

國立臺灣大學理學院海洋研究所



碩士論文

Institute of Oceanography

College of Science

National Taiwan University

Master Thesis

考慮年齡未確定性於兩階段成長模型：太平洋黑皮旗魚

(*Makaira nigricans*) 年齡與成長研究

**Accounting for age uncertainty in two-stanza growth
modelling: age and growth of the Pacific blue marlin**

(*Makaira nigricans*)

張緒邦

Xu-Bang Chang

指導教授：張以杰 博士

Advisor: Yi-Jay Chang, Ph.D.

中華民國 108 年 7 月

July, 2019

謝辭



本論文得以順利完成，承蒙恩師 張以杰博士在這三年研究時間悉心指導和諄諄教誨，在此獻上最誠摯的謝意。

承蒙國立臺灣大學海洋研究所海洋生物及漁業組教授 孫志陸博士、國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系教授 莊守正博士及國立臺灣大學海洋研究所海洋生物及漁業組教授 蕭仁傑博士對本論文逐字逐句詳加校閱，並惠賜寶貴意見與精闢見解，使論文更臻完善，在此致上最深感激之意。

在這三年研究期間，感謝在魚市場採樣時鼎力相助的鄭義山先生、許文聲先生、蔡富元先生、蔡文耀先生、眼鏡大哥、南方澳及新港區漁會工作人員、和海洋研究所總務室黃文英小姐、張信勇先生、許玉女小姐等人協助使本研究得以順利進行；感謝研究室民弦、許蓁、書妤在樣本採集、行政處理、論文指導與課業上的關心；感謝蕭仁傑老師及其實驗室人員在耳石方面給予技術指導；感謝坤佑、柏凱、偉哲、冠銘、志廷、孟廉、孟蓁、郁玟、庭綺、盈瑄協助審閱論文並給予意見；最後感謝父母提供良好成長環境並細心照料，讓我順利完成學業。

謹將完成這份論文的喜悅獻給所有曾幫助鼓勵我的人。

摘要



本研究於 2016 年 9 月至 2018 年 1 月在台灣三個魚市場採集 616 組背鰭切片 (115 - 275 公分 eye fork length, EFL) 合併 51 組耳石 (17 - 172 公分 EFL) 完成太平洋黑皮旗魚 (*Makaira nigricans*) 年齡判讀。耳石微輪紋計數日齡為 213 - 484 天，推測一歲平均體長為 145 公分 EFL，並以該結果驗證硬棘切片第一年輪形成位置。雌雄魚硬棘切片讀齡平均百分誤差分別為 10.77 和 9.23%，平均變異係數分別為 15.23 和 13.06%。雌魚硬棘切片估計年齡範圍為 1.5 歲至 11 歲，雄魚為 0.5 歲至 10.5 歲。硬棘邊緣成長率分析得知每年 8 - 9 月間形成一成長輪紋。整合本研究及過去發表之年齡體長資料，以兩種成長模型 (traditional von Bertalanffy growth model, VBGM; two-stanza growth model, TSGM) 及兩種估計方法 (標準非線性方法及考慮讀齡誤差方法) 在模型選取準則下進行模型評估比較。結果兩種估計方法均支持使用 TSGM。TSGM 有較小的 akaike's information criterion 或 deviance information criterion 數值，且 VBGM 傾向低估最大平均體長。本研究建議 TSGM 結合讀齡誤差估計方法適合作為太平洋黑皮旗魚成長模型，且較具彈性以考慮判齡不確定性。雌雄魚眼後眶尾叉長 (EFL; 公分) 與年齡 (t ; 年) 之讀齡誤差 TSGM 如下：

$$\begin{cases} EFL_t = 149.2 \times \exp(-5.67 \times \exp(-8.36 \times t)), t = 0 \sim 1 \\ EFL_t = 149.0 \times \exp\left((251.8/149.0) \frac{1 - \exp(-0.28 \times (t-1))}{1 - \exp(-0.28 \times (20-1))}\right), t = 1 \sim 20 \end{cases}$$
$$\begin{cases} EFL_t = 143.8 \times \exp(-5.86 \times \exp(-8.93 \times t)), t = 0 \sim 1 \\ EFL_t = 143.6 \times \exp\left((202.1/143.6) \frac{1 - \exp(-0.15 \times (t-1))}{1 - \exp(-0.15 \times (10.5-1))}\right), t = 1 \sim 10.5 \end{cases}$$

本研究建議區域漁業管理組織（Regional Fisheries Management Organization）未來在進行太平洋黑皮旗魚資源評估時應採用該成長曲線。



關鍵字: 太平洋黑皮旗魚、年齡成長、年齡驗證、讀齡誤差、兩階段成長模型

Abstract



Age determination of the Pacific blue marlin (*Makaira nigricans*) was performed by combining methods of otolith of 51 young (17 – 172 cm eye fork length, EFL cm) and sectioned dorsal fin spines of 616 individuals (115 – 275, EFL cm) collected from three fish markets of Taiwan from September 2016 to January 2018. Otolith micro-increments were counted with ages of 213 – 484 days old. The estimated mean length (145 cm) at year 1 and the growth rate were used to validate the position of the first annual growth band in sectioned fin spines. The average percent error is 10.77 and 9.23% and the coefficient of variation is 15.23 and 13.06% for male and female annulus counts of fin spines, respectively. The ages of the female and males specimens were estimated to be 1.5 – 11 years and 0.5 – 10.5 years, respectively. The marginal increment ratio suggested that the growth bands of blue marlin formed once a year (between August and September). By integrating the length-at-age data of the present study with the published data of juveniles and large individuals, two growth models (traditional von Bertalanffy growth model, VBGM; and two-stanza growth model, TSGM) by two estimation approaches (standard nonlinear approach and ageing-error approach) were evaluated based on the model selection criteria. The results support the use of the TSGM over the VBGM for both estimation approaches because the TSGM has a lower akaike's information criterion or deviance information criterion value and the VBGM tends to underestimate the maximum averaged length. This study suggests that the TSGM coupled with the ageing-error approach appeared suitable for modeling the growth of the Pacific blue marlin with greater flexibility for including ageing uncertainty. The female and male ageing-error TSGM were estimated as follows:

$$\begin{cases} EFL_t = 149.2 \times \exp(-5.67 \times \exp(-8.36 \times t)), t = 0 \sim 1 \\ EFL_t = 149.0 \times \exp\left((251.8/149.0) \frac{1 - \exp(-0.28 \times (t-1))}{1 - \exp(-0.28 \times (20-1))}\right), t = 1 \sim 20 \end{cases}$$



$$\begin{cases} EFL_t = 143.8 \times \exp(-5.86 \times \exp(-8.93 \times t)), t = 0 \sim 1 \\ EFL_t = 143.6 \times \exp\left((202.1/143.6) \frac{1 - \exp(-0.15 \times (t-1))}{1 - \exp(-0.15 \times (10.5-1))}\right), t = 1 \sim 10.5 \end{cases}$$

This study recommend that the developed growth curves to be considered in the future stock assessment by the Regional Fisheries Management Organization.

Keywords: Pacific blue marlin, age and growth, age validation, ageing error, Two-stanza growth model

目錄



謝辭.....	i
摘要.....	ii
Abstract.....	iv
目錄.....	vi
表目錄.....	x
圖目錄.....	xi
附錄目錄.....	xiv
壹、前言	1
一、太平洋黑皮旗魚分類及生態	1
二、太平洋黑皮旗魚系群定義	2
三、太平洋黑皮旗魚漁業及資源現況	2
四、前人研究概況	2
五、太平洋黑皮旗魚年齡與成長研究之挑戰	4
(一) 小魚及大魚樣本數不足	4
(二) 讀齡樣本的限制	4
(三) 讀齡誤差	5
(四) 成長速率改變	6
六、研究動機與目的	6
貳、材料與方法	8
一、預備實驗	8

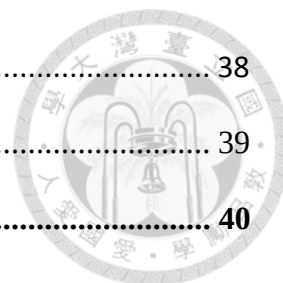


二、樣本採集	8
三、樣本處理	8
(一) 硬棘	8
(二) 耳石	9
四、輪紋判讀與測量	10
(一) 硬棘	10
(二) 耳石	12
五、邊緣成長率	13
六、利用耳石判讀日齡確定硬棘切片第一輪紋位置及年齡	14
七、硬棘切片年輪之年齡判定	14
八、小數位絕對年齡估算	15
九、逆算體長分析	15
十、成長模型分析	16
(一) 傳統 von Bertalanffy 成長模型	16
(二) Two—stanza 成長模型	17
十一、考慮讀齡誤差成長模型	18
(一) 傳統 von Bertalanffy 成長模型	19
(二) Two—stanza 成長模型	19
十二、成長模型比較及選擇	21
參、結果	23
一、樣本體長全重組成	23
二、體長全重之關係	23
三、輪紋之量測與判讀	23



(一) 耳石	23
(二) 硬棘	24
四、硬棘輪紋週期之驗證	25
五、逆算體長	25
六、成長模型之推估	25
(一) 傳統 von Bertalanffy 成長模型	25
(二) Two-stanza 成長模型	26
(三) 成長模型套適比較	28
七、考慮讀齡誤差成長參數之估計結果	28
(一) 模型診斷	28
(二) 成長模型估計結果	29
(三) 成長模型套適比較	30
肆、討論	31
一、硬棘切片製備	31
二、年齡判定之驗證	32
(一) 耳石	32
(二) 硬棘	32
三、硬棘切片年輪之年齡判定	33
四、成長	34
(一) 一歲平均體長	34
(二) Two-stanza 成長曲線	35
(三) 壽命及最大平均體長	36
(四) 逆算體長與觀測體長之成長模型比較	38

(五) 讀齡誤差成長模型	38
五、結論	39
伍、參考文獻	40
陸、表	51
柒、圖	63
捌、附錄	103



表目錄



表 1、1971 至 2014 年台灣漁獲太平洋黑皮旗魚之漁業別漁獲量資料.....	51
表 2、考慮讀齡誤差貝氏傳統 von Bertalanffy 成長模型及 Two—stanza 成長模型之 參數先驗機率分布設定值	52
表 3、黑皮旗魚雌魚年齡別各年輪之半徑與標準差	53
表 4、黑皮旗魚雄魚年齡別各年輪之半徑與標準差	54
表 5、黑皮旗魚雌雄別硬棘切片邊緣半徑 (R_{MG}) 與眼後眶尾叉長 (EFL , cm) 及全 重 (W) 關係表	55
表 6、黑皮旗魚雌雄別各年齡平均 (mean) 觀測體長及標準差 (SD)	56
表 7、黑皮旗魚雌雄別各年齡平均 (mean) 逆算體長及標準差 (SD)	57
表 8、黑皮旗魚雌雄別觀測體長—年齡資料之成長模型參數估計結果.....	58
表 9、黑皮旗魚雌雄別逆算體長—年齡資料之成長模型參數估計結果.....	59
表 10、成長模型 AIC (akaike's information criterion) 比較	60
表 11、黑皮旗魚雌雄別考慮讀齡誤差之成長模型參數估計結果	61
表 12、考慮讀齡誤差之成長模型 DIC (deviance information criterion) 比較	62

圖目錄



圖 1、1971 至 2014 年各國漁業別太平洋黑皮旗魚漁獲量變動	63
圖 2、1971 至 2014 年漁業別太平洋黑皮旗魚漁獲量變動	64
圖 3、1971 至 2014 年台灣漁獲太平洋黑皮旗魚之漁業別漁獲量變動	65
圖 4、三種高度洄游魚類成長速率在不同生命週期階段明顯改變之示意圖	66
圖 5、本研究採樣魚市場（Tungkang，東港； Shinkang，新港； Nanfungao，南方 澳）及台灣近海鮪延繩釣主要作業海域。	67
圖 6、黑皮旗魚體長量測方法	68
圖 7、黑皮旗魚第一背鰭的硬棘採樣位置；第四硬棘外觀；硬棘切片位置	69
圖 8、黑皮旗魚三對耳石於解剖顯微鏡下外觀	70
圖 9、黑皮旗魚矢狀石橫切面影像	71
圖 10、黑皮旗魚硬棘切片影像及測量方法	73
圖 11、黑皮旗魚硬棘切片輪紋判讀方法及輪紋判讀結果	74
圖 12、本研究雌魚硬棘切片示意圖	75
圖 13、本研究雄魚硬棘切片示意圖	76
圖 14、黑皮旗魚硬棘切片年輪（annual growth band）之年齡判定方法 1	77
圖 15、黑皮旗魚硬棘切片年輪（annual growth band）之年齡判定方法 2	78
圖 16、黑皮旗魚硬棘切片年輪（annual growth band）之年齡判定方法 3	79
圖 17、黑皮旗魚硬棘切片年輪之小數位絕對年齡估算方法	80
圖 18、各魚市場黑皮旗魚樣本體長頻度分布圖	81
圖 19、各魚市場黑皮旗魚樣本（ $n=616$ ）全重頻度分布圖	82

圖 20、魚市場合併黑皮旗魚樣本 ($n=616$) 體長及全重頻度分布圖.....	83
圖 21、黑皮旗魚雌魚及雄魚之全重 (round weight) 與眼後眶尾叉長 (EFL) 關係	84
圖 22、稚齡魚年齡與眼後眶尾叉長 (EFL) 關係及 Gompertz 成長曲線.....	85
圖 23、黑皮旗魚雌魚及雄魚硬棘切片兩次讀輪結果	86
圖 24、黑皮旗魚雌魚及雄魚硬棘切片年輪半徑 (radius of annual growth band, 單位 為 mm) 與標準差	87
圖 25、黑皮旗魚雌魚及雄魚硬棘切片樣本估計年齡頻度分布圖	88
圖 26、黑皮旗魚硬棘切片月別邊緣成長率 (marginal increment ratio)	89
圖 27、黑皮旗魚雌魚及雄魚觀測體長一年齡資料之傳統 von Bertalanffy 成長模型套 適結果, 及雌雄別成長曲線比較.....	90
圖 28、黑皮旗魚雌魚及雄魚逆算體長一年齡資料之傳統 von Bertalanffy 成長模型套 適結果, 及雌雄別成長曲線比較.....	91
圖 29、黑皮旗魚雌魚及雄魚觀測體長一年齡資料之 Two—stanza 成長模型套適結 果, 及雌雄別成長曲線比較.....	92
圖 30、黑皮旗魚雌魚及雄魚逆算體長一年齡資料之 Two—stanza 成長模型套適結 果, 及雌雄別成長曲線比較.....	93
圖 31、黑皮旗魚雌魚 von Bertalanffy 成長模型參數後驗分布樣本軌跡圖.....	94
圖 32、黑皮旗魚雄魚 von Bertalanffy 成長模型參數後驗分布樣本軌跡圖.....	95
圖 33、黑皮旗魚雌魚 Two—stanza 成長模型參數後驗分布樣本軌跡圖	96
圖 34、黑皮旗魚雄魚 Two—stanza 成長模型參數後驗分布樣本軌跡圖	97
圖 35、黑皮旗魚雌魚及雄魚之考慮讀齡誤差之傳統 von Bertalanffy 成長模型套適結 果, 及雌雄別成長曲線比較.....	98

圖 36、黑皮旗魚雌魚及雄魚之考慮讀齡誤差傳統 von Bertalanffy 成長模型參數後驗 分布	99
圖 37、黑皮旗魚雌魚及雄魚之考慮讀齡誤差之 Two—stanza 成長模型套適結果，及 雌雄別成長曲線比較	100
圖 38、黑皮旗魚雌魚及雄魚之考慮讀齡誤差 Two—stanza 成長模型參數後驗分布	101
圖 39、本研究與 Shimose et al. (2015) 邊緣成長率 (marginal increment ratio) 和 海表水溫 (sea surface temperature) 比較結果	102

附錄目錄



附錄 1、本研究 25 組太平洋黑皮旗魚耳石估計日齡，平均百分比誤差（average percent error, APE），及逆算孵化日期	103
--	-----

壹、前言



一、太平洋黑皮旗魚分類及生態

黑皮旗魚 (*Makaira nigricans*)，英文名為 blue marlin，中文俗名為黑皮仔、鐵皮、丁挽、油旗魚、鐵皮丁挽、烏皮 (臺灣魚類資料庫，2019)。聯合國糧食及農業組織 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) 魚種代碼為 BUM，分類上屬於條鰭魚綱 (Actinopterygii)，鱸形目 (Perciformes)，劍旗魚亞目 (Xiphioidae)，正旗魚科 (Istiophoridae)，槍魚屬 (*Makaira*)。魚體背面呈青黑色及深藍色紋路，腹側呈銀白色，各鰭呈棕黑色。體背細長型骨質鱗，容易剝落。胸鰭能向體後折彎，腹鰭較胸鰭短 (Nakamura, 1985)。

黑皮旗魚廣泛分布於太平洋熱帶及溫帶水域，分布範圍為北緯 45°到南緯 35° (Molony, 2008)，好棲息於水溫 26—30 °C、溶氧量 4.5—5.0 mg/L 之表層水域，洄游距離最遠可達 19,000 公里 (Carlisle et al., 2017)。此外，黑皮旗魚亦有日夜垂直遷移行為，白天棲息於水深較深處(約 25—100 公尺)，晚上棲息於水深較淺處(10 公尺以淺) (Carlisle et al., 2017)。餌料生物以正鰹 (*Katsuwonus pelamis*)、白腹鯖 (*Scomber japonicas*)、花腹鯖 (*S. australasicus*) 及帶鰭 (*Gempylus serpens*) 為主 (Shimose et al., 2012)。前人利用受精卵 (Hyde et al., 2005) 和觀察卵巢切片判定太平洋黑皮旗魚產卵場位於夏威夷周邊水域及西北太平洋海域，並認為太平洋黑皮旗魚產卵季節為每年 5 到 9 月 (Shimose et al., 2009; Sun et al., 2009)。此外，太平洋黑皮旗魚性成熟體長有雌雄別差異，雌魚性成熟體長約 171—180 公分 (eye fork length, EFL)，雄魚則約 130—140 公分 EFL (Sun et al., 2009)。



二、太平洋黑皮旗魚系群定義

本研究沿用 Collette et al. (2006) 所使用的學名 (*Makaira nigricans*)，且前人基因研究指出太平洋黑皮旗魚和大西洋黑皮旗魚為同一物種，但分別屬於不同族群 (Graves and McDowell, 1995; Buonaccorsi et al., 2001)。北太平洋鮪類及類鮪類國際科學委員會 (International Scientific Committee for Tuna and Tuna-like Species in the North Pacific Ocean, ISC) 目前以太平洋黑皮旗魚為單一系群來進行資源評估 (ISC, 2016)。

三、太平洋黑皮旗魚漁業及資源現況

根據最新太平洋黑皮旗魚資源評估報告 (ISC, 2016)，1971—2014 年各國總漁獲量如 **圖 1** 所示。1971 年至 1980 年代漁獲量呈現出增加趨勢，1986 年總漁獲量超過 25,000 公噸，隨後年平均漁獲量約在 20,000 公噸上下波動，2003 年漁獲量達歷史高峰 25,588 公噸，近來漁獲量持平且穩定在 20,000 公噸上下。整體而言，各國漁獲太平洋黑皮旗魚主要以鮪延繩釣漁業混獲為主 (**圖 2**)。

台灣漁獲太平洋黑皮旗魚歷史漁獲資料如 **表 1** 及 **圖 3** 所示，1971—1985 年的總漁獲量大約為 2,500 公噸上下，1990 年平均漁獲量上升至 4,000 公噸，2001 年漁獲量達歷史新高至 9,615 公噸，近十年的平均漁獲量大致維持 6,500 公噸。依據 ISC (2016) 最新的資源評估結果，目前太平洋黑皮旗魚的資源狀況良好，未有過漁 (overfishing) 及已過漁 (overfished) 的狀況發生。

四、前人研究概況



儘管太平洋黑皮旗魚年齡成長資訊為資源評估的重要生物學參數，然而目前對於黑皮旗魚年齡成長之瞭解仍相當有限。Skillman and Yong (1976) 利用體長頻度分析法 (ENORMSEP) 以傳統 von Bertalanffy 成長模型估計太平洋黑皮旗魚雌雄魚成長曲線，結果指出體長在 188 公分 EFL¹ 前，性別間成長速率大致相同，但隨後雄魚成長速率趨緩，估計最大平均體長 (asymptotic length, L_{∞}) 為 282 公分 EFL，反觀雌魚則是繼續快速成長，估計最大平均體長為 491 公分 EFL。Hill et al. (1989) 利用夏威夷海域太平洋黑皮旗魚的四種硬組織 (背鰭、臀鰭、耳石、及脊椎骨) 來進行年齡判讀，認為背鰭、臀鰭及耳石較適合作為年齡形質。該研究採集的最大雌魚樣本為 405 公分 EFL、全重為 748 公斤；最大雄魚樣本 234 公分 EFL、全重 170 公斤，以硬棘估計年齡分別為 27 歲和 18 歲。Prince et al. (1991) 以耳石估計大西洋黑皮旗魚幼齡魚日齡並利用兩段成長模型 (第一段為 Gompertz 成長模型，110 天以內；第二段為傳統 von Bertalanffy 成長模型，110—495 天) 描述幼齡魚成長狀況。結果顯示 110 天以前個體成長快速，之後成長速率減緩。Wilson et al. (1991) 利用耳石表面輪紋判讀太平洋黑皮旗魚年齡，雌雄魚樣本最大年齡為 21 及 17 歲，體長為 213 公分 EFL 及 207 公分 EFL。Chen (2001) 利用硬棘年輪資料套適 generalized von Bertalanffy 成長模型 (Ehrhardt et al., 1996) 以非線性迴歸法估計太平洋黑皮旗魚雌雄的成長參數，其中雌雄的最大平均體長分別為 422 與 333 公分 EFL，成長係數 (Brody growth coefficient, K) 皆為 0.01 year^{-1} 。Su et al. (2016) 利用體長頻度分析法 (MULTIFAN) 估計西太平洋黑皮旗魚雌雄魚的最大平均體長分別為 313 與 233 公分 EFL；成長係數為 0.11 及 0.13 year^{-1} 。此外，雌魚和雄魚一歲體長分別為 99 與 105 公分 EFL。

¹ 本研究以眼後眶尾叉長 (EFL, cm) 為體長標準，前人研究結果皆以 FL-EFL 關係式 (Hill et al., 1986) 和 LJFL-EFL 關係式 (Dai, 2002) 轉換成 EFL。其中雌魚關係式為 $FL = 1.353 * EFL - 4.836$ ； $LJFL = 1.071 * EFL + 11.767$ ；雄魚關係式為 $FL = 1.299 * EFL + 4.105$ ； $LJFL = 1.088 * EFL + 8.894$ 。



Shimose et al. (2015) 利用耳石日齡資料套適傳統 von Bertalanffy 成長模型分析太平洋黑皮旗魚一歲體長為 162 公分 EFL，之後利用耳石日齡資料校正硬棘第一輪紋形成位置及年齡，再以傳統 von Bertalanffy 成長模型估計雌雄別一歲體長分別為 170 與 157 公分 EFL，最大平均體長為 295 與 212 公分 EFL；成長係數為 0.23 與 0.29 year⁻¹。過去有關黑皮旗魚的壽命一直尚未有完整的研究，僅 Andrews et al. (2017) 利用夏威夷海域一尾體長 335 公分 EFL、全重 565 公斤的雌性大型成魚之耳石與珊瑚放射性碳同位素之時間序列濃度來交叉驗證其年齡，估計該個體年齡為 20 歲。

綜合上述研究結果得知，過去太平洋黑皮旗魚的成長參數結果及變異極大，且雌雄間成長存在明顯差異 (Sun et al., 2009)，且鑑於 ISC (2016) 太平洋黑皮旗魚資源評估報告指出該魚種成長參數之未確定性會影響其評估結果準確性的重要因素之一。因此，建立一套完整且準確的研究方法來瞭解年齡與成長，對於後續資源評估及漁業管理是相當重要的。

五、太平洋黑皮旗魚年齡與成長研究之挑戰

(一) 小魚及大魚樣本數不足

過去年齡成長研究皆屬於區域型的研究，且樣本（耳石或硬棘）資料來源經常是透過漁業活動所蒐集，不易蒐集到小魚及大魚樣本，導致在特定體型大小的樣本數不足，或僅限於某一個體長範圍。該樣本資訊會影響後續估計族群的年齡組成及成長曲線估計結果，進而錯估族群中魚體的成長狀況 (Andrews et al., 2017)。

(二) 讀齡樣本的限制



常用於定齡魚類的工具為耳石及硬棘等其他硬組織。硬棘取得方便，硬棘切片製備過程容易，並可以提供清楚輪紋資訊（Shimose et al., 2015），因此為最常見且廣泛應用於旗魚類年齡成長研究的年齡形質（Chiang et al., 2004；Kopf et al., 2011）。但硬棘樣本在進行旗魚類年齡判讀時存在著兩大問題：第一、脈管化現象（vascularization），該現象主要出現於中高齡魚硬棘切片，早期形成的輪紋會因為脈管化現象而消失難以判讀，導致年齡有低估問題（Drew et al., 2006）。第二則是偽年輪（false-annual growth band）及偽輪（false growth band）問題，導致年齡有高估問題（Chiang et al., 2004）。因此，Kopf et al.（2011）利用耳石日齡來輔助判讀紅肉旗魚（*Kajikia audax*）硬棘切片第一年輪出現位置，可改善偽年輪判讀問題。雖然耳石可提供較好的時間解析度，但是旗魚類耳石尺寸非常小，較其他魚類不易判讀年齡。此外，判讀耳石上的日齡也有所限制，當個體的年齡超過 1.4 歲，耳石上的日輪就會變的不清楚導致判讀不易（Prince et al., 1991；Shimose et al., 2015）。但是，結合兩種形質（耳石和硬棘）進行年齡判讀則可以改善僅使用硬棘切片判讀年齡所遇到的問題（Kopf et al., 2011）。

（三）讀齡誤差

大部分的年齡成長研究皆假設讀齡沒有誤差，該假設可能無法代表實際讀齡存在著誤差的情況（Richards et al., 1992）。魚類年齡成長研究常進行多次讀輪，並以年齡偏差圖（age-bias plots）來瞭解同一位讀者或不同讀者在多次讀齡下的相對偏差和精準度，然而這些年齡成長研究通常未在成長曲線估計時明確考慮讀齡誤差，前人研究指出忽略讀齡誤差會低估成長參數的未確定性，進而影響後續的資源評估模型與估計結果（Cope and Punt, 2007；Hatch and Jiao, 2016）。



(四) 成長速率改變

魚類在不同的生命週期階段成長速率會有所不同。如果僅用單一成長模型來描述魚體各階段的成長狀況可能有所不妥。近年來許多研究大型洄游性魚類年齡成長研究使用“兩階段”(Two-stanza)成長模型來分別描述在不同生命週期階段的成長狀況，並指出 Two-stanza 模型相較於傳統成長模型更能完整的描述魚體成長 (Morize et al., 2008; Dortel et al., 2013)。例如 Prince et al. (1991) 曾利用 Two-stanza 成長模型呈現黑皮旗魚幼齡魚成長速率的差異，Eveson et al. (2015) 利用標誌放流搭配耳石定齡資料建構印度洋海域的黃鰭鮪 (*Thunnus albacares*)、大目鮪 (*Thunnus obesus*) 及正鰹的 Two-stanza 成長模型，結果顯示，三種魚在不同的體型大小下成長速率有明顯改變 (見圖 4)；然而，大多數旗魚類年齡成長研究皆僅用傳統 von Bertalanffy 成長模型描述成長趨勢。

六、研究動機與目的

本研究期透過更完整的太平洋黑皮旗魚資料及研究方法改善目前對於其年齡與成長的瞭解，並提供更準確的資訊供後續資源評估使用。為解決上述太平洋黑皮旗魚年齡與成長研究之問題與挑戰，本研究目的為：

- (1) 整合台灣三個魚市場 (屏東縣東港、台東縣新港、宜蘭縣南方澳魚市場) 所採集太平洋黑皮旗魚年齡成長數據及太平洋其他海域成長數據，其中包含 Shimose et al. (2015) 稚魚耳石日齡資料及大型成魚硬棘年齡資料，Andrews et al. (2017) 大型雌性成魚壽命資訊，期建構較完整的黑皮旗魚族群年齡與成長數據；

- 
- (2) 參考 Kopf et al. (2011) 及 Shimose et al. (2015) 研究方法，利用黑皮旗魚背鰭硬棘切片輔以耳石日齡驗證硬棘第一年輪 (first annual growth band) 形成位置，期增加年齡估計結果的準確度；
- (3) 瞭解背鰭硬棘切片年輪週期性形成時間，並配合樣本漁獲時間，期更精確推估個體絕對年齡；
- (4) 以 Two-stanza 成長模型 (Prince et al., 1991) 考慮不同生命週期階段之成長速率改變，並透過考慮讀齡誤差成長模型，期更準確估計太平洋黑皮旗魚成長參數及成長曲線，以改進資源評估結果的未確定性。

貳、材料與方法



一、預備實驗

本研究從 2016 年 9-10 月於東港魚市場蒐集黑皮旗魚第一背鰭和第一臀鰭的硬棘。切片觀察後發現在比較成長輪紋清晰度及脈管化程度，背鰭較臀鰭適合作為年齡形質，且在第一背鰭各硬棘切片中發現最長硬棘之成長輪紋較清楚。故依照 Shimose et al. (2015) 方式採用第一背鰭最長的硬棘作為年齡判讀樣本，選定後自 2016 年 11 月以後僅採集第一背鰭（以下簡稱背鰭）。

二、樣本採集

本研究於 2016 年 9 月至 2018 年 1 月，按月於東港、新港以及南方澳魚市場採集黑皮旗魚背鰭硬棘樣本（圖 5），共採集 616 組背鰭硬棘樣本，包含 331 組雌魚樣本及 285 組雄魚樣本，其中 50 組同時採集黑皮旗魚魚頭樣本，以進行耳石判讀。採集樣本同時也量測紀錄魚體眼後眶尾叉長（eye fork length, EFL）（圖 6）、全重（round weight, W）、採集日期，並於現場依據生殖腺的外觀判斷性別，雌性生殖腺為橘黃色或黃白色，顏色較淺，厚實型，表面光滑；雄性生殖腺為橘黃色或黃白色，顏色較深，瘦長型，具十字花刀紋理。體長量測皆精準至 1 公分，全重量測皆精準至 1 公斤。

