

宜蘭灣東方齒鰆魚卵分布水文特性

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

東方齒鰆 (*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。東方齒鰆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 個站捕獲到東方齒鰆魚卵，計 118 個，以南澳灣外豐度最高。發現最適合解釋東方齒鰆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鰆產卵場分布與水文環境相關性，期望能有助於東方齒鰆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

鯖科齒鰆屬 (*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鰆 (*Sarda orientalis*) 一種（以下簡稱齒鰆）。齒鰆為大洋性魚種，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)。齒鰆並未在漁業統計年報中獨立統計產值產量，而是被列入其他鰆類中 (王, 1987)。在農業部漁業署漁產品全球資訊網資料顯示，2000-2022 年間齒鰆產地產量介於 23 - 852 mt，產地平均價格 61 NT\$/kg (漁業署, 2023)。齒鰆每年冬、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。

臺灣的齒鰆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。齒鰆漁期集中在冬春季齒鰆繁殖洄游期，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，推論齒鰆之生殖季節在每年 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)。從齒鰆耳石日齡回推，齒鰆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。齒鰆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)。

齒鰆屬魚類亦為全球重要經濟魚種，曾進行人工繁殖實驗，包括東方齒鰆 (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 Gádara, 2008; Ortega García, 2016)。在韓國海域之齒鰆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鰆做過重金屬檢測，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 / 澎湖縣馬公市峙裡里 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，可知齒鰆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用外，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，系統性地提供齒鰆產卵場範圍與水文環境特性，期望有助於齒鰆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)，本研究齒鰆魚卵樣本來源即為 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 (Idronaut 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 m ± 0.5 m 量測之數值平均作為第 x m 的水文參數值。

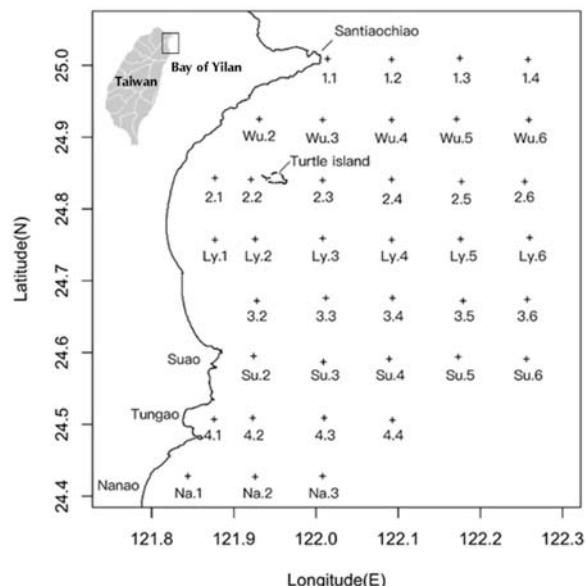


Fig. 1 Sampling stations for the cruise conducted from March 12th to 17th, 2022.

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，視為可能的齒鰆魚卵。

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鰓魚卵，並與本研究同時取得之其他鯖科魚卵，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、浮游動物豐度與齒鰓魚卵豐度參數進行 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, chla)、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說。

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) 分析齒鰓魚卵出現與否 (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鰓魚卵分布，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，各測站取得齒鰓魚卵數量、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 浬，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 (chla.10) 上，近岸與北方海域 chla.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，最大量出現在 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、齒鰓魚卵鑑定與分布水文特性

研究期間取得之齒鰓成魚與魚卵如 Fig. 4 所示。齒鰓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

