

以廣義線性模式分析臺灣北部海域劍尖槍魷資源變化趨勢

張可揚¹ · 王凱毅² · 廖正信^{3*}

¹ 行政院農業委員會水產試驗所海洋漁業組

² 基隆市政府產業發展處

³ 國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系

摘 要

劍尖槍魷 (Swordtip squid, *Uroteuthis edulis*) 為臺灣燈火漁業的重要漁獲物種之一。由於頭足類資源多受環境影響而呈現年間波動，因此易受過度捕撈的影響，導致資源的崩潰，凸顯資源評估之重要。本研究以標準化後之單位努力漁獲量 (catch per unit effort, CPUE) 為資源指標，與前一年 CPUE、月別北極震盪指數、月別海洋 Niño 指數及海面水溫 (sea surface temperature, SST)、海面葉綠素甲濃度 (sea surface chlorophyll-a, SSC) 等環境因子進行相關分析及廣義線性模式 (generalized linear model, GLM) 套適，以建立劍尖槍魷資源評估模式及預測資源變化趨勢。本研究結果顯示，劍尖槍魷前一年資源指標與來年之資源指標無顯著相關。在環境因子中，臺灣北部海域湧升流區 (主要產卵場) 在春季繁殖期 (3 月) 的 SST 與劍尖槍魷資源指標有正相關，而湧升流區在春季繁殖期結束後 (5 月) 及東海陸棚 (索餌場) 在成長期 (4 月) 之 SST 與劍尖槍魷資源指標為負相關。SSC 與劍尖槍魷資源指標為負相關。經 Akaike Information Criterion 選擇之廣義線性模式將湧升流區 3 月與東海陸棚區 4 月 SST 納入模式，解釋率為 89.3%。以本研究建立之 GLM 模式，進行 2016 年資源指標預測模擬，結果顯示 2016 年資源指標為下降趨勢，與實際觀測之趨勢相同。

關鍵詞：劍尖槍魷、廣義線性模型、海面水溫

前 言

漁業資源評估的目的在提供目標魚種族群資源量資料，讓漁業管理者可以設定合適的漁獲努力水準 (Boyle and Rodhouse, 2005)。雖然針對條鰭魚類，漁業資源研究學者已發展出許多的資源評估方法，如系群-加入量模式 (stock-recruitment models)、系群分析、耗竭法 (depletion estimates) 以及產量-單位加入量模式 (yield-per-recruit models) 等 (Pierce and Guerra, 1994)，但由於魷類多半為一年生物種，且繁殖後即死亡，幾無像條鰭魚類有年級群的重疊。不同年級群所呈現的系群及加入量關係不存在，因此理論上無法基於前代

(系群) 的資訊來評估下一代 (加入群) 的潛在加入強度與豐度 (Rodhouse, 2001)。再加上每一年的族群資源量幾乎全由新加入之個體組成，因此影響魷類加入成功與否的環境效應可能強烈左右魷類資源豐度 (Beddington *et al.*, 1990; Bellido *et al.*, 2001)。由於魷類資源豐度通常顯示出高的加入變異性，採用條鰭魚類理論的模式就不適合用來評估魷魚資源量。

由於環境狀態影響頭足類資源量之加入，已有許多研究建議將以環境因子為主要影響因子的經驗模式納入頭足類資源評估方法中 (Pierce and Boyle, 2003; Chang *et al.*, 2015)。不同於以邏輯或數學假設為基礎的理論模型，經驗模式是由觀察、實驗或經驗衍生而來，通常使用迴歸來建立經驗模式，而迴歸模式主要採用線性迴歸及非線性迴歸，如廣義線性模式 (generalized linear model, GLM) 及廣義可加性模式 (generalized additive model, GAM)，

*通訊作者 / 基隆市中正區北寧路 2 號, Tel: (02) 2462-2192 ext. 5050; Fax: (02) 2463-5941; E-mail: chliao@mail.ntou.edu.tw

來研究魷類資源變動與環境因子間的關係 (Bellido *et al.*, 2001; Portela *et al.*, 2005; Sanchez *et al.*, 2008; Postuma and Gasalla, 2010)。目前，最常用來評估頭足類豐度的海洋環境因子為海面水溫 (sea surface temperature, SST) 及大氣驅動力 (atmospheric forcing) (Robin and Denis, 1999; Waluda *et al.*, 2004; Boyle and Rodhouse, 2005; Caballero-Alfonso *et al.*, 2010; Polanco *et al.*, 2011; Igarashi *et al.*, 2015)。例如，Waluda *et al.* (1999) 指出在北巴塔哥尼亞陸棚阿根廷魷 (*Illex argentinus*) 孵化區 6 到 7 月間 (孵化期) 的 SST 與其來年資源量有負相關，可能具備預測阿根廷魷資源加入量的潛力。Chang *et al.* (2015) 指出南極震盪 (Antarctic Oscillation) 及 SST 皆會影響阿根廷魷之資源量，且存在時間上的遞延。在西北大西洋，北大西洋震盪 (North Atlantic oscillation, NAO) 指數已證實與紐芬蘭魷 (*Illex illecebrosus*)、長鰭槍魷 (*Loligo pealeii*) 及真章魚 (*Octopus vulgaris*) 等頭足類的資源豐度有關 (Dawe *et al.*, 2000, 2007; Polanco *et al.*, 2011)。

在臺灣沿近海，以燈火漁法捕抓槍魷 (俗稱鎖管) 為最主要的頭足類漁業，所漁獲之鎖管種類包含劍尖槍魷 (*Uroteuthis edulis*)、中國槍魷 (*Uroteuthis chinensis*) 及杜氏槍魷 (*Uroteuthis duvauceli*) (Liao *et al.*, 2010; 王等, 2011; 張等, 2014)，其中又以劍尖槍魷為主要漁獲物種 (曾, 2011)。劍尖槍魷漁獲方式以火誘網 (燈火漁業，含棒受網、扒網、焚寄網等) 及拖網為主，火誘網漁業之產值及產量最具規模 (劉, 2005)，並且以臺灣東北部海域為主要漁獲地點 (曾, 2011)。雖然過去鎖管漁業年產量曾達 20,000 mt 之譜，但近年來產量已下滑至 3,000 mt 上下。例如 2014 年全臺沿近海漁業之鎖管產量為 3,287 mt，產值為 5 億臺幣；2015 年更下滑到 2,458 mt，產值為 4.7 億臺幣 (漁業署, 2016, 2017)。

劍尖槍魷雖為臺灣燈火漁業主要目標物種之一，但每年的漁獲量卻呈現波動，此一資源年間波動現象普遍存在於管魷類中 (Boyle and Boletzky, 1996)，Chang *et al.* (2016) 的研究顯示西南大西洋海域之阿根廷魷，其資源量年間差異可達 10 倍。大西洋福氏槍魷 (*Loligo forbesi*) 的研究亦顯示資源量年間的劇烈波動 (Pierce and Boyle, 2003)。在

