

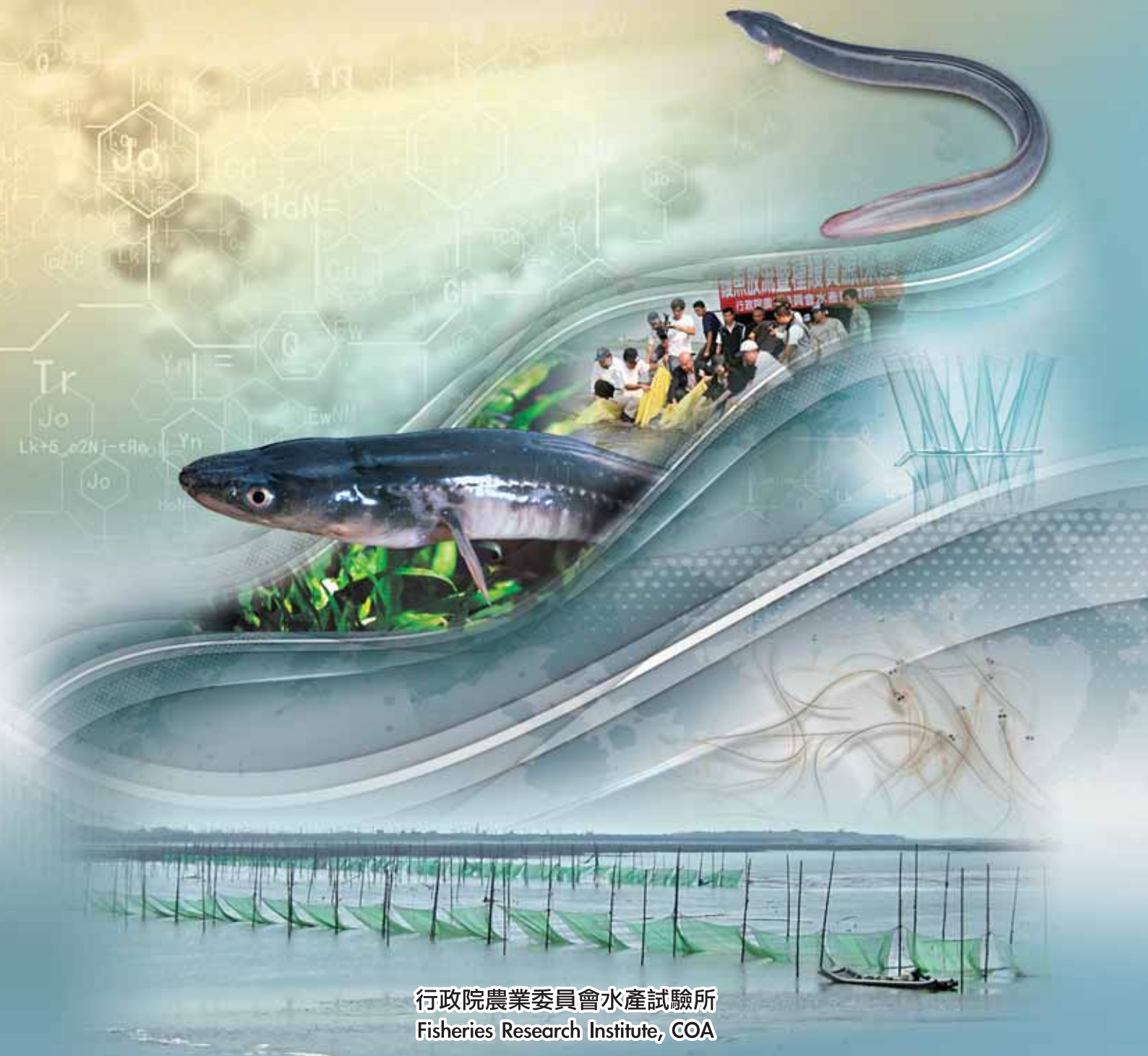
鰻魚資源與放流之研究

Studies on the Anguillid Eel
Resources and Restoration in Taiwan



鰻魚資源與放流之研究

Studies on the Anguillid Eel Resources and Restoration in Taiwan



行政院農業委員會水產試驗所
Fisheries Research Institute, COA

中華民國一〇八年十月

October 2019

序

臺灣由於氣候環境條件適合鰻魚生長，自1970年代以本所鹿港分所(現為淡水繁養殖研究中心)為養殖試驗暨示範推廣核心，帶動臺灣鰻魚養殖產業的興起。養殖面積由不到三百公頃擴充到1990年代超過四千公頃，年產量則由不足四千公噸逐年增加到1990年前後數年間近達六萬公噸，其中約有八至九成的活鰻或加工鰻外銷到日本，是當時賺取外匯的亮點農產品。在養殖技術方面，早期多以至三分地的水泥硬池養殖鰻魚，其後為降低生產成本而有業者改用土堤軟池飼養，池塘面積也加大為五分地至一公頃；此外，1990年代中期，政府為節約淡水養殖用水，引進丹麥等國先進的超集約循環水系統養殖鰻魚，經過改良推廣而一時蔚為風潮，並為臺灣循環水養殖技術奠立基礎。

時至今日，由於人工繁殖技術尚未進展到可實際量產階段，鰻魚養殖所需種苗仍全賴天然捕獲，1970年代東亞地區的日本鰻(*Anguilla japonica*)鰻苗捕獲量可達數百公噸，足以供應整個區域養鰻所需，但之後的漁獲量逐年減少，近幾年資源量的下降態勢愈發明顯，每年的總捕獲量僅剩數十公噸之譜，以最近的漁汛期為例(2018年冬季至2019年春季)，全區鰻苗總產量約21公噸，而臺灣僅捕獲約2.8公噸。由於資源量的遽減導致苗價居高不下，養鰻戶放苗意願低落，使得漁民和相關產業的收益減少新臺幣百億元以上，嚴重影響鰻魚產業的發展。

臺灣雖有包括本所研究人員在內的許多學者專家長期關注鰻苗資源量的遽減的議題，但相關研究受限於經費與人力，經常只能達成局部性的研究結論。本所有鑑於此，乃爭取提列「鰻魚繁養殖、資源調查及多元利用研究」四年（2014－2017）期競爭型計畫，以期能對鰻魚做多層面和深廣度的研究探討，本刊即為彙整該計畫中有關鰻苗資源調查、生物學分類檢定、漁具漁法、鰻魚增殖放流與評估等面向的研究成果。參與研究的單位包括本所淡水繁養殖研究中心、沿近海資源研究中心、東港生技研究中心、東部海洋生物研究中心、澎湖海洋生物研究中心、水產養殖組、海洋漁業組以及臺灣大學漁業科學研究所等。雖然從資源長期監測和管理的觀點來看，四年的研究結果或有不足，但值此鰻苗資源急遽變動時期，希望特刊的出版能有助於學術研究及漁業施政參考。

行政院農業委員會水產試驗所

所長

陳君如 謹識

中華民國一〇八年十月



鰻魚資源與放流之研究

目次CONTENTS

臺灣沿岸海域鰻線之種類與分子鑑定	冼宜樂、林綉美、張格銓、黃瀛生、謝恆毅、楊順德
摘要	1
前言	1
臺灣產鰻線之形態特徵	1
臺灣沿岸海域捕獲鰻線的組成與比例	4
鰻線種類的分子鑑定	6
結語	9
參考文獻	10
臺灣地區日本鰻鰻線族群遺傳結構	張格銓、黃瀛生、張湧泉、劉富光
摘要	11
前言	11
材料與方法	12
結果	13
討論	14
參考文獻	18
臺灣鰻苗捕撈之漁具漁法介紹	黃瀛生、蔡惠萍、李彥宏、張格銓
摘要	19
前言	19
臺灣漁民常用的捕撈鰻苗方法	20
結語	26
參考文獻	26
臺灣河口域鰻線調查	黃瀛生、蔡惠萍、李彥宏、楊順德
摘要	27
前言	27
研究方法、捕撈地區與漁法	28
結果與討論	29
結語	38
參考文獻	39
臺灣西南海域鰻苗來游量與海況變動探討之研究	侯清賢、陳玟好、吳龍靜、藍揚麒、黃星翰
摘要	41
前言	41
研究方法	44
結果	47
討論與結論	54
未來研究建議	56
參考文獻	57

臺灣周邊海域柳葉幼生之組成與時空分布

王友慈、潘佳怡、葉信明

摘要	59
前言	59
材料與方法	60
結果	60
謝辭	70
參考文獻	71

臺灣的鰻魚放流

楊順德、黃瀛生、李彥宏、陳紫嫻、劉富光

摘要	73
前言	73
臺灣鰻魚放流的階段性演變	76
鰻魚放流策略與流程	77
鰻魚放流問題點、風險和效益	79
結論與展望	82
參考文獻	83

鰻魚放流與標識方法之探討

周爰瑱、韓玉山、黃瀛生

摘要	85
前言	85
臺灣鰻魚人工放流	86
鰻魚遷徙洄游動態	90
結語	93
參考文獻	94

日本鰻增殖放流之效益評估

韓玉山

摘要	95
前言	95
鰻魚人工增殖放流	97
增殖放流回收評估研究	100
鰻魚增殖放流效益	106
參考文獻	109

國際鰻魚資源現況

韓玉山

摘要	111
前言	111
鰻魚之資源與養殖現況	113
結語	119
參考文獻	120



臺灣沿岸海域鰻線之種類與分子鑑定

冼宜樂¹、林綉美¹、張格銓²、黃瀛生^{2*}、謝恆毅¹、楊順德²

¹ 行政院農業委員會水產試驗所澎湖海洋生物研究中心

² 行政院農業委員會水產試驗所淡水繁養殖研究中心

摘要

本研究係於法定鰻線可捕捉季節分別在宜蘭、淡水、屏東、嘉義及澎湖等處之河口與沿岸海域採集鰻線，針對臺灣沿岸海域的 1 屬 5 種的鰻線進行種類的描繪與分類，並將各種鰻線的脊椎骨數目進行比較與色素分布特徵整理，再利用分子序列鑑定鰻魚種類。在各採樣地所採集樣本中，日本鰻鰻線的佔比在 90% 以上；至於一般統稱為黑鰻的種類，以鱸鰻鰻線所佔比例較多，約佔所有黑鰻的 60–90%；其次為太平洋雙色鰻，大致佔黑鰻的 20–40%。有趣的是在淡水河口和嘉義海域所採集的黑鰻鰻線則僅有鱸鰻與太平洋雙色鰻 2 種，且嘉義海域所蒐集的黑鰻鰻線中，以鱸鰻鰻線為絕大多數，太平洋雙色鰻鰻線僅佔 3.2%。澎湖海域黑鰻鰻線資源雖不如臺灣，但臺灣所記錄的 4 種黑鰻除了太平洋雙色鰻外，其餘 3 種均有紀錄，且仍以鱸鰻鰻線的量最多。

在分子生物鑑定方面，共定序 802 尾鰻線，黑鰻中以鱸鰻最多、太平洋雙色鰻次之，大致和肉眼及顯微鏡觀察的結果符合。而以傳統肉眼辨別之方式不易鑑定的樣本，由分析 DNA 序列顯示呂宋鰻與西里伯斯鰻所佔的比例低於捕獲總數之 1%；換言之，在臺灣的溪流有呂宋鰻與西里伯斯鰻之族群，但被捕獲的機率很低，即使被捕獲也易被誤認為鱸鰻。

關鍵詞：河口、沿岸、鰻線、物種鑑定

前言

鰻鱺屬 (*Anguilla*) 目前已記錄的種類計有 19 種 (Watanabe et al., 2009)。而臺灣已發現鰻線的種類有 5 種，分別為日本鰻 (*A. japonica*)、鱸鰻 (*A. marmorata*)、太平洋雙色鰻 (*A. bicolor pacifica*)、呂宋鰻 (*A. luzonensis*) 及西里伯斯鰻 (*A. celebesensis*)

(曾, 1982; Tzeng and Tabeta, 1983; Han et al., 2001)。由於鰻線體型小，外部形態相似，常有誤判情形發生 (Teng et al., 2009)，張等 (2013) 利用粒線體 16S rRNA 之片段序列比對在臺灣沿岸海域的鰻線種類，也確認了上述 5 種，唯相關的形態描述仍未趨完整。

臺灣產鰻線之形態特徵

本所近年於日本鰻（俗稱白鰻）鰻線

* 通訊作者/50562 彰化縣鹿港鎮海埔里 106 號;
TEL: (04)7772175; FAX: (04)7775424; E-mail:
yingson@fwlk.tfrin.gov.tw





採集季節時，分別在宜蘭灣、淡水河口、高屏溪、嘉義及澎湖等處採集所混獲的其他鰻鱺（俗稱黑鰻）鰻線，針對臺灣沿岸海域的 1 屬 5 種鰻線，進行種類的描繪與分類，並將各種鰻線的脊椎骨數目，進行比較與色素分布特徵整理如表 1，而野外的肉眼鑑定，則可利用表 1 作為基本檢索分類。分類方式係依據曾（1983a）所撰寫「台灣產鰻線之種類識別及其生產量」及臺灣魚類資料庫，茲將此 5 種鰻線之形態特徵描述如下：

一、太平洋雙色鰻

又稱短鰭鰻或二色鰻。本種鰻線背鰭前端位於肛門稍前方之上，和臀鰭之前端極為接近，位置幾乎相同。脊椎骨數介於 107—115 之間；背鰭前脊椎骨數介於 34—38 之間；背鰭前端與肛門之間脊椎骨數介於 0—2 之間。

色素為具點狀的黑色素胞，主要分布於眼睛周圍、頭部、消化道及尾部上，其中又以尾鰭的色素最集中，胸鰭後方側線下緣上也有一帶狀的星狀色素（圖 1）。

二、西里伯斯鰻

又稱黑鰻。本種鰻線脊椎骨數介於 100—106 之間；背鰭前端之脊椎骨數介於 24

—26 之間；背鰭與肛門之間椎骨數介於 8—11 之間。背鰭前端至肛門之間的距離 (AD) 為體長 (TL) 的 6—12%。

色素分布主要在上下顎及眼睛周圍具有枝狀色素，體表背側延伸至尾部亦有小型枝狀色素胞（圖 2）。

三、日本鰻

又稱白鰻。在臺灣所記錄的 5 種鰻線以本種體型最大，脊椎骨數介於 114—119 之間；背鰭前端之脊椎骨數介於 24—28 之間；背鰭與肛門脊椎骨數為 10—12。背鰭前端至肛門之間的距離為體長 (AD : TL) 的 8—9%。

本種鰻線僅在前期仔魚期尾端鰭褶有明顯枝狀色素，體表則為有色素的分布，因此時期尚未近岸，故不易發現其特徵，尾鰭隨著成長變態黑色素胞逐漸退去，也逐漸近岸，而成為透明細長的鰻線，故有「白鰻」之稱（圖 3）。

四、呂宋鰻

又稱黃氏鱸鰻。本種與花鰻鱺外型極為相似，脊椎骨數介於 99—110 之間，是臺灣已記錄 5 種鰻線體型最小的一種；背鰭與肛門之間脊椎骨數介於 13—17 之間。背鰭起點至肛門之間的距離為體長的 5—8%。

表 1 鰻線簡易辨識方法(以臺灣沿海所產為例)

1a. 尾部沒有黑點	<i>Anguilla japonica</i> (日本鰻)
1b. 尾部有黑點	2
2a. 尾部黑點集中於尾鰭上	<i>Anguilla bicolor pacifica</i> (太平洋雙色鰻)
2b. 尾部黑點集中於尾柄上	3
3a. AD : TL 比例為(背鰭前端至肛門口) 1 : 16 (體全長)	<i>Anguilla marmorata</i> (鱸鰻)
3b. AD : TL 比例 1 : 10 左右	<i>A. luzonensis</i> and <i>A. celebesensis</i> (呂宋鰻及西里伯斯鰻)





圖 1 太平洋雙色鰻鰻線(上)頭部與尾部局部放大(下)

標本體制：標準體長 41.5 mm、全長 42.6 mm、吻至背鰭前緣長 16.4 mm、吻至肛門長 16.4 mm



圖 2 西里伯斯鰻鰻線(上)頭部與尾部局部放大(下)

標本體制：標準體長 48.5 mm、全長 49.5 mm、吻至背鰭前緣長 15.0 mm、吻至肛門長 19.0 mm

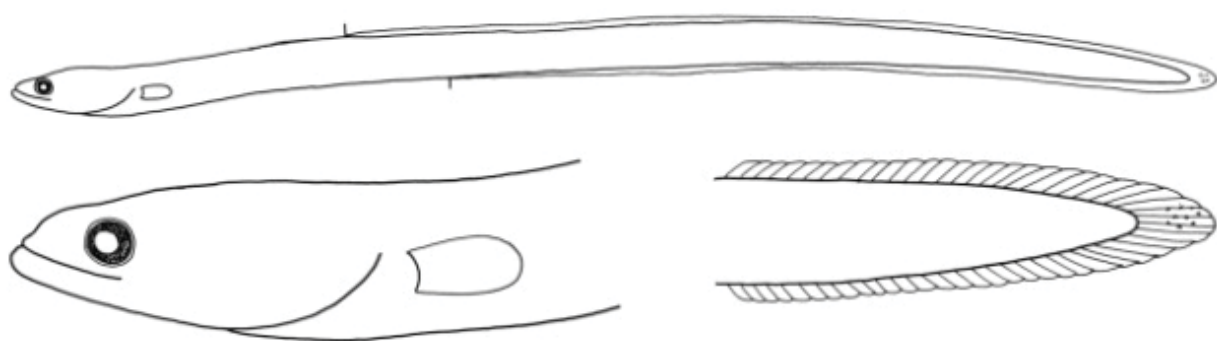


圖 3 日本鰻鰻線(上)頭部與尾部局部放大(下)

標本體制：標準體長 59.0 mm、全長 60.1 mm、吻至背鰭前緣長 13.0 mm、吻至肛門長 17.0 mm

本種鰻線初期尾部具有小型枝狀及點狀色素胞，隨著成長體背側逐漸增加較為明顯的大型枝狀色素胞，而小型枝狀色素胞顏

色轉趨為較淡（圖 4）。

五、鱸鰻

又稱花鰻或黑鰻等，是臺灣最為常見的





黑鰻。本種脊椎骨數介於 100–110 之間，體型較為粗短；背鰭前脊椎骨數介於 18–22 之間；背鰭與肛門之間脊椎骨數介於 13–17 之間。背鰭起點至肛門之間的距離為

體長的 5–8%。

本種鰻線初期尾部具有明顯之大型枝狀色素胞，色澤較淡而稀疏，隨著成長色素延伸至體背，分布不規則大型枝狀色素（圖 5）。

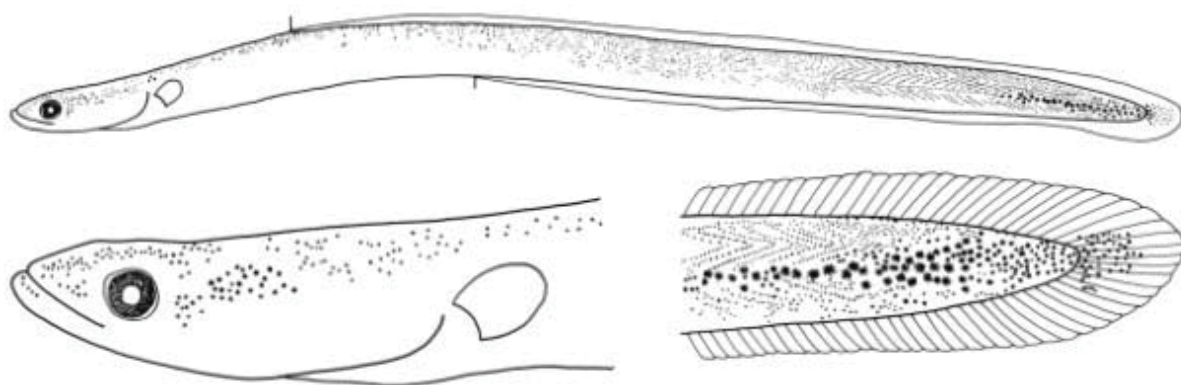


圖 4 呂宋鰻鰻線(上)頭部與尾部局部放大(下)

標本體制：標準體長 49.2 mm、全長 50.3 mm、吻至背鰭前緣長 12.0 mm、吻至肛門長 19.5 mm

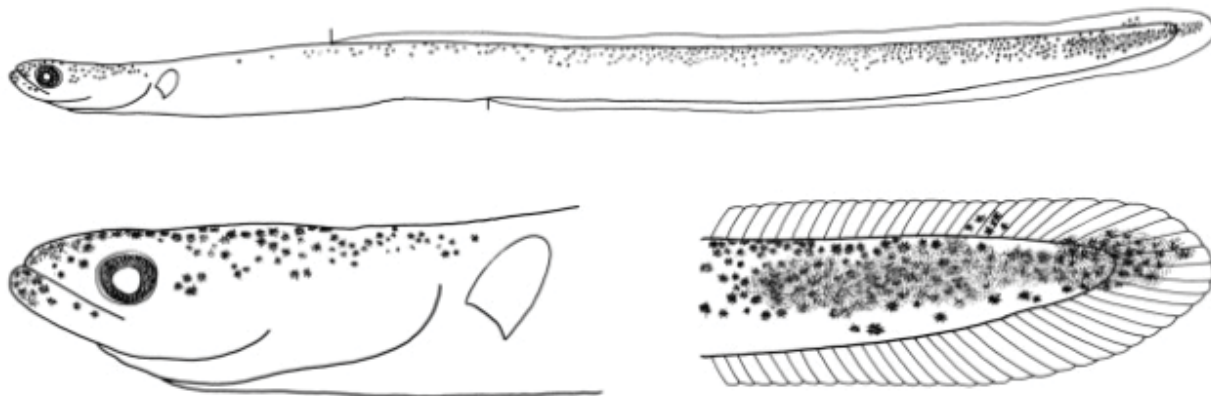


圖 5 花鰻鰻線(上)頭部與尾部局部放大(下)

標本體制：標準體長 46.9 mm、全長 48.0 mm、吻至背鰭前緣長 13.0 mm、吻至肛門長 18.3 mm

臺灣沿岸海域捕獲鰻線的組成與比例

臺灣為東亞最早捕獲日本鰻鰻線的國家，但在來游季節也會混獲到其他種類的鰻線，本研究在 2014–2017 年間分析每次捕

撈季節所捕獲的鰻線種類組成與比例，其結果如表 2 所示，在可採捕季節內所捕獲的鰻線大多為日本鰻（白鰻），佔 90% 以上，這與其他學者的研究結果類似（曾，1983b）。臺灣海域產的「黑鰻」包括鱸鰻、太平洋雙色鰻、西里伯斯鰻及呂宋鰻等 4 種，黑鰻的





捕獲量則因年別而有些許變化，但仍以宜蘭及屏東捕獲量較多，西部地區則相對較少，主要是因不同種類之鰻線來游季節不盡相同，如鱸鰻從 12 月至隔年 6 月間均可捕撈到其鰻線，且林 (2001) 也指出，鱸鰻上溯河川以夏季為主，故於冬季的捕獲量相對為

少。而臺灣海域產的黑鰻依不同區域其組成亦不相同，如圖 6 所示，茲分述如下：

一、宜蘭灣

在所蒐集的 152 尾「黑鰻」鰻線中，以鱸鰻鰻線量最多，計有 87 尾佔 57.2%，其次為太平洋雙色鰻計有 61 尾佔 40.1%，呂

表 2 四個採樣地區不同年別白鰻及黑鰻捕獲比例(%)

年 別	宜 蘭		淡 水		嘉 義		屏 東	
	白鰻	黑鰻	白鰻	黑鰻	白鰻	黑鰻	白鰻	黑鰻
2014-2015	95	5	96	4	96	4	95	5
2015-2016	97	3	95	5	99	1	85	15
2016-2017	95	5	99	1	99	1	92	8

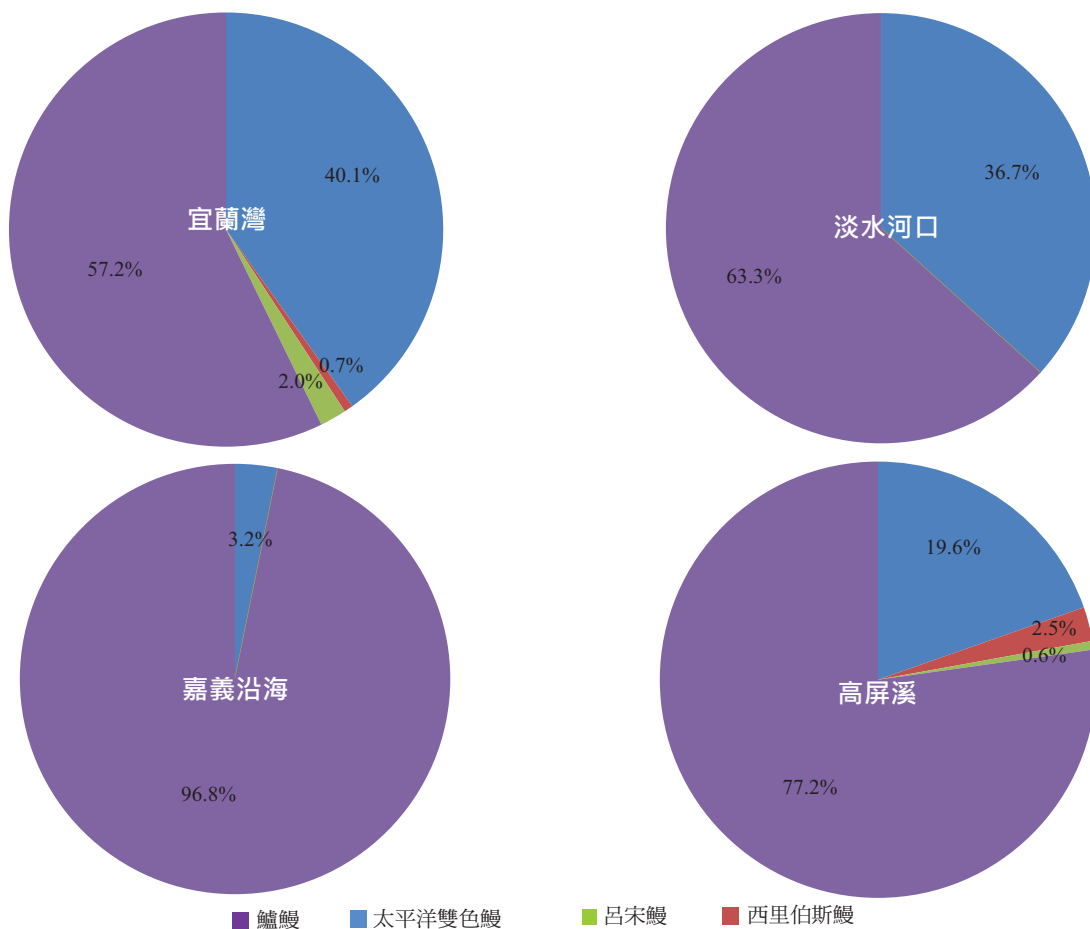


圖 6 各主要採樣地點的「黑鰻」鰻線種類與組成



宋鰻和西里伯斯鰻的量最少，分別只有 3 尾和 1 尾，各佔 2.0% 和 0.7%。

二、淡水河口

本海域的「黑鰻」鰻線組成僅有鱸鰻及太平洋雙色鰻 2 種，以鱸鰻鰻線所佔比例 63.3% 較高，太平洋雙色鰻鰻線比例稍低，佔 36.7%，而呂宋鰻和西里伯斯鰻鰻線則未有紀錄。

三、嘉義沿海

本海域的「黑鰻」鰻線組成也是只有鱸鰻及太平洋雙色鰻 2 種，但以鱸鰻鰻線為主，太平洋雙色鰻鰻線僅佔 3.2%。

四、高屏溪

在所蒐集的 158 尾的「黑鰻」鰻線中，仍以鱸鰻鰻線的量最多，計有 122 尾，佔 77.2%，太平洋雙色鰻鰻線，計有 31 尾，佔 19.6%，西里伯斯鰻和呂宋鰻鰻線的量最少，分別只有 4 尾和 1 尾，各佔 2.5% 和 0.6%。

另外，本研究同時調查澎湖海域的「黑鰻」鰻線資源，其數量不如臺灣各沿岸河口域，但臺灣所記錄的 4 種「黑鰻」鰻線，除了太平洋雙色鰻鰻線未有紀錄外，其餘 3 種均有紀錄，且仍以鱸鰻鰻線的量最多。

綜觀上述，臺灣沿岸海域的 4 種「黑鰻」鰻線以鱸鰻為主，太平洋雙色鰻次之；而西里伯斯鰻和呂宋鰻這 2 種「黑鰻」鰻線主要分布於菲律賓、印尼和新幾內亞西部等海域，在採捕「白鰻」鰻線時，也偶會被混獲，但族群量相對來說是偏低的。曾 (1983a) 調查臺灣產鰻線之種類，其結果亦顯示除了日本鰻外，以鱸鰻最常見且全年皆產，而在

林 (2001) 的研究中說明夏季是鱸鰻上溯河川的主要時期，但劉 (1998) 則認為鱸鰻在冬季也有一個上溯族群。

本研究也顯示在冬季所捕獲之黑鰻中，以鱸鰻數量為最多，但是宜蘭的太平洋雙色鰻數量達所有黑鰻總量的 40% 以上，北部淡水也高達 36%，西岸的屏東及嘉義所捕獲的雙色鰻在比例上相對為低，而海峽中央的澎湖則未有雙色鰻的蹤影。這些鰻線在地理分布和組成比例的不同，可能是由於產卵場不同、習性（溫帶性或熱帶性鰻種）以及週邊洋流（黑潮或大陸沿岸流）等因素影響鰻線的輸送所致 (Tzeng, 2014)。當然，採樣時節也是重要因素，例如吳 (2012) 由全年的鰻線豐度監測，發現宜蘭河和淡水公司田溪的太平洋雙色鰻比例不高，與本研究僅於冬季配合日本鰻產季而採樣的結果有所差異。

鰻線種類的分子鑑定

魚類體色素的形成與發展可以用來判別魚類的發育階段或在魚苗時期區分魚種，Bertin (1956) 將歐洲鰻鰻苗從柳葉鰻到鰻線發育過程中色素的形成與發展概分為六個 (I – VI) 階段 (Tesch, 2003)，茲摘述如表 3。日本鰻在玻璃鰻 VA 階段，全身無任何黑色素，故很容易和尾柄有明顯黑色素的鱸鰻、太平洋雙色鰻、西里伯斯鰻和呂宋鰻有所區別，而太平洋雙色鰻又名短鰭鰻，也容易由魚體外形判別或 DNA 加以鑑定 (曾, 1983a; Leander et al., 2012)，但西里伯





表 3 歐洲鰻苗發育階段色素的形成與發展

發育階段	特 徵 描 述
I	柳葉幼生，發育完全的柳葉幼生，體內部色素沿著脊索發展。
II	半柳葉幼生，脊髓後端色素形成。
III	半柳葉幼生，沿著脊髓，色素更為擴展，尾鰭尖端可見色素形成。
IV	半柳葉幼生，體內部色素沿著脊索發展至頭部。
VA	完成變態，外型鰻魚狀，體外僅尾鰭末端有斑點分布(玻璃鰻)。
VB	除尾鰭末斑點、頭部及吻端有色素外，身體背部或尾部區域沒有色素分布。
VIA _I	色素開始沿著整個背部發展，以臀鰭後的背側較為明顯，體軀中側面，則沒有明顯的色素分布。
VIA _{II}	臀鰭後方，體軀中側，開始有色素分布，臀鰭前體軀腹側面，沒有明顯的色素分布。
VIA _{III}	臀鰭前體軀腹側，仍無明顯的色素分布，臀鰭前後體軀中側色素較為明顯，臀鰭後方體軀中側滿布色素，色素沿著肌隔排列，在體軀中側部分區域，黑色素細胞數量倍數分布。
VIA _{IV}	臀鰭前體軀腹側，開始有明顯的色素分布，在臀鰭前體軀中側部分區域，亦可見到黑色素細胞數量倍數分布；臀鰭後方在腹側的位置色素分布在肌隔之間，漸漸擴及到臀鰭前整個腹側面。
VIB	色素的分布更緻密無法分辨是沿著肌隔排列。側線明顯，仍可見到頭部、頰、眼睛後下方和下頷上的黑色素細胞。

斯鰻及呂宋鰻外部形態特徵相似而不易分辨，因此必須利用 DNA 分析詳以鑑定(吳，2012; Leander et al., 2012)。

本段研究的標本來源係2009年12月至2012年3月間分別向宜蘭、苗栗與彰化等

地區之漁民購買黑鰻鰻線(表4)，所得樣本的DNA萃取方式是將少許尾端肌肉組織以MasterPure DNA Purification Kit (EPICENTRE) 萃取後，再以NanoDrop 2000 (Thermo) 核酸分析儀測定濃度。

萃取所得DNA之16S rRNA的PCR增幅方法為選定專一性引子L1854: 5'-AAACCTCGTACCTTTTGCAT-3' (Forward) 及H3059:5'-CCGGTCTGAACTCAGATCACGT-3' (Reverse) (Miya and Nishida, 1996; Aoyama et al., 2000)。增幅反應條件為：變性 (denaturation) 94°C、5分鐘；接著進行35個循環的變性 94°C、30秒；黏合 (annealing) 52°C、30秒及延長 (extension) 72°C、1分鐘，最後再於72°C延長7分鐘後，降至4°C終止反應。16S rRNA之PCR產物則另外委外定序。

DNA序列分析將802尾樣本全部進行16S rRNA片段定序，以Seaview 4軟體進行比對與分類，再分別與NCBI (National Center for Biotechnology Information) 資料庫的鰻鱺屬鰻魚進行序列比對，可初步鑑別4種鰻魚。這4種鰻魚之16S rRNA片段序列資訊分別與NCBI中的鱸鰻 (AB021760)、太平洋雙色鰻 (AB021757)、呂宋鰻 (AB469437) 與西里伯斯鰻 (AP007239) 等16S rRNA序列最相近。每種隨機選取一尾作為標準品序列進行差異比對，另使用Seaview 4軟體內之鄰接法 (Neighbor-joining, bootstrap 重複抽樣1,000次檢測)，繪出親緣關係樹 (phylogenetic tree) (圖7)。





表 4 黑鰻鰻線種類分子鑑定的各樣站採集日期、地點及採集數量

採集日期	地 點	採集數量	鱸 鰻	太平洋雙色鰻	呂 宋 鰻	西里伯斯鰻
2009/11	宜 蘭	63	41	22	0	0
2009/12	苗 栗	31	28	3	0	0
2010/01	宜 蘭	81	81	0	0	0
2010/12	宜 蘭	122	120	0	1	1
2011/01	彰 化	10	9	0	1	0
2011/02	彰 化	16	13	3	0	0
2011/07	宜 蘭	82	81	1	0	0
2011/11	宜 蘭	92	56	33	3	0
2011/12	宜 蘭	95	16	78	1	0
2012/01	宜 蘭	87	61	25	1	0
2012/02	宜 蘭	77	28	49	0	0
2012/03	宜 蘭	46	37	8	1	0
合 計		802	571	222	8	1

NJ 812 sites J-C 1000 repl.

