



臺灣周邊海域眼眶魚年齡成長初探

鄭力綺、何珈欣、吳伊淑、翁進興 / 水產試驗所沿近海漁業生物研究中心

前言

眼眶魚 (*Mene maculata*) 俗稱皮刀，廣泛分布於印度 - 西太平洋的熱帶及亞熱帶海域，西起非洲，東至夏威夷群島，北至日本，南至澳洲 (Hwang et al., 2002)。主要棲息陸棚或島礁海域，水深約 20 - 100 m，偶爾群游至沿海表層或河口域，以動物性浮游生物或底棲無脊椎動物為食 (Fisher et al., 1990; Baldwin, 2003; Kuitert and Tonzuka, 2001; Ray et al., 2024)。在臺灣的東北部、西部、南部、東部及澎湖海域均有分布 (Hwang et al., 2002)，有時會群游至沿海表層、河口域進行索餌及生殖活動，捕獲漁法包括刺網、扒網、拖網、定置網及一支釣等，以扒網捕獲比例最高，全年均可漁獲 (Nguyen et al., 2021)。根據漁業統計年報資料顯示，其年產量自 1990 年的 3,773 公噸開始大幅度下降，於 1995 - 1997 年間均低於 1,000 公噸。1999 年後，除 2003 年低於 1,000 公噸外，至 2012 年間漁獲量 1,110 - 2,224 公噸。2013 年漁獲量則增加至 5,188 公噸，並於 2015 年達最高值 (8,359 公噸)，隨後在 2018 - 2019 年又大幅度下降 (696 - 985 公噸)。於 2020 年短暫上升至 3,685 公噸後，2021 年又開始下降，至 2023 年僅 897 公噸，年間變動明顯。

為了解眼眶魚漁業資源變動情形，生殖發育及年齡成長等研究日益重要。因該魚種耳石

體積小、腹側彎曲曲度大，以平磨方式製備不易，鰓蓋骨有偽輪分布致年齡判讀誤差值較大等問題，過去主要以體長頻度分析法 (Hwang et al., 2002; Viswambharan et al., 2018) 及脊椎骨 (Du et al., 2012) 估計成長參數及年齡結構。然而，隨著採集樣本無法真實反映野外系群組成，以體長頻度分析法估計成長曲線所衍生的誤差亦高。為此，本研究透過調整眼眶魚耳石製備方式，進行年輪判讀與生物參數估算，作為後續該魚種資源量評估的參考依據。

材料與方法

一、樣本採集與生物學資料分析

在 2021 年 1 月至 2024 年 10 月於臺灣周邊海域按月向標本戶採集眼眶魚樣本，捕獲漁法包括一支釣、刺網、定置網及扒網。樣本攜回實驗室後依序編號，量測體長 (mm)、體重 (g)、生殖腺重 (g) 及肝重 (g) 等生物資料。以迴歸方程式分析體長 - 體重關係式 ($BW = a \times FL^b$ ， BW 為體重 (g)， FL 為尾叉長 (mm)， a 、 b 為參數) (Schneider et al., 2000)，以最大概似檢定 (maximum likelihood test) 分析雌、雄魚體長、體重的相關性差異，並以 Kruskal-Wallis test (K-W test) 比較月別間漁獲體型。

生殖發育分析部分，參考黃 (1984) 觀察結果，選用左葉中間部位作採卵分析。由量測之生殖腺重及體重，計算生殖腺指數

(GSI), $GSI(\%) = \text{生殖腺重 (g)} / \text{空腹體重 (g)} \times 100$ 。由生殖腺外觀型態及組織切片觀察，將生殖腺發育分為未成熟 (Immature)、成熟中 (Maturing)、已成熟 (Mature) 和排完卵 (Spent) 等四個階段，分別計算月間不同性成熟階段百分比，作為判定生殖期的依據。最後，整合目標魚種性腺外觀、生殖腺指數、成熟度月別變化趨勢，推估其生殖期。

二、耳石製備與年齡判讀

自總採集樣本中按月隨機取 15 – 30 尾樣本，自魚體頭部移除頭蓋骨及腦部組織後，取出成對矢狀石（以下簡稱耳石），以 5% 雙氧水及去離子水潤洗，去除上方附著物後，以 45°C 烘烤 24 小時。待其乾燥後，耳石腹面朝下置入包埋版中，注入環氧樹脂與硬化劑（比例 15:2）進行包埋，待包埋塊乾燥、硬化後，脫模取出。

