

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

大西洋黑皮旗魚之豐度指標標準化及資源評估

Standardization of abundance indices and stock
assessment for the blue marlin *Makaira nigricans*
in the Atlantic Ocean

蔡易霖

Yi-Lin Tsai

指導教授：孫志陸 博士

Advisor: Chi-Lu Sun, Ph.D.

中華民國 101 年 1 月

January, 2012

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

大西洋黑皮旗魚之豐度指標標準化及資源評估
Standardization of abundance indices and stock
assessment for the blue marlin *Makaira nigricans*
in the Atlantic Ocean

本論文係蔡易霖君（學號 r98241210）在國立臺灣大學
海洋研究所、所完成之碩士學位論文，於民國 100 年 12 月
30 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

孫志陸

（簽名）

（指導教授）

王慧瑜

劉燿城

丘奎生

蘇楠傑

戴昌鳳

（簽名）

系主任、所長

謝 辭

本論文之完成首先感謝恩師 孫志陸博士在學業與論文研究上的諄諄教誨與指導，讓學生能保持積極的態度，以及師母 葉素然小姐在研究及生活上的照顧，由於本身特殊的個性及聽覺上的障礙，感謝恩師及師母對許多待人處事的教誨與包容，及在百忙中對本論文的耐心審閱與批改，在此獻上最誠摯的謝意。

承蒙台灣大學動物研究所教授 丘臺生博士、農業委員會水產試驗所主任秘書 劉燈城博士、本所助理教授 王慧瑜博士與本所博士後研究員 蘇楠傑博士對本論文提供許多見解與建議，使學生受益良多，在此致上最深感激之意。

在這兩年半的研究生生活中，要感謝研究室學長姐楠傑、以杰、裕嘉、筱筠、麗華、陳卉及學妹芸甄在研究生活上的照應，有你們的陪伴讓研究生活更多彩多姿。特別感謝楠傑學長對學問上的指點及繁忙中校閱論文的架構，使我能夠一步步的克服研究過程中遇到的難關。感謝好友先詠在生活及學業上的陪伴與分享，一同度過這難忘的時光。

感謝我的父母在我的成長過程中給予我衣食無缺的成長環境，使我求學之路安穩而順利，以及哥哥育潞與易澤在我遇到挫折時給予勉勵與陪伴，使我能夠堅持完成自己的學業與夢想，並讓我更清楚面對自己的許多優缺點，僅將本論文獻給無怨無悔地付出的家人們。

易霖

2012 年 1 月

醉月湖畔

摘要

黑皮旗魚為大洋性洄游魚種，主要分布熱帶及亞熱帶海域。在大西洋，黑皮旗魚為鮪延繩釣漁業混獲魚種，主要漁獲國家為日本及台灣，近年來迦納流刺網漁業漁獲量明顯增加。單位努力漁獲量(catch per unit effort, CPUE)可作為資源相對豐度指標，但由於資源時空分布及漁具演進皆會對漁業的捕獲能力造成影響，故在利用 CPUE 當作資源豐度指標前須將其標準化。本研究以泛線性模式(generalized linear models, GLM)進行黑皮旗魚 CPUE 標準化，分析日本、台灣、巴西鮪延繩釣漁業以及迦納流刺網漁業 CPUE 之變動。GLM 模式考慮因子包含年別、月別及漁區別主效應，及月與漁區之交感效應。結果顯示黑皮旗魚的標準化 CPUE 大致呈現逐漸下降的趨勢。除此四種漁業外，本研究外加蒐集美國與委內瑞拉鮪延繩釣漁業、委內瑞拉流刺網漁業以及美國休閒漁業的標準化 CPUE 資料，進一步以非平衡生產量模式評估黑皮旗魚的資源狀況，結果顯示大西洋黑皮旗魚最大可持續生產量(maximum sustainable yield, MSY)為 2538 公噸，目前(2009 年)相對資源量(B_{2010}/B_{MSY})及相對漁獲死亡率(F_{2009}/F_{MSY})分別為 0.745 及 1.508，顯示大西洋黑皮旗魚資源已呈現過漁狀態，建議應減少黑皮旗魚的總容許漁獲量(total allowable catch, TAC)至 2000 公噸，以使資源回復至接近 MSY 的水準。

關鍵字：泛線性模式、非平衡剩餘生產量模式、黑皮旗魚、大西洋

Abstract

Blue marlin is a highly migratory species mainly distributed in tropical and subtropical waters of the world. In the Atlantic, blue marlin is a by-catch of longline fisheries, mostly caught by Japanese and Taiwanese longliners. The catch from gillnet fishery of Ghana increased in recent years. Catch per unit effort (CPUE) is usually used as relative abundance index in stock assessments. However, catchability is affected by spatio-temporal distribution of fish population as well as the evolution of fishing gear. Consequently, CPUE should be standardized to represent as an abundance index. In this study, the generalized linear models (GLM) were applied to standardize CPUE data of blue marlin for the longline fisheries of Japan, Taiwan and Brazil, and gillnet fishery of Ghana. The factors considered in GLM include year, month, fishing area, and the interaction term between month and fishing area. The standardized CPUE generally showed a gradually declining trend. In addition to these four standardized CPUE series, we also collected standardized CPUE series from ICCAT for longline fisheries of USA and Venezuela, gillnet fishery of Venezuela, and recreational fishery of USA. The non-equilibrium surplus production model ASPIC was then applied to assess the stock status of the Atlantic blue marlin. Results showed that the maximum sustainable yield (MSY) was estimated at 2537 tons, and B_{2010}/B_{MSY} and F_{2009}/F_{MSY} were estimated at 0.745 and 1.508, respectively, indicating that the blue marlin stock is in an overfishing and overfished status. The results suggest that the total allowable catch (TAC) of blue marlin should be reduced to 2000 tons in order to recover the stock to near the level corresponding to MSY.

Key words: Generalized Linear Model, Non-equilibrium surplus production model, Blue marlin, Atlantic Ocean

目錄

口試委員會審定書	i
謝 辭	ii
摘 要	iii
Abstract.....	iv
第一章、前言	1
1.1 黑皮旗魚簡介	1
1.2 黑皮旗魚之漁業概況	2
1.2.1 日本鮪延繩釣漁業	3
1.2.2 台灣鮪延繩釣漁業	3
1.2.3 巴西鮪延繩釣漁業	4
1.2.4 迦納流刺網漁業	4
1.2.5 美國鮪延繩釣及休閒漁業	4
1.2.6 委內瑞拉鮪延繩釣及流刺網漁業	5
1.3 黑皮旗魚資源研究概況	5
1.3.1 非平衡剩餘生產量模式	5
1.3.2 貝氏剩餘生產量模式	6
1.3.3 資源整合模式	7
1.4 研究動機與目的	7
第二章 材料與方法	8
2.1 漁業資料蒐集	8
2.2 單位努力漁獲量標準化	8
2.2.1 以泛線性模式標準化 CPUE.....	8
2.2.2 其他漁業標準化 CPUE 蒐集.....	9
2.2.3 標準化 CPUE 單位轉換.....	10

2.3 資源評估	10
2.3.1 ASPIC 模式	11
2.3.2 CPUE 替代方案.....	13
2.3.3 ASPIC 模式預測分析	13
第三章 結果	14
3.1 單位努力漁獲量標準化	14
3.2 資源評估	15
3.2.1 ASPIC 模式	15
3.2.2 CPUE 替代方案.....	16
3.2.3 ASPIC 模式預測分析	16
第四章 討論	18
4.1 單位努力漁獲量標準化	18
4.1.1 漁獲資料蒐集.....	18
4.1.2 單位努力漁獲量標準化分析.....	18
4.2 資源評估	21
4.2.1 不同漁業相對豐度指標分析.....	21
4.2.2 模式參數估計.....	22
4.2.3 資源評估模式.....	22
4.2.4 模式預測分析.....	24
第五章 結論與建議.....	25
參考文獻	26

表目錄

Table 1. Analysis of variance for the GLM model fitted to the Atlantic blue marlin CPUE data (in number per 1000 hooks) from the Japanese longline fishery in the Atlantic, 1956-2009.	34
Table 2. Analysis of variance for the GLM model fitted to the Atlantic blue marlin CPUE data (in number per 1000 hooks) from the Taiwanese longline fishery in the Atlantic, 1967-2009.....	35
Table 3. Analysis of variance for the GLM model fitted to the Atlantic blue marlin CPUE data (in kilogram per 1000 hooks) from the Brazilian longline fishery in the Atlantic, 1977-2009.	36
Table 4. Analysis of variance for the GLM model fitted to the Atlantic blue marlin CPUE data (in kilogram per trip) from the Ghanaian gillnet fishery in the Atlantic, 2000-2009.	37
Table 5. Parameters estimated from 1000 bootstrap trials in the based case fitted by ASPIC for Atlantic blue marlin.	38
Table 6. Results of sensitivity test, which used the same input data and starting values in the base case, but changed one of the starting values in each run.	39
Table 7. Parameters estimated from 1000 bootstrap trials in the base case fitted by ASPIC for Atlantic blue marlin using CPUE series from 2011 ICCAT stock assessment.....	40

圖目錄

Figure 1. Drawing of Atlantic blue marlin, <i>Makaira nigrican</i> , by Les Gallagher (Cited from ICCAT manual).	41
Figure 2. Annual catches of blue marlin in the Atlantic Ocean (a) by gear and (b) by country from 1956 to 2009 (Data source: ICCAT Task I version Nov 2010).	42
Figure 3. Distribution of the nominal catch rate of blue marlin caught by Japanese longline fishery from 1956 to 2009 in the Atlantic Ocean, the dotted line was area division used in CPUE standardization.	43
Figure 4. Seasonal CPUE distribution of blue marlin for Japanese longline fishery in the Atlantic Ocean during 1956-2009.	44
Figure 5. Distribution of the nominal catch rate of blue marlin caught by Taiwanese longline fishery from 1967 to 2009 in the Atlantic Ocean, the dotted line was area division used in CPUE standardization.	45
Figure 6. Seasonal CPUE distribution of blue marlin for Taiwanese longline fishery in the Atlantic Ocean during 1967-2009.	46
Figure 7. Distribution of the nominal catch rate of blue marlin caught by Brazilian longline fishery from 1977 to 2009 in the Atlantic Ocean, the dotted line was area division used in CPUE standardization.	47
Figure 8. Seasonal CPUE distribution of blue marlin for Brazilian longline fishery in the Atlantic Ocean during 1977-2009.	48
Figure 9. Residual histograms of the GLM model assuming lognormal errors fitted to the blue marlin CPUE data of (a) Japanese, (b) Taiwanese, (c) Brazilian longline fisheries and (d) Ghanaian gillnet fishery.	49

Figure 10. Nominal and standardized CPUE of blue marlin for (a) Japanese, (b) Taiwanese, (c) Brazilian longline fisheries and (d) Ghanaian gillnet fishery in the Atlantic Ocean.	50
Figure 11. Scaled CPUE series of Atlantic blue marlin used for ASPIC in this study. ..	51
Figure 12. The observed (diamond) and the ASPIC estimated (square) blue marlin CPUE in the base case for the longline fisheries of Japan(1959-1980) (a), Japan (1981-2009) (b), Taiwan (c), Brazil (d), USA (e), Venezuela (f); gillnet fisheries of Ghana (g), Venezuela (h); and recreational fishery of USA (i), and the other fisheries (j) in the Atlantic Ocean.	52
Figure 13. Kobe diagram showing the estimated time trajectories (1959-2009) of B/B_{MSY} and F/F_{MSY} for Atlantic blue marlin in the base case analysis fitted by ASPIC software.	55
Figure 14. Trends of (a) B/B_{MSY} and (b) F/F_{MSY} ratio estimated from base case and those estimated using the CPUE series from 2011 ICCAT stock assessment.	56
Figure 15. ASPIC base-case estimated 15 year (starting 2010) predictions of (a) B/B_{MSY} and (b) F/F_{MSY} ratios of Atlantic blue marlin, assuming a constant catch at different levels of total allowable catch (TAC).	57
Figure 16. ASPIC base-case estimated trends of (a) B/B_{MSY} and (b) F/F_{MSY} ratios of Atlantic blue marlin with 15 year (starting 2010) predictions, assuming a constant catch at the total allowable catch of 2538 tons. The dotted line is 95% confidence intervals from the bootstrap.	58

第一章、前言

1.1 黑皮旗魚簡介

黑皮旗魚(*Makaira nigricans*)(Lacepède, 1802)，又稱黑皮仔、鐵皮、丁挽、油旗魚，英文名為 Blue marlin。分類學上屬於條鰭魚綱(Actinopterygii)、鱸形目(Perciformes)，旗魚科(Istiophoridae)，槍魚屬(*Makaira*)。黑皮旗魚為大洋性中上層洄游性魚種，在大西洋主要分布在熱帶及亞熱帶海域(Nakamura, 1985)。

黑皮旗魚體型呈圓筒狀，上顎突出如劍狀(Fig. 1)，幼魚成長快速，耳石研究發現黑皮旗魚 1.5 歲時的下顎尾叉長(lower jaw fork length, LJFL)可以達到 190 公分(Prince *et al.*, 1991)，但雌雄間有明顯體型差異，一般雄魚不超過 150 公斤(Wilson *et al.*, 1991)。黑皮旗魚壽命估計可達 20 歲以上(Hill *et al.*, 1989; Wilson *et al.*, 1991)。

黑皮旗魚為喜好溫暖水域的表層洄游魚類，通常分布於 26-31°C 上層溫暖水域內，但會頻繁的下潛至 100 至 200 米深水域(Saito *et al.*, 2004)，其平均最低忍耐溫度為 17°C，但也有低於 9°C 及 800 米深的紀錄出現，日夜平均棲息水深不同，白天較深而夜晚較淺(Goodyear *et al.*, 2006)。

以生殖腺組織切片觀察發現黑皮旗魚為多次產卵魚種，且周年皆有產卵活動(DeSylva and Breder, 1997)。但是主要產卵季節不同，在西北大西洋(加勒比海中北部、巴哈馬北部及百慕達)生殖季推測為 7 到 10 月(DeSylva and Breder, 1997; Serafy *et al.*, 2003; Luckhurst *et al.*, 2006)，在西南大西洋則推測為 1 到 2 月(Ueyanagi *et al.*, 1970; Amorim *et al.*, 1998)。雌魚最早性成熟體重為 120 公斤(DeSylva and Breder, 1997)，而 50%性成熟體長為 256.4 公分 LJFL(Arocha and Marcano, 2008)。

大西洋黑皮旗魚系群結構(stock structure)一般多假設為單一系群，且由於歷年漁業資訊顯示黑皮旗魚漁獲地點在赤道分界不明顯，標識放流法發現有橫跨赤道及東西大西洋的行為(Ortiz *et al.*, 2003)，族群遺傳的研究結果也支持單一系群假說(Buonaccorsi *et al.*, 1999; Graves and McDowell, 2003)，故國際大西洋鮪類保育委員會(International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, ICCAT)以大西洋黑皮旗魚為單一系群結構來進行資源評估與管理。

1.2 黑皮旗魚之漁業概況

大西洋黑皮旗魚主要為鮪延繩釣漁業所捕獲，其次為流刺網、休閒漁業以及圍網(Fig. 2a)，其中鮪延繩釣漁業屬於混獲魚種。總漁獲量自 1956 年開始，隨日本鮪延繩釣漁業開發而逐年增加，至 1963 年達到高峰 9,038 公噸，之後日本漁船外移至印度洋造成漁獲量下降(Uozumi and Nakano, 1994)。1960 年代中期開始有台灣、韓國及古巴等鮪延繩釣漁業，以及美國休閒漁業與委內瑞拉延繩釣漁業自 1960 年代初期開始開發，使得 1960 至 1970 年代總漁獲大約維持在 3000 公噸；1970 年代末期日本鮪延繩釣以黑鮪為目標魚種，作業漁場偏重在溫帶海域，造成總漁獲量在 1979 年有最低的 1527 公噸(Uozumi and Nakano, 1994)。1980 年代，台灣、韓國及古巴在熱帶海域的努力量下降，使得總漁獲量也下降至約 3000 公噸(Fig. 2)；1990 年代開始由於台灣轉為以大目鮪為目標魚種，加上迦納及巴西漁業發展，造成總漁獲量達到約 4000 多公噸以上(Fig. 2b)；2000 年後由於 ICCAT 實施總容許漁獲量(total allowable catch, TAC)的管理措施，漁獲量因此開始減少(ICCAT, 2007)，其規定鮪延繩釣及圍網漁業捕獲黑皮旗魚的漁獲量應減少為 1996 或 1999 年(選漁獲量較高者)漁獲量的一半，休閒漁業捕獲黑皮旗魚則需大於 251 公分 JLFL 的最小體長限定。

1.2.1 日本鮪延繩釣漁業

日本鮪延繩釣漁業主要以高經濟價值之鮪魚類為目標魚種，作業位置之時空分布與其目標魚種的變動有關，早期作業海域為熱帶海域並以黃鰭鮪為目標魚種(Uozumi and Nakano, 1994)，漁業從巴西北部向東擴展至整個熱帶海域，此時黑皮旗魚漁獲量快速增加，並在 1963 年達到高峰，1960 年代中期，由於日本延繩釣漁業至印度洋及太平洋作業，目標魚種轉為溫帶鮪類例如長鰭鮪及黑鮪，造成黑皮旗魚漁獲量開始下降(Uozumi and Nakano, 1994)。1970 年代開始以南方黑鮪及黑鮪為主要漁獲目標供應國內生魚片市場，作業漁場偏重於溫帶海域及部份東大西洋熱帶海域，因此 1970 年代黑皮旗魚的漁獲量約 300 公噸，70 年代晚期日本引進深層式延繩釣，並轉為以大目鮪為目標魚種，由於作業漁場以熱帶海域為主，造成黑皮旗魚的漁獲量開始顯著增加，至 90 年代漁獲量約 1000 多公噸，2000 年後由於 ICCAT 的管理措施，漁獲量因而下降，在 2009 年的漁獲量為 822 公噸(Fig. 2b)。

1.2.2 台灣鮪延繩釣漁業

台灣鮪延繩釣漁業自 1962 年開始，早期漁獲量不多約 50 公噸以內，自 1967 年漁獲量開始增加(約 291 公噸)，作業海域為北緯 20 度及南緯 35 度之間，在 1969 年達到 1364 公噸，之後由於目標魚種轉為長鰭鮪，努力量集中在溫帶海域，造成黑皮旗魚的漁獲量下降，70 年代晚期及 80 年代中期漁獲量約維持 200 公噸，90 年代初台灣鮪延繩釣漁業轉變以深層式延繩釣漁具作業，此後大目鮪及黃鰭鮪成為目標魚種(Hsu, 1998)，黑皮旗魚的漁獲量顯著增加，2000 年後由於 ICCAT 管理措施漁獲量明顯減少(約 250 公噸)，2009 年大西洋台灣鮪延繩釣黑皮旗魚漁獲量為 195 公噸(Fig. 2b)。

