

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



台灣東北海域齒鰺之年齡與成長研究

Age and growth study of striped bonito, *Sarda orientalis*,
in the waters off northeastern Taiwan

何昱宣

Yu-Hsuan Ho

指導教授：孫志陸 博士

Advisor: Chi-Lu Sun, Ph.D.

中華民國 104 年 12 月

December, 2015

謝辭

本論文得以順利完成，首先感謝恩師 孫志陸博士在這兩年半研究期間於學業上的悉心指導，對於處事態度的諄諄教誨也讓學生銘記在心，獲益良多，同時感謝師母 葉素然女士在生活上的關心與照顧，以及對論文的細心指正，在此獻上由衷的感激。

承蒙台灣大學生命科學系教授 丘臺生博士、本所教授 蕭仁傑博士、臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系教授 莊守正博士及助理教授 蘇楠傑博士在論文審查期間，逐字審閱並給予諸多建議，使論文得以更加完善，在此致上最深的謝意。

在研究所期間，感謝偉全學長及曉敏哥協助樣本採集。感謝研究室學長姊楠傑、文沛、筱筠、柏沅、芸甄在生活上的照顧與課業上的鼓勵，給了我很多很棒的建議。感謝研究室同窗鈞淳在研究室生活中互相照應，一起處理樣本總是很有趣。感謝研究所同窗翰駁、廖竣、政為、國瑋、文謙、宏安、宗達，大家一起討論課業一起運動，讓研究所生活多采多姿。感謝大學好友之詠、俊陞、禎陽，雖然分隔南北兩地仍不忘相互關照與砥礪。感謝扶青團好友彥翔、念慈、彬碩、承翰、麗梅在我最忙碌的時候給予關心與鼓勵。特別感謝楠傑學長在論文上的協助和指點，平時帶著我一起打球幫助我抒發壓力；特別感謝筱筠學姊耐心教導我實驗操作，在生活上也對我照顧有加。因為有大家的支持，使我的研究生生活充實且豐富。

最後要感謝父母的支持及關心，讓我可以無後顧之憂地完成學業，還有表哥們和舅舅的關心與經驗分享，讓我對未來有了更多的想法。謝謝所有曾經幫助過我的人，謹以此文獻給我最親愛的家人及朋友們。

摘要

本研究針對台灣東北海域齒鰺 (*Sarda orientalis*)嘗試以第一背鰭之硬棘、脊椎骨及耳石做為年齡查定之形質，進行年齡與成長之研究。樣本來自 2013 年 12 月至 2014 年 11 月於宜蘭東澳新協發定置網與南方澳漁港扒網船之漁獲物，另加入 7 尾收自台東成功漁港的樣本 (延繩釣)，共 195 尾齒鰺，樣本尾叉長範圍為 30.8-80.2 公分，體重 (全重)範圍為 0.42-7.69 公斤，樣本體長體重關係式為 $RW = 0.0128 \times FL^{3.0406}$ 。

初步研究發現齒鰺的第一背鰭脈管化的情況嚴重，而脊椎骨因無法判讀日輪估計 1 歲以下樣本的日齡，使得成長參數的估計結果有誤差，因此將第一背鰭之硬棘及脊椎骨捨棄使用。耳石樣本經年輪判讀之後，將判讀為 1 歲及 1 歲以下的樣本進行日輪判讀。結果發現日輪介於 113 天到 451 天之間，尾叉長接近 54 公分時年齡約滿一歲，重複判讀之平均百分誤差 (APE, average percent error)為 0.81%，變異係數 (CV, coefficient of variation)為 1.05%；而年輪判讀結果為 1 到 5 歲，耳石年輪判讀之 APE 值為 5.30%，CV 值為 7.13%。以 245 天為界線，分別套適 Gompertz 和 von Bertalanffy 兩種成長方程式，結果顯示日輪 245 天以下以 Gompertz 成長方程式的套適度較好，而日輪 245 天以上則以 von Bertalanffy 成長方程式的套適度較好，雌雄合併的 Gompertz 成長參數為極限體長(L_{inf}) = 61.189 cm、反曲點的瞬時成長率(G) = 2.909 yr^{-1} 、體長為零時的年齡(t_0) = 0.181 yr，von Bertalanffy 的成長參數為 $L_{inf} = 84.015 \text{ cm}$ 、成長係數(k) = 0.322 yr^{-1} 、 $t_0 = -2.074 \text{ yr}$ 。齒鰺的孵化日經日輪回推後，主要介於 1 到 6 月之間，與生殖生物學估計產卵季節相近。

關鍵詞: 齒鰺、年齡與成長、耳石、輪紋、von Bertalanffy、Gompertz、成長方程式

Abstract

Age and growth of striped bonito, *Sarda orientalis*, in the waters off northeastern Taiwan were examined based on counts of growth rings in the first dorsal spine, stained vertebra and sectioned sagittal otolith. A total of 195 fish was collected from the catches of set-net, danish seine and longline in Dong'ao, Nanfang'ao and Chenggong fishing ports respectively during December 2013 and November 2014. Body sizes of the collected fish ranged from 30.8 to 80.2 cm in fork length, and 0.42 to 7.69 kg in round weight. The relationship between round weight and fork length was $RW = 0.0128 \times FL^{3.0406}$ with $r^2 = 0.9729$.

In the preliminary tryout, the first dorsal spine was discarded due to serious vascularization, and the growth parameters estimated using stained vertebra had big bias owing to the lack of daily increments, thus, the sagittal otolith were used for age determination throughout this study. Daily increments on sectioned sagittal otolith were read for fish younger than 1 year while annuli were read for fish older than 1 year old. The numbers of daily increments ranged from 113 days to 451 days, with the average percent error (APE) of 0.81% and coefficient of variation (CV) of 1.05%. For the numbers of annuli ranged from 1 to 5 rings, the precision was 5.30% in APE and 7.13% in CV. The length of fish that reached 1 year old was around 54 cm in fork length. All data were separated at 245 days into two groups for fitting Gompertz growth function and von Bertalanffy growth function, respectively. The Gompertz growth function fitted the fish younger than 245 days was $L_t = 61.189 \times e^{(-e^{-2.909(t-0.181)})}$; the von Bertalanffy growth function fitted the fish older than 245 days was $L_t = 84.015 \times (1 - e^{-0.322(t+2.074)})$. Back-calculated hatching dates span from January through June closing to the spawning season estimated by reproductive biology study of striped bonito in the waters off northeastern Taiwan.

Key words: striped bonito, age and growth, otolith, rings, von Bertalanffy, Gompertz,
growth functions



目錄

謝辭.....	I
摘要.....	II
Abstract.....	III
第一章 前言	1
1.1 齒鱒的生活習性及分佈.....	1
1.2 齒鱒的漁業概況.....	2
1.3 前人研究.....	4
1.4 研究動機與目的.....	6
第二章 材料與方法	7
2.1 樣本採集	7
2.2 形質製備及輪紋判讀	7
2.2.1 背鰭.....	7
2.2.2 脊椎.....	8
2.2.3 耳石.....	9
2.3 資料分析.....	12
2.3.1 體長體重關係式.....	13
2.3.2 耳石形質資料與體長體重之關係.....	13
2.3.3 年齡判讀的精確性.....	14
2.4 成長方程式參數之估計.....	14
2.5 推估孵化日期.....	16
第三章 結果.....	17
3.1 年齡形質的初步選定.....	17
3.2 樣本採集.....	17
3.3 體長體重關係.....	17
3.4 脊椎之年齡判讀.....	18
3.5 耳石成長與年齡判讀.....	19
3.5.1 耳石形質資料與體長體重之關係.....	19
3.5.2 耳石的成長.....	19
3.5.3 觀察耳石切片之構造及年齡判讀.....	20
3.6 年齡判讀的精確度.....	21
3.7 成長方程式.....	21
3.7.1 脊椎.....	21
3.7.2 耳石.....	21
3.8 由日輪資料回推孵化日期.....	22
第四章 討論.....	24

4.1 樣本資料之分析.....	24
4.2 年齡形質之選定.....	24
4.2.1 背鰭.....	25
4.2.2 脊椎.....	25
4.2.3 耳石.....	26
4.3 耳石年齡判讀及成長.....	27
4.3.1 耳石年輪判讀.....	27
4.3.2 耳石日輪判讀.....	28
4.3.3 年齡判讀之精確度.....	29
4.4 耳石之成長方程式.....	30
4.5 孵化日期之估計.....	31
4.6 結論.....	31
參考文獻.....	33
附圖.....	44
附表.....	71
附錄.....	76

圖目錄

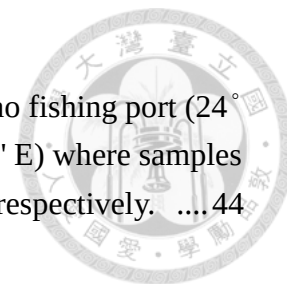


Fig. 1. The Nanfang'ao fishing port (24° 58' N , 121° 87' E), Dong'ao fishing port (24° 30' N , 121° 50' E) and Chenggong fishing port (23° 10' N , 121° 38' E) where samples were collected from the catches of Danish net, set net and longline respectively. 44

Fig. 2. Measurement of fork length (FL) for striped bonito, *Sarda orientalis*. 45

Fig. 3. (A) All the spines of the first dorsal fin. (B) The site of dorsal spine where cross sections were taken. 46

Fig. 4. After boiled in the hot water, the muscle and tissue of a sample can be easily removed. Section 38 to 42 of the vertebrae were used for age determination. 47

Fig. 5. (A) The sagittal otolith under 12.5X dissection microscope. Sagittal otolith is the largest otolith, many age and growth study use it as the material for age determination. (B) The other two pairs of otoliths under 25X dissection microscope. 48

Fig. 6. The ventral arm and dorsal arm of the otolith. Annuli were read along the ventral arm. 49

Fig. 7. The otolith radius of striped bonito, *Sarda orientalis*, measured from the core area to the edge of the otolith. 50

Fig. 8. Dorsal spines were discarded due to vascularization in both sexes. 51

Fig. 9. Length frequency of striped bonito (*Sarda orientalis*). 52

Fig. 10. Length frequency by sex of striped bonito (<i>Sarda orientalis</i>).	53
Fig. 11. Length - weight relationship for the (a) female, (b) male, (c) sex - combined striped bonito sampled in this study.	54
Fig. 12. A vertical section on a stained vertebra of striped bonito.	55
Fig. 13. The wide band and the 1st annuli in the stained vertebra.	56
Fig. 14. Fork length - otolith radius relationship for the (a) female, (b) male and (c) sex - combined striped bonito sampled in this study.	57
Fig. 15. Round weight - otolith weight relationship for the (a) female, (b) male and (c) sex - combined striped bonito sampled in this study.	58
Fig. 16. Relationships between (a) absolute growth rate (AGR) and age (days). (b) relative growth rate (RGR) and age (days). Numbers above bars are sample size. ...	59
Fig. 17. Relationships between (a) Otolith radius and age (b) Otolith weight and age (c) Fork length and age for the striped bonito sampled in this study.	60
Fig. 18 (a) Otolith increments under the microscope using transmitted light, showing the opaque zone and the translucent zone. (b) Core area under the microscope using transmitted light.	61
Fig. 19. The first daily ring shows up in the distance between 16 to 20 μ m from the	

core. 62

Fig. 20. (a) Counting path of the daily increments of a sectioned otolith. (b) The view of the ventral arm of a whole sectioned otolith. 63

Fig. 21. (a) Annuli on a sectioned otolith under 100X optical microscope. (b) Annuli on a thin sectioned otolith without grinding under 100X optical microscope. 64

Fig. 22. Annuli for sagittal otolith of striped bonito. (a) 2 annuli, (b) 3 annuli, (c) 4 annuli. 65

Fig. 23. Edge analyses on sectioned striped bonito otoliths in this study. The numbers above the bars are the sample size. 66

Fig. 24. The von Bertalanffy growth curve for striped bonito off northeastern Taiwan using stained vertebra. 67

Fig. 25. The Gompertz growth curve (fitted for fish younger than 245 days) and von Bertalanffy growth curve (fitted for fish older than 245 days) for striped bonito off northeastern Taiwan using sectioned otolith. 68

Fig. 26. Frequency distribution of the back-calculated hatching dates estimated from daily increments of the striped bonito. The numbers above the bars are sample size. 69

Fig. 27. Monthly mean fork length by sex for striped bonito (*Sarda orientalis*). 70

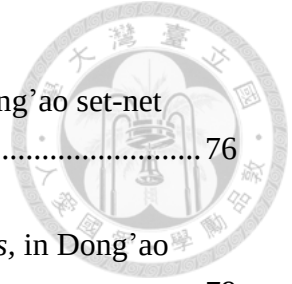
表目錄



Table 1. The absolute growth rate (AGR) and relative growth rate (RGR) of striped bonito, showing the decreasing of AGR and RGR with increasing fork length.	71
Table 2. The absolute growth rate (AGR) and relative growth rate (RGR) values by sex of striped bonito.	72
Table 3. Ages of striped bonito by size and sex as estimated from sectioned otolith.	73
Table 4. Age Groups of striped bonito.	74
Table 5. Parameters of the von Bertalanffy and Gompertz growth function for striped bonito. According to AIC value, von Bertalanffy growth function is suitable for both daily rings and annuli. There are no differences between males and females in growth using likelihood ratio test in both daily rings and annuli.	75

附錄

Appendix Fig 1. Monthly landings (tonnes) of Striped Bonito in Dong'ao set-net fishing port, 1993 - 2013. (Lu, 2015, unpublished data.)	76
Appendix Fig 2. Annual landings of Striped Bonito, <i>Sarda orientalis</i> , in Dong'ao set-net fishing port, 1993 - 2013. (Lu, 2015, unpublished data.)	79



第一章 前言



1.1 齒鰆的生活習性及分佈

齒鰆 *Sarda orientalis* (Temminck and Schlegel, 1844) 又名東方狐鰩，俗名為煙仔虎、西齒（成功）、疏齒（基隆）、掠齒煙、烏鰩串等，英文俗名: striped bonito。在分類學上屬動物界 (Animalia)，脊索動物門 (Chordata)，條鰭魚綱 (Actinopterygii)，鱸形目 (Perciformes)，鯖亞目 (Scombroidei)，鯖科 (Scombridae)、狐鰩屬 (*Sarda*)、齒鰆 (*orientalis*)。在國外亦有俗名為 oriental bonito、bonito 等。齒鰆和許多鯖科的魚種一樣體型呈現紡錘形，頭型呈側扁貌，嘴吻呈尖突狀 (邵，2015)，上下顎等長，上顎有 20 到 28 顆銳牙，而下顎也有 14 到 24 顆牙齒 (Silas, 1962)。齒鰆的背鰭分成兩部份，距離很近，第一背鰭具有 17 至 19 根硬棘，而第二背鰭則有 6 或 7 根硬棘；腹鰭較小，左右腹鰭之間有一片鱗瓣，身體其餘部位皆覆蓋細小鱗片 (邵，2015)；臀鰭由 14 到 16 根軟條所構成；尾鰭呈現新月狀向後延伸。體背呈現灰中帶藍的顏色並有多條藍黑色條紋，體腹呈白灰色。脊椎骨一共有 44 至 45 節，尾柄短且兩側有隆起 (FishBase, 2015)。

齒鰆屬於大洋性的中表層洄游魚種，廣泛分布於印度洋及太平洋，最西達非洲東岸紅海，最東到美國西岸加州海域，最北至日本九州北方，最南則在澳洲西南部 (Jones, 1960)。台灣四周海域皆有發現，但以東部、東北部、東南部最多，棲息深度約在 1 公尺到 167 公尺之間 (Mundy, 2005)，其棲息水溫介於 13.5°C 到 23°C 之間 (邵，2015)，生活習性為群游性生活，以鯖魚、飛魚、鯷魚、頭足類、十足類等等生物為食。漁民常以定置網、流刺網、延繩釣或圍網捕捉，也常有釣客以一支釣捕獲，屬於經濟價值高且數量多的魚種之一。

1.2 齒鰭的漁業概況

齒鰭在印度洋和太平洋分布廣泛，沒有特定的漁撈方式。在日本海域，以圍網和定置網為主要漁法，另外，也有以拖網及一支釣捕獲；在印度和斯里蘭卡附近海域，齒鰭常會整群沿著西南沿岸游入灣區，當地居民利用流刺網和圍網捕獲，又以流刺網為大宗；在非洲南方沿岸，齒鰭常被拖網及一支釣捕獲，當地居民將一支釣當作是一種休閒漁業，因齒鰭咬鉤後的拉扯力道強具娛樂性，因此被視為當地休閒漁業的目標魚種之一；在菲律賓，居民大多以誘捕網 (traps) 為主要漁具 (Silas, 1963)，誘捕網為一種類似定置網但設備較簡易之漁具 (黃，1999)；而在台灣，周圍海域幾乎都有齒鰭分布，尤其以東海岸居多，根據漁業年報顯示，我國捕獲齒鰭的主要漁具為鮪延繩釣、刺網和定置網 (邵，2015)。

根據聯合國世界農糧組織(FAO)在 1980 年的報告 (Yoshida, 1980)，由於齒鰭與其他同屬的鰭類外表有些許相似，在東太平洋海域過去常被誤認為其他種，例如智利齒鰭，*Sarda chiliensis* (Pinkas, 1961)，該海域在 1980 年以前沒有任何捕獲齒鰭進港卸魚的紀錄。長期以來，齒鰭都不是主要的目標魚種，在世界各國許多的漁獲紀錄中都將齒鰭與其他鰹類或鰭類物種歸類一起，例如 IATTC 網站上的 catch report and data 便只將黑鰹、黃鰹、大目鰹、正鰹等主要目標物種分別記錄，其餘則以 bonito 表示，因此目前無法得知齒鰭在世界各國長期以來的漁獲量變化。鰹旗魚及鰹鰭類 (bonito) 的漁獲量從 1950 年代到 1990 年代呈現不斷上升的趨勢，到了 1990 年代以後更開始急遽升高 (FAO, 2005)。根據過去紀錄，印度洋 (FAO, fishing area 51 和 fishing area 57) 的齒鰭捕獲量，從 2008 年開始記錄，該年齒鰭的漁獲量達到 3886 噸，然而卻在 2009 年驟降到 800 噸，2010 年更下降到 179 噸，2011 年稍微回升，之後於 2012 年突然又暴增至 2079 噸 (Sinha et al., 2014)。



台灣地區的齒鰭分佈涵蓋了整個台灣海域，包括澎湖、小琉球、蘭嶼和東沙等離島海域亦可見其蹤跡。此魚種屬於沿岸的洄游性魚種 (Yoshida, 1980)，又我國捕獲較多鰹類和鯖類的近岸漁業中，以定置網為大宗 (漁業年報，2014)，且主要分布在台灣東部海域，因此本研究的採樣地點為東部海域。定置網又稱作「煙仔塹」，台灣東部的定置網漁業從宜蘭到台東都有分佈，在日據時期便已有日本人於宜蘭縣石城附近經營定置網的紀錄，定置網有幾個優點：漁獲物新鮮品質佳、年間漁獲之組成固定、漁具耗損率低、與主動式漁法相比之下對資源的保護性較高、離岸近漁船耗油量低且漁獲時間固定、優勢漁獲魚種明顯 (陳，2006)。台灣的定置網正好在黑潮主流的路線上，因此表層洄游性魚種的資源量相當豐富，除了鰹魚、鯖魚等近岸洄游魚種，有時候也可捕獲鮪魚、鯊魚、飛魚和翻車魚等等。定置網的設計便是以遮斷洄游性魚類前進路線的方式，為一種被動性的漁法，將網具以錨或支柱固定不動，誘使魚群進入定置網中，通常鋪設的水深從 18 到 40 公尺深不等，面積可達 2.5 到 8.5 公頃左右範圍，當魚群游經網具碰到「垣網」會自然的沿著網具游，接著會進入「運動場」繞行，直到進入「登網」，有些定置網還會在最末端多設置一個「箱網」，魚群進入箱網以後漁民便可以開船出去將漁網收起。定置網漁業在暑假期間通常會將網具收回岸上躲避颱風，直到十月左右颱風季節過了才會繼續作業 (鄭，2005)。根據漁業年報的資料，我國定置網的年漁獲量從民國 48 年的 3,499 噸到民國 101 年已達 13,572 噸。

本研究主要採樣地點為宜蘭東澳新協發定置網漁場，部分樣本採樣自南方澳漁港，過去的研究中曾經提及，齒鰭為東澳新協發定置漁場的第一優勢物種 (高，2007)，佔總漁獲量的 21% (陳，2006)，漁期集中於 2 到 4 月之間，此段時間產量最高，與其他月份有明顯的差異。此外，根據呂 (2015，未發表資料)，自 1993 年到 2013 年間按月記錄宜蘭東澳新協發定置網所捕獲齒鰭的總重量資料顯示，21 年來漁獲量最大的時間大多都集中在 2 到 4 月間；以往 7 到 9 月為了避免颱風到來而造成漁具損壞，因此定置網業者幾乎沒有作業，惟 2012 年和 2013 年

除外；進入冬季之後漁獲量相對較少，直到 1 月才開始出現增加的趨勢，並於春季達到高峰 (Appendix Fig 1)；而從年間的漁獲量變化來看，在 1996 到 1998 年間漁獲量明顯較低，之後漸漸回升直至 2010 和 2011 年又降至 21 年來的新低，進入 2012 年之後漁獲量才再次提高到往年的水準，以整體來說年間漁獲量並沒有規則的變化，然而根據圖表的變化趨勢可以發現每年的漁獲量的確是隨著時間漸漸在減少中 (Appendix Fig 2) (呂，2015，未發表資料)。

1.3 前人研究

雖然齒鰭的分佈廣泛且漁獲量不少，但是目前發表有關齒鰭的生物研究報告並不多，王 (1987)根據齒鰭的體長組成、生殖腺成熟指數和性比之研究，發現台灣東部海域齒鰭體長大多介於 50 到 60 公分之間，雌魚體型稍大，尾叉長 70 公分以上的魚以雌性較多；漁期為 1 到 5 月，盛漁期為 2 到 4 月，洄游路徑為由南向北。在日本海域的齒鰭，曾記錄鰓瓣共 13 片、脊椎共 45 節(Kishinouye, 1923)；在印度 Trivandrum 和 Cape Comorin 間的海域曾發現有齒鰭幼魚的蹤跡 (Jones, 1960)；也曾有紀錄顯示齒鰭廣泛分佈在印度西岸洄游 (Silas, 1963)；在印度其他地區亦發現齒鰭的蹤跡，在 Chennai 海岸也有齒鰭被捕獲的紀錄 (Gnanamuthu, 1966)；在印度東岸 Tuticorin 亦曾發現齒鰭幼魚被捕獲(Siraimetan, 1985)，於 1999 年在 Coromandal 海岸發現幼魚 (Siraimetan *et al.*, 1999)。過去曾有利用印度海域齒鰭發表生殖腺的初步報告 (Rao, 1962)，同年，Silas (1962)發表齒鰭的分類研究及生物資料報告。日本曾發表過齒鰭幼魚養殖的研究，該實驗從定置網捕獲齒鰭，並於水溫控制在 20°C 到 24°C 的環境下進行人工授精，記錄到剛孵化的仔魚體長 (total length)介於 0.41 公分到 0.43 公分之間，仔魚孵化十天後體長達 1.4 公分，孵化二十天後體長達 7.4 公分，孵化三十天後體長達 10.6 公分，孵化四十二天後體長達 21.9 公分，最後在孵化九十九天後體長達 29 公分 (Harada *et al.*, 1974)。根據齒鰭仔魚消化系統發育的研究，提到在孵化兩天後仔魚便會開始進食，有些會進食輪蟲等浮游生物，有些則以其他仔魚為食，在第一次進食之後，

消化系統開始有初步的分化現象，第三天開始消化系統漸漸成熟；齒鰺仔魚孵化時體長約為 0.39 公分，從第四天開始成長速率會加快，孵化 11 天後體長達到 0.94 公分 (Kaji *et al.*, 2002)。Sivadas *et al.* (2012) 針對印度海域齒鰺的成長進行相關研究，於 2006 年到 2010 年間在印度幾個城市採樣，以體長體重關係式和 von Bertalanffy 成長方程式估算齒鰺的年齡成長，在假設 t_0 為 0 的情況下，用 ELEFAN I 計算得到 L_{inf} 和 k 值分別為 74.45 公分和 0.68 year^{-1} ，另用 von Bertalanffy 成長方程式計算之後，表示該海域齒鰺在 1 歲結束時達到 40 公分尾叉長、在 2 歲結束時達到 50 公分尾叉長，這篇報告也記錄胃內含物、計算第一次成熟體長、計算死亡率以及利用年齡結構模式 (age-structured models) 做該海域的齒鰺資源評估 (Sparre *et al.*, 1992)。

