析調查，結果發現影響民眾利用保護區的因素有假日、季節及潮汐，一般在假日、氣候溫和及最乾潮前三個小時之間有較高的進出人數。一般遊客使用保護區的時間區段，主要受限於假日與氣候因素，但不受限於潮汐，顯示香山濕地的遊客並非以進入濕地為主要目的。沿海居民或是專業的採集者的活動，則受限於潮汐因素及氣候因素，不受限於假日因子。不同民眾在保護區內有不同的資源使用方式。遊憩的民眾都集中在永續利用區，使用類型有散步欣賞風景、挖貝類、觀察螃蟹與自然攝影；採集生

物的沿海居民活動範圍較廣，並不侷限於永續利用區。他們主要的活動類型為採集貝類、釣魚以及收獲管理牡蠣，根據 97 年收集的 1014 份問卷分析結果，非假日進出濕地的人數在冬季寒冷的月份大約 100 人／日左右，隨著氣溫上升人數逐漸增加，夏秋二季的人數最高可以達到 400 人／日，人數多寡受到貝類族群豐富度影響，採集者口耳相傳，會讓特定季節達到人數高峰。假日期間除了採集者之外，外地遊客也會進入濕地內活動，冬天寒冷風大的季節進入濕地總人數最低，大約在每日 200 人以下，隨著季節變換進入濕地人數逐漸上升，氣候溫和的 5-6 月是高峰，每日人數可到達 1500 以上，盛夏炎熱季節的假日，人數維持在 1000 上下，秋季氣溫涼爽，再度上升至 1500 人／日左右。將進入濕地使用人數及停留時間轉換成使用總時數，再推算每人平均停留時間，非假日的採集者平均停留時間 2-3 小時，少部份採集者停留時間多達 4 個小時以上，假日遊客進入濕地停留的時間介於 1-2 小時之間。根據問卷的調查，長時間停留的人士主要的活動類型是採集貝類，根據楊蕙禎(2009)的現場觀察記錄，當時的採集對象主要是環文蛤、文蛤、牡蠣及公代等貝類軟體動物，專業挖掘多毛類與星蟲的採集者人數較少。

三、生物資源研究歷史與現況

(一) 經濟性採集底棲物種

從 97 年的調查研究至今，濕地裡採集軟體動物的行為仍然持續，目前除了採集軟體動物之外，紅樹林清除之後，靠近堤岸區域灘地面積擴大，採集沙蟲及紅蟲（俗稱紅蟲的物種包含數種俗稱沙蠶的多毛類，及稱為沙蟲的裸體方格星蟲）的漁業行為逐漸增加，這些採集活動除了對採集對象造成生存壓力之外，採集行為本身也對棲地造成干擾，尤其是採集沙蟲的挖掘行為對棲地干擾程度更為顯著，其挖掘深度可達 50 公分以上。目前必須先從各方面了解採集的影響程度，未來才可以對這些行為的經營管理

提供相關的配套措施。根據勘查了解，沙蟲的挖掘行為主要發生在含泥量較高的灘地，主要集中在靠近海山漁港的永續利用區，分佈區域和鴨嘴海豆芽有相當程度的重疊（楊樹森，2013）。環文蛤的分佈區域也隨著紅樹林清除之後產生局部性的變化，相同的情形也發生在船形薄殼蛤（*Laternula marilina* (Linnaeus, 1758)，又稱公代）的分佈現況上，因此也必須進一步釐清其分佈的變化。

香山濕地船形薄殼蛤的分佈受到底質的影響甚為明顯，根據林柏州（2007）的研究顯示，船形薄殼蛤從幼體沉降之後便不再移動位置，棲地底質與位置相對穩定的區域，不會因為潮水或海浪的沖刷而大幅改變其結構，底質構造明顯屬於粒徑較小的泥質灘地。香山濕地的船形薄殼蛤一年大約有兩次的族群新增加入，第 1 批幼體在 1 - 5 月間持續加入，第 2 批少量的幼體入添發生在 10 - 11 月。1 - 5 月加入族群的船形薄殼蛤幼體成長至秋季，成為人們採捕的主要對象。香山濕地的船形薄殼蛤成體無法越冬，集體死亡之後，於底質表面數公分深的位置留下殼的殘餘（圖 5）。



圖 5、冬季死亡的公代，在距離表層數公分的位置留下空殼。

沿海居民在香山濕地採集環文蛤的行為終年都會發生，採集者一般會留下較小的個體放回棲地，只取走體型較大的個體，目前因為缺乏連續的科學性採樣分析，目前無法詳細瞭解各月體長頻度分佈的特性，也因此無法推測環文蛤族群一年之內幼體添加的次數，從生物學的角度協助濕地經營管理。

（二）台灣早招潮蟹

臺灣早招潮蟹 (*Xeruca formosensis* (Rathbun, 1921)) 又名台灣招潮蟹，為台灣特有種。台灣早招潮蟹喜棲於寬廣開闊、幾乎裸露且無紅樹林的高潮位灘地，以泥地上的有機碎屑為主食。台灣早招潮蟹會由洞內挖土，築成高約 10 公分、最高可達 20 公分的煙囪型洞口（圖 6）。每年 8、9 月

間，幼蟹加入族群，此時可由目視法調查到最大數量的台灣招潮蟹，因此香山濕地過去的台灣招潮蟹族群數量估計，均於 8-9 月間進行。



圖 6、台灣早招潮蟹於洞口修築的煙囪狀構造。

台灣早招潮蟹於香山濕地的棲地為三姓溪口至大庄溪口之間、海山漁港周遭，與海山厝周遭。近年影響本地台灣早招潮蟹族群數量的原因，主要是紅樹林密度的消長與人為建物的建造。地方政府於 48 年在海山厝種植水筆仔及海茄苳，78 年再度由新竹縣政府委託行政院退除役官兵輔導委員會於客雅溪口種植水筆仔，85 年又在三姓公溪口以南的泥灘地種植海茄苳及紅海欖（楊樹森、張登凱、李沛沂，2014）。紅樹林的擴張使得香山濕地的棲地單一化，嚴重影響底棲動物與台灣早招潮蟹的棲地品質，連帶影響候鳥的棲息覓食（楊樹森，2012）。新竹市政府為了提升市民的生活品質、減少環境汙染，計畫在三姓公溪及大庄溪口之間的海埔地設置「客雅水資源回收中心」，於 89 年 11 月通過環境影響評估審查通過，並於 94 年 11 月開始建造施工。根據汪淑慧（2007）的調查，94 年底客雅水

資源回收中心預定地的台灣早招潮蟹族群量從估算約 13 - 14 萬隻，至 95 年 6 月銳減到 1 - 6 千隻，95 年 7 月後已全數滅絕。客雅水資源回收中心完工後，台灣早招潮蟹分布地移至基地外圍，且族群密度明顯下降(汪淑慧、郭榮信、郭一羽、朱達仁，2012)。

為復育全台灣最大的台灣早招潮蟹棲地，新竹市政府於 96 年開始清除海山罟的紅樹林，97 - 101 連續五年在水資源回收中心附近及海山罟進行紅樹林清除作業(如附表 1)。紅樹林移除期間之操作實驗與後續數年的監測，皆顯示疏伐紅樹林可以有效復育台灣早招潮蟹的棲地(劉建伸，2010；楊樹森，2012；楊樹森與張筱筠，2013)。

紅樹林清除之後，近岸區的灘地面積增加，意味可供底棲無脊椎動物與招潮蟹棲息、築巢的棲地出現，實際上也觀察到台灣早招潮蟹的族群量逐年上升。自紅樹林清除的起始年度 97 年開始，香山濕地台灣早招潮蟹的族群量呈現指數性上升趨勢(圖 7)，截至 107 - 108 年度的調查結果，年度族群估計達 23 萬隻，為 106 年族群數的 1 倍(楊樹森，2019)。預期這種現象會持續，直至台灣早招潮蟹拓殖到香山濕地所有可供棲息的高灘地後，呈現平穩的小幅波動趨勢。因此每一年度的觀察監測，可以更了解台灣早招潮蟹的族群量與棲地面積變化趨勢，也可估計香山濕地對台灣早招潮蟹的環境負載力。

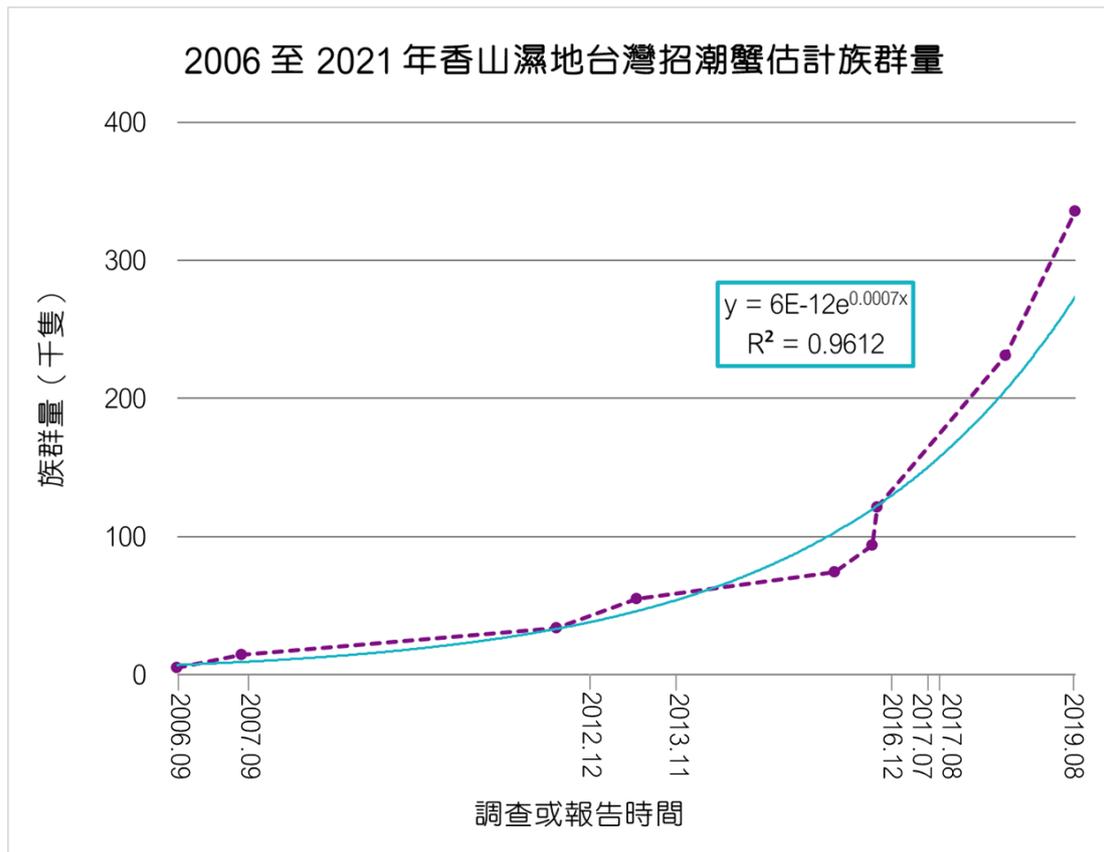


圖 7、95 年至 108 年香山濕地台灣早招潮蟹族群量估計圖。本統計收集各研究針對台灣早招潮蟹繁殖季至年底之族群量估算，捨棄一筆 96 年 3 月（非繁殖期）之紀錄。統計數據資料來自汪淑慧（2007）、朱達仁（2008）、楊樹森（2012）、楊樹森與張筱筠（2013）、楊樹森（2017）、楊樹森（2019）。

（三）香山濕地探索 app

香山濕地生物多樣性的調查經過逐年的努力，已有一較為完整的面貌，目前也已經呈現在香山濕地探索 app 上（圖 8），更詳盡的調查可以豐富我們的知識，增加現有 app 的資料庫。香山濕地以往針對物種進行的普查比較缺乏的項目是軟體動物。吳忠信、楊思謙（1991）記錄新竹市沿海地區貝類 42 科 118 種，吳忠信（1992）記錄海山罟紅樹林區貝類 65 種，上述兩份報告並非針對香山濕地進行研究調查，報告中的記錄包含淺海漁獲及陸生物種的軟體動物，現實上這些物種在香山濕地確切的分佈範圍並不清楚，目前的探索 app 中也較缺乏貝類詳細資料，急需進行現況更新。

腹足類軟體動物除了水生之外也有適應陸地棲息的物種。陸生腹足類軟體動物棲息在沿海的森林及草原，這一類物種是陸生型螢火蟲（窗螢類）幼蟲的食餌，新竹市沿海地區在秋冬季仍可以看見不少的窗螢，螢火蟲族群數量與陸生腹足類的關係密切，針對螢火蟲資源的經營管理，需要進一步了解陸生軟體動物分佈特性及其相關的生態。



圖 8、已開發完成且上線使用之香山濕地探索指南 app。

貳、計畫目標

根據香山濕地近期的經營管理需求與本地重要物種——台灣早招潮蟹的長期監測，並提供永續利用區旅遊量控管的程度及棲地經營的方針，本計畫有以下幾項工作：

- 一、 於環境保護署既有監測位置之外，在輸入香山濕地的重要水源額外增設監測點，進行基礎水質監測。
- 二、 台灣早招潮蟹年度族群分佈及數量監測。於夏季族群數量最高時（7-9月）進行年度普查，了解棲地經營的成效。
- 三、 全區軟體動物種類普查。進行2季次（計畫初期及中期）香山濕地軟體動物普查。
- 四、 裸體方格星蟲生態監測。選定監測區域每月採樣一次。
- 五、 環文蛤生態監測。選定監測區域每月採樣一次。
- 六、 船形薄殼蛤（公代）生態監測。選定監測區域每月採樣一次。

參、執行方法及步驟

一、監測調查位置及測站分布

（一）水質監測站分布

本項監測延續上一年度之設計，設置 5 個採水監測點（如圖 9），分別是金城湖（KL）、客雅溪出海口（KY）、三姓溪出海口（SS）、大庄溪出海口（DG）及鹽港溪出海口（YG），各調查點經緯度資料如表 1。



圖 9、2011 - 2021 年水質調查測站分佈。

表 1、各水質測站位置之經緯度。

測站名稱	經度	緯度
金城湖 (KL)	120.911083	24.810363
客雅溪出海口 (KY)	120.910202	24.810713
三姓溪出海口 (SS)	120.910655	24.800055
大庄溪出海口 (DG)	120.916183	24.795083
鹽港溪出海口 (YG)	120.900754	24.745271

（二）方格星蟲監測站分布

本項監測，依據專業採集者活動範圍，共選擇 6 點位，設置 12 個監測站（如圖 10），分布於風情海岸至海山港之間。各監測站經緯度資料與主要監測物種，詳如表 2。



圖 10、方格星蟲監測站位置。每個點位名稱，設有 2 個監測站。

（三）環文蛤與公代監測站分布

本項監測，依據專業採集者活動範圍，共選擇 16 點位，設置 32 個監測站（如圖 11），分別位於以下範圍：惠民宮（HM）、賞蟹步道（CW）、風情海岸（FC）、海山（HS）。賞蟹步道與惠民宮測站以監測環文蛤為主，海山測站以監測公代為主。各監測站經緯度資料與主要監測物種，詳如表 2。

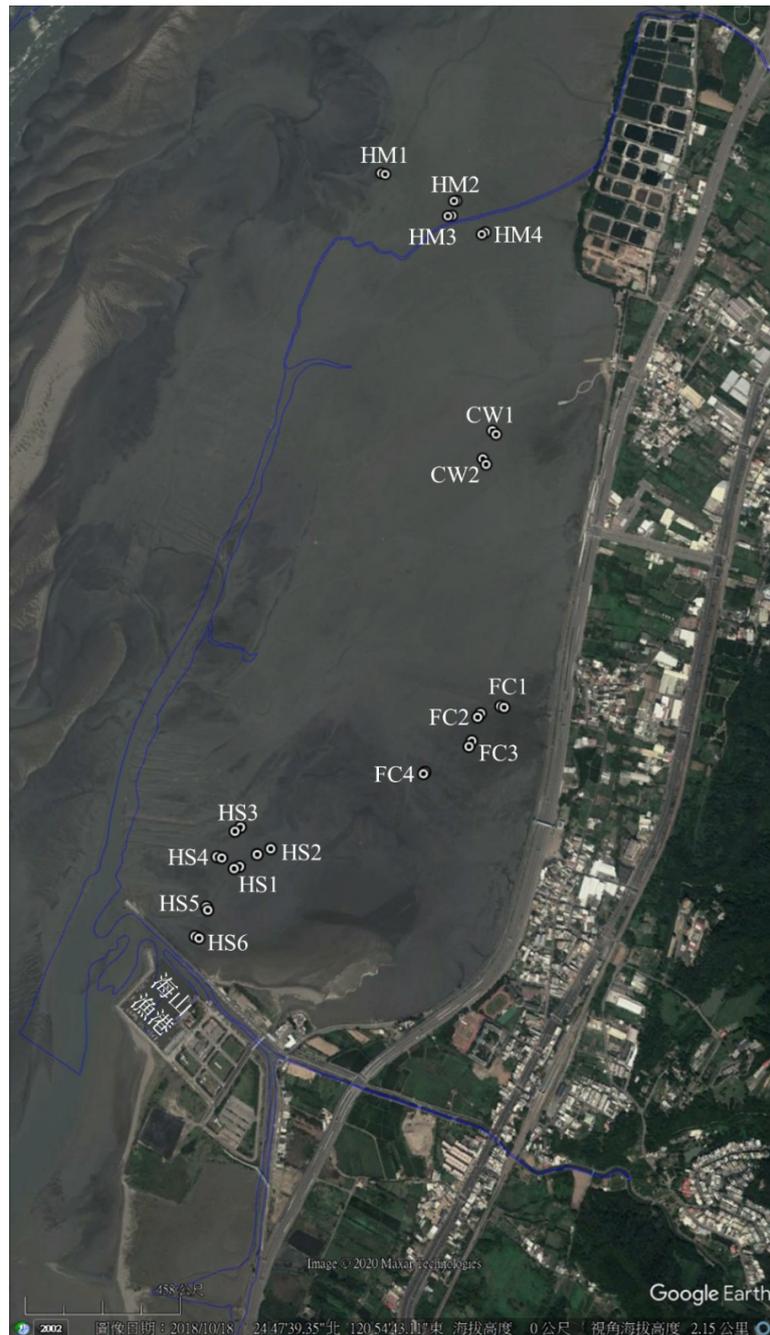


圖 11、環文蛤與公代監測站位置。每個點位名稱，設有 2 個監測站。

表 2、方格星蟲、環文蛤與公代監測站經緯度資料與主要監測物種。

測站	經度	緯度	主要監測物種	測站	經度	緯度	主要監測物種
CW1_1	120.91100	24.780600	環文蛤	HM4_1	120.91042	24.787451	環文蛤
CW1_2	120.91112	24.780439	環文蛤	HM4_2	120.91053	24.787523	環文蛤
CW2_1	120.91124	24.781460	環文蛤	HS1_1	120.90431	24.768381	公代
CW2_2	120.91136	24.781358	環文蛤	HS1_2	120.90447	24.768450	公代
FC1_1	120.91212	24.773481	星蟲、 環文蛤	HS2_1	120.90498	24.768818	公代
FC1_2	120.91223	24.773459	星蟲、 環文蛤	HS2_2	120.90537	24.769006	公代
FC2_1	120.91143	24.773120	星蟲、 環文蛤	HS3_1	120.90422	24.769399	公代
FC2_2	120.91151	24.773230	星蟲、 環文蛤	HS3_2	120.90438	24.769525	公代
FC3_1	120.91123	24.772279	星蟲、 環文蛤	HS4_1	120.90390	24.768642	公代
FC3_2	120.91131	24.772440	星蟲、 環文蛤	HS4_2	120.90375	24.768665	公代
FC4_1	120.90988	24.771416	星蟲、 環文蛤	HS5_1	120.90363	24.767201	公代
FC4_2	120.90992	24.771464	星蟲、 環文蛤	HS5_2	120.90358	24.767285	公代
HM1_1	120.90693	24.789132	公代	HS6_1	120.90345	24.766429	公代、 環文蛤
HM1_2	120.90706	24.789108	公代	HS6_2	120.90333	24.766468	公代、 環文蛤
HM2_1	120.90925	24.787941	環文蛤	SN1_1	120.90803	24.768289	星蟲
HM2_2	120.90938	24.787966	環文蛤	SN1_2	120.90796	24.768123	星蟲
HM3_1	120.90941	24.788431	環文蛤	SN2_1	120.90737	24.767587	星蟲
HM3_2	120.90949	24.788444	環文蛤	SN2_2	120.90719	24.767518	星蟲

二、調查項目及方法

(一) 水質分析

水質分析每季採樣一次，第一季採樣日期為 109 年 8 月 4 日(當日適逢大潮)，第二季採樣日期為 109 年 11 月 7 日，第三季採樣日期為 110 年 2 月 19 日，第四季採樣日期為 110 年 5 月 18 日；四次採樣之前一星期內，各流域範圍內均無顯著降雨。水質監測項目有：鹽度、溫度、溶氧量(DO)、酸鹼值(pH)、生化需氧量(BOD)、懸浮固體(SS)、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、氨氮、磷酸鹽、矽酸鹽。

鹽度、溫度、DO 及 pH 值於採樣當下現場量測，使用設備為 HORIBA U-50。BOD 採用環境檢驗所《水中生化需氧量檢測方法》(NIEA W510.55B)。SS 採用環境檢驗所《水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法—103~105°C 乾燥》(NIEA W210.58A)。亞硝酸鹽氮採用環境檢驗所《水中亞硝酸鹽氮檢測方法—比色法》(NIEA W418.53C)及參考經濟部中央標準局 CNS 15091-15, N7001-15《深層海水亞硝酸鹽之檢驗方法》。硝酸鹽氮採用環境檢驗所《水中硝酸鹽氮檢測方法—分光光度計法》(NIEA W419.51A)及參考經濟部中央標準局 CNS 15091-14, N7001-14《深層海水硝酸鹽之檢驗方法》，先將硝酸鹽還原成亞硝酸鹽檢驗之，再減去原有亞硝酸鹽之含量得知。正磷酸鹽採用環境檢驗所《水中正磷酸鹽之流動注入分析法—比色法》(NIEA W443.51C)及參考經濟部中央標準局 CNS 15091-12, N7001-12《深層海水磷酸鹽之檢驗方法》。氨氮採用環境檢驗所《水中氨氮檢測方法—靛酚比色法》(NIEA W448.51B)。矽酸鹽採用環境檢驗所《水中矽酸鹽檢測方法—鉬矽酸鹽比色法》(NIEA W450.50B)及參考經濟部中央標準局 CNS 15091-13, N7001-13《深層海水矽酸鹽之檢驗方法》。各檢驗項目與方法，如表 3 所列。

表 3、各項水質指標檢測方法與標準法規編號對照表。

檢測項目	檢測方法	方法條目編號
鹽度、溶氧量、 溫度、酸鹼值	HORIBA U-50 現場量測	
生化需氧量	水中生化需氧量檢測方法	NIEA W510.55B
懸浮固體	水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法— 103~105°C 乾燥	NIEA W210.58A
氨氮	水中氨氮檢測方法—靛酚比色法	NIEA W448.51B
亞硝酸鹽氮	水中亞硝酸鹽氮檢測方法—比色法	NIEA W418.53C
	深層海水亞硝酸鹽之檢驗方法	CNS 15091-15, N7001-15
硝酸鹽氮	水中硝酸鹽氮檢測方法—分光光度計法	NIEA W419.51A
	深層海水硝酸鹽之檢驗方法	CNS 15091-14, N7001-14
正磷酸鹽	水中正磷酸鹽之流動注入分析法—比色法	NIEA W443.51C
	深層海水磷酸鹽之檢驗方法	CNS 15091-12, N7001-12
矽酸鹽	水中矽酸鹽檢測方法—鉬矽酸鹽比色法	NIEA W450.50B
	深層海水矽酸鹽之檢驗方法	CNS 15091-13, N7001-13

河川污染指數（river pollution index, RPI）參考 102 年 5 月 30 日環
署水字第 1020045468 號函《河川污染指數（RPI）基準值及計算方式修正》，
將各水質檢測數據分別給予指數評等，並計算各項平均，即為河川污染指
數（如表 4）。

表 4、河川污染指數（RPI）基準值。

水質/項目	未(稍)受污染	輕度污染	中度污染	嚴重污染
溶氧量 (DO) mg/L	$DO \geq 6.5$	$6.5 > DO \geq 4.6$	$4.5 \geq DO \geq 2.0$	$DO < 2.0$
生化需氧量 (BOD ₅) mg/L	$BOD_5 \leq 3.0$	$3.0 < BOD_5 \leq 4.9$	$5.0 \leq BOD_5 \leq 15.0$	$BOD_5 > 15.0$
懸浮固體 (SS) mg/L	$SS \leq 20.0$	$20.0 < SS \leq 49.9$	$50.0 \leq SS \leq 100$	$SS > 100$
氨氮 (NH ₃ -N) mg/L	$NH_3-N \leq 0.50$	$0.50 < NH_3-N \leq 0.99$	$1.00 \leq NH_3-N \leq 3.00$	$NH_3-N > 3.00$
污染指數	1	3	6	10
污染指數積分值 (S)	$S \leq 2.0$	$2.0 < S \leq 3.0$	$3.1 \leq S \leq 6.0$	$S > 6.0$

（二）臺灣早招潮蟹族群量調查

臺灣早招潮蟹對棲地環境有一定程度之要求，其棲地在每個潮汐週期浸沒的天數不能過長，因此僅能在高潮線附近發現其族群，且臺灣早招潮蟹有一定出外覓食求偶的活動時間，通常在潮差足以淹沒棲地、自滿潮開始退潮後 2-3 小時內為活動高峰期。要調查位於新竹市濱海野生動物保護區的臺灣早招潮蟹棲地，需參照中央氣象局年潮汐表，選擇新竹區高潮位高於 170 公分期間，台灣早招潮蟹棲地被淹沒時進行調查。下雨、低溫、狂風亦會影響出洞率，因此在觀察時須特別注意才得以趕上族群量最高、活動力最強的時機。進行棲地劃設勘查時，一併記錄各樣區邊界點參考座標及共域生物，以利之後估算樣區面積並進行棲地環境差異分析。

調查方法以逢機拋框的方式進行放樣，樣框為黃色直徑 1 公尺的玻璃纖維圓圈，玻璃纖維棒直徑 5mm（如圖 12）。拋框之後遠離，靜置樣框觀察至螃蟹出洞，觀察者在至少 30 公尺外以單筒望遠鏡掃視觀察紀錄各樣框內台灣早招潮蟹數量，必要時輔以長焦鏡頭拍攝照片記錄。調查時間必須在太陽升起 1 小時之後以及太陽落下 1 小時之前。所有調查工作必須配合潮水自滿潮開始退潮之後 2-3 個小時內完成紀錄工作。



圖 12、臺灣早招潮蟹類族群調查之活動樣框。

根據 108 年度調查報告所羅列的台灣早招潮蟹分佈概況（如圖 13 至圖 15），本年度在初期 109 年 8 月 18 日至 22 日（農曆 7 月 29 日至 8 月 4 日）及中期 110 年 8 月 23 日至 27 日（農曆 7 月 16 日至 20 日）、9 月 7 日至 12 日（農曆 8 月 1 日至 6 日）各進行一次臺灣早招潮蟹分布現況普查，調查期間均為艷陽高照的好天氣。兩次臺灣早招潮蟹分布現況與族群數量估計調查，均選擇於幼蟹加入族群結束後的期間進行。



圖 13、108 年度香山濕地客雅水資源回收中心周邊台灣早招潮蟹穩定族群分布區域，D3、D4、D5、D6 綠色框線為新形成穩定族群。



圖 14、108 年度香山濕地海山漁港藍天橋周邊台灣早招潮蟹穩定族群分布區域。



圖 15、108 年度香山濕地鹽港溪出海口周邊台灣早招潮蟹穩定族群分布區域，W1 綠色框線為新紀錄穩定族群。

（三）全區軟體動物種類普查

在客雅溪、三姓溪、惠民宮、風情海岸（曬船橋）、海山漁港、鹽港溪劃設六條穿越線，亦調查金城湖與南港水塘之陸棲軟體動物（如圖 16）。退潮後自陸地開始往海岸線前進調查軟體動物。計畫期初（109 年 12 月）及期中（110 年 6 月）進行全面性普查，系統性針對各類型不同棲地採集軟體動物，如為底質內棲息物種，則同時採集底質分析其粒徑結構，各採集點以 GPS 標註其座標，取得之標本分類至種階元並完成物種圖譜，完備香山濕地物種資料。各物種外殼製成標本並拍攝高畫質照片，後續將物種資料及圖譜上傳至 app 資料庫，一般民眾可一透過 app 快速得知研究成果。

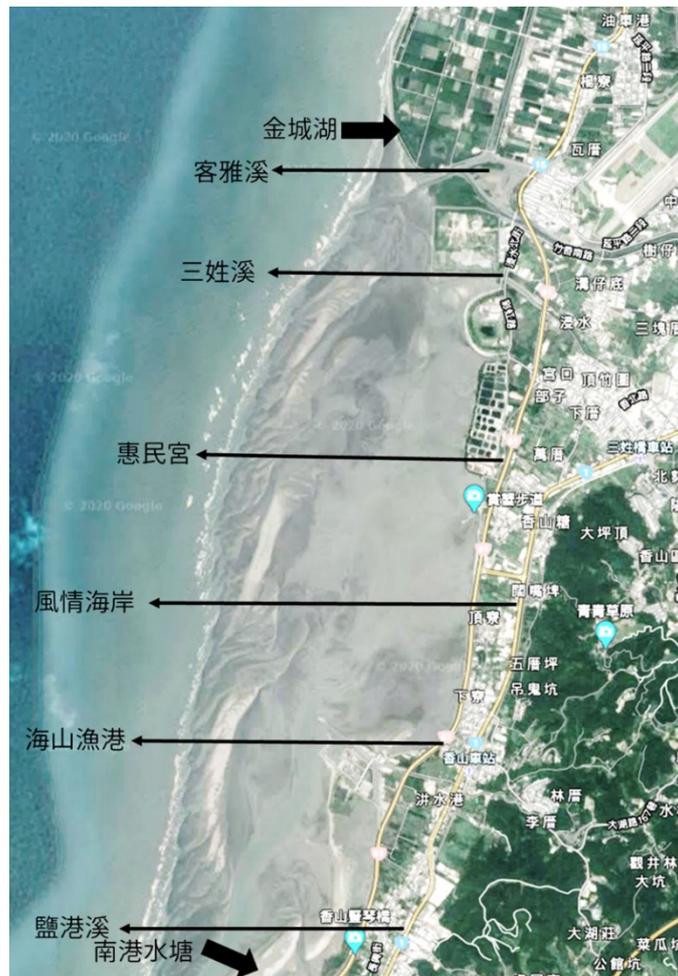


圖 16、軟體動物調查區域與穿越線。

底質粒徑採用乾篩法，求取各測點底質粒徑組成之粒徑中值及含泥量百分率。每個採樣點 4 - 10 公尺半徑範圍內，定面積採取 0 - 15cm 深的底質，分 0 - 3cm、3 - 10cm、10 - 15cm 三層收集，經充分混合後，帶回實驗室在常溫下妥善保存。

取適量土樣加入分散劑溶液（1% 的 Na_2SiO_3 ）並攪拌均勻後，置於 120°C 烘箱內烘乾後杵散，放入孔徑由上而下分別為 2mm、1mm、0.5mm、0.25mm、0.125mm、0.063mm 所堆疊的標準篩網中，以電動搖篩機分級過篩，約 10 - 20 分鐘後，可得到七組粒徑的重量百分比組成，進而推算出各粒度之累積百分比（cumulative percentage）。

目前常用來進行沉積物粒徑分布統計分析的方法，包括四分度量法（quartite measure）和殷曼法（Inman's method）。四分度量法的原理是由累積曲線圖讀出每個四等分點之數值，即決定累積百分比 25%、50%、75% 和累積曲線之交點而讀出該點之粒徑，一般都採用半對數圖表（圖 17）。其中第二個四分點，也就是 50% 之對應粒徑稱為中值粒徑（ D_{50} ）。中值粒徑為相當重要之粒徑特徵值，代表高於及低於此粒徑之泥沙各占了一半的重量，換言之也可說是沉積物的平均粒徑。底質粒徑類型為根據底質粒徑大小（grain size）進行分類（如表 5）。

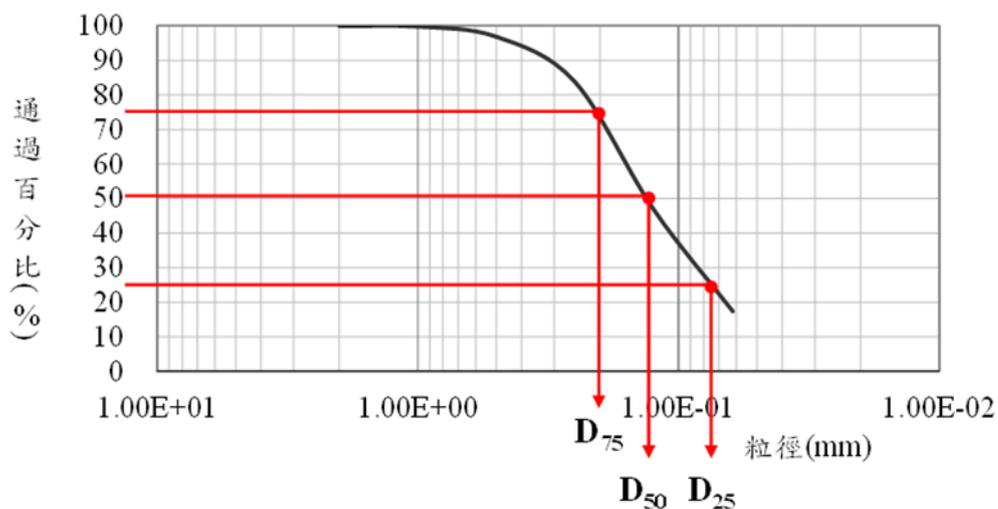


圖 17、粒徑中值分析四分度量法示意圖。

表 5、底質標準篩分離之粒徑分類表。

底質粒徑分類	粒徑範圍（range of grain size）
黏土（clay）	$<0.004\text{mm}$
粉砂（silt）	$\geq 0.004\text{mm} \ \& \ < 0.063\text{mm}$
極細沙（very-fine sand）	$\geq 0.063\text{mm} \ \& \ < 0.125\text{mm}$
細沙（fine sand）	$\geq 0.125\text{mm} \ \& \ < 0.250\text{mm}$
中沙粒（medium sand）	$\geq 0.250\text{mm} \ \& \ < 0.500\text{mm}$
粗沙（coarse sand）	$\geq 0.500\text{mm} \ \& \ < 1.000\text{mm}$
極粗沙（very-coarse sand）	$\geq 1.000\text{mm} \ \& \ < 2.000\text{mm}$
細礫石（gravel）	$\geq 2.000\text{mm}$

