

# 以單位加入親魚量模式進行臺灣近海鋸峰齒鮫之資源評估

陳威克<sup>1</sup>·金建邦<sup>1\*</sup>·劉光明<sup>2</sup>

<sup>1</sup>行政院農業委員會水產試驗所海洋漁業組

<sup>2</sup>國立臺灣海洋大學海洋事務與資源管理研究所

## 摘要

近年來，鯊魚之資源保育與管理成為國際保育團體所注目的焦點。臺灣為主要鯊魚漁獲國家之一，因此鯊魚資源的評估與管理對我國十分重要。鋸峰齒鮫 (*Prionace glauca*) 為我國中小型鮪延繩釣漁業最常捕獲的大型鯊魚，主要卸漁港口在宜蘭南方澳，屏東東港與臺東成功三個港口，根據本研究估算，年漁獲量在7,233~16,080 mt 之間。臺灣中小型鮪延繩釣漁船漁獲鋸峰齒鮫之單位努力漁獲量自2001年以來呈現先上升後下降之趨勢，最近三年單位努力漁獲量較前幾年低。利用人口學矩陣估算北太平洋鋸峰齒鮫族群成長率為  $0.329 \pm 0.089$ ，世代間隔週期為  $8.67 \pm 2.12$  年，在大型鮫類中算是成長速率較快之物種。估算北太平洋鋸峰齒鮫系群資源  $SPR = 40\%$  之生物參考點結果為  $F = 0.193 \text{ yr}^{-1} (\pm 0.036)$ ，三種模擬結果顯示北太平洋鋸峰齒鮫  $F_{cur}/F_{40\%}$  分別為0.57、0.81 與0.72。顯示現今漁獲壓力適當，並無高於太平洋鋸峰齒鮫可容許之參考點。

關鍵詞：生物參考點、單位努力漁獲量、中小型鮪延繩釣漁業、單位加入親魚量

## 前言

鯊魚為最頂端的掠食者，有助於維護海洋的自然平衡，於海洋生態系中扮演非常重要的角色 (Cortés, 1999; Stevens *et al.*, 2000; Schindler *et al.*, 2002)。根據研究報告顯示鯊魚資源量已明顯銳減 (Baum *et al.*, 2003)，而魚翅產量卻持續不斷增加 (Clarke, 2004)，1980 年全球產量不到 2,000 mt，至 2000 年已超過 11,602 mt (Clarke *et al.*, 2006)。因此，近年來鯊魚資源保育與管理之議題逐漸成為國際矚目焦點。世界糧農組織 (FAO) 為確保軟骨魚類資源之永續利用，於 1999 年發布「鯊魚保育與管理國際行動計畫」。臺灣自 1950 年以後，鯊魚年漁獲量便超過 10,000 mt，過去 40 多年來 (1971~2013 年) 年，漁獲量介於 24,967~75,731 mt 之間，為全世界第六大捕鯊國家，前五名依序為印尼、西班牙、印度、墨西哥及美國 (FAO, 2013)。

臺灣中小型鮪延繩釣漁業中的鯊魚混獲比率則在 34.30~50.37% 間變動 (2001~2014 年)，平均混獲比率為 40.30%。其中混獲最多的即俗名稱為水鯊 (blue shark) 的鋸峰齒鮫 (*Prionace glauca*)。本種的極限體長為 323 cm，50% 性成熟年齡為 4.20~6.45 歲，也有產下上百尾產仔數的紀錄，在大型鯊魚中為體型大，但成熟年齡較早且產仔數偏多之物種 (Nakano *et al.*, 1985; Nakano, 1994; Pratt, 1979)。這是鋸峰齒鮫在生物學上的優勢，也讓其成為全球海洋中最常見且漁獲量最多的鯊魚物種。2001~2014 年間我國中小型鮪延繩釣漁業鋸峰齒鮫年卸魚量約為 5,000~8,000 mt。主要卸漁港口在宜蘭南方澳，屏東東港與臺東成功三個港口，其中以南方澳與東港漁獲量較多。南方澳為最重要之卸魚港口，2001~2014 年漁獲量在 3,918~5,841 mt 之間；東港則是臺灣中小型鮪延繩釣漁船另一個重要的卸漁港口，2001~2014 年漁獲量在 1,689~3,585 mt 之間；成功的年漁獲量則僅有 510~954 mt。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

\*通訊作者 / 基隆市和一路 199 號; Tel: (02) 2462-2101  
轉 2306; Fax : (02) 2463-3110; E-mail: cpchin@mail.tfrin.gov.tw

Species in the North Pacific Ocean, ISC) 與南太平洋委員會 (South Pacific Commission, SPC) 兩個科學委員會針對太平洋鋸峰齒鮫資源狀態進行評估，ISC 利用貝氏生產量模式 (Bayesian production model) 進行北太平洋鋸峰齒鮫之資源評估，認為其現今資源狀況高於 MSY (最大持續生產量) 之生物參考點，且目前之漁獲壓力小於  $f_{msy}$  (最大持續生產量的漁獲死亡率) 之參考點 (ISC, 2013)。然而 SPC 利用 SS (stock synthesis) 整合資源評估模式進行太平洋鋸峰齒鮫之研究卻得到目前鋸峰齒鮫之生物量低於 MSY，且漁獲壓力亦高於  $f_{msy}$  (Rice and Harley, 2014)，兩者所得到的結論截然不同。

