

臺灣近海花腹鯖產卵親魚量之試算

陳瑞谷^{1*} · 黃鼎傑¹ · 王友慈²

¹ 行政院農業委員會水產試驗所海洋漁業組

² 中國文化大學生命科學系

摘要

花腹鯖 (*Scomber australasicus*) 是臺灣沿近海漁業主要漁獲物種，因過漁徵候出現已導入管理措施。本研究是臺灣首次實際運用日魚卵生產模式 (daily egg production method, DEPM) 來推估花腹鯖產卵親魚量。2020 年 4 月在臺灣東北海域 (宜蘭灣) 同時取得大量的魚卵與成魚樣本，從 845 尾花腹鯖成魚計算出批次成熟雌魚平均全魚濕重為 528.0 g，性比為 0.472，平均個體孕卵數為 43,733 eggs/fish，當日產卵比例為 0.1335。在東澳灣口與龜山島東方海域採集到高豐度的花腹鯖魚卵，推估產卵場面積為 $1.71 \times 10^9 \text{ m}^2$ 。從胚胎發育特徵推測產卵高峰約在 20:00 - 21:00 間。利用指數衰減模式推估此時單位面積產卵數約為 38.3 或 52.7 eggs/m²。初步推估花腹鯖宜蘭灣產卵群 4 月殘存量約在 8,395 - 23,090 mt 之間。可知日魚卵生產模式雖能用來推估花腹鯖產卵資源量，惟仍需增加 DEPM 各參數精確度與準確度及花腹鯖生殖生態學知識，以拓展未來實用價值。

關鍵詞：日魚卵生產模式、鯖、產卵群資源量、產卵高峰

前言

臺灣以圍網、扒網、拖網、定置網與一支釣等漁法捕抓鯖魚類，大型圍網因成本過高，在 2012 年已完全消失，扒網因具有機動性高、作業快速且船型小，需人力少等優點，迅速起而代之 (Liao, 2011; Lu *et al.*, 2013)，近年產量維持在 75,000 mt 上下波動，產值在新臺幣 30 - 50 億元間 (漁業署, 2019)，鯖魚業已成為臺灣產量與產值最高的沿近海漁業 (Liao, 2011)。鯖魚業主要漁場在臺灣東北海域，包括彭佳嶼釣魚台等東海陸棚至宜蘭灣，主要魚種包括花腹鯖 (*Scomber australasicus*)、白腹鯖 (*S. japonicus*)、日本竹筴魚 (*Trachurus japonicus*)、藍圓鰱 (*Decapterus maruadsi*)、紅帶鰱 (*D. muroadsi*)、無斑圓鰱 (*D. kurroides*)、拉疆鰱 (*D. lajang*)、紅瓜鰱 (*D. russelli*) 與長身鰱 (*D. macrosoma*) 等 (曾, 1984; Lin and Kuo, 1993; Liao *et al.*, 2004; Lu *et al.*, 2013; 呂, 2018)，尤以花腹鯖

為重，與白腹鯖和日本竹筴魚是目前最主要的三大魚種，約佔扒網漁獲量九成以上，三魚種產卵期皆在 1 - 5 月，花腹鯖以 2 - 3 月為主。長期研究顯示花腹鯖已出現性成熟體型下降、加速成長與極限體長變小等過漁徵兆 (Chen, 2005; Liao, 2011)，故漁業署 2013 年開始導入限漁措施，包括 6 月禁捕與 6 月禁止漁撈作業等措施，並持續進行沿近海鯖魚業研究以掌握資源現況 (Lu *et al.*, 2013)。鯖魚種屬洄游性經濟魚種為東海鄰近國家共同利用，實需諸國共同管理，惟目前僅白腹鯖是國際關注魚種 (North Pacific Fisheries Commission, 2020)。

魚卵生產模式 (egg production method, EPM) 理論濫觴始於 20 世紀，美國 NOAA 西南漁業中心在 1970 年代發展 EPM 理論用以評估太平洋北方鰱 (*Engraulis mordax*) 資源量 (Parker, 1980)，隨後發表了第一份完整詳盡描述理論、各參數計算與取得數據的技術手冊 (Lasker, 1985)，經大西洋鯖魚 (*S. scombrus*) 以及太平洋北方鰱的先驅研究 (Parker, 1980; Lockwood *et al.*, 1981; Lasker, 1985)，區分為適用產卵量不固定 (indeterminate spawner) 的日魚卵生產模式 (daily egg production

*通訊作者 / 基隆市和一路 199 號, Tel: (02) 2462-2101 ext. 2418; Fax: (02)2463-3110; E-mail: rgchen@mail.tfri.gov.tw

method, DEPM) 與適用產卵量固定 (determinate spawner) 的年魚卵生產模式 (annual egg production method, AEPM), 並設定出兩者各自的操作準則 (Stratoudakis *et al.*, 2006)。自此, EPM 在推估漁業資源開始佔有一席之地 (Jakobsen, 2016), 可提供非漁業依賴 (fishery-independent) 的估計生物量 (Jennings *et al.*, 2001), 能取得產卵群資源量的無偏估值但精確度偏差大 (Stratoudakis *et al.*, 2006), 也因資源量推估值偏差過大以致可性度遭受質疑 (Bernal *et al.*, 2012)。魚卵生產模式的理論概念很簡單, 只要知道產卵場特定時段內 (當日或年總) 有多少魚卵, 除上同樣時段內每尾成熟母魚平均能產下多少卵, 即可推估產卵群的數量。Bernal *et al.* (2012) 指出: "EPM 在資源評估上有三大用途: 直接作為生物量指標、不直接用於評估而是監測目標族群的變動與狀態、提供族群在時間或空間上的分布變動"。魚卵生產模式曾被用於評估多種魚種, 包括鯪魚目的北方鯪、歐洲鯪 (*E. encrasicolus*)、太平洋沙丁魚 (*Sardinops sagax*), 以及鱸形目的花腹鯖、白腹鯖、大西洋鯖、大西洋竹筴魚 (*T. trachurus*) 與日本竹筴魚等表層洄游魚種 (Watanabe and Nishida, 2002; Stratoudakis *et al.*, 2006; Ward *et al.*, 2009, 2016; Bernal *et al.*, 2012)。

本研究是臺灣海域首次嘗試運用 DEPM 進行花腹鯖宜蘭灣產卵親魚群現存量的科學評估, 主要目標在實地實時取得 DEPM 所需日總產卵量參數與親魚生殖生物學參數, 除評估 DEPM 在臺灣海域推估經濟性表層洄游魚種資源量是否可行外, 在產卵場海域以浮游生物採集網取得之魚卵亦能有系統地提供花腹鯖產卵場範圍與行為生態特性, 期望藉由 DEPM 從非漁業依賴角度提供詳盡且綜合的生活史資訊與產卵生態特性, 能有助於花腹鯖資源經營管理與永續利用。

材料與方法

一、日魚卵生產模式 (DEPM)

魚卵生產模式是利用魚卵的豐度來推估產卵親魚的數量。當該魚種已知產卵場範圍並是產下表層性魚卵時, 可藉此得到非漁業統計依賴所推估親魚殘存量。產卵群 (spawning stock) 能產下多