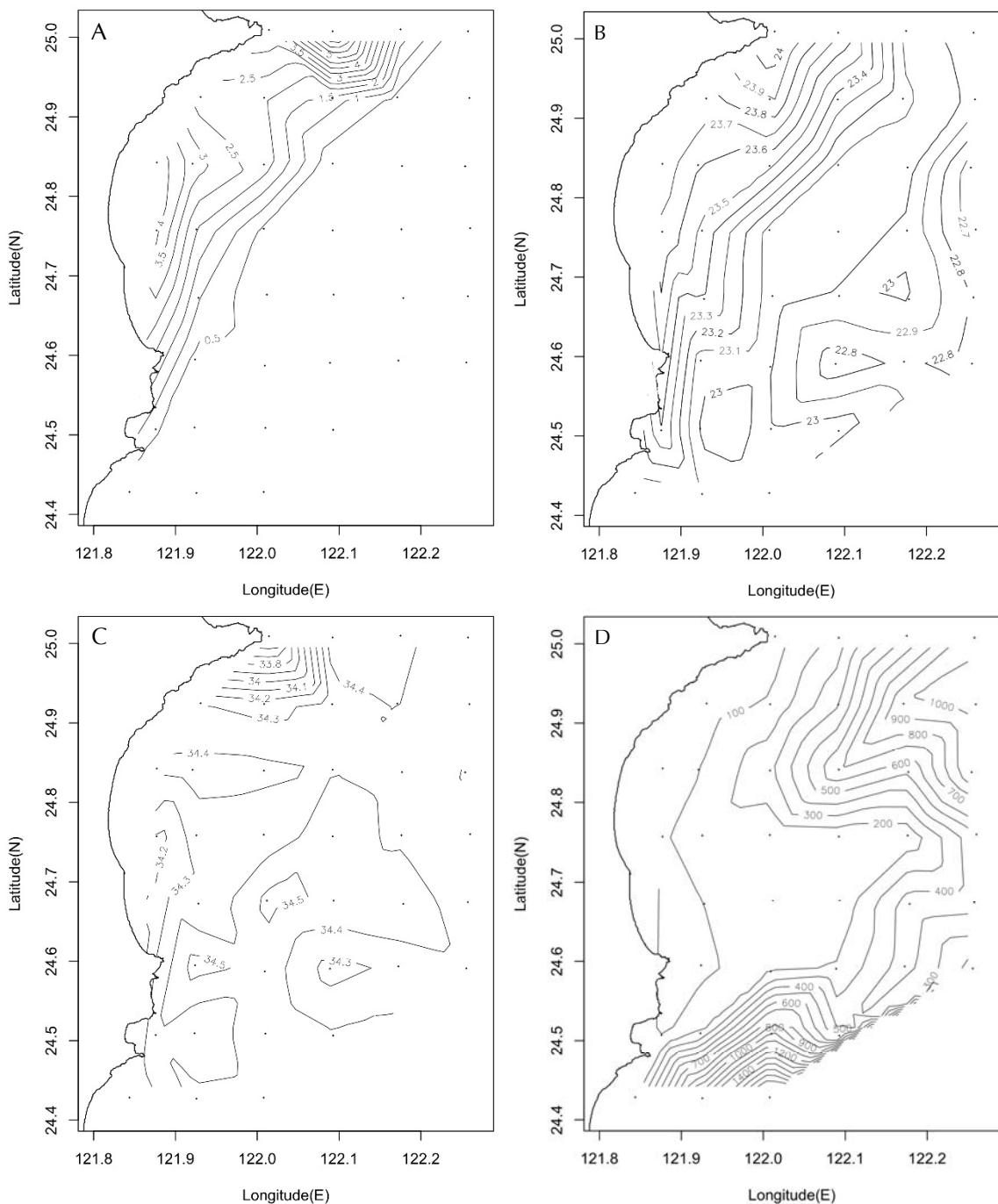


Fig. 2 Horizontal distribution of: (A) Chlorophyll-*a* concentration ($\mu\text{g}/\text{L}$) at a depth of 10 m; (B) Seawater density (sigma theta) at a depth of 5 m; (C) Seawater salinity (psu) at a depth of 4 m; (D) Water depth (m) in the bay of Yilan during March 12th to 17th, 2022.

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* ssp.) 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*)、正鰯 (*Katsuwonus*

pelamis)、圓花鰆 (*Auxis rochei*)、平花鰆 (*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。顯示齒鰆與黃鰭鮪序列較為接近，正鰯與花鰆屬為一群，鯖屬另成

