

OAC-NTU-109-024 (研究報告)

建構溫度與幼魚的成長模型

—用以比較台灣東北及西南海域日本帶魚的族群變動

(正式報告)

海洋委員會補助研究

中華民國 109 年 10 月

「本研究報告僅供海洋委員會施政參考，並不代表該會政策，該會保留採用與否之權利。」

OAC-NTU-109-024 (研究報告)

建構溫度與幼魚的成長模型

—用以比較台灣東北及西南海域日本帶魚的族群變動

(正式報告)

學校： 台灣大學

指導教授：王慧瑜

學生：蕭婷宇

研究期程：中華民國 109 年 5 月至 109 年 10 月

研究經費：新臺幣 5 萬元

海洋委員會補助研究

中華民國 109 年 10 月

「本研究報告僅供海洋委員會施政參考，並不代表該會政策，該會保留採用與否之權利。」

目次

表次.....	3
圖次.....	4
摘要.....	5
第一章 前言.....	6
(一) 研究背景.....	6
(二) 研究目的.....	6
(三) 預期目標.....	7
第二章 研究方法.....	8
(一) 研究地點.....	8
(二) 生物數據.....	8
(三) 耳石定年.....	8
(四) 成長模型.....	9
第三章 結果與討論.....	11
(一) 結果.....	11
(二) 討論.....	11
第四章 結論.....	12
參考資料.....	13
表.....	16
圖.....	17

表 次

表 (一) ・ 日本帶魚幼魚統計表。	1716
----------------------------	------

圖 次

圖 (一) · 採樣地點。	17
圖 (二) · 日本帶魚幼魚矢狀耳石照片。	18
圖 (三) · 日本帶魚在東北 (梗枋漁港) 及西南 (蚵子寮漁港) 海域出生月分的數量分佈。	19
圖 (四) · 異速成長模型的殘差與擬合圖 (Residuals vs Fitted) 和常態機率圖 (Normal quantile-quantile plot) 。	20
圖 (五) · 在東北 (梗枋漁港) 及西南 (蚵子寮漁港) 海域的異速生長模型與觀測值散佈圖。	21
圖 (六) · 在西南海域 (蚵子寮漁港) 冷暖季間的異速生長模型與觀測值散佈圖。	22
圖 (七) · 在東北 (梗枋漁港) 及西南海域 (蚵子寮漁港) 異速生長模型預測的成長軌跡。	23
圖 (八) · 在西南海域 (蚵子寮漁港) 冷暖季間異速生長模型預測的成長軌跡。	24

摘要

在氣候變遷的影響下，海洋的溫度、生產力的變化會對魚群的初期成長與存活率產生衝擊，進而影響整個族群的動態。因此，了解仔稚魚、幼魚階段的成長率隨海洋環境狀況的變化(例如：溫度)有助於預測魚群數量的變化，以提升在氣候變遷下的保育與漁業管理成效、達成海洋資源永續。根據生態學代謝理論(metabolic theory of ecology; MTE)，生物的代謝和成長率與體型成異速關聯(例如： $G = cW^\beta$)，且溫度上升會提高此異速成長速度(c)。日本帶魚(*Trichiurus japonicus*)是西北太平洋重要的經濟魚種，在台灣海域終年皆可繁殖。我們的研究針對日本帶魚幼魚，建構異速成長模型來模擬帶魚幼魚在台灣東北與西南海域的成長率與溫度的關係。從 2015 到 2020 年間，在梗枋漁港及蚵仔寮漁港收集樣本，透過耳石日輪推估幼魚的日齡及成長。根據 MTE，我們提出兩個假說，預期帶魚幼魚的異速成長速度能反映：(一)、二海域的溫度變化，呈現西南>東北海域；(二)、在兩個海域中季節變化，呈現暖季>冷季。我們結果顯示帶魚幼魚的異速成長速度在西南海域較高(西南： $c=0.05$ ，東北： $c=0.04$)。在季節間，西南海域的異速成長速度，暖季($c=0.0537$)>冷季($c=0.0342$)，然而東北海域冷季及暖季則無顯著差異。我們利用成長模型印證溫度變化可影響幼魚的成長率，研究成果可提供在氣候變遷下海洋資源與漁業管理的參考依據。

關鍵字：日本帶魚，幼魚，異速成長模型，成長率，日齡

第一章 前言

(一) 研究背景

海洋環境變化正受到全球氣候變遷的影響，海水溫度上升將影響魚類族群的繁殖和成長的速度，造成漁業資源的變動。海水溫度上升使生物呼吸率及新陳代謝率都升高，成為驅動成長速度差異的因素 (Laurel et al., 2017)。而幼魚的成長率更是影響漁業資源的關鍵，幼魚的成長率影響了成魚的生存率和成熟年齡，較大的幼魚具有競爭優勢，使族群的豐度 (abundance) 成長，當族群豐度高時也就提供較多的漁業資源 (Houde et al., 1987; Bernardo, 1993; Stearns, 2000; Lorenzen et al., 2002)。例如，較大或較快增長的北極紅點鮭 (*Salvelinus alpinus*) 和褐鱒 (*Salmo trutta*) 幼魚，具有較高的競爭力，也更容易生存，可見幼魚期成長速度對於族群豐度的重要性 (Jensen et al., 2017)。

