

ISSN 1018 - 7324
GPN 2008200207

水產研究

**JOURNAL OF
TAIWAN FISHERIES RESEARCH**

Vol. 32 No.1 / June 2024



農業部水產試驗所
Fisheries Research Institute, MOA

水產研究

出 版 者：農業部水產試驗所

發 行 人：張錦宜

總 編 輯：葉信明

管理編輯：蔡惠萍、曾振德

諮詢委員：丘臺生、李國添、吳金冽、胡興華、孫璐西、郭光雄、許建宗

黃登福、陳瑤湖、陳宏遠、張清風、張水鍇、廖一久、劉錫江

蔡懷楨、鄭森雄、鄭明修、蕭錫延、蕭泉源、蘇偉成、蘇茂森

編輯委員：吳豐成、何源興、翁進興、許晉榮、曾福生、張可揚、楊順德、蔡慧君、謝恆毅

(皆依姓氏筆劃排列)

執行編輯：吳美錚、陳威克

本刊連絡處：

基隆市 202 和一路199號 農業部水產試驗所 水產研究執行編輯

電 話：(02) 2462-2101 轉 2506 或 2517

傳 真：(02) 2462-4627

E-mail：mcwu@mail.tfrin.gov.tw / wkchen@mail.tfrin.gov.tw

本刊刊登本所同仁研究成果，非經本所同意，不得重製、數位化或轉載

JOURNAL OF TAIWAN FISHERIES RESEARCH

Published by *Fisheries Research Institute, Ministry of Agriculture*

Publisher: *Chin-I Chang*

Editor-in-Chief: *Hsin-Ming Yeh*

Managing Editors: *Hui-Ping Tsai, Chen-Te Tseng*

Advisory Board: *Ching-Fong Chang, Shui-Kai Chang, Hounq-Yuan Chen, Yew-Hu Chien, Tai-Sheng Chiu,*

Chien-Chung Hsu, Sing-Hwa Hu, Deng-Fwu Hwang, Lucy Sun Hwang, Ming-Shiou Jeng,

Sen-Shyong Jeng, Guang-Hsiung Kuo, Kuo-Tien Lee, I-Chiu Liao, Hsi-Chiang Liu,

Chyuan-Yuan Shiau, Shi-Yen Shiau, Huai-Jen Tsai, Mao-Sen Su, Wei-Cheng Su, Jen-Leih Wu

Editorial Board: *Ke-Yang Chang, Huey-Jine Chai, Yuan-Shing Ho, Jinn-Rong Hseu, Hernyi Justin Hsieh,*

Fu-Seng Tseng, Jinn-Shing Weng, Feng-Cheng Wu, Shuenn-Der Yang

(in alphabetical order)

Executive Editors: *Mei-Chen Wu, Wei-Ke Chen*

The Journal of Taiwan Fisheries Research contains scientific contributions from colleagues of Fisheries Research Institute, Ministry of Agriculture (MOA) and researchers of fisheries science. It is published by Fisheries Research Institute, MOA. Correspondence should be addressed to the Editor-in-Chief, Journal of Taiwan Fisheries Research, 199 Hou-Ih Road, Keelung 202, Taiwan. Phone: +886-2-2462-2101 ext. 2506 or 2517. Fax: +886-2-2462-4627. E-mail: mcwu@mail.tfrin.gov.tw or wkchen@mail.tfrin.gov.tw.

水產研究

第 32 卷 第 1 期 / 民國 113 年 6 月

目次

宜蘭灣海域花腹鯖生殖生物學研究 / 陳瑞谷・黃鼎傑 Reproductive Biology of Blue Mackerel (<i>Scomber australasicus</i>) off Yilan Bay, Northeastern Taiwan / Ruei-Gu Chen and Ting-Chieh Huang	1
澎湖縣望安海域燈火漁業禁漁區漁獲組成解析 / 鄭力綺・吳伊淑・陳律祺・黃清慈・藍國瑋・ 翁進興・謝恆毅・張宏安 Catch Composition Analysis of Light Fishery in the Waters of the Wang-An Light Fishery Forbidden Zone / Li-Chi Cheng, Yu-Sui Wu, Lu-Chi Chen, Yu-Cih Huang, Kuo-Wei Lan, Jinn-Shing Weng, Hernyi Justin Hsieh and Hung-An Chang	13
飼料中不同蛋白質與脂質含量對牙鯪成長及肉質影響之研究 / 陳玉萍・黃侑勛・蔡明恆・何源興 Effects of the Protein and Lipid Content in Feed on the Growth and Meat Quality of the Olive Flounder (<i>Paralichthys olivaceus</i>) / Yu-Ping Chen, You-Syu Huang, Ming-Heng Tsai and Yuan-Shing Ho	35

淡水河產臺灣文蛤腸道菌相分析 / 黃慶輝 · 吳嘉哲

Bacteria Composition in the Gut of Asian Hard Clam (*Meretrix taiwanica*) from the Tamsui River, Taiwan /
Ching-Huei Huang and Chia-Che Wu

.....45

溫度對半淡鹹水貝類大和黒蜆 (*Corbicula japonica*) 潛沙行為及死亡率之影響 / 謝淑秋 · 林志訓 ·
黃致中 · 林宏傑

Effects of Temperature on the Burrowing Behavior and Mortality Rate of the Adult Brackish Water Bivalve
Corbicula japonica / Shu-Chiu Hsieh, Zhi-Xun Lin, Chih-Chung Huang and Hong-Jie Lin

.....57

短腕岩蝦 (*Periclimenes brevicarpalis* Schenkel, 1902) 的人工繁殖 / 城振誠 · 吳玉霞 · 湯慕婷 ·
陳昱瑾 · 謝恆毅

Artificial Propagation of Anemone Shrimp (*Periclimenes brevicarpalis* Schenkel, 1902) / Chen-Cheng Cheng,
Yu-Hsia Wu, Mu-Ting Tang, Yu-Chin Chen and Hernyi Justin Hsieh

.....67



宜蘭灣海域花腹鯖生殖生物學研究

陳瑞谷^{1*}・黃鼎傑²

¹ 農業部水產試驗所澎湖漁業生物研究中心

² 農業部水產試驗所海洋漁業組

摘 要

花腹鯖 (*Scomber australasicus*) 是臺灣鯖鯵漁業中最重要的魚種。本研究分析 2020~2023 年間取得鯖魚成魚生殖生物學參數，從生殖腺指數與繁殖活躍度的月別變化，推論花腹鯖應以 3 月/4 月為主要繁殖期，且繁殖活躍度越高的花腹鯖族群，其雌魚占比會越低。相較於一支釣，夜間作業之扒網捕到的花腹鯖雌魚有較高比例為繁殖活躍個體，且僅在夜間能捕抓到呈水卵雌魚。推論花腹鯖應屬夜間產卵魚種，當夜產卵個體會脫離非產卵群，上浮至表水層產卵，形成以雄魚為主的產卵群。魚卵生產模式的參數取得方法與實用性可加深瞭解目標魚種生殖生物學特色，並對經營管理提供建議。

關鍵詞：鯖魚、生殖生物學、魚卵生產模式

前 言

花腹鯖 (*Scomber australasicus*) 是臺灣重要經濟魚種，在 2017 - 2022 年間之漁業統計總捕獲量在 42,700 - 64,100 mt 之間 (占總漁獲量 4.1 - 6.5%) (漁業署, 2018-2023)，名列前 10 大主要魚種。臺灣主要以扒網來捕抓花腹鯖，每年捕獲之花腹鯖有 87-99% 由扒網貢獻，其他漁法如定置網、拖網、棒受網、刺網、延繩釣、一支釣與曳繩釣捕獲量都遠低於扒網。白腹鯖 (*S. japonicus*) 漁獲量在 2017 - 2021 年亦位列前 20 名中，捕獲量在 13,000 - 20,400 mt 之間，與花腹鯖重量比在 21 - 46% 之間 (漁業署, 2018-2023)。花腹鯖的全球產量不高，卻是臺灣鯖鯵漁業中最重要的魚種 (Sinaga *et al.*, 2021)。

生殖生物學參數可用於推估特定魚種繁殖潛能，從而了解族群量與補充量關係如何受繁殖潛能變動影響，作為目標魚種經營管理的重要參考指標 (Morgan, 2008, 2018)。例如食物來源與水溫會造成孕卵數出現年間變動，且越大的魚能產下

越多的卵 (Morgan, 2008, 2018)；當目標魚種存在性別差異的漁獲死亡率時，了解性比的時空變化會是校正繁殖潛能必須考量的 (Morgan, 2018)；卵巢產卵後濾泡組織會收縮再吸收而形成產後濾泡 (postovulatory follicles, POF)，常用於計算產卵比例。但不同魚種或不同水溫會影響 POF 再吸收所需的時間 (Ahlstrom and Moser, 1980)，需以人工催產方式推斷雌魚是幾天前產卵的。

了解小型洄游魚種的生殖生物學特徵，才能套用魚卵生產模式來推估其產卵群資源量。魚卵生產模式是重要的漁業資源推估方法 (Jakobsen *et al.*, 2016)，可提供非漁業依賴 (fishery-independent) 的估計生物量 (Jennings *et al.*, 2001)。花腹鯖屬於產卵量不固定的魚種 (Rogers *et al.*, 2009)，可用日魚卵生產模式來推估花腹鯖產卵群現存量 (Ward *et al.*, 2009)。

陳等 (2022) 在 2020 - 2023 年間嘗試運用日魚卵生產模式，進行宜蘭灣花腹鯖產卵親魚群現存量的科學評估，主要目標在臺灣海域實地評估日魚卵生產模式可行性，以便用於推估經濟性表層洄游魚種產卵群資源量。評估過程必須取得 4 個日魚卵生產模式所需生殖生物參數，即花腹鯖之雌魚平均重量、批次孕卵數、產卵比例與性比，同時在主要繁殖期至海上進行魚卵調查。本研究

*通訊作者 / 澎湖縣馬公市壽裡里 266 號; TEL: (06) 995-3416 轉 127; FAX: (06) 995-3058; E-mail: rgchen@mail.tfrin.gov.tw

統整 2020 – 2023 年期間花腹鯖成魚生殖生物學研究成果，推論花腹鯖產卵生態特性，期待能有助於鯖魚資源經營管理與永續利用。

材料與方法

一、樣本來源

鯖魚成魚樣本為 2020 – 2023 年 1 – 5 月分批向南方澳漁民購買，或自行使用船隻至蘇澳外海釣獲。主要來自扒網漁法 (Taiwanese seines)，其次為一支釣 (angling except trolling line)，其餘延繩釣 (long line)、定置網 (set net)、白帶魚一支釣 (hairtail jig) 混獲與曳繩釣 (trolling line) 來源較少且不穩定 (Table 1)。前述漁法當中扒網與白帶魚一支釣為夜間作業，延繩釣為曙光前作業，定置網樣本來自石城與梗枋為當日清晨回港漁獲，一支釣與曳繩釣則為白天所釣獲。

成魚樣本皆低溫下攜回實驗室。花腹鯖與白腹鯖鑑定參考 Collette and Nauen (1983) 所述，以花腹鯖之第一背鰭硬棘數 10 – 13 支 (大部分 11 支)，白腹鯖之第一背鰭硬棘數 9 – 10 支 (大都為 9 支)，花腹鯖之第一、第二背鰭間距較白腹鯖寬為主要辨識特徵。輔助特徵為花腹鯖較白腹鯖狹長且腹部有花紋，白腹鯖內臟可見大量寄生蟲的情形較花腹鯖常發生。量測全魚濕重、尾叉長、性別與生殖腺重，並依 Rogers *et al.* (2009) 所述判斷成熟階段。取下呈水卵狀態的一葉卵巢浸泡 10% 福馬林溶液後計算孕卵數，或取下卵巢正中央一塊浸泡 10% 中性福馬林固定，續以石蠟包埋後切片並以 Hematoxylin & Eosin 染色，以觀察是否有 POF 特徵出現。

二、生殖學參數

(一) 體長、體重與性比

本研究所稱體長為上顎尾叉長，所稱體重為全魚濕重。

雌魚平均重量 (W) 為加權平均，公式為： $W = \Sigma(W_i \times n_i) / N$ ； W_i ：第 i 批樣本平均重量、 n_i ：第 i 批雌魚數量、 N ：總雌魚數量。

雌魚去卵巢重 (ovary eviscerated weight)、雄魚平均重量或兩性別平均體長，同樣依上述方法

計算加權平均。

本研究所稱性比有二，其一為雌魚占比 (female ratio)，為該批次雌魚尾數佔全部魚隻尾數比值；其二為雌魚總重量比 (female weight ratio, 下稱 R) 為批次雌魚總重量佔全部魚隻重量的比值。

(二) 孕卵數

依 Lasker (1985) 方法計算。自福馬林保存之左葉或右葉卵巢分上中下三部位，各取下約 0.1 g 樣本，以甘油打散後在顯微鏡下計數水卵數量 (應在 100 顆左右)。將三部位所得平均水卵數量除以實際重量回推單位卵巢重量孕卵數 (oocyte/g ovary)，乘以該魚卵巢重量回推出個體孕卵數 (oocyte/fish)。使用線性迴歸取得當年度各尾魚個體孕卵數與其去卵巢重之關係式後，再帶入當年度所有雌魚加權平均去卵巢重，以求出當年度花腹鯖之批次孕卵數。

(三) 繁殖活躍度與產卵比例

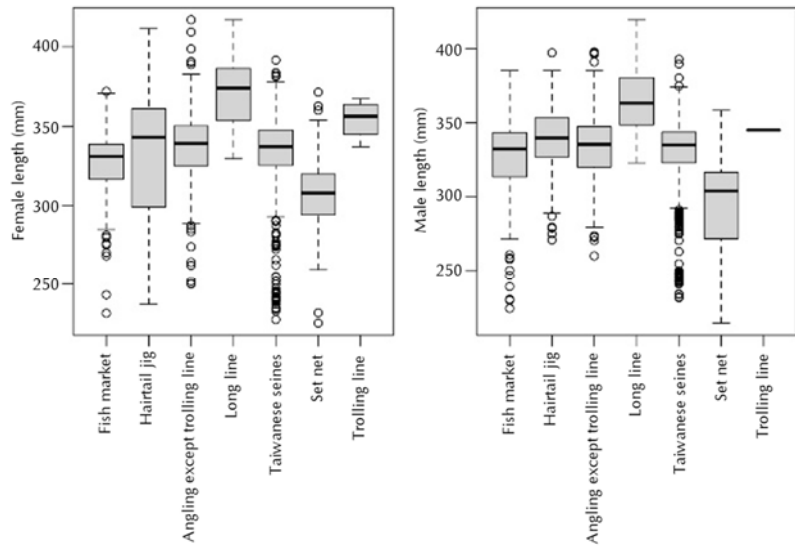
本研究所稱生殖腺指數 (gonadosomatic index, GSI) 為性腺重除以全魚濕重。

參考 Lasker (1985) 所述，將卵巢呈現水卵狀態 (hydrated ovary) 雌魚視為當日產卵個體，其數量除以該批樣本雌魚總數即為該批樣本之水卵雌魚比例；將出現產後濾泡 (POF) 的雌魚數除以該批樣本總雌魚數即為可見 POF 雌魚比例；產卵比例 (spawning fraction, S) 則依 Rogers *et al.* (2009) 考量 POF 會在卵巢內存在超過 24 小時，需將前述 POF 比例除以 2 始為當日產卵比例 (S)；產卵頻率 (spawning frequency) 則為當日產卵比例之倒數 ($1/S$)，係指雌魚平均幾天會產卵一次。

本研究將雌魚卵巢呈水卵狀態或出現 POF 者皆視為繁殖活躍個體。將所有繁殖活躍個體加總數量除以該批次雌魚總尾數，定義為繁殖活躍指數 (breeding index)。進行分析時以歷年曾見 POF 出現之最低平均雌性 GSI 為閾值，當該批雌魚平均 GSI < 2.7 時即汰除該批樣本，以免尚未進入產卵循環。同時剔除雌魚數量未達 3 尾者，以避免採樣過度偏差。

進行繁殖活躍指數與性比相關分析時同樣依照前述方式進行資料刪減。

Fig. 1 Box and whisker plots of individual fork lengths for female and male *Scomber australasicus* caught by different fishing gear from January to May 2020-2023. The horizontal line shows the median. The bottom and top of the box show the 25th and 75th percentiles, respectively. The vertical dashed lines show the whiskers. More points than whiskers were classified as outliers.



三、信賴區間

本研究之數據整理及統計分析使用 R 軟體 (version 3.4.2, R Core Team, 2020)。數據進行變異數分析 (ANOVA) 前以 Shapiro-Wilk test 檢驗數值分布是否符合常態性假說，以顯著水準 $p < 0.01$ 視為不符合常態分布前提；以 Fligner-Killeen test 檢驗各組別數值均質性，並以 $p < 0.01$ 視為不符合均質性假說。若經數值轉換仍無法符合上述假設時，則改用無母數分析法或 bootstrap method。

不同漁法之繁殖活躍個體數量比較使用卡方檢定 (Chi-squared test, χ^2)，以顯著水準 $p < 0.05$ 視為兩樣本間比例顯著不同。性比檢定亦同。

使用成對樣本均值差異 t 檢定 (paired t -test)，來確認左 / 右兩葉卵巢之單位卵巢重量孕卵數是否存在差異，以顯著水準 $p < 0.05$ 視為左 / 右葉間孕卵數顯著不同；同一葉卵巢上 / 中 / 下三部位單位重量孕卵數差異使用變方分析 (block ANOVA)，以顯著水準 $p < 0.05$ 視為三部位間卵數顯著不同。

使用無母數分析法時先使用 Kruskal-Wallis 檢定 (K-W test) 確認多組中位數是否相同，以顯著水準 $p < 0.05$ 視為群體間出現顯著不相等者，接著再以 Wilcoxon 排序和檢定 (Wilcoxon rank sum test) 進行組間兩兩比較，同樣以顯著水準 $p < 0.05$ 視為兩群體出現顯著不相等。

使用 bootstrap method 時以 95% 顯著水準作為兩群體間具有顯著差異 (CI: 2.5%, 97.5%)。體

長、體重、去卵巢重與雌魚總重量比皆使用加權平均，進行 2,000 次重複抽樣，公式範例如下：

$R = \Sigma(R_i \times n_i) / N$ ，此 $R_i = F_i / (F_i + M_i)$ ； F_i ：第 i 批雌魚總重、 M_i ：第 i 批雄魚總重、 n_i 為第 i 批樣本雌雄總尾數、 N 則為該年總尾數。

繁殖活躍參數同樣使用汰除後樣本進行 2000 次重複抽樣加權平均。當年度批次孕卵數是以 2000 次重複抽樣方式，重建線性迴歸式，再求出當年度批次孕卵。

結 果

一、鯖魚種類與體型差異

自 2020 - 2023 年四年期間計取得 3,637 尾鯖魚樣本，包括 3,313 尾花腹鯖與 324 尾白腹鯖。花腹鯖雄魚最大體長 419.4 mm (體重 1,072.2 g) 與最小體長 224.1 mm (體重 124.4 g)；花腹鯖雌魚最大體長 417.0 mm (體重 941.0 g)，最小體長 225.1 mm (體重 116.9 g)。不同年間各漁法取得之花腹鯖雌 / 雄魚平均體長、體重與數量請參見 Table 1 與 Fig. 1。鯖魚樣本 61.7% 來自扒網，其次 16.9% 來自一支釣。

扒網是宜蘭灣主要捕抓鯖魚漁法，蘇澳外海亦有穩定的魚群可供一支釣或延繩釣作業，這三種漁法樣本都可在南方澳漁港取得。石城一帶定置網在 2023 年 1 - 4 月持續捕抓到鯖魚，但 2020 - 2022 年間魚群未靠岸僅取得 1 尾白腹鯖樣本。夜間白帶魚

Table 1 Basic information of *Scomber australasicus* caught using different fishing gear from January to May 2020-2023

Gear	S.a.						Total	Number of S.a. and S.j.	S.j. (%)
	Female			Male					
	Number	Wet weight (g)	Fork length (mm)	Number	Wet weight (g)	Fork length (mm)			
2023									
Taiwanese seine	163	448.0	323.6	187	457.9	325.6	350	368	4.9
Angling except trolling line	129	504.0	335.8	154	497.1	331.4	283	287	1.4
Setnet	73	376.7	310.3	49	380.0	311.5	122	173	29.5
Longline	112	734.2	373.5	80	703.6	365.7	192	192	0
Fishmarket	6	253.1	274.5	9	169.8	245.4	15	20	25.0
Sum/Ave	483	512.9	336.5	479	497.9	331.5	962	1040	7.5
2022									
Taiwanese seine	134	467.2	327.4	366	447.1	322.8	500	559	10.6
Angling except trolling line	42	476.7	324.0	60	471.8	323.9	102	141	27.7
Hairtail jig	28	485.4	335.8	33	500.6	340.0	61	142	57.0
Set net	0	—	—	0	—	—	0	1	100
Trolling line	1	620.0	360.0	0.0	—	—	1	1	0
Fishmarket	64	474.7	329.4	92	506.5	334.1	156	173	9.8
Sum/Ave	269	504.8	335.3	551	481.5	330.2	820	1017	19.4
2021									
Taiwanese seine	265	563.1	344.4	372	558.0	342.5	637	642	0.8
Angling except trolling line	25	563.1	346.2	25	555.0	342.6	50	71	29.6
Trolling line	3	557.8	352.3	1	579.8	345.1	4	4	0
Sum/Ave	293	563.0	344.6	398	557.9	341.7	691	717	3.6
2020									
Taiwanese seine	331	519.6	338.9	342	519.0	337.7	673	675	0.3
Angling except trolling line	40	549.7	343.9	65	558.5	343.5	105	126	16.7
Long line	28	631.2	364.2	34	605.8	360.1	62	62	0
Sum/Ave	399	566.8	349.0	441	561.1	347.1	840	863	2.7

S.a.: *Scomber australasicus*; S.j.: *Scomber japonicus*

一支釣偶爾可以混獲鯖魚，曳繩釣則僅能在東澳灣外抓到花腹鯖。

鯖魚資源以花腹鯖為主 (91.1% 尾數)，白腹鯖主要來自於一支釣、白帶魚一支釣混獲與定置網捕抓，其出現比例皆小於 10%，白腹鯖數量在 2022 年較多係因取得白帶魚一支釣混獲樣本，且同年 3 月在南方澳取得扒網捕獲全為小體型白腹鯖。於蘇澳外海作業之一支釣（包括本研究自行捕抓）在 2020 – 2022 年間，白腹鯖所占比例依序為 17%、30% 與 28%，在 2023 年卻驟減至 1.4%。

不同漁法取得花腹鯖體長範圍如 Fig. 1 所示，

經 K-W 檢定具有顯著差異 ($p < 0.001$)。當中以延繩釣取得花腹鯖體長最大，在雌魚/雄魚體長皆顯著大於其他漁法 (Wilcoxon test, $p < 0.001$)，但與曳繩釣取得體型相近 (Wilcoxon test, $p = 0.09$)；定置網取得花腹鯖體長最小，皆顯著小於其他漁法 (Wilcoxon test, $p < 0.001$)；扒網與一支釣取得花腹鯖體長間無顯著差異 (Wilcoxon test, $p > 0.1$)；白帶魚一支釣混獲之花腹鯖雌魚體長與扒網或一支釣間無顯著差異 (Wilcoxon test, $p > 0.1$)，但雄魚體長大於扒網取得樣本 (Wilcoxon test, $p < 0.05$)。

以扒網取得花腹鯖雌/雄兩性別體重在

2020/2021 兩年較大，在 2022/2023 兩年較小 (Fig. 2)。經檢定有顯著差異 (ANOVA, 雌性 $p=0.02$ ；雄性 $p<0.01$)。雌魚在 2021 年取得樣本顯著大於 2022/2023 年間 (t -test, $p<0.01$)，其餘年間未達顯著水準；雄魚在 2020 年間樣本體重顯著大於 2022/2023 年間 (t -test, $p<0.05$)，且 2021 年取得樣本亦顯著大於 2022/2023 年間 (t -test, $p<0.01$)，雄魚在 2020 年體重則略小於 2021 年樣本 (t -test, $p=0.053$)。

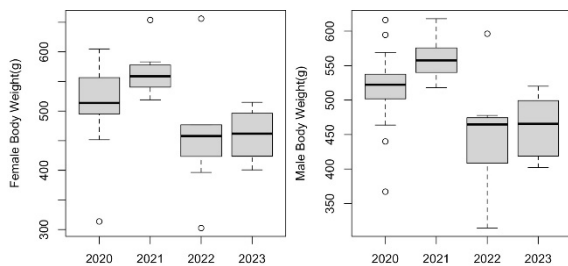


Fig. 2 Box and whisker plots of batch body weight for female and male *Scomber australasicus* caught by Taiwanese seines from January to May 2020-2023.

二、性比

花腹鯖在 2020 - 2023 年間雌魚佔比平均值為 0.47，雌魚總重量比 (R) 平均值亦為 0.47。經檢定顯示 2022 年雌魚佔比與雌魚總重量比顯著悖離雌雄比例均等假設 (χ^2 test, $p<0.01$)，該年雌魚佔比平均值為 0.37 (範圍: 0.13 - 0.74)，R 值平均為 0.37 (範圍: 0.11 - 0.77)。其餘各年雌/雄比例並未有顯著差異 (χ^2 test, $p>0.1$)。雌魚佔比與雌魚總重量比經迴歸分析呈顯著線性相關 ($p<0.001$, $\text{adj}R^2=0.987$)，斜率為 0.983，故後續分析所稱性比皆僅呈現雌魚總重量比。

花腹鯖性比在每年 1 - 4 月會在 0.11 - 0.89 間變動，當雌魚繁殖活躍度低時雌雄比接近相等，隨著該群雌魚繁殖活躍度變高，雌魚所佔比例 (R) 會顯著下降 (Fig. 3)，此斜率為 -0.177 顯著不為 0 ($p<0.01$, $\text{adj}R^2=0.142$)；在 Fig. 3 中繁殖活躍指數為 0 的 8 個樣本點其 GSI 為 3.13 - 7.34，皆高於曾發現 POF 出現之最低 GSI (2.7)，可確認已進入繁殖週期。若移除此 8 個樣本點，重繪所得之斜率為 -0.165 仍同樣顯著不為 0 ($p=0.03$, $\text{adj}R^2=0.101$)。應可推論在繁殖期時，準備產卵或剛產卵的花腹鯖群體中會是以雄魚為主。

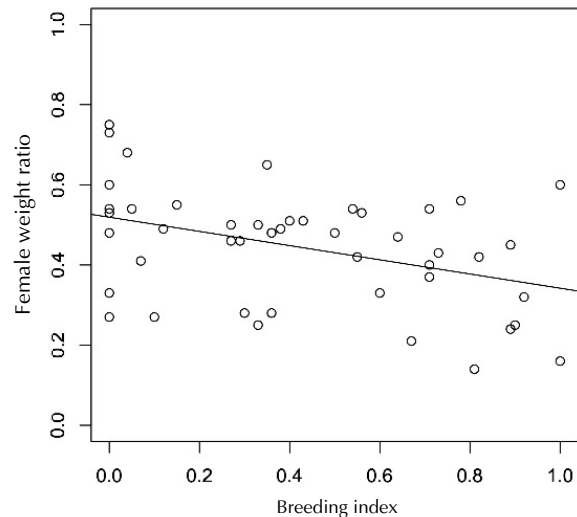


Fig. 3 The female weight ratio of *Scomber australasicus* from January to April significantly decreased as the breeding index increased ($p=0.009$, slope = -0.177, adjusted $R^2=0.142$).

三、孕卵數

分析花腹鯖左右卵巢單位重量孕卵數並無顯著差異 (paired t -test, $n=8$, $p=0.66$)，同一葉卵巢上/中/下三部位單位重量孕卵數亦無顯著差異 (block ANOVA, $n=8$, $p=0.65$)。在 2020 - 2022 年間花腹鯖平均單位卵巢重量孕卵數為 1102 oocyte/g ovary，三年平均值依序為 1148, 1016, 1182 oocyte/g ovary 沒有年間差異 (ANOVA, $p=0.103$)；三年之雌魚單位平均去卵巢重孕卵數依序為 102、162、147 (oocyte/g ovary eviscerated weight)。

以線性迴歸找出個體孕卵數 (y) 與去卵巢重 (x) 間關係如 Fig. 4 所示，迴歸關係式則分別為 $y(2020)=311.1x-98387$ ($\text{adj}R^2=0.415$, $p=0.05$)； $y(2021)=287.3x-67858$ ($\text{adj}R^2=0.178$, $p<0.01$)； $y(2022)=69.4x+31816$ ($\text{adj}R^2=0.143$, $p=0.02$)。經 ANCOVA 檢定發現這三年間斜率有顯著差異，當中 2021 年與 2022 年斜率顯著不同 ($p=0.022$)，但 2020 年與 2021 或 2022 年間斜率無顯著差異 ($p=0.831$ 或 0.144)。故 2022 年不同體型雌魚批次排放總卵數差異較小，而 2020/2021 年之大體型雌魚單一批次可以排放更多的卵。

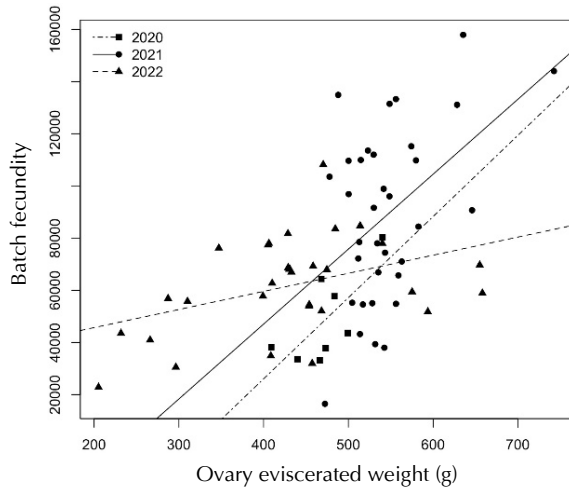


Fig. 4 Relationship between the ovary weight and batch fecundity in female *Scomber australasicus* caught off the northeastern coast of Taiwan.

四、繁殖活躍度與產卵比例

花腹鯖雌魚卵巢在 1 月開始發育，至 2、3 月達到高峰，4 月開始下降，至 5 月卵巢已經大幅萎縮 (Fig. 5a)。為瞭解雌魚卵巢中出現 POF 的個體比例，本研究在 2021–2023 年分別製備 174、198、346 片切片，2020 年間因尚在建立組織切片製備能力，切片品質偏低在此不列入分析。出現 POF 個體比例在 1 月尚很低，自 2 月開始上升，至 3 月/4 月達最高，而 5 月驟降 (Fig. 5b)。呈水卵雌魚在 1 月 14 批樣本有 1 批有水卵雌魚出現；2 月 10 批中有 1 批；3 月 41 批有 10 批；4 月 23 批有 6 批；5 月 5 批皆無。花腹鯖繁殖活躍度同樣自 1 月開始上升，至 4 月達最高後在 5 月隨著卵巢萎縮出現驟降情形 (Fig. 5c)。從 Fig. 5d 中可看出水卵個體比例高峰是出現在 3 月/4 月。

不同漁法取得花腹鯖繁殖活躍雌魚數如 Table 2 所示。在 236 尾出現 POF 雌魚有 61% 是來自扒網漁法 (143 尾)；在 88 尾水卵雌魚中，有 78% (69 尾) 是扒網捕抓到，一支釣未曾捕獲。從白帶魚夜間一支釣與延繩釣皆可釣獲花腹鯖水卵雌魚，證明呈水卵的花腹鯖仍會有進食行為。自扒網取得 351 尾雌魚中有 52% 屬於繁殖活躍個體，除一支釣與定置網漁獲之雌魚繁殖活躍指數低於三成外，與扒網同樣是夜間作業之白帶魚一支釣混獲與延繩釣，皆有三成以上個體屬於繁殖活躍狀態。出現 POF 雌魚或呈水卵雌魚比例在不同漁法間皆有顯

著差異 ($\chi^2, p < 0.001$)，加總所得繁殖活躍指數在不同漁法間亦是顯著不同 ($\chi^2, p < 0.001$)。為避免年間差異，僅比較三年皆有樣本之扒網與一支釣，發現出現 POF 雌魚比例或呈水卵雌魚比例在兩漁法間皆有顯著差異 ($\chi^2, p < 0.001$)，繁殖活躍指數在兩漁法間亦是顯著不同 ($\chi^2, p < 0.001$)，顯示夜間作業之扒網有顯著較高機會捕抓到繁殖活躍個體。

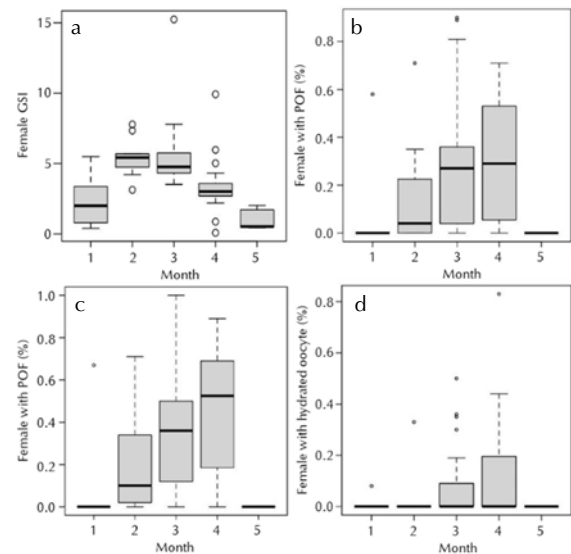


Fig. 5 Four reproduction index of female *Scomber australasicus* from January to May during 2020–2023. GSI: gonadosomatic index (ovary weight/body weight); POF: postovulatory follicles.