1.2.3 巴西鮪延繩釣漁業

巴西鮪延繩釣漁業自 1961 年開始，早期黑皮旗魚漁獲量約 50 公噸以內，由於外國籍漁船增加，1992 年開始漁獲量開始上升(125 公噸)，2001 年為 780 公噸，之後逐漸下降，2009 年的漁獲量為 74 公噸(Fig. 2b)。巴西本國鮪延繩釣漁業早期主要以鮪魚類為目標魚種(Meneses de Lima *et al.*, 2000)。外國籍漁船早期以日本為主，1984 年前後因深層式鮪延繩釣的發展，分別以黃鰭鮪及大目鮪為目標魚種，不同國籍的漁船其目標魚種略有不同，但黑皮旗魚多屬於混獲魚種(Meneses de Lima *et al.*, 2000; Andrade, 2006; Hazin *et al.*, 2007)。

1.2.4 迦納流刺網漁業

迦納流刺網漁業自 1974 年開始，早期黑皮旗魚漁獲量不多(約 100 公噸)，作業使用大型獨木舟，多在近海及大陸棚邊緣進行(Mensah and Doyi, 1994)，從 1989 年後漁獲量開始顯著增加(約維持在 400 公噸)，至 2002 年 999 公噸後開始逐漸下降(Bannerman, 2007)，2009 年的漁獲量為 141 公噸(Fig. 2b)。

1.2.5 美國鮪延繩釣及休閒漁業

美國黑皮旗魚漁獲量早期以休閒漁業為主，從 1960 年 103 公噸增加至 1981 年 342 公噸，80 年代開始保育意識抬頭，鼓勵釣獲後釋放造成漁獲量下降，但美國鮪延繩釣漁業開發，作業海域至南美沿岸的西北大西洋，包含加勒比海及墨西哥灣，目標魚種為劍旗魚、黃鰭鮪、大目鮪及長鰭鮪(Ortiz and Hoolihan, 2011)，黑皮旗魚漁獲量約 150 公噸，2000 年後由於 ICCAT 管理，漁獲量快速減少至約 50 公噸，2009 年鮪延繩釣及休閒漁業黑皮旗魚漁獲量分別為 38 及 6 公噸(Fig. 2b)。

1.2.6 委內瑞拉鮪延繩釣及流刺網漁業

委內瑞拉鮪延繩釣漁業自 1961 年開始，黑皮旗魚漁獲量約 100 公噸，以黃鰭鮪及劍旗魚為目標魚種(Arocha and Ortiz, 2002)，1987 年後漁獲量明顯下降(約維持 30 公噸)，之後流刺網漁獲量逐漸增加，由於黑皮旗魚價格上升，使得流刺網漁船轉為漁獲黑皮旗魚為主，1990 年後政府限制只有少數流刺網漁船可在此作業(Alío *et al.*, 1994)，使得漁獲量維持約 100 公噸，休閒漁業漁獲量從 1961 至 1996 年都在 10 公噸以內(Fig. 2b)。

1.3 黑皮旗魚資源研究概況

早期利用平衡剩餘生產量模式對黑皮旗魚進行資源評估，推測資源已達過漁階段(Otto *et al.*, 1978)，1986 年 ICCAT 研究與統計常設委員會(Standing Committee on Research & Statistics, SCRS)通過加強旗魚研究計畫(Enhanced Research Program for Billfish)，針對黑皮旗魚進行標識放流及年齡成長研究，收集更完整的漁獲量及努力量資料。ICCAT 下之旗魚小組(Billfish workshop)曾利用非平衡的剩餘生產量模式(A Surplus-Production Model Incorporating Covariates, ASPIC)¹、貝氏剩餘生產量模式(Bayesian surplus production model, BSP)²及資源整合模式(Stock Synthesis 3, SS3)³，估計大西洋黑皮旗魚資源的生物參考點並提出管理的建議(ICCAT, 1994; 1998; 2001; 2007; 2011b)。

1.3.1 非平衡剩餘生產量模式

¹ <http://nft.nefsc.noaa.gov/ASPIC.html>

² <http://www.iccat.es/en/AssessCatalog.htm>

³ <http://nft.nefsc.noaa.gov/SS3.html>

早期 ICCAT 對黑皮旗魚資源評估主要以 ASPIC 為主，這是在缺乏體長頻度資料及年齡成長研究下，最常被使用的研究方法。1996 年的資源評估考慮模式為 ASPIC(3.61 版)，單位努力漁獲量(catch per unit effort, CPUE)資料考慮三組整合型(composite)CPUE 資料，分別為北大西洋序列(合併日本、台灣及美國鮪延繩釣漁業)、北大西洋休閒漁業序列(合併美國及委內瑞拉休閒漁業)及南大西洋序列(合併日本、台灣及巴西鮪延繩釣漁業)，作為相對豐度指標(index of relative abundance)。其估計的環境包容力(K)及最大可持續生產量(maximum sustainable yield, MSY)為 27530 及 4431 公噸，當時(1995 年)的相對系群生物量(B_{1996}/B_{MSY})及相對漁獲死亡率(F_{1995}/F_{MSY})分別為 0.29 及 2.60 (ICCAT, 1998)。

2000 年 ICCAT 的資源評估考慮的模式為 ASPIC(4.07 版)。標準化 CPUE 的資料包含日本、台灣、美國與委內瑞拉鮪延繩釣漁業，以及美國與委內瑞拉休閒漁業，還有象牙海岸流刺網漁業。這些資料再利用泛線性模式(generalized linear models, GLM)以漁獲比重作加權估計得整合型 CPUE，作為相對豐度指標。估計的 K 及 MSY 為 90390 及 1898 公噸， B_{2000}/B_{MSY} 及 F_{1999}/F_{MSY} 分別為 0.37 及 4.21(ICCAT, 2001)。

1.3.2 貝氏剩餘生產量模式

2006 年 ICCAT 利用貝氏剩餘生產量模式(Bayesian surplus production model, BSP)進行黑皮旗魚的資源評估。考慮的標準化 CPUE 包含日本、台灣、美國、巴西與委內瑞拉鮪延繩釣漁業，以及美國休閒漁業與委內瑞拉流刺網漁業，以非合併的方式作為相對豐度指標。模式範圍從 1990 到 2004 年，並將初始資源量(B_{1990}/K)的先驗機率分布(prior distribution)設定同 2000 年資源評估的估計結果。估計的 K

及 MSY 為 52482 及 3307 公噸, B_{2004}/B_{MSY} 及 F_{2004}/F_{MSY} 為 0.43 及 2.03 (ICCAT, 2007)。
由於不同 BSP 模式設定下估計的資源有增加的趨勢, ICCAT 認為大西洋黑皮旗魚的資源有回復或穩定的可能, 但建議仍需五到十年的漁獲資料以確認資源的狀況 (ICCAT, 2008)。

1.3.3 資源整合模式

2011 年 ICCAT 利用資源整合模式進行資源評估 (ICCAT, 2011b)。考慮的 CPUE 包含日本、台灣、巴西、委內瑞拉與美國鮪延繩釣漁業, 美國與委內瑞拉休閒漁業, 迦納與委內瑞拉流刺網漁業, 以非合併的方式作為相對豐度指標。SS3 考慮黑皮旗魚為具有性別的年齡結構模式, 假定最大年齡為 30 歲利用 Hoenig (1983) 的經驗式估計得自然死亡率為 0.139。評估結果顯示資源仍處於過漁的狀態, 估計的 MSY 為 2837 公噸, B_{2009}/B_{MSY} 及 F_{2009}/F_{MSY} 為 0.67 及 1.633。經過靈敏度測試發現, 當自然死亡率在較低的 0.12 及較高的 0.19 時有相近的 B_{2009}/B_{MSY} 及 F_{2009}/F_{MSY} 估計值, 然而親魚量與加入量關係式的設定對估計結果有影響, B/B_{MSY} 及 F/F_{MSY} 等生物參考點的估計仍具有不確定性 (ICCAT, 2011b)。

1.4 研究動機與目的

台灣為黑皮旗魚主要漁獲國家之一, 本研究目的在評估大西洋黑皮旗魚資源現況, 並對黑皮旗魚資源保育提供科學性建議。本研究考慮的模式為非平衡剩餘生產量模式 (ASPIC), 此模式所需資料易於收集且能快速進行資源評估分析, 常用來與其他評估方法比較。本研究蒐集黑皮旗魚的漁業資料後, 套適 ASPIC, 估計黑皮旗魚資源現況, 並與 2011 年 ICCAT 利用資源整合模式評估結果相比較, 可提供大西洋黑皮旗魚漁業管理的建議。

第二章 材料與方法

2.1 漁業資料蒐集

大西洋黑皮旗魚 1956 至 2009 年的年別漁獲量資料(Task I)由 ICCAT 漁獲統計資料庫取得⁴，包含各國家不同漁具別之漁獲量，例如日本、台灣、巴西、美國與委內瑞拉鮪延繩釣漁業，迦納與委內瑞拉流刺網漁業，與美國休閒漁業等(Fig. 2)。

大西洋黑皮旗魚的月別漁獲量與努力量資料(Task II)亦由 ICCAT 漁獲統計資料庫取得，包含作業經緯度、漁獲量與努力量資料，作業經緯度可轉為漁區別以作為標準化時所考慮之因子。

2.2 單位努力漁獲量標準化

進行資源評估除了需要有漁獲量資料，還需要有能代表資源狀況的相對豐度指標，然由於科學研究調查費時且昂貴，目前多利用較易大量蒐集的漁業資料，即單位努力漁獲量作為資源相對豐度指標。由於魚類有時空分布的差異以及因漁具演進造成漁獲能力改變等因素影響，一般漁業所蒐集的名目單位努力漁獲量(nominal CPUE)必須經過標準化後，方可作為資源相對豐度指標使用，並提供資源評估進行所需(Maunder and Punt, 2004)。

2.2.1 以泛線性模式標準化 CPUE

本研究使用泛線性模式(generalized linear models, GLM; Nelder and Wedderburn,

⁴ <http://www.iccat.int/en/accesingdb.htm>

1972)進行 CPUE 的標準化⁵，假定名目 CPUE 為對數常態分布，且期望值受年別、月別、漁區別主效應，以及月與漁區的交感效應影響，使用之標準化模式如下：

$$\ln (CPUE_{ijk} + const.) = \mu + Y_i + M_j + A_k + M_j A_k + \varepsilon_{ijkl} \quad (1)$$

CPUE_{ijk}: 第 i 年第 j 月第 k 漁區的名目 CPUE

const.: 總名目 CPUE 值 10%

μ: 截距項

Y_i: 第 i 年的效應

M_j: 第 j 月的效應

A_k: 第 k 漁區的效應

M_jA_k: 第 j 月第 k 漁區的交感效應

ε_{ijkl}: 誤差項

本研究分別蒐集日本(1956-2009)、台灣(1967-2009)及巴西(1977-2009)的鮪延繩釣漁業，以及迦納流刺網漁業(2000-2009)資料，其中日本及台灣考慮月別以及月-漁區交感效應，巴西因月別資料不完整無法得到年估計值，因此考慮季別以及季-漁區交感效應，季別效應劃分為 3-5、6-8、9-11 與 12-2 月，因迦納流刺網漁業都在同一漁區中，僅考慮年別與月別效應，漁區的劃分主要是考慮各漁業平均名目 CPUE 的分布(Fig. 3-8)。以變異數分析(ANOVA)檢驗標準化模式所考慮的效應是否顯著，依據標準化殘差分布檢驗是否符合對數常態分布的假說。

2.2.2 其他漁業標準化 CPUE 蒐集

⁵ SAS 統計軟體 9.0 版(SAS Institute, 2004)

除了上述四個漁業以 GLM 進行黑皮旗魚 CPUE 標準化外，由於完整原始資料無法獲得，本研究參考大西洋黑皮旗魚資源評估報告(ICCOT, 2011b)，另蒐集其他漁業黑皮旗魚標準化 CPUE 序列，包含：

1. 美國鮪延繩釣漁業(1986-2009)：資料為遠洋鮪延繩釣作業日誌(pelagic longline logbook)所蒐集(Ortiz and Hoolihan, 2011)。
2. 美國休閒漁業(1978-2009)：資料從美國國家海洋漁業局(NMFS, National Marine Fisheries Service)旗魚類休閒漁業調查計畫(Recreational Billfish Survey)取得(Hoolihan *et al.*, 2011)。
3. 委內瑞拉鮪延繩釣漁業(1991-2009)：資料為旗魚研究計畫中的觀察員資料(Arocha and Ortiz, 2011)。
4. 委內瑞拉流刺網漁業(1991-2009)：資料為旗魚研究計畫在港口採樣得到(Arocha *et al.*, 2011)。

2.2.3 標準化 CPUE 單位轉換

由於 ASPIC 模式考慮的 CPUE 單位為重量，故須針對日本及台灣標準化 CPUE 單位為尾數轉換為重量。本研究利用 ICCAT 彙整日本鮪延繩釣漁業各年的體重統計資料(ICCOT, 2011a)，將 CPUE 單位尾數轉換為重量，另外台灣 CPUE 資料則以對外漁業合作發展協會(Overseas Fisheries Development Council, OFDC)提供每年的平均重量進行 CPUE 單位的轉換。

2.3 資源評估

平衡剩餘生產量模式最早由 Graham(1935)及 Schaefer(1954)應用在資源評估上，其假定自然狀況下魚類系群的資源變動符合邏輯式的方程式，而在資源等於環境

包容力的一半($K/2$)時有最大的瞬時增加率。理論上，若能控制漁獲死亡率等於此最大瞬時增加率，則可得到最大可持續生產量，此時的生物量稱為最大可持續生產量時的生物量(B_{MSY})，據此剩餘生產量模式提供了一個快速了解資源開發狀況的方法。但平衡剩餘生產量模式假定魚類系群為達到平衡的狀態，此假定不符合實際生物上的變動(Hilborn and Walters, 1992; Polacheck *et al.*, 1993)。而 ASPIC 改進平衡假定的缺點，考慮在非平衡模式的假定下誤差來源為觀測型誤差(observation errors)，利用統計分析方法估計模式的參數，並可計算相對系群生物量(B/B_{MSY})及相對漁獲死亡率(F/F_{MSY})了解資源的開發狀況(Prager, 1994)。

2.3.1 ASPIC 模式

本研究使用非平衡剩餘生產量模式(ASPIC, 5.34.8 版)，進行大西洋黑皮旗魚資源評估。ASPIC 可考慮的模式為邏輯式剩餘生產量模式，或泛剩餘生產量模式(generalized surplus production model)，後者假設 B_{MSY} 不一定為環境包容力的一半(Pella and Tomlinson, 1969)。Prager (2002)指出泛剩餘生產量模式較易受到異常值的影響，反而邏輯式的生產量模式估計的結果較為穩健。因此，本研究採用邏輯式剩餘生產量模式作為大西洋黑皮旗魚資源評估的預設模式。

在開始執行 ASPIC 套適 CPUE 資料時，可選擇 FIT 模組(fitting mode)或 IRF 模組(iteratively reweighted fit mode)找出參數點估計。兩者不同之處在於 FIT 模組不估計各序列的加權係數(w)，而 IRF 模組則是利用反複再加權法(iterative reweighting)估計 w 值(Prager, 2004)。ASPIC 估計的參數包括 MSY 、 K 、 B_1/K 以及各 CPUE 序列的漁獲係數(q , catchability)，套適模組前需設定起始值，包括 MSY (及其邊界)、 K (及其邊界)、 B_1/K 、 q 及 w ，其中加權係數的起始值設定參考漁獲量相對比例，在考慮生產量(YLD)為已知的模式假設下，計算目標函數(Ω)：

$$\Omega = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I w_m \left(\ln \frac{CPUE_{mi}}{\widehat{CPUE}_{mi}} \right)^2 \quad (2)$$

其中 $CPUE_{mi}$ 為觀測第 m 序列第 i 年的相對豐度指標， $\widehat{CPUE}_{mi}$ 為 ASPIC 模式預測的相對豐度指標， w_m 是該相對豐度指標序列的比重。

考慮日本在 1980 年之後出現漁具的演變(Yokawa, 2004)，ASPIC 模式考慮的 CPUE 序列包括日本(分兩段：1959-1980 及 1981-2009)、台灣、巴西、美國與委內瑞拉鮪延繩釣漁業，迦納與委內瑞拉流刺網漁業，以及美國的休閒漁業。除了上述 9 個序列外，由於其他漁業的漁獲量缺乏努力量資料，本研究以 2011 年 ICCAT 報告中，用漁獲比重加權的整合型 CPUE 為其代表，以作為第 10 組序列。各序列的 w 以該漁業歷年總漁獲量比率的平均值作為起始值，並以 IRF 模組作為目標函數的加權方式。

本研究分析不同參數起始值設定，比較統計分析結果，找出模式最佳的起始值設定(base case)以進行後續的分析。考慮的起始值設定包含： B_1/K 起始值為 0.8、1、1.2 及 1.5；環境包容力起始值為 50000~130000 公噸，而最大可持續生產量起始值為 1500、2500、3000 及 4500 公噸，漁獲係數(q)為 0.001、0.0005、0.0001、0.00005 及 0.00001 等，以 AIC_c 作為模式配適度(goodness of fit) 的比較依據， AIC_c 公式如下(Burnham and Anderson, 1998)：

$$AIC_c = n \log(\hat{\sigma}^2) + 2p + \frac{2p(p+1)}{n-p-1} \quad (3)$$

其中 $\hat{\sigma}^2$ 在此為目標函數的估計值(Ω)， p 為參數數目， n 為樣本數。

2.3.2 CPUE 替代方案

本研究想比較在上述模式設定(base case)下，利用 ICCAT 所考慮的 CPUE 序列對套適 ASPIC 的影響。2011 年 ICCAT 資源評估考慮的 CPUE 序列包含：日本(分兩段：1956-1998 及 2001-2009；參考 ICCAT(2011b)建議)、台灣(分兩段：1967-1999 及 2000-2009)、巴西、委內瑞拉、美國鮪延繩釣漁業，美國及委內瑞拉休閒漁業，還有迦納及委內瑞拉流刺網漁業等共 11 組序列。由於 ASPIC 最多只能套適 10 組序列，且需要一組其他漁業作為剩下漁獲量的指標，故需要去除兩組上述 CPUE 資料，考慮委內瑞拉休閒漁業的漁獲量是所有序列中最少的，台灣鮪延繩釣(2000-2009)可能受到近年 ICCAT 管理所影響(ICCAT, 2011b)，因此不使用委內瑞拉休閒漁業及台灣鮪延繩釣漁業(2000-2009)標準化 CPUE 序列於資源評估中。其他漁業則以 2011 年 ICCAT 資源評估報告中漁獲比重加權的整合型 CPUE 作為代表。