（四）方格星蟲生態監測

根據歷史資料確認裸體方格星蟲 (*Sipunculus nudus*, 圖 18) 分佈密度較高的區域，選定監測區域每月採樣一次。參照民眾經常採集位置，於香山濕地範圍內，選定至少 5 個位置進行生態監測，每個監測位置相距至少 20 公尺，選定位置後圍圈設定 2 個 2x3 公尺區域為禁止干擾控制區，其中一個控制區在計畫期中進行全挖掘採樣，期末最後一次採樣時進行 2 個控制區的全挖掘取樣。

第一個月在控制區周圍 20 公尺區域內，模擬專業採集者採集方法，逢機進行採樣，所得之新鮮標本標註測點及時間後，以冷凍法處理，解凍後測量其長度及濕重。首月之採集，需要同時進行洞穴判讀的研究，每一次挖掘均拍照記錄洞口的形態特徵，挖掘以驗證是否真為裸體方格星蟲的洞穴。

裸體方蛤星蟲對於地表之震動十分敏感，受到地表的行走與挖掘行為驚擾後，會快速向下鑽，因此自第二個月開始，依據第一次調查的採集練習經驗，直接透過洞穴特徵觀察法進行方格星蟲族群量估算。估算時以直徑 1 公尺的定面積玻璃纖維圓圈（如同圖 12）逢機取樣，計算樣框中的星蟲洞穴數量；每次觀測，每一測點至少要重複 10 次樣框計數。

另外集中於星蟲密度最高之處，挖掘至少 30 隻星蟲帶回冷凍，進行後續形質測量（如圖 19），如此可以避免大量的挖掘活動干擾方格星蟲棲地。挖掘工具為客製化的四齒釘耙，寬 30 公分，齒長 45 公分，齒中段微向內彎（圖 20）。每月計算各樣點的方格星蟲密度，並依據形質測量資料，分析方格星蟲的體長頻度分布，最後建立香山濕地方格星蟲族群的生長曲線，推估其族群動態變化。

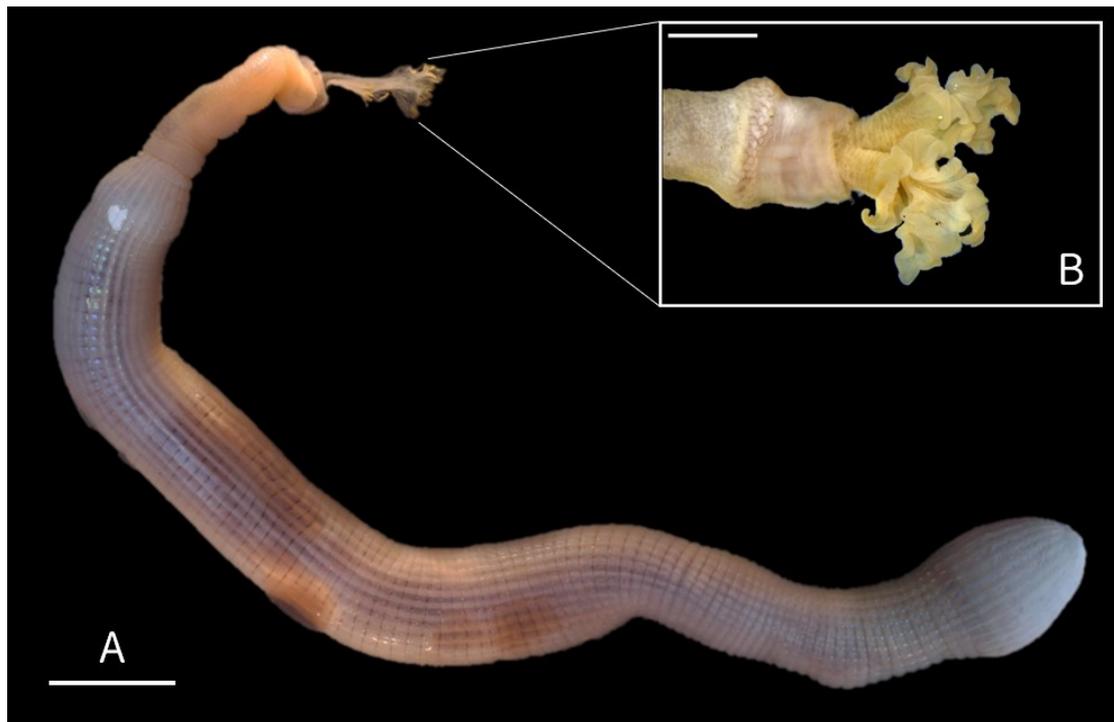


圖 18、裸體方格星蟲外觀與吻器形態。(A) 伸出觸手、吐出翻吻(introvert)之星蟲之外觀，比例尺為 10mm。(B) 星蟲吻器放大圖，比例尺為 1mm。



圖 19、裸體方格星蟲體型形質測量之方式。星蟲分為吻部與軀幹部兩部分，以軀幹部長度作為星蟲體長。



圖 20、星蟲採集工具——四齒釘耙。

（五）環文蛤生態監測

根據歷史資料確認環文蛤（圖 21）分佈密度較高的區域，選定監測區域每月採樣一次。環文蛤在香山濕地棲息範圍極廣，除了沙灘之外均可能採獲，參照民眾經常採集位置，於香山濕地範圍內，選定至少 5 個位置進行生態監測，每個監測位置相距至少 20 公尺，選定位置後，以老熟孟宗竹竿與繩圍方框，設定 2 個 2x3 公尺區域為禁止干擾控制區（如圖 22），其中一個控制區在計畫期中進行全挖掘採樣，期末最後一次採樣時進行 2 個控制區的全挖掘取樣。每個月在控制區周圍 10 公尺區域內，模擬一般民眾之採集方式，逢機進行 3 平方公尺面積挖掘採樣。

採得之新鮮樣本，標註測點及時間後以冷凍法處理，樣本解凍後測量其長、寬、高及濕重。逐月計算每個樣點的環文蛤密度，並依據形質測量資料，分析環文蛤的體長—體重關係與體長頻度分布，最後建立香山濕地環文蛤族群的生長曲線，推估其族群動態變化。計畫前三個月測量並分別統計環文蛤殼長、殼寬、殼高與濕重間之關係，最後取增長最快或最明顯相關的形質特徵，後續月份以測量該特徵為主。環文蛤個體形質測量的方式如圖 23 所示，以游標尺量測其殼長、殼寬、殼高後，以電子天平量測其濕重。



圖 21、不同體型之環文蛤。



圖 22、邊長為 2x3 公尺的控制區。竹竿直徑 5 公分，高 180 公分。



圖 23、環文蛤體型形質測量之方式。

（六）船形薄殼蛤（公代）生態監測

香山濕地周遭居民於每年中秋節前後，會挖掘公代食用；過了中秋節，天氣漸冷，公代也就逐漸死亡。本年度計畫根據歷史資料確認公代（圖 24）分佈密度較高的區域，選定監測區域每月採樣一次。選定位置後圍圈設定 2 個 2x3 公尺區域為禁止干擾控制區，其中一個控制區在計畫期中進行全挖掘採樣，期末最後一次採樣時進行 2 個控制區的全挖掘取樣。

每個月在控制區周圍 10 公尺區域內，模擬一般民眾之採集方式，逢機挖掘 0.25 平方公尺面積進行採樣。所得之新鮮樣本，標註測點及時間後以冷凍法處理，標本解凍後測量其長、寬、高及濕重（圖 25）；每月挖掘後，計算各樣點的公代密度，並依據形質測量資料，分析公代的體長頻度分布與體長—體重關係，最後建立香山濕地公代族群的生長曲線，推估其族群動態變化。計畫前三個月測量並分別統計公代長、寬、高與濕重間之關係，最後取增長最快或最明顯相關的形質特徵，後續月份以測量該特徵為主。

公代幼苗於每年春季在香山濕地沉降（settlement），此時的公代苗極小，難以用手撿取，因此在 1-4 月期間，改用 0.5mm 網目之篩網，篩取 0.25 平方公尺（50x50 公分）面積、深度 10 公分之底質，於附近潮溝洗去底質，收集篩取到的小公代。



圖 24、公代高密度聚集的棲息位置，受干擾時因緊閉雙殼而噴水。



圖 25、公代體型形質測量之方式。

三、資料分析方法

（一）資料儲存格式與作圖軟體

各項數據輸入 Excel 軟體，並儲存為 .xlsx 或 .csv 格式以利後續計算與上傳。點位資料以 .csv 格式儲存，匯入 Google Earth Pro 7.3 軟體 (<https://www.google.com.tw/intl/zh-TW/earth/>) 後，儲存為 .kml 格式檔案，以利上傳濕地資料庫。

作圖主要以 R 軟體 4.1.1 版本 (<https://www.r-project.org/>) 進行。在軟體中輸入 .csv 檔案後，以 ggpubr (Wickham H., 2016) 與 ggplot2 (Kassambara A., 2016) 套件作圖。

（二）體長—體重關係

魚、貝類的體長—體重關係，是這類經濟性捕獲物種研究中，經常探討的內容之一。von Bertalanffy (1938) 假定魚類的體重與體長的立方成正比，奠定魚類生長研究的基礎。目前研究，多將經濟性捕獲物種的體長(L) 與體重(W) 以 $W = aL^b$ 來表示。式中的 a 為常數，而 b 為指數，透過 b 值大小可以推測該生物族群的生長速度狀態。

一般而言，b 值介於 2.5–4 之間 (Martin, 1949)。根據 Levent (2007) 統計地中海 39 種魚的捕獲數距，與後續若干研究得出的結論，若 b 值為 3，代表此生物於不同長度的重量增長速度一致，為等速生長 (isometric growth)；若 $b < 3$ ，代表此生物越長越細瘦，為負異速生長 (negative allometric growth)；若 $b > 3$ ，則代表此生物越長越粗壯，為正異速生長 (positive allometric growth)。

體長—體重關係式為一指數函數，若將上式取對數，則可變換為一斜率為 b、y 截距為 $\log a$ 的線性函數： $\log W = \log a + b \log L$ 。透過 R 軟

體求取每月公代、環文蛤，與星蟲的體長—體重關係式，並以 z 檢定測驗各物種每月的 b 值（即轉換為線性的體長—體重關係式斜率）是否一致。

（三）體長頻度與族群生物學參數推斷

族群參數之獲得，使用聯合國糧食及農業組織（Food and Agriculture Organization）與世界魚類研究中心（International Center for Living Aquatic Resources Management, ICLARM）聯合研發的電腦體長頻度分析系統（Electronic Length Frequency ANalysis, ELEFAN [Gayanilo et al., 1987]），以體長頻度進行族群組成及個體成長時序變化，以便估算本托蘭斐成長方程式（von Bertalanffy growth function, VBGF [von Bertalanffy, 1934, 1938]）中的成長參數。方程式如下：

$$L_t = L_\infty \left[1 - e^{-K(t-t_0) + \left(\frac{CK}{2\pi}\right) \sin 2\pi(t-t_s)} \right]$$

式中， L_t 為 t 年齡之體長； L_∞ 為極限體長（asymptotic length）； t_0 為 $L_t=0$ 時之理論年齡（the theoretical age at zero length），一般以 ELEFAN 推算 VBGF 參數時，假設 $t_0=0$ ； K 為成長參數（growth coefficient）； e 為自然指數； C 為季節性振蕩幅度參數（seasonal oscillation），與年溫差為正比，溫差 1 度相當於變化 0.1 單位，其值介於 0（無振盪）到 1（最大振盪）之間； t_s 為成長曲線起伏變化的起點，其值視生物棲息地的冬季低迷點（Winter point, WP）而定，把一年 12 個月換算為 0 到 1 之間，生物一年中成長最慢的時段即為其 WP 所在，在北半球一般為 2 月中旬，即 $WP=0.2$ 。而由 ELEFAN 決定最適 VBGF 成長參數時，需要先依照體長分布，經過統計找出適合的組幅（class interval; bin）後，依據各參數所輸入的值，經過各種組合，最後經反應曲面分析（response surface analysis, RSA），選擇最符合現狀與 R_n 值相對較高的反應區面參數組合。組幅的估

算，採用採用葉樹藩（1964）引用 Snedecor 及 Sturges 提出的兩方法分別估算，因 Snedecor 法求出的組幅較小，Sturges 法求出的組幅較大，故依建議以兩結果平均，再取適當數值為分組組幅。

$$Bin = \frac{Range}{\frac{Range}{SD} \times 4} \text{ (Snedecor)}$$

$$Bin = \frac{Range}{1 + 3.322 \log N} \text{ (Sturges)}$$

ELEFAN 與 VBGF 一開始是為了由漁獲資料回推魚群的生長狀況而設，之後為其他類群生物的研究者所採用，例如 Ramón et al (1995) 便以此來研究截形斧蛤 (*Donax trunculus*) 的族群結構與生長速度，一直到 2009 年都還被用來估算其他雙殼貝類的生長狀況 (Félix-Pico et al, 2009)；除了魚類與軟體動物之外，ELEFAN 亦被使用於其他動物類群，如隸屬於環節動物門的多毛類 (Kauppi et al, 2018)，可見 ELEFAN 與 VBGF 可以用於估計各種動物類群的族群生長狀況。

本計畫使用 R4.0.3 軟體中的 TropFishR 套件 (Mildenberger et al., 2017) 進行運算。將彙整後的月份一體長資料匯入後，使用套件的 ELEFAN 函數，即可進行 ELEFAN 推算；參考每次推算完的反應區面圖形，更改參數組合重複推算，直到最佳反應曲面出現，參數組合也符合現況，最後可以得到 L_{∞} 與 K 值，還有由此 2 參數所計算出的成長表現指數 (growth performance index, ϕ) 等值。其中， $\phi = \log K + 2 \log L_{\infty}$ 。

TropFishR 亦可推算幼體加入族群 (入添, recruitment) 的狀況。匯入 ELEFAN 推算出的 L_{∞} 與 K 值，即可以體長頻度分布資料，模擬各月的幼體入添比例。

肆、結果

一、水質監測

根據環境保護署水質監測結果之資料紀錄，香山溼地主要陸源水體客雅溪過往 10 年來一直存在氨氮含量太高的問題，水體大腸桿菌群偏高顯示受生活汙水影響，水質分類未及戊類水體標準。另一陸源水體鹽港溪，監測位置位於誠仁橋，水體大腸桿菌群偏高顯示受生活汙水影響，水體達到戊類水體標準。海域測站位於頭前溪南側垃圾焚化廠的看海公園及客雅溪口外 4 海浬處，兩處沿岸海水水體均達乙類水體標準。

由於 109 至 110 年 5 月降雨量較歷史雨量為低，河川逕流量下降，適逢本計畫第四次採樣期間；之後數波梅雨鋒面與颱風經過帶來豐沛水氣，因此於 110 年 8 月 13 日進行規畫之外的第五季採樣，各季採樣監測數據如表 6，各水質監測項目詳述如下：

表 6、各樣點五季水質數據。

測站名稱	鹽度 ppt		溫度 °C		酸鹼度 pH		溶氧 mg/L		生化需氧量 mg/L		懸浮固體 mg/L		硝酸鹽 mg/L		亞硝酸鹽 mg/L		氨氮 mg/L		磷酸鹽 mg/L		矽酸鹽 mg/L		
	漲	退	漲	退	漲	退	漲	退	漲	退	漲	退	漲	退	漲	退	漲	退	漲	退	漲	退	
109.08.04 第一季	金城湖	20.30	13.60	32.32	31.27	8.84	8.20	6.33	7.46	6.39	4.36	56.4	31.2	1.5	2.6	3	7	2.0	8.7	0.3	0.5	6	10
	客雅溪	30.00	2.80	31.22	30.30	8.30	7.13	4.66	3.94	2.44	4.87	172.8	67.6	1.6	4.1	5	5	0.3	8.3	1.3	14.0	10	17
	三姓溪	2.60	1.70	33.28	32.08	7.88	7.47	4.92	7.63	5.79	3.46	24.0	28.4	2.8	3.0	4	6	3.3	3.2	0.5	1.9	14	29
	大庄溪	0.40	0.10	32.96	31.88	7.84	7.27	3.31	4.56	2.13	7.39	21.6	13.2	3.2	2.4	5	5	15.3	15.1	1.6	0.8	11	15
	鹽港溪	29.50	9.50	31.97	30.56	8.34	7.43	4.07	4.00	2.34	3.56	34.4	41.6	1.8	2.2	5	6	0.1	1.1	0.9	1.5	7	9
109.11.07 第二季	金城湖	14.40	14.50	27.85	24.78	8.03	7.91	4.85	4.99	3.23	4.17	37.6	38.4	2.2	1.6	8	5	1.8	2.1	4.9	2.9	23	16
	客雅溪	13.70	4.10	27.19	24.82	7.77	7.42	7.14	8.03	5.09	8.33	46.0	48.4	4.1	3.8	7	5	0.2	5.4	16.2	20.0	13	24
	三姓溪	19.40	1.50	28.62	25.35	8.01	7.65	6.11	5.45	4.13	5.24	49.6	22.8	1.8	2.3	5	7	6.2	7.1	1.3	2.1	7	17
	大庄溪	0.40	0.20	26.45	25.96	7.72	7.89	6.55	3.52	6.79	2.97	15.6	20.8	1.4	2.1	7	4	14.1	15.1	3.5	3.4	17	20
	鹽港溪	19.10	10.30	27.51	25.26	7.95	7.69	7.08	4.10	5.75	2.50	53.2	50.0	1.8	3.9	6	4	0.3	2.8	1.4	1.3	8	9
110.02.19 第三季	金城湖	25.40	28.80	18.37	17.33	8.07	7.75	7.12	9.51	2.09	2.25	44.2	30.4	9.3	1.8	7	6	0.9	0.1	4.0	1.7	14	12
	客雅溪	15.20	4.50	19.08	19.29	7.95	7.08	6.12	5.01	1.46	3.66	36.0	19.6	3.4	4.4	7	8	5.4	9.6	12.5	23.8	31	48
	三姓溪	2.40	0.30	19.56	18.02	7.74	7.03	4.72	6.32	2.81	3.50	17.2	7.2	5.6	4.3	6	6	5.3	5.1	2.3	3.1	39	31
	大庄溪	0.20	0.20	17.46	19.47	7.81	6.98	3.93	6.81	1.20	3.92	16.4	4.8	2.0	2.0	6	5	15.6	13.8	4.5	3.9	15	16
	鹽港溪	30.60	12.10	17.93	17.69	8.22	7.73	7.31	6.10	1.37	0.50	45.6	38.4	2.0	2.2	6	6	0.4	3.5	0.8	1.2	18	10
110.05.18 第四季	金城湖	11.18	12.02	32.03	30.13	7.96	7.99	7.37	4.18	7.29	1.86	139.6	119.2	1.5	2.0	4	4	0.5	0.5	4.3	3.2	3	3
	客雅溪	14.80	3.10	31.47	30.13	7.60	8.11	7.89	5.15	7.07	3.75	24.4	134.4	3.1	1.9	5	6	9.1	0.5	24.4	4.0	20	5
	三姓溪	7.74	1.91	32.90	31.34	8.01	7.80	5.77	4.16	3.73	2.93	61.2	85.6	1.8	1.7	6	7	3.0	3.5	2.2	2.5	11	14
	大庄溪	0.73	0.13	31.74	31.19	8.53	8.62	6.90	9.25	7.48	9.58	24.0	27.6	1.5	1.3	6	5	7.4	6.3	3.5	3.8	17	14
	鹽港溪	22.75	11.60	31.48	30.58	8.10	7.96	6.97	6.10	4.23	4.39	57.2	64.8	2.1	1.9	3	10	0.8	1.6	0.1	1.3	1	8
110.08.12 第五季	金城湖	9.8	15.7	33.15	31.93	8.71	8.38	13.16	6.26	9.60	2.33	9.60	2.33	1.5	1.7	2	5	0.2	0.3	4.3	1.8	32	15
	客雅溪	26.5	3.2	30.66	31.03	8.43	7.91	5.39	4.92	2.00	3.80	2.00	3.80	2.5	2.0	5	7	0.5	7.6	0.9	15.4	54	46
	三姓溪	4.0	0.7	32.91	32.02	8.03	7.86	4.36	3.96	4.90	8.10	4.90	8.10	3.0	2.7	5	5	3.6	4.1	2.6	1.5	31	37
	大庄溪	2.0	0.2	33.29	31.83	7.77	7.85	2.98	3.05	5.80	9.00	5.80	9.00	1.0	3.0	5	5	6.8	4.0	4.5	2.6	50	37
	鹽港溪	29.2	2.2	31.81	31.61	8.46	7.93	4.91	3.69	1.23	2.30	1.23	2.30	7.2	2.6	4	3	0.2	1.8	0.1	0.7	8	32

（一）鹽度

漲潮由外海湧入的海水掩蓋溼地，也可以稀釋陸源排出的營養物質及污染。根據溼地近岸處水質採樣結果，漲潮之後隨者海水掩蓋溼地的水體增加，海水鹽度較高。金城湖承接陸源排水且較不受漲潮影響（僅少量海水滲入），鹽度能維持長時間恆定狀態。客雅溪口由於淡水輸出量較大，漲潮回湧的淡水分層位於表面，表面水的鹽度變化較小，退潮後的水體則呈現以淡水為主的低鹽狀態。三姓溪口的地勢開闊，高度略低大庄溪口，淡水輸出量少，漲潮之後水體鹽度上升較為明顯。大庄溪口地勢較高，除了大潮期間之外，漲潮之後仍維持低鹽的狀態。地勢較低的鹽港溪口，漲潮之後海水快速湧入，由於淡水輸出量較少，漲退潮之間鹽度變化較大，漲潮後鹽度大多上升至 20ppt 以上；第五季因降雨豐沛，流量增大，退潮後鹽度降至 10ppt 以下（圖 26）。

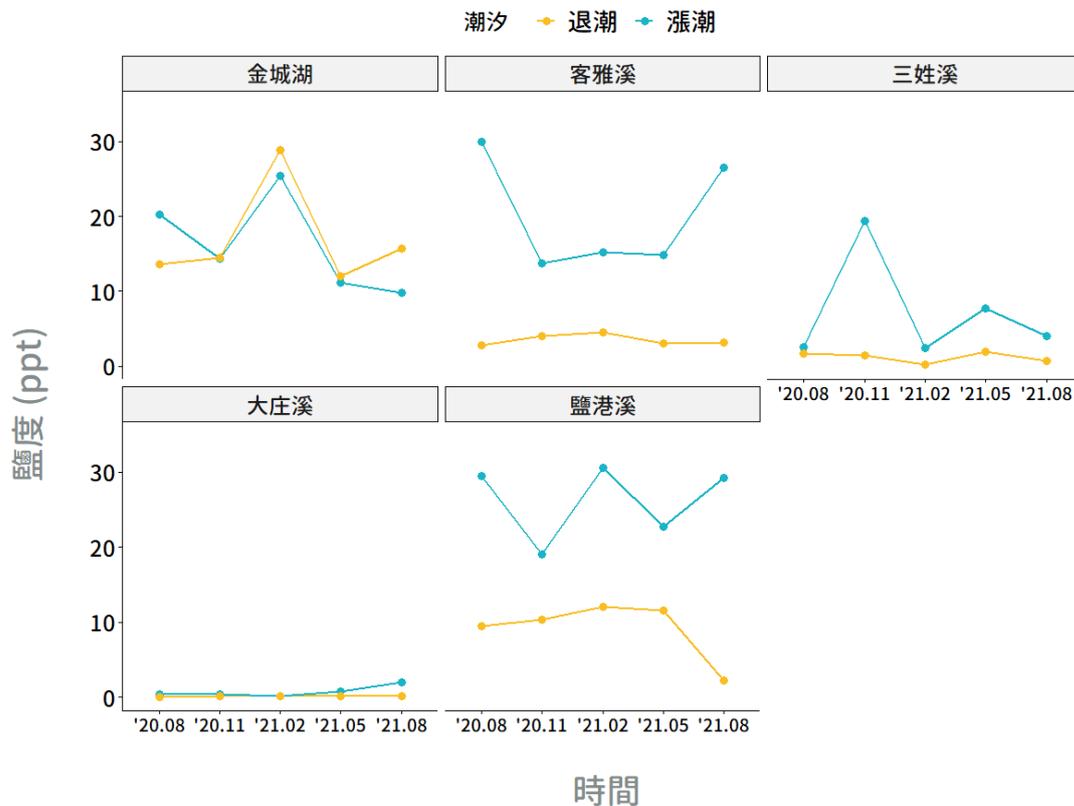


圖 26、各樣點於五季之中的鹽度變化。

(二) 溫度與 pH 值

各水源的水體較小，溫度變化受季節氣溫的影響，第二季(109 年 11 月)各河口水溫仍維持在 27°C 左右，較往年同一時期的水溫(約 20°C)為高，水溫至第三季(110 年 2 月)才降至 18°C 左右，氣溫回升後水溫快速升高，110 年 5 月水溫已經回升至 30°C，溫度變化詳如表 6。

各季水體 pH 值均呈現合理的弱鹼性，漲潮時海水湧入呈現較高的鹼度，退潮後則降低至較弱鹼性或接近於中性的水質。比較特殊的狀況為金城湖第一與第五季的 pH 值超過 8 且接近 9，主要是因為水溫高，且採樣時間日照強烈，水中藻類光合作用旺盛，大量消耗二氧化碳所致(圖 27)。

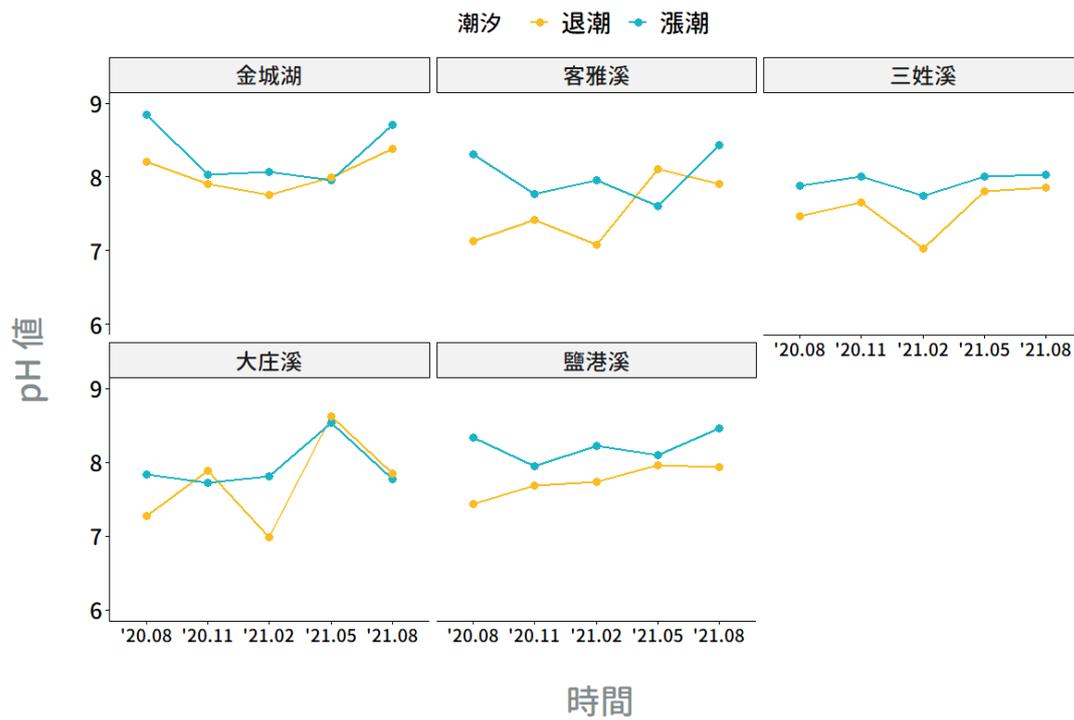


圖 27、各樣點於五季次之 pH 值變化。

（三）溶氧

各水體的水中溶氧大部分大於 4 mg/L，某些測站介於 3 - 4 mg/L，溶氧量雖然偏低，但不會造成生物生存太大的壓力（圖 28）。金城湖第五季漲潮時的溶氧量到達 13.16mg/L，代表採樣時湖水中藻類光合作用十分旺盛，大量產生氧氣；大庄溪在第四季退潮時的溶氧量也較其他監測時間為高，發生原因與金城湖測站相似，水體優養化呈現綠色，日間藻類光合作用旺盛。

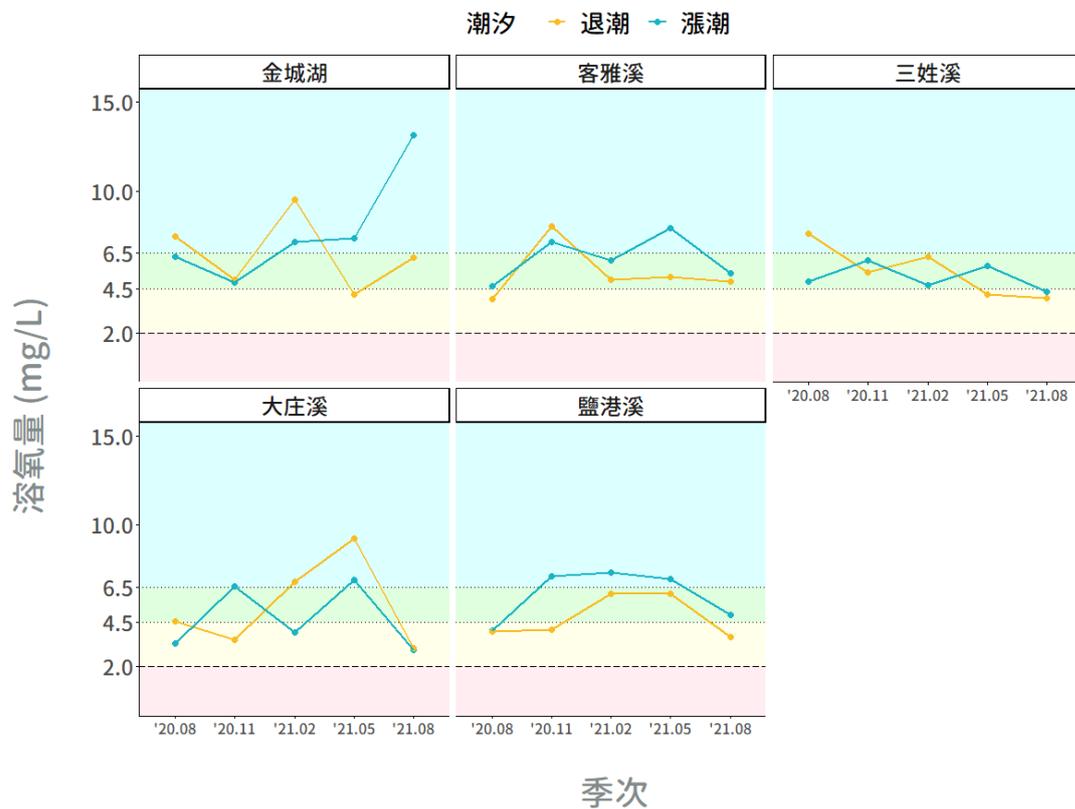


圖 28、各樣點於五季之中的溶氧量變化，不同顏色分別代表計算河川污染指數時獲得的點數。藍色：DO ≥ 6.5 為未（稍）受污染；綠色：6.5 > DO ≥ 4.6 為輕度污染；黃色：4.5 ≥ DO ≥ 2.0 為中度污染；紅色：DO < 2.0 為嚴重污染。

（四）懸浮固體

各測站的懸浮固體量（SS）呈現明顯的季節性變動，漲潮時的 SS 代表海水在溼地產生的擾動能力，退潮後的 SS 則呈現陸源水體的特性，不論漲退潮，大部分取樣所得之 SS 都在 50mg/L 上下，只有 5 個點次超過 100mg/L。金城湖為半封閉水體較不受漲退潮影響，由於採樣點位於水閘門附近，退潮後流動在客雅溪的陸源水在漲潮初期會湧入金城湖，當水位上升至產生足夠壓力封住水門之後，滲漏至湖中的水相當有限，金城湖第四、五季懸浮固體量偏高，可能是在採樣的時段有溪水自水門滲入之影響，金城湖 SS 的濃度另一個影響因素是浮游藻的豐富度。客雅溪第一季與鹽港溪第五季漲潮時的懸浮固體量顯著高於退潮時段，可以推斷是因為進入河口的海水攪動造成，三姓溪及大庄溪流量較小，漲潮時的海水湧入速度甚緩，干擾較低，漲退潮之間懸浮固體量的變化並不顯著（圖 29）。

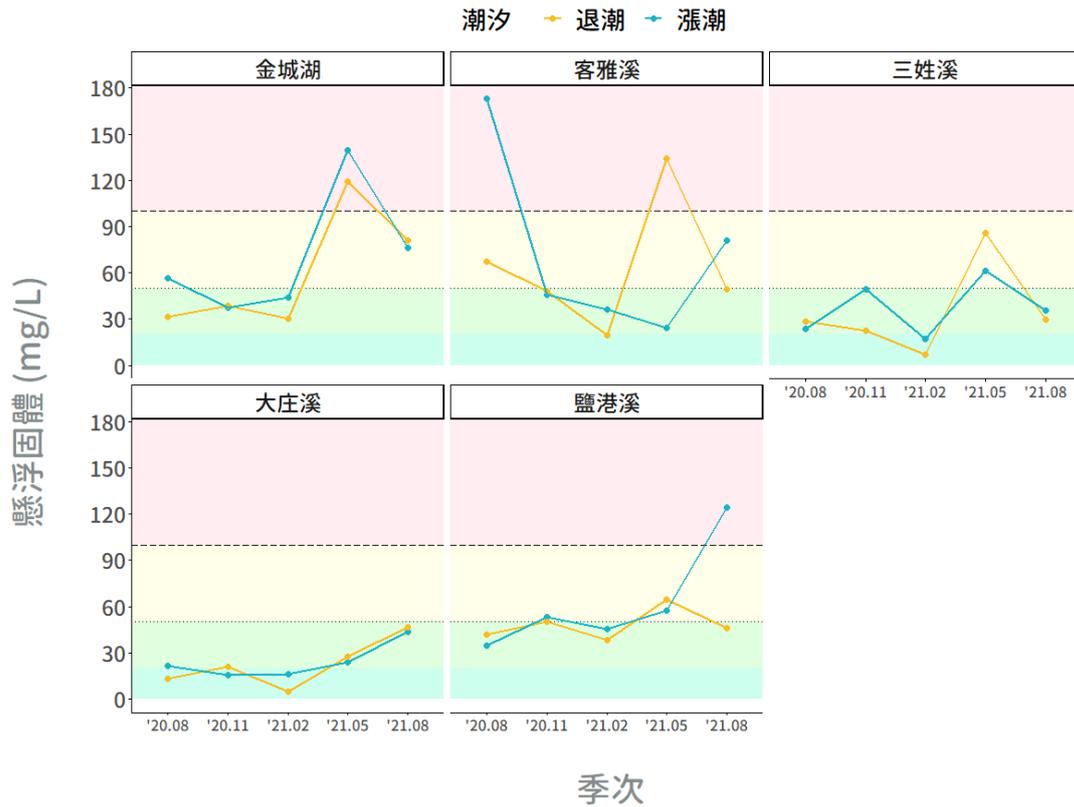


圖 29、各樣點於五季之中的懸浮固體量變化，不同顏色分別代表計算河川汙染指數時獲得的點數。藍色： $SS \leq 20.0$ 為未（稍）受汙染；綠色： $20.0 < SS \leq 49.9$ 為輕度汙染；黃色： $50.0 \leq SS \leq 100$ 為中度汙染；紅色： $SS > 100$ 為嚴重汙染。