三、樣本處理

（一）硬棘



將黑皮旗魚背鰭之硬棘樣本（**圖 7a**）以夾鏈袋標示樣本代碼儲存並冷凍，硬棘樣本製備前，以魚刀移除外部的肌肉組織並以熱水滾煮使易於除去魚肉取出硬棘。接者以清水刷洗並去除硬棘外部多餘的魚肉與皮膜，將處理完的硬棘樣本風乾 24 小時後再進行切片，風乾後的硬棘樣本如**圖 7b**所示。切片位置（section area）在距離硬棘基部二分之一骨突寬處（condyle width, CW）（Ehrhardt et al., 1996; Sun et al., 2002; Chiang et al., 2004）（**圖 7c**），利用慢速切割機切出厚度約 0.5 mm 之硬棘切片（Kopf et al., 2010），接著將切片浸泡於 95%酒精中數秒，去除多餘的有機物，之後將切片風乾以塑膠樣本盒清楚標示樣本代碼並保存於陰涼處（Ehrhardt et al., 1996; Sun et al., 2002; Chiang et al., 2004）。利用雙目立體解剖顯微鏡（OLYMPUS SZ61）以 10 至 25 倍之放大倍率進行硬棘切片輪紋之觀察，並以彩色攝影機（OLYMPUS DP-22）進行影像擷取供後續進行輪紋判讀。

（二）耳石

旗魚類三對耳石中矢狀石（sagitta）的體積與扁平石（lapillus）及星狀石（asteriscus）相比為最大的（**圖 8**），且矢狀石在其胚胎時期就已經開始形成（Lin, 2003），前人指出利用矢狀石來進行旗魚類年齡查定最值得信賴（Radtke et al., 1982; Wilson and Dean, 1983; Prince et al., 1984），且旗魚類耳石經驗證後為一天形成一輪（Prince et al., 1991；Kopf et al., 2009），因此本研究採用矢狀石來進行太平洋黑皮旗魚日齡查定。

將半規管中取出的矢狀石以清水清洗數次，之後利用 95%酒精清洗數分鐘，再以清水洗淨以清除附著於耳石表面多餘的組織，利用 7：1 之環氧樹脂（EpoFix Resin, Struer, Denmark）和硬化劑（EpoFix Hardener）混合溶液填入模板 1/2 高，利

用抽風機及鑷子去除氣泡以免影響後續的耳石日齡判讀 (Spurr, 1969)。放入 40°C 的烘箱內靜置 1 天待膠體凝固。烘乾完後將耳石以凹槽 (sulcus) 朝下置入模板，注入環氧樹脂進行二次填充，移除氣泡並再次放至烘箱待樹脂硬化後將其從模板中取出 (Cheng, 2018)，利用熱融膠將其固定於玻片上以利研磨。以變速研磨機 (Metaserv 2000 grinder) 朝耳石橫切面方向研磨至核心出現。研磨過程中會依照輪紋清晰程度隨時更換不同粗細之砂紙，使輪紋清楚並成像於顯微鏡上，當耳石研磨至接近核心部位時，可以用 2400 及 4000 號細砂紙再進行研磨，使核心清楚呈現為止 (圖 9a)。接著利用拋光機，使用 0.05 μ m 的氧化鋁粉將其樣本表面拋光，再利用 0.01N 的 EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) 加上 5% HCl (hydrogen chloride) 水溶液滴於耳石上，加深輪紋明暗帶的清晰程度。耳石切片樣本經上述步驟處理完後便可置於光學顯微鏡 (Leica 020-518.500 DM/LS) 下，使用放大倍率 200 倍與 400 倍以 Image-Pro Plus 軟體 (Version 6.0, Media Cybernetics, Inc., Rockville, MD, USA) 來分段拍攝耳石輪紋影像，拍攝完後的影像以 ImageJ 軟體 (Schneider et al., 2012)，進行影像合成供後續進行輪紋判讀 (Hsu, 2010)。

四、輪紋判讀與測量

(一) 硬棘

硬棘切片在顯微鏡下以穿透光觀察會發現有透光帶 (translucent band) 及不透光帶 (opaque band) 交互出現的現象，分別代表魚體處於緩慢成長期及快速成長期 (Casselman, 1983)，以 Image-Pro Plus 6.0 影像分析軟體進行硬棘切片輪紋量測分析，其中成長輪紋 (growth band) 以一完整透光帶與不透光帶相間組成並清楚環繞於切片上記錄為一個成長輪紋 (以下簡稱輪紋)，如圖 10 所示。樣本量測內容包含：(a) 硬棘切片邊緣 (Edge) 半徑 R_{MG} (切片最外緣至核心之最大直線距離)



(spine radius)；及(b)輪紋半徑 r_i (切片輪紋 i 最外側至核心之最大直線距離)(radius of growth band)。

判讀輪紋前先將 20 組黑皮旗魚硬棘切片以核心(focus, 即所有輪紋所環繞之中心點)為基準分為左、右兩部分, 各別判讀輪紋, 進行輪紋的測量與計數, 以 Wilcoxon 符號等級檢定法(Wilcoxon signed ranks test)(Sokal and Rohlf, 1981)檢定硬棘切片的左右兩邊輪紋數是否有差異。結果顯示並無顯著差異($p > 0.05$), 日後輪紋選擇以較清楚的一邊進行輪紋判讀工作。

本研究假設大部分硬棘切片輪紋形成週期一致, 且在硬棘切片輪紋形成位置相似。在挑選 149 組輪紋清楚之硬棘切片樣本, 以核心為基準, 觀察到在特定位置皆有眾多樣本呈現清楚輪紋, 因此將該特定位置定義為年輪參考基準線(annuli reference line)(**圖 11** 藍色垂直虛線), 後續硬棘之年輪(annual growth band)判讀則皆以該年輪參考基準線為依據。

本研究觀察到黑皮旗魚硬棘切片樣本有偽輪(false growth band)(**圖 11c** 黑色交叉符號)及偽年輪(false-annual growth band)(**圖 11ac** 黑色三角形)。偽輪定義為外觀模糊、細且不連續(DeMartini et al., 2007)及無法形成完整的輪紋(Speare, 2003), 偽年輪定義為與年輪在同一年形成的季節性成長輪紋, 該輪紋雖完整清楚, 但為耳石日齡驗證後第一年輪位置以前所形成之成長輪紋(參見第二章: 六、利用耳石判讀日齡確定硬棘切片第一輪紋位置及年齡)或無法依據年輪參考基準線判定(參見第二章: 七、硬棘切片年輪之年齡判定)之成長輪紋。若經判定確認後的偽輪及偽年輪則忽略不計。

旗魚類的硬棘因脈管化現象造成硬棘切片核心處模糊不清楚，無法正確觀察與量測（Kopf et al., 2009），本研究針對有脈管化現象的硬棘切片，依據上述年輪參考基準線來補正初期輪紋數。綜合以上所述，不同體長之雌雄魚（雌魚：152—215 公分 EFL；雄魚：152—175 公分 EFL）硬棘切片年輪判讀結果範例如圖 12、13 所示。

所有硬棘切片樣本均進行同一讀者判讀兩次，判讀間隔為兩周以上，計算平均百分誤差（average percent error, APE）和變異係數（coefficient of variation, CV）來檢視輪紋判讀的精確性（Beamish and Fournier, 1981; Campana, 2001）。APE 與 CV 的計算式如下：

$$APE_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j} \times 100\% \quad (1)$$

$$CV_j = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{N-1}}}{X_j} \times 100\% \quad (2)$$

式中， APE_j 為第 j 樣本輪紋數的平均百分比誤差（APE）； CV_j 為第 j 樣本輪紋數的變異係數（CV）； N 為第 j 樣本輪紋判讀次數； X_{ij} 為第 j 樣本第 i 次計算輪紋數； X_j 為第 j 樣本多次讀輪的平均輪紋數。

（二）耳石

日週輪的判讀依據長軸上的明暗帶進行日齡（daily growth increment, DGI）判讀（Campana and Neilson, 1985），利用 ImageJ 1.51K 影像分析軟體進行輪紋連續標誌

計數工作。黑皮旗魚的耳石橫切面薄片標本呈現不對稱的”V”型，分為長軸（腹邊，ventral arm）與短軸（背邊，dorsal arm），讀輪方式是從耳石切片的核心沿著長軸讀至耳石邊緣（Tanaka et al., 1981; Megalofonou et al., 1995），其中包含耳石核心區域（core region）（圖 9b）、長軸中段輪紋清楚較易判讀（圖 9c）、及長軸尾端輪紋不易辨識（圖 9d）。

五、邊緣成長率

本研究利用邊緣成長率（marginal increment ratio, MIR）月別變化來檢視硬棘切片年輪形成週期及驗證年輪為一年形成一輪，MIR 計算公式如下：

$$MIR = \frac{R_{MG} - r_n}{r_n - r_{n-1}} \quad (3)$$

式中， R_{MG} 為硬棘切片邊緣半徑； r_n 為最外輪年輪半徑（radius of annual growth band）； r_{n-1} 為 r_n 前一輪年輪半徑。

本研究整理太平洋黑皮旗魚 2016 年 9 月至 2018 年 1 月，台灣漁獲黑皮旗魚海域（110—140 °E、0—30 °N）平均海表水溫，比較月別平均海表水溫與邊緣成長率之關係。水溫資料來自於 Asia-Pacific Data-Research Center（<http://apdrc.soest.hawaii.edu/las/v6/dataset>）。



六、利用耳石判讀日齡確定硬棘切片第一輪紋位置及年齡

進行旗魚類年齡與成長研究若僅利用單形質（硬棘）進行年齡分析，會因為偽年輪影響而無法清楚定義第一成長輪紋（first growth band）之實際年齡（Kopf et al., 2011；Shimose et al., 2015）。可藉由耳石日齡與體長之關係式，估計一歲（365 天）魚體長，進而確定硬棘切片第一年輪位置（Shimose et al., 2015），第一年輪以前之年輪則認定為偽年輪。

本研究合併所蒐集 25 組耳石與 Shimose et al. (2015) 太平洋黑皮旗魚 26 組耳石，共 51 組耳石日齡與體長資料（不分性別），利用 Gompertz 成長模型（Gompertz, 1825）（參見第二章：十、成長模型分析）進行稚魚耳石日齡與體長之成長曲線估計。前人研究指出太平洋黑皮旗魚產卵時間為五月至九月（Shimose et al., 2009; Sun et al., 2009），硬棘輪紋形成時間為九月至十月，因此本研究推估依據年輪參考基準線所確定的第一輪紋所對應的平均年齡約為 0.25 歲（即平均產卵時間 7 月與輪紋形成時間之間 10 月相距 3 個月），因此定義該第一輪紋為偽年輪（**圖 11ac** 黑色三角形），而依據年輪參考基準線所確定的第二輪紋所對應的平均年齡約為 1.25 歲，將該輪紋定義為第一年輪（**圖 11bcd** 白色三角形）

七、硬棘切片年輪之年齡判定

本研究分別比較硬棘切片年輪、硬棘切片邊緣與年輪參考基準線之相對位置來計數硬棘切片之年齡。

若硬棘切片邊緣以前有觀測到依序前一年輪或前兩年輪（硬棘切片示意圖中之白色實線），且該年輪半徑座落在年輪參考基準線所對應之輪紋半徑經驗誤差範

圍內（略小於，**圖 14**；或略大於，**圖 15**），則等比例微修年輪參考基準線位置（示意圖中之紅色垂直虛線），之後計數在硬棘切片邊緣以前之年輪參考基準線個數，以該年輪數作為其年齡估計值；若年輪半徑等於年輪參考基準線對應之半徑，則直接計數年輪參考基準線個數。

若硬棘切片邊緣以前未觀測到依序前一年輪或前兩年輪（即在硬棘切片邊緣以前有兩輪以上的年輪缺失），則直接計數在硬棘切片邊緣以前之年輪參考基準線個數（**圖 16**）。

八、小數位絕對年齡估算

考慮黑皮旗魚捕獲月份來估算硬棘切片年輪之小數位絕對年齡，參考 Shimose et al. (2015) 方法，若硬棘切片樣本捕獲月份為 10 月至隔年 3 月（單一航次約兩、三週，假設魚市場採集硬棘樣本月份為捕獲月份），則上述硬棘切片判讀年齡增加 0.5 歲；若捕獲月份為 4 月至 9 月，則上述硬棘切片判讀年齡增加 1 歲（**圖 17**）。在逆算體長資料部分（參見第二章：九、逆算體長分析），所有逆算年齡結果均增加 0.25 歲（平均產卵時間和年輪形成時間之間約為 3 個月）。

九、逆算體長分析

逆算體長方法（back-calculation method）常用來估算個體在各年齡時體長（Francis, 1990），本研究使用 Ehrhardt et al. (1996) 方法來進行逆算體長分析：

$$EFL_n = \left(r_n / R_{MG} \right)^b \times EFL \quad (4)$$

式， EFL_n 為在第 n 年輪對應之眼後眶尾叉長 (EFL, cm)； EFL 為樣本被捕獲時之眼後眶尾叉長 (EFL, cm)； r_n 為第 n 年輪半徑； R_{MG} 為硬棘切片邊緣半徑； b 為 EFL - R_{MG} 指數關係參數 ($EFL = a R_{MG}^b$)；其中 b 值部分，雌魚為 0.49，雄魚為 0.55。

十、成長模型分析

本研究在成長模型分析中納入前人研究及本研究年齡與體長資料，以含括完整太平洋黑皮旗魚體長及年齡範圍。在幼齡魚部分加入 Shimose et al. (2015) 資料 (不分性別)；在中高齡魚部分加入 Shimose et al. (2015) 雌魚資料 (分別為 13.5 歲，284 公分 EFL；19.5 歲，270 公分 EFL) 及 Andrews et al. (2017) 雌魚資料 (20 歲，335 公分 EFL)。本研究年齡與體長資料則以兩組不同資料形式來進行成長模型分析：(i) 觀測體長—年齡資料；及 (ii) 逆算體長—年齡資料。

前人研究指出黑皮旗魚 (Prince et al., 1991) 或鮪類 (Hearn and Polacheck, 2002; Eveson et al., 2015) 在稚魚及成魚成長趨勢不同，為了探討不同成長模型假設的最佳套適，本研究分別套用傳統 von Bertalanffy 成長模型 (von Bertalanffy, 1938) 及 Two-stanza 成長模型 (Prince et al., 1991)，並進行兩種模型比較。各成長模型表示如下：

(一) 傳統 von Bertalanffy 成長模型

$$L_t = L_{\infty} \times (1 - \exp(-K \times (t - t_0))) e^{\epsilon_1} \quad (5)$$



式中， L_t 為年齡為 t 歲之眼後眶尾叉長（EFL, cm）； L_∞ 為最大平均體長； K 為成長係數； t 為樣本判讀之年齡； t_0 為體長為零時的理論年齡，本研究假設為 0； ε_1 為常態分布誤差， $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ 。

（二）Two—stanza 成長模型

（1）第一階段（幼齡魚） Gompertz 成長模型：

$$L_t = \beta_1 \times \exp(-\beta_2 \times \exp(-\beta_3 \times t)) e^{\varepsilon_2} \quad (6)$$

式中， β_1 、 β_2 及 β_3 為模型參數； t 為實際年齡； ε 為常態分布誤差， $\varepsilon_2 \sim N(0, \sigma^2)$ 。

（2）第二階段（中高齡魚成長模型） Schnute 成長模型（Schnute and Fournier, 1980）：

$$L_t = L_1 \times \exp\left((L_2 / L_1) \frac{1 - \exp(-a \times (t - t_1))}{1 - \exp(-a \times (t_2 - t_1))}\right) \times e^{\varepsilon_2} \quad (7)$$

式 中， L_t 為年齡為 t 歲之眼後眶尾叉長（EFL, cm）； a 為模型參數； t_1 及 t_2 為該成長模型之最小及最大年齡（year）； L_1 及 L_2 為年齡為 t_1 及 t_2 歲之眼後眶尾叉長（EFL, cm）。Two-stanza 成長模型的分界點利用雌雄別觀測資料來進行判斷，1 歲之後成長趨勢明顯改變，且雌雄魚顯示不同的成長趨勢，故本研究設定 $t_1=1$ 歲為分界點， t_2 雄魚為 10.5 歲，雌魚為 20 歲。

使用 R 統計語言（R Core Team, 2018）以進行最大概似估計分析，以分別求得各成長模型之參數，模型負號對數概似值函數（negative log likelihood, NLL）如下：

$$NLL = \sum_i \ln(L_i) + n \ln(\sigma) + \frac{1}{2\sigma^2} \sum_i \left(\ln(L_i) - \ln(\hat{L}_i) \right)^2 \quad (8)$$

式 中， L_i 為第 i 尾個體眼後眶尾叉長（EFL, cm）； $\hat{L}_i$ 為第 i 尾個體預測眼後眶尾叉長（EFL, cm）； n 為總個體數； σ^2 為誤差變異數。

十一、考慮讀齡誤差成長模型

逆算資料在判讀硬棘切片樣本過程，由於輪紋清晰度差異導致無法都有兩筆年輪年齡及對應體長資料，因此考慮讀齡誤差成長模型估計結果只採用觀測資料作為後續資料分析。



將上述傳統 von Bertalanffy 成長模型和 Two—stanza 成長模型考慮讀齡誤差，模型如下：

（一）傳統 von Bertalanffy 成長模型

$$\begin{cases} L_t = L_\infty \times (1 - \exp(-K \times (t - t_0))) e^{\varepsilon_L} \\ t' = t \times e^{\varepsilon_A} \end{cases} \quad (9)$$

式中， L_t 為年齡為 t 歲之眼後眶尾叉長（EFL, cm）； L_∞ 為最大平均體長； K 為成長係數； t' 為觀測年齡（每個硬棘樣本共有兩次觀測年齡，其餘資料僅一次觀測年齡）； t 為實際年齡，假設耳石讀齡誤差誤差小，因此讀齡誤差忽略不計（即觀測年齡等於實際年齡）； t_0 為體長為零時的理論年齡，本研究假設為 0；體長誤差項為常態分布，平均值為 0 與變異數為 σ_L^2 ；讀齡誤差項 ε_A 為常態分布，平均值為 0 與變異數為 σ_A^2 ，模型參數先驗分布設定值如表 2a 所示。

（二）Two—stanza 成長模型

（1）第一階段（幼齡魚）Gompertz 成長模型：

$$L_t = \beta_1 \times \exp(-\beta_2 \times \exp(-\beta_3 \times t)) \quad (10)$$



式中， β_1 、 β_2 及 β_3 為模型參數； t 為實際年齡。假設第一階段讀齡誤差較第二階段誤差小，因此讀齡誤差忽略不計（即觀測年齡等於實際年齡）。

(2) 第二階段（中高齡魚成長模型）Schnute 成長模型（Schnute and Fournier, 1980）：

$$\begin{cases} L_t = L_1 \times \exp\left(\left(L_2 / L_1\right) \frac{1 - \exp(-a \times (t - t_1))}{1 - \exp(-a \times (t_2 - t_1))}\right) \times e^{\varepsilon_L} \\ t' = t \times e^{\varepsilon_A} \end{cases} \quad (11)$$

式中， L_t 為年齡為 t 歲之眼後眶尾叉長（EFL, cm）； a 為模型參數； t_1 及 t_2 為該成長模型之最小及最大年齡（year）； L_1 及 L_2 為年齡為 t_1 及 t_2 歲之眼後眶尾叉長（EFL, cm），依據先前設定以 1 歲為分界點； t' 為觀測年齡（每個硬棘樣本共有兩次觀測年齡，其餘資料僅一次觀測年齡）； t 為實際年齡；體長誤差項 ε_L 為常態分布，平均值為 0 與變異數為 σ_L^2 ；讀齡誤差項 ε_A 為常態分布，平均值為 0 與變異數為 σ_A^2 。

以貝氏統計方法進行參數聯合後驗分布（joint posterior probability distribution）估計，模型完全條件分布（full conditional distribution）如下：

$$\begin{aligned} p(\beta_1, \beta_2, \beta_3, a, \sigma_L^2, \sigma_A^2, t | L) &\propto \\ \ell(L | \beta_1, \beta_2, \beta_3, a, \sigma_L^2, t) &\times \ell(t' | t, \sigma_A^2) \times \pi(\sigma_A^2) \pi(\sigma_L^2) \pi(a) \pi(\beta_3) \pi(\beta_2) \pi(\beta_1) \end{aligned} \quad (12)$$



式中， $p(\cdot)$ 為後驗機率； $\ell(\cdot)$ 為概率函數； $\pi(\cdot)$ 為先驗機率。假設潛在變數（latent variable）實際年齡為均勻分布，每個體之下限和上限為 0 及 50 歲已包括所有可能範圍，模型參數先驗分布設定值如表 2b 所示。

以 WinBUGS 1.4.3 版本（Spiegelhalter et al., 2002）來進行貝氏分析，其利用馬可夫鏈蒙地卡羅法（Markov Chain Monte Carlo, MCMC）模擬方法進行後驗分布（posterior distribution）估計，本研究共模擬三條馬可夫鏈，每條鏈使用 100,000 次迭代，每條鏈前 5 萬次迭代結果為丟棄，紀錄間隔為每 5 次迭代（以減少迭代樣本之間的自相關，並改善計算效率），總共執行 30,000 次迭代來估計後驗分布。並藉由繪製每個參數的 MCMC 軌跡圖（trace plot）初步診斷模型是否收斂，再利用 Gelman and Rubin（1992）和 Heidelberger and Welch（1983）統計分析進行模型診斷，以上的模型診斷皆以 R 統計語言完成（R Core Team, 2018）。

十二、成長模型比較及選擇

為探討前述不同成長模型中以何者最能適切描述太平洋黑皮旗魚成長情形，在未考慮讀齡誤差模型方面（即使用最大概似估計法），利用 AIC 值（akaike's information criterion; Akaike, 1973）來進行比較，AIC 數值越小代表越適切。AIC 計算公式表示如下：

$$AIC = 2k - 2\ln \ell \quad (13)$$

式中， k 為參數數目； $\ln \ell$ 為對數概似函數值。

在考慮讀齡誤差模型方面（即使用貝氏統計估計法），利用 DIC 值（deviance information criterion；Spiegelhalter et al., 2002）來進行比較，DIC 數值越小代表越適切。DIC 計算公式表示如下：

$$DIC = \bar{D} + p_D \quad (14)$$

式中， $\bar{D}$ 為平均後驗離差量數； p_D 為有效模型參數的數量。

叁、結果



一、樣本體長全重組成

本研究自 2016 年 9 月至 2018 年 1 月於東港、新港與南方澳魚市場共計量測及採集 616 尾黑皮旗魚，包含 331 尾雌魚及 285 尾雄魚，其中東港雌魚 186 尾，雄魚 165 尾；新港雌魚 104 尾，雄魚 96 尾；南方澳雌魚 41 尾，雄魚 24 尾，各魚市場雌雄別採集樣本體長分布如圖 18 所示，全重分布如圖 19 所示，其中雌魚部分三個魚市場採集結果相似，雄魚則在東港採集較多體型大和小的樣本。魚市場合併樣本雌魚體長範圍為 142 至 275 公分 EFL，樣本集中於 180 至 220 公分 EFL，雄魚體長範圍為 115 至 245 公分 EFL，集中於 150 至 170 公分 EFL (圖 20a)；雌魚全重範圍為 35 至 278 公斤，樣本集中於 90 至 110 公斤；雄魚全重範圍為 16 至 255 公斤，集中於 40 至 70 公斤 (圖 20b)。

二、體長全重之關係

魚市場合併樣本雌魚全重 (W) 與眼後眶尾叉長 (EFL) 關係式為 $W = 3 \times 10^{-5} \times EFL^{2.8334}$ (圖 21a)；雄魚為 $W = 1 \times 10^{-5} \times EFL^{3.0092}$ (圖 21b)，圖中從趨勢線可以發現雌雄趨勢相似，從資料點可以發現雌魚體型比雄魚大。

三、輪紋之量測與判讀

(一) 耳石

本研究總共採集 50 組黑皮旗魚之魚頭樣本，扣除採取耳石時遺失或破碎、耳石研磨超過核心，共有 25 組耳石樣本完成讀輪工作。所觀測到的年齡範圍最小為 0.58 歲（213 天），最大為 1.32 歲（484 天），樣本體長範圍為 115 至 172 公分 EFL。

合併本研究 25 組耳石與 Shimose et al. (2015) 26 組耳石日齡（DGI）與眼後眶尾叉長（EFL）資料（共 51 組），Gompertz 成長模型為：

$EFL = 145.05 \times \exp(-5.77 \times \exp(-8.70 \times DGI))$ （圖 22），估計一歲體長為 144.91 公分 EFL。

（二）硬棘

本研究共觀測 616 組黑皮旗魚之硬棘切片，其中雌性 331 組，雄性 285 組，扣除輪紋模糊、不規則及脈管化嚴重之樣本，共 504 組硬棘切片成功判讀，其中雌魚有 277 組，判讀率為 83%，平均 APE 為 10.77%，平均 CV 為 15.23%；雄魚有 227 組，判讀率為 80%，平均 APE 為 9.23%，平均 CV 為 13.06%。成功判讀的雌性體長介於 143 至 269 公分，而雄性體長介於 130 至 208 公分。多次讀輪結果如圖 23 所示，大部分觀測值皆落在斜對角線上，顯示兩次觀測的資料結果均相當接近，故取第一次判讀結果作為後續資料分析。

選擇成功判讀的樣本中，分別量測並計算雌雄別各年輪半徑與標準差，如圖 24 及表 3—4 所示，結果顯示同齡雌魚的年輪半徑較雄魚大。硬棘切片邊緣半徑分別與體長及全重關係如表 5 所示， r^2 數值顯示無論指數關係或直線關係，皆以魚體全重套適硬棘切片邊緣半徑較體長之套適來得好。

經小數位絕對年齡估算後，本研究所採集的黑皮旗魚的年齡分布如圖 25 所示，結果指出雌魚主要分布 2.5—4 歲；雄魚主要分布 1.5—3.5 歲。雌魚最大估計年齡為 11.0 歲；雄魚最大估計年齡為 10.5 歲。雌雄別各年齡觀測體長統計表如表 6 所示，從表中可以發現同齡雌魚的平均體長較雄魚大，此外 1.5 歲雌魚的觀測體長變異相當大（SD = 36.4）。

四、硬棘輪紋週期之驗證

黑皮旗魚硬棘切片邊緣成長率之月別變動趨勢如圖 26 所示，月別變化率變化以 4—6 月、10 月及 12 月有較高值，7—8 月為最低值，9 月又再上升。因此推論黑皮旗魚硬棘之輪紋形成期於每年 8 月至 9 月，且一年形成一輪。此外，月別變化率在 11 月、2—4 月的時候也有下降趨勢，本研究推測可能為硬棘切片偽輪及偽年輪形成時間。

五、逆算體長

雌雄別體長（*EFL*）與硬棘切片邊緣半徑（ R_{MG} ）分別為 $EFL = 70.08 \times R_{MG}^{0.49}$ （ $r^2 = 0.62$ ， $n = 321$ ）及 $EFL = 58.61 \times R_{MG}^{0.55}$ （ $r^2 = 0.70$ ， $n = 273$ ），使用 Ehrhardt et al.（1996）方法所得雌雄別各年齡逆算體長統計表如表 7 所示，從表中可以發現同齡雌魚的平均體長較雄魚大。此外，雌雄魚之逆算體長變異在各年齡間相當一致。

六、成長模型之推估

（一）傳統 von Bertalanffy 成長模型



(1) 觀測體長—年齡資料

利用傳統 von Bertalanffy 成長模型進行觀測體長—年齡資料 (表 6) 套適，並假設體長為 0 時所對應的年齡為 0 ($t_0 = 0$)，所得雌雄別成長模型結果如下 (圖 27)：

$$\text{雌性： } EEL_t = 203.08 \times (1 - \exp(-1.43 \times (t+0))) \quad (n=331)$$

$$\text{雄性： } EFL_t = 165.60 \times (1 - \exp(-2.05 \times (t+0))) \quad (n=247)$$

(2) 逆算體長—年齡資料

套適逆算體長—年齡的資料 (表 7)，所得雌雄別成長模型如下 (圖 28)：

$$\text{雌性： } EFL_t = 200.03 \times (1 - \exp(-1.32 \times (t+0))) \quad (n=560)$$

$$\text{雄性： } EFL_t = 161.99 \times (1 - \exp(-2.02 \times (t+0))) \quad (n=363)$$

(二) Two—stanza 成長模型

(1) 觀測體長—年齡資料

利用 Two—stanza 成長模型進行觀測體長—年齡資料套適，所得雌魚結果如下 (圖 29a)：

$$\begin{cases} EFL_t = 150.01 \times \exp(-5.61 \times \exp(-8.21 \times t)), & t = 0 \sim 1 \\ EFL_t = 149.78 \times \exp\left((249.09/149.78) \frac{1 - \exp(-0.29 \times (t-1))}{1 - \exp(-0.29 \times (20-1))}\right), & t = 1 \sim 20 \end{cases}$$



($n=331$)

雄魚結果如下 (圖 29b) :

$$\begin{cases} EFL_t = 143.85 \times \exp(-5.82 \times \exp(-8.83 \times t)), t = 0 \sim 1 \\ EFL_t = 143.73 \times \exp\left((208.36/143.73) \frac{1 - \exp(-0.09 \times (t-1))}{1 - \exp(-0.09 \times (10.5-1))}\right), t = 1 \sim 10.5 \end{cases}$$

($n=247$)

(2) 逆算體長-年齡資料

套適逆算體長一年齡的資料，所得雌魚結果如下 (圖 30a) :

$$\begin{cases} EFL_t = 149.65 \times \exp(-5.62 \times \exp(-8.24 \times t)), t = 0 \sim 1 \\ EFL_t = 149.43 \times \exp\left((248.31/149.43) \frac{1 - \exp(-0.34 \times (t-1))}{1 - \exp(-0.34 \times (20-1))}\right), t = 1 \sim 20 \end{cases}$$

($n=560$)

雄魚結果如下 (圖 30b) :

$$\begin{cases} EFL_t = 142.36 \times \exp(-6.06 \times \exp(-9.31 \times t)), t = 0 \sim 1 \\ EFL_t = 142.28 \times \exp\left((200.92/142.28) \frac{1 - \exp(-0.17 \times (t-1))}{1 - \exp(-0.17 \times (10.25-1))}\right), t = 1 \sim 10.25 \end{cases}$$