如此波動的情況下，如漁業行為未能及時順應資源波動趨勢而調節，除易使漁業從業人員面臨虧損，亦容易導致資源的崩潰，也因此，建立可信賴的資源評估模式，使漁獲努力量可隨資源量的變動進行調節更顯重要。過去對劍尖槍魷的研究集中在其生物學及漁業特性的探討，而較少著墨於資源評估方面。例如，由利用漁船船位記錄系統資料進行的火誘網漁業漁場分布研究顯示，劍尖槍魷之單位努力漁獲量 (catch per unit effort, CPUE) 與鰹魚 CPUE 呈反向變動，而鰹類的漁獲量高於劍尖槍魷 (凌, 2011)。以 GLM 及 GAM 進行劍尖槍魷 CPUE 標準化，其中時間及空間因子對劍尖槍魷 CPUE 有最高的相關性，其累計解釋變量達 48.6%，再者為混雜魚種之解釋變量 14.9%，而漁船性能及海洋環境因子之解釋變量，分別僅有 1.2% 及 0.1% (曾, 2011)。張等 (2015) 則進一步將火誘網漁業中屬於鰹魚作業的漁獲努力量排除，並進行 CPUE 的標準化，結果顯示劍尖槍魷之 CPUE 呈現波動形式，而有豐年及歉年的變化。其中 GLM 依序將年別、漁船別、漁區別、月別及月別與漁區交感等因子納入模式，模式總解釋率為 48.3%，其中以漁船別對 CPUE 的影響最大。這些研究雖增進我們對劍尖槍魷資源變化的了解，然多是僅至歷史漁獲資料的分析，尚未建立預測模式及運用在漁業管理上。因此，發展劍尖槍魷資源預測模式，以為漁業管理參考，成為現階段重要的工作之一。

為了解劍尖槍魷資源變化趨勢，本研究利用燈火漁業樣本船資料，以標準化 CPUE 為資源指標，與 SST、海面葉綠素甲濃度 (sea surface Chlorophyll-a, SSC)、北極震盪 (Arctic Oscillation, AO) 指數及海洋 Niño 指數 (Oceanic Niño Index, ONI) 等環境指標，進行相關分析及廣義線性模式套適，嘗試找出影響劍尖槍魷資源變化的關鍵環境因子，並建立劍尖槍魷資源評估模式，最後模擬驗證此模式預測之準確度。

材料與方法

一、漁獲資料

本研究在 2009 - 2016 年間，每月委請臺灣北

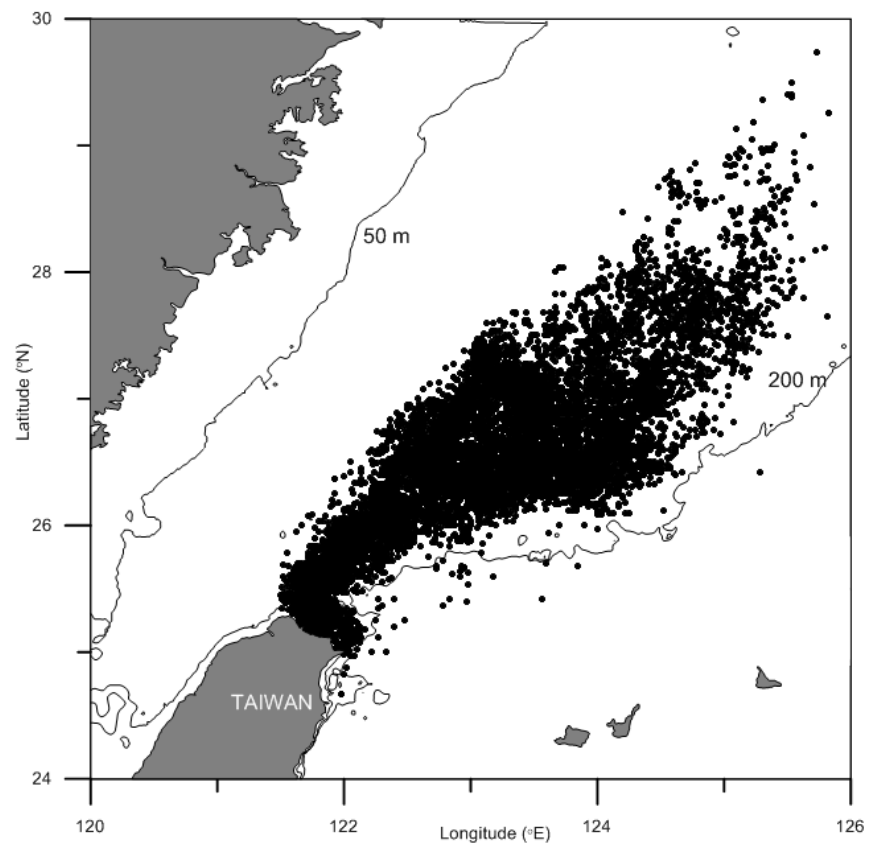


Fig. 1 A map of the study area (24-30°N, 120-126°E) and spatial distribution of catch sites of *Uroteuthis edulis* from 2009 to 2016.

部海域棒受網漁船船長按日填寫漁撈日誌，資料內容包含捕撈時間、地點、海底深度、下網次數、表面水溫、漁獲種類及漁獲量，另登錄各樣本船噸數等資料。研究期間陸續共收集有新北市金山、萬里、瑞芳及貢寮區漁會所屬 41 艘燈火漁船漁獲資料，每年所調查的標本船從 18 - 32 艘不等，船噸數在 11 - 196 tons 之間，其中包含 CT1 (未滿 10 tons) 噸級漁船 2 艘、CT2 (10 - 未滿 20 tons) 噸級漁船 10 艘、CT3 (20 - 未滿 50 tons) 噸級漁船 11 艘、CT4 (50 - 未滿 100 tons) 噸級漁船 15 艘、CT5 (100 - 未滿 200 tons) 噸級漁船 6 艘、CT6 (200 - 未滿 500 tons) 噸級漁船 1 艘。由於在臺灣海峽以及中國沿岸海域 (南東海水深 100 m 以淺) 之漁獲資料，非屬劍尖槍魷，因此排除 (張等, 2015)，而以臺灣北海岸至東北角之沿岸海域及南東海水深 100 m 以深之海域漁獲資料為分析對象，漁船作業範圍最北可達北緯 30 度 (Fig. 1)。