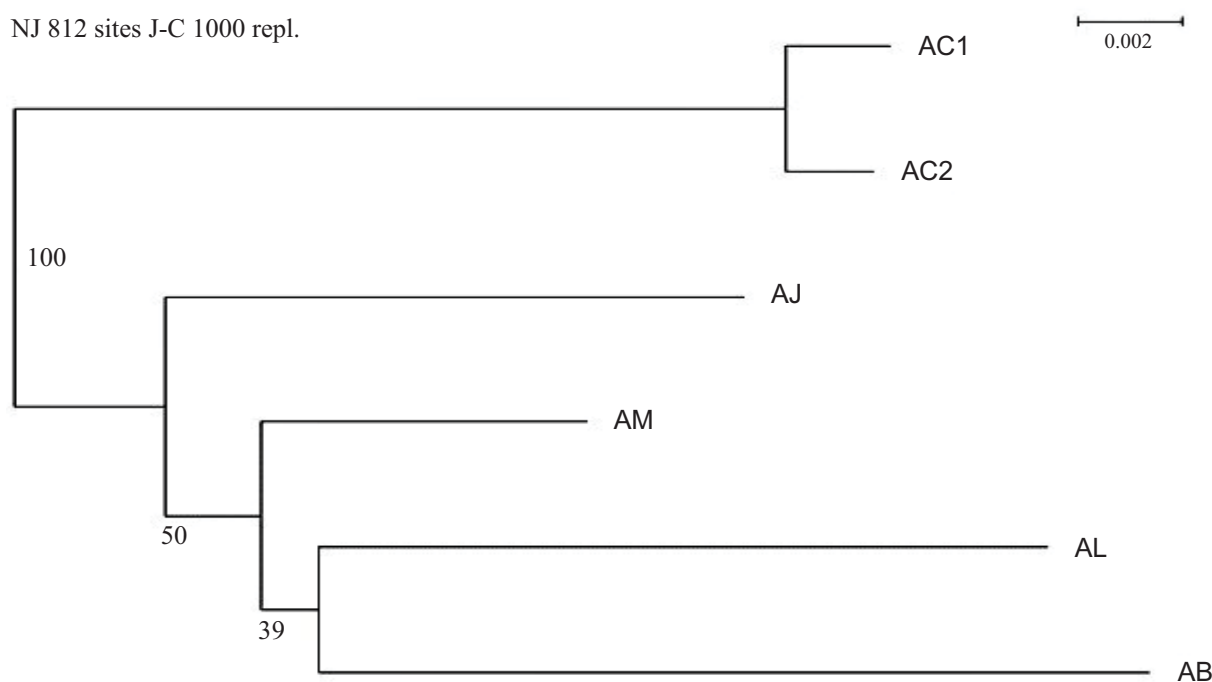


圖 7 使用鄰接法繪出之演化樹顯示本研究之鰻魚中，臺灣發現的西里伯斯鰻(AC1)與 NCBI 資料庫之西里伯斯鰻(AC2, AP007239)單獨形成一支，日本鰻(AJ)、鱸鰻(AM)、呂宋鰻(AL)和太平洋雙色鰻(AB)則形成另一支





結果總共進行 802 尾鰻線的 16S rRNA 片段序列之人工校正與選取共識序列 (約 825 個鹼基)，經與 NCBI 中之鰻鱺屬的鰻魚序列比對後發現臺灣的鰻魚種類除了溫帶的日本鰻，還有鱸鰻、太平洋雙色鰻、呂宋鰻與西里伯斯鰻等 4 種熱帶鰻分布。由於臺灣以往僅由形態形質判別西里伯斯鰻，但未能以 DNA 技術來加以鑑定，故將疑似為西里伯斯鰻樣本 (AC1) 之 16S rRNA 片段序列和日本鰻、鱸鰻、太平洋雙色鰻、呂宋鰻以及國外學者發表的西里伯斯鰻序列進行序列差異比對。結果顯示該樣本與國外發表的西里伯斯鰻僅三個鹼基對差異 (相似百分比為 99.6%)，和日本鰻、鱸鰻、太平洋雙色鰻、呂宋鰻的差異為 26–33 個鹼基對 (相似百分比為 96–96.8%)。使用鄰接法繪出的演化樹顯示試驗之鰻魚中，AC1 與西里伯斯鰻 (AP007239) 單獨形成一支 (clade)，日本鰻、鱸鰻、呂宋鰻和太平洋雙色鰻則形成另一支 (圖 7)。

歸納上述結果，臺灣的 4 種熱帶黑鰻之中，只有太平洋雙色鰻為短鰭鰻，其餘為長鰭鰻 (曾，1982；曾，1983a；吳，2012)，因此很容易由外形鑑別，但由本研究和以往文獻顯示，臺灣發現的太平洋雙色鰻之豐度不高 (Tzeng et al., 1995; 吳，2012; Leander et al., 2012)。另外，呂宋鰻與西里伯斯鰻因為外型不容易區別，因此可藉由定序鰻線的粒線體 16S rRNA，以做為種類鑑別的主要依據。

本研究的樣本主要來自溪口，黑鰻中以呂宋鰻與西里伯斯鰻所佔的比例低於捕獲

總數之 1% (表 3)，對照林務局 (2011) 調查臺灣全島溪流之魚類，其中紀錄了鰻鱺屬共 3 種 77 尾 (鱸鰻 72 尾、日本鰻 4 尾與太平洋雙色鰻 1 尾)，然未發現呂宋鰻和西里伯斯鰻的結果或許是因為所捕獲的鰻魚樣本總數較少所致，理論上，在臺灣的溪流應有呂宋鰻與西里伯斯鰻之族群，但捕獲到的機會可能很小，即使捕獲也容易被誤認為鱸鰻。

結語

本研究大致描繪出鰻線在允許捕撈季節的主要地區來游鰻種的組成，日本鰻鰻線的佔比多在 90% 以上，而其他種熱帶鰻在不同沿岸區域出現的比例則有所不同，以位於黑潮主、支流前緣的宜蘭和屏東相對於其他地區有較大歧異度 (diversity)。目前，鱸鰻及太平洋雙色鰻的放養時間與體型和日本鰻不盡相同，傳統的商業鑑別通常以肉眼即可達到基本需求，而分子鑑定除可精準分辨出各種鰻線外，亦可用於鑑定殘缺標本甚至產製品，是準確的鑑種工具。臺灣日本鰻鰻線撈捕量遠低於鰻魚養殖產業所需，目前已有不少業者嘗試養殖鱸鰻等黑鰻種，可利用本文做為鰻種辨識的基礎。



參考文獻

- 吳敬華 (2012) 四種鰻 (日本鰻、鱸鰻、呂宋鰻、太平洋雙色鰻) 其玻璃鰻在台灣與菲律賓呂宋島的地理分布與種類組成的季節性變化。臺灣大學漁業科學研究所碩士學位論文, 49 pp。
- 林旻翰 (2001) 秀姑巒溪鱸鰻苗夏季上溯族群動態研究。國立清華大學研究所碩士論文, 55 pp。
- 林務局 (2011) 台灣地區淡水域湖泊、野塘及溪流魚類資源現況調查及保育研究規劃(2)。行政院農業委員會林務局, 台北, 452 pp。
- 張格銓、黃瀛生、劉富光 (2013) 台灣海域證實有西里伯斯鰻鰻線。水產研究, 21: 43-48。
- 曾萬年 (1982) 記台灣新紀錄之西里伯斯鰻鰻線。生命科學, 19: 57-66。
- 曾萬年 (1983a) 台灣產鰻線之種類識別及其生產量。中國水產, 366: 16-23。
- 曾萬年 (1983b) 臺灣鰻線漁獲量的季節性變化及長期性變動傾向。臺灣水產學會刊, 10: 1-7。
- 臺灣魚類資料庫 <http://fishdb.sinica.edu.tw/>。
- 劉傑倫 (1998) 台灣東部秀姑巒溪鱸鰻初期生活史。私立輔仁大學生物學研究所碩士論文, 61 pp。
- Han, Y. S., C. W. Chang, J. T. He and W. N. Tzeng (2001) Validation of the occurrence of short-finned eel *Anguilla bicolor pacifica* in natural waters of Taiwan. Acta Zool. Taiwan., 12: 9-19.
- Leander, N. J., K. N. Shen, R. T. Chen and W. N. Tzeng (2012) Species composition and seasonal occurrence of recruiting glass eels (*Anguilla* spp.) in the Hsiukuluan river, eastern Taiwan. Zool. Stud., 51: 59-71.
- Teng, H. Y., Y. S. Lin and C. S. Tzeng (2009) A new *Anguilla* species and a reanalysis of the phylogeny of freshwater eels. Zool. Stud., 48: 808-822.
- Tesch, F. W. (2003) The Eel. Blackwell Science Ltd., Oxford.
- Tzeng, W. N. (2014) Freshwater eels and humans in Taiwan. In Eels and Humans (K. Tsukamoto and M. Kuroki, eds.), Springer Tokyo, Japan, 129-142.
- Tzeng, W. N. and O. Tabeta (1983) First record of the short-finned eel *Anguilla bicolor pacifica* elvers from Taiwan. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 49: 27-32.
- Tzeng, W. N., J. J. Hsiao, H. P. Shen, Y. T. Chern, Y. T. Wang and J. Y. Wu (1995) Feeding habit of the Japanese eel, *Anguilla japonica*, in the streams of northern Taiwan. J. Fish. Soc. Taiwan, 22: 279-302.
- Watanabe, S., J. Aoyama, K. Tsukamoto (2009) A new species of freshwater eel *Anguilla luzonensis* (Teleostei: Anguillidae) from Luzon Island of the Philippines. Fish. Sci., 75: 387-392.



臺灣地區日本鰻鰻線族群遺傳結構

張格銓^{1*}、黃瀛生¹、張湧泉¹、劉富光²

¹ 行政院農業委員會水產試驗所淡水繁養殖研究中心

² 行政院農業委員會水產試驗所

摘要

本試驗針對同一繁殖年度內 (2008 年 12 月–2009 年 2 月)，於臺灣地區北部、中部及南部 3 個不同河口採樣的日本鰻鰻線，以 5 個微衛星 DNA 基因座之等位基因分布情況，分析 18 組樣本之遺傳變異與遺傳結構 (genetic structure)。

結果顯示每個基因座在全部 18 組均有多型性現象，其中 AJMS-2 基因座的變異範圍最大，等位基因有 16–25 個，AJMS-3 變異範圍最小，等位基因僅 4–7 個。不同組別在 5 個微衛星基因座所產生的平均等位基因數量差異不大，在 13.0–16.0 之間。期望異型合子比例 (H_e) 為 0.581–0.944。

18 組鰻鰻線彼此間的遺傳分化指數 (fixation index, F_{ST}) 均相當低 (≤ 0.0089)，均無顯著性差異 ($p > 0.0003$)；而且整體之 F_{ST} 值為 0.0006，亦無顯著性差異 ($p = 0.418$)，顯示其族群間之分化 (genetic differentiation) 程度非常低，為隨機交配 (panmixia) 之族群。

關鍵詞：微衛星 DNA、遺傳結構、隨機交配

前言

日本鰻 (*Anguilla japonica*) 是溫帶的降海型 (catadromous) 洄游魚類，產卵場是在馬里亞納群島西方之太平洋北赤道洋流，東經 140 度、北緯 15 度附近，在海域中有撈捕到柳葉鰻 (leptocephalus) (Tsukamoto, 1992)，其後在東經 142 度、北緯 13 度附近海域撈捕到雄種鰻，東經 143

度、北緯 13 度附近海域撈捕到雌種鰻及孵化後 2–3 天，尚為前柳葉鰻 (preleptocephalus) 之仔魚 (黑木，2008)。關於日本鰻之生活史，被認為受精卵在產卵場孵化成仔魚後，開始進行被動洄游，順著北赤道洋流往西輸送，經菲律賓東方及臺灣附近後北上，進入黑潮海域並繼續往日本方向移動。其形態先後經過柳葉鰻，玻璃鰻 (glass eel) 及鰻線 (elver) 後，一般為自河口溯河而上，在河川棲息、成長為黃鰻，然後成熟為銀鰻再降河從河口降海至產卵場繁殖後代 (曾，2001)。另外，Tsukamoto and Arai (2001)、Tzeng et al. (2002, 2003) 認為有些日本鰻

* 通訊作者/50562 彰化縣鹿港鎮海埔里 106 號;
TEL: (04)7772175; FAX: (04)7775424;
E-mail: glenn@mail.fwlk.tfrin.gov.tw

附註：本文原載於水產研究，2012，20(1): 51-59。



不會溯河，只在海水中完成整個生活史或頂多洄游至河口棲息而已。

日本鰻是臺灣重要的養殖物種，主要捕撈時間為冬季。一般而言，臺灣自北（宜蘭）到南（屏東）等河口及沿岸皆可捕撈到鰻線。根據水試所多年來的調查記錄顯示，近年臺灣鰻線的年捕撈量均不足 10 公噸，遠低於國內養殖的需求量。近幾年，以宜蘭地區的捕獲數量為最多，中部及南部相對捕獲量較少。從鰻線價格來看，日本鰻鰻線價格變化很大，其範圍在新臺幣 10–100 元之間，但大都因產量不足而致鰻線價格偏高，每尾平均約 25–50 元，以致大幅提高養殖成本，間接的使得上市鰻魚的價格隨之高漲。此外，因氣候變遷急劇，使得捕撈之鰻線逐年減少，加以水域環境污染等，諸多問題，在在皆顯示維護鰻魚生態與資源是刻不容緩的。

在研究臺灣日本鰻鰻線族群遺傳結構方面，過去主要以臺灣北部作為主要的研究區域，對其遺傳結構進行連續多年的調查 (Chang et al., 2007; Han et al., 2010)，並未同時追縱比較中部或南部的鰻線遺傳結構。本試驗的目標是探討在同一年度內，於臺灣北部及南部 2 個主要鰻線捕獲之河口，外加中部 1 個河口，於不同時間 (2008 年 12 月–2009 年 2 月) 捕撈的鰻線，以微衛星 DNA 基因座等位基因之分布情況，分析族群遺傳結構 (population genetic structure) 之差異性，期能了解臺灣之日本鰻鰻線遺傳結構之年內時空差異，或可做為鰻線資源復育之參考。

材料與方法

一、試驗魚

於 2008 年 12 月至 2009 年 2 月，同一繁殖年度之 3 個月間，分別請漁民在臺灣北部（宜蘭蘭陽溪）、中部（苗栗西湖溪）及南部（屏東林邊溪）之河口，約分上、下旬採集鰻線 1 次。從外觀篩除鱸鰻及短鰭鰻等黑鰻，保留日本鰻。總計為 18 組，879 尾 (表 1)。

二、試驗方法

(一) Genomic DNA 之萃取

剪取少部分肌肉組織，用 MasterPure DNA Purification Kit (EPICENTRE) 萃取 genomic DNA 後，以 GeneQuant *pro* (Amersham Biosciences) 核酸分析儀測定濃度後保存於 -20℃ 冰箱。

(二) 微衛星 DNA 之增幅

選取 5 個微衛星基因座 (AJMS-1、AJMS-2、AJMS-3、AJMS-5 及 AJMS-6) (Tseng, 2006; Chang et al., 2007) 作為分子標記，將各個引子對 (primer pairs) 分別與鰻苗之 genomic DNA 進行 PCR 反應，reverse primers 用 FAM 或 HEX 螢光作標記 (表 1)。PCR 反應試液包含：genomic DNA (25 ng/μl) 1 μl，10 mM dNTP 1 μl，10 μM primer 1 μl，Reaction Buffer (10X) 5 μl，Supertherm (5U) 0.2 μl 及無菌水 41.8 μl，總體積 50 μl，置於 MyCycler thermal cycler (BIO-RAD) 進行增幅；增幅條件為：Denature (94℃、30 秒)，Annealing (不同引子對之適當溫度，30 秒)，Extension (72℃、30 秒)，經過 30 次循環後，降至 4℃ 終止反





表 1 五個微衛星位點特徵

Locus	Primer sequence(5'-3')	Anneal(°C)	Fluorescent dyes labeling on the reverse primer	GeneBank accession
AJMS-1	F: TCGAGACACCAGATAGTCAC R: ACATCCTAGGCTCACACC	58	FAM	AJ297599
AJMS-2	F: ATTTACGTCATCGGACCTGC R: GCTGGGAGCGACGCTTTATC	56	FAM	AJ297600
AJMS-3	F: GGTATGAATGCAGGCGTTTATG R: GCAACCGATTTGATCTCCAG	56	HEX	AJ297601
AJMS-5	F: CCTTCAGATTGCTAGCAC R: CGGAGTCTAATTGTCTCCTC	58	HEX	AJ297602
AJMS-6	F: ACAGAGCCAGACAAAACAGAC R: GGTCAGCAAGCAAAACGAAC	57	FAM	AJ297603

應。反應結束後取 10 μ l 進行 DNA 洋菜電泳來檢驗 DNA 產物是否存在。

(三) 基因型分析 (genotyping)

將在電泳膠片上有反應之微衛星 DNA 產物，委託昕穎生物科技股份有限公司實施基因型分析。

(四) 統計分析

針對所測定 18 組鰻線各個樣本之基因型，使用 Genepop 4.0 軟體 (Rousset, 2009) 計算每組在不同基因座之等位基因 (allele) 數目、觀察異型合子比例 (H_o)、期望異型合子比例 (H_e)、哈溫平衡 (Hardy-Weinberg equilibrium, HWE) 及與遺傳分化 (genetic differentiation) 相關之組間或整體遺傳分化指數 (F_{ST})。使用邦弗朗尼校正法 (Bonferroni correction) (Rice, 1989) 校正顯著水準，判別 5 個基因座中各組 HWE 及 18 組組間 F_{ST} 統計數值是否有顯著差異性。使用 Convert 131 軟體 (Glaubitz, 2004) 將本來以 Genepop 格式儲存之基因型資料轉為 Phylip 格式之等位基因頻率數據後，使用 Phylip 3.69 套裝軟體 (Felsenstein, 2004) 計算組間之遺傳距離 (Nei's genetic distance, 1972) 並以

鄰近連接法 (Neighbor-Joining)，繪出演化樹 (bootstrap = 1,000)。

結果

計算所蒐集之 18 組鰻線數量並設定各組代號，分別計算各組體重與體長標準差。由結果顯示各組間體重及體長差異，YJB 組之體重最重，體長也高於其它各組 (表 2)。

分析 18 組鰻線之遺傳多樣性，結果顯示 AJMS-2 基因座在全部樣本中的變異範圍最大，等位基因有 16–25 個，AJMS-3 變異範圍最小，等位基因僅 4–7 個。不同組在 5 個微衛星基因座所產生的平均等位基因數量差異不大，在 13.0–16.0 之間。觀察異型合子比例 (H_o) 為 0.360–0.936，期望異型合子比例 (H_e) 為 0.581–0.944，每個族群的平均 H_o 都比 H_e 低。哈溫平衡 (HWE) 方面，在 AJMS-1 及 AJMS-2 基因座除了 YDA 組 (宜蘭 12 月上旬) 的 AJMS-2 基因座以外，其它組均有顯著性 ($p < 0.01$)；在 AJMS-3、AJMS-5 及 AJMS-6 基因座則全部組別均無顯著性 (表 3)。



表 2 日本鰻(*Anguilla japonica*)採樣清單

地 點	採樣日期	採樣地點時間代號	採 樣 數	平均體長(mm)	平均體重(g)
宜 蘭	2008/12/09	YDA	50	57.02 ± 2.06	0.15 ± 0.02
苗 栗	2008/12/15	MDA	49	57.22 ± 1.61	0.14 ± 0.01
屏 東	2008/12/18	PDA	50	56.68 ± 1.58	0.14 ± 0.02
宜 蘭	2008/12/25	YDB	50	56.30 ± 2.45	0.14 ± 0.02
苗 栗	2008/12/29	MDB	49	56.51 ± 1.99	0.13 ± 0.02
屏 東	2008/12/30	PDB	50	56.86 ± 2.08	0.15 ± 0.02
宜 蘭	2009/01/12	YJA	48	56.10 ± 2.84	0.14 ± 0.02
苗 栗	2009/01/13	MJA	50	57.18 ± 2.78	0.14 ± 0.03
屏 東	2009/01/16	PJA	50	56.18 ± 2.42	0.13 ± 0.02
宜 蘭	2009/01/21	YJB	50	59.22 ± 2.56	0.16 ± 0.02
苗 栗	2009/01/23	MJB	50	57.12 ± 2.61	0.13 ± 0.02
屏 東	2009/01/21	PJB	49	56.67 ± 2.11	0.12 ± 0.02
宜 蘭	2009/02/12	YFA	49	58.02 ± 2.78	0.13 ± 0.02
苗 栗	2009/02/11	MFA	50	57.52 ± 3.28	0.14 ± 0.02
屏 東	2009/02/13	PFA	49	56.98 ± 2.52	0.11 ± 0.02
宜 蘭	2009/02/25	YFB	50	58.10 ± 2.76	0.13 ± 0.03
苗 栗	2009/02/27	MFB	50	56.06 ± 2.29	0.12 ± 0.02
屏 東	2009/02/26	PFB	36	56.31 ± 2.25	0.10 ± 0.02
			879	57.02 ± 2.53	0.13 ± 0.02

在遺傳結構方面，18 組鰻線彼此間的遺傳分化指數均相當低 (≤ 0.0089)，在統計上均無顯著差異 ($p > 0.0003$)，而且整體之 F_{ST} 值為 0.0006，亦無顯著差異 ($p = 0.418$) (表 4)，顯示其遺傳分化程度非常低，為隨機交配 (panmixia) 之族群。各組鰻線之遺傳距離在 0.0261–0.0973 之間 (表 4)，根據數據以鄰近連接法繪出演化樹 (圖 1)，其 bootstrap values 之百分比大部分介於 3–45 之間。

討論

遺傳分化指數是用來測定族群間分化之程度，其數值範圍是 0–1，0 表示完全沒有遺傳分化現象，1 表示完全沒有相同的等位基因 (Hartl and Clark, 1997; Sofia,

2006)。另外，Wright (1978) 指出， F_{ST} 在 0–0.05 之間是些微族群分化，0.05–0.15 是中度族群分化，0.15–0.25 是高度族群分化，如果大於 0.25 則是非常高的族群分化。本試驗為在同一繁殖季節內的 3 個月，每月上、下旬分別採樣臺灣北、中、南 3 個河口的天然日本鰻鰻線作族群結構分析，結果 18 組鰻線彼此之間與整體之遺傳分化指數均相當低，在統計上無顯著差異，表示頂多只有些微之分化現象。而且演化樹上 bootstrap values 之百分比大部分是介於 3–45 之間，小於 50，表示其無論是在時間上或空間上均只是隨機性之分布 (Retief, 2000)，沒有規律性之分群現象。臺灣地區的烏魚分成沿岸及洄游族群 (Huang et al., 2001)，根據本試驗之結果，日本鰻鰻線並沒有像烏魚一樣分為多個族群，整體而言，

表3 鰻魚樣本的遺傳變異性

Locus	YDA N=50	MDA N=49	PDA N=50	YDB N=50	MDB N=49	PDB N=50	YJA N=48	MJA N=50	PJA N=50	YJB N=50	MJB N=50	PJB N=49	YFA N=49	MFA N=50	PFA N=49	YFB N=50	MFB N=50	PFB N=36
AJMS-1																		
A	16	12	12	14	13	17	15	15	14	16	17	14	16	19	13	15	16	13
<i>H_o</i>	0.420	0.408	0.388	0.440	0.396	0.440	0.563	0.500	0.560	0.510	0.400	0.633	0.449	0.367	0.449	0.469	0.360	0.361
<i>H_e</i>	0.855	0.855	0.857	0.889	0.880	0.879	0.881	0.876	0.893	0.876	0.893	0.886	0.854	0.899	0.854	0.856	0.893	0.873
<i>p</i>	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.001*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
AJMS-2																		
A	20	25	22	22	20	24	18	22	16	22	20	20	23	19	23	22	23	18
<i>H_o</i>	0.796	0.542	0.560	0.640	0.531	0.600	0.574	0.740	0.540	0.620	0.580	0.816	0.551	0.620	0.755	0.700	0.800	0.500
<i>H_e</i>	0.911	0.944	0.926	0.910	0.921	0.923	0.937	0.927	0.903	0.916	0.926	0.928	0.937	0.906	0.927	0.931	0.920	0.918
<i>p</i>	0.076	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.003*	0.000*	0.000*	0.000*	0.009*	0.000*	0.000*	0.000*	0.002*	0.001*	0.000*
AJMS-3																		
A	6	6	6	5	6	6	7	5	4	6	5	6	5	7	6	5	7	5
<i>H_o</i>	0.600	0.592	0.700	0.660	0.694	0.500	0.667	0.620	0.660	0.640	0.520	0.592	0.714	0.480	0.542	0.620	0.720	0.583
<i>H_e</i>	0.650	0.658	0.672	0.648	0.712	0.637	0.627	0.634	0.588	0.681	0.653	0.654	0.643	0.581	0.695	0.641	0.660	0.601
<i>p</i>	0.824	0.650	0.480	0.111	0.092	0.190	0.293	0.892	0.085	0.867	0.079	0.730	0.424	0.047	0.240	0.438	0.605	0.289
AJMS-5																		
A	17	17	13	13	17	15	15	15	15	12	13	16	16	14	16	15	17	15
<i>H_o</i>	0.900	0.878	0.860	0.880	0.875	0.880	0.830	0.860	0.880	0.780	0.880	0.857	0.918	0.746	0.878	0.878	0.860	0.912
<i>H_e</i>	0.899	0.906	0.899	0.891	0.909	0.903	0.903	0.903	0.898	0.881	0.896	0.915	0.905	0.883	0.897	0.892	0.900	0.901
<i>p</i>	0.264	0.638	0.202	0.237	0.495	0.812	0.146	0.116	0.634	0.062	0.083	0.681	0.191	0.134	0.404	0.306	0.195	0.951
AJMS-6																		
A	21	16	17	17	20	17	15	17	16	18	18	17	17	16	16	14	17	14
<i>H_o</i>	0.840	0.796	0.780	0.820	0.875	0.840	0.936	0.900	0.860	0.880	0.900	0.837	0.898	0.820	0.816	0.860	0.860	0.861
<i>H_e</i>	0.879	0.859	0.855	0.855	0.868	0.881	0.883	0.862	0.852	0.873	0.867	0.875	0.850	0.870	0.851	0.886	0.864	0.857
<i>p</i>	0.195	0.010	0.415	0.157	0.672	0.872	0.268	0.052	0.507	0.952	0.846	0.227	0.774	0.286	0.531	0.214	0.193	0.948
average																		
A	16.0	15.2	14.0	14.2	15.2	15.8	14.0	14.8	13.0	14.8	14.6	14.6	15.4	15.0	14.8	14.2	16.0	13.0
<i>H_o</i>	0.711	0.643	0.658	0.688	0.674	0.652	0.714	0.724	0.700	0.686	0.656	0.747	0.706	0.617	0.688	0.705	0.720	0.643
<i>H_e</i>	0.839	0.844	0.842	0.839	0.858	0.845	0.846	0.840	0.827	0.845	0.847	0.852	0.838	0.828	0.845	0.841	0.847	0.830

* N : 樣本量；A : 等位基因數量；*H_o* : 觀察雜合度；*H_e* : 期望的雜合性；*p* : Hardy-Weinberg 平衡的概率值* 5 個基因座，Bonferroni 校正後 Hardy-Weinberg 平衡的顯著水平；*p* = 0.05/5 = 0.01

表 4 18 組鰻線間的群體配對遺傳分化指數 F_{ST} (對角線下方其括號內的 p 值) 及 Nei's 無偏估值遺傳距離 (對角線以上)

	YDA	MDA	PDA	YDB	MDB	PDB	YJA	MJA	PJA	YJB	MJB	PJB	YFA	MFA	PFA	YFB	MFB	PFB
YDA																		
MDA	0.0020 (0.2951)																	
PDA	0.0026 (0.5277)	-0.0008 (0.7772)																
YDB	0.0016 (0.7153)	-0.0043 (0.8086)	0.0006 (0.2691)															
MDB	-0.0011 (0.6502)	-0.0010 (0.4543)	0.0021 (0.2396)	0.0000 (0.6037)														
PDB	0.0009 (0.2950)	-0.0041 (0.7764)	-0.0009 (0.4716)	0.0003 (0.2740)	0.0015 (0.1225)													
YJA	0.0027 (0.4770)	0.0018 (0.4766)	0.0019 (0.5860)	0.0019 (0.5606)	0.0033 (0.2518)	0.0041 (0.3240)												
MJA	0.0047 (0.2664)	0.0031 (0.3817)	0.0031 (0.1642)	0.0072 (0.0343)	0.0016 (0.3596)	0.0051 (0.0581)	0.0008 (0.1943)											
PJA	0.0043 (0.2399)	0.0024 (0.1806)	0.0060 (0.0300)	-0.0000 (0.1781)	0.0022 (0.0349)	0.0007 (0.1854)	0.0041 (0.0454)	0.0059 (0.0057)										
YJB	-0.0007 (0.8904)	0.0007 (0.3699)	0.0003 (0.2650)	0.0038 (0.1391)	-0.0021 (0.3054)	-0.0004 (0.7756)	0.0043 (0.2176)	-0.0025 (0.6742)	0.0022 (0.1383)									
MJB	-0.0033 (0.8606)	-0.0034 (0.7053)	-0.0020 (0.8614)	-0.0016 (0.6427)	-0.0039 (0.7098)	-0.0038 (0.8566)	0.0004 (0.5420)	0.0014 (0.1382)	0.0016 (0.0907)	-0.0038 (0.8864)								
PJB	0.0001 (0.7671)	-0.0008 (0.3317)	-0.0015 (0.8169)	0.0028 (0.3641)	0.0001 (0.8159)	-0.0002 (0.3052)	-0.0025 (0.9086)	-0.0025 (0.7724)	0.0052 (0.0539)	0.0003 (0.4723)	-0.0021 (0.7368)							
YFA	-0.0002 (0.8100)	-0.0019 (0.6563)	-0.0016 (0.8538)	0.0017 (0.2121)	0.0003 (0.4452)	0.0023 (0.2861)	0.0025 (0.1668)	0.0042 (0.1941)	0.0073 (0.1262)	-0.0004 (0.6961)	-0.0016 (0.8776)	0.0014 (0.5899)						
MFA	0.0026 (0.5113)	0.0011 (0.8096)	0.0026 (0.4634)	-0.0020 (0.5200)	0.0021 (0.6898)	0.0016 (0.3045)	-0.0014 (0.6861)	-0.0007 (0.5366)	-0.0007 (0.5829)	0.0027 (0.4361)	-0.0008 (0.8991)	0.0024 (0.6620)	0.0036 (0.6381)					
PFA	0.0001 (0.5240)	-0.0030 (0.8939)	0.0029 (0.1682)	-0.0001 (0.3662)	-0.0031 (0.7862)	0.0028 (0.4569)	0.0073 (0.0556)	0.0073 (0.0360)	0.0089 (0.0150)	0.0005 (0.1650)	-0.0016 (0.5516)	0.0011 (0.5784)	-0.0003 (0.7410)	0.0068 (0.3275)				
YFB	-0.0047 (0.9844)	-0.0037 (0.8038)	0.0014 (0.1853)	-0.0005 (0.5013)	-0.0024 (0.4598)	-0.0001 (0.1681)	0.0022 (0.1711)	0.0037 (0.0624)	0.0030 (0.0600)	0.0004 (0.1794)	-0.0037 (0.9623)	-0.0023 (0.4563)	-0.0017 (0.6573)	0.0003 (0.9502)	-0.0032 (0.8132)			
MFB	-0.0014 (0.6042)	-0.0012 (0.5451)	0.0006 (0.1261)	-0.0022 (0.4616)	-0.0021 (0.5611)	-0.0011 (0.5433)	-0.0004 (0.6131)	0.0023 (0.1368)	-0.0019 (0.1951)	-0.0000 (0.2658)	-0.0011 (0.2057)	-0.0007 (0.4104)	0.0011 (0.3824)	-0.0022 (0.8849)	0.0012 (0.6749)	-0.0027 (0.3680)		
PFB	-0.0026 (0.8976)	0.0033 (0.4337)	0.0037 (0.5201)	-0.0005 (0.6234)	-0.0006 (0.3869)	0.0024 (0.8135)	-0.0030 (0.9557)	0.0028 (0.6050)	-0.0005 (0.6428)	0.0036 (0.7057)	-0.0007 (0.7555)	-0.0005 (0.6923)	0.0015 (0.7877)	-0.0036 (0.9432)	0.0067 (0.2282)	-0.0022 (0.8572)	-0.0074 (0.9987)	

* 整體遺傳分化指數(F_{ST})值為 0.0006, p 值為 0.418* 153 對組間 F_{ST} , 使用邦弗朗尼校正法的顯著水準: $p = 0.05/153 = 0.0003$

* 樣本代號詳見表 2

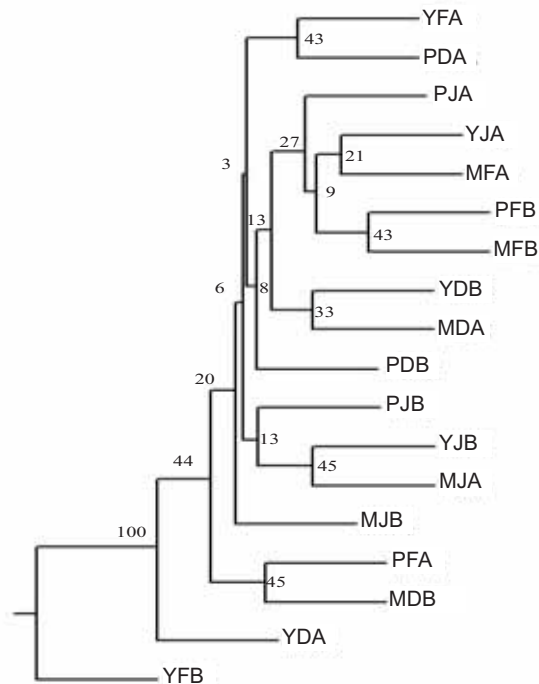


圖 1 使用鄰接法並利用 Nei 遺傳距離(1972)的 (phenogram)描繪 18 個日本鰻魚採集樣本親緣樹。節點上顯示的 Bootstrap 值(1,000 次重複的百分比)