本研究將估算臺灣中小型鮪延繩釣漁業 2001 ~ 2014 年間鋸峰齒鮫漁獲量及單位努力漁獲量 (Catch per unit effort, CPUE) 並進行標準化，再利用單位加入親魚量模式估算其生物參考點。

## 材料與方法

### 一、資料蒐集

本研究按月前往宜蘭南方澳魚市場實地進行大型鯊魚體長體重測工作，並與漁民進行訪談蒐集資料。同時蒐集並整理 2001 ~ 2014 年間宜蘭南方澳，屏東東港與臺東成功魚市場漁獲拍賣資料，以及鮪延繩釣漁船進出港資料，鮪延繩釣樣本船漁撈日誌 (logbook) 等資料。

### 二、鋸峰齒鮫漁獲量之估算

漁獲拍賣資料所記載為漁船卸魚記錄，然而南方澳與東港之漁民漁獲鋸峰齒鮫後，大部分都會先在海面處理魚體，割除其頭部、腹部與內臟等部位，並以冷凍保存，僅成功所漁獲之鋸峰齒鮫是以全魚的方式卸魚，因此漁獲拍賣資料所記載鋸峰齒鮫之卸魚量有低估的情形。本研究將依鋸峰齒鮫魚體與頭部、腹部、內臟與魚鰭等部位比例進行南方澳與東港鋸峰齒鮫年漁獲量估算。

### 三、鋸峰齒鮫單位努力漁獲量之估算

CPUE 為一重要的資源指標 (abundance index)，本研究利用魚市場拍賣資料與進出港資料進行比對，估算出各船隻每次出港之鋸峰齒鮫漁獲量 (catch) 與作業天數 (day)。作業鉤數 (hooks) 則利用樣本船所填報之 logbook，估算各噸級別每次作業鉤數，並以此估算其單位努力漁獲量。

$$CPUE = \text{Catch} / (\text{Day} \times \text{Hooks})$$

本研究將所估算出之單位努力漁獲量取自然對數後，再利用泛線性迴歸模式 (general linear model, GLM) 進行單位努力漁獲量之標準化，假設其殘差成常態分布，並將年份 (year)，母港口 (port)，進港月份 (month)，作業天數 (day)，船隻大小 (CT class) 等因子納入模式之中。本研究資料年份涵蓋 2001 ~ 2014 年，惟缺少 2004 年之進出港資料。船隻大小以噸級別作為劃分，分為 CT0，CT1，CT2，CT3 與 CT4 五個級別。

$\ln(CPUE + 0.0001) \sim \mu + \text{Year} + \text{Month} + \text{CT class} + \text{Port} + \text{Day} + \text{interaction} + \varepsilon$ ，其中 *interaction*:  $\text{Year} \times \text{Port}$ ;  $\text{Month} \times \text{CT class}$ ;  $\text{Month} \times \text{Port}$ ;  $\text{CT class} \times \text{Port}$ ;  $\varepsilon$  為殘差。

GLM 模式估算由 R 統計軟體之 GLM 程序進行，最佳模式係利用 Akaike information criterion (AIC) 以及逐步迴歸之方式進行選取。

### 四、以人口學方法進行鋸峰齒鮫族群成長率之估算

人口學分析法方面，由於鯊魚具有生活史長之特性，因此在生活史參數完整的情況下，一般皆使用此年齡結構模式評估鯊魚之資源狀況，而此法係利用活存率與出生率所建立之生命表 (life-table) 或生活史矩陣，分析在不同自然死亡係數或漁獲死亡係數下資源之現況及其變動情形。其結果可做為漁業管理之參考。

本研究假設鯊魚雌、雄出生胎仔之性比為 1 : 1，所估計之族群成長率 ( $\lambda$ ) 係採用人口統計學分析法之公式 (Krebs, 1985) 如下：

$$\sum_{x=2}^{\infty} m_x \times l_x \times e^{-rx} = 1$$
，其中  $m_x$  為年齡  $x$  時