本研究針對台灣東北部海域齒鰺的年齡與成長，使用了耳石與脊椎骨做為形質進行研究。耳石位於魚腦後方內耳中，具有控制平衡及聽覺的功能，為內耳中的一鈣化結晶，主要成分為碳酸鈣 (CaCO_3)，另包含有機質和多種微量元素，如：鋁、鈉、鉀、氮、硫等 (Campana, 1999)，能藉由這些微量元素的改變推測該魚種的生活史，甚至進而推測氣候變化。耳石的週期性沉積具有不可逆性 (Pannella, 1971)，能作為年齡紀錄的工具，1970 年代以來已經儼然成為估計魚類成長及推測其生活史常用的材料。不只是耳石，每節脊椎骨的內側由中心點算起也有週期性的沉積生成，經過染色之後呈現的輪狀色帶可以當作年齡判讀的依據。而以脊椎骨為硬質進行鯖科魚種年齡查定的研究包括黑鰹 (*Thunnus thynnus*) (Mather and Schuck, 1960; Butler, 1971, 1975, 1976) 以及大目鰹 (*Thunnus obesus*) (Alves *et al.*, 2002) 和正鰹 (*Katsuwonus pelamis*) (Chi and Yang, 1973) 等。另外，Berry *et al.* (1977) 利用大西洋黑鰹魚的耳石與脊椎骨做年齡與成長的研究，其中詳細記錄了脊椎的製備、保存和判讀方法，該篇報告中所使用的脊椎染色和製備方法後來被多次引用於不同魚種的年齡成長報告。

1.4 研究動機與目的

齒鰭具有很高的經濟價值，在各種漁業中雖然大多不是主要的目標魚種，但其數量多且分佈範圍廣泛，日本、台灣、澳洲、印度、印尼和南非等位於太平洋和印度洋的國家都有發現齒鰭分佈的報告 (Silas, 1963)，我國的漁業年報或是漁獲組成的研究報告中也多次被記錄到，是近岸漁業中常被漁獲的魚種之一，然而有關齒鰭的生物及資源研究相對於同科的鮪類魚種卻不多，因此本研究欲以齒鰭的背鰭硬棘、脊椎骨和耳石進行讀輪和比較，從中找出最適合的年齡形質，並確定該硬質輪紋的週期性，分別套適 Gompertz 以及 von Bertalanffy 兩種成長方程式，找出適合此魚種的成長方程式，做齒鰭的年齡與成長參數之估計；另外，根據耳石讀輪所讀到的日齡回推齒鰭的產卵期。本研究結果將提供日後在該魚種的資源評估研究所需要的基本參數。

第二章 材料與方法



2.1 樣本採集

本研究自 2013 年 12 月至 2014 年 11 月，按月至宜蘭南方澳漁港與東澳新協發定置網採集齒鰭 188 尾，由於 2014 年的 8、9 及 11 月定置網休漁及漁獲量不多，因此在鄰近的南方澳漁港採樣，另加入台東成功漁港採集的 7 尾樣本，共 195 尾 (Fig. 1)，其中於東澳新協發定置網 (set net) 採集 147 尾、南方澳漁港採集 41 尾，南方澳漁港所收到樣本之漁法為扒網 (Danish net)，台東成功漁港所收樣本之漁法為延繩釣 (longline)。東澳新協發定置網的作業範圍在宜蘭東澳灣，而南方澳漁港的扒網船作業範圍則在台灣東北海域至釣魚台海域之間。台東成功漁港所收之樣本體長體重關係經檢定後顯示和宜蘭的樣本無顯著差異 (黃, 2015)。使用量魚板量測齒鰭的全長 (TL, total length) 及尾叉長 (FL, fork length) (Fig. 2)，單位精確至 0.1 公分；體重 (RW, round weight) 資料使用磅秤量測，單位精確至 0.1 公克；性別資料的判定是把樣本買回實驗室之後，進行解剖以生殖腺做判斷。以上資料記錄完成之後，將魚頭、第一背鰭和脊椎骨放入冰庫保存。

2.2 硬質製備及輪紋判讀

由於目前沒有利用硬組織來評估齒鰭的年齡與成長之報告，因此於實驗初期同時採集了耳石、脊椎骨以及第一背鰭之硬棘為實驗材料，相互比較以檢視何者最適合做為年齡判讀的依據。

2.2.1 背鰭硬棘

將樣本帶回實驗室後，立即將第一背鰭、第二背鰭及尾鰭剪下，放入冰庫保存。處理背鰭硬棘時，先以沸開水滾煮，使硬棘與肌肉脫離後輕輕取下，經過清洗之後浸泡在 3% 的氫氧化鉀 (KOH) 中約 30 分鐘，去除表面殘餘的肌肉與結締組織，取出後以清水沖洗乾淨並風乾。風乾後以游標尺測量並記錄硬棘的全長與

基部 (condyle base)的寬度，觀察發現在第一背鰭、第二背鰭及尾鰭的硬棘中，以第一背鰭的第一和第二硬棘之基部最寬，因此取用這兩根硬棘為實驗樣本，利用慢速切割機 (Buehler Isomet low speed saw)進行切片，切片位置為從基部往尖端算起二分之一基部寬度處，連續切下兩片厚度大約為 0.5 至 0.7 公釐 (mm)的薄片 (Fig. 3)，浸泡在 70%的酒精中約 5 到 10 分鐘，取出風乾後保存在微量離心管 (eppendorf)。硬棘切片在解剖顯微鏡下以穿透光觀察，可觀察到輪紋由不透光帶和透光帶組成，觀察硬棘的透光帶數量進行輪紋計數可推估該樣本的年齡 (林, 2004)。

2.2.2 脊椎

本實驗採下的脊椎為尾柄 (caudal peduncle)部分 (Alves *et al.*, 2002)，因尾柄最後兩節脊椎骨半徑太小，故取第 38 到 42 節脊椎骨，先將整條脊椎放入沸水中滾煮，待脊椎周圍的肌肉和組織煮熟便可以輕易將之剝除 (Fig. 4)，且此時每節脊椎骨亦可用手剝下，不需以切斷的方式分離，可避免造成脊椎骨邊緣的破壞。每節脊椎骨取下後一邊以流水清洗一邊以解剖刀剝除外圍剩餘的組織和骨髓，清理完畢後以棉繩將同一尾魚的脊椎骨依序綁串置於陰涼處風乾。

染劑的配置方法是參考以黑魷魚脊椎做年齡成長的研究方法做處理 (Berry *et al.*, 1977)，配置茜素紅 (Alizarin red S)溶劑，首先將 3.1 克的茜素紅與 50 c.c.的過濾水和 50 c.c.的濃醋酸混合，靜置 20 分鐘後將此混合液緩慢地加入 200 c.c.的甘油中，最後再加入 1200 c.c.的過濾水並存放於不透明且瓶蓋封緊的容器內。配置染劑先將氫氧化鉀 (KOH)溶入過濾水中稀釋成 15%的氫氧化鉀水溶液，接著與甘油和茜素紅溶液分別以 86%、10%和 4%的比例混合。染劑配好後便可以將風乾的脊椎骨放入，染色時間約五小時，勿超過六小時，時間視染色狀況做調整。染色完畢後將脊椎骨放入裝滿水的燒杯中以流水清洗 15 到 30 分鐘，拿出風乾。脊椎骨風乾後於檯燈下便可以直接觀察到輪紋，脊椎年輪判讀方法則參考

Mather and Schuck (1960)的標準進行。



2.2.3 耳石

齒鰭內耳兩側各有三顆耳石，分別為礫石 (lapillus)、星狀石 (asteriscus)、矢狀石 (sagitta)(Fig. 5)。將魚頭解凍之後，自頭骨上方兩眼中間處剪開，去除周圍肌肉組織、上方頭骨和腦部組織後，接著將位於顱腔後半部前庭器 (vestibular apparatus)中的半規管 (semicircular canals)取出，左右邊的半規管內各有一顆礫石 (lapillus)，星狀石 (asteriscus)和矢狀石 (sagitta)位於前庭器下半部的溝槽內，與半規管相連。此三對耳石被取出之後，於顯微鏡下以鑷子將囊壁撥開挑出耳石並以清水泡著，避免實驗過程中耳石表面的組織乾掉而沾黏在耳石上，待耳石取完之後，以細水彩筆將耳石挑起放入 10%次氯酸鈉水溶液 (sodium hypochlorite) 輕輕刷洗數秒，去除耳石表面殘餘的組織 (Secor *et al.*, 1991)，接下來以去離子水 (ddH₂O, double distilled water)清洗三次，最後放入烘箱以 40°C 到 45°C 的溫度烘烤一天以進行脫水。耳石烘乾之後，以電子天秤 (CP225D, Sartorius)對三對耳石分別秤重，量測單位精確至 0.01 毫克，接著將矢狀石 (sagitta)拍照及包埋，礫石及星狀石則保存在微量離心管 (eppendorf)。扣除掉因破損而無法精確量測重量的耳石之後，經由統計分析，顯示雌魚與雄魚的左耳矢狀石及右耳矢狀石重量皆沒有顯著差異 (paired t-test, females: $t = 0.651$, $df = 76$, $p\text{-value} = 0.517$; males: $t = 1.351$, $df = 81$, $p\text{-value} = 0.181$)，顯示左右耳的矢狀石相互對稱，具有可替代性，由於已採集的樣本中，右邊耳石在取出時完整無破裂的數量較多，故右邊耳石以研磨耳石的方式讀輪，而左邊則以切薄片的方式讀輪，當發生右邊耳石破裂而左邊耳石完整的情況時則以左邊耳石進行研磨讀輪。

將矢狀石拍照是為了包埋後能夠更容易找到核心位置做記號方便之後進行切割，利用裝置於解剖顯微鏡 (MZ6, Leica)的數位相機 (DFC420, Leica)在 3.2 倍的放大倍率下拍攝，拍照完將矢狀石以環氧樹脂 (EpoFix Resin and EpoFix

Harder, Struers)包埋。首先將樹脂填入包埋板深度的一半，放入烘箱以 45°C 烘至少兩小時，硬化之後將矢狀石溝槽面朝下放入包埋板中並再鋪上一層樹脂將其包住，配製樹脂的過程中可能會產生一些氣泡，在填入包埋版後需用鑷子輕輕將氣泡挑出，避免在樹脂硬化之後遮住核心位置。包埋板在挑出氣泡並填平後便放入烘箱以 45°C 烘至少兩小時，待完全硬化之後取出，於解剖顯微鏡 (MZ6, Leica) 下觀看，對照先前拍攝的全耳石照以找出核心位置並做記號，接著使用慢速切割機 (Buehler Isomet low speed saw) 以橫切面 (transverse section) 的方向切過核心 (Jenke, 2002；詹, 2009)。

右邊耳石以核心為中心點向左右切取兩片 400 μm 的切片，將含有核心中心點的切面朝下置入包埋板，填入環氧樹脂再重新包埋一次，樹脂填平後放入烘箱以 45°C 烘至少兩小時，待全部硬化之後將要研磨的部分朝上以熱熔膠黏貼於載玻片上，接著用可變速研磨/拋光機 (Metaserv 2000 grinder/polisher, Buehler) 進行研磨及拋光，先以較粗的 2000 號砂紙將環氧樹脂磨去，使耳石切面能被清楚看見，若環氧樹脂太厚則先用更粗的 1500 號砂紙研磨 1 至 2 秒再用 2000 號砂紙修去表面的刮痕，最後再以 2400 號的砂紙慢慢細磨直到輪紋清楚可見，每次研磨後都要以絨布加水及 0.05 μm 的氧化鋁粉 (Al_2O_3) 進行拋光，最後用光學顯微鏡 (DMLS, Leica) 拍攝耳石的年輪及核心 (Lewis and Mackie, 2002；詹, 2009)；左邊的耳石以核心為中心點切取兩片 200 μm 的切片，先滴一滴中性樹脂封片劑 (Permunt, SP15-100) 於載玻片上，將耳石切片放上去接著再滴一滴 Permunt 後以蓋玻片覆上，此有機溶劑能填入切片的刮痕及空隙中，使觀察時畫面乾淨簡潔，數分鐘後待耳石固定於載玻片上便可以直接於光學顯微鏡 (DMLS, Leica) 下觀看及拍攝核心和年輪。

本實驗過程中原先左右邊耳石都用研磨的方式製備，期間嘗試以切薄片的方法來製備，由於切成薄片後於光學顯微鏡下觀看畫面乾淨且實驗較省時間，因此

隨機取了 92 個樣本將兩邊耳石以不同實驗方法處理，當一邊耳石效果不佳時便以另一邊做驗證，由於右邊耳石取出時完整性較高，故以右邊耳石採取研磨的方式慢慢磨出核心及輪紋，以避免切薄片效果不佳而造成樣本浪費，左邊耳石則以切薄片的方式輔助觀看輪紋。切薄片製備的優點是省時且成像清楚不會有氣泡於二次包埋時生成而影響判讀，然而因為切片後便直接固定，如果切片不夠薄或當耳石出現兩層相疊的狀況時，將無法進行修改；而研磨的優點是可以用不同粗細的砂紙慢慢修出輪紋及核心的位置，而缺點便是相對耗時且耳石邊緣易磨掉造成判讀誤差。當右邊耳石研磨後無法呈現清楚的輪紋及核心，或是研磨過頭造成核心消失時，便將左邊耳石切片於光學顯微鏡下觀看，與右邊研磨的耳石相互對照驗證。195 尾樣本中只隨機取 92 個耳石做切薄片係因為此方法為嘗試性質，且若切割過程中沒有對到核心或是厚度不夠薄，都易造成樣本浪費，故本研究沒有將所有樣本都進行切薄片嘗試。

齒鰭的耳石經過包埋及切片之後，於顯微鏡下呈現類似 V 型的不對稱形狀 (Fig. 6)，參考同為鯖科魚種的太平洋黑鰭耳石定齡手冊 (Shimose and Ishihara, 2015)，以耳石核心為中心點，分為長軸 (ventral arm) 和短軸 (dorsal arm)，以長軸上的透明帶與不透明帶為根據進行年輪判讀。耳石輪紋的計數由核心位置開始，向耳石邊緣的方向計算輪紋數。日輪與年輪相同，都是由一條深色不透明帶與一條透明帶相間排列組成。先以 100 倍或 200 倍的放大倍率在光學顯微鏡下觀察年輪，若年輪不明顯或矢狀耳石體積小，即魚體本身不大，則以 400 倍的放大倍率拍照並做日輪計數到耳石邊緣，利用軟體 Image-Pro Plus 6.0，在放大倍率為 400 倍的耳石照片上標記日輪的位置；若可清楚看見年輪，或矢狀耳石體積大，以 100 倍或 200 倍的放大倍率拍照並計算年輪數，其中若有核心較清楚的樣本，則以 400 倍放大倍率觀看，記錄核心到第一年輪的日輪數並拍照，用以驗證第一條年輪的形成和日輪形成一年的時間是否符合。

本研究隨機選取了不同體長的樣本進行日輪判讀，在光學顯微鏡下找到核心位置並拍照後，以軟體 Image-Pro Plus 6.0 量測核心到第一日輪的距離。由於沒有齒鰾日週輪與年輪驗證的相關報告，故參考同為鯖科魚種的正鯷 (*Katsuwonus pelamis*) 和黑鰹 (*Thunnus thynnus*) 之日輪驗證報告 (Kayama *et al.*, 2007; Itoh *et al.*, 2000)，假定齒鰾的耳石有日週輪沉積，即讀到的日輪一輪便代表一天，藉此推算齒鰾的產卵季節，再與生殖生物學研究估算出的產卵季節進行比較，來驗證日輪判讀的準確性。

將年輪拍下照片後，同樣以 Image-Pro Plus 6.0 軟體測量核心到第一輪年輪的距離以及年輪間的距離，判讀上亦是由核心向邊緣計算不透明帶，若有核心及其周圍日輪清楚的樣本會再以細的砂紙繼續研磨日輪。另外，記錄每個耳石的邊緣是透明帶或不透明帶，以 RMD (relative marginal distance) 來推算不透明帶沉積的時間，看耳石是否一年形成一條不透明帶，可用以修正所判讀到之年齡。(Panfili *et al.*, 2002)

$$RMD = \frac{AMD}{D_{i,i-1}} \quad (1)$$

AMD (absolute marginal distance) 表最後一條不透明帶到耳石邊緣的距離，i 表最後一條不透明帶，i-1 表倒數第二條不透明帶， $D_{i,i-1}$ 表最後兩條不透明帶之間的距離。

2.3 資料分析

根據樣本採集後所記錄到的數據做相關性檢驗，另外也針對年齡判讀結果做驗證，並套入成長方程式，最後再根據估計的日輪回推產卵季節及孵化日期。

2.3.1 體長體重關係式

將雌雄樣本的尾叉長 (FL)及體重 (RW)分別做迴歸分析，估算關係式：

$$RW = a \times FL^b \quad (2)$$

RW 表體重；FL 表尾叉長；a,b 為係數。雌雄的體長體重關係式分別求出來之後再用概似比檢定 likelihood ratio test 檢定兩者有無顯著差異。

2.3.2 耳石形質資料與體長體重之關係

以 Image-Pro Plus 6.0 軟體測量耳石半徑 (otolith radius)，即從核心量到耳石最長邊緣的距離 (Fig. 7)，利用直線迴歸觀察耳石半徑與體長的關係，另外也利用直線迴歸觀察耳石重量及體重的關係，並以共變數分析 (Analysis of covariance, ANCOVA)檢定雌雄之間有無顯著差異。

利用絕對成長率 (AGR, absolute growth rate)和相對成長率 (RGR, relative growth rate)，觀察齒鰾在幼魚時期的成長速率變化。因絕對成長率隨著不同大小的年齡形質有不同的值，因此計算相對成長率以便在未來的其他研究中能與其他近似種 (Prince *et al.*, 1991)或不同年齡形質做成長率比較 (Panfili *et al.*, 2002)。

$$AGR = \frac{St_i - St_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \quad (3)$$

$$RGR = \frac{St_i - St_{i-1}}{St_i \times (t_i - t_{i-1})} \times 100\% \quad (4)$$

將所判讀的日齡分成不同區間，其中， St_i 為第 i 組區間的平均體長，而 t_i 則為第 i 組區間的平均日齡。

2.3.3 年齡判讀的精確性

每個耳石樣本及脊椎樣本皆判讀兩次，若兩次判讀的結果不同則再判讀第三次，第三次判讀結果若與前面任一次結果相同，則採用第三次判讀的結果，相反地，如果三次結果皆不同則捨棄，每次判讀皆間隔兩週以上。利用平均百分誤差 (APE, average percent error) 以及變異係數 (CV, coefficient of variation) 來評估判讀的精確度 (Beamish and Fournier, 1981)。

$$APE = 100\% \times \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ij} - \bar{X}_j|}{\bar{X}_j} \quad (5)$$

$$CV = 100\% \times \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - \bar{X}_j)^2}{R-1}}}{\bar{X}_j} \quad (6)$$

式中，R 表示重複讀輪的次數； X_{ij} 表示第 J 個樣本第 i 次判讀的年齡； $\bar{X}_j$ 則表示第 J 個樣本重複讀輪的平均年齡。

將耳石及脊椎樣本經過重複判讀年輪之後進行相互比對，驗證所判讀之年輪是否吻合，另外也將部分有清楚輪紋的耳石樣本經過研磨機及細的砂紙研磨之後，在光學顯微鏡下觀察日輪並拍照和記數，同樣與耳石年輪判讀的結果進行相互比對，以驗證耳石年輪的判讀精確性。

2.4 成長方程式參數之估計

過去的研究中提及不同的成長階段可能適用於不同的成長方程式 (Prince *et al.*, 1991)，因此本研究首先計算絕對成長率 (AGR) 找出齒鱗成長過程中成長率變化最大的階段作為轉折點來區分幼魚及成魚，接著再以 Gompertz 及 von Bertalanffy 兩種成長方程式來套適幼魚與成魚兩不同階段的成長，分別找出兩個

階段最適合的成長曲線及求出各項成長參數，並利用 AIC (Akaike's Information Criterion)值來比較兩種成長方程式分別在幼魚與成魚兩階段的套適情形，最後以 likelihood ratio test 檢定幼魚與成魚兩個階段中雌雄之間是否有顯著差異，以決定是否能將雌魚和雄魚的資料合併估算其成長參數 (Kimura, 1980)。

1. Gompertz 成長方程式 (Gompertz, 1825):

$$L_t = L_{\infty} \times e^{(-e^{-G(t-t_0)})} \quad (7)$$

L_t 代表該魚在 t 歲時的尾叉長； L_{∞} 代表極限體長； t 代表年齡； t_0 為該魚體長為 0 時的理論年齡； G 代表在反曲點的瞬時成長率。

2. von Bertalanffy 成長方程式 (von Bertalanffy, 1938):

$$L_t = L_{\infty} \times (1 - e^{-k(t-t_0)}) \quad (8)$$

L_t 代表該魚在 t 歲時的尾叉長； L_{∞} 代表極限體長； t 代表年齡； t_0 為該魚體長為 0 時的理論年齡； k 代表成長係數。

3. AIC 值 (Akaike, 1974):

$$AIC = -2\ln L + 2p \quad (9)$$

L 代表模式估計出的最大 likelihood 值， p 代表常數。當方程式的 AIC 值越小，表示該方程式具有較好的套適度。

2.5 推估孵化日期

由樣本被捕獲的日期扣除日輪判讀出的天數之後，再加上自孵化到產生第一條輪紋的時間，即可回推該樣本的產卵季節及孵化日期，同時與齒鱗的生殖生物學研究結果 (黃，2015)比較，用以驗證日輪判讀之準確性。



第三章 結果



3.1 年齡形質的初步選定

齒鰭的背鰭最易取得且處理最不費時，故本研究首先嘗試以背鰭做為年齡形質之一進行製備和讀輪，然而製備完後在解剖顯微鏡下觀察發現其脈管化的情況嚴重(Fig. 8)；耳石經過製備之後便能於光學顯微鏡下觀察輪紋，且日輪亦清晰可見；而脊椎骨經過染色製備後，即可直接在檯燈下觀察輪紋，因此在本研究的實驗初期便將背鰭捨棄，以耳石和脊椎骨做為本研究的年齡形質進行製備和輪紋判讀。

3.2 樣本採集

本研究一共採集齒鰭樣本 195 尾，樣本體長範圍為 30.8 公分到 80.2 公分尾叉長。以 2 公分為組距之樣本體長頻度圖 (Fig. 9)顯示，主要體長範圍分佈在 42 公分到 56 公分之間，又以 46 公分到 48 公分為高峰；體重範圍介於 0.42 公斤到 7.69 公斤之間。雌魚的體長範圍為 30.8 公分到 80.2 公分，平均體長為 51.42 公分 ($n = 93$)；而雄魚的體長範圍為 35.7 公分到 72.5 公分，平均體長為 50.07 公分 ($n = 102$) (Fig.10)。雌魚的體重範圍 0.42 公斤到 7.69 公斤，平均體重為 2.27 公斤；雄魚的體重範圍 0.65 公斤到 5 公斤，平均體重為 1.99 公斤。本研究所採集到的齒鰭樣本之雌雄尾數比例為 0.91:1，性比(雌魚尾數佔總尾數之比例)為 0.48；將所有樣本以尾叉長 5 公分為區間，假設樣本在每個尾叉長區間中雌雄之性比皆為 1:1，使用同質性檢定來檢驗採樣過程中有無性別偏差，檢驗結果顯示沒有顯著差異 ($\chi^2 = 5.01$, d.f. = 11, $P = 0.07$)。

3.3 體長體重關係

雌魚之體長體重關係式為: $RW = 0.0132 \times FL^{3.0325}$, $r^2 = 0.979$ (Fig. 11a)；雄魚之體長體重關係式為: $RW = 0.0116 \times FL^{3.0672}$, $r^2 = 0.96$ (Fig. 11b)。在經過

likelihood ratio test 檢定之後，結果顯示齒鰭的尾叉長與體重關係式在雌雄之間是沒有顯著差異的 ($\chi^2 = 1.343$, d.f. = 3, $P = 0.247$)，因此將雌雄的體長體重資料合併，得到全部樣本的體長體重關係式如下：

$$RW = 0.0128 \times FL^{3.0406}, r^2 = 0.973 \text{ (Fig. 11c)}$$

3.4 脊椎之年齡判讀

齒鰭的脊椎骨經過 Alizarin red S 染色之後，透明帶的區域會呈現紫紅色，而不透明帶則會呈現顏色稍淺略帶灰白色的輪紋，在檯燈下便能清楚看見輪紋，將單節脊椎骨縱切後呈現沙漏狀的切面 (Fig. 12)，上下兩邊的輪紋數相同，因此我們取其中一邊觀察之。由靠近中心點的位置向邊緣算起，首先會看到一條較粗的輪紋，該粗輪紋大約在脊椎骨內壁的中間位置 (Fig. 13)，有時這條粗輪紋會緊鄰一條細輪紋，有時這一粗一細的兩輪會相連或距離過近，故可將其視為同一輪紋。在研究初期此粗輪紋易被視為第一年輪，然而此粗輪紋也同樣出現在耳石切片中，經過日齡判讀後證實此一粗輪紋的生成時間尚未滿一年，而下一條輪紋的生成時間約為一年，故脊椎的年輪判讀由此粗輪紋的下一條輪紋開始計算，若此條起始輪紋較細且靠近粗輪紋，可能是因染色不均勻所造成，則將視為粗輪紋的一部份，起始輪紋由再下一條輪紋開始計算 ($n = 32$)。

本實驗一共採了 88 尾樣本的脊椎骨進行染色判讀，年輪判讀的結果為 0 到 4 歲。與耳石切片的結果比對，其中共有 81 尾年輪判讀的結果相同。將雌雄紀錄分開，雌魚共有 39 尾讀輪結果相同，尾叉長範圍為 30.8 公分到 68.9 公分，年齡判讀為 0 到 3 歲；雄魚共有 42 尾讀輪結果相同，尾叉長範圍為 35.7 公分到 65.3 公分，年齡判讀為 0 到 3 歲。其餘判讀結果不一致的 7 尾樣本，脊椎樣本判讀之年齡皆較耳石切片判讀之年齡小一歲。