為觀察耳石微細結構及年輪分布，參考 Hwang 等 (2002) 及 Du 等 (2012) 分析結果，隨機取樣 20 尾個體 (48 – 190 mm FL) 的成對耳石進行微細結構分析。其一朝耳石短軸向平磨、拋光至核心、日輪清晰；其二沿著核心面以慢速切割機切下厚度約 300 – 400 μm 的橫切面薄片 (transverse section)，再以封片膠將耳石切片封埋於載玻片與蓋玻片間，於顯微鏡下拍攝、觀察，同時比對平磨面、橫切面其微細結構及輪紋數差異，以推斷第 1 暗帶形成位置，並確立最適的耳石製備方式。

第 1 暗帶形成位置確立後，以耳石邊緣明暗帶相對出現率月間變化趨勢，對照個體生殖發育或環境參數時序序列變化等，推估耳石暗帶形成週期。月別暗帶出現率公式為邊緣為暗帶的個體數 / 總樣本 $\times 100\%$ 。每個樣本年輪數

至少判讀 2 次，每次間隔至少 2 週以上。輪紋數判讀後，整合耳石邊緣明暗帶分布比例、平均生殖高峰期及捕獲月份等校正年齡估算，降低因邊緣明暗帶判讀差異衍生誤差。年輪數及年齡估計結果以平均百分比誤差指數 (average percent error, APE) (Beamish and Fournier, 1981) 及變異係數 (coefficient of variation, CV) (Campana, 2001) 進行重複讀輪（或年齡估計）的精準度分析，分別為 (a)、(b) 公式：

$$(a) APE=100\% \times \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ij}-X_j|}{X_j}$$

$$(b) CV=100\% \times \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij}-X_j)^2}{R-1}}}{X_j}$$

(a)、(b) 式中，R 為重複讀輪（重複年齡估計）次數， X_{ij} 為第 i 次判讀時、第 j 個樣本的讀輪（年齡估計）結果， X_j 是第 j 個樣本讀輪（年齡估計）結果平均值。

三、成長參數估算

將樣本之體長 (mm) 及相對應的平均年齡 (yr)，套適下列 4 種成長方程式，估算各式成長參數，如 (a) – (d) 式：

(a) von Bertalanffy growth function (VBGF) (von Bertalanffy, 1938)

$$L_t = L_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)})$$

(b) VBGF with size at birth (VBGF with L_0) (Fabens, 1965)

$$L_t = L_0 + [(L_\infty - L_0) \times (1 - e^{-Kt})]$$

(c) Gompertz growth function (Gompertz, 1825)

$$L_t = L_\infty \times (e^{-e^{-K(t-C_g)}})$$

(d) Robertson growth function (Robertson, 1923)

$$L_t = \frac{L_\infty}{[1 + e^{-C_r - Kt}]}$$

(a) - (d) 式中， L_t 為 t 歲時的體長 (mm)， L_0 為出生體長 (mm)， L_∞ 為理論極限體長 (mm)， K 為成長係數 (yr^{-1})， t_0 為體長為 0 的理論年齡 (yr)， t 為年齡 (yr)， C_r 為 Robertson 參數， C_g 為 Gompertz 參數。各式成長參數估算後，以赤池訊息量準則 (Akaike information criterion, AIC) (Akaike, 1998) 評估 4 種成長方程式的套適程度，其公式為：

$$AIC = [N \times \ln(MSE) + 2k]$$

式中， N 為樣本數， MSE 為均方差， k 為各模式中推估的參數數量。

四、年齡—體長對照表建立

根據耳石年齡估計結果及相對應的尾叉長資料，建立以每 10 mm FL 為間距的年齡—體長對照表 (Age-Length Key)，以推測臺灣周邊海域眼眶魚的年齡組成。

