

ISSN 1018 - 7324
GPN 2008200207

水產研究

JOURNAL OF
TAIWAN FISHERIES RESEARCH

Vol. 31 No.2 / December 2023



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、張水錯、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.

目次

宜蘭灣東方齒鯨魚卵分布水文特性 / 陳瑞谷 · 黃鼎傑 The Hydrological Characteristics of Oriental Bonito (<i>Sarda orientalis</i>) Eggs Distribution in the Bay of Yilan / Ruei-Gu Chen and Ting-Chieh Huang	1
Reproductive Biology of the Redtail Prawn, <i>Penaeus penicillatus</i> , in the Southwestern Waters of Taiwan / Yi-Shu Wu, Yang-Chi Lan, Jian-Chih Huang, Yu-Kai Chen and Jign-Shing Weng 臺灣西南海域長毛對蝦 (<i>Penaeus penicillatus</i>) 之生殖生物學研究 / 吳伊淑 · 藍揚麒 · 黃建智 · 陳郁凱 · 翁進興	15
鬼頭刀 (<i>Coryphaena hippurus</i>) 初期發育與育苗研究 / 鄭明忠 · 江玉瑛 · 吳瑞賢 · 邱俊豪 · 何源興 · 許嘉閔 Studies on the Early Embryonic Development and Larval Rearing of the Common Dolphinfish (<i>Coryphaena hippurus</i>) / Ming-Chung Cheng, Yu-Ying Jiang, Jui-Hsien Wu, Jung-Hau Chiou, Yuan-Shing Ho and Chia-Min Hsu	25
水溫及光照條件對海門冬四分孢子體成長之影響 / 許自研 · 陳陽德 · 張軒銘 · 蘇義哲 · 吳豐成 Effects of Temperature and Illumination Conditions on the Growth of Tetrasporophyte of <i>Asparagopsis taxiformis</i> / Zi-Yan Xu, Yang-De Chen, Hsuan-Ming Chang, Yi-Che Su and Feng-Cheng Wu	37
臺灣牡蠣主要產區養殖戶面臨之困境與問題點研究 / 楊清閔 Research on the Difficulties and Problems Faced by Oyster Farmers in Major Oyster Production Sites in Taiwan / Ching-Min Yang	45

宜蘭灣東方齒鯨魚卵分布水文特性

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

東方齒鯨 (*Sarda orientalis*) 在每年冬春季會洄游至宜蘭灣產卵，此時期肉質肥美深受消費者喜愛，目前對其早期生活史了解不多。東方齒鯨魚卵為浮性分離球形 (直徑約 1.3 mm)，是臺灣目前已知大洋洄游經濟魚種唯一具有多油球特徵者。2022 年 3 月在臺灣東北海域宜蘭灣產卵場 38 個測站中，有 16 個站捕獲到東方齒鯨魚卵，計 118 個，以南澳灣外豐度最高。發現最適合解釋東方齒鯨魚卵出現與否的水文特性，為水深 4 m 鹽度高於 34.2 psu，與水深 10 m 處葉綠素甲濃度低於 1 µg/L 海域，研究同時發現仔稚魚豐度與浮游動物豐度相當吻合。本研究為臺灣首次提出東方齒鯨產卵場分布與水文環境相關性，期望能有助於東方齒鯨資源經營管理與永續利用。

關鍵詞：日魚卵生產模式、水文環境、產卵生態

前言

鯖科齒鯨屬 (*Sarda* sp.) 魚類在全球共有五種 (Froese and Pauly, 2023)，臺灣僅有俗名煙仔虎、梳齒或西齒煙的東方齒鯨 (*Sarda orientalis*) 一種 (以下簡稱齒鯨)。齒鯨為大洋性魚種，廣泛分布於印度太平洋熱帶至亞熱帶海域，北迄日本、韓國，臺灣四周海域皆有出現，但以東部、東北部及南部較多 (Shao, 2023)。齒鯨並未在漁業統計年報中獨立統計產值產量，而是被列入其他鰹類中 (王, 1987)。在農業部漁業署漁產品全球資訊網資料顯示，2000-2022 年間齒鯨產地產量介於 23 - 852 mt，產地平均價格 61 NT\$/kg (漁業署, 2023)。齒鯨每年冬、春季產卵期洄游至宜蘭灣 (Bay of Yilan) 海域時肉質肥美，兼因泳速快爆發力十足，成為近年深受娛樂漁業喜愛魚種，價格不斷攀升，有助漁業轉型發展。

臺灣的齒鯨漁法以定置網為大宗，漁場在臺灣東岸，自宜蘭石城至花蓮一帶，故研究多探討定置網的漁獲量或漁獲組成。齒鯨漁期集中在冬春季齒鯨繁殖洄游期，可佔漁獲總重的 10 - 30%，其來游

量比其它魚種相對穩定，是東海岸定置漁場經濟收益命脈之一 (謝, 2002; 陳, 2006; 高, 2007; 陳, 2008; Lu and Lee, 2014; 何, 2015)

自生殖腺指數和卵巢內卵徑，推論齒鯨之生殖季節在每年 1 - 6 月，以 3 - 5 月為高峰，定置網可捕獲呈水卵狀態的雌魚 (王, 1987; 黃, 2015)。從齒鯨耳石日齡回推，齒鯨孵化日期主要在每年 1 - 6 月，符合生殖腺觀察結果 (何, 2015)。黃 (2015) 推算雌魚平均 2.3 天產卵一次，雄魚平均 2 天產精一次，個體批次孕卵數約在 11 - 78 萬顆之間，卵巢具非同步成熟且多次排卵特性 (indeterminate spawner)，年產卵數無法估計。齒鯨無法自外觀判斷性別，雌雄體長-體重關係式相近 (王, 1987; 何 2015; 黃, 2015)。

齒鯨屬魚類亦為全球重要經濟魚種，曾進行人工繁殖實驗，包括東方齒鯨 (Kaji *et al.*, 2002)。Pepe-Victoriano *et al.* (2021, 2022) 推測 *Sarda chiliensis* 產卵時間為清晨，亦曾進行 *Sarda sarda* 的人工繁殖試驗 (Ortega and de la Gándara, 2008; Ortega García, 2016)。在韓國海域之齒鯨隨著體型變大越以魚類為主食 (Kim and Jeong, 2020)；巴基斯坦曾對魚市場販售東方齒鯨做過重金屬檢測，在鐵、鋅、鎂、銅、鉛、鎘皆未超過規定標準 (Ahmed *et al.*, 2023)，Bat *et al.* (2022a, b) 亦指

*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

出黑海海域 *S. sarda* 重金屬皆低於食用規範，可知齒鯨體內不會蓄積大量重金屬，為優質食用魚種。

魚卵生產模式所需的浮游動物採集屬於高強度且密集的漁業科學研究，是累積魚類浮游期或動物性浮游生物時空變動與水文環境變動平台 (Dickey-Collas *et al.*, 2012)，足以提供繁殖潛能與生態系變動所需的科學見解，例如 Neira and Keane (2008) 指出，東南澳洲海域花腹鯖魚卵分布可以用水深和水溫來解釋，鯖魚卵只會出現在較暖的東澳暖流或其混合水團中，不會出現在較冷的南方流系中，Neira *et al.* (2015) 發現兩種竹筴魚主要在不同水團中產卵，大致可以在溫度-鹽度分布圖上區分；Lin *et al.* (2016) 指出東海陸棚海域不同水團的魚卵有不同的魚種組成；Keane and Neira (2008) 指出仔稚魚組成在東南澳洲海域的分布與特定水團有關。顯示水團特性可以協助近親種仔稚魚與魚卵物種鑑別。

臺灣素仰賴漁業資源作為蛋白質來源，了解並保護重要經濟魚種的產卵場海域，除是確保漁業資源重要作為外，並可以利用魚卵豐度來推估產卵群資源量 (Lasker 1985; Bernal *et al.* 2012; Neira *et al.*, 2015; ICES, 2019; 陳等, 2022;)。本研究為臺灣首次在宜蘭灣產卵場海域，系統性地提供齒鯨產卵場範圍與水文環境特性，期望有助於齒鯨資源經營管理與永續利用。

材料與方法

本研究在 2020 - 2022 年期間，嘗試以日魚卵生產模式來推估花腹鯖產卵親魚資源量，需至宜蘭灣產卵場海域進行詳盡完整的海上試驗調查 (陳等, 2022)，本研究齒鯨魚卵樣本來源即為 2022 年之調查成果。

一、魚卵與水文參數收集

於 2022 年 3 月 12 - 17 日期間租用漁船，在宜蘭灣海域 38 個測站 (Fig. 1) 進行海上作業，使用孔徑 500 μm 直徑 1.2 m 圓形浮游生物網，下放至 100 m 或離底 10 m 處後，以低於 1 m/s 速度斜拖回收，收集魚卵、仔稚魚、頭足類及其他浮游動物樣本。網口結附流量計 (Hydro-Bios, model 438115) 計算濾水量以校正豐度，並記錄採樣時間

水深等相關資訊。在船上將上述樣本盡量濾乾後以 95%酒精保存，並放置在 -20°C 下保存攜回實驗室，回實驗室後瀝乾秤總浮游動物濕重，並進行第一次酒精更換，續放凍庫存放。挑揀魚卵與仔稚魚等樣本時，進行第二次酒精更換，後續除觀察外皆保存在 -20°C 冰冷 95%酒精環境中。

每個測站皆施放手持式溫鹽深儀探針 (Itronaut Ocean Seven 310) 至最大繩長 150 m 或離底 5 m，下放與回收速度皆小於 1 m/s，後續分析選用下放時所得數據並刪除明顯異常值，並以 $x \text{ m} \pm 0.5 \text{ m}$ 量測之數值平均作為第 $x \text{ m}$ 的水文參數值。

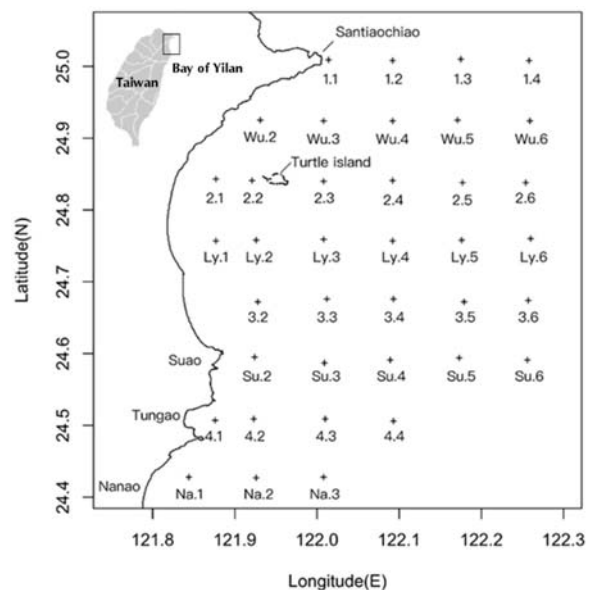


Fig. 1 Sampling stations for the cruise conducted from March 12th to 17th, 2022.

二、魚卵鑑定

先將所有魚卵、仔稚魚與頭足類從上述浮游動物樣本中挑出，仔稚魚與頭足類不分種類僅計算各測站總尾數。魚卵先依外觀與卵徑區分大類，再依 Shao *et al.* (2001) 所述，將符合球形、分離、浮性、多油球、卵膜平滑無特殊結構及圍卵腔較窄，且直徑 1.3 mm 左右等特徵者，視為可能的齒鯨魚卵。

分子生物學鑑定方式參考 Steinke and Hanner (2011) 所述，選用 Fish cocktail (M13 tailed, primer ratio 1:1:1:1) 針對粒線體 Cytochrome C oxidase Subunit 1 (COI) 片段，進行聚合酶鏈鎖反應增幅放大，產物經 M13R 單向定序後以 Basic Logical Alignment Search Tool (BLAST) 語法搜尋

GenBank 上序列 (National Centre for Biotechnology Information, NCBI) 相關性。所有魚卵序列並以 MEGA-X (Kumar *et al.*, 2018) 進行比對確認確實為齒鯨魚卵，並與本研究同時取得之其他鯨科魚卵，與同樣具有多油球特徵魚卵進行親緣分析。

分析前，先將數據分成生物資料與水文資料，並應用冗餘分析 (redundancy analysis, RDA) 探查物種分布矩陣與水文參數矩陣間之迴歸關係 (Borcard *et al.*, 2011)。先將仔稚魚豐度、頭足類豐度、浮游動物豐度與齒鯨魚卵豐度參數進行 Hellinger 轉換，即對各樣點生物參數相對豐度取平方根，以降低特定物種大量出現時導致偏離模式分析假設。水文參數包括葉綠素甲 (chlorophyll-*a*, chl_a)、溫度 (temperature, temp)、鹽度 (practical salinity, sal) 與密度 (density, dens)，因單位不同，需先標準化至平均值為 0 及標準差為 1 後，才進行 RDA 分析。RDA 結果進行 1000 次蒙地卡羅排列檢定後，以 5% 信心水準為違反物種數量與水文參數間毫無關係的虛無假設。

以 RDA 找出具解釋能力的水文參數後，再利用泛線性模式 (generalized linear model, GLM) 分析齒鯨魚卵出現與否 (出現/未出現) 與水文參數間的關係，使用向後選取法 (backward selection) 找出最佳水文參數來解釋齒鯨魚卵分布，最終選用的模式僅呈現有顯著性的水文參數 ($p < 0.05$)。本研究統計分析以 R 軟體 (version 3.4.2) (R Core Team, 2020) 處理，並利用 "vegan" (Oksanen *et al.*, 2022)、"mgcv" (Wood, 2011) 與 "akima" (Akima and Gebhardt, 2022) package 分析繪圖。

結 果

本研究航次測站詳細位置與當地水深詳如 Table 1 所示，各測站取得齒鯨魚卵數量、頭足類數量、仔稚魚數量與浮游動物濕重，除以濾水量後轉換為相對豐度，後續分析皆以相對豐度進行。

一、宜蘭灣水文環境特徵

宜蘭灣海域地形複雜，龜山島以北至三貂角大

致上水深是平行於海岸，但在龜山島以南至蘇澳外海有一片廣闊的淺水區，往東延伸約 30 哩，平均水深低於 200 m，蘇澳以北甚至是淺於 100 m 的淺坪區，但在蘇澳經東澳/南澳以東則瞬間降至 1,000 m 以深，龜山島東側與東北側同樣有陡降至 1,000 m 以上的地形。水深 4 m 鹽度 (sal.4) 呈帶狀分布，自南澳外海稍向西北觸及東澳後往北偏東達龜山島，而後向東西分開，東向續往東北西向靠岸而止，在西邊近岸與東邊外海兩側測站表水鹽度都是下降現象。在三貂角外海近岸則有低於 34 psu 的表水入侵，以致在龜山島北方海域出現較明顯的鹽度陡升鋒面。水深 5 m 密度 (dens.5) 水平分布大致是由西北角往東南角逐漸降低的現象，顯示沿岸水域表水的密度較外洋水域表層為高，同樣在三貂角外海近岸有高密度表水出現。表層 5 m 水溫 (temp.5) 分布概況大致與表水密度有類似的趨勢，而與表水鹽度較為不同，顯示 3 月調查期間，宜蘭灣海域表水層密度主要是受到溫度影響。這個西北高-東南低的分布概況同樣出現在水深 10 m 葉綠素濃度 (chl_a.10) 上，近岸與北方海域 chl_a.10 較高，越往東南海域則接近於 0。從上述結果得知，三月時宜蘭灣會有來自西北與東南特性不同的水團在此交會，可以明顯在表水層看到水文參數由西北往東南漸次變化，且此表層水文性質漸次變化較不受地形影響。前述結果請參見 Fig. 2。

二、浮游動物與仔稚魚分布

調查同時取得 1951 尾諸多魚種仔稚魚樣本與 105 尾頭足類樣本。仔稚魚豐度以三貂角 (Santiaochiao) 外海最高，最大量出現於 1.2 測站，有 188 尾。從 Fig. 3 可見仔稚魚豐度分布與浮游動物豐度趨勢類似，都是以三貂角外海最高，樣區左下與右下方都有類似的集中出現狀況，此現象經 GLM 確認仔稚魚豐度會隨浮游動物豐度增加而顯著增加 ($\text{adj}R^2=0.475; p < 0.01$)。

三、齒鯨魚卵鑑定與分布水文特性

研究期間取得之齒鯨成魚與魚卵如 Fig. 4 所示。齒鯨魚卵具諸多大小相近油球，經酒精固定後在顯微鏡下會顯現淡黃色，並出現類似甜甜圈

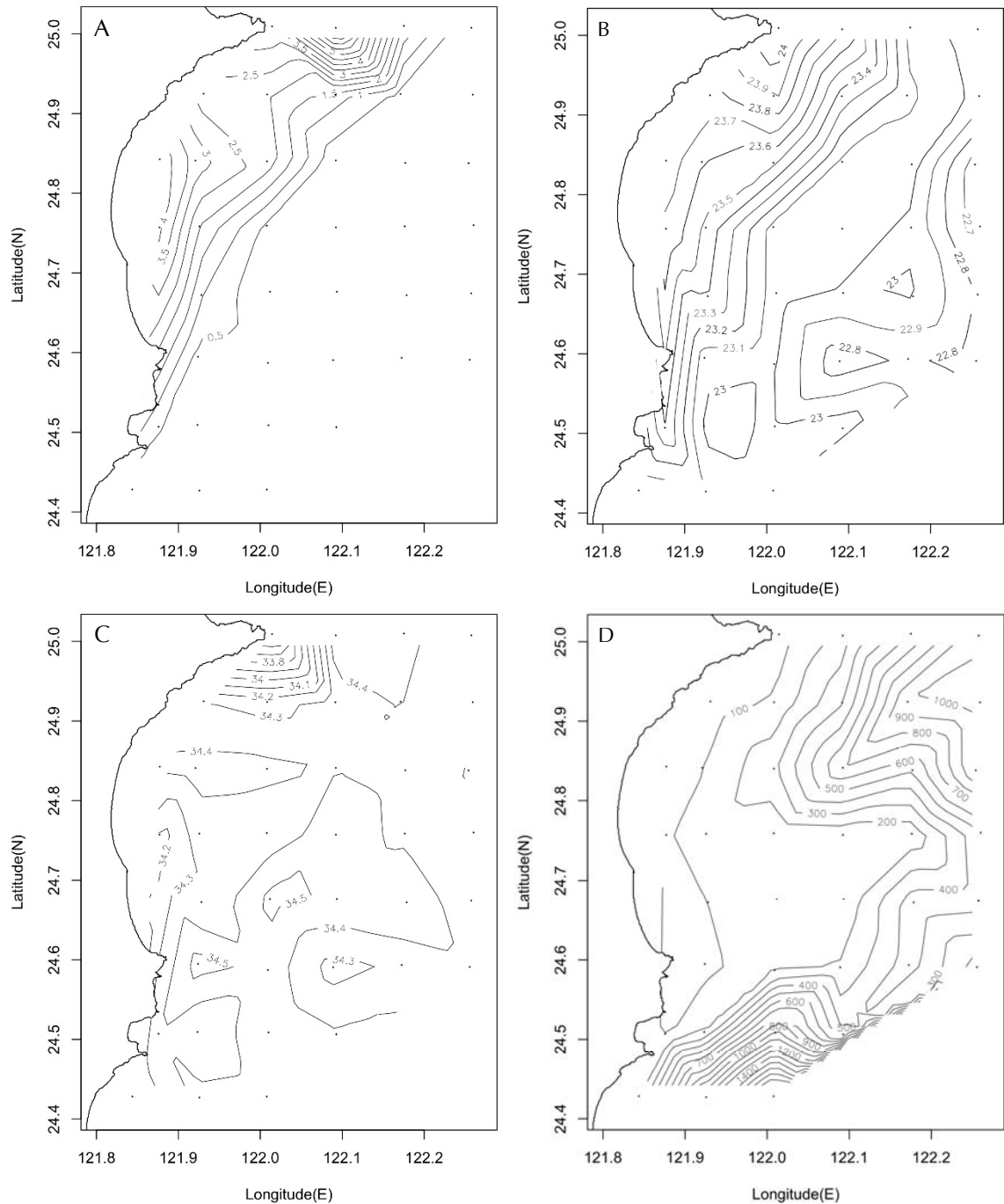


Fig. 2 Horizontal distribution of: (A) Chlorophyll-*a* concentration ($\mu\text{g/L}$) at a depth of 10 m; (B) Seawater density (σ_t) at a depth of 5 m; (C) Seawater salinity (psu) at a depth of 4 m; (D) Water depth (m) in the bay of Yilan during March 12th to 17th, 2022.

的立體外觀。本航次同時自宜蘭灣取得懸浮性分離魚卵中，僅有腔吻鱈屬 (*Coelorinchus* spp.) 具有同樣的多油球特徵，但腔吻鱈屬魚卵直徑約在 1.0 mm，且在顯微鏡下可見卵膜表面有明顯的網狀結構，兩者極易區分。本研究在宜蘭灣亦取得黃鰭鮪 (*Thunnus albacares*)、正鰹 (*Katsuwonus*

pelamis)、圓花鰹 (*Auxis rochei*)、平花鰹 (*Auxis thazard*)、花腹鯖 (*Scomber australasicus*) 與白腹鯖 (*Scomber japonicus*) 等鯖科魚類魚卵，與前述同樣有多油球特徵之腔吻鱈屬魚卵 COI 序列進行親緣歸屬結果如 Fig. 5 所示。顯示齒鰶與黃鰭鮪序列較為接近，正鰹與花鰹屬為一群，鯖屬另成

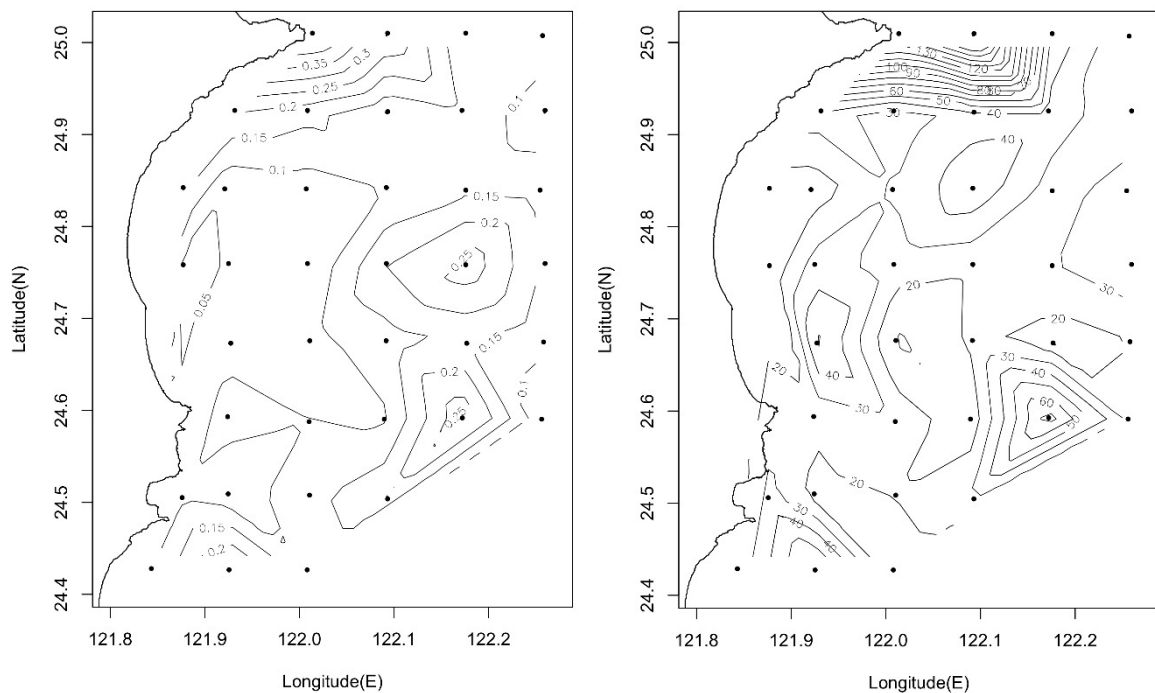


Fig. 3 Horizontal distribution of: (Left) Zooplankton biomass (g/m^3); (Right) Fish larvae abundance (individuals/ 100 m^3) in the bay of Yilan during March 12th to 17th, 2022.

一群，腔吻鱈屬序列亦彼此相近自成一群。

本研究取得確認屬於齒鯨魚卵者計有 118 顆，在 38 個測站中有 16 站有出現齒鯨魚卵，當中有 10 個測站位在距岸 12 哩以內。齒鯨魚卵數量以南澳 (Nanao) 外海 Na.2 最多，計有 41 顆，北經東澳遍及蘇澳 (Suao) 北方淺坪區，另一主要熱區為龜山島 (Turtle island) 東方與東北方海域 (Table 1 and Fig. 6)，除三個測站出現 10 顆以上齒鯨魚卵外，其餘各站皆為零星出現。

經 RDA 探討齒鯨魚卵、仔稚魚、浮游動物等生物豐度偏好何種水文環境參數，結果如 Fig. 7 所示。經 1000 次蒙特卡羅檢測後，本結果可以解釋 56.5% 所有參數特性 ($\text{adj}R^2=0.33; p < 0.05$)，軸一和軸二已足顯示 95% 模式結果。軸一为主要解釋項，足以表現 32.5% 參數相關特性 ($p < 0.05$)，軸二未達顯著可表現 21.2% 參數相關特性 ($p > 0.1$)。從圖中可以看出，齒鯨魚卵是出現在特定水文參數中，特別可以鹽度與葉綠素濃度來解釋，並與仔稚魚豐度有輕微的負相關。東澳灣口 4.1 測站因為大量出現 104 顆鯢科魚卵而遠離中心，至於浮游動物與頭足類豐度，因廣泛普遍地分佈在調查海域，因此在 RDA 中解釋度很差。



Fig. 4 The eggs (above) and adult (below) of *Sarda orientalis*.

Table 1 Samples collected in the bay of Yilan from March 12th to 17th, 2022

Stations	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Water depth (m)	Zooplankton (g/m ³)	Sarda eggs (id.)	Sarda.v (id./100 m ³)	Cephalopod (id./100 m ³)	Fish larvae (id./100 m ³)	Anchovy eggs (id./100 m ³)
1.1	25.009	122.014	47	0.477	0	0	7.2	149.8	2.4
1.2	25.008	122.092	235	0.297	0	0	3.1	192	1
1.3	25.010	122.175	600	0.101	0	0	1.2	48.7	0
1.4	25.008	122.258	980	0.133	0	0	1.1	20.4	0
2.1	24.843	121.877	88	0.164	0	0	1.3	14.4	0
2.2	24.841	121.921	95	0.058	0	0	0	13.2	0.6
2.3	24.840	122.008	282	0.073	2	1.3	1.9	30.3	0.6
2.4	24.841	122.092	698	0.101	1	0.7	1.4	48	0
2.5	24.838	122.177	510	0.141	0	0	1.8	25	0
2.6	24.838	122.254	1009	0.136	3	1.2	1.2	36.1	0
3.2	24.672	121.928	101	0.085	0	0	2.9	52.2	0.6
3.3	24.676	122.012	122	0.085	18	7.7	0.4	8.5	0
3.4	24.676	122.093	132	0.13	3	1.3	3.8	22.2	0
3.5	24.672	122.179	466	0.149	0	0	2.9	13.6	0
3.6	24.674	122.257	450	0.109	0	0	0.4	19.5	0
4.1	24.507	121.876	81	0.09	1	0.9	0.9	32.5	93.9
4.2	24.509	121.923	192	0.066	0	0	1	16.8	0
4.3	24.509	122.010	1015	0.135	6	3	2.5	20.3	0
4.4	24.506	122.093	406	0.194	5	2.8	1.7	31.5	0
Ly.1	24.757	121.877	90	0.02	0	0	0.4	11.8	0
Ly.2	24.758	121.926	145	0.057	0	0	0.7	34.9	3
Ly.3	24.759	122.008	118	0.051	0	0	0.4	25.3	0
Ly.4	24.757	122.092	121	0.201	0	0	3.6	21.8	0
Ly.5	24.758	122.176	128	0.285	0	0	3.2	29.4	0
Ly.6	24.760	122.260	481	0.143	0	0	0.6	39.4	0
Na.1	24.428	121.844	179	0.098	0	0	1.5	23	1.5
Na.2	24.427	121.926	1213	0.277	41	33.4	2.4	66.1	0
Na.3	24.428	122.008	2125	0.11	14	8.5	1.8	12.2	0
Su.2	24.595	121.924	67	0.119	6	2.9	1.9	21.8	0
Su.3	24.587	122.009	184	0.101	5	2.5	2.5	28.1	0
Su.4	24.591	122.089	208	0.093	0	0	1	12.5	0
Su.5	24.594	122.173	450	0.288	0	0	4.9	76.4	0
Su.6	24.591	122.256	153	0.064	0	0	1.7	27.1	0
Wu.2	24.925	121.931	52	0.197	0	0	0	36.1	0
Wu.3	24.924	122.008	110	0.167	5	2.7	1.6	23.1	0
Wu.4	24.924	122.092	389	0.106	4	1.9	1.4	34.9	0
Wu.5	24.925	122.171	1005	0.142	3	2.3	1.5	36.9	0
Wu.6	24.924	122.259	1047	0.063	1	0.5	1.6	21.9	0

sarda: *Sarda orientlis* eggs; id.: number of individuals

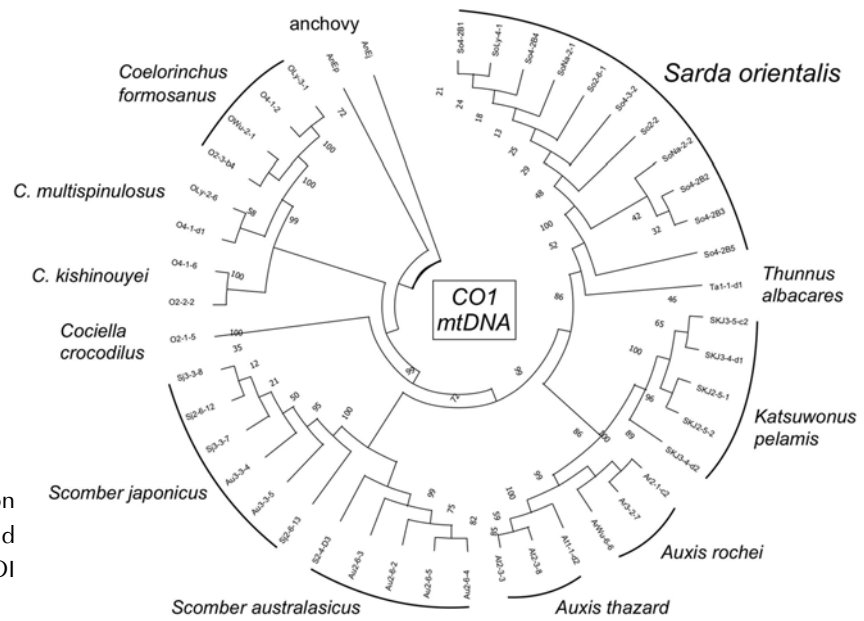


Fig. 5 Molecular discrimination of the eggs of *Sarda orientalis* and other fish species using CO1 fragments.

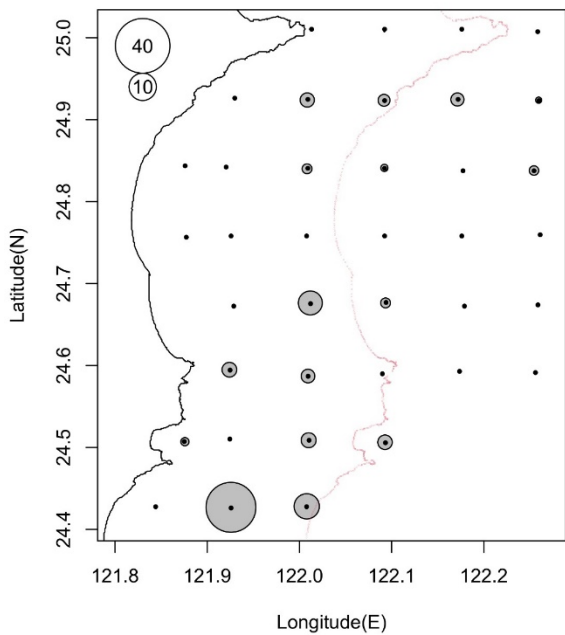


Fig. 6 Horizontal distribution of *Sarda orientalis* eggs (individual/100 m³) in the bay of Yilan from March 12th to 17th, 2022. The red line in the figure represents the 12-nautical-mile boundary.