五、歷年生殖特徵比較

以 bootstrap method 綜觀不同漁法取得花腹鯖年間差異，結果如 Table 3 所示。花腹鯖雌魚/雄魚尾叉長都是 2022 年最小，與 2020 或 2021 年達顯著差異；在雌魚濕重與去卵巢重方面，亦是 2022 年最小，且與 2020 或 2021 年顯著差異；雌魚總重量比在 2022 年顯著偏離兩性均等，且與 2023 年顯著差異；當日產卵比例在 2021–2023 年間未有顯著差異，以 2022 年較高，換算之三年平均產卵頻率為 4.1–7.1 天；繁殖活躍指數同樣在 2021–2023 年間未達顯著差異，亦以 2022 年較高；批次孕卵數則以 2021 年最高，且與 2020 或 2022 皆達顯著差異。整體說來，2022 年出現雌/雄魚體型顯著變小，等重大型雌魚孕卵數偏低，前兩者共同導致該年批次孕卵數偏低，性比也顯著偏離雌/雄相

Table 2 The result of the proportion homogeneity test of reproductively active female *Scomber australasicus* caught by different fishing gears from Jan to Apr during 2021-2023

Gear	Hairtail jig	Angling except trolling line	Long line	Fish market	Taiwanese seines	Set net	Total	χ^2	<i>p</i>
Females with POFs	9	33	39	9	143	3	236	34.3	<0.001
%	0.36	0.22	0.35	0.14	0.35	0.11			
Females with hydrated oocyte	1	0	2	16	69	0	88	65.5	<0.001
%	0.04	0	0.02	0.25	0.17	0			
Breeding females	10	33	41	25	212	3	324	81.5	<0.001
Breeding index	0.40	0.22	0.37	0.39	0.52	0.11			
Total	25	149	110	64	351	27	726		

POF means postovulatory follicles

Table 3 Bootstrapping results of reproductive traits for *Scomber australasicus* from January to May during 2020-2023

Year	CI (%)	Female fork length (mm)	Male fork length (mm)	Female wet weight (g)	Ovary eviscerated weight (g)	Female weight ratio	Spawning fraction	Breeding index	Batch fecundity (oocyte/fish)
2020	2.5	336.9	336.6	510.2	490.4	0.426	–	–	41,920
	50.0	340.6	340.5	527.9	508.4	0.472	–	–	59,029
	97.5	344.6	344.6	546.1	527.5	0.525	–	–	71,741
2021	2.5	341.3	339.9	545.3	521.7	0.354	0.083	0.325	72,977
	50.0	344.0	342.8	558.4	531.5	0.424	0.150	0.472	84,945
	97.5	347.7	345.9	579.6	545.1	0.501	0.237	0.693	96,099
2022	2.5	319.0	318.3	430.1	409.2	0.252	0.152	0.460	56,455
	50.0	327.9	326.2	468.5	445.7	0.332	0.245	0.636	62,802
	97.5	334.8	333.2	504.8	477.1	0.430	0.325	0.757	69,673
2023	2.5	325.8	324.8	461.4	445.8	0.453	0.084	0.203	–
	50.0	334.2	333.3	506.3	485.7	0.502	0.140	0.335	–
	97.5	344.0	342.8	560.0	535.7	0.549	0.200	0.475	–

CI: 95% confidence interval

等現象，這可能與該年度採獲樣本有較高的繁殖活躍度有關。

討 論

一、鯖魚種類與體型差異

白腹鯖在 1996 – 2001 年臺灣漁獲量極低 (蕭, 2010)；至 2001 – 2013 年間比例在 15 – 40% 間波動 (張, 2014)；在 2008 – 2020 年間白腹鯖佔 20 – 50% 鯖總產量 (Sinaga, 2023)。另依據漁業署歷

年漁獲統計年報，白腹鯖/花腹鯖產量重量比在 2017 – 2021 年約在 21 – 46% 間。本研究發現白腹鯖占比在不同漁法間差異大，若單就固定在蘇澳外海作業之一支釣漁獲來看，白腹鯖在 2020 – 2022 年間數量比例在 17 – 30% 之間，但在 2023 年驟降至 1.4%，但同年定置網中白腹鯖約佔 30%。花腹鯖與白腹鯖的棲地變化對於未來臺灣鯖魚捕獲量的影響可能需要預防性的了解。

本研究在 2022/2023 年間取得之花腹鯖，無論是扒網漁法 (Fig. 2) 或是綜合所有漁法 (Table 3)，都出現 2022 年花腹鯖魚隻體型顯著較小現象。

而 Sinaga (2023) 分析 2017 – 2021 年間宜蘭灣扒網漁船捕獲之花腹鯖，則發現成熟體型在 2021 年最低，並認為這可能是臺灣東北海域近年鯖鱈漁業過漁的徵兆。從前述兩研究結果皆顯示花腹鯖體型在近年可能有變小現象，應持續追蹤以永續利用鯖魚資源。

二、性比

張 (2014) 發現自扒網取得白腹鯖樣本在 3 月/4 月繁殖期是以雄魚較多，且顯著悖離兩性均等假設，繁殖期過後變成雌魚比例較高現象。大西洋鯖在產卵場會是雄魚佔比較高，但從魚市場所獲則是雌魚佔比 ($R = 0.61$) 較高 (Lockwood *et al.*, 1981)。大西洋鱈 (*Gadus morhua*) 因雄魚有領域行為，故產卵海域雄魚較多，深海區改以產完卵的雌魚為主 (Morgan and Trippel, 1996)。本研究已確認花腹鯖出現繁殖活性越高，雄魚比例越高現象 (Fig. 3)，意即花腹鯖產卵群會與非產卵群分開結群，而有不同比例的性別組成。這個現象應與在夜間呈水卵的祕魯鯷 (*Engraulis ringens*) 待產雌魚會吸引雄魚圍靠，從而形成以雄魚為主的產卵群，因此雌性佔比會隨著產卵活性越高而下降 (Alheit *et al.*, 1984) 類似。陳等 (2021) 推測宜蘭灣花腹鯖應是夜間產卵魚種，考量扒網等夜間作業漁法有更高的機會捕抓到繁殖活躍個體 (Table 2)，推論以扒網取得樣本應較不適合推定花腹鯖族群性別比例。

三、孕卵數

全球三大鯖魚種類中，大西洋鯖 (Dos Santos Schmidt *et al.*, 2021)、花腹鯖 (Rogers *et al.*, 2009) 與白腹鯖 (Dickerson *et al.*, 1992) 都已確認為產卵量無法預期魚種 (indeterminate spawner)，因此批次孕卵數是唯一有用的孕卵數評估方法 (Lasker, 1985)，再乘上雌魚產卵期共產下幾批卵才是年度總產卵量。產卵次數受繁殖環境、食物豐寡與其他因子影響。如白腹鯖老大魚產後恢復快，其產卵間隔可比初次產卵者短 (Dickerson *et al.*, 1992)；食物可及性可用來解釋大西洋鱈孕卵數的年間變動 (Kraus *et al.*, 2002) 等。Lasker (1985) 指出美洲鯷 *Engraulis mordax* 在 1951 – 1984 年間批次孕卵數

有顯著年間差異。本研究發現花腹鯖之批次孕卵數與雌魚體重關係在 2022 年之斜率顯著小於 2021 年 (Fig. 4)，表示等重之較大體型花腹鯖雌魚 (>500 g) 批次排卵量在 2022 年將少於 2021 年，建議以日魚卵生產模式推估資源量時應每年重新估算孕卵數。

四、繁殖活躍度與產卵比例

產卵比例 (S) 是日魚卵生產模式中最難估計的參數 (Stratoudakis *et al.*, 2006)。產後濾泡的再吸收速率必須用當地水溫做校正 (Lasker, 1985; Shiraishi *et al.*, 2009)。例如將 *E. mordax* 與 *Sardinops sagax* 蓄養在水溫 13 – 19°C 進行人工催生，產後濾泡在排卵後超過 28 小時就已經不易辨識，48 小時後因腔室特徵萎縮變小而不易見 (Lasker, 1985)。白腹鯖在水溫 19 – 20°C 催生後 48 小時其 POF 剩下 24 小時前的 1/3 (Dickerson *et al.*, 1992; Shiraishi *et al.*, 2009)。蓄養在水溫 23 – 24°C 之正鯷，催生後 24 小時 POF 退化程度已類似 *E. mordax* 催生後 48 小時 (Hunter *et al.*, 1986)。東澳洲海域黃鰭鮪 (*Thunnus albacares*) 產後 24 小時即無法辨識 POF (McPherson, 1991)。後續針對熱帶海域鯖科魚種產卵比例多沿用 McPherson (1991) 所述，例如東方齒鯖 (*Sarda orientalis*) 即認為 POF 一日後即無法辨識 (黃, 2015)，康氏馬加鰹 (*Scomberomorus commerson*) 亦同 (Weng *et al.*, 2020)。

過往 (陳等, 2021; Sinaga *et al.*, 2021) 認為花腹鯖 POF 再吸收應需兩日，皆參考 Ward *et al.* (2009) 依蓄養在 20°C 水溫之白腹鯖 (Dickerson *et al.*, 1992) 所推測。因臺灣海域花腹鯖產卵場表水溫約在 23 – 28°C (Sinaga *et al.*, 2021)，產後濾泡再吸收速度應與前述熱帶鮪類較接近。推論臺灣週邊海域花腹鯖 POF 退化速度極可能未達 48 小時，應將可辨識 POF 之雌魚視為 24 小時內產卵個體，以避免因 POF 退化縮小不易切片觀察導致的誤差。在未能以人工繁殖確認 POF 再吸收歷程前，應以較保守的態度去使用產卵比例，在使用日魚卵生產模式推估產卵親魚量時，亦應考量 POF 可能在一日後即難以辨識。

扒網捕抓鯖魚海域在蘇澳外海與一支釣重疊，兩漁法作業最大時差約 12 小時。故無論花腹鯖 POF 再吸收需 48 小時或是更短之 24 小時，理

論上在產卵後一日內抓到，兩漁法應有相近的繁殖活躍個體比例。因扒網與一支釣樣本三年皆有，且同為 3 - 4 月間之樣本，應可排除年間差異或個體未達繁殖週期所致。但從 Table 2 中花腹鯖雌魚出現 POF 或水卵的比例卻有顯著差異，在日間作業的一支釣抓到繁殖活躍個體的比例，比夜間作業的扒網低很多。推論其一是夜間準備產卵的繁殖活躍個體獨立結群，其二前述產卵群要重新混入非繁殖活躍的覓食群需要一點時間，其三是 POF 在產後很快萎縮，可能在 12 小時後已相當難辨識。後續應以中層拖網再次確認本研究所見漁法差異是否與日夜間繁殖活躍度不同有關。

許多大洋洄游性近岸產卵魚種，會產下維持在混合層中，具正浮力不會下沉的魚卵 (Sundby and Kristiansen, 2015)，以隨洋流輸送至哺育場。大西洋鯖 (Coombs, 1981; Lockwood *et al.*, 1981) 與白腹鯖 (Jung *et al.*, 2013) 皆有此產卵特性。Chen and Huang (2024) 發現宜蘭灣花腹鯖魚卵分布可以表水鹽度、溫度與密度來解釋，顯示花腹鯖亦是產下上浮性魚卵。這類大洋性魚種多有夜間產卵習性 (Walsh and Johnstone, 1992)，如白腹鯖認為是午夜以前 (Yamada *et al.*, 1998; Shiraishi *et al.*, 2009)，高峰應是 22:00 (Dickerson *et al.*, 1992)；澳洲從魚卵發生歷程推估花腹鯖產卵高峰是在 00:00 (Ward *et al.*, 2015)；陳等 (2022) 亦從魚卵發生回推宜蘭灣花腹鯖產卵高峰應是在 20:00 - 22:00，本研究僅夜間作業漁法捕抓到呈水卵雌魚 (Table 2) 等。此外，箱網養殖的白腹鯖曾觀察到排卵前會上浮至水表 (Tsuda *et al.*, 2014)。從這些研究或可推論，宜蘭灣花腹鯖雌魚在夜間準備產卵時應會上浮至混合層以淺，才能把卵產在適合仔稚魚存活的海流中。當產卵群較易形成大且密結的魚群，產卵群會更容易被圍網作為目標而捕獲 (Lasker, 1985)。本研究已確認扒網漁法捕抓到繁殖活躍個體 (或水卵雌魚) 比例顯著高於其他漁法，並曾取得整批雌魚全呈水卵狀態，或整批雌魚全為水卵或出現 POF 特徵 (Fig. 3)，應可推論花腹鯖是會形成獨立的產卵群，且會上浮而易被扒網捕抓到。後續應要加速了解花腹鯖產卵群是否有較高的漁獲死亡率，並進行預防性的政策保護。

魚卵生產模式必須針對目標魚種，進行高強度且密集的生殖生物學與生殖生態學研究 (Dickey-Collas *et al.*, 2012)。藉此模式完整且詳盡

的參數取得及估算方法，足以提供監測族群豐度變化、繁殖潛能與生態系變動等所需科學見解，並深入對於目標魚種有關非漁業依賴各方面的認識。本研究取得生殖生物學成果，應可助於臺灣沿近海漁業資源管理與永續利用，期能逐步提升魚卵生產模式估算資源量的可用度。

參考文獻

- 張雅雯 (2014) 臺灣東北部海域白腹鯖年齡成長與生殖生物學之研究. 國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學系 碩士論文, 96 pp.
- 陳瑞谷, 黃鼎傑, 王友慈 (2022) 臺灣近海花腹鯖產卵親魚量之試算. 水產研究, 30 (1): 1-13.
- 黃鈞淳 (2015) 臺灣東部海域齒鯨之生殖生物學研究. 國立臺灣大學理學院海洋研究所 碩士論文, 112 pp.
- 漁業署 (2018-2023) 中華民國臺閩地區漁業統計年報 (2017-2022). 農業部漁業署.
- 蕭韻穎 (2010) 漁業與環境變動對東北海域花腹鯖成熟體長影響之研究. 國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學系 碩士論文, 97 pp.
- Ahlstrom, E. H. and G. H. Moser (1980) Characters useful in identification of pelagic marine fish eggs. CalCOFI Rep. XXI: 121-131.
- Alheit, J., V. H. Alarcon and B. J. Macewicz (1984) Spawning frequency and sex ratio in the Peruvian anchovy, *Engraulis ringens*. CalCOFI Rep., Vol. XXV, 43-52.
- Chen, R. G. and T. C. Huang (2024) Relationship of *Scomber australasicus* eggs distribution with the hydrological variables. Ocean Sciences Conference, 23-25 Apr. 2024, Hsinchu, Taiwan, p265.
- Collette, B. B. and C. E. Nauen (1983) An annotated and Illustrated Catalogue of Tunas, Mackerels, Bonitos and Related Species Known to Date (FAO Species Catalogue, Vol. 2. Scombrids of the World). FAO Fish. Synop. 125, Vol. 2, 137 pp.
- Coombs, S. H. (1981) A density-gradient column for determining the specific gravity of fish eggs, with particular reference to eggs of the mackerel *Scomber scombrus*. Mar. Biol., 63: 101-106.
- Dickerson, T., B. Macewicz and J. Hunter (1992) Spawning frequency and batch fecundity of chub mackerel, *Scomber japonicus*, during 1985. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep., 33: 130-140.

- Dickey-Collas, M., S. Somarakis, P. R. Witthames, C. J. G. van Damme, A. Uriarte, N. C. H. Lo and M. Bernal (2012) Where do egg production methods for estimating fish biomass go from here? *Fish. Res.*, 117-118: 6-11.
- Dos Santos Schmidt, T. C., A. Thorsen, A. Slotte, L. Nøttestad and O. S. Kjesbu (2021) First thorough assessment of de novo oocyte recruitment in a teleost serial spawner, the Northeast Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) case. *Sci. Rep.*, 11: 21795.
- FAO (2022) The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. FAO, Rome.
- Hunter, J. and S. Goldberg (1980) Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fish. Bull.*, 77: 641-652.
- Hunter, J. R., B. E. Macewicz and J. Sibert (1986) The spawning frequency of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, from the south Pacific. *Fish. Bull.*, 84: 895-903.
- Jakobsen, T., M. J. Fogarty, B. A. Megrey and E. Moksness (2016) Fish Reproductive Biology: Implications for Assessment and Management (2nd ed.). Wiley-Blackwell, USA, 488 pp.
- Jennings, S., M. J. Kaiser and J. D. Reynolds (2001) Marine Fisheries Ecology. Wiley-Blackwell, USA, 432 pp.
- Jung, K. M., S. K. Kang, H. K. Cha and K. Choi. (2013). Buoyancy and vertical distribution of mackerel *Scomber japonicus* eggs in Korean Waters. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46(6), 957-965.
- Kraus, G., J. Tomkiewicz and F. W. Köster (2002) Egg production of Baltic cod (*Gadus morhua*) in relation to variable sex ratio, maturity, and fecundity. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 59: 1908-1920.
- Lasker, R. (1985) An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to northern anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Tec. Rep. NMFS 36. California, USA.
- Lockwood, S. J., J. H. Nichols and W. A. Dawson (1981) The estimation of a mackerel (*Scomber scombrus* L.) spawning stock size by plankton survey. *J. Plankton Res.*, 3: 217-233.
- McPherson, G. (1991) Reproductive biology of yellowfin tuna in the eastern Australian Fishing Zone, with special reference to the north-western Coral Sea. *Mar. Freshwater Res.*, 42: 465.
- Morgan, M. J. (2008) Integrating reproductive biology into scientific advice for fisheries management. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.*, 41: 37-51.
- Morgan, M. J. (2018) Understanding biology to improve advice for fisheries management. *ICES J. Mar. Sci.*, 75: 923-931.
- Neira, F. J. and J. P. Keane (2008) Ichthyoplankton-based spawning dynamics of blue mackerel (*Scomber australasicus*) in south-eastern Australia: links to the East Australian Current. *Fish. Oceano.*, 17: 281-298.
- R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rogers, P. J., T. M. Ward, L. J. McLeay, M. Lowry, R. J. Saunders and D. Williams (2009) Reproductive biology of blue mackerel, *Scomber australasicus*, off southern and eastern Australia: suitability of the daily egg production method for stock assessment. *Mar. Fresh. Res.*, 60: 187-202.
- Sassa, C. and Y. Tsukamoto (2010) Distribution and growth of *Scomber japonicus* and *S. australasicus* larvae in the southern East China Sea in response to oceanographic conditions. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 419: 185-199.
- Shiraishi, T., S. Ketkar, Y. Kato, M. Nyuji, A. Yamaguchi and M. Matsuyama (2009) Spawning frequency of the Tsushima Current subpopulation of chub mackerel *Scomber japonicus* off Kyushu, Japan. *Fish. Sci.*, 75: 649-655.
- Sinaga, S. (2023) A study of reproductive biology and spatial-temporal distribution of blue mackerel (*Scomber australasicus*) spawning in the waters off Northeastern Taiwan. PhD Thesis, National Taiwan Ocean Univ., 107 pp.
- Sinaga, S., H. J. Lu and J. R. Lin (2021) Mackerel (*Scomber australasicus*) reproduction in northeastern Taiwan. *JMSE*, 9:1341.
- Stratoudakis, Y., M. Bernal, K. Ganas and A. Uriarte (2006) The daily egg production method: recent advances, current applications and future challenges. *Fis. Fish.*, 7: 35-57.
- Sundby, S. and T. Kristiansen (2015) The principles of buoyancy in marine fish eggs and their vertical distributions across the world oceans. *PLOS ONE*, 10: 1-23.
- Tsuda, Y., S. Yamamoto, H. Yamaguchi, T. Ohnishi, W. Sakamoto and O. Murata (2014) Vertical movement of spawning cultured chub mackerel (*Scomber japonicus*) in a net-cage. *Aquaculture*, 422-423: 136-140.
- Walsh, M. and A. D. F. Johnstone (1992) Spawning

- behaviour and diel periodicity of egg production in captive Atlantic mackerel, *Scomber scombrus* L. J. Fish Biol., 40: 939-950.
- Ward, T. M., P. J. Rogers, L. J. McLeay and R. McGarvey (2009) Evaluating the use of the Daily Egg Production Method for stock assessment of blue mackerel, *Scomber australasicus*. Mar. Fresh. Res., 60: 112.
- Ward, T. M., G. Grammer, A. Ivey, J. Carroll, J. Keane, J. Stewart and L. Litherland (2015) Egg distribution, reproductive parameters and spawning biomass of Blue Mackerel, Australian Sardine and Tailor off the east coast during late winter and early spring. FRDC Project No 2014/033.
- Weng, J. S., S. F. Yu, Y. S. Lo, J. C. Shiao, M. A. Lee, K. M. Liu, H. H. Huang and Y. C. Wang (2020) Reproductive biology of the narrow-barred Spanish mackerel (*Scomberomorus commerson*) in the central Taiwan Strait, western Pacific. Deep Sea Res. Part II: Top. Stud. Oceanogr., 175: 104755.
- Yamada, T., I. Aoki and I. Mitani (1998) Spawning time, spawning frequency and fecundity of Japanese chub mackerel, *Scomber japonicus* in the waters around the Izu Islands, Japan. Fish. Res., 38: 83-89.

Reproductive Biology of Blue Mackerel (*Scomber australasicus*) off Yilan Bay, Northeastern Taiwan

Ruei-Gu Chen^{1*} and Ting-Chieh Huang²

¹Penghu Fishery Research Center, Fisheries Research Institute

²Marine Fisheries Division, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

The blue mackerel (*Scomber australasicus*) is the most important species supporting Taiwan's mackerel fisheries. This study provides the reproductive biology parameters of adult mackerel caught from 2020 to 2023. Based on monthly changes in the gonadosomatic and breeding indexes, we deduced that the main spawning period for blue mackerel is from March to April. The proportion of female blue mackerel in a school decreases as their reproductive state progresses. Actively spawning females are caught more often by Taiwanese seines at night than by hook and line during the daytime. Here, all fish with ovaries containing hydrated oocytes were collected at nighttime. These results suggest that blue mackerel is a night-spawning species. Fish that breed at night move to the water surface and release gametes away from non-mating schools, resulting in a male-dominated school. These findings enhance our understanding of reproductive biology in target fish populations and will help manage these fisheries.

Key words: mackerel, spawning biology, egg production method

*Correspondence: No. 266 Shili, Magong City, Penghu County, Taiwan. TEL: (06) 995-3416 ext. 127; FAX: (06) 995-3058; E-mail: rgchen@mail.tfrin.gov.tw

澎湖縣望安海域燈火漁業禁漁區漁獲組成解析

鄭力綺^{1*} · 吳伊淑¹ · 陳律祺² · 黃洵慈³ · 藍國璋³ · 翁進興¹ · 謝恆毅⁴ · 張宏安⁵

¹ 農業部水產試驗所沿近海漁業生物研究中心

² 農業部水產試驗所海洋漁業組

³ 國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系

⁴ 農業部水產試驗所澎湖漁業生物研究中心

⁵ 澎湖縣政府農漁局

摘 要

本研究於 2022 年 4 - 9 月在澎湖縣望安燈火漁業禁漁區周邊海域分別以棒受網及一支釣船進行樣本採集，探究該區燈火漁獲組成月間變動。結果顯示，春季以小鱗脂眼鯷 (*Etrumeus micropus*, Pacific round herring)、槍魷科稚體 (*Loliginidae* larvae) 為主；夏季物種交替頻繁，6 月以白腹鯖 (*Scomber japonicus*, Pacific mackerel) 與臭肚魚科稚魚 (*Siganidae* larvae, rabbitfishes) 為主，7 - 8 月則以平胸鈍腹鯷 (*Amblygaster leiogaster*, smooth-belly sardinella) 及黃小沙丁魚 (*Sardinella lemuru*, bali sardinella) 為主，其次為中國槍鎖管 (*Uroteuthis chinensis*, Taiwanese squid)。9 月以黃小沙丁魚、藍圓鰺 (*Decapterus maruadsi*, Round scad) 及槍魷科稚體為主。禁漁區外因水深梯度大、流速快，豐富度與歧異度較低，4 月以南洋美銀漢魚 (*Atherinomorus lacunosus*, hardyhead silverside)、槍魷科稚體為主，5 - 6 月以白腹鯖、小鱗脂眼鯷為主，7 月與 8 - 9 月分別以平胸鈍腹鯷、黃小沙丁魚為主。此外，禁漁區內以棒受網趨光誘集捕獲的稚體達 21 科，於 4 - 6 月及 9 月捕獲率達 25% 以上；白腹鯖、藍圓鰺未達 50% 性成熟體長者約 46% 以上；中國槍鎖管體型明顯較一支釣小，已成熟比例亦相對較低。綜上觀察，禁漁區內為重要的魚介類繁殖場及孵育場，以棒受網趨光集魚捕獲體型有小型化的趨勢。此結果可供漁政管理單位現行法規修正參考。

關鍵詞：望安燈火漁業禁漁區、漁獲組成、棒受網、體長

前 言

澎湖周邊海域燈火漁業 (棒受網、扒網、焚寄網等) 年產量自 2013 年的 1,465 mt，增加至 2016 年 3,938 mt，隨後大幅下降，於 2018 年達近 10 年內最低值。2020 年漁獲量短暫上升至 1,293 mt 後，於 2021 - 2022 年則微幅下降至 847 - 886 mt，約佔該縣總漁業生產量的 7 - 29%，年間變動大。為提升漁獲效率與捕撈量，燈火漁船使用的集魚燈光強度有逐年增加趨勢 (Chyn and Liao, 2006; Liao *et al.*, 2007)。過去文獻大都集中於集魚燈光

強度與漁業生物的趨光行為 (Kawamura, 1983; Arakawa *et al.*, 1998; Marchesan *et al.*, 2005; Liao *et al.*, 2007) 及視覺影響 (康, 2004; Marchesan *et al.*, 2005) 研究，以了解在不同集魚燈光功率下之魚種組成、視覺生理反應變化，同時探討集魚燈光最適強度與燈泡種類選擇 (康, 2004; Marchesan *et al.*, 2005; Liao *et al.*, 2007; Matsushita and Yamashita, 2012) 等，以期透過政策訂定、管制集魚燈光強度，降低非目標物種的混獲率及對漁業生物生理行為等影響。為使澎湖漁業得永續發展及保護稚魚資源，澎湖縣政府於 2008 年公告「七美海域燈火漁業漁船禁漁區有關限制事宜」，在七美離岸 3 浬海域全年禁止從事燈火漁業行為；於 2014 年修正公告「澎湖縣轄海域漁船作業管理規則」，針對不同噸級的漁船訂定集魚燈數與總瓦數限制，以降低

*通訊作者 / 高雄市前鎮區漁港北三路 6 號, TEL: (07) 821-8103#215; FAX: (07) 821-8205; E-mail: lccheng@mail.tfrin.gov.tw

燈火漁業對當地漁業生物的影響。

澎湖縣望安鄉位在臺灣淺堆東北側，距該島離岸約 3 哩處有隆起地形，受地形湧升、周邊環流季節性變化等交互作用，具豐富營養鹽，為多種魚介類攝餌洄游、繁殖、孵育重要的場域 (Chang *et al.*, 2013; Hsiao *et al.*, 2021)，亦為曳繩釣、刺網、棒受網、雜魚延繩釣及一支釣的重要漁場。在 2020 年以前，不同漁法隨著目標物種不同，在禁漁區內的作業時間相異。以頭足類等趨光性物種為主的棒受網為 4 - 11 月，一支釣為 1 - 10 月，曳繩釣為 12 月至翌年 4 月、刺網為 10 月至翌年 6 月，雜魚延繩釣與棒受網相近，為 3 - 11 月 (藍, 2022)。於 2021 年因燈火漁船作業致該海域頭足類資源減耗等輿情壓力影響，澎湖縣政府公告「澎湖縣望安海域燈火漁業禁漁區限制事宜」，每年 4 月 1 日至 9 月 30 日為禁漁期，禁漁區位在望安本島西側、緯度 23°21.5' - 23°25' N、經度 119°27.5' - 119°29.5' E 的範圍。此區在劃設為禁漁區前，主要燈火漁法包括焚寄網、扒網、鎖管棒受網及其他燈火漁具，其中焚寄網、棒受網等多以槍魷科 (*Loliginidae*) 為目標物種，扒網則以小鱗脂眼鯷 (*Etrumeus micropus*, Pacific round herring) 及日本銀帶鯷 (*Sprattelloides gracilis*, Blue sprat) 為主要漁獲對象，鯖科 (*Scombridae*)、鰺科 (*Carangidae*)、帶魚屬 (*Trichiurus*)、鯷科 (*Engraulidae*) 等亦為常見的漁獲組成 (廖, 2007)。然「澎湖縣望安海域燈火漁業禁漁區限制事宜」主要依當地居民建議訂定，且相關文獻資料鮮少，在全球暖化、棲地環境改變及年間漁撈壓力等影響下，現行法規是否合宜，仍待透過實地調查進一步探討。為此，本研究針對望安燈火漁業禁漁區周邊海域進行禁漁期間漁獲組成調查，同時探討不同漁法間槍鎖管捕獲體型差異，供漁政管理單位後續政策滾動式修正參考，使資源得永續發展。

材料與方法

一、樣本來源

本研究經澎湖縣政府農漁局核允後，在 2022 年 4 - 9 月 (禁漁期間) 於望安燈火漁業禁漁區內、外設置 3 個採樣測站 (測站 A：23°24.10' N、119°27.98' E；測站 B：23°22.40' N、119°27.98' E；

測站 C：23°23.22' N、119°26.50' E) (Fig. 1)，每月租用兩艘燈火標本船 (棒受網) 於各測站進行樣本採集，每網次作業趨光誘集時間約 1 - 3 小時，採集之樣本全數冷凍、攜回實驗室進行物種鑑定，以了解該海域禁漁期間的月別漁獲組成變動。此外，為探討不同漁法槍鎖管的捕獲體型與成熟度差異，於 2022 年 7 - 8 月由本所澎湖漁業生物研究中心試驗船海安號於禁漁區內 (A、B 測站) 以一支釣採集頭足類樣本，漁獲物全數攜回實驗室進行物種鑑定，併同燈火標本船樣本進行後續漁獲組成及基礎生物學分析。海安號及燈火標本船作業時間、集魚燈泡數及瓦數等如 Table 1。

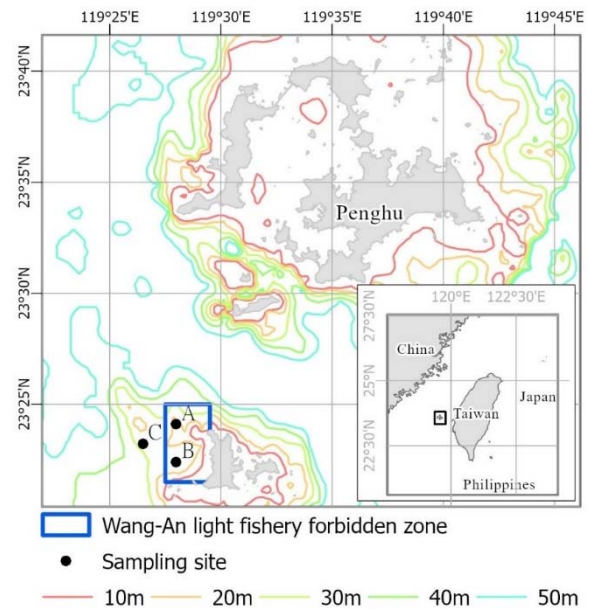


Fig. 1 The distribution of sampling sites and contour line around the Wang-An light fishery forbidden zone in this study.

二、基礎形質量測

依據各物種佔總漁獲量的相對比例加以排序，擇定主要經濟性頭足類進行不同捕獲漁法間體型組成差異比較。樣本隨機抽樣後予以編號，量測外套膜長 (ML, mm) 及體重 (g)，同時取出生殖腺、胃並秤量 (g)，生殖腺使用 10% 福馬林保存，作後續生殖發育分析使用。

捕獲之目標物種，先以雌、雄性個別分析，外套膜長－體重關係式為 $BW = a \times ML^b$ ，其中 BW 為體重 (g)，ML 為外套膜長 (mm)，a、b 為參數，以最大概似比 (maximum likelihood estimation) 檢

Table 1 The fishing methods, status of fishing equipment, and sampling area of three sampling vessels in this study

Sampling vessel	Fishing method	Status of fishing lamp	Sampling period	Sampling area
Light fishery 1	Stick held dip net	Above water: 12 (2 kw/lamp) Under water: 8 (2 kw/lamp)	Apr. to Sep., 2022	All stations
Light fishery 2	Stick held dip net	Above water: 16 (2 kw/lamp) Under water: 4 (2 kw/lamp)	Apr. to Sep., 2022	All stations
Hai-Ani	Pole and lines	Under water: 4 (80 w/lamp)	Jul. to Aug., 2022	St. A and B

定雌、雄性的成長差異 (Kimura, 1980)，再以 Kruskal-Wallis test (K-W test) (McKight and Najab, 2010) 比較其不同漁法間的漁獲體型差異，並以 5 mm ML 為級距繪製外套膜長頻度分布圖。

三、生殖發育分析

為比較在生殖期間不同漁法捕獲之目標物種 (頭足類) 成熟比例是否有顯著差異，針對樣本進行生殖發育分析。雌、雄個體分別量測其生殖腺重 (GSI)、胃重及體重，GSI 計算公式 (Perez *et al.*, 2002) 如下：

$$GSI = \frac{GW}{BW - SW} \times 100$$

式中 GW 為生殖腺重，BW 為濕重量，SW 為胃內容物重。

此外，參考 Macy (1982)、Boyle and Rodhouse (2005)、Sabirov *et al.* (2012) 及邱 (2015)，將發育階段區分為未成熟 (immature)、成熟中 (maturing) 及已成熟 (mature) 三個階層，供後續進行成熟度分析。

四、禁漁區周邊海域漁獲物種組成分析

本研究以豐度法、重量法、相對重要性指數等 3 種指標探討禁漁區周邊海域燈火漁業漁獲組成的月別變動情形。

(一) 豐度法 (%N)

計算各物種種數百分比，公式如下：

$$\%N = \frac{\text{number of species } i}{\text{total number of catch}} \times 100$$

式中，number of species *i* 為該月該測站 (海

域) 漁獲物中 *i* 物種之數量；total number of catch 為該月該測站 (海域) 總漁獲物種數量。

(二) 重量法 (%W)

計算各物種重量百分比，公式如下：

$$\%W = \frac{\text{weight of species } i}{\text{total weight of catch}} \times 100$$

式中，weight of species *i* 為該月該測站 (海域) 漁獲物中 *i* 物種之重量；total weight of catch 為該月該測站 (海域) 總漁獲重量。

(三) 相對重要性指數 (IRI) 及相對重要性百分比 (%IRI)

首先計算各物種的出現頻度 (出現率, %F)，公式如下：

$$\%F = \frac{\text{number of catch containing species } i}{\text{total number of catches containing all species}} \times 100$$

式中，number of catch containing species *i* 為該月該海域 *i* 物種在所有作業網次中出現的次數，total number of catches containing all species 為該月該海域所有作業網次中所有物種的總出現次數。

整合各物種的 %N、%W、%F，計算相對重要性指數 (IRI) 及相對重要性百分比 (%IRI)。

$$IRI = (\%W + \%N) \times \%F \dots\dots\dots(a)$$

$$\%IRI = \frac{(\%W_i + \%N_i) \times \%F_i}{\sum_{i=1}^S (\%W_i + \%N_i) \times \%F_i} \times 100 \dots\dots\dots(b)$$

(b)式中，%W_{*i*}為該月該海域 *i* 物種之重量百分比；%N_{*i*}為該月該海域 *i* 物種之數量百分比；%F_{*i*}為該月該海域 *i* 物種之出現率；S 為該月該海域漁獲之總種類數。

五、禁漁區周邊海域生物多樣性指數分析

本研究以歧異度 (Shannon diversity index, H') (Shannon and Weaver, 1963)、豐富度 (Margalef's richness, D) (Margalef, 1969) 及均勻度 (Pielou's evenness index, J') (Pielou, 1966) 比較禁漁區周邊海域的生物多樣性差異。

(一) 歧異度指數 (H')

歧異度指數越高，物種組成越具多樣性。當每個族群個體數相等時， H' 將等於歧異度指數最大值 ($H'_{\max}$) $\ln(S)$ 。若群聚之組成由單一或是少數之優勢種類構成，則歧異度指數越低。

$$H' = -\sum_{j=1}^S p_i \ln p_i$$

式中， S 為該海域的總物種 (科) 數， p_i 為 i 種佔總個體數的比例。

(二) 豐富度指數 (D)

$$D = \frac{S-1}{\ln n}$$

式中， S 為該海域的總物種 (科) 數， n 為該海域所有物種的總個體數。

(三) 均勻度指數 (J')

均勻度指數用以表示各物種在漁業生物群落中分布的均勻程度，其值介於 0 (無均勻度) - 1 (完全均勻)。

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}}$$

式中， H' 為歧異度指數， $H'_{\max}$ 為歧異度指數的最大值 ($\ln S$)

六、群集分析 (cluster analysis)

針對採樣區域漁獲組成 %IRI 採用群集分析，了解月別漁獲組成的相似性，透過群平均法 (group average) 及 Bray-Curtis 相似度指數 (B-C similarity index) 以樹狀圖呈現其聚類情形，以 one-way ANOSIM 檢定不同海域或月別的漁獲組成是否有顯著差異，檢定統計量 (global test) $R=0$ 表示完全相同， $R<0.25$ 表示差異不明顯， $R>0.5$ 表示雖有重疊但能清楚分開， $R>0.75$ 表示有顯

著差異， $R=1$ 表示完全不同，而顯著水準 (significance level, p -level) 則設定為 5%，並以 SIMPROF test 模擬分析最適的分類模式，以進一步探討其分群差異。相關統計分析皆以 PRIMER 6.0 執行，並以 SIMPROF test 模擬分析最適的分類模式，以進一步探討其分群差異。相關統計分析皆以 PRIMER 6.0 執行。

七、非計量多度空間尺度分析圖

(nonmetric multidimensional scaling, nMDS)

根據月間漁獲組成資料的相似度進行最低維度的空間構面重建，以分析資料間的相對關係。本研究以 nMDS 表現不同海域月別間的漁獲組成差異性，相關統計分析皆以 PRIMER 6.0 執行。

結 果

一、禁漁區周邊海域月間漁獲組成變化

2022 年 4 - 9 月望安燈火漁業禁漁區周邊海域漁獲物種包括魚類、甲殼類及頭足類，魚類計 28 科，可鑑識物種計 38 種；甲殼類 1 科 3 種；頭足類計 5 科，可鑑識物種為 9 種。禁漁區內 (A、B 測站)、外 (C 測站) 總漁獲組成經檢定有顯著差異 (one-way ANOSIM, global test, $R=1$, p -level = 0.001)，因此分區進行月別物種組成數量百分比 (%N)、重量百分比 (%W)、相對重要性指數 (IRI) 及相對重要性指數分析 (%IRI)。其中，「科別」(或各科內種別) 漁獲物之 %N、%W、%IRI 在各月間均低於總漁獲物的 5% 者，計於「其他 (Other)」中。

(一) 數量百分比 (%N)

禁漁區內 4 - 9 月漁獲物種計 32 科，可鑑識物種 49 種。4 月以小鱗脂眼鯷比例最高 (39.31%)，其次為外套膜長 30 mm 以下、無法由外觀型態鑑識種別的槍魷科稚體 (25.27%)，平胸鈍腹鯷 (*Amblygaster leiogaster*, smooth-belly sardinella) 位居第三 (12.15%)；5 月同以槍魷科稚體比例最高 (26.86%)，其次為印度側帶小公魚 (*Stolephorus indicus*, Indian anchovy, 22.76%)，澎湖海鰱鰻 (*Bregmaceros pescadorus*, codlet) 位居第三

(12.51%)。6 月以小鱗脂眼鯷 (31.45%) 及臭肚魚科稚魚 (*Siganidae* larvae, 33.07%) 比例較高，其次為黃小沙丁魚 (*Sardinella lemuru*, *bali sardinella*, 12.65%)，7 月則以平胸鈍腹鯷 (74.85%) 為主，其次為印度側帶小公魚 (15.41%)。8 月以黃小沙丁

魚比例最高 (85.49%)，9 月則以藍圓鰹 (*Decapterus maruadsi*, round scad) 為主 (35.21%)，其次為槍魷科稚體 (25.10%) 及黃小沙丁魚 (23.93%) (Table 2)。

Table 2 Monthly %N of the catch composition in the Wang-An light fishery forbidden zone between April and September 2022

Species	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.
Engraulidae						
<i>Stolephorus indicus</i>	0	<u>22.76</u>	0	<u>15.41</u>	0	0
Other Engraulidae (<5%)	0.23	0	0	0	0	3.50
Clupeidae						
<i>Etrumeus micropus</i>	<u>39.31</u>	4.93	<u>31.45</u>	0.09	0	0
<i>Amblygaster leiogaster</i>	<u>12.15</u>	3.78	0	<u>74.85</u>	0	0
<i>Sardinella lemuru</i>	0.10	0.61	<u>12.65</u>	0	<u>85.49</u>	<u>23.93</u>
Other Clupeidae (<5%)	1.86	0.02	0	0.12	0	2.52
Bregmacerotidae						
<i>Bregmaceros pescadorus</i>	0	<u>12.51</u>	0	0	0	0
Atherinidae						
<i>Atherinomorus lacunosus</i>	8.45	0.02	0	2.02	0	0
Carangidae						
<i>Decapterus maruadsi</i>	0.16	0.17	0.12	1.98	0.43	<u>35.21</u>
Other Carangidae (<5%)	0.13	0.79	1.99	2.39	0.11	1.55
Lutjanidae						
Lutjanidae larvae	0	6.48	0	0	0	0
Siganidae						
<i>Siganus fuscescens</i>	0.10	0	0	0	0	0
Siganidae larvae	0.03	1.45	<u>33.07</u>	0	0	0
Scombridae						
<i>Scomber japonicus</i>	8.74	2.01	10.90	0.28	<u>6.30</u>	0
Scombridae larvae	0.03	6.70	8.01	0	0	0
Loliginidae						
<i>Uroteuthis chinensis</i>	0.77	0.61	0	<u>2.23</u>	<u>6.30</u>	3.31
Loliginidae larvae	<u>25.27</u>	<u>26.86</u>	0.96	0.02	0	<u>25.10</u>
Other Loliginidae (<5%)	0.16	0.14	0.30	0.02	0.96	3.50
Sepiidae						
Sepiidae larvae	0.03	5.49	0	0	0	0
Other Sepiidae (<5%)	0.09	0.02	0	0.14	0.32	0
Others						
%N of family < 5%**	1.30	4.60	0.31	0.36	0	0.99
Unknown	1.09	0.05	0.24	0.09	0.09	0.39

*The numbers underlined in red correspond to the highest values (%), whereas those in blue are the second-highest values, and those in green are the third-highest values.

**%N of 23 family (*Ophichthidae*, *Synodontidae*, *Exocoetidae*, *Belonidae*, *Ambassidae*, *Priacanthidae*, *Apogonidae*, *Coryphaenidae*, *Menidae*, *Leiognathidae*, *Caesionidae*, *Mullidae*, *Chaetodontidae*, *Acanthuridae*, *Sphyracidae*, *Trichiuridae*, *Nomeidae*, *Pleuronectidae*, *Tetraodontidae*, *Enoploteuthidae*, *Sepiolidae*, *Octopodidae*, *Portunidae*) were less than 5% of the total count in any given month.