（五）生化需氧量

本年度監測結果顯示除了大庄溪之外，大部分河川水體退潮時的生化需氧量（BOD）能維持在 5mg/L 以下。大庄溪出海口的 BOD 值或接近 10mg/L，顯示有機物含量高，水體品質不佳（圖 30）。每一測點的漲退潮各自呈現不同的生化需氧程度，大部分的水體是退潮時的 BOD 值高於漲潮，顯示輸入香山濕地的陸源水體，目前都受到相當量度的生物可分解有機物汙染。金城湖漲潮時 DO 較高的時段也呈現其 BOD 值增加的趨勢，兩者之間有一致性的關聯，顯示水中的微生物如藻菌的總量也呈現較高的現象，這又與現場直觀的水色符合，湖水呈現顯著的優養化。

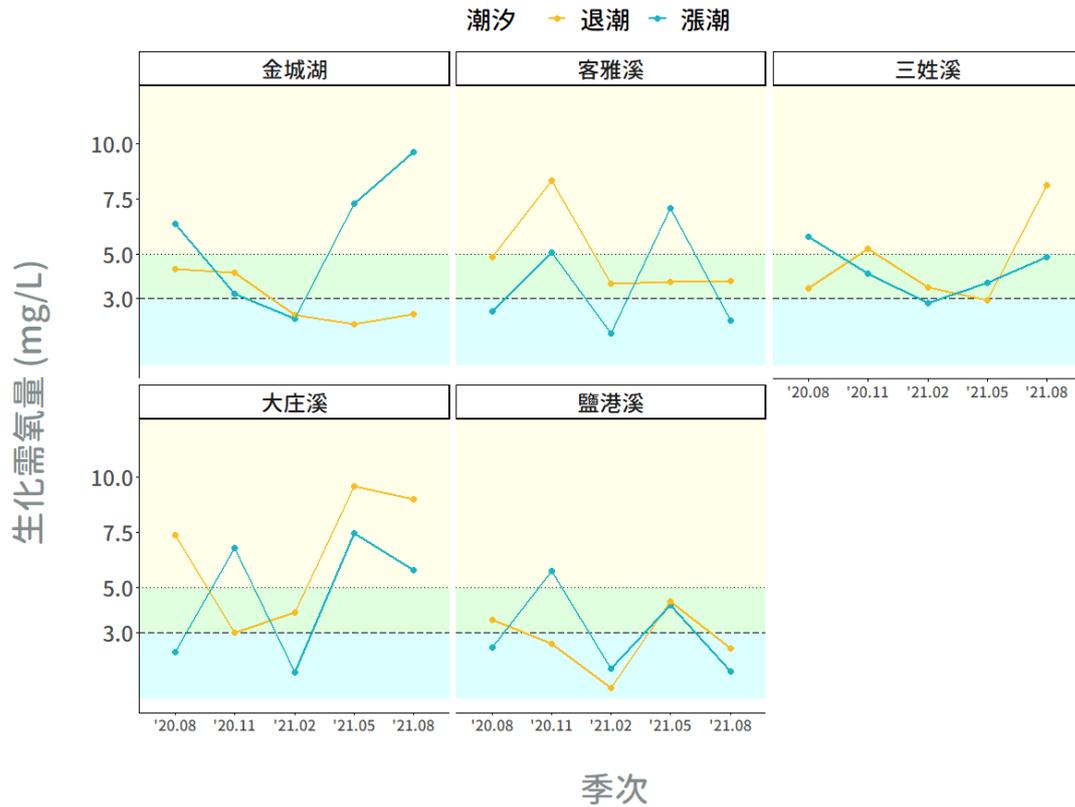


圖 30、各樣點於五季之中的生化需氧量變化，不同顏色分別代表計算河川污染指數時獲得的點數。藍色： $BOD_5 \leq 3.0$ 為未（稍）受污染；綠色： $3.0 < BOD_5 \leq 4.9$ 為輕度污染；黃色： $5.0 \leq BOD_5 \leq 15.0$ 為中度污染。

（六）氨氮

氨氮的濃度在客雅溪、三姓溪及大庄溪口仍然偏高，超過 3mg/L ，會造成水體嚴重的優養化（圖 31）。一般而言，氨氮主要來自動物排泄物及動植物屍體之分解，之後隨時間漸次氧化成亞硝酸鹽與硝酸鹽。

109 - 110 年 7 月前降雨量均不足，客雅溪於第四季流量嚴重萎縮，取到的水大量混合客雅水資源回收中心處理過的淨水，測得退潮時的氨氮濃度降至 0.5mg/L ，但漲潮湧入的海水呈現極端反差，測得客雅溪口五季以來漲潮的最高氨氮濃度。推測此一原因是漲潮將河道中末端原來存在的陸源水擠回停滯在採樣位置所致，此陸源水還包含港南溝及港北溝的排出水。大庄溪口採樣點極靠近陸地，根據其鹽度變化顯示其受漲潮海水影響

較小，影響營養鹽濃度主要來自河川本身流量與生物群聚狀態。本計畫採樣期間，大庄溪口的氨氮濃度呈現較往年下降趨勢，可能是受惠於上游市區汙水接管的效應，也可能是氨氮存在的時間極短，迅速被轉換成亞硝酸鹽。

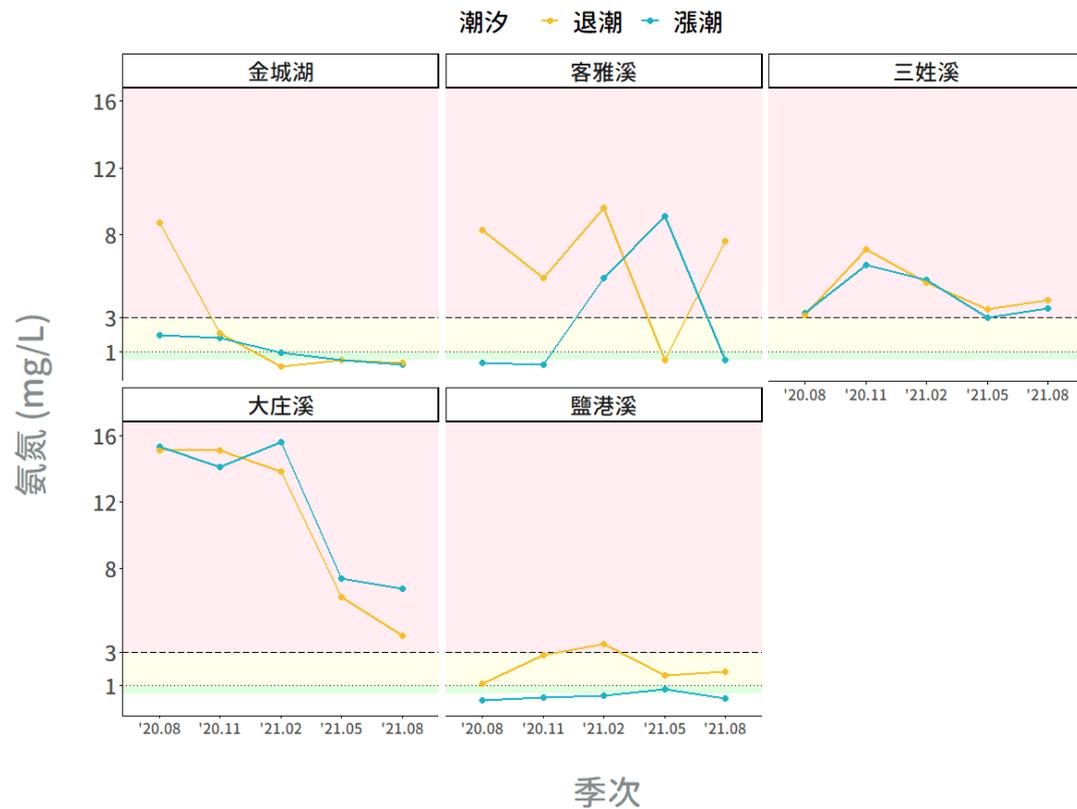


圖 31、各樣點於五季之中的氨氮濃度變化，不同顏色分別代表計算河川汙染指數時獲得的點數。綠色： $\text{NH}_3\text{-N} \leq 0.99$ 為輕度汙染；黃色： $1.00 \leq \text{NH}_3\text{-N} \leq 3.00$ 為中度汙染；紅色： $\text{NH}_3\text{-N} > 3.00$ 為嚴重汙染。

(七) 亞硝酸鹽

水體中的亞硝酸鹽，主要由隸屬於硝化菌類的氨氧化古菌與細菌 (ammonia oxidation archaea and bacteria, AOA & AOB)，將氨氮氧化為亞硝酸鹽氮。當水體中溶氧與光線充足，氨氮氧化效率就可以順利進行，將氨氮變成亞硝酸鹽。

各監測水體中亞硝酸鹽濃度多介於 2 - 8 之間，鹽港溪第四季退潮時的亞硝酸鹽濃度達到 10，與降雨量少、逕流量低有關 (圖 32)。鹽港溪第

四季退潮時的氨氮濃度與前幾季持平（參考圖 31），未有特別變化，顯示鹽港溪就算流量降低，依然能靠河水與底質中的菌群，將氨氮氧化為亞硝酸鹽。

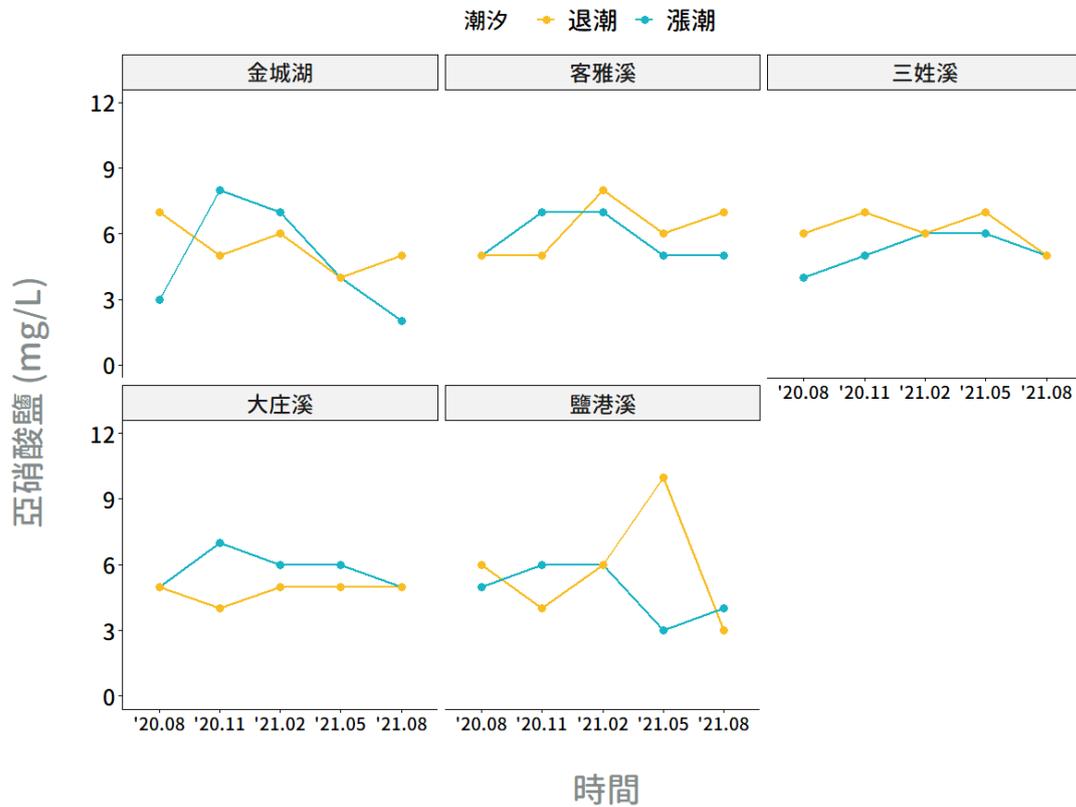


圖 32、各樣點於五季之中的亞硝酸鹽濃度變化。

(八) 硝酸鹽

硝酸鹽為氮循環中硝化作用的最終產物，硝化菌群在充足的光線中，消耗水中溶氧，將氨氧化為亞硝酸鹽，再進一步氧化為硝酸鹽，故硝酸鹽可做為水體曾遭受污染的指標。

各監測水體的硝酸鹽濃度介於 2 - 5mg/L 之間（圖 33）。金城湖、客雅溪與三姓溪的硝酸鹽濃度在第三季較高，可能因第三季水溫較低，水中浮游植物生長勢不盛，無法大量消耗硝酸鹽。鹽港溪第五季漲潮的硝酸鹽

濃度較前幾季高出許多，但亞硝酸鹽與氨氮濃度不高（圖 31、圖 32），對於水中生物群聚應無太大影響。

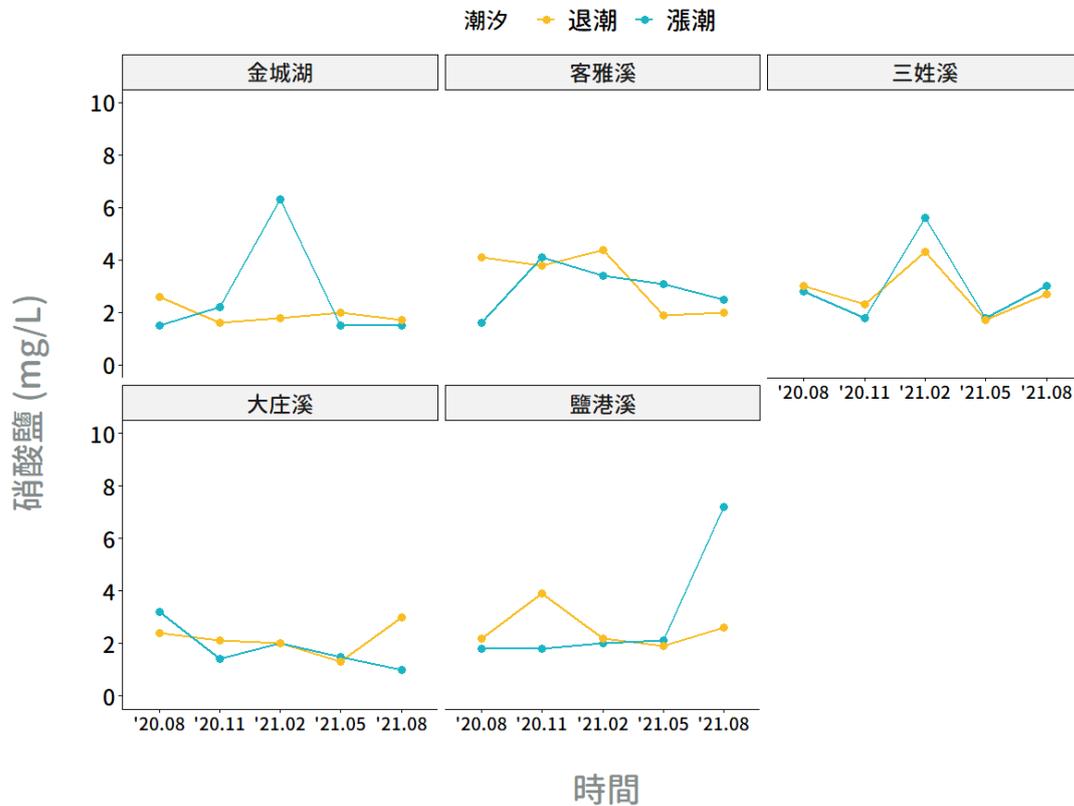


圖 33、各樣點於五季之中的硝酸鹽濃度變化。

(九) 無機氮

水中溶解的氮化合物可粗分為有機氮與無機氮，有機氮主要來自於生物體內的氨基酸、蛋白質、核酸等有機化合物，一般生產者無法直接利用；水中的微生物將有機氮分解，就成為無機氮，可供水中的浮游植物與陸地上的初級生產者使用。將水體中氮系營養鹽（氨氮）與硝系營養鹽（亞硝酸鹽氮、硝酸鹽氮）濃度加總，即為水中無機氮濃度。

香山濕地陸源水體的無機氮主要成分為氨氮，其次為硝酸鹽；各季無機氮濃度的變化趨勢與氨氮大致相同（圖 34）。金城湖的無機氮濃度於

5 - 15mg/L 區間震盪，客雅溪與三姓溪的無機氮濃度在 10 - 20mg/L 區間變化；大庄溪的無機氮濃度為所有監測水體中最高，需要密切注意水中生物群聚情況。

一般經過都市河川下游的氮氮主要來源為生活污水，客雅溪除了生活污水之外，尚有科學園區放流水之影響，出海口附近香雅橋平均流量有一半是科學園區放流水的貢獻(約為 10 萬 CMD)，根據民國 108 年 04 月 29 日公告修訂法規《放流水標準》，科學園區排放水中氮氮濃度上限值為 30mg/L 及硝酸鹽氮上限值為 50mg/L(相關法規限值見附表 3)，目前客雅溪無機氮含量可能是一個平均的常態，只能期待生活污水完全納管處理，或是更嚴格限制科學園區的排放。三姓溪及大庄溪絕大部分是生活污水的貢獻，流量相當小，這部分只能期待污水納管解決。鹽港溪氮氮濃度均低於 3mg/L，硝酸鹽氮的貢獻明顯高於其他兩者，合理反映鹽港溪大部分流域處於農業區內，農業使用之尾水或是地表逕流帶入的硝酸鹽較高，且呈顯明顯季節性變化。

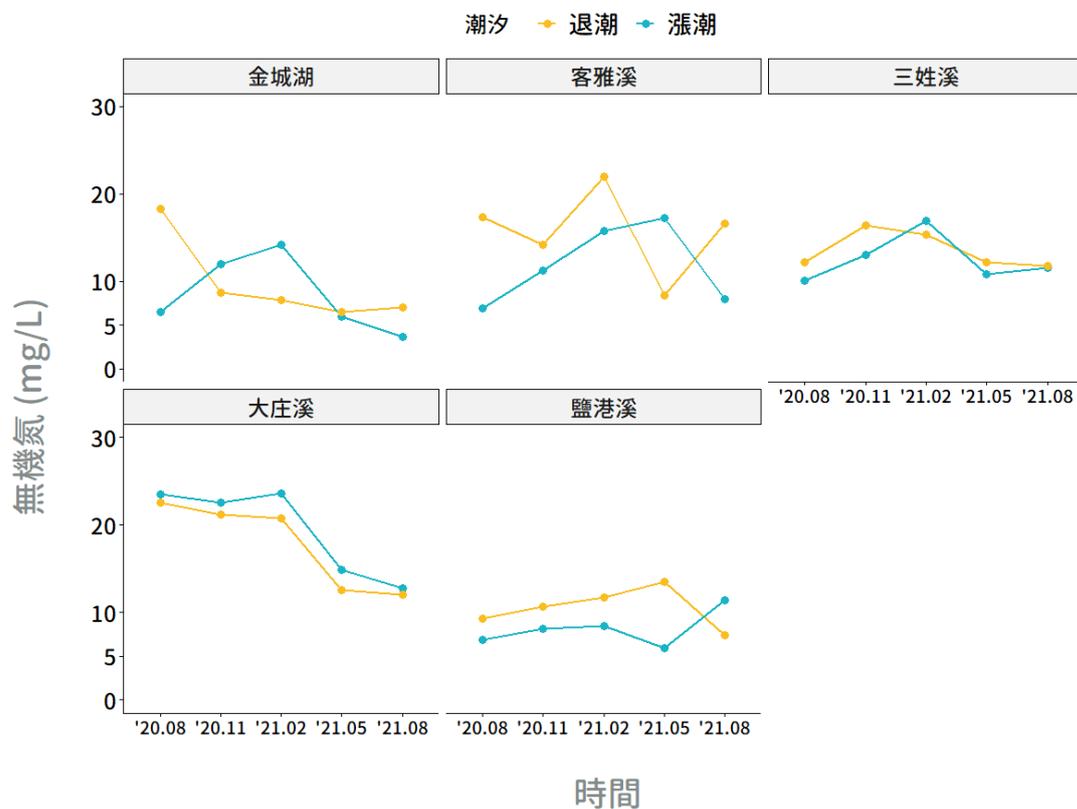


圖 34、各樣點於五季之中的無機氮濃度變化。

（十）磷酸鹽

除了客雅溪之外，其他水系水體的磷酸鹽濃度小於 5mg/L，且漲潮與退潮時的磷酸鹽濃度相差不大（圖 35）。客雅溪退潮時的磷酸鹽濃度均大於漲潮，每次量測均高於 14mg/L（表 6），代表客雅溪水攜帶的磷酸鹽濃度高，非由海水帶來。第四季退潮的磷酸鹽濃度低於漲潮，主要因為此時河川本身逕流量低，取到的水大部分是客雅水資源回收中心處理後的放流水；漲潮時海水將附於乾旱河床的磷酸鹽洗出，磷酸鹽濃度飆升，高於退潮之時。水體的磷酸鹽主要來自動、植物的屍體腐爛分解及代謝產物，陸源的成分則為含磷的軟水劑、介面活性劑、農藥及肥料等。客雅溪目前仍為市區生汙水的主要承受水體，當流量較小時容易出現高濃度的磷酸鹽，磷酸鹽是影響水生生物滲透壓的重要因子，也是造成水體優養化的主因，需要密切留意。

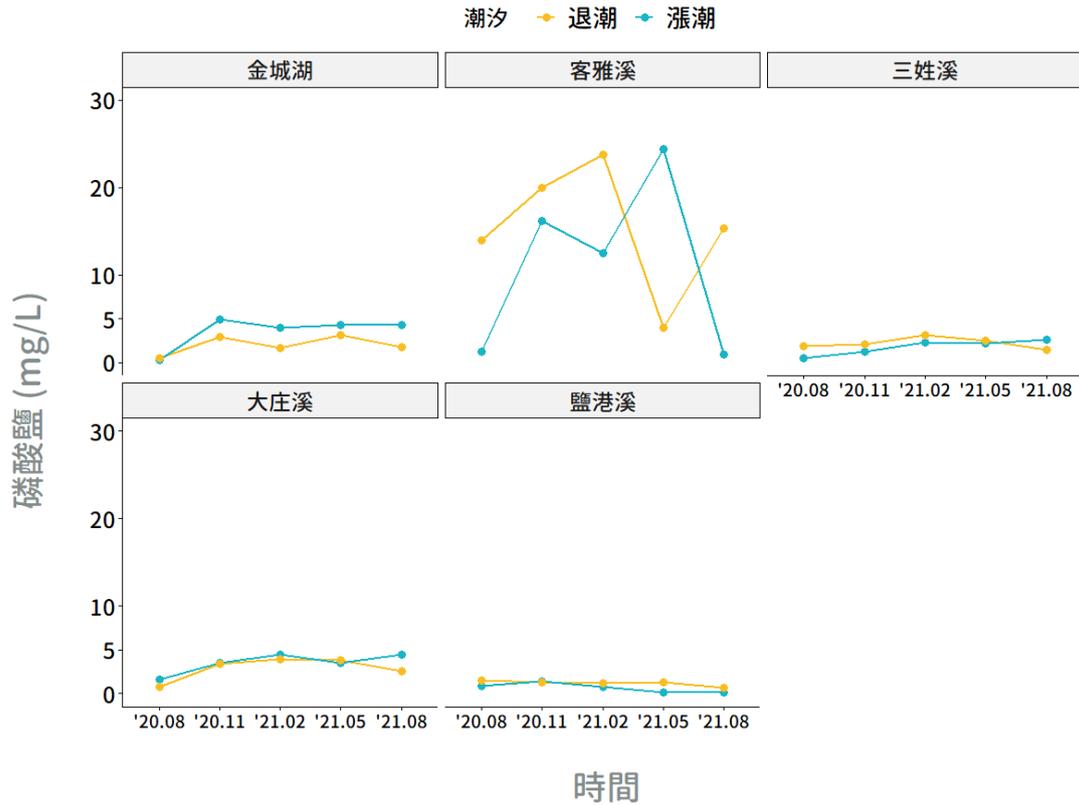


圖 35、各樣點於五季之中的磷酸鹽濃度變化。

(十一) 矽酸鹽

自然界水體中矽酸鹽的來源主要為矽酸鹽礦物的風化。矽酸鹽為地殼中含量最大的化學成分，故水中矽酸鹽濃度主要取決於地表土壤、岩石礦物的風化速度。風化作用分為物理性風化與化學性風化，在高溫多雨的地區，化學性風化的效應較為顯著，高溫與雨水助長岩石成分的溶出。

各監測水體前四季的矽酸鹽含量均在一定範圍內波動，但第五季的矽酸鹽濃度陡然驟高，部分水體第五季的矽酸鹽濃度幾乎為前四季平均的 2 倍（圖 36）。第五季與第一季的採樣月份相同，但從香山氣象站的雨量資料來看，109 年採樣前一個月總降雨量為 4mm，而 110 年度同期降雨量為 146.5mm，雖然河川有其集水區，應統計不同河川集水區之雨量，但從香山氣象站之雨量資料，可以得知 110 年雨量相對 109 年豐沛許多。

110 年的雨量豐沛，自各監測水體的集水區淋溶、沖刷已經風化的矽酸鹽，匯集到各水體中，豐沛的雨量加上 8 月的高溫，盛行的化學風化作用，加上河川的侵蝕、搬運等營力，使得第五季的矽酸鹽濃度大幅提高。

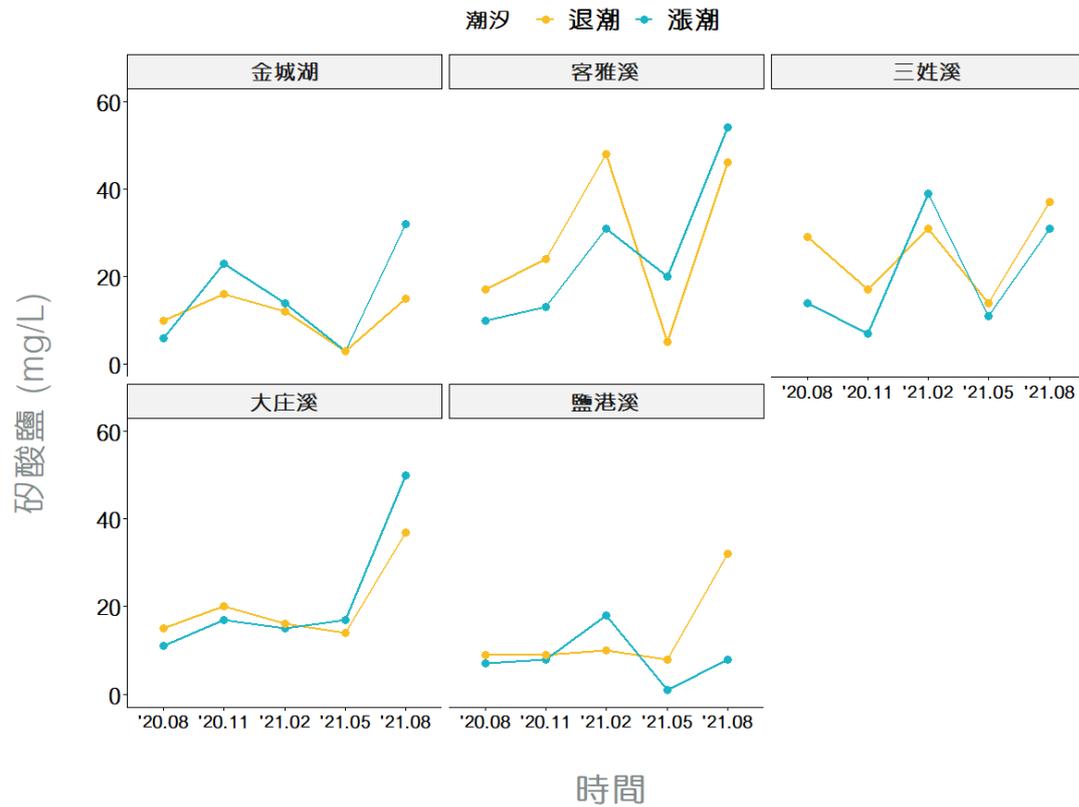


圖 36、各樣點於五季之中的矽酸鹽濃度變化。

(十二) 河川污染指數

根據測值估算河川污染指數(RPI)，顯示香山濕地大部分的陸源水體，於本計畫監測期間仍屬中度污染水體（表 7、圖 37）。許多水體的污染指數在第三季下降，第三季採樣日期在二月，因為溫度低，水中溶氧量高，又因降雨量少，河川流速低，懸浮固體量較低所致。感潮水體如客雅溪、三姓溪與鹽港溪，漲潮時的 RPI 值下降，乃得力於海水的稀釋作用。客雅

溪第四季的趋势则相反，漲潮時的 RPI 較退潮時高，是因為久旱造成川流量低，漲潮時海水帶起沉積於河床的污染物所致。

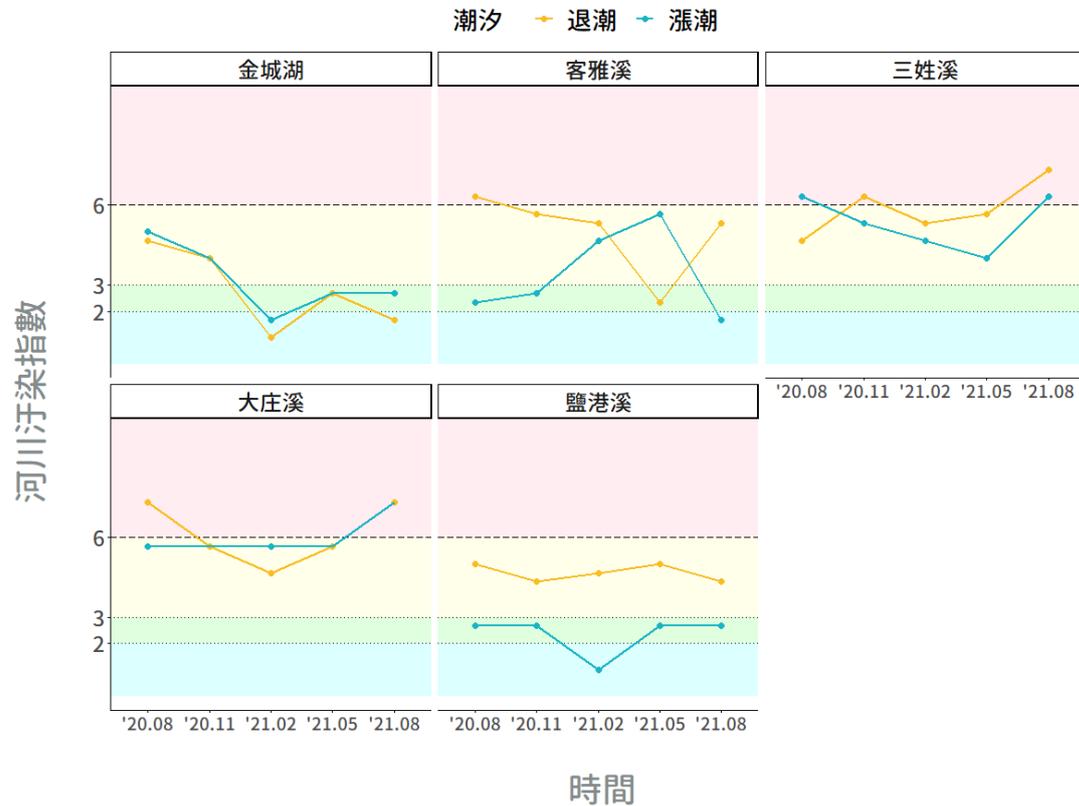


圖 37、各樣點五季河川污染指數 (RPI) 值變化。以顏色區分河川污染指數區間所代表的意義，藍色：未 (稍受污染)，綠色：輕度污染，黃色：中度污染，紅色：嚴重污染。

(十三) 討論

1. 各水體環境生物狀況觀察

本年度水質監測期間，無大量動物暴斃情況發生，但常可發現藻類大量群聚之跡證。例如第四季採樣大庄溪水時，發現河面有大量藻類形成的漂浮團塊 (圖 38 (A)、(B))；取團塊約 5cm³，打散於 50ml 水中，以顯微鏡觀察，發現水中有多量之藻類，種類以矽藻綱之小環藻 (*Cyclotella* spp.) 與菱形藻 (*Nitzschia* spp.) 為主，僅有極少數之新月藻 (*Closterium* sp.)，

水體中亦可發現藍藻綱之顫藻（*Oscillatoria* sp.），如圖 38 (C)。顫藻、小環藻與菱形藻均為汙染水域中常出現的藻類，顯示大庄溪第四季的水質不佳，且藻類密度甚高，呈現顯著的優養化現象。

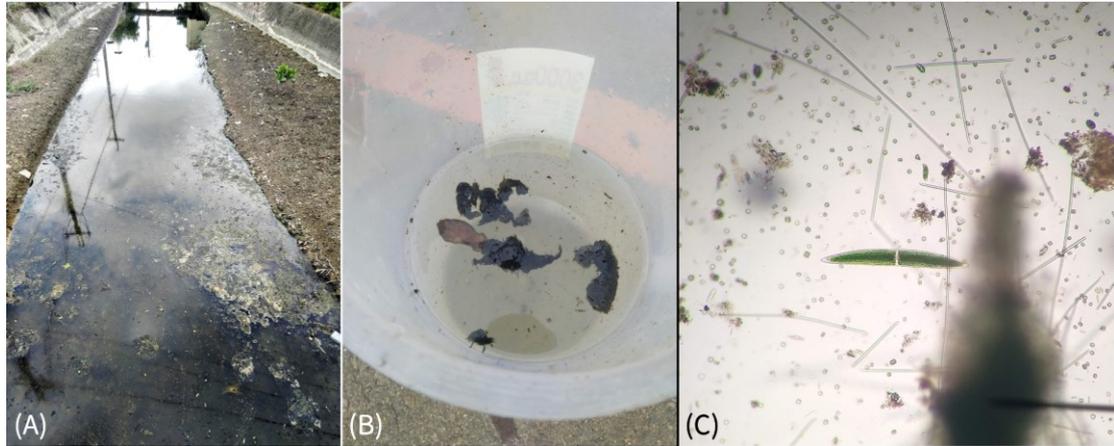


圖 38、大庄溪第四季之水質情況。(A) 為大庄溪第四季溪水概觀。(B) 為取樣監測之水體，可見藻類形成的生物膜團塊。(C) 為 5cm³ 團塊打散於 50ml 水中，以顯微鏡觀察到的影像，畫面中灰色圓形與方形者為小環藻（*Cyclotella* sp.），透明略呈菱形者為菱形藻（*Nitzschia* sp.），畫面中間綠色者為新月藻（*Closterium* sp.），長桿狀者為顫藻（*Oscillatoria* sp.）。