二、CPUE 標準化

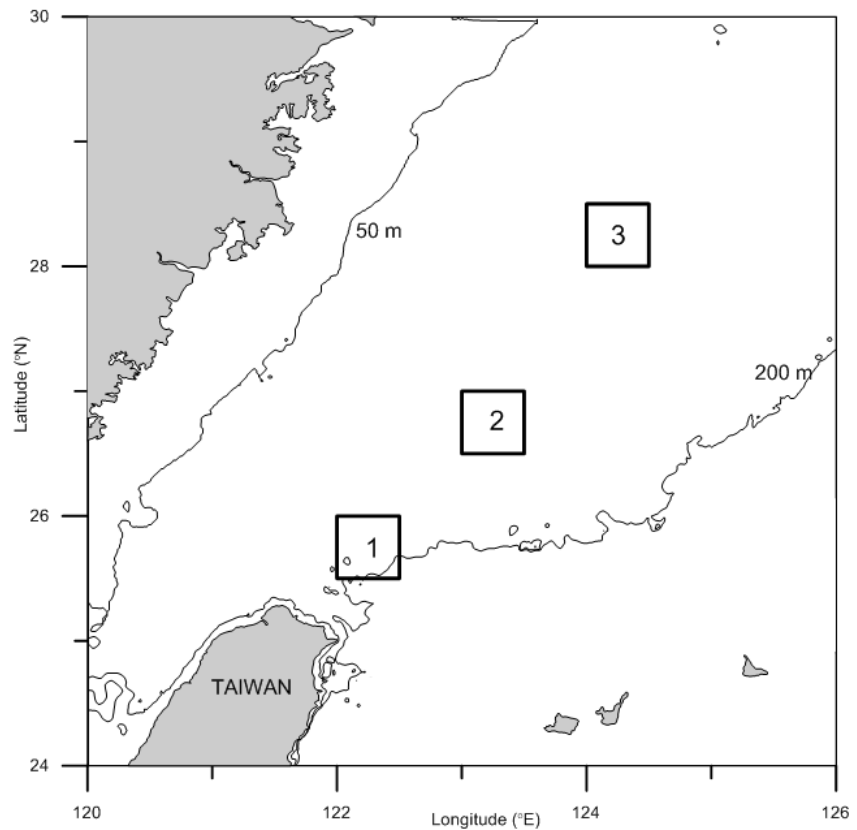
漁獲資料以張等 (2015) 標準化方法，在排除

非以劍尖槍魷為主漁獲之樣本船漁獲資料及非屬劍尖槍魷之漁獲努力量後，以年別、月別、作業漁區、漁船別及漁區與月別交感等因子為影響漁獲能力因子，進行 CPUE 標準化。CPUE 單位為 kg per vessel-day，並且將標準化 CPUE 取對數轉換後為後續模式分析之應變數。

三、環境因子

本研究採用之環境因子包含 SST、SSC、AO Index 及 ONI。SST 取自美國國家海洋暨大氣總署 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) ERDDAP (Environmental Research Division's Data Access Program) 資料庫 Aqua MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 感測器測得之月別 SST 資料，解析度為 4 km × 4 km。SSC 亦取自 ERDDAP 資料庫 Aqua MODIS 測得之資料，解析度為 4 km × 4 km。二者擷取時間均為 2008 年 1 月到 2016 年 12 月，擷取範圍為棒受網漁船作業範圍 (24.0 - 30.0°N, 120.0 - 126.0°E)。AO Index 及 ONI 下載

Fig. 2 A map of the three reference zones of sea surface temperature and sea surface chlorophyll-a in the study area (24-30°N, 120-126°E). The squares indicate the three reference zones (0.5° × 0.5°): 1. Upwelling (25.6-26.0°N, 120.0-122.5°E); 2. Front (26.5-27.0°N, 123.0-123.5°E); 3. Continental shelf (28.0-28.5°N, 124.0-124.5°E).



自 NOAA Climate Prediction Center (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>)。

臺灣燈火漁船捕抓劍尖槍魷之主要作業範圍為北緯 30 度以南之東海海域，王等 (2010) 將臺灣北部水域依水文分為三區：沿岸、湧升流及鋒面區。其中，沿岸海域及湧升海域為劍尖槍魷可能之產卵場，鋒面海域及其以北之陸棚海域為劍尖槍魷索餌成長海域。Lee *et al.* (2015) 則以半度方格為單位劃分東海陸棚鋒面分佈位置，因此本研究參考此 2 篇報告在燈火漁船主要作業範圍內，於湧升流海域（可能產卵場）、潮境鋒面海域（攝食場）及東海陸棚區海域（攝食場）選取 3 個半度方格區域作為環境因子參考點 (Fig. 2)。此外，為了解在劍尖槍魷生活史中，哪一關鍵時期之環境因子變化對其資源量影響最大，考量以月為時間單位，將半度方格內的月 SST 觀測值平均後為該月該參考點之代表水溫。SSC 亦以相同方式取得 3 個參考點之月平均值為指標。

四、相關分析

標準化 CPUE 與前一年度 CPUE 進行自相關

分析 (autocorrelation analysis)，以了解資源指標與是否受前一年度資源指標影響。標準化 CPUE 與各項環境因子進行 Pearson 相關分析，以解析資源指標與各環境因子的相關性。環境因子相關分析之時間區間為前一年 9 月（漁期前一年秋季產卵群開始產卵）至漁期當年 6 月（共計 10 個月），以解析環境因子對劍尖槍魷資源指標的影響 (Waluda *et al.*, 1999; Chang *et al.*, 2015)。

五、模式建立

各月份及參考點組合之環境因子時序列與標準化 CPUE 經相關分析後，如有統計顯著性則選為 GLM 分析之候選因子，迴歸模式如下：

$$\ln(\text{CPUE}_t) = \text{intercept} + E_{1,t} + E_{2,t} + \dots + E_{i,t} + \varepsilon; \quad \varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$$

其中 $\ln(\text{CPUE}_t)$ 為不同年度經對數轉換後之 CPUE 指標， $E_{i,t}$ 為第 i 項環境因子以漁季當年 6 月為起點回推第 t 月之變數，其中 t 由 0 (6 月) 至 9 (前 1 年 9 月)， ε 為誤差項。所有因子進行 GLM 擬合前，先進行變異數膨脹因素 (variance inflation

factor, VIF) 測試，將 VIF 檢定值大於 10 的因子排除，避免共線性。其後，以雙向逐步選擇 (stepwise selection) 方式選汰因子，比較各環境因子加入或排除後，GLM 擬合之 Akaike Information Criterion (AIC) (Akaike, 1973) 值，選出 AIC 值最小之 GLM 擬合模式。完成雙向逐步選擇 GLM 擬合後，再進行變異數分析 (analysis of variance, ANOVA) 檢定，選擇 $p < 0.05$ 之因子為最終模式因子。

六、模式預測模擬

以 GLM 分析得到迴歸模式後，為了解模式之預測能力，先以 2009 年至 2015 年之標準化 CPUE 資料套合此模式取得新參數後，輸入 2016 年模式各因子之觀測值以進行 2016 年 CPUE 估算，以了解模式對 CPUE 變化趨勢之預測是否與觀測值吻合。本研究各項統計分析及檢定以 R 統計程式語言 3.1.3 版 (vers. 3.1.3; R Core Team, 2015) 進行。

結果

一、年度 CPUE 變化

以 CT2 等級以上漁船漁獲紀錄資料計算 2009 到 2016 年樣本船標準化後之年別 CPUE 如 Fig. 3，標準化後之 CPUE 均較名目 CPUE 為低。研究期間標準化 CPUE 最低為 116.3 kg per vessel-day (2016 年)，最高為 268.5 kg per vessel-day (2013 年)，年平均為 208.0 kg per vessel-day。就時序列來看，CPUE 在 2010 年達到高峰後，經歷 2 年的下降，於 2013 年回升至 8 年來的高點，其後資源量持續降低，於 2016 達到最低。過去 1-7 年的 CPUE 自相關分析均未達顯著水準，顯示劍尖槍魷年資源指標無年間自相關存在 (Fig. 4)。

二、與環境之相關分析

將標準化 CPUE 時序列，與 2008 至 2016 年 SST 等環境因子進行相關分析，結果顯示標準化 CPUE 與湧升流區 3 月 SST 有顯著正相關 ($r = 0.8767, p = 0.004$)，5 月 SST 有顯著負相關 ($r = -0.7764, p = 0.023$)；與東海陸棚區 4 月 ($r = -0.7617, p = 0.028$) 及前一年 11 月 SST 有顯著負相關 ($r =$