少卵可用下列公式表示:

$$P = BRf$$

總產卵量 (P) 是產卵群的資源量 (B)、雌魚比例 (R) 與批次孕卵數 (F, 指平均一尾母魚能產下總卵數) 的乘積, 因此, 產卵群資源量可以下式計算:

$$B = P / (RF)$$

在卵巢分次成熟且多批釋放的魚種, 如鯪魚、鯪魚與花腹鯖等, 其產卵期內會產下多少卵無法預期, 在使用魚卵生產模式時需改取得當日總產卵量 (P') 與參與產卵母魚比例 (f) 方式進行, 稱為日魚卵生產模式 (DEPM), 須將上式修正如下:

$$B = P' / (RFf)$$

經過多年的試用後, 修正日魚卵生產模式中數個參數的取得方式, 現行的模式如下:

$$B = (P_0 \times A \times W) / (R \times F \times S)$$

各參數為: 產卵群資源量 (B); 當日單位面積產卵量 (P₀); 產卵場面積 (A); 平均成熟雌魚重 (W); 產卵群雌魚總重量比 (R); 批次孕卵數 (F) 與當日產卵比例 (S)。因此以 DEPM 推估產卵親魚群殘存量時, 必須同時取得親魚生殖學參數: W、R、F、S 與日總產卵量參數: P₀、A。以下即分這兩部分述各參數取得方式。

二、親魚生殖學參數

自 2020 年 1 - 5 月逐週向南方澳扒網船購買約 15 - 40 尾花腹鯖成魚樣本, 海上調查期間輔以手釣方式收集成魚樣本。樣本攜回實驗室後量測重量、尾叉長、性別與生殖腺重, 並將呈水卵的卵巢以 10% 福馬林溶液固定後, 自左右卵巢分上中下 3 部位取下約 0.05 g 樣本後計算水卵數量, 乘以卵巢重後回推出個體孕卵數, 再找出個體孕卵數與個體去卵巢重間的關係式後, 帶入雌魚平均重量求出批次孕卵數 (F) (Lasker, 1985)。進行海上魚卵調查期間之所有母魚樣本卵巢皆以 10% 福馬林固定後進行切片染色, 同樣依 Lasker (1985) 方式, 將出現產後濾泡的母魚視為當日產卵個體, 考量產後濾泡會在卵巢內存在超過 24 hr, 產卵個體數需除以 2 再除以總樣本數後即為當日產卵比例 (S)。

雌魚平均重量 (W) 為加權平均, 雄魚平均重量亦同, 公式為:

$W = \sum (W_i \times n_i) / N$, W_i : 第 i 批樣本平均重量; n_i : 第 i 批雌魚數量; N : 總雌魚數量

產卵群雌魚總重量比 (R) 為批次雌魚重量比值的加權平均, 公式為:

$R = \sum (R_i \times n_i) / N$, 此 $R_i = F_i / (F_i + M_i)$;
 F_i : 第 i 批雌魚總重; M_i : 第 i 批雄魚總重。

三、日總產卵量參數

(一) 魚卵收集

於 2020 年 4 月 15 - 17 日期間租用漁船在宜蘭灣海域 18 個測站 (Fig. 1) 進行海上作業, 使用網目 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 速度垂直回收以收集花腹鯖魚卵, 網口結附流量計 (Hydro-Bios, model 438115) 計算濾水量, 並記錄採樣時間水深等相關資訊。

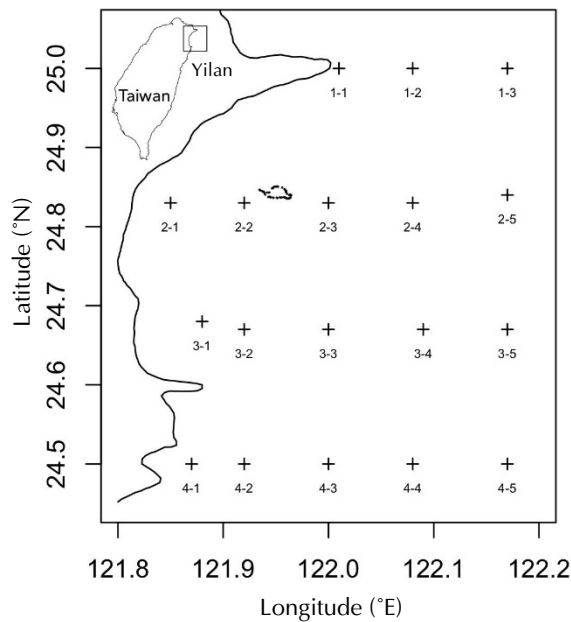


Fig. 1 Sampling sites of the cruise conducted from the 15th to 17th April 2020.

(二) 魚卵鑑定

先將所有魚卵從上述浮游動物樣本中挑出, 依卵徑區分為大類, 特別檢視花腹鯖魚卵直徑範圍 1.0 - 1.2 μm 、單一大油球、卵膜平滑與圍卵腔窄等特徵 (Neira and Keane, 2008) 者, 視為可能的目標魚卵。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花腹鯖魚卵。進行分子鑑定比例原則為: 該站少於 5 顆則全部定序, 5 - 50 顆挑 15%, 50 顆以上則挑 20%。

(三) 魚卵密度計算

各測站魚卵以下式計算:

$$P_t = CD/V$$

P_t 是該測站魚卵密度 (eggs/ m^2), C 是該站採得總魚卵數 (eggs), D 是網具施放深度 (m), V 是濾水量 (m^3)。

(四) 產卵場面積

本文所述花腹鯖產卵場係依照 Ward *et al.* (2016) 定義為”所有採得活花腹鯖魚卵”的調查海域面積, 前述面積估算則以長方形網格平均切割採樣海域, 使每一個測站所代表的網格面積定義為 $1.55 \times 10^8 \text{ m}^2$, 加總所有採得活花腹鯖魚卵的網格面積即為產卵場面積 (A)。

(五) 日魚卵生產量及魚卵死亡率

使用指數減損模式 (exponential mortality model) 來估算花腹鯖母魚當日在海中產下多少卵 (P_0), 公式如下:

$$P_t = P_0 e^{-zt}$$

在此假設魚卵在孵化前有固定的平均死亡率 (z), 因此可利用海中各齡魚卵的數量套入指數減損模式來估算 P_0 。先依魚卵外觀特徵將魚卵發生過程均分成 8 期 (Ward *et al.*, 2015) 後, 另 (Shao *et al.*, 2001) 指出臺灣海域花腹鯖魚卵在受精後 32 hrs 孵化, 因此, 魚卵每一期發生過程耗時 4 hrs。依前述方法將宜蘭灣海域各站所採集到的魚卵從採樣時間回推至可能產下的時間點後, 找出理論上的產卵高峰並視為產卵起點 (0 時點, zero time), 各站採樣時間與 0 時點差距即為魚卵時齡 (t), 各測站各

齡魚卵密度 (Pt) 如前所述，結合兩者帶入指數減損模式即可推算出平均死亡率與日魚卵生產量 (Lasker, 1985)。

四、信賴區間

以 bootstrapping 語法進行日魚卵生產模式推估所得產卵群現存資源量的信賴區間推估，進行時將屬於成魚之 W、R、F 以及屬於魚卵參數之產卵高峰與 P_0 分別進行，以可重複方式隨機再挑選原始數據來進行 2,000 次 bootstrapping 後計算平均值與 90% 信賴區間，產卵群資源殘存量則是隨機挑選上述產製的數據庫進行 2,000 次運算後計算平均值與 90% 信賴區間。產卵比例與產卵場面積因為單一數據不進行 bootstrapping。本研究之數據整理及統計分析使用 R 軟體 (version 3.4.2, R Core Team, 2020)。