日本帶魚主要分布於西北太平洋海域，是台灣重要的經濟魚種之一。在 109 年 7 月農委會漁業署曾提案修法，內容為希望開放船運將帶魚魚獲直航至中國港口。但為確保台灣漁業資源永續，學者及環保團體聯合發起連署要求管制外銷及捕撈數量，而目前暫緩了政策的實行，可以看見在政府及民間皆對於帶魚資源的重視。儘管帶魚在台灣經濟上或者糧食供應上都是十分重要的魚種，然而在帶魚的研究上卻是十分的不足。

(二) 研究目的

根據 Wang et al. 2017 的研究，台灣帶魚漁獲中的包含四個物種：日本帶魚 (*Trichiurus japonicus*)、南海帶魚 (*T. nanhaiensis*)、白帶魚 (*T. lepturus*) 和隆頭帶魚 (*Tentoriceps cristatus*)。在此研究中，我以台灣帶魚漁獲中佔比最高的日本帶魚 (*Trichiurus japonicus*) 為例，日本帶魚 (*Trichiurus japonicus*) 是西北太平洋重要的經濟魚種，在台灣海域終年皆可繁殖 (Shih 2011)。不同季節的溫度會影響新陳代謝速度，造成能量分配上的改變，進而導致不同的成長速度 (Fonds 1992)。因此我們透過日本帶魚，在空間與季節間溫度的差異，探討溫度對幼魚成長速度

的影響。根據生態學代謝理論 (metabolic theory of ecology; MTE) 我們建立異速成長模型，透過新陳代謝的機制層面來了解能量的攝入與分配到個體成長間的關係。異速成長模型中成長速度 (G) 和體重 (W) 成指數關聯，通常可以用方程式： $G = cW^\beta$ 來描述。West 1997 由生物物理學角度探討能量分配與生物個體表面積的關係計算出異速關聯指數 (β)， β 代表了生物傳輸基本營養物質或氧氣的分支結構的系統 (例如，血液循環系統)。 β 為體重的指數，假定為一個常數 0.75。而異速關聯係數 (c) 則為在單位體重下的生長速度，能反映溫度所造成能量轉換的變化，因此我們預期異速關聯係數隨溫度變化 (Savage et al., 2004)。

(三) 預期目標

我們在東北沿岸的梗枋漁港和西南沿岸的蚵仔寮漁港收集日本帶魚幼魚樣本 (圖一)，紀錄帶魚幼魚樣本的生物數據，並建立帶魚幼魚資料庫。我們並透過耳石日輪推估幼魚的日齡及成長路率來建構異速成長模型，模擬帶魚幼魚在台灣東北與西南海域的成長速度與溫度的關係，並比較兩區域成長速度之差異。我們預期在異速成長模型中，異速係數能反映的溫度差異，因此我們提出兩個假說：(一)、兩地間異速係數為西南大於東北。(二)、季節間異速係數為暖季大於冷季。

第二章 研究方法

(一) 研究地點

在台灣沿岸皆有帶魚漁業，而宜蘭梗枋（24.5° N，121.5° E）和高雄蚵仔寮漁港（22.4° N，120.1° E）為主要的帶魚拖網卸魚漁港，因此我們選擇此兩處漁港作為台灣東北和西南海域的採樣地點（圖一）。帶魚樣本由梗枋和蚵仔寮漁港的混獲魚堆中隨機收集。兩地點每個月數量各約收集 20 隻。收集到的所有樣本均會帶回實驗室並存放於-20° C 的冰箱中等待進行解剖實驗。

(二) 生物數據

在解剖實驗中，我們會紀錄每個樣本的全長（Total length）、吻肛長（Pre-anal length）、體高（Body depth）、總濕重（Total body wet weight）及生活史階段（在此研究中我們只使用未成年的帶魚樣本），同時我們會挑出矢狀耳石（Sagittal otoliths），依據耳石日輪判定樣本的日齡。為了確保樣本為日本帶魚，我們會取每個樣本腹部的肌肉組織，以 DNA 條碼（DNA barcoding）方式進行物種鑑定（詳細方法參考 Wang et al., 2017）。

(三) 耳石定年

我們製備耳石玻片來進行耳石日輪的判定以得知樣本的日齡，由於帶魚左右邊耳石無顯著差異（Kwok et al., 2000），因此我們隨機選用每隻魚的一個耳石，風乾後以加拿大膠固定在載玻片上，然後使用係數#2000 或#2500 的砂紙研磨耳石玻片再用氧化鋁溶液在拋光布上拋光，直到耳石核在 200~400 倍的顯微鏡下清楚可見，即完成耳石玻片的製備。鑑定出耳石核後，第一圈暗帶為孵化環（hatching ring），從孵化還開始以明帶加暗帶作為一日，由孵化環往長邊邊緣的方向，計算暗帶的數量（圖二）。為了確保日輪計數的一致性，由兩位讀者分別計數，可接受範圍為兩位讀者讀數的變異係數（coefficient of variation）小於 10%，當變異係數大於

10%，則重新進行 1 到 2 次的判讀，若重新判讀後變異係數仍大於 10%則捨棄該樣本，最終以兩人讀數平均值作為該樣本的日齡，如式 (1)。

$$CV = 100\% \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_i - \bar{X}_i)^2}{R-1}}}{X_i} \quad \text{式 (1)}$$