$-0.7320, p = 0.039$) (Table 1)。此外，CPUE 與漁季當年度東海陸棚區 5 月之 SSC 有顯著負相關 ($r = -0.7614, p = 0.028$)，亦與湧升流區前一年 11 月之 SSC 有顯著負相關 ($r = -0.8415, p = 0.009$) (Table 1)。分析結果顯示標準化 CPUE 與各月份 AO Index 及 ONI 等大氣指標均無顯著相關 (Table 2)。

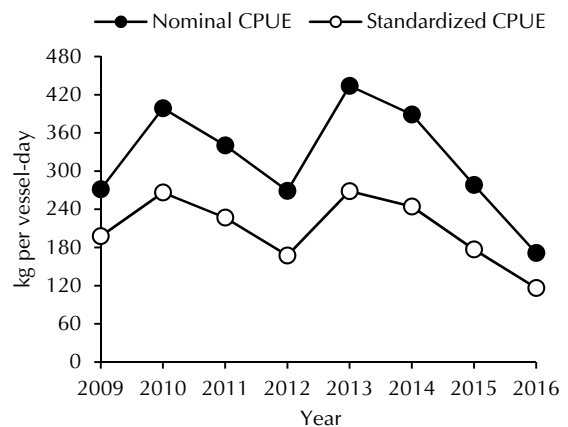


Fig. 3 Nominal and standardized CPUE variations of the *Uroteuthis edulis* torch light fishery in the northern waters of Taiwan from 2009 to 2016.

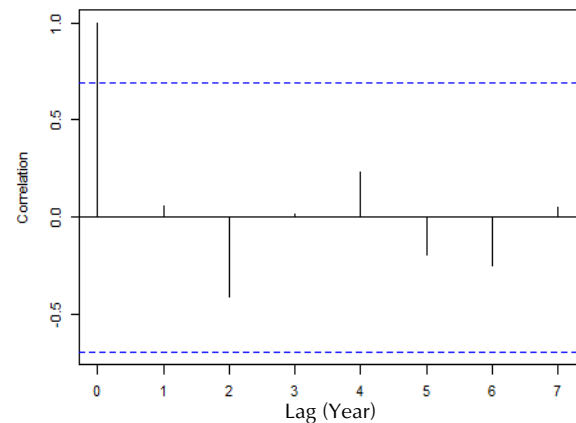


Fig. 4 The autocorrelations of the standardized CPUEs for the *Uroteuthis edulis* torch light fishery in the northern waters of Taiwan from 2009 to 2016 with 1-7 year lags. Dashed lines: 95% confidence interval.

三、評估模式建立

有顯著相關之環境因子經 VIF 檢定顯示湧升流區 5 月 SST 及東海陸棚區 5 月 SSC 有共線性，VIF 值分別為 11.72 及 10.08，故不列入後續 GLM 分析因子。其餘因子與標準化 CPUE 進行 GLM 分

Table 1 The results of correlation analysis between environmental factors and standardized CPUEs of the *Uroteuthis edulis* torch light fishery from 2009 to 2016 in northern Taiwan

| Environmental factors | | Previous year | | | Fishing year | | |
|-----------------------|---------|---------------|----------|----------|--------------|----------|----------|
| | | Month | <i>r</i> | <i>p</i> | Month | <i>r</i> | <i>p</i> |
| SST | Zone 1* | Jul. | -0.8096 | 0.015 | Mar. | 0.8767 | 0.004 |
| | | – | – | – | May | -0.7764 | 0.023 |
| | Zone 3* | – | – | – | Apr. | -0.7617 | 0.028 |
| | | Nov. | -0.7320 | 0.039 | – | – | – |
| SSC | Zone 1* | Nov. | -0.8415 | 0.009 | – | – | – |
| | Zone 3* | – | – | – | May | -0.7614 | 0.028 |

*Zone 1: upwelling; Zone 3: continental shelf

Table 2 The results of correlation analysis between Arctic Oscillation (AO) Index and Oceanic Niño Index (ONI) and standardized CPUEs of the *Uroteuthis edulis* torch light fishery from 2009 to 2016 in northern Taiwan waters

| Month | | Environmental factor* | | | |
|---------------|----|-----------------------|----------|----------|----------|
| | | AO Index | | ONI | |
| | | <i>r</i> | <i>p</i> | <i>r</i> | <i>p</i> |
| Previous year | 9 | 0.1848 | 0.6613 | -0.4011 | 0.3248 |
| | 10 | -0.3367 | 0.4147 | -0.4026 | 0.3228 |
| | 11 | -0.3978 | 0.3290 | -0.4123 | 0.3100 |
| | 12 | -0.6571 | 0.0767 | -0.4395 | 0.2760 |
| Fishing year | 1 | -0.2459 | 0.5572 | -0.4834 | 0.2249 |
| | 2 | -0.3956 | 0.3317 | -0.5069 | 0.1998 |
| | 3 | -0.3859 | 0.3451 | -0.5342 | 0.1726 |
| | 4 | 0.4314 | 0.2859 | -0.5506 | 0.1573 |
| | 5 | -0.1282 | 0.7622 | -0.5912 | 0.1227 |
| | 6 | -0.0911 | 0.8302 | -0.4200 | 0.3002 |

析，經雙向逐步迴歸選擇後，漁期當年度湧升流區 3 月 SST、東海陸棚區 4 月 SST、東海陸棚區 5 月之 SSC 及漁期前一年度湧升流區 11 月 SSC 等 4 項因子為模式之 GLM，其 AIC 值 (-17.92) 最小 (Table 3)。ANOVA 檢定顯示東海陸棚區 5 月 SSC 及漁期前一年度湧升流區 11 月 SSC 等 2 項因子未達顯著標準 (Table 4)。先排除 *p* 值最高的東海陸棚區 5 月 SSC 後，*p* 值次高之湧升流區前一年 11 月 SSC 在新的 GLM 中，*p* 值為 0.069，故再加以排除。最終所得迴歸模式為：

$$\ln(\text{CPUE}) = 2.8110 + 0.2305 \times \text{SST}_1 - 0.1482 \times \text{SST}_2$$

其中 SST_1 為漁期當年度湧升流區 3 月之 SST； SST_2 為漁期當年度東海陸棚區 4 月之 SST。模式解釋率為 89.35%，AIC 值為 -8.41。

模式預測模擬

以 2009 年到 2015 年 CPUE 資料所建立的 GLM 模式為：

$$\ln(\text{CPUE}) = 2.7904 + 0.2103 \times \text{SST}_1 - 0.1205 \times \text{SST}_2$$

新建立之 GLM 參數值與原模式差異不大。2016 年 CPUE 預測模擬，結果顯示所得 2016 年 CPUE 為下降趨勢，與實際觀測趨勢相同，觀測值在預測值 95% 信賴區間內，說明模式有其準確度 (Fig. 5)。