3.5 耳石成長與年齡判讀

3.5.1 耳石形質資料與體長體重之關係

將雌雄魚的尾叉長與耳石半徑 (Fig. 14)，以及體重與耳石重量做迴歸關係式 (Fig. 15)，經過 ANCOVA 檢定之後顯示雌雄之間尾叉長與耳石半徑之迴歸關係沒有顯著差異 ($P = 0.567$)，體重與耳石重之迴歸關係亦沒有顯著差異 ($P = 0.124$)，因此將雌雄的資料合併得到：

雌雄合併之尾叉長與耳石半徑之迴歸關係式: $OR = 0.0346FL + 0.2953$ ($r^2 = 0.759$)

雌雄合併之體重與耳石重量之迴歸關係式: $OW = 0.0011RW + 0.8069$ ($r^2 = 0.811$)

Table 2 顯示各日齡區間的絕對成長率 (AGR)和相對成長率 (RGR)，隨著日齡的增加而有漸漸下降的趨勢 (Fig.16)，經由 ANCOVA 檢定顯示雌雄之間日齡與尾叉長的關係式沒有顯著差異 ($P = 0.687$)。根據齒鰭的生殖生物學研究 (黃, 2015)，雌魚的 50%成熟尾叉長為 47.8 公分，而雄魚的 50%成熟尾叉長為 43.8 公分。雌魚在達到成熟前的成長速率平均為 0.075 (cm/day)；而雄魚於本研究採樣過程中因缺乏小魚的日齡樣本，故尚無法計算。

3.5.2 耳石的成長

本實驗根據日齡判讀的結果，觀察日齡 (D)的成長與耳石半徑 (OR)、耳石重量 (OW)和尾叉長 (FL)的關係，分別如下 (Fig. 17):

$$OR = 0.0034D + 1.108, r^2 = 0.723, n = 35$$

$$OW = 0.0115D - 0.2444, r^2 = 0.82, n = 41$$

$$FL = 0.0823D + 25.935, r^2 = 0.908, n = 42$$

3.5.3 觀察耳石切片之構造及年齡判讀

齒鰭一共有三對耳石，本實驗利用最大顆的矢狀耳石作為實驗樣本，在解剖顯微鏡下觀看，矢狀耳石的外側面可看到核心 (Fig. 7)，而內側面可以看到一條深溝。將矢狀耳石經過包埋後以橫切方式，在光學顯微鏡下觀察其橫切面，在不同放大倍率下可看到耳石是由許多的明帶和不透明帶所組成 (Fig. 18a)，而核心則是被這些明帶和不透明帶所圍繞 (Fig. 18b)，隨著年齡增加而慢慢地累積。

大約在距離核心 16 到 24 μm ($19.56 \pm 1.08 \mu\text{m}$ S.D.) 的位置會看到第一條清楚的深色細輪 (Fig. 19)，由此開始計算日輪，大約在 7 到 9 輪之後輪寬會漸漸變粗，直到第 35 到 39 輪之後輪寬又漸漸變細，輪與輪間的距離變小且規律 (Fig. 18a)。本實驗取出已判讀年輪為滿一歲或不到一歲樣本進行日輪判讀，扣除核心遺失、破損或不易判讀的樣本，總計 42 尾樣本進行日輪判讀及分析 (Fig. 20a, b)，結果如 Table 3 所示，判讀之樣本尾叉長介於 30.8 公分到 59.5 公分之間，日輪判讀結果日齡介於 113 天到 451 天之間，尾叉長接近 54 公分時年齡約滿一歲。

本研究總計採集 195 尾樣本皆有做年輪判讀，判讀時在實際的年輪之前會有一條較粗的不透明帶，經日輪判讀發現此一粗不透明帶尚未達到一年，而在此粗不透明帶之後常緊接著另一條不透明帶，當這兩條不透明帶相連或是距離過近時則視為同一條不透明帶，不計入年輪的計算中，實際的年輪係從此一相連之粗不透明帶後才開始計算 (Fig. 21a)，根據太平洋黑鰭耳石定齡手冊 (Shimose and Ishihara, 2015) 提到，通常第一條不透明帶會在第一轉折之後出現 (1st inflection)，而齒鰭耳石的第一轉折位置大約在距離核心 500 到 700 μm 左右，第一條不透明帶位置也在第一轉折之後 (Fig. 22)，此結果可做為核心遺失時的判讀依據。部分耳石樣本經切薄片做比對後，與耳石研磨判讀結果相同，以切薄片方法讀輪的樣本雖然畫面乾淨清楚 (Fig. 21b)，然而其無法判讀的可能性較高，故僅以此方法做為耳石研磨之輔助，判讀結果得到樣本之年齡為 0 歲到 5 歲 (Fig. 22, Table 4)。

耳石進行年輪判讀之後，記錄耳石邊緣是否為不透明帶，並配合採樣日期和生殖季節進行年齡修正，若採樣日期在生殖季節之前而耳石邊緣為透明帶時，表示尚未進入下一歲；若採樣日期在生殖季節之後而耳石邊緣為透明帶，或邊緣為一條較細的不透明帶，則表示進到下一歲，修正方法為採樣日期與生殖季節之間相隔的月份數除以 12 個月，依照邊緣的情況對判讀出的年齡進行修正，修正後最大的年齡為 5.1 歲。詳細計算規則參照太平洋黑鮪耳石定齡手冊 (Shimose and Ishihara, 2015)。另外，由於在 6 月、8 月、10 月和 12 月沒有採集到判讀為一歲或一歲以上之樣本，因此僅能以現有資料進行邊緣成長分析 (RMD)，根據結果 (Fig. 23)，由於只有一個高峰，推斷不透明帶形成時間約在 1 到 5 月間。

3.6 年齡判讀的精確度

88 尾齒鰾脊椎的年輪判讀中，平均百分誤差 (APE) 的平均值為 5.77%，變異係數 (CV) 的平均值為 7.49%；153 個耳石切片樣本的年輪判讀其平均百分誤差的平均值為 5.30%，變異係數的平均值為 7.13%；42 個耳石切片樣本の日輪判讀其平均百分誤差的平均值為 0.81%，變異係數的平均值為 1.05%。

3.7 成長方程式

3.7.1 脊椎

脊椎讀輪的判讀結果為 0 到 4 歲，利用 von Bertalanffy 成長方程式來套適齒鰾以脊椎輪紋判讀的成長情況 (Fig. 24)，套入成長方程式後得到成長參數： $L_{\text{inf}} = 193.121 \text{ cm}$ 、 $k = 0.05 \text{ yr}^{-1}$ 、 $t_0 = -5.461 \text{ yr}$ 。

3.7.2 耳石

本研究分別使用 von Bertalanffy 和 Gompertz 兩種成長方程式來套適齒鰾成魚與幼魚輪紋判讀的成長情況，並以絕對成長率 (AGR) 觀察成長速率之變化以決定分界點，發現日輪判讀在 230 天到 260 天之間的 AGR 值相較於 200 天到 230

天之間，有明顯的下降 (Table 1)，故取中間值選定 245 天時為分界點。首先將雌雄 245 天以上的日輪資料和年輪資料合併，分別進行兩種成長方程式的套適，接著以 AIC 值大小比較兩者的套適度，發現雌雄的日輪判讀在 245 天以上時皆是以 von Bertalanffy 成長方程式的套適度較好，接著以 likelihood ratio test 檢定雌雄之間是否有顯著差異 (Kimura, 1980)，發現雌雄之間沒有顯著差異 ($P = 0.09$)；另外再將雌雄判讀為 245 天以下的日輪資料分別進行兩種成長方程式的套適，並同樣以 AIC 值的大小來決定何者套適度較好，結果顯示在 245 天以下的日輪資料中以 Gompertz 成長方程式的套適程度較好，故接著再以 likelihood ratio test 檢定雌雄間是否有顯著差異，發現 245 天以下之日輪在雌雄之間同樣並沒有顯著差異 ($P = 0.799$) (Table 5)。

由於在 245 天以下之日輪資料與 245 天以上包含年輪之資料中皆顯示雌雄間沒有顯著差異，故分別將 245 天以下雌雄的日輪資料合併套入 Gompertz 成長方程式；將 245 天以上雌雄的日輪資料與年輪資料合併套入 von Bertalanffy 成長方程式，245 天以下的日輪資料合併後得到 $L_{inf} = 61.189 \text{ cm}$ 、 $G = 2.909 \text{ yr}^{-1}$ 、 $t_0 = 0.181 \text{ yr}$ ；而 245 天以上的日輪資料和年輪資料合併後得到 $L_{inf} = 84.015 \text{ cm}$ 、 $k = 0.322 \text{ yr}^{-1}$ 、 $t_0 = -2.074 \text{ yr}$ 。結果如 Table 5 所示，最後再將兩段方程式合併作圖 (Fig. 25)。

245 天以下之日輪成長方程式：

$$\text{Gompertz} \quad L_t = 61.189 \times e^{(-e^{-2.909(t-0.181)})}$$

245 天以上之日輪資料與年輪資料合併成長方程式：

$$\text{von Bertalanffy} \quad L_t = 84.015 \times (1 - e^{-0.322(t+2.074)})$$

3.8 由日輪資料回推孵化日期

本研究以齒鰭的耳石日輪判讀來回推其孵化日期，回推樣本孵化日期的方法為判讀的日輪再加上一天。未滿一歲且可判讀之樣本經由日輪判讀後回推其孵化

日期，發現齒鰭幼魚孵化日期主要分布在 1 到 6 月之間 (Fig. 26)，而黃 (2015) 進行的齒鰭生殖生物學研究結果發現齒鰭的生殖季節為 1 到 6 月，孵化日期的高峰期與生殖季節大致吻合。



第四章 討論



4.1 樣本資料之分析

本研究所採集之樣本主要尾叉長範圍分佈在 42 公分到 56 公分之間，其中又以 46 公分到 48 公分為高峰，所有樣本之平均尾叉長為 50.72 公分 (Fig. 9)；雌魚的平均尾叉長為 51.42 公分 ($n = 93$)，雄魚的平均尾叉長為 50.07 公分 ($n = 102$)。採樣結果經 t-test 顯示雌雄魚平均尾叉長沒有顯著差異 ($P = 0.1227$)，而體型較大的個體大多為雌魚 (Fig. 10)，此結果與前人研究 (王, 1987) 有相同的趨勢，然而本研究所記錄之平均尾叉長與該研究之結果相比顯然較小，且該研究中雌雄的體長體重關係有差異，推測此結果的差異可能是因為採樣地點不同，該研究採樣地點位於花蓮及台東沿岸海域，或所使用的漁具和漁法不同也可能是造成差異的原因，而實際原因仍待未來進一步的研究才能確定。

月別雌雄別平均體長變化如 Fig. 27 所示，平均體長的高峰期在 1 到 5 月之間，又本研究中尾叉長大於 70 公分的樣本皆是於 2 月及 3 月所採集到的，正好 2 月及 3 月之平均體長也進入全年的高峰期；過了 5 月進入夏天之後樣本的體型則漸漸變小，又本研究中所採集到最小尾叉長之樣本 (30.8 公分) 恰好係於 6 月收到的；而在進入秋天之後平均尾叉長又漸漸回升，直至隔年 1 月又開始慢慢進入高峰期，此一結果與王 (1987) 的研究結果相反。本研究樣本主要來自定置網所漁獲，2、3 月時正好符合齒鰾的排卵期及孵化期，且在處理及記錄樣本過程中發現有部分於此時期採集之樣本已進入水卵階段，顯示部分體型較大的魚會在此時產卵，且因離岸較近而進入定置網內，而是否離岸較遠之外海也有體型較大的魚具有水卵則有待未來更進一步的研究來證實。

4.2 年齡形質之選定

由於有關齒鰾之年齡成長的文獻並不多，前人研究也僅以體長頻度分析估計

年齡成長參數 (Sivadas *et al.*, 2012)，因此本研究初期嘗試以背鰭、脊椎骨及耳石三種不同的硬組織，比較何者最適合做為齒鰭的年齡成長研究之年齡形質。能夠做為年齡形質必須具備幾項條件，首先年齡形質之數目在魚體中必須是固定的，且會伴隨著魚體的成長而增長，而年齡記號也會隨著時間而有週期性的增加 (Bagenal and Tesch, 1978 ; Johnson, 1983 ; Hill *et al.*, 1989)，因此選用年齡形質來判斷估計齒鰭年齡成長，並可與由體長頻度所估計的年齡成長報告比較。

4.2.1 背鰭

背鰭之硬棘相對於耳石和脊椎骨而言較容易取得，處理不費時，體積小而容易保存，因此在本研究之初先以背鰭硬棘做年齡形質之嘗試。然而，背鰭硬棘的缺點是年齡較大的個體其硬棘會有脈管化的現象，使得位於硬棘切面中心的初期輪紋消失 (Casselman, 1983)，無法有效判讀該樣本之年齡，在其他鰭科魚種的文獻中亦有提到同樣的問題 (Antoine *et al.*, 1983 ; Johnson, 1983)，在本研究中所採集之樣本便有此脈管化現象，因此在實驗初期便捨棄以硬棘做為年齡形質。

4.2.2 脊椎

脊椎骨是本研究三種硬質中最費時且費工的年齡形質，但只要經過染色之後輪紋便能直接以檯燈照射清楚判讀 (Berry *et al.*, 1977)，過去沒有以齒鰭脊椎骨做為年齡形質的報告，但已有許多的鰭科魚種研究已證實脊椎骨適合做為年齡形質，例如黑鮪魚及正鰹 (Mather and Schuck, 1960 ; Farber, 1981 ; Gunn *et al.*, 2008 ; Batts, 1972)。然而，脊椎骨染色的效果變化大，每次 Alizarin red S 染劑調配比例、染色時間的誤差、脊椎骨製備過程中是否清理乾淨，或是染劑置放一段時間後附著情況變差的不可抗力因素 (Berry *et al.*, 1977) 等等，都可能會造成染色不均勻或過度染色的情況；且脊椎無法像耳石一樣判讀日齡，在缺乏如養殖或標識放流等直接驗證方法的情況之下，判讀的結果可能會有誤差。

本研究共取了 88 尾齒鰭脊椎樣本與耳石年輪判讀之結果做比對，發現共有 81 尾吻合，其中包括雌魚 39 尾，雄魚 42 尾。餘下的 7 尾經過染色判讀之後，皆比耳石年輪判讀少一歲，可能是因染色不均勻所造成 (Berry *et al.*, 1977)，如果將染劑調配過濃，容易因為整個脊椎骨過度染色而看不清楚輪紋，而若染劑沒有均勻附著在脊椎骨上，也同樣會使輪紋不易判讀；然而也有報告指出以鬼頭刀脊椎骨進行年齡判讀時易出現與耳石判讀相比輪紋數較少之情況 (Morales-Nin *et al.*, 1999)，而以黑鮪魚耳石進行年齡判讀時則出現較脊椎多一歲之情況 (Lee *et al.*, 1983)。脊椎骨的輪紋雖然較方便判讀，但與耳石相互驗證之下結果仍然有出入，而耳石做年輪判讀後能以日輪進行驗證，另以脊椎骨判讀出的年齡套入 von Bertalanffy 成長方程式之後所估計出的極限體長和 t_0 較不合理 ($L_{inf} = 193.121 \text{ cm}$ 、 $k = 0.05 \text{ yr}^{-1}$ 、 $t_0 = -5.461 \text{ yr}$)，可能是因脊椎年輪判讀的結果大多集中在 0 歲與 1 歲，最大為 4 歲，且又缺乏日輪資料，使得極限體長和 t_0 變得較大，顯示其結果存在相當程度的誤差。

綜合上述，由於脊椎骨製備過程中，染劑附著的情況存在不確定因素又費時費工，且本研究曾經嘗試將脊椎年輪判讀為 0 歲的部分以耳石的日輪判讀結果取代後代入成長方程式，用以驗證脊椎是否因缺乏日輪資料而造成估計上的誤差，因此嘗試將日輪資料帶入後得到 $L_{inf} = 61.577 \text{ cm}$ 、 $k = 2.198 \text{ yr}^{-1}$ 、 $t_0 = -0.022 \text{ yr}$ ，顯示缺少日輪資料而只以脊椎判讀之年輪帶入成長方程式時所得到的極限體長太大 ($L_{inf} = 193.121 \text{ cm}$)，存在誤差；而耳石製備的過程則相對穩定，且能以日輪與年輪相互驗證，帶入成長方程式後得到的成長參數也較合理，故本研究最後決定將脊椎骨捨棄，改以耳石做為年齡形質。

4.2.3 耳石

雖然耳石較硬棘難以取得，處理也相對較費時，且因體積小而易碎使得採集過程與硬棘相比之下較困難，但耳石符合以上年齡形質需具備的所有條件，且計

算輪紋時能夠精確到以日為單位，縱使在記數的過程中容易因人為因素而產生誤差，此種誤差相對其他硬質而言也是較低的。耳石的日週輪會持續隨著魚體成長而增長，當魚體進入高齡後其日週輪的增長會漸漸趨緩且排列綿密，判讀的難度及誤差會漸漸增加，因此耳石的日週輪僅能應用於魚體前期的成長過程中。有些魚種的耳石記號並不是以日為單位沉積 (Campana and Neilson, 1985)，因此耳石的日週輪需經過直接或間接的驗證，直接驗證的方法諸如標識放流、四環素標定及人工飼養等方式都是目前較為使用的，間接的驗證方法諸如不同形質的相對應比較、邊緣成長率分析或是產卵日之回推等 (張, 2006)，也是常被用來驗證日週輪判讀結果的方法。本研究中耳石日齡與耳石半徑和尾叉長有良好的相關性，顯示日週輪隨著魚體成長而成長，可做為年齡判讀之依據。

此外，與齒鰺同屬的魚種之年齡成長研究當中，Stewart *et al.* (2013)以耳石、體長頻度分析對 Australian bonito 進行年齡與成長之研究，並以標識放流進行驗證；Ateş *et al.* (2008), Santamaria *et al.* (2005), Valeiras *et al.* (2008)對 Atlantic bonito 則以背棘和耳石進行年齡與成長研究；另外，Campbell and Collins (1975), McFarlane *et al.* (2000)對 Pacific bonito 以標識放流與飼養的方式進行年齡與成長研究。由以上與齒鰺同屬的魚種之年齡與成長研究報告中，顯示以耳石做為年齡形質是可行的。

4.3 耳石年齡判讀及成長

4.3.1 耳石年輪判讀

本研究嘗試兩種方法進行耳石的製備，第一種是將耳石包埋後使用研磨機以緩慢的速度研磨及拋光直到核心顯現，另一種方法是將耳石包埋後切成 200 μm 的薄片接著直接以有機溶劑 permount 固定在載玻片上 (Lough, 1982; Nelson and Manooch III, 1982)。以切片直接固定的方法其優點是畫面乾淨清楚，不須拋光即可於光學顯微鏡下觀察，且不會因研磨造成的刮痕而影響年齡的判讀 (Fig. 21b)，

然而缺點卻是如果切點沒對到核心，沒有補救的機會。故本實驗主要還是以傳統的耳石研磨方式進行製備，以切片的方法為輔助，做為耳石因過度研磨而不易判讀時的比對依據。



進行耳石年輪的判讀時，從核心位置向耳石邊緣計數，首先會看到一條較粗的不透明帶 (Fig. 21a)，該條較粗的不透明帶並無靠近核心位置，因此在進行日輪判讀前容易被誤判為第一條年輪。在經過日輪判讀之後，該條較粗的不透明帶約出現在孵化後5個月到8個月之間，對照齒鰭的孵化日期大約在1到6月之間，此粗不透明帶出現的時間約在年底，而不透明帶生成可能和生殖行為及溫度有關，推測此一不透明帶的形成係因為恰逢冬天，水溫降低使得耳石沉積的速率降低所致(Pearson, 1996)。於顯微鏡下觀察時，經常可發現此一粗不透明帶之後會有另一條相對較細的不透明帶比鄰著，經日輪判讀的結果顯示第一年輪出現的位置是在此一粗一細的不透明帶之後 (Fig. 21a)，故年輪計數時由再下一條不透明帶開始計算。

4.3.2 耳石日輪判讀

齒鰭與其他鯖科魚種一樣於幼魚時期成長快速，之後成長速率會慢慢減緩，由於齒鰭的年輪判讀最大只到5歲，而年紀越大的齒鰭耳石越難進行日週輪的判讀，因此本研究將年齡判讀為一歲以下之樣本進行日輪判讀，再以絕對成長率(AGR)找出界線將資料分成兩段分別代入不同成長方程式以估得精確的成長參數，也能較精準地估計年齡大小。

本研究中，部分樣本的耳石日輪不易判讀，在進行耳石研磨的過程中有時會遇到一些狀況，例如核心已可看見但較靠邊緣之輪紋尚未顯現，若繼續研磨至靠邊緣的輪紋出現，則核心可能會被磨掉；或是靠邊緣的輪紋已顯現，而核心位置卻仍尚未磨開，當核心位置磨開後，靠邊緣的輪紋便會被磨掉。以上的狀況雖能

以拍照的方式做銜接，但仍易存在人為誤差，故當難以判讀或較大的人為誤差產生時便將此樣本捨棄。由於缺乏有關於齒鰭日輪判讀的研究報告，因此本研究以同屬鯖科魚種的黑鰹及正鰹之日輪研究報告 (Itoh *et al.*, 2000; Kayama *et al.*, 2007) 做為參考。另外，根據齒鰭幼魚消化系統發展之研究，齒鰭幼魚於孵化後第二天開始進食 (Kaji *et al.*, 2002)，本研究以此結果做為日輪修正的依據，即以日齡回推孵化日期時需再加上一天。

本研究的日輪判讀結果與 Harada *et al.* (1974) 利用養殖記錄齒鰭幼魚成長的研究進行比較，該研究記錄到齒鰭幼魚在孵化九十九天後體長達 29 公分，而本研究所採集到最小尾叉長的樣本為 30.8 公分，日齡判讀為 113 天，兩者差異不大，顯示齒鰭在幼魚時期成長快速。

4.3.3 年齡判讀之精確度

在進行年齡判讀之精確度分析上，一般使用平均百分誤差 (APE) 和變異係數 (CV) 這兩種方式 (Campana, 2001)。本實驗所進行 42 個耳石切片樣本的日輪判讀其平均百分誤差為 0.81%，變異係數為 1.05%，重複判讀的結果有很高的一致性。而本研究中 153 個耳石切片樣本的年輪判讀和 88 個脊椎骨年輪判讀之平均百分誤差和變異係數值都較高，Morison *et al.* (1998) 指出 APE 值通常需小於 5%，其判定結果才較能被接受，但也有文獻指出 APE 值小於 10% 即可被接受 (Rivera and Appeldoorn, 2000)，而 CV 值則是在 7.6% 內可被接受 (Campana, 2001)。本研究所計算年齡之 APE 值雖已超過 5% 但仍小於 10%，CV 值則在可接受範圍內。年齡之 APE 和 CV 值較高，原因為所判讀之最大年齡僅 5 歲，且大部分集中在 1 歲和 2 歲，根據公式，APE 值和 CV 值會較高，當年齡小的樣本較多時，其 APE 值和 CV 值也會較高，而以日齡為單位所計算出來的值會比以月或年為單位所計算出來的小 (Prince *et al.*, 1991)。

4.4 耳石之成長方程式

本研究將雌雄分開，以日輪 245 天作為界線，將 245 天以下之日輪判讀和 245 天以上包含年輪之判讀結果分別套入 Gompertz 和 von Bertalanffy 兩種成長方程式並做 AIC 值比較，結果顯示 245 天以下適用 Gompertz 成長方程式，而 245 天以上適用 von Bertalanffy 成長方程式；而後再將雌雄做 likelihood ratio test，結果顯示雌雄在兩個成長方程式中的成長情形皆沒有差異，故將雌雄合併。本研究 245 天以上之日輪和年輪資料合併套入 von Bertalanffy 成長方程式後得到成長參數 $L_{inf} = 84.015 \text{ cm}$ 、 $k = 0.322 \text{ yr}^{-1}$ 、 $t_0 = -2.074 \text{ yr}$ ，然而推估的極限體長與實際採樣的結果差異不大，本研究所採之最大樣本尾叉長為 80.2 公分，顯示極限體長可能有低估的狀況，推論可能是因為本研究所採到的樣本年齡多集中在 1 歲和 2 歲，未來若能增加更多年齡較大的樣本也許能使得估計出來的結果更加精確。本研究以兩種成長方程式套適兩段不同的成長情況，年齡較小時套適 Gompertz 成長方程式，而年齡較大時則套適 von Bertalanffy 成長方程式，前人研究也有相同的套適結果 (Prince *et al.*, 1991；詹, 2009)，Gompertz 成長方程式對於魚類幼魚時期的成長情況有較好的套適度，此種方法較能避免可能高估幼魚年齡的情況。

將本研究的結果與前人研究 (Sivadas *et al.*, 2012) 比較，前人研究針對印度海域的齒鰭以 ELEFAN I 計算得到 L_{∞} 和 k 值分別為 74.45 公分和 0.68 year^{-1} ，用 von Bertalanffy 成長方程式計算之後，顯示該海域齒鰭在 1 歲末時達到 40 公分尾叉長、在 2 歲末時達到 50 公分尾叉長，由於該研究並無進行年齡形質的判讀，因此推估的結果可能存在誤差，而本研究經過年齡形質的判讀發現齒鰭於 1 歲末時尾叉長約 54 公分，2 歲末時約 60 公分，Sivadas *et al.* (2012) 的研究報告所得到的參數與本研究相比之下顯然可能有低估的情況。然而，由於目前沒有其他利用年齡形質進行印度洋海域齒鰭的年齡成長研究，因此無法得知該海域齒鰭較精確的成長參數，若依 Sivadas *et al.* (2012) 對印度洋海域的研究結果，顯然與本研究結果有出入，是緯度不同的關係，還是食性、族群或使用方法的等不同因素影響所

造成差異，還有待進一步的探討。



4.5 孵化日期之估計

本研究以耳石切片研磨後得到日輪資料，與樣本的捕獲日對照可以回推該魚孵化的日期，根據前人研究，齒鰾在孵化後第二天開始有進食行為 (Kaji *et al.*, 2002)，而耳石不透明帶的沉積可能和進食有關係 (Brothers *et al.*, 1983)，推測齒鰾的第一日輪生成時間可能是在開始進食後，故本研究回推樣本孵化日時，需將判讀的日輪再加上一天。另外，與本研究同時進行的齒鰾生殖生物學研究 (黃, 2015)，經由生殖腺的組織切片觀察分析結果判斷齒鰾的生殖季節在 1 到 6 月，高峰期在 3 到 5 月，而根據本研究中進行邊緣成長分析 (RMD)的結果 (Fig. 23)，發現年輪不透明帶形成的時間在 1 到 5 月之間，未滿一歲之樣本經由日輪判讀後回推孵化日期，發現孵化日期大多分布在 1 到 6 月之間 ($n = 32$)，在進入到 7 月之後數量呈下降趨勢 ($n = 10$) (Fig. 26)，不透明帶形成時間和回推的孵化日期大致吻合，又日輪判讀所回推的孵化日期與生殖腺的組織切片結果吻合，因此推論齒鰾的孵化日期主要分布在 1 到 6 月之間。

4.6 結論

本研究利用耳石進行台灣東北部海域齒鰾的年齡與成長研究，雖然與脊椎骨互相比對之後判讀結果大致吻合，但由於利用脊椎骨做為年齡形質時有種種限制，因此本研究選擇耳石做為齒鰾的年齡與成長研究之材料。經過年輪判讀後，發現本研究之樣本年齡分佈主要集中於 1 歲和 2 歲，目前採集到的樣本中最大可成長到 5 歲。將日輪和年輪判讀的結果套適成長方程式，245 天以下的日輪資料用 Gompertz 成長方程式套適，得到成長參數 $L_{inf} = 61.189 \text{ cm}$ 、 $G = 2.909 \text{ yr}^{-1}$ 、 $t_0 = 0.181 \text{ yr}$ ；245 天以上的日輪資料和年輪資料合併以 von Bertalanffy 成長方程式套適，得到成長參數 $L_{inf} = 84.015 \text{ cm}$ 、 $k = 0.322 \text{ yr}^{-1}$ 、 $t_0 = -2.074 \text{ yr}$ 。

目前有關於齒鰭的年齡與成長研究並不多，未來若能加入更多尾叉長 70 公分以上之大魚及尾叉長 30 公分以下之幼魚樣本，相信能夠使齒鰭的年齡與成長研究更加精確完整，本研究結果將提供日後在該魚種的資源評估研究中所需要的基本參數。



參考文獻



Akaike, H. 1974. A New Look at the Statistical Model Identification, IEEE Transactions on Automatic Control, 19 (6), 716-723.