產仔數， $l_x$  為年齡  $x$  時族群存活比率。

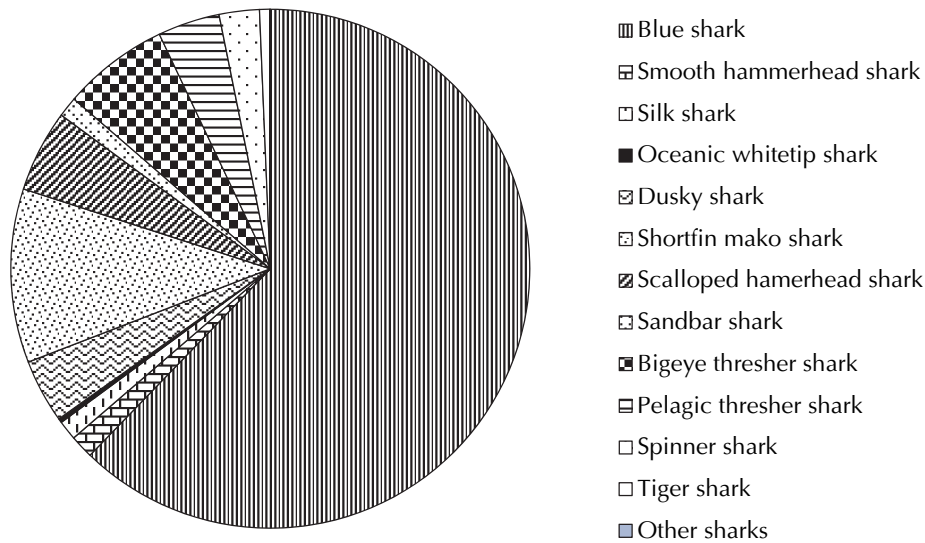


Fig. 1 Catch compositions of sharks caught by Taiwanese small-scale longline fisheries from 2001 to 2014.

$G = \sum \frac{1}{2} m_x \times l_x \times e^{-rx} / R_0$ ,  $G$  為世代間隔時間

$r = \ln(R_0) / G$ ,  $r$  為族群內部增加率

$\lambda = e^r$ ,  $\lambda$  為族群初始成長率

本研究假設太平洋鋸峰齒鯨為兩年生殖週期，且為考量參數估計之不確定性，引用 Hsu *et al.* (2011)、Cailliet and Bedford (1984) 與 Nakano and Seki (2002) 之結果進行不同生活史之模擬，並重複選取，以 bootstrap 方法重複模擬 1000 次估算其 95% 信賴區間。

## 五、單位加入親魚量模式與生物參考點

本研究以單位加入親魚量模式 (spawning per recruit, SPR) 來估算鋸峰齒鯨之 SPR 值 (Goodyear, 1993)，並推估 SPR40% 所對應之漁獲死亡係數。公式如下：

$$SPR = \frac{\sum_{x=1}^{t_{max}} m_x \cdot W_x \cdot \prod l_x}{\sum_{x=1}^{t_{max}} m_x \cdot W_x \cdot \prod l'_x}$$

其中  $W_x$  為年齡為  $x$  時魚體體重， $l_x$  為現今漁獲壓力下  $x$  歲魚的存活率， $l'_x$  為無漁獲壓力下  $x$  歲魚的存活率。

過去曾有 Kleiber *et al.* (2009) 與 ISC (2013) 利用貝氏生產量模式估算北太平洋鋸峰齒鯨之資

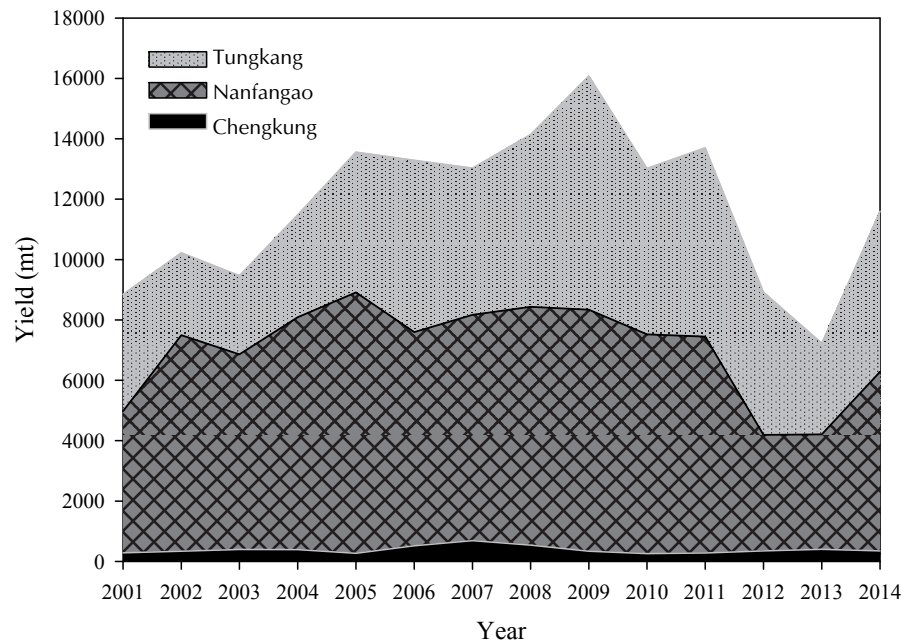
源現況與漁獲壓力變動情形。Rice and Harley (2014) 則利用 Stock Synthesis (SS) 整合資源評估模式，同樣進行北太平洋鋸峰齒鯨之資源評估並估算其漁獲壓力。前人研究所使用之模式，時間點與漁獲資料涵蓋範圍皆有所不同，且其結果亦有分歧。本研究為考慮延繩釣漁業對太平洋鋸峰齒鯨系群資源之影響，將前人研究 (Kleiber *et al.*, 2009; ISC, 2013; Rice and Harley 2014) 所估算出現今漁獲壓力代入單位加入親魚量模式進行模擬，並以 bootstrap 方法重複 1000 次估算其 95% 信賴區間，以考量參數估計之不確定性。