2.3.3 ASPIC 模式預測分析

ASPIC 的 BOT 模組(bootstrap mode)可利用 bootstrapping 法估計參數的信賴區間，其設定最多可抽 1000 次的 CPUE 資料重新抽樣以套適 ASPIC。ASPIC 限制只能利用 FIT 模組接著轉換成 BOT 模組，因此將 IRF 模組估計的 w 值改為起始值後，再套適 FIT 及 BOT 模組。接著 ASPIC 可利用附屬應用程式 ASPICP 預測系群在不同的漁獲死亡率或總容許漁獲量(Total Allowable Catch, TAC)，未來 15 年的相對資源量以及相對漁獲死亡率的變動，以了解不同的漁獲策略對資源的影響(Prager, 2004)。本研究設定從 2010 年開始的 TAC 為定值，分別考慮 0 至 4000 公噸以及 MSY 設定為 TAC，預測未來 15 年資源的變動情況。

第三章 結果

3.1 單位努力漁獲量標準化

日本鮪釣黑皮旗魚 CPUE 標準化考慮年、月、漁區以及月-漁區의 交感效應，變異數分析顯示各效應皆顯著($P < 0.01$)，標準化殘差分布近似常態分布(Fig. 9a)，此模式在統計上顯著($R^2 = 0.56$; Table 1)。1956 至 2009 年的標準化 CPUE 與名目 CPUE 趨勢一致，但標準化 CPUE 變動幅度較小，整體而言早期有較高的釣獲率，從 1956 年每千鈎 1.11 尾快速下降至 1969 年的每千鈎 0.11 尾，70 年代開始約在每千鈎 0.03 至 0.07 尾之間波動，略有微幅下降的趨勢(Fig. 10a)。

台灣鮪釣黑皮旗魚 CPUE 標準化考慮年、月、漁區以及月-漁區의 交感效應，變異數分析顯示各效應皆顯著($P < 0.01$)，標準化殘差分布近似常態分布(Fig. 9b)，此模式在統計上顯著($R^2 = 0.32$; Table 2)。1967 至 2009 年的標準化 CPUE 與名目 CPUE 的趨勢一致，但標準化 CPUE 變動幅度較小，整體而言 1970 年代初有較高的釣獲率，之後除了 90 年代有較高的釣獲率約每千鈎 0.2 尾外，其餘時期釣獲率皆很低，約每千鈎 0.01 至 0.005 尾(Fig. 10b)。

巴西鮪釣黑皮旗魚 CPUE 標準化考慮年、季、區及季-漁區交感效應，變異數分析顯示各效應皆顯著($P < 0.01$)，模式 R^2 值為 0.20(Table 3)，標準化殘差值近似常態分布(Fig. 9c)。名目 CPUE 自 1990 年代開始有逐漸增加的趨勢，而標準化 CPUE 則呈現穩定但稍微下降的趨勢(Fig. 10c)。

迦納的 CPUE 標準化考慮年及月效應，變異數分析顯示各效應皆顯著($P < 0.01$)， R^2 值為 0.58(Table 4)，標準化殘差值近似常態分布(Fig. 9d)。標準化 CPUE 與名目

CPUE 的趨勢與變動甚為一致，在近 9 年呈現顯著下降的趨勢(Fig. 10d)。

3.2 資源評估

3.2.1 ASPIC 模式

ASPIC 模式考慮不同國家及漁業歷年漁獲量及 CPUE 資料共十組(Fig. 11)，根據 AIC_c 選定的最佳起始值設定(base case)為： B_1/K 的起始值定為 1.2，漁獲係數 ($q_1 \sim q_{10}$) 起始值為 0.0005， K 及 MSY 為 9 萬及 2500 公噸。則 ASPIC 模式估計結果為 $MSY = 2538$ (95% CI (confidence interval, 信賴區間) = 2386-2733)公噸， K 為 99230 (95% CI= 98010-100900)公噸，其 B_{2010}/B_{MSY} 的比值為 0.745 (95% CI= 0.613-0.884)， F_{2009}/F_{MSY} 為 1.508 (95% CI= 1.184-1.914)(Table 5)。

整體而言，除了美國休閒漁業 CPUE 有穩定或緩慢增加的趨勢，以及委內瑞拉流刺網漁業 CPUE 趨勢不明顯外，ASPIC 預測 CPUE 與觀測 CPUE 皆為下降的趨勢(Fig. 12)。資源評估結果顯示，1960 年代早期有很高的漁業壓力，在 1963 年後逐漸下降，70 及 80 年代漁獲死亡率尚未超過 MSY 水準(Fig. 13)，資源量尚在 MSY 水準以上($B/B_{MSY} = 1.2-1.4$)，90 年代漁獲壓力開始明顯增加，1999 年時資源量已經低於 B_{MSY} ，雖然在 2000 年代中期漁獲壓力有略為減低，但資源仍緩慢地逐漸繼續減少中(Fig.13)。

若考慮模式起始值的設定對套適結果的影響，其包含 B_1/K 、 MSY 、 K 及 q 等參數。其中以 B_1/K 的設定對估計的影響較大，當 B_1/K 定為 1.2 時，模式估計的 B_{2010}/B_{MSY} 及 F_{2009}/F_{MSY} 分別為 0.745 及 1.508，反之當 B_1/K 為 1.5 時，模式估計的 B_{2010}/B_{MSY} 及 F_{2009}/F_{MSY} 分別為 0.541 及 1.988。若比較 K 值會發現與 B_1/K 成反比，

當 B_1/K 大時則 K 較小，反之 B_1/K 小時 K 較大，估計的初始資源量約在 8-11 萬公噸；次要影響估計結果的為 K 及 MSY 起始值設定，較小的 K 或較大的 MSY 起始值估計的資源較為樂觀，但若比較 MSY 及 K 的估計則沒有明顯影響；最後稍微會影響估計結果的為漁獲能力係數($q_1 \sim q_{10}$)的起始值設定。整體而言，不同參數起始值設定所估計的結果相當類似，估計的 K 為 7.5-11 萬公噸範圍內， r 值為 0.08-0.14，估計的 B_{2010}/B_{MSY} 皆小於 1 ($B_{2010}/B_{MSY} = 0.5-0.8$)，估計的 F_{2009}/F_{MSY} 皆大於 1 ($F_{2009}/F_{MSY} = 1.5-1.8$) (Table 6)。

3.2.2 CPUE 替代方案

在相同的 ASPIC 模式設定下，CPUE 替代方案考慮的 CPUE 資料雖然與本研究選擇的不完全相同，但估計結果兩者相類似。CPUE 替代方案估計的 MSY 及 K 為 2333 及 105500 公噸， B_{2010}/B_{MSY} 及 F_{2009}/F_{MSY} 為 0.6693 及 1.818 (Table 7)，與本研究選擇的 CPUE 下估計的 MSY 及 K 為 2538 及 99230 公噸，兩者估計結果相當接近。若以 B/B_{MSY} 及 F/F_{MSY} 隨時間變動來看(Fig. 14)，其趨勢與本研究選擇的 CPUE 下估計的結果類似，在 1960 年代早期及 1990 年代中後有很高的漁獲壓力，而資源量在 1996 年後開始低於 MSY 水準，顯示兩者估計的資源趨勢結果一致。

3.2.3 ASPIC 模式預測分析

在 0 至 4000 公噸的總容許漁獲量下，以選定的 ASPIC 模式(base case)預測未來 15 年的資源狀況。結果顯示當總容許漁獲量(TAC)為 2000 公噸以下時，資源會逐漸增加，然而當 TAC 為 2500 公噸以上時，資源會逐漸減少(Fig. 15)。當 TAC 設定為 0 及 1000 公噸時，資源會在 2016 及 2019 年回復到 MSY 的水準；當 TAC 定為 2000 公噸時，2025 年的資源會逐漸增加至小於但接近 MSY 的水準($B_{2025}/B_{MSY} =$

0.8792)，而漁獲壓力會在 2015 年時小於 MSY 時的漁獲壓力水準(F_{MSY})；當 TAC 定為 2500 公噸時，至 2025 年資源會非常緩慢地逐漸減少($B_{2025}/B_{MSY}=0.6973$)，此時的漁獲壓力從 1.3 倍的 MSY 水準(B_{MSY})緩慢增加為 1.4 倍；當 TAC 定為 4000 公噸時，至 2025 年資源會快速減少至接近但尚未滅絕($B_{2025}/B_{MSY}=0.0284$)(Fig. 15)。當 TAC 定為 MSY 水準的 2538 公噸時，黑皮旗魚的資源仍會緩慢地逐漸減少，而漁獲壓力緩慢增加，估計的信賴區間顯示資源在此 TAC 下仍無法回復至 MSY 水準(Fig. 16)。此結果顯示 TAC 需小於 2500 公噸資源才會穩定或增加，若將 TAC 維持在 1000 公噸時，則資源會在 2019 年回復到 MSY 的水準。



第四章 討論

4.1 單位努力漁獲量標準化

4.1.1 漁獲資料蒐集

目前 ICCAT 資料庫蒐集建立相關魚種的詳細漁業資料，以供資源評估與漁業管理所需，但由於黑皮旗魚在漁獲量記錄中常與其他旗魚類合併，或是與其他旗魚類混淆，皆造成漁獲量估計的不確定性(ICCAT, 1994; 2011a)。此外，海上丟棄(discard)也會造成漁獲量估計的誤差，然而先前的研究中指出，漁獲量估計的誤差可以藉由漁獲日誌(logbook)來校正(Walsh *et al.*, 2005)，另一方面，關於黑皮旗魚資源評估的模擬研究指出，漁獲量的觀測誤差不是影響資源評估結果最主要的因素，而 CPUE 的不確定性反而影響資源評估的結果(Su *et al.*, 2011)，因此漁獲量與努力量蒐集的代表性應予加強，例如刺網漁業的努力量估計，應有更加科學性的測量與蒐集方法。

ICCAT 於 2000 年後限制鮪延繩釣漁業黑皮旗魚漁獲量(1996 或 1999 年漁獲量較高的 50%；ICCAT, 2007)，此管理措施可能造成部分漁獲被丟棄，使得 2000 年後黑皮旗魚 CPUE 會有所低估。ICCAT 建議漁業資料的蒐集應包含釣獲後丟棄或釋放，以及評估此活動對黑皮旗魚存活率的影響(ICCAT, 2011b)。漁業 CPUE 資料最能代表資源豐度的相對變化，如能蒐集具有代表性的 CPUE 資料，將可得到資源評估更可靠的結果。

4.1.2 單位努力漁獲量標準化分析

單位努力漁獲量需經過標準化，去除時間、空間及漁具等對捕獲能力造成的影響，以作為資源的相對豐度指標。早期鮪延繩釣的 CPUE 標準化考慮本間法(Honma, 1974)，其模式必須選定標準年估計資源的月別及漁區別釣獲率，再用以校正努力量為有效努力量得到標準化的 CPUE，但泛線性模式在統計上的理論觀點較本間法適宜(Conser, 1985)，能提供統計分析如變異數分析以及估計參數的信賴區間，並能考慮各種影響漁獲能力的因子及因子間的交感效應，因此本研究利用 GLM 標準化日本、台灣及巴西的鮪延繩釣漁業以及迦納流刺網漁業 CPUE。同時在與前人標準化 CPUE 研究結果比較，如日本(Yokawa, 2007)、台灣(Sun *et al.*, 2011)與巴西鮪延繩釣漁業(Andrade, 2006)及迦納流刺網漁業(ICCOT, 2011b)，此些研究報告的標準化 CPUE 結果與本研究所估得標準化 CPUE 趨勢結果亦為一致。

在標準化 CPUE 時解釋變數的選擇包含年別效應，並估計年別效應作為標準化 CPUE (Ortiz and Hoolihan, 2011)，除了年別效應外，月別、漁區別及月區交感效應也是一般常用於標準化 CPUE 的解釋變數，而根據漁獲組成模式可以考慮使用目標魚種效應(Hazin *et al.*, 2007)，或是考慮每筐鉤數於標準化過程中以代表漁具效應(Yokawa, 2004)，另一方面，Goodyear (2003)的研究考慮環境因子(SST)來進行黑皮旗魚 CPUE 的標準化。另外，年的交感效應會使估計的年別效應不適合作為標準化 CPUE(Maunders and Punt, 2004)，故本研究沒有考慮年的交感效應，以減少對年別效應估計的影響。

此外漁區劃分也是影響 CPUE 標準化結果的因素之一，本研究與日本的漁區劃分略有不同，但是標準化 CPUE 的趨勢一致，顯示黑皮旗魚的時空分布存在空間異質的現象，使得漁區效應的標準化統計分析結果皆為顯著，另外本研究分析台灣鮪釣 CPUE 也得到類似結果。由於黑皮旗魚主要棲息於熱帶與亞熱帶海域，且其時空分布具有空間異質的現象(Goodyear, 2003)，因此漁區劃分為 CPUE 標準

化時重要的因子之一。

日本鮪延繩釣漁業在 1970 年代開始從傳統式鮪延繩釣轉為深層式鮪延繩釣 (Uozumi and Nakano, 1994)，此漁具的改變應加以考慮至 CPUE 的標準化中 (Yokawa, 2004)，黑皮旗魚喜好棲息於大洋表層 (Holland *et al.*, 1990; Block *et al.*, 1992; Graves *et al.*, 2002; Saito *et al.*, 2004)，因此可能低估了深層式鮪延繩釣黑皮旗魚的釣獲率，同時釣獲率亦受到作業方式、海況、餌料生物等影響 (Goodyear *et al.*, 2008)，由於 ICCAT 並無提供每筐釣數資訊，往後進行 CPUE 標準化時應蒐集相關資訊並考慮於標準化模式中。

不同國家漁業的目標魚種不同，亦會影響 CPUE 的變動。Schirripa 及 Goodyear (2010) 初步對日本鮪延繩釣的模擬研究顯示，考慮黃鰭鮪為目標魚種，對標準化 CPUE 的估計影響不大，未來研究可以考慮分析不同目標魚種的效應。目前除少數休閒漁業外，黑皮旗魚多視為混獲魚種，由於缺乏目標魚種的相關研究資料，未來應蒐集相關資訊，以減少 CPUE 標準化的不確定性。

Goodyear (2003) 利用延繩釣漁業及海表溫度 (sea surface temperature, SST) 資料探討黑皮旗魚月別 CPUE 及 SST 的分布關係，發現 SST 能解釋部分黑皮旗魚的 CPUE 分布；Su *et al.* (2008) 分析太平洋黑皮旗魚的 CPUE 資料，考慮的環境因子包含海表溫度、混合層深度、海表高度距平值及葉綠素濃度等，發現 SST 為相當重要的因子，未來應收集相關環境資料。

在標準化方式的選擇方面，除了本研究使用的 GLM 模式外，也有前人利用棲地模式 (habitat-based model) 標準化 CPUE 資料 (Hinton and Maunder, 2003)。Yokawa *et al.* (2001) 利用 Hinton 及 Nakano (1996) 發展的棲地模式對日本鮪延繩釣捕獲大西

洋黑皮旗魚的 CPUE 資料進行標準化，此模式考慮黑皮旗魚的垂直分布與混合層溫度(temperature relative to the mixed layer)的統計資料，並收集 1975 至 1998 年的溫度資料及延繩釣漁具的每筐鉤數資料，估計結果顯示在 1980 年代後黑皮旗魚 CPUE 有上升的趨勢，該報告指出標準化後的有效努力量明顯減少，因此在標準化黑皮旗魚 CPUE 時應加以考慮棲地環境對於漁獲努力量的變動。

在 ICCAT 報告中，巴西鮪釣黑皮旗魚 CPUE 標準化考慮年的交感效應(Andrade, 2006)，然而考慮年的交感效應會使得估計的標準化 CPUE，不再適合作為相對豐度指標(Maunders and Punt, 2004)。本研究不考慮年的交感效應重新對巴西鮪釣黑皮旗魚 CPUE 進行標準化，但是發現兩者所估計結果沒有太大差異。

4.2 資源評估

4.2.1 不同漁業相對豐度指標分析

相對豐度指標可以代表資源的變動趨勢，也是資源評估模式中提供資源變動最佳的資訊來源，本研究在 ASPIC 模式中共考慮 10 組不同漁業的相對豐度指標，在 1960 年代早期有相對較高的 CPUE，然而此時漁獲資料只有日本及台灣鮪延繩釣資料，兩者在 1960 年代的 CPUE 都呈現快速下降趨勢並延續至 1970 年代末期，1980 年代開始有巴西鮪延繩釣及美國休閒漁業加入，此時不同漁業 CPUE 皆呈現相對穩定的趨勢，代表資源可能處於相對穩定的狀態，但自 1990 年代開始，美國及委內瑞拉延繩釣漁業，以及委內瑞拉流刺網漁業加入，除了美國休閒漁業外，所有漁業的 CPUE 在 1990 年代末期皆有下降的趨勢，2000 年後迦納流刺網加入，除了台灣鮪延繩釣及迦納流刺網漁業外，各漁業 CPUE 都呈現相對穩定但是微幅下降的趨勢(Fig. 12)。整體上 ASPIC 預測 CPUE 與觀測 CPUE 趨勢一致，除了美

國休閒漁業及委內瑞拉流刺網漁業的 CPUE 趨勢稍微不同，由於此兩漁業的漁獲區域主要皆在加勒比海、墨西哥灣及巴哈馬等海域，先前研究指出加勒比海及巴哈馬為黑皮旗魚重要攝食及產卵海域，而墨西哥灣具有區域性的黑皮旗魚存在 (Wells *et al.*, 2010)，因此 CPUE 資料可能代表區域性的資源變化，而與在大洋作業的鮪延繩漁業 CPUE 趨勢不同，建議繼續收集漁獲資料及相關生活史研究，以探討此趨勢差異的原因。

4.2.2 模式參數估計

ASPIC 估計的參數包括 K 、 MSY 、 B_1/K 、 q 等，本研究以上述不同參數起始值進行測試，結果顯示起始值設定對估計結果影響不大。比較各參數的起始值設定，以 B_1/K 的假設影響最大，當 B_1/K 分別設定為 0.8 至 1.5 時，估計 K 為 7-10 萬公噸，估計 B_{2010}/B_{MSY} 在 0.5-0.8，套適結果皆處於過漁的狀態。另外，本研究亦在 ASPIC 中設定 B_1/K 為可估計值，估計結果 $B_1/K = 1.15$ ，接近 ASPIC 模式的起始值設定，但是在 AIC_c 的比較上仍以 $B_1/K = 1.2$ 為佳，因此本研究選定 $B_1/K = 1.2$ 。

在剩餘生產量模式中 r 與 K 是重要的估計參數與比較標準，前人研究中利用 ASPIC 分別估計得 r 及 K 為 0.08 及 90,390 (ICCAT, 2001) 以及 0.108 及 100,000 (ICCAT, 2011b)，與本研究所估計結果差異不大。Carruthers 及 McAllister (2011) 利用生活史參數估計黑皮旗魚 r 的先驗機率分布(prior)結果顯示， r 的平均值為 0.125 (95% CI= 0.058-0.182)，與本研究所估計 r 值接近。若調整上述的 K 值且不進行估計，則估計最高的 r 值為 0.489，但資源評估結果仍是處於過漁狀態($B_{2010}/B_{MSY} = 0.64$ 及 $F_{2009}/F_{MSY} = 1.24$)。