使用 GLM 能更明確闡釋齒鯨魚卵出現與否的水文參數變化趨勢，經向後選取法最終使用 chla.10、den.5、sal.4 與當地水深 (W.depth) 四個參數同時分析解釋度最佳 ($adjR^2=0.394$; $p < 0.05$)，四個參數的斜率係數分別為 chla.10:-1.91、den.5: 8.41、sal.4: 15.38 及 W.depth: 0.005。齒鯨魚卵主要出現在 $chla.10 < 1 \mu\text{g/L}$ 、 $sal.4 > 34.2 \text{ psu}$ 、

$den.5 > 23 \text{ sigma-t}$ 以及 $W.depth > 400 \text{ m}$ 海域，此四個水文參數在調查海域的水平分布狀況請參見 Fig. 2。這四個參數中只有 sal.4 可以單獨在 GLM 模式闡述齒鯨魚卵分布情形 ($adjR^2=0.102$, $p < 0.05$)，但齒鯨魚卵並未在所有 $sal.4 > 34.2 \text{ psu}$ 海域都可發現，這應是在 GLM 中單以 sal.4 對齒鯨魚卵的分布解釋度，會比同時使用四個參數時低許多的原因。為進一步限縮齒鯨魚卵分布水文特性，選擇將 chla.10、dens.5、W.depth 分別與 sal.4 配對繪製散佈圖，發現同時套用 sal.4 與 chla.10 兩參數能將齒鯨魚卵限縮在最小的範圍，表示齒鯨魚卵是出現在宜蘭灣表水鹽度甚高且葉綠素濃度很低的海域 (Fig. 8)。

討 論

Ahlstrom and Moser (1980) 指出大洋性魚種所產下的懸浮性分離魚卵，有 30% 的魚種卵徑在 1.0 - 1.5 mm，且絕大多數魚種的魚卵是球形，並以卵膜平滑且具窄圍卵腔為主要特徵，僅少數魚種卵膜有表面有結構物或寬圍卵腔特徵，只有 15% 的浮性卵魚種有一個以上油球 (即多油球特徵)。過往臺灣研究曾提及具多油球特徵魚種僅日本瞻星魚 (*Uranoscopus japonicus*)、日本條鰨 (*Pseudaesopia japonicus*)、粗體舌鰨 (*Cynoglossus robustus*)、米點箱魷 (*Ostracion meleagris*)、六斑二齒魷 (*Diodon holocanthus*)、密斑二齒魷 (*Diodon*

Fig. 7 Redundancy analysis correlation bi-plot of Hellinger-transformed biological data constrained by standardized environmental variables and sample sites. An: anchovy eggs; sarda: *Sarda orientalis* eggs; fish: fish larvae; cepha: cephalopod larvae; zoo: zooplankton; dens: seawater density; sal: seawater salinity; temp: seawater temperature; chla: seawater chlorophyll-a; W.depth: water depth.

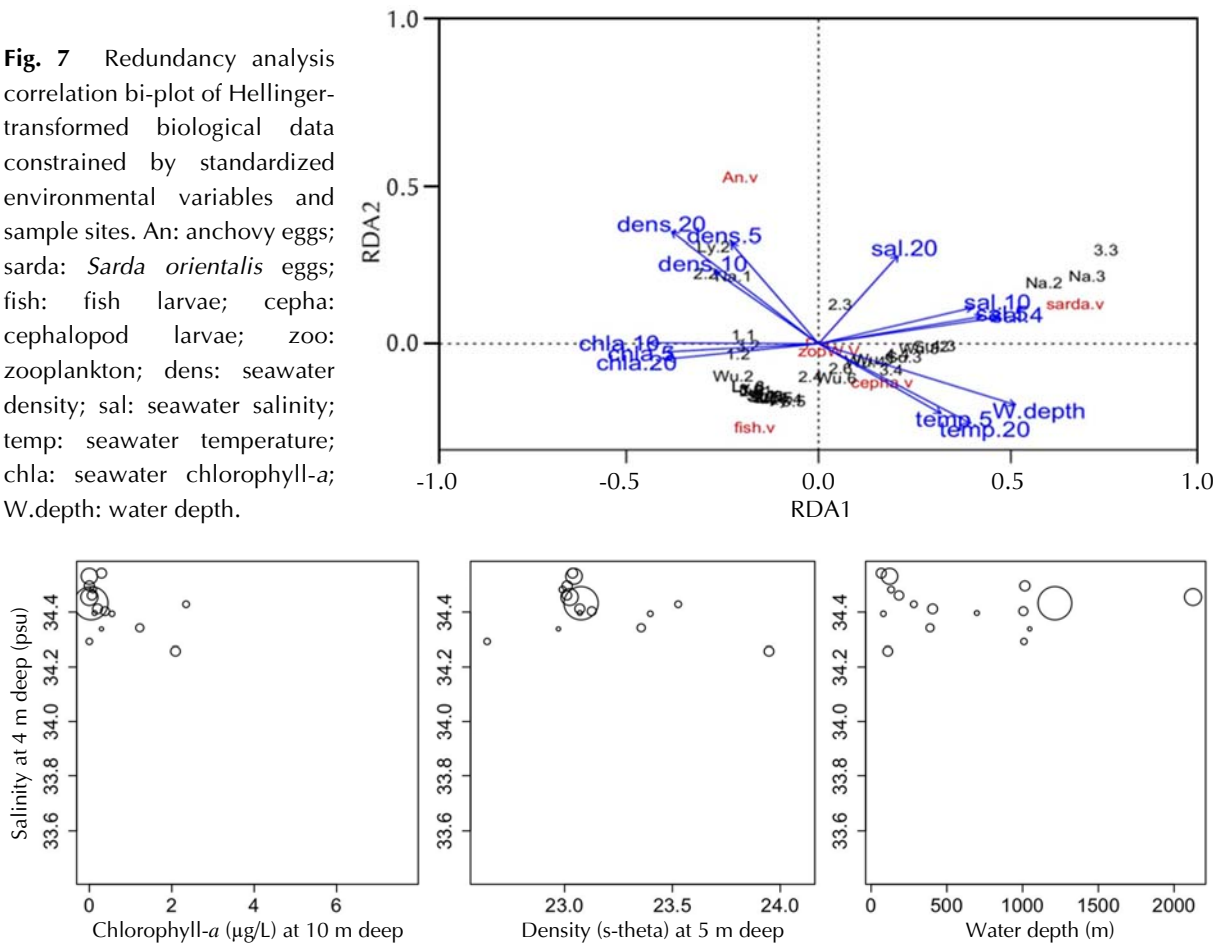


Fig. 8 The distribution patterns of *Sarda orientalis* eggs (represented by circles) across four hydrological variables.

hystrix)、部分鰻形目 (*Anguilliformes* sp.)、擬金眼鯛科 (*Pempheridae* sp.)、充金眼鯛屬 (*Parapriacanthus* sp.) 等等 (Shao *et al.*, 2001; Shao *et al.*, 2002; 張, 2008; 邵等, 2016)。鰻科魚卵為橢圓形，可從外觀與其他魚卵區分，故在早期分子生物學鑑種不普及時即可用在魚卵生產模式 (Lasker, 1985)，其餘單油球卵膜平滑之球形魚卵，若要套用魚卵生產模式則勢必使用分子鑑種以確認魚種 (Ward *et al.*, 2009; Neira *et al.*, 2015; 陳等, 2022)。齒鱈魚卵直徑較大約在 1.3 mm，是鱈科魚類唯一具有多油球特徵的魚種。腔吻鱈科魚卵雖同樣出現在宜蘭灣且具多油球特徵，但其卵徑約在 1 mm 且卵膜有網狀結構物，不需分子鑑種即可與齒鱈魚卵區分開來，可知齒鱈相當適合用日魚卵生產模式來推估產卵資源量。

懸浮魚卵的調查方式一般分為表水層採集與全有光層採集。表層採集 (丘, 1999; Shao *et al.*,

2001) 是將網具保持在船尾不受浪花影響的距離中，在水下 1–2 m 拖曳十分鐘；全有光層採集則是下放至離底 10 m 或最深至 200 m 為止，依船隻性能垂直上收或斜向回收。全有光層採集為魚卵生產模式慣用方式 (Neira *et al.*, 2015; ICES, 2019; Rodriguez, 2019)。鰻科魚卵與仔稚魚主要出現在淺水層，較常使用表水層採集 (Olivar, 1990; Alexandra Curtis, 2004)，但北方鰻魚卵亦會出現中水層魚卵最多的情形 (Alexandra Curtis *et al.*, 2007)；魚卵跟仔稚魚有中層豐度最大化或在混合層均勻分布的現象 (Olivar, 1990; Sundby and Kristiansen, 2015)；且魚類受精卵在胚胎發育過程比重會改變 (Coombs, 1981; Tzeng and Wang, 1993; Jung *et al.*, 2013)，研究顯示風浪大時魚卵會垂直分布在更廣的水層 (Tanaka and Franks, 2008; Jung *et al.*, 2013)，這些調適都有利於魚卵進入適當水團延續生活史。當目標魚種的魚卵分布不侷

限在表水層時，表水層採集法就會低估整個水層中的魚卵數量，如邵等 (2016) 在宜蘭灣以多層網採集，顯示多數魚卵是在 100 m 以淺表水層，但齒鯨魚卵可以在 100 m/200 m 水深採集到。因此，魚卵調查應視目標魚種生活史特性與研究主題調整。本研究以斜拖方式垂直採樣混合層水體，應足以解釋齒鯨魚卵的空間分布特性。

魚卵的比重會影響魚卵能懸浮在多深的水層，以便隨著水團被水平輸送到適當的哺育場。魚卵受到水溫而發生的體積變化，基本上接近於周遭海水因水溫產生的變化，水溫不會導致魚卵的浮力有明顯變化，因此鹽度才是影響魚卵浮力的主要原因 (Sundby and Kristiansen, 2015)。硬骨魚類的受精卵能調節鹽度在一個恆定的範圍，因此魚卵的比重會維持在一個固定範圍中，非受精卵無此能力則會下沉至深海 (Coombs, 1981; Castro and Huber, 2005)。沿岸水域因受到陸源淡水影響，鹽度垂直剖面大致是呈現表低深高現象，因此具備正浮力的表水性 (pelagic) 魚卵可以被限制在混合層中不會下沉 (Sundby and Kristiansen, 2015)。過往研究指出大西洋鯖 (Coombs, 1981) 與白腹鯖 (Jung *et al.*, 2013) 皆為大洋性近岸產卵魚種，其表水性魚卵會懸留在混合層中，Lin *et al.* (2016) 從齒鯨仔稚魚分布水團特性，將齒鯨歸屬為大洋性近岸魚種。從齒鯨習性為大洋性近岸魚種，且本研究發現其亦在近岸產卵，推論齒鯨魚卵應屬具正浮力之表水性魚卵，這可能是本研究發現表層水文參數較能解釋齒鯨魚卵分布的原因。

如前所述，鹽度才是影響海中魚卵浮力的決定因子，本研究亦發現表水鹽度是解釋齒鯨魚卵分布最佳水文因子。從 Fig. 8 可以看出齒鯨魚卵僅出現在鹽度 >34.2 psu 海域，此高鹽度表水海域呈帶狀分布在宜蘭灣海域樣區中央區 (Fig. 2C)，往西或往東兩側測站表水鹽度都呈下降現象，推測主要產卵場應該是在蘇澳東北緣淺灘至南澳外海，表水呈現高鹽度低葉綠素海域。有採集到齒鯨魚卵的測站鹽度垂直剖面都是表低深高，只有龜山島東北方 Wu.3/Wu.4 出現相反的表高深低特徵，因為此處約 40 m 深處有低溫低鹽海水分布，應為沿臺灣北海岸向東南流之低溫低鹽近岸冷水 (詹, 2018)，且混合層深度不到 10 m，表水有劇烈的溫度與鹽度躍減現象。推論龜山島西北近岸海域應

該是兩個水團交界鋒面區，表層高鹽海水至此區後往東北而去，無法直行往北，龜山島北側的齒鯨魚卵可能是因匯流聚集的結果，而不是主要產卵位置，後續分析將納入魚卵發生程度來找出是否符合上述推論。

大洋性魚類產卵場通常與哺育場遠隔，需要適當的海流導引，並在正確的時間抵達哺育場 (Norcross and Shaw, 1984)，水團的邊界鋒面會是魚卵分布的邊界屏壁，阻止魚卵在外洋水與近岸水間穿梭 (Fernández *et al.*, 1993)。一般懸浮性魚卵產卵場會鄰近渦旋、湧昇等水系，且多半與大型洋流接併，當這些海流輸送系統正常運作時，就能讓進入適當水團的魚卵或仔稚魚順利被輸送到哺育場 (Norcross and Shaw, 1984)。齒鯨魚卵主要分布在表水密度 $\text{den.5} > 23.1$ sigma-t 的海域，即本樣區西北側近岸海域 (Fig. 2B)，推測齒鯨成魚是將魚卵產在表水雖為高溫高鹽，但密度較高的外洋水域中，利用兩水團間的鋒面屏障避免魚卵進入高葉綠素近岸水中，以便隨著海流輸送抵達正確哺育場。至於東側表水密度過低的海域，可能會使魚卵下沉至過深水層而不利輸送。表水葉綠素濃度在此成為最適合分辨沿岸/外洋水的因子 (Fig. 2A)，故是僅次於鹽度外最能解釋齒鯨魚卵分布因子。

宜蘭灣因與黑潮此大型洋流接併，同時有黑潮與宜蘭海脊的互動，並受北方冷水影響，在春夏之際成為眾多魚類的產卵場，素為眾多經濟魚種的產卵場與哺育場 (Wang *et al.*, 2006; Sassa and Tsukamoto, 2010)，陳等 (2022) 亦在宜蘭灣取得諸多經濟魚種魚卵。前述複雜的洋流/地形互動可以從 Fig. 2 水文參數分布中看出，三貂角外海有北方的流系進來，以致表層水文參數出現西北到東南的梯度變化，這應該是造成 Fig. 3 中浮游動物與仔稚魚分布的原因。本研究期間宜蘭灣仔稚魚豐度與動物性浮游生物豐度相符，顯示仔稚魚符合 Sanvicente *et al.* (2006) 假設順利延續生活史，應有利於來年資源再生補充，值得進一步探討主要是哪些魚種佔優勢。

目前臺灣對於齒鯨初期生活史的研究極少，齒鯨仔稚魚會在春夏季出現在臺灣東北海域，及澎湖以北的西部海域，西南及東部海域僅有零星出現 (Chiu and Young, 1995; 丘, 1999; 謝, 2007; 邵, 2016; Lin *et al.* 2016)，齒鯨魚卵則僅在鹽寮與

宜蘭灣海域發現過 (Shao *et al.*, 2001, 2002; 邵, 2016)。在全球變遷下, 魚卵的位置可以用來推斷成魚資源與漁場變動, 無論該魚種是適應新的海域, 建立新的產卵場, 或是遷徙至適當的產卵海域, 藉過魚類浮游期來評估魚種組成, 或其產卵海域的變化是較簡單且經濟的 (Rodriguez, 2019)。魚卵生產模式詳盡且完整的產卵場調查, 可提供完整明確的魚類初期生活史資訊, 本研究確認宜蘭灣為齒鯨主要產卵場之一, 惟後續調查應自熱點南澳外海向南延伸, 以便完整掌握齒鯨產卵場範圍與生態特性。

參考文獻

- 王清要 (1987) 臺灣東部海域產條鰹之生物學研究(一) 體長組長、生殖腺成熟指數和性比. 臺灣省水產試驗所試驗報告, 42: 67-76.
- 丘臺生 (1999) 臺灣的仔稚魚. 國立海洋生物博物館籌備處, 263-264 pp.
- 何昱宣 (2015) 臺灣東北海域齒鯨之年齡與成長研究. 國立臺灣大學理學院海洋研究所 碩士論文, 91pp.
- 邵廣昭 (2016) 利用生命條碼從事臺灣海域魚卵及仔魚分類及生態分布之基礎及其應用性之研究. 科技部補助專題研究計畫成果報告.
- 高敦寶 (2007) 臺灣東北部海域新協發與佳豐定置網漁場漁況變動之比較研究. 國立高雄海洋科技大學漁業生產與管理研究所 碩士論文, 111 pp.
- 張榮樺 (2008) 利用生命條碼方法從事臺灣海域魚類早期生活史之分類研究. 國立臺灣大學生命科學院動物學研究所 碩士論文, 126 pp.
- 陳俊豪 (2006) 臺灣北部沿岸定置網漁場漁獲組成及其豐度變動之研究. 國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系 碩士論文, 99 pp.
- 陳明譽 (2008) 1995-2005年間花蓮沿岸定置網漁場漁獲物平均營養位階變動之研究. 國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系 碩士論文, 82 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.
- 詹森 (2018) 臺灣區域海洋學. 國立臺灣大學出版中心, pp. 136-137.
- 漁業署 (2023) 漁產品批發市場交易行情價 (<https://efish.fa.gov.tw>).
- 謝沐璇 (2002) 臺灣東部黑潮邊緣大洋性洄游鯖科魚類群集之組成變化. 國立東華大學自然資源管理研究所 碩士論文, 70 pp.
- 謝泓諺 (2007) 水文環境對臺灣周邊海域仔稚魚群聚時空分布的影響. 國立中山大學生物科技暨資源研究所 博士論文, 200 pp.
- Ahlstrom, E. H. and G. H. Moser (1980) Characters useful in identification of pelagic marine fish eggs. *CalCOFI Rep.*, XXI: 121-131.
- Ahmed, Q. L. Bat, A. Öztekin, Q. Mohammad Ali, F. Shafiq Ghory and F. Yousuf (2023) Metals levels in *Sarda orientalis* collected from the commercial landings of Karachi Fish Harbor, Pakistan (northern Arabian Sea) and assessment of likely health risks to the consumers. *Spectroscopy Letters*, 56: 73-84.
- Akima, H. and A. Gebhardt (2022) Akima: interpolation of irregularly and regularly spaced data. R package version 0.6-3.4.
- Alexandra Curtis, K. (2004) Fine scale spatial pattern of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) and northern anchovy (*Engraulis mordax*) eggs. *Fish. Oceanogr.*, 13: 239-254.
- Alexandra Curtis, K., D. M. Checkley and P. Pepin (2007) Predicting the vertical profiles of anchovy (*Engraulis mordax*) and sardine (*Sardinops sagax*) eggs in the California Current System. *Fish. Oceanogr.*, 16: 68-84.
- Bat, L., A. Öztekin, E. Arici, F. Şahin and Md. S. Bhuyan (2022a) Trace Element Risk Assessment for the Consumption of *Sarda sarda* (Bloch, 1793) from the mid-South Black Sea Coastline. *Water, Air, & Soil Pollut.*, 233: 441.
- Bat, L., F. Şahin, A. Öztekin and E. Arici (2022b) Toxic Metals in Seven Commercial Fish from the Southern Black Sea: Toxic Risk Assessment of Eleven-Year Data Between 2009 and 2019. *Biol. Trace Elem. Res.*, 200: 832-843.
- Bernal, M., S. Somarakis, P. R. Witthames, C. J. G. van Damme, A. Uriarte, N. C. H. Lo, and M. Dickey-Collas (2012) Egg production methods in marine fisheries: An introduction. *Fish. Res.*, 117-118: 1-5.
- Borcard, D., F. Gillet and P. Legendre (2011) *Numerical Ecology with R*. Springer, New York, U.S.A.
- Castro, P. and M. E. Huber (2005) *Marine biology* (5th ed.), McGraw-Hill, Boston, U.S.A., 160 pp.
- Chiu, T. S. and S. S. Young (1995) Taxonomic description of Scombrid larvae (Pisces: Scombridae) occurred in the waters around Taiwan. *J. Fish. Soc. Taiwan*, 22: 203-211.
- 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.

- 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.
- Fernández, E., J. Cabal, J. L. Acuña, A. Bode, A. Botas and C. García-Soto (1993) Plankton distribution across a slope current-induced front in the southern Bay of Biscay. *J. Plankton Res.*, 15: 619-641.
- Froese, R. and D. Pauly (2023) FishBase (www.fishbase.org).
- ICES (2019) Manual for mackerel and horse mackerel egg surveys, sampling at sea. Series of ICES Survey Protocols SISP 6. International Council for the Exploration of the Sea, Denmark.
- Jung, K. M., S. K. Kang, H. K. Cha and K. H. Choi (2013) Buoyancy and vertical distribution of mackerel *Scomber japonicus* eggs in Korean waters. *Korean J. Fish. Aqua. Sci.*, 46: 957-965.
- Kaji, T., M. Kodama, H. Arai, M. Tagawa and M. Tanaka (2002) Precocious development of the digestive system in relation to early appearance of piscivory in striped bonito *Sarda orientalis* larvae. *Fish. Sci.*, 68: 1212-1218.
- Keane, J. P. and F. J. Neira (2008) Larval fish assemblages along the south-eastern Australian shelf: linking mesoscale non-depth-discriminate structure and water masses. *Fish. Oceanogr.*, 17: 263-280.
- Kim, H. J. and J. M. Jeong (2020) Diet Composition of Oriental Bonito (*Sarda orientalis*) in Coastal Waters of Jeju Island, Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 32: 8-13.
- Kumar, S., G. Stecher, M. Li, C. Knyaz and K. Tamura (2018) MEGA X: molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Mol. Biol. Evol.*, 35: 1547-1549.
- Lasker, R. (1985) An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to northern anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Technical Report NMFS 36, National Oceanic and Atmospheric Administration, California, U.S.A.
- Lin, H. Y., M. Y. Chiu, Y. M. Shih, I. S. Chen, M. A. Lee and K. T. Shao (2016) Species composition and assemblages of ichthyoplankton during summer in the East China Sea. *Cont. Shelf Res.*, 126: 64-78.
- Lu, H. J. and H. L. Lee (2014) Changes in the fish species composition in the coastal zones of the Kuroshio Current and China Coastal Current during periods of climate change: Observations from the set-net fishery (1993-2011). *Fish. Res.*, 155: 103-113.
- Neira, F. J., R. A. Perry, C. P. Burridge, J. M. Lyle and J. P. Keane (2015) Molecular discrimination of shelf-spawned eggs of two co-occurring *Trachurus* spp. (Carangidae) in southeastern Australia: a key step to future egg-based biomass estimates. *ICES J. Mar. Sci.*, 72: 614-624.
- Norcross, B. L. and R. F. Shaw (1984) Oceanic and estuarine transport of fish eggs and larvae: A review. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 113: 153-165.
- Oksanen, J., G. Simpson, F. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P. Minchin, R. O'Hara, P. Solymos, M. Stevens, E. Szoecs, H. Wagner, M. Barbour, M. Bedward, B. Bolker, D. Borcard, G. Carvalho, M. Chirico, M. De Caceres, S. Durand, H. Evangelista, R. FitzJohn, M. Friendly, B. Furneaux, G. Hannigan, M. Hill, L. Lahti, D. McGlenn, M. Ouellette, E. Ribeiro Cunha, T. Smith, A. Stier, C. Ter Braak and J. Weedon (2022). Vegan: community ecology package. R package version 2.6-4.
- Olivar, M. P. (1990) Spatial patterns of ichthyoplankton distribution in relation to hydrographic features in the Northern Benguela region. *Mar. Bio.*, 106: 39-48.
- Ortega, G. A. and F. de la Gándara (2008) Effect of temperature on embryonic development of Atlantic bonito, *Sarda sarda*. Proc. EAS 2008 Krakow (Poland), 490-491.
- Ortega, G. A. (2016) Cultivo integral de dos especies de escómbridos: Atún rojo del Atlántico (*Thunnus thynnus*, L. 1758) Bonito Atlántico (*Sarda sarda*, Bloch 1793). Proyecto de investigación.
- Pepe-Victoriano, R., H. Aravena-Ambrosetti and G. E. Merino (2022) Breeding of a wild population of south pacific bonito *Sarda chiliensis chiliensis* (Cuvier 1832) broodstock under laboratory conditions in Pisagua, Northern Chile. *Animals.*, 12, 24.
- Pepe-Victoriano, R., L. Miranda, A. Ortega and G. Merino (2021) First natural spawning of wild-caught premature south pacific bonito (*Sarda chiliensis chiliensis*, Cuvier 1832) conditioned in recirculating aquaculture system and a descriptive characterization of their eggs embryonic development. *Aqua. Rep.*, 19: 100563.
- R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (<https://www.R-project.org/>).
- Rodríguez, J. M. (2019) Assemblage structure of

- ichthyoplankton in the NE Atlantic in spring under contrasting hydrographic conditions. *Sci. Rep.*, 9: 8636.
- Sanvicente-Añorve, L., L. A. Soto, Ma. L. Espinosa-Fuentes and C. Flores-Coto (2006) Relationship patterns between ichthyoplankton and zooplankton: A conceptual model. *Hydrobiologia*, 559: 11-22.
- 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.
- Shao, K. T. (2023) The Fish Database of Taiwan (<http://fishdb.sinica.edu.tw>).
- Shao, K. T., J. S. Yang, K. C. Chen and Y. S. Lee (2001) An identification guide of marine fish eggs from Taiwan. Institute of Zoology, Academia Sinica, Taipei.
- Shao, K. T., K. C. Chen and J. H. Wu (2002) Identification of marine fish eggs in Taiwan using light microscopy, scanning electron microscopy and mtDNA sequencing. *Mar. Freshw. Res.*, 53: 355-365.
- Steinke, D. and R. Hanner (2011) The FISH-BOL collaborators' protocol. *Mitochondrial DNA*, 22: 10-14.
- 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(10): e0138821.
- Tanaka, Y. and P. J. S. Franks (2008) Vertical distributions of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) eggs: comparison of observations and a wind-forced Lagrangian mixing model. *Fish. Oceanogr.*, 17: 89-100.
- Tzeng, W. N. and Y. T. Wang (1993) Hydrography and distribution dynamics of larval and juvenile fishes in the coastal waters of the Tanshui River estuary, Taiwan, with reference to estuarine larval transport. *Mar. Biol.*, 116: 205-217.
- Wang, Y. T., C. L. Lee, C. I. Pan, S. H. Wu, C. T. Tseng and Y. X. Cheng (2006) Species composition and distribution of fish larvae and juveniles in the waters off northeastern Taiwan in Spring 2005 with particular reference to mackerel and scad. *J. Taiwan Fish. Res.*, 14(2): 27-44.
- Wood, S. N. (2011) Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *J. R. Stat. Soc., Ser. B*, 73(1): 3-36.

The Hydrological Characteristics of Oriental Bonito (*Sarda orientalis*) Eggs Distribution in the Bay of Yilan

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

¹Penghu Fishery Research Center, Fisheries Research Institute

²Marine Fisheries Division, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

Oriental bonito (*Sarda orientalis*) migrate to the the bay of Yilan to spawn from winter to spring every year. During the spawning season, *S. orientalis* are more delectable as they are plumper. However, little is known about its early life. Each *S. orientalis* egg is a sphere with a diameter of approximately 1.3 mm, exhibiting pelagic and isolated characteristics. It is the only economically significant pelagic fish species in Taiwan whose eggs are enriched with oil globules. In this study, 118 eggs were collected from the key spawning area (the bay of Yilan) off northeastern Taiwan during March 2022. Of the 38 sampling stations, 16 had *S. orientalis* eggs, and the highest density of eggs was recorded in the waters off Nan'ao. We report that the presence or absence of *S. orientalis* eggs is closely linked to a combination of waters 4 m deep with mean salinity larger than 34.2 psu and waters 10 m deep with mean chlorophyll-*a* concentration of less than 1 µg/L. The relationships between the ichthyoplankton and the zooplankton abundance observed in our research exhibit a positive pattern. Our findings provide the first report on the response of *S. orientalis* eggs distribution to the specific hydrological variables in Taiwan, offering insights for future stock management and sustainability of *S. orientalis*.

Key words: daily egg production method, hydrological variable, spawning ecology

*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

Reproductive Biology of the Redtail Prawn, *Penaeus penicillatus*, in the Southwestern Waters of Taiwan

Yi-Shu Wu, Yang-Chi Lan, Jian-Chih Huang, Yu-Kai Chen* and Jinn-Shing Weng

Coastal and Offshore Fishery Research Center, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

The redtail prawn, *Penaeus penicillatus*, is commercially important for bottom trawling and shrimp beam trawling in the southwestern waters of Taiwan. However, no histological study of this species based on wild samples has been conducted. In this work, the reproductive biology of *P. penicillatus* was studied based on monthly samples collected in the southwestern waters of Taiwan from December 2020 to December 2021. The total length (TL) ranged from 84.5 to 253.3 mm for 634 females, while body weight (BW) varied from 7.2 to 140.2 g. For 956 males, minimum and maximum sizes were 78.3 and 181.7 mm TL, respectively, while BW ranged from 6.0 to 53.9 g. The relationship between TL and BW was $BW = 8.0 \times 10^{-5} TL^{2.61}$ ($R^2 = 0.93$, $n = 1,590$), and there were no statistically significant differences between females and males. The overall sex ratio was 0.40 ($X^2 = 65.21$, $p < 0.001$), but females were significantly more common among individuals larger than 165 mm TL. In addition, monthly sex ratios fluctuated from 0.19 to 0.51 without a systematic pattern. Reproductive activity, assessed using histology and the gonadosomatic index (GSI), indicated that mature females could be found during February to May and August to November, with peak spawning occurring from February to May. For females, the minimum size at maturity and estimated length at 50% maturity were 87.3 mm TL and 169.3 mm TL, respectively.

Key words: *Penaeus penicillatus*, length at maturity, gonadosomatic index, spawning season

INTRODUCTION

The redtail prawn, *Penaeus penicillatus* (Alcock, 1905), is widely distributed in the tropical and subtropical waters of the Indo-West Pacific region. It inhabits coastal waters of southwestern Taiwan and has a bathymetric distribution ranging from depths of 2 to 90 m (Yu and Chan, 1986; Taiwan Large Crustacean Database, 2022). *P. penicillatus* is commercially important for small-scale bottom trawling and shrimp beam trawling in the southwestern waters of Taiwan. In addition, there were

previous attempts of artificial breeding of *P. penicillatus* for aquaculture (Liao, 1988; Miao, 1992; Miao, 1995). However, in captivity the growth rate declines rapidly when the shrimp reaches 10 cm (Chen *et al.*, 1988).

Li (1990) studied ovarian development and steroid concentrations of *P. penicillatus* from Taiwanese waters in captivity. Lin (1989) confirmed that the populations of *P. penicillatus* in the southwestern waters of Taiwan (Donggang, Kaohsiung, and Chiayi) belonged to the same unit stock. For *P. penicillatus* populations in waters along the Pakistani coast of the Arabian Sea, two spawning peaks were reported on the basis of ovary color and histology (Ayub and Ahmed, 2002). Moreover, sexual maturity was attained when *P. penicillatus* reached 66 to 70 mm in length in Indian waters of the Arabic Sea (Patel *et al.*, 2011).

*Correspondence: No. 6, Yugang N. 3rd Rd., Qianzhen Dist., Kaohsiung City 806, Taiwan. TEL: (07) 821-8103 ext. 232; Fax: (07) 821-8205; E-mail: ykchen@mail.tfrin.gov.tw

The shrimp fishery is important in the coastal waters of southwestern Taiwan. However, the information available on the reproductive biology of *P. penicillatus* is too scarce to permit sustainable management and exploitation of this resource in the waters of Taiwan. Consequently, the lack of adequate knowledge of its reproductive biology remains an impediment to proper management and conservation. Therefore, the present study describes the reproductive biology of *P. penicillatus* from the southwestern waters of Taiwan in relation to ovarian maturation, size at maturity, and spawning season.

MATERIALS AND METHODS

1. Sampling and Measurements

Monthly samples were randomly collected by commercial bottom trawling and shrimp beam trawling at Dongshi fishing harbor in Chiayi County from December 2020 to December 2021. No samples were available in June 2021 due to the quarantine measures in Taiwan. The specimens were sexed according to the presence of a petasma for males and a thelycum for females. The total length (TL) was measured from the posterior margin of the orbit notch of the carapace to the end of the telson to the nearest 0.1 mm. Body weight (BW) and gonad weight (GW) were measured to the nearest 0.01 g. A subset of samples was selected, and the ovaries of these specimens were removed, measured, and fixed with 10% formalin for further histological analysis.

2. Data Analysis

(1) Gonadosomatic index

The gonadosomatic index (GSI) was determined for each individual female by following the methods of Uosaki and Bayloff (1999) and Armas *et al.* (2006):

$$\text{GSI} = (\text{GW}/\text{female BW}) \times 100$$

(2) Macroscopic staging of ovarian maturity

Ovarian development was determined visually and categorized into four consecutive stages based on the macroscopic ovarian staging of Motoh (1978)

and Li (1990):

A. Undeveloped stage

Ovaries are very thin and small relative to other organs. They are translucent and very flaccid. Oocytes are at the oogonial stage or chromatin nucleolar stage.

B. Developing stage

Developing ovaries can easily be distinguished from other tissues. They are larger than undeveloped ovaries. Fresh ovaries are cream white. Oocytes are at the perinucleolar stage to the pre-yolk stage.

C. Nealy ripe stage

Ovaries are large and turgid. Fresh ovaries are buff to yellow. Oocytes are at the yolk globular stage.

D. Ripe stage

Ovaries are at full size and are rigid and green to dark green. Oocytes are at the early cortical alveolar stage to the late cortical alveolar stage.

Subsequently, the proportions of specimens in each stage in each month were illustrated to reveal the temporal development of the ovaries of females.