## 結果與討論

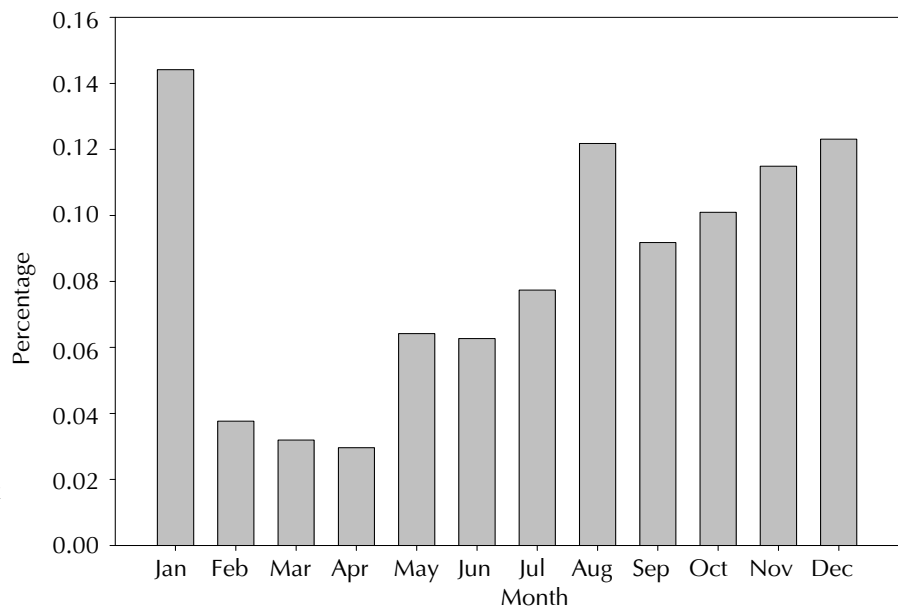
### 一、鋸峰齒鯨漁獲量

2001 ~ 2014 年間魚市場拍賣資料顯示鋸峰齒鯨為臺灣中小型鮪延繩釣漁船最常漁獲之鯊魚種類，占總漁獲量的 62.2% (Fig. 1)。漁獲量次多的大型鯊魚則為灰鯖鯨 (shortfin mako shark)，第三多的為紅肉丫髻鯨 (scalloped hammerhead shark)。

本研究利用 60 尾鋸峰齒鯨估算其處理過後重量與全魚重之比例，結果顯示鋸峰齒鯨經去除頭部、腹部、內臟與魚鰭之後的魚體重量為處理前體重的 41.08%。在南方澳有 89.5% 的鋸峰齒鯨在釣獲後就先被漁民去除頭部、內臟、腹部及魚鰭，並冷凍保存。本研究利用處理過後魚體重量與全魚



**Fig. 2** Estimated blue shark catches caught by Taiwanese small-scale longline fisheries from 2001 to 2014.



**Fig. 3** Monthly variations in percentage of blue shark catches caught by Taiwanese small-scale longline fisheries from 2001 to 2014.

重之比例，估算南方澳中小型鮪延繩釣漁船鋸峰齒鮫實際漁獲量。其結果顯示 2001~2014 年間鋸峰齒鮫漁獲量最高的為 2005 年的 8,645 mt，最低為 2013 年的 3,810 mt (Fig. 2)。南方澳鋸峰齒鮫漁獲量在 2002~2011 年間維持在 6,464~8,645 mt 之間，然而到了 2012 年與 2013 年僅剩下 3,845 與 3,810 mt，2014 年則回升到 5,933 mt。

東港處理鋸峰齒鮫漁獲的方式與南方澳相同，但早期拍賣資料中並無記載鯊魚分種資訊。本研究以處理魚體比例與南方澳鋸峰齒鮫佔鯊魚漁

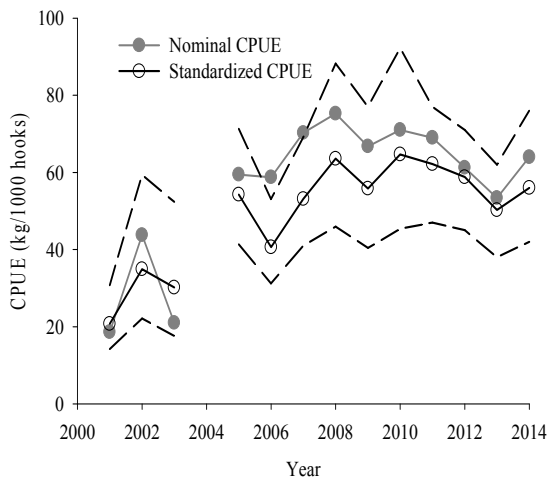
獲量比例估算東港鋸峰齒鮫漁獲量。2001~2014 年間漁獲量最高的年份為 2009 年的 7,744 mt，最低為 2010 年的 2,606 mt，而成功所漁獲之鋸峰齒鮫則都是以全魚、冷藏的方式卸魚。漁獲量最高為 2007 年的 688 mt，最低為 2010 年的 260 mt (Fig. 2)。