其中， X_i 為第*i*個樣本的日齡；

\bar{X}_i 為第*i*個樣本的平均日齡；和

R 為總共進行判讀的次數。

我們對每個樣本進行出生日期的回推，出生日期=捕獲日期 - 日齡。根據出生月份我們將樣本分為兩個出生季節：3 月至 8 月為暖季，9 月至 1 月為冷季。我們發現日本帶魚出生的月份在東北及西南海域有所不同，東北海域日本帶魚出生月份集中在 6 月至 12 月，而西南海域日本帶魚全年皆有 (圖三)。

(四) 成長模型

我們建構異速成長模型來描述帶魚幼魚的成長模型，根據 Boukal et al., 2014 生物的成長率 ($G = dW/dt$, 公克/日) 與總濕重 (W_t , 公克) 成異速關聯，如式 (2)。

$$\frac{dW}{dt} = cW_t^\beta \quad \text{式 (2)}$$

其中， W_t 為在日齡(*t*)時的總濕重(g)；

*t*為在日齡(*t*)；

dW/dt 為成長率；

*c*為異速關聯係；和

β 為異速關聯指數。

由於 β 和*c*的會相互影響性，我們將 β 固定為常數， $\beta=0.75$ (West et al., 1997; Gillooly et al., 2001; Savage et al., 2004)。因此，成長率可以由 *c* 代表。

在式(2)中，總濕重與日齡為非線性相關，使得 c 難以估計，以及難以了解造成成長差異的影響因子。因此我們將非線性的異速成長模型經積分轉換成線性相關如式(3、4)，並將總濕重(W_t)轉換為 W_t'

($W_t' = 4W_t^{0.25}$)，最終 W_t' 與日齡(t)成線性相關如式(5)。

$$\int W_t^{-\beta} dW = \int c dt \quad \text{式(3)}$$

$$\frac{1}{1-\beta} W_t^{1-\beta} = ct + \frac{1}{1-\beta} W_0^{1-\beta} \quad \text{式(4)}$$

$$W_t' = ct + \varepsilon \quad \text{式(5)}$$

由於 β 為一定值，因此我們使用 R 軟體分析 c 在地點及季節之間的變化來了解幼魚成長速度的差異。

第三章 結果與討論

(一) 結果

我們所建構的異速成長模型其殘差與擬合圖 (Residuals vs Fitted) 和常態機率圖 (Normal quantile-quantile plot) 中，表示我們所建立的異速生長模型是隨機且呈正態分佈 (圖四)。我們的結果顯示帶魚幼魚的異速成長速度在東北及西南海域有顯著差異 (ANOVA: $df=1$, $F=4.48$, $P=0.04$)，且西南海域較高，西南： $c=0.05$ (95%CI=0.0370-0.0470, $P<0.001$)，東北： $c=0.04$ (95% CI=0.0453-0.0559, $P<0.001$) (圖五)。而在季節間，西南海域冷季及暖季的 c 有顯著差異 (ANOVA: $df=1$, $F=13.89$, $P<0.001$)，且暖季 ($c=0.0537$, 95%CI=0.0476-0.0599, $P<0.001$) 大於冷季 ($c=0.0342$, 95%CI=0.0260-0.0424, $P<0.001$) (圖六)，然而東北海域 c 在冷季及暖季則無顯著差異。由於 c 的差異，使東北及西南海域日本帶魚幼魚異速生長模型預測的成長軌跡不同 (圖七)。西南海域的冷季及暖季同樣也有不同的成長軌跡 (圖八)。

(二) 討論

我們的結果支持我們的假說 (一)，即 c 在不同緯度間的變化：西南>東北，我們的結果也與大部分幼魚在不同溫度與成長率變化研究結果一致。例如，歐洲鯷魚 (*Engraulis encrasicolus*) 在同年齡上的長度與緯度呈負相關。也就是說，同年齡的幼魚在西西里海峽 (38° N) 的成長率比第勒尼安海 (40° N) 更大。因此，從我們結果發現日本帶魚幼魚在跨緯度的棲地間有不同生活史策略。

我們的結果並不完全支持我們的假說 (二)，在西南海域 c 符合假說，即暖季>冷季，但在東北海域， c 在冷暖季卻無顯著差異。在我們將樣本進行出生日期的回推後，我們發現東北海域日本帶魚出生月份集中在 6 月至 12 月 (圖三)，冷暖季間的溫度變化不大，因此在東北海域中，冷暖季間的 c 無顯著差異。

第四章 結論

全球氣候變遷無疑是當今全球面臨的議題，台灣四面環海，海洋生物資源豐富、經濟漁業發達。帶魚是重要的經濟魚種。我們建立了異速生長模型能清楚地描述日本帶魚幼魚的成長軌跡（圖七、八）。儘管帶魚台灣重要的經濟魚種，但我們對待魚生活史的了解卻是甚少。此研究計畫為首次以異速成長模型具體化溫度對日本帶魚的幼年生長速度的影響，透過這項研究能更了解帶魚資源，提供決策者在漁業資源管理的依據。

在我們的研究中透過環不同環境來了解幼魚的成長速度的變化，我們的研究結果更揭示了日本帶魚的在棲地和季節間成長速度的差異。可見當海水溫度上升，將影響帶魚的成長速度。因此我們相信，可以透過我們的所建立異速成長模型來促進當對於日本帶魚幼魚生活史的了解。西北太平洋地區的帶魚漁業資源相當有重要，能更有效的管理帶魚漁業，也有助於預測魚群豐度的變化，提升在氣候變遷下的保育與漁業管理成效、達成海洋資源永續。