結果

一、體長組成

本研究採集眼眶魚 4,030 尾 (雌魚 1,462 尾、雄魚 1,453 尾、無法辨識性別者 1,115 尾)，性比 50.15% ($p > 0.05$)。雌、雄魚體長、體重經檢定無顯著差異，總樣本體長、體重關係式為 $BW = 5.753 \times 10^{-5} FL^{2.852}$ ($n = 4,030, p < 0.05$) (圖 1)。依據體長頻度分布顯示 (圖 2)，各月間以 180 - 210 mm FL 為主要捕獲體型，

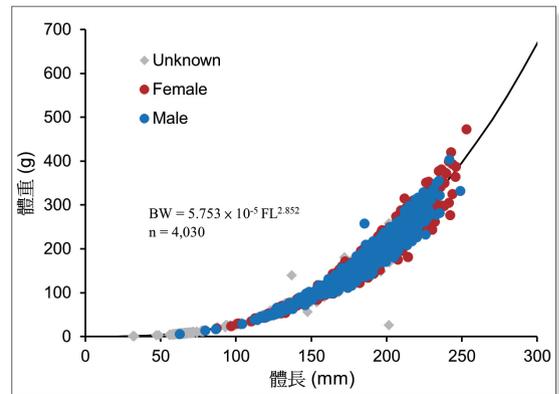


圖 1 臺灣周邊海域眼眶魚體長—體重關係式

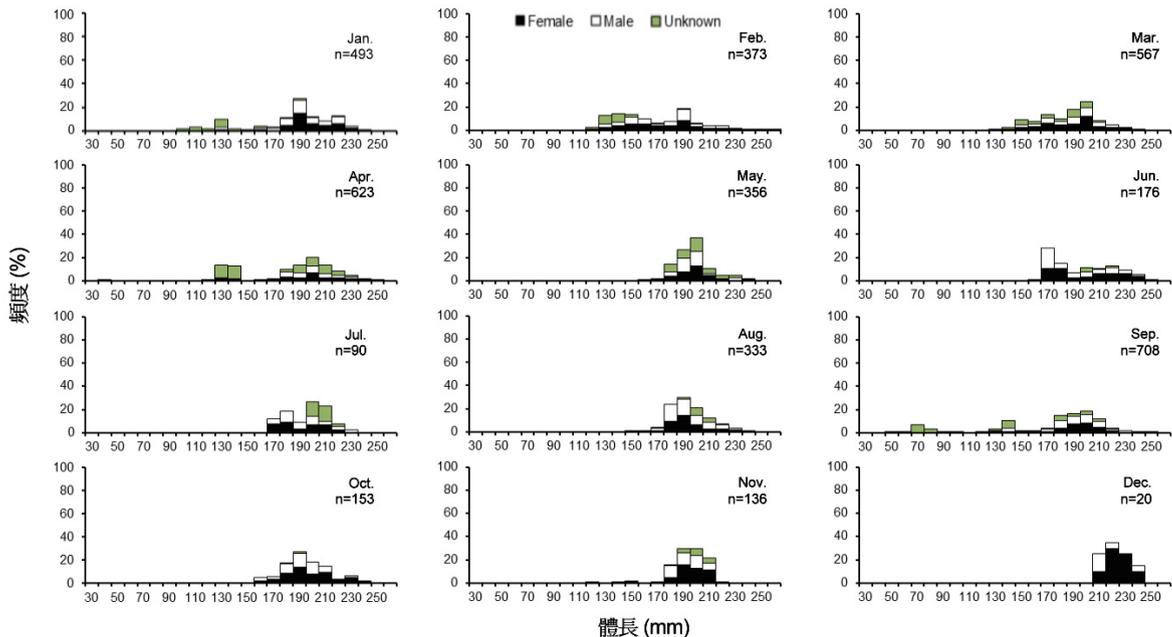


圖 2 2021 年 1 月至 2024 年 10 月眼眶魚月別體長頻度分布圖

FL < 140 mm 者在 1 – 4 月及 9 月有較高的出現率。月間體長組成經檢定有顯著差異 ($p < 0.05$)。

二、生殖發育分析

針對研究期間生殖腺形態完整的雌 (n = 1,405)、雄魚 (n = 1,382) 樣本進行生殖腺指數 (GSI) 及成熟度分析。GSI 部分，雌魚 1 – 2 月維持低值 ($0.54 \pm 0.22 - 0.58 \pm 0.47$)，3 月自 1.04 ± 1.05 (n = 230) 逐月增加至 6 月的 4.44 ± 3.11 (n = 84)，為最高值。7 月微幅下降至 2.62 ± 0.76 (n = 32) 後，8 月又增加至 3.68 ± 1.60 (n = 99)。9 月則自 3.48 ± 1.87 (n = 194) 逐月下降至 12 月的 0.59 ± 0.22 (n = 15) (圖 3A)。