討 論

本研究結果顯示劍尖槍魷當年資源狀態與過

Table 3 Sequential AIC measures associated with stepwise search of each term to the GLM. The final model considered is indicated by bold type

| Stepwise | Model | AIC |
|---------------|---|--------|
| initial model | $\ln(\text{CPUE}) \sim A1_3 + A3_4 + W3_5 + \text{pre}A3_11 + \text{pre}W1_11$ | -17.25 |
| Step 1 | $\ln(\text{CPUE}) \sim A1_3 + A3_4 + W3_5 + \text{pre}W1_11$ | -17.92 |
| | $\ln(\text{CPUE}) \sim A1_3 + A3_4 + W3_5 + \text{pre}A3_11$ | -14.30 |
| | $\ln(\text{CPUE}) \sim A1_3 + A3_4 + \text{pre}A3_11 + \text{pre}W1_11$ | -11.95 |
| | $\ln(\text{CPUE}) \sim A3_4 + W3_5 + \text{pre}A3_11 + \text{pre}W1_11$ | -10.31 |
| | $\ln(\text{CPUE}) \sim A1_3 + W3_5 + \text{pre}A3_11 + \text{pre}W1_11$ | -7.39 |
| Step 2 | $\ln(\text{CPUE}) \sim A1_3 + A3_4 + \text{pre}W1_11$ | -13.82 |
| | $\ln(\text{CPUE}) \sim A3_4 + W3_5 + \text{pre}W1_11$ | -11.58 |
| | $\ln(\text{CPUE}) \sim A1_3 + A3_4 + W3_5$ | -10.27 |
| | $\ln(\text{CPUE}) \sim A1_3 + W3_5 + \text{pre}W1_11$ | -8.18 |

Table 4 Analysis of deviance for generalized liner models fitted to the standardized *Uroteuthis edulis* CPUE data from 2009 to 2016 in northern Taiwan waters

| Variables* | Deviance | Df. | Explained (%) | Resid. Deviance | Resid. Df | F | p |
|------------|----------|-----|---------------|-----------------|-----------|----------|--------|
| NULL | | | | 0.5652 | 7 | | |
| Z1_3SST | 0.4343 | 1 | 76.9 | 0.1308 | 6 | 117.1326 | 0.0017 |
| Z3_4SST | 0.0706 | 1 | 12.5 | 0.0602 | 5 | 19.0397 | 0.0223 |
| Z3_5SSC | 0.0230 | 1 | 4.1 | 0.0372 | 4 | 6.2121 | 0.0883 |
| Z1_P11SSC | 0.0261 | 1 | 4.7 | 0.0111 | 3 | 7.0271 | 0.0769 |
| Total | | | 98 | | | | |

*Z1_3SST: SST in Zone 1 in March; Z3_4SST: SST in Zone 3 in April; Z3_5SSC: SSC in Zone 3 in May; Z1_P11SSC: SSC in Zone 1 in November previous the fishing year.

往資源好壞無顯著關係，此一結果與其他管魷目的頭足類研究相符。例如，Pierce and Boyle (2003) 針對大西洋福氏槍魷的研究，Dawe *et al.* (2000) 針對大西洋紐芬蘭魷及 Chang *et al.* (2015) 針對西南大西洋阿根廷魷的研究，均顯示頭足類漁獲量無顯著的年間自相關。Beddington *et al.* (1990) 分析系群和加入群的關係，亦說明某一年的魷魚產量與隨後一年的系群豐度相關性不強。由於大多數管魷類是一生繁殖一次的物種，在一次生殖週期後即死亡，因此其系群與加入群之間的關係十分微弱，近來研究顯示環境因子可能是影響頭足類資源分布和豐度的關鍵因素 (Waluda *et al.*, 1999; Pecl and Jackson, 2008; Pierce *et al.*, 2008; Chang *et al.*, 2015, 2016)。

由於產卵場、孵化地區及覓食棲地 SST 會影

響管魷的豐度，因此最常用來作為解析管魷類豐度的環境因子 (Middleton and Arkhipkin, 2001; Waluda *et al.*, 2001; Bazzino *et al.*, 2005; Chen *et al.*, 2007a, b; Chang *et al.*, 2015)。SST 的變化反映了海洋的環境狀態，例如管魷族群所處海域的水溫或不同洋流匯合區所形成之鋒面位置，這些因素可能直接 (例如影響有利的棲地的範圍) 或間接 (例如影響營養階層關係) 影響幼體存活 (Middleton and Arkhipkin, 2001)。本研究結果顯示，就臺灣北部海域劍尖槍魷的洄游範圍來說，在湧升流區及東海陸棚區的 SST 與其資源量變化有顯著關聯。其中，除湧升流區 3 月 SST 與資源量有正相關，其餘 SST 皆為負相關。湧升流區為劍尖槍魷的產卵場，成熟之劍尖槍魷在每年春季 (3 - 5 月) 及秋季 (10 - 12 月) 洄游至該海域繁殖

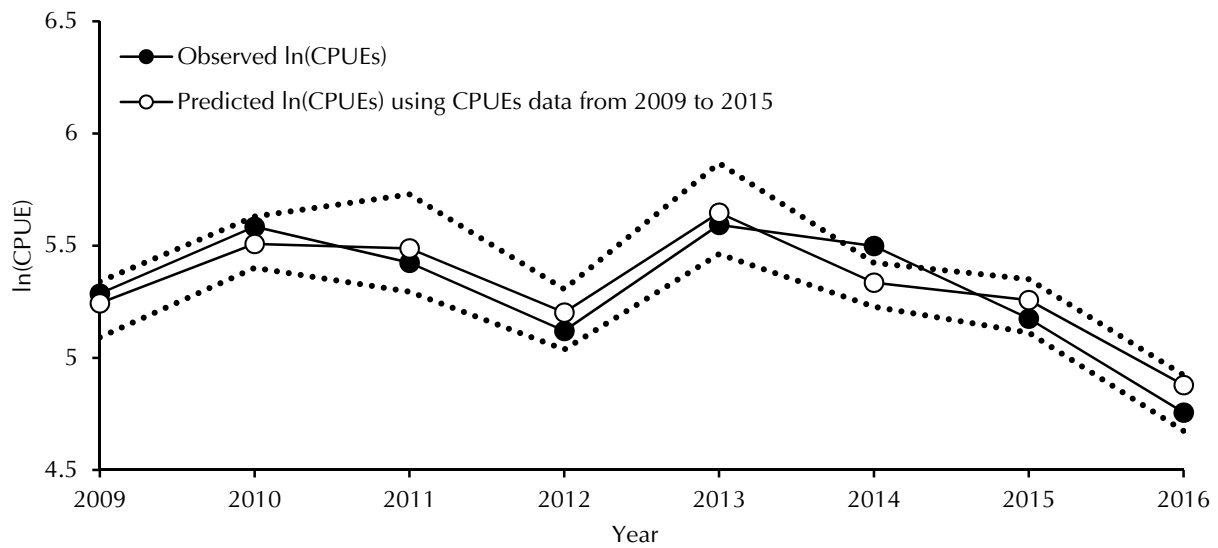


Fig. 5 Variations of the standardized ln(CPUEs) and predicted ln(CPUEs) using CPUE data from 2009 to 2015 for the *Uroteuthis edulis* torch light fishery in the northern waters of Taiwan from 2009 to 2016. Dashed lines: 95% confidence interval.