18 組日本鰻彼此間在體型上雖有若干差異，但顯然是來自隨機交配之一個族群。

Tseng et al. (2006) 分析臺灣淡水、枋寮，中國汕頭、杭州、鴨綠江及日本三河灣 (Mikawa Bay) 等河口之日本鰻鰻線，卻顯示為非隨機交配之族群。其遺傳分化指數的顯著水準經過邦弗朗尼校正法校正後，1990 年在枋寮的採樣與 1997 及 1999 年在淡水的採樣有顯著差異，而 2000 年卻沒有顯著差異，1990 及 2000 年在枋寮的採樣彼此間也沒有顯著差異。另外，Chang et al. (2007) 分析臺灣北部淡水河河口日本鰻鰻線 (2000 年 11 月－2001 年 3 月) 之遺傳結構，結果顯示在時間上的遺傳變異並無顯著差異，為隨機交配族群。Han et al. (2010) 甚至分析在臺灣、中國、韓國及日本等不同地點或時

間採集之鰻線，不論是在空間或時間上皆無顯著之族群分化現象，整體而言，東亞地區的日本鰻為一個隨機交配族群。然而，臺灣南北距離約 400 km，在不同時間與河口撈捕到鰻線之遺傳分化程度低，是合理的。

本試驗以 5 個微衛星基因座進行研究，與前述報告之試驗檢測方法類似 (Tseng, 2006; Chang et al., 2007; Han et al., 2010)，主要的差別在於取樣方式不同。本試驗係以同一年度的不同地點採樣而前述報告是同一地點不同年度採樣。根據本試驗之採樣結果 (表 2)，並無發現南北差異，但若以時間的角度來看，可由體長之標準差發現，鰻線在 12 月上旬至 1 月上旬於臺灣北、中、南三點皆有稍為增加的趨勢。經過向漁民訪問與調查，推測 12 月下旬至 1 月上旬之潮水明顯帶來新的鰻線，所以在實際捕獲鰻線時，新的鰻線較為嬌小，原停留在河口的鰻線體型可能稍大，進而造成體長標準差大於前期的現象。然而，1 月下旬至 2 月下旬之平均體重的平均值變化較大 (0.10－0.16 g)，據訪查資料可推測有多個因素影響體重之測定值 (如南北採集方式的不同，蓄養環境的差異，2 月時屏東的資源量驟減等)，又因本試驗乃透過漁民協助捕撈，較難即時的記錄新捕獲鰻線之體重等資料，故體重與體長部分未進行統計分析。

綜合試驗結果，利用微衛星基因座之片段多型性，針對臺灣北、中、南三河口地區之日本鰻鰻線進行族群遺傳研究，分析同一年度內的 18 組鰻線，各組間或整體之 F_{ST} 值均無顯著差異，這些鰻線視為同一族群。



參考文獻

- 黒木洋明 (2008) 日本列島から南へ 2,500km!!熱帯の太平洋上で世界初のウナギの親魚を捕獲! 独立行政法人水産総合研究センター第7回成果発表会「探り、知り、そして活かす水産研究」, 19-22。
- 曾萬年 (2001) 鰻魚生活史及進化。科學發展, 29: 592-596。
- Chang, K. C., Y. S. Han and W. N. Tzeng (2007) Population genetic structure among intra-annual arrival waves of the Japanese eel *Anguilla japonica* in northern Taiwan. Zoological studies, 46: 583-590.
- Felsenstein, J. (2004) PHYLIP (Phylogeny Inference Package) version 3.6. Distributed by the author. Department of Genome Sciences, University of Washington, Seattle.
- Glaubitz, J. C. (2004) Convert: A user-friendly program to reformat diploid genotypic data for commonly used population genetic software packages. Mol. Ecol. Notes, 4: 309-310.
- Han, Y. S., C. L. Hung, Y. F. Liao and W. N. Tzeng (2010) Population genetic structure of the Japanese eel *Anguilla japonica*: panmixia at spatial and temporal scales. Mar. Ecol. Prog. Ser., 401: 221-232.
- Huang, C. S., C. F. Weng and S. C. Lee (2001) Distinguishing two types of gray mullet, *Mugil cephalus* L. (*Mugiliformes: Mugilidae*), by using glucose-6-phosphate isomerase (GPI) allozymes with special reference to enzyme activities. J. Comp. Physiol. B, 171: 387-394.
- Retief, J. D. (2000) Phylogenetic analysis using PHYLIP. In Methods in Molecular Biology, vol. 132: Bioinformatics Methods and Protocols (S. Misener and S. A. Krawetz eds), Humana Press Inc., Totowa, NJ, U. S. A., 243-258.
- Rice, W. R. (1989) Analyzing tables of statistical tests. Evolution, 43, 223-225.
- Rousset, F. (2009) Genepop 4.0: <http://kimura.univ-montp2.fr/~rousset/Genepop.htm>.
- Silva, H. S., C. R. M. Silva, B. A. Galindo, F. S. Almeida, L. M. K. Sodre and C. B. R. Martinez (2006) Population genetic structure of *Astyanax scabripinnis* (Teleostei, Characidae) from an urban stream. Hydrobiologia, 553: 245-254.
- Tseng, M. C., W. N. Tzeng and S. C. Lee (2006) Population genetic structure of the Japanese eel *Anguilla japonica* in the northwest Pacific Ocean: evidence of non-panmictic populations. Mar. Ecol. Prog. Ser., 308: 221-230.
- Tsukamoto, K. (1992) Discovery of the spawning area for Japanese eel. Nature, 356, 6372, 789-791.
- Tsukamoto, K. and T. Arai (2001) Facultative catadromy of the eel *Anguilla japonica* between freshwater and seawater habitats. Mar. Ecol. Prog. Ser., 220: 265-276.
- Tzeng, W. N., J. C. Shiao and Y. Iizuka (2002) Use of otolith Sr: Ca ratios to study the riverine migratory behaviors of Japanese eel *Anguilla japonica*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 245: 213-221.
- Tzeng, W. N., Y. Iizuka, J. C. Shiao, Y. Yamada and H. P. Oka (2003) Identification and growth rates comparison of divergent migratory contingents of Japanese eel (*Anguilla japonica*). Aquaculture, 216: 77-86.
- Wright, S. (1978) Evolution and the Genetics of Populations, Vol. 4. Variability Within and Among Natural Populations. University of Chicago, Chicago.



臺灣鰻苗捕撈之漁具漁法介紹

黃瀛生^{1*}、蔡惠萍²、李彥宏³、張格銓¹

¹ 行政院農業委員會水產試驗所淡水繁養殖研究中心

² 行政院農業委員會水產試驗所東部海洋生物研究中心

³ 行政院農業委員會水產試驗所東港生技研究中心

摘要

本文彙整本所近幾年查訪臺灣幾種常用的捕撈鰻苗漁具與漁法，藉以瞭解位於鰻魚產業最前端從業人員的工作方式。依臺灣海岸線不同的地形地貌，因地制宜而發展出多樣的捕撈鰻苗方式大致區分如下：動力叉手網操作地區主要為宜蘭頭城烏石港、蘇澳南方澳港、高雄林園鳳鼻頭港、屏東的東港、鹽埔港和枋寮港；流袋網則在臺灣北部的淡水及八里；張網由桃園新屋以南到臺南將軍溪、二仁溪等西部各大河口均可見；待袋網常見於苗栗縣後龍溪及西湖溪口，而屏東林邊至枋寮沿岸則是動力打水式待袋網；高屏溪口多設定置網；鰻線耙網及三角叉網常見於東北部、北部、西北部的沙岸淺坪地形，而宜蘭南方澳以北至新北市貢寮地區則使用構造特殊的頭城式鰻線耙網。

關鍵詞：鰻苗、漁具、漁法

前言

臺灣南北長約 395 km，東西寬約 144 km，海岸線長度約 1,100 km，周邊有往北流的黑潮及往南流的中國沿岸流經過。鰻魚是降海洄游產卵的物種，每年入冬，鰻苗隨著黑潮漂流至臺灣周邊海域。早期鰻苗只作為禽畜飼料副產品使用，民國 50 年間養鰻產業興起，為供應市場高需求，鰻苗價格開始上漲。每年冬季鰻線捕撈不僅帶給漁民穩定的收益，也促進養鰻產業的蓬勃發展。

鰻苗因身形細長，使用釣具或是陷阱類漁具無法有效捕獲，所以鰻苗的捕撈均使用網具類，利用網目過濾水流，或是阻擋鰻苗上溯河川的路線，來達到漁獲集中的效果，增加捕撈效率。

凡採捕水中生物的行為稱為漁撈，漁撈的方法稱為漁法，用於漁撈的工具稱為漁具。漁具漁法乃是經長年觀察生物個體或是群體的生態行為模式所累積的經驗發展出來的漁撈工具、手段與方法，亦可反映當時漁業的技術水準。捕撈鰻苗的漁法主要為誘導陷阱漁法及抄網漁法，而在漁具的分類上主要有定置網類的待網及張網，抄網及雜漁具。

* 通訊作者/50562 彰化縣鹿港鎮海埔里 106 號；
TEL: (04)7772175; FAX: (04)7775424;
E-mail: yingson@fwlk.tfrin.gov.tw



相較於東亞其他國家，臺灣海岸線的地形地貌豐富，可是漁民懂得因地制宜的發展出多樣的捕撈鰻苗方式。本所研究人員近幾年查訪各地，記錄下列幾種臺灣漁民常用的捕撈鰻苗方法，讓一般民眾也可以瞭解位於鰻魚產業最前端從業人員的工作方式。

臺灣漁民常用的捕撈鰻苗方法

一、動力叉手網

叉手網主要係於沿岸海域，捕撈魚苗如鰻苗、虱目魚苗等，目前以動力竹筏作業為主，其漁具主要由叉手竿、袋網及捕魚部（竹筒）等構成（周等 2002）。動力叉手網是臺灣最主要的鰻苗捕撈作業方式，大部分的鰻苗捕撈量均由此作業方式捕獲，此捕撈方式主要由1台動力船筏及2個大型叉手網組成（圖 1-3），作業人數最少需 2 人。使用此方法作業的地區主要在宜蘭頭城烏石港、蘇澳南方澳港、高雄林園鳳鼻頭港、屏東東港、鹽埔港和枋寮港。每年冬季入夜前，漁船陸續報關出海，沿著海岸 5-30 m 等深線間作業，每個三角叉網約寬 10 m，2 個三角叉網開口位於漁船前方，漁船緩緩往前推進，利用叉網過濾水流，叉網後端有一網袋，鰻苗會被集中於此，1 人操舵，另 1 人每 5 分鐘倒出網袋內過濾物，將鰻苗集中並移除雜物及非目標物種（圖 4），每日作業時間約 6 小時，會按照當日捕獲量決定延長或減少，作業地點也會因漁獲量或漁民間互通訊息而有所變更。此作業方式單日漁獲量最高，作業耗費油料最高，投資成本也最高。



圖 1 停泊於宜蘭縣烏石港的動力叉手網船筏

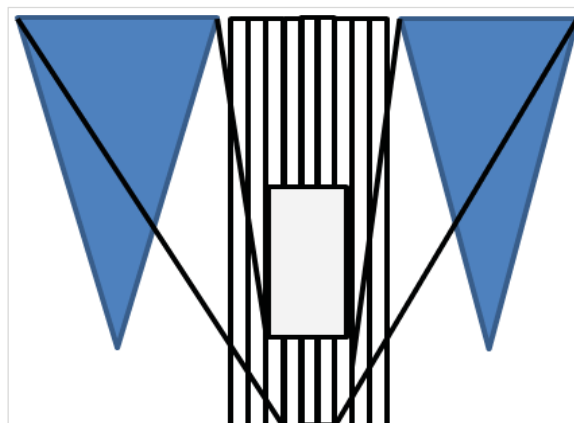


圖 2 動力叉手網示意圖



圖 3 動力叉手網船筏側面

二、流袋網

流袋網是一種利用潮流將網具張開之傳統漁法，在早期漁船動力不足的年代，是沿岸非常重要的漁法。用流袋網捕捉鰻苗主





圖 4 動力叉手網作業情形

A：左舷叉手網張開作業；B：左舷叉網張開作業；C：控制軸及相關拉繩近照；D：叉手網網袋；E：將網袋打開取出收集物；F：鰻苗篩選工具，將鰻苗與其他生物或雜物分篩

要是在臺灣北部的淡水及八里（圖 5、6），流袋網原為捕捉仔稚魚的主要漁法，不限定捕捉鰻苗，但是捕捉不同種類的仔稚魚所用的網目略有不同，捕撈時間也有所不同。流袋網構造為寬約 25 m 的袖網加上網袋組成，網目約 25 目，袖網上部平均別上 5 個浮球或保麗龍塊幫助網具浮於水面，袖網兩

端綁上錨錠，網袋尾端也綁上錨錠，固定網具以免被水流沖走，另綁上繩及浮球，以利作業時勾取。一般作業船筏可以同時操作 6－10 組網具，端看操作人數多寡而定，約需 2 人作業，1 人操舵，1 人勾取網袋，將過濾物倒出。捕撈鰻苗主要在河道內作業，作業時間約 4 小時，一般於夜間漲潮前將網



具張開面對河口，利用漲潮時的水流過濾鰻苗，使用此法也需要動力船筏，另外還需要油壓機，因為錨錠沉重，人力無法快速撈起。淡水河口作業方式在捕撈期間不收網，只將網袋打開，袖網拉至與河岸平行即可，當地捕撈地點選擇為先到者優先捕撈，如果將網具收至船上，其他漁民即可在該地放置網具。



圖 5 淡水及八里地區的流袋網捕撈鰻苗漁法

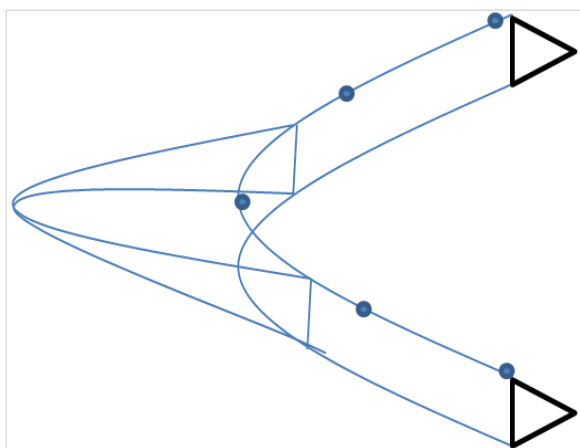


圖 6 淡水及八里地區的流袋網示意圖

三、張網

張網是西部地區沿岸常見的作業方式（圖 7、8），西部各大河口均可在冬季看見佈

設，從桃園新屋、新竹鳳山溪、頭前溪河口、臺中大甲溪、烏溪、彰化濁水溪、嘉義地區沿岸、臺南將軍溪、二仁溪均可見。張網主要利用木樁或鐵樁將網袋撐開，開口面向漲潮水流或是河口方向，利用漲潮過濾海水，是西部常見的作業方式。張網為固定式，佈設後無法隨意更改地點，但是因地形許可，不需使用動力船筏，使用人力船筏即可作業，每組網具約寬 5 m，入夜漲潮前將網袋綁緊，每隔 5–30 分鐘打開網袋收集鰻苗，一人即可作業，可操作 5–10 組網具。另有退潮捕撈模式，網口設置位置恰與漲潮捕撈模式相反，因為退潮時捕撈量較少，網袋清理時間可較為延長，一般約 30 分鐘清理 1 次即可。相對於上述兩種作業模式張網所耗費的作業成本相對較少。



圖 7 西部沿岸常見的鰻苗捕撈方式－張網

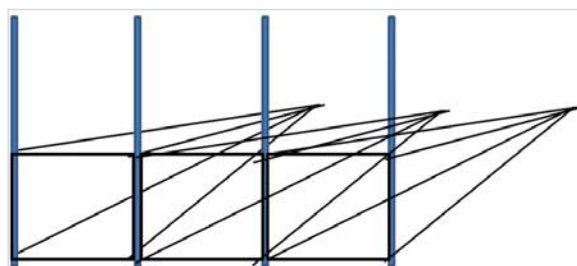


圖 8 張網示意圖





四、待袋網

待袋網主要記錄地點是苗栗縣後龍溪及西湖溪口（圖 9、10），形式與流袋網相近，但是網具的固定方式是使用鋼索而不是錨錠，設置後也無法隨意移動，待袋網設置於河道中，設置時網口朝河口以活結固定於河床底部的鋼索環節上，網具上方每隔 30 cm 縫上 1 個保麗龍球提供浮力。漁民 1 人即可操作 6—10 組網具，作業時間約 4—6 小時，一般作業到漲潮結束，每 5—30 分鐘打開網袋將鰻苗集中即可。作業結束後鬆開活結，將網具收上舢舨，等待下次漲潮前再行佈設。



圖 9 苗栗縣後龍溪及西湖溪口地區的鰻苗捕撈方式—待袋網

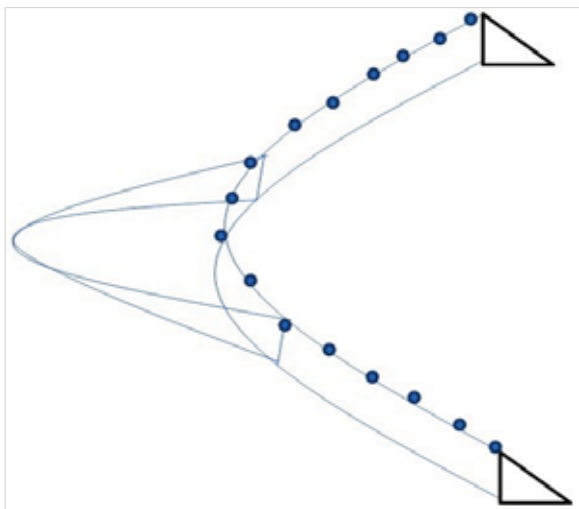


圖 10 待袋網示意圖

五、動力打水式待袋網

動力打水式待袋網主要作業地點在屏東林邊至枋寮沿岸（圖 11、12），因當地海流緩慢，漁民為增加過濾水量，於是在待袋網前設置動力機械或是船筏打水，增加水流量。此漁具袖網加網袋開口面寬約 30—50 m，開口面向漲潮水流方向，屏東地區漲潮時一般是由南往北漲所以開口朝南設置。另利用動力船筏於網袋收集魚苗，每 10—30 分鐘鐘收集 1 次，每次操作 1 組網具，1 人即可操作，近幾年因油價上漲，有些屏東動力叉手網船也改成此作業模式，降低作業成本。



圖 11 屏東林邊至枋寮沿岸的鰻苗捕撈方式—動力打水式待袋網

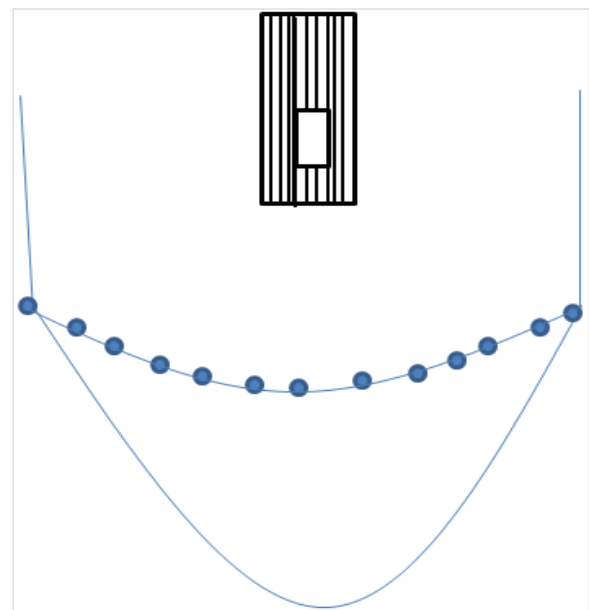


圖 12 動力打水式待袋網示意圖



六、高屏溪定置網

高屏溪因為河面寬闊，但是水淺無航運之利，所以每年入冬漁民會跟河川局申請利用佈設大型網組捕撈鰻苗。高屏溪定置網網組寬闊（圖 13、14），形式如鳥類展翅，每個網組面寬 70—100 m 左右，開口面向河口，利用打樁將網片固定過濾水流，將溯河的鰻苗攔截集中至中間小屋，利用集魚燈誘集，然後用手抄網將鰻苗撈起（圖 15—19）。作業時間為入夜後漲潮開始約 4—6 小時至滿潮，可 1 人單獨作業。



圖 13 高屏溪口的鰻苗捕撈方式一定置網

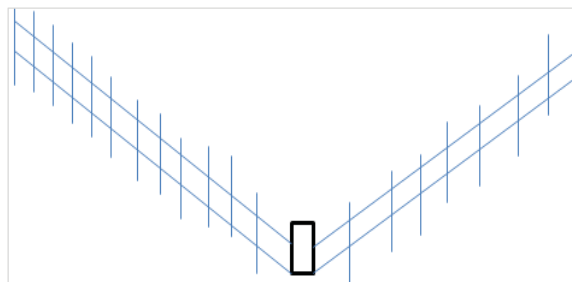


圖 14 高屏溪定置網示意圖



圖 15 高屏溪定置網網組寬闊，形式如鳥類展翅



圖 16 高屏溪定置網開口面向河口



圖 17 高屏溪定置網以網片固定過濾水流，將鰻苗攔截集中至中間小屋

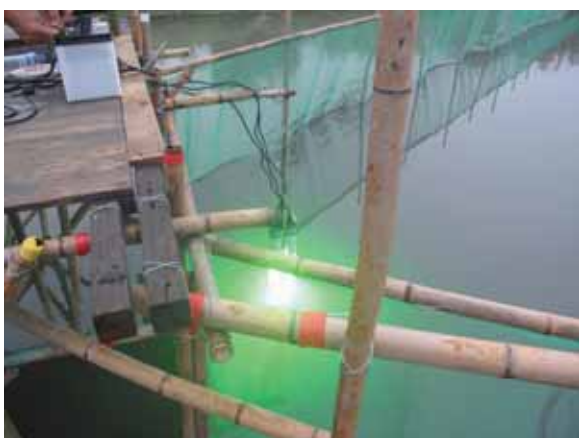


圖 18 高屏溪定置網利用集魚燈誘集



圖 19 高屏溪定置網利用集魚燈誘集，然後用手抄網將鰻苗撈起





七、頭城式鰻線耙網

頭城式鰻線耙網因構造特殊，又在頭城被記錄而命名（圖 20、21）。這種漁具主要分布在宜蘭南方澳以北至新北市貢寮地區，西部及花蓮、臺東則少見。漁民利用特製的半月型鐵架構造將網具撐開，在海岸及河口灘地上拖行，每隔 10–15 分鐘檢視網袋是否有鰻苗進入，若有則將鰻苗倒出。此漁法較不受潮汐限制，可從入夜操作到日出，作業時間約 12 小時，1 人操作即可，每人操作 1 組網具。此法不耗費油料是完全的人力採集方式。



圖 20 特製的半月型鐵架構造之頭城式鰻線耙網

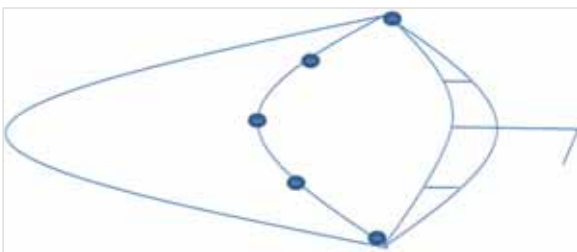


圖 21 頭城式鰻線耙網示意圖

八、鰻線耙網

北部較常見的鰻線耙網（圖 22、23）一般利用竹竿或鐵杆將網子撐開，上置浮球提供浮力，人位於前方拖行，每隔 10–15 分鐘檢視網袋內是否有鰻苗進入（圖 24、25）。此法常見於東北部、北部、西北部沙岸淺坪地形，中部及南部因為泥岸行走不易，較不常見。作業方式與時間跟頭城式鰻線耙網相同，只是撐開網具的形式差異而已。



圖 22 北部常見的鰻線耙網

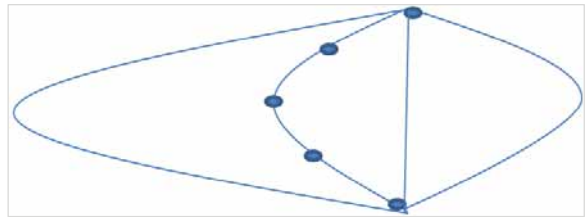


圖 23 鰻線耙網示意圖



圖 24 鰻線耙網作業方式



圖 25 鰻線耙網作業，檢視網袋是否有鰻苗進入



九、三角叉網

三角叉網雖然捕獲量少，卻是臺灣民眾最知悉的鰻苗捕撈方式（圖 26、27）。因為其製作簡單，攜帶方便，即使非專業漁民也會製作，在鰻苗盛期加入捕撈的行列以賺取額外收入。此方法可捕撈所有溯河洄游的仔稚魚及蝦類，一年四季都可看到有人操作使用，常見於東部、北部沙岸。主要利用海浪將水推上岸的原理，將浪頭水撈進叉網內，



圖 26 常見於東部、北部沙岸之三角叉網

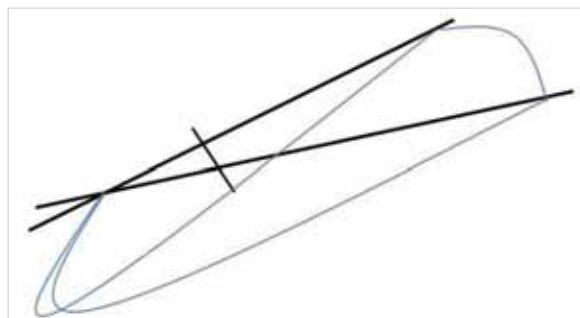


圖 27 三角叉網示意圖

每作業幾個浪頭後，舉起叉網檢視網底是否有鰻苗進入，若有則用湯匙撈起倒入容器中。此法也是入夜即可作業，一人操作一網具，操作時間很長，不受潮汐限制。

結語

臺灣的鰻苗捕撈方式多樣，從專業、特定性的捕撈到業餘打工性質都有，但唯一不變的是都必須忍受寒冷的東北季風及冬夜冰水，在無遮蔽物的海邊或是海上進行操作（圖 28），如果有機會在海邊看到許多在浪頭上的小小燈火，希望大家能為這群站在臺灣養鰻產業最前方的辛勞漁民加油。

參考文獻

- 周耀傑、蘇偉成 (2002) 臺灣漁具漁法。行政院農業委員會，307 pp。
- 曾萬年、韓玉山、塚本勝巳、黑木真理 (2012) 鰻魚傳奇。宜蘭縣立蘭陽博物館，232 pp。
- 黃瀛生、蔡惠萍、李彥宏 (2017) 臺灣的鰻苗捕撈型式。水試專訊，58: 38-426。
- Tzeng, W. N. (2014) Freshwater eels and humans in Taiwan. In Eels and Humans (K. Tsukamoto and M. Kuroki, eds.), Springer Tokyo, Japan, 129-142.



圖 28 秀姑巒溪口的叉手網捕撈作業



臺灣河口域鰻線調查

黃瀛生^{1*}、蔡惠萍²、李彥宏³、楊順德¹

¹ 行政院農業委員會水產試驗所淡水繁養殖研究中心

² 行政院農業委員會水產試驗所東部海洋生物研究中心

³ 行政院農業委員會水產試驗所東港生技研究中心

摘要

日本鰻是臺灣重要的淡水養殖魚類，也是東亞各國廣為利用的經濟魚種，臺灣每年 10 月下旬開始有日本鰻鰻線的蹤跡，而於 2 月底接近尾聲。本研究在每年 11 月至隔年 2 月訪談具代表性捕撈業者，以瞭解鰻線捕撈漁業並委請業者填寫問卷，藉以探討臺灣地區的鰻線撈捕概況和資源變動情形。四年的調查分析結果顯示，在漁法方面以動力叉手網船所投入的硬體成本最高，但捕撈量佔比最大，且每種漁法的作業時間會因為潮汐、海流及日落時間而有所變化，以頭城式鰻線耙網作業時間長達 12 小時最久；另，捕獲起始時間以屏東地區在 11 月初，而淡水直到 11 月下旬才開始捕獲到鰻線。成本方面，淡水、嘉義及屏東定置網的益本比均低於 10，顯示產量及價格相對穩定，各地區捕獲量與東亞跟臺灣的捕撈量有相同的趨勢，不同地點、年度的捕獲率也有不同，差距最高達 50 倍以上。潮汐方面，大部分的捕撈地點在大潮時捕獲量略多於中小潮，由旬期捕撈比例可發現各地的捕撈高峰並不一致，且白鰻線呈現越到後期其體型略小的趨勢，緯度越高則體長略長；另，黑鰻（包括鱸鰻、太平洋雙色鰻等）則因族群及種類組成複雜，每年來游體型大小有較明顯的差異。

關鍵詞：日本鰻、鰻線、資源

前言

日本鰻 (*Anguilla japonica*) 曾是臺灣最為重要的淡水養殖魚類，養殖盛期年產值曾達 5 億 6 千萬美元，也是東亞各國廣為利用的經濟魚種，在日本、中國、韓國及臺灣雖有不同的飲食文化特色，不過都將鰻魚視為珍補的重要水產食材。鰻魚是降海洄游的

溫帶魚種，天然鰻線主要分布地區有臺灣、中國、日本及韓國等地 (Tesch, 2003; Tsukamoto, 2006)，臺灣地區每年 10 月下旬開始可見日本鰻鰻線，高峰約在 12 月至 1 月，於 2 月底接近尾聲，而整個東亞的日本鰻鰻線汛期，則呈現南早北晚的態勢 (郭, 1994; Han, 2011)。根據東亞 20 年來的鰻線捕撈量看來，自 1980 年起日本鰻資源有遞減趨勢，且產量豐歉不一 (Dekker, 2004)。臺灣每年養殖需 15—50 公噸鰻線，但天然捕獲供應量僅 5—25 公噸，不足以因應養殖

* 通訊作者/50562 彰化縣鹿港鎮海埔里 106 號;
TEL: (04)7772175; FAX: (04)7775424;
E-mail: yingson@fwlk.tfrin.gov.tw



產業所需，致使苗價高漲，2011 年每尾曾高達新臺幣 200 元以上，2018 年養殖新聞報導千葉縣鰻線每公斤售價達 200 萬日圓，間接提高養殖成本，影響產業的發展甚鉅。另一方面，歐洲鰻自 2009 年被列入瀕臨絕種野生動植物國際貿易公約 (CITES) 保護物種，日本鰻也可能面臨這個貿易危機，2016 年南非第 17 屆 CITES 會議中雖尚未將日本鰻列入，但也提議資源利用國需有完整的資源調查來作為往後利用評估。

這幾年因全球氣候及海洋環境變遷如海溫升高 (Bonhommeau et al., 2008)、太陽黑子活動 (Han et al., 2009)、聖嬰現象 (Kimura et al., 1994; Zenimoto et al., 2009)、沿岸水域受到污染，人為因素如河川棲息地破壞或濫捕等諸多因素，導致日本鰻鰻線日益枯竭且產量極不穩定，因此業者也嘗試養殖其他種類鰻魚，如鱸鰻 (*A. marmorata*)、雙色鰻 (*A. bicolor*) 等來填補市場所需。1980 年代之研究，認為臺灣有四種鰻魚，分別為日本鰻 (*A. japonica*)、鱸鰻、太平洋雙色鰻 (*A. bicolor pacifica*) 和西里伯斯鰻 (*A. celebesensis*) (曾, 1982; Tzeng and Tabeta, 1983; Han et al., 2001)，Watanabe et al. (2009) 發現尚有呂宋鰻 (*A. luzonensis*)。其中除鱸鰻為傳統燉補藥膳使用的主要物種外，雙色鰻也因為體色及體型與白鰻相近，成為蒲燒日本鰻的替代物種。

因鰻魚的資源量不斷下降，IUCN (國際自然保護聯盟) 將日本鰻、歐洲鰻及美洲鰻列為瀕危 (endangered)，而由於日本鰻資源量的減少以致增加了對其他種鰻魚的養殖

需求，故亦將其他十數種鰻魚列為近危 (near threatened)。為瞭解臺灣地區各地的主要鰻種的鰻線資源狀況、來游時間差異及比較不同漁法的作業情形，本研究自 2014 年開始執行鰻線資源調查，以期描繪出臺灣地區的鰻魚資源分布概況，以做為鰻魚資源管理與對策擬定之參考。

研究方法、捕撈地區與漁法

一、研究方法

臺灣地處亞熱帶，位於黑潮及中國沿岸流交會的路徑上，每年冬季均有大量的鰻線漂流至各海岸，鰻線主要產區分別為宜蘭、屏東、淡水及嘉義，其中宜蘭與屏東分別位於黑潮主、支流前端，而淡水位於西部最北端，嘉義沿海則有中國沿岸流經過，故調查地區以上述四大區域為主。

計畫開始先拜訪捕撈業者，進行深度訪談，了解業者的鰻線捕撈作業時間、該地鰻線的流通情形，資金的投入等產業相關訊息；並設計問卷委請業者逐日填寫捕撈的作業時間、捕撈量、天候、風向、水溫、氣溫及潮汐狀態 (大小潮) 等數據。在法定允許捕撈季節 (每年 11 月至隔年 2 月) 開始後，每 15 天訪問 1 次捕撈業者，記錄最近作業狀況並陪同業者至現場記錄作業流程。另，每月自業者處購買日本鰻 (一般俗稱白鰻) 鰻線及黑鰻鰻線，帶回研究室做形態質量測。在捕撈過程中，先以肉眼初步分辨種類，臺灣所產出的鰻線中，除了日本鰻為溫帶鰻，其他均為熱帶鰻 (一般統稱為黑