結 果

一、漁業生物學參數

(一) 成魚參數

本研究共取得 28 批次計 845 尾花腹鯖樣本，包括 444 尾雄魚與 401 尾雌魚，從生殖腺發育程度判斷所有樣本皆為成熟個體，兩性別生殖腺指數 (性腺重/全重) 皆自 1 月開始上升，在 2、3 月達到高峰，到 4 月已下降至 5 月呈最低值，並出現卵巢萎縮個體。在 3 月與 4 月有採集到水卵個體，手釣取得雌魚樣本皆未見水卵。各批次成熟雌魚平均全魚濕重在 302.2 - 721.1 g 之間，加權平均 (W) 為 528.0 g (95% CI=498.3 - 553.6 g)，各批次成熟雌魚平均去卵巢重在 300.0 - 688.4 g 之間，加權平均為 510.0 g (95% CI=480.3 - 534.0 g)，各批次雌魚佔重比 (R) 在 0.252 - 0.893 之間，加權平均為 0.472 (95% CI=0.422 - 0.546)，相關結果請參見 Table 1。

(二) 平均孕卵數與產卵比例

挑選 8 尾水卵雌魚 (3 月 6 尾，4 月 2 尾) 計算其水卵數量與去卵巢重間關係。單位重量卵巢

平均水卵數為 1,099 eggs/g (95% CI=1,027 - 1,171 eggs/g)，同一個體左右卵巢孕卵數沒有顯著差異 (paired t-test, $n=8$, $p=0.66$)，同一卵巢上中下 3 個部位也沒有顯著差異 (blocked ANOVA, $n=8$, $p=0.65$)。個體孕卵數為 31,721 - 76,952 eggs/fish (mean=46,528 eggs/fish)，因 4 月樣本個體孕卵數遠比 3 月樣本孕卵數高，使得個體孕卵數與去卵巢重間關係解釋度過低 ($\text{adj}R^2 < 0.1$)，故後續僅以 3 月 6 尾雌魚來求取個體孕卵數與去卵巢重間關係。以線性模式 ($\text{adj}R^2=0.47$) 或指數模式 ($\text{adj}R^2=0.43$) 所推估關係曲線解釋度接近，以平均雌魚去卵巢重 510.0 g 帶入解釋度較高的線性模式 ($Y = 154X - 34,807$)，可得批次孕卵數 (F) 為 43,733 eggs/fish (Fig. 2)。

經切片檢視 4 月海上魚卵調查期間共 30 尾 (3 批分別為 8, 10, 12 尾) 雌魚卵巢，分別有 2, 3, 3 尾雌魚有產後濾泡出現，加權當日產卵比例 (S) 為 0.1335。

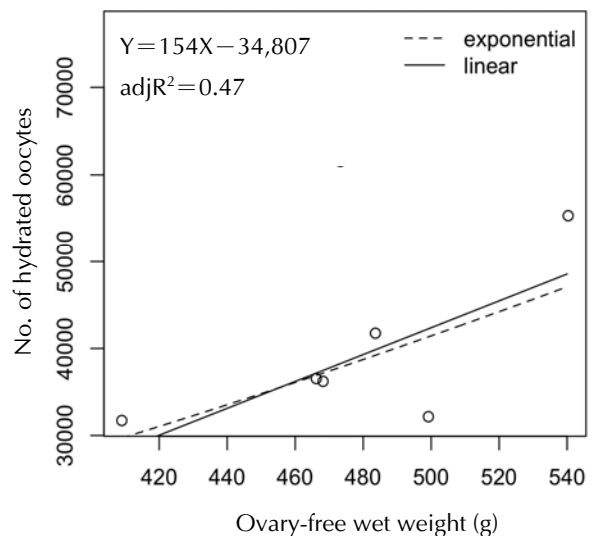


Fig. 2 Relationship between the gonad-free weight and batch fecundity for *Scomber australasicus* individuals collected from Yilan Bay in March 2020.

二、日總產卵量參數

(一) 魚卵種類鑑定

在 2020 年四月 15 - 17 日宜蘭灣 18 個測站中，浮游生物分布以三貂角外海三個測站 (st1-1、st1-2、st1-3)、蘭陽溪出海口北緣 (st3-1) 與東澳灣口 (st4-1) 豐度較高，每立方米水中浮游生物濕

Table 1 Parameters of the adult *Scomber australasicus* collected in Yilan Bay during 2020

Batch code	Male counts	Female counts	Mean male wet weight (g)	Mean female wet weight (g)	Female weight ratio	Mean female ovary-free weight (g)	Female ratio	Gear
hc115	7	9	569.0	599.6	0.575	586.1	0.563	purse seine
kr115	3	11	367.1	302.2	0.751	300.0	0.786	purse seine
nd121	26	12	537.5	521.4	0.309	491.9	0.316	purse seine
ch218	20	13	521.6	511.6	0.389	483.1	0.394	purse seine
ks224	17	23	443.7	466.8	0.587	468.6	0.575	purse seine
hc225	10	9	530.1	506.7	0.462	479.4	0.474	purse seine
ks303	22	17	521.7	511.4	0.431	488.2	0.436	purse seine
cf312	20	18	504.7	534.3	0.488	499.2	0.474	purse seine
ks317	20	20	491.7	487.5	0.498	461.4	0.500	purse seine
ll317	5	11	701.5	721.1	0.693	688.4	0.688	purse seine
ks319	15	5	501.8	508.1	0.252	474.5	0.250	purse seine
cf323	19	18	525.3	527.6	0.488	502.7	0.486	purse seine
hj325	9	4	537.7	504.0	0.294	481.1	0.308	hand jig
cf326	19	23	498.6	495.2	0.546	476.8	0.548	purse seine
hj326	34	24	578.6	560.7	0.406	536.5	0.414	hand jig
ks330	18	20	516.9	512.9	0.524	484.7	0.526	purse seine
ks403	14	7	504.5	451.6	0.309	432.6	0.333	purse seine
hj407	11	6	581.7	606.5	0.363	584.6	0.353	hand jig
hj411	14	8	518.5	507.2	0.359	488.8	0.364	hand jig
hl411	26	13	493.3	472.0	0.324	459.3	0.333	purse seine
cf415	2	16	531.1	556.5	0.893	540.8	0.889	purse seine
hc416	9	12	463.7	478.8	0.579	466.7	0.571	purse seine
ks416	8	10	563.3	573.7	0.560	556.8	0.556	purse seine
ks421	7	28	594.5	583.9	0.797	571.1	0.800	purse seine
ll430	29	17	588.8	573.1	0.363	556.8	0.370	purse seine
kf511	25	13	529.7	491.0	0.325	484.4	0.342	purse seine
kf518	20	16	561.9	557.3	0.442	554.6	0.444	purse seine
nd526	15	18	616.1	604.9	0.541	602.3	0.545	purse seine
sum/mean=	444	401	532.2	528.0	0.472	510.0	0.487	

重在 0.1 g 以上，浮游生物豐度在宜蘭灣概呈西北高東南低的情況 (Fig. 3)。自上述浮游生物樣本中共計挑出 3,050 顆魚卵，魚卵豐度分布大致與浮游生物豐度類似，在宜蘭灣東南部海域較低 (<1 egg/m³)，在三貂角外 (st1-1)、蘭陽溪出海口北緣 (st3-1) 與東澳灣口 (st4-1) 三近岸測站豐度則在 3 egg/m³ 以上 (Fig. 4)。