Table 3 Monthly %N of the catch composition in the area outside the Wang-An light fishery forbidden zone between April and September 2022

Species	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.
Engraulidae						
<i>Encrasicholina punctifer</i>	0	0	0	0	0	<u>20.50</u>
Clupeidae						
<i>Etrumeus micropus</i>	4.99	<u>33.95</u>	<u>48.56</u>	0	0	0
<i>Amblygaster leiogaster</i>	<u>6.21</u>	0	0	<u>82.88</u>	0	0
<i>Sardinella lemuru</i>	0.12	3.70	6.91	0	<u>49.80</u>	<u>54.50</u>
Other Clupeidae (<5%)	0.49	0	0	0.63	0	4.00
Atherinidae						
<i>Atherinomorus lacunosus</i>	<u>32.52</u>	0	0	<u>11.26</u>	<u>1.72</u>	0
Apogonidae						
<i>Rhabdamia gracilis</i>	0	0	0	0.44	<u>45.13</u>	1.00
Carangidae						
<i>Decapterus macrosoma</i>	0	<u>23.46</u>	0	0.76	0.16	0
Other Carangidae (<5%)	1.83	0	0.38	1.70	0.57	0
Siganidae						
<i>Siganus fuscescens</i>	0.37	0	0	0	0	0
Siganidae larvae	0	0	<u>20.92</u>	0	0	0
Scombridae						
<i>Scomber japonicus</i>	4.14	<u>38.89</u>	<u>16.12</u>	0.13	0	0.50
Scombridae larvae	0	0	2.11	0	0	0
Loliginidae						
<i>Uroteuthis chinensis</i>	1.10	0	2.30	<u>1.32</u>	0.74	<u>12.50</u>
Loliginidae larvae	<u>44.95</u>	0	1.92	0.19	1.06	6.00
Other Loliginidae (<5%)	0.73	0	0	0.25	0.16	0
Others						
%N of family < 5%**	2.06	0	0.40	0.31	0.50	0.50
Unknown	0.49	0	0.38	0.13	0.16	0.50

*The numbers underlined in red correspond to the highest values (%), whereas those in blue are the second-highest values, and those in green are the third-highest values.

**%N of 7 family (Chirocentridae, Belonidae, Caesionidae, Chaetodontidae, Sphyraenidae, Sepiidae, Octopodidae) were less than 5% of the total count in any given month.

禁漁區外 4 - 9 月漁獲物種計 15 科，可鑑識物種 21 種。4 月以槍魷科稚體 (44.95%) 及南洋美銀漢魚 (*Atherinomorus lacunosus*, hardyhead silverside, 32.52%) 為主，5 月以小鱗脂眼鯷 (33.95%) 及白腹鯖 (*Scomber japonicus*, Pacific mackerel, 38.89%) 比例最高，其次為長身圓鯷 (*Decapterus macrosoma*, shortfin scad, 23.46%); 6 月小鱗脂眼鯷比例增加 (48.56%)，其次為臭肚魚科稚魚 (20.92%)，白腹鯖比例則下降至 16.12%，位

居第三。7 月以平胸鈍腹鯷 (82.88%) 為主，其次為南洋美銀漢魚 (11.26%)，8 月以黃小沙丁魚比例最高 (49.80%)，其次則為箭天竺鯛 (*Rhabdamia gracilis*, slender cardinalfish, 45.13%)。9 月黃小沙丁魚維持較高比例 (54.50%)，其次為銀灰半稜鯷 (*Encrasicholina punctifer*, buccaneer anchovy, 20.50%)，中國槍鎖管 (*Uroteuthis chinensis*, Taiwanese squid, 12.50%) 位居第三 (Table 3)。

(二) 重量百分比

禁漁區內 4 月以扁鰲 (Ablennes hians, flat needlefish) 比例最高 (23.58%)，其次為小鱗脂眼鰱 (15.42%)，南洋美銀漢魚位居第三 (13.49%)；5 月扁鰲維持相對高值 (17.56%)，其次為白腹鯖 (17.16%)。6 月以小鱗脂眼鰱 (38.01%) 為主，白腹鯖比例亦增加 (36.08%)，位居第二。7 月以平胸鈍腹鰱 (44.49%) 為主，其次為中國槍鎖管 (20.46%)，托爾逆鈎鰱 (Scomberoides tol, needlescaled queenfish) 位居第三 (15%)。8 月以黃小沙丁魚 (45.57%) 為主，其次為白腹鯖 (25.94%) 及中國槍鎖管 (19.39%)，9 月以藍圓鰱

比例最高 (56.55%)，黃小沙丁魚比例下降 (20.70%)，位居第二 (Table 4)。

禁漁區外 4 月分別以扁鰲 (31.78%)、南洋美銀漢魚 (27.17%) 比例較高，其次為藍圓鰱 (10.74%)。5 月以白腹鯖的 49.19% 為最高值，其次為長身圓鰱 (25.44%) 及小鱗脂眼鰱 (21.69%)。6 月與禁漁區內相似，以小鱗脂眼鰱 (30.96%)、白腹鯖 (31.01%) 為主。7 月以平胸鈍腹鰱 (52.89%) 為主，其次為扁鰲 (27.31%)；8 月以黃小沙丁魚 (68.28%) 為主，其次為箭天竺鯛 (10.18%)；9 月黃小沙丁魚仍維持最高比例 (39.78%)，其次則為中國槍鎖管 (28.45%)，扁鰲位居第三 (19.06%) (Table 5)。

Table 4 Monthly %W of the catch composition in the Wang-An light fishery forbidden zone between April and September 2022

Species	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.
Engraulidae						
<i>Stolephorus indicus</i>	0	6.8980	0	1.8180	0	0
Other Engraulidae (<5%)	0.0581	0	0	0	0	0.5469
Clupeidae						
<i>Etrumeus micropus</i>	15.4218	8.5479	38.0111	0.1519	0	0
<i>Amblygaster leiogaster</i>	3.6346	1.4300	0	44.4897	0	0
<i>Sardinella lemuru</i>	0.1761	2.8592	9.9691	0	45.5729	20.6972
Other Clupeidae (<5%)	0.5598	0.0067	0	0.0633	0	1.6998
Atherinidae						
<i>Atherinomorus lacunosus</i>	13.4851	0.0410	0	0.4646	0	0
Belonidae						
<i>Ablennes hians</i>	23.5776	17.5653	2.7818	0	0	0
<i>Tylosurus acus melanotus</i>	0	1.5299	0	0	0	0
Coryphaenidae						
<i>Coryphaena hippurus</i>	0	0	0	6.4326	0	0
Carangidae						
<i>Scomberoides tol</i>	4.2198	9.7116	2.0079	14.9967	0	0
<i>Decapterus maruadsi</i>	0.1567	0.0732	0.0114	1.6373	0.3981	56.5540
Other Carangidae (<5%)	0.0009	1.2553	1.2400	2.8387	0.1355	2.1601
Scombridae						
<i>Scomber japonicus</i>	12.0703	17.1624	36.0820	2.3550	25.9389	0
Scombridae larvae	0.0026	1.1227	1.0978	0	0	0

Table 4 Continued

Species	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.
Loliginidae						
<i>Uroteuthis chinensis</i>	3.1440	4.3873	0	<u>20.4590</u>	<u>19.3906</u>	6.3585
Loliginidae larvae	9.7652	<u>10.5880</u>	0.1956	0.0146	0	<u>8.5299</u>
Other Loliginidae (<5%)	0.3596	0.7762	0	0.0419	4.6477	2.6987
Sepiidae						
Sepiidae larvae	0.03	5.49	0	0	0	0
Other Sepiidae (<5%)	0.09	0.02	0	0.14	0.32	0
Others						
%W of family < 5%**	5.0409	5.8432	1.086	1.588	2.7158	0.2521
Unknown	8.3269	10.2021	7.5173	2.6487	1.2005	0.5028

*The numbers underlined in red correspond to the highest values (%), whereas those in blue are the second-highest values, and those in green are the third-highest values.

**%W of 25 family (Ophichthidae, Synodontidae, Bregmacerotidae, Exocoetidae, Ambassidae, Priacanthidae, Apogonidae, Menidae, Leiognathidae, Lutjanidae, Caesionidae, Mullidae, Chaetodontidae, Siganidae, Acanthuridae, Sphyracidae, Trichiuridae, Nomeidae, Pleuronectidae, Tetraodontidae, Enoplateuthidae, Sepiolidae, Sepiidae, Octopodidae, Portunidae) were less than 5% of the total count in any given month.

Table 5 Monthly %W of the catch composition in the area outside the Wang-An light fishery forbidden zone between April and September 2022

Species	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.
Clupeidae						
<i>Etrumeus micropus</i>	0.8970	<u>21.6870</u>	<u>30.9551</u>	0	0	0
<i>Amblygaster leiogaster</i>	2.1056	0	0	<u>52.8949</u>	0	0
<i>Sardinella lemuru</i>	0.1038	3.6767	2.7903	0	<u>68.2763</u>	<u>39.7791</u>
Other Clupeidae (<5%)	0.1128	0	0	0.7857	0	2.6525
Atherinidae						
<i>Atherinomorus lacunosus</i>	<u>27.1676</u>	0	0	<u>4.2108</u>	0.5313	0
Belonidae						
<i>Ablennes hians</i>	<u>31.7807</u>	0	5.7764	<u>27.3138</u>	<u>9.7529</u>	<u>19.0593</u>
Apogonidae						
<i>Rhabdamia gracilis</i>	0	0	0	0.1448	<u>10.1839</u>	0.0537
Carangidae						
<i>Decapterus macrosoma</i>	0	<u>25.4433</u>	0	0.9148	0.3180	0
<i>Decapterus maruadsi</i>	<u>10.7437</u>	0	0	0.9237	0.8411	0
Other Carangidae (<5%)	0.0037	0	1.4208	1.9071	0.0509	0
Siganidae						
<i>Siganus fuscescens</i>	5.5687	0	0	0	0	0
Siganidae larvae	0	0	0.3254	0	0	0
Sphyracidae						
<i>Sphyracna flavicauda</i>	5.0132	0	0	0	0	0
Sphyracidae larvae	0.0454	0	0	0	0	0

Table 5 Continued

Species	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.
Scombridae						
<i>Scomber japonicus</i>	2.8548	<u>49.1930</u>	<u>31.0123</u>	0.9979	0	2.5115
Scombridae larvae	0	0	0.2629	0	0	0
Loliginidae						
<i>Uroteuthis chinensis</i>	3.0970	0	1.1734	3.7992	3.7215	<u>28.4544</u>
Loliginidae larvae	7.0094	0	0.5262	0.1053	0.6236	2.1383
Other Loliginidae (<5%)	0.6161	0	0	0.5939	0.3427	0
Others						
%W of family < 5%**	0.0165	0	0.0001	1.6179	1.1145	2.5707
Unknown	2.8640	0	<u>25.7571</u>	3.7902	4.2433	2.7805

*The numbers underlined in red correspond to the highest values (%), whereas those in blue are the second-highest values, and those in green are the third-highest values.

**%W of 6 family (Engraulidae, Chirocentridae, Caesionidae, Chaetodontidae, Sepiidae, Octopodidae) were less than 5% of the total count in any given month.

(三) 相對重要性指數 (IRI) 及相對重要性百分比 (%IRI)

整合%N、%W、%F分析月別 IRI 及 %IRI，禁漁區內 4 月之 IRI 以小鱗脂眼鯷最高 (312.77, %IRI = 29.38%)，其次為槍魷科稚體 (200.17, %IRI = 18.80%)。5 月小鱗脂眼鯷 %IRI 下降，槍魷科稚體維持相對高值 (111.78, %IRI = 18.64%)，其次為印度側帶小公魚 (88.54, %IRI = 14.77%)。6 月小鱗脂眼鯷 IRI 又上升至 750.89 (35.97%)，為該月最高值，其次為白腹鯖 (407.95, %IRI = 24.33%) 及臭肚魚科稚魚 (367.29, %IRI = 17.60%)，槍魷科稚體則大幅度下降。7 月以平胸鈍腹鯷 (900.70, %IRI = 63.53%) 最高，其次為中國槍鎖管 (299.73, %IRI = 21.14%)；8 月以黃小沙丁魚 (1541.86, %IRI = 58.44%) 最高，其次為中國槍鎖管 (604.41, %IRI = 22.91%) 及白腹鯖 (379.24, %IRI = 14.38%)，9 月則以藍圓鯷最高 (873.98, %IRI = 48%)，其次為黃小沙丁魚 (425.02, %IRI = 23.34%) 及槍魷科稚體 (320.26, %IRI = 17.59%) (Table 6)。

禁漁區外，4 月以南洋美銀漢魚 IRI 值最高 (459.15, %IRI = 34.41%)，其次為槍魷科稚體 (399.65, %IRI = 29.95%) 及扁鰐鱗 (124.58, %IRI = 9.34%)；5 月以白腹鯖有最大值 (2202.05, %IRI =

44.04%)，其次為小鱗脂眼鯷 (1390.94, %IRI = 27.82%) 及長身圓鯷 (1222.5, %IRI = 24.45%)。6 月小鱗脂眼鯷 (1135.94, %IRI = 44.64%) 上升至最高值，其次為白腹鯖 (673.36, %IRI = 26.46%)。與 %W 分布相似，7 月以平胸鈍腹鯷 (1044.44, %IRI = 69.07%) 為主，其次為扁鰐鱗 (212.04, %IRI = 14.02%)，南洋美銀漢魚 (119.04, %IRI = 7.87%) 位居第三；8 月以黃小沙丁魚 (1242.86, %IRI = 61.50%) 最高，其次為箭天竺鯛 (582.22, %IRI = 28.81%)。9 月則以黃小沙丁魚為最高值 (1047.55, %IRI = 47.14%)，其次為中國槍鎖管 (455.05, %IRI = 20.48%) (Table 7)。

(四) 月間物種組成相似度比較

禁漁區內各月漁獲物種 %IRI 的相似度為 27.61% 以上 (B-C similarity, $\pi = 23.01$, $p\text{-level} = 0.001$)，以 SIMPROF 分析，樹狀圖呈現 4 組不同相似程度的類群，4、5 月相似度最高 (B-C similarity: 58.41%, $\pi = 42.43$, $p\text{-level} = 0.001$)；6 月與 4、5 月相似度次之，為 44.62% (B-C similarity, $\pi = 36.04$, $p\text{-level} = 0.001$)；7 月與 4–6 月相似度較低，為 29.94% (B-C similarity, $\pi = 27.54$, $p\text{-level} = 0.001$) (Fig. 2A)。月間組成經檢定有顯著差異 (One-way ANOSIM, global test: $R = 1$, $p\text{-level} = 0.017$)，以相似

度 50% 以上分成 4-6 月、7 月、8-9 月 3 組配對組, pairwise test 顯示 3 組均未顯著分群 ($p > 0.05$)。另根據 nMDS 分析, 採用二維空間構面表現禁漁區內月別漁獲組成 %IRI 相對關係 (壓力係數 0.01), 亦將月間漁獲組成劃分為 4-6 月、7 月及 8-9 月 3 群, 相似度在 40% 以上 (Fig. 2B)。

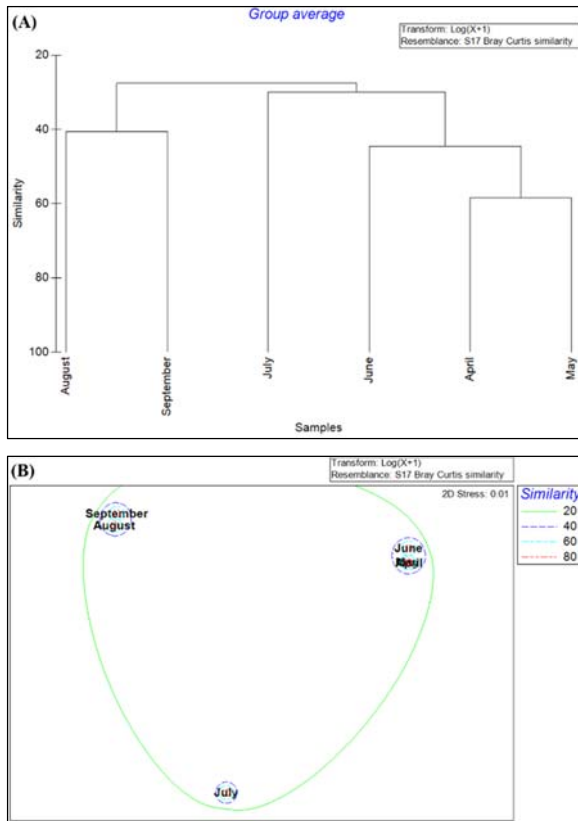


Fig. 2 Dendrogram of cluster analysis (A) and nonmetric multidimensional scaling (B) of monthly index of relative importance (%IRI) for catch composition in Wang-An light fishery forbidden zone (station A, B) between April to September, 2022.

禁漁區外各月漁獲物種 %IRI 之相似度為 22.28% 以上 (B-C similarity, $\pi = 14.84$, p -level = 0.002), 以 SIMPROF 分析, 樹狀圖呈現 3 組不同相似程度的類群, 5、6 月相似度較高 (B-C similarity: 55.82%, $\pi = 42.54$, p -level = 0.003); 4、7 月及 8-9 月相似度分別為 54.67% (B-C similarity, $\pi = 32.01$, p -level = 0.003) 及 53.08% (B-C similarity, $\pi = 36.68$, p -level = 0.001) (Fig. 3A)。經檢定該區漁獲組成有月間差異, 但不顯著 (One-way ANOSIM, global test: $R = 1$, p -level = 0.067)。

另根據 nMDS 分析, 採用二維空間構面表現禁漁區外月別漁獲組成 %IRI 相對關係 (壓力係數 0.01), 5-6 月、8-9 月及 4、7 月可劃分為 3 群, 相似度在 40% 以上 (Fig. 3B)。

另禁漁區內、外月別漁獲組成的 %IRI 相似度, 除 5 月外, 其餘月份約在 40% 以上 (壓力係數 0.1), 以 6 月相似度最高 (B-C similarity: 74.31%, $\pi = 65.67$, p -level = 0.001), 其次為 4 月 (B-C similarity: 74.31%, $\pi = 65.67$, p -level = 0.001) 及 7 月 (B-C similarity: 74.31%, $\pi = 65.67$, p -level = 0.001) (Fig. 4)。

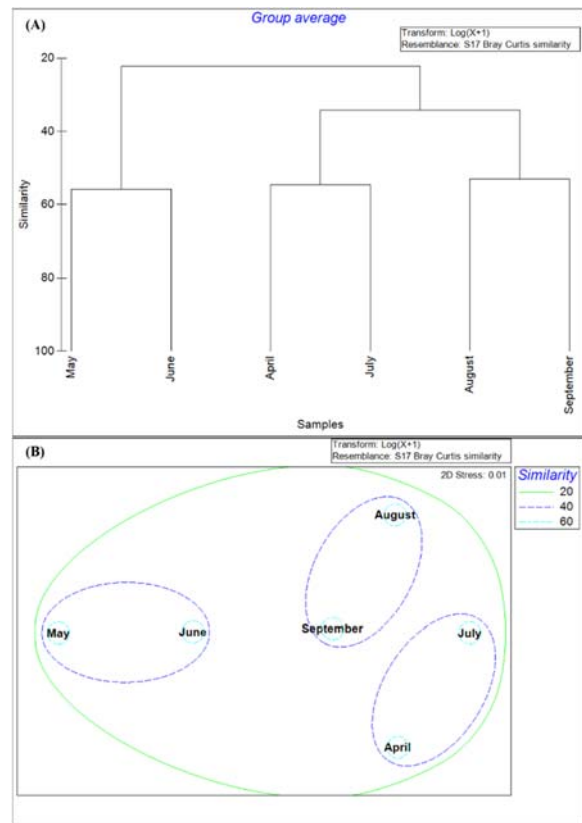


Fig. 3 Dendrogram of cluster analysis (A) and nonmetric multidimensional scaling (B) of monthly index of relative importance (%IRI) for catch composition in area outside of Wang-An light fishery forbidden zone (station C) between April to September, 2022.

Table 6 Monthly *IRI* and %*IRI* of the catch composition in the Wang-An light fishery forbidden zone between April and September 2022

Species	Index of relative importance (<i>IRI</i>)						Percentage of <i>IRI</i> (% <i>IRI</i>)				
	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.
Engraulidae											
<i>Stolephorus indicus</i>	0	<u>88.54</u>	0	<u>65.00</u>	0	0	0	<u>14.767</u>	0	<u>4.585</u>	0
Other Engraulidae (% <i>IRI</i> <5%)	1.21	0	0	0	0	19.28	0.114	0	0	0	0
Clupeidae											
<i>Etrumeus micropus</i>	<u>312.77</u>	40.23	<u>750.89</u>	0.93	0	0	<u>29.379</u>	6.711	<u>35.968</u>	0.065	0
<i>Amblygaster leiogaster</i>	90.20	15.54	0	<u>900.70</u>	0	0	8.473	2.593	0	<u>63.525</u>	0
<i>Sardinella lemuru</i>	0.78	10.37	244.54	0	<u>1541.86</u>	<u>425.02</u>	0.073	1.729	11.714	0	<u>58.443</u>
Other Clupeidae (% <i>IRI</i> <5%)	13.85	0.05	0	0.44	0	20.14	1.301	0.008	0	0.032	0
Bregmacerotidae											
<i>Bregmaceros pescadorus</i>	0	39.70	0	0	0	0	0	6.621	0	0	0
Atherinidae											
<i>Atherinomorus lacunosus</i>	<u>125.37</u>	0.10	0	14.08	0	0	<u>11.776</u>	0.016	0	0.993	0
Belonidae											
<i>Ablennes hians</i>	102.56	52.73	7.68	0	0	0	9.634	8.794	0.368	0	0
<i>Tylosurus acus melanotus</i>	0	2.32	0	0	0	0	0	0.387	0	0	0
Carangidae											
<i>Decapterus maruadsi</i>	1.36	0.37	0.71	27.27	9.71	<u>873.98</u>	0.128	0.061	0.034	1.923	0.368
Other Carangidae (% <i>IRI</i> <5%)	12.38	20.36	45.09	52	1.43	26.28	1.162	3.396	2.160	3.668	0.054
Siganidae											
<i>Siganus fuscescens</i>	2.62	0	0	0	0	0	0.246	0	0	0	0
Siganidae larvae	0.05	2.24	<u>367.29</u>	0	0	0	0.004	0.374	<u>17.594</u>	<u>0</u>	0
Scombridae											
<i>Scomber japonicus</i>	118.93	<u>85.85</u>	<u>507.95</u>	19.90	<u>379.24</u>	0	11.172	<u>14.320</u>	<u>24.331</u>	1.404	<u>14.375</u>
Scombridae larvae	0.05	23.34	73.86	0	0	0	0.005	3.893	3.538	0	0
Loliginidae											
<i>Uroteuthis chinensis</i>	22.37	14.93	0	<u>299.73</u>	<u>604.41</u>	92.06	2.102	2.490	0	<u>21.139</u>	<u>22.909</u>
Loliginidae larvae	<u>200.17</u>	<u>111.78</u>	3.13	0.07	0	<u>320.26</u>	<u>18.803</u>	<u>18.644</u>	0.150	0.005	0
Other Loliginidae (% <i>IRI</i> <5%)	2.23	2.65	1.15	0.12	58.20	29.53	0.209	0.442	0.055	0.009	2.206
Others											
% <i>IRI</i> of family < 5% **	6.91	57.88	1.46	16.91	35.72	5.83	0.626	9.65	0.07	1.192	1.354
Unknown	51.03	30.60	83.87	20.70	7.69	8.49	4.793	5.104	4.018	1.460	0.291

*The numbers underlined in red correspond to the highest values (%), whereas those in blue are the second-highest values, and those in green are the third-highest values.

**%*IRI* of 24 family (Ophichthidae, Synodontidae, Exocoetidae, Ambassidae, Priacanthidae, Apogonidae, Coryphaenidae, Menidae, Leiognathidae, Lutjanidae, Caesionidae, Mullidae, Chaetodontidae, Acanthuridae, Sphyrnaeidae, Trichiuridae, Nomeidae, Pleuronectidae, Tetraodontidae, Enoploteuthidae, Sepiolidae, Sepiidae, Octopodidae, Portunidae) were less than 5% of the total count in any given month.

Table 7 Monthly *IRI* and %*IRI* of the catch composition in the Wang-An light fishery forbidden zone between April and September 2022

Species	Index of relative importance (<i>IRI</i>)						Percentage of <i>IRI</i> (% <i>IRI</i>)				
	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.
Engraulidae											
<i>Stolephorus indicus</i>	0	<u>88.54</u>	0	<u>65.00</u>	0	0	0	<u>14.767</u>	0	<u>4.585</u>	0
Other Engraulidae (% <i>IRI</i> <5%)	1.21	0	0	0	0	19.28	0.114	0	0	0	0
Clupeidae											
<i>Etrumeus micropus</i>	<u>312.77</u>	40.23	<u>750.89</u>	0.93	0	0	<u>29.379</u>	6.711	<u>35.968</u>	0.065	0
<i>Amblygaster leiogaster</i>	90.20	15.54	0	<u>900.70</u>	0	0	8.473	2.593	0	<u>63.525</u>	0
<i>Sardinella lemuru</i>	0.78	10.37	244.54	0	<u>1541.86</u>	<u>425.02</u>	0.073	1.729	11.714	0	<u>58.443</u>
Other Clupeidae (% <i>IRI</i> <5%)	13.85	0.05	0	0.44	0	20.14	1.301	0.008	0	0.032	0
Bregmacerotidae											
<i>Bregmaceros pescadorus</i>	0	39.70	0	0	0	0	0	6.621	0	0	0
Atherinidae											
<i>Atherinomorus lacunosus</i>	<u>125.37</u>	0.10	0	14.08	0	0	<u>11.776</u>	0.016	0	0.993	0
Belonidae											
<i>Ablennes hians</i>	102.56	52.73	7.68	0	0	0	9.634	8.794	0.368	0	0
<i>Tylosurus acus melanotus</i>	0	2.32	0	0	0	0	0	0.387	0	0	0
Carangidae											
<i>Decapterus maruadsi</i>	1.36	0.37	0.71	27.27	9.71	<u>873.98</u>	0.128	0.061	0.034	1.923	0.368
Other Carangidae (% <i>IRI</i> <5%)	12.38	20.36	45.09	52	1.43	26.28	1.162	3.396	2.160	3.668	0.054
Siganidae											
<i>Siganus fuscescens</i>	2.62	0	0	0	0	0	0.246	0	0	0	0
Siganidae larvae	0.05	2.24	<u>367.29</u>	0	0	0	0.004	0.374	<u>17.594</u>	<u>0</u>	0
Scombridae											
<i>Scomber japonicus</i>	118.93	<u>85.85</u>	<u>507.95</u>	19.90	<u>379.24</u>	0	11.172	<u>14.320</u>	<u>24.331</u>	1.404	<u>14.375</u>
Scombridae larvae	0.05	23.34	73.86	0	0	0	0.005	3.893	3.538	0	0
Loliginidae											
<i>Uroteuthis chinensis</i>	22.37	14.93	0	<u>299.73</u>	<u>604.41</u>	92.06	2.102	2.490	0	<u>21.139</u>	<u>22.909</u>
Loliginidae larvae	<u>200.17</u>	<u>111.78</u>	3.13	0.07	0	<u>320.26</u>	<u>18.803</u>	<u>18.644</u>	0.150	0.005	0
Other Loliginidae (% <i>IRI</i> <5%)	2.23	2.65	1.15	0.12	58.20	29.53	0.209	0.442	0.055	0.009	2.206
Others											
% <i>IRI</i> of family < 5% **	6.91	57.88	1.46	16.91	35.72	5.83	0.626	9.65	0.07	1.192	1.354
Unknown	51.03	30.60	83.87	20.70	7.69	8.49	4.793	5.104	4.018	1.460	0.291

*The numbers underlined in red correspond to the highest values (%), whereas those in blue are the second-highest values, and those in green are the third-highest values.

**%*IRI* of 6 family (Chirocentridae, Caesionidae, Chaetodontidae, Sphyaenidae, Sepiidae, Octopodidae) were less than 5% of the total count in any given month.

Table 8 Monthly variations in family number (S), abundance (n), Shannon diversity index (H'), Margalef's richness (D), Pielou's evenness index (J') of catch composition in waters around Wang-An light fishery forbidden zone between April to September, 2022

Month	S	n	H'	D	J'
Fishing forbidden zone (St. A and B)					
April	16	3077	1.24	1.87	0.45
May	25	4075	2.06	2.89	0.64
June	8	1656	1.20	0.94	0.58
July	13	4247	0.86	1.44	0.33
August	5	936	0.54	0.58	0.34
September	7	512	1.26	0.96	0.65
Outside of fishing forbidden zone (St. C)					
April	10	817	1.31	0.35	0.57
May	3	324	1.08	0.35	0.98
June	6	519	1.14	0.80	0.64
July	8	1587	0.61	1.09	0.29
August	8	1219	0.92	0.99	0.44
September	6	199	1.05	0.94	0.59

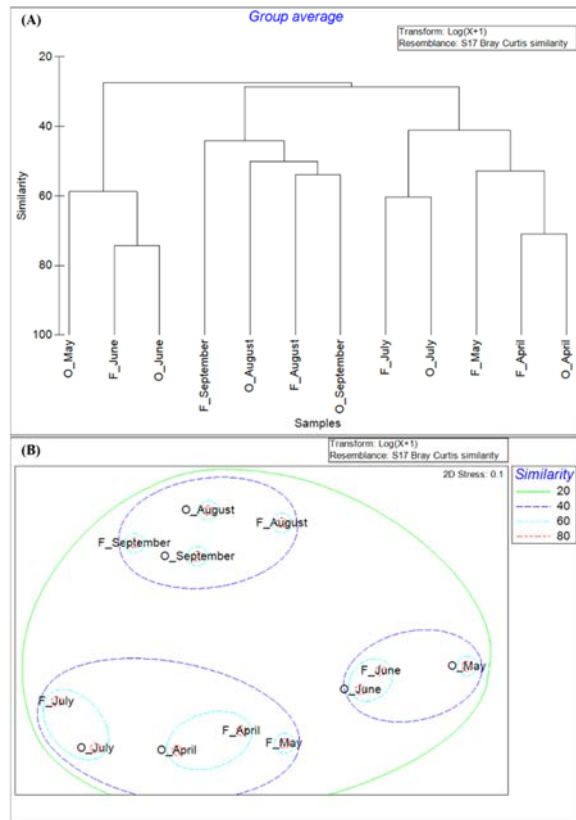


Fig. 4 Dendrogram of cluster analysis (A) and nonmetric multidimensional scaling (B) of the monthly index of relative importance (%IRI) for the catch composition inside (labeled F) and outside (labeled O) the Wang-An light fishery forbidden zone between April and September 2022.

二、禁漁區周邊海域生物多樣性差異及月間變化

考量多種稚魚體型過小 (21 科)，不易由外觀型態鑑識至屬或種別，倘僅以確定種別的個體分析，有多樣性錯估的疑慮。為此，本研究以科數進行月間各式生物多樣性指數估算。

禁漁區內，月間 H' 以 5 月最高 (2.06)，其次為 4 月 (1.24)、9 月 (1.26)，而以 8 月最低 (0.54)。 D 同以 5 月最高 (2.89)，其次為 4 月 (1.87)、7 月 (1.44)，以 8 月最低 (0.58)； J' 則以 5 月 (0.64)、9 月 (0.65) 最高，以 7 月 (0.33)、8 月 (0.34) 最低。整合 3 項多樣性指數，禁漁區內以 5 月生物多樣性最高，8 月則相對較低 (Table 8)。

禁漁區外，月間 H' 以 4 月 (1.31)、6 月 (1.14) 較高，7 月 (0.61) 最低； D 以 7 月有較高值 (1.09)，4、5 月值最低 (0.35)； J' 以 5 月最高 (0.98)，7 月最低 (0.29)。整合 3 項多樣性指數，禁漁區外以 6 月有較高的生物多樣性，7 月雖 D 最高，然科別間個體數差異大，優勢種 (平胸鈍腹鯡) 分布較明顯，物種歧異度較低 (Table 8)。

不同區域的捕獲科數及總個體數除 8 月外，其餘月份均以禁漁區內有較高值。 H' 部分，除 4、8 月外，其餘月份以禁漁區內有相對高值； D 則僅

8 月禁漁區外有較高值。J' 部分，除 7、9 月外，禁漁區外有相對高值 (Table 8)。

三、中國槍鎖管以不同漁法捕獲之體型與成熟度差異

除 6 月外 (0.32%)，4–9 月禁漁區內頭足類約佔月別漁獲量 (%W) 的 15.20–26.75%，其中又以 7 月 (21.86%)、8 月 (26.75%) 比例最高 (Table 4)。物種組成計 5 科，可鑑識至種別者共 9 種，以中國槍鎖管比例最高，佔 4–9 月禁漁區總漁獲量的 10.29%，其次為槍魷科稚體 (3.32%)。

針對不同漁法捕獲的頭足類組成進一步比較。棒受網在 7、8 月的頭足類捕獲量分別佔總漁獲量的 3.75%、7.39%，以中國槍鎖管為主 (94.70%)，其次為劍尖槍鎖管 (*Uroteuthis edulis*, swordtip squid, 4.53%)，杜氏槍鎖管 (*U. duvaucelii*, Indian squid) 僅 0.01%。

一支釣 (海安號) 因受漁具及釣餌選擇性影響，7–8 月僅釣獲頭足類，分別佔各月總漁獲量 (含括棒受網漁獲物) 的 18.11%、19.36%。頭足類組成部分，同以中國槍鎖管為主 (83.25%)，其次為萊氏擬烏賊 (*Sepioteuthis lessoniana*, bigfin reef squid, 7.04%)，真烏賊 (*Sepia esculenta*, golden cuttlefish) 及虎斑烏賊 (*S. pharaonis*, pharaoh cuttlefish) 僅 4.82–4.88%。綜上分析，該海域燈火漁業主要捕獲的頭足類為中國槍鎖管，針對不同漁法捕獲的體型組成，及生殖季節間個體的性腺成熟度差異進一步比較。

(一) 不同漁法體長組成差異

以棒受網捕獲的雌、雄性中國槍鎖管平均外套膜長分別為 121.98 ± 57.5 mm ($n = 56$)、 122.02 ± 52.36 mm ($n = 94$)，平均體重分別為 24.48 ± 28.24 g ($n = 56$)、 25.78 ± 30.44 g ($n = 94$)，經檢定不同性別間在體長、體重組成 (K-W test, $p < 0.05$) 及體長–體重相關性 (maximum likelihood estimation, $p < 0.05$) 上均有顯著差異，雌性外套膜長–體重關係式為 $BW = 2.807 \times 10^{-4} ML^{2.53}$ ($n = 56$; $p < 0.05$)；雄性為 $BW = 1.462 \times 10^{-3} ML^{2.17}$ ($n = 94$, $p < 0.05$)。

以一支釣捕獲的雌、雄性中國槍鎖管平均外套膜長分別為 173.45 ± 18.47 mm ($n = 39$)、 $223.84 \pm$

47.44 mm ($n = 52$)；平均體重分別為 114.74 ± 27.15 g ($n = 39$)、 146.26 ± 53.08 g ($n = 52$)，經檢定不同性別間在體長、體重組成上均有顯著差異 (K-W test, $p < 0.05$)。此外，雌、雄個體在成長上亦有顯著差異 (maximum likelihood estimation, $p < 0.05$)，雌性外套膜長–體重關係式為 $BW = 1.643 \times 10^{-3} ML^{2.16}$ ($n = 39$; $p < 0.05$)；雄性為 $BW = 2.95 \times 10^{-2} ML^{1.57}$ ($n = 52$, $p < 0.05$)。

針對 7–8 月禁漁區內不同漁法捕獲的中國槍鎖管體型進一步比較，根據外套膜長頻度分布顯示，棒受網船捕獲的雌性體型集中於 110–155 mm，以 145 mm 比例最高 (22.22%)，其次為 155 mm (16.67%)；雄魚分布範圍較廣，以 115–140 mm 比例最高 (66.67%)，經檢定雌性體型較雄性大 (K-W test, $p < 0.05$) (Fig. 5A)。以一支釣捕獲的雌性體長集中於 145–200 mm，以 165–195 mm 比例最高 (71.79%)，雄性體長分布範圍較廣，於 155–230 mm、250–320 mm 區間平均分布，最大體長為 320 mm，經檢定雄性體型明顯較雌性大 (K-W test, $p < 0.05$) (Fig. 5B)。

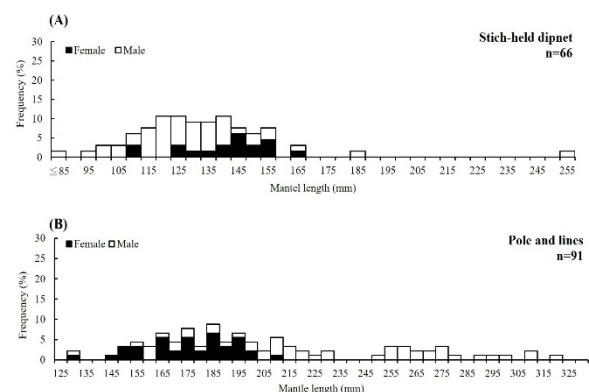


Fig. 5 Mantle length frequency distribution of *Uroteuthis chinensis* sampled by stick-held dip net (A) and pole and lines (B) in the Wang-An light fishery forbidden zone between July and August 2022.