鰻)，而僅有太平洋雙色鰻為短鰭型（曾，1982；Tzeng and Tabeta, 1983；吳，2012）。

二、捕撈地點及漁法介紹

（一）宜蘭地區

宜蘭是近幾年來臺灣最主要的鰻線產區，每年產量約佔臺灣總產量 3 成以上，因為黑潮流經宜蘭外海並且在宜蘭灣上迴旋，所以每年會有大量鰻線在此處洄游上溯，另外蘭陽平原有宜蘭河、蘭陽溪、冬山河、新城溪等溪流提供淡水水源入海，也讓鰻線可依循淡水進入河川成長（李，2010）。宜蘭的捕撈區域從頭城北關到蘇澳溪出海口，捕撈方式有動力叉手網、流袋網、鰻線扒網、頭城式鰻線扒網，而本研究於此地區則以捕撈量最大的動力叉手網及捕撈人數最多的頭城式鰻線扒網作為調查對象。

（二）淡水地區

淡水是北部主要鰻線生產及集散地，當地主要作業漁法是流袋網，由淡水河兩岸的漁船捕撈。在淡水河與公司田溪中間的沙崙海水浴場則有些許的鰻線耙網及三角叉網，由於此地區的流袋網作業漁船約有 150 艘，故選擇當地的流袋網漁法為調查對象。流袋網作業每次會放 6—10 組網具，每次作業人數 2 人，這種漁法是利用漲潮推動水流的特性，必須等待入夜的漲潮才能作業。

（三）嘉義地區

西南部沿海地區多為泥灘地，當地使用的主要漁法為張網，係以竹竿或鐵杆打樁再將漁網固定其上，利用潮汐的漲退來捕撈鰻線。張網因其特性而無法如動力叉手網或是流袋網一樣更換捕撈地點，每年設網的地點

固定，樣本戶為 10 人合作的團體，張網架設的位置在於鰲鼓溼地外海，地點恰在北港溪與朴子溪中間，因鰲鼓溼地與外傘頂洲相對的地形關係，而形成一個南大北小的喇叭狀形式，這種地形有助於匯集海流以利鰻線捕撈，捕撈方式以兩人一組，每組放 10—12 具漁網，共計有五組。

（四）屏東地區

屏東是南臺灣鰻線產地之一，主要漁法為動力叉手網、高屏溪定置網與張網，在林邊溪以南尚有動力打水式待袋網，本研究以一位動力叉手網漁民和一位高屏溪定置網漁民為樣本戶。動力叉手網樣本戶以新園鹽埔港為母港，當地約有 200 艘動力叉手網船。高屏溪因為河面寬闊，水流充沛，吸引了大量的鰻線上溯，漁民每年向政府申請在河面上架設定置網捕撈鰻線，網口面向河口呈展翼狀，中間有小屋，漁民躲在小屋中以水中燈誘集鰻線用手抄網撈起，每組網具約 70 m 長，目前高屏溪有定置網紀錄約 18 組。

結果與討論

一、捕撈成本、作業人力及作業時間

分析所有樣本戶的捕撈成本，以動力叉手網船所投入的硬體成本最高，而頭城式鰻線耙網投入成本最少（表 1）；在營運成本方面，動力叉手網每次出海油料成本約 9,000 元，所需人力 2 人；流袋網成本約 2,000 元，所需人力 2 人；張網約成本 500 元，操作人員 2 人；高屏溪定置網及頭城式鰻線耙網無動力船筏則以 1 人即可作業。



因為鰻鱺科魚類為夜行性動物 (Tzeng, 1985)，故每種漁法的作業時間會因為潮汐、海流及日落時間而有所改變。在不同漁法中，以頭城式鰻線耙網作業時間最長約 8—12 小時；張網因為需有前置作業，整體作業時間約需 6 小時；動力叉手網從入夜後開始作業，但因下半夜捕撈量會銳減，考量成本後的作業時間大概 6 小時；高屏溪定置網及流袋網因位處河口而利用潮水作業，故自漲潮起算約 4 個小時即結束作業。

表 2 顯示，由訪查記錄分析各地區平均捕撈價格均差異不大，而將所有地區以賣出價格與捕撈量計算各漁法益本比，發現淡水、嘉義及屏東定置網的益本比均低於 10，顯示產量及價格相對穩定，而宜蘭及屏東的動力叉手網益本比從 0.36—42.93，波動甚大。另外，船筏捕撈的價格稍高於單獨以人工捕撈，因動力船筏捕撈量大，可取得較好的收購總價，但在鰻線歉收年的時候，使用動力船筏捕撈則可能不敷成本。

表 1 不同的鰻線捕撈漁法之硬體和營運成本(單位：千元)

漁 法	動力叉手網	流袋網	張 網	定置網	頭城式鰻線耙網
船 舶	600	500	200	0	0
油 耗	9	2	0.5	0	0
網 具	100	48	60	15	5
小 計	709	550	260.5	15	5
人 力	2	2	2	1	1

表 2 2014-2017 年不同地區和漁法的平均每尾捕撈平均成本、平均售價(單位：元)及益本比

地 點	宜 蘭			屏 東			淡 水		
漁 法	動力叉手網			動力叉手網			流袋網		
價格 年度	平 均 成 本	平 均 售 價	益本比	平 均 成 本	平 均 售 價	益本比	平 均 成 本	平 均 售 價	益本比
2014-2015	46.90	74.33	1.58	6.77	74.64	11.02	70.63	72.39	1.02
2015-2016	3.84	70.48	18.35	180.52	65.13	0.36	21.99	66.18	3.01
2016-2017	2.13	52.13	24.47	2.90	48.46	16.73	7.63	45.84	6.01
地 點	嘉 義			屏 東			宜 蘭		
漁 法	張 網			定置網			頭城式鰻線耙網		
價格 年度	平 均 成 本	平 均 售 價	益本比	平 均 成 本	平 均 售 價	益本比	平 均 成 本	平 均 售 價	益本比
2014-2015	18.42	73.80	4.01	18.70	74.14	3.96	2.86	72.84	25.47
2015-2016	14.80	103.03	6.96	9.72	65.04	6.69	2.09	69.85	33.42
2016-2017	10.50	43.72	4.16	4.28	44.04	10.29	1.17	50.23	42.93





二、各地區樣本戶捕撈起始日期、單日最大量日期及捕獲量的消長

比較各地區當年度捕撈的起始時間跟最大量 (表 3)，東北部宜蘭及南部屏東地區均在 11 月上中旬開始捕撈，位於北部的淡水跟西部的嘉義則需要等到 11 月中下旬才會開始捕撈，Guo et al. (2017) 指出，長江口約在 1 月中旬才會捕捉到鰻線，顯示宜蘭及屏東的捕獲日期早長江口地區約 2 個月，嘉義及淡水約早一個半月。就單日最大量而言，同樣的動力叉手網，宜蘭在 2015 及 2016 年要等到隔年 1 月才有最大量，而屏東約在 11 月即有最大量，這是否跟黑潮的流動有關則待進一步探討 (周，2018)。

在四年捕撈記錄中，單年最大捕獲量為 2017 年的宜蘭動力叉手網，次高為 2017 年的屏東動力叉手網，最少為 2016 年的屏東

動力叉手網。比對各地總捕獲量與臺灣或東亞的捕獲量，各地區與東亞跟臺灣的捕撈量有相同的趨勢，應同受黑潮影響所致 (周，2018)。此外，在相對豐收的 2017 年，宜蘭在 12 月即有最大量，而屏東卻往後延遲一個月餘。據推估鰻線的五條輸送路徑分別為：(1)主流黑潮運送的宜蘭-種子島-三河灣-相模川-千葉縣；(2)臺灣海峽流運送的屏東-淡水和藉沿岸流將鰻線運送到廣東；(3)臺灣暖流運送的宜蘭-福鼎-閩江-溫州-寧波-上海；(4)經黑潮後分出黃海暖流運送的宜蘭-濟洲島-韓國錦江-鴨綠江；以及(5)福建北部的鰻線可能經由沿岸流運送到福建南部和廣東象山 (周，2018)。對照捕撈起始日期及單日最大量可發現，由屏東、嘉義到淡水的推移大致符合第二個輸送路徑，呈由南往北擴散的狀態。

表 3 2014-2017 年各地區樣本戶捕撈起始日期、單日最大量日期及當年捕獲量

作業地區	宜 蘭	屏 東	淡 水	嘉 義	屏 東	宜 蘭
捕撈方式	動力叉手網	動力叉手網	流袋網	張 網	定置網	頭城式鰻線耙網
捕撈起始日期						
2014-2015 年	2014/11/16	2014/11/06	2014/11/28	2014/11/21	2014/11/12	2014/11/17
2015-2016 年	2015/11/12	2015/11/01	2015/11/06	2015/11/13	2015/11/02	2015/11/01
2016-2017 年	2016/11/09	2016/11/17	2016/11/22	2016/11/25	2016/11/15	2016/11/06
2017-2018 年	2017/11/07	2017/11/08	2017/11/30	2017/11/23	2018/01/10	2017/11/14
單日最大量日期						
2014-2015 年	2015/01/15	2014/11/11	2015/01/05	2014/12/13	2014/12/09	2015/02/15
2015-2016 年	2016/01/12	2015/11/06	2016/01/31	2016/01/01	2015/11/10	2015/11/06
2016-2017 年	2016/12/08	2016/12/28	2016/12/01	2016/12/05	2016/12/22	2016/12/03
2017-2018 年	2018/01/28	2017/12/23	2018/01/23	2018/01/03	2018/01/27	2018/01/25
捕獲白鰻量(尾數)						
2014-2015 年	1,348	9,304	1,869	32,030	802	1,747
2015-2016 年	16,347	349	7,001	34,919	1,543	2,391
2016-2017 年	29,566	21,748	18,869	51,434	3,498	4,279
2017-2018 年	3,338	68	1,005	26,324	1,226	1,444



三、各地區捕獲率比較

一般在計算鰻線撈捕的單位努力漁獲量 (catch per unit effort, CPUE) 是以「尾/網/日」為主，但這通常使用於單一漁法以易於比較，例如定置網漁法 (Tzeng, 1985)、張網漁法 (Zhang et al., 2008)。本研究涵蓋不同地區各異的漁具漁法，因而參採智等 (2013) 的計算方法，修改為計算捕獲率而以「尾/小時·網截面積」的方式呈現。結果如表 4 所示，捕獲率最高的是 2016—2017 年的宜蘭動力叉手網，平均可捕獲 78.56 尾/每小時-1000m²；而最少的是 2015—2016 年的屏東動力叉手網只有 1.32 尾/每小時-1000m²；而同地點在不同年度的捕獲率也有所不同，差距最高達 50 倍以上。若由捕獲率加以比較各種漁法間的捕撈效益，其中最高者為 2016—2017 年的宜蘭動力叉手網，最低則是 2015—2016 年的屏東動力叉手網，究其因可能與鰻線來游豐度多寡有關。

四、潮汐與鰻線捕獲量的關係

以往的研究報告指出，影響鰻線來游增補量的環境因子包括月相 (lunar phase)、潮汐、晝夜節律、月夜、水溫、鹽度、濁度、水中氣味及降雨等因素 (Tzeng, 1985;

Jellyman and Lambert, 2003; Jellyman et al., 2009; Hwang et al., 2014; Guo et al., 2017)；然而，這些探討環境因子與鰻線捕獲量關係的研究結果並不一致，可能是因捕獲位址和鰻線生理狀態之不同所致 (Jellyman and Lambert, 2003)。本研究記錄各地區的作業時間、捕撈量、天候、風向、水溫、氣溫及潮汐狀態 (大小潮) 等數據，但在天候、風向、水溫及氣溫方面並未顯示與鰻線捕撈量有關。

就潮汐而言，Tesch (2003) 認為鰻線到達河口域會藉由潮汐推動進入河川中，捕獲量應隨潮汐大小而改變。在本研究的樣本戶中，淡水流袋網、嘉義張網及屏東定置網屬於需靠潮水推動以捕獲鰻線的漁法，而宜蘭動力叉手網、屏東動力叉手網及宜蘭頭城式鰻線耙網則屬不需潮水推動的漁法。一般，潮汐分為暗夜大潮 (農曆初一至初三)、月夜大潮 (農曆十六至十八) 及農曆下旬則是中小潮，圖 1 為比較各地區樣本戶在農曆上中下旬的捕撈數據，大部分的捕撈地點在大潮時的捕獲量略多於中小潮，部分文獻認為鰻線來游數量與潮汐的關係密切 (Tzeng, 1985; 智等, 2013; Guo et al., 2017)。而本研究則發現，宜蘭與屏東動力

表 4 2014-2017 年不同地區和漁法的捕獲率(catch rate)比較(單位：尾/每小時-1000 m²)

地 點	宜 蘭	屏 東	淡 水	嘉 義	屏 東	宜 蘭
漁 法	動力叉手網	動力叉手網	流袋網	張 網	定置網	頭城式鰻線耙網
2014-2015 年	4.16	38.76	7.12	24.28	4.28	2.82
2015-2016 年	43.22	1.32	10.23	52.47	8.72	24.13
2016-2017 年	78.56	65.33	55.16	54.56	17.13	35.77



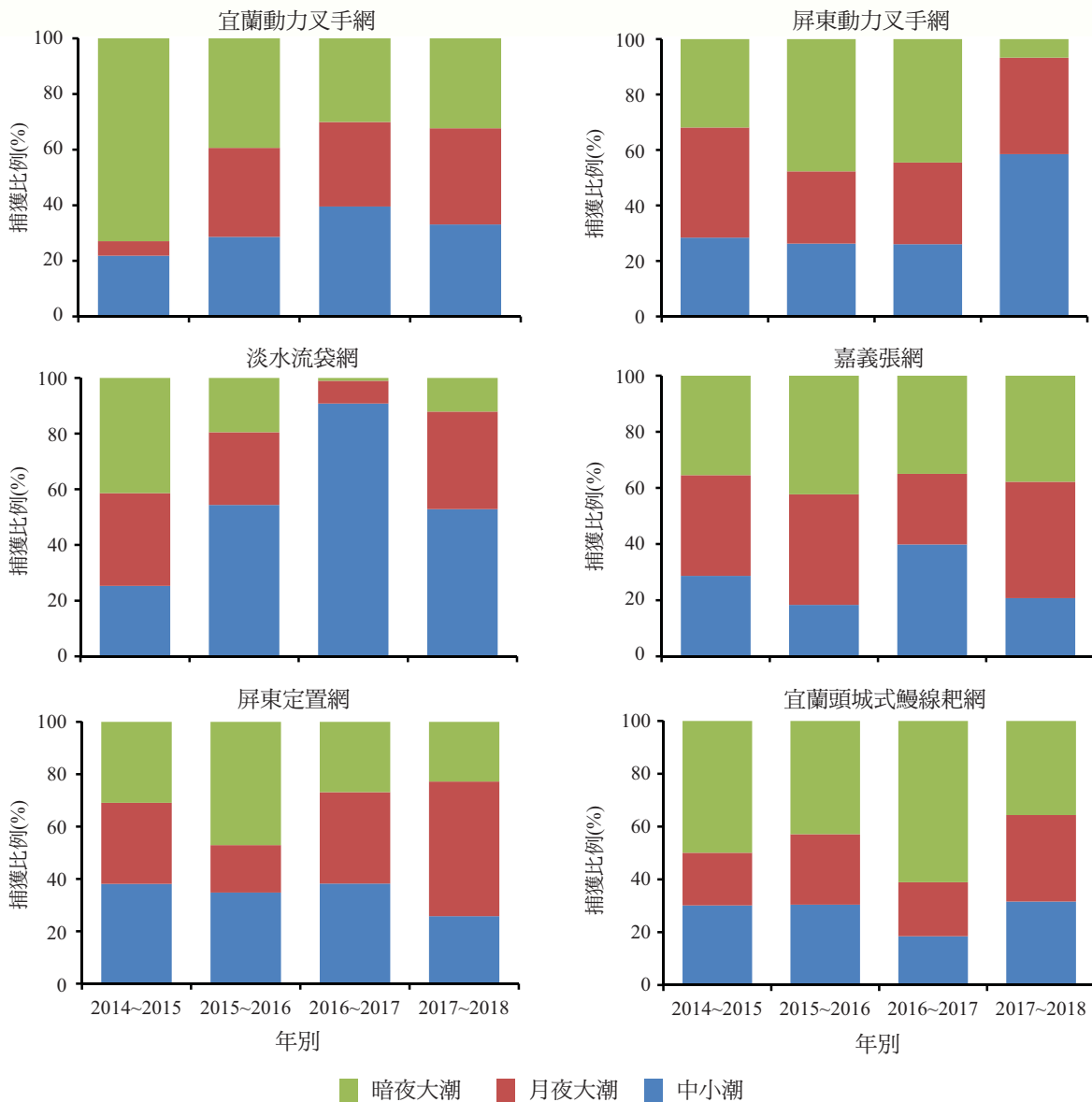


圖 1 各種漁法在大小潮的捕獲數量百分比

叉手網、嘉義張網、宜蘭頭城式鰻線耙網在暗夜的捕獲率較高，但潮汐對於鰻線數量的變化並無相當影響，原因可能與不同漁法的捕撈方式有關，本研究中的嘉義張網、淡水流袋網及屏東定置網必須倚靠潮水推動水流而捕撈鰻線，Tzeng (1985) 利用河川中定置網、流袋網及集魚燈手撈作為研究樣本，這與高屏溪定置網是較為相似的漁法，所以

潮汐影響捕撈數量較為明顯。在嘉義地區的調查結果，暗夜大潮捕撈量比例確實高於中小潮；又，以動力叉手網及鰻線耙網則在天黑時即可作業，不需要完全倚靠潮水，可能因此會有不同的漁獲結果。反觀依賴潮水捕撈的樣本戶，淡水區的捕撈量在 2014—2017 年暗夜大潮的捕撈有逐年減少的趨勢，可能與潮水過大反而影響網具架設，而

屏東定置網在暗夜大潮的捕獲數量可接近全年的 40%，且 3 年間的變化不大，倒是月夜大潮跟中小潮在不同年度變化比例差異較大。Tzeng (1985) 在東港的研究分析中指出，鰻線主要捕獲於大潮，Guo et al. (2017) 的研究顯示，鰻線捕撈量與潮汐有微弱的正相關，但認為是因為大潮的水流加速鰻線網過濾水體的速率所造成的結果，而且，有月光或無月光對於鰻線的捕獲量沒有

顯著相關。本研究中的嘉義張網及屏東定置網在大潮期間捕獲量高於中小潮，而不需潮汐推動的動力叉手網在暗夜、月夜大潮及中小潮的個別捕撈量百分比相近，與 Guo et al. (2017) 的推論近似。

五、旬期與鰻線捕獲的關係

將本研究相近的漁具漁法加以比對，若以旬分期比較宜蘭與屏東動力叉手網的捕撈量（圖 2）可發現，屏東地區在捕撈季節

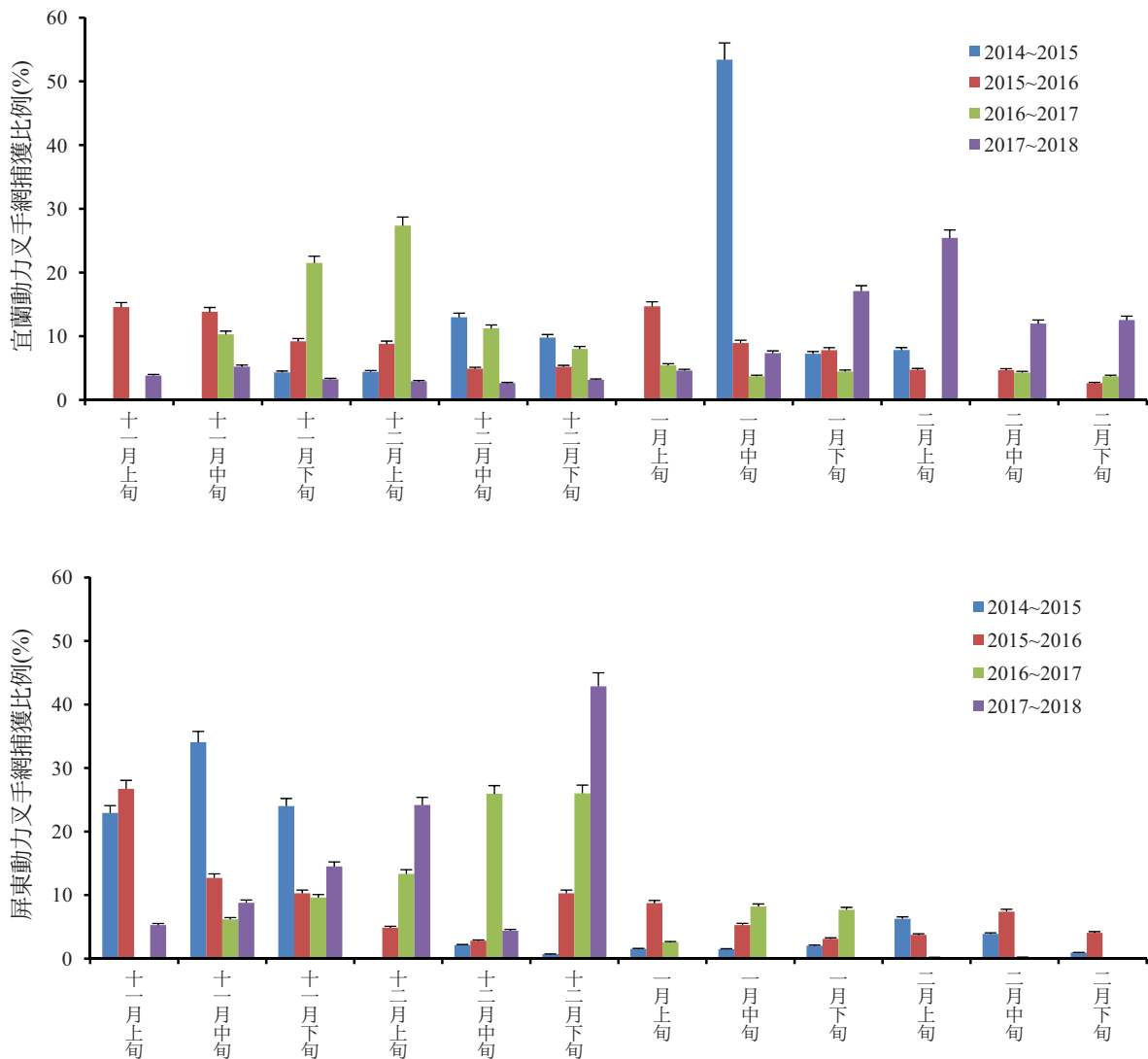


圖 2 宜蘭及屏東動力叉手網每旬期捕獲量百分比



前段即可捕獲大量的鰻線，越接近季節結束，捕獲量越少，而宜蘭在捕獲時間上約有兩個高峰期。比較淡水流袋網及嘉義張網的主要捕撈期間，集中在 11 月下旬及 1 月中旬，捕撈時間相對於其他兩個地區是『晚至早收』的情況（圖 3）。

淡水地區的每旬變化量於調查的四年期間內均有不同，但可捕撈時間則有愈加縮短的趨勢，是否因氣候、海流或河口新建臺

北港所造成，可能需長期間的調查研究方能解析。嘉義地區前半季的旬變化量不明顯，但是每年 12 月下旬至隔年 1 月上旬會有一波高峰，再現性明顯。至於屏東定置網及宜蘭頭城式鰻線耙網均為 1 人操作的網具，除少數幾個旬期有超過 20% 的捕撈比例，其他期間的捕撈比例雖有起伏，卻無明顯時間點可大量捕獲鰻線（圖 4）。此外，Tzeng (1985) 在臺灣北部河川的研究結果指出，

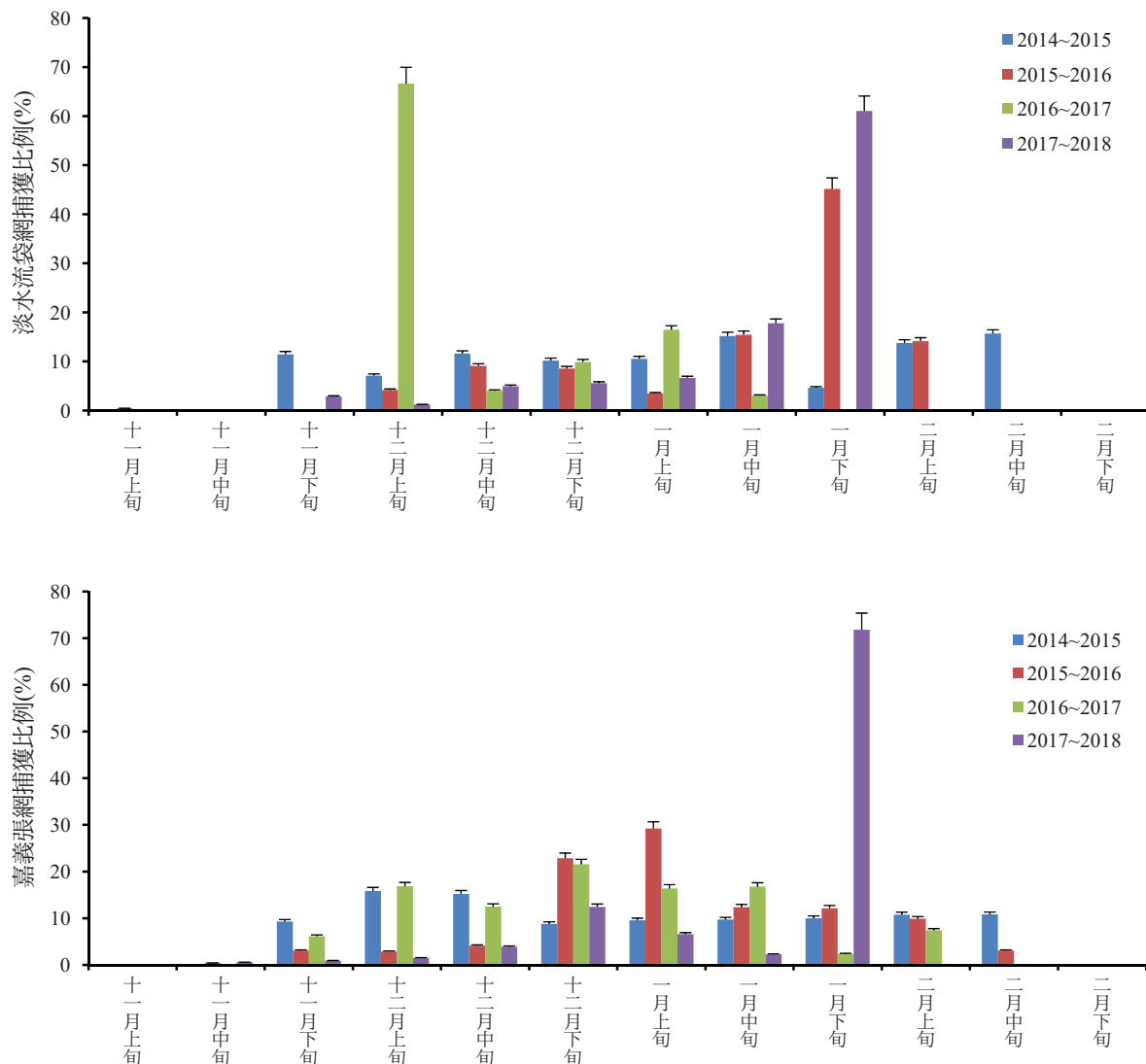


圖 3 淡水流袋網及嘉義張網每旬期捕獲量百分比



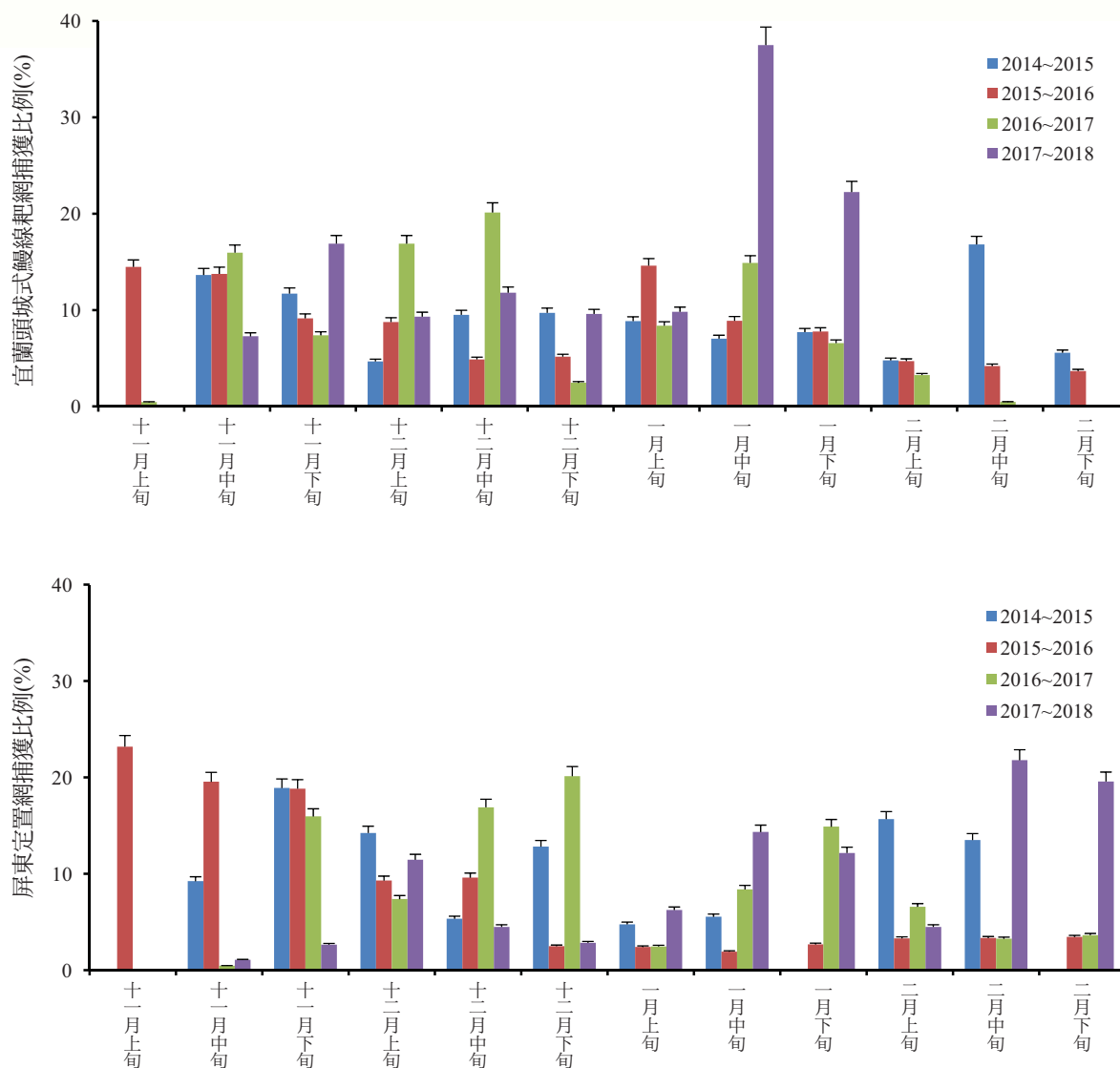


圖 4 宜蘭頭城式鰻線耙網及屏東定置網每旬期捕獲量百分比

1980—1981 年的鰻線捕撈峰期在 1 月初及 2 月中旬，而 1981—1982 年在 11 月底及 1 月底，均有兩個漁獲峰期。另一方面，Guo et al. (2017) 觀察長江口張網的鰻線漁獲情形也發現類似的現象，只是峰期略較臺灣為晚，分別發生在 1—2 月和 3—4 月。

林 (2012) 的研究發現，淡水河的日本鰻線主要在 12 月及 2 月會有較大捕獲量，

而宜蘭河在 12 月及 1 月，東港溪在 1 月及 2 月有相對較多的白鰻捕獲量。其中淡水及宜蘭與本研究的捕獲旬期類似，而高屏溪及高屏沿岸捕撈卻主要集中在 11—12 月，此點與林 (2012) 的研究結果不太一致。另外，本研究也發現，嘉義地區的鰻線主要產在 1 月上旬，且整體表現略呈常態分布，而其他地區則無此現象。





六、不同捕獲時期鰻線的體長變化

以黑潮流向加以觀察，日本鰻的產地似乎應包括菲律賓，但 Aoyama et al. (2015) 的研究卻發現，菲律賓北部日本鰻鰻線異常稀少，確定臺灣應該為鰻線生產的最南端，而本研究比較各地白鰻鰻線及黑鰻鰻線體型變化 (圖 5)，發現捕獲的白鰻鰻線呈現越到後期其體型略小的趨勢，11 及 12 月的苗

與 1 及 2 月的苗在體長上有顯著差異，何 (2012) 的研究發現，雖然日本鰻的玻璃鰻之平均體長在月別間變化或是年間變化很大，但長期趨勢卻不明顯；而且，日本鰻玻璃鰻平均體長的年間波動變化似乎與聖嬰及反聖嬰現象有關聯，日本鰻玻璃鰻的全長在聖嬰年多在趨勢線的上方，在反聖嬰年時則多在趨勢線的下方；換言之，反聖嬰年的

