

Sex Ratio and Sexual Maturity of Skipjack Tuna (*Katsuwonus pelamis*) off the Coast of Eastern Taiwan

Hung-Hung Hsu¹, Yun-Chen Chang², Wei-Chuan Chiang^{1*}, Fu-Yuan Tsai¹,
Jui-Hsien Wu¹ and Yuan-Shing Ho¹

¹Eastern Marine Biology Research Center, Fisheries Research Institute

²Marine Fisheries Division, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

Skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) is a tropical species that has been historically exploited off the coast of Taitung (eastern Taiwan). The objective of this study will be used as biological input parameters for stock assessment and management strategy evaluation, furthermore to sustainable resource utilization. Samples were collected monthly from the Shinkang fish market of Taitung from January to December 2020. A total of 358 individual samples were collected (fork length ranged between 31.0 and 74.5 cm, and round weights ranged from 0.5 to 8.7 kg). The sex ratio for monthly and total samples was generally 1:1. The monthly female gonadosomatic index ranged from 0.50 to 2.46 and peaked from April to June, whereas the monthly male GSI ranged from 0.12 to 2.28 and peaked from May to July. According to histological observations of gonad variations, the greatest proportion of mature females was collected from March to August and peaked from April to July. The estimated 50% length-at-maturity (L_{m50}) was 51.5 cm for females and 53.4 cm for males.

Key words: histological analysis, maturity stage, reproductive cycle, spawning season, *Katsuwonus pelamis*

*Correspondence: No. 22, Wu-Chuan Rd., Chengkung, Taitung, Taiwan. TEL: (089) 850-090 ext. 408; Fax: (089) 850-092; E-mail: wcchiang@mail.tfrin.gov.tw

臺灣東部海域正鯷 (*Katsuwonus pelamis*) 之性比與性成熟研究

許紅虹¹ · 張芸甄² · 江偉全^{1*} · 蔡富元¹ · 吳瑞賢¹ · 何源興¹

¹ 行政院農業委員會水產試驗所東部海洋生物研究中心

² 行政院農業委員會水產試驗所海洋漁業組

摘要

正鯷 (*Katsuwonus pelamis*) 為熱帶性鮪類，也是臺灣東部海域重要經濟性漁獲之一。本研究主要目的在探討臺灣東部海域正鯷性比組成及性成熟體型，所得之研究成果將可提供該魚資源評估模式建議之基礎參數及擬定漁業管理策略之參考依據，達該魚種永續利用之目標。於 2020 年 1 月至 2020 年 12 月間，按月於臺東縣新港魚市場採集正鯷樣本。總計採得 358 尾正鯷生殖腺樣本 (雌魚 183 尾；雄魚 175 尾)，樣本體長 (尾叉長 fork length, FL) 範圍介於 31.0 – 74.5 cm；體重 (round weight, RW) 介於 0.6 – 8.7 kg。雌雄總性比無顯著性的差異，雌魚樣本之生殖腺成熟指數 (GSI) 介於 0.50 – 2.46，在 4 – 6 月有一個成熟高峰存在，雄魚 GSI 月別變化平均值範圍為 0.12 – 2.28，在 5 – 7 月有一個成熟高峰存在。經由組織學觀察所得卵巢生殖發育階段屬於產卵階段為 3 – 8 月，產卵比例最高的季節為 4 至 7 月，雌魚性成熟之最小體長為 42.5 cm；雄魚為 40.0 cm。雌魚達 50%性成熟體長為 51.5 cm；雄魚為 53.4 cm。

關鍵詞：組織學分析、成熟階段、生殖週期、產卵季節、正鯷

前言

正鯷 (*Katsuwonus pelamis*) 又稱煙仔、卓鯤、煙仔虎，屬於大洋表層洄游性魚種，分布以全球熱帶及亞熱帶水域為主 (Collette and Nauen, 1983)，會跟隨著洋流洄游至溫帶海海域 (謝, 2009)，壽命最長約 8 – 12 年。成魚約在海表面等溫線 15°C 左右之間移動 (範圍可從 14.7 – 30.0°C)，幼魚分布水溫較為狹窄，最低水溫不能低於 25°C (Collette and Nauen, 1983)，深度範圍在白天從海表面到水深 260 m 處皆可發現其蹤跡，晚上則主要棲息於表層水域。

正鯷在近 9 年來連續位居全球捕獲量第 3 名，是世界蛋白質供應的重要來源之一，2019 年漁獲量達到 3,400,000 mt。中西太平洋 (Western and Central Pacific Ocean) 是圍網漁業最主要的漁場，漁獲組成中以正鯷的比率最高 (Harley *et al.*, 2011)，近 10 年

來的產量從 81,392 mt 增加到 257,224 mt (FAO, 2020)，顯示正鯷的需求性越來越受到重視。根據漁業署漁業年報統計資料顯示，近 10 年臺灣正鯷的總漁獲量約 131,616 – 205,305 mt，其中，捕自臺灣沿近海域的約 3,118 – 9,699 mt，平均年產值在 2 億 2 千萬元左右，主要作業漁法為延繩釣、曳繩釣、焚寄網及定置網。

正鯷生殖潛能高 (Benevenuti Soares *et al.*, 2019)，產卵量會隨著體型增加而上升，且孕卵數每季約可達 800,000 – 2,000,000 顆 (Collette and Nauen, 1983)。近年來由於受到漁業資源衰退的影響，全球捕撈漁業產量呈現停滯不前甚或下降現象，如何謀求經濟魚類資源的永續利用備受重視。造成漁業資源減少的原因除了受到海洋環境變化的影響之外，長期漁撈壓力也被認為是導致漁獲量下降的原因之一。近 5 年 (2015 – 2019) 臺灣沿近海域正鯷的年平均漁獲量約為 4,675 mt，比起 2010 – 2014 年 7,347 mt，呈現明顯下降趨勢。過去研究指出，隨著漁獲壓力的上升，會造成物種生活史參數的改變。例如北海鱒魚 (*Pleuronectes platessa*) 成熟年齡及體長都因為漁

* 通訊作者 / 臺東縣成功鎮五權路 22 號, TEL: (089)850090#408; FAX: (089) 850092; E-mail: wcchiang@mail.tfrin.gov.tw

獲壓力而下降及變小 (Grift *et al.*, 2003)；挪威鯧魚 (*Clupea harengus*) 50% 性成熟年齡下降，50% 性成熟體長上升 (Engelhard and Heino, 2004)；大眼鯛 (*Priacanthus macracanthus*) 的成長速率加快，50%性成熟年齡下降，50%性成熟體長上升，顯示大眼鯛受到漁獲壓力而產生性成熟體型降低之情況 (王, 2008)。解析生殖生物學特徵為對於魚類族群繁衍能力與魚類資源永續利用之基礎漁業科學，以往國內已有多篇文章針對臺灣正鰹生殖生物學進行研究 (吳, 1986; 傅, 2004)，但在不同之時空變化及長期漁業利用壓力，魚類族群特徵參數亦受影響，因此本研究之主要目標則是藉由性比組成與季節性成熟變化，解析臺灣東部正鰹群族之生殖生物特徵。

材料與方法

一、樣本採集

本研究自 2020 年 1 月至 2020 年 12 月止，於臺東縣新港魚市場採集於臺灣東部海域 (Fig. 1) 捕獲之正鰹，所得樣本測量記錄尾叉長 (fork length, FL; 單位: cm)、體重 (round weight, RW; 單位: kg) 及生殖腺重 (gonad weight, GW; 單位: g)，並採集生殖腺樣本帶回實驗室進行處理。生殖腺經電子天秤秤重 (精確至 0.01 g) 後，切取厚約 5 cm 之生殖腺，置入 50 ml 樣本瓶中，以 10% 中性福馬林溶液進行固定組織及保存 (Cuellar *et al.*, 1996)，以待組織學處理與分析。