Alves, A., de Barros, P., Pinho, M. R. 2002. Age and growth studies of bigeye tuna *Thunnus obesus* from Madeira using vertebrae. Fish. Res., 54 (3), 389-393.

Antoine, L. M., Mendoza, J. J., Cayre, P. M. 1983. Progress of age and growth assessment of Atlantic Skipjack tuna, *Euthynnus pelamis*, from dorsal fin spines. US Department of Commerce. NOAA Tech. Rep. NMFS, 8, 91-97.

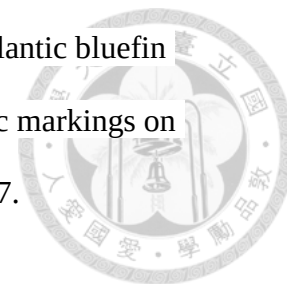
Ateş, C., Deval, M. C., Bök, T. 2008. Age and growth of Atlantic bonito (*Sarda sarda* Bloch, 1793) in the Sea of Marmara and Black Sea, Turkey. J. Appl. Ichthyol., 24 (5), 546-550.

Bagenal, T., Tesch, F. 1978. Age and growth. In: Methods for assessment of fish production in fresh waters. T. B. Bagenal (eds). Blackwell Scientific Publs., Oxford, U. K., pp. 101-136.

Batts, B. S. 1972. Age and growth of the skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus), in north Carolina waters. Chesapeake Sci., 13 (4), 237-244.

Beamish, R. J., Fournier, D. A. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 38 (8), 982-983.

Berry, F. H., Lee, D. W., Bertolino, A. R. 1977. Age estimates in Atlantic bluefin tuna-An objective examination and an intuitive analysis of rhythmic markings on vertebrae and in otoliths. ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap. 46 (2): 305-317.



Brothers, E. B., Prince, E. D., Lee, D. W. 1983. Age and growth of young-of-the-year bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, from otolith microstructure. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS, 8, 49-59.

Butler, M. J. A. 1971. Biological investigation on aspects of the life history of the bluefin tuna, 1970-1971. Newfoundland and Labrador Tourist Development Office, St. John's, Nfld. 169 pp.

Butler, M. J. A. 1975. Prince Edward Island bluefin tuna research program, 1974. Mimeographed, 165 pp.

Butler, M. J. A. 1976. Prince Edward Island bluefin tuna research program, 1975. Mimeographed, 18 pp., appendices 1-4

Campana, S. E., Neilson, J. D. 1985. Microstructure of fish otoliths. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42 (5), 1014-1032.

Campana, S.E., 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. Mar. Ecol. Prog. Ser. 188, 263-297.

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. Bio., 59

(2), 197-242.



Campbell, G., Collins, R. A. 1975. Age and growth of Pacific bonito, *Sarda chiliensis*, in eastern North Pacific. Calif. Fish game, 61 (4), 181-200.

Casselman, J. M. 1983. Age and growth assessment of fish from their calcified structures—techniques and tools. NOAA Tech. Rep. NMFS, 8, 1-17.

Chi, K.S. and Yang, R.T. 1973. Age and growth of skipjack tuna in the waters around the southern part of Taiwan. Nat. Taiwan Univ. Sci. Rep. Acta Oceanogr. Taiwanica, 3, 199-221.

FAO. 2005. Review of the state of world marine fisheries resources. FAO fisheries technical paper No. 457. Rome, 2005, 235pp. ISBN 92-5-105267-0.

Farber, M. I. 1981. Ageing western Atlantic bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, using tagging data; caudal vertebrae and otoliths. ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap. 15 (2), 288-301.

FishBase, 2015. *Sarda orientalis*.

(<http://fishbase.org/Summary/SpeciesSummary.php?ID=114&AT=Bakulan>)

Gompertz, B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on the new mode of determining the value of life contingencies. Philos. Trans. R. Soc. London 115, 513–585.

Gnanamuthu, J. C. 1966. On the occurrence of the oriental bonito, *Sarda orientalis* (Temminck and Schlegel) along the Madras coast. J. Mar. Biol. Assoc. India, 8 (2), 365-365.



Gunn, J. S., Clear, N. P., Carter, T. I., Rees, A. J., Stanley, C. A., Farley, J. H., Kalish, J. M. 2008. Age and growth in southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii* (Castelnau): direct estimation from otoliths, scales and vertebrae. Fish. Res., 92 (2), 207-220.

Harada, T., Murata, O., Miyashita, S. 1974. On the artificial fertilization and rearing of larvae in bonito. Mem. Fac. Agric. Kinki Univ. (7), 1-4

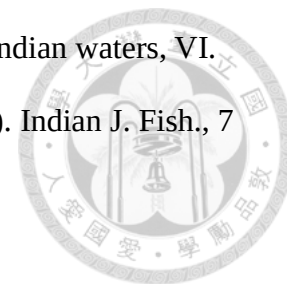
Hill, K. T., Cailliet, G. M., Radtke, R. L. 1989. A comparative analysis of growth zones in four calcified structures of Pacific blue marlin, *Makaira nigricans*. Fish. Bull., 87, 829-843.

Itoh, T., Shiina, Y., Tsuji, S., Endo, F., Tezuka, N. 2000. Otolith daily increment formation in laboratory reared larval and juvenile bluefin tuna *Thunnus thynnus*. Fish. Sci., 66 (5), 834-839.

Jenke, J. 2002. A guide to good otolith cutting. Fish. Res. Rep. No. 141. Department of Fisheries, Western Australia.

Johnson, A. G. 1983. Comparison of dorsal spines and vertebrae as ageing structures for little tunny, *Euthynnus alletteratus*, from the northeast gulf of Mexico. US Department of Commerce. NOAA Tech. Rep. NMFS, 8, 111-115.

Jones, S. 1960. Notes on eggs, larvae and juveniles of fishes from Indian waters, VI. Genus *Auxis* Cuvier VII. *Sarda orientalis* (Temminck and Schlegel). Indian J. Fish., 7 (2), 337-347.



Kaji, T., Kodama, M., Arai, H., Tagawa, M., Tanaka, M. 2002. Precocious development of the digestive system in relation to early appearance of piscivory in striped bonito *Sarda orientalis* larvae. Fish. Sci., 68 (6), 1212-1218.

Kayama, S., Tanabe, T., Ogura, M., Okuhara, M., Tanaka, S., Watanabe, Y. 2007. Validation of daily ring formation in sagittal otoliths of late juvenile skipjack tuna *Katsuwonus pelamis*. Fish. Sci., 73 (4), 958-960.

Kishinouye, K. 1923. Contribution to the comparative study of the so-called scombroid fishes. J. Coll. Agri. Tokyo, 8 (3), 293-475

Kimura, D. K. 1980. Likelihood methods for the von Bertalanffy growth curve. Fish. Bull., 77, 765-776.

Lee, D. W., Prince, E. D., Crow, M. E. 1983. Interpretation of growth bands on vertebrae and otoliths of Atlantic bluefin tuna, *Thunnus thynnus*. NOAA Tech. Rep. NMFS, 8, 61-70.

Lewis, P. D. & Mackie, M. 2002. Methods used in the collection, preparation, and

interpretation of narrow-barred Spanish mackerel (*Scomberomorus commerson*) otoliths for a study of age and growth in Western Australia. Fish. Res. Rep. No. 143. Department of Fisheries, Western Australia.



Lough, R. G. 1982. Age and growth of larval Atlantic herring, *Clupea harengus* L., in the Gulf of Maine-Georges Bank region based on otolith growth increments. Fish. Bull., 80 (2), 187-200.

Mather, F. J. III, Schuck, H. A. 1960. Growth of bluefin tuna of the western North Atlantic. Fish. Bull. 61 (179), 39-52.

McFarlane, M. B., Cripe, D. J., Thompson, S. H. 2000. Larval growth and development of cultured Pacific bonito. J. Fish. Bio., 57 (1), 134-144.

Morales-Nin, B., Di Stefano, M., Potoschi, A., Massutí, E., Rizzo, P., Gancitano, S. 1999. Differences between the sagitta, lapillus and vertebra in estimating age and growth in juvenile Mediterranean dolphinfish (*Coryphaena hippurus*). Sci. Mar. 63 (3-4), 327-336.

Morison, A. K., Robertson, S. G., Smith, D. C. 1998. An integrated system for production fish aging: image analysis and quality assurance. North Amer. J. Fish. Mgt., 18 (3), 587-598.

Mundy, B. C. 2005. Checklist of the fishes of the Hawaiian Archipelago. Bishop Mus. Bull. Zool. 6.

Nelson, R. S., Manooch III, C. S. 1982. Growth and mortality of red snappers in the west-central Atlantic Ocean and northern Gulf of Mexico. Trans. Amer. Fish. Soc., 111 (4), 465-475.



Panfili, J., Troadec, H., de Pontual, H., Wright, P.J. 2002. Manual of fish sclerochronology. Ifremer–IRD Co-edition, Brest, France. pp. 62-64, 95-98, 129-132, 146-148.

Pannella, G., 1971. Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. Sci. 173, 1124-1127.

Pearson, D. E. 1996. Timing of hyaline-zone formation as related to sex, location, and year of capture in otoliths of the widow rockfish, *Sebastes entomelas*. Fish. Bull, 94 (1), 190-197.

Pinkas, L. 1961. Descriptions of postlarval and juvenile bonito from the eastern Pacific Ocean. Calif. Fish Game 47, 175-188.

Prince, E. D., Lee, D. W., Zweifel, J. R., Brothers, E. B. 1991. Estimating age and growth of young Atlantic blue marlin, *Makaira nigricans*, from otolith microstructure. Fish. Bull. NOAA, 89, 441-459.

Rao, K. V. N. 1962. An account of ripe ovaries of some Indian tunas. Proceedings of the symposium on Scombroid Fishes. Mar.Biol. Assoc. India, Symp. Ser. 1, 733-743

Rivera, G. A., Appeldoorn, R. S. 2000. Age and growth of dolphinfish, *Coryphaena*

hippurus, off Puerto Rico. Fish. Bull. NOAA, 98 (2), 345-352.



Santamaria, N., Deflorio, M., De Metrio, G. 2005. Preliminary study on age and growth of juveniles of *Sarda sarda*, Bloch and *Euthynnus alletteratus*, Rafinesque, caught by clupeoids purse seine in the southern Italian Seas. ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap. 56 (2), 630-643.

Secor, D. H., Dean, J. M., Laban, E. H. 1991. Manual for otolith removal and preparation for microchemical examination. Electric Power Research Institute, and the Belle W. Baruch Institute for Marine Biology and Coastal Research, University of South Carolina, Columbia, SC.

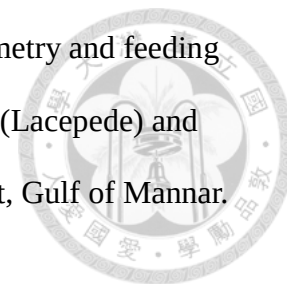
Shimose, T., Ishihara, T. 2015. A manual for age determination of Pacific Bluefin tuna, *Thunnus orientalis*. Bull. Fish. Res. Agen. 40.

Silas, E. G. 1962. Aspects of taxonomy and biology of the oriental bonito *Sarda orientalis* (Temminck and Schlegel). In: Proceedings of the symposium on scombroid fishes. 12-15 January, 1962, MBI, pp. 283-308.

Silas, E. G. 1963. Synopsis of biological data on oriental bonito *Sarda orientalis* (Temminck and Schlegel 1842) (Indian Ocean). FAO Fisheries Biology Synopsis No. 73, Species Synopsis No. 30, pp. 834-861.

Sinha, M. K., Anrose, A., Babu, C. 2014. An overview of coastal tuna resources and their status along Indian waters. 4th working party on neritic tuna, Phuket, Thailand, 29 June - 2 July 2014, WPNT04-10.

Siraimetan, P. 1985. On the occurrence, size distribution, morphometry and feeding habits of the juveniles of *Euthynnus affinis* (Cantor), *Auxis thazard* (Lacepede) and *Sarda orientalis* (Temminck and Schlegel) along the Tuticorin coast, Gulf of Mannar. Bull. Cent. Mar. Fish. Res., Inst., 36, 104-114.



Siraimetan, P., Ramaiyan, V. and Velayudham, M. 1999. Biology of tuna juveniles occurring along the Coromandal coast. In: Mohan Joseph, M., Menon, N. R., Unnikrishnan Nair, N. (Eds.), Proceedings of the Fourth Indian Fisheries Forum, 24-28 November 1996, Kochi, p. 417-419.

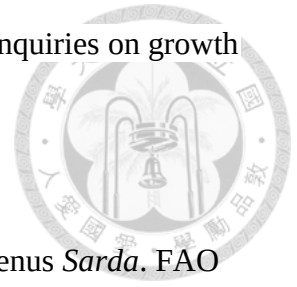
Sivadas, M., Abdussamad, E. M., Jasmine, S., Rohit, P., Koya, K. P., Ghosh, S., Bineesh, K. K. 2012. Assessment of the fishery and stock of striped bonito, *Sarda orientalis* (Temminck and Schlegel, 1844) along Kerala coast with a general description of its fishery from Indian coast. Indian J. Fish., 59(2), 57-61.

Sparre, P. and Venema, S. C. 1992. Introduction to tropical fish stock assessment. Part-1 Manual, FAO Fisheries Technical Paper, 306, 1-376

Stewart, J., Robbins, W. D., Rowling, K., Hegarty, A., Gould, A. 2013. A multifaceted approach to modelling growth of the Australian bonito, *Sarda australis* (Family Scombridae), with some observations on its reproductive biology. Mar. Freshwater Res., 64 (7), 671-678.

Valeiras, X., Mac ías, D., Gómez, M. J., Lema, L., Alot, E., Ortiz de Urbina, J. M., De la Serna, J. M. 2008. Age and growth of Atlantic bonito (*Sarda sarda*) in western Mediterranean Sea. ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap. 62 (5), 1649-1658.

von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). Hum. Biol. 10, 181-213.



Yoshida, H. O. 1980. Synopsis of biological data on bonito of the genus *Sarda*. FAO Fisheries Synopsis 118. NOAA Tech. Rep. NMFS, 432, 1-50.

王清要，1987。台灣東部海域產條鰹之生物學研究 (一)體長組成、生殖腺成熟指數和性比。臺灣省水產試驗所試驗報告第 42 號，第 67-75 頁。

林富家，2004。台灣東部海域與中西太平洋正鰹之年齡與成長研究。國立台灣大學海洋研究所碩士論文。

張伊坊，2006。台灣東部海域鬼頭刀的日齡與成長之研究。國立台灣大學海洋研究所碩士論文。

詹麗華，2009。利用耳石探討台灣東部海域竹節鰨之年齡與成長。國立台灣大學海洋研究所碩士論文。

黃鈞淳，2015。台灣東部海域齒鰨之生殖生物學研究。國立台灣大學海洋研究所碩士論文。

陳俊豪，2006。台灣北部沿岸定置網漁場漁獲組成及其豐度變動之研究。國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系碩士論文。

高敦寶，2007。台灣東北部海域新協發與佳豐定置網漁場漁況變動之比較研究。國立高雄海洋科技大學漁業生產與管理研究所碩士論文。

行政院農業委員會漁業署 1993 - 2013。中華民國台閩地區漁業統計年報。高雄，台灣。



黃向文，1999。漁業推廣月刊第157期。

鄭火元，2005。台灣農家要覽漁業篇 (增修訂三版)。

邵廣昭。台灣魚類資料庫網路電子版。<http://fishdb.sinica.edu.tw>, (2015-12-7)

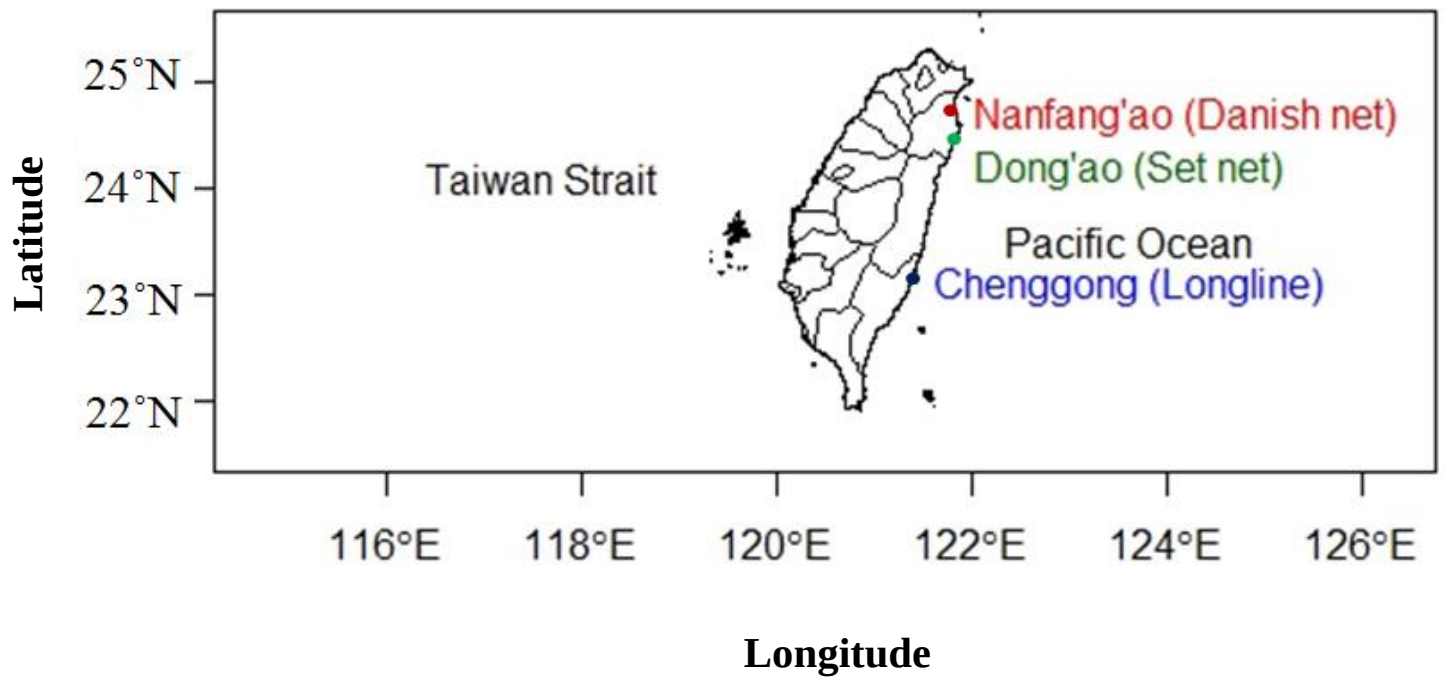


Fig. 1. The Nanfang'ao fishing port (24°58' N , 121°87' E), Dong'ao fishing port (24°30' N , 121°50' E) and Chenggong fishing port (23°10' N , 121°38' E) where samples were collected from the catches of Danish net, set net and longline respectively.



Fig. 2. Measurement of fork length (FL) for striped bonito, *Sarda orientalis*.

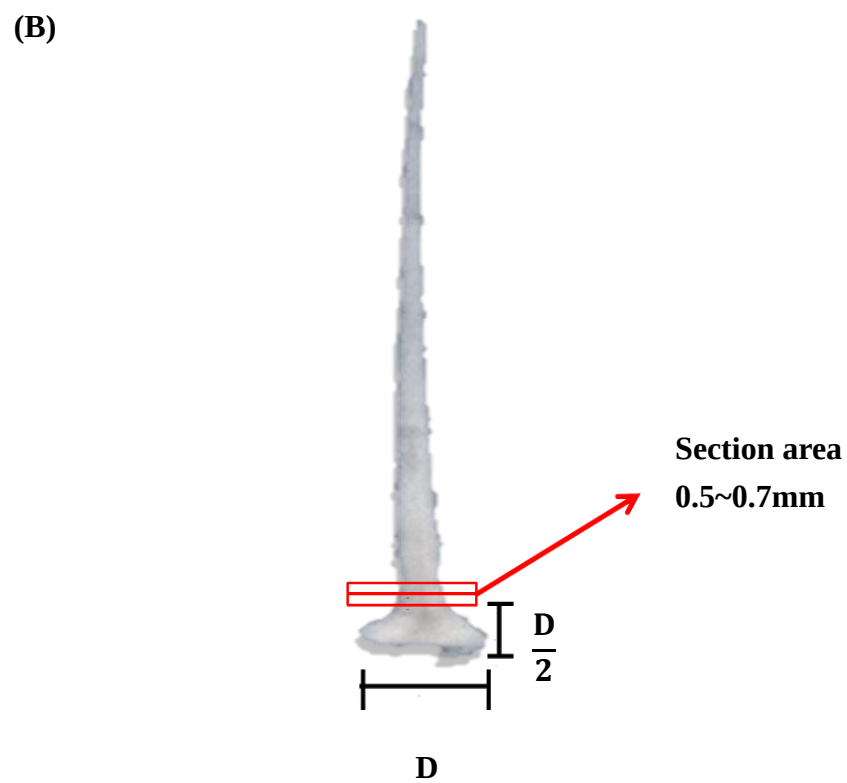


Fig. 3. (A) All the spines of the first dorsal fin. (B) The site of dorsal spine where cross sections were taken.