雄魚 GSI 於 1 – 2 月維持低值 ($0.16 \pm 0.12 - 0.26 \pm 0.26$)，3 月自 0.70 ± 0.74 (n = 181) 逐月增加至 5 月的 3.48 ± 0.93 (n = 114)，為最高值；6 月則自 3.19 ± 1.27 (n = 82) 逐月下降至 12 月的 0.11 ± 0.06 (n = 5)，為最低值 (圖 3B)。

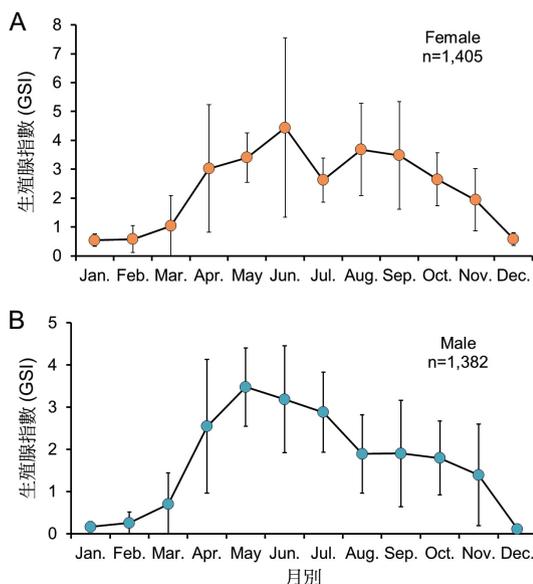


圖 3 2021 年 1 月至 2024 年 10 月臺灣周邊海域眼眶魚雌魚 (A) 及雄魚 (B) 生殖腺指數月別變化趨勢圖

成熟度部分，雌魚在 1 – 2 月以未成熟魚比例最高 (1 月 90.43%、2 月 87.66%)，並於 1 月出現排完卵個體 (6.22%)。3 月已成熟比例自 6.09% 逐月增加至 6 月的 64.29%，為最高值，並於 4 – 6 月持續出現排完卵個體 (1.47 – 8.33%)。7 月已成熟魚比例微幅下降至 15.63% 後，8 月又增加至 45.45%，為 7 月後次一高峰。9 月已成熟比例自 43.98% 逐月下降至 11 月的 11.29%，並於 11 月出現排完卵個體 (3.23%)，12 月則均為未成熟魚 (圖 4A)。雄魚 1 – 2 月均為未成熟魚，3 月已成熟魚出現 (3.87%)，4 – 6 月已成熟比例介於 34.15 – 38.60%，以 5 月 (38.60%) 比例最高。7 – 8 月成熟魚比例微幅下降至 21.21 – 23.48%；9 月已成熟個體自 19.91% 逐月下降至 11 月的 11.32%，12 月則均為未成熟魚 (圖 4B)。