產卵，而為春季及秋季產卵群 (王等, 2010)。其中，秋季產卵群產生的入添成為來年漁期前期的漁獲目標，而春季產卵群產生的入添則為漁期後期的漁獲目標。由於管魷的資源量主由入添量所決定，因此產卵場環境是否適合劍尖槍魷卵的發育及孵化，對資源量有重要影響 (Boyle and Boletzky, 1996)。Forsythe (1993) 的研究指出，在頭足類生活史的早期指數成長期間，水溫由 14°C 提高 1°C，將使個體重量增加 2 倍，而提高水溫 2°C，將使個體重量增加 5 倍。Forsythe *et al.* (2001) 亦指出在萊氏擬烏賊 (*Sepioteuthis lessoniana*) 卵的發育中，較高的孵化水溫，可以使個體在孵化後的 50 天內有快速孵化後成長率。*Loligo vulgaris* 幼生的研究指出，藉由縮短動浮期，較高的 SST 可提高幼生的存活率 (Moreno *et al.*, 2012)。這些結果說明了較高的幼生早期環境溫度將有助於幼生的成長。此外，就 SST 變化來看，3 月水溫尚低，較不適合鎖管卵的發育，因此更易受環境變化影響，及至 4 月水溫上升後，產卵場環境適合鎖管卵的發育，故受水溫變化影響較小。5 月為產卵季末期，多數卵孵化後，幼生成長反受高水溫影響，因此湧升流區 5 月 SST 與資源指標呈負相關。較高的水溫對成體呈現相反的影響，高水溫將使成體快速成熟，因而縮短其生活史，造成成熟個體的小型化 (Pecl and Jackson, 2008)，並提早進入漁業中，因而

造成資源量的降低 (Agnew *et al.*, 2000)。本研究的相關分析結果顯示，在前一年秋季繁殖期前的 7 月與當年春季繁殖期後的 5 月湧升流區以及前一年秋季繁殖期後的 11 月與當年 4 月東海陸棚區的 SST，均與當年的資源量有顯著負相關，說明了個體成長過程中高水溫的影響。

不同時間的高 SST，對劍尖槍魷資源量的影響不盡相同。在 7 月間，此時秋季產卵群即將邁入成熟期而進入位於湧升流區的產卵場，此時的高 SST，將會促使其提早性成熟而進入繁殖階段。因為提早性成熟，使其成熟體型較小而影響產卵量 (Haimovici *et al.*, 1998)，造成入添量的降低，影響來年資源量。而這些秋季產卵群所產生的個體，將在下一年 4 月洄游至東海陸棚的覓食場 (王等, 2010)，如又遭遇高 SST 的環境，而提早性成熟，不再進行體成長，又將進一步導致整體資源量的下降。另一方面，5 月湧升流區的高 SST，會影響春季產卵群所孵化的個體，增加其成長速率，使其提早進入漁業 (Agnew *et al.*, 2000)。相反的，這些時間點如劍尖槍魷生存環境之 SST 能維持在低水溫狀況，將可延後其性成熟，而使資源量有所提升 (Pecl and Jackson, 2008)。此種在其主要覓食場及育成場中較低的 SST 促成高系群豐度之現象，在阿根廷魷亦有被發現 (Chen *et al.*, 2007b; Chang *et al.*, 2015)。

另一方面，SSC 為海洋生產力的指標之一，其變化可能可以反映管魷族群所處海域的食物量，亦有可能影響其資源豐度，然本研究結果卻顯示 SSC 與劍尖槍魷的資源量呈現負相關。由於頭足類係以視覺為主要覓食工具，高 SSC 反映出該海域海水混濁度較高，可能影響管魷覓食。就依賴視覺的掠食者而言，清澈的水域有利於捕捉獵物的現象，在雨傘旗魚 (*Istiophorus platypterus*)、黑皮旗魚 (*Makaira nigricans*)、長鰭鮪 (*Thunnus alalunga*)、棘鱗 (*Acanthocybium solandri*) 等研究都有相似結論 (Su *et al.*, 2008; Zainuddin *et al.*, 2008; Martínez-Rincón *et al.*, 2012; Mourato *et al.*, 2014)。Postuma and Gasalla (2010) 有關 *Loligo plei* 的魷釣漁業的研究亦呈現相同的結果，由於受高 SSC 所導致的低海水透明度影響，*L. plei* 的釣獲量與 SSC 呈現負相關。在本研究中，SSC 的影響發生在湧升流區的 11 月及東海陸棚區的 5 月。其中，湧升流區為劍尖槍魷的主要產卵場 (王等, 2010)，11 月正值秋季繁殖季剛結束，大量幼生出現，此時高 SSC 可能影響幼生覓食，增加幼生的死亡率。而到了 5 月，多數個體已洄游到東海陸棚區的覓食場，此時覓食場的高 SSC，又可能影響成體覓食，降低其成長效率，二者皆會造成資源量的下降。

在管魷中，已有許多研究以經驗模式來建立資源評估模式，例如 Pierce and Boyle (2003) 以 SST、海床水溫、海洋表面鹽度、海床鹽度及 NAO 指數等因子 (包含遞延一年之效應)，建立了一個可解釋福氏槍魷資源變動的迴歸模型，其決定係數在不同地區均超過 0.80。而 Robin and Denis (1999) 也以 3 月漁場的 SST 為環境因子，建立了可解釋英吉利海峽鎖管資源變動的迴歸模型，其決定係數為 0.78。Postuma and Gasalla (2010) 以 SST 及 SSC 為因子，建立 *L. plei* 的評估模式。因此，迴歸模式能在管魷類資源模式建構與預報上發揮作用。在本研究中，以 GLM 為迴歸模型，以漁期當年度湧升流區 3 月與東海陸棚區 4 月之 SST 為影響因子，建立劍尖槍魷的資源變動模式，說明特定時空環境中的 SST 對劍尖槍魷資源量有關鍵影響。湧升流區 3 月的高 SST，有利於其春季產卵群卵的孵化與幼生的初期成長，而東海陸棚區 4 月之低 SST，將可使秋季產卵群產生的入添個體延緩性成熟，此二因素成為高資源量的關鍵。

本研究以 2016 年為對象，進行模式的預測模

擬，其結果在 95% 信賴區間內，說明本模式有其準確性。然在模式實用之前，仍有二個問題待解決。首先，本研究僅使用 8 年的漁獲資料，相較於其他管魷研究所採用的漁獲資料時序列，例如阿根廷魷的 20 年 (Chang *et al.*, 2015)，英吉利海峽鎖管的 11-14 年 (Robin and Denis, 1999)，漁獲資料的時序列仍嫌過短，可能影響模式的建構，因此未來仍有待漁獲資料的累積以持續驗證並增加模式準確性。其次，本研究所建立之預測模式，被選入的環境因子皆為當年的 SST，由於劍尖槍魷的漁季在每年的 4 月到 10 月之間，而模式所採用 NOAA 提供的 SST 遙測資料上網公開約有 2 個月的落差，因此如要以本模式進行預測，最快要到 6 月才會有預測結果。然而在資源管理上，通常希望能在漁期開始前即能擬訂管理策略，方能發揮功效，本研究之 GLM 模式在漁期開始後才有預測結果，實用性大打折扣。因此，未來如能以試驗船在漁期開始前，到有相關之 SST 參考點進行實際 SST 的量測，將可即時取得相關資料進行資源評估。另一方面，亦可與其他研究單位合作，及早取得 SST 的預測值進行模式推算，將可增進評估模式之實用性。