依外型與直徑區分為 15 個類別，包括鯷科魚

類特有橢圓型與鸚哥魚類的紡錘型兩類。有 6 站採集到鯷科魚類魚卵，分布在蘭陽溪口以北的近岸測站，經比對 COI 片段得知為日本鯷 (*E. japonicus*) 與刺公鯷 (*E. punctifer*)，鸚哥魚類 (*Scarus* sp.) 則僅在三貂角外 (st1-1) 採集到。直徑 <1.0 μm 的近圓形小魚卵較多佔總卵數 66%，直徑坐落花腹鯖魚卵區間者共 552 顆，先剔除外觀上多油球或卵膜有結構等非花腹鯖魚

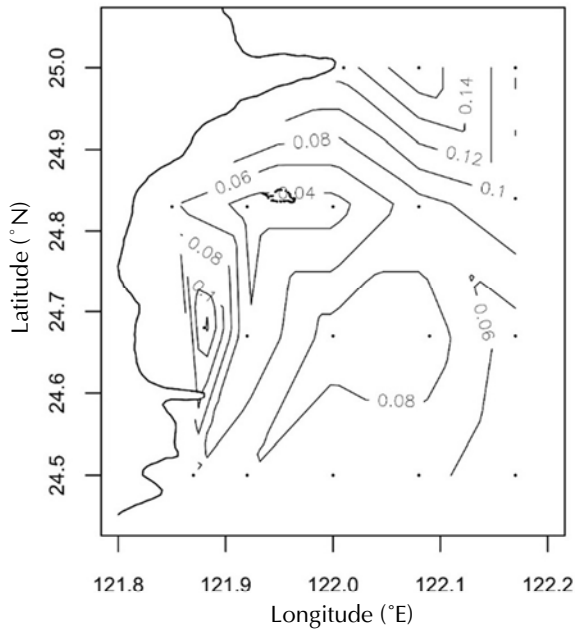


Fig. 3 Zooplankton concentrations (g/m^3) obtained during the 15th to 17th April 2020 cruise in Yilan Bay.

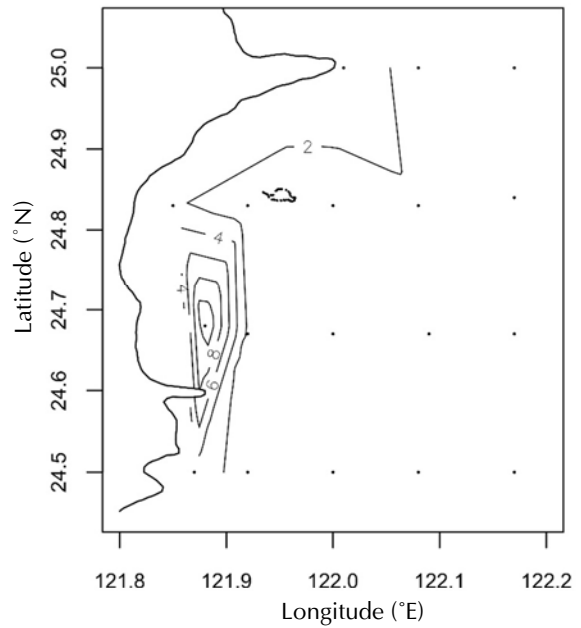


Fig. 4 Combined species egg abundances (eggs/m^3) obtained during the 15th to 17th April 2020 cruise in Yilan Bay.

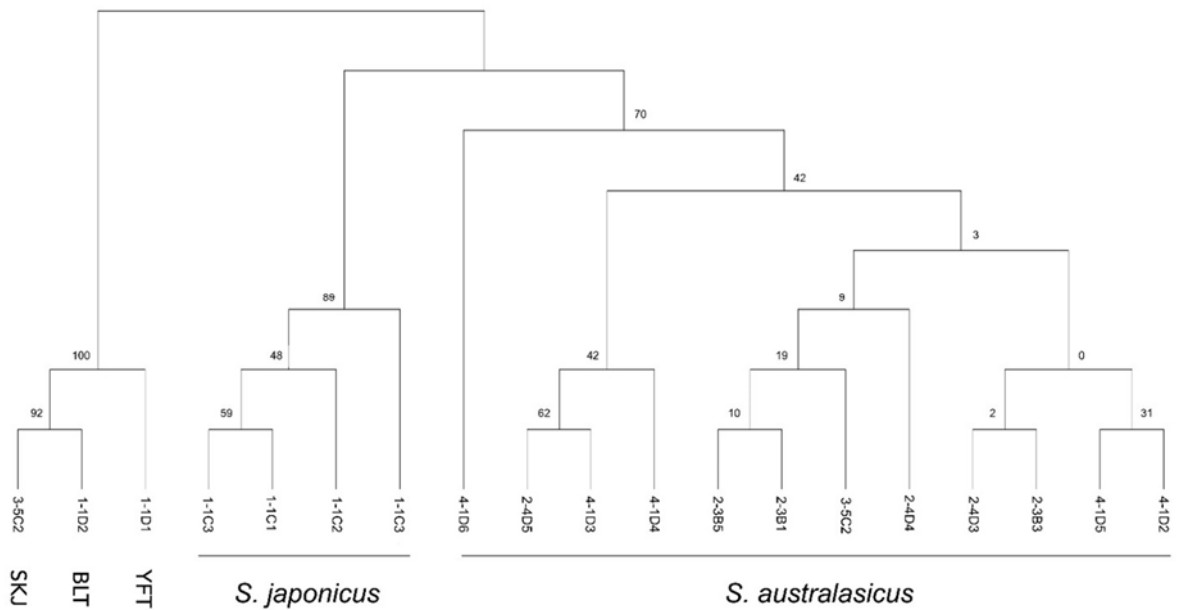


Fig. 5 Molecular discrimination of the co-occurring *Scomber* species in Yilan Bay by *COI* fragments. SKJ, skipjack tuna; BLT, bullet tuna; YFT, yellowfin tuna.

卵後，以 *COI* 片段以 BLAST 比對確認為花腹鯖者計有 265 顆，在總魚卵中佔 8.7%。其餘魚卵外觀相近的魚種包括圓花鱹 (*Auxis rochei*)、扁花鱹 (*A. thazard*)、腔吻鱹屬 (*Caelorinchus* sp.)、高體若鱹 (*Carangoides qeula*)、瓜子鱹 (*Girella punctata*)、正鱹 (*Katsuwonus pelamis*)、三棘若帶鱹 (*Nealotus tripes*)、玉鯧屬 (*Psenes* sp.)、東方齒

鱹 (*Sarda orientalis*)、蛇鯧屬 (*Saurida* sp.)、白腹鱹、杜氏鯧 (*Seriola dumerili*)、金梭魚屬 (*Sphyraena* sp.)、巨口魚 (*Stomias affinis*)、黃鰭鮪 (*Thunnus albacares*) 與日本竹筴魚。花腹鯖與白腹鱹雖在 *COI* 片段序列相近，但以 ClustalW 演算法對魚卵 *COI* 序列進行比對確認仍是獨立的分支 (Fig. 5)。

(二) 花腹鯖魚卵密度與產卵場面積

宜蘭灣海域中在龜山島東方約 10 浬 (st2-4) 與東澳灣口 (st4-1) 是花腹鯖魚卵主要分布熱點，魚卵密度分別為 52.4 與 107.4 eggs/100m³，而三貂角以東海域皆未採集到花腹鯖魚卵，可知宜蘭灣自龜山島以南至東澳灣，距岸 35 km 內海域皆屬花腹鯖產卵場。在 18 個測站中共有 11 個站採集到活的花腹鯖魚卵，推估花腹鯖產卵場面積 (A) 為 1.71×10^9 m²，佔調查海域 61% (Fig. 6)。