2001~2014 年間鋸峰齒鮫漁獲量以 1 月最高，佔全年漁獲量的 14.05%，8~12 月也有 8.82~12.24%，2~7 月則只有 3.08~7.54% (Fig. 3)。月別分析顯示臺灣中小型鮪延繩釣漁船漁獲鋸峰齒鮫有季節性變動，於鮪魚季節 (4~6 月) 時會以黃鰭

鮪、大目鮪與黑鮪等經濟價值較高的魚種為主要目標魚種。秋末與冬季則改以鋸峰齒鯨為主的大型鯨類為目標魚種。根據魚市場拍賣記錄顯示，鋸峰齒鯨之魚價於 2001 ~ 2014 年間呈現上升之趨勢，從 2001 ~ 2003 年的平均 17.1 元/kg，到 2012 ~ 2014 年平均 58.3 元/kg。

## 二、鋸峰齒鯨單位努力漁獲量

臺灣中小型鮪延繩釣漁船漁獲鋸峰齒鯨之單位努力漁獲量在近年來呈現先上升後下降之趨勢，最近三年單位努力漁獲量較前幾年低。Nominal CPUE 在 2005 年為每千鈎 59.46 kg，2006 年則為 58.76 kg/千鈎。到了 2007 ~ 2010 年上升為 66.76 ~ 75.27 kg/千鈎，最高為 2008 年的每千鈎 75.27 kg。2011 年開始下滑，為 68.98 kg/千鈎，2012 年為 61.23 kg/千鈎，2013 年掉到 53.76 kg/千鈎。2014 年則回升到 64.12 kg/千鈎，其 CPUE 在經過標準化後也呈現相同之趨勢 (Fig. 4)。

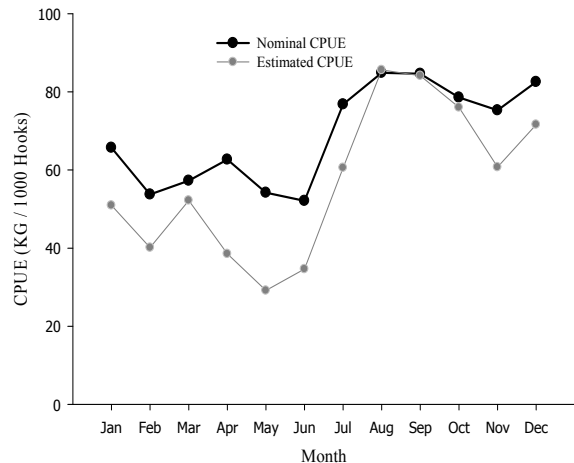


**Fig. 4** The nominal and standardized CPUE (kg/1000 hooks) of blue sharks caught by Taiwanese small-scale longline fisheries in the North Pacific.

月別分析結果顯示，鋸峰齒鯨單位努力漁獲量在 7 ~ 12 月份相對來說是較高的月份，最低為 11 月的 75.26 kg/千鈎，最高為 8 月份的 88.88 kg/千鈎 (Fig. 5)。1 ~ 6 月單位努力漁獲量則較低，範圍在 52.11 到 65.68 kg/千鈎。