4.2.3 資源評估模式

目前 ICCAT 利用資源整合模式估計的 SSB_{2009}/SSB_{MSY} 及 F_{2009}/F_{MSY} 為 0.67 及 1.633 (ICCAT, 2011b)，與 CPUE 替代方案估計的結果一致，顯示目前大西洋黑皮旗魚都是處於過漁的階段 (B_{2010}/B_{MSY} 及 F_{2009}/F_{MSY} 分別為 0.6693 及 1.818; Table 7)。

SS3 為年齡結構模式，可以分析體長頻度資料、考慮年齡成長及生殖生物學相關研究的結果 (Methot, 2010)，且可以估計漁具選擇性對於利用資源的影響，其估計體長 50 公分以上的雌魚鮪延繩釣漁具選擇率為 1，而流刺網及休閒漁業估計的漁具選擇性約 200 公分以上的雌魚為 1 (ICCAT, 2011b)，此顯示鮪延繩釣對黑皮旗魚體長別漁獲壓力差異較小，剩餘生產量模式假定系群為一不可分割的群體 (Prager, 1994)，故其假定各年齡別漁獲死亡率相同，此與 ICCAT 估計的鮪釣漁具選擇性有相似之處，但是否為此兩模式估計結果類似的原因，仍需相關的模擬研究證實。

SS3 為複雜的資源評估模式，可以考慮生活史資訊並同時分析不同的資料來源，其資源評估結果與本研究利用 ASPIC 一致，都指出大西洋黑皮旗魚已處於過漁階段。

在 ICCAT 2006 年的資源評估報告中，以 1998 到 2004 年漁獲量利用 2000 年 ICCAT 資源評估的 ASPIC 估計結果進行資源預測，結果顯示黑皮旗魚很有可能會在 2004 年滅絕 (ICCAT, 2007)，但是後續研究報告指出 2000 年的 ASPIC 估計結果的生產力偏低，本研究 ASPIC 模式對此兩參數估計的結果近似先前的研究報告 ($K = 99230$ 公噸， $r = 0.102$; Table 5)，都估計黑皮旗魚資源為較低的生產力，雖然本研究利用 ASPIC 對於 r 值的估計尚在合理的範圍內，但是若能考慮更多的生活史資訊，例如親魚量與加入量的關係式，則對於生產力的估計將更為可靠。

在剩餘生產量模式中 r 值的估計可以代表資源在漁獲壓力下的生產力，不同的 r 值估計結果可以影響資源評估的結果，在 2006 年 ICCAT 的資源評估中，設定較

低 r 的prior估計得 $r = 0.08$ ，但若用設定較大 r 的prior時，估計 $r = 0.29$ (ICCAT, 2007)，此結果顯示 r 的prior設定會對資源評估有很大的影響，Carruthers 及 McAllister (2011)利用生活史參數估計黑皮旗魚的 r 的prior分布，結果指出黑皮旗魚 r 的估計值約為0.125，接近2006年ICCAT資源評估報告中較低的 r 值，也接近本研究所估計的結果，然而目前關於黑皮旗魚 r 值的研究缺乏，往後資源評估中應加強對於此重要參數的研究。

日本CPUE分段是由於在初步分析時發現，若套適ASPIC時日本漁業的CPUE不加以分段，則估計結果與2011年ICCAT資源評估報告中套適整合型CPUE類似。然而本研究在套適ASPIC模式時，將日本CPUE加以分段，此為考慮1980年前後日本鮪延繩釣漁業從傳統式轉變為深層式鮪釣，加上作業漁區逐漸以東大西洋及溫帶海域為主 (Uozumi and Nakano, 1994; Yokawa and Uozumi, 2001; Yokawa, 2004)，Prager (2004)指出當漁獲能力發生改變時，可將CPUE序列分段套適ASPIC，再檢測統計上是否有顯著性差異。本研究估計分段CPUE具有統計上顯著($F = 59.086$; $P < 0.01$)，因此本研究將日本鮪釣CPUE分段套適。

4.2.4 模式預測分析

本研究ASPIC模式預測分析結果類似2011年ICCAT用SS3模式估計的結果，但有稍微較低的生產力。在2500公噸的TAC下，本研究估計的資源趨勢穩定而稍微下降，而ICCAT用SS3估計的資源趨勢穩定而稍為增加，顯示本研究預測使資源增加的TAC稍為較ICCAT估計的低一些。當TAC為3000公噸時，兩者預測資源趨勢皆為逐漸下降，當TAC為2000公噸時，兩者預測資源趨勢皆為逐漸上升 (ICCAT, 2011b)，此結果顯示兩者估計結果相當接近，皆應將漁獲壓力減少約2500公噸以下黑皮旗魚資源才會逐漸回復。

第五章 結論與建議

本研究蒐集漁獲大西洋黑皮旗魚的主要漁業資料，包含日本、台灣及巴西鮪延繩釣漁業，以及迦納流刺網漁業，利用 GLM 模式進行單位努力漁獲量標準化。各漁業單位努力漁獲量標準化結果皆為逐漸下降的趨勢。由於部份漁業無法得到原始完整漁獲資料，本研究自 ICCAT 報告蒐集其他漁業(包括美國與委內瑞拉鮪延繩釣漁業、委內瑞拉流刺網漁業以及美國休閒漁業)的單位努力漁獲量標準化資料，與前述主要漁業標準化 CPUE 一起套適 ASPIC 進行大西洋黑皮旗魚的資源評估。

本研究評估結果認為大西洋黑皮旗魚資源仍處於過漁狀態，目前(2009 年)相對系群生物量(B_{2010}/B_{MSY})及相對漁獲死亡率(F_{2009}/F_{MSY})估計為 0.745 及 1.508，估計的最大持續生產量(MSY)為 2538 公噸，低於 2010 年黑皮旗魚漁獲量的 3431 公噸。根據模式預測分析，當 TAC 定為 2000 公噸則模式預測資源會逐漸增加，當 TAC 定為 1000 公噸則資源可以在 2019 年大於 MSY 水準，故建議降低目前對黑皮旗魚的漁獲量管理至 2000 公噸。

現階段可以考慮漸進式降低的漁獲管理策略，且因黑皮旗魚多非目標魚種，可以鼓勵釣獲後加以釋放，以減少黑皮旗魚的漁獲壓力。由於近年來流刺網漁業等表層漁業對黑皮旗魚的漁獲壓力相對甚大，目前尚未對此表層漁業進行漁業管理，應密切監測表層漁業利用黑皮旗魚資源的情形。在資源尚未回復的狀況下，未來應持續蒐集漁獲量、努力量及體長資料以密切監測黑皮旗魚資源狀況，並作為未來資源評估分析所需。

参考文献

- Alio, J., L. Marciano, X. Gutierrez and R. Fontiveros, 1994. Descriptive analysis of the artisanal fishery of billfishes in the central coast of Venezuela. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 41: 253-264.
- Amorim, A.F., C.A. Arfeli, J.N. Antero-Silva, L. Fagundes, F.E.S. Costa and R. Assumpção, 1998. Blue marlin (*Makaira nigricans*) and white marlin (*Tetrapturus albidus*) caught off the Brazilian coast. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 47: 163-184.
- Andrade, H.A., 2006. Standardized CPUE for blue marlin (*Makaira nigricans*) caught in the west of the south Atlantic. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 59(1): 287-302.
- Arocha, F. and M. Ortiz, 2002. Standardized catch rates for sailfish (*Istiophorus platypterus*) from the Venezuelan pelagic longline fishery off the Caribbean Sea and the western central Atlantic. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 54(3): 755-763.
- Arocha, F. and L. Marciano, 2008. Life history characteristics of blue marlin, white marlin, and sailfish from the eastern Caribbean Sea and adjacent waters. In J. Nielsen, J. Dodson, K. Friedland, T. Hamon, N. Hughes, J. Musick and E. Verspoor, Eds. Proceedings of the Fourth World Fisheries Congress: Reconciling Fisheries with Conservation. Amer. Fish. Soc. Symp. 49, Bethesda, Maryland, 1481-1491 pp.
- Arocha, F. and M. Ortiz, 2011. Standardized catch rates for blue marlin (*Makaira nigricans*) from the Venezuelan pelagic longline fishery off the Caribbean Sea and the western central Atlantic. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 66(4): 1661-1674.
- Arocha, F., M. Ortiz and L.A. Marciano, 2011. Catch rates for blue marlin (*Makaira nigricans*) from the small scale fishery off La Guaira, Venezuela: period

- 1991-2009. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 66(4): 1675-1684.
- Bannerman, P., 2007. Preliminary approach at assessing landings and size composition of drifting nets in Ghana coastal fishery for billfish. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 60(5): 1616-1621.
- Block, B.A., D.T. Booth and F.G. Garey, 1992. Depth and temperature of the blue marlin, *Makaira nigricans*, observed by acoustic telemetry. Marine Biology, 114: 175-183.
- Buonaccorsi, V.P., K.S. Reece, L.W. Morgan and J.E. Graves, 1999. Geographic distribution of molecular variance within the blue marlin (*Makaira nigricans*): a hierarchical analysis of allozyme, single-copy nuclear DNA, and mitochondrial DNA markers. Evolution, 53: 568-579.
- Carruthers, T. and M. McAllister, 2011. Computing prior probability distributions for the intrinsic rate of increase for Atlantic tuna and billfish using demographic methods. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 66(5): 2202-2205.
- Conser, R.J., 1985. An examination of the Honma method and its applicability in developing indices of abundance for western Atlantic bluefin tuna. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 22: 107-126.
- De Sylva, D. and P.R. Breder, 1997. Reproduction, gonad histology, and spawning cycles of north Atlantic billfishes (Istiophoridae). Bull. Mar. Sci., 60(3): 668-697.
- Goodyear, C.P., 2003. Spatial-temporal distribution of longline catch per unit effort, sea surface temperature and Atlantic marlin. Mar. Freshwater Res., 54: 409-417.
- Goodyear, C.P., J. Luo, E.D. Prince and J.E. Serafy, 2006. Temperature-depth habitat utilization of blue marlin monitored with PSAT tags in the context of simulation modeling of pelagic longline CPUE. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 59: 224-237.

- Goodyear, C.P., J. Luo, E.D. Prince, J.P. Hoolihan, D. Snodgrass, E.S. Orbesen and J.E. Serafy, 2008. Vertical habitat use of Atlantic blue marlin *Makaira nigricans*: interaction with pelagic longline gear. Mar. Ecol. Prog. Ser., 365: 233-245.
- Graves, J.E. and J.R. McDowell, 2003. Stock structure of the world's istiophorid billfishes: a genetic perspective. Mar. Freshwater Res., 54: 287-298.
- Graves, J.E., B.E. Luckhurst and E.D. Prince, 2002. An evaluation of pop-up satellite tags for estimating post-release survival of blue marlin (*Makaira nigricans*) from a recreational fishery. Fish. Bull., 100: 134-142.
- Hazin, H.G., F. Hazin, P. Travassos, F.C. Carvalho and K. Erzini, 2007. Fishing strategy and target species of the Brazilian tuna longline fishery, from 1978 to 2005, inferred from cluster analysis. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 60(6): 2029-2038.
- Hilborn, R. and C.J. Walters, 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. Chapman and Hall, New York, NY, 572 pp.
- Hill, K.T., C.M. Cailliet and R.L. Radtke, 1989. A comparative analysis of growth zones in four calcified structures of Pacific blue marlin, *Makaira nigricans*. Fish. Bull., 87: 829-843.
- Hinton, M.G. and H. Nakano, 1996. Standardizing catch and effort statistics using physiological, ecological, or behavioral constraints and environmental data, with application to blue marlin (*Makaira nigricans*) catch and effort data from Japanese longline fisheries in the Pacific. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., 21(4): 171-200.
- Hinton, M.G. and M.N. Maunder, 2003. Methods for standardizing CPUE and how to select among them. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., 11 pp.
- Hoenig, J.M., 1983. Empirical use of longevity data to estimate mortality rates. Fish. Bull., 82(1): 898-902.

- Holland, K., R. Brill and R.K. C.Chang, 1990. Horizontal and vertical movements of Pacific blue marlin captured and released using sportfishing gear. *Fish. Bull.*, 88(2): 397-402.
- Honma, M., 1974. Estimation of overall effective fishing intensity of tuna longline fishery. *Far. Seas Fish. Res. Bull.*, 193-213.
- Hoolihan, J.P., A. Venizelos and M. Ortiz, 2011. Updated blue marlin (*Makaira nigricans*) standardized catch rates from the U.S. recreational tournament fishery in the northwest Atlantic, U.S. Gulf of Mexico, Bahamas and U.S. Caribbean 1974-2009. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 66(4): 1702-1714.
- Hsu, C.C., 1998. A review of catches, fishing efforts and catch per unit effort of Taiwanese longline fishery for billfishes in the Atlantic. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 47: 267-278.
- ICCAT, 1994. Report of the Second ICCAT Workshop on Billfish. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 41: 13-166.
- ICCAT, 1998. Report of the Third ICCAT Billfish Workshop (Miami, Florida, USA, July 11-20, 1996). *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 47: 1-130.
- ICCAT, 2001. Report of the Fourth ICCAT Billfish Workshop. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 53: 1-130.
- ICCAT, 2007. Report of the 2006 ICCAT Billfish Stock Assessment. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 60: 1431-1546.
- ICCAT, 2008. Report of the Standing Committee on Research and Statistics (SCRS). *ICCAT Report 2008-2009 (I)*, 91-101.
- ICCAT, 2011a. Report of the 2010 ICCAT Blue Marlin Data Preparatory Meeting (Madrid, Spain, May 17 to 21, 2010). *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 66(4): 1554-1660.
- ICCAT, 2011b. Report of the 2011 Blue Marlin Stock Assessment and White Marlin

- Data Preparatory Meeting. 25-29, April 2011, Madrid, Spain.
- Luckhurst, B.E., E.D. Prince, D.G. Snodgrass, E.B. Brothers, and J.K. Llopiz, 2006. Evidence of blue marlin (*Makaira nigricans*) spawning in Bermuda waters and elevated mercury levels in large specimens. Bull. Mar. Sci., 79: 691-704.
- Maunder, M.N. and A.E. Punt, 2004. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. Fish. Res., 70: 141-159.
- Meneses de Lima, J.H., J.E. Kotas and C.F. Lin, 2000. A historical review of the Brazilian longline fishery and catch of swordfish (1972-1997). Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 51(4): 1329-1357.
- Mensah, M.A. and B.A. Doyi, 1994. The billfish fishery in Ghana. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 41: 265-272.
- Methot, R.D., 2010. Technical description of the Stock Synthesis III assessment program version 3.10b. Fisheries, National Oceanic and Atmospheric Administration. Fisheries Science Center, Seattle, W.A., 163 pp.
- Nakamura, I., 1985. An annotated and illustrated catalogue of marlins, sailfishes, spearfishes, and swordfishes known to date. FAO Species Catalogue Vol. 5. Billfish of the world. FAO Fisheries Synopsis, 125: 65 pp.
- Nelder, J.A. and R.W.M. Wedderburn, 1972. Generalized linear models. J.R. Statist. Soc. A, 135: 370-384.
- Orbesen, E.S., D. Snodgrass, J.P. Hoolihan and E.D. Prince, Updated US conventional tagging data base for Atlantic blue marlin (1955-2008), with comments on potential stock structure. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 66(4): 1685-1691.
- Ortiz, M. and J.P. Hoolihan, 2011. Updated blue marlin (*Makaira nigricans*) standardized catch rates from the U.S. pelagic longline in the northwest Atlantic and Gulf of Mexico 1986-2009. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 66(4): 1692-1701.

- Ortiz, M., E.D. Prince, J.E. Serafy, D.B. Holts, K.B. Dary, J.G. Pepperell, M.B. Lowry and J.C. Holdsworth, 2003. Global overview of the major constituent-based billfish tagging programs and their results since 1954. *Mar. Freshwater Res.*, 54: 489-507.
- Otto, R., G. Sakagawa and J. Zuboy, 1978. A preliminary assessment of the status of western north Atlantic billfish stocks. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 7 (1): 175-199.
- Pella, J.J. and P.K. Tomlinson, 1969. A generalized stock production model. *Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Comm.*, 13: 419-496.
- Polacheck, T., R. Hilborn and A.E. Punt, 1993. Fitting surplus production models: comparing methods and measuring uncertainty. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50: 2597-2607.
- Prager, M.H., 1994. A suite of extensions to a nonequilibrium surplus-production model. *Fish. Bull.*, 92: 374-389.
- Prager, M.H., 2002. Comparison of logistic and generalized surplus production models applied to swordfish, *Xiphias gladius*, in the north Atlantic Ocean. *Fish. Res.*, 58: 41-57.
- Prager, M.H., 2004. User's Manual for ASPIC: A stock-Production Model Incorporating Covariates (ver. 5) and Auxiliary Programs. NMFS Beaufort Laboratory Document BL-2004-01, 25 pp.
- Prince, E.D., D.W. Lee, J.R. Zweifel and E.B. Brothers, 1991. Estimating age and growth of young Atlantic blue marlin *Makaira nigricans* from otolith microstructure. *Fish. Bull.* 89: 441-459.
- Saito, H., Y. Takeuchi and K. Yokawa, 2004. Vertical distribution of Atlantic blue marlin obtained from pop-up archival tags in the tropical Atlantic Ocean. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 56: 201-211.

- SAS Institute, 2004. SAS/STAT® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Schaefer, M.B., 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries. Inter-Am. Trop. Tuna Comm., 1: 27-56.
- Schirripa, M.J. and C.P. Goodyear, 2010. CPUE standardizations of species targeting in longline fisheries: initial investigations of the utility of simulated data for method verification. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 65(6): 2351-2362.
- Serafy, J.E., R.K. Cowen, C.B. Paris, T.R. Capo and S.A. Luthy, 2003. Evidence of blue marlin, *Makaira nigricans*, spawning in the vicinity of Exuma Sound, Bahamas. Marine and Freshwater Research, 54: 299-306.
- Su, N.J., C.L. Sun, A.E. Punt and S.Z. Yeh, 2008. Environmental and spatial effects on the distribution of blue marlin (*Makaira nigricans*) as inferred from data for longline fisheries in the Pacific Ocean. Fish. Oceanogr., 17(6): 432-445.
- Su, N.J., C.L. Sun, A.E. Punt, S.Z. Yeh and G. Dinardo, 2011. Evaluation of a spatially sex-specific assessment method incorporating a habitat preference model for blue marlin (*Makaira nigricans*) in the Pacific Ocean. Fish. Oceanogr., 20(5): 415-433.
- Sun, C.L., N.J. Su and S.Z. Yeh, 2011. CPUE standardization for blue marlin (*Makaira nigricans*) of Taiwanese longline fishery in the Atlantic Ocean. ICCAT Document No. SCRS/2011/045.
- Ueyanagi, S., S. Kikawa, M. Uto and Y. Nishikawa, 1970. Distribution, spawning, and relative abundance of billfishes in the Atlantic Ocean. Bull. Far. Seas Fish. Res. Lab., 3: 15-45.
- Uozumi, Y. and H. Nakano, 1994. A historical review of Japanese longline fishery and billfish catches in the Atlantic Ocean. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 41: 233-243.