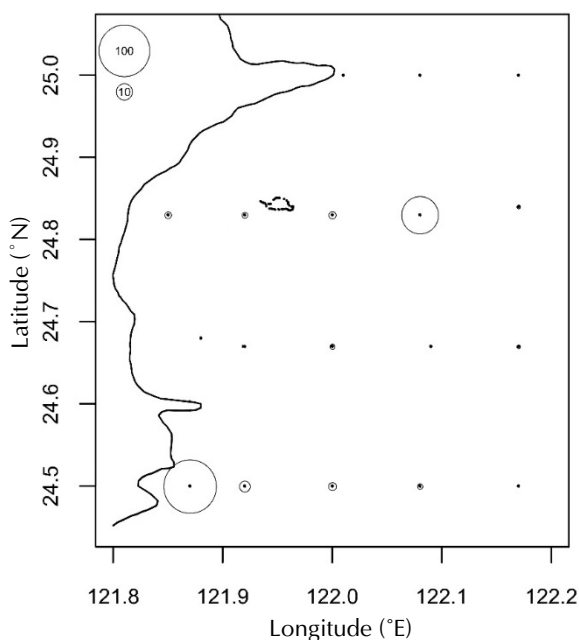


Fig. 6 Spatial patterns of live *Scomber australasicus* egg distribution and abundance (eggs/100m³) obtained during the 15th to 17th April 2020 cruise in Yilan Bay.

(三) 魚卵定齡

本研究採集到的 265 顆花腹鯖魚卵僅 4 顆屬於發生過程後半階段 (stage 5 - 8)，第 1 期者 1 顆，多數魚卵是在第 2 - 4 階段。藉由魚卵發生程度反推產卵時間高峰，僅以發生初期第 1 - 3 期魚卵回推其平均值與中位數皆約在 21 時，若以第 1 - 8 期魚卵回推平均值與中位數則約在 20 時 (Fig. 7)，以 bootstrapping 所得結果相同 (90% CI=18:42 - 22:18)，可推知花腹鯖為傍晚至午夜前產卵魚種。後續推算花腹鯖魚卵時齡將分別以 20 時或 21 時作為推估產卵高峰 0 時點。

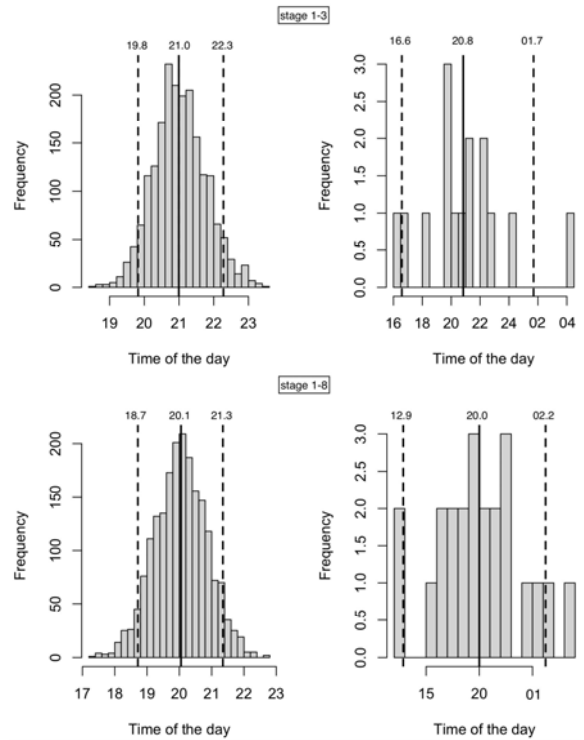


Fig. 7 Spawning times estimated from the eggs of *Scomber australasicus* in the 1st to 3rd and 1st to 8th stages, binned into 1-hr increments. The empirical probability distribution generated by bootstrapping is shown on the left. The dotted lines are the confidence intervals (5% and 95%), and the solid lines are the mean values.

(四) 日魚卵生產量 (P₀)

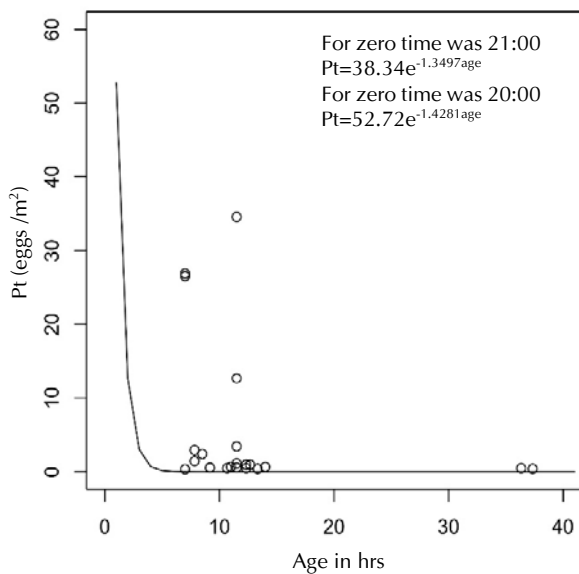
將各站採樣時間與 0 時點差距作為魚卵時齡 (t)，結合各測站各齡魚卵密度 (P_t) 代入指數減損模式推算平均死亡率與日魚卵生產量 (Fig. 8)，在產卵 0 時點為 20 或 21 時情境，P₀ 分別為 52.72 或 38.34 eggs/m²，死亡率則分別為 1.43 (p=0.065) 或 1.35 (p=0.063)，惟兩模式皆未達顯著水準且解釋度僅為 11% 或 12%。

三、宜蘭灣花腹鯖產卵群推估殘存量

將本研究成果各參數逐一套入 DEPM 模式推估宜蘭灣 4 月初花腹鯖產卵群殘存量約為 8,415 - 17,223 mt，另考慮不同之產卵比例情境與兩個產卵高峰時間，各情境推估殘存量在 8,395 - 23,090 mt 之間 (Table 2)。經以 bootstrapping 計算產卵群殘存量中位數為 14,522 mt (90% CI=13,408 - 15,616)，相關各參數之信賴區間請參見 Table 2 與 Fig. 9。

Table 2 Estimated spawning biomass in various scenarios

Model	Female weight(g)	Sex ratio	Fecundity (eggs)	Spawning fraction	Spawning peak time	P_0 (egg/m ²)	Spawning biomass (mt)
Mean	528.0	0.47	43733	0.1	2000	52.7	23090
Mean	528.0	0.47	43733	0.2	2000	52.7	11545
Mean_415	528.0	0.47	43733	0.1335	2000	52.7	17223
Point_415	536.5	0.70	44437	0.1335	2000	52.7	11609
Mean	528.0	0.47	43733	0.1	2100	38.3	16790
Mean	528.0	0.47	43733	0.2	2100	38.3	8395
Mean_415	528.0	0.47	43733	0.1335	2100	38.3	12524
Point_415	536.5	0.70	44437	0.1335	2100	38.3	8415
Bootstrap_median	525.5	0.48	37878	0.1335	2100	41.4	14522
Bootstrap_5%	503.4	0.44	23630	0.1335	1948	4.1	13408
Bootstrap_95%	547.0	0.53	49088	0.1335	2218	1561.3	15616

**Fig. 8** Embryonic mortality curve of *Scomber australasicus* when the zero time was 20:00.

討 論

以 EPM 取得非漁業依賴的魚類資源推估值已經超過數十年，可供調整其他間接評估模式所得資源量或與其他非漁業依賴所得資源推估值相參照，惟需不斷針對目標海域與魚種生活史優化各參數取得方式以增加精確度，是現行取得漁業資源現況不可或缺的方法 (Stratoudakis *et al.*, 2006; Bernal *et al.*, 2012)。本研究是臺灣首次嘗試將