($n=363$)



兩組不同資料（觀測體長一年齡資料及逆算體長一年齡資料）於兩種成長模型（傳統 von Bertalanffy 及 Two—stanza 成長模型）的參數整理於表 8—9。

（三）成長模型套適比較

結果顯示使用傳統 von Bertalanffy 成長模型進行套適時，容易因為資料集中在 3 歲以前的樣本而使高齡魚的分析結果低估。利用逆算體長一年齡資料時，發現資料更集中在幼齡魚，導致套適結果較觀測體長一年齡資料差。使用 Two—stanza 成長模型進行資料套適，發現在幼齡魚利用 Gompertz 成長模型能清楚描述生長速度快的特性，中高齡魚部分利用 Schnute 成長模型也能描述成長速率逐漸減緩趨勢，資料套適結果比單一成長模型好。無論是觀測體長一年齡或逆算體長一年齡資料，雌雄別 Two—stanza 成長模型 AIC 數值皆較傳統 von Bertalanffy 成長模型小，結果顯示 Two—stanza 成長模型較佳（表 10）。由於觀測資料和逆算資料的資料數不同，無法利用 AIC 比較。

七、考慮讀齡誤差成長參數之估計結果

（一）模型診斷

檢視雌雄別傳統 von Bertalanffy 成長模型（圖 31—32）及 Two—stanza 成長模型（圖 33—34）各參數的馬可夫鏈軌跡圖，結果顯示馬可夫鏈皆混合良好且均勻，且所有參數之 Gelman and Rubin 統計方差（variance）均等於 1，Heidelberger and Welch（1983）假設檢定結果所有參數皆符合穩定（stationary）假設。整體而言，上述診斷結果指出，本研究所進行馬可夫鏈模擬對於所有參數之後驗分布（posterior distribution）進行了充分採樣且模型結果為收斂。



(二) 成長模型估計結果

(1) 傳統 von Bertalanffy 成長模型

利用傳統 von Bertalanffy 成長模型並考慮讀齡誤差，並假設體長為 0 時所對應的年齡為 0 ($t_0 = 0$) 所估算出來雌雄別成長曲線如圖 35，而雌雄別各參數的後驗分布結果如圖 36 所示，結果如下：

$$\text{雌性： } EEL_t = 202.8 \times (1 - \exp(-1.44 \times t)) \quad (n=608)$$

$$\text{雄性： } EEL_t = 165.8 \times (1 - \exp(-2.06 \times t)) \quad (n=443)$$

(2) Two-stanza 成長模型

利用 Two-stanza 成長模型並考慮讀齡誤差，所估算雌雄別成長曲線如圖 37 所示，而雌雄各參數的後驗分布結果如圖 38 所示。

雌魚結果如下：

$$\begin{cases} EFL_t = 149.2 \times \exp(-5.67 \times \exp(-8.36 \times t)), & t = 0 \sim 1 \\ EFL_t = 149.0 \times \exp\left((251.8/149.0) \frac{1 - \exp(-0.28 \times (t-1))}{1 - \exp(-0.28 \times (20-1))}\right), & t = 1 \sim 20 \end{cases}$$

$$(n=608)$$

雄魚結果如下：



$$\begin{cases} EFL_t = 143.8 \times \exp(-5.86 \times \exp(-8.93 \times t)), & t = 0 \sim 1 \\ EFL_t = 143.6 \times \exp\left((202.1/143.6) \frac{1 - \exp(-0.15 \times (t-1))}{1 - \exp(-0.15 \times (10.5-1))}\right), & t = 1 \sim 10.5 \end{cases}$$

($n=443$)

兩組不同資料（觀測體長一年齡資料及逆算體長一年齡資料）於兩種考慮讀齡誤差成長模型（傳統 von Bertalanffy 及 Two—stanza 成長模型）的參數整理於表 11。

（三）成長模型套適比較

結果顯示使用考慮讀齡誤差傳統 von Bertalanffy 成長模型進行套適時，亦因為資料集中在 3 歲以前樣本而使高齡魚分析結果有低估問題。使用考慮讀齡誤差 Two—stanza 成長模型進行資料套適，發現利用 Gompertz 成長模型和 Schnute 成長模型能清楚描述太平洋黑皮旗魚生長速度不同的特性，資料套適結果也比單一成長模型好。雌雄別 DIC 值結果皆以 Two—stanza 成長模型之配適度較傳統 von Bertalanffy 成長模型佳（表 12），本研究認為考慮讀齡誤差在方法學的估計方法是有改善的，但與未考慮讀齡誤差成長模型估計結果非常相近。

肆、討論



一、硬棘切片製備

在進行硬棘切片製備時採用同樣的標準方法對於年齡的判讀是相當重要的。不一致的切片位置可能會影響後續的驗證分析（例如：邊緣成長率分析）（Hoolihan, 2006）。此外，使用不同切片位置也會因為切片的輪紋外觀不同而導致判讀結果誤差。為了標準化切片位置，許多旗魚類年齡成長研究採用以骨突寬處的相對距離來決定切片位置（Ehrhardt, 1992; Chiang et al., 2004）、或硬棘長度的相對距離（Hill et al., 1989; Speare, 2003）、或外部參考點（DeMartini et al., 2007）、或沒有任何標準方法（Davie and Hall, 1990; Hoolihan, 2006）。Kopf et al. (2010) 建議南太平洋紅肉旗魚第一背鰭第四硬棘之距離硬棘基部 0.25 ~ 1 倍的區間為最適合用來估計年齡的切片位置，切片位置大於上述之距離有年輪低估的現象。本研究硬棘切片位置為依照 Ehrhardt et al. (1996)、Sun et al. (2002) 及 Chiang et al. (2004) 方法，以距離硬棘基部 0.5 倍骨突寬處為切片位置；然而，有關黑皮旗魚年齡估計之最適切片位置並不清楚，本研究建議未來研究可對此進行更深入的探討，以改進年齡判讀誤差。

旗魚類硬棘切片厚度亦無統一標準，前人研究方法所採用的硬棘切片厚度從 0.3 ~ 1.0 mm 均有（Sun et al., 2002; Speare, 2003; Kopf et al., 2010）。Kopf et al. (2010) 建議南太平洋紅肉旗魚最適切片厚度為 0.3 ~ 0.6 mm（即本研究採用方法），並認為切片過薄容易捲曲，較薄硬棘切片優點為輪紋較清晰，但缺點為易有偽年輪及偽輪出現。此外，為增加硬棘切片輪紋清楚程度，Prince et al. (1984)、Chen (2001)、及本研究採用將硬棘切片置入酒精裡浸泡數分鐘，Ehrhardt et al. (1996) 則在硬棘切片上滴上少量界面活性劑。本研究認為以上方法皆可以去除硬棘切片上



有機物及油質，以增加硬棘切片輪紋清楚程度，進而減少因為硬棘切片製備過程而造成後續輪紋判讀誤差。

二、年齡判定之驗證

（一）耳石

耳石的微輪紋過去被用來驗證鮪旗魚類耳石或硬棘的第一年生長標誌位置（first annual growth mark）（Farley et al., 2006; DeMartini et al., 2007; Chen et al., 2012）。Prince et al. (1991) 及 Kopf et al. (2011) 分別比較大西洋黑皮旗魚與南太平洋紅肉旗魚耳石微輪紋之逆算孵化日期與已知產卵季節，結果顯示 1 天形成 1 個微輪紋的假設與結果最為一致。Shimose et al. (2015) 研究指出太平洋黑皮旗魚逆算孵化日期大致與已知 5~9 月產卵季節（Shimose et al., 2009; Sun et al., 2009）一致（佔所有樣本 59%），並且認為計數微輪紋來代表日齡是合理的假設。然而，本研究只有 28% 的樣本逆算孵化日期為 5~9 月（見**附錄 1**）。

（二）硬棘

前人研究指出耳石微輪紋可用來可靠地估計旗魚類年齡至 1 或 2 歲（Prince et al., 1991; DeMartini et al., 2007; Kopf et al., 2011）。Shimose et al. (2015) 認為在估計 1 歲以後太平洋黑皮旗魚年齡時，應使用硬棘來進行估計。本研究硬棘切片邊緣成長率結果指出輪紋形成為一年一輪，形成時間於每年 8~9 月，偽輪及偽年輪形成的時間可能是 11 月及 2~4 月。本研究結果與 Shimose et al. (2015) 9~10 月相比，發現整體趨勢提早約 2 個月（**圖 39a**）；此外，比較太平洋黑皮旗魚漁獲海域（110 — 140 °E 及 0 — 30 °N）月別平均海表水溫變動，發現較 Shimose et al. (2015) 同月平

均水溫提高至多到 1 度（圖 39b），因此本研究認為海表水溫會影響產卵時間及輪紋形成時間，但不影響一年形成一輪之週期性。許多旗魚類邊緣成長率分析結果皆指出輪紋一年形成一輪，形成時間為 9~10 月，而偽年輪形成的時間可能是 2~4 月（西北太平洋雨傘旗魚（*Istiophorus platypterus*），Chiang et al., 2004；夏威夷海域劍旗魚（*Xiphias gladius*），DeMartini et al., 2007）。

三、硬棘切片年輪之年齡判定

前人研究指出偽年輪會影響旗魚類年齡判讀的正確性（Prince et al., 1987; Kopf et al., 2011），Shimose et al.（2015）亦指出偽年輪可能影響太平洋黑皮旗魚年齡估計的精確度（雌雄別平均 APE 為 12.30%及 12.23%；CV 為 17.39%及 17.30%）。本研究雌雄別平均 APE 結果分別為 10.77%和 9.23%，CV 為 15.23%和 13.06%，皆較 Shimose et al.（2015）結果來的精確，推測受偽年輪影響估計年齡判讀結果較小；然而，本研究方法缺點為：有可能將在 2~4 月所形成的偽年輪錯誤定義成年輪參考基準線，進而導致所有樣本年齡高估偏差。此外，年輪判讀標準是比對輪紋半徑略小於或大於年輪參考基準線所對應輪紋半徑來進行，然而該判讀標準可能因為實際年輪半徑座落於經驗誤差範圍外而判斷成偽年輪，或在高齡魚因為成長輪紋較密集而無法準確定義成長輪紋所屬之年輪參考基準線，進而導致年齡估計誤差，但上述情況對於多次輪紋判讀的精確性影響不大。本研究建議在進行旗魚類硬棘年齡研究時應重視偽年輪問題的存在，並發展出一套更完整的年輪判定準則，以改進年齡判讀的誤差。

此外，本研究發現在未滿一歲（145 公分 EFL）的太平洋黑皮旗魚硬棘切片可觀察到年輪參考基準線所對應之年輪。若本研究所使用的耳石日齡估計方法為正確，

則該輪紋並非為年輪（即偽年輪）。Hill et al. (1989) 在體長為 157 公分 EFL 的太平洋黑皮旗魚則判讀有 4 或 5 個年輪，顯然該研究可能有年齡高估的問題。本研究建議應採用以耳石日齡輔助硬棘年齡查定方法來避免該問題，然而該方法的缺點為僅能輔助年齡查定至 1 歲。

四、成長

（一）一歲平均體長

本研究以耳石估計太平洋黑皮旗魚一歲平均體長約 145 公分 EFL，與 Shimose et al. (2015) 以耳石估計一歲平均體長（162 公分 EFL）相比小了 17 公分 EFL，可能原因為樣本範圍不同，本研究為 0.58 ~ 1.33 歲，體長為 115 ~ 172 公分 EFL；Shimose et al. (2015) 為 0.07 ~ 0.92 歲，體長為 7.47 ~ 162.22 公分 EFL，當加入本研究耳石樣本後稚魚成長趨勢在 0.7 歲後趨於平緩，因此導致一歲估計結果有所差異。

此外，Skillman and Yong (1976) 以體長頻度法估計一歲平均雌雄體長分別為 65 及 61 公分 EFL，Chen (2001) 利用硬棘估計一歲平均雌雄體長分別為 111 及 112 公分 EFL，Su et al. (2016) 以體長頻度法估計一歲平均雌雄體長分別為 99 及 105 公分 EFL。相比上述一歲平均體長估計值可以發現變異相當大。可能原因為體長頻度分析法所分離的年齡群並無法得知實際年齡，而僅用硬棘判定年齡也會因為偽年輪而造成年齡估計誤差。本研究整合共計 51 組耳石資料，補足了 Shimose et al.

(2015) 稚魚在 0.7 歲後的樣本不足，因此更能夠代表太平洋黑皮旗魚之一歲平均體



長估計。此外，該耳石資料也應用在輔助硬棘輪紋年齡估計及成長曲線估計，進而得到與耳石資料一致的估計結果。

（二）Two—stanza 成長曲線

本研究利用黑皮旗魚成長數據及 Two—stanza 成長曲線結果顯示雌雄別在 1 歲以後有明顯的改變，Shimose et al. (2015) 雖未使用 Two—stanza 成長模型，但也觀察到有相同的現象（見其圖 11 及 12）。此外，根據 Sun et al. (2009) 估計太平洋黑皮旗魚雌雄魚最小性成熟體長分別為 157.8 和 131 公分 EFL，故推測雌雄成長趨勢在達性成熟後改變，與上述成長曲線在 1 歲以後明顯改變結果一致。

傳統魚類成長模型為成長隨年齡增加而單調地 (monotonically) 遞減函數關係；然而，最近對鮪旗魚類的成長研究指出，該類魚種在生命週期中的某個過渡階段成長有明顯改變的現象 (Hearn and Polacheck, 2002; Eveson and Million, 2008; Eveson et al., 2015)。該成長變化意味著至少有兩個階段的成長形式，即成長速率在過渡時期趨緩，之後回復，再隨年齡增加而逐漸遞減至極限體長。然而，在兩階段成長模型統計建模，模型套適，及針對結果提供合理的生物解釋是很有挑戰的 (Hearn and Polacheck, 2002)。有鑑於 Gompertz 成長模型 (Gompertz, 1825) 常用來套適幼齡魚成長趨勢 (Prince et al., 1991)，Schnute 成長模型可依據資料特性設定樣本最小及最大年齡來進行資料套適 (Newman et al., 2012; Dono et al., 2015)，本研究克服模型建構之挑戰，以一個 Two—stanza 成長模型結合上述兩種模型，認為 Two—stanza 成長模型中 Gompertz 成長模型能清楚描述幼齡魚生長速度快特性，Schnute 成長模型也能描述中高齡魚成長速率逐漸減緩趨勢，且統計配適度較傳統 von Bertalanffy 成長模型佳 (AIC 數值較小)，且未有傳統 von Bertalanffy 成長模型



中有關最大平均體長低估問題，因此本研究建議以 Two-stanza 成長模型來描述太平洋黑皮旗魚之成長曲線最為合適，也建議未來其他旗魚類年齡成長研究考慮該模型來進行比較。

（三）壽命及最大平均體長

目前有關黑皮旗魚雌雄別的壽命估計仍相當缺乏，前人標誌放流研究指出黑皮旗魚至少存活至 11 歲（Ortiz et al., 2003）。Shimose et al. (2015) 估計太平洋黑皮旗魚雌魚樣本最大年齡為 19.5 歲（體長為 270 公分 EFL）（僅三尾個體年齡超過 10 歲）；雄魚樣本為 7.5 歲（體長為 186 公分 EFL），並依據 Wilson et al. (1991) 結果推測該雄魚壽命有低估現象（雌雄魚樣本最大年齡為 21 及 17 歲，其體長為 213 及 207 公分 EFL）。Andrews et al. (2017) 利用夏威夷海域一尾體長 335 公分 EFL 雌性大型成魚之放射性碳同位素來驗證其年齡，估計該個體年齡為 20 歲，為目前僅有的單一驗證年齡數據；此外，依據耳石重量估計一尾體長為 204 公分 EFL 的雄魚為 11 歲。本研究利用硬棘所估計的雌雄魚樣本最大年齡為 11 及 10.5 歲，其體長為 250 及 208 公分 EFL。經上述比較後可以發現，Wilson et al. (1991) 有關雄魚樣本最大年齡的估計結果可能明顯高估。本研究認為，有關黑皮旗魚壽命仍需要進一步來研究，例如採用 Andrews et al. (2017) 方法進行更多大型黑皮旗魚的年齡驗證（特別是雄魚樣本）；此外，本研究也認為黑皮旗魚性雙型（sexual dimorphism）的假設仍有探討空間，例如與分布迴游或漁具選擇性有關。

Skillman and Yong (1976) 估計雌雄魚 L_{∞} 分別為 491 及 282 公分 EFL，Chen (2001) 估計雌雄魚 L_{∞} 為 422 及 333 公分 EFL，Shimose et al. (2015) L_{∞} 為 264 及 186 公分 EFL，Su et al. (2016) L_{∞} 為 313 及 233 公分 EFL，本研究傳統 von



Bertalanffy 成長模型估計雌雄魚 L_{∞} 為 200 ~ 203 公分 EFL 與 162 ~ 167 公分 EFL（以逆算體長一年齡資料之估計結果為最低），Two—stanza 成長模型並未直接估計 L_{∞} ，但雌雄魚最大平均體長估計值（ L_2 ）為 248 ~ 252 公分 EFL 與 200 ~ 208 公分 EFL（以逆算體長一年齡資料之估計結果為最低）。 L_{∞} 估計值會受最大觀測體長資料所影響，前人年齡成長研究之雌魚最大觀測體長為 405 公分 EFL，及雄魚 234 公分 EFL（Hill et al., 1989）（略小於本研究雄魚最大觀測體長 245 公分 EFL）；然而，Shimose et al.（2015）指出 Hill et al.（1989）最大雌魚觀測體長 405 公分 EFL（全重為 748 公斤）並不符合體長與全重關係，因此不採用進行比較，並認為文獻紀錄中黑皮旗魚體長大於 340 公分 EFL 者極為稀少（最大觀測體長 340 公分 EFL，Kume and Joseph, 1969；334 公分 EFL，Prince et al., 1991；342 公分 EFL，Prager et al., 1995；326 公分 EFL，Ortega-García et al., 2006）。此外，依據日本鮪延繩釣漁獲體長顯示，太平洋黑皮旗魚主要釣獲雌魚體長為 200 公分 EFL，雄魚為 160 公分 EFL，雌魚體長大於 300 公分 EFL 及雄魚體長大於 250 公分 EFL 者極為稀少（Ijima and Shiozaki, 2016）。本研究 Two—stanza 成長模型之雌魚最大平均體長（ L_2 ）估計值為 252 公分 EFL，約為最大套適觀測資料 335 公分 EFL 之 76%；雄魚最大平均體長估計值為 208 公分 EFL 與最大套適觀測資料 208 公分 EFL 一致，但約為本研究雄魚最大觀測體長 245 公分 EFL 之 85%。此外，相比上述日本鮪延繩釣漁獲體長，約為雌魚 300 公分 EFL 之 84%，及雄魚 250 公分 EFL 之 84%。

綜合以上比較，本研究為目前有關太平洋黑皮旗魚年齡與成長之較完整研究，其中整合台灣三個魚市場（東港、新港、南方澳）採樣所得太平洋黑皮旗魚年齡成長數據，Shimose et al.（2015）稚魚耳石日齡資料與大型成魚硬棘年齡資料，及 Andrews et al.（2017）大型雌性成魚壽命資訊，因此完整描述太平洋黑皮旗魚從稚魚（最小樣本為 7.47 公分 EFL，年齡為 0.07 歲）至大型成魚（雌雄別最大樣本為

335 公分 EFL 及 208 公分 EFL，年齡為 20 歲及 10.5 歲）完整成長過程，因此認為以目前觀測體長一年齡資料可足以用來估計太平洋黑皮旗魚族群成長曲線，Two-stanza 成長模型之雌雄魚最大平均體長估計值（ L_2 ）為合理，而傳統 von Bertalanffy 成長模型之 L_∞ 估計值則為低估。

（四）逆算體長與觀測體長之成長模型比較

本研究利用硬棘觀測體長一年齡資料與硬棘逆算體長一年齡資料之成長模型結果非常相近；Shimose et al. (2015) 則發現上述兩組資料所得成長模型結果差異大，認為其硬棘樣本來自曳繩釣漁業，偏好選擇成長快的個體，逆算體長一年齡資料則可以減少採樣誤差。本研究成長模型套適資料並非僅考慮硬棘資料，在 1.5 歲前為耳石資料，且加入其他研究之高齡雌魚資料，因此成長模型套適結果在兩組硬棘資料上差異不大，此外該資料體長範圍廣，來自於各種漁業，採樣誤差應較小，因此認為不需要透過逆算體長方法來補足樣本數不足及採樣誤差問題。此外，Campana (1990) 指出雖然逆算體長廣為使用，如果沒有準確判讀年齡形質，則會影響後續逆算結果而造成更大的不準確性。本研究建議採用原始硬棘觀測體長一年齡資料來進行成長模型分析。

（五）讀齡誤差成長模型

讀齡誤差成長模型可以考慮判定年齡的變異性，進而減少預測體長的變異 (Hatch and Jiao, 2016)。如果年齡判讀有偏差或相關性，在沒有驗證資料的情況下（即少部分個體年齡為正確已知），則該模型並無法改善讀齡誤差 (Punt et al., 2008)。本研究應用耳石輔助硬棘輪紋年齡估計，符合讀齡誤差成長模型前提假



設，且多次讀輪結果可用來降低讀齡誤差項變異數 σ_A^2 之估計結果。本研究未考慮讀齡誤差及考慮讀齡誤差成長模型結果相當接近，相較類似相關研究，Hatch and Jiao (2016) 研究美國東岸的斜紋犬牙石首魚 (*Cynoscion regalis*) 也發現類似結果；此外，其模擬研究指出考慮讀齡誤差成長模型能更準確及精確地估計成長參數。有鑑於在進行資源評估時，準確的成長參數及成長曲線為相當重要輸入數據，且讀齡誤差成長模型可將年齡估計的不確定性反映到成長模型估計過程，並可作為考慮讀齡誤差資源評估模型（例如：Stock Synthesis 3; Methot and Wetzel, 2013）輸入數據，因此更具廣泛的應用性，本研究建議使用該方法來估計太平洋黑皮旗魚的成長。

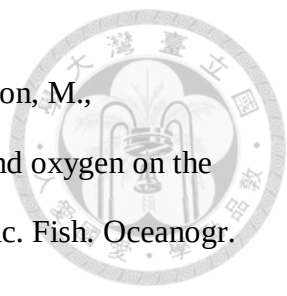
五、結論

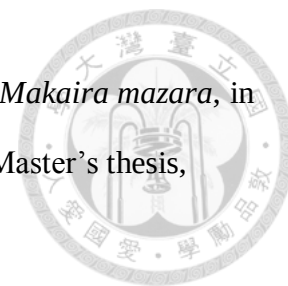
本研究針對太平洋黑皮旗魚年齡與成長研究之挑戰有以下突破性的改進：（1）整合臺灣、日本（Shimose et al., 2015）、及美國（Andrews et al., 2017）資料，建立了更完整太平洋黑皮旗魚年齡成長數據；（2）以耳石輔助硬棘年齡估計降低年齡估計誤差；（3）以讀齡誤差成長模型考慮多次硬棘讀齡改進成長參數估計準確性；（4）利用 Two-stanza 成長模型，套適結果比傳統 von Bertalanffy 成長模型佳，更清楚描述黑皮旗魚幼齡魚和中高齡魚不同成長趨勢。建議北太平洋鮪類及類鮪類國際科學委員會（ISC）旗魚工作小組（Billfish Working Group）應採用本研究結果來作為太平洋黑皮旗魚資源評估時所需之生物參數，以改進資源評估結果準確性，期達到該重要漁業資源永續利用之目標。

伍、參考文獻



- Akaike, H. 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: Proceedings of the 2nd International Symposium on Information Theory. Tsahkadsor, Armenia, USSR, September 2-8, 1971, 267-281.
- Andrews, A. H., Humphreys, R. L., and Sampaga, J. D. 2017. Blue marlin (*Makaira nigricans*) longevity estimates confirmed with bomb radiocarbon dating. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 75, 17-25.
- Asia-Pacific Data-Research Center. 2019. Retrieved from <http://apdrc.soest.hawaii.edu/las/v6/dataset> (2019-7-15)
- Beamish, R. J., and Fournier, D. A. 1981. A Method for Comparing the Precision of a Set of Age Determinations. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 38, 982-983.
- Buonaccorsi, V. P., McDowell, J. R., and Graves, J. E. 2001. Reconciling patterns of inter-ocean molecular variance from four classes of molecular markers in blue marlin (*Makaira nigricans*). Mol. Ecol. 10, 1179-1196.
- Campana, S. E., and Neilson, J. D. 1985. Microstructure of fish otoliths. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42, 1014-1032.
- Campana, S. E. 1990. How reliable are growth back-calculations based on otoliths? Can. J. Fish. Aquat. Sci. 47, 2219-2227.
- Campana, S. E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. J. Fish Biol. 59, 197-242.

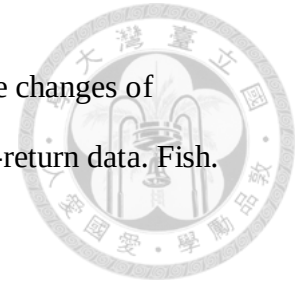
- 
- Carlisle, A. B., Kochevar, R. E., Arostegui, M. C., Ganong, J. E., Castleton, M., Schratwieser, J., and Block, B. A. 2017. Influence of temperature and oxygen on the distribution of blue marlin (*Makaira nigricans*) in the Central Pacific. *Fish. Oceanogr.* 26(1), 34-48.
- Casselman, J. M. 1983. Summary of round table discussions on age validation. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 8, 35-44.
- Chen, B. C. 2001. Age and growth of the blue marlin, *Makaira mazara*, in the western Pacific Ocean. Master's thesis, National Taiwan University., Taipei, Taiwan, pp. 76. (In Chinese)
- Chen, K. S., Shimose, T., Tanabe, T., Chen, C. Y., and Hsu, C. C. 2012. Age and growth of albacore *Thunnus alalunga* in the North Pacific Ocean. *J. Fish Biol.* 80, 2328-2344.
- Cheng, C. C. 2018. Population dynamics of adult Pacific Bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) in the northwestern Pacific spawning grounds. Master's thesis, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, pp. 86. (In Chinese)
- Chiang, W. C., Sun, C. L., and Yeh, S. Z. 2004. Age and growth of sailfish (*Istiophorus platypterus*) in waters off eastern Taiwan. *Fish. Bull.* 102(2), 251-263.
- Collette, B. B., McDowell, J. R., and Graves, J. E. 2006. Phylogeny of Recent billfishes (Xiphiidae). *Bull. Mar. Sci.* 79(3), 455-468.
- Cope, J. M., and Punt, A. E. 2007. Admitting ageing error when fitting growth curves: an example using the von Bertalanffy growth function with random effects. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 64, 205-218.



- Dai, C. Y. 2002. Estimates of age, growth and mortality of blue marlin, *Makaira mazara*, in the western Pacific using the length-based MULTIFAN methods. Master's thesis, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, pp. 80. (In Chinese)
- Davie, P. S., and Hall, I. 1990. Potential of dorsal and anal spines and otoliths for assessing age structure of the recreational catch of striped marlin. In: Planning the future of billfishes, research and management in the 90s and beyond. 2nd International Billfish Symposium. Kailua-Kona, Hawaii, August 1-5, 1988. Mar. Rec. Fish. 13(2), 287-294.
- DeMartini, E. E., Uchiyama, J. H., Humphreys, R. L., Sampaga, J. D., and Williams, H. A. 2007. Age and growth of swordfish (*Xiphias gladius*) caught by the Hawaii-based pelagic longline fishery. Fish. Bull. 105, 356-367.
- Dono, F., Montealegre, Q. S., Domingo, A., and Kinas, P. G. 2015. Bayesian age and growth analysis of the shortfin mako shark *Isurus oxyrinchus* in the Western South Atlantic Ocean using a flexible model. Environ. Biol. Fish. 98, 517-533.
- Dortel, E., Massiot-Granier, F., Rivot, E., Million, J., Hallier, J. P., Morize, E., Munaron, J. M., Bousquet, N., and Chassot, E. 2013. Accounting for Age Uncertainty in Growth Modeling, the Case Study of Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*) of the Indian Ocean. PLoS ONE 8(4), e60886, 1-12.
- Drew, K., Die, D. J., and Arocha, F. 2006. Current efforts to develop an age and growth model of blue marlin (*Makaira nigricans*) and white marlin (*Tetrapturus albidus*). Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT 59(1), 274-281.
- Ehrhardt, N. M. 1992. Age and growth of swordfish, *Xiphias gladius*, in the northwestern Atlantic. Bull. Mar. Sci. 50(2), 292-301.



- Ehrhardt, N. M., Robbins, R. J., and Arocha, F. 1996. Age validation and growth of swordfish, *Xiphias gladius*, in the northwest Atlantic. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT 45(2), 358-367.
- Eveson, J. P., and Million, J. 2008. Estimation of growth parameters for yellowfin, bigeye and skipjack tuna using tag-recapture data. IOTC-2008-WPTDA-07, pp. 33.
- Eveson, J. P., Million, J., Sardenne, F., and Le Croizier, G. 2015. Estimating growth of tropical tunas in the Indian Ocean using tag-recapture data and otolith-based age estimates. Fish. Res. 163, 58-68.
- Farley, J. H., Clear, N. P., Leory, B., Davis, T. L. O., and McPherson, G. 2006. Age, growth and preliminary estimates of maturity of bigeye tuna, *Thunnus obesus*, in the Australian region. Mar. Freshw. Res. 57, 713-724.
- Francis, R. I. C. C. 1990. Back-calculation of fish length: a critical review. J. Fish Biol. 36, 883-902.
- Gelman, A., and Rubin, D. 1992. Inference from iterative simulation using multiple sequences. Stat. Sci. 7, 457-472.
- Gompertz, B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. Philos. Trans. R. Soc. Lond. 115, 513-583.
- Graves, J. E., and McDowell, J. R. 1995. Inter-ocean genetic divergence of Istiophorid billfishes. Mar. Bio. 122, 193-203.
- Hatch, J., and Jiao, Y. 2016. A comparison between traditional and measurement-error growth models for weakfish *Cynoscion regalis*. PeerJ 4:e2431, 1-18.