除了大庄溪，類似的狀況也在金城湖發生。109 - 110 年度夏、秋二季的金城湖水藻類密度極高，可以在過濾懸浮固體的濾紙上，形成不同於其他水域的綠色印記（圖 39 (A)）；以顯微鏡檢視之，發現金城湖水中的藻類與大庄溪不同，形成金城湖水色的藻類，絕大多數都是藍綠菌（*Cyanobacteria*），如圖 39 (B)。藍綠菌會在水質較差的水體中形成優勢群落，部分種類在生長旺盛時，會生成毒素與臭味；若水中藍綠菌濃度高，空氣中常會飄散令人不悅的藻腥味。

由於金城湖由於長年接受農業廢水，且水體封閉，長期有優養化狀況，根據 97 年度之連續監測，夏季金城湖水溶氧量在日間可以超過 10mg/L，夜間降至極低，可以低於 1mg/L（楊樹森，2008b）。因為水中藻類密度甚

高，在陽光下大量產生氧氣，而在夜間則消耗氧氣；水體如此劇烈的溶氧波動與夜間的低溶氧量，容易造成魚群短時間內集體死亡事件（楊樹森，2019）。

本年度水質監測期間，金城湖的營養鹽濃度不高，但第四、五季日間採樣均測得偏高的溶氧量，BOD 值亦高。楊樹森（2008b）曾針對金城湖的夏季陰天和夜間低溶氧，使用曝氣水車暫時性提高水中溶氧量，但受限於計畫經費，僅能設定定時器開關水車。

近年來，即時監測系統與技術進步，新竹市政府已利用「台灣智慧水聯網」計畫，布設自動水質監測系統，可以每分鐘測量水質數據（新竹市政府，2020），若能在金城湖架設曝氣水車，以物聯網（IoT）串聯水質監測系統與水車，在金城湖溶氧量降低時自動啟動水車曝氣，可以提升金城湖夜間之溶氧量，抵銷優養化造成的負面效應，也可向來往遊客展示新竹市「科技城」如何以科技手段改善環境問題。曝氣只是治標，長遠來看，則應當思考金城湖的定位，才能精確制定改善水質的方向與方法。

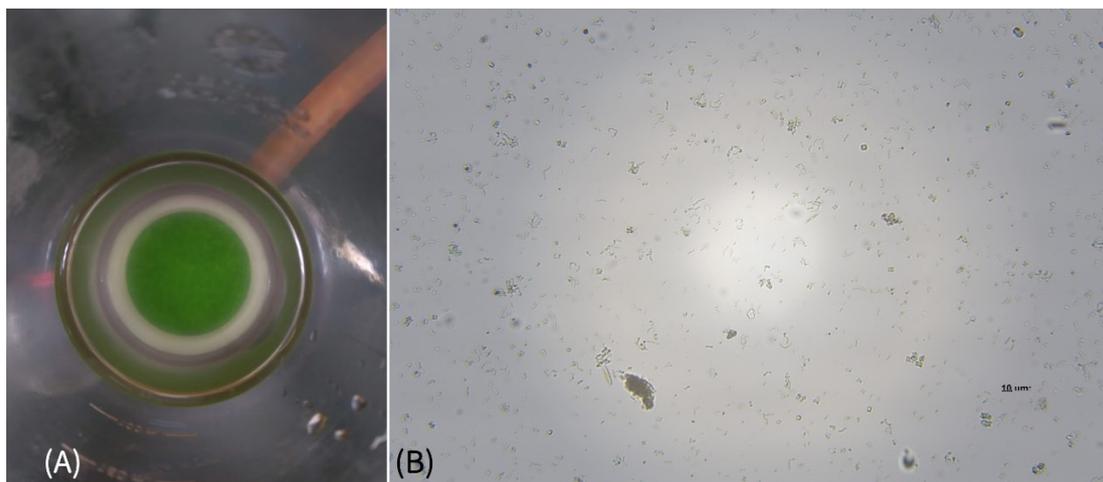


圖 39、金城湖水中的藻類。(A) 多量藻類在濾紙上留下的鮮綠色印記。(B) 顯微鏡底下的金城湖水。金城湖水中的藻類，絕大多數為藍綠菌。

2. 水體營養鹽比例

溼地的初級生產大部份來自底棲藻類，而底藻部分來自陸源水體的輸入。這些微小的底藻，成為眾多濾食性底棲動物與蟹類可能的食物來源（楊樹森，2008a）。水中營養鹽的濃度影響浮游植物的豐度，而營養鹽的比例則影響浮游植物的物種組成。Redfield et al. (1963) 測量浮游植物體內的元素比例後，推測海中浮游植物對氮與磷元素的最適成長吸收比例為 N:P = 16:1（莫耳數比）；當比值大於 16，則生長受磷元素限制，反之，則受氮限制。若水中氮磷比小於 2 或大於 50 時，浮游植物的生長速率則受多重效應影響，許多因素都影響浮游植物的生長及其對氮、磷的吸收。藍綠菌則具有可固氮的異形細胞，因此會在氮磷比低的水體中，形成優勢類群。Havens et al. (2003) 長期追蹤美國佛州歐基求碧湖（Lake Okeechobee）的氮磷比與浮游植物組成比例，發現湖水的氮磷比下降，藍綠菌數量則上升；氮磷質量比為 6:1 時，藍綠菌數量達到監測以來的高峰。

本年度觀察到大庄溪與金城湖二封閉水體有大量藻類滋生，大庄溪以藍綠菌與矽藻為主，而金城湖幾乎以矽藻為主。統計本年度各監測水體的氮磷比（圖 40 (A)），發現金城湖與大庄溪第一季的氮磷莫耳數比皆超過 50，之後下降於穩定範圍。合併此二水體漲退潮的資料後，移除第一季氮磷比 >50 的離群值，並以 t 檢定測驗氮磷莫耳數比平均值是否相同（圖 40 (B)）。檢定 p 值為 0.022，小於 0.05 可以拒絕虛無假說，代表大庄溪與金城湖第二至第五季水體中氮磷比平均值差異顯著。大庄溪水的平均氮磷比約 19.4，接近 Redfield et al. (1963) 的理論值，所以有較多的矽藻；金城湖因為含氮量低，氮磷莫耳數比約 6.06、重量比為 4.74，略同於 Havens et al. (2003) 的觀察值，水體浮游植物組成也以藍綠菌為主。此二水體長時間封閉不與溼地直接相連，使得水質與水中藻類相有較大差異；綜合各水質指標進行主成分分析後可以發現，無論漲潮或退潮，二水體的分群亦互相獨立（附圖 3）。

鹽港溪第四、五季漲潮時氮磷比飆升，推測水中營養鹽比例受到海水擾動影響。各水體的無機氮與磷酸鹽濃度雖然隨季節波動，但氮磷比均維持穩定，顯示無論季節，水體中的巨量營養鹽比例固定（圖 40 (A)）。

未來可以考慮將氮磷比（莫耳數比或質量比）列入水質監測的固定項目中。此比例無須多加測量，僅需將既有的氮系營養鹽總量，與磷酸鹽測值相除，步驟簡單，且得出的氮磷比值，可以搭配個別營養鹽濃度、水溫、鹽度等環境因子，做為河水與出海口地區藻類組成之預測因子，也可監測環境中的營養鹽比例波動情況。

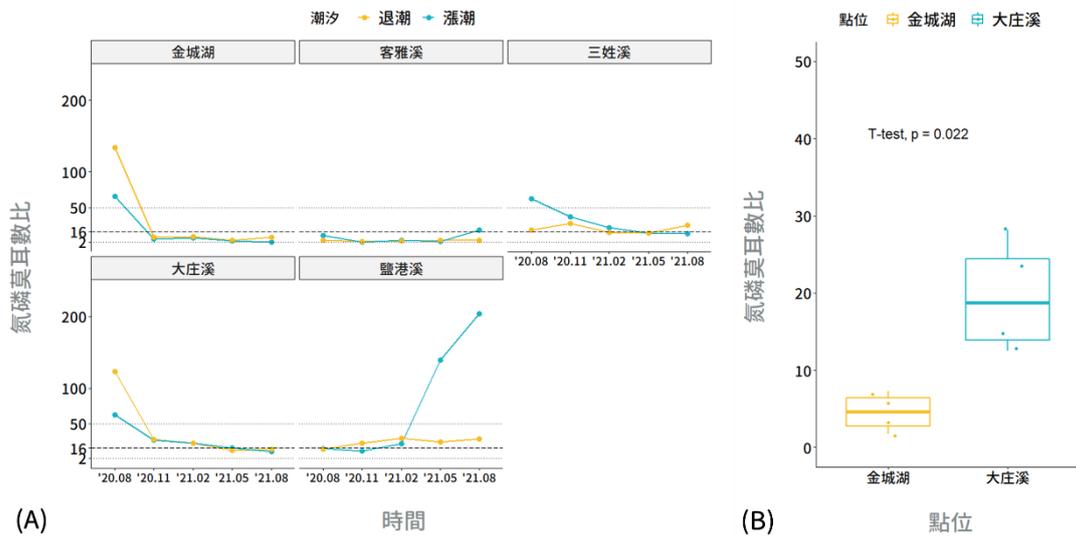


圖 40、各樣點的氮磷比狀況與比較。(A) 各樣點五季氮磷莫耳數比。(B) 金城湖與大庄溪各季的氮磷莫耳數比，以 t 檢定比較二樣點移除離群值後的氮磷莫耳數比平均值是否相同。

3. 河川汙染指數成分調整評估

輸入香山濕地的陸源水體，依據現行河川汙染指數的計算方式，均屬於中度至嚴重汙染水體。河川汙染指數是採計水中氨氮、溶氧量、生化需氧量與懸浮固體 4 項指標，換算汙染點數後取平均。河川接近出海口地區容易夾帶泥沙，加之潮水擾動容易使懸浮固體量居高不下，使得許多水體

在懸浮固體項目的得點為 10（參見表 6），影響整體水質評等，《107-108 年度香山重要濕地生態及水質監測計畫期末報告》中亦有討論到河川出海口懸浮固體過高的問題（楊樹森，2019）。

將懸浮固體自本年度各水體的河川汙染指數成分中去除，重新計算調整後的河川汙染指數值（詳如表 7），若不計入懸浮固體，有 9 個評等汙染程度改善（18%），但有 4 個評等汙染程度加劇（8%）。檢視平均後的評等點數值，評等標準去除懸浮固體後，僅 20 個評等點數值較原標準低，佔 40%；有 30 個評等點數值較原標準為高，超過一半（60%）。若僅看退潮（即水體本身水質）的水質評等狀況，程度上有 3 個評等改善，2 個評等加劇，而數值上則僅有 7 個點數降低，18 個點數增高。

綜合試算結果，若將現行河川汙染指數去除懸浮固體，因其他河川汙染指數記點項目（如氨氮）數值高，對於河川出海口水質評等助益不大，應考慮去除懸浮固體記點指標的同時，加入其他評等指標（如：磷酸鹽、每公升水中藍綠菌細胞數、導電度……等），或者考慮新加入 1-2 項水質汙染指標，平均後可以稀釋個別評等成分之效應，提升河川汙染指標評估方法的適用性。

表 7、調整河川汙染指數成分前後對照表。深灰色代表成分調整後的汙染程度較調整前嚴重，淺灰色代表調整後較調整前減輕。

採樣季次	樣站名稱	所得點數								汙染指數值		汙染程度		汙染指數值 (不含 SS)		汙染程度 (不含 SS)	
		溶氧		生化需氧量		氨氮		懸浮固體		漲潮	退潮	漲潮	退潮	漲潮	退潮	漲潮	退潮
		漲潮	退潮	漲潮	退潮	漲潮	退潮	漲潮	退潮								
第一季 109.08.04	金城湖	3	1	6	3	6	10	6	3	5.25	4.25	中度	中度	5.00	4.67	中度	中度
	客雅溪	3	6	3	3	1	10	10	6	4.25	6.25	中度	嚴重	2.33	6.33	未汙染	嚴重
	三姓溪	3	1	6	3	10	10	3	3	5.5	4.25	中度	中度	6.33	4.67	嚴重	中度
	大庄溪	6	6	1	6	10	10	3	1	5	5.75	中度	中度	5.67	7.33	中度	嚴重
	鹽港溪	6	6	1	3	1	6	3	3	2.75	4.5	輕度	中度	2.67	5.00	輕度	中度
第二季 109.11.07	金城湖	3	3	3	3	6	6	3	3	3.75	3.75	中度	中度	4.00	4.00	中度	中度
	客雅溪	1	1	6	6	1	10	3	3	2.75	5	輕度	中度	2.67	5.67	輕度	中度
	三姓溪	3	3	3	6	10	10	3	3	4.75	5.5	中度	中度	5.33	6.33	中度	嚴重
	大庄溪	1	6	6	1	10	10	1	3	4.5	5	中度	中度	5.67	5.67	中度	中度
	鹽港溪	1	6	6	1	1	6	6	6	3.5	4.75	中度	中度	2.67	4.33	輕度	中度
第三季 110.02.19	金城湖	1	1	1	1	3	1	3	3	2	1.5	未汙染	未汙染	1.67	1.00	未汙染	未汙染
	客雅溪	3	3	1	3	10	10	3	3	4.25	4.75	中度	中度	4.67	5.33	中度	中度
	三姓溪	3	3	1	3	10	10	1	1	3.75	4.25	中度	中度	4.67	5.33	中度	中度
	大庄溪	6	1	1	3	10	10	1	1	4.5	3.75	中度	中度	5.67	4.67	中度	中度
	鹽港溪	1	3	1	1	1	10	3	3	1.5	4.25	未汙染	中度	1.00	4.67	未	中度
第四季 110.05.18	金城湖	1	6	6	1	1	1	10	10	4.5	4.5	中度	中度	2.67	2.67	輕度	輕度
	客雅溪	1	3	6	3	10	1	3	10	5	4.25	中度	中度	5.67	2.33	中度	輕度
	三姓溪	3	6	3	1	6	10	6	6	4.5	5.75	中度	中度	4.00	5.67	中度	中度
	大庄溪	1	1	6	6	10	10	3	3	5	5	中度	中度	5.67	5.67	中度	中度
	鹽港溪	1	3	6	6	1	6	6	6	3.5	5.25	中度	中度	2.67	5.00	輕度	中度
第五季 110.08.12	金城湖	1	3	6	1	1	1	6	6	3.5	2.75	中度	輕度	2.67	1.67	輕度	未汙染
	客雅溪	3	3	1	3	1	10	6	3	2.75	4.75	輕度	中度	1.67	5.33	未汙染	中度
	三姓溪	6	6	3	6	10	10	3	3	5.5	6.25	中度	嚴重	6.33	7.33	嚴重	嚴重
	大庄溪	6	6	6	6	10	10	3	3	6.25	6.25	嚴重	嚴重	7.33	7.33	嚴重	嚴重
	鹽港溪	6	6	1	1	1	6	10	3	4.5	4	中度	中度	2.67	4.33	輕度	中度

（十四） 概要

1. 香山濕地陸源水體仍多為中度汙染，水中的營養鹽含量仍相當高。雖然水體中營養鹽濃度隨季節波動，但氮系營養鹽與磷酸鹽的比例大致固定。本年度計畫水質監測結果顯示封閉水體中的氮磷比不同，浮游植物相亦有所差異，且浮游植物相與水體氮磷比例的關係，符合許多前人研究。
2. 關於 RPI 值之計算方式與河口域 SS 過高且容易大幅度變動之影響，以本計畫而言，若自現行河川汙染指數組成中去除懸浮固體指標，未必能更客觀反應出海口水體的水質，目前的 RPI 指數計算方式仍舊有其廣用性。

二、台灣早招潮蟹族群量調查

（一）族群數量、密度與棲地情況變化

109 年度香山濕地台灣早招潮蟹族群第一次調查，設置 15 個觀察樣區，其中的 13 個觀察樣區與 108 年度報告大致重疊（圖 41；圖 42）。截至目前調查結果如表 8 與表 9，結果顯示相對於 108 年度，大部分樣區的台灣早招潮蟹族群數量有所上升，而 109 與 110 年度的台灣早招潮蟹族群在不同區域的分布情況有所改變。因台灣早招潮蟹的族群分布不幅從隨機性（random）與常態性（normal），族群數量描述選擇以中位數表示。

109 年度台灣早招潮蟹的密度，除了三姓溪口較 108 年度低，大庄溪口、海山漁港、鹽港溪北側的台灣早招潮蟹族群密度均上升，且新增有海山罟棲地；108 年新建立繁殖族群的白雲橋北灘棲地，109、110 年亦穩定維持。

客雅水資源回收中心北側三姓溪出海口棲地，109 年 9-10 月族群呈現十分分散的狀態，僅能以卡方檢定探討其族群分布模式，但難以透過密度估算族群量；110 年族群數量上升，估算族群量為 8624 隻。大庄溪出海口高密度區，109 年密度與族群量均明顯上升，每平方米平均 2.06 隻，110 年密度更高，密度中位數每平方米有 4 隻。

海山漁港周遭的明發定置漁場外灘地，106 年紅樹林砍除後已經有台灣早招潮蟹族群在此建立，故 109 年開始於此新增觀察點，每平方米平均 2 隻，110 年總族群量增長，應已於此建立穩定棲息地。藍天橋的台灣早招潮蟹的活動範圍比 108 年度更廣，由邊緣向潮溝及海馬齒叢分布範圍擴張，主密度區 109 年密度中位數每平方米 5 隻，110 年每平方米有 6 隻，邊緣推移的擴散分佈區，109 年密度中位數每平方米 3 隻，110 年每平方米 2 隻。109 年觀察到海馬齒族群擴散，110 年更觀察到

鹽定族群快速增長壓縮開闊空地，目前雖可見台灣早招潮蟹於海馬齒叢中活動，但海馬齒與鹽定過度發達的根系，可能壓縮台灣早招潮的活動區域。

海山罟高灘地低密度區的族群，相較 108 年夏季有所增長。108 年海山罟地區沒有穩定的台灣早招潮族群，故無紀錄，而此地於 109 年觀察到新建立的台灣早招潮族群，每平方公尺平均 1.48 隻，族群量不大，但已經建立穩定棲地；110 年族群量有 5360 隻，密度中位數每平方公尺 2 隻，數量有所增長，代表海山罟地區在台灣早招潮蟹已經建立可以穩定繁殖的族群，後續應持續追蹤此棲地族群動態，調查其密度與分布模式可以了解台灣早招潮蟹族群新建立與擴張時的族群動態參數。

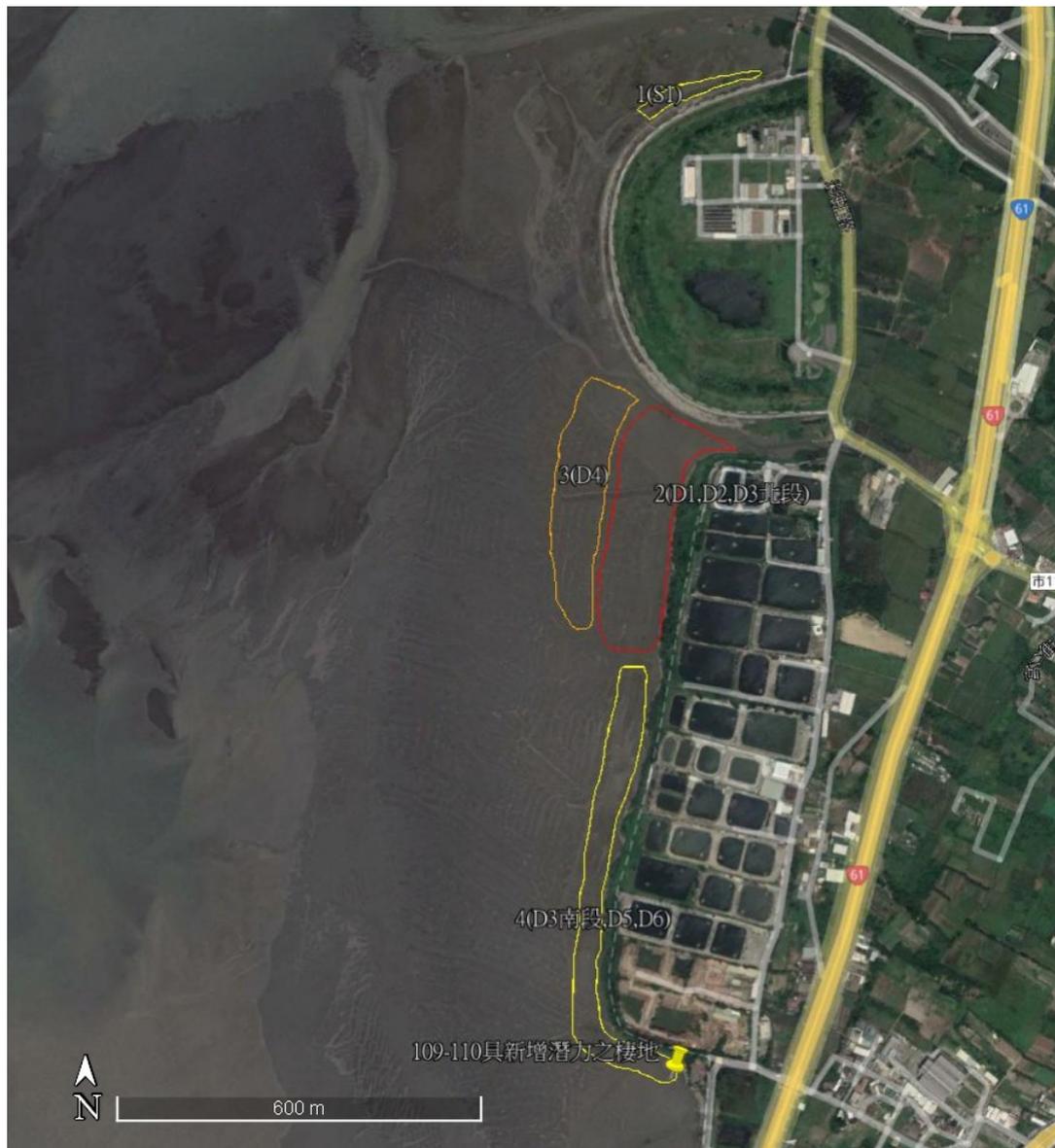


圖 41、109 - 110 香山濕地北側（三姓溪與大庄溪口）台灣早招潮觀察樣區編號與範圍。以紅色框線標示主密度區，橘色框線標示次要密度區，黃色框線標示今年新增的觀測區域；括號內為 108 年的樣區名稱參照。

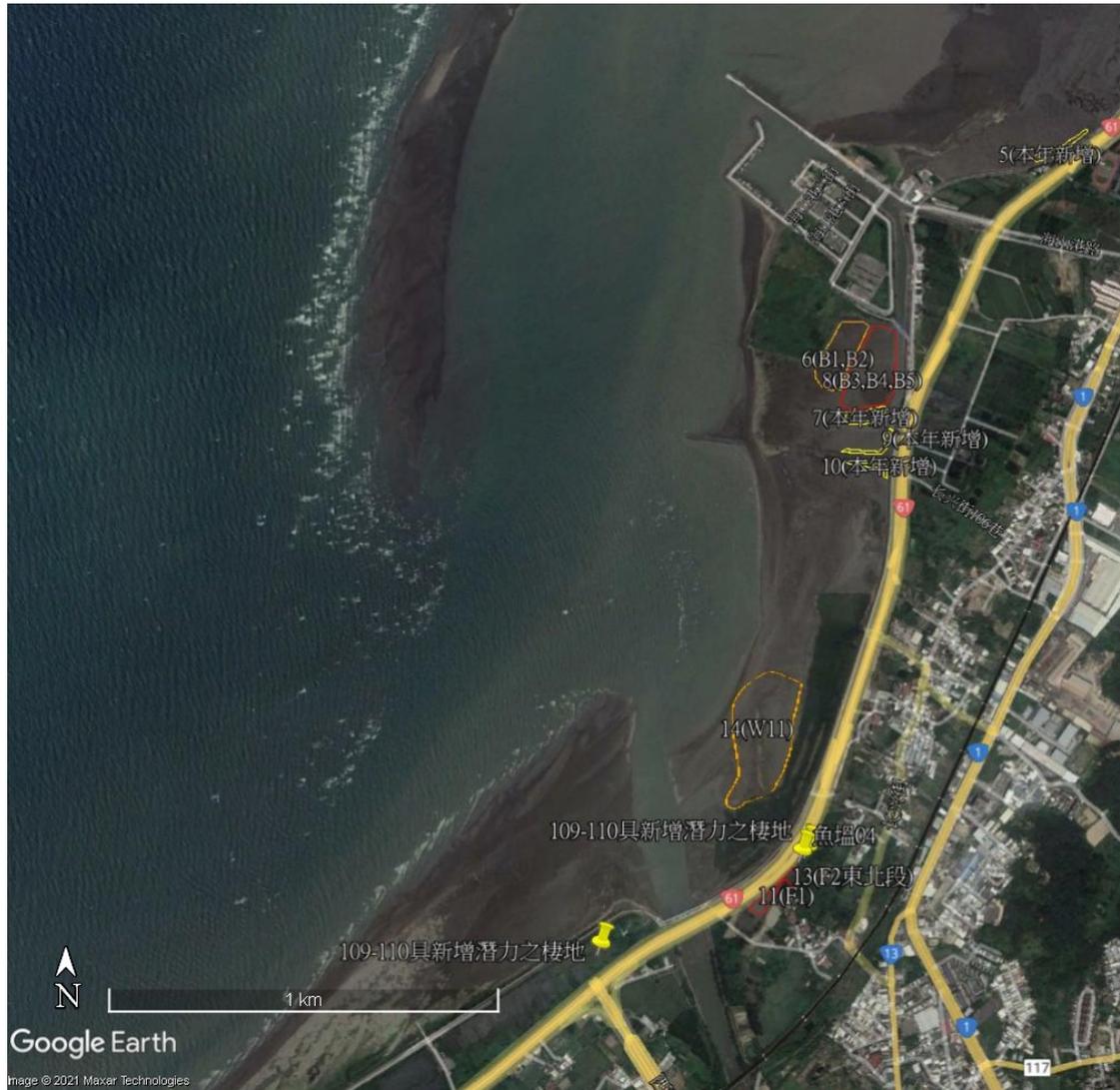


圖 42、109 - 110 年香山濕地南側（海山漁港至鹽港溪）台灣早招潮觀察樣區編號與範圍。以紅色框線標示主密度區，橘色框線標示次要密度區，黃色框線標示今年新增的觀測區域；括號內為 108 年的樣區名稱參照。

（二）族群分布模式

生態學領域理論探討族群的空間分布模式，一般可用 VMR (variance to mean ratio) 值來當作族群分佈模式指標 (index of dispersion)，若 VMR 在 0.975 以上時，生物分布呈叢集型 (clumped)；若 VMR 值低於 0.025，則呈規則型 (uniform)；若 VMR 值介於 0.025 與 0.975 間，則生物分布呈現隨機型 (random)。

因 VMR 會受到調查範圍尺度之影響，在調查數據呈現上，由歷年紀錄與現場觀察，依據台灣早招潮蟹的密度與棲地面積變化，區分有主/次要密度區（如水資源樣區與藍天橋樣區）與邊緣推移區（如藍天橋樣區），可以更合理呈現台灣招潮蟹在棲地擴張時的族群分布模式變化。

109 年大部分樣區內的台灣早招潮蟹呈群集型分布，而 110 年則大部分呈現逢機型分布，顯示其棲息地仍然持續擴張，高密度區個體向邊緣擴散而降低其叢集分佈的程度。110 年三姓溪口的族群 VMR 較 109 年上升，代表此區台灣早招潮蟹分布更為群聚；相同情況發生於明發定置漁場外與海山罟走道右側樣區，不過 VMR 均在 0.5 與 0.8 之間，無法明顯判斷族群分布是否明確趨向群集。110 年可以觀察到台灣招潮的棲地往外擴張，使得 VMR 較 109 年為低，族群擴張邊緣區因為密度低，無法透過密度估算生物量。

（三）概要

總體而言，109 年度香山濕地台灣早招潮蟹族群量，相較 106 與 108 年的調查，族群量大幅成長，110 年度台灣早招潮蟹族群量更為上升。香山濕地台灣早招潮蟹族群的估計量隨時間快速增長，自 95 年至 110 年的台灣早招潮蟹族群估計數量成長速度符合指數成長曲線，如圖 43。由近十年來的監測資料，可知移除紅樹林對於台灣早招潮蟹的族群恢復有很大助益；紅樹林移除後，仍應注意各棲地的環境經營，並持續監測台灣早招潮的族群量，以符合濱海野生動物保護區經營管理目標。

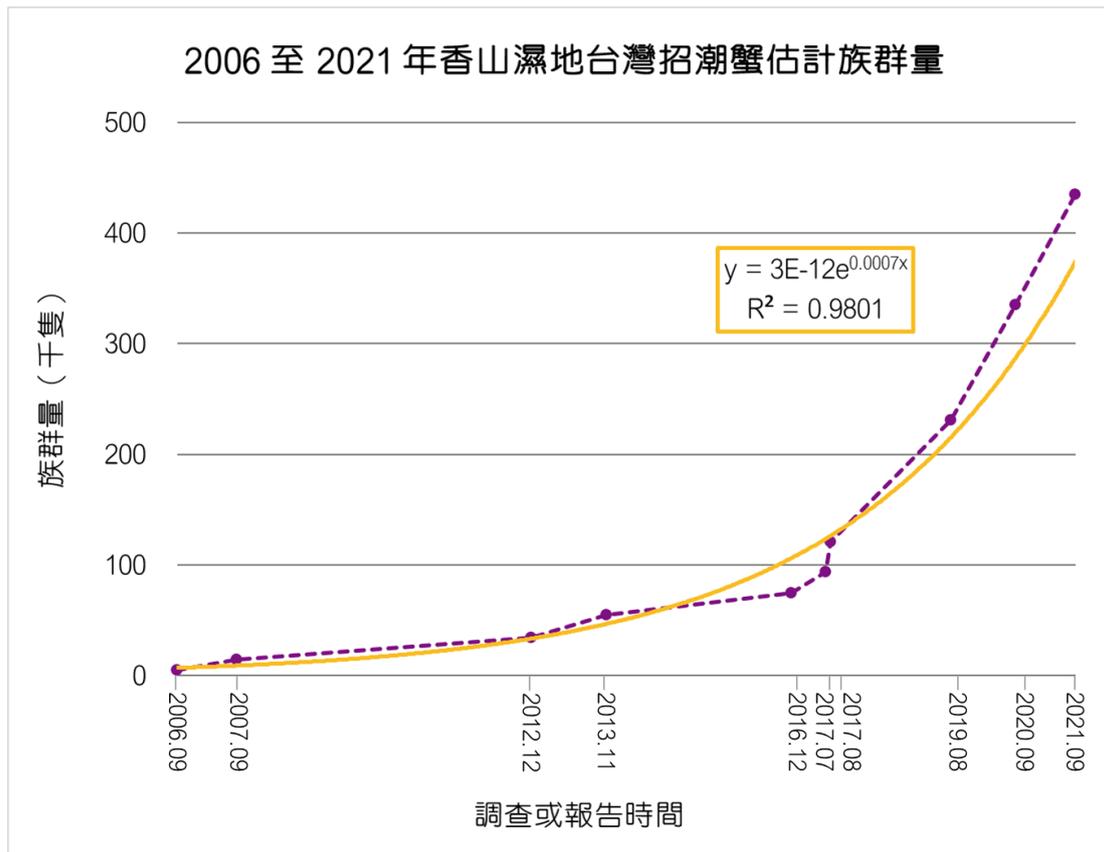


圖 43、95 至 110 年度香山濕地台灣早招潮蟹估計族群量成長曲線。109 年以前統計數據資料來自朱達仁（2008）、楊樹森（2012）、楊樹森與張筱筠（2013）、楊樹森（2017）、楊樹森（2019）。

表 8、109 年度香山濕地台灣早招潮蟹族群調查結果。

地區	編號（去年編號）	樣區名稱	面積 (m ²)	族群量估計	密度中位數	VMR	上年度密度中位數	備註
三姓溪口	1 (S1)	三姓溪口	4,086	NA	NA	1.400	1.35	上年度估計族群量為 6,542
	2 (D1-D3 北段)	水資源南 (主密度區)	21,000	126,000	6	0.595	2.06	
大庄溪口	3 (D4)	水資源南 (次密度區)	10,192	20,384	2	1.125	2.9	
	4 (D3 南、D5-D6)	惠民宮前	2,796	NA	NA	1.583	2.52	
	總計			33,988	146,384	4.31		2.52
海山漁港	5 (無)	明發定置漁場	1,818	3,636	2	0.518	NA	本年度新增觀察點
	6 (B1-B2)	藍天橋 (海馬齒區)	3,942	11,826	5	1.000	3.04	海馬齒擴張壓縮台灣招潮活動區
	7 (無)	藍天橋 (邊緣推移區)	3,793	7,586	3	1.571	NA	族群擴張
	8 (B3-B5)	藍天橋 (主密度區)	25,462	127,310	2	0.748	3.28	族群擴張
	總計			35,015	150,358	4.29		3.23

表 8 (續)、109 年度香山濕地台灣早招潮蟹族群調查結果。

地區	編號（去年編號）	樣區名稱	面積 (m ²)	族群量估計	密度中位數	VMR	上年度密度中位數	備註
海山罟	9（無）	海山罟 走道右側	1,560	1,560	1	0.559	NA	
	10（無）	海山罟 走道左側	1,421	2,842	2	1.275	NA	
	總計		2,981	4,402	1.48		NA	此區去年無紀錄
鹽港溪 北側	11（F1）	白雲橋北灘	1,200	8,400	7	1.000	NA	
	12（F2 西南段）	白雲橋北灘	772	3,860	5	1.152	NA	
	13（F2 東北段）	白雲橋北灘	1,061	2,122	2	1.421	NA	
	14（W1）	白雲橋北（車 道邊緣區）	9,870	19,740	2	2.000	3.83	族群棲地擴張
	總計		3,033	34,122	2.64		2.63	上年度估計族群量為 34,388
所有地區總計			79,103	335,266				上年度估計族群總量為 198,905