(二) 不同漁法捕獲個體成熟度差異

7–8 月以棒受網捕獲的雌性中國槍鎖管的 GSI 分別為 2.74 ± 4.79 ($n = 13$)、 2.57 ± 5.08 ($n = 5$)，已成熟比例分別為 23.08%、20%，以未成熟個體為主 (Fig. 6A)；雄性 7、8 月 GSI 分別為 2.13 ± 1.15 ($n = 19$)、 2.08 ± 1.39 ($n = 29$)，已成熟比例分別為 63.16%、65.52% (Fig. 6B)。

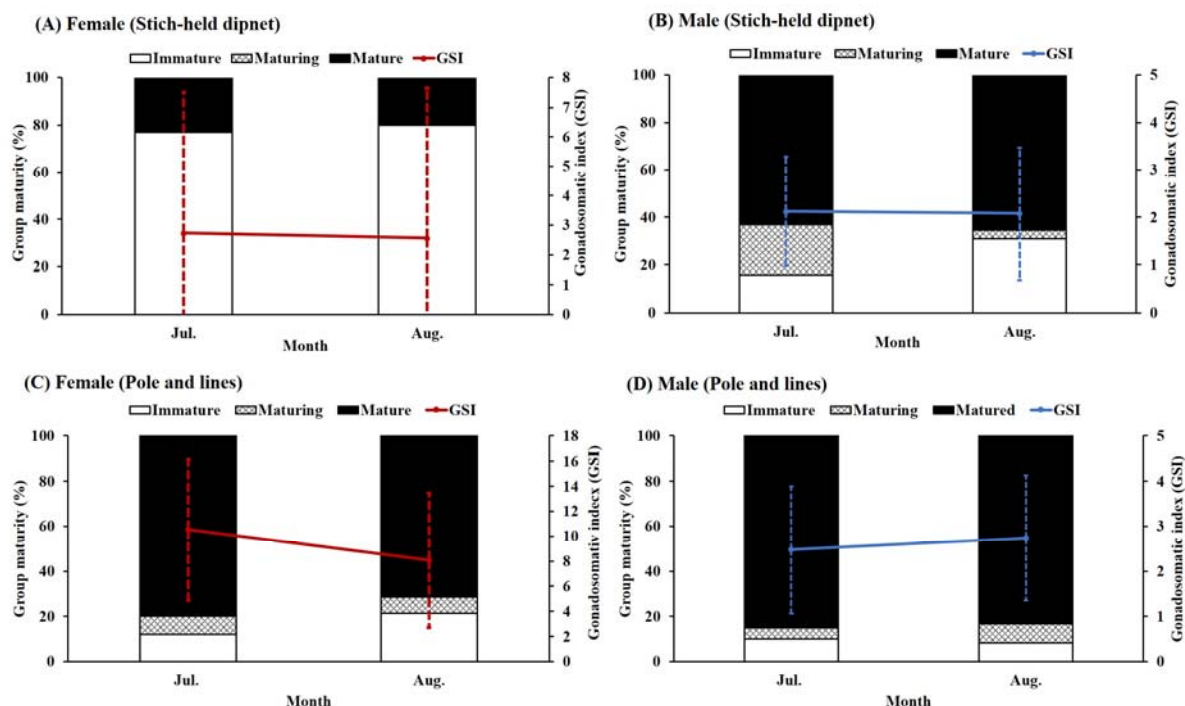


Fig. 6 Monthly group maturity and gonadosomatic index (GSI) of *Uroteuthis chinensis* sampled by stick-held dip net (A, B) and pole and lines (C, D) in the Wang-An light fishery forbidden zone between July and August 2022.

7 - 8 月以一支釣捕獲的雌性中國槍鎖管 GSI 分別為 10.52 ± 5.64 ($n = 25$)、 8.08 ± 5.39 ($n = 14$)，已成熟比例分別為 80%、71.43%，明顯較棒受網比例高 (χ^2 test, $p < 0.05$) (Fig. 6C)。雄性 7、8 月 GSI 分別為 2.48 ± 1.41 ($n = 40$)、 2.74 ± 1.39 ($n = 12$)，已成熟比例分別為 85%、83.34%，較棒受網高，然經檢定無顯著差異 (χ^2 test, $p > 0.05$) (Fig. 6D)。

討 論

澎湖海域燈火漁船的漁業活動範圍與水溫、海流、水團分布有關。春季主要分布於中國沿岸流與黑潮支流的鋒面處；春末、夏季隨著中國沿岸流減弱、消退，黑潮支流、南海表層流交互作用，平均表水溫明顯增加，作業漁場主要分布於澎湖群島周邊及向西南方向延伸至臺灣淺灘的冷水渦海域。夏末、秋初臺灣西南海域表水溫開始下降，燈火漁船作業範圍主要分布於澎湖群島、望安嶼及七美嶼西側海域。秋末、冬季隨著中國沿岸流增強，表水溫下降，澎湖海域燈火漁業的漁期結束

(廖, 2007; 藍, 2022)。綜整上述，在澎湖群島西側向臺灣淺堆延伸之區域均為棒受網、扒網等燈火漁業的作業熱點 (黃, 2006; 許, 2012; Chen *et al.*, 2020)。廖 (2007) 指出 2005 - 2007 年澎湖海域火誘網漁業主要為鎖管棒受網、臭肉鯧扒網及丁香魚扒網 3 種，槍鎖管、小鱗脂眼鯷及日本銀帶鯷為主要漁獲物種，其產量約為臺灣地區的 90% 以上。藍 (2022) 根據澎湖海域 8 艘燈火標本船在「澎湖縣望安海域燈火漁業禁漁區限制事宜」施行前的航程紀錄器及港口查報員漁獲資料綜整分析，2018 - 2020 年間以槍魷科物種為主要漁獲對象，在澎湖縣轄海域平均漁獲率約 23.21 kg/vessel/day，其中，望安燈火漁業禁漁區漁獲率約為 34.09 kg/vessel/day，高於總體海域平均值。另依據 8 艘燈火標本船漁撈日誌統計資料，2018 - 2020 年 1 - 3 月以頭足類為主，4、5 月以小鱗脂眼鯷、銀灰半稜鯷為主，6 - 9 月以黑尾小沙丁魚為主，10 - 12 月以槍魷科及銀灰半稜鯷相互消長。總體漁獲物以頭足類、銀灰半稜鯷、黑尾小沙丁魚、小鱗脂眼鯷、藍圓鰺等為主 (藍, 2022)。在本研究中，整合 IRI、聚類分析及 nMDS 分析結果，

禁漁區內、外物種組成與季節推移有密切關連性，區內春季（4–5月）以小鱗脂眼鯷、槍魷科稚體比例最高，夏季為物種交替的過渡期，組成變動明顯，6月與春末相似，小鱗脂眼鯷仍為主要物種，然槍魷科稚體比例明顯下降，白腹鯖與臭肚魚科稚魚比例增加。7–8月則分別以平胸鈍腹鯷及黃小沙丁魚為主，中國槍鎖管比例明顯增加。秋初（9月）除黃小沙丁魚外，藍圓鰱及槍魷科稚體亦為主要物種。區外月間組成相似度與區內有異，4月除槍魷科稚體外，以南洋美銀漢魚、扁鰲鰻為主，春末、夏初（5–6月）則有較相似的漁獲組成，以白腹鯖與小鱗脂眼鯷為主。7–8月與區內相似，平胸鈍腹鯷及黃小沙丁魚為主要物種，秋初則以黃小沙丁魚、中國槍鎖管有較高比例。綜上觀察，總體漁獲組成以槍魷科、小鱗脂眼鯷為主，與廖（2007）、藍（2022）相似，唯銀灰半稜鯷、黑尾小沙丁魚及日本銀帶鯷的漁獲比例明顯下降；反之，平胸鈍腹鯷及黃小沙丁魚捕獲比例則明顯增加（Table 9）。

禁漁區內、外的生物多樣性差異，捕獲科數及總個體數除8月外，均以禁漁區內較高。總體 H' 與 D 亦以禁漁區內較高，而 J' 則以禁漁區外較高，應為禁漁區外科數及總個體數較少所致。禁漁區內、外的物種多樣性差異推測與望安西側海域海底地形、季節性海流流向等交互作用有關。望安周邊海域為臺灣淺堆東北向延伸，有沙丘或隆起地形零星分布。在禁漁區內（A、B測站）為水深20m的隆起地形（Fig. 1），春末、夏初有中國沿岸流、黑潮支流交替，秋季有東北季風吹佛，南海表層水與中國沿岸流交互作用，複雜水團與地形湧升，使得區內在春、秋兩季營養鹽、浮游生物豐富（廖，2007），成為重要的繁殖場、孵育場及索餌場。因此，隨著季節性海流交替、沿岸湧升、水溫上升及餌料生物豐度增加等，禁漁區內漁獲組成的 H' 與 D 於春末、夏初達相對高值，仔稚魚共漁獲21科，%N 於5–6月達高峰，分別佔總漁獲量的48.47%、42.05%，4、9月次之，均在25%以上，與 Li *et al.* (2014) 於南海北部海域觀察浮游魚類豐度之季節性變化相似。然而，於夏季中下旬（7–8月）該區總漁獲組成 H' 與 D 有些微下降的情形，推測與該月季風風速趨緩、水溫分布態勢差異小，區內水體擾動小，營養鹽濃度、浮游生物豐度

降低等有關。由此觀察，禁漁區內的物種組成 D 、 H' 變動與季節性海流分布與特性（鹽度、溫度、營養鹽濃度、水團內浮游生物種類組成與豐度等）有關（Hsieh *et al.*, 2005）。另在禁漁區外西側有一水深約20m沙丘分布，在沙丘與禁漁區邊緣的水深約30m。而C測站正位處於沙丘至30m等深線的邊緣（Fig. 1），由於水深變化大，海流流速較快，魚群不易群集、棲息，總漁獲科數及總豐度數除8月外，均低於禁漁區內；該區稚魚僅漁獲8科，4月（45.80%）、6月（24.95%）有較高的豐度比例，組成與禁漁區內相似，推測可能自禁漁區內溢散所致。根據藍（2022）及本研究標本船表示，因該區海流流速較快，作業不易，故鮮少船隻在此作業。

槍魷科為望安燈火漁業禁漁區重要的目標物種之一，除外套膜長30mm以下、無法鑑識至種別的稚體外，以中國槍鎖管為主。依據頭足類 IRI 月別變化及禁漁區周邊海域中國槍鎖管月別外套膜長組成分布（Table 6 & 7, Fig. 7），槍魷科稚體於4–5月及9月有較高比例，中國槍鎖管等大型個體則於7–8月比例較高，推測此組成差異係槍魷科在2–3月達生殖高峰（廖，2018），稚體在春末（4–5月）自臺灣海峽南部（21–23°N, 117–118°E）孵化後，隨著黑潮支流推送、洄游至臺灣海峽中部（23–24°N, 118–120°E）孵育、索餌（黃，2006）。6月後育成、入添漁場，7–8月性腺發育成熟，廣泛分布於澎湖周邊海域、集體產卵，達該年次一生殖高峰（黃，2006）。於9月，夏季產卵群產下的稚體（夏生群）孵化後，隨著海流再洄游至該海域育成、索餌（林，1993；黃，2006），在此形成生殖-索餌混合體（黃，2006）。

隨著漁船設備及科技進步，燈火漁業趨光集魚的混獲問題日益重要（廖，2004）。集魚燈的聚魚效應除與魚介類的趨光性及餌料生物趨光聚集有關外，物種間隨著視覺閾值或視覺敏感度不同，對光源的反應亦有所差異（Clarke and Pascoe, 1998; Kim and Wardle, 1998a, b; Marchesan *et al.*, 2005; 廖，2007）。Liao *et al.* (2007) 以臺灣東北部海域棒受網試驗在不同集魚燈光功率下的捕獲量及漁獲組成差異，結果顯示在80kw集魚燈光功率下，漁獲量增加幅度最大且近似飽和，在較高的集魚燈光功率，白帶魚及剝皮魚有較佳的誘集效果；反

Table 9 Comparison of the monthly predominant species caught by light fishing in waters of Penghu reported in the literature

Reference	Fishing ground	Fishing season	Main species	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
This study	Inside Wang-An light fishing forbidden zone, Penghu	Apr. to Sep., 2022	<i>Etrumeus micropus</i> **	—	—	—	**	**	**				—	—	—
			<i>Amblygaster leiogaster</i>	—	—	—							—	—	—
			<i>Sardinella lemuru</i>	—	—	—							—	—	—
			<i>Decapterus maruadsi</i>	—	—	—							—	—	—
			Siganidae larvae	—	—	—							—	—	—
			<i>Scomber japonicus</i>	—	—	—							—	—	—
			<i>Uroteuthis chinensis</i> **	—	—	—				**	**		—	—	—
			Loliginidae larvae**	—	—	—	**	**	**			**	—	—	—
	Outside Wang-An light fishing forbidden zone, Penghu	Apr. to Sep., 2022	<i>Etrumeus micropus</i> **	—	—	—		**	**				—	—	—
			<i>Amblygaster leiogaster</i>	—	—	—							—	—	—
			<i>Sardinella lemuru</i>	—	—	—							—	—	—
			<i>Atherinomorus lacunosus</i>	—	—	—							—	—	—
			<i>Ablennes hians</i>	—	—	—							—	—	—
			<i>Scomber japonicus</i>	—	—	—							—	—	—
			<i>Uroteuthis chinensis</i> **	—	—	—						**	—	—	—
			Loliginidae larvae**	—	—	—	**						—	—	—
廖 (2007)	Penghu water	May to Oct., 2005-2007	Engraulidae	—	—	—	—							—	—
			<i>Spratelloides gracilis</i>	—	—	—	—							—	—
			<i>Etrumeus micropus</i> **	—	—	—	—	**	**	**	**	**	**	—	—
			<i>Herklotsichthys quadrimaculatus</i>	—	—	—	—							—	—
			<i>Sardinella albella</i>	—	—	—	—							—	—
			<i>Sardinella melanura</i>	—	—	—	—							—	—
			Carangidae	—	—	—	—							—	—
			Scombridae	—	—	—	—							—	—
			Loliginidae**	—	—	—	—	**	**	**	**	**	**	—	—
			<i>Encrasicholina punctifer</i>												
藍 (2022)	Wang-An waters, Penghu	Jan. to Dec., 2018-2021	<i>Etrumeus micropus</i> **				**								
			<i>Sardinella melanura</i>												
			<i>Decapterus maruadsi</i>												
			<i>Scomber japonicus</i>												
			<i>Sepia pharaonis</i>												
			<i>Sepioteuthis lessoniana</i>												
			Loliginidae**	**	**	**	**						**	**	**

**Main species caught by light fishery presented in each study; ■ Occurred as main species; — no data during this period

之，在較低的燈光功率下，槍鎖管則有較高的誘集效果；總體漁獲組成上，槍鎖管雖為目標物種，因當地物種組成複雜，當燈光功率增加，帶魚、剝皮魚等較槍鎖管食階高的掠食者亦趨集，致槍鎖管

漁獲比例僅 15.75%。此外，不同燈光功率，槍鎖管漁獲體型組成相異，40 kw 趨光誘集主要捕獲外套膜長 80 mm 以下的個體，當燈光功率大於 60 kw 以上，外套膜長 80 mm 以上的比例明顯較高。

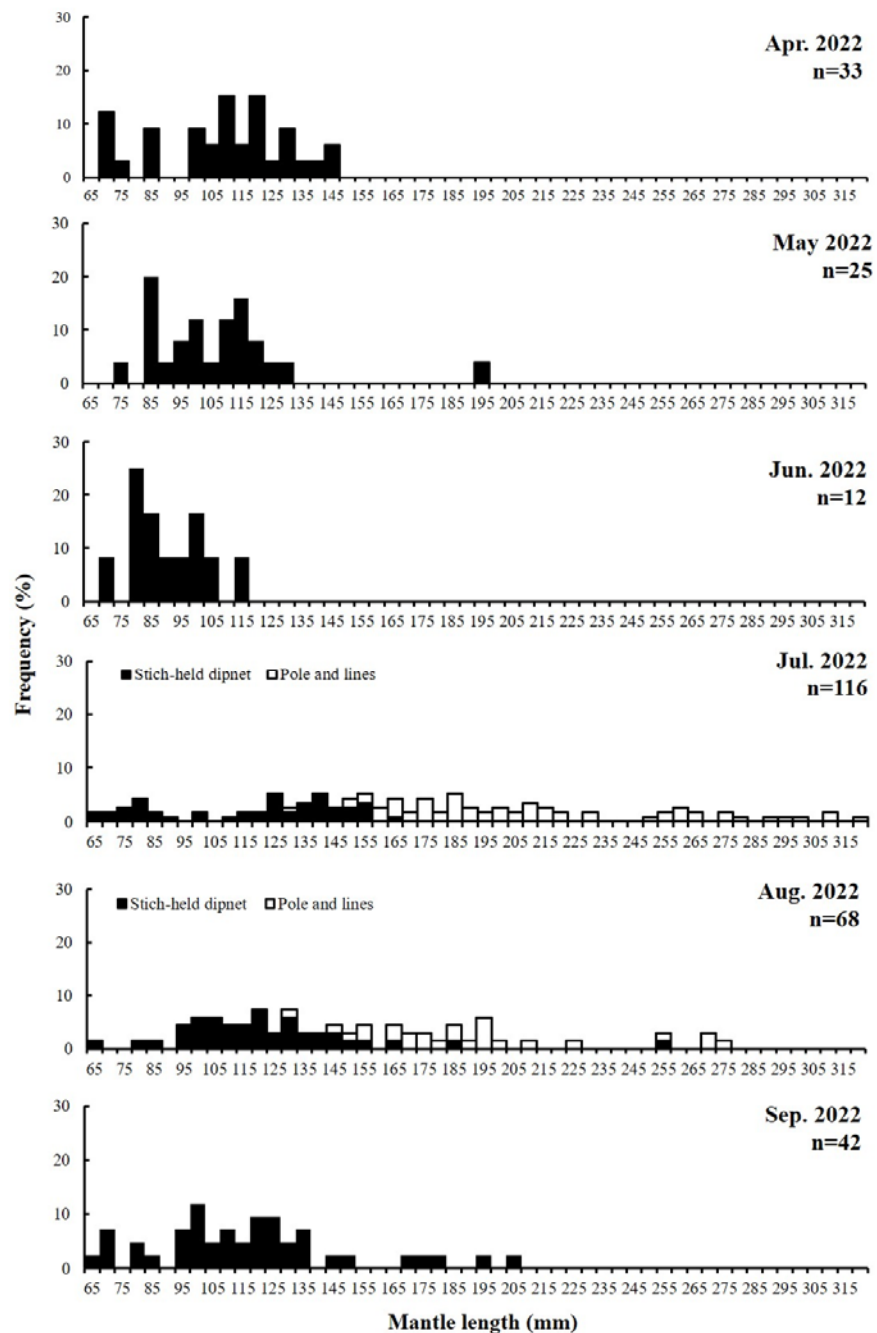


Fig. 7 Monthly mantle length frequency distribution of *Uroteuthis chinensis* in the Wang-An light fishery forbidden zone between April and September 2022.

在本研究中，棒受網船的集魚燈光功率皆為 40 kw，頭足類樣本除 6 月較低外，其餘月份佔總漁獲量的 15.20 – 26.75%，捕獲體型除外套膜長 30 mm 以下的槍魷科稚體外，劍尖槍鎖管平均體長約 75.34 ± 16.97 mm ($n = 46$)，杜氏槍鎖管為 73.33 ± 14.34 mm ($n = 6$)，中國槍鎖管則較大，以 65 – 155 mm 為主 (Fig. 7)。頭足類漁獲比例及槍魷科稚體、劍尖槍鎖管、杜氏槍鎖管的體型分布與 Liao *et al.* (2007) 觀察結果相似，然中國槍鎖管捕

獲體型則與 Liao *et al.* (2007) 以 100 kw 集魚燈光功率誘集組成較相似。而一支釣 (海安號) 部分，雖其使用的總集魚燈光功率僅 320 w，低於棒受網船的 40 kw，受漁具及釣餌選擇性影響，在頭足類的捕獲比率 (100%) 及體型均較本研究棒受網、Liao *et al.* (2007) 大 (Fig. 7)。此外，7 – 8 月一支釣捕獲的成熟個體亦較棒受網高，未出現稚體。該漁法捕獲體型在外套膜長 215 mm 以上則均為雄性個體，體型明顯較雌性大，推測與其群聚產卵特性有關。雄性

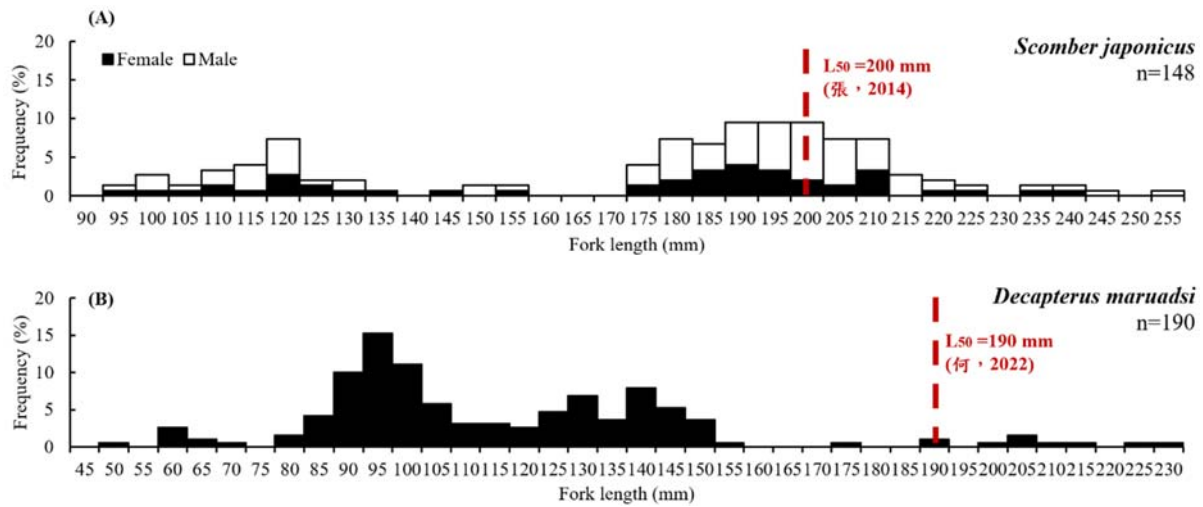


Fig. 8 Length frequency distribution of *Scomber japonicus* (A) and *Decapterus maruadsi* (B) sampled by stick-held dip net in the Wang-An light fishery forbidden zone between April and September 2022.

必須與其他同性個體競爭交配機會，且雄性個體對生殖所需能量投入較小，因此對雄性而言，快速成長並長成較大體型方能有更高的生殖成功機會(張等, 2014)。

本研究海域棒受網船主要以槍鎖管、小鱗脂眼鯷、黃小沙丁魚等為目標物種，月間漁獲組成、捕獲體型與生物個體發育、洄游路徑、海流季節性分布等有關。4-6月、9月禁漁區內因地形湧升，營養鹽及餌料生物豐度高，亦為槍魷科(黃, 2006; 廖, 2018)、臭肚魚科(冼等, 2012; 黃, 2013)等繁殖、孵育期，然受集魚燈趨光誘集效果，其混獲率亦高。此外，本研究中其他經濟性魚種如白腹鯖平均體長為 160.75 ± 39.18 mm (Fig. 8A)、藍圓鰺為 112.72 ± 31.98 mm (Fig. 8B)，未達張(2014)、何(2022)估算之 50% 性成熟體長(白腹鯖: 200mm FL; 藍圓鰺: 190 mm FL) 個體比例約佔該魚種樣本數的 46.42%、94.74%，捕獲之中國槍鎖管成熟比例亦較一支釣低。由此觀察，以燈火誘集捕獲之魚介類體型有小型化趨勢。

為維護當地槍鎖管及仔稚魚等漁業資源，澎湖縣政府訂定「澎湖縣望安海域燈火漁業禁漁區有關限制事宜」，於每年4月1日至9月30日間禁止燈火類漁法(具)(凡具集魚效果之燈具)漁船(筏)進入禁漁區內(Fig. 1)作業。依據本研究漁獲組成及漁獲體型分布結果，以燈火誘集之魚介類有體型小型化的趨勢，且4-6月仔稚魚(含

槍魷科稚體) 豐度高，7-8月亦有高性成熟比例的中國槍鎖管分布，捕獲之白腹鯖、藍圓鰺以未達性成熟體型個體為主，由此推論，該研究海域應為魚介類重要的繁殖、孵育場。現行法規訂之禁漁期(4-9月)與該區重要魚介類繁殖、孵育期高度重疊，然就禁漁區內「限制漁法」落實管理部分，建議主管單位可加強海上監控巡邏，參考「鎖管棒受網漁業管理辦法」，針對總噸位 20 ton 以上之燈火漁業船隻加裝船舶自動辨識系統載台(AIS)，避免船隻越界行違法情事。此外，非禁漁期間亦應嚴加控管該區燈火漁船(筏)之集魚燈具使用規格，落實「澎湖縣轄海域漁船作業管理規則」第六條相關規範。倘現行法規得落實執行，應可維護魚介類的入添量，使資源得永續發展。

參考文獻

- 何珈欣(2022) 臺灣西南海域扒網漁業資源之調查評估及生殖生物學研究-藍圓鰺。行政院農業委員會水產試驗所111年度科技計畫研究報告, 26 pp.
- 林雅民(1993) 澎湖海域鎖管類漁場形成機制之研究。中國水產, 487: 33-42.
- 邱群凱(2015) 臺灣海峽鎖管物種組成之季節變動與優勢物種之生活史參數。國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系碩士論文, 66 pp.
- 康雅惠(2004) 光對川紋笛鯛稚魚視網膜之破壞。國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系碩士論文, 58 pp.

- 許妙至 (2012) 利用船位紀錄器與漁獲資料探究澎湖海域漁業活動之時空分布. 國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系碩士論文, 91 pp.
- 張可揚, 廖正信, 黃筱婷, 吳繼倫, 王凱毅 (2014) 臺灣沿海中國槍鎖管、杜氏鎖管及劍尖槍鎖管之年齡與成長. 水產研究, 22(1): 1-13.
- 張雅雯 (2014) 臺灣東北部海域白腹鯖年齡成長與生殖生物學之研究. 國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系碩士論文, 87 pp.
- 黃培寧 (2006) 台灣澎湖海域台灣鎖管生物學特性及其海漁況變動之研究. 國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系碩士論文, 89 pp.
- 黃宛儀 (2013) 探討臺灣產褐臭肚魚 (*Siganus fuscescens*) 及其加工品於不同季節、地域之呈味成分與鮮度變化. 國立臺灣海洋大學食品科學系碩士論文, 85 pp.
- 廖正堂 (2004) 北部海域火誘網漁業漁獲組成變動之研究. 國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系碩士論文, 66 pp.
- 廖正信 (2007) 臺灣沿近海火誘網漁業資源之調查評估. 行政院農業委員會漁業署九十六年度科技計畫研究報告, 100 pp.
- 廖俊棠 (2018) 臺灣海峽中國槍鎖管之年齡成長及生殖生物學. 國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系碩士論文, 93 pp.
- 藍國璋 (2022) 111年澎湖縣望安海域燈火漁業禁漁區效益評估及資源調查計畫. 澎湖縣政府農漁局委辦計畫研究報告, 223 pp.
- 洗宜樂, 鐘金水, 林綉美, 黃文卿, 鄭靜怡, 歐麗榛, 蔡萬生 (2012) 澎湖大倉灣海草床魚類群聚初探. 水試專訊, 39: 5-9.
- Arakawa, H., S. Choi, T. Arimoto and Y. Nakamura (1998) Relationship between underwater irradiance and distribution of Japanese common squid under fishing lights of a squid jigging boat. Fish. Sci., 64(4): 553-557.
- Boyle, P. R. and P. Rodhouse (2005) Life cycle. Cephalopods: Ecology and Fisheries, Blackwell Science Ltd, U. S. A., 80-100.
- Chang, Y., M. A. Lee, K. T. Lee and K. T. Shao (2013) Adaptation of fisheries and mariculture management to extreme oceanic environmental changes and climate variability in Taiwan. Mar. Policy, 38: 476-482.
- Chen, L. C., Y. T. Yeh, M. Y. Chuang, C. Y. Cheng, K. W. Lan, C. T. Tseng and Y. C. Chang (2020) A preliminary study on the fishing activity of different artisanal fisheries around the waters off Penghu. J. Fish. Soc. Taiwan, 47(3): 153-162.
- Chyn, S. S. and C. H. Liao (2006) Study on the capacity of fishing lamps and catch per unit effort of stick-held net in waters off northern Taiwan. J. Taiwan Fish. Res., 14: 49-65.
- Clarke, M. R. and P. L. Pascoe (1998) The influence of an electric light on the capture of oceanic cephalopods by a midwater trawl. J. Mar. Biolog. Assoc. U.K., 78(2): 561-575.
- Hsieh, C. H., C. S. Chen and T. S. Chiu (2005) Composition and abundance of copepods and ichthyoplankton in Taiwan Strait (western North Pacific) are influenced by seasonal monsoons. Mar. Freshw. Res., 56(2): 153-161.
- Hsiao, P. Y., T. Shimada, K. W. Lan, M. A. Lee and C. H. Liao (2021) Assessing summertime primary production required in changed marine environments in upwelling ecosystems around the Taiwan Bank. Remote Sens., 13(4): 765.
- Li, K., J. Yin, L. Huang and Z. Lin (2014) Seasonal variations in diversity and abundance of surface ichthyoplankton in the northern South China Sea. Acta Oceanol. Sin., 33: 145-154.
- Liao, C. H., S. S. Chyn, T. Y. Tsai and H. J. Lu (2007) Fishing Capacity and Conditions of Light Fishery under Different Fishing Light Intensity. J. Fish. Soc. Taiwan, 34(2): 207-223.
- Kawamura, G. (1983) Vision and Behaviour of Fish in the Vicinity of Fish Lamp. International Center for Living Aquatic Resources Management, Philippines, 197-204.
- Kim, Y. H. and C. S. Wardle (1998a) Measuring the brightness contrast of fishing gear, the visual stimulus for fish capture. Fish. Res., 34(2): 151-164.
- Kim, Y. H. and C. S. Wardle (1998b) Modelling the visual stimulus of towed fishing gear. Fish. Res., 34(2): 165-177.
- Kimura, D. K. (1980) Likelihood methods for the von Bertalanffy growth curve. Fish. Bull., 77(4): 765.
- Macy, W. K. (1982) Development and application of an objective method for classifying long-finned squid, *Loligo pealei*, into sexual maturity stages. Fish. Bull., 80(3): 449-459.
- Marchesan, M., M. Spoto, L. Verginella and E. A. Ferrero (2005) Behavioural effects of artificial light on fish species of commercial interest. Fish. Res., 73(1-2): 171-185.
- Margalef, R. (1969) Composició'n especí'fica del fitoplancton de la costa catalano-leventina (Mediterráneo occidental) en 1962-1967. Investigaciones Pesqueras, 33: 345-380.
- Matsushita, Y. and Y. Yamashita (2012) Effect of a

- stepwise lighting method termed "stage reduced lighting" using LED and metal halide fishing lamps in the Japanese common squid jigging fishery. Fish. Sci., 78: 977-983.
- McKight, P. E. and J. Najab, (2010). Kruskal-Wallis Test. The Corsini Encyclopedia of Psychology, 1, 1-10.
- Perez, J. A. A., D. C. Aguiar. and U. C. Oliveira (2002) Biology and population dynamics of the long-finned squid *Loligo plei* (Cephalopoda: Loliginidae) in southern Brazilian waters. Fish. Res., 58: 267-279.
- Pielou, E. C. (1966) The measurement of diversity in different types of biological collections. J. Theor. Biol., 13: 131-144.
- Sabirov, R. M., A. V. Golikov, C. M. Nigmatullin and P. A. Lubin (2012) Structure of the reproductive system and hectocotylus in males of lesser flying squid *Todaropsis eblanae* (Cephalopoda: Ommastrephidae). J. Nat. Hist., 46(29-30): 1761-1778.
- Shannon, C. E. and W. W. Weaver (1963) The mathematical theory of communications. University of Illinois Press, Urbana, 117 pp.

Catch Composition Analysis of Light Fishery in the Waters of the Wang-An Light Fishery Forbidden Zone

Li-Chi Cheng¹, Yu-Sui Wu¹, Lu-Chi Chen², Yu-Cih Huang³, Kuo-Wei Lan³,
Jinn-Shing Weng¹, Hernyi Justin Hsieh⁴ and Hung-An Chang⁵

¹Coastal Fishery Research Center, Fisheries Research Institute

²Marine Fisheries Division, Fisheries Research Institute

³Department of Environmental Biology and Fisheries Science, National Taiwan Ocean University

⁴Penghu Fishery Research Center, Fisheries Research Institute

⁵Agriculture and Fishery Bureau, Penghu County Government

ABSTRACT

We collected specimens through vessels fitted with stick-held dip nets and pole and lines, from April to September 2022 to determine the monthly catch composition of the light fishery in the Wang-An light fishery forbidden zone. In the spring, the main species were *Etrumeus micropus* and Loliginidae larvae. In the summer, the predominant species were *Scomber japonicus* and Siganidae larvae in June, *Amblygaster leiogaster* and *Sardinella lemuru* in July and August (*Uroteuthis chinensis* was a minor catch in both months), and *S. lemuru*, *Decapterus maruadsi*, and Loliginidae larvae in September. Lower species richness and diversity were observed in the area outside the forbidden zone because of the high depth gradient and flow rate. The predominant species there were *Atherinomorus lacunosus* and Loliginidae larvae in April, *S. japonicus* and *E. micropus* in May and June, *A. leiogaster* in July, and *S. lemuru* in August and September. Moreover, the larvae belonged to up to 21 families, with catchability above 25% from April to June and September, employing stick-held dip nets around the fishing forbidden zone. More than 46% of *S. japonicus* and *D. maruadsi* were smaller than sexually mature specimens. Both the mantle size and sexual maturity ratios of the specimens caught by stick-held dip net fisheries were smaller than those caught by pole and lines ones, suggesting that the study area must be an important reproductive and nursery ground for these species. Our findings may facilitate the management of fisheries in this region.

Key words: Wang-An light fishery forbidden zone, catch composition, stick-held dip net fishery, body length

*Correspondence: No. 6 Yugang N. 3rd Rd., Qianzhen Dist., Kaohsiung City 806043, Taiwan, TEL: (07) 8218103#215; FAX: (07)8218205; E-mail: lccheng@mail.tfrin.gov.tw

飼料中不同蛋白質與脂質含量對牙鯧成長及肉質影響之研究

陳玉萍·黃侑勛*·蔡明恆·何源興

農業部水產試驗所東部漁業生物研究中心

摘 要

牙鯧 (*Paralichthys olivaceus*) 屬於溫帶物種，本研究旨在了解本魚種於亞熱帶國家之飼料營養需求，同時探討飼料之油脂含量對其肉質之影響。試驗結果顯示，初始體重為 173.4 ± 1.9 g 之牙鯧，飼料中最低蛋白質添加量為 52.8 %；初始體重為 334.5 ± 9.2 g 之牙鯧，飼料中最低脂質添加量為 15.7 %。探討飼料中添加不同含量脂質對牙鯧成長及肉質之影響，以初始體重 1048.0 ± 24.9 g 之牙鯧進行試驗，投餵 8 週後取魚肉進行分析，眼側部分，其生魚肉硬度會隨著飼料中油脂含量上升而提高，但是經煮熟後蛋白質變性，質地則相反；彈性部分，魚肉經煮熟後彈性會隨著飼料中油脂含量上升而彈性增加。盲側部分，其硬度趨勢與眼側魚肉相同，生魚肉之彈性則是以油脂含量 15%組別最高。

關鍵詞：牙鯧、蛋白質、脂質、肉質

前 言

在漁用配合飼料中，蛋白質與脂質主要提供魚隻成長所需，其含量是決定魚類生長快慢的關鍵因素，且過高或過低均會影響魚類的生長和養殖的經濟效益 (Webster *et al.*, 2001；錢等, 2002；Hamidoghli *et al.*, 2020)。魚類屬於變溫動物，在維持水溫極困難的水域環境裡，可加大其對能源的利用率。然而體溫的改變對整個生物能調控影響很大，因此魚類營養需求會隨養殖環境而改變 (Bowyer *et al.*, 2013；劉, 2008)。所以當養殖環境改變時候，也會影響對營養需求 (Wilson and Halver, 1986)，如大鱗鉤吻鮭 (*Oncorhynchus tshawytscha*) 最佳蛋白質需求取決於水溫，研究發現在 8°C 時蛋白質需求為 40%，在 15°C 時蛋白質需求為 55% (DeLong *et al.*, 1958)；七星鱸 (*Lateolabrax maculatus*) 分別飼養在 27°C 和 33°C 環境下，其蛋白質需求分別為 46.8% 和 44.9% (Cai *et al.*, 2020)。另外，飼料中脂質含量除提供

魚類成長所需也有助於蛋白質節約，也會影響魚肉品質如物理及感官特性等 (鄧等, 2011)。

牙鯧 (*Paralichthys olivaceus*) 長期以來一直是韓國、日本及中國重要養殖物種 (陳等, 2008)，該魚類在全球近 3 年的水產養殖生產量平均為 43,000 mt 以上 (FAO, 2022)。牙鯧分佈於西太平洋區，包括韓國、日本、臺灣至南中國海，主要棲息於沿岸及大陸棚砂泥質海域，在天然海域中主要攝食底棲性甲殼類或是其他種類小魚，屬於肉食性魚類 (邵等, 2015)。水試所東部漁業洋生物研究中心於 2014 年起由韓國進口牙鯧魚苗開始培育，並於 2017 年進行繁殖試驗相關研究，2018 年順利取得受精卵進行仔魚量產培育，目前已達成完全養殖之目標 (陳等, 2017；陳等, 2022)。

由於牙鯧屬於溫帶物種，在臺灣已經成功進行繁養殖，因此為了解牙鯧於亞熱帶國家之飼料營養需求將進行試驗以了解最適營養需求，達到節約養殖成本與提高成長率，另外也試驗飼料中脂質含量對牙鯧肉質之影響。

*通訊作者 / 臺東縣知本路二段 291 巷 299 號，TEL: (089) 514-362 轉 111；FAX: (089) 514-366；E-mail: yshuang@mail.tfrin.gov.tw

Table 1 Ingredients and proximate analysis (% DM basis) of the experimental diets for trial one

	Experimental diets				
	CP35	CP40	CP45	CP50	CP60
Ingredients (%)					
Fish meal	48	58	64	71	85.5
Cellulose	33	24	18.5	12	0
α -starch	8	8	8	8	6.5
Fish oil	10	9	8.5	8	7
Premix ¹	1	1	1	1	1
Proximate analysis (% DM)					
Crude protein	35.2	41.7	45.3	50.2	60.5
Crude lipid	11.4	11.1	12.2	12.5	11.7
Ash	5.9	6.3	7.4	8.4	8.8
Moisture	7.8	7.5	7.5	7.6	6.8
Carbohydrate	39.8	33.4	27.6	21.3	12.1
Calculated energy (kcal/100g diet) ²	402	400	426	423	406

¹The premix contained vitamins A, D, E, and K, folic acid, biotin, calcium, magnesium, iron, zinc, and selenium.