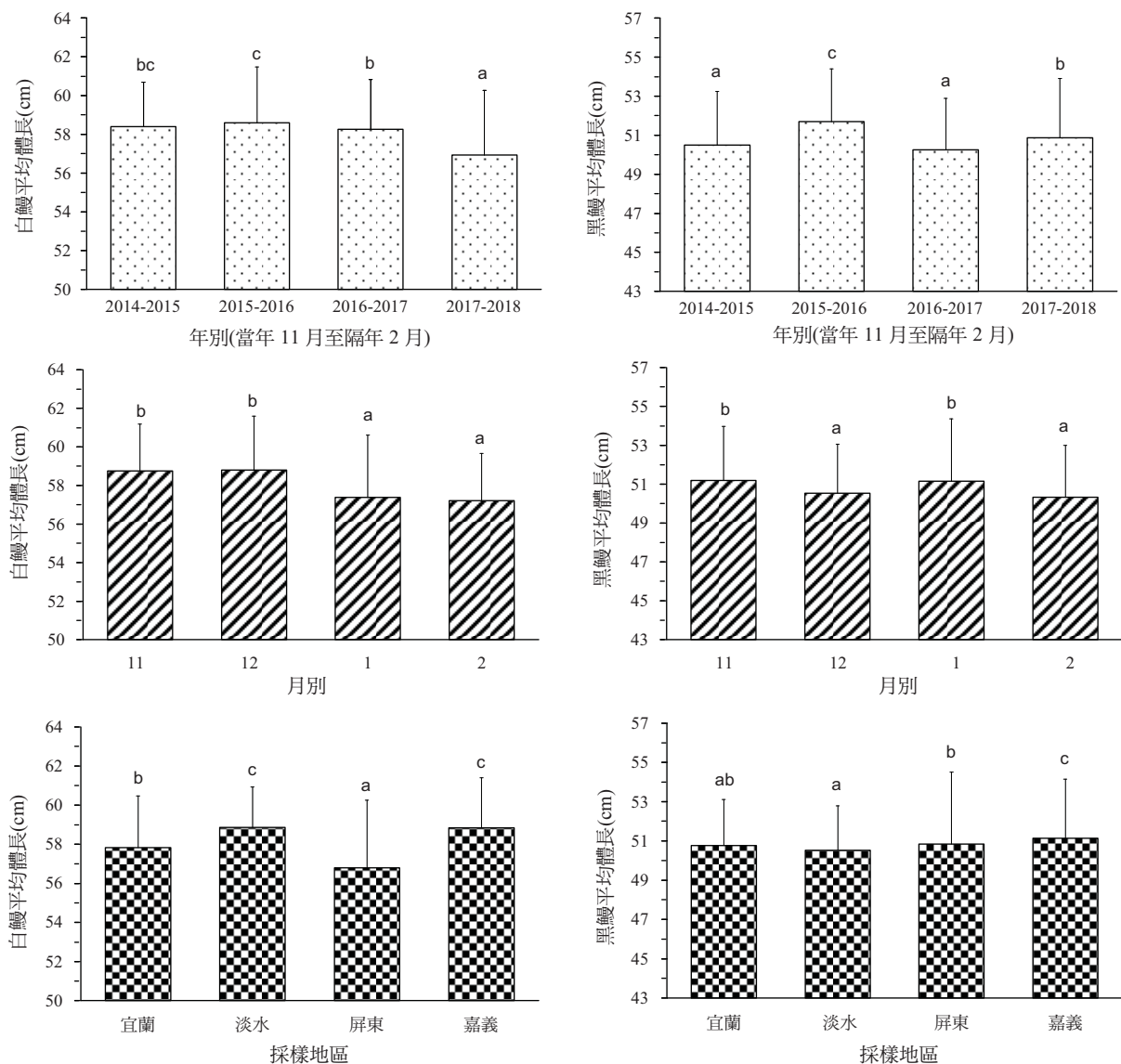


圖 5 不同年別、月別及產區之白鰻(日本鰻, $n = 1793$)與黑鰻(包括鱸鰻、太平洋雙色鰻等, $n = 2762$)的體長比較(平均值 $\pm$ 標準差, 標有不同英文字母者表極顯著差異, $p < 0.01$)



日本鰻玻璃鰻全長較其他年別為短，可能與柳葉鰻期較短有關。

最近，周 (2018) 研究發現，臺灣鰻線的平均日齡最短，而鴨綠江的日齡平均最長，從採樣點採集的玻璃鰻的平均日齡沿運輸距離皆呈上升趨勢。而何 (2012) 在日本鰻玻璃鰻的空間分析結果發現，鰻線體長隨緯度升高而增加，本研究的記錄顯示除西部的嘉義之外，屏東、宜蘭及淡水地區以相對緯度而言，鰻線體長分布亦有此現象，且有顯著的差異性存在。

在黑鰻方面，鱸鰻是地理分布最廣的物種，且具有一個以上的族群 (Watanabe, 2012)，西里伯斯鰻及太平洋雙色鰻則分別在 1982 及 1983 年在臺灣被發現 (Tzeng, 1982, 1983)，2011 年更確定了新種呂宋鰻也在臺灣沿海分布 (張等，2013)。分析本研究數據發現，黑鰻的捕獲量於不同年度、月份、採集地點上均有顯著差異 (圖 5)，這應與黑鰻大多為全年可採得且與其資源豐度有關，例如吳 (2012) 研究發現鱸鰻全年可生產，雙色鰻集中在 9 月至隔年 3 月，呂宋鰻生產於 7–9 月，而且鱸鰻主要溯河時期在夏季。

聖嬰現象與洋流輸送速度會影響柳葉鰻期的長短乃至鰻線到達河口時的體型，為比較各地所獲鰻線的形質差異，陳 (2016) 以太平洋雙色鰻為題材，檢視距離產卵場越遠，柳葉期越長，距離產卵場越近，則柳葉期越短的假說，發現北蘇拉維西地區的樣本平均柳葉期天數明顯小於其他地區，因此，推測太平洋雙色鰻極可能有一個以上的產

卵場區域，而臺灣可能會採集到兩個族群以上的太平洋雙色鰻鰻線。本研究分析黑鰻鰻線各年度體長，發現黑鰻鰻線在不同年別、月別及採集地均有顯著差異，顯示黑鰻鰻線可能因為族群及種類組成複雜，所以每年來游體型大小有較明顯的差異。

結語

本研究蒐集 2014–2017 年臺灣各主要鰻線生產河口域的鰻線撈捕資料，發現動力叉手網船所投入的硬體成本最高，而頭城式鰻線耙網投入成本最小，但每種漁法的作業時間會因為潮汐、海流及日落時間而有所改變，無需配合潮水漲退的漁法作業時間較久。各地區平均捕撈價格的差異不大，但就益本比而言，淡水和嘉義價格相對於其他地區穩定。

對照捕撈起始日期及單日最大量可發現，由屏東、嘉義到淡水的推移大致符合周 (2018) 提出鰻線由臺灣海峽流運送的屏東-淡水和藉沿岸流將鰻線運送到廣東的假說。由捕獲率加以比較各種漁法間的捕撈效益，最高者為 2016–2017 年的宜蘭動力叉手網，最低則是 2015–2016 年的屏東動力叉手網。

本研究中的嘉義張網及屏東定置網在大潮期間捕獲量高於中小潮，而不需依賴潮汐漲退的動力叉手網，在暗夜、月夜大潮及中小潮的個別捕撈比例相近。另外，根據體長分析可發現，臺灣的日本鰻線由南而北隨著緯度升高體長有越長的趨勢。





參考文獻

何敏 (2012) 日本鰻玻璃鰻體長之時空變異分析。

國立臺灣大學漁業科學研究所碩士論文，54 pp。

吳敬華 (2012) 四種鰻(日本鰻、鱸鰻、呂宋鰻、太平洋雙色鰻)其玻璃鰻在臺灣與菲律賓呂宋島的地理分布與種類組成的季節性變化。國立臺灣大學漁業科學研究所碩士論文，49 pp。

李桂香 (2010) 臺灣地區日本鰻苗之資源管理。國立臺灣大學漁業科學研究所碩士論文，103 pp。

周麗賢 (2018) 結合耳石日周輪與東亞沿岸流分析日本鰻苗的輸送路徑。國立臺灣大學漁業科學研究所碩士論文，121 pp。

林旻翰 (2001) 秀姑巒溪鱸鰻苗夏季上溯族群動態研究。國立清華大學生命科學研究所碩士論文，55 pp。

張格銓、黃瀛生、劉富光 (2013) 台灣海域證實有西里伯斯鰻鰻線。水產研究，21(1): 43-48。

郭河 (1994) 養鰻透視。水產出版社，232 pp。

陳佩茵 (2016) 以耳石日周輪研究太平洋雙色鰻之早期生活史。國立臺灣大學漁業科學研究所碩士論文，89 pp。

智玉龍、侯俊利、張濤、章龍珍、趙豐、楊剛、庄平 (2013) 長江口日本鰻鰻苗時空分布特征。生態學雜誌，32: 2750-2755。

曾萬年 (1982) 記臺灣新紀錄之西里伯斯鰻鰻線。生命科學，19: 57-66。

Aoyama, J., Y. Tatsuki, S. Akira, S. Fumiaki, A. V. Yambot and Y. S. Han (2015) Seasonal changes in species composition of glass eels of the genus *Anguilla* (Teleostei: Anguillidae) recruiting to the Cagayan River, Luzon Island, the Philippines. Pacif. Sci., 69: 263-270.

Bonhommeau, S., E. Chassot, B. Planque, E. Rivot, A. H. Knap and O. Le Pape (2008) Impact of climate on eel populations of the Northern Hemisphere. Mar. Ecol. Prog. Ser., 373: 71-80.

Dekker, W. (2004) Slipping through our hand. Population dynamics of the European eel. PhD dissertation. Institute for Biodiversity and

Ecosystem Dynamics, Univ. of Amsterdam.

Guo, H., X. Zhang, Y. Zhang, W. Tang and J. Wu (2017) Effects of environmental variables on recruitment of *Anguilla japonica* glass eels in the Yangtze Estuary. China. Fish. Sci., 83: 333-341.

Han Y. S. (2011) Temperature-dependent recruitment delay of the Japanese glass eel *Anguilla japonica* in East Asia. Mar. Biol., 158: 2349-2358.

Han, Y. S., C. W. Chang, J. T. He and W. N. Tzeng (2001) Validation of the occurrence of short-finned eel *Anguilla bicolor pacifica* in natural waters of Taiwan. Acta Zool. Taiwan, 12: 9-19.

Han, Y. S., W. N. Tzeng and I. C. Liao (2009) Time series analysis of Taiwanese catch data of Japanese glass eels *Anguilla japonica*: possible effects of the reproductive cycle and El Niño events. Zool. Stud., 48: 632-639.

Hwang, S. D., T. W. Lee, I. S. Choi and S. W. Hwang (2014) Environmental factors affecting the daily catch levels of *Anguilla japonica* glass eels in the Geum River estuary, South Korea. J. Coas. Res., 297: 954-960.

Jellyman, D. and P. Lambert (2003) Factors affecting recruitment of glass eels into the Grey River, New Zealand. J. Fish Biol., 63: 1067-1079.

Jellyman, D., D. Booker and E. Watene (2009) Recruitment of *Anguilla* spp. glass eels in the Waikato River, New Zealand. Evidence of declining migrations? J. Fish Biol., 74: 2014-2033.

Kimura, S., K. Tsukamoto and T. Sugimoto (1994) A model for the larval migration of the Japanese eel: roles of the trade winds and salinity front. Mar. Biol., 119: 185-190.

Tesch, F. W. (2003) The eel (5th edition). Blackwell Publishing Company, 408 pp.

Tsukamoto, K. (1992) Discovery of the spawning area for the Japanese eel. Nature, 356: 789-791.

Tsukamoto, K. (2006) Spawning of eels near a seamount. Nature, 439: 929.

Tzeng, W. N. (1985) Immigration timing and activity





- rhythms of the eel, *Anguilla japonica*, elvers in the estuary of northern Taiwan, with emphasis on environmental influences. Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr., 47: 11-28.
- Tzeng, W. N. and O. Tabeta (1983) First record of the short-finned eel *Anguilla bicolor pacifica* elvers from Taiwan. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 49: 27-32.
- Watanabe, S., J. Aoyama and K. Tsukamoto (2009) A new species of freshwater eel *Anguilla luzonensis* (Teleostei: Anguillidae) from Luzon Island of the Philippines. Fish. Sci., 75: 387-392.
- Watanabe, S. and M. J. Miller (2012) Species, Geographic Distribution, Habitat and Conservation of Freshwater Eels. Eels: Physiology, Habitat and Conservation, Chapter 1-44.
- Watanabe, S. and M. J. Miller (2012) Species, geographic distribution, habitat and conservation of freshwater eels. Eels: Physiology, Habitat and Conservation, 1-44.
- Zenimoto, K., T. Kitagawa, S. Miyazaki, Y. Sasai, H. Sasaki and S. Kimura (2009) The effects of seasonal and interannual variability of oceanic structure in the western Pacific North Equatorial Current on larval transport of the Japanese eel *Anguilla japonica*. J. Fish Biol., 74: 1878-1890.



臺灣西南海域鰻苗 來游量與海況變動探討之研究

侯清賢^{1*}、陳玟妤²、吳龍靜³、藍揚麒³、黃星翰³

¹ 國立高雄海洋科技大學漁業生產與管理系

² 行政院農業委員會漁業署遠洋漁業組

³ 行政院農業委員會水產試驗所沿近海資源研究中心

摘要

東亞國家對於鰻魚資源極為重視，瞭解鰻魚生活史、資源量、洄游路徑與分布已成為日本、韓國與臺灣相關研究探究之重要課題。1994–2012 年間，臺灣西南海域的日本鰻仔魚分布量減少趨勢明顯，為日本鰻洄游之八大海域中減少速度最快的海域，約每年整體減少 8.2%。為完整探討鰻魚生活史、洄游分布與海洋環境變化之間的相互影響關係，本研究選定臺灣西南海域為研究區域，透過現場調查方式蒐集 2014 年夏季、2015 與 2016 年冬季鰻類漁獲組成與現場水文資料。再者，藉由 NOAA 衛星月別海水表面溫度資料與氣候指標（含太平洋十年振盪指數與海洋聖嬰指標）觀測海洋環流模式的長期變化，以及臺灣西南海域黑潮入侵與暖渦形成情形，共同探討海況變動與鰻魚來游量間的相互影響關係。

關鍵字：日本鰻、地理資訊系統、南海東北部暖渦、海面溫度異常值、海洋聖嬰指標、黑潮、臺灣西南海域

前言

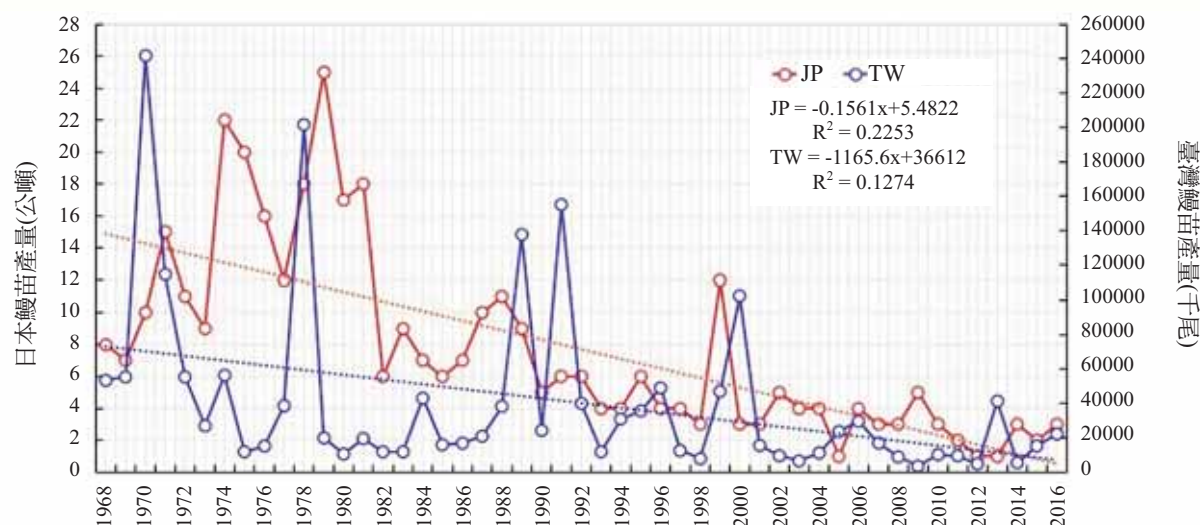
一、全球鰻苗資源變化趨勢

日本鰻 (*Anguilla japonica*) 為東亞國家海洋採捕漁業與水產養殖業中最重要鰻種之一，目前仍需仰賴自然採捕鰻苗進行人工養殖。1970 年代起日本鰻產量首次開始出現下降之勢，爾後 40 年間鰻魚漁獲量呈

現急遽減產與年間波動起伏現象，東亞國家（如日本、臺灣等）深陷鰻苗採捕量低落的困境 ($p < 0.01$) (圖 1) (日本水產統計情報, 2017; 漁業統計年報, 2017)。相較於 1960 年，2010 年後日本鰻採捕量約已下降 90% 左右 (ICES, 2013; Chang et al., 2018)，鰻魚產量減少已成為世界共同面臨的問題 (Dekker, 2004)。基此，各國科學家與有識人士開始積極關注鰻魚產量下跌的主要因素，包括環境保護、資源保育與未來產能變化趨勢等重要議題，世界自然保護聯

* 通訊作者/81157 高雄市楠梓區海專路 142 號
厚生樓 325-4 室; TEL: 07-3617141#23514;
E-mail: ccho@nkust.edu.tw



圖 1 1968-2016 年間日本與臺灣鰻苗產量變化($p < 0.01$)

盟 (International Union for Conservation of Nature, IUCN) 亦於 2014 年將日本鰻列為紅皮書瀕危物種。除國際組織外，近年來東亞各國亦已開始設法減輕人為因素對棲地的衝擊影響，並進行鰻魚採捕量的管制或禁漁區期的管理措施，期望藉此降低人為因素對鰻魚資源量的影響。日本、臺灣、中國與韓國的鰻魚產業團體更於 2014 年共同組成永續鰻魚養殖聯盟 (Alliance for Sustainable Eel Aquaculture, ASEA)，期望透過國際共同管理方式維護日本鰻資源，以維持鰻魚產量供給市場需求 (行政院農委會漁業署，2014；日本水產廳，2018)。然而，即使部分國家與地區開始設法降低人為因素的干擾，日本鰻產量仍持續降低。

人為活動造成的過度捕撈與棲地破壞被認為是鰻魚資源量下降的主要因素，而海洋環流模式與海洋條件的變化則可能加劇鰻魚資源量波動與減產 (Friedland et al., 2007; Zenimoto et al., 2011; Chang et al.,

2015, 2018; Hsu et al., 2017)。許多研究透過數值模擬研究證實，日本鰻的洄游遷移路徑與北赤道洋流區 (North Equatorial Current, NEC)、黑潮 (Kuroshio, KC)、菲律賓-臺灣震盪 (Philippine-Taiwan Oscillations, PTO)、海洋聖嬰指標 (Oceanic Niño Index, ONI) 的強度與發生位置息息相關，複雜的海洋環流模式為影響鰻苗來游質與量變動的主要因素之一 (Tsukamoto, 2011; Hsu et al., 2017; Chang et al., 2018)。日本鰻廣泛分布於印度-太平洋與北大西洋之廣大海域 (Aida et al., 2003)，每年 4—11 月於馬里亞納島 (Mariana) 以西之 NEC 產卵，卵孵化發育為柳葉幼生 (leptocephalus) 後即隨 NEC 與 KC 進行近 2,000 km 之長距離漂流，約每年 11 月至隔年 3 月游至東北亞國家陸棚區時，變態為流線型的玻璃鰻 (glass eel)，順著黑潮海流北上約 30—50 天，游至菲律賓、臺灣、中國與日本東岸之沿岸水域 (Tsukamoto, 2009; Han et al., 2016)。





西北太平洋為全球海水表面溫度 (Sea Surface Temperature, SST) 升溫最快的海域之一 (IPCC, 2014; Ho et al., 2015; Peyser et al., 2016)，此處主要的海洋洋流包括 NEC、KC、副熱帶反流 (Subtropical Countercurrent, STCC)。在過去幾十年間，這些洋流呈現與過去不同的變化，例如 KC 相較於前上個世紀，暖化速度已增快 2 倍左右，延伸至東海的主流流軸逐漸向陸地移動 (Ho et al., 2015; Wu et al., 2016)；過去 60 年間，NEC 分叉緯度已開始向南移動；呂宋海峽延伸至南海的 KC 支流於過去 20 年內逐漸減弱等現象 (Chen and Wu, 2012; Wu et al., 2016)。這些研究結果均證實過去數十年間，西北太平洋的海洋環流模式開始改變。然而，西北太平洋海洋環流的變動與大洋性洄游魚類分布、洄游路徑、來游量多寡密切相關，其中亦包含日本鰻。

二、臺灣西南海域鰻苗漁場形成機制

臺灣西南海域係指呂宋海峽及其西側，以及臺灣淺堆以南之南海東北部海盆，此海域水文環境由複雜海流構成，包含黑潮支流、海季風流、呂宋島西北方冷渦、南海東部暖心渦流等，海流強弱呈現季節性變化 (戴, 2014)。位屬南中國海 (South China Sea,

SCS) 東北方海域，亦為 KC 支流進入 SCS 主要源頭海域 (Nan et al., 2011, 2015)，Nan et al. (2011) 根據絕對動力高度 (ADT) 蒐集資料判定 KC 支流入侵 SCS 時，主要分為三種路徑 (圖 2)：

(一) looping 路徑

KC 進入呂宋海峽後，順著海脊地形轉向北北東進入臺灣西南部海域，再流往臺灣東岸，即稱為 looping 路徑，1993–2010 年間發生率約 15.7%，最易發生季節為冬季。

(二) leaping 路徑

KC 主流未一分為二，經呂宋島東側後直接向臺灣東部海域流動，即稱為 leaping 路徑，1993–2010 年間發生率約 44.8%，最易發生季節為夏季。

(三) leaking 路徑

KC 經過呂宋島東北角後一分為二，一部分沿巴坦島海脊地形繼續北上，另部分則轉向西北方經巴林塘海峽進入 SCS，此路徑稱為 leaking 路徑，1993–2010 年間發生率約 39.5%。

冬季於東北風驅使下，KC 支流經臺灣西南部與呂宋海峽 (20–21°N 之間海域) 進入 SCS 東北部海域現象的 looping 路徑，又稱為「黑潮入侵」，其黑潮入侵現象與臺

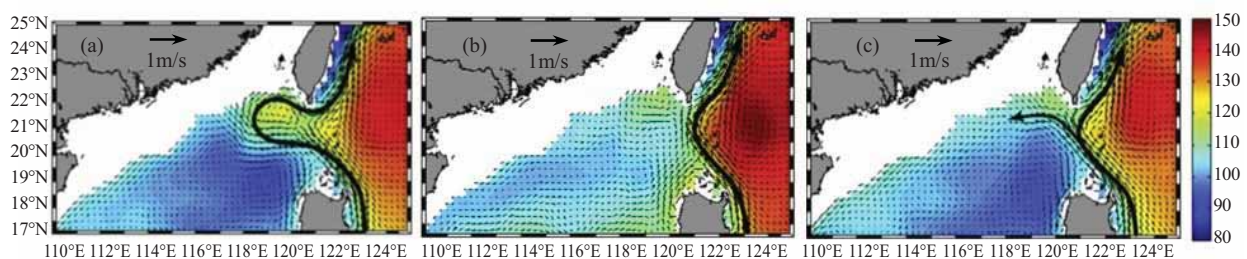


圖 2 黑潮入侵南中國海的主要三種路徑

(a) looping 路徑；(b) leaping 路徑；(c) leaking 路徑 (資料來源：Nan et al., 2011, 2015)



灣西南海域冬季反氣旋型暖心環流系統（南海東北部暖渦）形成具密切關係（戴，2014; Nan et al., 2011; Wu et al., 2016）。黑潮源流的上層海水，經恆春海脊南方（20–21°N）流入南海，入侵海水到達 118°E 附近海域又分為南北兩支，其中北支會在東沙與臺灣間水域以順時鐘方向旋轉，流向先由西北轉北，再轉東北以及東，形成直徑約 200 km 的反氣旋型暖心環流系統，冬季時出現在高雄屏東外海的東南向海流即為暖心環流的東北側（圖 3）（戴，2014）。2000 年後，因全球海洋環流模式的改變，黑潮入侵現象已開始逐漸減少（Nan et al., 2011），黑潮入侵現象的減弱亦導致 looping 路徑與臺灣西南部暖心環流發生機率逐漸減少（Nan et al., 2015）。然而，冬季暖心環流的形成與臺灣

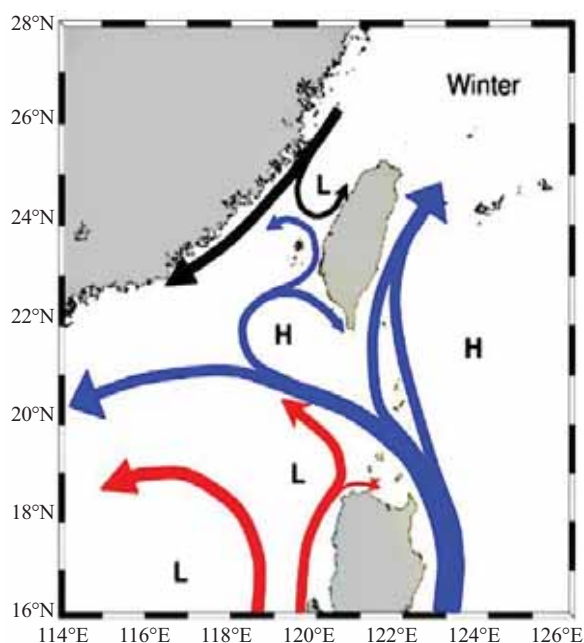


圖 3 南海東北部與呂宋海峽上層海流流況示意圖(黑色線：大陸沿岸流；藍色線：黑潮源流水團；紅色線：南海北部水團)(資料來源：戴等，2014)

西南部海域日本鰻來游量多寡具有密切關係，為影響鰻苗採捕量的重要因素（Han et al., 2016; Chang et al., 2018）。

東亞國家對於鰻魚資源極為重視，瞭解鰻魚生活史、資源量、洄游路徑與分布已成為日本、韓國與臺灣相關研究之重要課題。然而，現行多數日本鰻研究係以馬里亞納海溝至日本周邊海域的 KC 主流為主，位屬 KC 支流主要源頭海域的臺灣西南海域與 SCS 海域仍較少深入研究（Han et al., 2016; Chang et al., 2018）。日本鰻的遷移與資源變動主因仍有許多議題尚未完全明朗，需更多海洋環境與氣候相關研究進行更為深入的探討與分析。基此，本研究選定臺灣西南海域為研究區域，透過現場調查蒐集 2014 年夏季、2015 與 2016 年冬季鰻類漁獲組成與現場水文資料。再者，透過 NOAA 衛星月別 SST 資料與氣候指標觀測海洋環流模式的長期變化及臺灣西南海域黑潮入侵與暖渦形成情形，探討海況變動與鰻魚來游量間的相互影響關係。

研究方法

一、研究流程

本研究使用資料類型包括漁況與海況資料，蒐集與研究流程可分為海上現場調查與衛星資料兩部分（圖 4）。衛星遙測資料與氣候指標部分，本研究蒐集美國國家海洋暨大氣總署（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA, USA）系列衛星所搭載 MODIS (Moderate-resolution Imaging



Spectroradiometer, MODIS) 探測器之 Aqua 衛星的月別 SST 資料與公告之 PDO、ONI 數值。海上調查部分，本研究主要係透過本所水試二號試驗船與租用民間動力管筏投放 CTD 的方式蒐集西南海域生物資料與當地水文資料（含海流、葉綠素、營養鹽、溶氧、濁度、溫鹽等）。同時，試驗船亦搭配投放 ORI，民間漁船則以投放叉手網的方式採捕鰻苗漁獲。

二、研究方法

(一) 海洋環境資料

1. 氣候指標資料 (PDO 與 ONI)

1997 年 Trenberth 提出以 Nino3.4 做為判定聖嬰、反聖嬰現象的指標後，NOAA 便以 Nino3.4 之範圍 (170°W – 120°W 、 5°S – 5°N) 為基準，計算每月 SST 與 30 年平均之距平值（其距平值每 5 年更新 1 次），並

依據 3 個月移動平均值定義 ONI 指數。當 ONI 指數連續 5 個月高於 $+0.5^{\circ}\text{C}$ 時，即判定為聖嬰現象 (El Niño)，低於 -0.5°C 則為反聖嬰現象 (La Niña)。

太平洋十年振盪指數 (Pacific Decadal Oscillation, PDO) 此指數係以北半球 20 度以北太平洋海域表面水溫的離均差，作為太平洋海域氣候的變動指標，此指標通常與海平面氣壓與風之變動配合說明，週期通常為 20–30 年。當 PDO 指標為正時，西太平洋水域相對較冷，風向為西風。

本研究使用之 PDO 與 ONI 指標資料均來自 NOAA 官方數據 (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>與 http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)，資料期間為 1968–2016 年。

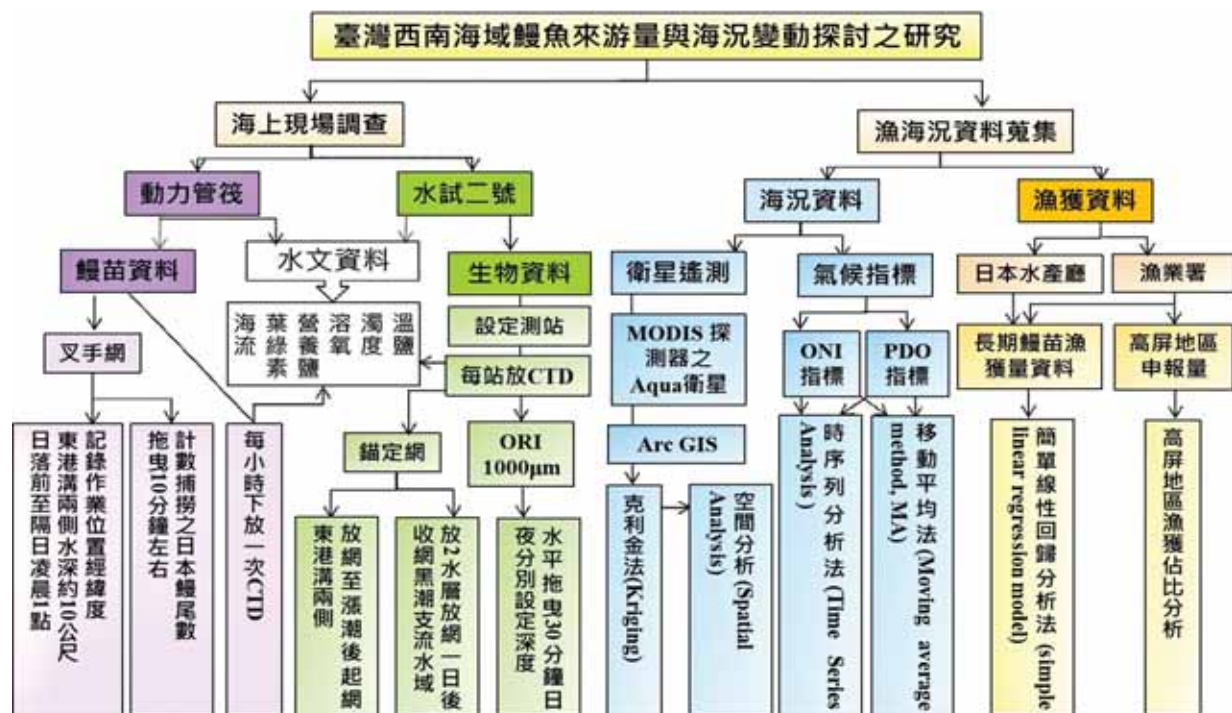


圖 4 本研究流程與分析方法

2. 衛星資料

本研究使用之 2014–2017 年 11 月至隔年 2 月，月別 SST (°C) 資料係來自 NOAA 系列衛星所搭載 MODIS 探測器之 Aqua 衛星，空間解析度為 4 km。本研究採取 SST 範圍為 116–122°E、18–24°N。再者，透過 Arc GIS 空間分析 (Spatial Analysis) 計算 2014–2017 年秋冬季臺灣西南海域的海表面溫度正負異常值 ($p < 0.05$)，並藉此判定黑潮入侵現象與南海暖心渦流的發生位置與時期。

(二) 海上現場調查

本研究海上調查部分區共分為試驗船與民間漁船兩部分，漁海沉資料蒐集與分析流程詳述如下：

1. 水試二號試驗船現場調查

試驗船現場調查部分，本研究係利用水試二號試驗船於臺灣西南海域進行日本鰻苗分布調查，調查測站分布情形如圖 5 左所示。2014–2016 年間，分別於 2014/8/

25-27、2014/9/24-26、2015/11/18-20 及 2016/11/6-8 進行 4 航次海上調查採樣，總計完成 46 個測站之採樣 (表 1)。

水文資料主要利用 CTD 進行溫鹽資料蒐集，CTD 下放至水深 400 m 處記錄海水的溫度及鹽度，並利用採水瓶採集 5、30、50、100、200 及 300 m 等 6 個水層之海水樣本各 500 ml，再以濾紙過濾後冰凍保存，帶回實驗室進行葉綠素濃度 (Chlorophyll-a, Chl-a) 及硝酸鹽、磷酸鹽與矽酸鹽濃度量測。

2. 民間漁船現場調查

除試驗船水文調查外，本研究亦租用民間動力叉手網漁筏進行水文探測，調查海域為高屏溪出海口附近水深約 10 m 處，出海時間為日落前出港至隔日凌晨 1 點進港，出海期間固定每小時下放 1 次 CTD 測量當地溫度及鹽度。2014–2015 年間，本研究分別於 2014/12/4-5、2014/12/24-25、2015/1/21-22、2015/1/27-28 以及 2015/2/11-12 進行 5 次海上現場調查 (表 1)。

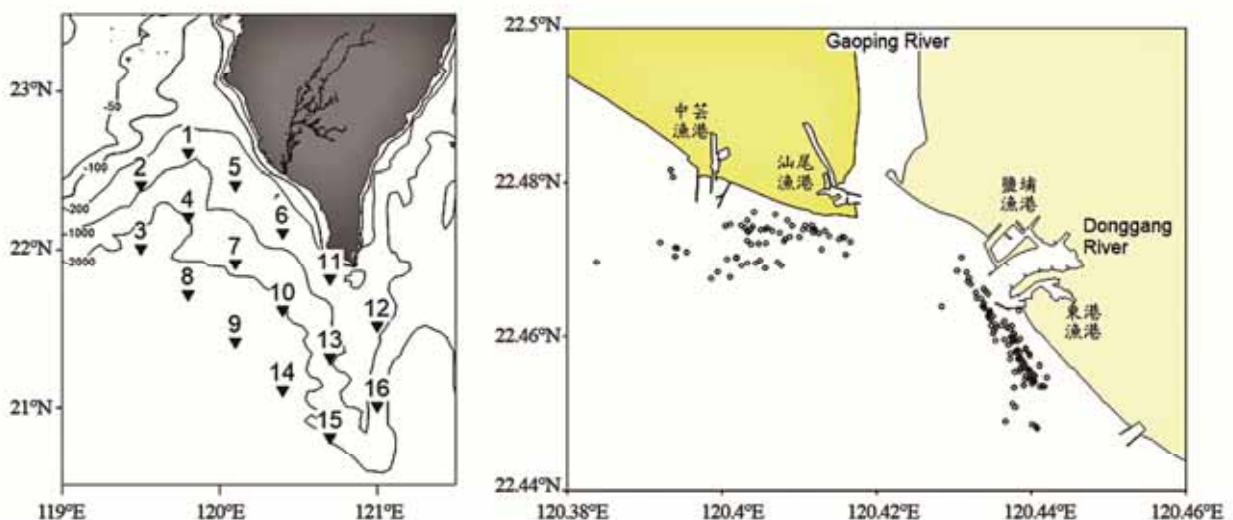


圖 5 臺灣西南海域採樣及調查位置(左：臺灣西南海域；右：高屏溪口鰻苗傳統漁場)