綜上觀察，在臺灣周邊海域該魚種生殖期為 3 – 11 月，以 5 – 6 月為生殖高峰。

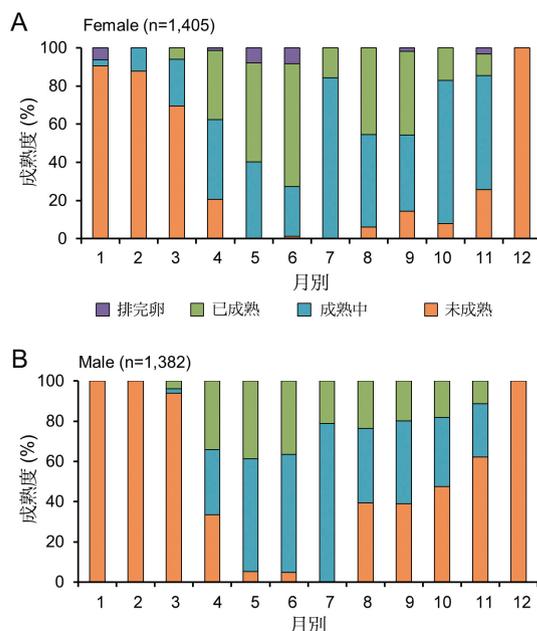


圖 4 2021 年 1 月至 2024 年 10 月臺灣周邊海域眼眶魚雌魚 (A) 及雄魚 (B) 成熟度月別變化趨勢圖

三、耳石微細結構與第 1 暗帶位置推判

耳石微細結構部分，平磨面者核心周圍先以同心圓分布，約 40 – 60 輪。接著朝耳石後端方向呈花瓣狀複核心輪沉積，該處有機質較多，再礦化結晶出現率高，不易判讀，隨後又以同心圓分布，輪距明顯變窄，並出現第 1 暗帶。由於眼眶魚耳石腹面曲度大，當平磨面研磨至核心、邊緣輪紋清晰時，其部分區域輪紋不顯著，在大齡魚年輪判讀上易造成誤判 (圖 5A)。以耳石橫切面觀察，與平磨面結構相似，核心周邊出現同心圓，隨後出現再礦化結晶，第 1 暗帶形成位置多位於背 (dorsal arm)、腹軸 (ventral arm) 再礦化結晶後方、溝槽 (sulcus) 底邊，於第 1 暗帶形成後，耳石沉積方向亦改變。第 1 暗帶形成前及第 1、2 暗帶間偽輪出現頻繁 (圖 5B)，故可藉由對照溝槽兩側及背、腹軸輪紋數是否一致，加以確認 (圖 5C)。對照年輪、日輪及相對應之體長，FL < 90 mm 日輪數均 < 280 輪，未出現第 1 暗帶，孵化月份約為 4 – 6 月。出現 1 暗帶之個體日輪數約為 304 – 470 輪，體長介於 93.09 – 161.74 mm (圖 6)，孵化月份約為 4 – 9 月，與推估之生殖期相符。

兩種製備模式相較，針對 0 – 1 齡魚平均日輪數判讀相差約 15 – 42 輪，而年輪判讀數則一致。其中，耳石橫切面的製備時程較平磨面短，年輪可判讀性易較高，故以橫切面進行後續年輪判讀及年齡估算。

四、年輪形成週期與年齡估算

於本研究總樣本中 (n = 4,030) 取 657 尾樣本進行輪紋判讀與年齡成長分析，雌、雄魚分別為 328 尾及 295 尾，無法辨識性別者為 34

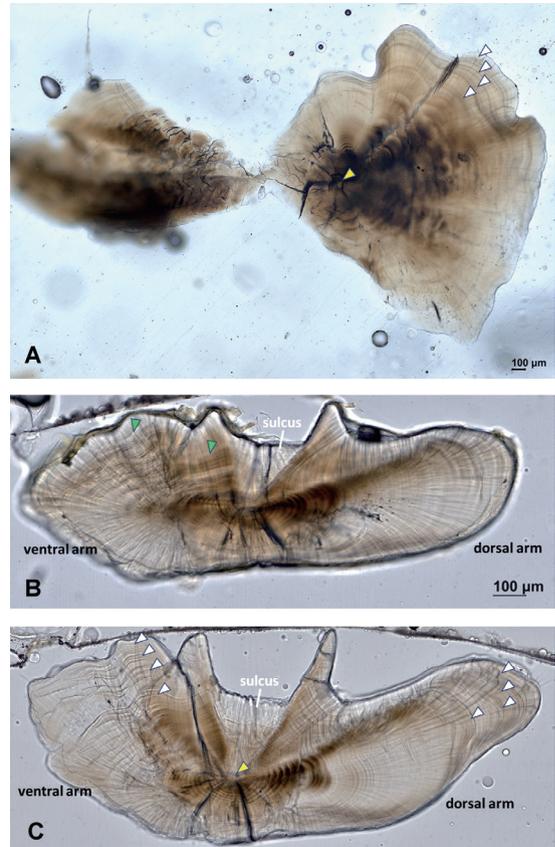


圖 5 眼眶魚耳石微細結構圖 (黃色箭頭為核心，白色箭頭為輪紋，綠色箭頭為偽輪)
 A：平磨面 (180.58 mm FL, 159.79 g, 4 暗帶, 4⁺ yr, 雄魚)；B：橫切面 (93.07 mm FL, 21.21 g, 0⁺ yr, 無法辨識性別)；C 橫切面 (179.04 mm FL, 151.95 g, 4 暗帶, 3⁺ yr, 雌魚)