謝 辭

本研究經費由行政院農業委員會水產試驗所 106 農科-10.2.2-水-A1 項下支助。感謝 2 位審查委員提供許多精闢的意見，使本篇報告更加完善。另承國立臺灣海洋大學王世斌博士、陳志忻博士及水產試驗所海洋漁業組同仁提供論文分析與討論之意見，特此表示謝意。

參考文獻

- 王凱毅, 張可揚, 李國添, 廖正信 (2010) 南東海劍尖槍鎖管體型與生殖狀況之時空變化. 水產研究, 18(1): 13-32.
- 王凱毅, 陳瑞谷, 廖正信, 李國添, 吳繼倫, 李明安, 張可揚 (2011) 利用平衡石分析東海南部劍尖槍鎖管之季節成長差異. 水產研究, 19(2): 1-13.
- 凌子雅 (2011) 利用漁船船位動態資料探究臺灣東北海域火誘網漁業作業漁場之分布結構. 國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系 碩士論文, 108 pp.
- 曾建豪 (2011) 臺灣東北部海域劍尖槍鎖管族群豐度時空變動模式分析. 國立臺灣海洋大學環境生物與漁

- 業科學學系 碩士論文, 70 pp.
- 張可揚, 王凱毅, 廖正信, 吳繼倫 (2015) 臺灣北部海域劍尖槍鎖管單位努力漁獲量標準化之探討. 水產研究, 23(2): 1-14.
- 張可揚, 廖正信, 黃筱婷, 吳繼倫, 王凱毅 (2014) 臺灣沿海中國槍鎖管、杜氏鎖管及劍尖槍鎖管之年齡與成長. 水產研究, 22(1): 1-13.
- 漁業署 (2016) 中華民國臺灣地區漁業年報. 行政院農業委員會漁業署, 臺北, 188 pp.
- 漁業署 (2017) 中華民國臺灣地區漁業年報. 行政院農業委員會漁業署, 臺北, 188 pp.
- 劉宗祐 (2005) 利用形態測量法探討劍尖槍與臺灣鎖管族群分布結構之研究. 國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系 碩士論文, 100 pp.
- Agnew, D. J., S. Hill and J. R. Beddington (2000) Predicting the recruitment strength of an annual squid stock: *Loligo gahi* around the Falkland Islands. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 57: 2479-2487.
- Akaike, H. (1973) Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In Proceeding of the Second International Symposium on Information Theory (Petrov, B. N. and F. Caski eds.), Akademiai Kiado, Budapest, Hungarian, 267-281.
- Bazzino, G., R. A. Quiñones and W. Norbis (2005) Environmental associations of shortfin squid *Illex argentinus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) in the Northern Patagonian Shelf. Fish. Res., 76: 401-416.
- Beddington, J. R., A. A. Rosenberg, J. A. Crombie and G. P. Kirkwood (1990) Stock assessment and the provision of management advice for the short fin squid fishery in Falkland islands waters. Fish. Res., 8: 351-365.
- Bellido, J. M., G. J. Pierce and J. Wang (2001) Modelling intra-annual variation in abundance of squid *Loligo forbesi* in Scottish waters using generalized additive models. Fish. Res., 52: 23-39.
- Boyle, P. and S. Boletzky (1996) Cephalopod populations: definition and dynamics. Philos. T. Roy. Soc. B., 351(1343): 985-1002.
- Boyle, P. and P. Rodhouse (2005) Cephalopods: Ecology and Fisheries. Blackwell Science Press, London, 452 pp.
- Caballero-Alfonso, A. M., U. Ganzedo, A. Trujillo-Santana, J. Polanco, A. Santana del Pino, G. Ibarra-Berastegi and J. J. Castro-Hernández (2010) The role of climatic variability on the short-term fluctuations of octopus captures at the Canary Islands. Fish. Res., 102: 258-265.
- Chang, K. Y., C. S. Chen, H. Y. Wang, C. L. Kuo and T. S. Chiu (2015) The Antarctic Oscillation index as an environmental parameter for predicting catches of the Argentine shortfin squid (*Illex argentinus*) Cephalopoda: Ommastrephidae) in southwest Atlantic waters. Fish. Bull., 113: 202-212.
- Chang, K.-Y., C.-S. Chen, T.-Y. Chiu, W.-B. Huang and T.-S. Chiu (2016) Argentine shortfin squid (*Illex argentinus*) stock assessment in the southwest Atlantic using geostatistical techniques. Terr. Atmos. Ocean. Sci., 27: 281-292.
- Chen, C.-S., T.-S. Chiu and W.-B. Haung (2007a) The spatial and temporal distribution patterns of the argentine short-finned squid, *Illex argentinus*, abundances in the southwest Atlantic and the effects of environmental influences. Zool. Stud., 46: 111-122.
- Chen, C.-S., W.-B. Haung and T.-S. Chiu (2007b) Different spatiotemporal distribution of Argentine short-finned squid (*Illex argentinus*) in the southwest Atlantic during high-abundance year and its relationship to sea water temperature changes. Zool. Stud., 46: 362-374.
- Dawe, E. G., E. B. Colbourne and K. F. Drinkwater (2000) Environmental effects on recruitment of short-finned squid (*Illex illecebrosus*). ICES J. Mar. Sci., 57: 1002-1013.
- Dawe, E. G., L. C. Hendrickson, E. B. Colbourne, K. F. Drinkwater and M. A. Showell (2007) Ocean climate effects on the relative abundance of short-finned (*Illex illecebrosus*) and long-finned (*Loligo pealeii*) squid in the northwest Atlantic Ocean. Fish. Oceanogr., 16(4): 303-316.
- Forsythe, J. W. (1993) A working hypothesis of how seasonal temperature change may impact the field growth of young cephalopods. In Recent Advances in Cephalopod Fisheries Biology (T. Okutani, R. K. O'Dor and T. Kubodera eds.), Tokai University Press, Tokyo, Japan, 133-143.
- Forsythe, J. W., L. S. Walsh, P. E. Turk and P. G. Lee (2001) Impact of temperature on juvenile growth and age at first egg-laying of the Pacific reef squid *Sepioteuthis lessoniana* reared in captivity. Mar. Biol., 138: 103-112.
- Haimovici, M., N. E. Brunetti, P. G. Rodhouse, J. Csirke and R. H. Leta (1998) *Illex argentinus*. In Squid Recruitment Dynamics: the Genus *Illex* as a Model, the Commercial *Illex* Species and Influences on Variability (P. G. Rodhouse, E. G. Dawe and R. K. O'Dor eds.), FAO Fish. Tech. Pap. FAO, Rome, Italy, 27-58
- Igarashi, H., T. Ichii, M. Sakai, Y. Ishikawa, T. Toyoda, S. Masuda, N. Sugiura, K. Mahapatra and T. Awaji (2015) Possible link between interannual variation of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) abundance in the North Pacific and the climate phase shift in 1998/1999. Prog. Oceanogr., 150: 20-34.