性比 (sex ratio) 以雌魚佔總樣本 (雄魚與雌魚總和) 的比例表示，並利用卡方檢定法 (Chi-square test) 檢視各月別及月別間正鰹雌雄性比是否皆為 1 : 1 (即 sex ratio 為 0.5) (Schaefer, 1987)。

生殖腺成熟指數 (gonadosomatic index, GSI) 計算公式如下 (Stéquent *et al.*, 2001; Armas *et al.*, 2006)：

$$GSI = GW/RW \times 100$$

式中，GW 為生殖腺重 (單位: g)；RW 為魚體全重 (單位: kg)。

二、組織學分析

將固定後之生殖腺組織，參考 Bancroft and

Stevens (1996) 之組織學處理程序，並以蘇木精 (hematoxylin) 與伊紅 (eosin) 進行對比染色 (counterstaining)，製作生殖腺樣組織切片。參考 Farley *et al.* (2013) 及 Schaefer (1987) 針對長鰹鮪 (*T. alalunga*) 與黃鰹鮪生殖腺成熟階段判定標準，作為正鰹性成熟判定之依據。

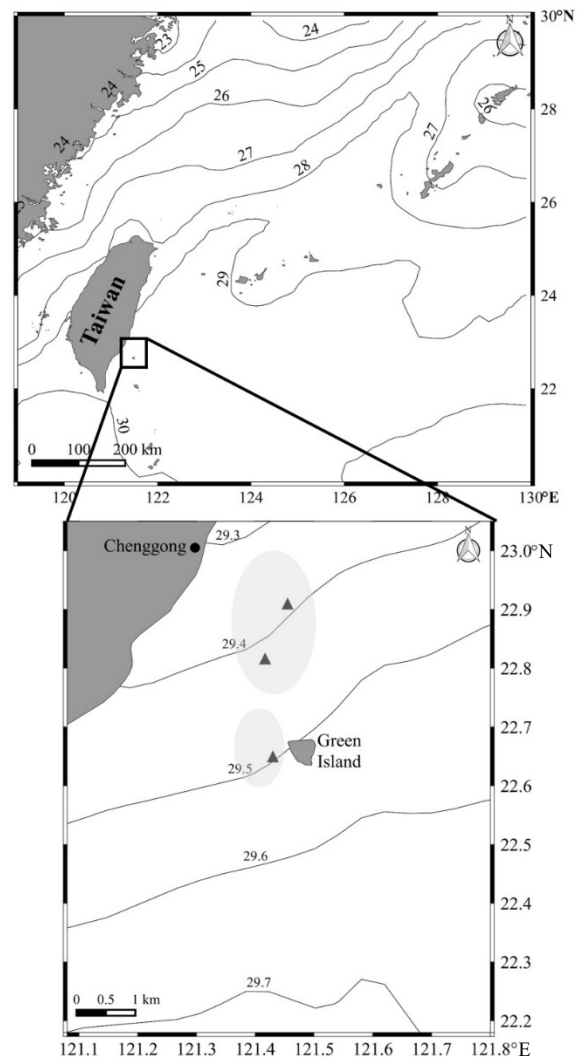


Fig. 1 Sampling areas (gray area) of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) populations off the coast of eastern Taiwan (Triangles: location of FADs). Mean monthly sea surface temperature (SST, in °C) for eastern Taiwan waters during the study period of June 2020. (Data sourced from apdrc.soest.hawaii.edu/data/data.php, accessed 24 December 2020).

由組織切片觀察正鰹卵細胞發育階段，正鰹卵細胞的發育屬於非同步成熟型，卵細胞在產卵期間會陸續發育成熟。利用卵巢內卵細胞之發育

及退化 (atretic) 情形，將卵巢成熟過程分期。由卵巢組織切片觀察卵細胞發育階段，並參考前人研究 (Hunter *et al.*, 1992; Schaefer, 1998; Timohina and Romanov, 1996) 對於卵巢發育階段之定義，將卵巢成熟情形區分為如下五個階段：(1) 未成熟期 (immature stage)；(2) 發育期 (developing stage)；(3) 成熟期 (mature stage)；(4) 產卵期 (spawning stage)；(5) 休止期 (resting stage)。卵巢成熟階段達卵黃生成後期或以上之個體，屬於達“性成熟” (mature) 之樣本；樣本成熟階段達第 (4) 期屬於產卵活動期 (spawning active)；本研究定義當成熟階段處於第 (3) 與 (4) 期屬於生殖活動時期 (reproductively active)；成熟階段第 (1) 與 (2) 期及第 (5) 期則屬於生殖休止時期 (reproductively inactive)。

雄魚精巢可分為左右兩葉，在未成熟期為細長條狀，發育中期則變較寬長呈帶狀，成熟後於生殖期會膨脹為許多裂片之肥碩長條狀。利用精子生成 (spermatogenesis) 及輸精管 (vas deferens) 發育情形與精巢外部形態，將精巢成熟過程區分為如下四個階段：(1) 未成熟期 (immature stage)；(2) 成熟前期 (early maturing stage)；(3) 成熟後期 (late maturing stage)；(4) 成熟期 (mature stage)。本研究定義精巢成熟階段達第 (3) 與 (4) 期之個體，屬於達“性成熟”之樣本且處於生殖活動時期；第 (1) 與 (2) 期則屬於生殖休止時期。

三、50%性成熟體長

經由生殖腺組織切片判斷樣本是否達性成熟，並估算性成熟個體所佔百分比與體長之關係，假設誤差為二項分配 (binomial distribution)，利用最大概似估計法估計參數，邏輯曲線公式如下 (Norman and Stevens, 2007; Sun *et al.*, 2009)：

$$P_j = \frac{1}{1 + \exp\left[-\ln(19) \frac{FL_j - FL_{50}}{FL_{50} - FL_{95}}\right]}$$

式中， P_j 為達性成熟的機率

FL_j ：為樣本中第 j 尾魚之 FL (cm)

FL_{50} ：為 50%性成熟體長 FL (cm, Lm_{50})

FL_{95} ：為 95%性成熟體長 FL (cm, Lm_{95})

結 果

一、樣本採集

本研究採得並經組織學切片之生殖腺樣本計 358 尾 (雌魚 183 尾、雄魚 175 尾)，樣本體長與體重頻度分布圖 Fig. 2 所示，雄魚 FL 介於 31.0 - 74.5 cm，體重介於 0.6 - 8.7 kg；雌魚 FL 介於 32.5 - 73.5 cm，體重介於 0.6 - 8.5 kg。

二、月別之性比變化

月別性比變化如 Table 1 所示，總性比為 0.51。以卡方檢定 2020 年 1 - 12 月之月別性比是否為 0.5，結果顯示所有月別性比資料檢定無顯著差異 ($p > 0.05$)，且月別間性比及總性比也無顯著性的差異 ($p > 0.05$)。

三、生殖腺胞生成與生殖腺成熟階段

(一) 雌魚

經由組織切片觀察卵巢卵母細胞發育過程各階段變化情形：

1. 染色質核仁卵細胞 (chromatin-nucleolar oocytes, CN) (Fig. 3A)

經組織切片後可觀察到卵細胞，卵徑範圍為 39 - 85 μm ，卵細胞內明顯可見大型細胞核，細胞質為強嗜鹼性，被蘇木精染成深紫色。

2. 周邊核仁卵細胞 (perinucleolar oocytes, PN) (Fig. 3A)