參考資料

1. Bernardo, J. 1993. Determinants of maturation in animals. *Trends Ecol Evol* 8: 166-173.
2. Boukal, D. S., Dieckmann, U., Enberg, K., Heino, M., and Jorgensen, C. 2014. Life-history implications of the allometric scaling of growth. *J Theor Biol* 359: 199-207.
3. Fonds, M., Cronie, R., Vethaak, A. D., and Van der Puyl, P. 1992. Metabolism, food consumption and growth of plaice (*Pleuronectes splatessa*) and flounder (*Platichthys flesus*) in relation to fish size and temperature. *Neth J Sea Res* 29: 127-143.
4. Gillooly, J. F., Brown, J. H., West, G. B., Savage, V. M., and Charnov, E. L. 2001. Effects of size and temperature on metabolic rate. *Science* 293: 2248-2251.
5. Houde, E. D. 1987. Fish early life dynamics and recruitment variability. *Am Fish Soc Symp* 2: 17-29.
6. Hunt, J. J. 1992. Morphological characteristics of otoliths for selected fish in the Northwest Atlantic. *J Northwest Atl Fish Sci*, 13: 63-75.
7. Jensen, A. J., Finstad, B., Fiske, P., Forseth, T., Rikardsen, A., and Ugedal, O. 2017. Relationship between marine growth and sea

- survival of two anadromous salmonid fish species. *Can J Fish Aquat Sci* 75: 663-672.
8. Laurel, B. J., Copeman, L. A., Spencer, M., and Iseri, P. 2017. Temperature-dependent growth as a function of size and age in juvenile Arctic cod (*Boreogadus saida*). *ICES J Mar Sci* 74: 1614-1621.
 9. Lorenzen, K., and Enberg, K. 2002. Density-dependent growth as a key mechanism in the regulation of fish populations: evidence from among-population comparisons. *Proc Royal Soc B-Biol* 269: 49-54.
 10. Savage, V. M., Gillooly, J. F., Woodruff, W. H., West, G. B., Allen, A. P., Enquist, B. J., and Brown, J. H., 2004. The predominance of quarter-power scaling in biology. *Funct Ecol* 18: 257-282.
 11. Shih, N.-T., Hsu, K.-C., and Ni, I.-H. 2011. Age, growth and reproduction of cutlassfishes *Trichiurus spp.* in the southern East China Sea. *J Appl Ichthyol* 27: 1307-1315.
 12. Stearns, S. C. 2000. Life history evolution: successes, limitations, and prospects. *Sci Nat* 87: 476-486.
 13. Wang, H.-Y., Dong, C. A. and Lin, H.-C. 2017. DNA barcoding of fisheries catch to reveal composition and distribution of cutlassfishes along the Taiwan coast. *Fish Res* 187: 103-109.

14. West, G. B., Brown, J. H., and Enquist, B. J. 1997. A general model for the origin of allometric scaling laws in biology. *Science* 276: 122-126.