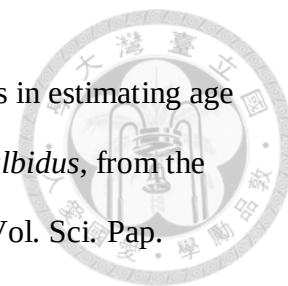
- Hearn, W. S., and Polacheck, T. 2002. Estimating long-term growth-rate changes of southern Bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) from two periods of tag-return data. Fish. Bull. 101, 58-74.
- Heidelberger, P., and Welch, P. D. 1983. Simulation run length control in the presence of an initial transient. Oper. Res. vol. 31(6), 1109-1144.
- Hill, K. T., Cailliet, G. M., and Radtke, R. L. 1989. A comparative analysis of growth zones in four calcified structures of Pacific blue marlin, *Makaim nigricans*. Fish. Bull. 87, 829-843.
- Hoolihan, J. P. 2006. Age and growth of Indo-Pacific sailfish, *Istiophorus platypterus*, from the Arabian Gulf. Fish. Res. 78, 218-226.
- Hsu, W. S. 2010. Age and growth of striped marlin (*Kajikia audax*) in waters off Taiwan. Master's thesis, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, pp. 82. (In Chinese)
- Hyde, J. R., Lynn, E., Humphreys, R., Musyl, M., West, A. P., and Vetter, R. 2005. Shipboard identification of fish eggs and larvae by multiplex PCR, and description of fertilized eggs of blue marlin, shortbill spearfish, and wahoo. Mar. Ecol. Prog. Ser. 286, 269-277.
- Ijima, H., and Shiozaki, K. 2016. Japanese catch statistics of the Pacific blue marlin (*Makaira nigricans*): Update for a stock assessment. ISC/16/BILLWG-1/02, pp. 12.
- ISC. 2016. Stock assessment update for blue marlin (*Makaira nigricans*) in the Pacific Ocean through 2014. Report of the Billfish Working Group Workshop. Sapporo, Japan, July 13-18, 2016, pp. 91.



- Kopf, R. K., Pepperell, J. G., and Davie, P. S. 2009. A preliminary report on age, growth, and reproductive dynamics of striped marlin (*Kajikia audax*) in the southwest Pacific Ocean. WCPFC-SC5/BI-WP-01, pp. 37.
- Kopf, R. K., Drew, K., and Humphreys, R. L. 2010. Age estimation of billfishes (*Kajikia spp.*) using fin spine cross-sections: the need for an international code of practice. Aquat. Living Resour. 23, 13-23.
- Kopf, R. K., Davie, P. S., Bromhead, D., and Pepperell, J. G. 2011. Age and growth of striped marlin (*Kajikia audax*) in the Southwest Pacific Ocean. ICES J. Mar. Sci. 68(9), 1884-1895.
- Kume, S., and Joseph, J. 1969. Size composition and sexual maturity of billfish caught by the Japanese longline fishery in the Pacific Ocean east of 130°W. Bull. Far Seas Fish. Res. Lab. 2, 115-162.
- Lin, H. L. 2003. Age and growth study of the young swordfish (*Xiphias gladius*) in Taiwan waters using otoliths. Master's thesis, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, pp. 67. (In Chinese)
- Megalofonou, P., Dean, J. M., De Metrio, G., Wilson, C., and Berkeley, S. 1995. Age and growth of juvenile swordfish, *Xiphias gladius Linnaeus*, from the Mediterranean Sea. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 188, 79-88.
- Methot, R. D., and Wetzel, C. R. 2013. Stock synthesis: a biological and statistical framework for fish stock assessment and fishery management. Fish. Res. 142, 86-99.



- Molony, B. 2008. Fisheries biology and ecology of highly migratory species that commonly interact with industrialised longline and purse-seine fisheries in the western and central Pacific. WCPFC-SC4-2008/EB-IP-6, pp. 228.
- Morize, E., Munaron, J. M., Hallier, J. P., and Million, J. 2008. Preliminary growth studies of yellowfin and bigeye tuna (*Thunnus albacares* and *T. obesus*) in the Indian Ocean by otolith analysis. IOTC-2008-WPTT-30, pp. 13.
- Nakamura, I. 1985. Billfishes of the world. An annotated and illustrated catalogue of marlins, sailfishes, spearfishes and swordfishes known to date. FAO Fish. Syn. 125, 5, pp. 65.
- Newman, S. J., Mackie, M. C., and Lewis, P. D. 2012. Age-based demography and relative fisheries productivity of Spanish mackerel, *Scomberomorus commerson* (Lacepede) in Western Australia. Fish. Res. 129-130, 46-60.
- Ortega-García, S., Klett-Traulsen, A., and Rodríguez-Sánchez, R. 2006. Some biological aspects of blue marlin (*Makaira nigricans*) in the recreational fishery at Cabo San Lucas, Baja California Sur, Mexico. Bull. Mar. Sci. 79, 739-746.
- Ortiz, M., Prince, E. D., Serafy, J. E., Holts, D. B., Davy, K. B., Pepperell, J. G., Lowry, M., and Holdsworth, J. C. 2003. Global overview of the major constituent-based billfish tagging programs and their results since 1954. Mar. Freshw. Res. 54, 489-507.
- Prager, M. H., Prince, E. D., and Lee, D. W. 1995. Empirical length and weight conversion equations for blue marlin, white marlin, and sailfish from the North Atlantic Ocean. Bull. Mar. Sci. 56(1), 201-210.



- Prince, E. D., Lee, D. W., Wilson, C. A., and Dean, J. M. 1984. Progress in estimating age of blue marlin, *Makaira nigricans*, and white marlin, *Tetrapturus albidus*, from the western Atlantic Ocean, Caribbean sea, and Gulf of Mexico. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT 20, 435-447.
- Prince, E., Lee, D., and Conser, R. 1987. Estimating age and growth rate of Atlantic blue marlin (*Makaira nigricans*): progress and future work plan. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT 26, 426-435.
- Prince, E. D., Lee, D. W., and Brothers, E. B. 1991. Estimating age and growth of young Atlantic blue marlin *Makaira nigricans* from otolith microstructure. Fish. Bull. 8, 441-459.
- Punt, A. E., Smith, D. C., KrusicGolub, K., and Robertson, S. 2008. Quantifying age-reading error for use in fisheries stock assessments, with application to species in Australia's southern and eastern scalefish and shark fishery. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 65, 1991-2005.
- R Core Team. 2018. R: A language and Environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Australia. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.r-project.org/> (2019-7-15)
- Radtke, R. L., Collins, M., and Dean, J. M. 1982. Morphology of the otoliths of the Atlantic blue marlin (*Makaira nigricans*) and their possible use in age estimation. Bull. Mar. Sci. 32(2), 498-503.
- Richards, L. J., Schnute, J. T., Kronlund, A. R., and Beamish, R. J. 1992. Statistical models for the analysis of ageing error. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49, 1801-1815.

Schneider, C. A., Rasband, W. S., Eliceiri, K. W. 2012. "NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis". *Nature Methods* 9, 671-675. (This article is available online)

Schnute, J., and Fournier, D. 1980. A new approach to length-frequency analysis: growth structure. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37(9), 1337-1351.

Shimose, T., Fujita, M., Yokawa, K., Saito, H., and Tachihara, K. 2009. Reproductive biology of blue marlin *Makaira nigricans* around Yonaguni Island, southwestern Japan. *Fish. Sci.* 75, 109-119.

Shimose, T., Yokawa, K., Saito, H., and Tachihara, K. 2012. Sexual difference in the migration pattern of blue marlin, *Makaira nigricans*, related to spawning and feeding activities in the western and central North Pacific Ocean. *Bull. Mar. Sci.* 88(2), 231-250.

Shimose, T., Yokawa, K., and Tachihara, K. 2015. Age determination and growth estimation from otolith micro-increments and fin spine sections of blue marlin (*Makaira nigricans*) in the western North Pacific. *Mar. Freshw. Res.* 66, 1116-1127.

Skillman, R. A., and Yong, M. Y. Y. 1976. Von Bertalanffy growth curves for striped marlin, *Tetrapturus audax*, and blue marlin, *Makaira nigricans*, in the central North Pacific Ocean. *Fish. Bull.* 74, 553-567.

Sokal, R. R., and Rohlf, F. J. 1981. *Biometry*. 2nd ed. W. H. Freeman and Co., New York, USA, pp. 859.

Speare, P. 2003. Age and growth of black marlin, *Makaira indica*, in east coast Australian waters. *Mar. Freshw. Res.* 54(4), 307-314.



- Spiegelhalter, D. J., Best, N. G., Carlin, B. R., and van der Linde, A. 2002. Bayesian measures of model complexity and fit. *J. R. Stat. Soc. B.* 64, 583-616.
- Spurr, A. R. 1969. A low-viscosity epoxy resin embedding medium for electron microscopy. *J. Ultrastruct. Res.* 26(1), 31–43.
- Su, N. J., Sun, C. L., Tai, C. Y., and Yeh, S. Z. 2016. Length-based estimated of growth and natural mortality for blue marlin (*Makaira nigricans*) in the northwest Pacific Ocean. *J. Mar. Sci. Technol.* 24(2), 370-378.
- Sun, C. L., Wang, S. P., and Yeh, S. Z. 2002. Age and growth of the swordfish (*Xiphias gladius Linnaeus*) in the waters around Taiwan determined form anal-fin rays. *Fish. Bull.* 100(4), 822-835.
- Sun, C. L., Chang, Y. J., Tszeng, C. C., Yeh, S. Z., and Su, N. Y. 2009. Reproductive biology of blue marlin (*Makaira nigricans*) in the western Pacific Ocean. *Fish. Bull.* 107, 420-432.
- Tanaka, K., Mugiya, Y., and Yamada, J. 1981. Effects of photoperiod and feeding on daily growth-patterns in otoliths of juvenile *Tilapia nilotica*. *Fish. Bull.* 79(3), 459-466.
- Von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth (inquires on growth laws. II). *Hum. Biol.* 10(2), 181-213.
- Wilson, C. A., and Dean, J. M. 1983. The potential use of sagittae for estimating age of Atlantic swordfish, *Xiphias gladius*. U. S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 8, 151-156.

Wilson, C. A., Dean, J. M., Prince, E. D., and Lee, D. W. 1991. An examination of sexual dimorphism in Atlantic and Pacific blue marlin using body weight, sagittae weight, and age estimates. *J. Exp. Mar. Biol. Eco.* 151, 209-225.



行政院農業委員會漁業署。1971-2014。中華民國台閩地區漁業統計年報。高雄，臺灣。

臺灣魚類資料庫。2019。網路電子版，取得自 <http://fishdb.sinica.edu.tw> (2019-7-15)

陸、表



表 1、1971 至 2014 年台灣漁獲太平洋黑皮旗魚之漁業別漁獲量資料。Distant water longline 為遠洋延繩釣；Offshore longline 為近海延繩釣；Offshore others 為近海其他漁法（包含刺網）；Coastal others 為沿岸其他漁法（包含鰲旗魚、定置網、刺網、延繩釣）。漁獲量單位為公噸（tons），0 為不到 500 公斤。（引用自行政院農業委員會漁業署，1971-2014）

Year	Distant water longline	Offshore longline	Offshore others	Coastal others	Total
1971	104	1331	131	473	2039
1972	203	1205	64	490	1962
1973	225	1650	277	275	2427
1974	161	2139	152	359	2811
1975	148	2628	210	421	3407
1976	176	1291	171	511	2149
1977	145	1175	121	391	1832
1978	63	1633	22	365	2083
1979	422	1626	183	365	2596
1980	490	1134	205	444	2273
1981	463	1813	104	314	2694
1982	304	2129	127	306	2866
1983	272	2121	153	741	3287
1984	382	1789	133	960	3264
1985	212	1187	54	756	2209
1986	184	1723	197	843	2947
1987	198	4617	10	986	5811
1988	320	2822	597	678	4417
1989	445	2644	21	652	3762
1990	437	1730	167	430	2764
1991	720	2152	200	344	3416
1992	122	3771	144	465	4502
1993	449	3876	119	448	4892
1994	603	3007	37	218	3865
1995	326	3820	38	913	5097
1996	187	3298	43	285	3813
1997	104	3625	44	241	4014
1998	209	3603	58	101	3971
1999	131	3362	30	160	3683
2000	114	7737	42	210	8103
2001	585	8726	56	248	9615
2002	495	8685	58	56	9294
2003	1207	7577	93	90	8967
2004	1456	6420	89	63	8028
2005	1506	7403	71	66	9046
2006	1678	5751	0	57	7486
2007	1271	5121	6	34	6432
2008	910	5481	2	40	6433
2009	1338	4756	4	27	6125
2010	1490	5694	5	43	7232
2011	1331	5065	11	36	6443
2012	1284	4898	1	41	6224
2013	1055	5607	0	24	6686
2014	1225	5662	5	139	7031

表 2、考慮讀齡誤差貝氏傳統 von Bertalanffy 成長模型 (a) 及 Two-stanza 成長模型 (b) 之參數先驗機率分布設定值。雌魚與雄魚設定值相同。



(a)

Parameters	Description (Unit)	Prior
L_{∞}	Asymptotic length (cm)	$L_{\infty} \sim U(30, 500)$
K	Brody growth rate coefficient (year ⁻¹)	$K \sim U(0.01, 4)$
t_0	Theoretical age at length is zero (year)	0
t	True age (year)	$t \sim U(0, 50)$
σ_L^2	Observation error variance of length (cm)	$1/\sigma_L^2 \sim \text{Gamma}(2, 0.45)$
σ_A^2	Observation error variance of age (year)	$1/\sigma_A^2 \sim \text{Gamma}(2, 0.45)$

(b)

Parameters	Description (Unit)	Prior
β_1	Gompertz growth parameter 1	$\beta_1 \sim U(50, 300)$
β_2	Gompertz growth parameter 2	$\beta_2 \sim U(0, 30)$
β_3	Gompertz growth parameter 3	$\beta_3 \sim U(1, 30)$
a	Schnute curve parameter	$a \sim U(0, 10)$
L_2	Length-at-age t_2 (cm)	$L_2 \sim U(0, 1000)$
t	True age (year)	$t \sim U(0, 50)$
σ_L^2	Observation error variance of length (cm)	$1/\sigma_L^2 \sim \text{Gamma}(2, 0.45)$
σ_A^2	Observation error variance of age (year)	$1/\sigma_A^2 \sim \text{Gamma}(2, 0.45)$



表 3、黑皮旗魚雌魚年齡別各年輪之半徑與標準差。數值依序為平均值 (mm)、標準差，括號裡數值為樣本數；“-”為無資料； n 為樣本數。

n	Age class	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17	1	5.67, 0.60 (17)									
96	2	5.20, 0.28 (53)	6.69, 0.46 (96)								
76	3	5.19, 0.30 (25)	6.73, 0.34 (69)	8.04, 0.31 (76)							
36	4	5.02, 0.25 (10)	6.75, 0.28 (29)	8.29, 0.34 (30)	8.76, 0.34 (36)						
29	5	4.85, 0.26 (7)	6.71, 0.30 (16)	8.27, 0.28 (19)	8.82, 0.39 (21)	9.38, 0.35 (29)					
8	6	5.29, - (1)	6.80, 0.25 (3)	8.10, 0.64 (4)	8.96, 0.50 (6)	9.52, 0.30 (6)	10.14, 0.13 (8)				
3	7	-	6.36, - (1)	7.65, 0.67 (2)	8.66, 0.29 (2)	9.27, - (1)	9.92, 0.48 (3)	10.60, 0.32 (3)			
9	8	-	6.72, - (1)	8.35, 0.10 (5)	8.78, 0.33 (3)	9.48, 0.18 (5)	10.24, 0.14 (3)	11.06, 0.31 (5)	11.34, 0.45 (9)		
1	9	-	-	-	9.08, - (1)	-	9.85, - (1)	-	11.13, - (1)	11.94, - (1)	
2	10	-	-	8.12, - (1)	10.18, - (1)	10.93, - (1)	11.84, - (1)	-	10.77, - (1)	-	12.78, 0.16 (2)
277	Sum	5.23, 0.40 (113)	6.71, 0.39 (215)	8.13, 0.34 (137)	8.82, 0.40 (70)	9.44, 0.39 (42)	10.21, 0.50 (16)	10.89, 0.37 (8)	11.27, 0.44 (11)	11.94, - (1)	12.78, 0.16 (2)



表 4、黑皮旗魚雄魚年齡別各年輪之半徑與標準差。數值依序為平均值 (mm)、標準差，括號裡數值為樣本數；“-”為無資料； n 為樣本數。

n	Age class	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
38	1	5.00, 0.23 (38)									
72	2	5.10, 0.22 (51)	5.73, 0.20 (72)								
50	3	5.13, 0.31 (26)	5.82, 0.28 (29)	6.29, 0.26 (50)							
29	4	5.22, 0.34 (12)	5.87, 0.23 (21)	6.47, 0.26 (23)	7.00, 0.24 (29)						
8	5	5.35, 0.18 (3)	-	6.85, 0.21 (3)	7.20, 0.15 (4)	7.72, 0.10 (8)					
6	6	5.17, 0.42 (2)	6.28, - (1)	6.16, - (1)	7.43, 0.03 (2)	7.50, 0.30 (4)	7.96, 0.23 (6)				
3	7	-	-	6.61, - (1)	7.37, 0.09 (2)	7.66, 0.36 (3)	8.10, 0.09 (2)	8.43, 0.16 (3)			
1	8	-	-	-	-	-	-	8.34, - (1)	8.79, - (1)		
-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1	10	-	-	-	-	-	-	-	-	9.83, - (1)	10.33, - (1)
208	Sum	5.10, 0.26 (132)	5.78, 0.23 (123)	6.37, 0.29 (78)	7.06, 0.26 (37)	7.65, 0.23 (15)	7.99, 0.20 (8)	8.41, 0.14 (4)	8.79, - (1)	9.83, - (1)	10.33, - (1)

表 5、黑皮旗魚雌雄別硬棘切片邊緣半徑 (R_{MG}) 與眼後眶尾叉長 (EFL , cm) 及全重 (W) 關係表。 r^2 為決定係數； n 為樣本數。



Relationship	Equation	r^2	n
R_{MG} and EFL			
Female	$R_{MG} = 0.01 * EFL^{1.26}$	0.62	321
Male	$R_{MG} = 0.01 * EFL^{1.28}$	0.70	273
R_{MG} and EFL			
Female	$R_{MG} = 0.05 * EFL - 2.18$	0.62	321
Male	$R_{MG} = 0.05 * EFL - 1.92$	0.72	273
R_{MG} and W			
Female	$R_{MG} = 1.27 * W^{0.39}$	0.66	321
Male	$R_{MG} = 1.08 * W^{0.43}$	0.77	273
R_{MG} and W			
Female	$R_{MG} = 0.03 * W + 5.07$	0.66	321
Male	$R_{MG} = 0.04 * W + 3.88$	0.74	273

表 6、黑皮旗魚雌雄別各年齡平均（mean）觀測體長及標準差（SD）。“-”為無資料； n 為樣本數。



Estimated age (year)	n	Female Mean (EFL, cm)	SD	n	Male Mean (EFL, cm)	SD
0.5	-	-	-	12	140.92	6.23
1	-	-	-	7	139.21	3.78
1.5	6	185.62	36.40	26	145.53	8.58
2	11	174.24	14.73	12	147.67	7.74
2.5	42	185.57	10.88	42	155.75	9.48
3	54	188.67	8.90	30	160.14	10.58
3.5	28	200.11	11.04	30	163.36	7.33
4	48	200.44	11.13	20	166.43	10.47
4.5	16	206.73	11.91	20	172.27	9.75
5	20	205.36	11.29	9	179.44	12.28
5.5	9	224.62	25.72	4	178.75	13.94
6	20	213.25	11.70	4	178.5	3.87
6.5	4	221.25	12.39	6	180.83	13.35
7	4	222.25	7.54	-	-	-
7.5	-	-	-	2	198.5	2.12
8	3	223	10	1	183	-
8.5	3	228.67	9.07	1	201	-
9	6	244	14.31	-	-	-
9.5	-	-	-	-	-	-
10	1	262	-	-	-	-
10.5	-	-	-	1	208	-
11	2	248.5	2.12	-	-	-
Total	277	199.60	19.40	227	160.17	15.45

表 7、黑皮旗魚雌雄別各年齡平均（mean）逆算體長及標準差（SD）。“-”為無資料； n 為樣本數。



Estimated age (year)	n	Female Mean (EFL, cm)	SD	n	Male Mean (EFL, cm)	SD
1.25	105	158.72	11.59	125	144.85	9.14
2.25	189	179.03	9.85	93	156.69	9.58
3.25	112	198.88	9.66	56	161.53	10.00
4.25	44	210.43	13.38	23	171.89	10.89
5.25	30	216.38	15.48	7	176.40	8.13
6.25	13	220.31	11.40	4	181.97	12.55
7.25	7	226.81	13.30	1	192.21	-
8.25	4	234.91	11.58	1	197.69	-
9.25	1	260.14	-	1	199.69	-
10.25	1	246.38	-	1	205.05	-
Total	506	186.61	22.93	312	155.24	14.31

表 8、黑皮旗魚雌雄別觀測體長—年齡資料之成長模型參數估計結果。括號內數字為標準誤（SE）。“-”為無資料；VBGM 為傳統 von Bertalanffy 成長模型；TSGM 為 Two—stanza 成長模型。



Parameters	VBGM		TSGM	
	Female	Male	Female	Male
L_{∞}	203.1 (1.85)	165.6 (1.80)		
K	1.43 (0.06)	2.05 (0.10)		
t_0	0 (-)	0 (-)		
β_1			150.0 (2.05)	143.9 (1.36)
β_2			5.61 (0.20)	5.82 (0.19)
β_3			8.21 (0.37)	8.83 (0.35)
t_1			1 (-)	1 (-)
t_2			20 (-)	10.5 (-)
L_2			249.1 (7.65)	208.4 (8.18)
a			0.29 (0.04)	0.09 (0.05)

表 9、黑皮旗魚雌雄別逆算體長—年齡資料之成長模型參數估計結果。括號內數字為標準誤（SE）。“-”為無資料；VBGM 為傳統 von Bertalanffy 成長模型；TSGM 為 Two—stanza 成長模型。



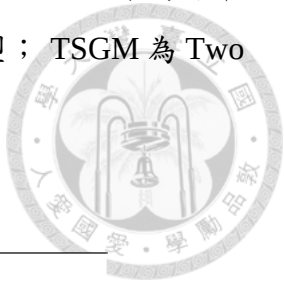
Parameters	VBGM		TSGM	
	Female	Male	Female	Male
L_{∞}	200.0 (1.53)	162.0 (1.49)		
K	1.32 (0.04)	2.02 (0.08)		
t_0	0 (-)	0 (-)		
β_1			149.7 (1.06)	142.4 (0.92)
β_2			5.62 (0.16)	6.06 (0.22)
β_3			8.24 (0.29)	9.31 (0.39)
t_1			1 (-)	1 (-)
t_2			20 (-)	10.25 (-)
L_2			248.3 (5.57)	200.9 (8.48)
a			0.34 (0.03)	0.17 (0.06)

表 10、成長模型 AIC (akaike's information criterion) 比較。Obs. 為觀測體長一年齡；Back cal. 為逆算體長一年齡；VBGM 為傳統 von Bertalanffy 成長模型；TSGM 為 Two-stanza 成長模型； n 為樣本數。



Gender	Model	n	AIC
Female	Obs. VBGM	331	-363.84
	Obs. TSGM	331	-760.35
	Back cal. VBGM	560	-797.30
	Back cal. TSGM	560	-1456.1
Male	Obs. VBGM	247	-238.32
	Obs. TSGM	247	-626.64
	Back cal. VBGM	363	-457.13
	Back cal. TSGM	363	-921.18

表 11、黑皮旗魚雌雄別考慮讀齡誤差之成長模型參數估計結果。括號內數字為標準誤 (SE)。“-”為無資料；VBGM 為傳統 von Bertalanffy 成長模型；TSGM 為 Two—stanza 成長模型。



Parameters	VBGM		TSGM	
	Female	Male	Female	Male
L_{∞}	202.8 (1.94)	165.8 (1.96)		
K	1.44 (0.06)	2.06 (0.11)		
t_0	0 (-)	0 (-)		
β_1			149.2 (2.40)	143.8 (1.85)
β_2			5.67 (0.24)	5.86 (0.27)
β_3			8.36 (0.46)	8.93 (0.49)
t_1			1 (-)	1 (-)
t_2			20 (-)	10.5 (-)
L_1			149.0 (2.35)	143.6 (1.82)
L_2			251.8 (9.42)	202.1 (9.13)
a			0.28 (0.04)	0.15 (0.07)
ε_A	0.13 (0.01)	0.19 (0.01)	0.13 (0.01)	0.19 (0.01)
ε_L	0.15 (0.01)	0.16 (0.01)	0.09 (0.004)	0.09 (0.004)

表 12、考慮讀齡誤差之成長模型 DIC (deviance information criterion) 比較。Obs. 為觀測體長一年齡；VBGM 為傳統 von Bertalanffy 成長模型；TSGM 為 Two—stanza 成長模型。



Gender	Model	DIC
Female	Obs. VBGM	4140.13
	Obs. TSGM	3727.96
Male	Obs. VBGM	3117.43
	Obs. TSGM	2751.68

柒、圖

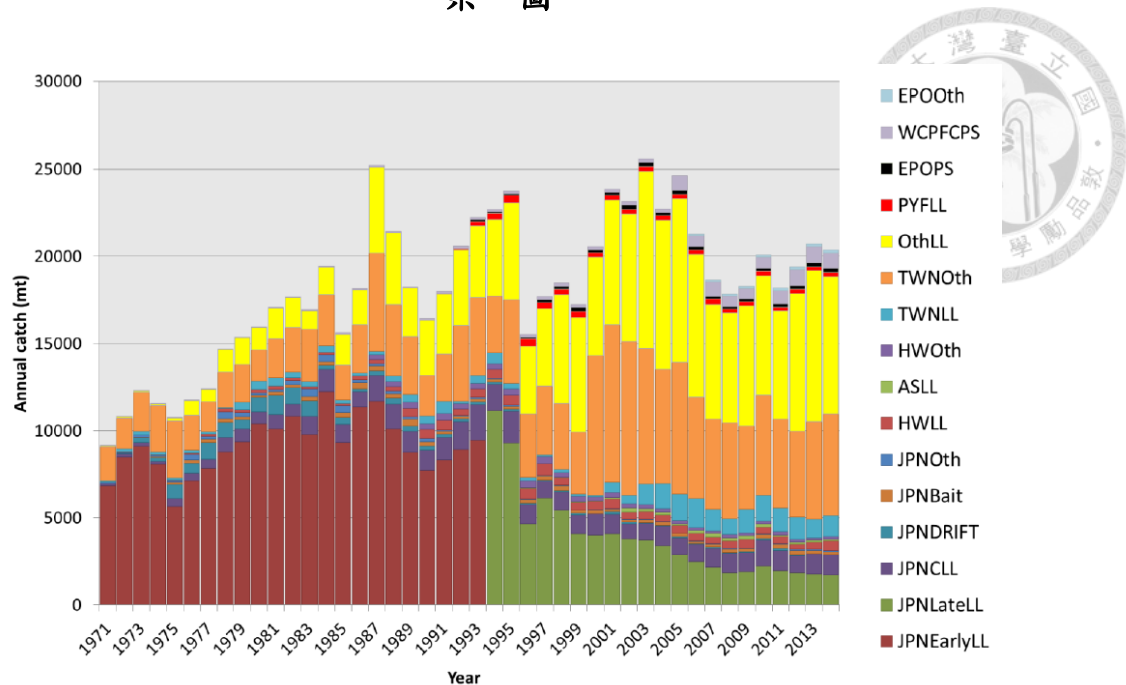


圖 1、1971 至 2014 年各國漁業別太平洋黑皮旗魚漁獲量變動（引用自 ISC, 2016）。
 EPOOth 為東太平洋曳繩釣（troll）、一支釣（handline）、及鏢旗魚（harpoon）；
 WCPFCPS 為中西太平洋圍網；EPOPS 為東太平洋圍網；PYFLL 為法國玻里尼西亞
 （French Polynesia）延繩釣；OthLL 為其他船籍延繩釣；TWNOth 為台灣其他漁法；
 TWNLL 為台灣遠洋延繩釣；HWOth 為夏威夷曳繩釣；ASLL 為美屬薩摩亞
 （American Samoa）延繩釣；HWLL 為夏威夷延繩釣；JPN0th 為日本其他漁業
 （two mixed gear fisheries）；JPNBait 為日本誘餌漁業；JPNDRIFT 為日本流刺網漁
 業；JPNCLL 為日本沿岸延繩釣；JPNLateLL 為日本晚期近海及遠洋延繩釣；
 JPNEarlyLL 為日本早期近海及遠洋延繩釣。

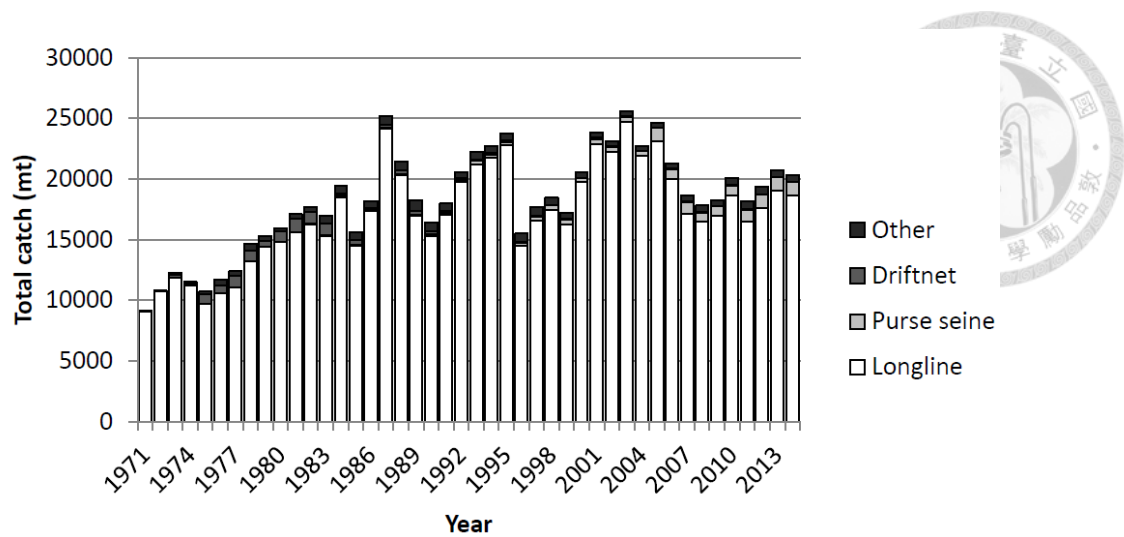


圖 2、1971 至 2014 年漁業別太平洋黑皮旗魚漁獲量變動（引用自 ISC, 2016）。Other 為其他漁法；Driftnet 為流刺網；Purse seine 為圍網；Longline 為延繩釣。