表 9、110 年度香山濕地台灣早招潮蟹族群調查結果。

地區	編號（去年編號）	樣區名稱	族群量估計	上季族群量	密度中位數	上季密度中位數	VMR	備註
三姓溪口	1 (S1)	三姓溪口	8,624	NA	2	NA	2.20	109 年僅零星個體，無法推估數量
	2 (D1-D3 北段)	水資源南 (主密度區)	180,898	126,000	4	6	0.47	
大庄溪口	3 (D4)	水資源南 (次密度區)	36,534	20,384	2	2	0.59	密度下降
	4 (D3 南、D5-D6)	惠民宮前	NA	NA	0	NA	0.80	110 年度僅零星個體，無法推估數量
	總計		21,762	146,384	3.05	4.31		
海山漁港	5 (無)	明發 定置漁場	6,104	3,636	2	2	0.72	數量上升
	6 (B1-B2)	藍天橋 (海馬齒區)	45,573	11,826	3	2	0.56	分布區域擴張
	7 (無)	藍天橋 (邊緣推移區)	5,420	7,586	2	3	0.71	密度稍減
	8 (B3-B5)	藍天橋 (主密度區)	136,422	127,310	6	5	0.58	分布區域縮減
	總計		193,519	150,358	4.61	4.29		

表 9（續）、110 年度香山濕地台灣早招潮蟹族群調查結果。

地區	編號（去年編號）	樣區名稱	族群量估計	上季族群量	密度中位數	上季密度中位數	VMR	備註
海山罟	9（無）	海山罟 走道右側	2,504	1,560	2	1	0.80	
	10（無）	海山罟 走道左側	1,708	2,842	2	2	0.95	
		紅樹林邊緣	1,148	NA	2	NA	1.01	
	總計		5,360	4,402	2	1.48	-	
鹽港溪 北側	11（F1）	白雲橋北灘	3,322	8,400	2	7	0.76	
	12（F2 西南段）	白雲橋北灘	4,148	3,860	4	5	0.48	
	13（F2 東北段）	白雲橋北灘		2,122		2		
	14（W1）	白雲橋北（車 道邊緣區）	2,424	19,740	2	2	0.66	
	總計		9,894	34,122	2.53	2.64	-	上年度估計族群 量為 34,388
所有地區總計			434,859	335,266				108 年估計族群總 量為 198,905

三、軟體動物種類普查結果

109 年 12 月與 110 年 6 月分別完成 2 季香山濕地軟體動物種類普查，根據以往調查資料及 2 次實地普查，目前在香山濕地潮間帶出現的軟體動物整理如表 10，共計有 13 目 23 科 57 種。新紀錄物種為 Glauconomitidae 綠螂科的綠螂（*Glauconome chinensis*，圖 44），香山濕地的雙殼貝具有較高食用價值的種類多為大型個體的物種，目前除了環文蛤、公代、文蛤、花蛤之外，某些較熟知物種分布的沿海居民，會特定採集台灣環簾蛤（*Marcia hiantina*）及俗稱海瓜子的菲律賓簾蛤（*Ruditapes philippinarum*），部分民眾將台灣環簾蛤混稱為血蛤（圖 45）。



圖 44、本計畫於香山濕地潮間帶新紀錄到的綠螂(*Glauconome chinensis*)。



圖 45、熟知物種分布的沿海居民會特定採補的雙殼貝。圖左：台灣環簾蛤（*Marcia hiantina*）。圖右：俗稱海瓜子的菲律賓簾蛤（*Ruditapes philippinarum*）。

另外，1 月與 6 月使用網目 0.5mm 篩網於香山濕地採集公代，一併收集混獲之軟體動物，清洗殼表後，使用解剖顯微鏡放大，並以顯微影像系統拍攝照片（如），除可上傳香山濕地探索 app 外，也可提供建製香山濕地底棲小型軟體動物之圖片資料庫。

調查到的軟體動物資料（包含但不限於：相片、分布區域、底質粒徑）將上傳香山濕地探索 app，協助使用者更了解香山濕地的生物組成，以達到環境教育之功效。



圖 46、使用解剖顯微鏡搭配顯微影像擷取系統所拍攝的底棲微型軟體動物樣本照片，比例尺為 1mm。

表 10、香山濕地 2 季香山濕地軟體動物普查結果。

分類項	109. 12	110. 06	棲地類型與習性
Bivalvia 雙殼綱			
Arcoida 魁蛤目			
Arcidae 魁蛤科			
<i>Barbatia foliata</i> 鬚魁蛤	✓	✓	混合牡蠣殼、礫石的沙質灘地，稀少不常見。
<i>Barbatia bicolorata</i> 紅鬚魁蛤	✓		泥質灘地，稀少。
<i>Estellarca olivacea</i> 橄欖蚶	✓		棲息於沙質灘地，可於風情海岸偶然挖得，稀少。
<i>Tegillarca granosa</i> 血蛤	✓		低潮線附近沙泥質灘地，稀少不常見。
Holadomyoida 筍螂目			
Laternulidae 薄殼蛤科			
<i>Laternula anatina</i> 截尾薄殼蛤		✓	潮間帶沙泥底質，數量不多。
<i>Laternula marilina</i> 船形薄殼蛤		✓	被稱為公代的物種。潮間帶沙泥底質密集分佈。
Mytiloida 貽貝目			
Mytilidae 殼菜蛤科			
<i>Brachidontes striatulus</i> 條紋短齒蛤	✓	✓	低潮線牡蠣棚架支柱、木樁等硬結構物以足絲附著

分類項	109. 12	110. 06	棲地類型與習性
<i>Modiolus metcalfei</i> 土嘴瓜殼菜蛤	✓	✓	低潮線牡蠣棚架支柱、木樁等硬結構物以足絲附著
<i>Perna viridis</i> 綠殼菜蛤	✓	✓	低潮線牡蠣棚架支柱、木樁等硬結構物以足絲附著
Ostreoida 牡蠣目			
Ostreidae 牡蠣科			
<i>Crassostrea angulate</i> 葡萄牙牡蠣	✓	✓	養植物種。
<i>Saccostrea mordax</i> 黑齒牡蠣	✓	✓	消波塊及堤岸高潮線附近附著。
Pterioida 鶯蛤目			
Isognomonidae 障泥蛤科			
<i>Isognomon ephippium</i> 馬鞍障泥蛤	✓		以足絲附著在牡蠣群體之間，不常見。
Veneroida 簾蛤目			
Corbiculidae 蜆科			
<i>Geloina erosa</i> 紅樹蜆		✓	接近河川出口的泥質灘地。
Glaucnometidae 綠螂科			
<i>Glaucnomete chinensis</i> 綠螂	✓	✓	沙質灘地上區，鹽地鼠尾粟生育地較常見
Mactridae 馬珂蛤科			

分類項	109. 12	110. 06	棲地類型與習性
<i>Macra chinensis</i> 中華馬珂蛤		✓	沙泥質灘地，不常見。
<i>Macra veneriformis</i> 方型馬珂蛤	✓	✓	沙泥質灘地，不常見。每年 2-4 月有大量幼體出現，6 月可以在海山地區發現小型幼體。
Psammobiidae 紫雲蛤科			
<i>Sanguinolaria diphos</i> 西施舌	✓	✓	沙質灘地。
Tellinidae 櫻蛤科			
<i>Moerella rutila</i> 花瓣櫻蛤	✓	✓	沙泥質灘地，棲居表層。
Solenidae 竹蛭科			
<i>Solen strictus</i> 竹蛭	✓	✓	沙泥質灘地。可在賞蟹步道附近、風情海岸地區挖得。
Veneridae 簾蛤科			
<i>Cyclina sinensis</i> 環文蛤	✓	✓	沙泥質灘地。
<i>Marcia hiantina</i> 台灣環簾蛤	✓	✓	混合大量牡蠣殼、礫石的沙泥質灘地
<i>Meretrix lusoria</i> 文蛤	✓	✓	沙質灘地。
<i>Meretrix petechialas</i> 中華文蛤		✓	沙質灘地。
<i>Gomphina aequilatera</i> 花蛤	✓	✓	低潮線沙質灘地。

分類項	109. 12	110. 06	棲地類型與習性
<i>Ruditapes philippinarum</i> 菲律賓簾蛤	✓	✓	混合大量牡蠣殼、礫石的沙泥質灘地
Gastropoda 腹足綱			
Aplysiacea 海鹿目			
Notarchidae 棘海鹿科			
<i>Bursatella leachi leachi</i> 黃班燕尾海麒麟			金城湖。
Archaeogastropoda 原始腹足目			
Neritidae 蜚螺科			
<i>Clithon retropictus</i> 石蜚螺	✓	✓	甘藻床。
<i>Nerita albicilla</i> 漁舟蜚螺	✓	✓	堤防及消波塊，混棲在牡蠣群體之間。
<i>Nerita costata</i> 黑肋蜚螺	✓	✓	堤防及消波塊，混棲在牡蠣群體之間。
Trochidae 鐘螺科			
<i>Monodonta labio labio</i> 草蓆鐘螺	✓	✓	堤防及消波塊，混棲在牡蠣群體之間。
<i>Umbonium vestiarius</i> 彩虹昌螺	✓	✓	
Turbinidae 蝾螺科			
<i>Lunella granulata</i> 瘤珠螺	✓	✓	堤防及消波塊，牡蠣殼鋪設之步道。

分類項	109. 12	110. 06	棲地類型與習性
Archaeopulmonata 原始有肺目			
Ellobiidae 耳螺科			
<i>Cassidula nucleus</i> 鼬耳螺	✓		泥質灘地表面。
Heteropoda 異足目			
Naticidae 玉螺科			
<i>Polinices fortune</i> 棕色玉螺	✓	✓	低潮線附近沙泥灘。
<i>Polinices didyma didyma</i> 大玉螺	✓	✓	低潮線附近沙泥灘。
<i>Polinices didyma amplus</i> 高玉螺	✓		低潮線附近沙泥灘。
<i>Natica gualteriana</i> 小灰玉螺		✓	低潮線附近沙泥灘。
<i>Natica janthostomoides</i> 古色玉螺		✓	低潮線附近沙泥灘。
<i>Natica maurus</i> 栗色玉螺		✓	低潮線附近沙泥灘。
<i>Natica tigrine</i> 豹斑玉螺	✓		低潮線附近沙泥灘。
<i>Natica vitellus</i> 腰帶玉螺		✓	低潮線附近沙泥灘。
Mesogastropoda 中腹足目			
Assimineidae 山椒蝸牛科			

分類項	109. 12	110. 06	棲地類型與習性
<i>Assiminea hayashii</i> 林氏山椒螺	✓	✓	泥質灘地表面。為篩網所混獲。
<i>Assiminea latericea</i> 圓山椒螺	✓	✓	泥質灘地表面。為篩網所混獲。
Littorinidae 玉黍螺科			
<i>Littoraria coccinea</i> 草莓玉黍螺	✓	✓	出海口附近。
<i>Littoraria scabra scabra</i> 粗紋玉黍螺	✓	✓	紅樹林。
<i>Littoraria pallescens</i> 多彩玉黍螺	✓	✓	紅樹林。
<i>Nodilittorina pyramidalis</i> 顆粒玉黍螺	✓	✓	堤防及消波塊高潮線附近的飛沫帶，極耐乾旱。
Thiaridae 錐蝨科			
<i>Thiara riqueti</i> 流紋蝨	✓	✓	近河口區高灘地。
<i>Cerithidea cingulata cingulate</i> 栓海蝨	✓	✓	高潮線附近沙泥質潮濕灘地表面。
<i>Cerithidea rhizophorarum</i> 網目海蝨	✓	✓	高潮線附近沙泥質潮濕灘地表面。
<i>Batillaria zonalis</i> 燒酒海蝨	✓	✓	高潮線附近草澤。出海口附近亦可發現。
Neogastropoda 新腹足目			
Muricidae 骨螺科			
<i>Thais clavigera</i> 蚵岩螺	✓	✓	混棲在牡蠣群體之間捕食牡蠣。

分類項	109. 12	110. 06	棲地類型與習性
Nassariidae 織紋螺科			
<i>Niotha livescens</i> 正織紋螺	✓	✓	沙泥質潮濕灘地表面。
<i>Nassarius papillosus</i> 疣織紋螺	✓	✓	沙泥質潮濕灘地表面。
<i>Plicarcularia pullus</i> 蟹螯織紋螺	✓	✓	沙泥質潮濕灘地表面。
Systemmatophora 縮眼柄目			
Onchidiidae 石礮科			
<i>Onchidium verruculatum</i> 石礮	✓	✓	紅樹林及高潮線附近的泥質灘地表面。

四、方格星蟲生態監測

方格星蟲自 109 年 7 月開始監測，期初已經可以成功鑑識裸體方格星蟲的洞口表面穴型態。潛居泥沙底下的方格星蟲在退潮後的潮濕灘地上會留下特殊的取食痕跡，個體會將外翻的吻器（前端有觸手環，如圖 18(B)）在洞口四周挖掘表面泥沙吞食，因此洞口有放射狀的輻形痕跡，外圍有淺的橢圓至圓形凹陷（圖 47）。在鑑識過程中，也發現一些容易混淆的洞穴型態，一併羅列如圖 48。

洞口形態確定之後，方格星蟲密度調查的方式不再進行挖掘，改以拋擲直徑一公尺的玻璃纖維環，計算定面積內裸體方格星蟲的洞穴數量以取代直接挖掘法，避免過度挖掘，傷害星蟲棲地。



圖 47、裸體方格星蟲的洞穴（圖左），掘開可見星蟲（圖右）。



圖 48、容易被誤認為裸體方格星蟲的洞口形態。這些洞穴中的底棲生物均為多毛類。

（一）各樣區密度

109 年 7 月至 110 年 8 月裸體方格星蟲生態監測顯示，風情海岸地區的方格星蟲密度，在 5-7 月與 9 月較高，以二至三月較低，詳細統計如表 11；海山地區的採集者密集活動區測站，方格星蟲密度較高，9 月到達高峰，而翌年 1 至 2 月密度稍增，挖掘時可以在淺層發現體型較小的個體。

（一）各月體長頻度分布與幼體補充時間推估

將計畫期間採得的方格星蟲體長資料以 5.6mm 為組距，最接近於常態分佈，並以此繪製每月體長頻度分布（圖 49(A)），經由 ELEFAN 得出香山濕地的方格星蟲個體成長 K 值為 1.3，極限體長 L_{∞} 為 152.63mm、

σ 為 4.48。將以上參數帶入 VGBF，可以得到方格星蟲的生長曲線，如圖 49 (B)。

使用 ELEFAN 與 Powell-Wetherall 法 (Powell, 1979; Wetherall et al., 1987) 推估方格星蟲的極限體長，ELEFAN 推估值為 152.63mm，Powell-Wetherall 法推估值為 159.9 ± 26.67 mm，兩種方法推估之極限體長相當接近，極限體長估計值與目前採集者針對的目標相近，可以作為未來經營管理之參考。

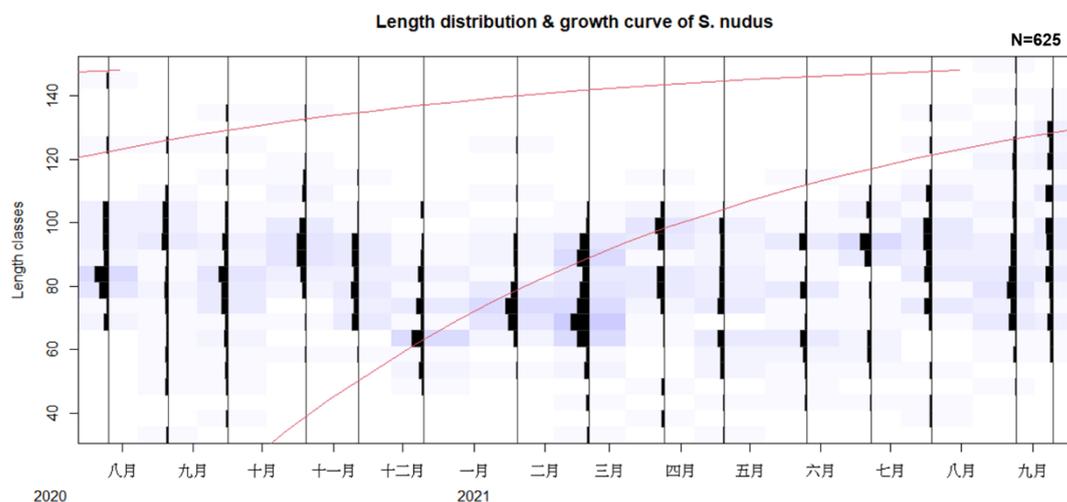


圖 49、香山濕地方格星蟲逐月體長頻度分析結果。圖中紅線為模擬出的生長曲線。

表 11、香山濕地 109 年 7 月至 110 年 9 月各樣區裸體方格星蟲密度統計。

樣區／樣點	109.07	109.08	109.09	109.10	109.11	109.12	110.01	110.02	110.03	110.04	110.05	110.06	110.07	110.08	110.09	
風 情 海 岸	FC1	1.02	0.00	0.25	0.25	0.00	0.00	0.15	0.00	0.15	0.00	0.13	0.00	0.34	0.00	0.21
	FC2	0.00	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00	0.25	0.15	0.25	0.15	0.00	0.13	0.00	0.13	0.11
	FC3	0.13	0.13	0.64	0.51	0.25	0.75	0.50	0.13	0.00	0.34	0.43	1.05	0.51	0.00	1.34
	FC4	0.25	0.51	1.15	1.02	0.76	1.25	1.00	0.64	0.75	0.83	2.18	1.23	1.26	0.83	0.45
	平均	0.35	0.22	0.57	0.51	0.25	0.5	0.48	0.23	0.29	0.33	0.69	0.60	0.53	0.24	0.53
	標準差	0.40	0.19	0.37	0.31	0.31	0.53	0.33	0.24	0.28	0.31	0.88	0.54	0.46	0.34	0.56
	變異係數	113%	84%	64%	61%	122%	106%	69%	106%	98%	95%	128%	90%	87%	144%	106%
採 集 者 活 動 區	SN1	2.16	0.00	9.17	8.15	6.11	8.29	7.15	7.51	8.31	4.57	9.87	8.51	6.77	5.61	7.21
	SN2	3.31	9.93	9.80	9.17	7.64	6.88	10.31	3.31	2.18	8.15	6.72	5.74	3.43	8.17	14.89
	平均	2.74	4.97	9.49	8.66	6.88	7.59	8.91	5.41	5.25	6.36	8.30	7.13	5.1	6.89	11.05
	標準差	0.57	4.966	0.318	0.509	0.764	0.71	1.41	2.1	3.07	1.79	1.58	1.39	1.67	1.28	5.43
	變異係數	21%	100%	3%	6%	11%	9%	16%	39%	58%	28%	19%	19%	33%	19%	49%

將 ELEFAN 計算所得的相關參數，用以推估香山濕地方格星蟲族群幼體的補充時間。香山濕地的方格星蟲幼體入添主要發生在 9 月至翌年 1 月，佔所有入添星蟲的 51%，尤以 10 月至 12 月為入添高峰。為避免過度採集對星蟲族群造成干擾，本計畫每月採集 30 至 50 隻星蟲進行量測，未來如能長期監測，可進一步提升香山濕地裸體方格星蟲生物學研究與族群動態統計的穩健性（圖 50）。

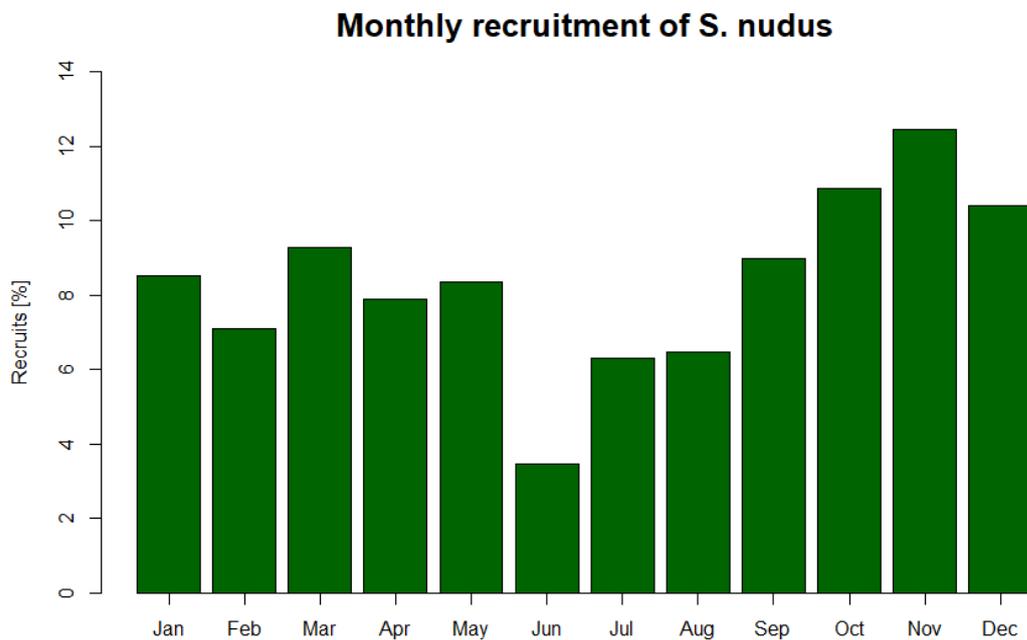


圖 50、香山濕地方格星蟲幼體每月入添比例估算結果。

（二）體長 - 體重關係

將計劃期間採得的星蟲體長與體重進行迴歸分析，得到香山地區裸體方格星蟲的體長 - 體重關係如圖 51。採得的星蟲胃內含物多寡不一，影響體重的精確度，使得迴歸相關係數 R^2 值僅 0.57，體長與體重中度正相關。體長冪次係數為 2.4，代表香山地區的裸體方格星蟲為等速成長。未來若要進行體重與體長的估算，必須設法去除胃內含物的干擾。

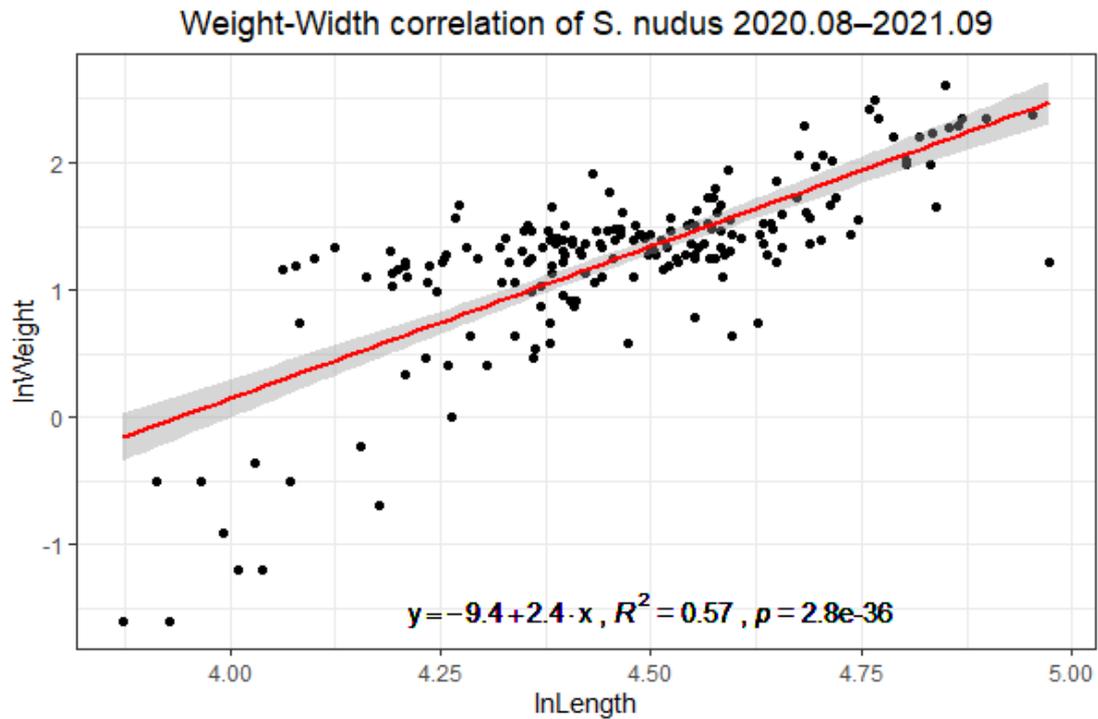


圖 51、香山濕地裸體方格星蟲體長 - 體重迴歸關係。

（三）控制樣區內外個體棲息密度差異

由於星蟲活動能力強，難以透過直接開挖定面積區域就取得底質內所有星蟲，僅以星蟲洞穴開口判斷控制樣區內外的星蟲數量，分別計算密度後進行統計如表 12。

兩季的控制區內外星蟲密度平均值均不顯著，因星蟲移行能力強，不若底棲貝類幾乎固著不動。未來若要進行類似實驗規劃，應考慮劃設大範圍控制樣區（面積 100 平方公尺以上）進行觀察。

表 12、香山濕地裸體方格星蟲控制區內外密度統計表。

		109.12 第一季		110.06 第二季		
樣區／樣點	實驗區	控制區 1	實驗區	控制區 1	控制區 2	
風 情 海 岸	FC1	0.00	0.17	0.00	0.33	0.17
	FC2	0.00	0.33	0.13	0.50	0.33
	FC3	0.75	0.17	1.05	0.67	0.17
	FC4	1.25	1.33	1.23	0.50	0.33
	平均	0.5	0.48	0.60	0.50	0.17
	標準差	0.53	96.72	0.54	0.12	0.12
	變異係數	106%	97%	90%	24%	70%
採 集 者 活 動 區	SN1	8.29	7.00	8.51	8.67	7.83
	SN2	6.88	6.33	5.74	4.17	9.17
	平均	7.59	6.67	7.13	6.42	8.5
	標準差	0.71	0.34	1.39	2.25	0.67
	變異係數	9%	5%	19%	35%	8%

（四）討論

1. 香山濕地方格星蟲生物學研究之調查方法

方格星蟲對外在環境的震動具有極強的感知力與向下移行能力，棲息洞穴表面若有較大震動，洞內的星蟲就會快速向下、向周圍鑽，就算是極富經驗的採集者，亦無法判斷其逃生方向，採集時若無法在第一下掘土就收穫星蟲，就必須轉往其他巢位挖掘。

星蟲的感知力與移行能力，使其可以輕易進出控制樣區，故無法針對控制樣區底質內的星蟲進行全面挖掘而取得之，僅能依靠土表的巢穴痕跡計算密度。未來可以考慮研究星蟲巢穴開口大小與其體型之關係，或許可以憑藉洞口大小推估巢內星蟲體長，就無須為了取得星蟲個體，深掘干擾濕地底質。

2. 香山濕地與其他地區星蟲生物學研究比較

方格星蟲在培養環境下可以多次釋卵，次數達 5-6 次，卵經過 35-42 小時孵化，幼生靠纖毛於水中運動，經過 4-5 日後可以成長至約 0.5mm，開始準備沉降於底質；孵化後 9-13 天沉降、鑽入底質，3-4 天後變態完成，再經 30 天可成長至 2mm(林向陽、李雷斌、寧岳與曾志南，2012)。依據生殖腺重量與生殖細胞狀態推估，廣西的方格星蟲於每年 4-9 月繁殖，盛期為 5-8 月(蘭國寶、閻冰，2012)，福建的方格星蟲產卵期為 5-9 月(郭學武、李復雪，1963)；依據體長頻度資料推估，香山濕地的方格星蟲自 9 月開始加入族群，11 月左右為幼體入添高峰，由星蟲的幼生變態與成長速度，估計生殖季在 6-10 月、高峰在 7-9 月之間，與廣西、福建相同。

在人工培育下，甫孵化的星蟲幼體最適發育溫度為 27.5-32.0°C 之間，幼體的變態臨界溫度為 27.5-28.0°C，超過 30°C 可使變態成功率大幅提升(蘭國寶、廖思明、閻冰，2007)。根據中央氣象局新竹浮標每月觀測資料顯示，香山近岸海水表面均溫每年 7、8 月達到最高，有 29.7°C，相當適合星蟲幼體變態與發育。養殖的方格星蟲自幼苗到可上市體型(10cm)需要 6 至 8 個月的成長期，香山濕地的方格星蟲成長速度與之相同。

3. 針對方格星蟲資源之管理策略

現行採集方格星蟲的方式，需要深掘濕地達 30 公分以上，嚴重干擾溼地底質與其他底棲生物；頻繁、大量的挖掘行為，對濕地的方格星蟲族群也是極大壓力。

依據幼體補充時間推估結果，每年 9 月至翌年初有大量新加入族群的星蟲幼體沉降於香山濕地，自 2 月開始可以發現星蟲的體長逐月增加。為保護濕地星蟲與棲息範圍內的底棲生物（如沙蠶、文蛤、環文蛤），建議配合星蟲的幼體入添與成長時間，考慮於每年 11 月至隔年 4 月封閉香山濕地星蟲密集區域，使星蟲幼體可以順利沉降於香山濕地，加入族群開始成長。

每年 11 月至隔年 3 月為香山濕地最少人活動的月份區間，封閉星蟲密集區域對當地的使用者影響最小，此時星蟲體長也小，經濟價值不如夏季高；依據星蟲的每月入添比例推估，11 - 3 月的封閉期間，可以保護到超過一半的入添幼體，對於星蟲的族群助益甚大。冬季的封閉措施，使人潮較少，加上此時加入族群的星蟲幼體，也可以吸引冬候鳥前來覓食，發揮溼地生態系的重要功能。

（五）概要

1. 透過體長頻度分析與受精卵發育時程推估，香山濕地的星蟲生殖季約落在 7 - 9 月，與前人研究觀察相符。9 月開始有幼體加入族群，11 月達到高峰，故應考慮於每年 11 月至翌年 4 月封閉星蟲密集區沙灘，將低挖掘干擾，避免幼小個體在挖掘後被捕食，以確保星蟲的族群數量。
2. 未來可以進一步調查星蟲洞穴開口大小與其內星蟲體長的關係，對於未來香山之地的星蟲族群動態推估有所助益，進一步可成為香山濕地星蟲資源經營管理的依據。

五、環文蛤生態監測

（一）各樣區棲息密度

109 年 7 月至 110 年 9 月環文蛤生態監測顯示，大部分地區的環文蛤密度，以二至三月較低，之後開始升高；以單一測站來看，海山地區的測站，環文蛤密度較高，另外，惠民宮 1 號測站（HM1）也有該區域最高的環文蛤密度（表 13）。

海山地區的底質，相較其他測站較為泥濘，可能是環文蛤密度較高的原因；惠民宮地區之底質較海山更為泥濘，但因為此區測站多位於紅樹林砍除區（HM2 - HM4），底質中尚有許多未分解的紅樹林殘根，還原層淺，相較於潮池邊的 HM1 樣區，環文蛤的族群密度，有明顯差異，這也是惠民宮樣區變異係數大的原因。惠民宮之外的其他監測地區，樣點底質相似，環文蛤密度變異較小。

季節間密度的消長，可能與幼貝補充與被掠食有關，也可能與幼貝的移棲有關。有研究指出，埋棲於泥沙中的環文蛤幼貝，會因為風浪的沖刷，而將泥沙連同幼貝一同沖入海中，而暫時懸浮於海水，故幼貝於此時容易遭捕食，亦可利用海水進行移棲（陳勝林、李金明、劉振魯，2006）。

表 13、香山濕地 109 年 7 月至 110 年 9 月各區環文蛤密度統計。

樣區／樣點	109.07	109.08	109.09	109.10	109.11	109.12	110.01	110.02	110.03	110.04	110.05	110.06	110.07	110.08	110.09	
賞蟹 步道	CW1	1.6	1	1	0	0	2.67	1.67	2	1.67	1.67	1.67	1	1.33	0.33	0.33
	CW2	0.67	0.33	0.67	0.33	1.33	1	0.33	1.67	1.33	1.33	1.33	1.33	1	1	0.67
	平均	1.14	0.67	0.84	0.17	0.67	1.84	1.00	1.84	1.5	1.5	1.5	1.17	1.7	0.67	0.50
	標準差	0.66	0.47	0.23	0.23	0.94	1.18	0.94	0.23	0.24	0.24	0.24	0.23	0.23	0.47	0.24
	變異係數	58%	71%	28%	141%	141%	64%	95%	13%	16%	16%	16%	20%	20%	71%	48%
風情 海岸	FC1	3.67	3.33	3	3	5	9.33	3.33	2.67	3	2.67	0.33	4.67	3	4	1.67
	FC2	4	3.33	4	5.67	2.33	5.33	4.33	3.33	3.67	3	1.67	3.33	7	1.67	9
	FC3	13.8	6.67	7.5	8.33	3	3.33	7	7.67	1.67	1.67	5	9.67	3.33	13.33	0.33
	FC4	4.33	1.33	2	4	3	17	2	2.67	2.33	2.33	8.33	2.33	6.33	1.33	0.33
	平均	6.45	3.67	4.13	5.25	3.33	8.75	4.17	4.09	2.67	2.42	3.83	5.00	4.92	5.08	2.83
	標準差	4.91	2.21	2.39	2.02	1.16	6.04	2.11	2.41	0.86	0.57	3.58	3.26	2.04	5.62	4.16
變異係數	76%	60%	58%	38%	35%	69%	51%	59%	32%	24%	94%	65%	42%	111%	147%	
惠民 宮	HM1	8	4	20	4	18	13	18	4	8	8	4	16	4	8	12
	HM2	2.67	2.33	2.33	2.67	2.67	4	2	1.67	1	1	1.67	2.67	2.67	2	3
	HM3	6.6	3.67	3	3.67	0.67	1	3.67	1	2.67	1.67	1.33	0.33	2.33	0.67	0.67
	HM4	0.33	0	2	0	0.33	3.33	0	1	0	0	0.33	2.33	1.33	0	1
	平均	4.40	2.50	6.83	2.59	5.42	2.915	2.59	1.17	1.59	0.84	0.91	1.67	1.83	1.17	4.17
	標準差	3.52	1.82	8.79	1.57	8.45	1.32	2.05	0.34	1.32	0.69	0.69	1.06	0.79	1.00	5.32
變異係數	80%	73%	129%	61%	155%	45%	79%	29%	83%	83%	75%	63%	43%	86%	128%	
海山	HS1	28	24	56	8	4	26	16	12	12	36	20	108	24	28	4
	HS2	4	44	40	12	8	21	12	8	12	8	20	16	8	12	16
	HS3	20	36	12	32	33	33	40	16	28	52	12	20	20	24	20
	HS4	40	68	12	24	16	2	16	20	24	48	64	12	32	60	16
	HS5	40	60	8	20	12	10	32	32	16	8	20	20	32	48	20
	HS6	22	43	9	20	10	12	4	7	7	5	5	10	28	6	4
	平均	25.67	45.83	22.83	19.33	13.83	15.83	20	15.83	16.5	26.17	23.5	31.00	24	29.67	13.33
	標準差	13.64	15.98	20.20	7.80	10.21	9.30	13.39	9.30	8.00	21.67	20.74	37.94	9.12	20.80	7.44
變異係數	53%	35%	88%	40%	74%	59%	67%	59%	48%	83%	88%	122%	38%	70%	56%	