²The energy (kcal/g diet) was calculated based on 4 kcal/g for protein, 9 kcal/g for lipid, and 4 kcal/g for carbohydrate.

材料與方法

實驗魚隻來自於東部漁業生物研究中心自行繁殖培育。魚隻使用 12 ton FRP 桶進行培育，採流水養殖，培育水溫為 18 – 22°C，鹽度範圍為 33 – 35 psu，待穩定攝食後，再依據實驗所需體型進行實驗研究。

試驗一、最適蛋白質需求

(一) 試驗條件

使用 450 L 圓形 FRP 桶進行實驗，試驗魚隻隨機分組 (初始平均體重 173.4 ± 1.9 g)。實驗飼料共五組，配方如 Table 1 所示。配方中以魚粉為主要蛋白質來源，分別調整為 35% (CP35)、40% (CP40)、45% (CP45)、50% (CP50) 及 60% (CP60)。每組放養 20 尾，採 3 重複，分組後魚隻待穩定後再開始進行實驗，每日投餵試驗飼料兩次，分別為上午 9:00 – 9:30 及下午 4:00 – 4:30，投餵至飽食為止。實驗時採流水養殖，養殖水溫為 $18 \pm 1^\circ\text{C}$ ，鹽度範圍為 33 – 35 psu，溶氧維持在 5 – 6 ppm 以上，pH 值為 7.9 – 8.6。每週抽除桶槽底部雜質一次，以維持水質穩定。試驗共進行 8 週，每 2 週量測體重與體長。

(二) 試驗飼料配製

試驗用飼料配方如 Table 1 所示，使用紅魚粉作為主要蛋白質來源，配製出蛋白質含量 35.2 – 60.5 %、粗脂肪含量 11.5 – 12.5% 之 5 組飼料。將各種飼料原料均勻混合後，加水約原料重量的 20 – 25%，攪拌均勻後經 5 mm 直徑孔徑的擠粒機成長條狀，送入鼓風式乾燥機，經 60°C，18 小時乾燥製成，以 -20°C 冰箱保存，以供日後餵食及飼料分析之用。

(三) 分析方法

1. 試驗飼料成分分析

試驗飼料委託公司 Eurofins Food Testing Taiwan, Ltd. 進行檢驗分析，包括粗灰分 (CNS 5034)、粗蛋白質 (CNS 5035) 及粗脂肪 (CNS 5036)。

2. 成長資料分析

- 增重率 (weight gain, WG, %) = $[(\text{final weight} - \text{initial weight}) / \text{initial weight}] \times 100$
- 特殊成長率 (specific growth rate, SGR, % day⁻¹) = $\ln(\text{final weight}/\text{initial weight})/\text{days} \times 100$
- 實驗數據先以單因子變異數檢定分析 (One -

Table 2 Ingredients and proximate analysis (% DM basis) of the experimental diets for trial two and three

	Experimental diets			
	F5	F10	F15	F20
Ingredients (%)				
Fish meal	71	71	71	71
Cellulose	19.5	14.5	9	4
α -starch	8	8	8	8
Fish oil	0.5	5.5	11	16
Premix ¹	1	1	1	1
Proximate analysis (% DM)				
Crude protein	51.0	51.3	51.4	51.2
Crude lipid	4.3	9.9	16.8	21.4
Ash	12.2	11.0	10.2	9.4
Moisture	5.0	5.7	4.0	5.0
Carbohydrate	27.5	22.1	17.7	13.0
Calculated energy (kcal/100g diet) ²	353	383	427	449

¹The premix contained vitamins A, D, E, and K, folic acid, biotin, calcium, magnesium, iron, zinc, and selenium.

²The energy (kcal/g diet) was calculated based on 4 kcal/g for protein, 9 kcal/g for lipid, and 4 kcal/g for carbohydrate.

way ANOVA)，若其平均值之間有差異 ($p < 0.05$)，再以 Sheffe 法做事後檢定，比較各處理組差異之顯著性。

- D. 最適蛋白質需求：由各試驗組別魚隻增重率以多項式迴歸 (Broken-line regression analysis) 分析統計求得牙鯪最適蛋白質需求量 (Ostertagova, 2012)。

試驗二、最適脂質需求

(一) 試驗條件

使用 450 L 圓形 FRP 桶進行實驗，試驗魚隻隨機分組 (初始平均體重 334.5 ± 9.2 g)。實驗飼料共四組，配方如 Table 2 所示。配方中以魚油為主要脂質來源，分別調整為 5% (F5)、10% (F10)、15% (F15) 及 20% (F20)。每組放養 20 尾，採 3 重複，每日投餵試驗飼料兩次，分別為上午 9:00 – 9:30 及下午 4:00 – 4:30，投餵至飽食為止。每週抽除桶槽底部雜質一次，以維持水質穩定。試驗共進行 8 週，每 2 週量測體重與體長。

(二) 試驗飼料配製

試驗用飼料配方如 Table 2 所示，使用魚油做為主要脂質來源，配製出蛋白質含量 51.0 –

51.4%、粗脂肪含量 4.3 – 21.4% 之 5 組飼料。將各種飼料原料均勻混合後，加水約原料重量的 20 – 25%，攪拌均勻後經 5 mm 直徑孔徑的擠粒機成長條狀，送入鼓風式乾燥機，經 60°C，18 小時乾燥製成，以 -20°C 冰箱保存，以供日後餵食及飼料分析之用。

(三) 分析方法

試驗飼料分析及成長資料統計分析同試驗一。

試驗三、脂質含量對牙鯪肉質影響

(一) 試驗條件

使用 450 L 圓形 FRP 桶進行實驗，試驗魚隻隨機分組 (初始平均體重 $1,048.0 \pm 24.9$ g)。試驗飼料共四組，配方如 Table 2 所示。配方中以魚油為主要脂質來源，分別調整為 5% (F5)、10% (F10)、15% (F15) 及 20% (F20)。每組放養 5 尾，採 3 重複，每日投餵試驗飼料兩次，分別為上午 9:00 – 9:30 及下午 4:00 – 4:30，投餵至飽食為止。每週抽除桶槽底部雜質一次，以維持水質穩定。試驗共進行 8 週，每 2 週量測體重與體長。

Table 3 Growth performance results of trial one for the olive flounder fed with the experimental diets

Diets	Initial weight (g)	Final weight (g)	Weight gain (%)	SGR (% day ⁻¹)	Survival rate (%)
CP35	172.50±3.54	329.20±1.90 ^c	90.84±2.81 ^c	1.15±0.03 ^c	100
CP40	172.55±1.34	334.20±3.68 ^{bc}	93.68±0.62 ^{bc}	1.18±0.01 ^{bc}	100
CP45	172.46±1.33	338.50±1.41 ^b	96.28±0.70 ^{ab}	1.20±0.01 ^{ab}	100
CP50	174.12±0.87	345.15±3.32 ^a	98.23±0.92 ^a	1.22±0.01 ^a	100
CP60	175.38±1.38	343.69±2.21 ^a	95.97±0.28 ^{ab}	1.20±0.02 ^{ab}	100

Values (means of triplicate SE) in the same column sharing the same superscript letter are not significantly different ($p > 0.05$).

(二) 試驗飼料配製

使用試驗二之飼料。

(三) 魚肉物性分析

試驗結束後分別取下有眼側 (eyed side) 及盲側 (blind side) 魚肉委託檢驗公司 (精湛檢驗科技股份有限公司), 使用物性測試儀 (TA.XT plus C, SMS) 進行分析。將生魚肉 (樣品於冷凍庫取出後, 置於室溫水浴下退冰 30 分鐘) 與煮熟後魚肉樣品 (樣品於 $85 \pm 2^\circ\text{C}$ 熱水浴中煮 90 秒, 煮熟後取出放入 $5 \pm 2^\circ\text{C}$ 冰水浴中輕輕攪拌冷卻 10 秒, 避免繼續熟化並確保測試溫度的一致性) 進行壓縮試驗 (將樣品使用直徑 5 mm 球型探頭 (P/5S) 進行壓縮試驗, 以不破壞樣品結構的前提下對樣品進行蠕變壓縮, 得到硬度及彈性數值)。硬度 (g): 下壓 3 mm 處之力值; 彈性(%): 鬆弛力 (F2) 與下壓 3 mm 處力值 (F1) 之比值。

結 果

試驗一、最適蛋白質需求

飼養 8 週後各項成長數據如 Table 3 所示。各組平均體重由初始的 172.46 – 175.38 g 增加到 329.20 – 345.15g, 增重率為 90.84 – 98.23%, 特殊成長率為 1.15 – 1.22% day⁻¹。統計分析結果顯示, 增重率以 CP50 組別 ($98.23 \pm 0.92\%$) 最高, 但與 CP60 及 CP45 組別無顯著差異; 最低為 CP35 組別 ($90.84 \pm 2.81\%$), 但與 CP40 組別無顯著差異。成長效果各項數據均隨著飼料中蛋白質含量提升而有上升之趨勢; 再以多項式迴歸分析求得牙鯡飼料中蛋白質之最低添加量為 52.8% (Fig. 1)。

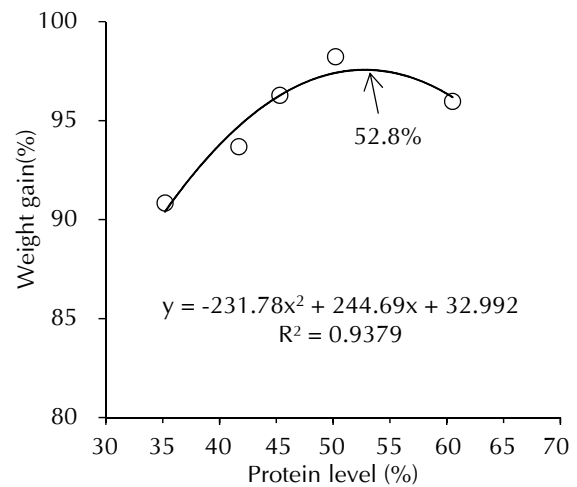


Fig. 1 Polynomial regression between weight gain (y) and the dietary protein level (x) of the olive flounder in trial one.

試驗二、最適脂質需求

飼養 8 週後各項成長數據如 Table 4 所示。各組平均體重由初始的 321.00 – 344.42 g 增加到 384.58 – 431.58 g, 增重率為 16.04 – 34.45%, 特殊成長率為 0.27 – 0.53%。統計分析結果顯示, 增重率以 F15 組別 ($34.45 \pm 1.00\%$) 最高; 最低為 F5 組別 ($16.04 \pm 0.85\%$)。成長效果各項數據均隨著飼料中脂質含量提升而有上升之趨勢; 再以多項式迴歸分析求得牙鯡飼料中脂質之最適添加量為 15.7% (Fig. 2)。

試驗三、脂質含量對牙鯡肉質影響

飼料中不同脂質含量對牙鯡成長及肉質影響試驗中, 調整飼料中的魚油添加量, 使各組脂質含量分別為 5、10、15 及 20%, 經飼養 8 週後成長各項數據如 Table 5 所示。各組平均體重由初始的

Table 4 Growth performance results of trial two for the olive flounder fed with the experimental diets

Diets	Initial weight (g)	Final weight (g)	Weight gain (%)	SGR (% day ⁻¹)	Survival rate (%)
F5	331.42±1.30	384.58±1.30 ^c	16.04±0.85 ^c	0.27±0.01 ^c	100
F10	344.42±1.30	427.05±2.90 ^a	23.99±1.31 ^b	0.38±0.02 ^b	100
F15	321.00±1.41	431.58±1.30 ^a	34.45±1.00 ^a	0.53±0.01 ^a	100
F20	337.08±0.59	415.75±1.06 ^b	23.34±0.10 ^b	0.37±0.00 ^b	100

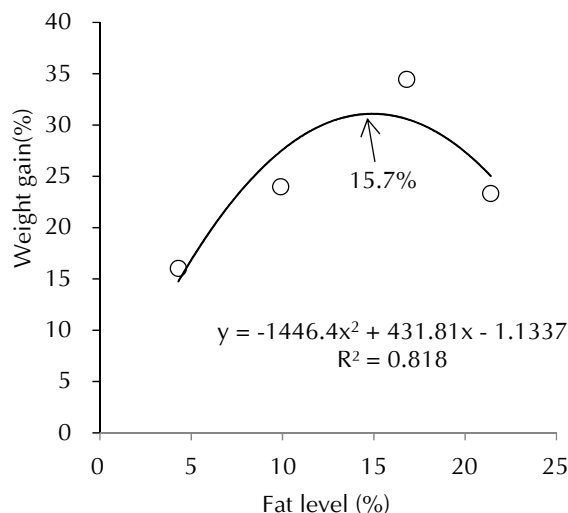
Values (means of triplicate SE) in the same column sharing the same superscript letter are not significantly different ($p > 0.05$).

Table 5 Growth performance results of trial three for the olive flounder fed with the experimental diets

Diets	Initial weight (g)	Final weight (g)	Weight gain (%)	SGR (% day ⁻¹)	Survival rate (%)
F5	1034.83±33.93	1052.33±30.99 ^b	1.70±0.34 ^b	0.03±0.01 ^c	100
F10	1072.00±23.35	1106.50±21.23 ^a	3.22±0.94 ^b	0.06±0.02 ^b	100
F15	1056.50±11.37	1121.75±11.77 ^a	6.18±0.26 ^a	0.11±0.00 ^a	100
F20	1026.75±14.63	1069.25±9.55 ^b	4.14±1.11 ^a	0.07±0.02 ^b	100

Values (means of triplicate SE) in the same column sharing the same superscript letter are not significantly different ($p > 0.05$).

1,034.83 – 1,072.00 g 增加到 1,050.33 – 1,121.75 g，增重率為 1.70 – 6.18%，特殊成長率為 0.03 – 0.11%。統計分析結果顯示，末重以 F15 組別 (1,121.75 ± 11.77 g) 最高，但與 F10 組別無顯著差異；最低為 F5 組別 (384.58 ± 1.30 g)，但與 F20 組別無顯著差異。增重率以 F15 組別 (6.18 ± 0.26%) 最高，但與 F20 組別無顯著差異；最低為 F5 組別 (1.70 ± 0.34%)，但與 F10 組別無顯著差異。

**Fig. 2** Polynomial regression between weight gain (y) and the dietary fat level (x) of the olive flounder in trial two.

試驗結束後，取魚肉進行質地分析，魚肉樣品可分為背肉與腹肉分別測定生魚肉與煮熟後之硬度與彈性其結果如 Fig. 3 所示。由 Fig. 3 (A) 可看到背肉部分，其生魚肉硬度會隨著飼料中油脂含量上升而硬度提高，但是經煮熟後蛋白質變性，質地相反。Fig. 3 (B) 背肉彈性部分生魚肉彈性以 F5 組別最高，但與 F20 組別無差異，經煮熟後彈性會隨著飼料中油脂含量上升而彈性增加。Fig. 3 (C) 生魚腹肉硬度以 F20 組別最高，但與 F10 組別無差異；熟腹肉彈性以 F5 組別最高，但與 F10 及 F15 組別無差異。Fig. 3 (D) 腹肉彈性部分，生魚腹肉以 F15 組別高於其他組別。

討 論

在所有生物體中其蛋白質是生命維持之關鍵 (NRC, 2011)。在不同環境下魚類需要蛋白質來維持生長、繁殖和適應生存環境，因此當飼料中蛋白質含量不足時會導致成長不佳和活存率降低 (Wilson and Halver, 1986)。牙鯢屬於肉食性魚類，在天然海域中主要攝食有鯉魚、竹筴魚、鮪和鰈魚等幼魚，營養需求屬於高蛋白質與中低脂質之魚類 (張等, 1998)。因此對飼料中蛋白質的需求須大於 50%；脂質需求為 10% 左右 (張等, 2005)。本

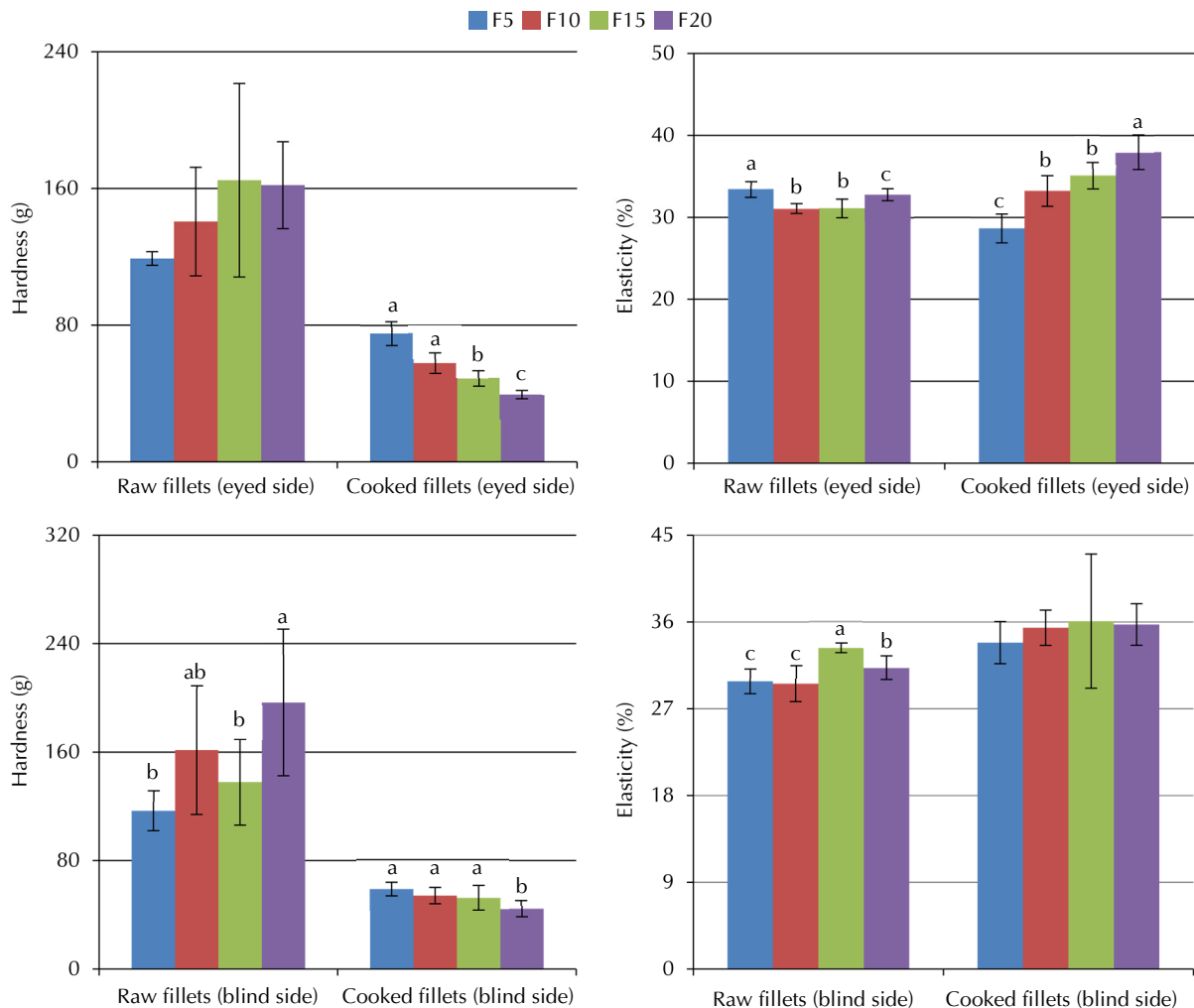


Fig. 3 Texture analysis results of the olive flounder.

試驗研究結果顯示，牙鯇最適粗蛋白需求量为 52.8%，與 Kim *et al.* (2002) 研究中顯示，4 g 牙鯇最適粗蛋白質需求量为 $51.2 \pm 1.8\%$ 結果相似。另外，Kim *et al.* (2017) 研究也顯示牙鯇最適粗蛋白需求量为 50.1%。Lee *et al.* (2000) 使用 3 種不同含量蛋白飼料（粗蛋白分別為 30，40 及 50%）餵食牙鯇，魚體重量會增加隨著飼料中蛋白質含量上升而增加，在飼餵含 50% 蛋白質飼料的魚體重增加效果最佳。Webster *et al.* (2001) 報告中指出水產養殖過程中飼料支出佔總營運成本約 30 – 70%，且百分比可以隨著養殖集約化程度的提高而增加，因此最適蛋白質比例添加除有助於達魚類最佳成長外，也可節約養殖成本。

飼料中脂質最主要的功能為提供生物能量以節約蛋白質使用，另外脂質也是構成細胞膜的主要成分，功能主要為提供魚體細胞膜的完整性並維持

正常生長、繁殖和活存 (Watanabe, 1982)。當飼料中脂質含量不足時會導致魚體利用蛋白質作為能源利用，而增加氮排泄，導致水質惡化，引起對魚有害之影響。另一方面，Lee and Kim (2005) 研究中顯示飼料中過多脂質含量會導致魚類攝食量減少，進而影響其成長效應。本試驗結果顯示，牙鯇飼料中脂質之最適添加量为 15.7%。在郝和賈 (2002) 研究報告中指出牙鯇稚魚對飼料中脂質的需求量至少為 8 – 15%。另外，在 Regost *et al.* (2001) 使用大菱鯃 (*Scophthalmus maximus*) 進行試驗中顯示，當投餵含油脂 10、15、20 及 25% 飼料後，以投餵油脂含量 10 及 15% 飼料成長最佳，在飼餵高脂肪飼料（粗脂肪含量 20 及 25%）之大菱鯃並沒有觀察到脂質對蛋白質的節約作用，此試驗結果與本實驗相同。

飼料中的脂質除提供魚類營養需求外，也影響

魚體品質 (鄧等, 2011)。Sheehan *et al.* (1996) 研究報告將鮭魚 (*Salmo salar*) 在投餵不同含量的脂質飼料 (21, 25 和 30%) 後, 顯示投為含 30% 脂質飼料飼料其魚肉之脂質含量顯著高於其他兩組另外各組之間的魚肉質地、和顏色具有顯著差異。Gjedrem (1997) 研究中也指出, 飼料中高油脂含量會累積至魚體並改變魚肉品質。本試驗研究結果發現測試生魚肉, 其硬度隨著飼料中油脂含量上升而提高, 但是經煮熟後因蛋白質變性, 質地相反。在大菱鯡研究中也指出, 當飼料中粗脂肪含量越高, 其魚體肌肉的緊密度越低 (Regost *et al.*, 2001)。另外, Regost *et al.* (2001) 研究中也指出生熟魚片亮度明顯受到飼料油脂含量影響, 且餵食高油脂飼料黃色值明顯提高。未來可以繼續探討飼料中不同油脂來源及含量影響牙鯡肉質風味及色澤。

謝 辭

本研究經費由農業部水產試驗所 109 農科-9.3.3-水-A1 (5) 計畫項下支助。計畫執行期間承蒙東部漁業生物研究中心同仁協助, 使本研究可順利完成, 在此一併致謝。

參考文獻

- 邵廣昭, 張睿昇, 鄭明修, 塗子萱, 邱郁文, 何瓊紋, 陳天任, 何平合, 莊守正, 趙世民, 林沛立 (2015) 臺灣常見經濟性水產動植物圖鑑. 行政院農業委員會漁業署編印, 499 pp.
- 郝玉江, 賈艷菊 (2002) 牙鯡配合飼料研究進展. 飼料世界, (3): 37-38.
- 陳四清, 劉東朴 (2008) 鯡鰈鰻. 海水安全優質養殖技術叢書, 山東科學技術出版社, 中國.
- 陳玉萍, 陳鏗元, 劉恩良, 何源興 (2017) 牙鯡的誘導產卵及幼苗發育. 水產研究, 25(2): 43-53.
- 陳玉萍, 黃侑勛, 蔡明恆, 陳重元, 何源興 (2022) 養殖體型、密度、光照及底質對牙鯡 (*Paralichthys olivaceus*) 成長影響研究. 水產研究, 30(1): 59-67.
- 張岩, 王琛, 陳四清, 張鑫磊, 于東祥 (2005) 牙鯡的營養需求研究與飼料應用. 海洋科學, 29(9): 92-96.
- 張輝, 王雅斌, 王維娜, 王安利 (1998) 牙鯡營養研究進展. 河北大學學報: 自然科學版, S1: 88-90.
- 鄧士邱, 段青源, 申屠基康 (2011) 飼料脂質對養殖魚類品質的影響. 水產科學, 30(5): 301-306.
- 錢雪橋, 崔奕波, 解綬啟, 薛敏 (2002) 養殖魚類飼料

- 蛋白需要量的研究進展. 水產生物學報, 26(4): 410-416.
- 劉富光 (2008) 魚類飼料的營養問題與研發策略(上). 水試專訊, 21: 21-25.
- 臺灣魚類資料庫 (2013) <http://fishdb.sinica.edu.tw>
- Bowyer, J. N., J. G. Qin and D. A. Stone (2013) Protein, lipid and energy requirements of cultured marine fish in cold, temperate and warm water. Rev. Aquac., 5(1): 10-32.
- Cai, L. S., L. Wang, K. Song, K. L. Lu, C. X. Zhang and S. Rahimnejad (2020) Evaluation of protein requirement of spotted seabass (*Lateolabrax maculatus*) under two temperatures, and the liver transcriptome response to thermal stress. Aquaculture, 516: 734615.
- DeLong, D. C., J. E. Halver and E. T. Mertz (1958) Nutrition of salmonoid fishes: VI. Protein requirements of Chinook salmon at two water temperatures. J. Nutr., 65(4): 589-599.
- FAO (2022) *Paralichthys olivaceus* Temminck & Schlegel, 1846. Fisheries and Aquaculture Division, FAO, Rome <https://www.fao.org/fishery/en/aqspecies/3350/en>
- Gjedrem, T. (1997) Flesh quality improvement in fish through breeding. Aquac. Int., 5(3): 197-206.
- Hamidoghli, A., S. Won, S. Lee, N. W. Farris and S. C. Bai (2020). Nutrition and feeding of olive flounder *Paralichthys olivaceus*: A Review. Rev. Fish. Sci. Aquac., 28(3): 340-357.
- Kim, K. W., X. J. Wang and S. C. Bai (2002) Optimum dietary protein level for maximum growth of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel). Aquac. Res., 33(9): 673-679.
- Kim, K. W., K. D. Kim, H. S. Han, S. Won, M. Moniruzzaman, J. H. Lee, Y. H. Choi and S. C. Bai (2017) Evaluation of the dietary protein requirement of a selectively bred (F-5 generation) strain of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Turkish J. Fish. Aqua. Sci., 17(5): 1009-1016.
- Lee, S. M. and K. D. Kim (2005) Effect of various levels of lipid exchanged with dextrin at different protein level in diet on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. Aquac. Nutr., 11(6): 435-442.
- Lee, S. M., S. H. Cho and K. D. Kim (2000) Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. J. World Aquac. Soc., 31(3): 306-315.
- National Research Council (2011) Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. The National Academies Press,

- Washington (<https://doi.org/10.17226/13039>).
- Ostertagova, E. (2012) Modelling using polynomial regression. *Procedia Eng.*, 48: 500-506.
- Regost, C., J. Arzel, M. Cardinal, J. Robin, M. Laroche and S. J. Kaushik (2001) Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 193(3-4): 291-309.
- Sheehan, E. M., T. P. O'connor, P. J. A. Sheehy, D. J. Buckley and R. FitzGerald (1996) Effect of dietary fat intake on the quality of raw and smoked salmon. *Irish J. Agric. Food Res.*, 37-42.
- Watanabe, T. (1982) Lipid nutrition in fish. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B: Comparative Biochemistry*, 73(1): 3-15.
- Webster, C. D., K. R. Thompson, A. M. Morgan, E. J. Grisby and S. Dasgupta (2001) Feeding frequency affects growth, not fillet composition, of juvenile sunshine bass *Morone chrysops* × *M. saxatilis* grown in cages. *J. World Aquac. Soc.*, 32(1): 79-88.
- Wilson, R. P. and J. E. Halver (1986) Protein and amino acid requirements of fishes. *Annu. Rev. Nutr.*, 6(1): 225-244.

Effects of the Protein and Lipid Content in Feed on the Growth and Meat Quality of the Olive Flounder (*Paralichthys olivaceus*)

Yu-Ping Chen, You-Syu Huang*, Ming-Heng Tsai and Yuan-Shing Ho

Eastern Fishery Research Center, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

Paralichthys olivaceus is a temperate fish species. Using polynomial regression, we investigated the impact of the dietary protein and lipid content on the flesh quality of *Paralichthys olivaceus* to understand the nutritional requirements of the fish for cultivation in subtropical countries. The optimal protein content in the feed was 52.8% for an initial fish weight of 173.4 ± 1.9 g in the first trial. The optimal lipid supplementation in the feed was 15.7% for an initial fish weight of 334.5 ± 9.2 g in the second trial. In the third trial, *Paralichthys olivaceus* with an initial average weight of 1048.0 ± 24.9 g were used to investigate the effects of different dietary lipid contents administered for 8 weeks on their growth performance and flesh quality. The analysis of the fish's eyed side muscle revealed that the hardness of the flesh increased with an increase in the lipid content of the feed. However, when the flesh was cooked, protein denaturation resulted in the opposite effect. Moreover, the cooked fish flesh showed an increase in elasticity with an increase in the lipid content of the feed. The hardness trend of the fish's blind side muscle mirrored that of the eyed side muscle. In addition, raw flesh from fish administered a feed with 15% lipid exhibited the highest elasticity.

Key words: *Paralichthys olivaceus*, protein, fat, flesh quality

*Correspondence: No. 299, Ln. 291, Sec. 2, Zhiben Rd., Taitung County, Taiwan. TEL: (089) 514-362 ext.111; FAX: (089) 514-366; E-mail: yshuang@mail.tfrin.gov.tw

淡水河產臺灣文蛤 (*Meretrix taiwanica*) 腸道菌相分析

黃慶輝* · 吳嘉哲

農業部水產試驗所水產養殖組

摘要

文蛤為臺灣重要的經濟性雙殼綱軟體動物。文蛤的生長和存活容易受到水溫、鹽度和病原體等各種環境因素的影響。本研究旨在利用奈米孔定序 (nanopore sequencing) 分析臺灣淡水河文蛤群體腸道菌的組成，解剖 10 個淡水河產文蛤樣本 (*Meretrix taiwanica*) 並採取腸道後，萃取細菌核酸並進行聚合酶連鎖反應、定序及菌相分析。由定序結果發現，文蛤腸道菌中的主要分類群包含具耐熱特性的地芽孢桿菌屬 (*Geobacillus*)、芽孢桿菌屬 (*Bacillus*)、尿素芽孢桿菌屬 (*Ureibacillus*) 及具固氮能力之硝化弓形菌 (*Arcobacter nitrofigilis*)。除此之外，也在文蛤腸道中發現另一種也在貽貝體內發現過的弓形菌屬種類 (*Arcobacter mytili*)。這些共生菌可能可以幫助文蛤個體適應野外劇烈變化的氣候環境並確保其生存能力。

關鍵詞：臺灣文蛤、腸道菌、奈米孔定序、總體基因組學

前言

文蛤屬物種 (Genus *Meretrix*)，廣泛分布於東非、東亞及東南亞地區 (Yoosukh and Matsukuma, 2001)，在中央研究院建置的臺灣貝類資料庫中，目前臺灣有 5 種文蛤屬物種之記錄，分別為：臺灣文蛤 (*M. meretrix*)、中華文蛤 (*M. petechialis*)、麗文蛤 (*M. lusoria*)、韓國文蛤 (*M. lamarckii*) 以及皺肋文蛤 (*M. lyrata*)，但除貝殼輪廓形狀較為狹長之韓國文蛤及殼表具輪肋之皺肋文蛤外，僅由外觀等形態特徵進行臺灣產文蛤之鑑種有一定難度 (Huang, 1999)。過往研究一般認為，臺灣主要的文蛤物種為由日本引進之麗文蛤 (Chen, 1990; Jeng and Tyan, 1982)，近期有學者透過分子生物學研究以及遺傳學分析結果，認為中華文蛤分為北方群及南方族群，臺灣的文蛤主要為中華文蛤之南方群 (Wang *et al.*, 2017)，之後亦有學者採集臺灣淡水河產之文蛤，透過粒線體基因定序及演化樹分析，認為過往研究之中華文蛤南方群，實為文蛤屬

新種 *M. taiwanica* (Hsiao and Chuang, 2023)。

近年來，臺灣的文蛤養殖偶有突發性死亡的問題 (Chen, 1990; Han *et al.*, 1996)。導致這些死亡事件的原因可能包括溫度劇烈變化、短時間強降雨、污染、細菌或病毒感染、以及池水優養化等因素 (Kou *et al.*, 1989; Liu *et al.*, 2001)。在病害研究方面，過去針對水產生物腸道環境中的細菌進行研究的方法通常是直接從水產生物的組織中萃取細菌，然後進行培養後進行種類辨識等分析，以了解腸道環境中細菌的多樣性 (Beeson and Johnson, 1967)。然而，這種方法存在一些缺點，其中一個主要缺點是許多細菌難以在人工環境中培養以及生長，這導致以細菌培養之方式難以準確反映環境中細菌的多樣性，造成判斷的偏誤 (Hugenholtz *et al.*, 1998)，且至今大多數有關水生動物細菌感染之研究，主要集中在動物感染後已死亡的情況下進行，對於水生動物在感染死亡前的體內細菌組成，我們的了解仍然有限。對生物體而言，要判斷高比例存在於死亡後生物體內的細菌是否是導致感染的主要原因，抑或僅是在生物體死亡後大量增殖的細菌，仍然具有一定的困難。

近年來，隨著分子生物學技術的迅速發展，對於腸道環境細菌多樣性的研究正逐漸轉向環境基

*通訊作者 / 基隆市和一路 199 號；TEL: (02)2462-2101 轉 2803; FAX: (02) 2462-8138; E-mail: chhuang02@mail.tfrin.gov.tw

因體學的新方向，環境基因體學 (metagenomics) 的概念最早於 1998 年被提出 (Handelsman *et al.*, 1998)，其著重於直接研究環境中整個微生物群落的基因，而不是像過去那樣僅限於實驗室中對單一細菌物種進行純化和培養的研究方法 (Chen and Pachter, 2005)，隨著定序技術的不斷進步和成本的降低，相關研究得以在更廣的範圍以及更高的定序強度下進行。近年來，環境基因體學的研究方法主要包括基因霰彈槍 (shot gun) 和新型定序技術，旨在通過這些方法在單個環境樣本中獲取大量且較少偏誤的細菌群落序列資料 (Eisen, 2007)。以奈米孔定序進行腸道環境細菌研究之優缺點以及相關技術發展目前，主要用於研究細菌的定序方法有 Illumina 公司開發的 Illumina 定序法，以及在本研究中所使用的奈米孔定序法。這兩種方法有一些不同之處。Illumina 定序法的準確度相當高，通常超過 99%。它目前被廣泛應用，但由於其定序原理的限制，一次只能定序約 300 bp 左右的片段 (Goodwin *et al.*, 2016)。因此，通常人們會選擇在 16S 序列中歧異度最高的 V3-V4 片段進行定序，以獲得更好的結果 (Herlemann *et al.*, 2011)。然而，僅使用 16S 高歧異度片段的定序結果可能難以將細菌分類到物種層級 (Nygaard *et al.*, 2020)。相對而言，奈米孔定序法的定序準確率稍微較低，通常在 95% 以上，但理論上它沒有定序長度的限制，因此可以一次定序接近全長的 16S 序列 (約 1500 bp 左右)。這使得我們可以獲得更多的序列信息，並且在分類時更容易達到物種層級 (Benítez *et al.*, 2016)。儘管其準確度略低，但這一點可以依靠其軟體和硬體技術的持續發展更新，使其定序準確度也不斷提高，目前而言奈米孔定序法仍具有很大的潛力 (Heikema *et al.*, 2020)，另近年也有新的定序方式持續發展，如 PacBio 公司發展的單分子即時定序技術 (single molecule real-time, SMRT)，除與奈米孔定序一樣，可定序片段長外，根據定序模式的選擇，可進行重複定序環形序列結構模式，經由重複定序其準確率可超過 99.9%，該長片段定序稱作 HiFi (high-fidelity) reads，目前來說其相對價格較高，但針對細菌 16S 序列片段定序分析，已有許多相關研究開始使用該技術 (Ardui *et al.*, 2018)，期待後續技術成熟後價格下降，能在水產養殖領域作更廣泛的運用。

本研究所使用的定序技術為奈米孔定序 (nanopore sequencing)，奈米孔定序的核心技術於 2007 年完成專利註冊，並於 2010 年正式開始運用相關技術 (Deamer *et al.*, 2016)，與舊有的定序技術相比，這項技術的特點在於能夠讀取長序列、提高定序序列片段的長度、大幅提昇定序速度，且能夠直接對原始 DNA 樣本進行定序 (Jain *et al.*, 2016)，奈米孔技術的核心概念是在薄膜上嵌入跨膜蛋白，並在薄膜的兩側建立電位差，從而使溶液中的離子通過跨膜蛋白形成電流，跨膜蛋白上的解旋酶 (helicases) 會解開 DNA 的雙股結構，使其中的單股 DNA 通過跨膜蛋白。這時，通過奈米孔的 DNA 會影響離子流動，從而改變電流。由於不同的鹼基對電流的影響不同，通過量測已知序列引起的電流變化，可以根據電流變化的模式來推斷 DNA 的鹼基序列 (Jain *et al.*, 2016)。本研究以環境基因體學為基礎，對於臺灣淡水河產之野生文蛤之腸道菌其菌相及多樣性進行分析與探討，並討論定序結果中具有特殊功能性之相關細菌，以及這些細菌對於文蛤適應野生環境之可能作用。

材料與方法

一、實驗動物

本研究所使用之文蛤樣本共 10 個，於 2020 年 5 月採取自臺北市淡水河口，紅樹林自然保留區外區域，依 Hsiao and Chuang (2023) 之研究，淡水河所產文蛤應皆屬於新種 *M. taiwanica*，文蛤樣本殼長範圍約在 5 - 6 cm，捕撈後立即將樣本冷藏於已放置冰塊之攜帶式冰箱，並於當日帶回實驗室進行腸道採取以及核酸萃取。

二、文蛤腸道採取及核酸萃取

為分析文蛤腸道菌細菌相，文蛤從冰箱取出後放在保冷劑上維持低溫，並以解剖刀伸入殼中切斷閉殼肌以打開文蛤殼，文蛤肉身露出後，以解剖剪刀剪開文蛤外側肌肉層，並於文蛤內臟團中挑出腸道組織後，將腸道組織以 protein kinase K 溶解，並使用 MagPurix Bacterial DNA Extraction Kit 核酸萃取試劑組配合 Zinexts MagPurix 12A 核

酸自動萃取儀進行腸道菌相之核酸萃取，萃取完之核酸則運用 Qubit 4.0 Fluorometer 螢光核酸定量儀確認濃度及萃取過程是否成功。

三、運用聚合酶連鎖反應 (PCR) 將文蛤腸道菌 16S 核糖體序列擴增

萃取完成之文蛤腸道核酸以 PCR 方式將細菌 16S 核糖體基因序列擴增，使用之試劑為 Fast-Run Taq Master Mix with Dye (5X Master Mix, Protec)，所使用之引子對細菌 16S 核糖體序列具專一性，引子序列為 20F (5'-AGAGTTTGATCMTGGC TCAG-3') 及 1500R (5'-GGTACCTTGTTACGA CTT-3') (Eden *et al.*, 1991)，反應條件為 94°C 1 min；再進行 94°C 45 秒、52°C 45 秒、72°C 1 分鐘 30 秒，共進行 35 個循環；最後以 72°C 反應 10 分鐘，PCR 完成之產物序列長度約為 1480 bp 上下，已接近細菌 16S 核糖體序列全長。

四、奈米孔定序樣本前處理及上機

將 PCR 產物以電泳確認序列長度，確認成功擴增 16S 序列後，以 Kapa HyperPure beads (Roche)、KAPA HyperPrep Kits (Roche)、Ligation Sequencing Kit (Oxford Nanopore)、及 Native Barcoding Expansion (Oxford Nanopore)，依照原廠流程將樣本進行製備，製備好之樣本注入專用定序晶片 (SpotON Flow Cell, Oxford Nanopore)，並以 MinION 奈米孔定序儀連接電腦進行定序。

五、序列分析

本研究利用 Emu 物種分析工具 (<https://github.com/treangenlab/emu>) (Curry *et al.*, 2022) 對已定序的資料進行分析。分析過程包括以下步驟：序列長度篩選 (1000 bp 以上)、準確度測試、細菌物種比對分群和多樣性分析。我們使用了 NCBI 的 16S 序列資料庫 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/refseq/>) (O'Leary *et al.*, 2016; Schoch *et al.*, 2020) 以及美國密西根大學團隊編輯的核糖體 RNA 操縱子資料庫 rrnDB (<https://rrndb.umms.med.umich.edu/>) (Stoddard *et al.*, 2015) 來進行序列比對。

結 果

基本定序結果

本研究共定序淡水河口之野生 10 文蛤個體之腸道菌樣本 (TS01-TS10)，為增加細菌辨種之正確率，在定序完成之序列中，運用 Emu 分析軟體設定，僅取長度在 1000 bp 以上之序列進行分析，進行物種組成分析，各樣本成功辨識之有效 16S 序列數量為 12,265 – 131,486 條，結果列於 Table 1，各樣本菌屬組成如 Fig. 1 及 Table 2。

Table 1 Sequence reads generated per sample of gut microbiota from wild hard clams collected in the Tamsui River

Sample name	Reads	Percentage (%)
TS01	38,152	5.68
TS02	131,486	19.58
TS03	97,752	14.55
TS04	64,648	9.63
TS05	12,265	1.83
TS06	69,509	10.35
TS07	85,961	12.80
TS08	18,388	2.74
TS09	54,541	8.12
TS10	98,951	14.73
Total	671,653	100.00

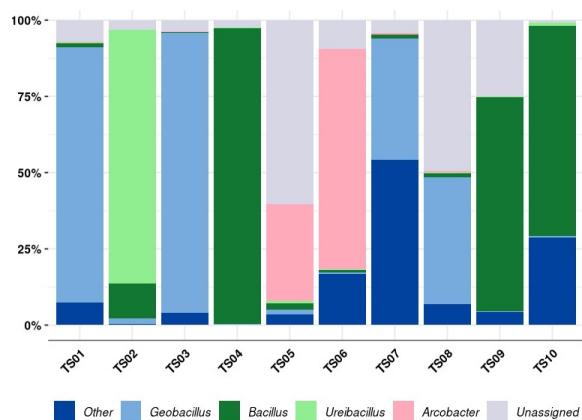


Fig. 1 Microbial community composition (genus level) of gut samples from 10 hard clams collected in the Tamsui River.