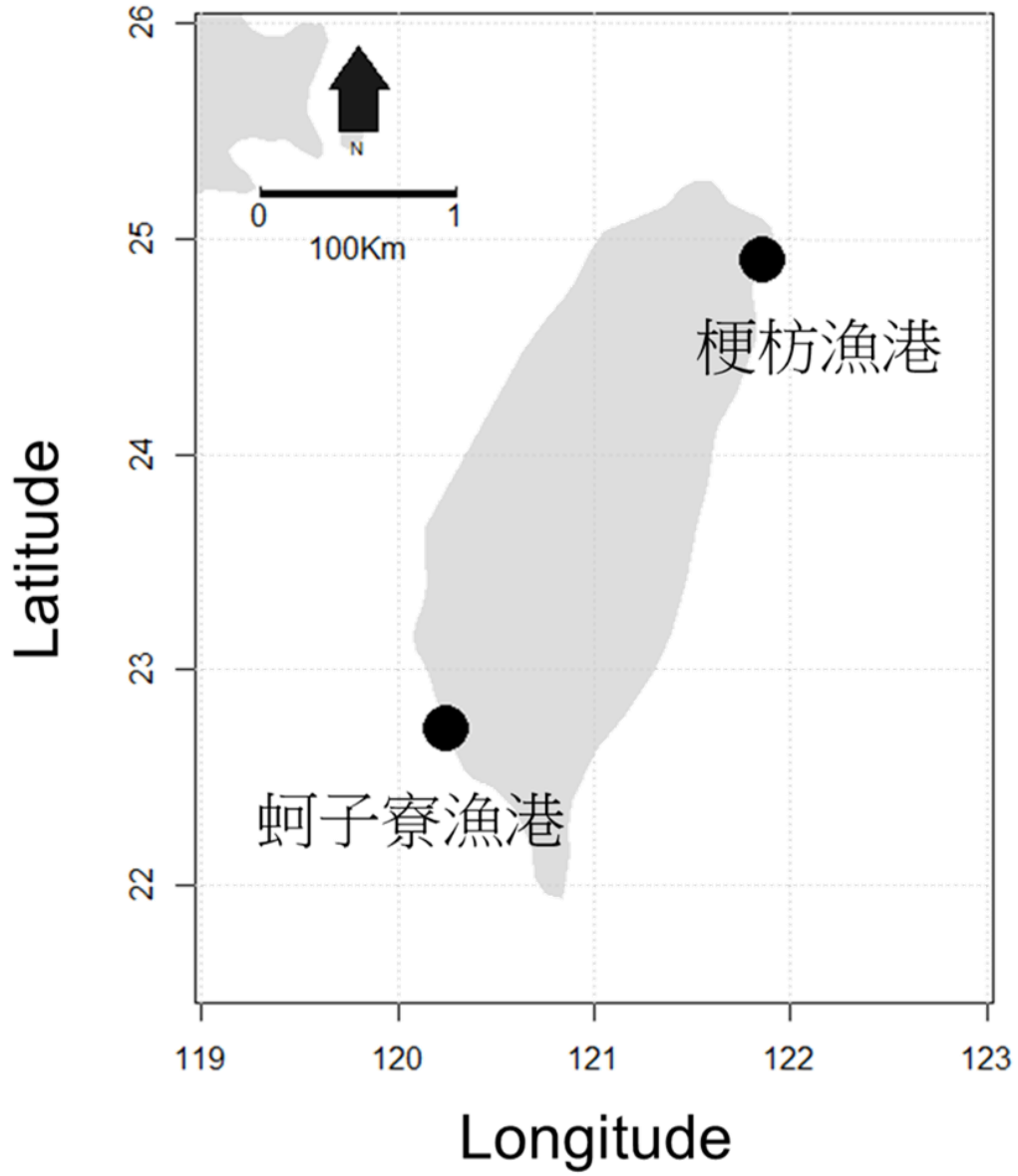
表

表（一），日本帶魚幼魚統計表。

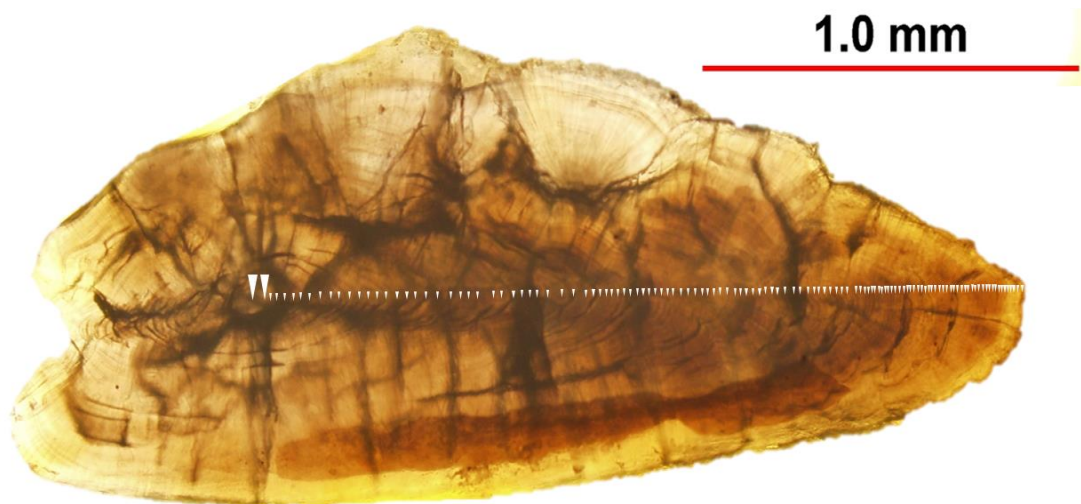
Month	梗枋漁港			蚵子寮漁港		
	N	Range of wet weight (g)	Range of age (days)	N	Range of wet weight (g)	Range of age (days)
Jan	2	13.16-19.34	68-97	13	4.00-22.71	63.5-100.5
Feb	0	0	0	13	1.52-11.94	54-102
Mar	0	0	0	5	0.29-15.27	51.5-129.5
Apr	0	0	0	25	1.32-27.64	47-164
May	2	22.97-26.88	112-123.5	11	5.45-28.24	106.5-134
Jun	22	4.2-33.29	70.5-129	16	0.39-16.74	47.5-137
Jul	16	6.72-31.29	70-147	31	0.18-26.25	33.5-186
Aug	24	2.25-70.48	80-179.5	20	0.44-39.93	51.5-142
Sep	25	1.04-31.39	53.5-156	20	1.17-35.42	40-134.5
Oct	17	4.3-38.54	76-136.5	5	19.35-21.14	98.5-152.5
Nov	21	1.59-27.74	61-162.5	18	9.37-27.05	108.5-146.5
Dec	20	7.38-31.76	81.5-135	6	4.03-21.58	78-114
Total	149	1.04-38.54	53.5-179.5	183	0.18-39.93	33.5-186