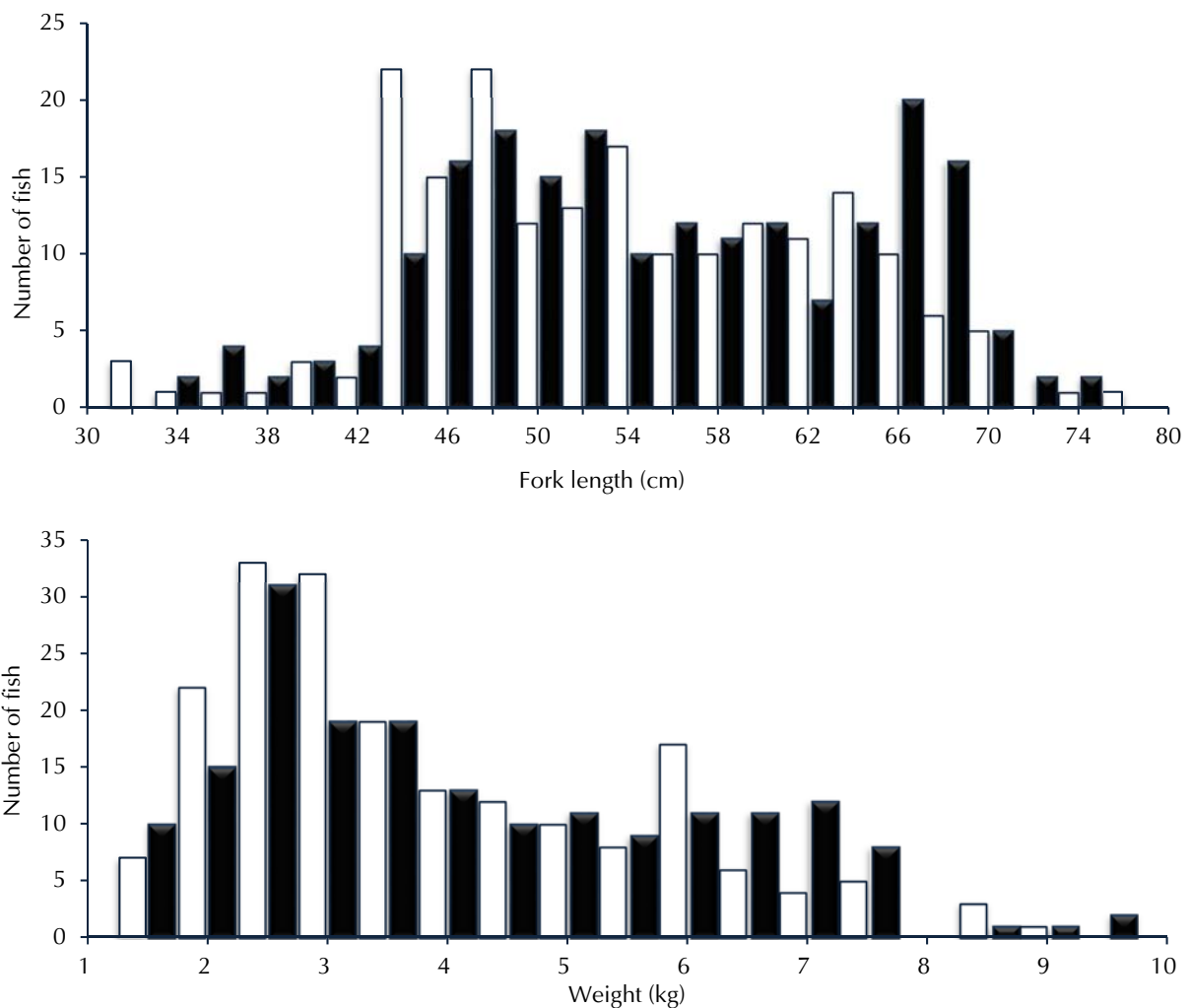
該階段卵母細胞體積增大，細胞核布核仁，細胞核相對細胞質比例減少，蘇木精染成深紫色，卵徑範圍 72 - 166 μm 。

3. 卵黃生成前卵細胞 (previtellogenic oocytes, PV) (Fig. 3B)

屬卵黃生成 (oogenesis) 階段，該階段細胞質間開始形成卵黃，數量增加，細胞核外圍環繞核仁且核仁體積明顯的變小，細胞質間核仁外可見環繞著核仁外小囊泡細胞，卵徑範圍 207 - 273 μm 。

Table 1 Numbers of male and female skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*), grouped by monthly intervals, with Chi-square values assuming a 1:1 sex ratio for each interval

Month	Female	Male	Sex ratio	Chi-square value	P value	df
January	18	10	0.64	2.285	0.13	1
February	17	14	0.55	0.290	0.59	1
March	14	22	0.39	1.778	0.18	1
April	21	16	0.57	0.676	0.41	1
May	19	24	0.44	0.581	0.45	1
June	13	5	0.72	3.556	0.06	1
July	15	14	0.52	0.035	0.85	1
August	14	16	0.47	0.133	0.72	1
September	20	16	0.56	0.444	0.5	1
October	10	12	0.45	0.182	0.67	1
November	6	9	0.40	0.600	0.44	1
December	16	17	0.48	0.030	0.86	1
Total	183	175	0.51	0.178	0.67	1
Among intervals				10.870	0.45	11

**Fig. 2** The size–frequency distributions by 2-cm intervals (above) and 0.5-kg intervals (below) for skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) collected off the coast of eastern Taiwan from January to December 2020. □ Female (n=183); ■ Male (n=175).

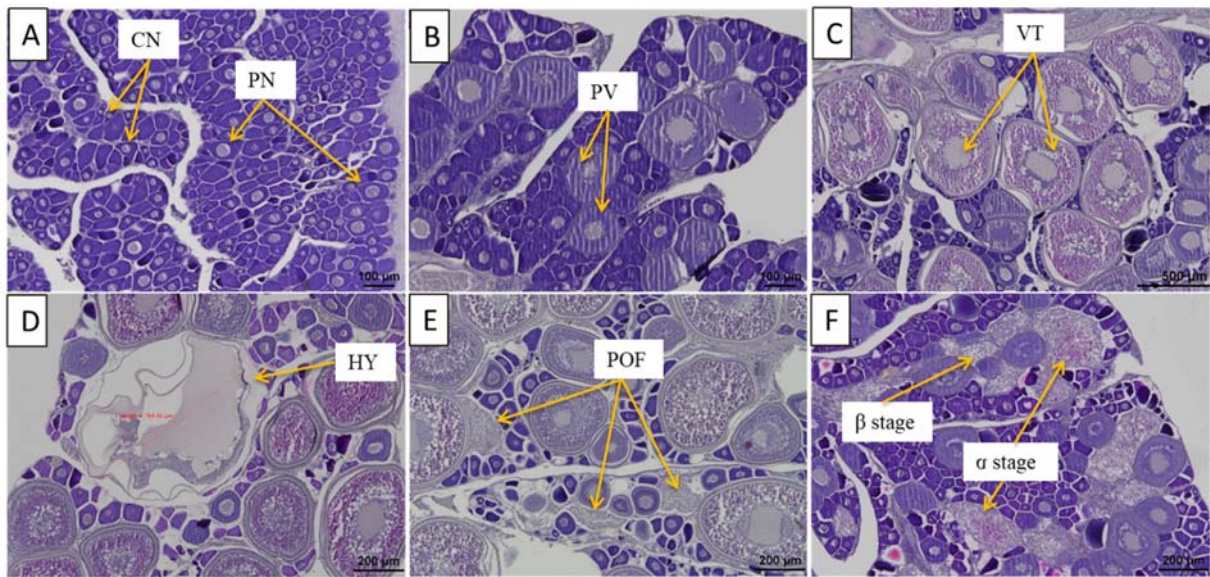


Fig. 3 Histological sections of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) ovaries, illustrating oocytes at different maturity stages. (A) Immature stage; CN: chromatin nucleolar oocytes, PN: perinucleolar oocytes. (B) Developing stage/redeveloping stage; PV: previtellogenic oocytes. (C) Mature stage; VT: vitellogenic oocytes. (D & E) Spawning stage, HY: hydrated oocytes, POF: postovulatory follicle. (F) Resting stage, α stage: alpha stage atresia, β stage: beta stage atresia.