(3) Histological analysis of ovaries

The performance of macroscopic staging based on the appearances of ovaries and the GSI in assessing ovarian maturity status was verified by histological examination. The processing of the ovaries, including dehydration, clearing, infiltration, and embedding, followed that of Humason (1967) and Ayub and Ahmed (2002). The ovaries embedded in paraffin were sliced into 5 μm sections and then stained with hematoxylin and counter-stained with eosin, coverslipped with a mounting medium, and examined under a microscope. Previous studies found no difference in maturation stage with respect to ovary position (Niamaimandi *et al.*, 2008; Rahman and Ohtomi, 2020). Therefore, tissue samples extracted from the anterior regions of the abdominal lobes were used for further histological analysis to determine the developmental stages of the oocytes.

Additionally, the mean diameters of oocytes were determined from measurements of the histological

Table 1 Specimens of *Penaeus penicillatus* collected from December 2020 to December 2021 in the southwestern waters of Taiwan

Year	Month	Female			Male			Total
		N	Range of TL (mm)	Range of BW (g)	N	Range of TL (mm)	Range of BW (g)	
2020	Dec.	97	107.7-253.3	14.2-140.2	157	118.7-178.8	20.1-51.7	254
2021	Jan.	55	140.9-191.1	35.0-77.0	90	138.7-164.5	31.0-48.3	145
	Feb.	59	129.6-203.4	25.2-99.9	82	128.2-164.0	23.3-53.9	141
	Mar.	51	122.2-189.8	20.0-85.0	117	107.1-163.5	14.1-52.6	168
	Apr.	78	106.7-195.2	13.1-88.5	77	121.9-181.7	14.3-48.4	155
	May	11	99.8-194.7	11.9-82.3	48	107.5-156.3	15.1-44.2	59
	Jun.	0	–	–	0	–	–	0
	Jul.	40	98.9-151.3	9.6-40.7	54	92.9-141.3	8.9-30.7	94
	Aug.	65	84.5-151.4	7.2-50.1	103	78.3-125.7	6.0-29.9	168
	Sep.	44	112.8-200.0	15.4-93.8	43	100.5-152.5	11.4-39.5	87
	Oct.	42	104.9-162.4	15.2-56.5	71	116.5-149.0	20.5-49.0	113
	Nov.	40	115.2-164.1	28.1-73.8	40	111.8-148.9	26.3-46.6	80
	Dec.	52	95.8-171.0	12.0-84.9	74	90.4-153.6	11.9-46.7	126
Total		634	84.5-253.3	7.2-140.2	956	78.3-181.7	6.0-53.9	1590

N, sample number; TL, total length; BW, body weight

samples at different ovarian stages. For each stage, 10 to 25 samples were chosen, and 3 to 6 oocytes were measured for each sample; the measurements of all oocytes were then averaged to represent the mean diameter of oocytes of a given stage.

(4) Sex ratio

The sex ratio (%) was determined by counting the numbers of males and females by month and by size classes and assessing them using a chi-squared (χ^2) test.

Sex ratio = the number of females / (the numbers of females + males) \times 100%

(5) Length at 50% maturity

The length at maturity is defined as the length at which the ovaries are in the developing stage, the nearly ripe stage, or the ripe stage according to the GSI. Minimum size at maturity was determined by directly comparing ovary maturation stage with TL. The length at which 50% of all individuals were mature was determined by modeling the size-specific

proportion of mature ovaries in each 15 mm TL class. A conventional logistic equation as described by King (1995) was used to quantify such a relationship:

$$\text{Pr} = 1/(1 + e^{a+b\text{TL}})$$

Pr: Proportion of mature individuals in a size class

TL: Total length

a, b: Constants

RESULTS AND DISCUSSION

1. Sex Ratio

From December 2020 to December 2021, a total of 1,590 specimens of *P. penicillatus* were collected, of which 634 were female and 956 were male. The TL ranged from 84.5 to 253.3 mm for females, while BW varied from 7.2 to 140.2 g (Table 1). For males, minimum and maximum sizes were 78.3 and 181.7 mm TL, respectively, while BW varied from 6.0 to 53.9 g.

Monthly variation in sex ratio is described in Table 2. The overall sex ratio during the sampling period was 0.40, which differed significantly from 0.5 ($\chi^2 = 65.21, p < 0.001$). In addition, the monthly sex

Table 2 Monthly sample sizes of female and male *Penaeus penicillatus* collected from December 2020 to December 2021 in the southwestern waters of Taiwan

Year	Month	Female	Male	Sex ratio (%)	χ^2	<i>p</i> -value
2020	Dec.	97	157	0.38	14.17	0.00017*
2021	Jan.	55	90	0.38	8.45	0.00365*
	Feb.	59	82	0.42	3.75	0.05275
	Mar.	51	117	0.30	25.93	0.00000*
	Apr.	78	77	0.50	0.01	0.93598
	May	11	48	0.19	23.20	0.00000*
	Jun.	0	0	–	–	–
	Jul.	40	54	0.43	2.09	0.14874
	Aug.	65	103	0.39	8.60	0.00337*
	Sep.	44	43	0.51	0.01	0.91462
	Oct.	42	71	0.37	7.44	0.00637*
	Nov.	40	40	0.50	0.00	1.00000
	Dec.	52	74	0.41	3.84	0.05001
Total		634	956	0.40	65.21	0.00000*

Sex ratio is the percentage of females in monthly or total samples. Asterisks indicate statistical significance of chi-square (χ^2) tests at $p < 0.05$.

Table 3 Sample sizes of female and male *Penaeus penicillatus*, grouped by size class, collected from December 2020 to December 2021 in the southwestern waters of Taiwan

Length (mm)	Female	Male	Sex ratio (%)	χ^2	<i>p</i>	Length (mm)
75	0	0	–	–	–	75
90	3	4	42.3	0.14	0.7055	90
105	7	33	20.5	15.36	0.0001*	105
120	54	131	29.3	36.53	$p < 0.05^*$	120
135	85	178	32.1	43.45	$p < 0.05^*$	135
150	118	181	41.2	11.65	0.0006*	150
165	111	254	33.6	41.68	$p < 0.05^*$	165
180	93	60	61.8	8.72	0.0031*	180
195	54	1	98.2	51.07	$p < 0.05^*$	195
210	15	0	100	15.00	0.0001*	210
225	1	0	100	1	0.3173	225
240	0	0	–	–	–	240
255	1	0	100	1.00	0.3173	255

Sex ratio is the percentage of females in monthly or total samples. Asterisks indicate statistical significance of chi-square (χ^2) tests at $p < 0.05$.

ratios fluctuated from 0.19 to 0.51 without a systematic pattern. Males were more abundant in most months except for April, September, and November. The proportions of males were significantly higher for size classes under 180 mm TL (Table 3), and the proportions of females increased with TL when TL was greater than 180 mm. The proportions of females were significantly higher in larger size classes.

For *Penaeus semisulcatus* in Australia, the sex ratio within the same year class remains at around 1:1 from the time of recruitment to about 1 year of age. Subsequently, the percentage of females declines steadily. At the age of approximately 18 months, females account for only about 25% of the population (Somers and Kirkwood, 1991). For *Penaeus monodon* in southeast Asia, the female to male ratio was higher

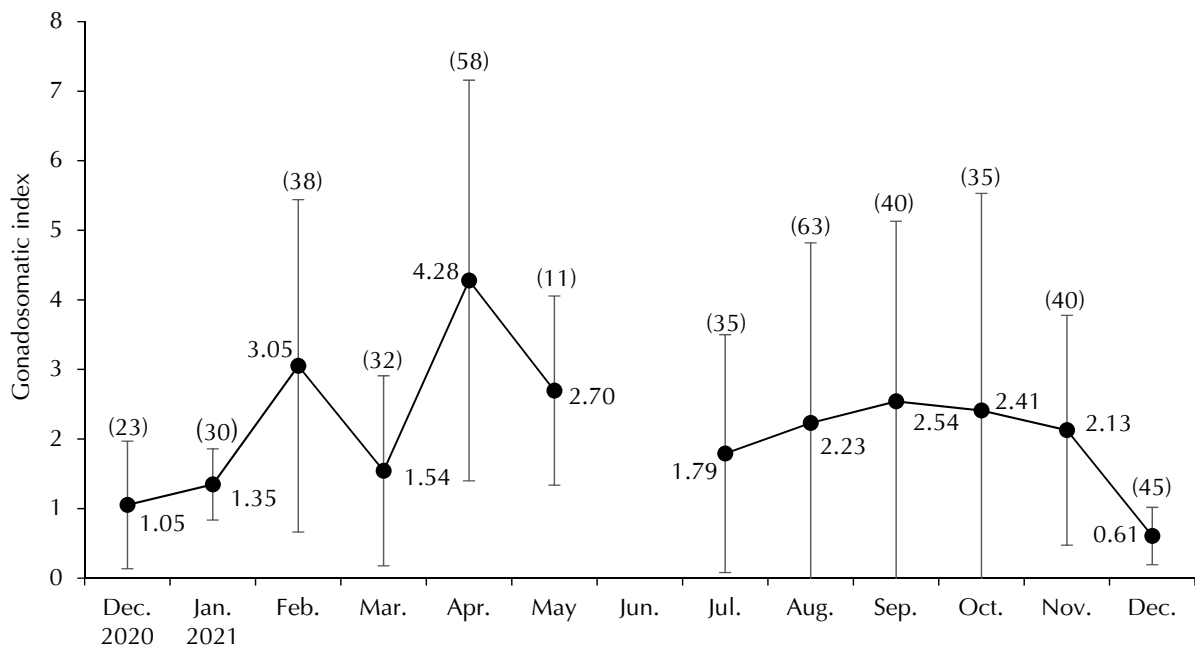


Fig. 1 Monthly changes in the mean gonadosomatic index for female *Penaeus penicillatus* ($N = 450$) in the southwestern waters of Taiwan. Sample sizes are noted in parentheses.

in offshore waters (1.5) than in the nursery areas (1.0) (Motoh, 1984). Because the life history of *P. monodon* contains six phases, i.e., embryo, larva, juvenile, adolescent, subadult, and adult, habitat and ecology change with each stage (Motoh, 1984). The sex ratio may differ among life stages, habitats, and fishing gear used. In this study, the observed sex ratio represents the pattern from samples collected by commercial bottom trawling and shrimp beam trawling in fishing areas located in offshore waters. In the future, more studies of the variation in sex ratio are greatly needed.

2. GSI Variation

Among the 634 female samples, a total of 450 ovaries were successfully removed for GSI measurements. For smaller individuals, some of the ovaries were too small to observe or measure and were excluded from GSI analysis. GSI measurements ranged from 0.61 to 4.28. The GSI remained low in December 2020 and January 2021. It rose from 3.05 in February to a peak of 4.28 in April, slightly decreased in May and July (no samples in June), and increased thereafter to 2.23 in August then decreased to 2.13 in November (Fig. 1). The GSI dropped substantially to a low of 0.61 in December 2021.

3. Developmental Stages of Oocytes

Among the 450 ovaries removed, 120 samples were randomly selected for further histological analysis. Based on previous studies (Li, 1990; Ayub and Ahmed, 2002; Niamaimandi *et al.*, 2008), seven oogenesis stages were defined for *P. penicillatus* using microscopic characteristics (Fig. 2). Descriptions are as follows:

(1) Oogonial stage

Oocytes were small (<0.02 mm) and could not be distinguished easily (Fig. 2A). Chromatin was dyed deep purple by hematoxylin. (Sample size (N) = 10; 3 oocytes were measured for each sample).

(2) Chromatin nucleolar stage

Chromatin nucleolar cells (0.02-0.04 mm) contained a thin layer of cytoplasm and a large nucleus (Fig. 2B). ($N=10$; 3 oocytes were measured for each sample).

(3) Perinucleolar stage

Perinucleolar oocytes were large (0.04-0.05 mm), and the cytoplasmic region was clear (Fig. 2C). The

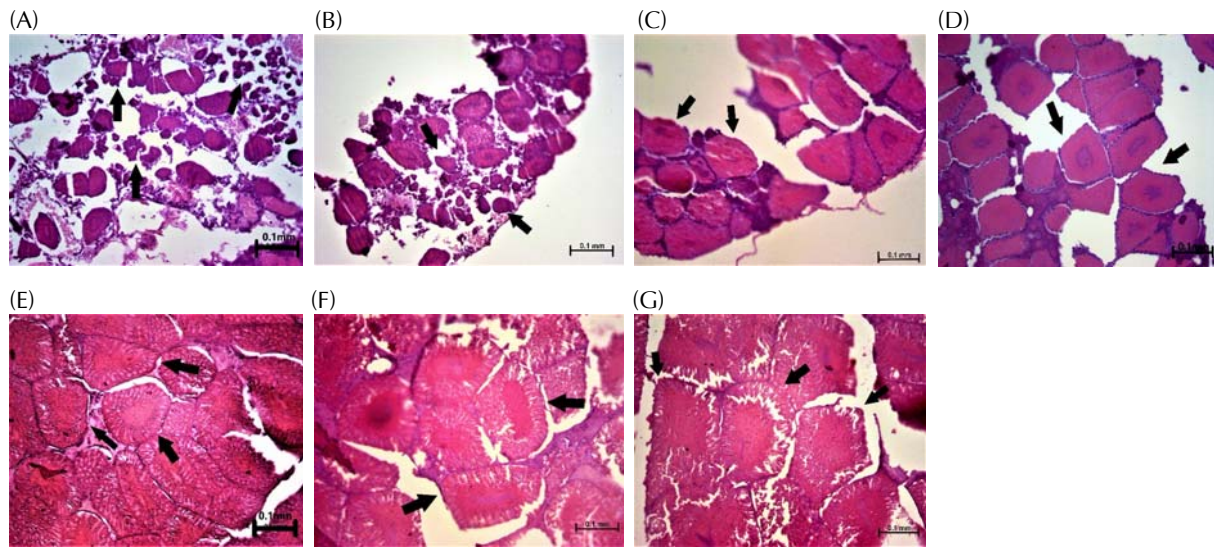


Fig. 2 Histological sections of the ovaries of *Penaeus penicillatus*, illustrating oocytes at different maturation stages. (A) Oogonial stage, (B) chromatin nucleolar stage, (C) perinucleolar stage, (D) pre-yolk stage, (E) yolk globular stage, (F) early cortical alveolar stage, and (G) late cortical alveolar stage.

nucleus was well-formed. ($N = 15$; 3 oocytes were measured for each sample).

(4) Pre-yolk stage

Oocytes had continued to grow larger (0.05-0.09 mm) and were oval in shape (Fig. 2D). The nucleus had a clear nuclear membrane. Follicle cells were visible on the outer surfaces of the oocytes. ($N = 20$; 4 oocytes were measured for each sample).

(5) Yolk globular stage

Yolk granules were present in the cytoplasmic region (Fig. 2E). Each oocyte (0.08-0.19 mm) was surrounded by a layer of elongated follicle cells, which were less distinguishable. ($N = 20$; 6 oocytes were measured for each sample).

(6) Early cortical alveolar stage

The follicle cells on the outer layer of the oocytes became even thinner (Fig. 2F). The rod-shaped cortical bodies (0.005-0.008 mm in diameter) were observed at the inner periphery of oocytes. Oocytes were larger than 0.19 mm. ($N = 25$; 6 oocytes were measured for each sample).

(7) Late cortical alveolar stage

The cortical bodies in the chromatin of oocytes

had grown larger (>0.03 mm). Follicle cells enveloping the oocytes with cortical bodies were not distinguishable (Fig. 2G). ($N = 20$; 6 oocytes were measured for each sample).

4. Ovarian Development

The maturity of the ovary of was determined by its shape and coloration, variation in the GSI, and histological study. The GSI values and oocyte diameters are described below:

(1) Undeveloped stage

The GSI was less than 0.7. The oocyte diameter ranged from 0.01 to 0.04 mm.

(2) Developing stage

The GSI ranged from 0.8 to 1.6. Oocytes generally ranged from 0.04 to 0.09 mm in diameter.

(3) Nealy ripe stage

The GSI ranged from 1.7 to 3.9. The oocyte diameter ranged from 0.09 to 0.19 mm.

(4) Ripe stage

The GSI was greater than 3.9, and oocytes were larger than 0.19 mm.

The proportions of specimens in each maturation

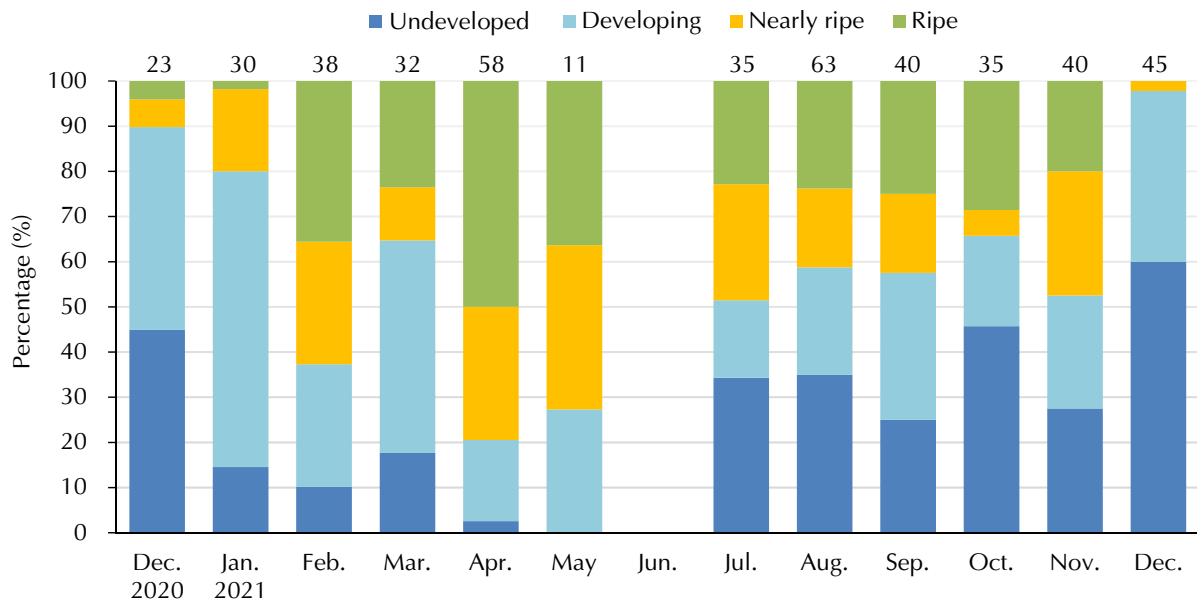
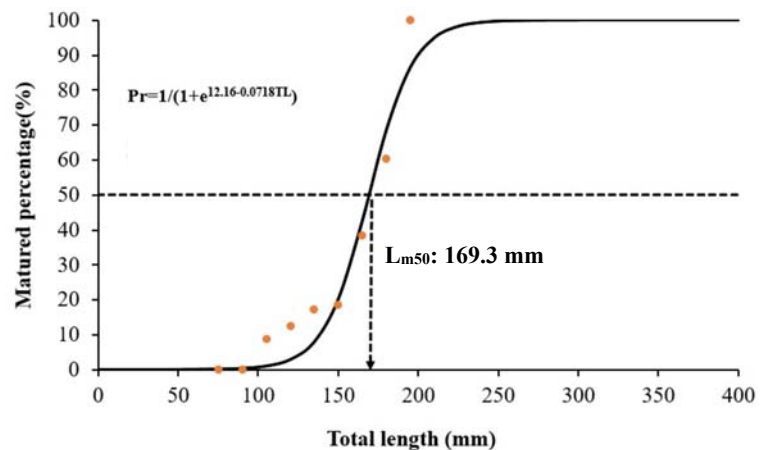


Fig. 3 Monthly variation in the proportions of females in different ovarian maturation stages for *Penaeus penicillatus* in the southwestern waters of Taiwan. Sample sizes are illustrated above each bar.

Fig. 4 Relationship between the percentage of mature individuals and total length for female *Penaeus penicillatus* collected in the southwestern waters of Taiwan. Length at 50% maturity (L_{m50}) is indicated by dashed lines.



stage in each month were illustrated to reveal the temporal development of female ovaries (Fig. 3). In December 2020, individuals with ovaries in the ripe stage occurred at a low percentage (4.1%). The percentage of ovaries in the ripe stage increased sharply in February (35.6%), was highest in April (50%), and remained high until May (36.4%). Ripe individuals could be found from July through November. The percentages of ovaries in the undeveloped stage also increased from July to November. In December 2021, individuals in the ripe stage were absent. Overall, ovarian development corresponded well with the monthly changes in the GSI and the percentages of individuals in the various maturation stages (Figs. 1, 3).

5. Size at Maturity

The smallest mature female, as determined by macroscopic analysis of the ovary, found in this study was 87.3 mm TL. A total of 450 females ranging from 84.5 to 253.3 mm TL were used to estimate size at maturity. The changes in the proportions of mature females in 15 mm TL size intervals were described by the following logistic curve:

$$Pr = 1 / (1 + e^{12.16 - 0.0718TL})$$

Therefore, the length at 50% maturity (L_{m50}) was estimated to be 169.3 mm TL (Fig. 4).

The development of gonads is a continuous and consecutive progress. Determination of the ovarian

maturation stage is difficult by visual examination of the ovaries alone (Ohtomi *et al.*, 2003). Hence, the histological observation of oocytes is believed to be the most accurate method for the staging of mature females (Ohtomi *et al.*, 2003; Hossain and Ohtomi, 2008). In this study, both methods were adopted to describe the detailed ovarian development of *P. penicillatus* in the southwestern waters of Taiwan.

Among the 11 *Penaeus* species in Taiwan, *P. japonicus*, *P. monodon*, *P. semisulcatus*, and *P. penicillatus* are large and commonly utilized by fisheries (Lee, 2005). However, past studies have focused more on physiology and aquaculture. As a result, information on the reproductive biology of wild *Penaeus* populations in the waters of Taiwan is still lacking. In this study, we estimated the minimum size at maturity and length at 50% maturity to be 87.3 mm and 169.3 mm TL, respectively. Patel *et al.* (2011) estimated that the minimum size at maturity was 66 mm TL in Indian waters. Moreover, the minimum size at maturity was estimated to be 123 mm TL for *P. penicillatus* in Pakistani waters (Ayub and Ahmed, 2002). As growth rates of penaeid shrimps are greatly influenced by environmental factors, such as water temperature, prey, and seasonality (Miao and Tu, 1995; Rahman and Ohtomi, 2018; Rahman and Ohtomi, 2020), the size at maturity for *P. penicillatus* may vary among geographic regions.

6. Spawning Season

The GSI of *P. penicillatus* was highest from February to May (Fig. 1) and remained high until November. The GSI dropped to a low of 0.61 in December 2021. Moreover, the proportions of specimens at different maturation stages for each month also showed that ripe individuals could be found from February to November (Fig. 3), with the highest percentages from February to May. In summary, we found that the monthly changes in the GSI corresponded well with the maturation stages of the ovary. Ayub and Ahmed (2002) reported that the spawning of *P. penicillatus* in waters of the Arabic Sea showed a bimodal pattern. One period of egg laying occurred from February to May, and the other occurred

from July to November. Another study revealed that the main spawning season was from March to May along the Guangdong coastal waters of China (Wang *et al.*, 2021). In conclusion, this study found that mature females of *P. penicillatus* in the southwestern waters of Taiwan could be found during a prolonged spawning season, from February to May and from August to November, and that the peak spawning season occurred from February to May.

Studying the reproductive biology of *P. penicillatus* is crucial for sustainable fishery management practices. Understanding factors like spawning seasons, spawning areas, and reproductive potential aids in setting appropriate fishing quotas and regulations. To prevent overexploitation, fishing pressure should be reduced during the peak spawning season. In the future, more studies on the life history of *P. penicillatus* populations are needed to design effective conservation strategies.

REFERENCES

- Armas, R. G., K. T. Alexander and H. H. Agustin (2006) Evidence of billfish reproduction in the southern Gulf of California, Mexico. *Bull. Mar. Sci.*, 79: 705-717.
- Ayub, Z. and M. Ahmed (2002). Maturation and spawning of four commercially important penaeid shrimps of Pakistan. *Indian J. Mar. Sci.*, 31: 119-224.
- Chen J. C., P. C. Liu, Y. T. Lin and C. K. Lee (1988) Super Intensive Culture of Red-Tailed Shrimp *Penaeus penicillatus*. *World Aqua. Soc.*, 19(3): 127-131.
- Hossain, Y. and J. Ohtomi (2008) Reproductive Biology of the Southern Rough Shrimp *Trachysalambria Curvirostris* (Penaeidae) in Kagoshima Bay, Southern Japan. *J. Crust. Biol.*, 28(4): 607-612.
- Humason G. L. (1967) *Animal Tissue Techniques*, W. H. Freeman, San Francisco, 569 pp.
- King, M. (1995) *Fisheries biology, assessment and management*. Oxford : Fishing News Book; Blackwell Science, Cambridge, Mass. Distributors, 341 pp.
- Lee, D. A. (2005) *Classification Studies on the Penaeoid Shrimps*. FRI Special Publication No.6: 25-32.
- Li, Z. H. (1990) Ovarian development and steroidal changes in the hemolymph of red tail shrimp, *Penaeus penicillatus* Alcock. National Taiwan University, Master Thesis, 78 pp.

- Liao, I. C. (1988) Feasibility study for alternative culture species in Taiwan - *Penaeus penicillatus*. World Aqua. Soc., 19(4): 227-236.
- Lin, J. C. (1989) A population genetics study of *Penaeus penicillatus* in Taiwan. National Taiwan University, Master Thesis, 62 pp.
- Miao, S. (1992) Thermocycle effect on the growth rate of redbtail shrimp *Penaeus penicillatus* (Alock). Aquaculture, 102(4): 347-355.
- Miao, S. and S. C. Tu (1995) Modeling thermal effect on growth of chinese shrimp, *Penaeus chinensis* (Osbeck). Eco. Modell., 80: 187-196.
- Motoh, H. (1978) Preliminary histological study of the ovarian development of the giant tiger prawn, *Penaeus monodon*. SEAFDEC Aqua. Dep. Tech. Rep., 2(4): 4-6.
- Motoh, H. (1985) Biology and ecology of *Penaeus monodon*. In Taki Y., Primavera J. H. and Llobrera J. A. (Eds.). Proceedings of the First International Conference on the Culture of Penaeid Prawns/Shrimps, 4-7 December 1984, Iloilo City, Philippines (pp. 27-36).
- Niamaimandi, N., A. Aziz, D. SitiKhalijah, S. CheRoos and B. Kiabi (2008) Reproductive biology of the green tiger prawn (*Penaeus semisulcatus*) in coastal waters of Bushehr, Persian Gulf. ICES J. Mar. Sci., 65: 1593-1599.
- Ohtomi, J., T. Tashiro, S. Atsuchi and N. Kohno (2003) Comparison of spatiotemporal patterns in reproduction of the kuruma prawn *Marsupenaeus japonicus* between two regions having different geographic conditions in Kyushu, southern Japan. Fish. Sci., 69: 505-519.
- Patel, R. I., M. N. Prasad and A. P. Mansuri (2011) Length-weight relationship and relative condition in the Penaeid *Penaeus Penicillatus* (Alcock). Indian J. Fish., 33(1), 112-114.
- Rahman, M. M. and J. Ohtomi (2018) Relative growth and morphological sexual maturity of the deep-water velvet shrimp *Metapenaeopsis sibogae* (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). Invertebr. Reprod. Dev., 62: 125-132.
- Rahman, M. M. and J. Ohtomi (2020) Ovarian maturation, size at sexual maturity and spawning season of *Metapenaeopsis provocatoria owstoni* Shinomiya & Sakai, 2000 (Decapoda: Penaeidae). Crust. Res., 49: 109-120.
- Schaefer, K. M. (2001). Reproductive Biology of Tunas. In Tuna: Physiology, Ecology, and Evolution". (B.A. Block and E. D. Stevens, eds.), Academic Press, New York, 225-270.
- Somers, I. F. and G. P. Kirkwood (1991) Population ecology of the grooved tiger prawn, *Penaeus semisulcatus*, in the north-western Gulf of Carpentaria, Australia: growth, movement, age structure and infestation by the bopyrid parasite *Epipenaeon ingens*. Mar. Fre. Res., 42: 349-367.
- Taiwan Large Crustacean Database (2022) <https://crust.biodiv.tw/introduction.php>
- Uosaki, K. and W. H. Bayliff (1999) A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1988-1992. Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., 21(6): 275-439.
- Wang, J. Q., Y. J. Shih, L. M. Huang, J. Li, W. W. Li, C. H. Shih and T. J. Chu (2021) Evaluating the effects related to restocking and stock replenishment of *Penaeus penicillatus* in the Xiamen Bay, China. J. Mar. Sci. Eng., 9: 1122.
- Yu H. P. and T. Y. Chan (1986) The illustrated Penaeoid prawns of Taiwan. Southern Materials Center INC, 139-142.

臺灣西南海域長毛對蝦 (*Penaeus penicillatus*) 之生殖生物學研究

吳伊淑·藍揚麒·黃建智·陳郁凱*·翁進興

農業部水產試驗所沿近海漁業生物研究中心

摘 要

長毛對蝦 (*Penaeus penicillatus*) 為臺灣西南海域單船拖網及蝦桁拖網漁業重要經濟物種之一，然相關基礎調查資料仍闕如，本研究目的即為建立其生殖生物學參數，俾利未來進行管理之用。調查期間由 2020 年 12 月起至 2021 年 12 月止，按月至嘉義東石漁港採樣，共採集雌蝦 634 尾，雄蝦 956 尾，共計 1,590 尾樣本，總性比為 0.4，雌雄比例存在顯著差異。雌蝦體長介於 84.5 - 253.3 mm，雄蝦則為 78.3 - 181.7 mm；雌蝦體重介於 6.04 - 253.85 g，雄蝦則為 7.21 - 140.16 g，體長與體重之關係式為 $BW = 8.0 \times 10^{-5} TL^{2.61}$ ($R^2 = 0.93$, $n=1,590$)；根據卵巢生殖腺外觀及生殖腺指數月別變動，同時參考卵巢組織切片等數據，推估長毛對蝦有兩個生殖期，一為 2 - 5 月，其次為 8 - 11 月，高峰在 2 - 5 月。雌蝦最小性成熟體長為 87.3 mm，50% 性成熟體長為 169.3 mm。

關鍵詞：長毛對蝦、*Penaeus penicillatus*、性成熟體長、生殖腺指數、生殖季節

* 通訊作者 / 高雄市前鎮區漁港北三路 6 號, TEL: (07) 821-8103 ext. 232; Fax: (07) 821-8205; E-mail: ykchen@mail.tfrin.gov.tw

鬼頭刀 (*Coryphaena hippurus*) 初期發育與育苗研究

鄭明忠 · 江玉瑛 · 吳瑞賢 · 邱俊豪 · 何源興 · 許嘉閔*

農業部水產試驗所東部漁業生物研究中心

摘要

鬼頭刀 (*Coryphaena hippurus*) 為全球重要的漁獲種類，因過度捕撈已導致漁獲量減少和個體小型化。本研究初步建立鬼頭刀初期發育及育苗技術，可作為增裕漁業資源之基礎並提供產業量產種苗之應用。鬼頭刀受精卵為外觀透明之浮性卵，平均卵徑為 1.55 ± 0.04 mm (mean \pm SD)，內具平均直徑為 0.31 ± 0.02 mm 之單一油球。在水溫 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 、鹽度 32 psu 下，受精卵約 48 hr 20 min 孵化，剛孵化之仔魚平均全長為 5.07 ± 0.05 mm，3 日齡魚平均全長為 5.46 ± 0.12 mm，可投餵 100 - 120 μm 的輪蟲作為初期開口餌料。第 6 日齡魚全長為 5.81 ± 0.62 mm，活動力增強可兼投橈足類幼生，第 10 日齡魚平均全長為 6.63 ± 0.60 mm，攝食能力增強，可混合投餵橈足類成蟲，需注意各種餌料必須重疊使用。第 30 日仔魚平均全長為 33.00 ± 2.44 mm，已可完全接受人工配合飼料。第 45 日齡魚平均全長為 50.70 ± 5.02 mm，體色及斑紋已與成魚一致。

關鍵詞：鬼頭刀、生殖行為、初期發育、育苗

前言

鬼頭刀 (*Coryphaena hippurus*) 又名鰭魚、鯧鯪，分類上屬於鰭科 (Coryphaenidae) 鬼頭刀屬 (*Coryphaena*)。該屬包括鬼頭刀及棘鬼頭刀 (*C. equisetis*) 二種，在臺灣皆有記錄 (邵, 2022)。鬼頭刀英文名為 Common dolphinfish 或 Dolphinfish，夏威夷群島漁民則稱之為 mahi-mahi，意指「非常強大的魚類」，是休閒海釣的主要目標魚種之一。其游泳速度快，經常在海面追捕飛魚，因此臺灣漁民又以「飛鳥虎」稱之。鬼頭刀廣泛分布於全球各大洋之熱帶及亞熱帶海域，臺灣各地海域及離島均有其蹤跡，尤以東部海域較多 (邵, 2022)。臺灣鬼頭刀捕獲量居全球第四位，主要漁法為沿近海漁業之延繩釣、曳繩釣及定置網，盛漁期為 4 - 5 月及 10 - 11 月間，將近 85% 漁獲均外銷美國 (2,311 mt、價值 24,896 千美元，約 8 億新臺幣)，為臺灣賺進不少外匯 (漁業署, 2021)。

鬼頭刀為國際重要漁獲種類，國內外皆有發表鬼頭刀培育及繁養殖等研究。張等 (2008) 記錄國內鬼頭刀初期育苗研究，以撈捕 2 - 3.5 cm 野生稚魚，提供實驗室圈養至種魚的養成經驗，並討論養殖水質調控、馴餌、圈養後鬼頭刀之習性、疾病等問題為國內首次記錄鬼頭刀研究之文獻。國外研究有 Soichi (1978) 於日本千葉縣水族館大洋展示槽中記錄鬼頭刀種魚生殖及育苗過程，為日本首次發表之觀察記錄；另 Ranjan *et al.* (2017) 記錄美國夏威夷大學團隊於 1980 年開始投入鬼頭刀養殖技術，研究包含調控種魚成熟、自然產卵、仔魚培育、種苗生產及養成等過程。近期邁阿密大學水產養殖學系團隊也著手鬼頭刀繁養殖研究，Stieglitz *et al.* (2017) 提供圈養鬼頭刀由捕獲、運送、檢疫處理、馴養到使其持續生殖的過程的調控文獻；Perrichon *et al.* (2019) 於美國邁阿密大學實驗孵化中心 (University of Miami Experimental Hatchery, UMEH) 亦嘗試進行人工養殖鬼頭刀之胚胎發育及生殖生物學等多樣性研究。在種魚培育研究方面，Stieglitz *et al.* (2017) 及 Kloeblen *et al.* (2017) 發現鬼頭刀種魚會優先利用脂溶性維生素作為其生理活動所需的

*通訊作者 / 臺東縣成功鎮五權路 22 號, TEL: (089) 850090 轉 305; FAX: (089) 850092; E-mail: cmhsu@mail.tfrin.gov.tw

不飽和脂肪酸之抗氧化劑，該研究指出鬼頭刀為多次產卵的魚種，顯示雌魚營養轉移胚體時間短，會優先利用 Vitamin E 以確保胚胎不受不飽和脂肪酸氧化而影響胚胎正常發育，該文獻也提供本研究進行種魚培育營養強化之參考。

鬼頭刀目前仍以海洋捕撈為主，隨著全球對優質蛋白質需求增高，漁撈壓力與日俱增，導致鬼頭刀資源量減少及出現體型小型化之趨勢，永續利用議題受各國關注 (楊, 2016)。本研究致力於鬼頭刀增裕技術研究，建立鬼頭刀人工繁殖與育苗技術，了解不同階段仔稚魚最適餌料生物及掌握鬼頭刀繁養殖關鍵技術，以提供產業量產鬼頭刀及其他洄游性魚類種苗之參考。

材料與方法

一、種魚收集與自然產卵

野生種魚於綠島週邊海域以延繩釣或曳繩釣方式捕獲後，置入具有造流及增氧設備之活魚艙中蓄養，待船筏進港後施以 5 ppm 丁香酚麻醉劑使種魚穩定，確認麻醉後再以蝦母袋載運至種魚培育池。種魚培育池為 150 mt 鋼筋混凝土水池 (直徑 10 m，控制水位深度 150 - 180 cm)，利用慢速水車造流及增氧，並透過中央排水系統藉由水位差進行底部排水，池上裝設遮陽網以減少藻類繁生。為避免鬼頭刀衝撞池壁，沿著池壁每隔 90 cm 裝設打氣石形成氣泡帷幕，牆上亦畫設黑色線條讓新進種魚容易判斷距離進而達到避障效果 (Fig. 1)。



Fig. 1 The breeding pond is adorned with vertical black lines and features an aerated bubble curtain to prevent fish from hitting the walls.