0：有進行採樣但未捕獲。

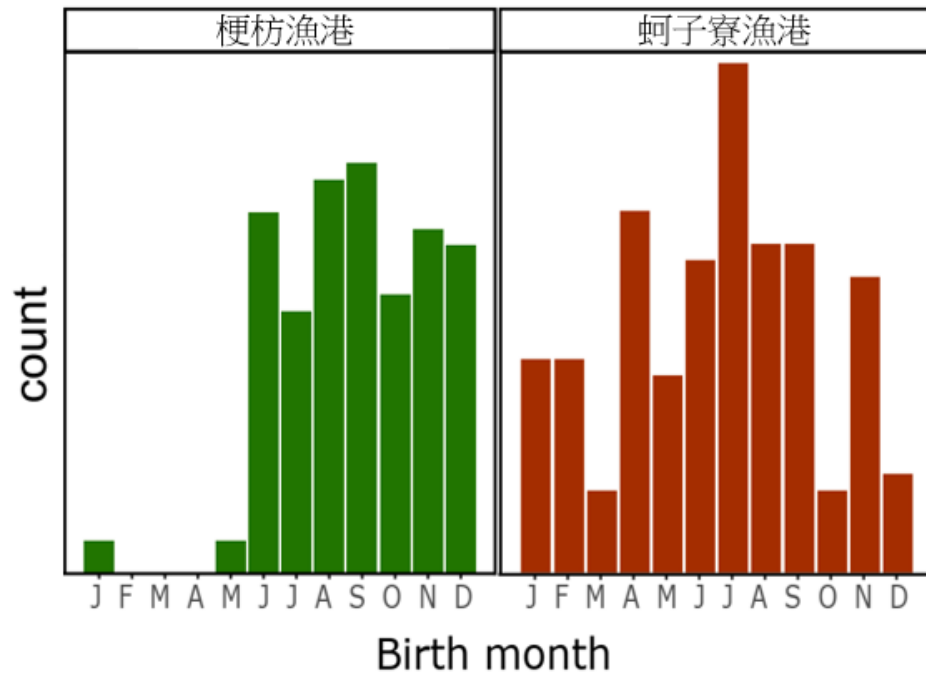
圖



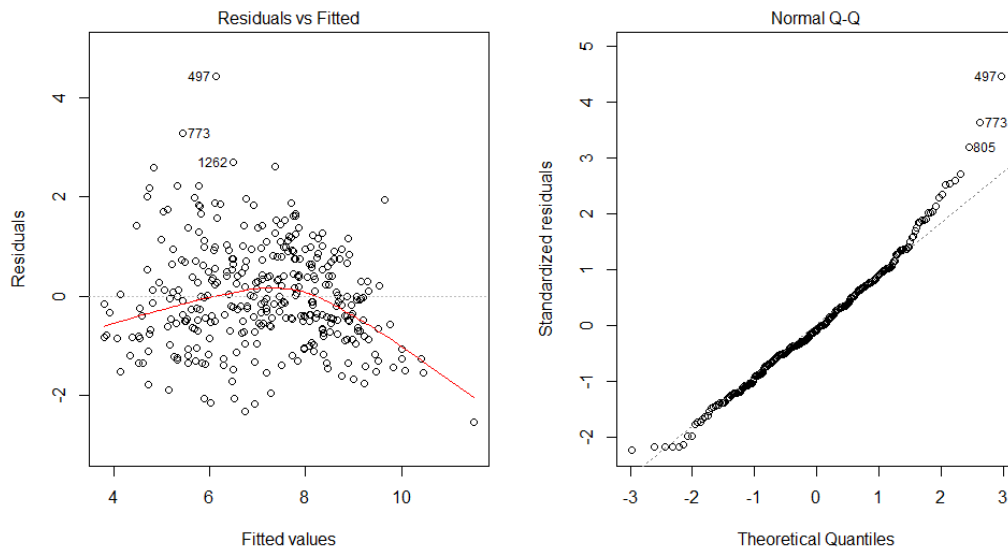
圖（一），採樣地點。梗枋漁港及蚵子寮漁港為台灣東北及西南海域帶魚幼魚樣本的採樣地點。



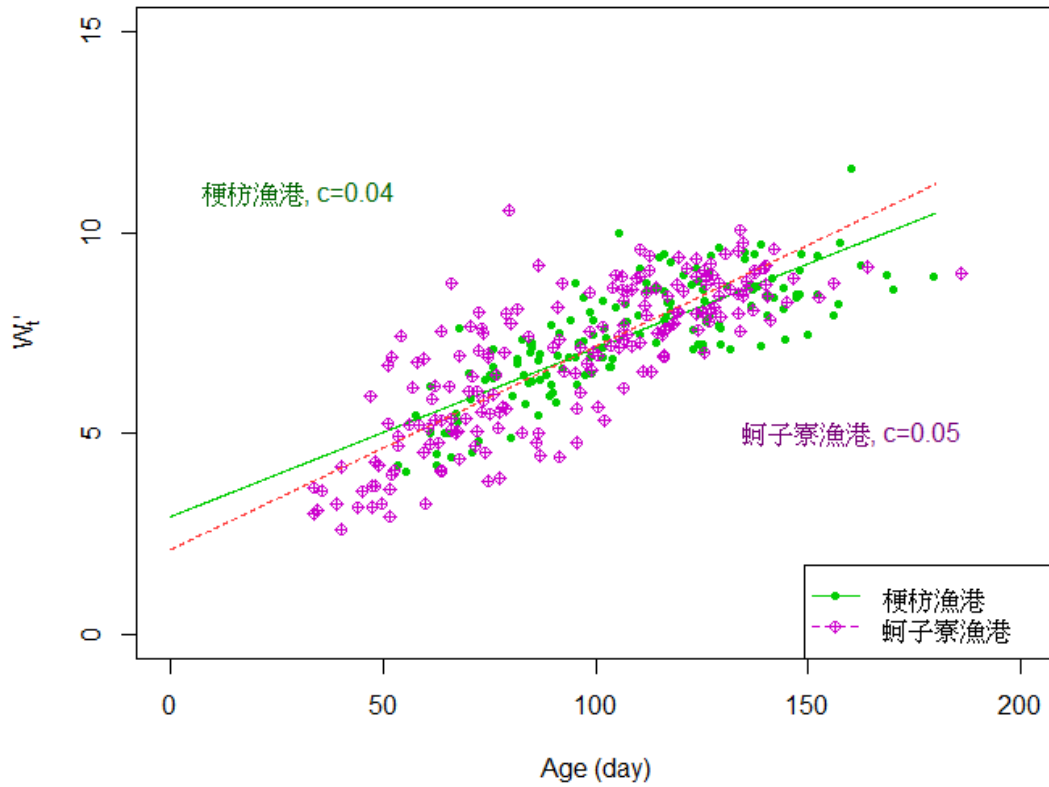
圖（二），日本帶魚幼魚矢狀耳石照片。此樣本為 2018 年 3 月，採樣於蚵子寮漁港的帶魚幼魚，其矢狀耳石在 40 倍光學顯微鏡下的照片。前兩個較大的箭頭分別代表耳石核和孵化環，其他小的箭頭表示耳石日輪。