4. 卵黃生成卵細胞 (vitellogenic oocytes, VT) (Fig. 3C)

卵細胞可進一步區分為三個時期：第一期卵黃球卵細胞 (primary yolk oocytes)，細胞質間充滿了卵黃球，卵細胞嗜酸性，被伊紅染成紅色，卵黃球數量漸增，並往核心方向移動，細胞核漸成不規則狀；第二期卵黃球卵細胞 (secondary yolk oocytes)，卵黃球之數量與體積增加，並向細胞核中央集中，細胞核呈不規則狀；第三期卵黃球卵細胞 (tertiary yolk oocytes)，卵黃球數量與體積達到最高且佔滿了整個細胞質間，包含細胞核，呈強嗜酸性被伊紅染成鮮紅色，細胞核呈不規則狀，核仁消失 (Fig. 3C)，此三期卵徑大小約為 360 – 520 μm 。

5. 水卵期 (hydrated oocytes, HY) (Fig. 3D)

卵黃球聚成大型卵黃塊，油滴 (lipid droplet) 間相互融合成大油球 (oil droplet, OD)，卵細胞吸水膨脹呈水質化且體積急劇增大，卵細胞屬完全成熟階段即將產出，卵徑大小約 740 μm 。

組織切片觀察卵巢卵母細胞發育過程，並依其特徵將卵巢成熟階段分為 5 期 (Table 2)，各期特徵為：

1. 未成熟期 (immature stage) (Fig. 3A)

該期生殖腺外觀為細長流線外膜薄、卵巢呈現深粉紅色、以肉眼無法觀察到卵粒，亦無法準確判斷雌雄。從組織學觀察卵細胞組成，乃是由卵原母細胞 (oogonia)、染色質核仁卵細胞 (chromatin nucleus oocyte) 及週邊核仁卵細胞 (perinucleolus oocyte) 所組成。卵巢重量為 0.7 – 34.0 g，GSI 為 0.04 – 1.05。

2. 發育期 (developing stage) (Fig. 3B)

發育期生殖腺外觀較為結實膨大，顏色為淺黃色。經組織學觀察可發現卵巢內由不同大小之前卵黃卵細胞與卵黃卵細胞包含部分週邊核仁卵細胞，卵巢重量隨發育逐漸增大，卵巢重量為 3.1 – 67.2 g，GSI 為 0.55 – 2.92。

3. 成熟期 (mature stage) (Fig. 3C)

生殖腺外觀更為結實膨大，顏色為橘黃色，表面有明顯的脈管化，可直接觀察到卵細胞存在。組織學觀察下，此期卵細胞發育到達最後階段，發現是由卵黃生成後期及卵核移動期 (migratory nucleus oocyte)、部分週邊核仁期卵細胞所構成，

Table 2 Maturity classification for female skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) collected from the waters off the coast of eastern Taiwan. Maturity stages were based on the criteria established by Schaefer (1998)

class	Maturity classification	Activity classification	Oocyte condition	Atresia	Category
1	Immature	Inactive	No vitellogenesis, few atretic oocytes present.	Absent	Immature
2	Maturing	Inactive	Vitellogenesis begins, previtellogenic oocytes present, some vitellogenic oocytes and early yolked.	Absent	Immature
3	Mature	Active	Advanced vitellogenic oocytes with migratory nucleus and some early yolked.	<50% α and β atresia present	Mature
4	Spawning	Active	Vitellogenesis ceasing, migratory nucleus, advanced vitellogenic oocytes, postovulatory follicles present, some early yolked.	<50% α and β atresia present	Mature
5	Regenerating	Inactive	No advanced vitellogenic oocytes, residual vitellogenic oocytes present.	\geq 50% α and β atresia present	Mature

偶可發現退化細胞。卵巢重量隨發育逐漸增大，卵巢重量為 25.0 – 198.0 g，GSI 為 1.32 – 3.37。

4. 產卵期 (spawning stage) (Fig. 3D, 3E)

本階段可分為完全成熟 (ripe) 與排過卵 (spawned) 兩部分，因此卵巢體積變化較大。在完全成熟時，卵巢外觀腫脹呈鮮橘黃色，清楚可見水卵。經組織學觀察發現主要以水卵、排卵後濾泡 (postovulatory follicle, POFs) 存在及卵核移動期、還有部分週邊核仁卵細胞存在。此外也可發現較多前卵黃卵細胞，顯示多次產卵型的魚種會有新卵黃卵細胞補充。卵巢重量介於 9.5 – 224.0 g，GSI 為 0.50 – 3.86。

5. 休止期 (resting stage) (Fig. 3F)

卵巢外觀為結實或鬆軟狀，顏色為深粉紅色。組織學觀察發現大量卵細胞出現退化細胞。而卵黃期 (yolk globule stage) 以上之發育階段很少出現在卵巢中，卵黃發生作用停止的情況出現。卵巢重量約為 9.0 – 62.0 g，GSI 為 0.56 – 1.69。

(二) 雄魚

組織切片觀察精巢精細胞各階段發育過程

1. 精原細胞 (spermatogonia, SG) (Fig. 4A)

由原始生殖細胞經有絲分裂而形成，為所有

發育階段之精細胞體積最大者，呈嗜鹼性被染為藍色。越早期之精細胞個體越大。

2. 精母細胞 (spermatocytes, SC) (Fig. 4B)

由精原細胞經有絲分裂而成，體積較精原細胞小，且多以一叢叢出現為群體狀，染色時顏色多為濃淡不一。

3. 精細胞 (spermatids, ST) (Fig. 4B)

由精母細胞經第 2 次減數分裂而形成，其體積較精母細胞小且成強嗜鹼性，被染為深藍色。此階段仍以為群體狀。

4. 精子 (spermatozoa, SZ) (Fig. 4C, 4D)

由精細胞經過發育後形成，最後變態形成精子游入輸精管，為所有階段體積最小者，經染色而成藍黑色。

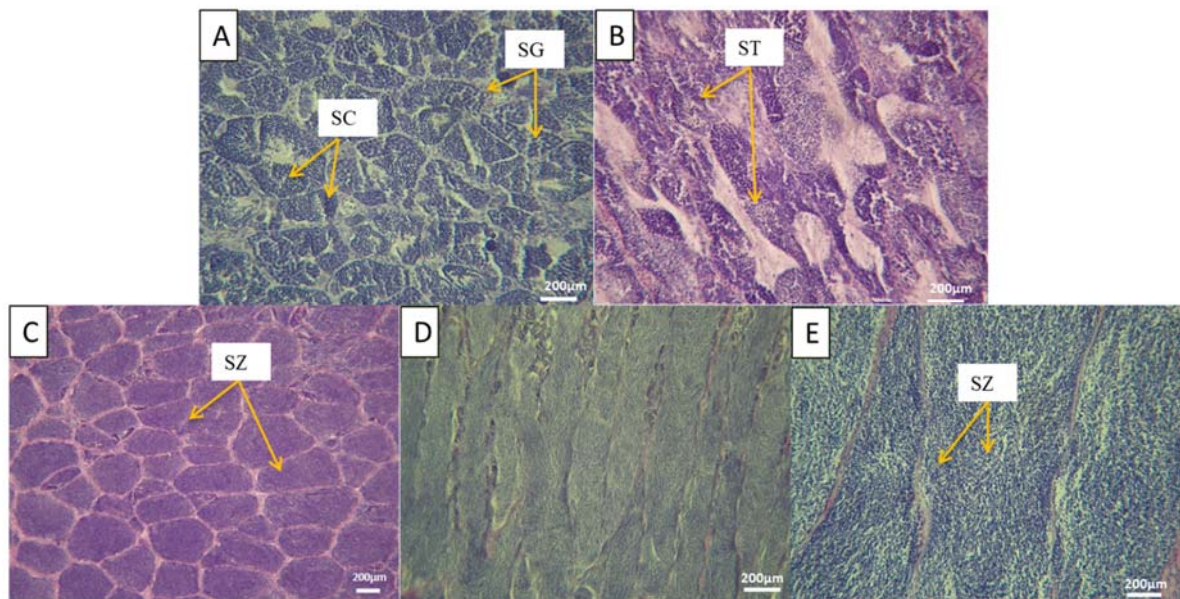
將精巢成熟階段分為 4 期 (Table 3)，各期之特徵為：

1. 未成熟期 (immature stage) (Fig. 4A)