本研究利用 GLM 模式進行鋸峰齒鯨單位努

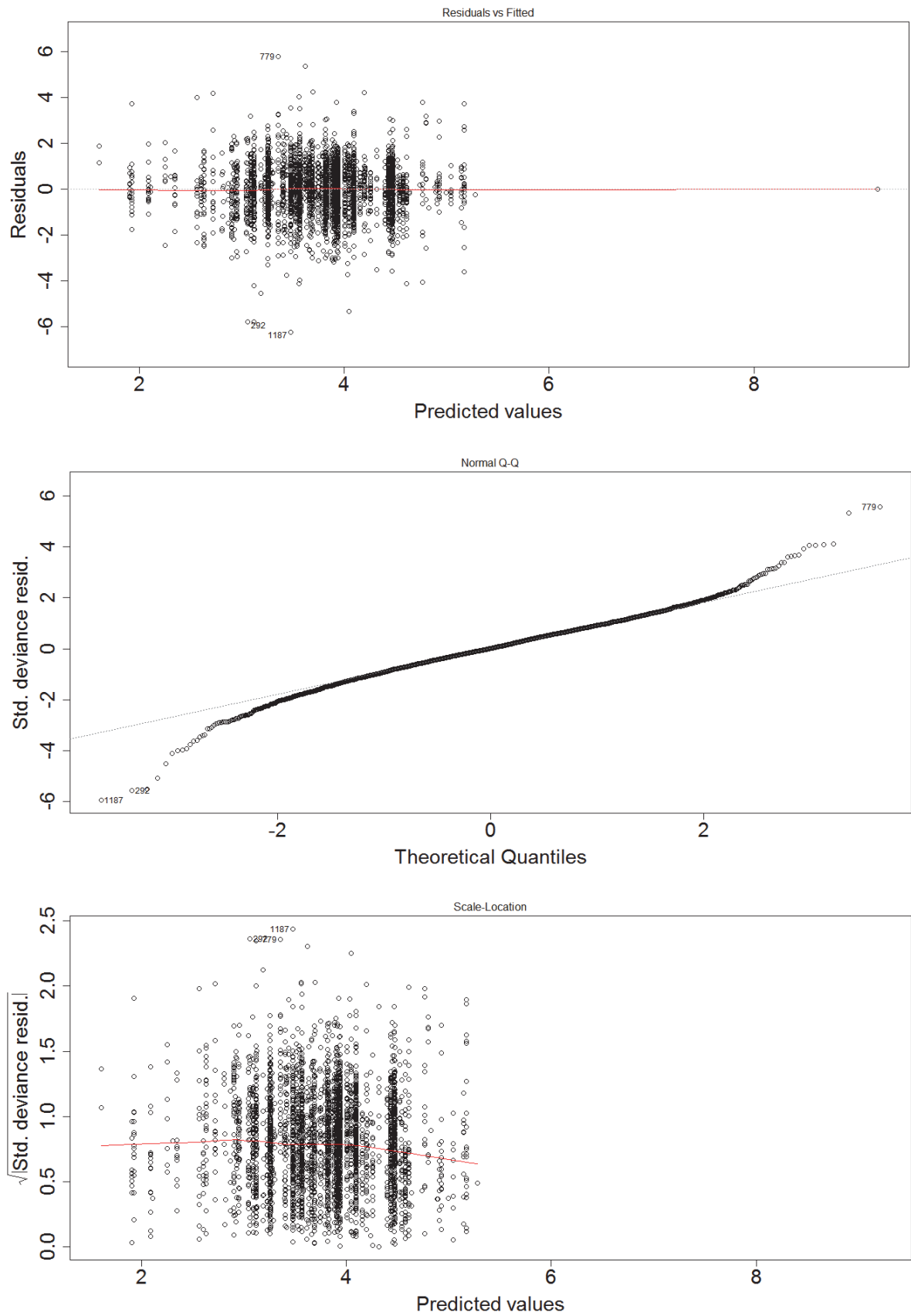
力漁獲量標準化，考量之因子包括年份，月份，漁船噸級別，進出港口，及各因子之交互作用 (Table 1)。並利用 AIC 及 ANOVA table 進行模式選擇與檢定，其結果顯示本模式所選用之因子皆為顯著 (Table 1)。且本模式之殘差分布符合常態分布，僅有少數離群值出現 (Fig. 6)。



**Fig. 5** Monthly nominal CPUE and estimated CPUE of blue sharks caught by Taiwanese longline vessels from 2001 to 2014.

## 三、鋸峰齒鯨生活史參數與族群成長率之估算

根據過去研究之結果選用不同之生活史參數，估算太平洋鋸峰齒鯨之壽命為 16.29 歲，自然死亡率為  $0.224 \text{ yr}^{-1}$  (Hsu *et al.*, 2011)，或壽命為 19.96 歲，自然死亡率為  $0.188 \text{ yr}^{-1}$  (Nakano and Seki, 2002)。此外，國外亦有學者估算出鋸峰齒鯨之壽命為 12.63 歲，自然死亡率為  $0.280 \text{ yr}^{-1}$  (Cailliet and Bedford, 1984) (Table 2)。兩年生殖週期模擬結果顯示，引用 Nakano and Seki (2002) 之生活史參數所估算出族群成長率最高，為 0.356 (se = 0.046)，世代間隔週期 9.0 年也是最長。引用 Hsu *et al.* (2011) 之結果也類似，族群成長率為 0.350，世代間隔週期為 8.23 年。若使用 Cailliet and Bedford (1984) 之生活史參數，族群成長率則較低，為 0.270，且世代間隔週期僅 7.05 年 (Table 3)。Bootstrap 重複模擬 1000 次結果顯示太平洋鋸峰齒鯨系群族群成長率為  $0.329 \pm 0.089$ ，世代間隔週期為  $8.67 \pm 2.12$  年。



**Fig. 6** The distribution of residuals and QQ plot derived from generalized linear model of standardizing CPUE of blue sharks caught by Taiwanese small-scale longline fisheries in the North Pacific from 2001-2014.

**Table 1** ANOVA table of explanatory variables in generalized linear model for blue shark CPUE

Parameters	Df	Deviance	F	P-value
Year	12	133.15	11.096	<0.001
Month	11	300.06	26.2369	<0.001
CT Class	4	186.22	44.7774	<0.001
Port	1	5.94	5.6748	<0.001
Year : Month	72	382.76	5.1132	<0.001
Year : Port	22	163.33	7.1408	<0.001
Month : CT Class	3	93.81	30.0777	<0.001
Month : Port	30	83.8	2.6866	<0.001
CT Class : Port	11	115.97	10.1399	<0.001

**Table 2** Life history parameters of blue sharks in the North Pacific Ocean used in this study

Reference	k(yr <sup>-1</sup> )	t <sub>0</sub>	T <sub>max</sub> (yr)	Natural mortality(yr <sup>-1</sup> )	T <sub>m</sub>	Fecundity
Hsu <i>et al.</i> (2011)	0.172	-1.123	16.29	0.224	4.3	29
Calilliet and Bedford (1984)	0.223	-0.8	12.63	0.28	6.5	82
Nakano and Seki (2002)	0.144	-0.849	19.96	0.188	6	25.6