DEPM 套用在沿岸重要經濟洄游魚種上，除取得以 DEPM 推估宜蘭灣海域 4 月花腹鯖產卵群殘存量外，花腹鯖之孕卵數、可能產卵時間與產卵場範圍等皆是第一次正式發表，也確認了宜蘭灣海域是許多重要經濟魚種的產卵場之一。另一方面，魚卵生產模式需對於目標魚種的生殖生態學有充分的了解，本研究僅為嘗試取得模式所需參數進行套算，推估所得花腹鯖產卵群殘存量僅適用於本文在推算各參數時套用之假設，主要應精進之參數推算如下。

澳洲曾運用 DEPM 推估南澳洲海域花腹鯖產卵族群量，在成魚參數部分為 (南澳洲、東澳洲)：F：52、182、22、085；R：0.46、0.5；W：452、267；S (南澳洲)：0.14。魚卵參數部分 (南澳洲、東澳洲)： P_0 ：11.98、8.22；A：34,895、20,811 km²，推估產卵群資源量在南澳洲海域為 11,342 – 293,456 mt，東澳洲海域為 11,096 – 157,166 mt (Ward *et al.*, 2009)。針對東澳洲海域花腹鯖於 2015 年再次評估 (Ward *et al.*, 2015)，推估產卵資源量為 35,100 – 165,000 mt (P_0 : 34.6)。本研究所得平均母魚重 (528 g) 略高，但孕卵數 (43,733) 則偏低，雌雄比則在臺灣與澳洲皆接近 0.5，宜蘭灣相對是很小的產卵海域但有著較高的日產卵量 ($P_0 = 38 - 52$)。

魚卵生產模式所需成魚生殖參數皆受制於產卵群之族群結構與產卵生態特性，成熟與不成熟

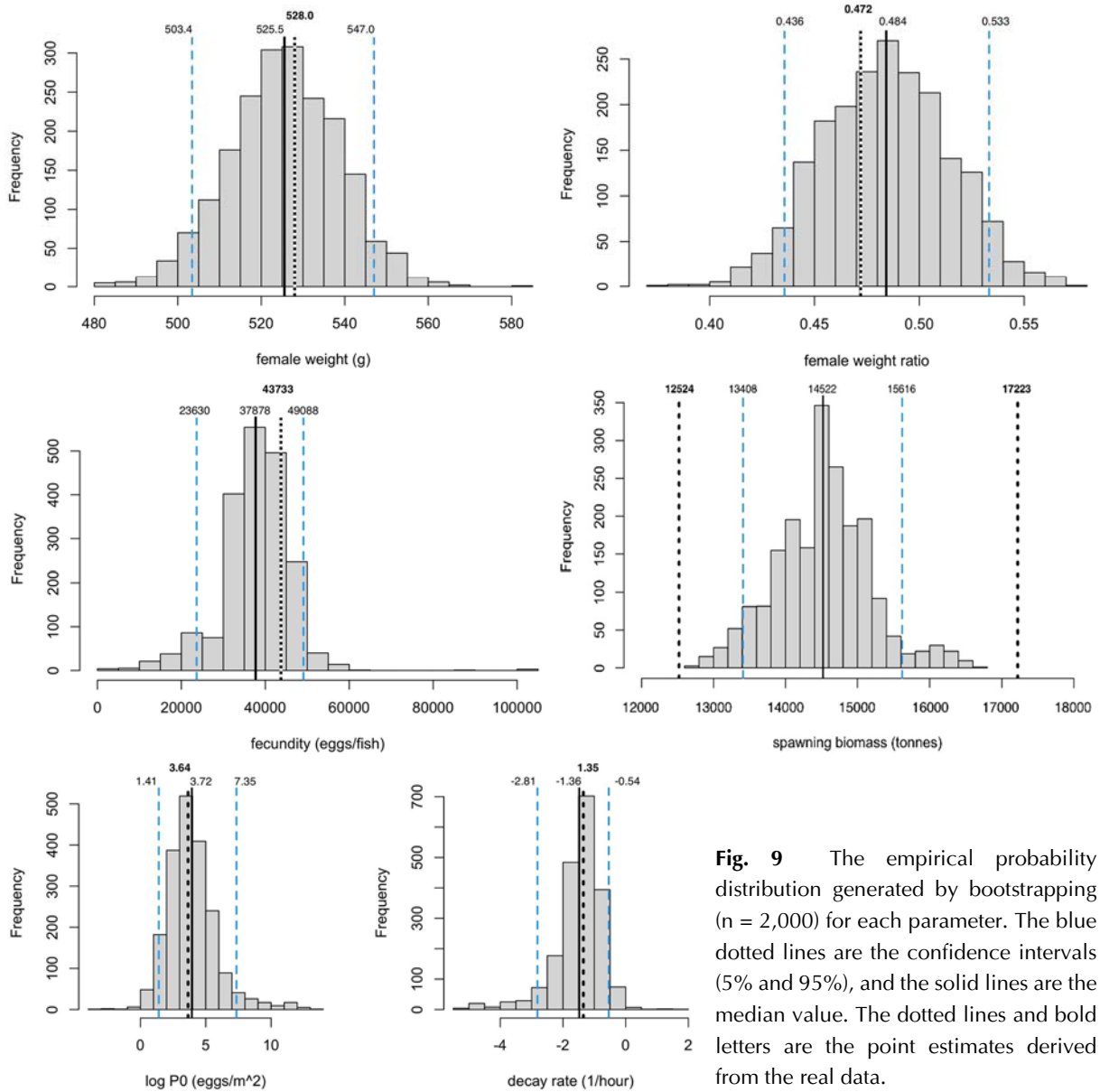


Fig. 9 The empirical probability distribution generated by bootstrapping ($n = 2,000$) for each parameter. The blue dotted lines are the confidence intervals (5% and 95%), and the solid lines are the median value. The dotted lines and bold letters are the point estimates derived from the real data.

個體是否混群，已產卵是否與產卵中個體混群，都會影響性比、產卵比例或雌魚重 (Armstrong and Witthames, 2012; Bernal *et al.*, 2012)。如何捕抓到具代表性母魚樣本以便取得可信生殖參數是一項難題，Ward *et al.* (2015) 以中層拖網無法取得花腹鯖成魚樣本只能套用 2009 年數據進行資源量推估，但生殖參數實會因成魚營養狀態逐年改變 (Lasker, 1985; Yamada *et al.*, 1998)，應當下實地調查為佳。在近親種白腹鯖研究上，產卵比例為 0.087、0.17、0.09 - 0.47、0.169 (Dickerson *et al.*, 1992; Yamada *et al.*, 1998; Watanabe *et al.*, 1999; Shiraishi *et al.*, 2009, respectively)。產卵比例 (S) 是 DEPM 中最難估計的參數 (Stratoudakis *et al.*,

2006; Shiraishi *et al.*, 2009)，除產後濾泡再吸收的速度會造成日產卵群判斷上的誤差，調查期間所捕獲目標族群的集結，是成熟魚獨立成群，還是會混雜各式年齡體型，都會影響 S 的數值與代表意義 (Ward *et al.*, 2016)。太平洋白腹鯖研究發現產卵群的年齡組成也會影響 S，高齡母魚在較短時間內即可再次產卵 (Dickerson *et al.*, 1992)。本研究取得宜蘭灣花腹鯖樣本皆為大型成熟個體，故該水域應該是以成魚為主的繁殖群，惟本次母魚採樣數過低，推估所得產卵比例 0.1335 可能較不具代表性，故參考前述研究成果假設 0.1 與 0.2 等可能比例帶入 DEPM 計算。