圖（三），日本帶魚在東北（梗枋漁港）及西南（蚵子寮漁港）海域出生月分的數量分佈。

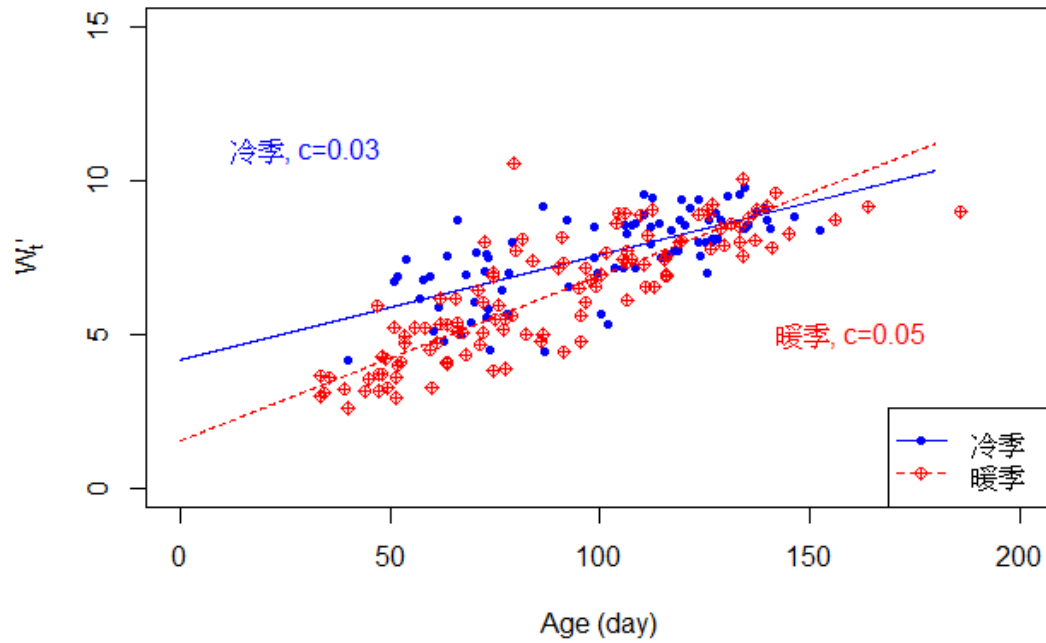


圖（四），異速成長模型的殘差與擬合圖（Residuals vs Fitted）和常態機率圖（Normal quantile-quantile plot; Normal Q-Q）。在殘差圖中，紅線表示每個擬合值（fitted value）下的在殘差平均。在常態機率圖中，大部分的點是否分佈在斜虛線上，表示殘差為常態分佈，圖中的數字 805、773、497 表示殘差偏差比較大的數據。