生殖腺外觀呈細長線狀體積小不易發現，顏色呈現黃白色，無法用肉眼觀察判斷雌雄。由組織學觀察僅發現精原細胞，並無精子生成作用。本研究結果得知精巢重於 0.3 – 43.0 g，GSI 為 0.02 – 1.19。

Table 3 Maturity classification for male skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) collected from the waters off the coast of eastern Taiwan. Maturity stages were based on the criteria established by DeMartini *et al.* (2000)

class	Maturity classification	Activity classification	Oocyte condition	Category
1	Immature	Inactive	No spermatogenesis, only spermatogonia	Immature
2	Early maturing	Inactive	Spermatogenesis begins, spermatids and spermatocytes in the cysts with a small number of spermatogonia and primary spermatocytes	Maturing
3	Late maturing	Active	Spermatogenesis ongoing, mainly spermatozoa and spermatids present	Maturing
4	Mature	Active	Spermatozoa are plentiful in vas deferens	Mature

**Fig. 4** Histological sections of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) testes at different maturity stages. (A) Immature stage; SG: spermatogonia, SC: spermatocytes. (B) Early maturing stage; ST: spermatids. (C) Late maturing stage; SZ: spermatozoa. (D & E) Mature stage; SZ: spermatozoa.

2. 成熟前期 (early maturing stage) (Fig. 4B)

生殖腺外觀明顯增長，顏色偏乳白色。由組織學發現精子生成作用正開始，精巢內之囊泡可發現到精原細胞、精母細胞、精細胞與少數精子存在精巢內。研究結果得知精巢重介於 1.0 – 153.0 g，GSI 為 0.10 – 2.28。

3. 成熟後期 (late maturing stage) (Fig. 4C)

精巢明顯增大增長，顏色為乳白色。由組織學可發現精子生成作用正進行中且具有較大的團狀組織，可發現精原細胞、精母細胞、精細胞與精子存在精巢內。精細胞與精子數量增多。精巢重量為

1.8 – 160.0 g 之間，GSI 為 0.12 – 3.83。

4. 成熟期 (ature stage, Fig. 4D, 4E)

精巢呈現肥碩狀長條形。外觀為乳白色，縱切精巢會有白色精液流出。組織學觀察發現精巢內存在各階段精細胞，但精子數量超過總數的 50% 及較大的長條片狀組織，且輸精管內充滿精子。精巢重量為 7.6 – 185 g，GSI 為 0.46 – 3.25。

四、性成熟體長

本研究根據組織切片及外部形態觀察來判斷正鰹樣本是否達性成熟之情形，研究結果顯示雌魚達性成熟之最小體長為 42.5 cm，雄魚達性成熟

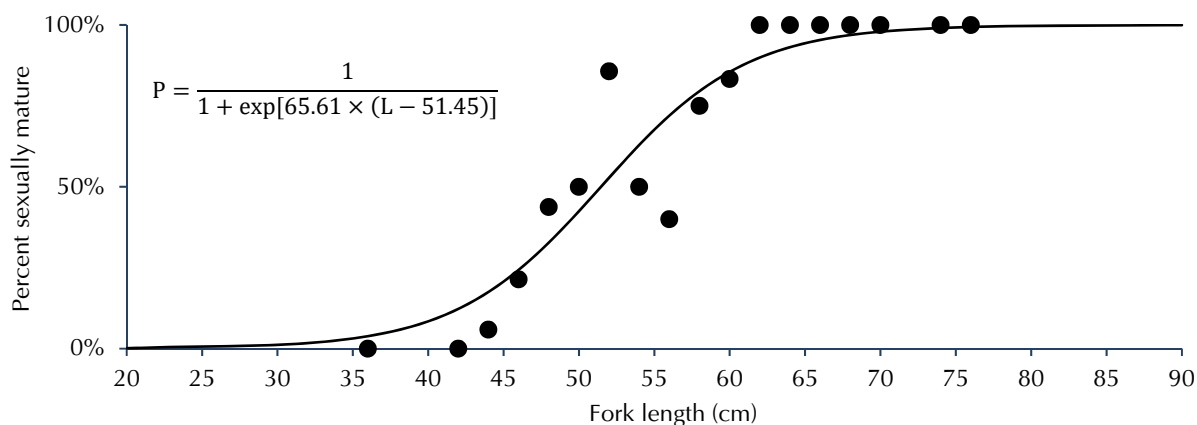


Fig. 5 Relationship between percent maturity and fork length for female skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) off the coast of eastern Taiwan.

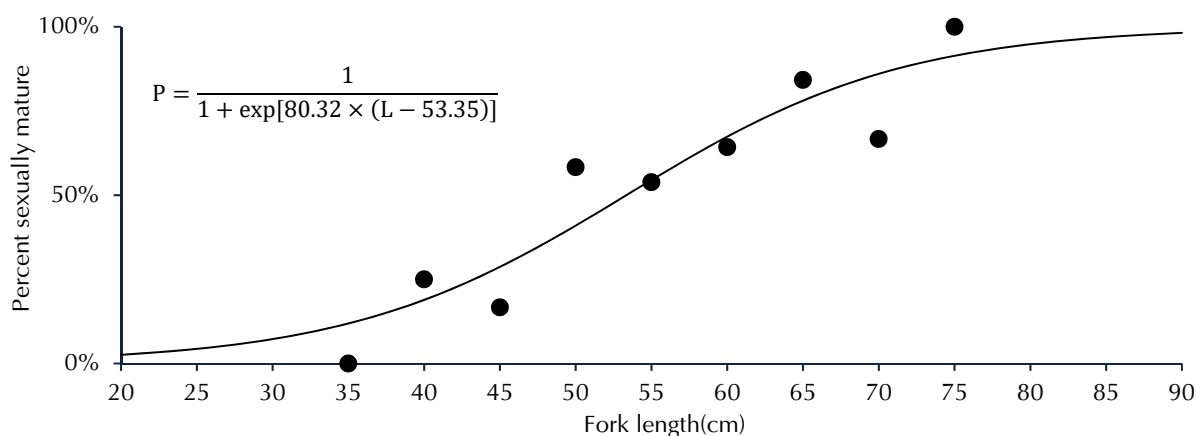


Fig. 6 Relationship between percent maturity and fork length for male skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) off the coast of eastern Taiwan.

之最小體長為 40.0 cm。並以最大概似估計法 (maximum likelihood method) 套適邏輯曲線, 求得雌魚性成熟比率 (P) 與尾叉長 (FL) 關係式, 結果如下:

$$\text{雌魚: } P = \frac{1}{1 + \exp[65.61 \times (L - 51.45)]}$$

$$\text{雄魚: } P = \frac{1}{1 + \exp[80.32 \times (L - 53.35)]}$$

雌魚達 50% 性成熟體長 (L_{m50}) 為 51.5 cm; 達 90% 性成熟體長 (L_{m90}) 為 65.6 cm (Fig. 5); 雄魚 L_{m50} 為 53.4 cm; L_{m90} 為 80.3 cm (Fig. 6)。

五、性成熟季節

所有檢視的雌魚 GSI 範圍為 0.50 - 2.46。4 -

6 月 GSI 平均有明顯上升的趨勢, 5 月達到最高值, 過了 6 月後 GSI 值隨即下滑, 到了 11 月及 12 月呈現較低之狀態 (Fig. 7)。雄魚 GSI 範圍為 0.12 - 2.28, 4 - 5 月 GSI 平均值有明顯上升的趨勢, 6 月達到最高值 2.28, 過了 7 月後隨即下滑, 11 - 12 月較低 (Fig. 8)。

由生殖腺成熟階段月別變化顯示, 達性成熟的雌魚在 1 - 10 月間皆有出現 (Fig. 9)。3 - 8 月出現產卵階段魚體, 並以 5 - 7 月為高峰。1、3、7 至 10、11 及 12 月均發現休止期階段魚體, 顯示產卵過程由 3 月開始, 8 月進入尾聲, 主要的產卵盛期為 6 月。未熟魚的出現在 1 - 5 月及 7 - 12 月兩個期間, 以 12 月最多。精巢經組織切片並未觀察到有排完精子的個體, 由成熟期雄魚在 3 - 8 月及 10 月皆有出現, 成熟期以 5 - 7 月為高峰 (Fig. 10)

Fig. 7 Monthly changes in the mean gonadosomatic index for female skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) off the coast of eastern Taiwan (vertical bars: standard error; numbers above the vertical bars represent the sample size).