鬼頭刀種魚數量 12 尾 (3 雄、9 雌)，體長介於 40 - 60 cm，體重介於 1.5 - 4 kg，每日以魷魚 (Squid)、秋刀魚 (*Cololabis saira*) 及正鰹 (*Katsuwonus pelamis*) 等生餌混合投餵。養殖水源為天然海水經沈澱後以馬達抽入種魚池備用，蓄養池採流水式每日調控換水量為總水量 1/4，水溫維持在 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ，鹽度為 31 ± 1 psu。生殖期觀察種魚產卵前及追尾行為，並記錄生殖行為模式。

二、受精卵收集與胚胎發育

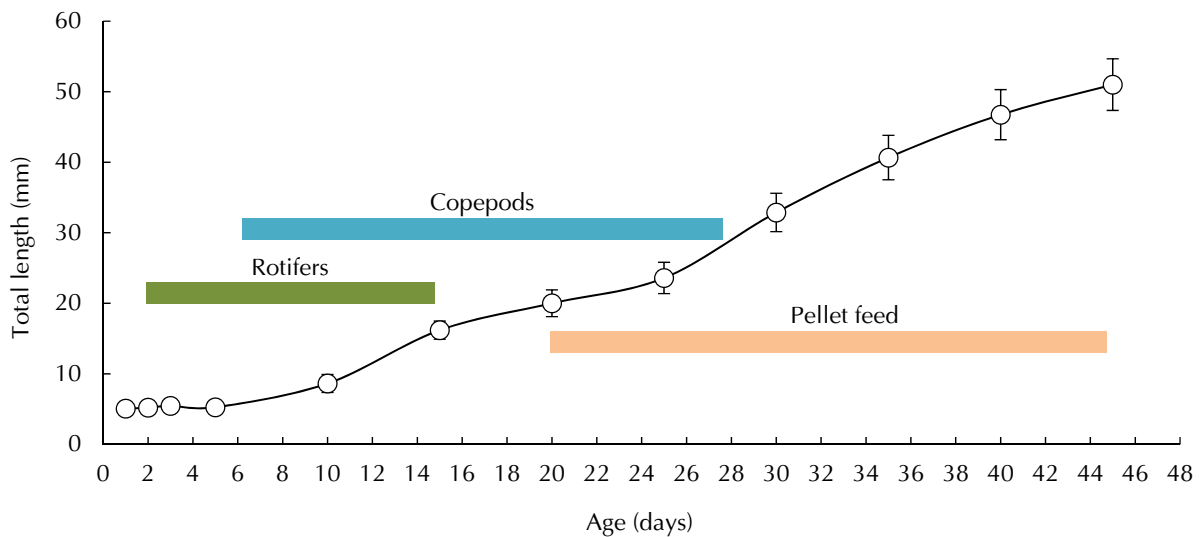
種魚於培育池肥育數月後可自然產卵。繁殖季節於溢水口架設 80 網目之浮游生物網可順利收集到受精卵。集卵網取回實驗室後，以 32 網目手抄網去除大型雜質後，以水瓢帶動桶內海水產生渦流，靜置數分鐘後收集浮於上層之受精卵。將受精卵及沉入桶底死卵分別稱重，以了解種魚之產卵量及受精率。受精卵隨後轉移入 500 L 玻璃纖維強化塑膠桶 (FRP) 中，採流水打氣方式進行孵化。過程中定時採集受精卵至凹槽玻片上，使用立體顯微鏡，測量 50 顆受精卵之卵徑及油球徑及拍攝胚胎發育過程，並記錄時間、水溫與胚胎發育之關係，直至受精卵完全孵化。

三、仔魚形態變化與形質測量

取一批次受精卵置入 1.8 mt 之 FRP 室內培育槽 (內徑為 200 cm×120 cm×80 cm)，控制溫度為 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ，鹽度保持在 31 ± 1 psu 使受精卵孵化。仔魚餌料投餵序列如 Fig. 2 所示，仔魚孵化後 60 hr 內開始投餵輪蟲 (*Brachionus plicatilis*) 作為魚苗開口餌料生物。投餵輪蟲期間 (1 - 10 天) 仔魚培育採止水式，以滴流方式添加擬球藻 (*Nannochloropsis oculata*) 穩定水質，水中透明度維持在 60 - 80 cm，第 6 日以後開始混投小型橈足類 (copepod) 與輪蟲，每日更換海水 200 - 300 L，第 10 日開始接受橈足類成蟲，第 24 日後給予微粒浮性飼料馴餌，每日下午抽底一次。試驗期間每日採樣 6 尾仔魚以立體顯微鏡拍攝仔稚魚之鰭部、體態與體色等成長過程之外形變化，並利用生物解剖顯微鏡搭配數位影像測量分析軟體 (NIS- Elements D 2.30, Nikon)，進行全長 (total

Table 1 Spawning of *Coryphaena hippurus* from April to May 2022

Spawning No.	Spawning		Spawning interval (day)	Spawning temperature (°C)	Spawning eggs (g)	Fertilization rate (%)
	Date	Time				
1	Apr. 07	16:20	-	22.7	51	25.10
2	Apr. 08	17:10	1	22.5	78	30.13
3	Apr. 11	17:30	3	23.0	105	59.05
4	Apr. 15	01:10	4	23.4	80	-
5	Apr. 17	00:40	2	25.1	230	46.30
6	Apr. 18	02:00 ; 17:50	1	24.9	482	-
7	Apr. 20	16:00 ; 01:20	2	24.0	402	90.05
8	Apr. 27	17:30	7	26.3	156	83.33
9	May 04	02:50	7	27.0	372	73.25
10	May 08	16:50 ; 03:20	4	26.7	506	54.35
Average			3.1	24.56	246.2	61.63

**Fig. 2** Growth performance and feed schedule of *Coryphaena hippurus* larvae.

length, TL)、標準體長 (standard length, SL)、頭長 (head length, HL)、吻長 (snout length, SnL)、眼徑 (eye diameter, ED)、口徑 (mouth gape, MG)、肛門前長 (preanal length, PAL)、體高 (body depth at pectoral-fin base, BDP) 等各部位形質測量 (Betti *et al.*, 2009; Pena and Dumas *et al.*, 2009)，測量結束後將標本固定於 75% 酒精中，以利後續研究進行。

四、鹽度對胚體期胚胎孵化之影響

取受精後 30 min 2 - 4 分裂之受精卵，剔除死卵、破損卵及其他雜物，以塑膠吸管吸取 30 粒健康受精卵分別置入鹽度為 0、5、10、15、20、25、30、35 及 40 psu 之 0.5 L 燒杯中，每一處理組

四重複，調控水溫為 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ ，光照週期為 12 hr 明 / 12 hr 暗，各處理組皆不打氣，並記錄各組孵化率。

五、統計分析

本實驗數據處理皆於計算其平均數與標準偏差 (mean \pm SD)，以 ANOVA - Duncan's multiple range test 進行統計分析，以 $p < 0.05$ 表示各組間之平均數在統計上具顯著差異。

結 果

一、種魚培育與自然產卵

野生種魚移入培育池後，第一週活存率約為 70%。之後開始因鱗片脫落出現潮紅出血等外傷，體表潰瘍面積皆達到 30 - 50% 以上，活存率降至 10% 以下，推測可能是因為釣獲過程以撈網或手部觸摸鬼頭刀體表所致。後期釣獲種魚後，解鉤時盡量不直接觸碰魚體，並減少使用撈網以避免磨擦，結果發現可降低後期種魚鱗片脫落導致的潰瘍並提高活存率至 50%。

野生種魚入池後第 2 日，將魷魚、秋刀魚及正鰹等切成適口大小，於上午及傍晚兩時段馴餌，可引誘開口進食。待其對環境適應後，可逐漸接受粒徑 2.0 - 2.2 cm 之石斑魚粒狀飼料。

鬼頭刀是具有性別二型性之魚種，可以由外表判其性別。雄魚頭部有明顯隆起像斧頭的特徵，雌魚頭部則相對圓潤。本研究於 2022 年 4 月中旬初次發現種魚產卵，迄 5 月中旬止，共觀察到 13 次產卵行為，詳如 Table 1 所示。13 次的產卵水溫介於 22.5 - 27.0°C，產卵時間區分為下午的 16:00 - 18:00 及半夜的 1:00 - 4:00 二個時段，其中 4 月 18、20 日以及 5 月 8 日，在同一天的深夜及黃昏各觀察到 1 次生殖行為，平均生殖周期為 3.1 天、每次產卵量約為 246.2 g (約 108 千顆)、平均受精率為 61.63% (Table 1)。初步觀察生殖周期與月相潮汐無相關，出現生殖行為前，性成熟的雄魚會跟隨雌魚身旁，在水面處沿著池壁伴游；雄魚偶而以軀體或吻部觸碰雌魚刺激其產卵；產卵開始後，種魚會浮至水面同時排卵排精；完成生殖行為後，種魚會往二側分離，數分鐘後雄魚折返繼續跟著雌魚伴游，等待下一次的排卵排精，這樣的行為模式會持續 0.5 - 1 hr。

二、受精卵與胚胎發育

鬼頭刀受精卵為球形、分離之浮性卵，平均卵徑為 1.55 ± 0.04 mm；內含一顆直徑為 0.31 ± 0.02 mm 油球，鏡檢觀察受精卵有金黃色及透明卵二種顏色，該差異由胚體及油球表現 (Fig. 3)，初步觀察顏色差異對仔魚孵化並無影響。

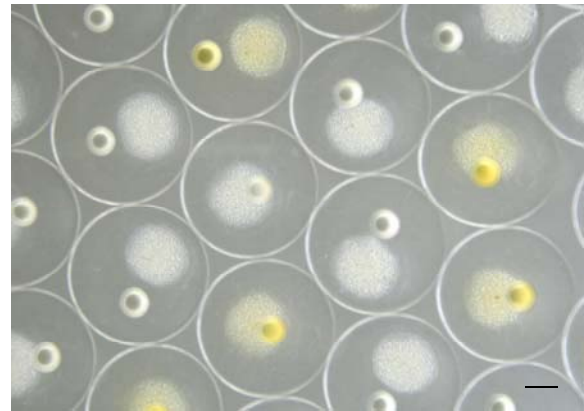


Fig. 3 Under microscopy, the fertilized eggs have two colors: golden yellow and transparent. Scale bar=1.0 mm.

胚胎發育過程如 Table 2 及 Fig. 4 所示，在水溫介於 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ ，鹽度於 32 psu 下，受精後 30 min 胚胎發育為 2 細胞期；受精後 50 min 胚胎發育為 4 細胞期 (Fig. 4A)；1 hr 25 min 為 8 細胞期；2 hr 為 32 細胞期 (Fig. 4B)；2 hr 35 min 為 64 細胞期 (Fig. 4C)；4 hr 10 min 為桑實期 (morula stage) (Fig. 4D)；10 hr 50 min 囊胚形成期 (Fig. 4E)；18 hr 35 min 囊胚覆蓋卵黃 1/2 且脊索形成 (Fig. 4F)；21 hr 40 min 後囊胚覆蓋全卵黃，眼胞形成且出現 7 體節 (Fig. 4G)；26 hr 50 min 後可發現卵黃及胚體上已出現色素胞，尾部與卵黃分離 (Fig. 4H)；28 hr 胚體出現 12 體節 (Fig. 4I)；30 hr 30 min 胚體出現色素胞 (Fig. 4J)；34 hr 20 min 眼部晶體形成，胚體可見痙攣般扭動 (Fig. 4K)；38 hr 30 min 後可發現心博次數達 130 次/min，體液循環清晰可見 (Fig. 4L)；43 hr 時偶可見仔魚鰓蓋擺動 (Fig. 4M) 並扭動身體嘗試突破卵膜 (Fig. 4N)；48 hr 20 min 後仔魚孵化，剛孵化的仔魚全長為 5.07 ± 0.05 mm (Fig. 4O)。研究發現，當水溫升高至 $28 \pm 1^\circ\text{C}$ ，孵化時間縮短為 46 hr 30 min，當水溫降低至 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 則延長為 54 hr 30 min，顯示孵化時間與水溫呈負相關。

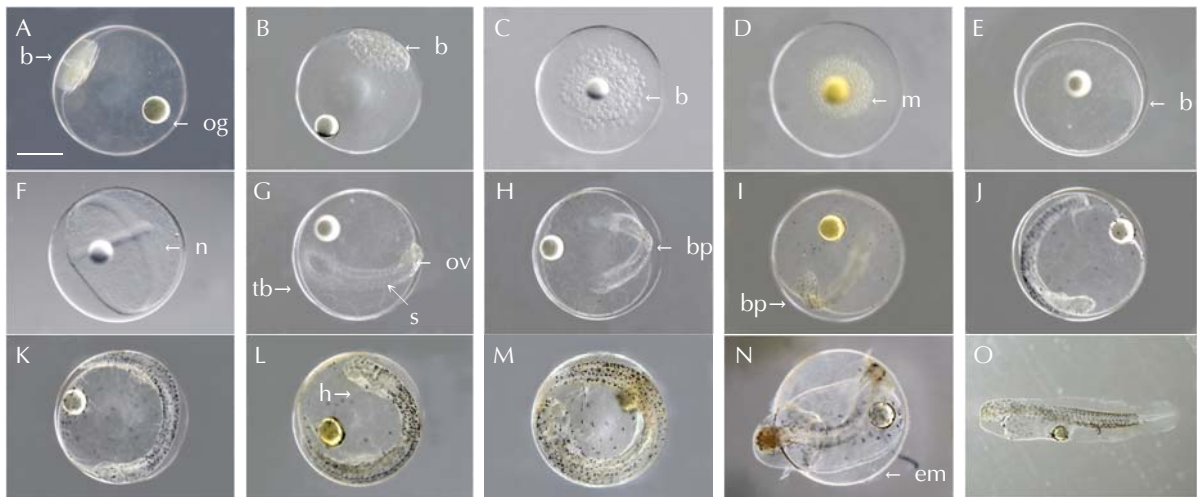


Fig. 4 Embryonic development of *Coryphaena hippurus*. A: 4-cell stage; B: 32-cell stage; C: 64-cell stage; D: morula stage (m); E: blastula stage (b); F: 1/2 of yolk is covered with blastodisc; G: optic vesicles appear (ov), 7 somites (s); H: chromatophore is visible on the embryo, tail freed from yolk sac; I: 12 somites (s); J: pigmented cells appear in embryo; K: embryo shows a spasm-like twist; L: heart rate: 130 beats/min; M: the time was 05:00 before hatching; N: egg membrane breaks; O: newly-hatched larva. b: blastomeres; bp: body pigment; em: egg membrane; h: heart; n: notochord formation; og: oil globule; tb: tail-bud; y: yolk. Scale bar: 1.0 mm (consistent for all).

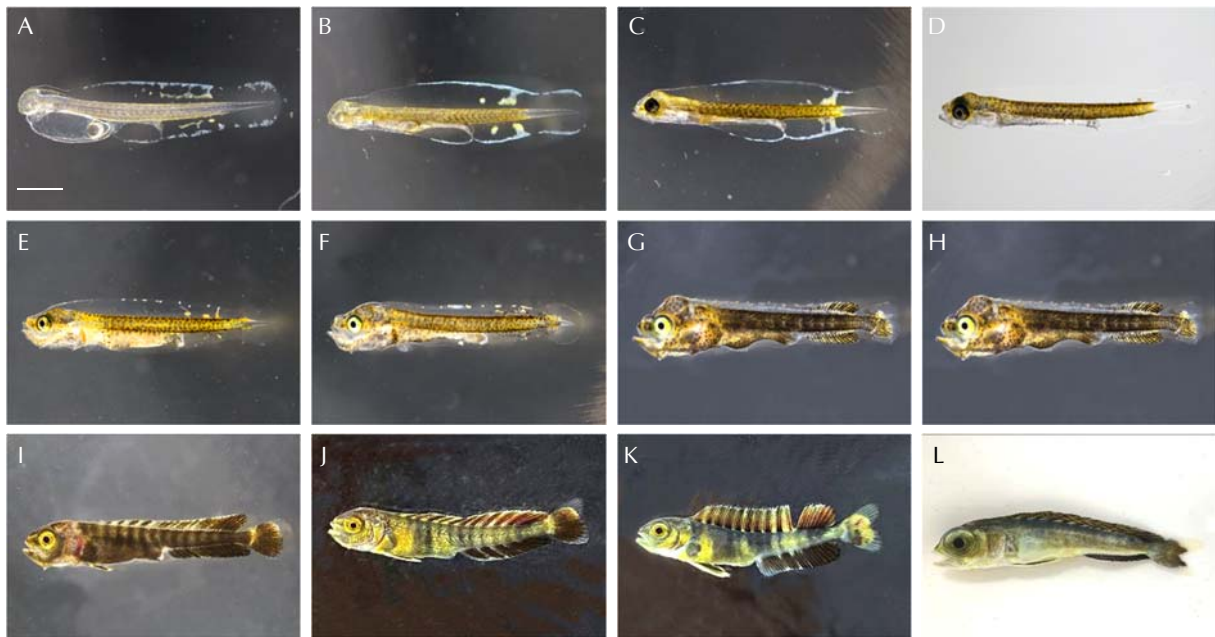


Fig. 5 Morphological changes of *Coryphaena hippurus* from larval to fry stages. A: 1 day post hatching (DPH) 5.07 ± 0.05 mm in total length (TL); B: 2 DPH 5.19 ± 0.18 mm in TL; C: 3 DPH 5.26 ± 0.12 mm in TL; D: 5 DPH 5.46 ± 0.11 mm in TL; E: 7 DPH 6.93 ± 0.65 mm in TL; F: 10 DPH 8.63 ± 0.62 mm in TL; G: 13 DPH 11.01 ± 0.91 mm in TL; H: 15 DPH 16.19 ± 1.29 mm in TL; I: 20 DPH 20.00 ± 1.90 mm in TL; J: 25 DPH 23.59 ± 2.22 mm in TL; K: 30 DPH 33.00 ± 2.44 mm in TL; L: 44 DPH 51.01 ± 3.66 mm in TL. Scale bar: 1.0 mm (consistent for all).

三、仔魚成長及形態變化

鬼頭刀仔魚形態變化如 Fig. 5 所示，初孵化仔魚平均全長為 5.07 ± 0.05 mm，體呈透明並分布色素點於軀幹部 (Fig. 5A)，此時仔魚懸浮於水槽

中上層，魚苗對環境敏感具驅光性，添加微藻控制透明度在 80 cm 左右以穩定水質及仔魚，但此驅光特性會隨著仔魚成長而降低；第 2 日齡仔魚 (Fig. 5B) 全長為 5.19 ± 0.18 mm，鰭部呈現透明，口及肛門未開，眼部色素尚未形成，卵黃囊已吸收。測

Table 2 Embryonic development of *Coryphaena hippurus* at different rearing temperatures

Developmental stage	Time (hr:min) elapsed at different water temperatures		
	23±1°C	26±1°C	28±1°C
Fertilized eggs: 1.55 ± 0.04 mm ; Oil globule: 0.31 ± 0.02 mm	00:00*	00:00	00:00
2-cell stage	00:35	00:30	00:25
8-cell stage	01:20	01:25	00:40
32-cell stage	02:00	02:00	01:00
64-cell stage	02:50	02:35	01:35
Morula stage	07:30	04:10	03:10
Blastula stage	15:30	10:50	09:10
1/2 of yolk is covered with blastodisc, and the embryo appears	21:00	18:35	17:10
The entire yolk is covered with blastodisc; optic vesicles are visible, 7 somites	24:00	21:40	20:10
Chromatophore is visible on the embryo; the tail is freed from the yolk sac	30:00	26:50	25:00
Optic lens has formed, swing of the tail observed	39:00	34:20	32:20
Heart rate:130 beats/min	44:00	38:30	36:40
5 hours before hatching, the operculum occasionally wiggles	49:00	43:00	42:30
At hatching, total length is 5.07 ± 0.05 mm	54:30	48:20	46:30

量腹部卵黃長徑為 0.70 mm，油球直徑為 0.16 mm；3 日齡仔魚 (Fig. 5C) 全長為 5.26 ± 0.12 mm，卵黃囊消失殆盡，可明顯發現開口及消化道暢通，鬼頭刀仔魚開始尋找可吞食的生物餌料，此時開始投餵體型介於 100–120 μm 的輪蟲完成仔魚過料；5 日齡仔魚 (Fig. 5D) 全長為 5.46 ± 0.11 mm；7 日齡仔魚 (Fig. 5E) 全長為 6.93 ± 0.65 mm，活動力增強，對外物接近反應靈敏，且會在培育槽角落處群聚，開始混投小型橈足類；10 日齡仔魚 (Fig. 5F) 全長達 8.63 ± 0.62 mm，部份仔魚之頭部及體節處出現色素沉澱，此時可以開始提供大型橈足類；13 日齡仔魚 (Fig. 5G) 體軀幹部黑色素擴散體色變深，全長為 11.01 ± 0.91 mm，可接受 200–300 μm 的橈足類成蟲；15 日齡仔魚 (Fig. 5H) 全長達 16.19 ± 1.29 mm；培育至 20 日齡仔魚 (Fig. 5I) 全長為 20.00 ± 1.90 mm，出現數條橫紋由背鰭向下延伸至軀幹，開始嘗試以人工微粒飼料馴餌；25 日齡仔魚 (Fig. 5J) 之全長為 23.59 ± 2.22 mm；30 日齡仔魚 (Fig. 5K) 全長為 33.00 ± 2.44 mm，已可完全接受人工飼料；44 日齡仔魚 (Fig. 5L) 全長為 51.01 ± 3.66 mm，外觀與成魚一致。另，本研究同時自基隆收集鬼頭刀 5–7 cm 野生稚魚一批，

蓄養 45 日後，檢查跳池之死亡個體，發現雄魚全長達 25.3 cm、雌魚達 21.0 cm 已可見生殖腺發育 (Fig. 6)。張等 (2008) 也指出，若營養充足，6 個月齡的養殖鬼頭刀可提早達成熟體型。



Fig. 6 Wild-caught juveniles (5–7 cm) from Keelung were raised for 45 days. Gonadal development is visible in the 25.3 cm male fish (above) and the 21.0 cm female fish (below). Scale bar: 1.0 cm.

四、鹽度對胚胎孵化之影響

鹽度對胚胎孵化率影響如 Fig. 7 所示，受精卵在鹽度 35 psu 之孵化率最佳，達 82.5 ± 9.6%；其次為 30 psu (77.5 ± 9.57%) 及 40 psu 組 (65.0 ±

12.90%)；25 psu 組之孵化率僅 $20.0 \pm 8.16\%$ ，且仔魚孵化後數小時即死亡。20 psu 及以下之低鹽度組，胚胎於數小時後全數終止發育。統計分析結果顯示，高鹽度組 (25 - 40 psu) 與低鹽度組 (20 psu 及以下) 組之孵化率具顯著差異 ($p < 0.05$)，而高鹽度組之各組間則無顯著差異。

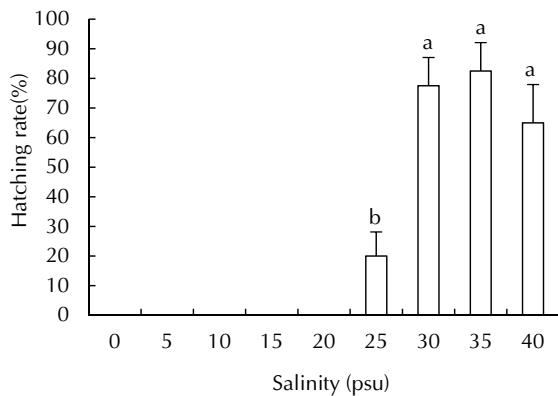


Fig. 7 Effect of salinity on the hatching rate of *Coryphaena hippurus* embryos. In each trial, different letter symbols denote a significantly different ($p < 0.05$).

討 論

本研究種魚蓄養過程發現雄魚領域性非常強烈，具優勢之雄魚常攻擊及排斥弱勢雄魚，導致弱小雄魚因打鬥受傷而死亡，最終池中僅存 1 尾雄魚，因此在種魚管理上必須更加留意。鬼頭刀是屬於多次產卵型魚類，Stieglitz *et al.* (2017) 研究發現雌性鬼頭刀全年皆可產卵，生殖季節時每隻雌魚可產卵 15,000 - 30,000 顆，每次的產卵皆可產出約體重 5% 之卵量，也導致生殖過程的雌魚體重會持續減輕。本研究之鬼頭刀種魚經 2 個月肥育後，於水溫 22.5°C 開始出現生殖行為，雄魚會在傍晚出現追尾，並同時與 2 - 3 尾雌魚追逐後偶而會在水面跳躍情形。觀察發現鬼頭刀產卵行為主要出現於傍晚及深夜，在發現水中有卵粒後即架設集卵網進行收卵工作，夜間則在 23:00 架設集卵網，持續收集受精卵至隔日早上。

Soichi (1978) 記錄在日本千葉縣水族館的鬼頭刀種魚，其產卵行為由其中一尾雄魚追尾開始，激烈的求偶方式使水花激濺，具優勢的雄性也會猛烈驅趕其他雄魚避免接近雌魚，該生殖行為與

本研究一致。但該種魚每次生殖行為僅發生在 15:35 - 17:45 之間，並無記錄本研究於夜間產卵現象。Soichi 也記錄到生殖過程時間大約出現 20 - 30 sec，但休息 5 - 40 min 後可再次追尾產卵，該生殖模式與本研究相似。千葉縣水族館的鬼頭刀因為與其他珊瑚礁魚類混養，在生殖後發現柴魚 (*Microcanthus strigatus*) 和小型展示魚類成群攝食剛產出的受精卵。另外 Ranjan *et al.* (2017) 於夏威夷大學的研究指出，觀察產卵過程全程在水面進行，種魚鮮少游入水池中層，生殖活動也是僅在黃昏時出現。Perrichon *et al.* (2019) 在邁阿密大學實驗孵化中心，將鬼頭刀以 1 雄配 8 雌之性比配對，結果顯示生殖行為會在凌晨 2:00 - 5:00 之間發生，研究員於每天清晨日出後可收獲到受精卵，有別於日本千葉水族館研究，卻與本研究夜間生殖行為相似。

學者指出雌魚會選擇夜間完成產卵，目的可能為精準計算魚苗能在夜間孵化，以最大限度減少掠食者對魚苗捕食以提高存活率。夜間產卵現象在 Margulies *et al.* (2007) 進行人工養殖的黃鰭鮪 (*Thunnus albacares*) 及 Miyashita *et al.* (2001) 研究黑鰭 (*Thunnus thynnus*) 生殖行為，也觀察到相同結果。仔魚孵化觀察也記錄到凌晨產出的受精卵，仔魚也會精準的於夜間孵化現象。本研究中清晨進行生殖行為收集的受精卵於水溫 $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 為近中午時後孵化，黃昏收獲的受精卵才會在晚間完成孵化，與邁阿密大學觀察不相符合，推測邁阿密附近海域水溫直接影響了胚胎發育，延後了胚胎孵化時間。

本研究之鬼頭刀受精卵平均卵徑為 1.55 ± 0.04 mm，比較 Soichi (1978) 日本養殖鬼頭刀卵徑 1.4 - 1.65 mm、Lamadrid Rose and Boehlert (1988) 記錄夏威夷鬼頭刀卵徑 1.52 - 1.66 mm 及 Ditty *et al.* (1994) 墨西哥灣養殖鬼頭刀卵徑大小相似；Mito (1960) 記錄日本鬼頭刀卵徑 1.28 mm，比本研究來的小 (Table 3)。鬼頭刀卵與同為洄游性的鰹科魚類受精卵比較，無齒鰹 (*Gnathanodon speciosus*) 受精卵卵徑為 0.91 ± 0.06 mm (何等, 2011)、短鰭黃鰹 (*Trachinotus blochii*) 之卵徑 1.00 - 1.05 mm (何等, 2005)、紅甘鰹 (*Seriola dumerili*) 之卵徑 1.03 - 1.15 mm (林等, 1997)、青甘鰹 (*Seriola quinqueradiata*) 卵徑 1.18 - 1.34 mm

Table 3 Comparison of egg diameter, water temperature, hatching time, and fry length of *Coryphaena hippurus* across study locations reported in the literature

Remarks	Egg diameter (mm)	Water temperature (°C)	Hatching time (hr)	Fry length (mm)	Study location
Mito, 1960	1.28-1.62	21-29	48-60	3.95 ^b	Japan
Soichi, 1978	1.4-1.65	24-25	60	3.8-4.9 ^b	Japan
Uchiyama <i>et al.</i> , 1986	—	24-25	48-50	4.0-4.6 ^b	Hawaii
Lamadrid-Rose and Boehlert, 1988	1.52-1.66	26	54	4.3-5.4 ^b	Hawaii
Ditty <i>et al.</i> , 1994	1.4 ^c	20	58 ^c	—	Gulf of Mexico
		25	38 ^c	—	
		30	26 ^c	—	
Perrichon <i>et al.</i> , 2019	1.2-1.5	26	41-45	3.7-3.8 ^a	Miami
Present study	1.55 ± 0.04	23 ± 1	54	5.07 ± 0.05 ^b	Taiwan
		26 ± 1	48		
		29 ± 1	46		

^aStandard length; ^bTotal length; ^cMean egg diameter and predicted hatching times.