估算 alpha diversity (Shannon-Wiener's diversity index 及 Simpson's diversity index) 及 beta diversity 分別如 Table 3 及 Fig. 2, 各樣本之菌門組成如 Table 4; 其中可辨識至屬層級之序列共 671,653 條, 比例最高的 4 個屬 (4 屬合計共佔 84.45%) (Table 5), 依序分別為芽胞桿菌屬

(*Bacillus*, 30.20%)、地芽胞桿菌屬 (*Geobacillus*, 27.24%)、尿素芽胞桿菌屬 (*Ureibacillus*, 17.15%)、及弓形菌屬 (*Arcobacter*, 9.87%), 各屬細菌組成物種 (Table 6), 說明如下 (由於許多細菌尚無固定中文名稱, 為避免混淆以學名為主)。

Table 2 Genus-level taxonomic assignment of each sample (percentage, %) of gut microbiota from hard clams collected in the Tamsui River

Taxonomic	TS01	TS02	TS03	TS04	TS05	TS06	TS07	TS08	TS09	TS10
<i>Geobacillus</i>	83.75	1.97	91.64	0.25	1.74	0.60	39.90	41.60	0.30	0.56
<i>Bacillus</i>	1.34	11.29	0.36	97.09	2.11	0.83	1.07	1.10	70.34	68.75
<i>Ureibacillus</i>	0.26	83.15	0.15	0.10	0.73	0.27	0.24	0.42	0.11	1.08
<i>Arcobacter</i>	0.38	0.05	0.15	0.11	31.56	72.26	0.38	0.39	0.12	0.08
Other	7.29	0.36	4.04	0.09	3.38	16.74	54.18	6.96	4.20	28.80
Unassigned	6.98	3.17	3.67	2.36	60.48	9.30	4.23	49.53	24.92	0.72
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Table 3 Shannon-Wiener diversity index (Shannon_index) and Simpson's diversity index (Simpson_index) of gut microbiota from hard clams collected in the Tamsui River

Taxonomic	TS01	TS02	TS03	TS04	TS05	TS06	TS07	TS08	TS09	TS10
Shannon_index	0.93	0.76	0.56	0.17	1.35	1.86	3.53	1.29	0.90	1.42
Simpson_index	0.30	0.31	0.16	0.06	0.57	0.64	0.84	0.58	0.46	0.56

Table 4 Phylum-level taxonomic assignment of nanopore reads (percentage, %) of gut microbiota from individual hard clams collected in the Tamsui River

Taxonomic	TS01	TS02	TS03	TS04	TS05	TS06	TS07	TS08	TS09	TS10
Acidobacteria	—	—	—	—	—	—	0.07	0.21	—	—
Actinobacteria	—	—	—	—	—	—	0.04	—	—	—
Bacteroidetes	0.18	—	0.51	—	—	—	4.99	0.59	—	—
Chloroflexi	—	—	—	—	—	—	0.02	—	—	0.04
Cyanobacteria	1.63	0.13	2.42	—	0.35	0.16	29.57	2.98	0.13	—
Deferribacteres	—	—	—	—	—	0.58	0.07	—	—	—
Fibrobacteres	0.18	—	0.09	—	0.10	—	0.88	0.30	—	—
Firmicutes	92.01	99.67	95.72	99.83	12.32	2.02	47.74	86.18	99.56	72.93
Fusobacteria	—	—	—	—	—	—	1.13	—	—	—
Kiritimatiellaeota	—	—	—	—	—	—	0.06	—	—	—
Lentisphaerae	—	—	—	—	—	—	0.35	—	—	—
Planctomycetes	3.15	0.05	0.19	—	—	—	5.70	2.64	0.03	—
Proteobacteria	2.70	0.15	0.98	0.17	81.38	82.65	7.00	6.76	0.28	27.02
Spirochaetes	—	—	—	—	—	0.40	0.11	—	—	—
Tenericutes	0.08	—	0.05	—	5.85	14.20	0.63	0.12	—	—
Verrucomicrobia	—	—	0.03	—	—	—	1.41	0.11	—	—
Unassigned	0.08	—	0.01	—	—	—	0.23	0.12	—	—

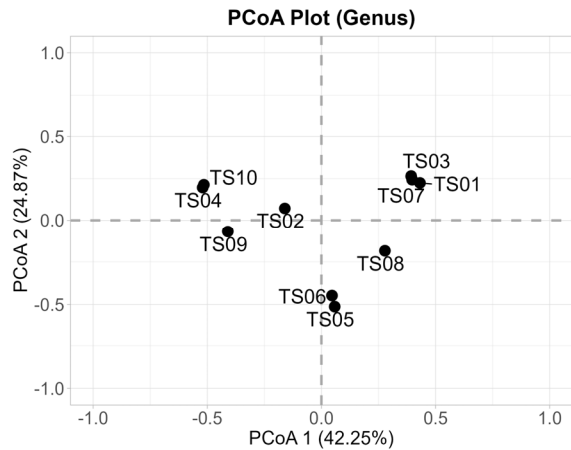


Fig. 2 Principal coordinate analysis (PCoA) based on the genus abundance of 16S rRNA sequencing. The PCoA plot illustrates the differences in microbial community composition across different samples, based on Bray-Curtis distances at the genus level. Each point represents a distinct sample (TS01 to TS10), with the points' positioning indicating the similarity or dissimilarity of microbial communities between the samples. The axes represent the first two principal coordinates, with PCoA 1 and PCoA 2 explaining 42.25% and 24.87% of the total variance, respectively, in the abundance of the gut microbial community at the genus level for the 10 hard clam samples. Clustering samples share similar microbial communities.

一、地芽孢桿菌屬 (*Geobacillus*)

以熱脫氮地芽孢桿菌 (*G. thermodenitrificans*) 所佔比例最高，達 99.45%，次高者依序為 *G. subterraneus* (0.22%)、*G. kaustophilus* (0.09%)、*G. stearothermophilus* (0.07%) 及 *G. thermoleovorans* (0.07%)。

二、芽孢桿菌屬 (*Bacillus*)

以阿尤海槽芽孢桿菌 (*B. alveayuensis*) 比例最高佔 32.32%，次高者依序為馬努司海槽芽孢桿菌 (*B. manusensis*, 32.02%) 及地衣芽孢桿菌 (*B. licheniformis*, 29.18%)、*B. borbori* (2.81%) 及 *B. aeolius* (1.97%)。

三、尿素芽孢桿菌屬 (*Ureibacillus*)

以熱球狀尿素芽孢桿菌 (*U. thermosphaericus*) 所佔比例最高，達 99.74%，其餘依序為 *U. composti* (0.24%)、*U. thermophilus* (0.01%)、*U. terrenus* (0.01%)。

四、弓形菌屬 (*Arcobacter*)

比例最高為貽貝弓形菌 *A. mytili* (80.53%)，其餘依序為硝化弓形菌 (*A. nitrofigilis*, 6.52%)、*A. butzleri* (4.99%)、*A. lekithochrous* (0.92%) 及 *A. suis* (0.34%)。

Table 5 Genus-level taxonomic assignment of total nanopore reads (percentage, %) of gut microbiota from hard clams collected in the Tamsui River

Genus	Counts	Percentage (%)
<i>Bacillus</i>	202,809	30.20
<i>Geobacillus</i>	182,931	27.24
<i>Ureibacillus</i>	115,203	17.15
<i>Arcobacter</i>	66,269	9.87
<i>Vibrio</i>	25,090	3.74
<i>Mycoplasma</i>	10,865	1.62
<i>Aliterella</i>	4,558	0.68
<i>Calothrix</i>	4,247	0.63
<i>Synechococcus</i>	3,826	0.57
<i>Dulcicalothrix</i>	3,824	0.57
<i>Candidatus</i>	2,994	0.45
<i>Brevibacillus</i>	2,806	0.42
<i>Parendozaicomonas</i>	1,900	0.28
<i>Sulfurovum</i>	1,788	0.27
<i>Carboxylicivirga</i>	1,734	0.26
<i>Aquisphaera</i>	1,667	0.25
<i>Romboutsia</i>	1,496	0.22
<i>Geitlerinema</i>	1,305	0.19
<i>Pseudoalteromonas</i>	1,295	0.19
<i>Aeribacillus</i>	1,267	0.19
Other	33,777	5.03
Total	671,653	100.00

討 論

一、定序結果基本評估

本研究由 10 個淡水河口文蛤腸道萃取細菌並進行定序及種類辨識，其中 TS05 及 TS08，這 2 樣本其讀出序列較少 (Table 1)，可能是因為此 2 樣本濃度較低，進行 nanopore 定序時與其他樣本競合所導致之結果，往後進行定序時會再更精確調整各樣本之濃度以達可讀出序列數更為平均之結果。另外由 Alpha (Table 3) 及 Beta (PCoA, Fig. 2) 分析發現，各樣本其間差異較大，且有分群之

情形，其中一個可能成因為，即使於同樣的淡水河自然保留區域，即於同一生態區位 (niche) 採集，但河口環境變化快速，在同一生態區位中形成不同的副生態區位 (sub-niche) (Houlicz *et al.*, 2021)，進而影響環境微生物以及文蛤腸道菌相組成，但倘要繼續研究這些因素對文蛤之影響，需對整個淡水河保留區之生態環境做更全面之瞭解，並進行較高頻度之環境菌相測試等，爰本研究先以定序結果之主要細菌種類進行探討。

Table 6 Species identified in four major genera of the gut microbiota from hard clams collected in the Tamsui River

Species	Percentage (%)
Genus <i>Geobacillus</i>	
<i>Geobacillus thermodenitrificans</i>	99.45
<i>Geobacillus subterraneus</i>	0.22
<i>Geobacillus kaustophilus</i>	0.09
<i>Geobacillus stearothermophilus</i>	0.07
<i>Geobacillus thermoleovorans</i>	0.07
Other <i>Geobacillus</i> species	0.10
Total	100.00
Genus <i>Bacillus</i>	
<i>Bacillus alveayuensis</i>	32.32
<i>Bacillus manusensis</i>	32.02
<i>Bacillus licheniformis</i>	29.18
<i>Bacillus borbori</i>	2.81
<i>Bacillus aeolius</i>	1.97
Other <i>Bacillus</i> species	1.70
Total	100.00
Genus <i>Ureibacillus</i>	
<i>Ureibacillus thermosphaericus</i>	99.74
<i>Ureibacillus composti</i>	0.24
<i>Ureibacillus thermophilus</i>	0.01
<i>Ureibacillus terrenus</i>	0.01
Total	100.00
Genus <i>Arcobacter</i>	
<i>Arcobacter mytili</i>	80.53
<i>Arcobacter nitrofigilis</i>	6.52
<i>Arcobacter butzleri</i>	4.99
<i>Arcobacter lekithochrous</i>	0.92
<i>Arcobacter suis</i>	0.34
Other <i>Arcobacter</i> species	6.70
Total	100.00

二、淡水河口文蛤腸道細菌主要菌種探討

定序結果發現，成功辨識至屬 (genus) 層級總計比例最高的地芽胞桿菌屬、芽胞桿菌屬、尿素芽胞桿菌屬及弓形菌屬，4 屬合計佔總可辨識序列之 84.45%，顯示這些種類在淡水河野生族群文蛤之腸道中佔有較大之優勢，一般認為造成文蛤等貝類養殖疾病或大量死亡的原因之一為弧菌屬細菌 (Paillard *et al.*, 2004; Yue *et al.*, 2010)，其所佔整體可辨識比例僅有 3.74% (Table 5)，顯示弧菌屬細菌其數量較低，應不至於影響野生文蛤族群之生存，以下就本次定序之 4 個主要細菌屬中占比較高的細菌物種進行探討

(一) 地芽胞桿菌屬

該屬序列中熱脫氮地芽胞桿菌 (99.45%) 含量超過 9 成以上，本菌在 2001 年才被正式確認名稱並且發表，該研究經由序列以及演化樹分析，重新將該菌種自芽胞桿菌屬移至地芽胞桿菌屬，該屬細菌在各種不同的環境中被發現，且許多種類具嗜熱性 (thermophilic)，其耐溫程度可超過攝氏 45°C 以上 (Nazina *et al.*, 2001, Coorevits *et al.*, 2012)。著眼於熱脫氮地芽胞桿菌之嗜熱性，近期也有對其能產生的耐熱酵素進行相關研究 (McMullan *et al.*, 2004)，如該種細菌可產生在攝氏 50°C 以上環境也可以作用的澱粉酶 (amylase) 及葡萄糖苷酶 (glucosidase) (Thaddeus *et al.*, 2005)，甚至可以產生屬於羊毛硫抗生素 (lantibiotics) 類，在高溫下 (攝氏 50 – 80°C) 結構穩定仍具有抗菌作用的地芽胞桿菌素 (geobacillin) (Garg *et al.*, 2012)，在水產養殖方面有做為益生菌以及開發水產養殖或食品相關抗菌添加物的潛力。

(二) 芽胞桿菌屬

本次研究定序完成之芽胞桿菌屬中，以阿尤海槽芽胞桿菌 (32.32%)、馬努司海槽芽胞桿菌 (32.02%) 以及地衣芽胞桿菌 (29.18%) 佔大宗。顧名思義，阿尤海槽芽胞桿菌在西太平洋阿尤海槽之海底溫泉沈積物中被發現，也具有耐高溫 (最高可至攝氏 65°C) 之特性 (Bae *et al.*, 2005)。該菌也被用來分解蝦蟹殼等水產廢棄物，並可以生產具耐鹽性且耐高溫之鹼性蛋白酶 (alkaline

protease)，該蛋白酶在清潔劑中也可以保持結構穩定，作為洗潔劑中清除血跡等蛋白質污漬的添加物使用，同時製造過程中也可以將水產廢棄物進行循環利用 (Annamalai *et al.*, 2014)。馬努司海槽芽孢桿菌則於巴布亞紐幾內亞周圍馬努司海槽之海底溫泉沈積物中被發現，該菌也具有高溫下的代謝活性 (Sun *et al.*, 2019)。地衣芽孢桿菌目前在生技產業上已經是一種廣泛應用的細菌，具有高度的生物技術潛力，應用領域眾多，包括生產活性化合物，應用於水產養殖、農業、食品、生物醫學和製藥等廣泛領域 (Muras *et al.*, 2021)。在水產養殖方面，許多研究已經顯示，地衣芽孢桿菌可對病原性的細菌具有抑制性，可以作為添加劑加入飼料或添加到養殖用水中，並已應用在虹鱒、白蝦以及三角魴等種類的養殖 (Raida *et al.*, 2003; Li *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2013)。

(三) 尿素芽孢桿菌屬

佔該屬序列中 99% 以上的熱球狀尿素芽孢桿菌，與前述熱脫氮地芽孢桿菌類似，經由分子生物學等鑑定後，由芽孢桿菌屬移至尿素芽孢桿菌屬 (Fortina, 2001)。該菌也具有嗜熱性，在攝氏 50 度左右具有最佳的成長速度 (Akita *et al.*, 2011)，且能產生之酵素在相對高溫下也十分穩定，在工業應用上非常重要，目前應用的有氨基酸脫氫酶 (amino acid dehydrogenase, Akita *et al.*, 2011)、過氧化氫酶 (catalase) (Jia *et al.*, 2017) 和酯酶 (esterase) (Gagné *et al.*, 2001)。此外，還可運用熱球狀尿素芽孢桿菌作為降解木質纖維素生物質的生物催化劑，這對於生產第二代生物燃料 (Asada *et al.*, 2015; Zainudin *et al.*, 2013) 十分有用。

(四) 弓形菌屬

本次研究定序完成之弓形菌屬細菌序列中，以最多的為貽貝弓形菌 (80.53%)，次多的為硝化弓形菌 (6.52%)。貽貝弓形菌在 2006 年從西班牙加泰羅尼亞的埃布羅河三角洲採集的淡菜中分離出來 (Collado *et al.*, 2009)，可能因為貝類體內適合其生長，所以本研究在淡水河的文蛤腸道中也有發現貽貝弓形菌，且在弓形菌屬中所佔比例超過一半。硝化弓形菌為弓形菌屬的模式種 (Vandamme *et al.*, 1991)，一開始是從加拿大東海

岸的鹹水沼澤地中的禾本科植物根部分離出來 (McClung and Patriquin, 1980)。由於其主要存在環境為海洋環境，這在演化以及分類學上引起了廣泛的興趣，因過往研究其他弓形菌屬物種通常在溫血動物身上發現 (McClung *et al.*, 1983, Pati *et al.*, 2010)。硝化弓形菌的其名稱也是因其強大的固氮硝化作用能力而來，在海水鹽度下具有尿素水解酶 (urease) 以及固氮酶 (nitrogenase) 的活性 (McClung *et al.*, 1983)。

結 論

環境基因體學的研究，對水產養殖技術發展提供了一個分子層級的窗口，可揭示水產生物腸道中的疾病傳播途徑、開發新型益生菌，以及深入探討水生生物體與細菌的共生關係。這種工具讓研究人員有機會深入研究不同尺度的生態系統。近年養殖水產物因為氣候變遷以及養殖密度提高等緣故，病害以及發生突發死亡的機會也逐漸提高，發展新型的水產益生菌或飼料添加物，以提升養殖水產生物抗逆境的能力也是一個十分重要的方向。

本次研究淡水河產文蛤之腸道菌相發現，許多耐高溫的細菌種類，如熱脫氮地芽孢桿菌、阿尤海槽芽孢桿菌以及熱球狀尿素芽孢桿菌等佔了文蛤腸道菌之大宗，這可能是因為採集時間點為初夏，河口環境因容易受潮汐變化影響，且因與一般河流相比，表面積較大，水溫容易受氣溫影響，而有夏天水溫更高，冬天相對低溫之情形，而這些細菌中筆者認為熱脫氮地芽孢桿菌是一開發新型水產養殖益生菌以及飼料添加物的有力候選，本研究發現其應可穩定在文蛤體內生存，有協助文蛤度過河口環境容易產生的劇烈高溫的可能性，且其可產生在高溫環境也可以作用的各種酵素，以及在高溫下結構穩定仍具有抗菌作用的地芽孢桿菌素，值得後續研究探討。

另外，隨著季節以及副生態區位變化，淡水河口文蛤其體內之腸道菌是否有發生變化，菌相是否更迭為可適應河口冬季較低水溫環境之種類，也是一個值得探討且有後續應用的研究方向，這些議題尚待後續更進一步的研究，也期待相關研究成果能協助改善文蛤養殖業相關問題。

參考文獻

- Akita, H., Y. Fujino, K. Doi and T. Ohshima (2011) Highly stable meso-diaminopimelate dehydrogenase from an *Ureibacillus thermosphaericus* strain A1 isolated from a Japanese compost: purification, characterization and sequencing. *AMB Express*, 1(1): 43.
- Annamalai, N., M. V. Rajeswari and T. Balasubramanian (2014) Extraction, purification and application of thermostable and halostable alkaline protease from *Bacillus alveayuensis* CAS 5 using marine wastes. *Food Bioprod. Process.*, 92(4): 335-342.
- Ardui, S., A. Ameer, J. R. Vermeesch and M. S. Hestand (2018) Single molecule real-time (SMRT) sequencing comes of age: applications and utilities for medical diagnostics. *Nucleic Acids Res.*, 46(5): 2159-2168.
- Asada, C., C. Sasaki, T. Takamatsu and Y. Nakamura (2015) Conversion of steam-exploded cedar into ethanol using simultaneous saccharification, fermentation and detoxification process. *Bioresour. Technol.*, 176: 203-209.
- Bae, S. S., J. H. Lee and S. J. Kim (2005) *Bacillus alveayuensis* sp. nov., a thermophilic bacterium isolated from deep-sea sediments of the Ayu Trough. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 55(3): 1211-1215.
- Beeson, R. J. and P. T. Johnson (1967) Natural bacterial flora of the bean clam, *Donax gouldi*. *J. Invertebr. Pathol.*, 9(1): 104-110.
- Chen, L. C. (1990). *Aquaculture in Taiwan*. Oxford, UK: Blackwell Scientific Publications.
- Chen, K. and L. Pachter (2005) Bioinformatics for Whole-Genome Shotgun Sequencing of Microbial Communities. *PLoS Comput. Biol.*, 1(2): e24.
- Collado, L., I. Cleenwerck, S. Van Trappen, P. De Vos and M. J. Figueras (2009). *Arcobacter mytili* sp. nov., an indoxyl acetate-hydrolysis-negative bacterium isolated from mussels. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 59: 1391-1396.
- Coorevits, A., A. E. Dinsdale, G. Halket, L. Lebbe, P. De Vos, A. Van Landschoot and N. A. Logan (2012) Taxonomic revision of the genus *Geobacillus*: emendation of *Geobacillus*, *G. stearothermophilus*, *G. jurassicus*, *G. toebii*, *G. thermodenitrificans* and *G. thermoglucosidans* (nom. Corrig., formerly "*thermoglucosidasius*"); transfer of *Bacillus thermantarcticus* to the genus as *G. thermantarcticus* comb. nov.; proposal of *Caldibacillus debilis* gen. nov., comb. nov.; transfer of *G. tepidamans* to *Anoxybacillus* as *A. tepidamans* comb. nov.; and proposal of *Anoxybacillus caldiproteolyticus* sp. nov. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 62: 1470-1485.
- Curry, K. D., Q. Wang, M. G. Nute, A. Tyshaieva, E. Reeves, S. Soriano, Q. Wu, E. Graeber, P. Finzer, W. Mendling, T. Savidge, S. Villapol, A. Diltthey and T. J. Treangen (2022) Emu: species-level microbial community profiling of full-length 16S rRNA Oxford Nanopore sequencing data. *Nat Methods*, 19: 845-853.
- Deamer, D., M. Akeson and D. Branton (2016) Three decades of nanopore sequencing. *Nat. Biotechnol.*, 34: 518-24.
- Eisen, J. A. (2007) Environmental Shotgun Sequencing: Its Potential and Challenges for Studying the Hidden World of Microbes. *PLoS Biol.*, 5(3): e82.
- Fortina, M. G., P. L. Manachini, R. Pukall, D. Mora, C. Parini, E. Stackebrandt and P. Schumann (2001) *Ureibacillus* gen. nov., a new genus to accommodate *Bacillus thermosphaericus* (Andersson et al. 1995), emendation of *Ureibacillus thermosphaericus* and description of *Ureibacillus terrenus* sp. nov. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 51(2): 447-455.
- Gagné, A., M. Chicoine, A. Morin and A. Houde (2001) Phenotypic and genotypic characterization of esterase-producing *Ureibacillus thermosphaericus* isolated from an aerobic digester of swine waste. *Can. J. Microbiol.*, 47: 908-915.
- Garg, N., W. Tang, Y. Goto, S. K. Nair and W. A. Van Der Donk (2012) Lantibiotics from *Geobacillus thermodenitrificans*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 109(14): 5241-5246.
- Han, B. C., W. L. Jeng, T. C. Hung and M. Y. Wen (1996) Relationship between copper speciation in sediments and bioaccumulation by marine bivalves of Taiwan. *Environ. Pollut.*, 91(1): 35-39.
- Herlemann, D., M. Labrenz, K. Jürgens, S. Bertilsson, J. J. Waniek and A. F. Andersson (2011) Transitions in bacterial communities along the 2000 km salinity gradient of the Baltic Sea. *The ISME J.*, 5: 1571-1579.
- Hsiao, S. T. and S. C. Chuang (2023) *Meretrix taiwanica* (Bivalvia: Veneridae), a previously misidentified new species in Taiwan. *Molluscan Res.*, 43: 1, 12-21.
- Houliez, E., S. Lefebvre, A. Dessier, M. Huret, E. Marquis, M. Bréret and C. Dupuy (2021) Spatio-temporal drivers of microphytoplankton community in the Bay of Biscay: Do species ecological niches matter? *Prog. Oceanogr.*, 194: 102558.

- Huang, H. W. (1999) Ecological conservation strategy from the prosperity and decline of hard clam in estuary of Danshui River. *Fish. Exten.*, 151: 19-24.
- Hugenholtz, P., B. M. Goebel and N. R. Pace (1998) Impact of culture-independent studies on the emerging phylogenetic view of bacterial diversity. *J. Bacteriol.*, 180(18): 4765-4774.
- Jain, M., H. E. Olsen, B. Paten and M. Akeson (2016) The Oxford Nanopore MinION: delivery of nanopore sequencing to the genomics community. *Genome. Biol.*, 17: 239.
- Jeng, S. S. and Y. M. Tyan (1982) Growth of the hard clam *Meretrix lusoria* in Taiwan. *Aquaculture*, 27(1): 19-28.
- Jia, X, X. Lin, Y. Tian, J. Chen and M. You (2017). High production, purification, biochemical characterization and gene analysis of a novel catalase from the thermophilic bacterium *Ureibacillus thermosphaericus* FZSF03. *Int. J. Biol. Macromol.*, 103: 89-98.
- Kou, G., S. Chen and C. Lo (1989) Fish and shellfish viral disease research in Taiwan. *J. Fish. Soc. Taiwan.*, 16: 303-312.
- Li, K., T. Zheng, Y. Tian, F. Xi, J. Yuan, G. Zhang and H. Hong (2007) Beneficial effects of *Bacillus licheniformis* on the intestinal microflora and immunity of the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Biotechnol. Lett.*, 29(4): 525-530.
- Liu, F. K., Y. D. Ho, J. C. Kuo, and I C. Liao (2001) High quality culture technique of hard clam, *Agriculture policy and review*, Council of Agriculture., 81-109.
- McClung, C. R. and D. G. Patriquin (1980) Isolation of a nitrogen-fixing *Campylobacter* species from the roots of *Spartina alterniflora* Loisel. *Can. J. Microbiol.*, 26(8): 881-886.
- McClung, C. R., D. G. Patriquin and R. E. Davis (1983) *Campylobacter nitrofigilis* sp. nov. a nitrogen-fixing bacterium associated with roots of *Spartina alterniflora* Loisel. *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 33: 605-612
- McMullan, G., J. M. Christie, T. J. Rahman, I. M. Banat, N. G. Ternan and R. Marchant (2004) Habitat, applications and genomics of the aerobic, thermophilic genus *Geobacillus*. *Biochem. Soc. Trans.*, 32: 214-217.
- Muras, A., M. Romero, C. Mayer and A. Otero (2021) Biotechnological applications of *Bacillus licheniformis*. *Crit. Rev. Biotechnol.*, 41(4): 609-627.
- Nazina, T. N., T. P. Tourova, A. B. Poltarau, E. V. Novikova, A. A. Grigoryan, A. E. Ivanova, A. M. Lysenko, V. V. Petrunka, G. A. Osipov, S. S. Belyaev and M. V. Ivanov (2001) Taxonomic study of aerobic thermophilic bacilli: descriptions of *Geobacillus subterraneus* gen. nov., sp. nov. and *Geobacillus uzenensis* sp. nov. from petroleum reservoirs and transfer of *Bacillus stearothermophilus*, *Bacillus thermocatenulatus*, *Bacillus thermoleovorans*, *Bacillus kaustophilus*, *Bacillus thermodenitrificans* to *Geobacillus* as the new combinations *G. stearothermophilus*, *G. th.* *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 51: 433-446.
- O'Leary, N. A., M.W. Wright, J. R. Brister, S. Ciufo, D. Haddad, R. McVeigh, B. Rajput, B. Robbertse, B. Smith-White, D. Ako-Adjei, A. Astashyn, A. Badretdin, Y. Bao, O. Blinkova, V. Brover, V. Chetvernin, J. Choi, E. Cox, O. Ermolaeva, C. M. Farrell, T. Goldfarb, T. Gupta, D. Haft, E. Hatcher, W. Hlavina, V. S. Joardar, V. K. Kodali, W. Li, D. Maglott, P. Masterson, K. M. McGarvey, M. R. Murphy, K. O'Neill, S. Pujar, S. H. Rangwala, D. Rausch, L. D. Riddick, C. Schoch, A. Shkeda, S. S. Storz, H. Sun, F. Thibaud-Nissen, I. Tolstoy, R. E. Tully, A. R. Vatsan, C. Wallin, D. Webb, W. Wu, M. J. Landrum, A. Kimchi, T. Tatusova, M. DiCuccio, P. Kitts, T. D. Murphy and K. D. Pruitt (2016) Reference sequence (RefSeq) database at NCBI: current status, taxonomic expansion, and functional annotation. *Nucleic Acids Res.*, 44(D1): D733-45.
- Paillard, C, F. L. Roux and J. J. Borrego (2004) Bacterial disease in marine bivalves, a review of recent studies: trends and evolution. *Aquat. Living Resour.*, 17: 477-498.
- Pati, A., S. Gronow, A. Lapidus, A. Copeland, T. Glavina Del Rio, M. Nolan, S. Lucas, H. Tice, J.F. Cheng, C. Han, O. Chertkov, D. Bruce, R. Tapia, L. Goodwin, S. Pitluck, K. Liolios, N. Ivanova, K. Mavromatis, A. Chen, K. Palaniappan, M. Land, L. Hauser, Y. J. Chang, C. D. Jeffries, J. C. Detter, M. Rohde, M. Göker, J. Bristow, J.A. Eisen, V. Markowitz, P. Hugenholtz, H. P. Klenk and N. C. Kyrpides (2010) Complete genome sequence of *Arcobacter nitrofigilis* type strain (CI). *Stand. Genomic. Sci.*, 2(3): 300-308.
- Raida, M. K., J. L. Larsen, M. E. Nielsen and K. Buchmann (2003). Enhanced resistance of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), against *Yersinia ruckeri* challenge following oral administration of *Bacillus subtilis* and *B. licheniformis* (BioPlus2B). *J. Fish. Dis.*, 26(8): 495-498.
- Schoch, C. L., S. Ciufo, M. Domrachev, C. L. Hutton, S. Kannan, R. Khovanskaya, D. Leipe, R. Mcveigh, K.

- O'Neill, B. Robbertse, S. Sharma, V. Soussov, J. P. Sullivan, L. Sun, S. Turner and I. Karsch-Mizrachi (2020) NCBI Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools. Database (Oxford). 2020 Jan 1;2020:baaa062.
- Stoddard, S. F., B. J. Smith, R. Hein, B. R. Roller and T. M. Schmidt (2015) rrnDB: improved tools for interpreting rRNA gene abundance in bacteria and archaea and a new foundation for future development. Nucl. Acids Res., 43: D593-D598.
- Sun, Q., Y. Sun, J. Zhang, Z. Luan, C. Lian, S. Liu and C. Yu (2019) High temperature-induced proteomic and metabolomic profiles of a thermophilic *Bacillus manuseensis* isolated from the deep-sea hydrothermal field of Manus Basin. J. Proteom., 203: 103380.
- Thaddeus, C. E., W. Arite and B. Hubert (2011) Isolation, characterization, and identification of *Geobacillus thermodenitrificans* HRO10, an α -amylase and α -glucosidase producing thermophile. Can. J. Microbiol., 51(8): 685-693.
- Vandamme, P., E. Falsen, R. Rossau, B. Hoste, P. Segers, R. D. E. Tytgat and J. Ley (1991) Revision of *Campylobacter*, *Helicobacter*, and *Wolinella* taxonomy: emendation of generic descriptions and proposal of *Arcobacter* gen. nov. Int. J. Syst. Bacteriol., 41: 88-103.
- Wang, X., L. Kong, J. Chen, A. Matsukuma, Q. Li (2017) Phylogeography of bivalve *Meretrix petechialis* in the Northwestern Pacific indicated by mitochondrial and nuclear DNA data. PLoS ONE, 12(1): e0183221.
- Winand R., B. Bogaerts, S. Hoffman, L. Lefevre, M. Delvoye, J. V. Braekel, Q. Fu, N. H. Roosens, S. C. Keersmaecker and K. Vanneste (2019) Targeting the 16S rRNA Gene for Bacterial Identification in Complex Mixed Samples: Comparative Evaluation of Second (Illumina) and Third (Oxford Nanopore Technologies) Generation Sequencing Technologies. Int. J. Mol. Sci., 21(1): 298.
- Yoosukh W. and A. Matsukuma (2001) Taxonomic study on *Meretrix* (Mollusca: Bivalvia) from Thailand. Phuket Mar. Biol. Center, Special Pub., 25: 451-460.
- Yue, X., B. Liu, J. Xiang and J. Jia (2010) Identification and characterization of the pathogenic effect of a *Vibrio parahaemolyticus*-related bacterium isolated from clam *Meretrix meretrix* with mass mortality. J. Invertebr. Pathol., 10 (2): 109-115.
- Zainudin, M. H., M. A. Hassan, M. Tokura and Y. Shirai (2013) Indigenous cellulolytic and hemicellulolytic bacteria enhanced rapid co-composting of lignocellulose oil palm empty fruit bunch with palm oil mill effluent anaerobic sludge. Bioresour. Technol., 147: 632-635.
- Zhang, C. N., X. F. Li., W. N. Xu, G. Z. Jiang, K. L. Lu, L. N. Wang and W. B. Liu (2013) Combined effects of dietary fructooligosaccharide and *Bacillus licheniformis* on innate immunity, antioxidant capability and disease resistance of triangular bream (*Megalobrama terminalis*). Fish Shellfish Immunol., 35(5): 1380-1386.

Bacteria Composition in the Gut of Asian Hard Clam (*Meretrix taiwanica*) from the Tamsui River, Taiwan

Ching-Huei Huang* and Chia-Che Wu

Aquaculture Division, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

The Asian hard clam (*Meretrix taiwanica*) is a commercially important bivalve species in Taiwan. The clam's growth and survival are influenced by environmental factors such as water temperature, salinity, and pathogens. This study focuses on analyzing the composition of gut symbiotic bacteria in the hard clam population from the Tamsui River, Taiwan, using nanopore sequencing. The sequencing results indicate that thermophilic bacteria (specifically, the genera *Geobacillus*, *Bacillus*, and *Ureibacillus*) and nitrogen-fixing bacteria (*Arcobacter nitrofigilis*) predominate in the gut microbiota of hard clams. Furthermore, an *Arcobacter* species detected in hard clams was also found in mussels. These symbiotic bacteria may assist hard clams in adapting to their environment and ensuring their survival.