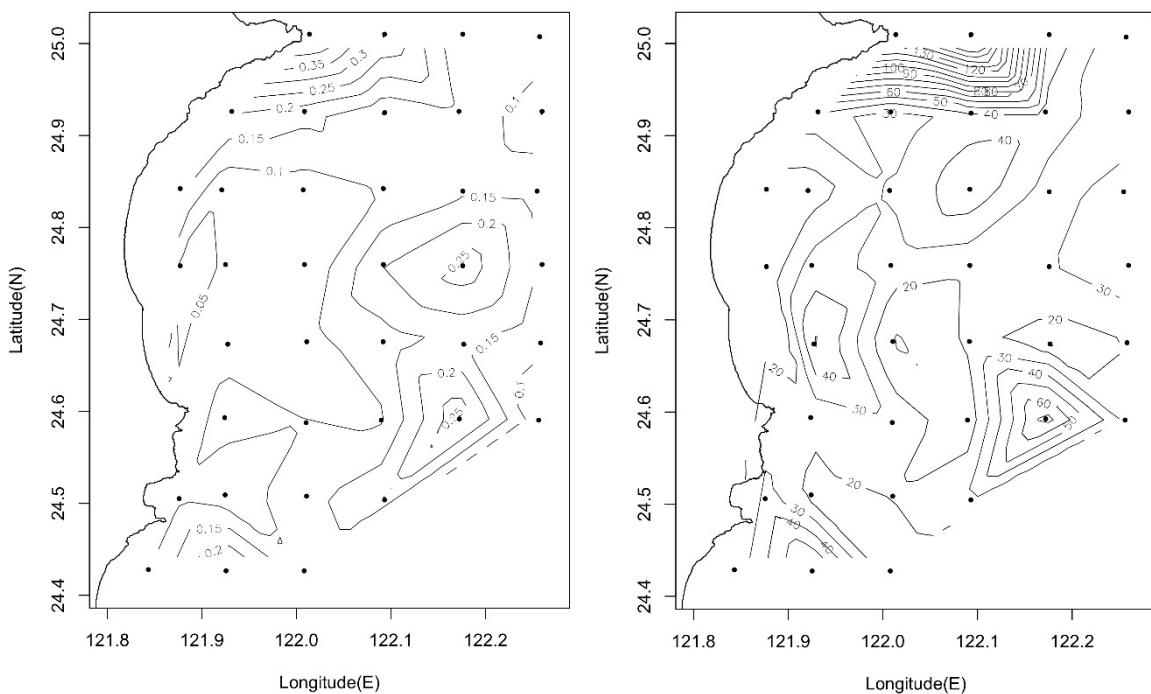


Fig. 3 Horizontal distribution of: (Left) Zooplankton biomass (g/m^3); (Right) Fish larvae abundance (individuals/ 100 m^3) in the bay of Yilan during March 12th to 17th, 2022.

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鰆魚卵者計有 118 顆，在 38 個測站中有 16 站有出現齒鰆魚卵，當中有 10 個測站位在距岸 12 浬以內。齒鰆魚卵數量以南澳 (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 顆以上齒鰆魚卵外，其餘各站皆為零星出現。

經 RDA 探討齒鰆魚卵、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 次蒙地卡羅檢測後，本結果可以解釋 56.5%所有參數特性 ($\text{adjR}^2=0.33; p < 0.05$)，軸一和軸二已足顯示 95% 模式結果。軸一是主要解釋項，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，齒鰆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 顆鯷科魚卵而遠離中心，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。

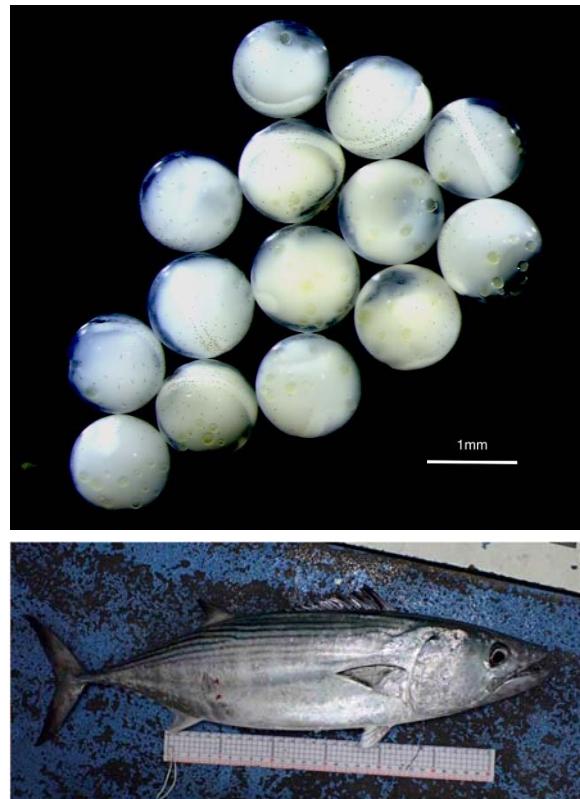


Fig. 4 The eggs (above) and adult (below) of *Sarda orientalis*.