(呂, 1992a) 及金邊鰱 (*Seriola lalandi*) 卵徑 1.27 – 1.50 mm (呂, 1992b) 等魚類來的大。本研究發現產卵水溫 $23.5 \pm 1^\circ\text{C}$ 時, 受精卵於 54 hr 30 min 後孵化, 水溫提升至 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 則時間縮減為 48 hr 20 min 孵化, 孵化時間與水溫呈負相關。Soichi (1978) 於日本千葉縣水族館觀察鬼頭刀生殖行為, 發現受精卵於水溫 $24 - 25^\circ\text{C}$, 胚體於 59 hr 後孵化, 比本研究觀察孵化時間來的晚; Perrichon *et al.* (2019) 於邁阿密大學研究則觀察到於水溫 26°C 時胚體孵化時間為 41 – 45 hr, 相較於本研究 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 的試驗組來的早孵化; Uchiyama *et al.* (1986) 夏威夷鬼頭刀繁殖記錄水溫 $24 - 25^\circ\text{C}$, 胚體約 48 – 50 hr 後孵化, 與本研究觀察孵化時間來近似, 但孵化仔魚體長為 4.0 – 4.6 mm, 比本研究個體來的小。

孵化水溫 $23 - 25^\circ\text{C}$ 仔魚開口時間為第 3 天; 水溫提高至 $27 - 29^\circ\text{C}$, 發現仔魚第 2 日齡眼睛、口部及消化道暢通, 可以開始進食, 因此高水溫期可提早一天投餵餌料生物, 鬼頭刀仔魚於 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 孵化約 60 hr 後開口攝食, 於 70 hr 後可見胃內容物有輪蟲碎片, 鬼頭刀仔魚培育至第 7 日齡後開始改投橈足類可順利進食。文獻指出以橈足類作為幼魚餌料, 橈足類自身的營養可提供幼魚大量長鏈高度不飽和脂肪酸 (HUFA) 使完成稚魚階段 (Watanabe *et al.*, 1978)。Faillettaz *et al.* (2020) 指出當仔魚餌料以輪蟲和豐年蝦無節幼體

投餵時, 它們的 HUFA 含量太低, 長時期餵食鬼頭刀仔魚會出現大量死亡現象, 特別是當仔魚處於緊迫條件時 (高放養密度、疾病、寒冷、變態過程等)。Faillettaz *et al.* (2020) 試驗改使用橈足類後對鬼頭刀仔魚存活提升至 65%。因此本研究以市售之滋養液 (Omega 加強派克滋養液) 及微藻進行滋養輪蟲與橈足類後投餵, 發現可提高仔魚存活率至 60%。

鬼頭刀仔稚魚成長快速, 對其生存有相當重要的意義, 攝食及避敵的能力增加, 可增強對環境之適應及提高活存機會。試驗中觀察鬼頭刀仔魚的開口口徑為 $368 \pm 6 \mu\text{m}$; 第 6 日齡為 $1,130 \pm 9 \mu\text{m}$; 第 10 日齡為 $1,988 \pm 12 \mu\text{m}$, 已比初期增大 5.3 倍, 開口口徑的快速增大可有效改變捕食餌料之大小及種類, 使個體成長更為快速, 故在育苗期間餌料之更換是需要相當謹慎之重點。

Pasparakis *et al.* (2019) 針對鬼頭刀胚胎浮力控制機制研究發現鬼頭刀胚胎在具紫外線環境下, 受精卵會自行調整比重下沉以遠離紫外線危害, 當紫外線停止照射復便恢復浮力上浮至表水層, 其機制目前未知, 唯一能確定的是其胚胎控制浮力方式不是多數魚種常見的氨封存 (ammonia sequestration) 方式表現。本研究中並未發現該現象, 但在梅雨後鹽度的改變也影響了浮力的表現, 觀察池水鹽度低於 28 psu 時, 全數魚卵皆沈入孵化槽底部, 鹽度提升至 29 psu, 受精卵開始上浮,

比重與海水一致，30 psu 時，魚卵才全部浮至水面。從鹽度對受精卵影響試驗也發現，25 psu 時，仔魚孵化率為 20.0%，孵化後的仔魚於 4 hr 後全數死亡，鬼頭刀胚體需於 30 psu 以上才有較好的孵化率及育成率。比較近海魚種如點帶石斑 (*Epinephelus coioides*) 之胚胎於 5 psu 的鹽度下有 23.5% 的孵化率 (葉等, 1995); 黑鯛 (*Acanthopagrus schlegelii*) 囊胚中期 (middle gastrula) 及胚體形成期胚胎 (embryo formed stage) 於鹽度 5 psu 下，孵化率尚有 1.9 及 11.6% (丁等, 1995)。鬼頭刀對鹽度改變相當敏感，仔魚培育池降雨後的鹽度低於 25 psu，魚苗全數死亡。育苗過程建議全程利用雨棚或室內培育設施以減少鹽度的影響。另比較海鱸 (*Rachycentron canadum*) 在不同鹽度對仔魚存活率研究中也發現，第 5 日齡海鱸仔魚於鹽度 20 及 30 psu 之存活率分別為 59.2% 及 61.2%，鹽度 30 psu 時，亦高於 20 psu 以下之試驗組別；第 7 日齡仔魚以 30 psu 組之存活率 (32.5%) 最佳，研究觀察出最適海鱸育苗鹽度為 20 - 30 psu (李等, 2011)，與本研究鬼頭刀仔魚對滲透壓調節敏感且不耐低鹽特性一致，這也直接導致大洋表層洄游性魚類對鹽度降低的變化非常敏感且脆弱，也是培育這些魚苗的瓶頸與挑戰。

結 論

鬼頭刀成長快速，種魚在人為環境下，可利用調控產卵方式，達到全年生產鬼頭刀種苗的目標。本研究初步建立鬼頭刀種苗育成技術，種魚在培育池中可自然產卵，未來將持續建立繁殖及育苗條件，將其繁養殖相關技術最佳化，並提供業者進行商業量產，以減少對鬼頭刀野生族群之依賴，達到永續海洋資源之目標。

謝 辭

本研究經費由行政院農業委員會 111 農科-6.5.1-水-A1 計畫項下支助，執行期間承蒙中心同仁董家宏先生、李任棋先生及范氏碧小姐協助育苗研究；李欣怡、柯淳嚴小姐協助種魚觀察及記錄；陳正發先生協助種魚運送，使本研究能順利完成，併此表達由衷之謝意。

參考文獻

- 丁雲源, 葉信利, 朱永桐 (1995) 鹽度對黑鯛魚卵發育及孵化之影響. 臺灣省水產試驗所試驗研究工作報告, 389-385.
- 呂明毅 (1992a) 紅甘鯨的種苗生產基礎研究-卵發育與仔稚魚的形態變化. 養魚世界, 5: 85-90.
- 呂明毅 (1992b) 金邊鯨的種苗生產基礎研究-成熟促進卵發育與仔稚魚的形態變化. 養魚世界, 4: 99-109.
- 何源興, 陳哲明, 陳文義 (2005) 短鰭黃臘鯨的人工誘導產卵及其初期發育. 水產研究, 13(2): 25-32.
- 何源興, 鄭明忠, 江玉瑛, 張文炳, 陳文義 (2011) 無齒鯨 *Gnathanodon speciosus* 的初期發育及育苗研究. 水產研究, 19(2): 45-54.
- 李彥宏, 張文清, 張賜玲, 林駿, 劉世傑, 陳紫嫻 (2011) 不同環境因子對海鱸胚胎及魚苗發育之影響. 水產研究, 19 (1): 29-36.
- 林金榮, 涂嘉猷, 陳春暉 (1997) 紅甘鯨種魚的池中馴育及誘導產卵試驗. 水產研究, 5(1): 71-79.
- 邵廣昭 (2022) 臺灣魚類資料庫 (<http://fishdb.sinica.edu.tw>).
- 張賜玲, 鄭明忠, 廖紹文, 劉世傑, 李彥宏, 陳紫嫻 (2008) 鬼頭刀的種魚培育及自然產卵習性. 水試專訊, 22: 9-12.
- 葉信利, 朱永桐, 許晉榮, 丁雲源 (1995) 鹽度對點帶石斑器官形成前後胚體發育之影響. 水產研究, 3(2): 133-142.
- 楊家榛 (2016) 臺灣東部海域鬼頭刀 (*Coryphaena hippurus*) 資源之漁業與體型指標分析. 國立臺灣海洋大學碩士論文.
- 漁業署 (2021) 110年漁業統計年報 (https://www.fish.gov.tw/view.php?theme=FS_AR&subtheme=&id=21).
- Betti, P., L. Machinandiarena and M. D. Ehrlich (2009) Larval development of Argentine hake *Merluccius hubbsi*. J. Fish Biol., 74: 234-249.
- Ditty, J. G., R. F. Shaw and J. S. Cope (1994) Larval development, distribution, and abundance of common dolphin, *Coryphaena hippurus* and pompano dolphin, *C. equiselis* (family: coryphaenidae), in the northern Gulf of Mexico. Fish Bull., 92: 275-291.
- Faillietaz, R., E. Johnson, P. Dahlmann, A. Syunkova, J. Stieglitz, D. Benetti, M. Grosell and C. B. Paris (2020) Ontogeny of orientation during the early life history of the pelagic teleost mahi-mahi, *Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758. Oceans, 1(4): 237-250.
- Hagood, R. W., G. N. Rothwelly, M. Swafford and M.

- Tosaki (1981) Preliminary report on the aquacultural development of the dolphin fish, *Coryphaena hippurus* (Linnaeus). J. World Maricul. Soc., 12(1): 135-139.
- Kloeblen, S., J. D. Stieglitz, J. A. Suarez, M. Grosell and D. D. Benetti (2017) Characterizing egg quality and larval performance from captive mahi-mahi *Coryphaena hippurus* (Linnaeus, 1758) spawns over time. Aquacul. Res. (doi:10.1111/are.13459).
- Kraul, S. (1989) Review and current status of the aquaculture potential for the mahimahi, *Coryphaena hippurus*. Advances in Tropical Aquaculture, Workshop at Tahiti, French Polynesia, 20 Feb.-4 Mar. 1989.
- Kraul, S., A. Nelson, K. Brittain, H. Ako and A. Ogasawara, (1992) Evaluation of live feeds for larval and postlarval mahimahi *Coryphaena hippurus*. J. World Aquacul. Soc., 23(4): 299-306.
- Kraul, S., K. Brittain, R. Cantrell, T. Nagao, A. Ogasawara, H. Ako and H. Kitagawa (1993). Nutritional factors affecting stress resistance in the larval mahimahi *Coryphaena hippurus*. J. World Aquacul. Soc., 24(2): 186-193.
- Lamadrid-Rose, Y. and G. W. Boehlert (1988) Effects of cold shock on egg, larval, and juvenile stages of tropical fishes: potential impacts of ocean thermal energy conversion. Mar. Environ. Res. 25:175-193.
- Margulies D, Sutter J, Hunt S. (2007) Spawning and early development of captive yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). Fish Bull, 105: 249- 265.
- Mito, S. (1980) Egg development and hatched larvae of the common dolphin-fish *Coryphaena hippurus* Linne. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 26: 223-226.
- Miyashita, S., Y. Sawada, T. Okada, O. Murata and H. Kumai (2001) Morphological development and growth of laboratory-reared larval and juvenile *Thunnus thynnus* (Pisces: Scombridae). Fish Bull., 99: 601-616.
- Pasparakis, C., Y. Wang, J. D. Stieglitz, D. D. Benetti and M. Grosell (2019) Embryonic buoyancy control as a mechanism of ultraviolet radiation avoidance. Sci. Total Envir., 651: 3070-3078.
- Pena, R. and S. Dumas (2009) Development and allometric growth patterns during early larval stages of the spotted sand bass *Paralabrax maculatofasciatus* (Percoidei: Serranidae). Scientia Marina, 73: 183-189.
- Perrichon, P., J. D. Stieglitz, E. G. Xu, J. T. Magnuson, C. Pasparakis, E. M. Mager, Y. Wang, D. Schlenk, D. D. Benetti, A. P. Roberts, M. Grosell and W. W. Burggren (2019) Mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*) life development: morphological, physiological, behavioral and molecular phenotypes. Dev. Dyn., 248(5): 337-350.
- Ranjan, R., M. Muktha, S. Ghosh, A. Gopalakrishnan, G. Gopakumar and I. Joseph (2017) Prioritized Species for Mariculture in India. ICAR-CMFRI, Kochi, 450 pp.
- Soichi, M. (1978) Spawning behavior of the dolphin, *Coryphaena hippurus*, in the aquarium and its eggs and larvae. Jpn. J. Ichthy. 24(4): 290-294.
- Stieglitz, J. D., R. H. Hoenig, S. Kloeblen, C. E. Tudela, M. Grosell and D. D. Benetti, (2017) Capture, transport, prophylaxis, acclimation, and continuous spawning of mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*) in captivity. Aquaculture, 479: 1-6.
- Uchiyama, J. H., R. K. Burch and S. A. Kraul Jr. (1986) Growth of dolphins, *Coryphaena hippurus* and *C. equiselis*, in Hawaiian waters as determined by daily increment on otoliths. Fish. Bull., 84: 186-191.
- Watanabe, T., C. Kitajima, T. Arakawa, K. Fukusho and S. Fujita (1978) Nutritional quality of rotifer *Brachionus plicatilis* as a living feed from the viewpoint of essential fatty acids for fish. Nippon Suisan Gakk., 44: 1109-1114 (in Japanese).

Studies on the Early Embryonic Development and Larval Rearing of the Common Dolphinfish (*Coryphaena hippurus*)

Ming-Chung Cheng, Yu-Ying Jiang, Jui-Hsien Wu, Jung-Hau Chiou, Yuan-Shing Ho
and Chia-Min Hsu*

Eastern Fishery Research Center, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

The common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) holds global significance, but its fishery has faced a decline in size and yield due to overfishing. This study aims to establish early-stage development and seedling cultivation techniques, providing a foundation for enhancing fishery resources and supporting industrial seedling production. The fertilized eggs of the common dolphinfish are buoyant and semi-transparent, with an average diameter of 1.55 ± 0.04 mm, containing a single oil globule with an average diameter of 0.31 ± 0.02 mm. Hatching occurs around 48 hours and 20 minutes after fertilization at a water temperature of $26 \pm 1^\circ\text{C}$ and a salinity of 32 psu. The median length of the newly-hatched larvae is 5.07 ± 0.05 mm. On the 3rd day post-hatching (DPH), their length increases to 5.46 ± 0.12 mm begin feeding on small rotifers, specifically *Brachionus plicatilis*. On the 6th DPH, the larvae reach an average total length of 5.81 ± 0.62 mm, showing increased mobility, and copepod nauplii can be introduced. By the 10th DPH, the larvae achieve an average length of 6.63 ± 0.60 mm, with enhanced feeding capabilities, allowing for mixed feeding of copepod adults. It's essential to ensure overlapping use of various feeds. On the 30th DPH, the juvenile fish have an average total length of 33.00 ± 2.44 mm and can fully accept artificial formulated feed. The pattern of bands and colors of the juveniles on the 45th DPH (50.70 ± 5.02 mm) is consistent with that of the adults.

Key words: *Coryphaena hippurus*, spawning behavior, early development, larval rearing

*Correspondence: Eastern Fishery Research Center, Fisheries Research Institute, 22 Wu-Chuan Rd., Chengkung, Taitung 961, Taiwan. TEL: (089) 850-090 ext. 305; FAX: (089) 850-092; E-mail: cmhsu@mail.tfrin.gov.tw

水溫及光照條件對海門冬四分孢子體成長之影響

許自研* · 陳陽德 · 張軒銘 · 蘇義哲 · 吳豐成

農業部水產試驗所東港養殖研究中心

摘要

我國屏東海域產有紅藻類之海門冬 (*Asparagopsis taxiformis*)，該藻近年被發現可有效減緩反芻動物排放甲烷，惟其商業養殖技術尚未確立，目前仍以採集野生藻體進行應用為主，但因受季節影響，產量及品質均不穩定。本研究自屏東琉球海域採集海門冬四分孢子體階段之藻體進行培養，探討其最適水溫與光照條件。結果顯示，水溫方面，以 24 – 30°C 藻體生長顯著優於 15 – 21°C，高溫組內雖無顯著差異，但以 24°C 為最佳；光照強度則以 5,000 – 10,000 lux 顯著優於 2,500 lux，強光組內無顯著差異；光照波長培養結果以全波長 (白光) 生長顯著優於紅、藍、綠光；而光照週期各組之間則沒有顯著差異。另為進一步了解臺灣週邊海域採集之海門冬種類，分別自屏東縣恆春鎮、琉球鄉及臺東縣成功鎮採集海門冬藻體，經分子生物學鑑定結果證實皆為 *A. taxiformis*。未來將持續探討鹽度、營養鹽配方對該藻培養之影響，進而確立海門冬繁養殖技術，以供學術及產業各界參考應用。

關鍵詞：海門冬、四分孢子體、甲烷

前言

近年來全球平均溫度不斷上升，恐將導致沿海地區遭受淹沒、糧食供應發生短缺等嚴重問題，而全球暖化的原因主要是人類活動排放二氧化碳、甲烷 (methane, CH₄) 等大量溫室氣體而導致溫室效應加劇，自工業革命以降，二氧化碳濃度多了 35%，而甲烷含量則上升了 2.5 倍之多 (GML, 2023)，藉由同位素分析可以判斷，二氧化碳的大幅增加主要因為燃燒石化燃料所產生，另外，則是來自於農業及畜牧產業。根據聯合國糧食及農業組織 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) 的數據，一頭乳牛每年排放的甲烷高達 100 公斤，全球作為牲畜飼養的 35 億頭反芻動物產生的溫室氣體排放量約佔人為溫室氣體排放量的 6% (Beauchemin *et al.*, 2020)。

為了解決甲烷排放問題，近年來有學者收集並篩選多種海藻，測試對反芻動物排放甲烷的影響，

發現在模擬牛胃的體外發酵裝置中添加海門冬 (*Asparagopsis* sp.) 劑量 2% 以上時，可大幅抑制甲烷生成，同時對草料的發酵效率影響最小 (Machado *et al.*, 2014)。而實際應用在大宗畜牧物種乳牛、肉牛、綿羊身上進行試驗，則可以發現只要添加極少量 (約 1 – 3% 的日糧乾重)，便有極佳的抑制甲烷排放效果，且對綿羊所產羊毛、牛隻自身肉質及乳汁品質與產量皆無顯著影響，同時也沒有殘留溴化物之現象 (Kinley *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2016; Roque *et al.*, 2019, 2021)。海門冬之所以可以減少甲烷排放，主要係因為它們能夠合成鹵化甲烷類似物，如溴仿 (三溴甲烷) 和二溴氯甲烷，並儲存在腺細胞內，以作為天然防禦機制。而這些類似物可透過結合維生素 B₁₂ 來抑制酶活性，進而減少產甲烷菌的代謝過程所產生的甲烷 (Paul *et al.*, 2006)。

海門冬屬 (*Asparagopsis*) 是一種紫紅色海藻，隸屬於紅藻門 (Rhodophyta)、真紅藻綱 (Florideophyceae)、柏安藻目 (Bonnemaisoniales)、柏安藻科 (Bonnemaisoniaceae)。根據世界海洋物種目錄 (World Register of Marine Species, WoRMS) 所載，該屬中已確認有 *Asparagopsis*

*通訊作者 / 屏東縣東港鎮豐漁街 67 號, Tel: (08) 832-4121 ext. 285; Fax: (08) 832-0234; E-mail: zyxu@mail.tfrin.gov.tw

armata、*A. taxiformis* 及 *A. svedelli* 等三個種 (WoRMS, 2023)，*A. taxiformis* 常見於熱帶和亞熱帶海域，而 *A. armata* 則分佈在暖溫帶地區。

海門冬具有配子體 (gametophyte)、果孢子體 (carposporophyte) 和四分孢子體 (tetrasporophyte) 等三相世代交替 (triphasic alternation of generations) 的生命週期 (Bonin and Hawkes, 1987)。海門冬之配子體於形態上有直立莖、匍匐莖之分，直立莖呈圓柱狀且分枝少，下部不分枝，上部為密集輻射狀的羽狀分枝，再由分枝的頂端長出許多細毛狀小枝，除前述配子體階段外，自配子體細枝上萌生之果孢子體係由雄性配子接觸雌配子體的授精絲 (trichogyne) 後發育而來，並於配子體親本上吸收養分進行生長，並不獨立生活。俟果孢子體成熟後，進行有絲分裂產生果孢子 (carpospores) 再釋放到水中，附著在某處基質 (substrate) 生長為絲狀的四分孢子體，再進行減數分裂，產生四分孢子 (tetraspore) 發育成配子體，從而完成了配子體—果孢子體—四分孢子體三種形態的世代交替。該藻於絲狀的四分孢子體階段比配子體更適合進行無性繁殖，特別是運用在集約化的陸上養殖 (Mata *et al.*, 2011)。

海門冬廣布在全世界暖溫帶和熱帶海域，例如太平洋熱帶海域，韓國、日本、琉球群島、中國東南沿海、臺灣、馬來西亞、菲律賓、夏威夷等，皆可發現其生長蹤跡。在臺灣則主要產於恆春半島、東北部、小琉球、綠島、蘭嶼及澎湖，該藻生長在低潮線至潮下帶的岩石上，每年一至五月為盛產期，夏季則較少出現 (江等, 1990; 農業部, 2023)。

由於過往人工商業養殖技術尚未確立普及，海門冬來源仍倚靠人工野外採集為主，除了族群隨著季節變化消長外，藻體採集量也相當有限，即便只需要添加 1% 的海門冬在牛羊飼料中便能有顯著的甲烷減排效果，但如要滿足畜牧業如此大量的原料需求仍是相當困難，然而隨著全球氣候變遷及棲地改變，各地野生海藻資源恐將逐漸枯竭，當採集量驟減之際，實難以確保海門冬品質之優劣，在產業推廣上也會更為困難，勢將嚴重影響生態平衡及產業發展，因此建立海門冬養殖量產技術，勢必成了落實這項願景的首要之務。

目前國外有關海門冬培養技術相關研究甚少，臺灣國內相關研究則闕如，爰此本研究將鑑定

臺灣周邊海域所產海門冬為哪一種群，同時究明不同溫度與光照條件對於海門冬四分孢子體培養之影響，以作為後續建立海門冬人工繁養殖技術之參考。

材料與方法

一、海門冬藻種來源

本研究所以培養試驗海門冬四分孢子體階段之藻體 (Fig. 1)，採自屏東縣琉球地區之海域，人員以水肺潛水方式至潮下帶三米內深處以徒手方式採集藻體後，置入塑膠袋中連同棲地海水帶上水面岸邊，並以置有冰磚之保冰桶進行保存運送，保存運送期間之水溫保持在 22–26°C 之間。海門冬藻體回到實驗室立即更換乾淨新鮮之海水，初步以鑷子進行挑選及清潔，將其他藻類或黑邊海兔 (*Aplysia parvula*) 等附生生物移除，再將藻體轉置入 2 L 錐形瓶中，錐形瓶中預先填裝有 *f/2* 營養鹽配方 (Guillard and Ryther, 1962) 及二氧化鎢 (GeO_2) 之砂濾海水，並放置於恆溫生長箱打氣培養，持續培養馴化並保存，以作為後續試驗之種原，生長箱之溫度為 22°C，以 T8 日光燈管提供 5,000 lux 光照，光照週期日夜比為 14:10。



Fig. 1 The tetrasporophyte (as indicated by the arrow) of *Asparagopsis taxiformis*. Scale bar = 50 μm .

二、不同溫度條件培養試驗

自琉球地區海域採回馴養保存之藻種中取初重約 0.1 g 之海門冬藻體置於 2 L 錐形瓶中，以砂濾海水在恆溫生長箱中以 T8 日光燈管提供 2,000 lux 光源，光照週期日夜比為 12:12，試驗溫度設置六種不同溫度試驗組別，分別為 15°C、18°C、21°C、24°C、27°C、30°C，經培養

14 天後，每日全換水一次，測定末重以計算特殊生長率 (specific growth rate, SGR)，並觀察藻體生長及活存變化，每組均採 3 重複。

三、不同光照條件培養試驗

(一) 不同光照強度

自前述藻種中取初重約 0.1 g 之海門冬藻體置於 2 L 錐形瓶中，在控溫 24°C 之恆溫生長箱中，以鹽度 25 psu 之砂濾海水添加 f/2 配方 (1 ml/L) 及二氧化銻 (1 ml/L) 進行連續打氣培養，試驗以 T8 日光燈管提供光源並設置三種不同光照強度試驗組分別為 2,500、5,000、10,000 lux 等，光照週期日夜比為 12:12，經培養 14 天，每日全換水一次，測定末重以計算 SGR，並觀察藻體生長及活存變化，每組均採 3 重複。

(二) 不同光照週期

自前述藻種中取初重約 0.1 g 之海門冬藻體置於 2 L 錐形瓶中，在控溫 24°C 之恆溫生長箱中，以鹽度 25 psu 之砂濾海水添加 f/2 配方 (1 ml/L) 及二氧化銻 (1 ml/L) 進行連續打氣培養，以 T8 日光燈管提供光源 5,000 lux，並設置三種不同光照週期試驗組，分別為 L10 組 (光 10 hr: 暗 14 hr)、L12 組 (光 12 hr: 暗 12 hr)、L14 組 (光 14 hr: 暗 10 hr)，經培養 14 天，每日全換水一次，測定末重以計算 SGR，並觀察藻體生長及活存變化，每組均採 3 重複。

(三) 不同光照波長

自前述藻種中取初重約 0.1 g 之海門冬藻體置於 70 L 之玻璃缸中，以冷水機 (日生, CL280 型) 控制溫度在 28°C，並以鹽度 25 psu 之砂濾海水添加 f/2 配方 (1 ml/L) 及二氧化銻 (1 ml/L) 進行連續打氣培養，並設置四種不同光照波長之 LED 燈泡試驗組分別為全波長白光、620 nm 波長紅光、540 nm 波長綠光、460 nm 波長藍光，光照週期日夜比為 12:12，經培養 14 天後(每週全換水一次)，測定末重以計算 SGR，並觀察藻體生長及活存變化，每組均採 3 重複。

四、分子生物學鑑種

分別將屏東琉球、恆春地區及臺東成功地區所採集的海門冬樣品，以市售植物組織抽取套組 (taco™ Plant DNA/RNA Extraction Kit) 抽取粒線體 DNA (mitochondrial DNA, mtDNA)，根據美國國家生物技術信息中心 (National Center for Biotechnology Information, NCBI) 資料庫上 *A. taxiformis* 細胞色素 c 氧化酶亞基 I (cytochrome c oxidase I) 基因序列 (accession number: KJ398158.1 及 NC_026843.1)，以 mtDNA COI 基因序列相似度高的保留區域，設計一組引子 ATcox1 F: 5'-AGTGTTAGTCTGTCGCATTAAAGGTTG-3' 及 ATcox1 R: 5'-CAATATGACTAACCATCCCAAACCAG-3'，再分別取 10 µl 的 PCR Master Mix (KAPA KK1024 KAPA Taq Ready Mix, Merck) 及 10 µl 去離子水，再加入兩種引子各 1 µl，最後加入 1 µl 的 DNA 樣本至 PCR 離心管內 (約 23 µl)，並於儀器中設置升降溫程序以進行聚合酶連鎖反應 (polymerase chain reaction, PCR)，PCR 循環包括在 94°C 下加熱 5 min 的初始步驟，隨後是 35 個循環，即 95°C 加熱 30 sec、59°C 加熱 30 sec、72°C 加熱 1 min 30 sec，最後在 72°C 下加熱 7 min。將 PCR 產物添加 DNA 染劑後再注入 1.5% 的瓊脂醣凝膠 (agarose gel) 孔洞，同時以 100 bp DNA Ladder (DNA VIEW TT-DNA01, 圖爾思生技) 作為對照，進行電泳 15 min (100 V)，再將膠體放置於紫外光燈箱內，以相機拍攝 DNA 條帶後，將所擴增之 PCR 產物從膠體切出後交由生技公司 (基龍米克斯生物科技股份有限公司) 進行基因定序，最後將定序結果與 NCBI 進行序列比對，以查明可能之物種。

五、統計分析

本試驗結果皆以變異數分析 (analysis of variance, ANOVA) 進行統計檢定，當檢定結果達顯著差異 ($p < 0.05$) 時，再以杜凱法 (Tukey's test) 進行事後檢定，以檢定各組間差異之顯著性 ($p < 0.05$)。

結果與討論

在不同溫度條件培養試驗中，海門冬各試驗組之 SGR 範圍為 0.25 - 16.6% (Fig. 2)，結果發現，海門冬的生長情形隨水溫的增加而有顯著增加的趨勢 ($p < 0.05$)，其中以培養在水溫 24°C 的試驗組之生長率最佳 ($16.6 \pm 1.02\%$)，顯著高於培養水溫低於 21°C 的各試驗組者，但與培養在水溫 27°C 及 30°C 的試驗組海門冬的生長率間並無顯著差異，所有試驗組中之培養水溫為 15°C 的試驗組之生長情形最差 ($0.25 \pm 2.44\%$)，且發現其中有藻體泛白糜爛凋亡的現象，顯見該溫度條件下，不適合海門冬生存。

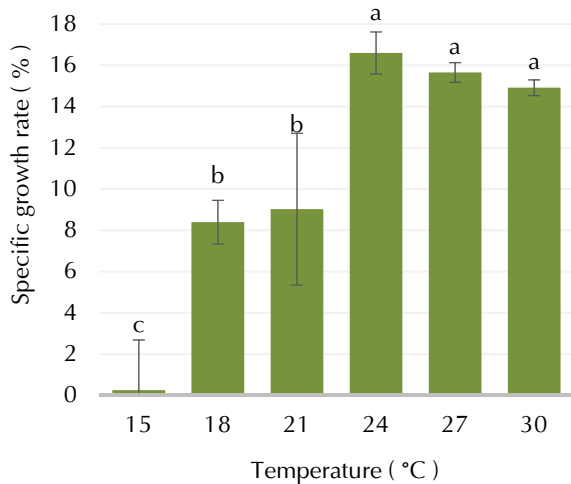


Fig. 2 The specific growth rates of *Asparagopsis taxiformis* cultured under different temperature conditions, namely, 15, 18, 21, 24, 27 and 30 °C, for 14 days. Data are presented as means ± standard deviations. Different letters are significantly different ($p < 0.05$).

Mata *et al.* (2017) 在澳洲昆士蘭州 (Queensland) 鄰近兩處海域採集海門冬四分孢子體測試在不同溫度條件下對生長影響之研究，結果顯示溫度在 20.2°C 其生長率最高，而在 28.1°C 生長率最低；Batista (2020) 則在葡萄牙亞速爾群島 (Azores) 採集海門冬配子體測試在 15°C、20°C 及 25°C 條件下生長情形，結果顯示藻體僅在 15°C 有正成長 (positive growth)，其餘兩組則皆呈現負成長 (negative growth) 甚至逐漸凋亡。但由本研究結果發現，採自臺灣屏東琉球周邊海域之海門

冬四分孢子體具有適應高溫的能力，該生命階段在夏季水溫 30°C 之環境下仍能維持一定生長，推測可能原因應與棲地生態環境有關。另 Mata *et al.* (2017) 採集海門冬四分孢子體之海域 (澳洲昆士蘭州) 水溫約在 20 - 28°C 間，本研究採集海域之水溫則是介於 24 - 30°C (臺灣琉球鄉)，在此範圍內藻體皆能生長，但兩項研究皆以適溫範圍內最低溫組 (分別為 20.2°C 與 24°C) 生長情形最佳；至於 Batista (2020) 採集藻體之海域 (葡萄牙亞速爾群島) 水溫在春季約為 15°C 左右，但其所採集海門冬為配子體階段，較不適於夏季水溫活存生長，故試驗結果與採集棲地環境水溫相符，以 15°C 組生長情形最佳。目前已發表文獻認為海門冬野外族群不耐夏季高溫 (Mata *et al.*, 2017; Batista, 2020)，本研究結果具有重要生態意義，但仍有待日後更進一步的研究來證實。

由海門冬四分孢子體在不同光照強度培養試驗結果 (Fig. 3) 顯示 2,500 lux 組生長率最低 ($11.05 \pm 0.48\%$)，顯著低於 5,000 lux 及 10,000 lux 等試驗組者 ($p < 0.05$)；5,000 lux 組的生長率最高 ($15.94 \pm 1.01\%$)，但與 10,000 lux 組 ($15.37 \pm 2.54\%$) 並無統計差異。

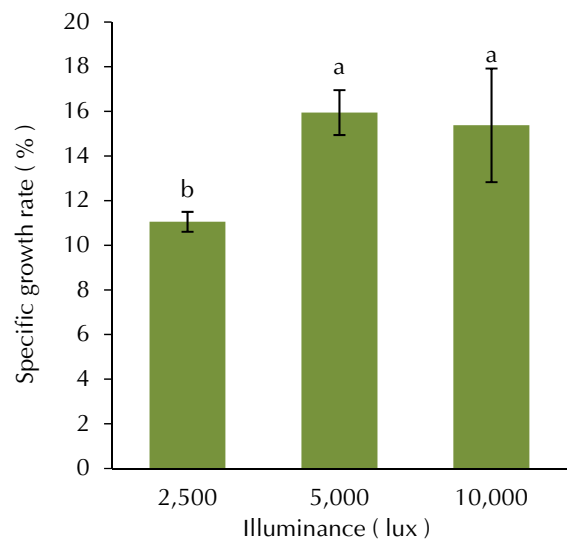


Fig. 3 The specific growth rates of *Asparagopsis taxiformis* cultured under different illuminance conditions, namely, 2500, 5000, and 10000 lux, for 14 days. Data are presented as means ± standard deviations. Different letters are significantly different ($p < 0.05$).