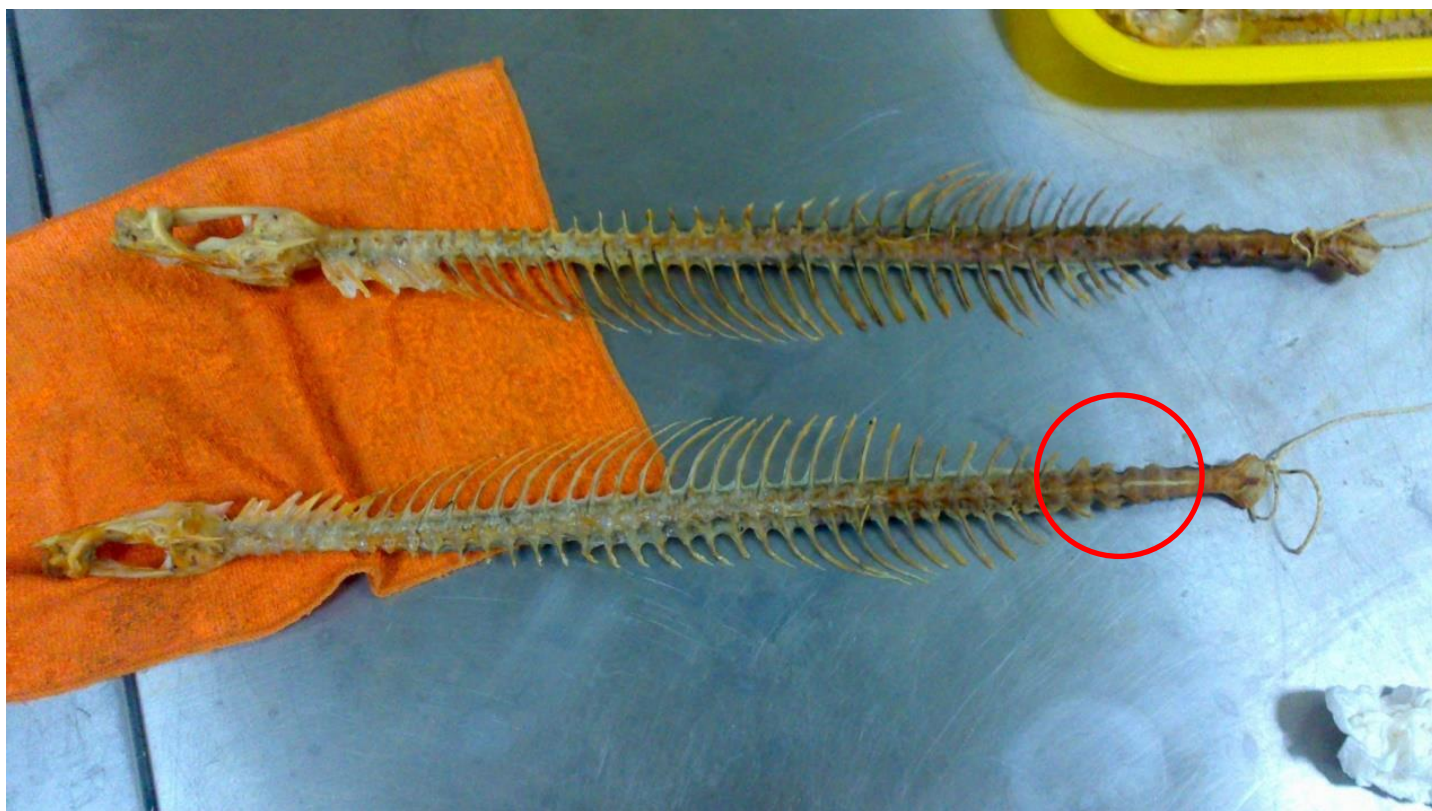


Fig. 4. After boiled in the hot water, the muscle and tissue of a sample can be easily removed. Section 38 to 42 of the vertebrae were used for age determination.



Fig. 5. (A) The sagittal otolith under 12.5X dissection microscope. Sagittal otolith is the largest otolith, many age and growth study use it as the material for age determination. (B) The other two pairs of otoliths under 25X dissection microscope.

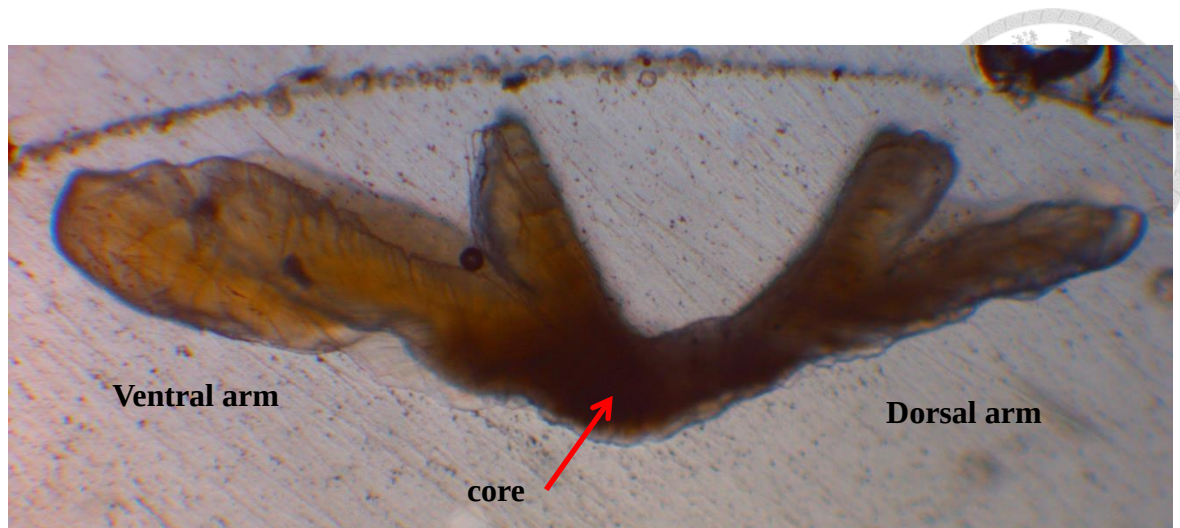


Fig. 6. The ventral arm and dorsal arm of the otolith. Annuli were read along the ventral arm.

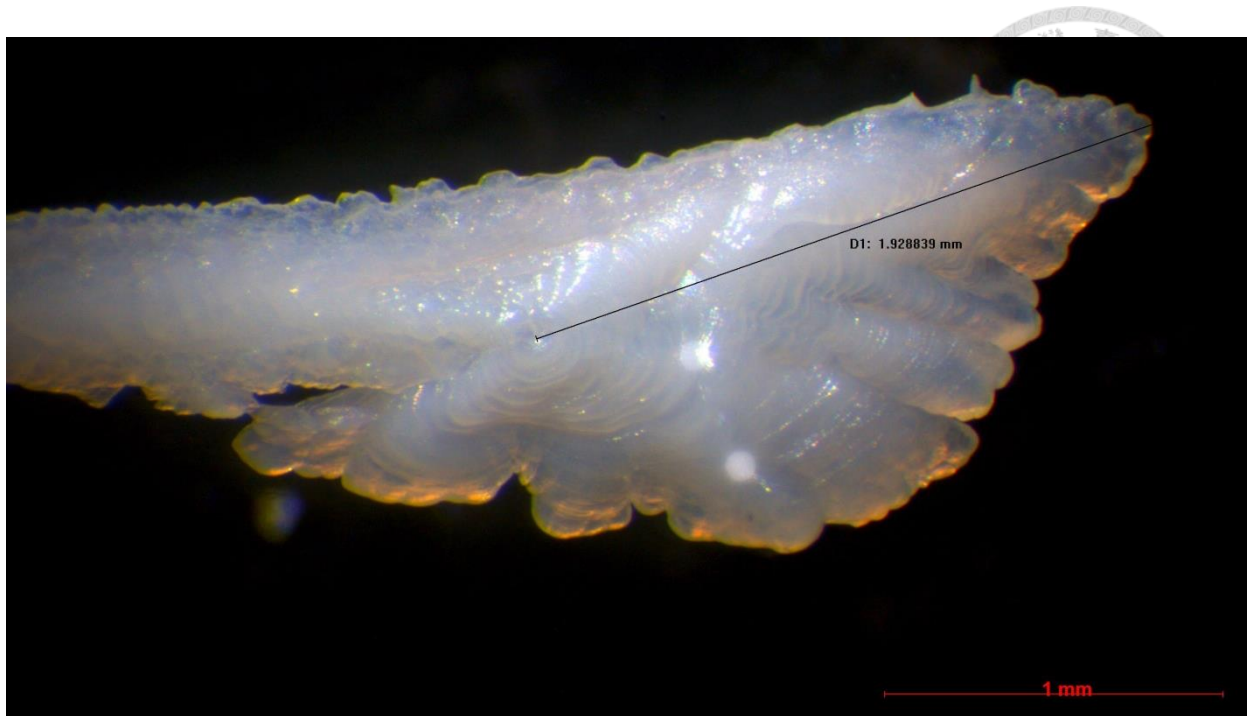


Fig. 7. The otolith radius of striped bonito, *Sarda orientalis*, measured from the core area to the edge of the otolith.

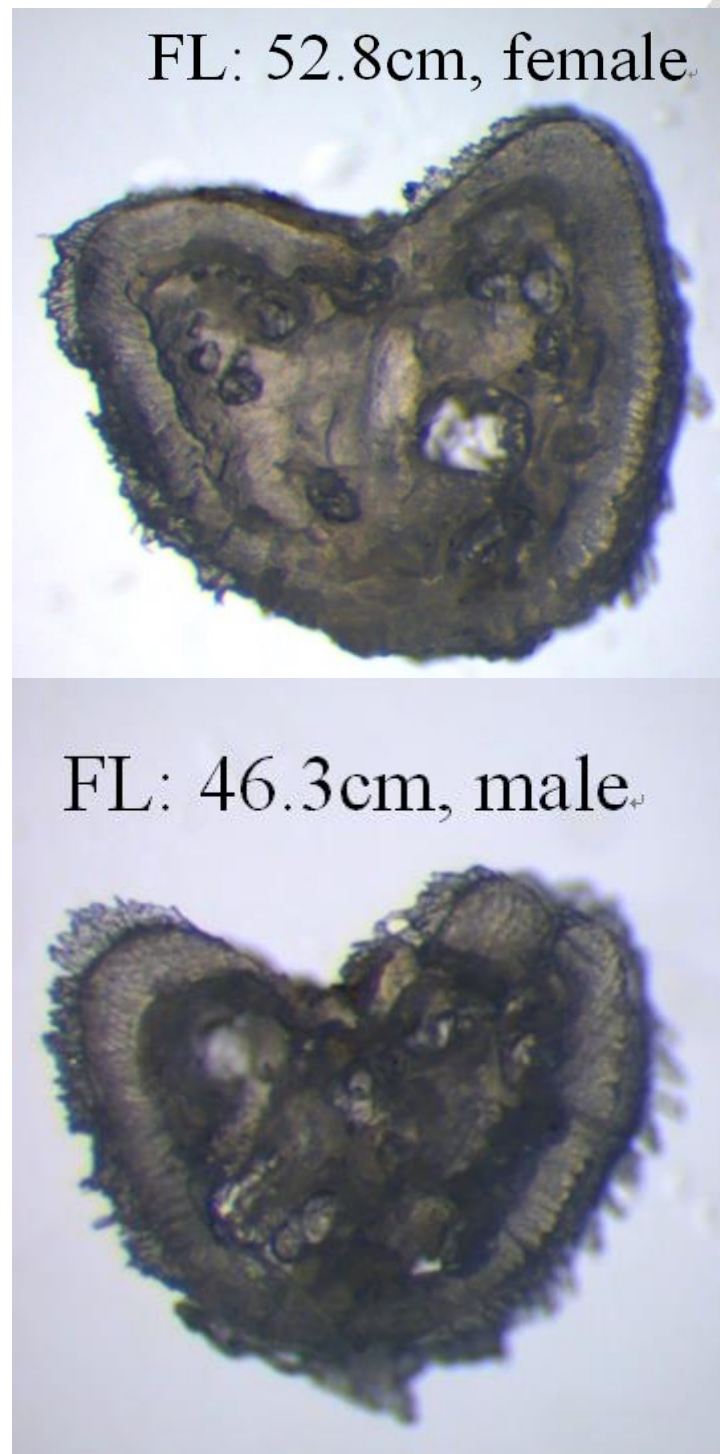


Fig. 8. Dorsal spines were discarded due to vascularization in both sexes.

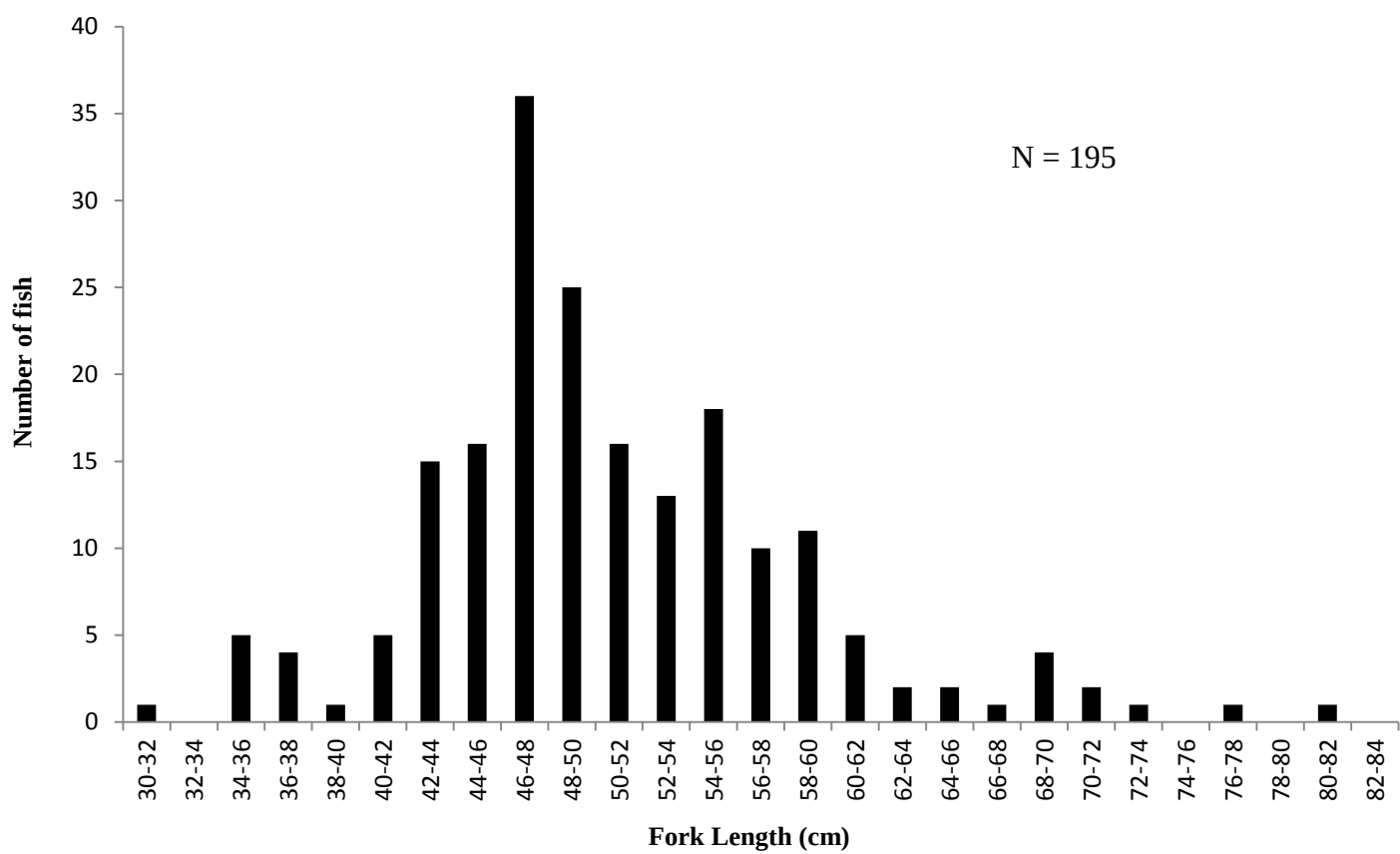


Fig. 9. Length frequency of striped bonito (*Sarda orientalis*).

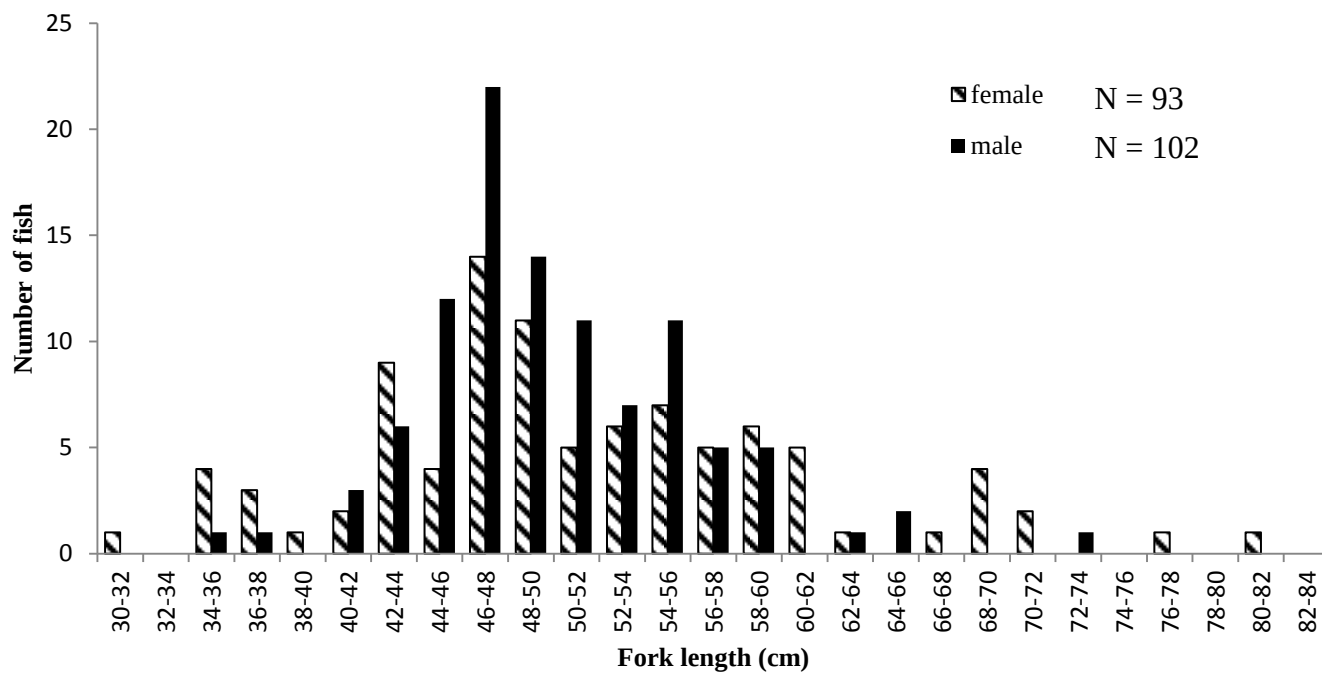
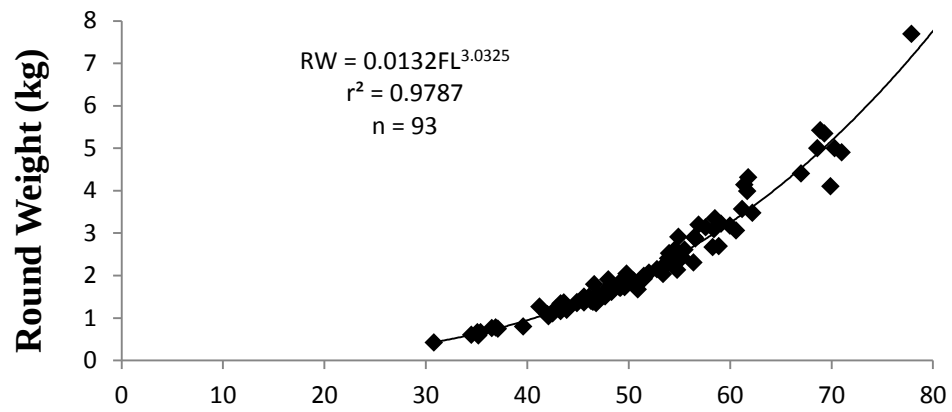
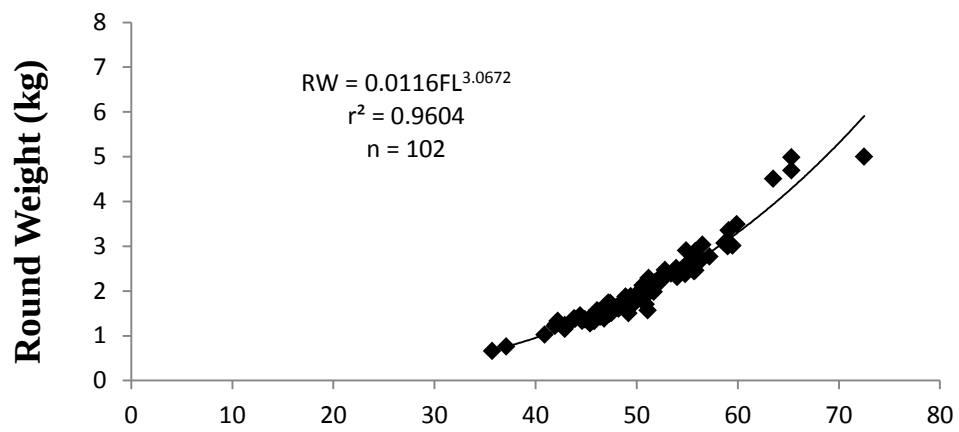


Fig. 10. Length frequency by sex of striped bonito (*Sarda orientalis*).

(a)



(b)



(c)

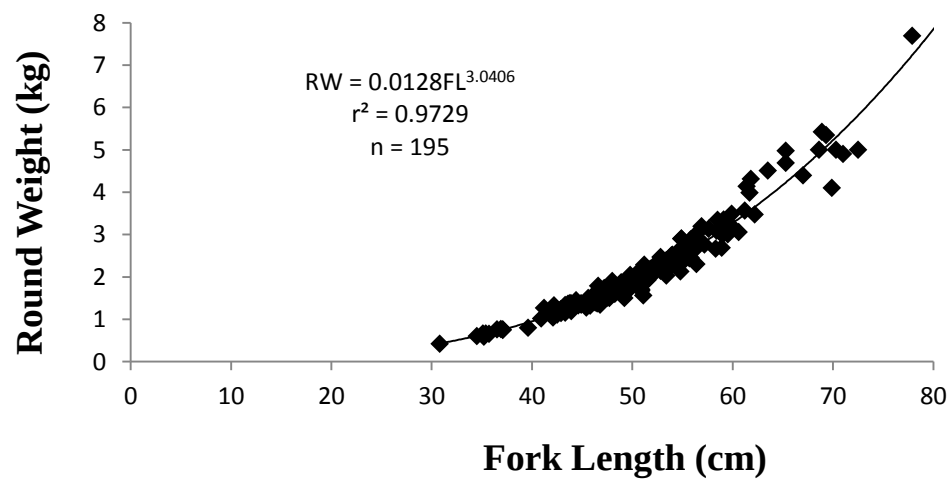


Fig. 11. Length - weight relationship for the (a) female, (b) male, (c) sex - combined striped bonito sampled in this study.

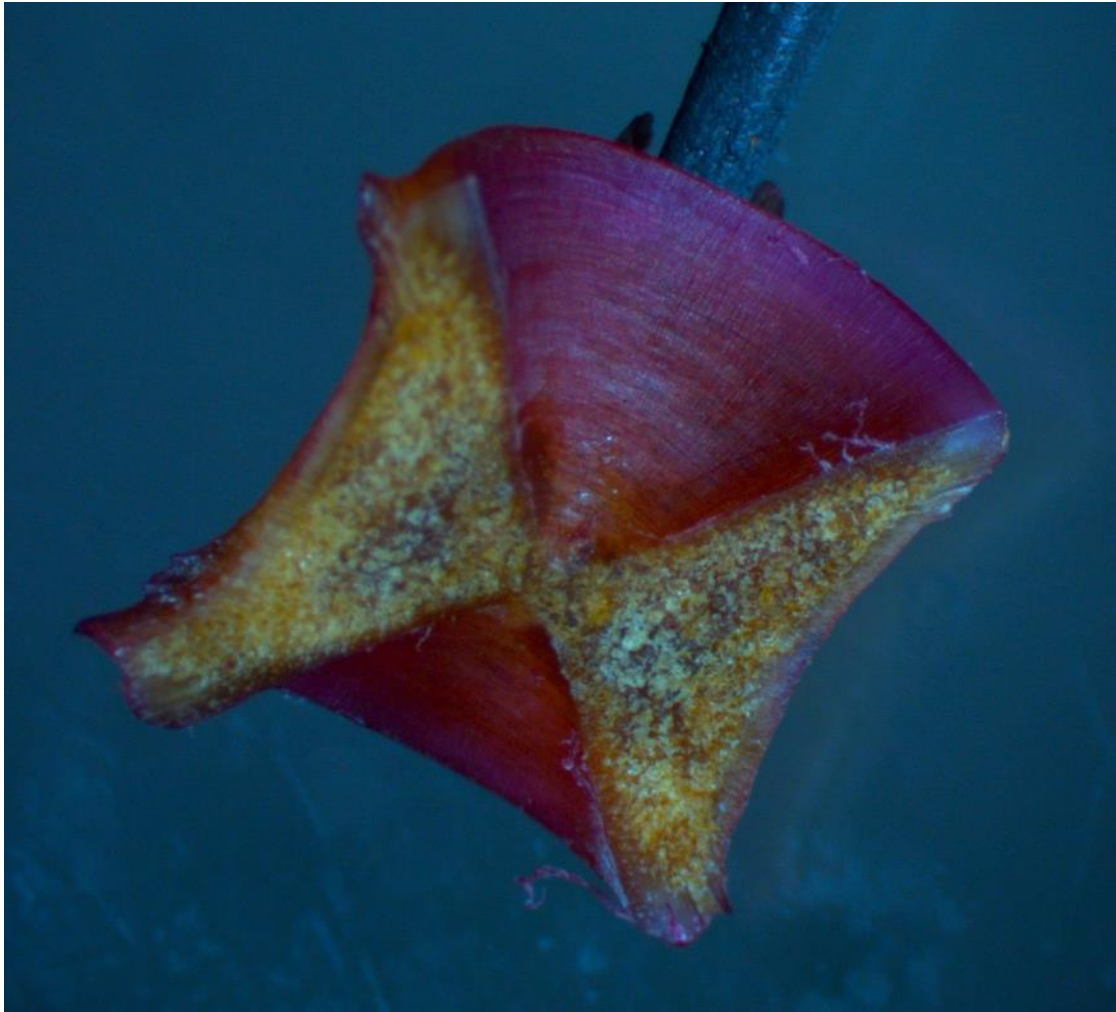


Fig. 12. A vertical section on a stained vertebra of striped bonito.