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 orientalis* eggs; id.: number of individuals

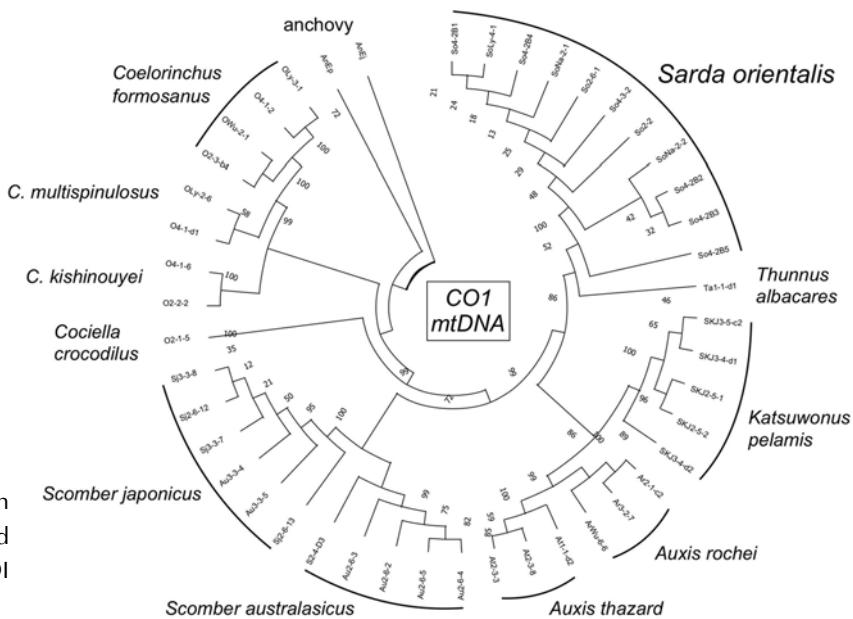


Fig. 5 Molecular discrimination of the eggs of *Sarda orientalis* and other fish species using COI fragments.

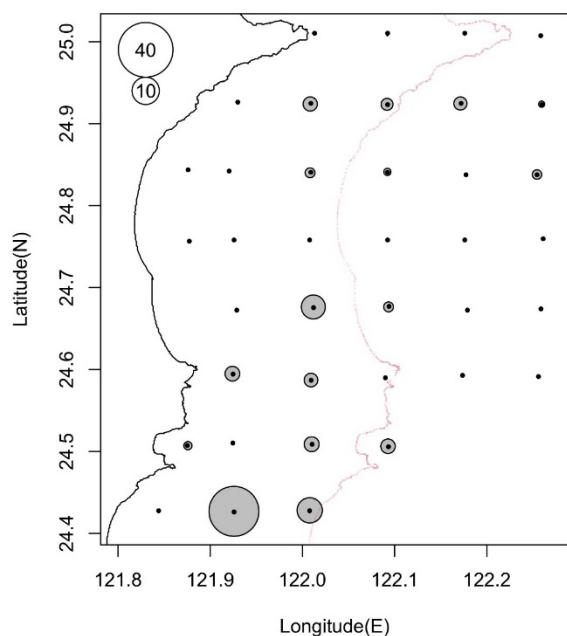


Fig. 6 Horizontal distribution of *Sarda orientalis* eggs (individual/100 m³) in the bay of Yilan from March 12th to 17th, 2022. The red line in the figure represents the 12-nautical-mile boundary.

使用 GLM 能更明確闡釋齒鰆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 ($\text{adjR}^2=0.394; p < 0.05$)，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。齒鰆魚卵主要出現在 chla.10 < 1 $\mu\text{g/L}$ 、sal.4 > 34.2 psu、

den.5 > 23 sigma-t 以及 W.depth > 400 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 模式闡述齒鰆魚卵分布情形 ($\text{adjR}^2=0.102, p < 0.05$)，但齒鰆魚卵並未在所有 sal.4 > 34.2 psu 海域都可發現，這應是在 GLM 中單以 sal.4 對齒鰆魚卵的分布解釋度，會比同時使用四個參數時低許多的原因。為進一步限縮齒鰆魚卵分布水文特性，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 兩參數能將齒鰆魚卵限縮在最小的範圍，表示齒鰆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*)、日本條鰶 (*Pseudaesopias japonicus*)、粗體舌鰶 (*Cynoglossus robustus*)、米點箱鯪 (*Ostracion meleagris*)、六斑二齒鯪 (*Diodon holocanthus*)、密斑二齒鯪 (*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.