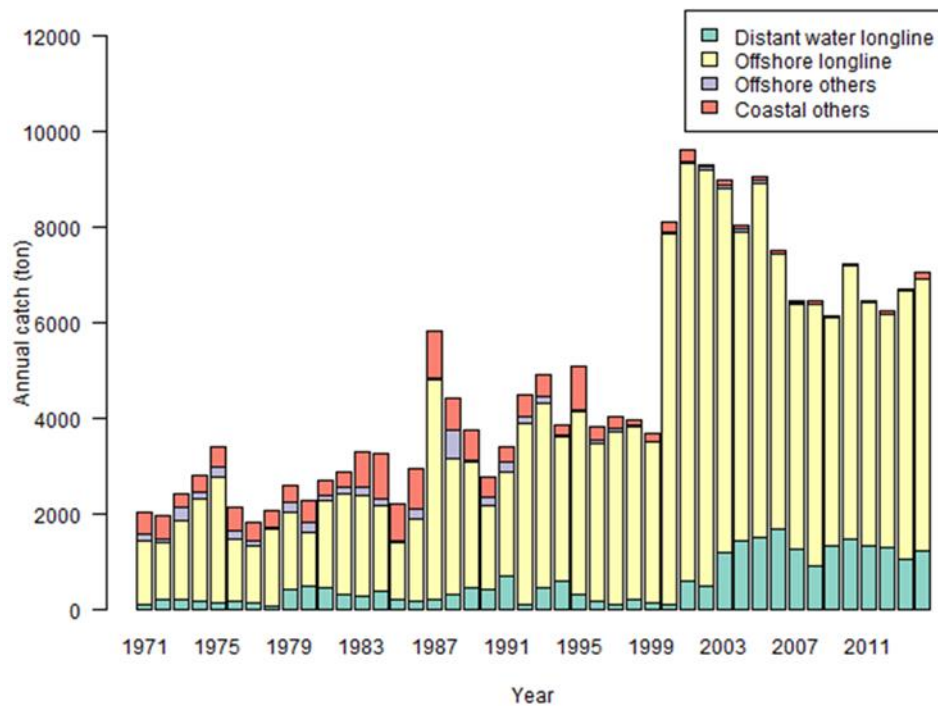


圖 3、1971 至 2014 年台灣漁獲太平洋黑皮旗魚之漁業別漁獲量變動（引用自行政院農業委員會漁業署，1971-2014）。Distant water longline 為遠洋延繩釣；Offshore longline 為近海延繩釣；Offshore others 為近海其他漁法（包含刺網）；Coastal others 為沿岸其他漁法（包含鏢旗魚、定置網、刺網、延繩釣）。

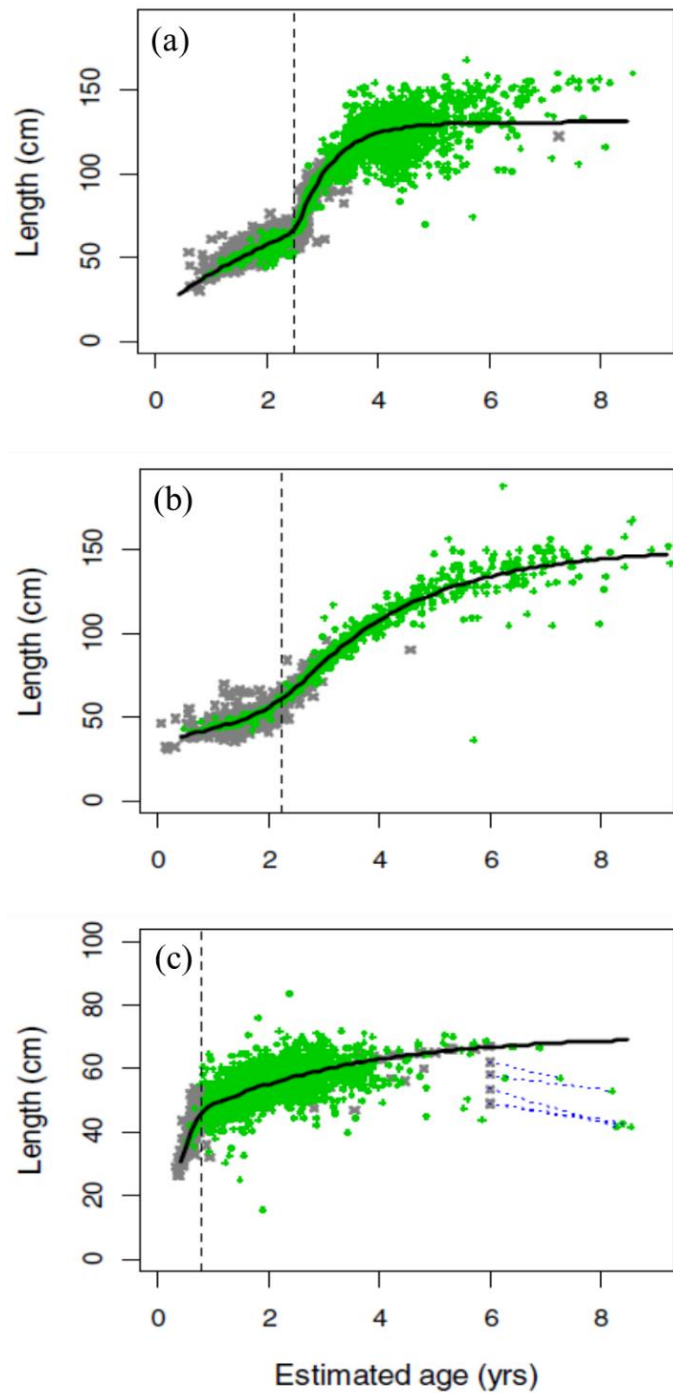


圖 4、三種高度洄游魚類成長速率在不同生命週期階段明顯改變之示意圖（引用自 Eveson et al., 2015），（a）為黃鰭鮪（*Thunnus albacares*）；（b）為大目鮪（*Thunnus obesus*）；（c）為正鰲（*Katsuwonus pelamis*）。

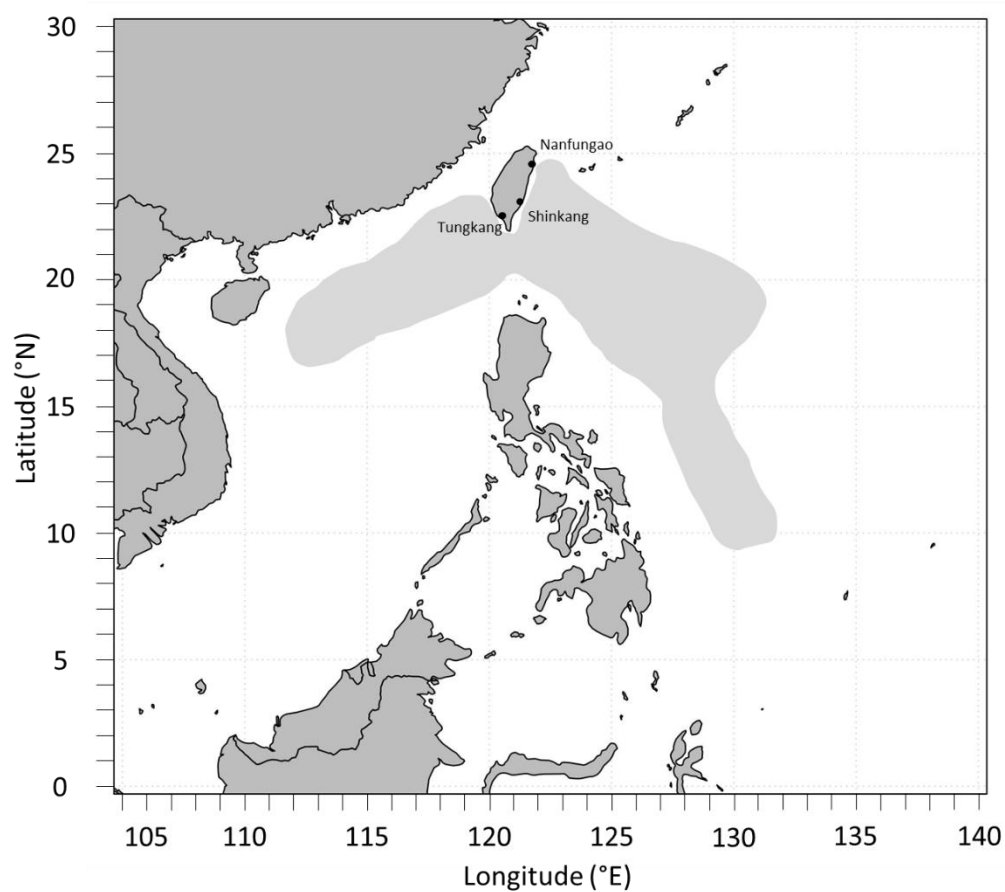


圖 5、本研究採樣魚市場（Tungkan，東港； Shinkang，新港； Nangang，南方澳）及台灣近海鮪延繩釣主要作業海域。

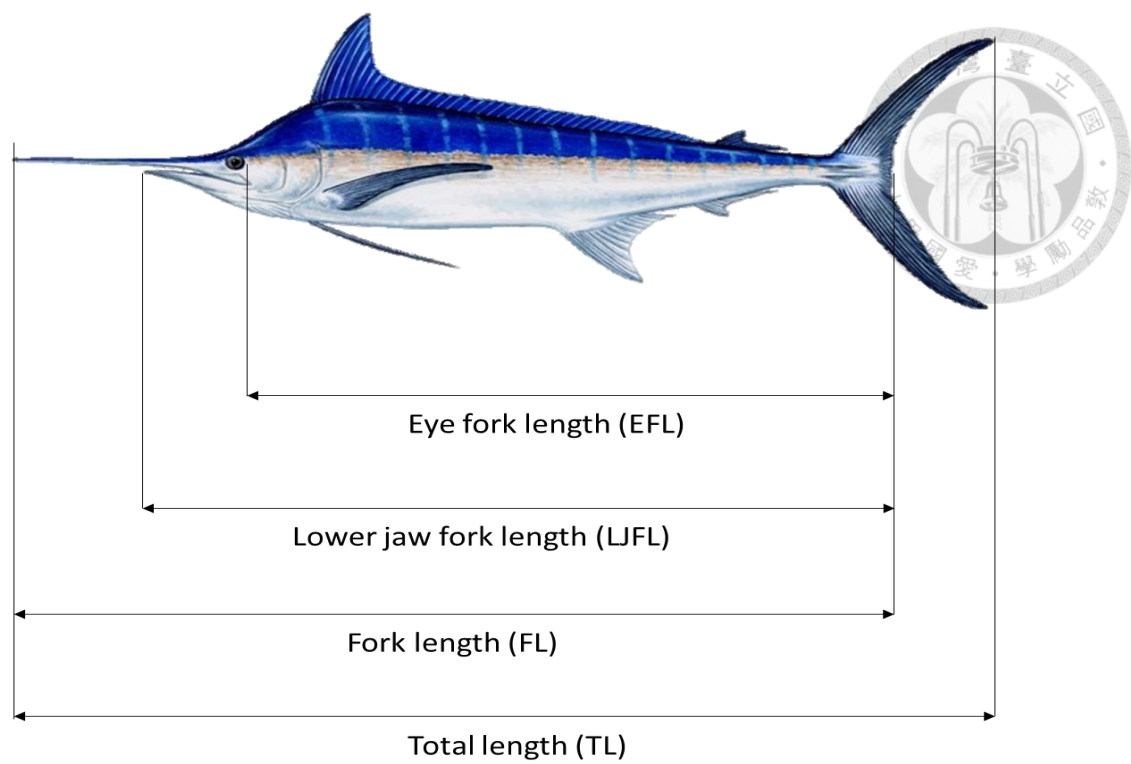


圖 6、黑皮旗魚體長量測方法。Eye fork length (EFL) 為眼後眶尾叉長；Lower jaw fork length (LJFL) 為下顎尾叉長；Fork length (FL) 為尾叉長；Total length (TL) 為全長。

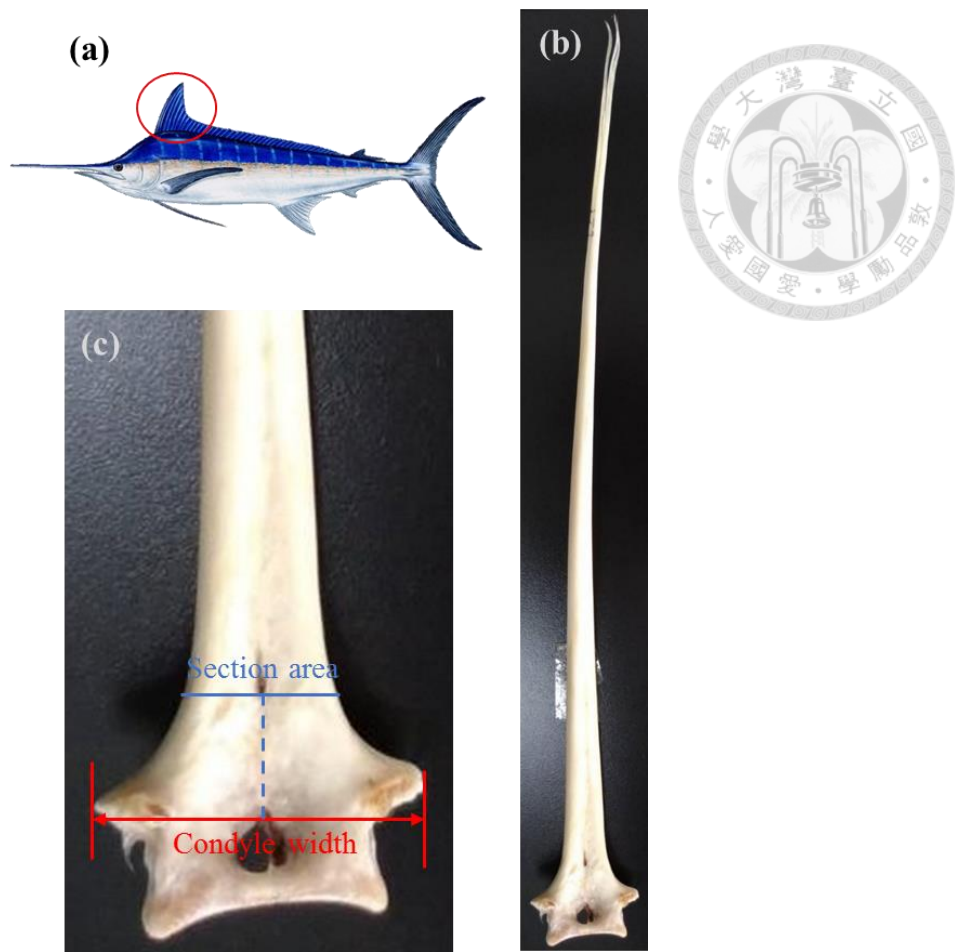


圖 7、黑皮旗魚第一背鰭的硬棘採樣位置 (a)；第四硬棘外觀 (b)；硬棘切片位置 (section area，藍色) 距離硬棘基部二分之一骨突寬處 (condyle width，紅色) (c)。

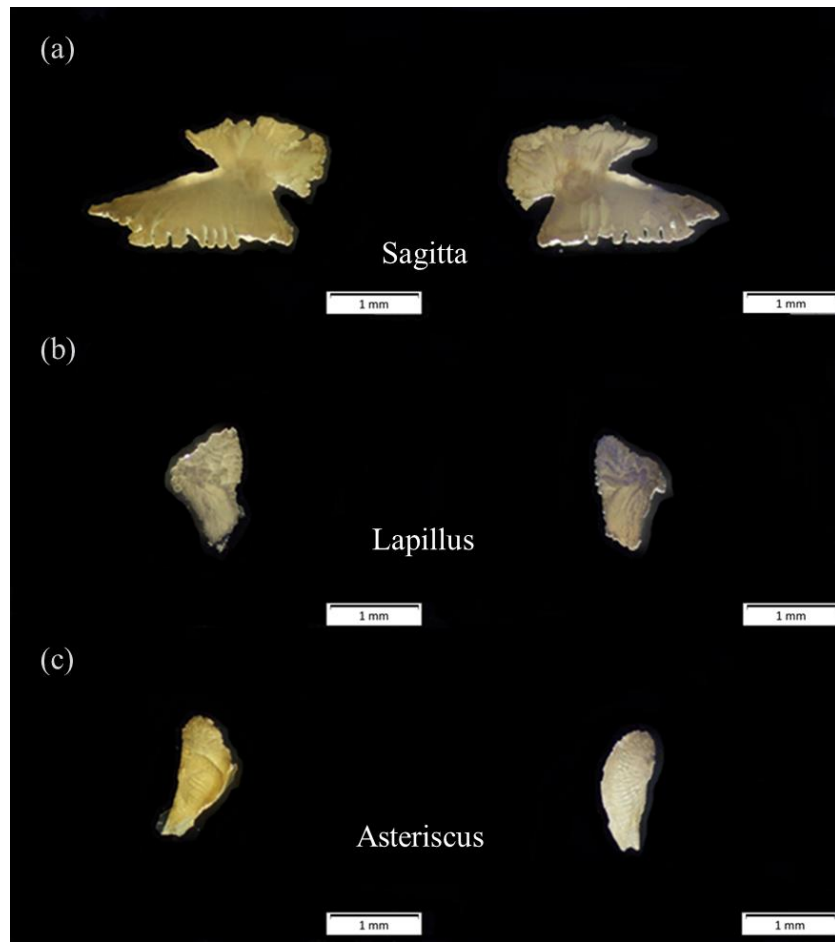


圖 8、黑皮旗魚三對耳石於解剖顯微鏡下外觀。sagitta 為矢狀石 (a)；lapillus 為扁平石 (b)；asteriscus 為星狀石 (c)。樣本為 162 公分 EFL 雄魚。

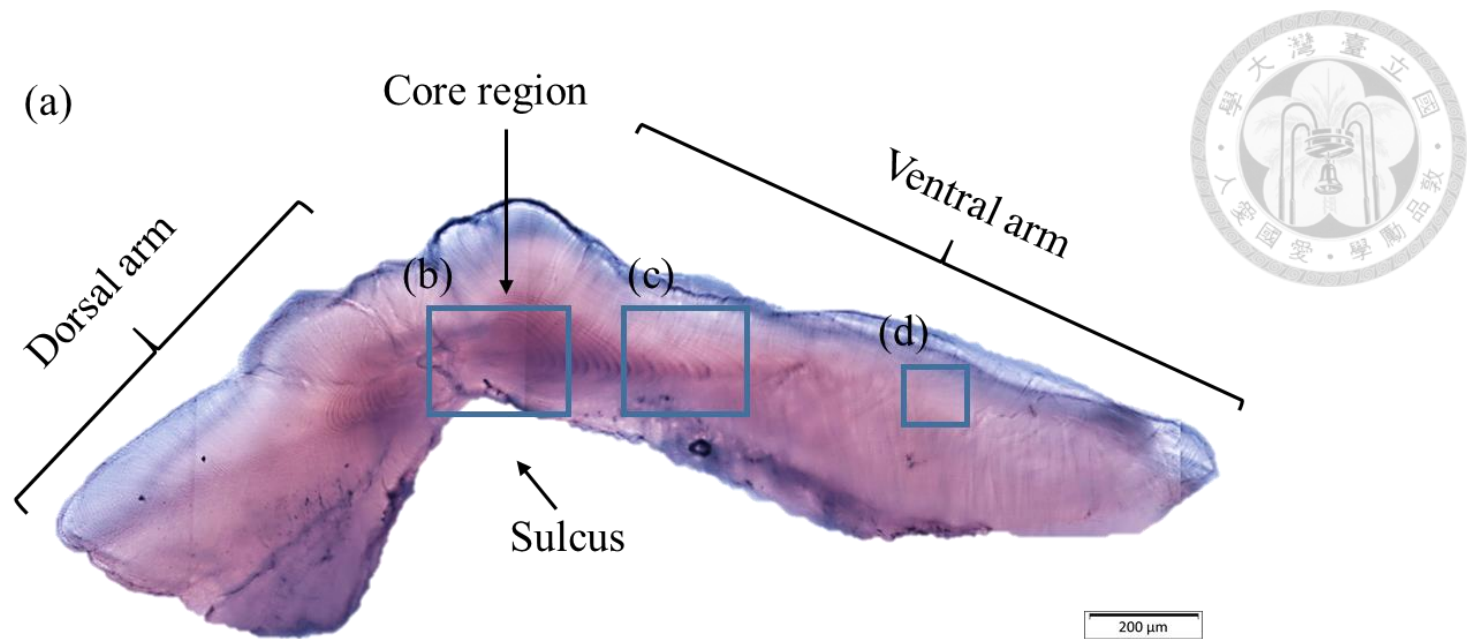
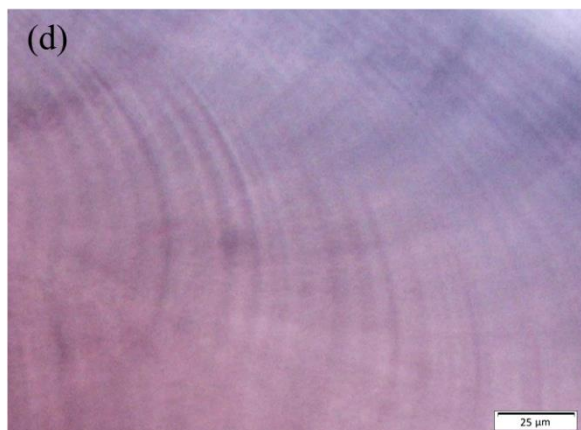
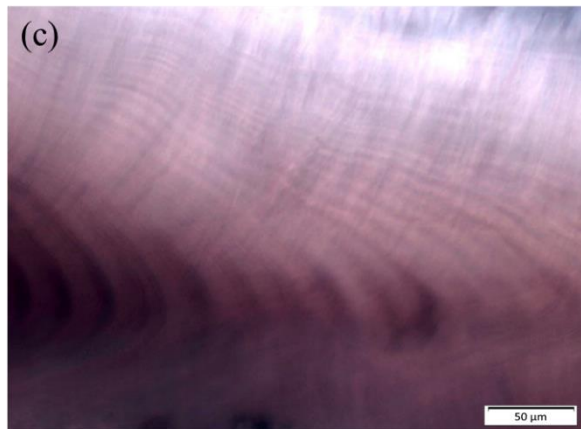
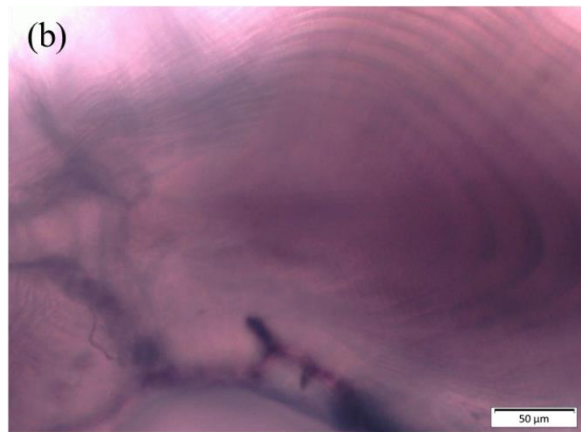


圖 9、黑皮旗魚矢狀石橫切面影像 (a)。Sulcus 為凹槽，其左右兩側為背邊 (dorsal arm) 及腹邊 (ventral arm)。樣本為 126 公分 EFL 雄魚。



(續)圖 9、耳石核心區域 (core region) 輪紋 (b)；長軸中段輪紋 (c)；及長軸尾端輪紋 (d)。樣本為 126 公分 EFL 雄魚。

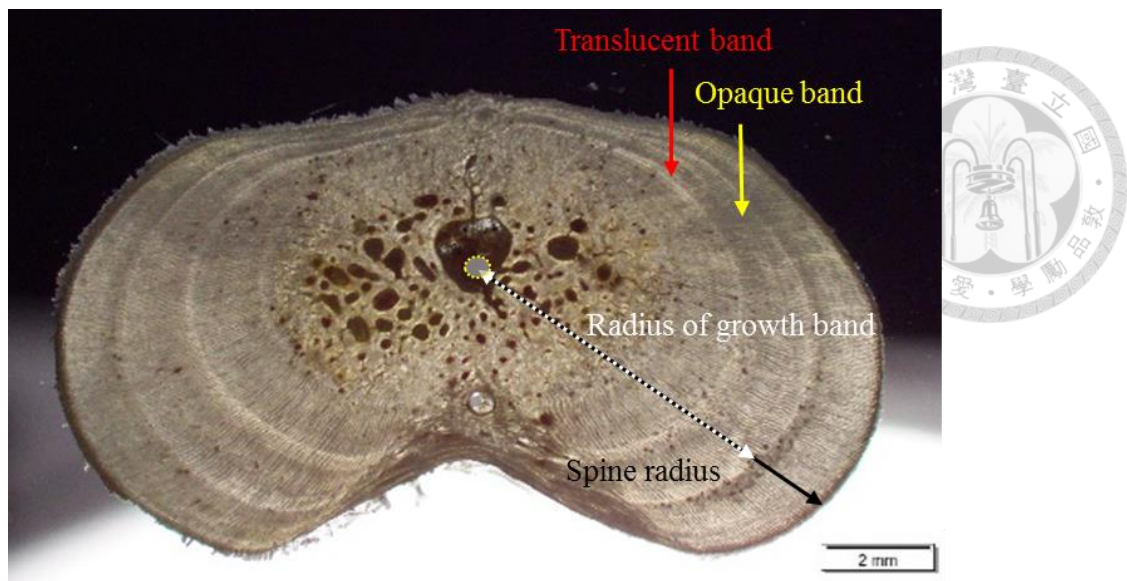


圖 10、黑皮旗魚硬棘切片影像及測量方法。spine radius (R_{MG}) 為硬棘切片邊緣半徑；radius of growth band (r_i) 為輪紋半徑，黃色圓形虛線為核心 (focus) 位置；紅色箭頭為透光帶 (translucent band)；黃色箭頭為不透光帶 (opaque band)。樣本為 175 公分 EFL 雌魚。

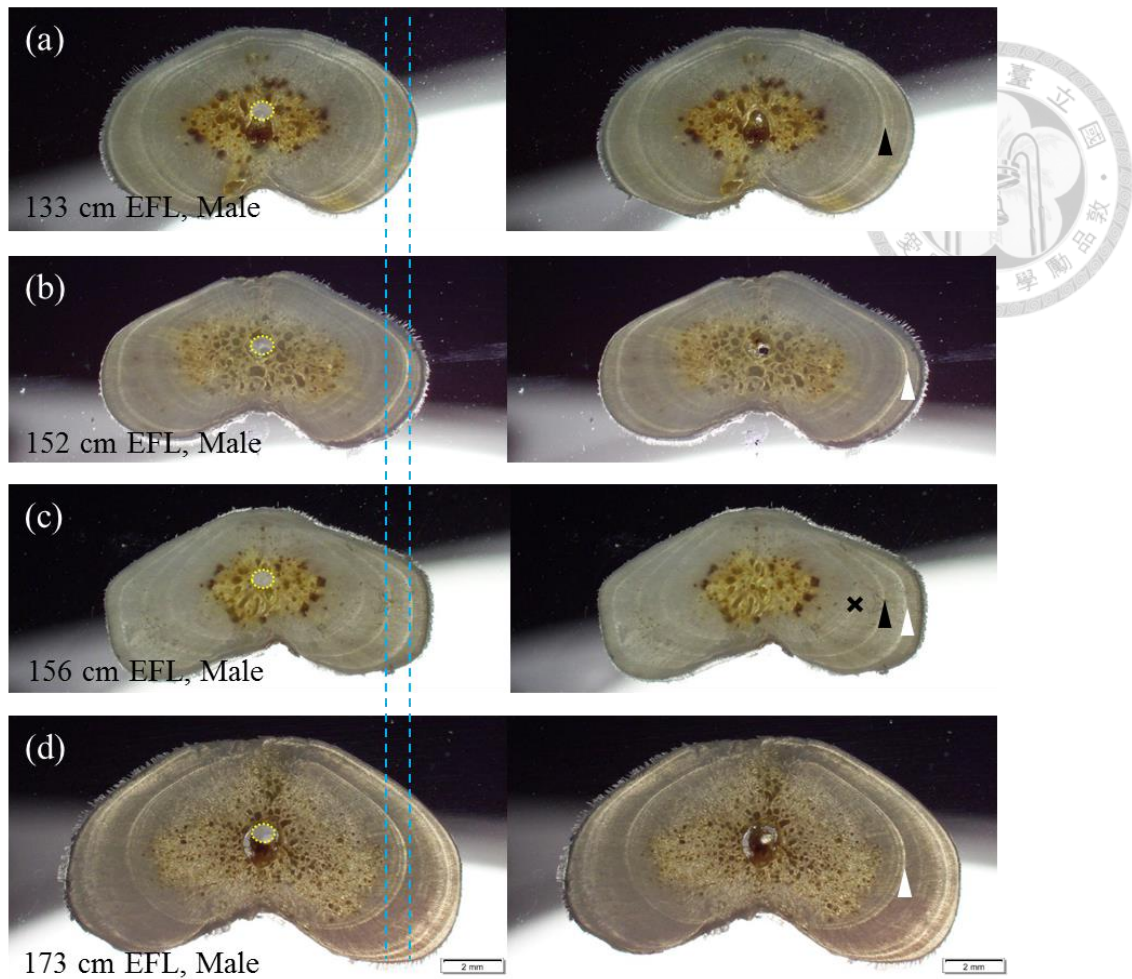


圖 11、黑皮旗魚硬棘切片輪紋判讀方法（左圖）及輪紋判讀結果（右圖）。黃色圓形虛線為核心；藍色垂直虛線為年輪參考基準線；白色三角形為年輪（annual growth band）；黑色交叉為偽輪（false growth band）；黑色三角形為一歲以前形成之偽年輪（false-annual growth band）。樣本為 133 公分 EFL 雄魚（a）；152 公分 EFL 雄魚（b）；156 公分 EFL 雄魚（c）；173 公分 EFL 雄魚（d）。