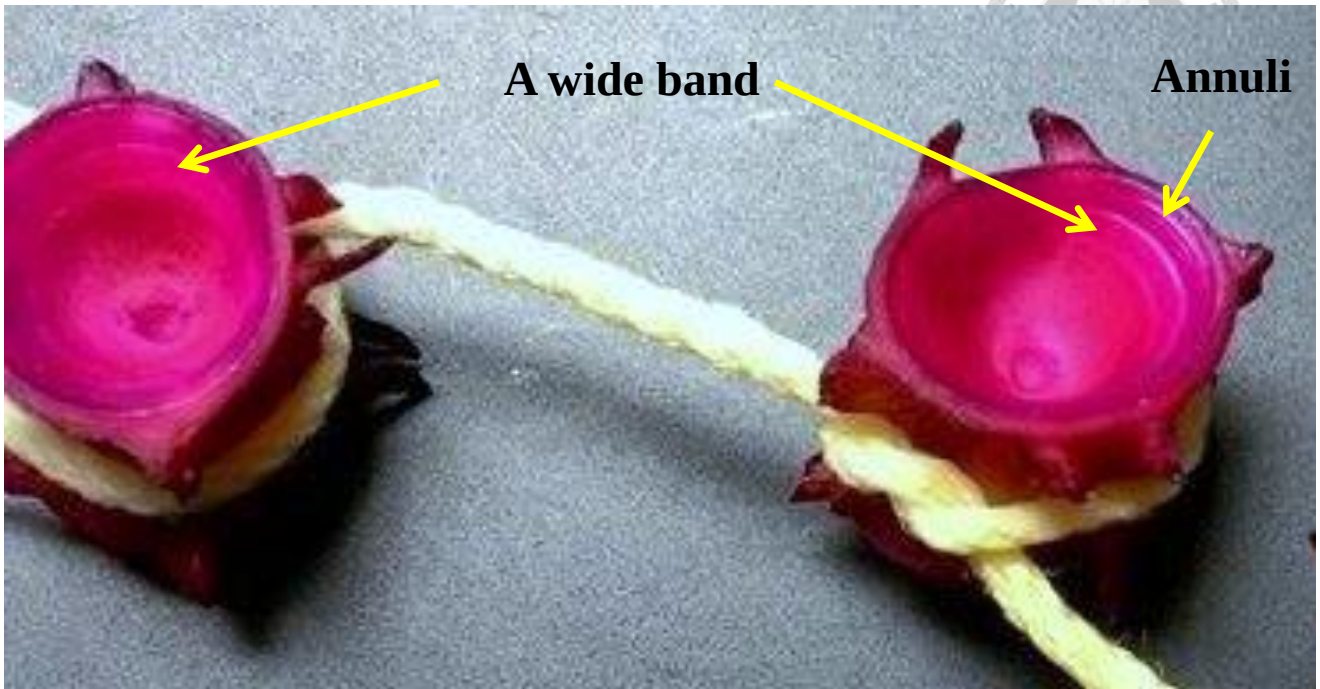


Fig. 13. The wide band and the 1st annuli in the stained vertebra.

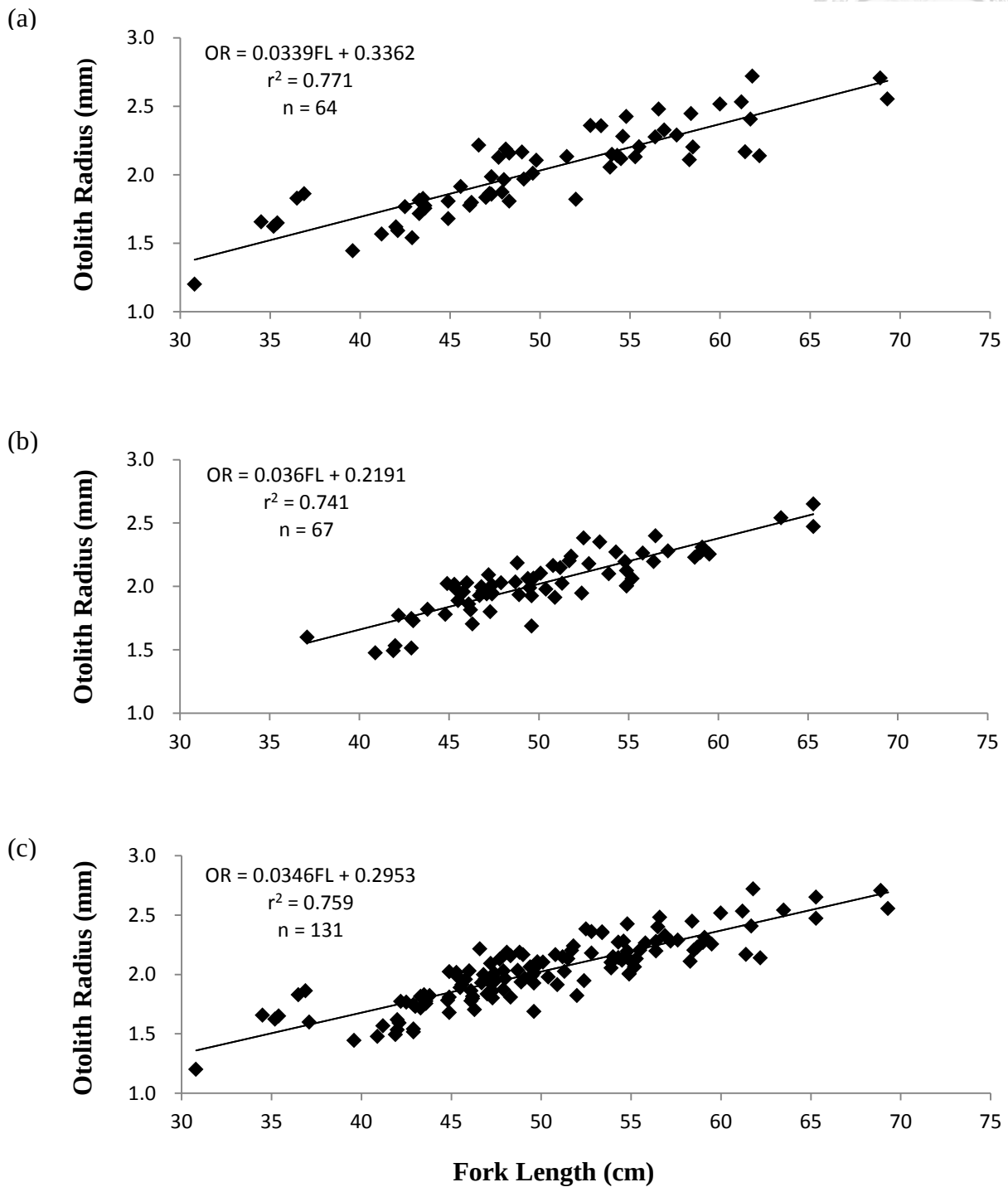


Fig. 14. Fork length - otolith radius relationship for the (a) female, (b) male and (c) sex - combined striped bonito sampled in this study.

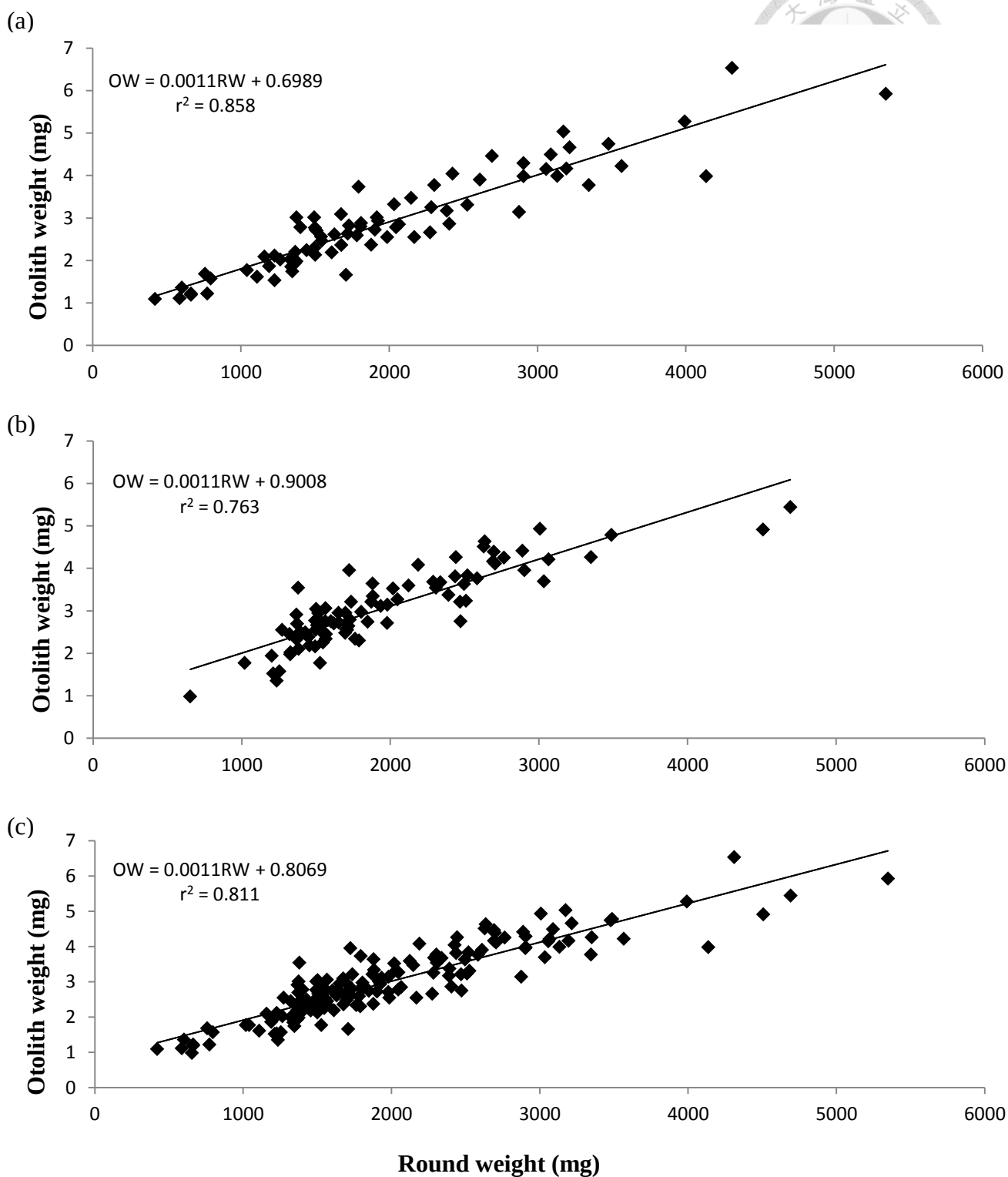


Fig. 15. Round weight - otolith weight relationship for the (a) female, (b) male and (c) sex - combined striped bonito sampled in this study.

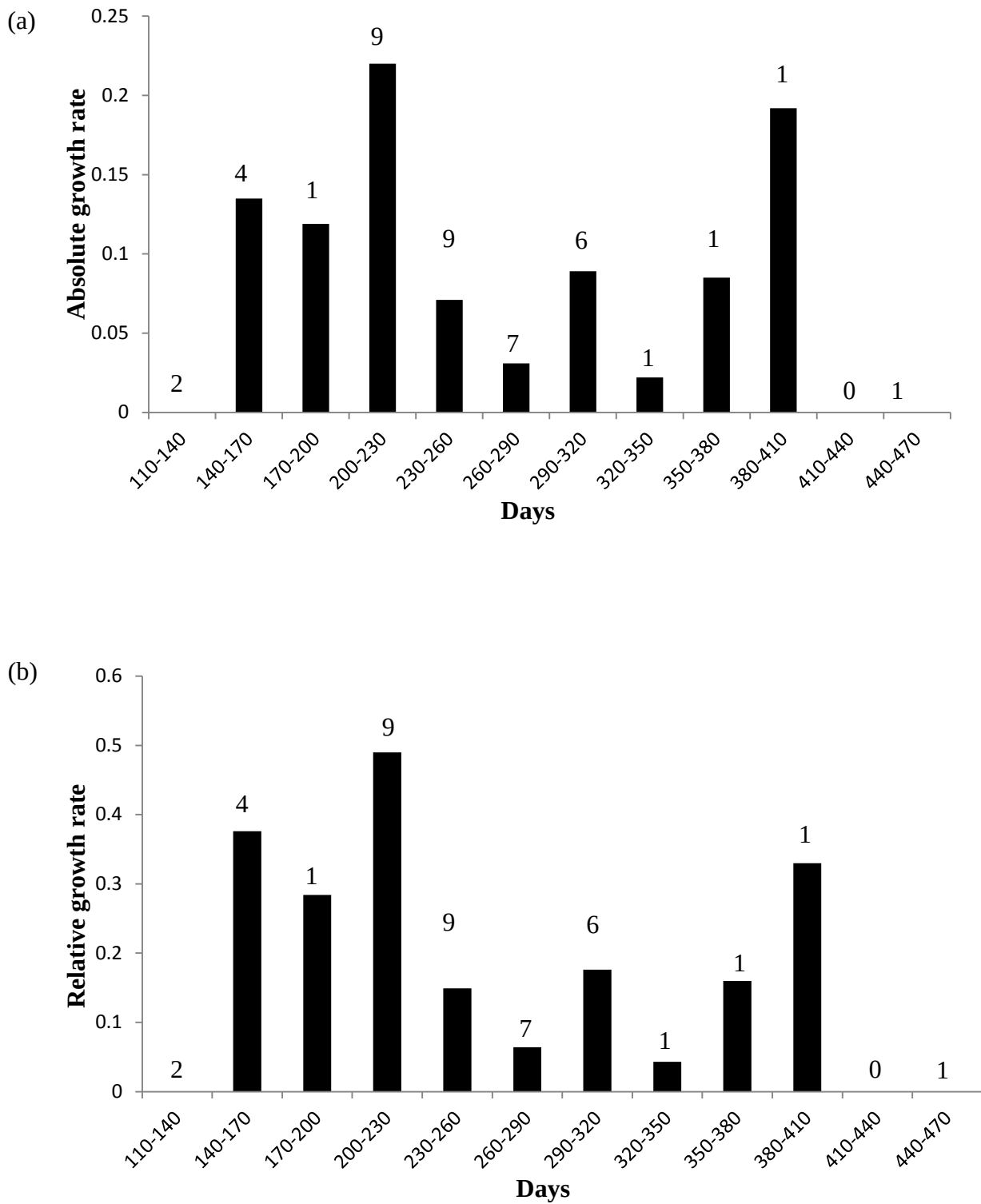


Fig. 16. Relationships between (a) absolute growth rate (AGR) and age (days). (b) relative growth rate (RGR) and age (days). Numbers above bars are sample size.

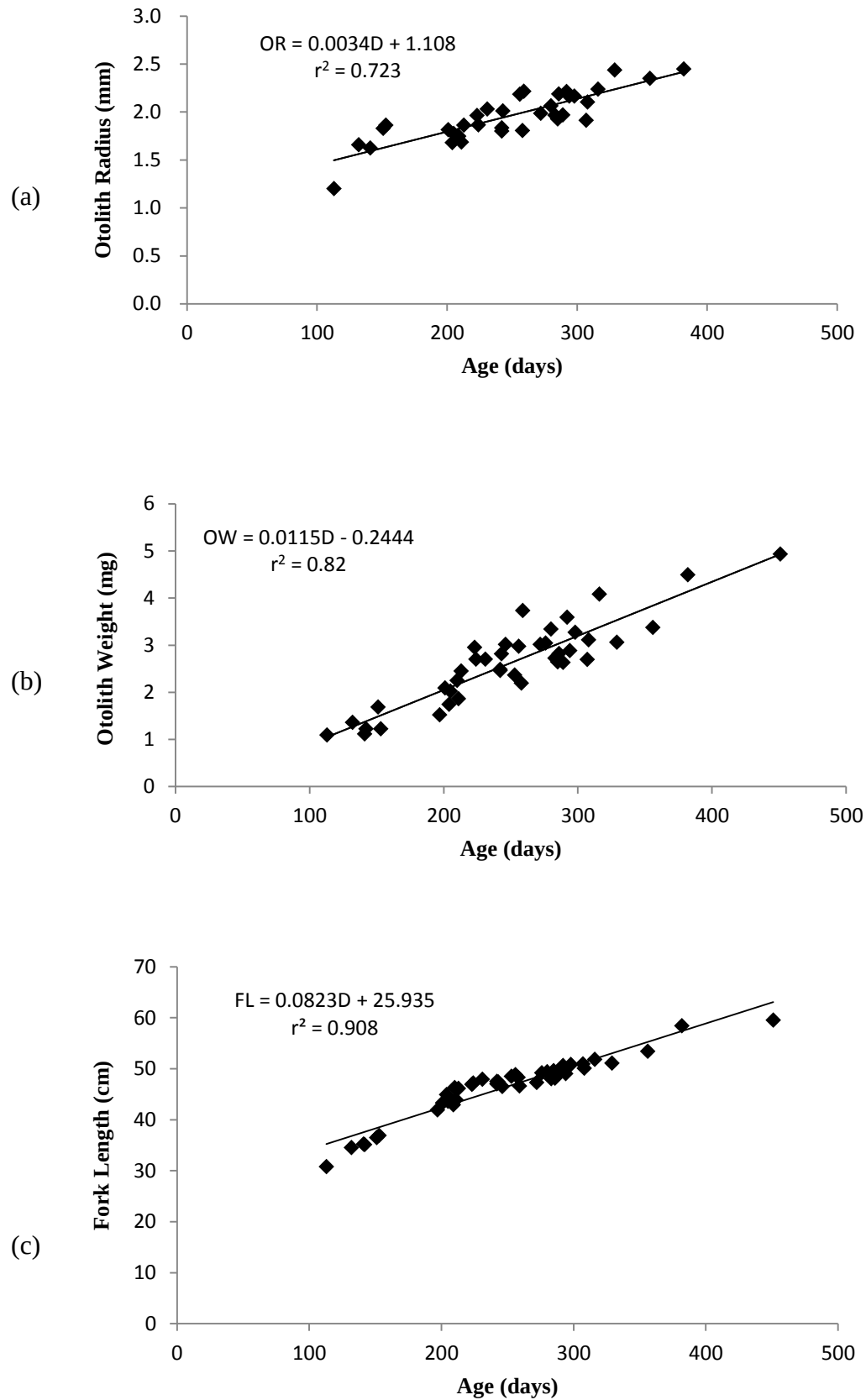
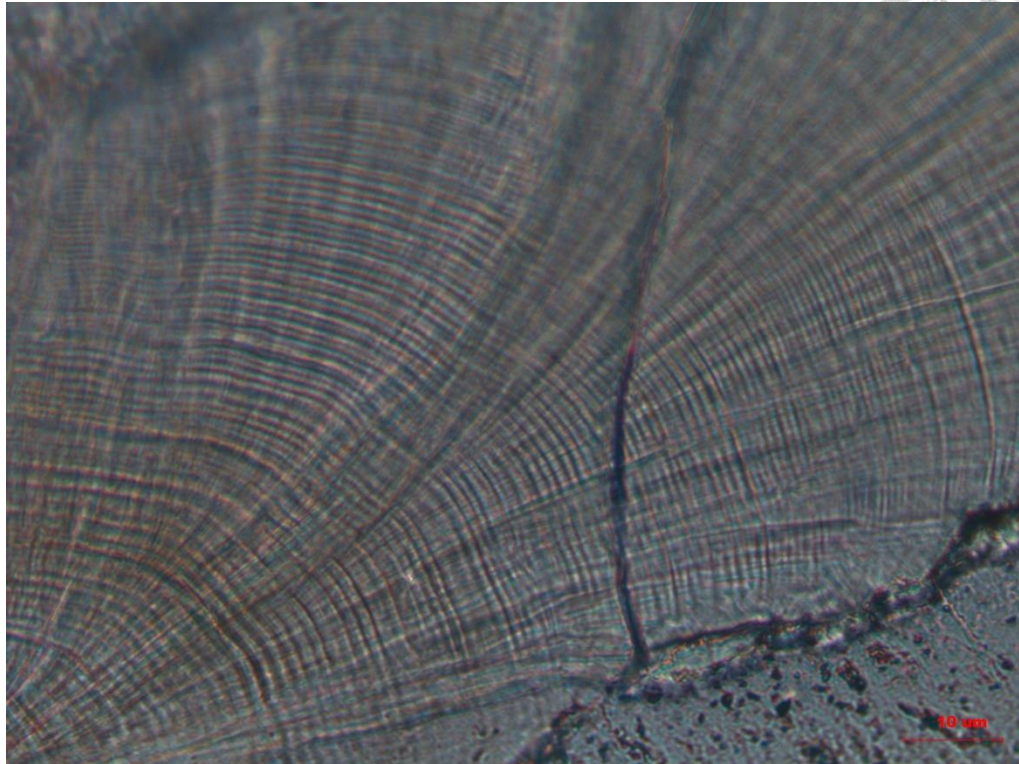


Fig. 17. Relationships between (a) Otolith radius and age (b) Otolith weight and age (c) Fork length and age for the striped bonito sampled in this study.

(a)



(b)

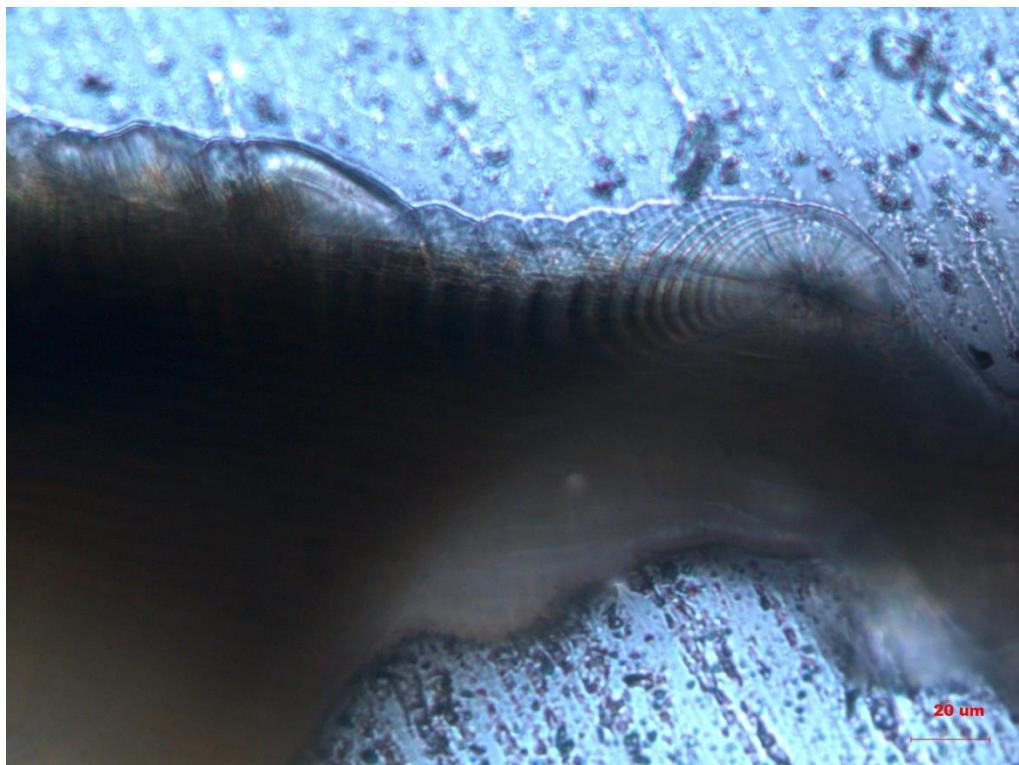


Fig. 18. (a) Otolith increments under the microscope using transmitted light, showing the opaque zone and the translucent zone. (b) Core area under the microscope using transmitted light.