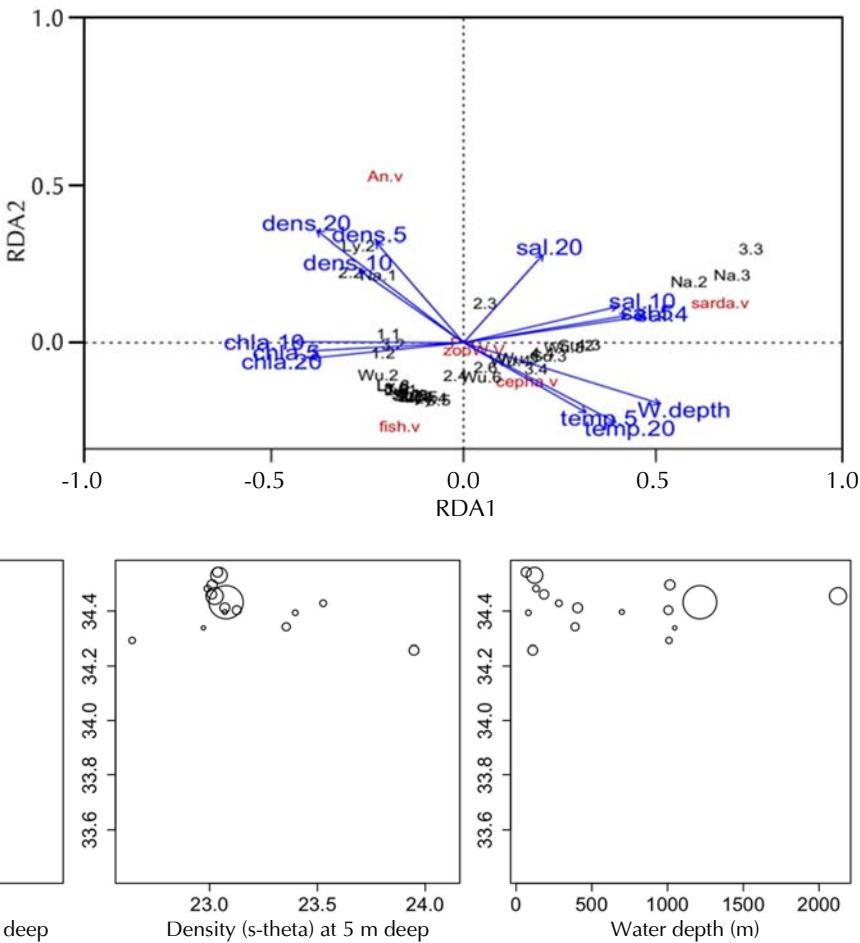


Fig. 8 The distribution patterns of *Sarda orientalis* eggs (represented by circles) across four hydrological variables.

hystric)、部分鰐形目 (*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)。鯷科魚卵為橢圓形，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)。齒鰆魚卵直徑較大約在 1.3 mm，是鯷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，不需分生鑑種即可與齒鰆魚卵區分開來，可知齒鰆相當適合用以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)。鯷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)，但北方鯷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，但齒鰭魚卵可以在 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，應足以解釋齒鰭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) 從齒鰭仔稚魚分布水團特性，將齒鰭歸屬為大洋性近岸魚種。從齒鰭習性為大洋性近岸魚種，且本研究發現其亦在近岸產卵，推論齒鰭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鰭魚卵分布的原因。

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鰭魚卵分布最佳水文因子。從 Fig. 8 可以看出齒鰭魚卵僅出現在鹽度 $>34.2 \text{ psu}$ 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。有採集到齒鰭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，龜山島北側的齒鰭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障，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)。齒鰭魚卵主要分布在表水密度 $\text{den.5} > 23.1 \text{ sigma-t}$ 的海域，即本樣區西北側近岸海域 (Fig. 2B)，推測齒鰭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/外洋水的因素 (Fig. 2A)，故是僅次於鹽度外最能解釋齒鰭魚卵分布因子。

宜蘭灣因與黑潮此大型洋流併接，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。

目前臺灣對於齒鰭初期生活史的研究極少，齒鰭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)，齒鰭魚卵則僅在鹽寮與

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鰆主要產卵場之一，惟後續調查應自熱點南澳外海向南延伸，以便完整掌握齒鰆產卵場範圍與生態特性。

參考文獻

- 王清要 (1987) 臺灣東部海域產條鰯之生物學研究(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) 臺灣東北海域齒鰆之年齡與成長研究. 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.
- 陳曉譽 (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) 臺灣東部海域齒鰆之生殖生物學研究. 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. Arıcı, 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. Arıcı (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. Szoebs, 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. McGlinn, 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/>).
- Rodriguez, 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