- Walsh, W.A., R.Y. Ito, K.E. Kawamoto and M.L. McCracken, 2005. Analysis of logbook accuracy for blue marlin (*Makaira nigricans*) in the Hawaii-based longline fishery with a generalized additive model and commercial sales data. Fish. Res., 75: 175-192.
- Wells, R.J.D., J.R. Rooker and E.D. Prince, 2010. Regional variation in the otolith chemistry of blue marlin (*Makaira nigricans*) and white marlin (*Tetrapturus albidus*) from the western North Atlantic Ocean. Fish. Res., 106: 430-435.
- Wilson, C.A., J.M. Dean, E.D. Prince and D.W. Lee, 1991. An examination of sexual dimorphism in Atlantic and Pacific blue marlin using body weight, sagittae weight, and age estimates. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 151: 209-225.
- Yokawa, K., 2004. Preliminary result of a study on the effect of gear configuration in CPUE standardization by GLM methods. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 56(1): 178-194.
- Yokawa, K., 2007. Analysis of recent catch data of blue marlin caught by Japanese longliners in the Atlantic using log-book information. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 60(5): 1630-1635.
- Yokawa, K. and Y. Uozumi, 2001. Analysis of operation pattern of Japanese longliners in the tropical Atlantic and their blue marlin catch. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 53: 318-336.
- Yokawa, K., Y. Takeuchi, M. Okazaki and Y. Uozumi, 2001. Standardization of CPUE of blue marlin and white marlin caught by Japanese longliners in the Atlantic Ocean. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 53: 345-355.

Table 1. Analysis of variance for the GLM model fitted to the Atlantic blue marlin CPUE data (in number per 1000 hooks) from the Japanese longline fishery in the Atlantic, 1956-2009.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	184	45315.01327	246.27725	230.66	<.0001
Error	34016	36319.30069	1.06771		
Corrected Total	34200	81634.31395			
	R-Square	C. V.	Root MSE		
	0.555098	-39.67837	1.033302		
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Year	53	7627.40988	143.91339	134.79	<.0001
Month	11	151.21875	13.74716	12.88	<.0001
Area	10	19735.12529	1973.51253	1848.36	<.0001
Month*Area	110	3079.75018	27.99773	26.22	<.0001

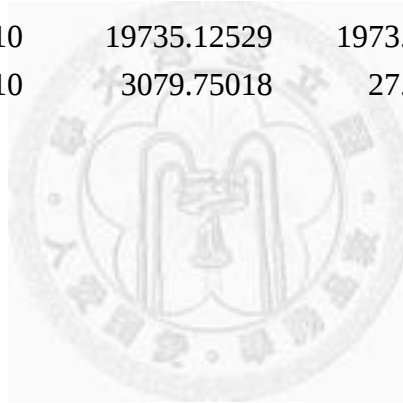


Table 2. Analysis of variance for the GLM model fitted to the Atlantic blue marlin CPUE data (in number per 1000 hooks) from the Taiwanese longline fishery in the Atlantic, 1967-2009.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	161	16651.82358	103.42748	65.15	<.0001
Error	21993	34913.05290	1.58746		
Corrected Total	22154	51564.87648			
	R-Square	C. V.	Root MSE		
	0.322930	-32.47430	1.259945		
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Year	42	4372.558165	104.108528	65.58	<.0001
Month	11	200.340264	18.212751	11.47	<.0001
Area	9	5003.634132	555.959348	350.22	<.0001
Month*Area	99	2111.784930	21.331161	13.44	<.0001

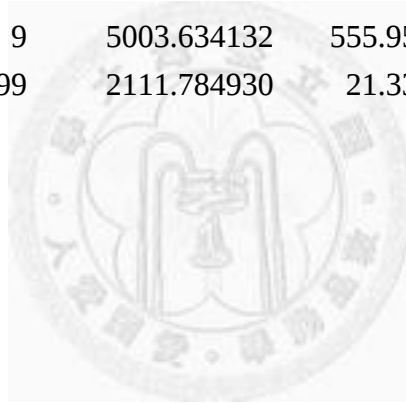


Table 3. Analysis of variance for the GLM model fitted to the Atlantic blue marlin CPUE data (in kilogram per 1000 hooks) from the Brazilian longline fishery in the Atlantic, 1977-2009.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	47	3783.89232	80.50835	42.46	<.0001
Error	8115	15387.56918	1.89619		
Corrected Total	8162	19171.46150			
	R-Square	C. V.	Root MSE		
	0.197371	81.97220	1.377022		
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Year	32	1075.813903	33.619184	17.73	<.0001
Season	3	116.583789	38.861263	20.49	<.0001
Area	3	1831.965276	610.655092	322.04	<.0001
Season*Area	9	281.424779	31.269420	16.49	<.0001

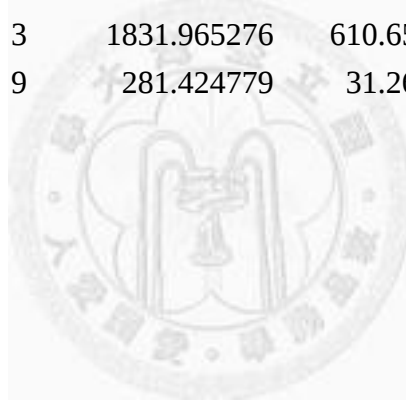


Table 4. Analysis of variance for the GLM model fitted to the Atlantic blue marlin CPUE data (in kilogram per trip) from the Ghanaian gillnet fishery in the Atlantic, 2000-2009.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	20	73.9864238	3.6993212	6.94	<.0001
Error	99	52.7933962	0.5332666		
Corrected Total	119	126.7798200			
	R-Square	C. V.	Root MSE		
	0.583582	22.79673	0.730251		
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Year	9	49.38585547	5.48731727	10.29	<.0001
Month	11	24.60056836	2.23641531	4.19	<.0001



Table 5. Parameters estimated from 1000 bootstrap trials in the base case fitted by ASPIC for Atlantic blue marlin.

Parameter	Point estimate	Estimated bias in pt estimate	Estimated relative bias	95% lower confidence interval	95% upper confidence interval	Inter-quartile range	Relative IQ range
B_1/K	1.200E+00	-1.998E-15	0.00%	1.200E+00	1.200E+00	0.000E+00	0.00E+00
K	9.923E+04	2.681E+01	0.03%	9.801E+04	1.009E+05	5.664E+02	6.00E-03
MSY	2.538E+03	5.989E+00	0.24%	2.386E+03	2.733E+03	1.085E+02	4.30E-02
q (1)	1.434E-05	1.189E-07	0.83%	1.073E-05	1.850E-05	2.490E-06	1.74E-01
q (2)	1.054E-05	-1.144E-09	-0.01%	9.259E-06	1.188E-05	8.969E-07	8.50E-02
q (3)	1.258E-05	1.274E-07	1.01%	1.018E-05	1.517E-05	1.723E-06	1.37E-01
q (4)	1.595E-05	9.978E-08	0.63%	1.302E-05	1.973E-05	2.254E-06	1.41E-01
q (5)	1.641E-05	1.678E-08	0.10%	1.342E-05	2.022E-05	2.303E-06	1.40E-01
q (6)	1.941E-05	1.081E-07	0.56%	1.614E-05	2.372E-05	2.583E-06	1.33E-01
q (7)	1.932E-05	6.161E-07	3.19%	1.114E-05	3.236E-05	7.288E-06	3.77E-01
q (8)	1.944E-05	7.506E-08	0.39%	1.501E-05	2.458E-05	3.529E-06	1.82E-01
q (9)	1.791E-05	3.490E-08	0.19%	1.553E-05	2.041E-05	1.712E-06	9.60E-02
q (10)	1.231E-05	4.123E-09	0.03%	1.088E-05	1.402E-05	1.037E-06	8.40E-02
B_{MSY}	4.961E+04	1.340E+01	0.03%	4.900E+04	5.044E+04	2.832E+02	6.00E-03
F_{MSY}	5.115E-02	9.973E-05	0.19%	4.846E-02	5.455E-02	1.821E-03	3.60E-02
B_{2010}/B_{MSY}	7.450E-01	1.584E-03	0.21%	6.131E-01	8.838E-01	8.558E-02	1.15E-01
F_{2009}/F_{MSY}	1.508E+00	1.108E-02	0.73%	1.184E+00	1.914E+00	2.313E-01	1.53E-01
q2/q1	7.349E-01	6.915E-03	0.94%	5.692E-01	1.000E+00	1.382E-01	1.88E-01

Table 6. Results of sensitivity test, which used the same input data and starting values in the base case, but changed one of the starting values in each run. (Base case: Iterative reweighting, $B_1/K=1.2$, $MSY=2500$, $K=90000$, $q=0.0005$)

Parameter	MSY	K	r	B_{2010}/B_{MSY}	F_{2009}/F_{MSY}	Weighted SSE	AIC _c
Base case	2538	99230	0.102	0.745	1.508	45.301	-490.502
$B_1/K=0.8$	2697	102500	0.105	0.633	1.667	46.387	-483.820
$B_1/K=1$	2547	102800	0.099	0.691	1.618	46.173	-485.124
$B_1/K=1.5$	2616	75630	0.138	0.541	1.988	48.783	-469.616
$K=50000$	2590	95380	0.109	0.742	1.485	45.459	-487.320
$K=70000$	2531	99620	0.102	0.744	1.513	45.492	-487.114
$K=110000$	2358	104100	0.091	0.671	1.795	46.313	-482.070
$K=130000$	2482	98670	0.101	0.699	1.640	46.574	-482.683
$MSY=1500$	2719	81410	0.134	0.676	1.549	46.154	-485.237
$MSY=3000$	2569	97250	0.106	0.746	1.488	45.468	-489.459
$MSY=4500$	2565	97530	0.105	0.746	1.489	45.451	-489.569
$q=0.001$	2628	92060	0.114	0.734	1.479	45.527	-489.094
$q=0.0001$	2405	108600	0.089	0.752	1.576	45.533	-489.057
$q=0.00005$	2355	112000	0.084	0.754	1.604	45.572	-488.819
$q=0.00001$	2371	111000	0.085	0.753	1.595	45.556	-488.918

Table 7. Parameters estimated from 1000 bootstrap trials in the base case fitted by ASPIC for Atlantic blue marlin using CPUE series from 2011 ICCAT stock assessment.

Parameter	Point estimate	Estimated bias in pt estimate	Estimated relative bias	95% lower confidence interval	95% upper confidence interval	Inter-quartile range	Relative IQ range
B ₁ /K	1.200E+00	3.221E-11	0.00%	1.200E+00	1.200E+00	0.000E+00	0.00E+00
K	1.055E+05	5.376E+01	0.05%	1.035E+05	1.075E+05	7.861E+02	7.00E-03
MSY	2.333E+03	9.638E+00	0.41%	2.179E+03	2.598E+03	1.260E+02	5.40E-02
q (1)	1.788E-05	-9.842E-09	-0.06%	1.596E-05	2.060E-05	1.680E-06	9.40E-02
q (2)	1.891E-05	5.738E-07	3.03%	1.172E-05	2.957E-05	6.213E-06	3.29E-01
q (3)	1.726E-05	5.887E-08	0.34%	1.474E-05	2.040E-05	1.800E-06	1.04E-01
q (4)	1.588E-05	6.755E-08	0.43%	1.235E-05	2.043E-05	2.555E-06	1.61E-01
q (5)	2.007E-05	1.035E-07	0.52%	1.646E-05	2.525E-05	2.993E-06	1.49E-01
q (6)	1.498E-05	8.668E-07	5.79%	7.746E-06	3.095E-05	7.034E-06	4.70E-01
q (7)	1.643E-05	9.655E-08	0.59%	1.318E-05	2.040E-05	2.287E-06	1.39E-01
q (8)	2.011E-05	2.817E-07	1.40%	1.539E-05	2.623E-05	3.657E-06	1.82E-01
q (9)	1.704E-05	1.985E-08	0.12%	1.451E-05	2.004E-05	1.821E-06	1.07E-01
q (10)	1.929E-05	-1.155E-08	-0.06%	1.688E-05	2.200E-05	1.647E-06	8.50E-02
B _{MSY}	5.277E+04	2.688E+01	0.05%	5.176E+04	5.373E+04	3.930E+02	7.00E-03
F _{MSY}	4.421E-02	1.545E-04	0.35%	4.156E-02	4.855E-02	2.074E-03	4.70E-02
B ₂₀₁₀ /B _{MSY}	6.693E-01	3.950E-03	0.59%	5.310E-01	8.555E-01	9.860E-02	1.47E-01
F ₂₀₀₉ /F _{MSY}	1.818E+00	1.629E-02	0.90%	1.285E+00	2.421E+00	3.495E-01	1.92E-01
q ₂ /q ₁	1.058E+00	3.600E-02	3.40%	6.580E-01	1.692E+00	3.690E-01	3.49E-01

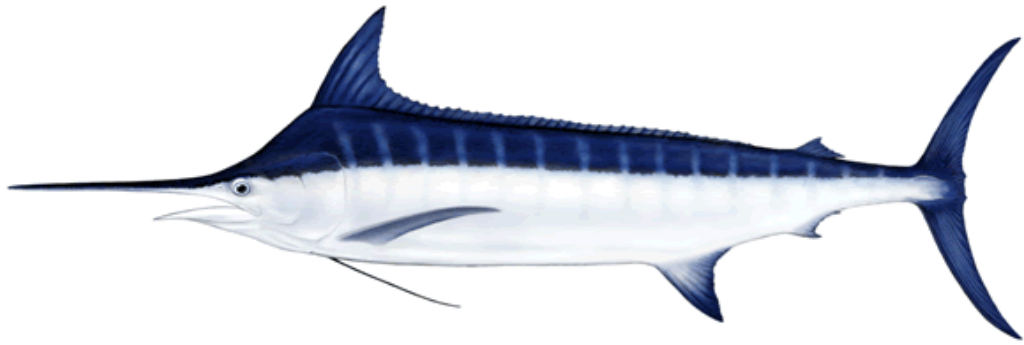


Fig. 1. Drawing of Atlantic blue marlin, *Makaira nigricans*, by Les Gallagher (Cited from ICCAT manual).



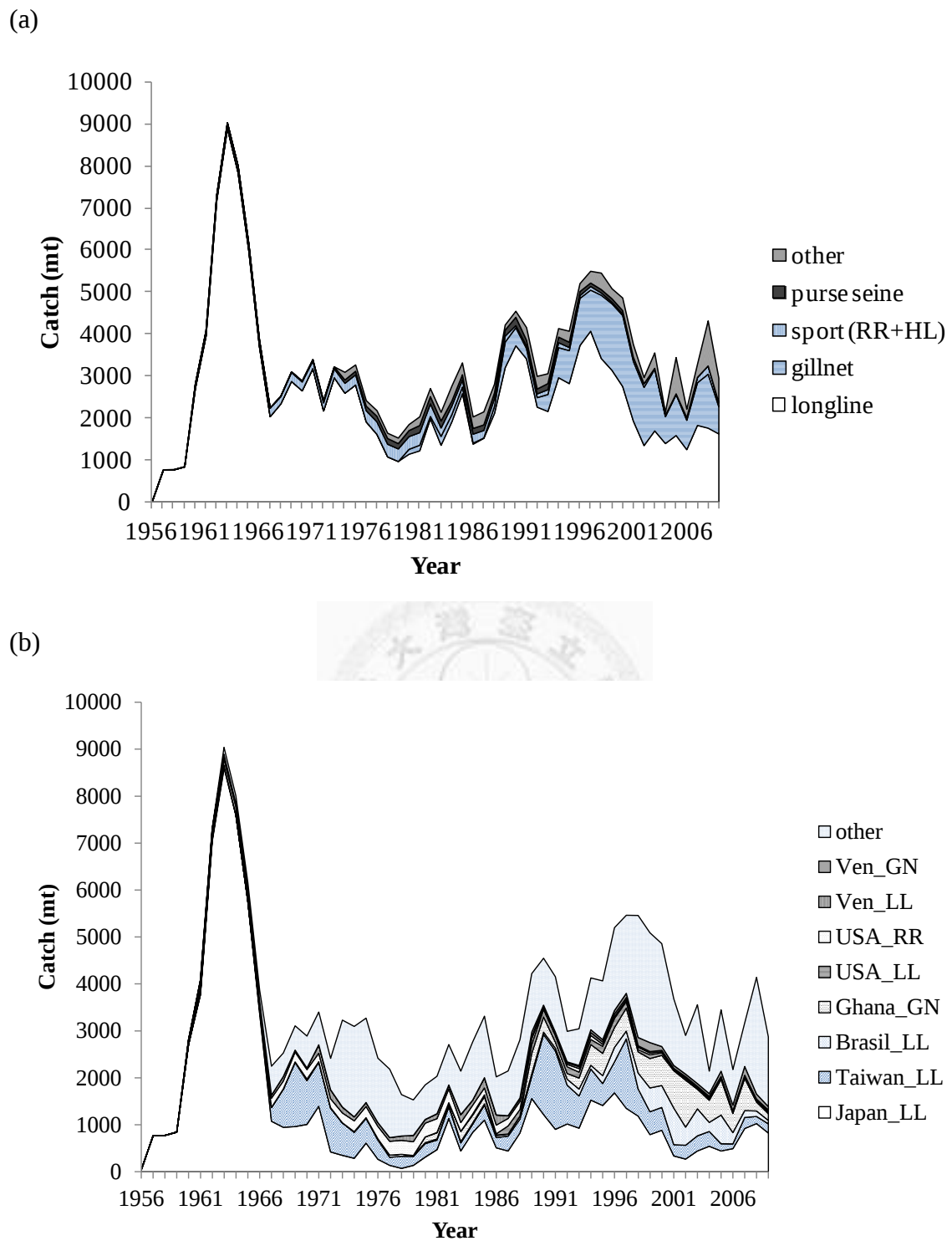


Fig. 2. Annual catches of blue marlin in the Atlantic Ocean (a) by gear and (b) by country from 1956 to 2009 (Data source: ICCAT Task I version Nov 2010).