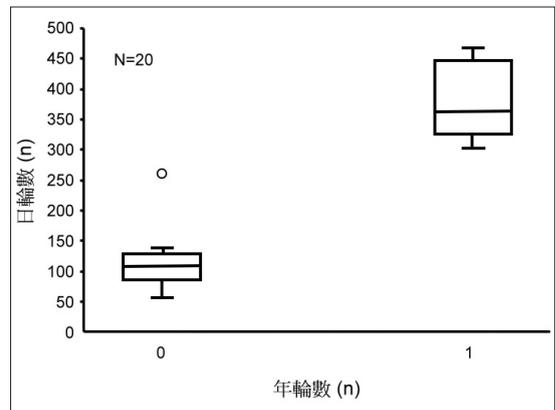


圖 6 眼眶魚耳石平均年輪數 (annual increments) 與日輪數 (daily increments) 分布圖

尾。根據耳石邊緣暗帶月別分布顯示，1—11月均有暗帶分布，以1—2月比例較低，分別為10.64%及2.67%。3月暗帶比例自19.69%大幅度增加至6月的63.83%，為最高值，於7月微幅下降至38.71%後，8月又增加至50%，9—11月間則介於20.29—36.59%。12月則未有暗帶分布。由此觀察，眼眶魚耳石暗帶形成期間為3—11月，以6月為暗帶形成高峰（圖7），與生殖期（3—11月）有關，形成週期為1輪/年。

整合耳石暗帶形成時間、生殖高峰期及捕獲月份，進行年齡估計校正（圖8）。假設生殖高峰期至暗帶結束時（11月）共計5個月，當耳石邊緣為暗帶，1—10月捕獲者，年齡以(a)式計算；當耳石邊緣為暗帶，11—12月捕獲者，年齡以(b)式計算。當耳石邊緣為明帶，1—10月捕獲者，年齡以(c)式計算；當耳石邊緣為明帶，11—12月捕獲者，年齡以(d)式計算；當捕獲個體未出現第1暗帶，7—12月捕獲者，年齡以(e)式計算；當捕獲個體未出現第1暗帶，1—6月捕獲者，年齡以(f)式計算，式中n為暗帶數，m為捕獲月份，公式如下：

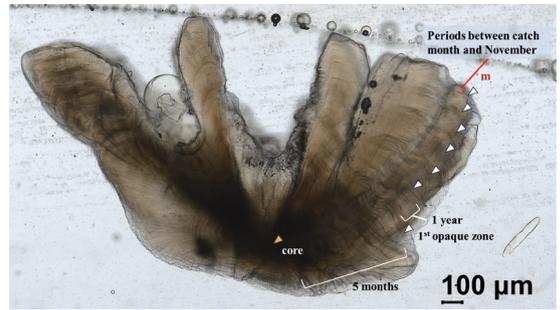


圖8 眼眶魚(227.68 mm FL、336.33 g、7暗帶、6⁺ yr、雌魚)耳石年齡估計示意圖

- (a) $Age = (5+12 \times (n-2)+(m+1))/12$
- (b) $Age = (5+12 \times (n-2)+(m-11))/12$
- (c) $Age = (5+12 \times (n-1)+(m+1))/12$
- (d) $Age = (5+12 \times (n-1)+(m-11))/12$
- (e) $Age = (m-6)/12$
- (f) $Age = (m+6)/12$

於657尾分析樣本中，重複判讀的輪紋數平均APE與平均CV分別為0.93%、0.01%。年齡經校正、計算後，重複估計之平均APE及平均CV分別為5.02%、0.01%。其中，估計最小年齡約0.25 yr，體長為48.99 mm；最大年齡為8.0 yr，體長為239.67 mm。