**Table 3** The intrinsic rate of population increase (r), standard error (se) and generation time (G) of blue sharks in the North Pacific Ocean based on a two-year reproductive cycle assumption

Reference	r	se	G
Hsu <i>et al.</i> (2011)	0.35	0.103	8.23
Calilliet and Bedford (1984)	0.27	0.038	7.05
Nakano and Seki (2002)	0.356	0.046	9
Bootstrap model	0.329 ±0.089	0.182	8.67 ±2.12

#### 四、單位加入親魚量模式與生物參考點

單位加入親魚量模式係估算漁業行為對親魚產子潛能之資源評估模式，一般硬骨魚類通常建議為 SPR=20~30% 為生物參考點。然而軟骨魚類，包括本研究之鋸峰齒鯨系群相較於硬骨魚類有成熟晚，產仔數少且資源量較易受到漁業影響之特性。故多建議較保守之資源管理策略。Mace and Sissenwine (1993) 建議 SPR 應保持 30% 以上以避免過漁情況發生，Punt (2000) 則建議軟骨魚類之 SPR 應保持在 30~40% 以上。將前人研究

所估計出三種不同的現今漁獲壓力，代入單位加入親魚量模式估算太平洋鋸峰齒鯨之 SPR 結果顯示。即使以最保守之 SPR=40% 之生物參考點為標準，現今單位加入親魚量遠高於 SPR<sub>40%</sub> 的生物參考點建議值。其中以 ISC (2013) 之結果最為樂觀，SPR=56.53% (±12.28%)，而以 Rice and Harley (2014) 之結果最為保守，SPR=46.60% (±9.57%)，且其 95% 信賴區間下限低於 SPR<sub>40%</sub> 的生物參考點 (Table 4)。本研究估算太平洋鋸峰齒鯨系群資源 SPR=40% 之生物參考點結果為 F=0.193 yr<sup>-1</sup> (±0.036)，三種模擬結果顯示北太平洋鋸

**Table 4** Estimated SPR with 95% confidence intervals of blue sharks in the Pacific Ocean

Reference	SPR	95% CI	$F_{cur}/F_{40\%}$
ISC (2013)	56.53%	±12.28%	0.57
Rice and Harley (2014)	46.60%	±9.57%	0.81
Kleiber <i>et al.</i> (2009)	50.13%	±10.17%	0.72

峰齒鯨之  $F_{cur}/F_{40\%}$  分別為 0.57, 0.81 與 0.72 (Kleiber *et al.*, 2009; ISC, 2013; Rice and Harley 2014)。顯示現今漁獲壓力適當，並無高於太平洋鋸峰齒鯨可容許之參考點。但利用 SPC 估算漁獲係數之結果 SPR 95% 信賴區間低於 SPR 40% 之生物參考點，顯示本系群資源量仍需持續監控。

## 結 論

臺灣中小型鮪延繩釣漁業鋸峰齒鯨年漁獲量在 7,233 ~ 16,080 mt 之間，自 2009 年之後呈現下滑之趨勢，直到 2014 年才又回升。單位努力漁獲量雖近三年較低，但無太大變動情形，資源應屬平穩；且太平洋鋸峰齒鯨族群成長率 0.329，在大型鯨類中屬於成長較快速之物種，單位加入親魚量模式之結果亦指出  $F_{cur}/F_{40\%}$  為 0.57~0.81，遠低於  $F_{40\%}$  的生物參考點，顯示現今漁獲壓力適當，資源沒有過漁之現象，雖無過漁之疑，但本系群資源量仍需持續監控。

## 謝 辭

本研究經費由行政院農業委員會水產試驗所 (104 農科-11.2.2.水-A1(4)) 計畫項下支助，研究期間承蒙南方澳漁港陳連發先生大力幫忙、本所藍揚麟副研究員、劉國強助理研究員協助採樣以及審查委員提供寶貴的意見，讓本研究得以順利完成，謹此表達由衷的感謝之意。

## 參考文獻

Baum, J. K., R. A. Myers, D. G. Kehler, B. Worm, S. J.

Harley and P. A. Doherty (2003) Collapse and conservation of shark populations in the northwest Atlantic. *Science*, 299: 389-392.

Cailliet, G. M. and D. W. Bedford (1984) The biology of three pelagic sharks from California waters, and their emerging fisheries: a review. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report*, 24: 57-69.

Clarke, S. (2004) Shark products trade in Hong Kong and Mainland China and implementation of the CITES shark listings. *TRAFFIC East Asia, Hong Kong*, 63 pp.

Clarke, S. C., M. K. McAllister, E. J. Milner-Gulland, G. P. Kirkwood, C. G. Michielsens, D. J. Agnew, E. K. Pikitch, H. Nakano and M. S. Shivji (2006) Global estimates of shark catches using trade records from commercial markets. *Ecol. Lett.*, 9: 1115-1126.

Cortés, E. (1999) A stochastic stage-based population model of the sandbar shark in the western North Atlantic. *Trans. Amer. Fish. Soc. Symp.*, 23: 115-136.

FAO (2013) FAOSTAT database collections. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. URL: <http://faostat.fao.org>.