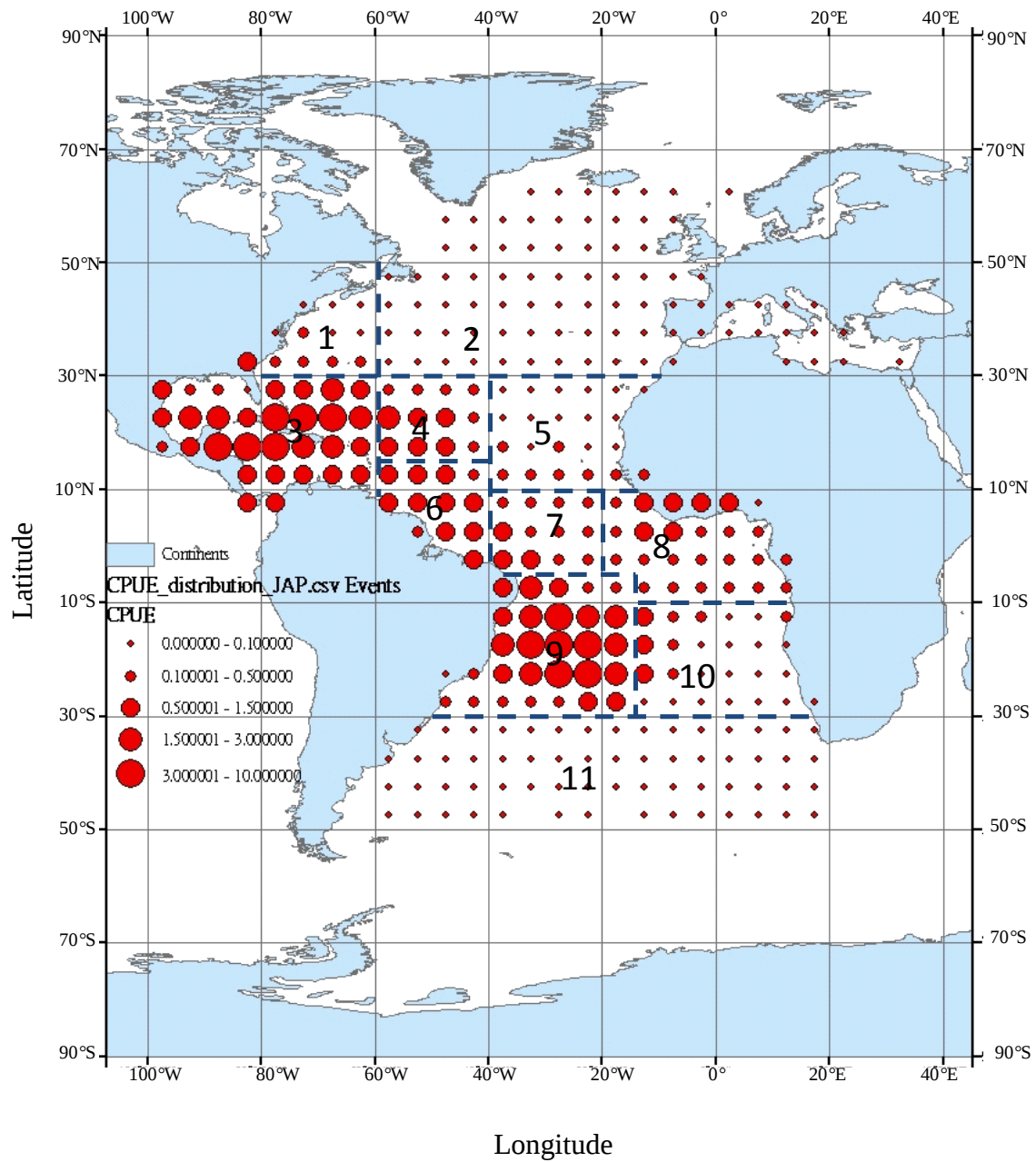
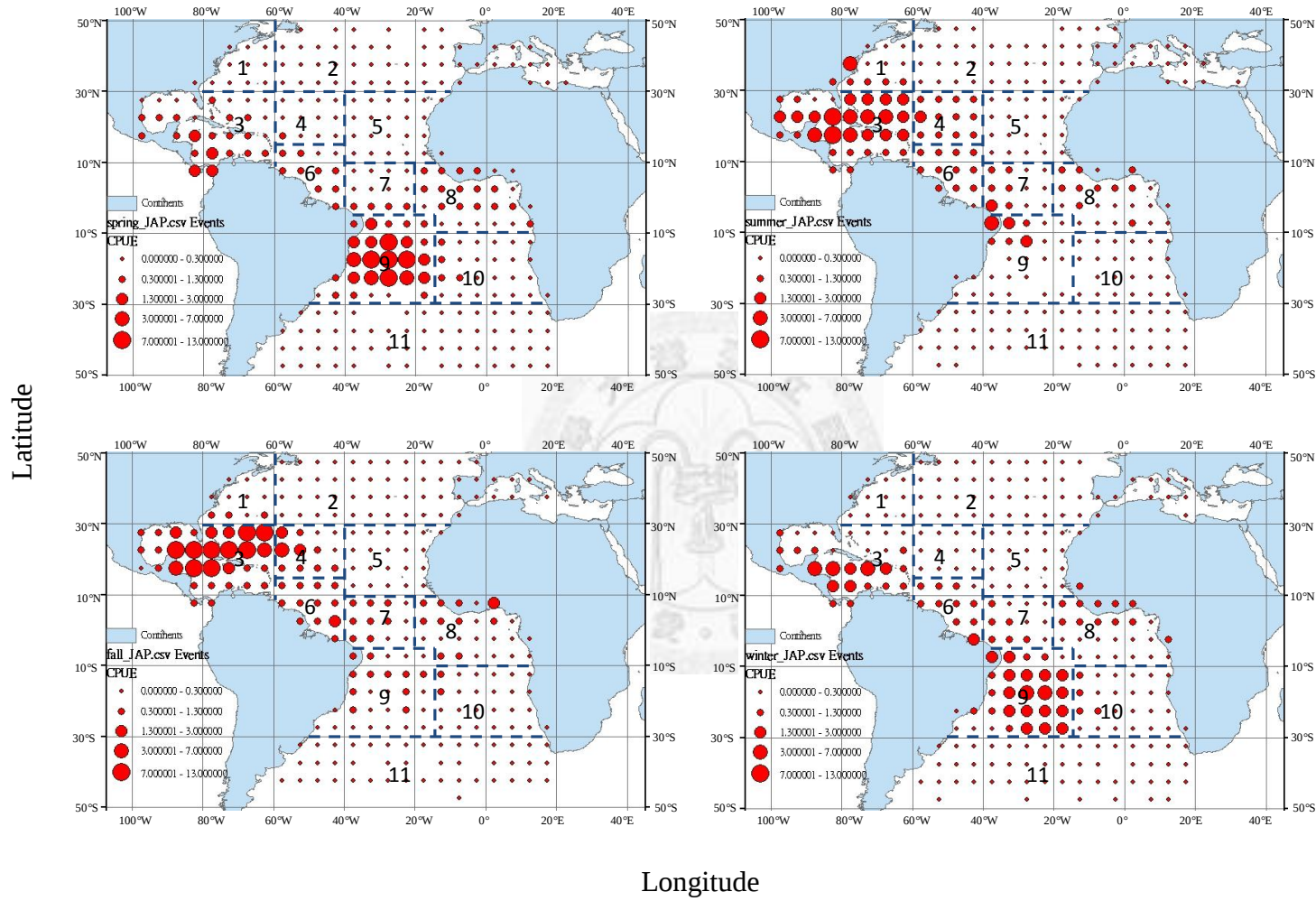


Fig. 3. Distribution of the nominal catch rate of blue marlin caught by Japanese longline fishery from 1956 to 2009 in the Atlantic Ocean, the dotted line was area division used in CPUE standardization.



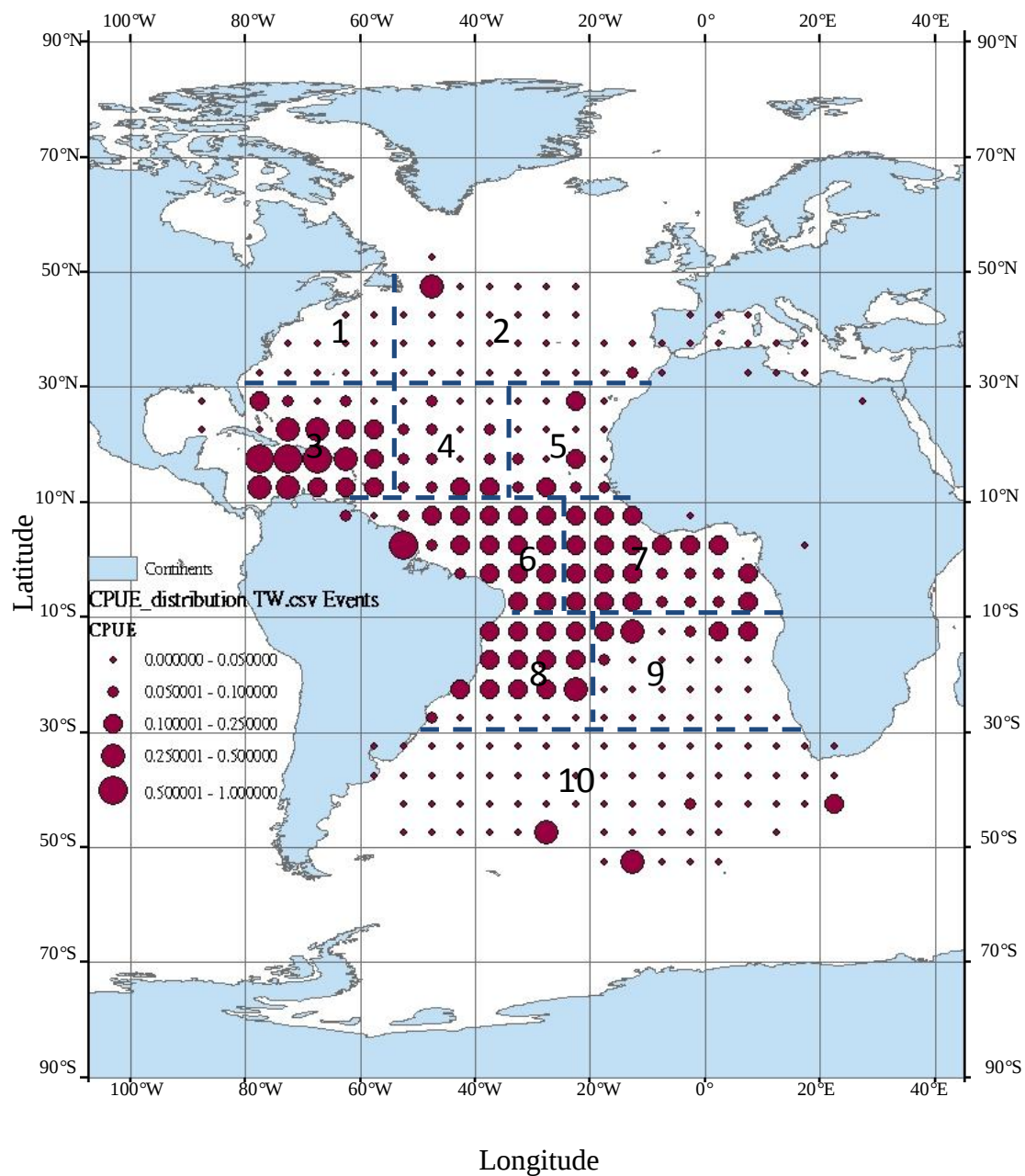


Fig. 5. Distribution of the nominal catch rate of blue marlin caught by Taiwanese longline fishery from 1967 to 2009 in the Atlantic Ocean, the dotted line was area division used in CPUE standardization.

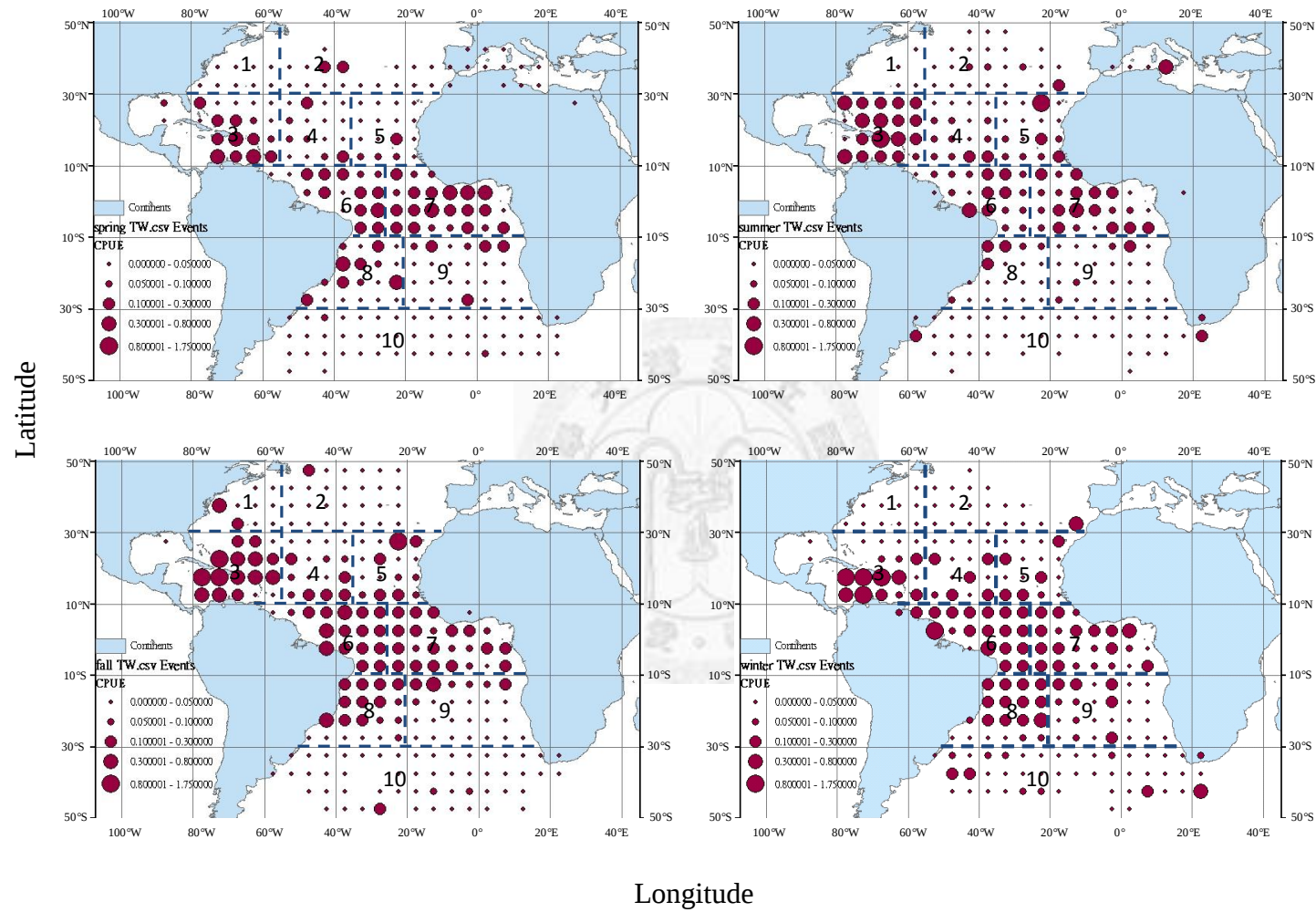


Fig. 6. Seasonal CPUE distribution of blue marlin for Taiwanese longline fishery in the Atlantic Ocean during 1967-2009.

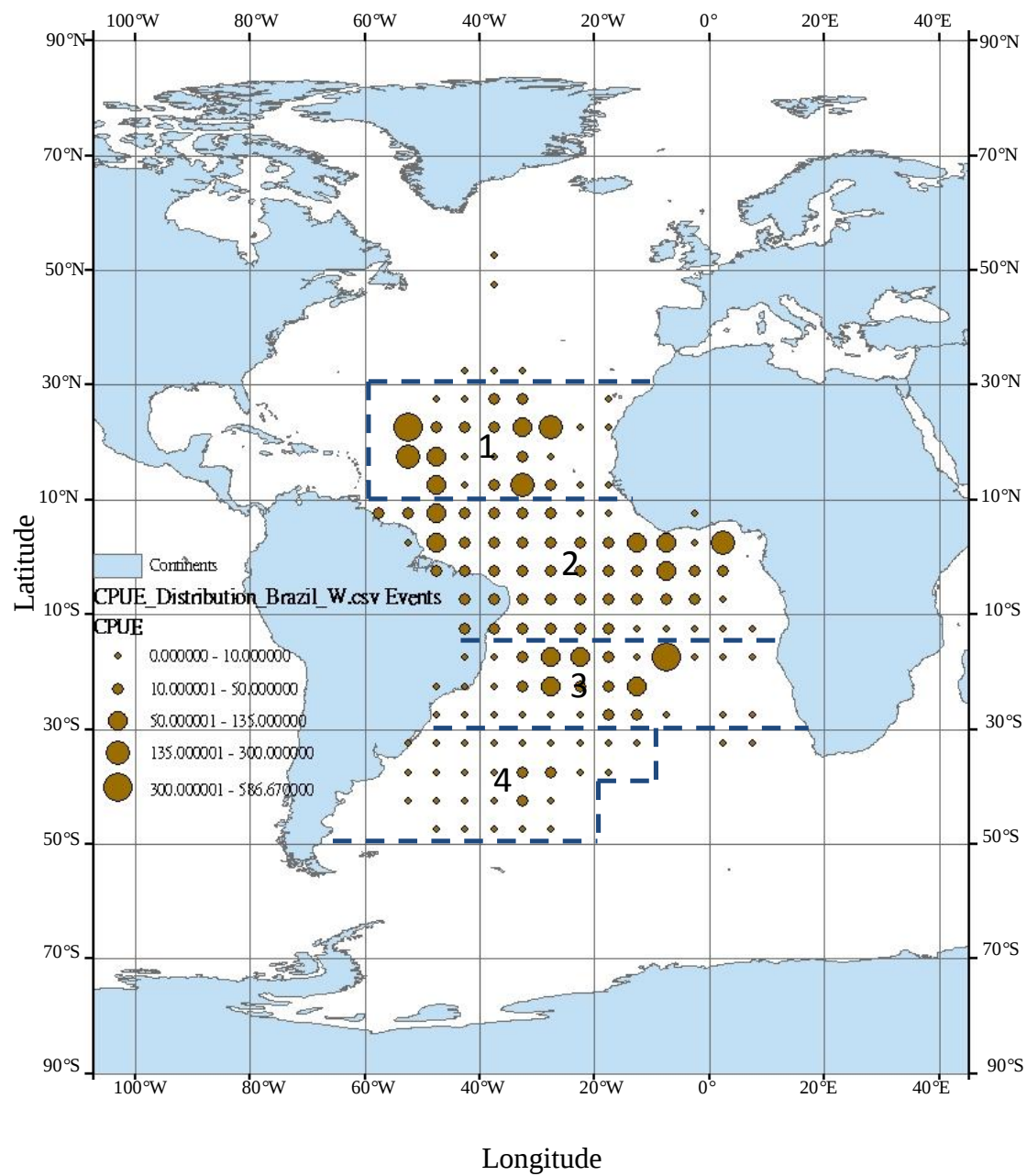


Fig. 7. Distribution of the nominal catch rate of blue marlin caught by Brazilian longline fishery from 1977 to 2009 in the Atlantic Ocean, the dotted line was area division used in CPUE standardization.