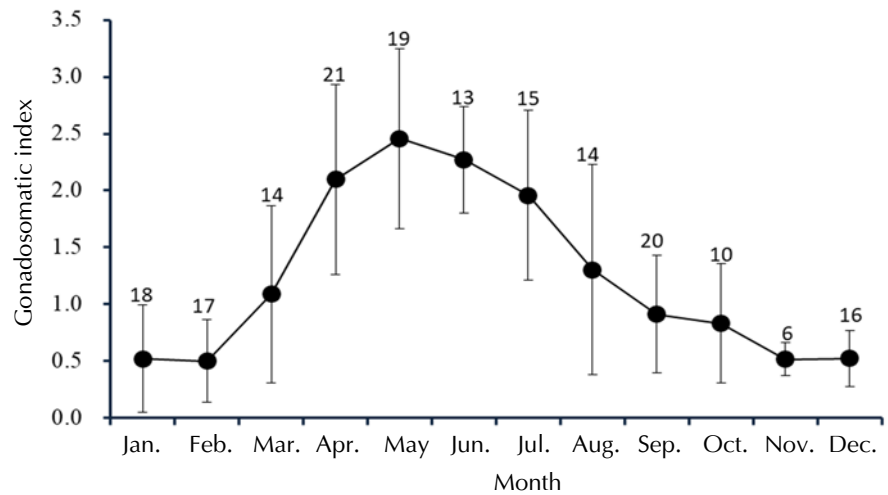
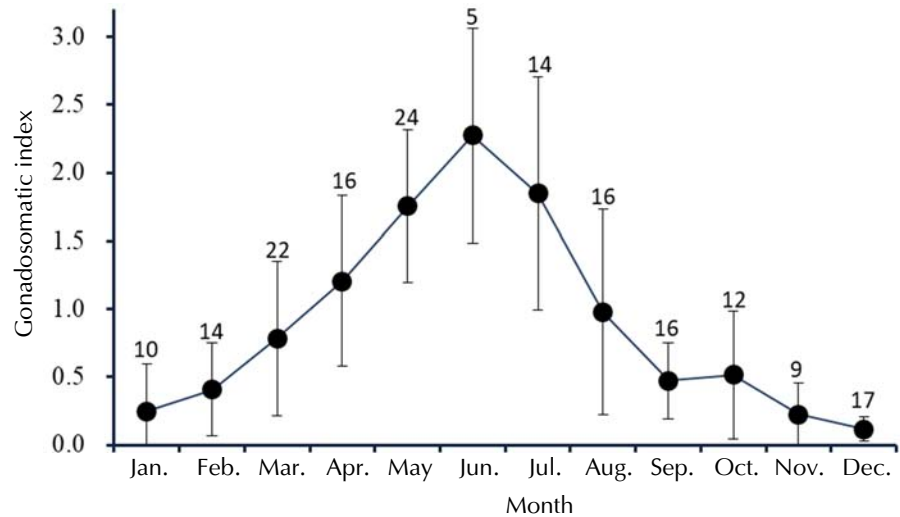


Fig. 8 Monthly changes in the mean gonadosomatic index for male skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) off the coast of eastern Taiwan (vertical bars: standard error; numbers above the vertical bars represent the sample size).



討 論

一、樣本體型組成

本研究由臺灣東部海域所採集正鯷體長為 31.0 – 74.5 cm (體重為 0.6 – 8.7 kg)，主要為曳繩釣作業漁船於臺灣東部中層人工浮魚礁所捕獲，樣本體型略小於傅 (2004) 在臺灣東部海域採集之刺網及延繩釣所混獲之正鯷樣本，其體長為 30-80 cm (體重為 0.5 – 12.5 kg)。Hartaty *et al.* (2020) 記錄印尼海域刺網、圍網及手釣漁獲正鯷體型範圍分別為 27 – 69 cm、20 – 57 cm 及 14 – 79 cm，顯示不同之漁法漁獲體型組成有顯著性差異。此外，Wild and Hampton (1994) 及 Matsumoto *et al.* (1984) 指出不同時空的海域其海洋環境包括溫度、鹽度、溶氧、溫躍層變化、洋流系統與餌料生

物等，皆為有可能為影響魚體大小的因素。

二、性比

本研究經組織切片觀察到所採集的雌魚樣本數略高於雄魚，但總性比為 0.51，經卡方檢定結果顯示無顯著差異，且月別間性比無顯著差異。傅 (2004) 雖指出中西太平洋正鯷月別及總性比接近 0.5，在體長別性比檢定上發現雄魚體長在 32.0 – 33.9 cm 居多，在東部海域正鯷以雄性較多，總性比則與 0.5 有顯著的差異，且在體長別上發現體長在 32.0 – 33.9 cm 及體長大於 72.0 cm，以雄性樣本較多。相較於此，本研究樣本採集主要來自曳繩釣漁法研究缺乏體型偏小與較大樣本，未來需要更長期與廣泛的不同漁法調查。

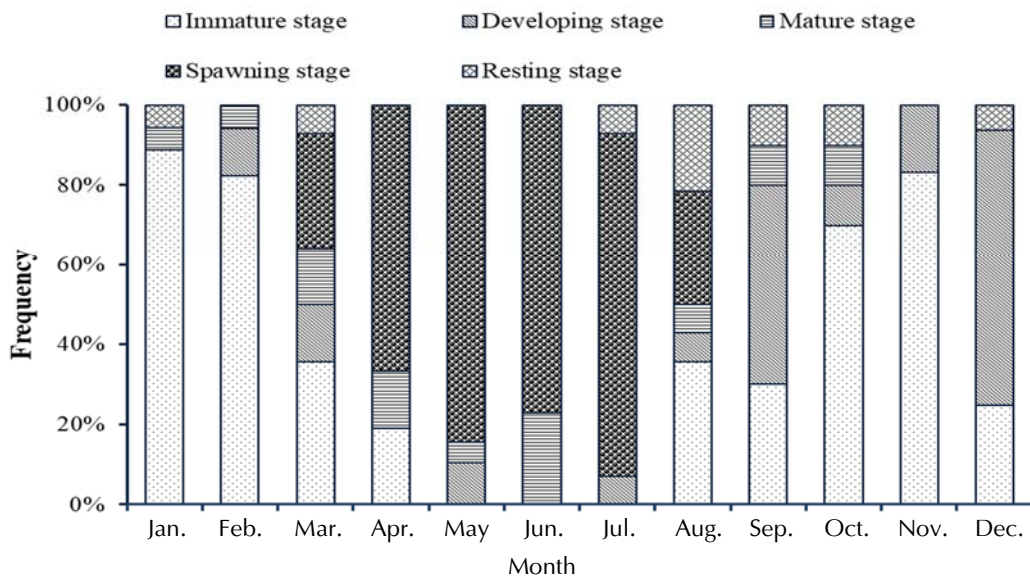


Fig. 9 Monthly variations in the proportions of ovarian maturation stages for female skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the waters off the coast of Taiwan.