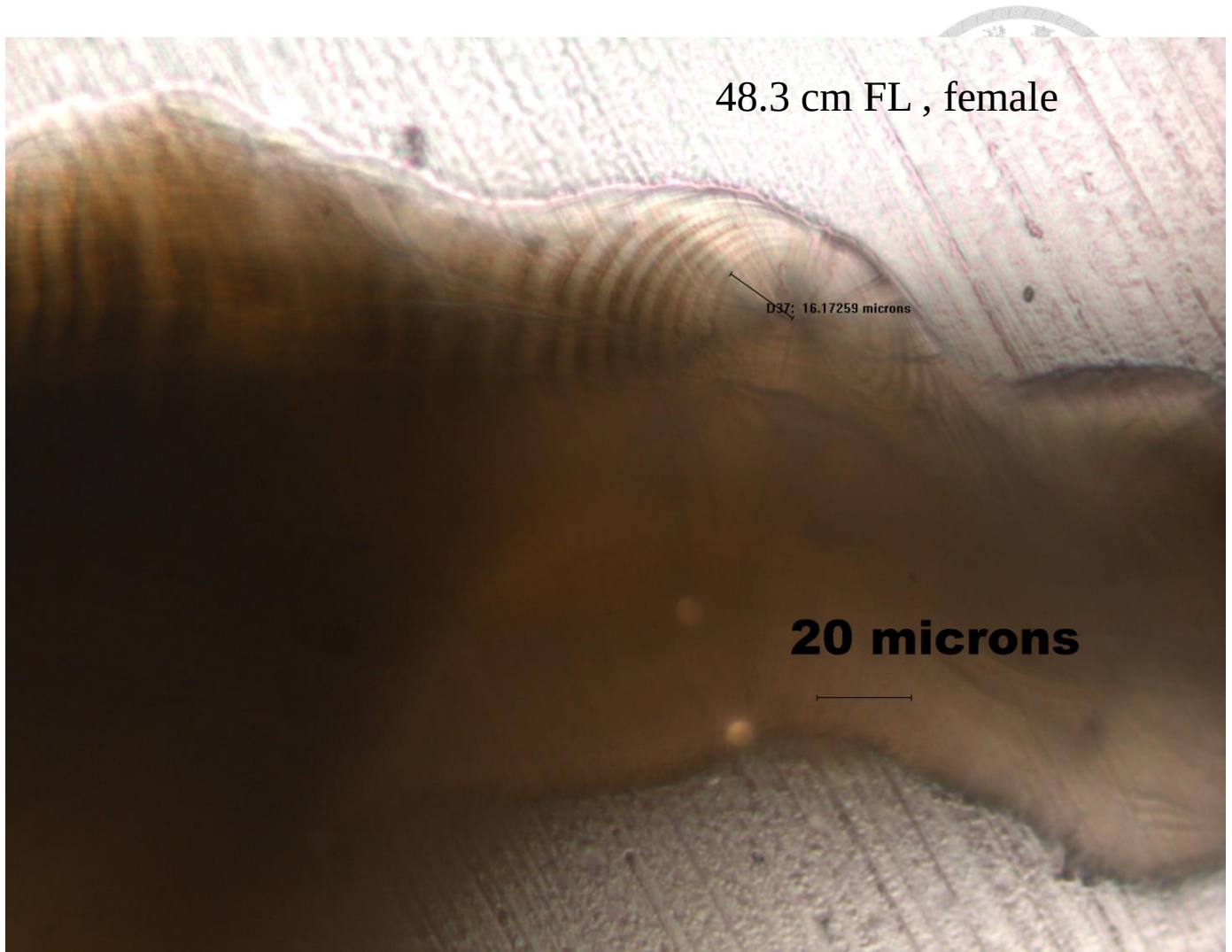
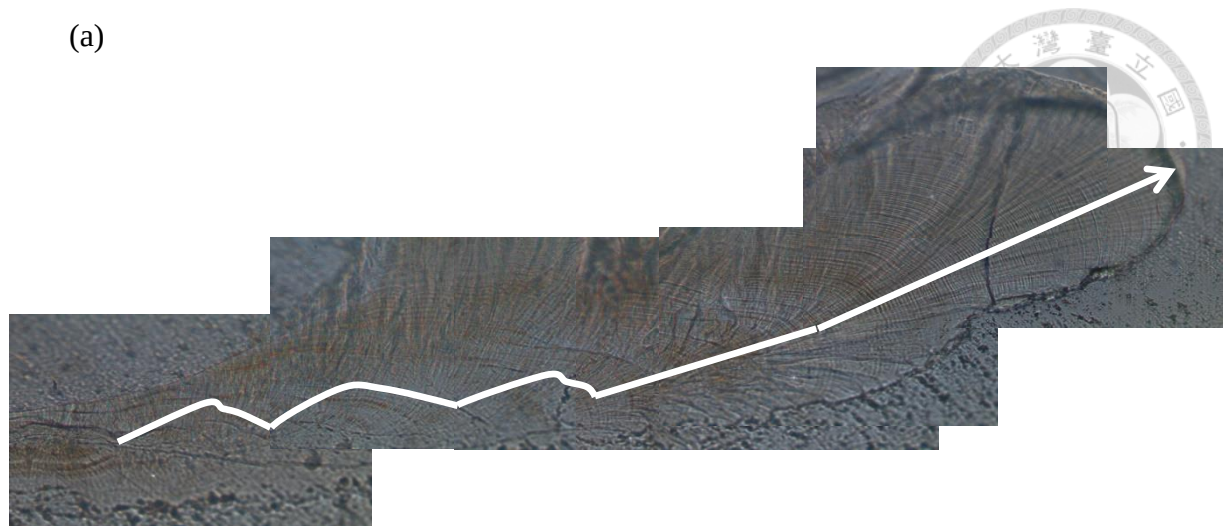


Fig. 19. The first daily ring shows up in the distance between 16 to 20 μm from the core.

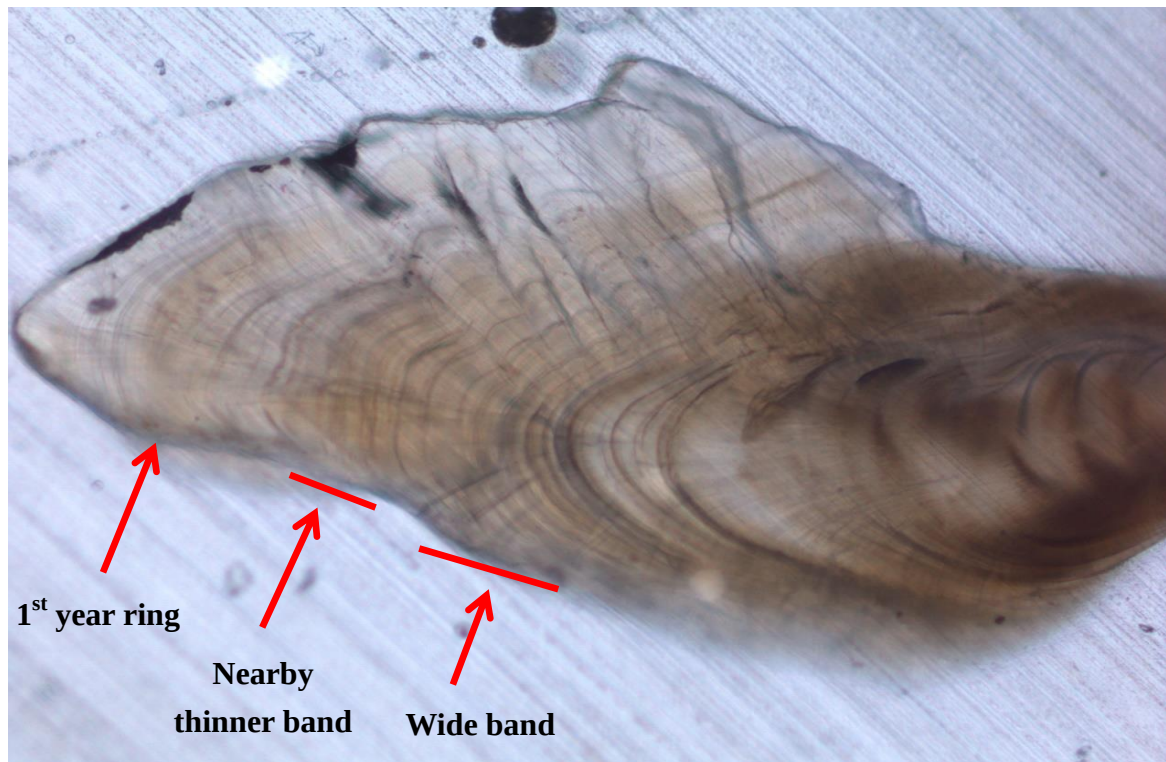


(b)



Fig. 20. (a) Counting path of the daily increments of a sectioned otolith. (b) The view of the ventral arm of a whole sectioned otolith.

(a)



(b)



Fig. 21. (a) Annuli on a sectioned otolith under 100X optical microscope. (b) Annuli on a thin sectioned otolith without grinding under 100X optical microscope.

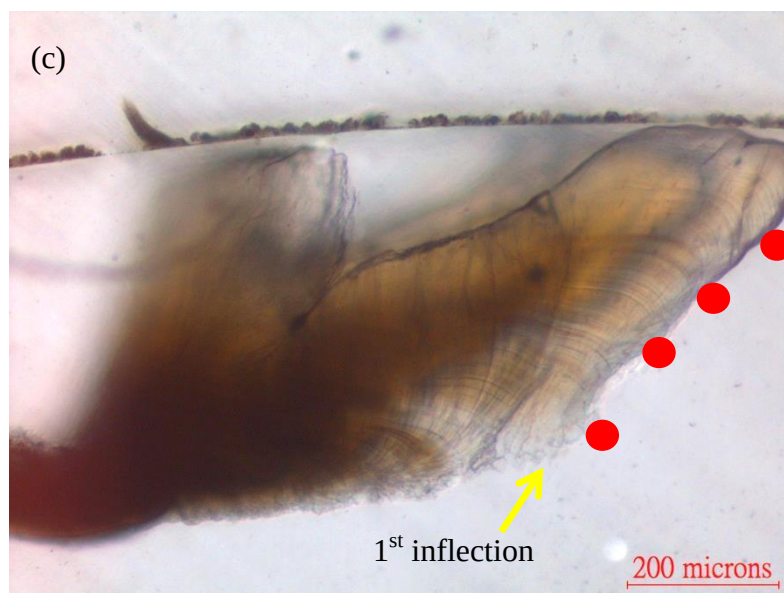
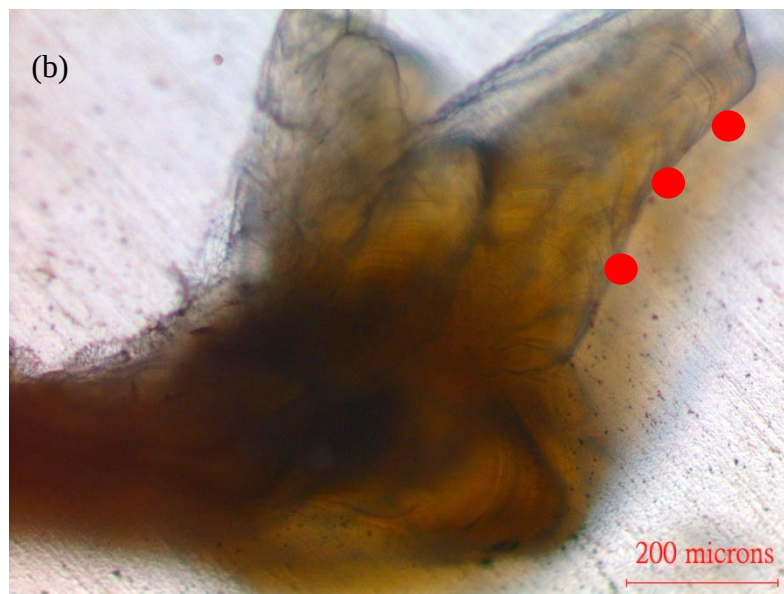
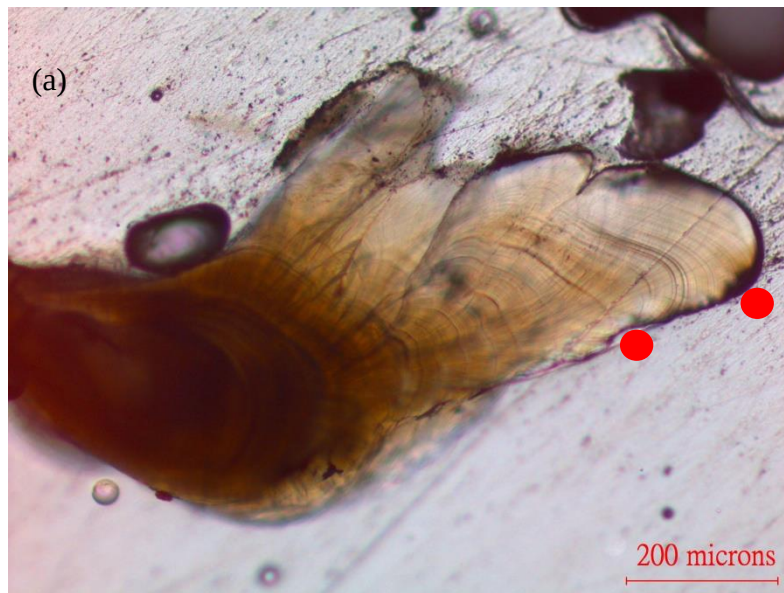


Fig. 22. Annuli for sagittal otolith of striped bonito. (a) 2 annuli, (b) 3 annuli, (c) 4 annuli.

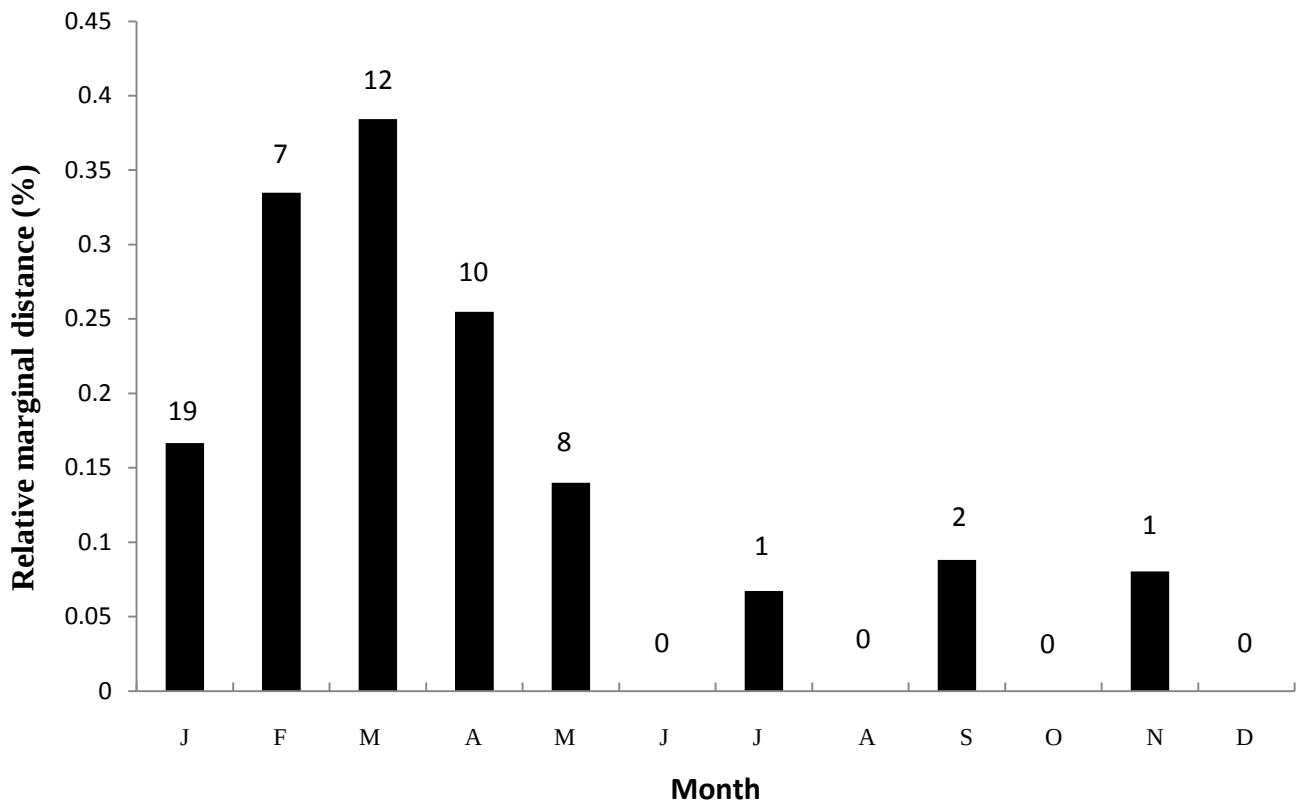


Fig. 23. Edge analyses on sectioned striped bonito otoliths in this study. The numbers above the bars are the sample size.

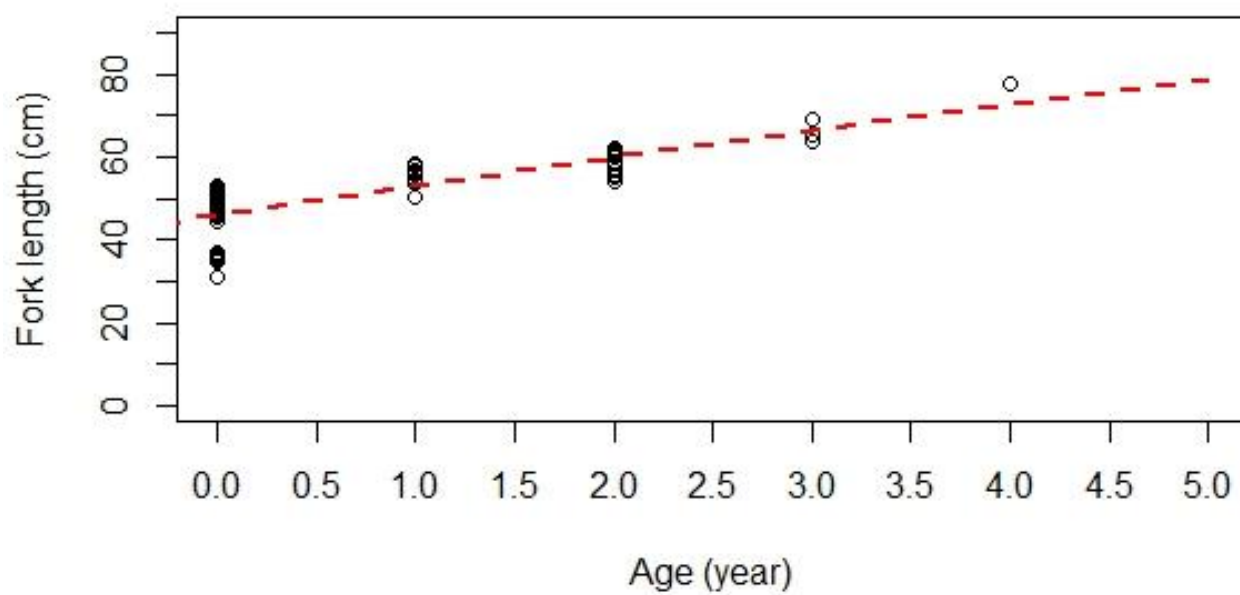


Fig. 24. The von Bertalanffy growth curve for striped bonito off northeastern Taiwan using stained vertebra.

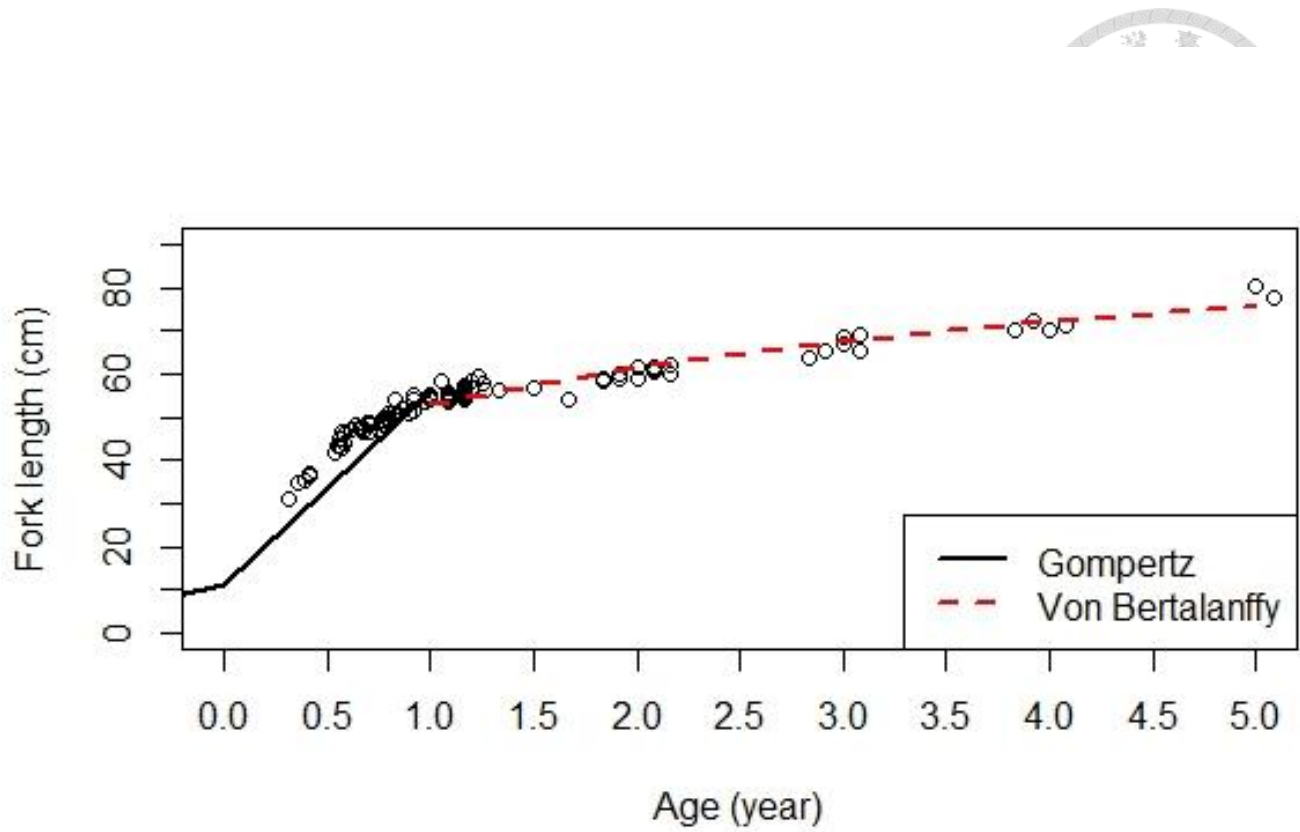


Fig. 25. The Gompertz growth curve (fitted for fish younger than 245 days) and von Bertalanffy growth curve (fitted for fish older than 245 days) for striped bonito off northeastern Taiwan using sectioned otolith.

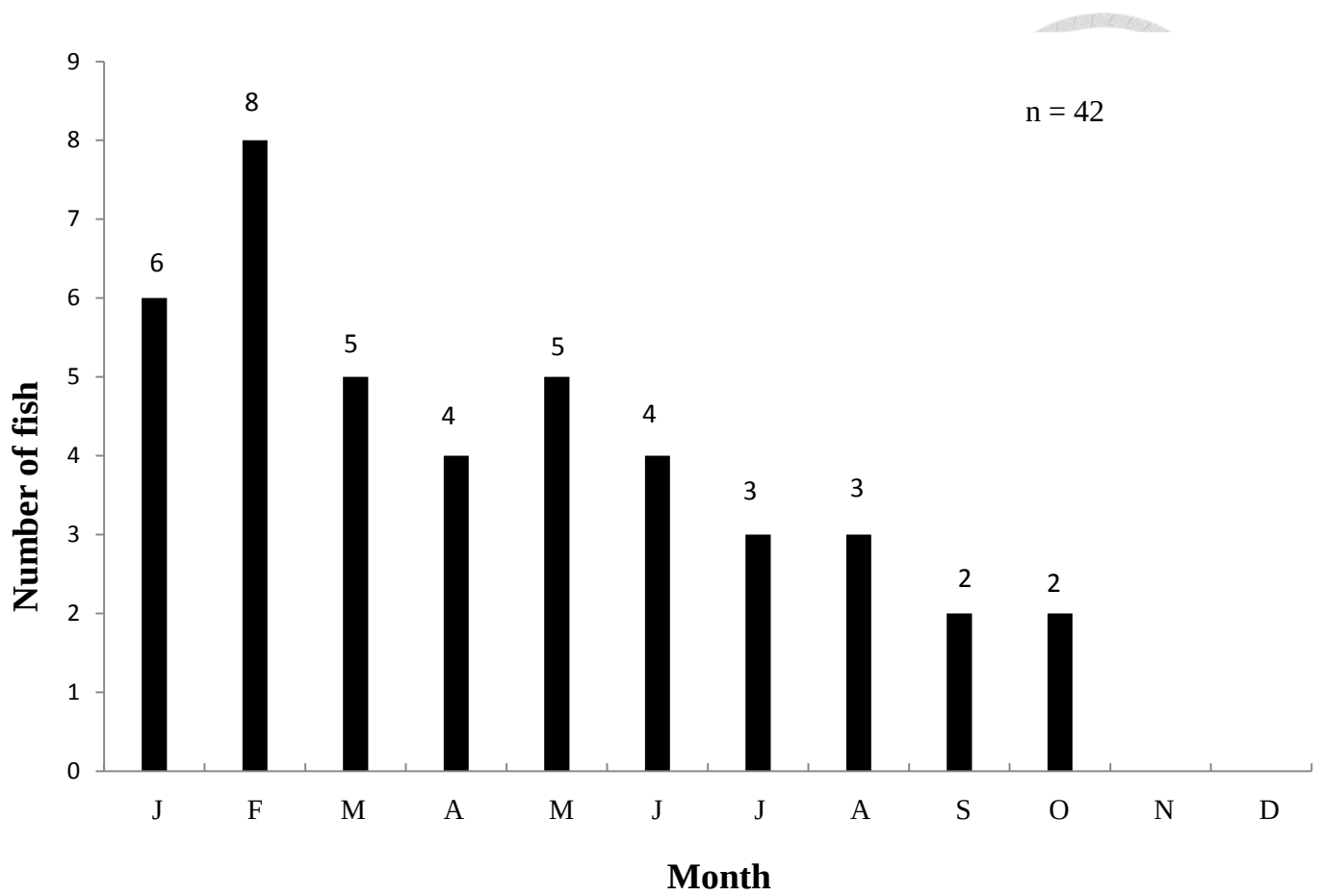


Fig. 26. Frequency distribution of the back-calculated hatching dates estimated from daily increments of the striped bonito. The numbers above the bars are sample size.