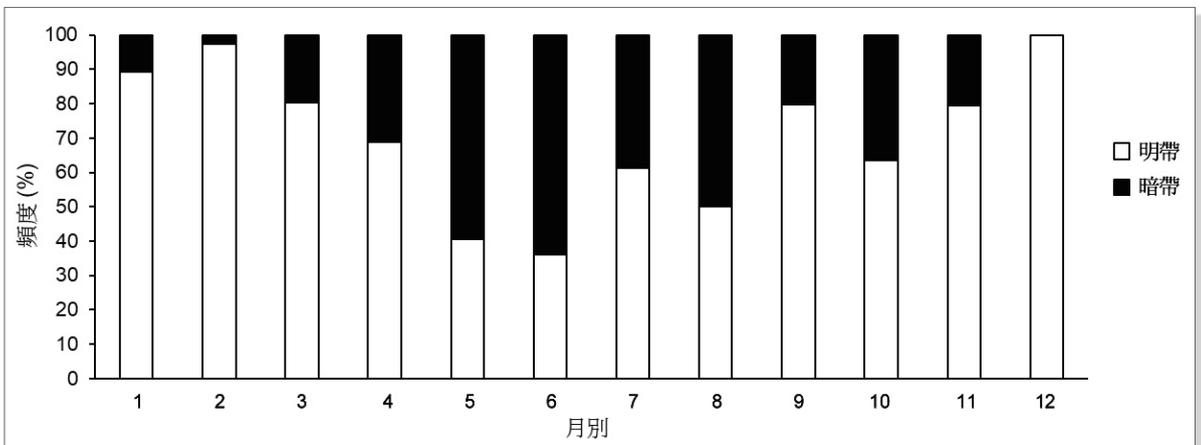


圖7 2021年1月至2024年10月眼眶魚耳石邊緣明暗帶月別相對頻度分布圖

五、年齡成長方程式估算

將年齡估計結果及相對應的樣本體長套適各成長模式中，計算各成長參數。其中， L_0 以成熟卵徑 (0.65 mm) 估算。經最大概似比檢定，雌、雄魚在 4 個成長方程式中均無顯著差異 ($p > 0.05$)，故將雌、雄魚及無法辨識性別之個體整併分析，各成長方程式所得成長參數如表 1。以 AIC 值比較各成長方程式套適程度，以 von Bertalanffy growth function 值最低 (5163.55)，為最適成長模式，成長方程式為：

$$L_t = 212.05 \times (1 - e^{-0.505(t-0.887)})$$

($n = 657$) (圖 9)

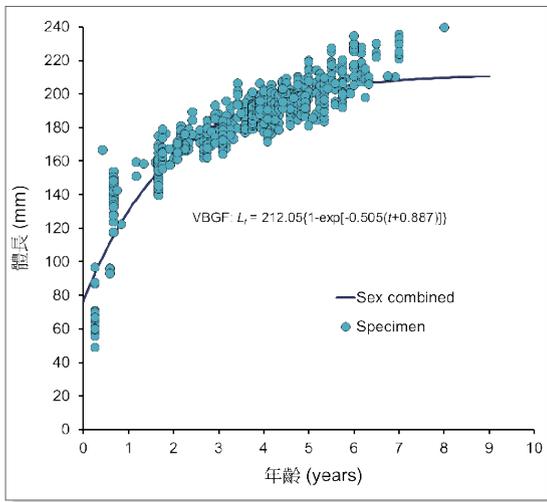


圖 9 眼眶魚 ($n=657$) 以 von Bertalanffy growth function 推估之成長曲線圖

六、年齡組成

根據年齡估計結果及相對應之體長 (FL, mm)，以 10 mm 為間距，建立年齡—體長對照表 (Age-Length Key) (表 2)。另將本研究總樣本 ($n = 4,030$) 之體長套適至成長方程式中進行年齡估算。其中，因該成長方程式估算之 L_0 為 76.56 mm， $FL < 76$ mm 小型魚年齡估計為負值，體長 $> L_\infty$ (212.05 mm) 年齡無法估計，故先予以省略 ($n = 384$)。其餘 3,574 尾樣本中， 0^+ yr 平均體長為 121.07 mm， 1^+ yr 為 144.19 mm， 2^+ yr 為 174.60 mm， 3^+ yr 為 188.31 mm， 4^+ yr 為 197.38 mm， 5^+ yr 為 203.15 mm， 6^+ yr 為 206.81 mm， 7^+ yr 為 208.72 mm， 8^+ yr 為 210.12 mm，捕獲樣本年齡以 3^+ yr 比例最高 (27.30%)，其次為 2^+ yr (24.40%)， 4^+ yr (14.72%) 位居第三 (表 3)。