現行使用 EPM 推估產卵群資源量時，多是以

圍網或中層拖網漁法取得充足成魚樣本，本研究試驗成魚樣本來源以扒網為主，部分樣本取自一支釣。扒網漁法係圍網類以能捕獲整群魚為目標，相對於中層拖網或一支釣所獲樣本更能呈現花腹鯖結群洄游時的族群結構，但本研究批次抽樣比例較低且為港邊購買，恐較無法代表宜蘭灣花腹鯖族群結構，應以圍網類網具整群圍捕後逐網次量測樣本取得相關數據。如何取得充足的水卵母魚樣本以了解族群中不同批次間差異是另一個難題。本研究所取得水卵母魚皆是取自扒網漁法，釣具類 6 批樣本皆未看到帶水卵母魚，但是手釣能捕獲呈水卵的花腹鯖 (Rogers *et al.*, 2009; Ward *et al.*, 2009) 或青背竹筴魚 (Ward *et al.*, 2016)，未來除增加成魚樣本數量外並應多樣化樣本來源，以增進生殖參數代表性。

本研究用於計算 P_0 公式中，發生時間 (t) 是決定斜率 z 值與截距 P_0 的關鍵參數，同時受到產卵高峰時間與魚卵發生變態時間影響，目前並沒有針對花腹鯖進行相關試驗。目標魚種是否有確切的產卵高峰 (同步產卵行為) 需定時採集大量成熟母魚，觀察卵巢出現水卵化與排空萎縮時間來得知。如從固定時間間隔捕抓到的白腹鯖母魚得知，水卵過程會發生在 18:00 - 22:00，22:00 以後水卵個體比例極少 (Yamada *et al.*, 1998)，而 (Shiraishi *et al.*, 2009) 在午夜至日出前向圍網船買來的白腹鯖都沒有水卵樣本，從卵巢切片回推應是在午夜前短暫時間同步水卵化現象。此外，使用 EPM 需要取得目標魚種魚卵在不同水溫中的發生變態時間，稱為水溫相關魚卵發生曲線 (temperature-dependent egg development relationship)，即是利用人工授精方式觀察在不同水溫下，受精卵開始分裂後各時間階段外觀會出現什麼特徵 (Lockwood *et al.*, 1981; Lasker, 1985)。最早嘗試以 DEPM 套用在花腹鯖時即因缺乏上述關係式而改以假設魚卵死亡率 ($z=0.1-0.5$) 方式來推估 (Ward *et al.*, 2009)，後續是參考大西洋鯖與白腹鯖 (Hunter and Lo, 1980; Lockwood *et al.*, 1981) 研究，將花腹鯖魚卵發生過程依時等分並定義各階段特徵，並從魚卵發育狀況回推出澳洲海域花腹鯖母魚產卵高峰約在 00:00 (Ward *et al.*, 2015)。本研究在編派魚卵各階段時齡是假定宜蘭灣較高水溫應是僅使受精卵均勻加速發育至前述

各階段，將魚卵孵化需 32 hrs (Shao *et al.*, 2001) 均分為 8 期，以每階段 4 hrs 來回推產卵高峰。因魚卵時齡對推估 P_0 影響很大，後續應設法在扒網漁船上逐時採樣觀察水卵形成時程，並以人工授精方式取得宜蘭灣海域水溫花腹鯖魚卵發生變化與所需時間，以減低取得 P_0 參數時的誤差。

在執行 EPM 時，海上魚卵調查必須完全涵蓋主要產卵場熱點，並至其邊界出現為止，務必在規劃調查海域時仔細參考以往的調查結果 (ICES, 2019)。本研究發現東澳灣口 50 m 淺水域是花腹鯖魚卵熱點之一，且該站以東海域連續三站皆有採到花腹鯖魚卵，顯示產卵場調查並未完全涵蓋整個產卵海域，可能低估產卵群殘存資源量。另從過往漁船作業位置得知，鯖鱈漁業主漁場為北方三島一帶與宜蘭灣海域兩處 (Liau *et al.*, 2004; Wu, 2010; Lu *et al.*, 2013; Chang, 2014)。經調查臺灣北部海域仔稚魚分布顯示，東海陸棚北緯 25 - 27 度，東經 121.5 - 123.0 度間海域在 3、4 月間是以白腹鯖、花腹鯖與日本竹筴魚仔稚魚為優勢物種，仔稚魚在 3 月以白腹鯖最多，至 4 月則改為以花腹鯖與日本竹筴魚為主，推測臺灣東北部偌大海域皆是鯖鱈魚類產卵場範圍，且此三種魚種仔稚魚有各自偏好的水團 (Wang *et al.*, 2006; Sassa and Tsukamoto, 2010)。因此，可以確認宜蘭灣應只是鯖鱈魚類在臺灣海域的產卵場之一，從 Fig.6 得知花腹鯖魚卵並未在三貂角以東海域出現，或可推測花腹鯖可能在宜蘭灣與北方三島海域各有獨立的產卵熱區，應進一步了解宜蘭灣與北方三島是否分屬不同產卵系群。

花腹鯖、白腹鯖與日本竹筴魚共為鯖鱈漁業對象，且在臺灣東北海域產卵期重疊 (Lu *et al.*, 2013)，本研究亦已確認白腹鯖與日本竹筴魚之魚卵皆出現在宜蘭灣海域，在管理面上難以切分。魚卵生產模式所需浮游生物採集與成魚族群研究屬於高強度且密集的漁業科學研究 (Dickey-Collas *et al.*, 2012)，藉由魚卵生產模式已成熟且完整詳盡的參數取得及估算方法，足以提供監測族群豐度變化、繁殖潛能與生態系變動所需科學見解，魚卵生產模式的參數取得技術可以提高對於目標魚種非漁業依賴各方面的認識 (如本研究推論花腹鯖是在傍晚至午夜前產卵)，相信可以對於臺灣沿近海漁業資源管理與永續利用有所助益。