表 1 臺灣西南海域作業日期、使用網具及作業地點

船 別	作 業 日 期	使 用 網 具	作 業 海 域
水試二號試驗船	2014/8/25-27	ORI-330 μm	臺灣西南海域(圖 5 左)
水試二號試驗船	2014/9/24-26	ORI-330 μm	臺灣西南海域(圖 5 左)
民間管筏	2014/12/4-5	叉手網	高屏溪口鰻苗傳統魚場(圖 5 右)
民間管筏	2014/12/24-25	叉手網	高屏溪口鰻苗傳統魚場(圖 5 右)
民間管筏	2015/1/21-22	叉手網	高屏溪口鰻苗傳統魚場(圖 5 右)
民間管筏	2015/1/27-28	叉手網	高屏溪口鰻苗傳統魚場(圖 5 右)
民間管筏	2015/2/11-12	叉手網	高屏溪口鰻苗傳統魚場(圖 5 右)
水試二號試驗船	2015/11/18-20	錨定網	東港溝兩側，距岸約 3 海浬處
水試二號試驗船	2016/11/6-8	ORI-1,000 μm	臺灣西南海域(圖 5 左)

三、漁獲資料

(一) 日本長期鰻苗漁獲量資料

日本鰻苗採捕量資料係來自日本水產廳官方公告資料 (<http://www.jfa.maff.go.jp/j/saibai/unagi.html>)，本研究使用資料期間為 1968－2016 年。

(二) 臺灣長短期鰻苗漁獲量資料

臺灣鰻苗採捕量資料係來自行政院農委會漁業署公告之漁業年報統計資料 (<https://www.fa.gov.tw/cht/PublicationsFishYear/index.aspx>)，本研究使用資料期間為 1968－2016 年。

(三) 海上現場調查

1. 水試二號試驗船現場調查

日本鰻苗則利用 ORI 浮游生物網(網口直徑 160 cm，網目大小為 330 及 1,000 μm) 以斜拖的方式進行採樣，採集深度為 250 m 以淺水層。採得之浮游生物樣本置於酒精中並以冷凍方式進行保存，帶回實驗室

後，將柳葉形態之鰻苗挑檢出來後，並參考 Okiyama (1988) 及 Miller (2004) 進行種類鑑定。

2. 民間漁船現場調查

本研究於日落前至隔日凌晨 1 點至東港溝兩側水深約 10 m 處採捕鰻苗 (圖 5 右)，利用叉手網拖曳約 10 分鐘後，開始計數捕撈之日本鰻尾數，並記錄作業位置經緯度。

結果

一、海洋環境氣候變化

(一) ONI 指數變化

1958－2016 年間，ONI 呈現正負值交替，聖嬰與反聖嬰年的轉變趨勢大致可區分為數個時期，1957－1959 年間為聖嬰年，1970－1976 年間轉變為反聖嬰年，僅於 1972－1973 年曾轉為聖嬰年。繼 1997－



1998 年聖嬰年後，1998—2001 年轉為強反聖嬰年，ONI 為負值累計。2002 年後至 2016 年間，2007—2009、2010—2012 年間 ONI 再次累計負值，僅於 2015—2016 年間出現正值累計的聖嬰年現象，ONI 呈現正負位向交替現象。此結果亦說明近 60 年間，全球海洋氣候明顯變化（圖 6）。

(二) PDO 指數變化

1958—2016 年間，PDO 的轉變趨勢大致可區分為 4 個時期，1958—1961 年間為

正位向，1962—1976 年間轉變為負位向，直到 1977—1997 年間再次轉為正位向，代表該期間內西太平洋海域的水溫相對較冷。1998—2013 年後，PDO 開始轉為負位向，僅於 2003—2007 年間出現正位向，代表 1998 年後西太平洋海域的水溫相對較暖，直到 2014 年後，PDO 再次由負位向轉為正位向，PDO 呈現正負位向交替現象亦說明近 60 年間，太平洋氣候明顯變化，且各時期海洋環境氣候不同（圖 7）。

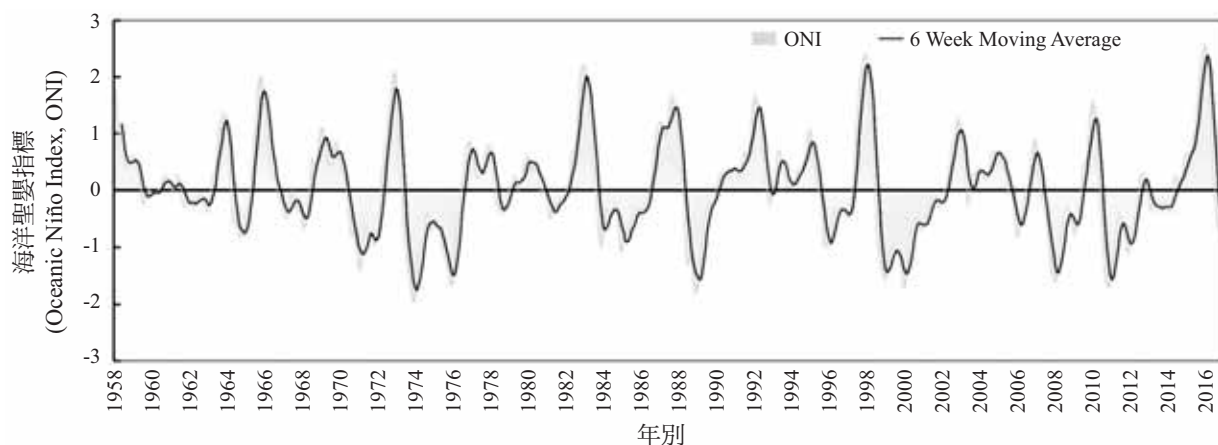


圖 6 1958-2016 年海洋聖嬰指標(ONI)變化趨勢(資料來源：NOAA 官方數據 http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)

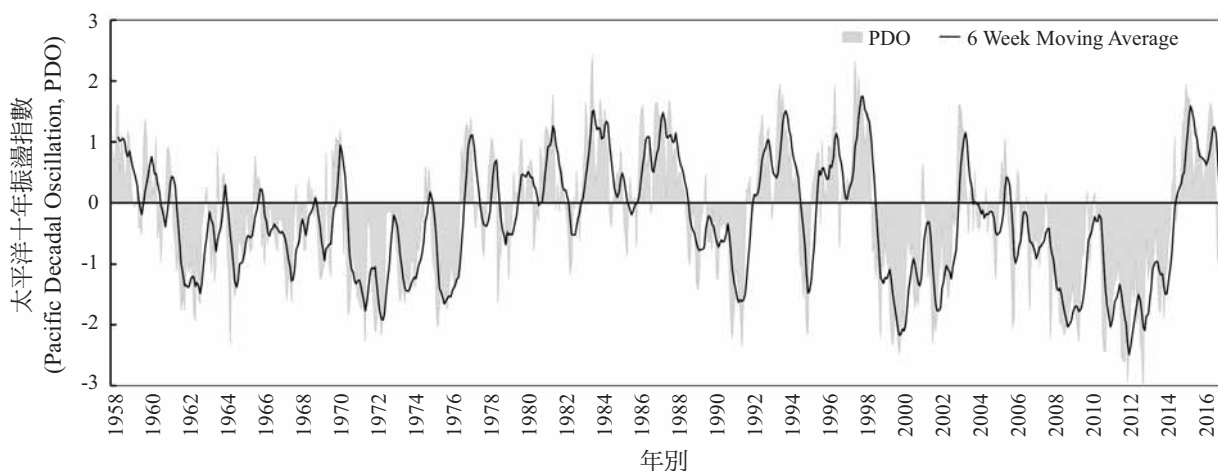


圖 7 1958-2016 年太平洋十年振盪指數(PDO)變化趨勢(資料來源：NOAA 官方數據(<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>))





(三) 臺灣西南海域 SST 異常值空間分布變化趨勢

2014—2017 年每年 11 月至隔年 2 月臺灣西南海域 SST 異常值空間分布如圖 8 所示，2014 年 11 月至 2016 年間正異常值發

生區域均位於黑潮主流域中，其中 2014 年 11 月、2014 年 12 月、2015 年 11 月、2015 年 12 月、2016 年 1 月時，臺灣西南海域明顯出現暖心環流，暖渦發生水域正異常值明顯高於周邊水域，此現象亦代表此時期黑潮

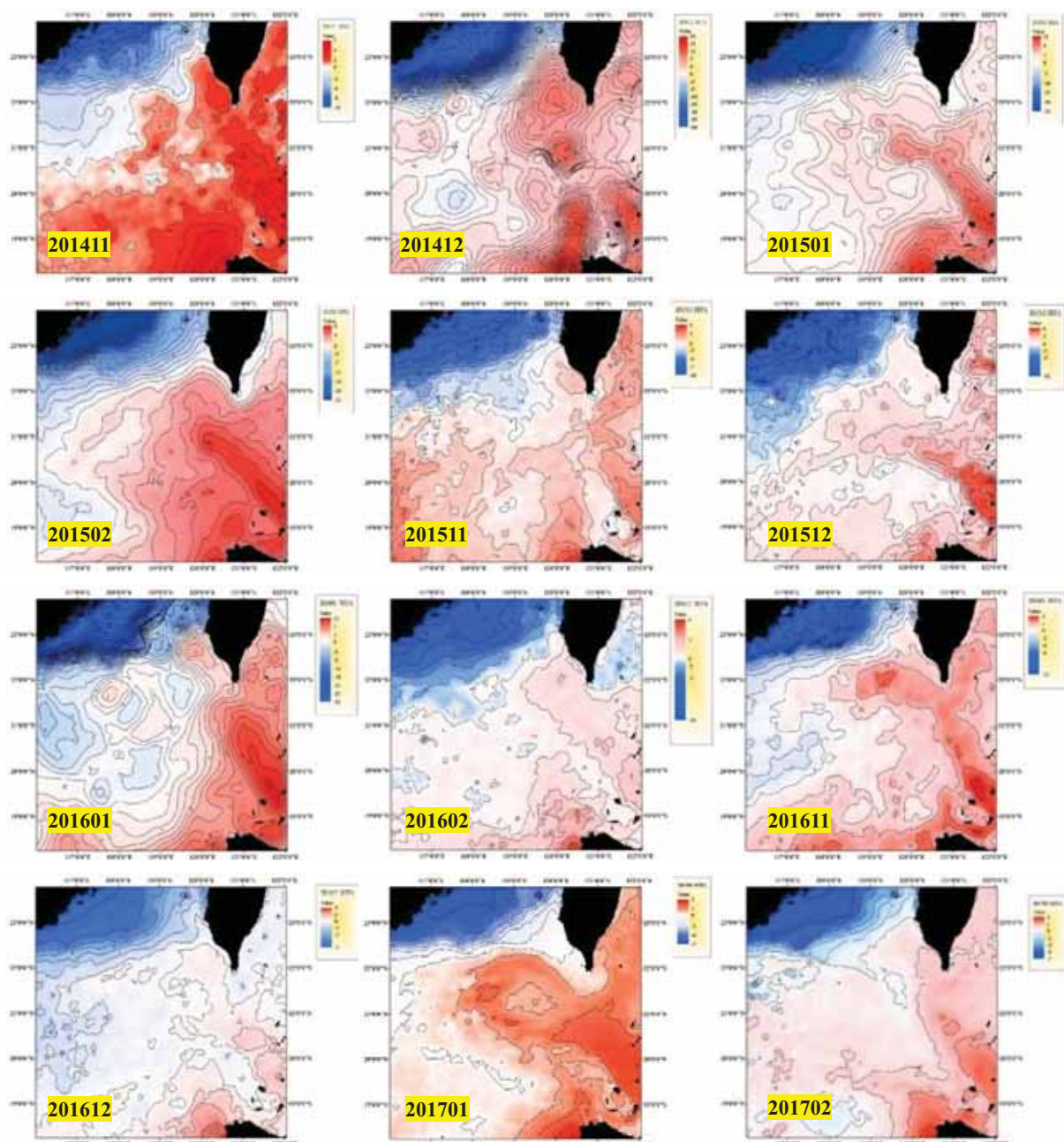


圖 8 2014-2017 年秋末冬季臺灣西南海域海水表面溫度正負異常值空間分布($p < 0.05$)(資料來源：NOAA 系列衛星所搭載 MODIS 探測器之 Aqua 衛星)



水入侵明顯，且為 looping 路徑。然而，此結果與 ONI、PDO 趨勢一致，ONI 指數顯示，2014 年 10 月開始至 2016 年 6 月期間為強聖嬰年，ONI 正值持續累計，PDO 亦於 2016 年開始轉為負異常（圖 6、7）。

二、長短期漁獲量變化趨勢

（一）臺灣鰻苗長期漁獲量變化趨勢

臺灣冬季約 11 月底至隔年 2 月為鰻苗撈捕的季節，臺灣本島周邊沿海、離島澎湖沿岸海域均有漁獲紀錄，其中又以宜蘭及屏東東港為大宗。隨著河川棲地惡化和污染、水庫建造、寄生蟲感染以及過度捕撈等人為因素與氣候變遷影響之環境變異影響下，鰻魚苗資源逐漸枯竭，岸邊捕捉鰻苗的產業也逐漸沒落甚至消失。根據 Tzeng (1982) 及 Tzeng and Tabeta (1983) 研究紀錄，臺灣周邊海域共記錄日本鰻 (*Anguilla japonica*)、鱸鰻 (*A. marmorata*)、西里伯斯鰻 (*A. celebesensis*) 及雙色鰻 (*A. bicolor*) 等四種鰻類，其中又以俗稱「白鰻」的日本鰻產量最高。

日本鰻主要的養殖國家包括臺灣、日本、中國及韓國，東亞各國每年鰻苗的總需求量高達 100 公噸左右，臺灣的年需求量也需 20 公噸以上，養殖規模在 1992 年達到最高峰，年產量超過 6 萬公噸，產值更達百億元以上 (Liao, 2001)。近年來，臺灣沿海採捕的鰻苗量僅約 4–10 公噸，鰻苗需求缺口嚴重不足，鰻魚產量急遽減少。雖 2013 年間，鰻苗產量大增，冬季約捕獲 6,000 千尾鰻苗，約為 12 公噸左右，但卻於 2014 年出現產量急遽下跌，產量呈現劇烈波動。2015

—2016 年間鰻苗產量略微回升，但相較於 1970 年代的 240,000 千尾，僅佔 10% 產量，海洋採捕量仍無法供給養殖業者與市場所需（圖 1）(漁業統計年報，2017)。隨著氣候變化的加劇與鰻苗資源日益減產的趨勢下，未來東亞各國對日本鰻鰻苗的爭奪將可能愈趨嚴重。

（二）臺灣西南海域鰻苗產量與佔比變化趨勢

1968–2016 年間，高屏地區鰻苗產量變化與全臺產量趨勢一致，1971 年開始出現產量下降趨勢後，鰻苗捕獲量逐年減少，1988 年後產量雖稍有回復，但仍呈現劇烈起伏與波動，1994–1996 年、1998–2000 年與 2005–2008 年間產量再次出現高峰後持續下跌，直到 2014 年產量才略有小幅度增加 ($p < 0.01$) (圖 9)。藉由 2013–2017 年高屏地區地方申報鰻苗捕獲採捕量資料進一步得知，2014 年 11 月至 2015 年 12 月雖產量呈小幅度增產，但高屏地區的鰻苗採捕量佔比有增加趨勢，其中 2014 年 11 月、2014 年 12 月、2015 年 12 月高屏地區鰻苗採捕量佔全臺的 40.29–79.34% (圖 10)。

三、漁海況調查

（一）水文環境變化

2014 年試驗船海上現場水文調查結果顯示，夏末（8 月）溫鹽平均為 $29.54 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$ 、 33.84 ± 0.56 psu，表層溫度偏高，初秋（9 月）平均為 $28.85 \pm 0.79^{\circ}\text{C}$ 、 33.55 ± 0.11 psu。2015 年 11 月調查結果顯示，黑潮主軸之溫鹽結構出現於 E13、E14 測站，其餘測站則顯示為黑潮支流之溫鹽結構，溫



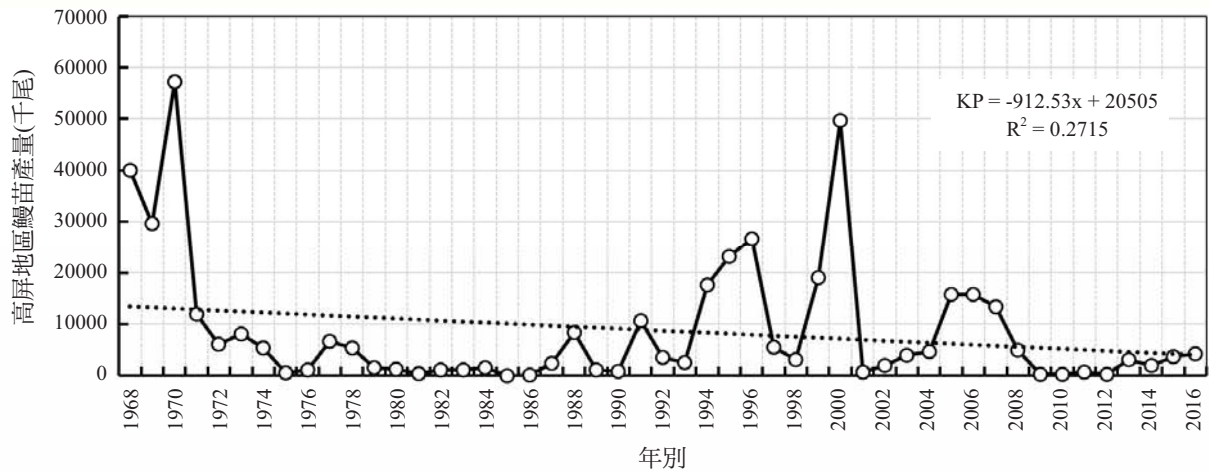


圖 9 1968-2016 年間高屏地區鰻苗產量變化(資料來源：臺灣漁業年報，2016)

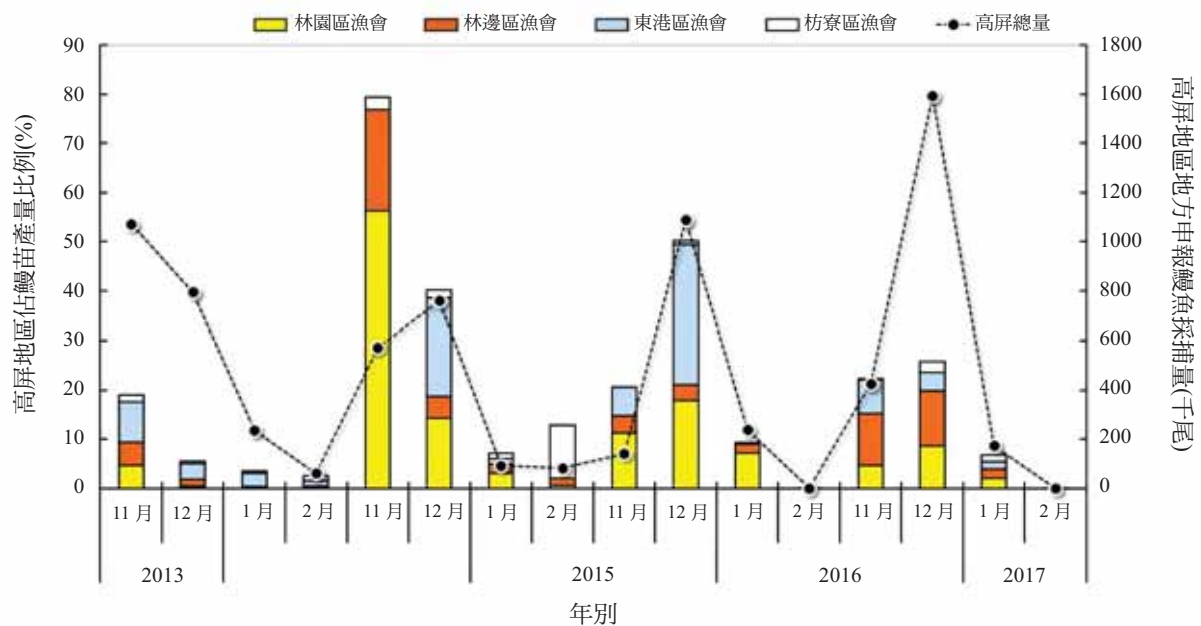


圖 10 2013-2017 年高屏地區地方申報鰻苗捕獲採捕量與佔比(資料來源：行政院農委會漁業署，2017)

鹽平均為 $27.44 \pm 0.44^{\circ}\text{C}$ 、 34.32 ± 0.26 psu (圖 11)。此結果代表，2015 年 11 月表層溫度雖稍低，但鹽度比 2014 年初來得高，亦有黑潮支流入侵現象。然而，海上現場探測結果與 ONI 指標結果一致，2015 年間 ONI 指標亦呈現正值累計，為聖嬰年時期 (圖

6)。2015/11/18-20 東港溝兩側海域溫鹽調查結果亦顯示，雖高屏溪口附近海域因冬季海水擾動劇烈，致使溫鹽垂直變化並不明顯，但依時間點不同仍受其他較高溫海水影響 (11/20)，當中亦發現其有時會受到河川低鹽水影響，導致鹽度急遽降低的現象 (11/20，

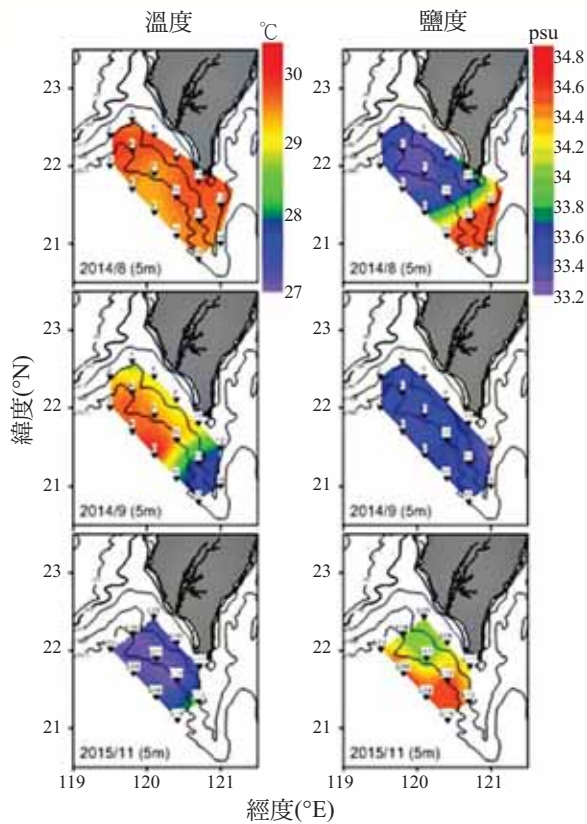


圖 11 2014 與 2015 年臺灣西南海域各月份表層溫鹽分布(上:2014/8/25-27;中:2014/9/24-26;下:2015/11/18-20)

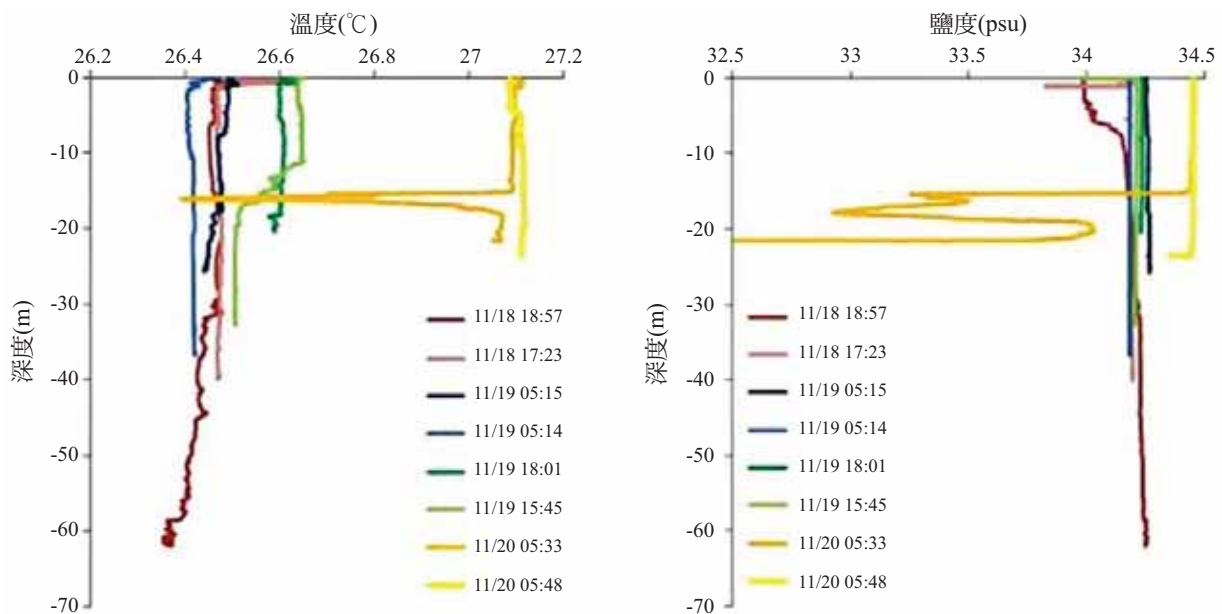


圖 12 2015/11/18-20 東港溝兩側溫鹽垂直變化(左:溫度;右:鹽度)

東港溝東側)(圖 12)。

傳統鰻苗漁場之水文環境調查結果顯示，2014/12/24-25 現場實測平均溫鹽分別為 $23.62 \pm 0.11^{\circ}\text{C}$ 與 $34.43 \pm 0.31 \text{ psu}$ ；2015/1/21-22 為 $22.26 \pm 0.12^{\circ}\text{C}$ 與 $34.53 \pm 0.06 \text{ psu}$ ；2015/1/27-28 為 $23.6 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$ 與 $34.75 \pm 0.05 \text{ psu}$ ；2015/2/11-12 為 $22.13 \pm 0.13^{\circ}\text{C}$ 與 $34.7 \pm 0.45 \text{ psu}$ (圖 13)。表層溫鹽調查結果發現，2014/12/24-25 與 2015/1/27-28 時水溫較 2015/1/21-22 與 2015/2/11-12 高出約 1°C 左右；鹽度部分除 2014/12/24-25 鹽度有隨時間升降外，各採樣時間變化差異較小，除 2014/12/24-25 外各不同採樣時期之間差異也較小。

(二) 鰻苗現場採樣

試驗船現場採樣結果，總計採得鰻形目 (Anguilliformes) 幼苗 55 尾，但均未採樣到本研究之目標種類日本鰻之柳葉形幼苗，其



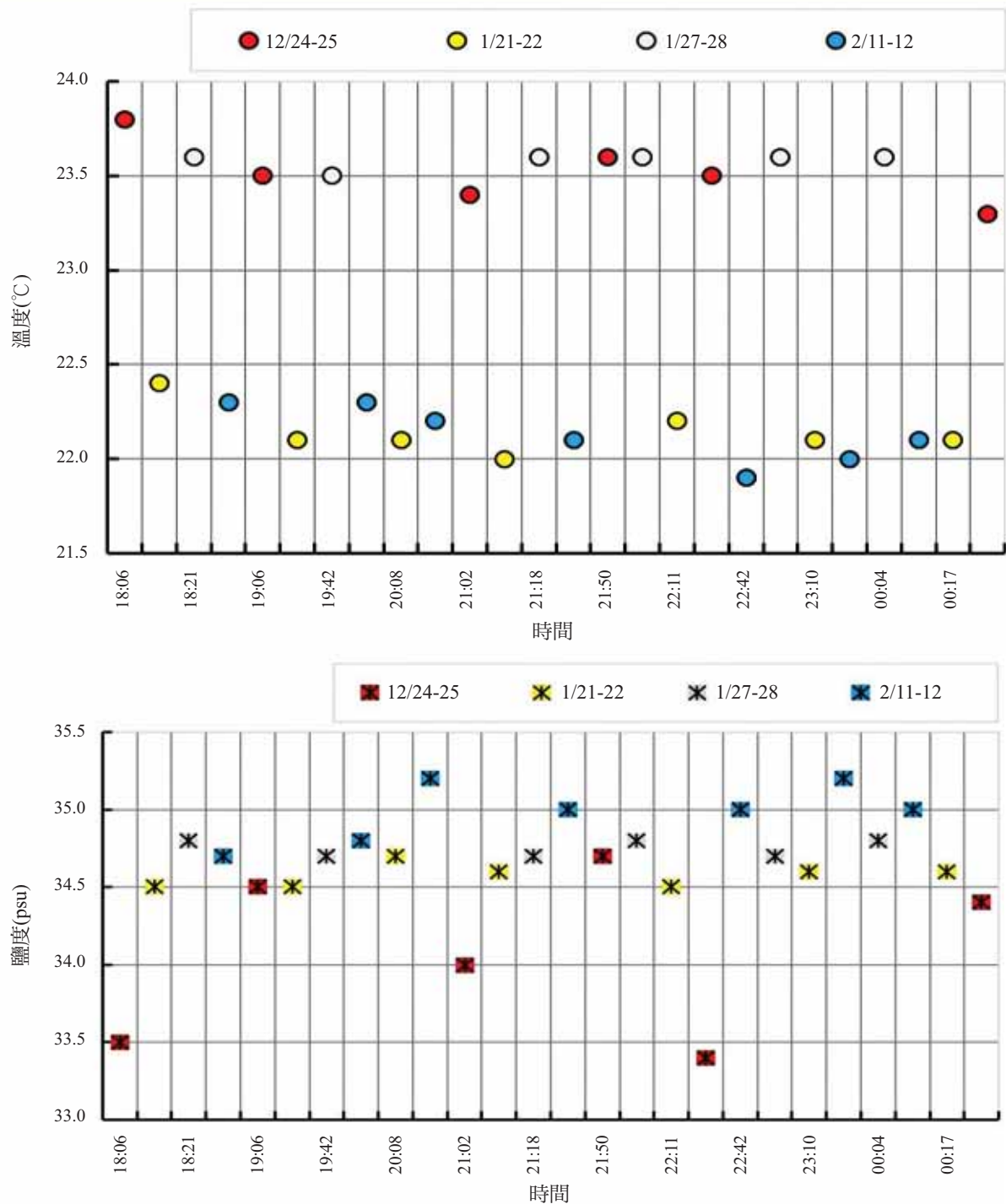


圖 13 2014 年 12 月至 2015 年 2 月傳統鰻苗漁場之表層溫鹽時序列變化(上：溫度；下：鹽度)

他鰻形類之組成包括糯鰻科 (Congridae) 33 尾、鯔科 (Muraenidae) 8 尾、蛇鰻科 (Ophichthidae) 4 尾、擬鯔科 (Chlopsidae)

3 尾、海鰻科 (Muraenesocidae) 3 尾、線鰻科 (Nemichthyidae) 3 尾、鴨嘴鰻科 (Nettastomatidae) 1 尾，其中又以糯鰻科採



樣數量最高，鯉科次之，主要分布位置於北緯 22 度附近海域；其他之鰻形類採樣數量稀少。此外，本研究亦於東港溝兩側設置錨定網，2 個測站共計 8 網次，採集到 3 尾柳葉型仔魚，分屬於蜆鰻科 (Moringuidae)、糯鰻科 (Congridae) 及海鰻科 (Muraenesocidae)。

叉手網漁船採集日本鰻鰻苗結果顯示，於 2014/12/4-5—2015/2/12 間租用民間叉手網漁船，出海作業 170 網次，共計採集到 285 尾日本鰻鰻苗。2014/12/4-5 租用民間叉手網漁船，出海作業 54 網次，共計採集到 159 尾日本鰻鰻苗，其數量及位置分布如圖 14 所示，此結果顯示，高屏溪口距岸約 400 m 處為主要捕撈漁場。

2014/12/24-25 共計 21 網次，捕獲 21 尾日本鰻鰻苗，平均 1 網次捕獲 1 尾 (圖

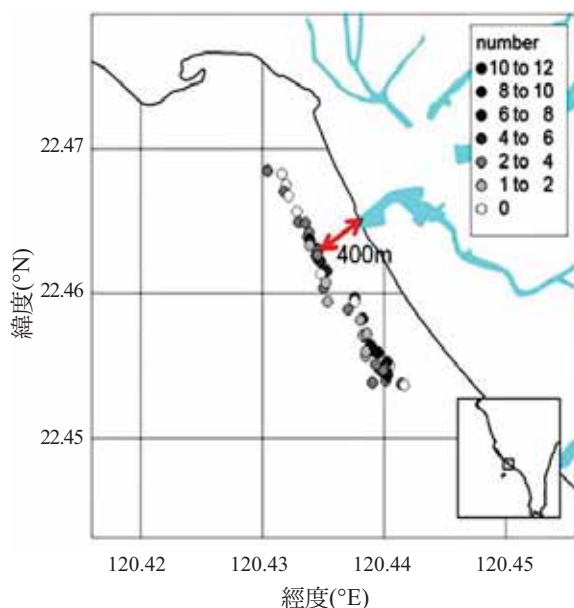


圖 14 2014/12/4-5 高屏溪口附近海域之日本鰻鰻苗豐度

15a)；2015/1/21-22 共計 38 網次捕獲 53 尾日本鰻鰻苗，平均每網次捕獲 0.62 尾 (圖 15b)；2015/1/27-28 共計 28 網次，此次並未採集到任何日本鰻鰻苗 (圖 15c)。2015 年 1 月相比 2014 年 12 月的漁獲情況，鰻苗捕撈量確減少許多，甚至出現未採集到的情形。然而，2015/2/11-12 共計 29 網次捕獲 74 尾日本鰻鰻苗，平均每網次 2.55 尾，捕撈情況有稍微回升 (圖 15d)。