依據 Batista (2020) 比較海門冬配子體在光照強度 20 及 40 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下的生長情形，其使用的光照強度換算為本試驗所使用光照單位，約為 1,480 及 2,960 lux (Thimijan and Heins, 1982)，由該試驗結果顯示以 40 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 培養成長效果最佳，顯著高於 20 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 試驗組者 ($p < 0.05$)，但由於該研究只設定兩種光照強度，且以配子體階段進行試驗，雖與本研究擇定條件有所差異，但可互補參照，本研究的結果顯示 5,000 lux 光照強度培育海門冬四分孢子體優於 2,500 lux，與 10,000 lux 間無顯著差異，因此若在可調控的生產環境下，建議提供光照強度為 5,000 lux 即可滿足海門冬四分孢子體生長所需，以減少生產過程中無謂的能量及成本投入。

光週期現象 (photoperiodism) 係指生物對光照和黑暗週期之相對長度的生長反應，也稱光週期反應 (photoperiodic reaction)，狹義來說是指動物、植物生活史的某些方面受光、暗時間長度的控制。本研究在不同光照週期條件培養試驗中，結果顯示培養在光照 10 hr (L10)、12 hr (L12) 及 14 hr (L14) 等不同光照週期下培養 14 天後，各試驗組間無論光照時間長或短，對於海門冬的生長情形皆無顯著差異，其平均 SGR 分別為 $14.91 \pm 0.55\%$ 、 $15.58 \pm 0.39\%$ 及 $16.16 \pm 1.90\%$ (Fig. 4)。雖然統計分析顯示，較長光照時間對於藻體生長增殖雖沒有顯著影響，但仍可觀察到平均 SGR 會隨著光照時間增加而微幅上升，由本研究結果做為商業化人工生產模式之參考，建議提供 10 - 14 hr 的光照，可得較佳之投入成本與藻體產量之邊際效用 (marginal utility)。

光照條件對包含藻類在內的植物生長和發育非常重要，除了可作為光合作用的能量來源以外，光照也掌控了植物的光形態發生 (photomorphogenesis) 一系列發育過程。在本研究不同光照波長培養試驗結果顯示，海門冬生長情形以白光組海門冬的生長情形最佳，顯著高於綠光組 (540 nm)、紅光組 (620 nm) 以及藍光組 (460 nm) 等試驗組 ($p < 0.05$)，各試驗組之平均 SGR 依序為 $15.63 \pm 0.27\%$ 、 $4.80 \pm 0.56\%$ 、 $5.1 \pm 1.73\%$ 以及 $4.95 \pm 0\%$ ，而紅光組、綠光組及藍光組間的 SGR 間無顯著差異 (Fig. 5)。由此推知單一光源似仍無法有效滿足海門冬生長所需，後續研

究方向將更進一步探討同時使用多種光照波長組合進行量產培養的可行性評估。

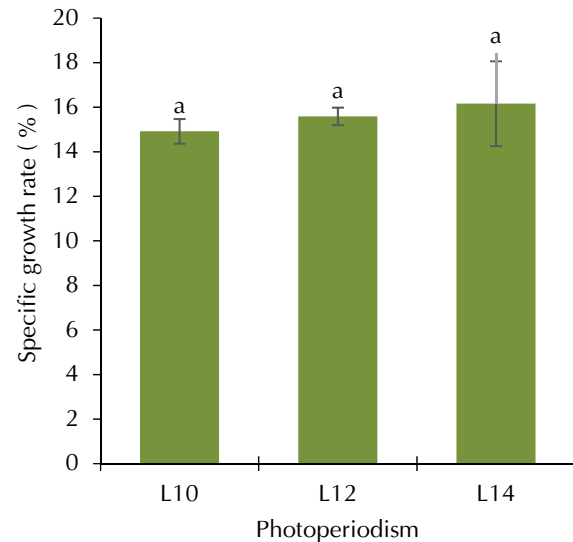


Fig. 4 The specific growth rates of *Asparagopsis taxiformis* cultured under different light-dark cycle conditions, namely, L10 (10 hours of light), L12 (12 hours of light), and L14 (14 hours of light), for 14 days. Data are presented as means \pm standard deviations. Different letters are significantly different ($p < 0.05$).

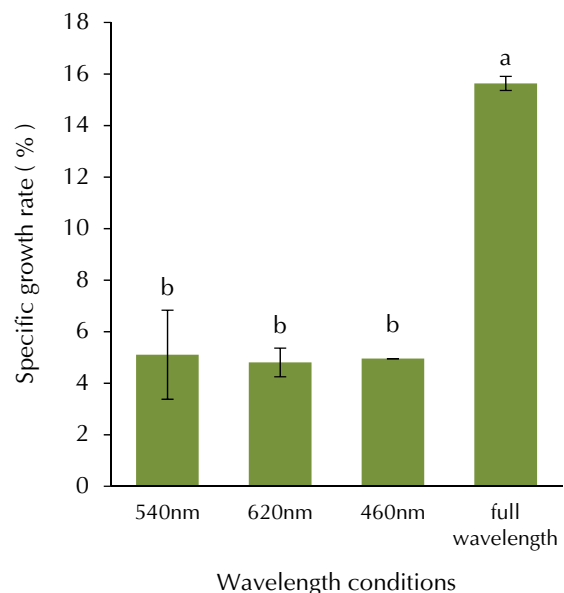


Fig. 5 The specific growth rates of *Asparagopsis taxiformis* cultured under different optical wavelength conditions, namely, 540 nm (green light), 620 nm (red light), 460 nm (blue light), and full wavelength light (white light), for 14 days. Data are presented as means \pm standard deviations. Different letters are significantly different ($p < 0.05$).

Table 1 Percent identity matrix for samples of *Asparagopsis taxiformis* collected from different areas

	AB774223.1*	KJ960344.1*	LQ	HM915860.1**	EU146155.1**	CG	HC	JN642177.1**
AB774223.1*	100.00	100.00	86.18	86.80	86.02	86.49	86.49	86.12
KJ960344.1*	100.00	100.00	86.42	86.90	86.02	86.57	86.57	86.14
LQ	86.18	86.42	100.00	95.63	94.72	93.44	93.66	95.02
HM915860.1**	86.80	86.90	95.63	100.00	96.58	96.69	96.69	97.20
EU146155.1**	86.02	86.02	94.72	96.58	100.00	97.83	97.83	98.09
CG	86.49	86.57	93.44	96.69	97.83	100.00	97.68	99.07
HC	86.49	86.57	93.66	96.69	97.83	97.68	100.00	99.07
JN642177.1**	86.12	86.14	95.02	97.20	98.09	99.07	99.07	100.00

*NCBI *Asparagopsis armata* COI seq**NCBI *Asparagopsis taxiformis* COI seq

LQ: Collected from Liuhui Township, Pingtung County

CG: Collected from Chenggong Town, Taitung County

HC: Collected from Hengchun Township, Pingtung County

本研究實地調查發現，臺灣周遭海域的海門冬分布相當零散，在澎湖縣觀音亭、屏東縣琉球鄉、恆春半島、東北角及臺東沿岸等皆可發現其族群。本研究以琉球鄉（代號為 LQ）、恆春鎮（HC）及成功鎮（CG）所採集的海門冬樣品進行基因定序，並利用歐洲生物資訊研究所（European Bioinformatics Institute, EBI）歐洲分子生物學實驗室（European Molecular Biology Laboratory）網站的多重序列比對（multiple sequence alignment）軟體與 NCBI 資料庫之多條已知海門冬基因序列進行比對（Kanz *et al.*, 2005），結果顯示琉球鄉、恆春鎮及成功鎮採得的海門冬樣品 *cox-I* 基因序列相似度與 *A. taxiformis* 較高（94 - 97%），而與 *A. armata* 的相似度僅 86%，其中恆春樣本與成功樣本的序列相似度較高（99%），琉球樣本則與其他兩處樣本相似度僅為 94%（Table 1），由此推測臺灣本島成功與恆春兩處之海門冬族群因地理位置與生長環境相似，應屬同一族群（population），然琉球採得之海門冬則可能因地理區隔導致發生異域種化（allopatric speciation），目前尚未證實，仍須進一步研究才能確認。本研究發現琉球鄉所採得之海門冬樣本不僅在基因序列上與其它兩處有所差異外，外觀形質上亦有些許不同，如琉球採獲之海門冬葉狀小枝較為圓潤濃密，恆春及成功所採得海門冬葉狀小枝則較為尖細且稀疏，在顏色方面琉球樣本偏紅褐色，恆春及成功樣本較為鮮紅（Fig.

6），因此有關屏東恆春、琉球及臺東成功等三處所採得之海門冬的溴化物含量、培養條件及生長速度等，後續將再進一步探討。

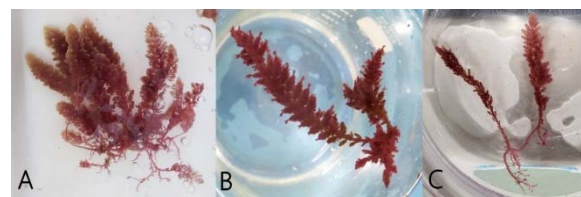


Fig. 6 Differences in the appearances of *Asparagopsis taxiformis* specimens collected from three regions. (A) Collected from Liuhui Township, Pingtung County. (B) Collected from Hengchun Township, Pingtung County. (C) Collected from Chenggong Town, Taitung County.

參考文獻

- 江永棉, 王瑋龍, 黃淑芳 (1990) 臺灣海藻簡介. 臺灣省立博物館出版部, 88 pp.
- 農業部 (2023) 大型藻主題館 (<https://reurl.cc/80Xog4>).
- Batista, M. M. (2020) Reproduction and cultivation of *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan. Master's Thesis, University of the Algarve, 34 pp.
- Beauchemin, K. A., E. M. Ungerfeld, R. J. Eckard and M. Wang (2020) Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation. *Animals*, 14(1): 2-16.
- Bonin, D. R. and M. W. Hawkes (1987) Systematics and life histories of New Zealand Bonnemaisoniaceae

- (Bonnemaisoniales, Rhodophyta) : I. The genus *Asparagopsis*. N. Z. J. Bot., 25: 577-590.
- GML (2023) Global Monitoring Laboratory at <https://gml.noaa.gov/dv/iadv/graph.php?code=MLO&program=ccgg&type=ts>. (Accessed 17 Jan. 2023).
- Guillard, R. R. L. and J. H. Ryther (1962) Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* Cleve. Can. J. Microbiol., 8: 229-239.
- Kanz, C., P. Aldebert, N. Althorpe, W. Baker, A. Baldwin, K. Bates, P. Browne, A. van den Broek, M. Castro, G. Cochrane, K. Duggan, R. Eberhardt, N. Faruque, J. Gamble, F. G. Diez, N. Harte, T. Kulikova, Q. Lin, V. Lombard, R. Lopez, R. Mancuso, M. McHale, F. Nardone, V. Silventoinen, S. Sobhany, P. Stoehr, M. A. Tuli, K. Tzouvara, R. Vaughan, D. Wu, W. Zhu and R. Apweiler (2005) The EMBL Nucleotide Sequence Database. Nucleic Acids Res., 33: 29-33.
- Kinley, R. D., R. de Nys, M. J. Vucko, L. Machado and N. W. Tomkins (2016) The red macroalgae *Asparagopsis taxiformis* is a potent natural antimethanogenic that reduces methane production during *in vitro* fermentation with rumen fluid. Anim. Prod. Sci., 56(3): 282-289.
- Li, X., H. C. Norman, R. D. Kinley, M. Laurence, M. Wilmot, H. Bender, R. de Nys and N. Tomkins (2016) *Asparagopsis taxiformis* decreases enteric methane production from sheep. Anim. Prod. Sci., 58(4): 681-688.
- Machado, L., M. Magnusson, N. A. Paul, R. de Nys and N. Tomkins (2014) Effects of marine and freshwater macroalgae on *in vitro* total gas and methane production. PLoS One, 9(1): e85289.
- Mata, L., H. Gaspar, F. Justino and R. Santos (2011) Effects of hydrogen per-oxide on the content of major volatile halogenated compounds in the red alga *Asparagopsis taxiformis* (Bonnemaisoniaceae). J. Appl. Phycol., 23(5): 827-832.
- Mata, L., R. J. Lawton, M. Magnusson, N. Andreakis, R. de Nys and N. A. Paul (2017) Within-species and temperature-related variation in the growth and natural products of the red alga *Asparagopsis taxiformis*. J. Appl. Phycol., 29(3): 1437-1447.
- Paul, N. A., L. Cole, R. de Nys and P. D. Steinberg (2006) Ultrastructure of the gland cells of the red alga *Asparagopsis armata* (Bonnemaisoniaceae). J. Phycol., 42(3): 637-645.
- Roque, B. M., J. K. Salwen, R. Kinley and E. Kebreab (2019) Inclusion of *Asparagopsis armata* in lactating dairy cows' diet reduces enteric methane emission by over 50 percent. J. Clean. Prod., 234: 132-138.
- Roque, B. M., M. Venegas, R. Kinley, R. de Nys, T. L. Neoh, T. L. Duarte, X. Yang, J. K. Salwen and E. Kebreab (2021) Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. PLoS One, 16(3): e0247820.
- Thimijan, R. W. and R. D. Heins (1982) Photometric, radiometric, and quantum light units of measure: a review of procedures for interconversion. HortScience, 18: 818-822.
- WoRMS (2023) World Register of Marine Species at <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdet&id=143809> (Accessed 17 Jan. 2023).

Effects of Temperature and Illumination Conditions on the Growth of Tetrasporophyte of *Asparagopsis taxiformis*

Zi-Yan Xu^{*}, Yang-De Chen, Hsuan-Ming Chang, Yi-Che Su and Feng-Cheng Wu

Tungkang Aquaculture Research Center, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

A red algae species called *Asparagopsis taxiformis* inhabit the waters of Taiwan's Pingtung. In recent years, the species has been discovered to effectively mitigate methane emissions from ruminant animals, but a commercial cultivation technique has yet been established. Currently, the main method of acquiring *A. taxiformis* is through the collection of wild algae, resulting in unstable production and quality due to seasonal variations. This study investigated the cultivation conditions and found that the algae's growth was significantly better at water temperatures of 24-30°C compared to 15-21°C. No significant differences were observed within the higher temperature range, but 24°C was the optimal temperature. In terms of light intensity, the cultivation results showed a significant improvement at 5,000-10,000 lux compared to 2,500 lux, and no significant differences were observed within the high intensity group. Regarding light wavelengths, full spectrum (white light) showed significant superiority in growth compared to red, blue, and green light. No significant differences were observed among the different photoperiods. Furthermore, molecular biology identification confirmed that the *A. taxiformis* collected from Hengchun Township and Liuqiu Township in Pingtung County as well as Chenggong Township in Taitung County were all of the same species. Going forward, further investigation on the effects of salinity and nutrient formulations on the cultivation of this algae could establish cultivation techniques for *A. taxiformis*, providing valuable references for academia and various industries.

Key words: *Asparagopsis taxiformis*, tetrasporophyte, methane

*Correspondence: No. 67, Fongyu St., Tungkang, Pingtung 92845, Taiwan. TEL: (08)8324121 ext. 285; FAX: (08)8320234; E-mail: zyxu@mail.tfrin.gov.tw

臺灣牡蠣主要產區養殖戶面臨之困境與問題點研究

楊清閔

農業部水產試驗所沿近海漁業生物研究中心

摘要

臺灣牡蠣 2021 年總產量約 18,000 mt，產值約新臺幣 40 億元，是我國極為重要的經濟貝類養殖產業之一。然而新聞媒體偶有報導牡蠣大量死亡與病蟲害情形發生，加上國外牡蠣進口量大增，內外雙重打擊讓臺灣牡蠣養殖產業陷入經營困境，近年總產量及產值呈現下滑趨勢。為能掌握臺灣牡蠣各主產區養殖戶實作上的困境與問題點，本研究採用現地訪問調查與問卷方式，探討不同產區問題點項目及其重要性排序。分析結果顯示，養殖戶面臨的主要共同問題為：越南蚵（進口蚵）的大量進口 (C1)、養殖區環境劣化（潟湖消失）(A1) 與清淤少 (D5)。影響所及，除了造成養殖牡蠣的風險增加與利潤減少外，適合養殖的面積逐漸縮小，導致大部分牡蠣養殖戶只好減少放養量來因應。現階段除加強進口牡蠣的抽查檢驗以及進口產地的證明與標示管控，也需做好本土產牡蠣的市場區隔，同時進一步提升本土產牡蠣品質。本研究提供一個簡單且直接貼近產業的調查分析方式，解析各產區養殖戶對產業困境的意見與建議，提供產官學研界瞭解各牡蠣養殖產區的實際需求，思考解決各產區困境的因地適宜折衝方案的參考依據。

關鍵詞：牡蠣、牡蠣養殖戶、問卷調查、環境劣化、越南蚵、進口蚵

前言

牡蠣養殖是臺灣極為重要的經濟貝類養殖產業之一，由於飼養牡蠣不需要投餵人工飼料，只需放養於淺海、潟湖或潮間帶即可進行養成，因而極具環保與經濟價值（楊, 2012）。依漁業統計年報與放養量申報資料，臺灣牡蠣養殖的規模，2021 年的總產量約 18,000 mt，產值約達新臺幣 40 億元。主要產區位於臺灣西南部的彰化縣 (1,395 mt, 8%)、雲林縣 (4,167 mt, 23%)、嘉義縣 (8,521 mt, 47%)、臺南市 (2,144 mt, 12%)，以及離島的澎湖縣 (1,453 mt, 8%)，本島（彰雲嘉南）的產量與產值約佔總量的 92%。目前臺灣的牡蠣養殖戶約 2,000 戶左右，主要產區申報養殖組數與戶數如 Table 1 所示，以臺南市、彰化縣、嘉義縣及雲林縣的從業人口較多，養殖方式則以平掛式（適合有潟湖、淺灘與潮間帶的沿海環境）、垂下式（適合具有內灣與潮溝的地區）、浮筏式（適合淺海地區）與延繩式（適合較深水域的地區）。

臺灣的牡蠣體型較小，最大體長約 10 cm 左右（林, 2009）。經 Hsiao *et al.* (2016) 透過生命條碼 (DNA barcoding) 鑑定證實，臺灣西部及中國東南沿海等 12 處牡蠣品種全都是葡萄牙牡蠣 (*Crassostrea angulata*)，不是太平洋牡蠣 (*C. gigas*)。葡萄牙牡蠣來自於東南亞物種，種原中心為臺灣。王 (2018) 論文提及葡萄牙牡蠣及太平洋牡蠣外觀相似，早期研究中臺灣牡蠣一般認為是太平洋牡蠣，近年研究發現此兩種牡蠣在基因上明顯不同 (Boudry *et al.*, 1998; Foighil *et al.*, 1998)。蕭等 (2012) 利用粒線體非編碼區序列 (mitochondria non-coding region) 分析顯示臺灣產葡萄牙牡蠣族群擁有較高的遺傳多樣性。葡萄牙牡蠣可能是在 16 世紀時，由亞洲傳至葡萄牙 (Haure *et al.*, 2003)。

臺灣的牡蠣養殖至今已超過 300 年的歷史（胡, 2004）。林 (2009) 詳盡說明臺灣牡蠣養殖的現況及過去至 2008 年的演變過程，嘉義東石鄉是全臺最大的牡蠣集散地區與剖蚵加工區。雲林臺西鄉為臺灣唯一的牡蠣著苗專業生產區（孫, 2012）。臺灣牡蠣養殖方式以浮筏式養殖牡蠣生長最快，棚架垂下式次之，最慢為棚架平掛式，而生長的速

*通訊作者 / 高雄市前鎮區漁港北三路 6 號 ; TEL: (07) 821-8103 ext. 222; E-mail: cmyang@mail.tfri.gov.tw

Table 1 Numbers of aquaculture facilities and oyster farmers in main oyster-producing areas in Taiwan in 2022

Main oyster producing areas	Overturned frame		Straight frame		Floating frame		Longline		Total farmers
	facilities	farmers	facilities	farmers	facilities	farmers	facilities	farmers	
Tainan	3,145	393	189	11	7,980	188	0	0	580
Changhua	1,800	575	0	0	0	0	0	0	575
Chiayi	1,440	432	0	0	6,506	225	0	0	547
Yunlin	2,996	226	8,850	40	2,010	103	0	0	275
Penghu	0	17	0	0	314	3	1,021	51	58
Lianjiang	0	0	0	1	0	0	14	5	13
Total	9,381	1,643	9,039	52	16,810	519	1,035	56	2,048

Source: aquaculture fishery stocking query platform (<https://fadopen.fas.gov.tw/fadopen/about.jsp>)

率與浸水濾食時間長短有關 (Lin and Liang, 1982)。牡蠣成長也受許多環境因子影響，不同程度的營養鹽和浮游植物量會造成牡蠣殼及肉重在地點間有差異 (Costil *et al.*, 2005)，而臺南市浮筏式養殖的育肥成長成效明顯較高 (楊, 2012)，為能增加收益而牡蠣養殖密度偏高。但高密度養殖生長速率較差，造成代謝廢物增加與攝食餌料不足等 (Shui *et al.*, 2002; Mao *et al.*, 2005)，鄰近個體間接觸亦造成競爭壓力，增加殼損傷機率，使能量投入修復損傷 (Hadley and Manzi, 1984)。臺灣的牡蠣養殖產業鏈分工已趨向細膩，例如雲林臺西鄉供應臺灣 2/3 的蚵苗至各主要產區，而部分嘉義縣與雲林縣所育成的中蚵牡蠣，販售至臺南市進行育肥。臺南市養殖戶策略以放養一半棚數中蚵蓄養，另一半放養蚵苗，中蚵大約 2 - 4 cm 體型，蓄養約 45 - 75 天即可收成出售 (吳, 2008)，中蚵售出後，蚵苗進行分苗移植至空棚放養，獲取空間利用的最大效益。

然而，臺灣牡蠣養殖產業亦遭遇到許多的問題，郭等 (1998) 指出包括：1、天然苗附苗率降低；2、作業人力老化；3、天然敵害無法防治；4、沿岸海埔地及工業區持續開發導致原有不少牡蠣養殖區遭工業廢水之污染嚴重；5、臺灣牡蠣養殖區隨近海環境變遷而變遷。簡 (2021) 評論，雖然水產試驗所曾經以人工附苗技術進行技術移轉，但因脫離蚵農身處的地方與市場脈絡，較難形成與在地環境和市場相互連結的社群。蔡 (2004) 提及 1983 - 2002 年間，牡蠣養殖面積與產量減少的原因為環境污染，包括彰化的彰濱工業區開發、臺南

市二仁溪廢五金、雲林的離島工業區開發。使得 2002 年的養殖面積縮減不到 1/4。此外，亦提及牡蠣戶經營困難的三項主要原因為：1、養殖勞力不足或流動性大；2、水質污染；3、養殖產品售價不穩定。楊與巫 (1996) 指出近年來工業發展快速，沿海岸受污染日益嚴重，而且周遭地形破壞嚴重，造成不適合牡蠣養殖的區域增加。孫 (2012) 提及 2009 年因莫拉克風災，造成牡蠣養殖面積大幅減少。以及 1999 年與 2000 年，臺西牡蠣苗生產區的產量大幅減少，業者認為是採苗器上被大量泥沙覆蓋所造成的，泥沙來自鄰近新興工業區的開發，抽沙船抽沙時造成的漂沙。經調查結果，抽沙工程產生的漂沙確實對牡蠣苗的生產有重大的不良影響。牡蠣附苗業者及養殖業者常遭遇到天敵與泥沙沉積等問題，因而影響牡蠣產業之發展 (許與陳, 1989)。吳 (2008) 提及問題點：1、資金不足問題；2、供需失調問題；3、人口老化問題；4、廢棄蚵架回收處理問題；5、敵害問題。臺灣牡蠣敵害問題影響甚久，臺灣牡蠣養殖以蚵螺 (*Purpura clavigera*)，香螺 (*Cymatium pileare*) 及扁蟲 (*Stylochus* sp.) 等敵害為最嚴重 (Lin and Tang, 1980; 楊和巫, 1996; 李, 2003; 陳, 2006; 楊, 2012)，另外被覆性生物，例如海綿、水螅、苔蘚蟲等遇到適當環境條件，繁衍能力強、成長速度快，導致與牡蠣出現搶食狀況，影響到高經濟價值牡蠣之正常成長 (陳, 2001; 陳, 2008)。王 (2018) 提及包括氣候變遷與海水酸化問題，隨著海水溫度升高，沿海水域溶氧飽和度將逐漸降低，導致弧菌等一些微生物更容易滋生 (Oliver, 2013)。尤其

是細菌的增加會干擾牡蠣營養吸收並影響健康。使牡蠣的免疫功能受損，進而導致牡蠣數量減少和品質降低 (Khan *et al.*, 2018)。此外，包括近年颱風侵襲的時間變得詭譎不定、溫度的極端變化，雨季來臨時大量沖刷到沿岸的泥沙，環境污染因素，天然苗來源與供需失調，人口老化與敵害等等諸多問題，均是臺灣牡蠣養殖近年來所遇到的問題點。

現在臺灣牡蠣養殖產業的總產量及產值，不僅已呈現下滑的趨勢，新聞媒體亦偶有報導牡蠣大量死亡與病蟲害情形發生，再加上外國牡蠣進口量大增，內外雙重的打擊讓臺灣牡蠣養殖產業的養殖戶苦不堪言，陷入經營的困境。牡蠣養殖產業所面臨到的問題，除了有產業共同面臨的困境外，隨各地方產區的環境特性與養殖方式不同，養殖戶所發生過的問題點與需求性亦有相異之處。為能掌握牡蠣養殖戶實作上的問題面向與基礎特徵，並尋求適合該地方產區的解決方案，本研究先採用現地訪問調查的方式，直接聽取養殖戶現有的問題點及發生異常時的推測原因，獲得臺灣牡蠣養殖產業所面臨到的問題點。再以問卷調查法分析不同牡蠣養殖產區所面臨問題點的差異性，並進行問題點重要性排序，探求不同牡蠣產區現今所面臨問題點的權重值，可得出各產區養殖戶對牡蠣養殖產業問題點項目的重要性排序。所得結果將可做為依產業出題，學研解題的概念，探求解決產業困境的方法，了解牡蠣養殖產業的實際需求，尋求具有潛力的發展方向之參考依據。

材料與方法

本研究在界定牡蠣養殖戶之問題點時，採用 1 對 1 的親訪調查與 1 對多的集會式調查為主，第 1 階段訪查目的在建立「牡蠣養殖產業面臨的困境與問題」項目。訪查問題集中於「近幾年養殖戶之牡蠣養殖遭遇到什麼樣困境或問題點？」，以及「是否有改善的方法與建議？」。由牡蠣養殖主產區之彰化縣、雲林縣、嘉義縣、臺南市等區漁會的協助，介紹牡蠣產銷班與牡蠣養殖戶，再由研究人員親訪，過程每人約 1 - 3 小時，由牡蠣養殖戶提出對主問題的見解，在訪問後由研究人員整理談話內容並彙整出關鍵字，再以關鍵字項目進行問題點的界定與分組。本階段於 2023 年 3 - 5 月間

進行，計訪問調查臺南市養殖戶 65 戶、嘉義縣養殖戶 34 戶、雲林縣養殖戶 23 戶，彰化 18 戶，參與 3 次產銷班集會 (約 70 戶次)。現地訪問調查的對象，除在產地村落間走訪調查之外，區漁會介紹的養殖戶大部分為牡蠣養殖戶的意見代表，包括牡蠣產銷班班長、村里長、漁會代表等。

依第 1 階段所彙整的結果，精簡問題點項目說明，詳如 Table 2 (一併參見附錄 1)，對牡蠣養殖戶經常提及之面臨困境與問題點的項目共計 23 項，以問題點關鍵字建立「牡蠣養殖產業面臨的困境與問題」幾何平均數與排序次序重心權重法 (SMARTER-ROC) 問卷。幾何平均數問卷之各因子重要性的評估分數 9 分為非常重要、7 分為重要、5 分為普通、3 分為不重要、1 分為非常不重要，以及不知道等選項，調查結果以 Figure 示之。黃等 (2004) 認為幾何平均數作為決策群體篩選評估準則的依據，以收統計上不偏的效果，避免極端值的影響，如此可使準則的選取效果更佳。張 (1998) 指出，幾何平均數比較可以代表決策群體中大部分專家、主管的意見，可以篩選出較具客觀性與公平性的準則。因此以幾何平均數代表決策群體對評價因子的共識，不需經多次反覆問卷，減少受訪專家不耐多次問卷的干擾，一般認為重要性程度大於 70% 可視為重要。而本研究將群體門檻值設定為 8 分以上為非常重要，5 分以下為不重要，用以更能明顯顯示與比較牡蠣養殖各主要產區對問題點的差異性。

在檢視受測問卷時可發現許多因子被評為 9 分，此時並無法顯示出受測者心中最重要的因子，且為避免忽略養殖戶的意見，故在幾何平均數問卷結束後，進行排序次序重心權重法的提問，調查結果以 Table 表示。排序次序重心權重法 (rank order centroid weights, ROC) 屬於簡易多屬性評等技術 (simple multi-attribute rating technique; SMART) (Edwards, 1977) 一環，經由 Edwards and Barron (1994) 改良 SMART 並提出一套新的給定權重的方法，稱為 SMARTER (SMART extended to ranking) (或稱 SMARTER-ROC)，利用排序的資訊來推導權重值。此法優於相對權重 Rank Sum (RS) 法之等量遞減 (Barron and Barrett, 1996)，在於排序在前與排序在後的屬性其權重值的差異拉得較大，也就是更加強調排序在前的屬性。依據簡 (2005)，排序次序重心權重法決定權重的關鍵只在

於權重的順序及屬性的個數。若所有屬性排序為 R_1, R_2, \dots, R_n ，相對之權重依序為 w_1, w_2, \dots, w_n ，且滿足 $1 > w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_n > 0$ ，則排序次序重心權重法的權重為式如下：

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{k=i}^n \frac{1}{k}$$

k 為權重的順序， n 為屬性的個數，本研究對受測養殖戶進行排序次序重心權重法 (SMARTER-ROC) 問卷時，請受測者選出問題點

中至關重要的項目 5 項並進行排序 (rank: 1、2、3、4、5) 給予權重值 (weight: 0.4567、0.2567、0.1567、0.09、0.04)。統整各產區受測者總合並進行權重比值計算，則可得出各產區受測者對議題問題點項目的重要性排序。第 2 階段問卷於 2023 年 5 - 6 月間進行，以臺灣牡蠣養殖主產區養殖戶的意見代表為主，共計原臺南縣 9 人，臺南市 10 人，嘉義縣 13 人，雲林縣 10 人，彰化縣 10 人。

Table 2 Key industrial concerns of oyster farmers in Taiwan's primary oyster-producing regions.

Key words of the problem	Brief description of the problem
Aquaculture environment	
A1. Environmental degradation	<ol style="list-style-type: none"> 1. The disappearance of lagoons and coastal erosion. 2. Qigu Lagoon, Waiyuding Island, coastal intertidal zones, and sandbanks are severely silted, leading to shallower water depths. 3. The changing environmental structure and water flow have reduced the suitable area for oyster cultivation.
A2. Rainfall deficiency	<ol style="list-style-type: none"> 1. The high salinity levels in the marine environment make it conducive for the proliferation of oyster drills, oyster leeches, fouling organisms, and other pests. 2. The river lacks sufficient water flow to flush away the sediment and mud accumulated at the riverbed.
A3. Intense rainfall	The significant erosion of sediment from upstream to downstream results in a rapid increase in salinity and osmotic pressure. This abrupt change adversely affects the growth of oysters and can lead to mortality.
A4. Typhoon	<ol style="list-style-type: none"> 1. Facilities and floating sheds may be lost, damaged, or submerged, and oyster clusters may fall due to collisions with each other. 2. Coastal erosion leads to the influx of sediment and marine debris into the aquaculture area, resulting in an increase in marine debris.
A5. Deterioration of water quality	<ol style="list-style-type: none"> 1. There are numerous factories upstream of the aquaculture area, and their wastewater discharge affects water quality. 2. High water temperatures and oxygen deficits in summer, along with deteriorating algal conditions or algae mortality in winter lead to the deterioration of water quality.
Aquaculture technology	
B1. Delay of oyster seedlings	<ol style="list-style-type: none"> 1. Weakened and unstable quality of oyster seedlings. 2. Delayed attachment of natural oyster seedlings.
B2. Parasites and diseases	Hazards from oyster drills, oyster leeches, and covering organisms leading to a decrease in the oyster survival rate, and requiring extensive efforts for prevention and control.
B3. Cost of new materials	The cost of eco-friendly floats and oyster rack materials is high, with subsidy conditions varying among counties and cities.
B4. Failure to fatten	<ol style="list-style-type: none"> 1. It could be influenced by factors such as water quality, climate, rainfall, and changes in algal composition. 2. High stocking density and extended rearing period increase aquaculture risk.
B5. High aquaculture density	Low profits and high labor costs force higher stocking densities, causing uneven nutrient distribution and increased susceptibility to oyster drills, leeches, and covering organisms, resulting in poor fattening and higher mortality rates.