參考文獻

- 呂學榮 (2018) 鯖鱆漁業之現況與展望. 臺灣沿海漁業永續利用與展望研討會, 5-15.
- 曾萬年 (1984) 鯖鱆漁業的回顧與展望. 中國水產, 375: 35-52.
- 漁業署 (2019) 民國108年 (2019) 漁業統計年報 (https://wm.coa.gov.tw/preview_fa/view.php?theme=FS_AR&subtheme=&id=18).
- Armstrong, M. J. and P. R. Witthames (2012) Developments in understanding of fecundity of fish stocks in relation to egg production methods for estimating spawning stock biomass. *Fish. Res.*, 117-118: 35-47.
- 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.
- Chang, Y. W. (2014) Age, growth and reproduction of the chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the northeastern waters off Taiwan. Master Thesis, National Taiwan Ocean Univ., 96 pp. (in Chinese with English abstract).
- Chen, K. Y. (2005) Population Fluctuation of the Spotted Mackerel (*Scomber australasicus*) in the Northeastern Waters off Taiwan. Master Thesis, National Taiwan Ocean Univ., 54 pp. (in Chinese with English abstract).
- Dickerson, T., B. Macewicz, and J. Hunter (1992) Spawning frequency and batch fecundity of chub mackerel, *Scomber japonicus*, during 1985. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.*, 33: 130-140.
- Dickey-Collas, M., S. Somarakis, P. R. Witthames, C. J. G. van Damme, A. Uriarte, N. C. H. Lo, and M. Bernal (2012) Where do egg production methods for estimating fish biomass go from here? *Fish. Res.*, 117-118: 6-11.
- Hunter, J. R. and N. C. H. Lo (1980) Early life history of Pacific mackerel, *Scomber japonicus*. *Fish. Bull.*, 78(1): 89-101.
- 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, 82 pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.5140>.
- Jakobsen, T., M. J. Fogarty, B. A. Megrey and E. Moksness (2016) Fish Reproductive Biology: Implications for Assessment and Management (Second edition). Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ, 488 pp.
- Jennings, S., M. J. Kaiser, and J. D. Reynolds (2001) Marine Fisheries Ecology. Blackwell Science, Oxford; Malden, MA, USA, 417 pp.
- Kumar, S., G. Stecher, M. Li, C. Knyaz, and K. Tamura (2018) MEGA X: molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Mol. Bio. Evol.*, 35(6): 1547-1549.
- Lasker, R. (1985) An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to northern anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Tech. Rep. NMFS 36, National Oceanic and Atmospheric Administration, California, USA., 99 pp.
- Liao, C. H. (2011) Development of mackerel fisheries in Taiwan: A brief overview. *Fish. Exten. Rep.*, no. 41.
- Liau, S. G., C. L. Lee and S. T. Hwang (2004) A study on the occurrence of pelagic fish school affected by intrusion of the Kuroshio Current in northern waters of Taiwan. *J. Taiwan Fish. Res.*, 12(1): 1-10.
- Lin, Y. M. and C. L. Kuo (1993) Relationship between oceanographic and meteorological factors and the mackerel fishing grounds in the northeastern waters of Taiwan. *J. Taiwan Fish. Res.*, 1(1):1-9.
- Lockwood, S. J., J. H. Nichols and W. A. Dawson (1981) The estimation of a mackerel (*Scomber scombrus* L.) spawning stock size by plankton survey. *J. Plankton Res.*, 3(2): 217-233.
- Lu, H. J., C. C. Chen and J. C. Cheng (2013) Age and Growth Study of the Jack Mackerel (*Trachurus japonicus*) in the northeastern waters off Taiwan. *J. Mar. Sci. Technol.*, 21: 31-40.
- Neira, F. J. and J. P. Keane (2008) Ichthyoplankton-based spawning dynamics of blue mackerel (*Scomber australasicus*) in south-eastern Australia: links to the East Australian Current. *Fish. Oceanogr.*, 17(4): 281-298.
- North Pacific Fisheries Commission (2020) NPFC Yearbook 2019, 157 pp. (Available at www.npfc.int).
- Parker, K. (1980) A direct method for estimating northern anchovy, *Engraulis mordax*, spawning biomass. *Fish. Bull.*, 78(2): 541-544.
- R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rogers, P. J., T. M. Ward, L. J. McLeay, M. Lowry, R. J.

- Saunders and D. Williams (2009) Reproductive biology of blue mackerel, *Scomber australasicus*, off southern and eastern Australia: suitability of the daily egg production method for stock assessment. *Mar. Freshw. Res.*, 60(2): 187-202.
- Sassa, C. and Y. Tsukamoto (2010) Distribution and growth of *Scomber japonicus* and *S. australasicus* larvae in the southern East China Sea in response to oceanographic conditions. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 419: 185-199.
- 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, 179 pp.
- Shiraishi, T., S. Ketkar, Y. Kato, M. Nyuji, A. Yamaguchi and M. Matsuyama (2009) Spawning frequency of the Tsushima Current subpopulation of chub mackerel *Scomber japonicus* off Kyushu, Japan. *Fish. Sci.*, 75: 649-655.
- Steinke, D. and R. Hanner (2011) The FISH-BOL collaborators' protocol. *Mitochondrial DNA* 22(sup1): 10-14.
- 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.
- Ward, T. M., O. W. Burnell, A. Ivey, S. C. Sexton, J. Carroll, J. Keane and J. M. Lyle (2016) Spawning biomass of jack mackerel (*Trachurus declivis*) off eastern Australia: critical knowledge for managing a controversial fishery. *Fish. Res.*, 179: 10-22.
- Ward, T. M., G. Grammer, A. Ivey, J. Carroll, J. Keane, J. Stewart and L. Litherland (2015) Egg distribution, reproductive parameters and spawning biomass of Blue Mackerel, Australian Sardine and Tailor off the east coast during late winter and early spring. FRDC Project No 2014/033.
- Ward, T. M., P. J. Rogers, L. J. McLeay and R. McGarvey (2009) Evaluating the use of the Daily Egg Production Method for stock assessment of blue mackerel, *Scomber australasicus*. *Mar. Freshw. Res.*, 60(2): 112.
- Watanabe, C., T. Hanai, K. Meguro, R. Ogino and R. Kimura (1999) Spawning Biomass Estimates of Chub Mackerel *Scomber japonicus* of Pacific Subpopulation off Central Japan by a Daily Egg Production Method. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 65(4): 695-702.
- Watanabe, C. and H. Nishida (2002) Development of assessment techniques for pelagic fish stocks: applications of daily egg production method and pelagic trawl in the Northeastern Pacific Ocean. *Fish. Sci.*, 68(sup1): 97-100.
- Wu, S. B. (2010) A fundamental study on the reproductive biology of the jack mackerel (*Trachurus japonicus*) in the northeastern waters off Taiwan. Master Thesis, National Taiwan Ocean Univ., 88 pp. (in Chinese with English abstract).
- Yamada, T., I. Aoki and I. Mitani (1998) Spawning time, spawning frequency, and fecundity of Japanese chub mackerel, *Scomber japonicus* in the waters around the Izu Islands, Japan. *Fish. Res.*, 38(1): 83-89.

An Estimate of the Spawning Biomass of the Blue Mackerel (*Scomber australasicus*) in the Coastal Waters of Taiwan

Ruei-Gu Chen^{1*}, Ting-Chieh Huang¹ and Yu-Tzu Wang²

¹Marine Fisheries Division, Fisheries Research Institute

²Department of Life Science, Chinese Culture University

ABSTRACT

The blue mackerel (*Scomber australasicus*) is a key target species of Taiwan nearshore fisheries, and management measures have been implemented for this species following evidence of overfishing. This paper describes the first test application of the daily egg production method (DEPM) to estimate the spawning stock biomass of *S. australasicus* in Taiwan. Large numbers of eggs and adults were collected concurrently from Yilan Bay off northeastern Taiwan during April 2020. From a total of 845 adult fish, the mean weight of the mature female fish was 528.0 g, the sex ratio was 0.472, the mean batch fecundity was 43,733 hydrated oocytes and the spawning fraction was 0.1335. The highest density of eggs was recorded in the waters off Dong'ao and in the eastern area off Guishan Island, and the estimated spawning area was 1.71×10^9 m². The embryonic features of the eggs indicated that the peak spawning time was from 20:00 to 21:00. The mean daily egg production obtained using the exponential decay model was 38.3 or 52.7 eggs/m². The preliminary estimates of the spawning biomass for Yilan Bay during April 2020 were between 8,395 and 23,090 mt. The results of this study demonstrate that the DEPM is suitable for assessing the spawning stock of *S. australasicus*. However, further research is required to improve the accuracy and precision of the DEPM key parameters and facilitate an understanding of the spawning ecology to enhance future applications.

Key words: daily egg production method, mackerel, spawning stock biomass, spawning peak

*Correspondence: 199 Hou-lh Road, Keelung 20246, Taiwan. TEL: (02)2462-2101 ext. 2418; Fax: (02)2463-3110; E-mail: rgchen@mail.tfrin.gov.tw