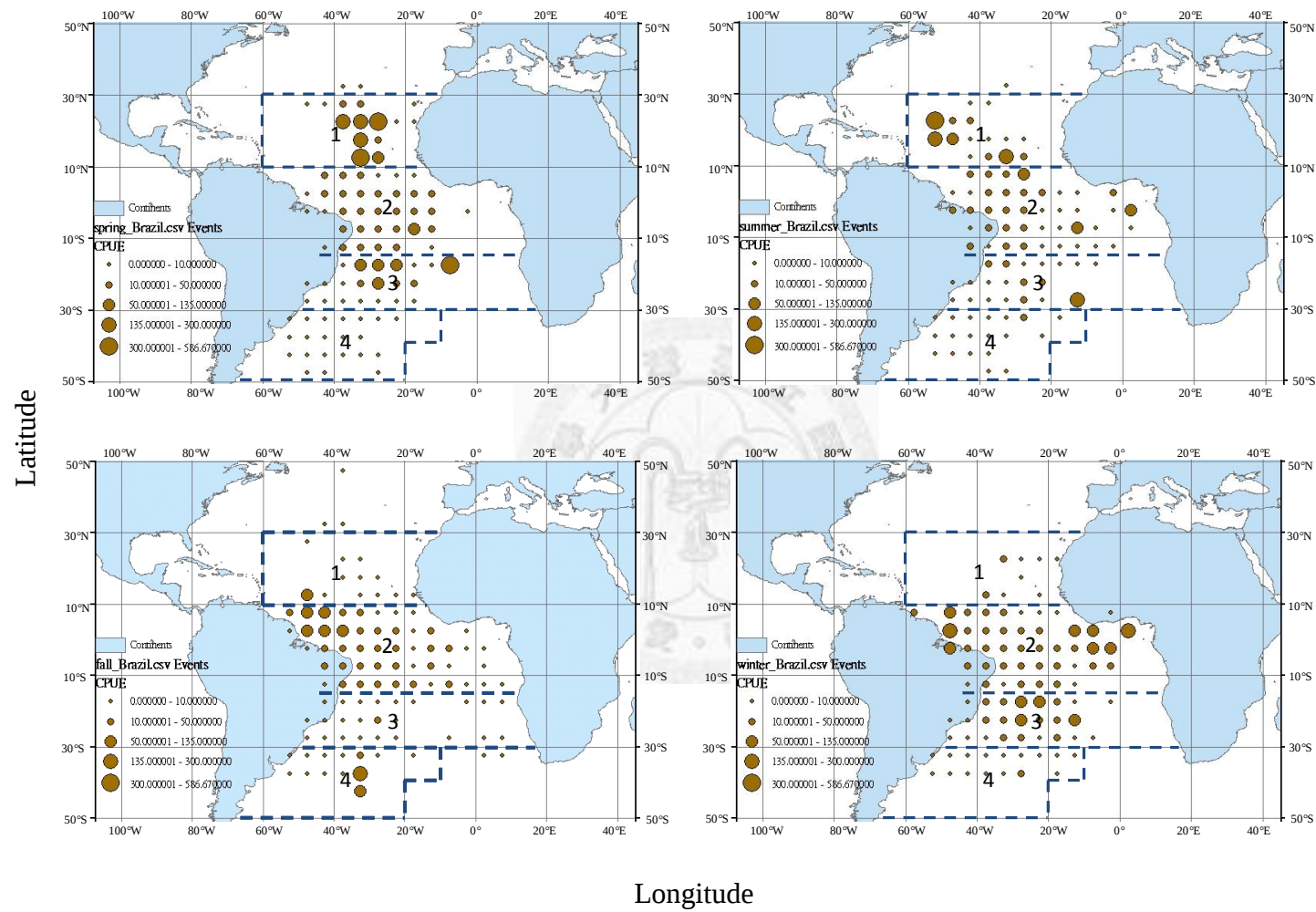


Fig. 8. Seasonal CPUE distribution of blue marlin for Brazilian longline fishery in the Atlantic Ocean during 1977-2009.

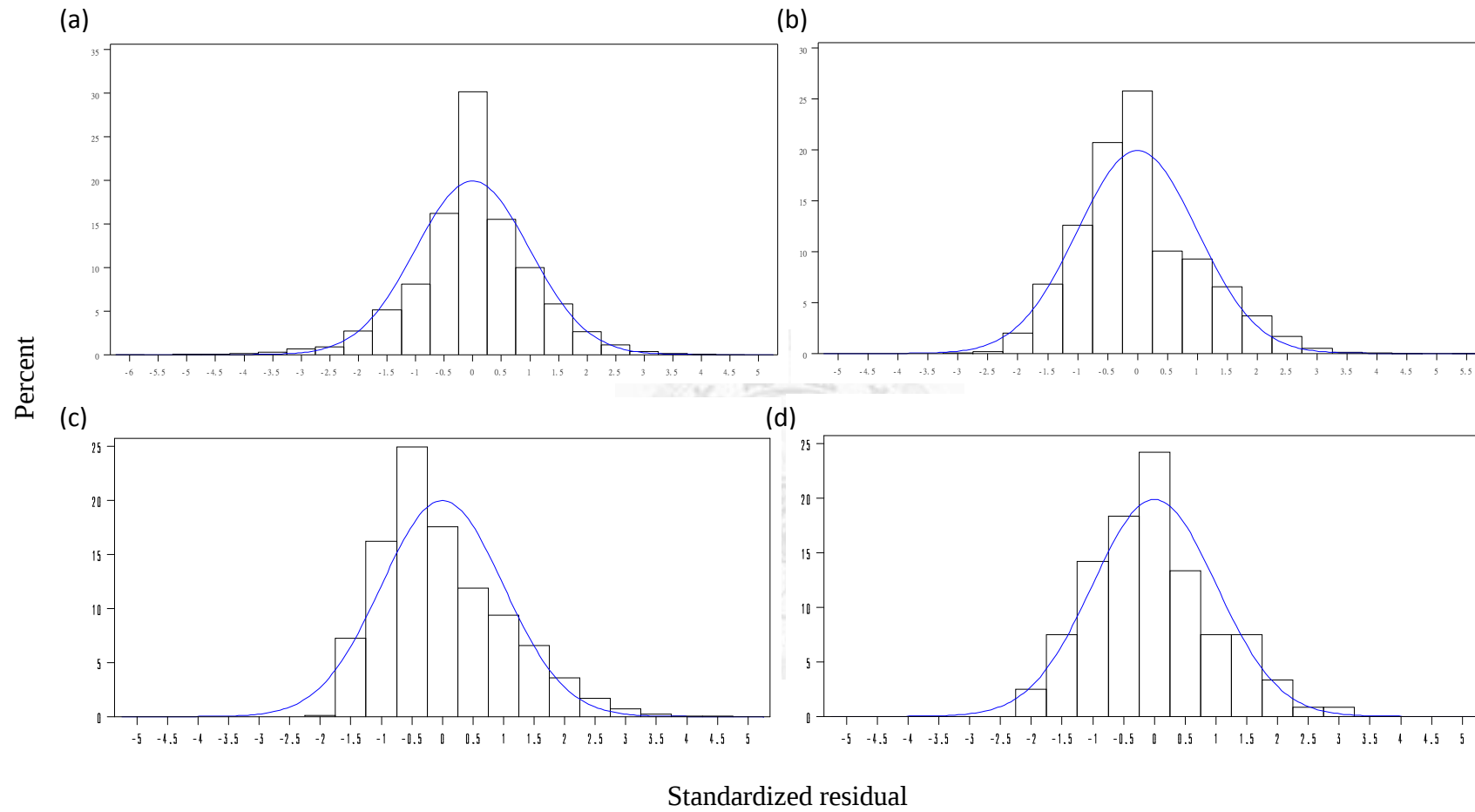


Fig. 9. Residual histograms of the GLM model assuming lognormal errors fitted to the blue marlin CPUE data of (a) Japanese, (b) Taiwanese, (c) Brazilian longline fisheries and (d) Ghanaian gillnet fishery.

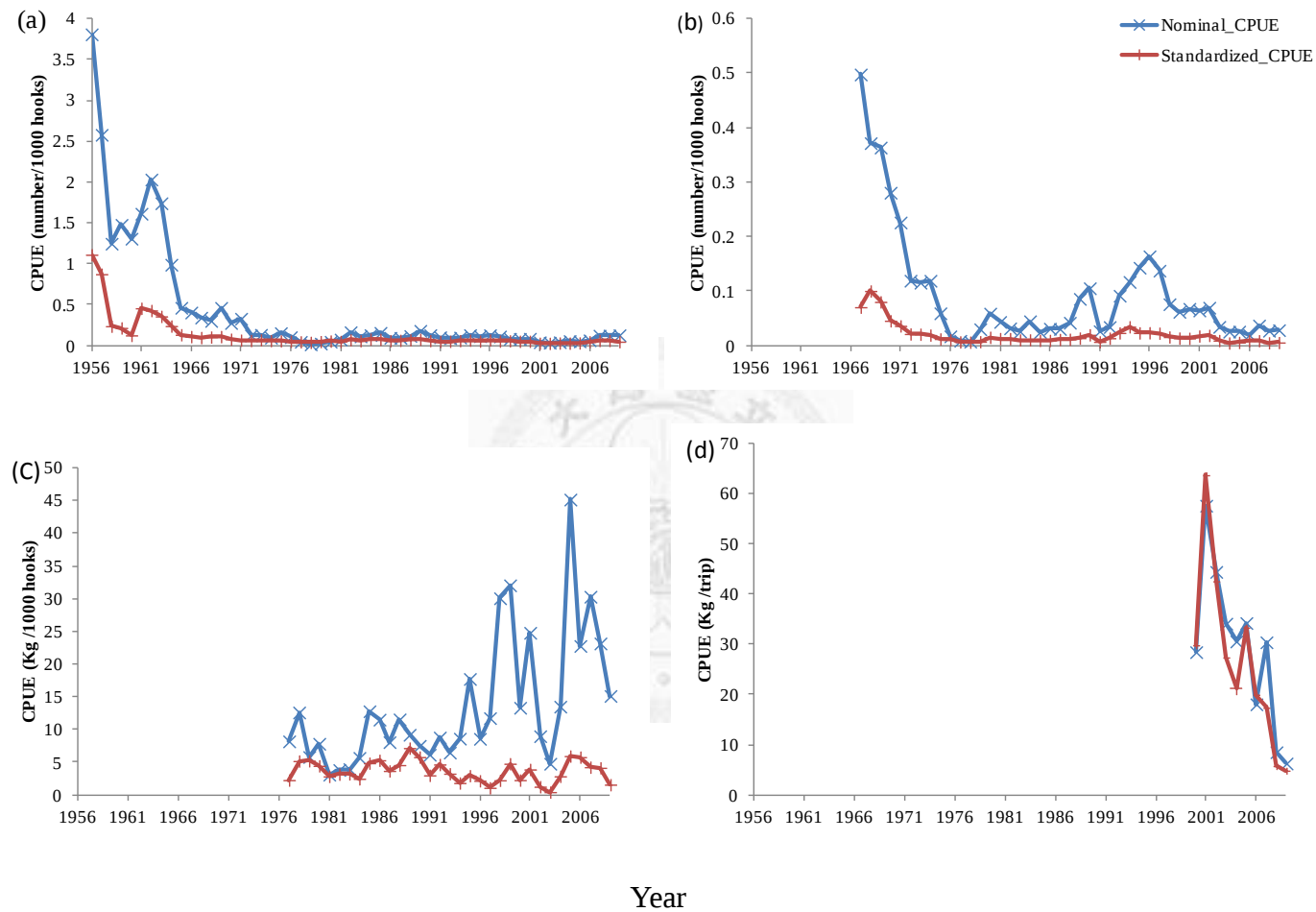


Fig. 10. Nominal and standardized CPUE of blue marlin for (a) Japanese, (b) Taiwanese, (c) Brazilian longline fisheries and (d) Ghanaian gillnet fishery in the Atlantic Ocean.

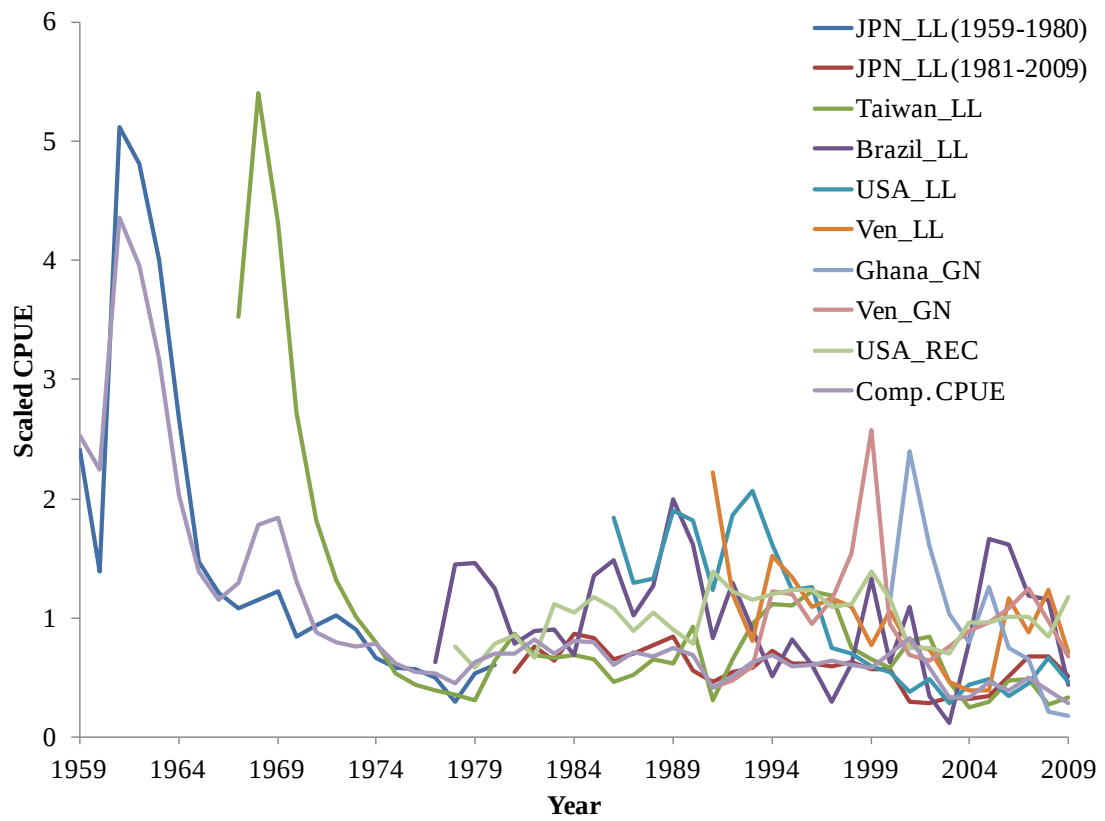


Fig. 11. Scaled CPUE series of Atlantic blue marlin used for ASPIC in this study.

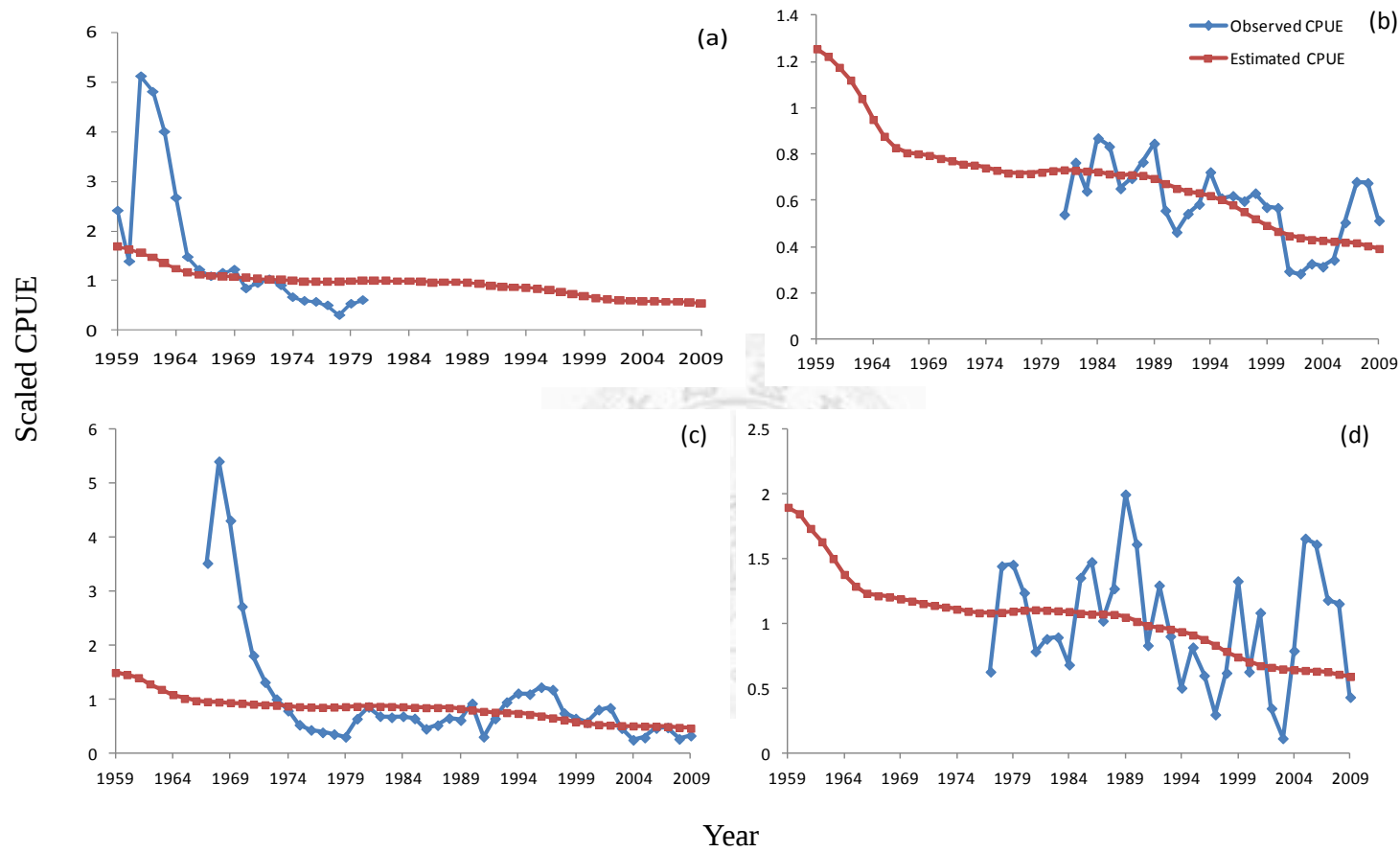


Fig. 12. The observed (diamond) and the ASPIC estimated (square) blue marlin CPUE in the base case for the longline fisheries of Japan(1959-1980) (a), Japan (1981-2009) (b), Taiwan (c), Brazil (d), USA (e), Venezuela (f); gillnet fisheries of Ghana (g), Venezuela (h); and recreational fishery of USA (i), and the other fisheries (j) in the Atlantic Ocean.