（二）各月體長頻度分布與幼貝補充時間推估

將計畫期間共 15 個月的環文蛤體長資料以 2.08mm 為組距繪製每月體長頻度分布（圖 52），經由 ELEFAN 得出香山濕地的環文蛤個體成長參數 K 值為 0.35、 L_{∞} 為 53.29mm、 ϕ 為 3.00。因多篇參考資料提及環文蛤的生長速度距有季節性，因此使用帶有季節成長參數的模擬退火（simulated annealing）演算法得到環文蛤的生長曲線，如圖 52 (B)。

環文蛤的極限體長，由 ELEFAN 推估為 53.29mm，另外以 Powell-Wetherall 法推估，得到極限體長範圍落於 $52.31 \pm 5.3\text{mm}$ ，兩種方法推估出的極限體長高度一致。

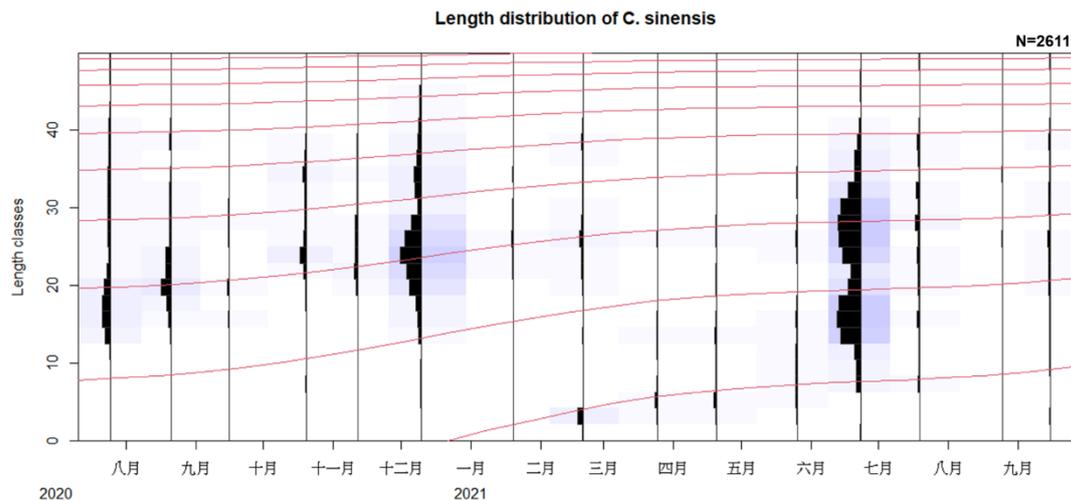


圖 52、香山濕地環文蛤體長頻度與生長曲線分析結果。紅色線為環文蛤的生長曲線。

以 ELEFAN 計算出的相關參數，推估香山濕地環文蛤族群幼貝補充時間。香山濕地的環文蛤族群全年均有入添，最高峰發生在 9 至 12 月，佔全年入添幼體量的 43%（圖 53）。

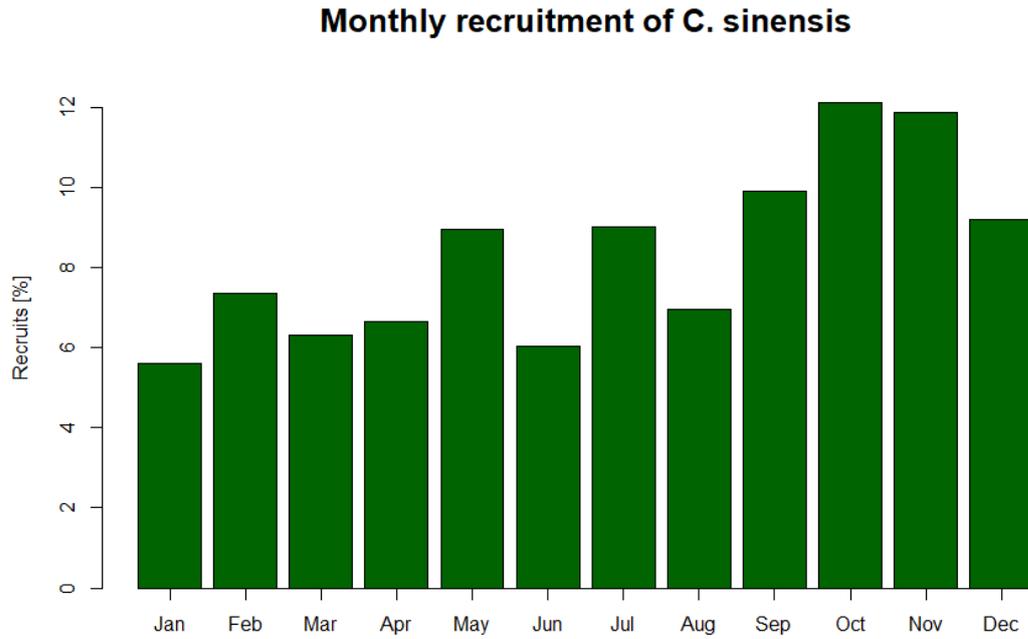


圖 53、香山濕地環文蛤幼貝每月入添比例模擬估算結果。

（三）體長 - 體重關係

逐月製作香山濕地環文蛤的體長 - 體重關係，各月的環文蛤體長與體重的對數呈現線性關係，符合 $\log W = \log a + b \log L$ 函數，且體長冪數 b 值（即迴歸線的斜率）介於 2.8 至 3.2 之間，以 z 檢定各月環文蛤體長與體重迴歸線未達顯著，故將資料合併呈現如圖 54。

香山濕地的環文蛤體長 - 體重迴歸式的體長冪次為 2.9，且各季冪次無顯著差異，顯示環文蛤為均速成長。未來可利用此迴歸式估計香山濕地不同捕獲尺寸的環文蛤體重，用以制定環文蛤採捕相關規定。

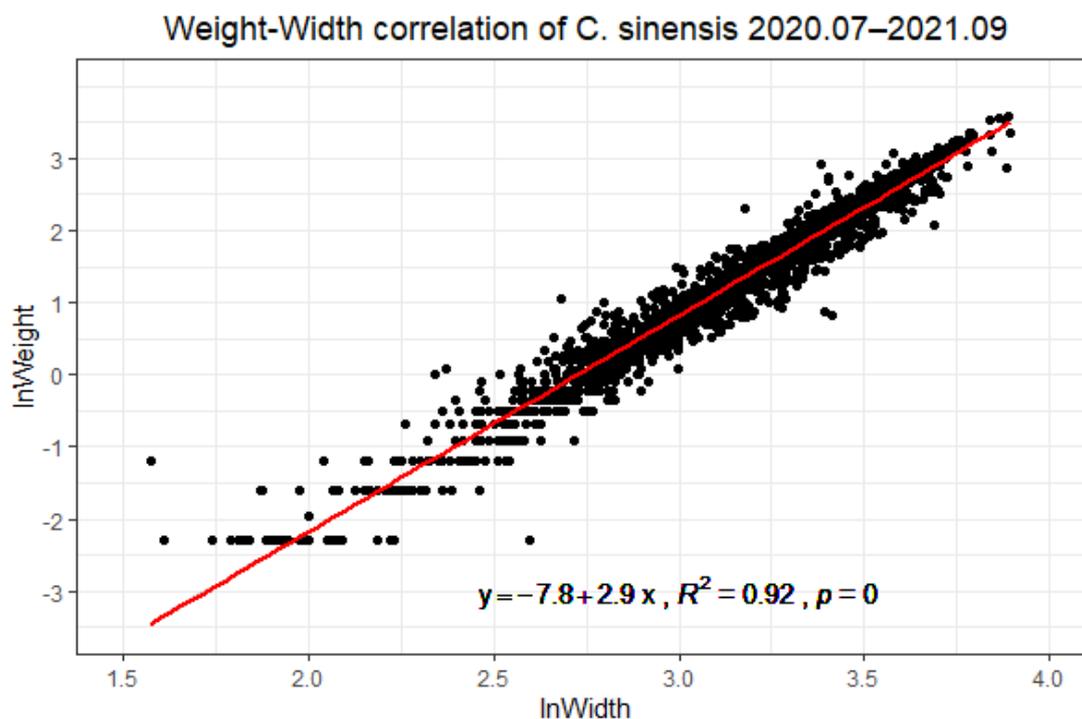


圖 54、香山濕地環文蛤體長 - 體重迴歸關係。

（四）控制樣區內外個體棲息密度之差異

1. 密度差異

計畫期初（109 年 12 月）與期中（110 年 6 月）開挖控制區，挖掘區內環文蛤並統計密度如表 14。各樣點控制區內外的環文蛤密度於第一季沒有太大差異；第二季賞蟹步道、風情海岸、惠民宮三地區控制樣點內外的環文蛤密度差異不大，但在海山區域，控制區內的環文蛤密度均較控制區外低了不少，海山地區樣點控制區內的環文蛤平均密度是區外的一半左右。

表 14、香山濕地環文蛤控制區內外密度統計表。

		109.12 第一季		110.06 第二季		
樣區／樣點	實驗區	控制區 1	實驗區	控制區 1	控制區 2	
賞蟹 步道	CW1	2.67	2	1	3.5	3.17
	CW2	1	1.33	1.33	2.67	1.5
	平均值	1.84	1.67	1.17	3.08	2.33
	標準差	1.18	0.33	0.23	0.42	0.83
風情 海岸	FC1	9.33	8	4.67	1.83	0
	FC2	5.33	8	3.33	7.67	5.00
	FC3	3.33	4.67	9.67	13.33	5.00
	FC4	17	8	2.33	5.33	13.00
	平均值	8.75	7.16	5.00	7.04	5.75
	標準差	6.04	1.44	3.26	4.18	4.66
惠民 宮	HM1	3.33	1.33	1.33	1.25	4.00
	HM2	4.00	2.00	2.67	1.67	3.33
	HM3	1.00	4.67	0.33	0.67	0.67
	HM4	3.33	2.67	2.33	1.5	0.67
	平均值	2.92	2.67	1.67	1.27	2.17
	標準差	1.32	1.24	1.06	0.37	1.52
海 山	HS1	26	16	108	48	36
	HS2	21	20	16	2	6
	HS3	33	40	20	7.16	10
	HS4	2	0.8	12	1.16	1.5
	HS5	10	8	20	3	2.17
	HS6	12	8	10	45	27
	平均值	15.83	15.33	31.00	17.72	13.78
	標準差	9.30	12.74	37.94	20.45	13.10

2. 體長差異

109 年 12 月開挖 2 個控制區其中之一（命名為「控制區 1」），統計各樣點控制樣區內外環文蛤的體長分布異同，發現控制區內外的環文蛤殼寬差異不顯著（圖 55(A)）；進一步統計殼寬全距，發現控制區內外的殼寬全距的平均值不同，控制區內的殼寬全距大於控制區外，經過 t 檢定 p 值為 0.041，以 16 組樣點的數量而言，具有顯著差異。

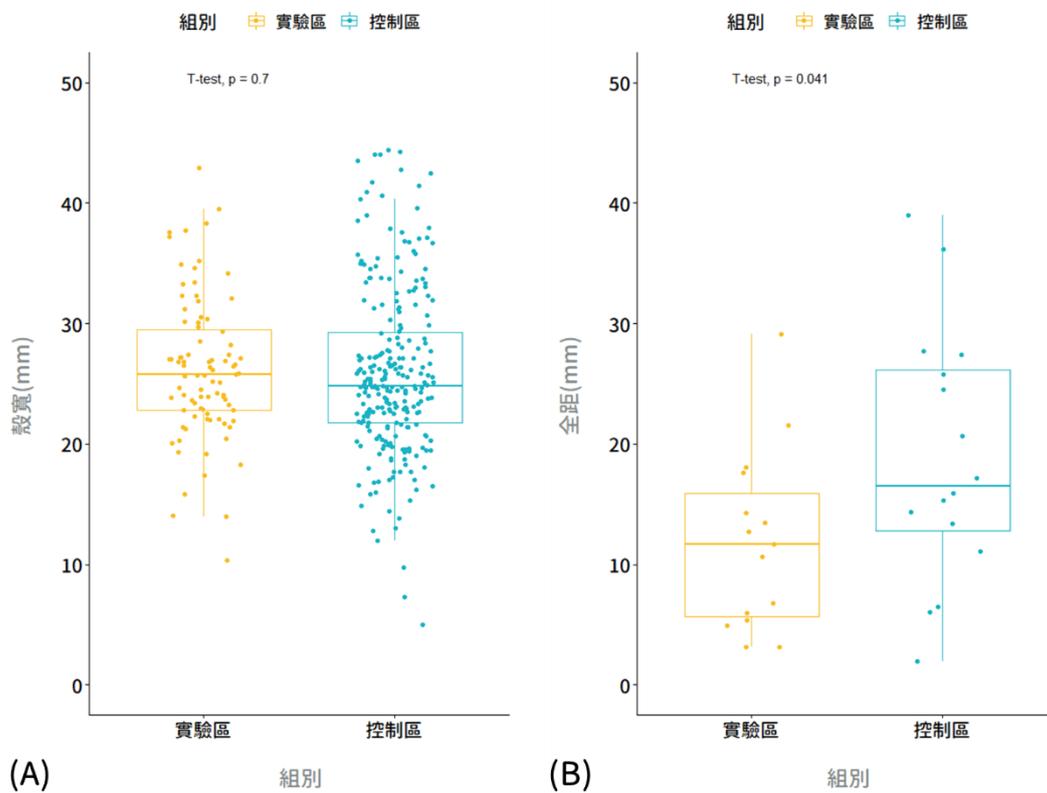


圖 55、計畫期初（109 年 12 月）統計控制區內外環文蛤族群結構結果。(A) 各樣點控制區內外環文蛤殼寬平均值比較結果。(B) 各樣點控制區內外環文蛤殼寬全距平均值比較結果。

110 年 6 月全面開挖各樣點 2 個控制區，統計各樣點控制樣區內外，與 2 控制區內環文蛤的體長分布異同。控制區內外的環文蛤殼寬平均值差異未達顯著（圖 56(A)），但實驗區與控制樣區 1、2 的殼寬全距則差異

顯著，且實驗區與控制區 1 各樣點環文蛤殼寬平均值差異極為顯著 ($p = 0.0001$ ，如圖 56 (B))。

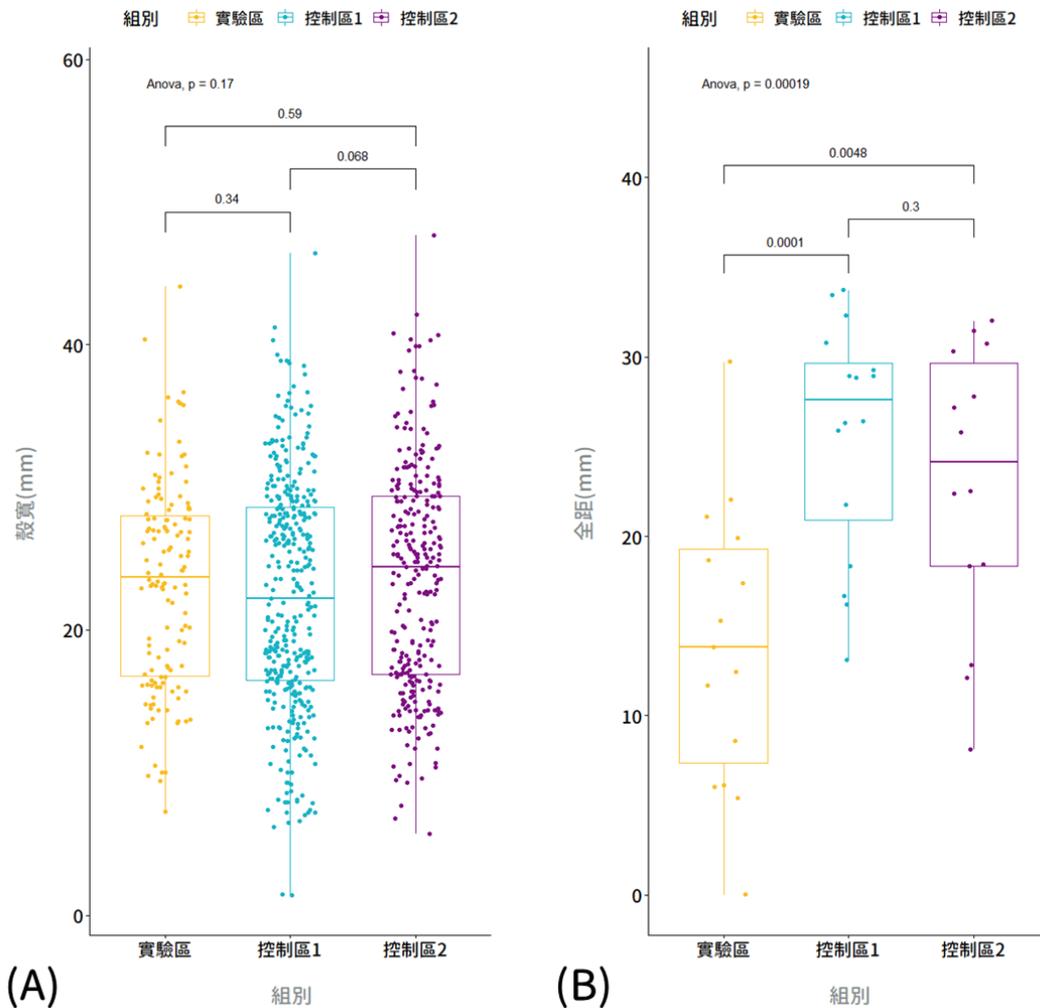


圖 56、計畫期中（110 年 6 月）統計控制區內外環文蛤族群結構結果。(A) 各樣點控制區內外環文蛤殼寬平均值比較結果。(B) 各樣點控制區內外環文蛤殼寬全距平均值比較結果。

（五）討論

1. 香山濕地環文蛤之生物學

香山濕地全年均可發現小於 1 cm，的環文蛤，但自 2 月底開始，幼貝數量大量增加，推測香山濕地的環文蛤一年有一次入添高峰，與模擬結果一致。

環文蛤為多年生貝類，1960 年代便有學者針對福建沿海的環文蛤生長速度進行觀察（蔡英亞、林兩德，1965）；目前多數文獻對於環文蛤的分齡，以于應紹、王慧、陸平、吳介新（1995）針對江蘇環文蛤族群殼表生長輪的研究結果為主，如表 15。香山濕地的環文蛤逐月體長分布多有明顯的雙峰，代表同時存在二個不同齡的族群。體長較大（大於 3.5cm）的環文蛤個體是專業採集者的主要目標，因此難以從體長分布中看到三齡個體所形成的分布峰。

表 15、環文蛤體長與年齡關係文獻整理。

	蔡與林（1965）	于等（1995）
一齡	2.6cm	1.5 – 2.1cm
二齡	3.6cm	2.5 – 3.2cm
三齡	4.2cm	3.5 – 3.8cm
四齡		4.0 – 4.8cm
五齡		4.5 – 5.0cm
六齡	6.5cm	5.0 – 5.8cm
七至八齡	推估有六至七齡	>6cm

莊智麟（2006）逐月解剖彰化沿海地區的環文蛤生殖腺，透過肥滿度月變化與生殖細胞型態，推測彰化的環文蛤生殖季在 5 至 7 月；邱郁文（2012）使用相同研究方法，針對台江國家公園區內的環文蛤進行調查，

發現台江國家公園的環文蛤於 10 至 11 月排放卵子；中國福建以南地區的環文蛤生殖季為 9-11 月，受精後 5 日，發育為稚貝，低溫時不攝食，待水溫回升後開始恢復成長(王興強、曹梅、閻斌倫、馬甦、董雙林,2006)。環文蛤的受精卵經過 5 日培育，可以從浮游幼生變態為 200 μm 的稚貝(路仁傑、薛志寧,1992)；受精卵孵化、附著後，在 26.5°C 環境經過一個月可以長成 1-5mm 的肉眼可見苗(于業紹、周琳、陸平、黃則平、鄭小東、王如才,2001)；吉紅九、陳淑吟、于業紹(2003)於江蘇試驗養殖環文蛤，0.221cm 的幼貝經過 68 天培育，可以成長到 1.105cm。

綜合以上文獻，香山濕地的環文蛤生殖季可能在夏秋之交。經過夏季的全年最高水溫後，環文蛤開始排放精卵，順利受精孵化的浮游幼生變態為幼貝後，冬季潛於底質緩慢生長，翌年 2、3 月水溫回暖，生長速度加快，二月開始可以在篩網上發現未達 5mm 的環文蛤幼貝。林敬晟(2009)於七股溪口沙洲的環文蛤族群動態調查結果，每年 3 月有未達二齡的個體加入，香山濕地的環文蛤族群變動情況與之相似。

2. 控制區內外環文蛤族群結構異同

計畫期初與期中分別針對控制區進行全挖掘，控制區 1 於期初與期中各挖掘一次，周期為半年；控制區 2 於期末挖掘，周期為 1 年。統計比較期中與期末的全挖掘結果，控制區 1 期初與期中的環文蛤殼寬全距均較實驗區顯著為大，而控制區 2 的環文蛤殼寬全距雖然比實驗區大，但顯著程度未若控制區 1 大。

雖然控制區 2 的底質有長達 1 年的時間未受人為挖掘擾動，但可能也因此使得底質較為夯實，不利環文蛤幼苗入添，造成區域內的環文蛤殼長漸漸單一化；控制區 1 的底質擾動周期約為半年，且擾動時間為環文蛤幼體入添高峰之時，推測在此時翻動底質，或許更有利入添的環文蛤幼貝於此生長，使得控制區 1 內環文蛤的殼長歧異度較高。于業紹等(2001)

建議環文蛤幼苗入池前，應先將場地表面耙鬆，有利幼苗附著，本計畫試驗結果與之相符。

生態學有中度干擾假說（intermediate disturbance hypothesis），研究珊瑚、樹木等固著生物的多樣性與擾動頻度的關係後發現，適度的干擾可以造就最高的物種多樣性（Connell, 1978）。或可將此理論用以解釋香山濕地環文蛤的體長歧異度：相較於每月挖掘至少一次與每年挖掘一次，以半年為周期挖掘干擾，可以造就更大的環文蛤體長歧異度。

110 年 6 月海山地區控制區內的環文蛤密度較控制區外低了一倍，推測因為控制區底質少經人為翻動而較為夯實，自 12 月挖掘後，到隔年 3-5 已經夯實，不適合幼貝鑽入棲息，因此可觀察到控制樣區內有多數體長較大的成熟個體棲息，僅有少許幼貝，形成控制區內環文蛤體長歧異度高但密度低的現象。

3. 香山濕地環文蛤族群經營建議。

台江國家公園地區的環文蛤曾因為大量採捕，造成殼長與密度降低（邱郁文，2012）。環文蛤為沿海居民重要的經濟與食用物種，承受相當大的採集壓力。台江國家公園管理處於 101 年辦理採捕證申請作業，且配合國家公警察取締違規民眾，達到經營管理成效；雖然香山濕地不是國家公園，但可以參考台江的做法，綜合本地環文蛤族群動態調查結果，規劃經營管理策略。

根據本年度環文蛤族群動態監測成果，建議可劃設環文蛤採集區域，每年輪流開放，並於每年 11 月至隔年 3 月香山濕地最少人活動的月份區間，封閉環文蛤密集區域，此舉對遊客的影響最小，除了可以防止正在排放精卵的環文蛤成體被抓走，11 月封閉灘地前，底質已經被民眾挖掘疏

鬆，有助於環文蛤的幼貝沉降。11 月到 3 月的封閉期，可以保護約 47% 的入添幼體，確保香山濕地的環文蛤族群的補充機會。

除此之外，亦須控管採捕總量，管制採集的環文蛤大小與重量，於溼地出入口設立檢查站，以文蛤篩網進行環文蛤大小篩選（圖 57），通過篩網的個體需要送返濕地，且規定每人挖掘環文蛤的重量，不可超過。透過分區開放、定時封閉、大小限制、重量管制四大面向，達到香山濕地環文蛤的永續經營成效。



圖 57、使用文蛤篩網挑選捕撈貝類個體大小。取自：
http://cdns.com.tw/news.php?n_id=22&nc_id=170828。

（六）概要

1. 以逐月體長分布推估香山濕地環文蛤族群動態，幼貝加入族群的時間與前人研究觀察相符；另根據國內環文蛤生殖腺成熟時程資

料，推測香山濕地的環文蛤秋季繁殖，幼貝在底質中越冬，俟隔年水暖時開始成長。

2. 以控制樣區定期挖掘試驗，了解挖掘造成的底質擾動對環文蛤族群的影響。長時間未挖掘的底質有利於體長較大的環文蛤棲息，但也較為夯實而不利幼體棲息。
3. 建議透過分區開放、定時封閉、大小限制、重量管制四大面向經營管理香山濕地的環文蛤，達到資源永續之目標。

六、公代生態監測

（一）各樣區密度

109 年 7 月至 110 年 8 月公代生態監測結果顯示，香山濕地的公代族群密度於 10 月開始下降，12 月與 1 月全數死亡，自 2 月開始，所有樣區都可以觀察到高密度的公代，部分樣區的公代密度在 3 月達到最高峰，HM1 更測得每平方公尺 2988 隻密度極值，之後漸漸下降。

惠民宮樣區的各樣點公代密度變異係數最高，本樣區的公代密度最高者為潮池邊的 HM1 樣點，此樣點位於潮池邊的灘地，就算退潮，仍有較長的海水浸潤時間，底質也相對泥濘。根據林柏州（2007）的觀察，泥濘的底質，使得公代幼貝不容易被潮水沖走，得以順利固著生長。惠民宮其他三個樣點，因為砍除後的紅樹林樹根尚未分解完全，底質還原層極淺，且仍不鬆軟，不利公代生長，除 2-4 月外，幾乎沒有挖掘到公代。

公代的分布熱點，集中於海山地區與 HM1 樣區，賞蟹步道與風情海岸地區的公代密度不高，可能與此二地的砂質底質有關。HS6 樣點在 109 年 7-8 月，底棲軟體動物以環文蛤為主，公代密度不高；但 109 年 9-10 月，環文蛤密度下降，公代密度上升；110 年 2-5 月以公代為主，6 月之後公代密度稍降，環文蛤數量增多；7-8 環文蛤數量又下降，波動明顯，很可能與此樣點位於香山濕地入口附近，容易受到遊客挖掘有關。

表 16、香山濕地 109 年 7 月至 110 年 9 月各區公代密度統計。

樣區／樣點	109.07	109.08	109.09	109.10	109.11	109.12	110.01	110.02	110.03	110.04	110.05	110.06	110.07	110.08	110.09	
賞蟹步道	CW1	0	0	0	0	0.33	0	276	320	10	11.67	29.67	26.33	15.67	24	
	CW2	0.33	0	0	0.33	1.33	0	92	80	4.67	24.33	9	1.33	0	26.33	
	平均	0.17	0	0	0.17	0.67	0.17	0	184.00	200	7.34	18	19.34	13.83	7.835	25.17
	標準差	0.17	0	0	0.23	0.94	0.23	0	130.10	169.71	3.77	8.95	14.62	17.68	11.08	1.65
	變異係數	100%	0	0	141%	141%	141%	0	71%	85%	51%	50%	76%	128%	141%	7%
風情海岸	FC1	0	1	0.67	0.33	0	0	100	47.67	20	23	29.67	18.23	4.67	0.67	
	FC2	10	0.67	1	1.67	0	0	56	12	3.33	5.33	2.67	2.67	3.33	4.67	
	FC3	10.4	2.67	1	0	0	0	352	160	6	5.33	8	25.33	16	36.33	
	FC4	27.67	3.33	1	1.33	0	0	336	89.33	46.33	43	0.33	8	32	12	
	平均	12.02	1.92	0.92	0.83	0	0	211	77.25	18.92	19.17	10.17	13.56	8.11	13.42	
	標準差	9.95	1.11	0.17	0.69	0	0	154.76	63.58	16.68	17.94	13.39	10.14	7.14	16.00	
	變異係數	83%	58%	18%	83%	0	0	73%	82%	104%	93%	131%	75%	88%	119%	
惠民宮	HM1	280	372	568	564	156	0	1469	2988	1232	1296	932	404	20	436	
	HM2	0	0	0	0	0	0	96	16	4	0	0	0	0	0	
	HM3	2	0	0	0	0	0	20	44	8	0	4	0	0	0	
	HM4	1.33	0	0	0	0	0	116	8	0.33	0	1	0	0	0	
	平均	70.83	93.00	142.00	141.00	39.00	0	425.25	764.00	311.08	324	234.25	101.00	5.00	109.00	
	標準差	139.45	186.00	284.00	244.22	67.55	0	697.06	1482.7	613.95	648	465.17	202.00	10.00	218.00	
變異係數	196%	200%	200%	173%	173%	0	163%	194%	197%	200%	199%	200%	200%	200%		
海山	HS1	680	476	68	16	0	0	252	452	480	336	280	196	800	468	
	HS2	1172	708	288	146	1	0	200	328	644	924	650	475	696	448	
	HS3	844	640	192	28	0	0	12	240	332	412	600	812	840	848	
	HS4	480	236	384	8	20	0	684	1124	456	236	356	302	280	600	
	HS5	397	257.5	116.5	24.75	2.625	0	0	508	1308	880	848	980	864	760	508
	HS6	22	20	139	128	0	0	0	352	196	180	134	252	303	248	20
	平均	599.17	389.58	197.92	58.46	3.94	0	0	334.67	608.00	495.33	471.67	519.67	492.00	604.00	482.00
	標準差	361.20	241.24	107.82	56.14	7.24	0	0	237.25	482.53	244.12	327.77	279.72	283.02	267.81	269.57
變異係數	60%	62%	55%	96%	184%	0	0	71%	79%	49%	68%	54%	58%	44%	56%	

（二）體長 - 體重關係

各月的公代的體長與體重迴歸相關係數介於 0.28 至 0.77 之間，合併全部資料進行迴歸分析， R^2 值為 0.79，體長與體重呈中至高度相關，可能無法使用此迴歸式由公代體長回推體重。由體長 - 體重關係中的斜率（即體長生長冪次）可知，香山地區的公代為均速生長。

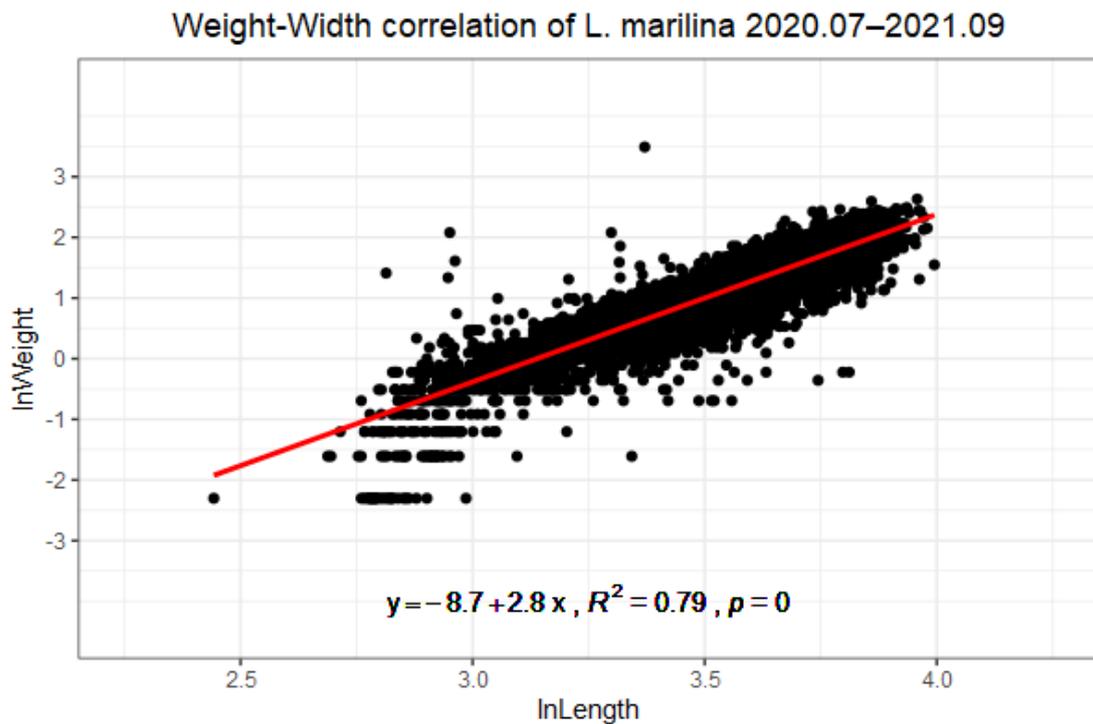


圖 58、香山濕地公代體長 - 體重迴歸關係。

（三）各月體長頻度分布與幼貝補充時間推估

將計畫期間共 15 個月的公代體長資料以 2.65mm 為組距繪製每月體長頻度分布（圖 59），經由 ELEFAN 得出香山濕地的公代個體成長 K 值為 2.0、 L_{∞} 為 55.53mm、 ϕ 為 3.79。將以上參數帶入 VGBF，可以得到環文蛤的生長曲線，如圖 59。

公代的極限體長，由 ELEFAN 推估為 55.53mm，另外以 Powell-Wetherall 法推估，得到極限體長範圍落於 53.59 ± 6.91 mm，兩種方法推估出的極限體長一致。

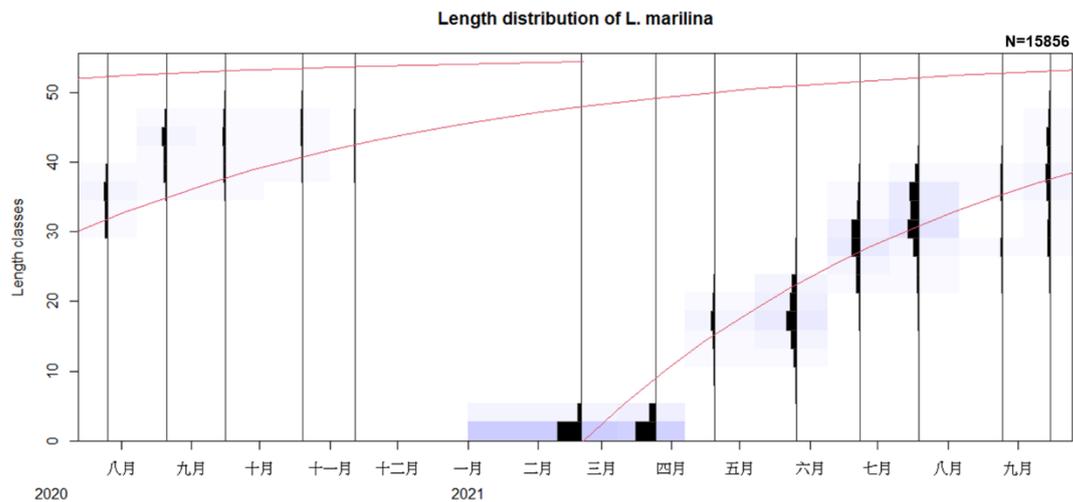


圖 59、香山濕地公代體長頻度與生長曲線模擬結果。紅色線為公代的生長曲線。

以 ELEFAN 計算出的相關參數，推估香山濕地公代族群幼貝補充時間。香山濕地的公代主要於 1-2 月入添，佔所有入添幼體 85%，生殖貢獻來自於年初入添長成的個體，香山濕地的公代無法越冬存活（圖 60）。