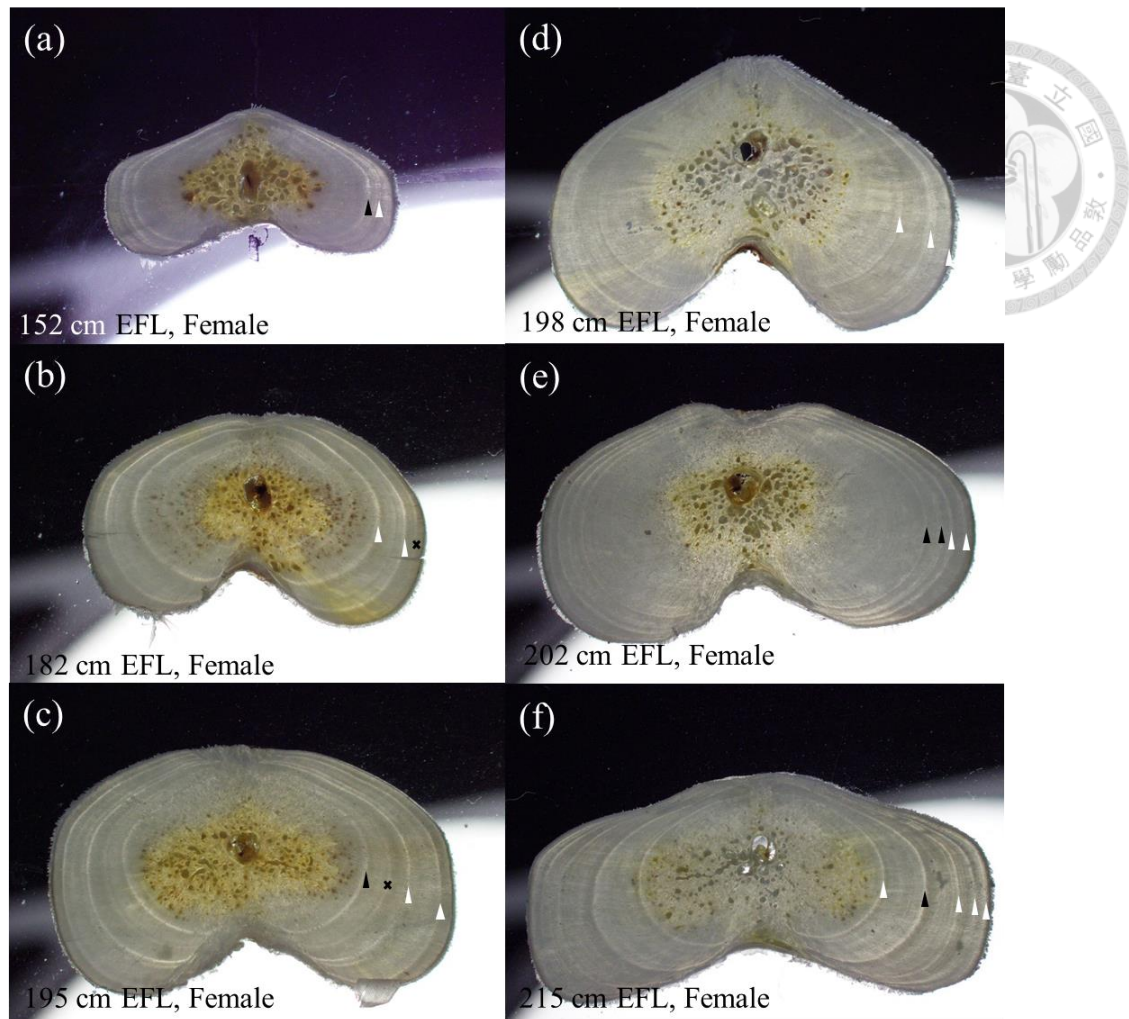


圖 12、本研究雌魚硬棘切片示意圖。樣本為 152 公分 EFL 雌魚 (a)；182 公分 EFL 雌魚 (b)；195 公分 EFL 雌魚 (c)；198 公分 EFL 雌魚 (d)；202 公分 EFL 雌魚 (e)；215 公分 EFL 雌魚 (f)；白色三角形為年輪 (annual growth band)；黑色交叉為偽輪 (false growth band)；黑色三角形為偽年輪 (false-annual growth band)。

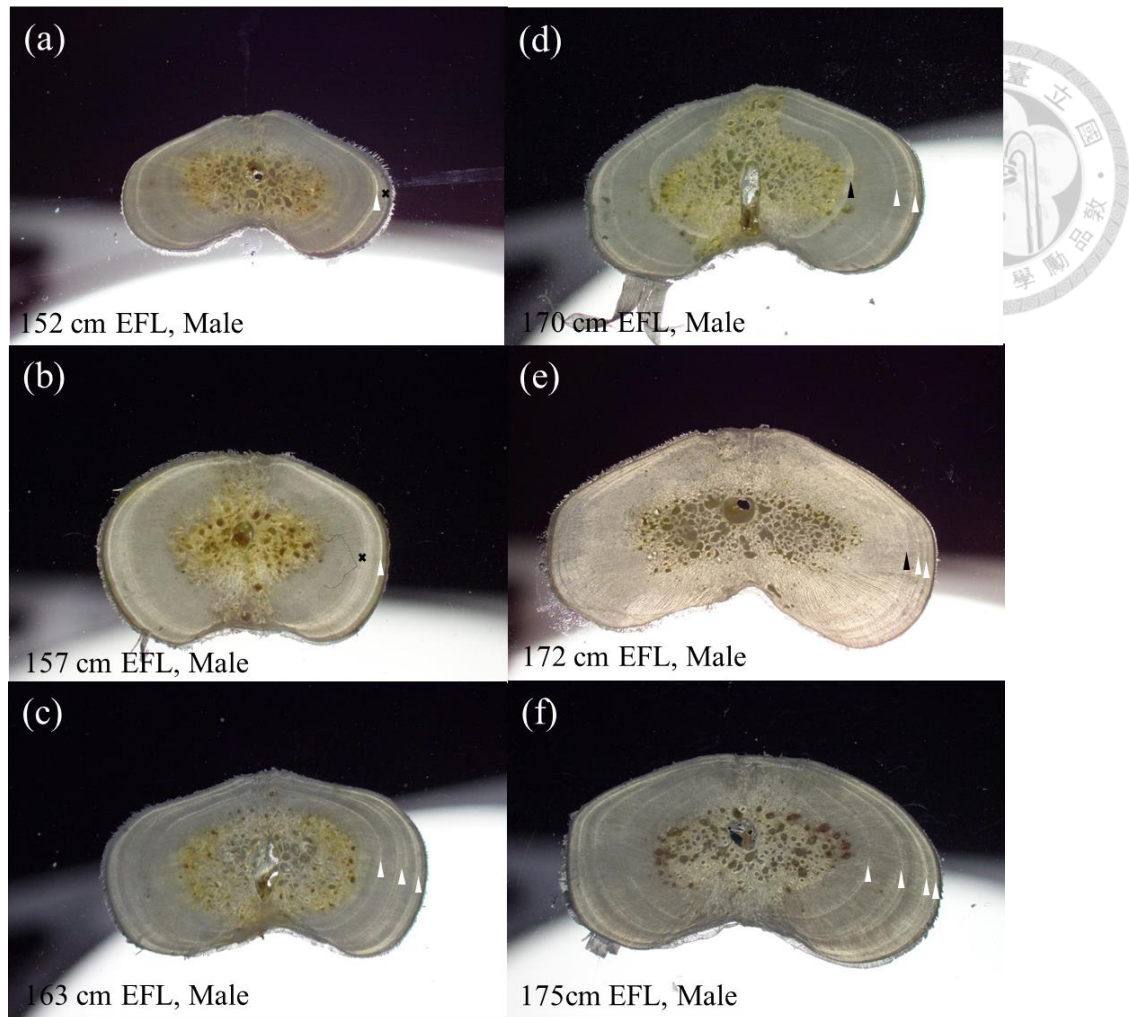


圖 13、本研究雄魚硬棘切片示意圖。樣本為 152 公分 EFL 雄魚 (a)；157 公分 EFL 雄魚 (b)；163 公分 EFL 雄魚 (c)；170 公分 EFL 雄魚 (d)；172 公分 EFL 雄魚 (e)；175 公分 EFL 雄魚 (f)；白色三角形為年輪 (annual growth band)；黑色交叉為偽輪 (false growth band)；黑色三角形為偽年輪 (false-annual growth band)。

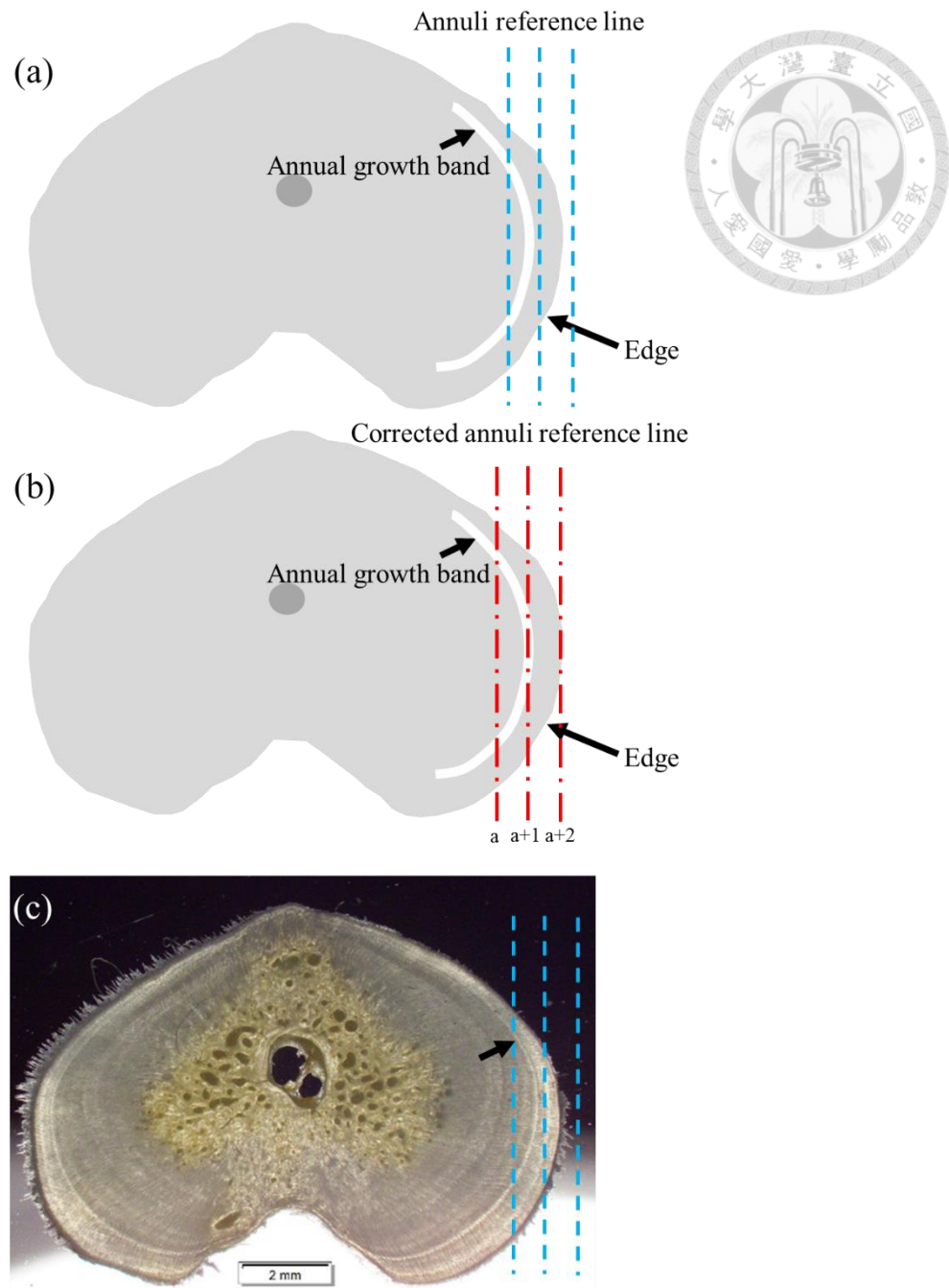


圖 14、黑皮旗魚硬棘切片年輪 (annual growth band) 之年齡判定方法 1。比較硬棘切片年輪與年輪參考基準線 (annuli reference line)，硬棘切片邊緣 (edge) 觀測到前一年輪 (白色實線) 略小於年輪參考基準線 (藍色垂直虛線) (a)；計數硬棘切片邊緣以前之微修年輪參考基準線 (corrected annuli reference line) 個數 (b)；樣本為 154 分 EFL 雄魚 (c)。

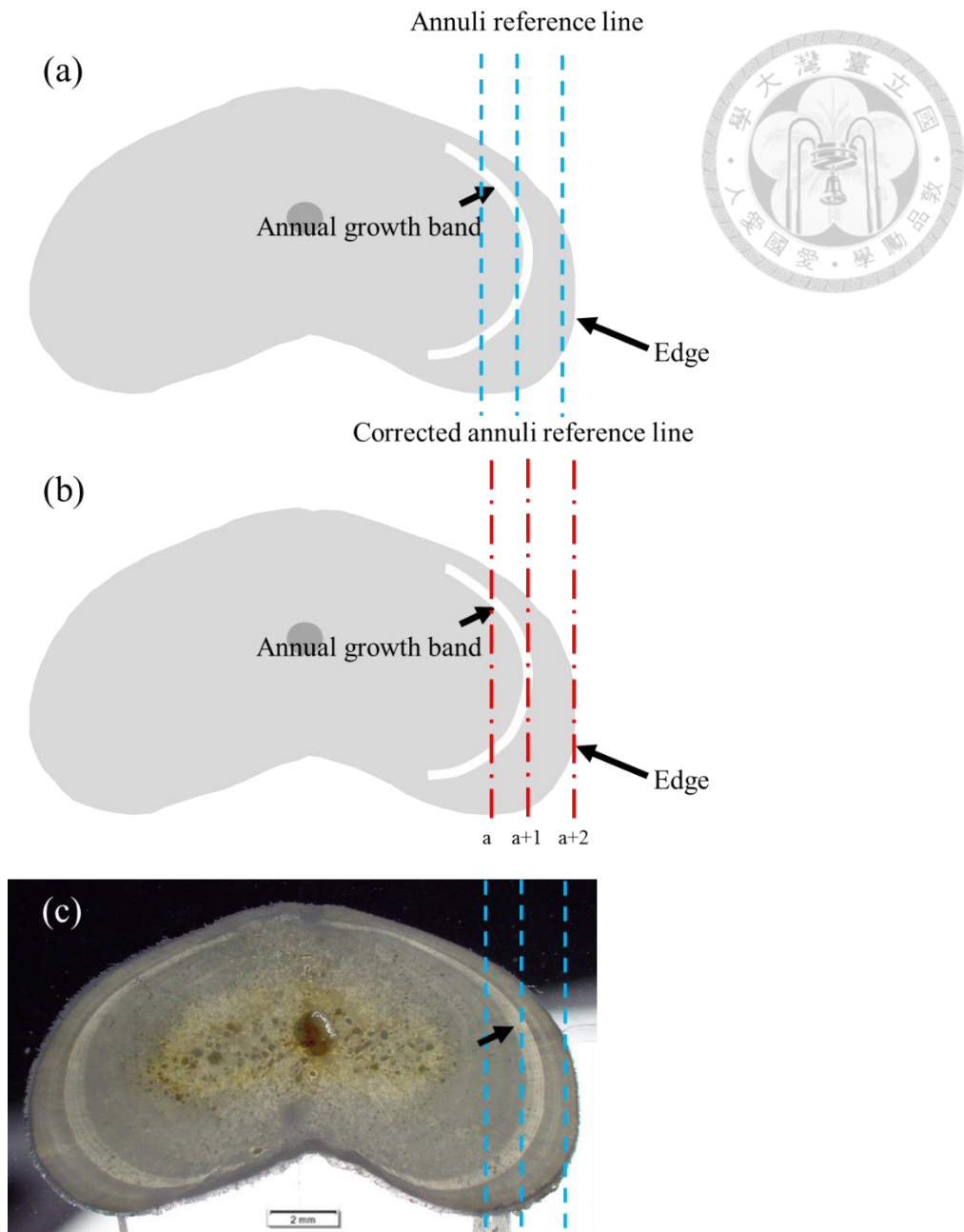


圖 15、黑皮旗魚硬棘切片年輪 (annual growth band) 之年齡判定方法 2。比較硬棘切片年輪與年輪參考基準線 (annuli reference line)，硬棘切片邊緣 (edge) 觀測到前二年輪 (白色實線) 略大於年輪參考基準線 (藍色垂直虛線) (a)；計數硬棘切片邊緣以前之微修年輪參考基準線 (corrected annuli reference line) 個數 (b)；樣本為 181 公分 EFL 雌魚 (c)。

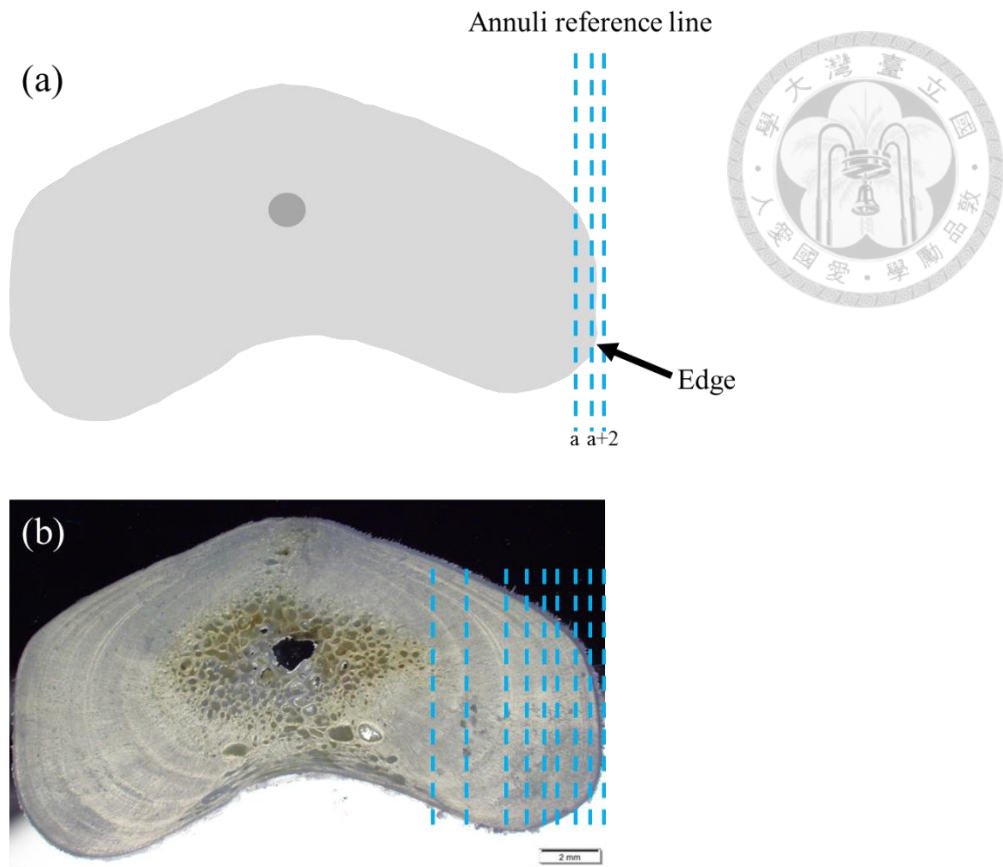


圖 16、黑皮旗魚硬棘切片年輪 (annual growth band) 之年齡判定方法 3。比較硬棘切片年輪與年輪參考基準線 (annuli reference line)，硬棘切片邊緣 (edge) 未觀測到依序前一年輪或前兩年輪 (a)，計數硬棘切片邊緣以前之年輪參考基準線個數；樣本為 225 公分 EFL 雌魚 (b)。

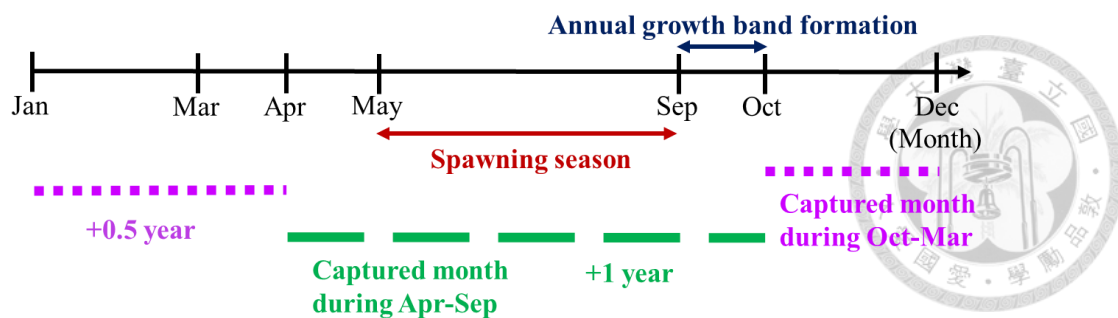


圖 17、黑皮旗魚硬棘切片年輪之小數位絕對年齡估算方法。若硬棘切片樣本捕獲月份為 10 月至隔年 3 月（短虛線），則硬棘切片判讀年齡增加 0.5 歲；若捕獲月份為 4 月至 9 月（長虛線），則上述硬棘切片判讀年齡增加 1 歲。

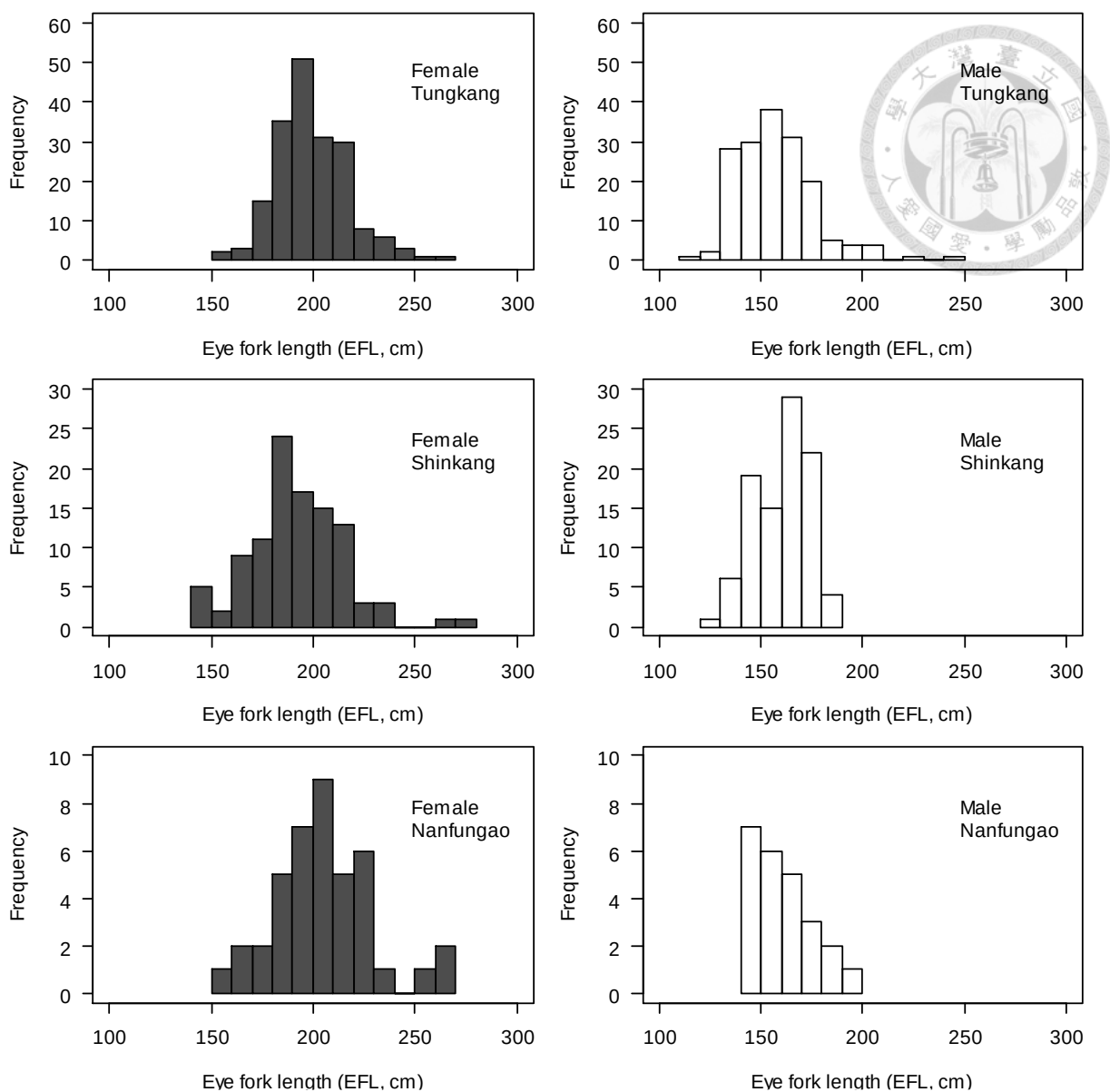


圖 18、各魚市場黑皮旗魚樣本體長頻度分布圖。東港（Tung kang）， $n=351$ ；新港（Shinkang）， $n=200$ ；南方澳（Nanfungao）， $n=65$ 。

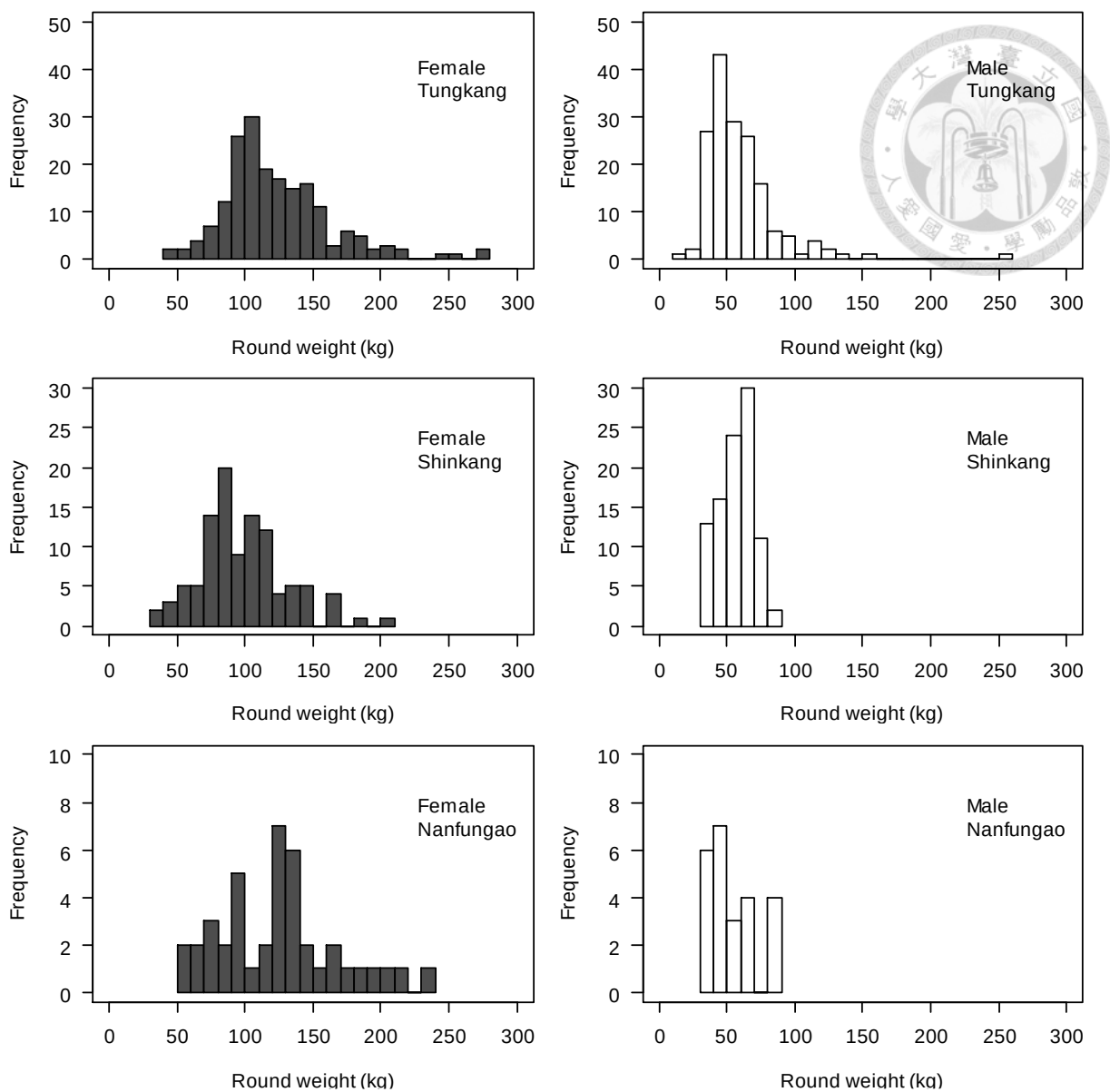


圖 19、各魚市場黑皮旗魚樣本 ($n=616$) 全重頻度分布圖。東港 (Tungkan) , $n=351$; 新港 (Shinkang) , $n=200$; 南方澳 (Nanfungao) , $n=65$ 。