Goodyear, C. P. (1993) Spawning stock biomass per recruit in fisheries management: foundation and current use. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 120: 67-81.

Hsu H. H., S. J. Joung, G. T. Lyu, K. M. Liu and C. C. Huang (2011) Age and growth of the blue shark, *Prionace glauca*, in the northwest and central south Pacific. Ageing Workshop of ISC Shark Working Group Meeting, Dec. 5-6, La Jolla, CA, USA. *ISC/11/SHARKWG-2/*, 20 pp.

ISC (2013) Report of the Shark Working Group Workshop (April 2013). *ISC/13/PLENARY/Annex8. In Report of the Plenary Session of the International Scientific Committee for Tuna and Tuna-like Species in the North Pacific Ocean*, 17-22 July 2013, Busan, Korea.



- Kleiber, P., S. Clarke, K. Biegelow, H. Nakano, M. McAllister and Y. Takeuchi (2009) North Pacific Blue Shark Stock Assessment. NOAA Technical Memorandum NMFS-PIFSC-17, 1-83.
- Krebs, C. J. (1985) Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance (3rd ed.). Harper and Row, New York, NY, 800 pp.
- Mace, P. M. and M. P. Sissenwine (1993) How much spawning per recruit is enough? *In* Risk Evaluation and Biological Reference Points for Fisheries Management (S. J. Smith, J. J. Hunt and D. Rivard eds.), Spec. Publ. Can. Fish. Aquat. Sci., 120: 101-118.
- Nakano, H., M. Makihara and K. Shimazaki (1985) Distribution and biological characteristics of the blue shark in the central Pacific Ocean. Rep. Jpn. Grp. Elasmobr. Stud., 19: 9-20.
- Nakano, H. (1994) Age, reproduction and migration of blue shark in the North Pacific Ocean. Bull. Natl. Res. Inst. Far Seas Fish., 31: 141-256.
- Nakano, H. and M. P. Seki (2002) Synopsis of biological data on the blue shark, *Prionace glauca* (Linnaeus 1758). Bull. Fish. Res. Agcy., 6: 18-55.
- Pratt, H. L., (1979) Reproduction in the blue shark, *Prionace glauca*. Fish. Bull. U.S., 77: 445-470.
- Punt, A. E. (2000) Extinction of marine renewable resources: a demographic analysis. Popul. Ecol., 42: 19-27
- Rice, J. and S. Harley (2014) Stock assessment of blue shark in the North Pacific Ocean using Stock Synthesis. WCPFC-SC10-2014/ SA-WP-08, 83 pp.
- Schindler, D. E., T. E. Essington, J. F. Kitchell, C. Boggs and R. Hilborn (2002) Sharks and tunas: fisheries impacts on predators with contrasting life histories. Ecol. Appl., 12: 735-748.
- Stevens, J. D., R. Bonfil, N. K. Dulvy and P. A. Walker (2000) The effects of fishing on sharks, rays and chimaeras (chondrichthyans) and implications for marine ecosystems. ICES. J. Mar. Sci., 57: 476-494.

## Spawning Per Recruit Analysis of the Blue Shark (*Prionace glauca*) in the Coastal Waters of Taiwan

Wei-Ke Chen<sup>1</sup>, Chien-Pang Chin<sup>1\*</sup> and Kwang-Ming Liu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Marine Fisheries Division, Fisheries Research Institute

<sup>2</sup>Institute of Marine Affairs and Resource Management, National Taiwan Ocean University

### ABSTRACT

Shark conservation and management have become issues of great concern for international conservation organizations in recent years. For Taiwan, as one of the leading shark fishing countries, the evaluation and management of shark resources are extremely important. *Prionace glauca* (blue shark) is the most commonly caught large shark species in small and medium-scale longline fishing in Taiwan. Three main fishing ports include Nanfangao Fishing Port in Yilan, Tungkang in Pingtung, and Chenggong in Taitung. Estimated annual yields are between 7,233-16,080 mt. Since 2001, the nominal catch per unit effort (CPUE) of blue shark caught by Taiwanese longline fisheries had an upward tendency, followed by a downward tendency. The nominal CPUE during the last three years has been lower than that in previous years. Demographic matrix assessment indicated that blue sharks in the North Pacific are characterized by population growth rate of  $0.329 \pm 0.089$  and generation interval of  $8.67 \pm 2.12$  years. This is a species with a relatively high growth rate among large sharks. As SPR at 4%, the estimated biological reference point  $F$  for Pacific blue shark is equal to  $0.193 \text{ yr}^{-1} (\pm 0.036)$ , and  $F_{\text{cur}}/F_{40\%}$  are equal to 0.57, 0.81, and 0.72 in the scenario 1-3, respectively. The results suggest the current fishing pressure is appropriate and is below the sustainable biological reference point for blue shark stock in the Pacific Ocean.

**Key words:** biological reference point, CPUE, small-scale tuna longline fisheries, spawning per recruit

---

\*Correspondence: Marine Fisheries Division, Fisheries Research Institute, 199, Hou Ih Road, Keelung 20246, Taiwan.  
Tel: (02) 2462-2101 ext. 2306; Fax: (02) 2463-3110; E-mail: cpchin@mail.tfrin.gov.tw