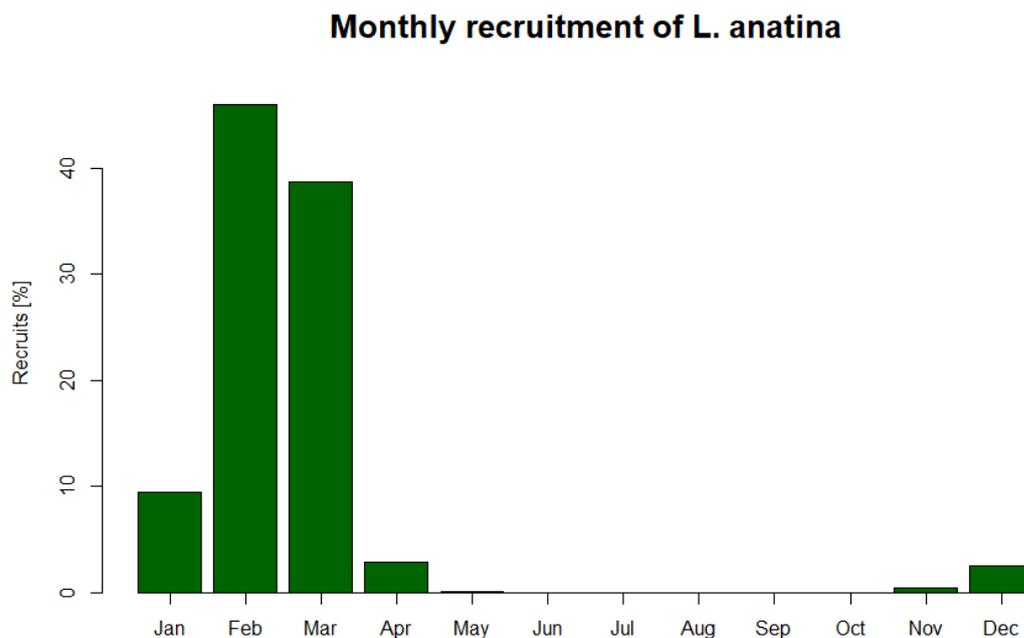


圖 60、香山濕地公代幼貝每月入添比例估算結果。

（四）控制樣區內外族群結構差異

1. 密度差異

計畫期初（109 年 12 月）與期中（110 年 6 月）開挖控制區，挖掘區內公代並統計密度如表 14。計畫初期開挖時正值冬季，各樣點內環文蛤全數死亡，僅賞蟹步道實驗區捕獲一隻。計畫其中各樣點控制區內外的公代密度各有高低，但差異不大，賞蟹步道樣區控制區內密度略小於實驗區，風情海岸控制區內密度略大於實驗區，惠民宮與海山地區各樣點控制區內外公代族群密度差異不大，惠民宮控制區 1 的公代族群密度低於控制區 2 與實驗區。

表 17、香山濕地控制區內外公代密度統計表。

		109.12 第一季		110.06 第二季		
樣區／樣點	實驗區	控制區 1	實驗區	控制區 1	控制區 2	
賞蟹 步道	CW1	0.33	0	29.67	0	0.5
	CW2	0	0	9	30	6
	平均值	0.17	0	19.34	15	3.25
	標準差	0.23	0	14.62	15	2.75
風情 海岸	FC1	0	0	29.67	0	0
	FC2	0	0	2.67	30.67	0.67
	FC3	0	0	8	19.67	37.33
	FC4	0	0	0.33	12.33	32.67
	平均值	0	0	10.17	15.67	17.67
	標準差	0	0	13.39	11.15	17.41
惠民 宮	HM1	0	0	932	874	962
	HM2	0	0	0	0	1.33
	HM3	0	0	4	2.67	0
	HM4	0	0	1	0	0
	平均值	0	0	234.25	219.25	240.75
	標準差	0	0	465.17	378.02	416.41
海 山	HS1	0	0	280	402.48	458.64
	HS2	0	0	650	599.04	414.96
	HS3	0	0	600	452.40	380.64
	HS4	0	0	350	414.96	377.52
	HS5	0	0	980	745.68	1054.56
	HS6	0	0	252	156	287.04
	平均值	0	0	519.36	461.76	495.56
	標準差	0	0	279.72	181.997	255.26

2. 體長差異

109 年 12 月開挖 2 個控制區其中之一（命名為「控制區 1」），唯此時正值香山濕地公代死亡期，僅收穫一顆活體。110 年 6 月全面開挖各樣點 2 個控制區，統計各樣點控制樣區內外，與 2 個控制區內公代的體長分布異同。

實驗區與控制區 1 內公代平均值差異經過 t 檢定 p 值為 0.016，但 2 樣區內公代個體數均有 1000 以上，無法以此 p 值大小明確懷疑公代體長平均值有所不同；控制區 1 與控制區 2 的體長平均值 t 檢定 p 值為 2.1×10^{-7} ，代表 2 控制區間公代殼長平均值差異顯著；實驗區與控制區 2 的體長平均值比較， p 值小於 2.22×10^{-16} ，平均值差異顯著（圖 60(A)）。求取 3 種樣區內各樣點公代殼長全距，經過統計檢定後發現各組別的全距差異不顯著，代表控制區內外公代大小的極端程度相似，如圖 61 (B)。

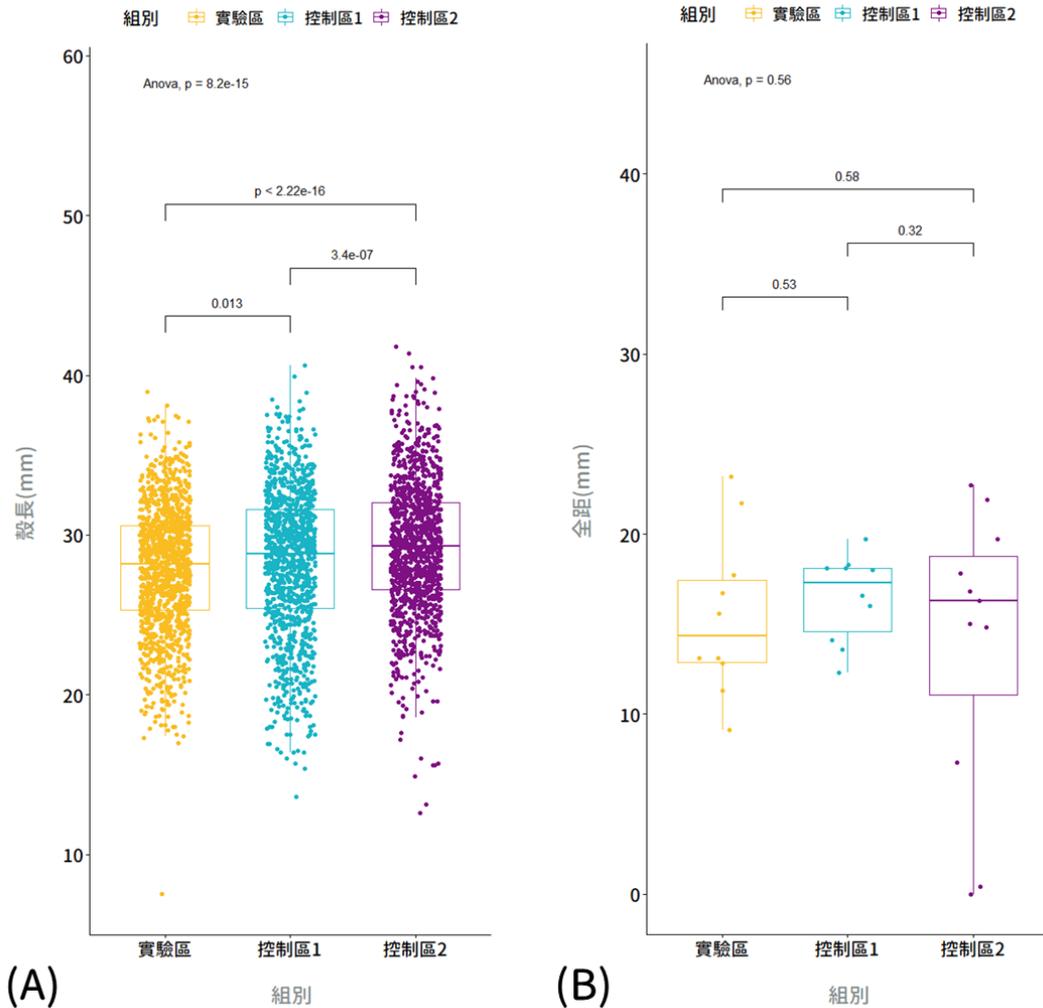


圖 61、計畫期中（110 年 6 月）統計控制區內外公代族群結構結果。(A) 各樣點控制區內外公代殼長平均值比較結果。(B) 各樣點控制區內外公代殼寬全距平均值比較結果。

(五) 討論

1. 香山濕地公代之生物學

由各樣點密度統計與各月體長頻度分布可以得知，香山濕地的公代族群於每年 11 月開始死亡，至 12 月各樣點已無公代存活，直至 2 月，才可以在篩網上發現公代幼貝。

根據林柏州（2007）的紀錄，香山濕地的公代幼貝每年補充 2 次，一次始於 1 月，一次在 6 月，以一月的幼貝補充最為主要。由本年度的捕

獲資料推算，香山濕地的幼貝入添時間高峰期為 2-3 月，沒有第二次入添，與 96 年有些微差異。林柏州（2007）推算出 96 年度香山濕地公代生長曲線 K 值為 1.9；109 年 7 月至 110 年 8 月的公代生長曲線 K 值推算為 2.0，與 96 年差異不大。。

香山濕地的公代到了冬季便會全數死亡，高美溼地的公代也有相同情況，Hsueh(2003)推測高美濕地公代的冬季死亡事件可能與底質變化有關，但林柏州（2007）與楊樹森（2019）於香山濕地的調查結果，均否定此一推測；公代的死亡，很可能與海溫或生殖週期有關，與底質變化狀況無涉。

公代密度高的測站（海山地區、惠民宮外潮池）底質泥濘，全年均可發現高密度公代；底質偏砂的測站（風情海岸、賞蟹步道）則可以在 2、3 月發現高密度幼貝，林柏州（2007）推測公代幼貝對砂質底質的耐受性可能較成貝高，但泥質底質更適合公代生長。

2. 控制區內外公代族群結構異同

計畫期初與期中分別針對控制區進行全挖掘，控制區 1 於期初與期中各挖掘一次，周期為半年；控制區 2 於期末挖掘，周期為 1 年。因第一次全挖掘期間適逢公代死亡期，僅能統計比較期末的全挖掘結果，控制區 1 的公代殼長平均值與實驗區差異不顯著，而控制區 2 的殼長（28.68mm）顯著大於控制區 1（28.61）與實驗區（28.17），但此時公代尚小，平均值差異小於 0.5mm。

控制區 2 的底質有長達 1 年的時間未受人為挖掘擾動，底質可能累積更多的泥質，或可能較為夯實，此種底質狀態或有利於公代生長；控制區 1 在公代幼苗入添高峰前一個月擾動底質，很可能是公代殼長平均值與實驗區沒有顯著差異的原因。

控制樣區內外公代族群密度差異不大，很可能是因為公代喜棲於泥質底質，此區域在公代成熟前，不會有大量遊客或專業採集者挖掘，所以控制區內公代的族群密度與區外沒有很大差異。

3. 109 與 110 年度 7 至 9 月公代殼長變化

本年度計畫共蒐集 15 個月公代體長頻度資料，將 110 年度 7 至 9 月，處於成長末期的公代體長資料與 109 年同期進行比較，發現 110 年公代平均體長較 109 年顯著為低（圖 62(A)），109 年 7-9 月平均體長 39.07mm，110 年 7-9 月平均體長 33.34mm，相差 5.73mm。將 109 與 110 年 7 至 9 月體長資料分開比較，發現 109 年度的公代殼長在 7 月到 8 月間快速成長，而 8 月體長與 9 月相差甚小，很可能已到達成長的尾聲；110 年度 7 月與 8 月體長平均值相差不大，8 至 9 月的體長成長速度大於 7 至 8 月（圖 62(B)），推測 110 年度公代族群可能受到極端氣候影響，導致生長週期延後。主要原因可能是 109 年中至 110 年 6 月遭逢大旱，台灣西部降雨不足，河川輸入濕地的流量大減，河口及沿岸水域鹽度增高，連帶營養鹽與有機質也少，此為 110 年香山濕地公代殼長比去年同期小，生長速度也慢的主要原因。

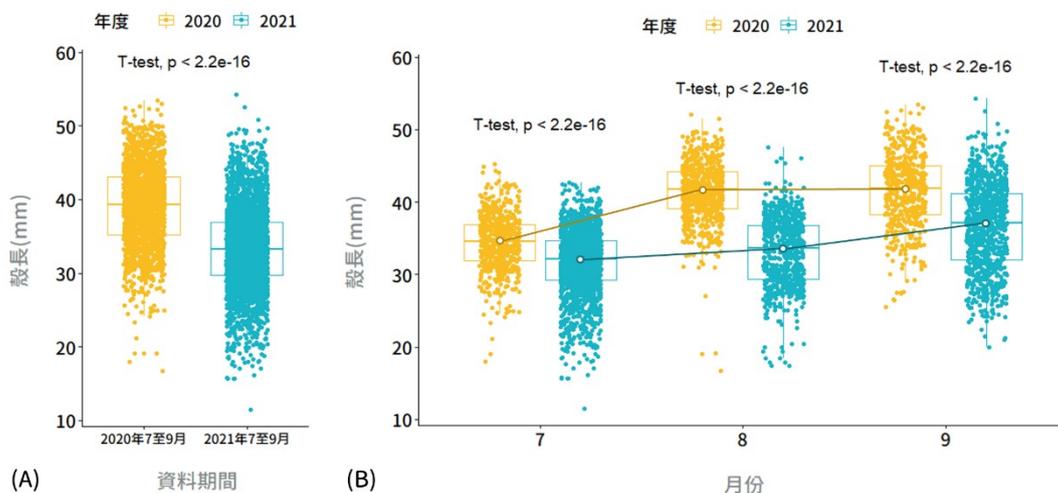


圖 62、香山濕地 109 與 110 年度 7 至 9 月公代殼長比較圖。(A) 109 與 110 年度 7-9 月期間公代殼長比較圖。(B) 109 與 110 年度 7-9 月期間公代殼長逐月比較圖。

4. 香山濕地公代族群經營建議

香山濕地的公代一年補充一次，到冬季會全數死亡，一般而言，中秋節後一個月內，即國曆 9 月底至 11 月中之前是香山濕地公代體長最長，也最肥滿的時節，民眾會進入香山溼地採集公代食用，此採集行為配合公代生長，一年僅發生一次，其他時間，濕地的公代密集區就不見任何公代採集者。

公代生長於濕地較為泥濘之處，專業採集者與周邊居民一年僅會造訪約一個月時間，一般遊客也不會造訪、久留；公代一年一熟的特性，使其無法成為市場攤販的常客，以目前的族群狀況而言，可以維持現有經營方式，無需特別管制公代的採集。

（六）概要

1. 以逐月體長分布推估香山濕地船形薄殼蛤（公代）族群動態，幼貝主要於每年 2-3 月加入族群，族群加入時間與生長曲線參數與前人研究相符。香山濕地的公代一年一熟，由幼貝經過約 10 個月的成長，接近最大體長，隨後被居民與遊客挖掘食用，未被挖掘的個體到冬天會死亡，至隔年 2、3 月又會有新的一波公代幼體進入溼地。以香山濕地的公代族群變動狀況與居民利用模式，目前僅需要對公代的採捕行為進行監測，未達嚴格管控需求。
2. 統計發現 110 年 7-8 月香山濕地的公代殼長平均值比 109 年同一時期小了近 10mm，未來需要持續關注，此一現象是否持續，必須更深入探討公代殼長縮小的現象。

伍、綜合討論及經營管理策略

一、水質監測

- (一) 本計畫水質監測項目延續多年，本年度計畫結果顯示封閉水體中的氮磷比與浮游植物相差異有關。建議持續監測水質，提供香山濕地陸源水體的基礎調查資料。
- (二) 根據最新的科學園區汙水下水道系統放流標準（附表 3），硝酸鹽氮容許上限為 50mg/L，氨氮容許上限為 30 mg/L，正磷酸鹽為 4mg/L，客雅溪所承載科學園區的總放流量達 10 萬 CMD，目前水質狀態要進一步改善有相當的難度，首要之務可能是強化新竹市區生活汙水接管。
- (三) 根據上述之總說明已明列新竹科學園區放流水稀有金屬銻、鎘、鉍每項不得超過 0.1mg/L。即便如此，每日排入濕地的稀有金屬有很高的機會沉降至香山濕地底泥中，國際間幾乎沒有其他國家有如此大的產業聚落會造成相同的排放。更前瞻的來看應該儘快從事銻、鎘、鉍的生物毒性研究，釐清現階段的法令是否符合於低風險的事實，避免未來造成遺憾。

二、台灣早招潮蟹棲地經營

- (一) 自 101 年至本年度均使用相同方法調查台灣早招潮蟹族群量，逐年調查結果顯示台灣早招潮蟹族群量正快速上升中（圖 43），對照新竹市政府逐年移除紅樹林的面積（附表 1），顯示移除紅樹林有助台灣早招潮蟹族群復育。

- (二) 建議持續監測與控制香山濕地紅樹林面積，持續移除紅樹林小苗，同時教育、管理遊客在台灣早招潮蟹棲地的遊憩行為，避免過度干擾其族群。

三、經濟性採集底棲無脊椎動物資源經營管理

- (一) 本次研究以控制樣區（禁止採集）進行採集壓力對族群結構的影響評估，3 個物種棲息密度及個體大小之頻度分布在控制區內外並無統計上顯著差異，究其可能原因除了採集壓力之影響外，影響實驗結果的因素包括控制區尺度無法有效降低個體的移動能力的影響，以及 COVID-19 的疫情在實驗期間顯著降低採集干擾頻度而無法反映實驗的預期。後續如需再度進行測試，需要增大控制區規模至 10×10 公尺以上，尤其是環文蛤和方格星蟲均有相當程度的自主移動能力，或是被潮水漂送至另地潛洞棲息。
- (二) 方格星蟲經濟性採集行為多發生在棲息密度較高的小範圍棲地，挖掘洞穴的深度達 30 公分，同時干擾在相同棲息環境生存的鴨嘴海豆芽環，潛洞速度較慢的鴨嘴海豆芽裸露在沙灘表面容易被掠食者捕食，漲潮時也容易葬身魚腹。環文蛤在控制區內低度採集干擾的情況下，大型個體及小型個體（總間距範圍）大於非控制區，顯示採集者相當有效率的取走大型個體，特別小的幼貝也容易因為採集行為而深埋，間接影響其生長。採集壓力的效應在本計畫雖然無法明確呈現，但單一方格星蟲挖掘的洞穴深達 30 公分，每日連續在高密度區挖掘，干擾強度明顯超過中等程度干擾狀態，必須設法限制此一採掘行為。環文蛤挖掘深度雖然很淺不致造成太大影響，其被帶走的生物量相當可觀，在目前的使用規模下，很少有個體可以

達到極限體長，個體組成小型化是族群成長遭受生存壓力的表現，也必須考慮進行有效管理。

（三）經營管理策略中採用限制使用是最積極的強制性作為，也是民主社會中困難度最高的一種。首先必須明確知道管制前針對的影響因素及影響程度（本計畫針對採集壓力），再根據存在的事實擬定管制項目及時間，並依此說服相關的利害關係人（漁業從業人員及專業採集者）及一般民眾（市民及普通遊客）共同遵守，其後評估管制產生的效益是否反映前項因素如採集壓力的影響，並依此決定持續實施管制與否。前項所述的限制使用可以從多方面進行，限制採集者每次取走容許額度及個體尺寸是最基本的管制方法，藉此降低過度採集使用發生的機會。即便是在基本管制條件下，棲地仍然會受到干擾，特別是在幼生定著育成期的干擾容易造成族群補充量不足，為了避免此一狀況，空間或時間全面限制使用是極為有效的保護措施。空間限制劃定區域限制進入或限制使用，時間管制則是設定開放使用時間，空間及時間同時管制則是劃定區域進行時間管制。陸域河川溪流封溪管制就是典型的長期限限制使用的例子，海岸濕地進行特定時間的封灘亦為相同的限制使用管制。

（四）經濟性採集底棲無脊椎動物資源經營管理建議：封閉濕地海灘

香山濕地經濟性採集物種限制使用項目規劃及可行性探討，事前必須依照目前已知的基礎生物學參數進行討論。依照本年度研究裸體方格星蟲、環文蛤與船形薄殼蛤（公代）三種經濟性採集底棲無脊椎動物結果進行分析比較，根據其生長速率及子代添加模式，整合產生一個最佳的共同策略避免對子代添加育成期產生嚴重干擾。

2. 封灘時間與星蟲資源經營管理

根據逐月體長資料推估香山濕地的方格星蟲繁殖期高峰為 7-9 月、幼體自 9 月開始入添至翌年 1 月，因為星蟲星成長速度快，僅需 6 至 8 個月便可達到 10cm（肆、四、(四) 2. 參照）而成為採集者的目標。星蟲屬於一次產生許多子代，且生長速度快的 r-selection 物種，族群存活曲線偏向第三型，即幼體死亡率高、成體死亡率下降。

若要保育與經營香山濕地的星蟲資源，達到永續發展之目標，應設法提高幼體存活率。每年 11 月至翌年 3 月的海灘封閉期間為星蟲幼體入添與成長期，此時禁止星蟲高密度區的挖掘行為可以避免擾動底質，進而確保星蟲幼體順利生長。

3. 香山濕地環文蛤資源經營管理建議

根據逐月體長資料推估香山濕地的環文蛤繁殖期為 8-11 月、幼體入添期為 9 月至 12 月；環文蛤需要三年的成長，才能達到採集者的目標體長。另根據本年度控制區挖掘結果統計資料，於幼體入添初期挖掘過一次的樣區，環文蛤殼長全距平均值較頻繁挖掘的區域顯著為高，綜合此結果與香山濕地的環文蛤族群動態，於每年 11 月至 3 月的海灘封閉期間，除保護當年度入添的環文蛤幼體不受挖掘行為干擾，也能連帶保護棲地的一至三齡貝。

環文蛤是沿海居民的食物與經濟來源，因此相較星蟲與公代，更容易有過度採集的問題。台江國家公園的環文蛤曾因為民眾過度採集利用，使得殼長與密度皆下降，最後透過發放採捕證、採集時穿著識別背心與管制每人採集重量後，環文蛤殼長與密度回升(邱郁文, 2012)。香山濕地並非國家公園，也非以環文蛤為保育對象，而目前觀察到的環文蛤採集強度與收穫殼長，亦無須進行類似的高強度管制。

針對香山濕地環文蛤資源經營，建議施行封灘並進行長期監測，以了解是否需要真對環文蛤資源進行進一步管制。另外，可以舉辦宣講，使遊客與採集者了解環文蛤的生長速度慢，應適量採集，並放回殼長不足 3 公分（約 2 指幅）的環文蛤個體，一起珍惜與維護香山濕地的生物資源。

4. 封灘時間與公代資源經營管理

根據逐月體長資料與實地採集經驗，香山濕地的公代幼體入添期為 1 月至 3 月，於溼地泥潭處成長至 10 月，11 月開始大量死亡。香山濕地的公代為一年生物種，其種苗來源尚不明，族群密集區十分泥濘，遊客平常不進入，專業採集者於每年中秋節前後進入採集。

每年 11 月至翌年 3 月的封灘時間，恰逢公代幼體入添時間，根據本年度的控制區開挖實驗，生長於一年未擾動底質的公代殼長平均值略大於頻繁挖掘區，但差異不大（肆、六、（五）2. 參照）。因為棲息於泥潭處，且族群量十分龐大，又是一年生物種，目前尚無需針對香山濕地的公代資源進行管制措施。

陸、結論

- 一、輸入香山濕地的陸源水體營養鹽濃度仍高，除個別營養鹽濃度外，未來應考慮將水中營養鹽比例納入固定監測項目，如此能更全面了解輸入濕地的水體情況，評估對濕地生產者與生物群聚的影響。
- 二、109 與 110 年度台灣早招潮蟹族群量大幅增長，從客雅水資源中心完工與紅樹林移除以來，台灣早招潮蟹的族群數量逐年呈現指數式增長，棲息活動範圍也大幅擴張。未來仍應持續監測台灣早招潮蟹族群與棲地範圍變化，並持續監控紅樹林生長範圍，防止台灣早招潮蟹棲地再次遭紅樹林入侵。
- 三、本年度計畫透過體長頻度進行裸體方蛤星蟲、環文蛤與船形薄殼蛤（公代）族群動態與幼體入添時間推估，研究結果可作為香山濕地未來經營管理之參考。為維護香山濕地生物資源的永續利用，必須依據不同物種的族群動態，針對經濟性底棲無脊椎動物訂立管制辦法。濕地永續利用區內裸體方格星蟲的挖掘行為可能影響濕地底質結構，也使星蟲族群面臨極大採捕壓力。建議於每年 11 月至隔年 4 月進行封灘，確保星蟲幼體能順利成長。
- 四、香山濕地的環文蛤採捕行為持續進行。有鑑於其他溼地的環文蛤受到嚴重採捕壓力平均體長顯著下降，市府相關單位應開始針對香山濕地至定環文蛤採集管理辦法，可以發給採集證、劃設輪流採集區域，搭配捕獲環文蛤體長篩選與每人捕獲總量限制，經營管理香山濕地環文蛤資源，降低族群受到的壓力以達到永續利用的目的。

柒、參考資料

一、參考法規

行政院環境保護署(2003)。NIEA W450.50B：水中矽酸鹽檢測方法—鉬矽酸鹽比色法。環署檢字第 0920080856A 號公告。

行政院環境保護署(2004)。NIEA E509.00C：水中葉綠素 a 檢測方法—丙酮萃取／螢光分析法。環署檢字第 0930020051 號公告。

行政院環境保護署(2005)。NIEA W443.51C：水中正磷酸鹽之流動注入分析法—比色法。環署檢字第 0940034033A 號公告。

行政院環境保護署(2005)。NIEA W448.51B：水中氨氮檢測方法—靛酚比色法。環署檢字第 0940035925A 號公告。

行政院環境保護署(2006)。NIEA W419.51A：水中硝酸鹽氮檢測方法—分光光度計法。環署檢字第 0950062980 號公告。

行政院環境保護署(2009)。NIEA W517.52B：水中化學需氧量檢測方法—密閉式重鉻酸鉀迴流法。環署檢字第 0980060634D 號公告。

行政院環境保護署(2009)。放流水標準。108 年 04 月 29 日修訂。

行政院環境保護署(2011)。NIEA W510.55B：水中生化需氧量檢測方法。環署檢字第 1000009050 號公告。

行政院環境保護署(2013)。NIEA W210.58A：水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法—103~105°C 乾燥。環署檢字第 1020004998 號公告。

行政院環境保護署(2015)。NIEA W418.53C：水中亞硝酸鹽氮檢測方法—比色法。環署檢字第 1040061044 號公告。

經濟部中央標準局(2007)。ICS 71.040.40. N7001-12. 15091-12：深層海水磷酸鹽之檢驗方法。經濟部 96 年 6 月 26 日公告。

經濟部中央標準局(2007)。ICS 71.040.40. N7001-13. 15091-13：深層海水矽酸鹽之檢驗方法。經濟部 96 年 6 月 26 日公告。

經濟部中央標準局(2007)。ICS 71.040.40. N7001-14. 15091-14：深層海水硝酸鹽之檢驗方法。經濟部 96 年 6 月 26 日公告。

經濟部中央標準局(2007)。ICS 71.040.40. N7001-15. 15091-15：深層海水亞硝酸鹽之檢驗方法。經濟部 96 年 6 月 26 日公告。

二、參考文獻

- 王興強、曹梅、閻斌倫、馬甦、董雙林(2006)。青蛤的生物學及其繁殖。水產科學，06。
- 于業紹、王慧、陸平、吳介新(1995)。青蛤生境及生長。水產學，19，276-279。
- 于業紹、周琳、陸平、黃則平、鄭小東、王如才(2001)。青蛤養殖技術。海洋漁，2，80-82。
- 吉紅九、陳淑吟、于業紹(2003)。青蛤大規格苗種培育技術。水產養殖，24(4)，24-26。
- 汪淑慧(2007)。海岸生態工法施作前後影響評估與改善策略之整合性研究——子計畫五：以新竹海岸水資源回收中心建置探討其對底棲生物及臺灣招潮蟹之影響與改善策略研究(NSC95-2221-E-412-007)。行政院國家科學委員會委託；育達商業技術學院休閒事業管理系。
- 汪淑慧、郭榮信、郭一羽、朱達仁(2012)。新竹市客雅水資源回收中心建置對臺灣招潮蟹之影響研究，濕地學刊，1(2)，67-80。
- 林柏州(2007)。新竹香山濕地船型薄殼蛤(公代)(*Laternula marilina*)生物學與體內重金屬蓄積之研究[未出版之碩士論文]。國立新竹教育大學應用科學系。
- 林敬晟(2009)。台灣西南部七股溪口沙洲環文蛤族群數量分佈與環境因子關係之研究[未出版之碩士論文]。臺灣大學漁業科學研究所。
- 林向陽、李雷斌、寧岳、曾志南(2012)。裸體方格星蟲規模化人工育苗技術研究。福建水產，34(01)。
- 邱郁文(2012)。曾文溪口黑面琵鷺生態保護區原有漁撈行為監測計畫。國立海洋生物博物館；台江國家公園管理處。
- 吳忠信、楊思謙(1991)。新竹市濱海地區生態現況研究。台灣省第二屆教育學術論文發表會論文集。543-615。新竹師範學院。
- 吳忠信(1992)新竹市海山罟紅樹林生物相之調查研究。師大生物學報，27，97-111。
- 吳宗澤(2013)。潮間帶貝類資源採捕及環文蛤族群生物學-以台江國家公園的研究為例[未出版之碩士論文]。高雄醫學大學生物醫學暨環境生物學研究所。
- 郭學武、李復雪(1993)。光裸星蟲生殖週期的研究。熱帶海洋學報，2。

莊智麟（2006）。彰化沿海地區環文蛤之生殖生物學研究〔未出版之碩士論文〕。國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系。

陳勝林、李金明、劉振魯（2006）文蛤潮間帶移動規律的研究。水產科技情報，33(3)，112-113。

陳慶芳（2013）。臺灣紅樹林管理策略之研究——以新竹市濱海野生動物保護區為例〔未出版之碩士論文〕。國立成功大學海洋科技與事務研究所。

路仁傑、薛志寧（1992）。青蛤人工育苗初試。河北漁業，1，22-26。

新竹市政府環保局（2020年11月17日）。2廠商偷排廢水 竹市「智慧水質感測器」高科技半天破案開罰12萬。新竹市政府市政新聞。2021.08.22
取自：<https://reurl.cc/eERIGM>。

楊樹森（2008a）。生態學術研究——大庄紅樹林及海山罟對照區主要底棲蟹類食性及覓食微棲地之研究。國立新竹教育大學應用科學系；新竹市政府。

楊樹森（2008b）。金城湖水質改善及夏季低溶氧改進方案研究。國立新竹教育大學應用科學系；新竹市政府。

楊樹森（2011）。100年香山溼地棲地復育效益評估成果報告書。新竹市政府；國立新竹教育大學。

楊樹森（2012）。101年香山濕地棲地復育調查計畫成果報告書。新竹市政府；國立新竹教育大學。

楊樹森、張筱筠（2013）。102年香山溼地棲地復育生態調查計畫。新竹市政府；國立新竹教育大學。

楊樹森、張登凱、李沛沂（2014）。新竹香山濕地紅樹林擴張歷程及其可能因素探討。濕地學刊，3(2)，17-26。

楊樹森（2017）。105-106年度香山重要濕地（國家級）基礎調查計畫期末成果報告。新竹市政府；國立新竹教育大學。

楊樹森（2019）。107-108年度香山重要濕地（國家級）生態及水質監測計畫期末成果報告。新竹市政府；國立新竹教育大學。

楊蕙禎（2009）。新竹市濱海野生動物保護區人類活動型態及管理現況分析〔未出版之碩士論文〕。國立新竹教育大學應用科學系。

葉樹藩（1964）。試驗設計學。精華印書行。

劉建伸（2010）。新竹香山紅樹林疏伐與台灣早招潮蟹棲地復育關係之評估〔未出版之碩士論文〕。中華大學景觀建築學系碩士班。

蔡英亞、林兩德(1965)。福建沿海青蛤的生態調查。動物學雜誌, 5, 223-225。

蘭國寶、閻冰(2002)。方格星蟲繁殖生物學研究。水產學報, 26(6), 503-509。

蘭國寶、廖思明、閻冰(2007)。水溫對方格星蟲幼體發育及變態的影響。水產學報, 31(5), 633-638。

Barnes, R.S.K. and R.N. Hughes. (2000). *An introduction to Marine ecology*. Blackwell science.

Bray, J R., J. T. Curtis. (1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27(4), 325-349.

Brown, L.M., B.T. Hargrave and M.D. Mackinnon. (1983). Analysis of Chlorophylla a in sediments by high pressure liquid chromatography. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 32, 205-214.

Connell, J. H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199: 1302-1310.

Félix-Pico, E. F., Ramírez-Rodríguez, M., & Holguín-Quiñones, O. (2009). Growth and fisheries of the black ark *Anadara tuberculosa*, a bivalve mollusk, in Bahia Magdalena, Baja California Sur, Mexico. *North American Journal of Fisheries Management*, 29(1), 231-236.

Gayanilo, F.C. Jr., Soriano, M., Pauly, D. (1987). A draft guide to the Compleat ELEFAN. *ICLARM Software 2*.

Havens, K. E., James, R. T., East, T. L., & Smith, V. H. (2003). N: P ratios, light limitation, and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution. *Environmental pollution*, 122(3), 379-390.