討論與結論

1958—2016 年間，ONI 與 PDO 等氣候指標均呈現正負值反覆交替現象，並可依據轉變現象區分為數個時期，此結果說明近 60 年來氣候轉變明顯，全球海洋環境不同 (圖 6、7)。1968—2016 年間，高屏地區的鰻魚產量亦呈現漁獲質與量的波動起伏 (圖 9)。1970—1976 年間，ONI 呈現連續性長期負值累計，僅於 1972—1973 年呈現正值累計，1973 年 6 月即持續累計負值 (圖 6)。該時期內，高屏地區漁獲量首次出現大幅度減產趨勢，產量持續低迷，直到 1986—1988 年間的聖嬰年產量才略有增加 (圖 9)。然而，氣候轉變造成的鰻魚產量減少並非僅限於臺灣。

Chang et al. (2018) 模擬過去 20 年間馬里亞納海溝至西北太平洋日本鰻仔魚洄游量的結果顯示，近 20 年來日本與臺灣周邊海域的鰻魚仔魚量明顯減少，其主與黑潮流勢減弱有關。其中，1994—2012 年間，臺灣西南海域與 SCS 海域的日本鰻仔魚分





布量減少趨勢更高於其他區域（如 STCC、ECS、日本南部海域等），為日本鰻洄游之八大海域中減少速度最快的海域，約每年整體減少 8.2%。造成臺灣西南海域與 SCS 海域日本鰻減少的原因，除了黑潮流勢減弱外，主要仍與黑潮入侵現象與冬季暖心渦流減弱有關。

藉由 2014–2016 年的現場調查結果與衛星資料可進一步觀察到此現象，雖然 11 月的試驗船採樣未取得日本鰻柳葉型幼

苗，但又手網實驗則於 2014 年 12 月、2015 年 1 月與 2015 年 2 月採集到日本鰻鰻苗（圖 15）。衛星資料亦顯示，此時期內臺灣西南海域外海亦出現明顯的暖心渦流，暖渦發生水域正異常值明顯高於周邊水域（圖 8），此現象亦代表此時期黑潮水入侵明顯，且為 looping 路徑，而此結果與 ONI 指數正值累計趨勢一致（圖 6）。

2015 年 11 月試驗船現場水文調查資料亦顯示，黑潮主軸之溫鹽結構出現於 E13、

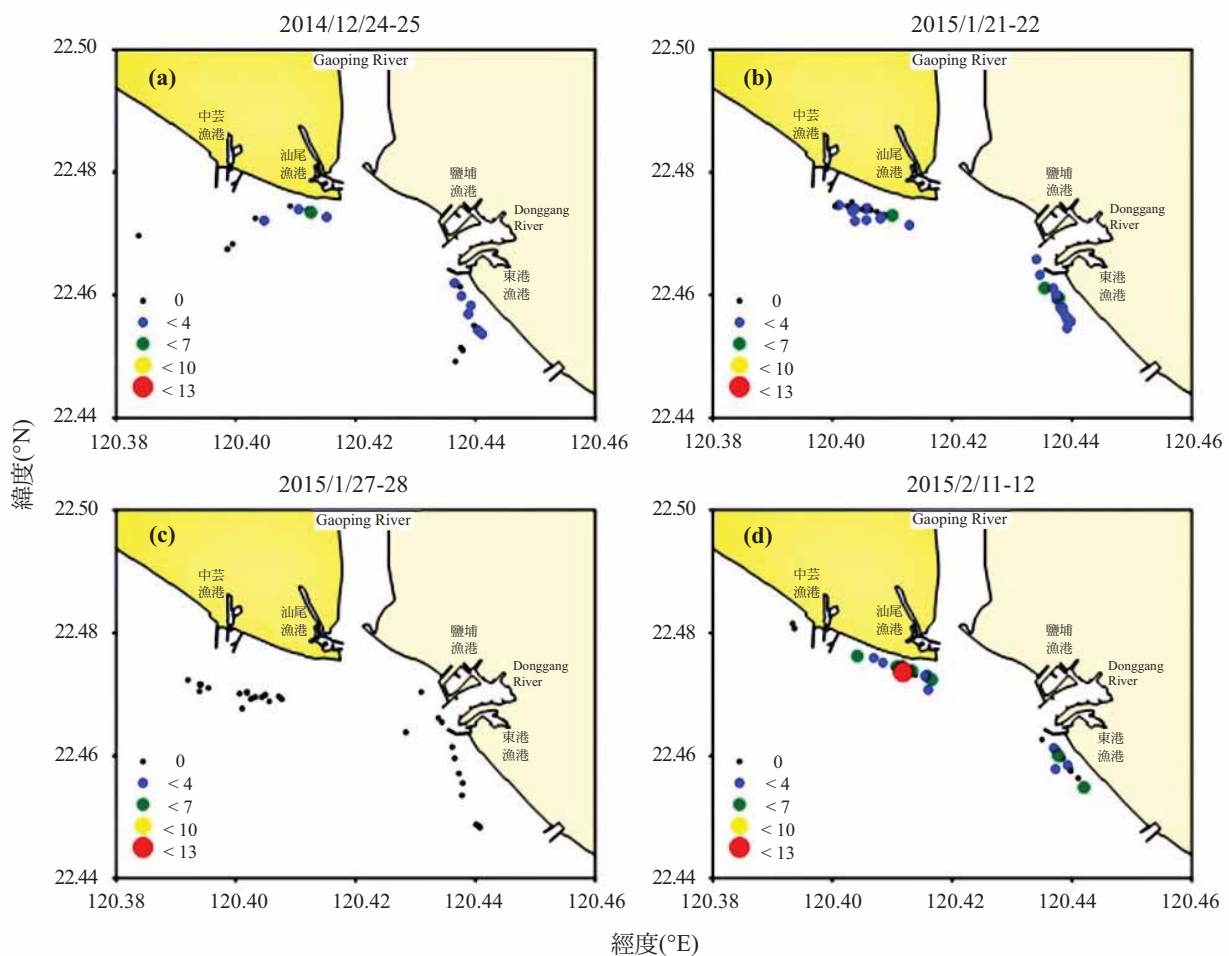


圖 15 高屏溪口日本鰻鰻苗採樣地點位置及其捕獲尾數
(a)：2014/12/24-25；(b)：2015/1/21-22；(c)：2015/1/27-28；(d)：2015/2/11-12



E14 測站，其餘測站則顯示為黑潮支流之溫鹽結構，溫鹽平均為 $27.44 \pm 0.44^{\circ}\text{C}$ 、 34.32 ± 0.26 psu (圖 11)，代表 2015 年 11 月表層溫度雖稍低，但鹽度比 2014 年初來得高，亦有黑潮支流入侵現象。傳統鰻苗漁場之表層溫鹽調查結果發現，2014/12/24-25 與 2015/1/27-28 時水溫較 2015/1/21-22 與 2015/2/11-12 高出約 1°C 左右；鹽度部分除 2014/12/24-25 鹽度有隨時間升降外，各採樣時間變化差異較小 (圖 13)。這些結果說明，2014—2015 年臺灣西南海域秋冬季鰻魚漁獲增加可能與黑潮入侵現象與冬季暖心渦流現象有關。

日本鰻資源變動影響因素眾多，影響層面包括自然環境因素與人為因素兩部分，雖透過衛星資料與現場調查試驗結果初步判定，臺灣西南海域鰻苗漁場形成、鰻苗產量波動與黑潮入侵路徑與暖渦發生可能有關，此結果亦符合 Han et al. (2016) 與 Chang et al. (2018) 推論相符，但未來仍需進行更多深入分析與長期觀測，才能更進一步確認全球氣候轉變造成的洋流模式改變與臺灣西南部海域日本鰻來游量的相互影響關係。

未來研究建議

一、臺灣西南海域水文環境資料持續性觀察與監測之必要

臺灣西南海域因地理條件特殊且複查，除為日本鰻重要漁場外，亦為許多洄游性魚類必經之地，漁業資源珍貴且豐富，為

臺灣重要漁場之一。近 20 年來，黑潮入侵現象逐漸減弱，冬季暖渦發生機率逐漸降低 (Wu et al., 2016)。臺灣西南海域位於 KC 支流進入 SCS 主要源頭海域，地理位置上更具代表性與意義。國內外相關研究已證實，因全球氣候變遷與氣候轉變下，臺灣西南海域海況已逐漸改變，為長期觀察與記錄西南海域水文環境變化，水溫環境資料的長期蒐集與採樣有其必要性，未來應仍需持續進行現場觀察與監測，並藉此建立西南海域長期水溫觀測資料庫。

二、補足「短缺的日本鰻洄游地圖」

東亞國家對於鰻魚資源極為重視，瞭解鰻魚生活史、資源量、洄游路徑與分布已成為日本、韓國與臺灣相關研究探究之重要課題。1994—2012 年間，臺灣西南海域與 SCS 海域的日本鰻仔魚分布量減少趨勢明顯，且為日本鰻洄游之八大海域中減少速度最快的海域，每年整體減少約 8.2% (Chang et al., 2018)。然而，現行多數日本鰻研究探討，係以馬里亞納海溝至日本周邊海域的 KC 主流為主，位屬 KC 支流主要源頭海域的臺灣西南海域與 SCS 海域，仍較少進行深入研究探討，故日本鰻的遷移與資源變動的主因，目前尚有許多議題未完全明朗。為完整探討鰻魚生活史與洄游分布，補足臺灣西南海域鰻魚資源探討之研究，未來仍需持續進行相關研究，並嘗試與國內外相關研究成果一同探討，以共同維護鰻魚漁業資源與產業。





參考文獻

- 日本水產廳 (2017) 水產統計情報。http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kensaku/bunya6.html
- 日本水產廳 (2018) うなぎをめぐる現状と対策。http://www.jfa.maff.go.jp/j/saibai/unagi.html
- 行政院農委會漁業署 (2014) 漁業署推動鰻魚放養管理，並與國際合作共同養護管理鰻魚資源。(https://www.fa.gov.tw/cht/NewsPaper/content.aspx?id=1146&chk=e2fb1c8c-8302-413c-b356-ca81d23ba044)
- 行政院農委會漁業署 (2017) 漁業統計年報。(https://www.fa.gov.tw/cht/PublicationsFishYear/index.aspx)
- 戴昌鳳等人 (2014) 臺灣區域海洋學。臺大出版中心編印，455 pp。
- Aida, K., K. Tsukamoto and K. Yamauchi (2003) Eel Biology. Springer Japan., 497. (https://doi.org/10.1007/978-4-431-65907-5)
- Chang, Y. L. K., Y. Miyazawa, M. J. Miller and K. Tsukamoto (2018) Potential impact of ocean circulation on the declining Japanese eel catches. Scientific Reports, 8(1): 5496. (DOI: 10.1038/s41598-018-23820-6)
- Chang, Y. L., J. Sheng, K. Ohashi, M. Béguier-Pon and Y. Miyazawa (2015) Impacts of interannual ocean circulation variability on Japanese eel larval migration in the Western North Pacific Ocean. PLoS ONE, 10:e0144423. (https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144423)
- Chen, Z. and L. Wu (2012) Long-term change of the Pacific North Equatorial Current bifurcation in SODA. Journal of Geophysical Research: Oceans, 117: n/a-n/a. (https://doi.org/10.1029/2011JC007814)
- Dekker, W. (2004) Slipping through our hands: Population dynamics of the European eel. University of Amsterdam.
- Friedland, K. D., M. J. Miller and B. Knights (2007) Oceanic changes in the Sargasso Sea and declines in recruitment of the European eel. ICES Journal of Marine Science, 64: 519-530. (https://doi.org/10.1093/icesjms/fsm022)
- Han, Y. S., Y. F. Lin, C. R. Wu, Y. Iizuka, T. R. Castillo, I. U. Yambot, M. D. Mamalangkap and A. V. Yambot (2016) Biogeographic distribution of the eel *Anguilla luzonensis*: dependence upon larval duration and oceanic currents. Marine Ecology Progress Series, 551: 227-238.
- Ho, C. H., H. J. Lu, J. S. He, K. W. Lan and J. L. Chen (2016) Changes in patterns of seasonality shown by migratory fish under global warming: Evidence from catch data of Taiwan's coastal fisheries. Sustainability, 8: 273.
- Hsu, A. C., H. Xue, F. Chai, P. Xiu and Y. S. Han (2017) Variability of the Pacific North Equatorial Current and its implications on Japanese eel (*Anguilla japonica*) larval migration. Fisheries Oceanography, 26: 251-267. (https://doi.org/10.1111/fog.12189)
- ICES (2013) Reports of the Eifac/ICES working group on eels (WGEEL), 18-22 March 2013 in Sukarietta, Spain, 4-10 September 2013 in Copenhagen, Denmark ICES CM2013/ACOM, 18: 253 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014) Climate Change: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Liao, I C. (2001) A general review on aquaculture in Asia: A focus on anguillid eel. In: I C. Liao (compiled) Keynote Addresses, The 5th and 6th Asian Fisheries Forums. AFS Special Publication, 11: 39-54.
- Miller, M. J. and T. Katsumi (2004) An introduction to leptocephali: Biology and identification, Ocean Research Institute, The University of Tokyo.
- Nan, F., H. Xue and F. Yu (2015) Kuroshio intrusion into the South China Sea: A review. Progress in Oceanography, 137: 314-333. (https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.07.001)





1016/j.pocean.2014.05.012)

- Nan, F., H. Xue, F. Chai, L. Shi, M. Shi and P. Guo (2011) Identification of different types of Kuroshio intrusion into the South China Sea. *Ocean Dynamics*, 10.1007/s10236-011-0426-3.
- Okiyama, M. (1988) An atlas of the early stage fishes in Japan Tokai University Press, Tokyo.
- Peyser, C. E., J. Yin., F. W. Landerer and J. E. Cole (2016) Pacific sea level rise patterns and global surface temperature variability. *Geophysical Research Letters*, 43: 8662-8669. (<https://doi.org/10.1002/2016GL069401>)
- Tsukamoto, K. (2009) Oceanic migration and spawning of anguillid eels. *Journal of fish biology*, 74: 1833-1852. (<https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2009.02242.x>)
- Tzeng, W. N. and O. Tabeta (1983) First record of the short-finned eel *Anguilla bocoior pacifica* from Taiwan. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 49(1): 27-32.
- Tzeng, W. N., P. W. Cheng and F. Y. Lin (1995) Relative abundance, sex ratio and population structure of the Japanese eel *Anguilla japonica* in the Tanshui River system of northern Taiwan. *Journal of Fish Biology*, 46: 183-201.
- Wu, C. R., Y. L. Wang, Y. F. Lin and S. Y. Chao (2017) Intrusion of the Kuroshio into the South and East China Seas. *Scientific Reports*, 7: 7895, doi:10.1038/s41598-017-08206-4.
- Zenimoto, K., Y. Sasai, H. Sasaki and S. Kimura (2011) Estimation of larval duration in *Anguilla* spp., based on cohort analysis, otolith microstructure, and Lagrangian simulations. *Marine Ecology Progress Series*, 438: 219-228. (<https://doi.org/10.3354/meps09255>)



臺灣周邊海域柳葉幼生之組成與時空分布

王友慈、潘佳怡、葉信明*
行政院農業委員會水產試驗所海洋漁業組

摘要

本研究利用試驗船於 2007 年冬季到 2018 年春季間，完整執行 62 個測站的 16 個航次所採集柳葉幼生 (leptocephalus) 資料進行臺灣周邊海域柳葉幼生之組成和時空分布分析，並提供海鰻總目檢索表。總計捕獲海鰻總目 (Elopomorpha) 柳葉幼生 16 科 321 尾，包括海鰻目 (Elopiformes) 海鰻科及大海鰻科、囊鰓鰻目 (Saccopharyngiformes) 單頷鰻科及月尾鰻科及鰻形目 (Anguilliformes) 之柳葉幼生，其中鰻形目 (Anguilliformes) 有 13 科 283 尾，出現之科別有蛇鰻科、糯鰻科、鯨科、海鰻科、鴨嘴鰻科、項鰻科、合鰓鰻科、異糯鰻科、前肛鰻科及蚓鰻科等。蛇鰻科柳葉幼生為最優勢族群，且出現於所有調查月別。1 月及 5 月為柳葉幼生種類最多之月別，除 1 月外，4—5 月為多類群柳葉幼生出現月別。依出現海域，可歸類為周邊海域型、陸棚型及大洋型等柳葉幼生。5 個科為周邊海域型柳葉幼生，僅項鰻科及大海鰻科為陸棚型柳葉幼生。9 個科為大洋型柳葉幼生，其中海鰻科及單頷鰻科的豐度集中於臺灣西南海域。

關鍵詞：柳葉幼生、海鰻總目、鰻形目、檢索表、分布

前言

柳葉幼生為海鰻目 (Elopiformes)、狐鰭目 (Albuliformes)、背棘目 (Notacanthiformes)、鰻形目 (Anguilliformes) 及囊鰓鰻目 (Saccopharyngiformes) 等海鰻總目 (Elopomorpha) 魚類之仔魚。柳葉幼生期可達 3 個月至 1 年以上，身體具黏液袋 (Inoue et. al., 2004)。柳葉幼生之體形側扁，身體具果凍狀透明基質及薄層可見之肌節，

體內器官微小且僅有簡單管狀的腸，故全身呈透明狀，較一般魚類仔魚為大。柳葉幼生以懸浮於水體之海洋雪花 (marine snow) 為食物，夜間洄游至 100 m 以淺水深，白天下潛至較深處 (Miller, 2009)。背鰭、臀鰭與尾鰭連結，無腹鰭，變態為玻璃鰻 (glass eel) 後，口器之獠牙消失並體內開始出現紅血球 (Fahay, 1983)。以鰻鱺科 (Anguillidae) 為例，卵的直徑為 1.0—4.0 mm 較其他分類群的魚卵大。卵孵化後的仔魚眼部尚未發育完全且牙齒稀疏或無牙之前柳葉幼生 (preleptocephalus)。待體內卵黃被吸收、牙齒發育為獠牙時，開始稱為柳

* 通訊作者/20246 基隆市中正區和一路 199 號;
TEL: (02)24622101; FAX: (02)24629388;
E-mail: hmyeh@mail.tfri.gov.tw



葉幼生。柳葉幼生在發育過程中，牙齒變為細小且增加數量。一般柳葉幼生的最大體長約 50–100 mm，但部分魚種可達 300 mm，甚至背棘目的柳葉幼生體長可達 1,800 mm (Castle, 1959)。柳葉幼生達最大體長後，變態成為玻璃鰻 (glass eel) (Miller, 2009)。玻璃鰻接近沿岸水域時，變成黃褐色的鰻線 (elver)。全球的海鰻總目包括 5 目 20 科 156 屬 856 種魚類，其中鰻形目魚類有 15 科 141 屬 790 種 (Weitzman and Parent, 2018 Dec. 17)，佔海鰻總目魚種的 92.2%，且多數為重要經濟魚種，如日本鰻 (*Anguilla japonica*)、歐洲鰻 (*A. anguilla*)、美洲鰻 (*A. rostrata*)、鱸鰻 (*A. marmorata*) 及灰海鰻 (*Muraenesox cinereus*) 等。

本所自 2003 年起執行「臺灣周邊海域漁場環境監測」計畫，於周邊海域設置 62 個測站 (圖 1)，按季蒐集水溫、鹽度、營養鹽、葉綠素甲、基礎生產力、浮游動物及仔稚魚等漁場環境資訊，嘗試透過此全面性之調查來瞭解臺灣周邊海域之長期水文、海況及漁場環境時空分布資訊，進而掌握影響臺灣周邊海域漁業資源變動的機制。本研究利用試驗船於 2007 年冬季到 2018 年春季之間，完整執行 62 個測站的 16 個航次所採集的柳葉幼生資料，進行臺灣周邊海域物種組成和時空分布分析，並提供海鰻總目檢索表。

材料與方法

本研究係利用水試一號試驗船，分別於

2007 年 1、5、7 月，2008 年 1、3、7、10 月，2009 年 1、5、8、10 月，2010 年 1 月、2011 年 1 月、2014 年 4 月、2015 年 3 月及 2018 年 4 月在臺灣周邊海域 62 個測站 (圖 1) 進行 16 個航次，蒐集的仔稚魚樣本及水文資料。仔稚魚以 ORI 浮游生物網進行採集，網口直徑為 160 cm，網身長 750 cm，網目為 330 μm ，網口中央結附流量計以計算網具過濾海水之體積。採集方式係將網具投放至水深 200 m (水深不足者施放至離底 5 m)，再以 1 m/秒的收纜速度，使網具斜拖上揚方式採樣。採集之浮游生物樣本在現場以 5–10% 的福馬林海水溶液保存，然後攜回實驗室，於解剖顯微鏡下挑檢出仔稚魚，再依據 Moser et al. (1984)、沖山 (1987)、王 (1987) 及丘 (1999) 等文獻進行種類鑑定。水文資料則利用溫鹽深儀 (Seabird 9–11 Plus) 投放至 1,000 m (水深不足則離底 5 m) 取得各測站溫度與鹽度之連續資料。

結果

一、臺灣周邊海域柳葉幼生的形態與鑑定

全球的海鰻總目的柳葉形幼生如檢索表 (表 1)。鰻形目柳葉幼生之身體極為側扁且透明，多數呈延長形，整體觀之似柳葉，所以常被稱為「柳葉幼生」或「葉形幼生 (leaf-like larva)」，又因頭部較體部狹小，所以又稱為「狹首形幼生 (leptocephalus larva)」。吻稍鈍或尖突；口裂深，可達眼



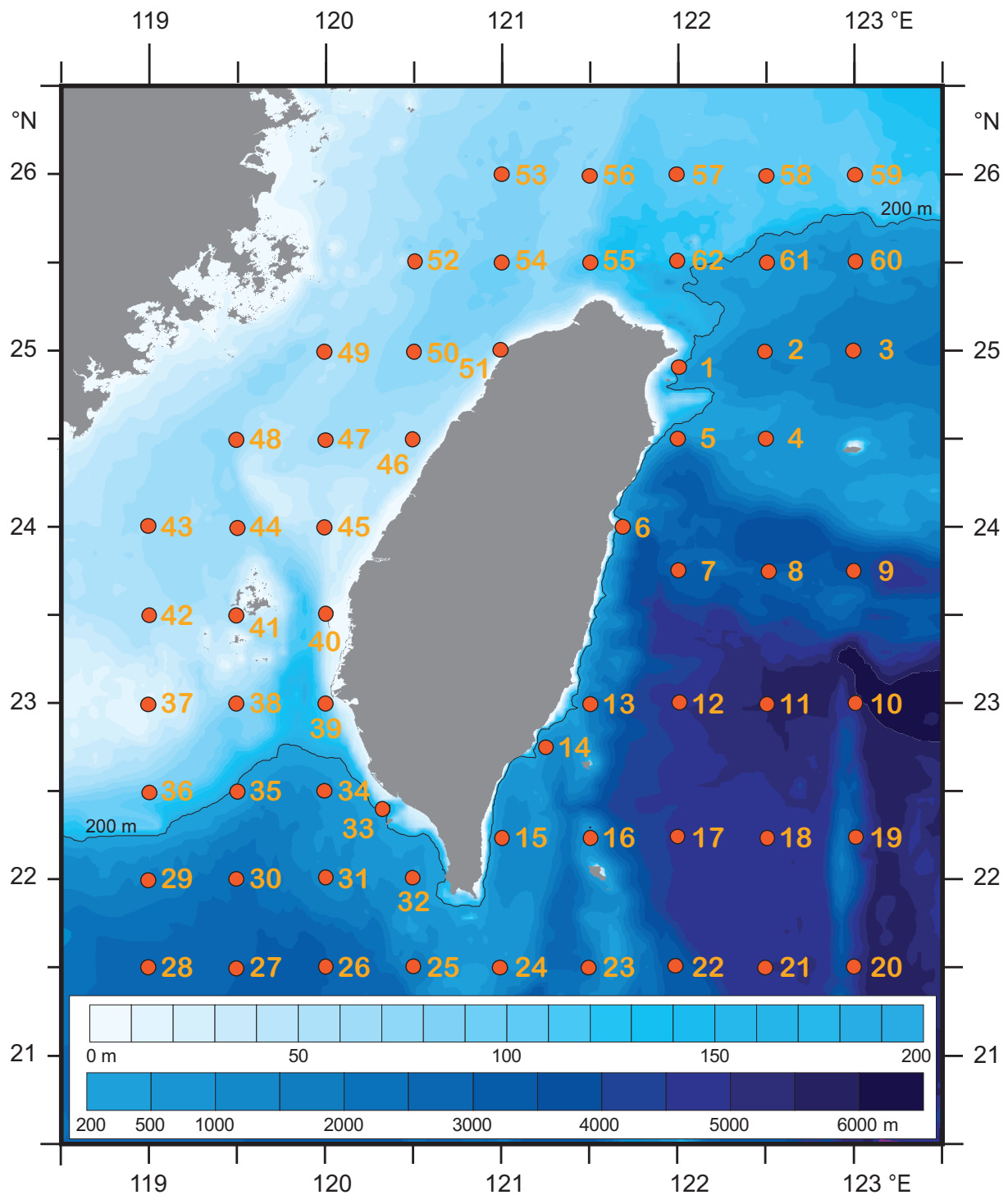


圖 1 臺灣周邊海域漁場環境監測計畫設置之 62 個測站



表 1 海鰻總目科檢索表 (改自 Smith, 1979; 沖山, 1980; 王, 1987)

1a 尾部具有單一之絲狀物；體形極為延長	背棘魚目 Notacanthiformes
1b 尾部不具有絲狀物	2
2a 眼為潛望鏡型	3
2b 眼非為潛望鏡型	4
3a 腸管無色素胞存在；消化道有數個肥厚部；肌節 107—204	前肛鰻科 Dysommataidae
3b 腸管有色素細胞存在；消化道為單純的直走管；肌節數 126—172	合鰻鰻科 Synphobranchidae
4a 頭高大，舌顎骨伸長，消化道後端有發達之單一有色肥厚部	5
4b 頭部與顎部的接合正常	6
5a 肌節數 88—95	單鰻鰻科 Monognathidae
5b 肌節數 97—125	寬咽鰻科 Eurypharyngidae
5c 肌節數 139—250	囊鰻鰻科 Saccopharyngidae
6a 消化道具有一個以上的肥厚部、環狀部或彎曲部	7
6b 消化道為單純的直走管	10
7a 在消化道的後端，具有單一的肥厚部或彎曲部；肌節數 98—180	蚓鰻科 Moringuidae
7b 消化道具具有 2 個以上的肥厚部或彎曲部	8
8a 消化道具具有 2 個肥厚部；肌節數 186—290	鴨嘴鰻科 Nettastomatidae(部分)
8b 消化道具具有 3 個以上的肥厚部或彎曲部	9
9a 體高極大；肌節數 74—108	月尾鰻科 Cyemidae
9b 體較為伸長；肌節數在 110 以上	蛇鰻科 Ophichthyidae
10a 體部完全不具有色素胞；肌節數 100—119	鰻鱺科 Anguillidae
10b 體部至少有些色素胞存在	11
11a 腸管無色素胞	12
11b 腸管有色素胞	14
12a 胸鰭小；消化道長度小於體長的 1/2，背臀鰭局限在尾部先端	鯨科 Muraenidae 之 <i>Anarchias</i> 屬
12b 胸鰭發達；消化道長度大於體長的 1/2，背、臀不局限在尾部先端	13
13a 最後垂直血管位在 75—80 肌節處，肛門前肌節數在 100 以上	項鰻科 Derichthyidae 之 <i>nessorhamphus</i> 屬
13b 最後垂直血管位在 59—63 肌節處，肛門前肌節數 76—83	項鰻科 Derichthyidae 之 <i>Derichthys</i> 屬
13c 最後垂直管位在 30~37 肌節處，肛門前肌節數 77—101	鋸鰻鰻科 Serrivomeridae
14a 肌節數多於 95，在成長過程中脊索末端絕不上屈	15
14b 肌節數少於 95，在成長過程中脊索末端會逐漸上屈，並形成叉形尾	20
15a 胸鰭小；後鼻孔位在眼前中央上方；尾通常為扁平之圓形；肌節數 107—216	鯨科 Muraenidae
15b 胸鰭發達；後鼻孔位在眼前中央附近下方；尾通常不為扁平之圓形	16
16a 在脊索背側有小但明顯的色素斑點；體細長；腹部的黑色素胞小，僅存在於消化道上	線鰻科 Nemichthyidae
16b 無 16a 所述之特徵者	17
17a 消化道長度為體長的 1/2 或以下	18
17b 消化道長度遠大於體長的 1/2	19
18a 體高小且體伸長；頭部伸長；肌節數 186—290	鴨嘴鰻科 Nettastomatidae 之 <i>Faccidella</i> 屬
18b 體高較大；頭部較短小；肌節數 97—156	異糯鰻科 Xencongridae
19a 頭部短小而高；眼下方無半月狀色素叢；肌節數 108—227	異鰻科 Heterenchelyidae
19b 頭部通常較伸長，吻部多少有些尖；短頭的種類則限眼下通常具有半月狀的色素叢	糯鰻科 Congridae 及海鰻科 Muraenesocidae
20a 體側具有色素胞；肌節數 51—82	海鰻科 Elopidae
20b 體側無色素胞；肌節數 65—92	北梭魚科 Albulidae





之中央下方甚或超過眼之後緣；齒銳利且長，明顯可見；消化道長，多數種類的長度遠大於體長的 $1/2$ ，其型式則有單純直走或具有肥厚部或彎曲部，消化道的長度及型式為本目各科間的重要鑑別依據 (Smith, 1979; 沖山, 1980; Castle, 1984)。

自 2007 年冬季到 2018 年春季共計採獲海鰻總目共 16 科 321 尾的柳葉形幼生，包括海鰻目之海鰻科 (Elopidae)、大海鰻科 (Megalopidae)、囊鰓鰻目單頰鰻科、月尾鰻科及鰻形目蚓鰻科、鯨科、合鰓鰻科、前肛鰻科、蛇鰻科、項鰻科、海鰻科、線鰻科、糯鰻科、異糯鰻科、鴨嘴鰻科、鋸鋤鰻科等。鰻形目各科的形態特徵如下：

(一) 前肛鰻科 (Dysommataidae)

體極為側扁且延長、體高中等而呈延長型、體長約 100 mm、肌節數 107–204；頭伸長、吻尖突、眼突出而呈潛望鏡形、鼻孔接近吻端；胸鰭、尾鰭發達；消化道有許多的肥厚部，長度約為體長的 $1/2 - 3/4$ ；色素細胞發達，每個消化道肥厚部均有而在臀鰭前段上有數個枝狀色素細胞，在頭部、喉峽部及臀鰭末端則有細小的色素細胞。全世界約有 4 屬 17 種，本調查期間計捕獲 2 尾 (圖 2)。

(二) 合鰓鰻科 (Synphobranchidae)

體極為側扁、體高低而呈延長型、體長約 130–170 mm、肌節數 126–172；頭短小、吻略鈍、眼突出而呈潛望鏡形；尾端略呈圓形，胸鰭、尾鰭發達；消化道為單純的直走型，大多數種類的消化道長度約為體長的 $3/4$ ；色素細胞小，通常分布於眼下方、

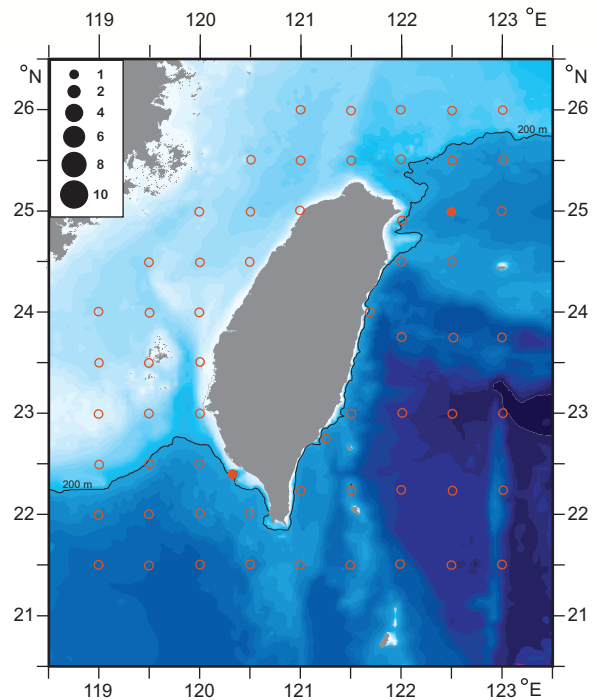


圖 2 前肛鰻科採集測站及豐度

背鰭和臀鰭近尾鰭處以及尾鰭，不出現於體側。全世界有 8 屬 22 種，本調查期間計捕獲 3 尾 (圖 3)。

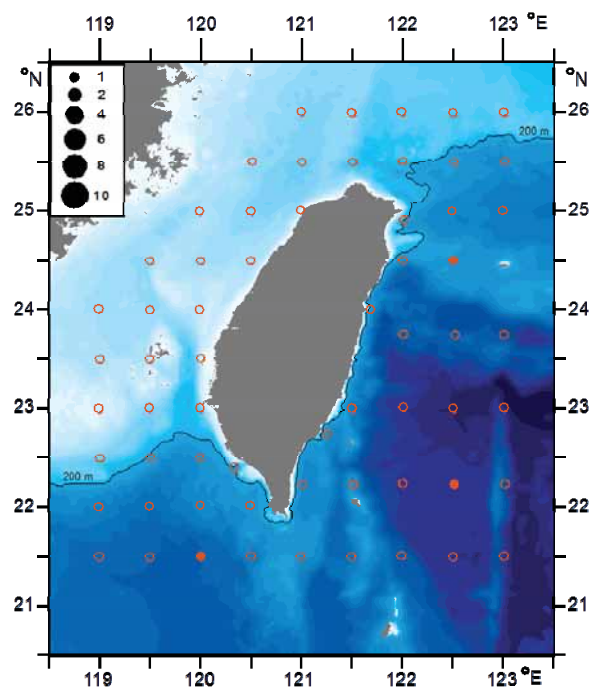


圖 3 合鰓鰻科採集測站及豐度



(三) 蜆鰻科 (Moringuidae)

體極為側扁、體略高而呈長卵圓形、體長約 60–70 mm、肌節數 98–180；頭短小、吻略尖；胸鰭、尾鰭發達；消化道在肛門正前方有單 1 個彎曲部，長度約為體長的 $\frac{2}{3}$ – $\frac{3}{4}$ ；色素細胞較發達，在消化道彎曲部背面以及體側正中線上有數個濃密的枝狀色素，且數目和位置在體左右側不對等。全世界約有 2 屬 14 種，本調查期間計捕獲 2 尾 (圖 4)。