Key words: *Meretrix taiwanica*, gut bacteria, nanopore sequencing, metagenome

*Correspondence: 199 Hou-lh Rd, Keelung, Taiwan 202. TEL: (02)2462-2101 ext. 2803; FAX: (02) 2462-8138; E-mail: chhuang02@mail.tfrin.gov.tw

溫度對半淡鹹水貝類大和黑蜆 (*Corbicula japonica*) 潛沙行為及死亡率之影響

謝淑秋* · 林志訓 · 黃致中 · 林宏傑

農業部水產試驗所海水養殖研究中心

摘 要

溫度變動所造成的環境緊迫經常是影響貝類行為改變及存活的重要因子，本研究探討大和黑蜆 (*Corbicula japonica*) 在溫度變動下的潛沙能力、潛沙行為變化及死亡率。本實驗分成三部分：(1) 潛沙能力：觀察大和黑蜆在不同溫度時，於底沙表面下潛幅度達一半的潛沙能力；(2) 潛沙行為：觀察高溫時大和黑蜆在底沙中的潛沙變化；(3) 溫度回復觀察：經潛沙行為的高溫暴露後，溫度降至 25°C 時，大和黑蜆之死亡率及對其潛沙能力的影響。結果顯示，大和黑蜆潛沙能力在 22°C 及 28°C 暴露 12 小時後顯著高於低溫 (12°C、16°C) 和高溫 (32°C、38°C 及 40°C) 組，並高於 50% 的潛沙率，其中 32°C 的潛沙率隨著時間增加顯著提高，在暴露 48 小時後達 50% 的潛沙率。有關潛沙行為部分，發現溫度越高隨著時間的延長，大和黑蜆逐漸往底沙表面移動，因此降低其潛沙百分比。不管在潛沙能力、潛沙行為及溫度回復觀察試驗中的死亡率部分，發現在高溫 39°C 組的死亡率顯著地高於其他處理組。

關鍵詞：半淡鹹水貝類、大和黑蜆、潛沙行為、水溫

前 言

臺灣的貝類養殖歷史悠久，主要的經濟性養殖貝類為牡蠣 (*Crassostrea angulata*)、文蛤 (*Meretrix taiwanica*) (Hsiao and Chuang, 2015) 和臺灣蜆 (*Corbicula fluminea*)，近年來臺灣養殖貝類產量因受季節氣候變化或養殖管理失當等因素造成產量大波動的波動影響養殖漁民之收益 (Huang *et al.*, 2018; Chang *et al.*, 2019)，因此，養殖漁民開始嘗試開發新興養殖貝類物種。一直以來，臺灣的蜆類養殖部分皆以淡水養殖的臺灣蜆 (*Corbicula fluminea*) 為主，然而於 2009 年臺灣雲林養殖業者自日本引進半淡鹹水的大和黑蜆開始進行養殖，養成後大部分在冬季日本產量減少時回銷日本 (鄭, 2016)。

大和黑蜆廣泛分佈於日本、韓國、北韓到俄羅斯庫頁島等地，緯度大約介於 25.0 – 27.0°N 之間

(Nanbu *et al.*, 2008)，將溫帶物種大和黑蜆經人為媒介方式引進臺灣養殖，主要面臨的是氣候上環境溫度的差異，尤其是夏季高溫。近年來臺灣夏季氣溫屢創新高，養殖池水溫度亦隨氣溫上升而升高，對於溫帶物種而言，具有一定程度的挑戰性。大和黑蜆是日本國民料理味噌湯中不可或缺的食材，且具有促進健康作用的豐富營養成分如鳥胺酸 (ornithine)、維生素 B₁₂ 等，使得日本全年對大和黑蜆的需求量非常高。大和黑蜆在日本當地是很重要的內陸水域漁業物種之一 (Oshima *et al.*, 2004)，佔日本 *Corbicula* 屬總漁獲量的 99% (Nanbu *et al.*, 2008)。大和黑蜆主要棲息在半淡鹹水湖泊和河口，暴露於水溫及鹽度驟變的環境中，日本島根縣穴道湖是大和黑蜆主要的產地之一，全年水溫波動在 4 – 30°C 之間，有研究指出大和黑蜆成貝在短時間 (24 小時) 內可耐受 0 – 35°C 的水溫環境，長時間 (30 天) 的溫度耐受上限為 32°C，幼貝時期最佳活存率溫度為 18 – 21°C，於日本 4 – 9 月為大和黑蜆的繁殖期間，溫度變動範圍介於 10 – 22°C，生殖細胞開始分化、生長和成熟 (Nakamura *et al.*, 1996a, b; Lee *et al.*, 2011;

*通訊作者 / 臺南市七股區三股里海埔 4 號；TEL: (06) 788-0461 轉 137; FAX: (06) 788-1597; E-mail: schsieh@mail.tfrin.gov.tw

Rybalkina *et al.*, 2012)。在鹽度適應能力方面，大和黑蜆屬於廣鹽性動物，可生存的鹽度範圍為 1.5 – 22 psu，而大和黑蜆對鹽度的耐受性則受棲息環境水溫變化的影響 (Nakamura *et al.*, 1996b)。因此，溫度變化對於雙殼類底棲性大和黑蜆的存活、生長速率、生理反應以及潛沙行為，都會造成很大的影響 (Andersom, 1978; Nakamura *et al.*, 1988; Monari *et al.*, 2007; Pariseau *et al.*, 2007; Yu *et al.*, 2022)。

潛沙行為對於生活於沙質底泥的底棲貝類而言，除了可作為其覓食和躲避捕食者的技能外，透過埋藏的行為可以適應複雜多變的環境，而增加其存活率並提高其適應性，許多研究指出影響底棲貝類潛沙行為的因素包括體型 (Goshima, 1982)、鹽度 (Miyajima-Taga and Kuwahara, 2022)、溶氧量 (Rodriguez *et al.*, 2020)、海水元素種類 (Lee *et al.*, 2007)、季節 (Goshima *et al.*, 1999; Watters *et al.*, 2001; Block *et al.*, 2013; Zhang and Yuan, 2015)、沉積物粒徑 (Maru *et al.*, 2005) 及潮汐變化 (Roberts *et al.*, 1989)。底棲貝類受到溫度緊迫影響可透過無氧代謝途徑獲取能量維持緊閉外殼數天 (Weber *et al.*, 2008)，因此即使受到溫度緊迫提高代謝率的初期，貝類並不會出現異常行為，然而當緊迫超過可耐受的範圍，會從底泥中浮出，因此貝類的潛沙行為可作為溫度緊迫或其他不利環境條件的指標 (Lee *et al.*, 2007, 2008)。

在臺灣本地有關大和黑蜆的相關研究報告幾乎沒有，因此本研究將評估大和黑蜆引進臺灣後，溫度對其存活率、潛沙能力及潛沙行為的影響，蒐集大和黑蜆面臨養殖池水溫度變化耐受性之基礎資料，期能提供養殖漁民對於大和黑蜆養殖管理更多的參考資訊。

材料與方法

一、實驗動物

實驗用之大和黑蜆購自雲林縣臺西鄉養殖戶，實驗一的平均殼長為 25.43 ± 1.03 mm，平均體重為 5.88 ± 0.67 g；實驗二、三的平均殼長為 21.57 ± 0.79 mm，平均體重為 3.88 ± 0.06 g。由室外土池移至海水養殖研究中心室內養殖場，蓄養階段使用 2 噸圓形 FRP 桶蓄養至少 2 週，桶槽

內鋪設 10 cm 底沙供其潛沙，底沙粒徑 $125 \mu\text{m} - 3 \text{ mm}$ 之間，採流水式，水源為天然半淡鹹水（溫度範圍 23 – 25°C、鹽度範圍 10 – 15 psu），蓄養期間每天投銀擬球藻 (*Nannochloropsis oceanica*) 和等鞭金藻 (*Isochrysis aff. galbana*) 一次。

二、實驗設計

實驗一、溫度對大和黑蜆潛沙能力的影響

此實驗共設置 7 組不同實驗溫度，分為 12°C 組 (以 12C 為代號，後續依此類推)、16°C 組 (16C)、22°C 組 (22C)、28°C 組 (28C)、32°C 組 (32C)、38°C 組 (38C) 及 40°C 組 (40C)，每組三重複。溫度處理方法為使用熱循環培養箱 (YIHDER, DK-600D) 及低溫恆溫培養箱 (YIHDER, LE-519RD) 進行溫度控制。實驗開始前先將已鋪設 8 cm 底沙及注入 1.68 L 天然半淡鹹水 (15 psu) 之小方形盒 [28 cm (長) $\times$ 10 cm (寬) $\times$ 15 cm (高)] 放置於控溫系統中，待水溫達實驗溫度時再將已禁食 1 天之大和黑蜆 ($n=15$) 分別放入小方形盒內。實驗採止水式，每天會以乾淨同溫度天然半淡鹹水置換小方形盒中約一半的水量。觀察其潛沙情形及存活情況 3 天。潛沙率計算方式為各時間點計算桶內大和黑蜆 1/2 以上殼體潛入底沙中，即記錄其具潛沙能力，計算公式如下：

潛沙率 (%) = (潛沙大和黑蜆數量/初始大和黑蜆數量) $\times$ 100

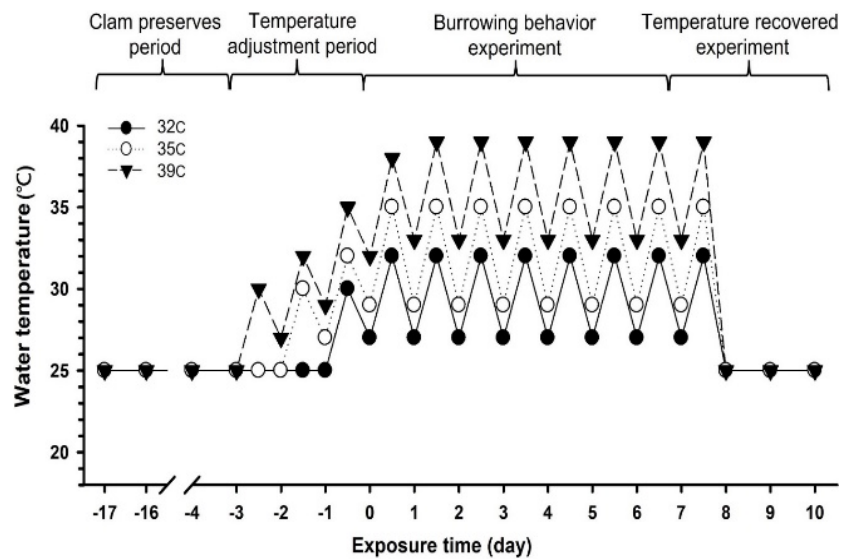
實驗期間若有大和黑蜆死亡，則移除死亡大和黑蜆並記錄其數量，死亡率計算公式如下：

死亡率 (%) = (死亡大和黑蜆數量/初始大和黑蜆數量) $\times$ 100

實驗二、高溫對大和黑蜆潛沙行為變化的影響

此實驗共設置 3 組不同實驗溫度，溫度條件的設置參考自雲林縣台西鄉養殖戶室外土池於 2021 年 7 月實際所偵測到之水溫變化及 Nakamura *et al.* (1996) 試驗結果。將實驗分為 $32 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 組 (以 32C 為代號後續依此類推)、 $35 \pm 1^\circ\text{C}$ 組 (35C) 及 $39 \pm 1^\circ\text{C}$ 組 (39C)，每組三重複。實驗開始前隨機採樣自蓄養階段至少 2 周以上的大和黑蜆 ($n=15$)，分別放入鋪設 10 cm 底沙之小方形桶 (36 $\times$ 23 $\times$ 14 cm) 中，再將小方形桶置於方形 FRP 桶槽 (52 $\times$ 40 $\times$ 40.5 cm) 內，注入 61 L 的天然半淡鹹水，溫度為

Fig. 1 Patterns for each temperature treatment from the start of the burrowing behavior experiment to the end of the temperature recovery experiment.



25°C、鹽度 15 psu，待所有大和黑蜆皆可完全潛入底沙中，確認為健康個體後，才開始進行實驗溫度調節階段，FRP 桶內各放一支加溫棒進行溫度調控，溫度處理方法為利用加溫棒搭配定時器緩慢連續升溫，每日升高 5 – 6°C，直至達各組實驗溫度 32°C、35°C 和 39°C，由於 3 組溫度加熱到達實驗溫度所需提前加溫天數不同 (39°C 需 3 天、35°C 需 2 天而 32°C 僅 1 天)，為讓各組溫度實驗起始日相同，因此，39°C、35°C 和 32°C 組分別於潛沙行為變化實驗前 3、2 及 1 天開始加溫，實驗期間每天 14:00 達最高溫後使其自然緩慢降溫，於翌日 7:00 再次逐漸升溫至試驗溫度 (Fig. 1)，連續試驗 7 天，並於每日達最高溫時段 (14:00) 觀察記錄其潛沙行為變化及存活情形。每天 16:00 投餵人工培育之海水微細藻類。實驗採止水式，為避免因大和黑蜆新陳代謝所產生之代謝物質及剩餘餌料造成水質惡化，每天會以乾淨海水置換 FRP 桶約一半的水量。

潛沙行為變化為觀察大和黑蜆殼體露出底沙表面情形，記錄方式參考 Rodriguez *et al.* (2020) 方法微做調整，將潛沙行為變化分為殼體全埋藏於底沙中 (completely buried, CB)、埋藏 2/3 (partially buried, 2/3PB)、1/2 (1/2PB) 及整個殼體露出沙面 (not buried, NB)，本實驗期間觀察的潛沙行為包含上述四種觀察型態 (Fig. 2)。實驗期間若有大和黑蜆死亡，則移除並計算其死亡率。



Fig. 2 Burrowing of *Corbicula japonica* in the sediment. The degree to which individuals buried themselves in sediment was classified into four categories: (A) completely buried (CB), (B) 2/3 partially buried (2/3PB), (C) 1/2 partially buried (1/2PB), and (D) not buried (NB).

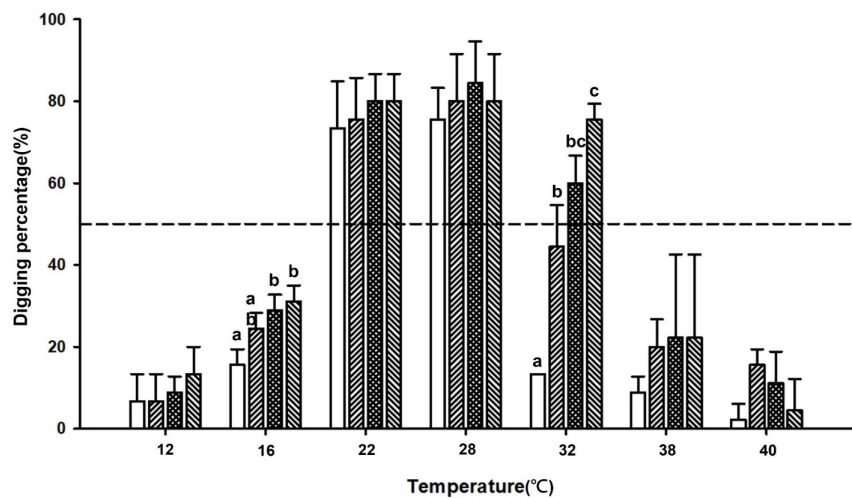
實驗三、溫度回復後，觀察大和黑蜆的死亡和潛沙情形

此部分實驗係於高溫潛沙行為實驗 (7 天) 結束，待溫度回復至 25°C 後，將存活之大和黑蜆移至原蓄養之 25°C 及 15 psu 天然半淡鹹水環境中，同樣每天投餵人工培育之海水微細藻類，於溫度回復階段持續觀察其潛沙情形及存活情況 3 天 (Fig. 1)，潛沙率及死亡率計算公式同實驗一。

三、統計分析

所有實驗數據以 mean ± SD 表示，實驗結果不同處理組間先以單因子變異數分析 (One-way ANOVA) 進行統計分析，若不同處理組間之差異達顯著水準，再以 Tukey's honestly significant difference test 進行事後檢定，比較各溫度處理組間潛沙及死亡數平均值差異的顯著性，所有百分比之數據分析前均經過角度轉換 (arcsine transformation) 為常態分佈，顯著水準 $\alpha = 0.05$ ，統計軟體為 Sigma stat 3.5 版本。

Fig. 3 Digging percentage of *Corbicula japonica* according to the exposure time at different temperatures (12, 16, 22, 28, 32, 38 and 40 °C). The line marks 50% of burrowing capacity. Bars with different letters indicate significant differences ($p < 0.05$). Bars and error bars represent means and standard errors, respectively.



結 果

實驗一、溫度對大和黑蜆潛沙能力的影響

大和黑蜆分別在不同溫度下經過 72 小時處理後的潛沙率數據結果如 Fig. 3 所示。大和黑蜆在 16C 及 32C 組隨著潛沙時間的延長，其潛沙率呈現顯著地增加 ($p < 0.05$)，然而 12C、22C、28C、38C 及 40C 組的大和黑蜆潛沙率則沒有顯著的差異；各溫度處理組在 12 小時的潛沙率，經統計分析顯示不同溫度之各組別呈現顯著差異，22C 及 28C 兩組間則無顯著差異 ($p > 0.05$)，潛沙率分別為 $73.3 \pm 11.5\%$ 及 $75.6 \pm 7.7\%$ ，但 22C 及 28C 組潛沙率顯著地高於其他組別分別為 12C ($6.67 \pm 6.67\%$)、16C ($15.6 \pm 3.85\%$)、32C ($13.3 \pm 0\%$)、38C ($8.89 \pm 3.85\%$) 及 40C ($2.22 \pm 3.85\%$)。另 22C 及 28C 組的潛沙率均於 12 小時即達 50%，而 32C 組則在 48 小時才達 50%，而其他溫度 (12C、16C、38C、40C) 處理組在 72 小時內均低於 50%。

大和黑蜆死亡率數據結果如 Fig. 4 所示，大和黑蜆經不同溫度分別處理 12、24、48 及 72 小時後，其中 12C、16C、22C、28C、32C 及 40C 組在 24 小時的死亡率皆為 0%，僅 38C 組有個體死亡 ($6.67 \pm 6.67\%$)，經統計分析結果無顯著差異 ($p > 0.05$)。而各溫度處理組死亡率在 48 小時及 72 小時的時間點呈現顯著差異 ($p < 0.05$)，皆以 40C 組在 48 小時和 72 小時的死亡率分別為 $40 \pm 24\%$ 和 $83.3 \pm 23.6\%$ 為最高，但分別與 38C 的 48

小時死亡率 ($17.8 \pm 13.9\%$) 及 38C、32C 的 72 小時死亡率 ($53.3 \pm 40.6\%$ 、 $15.6 \pm 3.85\%$) 皆無顯著差異 ($p > 0.05$)。

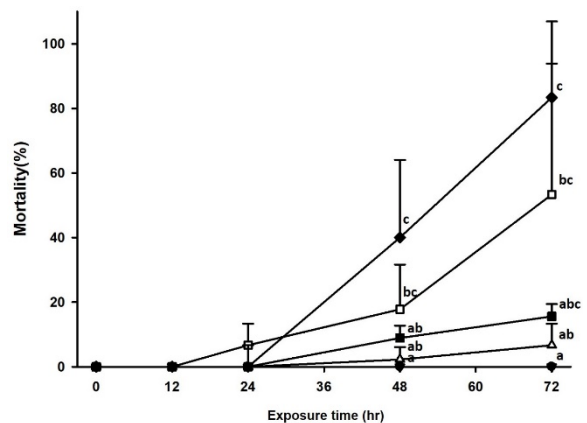


Fig. 4 Mortality of *Corbicula japonica* at different temperatures and exposure times (0, 12, 24, 48, and 72 h). Bars with different letters indicate significant differences ($p < 0.05$). Bars and error bars represent means and standard errors, respectively.

實驗二、高溫對大和黑蜆潛沙行為的影響

高溫緊迫後大和黑蜆潛沙行為變化如 Fig. 5 所示。在不同溫度組別之大和黑蜆隨著處理時間的延長，其潛沙行為顯著地往沙面移動 ($p < 0.05$)，其中 39C 組在第 4、5、6、7 天完全潛砂 (CB) 的比率持續地下降 ($p < 0.05$)，尤其第 7 天時 CB 僅剩 $2.22 \pm 3.85\%$ 。在該實驗過程中大和黑蜆的死亡率經統計分析顯示在 32C 組和 35C 組各暴露時間皆無顯著差異 ($p > 0.05$)，但在 39C 組死亡率則隨

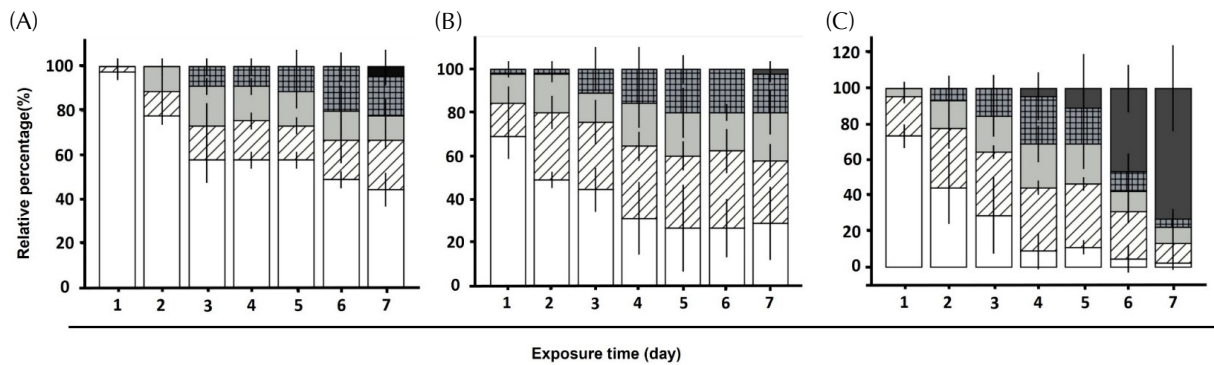


Fig. 5 Burrowing behavior of *Corbicula japonica* depending on temperature: (A) 32 °C, (B) 35 °C, and (C) 39 °C. The degree to which individuals buried themselves in sediment was classified into four categories: completely buried (CB), 2/3 partially buried (2/3PB), 1/2 partially buried (1/2PB), and not buried (NB). Deaths are also shown.

著處理時間的延長，其死亡率呈現顯著地增加 ($p < 0.05$)，第 6 天 ($46.67 \pm 13.33\%$) 及第 7 天 ($73.33 \pm 24.04\%$) 死亡率顯著高於其它天。此外，在本實驗處理過程中有部分往沙面移動的大和黑蜆個體，其斧足軟組織從殼中伸出，在實驗結束後對斧足軟組織進行接觸刺激時外殼雖會緊閉但斧足軟組織則無法縮回殼體內，即使將其放回原蓄養環境 (25°C、15 psu 海水) 進行後續的溫度回復觀察試驗 3 天，結果發現外露的斧足軟組織依然無法縮回殼體內 (Fig.6)，且已斧足軟組織外露的大和黑蜆個體在後續的延遲性死亡觀察中發現有陸續死亡的現象。



Fig. 6 Status of *Corbicula japonica* in the high-temperature treatment (35 °C). The soft body parts are substantially extended beyond the shell. No response was observed even when contact stimulation was performed immediately following the experiment.

實驗三、溫度回復後，觀察大和黑蜆的死亡和潛沙情形響

大和黑蜆經過不同高溫處理後再回到原蓄養環境之延遲性死亡率及潛沙率如 Fig. 7 所示。39C 組 ($n = 5, 7, 0$) 在各處理點之延遲性死亡率皆顯著高於 32C 組 ($n=15, 13, 15$) 及 35C 組 ($n=15, 15, 14$) ($p < 0.05$)，32C 組與 35C 組則無顯著差異 ($p > 0.05$)；而在 39C 組潛沙率部分亦皆顯著低於 32C 組及 35C 組 ($p < 0.05$)，32C 組與 35C 組則無顯著差異 ($p > 0.05$)。

討 論

潛沙是雙殼貝類在生態學上重要且可量化的運動，對於溫度耐受能力而言是一敏感指標 (Morey *et al.*, 2009)，此外，溫度在很大程度上決定了生物體的代謝率，代謝變化可能會導致種群適應度的變化，在宏觀的生態角度上即決定了物種的分布 (Rosa *et al.*, 2012; Xiao *et al.*, 2014; Crespo *et al.*, 2015)。過去研究即曾使用潛沙能力來評估貝類的溫度耐受限制、溫度適應機制 (Ansell and McLachlan, 1980; Ansell *et al.*, 1980a, 1980b, 1981; Peck *et al.*, 2004; Morley *et al.*, 2007)。我們利用觀察大和黑蜆的潛沙能力、潛沙行為變化及溫度回復後的死亡率及潛沙率來評估溫度極限與生物體之間的耐受性關係。Nakamura *et al.* (1996) 研究指出大和黑蜆成貝 (21.63 ± 1.56 mm) 於 24 小時內可耐受 0 – 35°C 的水溫環境。而本研究顯示大和黑蜆於 24 小時內

可耐受到 40°C 的高水溫環境，僅 38C 組有零星個體死亡現象（無顯著差異）。推測本實驗大和黑蜆能耐較高溫度的可能原因：(1) 大和黑蜆屬溫帶物種，原在日本主要產區之一的穴道湖即可耐受全年大範圍的水溫波動（4 - 30°C 之間），有研究顯示對於溫帶物種而言具有較能適應高溫的能力 (Morley *et al.*, 2009)；(2) 本實驗所使用的大和黑蜆來自於臺灣台西當地養殖漁民自行繁殖飼養已有數年時間，可能經長時間亞熱帶氣候適應的結果。

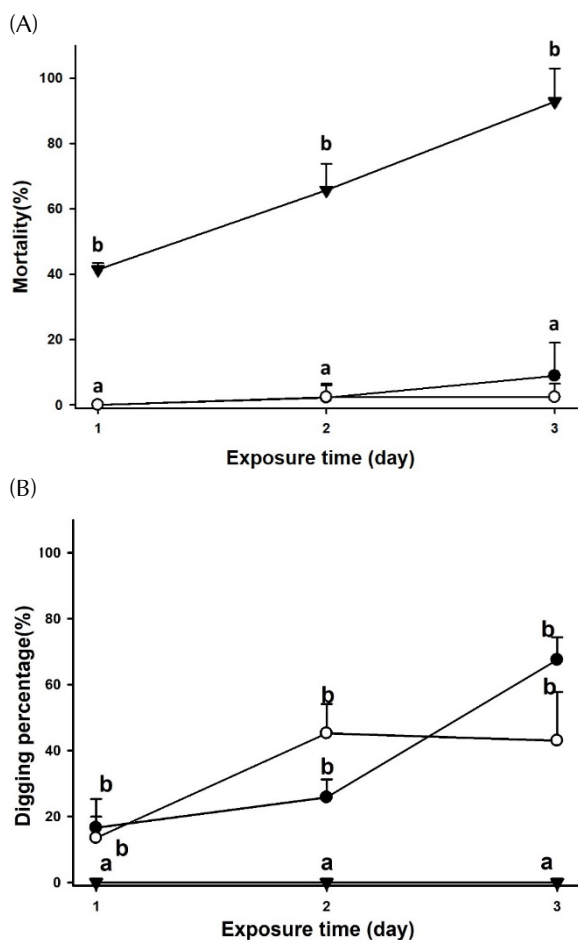


Fig. 7 Mortality (A) and digging percentage (B) of *Corbicula japonica* exposed to different temperatures after 7 days. Bars with different letters indicate significant differences ($p < 0.05$). Bars and error bars represent means and standard errors, respectively.

通常雙殼貝類在開始潛沙前會先伸出斧足對環境進行探索，因此環境溫度對斧足的伸展和整體潛沙成功與否有著密切的關係 (Block *et al.*, 2013)，過去許多研究顯示雙殼貝類的潛沙行為確實

受到環境水溫的影響，如菲律賓簾蛤 (*Ruditapes philippinarum*) (Aishima, 1993)、韓國文蛤 (*Meretrix lamarckii*) (Higano and Yasunaga, 1986) 和紫黑翼蚌 (*Potamilus alatus*) (Block *et al.*, 2013) 等皆受水溫變化而影響其潛沙率或潛沙速度。我們研究結果同樣發現溫度顯著的影響大和黑蜆的潛沙能力，在較低 (12C、16C 組) 及較高 (38C 及 40C 組) 的實驗溫度其潛沙率明顯偏低 (低於 BT_{50})，其中 32C 處理組隨著時間的增加潛沙率逐漸提高，雖上述五組處理組皆無個體死亡 (12 小時)，但其潛沙率明顯低於 22C 及 28C 組，且 22C 及 28C 組潛沙率均高於 70%，因此，當大和黑蜆暴露於低溫及高溫環境變化時會關閉其外殼從而降低潛沙行為的發生，導致大和黑蜆需花費較長的時間潛沙或根本不潛沙。此外，我們已知沉積物 (底質) 粒徑亦會影響雙殼貝類的潛沙行為 (Alexander *et al.*, 1993; Huz *et al.*, 2002; Maru *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2017)，Maru *et al.* (2005) 研究指出大和黑蜆成員 (平均殼長：32.6 mm) 在不同沉積物粒徑的潛沙率從高到低分別為淤泥 (粒徑：4 - 63 μm)、超細沙至細沙 (63 - 250 μm)、中沙 (250 - 500 μm) 和粗至超粗沙 (500 μm - 2 mm)，根據 Goshima *et al.* (1999) 研究調查大和黑蜆主要產地之一日本青森縣小川原湖 (Lake ogawara) 沉積物粒徑的組成，其會因地點或季節的不同而有些許的差異，95% 以上的沉積物粒徑大小落在 125 - 500 μm 之間，反而 <125 μm 的超細沙和淤泥不到 3%，而本研究採用之底沙粒徑大小主要落在 125 μm - 3 mm 之間，部分粒徑較大對於經歷過高溫緊迫之大和黑蜆的潛沙效率可能會受到影響，因此，縮小底沙粒徑範圍可能在單位時間內能有更佳的潛沙效率。

Goshima *et al.* (1999) 研究發現大和黑蜆具有季節性垂直遷移變化現象，顯示季節性溫度變化與潛沙行為有著密切關係，平均潛沙深度隨著溫度 (10 - 25°C) 的升高呈上移趨勢，在 25°C 水溫下的大和黑蜆大多潛沙於底沙不到 1 cm 的深度。本研究觀察大和黑蜆在高溫下潛沙行為的變化發現溫度越高移動至底沙表面數量越多，當個體長時間暴露在高溫環境下時，其斧足軟組織部位會暴露於水環境中且無法縮回殼體內，上述現象在 35C 組較 39C 組發生率來的高，39C 組則多為上移後直接開殼死亡或埋藏於底沙中死亡，顯示大和黑蜆暴

露於高溫環境時會直接關閉其外殼來躲避高溫緊迫環境的刺激。Miyajima-Taga and Kuwahara (2022) 的研究指出，大和黑蜆從高鹽到低鹽環境時，亦出現斧足軟組織暴露於淡水環境無法縮回的現象。原推測斧足軟組織暴露無法縮回情況會增加大和黑蜆後續死亡的可能性，但在後續 3 天的延遲性死亡結果卻發現，在發生率最高的 35°C 組其延遲死亡率僅 $7.14 \pm 4.12\%$ 遠低於 39°C 組 ($92.86 \pm 10.1\%$)，不過 35°C 組有外露斧足軟組織的未死亡個體經外界刺激後仍然無法縮回，長時間下來體內能量消耗殆盡後是否會隨即死亡及生理反應變化為何有待日後進一步研究，以了解其調節適應機制。因此，在臺灣亞熱帶地區進行溫帶物種大和黑蜆的養殖，選擇在 22–28°C 放養大和黑蜆可大幅提高其潛沙能力，適宜的溫度環境有助於其潛沙穩定性，夏季時應注意連日高溫侵襲，可適當地提高水位降低池底溫度以避免大和黑蜆因高溫緊迫導致死亡。

謝辭

本研究得以順利完成感謝農業部（原行政院農業委員會）科技計畫經費支持，雲林縣養殖業者歐秋宏、林奇宏、林奇鈴先生寶貴經驗分享及提供養殖現場進行水溫監測，特此致謝。

參考文獻

- 鄭石勤 (2016) 填補日本冬季市場空缺-日本黑蜆。養魚世界, 40(9): 31-36。
- Aishima, N. (1993) Effects of water temperature and salinity on burrowing behavior in juvenile short-neck clam *Ruditapes philipinarum*. Bull. Fukuoka Fish. Mar. Technol. Res. Cent., 1: 145-154.
- Alexander, R. R., R. J. Stanton and J. R. Dodd (1993) Influence of sediment grain size on the burrowing of bivalves: Correlation with distribution and stratigraphic persistence of selected neogene clams. *Palaio*, 8 (3): 289-303.
- Andersom, G. (1978) Metabolic rate, temperature acclimation and resistance to high temperature of soft-shell clams, *Mya arenaria*, as affected by shore level. *Comp. Biochem. Physiol.*, 61(A): 433-438.
- Ansell, A. D. and A. McLachlan (1980) Upper temperature tolerances of three molluscs from South African sandy beaches. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 48(3): 243-251.
- Ansell, A. D., P. R. O. Barnett, A. Bodoy and H. Massé (1980a) Upper temperature tolerances of some European molluscs. I *Tellina fabula* and *T. tenuis*. *Mar. Biol.*, 58(1): 33-39.
- Ansell, A. D., P. R. O. Barnett, A. Bodoy and H. Massé (1980b) Upper temperature tolerances of some European molluscs II. *Donax vittatus*, *D. semistriatus* and *D. trunculus*. *Mar. Biol.*, 58(1): 41-46.
- Ansell, A. D., P. R. O. Barnett, A. Bodoy and H. Massé (1981) Upper temperature tolerances of some European molluscs. *Mar. Biol.*, 65(2): 177-183.
- Block, J. E., G. W. Gerald and T. D. Levine (2013) Temperature effects on burrowing behaviors and performance in a freshwater mussel. *J. Freshw. Ecol.*, 28(3): 375-384.
- Chang, C. C., J. F. Huang, C. Schaffner, J. M. Lee and L. M. Ho (2019) Impacts of culture survival rate on culture cost and input factors: case study of the hard clam (*Meretrix meretrix*) culture in Yunlin country, Taiwan. *J. World Aquac. Soc.*, 51: 139-158.
- Crespo, D., M. Dolbeth, S. Leston, R. Sousa and M. A. Pardal (2015) Distribution of *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in the invaded range: a geographic approach with notes on species traits variability. *Biol. Invasions*, 17: 2087-2101.
- Huz, R. D. L., M. Lastra and J. López (2002) The influence of sediment grain size on burrowing, growth and metabolism of *Donax trunculus* L. (Bivalvia: Donacidae). *J. Sea Res.*, 47: 85-95.
- Goshima, S. (1982) Population dynamics of the soft clam, *Mya arenaria* L., with special reference to its life history pattern. Publications from the Amakusa Mar. Bio. Lab., Kyushu Univ., 6: 119-165.
- Goshima, S., M. Ikegawa, T. Sonoda and S. Wada (1999) Seasonal vertical migration within sediment by the brackish water clam *Corbicula japonica*. *Benthos Res.*, 54 (2): 87-97.
- Higano J. and Y. Yasunaga (1986) Examination of sand-mud bottom substrate II-basic research on burrowing behavior of *Meretrix lamarckii* and *Macridiscus aeuginosa*. *Tech. Rept. Nat. Res. Inst. Fish. Eng.*, 7: 41-52.
- Hsiao, S. T. and S. C. Chuang (2023) *Meretrix taiwanica* (Bivalvia: Veneridae), a previously misidentified new species in Taiwan. *Molluscan Res.*, 43(1): 12-21.

- Huang, C. T., Y. C. Chen, P. C. Liu, C. H. Lin, Y. J. Hsiao, S. C. Chen and C. T. Chuang (2018) Analysis on production economics and marketing economics of clam breeding in Taiwan. *Fish. Ext. Rep.*, 48: 67-82.
- Lee, J. Y., W. K. Kim and C. S. Lee (2011) Growth and survival of the brackish water clam, *Corbicula japonica* larvae according to rearing conditions. *Korean J. Malacol.*, 27(4): 337-343.
- Lee, A. C., M. C. Lee, Y. H. Lee and Y. C. Lee (2008) Candidates for a hypoxia-stress indicator in the hard clam, *Meretrix lusoria*. *Aquaculture*, 278(1-4): 150-155.
- Lee, A. C., Y. H. Lin, C. R. Lin, M. C. Lee and Y. P. Chen (2007) Effects of components in seawater on the digging behavior of the hard clam (*Meretrix lusoria*). *Aquaculture*, 272(1-4): 636-643.
- Li, L., Y. C. Bai, S. L. Huang, Y. S. Chen, Y. C. Zhao, C. L. Xu, F. H. Tang, Y. L. Wang, X. Q. Shen and M. Jiang (2017) Substrate preference and sand burrowing ability assessment of *Meretrix meretrix*. *Mar. Fish.*, 39(5): 548-553.
- Maru, K., M. Yamazaki and J. Nakai (2005) Behavioral characteristics of the brackish water bivalve, *Corbicula japonica* Prime to various bottom sediments. *Aqua. Sci.*, 53(3): 257-262.
- Miyajima-Taga, Y. and H. Kuwahara (2022) The effect of salinity change on the burrowing behavior of an adult brackish water bivalve *Corbicula japonica*. *Fish. Sci.*, 88(1): 119-130.
- Monari, M., V. Matozzo, J. Foschi, O. Cattani, G. P. Serrazanetti and M. G. Marin (2007) Effects of high temperatures on functional responses of haemocytes in the clam *Chamelea gallina*. *Fish Shellfish Immunol.*, 22(1): 98-114.
- Morley, S. A., L. S. Peck, K. S. Tan, S. M. Martin and H. O. Pörtner (2007) Slowest of the slow: latitudinal insensitivity of burrowing capacity in the bivalve *Laternula*. *Mar. Biol.*, 151(5): 1823-1830.
- Morley, S. A., K. S. Tan, R. W. Day, S. M. Martin, H. O. Pörtner and L. S. Peck (2009) Thermal dependency of burrowing in three species within the bivalve genus *Laternula*: a latitudinal comparison. *Mar. Biol.*, 156(10): 1977-1984.
- Nakamura, M., A. Shinagawa and S. Nakao (1996a) Temperature Tolerance of the Brackish Water Bivalve, *Corbicula japonica* Prime. *Aqua. Sci.*, 44(3): 267-271.
- Nakamura, M., M. Yamamuro, M. Ishikawa and H. Nishimura (1988) Role of the bivalve *Corbicula japonica* in the nitrogen cycle in a mesohaline lagoon. *Mar. Biol.*, 99(3): 369-374.
- Nakamura, M., S. Yasugi, F. Takahashi, A. Shinagawa and S. Nakao (1996b) Salinity Tolerance of the Brackish Water Bivalve, *Corbicula japonica* Prime. *Aqua. Sci.*, 44(1): 31-35.
- Nanbu, R., T. Mizuno and H. Sekiguchi (2008) Post-Settlement Growth and Mortality of Brackish Water Clam *Corbicula japonica* in the Kiso Estuaries, Central Japan. *Fish. Sci.*, 74: 1254-1268.
- Oshima, K., N. Suzuki, M. Nakamura and K. Sakuramoto (2004) Shell Growth and Age Determination of the Brackish Water Bivalve *Corbicula japonica* in Lake Shinji, Japan. *Fish. Sci.*, 70: 601-610.
- Pariseau, J., B. Myrand, G. Desrosiers, L. Chevarie and M. Giguère (2007) Influences of physical and biological variables on softshell clam (*Mya arenaria* lineaus 1758) burial. *J. Shellfish Res.*, 26(2): 391-400.
- Peck, L. S., A. D. Ansell, K. E. Webb, L. Hepburn and M. Burrows (2004) Movements and burrowing activity in the antarctic bivalve molluscs *Laternula elliptica* and *Yoldia eightsi*. *Polar Biol.*, 27(6): 357-367.
- Roberts, D., D. Rittschof, D. J. Gerhart, A. R. Schmidr and L. G. Hill (1989) Vertical migration of the clam *Mercenaria mercenaria* (L.) (Mollusca: Bivalvia): environmental correlates and ecological significance. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 126: 271-280.
- Rodriguez, F. A., P. B. Reyna, T. Maggioni, D. R. Giménez and L. Torre (2020) The role of temperature and oxygen availability on the distribution of *Corbicula largillietii*. *Invertebr. Biol.*, 139: e12305.
- Rosa, I. C., J. L. Pereira, R. Costa, F. Gonçalves and R. Prezant (2012) Effects of Upper-Limit Water Temperatures on the Dispersal of the Asian Clam *Corbicula fluminea*. *PLoS One*, 7(10): e46635.
- Rybalkina, S. M., M. A. Maiorova, A. P. Anisimov and D. N. Kravchenko (2013) The gametogenesis and sexual cycle of the bivalve *Corbicula japonica* Prime (1864) in the mouth of the Kievka River (Sea of Japan). *Russ. J. Mar. Biol.*, 39(4): 253-264.
- Watters, G. T., S. H. O'Dee and S. Chordas (2001) Patterns of vertical migration in freshwater mussels (Bivalvia: Unionoida). *J. Freshw. Ecol.*, 16(4): 541-549.
- Weber, K., L. Sturmer, E. Hoover and S. Baker (2008) The Role of Water Temperature in Hard Clam Aquaculture (<http://shellfish.ifas.ufl.edu/clammrs.htm>).