然而，因眼眶魚生殖期及暗帶生成期間較長 (3—11 月)，針對 6—11 月孵化、翌年 1—3 月耳石邊緣為明帶、體長介於 140—170 mm 個體有年齡低估的情形，致出生體長 (L_0) 較最小採集個體 (48 mm FL) 大。爾後擬加強 1 齡魚的日輪判讀，推估耳石核心至第 1 暗帶的平均天數，調整年齡校正公式，以提高年齡及成長參數估算的準確度，作後續漁業資源評估與管理參考。

表 1 以 von Bertalanffy growth function、VBGF with size at birth、Robertson growth function 及 Gompertz growth function 估算眼眶魚之成長參數與赤池訊息量準則 (AIC) 值

Model	L_∞	K	t_0	C^*	AIC
VBGF	212.05	0.505	-0.887	-	5163.55
VBGF with L_0	195.04	1.306	-	-	5453.65
Robertson	208.24	0.723	-	0.236 (C_r)	5253.13
Gompertz	209.88	0.613	-	0.892 (C_g)	5213.48

* L_∞ 為理論極限體長； K 為成長係數； t_0 為體長為 0 的年齡； C_r 為 Robertson 參數； C_g 為 Gompertz 參數

表 2 2021 年 1 月至 2024 年 10 月以眼眶魚耳石年輪判讀結果估算之年齡—體長對照表 (Age-Length Key)

FL (mm)	0 ⁺	1 ⁺	2 ⁺	3 ⁺	4 ⁺	5 ⁺	6 ⁺	7 ⁺	8 ⁺	Total
< 40										0
50	1									1
60	4									4
70	15									15
80	2									2
90	2									2
100	5									5
110										0
120	2									2
130	4									4
140	9	1								10
150	15	10								25
160	4	30								34
170	1	16	22	4						43
180		4	38	38	9					89
190			8	46	36	7				97
200			1	38	100	21	1			161
210				4	44	41	7			96
220					1	22	17			40
230						3	11	4		18
240							4	3	1	8
250								1		1
Total	64	61	69	130	190	94	40	8	1	657

 表 3 以 von Bertalanffy growth function (VBGF) 推估 2021 年 1 月至 2024 年 10 月採集之眼眶魚 (n = 3,574) 年齡與最小體長 (FL_{min}, mm)、最大體長 (FL_{max}, mm)、平均體長 (Mean FL, mm)、各年級群樣本數 (N) 及相對百分比 (%N) 對照表

Age (yr)	FL _{min} (mm)	FL _{max} (mm)	Mean FL (mm)	N	%N
0 ⁺	76.92	130.26	121.06	279	7.81
1 ⁺	130.29	162.57	144.19	492	13.77
2 ⁺	162.74	182.25	174.60	872	24.40
3 ⁺	182.29	194.06	188.31	991	27.73
4 ⁺	194.08	201.18	197.38	526	14.72
5 ⁺	201.21	205.5	203.15	192	5.37
6 ⁺	205.52	208.05	206.81	114	3.19
7 ⁺	208.17	209.65	208.72	43	1.20
8 ⁺	209.67	210.59	210.12	30	0.84
9 ⁺	210.64	211.05	210.84	14	0.39
> 10 ⁺	211.28	211.95	211.56	21	0.59

結語

本研究以 657 尾眼眶魚耳石進行年齡判讀與成長參數估算，以 von Bertalanffy growth function (VBGF) 有最佳套適度，經檢定雌、雄魚成長曲線無顯著差異 ($p > 0.05$)，所得極

限體長 (L_{∞})、成長係數 (K) 及體長為 0 之年齡 (t_0) 分別為 212.05 mm FL、0.505 yr⁻¹、-0.887 yr。依據體長—年齡對照表，套入樣本體長，捕獲個體以 2⁺ — 4⁺ yr 為主要組成。本研究結果可作為眼眶魚後續漁業資源評估與管理參考。