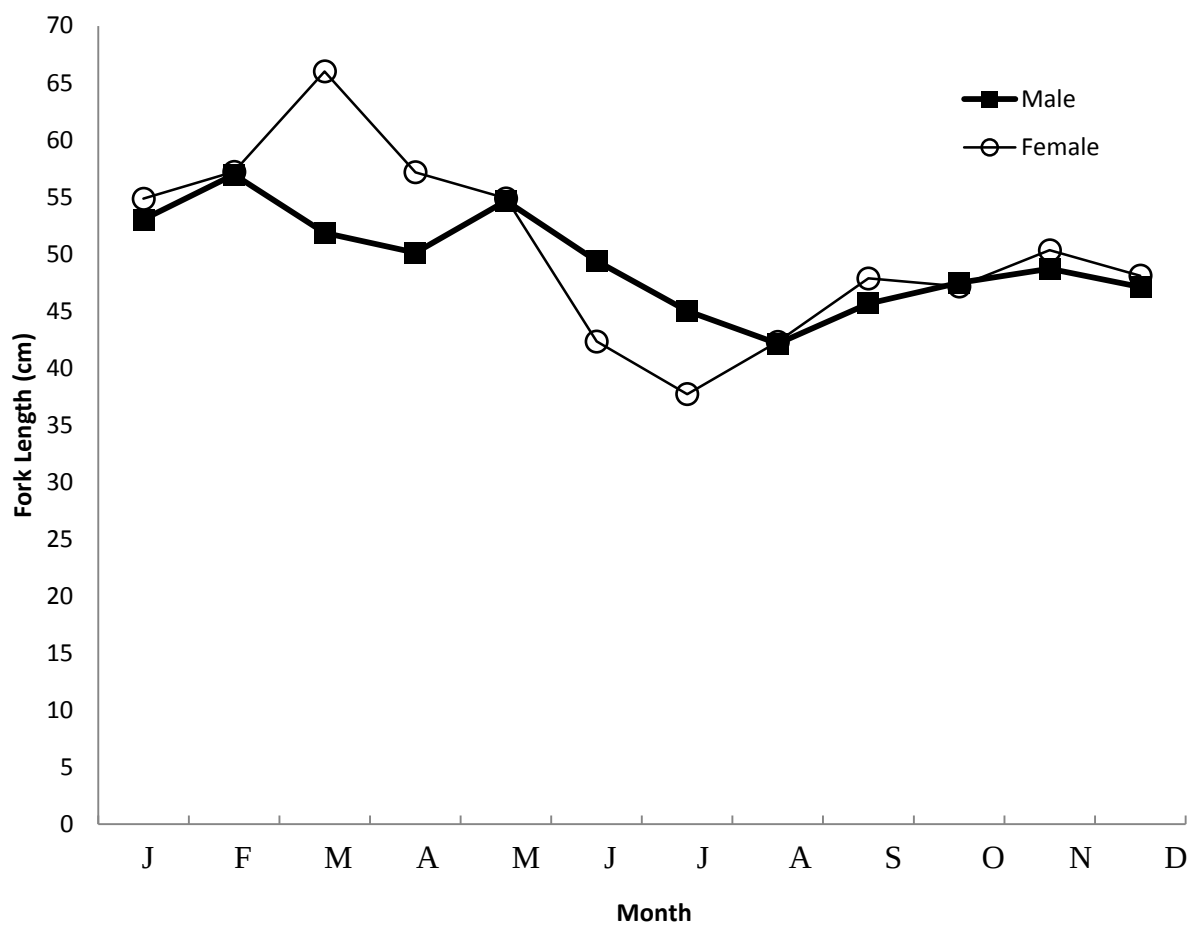


Fig. 27. Monthly mean fork length by sex for striped bonito (*Sarda orientalis*).

Table 1. The absolute growth rate (AGR) and relative growth rate (RGR) of striped bonito, showing the decreasing of AGR and RGR with increasing fork length.

Estimated daily increments	Number of fish	Mean daily increments	Mean FL (cm)	AGR (cm/day)	RGR
110-140	2	122.5	32.65	x	x
140-170	4	146.75	35.93	0.135	0.376
170-200	1	197	41.9	0.119	0.284
200-230	9	211.11	45.01	0.22	0.49
230-260	9	247.78	47.61	0.071	0.149
260-290	7	281.57	48.67	0.031	0.064
290-320	6	302.5	50.53	0.089	0.176
320-350	1	329	51.1	0.022	0.043
350-380	1	356	53.4	0.085	0.16
380-410	1	382	58.4	0.192	0.33
410-440	0	0	0	x	x
440-470	1	451	59.5	x	x
total	42				

Table 2. The absolute growth rate (AGR) and relative growth rate (RGR) values by sex of striped bonito.

Estimated daily increments	Female			Male		
	Number of fish	AGR (cm/day)	RGR	Number of fish	AGR (cm/day)	RGR
110-140	2	x	x	x	x	x
140-170	4	0.135	0.376	x	x	x
170-200	x	x	x	1	x	x
200-230	5	x	x	4	0.218	0.231
230-260	5	0.066	0.139	4	0.08	0.168
260-290	4	0.024	0.05	3	0.04	0.081
290-320	1	0.076	0.155	5	0.06	0.119
320-350	x	x	x	1	0.01	0.021
350-380	x	x	x	1	0.085	0.16
380-410	1	x	x	x	x	x
410-440	x	x	x	x	x	x
440-470	x	x	x	1	x	x
total	22			20		

Table 3. Ages of striped bonito by size and sex as estimated from sectioned otolith.

Fork Length (cm)	Female			Male		
	Estimated age (day)	Estimated age (year)	Sample size	Estimated age (day)	Estimated age (year)	Sample size
30 - 35	113 - 132	0.31 - 0.362	2	none	none	0
35 - 40	141 - 153	0.386 - 0.419	4	none	none	0
40 - 45	201 - 211	0.551 - 0.578	4	197 - 209	0.54 - 0.573	2
45 - 50	224 - 294	0.614 - 0.805	11	210 - 285	0.575 - 0.781	10
50 - 55	none	none	0	292 - 356	0.8 - 0.975	7
55 - 60	382	1.047	1	451	1.236	1
total			22			20

Table 4. Age Groups of striped bonito.



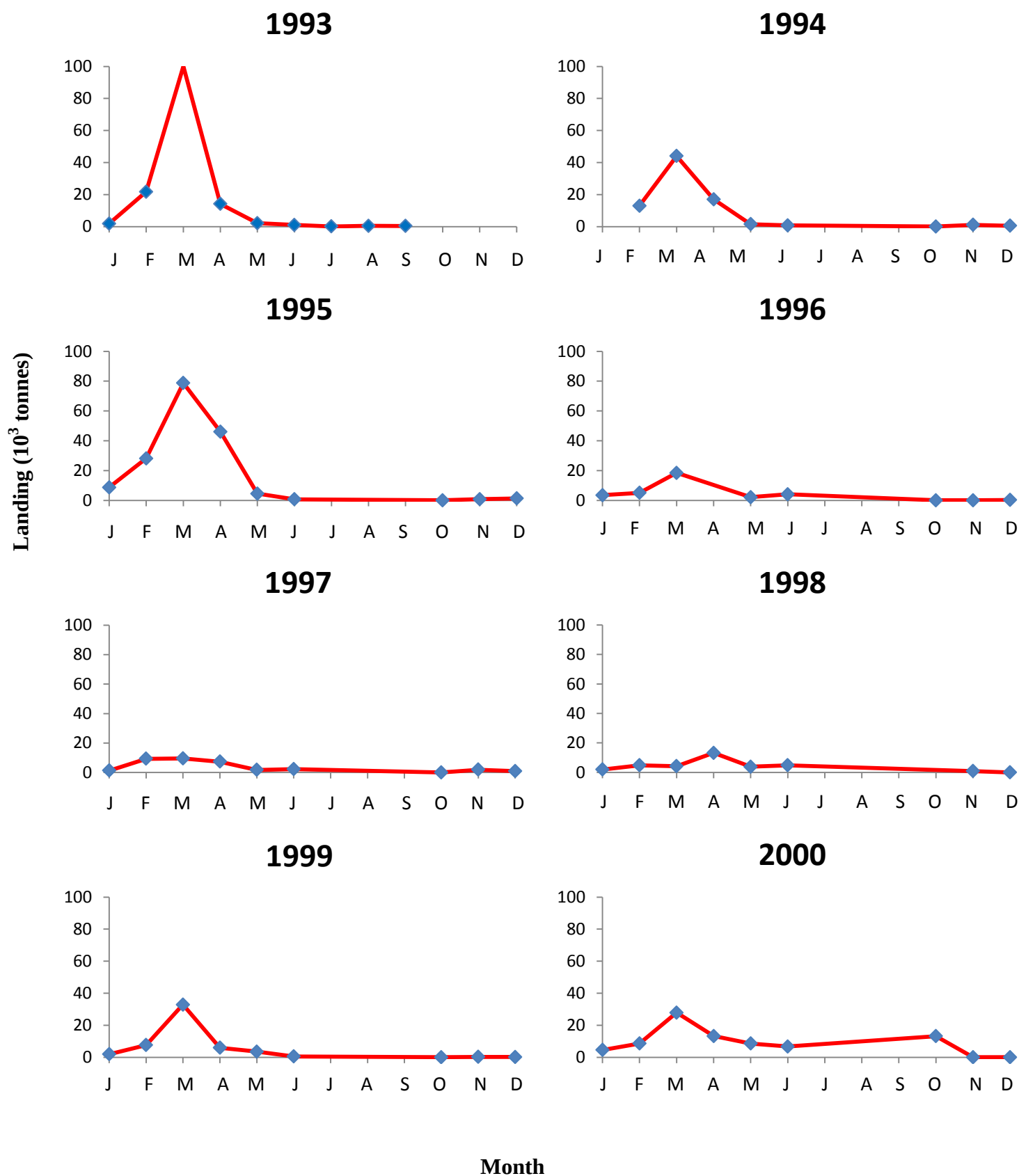
Female Age Groups	Frequency	Min. FL	Max. FL	Mean FL
0+	56	30.8	53.2	45.25
1+	18	53.4	58.4	55.54
2+	10	58.5	62.2	60.54
3+	4	67	69.3	68.45
4+	3	69.9	71	70.4
5+	2	77.9	80.2	79.05

Male Age Groups	Frequency	Min. FL	Max. FL	Mean FL
0+	72	35.7	53.4	47.06
1+	22	51.2	59.5	55.25
2+	4	58.7	59.9	59.18
3+	3	63.5	65.3	64.7
4+	1	72.5	72.5	72.5
5+	0	none	none	none

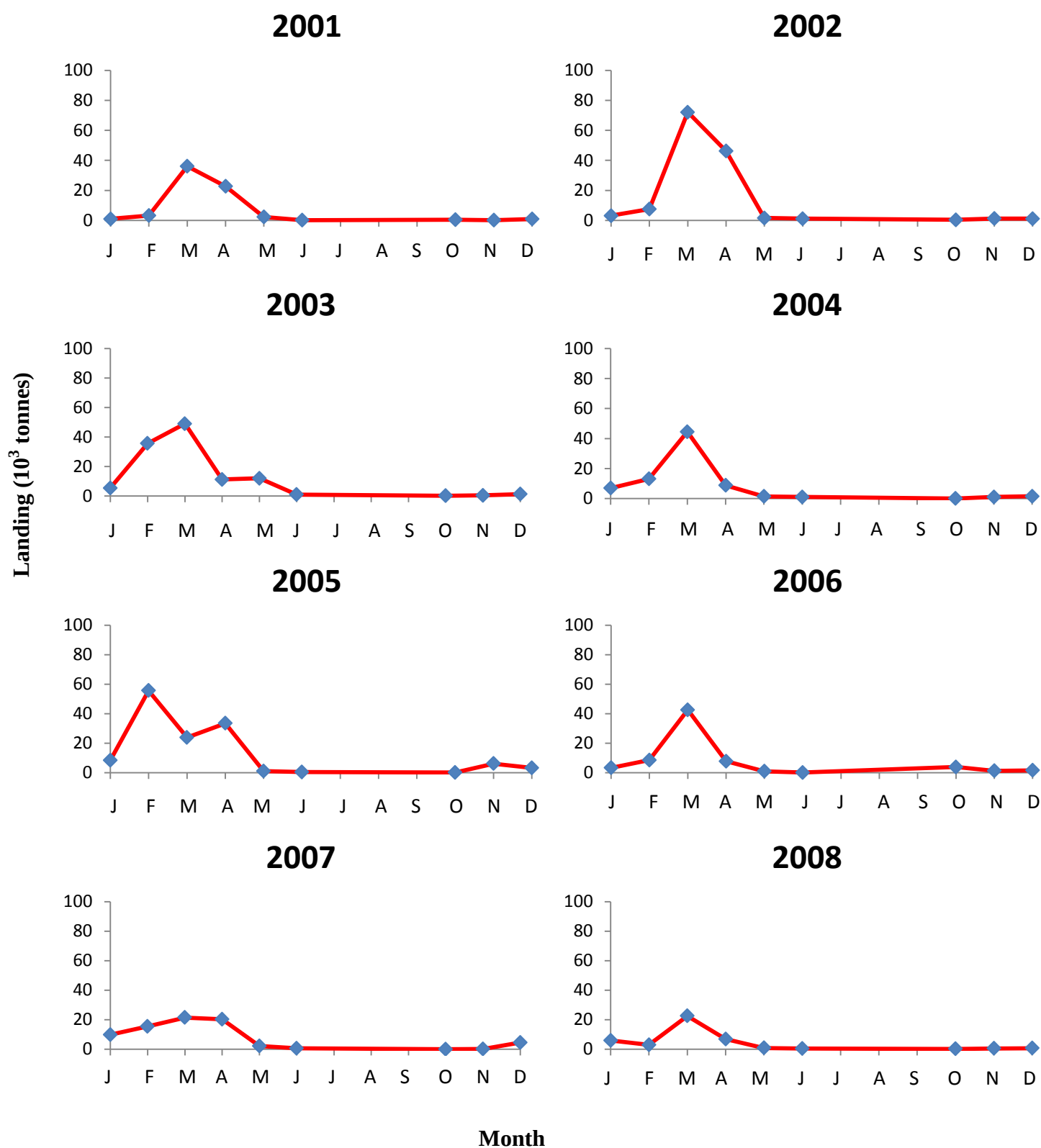
All Age Groups	Frequency	Min. FL	Max. FL	Mean FL
0+	128	30.8	53.4	46.27
1+	40	51.2	59.5	55.38
2+	14	58.5	62.2	60.15
3+	7	63.5	69.3	66.84
4+	4	69.9	72.5	70.93
5+	2	77.9	80.2	79.05

Table 5. Parameters of the von Bertalanffy and Gompertz growth function for striped bonito. According to AIC value, von Bertalanffy growth function is suitable for both daily rings and annuli. There are no differences between males and females in growth using likelihood ratio test in both daily rings and annuli.

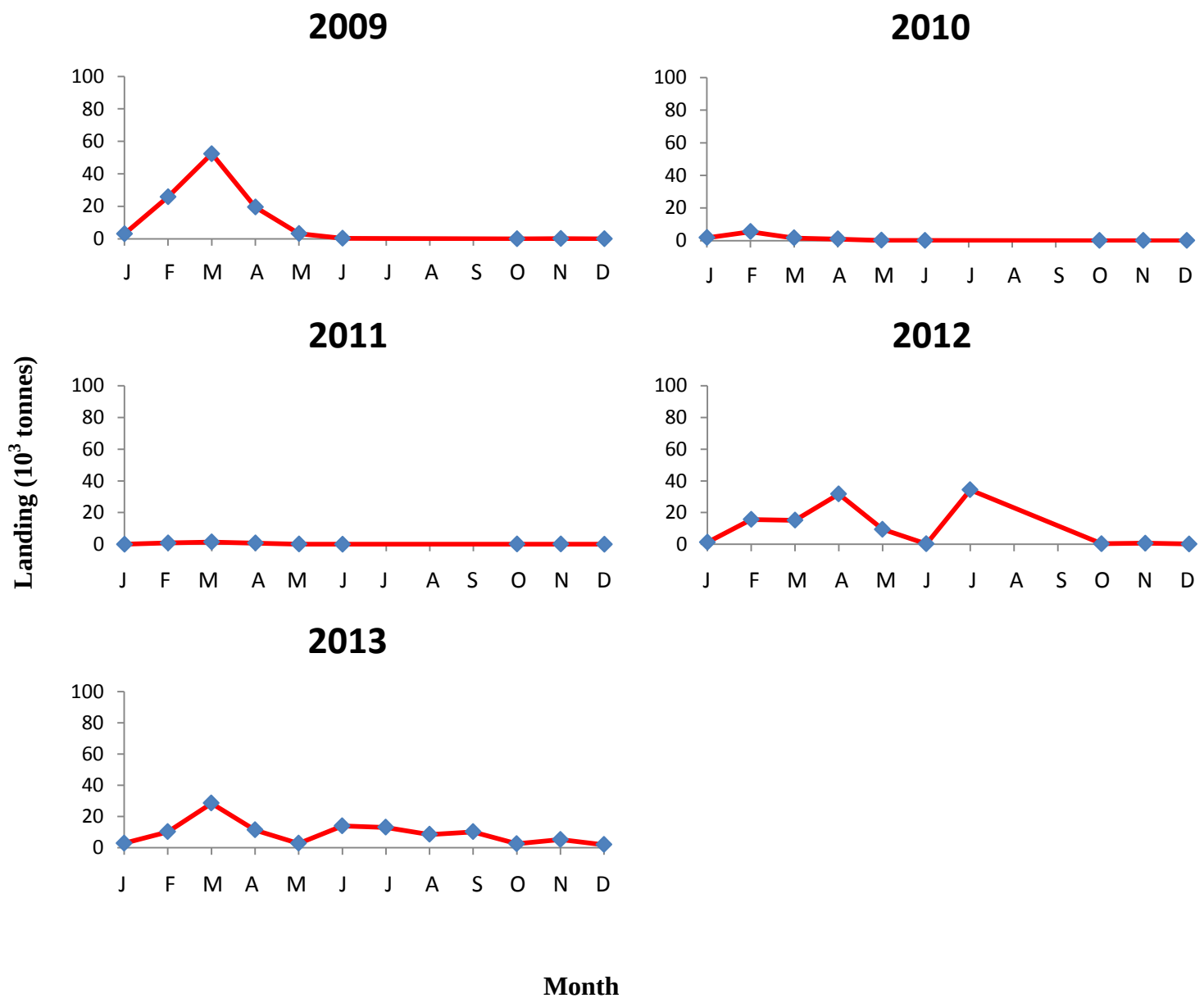
	Growth Function	L_{inf}	K or G	t_0	AIC	p-value
<245 days						
Male (n = 20)	von Bertalanffy	68.86176	1.70713	-0.03424	38.53969	
	Gompertz	61.55045	2.88332	0.18341	38.37573	
Female (n= 22)	von Bertalanffy	68.5052	1.70467	-0.03893	30.47626	
	Gompertz	60.2882	2.9984	0.1779	30.10891	
Total (n = 42)	von Bertalanffy	69.49583	1.65714	-0.04173	63.35439	0.798
Total (n = 42)	Gompertz	61.18913	2.90909	0.18125	62.90916	0.799
>245 days						
Male (n = 48)	von Bertalanffy	73.2636	0.5097	-1.5263	189.2412	
	Gompertz	72.4076	0.6075	-0.9191	190.7657	
Female (n= 62)	von Bertalanffy	83.81	0.3434	-1.8825	264.9904	
	Gompertz	81.7191	0.4445	-0.8468	267.724	
Total (n = 110)	von Bertalanffy	84.01489	0.32201	-2.07441	454.8748	0.09
Total (n = 110)	Gompertz	81.8575	0.4178	-0.9705	459.0112	< 0.05



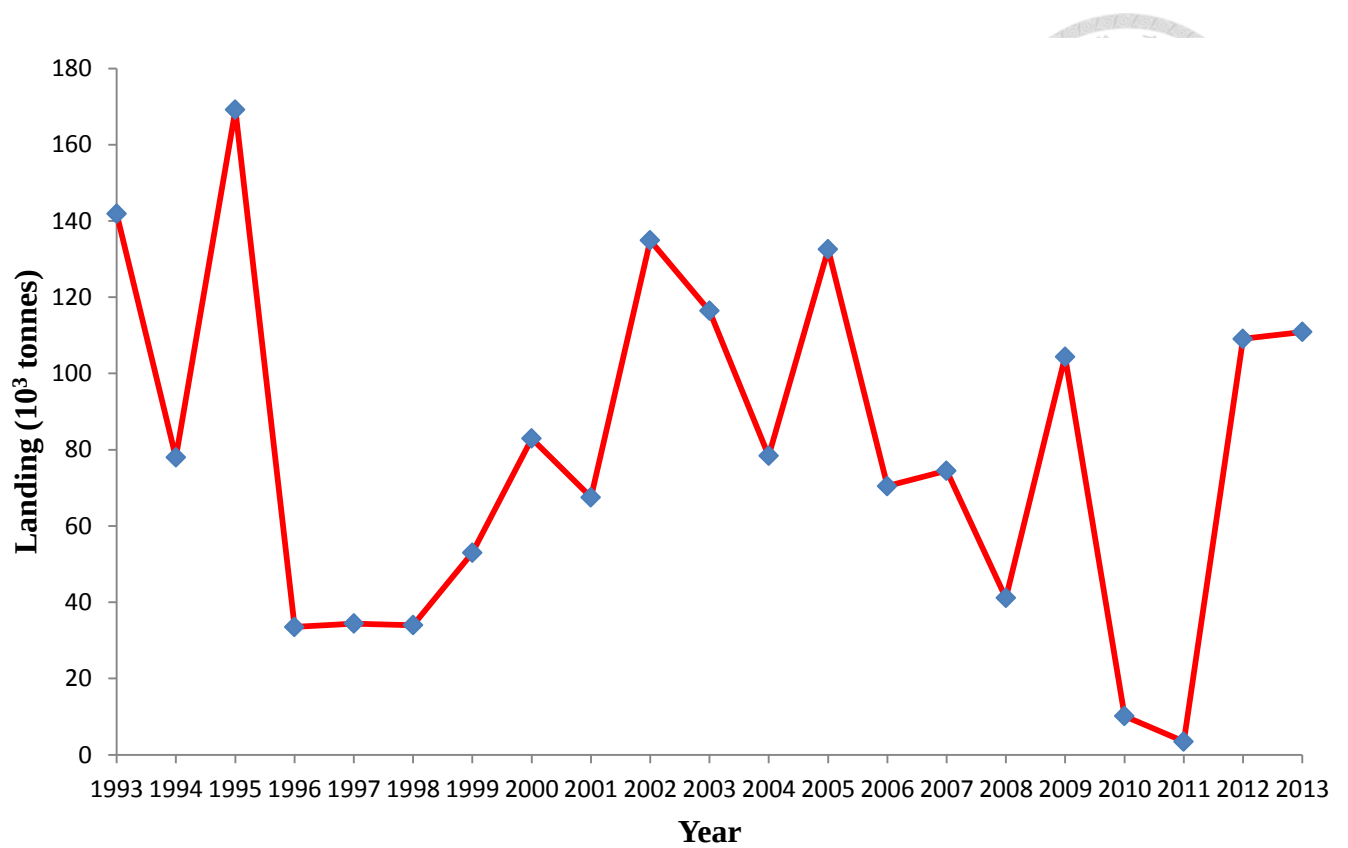
Appendix Fig 1. Monthly landings (tonnes) of Striped Bonito in Dong'ao set-net fishing port, 1993 - 2013. (Lu, 2015, unpublished data.)



Appendix Fig 1. Monthly landings (tonnes) of Striped Bonito in Dong'ao set-net fishing port, 1993 - 2013 (Continued - 1). (Lu, 2015, unpublished data.)



Appendix Fig 1. Monthly landings (tonnes) of Striped Bonito in Dong'ao set-net fishing port, 1993 - 2013 (Continued - 2). (Lu, 2015, unpublished data.)



Appendix Fig 2. Annual landings of Striped Bonito, *Sarda orientalis*, in Dong'ao set-net fishing port, 1993 - 2013. (Lu, 2015, unpublished data.)