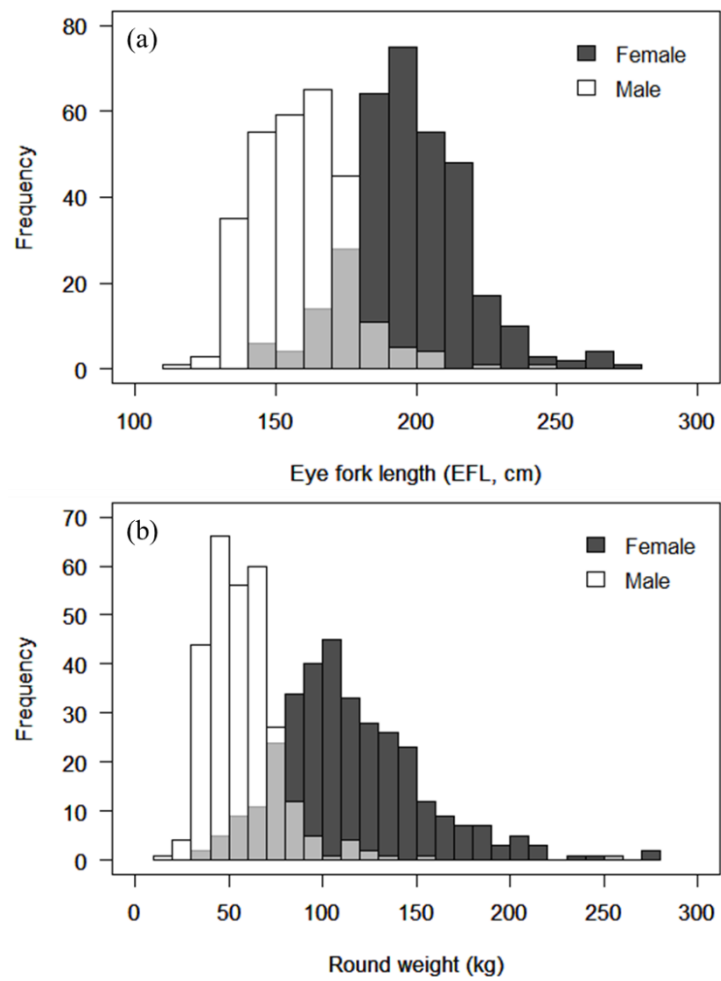


圖 20、魚市場合併黑皮旗魚樣本 ($n=616$) 體長 (a) 及全重頻度分布圖 (b)。黑色為雌魚 ($n=331$)；白色為雄魚 ($n=285$)。

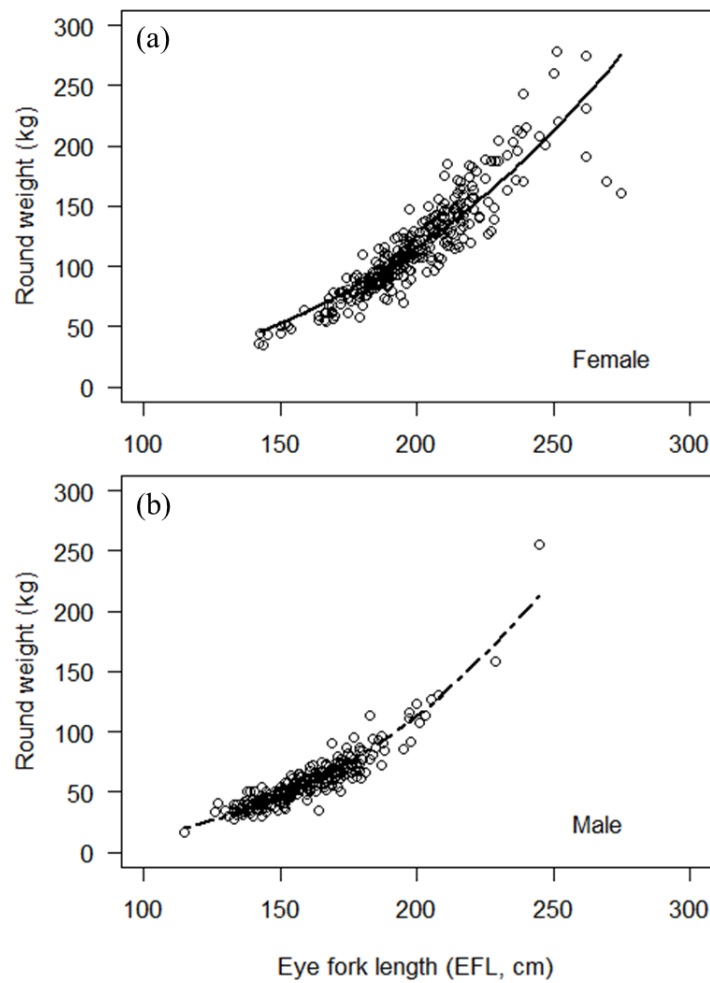


圖 21、黑皮旗魚雌魚 (a) 及雄魚 (b) 之全重 (round weight) 與眼後眶尾叉長 (EFL) 關係。雌魚樣本數為 331 尾；雄魚為 285 尾。

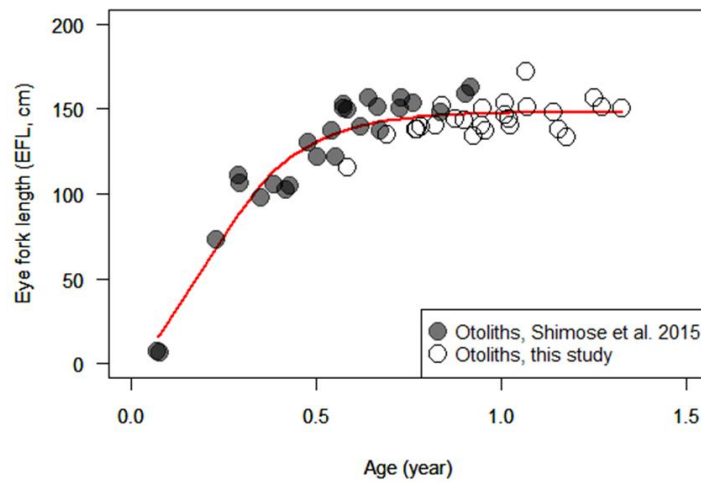


圖 22、稚齡魚年齡與眼後眶尾叉長 (EFL) 關係及 Gompertz 成長曲線。白色資料點為本研究耳石資料 ($n = 25$)；灰色資料點為 Shimose et al. (2015) 耳石資料 ($n = 26$)。

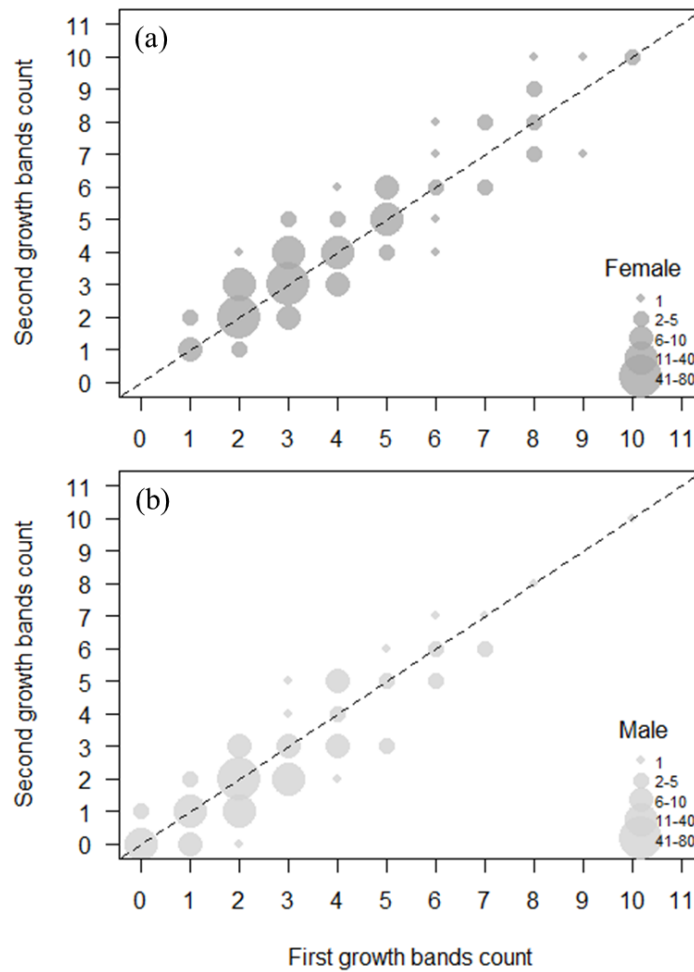


圖 23、黑皮旗魚雌魚 (a) 及雄魚 (b) 硬棘切片兩次讀輪結果。圓圈大小代表樣本數高低，雌魚樣本數為 277 組；雄魚為 227 組。

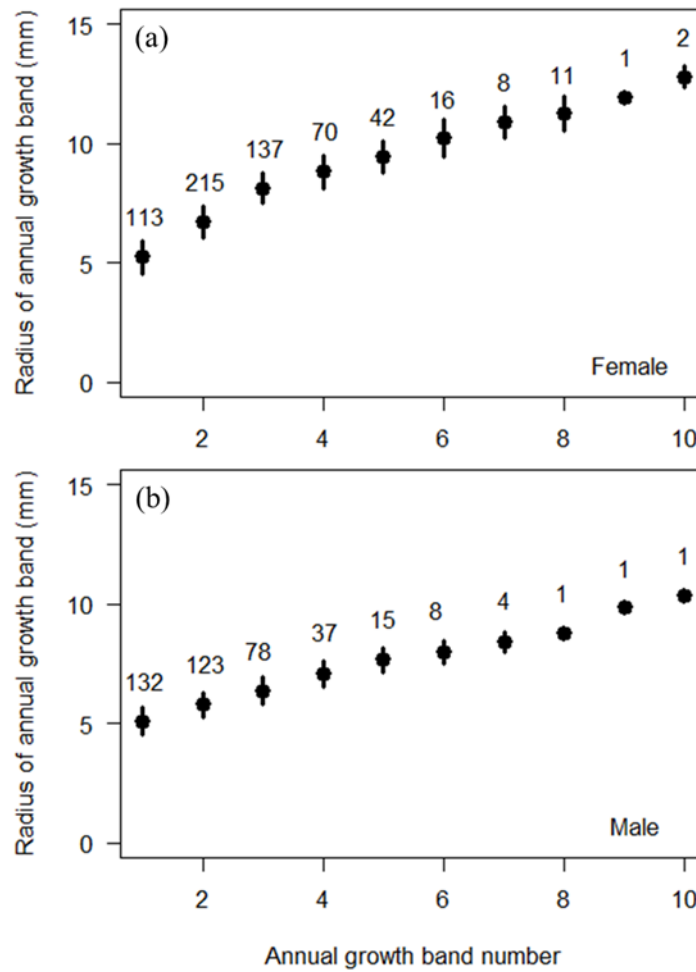


圖 24、黑皮旗魚雌魚 (a) 及雄魚 (b) 硬棘切片年輪半徑 (radius of annual growth band, 單位為 mm) 與標準差。數字為各年輪樣本數。

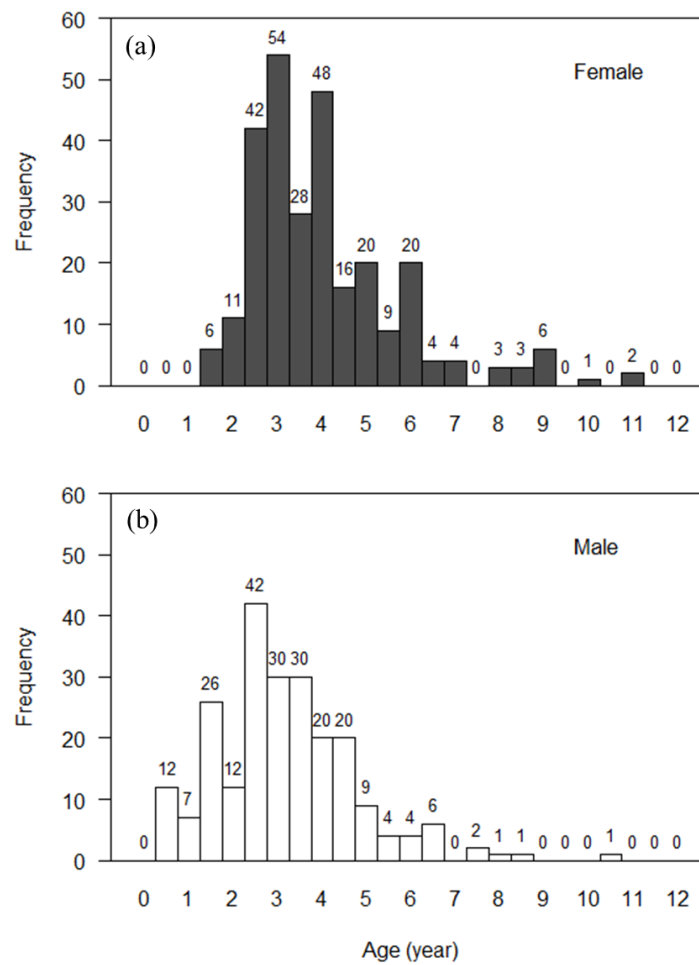


圖 25、黑皮旗魚雌魚 (a) 及雄魚 (b) 硬棘切片樣本估計年齡頻度分布圖。雌魚樣本數為 277 組；雄魚為 227 組。

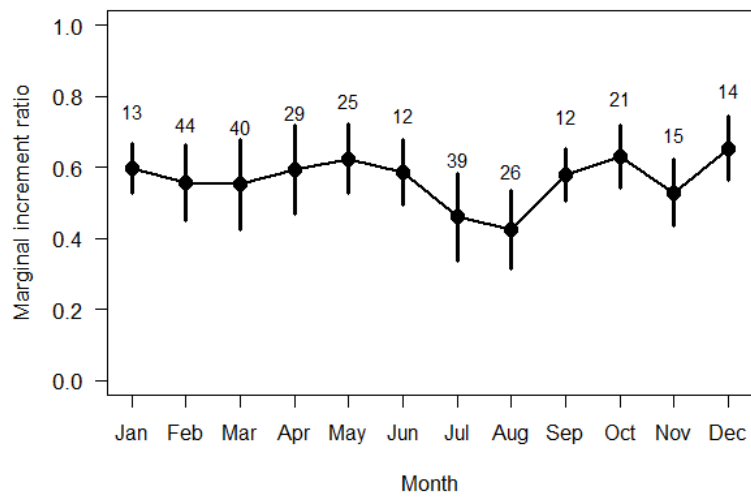


圖 26、黑皮旗魚硬棘切片月別邊緣成長率（marginal increment ratio）。數字為月份別樣本數。

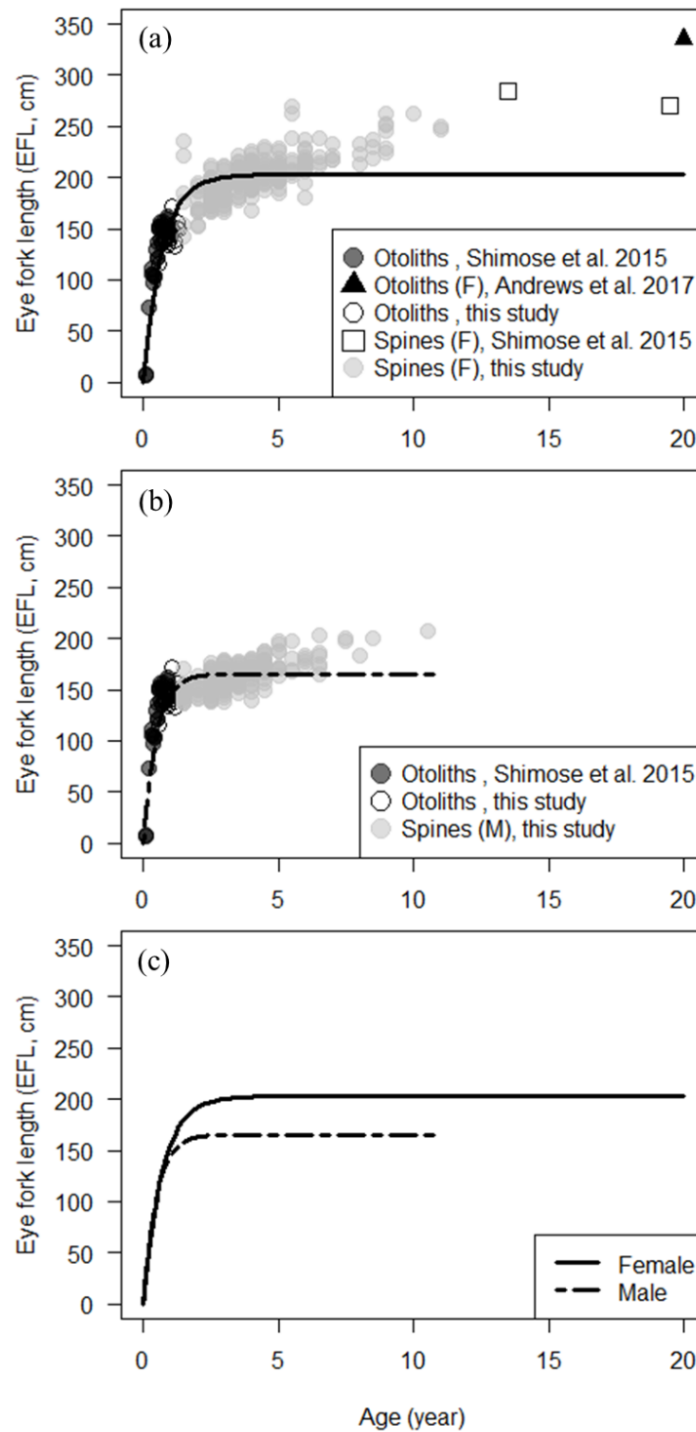


圖 27、黑皮旗魚雌魚 (a) 及雄魚 (b) 觀測體長一年齡資料之傳統 von Bertalanffy 成長模型套適結果，及雌雄別成長曲線比較 (c)。

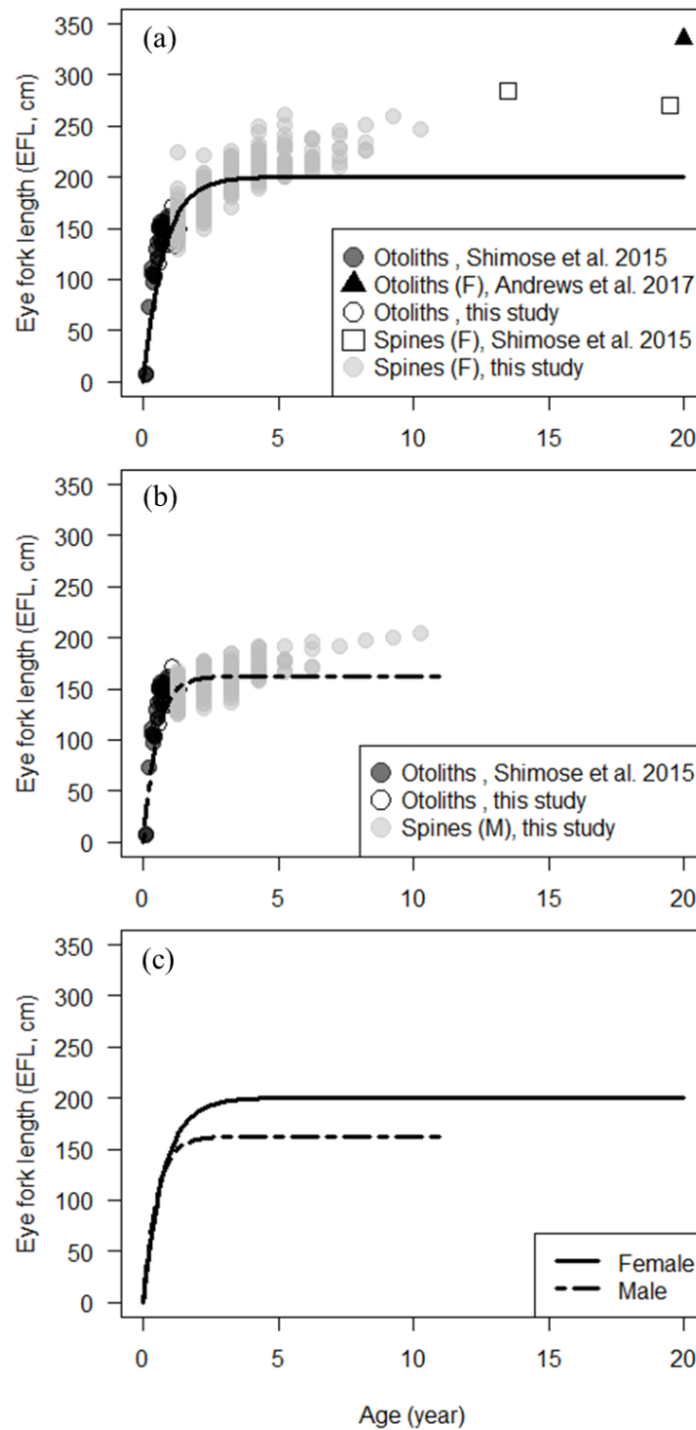


圖 28、黑皮旗魚雌魚 (a) 及雄魚 (b) 逆算體長一年齡資料之傳統 von Bertalanffy 成長模型套適結果，及雌雄別成長曲線比較 (c)。

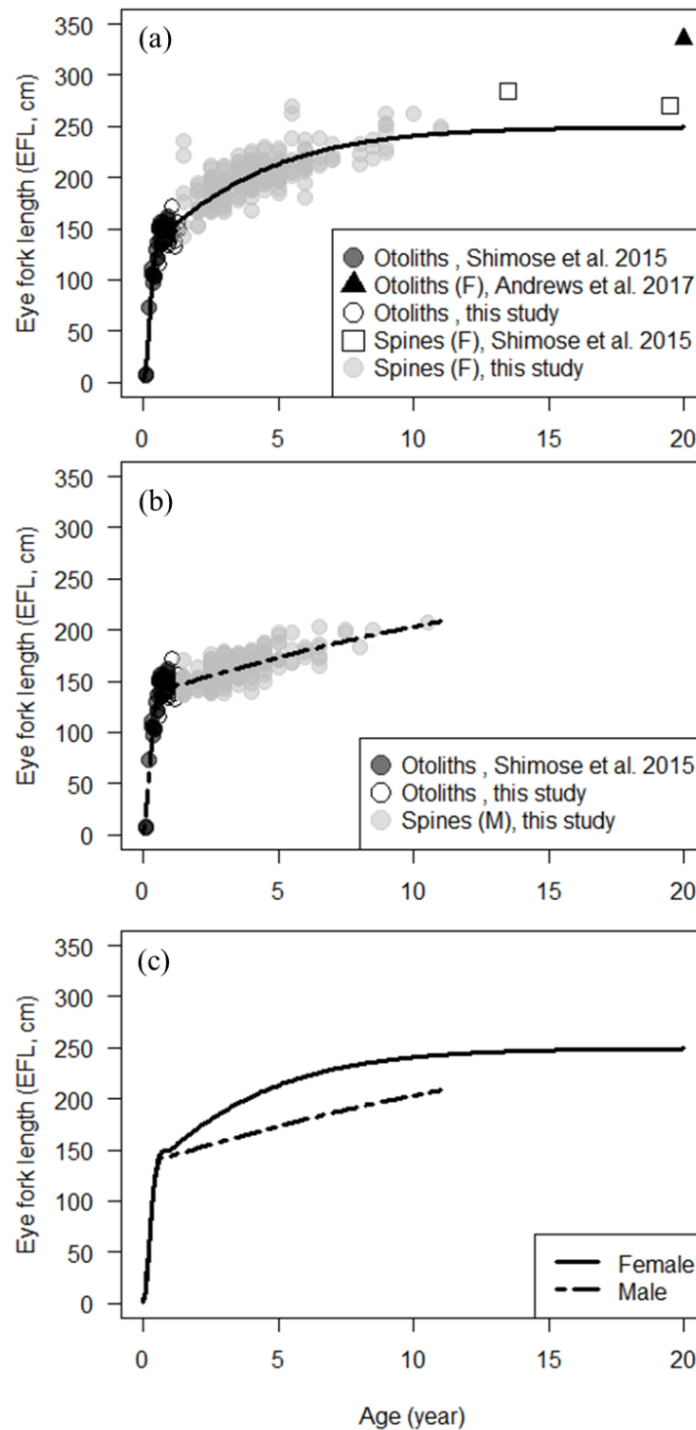


圖 29、黑皮旗魚雌魚 (a) 及雄魚 (b) 觀測體長一年齡資料之 Two-stanza 成長模型套適結果，及雌雄別成長曲線比較 (c)。

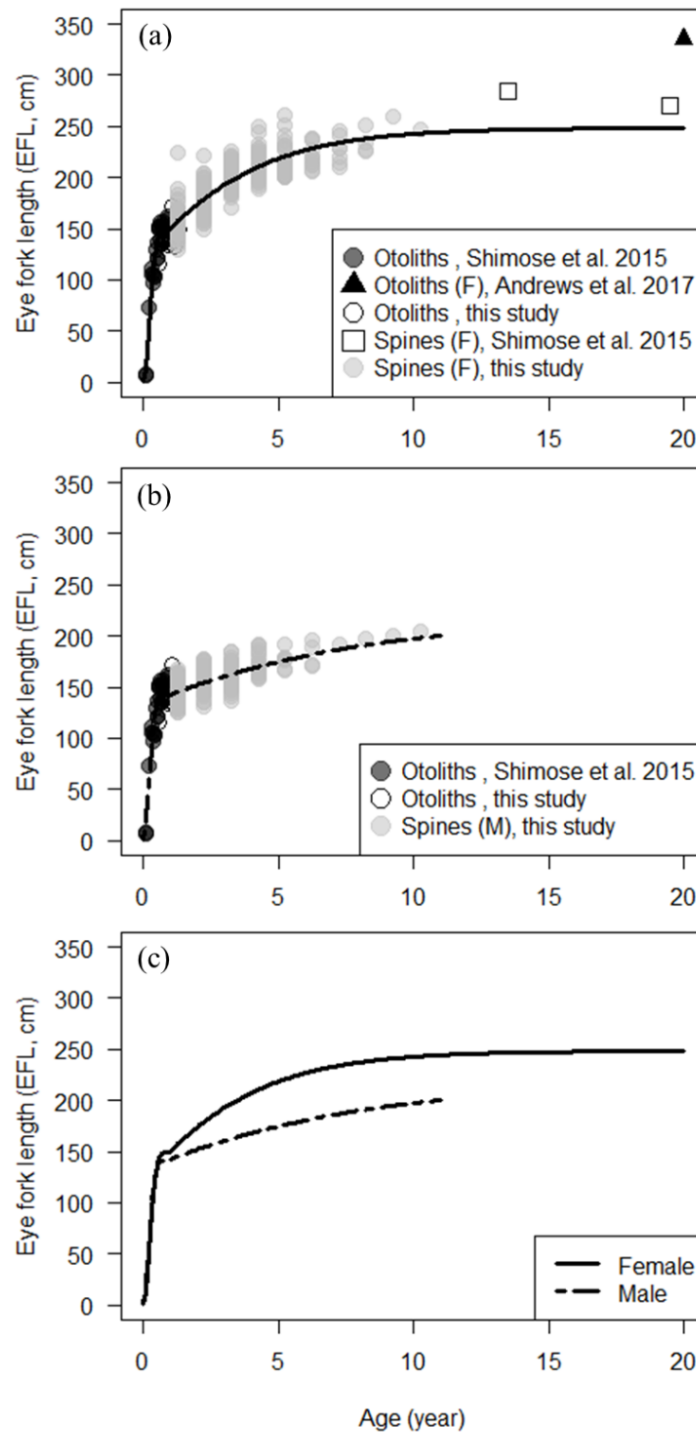


圖 30、黑皮旗魚雌魚 (a) 及雄魚 (b) 逆算體長一年齡資料之 Two-stanza 成長模型套適結果，及雌雄別成長曲線比較 (c)。

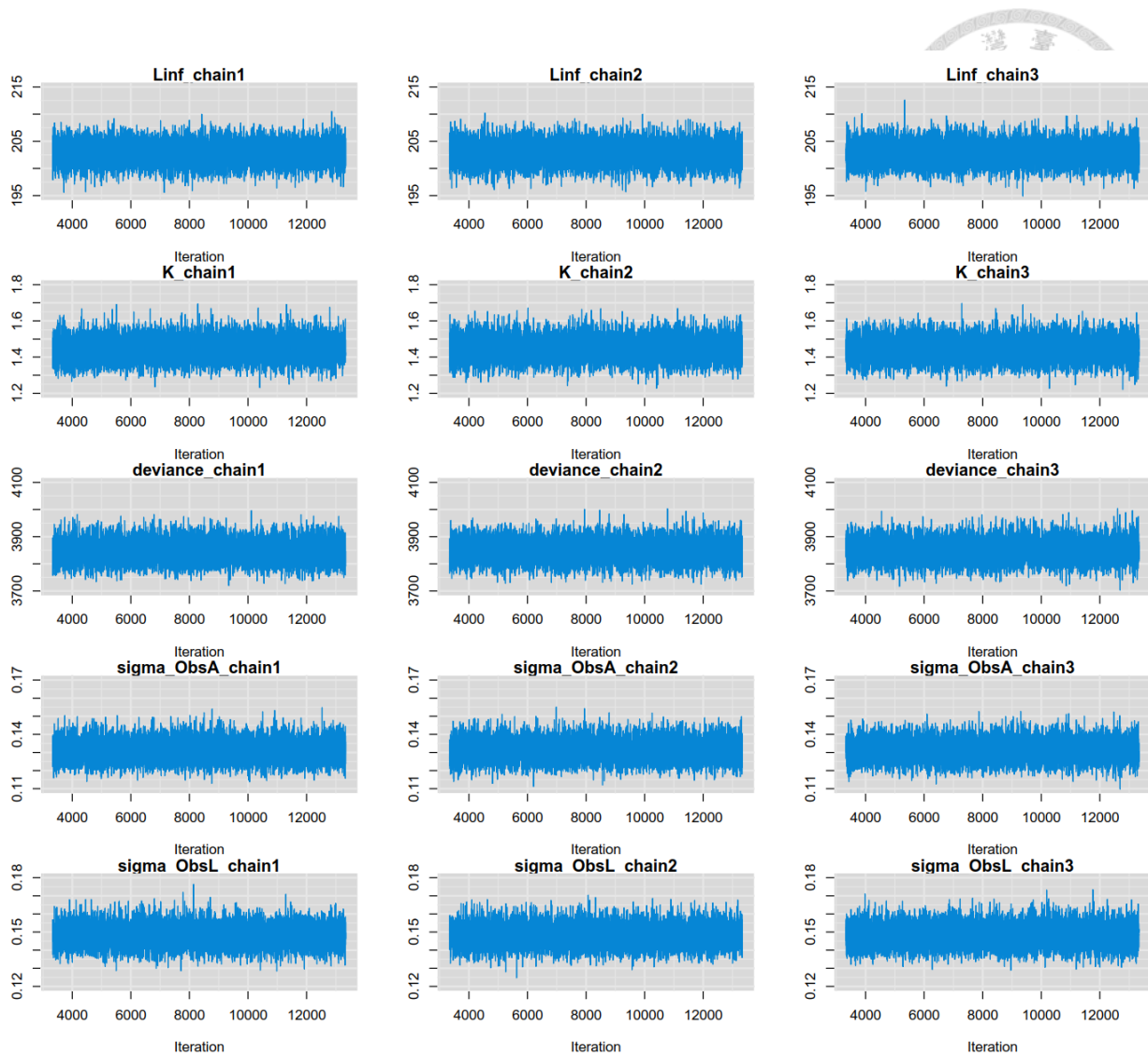


圖 31、黑皮旗魚雌魚 von Bertalanffy 成長模型參數後驗分布樣本軌跡圖。圖中 chain 1—3 為三條馬可夫鏈；Linf 為最大平均體長；K 為成長係數；deviance 為離差量數；sigma_ObsA 為讀齡誤差項之標準差；sigma_ObsL 為體長誤差項之標準差。