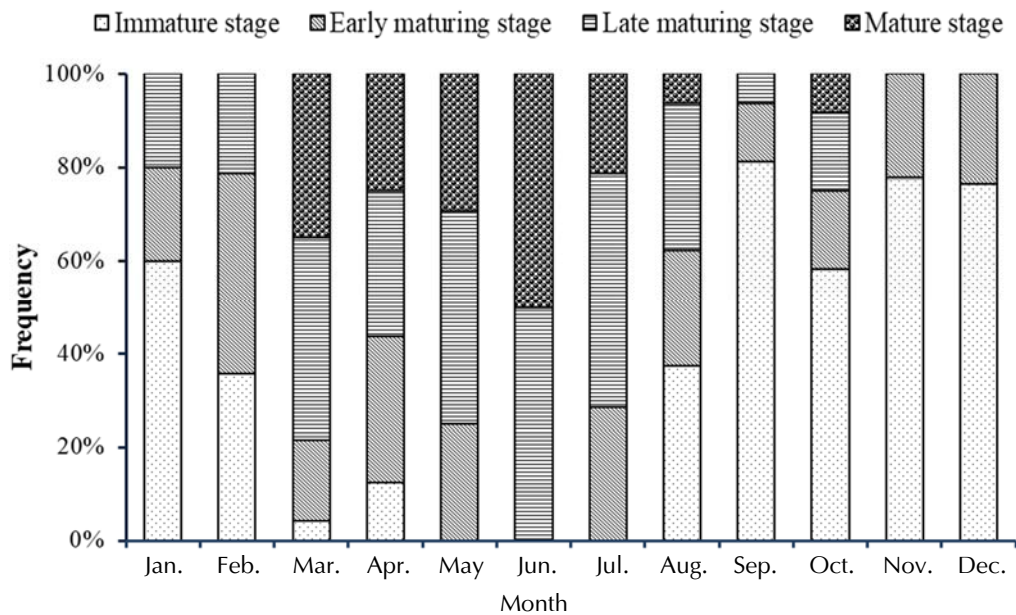


Fig. 10 Monthly variations in the proportions of testicular maturation stages for male skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the waters off the coast of Taiwan.

三、性成熟體長

生殖細胞和生殖腺之發育均為連續性之過程，故刻意將其分為不同發育階段有一定的難度，尤其在性成熟階段的判定難度更高。目前除了前人使用之外觀型態學 (macromorphology) 方法判定外，更需配合組織學的方法來判斷魚體是否達

性成熟，主要原因為卵巢內有不同發育階段的卵母細胞，在生殖季節卻仍處於未成熟階段及休止階段狀態下的卵母細胞無法被準確的判斷出，故需要以組織學的方法觀察卵巢內卵母細胞的發育情形，依卵母細胞生成型態正確的判斷生殖腺成熟發育階段。

本研究估算正鯷雌魚性成熟之最小體長為

42.5 cm、雄魚為 40.0 cm，雌雄 L_{m50} 分別為 51.5、53.4 cm。傅 (2004) 指出臺灣海域正鰹雌雄 L_{m50} 分別為 47.7、43.7 cm；Wade (1950) 記錄菲律賓海域正鰹在體長範圍 40.0 - 40.9 cm 間有成熟及產卵後的發育階段出現；Matsumoto *et al.* (1984) 研究太平洋海域指出正鰹體長大於 40 cm 時顯示成熟；Schaefer (2001a) 研究東太平洋正鰹判斷其成熟的體長為 50 cm 以上；Simmons (1969) 研究大西洋海域正鰹報告指出，大西洋正鰹最小成熟體長為 41 cm；Cayre and Farrugio (1986) 估計大西洋雌性正鰹 L_{m50} 為 42 cm；Goldberg and Au (1986) 估計東南大西洋雌性正鰹最小成熟體長為 51 cm；Timohina and Romanov (1996) 研究印度洋海域估計雌性正鰹 L_{m50} 為 43 cm，雄魚 L_{m50} 為 40 cm，報告並指出雄魚有比雌魚早成熟的現象。Cayre and Farrugio (1986) 及 Stquert and Ramcharrun (1996) 研究指出，雄性 L_{m50} 在 42 - 43 cm、雌性在 41-42 cm 間，雄性比雌性成熟來的晚。前人研究指出判定性成熟體長之間有所差異，會因不同海域及海洋環境因子如水溫、餌料、生長速率之不同而有所差異 (Wang *et al.*, 2003) 及判定成熟定義之不同 (Schaefer, 2001b)。即使在同一地區所採集樣本，在判定性成熟體長階段會因使用不同的判讀方式如：以外觀及型態 (Schaefer and Orange, 1956; Goldberg and Au, 1986; Vilela and Castello, 1993)，或卵母細胞直徑分佈 (Cayre, 1981) 和組織學分析 (Cayre and Farrugio, 1986; Stequert and Ramcharrun, 1996; Timohina and Romanov, 1996)，也常發生不同 L_{m50} 估計值。同樣針對台灣東部海域正鰹進行成熟體長估算，本研究所估算正鰹雌雄 L_{m50} 與傅 (2004) 估算正鰹雌雄 L_{m50} 有所差異，也可能因上述前人研究結果所得因判定方法不同造成估算結果不同。

四、生殖季節與產卵海域

本研究根據組織學分析結果推測臺灣東部正鰹生殖季為 3 - 8 月，生殖高峰為 5 - 7 月。傅 (2004) 指出臺灣海域正鰹生殖季節為 4 - 11 月，以 5 - 9 月為生殖高峰。Hu and Yang (1972) 記錄臺灣南部海域正鰹產卵季節為 3 - 10 月；吳 (1986) 亦指出臺灣東部海域正鰹產卵季節為 4 - 9 月，生殖高峰期為 6 - 8 月，顯然臺灣海域正鰹產卵季節可延

伸涵蓋夏季及秋季，Matsumoto *et al.* (1984) 及 Nishikawa *et al.* (1985) 指出三大洋正鰹在熱帶海域為終年產卵，在亞熱帶海域則具有季節性產卵行為。

Ueyanagi (1969) 及 Cayre and Farrugio (1986) 指出太平洋及大西洋正鰹產卵海域，主要為表水面 24°C 等溫線海域。本研究由組織學方法檢視正鰹卵巢性成熟發育，僅有一尾為含有水卵階段之卵細胞，其餘達生殖階段之樣本皆為可見排卵後濾泡卵細胞，顯示臺灣東部沿近海雖是正鰹產卵場之一，但產卵場海域可延續之往南的熱帶海域及往西的東部外海，未來需要更大尺度的採樣範圍，以確認產卵場海域及海洋環境變遷對產卵活動的影響。

謝 辭

本研究感謝臺東縣新港地區從事曳繩釣作業之船長們提供作業資訊與經驗分享，本研究經費由行政院農業委員會水產試驗所 109 農科-9.2.3-水-A5 計畫項下支助，研究期間感謝本所東部海洋生物研究中心同仁蔡龍泉先生、林憲忠先生、張碁璿先生及張景淳小姐幫忙樣本採集、解剖、資料建檔及圖表製作，謹此敬致謝忱。

參考文獻

- 王玟琦 (2008) 漁獲壓力對於臺灣東北部海域大眼鯛生殖與成長之影響。國立臺灣海洋大學碩士論文, 89 pp.
- 吳春基 (1986) 台灣東部海域產正鰹之生物學研究 (一) 體長組成、群成熟度、性比。台灣省水產試驗所試驗報告, 42: 33-50.
- 傅信欽 (2004) 中西太平洋與台灣東部海域正鰹之生殖生物學研究。國立臺灣大學海洋研究所碩士論文, 68 pp.
- 謝佳樺 (2009) 利用遙測及漁獲資料偵測中西太平洋正鰹分佈熱區。國立臺灣海洋大學碩士論文, 77 pp.
- Armas, R. G., K. T. Alexander and H. H. Agustín (2006) Evidence of billfish reproduction in the southern Gulf of California, Mexico. *Bull. Mar. Sci.*, 79: 705-717.
- Bancroft, J., A. Stevens and D. Turner (1996) *Theory and practice of histological techniques* (4th ed.). Churchill Living Stone, New York
- Edinburgh, Madrid, San Francisco, 766 pp.