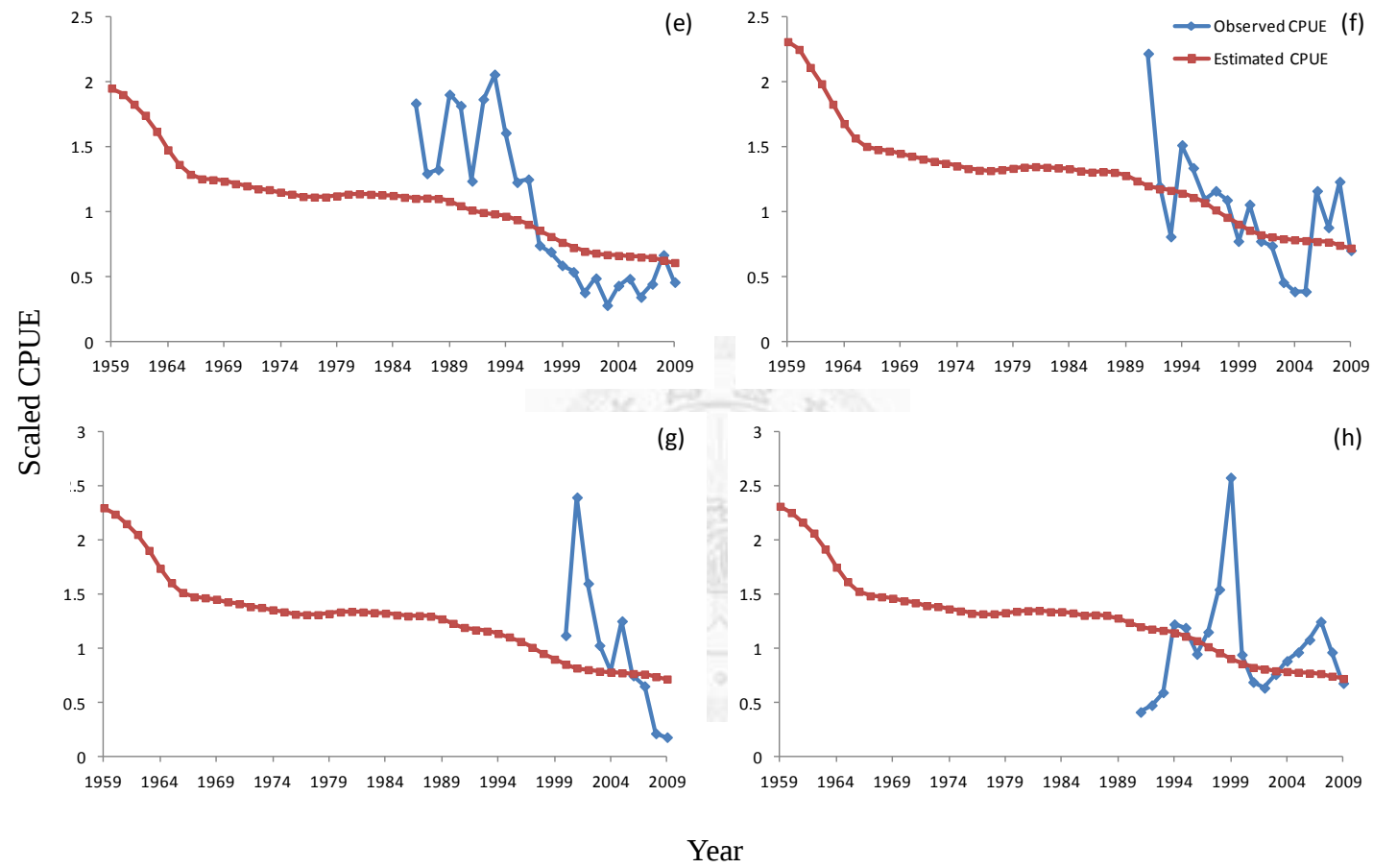


Fig. 12. (continued).

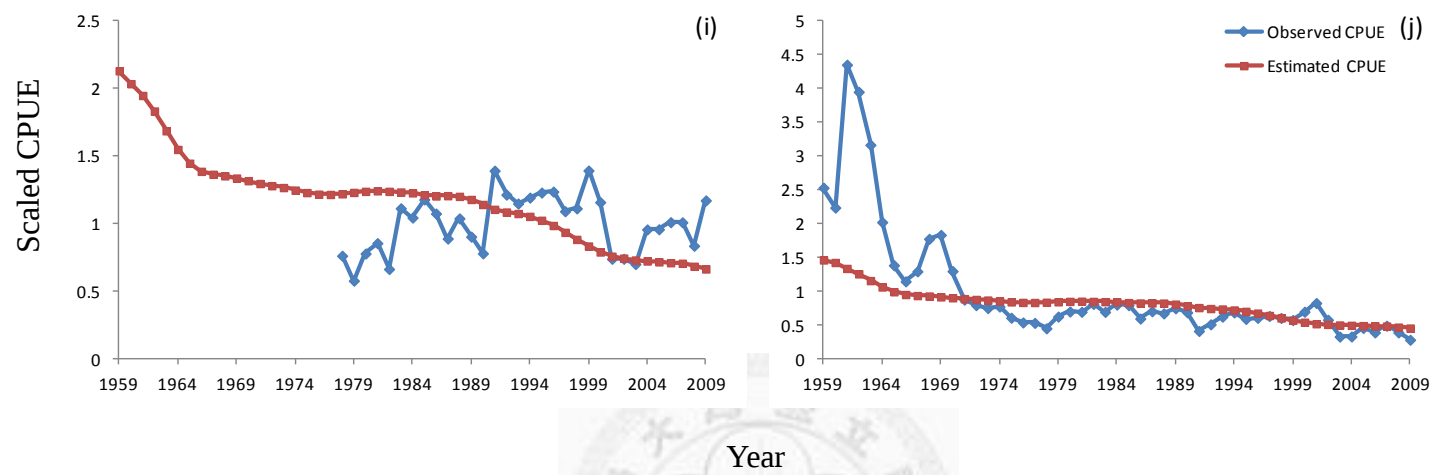


Fig. 12. (continued).

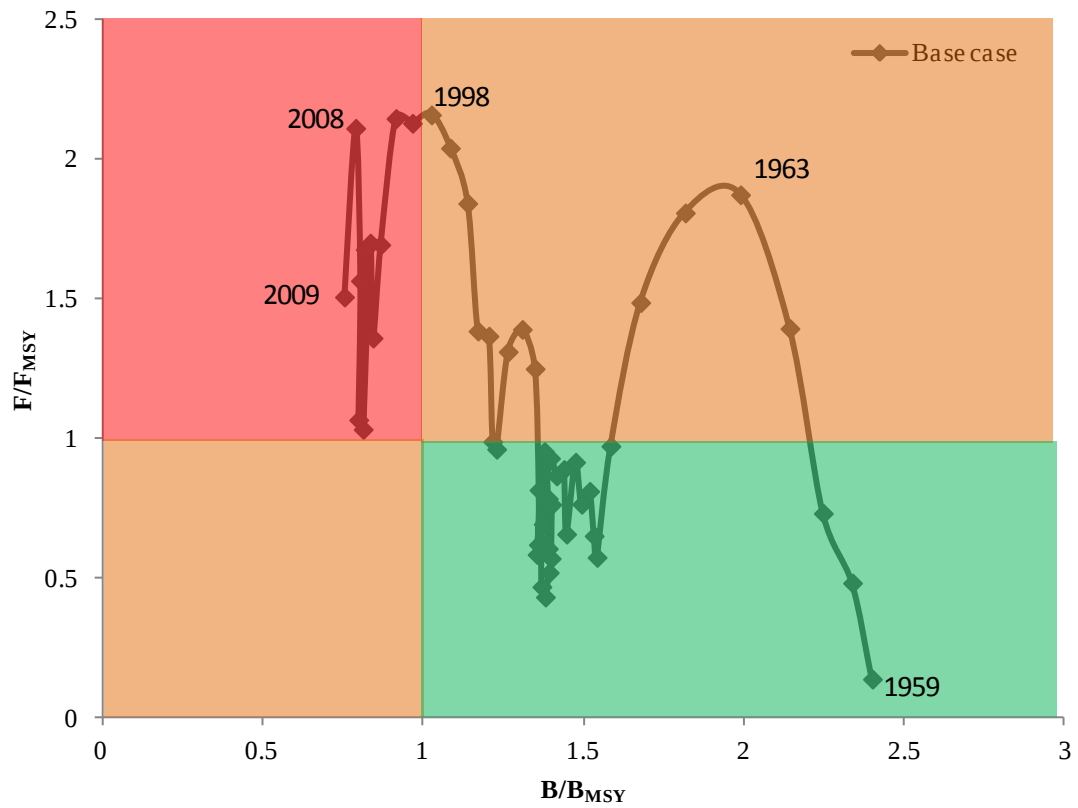
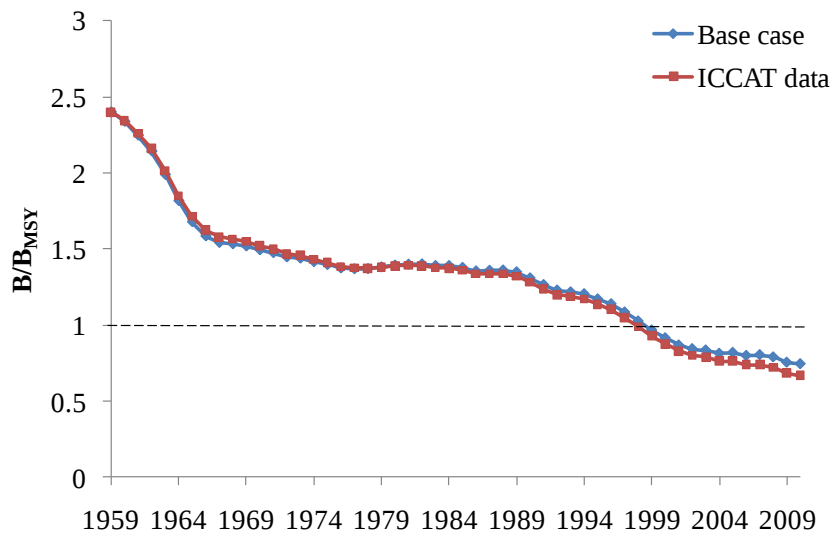


Fig. 13. Kobe diagram showing the estimated time trajectories (1959-2009) of B/B_{MSY} and F/F_{MSY} for Atlantic blue marlin in the base case analysis fitted by ASPIC software.

(a)



(b)

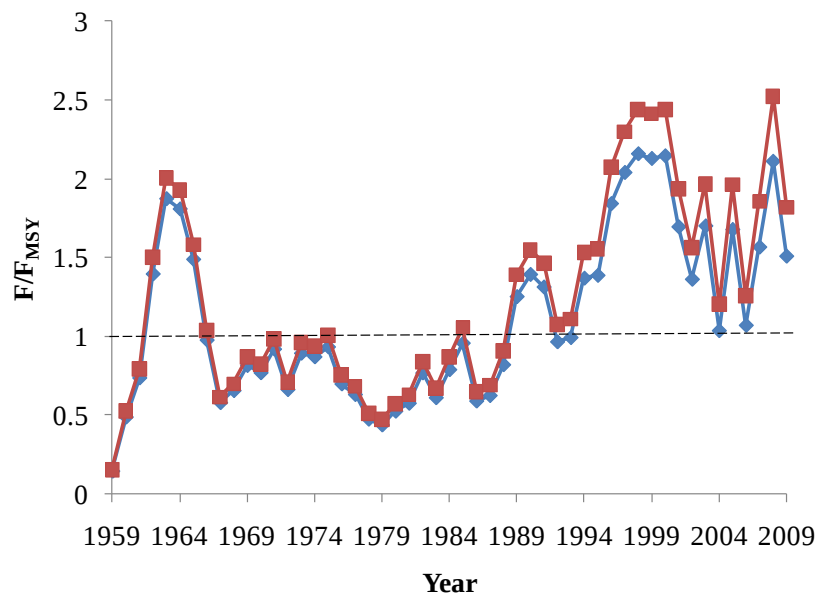
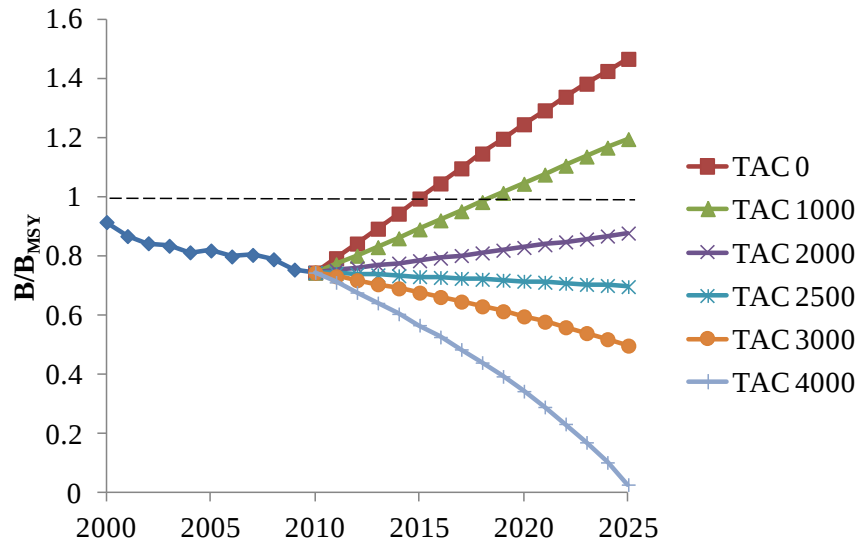


Fig. 14. Trends of (a) B/B_{MSY} and (b) F/F_{MSY} ratios estimated from base case and those estimated using CPUE series from 2011 ICCAT stock assessment.

(a)



(b)

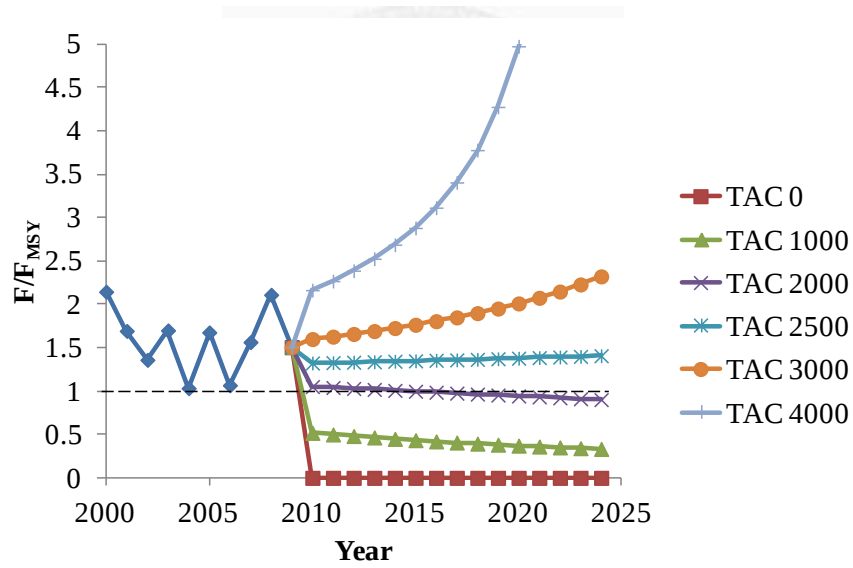
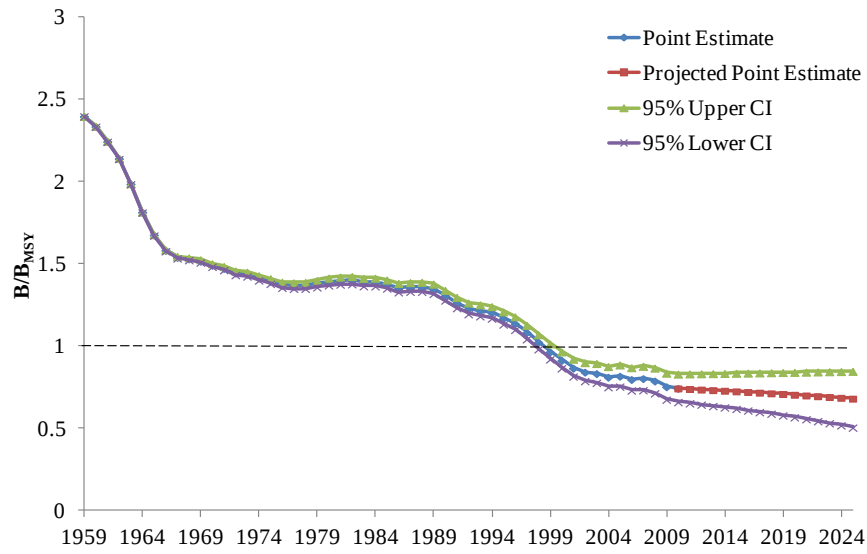


Fig. 15. ASPIC base-case estimated 15 year (starting 2010) predictions of (a) B/B_{MSY} and (b) F/F_{MSY} ratios of Atlantic blue marlin, assuming a constant catch at different levels of total allowable catch (TAC).

(a)



(b)

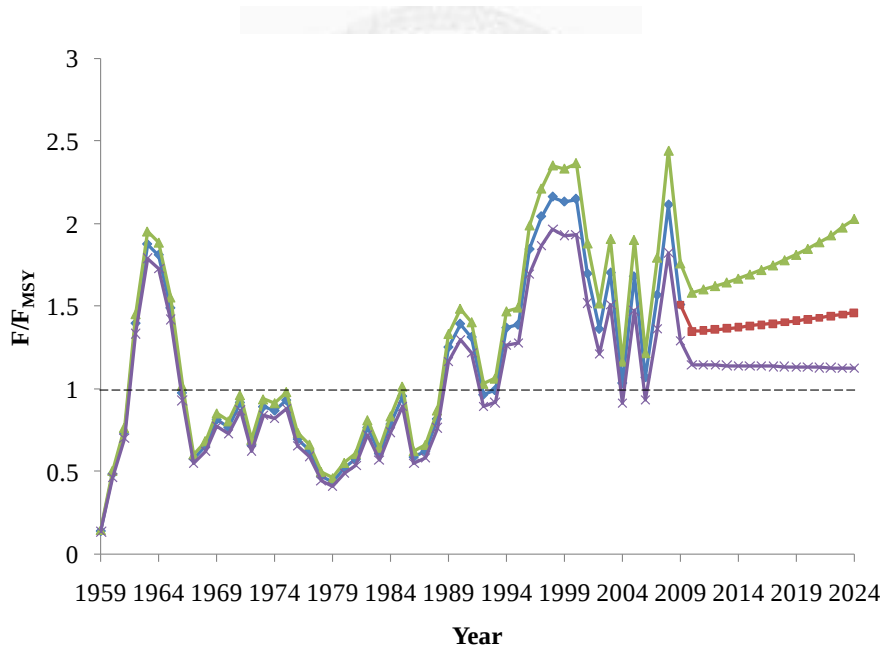


Fig. 16. ASPIC base-case estimated trends of (a) B/B_{MSY} and (b) F/F_{MSY} ratios of Atlantic blue marlin with 15 year (starting 2010) predictions, assuming a constant catch at the total allowable catch of 2538 tons. The dotted line is 95% confidence intervals from the bootstrap.