- Xiao, B. C., E. C. Li, Z. Y. Du, R. L. Jiang, L. Q. Chen and N. Yu (2014) Effects of temperature and salinity on metabolic rate of the Asiatic clam *Corbicula fluminea* (Müller, 1774). Springerplus, 3(1): 455.
- Yu, J., Z. Yin, Y. Zhang, J. Bi, X. Yan and H. Nie (2022) Effects of high water temperature on physiology, survival, and resistance to high temperature air-exposure in the Manila clam *Ruditapes philippinarum*. Comp. Biochem. Physiol. C Toxicol. Pharmacol., 262: 109469.
- Zhang, A. and X. Yuan (2015). Effects of temperature, salinity and sediment on the burrowing behavior of clam *Meretrix meretrix*. Chinese J. Ecol., 34(6): 1595-1601.

Effects of Temperature on the Burrowing Behavior and Mortality Rate of the Adult Brackish Water Bivalve *Corbicula japonica*

Shu-Chiu Hsieh*, Zhi-Xun Lin, Chih-Chung Huang and Hong-Jie Lin

Mariculture Research Center, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

Temperature fluctuations play an important role in the behavior and survival of brackish water bivalves. This study evaluated three parameters: (1) The digging ability of *Corbicula japonica* at different temperatures; (2) their burrowing behavior inside the sediment at high temperatures; (3) their behaviors at 25°C, focused on their digging ability and mortality after high-temperature exposure. The digging abilities of *C. japonica* after 12 hours of exposure at 22°C and 28°C were significantly higher (by at least 50%) than those at lower temperatures (12 and 16°C) or higher temperatures (32, 38, and 40°C). In addition, the digging ability of the group exposed to 32°C increased significantly with time, resulting in more than 50% digging ability after 48 hours of exposure. On the other hand, as the temperature increased, *C. japonica* gradually moved to the surface of the sediment, lowering its digging ability. The rate of mortality of the group exposed at 39°C was significantly higher than that of other temperature treatments.

Key words: brackish water bivalve, *Corbicula japonica*, burrowing behavior, water temperature

*Correspondence: 4, Haipu, Sangu, Qigu Dist., Tainan, Taiwan. TEL: (06)788-0461 ext. 137; E-mail: schsieh@mail.tfrin.gov.tw

短腕岩蝦 (*Periclimenes brevicarpalis* Sehenkel, 1902) 的人工繁殖

城振誠* · 吳玉霞 · 湯慕婷 · 陳昱瑾 · 謝恆毅

農業部水產試驗所澎湖漁業生物研究中心

摘 要

短腕岩蝦 (*Periclimenes brevicarpalis* Sehenkel, 1902) 是一種可與海葵共生的海水觀賞蝦，為了開發量產技術，本試驗先建立人工繁殖的相關技術，探討種蝦生殖週期及孵化時間與水溫的關係，初期蝦苗（蚤狀幼體一至四期）投餵餌料密度、餵食時機、溫度及鹽度對成長及活存的影響。初步結果顯示種蝦生殖週期與水溫呈負相關，孵化積溫為 284.0 ± 51.2 度日，初期蝦苗（孵化後 6 天）的餌料密度以豐年蝦無節幼蟲 4 隻/ml 以上有較佳活存率及成長。延遲 1 天投餌不利蝦苗活存。溫度方面，蝦苗在 24 – 33°C 的水溫環境下活存率較佳，而成長則以 27 – 33°C 較佳。鹽度方面，蝦苗在 19 – 34 psu 的鹽度下其活存率較佳，而成長則以 19 – 39 psu 較佳。綜合以上，本研究顯示短腕岩蝦蝦苗培育在 27 – 33°C，鹽度 19 – 34 psu，孵化當日餵食 4 隻/ml 以上豐年蝦，可以在孵化後 15 – 43 日發現變態為底棲性的後期蝦苗。

關鍵詞：幼苗培育、積溫、觀賞水族、短腕岩蝦

前 言

短腕岩蝦 (*Periclimenes brevicarpalis* Sehenkel, 1902) 屬於節肢動物門 (Phylum Arthropoda)、軟甲綱 (Class Malacostraca)、十足目 (Order Decapoda)、長臂蝦科 (Family Palaemonidae)。其特徵為全身透明，眼柄上面白色，下面透明，兩眼柄連成一條白線，尾扇為白色末端有五個鑲褐色邊的橘黃色斑點。因全身透明所以稱為透明海葵蝦 (glass anemone shrimp)，也因為尾扇末端有五個橘黃色斑點像孔雀開屏也稱雀尾海葵蝦 (peacock-tail anemone shrimp)。大部分雄蝦除了頭胸甲兩側鰓域有一小點及第三腹節背部邊緣有細帶狀白色斑塊外，少有其它斑點；雌蝦的斑點較大且多，頭胸甲較寬且胃域頂部隆起，除了頭胸甲鰓域兩側及第三腹節背部邊緣有係帶狀白色斑塊外，第四第五胸足底節中間及第一腹節腹部各有一個斑點、第一至第

四腹節側面各有 1 個明顯的斑點，生殖巢大小會隨生殖巢的成長而變化。該物種的分布從東非、紅海和印度洋到琉球群島、馬來群島整個西太平洋地區包括澳大利亞在內的熱帶海域都有記錄 (Miyake and Fujino, 1968)。是一種與數種海葵共生的蝦類 (Suzuki and Hayashi, 1977; Fautin *et al.*, 1995)。觀察中也發現這種海葵蝦不會輕易地離開宿主海葵，屬於專性 (obligate) 共生者；而宿主海葵對於其共生者而言具有非常重要的生態意義 (段, 1997)。生長、脫殼間隔和孵化幼苗的數量都與海葵蝦是否與海葵一起飼養有關，但與是否餵食無明顯關係 (Fautin *et al.*, 1995)。短腕岩蝦的體型適中、外型亮麗，可飼養在小型水族缸，也適合與不具攻擊性或不以此食的觀賞物種混養，是一種除了觀賞價值外亦兼具生態功能。在水族市場逐漸精緻化、生態化與小型化的趨勢中 (黃與何, 2017)，短腕岩蝦是一種有商業價值的觀賞蝦 (Calado *et al.*, 2003)。因此，為了滿足市場的需求，又不影響野外族群數量，人工繁殖是未來提供海水觀賞蝦的趨勢。關於人工繁殖，先前的研究記錄了短腕岩蝦幼苗完整的發育過程和成蝦的抱卵量

*通訊作者 / 澎湖縣馬公市崙裡里 266 號，TEL: (06) 9953416; FAX: (06) 9953058; E-mail: cccheng@mail.tfrin.gov.tw

(Nagai and Shokita, 2003)，本研究則探討種蝦脫殼週期及卵孵化時間與水溫的關係，及初期蝦苗餌料的密度、餵食策略、溫度及鹽度對蝦苗成長及存活的影响試驗，旨在建立種蝦及幼苗人工培育的參數，作為產業量產之參考。

材料與方法

一、種蝦培育

種蝦 (Fig. 1) 採集自澎湖周邊海域，蓄養在 $51 \times 37 \times 40$ cm 的 FRP 水缸內，換水量 5 L/h。缸內放置四色蓬蘽海葵 (*Entacmaea quadricolor*)，當海葵觸手明顯減少或萎縮時就替換。每週投餵足夠生鮮餌料 (魚、蝦或貝肉) 2 次，並於餵食隔日清除殘餌。每日觀察記錄水溫，並將抱卵種蝦移置單獨的 FRP 缸中 ($30 \times 20 \times 25$ cm) 等待孵化，每日換水一次。記錄孵化及脫殼時間與水溫的關係，並計算孵化積溫 [積溫 = 時間 (日) $\times$ 水溫 ($^{\circ}\text{C}$)]。



Fig. 1 Female and male of *Periclimenes brevicarpalis*.

二、試驗容器、環境條件及餌料

孵化後的蝦苗進行餌料與溫度等相關試驗，每個試驗皆以 600 ml 的燒杯為飼育容器，燒杯內裝海水 400 ml，每個燒杯放養 20 隻剛孵化的蝦苗。試驗開始後每天換水一次，光週期為 L12/D12；除溫度試驗外，水溫均維持在 $27 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ；除鹽度試驗外，海水的鹽度維持在 34 ± 1 psu；每天記錄蝦苗的存活數目。餌料為豐年蝦 (*Artemia* spp.) 無節幼蟲，

豐年蝦卵以 27°C 的海水孵化 20 小時，孵化後採收配製成密度 100 隻/ml，投餵時再以量筒量取試驗所需的豐年蝦數量餵食。

三、成長指標

蝦苗在成長的過程中會不斷脫殼，每一次脫殼都會有形態上的變化 (Nagai and Shokita, 2003)，本研究利用短腕岩蝦蚤狀幼體第一期至第四期的形態差異做為成長指標。第一期：無眼柄；第二期：眼柄生成；第三期：尾柄與尾肢分開；第四期：內尾肢生成。第二期與第一期的成長差異在於眼柄的生成，第四期與第三期的成長差異在於內尾肢生成，第四期之後的形態差異較小不易判別。預備試驗結果顯示在水溫 $27 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的環境下，蝦苗 4 dph 達到第四期的比例為 0%、5 dph 達到第四期的比例為 70%、6 dph 達到第四期的比例為 90% 以上、7 dph 達到第四期的比例接近 100%。因此，本研究各育苗試驗的時間均設定為 6 dph，記錄達到第四期蚤狀幼體的比例做為成長的依據，待 6 dph 時利用光學解剖顯微鏡 (ZEISS Stemi SV11 APO 及 AxioCam 105 Camera) 進行形態判別並加以記錄，以達到第四期蝦苗的比例作為成長的依據。

四、初期蝦苗餌料、餵食時機、溫度及鹽度試驗

(一) 不同餌料密度對蝦苗活存及成長之影響

試驗分為 5 組 3 重複，以 5 種密度之豐年蝦無節幼蟲 1、2、4、8 及 16 隻/ml 餵食剛孵化的蝦苗。

(二) 延遲投餌對蝦苗活存及成長之影響

試驗分為 5 組 3 重複，以 5 種投餵時間，分別為孵化當日餵食、延遲 1、2、3 天後再餵食及不餵食組。各組餵食量均依餌料密度對蝦苗存活及成長試驗的最佳結果以豐年蝦無節幼蟲 4 隻/ml 投餵。

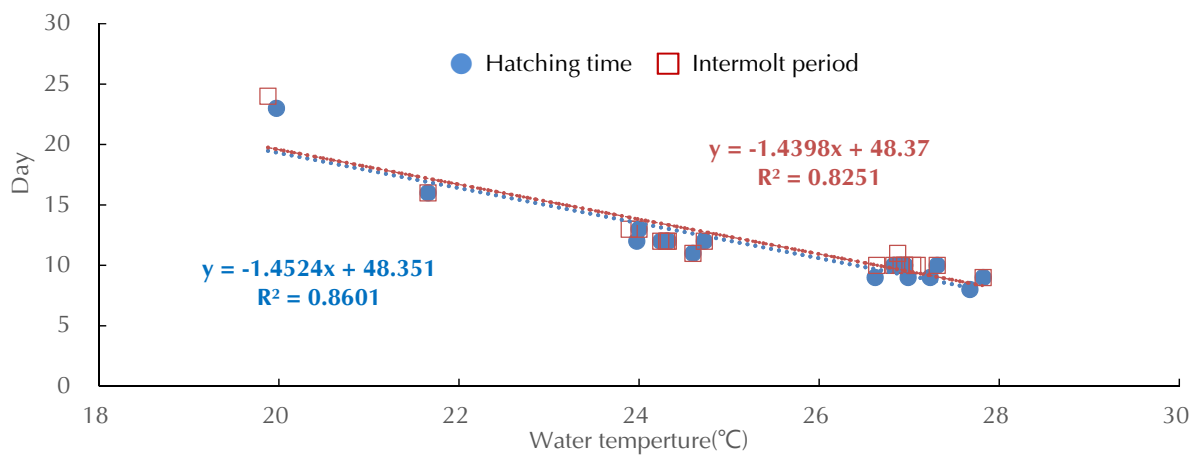


Fig. 2 Effect of water temperature on hatching time and molting interval of *P. brevicarpalis*.

(三) 不同溫度對蝦苗活存及成長之影響

試驗分為 6 組 3 重複，以 6 種溫度，分別為 18、21、24、27、30 及 33°C。為了達到試驗溫度而不造成蝦苗緊迫，溫度每 2 小時升降 1°C，每天升降最多不超過 5°C。各組餵食量均依餌料密度對蝦苗存活及成長試驗的最佳結果以豐年蝦無節幼蟲 4 隻/ml 投餵。

(四) 不同鹽度對蝦苗活存及成長之影響

試驗分為 6 組 3 重複，以 6 種鹽度，分別為 19、24、29、34、39 及 44 psu。>34 psu 組別利用蒸發至 70 psu 的高鹽海水與一般海水配製至實驗濃度；<34 psu 組別利用 RO 水勾兌至實驗濃度進行實驗。各組餵食量均依餌料密度對蝦苗存活及成長試驗的最佳結果以豐年蝦無節幼蟲 4 隻/ml 投餵。

五、蝦苗生產試驗

孵化的蝦苗以 600 ml 的燒杯為飼育容器，內裝海水 400 ml，每個燒杯放養 20 隻，水溫維持在 $27 \pm 1^\circ\text{C}$ ，以剛孵化的豐年蝦無節幼蟲 4 隻/ml 投餵，每日換水，記錄蝦苗自孵化培育到變態為後期蝦苗的時間及數量。

六、數據分析

實驗數據經由單因子變異數分析 (one way

ANOVA)，再由 Duncan's 事後檢測進行組間差異比較，顯著水準設定為 $p < 0.05$ 。

結 果

一、種蝦脫殼間隔與水溫的關係

總共記錄 19 次，結果顯示，最短脫殼間隔為 9 天，記錄到 1 次，平均水溫為 27.8°C；脫殼間隔 10 天，記錄到 8 次，平均水溫分別為 26.6 – 27.1°C；脫殼間隔 11 天記錄到 2 次，平均水溫為 24.6 及 26.9°C；脫殼間隔 12 天，記錄到 4 次，平均水溫為 24.2 – 24.7°C；脫殼間隔 13 天，記錄到 2 次，平均水溫為 23.9 及 24.0°C；脫殼間隔 19 天，記錄到 1 次，平均水溫為 21.3°C；最長脫殼間隔 23 天，記錄到 1 次，平均水溫為 19.9°C。脫殼間隔與水溫的關係式為 $y = -1.4398x + 48.37$ ； $R^2 = 0.8251$ (Fig. 2)。脫殼間隔積溫為 294.3 ± 49.5 度天。

二、卵孵化時間與水溫的關係

總共記錄 19 次，結果顯示，最短孵化時間 8 天，記錄到 2 次，平均水溫為 27.6 及 27.7°C；孵化時間 9 天，記錄到 4 次，平均水溫為 26.6 – 27.2°C；孵化時間 10 天，記錄到 4 次，平均水溫為 26.8 – 27.0°C；孵化時間 11 天，記錄到 1 次，平均水溫為 24.6°C；孵化時間 12 天，記錄到 5 次，平均水溫為 24.0 – 24.7°C；孵化時間 13 天，

Table 1 The survival rate at 6 days post-hatching (dph) and the development rate to the 4th zoeal stage of *P. brevicarpalis* larvae fed with *Artemia* nauplii at varying concentrations

<i>Artemia</i> nauplii at different concentrations (ind./ml)	Survival rate of 6 dph (%)	Larvae developing to 4th-stage zoea at the 6 dph (%)
1	30.0 ± 5.0 ^a	19.0 ± 33.0 ^a
2	43.3 ± 2.9 ^a	58.3 ± 3.0 ^b
4	65.0 ± 0.0 ^b	100.0 ± 0.0 ^c
8	71.7 ± 5.8 ^b	100.0 ± 0.0 ^c
6	60.0 ± 15.0 ^b	100.0 ± 0.0 ^c

Values are shown as the mean ± SD; Different superscripts indicate significant differences ($p < 0.05$).

Table 2 The survival rate at 6 days post-hatching (dph) and the development rate to the 4th zoeal stage of *P. brevicarpalis* larvae according to feeding strategy

<i>Artemia</i> nauplii at different concentrations (ind./ml)	Survival rate of 6 dph (%)	Larvae developing to 4th-stage zoea at the 6 dph (%)
0	73.3 ± 7.6 ^b	97.6 ± 4.0
1	27.0 ± 5.8 ^a	86.0 ± 12.8
2	—	—
3	—	—

Values are shown as the mean ± SD; Different superscripts indicate significant differences ($p < 0.05$).

記錄到 1 次，平均水溫為 24.0°C；孵化時間 16 天，記錄到 1 次，平均水溫為 21.7°C；最長孵化時間 22 天，記錄到 1 次，平均水溫為 19.9°C。孵化時間與水溫的關係式為 $y = -1.4524x + 48.351$ ； $R^2 = 0.8601$ (Fig. 2)。孵化積溫為 284.0 ± 51.2 度天。

三、初期蝦苗餌料、投餌時機、溫度及鹽度試驗

(一) 不同餌料密度對蝦苗活存及成長之影響

以不同餌料密度 1、2、4、8 及 16 隻/ml 豐年蝦餵食，6 dph 蝦苗的活存率分別為 30.0 ± 5.0 、 43.3 ± 2.9 、 65.0 ± 0.0 、 71.7 ± 5.8 及 $60.0 \pm 15.0\%$ ，除了餵食 1 及 2 隻/ml 組與其它各組有顯著差異 ($p < 0.05$) 外，其餘各組間無顯著差異；在成長方面達到第四期蝦苗佔活存蝦苗的比例分別為 19.0 ± 33.0 、 58.3 ± 3.2 、 100.0 ± 0.0 、 100.0 ± 0.0 及 $100.0 \pm 0.0\%$ ，與活存率類似除了餵食 1 及 2 隻/ml 組與其它各組有顯著差異 ($p < 0.05$) 外，其餘各組間無顯著差異 (Table 1)。

(二) 延遲投餌對蝦苗活存及成長之影響

蝦苗孵化當日餵食及延遲 1 天後再餵食組，6 dph 蝦苗的活存率分別為 73.3 ± 7.6 及 $27.0 \pm 5.8\%$ ，組間有顯著差異 ($p < 0.05$)，延遲 2 及 3 天後再餵食及不餵食組分別在 2 dph 大量死亡，3 dph 全部死亡；但在成長方面，即時餵食及延遲 1 天餵食組達到第四期蝦苗佔活存蝦苗的比例分別為 97.6 ± 4.0 及 $86.0 \pm 12.8\%$ ，組間無顯著差異 ($p \geq 0.05$) (Table 2)。

(三) 不同溫度對蝦苗活存及成長之影響

在不同溫度設定下，18、21、24、27、30 及 33°C 組在 6 dph 蝦苗的活存率分別為 50.0 ± 18.0 、 46.7 ± 7.6 、 56.7 ± 7.6 、 70.0 ± 8.7 、 71.7 ± 7.6 及 $61.7 \pm 7.6\%$ ，18 及 21°C 組與 27 及 30°C 組有顯著差異 ($p < 0.05$)；在成長方面，24、27、30 及 33°C 組達到第四期蝦苗佔活存蝦苗的比例分別為 3.3 ± 5.8 、 100.0 ± 0.0 、 100.0 ± 0.0 及 $100.0 \pm 0.0\%$ (Table 3)，18°C 組 6 dph 大多為第三期蝦苗 (77%)，但還有第二期 (20%) 及第一期蝦苗 (1%)。21°C 組全數為第三期蝦苗。24°C 組大多為第三期蝦苗但有

少部分達到第四期蝦苗。

(四) 不同鹽度對蝦苗活存及成長之影響

在不同鹽度設定下，19、24、29、34、39 及 44 psu 組在第 6 天蝦苗的活存率分別為 85.0 ± 5.0 、 86.7 ± 2.9 、 78.3 ± 5.8 、 80.0 ± 10.0 、 51.7 ± 7.6 及 $16.7 \pm 2.9\%$ ，除 39 及 44 psu 組外，其它各組間無顯著差異 ($p \geq 0.05$)；在成長方面，19、24、29、34、39 及 44 psu 組達到第四期蝦苗佔活存蝦苗的比例分別為 98.0 ± 3.4 、 98.0 ± 3.4 、 98.0 ± 3.4 、 100.0 ± 0.0 、 100.0 ± 0.0 及 $52.8 \pm 41.1\%$ (Table 4)。

Table 3 The survival rate at 6 days post-hatching (dph) and the development rate to the 4th zoeal stage of *P. brevicarpalis* larvae kept at different water temperatures

Water temperature (°C)	Survival rate of 6 dph (%)	Larvae developing to 4th-stage zoea at the 6 dph (%)
18	50.0 ± 18.0^a	—
21	46.7 ± 7.6^a	—
24	56.7 ± 7.6^{ab}	3.3 ± 5.8^a
27	70.0 ± 8.7^b	100.0 ± 0.0^b
30	71.7 ± 7.6^b	100.0 ± 0.0^b
33	61.7 ± 7.6^{ab}	100.0 ± 0.0^b

Values are shown as the mean $\pm$ SD; Different superscripts indicate significant differences ($p < 0.05$).

Table 4 The survival rate at 6 days post-hatching (dph) and the development rate to the 4th zoeal stage of *P. brevicarpalis* larvae kept at different salinity

Salinity (psu)	Survival rate of 6 dph (%)	Larvae developing to 4th-stage zoea at the 6 dph (%)
19	85.0 ± 5.0^c	98.0 ± 3.4^b
24	86.7 ± 2.9^c	98.0 ± 3.4^b
29	78.3 ± 5.8^c	98.0 ± 3.4^b
34	80.0 ± 10.0^c	100.0 ± 0.0^b
39	51.7 ± 7.6^b	100.0 ± 0.0^b
44	16.7 ± 2.9^a	52.8 ± 41.1^a

Values are shown as the mean $\pm$ SD; Different superscripts indicate significant differences ($p < 0.05$).

四、蝦苗生產試驗

在相同條件下 (600 ml 燒杯，400 ml 海水，20 隻/杯，水溫 $27 \pm 1^\circ\text{C}$ ，鹽度 34 psu，孵化當日

即以剛孵化的豐年蝦無節幼蟲 4 隻/ml 投餵，每日換水) 培育，共產出 335 隻後期蝦苗，蝦苗變態為後期蝦苗 (Fig. 3) 的時間，最快為 15 dph、最慢為 43 dph。在 15 dph 變態為後期蝦苗 (底棲) 的有 6 隻，佔後期蝦苗總數的 1.8%；16 – 20 dph 有 53 隻，佔 15.8%；21 – 25 dph 有 132 隻，佔 39.4%；26 – 30 dph 有 104 隻，佔 31%；31 – 35 dph 有 28 隻佔 8.4%；36 – 90 dph 有 24 隻佔 2.7%；41 dph 以後有 3 隻佔 0.9% (Fig. 4)。



Fig. 3 Post-larva (20 days post-hatching) of *P. brevicarpalis*.

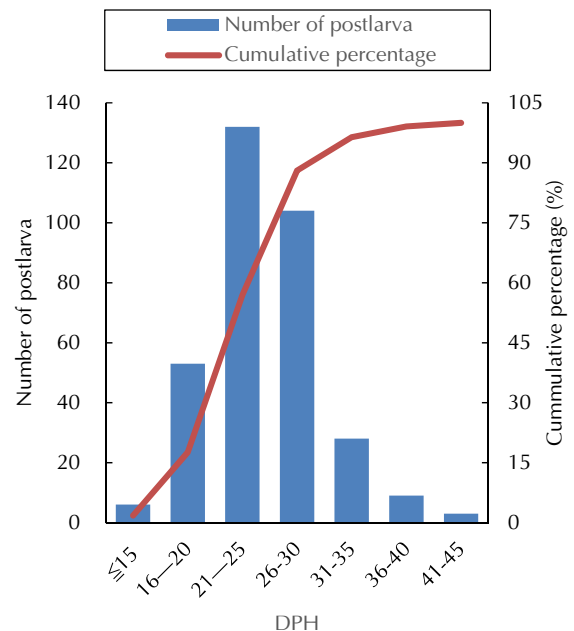


Fig. 4 Time for the metamorphosis of *P. brevicarpalis* larvae into post-larvae (bars) and its cumulative percentage (line) ($n = 335$).

討 論

結果顯示水溫越高短腕岩蝦的脫殼間隔越短，越低則脫殼間隔越長，亦即脫殼間隔與水溫呈負相關，這與德班氏活額蝦 (*Rhynchocinetes durbanensis*) (城與蔡, 2007) 及模里西斯鞭腕蝦 (*Lyasmata debelius*) (吳等, 2022) 有相同的趨勢。孵化時間與水溫亦呈負相關，與脫殼間隔的結果相似，這也與德班氏活額蝦 (城與蔡, 2007)、紅線鞭腕蝦 (*Lyasmata boggessi*) (城等, 2019) 及模里西斯鞭腕蝦 (吳等, 2022) 有相同的趨勢。依據孵化時間與水溫的關係，可在發現產卵後推算孵化時間，進行蝦苗餌料的準備工作。

對餌料的需求量會因種類而不同，餌料不足會導致成長不良及活存率低下，但餌料過多除了造成騷擾緊迫、汙染水質等負面的影響外也造成浪費 (城與蔡, 2005; 城等, 2010, 2013, 2016, 2019, 2022)。結果顯示岩蝦的初期蝦苗對餌料需求高，餵食 16 隻/ml 豐年蝦無節幼蟲尚未因餌料過多而導致活存率低下。雖然餵食 4、8、16 隻/ml 豐年蝦的活存及成長皆無差異。因此餵食 4–8 隻/ml 豐年蝦比較適合。

延遲投餌試驗結果得知，對短腕岩蝦蚤狀幼體而言延遲投餌結果並無正向效果。根據蝦苗的屬性，短腕岩蝦蝦苗應屬於以浮游生物為營養的幼生，蝦苗孵化後體內所儲存的養分不多，因此必須馬上攝取充足的營養。延遲 1 天投餌造成活存率大幅下降，延遲 2 天就全數死亡，這與很多海水觀賞蝦類似 (城與蔡, 2005; 城等, 2013, 2016, 2019, 2022)，但延遲 1 天餵食的蝦苗成長卻與即時餵食的蝦苗相當，沒有統計上的差異。顯示這種蝦的攝食量大且不耐飢餓，與油彩蠟膜蝦 (*Hymenocera picta*) 延遲 2 天餵食尚不會對蝦苗造成影響 (城等, 2019) 顯然不同，因此在蝦苗孵化前應準備好餌料，待蝦苗孵化後即時餵食才能有較佳的活存與成長。

溫度影響變溫動物的代謝速率，溫度升高時，代謝速率加快，成長速度也加快；反之溫度太低代謝速率太慢，也會導致成長低下甚至死亡。短腕岩蝦初期蝦苗在溫度的試驗的結果顯示，24–33°C 有較高的活存率，而 27–33°C 能同時有較佳的成長，最適水溫的範圍較油彩蠟膜蝦 30°C (城等,

2010)、安波托蝦 (*Thor amboinensis*) 27–30°C (城等, 2016)、紅線鞭腕蝦 27°C (城等, 2019)、模里西斯鞭腕蝦 27–30°C (吳等, 2022) 廣，更能適應高水溫環境。另外在 18°C 的成長表現與安波托蝦類似，同樣有第二及第三期蝦苗 (城等, 2016) 外，低溫除減緩成長的速度外還導致個體成長差異大 (還有第一期蝦苗)。因此，短腕岩蝦適合培育在較高溫的環境。

短腕岩蝦初期蝦苗在鹽度試驗方面顯示，19–34 psu 有較佳的活存率，而成長則是 19–39 psu 較佳。無論在活存率或成長，短腕岩蝦初期蝦苗在較低鹽度 (19 psu) 的表現都較油彩蠟膜蝦 (城等, 2010)、紅線鞭腕蝦 (城等, 2019)、模里西斯鞭腕蝦 (吳等, 2022) 佳；在較高鹽度 (39 psu) 的活存卻不如油彩蠟膜蝦 (城等, 2010)、紅線鞭腕蝦 (城等, 2019) 及模里西斯鞭腕蝦 (吳等, 2022)。試著將 19 psu 鹽度試驗延續，發現在 18 dph 開始變態為後期蝦苗，與 34 psu 的時間相同，這與紅尾蝦 (*Penaeus penicillatus*) 的幼苗會隨著鹽度的降低，蝦苗變態時間有縮短的趨勢 (Pan, 1993) 不同，且在 19 psu 環境的後期蝦苗活存 2 天後死亡。這顯示雖然初期蝦苗可以在比較低的鹽度下生長，但低鹽度並沒有縮短脫殼間隔的趨勢，且對後期蝦苗的活存不利。

短腕岩蝦蝦苗培育在 27°C，鹽度 34 psu，孵化後立即餵食 4 隻/ml 豐年蝦，在 15–43 dph 變態為底棲性的後期蝦苗，Nagai and Shokita (2003) 的結果也在這範圍內。雖然最晚變態的時間幾乎是最早變態的 2 倍以上，但大多在 16–35 dph (90% 以上) 變態，相關的研究如花斑掃帚蝦 (*Saron marmoratus*) 會在 13–37 dph 變態為底棲性的後期蝦苗，但大多數的蝦苗在 16–30 dph 變態 (城等, 2017)；安波托蝦會在 24–59 dph 變態，但大多在 26–45 dph 變態 (城等, 2016)；油彩蠟膜蝦會在 34–70 dph 變態，但大多在 34–50 dph 變態 (城等, 2015)；模里西斯鞭腕蝦會在 49–134 dph 變態，但大多在 50–90 dph 變態 (城等, 2023) 也有類似的結果。本研究無論是脫殼週期或孵化時間與水溫的關係、餌料的密度、餵食策略、溫度及鹽度對蝦苗成長及變態的時程，其結果將可做為量產研發之參考依據。另外，利用人工培育的方式提供不依賴海葵的種蝦也是未來量產的課題。

參考文獻

- 吳玉霞, 湯慕婷, 城振誠, 謝恆毅 (2021) 模里西斯鞭腕蝦的種蝦培育研究. 水試專訊, 75: 26-29.
- 吳玉霞, 湯慕婷, 城振誠, 謝恆毅 (2022) 模里西斯鞭腕蝦 (*Lysmata debelius*) 的人工繁殖. 水產研究, 30 (2): 55-61.
- 城振誠, 蔡萬生 (2005) 餌料、投餵策略及溫度對德班氏活額蝦 (*Rhynchocinetes durbanensis*) 初期蝦苗成長之影響. 水產研究, 13 (1): 45-52.
- 城振誠, 蔡萬生 (2007) 德班氏活額蝦 (*Rhynchocinetes durbanensis*) 幼苗之發育研究. 水產研究, 15 (1): 13-35.
- 城振誠, 陳彥愷, 王崧華 (2015) 海水觀賞蝦油彩蠟膜蝦量產技術研發. 水產試驗所2014年報, 49.
- 城振誠, 王崧華, 陳彥愷, 林金榮 (2016) 安波托蝦的人工繁殖. 水產研究, 24(1): 83-90.
- 城振誠, 陳彥愷, 顏孟華, 蔡萬生 (2013) 紅斑活額蝦的人工繁養殖. 水試專訊, 42: 7-11.
- 城振誠, 顏夢華, 陳延親, 蔡萬生 (2010) 溫度、鹽度與餵食對油彩蠟膜蝦初期蝦苗培育之影響. 水產研究, 18(2): 57-64.
- 城振誠, 吳玉霞, 湯慕婷, 謝恆毅 (2023) 模里西斯鞭腕蝦 (*L. debelius* Bruce, 1983) 的量產研究. 水試專訊, 82: 26-29.
- 城振誠, 陳彥愷, 王崧華, 劉素華, 林金榮 (2017) 花斑掃帚蝦的量產研究. 水試專訊, 59: 10-15.
- 城振誠, 吳玉霞, 王崧華, 吳緒湘, 陳彥愷, 謝恆毅 (2019) 紅線鞭腕蝦 (*Lysmata boggei*) 的人工繁殖. 水產研究, 27(2): 55-62.
- 段文宏 (1997) 海葵蝦與其宿主海葵共生行為之研究. 國立海洋大學海洋生物研究所 碩士論文, 47 pp.
- 黃之暘, 何源興 (2017) 觀賞水族包裝與運輸. 行政院農業委員會水產試驗所編印, 基隆, 臺灣, 113 pp.
- Calado, R., J. Lin, A. L. Rhyne, R. Araújo and L. Narciso, (2003) Marine ornamental decapods - popular, pricey, and poorly studied. J. Crustac. Biol., 23(4): 963-973.
- Fautin, D. G., C. C. Guo and J. S. Hwang (1995) Costs and benefits of the symbiosis between the anemoneshrimp *Periclimenes brevicarpalis* and its host *Entacmaea quadricolor*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 129: 77-84.
- Miyake, S. and T. Fujino (1968) Pontonid shrimps from the Palau Islands (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae). J. Fac. Agric., Kyushu Univ., 14(3): 399-431.
- Nagai, T. and S. Shokita (2003) Larval Development of a Pontonine Shrimp, *Periclimenes brevicarpalis* (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae) Reared in the Laboratory. Jap. Soc. Sys. Zool., 8: 237-265.
- Pan, C. H. and H. P. Yu (1993) Effects of temperature and salinity on the larval development of the red tailed prawn, *Penaeus penicillatus*. J. Fish. Soc. Taiwan, 20: 329-337.
- Suzuki, K., and K. I. Hayashi (1977) Five caridean shrimps associated with sea anemones in central Japan. Publ. Seto Mar. Biol. Lab., 24: 193-208.

Artificial Propagation of Anemone Shrimp (*Periclimenes brevicarpalis* Sehenkel, 1902)

Chen-Cheng Cheng*, Yu-Hsia Wu, Mu-Ting Tang, Yu-Chin Chen and Hernyi Justin Hsieh

Penghu Fishery Research Center, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

Periclimenes brevicarpalis Sehenkel, 1902, known as the spotted cleaner shrimp, is a marine ornamental shrimp that forms symbiotic relationships with sea anemones. This study aimed to establish artificial breeding techniques by investigating the broodstock's reproductive cycle and the effects of water temperature on hatching time. It also assessed the impact of feed density, feeding timing, temperature, and salinity on the growth and survival of early-stage larvae (zoeal stages I-IV). Preliminary results showed that the broodstock's reproductive cycle was negatively correlated with water temperature, with a cumulative hatching temperature of 284.0 ± 51.2 degree-days. Early-stage larvae (6 days post-hatching) had the best survival and growth at a feed density of over 4 *Artemia* nauplii per ml; delaying feeding by one day reduced survival. Optimal survival occurred at 24-33°C, and optimal growth at 27-33°C. Salinity ranges of 19-34 psu supported better survival, while 19-39 psu promoted optimal growth. In conclusion, rearing larvae at 27-33°C and 19-34 psu salinity, with over 4 *Artemia* per ml on the hatching day, supports metamorphosis into benthic post-larvae within 15-43 days post-hatching.

Key words: larval development, accumulated temperature, ornamental aquarium, *Periclimenes brevicarpalis*

*Correspondence: 266 Shili, Magong 880, Penghu, Taiwan. TEL: (06) 9953416; FAX: (06) 9953058; E-mail: cccheng@mail.tfrin.gov.tw

水產研究 第 32 卷 第 1 期

出 版 者：農業部水產試驗所

發 行 人：張錦宜

總 編 輯：葉信明

地 址：基隆市中正區 20246 和一路 199 號

電 話：(02) 2462-2101

傳 真：(02) 2462-9388

網 址：<https://www.tfrin.gov.tw>

創刊日期：民國 82 年 6 月

出版日期：民國 113 年 6 月

刊 別：半年刊

ISSN 1018-7324 GPN 2008200207