- Benevenuti Soares, J., C. Monteiro-Neto, M. R. d. Costa, R. R. M. Martins, F. C. d. S. Vieira, M. F. d. Andrade-Tubino, A. L. Bastos, and R. d. A. Tubino (2019) Size structure, reproduction, and growth of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) caught by the pole-and-line fleet in the southwest Atlantic. *Fish. Res.*, 212: 136-145.
- Cayre, R. (1981) Maturite sexuelle, fecondite et sex ratio du listao (*Katsuwonus pelamis*) des cotes d'Afrique del L'Ouest (20°N-0°N) etudies a partir des débarquements thoniers (1977 a 1979), au port de Dakar, Senegal. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 15 (1): 135-149.
- Cayre, P. and H. Farrugio (1986) Biologie de la reproduction du listao (*Katsuwonus pelamis*) de l'Ocean Atlantique. *In Proc. ICCAT Conf. Int. Skipjack Year Prog.* (P. E. K. Symons, P. M. Miyake and G. T. Sakagawa, eds.), ICCAT, Madrid, Spain, 252-272.
- Collette, B. B. and C. E. Nauen (1983) An annotated and illustrated catalogue of tuna, mackerels, bonitos and related species known to data. *FAO Species Catalogue*, 2: 42-90.
- Cuellar, N., G. R. Sedberry and D. M. Wyanski (1996) Reproductive seasonality, maturation, fecundity, and spawning frequency of the vermilion snapper, *Rhomboplites aurorubens*, off the southeastern United States. *Fish. Bull.*, 94: 635-653.
- Engelhard, G. H., and M. Heino (2004) Maturity changes in Norwegian spring-spawning herring before, during, and after a major population collapse. *Fish. Res.*, 66: 299-310.
- FAO (2020) The state of world fisheries and aquaculture - sustainability in action. *FAO*, Rome, 206 pp.
- Goldberg, S. R. and D. W. K. Au (1986) The spawning of skipjack tuna from southeastern Brazil as determined from histological examination of ovaries. *In Proc. ICCAT Conf. Int. Skipjack Year Prog.* (P. E. K. Symons, P. M. Miyake and G. T. Sakagawa, eds.), ICCAT, Madrid, Spain, 248-277.
- Grift, R. E., A. D. Rijnsdorp, S. Barot, M. Heino and U. Dieckmann (2003) Fisheries-induced trends in reaction norms for maturation in North Sea plaice. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 257: 247-257.
- Harley, S., P. Williams, S. Nicol and J. Hampton (2011) The western and central Pacific tuna fishery: 2001 Overview and Status of Stocks. *Secretariat of the Pacific Community*, Noumea, New Caledonia, xi: 42.
- Hartaty, H., B. Setyadji and Z. Fahmi (2020) Reproductive Biology of Skipjack Tuna (*Katsuwonus pelamis*) in Indonesian exclusive economic zone. 22nd Working Party on Tropical Tunas (WPTT22), IOTC-2020-WPTT22(AS)-08.
- Hu, F. and R. T. Yang (1972) A preliminary study on sexual maturity and fecundity of skipjack tuna. *J. Fish. Soc. Taiwan*, 1: 88-97.
- Hunter, J. R., B. J. Macewicz, N. C. H. Lo and C. A. Kimbrell (1992). Fecundity, spawning, and maturity of female Dover sole, *Microstomus pacificus*, with an evaluation of assumptions and precision. *Fish. Bull.*, 90: 101-128.
- Matsumoto, W. M., R. A.S killman and A. E. Dizon (1984) Synopsis of biological data on skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*. *NOAA Tech. Rep. NMFS Circ.*, Vol. 451: 92 pp.
- Nishikawa, Y., M. Honma, S. Ueyanagi and S. Kikawa (1985) Average distribution of larvae of oceanic species of scombroid fishes, 1956-1981. *Far Seas Fish. Res. Lab. Ser.* 12, 99 pp.
- Norman, B. and J. Stevens (2007) Size and maturity status of the whale shark (*Rhincodon typus*) at Ningaloo Reef in Western Australia. *Fish. Res.*, 84: 81-86.
- Schaefer, M. B., C. J. Orange (1956) Studies of the sexual development and spawning of yellowfin tuna (*Neothunnus macropterus*) and skipjack (*Katsuwonus pelamis*) in three areas of the eastern Pacific Ocean, by examination of gonads. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 1(6): 281-349.
- Schaefer, K. M. (1998) Reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Eastern Pacific Ocean. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 21: 201-272.
- Schaefer, K. M. (2001a) Assessment of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) spawning activity in the eastern Pacific Ocean. *Fish. Bull.*, 99: 343-350.
- Schaefer, K. M. (2001b). Reproductive Biology of Tunas. *In Tuna: Physiology, Ecology, and Evolution*". (B. A. Block and E. D. Stevens, eds.), Academic Press, New York, 225-270.
- Schaefer, K. M., (1987) Reproductive biology of black skipjack tuna, *Euthynnus lineatus*, in eastern Pacific tuna. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull.* 19: 169-260.
- Simmons, D. C. (1969) Maturity and spawning of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the Atlantic Ocean, with comments on nematode infestation of the ovaries. *Spec. Sci. Rep. U.S. Fish Wildl. Serv.*, 580: 17.

- Stéquert, B. and B. Ramcharrun (1996) Reproduction of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) from the western Indian Ocean. *Aquat. Living Resour.*, 9: 235-247.
- Stéquert, B., J. N. Rodriguez, B. Cuisset and F. Le Menn (2001) Gonadosomatic index and seasonal variations of plasma sex steroids in skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) from the western Indian Ocean. *Aquat. Living Resour.*, 14: 313-318.
- Sun, C. L., Y. J. Chang, C. C. Tszeng, S. Z. Yeh and N. J. Su (2009) Reproductive biology of blue marlin (*Makaira nigricans*) in the western Pacific Ocean. *Fish. Bull.*, 107: 420-432.
- Timohina, O. I. and E. V. Romanov (1996) Characteristics of ovogenesis and some data on maturation and spawning of Skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758), from the western part of the equatorial zone of the Indian Ocean. *In Proceedings of the Expert Consultation on Indian Ocean Tunas, 6th session* (A. A. Anganuzzi, K. A. Stobberup, and N. J. Webb, eds.), IPTP Coll., 9: 247-257.
- Ueyanagi, S. (1969) Observations on the distribution of tuna larvae in the Indo-Pacific Ocean with emphasis in the delineation of the spawning areas of albacore, *Thunnus alalunga*. *Bull. Far Seas Fish. Res. Lab.*, 2: 177-256.
- Vilela, M. J. A., J. P. Castello (1993) Dinamica poblacional del barrilete (*Katsuwonus pelamis*) explotado en la region sudeste-sur del Brasil en el periodo 1980-1986. *Frente Maritimo* 14, 111-124, Sec. A.
- Wade, C. B. (1950) Observations on the spawning of Philippine tuna. *Fish. Bull. U.S. Fish Wildl. Serv.*, 51(55): 409-423.
- Wang, S. P., C. L. Sun and S. Z. Yeh (2003) Sex ratios and sexual maturity of swordfish (*Xiphias gladius* L.) in the waters of Taiwan. *Zool. Stud.*, 42: 529-539.
- Wild, A. (1994). A review of biology and fisheries for yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean. *FAO Fish. Tech. Pap.*, 336(2): 52-107.