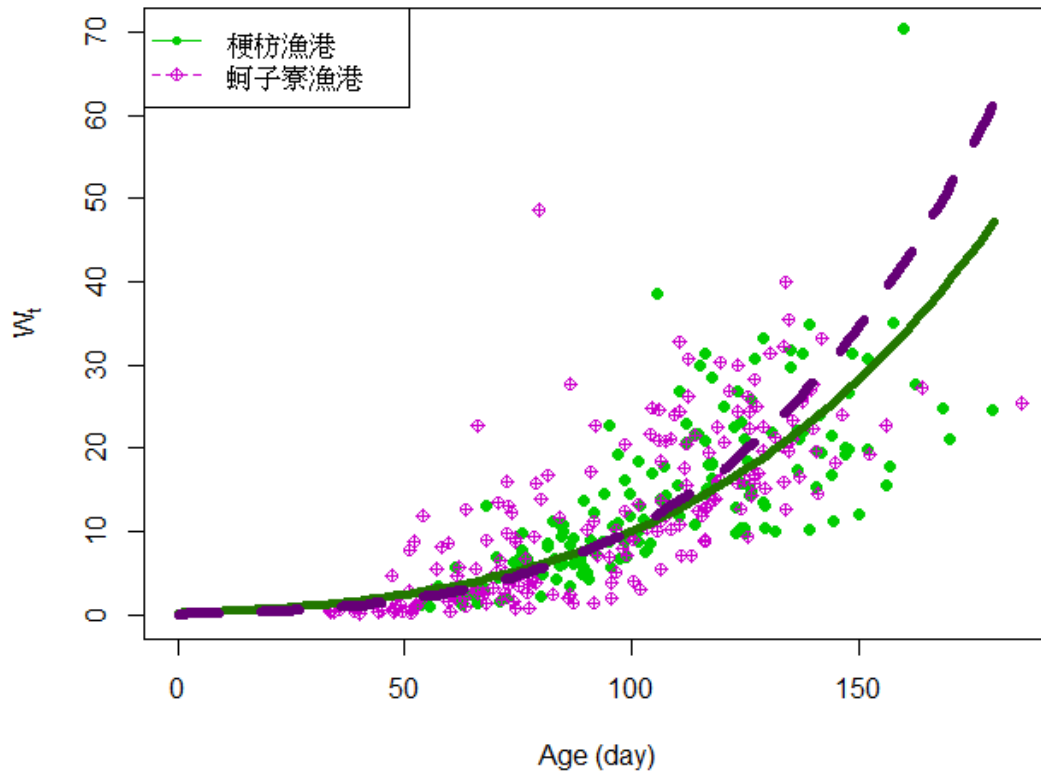


圖（五），異速生長模型與觀測值散佈圖。觀測值散佈圖顯示在東北（梗枋漁港）及西南（蚵子寮漁港）海域的日本帶魚幼魚 W_t' 和日齡之間的關係。兩條直線分別為兩地的異速生長模型，綠色實線代表東北海域的梗枋漁港，紫色虛線代表西南方海域的蚵子寮漁港。

蚵子寮漁港

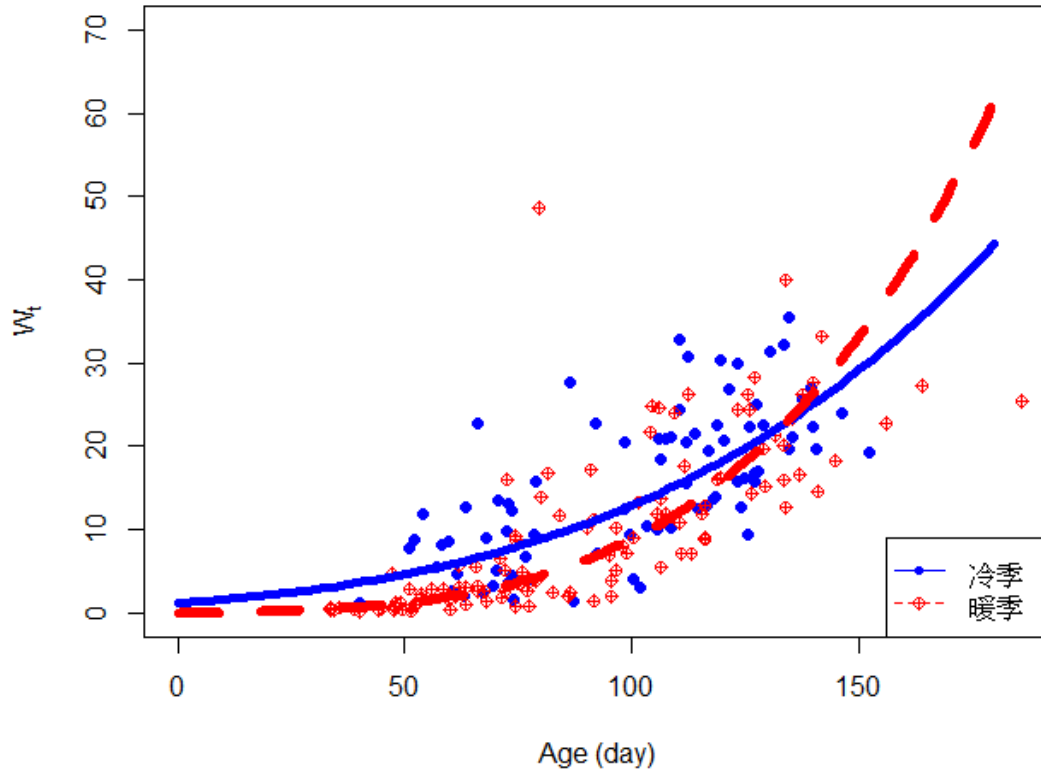


圖（六），異速生長模型與觀測值散佈圖。觀測值散佈圖顯示在西南海域(蚵子寮漁港)的冷季和暖季日本帶魚幼魚 W_t' 和日齡之間的關係。藍實線代表西南海域的冷季，紅虛線代表西南海域的暖季。



圖（七），在東北（梗枋漁港）及西南海域（蚵子寮漁港）日本帶魚幼魚異速生長模型預測的成長軌跡。綠色實線代表東北海域的梗枋漁港，紫色虛線代表西南海域的蚵子寮漁港。

蚵子寮漁港



圖（八），在西南海域（蚵子寮漁港）的冷季和暖季日本帶魚幼魚異速生長模型預測的成長軌跡。藍實線代表西南海域的冷季，紅虛線代表西南海域的暖季。