Table 2 Continued

Key words of the problem	Brief description of the problem
Import and marketing aspects	
C1. Imported oysters (Vietnamese oysters)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Large-scale imports of Vietnamese oysters have reduced purchases of local oysters by traders, impacting the entire oyster aquaculture industry chain. 2. Local oyster farmers face reduced profits and lower prices, which affects their willingness to stock and decreases demand for oyster seedlings. 3. Imported oysters being sold with Taiwanese oysters or falsely labeled as the renowned oysters affect the rights and interests. 4. Possible drug residue or heavy metal concerns.
C2. Decrease in purchase price	The surge in Vietnamese oyster imports has depressed local oyster prices and reduced purchases, leaving producers and processors unable to profit.
C3. Traceability system	Applying for traceability certification is cumbersome and costly without any tangible benefits, as oyster prices remain unaffected. Additionally, annual testing expenses further add to the financial burden.
C4. Operating costs	Rising wages and aquaculture material costs drive the need for increased production capacity, resulting in excessively high stocking densities.
Government policy	
D1. Insufficient labor	<ol style="list-style-type: none"> 1. Oyster farming tasks such as seedling separation, relocation, harvesting, and pest control are labor-intensive. However, an aging farming population struggles to afford and manage these tasks. 2. Restrictions on hiring migrant workers for oyster farming were only recently eased, with many resorting to disguised registrations of fishing vessels for this purpose.
D2. Difficulty in disaster subsidy assistance	Limited disaster relief funds, restricted access to relief for those without registration or fishing rights, and minimal subsidies despite extensive meetings and surveys hamper post-disaster recovery efforts.
D3. No fishing rights	<ol style="list-style-type: none"> 1. Unable to provide evidence to apply for natural disaster relief for those without fishing rights 2. The oyster farming area is restricted after delineation by public agencies such as the Port Authority and National Parks.
D4. Aquaculture prohibition for three months	To mitigate the risk of typhoon damage, aquaculture with floating rafts is prohibited in three coastal aquaculture zones of Tainan City from July to September.
D5. Insufficient dredging	<ol style="list-style-type: none"> 1. Access to the port, adjacent river channels, and oyster farming areas are all affected by silt and mud accumulation, leading to the disappearance of aquaculture areas, sediment-buried oysters, blocked waterways, and inconvenient port access. 2. The county and municipal governments lack sufficient funds, leading to infrequent and limited dredging activities, along with changes in dredging regulations.
External human factors	
E1. Wastewater pollution	<ol style="list-style-type: none"> 1. Industrial wastewater discharge upstream or pesticide use pollutes the water quality. 2. Sludge from dredging and port construction activities is transported and dumped into the open sea
E2. Green energy project	<ol style="list-style-type: none"> 1. Wind power facilities and undersea projects cause sediment on the seafloor to be raised. After green electricity projects were set up in Changhua and Yunlin, the survival rate of oysters decreases year by year. 2. Aquavoltaic solar panels increase reflection temperatures and discharge cleaning wastewater, potentially polluting surrounding water.

Table 2 Continued

Key words of the problem	Brief description of the problem
E3. Floating shed damages	1. Oyster sheds entangled with drift nets or other fishing cages result in the cutting off and loss of floating rafts or anchors. 2. Restoring aquaculture areas is labor-intensive, and removing external fishing gear involves cutting oyster clusters, resulting in damage.
E4. Illegal harvesting	Non-farmers trespass into oyster breeding areas for illegal oyster harvesting

Source: Compiled according to the results of a survey of oyster farmers in Changhua, Yunlin, Chiayi, Tainan from March to May 2023.

結 果

一、臺南市

臺南市的主要牡蠣養殖方式為平掛式與浮筏式二種，七股區、將軍區及北門區以平掛式牡蠣養殖為主，安南區、安平區、南區等則是以浮筏式為主，因此本研究區分為 2 個部分進行分析。

(一) 七股區、將軍區及北門區

此 3 區的平掛式牡蠣養殖主要是利用曾文溪口至八掌溪口之間之七股瀉湖海域、沙洲及其沿岸海灘的潮間帶，瀉湖與沙洲的內海域可再以浮筏吊掛牡蠣，並視海域養分及牡蠣成長情形進行移動吊掛點的養殖，移動非常費工。此處牡蠣養殖戶所用的蚵苗蚵串部分來自瀉湖區的自附苗，部分則向嘉義縣與雲林縣購買，基本上平掛式牡蠣養殖的育成期約需 12 個月。

如 Fig. 1 及 Table 3 得知，此 3 區的養殖戶在所有問題點項目中，共同認為面臨最大的問題點有 5 項目，以幾何平均數及該產區重要性排序表示，分別為 (A1) 環境劣化 (瀉湖消失) (8.4, 3)、(B2) 病蟲害 (9.0, 4)、(C1) 進口蚵 (越南蚵) (8.8, 2)、(D2) 災補難 (8.5, 5)、(D5) 清淤少 (8.9, 1)。在 (A1) 環境劣化：養殖戶指出傳統養殖地點的環境已改變，近幾年七股瀉湖與各沙洲的泥沙淤積嚴重，沙洲流失造成養殖環境的海流與水質改變，內海面積縮小且水深變淺，可作業的面積逐漸縮小，原先良好的養殖地點淤沙埋沒，已不適合養殖牡蠣。(B2) 病蟲害：平掛式養殖主要面臨蚵螺的影響，浮筏養殖受到扁蟲侵害，可能是近幾年雨量少且颱風少，讓該海域的蚵螺大量暴發，

而清除蚵螺的傳統方法以淡水或手工去除，均需要花費大量人力，蚵螺在繁殖期滋生快速，養殖的成蚵易在短時間內遭侵害而降低育成率。(C1) 進口蚵 (越南蚵)：衝擊到牡蠣養殖產業鏈的各環節，養殖戶認為價格便宜的越南蚵混充臺灣蚵販售，除已影響本身權益外，收購成蚵的大中盤商因為越南蚵的大量進口且貨源充足，壓低臺灣本土蚵的收購價，同時減少收購量，導致本土養殖牡蠣滯銷，也增加了養殖的風險。在整個大環境不佳且利潤下降的情形下，養殖戶紛紛減少放養面積與數量。(D2) 災補難：牡蠣養殖的災損補助經常是發生於颱風、寒流或強降雨等天災過後，牡蠣發生大量死亡情形時，然而處理天災損害時，需盡快復原養殖區域，而災損補助需經申請與勘查，手續繁瑣且因疏忽或無法保留物證，造成補助金額極少，復耕困難。(D5) 清淤少：不僅瀉湖與各沙洲的泥沙淤積嚴重，作業用的漁港及航道亦受到泥沙淤積影響，養殖作業極不方便。然而現在政府預算減少，清淤效果不佳，清淤後受到自然與氣候影響又再度淤積，亦無有效方法解決。另一方面，養殖戶認為所列問題點項目中，(D3) 無漁業權與 (D4) 禁養 3 月並不重要。主因是此三區的大部分養殖戶均擁有漁業權且進行養殖申報，並無漁業權的問題。而禁養 3 個月是臺南市浮筏式養殖業者所面臨的問題，對平掛式養殖戶並無影響。

(二) 安南區、安平區、南區

此 3 區的牡蠣養殖方式以浮筏式為主，約有 185 家養殖戶，浮筏式養殖申報組數約佔國內的一半左右，居全國之冠，1 年總計約有 8,000 組的竹製浮筏蚵棚在臺南市的海域內進行養殖。每一

Table 3 Importance rankings and weights of industrial problem items considered by oyster farmers in Tainan

Ranking	Cigu, Jiangjun and Beimen Districts		Anping, Annan and South Districts	
	Problem items	Weight	Problem items	Weight
1	D5. Insufficient dredging	0.213	C1. Imported oysters (Vietnamese oysters)	0.397
2	C1. Imported oysters (Vietnamese oysters)	0.197	A4. Typhoon	0.135
3	A1. Environmental degradation	0.146	E3. Floating shed damages	0.111
4	B2. Parasites and diseases	0.088	D5. Insufficient dredging	0.087
5	D2. Difficulty in disaster subsidy assistance	0.056	D3. No fishing rights	0.073
6	B4. Failure to fatten	0.051	C4. Operating costs	0.057
7	C2. Decrease in purchase price	0.051	B2. Parasites and diseases	0.054
8	E1. Wastewater pollution	0.047	A1. Environmental degradation	0.018
9	C4. Operating costs	0.043	D1. Insufficient labor	0.018
10	A5. Deterioration of water quality	0.042	D4. Aquaculture prohibition for three months	0.016
11	B1. Delay of oyster seedlings	0.027	B5. High aquiculture density	0.013
12	A3. Intense rainfall	0.017	A5. Deterioration of water quality	0.009
13	E2. Green energy project	0.017	B3. Cost of new materials	0.009
14	A4. Typhoon	0.004	B4. Failure to fatten	0.004

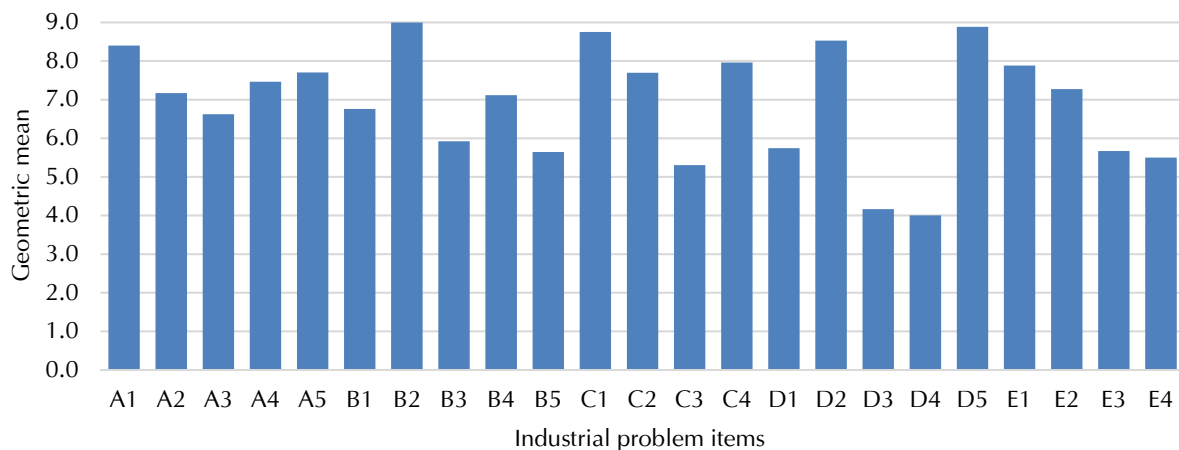


Fig. 1 Geometric means of industrial problem items considered by oyster farmers in the Cigu, Jiangjun and Beimen Districts of Tainan (A1. Environmental degradation, A2. Rainfall deficiency, A3. Intense rainfall, A4. Typhoon, A5. Deterioration of water quality, B1. Delay of oyster seedlings, B2. Parasites and diseases, B3. Cost of new materials, B4. Failure to fatten, B5. High aquiculture density, C1. Imported oysters (Vietnamese oysters), C2. Decrease in purchase price, C3. Traceability system, C4. Operating costs, D1. Insufficient labor, D2. Difficulty in disaster subsidy assistance, D3. No fishing rights, D4. Aquaculture prohibition for three months, D5. Insufficient dredging, E1. Wastewater pollution, E2. Green energy project, E3. Floating shed damages, E4. Illegal harvesting).

家養殖戶平均約有 50 棚的蚵棚，每棚可吊 400 – 800 條蚵串，1 期養殖量約 3 – 5 萬條蚵串。但蚵苗蚵串全部仰賴外縣市供應，以雲林縣臺西鄉為主要來源。由於臺南市浮筏式養殖牡蠣的成長速度較其他地區快，因此 10 月解禁時，就需儘快向雲林縣與嘉義縣購買蚵苗串或中蚵進行育成（5 個月）或育肥（1.5 個月），收成後就可回銷至嘉義進行清洗與剖蚵販售。因嘉義東石蚵的盛名以及

其牡蠣流通銷售中心的地位，成蚵會由其他縣市運送至嘉義縣進行加工販售，故臺南市浮筏式養殖效率佳，但牡蠣的產量則部分累計入嘉義縣的產值與產量。此外，臺南市政府以「臺南市浮筏式牡蠣養殖漁業管理規範」，每年 7 月至 9 月，禁止浮筏式牡蠣養殖漁業放養，用以避開颱風季節，避免浮筏蚵棚受損，僅在臺南市規範 3 個月浮筏式牡蠣禁養期。也因此臺南市竹製浮筏蚵棚

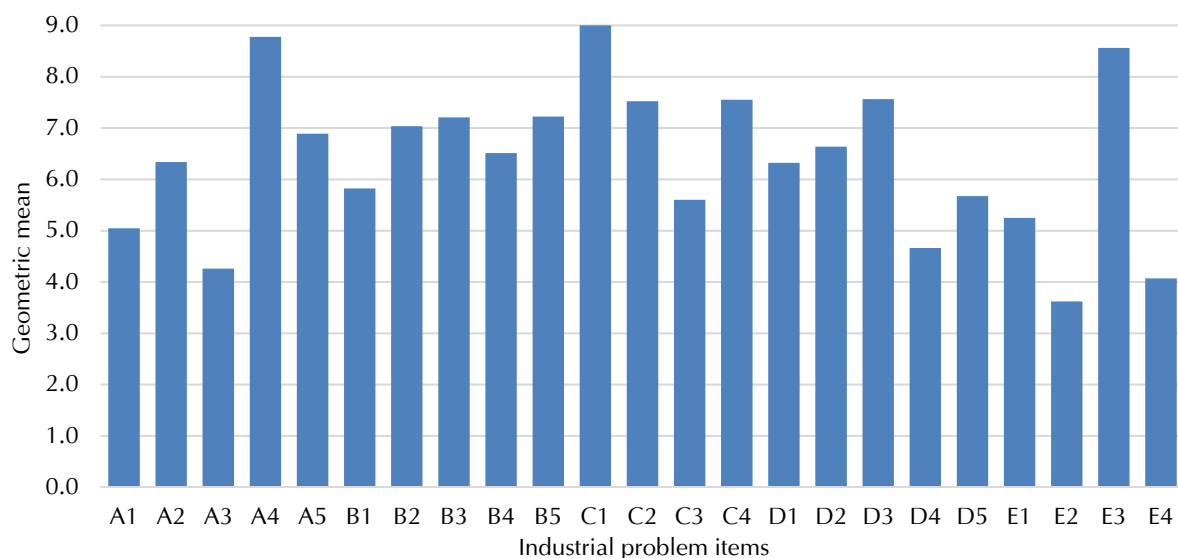


Fig. 2 Geometric means of industrial problem items considered by oyster farmers in the Anping, Annan and South Districts of Tainan (A1. Environmental degradation, A2. Rainfall deficiency, A3. Intense rainfall, A4. Typhoon, A5. Deterioration of water quality, B1. Delay of oyster seedlings, B2. Parasites and diseases, B3. Cost of new materials, B4. Failure to fatten, B5. High aquaculture density, C1. Imported oysters (Vietnamese oysters), C2. Decrease in purchase price, C3. Traceability system, C4. Operating costs, D1. Insufficient labor, D2. Difficulty in disaster subsidy assistance, D3. No fishing rights, D4. Aquaculture prohibition for three months, D5. Insufficient dredging, E1. Wastewater pollution, E2. Green energy project, E3. Floating shed damages, E4. Illegal harvesting).

僅用 1 年，每年 6 月底前由市政府協助回收蚵棚並銷毀。

依 Fig. 2 與 Table 3 得知，此 3 區養殖戶共同認為面臨最大的問題點有 3 項目，分別為 (A4) 颱風 (8.8, 2)、(C1) 進口蚵 (越南蚵) (9.0, 1) 與 (E3) 割棚 (漁具衝突) (8.6, 3)。在 (A4) 颱風方面，由於竹製浮筏蚵棚需依靠浮具或保麗龍墊於蚵棚下來支撐整組蚵棚與蚵串的重量，隨蚵成長增加數量，一座蚵棚約需要 16 至 20 塊的保麗龍。當遇到颱風時，海面上強烈的波浪作用，造成保麗龍彈出流失，蚵棚整組沉入水下全毀，或者是蚵串相互碰撞掉落並遭掩埋。蚵農曾經歷過一夕之間海面蚵棚全部消失的慘況，若 1 棚可收成 10 萬元，1 次颱風的損害對 1 養殖戶可造成 500 萬元以上的損失。除少量浮棚可拖回港內或岸邊固定外，以此 3 區約 8,000 組浮筏蚵棚的規模，根本無空間可避颱風，而且颱風過後廢棄保麗龍與蚵棚造成海岸線的海洋廢棄物增加，處理極為不易。故臺南市政府立法規範每年 7 - 9 月颱風盛行期間，為浮筏式牡蠣養殖的禁養期。在 (C1) 進口蚵 (越南蚵) 方面，臺南市 3 區養殖戶群組全

員認定此問題點極為嚴重，與前述相同，認為價格便宜越南蚵混充臺灣蚵販售影響權益，盤商因貨源充足及商品外觀而壓低本土蚵收購價，因產量減少連帶周邊產業鏈的工作機會及獲利減少，亦造成接近禁養期時，臺南市牡蠣養殖戶仍滯銷無法採收，或以低於成本拋售方式搶收，影響各地產區的收購價。(E3) 割棚 (漁具衝突) 方面，由於竹製浮筏蚵棚在海面上具有聚魚效果，常有其他漁業別進入養殖區域作業，包括流刺網、籠具、釣具類均有可能纏絡蚵棚或蚵串，漁民為移除漁具的纏絡，可能以割蚵串或割錨錠方式處理，造成蚵棚流失或與其他蚵棚衝撞重疊，復原工程亦需割蚵串，且耗工費時。此外，(D3) 無漁業權對本三區的養殖戶影響很大，由於部份養殖區被劃歸於商港禁養區域 (及國家公園範圍)，或因與其他捕撈漁業作業產生衝突等因素，形成複雜的海域利用重疊窘況，也因此引發漁業糾紛及造成船行安全的疑慮 (林, 2014)。為能在災損補助、漁具衝突、養殖區域上取得較佳的立場，養殖戶爭取漁業權的力道將愈來愈大。至於問卷中的 (A3) 強降雨、(D4) 禁養 3 個月、(E2) 綠電工程與 (E4)

盜採等 4 項問題點，養殖戶認為影響較小。依調查時間點 (2023 年 3 - 5 月)，近幾年的雨量少，造成近海海域的鹽分過高，此 3 區養殖戶在離岸較遠的海面進行養殖，雨水沖刷河川的問題較小，相對 (A3) 強降雨的影響也較小。(D4) 禁養 3 個月之問題點，僅有安平區養殖戶認為受到限制，因此有部分養殖戶想爭取解禁，但安南區及南區的養殖戶則認為 3 個月禁養期並無太大影響，且具有颱風季避開蚵棚損失風險的作用，因此整體群組的意見呈現不重要。(E2) 綠電工程方面，由於此 3 區養殖戶在離岸較遠的海面進行養殖，附近亦無離岸風電的開發案，相對其他問題點來說，對本項較為無感。(E4) 盜採方面，非牡蠣養殖戶經漁港出入養殖區海域，或多或少有盜採事件，但養殖戶相互熟悉，彼此會守望相助並通報消息，因此認為本項問題點的重要程度不大。

二、嘉義縣 (東石鄉、布袋鎮)

嘉義縣牡蠣的產值與產量為全國最高，產量約佔全國 50%。嘉義縣東石鄉是牡蠣產業的流通銷售中心，收購蚵肉的大盤商多，村落間剖蚵產業鏈發達，亦具有「東石蚵」的牡蠣品牌，因此其他

縣市採收的成蚵經運蚵車，運送至嘉義縣東石鄉周邊村落剖蚵後，再經由盤商收回銷售全臺各地市場。浮筏式蚵棚養殖大部分位於布袋港外海域及外傘頂洲區域的內海，平掛式養殖則以東石鄉各村落之潮間帶及外傘頂洲區域，養殖戶部分具有浮筏式蚵棚及平掛式蚵架共同進行牡蠣養殖。而嘉義縣竹製浮筏蚵棚較臺南市牢固，尺寸較大且竹材 3 層堆疊，可耐用 2 - 3 年。

依 Fig. 3 與 Table 4 得知，嘉義縣養殖戶共同認為面臨最大的問題點達 10 項目，(A1) 環境劣化 (8.1, 8)、(A4) 颱風 (9.0, 3)、(B2) 病蟲害 (8.8, 2)、(B3) 新式成本 (8.4)、(B4) 養不肥 (8.2)、(C1) 進口蚵 (越南蚵) (8.0, 1)、(C4) 經營成本 (8.3, 5)、(D2) 災補難 (8.8, 6)、(D5) 清淤少 (8.2, 4) 與 (E3) 割棚 (8.7, 7)。而 (B3)(B4) 項在第二輪問卷時，排序重要性降低。嘉義縣現為全國牡蠣產量最多且為產業中心，對牡蠣養殖產業所面臨的困境與問題點亦較其他產區更為深刻。10 項重要問題點中，(A1) 環境劣化、(A4) 颱風、(B2) 病蟲害、(C1) 進口蚵 (越南蚵)、(D2) 災補難、(D5) 清淤少與 (E3) 割棚等 7 項與臺南市牡蠣養殖的問題點相同，可參考前述說明不再贅述。另在 (B3) 新式成本方面，環保材質的新式成本高，養殖用的所

Table 4 Importance rankings and weights of industrial problem items considered by oyster farmers in Chiayi

Ranking	Problem items	Weight
1	C1. Imported oysters (Vietnamese oysters)	0.246
2	B1. Delay of oyster seedlings	0.209
3	A4. Typhoon	0.119
4	D5. Insufficient dredging	0.113
5	C4. Operating costs	0.064
6	D2. Difficulty in disaster subsidy assistance	0.060
7	E3. Floating shed damages	0.044
8	A1. Environmental degradation	0.038
9	C2. Decrease in purchase price	0.027
10	D1. Insufficient labor	0.022
11	A1. Environmental degradation	0.020
12	A5. Deterioration of water quality	0.014
13	B1. Delay of oyster seedlings	0.007
14	E4. Illegal harvesting	0.007
15	C3. Traceability system	0.003
16	E1. Wastewater pollution	0.003
17	E2. Green energy project	0.003

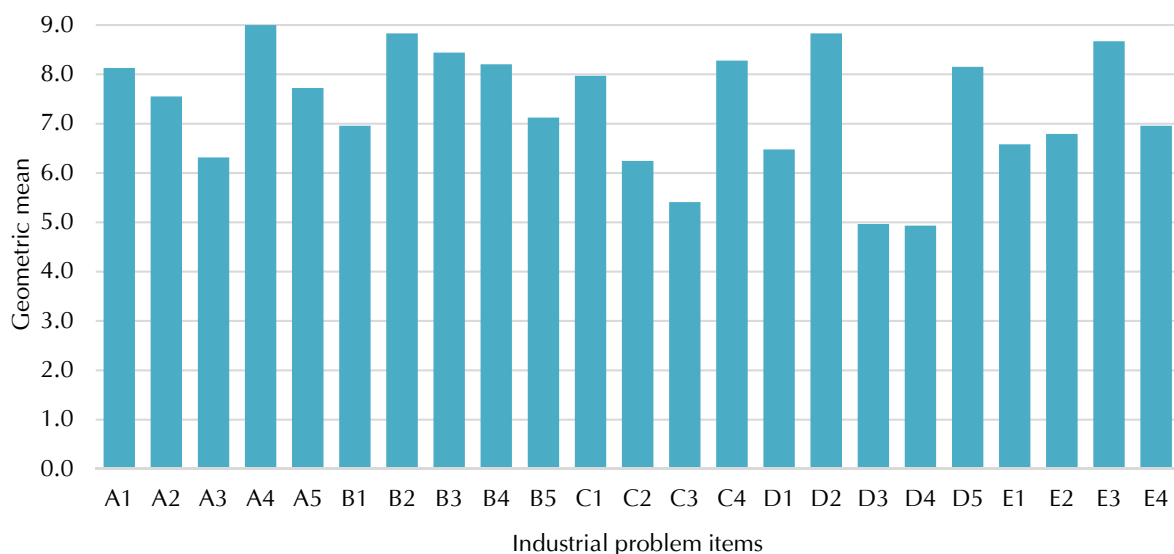


Fig. 3 Geometric means of industrial problem items considered by oyster farmers in Chiayi (A1. Environmental degradation, A2. Rainfall deficiency, A3. Intense rainfall, A4. Typhoon, A5. Deterioration of water quality, B1. Delay of oyster seedlings, B2. Parasites and diseases, B3. Cost of new materials, B4. Failure to fatten, B5. High aquaculture density, C1. Imported oysters (Vietnamese oysters), C2. Decrease in purchase price, C3. Traceability system, C4. Operating costs; D1. Insufficient labor, D2. Difficulty in disaster subsidy assistance, D3. No fishing rights, D4. Aquaculture prohibition for three months, D5. Insufficient dredging, E1. Wastewater pollution, E2. Green energy project, E3. Floating shed damages, E4. Illegal harvesting).

有資材均需成本，減少海洋廢棄物的議題，除了竹製蚵棚或蚵架的耐用性被檢討，保麗龍浮具也引起很大的爭議。一般的保麗龍每 1 塊成本為 150 元，而環保材質浮具則需約 700 - 900 元。嘉義縣的浮符蚵棚尺寸較大，所用之環保保麗龍尺寸亦較大，1 塊約需 1,600 元，而當政府補助環保資材不足時，所需的成本將提高 5 - 6 倍。此外，各縣市的補助條件不一，對嘉義縣養殖戶的環保資材補助仍顯不足，讓當地養殖戶的成本提高許多。而 (B4) 養不肥係受到環境諸多的影響所致，現牡蠣養殖速度最快者為臺南安南區、安平區與南區的浮筏式養殖，其收成期約在每年 3 - 6 月間，而嘉義縣的牡蠣成長較臺南市緩慢，浮筏式養殖收成期約在 5 月底或 6 月初，但隨後就開始進入颱風季節，浮棚或蚵架並無法抵擋颱風，僅能儘量搶收，養殖戶的靠天吃飯感覺強烈，尚無良好的對策。(C4) 經營成本方面，通貨膨脹導致工資與資材成本上漲，與昔日相較，經營成本提高且獲利不佳。問卷所列項目中，嘉義縣養殖戶對 (D3) 無漁業權與 (D4) 禁養 3 個月較為無感，主因與七股區、將軍區及北門區者相同。嘉義縣養殖戶每年需

繳納海域使用費，平掛式蚵架每公頃 1,000 元，浮筏式每棚 500 元，取得區劃漁業權執照並配合縣府回收廢棄物資材，取得執照可避免其他漁業進入養殖區發生漁具衝突，以及遭遇天災損壞時，可界定災損範圍，啟動農業天然災害現金救助及低利貸款等措施。

三、雲林縣 (口湖鄉、臺西鄉、四湖鄉)

雲林縣是全臺牡蠣苗的主要供應地，成蚵的產量居全臺第二。雲林縣的牡蠣養殖區利用口湖鄉西南方外傘頂洲與沿近海的沙洲以及臺西鄉五條港漁港外的海埔地與鄰近的沙洲，形成有內外海的淺灘地形，養殖方式包括平掛式、垂下式及浮筏式，相當多元。經營方式包括養殖成蚵、養成中蚵或兼附苗母殼出售等，且經常是複合式經營水產業，例如兼做文蛤或白蝦的養殖。由於天然屏障及地理位置，雲林縣的牡蠣養殖較少受到西南氣流或颱風的影響。

依 Fig. 4 與 Table 5 得知，雲林縣養殖戶共同認為面臨最大的問題點為 (A1) 環境劣化 (9.0, 1)、

Table 5 Importance rankings and weights of industrial problem items considered by oyster farmers in Yulin

Ranking	Problem items	Weight
1	A1. Environmental degradation	0.294
2	C1. Imported oysters (Vietnamese oysters)	0.275
3	B1. Delay of oyster seedlings	0.057
4	A5. Deterioration of water quality	0.041
5	D1. Insufficient labor	0.039
6	B3. Cost of new materials	0.038
7	E1. Wastewater pollution	0.038
8	D5. Insufficient dredging	0.035
9	B4. Failure to fatten	0.034
10	C4. Operating costs	0.033
11	A3. Intense rainfall	0.026
12	B5. High aquaculture density	0.026
13	E2. Green energy project	0.026
14	D2. Difficulty in disaster subsidy assistance	0.018
15	A4. Typhoon	0.009
16	B2. Parasites and diseases	0.009
17	C2. Decrease in purchase price	0.004

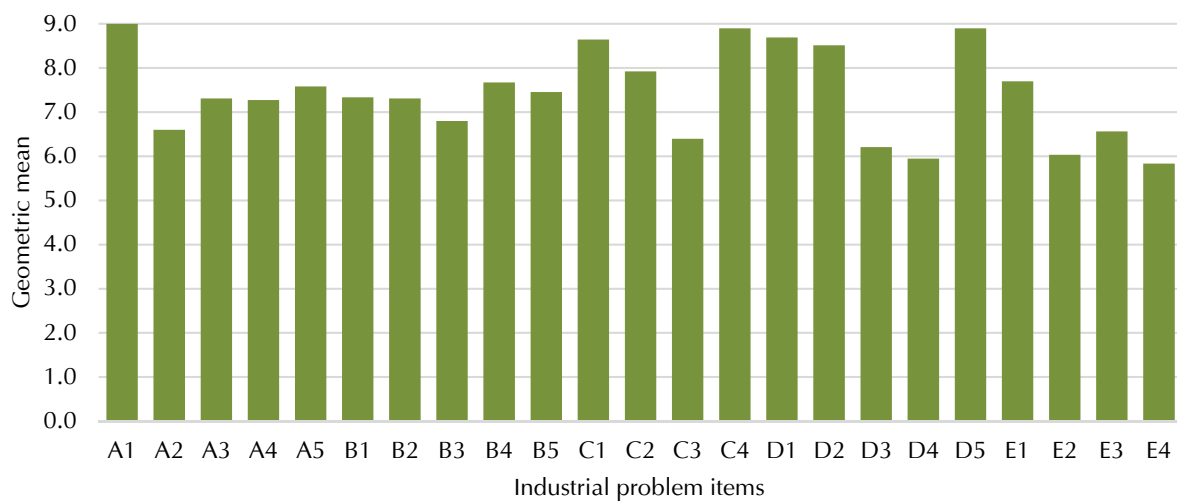


Fig. 4 Geometric means of industrial problem items considered by oyster farmers in the Yulin (A1. Environmental degradation, A2. Rainfall deficiency, A3. Intense rainfall, A4. Typhoon, A5. Deterioration of water quality, B1. Delay of oyster seedlings, B2. Parasites and diseases, B3. Cost of new materials, B4. Failure to fatten, B5. High aquaculture density, C1. Imported oysters (Vietnamese oysters), C2. Decrease in purchase price, C3. Traceability system, C4. Operating costs; D1. Insufficient labor, D2. Difficulty in disaster subsidy assistance, D3. No fishing rights, D4. Aquaculture prohibition for three months, D5. Insufficient dredging, E1. Wastewater pollution, E2. Green energy project, E3. Floating shed damages, E4. Illegal harvesting).