- Lee, M.-A., Y. Chang and T. Shimada (2015) Seasonal evolution of fine-scale sea surface temperature fronts in the East China Sea. *Deep Sea Res. Part II - Top. Stud. Oceanogr.*, 119: 20-29.
- Liao, C. H., T. Y. Liu and C. Y. Hung (2010) Morphometric variation between the swordtip (*Photololigo edulis*) and mitre (*P. chinensis*) squids in the waters off Taiwan. *J. Mar. Sci. Technol.*, 18(3): 405-412.
- Martínez-Rincón, R. O., S. Ortega-García and J. G. Vaca-Rodríguez (2012) Comparative performance of generalized additive models and boosted regression trees for statistical modeling of incidental catch of wahoo (*Acanthocybium solandri*) in the Mexican tuna purse-seine fishery. *Ecol. Model.*, 233: 20-25.
- Middleton, D. A. J. and A. I. Arkhipkin (2001) Environmental effects on the distribution and migrations of the squid *Illex argentinus* (Ommastrephidae) in Falkland islands waters. *ICES CM 2001/K*: 20.
- Moreno, A., G. J. Pierce, M. Azevedo, J. Pereira and A. M. P. Santos (2012) The effect of temperature on growth of early life stages of the common squid *Loligo vulgaris*. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, 92: 1619-1628.
- Mourato, B. L., F. Hazin, K. Bigelow, M. Musyl, F. Carvalho and H. Hazin (2014) Spatio-temporal trends of sailfish, *Istiophorus platypterus* catch rates in relation to spawning ground and environmental factors in the equatorial and southwestern Atlantic Ocean. *Fish. Oceanogr.*, 23(1): 32-44.
- Pecl, G. T. and G. D. Jackson (2008) The potential impacts of climate change on inshore squid: biology, ecology and fisheries. *Rev. Fish Biol. Fish.*, 18: 373-385.
- Pierce, G. J. and A. Guerra (1994) Stock assessment methods used for cephalopod fisheries. *Fish. Res.*, 21: 255-285.
- Pierce, G. J. and P. R. Boyle (2003) Empirical modeling of interannual trends in abundance of squid (*Loligo forbesi*) in Scottish waters. *Fish. Res.*, 59: 305-326.
- Pierce, G. J., V. D. Valavanis, A. Guerra, P. Jereb, L. Orsi-Relini, J. M. Bellido, I. Katara, U. Piatkowski, J. Pereira, E. Balguerías, I. Sobrino, E. Lefkaditou, J. Wang, M. Santurtun, P. R. Boyle, L. C. Hastie, C. D. MacLeod, J. M. Smith, M. Viana, A. F. González and A. F. Zuur (2008) A review of cephalopod-environment interactions in European Seas. *Hydrobiologia*, 612: 49-70.
- Polanco, J., U. Ganzedo, J. Sáenz, A. M. Caballero-Alfonso and J. J. Castro-Hernández (2011) Wavelet analysis of correlation among Canary Islands octopus captures per unit effort, sea-surface temperatures and the North Atlantic Oscillation. *Fish. Res.*, 107: 177-183.
- Portela, J., M. Sacau, J. Wang, G. J. Pierce, M. B. Santos and X. Cardoso (2005) Analysis of the variability in the abundance of shortfin squid *Illex argentinus* in the southwest fisheries during the period 1999-2004. *ICES CM 2005/O*: 16.
- Postuma, F. A. and M. A. Gasalla (2010) On the relationship between squid and the environment: artisanal jigging for *Loligo plei* São Sebastião Island (240S), southeastern Brazil. *ICES J. Mar. Sci.*, 67: 1353-1362.
- R Core Team (2015) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (Available from website, accessed March 2015).
- Robin, J. P. and V. Denis (1999) Squid stock fluctuations and water temperature: temporal analysis of English Channel Loliginidae. *J. Appl. Ecol.*, 36: 101-110.
- Rodhouse, P. G. (2001) Managing and forecasting squid fisheries in variable environments. *Fish. Res.*, 54: 3-8.
- Sanchez, P., M. Demestre, L. Recasens, F. Maynou and P. Martin (2008) Combining GIS and GAMs to identify potential habitats of squid *Loligo vulgaris* in the Northwestern Mediterranean. *Hydrobiologia*, 612: 91-98.
- 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.
- Waluda, C. M., P. N. Trathan and P. G. Rodhouse (1999) Influence of oceanographic variability on recruitment in the *Illex argentinus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) fishery in the south Atlantic. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.*, 183: 159-167.
- Waluda, C. M., P. N. Trathan and P. G. Rodhouse (2004) Synchronicity in southern hemisphere squid stocks and the influence of the Southern Oscillation and Trans Polar Index. *Fish. Oceanogr.*, 13(4): 255-266.
- Waluda, C. M., P. G. Rodhouse, G. P. Podesta, P. N. Trathan and G. J. Pierce (2001) Surface oceanography of the inferred hatching grounds of *Illex argentinus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) and influences on recruitment variability. *Mar. Biol.*, 139: 671-679.
- Zainuddin, M., K. Saitoh and S. I. Saitoh (2008) Albacore (*Thunnus alalunga*) fishing ground in relation to oceanographic conditions in the western North Pacific Ocean using remotely sensed satellite data. *Fish. Oceanogr.*, 17(2):61-73.

Analyzing the Abundance Trend of *Uroteuthis edulis* in Northern Taiwan Waters Using a Generalized Linear Model

Ke-Yang Chang¹, Kae-Yih Wang² and Cheng-Hsin Liao^{3*}

¹Marine Fisheries Division, Fisheries Research Institute

²Department of Economic Affairs, Keelung City Government

³Department of Environmental Biology and Fishery Science, National Taiwan Ocean University

ABSTRACT

Uroteuthis edulis is one of the main catch species of the torch light fishery in Taiwan. Because cephalopod resources are heavily affected by the environment and fluctuate annually, the population in the fishery has become vulnerable to collapse resulting from overfishing, a possibility that highlights the importance of resource assessment. In this study, the catch per unit effort (CPUE) was used as the resource index to correlate with the environmental factors, including the previous year CPUE, the monthly Arctic Oscillation Index, the monthly Oceanic Niño Index, the temporal-spatial sea surface temperature (SST) and the sea surface chlorophyll-a (SSC), and a generalized linear model (GLM) was used to establish the *U. edulis* resource assessment model to predict the abundance trend of the resource. This study showed that there was no significant correlation between the resources in the previous year and the resources in the coming year. Among all environmental factors, the SST in the upwelling in the northern Taiwan waters (the main breeding ground) during the spring breeding season (in March of the fishing year) was positively correlated with the squid population abundance. The SST after the end of the spring breeding season (in May of the fishing year) and the SST in the East China Sea continental shelf (the feeding ground) during growing (in April of the fishing year) were negatively correlated with the squid population abundance. The SSC was negatively correlated with the squid population abundance. The generalized linear model selected by Akaike Information Criterion included the SST in upwelling in April and the SST in the East China Sea continental shelf in April into the model and their explanatory rate was 89.3%. Based on the GLM established in this study, the resource forecasting showed that the resource indicator exhibited a downward trend in 2016, which was consistent with what was actually observed.

Key words: *Uroteuthis edulis*, generalized linear model, sea surface temperature

*Correspondence: Department of Environmental Biology and Fisheries Science, National Taiwan Ocean University, Keelung, Taiwan. TEL: (02)2462-2192 ext. 5050; E-mail: chliao@mail.ntou.edu.tw