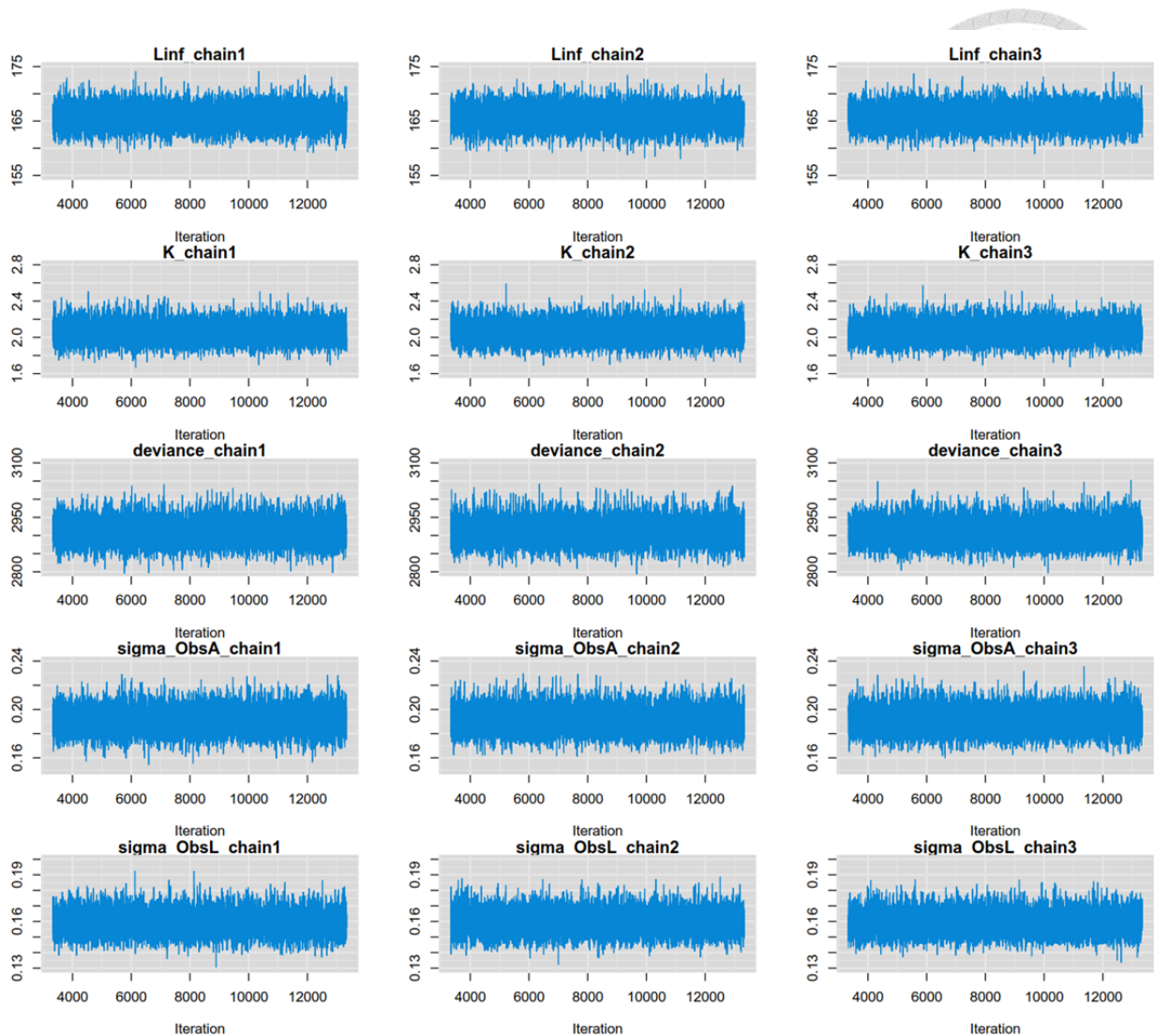


圖 32、黑皮旗魚雄魚 von Bertalanffy 成長模型參數後驗分布樣本軌跡圖。圖中 chain 1—3 為三條馬可夫鏈；Linf 為最大平均體長；K 為成長係數；deviance 為離差量數；sigma_ObsA 為讀齡誤差項之標準差；sigma_ObsL 為體長誤差項之標準差。

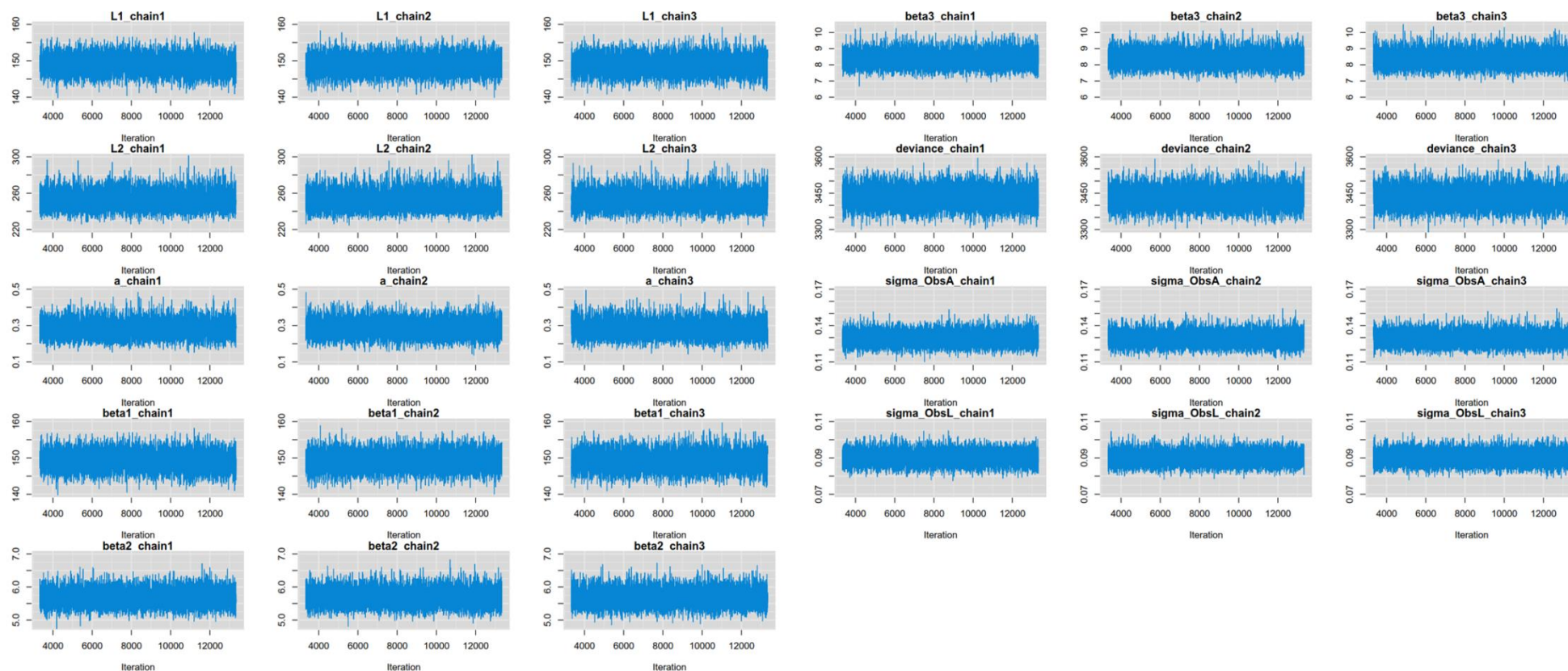


圖 33、黑皮旗魚雌魚 Two—stanza 成長模型參數後驗分布樣本軌跡圖。圖中 chain 1—3 為三條馬可夫鏈； β_1 、 β_2 及 β_3 為 Gompertz 成長模型參數； L_1 、 L_2 及 a 為 Schnute 成長模型參數；deviance 為離差量數；sigma_ObsA 為讀齡誤差項之標準差；sigma_ObsL 為體長誤差項之標準差。

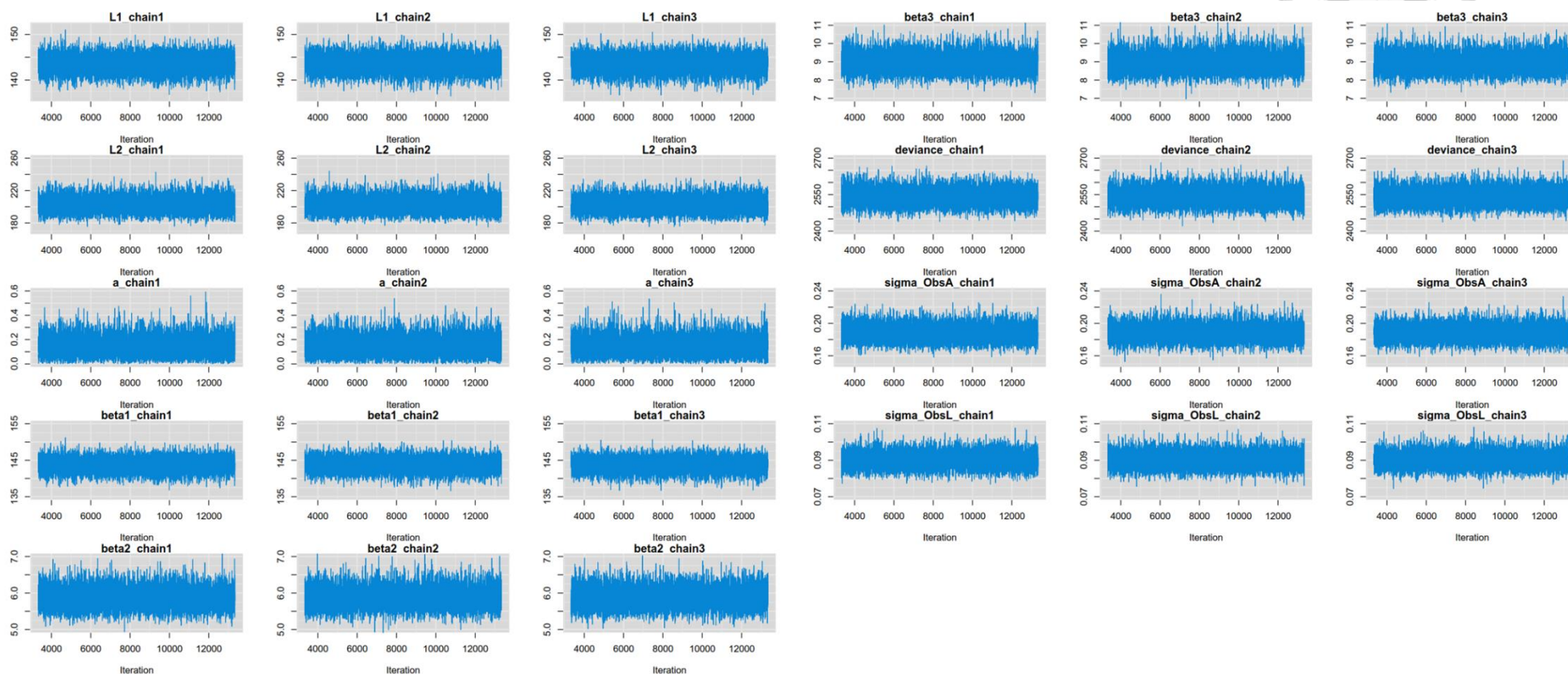


圖 34、黑皮旗魚雄魚 Two—stanza 成長模型參數後驗分布樣本軌跡圖。圖中 chain 1—3 為三條馬可夫鏈； β_1 、 β_2 及 β_3 為 Gompertz 成長模型參數； L_1 、 L_2 及 a 為 Schnute 成長模型參數；deviance 為離差量數；sigma_ObsA 為讀齡誤差項之標準差；sigma_ObsL 為體長誤差項之標準差。

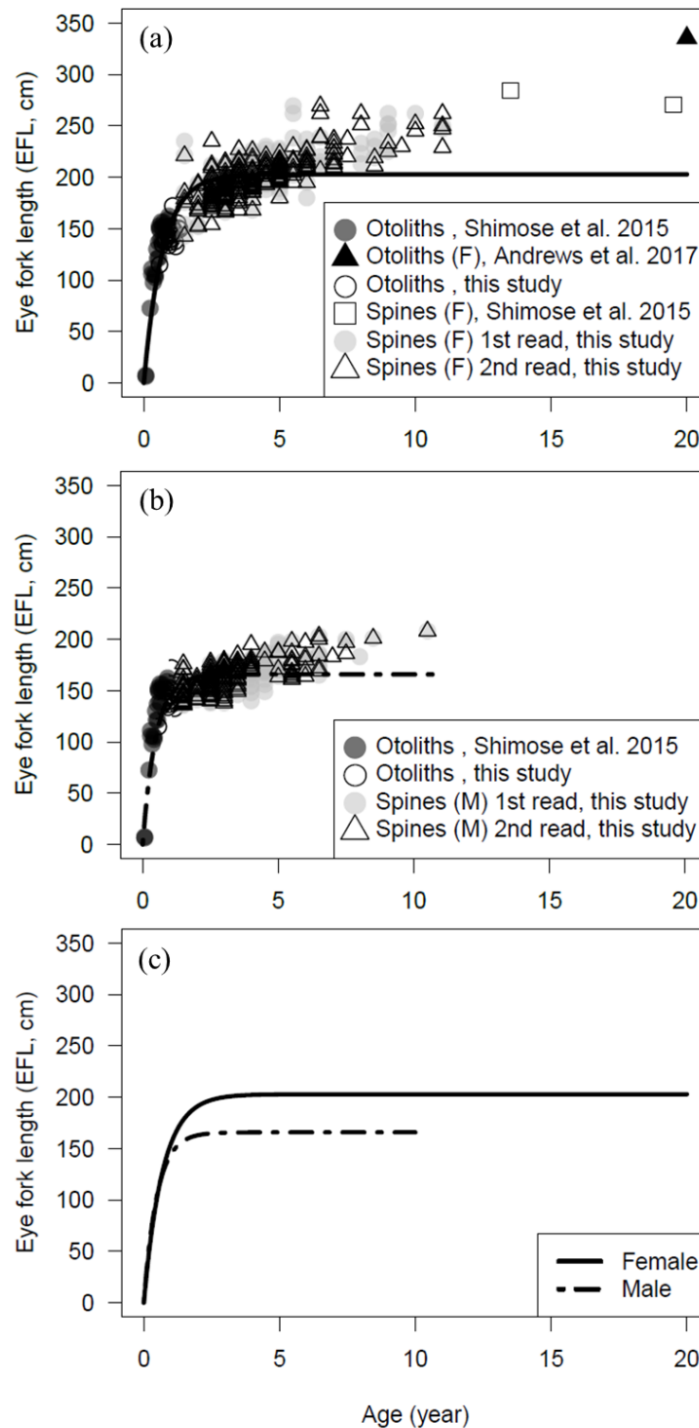


圖 35、黑皮旗魚雌魚 (a) 及雄魚 (b) 之考慮讀齡誤差之傳統 von Bertalanffy 成長模型套適結果，及雌雄別成長曲線比較 (c)。

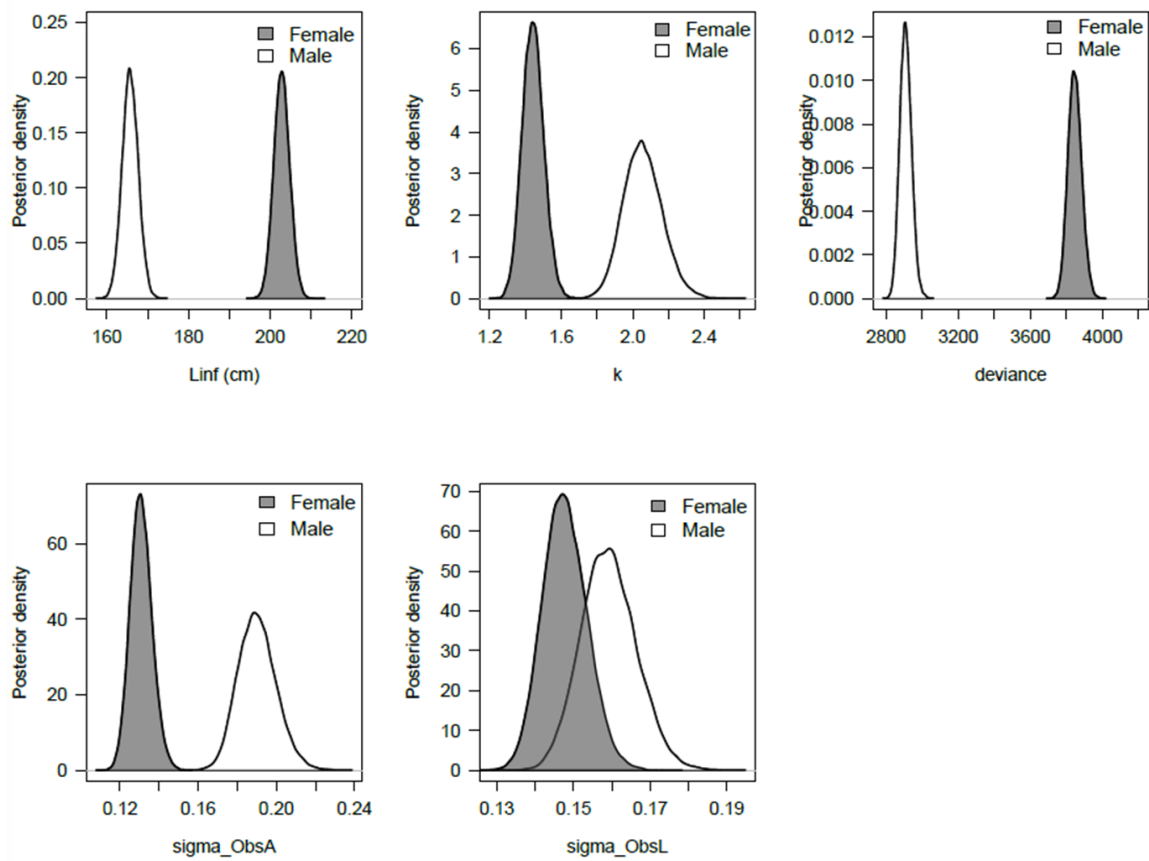


圖 36、黑皮旗魚雌魚（灰色）及雄魚（白色）之考慮讀齡誤差傳統 von Bertalanffy 成長模型參數後驗分布。Linf 為最大平均體長；K 為成長係數；deviance 為離差量數；sigma_ObsA 為讀齡誤差項之標準差；sigma_ObsL 為體長誤差項之標準差。

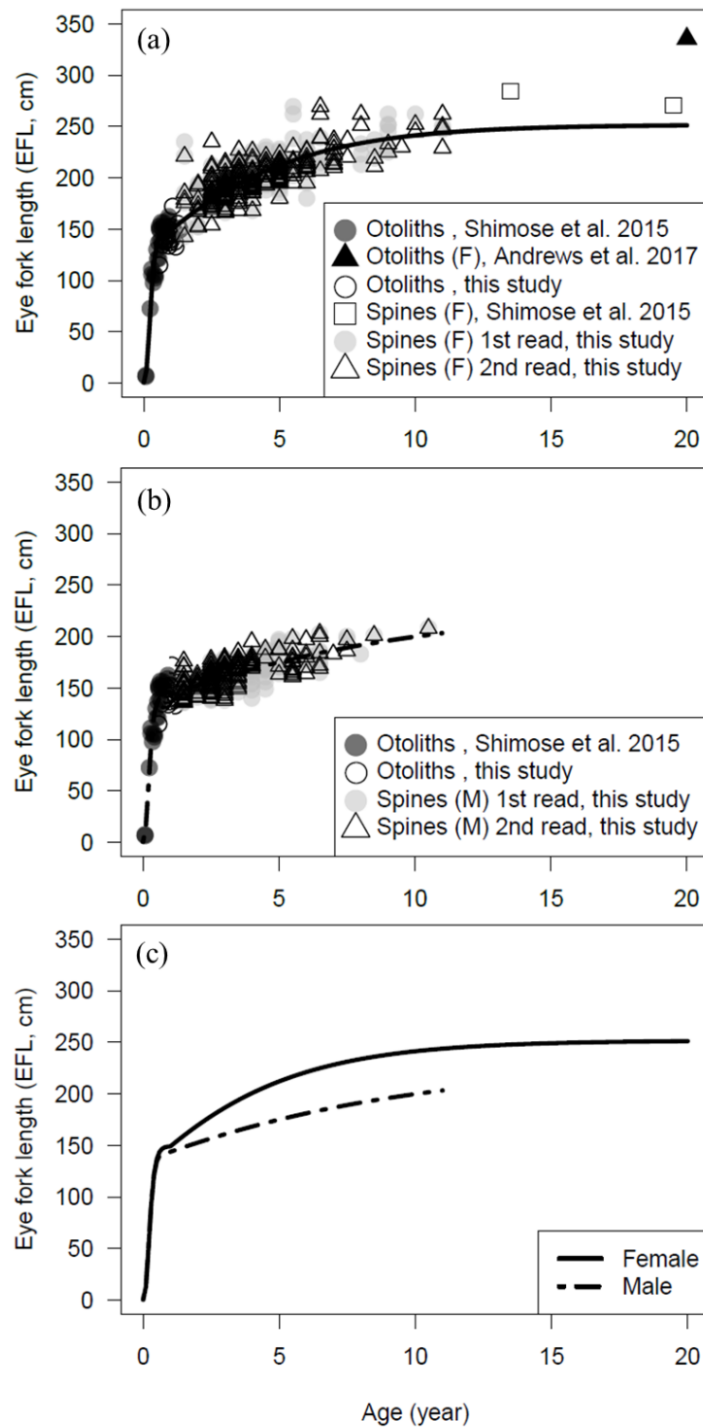


圖 37、黑皮旗魚雌魚 (a) 及雄魚 (b) 之考慮讀齡誤差之 Two—stanza 成長模型套適結果，及雌雄別成長曲線比較 (c)。

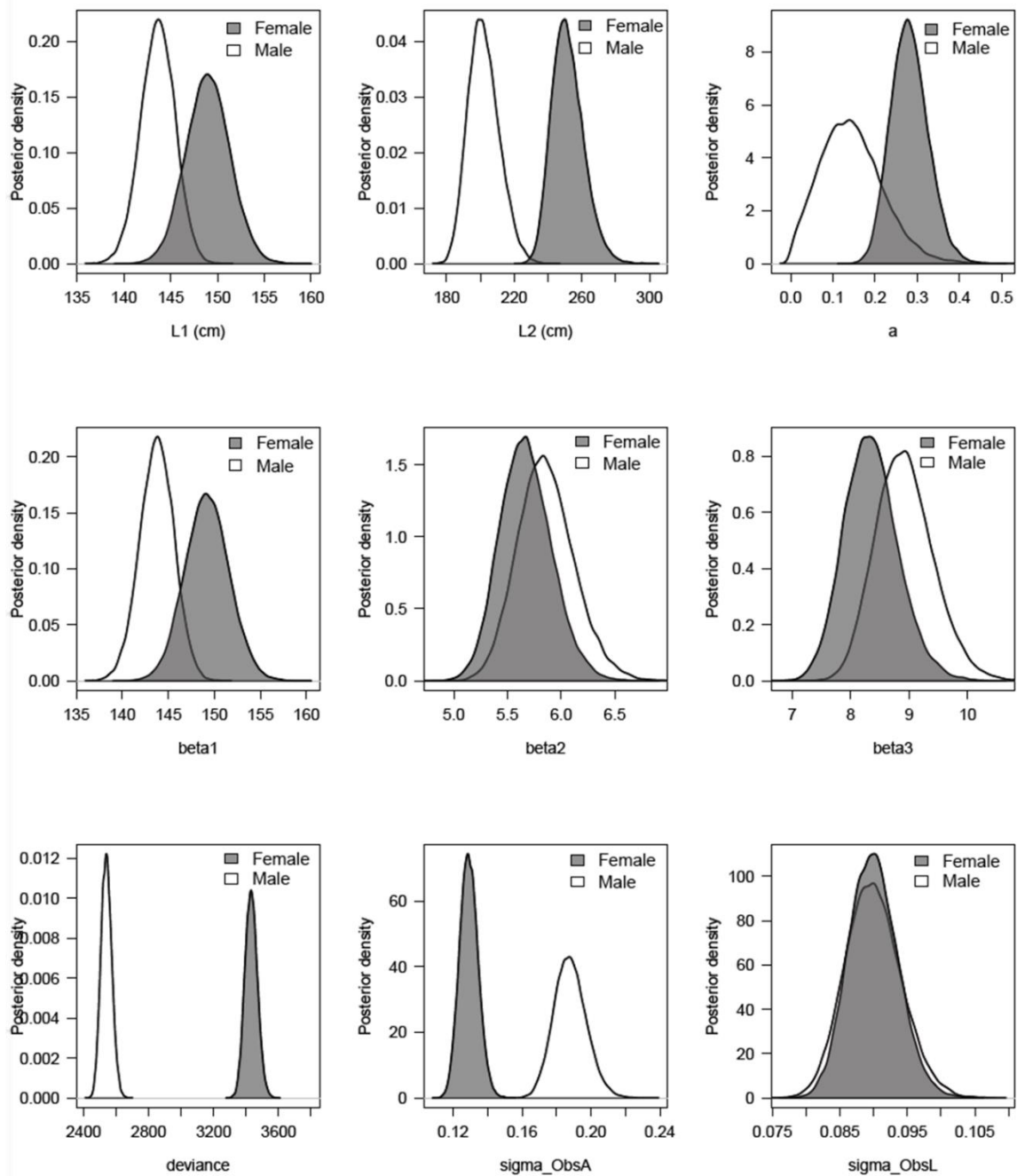


圖 38、黑皮旗魚雌魚（灰色）及雄魚（白色）之考慮讀齡誤差 Two—stanza 成長模型參數後驗分布。 β_1 、 β_2 及 β_3 為 Gompertz 成長模型參數； L_1 、 L_2 及 a 為 Schnute 成長模型參數；deviance 為離差量數；sigma_ObsA 為讀齡誤差項之標準差；sigma_ObsL 為體長誤差項之標準差。

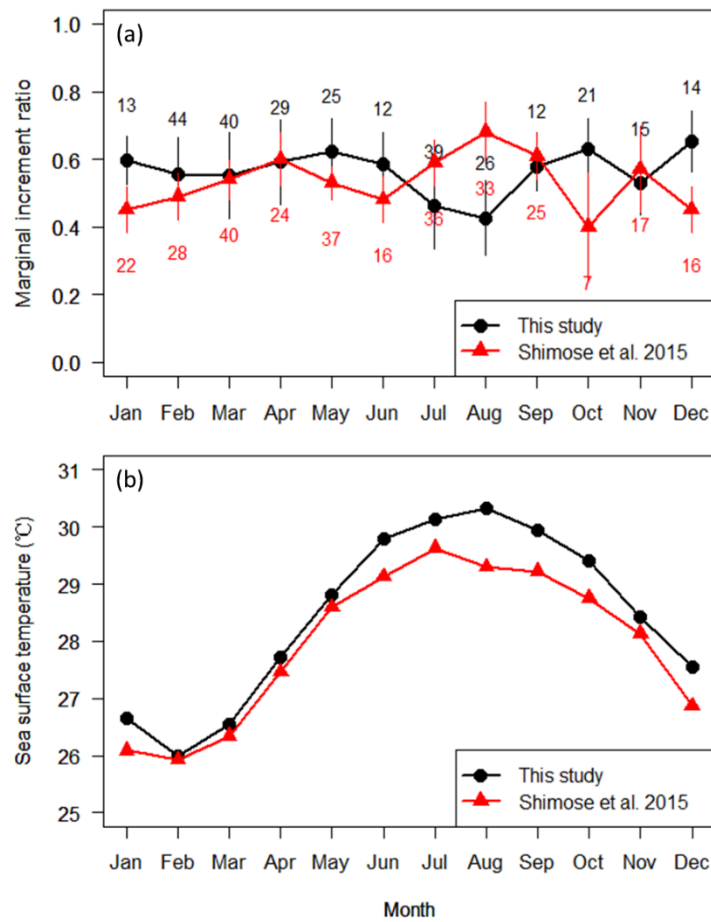


圖 39、本研究與 Shimose et al. (2015) 邊緣成長率 (marginal increment ratio) (a) 和海表水溫 (sea surface temperature) (b) 比較結果。

捌、附錄

附錄 1、本研究 25 組太平洋黑皮旗魚耳石估計日齡，平均百分比誤差（average percent error, APE），及逆算孵化日期。



Estimated age (d)	Precision APE ($\pm$ d)	Length (cm, EFL)	Weight (kg)	Sex	Hatching date (dd mm yyyy)
213	12	115	16	Male	15 May 2015
253	10	135	32	Male	5 July 2016
281	13	138	36	Male	28 January 2016
282	2	138	40	Male	23 June 2016
287	18	139	32	Male	14 June 2016
300	2	140	41	Male	20 May 2016
306	6	152	50	Male	20 February 2016
319	4	144	43	Male	8 March 2016
328	2	143	45	Male	25 December 2015
337	14	134	33	Male	14 April 2016
345	9	140	40	Male	6 April 2016
346	4	150	45	Male	19 March 2016
349	1	137	33	Male	13 April 2016
369	21	153	58	Male	3 December 2015
369	23	146	46	Male	14 February 2016
373	9	144	44	Male	1 November 2015
375	20	140	38	Male	18 March 2016
389	3	172	65	Male	14 December 2015
391	2	151	44	Male	27 November 2015
416	20	148	48	Male	13 December 2015
423	18	138	40	Male	30 January 2016
430	6	133	28	Male	17 January 2016
456	2	156	54	Male	20 November 2015
464	12	151	50	Male	7 September 2015
484	2	150	54	Male	13 September 2015