Hsueh, P.-W. 2003 Responses of the pea crab *Pinnotheres taichungae* to the life history patterns of its primary bivalve host *Laternula marilina*, *Journal of Natural History*., 37, 1453-1462.

J.G. Field & G. Mcfarlane. (1968). Numerical Methods in Marine Ecology, *Zoologica Africana*, 3(2), 119-137, DOI: 10.1080/00445096.1968.11447358.

Kassambara, A. (2016). ggpubr R Package: ggplot2-Based Publication Ready Plots. *Statistical Tools for High-throughput Data Analysis*. <http://www.sthda.com/english/articles/24-ggpubr-publication-ready-plots/>

Kauppi, L., Norkko, A., & Norkko, J. (2018). Seasonal population dynamics of the invasive polychaete genus *Marenzelleria* spp. in contrasting soft-sediment habitats. *Journal of Sea Research*, 131, 46-60.

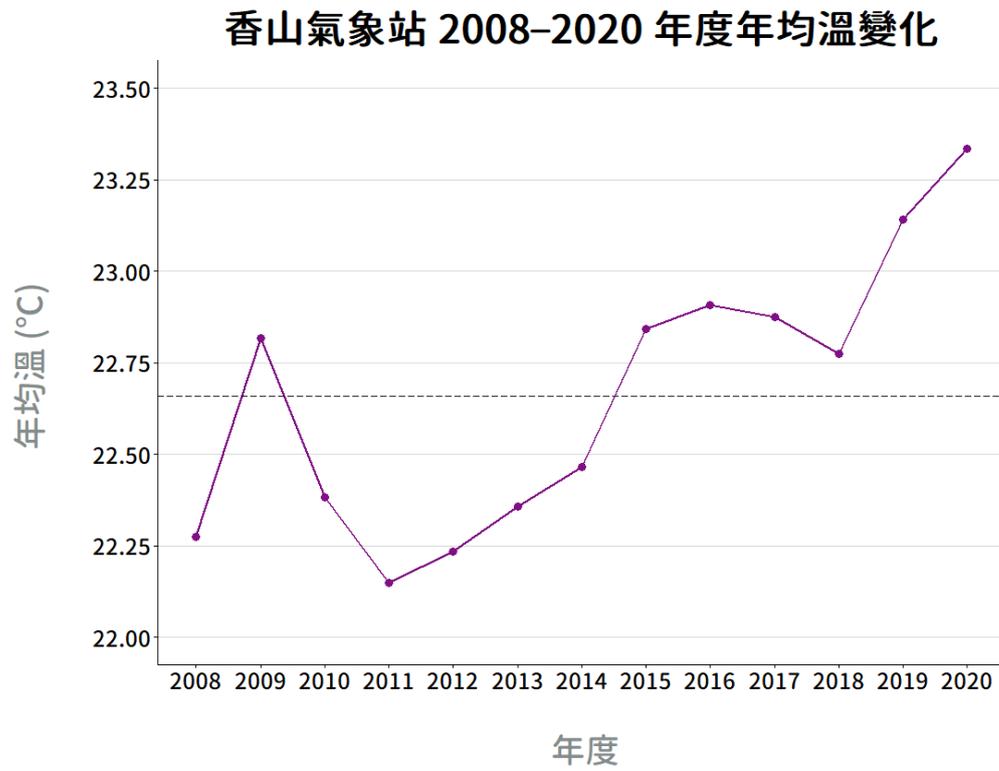
- Levent S, Erhan A, Mustafa A. (2007). Weight-Length Relationships for 39 Fish Species from the North-Eastern Mediterranean Coast of Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 7, 37-40.
- Martin WR. (1949). *The Mechanics of Environmental of body form in fishes*. University of Toronto Press.
- Mildenberger T.K., Taylor M.H., Wolff M. (2017). TropFishR: an R package for fisheries analysis with length-frequency data. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(11), 1520–1527. ISSN 2041-210X, doi: 10.1111/2041-210X.12791
- Ramón, M., Abelló, P., & Richardson, C. A. (1995). Population structure and growth of *Donax trunculus* (Bivalvia: Donacidae) in the western Mediterranean. *Marine Biology*, 121(4), 665-671.
- Redfield, A.C.; Ketchum, B.H.; Richards, F.A. (1963). The influence of organisms on the composition of sea-water, In: Hill, M.N. (Ed.) *The composition of seawater: Comparative and descriptive oceanography* (pp. 26-77). *The sea: ideas and observations on progress in the study of the seas*, 2.
- Stiling, P. (2012). *Ecology: Global insights and investigations*. pp. 353-371, McGraw. Hill press. New York USA.
- von Bertalanffy, L. (1934). Untersuchungen über die Gesetzlichkeit des Wachstums I Teil: Allgemeine Grundlagen der Theorie; Mathematische und Physiologische Gesetzlichkeiten des Wachstums bei Wassertieren. *Development Genes and Evolution*, 131, 613–651.
- von Bertalanffy, L. (1938). A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws II). *Human Biology* 10, 181–213.
- Wickham H (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. ISBN 978-3-319-24277-4, <https://ggplot2.tidyverse.org>.

捌、期末審查意見回覆

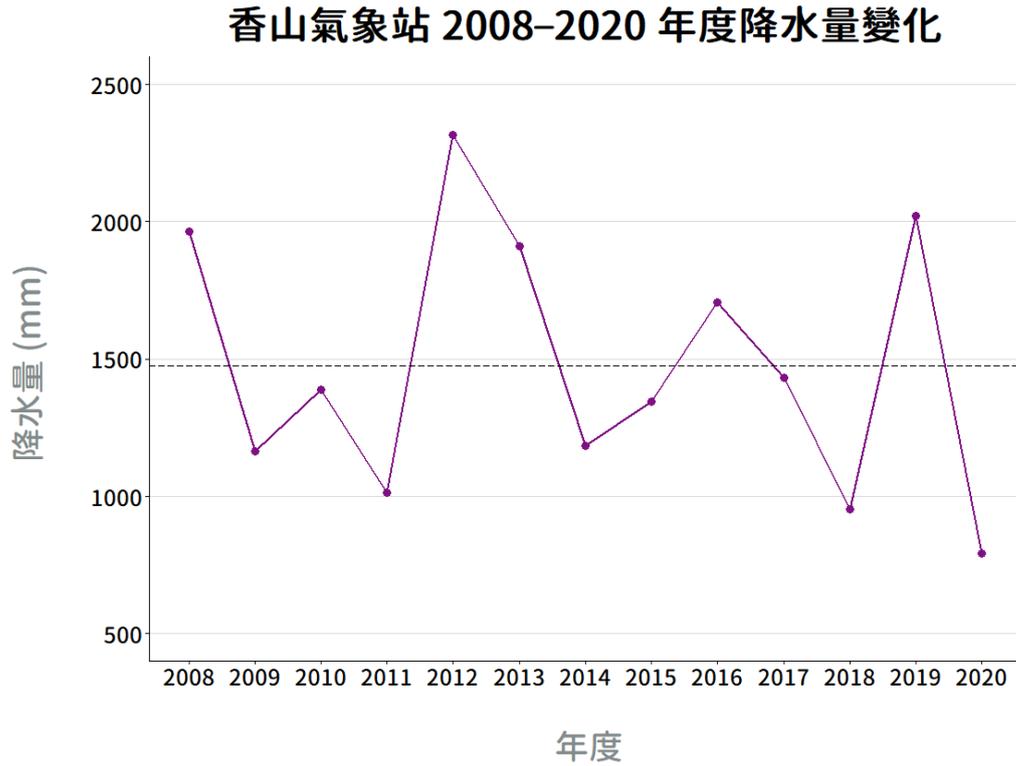
委員	意見	回覆
劉委員 靜榆	生殖高峰及幼體補充入棲地的高峰描述上需要定義清楚，如報告中 p11 台灣早招潮蟹的生殖高峰約 8、9 月，實際上約 5-7 月，8-9 月已是幼蟹加入族群的時間，建請各物種皆修正之。	謝謝委員提醒，已修正部分內文為「每年 8、9 月間，幼蟹加入族群，此時可由目視法調查到最大數量的台灣招潮蟹，因此香山濕地過去的台灣招潮蟹族群數量估計，均於 8-9 月間進行。」
劉委員 靜榆	族群分布模式之描述規則型、群集型或逢機型會受到尺度之影響，建請敘述前先定義之。	謝謝委員，已經將相關敘述補充於 P.70。
劉委員 靜榆	保護區與重要濕地在西界之範圍是否有落差，目前台灣早招潮蟹的棲地似乎多在保護區範圍之外，而在重要濕地範圍之內？	新竹市濱海野生動物保護區於 90 年依照《野生動物保育法》公告，93 年修正範圍；而《香山重要濕地（國家級）保育利用計畫》於 107 年公告，兩者確有不重疊處，已建請產發處研議調整新竹市濱海野生動物保護區範圍。
劉委員 靜榆	公代在惠民宮 HM 點位資料目前列無，但靠近魚塭區的附近有一大群，之後的調查可加	惠民宮原本的紅樹林外圍潮溝旁測點 HM1 有高密度公代，而 HM2-4 樣點因位於

	<p>點調查。台灣早招潮蟹的調查 30 米似乎太遠了，之後或可 調整。</p>	<p>原本紅樹林區，目前仍不利公 代生長。未來的調查會考慮於 魚塭區附近設點調查。</p> <p>台灣早招潮蟹的調查方法以 不干擾招潮蟹活動為原則，因 此在 30 米外以單筒望遠鏡 掃視所有樣框並進行計數，此 法自 101 年至今已經持續 10 年，未來仍會沿用此法。</p>
<p>劉委員 月梅</p>	<p>其他須修正如：p6 倒數第二 段之描述、p8 第一段、p16 第 2 點……等請修正。</p>	<p>均已修正，謝謝委員。</p>

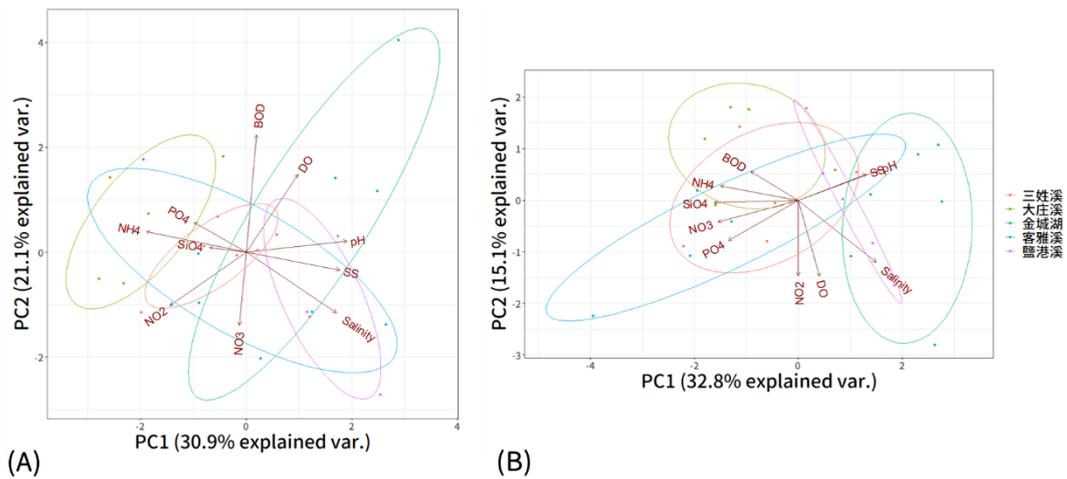
玖、附錄



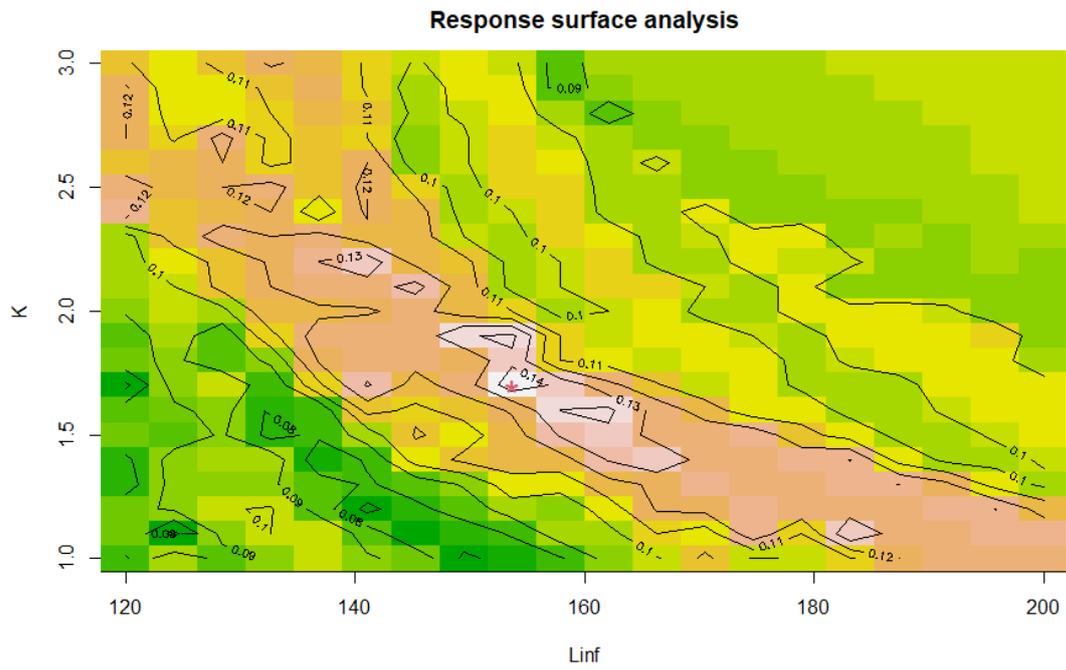
附圖 1、香山氣象站自 2008 至 2020 年均溫變化圖。



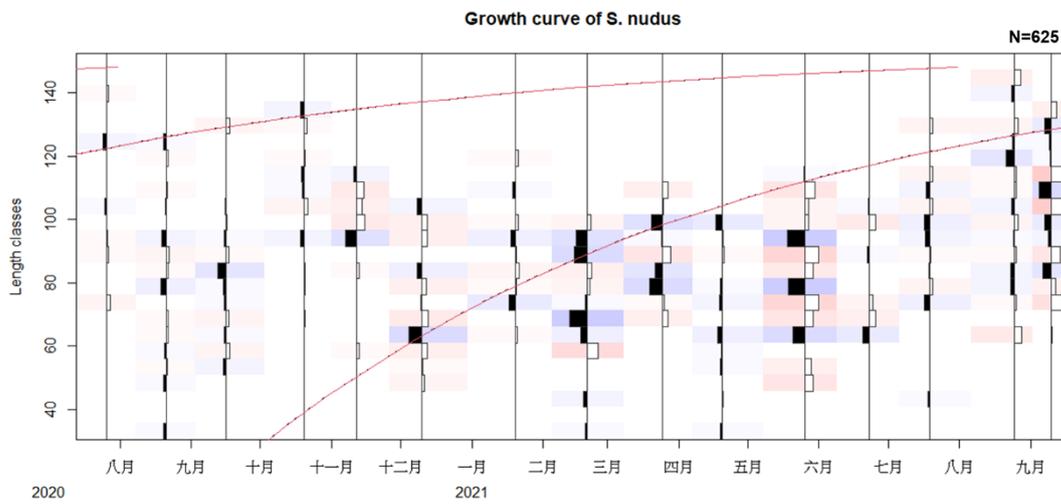
附圖 2、香山氣象站自 2008 至 2020 年雨量變化圖。



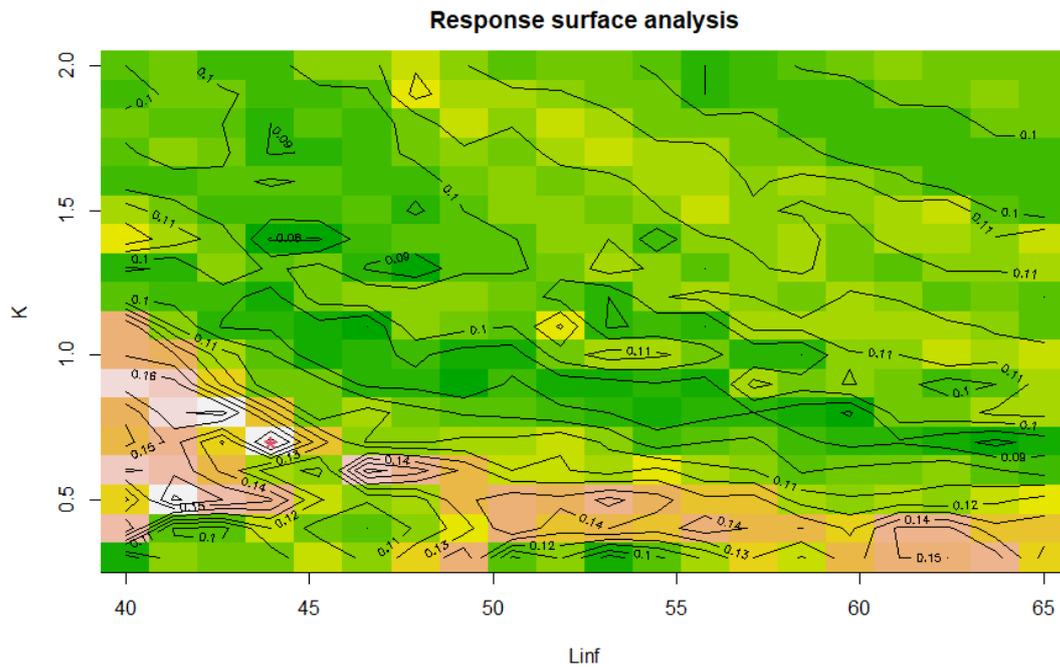
附圖 3、香山濕地各陸源水體水質主成分分析。(A) 漲潮之主成分分析。
(B) 退潮之主成分分析。



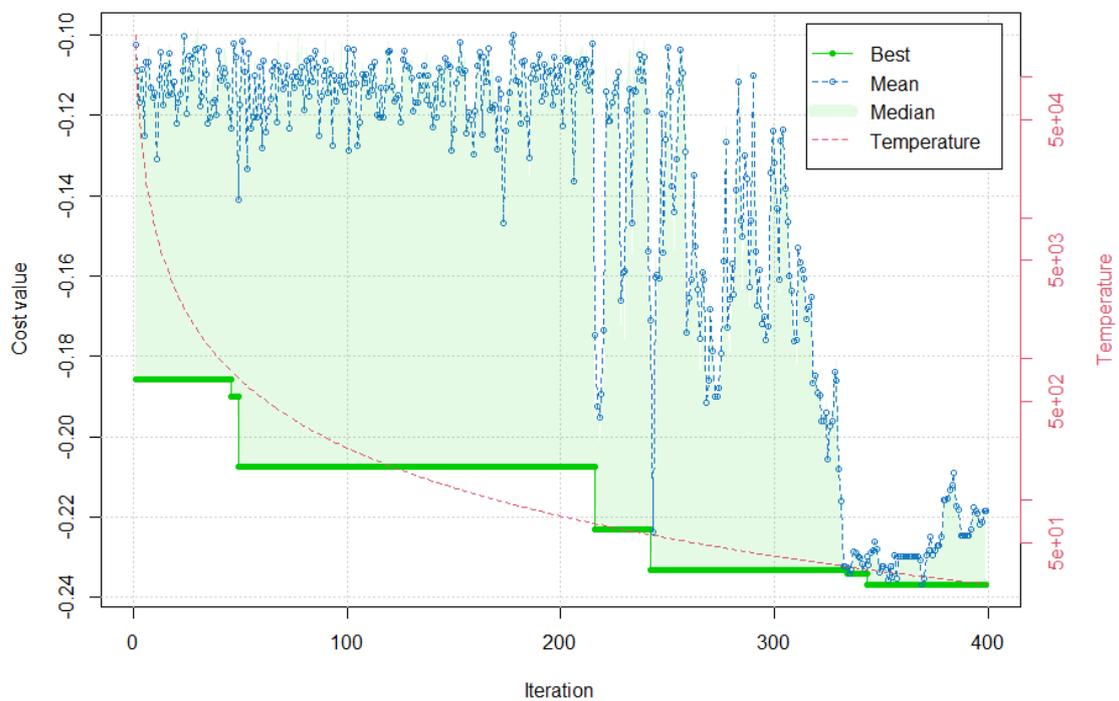
附圖 4、方格星蟲生長曲線參數組合反應曲面分析圖。



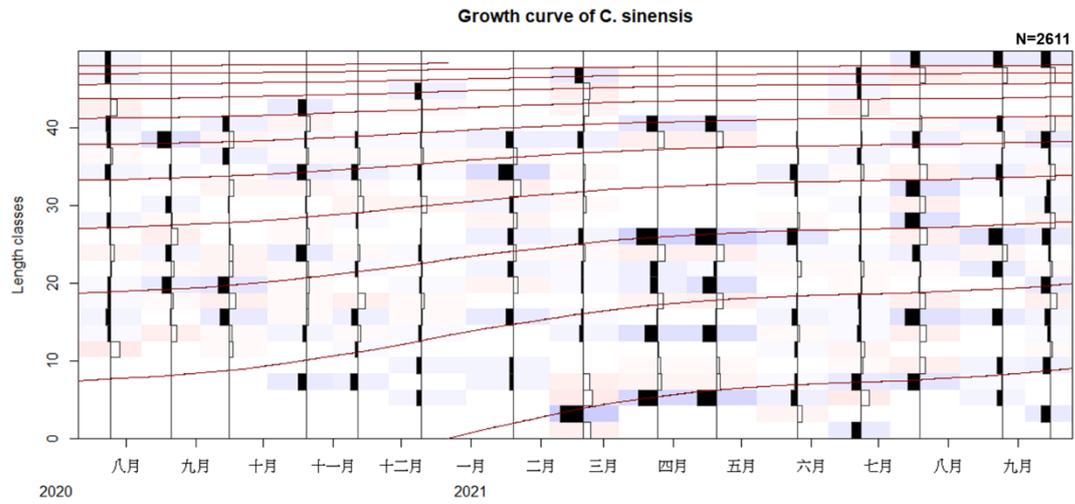
附圖 5、方格星蟲生長曲線推估結果。



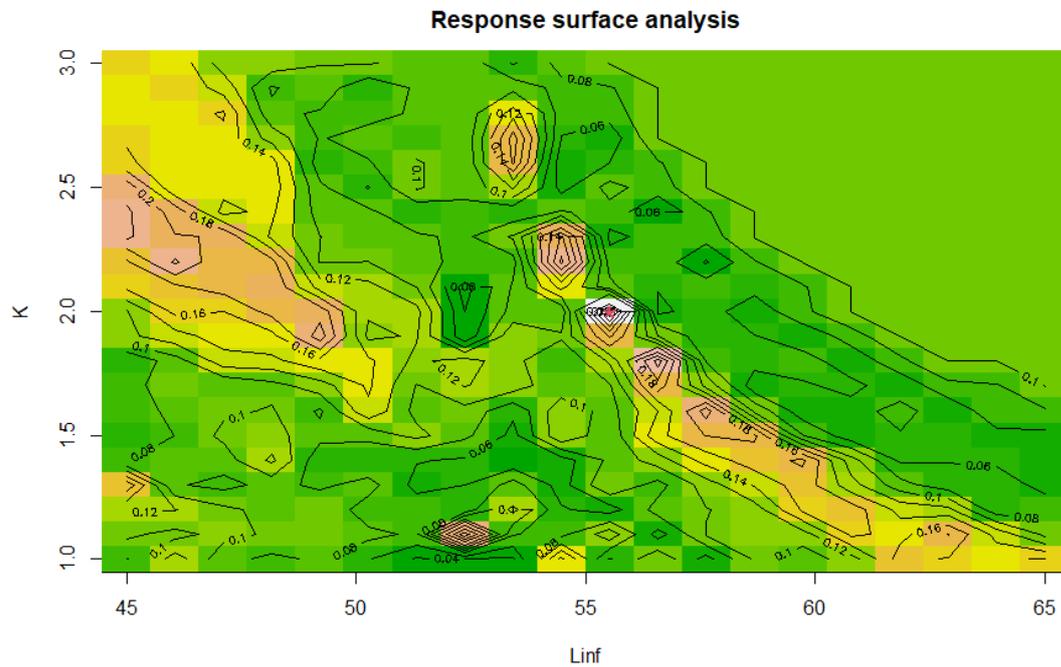
附圖 6、環文蛤生長曲線參數組合反應曲面分析圖，以此參數組合進行模擬退火分析，最後得到報告中所呈現的生長參數組合與生長曲線。



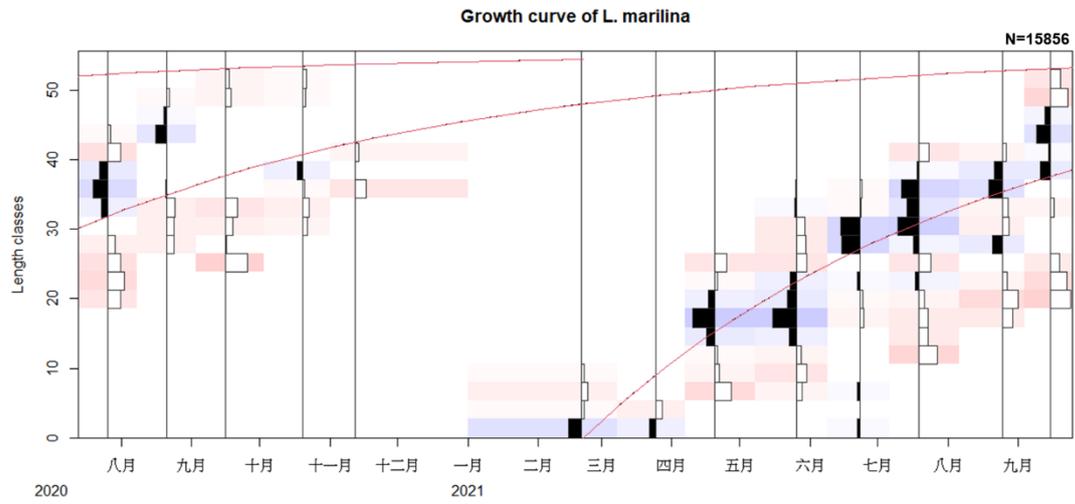
附圖 7、環文蛤模擬退火（simulated annealing）分析結果。



附圖 8、環文蛤生長曲線推估結果。



附圖 9、公代生長曲線參數組合反應曲面分析圖。



附圖 10、公代生長曲線推估結果。

附表 1、香山濕地歷年紅樹林清除面積。資料來源：新竹市政府。

年度	面積 (公頃)	經費 (千元)	補助單位	範圍	備註
94	2		中央研究院 自行執行	海山罟近岸	與 99 及 101 年區域重複
96	1	200	林務局	海山罟（海山漁港南側）	
97	3	950	林務局	美山（大庄溪口西側）	
98	5	2,892	林務局及營建署	美山（水資源中心西側）	
	3			美山（三姓溪口東側）	
99	6	3,800	營建署	海山罟紅樹林外圍	99 年二階計畫 清除
	14			美山紅樹林外圍	
	2			朝山紅樹林外圍	
100	5	1,700	林務局	美山（大庄溪口以北）	
101	5	1,717	林務局	美山（惠民宮前）	
	4	1,660	營建署	海山罟	
102	4.8	2,302	營建署	美山（海釣場外圍推 50 米）	維護 54 公頃
	1.2			客雅溪（港南溝）	
	4.6	942	林務局	美山（大庄溪出海口及 美山外圍）	
103	5	900	林務局	美山最南端（安檢所前 方）	維護 35 公頃
104- 105	5.9	950	林務局	海山罟	維護海山罟 26.2 公頃 港南溝 2.1 公頃
	348	13,000	新竹市政府	美山段（三姓溪以南，海 山漁港以北）	密生區 59 公頃 擴散區（小苗） 289 公頃
106	8	900	林務局	海山罟：1.7 公頃	維護全區 369 公頃
		1,000	新竹市政府	客雅溪：6.3 公頃	
107	8	900	林務局	客雅溪口	維護全區 369 公頃
		1,000	新竹市政府		
108	12	900	林務局	客雅溪口：11 公頃	
		1,500	新竹市政府	港北溝：1 公頃	
合計	447.5	37,213			

附表 2、香山濕地各陸源水體主成分分析負荷表。

	漲潮				退潮			
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC1	PC2	PC3	PC4
Salinity	0.4054	-0.3310	0.2370	-0.0759	0.3689	-0.4366	0.0928	-0.1591
pH	0.4522	0.0602	-0.1750	0.2438	0.3808	0.2122	-0.2367	0.4193
DO	0.2321	0.4247	0.4367	0.0008	0.1013	-0.5374	-0.4605	0.0606
BOD	0.0457	0.6421	0.0793	-0.0265	-0.2271	0.2044	-0.4497	0.4747
SS	0.4196	-0.0975	0.0302	-0.0735	0.3221	0.1820	0.4451	0.3966
NO3	-0.0297	-0.3992	0.3889	0.0864	-0.3837	-0.1543	0.3777	-0.0655
NO2	-0.3426	-0.2927	0.2323	-0.0424	-0.0001	-0.5342	-0.0386	0.2956
NH4	-0.4471	0.1125	-0.2656	-0.1704	-0.3703	0.1020	-0.3242	-0.2667
PO4	-0.2320	0.1622	0.6608	-0.0838	-0.3312	-0.2842	0.2593	0.4051
SiO4	-0.1651	0.0261	0.0542	0.9399	-0.3992	-0.0172	0.0804	0.2925

附表 3、《放流水標準》之附表九、科學工業園區專用污水下水道系統放流水水質項目及限值

適用範圍	項目		限值	備註
共同適用	水溫	排放於非海洋之地面水體者	攝氏三十八度以下（適用於五月至九月）	
			攝氏三十五度以下（適用於十月至翌年四月）	
		直接排放於海洋者	放流口水溫不得超過攝氏四十二度，且距排放口五百公尺處之表面水溫差不得超過攝氏四度	
	氫離子濃度指數		六·0—九·0	
	氟鹽		一五	
	硝酸鹽氮		五0	
	氮氮	排放於自來水水質水量保護區內者	一0	
排放於自來水水質水量保護區外者		中華民國一百零一年十月十二日	三0	

	來水 水質 水量 保護 區外 者	前完成建造、建造中或已完成工程招標者		
		中華民國一百零一年十月十二日前尚未完成工程招標者	二·0	
	正磷酸鹽 (以三價 磷酸根計 算)	排放於自來水水質水量 保護區內者	四·0	
	酚類		一·0	
	陰離子界面活性劑		一·0	
	氰化物		一·0	
	油脂(正己烷抽出物)		一·0	
	溶解性鐵		一·0	
	溶解性錳		一·0	
	鎘	中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	0·0三	
		中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	0·0二	自中華民國一百零一年一月一日施行。
		中華民國一百零六年十二月二十五日前尚未完成工程招標者	0·0二	
	鉛	中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者		
		中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	0·五	自中華民國一百零一年一月一日施行。
		中華民國一百零六年十二月二十五日前尚未完成工程招標者	0·五	
總鉻	中華民國一百零六年十	二·0		

		二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者		
		中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	一·五	自中華民國一百一十年一月一日施行。
		中華民國一百零六年十二月二十五日前尚未完成工程招標者	一·五	
	六價鉻	中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	0·五	
		中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	0·三五	自中華民國一百一十年一月一日施行。
		中華民國一百零六年十二月二十五日前尚未完成工程招標者	0·三五	
	銅	中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	三·0	
		中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	一·五	自中華民國一百一十年一月一日施行。
		中華民國一百零六年十二月二十五日前尚未完成工程招標者	一·五	
	鋅	中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	五·0	
		中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	三·五	自中華民國一百一十年一月一日施行。

		中華民國一百零六年十二月二十五日前尚未完成工程招標者	三·五	
鎳		中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	一·0	
		中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	0·七	自中華民國一百一十年一月一日施行。
		中華民國一百零六年十二月二十五日前尚未完成工程招標者	0·七	
		中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	0·五	
硒		中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	0·三五	自中華民國一百一十年一月一日施行。
		中華民國一百零六年十二月二十五日前尚未完成工程招標者	0·三五	
		中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	0·五	
砷		中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	0·三五	自中華民國一百一十年一月一日施行。
		中華民國一百零六年十二月二十五日前尚未完成工程招標者	0·三五	
		中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	二·0	自中華民國一百一十年一月一日施行。

	中華民國一百零六年十二月二十五日前尚未完成工程招標者	一·0	
甲基汞		0·000000 二	
總汞		0·00 五	
銀		0·五	
硼	排放於自來水水質水量保護區內者	一·0	
	排放於自來水水質水量保護區外者	五·0	
硫化物		一·0	
真色色度	中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者	五五 0 四 00	自中華民國一百十年一月一日施行。
	中華民國一百零六年十二月二十五日前尚未完成工程招標者	三 00	
	自由有效餘氯	中華民國一百零六年十二月二十五日前完成建造、建造中或已完成工程招標者 中華民國一百零六年十二月二十五日前尚未完成工程招標者	二·0 二·0
錮		0·一	
鎳		0·一	
鉬		0·六	
總毒性有機物		一·三七	
N-甲基吡咯烷酮		一·0	自中華民國一百十年一月一日施行。
2-甲氧基-1-丙醇		0·一	
二甲基乙醯胺		0·一	
鈷		一·0	
銻		一·0	
N-甲基甲醯胺		一·0	
二乙二醇二甲醚		一·0	

中華民國九十八年七月三十一日前完成建造、建造中或已完成工程招標，且許可核准排放水量未達每日10,000立方公尺者	生化需氧量	最大值	三0	
		七日平均值	二五	
	化學需氧量	最大值	一00	
		七日平均值	八0	
	懸浮固體	最大值	三0	
		七日平均值	二五	
中華民國九十八年七月三十一日前尚未完成工程招標者；及九十八年七月三十一日前完成建造、建造中或已完成工程招標，且許可核准排放水量為每日10,000立方公尺以上者	生化需氧量	最大值	二五	
		七日平均值	二0	
	化學需氧量	最大值	八0	
		七日平均值	六五	
	懸浮固體	最大值	二五	
		七日平均值	二0	

附表 4、本計畫採集目標各月模擬幼體入添百分比

	裸體方格星蟲	環文蛤	船型薄殼蛤
一月	8.50	8.31	9.42
二月	7.09	11.91	45.99
三月	9.29	16.02	38.76
四月	10.24	12.15	2.84
五月	6.77	8.51	0.02
六月	2.68	7.15	0.00
七月	2.68	4.79	0.00
八月	6.61	3.68	0.00
九月	6.14	3.16	0.00
十月	8.98	7.95	0.01
十一月	12.44	10.31	0.40
十二月	10.39	6.07	2.56

計畫參與人員

計畫主持人：楊樹森

共同主持人：張筱筠

研究助理：張景淞