(C1) 進口蚵 (越南蚵) (8.6, 2)、(C4) 經營成本 (8.9, 10)、(D1) 欠工 (8.7, 5)、(D2) 災補難 (8.5, 14) 與 (D5) 清淤少 (8.9, 8) 等 6 項。(A1) 環境劣化幾乎是各產區共通的問題，雲林縣全員亦認定此問題點極為嚴重，因其牡蠣養殖依靠沿近海沙洲

的屏障，但幾年下來，水深變淺與泥沙淤積導致可吊掛的牡蠣母殼數減少且常被埋沒，浮筏式也因環境水深的變化而需要移地養殖。養殖戶為擴大養殖面積或找尋適合養殖地點，承擔風險地將浮筏移至沙洲外海進行養殖，或者壓縮浮筏間距，大

規模養殖戶逐漸擠壓小規模養殖戶的空間。而在 (D1) 欠工的問題點方面，由於牡蠣養殖過程中所需的勞務量大，存在有季節性與長期性的缺工情形，在尚未引進外勞時，養殖戶需以雇用臨時工的方式進行分苗、移植、除害、收成等，2020 年現行法規修正，開放陸上養殖漁業申請聘僱外籍移工，有 3 名本國籍勞工可申請 1 名外籍移工，但仍無法因應缺工難題。在長期缺工情形下，較具規模的養殖戶，運用複合式漁業經營模式，以漁船船籍雇用外籍移工，同時從事漁業及牡蠣養殖工作，其他牡蠣養殖戶亦仿效此方式，故常見牡蠣養殖戶同時擁有漁船及膠筏。問卷中的 (B1) 蚵苗延遲與 (A5) 水質惡化項目，於幾何平均數中未達 8 分，但第二輪問卷中排序於第 3 與第 4 順位。臺灣牡蠣產業的用苗約 2/3 來自雲林縣，近年來可能受到氣候變遷及地形變化的影響，養殖戶反應附苗時期延遲或附苗時間無法確定，以及附苗的品質不一，在移植後可能出現蚵苗水土不服或成長緩慢的情形，直接影響各產區養殖牡蠣的育成率。(A5) 水質惡化方面，過去的牡蠣成長佳，但近幾年成長緩且死殼率多，養殖戶認為可能肇因於麥寮工業區或其他工廠排放廢水，加上綠電的離岸風電工程，導致當地海域的水質逐趨惡化，進而影響牡蠣育成率。

四、彰化縣 (芳苑鄉、福興鄉)

彰化縣全以平掛式牡蠣養殖為主，牡蠣僅能

在漲潮時吸收養分，其成長較其他產區緩慢且尺寸較小。牡蠣養殖區主要分佈於芳苑鄉及福興鄉的沿岸潮間帶，但福興鄉北邊緊鄰彰濱工業區與火力發電廠，芳苑鄉南邊則緊鄰麥寮鄉的工業區與臺塑企業的「第六座輕油裂解廠」(簡稱六輕)，加上陸上的芳苑工業區，養殖牡蠣的沿岸區域面積愈來愈少。其養殖戶除以膠筏進入養殖區外，也會利用鐵牛車於退潮時進入潮間帶作業，是彰化縣養殖牡蠣的特徵。彰化縣的牡蠣產量為主產區中最少者，養殖戶數雖多，但平均僅放養 3,000 條平掛式牡蠣。

依 Fig. 5 與 Table 6 得知，彰化縣養殖戶共同認為面臨最大的問題點為 (A1) 環境劣化 (8.6, 1)、(A5) 水質惡化 (8.0, 5)、(D3) 無漁業權 (8.5, 6)、(D5) 清淤少 (8.1, 3) 與 (E1) 廢水污染 (8.9, 2)。其中 (A1) 環境劣化與 (D5) 清淤少反映出該縣牡蠣養殖業因為養殖區水深變淺與泥沙淤積，適合養殖牡蠣的面積不斷的減少，與其他產區的平掛式養殖遇到的問題相同。更有甚者，彰化縣的牡蠣養殖區被大型工業區包圍，且近幾年來，政府大力發展離岸風電產業，在彰化與雲林沿海，佈設許多風機，養殖戶認為離岸風機的設施工程施作時，將產生污泥、震動並擾亂海域生態，影響到牡蠣的養殖。因此在 (A5) 水質惡化與 (E1) 廢水污染項目中，養殖戶即認為週遭的大型工業區與正在興建的離岸風機，均是嚴重影響牡蠣養殖產業的項目。(D3) 無漁業權部分，主要是彰化區漁會專用漁業權範圍於 2019 年後尚未更新，而彰化縣

Table 6 Importance rankings and weights of industrial problem items considered by oyster farmers in Changhua

Ranking	Problem items	Weight
1	A1. Environmental degradation	0.321
2	E1. Wastewater pollution	0.154
3	D5. Insufficient dredging	0.104
4	C2. Decrease in purchase price	0.095
5	A5. Deterioration of water quality	0.076
6	D3. No fishing rights	0.076
7	B4. Failure to fatten	0.055
8	D2. Difficulty in disaster subsidy assistance	0.031
9	B1. Delay of oyster seedlings	0.026
10	B2. Parasites and diseases	0.026
11	A4. Typhoon	0.025
12	E2. Green energy project	0.008
13	D1. Insufficient labor	0.004

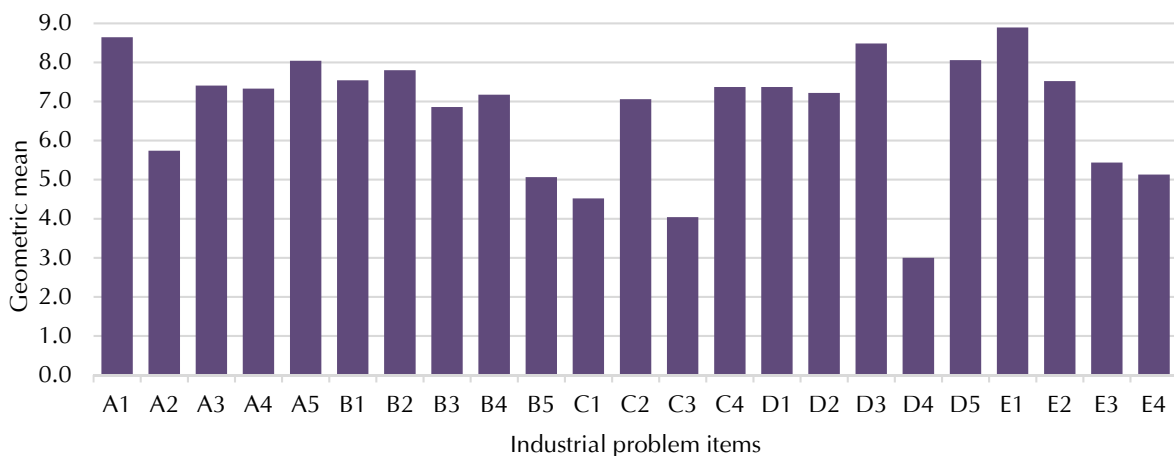


Fig. 5 Geometric means of industrial problem items considered by oyster farmers in Changhua (A1. Environmental degradation, A2. Rainfall deficiency, A3. Intense rainfall, A4. Typhoon, A5. Deterioration of water quality, B1. Delay of oyster seedlings, B2. Parasites and diseases, B3. Cost of new materials, B4. Failure to fatten, B5. High aquaculture density, C1. Imported oysters (Vietnamese oysters), C2. Decrease in purchase price, C3. Traceability system, C4. Operating costs; D1. Insufficient labor, D2. Difficulty in disaster subsidy assistance, D3. No fishing rights, D4. Aquaculture prohibition for three months, D5. Insufficient dredging, E1. Wastewater pollution, E2. Green energy project, E3. Floating shed damages, E4. Illegal harvesting).

養殖戶遭遇到工業區廢水污染、天然災害補助認定、離岸風電的補償機制等問題時，均需要有漁業權保障漁民的權益，因此對尚未更新的漁業權亦感到憂心。對於 (C1) 進口蚵 (越南蚵)、(C3) 產銷履歷、(D4) 禁養 3 個月等 3 項問題則認為影響不大。尤其在其他產區備受關注的 (C1) 進口蚵 (越南蚵) 問題，當地養殖戶認為本身養殖的數量不多，加上近幾年的育成率低落，所生產的牡蠣不足以滿足本地市場需求，必需由其他產地調貨因應，故養殖戶並未受到進口牡蠣的影響。(C3) 產銷履歷，也是由於牡蠣產量不足，而不認同此為重要問題點。

討 論

一、進口蚵衝擊產銷平衡

雲嘉南三地的養殖牡蠣產量佔臺灣總產量的 84%，所面臨最大的共同問題項目為 (C1) 進口蚵 (越南蚵) 問題，重要性排序皆在第 1 或第 2。本問題點為 2021 年 3 月，由林俊憲立法委員於質詢時揭露「牡蠣總進口量遽增」(立法院, 2021)，質詢稿中提及 2016 年牡蠣總進口量為 296 mt (註：蚵肉重量)，至 2020 年增加至 1,452 mt，總進口量提

高 5 倍，其中以越南為最大來源，5 年間由 5 mt 增加至 1,306 mt，2022 年進口量更大幅上升至 2,809 mt。在越南蚵大量進口前，已有蚵肉走私的問題存在，吳 (2008) 提及臺南市牡蠣在 2001 年產量最少但產值最高，單位產值 182 元/kg；2004 年產量達 3,187 mt 高峰，每公斤產值下滑至 105 元；爾後之價格年年創新低，2006 年每公斤售價只有 52 元，主要是因為中國實施小額貿易，許多去殼牡蠣肉經由走私進口，因為成本低廉導致臺灣牡蠣市價大跌 (胡, 1996)。陳 (2008) 調查 32 位牡蠣養殖業者都贊同進口或走私，對國內養殖貝類造成衝擊，特別近年中國的走私牡蠣已造成國內牡蠣養殖業者的嚴重損失。部分養殖戶亦有提到可能中國牡蠣洗產地轉從越南進口情事，而走私或大量進口也反應臺灣市場對牡蠣的大量需求。根據官方統計資料顯示，國產牡蠣每公斤售價為 200 - 230 元，越南進口價則是 180 元，兩者間有價差，有需要溯源標示。此外，牡蠣大量進口不僅衝擊到本土牡蠣養殖產業的各環節，壓低臺灣本土牡蠣收購價與數量、減少養殖戶的獲利與工作機會，也破壞原本臺灣牡蠣各產區的季節供貨與調節性。臺灣牡蠣養殖戶認為價格便宜的越南蚵混充臺灣蚵一同販售已嚴重影響本身權益，亦有欺騙消費者的嫌疑，而盤商因貨源充足而減少對本土牡蠣

的收購，例如臺南市牡蠣養殖戶在接近禁養期前的盛產期間，近幾年均發生滯銷情形，或以低於成本拋售方式搶收牡蠣。在養殖風險增加而利潤減少的情形下，讓大部分牡蠣養殖戶減少放養量，並強烈要求政府部門能重視本土產牡蠣養殖產業的劣勢，要求進口牡蠣需接受抽查檢驗，生產地需標示清楚，在進口端就能做好管控，並與本土牡蠣做好市場區隔等方式，減少進口牡蠣對產業的衝擊。

二、海岸變遷弱化養殖環境

各產地面臨共同問題之排序在前的項目尚包括 (A1) 環境劣化與 (D5) 清淤少，受到環境變遷與極端氣候之影響，臺灣西部原有的潟湖與沙洲，均面臨泥沙嚴重淤積及潟湖與沙洲流失的情形，養殖環境的海流改變，可作業的面積逐漸縮小且水深變淺，原先良好的養殖地點淤沙埋沒，已不適合養殖牡蠣。丁 (1995) 提及牡蠣養殖，應避開流沙過多處，避免牡蠣被埋沒或窒息死亡。林 (2011) 提到臺灣西部海岸漂沙活動相當活躍，沿岸多沙洲，有部份浮筏式或浮筒延繩式的養殖區設置於沙洲後側的水域中，以減緩颱風期間強風大浪的侵襲，但大部份的養殖區仍位處於毫無遮蔽的開闊海域中。但泥沙淤積與潟湖侵蝕的問題存在於臺灣西岸已久，林 (2009) 提到外傘頂洲的總沙量銳減，逐漸趨向不利牡蠣養殖的變化中。賀等 (2020) 提到三條崙沙洲的向岸遷移速率降低至每年 37 m，沙洲向陸遷移及其引起的潟湖面積年平均減少 12.2 萬 m²。據吳與吳 (2003) 所述，箔子寮湖港南岸、好美里海埔地及雲嘉南各離岸沙洲嚴重侵蝕，有關單位應密切注意及提早因應防範。另地盤下陷因素是影響嘉義海岸變遷最重要因素之一，而人為工程的興建確實影響其週圍變遷，改變附近之海流及影響漂沙方向。更且，近年來常有因海岸抽砂工作而造成牡蠣死亡之糾紛 (蔡, 2004)。孫 (2012) 提及 1999 年與 2000 年，臺西牡蠣苗生產區的產量大幅減少，業者認為是採苗器上被大量泥沙覆蓋所造成的，泥沙來自鄰近新興工業區的開發，抽沙船抽沙時造成的漂沙，經調查結果，抽沙工程產生的漂沙確實對牡蠣苗的生產有重大的不良影響。牡蠣附苗業者及養殖業者常遭遇到天敵與泥沙沉積等問題，因而影響牡蠣

產業之發展 (許與陳, 1989)。雖然牡蠣養殖戶向政府部門反應能夠於養殖區或航道經常清淤，但礙於政府預算、清淤效益與維持期間短、清淤需符合的法規等等，並無法滿足養殖戶及對抗大自然環境變化，故解決問題的方式仍需更慎密的思考與投入研究。

三、敵害生物防治困難

(B2) 病蟲害在共同問題中雖僅二產區排序在前，但多數養殖戶於調查時經常提及。臺灣牡蠣養殖戶常提及的蟲害，平掛式養殖戶以蚵螺 (*Purpura clavigera*)，浮筏式及延繩式以扁蟲 (*Stylochus sp.*) 或東方柄渦蟲 (*Stylochus orientalis*) 的危害最為嚴重，根據訪談，當蟲害大量發生時曾導致牡蠣大量死亡 50 - 80%，育成率可能僅剩 2 - 5 成左右。蚵螺防治方法以透過人工摘除蚵螺及其卵囊的效果較佳。另有在退潮時使用震動器震動蚵串，或利用高壓水柱噴沖蚵串，使蚵螺脫離牡蠣，但仍以人工摘除最快 (李, 1989; 楊與巫, 1996)，只有勤於視察養殖場，如發現成體或其卵囊加以驅除 (林, 2009)。扁蟲防治方面，陳等 (2019) 提到扁蟲會在 4 月開始大量繁生侵襲，約 10 月之後扁蟲數量較少。扁蟲的稚蟲受其成蟲捕食牡蠣而附著，秋天及初夏為二個主要附著期，應避開此時期，提早或延後進苗，也可採停養一年的方式以減輕敵害 (Chen *et al.*, 1990; 楊, 1996; 林等, 2003; 陳, 2006)。李 (2003) 提及扁蟲危害牡蠣與久旱不雨導致沿岸海域海水鹽度偏高有關。另外，海域有養殖密度過高情形，其中四草沿海放養密度最高，受害程度最嚴重。經宣導與漁民配合，蚵棚數總計減少 25 - 28%，養殖密度降低後，該區養殖牡蠣的活存率回升到 70 - 80% (李, 2003)。除了降低養殖密度與停養以斷其生活史之外，參考澎湖牡蠣養殖的扁蟲移除方法為早晨以籠具載回港邊後，利用淡水浸漬或沖洗牡蠣，再放置 1 日，隔日再出海吊掛的處理較有效。扁蟲與蚵螺的防治法之缺點是極為費工與 1 日可處理量少，因此養殖戶亦建議可研發新防治法，或收購蚵螺與扁蟲，用於研究蟲害轉為生物科技使用。

結 論

現今臺灣牡蠣養殖產業遭逢外國牡蠣進口量大增與養殖成效不佳的內外夾擊下，傳統牡蠣養殖戶們已深陷產業存廢的危機感當中，也正在尋求解決產業困境方式，往具有發展潛力的方向轉型。臺灣牡蠣主產區養殖戶所面臨共同的困境與問題點來自進口（越南）牡蠣的衝擊過大，現階段除加強進口牡蠣的抽查檢驗，產地證明與標示管控，也需做好本土產牡蠣的市場區隔，努力提升本土產牡蠣品質。由受到衝擊較小的養殖戶特徵可知，自產自銷並擁有產銷履歷證明，選別好品質牡蠣配送，並主動告知牡蠣生產量有限且有季節性，讓固定客源信任生產者所配送的產品，牡蠣的品質與信任感可讓消費者更有採購本土產的動機。牡蠣養殖戶因應越南蚵大量進口，原本認為產銷履歷手續麻煩且無實質效益，但現在部分養殖戶態度則趨向願意接受政府輔導與補助，加入採用產銷履歷的行列。此外，現在行政院與農委會正大力推動「建構農產品冷鏈物流及品質確保示範體系」4年中長程計畫，對牡蠣養殖產業的升級方面，包括落實牡蠣產地標示、輔導產銷履歷認證、牡蠣收成加工及包裝階段導入冷鏈「溯源剖蚵示範場」、改進傳統牡蠣處理方法、機械真空及自動封填包裝等方式，導入自動化、機械化和冷鏈，即在提升品質、產銷調節及區隔市場，升級本土牡蠣養殖產業成為具競爭力的產業。

本研究提供一個簡單且直接貼近產業的調查分析方式，呈現各臺灣牡蠣主產區養殖戶群組所面臨的困境與問題點，養殖戶們表達問題關鍵字可獲得 20 個項目以上，問題點相互間關連性高，且以不同地區間問題點特徵與面臨問題點的重要性排序，可深入解析各產區養殖戶對產業困境的意見與建議，提供產官學研界瞭解各牡蠣養殖產區的實際需求，加速整合各方意見，並思考解決各產區困境的因地適宜折衝方案，歸納出適合當地的策略，有效降低牡蠣養殖產業所受到的衝擊。而本研究尚未調查各牡蠣養殖產區的經營與經濟收支項目，故本研究調查將持續進行，收集更多的資訊，模擬區隔市場、提升品質、產銷調節與產業升級所需條件與經費，改善利潤結構，提供解決產業困境的參考依據。

謝 辭

本研究係農業部 2023 年度第二階段科技計畫「臺灣牡蠣養殖產業的問題與困境之探討」之部分成果。本研究感謝彰雲嘉南各區漁會的協助，以及各產區牡蠣相關產銷班與協會，及所有養殖戶協助與記錄。

參考文獻

- 丁雲源 (1995) 牡蠣：臺灣農家要覽漁業篇。豐年社，241-244。
- 王兆弘 (2018) 不同環境溫度與微藻種類對葡萄牙牡蠣 (*Crassostrea angulata*) 的肥滿度與生殖腺發育的影響。國立嘉義大學水生生物科學系研究所 碩士論文, 93 pp.
- 立法院 (2021) 立法院第10屆第3會期第3次會議 110年03月16日。立法院公報, 110卷026期4877號, 0311-0312。(林俊憲立委質詢, 牡蠣總進口量遽增問題, 2023.07.10 查詢)
- 吳育勳 (2008) 牡蠣養殖發展之研究-以台南市牡蠣養殖區為例。國立中山大學海洋環境及工程學系碩士論文, 58 pp.
- 吳哲榮, 吳啟南 (2003) 遙測技術應用於臺灣西海岸五十年來變遷分析。航測及遙測學刊, 8(3): 95-110。
- 李榮涼 (2003) 臺南市沿海養殖牡蠣遭受扁蟲危害原因調查及其因應對策。水試專訊, 4: 36-37。
- 李龍雄 (1989) 牡蠣養殖：水產養殖學（下冊）。前程出版社, 165-188。
- 林志德 (2008) 嘉義縣沿海牡蠣養殖與社會的變遷。長榮大學台灣文化研究所 碩士論文, 158 pp.
- 林英佐 (2009) 海洋暖化對台灣牡蠣產業的影響。國立臺灣海洋大學水產養殖學系 碩士論文, 79 pp.
- 林承潔 (2011) 牡蠣養殖浮棚之改善研究。國立臺灣海洋大學河海工程學系 碩士論文, 89 pp.
- 林伯翰 (2014) 近岸水域空間規劃-以臺南安平牡蠣養殖區為例。國立成功大學海洋科技與事務研究所 碩士論文, 104 pp.
- 林世榮, 李榮涼, 邱英哲, 丁雲源 (2003) 台南市沿海牡蠣養殖區域水質及扁蟲危害調查。水試專訊, 3: 19-25。
- 胡興華 (1996) 拓漁臺灣。臺灣省漁業局, 183 pp.
- 胡興華 (2004) 臺灣的養殖漁業。遠足文化, 184 pp.
- 孫柏丞 (2012) 臺灣雲林地區牡蠣養殖經營收益及成本函數分析。國立高雄海洋科技大學水產養殖研究所 碩士論文, 69 pp.
- 張有恆 (1998) 運輸計畫評估與決策-模糊理論之探討與應用。華泰, 610 pp.
- 許慧文, 陳章波 (1989) 牡蠣附著動物之研究。農委會漁業特刊, 17: 23-48。

- 郭仁杰, 陳鴻儀, 何雲達 (1998) 牡蠣養殖之生產經濟分析. 水產研究, 6 (1): 55-70.
- 陳文樹 (2006) 牡蠣的養殖採收與利用. 漁業推廣, 239: 24-29.
- 陳俞伶 (2008) 臺南牡蠣業者因應氣候變異-颱風之調適策略研究. 國立中山大學海洋事務研究所 碩士論文, 121 pp.
- 陳鴻議 (2001) 牡蠣養殖:雲嘉地區主要魚貝類養殖技術彙集. 漁業輔導專刊, 1: 125-135.
- 陳岳川, 陳律祺, 陳銓汶, 龔淑仁, 鍾金水, 冼宜樂, 謝恆毅 (2019) 澎湖牡蠣養殖之概況. 水試專訊, 67: 45-49.
- 賀傳欣, 鐘耀照, 王昱善, 錢樺 (2020) 三條崙沙洲近百年來變遷的回顧與分析. 第42屆海洋工程研討會論文集, 512-519.
- 黃國平, 林振國, 許慶祥 (2004) 模糊理論與層級分析法之結合與應用. 第一屆臺灣作業研究學會學術研討會暨2004年科技與管理學術研討會論文集, 489-502.
- 楊天成 (2012) 臺灣西南海域長牡蠣成長之研究. 國立高雄海洋科技大學水產養殖所 碩士論文, 134 pp.
- 楊夢南 (1996) 臺灣長牡蠣 (*Crassostrea gigas*) 基礎生物學的研究. 臺灣大學漁業學系研究所 碩士論文, 134 pp.
- 楊夢南, 巫文隆 (1996) 臺灣的長牡蠣 (*Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793)). 貝類學報, 20: 31-42.
- 蔡政霖 (2004) 臺灣牡蠣養殖產業之經濟分析. 臺灣海洋大學水產養殖系研究所 碩士論文, 104 pp.
- 蕭聖代, 莊世昌, 梁宏彥, 吳繼倫 (2012) 利用分子技術探討台灣產葡萄牙牡蠣族群結構. 農政與農情, 235: 97-98.
- 簡好儒 (2021) 農漁業技術移轉制度的「轉譯」難題：以養蚵人工附苗技術為例. 臺灣社會學刊, 69: 1-51.
- 簡禎富 (2005) 簡易多屬性評等技術與多屬性評估模式:決策分析與管理. 雙葉書廊, 177-219.
- Barron, F. H. and B. E. Barrett (1996) The efficacy of SMARTER-Simple multi-attribute rating technique extended to ranking. Acta Psychol., 93(1-3): 23-36.
- Boudry, P., S. Heyrtebise, B. Collet, F. Cornette and A. Ge´rard (1998) Differentiation between populations of the Portuguese oyster, *Crassostrea angulata* (Lamarck) and the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg), revealed by mtDNA RFLP analysis. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 226: 279-291.
- Chen, C. P., W. S. Tsai, C. Y. Liu and Q. S. Lee (1990) Recruitment and induction of settlement of planktonic juveniles of the oyster flatworm, *Stylochus orientalis* bock. B. I. Zool. Acad. Sinica, 29(1): 57-64.
- Costil, K., J. Royer, M. Ropert, P. Soletchnik and M. Mathieu (2005) Spatio-temporal variations in biological performances and summer mortality of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in Normandy (France). Helgoland Mar. Res., 59(4): 286-300.
- Edwards, W. and F. H. Barron (1994) SMARTS and SMARTER: Improved simple methods for multiattribute utility measurement. Organ. Behav. Hum. Dec., 60: 306-325.
- Edwards, W. (1977) How to use multiattribute utility measurement for social decision making. IEEE T. Syst. Man Cyb., SMC-7: 326-340.
- Foighil, D. O.Á., P. M. Gaffney, A. E. Wilbur and T. J. Hilbish (1998) Mitochondrial cytochrome oxidase I gene sequences support an Asian origin for the Portuguese oyster *Crassostrea angulata*. Mar. Biol., 131: 497-503.
- Hadley, N. H. and J. J. Manzi (1984) Growth of seed clams, *Mercenaria mercenaria*, at various densities in a commercial scale nursery system. Aquaculture, 36(4): 369-378.
- Haure, J., A. Huvet, H. Palvadeau, M. Nourry, C. Penisson, J. L. Martin and P. Boudry (2003) Feeding and respiratory time activities in the cupped oysters *Crassostrea gigas*, *Crassostrea angulata* and their hybrids. Aquaculture, 218: 539-551.
- Hsiao, S. T., S. C. Chuang, K. S. Chen, P. H. Ho, C. L. Wu and C. A. Chen (2016) DNA barcoding reveals that the common cupped oyster in Taiwan is the Portuguese oyster *Crassostrea angulata* (Ostreoida; Ostreidae), not *C. gigas*. Sci. Rep., 6(1): 34057.
- Khan, B., S. M. Clinton, T. J. Hamp, J. D. Oliver and A. H. Ringwood (2018) Potential impacts of hypoxia and a warming ocean on oyster microbiomes. Mar. Environ. Res., 139:27-34.
- Lin, Y. S. and M. H. Liang (1982) Growth and setting of cultured oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg) in Putai bay. B. I. Zool. Acad. Sinica, 21 (2): 129-143.
- Lin, Y. S. and H. C. Tang (1980) Biological Studies on Cultured Oyster in Penghu. B. I. Zool. Acad. Sinica, 19(2): 15-22.
- Mao, Y. Z., Y. Zhou, H. S. Yang, X. T. Yuan, H. X. Wen and R. C. Wang (2005) Seasonal variation in metabolic rate of Pacific oyster, *Crassostrea gigas* and its implication to summer mortality. Oceanol. Limnol. Sin., 36(5): 445-451.
- Oliver, J. D. (2013) *Vibrio vulnificus*: Death on the Half Shell. A Personal Journey with the Pathogen and its Ecology. Microb. Ecol., 65: 793-799.
- Shui, X. L., J. W. Sun, F. G. Wang, J. Wang and Z. S. Wang (2002) Reasons of mass death-off in Pacific oyster cultured in Dalina sea shore. J. Dalian Fish. Uni., 17(4): 272-278.

Research on the Difficulties and Problems Faced by Oyster Farmers in Major Oyster Production Sites in Taiwan

Ching-Min Yang

Coastal and Offshore Fishery Research Center, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

In terms of aquaculture scale, the total oyster production of Taiwan in 2021 is about 18,000 metric tons, with an output value of about NTD 4 billion. It is one of the most important economic shellfish aquaculture industries in Taiwan. However, there are occasional reports of mass deaths of oysters as well as diseases and parasites by news media. In addition, foreign oyster imports have soared. Due to the double blow of domestic and foreign factors, Taiwan's oyster aquaculture industry is encountering operational difficulties, and its total output and output value have shown a downward trend in recent years. In order to understand the challenges and problems of oyster farmers in major oyster aquaculture sites in Taiwan, we employed in-situ surveys and questionnaires to explore the challenges in different aquaculture sites and their degree of importance. According to the results, in addition to the degree of importance of industrial challenges considered by farmers in major oyster aquaculture sites in Taiwan, the most common challenges faced by farmers include (C1) the mass import of Vietnamese oysters (imported oysters), and (A1) the environmental degradation and (D5) lack of dredging in the oyster aquaculture sites. These factors have attributed to increased risks and decreased profits in oyster aquaculture, loss of areas suitable for oyster aquaculture, and decreased aquaculture output in many oyster farmers. At this stage, in addition to strengthening spot checks and inspections of imported oysters as well as mandating the provision of certificates of origin and labeling quality control, it is also necessary to improve the market segmentation for and quality of Taiwan oysters. A simple and direct investigation and analysis method that is closely aligned with industry standards has been proposed in this study to analyze the opinions and suggestions of farmers in different oyster aquaculture sites pertaining to the industrial challenges they face. The results provide a reference for government-industry-academia to understand the actual needs of each oyster aquaculture site, and devise solutions for each site through appropriate plans that are tailored to local conditions.

Key words: oyster, oyster farmers, questionnaire survey, environmental degradation, Vietnamese oysters, imported oysters

附錄 1 臺灣 (彰雲嘉南) 牡蠣養殖戶提及之困境與問題點項目

問題點	簡要說明
養殖環境層面	
A1. 環境劣化	1. 潟湖消失與海岸侵蝕。 2. 七股潟湖、外傘頂洲、沿海潮間帶與沙洲淤積嚴重，水深變淺。 3. 環境結構改變與水流變化，適合養殖牡蠣面積減少。
A2. 久不雨	1. 海域鹽分過高，易生蚵螺、蚵蛭、覆蓋類生物及其他敵害。 2. 河川水量不足，無法沖走底部淤積的沙泥。
A3. 強降雨	大量沖刷上游沉積物至下游，短時間內鹽分與滲透壓變化大，影響蚵成長並造成死亡。
A4. 颱風	1. 設施與浮棚流失損毀或沉沒，蚵串相互碰撞掉落。 2. 破壞海岸線，泥沙與海洋廢物流進養殖區，海洋廢棄物增加。
A5. 水質惡化	1. 上游工廠多，廢水排放影響水質。 2. 夏天水溫高與缺氧，冬天藻相變差或藻類死亡，均造成水質惡化。
養殖技術層面	
B1. 蚵苗延遲	1. 天然蚵苗附著日期延遲。 2. 蚵苗弱化品質不穩定。
B2. 病蟲害	蚵螺、蚵蛭、覆蓋性生物危害，育成率降低，防治極費工。
B3. 新式成本	環保材質的浮具與蚵架材料的高成本，各縣市補助環保材質條件不一。
B4. 養不肥	1. 可能是水質、氣候、雨水、藻相變化的影響。 2. 密度過高，養殖時間延長，風險增加。
B5. 密度高	利潤少，人工貴，需增加放養密度，易造成營養不均，蚵螺、蚵蛭、覆蓋性生物多，養不肥且易死亡。
進口與產銷層面	
C1. 進口蚵 (越南蚵)	1. 越南蚵大量進口，盤商收購本土蚵減少，衝擊蚵養殖產業鏈各環節。 2. 本土養殖戶利潤降低，價格低落，影響放養意願，附苗業需求量減少。 3. 混充臺灣蚵販售，影響權益。產地偽裝東石蚵。 4. 可能含有藥物殘留或重金屬等疑慮。
C2. 收購價低	受越南蚵大量進口，本土蚵價格被壓低，收購量減少，生產者、加工者無法獲利。
C3. 產銷履歷	手續麻煩，蚵價沒提高，無實質效益，無形成本增加，且年年花費成本檢測。
C4. 經營成本	工資高，養殖資材成本增加，收支平衡不易，需增加產能，導致密度過多。
政府政策層面	
D1. 欠工	1. 養蚵分苗、移動、收成、蟲害防治等，非常耗工。但養殖人口老化，無法負擔。 2. 申請外勞移工進行牡蠣養殖近期才放寬，變相利用漁撈作業船籍申請。
D2. 災補難	天災救助金少，沒登記或無漁業權則無，多次開會與探勘卻僅小額補助，阻礙災後復原。
D3. 無漁業權	1. 無漁業權，無法提出證明申請天然災害救助。 2. 港務局、國家公園等公部門劃界後，限縮養蚵區域。
D4. 禁養 3 個月	僅臺南市海域 3 區，為避颱風，禁止 7、8、9 月浮筏式養殖。
D5. 清淤少	1. 出入港口與鄰近河川航道及養殖區均受到淤沙泥影響，養殖區消失、泥沙埋蚵、航道受阻、進出入港口不便。 2. 縣市政府經費不足，清淤次數太少且面積太小，清淤規定變更。
外部人為因素	
E1. 廢水污染	1. 上游排放工業廢水或使用農藥，污染水質。 2. 港區清淤及工程，將爛泥運至外海中傾倒。
E2. 綠電工程	1. 風電設施海底工程、造成海底泥沙揚起。彰化與雲林設置後，養成率逐年下降。 2. 漁電共生的太陽能廠，常日反射溫度升高，而清洗水排放周邊，水質恐被污染。
E3. 割棚	1. 流刺網、其他籠漁具纏絡蚵棚，割棚或錨讓浮棚流失。漁具漁法的競爭。 2. 養殖區的修復極費工，移除外來漁具需割蚵串，造成損害。
E4. 盜採	非養殖戶進入牡蠣養殖區進行盜採。

水產研究 第31卷 第2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 112 年 12 月

刊別：半年刊

ISSN 1018-7324 GPN 2008200207

ISSN 1018 7324



9 771018 732009

GPN 2008200207