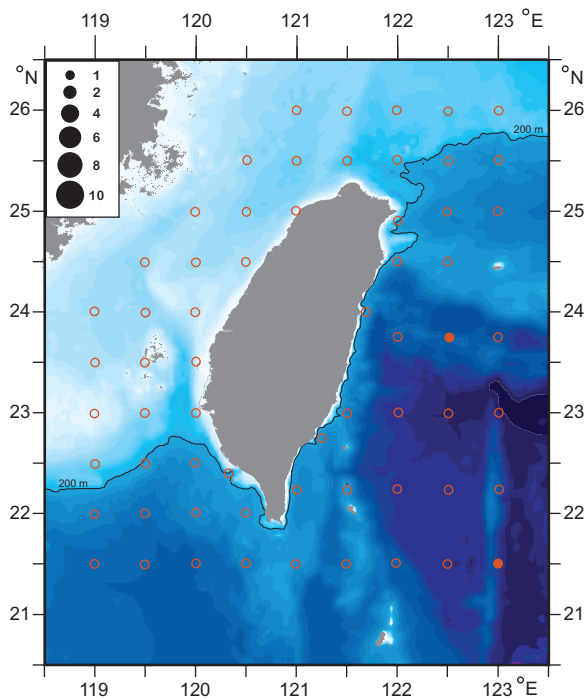


圖 4 蜆鰻科採集測站及豐度

(四) 鴨嘴鰻科 (Nettastomatidae)

體極為側扁，延長型到高大型 (但絕不大於體長的 $\frac{1}{2}$)，體長變異大、在 85–200 mm 之間，肌節數 186–290；頭部適中到較為伸長、吻略突；尾端尖窄，胸鰭小，背鰭基長、通常起自頭部稍後方；絕大多數種類

的消化道有 2 個肥厚部，長度通常小於體長的 $\frac{1}{2}$ ；色素細胞發達且變異大，通常分布於消化道腹面、肥厚部背面以及體側和頭部。全世界約有 7 屬 43 種，本調查期間計捕獲 12 尾 (圖 5)。

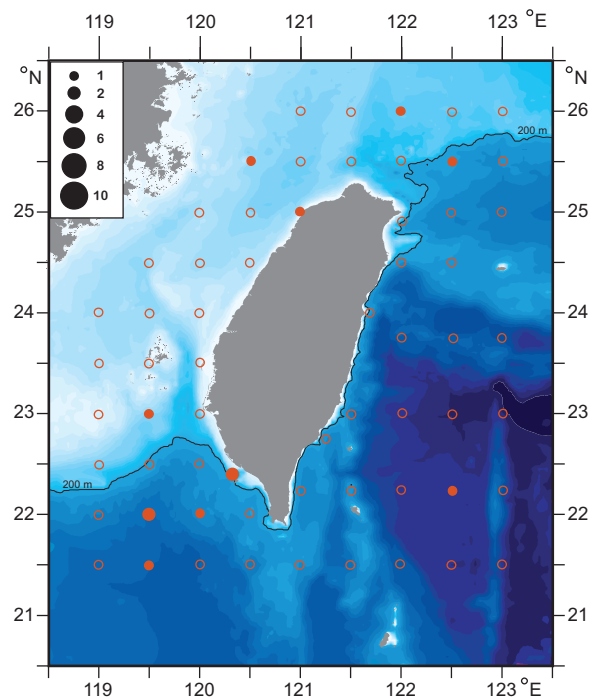


圖 5 鴨嘴鰻科採集測站及豐度

(五) 蛇鰻科 (Ophichthyidae)

體極為側扁且延長、體高較低、體長 70–180 mm 之間、肌節數 110–270；頭短小但吻部伸長；尾端適中到窄、尾鰭通常不存在；消化道有許多的肥厚部和彎曲部，長度約為體長的 $\frac{1}{2}$ – $\frac{2}{3}$ ；色素細胞較發達，通常分布於消化道背、腹面以及體側，但變化極多，在肥厚部和彎曲部背面尤其濃密。全世界約有 59 屬 2313 種，本調查期間計捕獲 129 尾 (圖 6)。



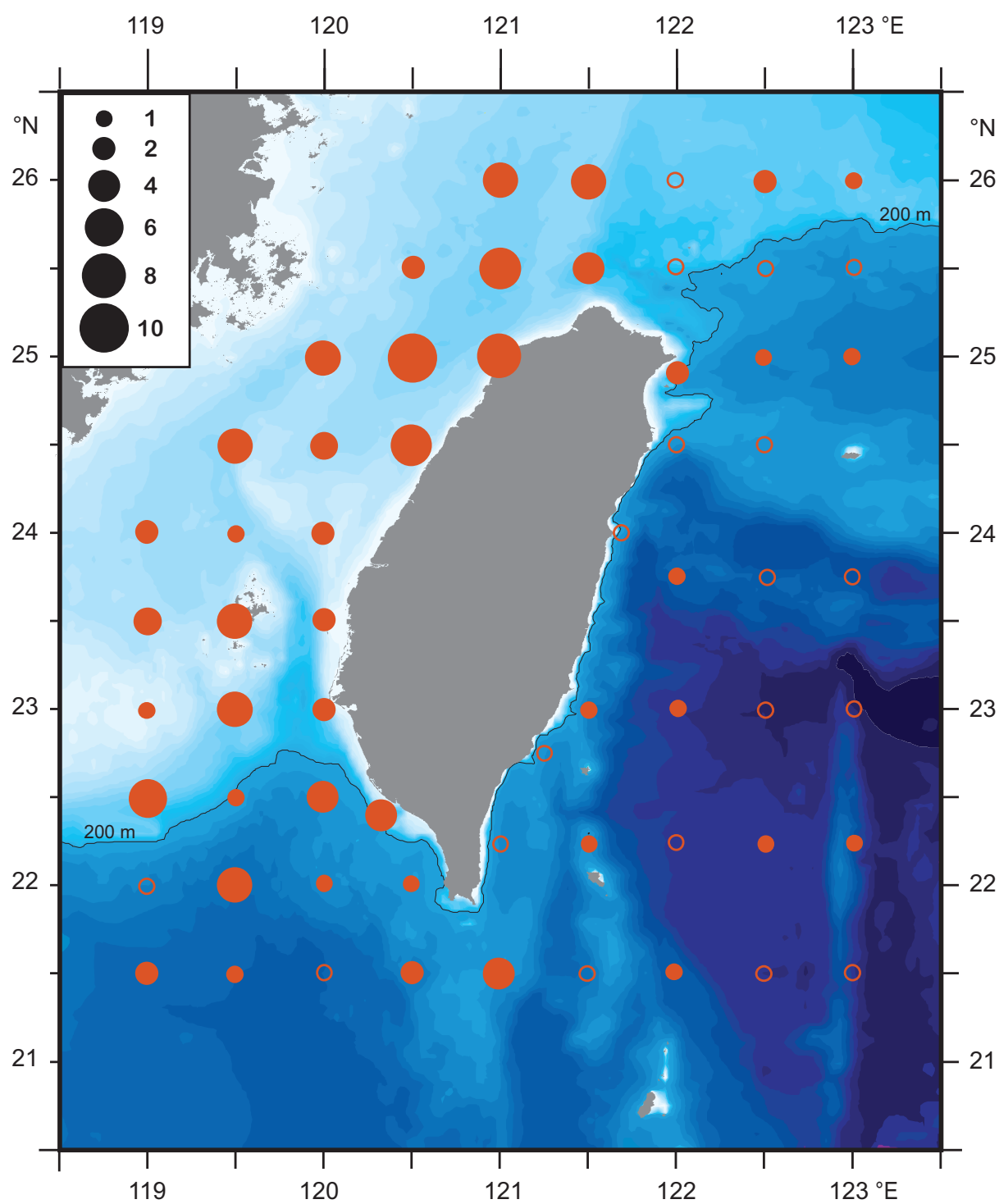


圖 6 蛇鰻科採集測站及豐度



(六) 項鰻科 (Derichthyidae)

體極為側扁、延長型、體高中等、體長小約 60–80 mm、肌節數 126–159；頭短小、吻略尖；胸鰭發達、尾鰭尖；消化道為單純的直走型，長度在約體長的 3/4；色素細胞細小且稀少，通常分布在體側正中線下方的肌間隔內以及背鰭、臀鰭和尾鰭基底。全世界約有 2 屬 3 種，本調查採獲 4 尾 (圖 7)。除了肌節數多於鰻鱺科之外，本科與鰻鱺科在體型上極為相似，且色素細胞稀少又小而不易被發現，極易被誤認，必須特別留意。

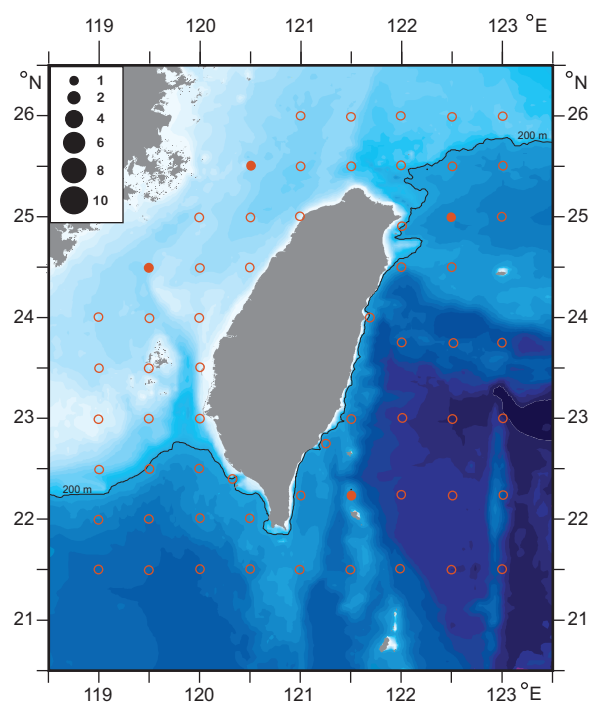


圖 7 項鰻科採集測站及豐度

(七) 鋸鋤鰻科 (Serrivomeridae)

體極為側扁、延長型、體長小僅約 60 mm、肌節數 137–170；頭短小、吻略尖；

胸鰭小、尾鰭尖；消化道為單純的直走型，長度在體長的 3/4 以上；色素細胞細小且稀少，通常分布在體側正中線下方的肌間隔內以及背鰭、臀鰭和尾鰭基底。全世界約有 2 屬 11 種，本調查採獲 7 尾 (圖 8)。除了肌節數遠多於鰻鱺科之外，本科與鰻鱺科在體型上極為相似，且色素細胞稀少又小而不易被發現，極易被誤認，必須特別留意。

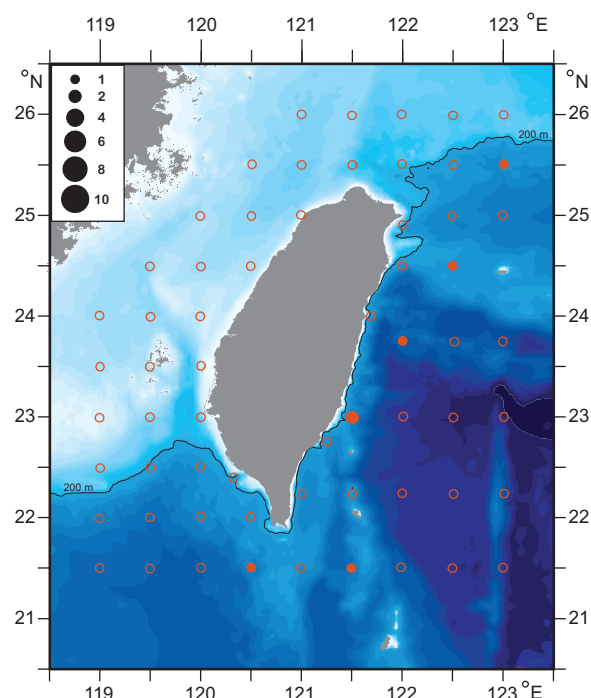


圖 8 鋸鋤鰻科採集測站及豐度

(八) 鰻科 (Muraenidae)

體極為側扁、延長型、體長約 60–70 mm、肌節數 107–216；頭短小、吻鈍圓、後鼻孔位在眼中央上方；尾端呈圓形，胸鰭小甚或消失；消化道為單純的直走型，大多數種類的消化道長度為體長的 1/2–3/4；色素細胞小，通常分布於頭部、消化道背面和





腹面以及脊椎骨腹側，並且絕不出現在體側。全世界約有 16 屬 201 種，本調查期間計捕獲 14 尾（圖 9）。

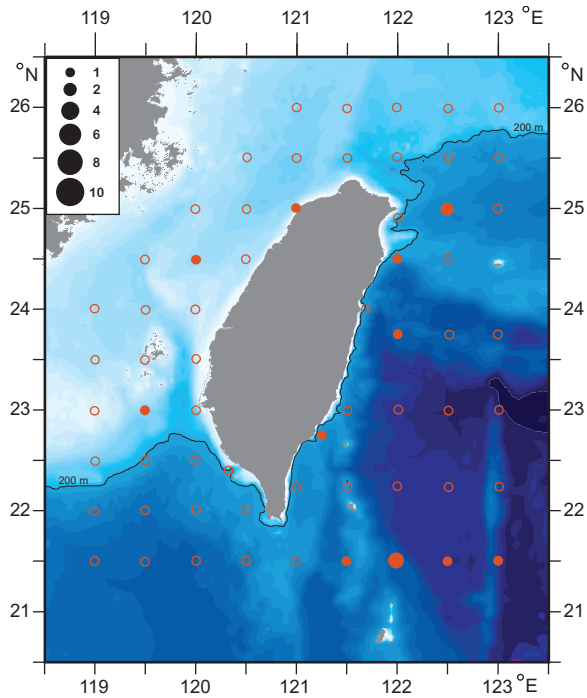


圖 9 鯉科採集測站及豐度

(九) 線鰻科 (Nemichthyidae)

體極為側扁且顯著伸長、體長可達 200—400 mm、肌節數 170 到超過 400；頭短小、吻略尖；胸鰭發達、尾鰭略尖凸到絲狀延長；消化道為單純的直走型，肛門位在體後方約全長的 80—90% 處；色素細胞小，通常分布於消化道背腹面、脊索背面以及背鰭、尾鰭和臀鰭的基底部，部分種類在膽囊上方及其後面的脊索下方的肌節間隔有數個枝狀色素，或是在體側正中線上、上方、下方有數個濃密的枝狀色素。全世界約有 3 屬 9 種，本調查期間計捕獲 13 尾（圖 10）。

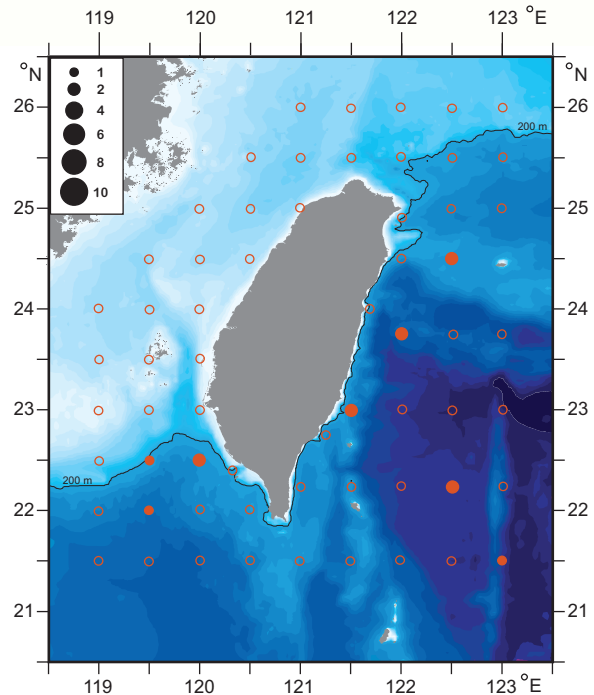


圖 10 線鰻科採集測站及豐度

(十) 異糯鰻科 (Xenocoelidae)

體極為側扁、體高較大呈長卵圓形、體長較小通常在 100 mm 以下、肌節數 97—156；頭短小而明顯小於體部輪廓、吻略尖；胸鰭發達、尾鰭略尖凸；消化道短、為單純的直走型，肛門位在體前半約全長的 32—58% 處；色素細胞小，通常散布於整個體側面，或僅分布在體側正中線、消化道上方及尾鰭基底，部分種類在體側正中線上另有數個枝狀色素。全世界約有 9 屬 24 種，本調查期間計捕獲 2 尾（圖 11）。

(十一) 糯鰻科 (Congridae)

體極為側扁，體高中等，體長變異大，通常在 100 mm 左右但部分種類可長達 200—400 mm，肌節數 105—225；頭部通常較伸長、吻部尖，短頭的種類則在眼下有半月狀的色素叢；尾部窄且胸鰭發達；消化道



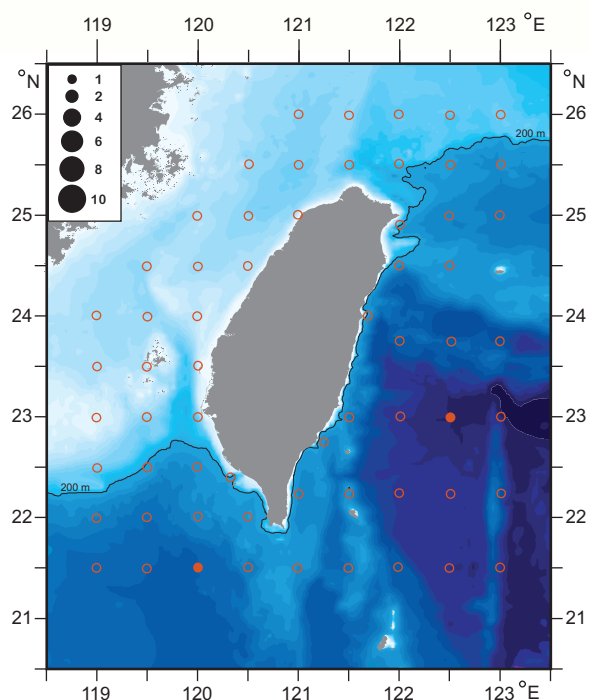


圖 11 異糯鰻科採集測站及豐度

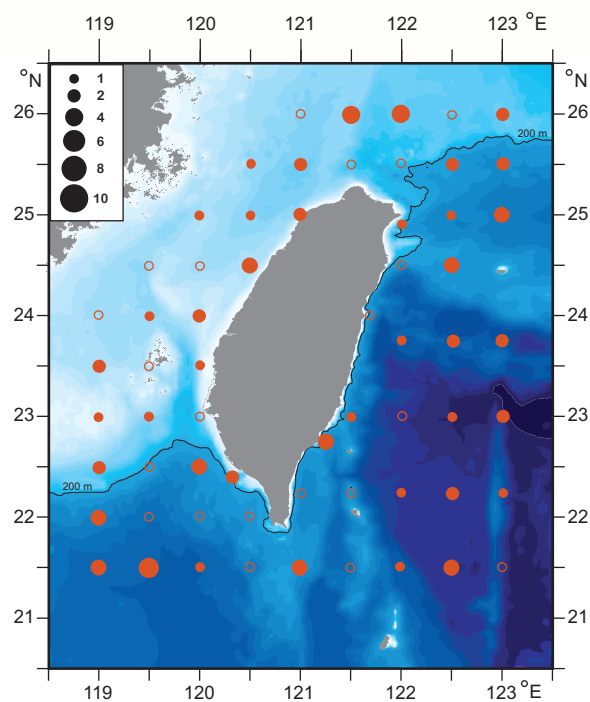


圖 12 糯鰻科採集測站及豐度

為單純的直走型，長度約等於或大於體長的 3/4，部分種類甚至比身體長而形成外腸；色素細胞發達且多樣，消化道背面和腹面一定有細小的色素細胞存在，另外在體側和肌間隔也有多樣化的分布。全世界約有 30 屬 191 種，本調查期間計捕獲 82 尾（圖 12）。

(十二) 海鰻科 (Muraenesocidae)

體極為側扁、體高低、體長約 100 mm 左右、肌節數 120—261；頭部通常較伸長、吻部略尖；尾部窄且胸鰭發達；消化道為單純的直走型，長度大於體長的 3/4；色素細胞發達且多樣，分布於頭部、體正中線及下方的肌間隔內、消化道背面和腹面以及臀鰭和尾鰭基。全世界約有 5 屬 13 種，本調查期間計捕獲 13 尾（圖 13）。

二、臺灣周邊海域柳葉幼生的組成、出現海域及月別

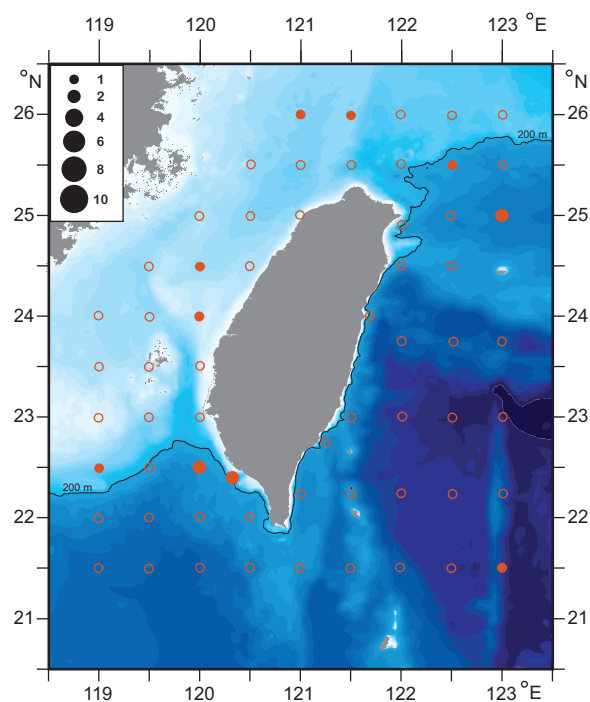


圖 13 海鰻科採集測站及豐度

調查期間計捕獲海鰻總目柳葉幼生 16 科 321 尾，包括海鰻目之海鰻科 (Elopidae)





18 尾 (圖 14) 及大海鰱科 (Megalopidae) 2 尾 (圖 15)、囊鰓鰻目單鰭鰻科

(Monognathidae) 17 尾 (圖 16) 及月尾鰻科 (Cyematidae) 1 尾 (圖 17) 及鰻形目。其

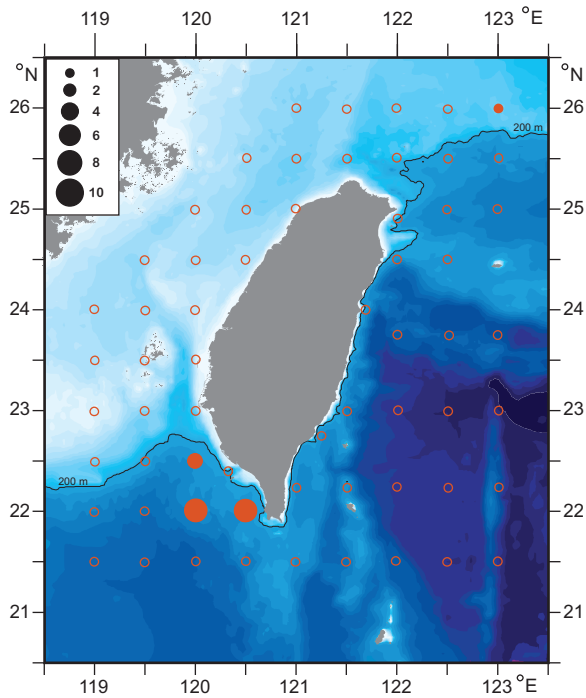


圖 14 海鰱科採集測站及豐度

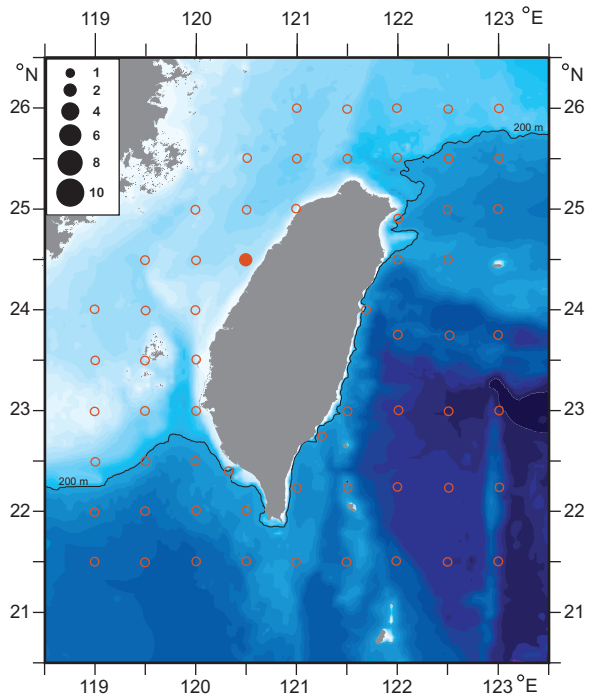


圖 15 大海鰱科採集測站及豐度

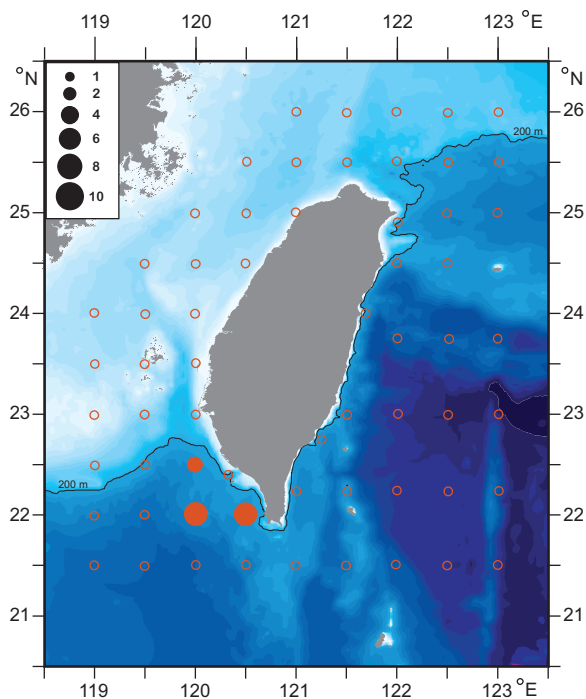


圖 16 單鰭鰻科採集測站及豐度

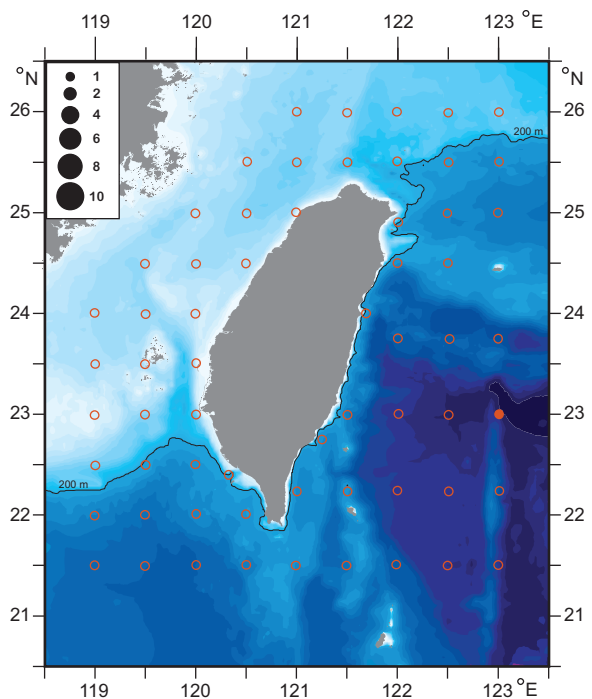


圖 17 月尾鰻科採集測站及豐度



中，鰻形目有 13 科 283 尾，以蛇鰻科 129 尾的豐度最高，其他依序為糯鰻科 82 尾，鯨科 14 尾，海鰻科及鴨嘴鰻科各 13 尾，項鰻科 4 尾及合鰓鰻科各 3 尾，異糯鰻科、前肛鰻科及蚓鰻科各 2 尾。

各科別之柳葉幼生出現月別方面，在所調查的 1、3、4、5、7、8 及 10 月中，蛇鰻科出現於所有調查月別，海鰻科、大海鰻科、單鰓鰻科、蚓鰻科、合鰓鰻科及異糯鰻科等僅出現 1 個月，其中海鰻目海鰻科及囊鰓鰻目單鰓鰻科出現於 5 月，大海鰻出現於 8 月，其餘的鰻形目 3 個科出現於 1 月（表 2）。1 月及 5 月為柳葉幼生種類最多之月別，除 1 月外，4–5 月為多類群柳葉幼生出現月別。

依出現海域，可歸類為周邊海域型、陸棚型及大洋型等柳葉幼生。5 個科為周邊海

域型柳葉幼生，包括鴨嘴鰻科（圖 5）、蛇鰻科（圖 6）、鯨科（圖 9）、糯鰻科（圖 12）及海鰻科（圖 13），其中蛇鰻科柳葉幼生在陸棚海域的豐度比大洋域為高。僅項鰻科（圖 7）及大海鰻科（圖 15）為陸棚型柳葉幼生。9 個科為大洋型柳葉幼生，包括海鰻科（圖 14）、單鰓鰻科（圖 16）、前肛鰻科（圖 2）、合鰓鰻科（圖 3）、蚓鰻科（圖 4）、鋸鋤鰻科（圖 8）、線鰻科（圖 10）、異糯鰻科（圖 11）及月尾鰻科（圖 17），其中海鰻科及單鰓鰻科的豐度集中於臺灣西南海域。

謝辭

本研究承蒙水試所各組及中心研究人員，與水試一號試驗船船員多年來的協助採樣，方得以順利完成，謹此一併致謝。

表 2 各科別柳葉幼生出現月別

科名 \ 月別	1	3	4	5	7	8	10
海鰻科(Elopidae)				*			
大海鰻科(Megalopidae)						*	
單鰓鰻科(Monognathidae)				*			
蛇鰻科(Ophichthyidae)	*	*	*	*	*	*	*
糯鰻科(Congridae)	*	*		*	*	*	*
鴨嘴鰻科(Nettastomatidae)	*		*	*	*		*
鯨科(Muraenidae)	*		*	*	*	*	
海鰻科(Muraenesocidae)	*		*	*			*
線鰻科(Nemichthyidae)	*	*	*	*			
鋸鋤鰻科(Serrivomeridae)		*	*	*	*		
項鰻科(Derichthyidae)			*	*		*	
前肛鰻科(Dysommidae)	*					*	
蚓鰻科(Moringuidae)	*						
合鰓鰻科(Synphobranchidae)	*						
異糯鰻科(Xenocongridae)	*						





參考文獻

- 王友慈 (1987) 臺灣北部淡水河暨雙溪河口域魚苗相之研究。私立中國文化大學海洋研究所資源組碩士論文，臺北，306 pp。
- 丘臺生 (1999) 臺灣的仔稚魚。國立海洋生物博物館，車城，屏東，296 pp。
- 沖山宗雄 (1980) 稚魚分類學入門 4 - ウナギ型變態。海洋と生物，2(1): 62-68。
- 沖山宗雄 (編) (1987) 日本產稚魚圖鑑。東海大學出版會，東京，1154 pp。
- Castle, P. H. J. (1984) Notacanthiformes and Anguilliformes: Development. In ontogeny and systematics of fishes. H. G. Moser, W. J. Richard, D. M. Cohen, M. P. Fahay, A. W. Kendall Jr., and S. L. Richardson (eds), Am. Soc. Ichthyol. Herpetol., spec. publ., 62-93.
- Castle, P. H. J. (1959) A large Leptocephalid (Teleostei, Apodes) from off South Westland, New Zealand. Transactions of the Royal Society of New Zealand, 87: 179-184.
- Fahay, M. P. (1983) Guide to the early stages of marine fishes occurring in the Western North Atlantic Ocean, Cape Hatteras to the Southern Scotian Shelf. Journal of Northwest Atlantic Fishery Science, 4: 3-423.
- Inuoe, J. G., M. Miya, K. Tsukamoto and M. Nishida (2004) Mitogenomic evidence for the monophyly of elopomorph fishes (Teleostei) and the evolutionary origin of the leptocephalus larva. Molecular Phylogenetics and Evolution, 32(1): 274-286.
- Miller, M. J. (2009) Ecology of Anguilliform leptocephali: Remarkable transparent fish larvae of the ocean surface layer. Aqua-BioSci. Monogr. (ABSM), 2(4): 1-94.
- Moser, H. G., W. J. Richard, D. M. Cohen, M. P. Fahay, A. W. Kendall Jr and S. L. Richardson (eds) (1984) Ontogeny and systematics of fishes. Am. Soc. Ichthyol. Herpetol., spec. publ. 760 pp.
- Smith, D. G. (1979) Guide to the leptocephali (Elopiformes, Anguilliformes and Notacanthiformes). NOAA Tech. Rep. NMFS Circ., 424: iv + 1-39.
- Weitzman, S. H. and L. R. Parent, 2018 Dec. 17, Fish, Encyclopædia Britannica, inc., Encyclopædia Britannica (<https://www.britannica.com/animal/fish/Annotated-classification>), 2019/4/7.





臺灣的鰻魚放流

楊順德^{1*}、黃瀛生¹、李彥宏²、陳紫嫻²、劉富光³

¹ 行政院農業委員會水產試驗所淡水繁養殖研究中心

² 行政院農業委員會水產試驗所東港生技研究中心

³ 行政院農業委員會水產試驗所

摘要

日本鰻是包括臺灣在內的東亞地區重要經濟養殖魚種，由於尚未建立量產化人工繁殖技術，養殖所需之鰻苗概取自於野生苗，近年來捕獲的日本鰻鰻苗資源日趨減少，資源維護的議題也就日顯重要。鰻魚是兩側洄游的魚類，鰻苗溯河而棲息於淡水域或河口域，待生殖期成熟而降海產卵，因而放流鰻魚於天然水域被認為是增補鰻苗資源的合宜方法。水產試驗所自 1976 年起至 2017 年已陸續執行了 66 次的鰻魚放流，共計約 4.6 萬公斤、12 萬餘尾，本文介紹此長期放流工作的歷程演變、放流策略與流程、鰻魚放流的問題點、風險和效益，以及全球主要國家地區對鰻魚放流的研究現況與評估觀點，以做為日後持續放流鰻魚之省思與參考。

關鍵詞：日本鰻、放流計畫、鰻線增補

前言

日本鰻 (*Anguilla japonica*) 以往是臺灣養殖漁業產值最高的魚種，養殖盛期在 1990 年代，年產值曾達 5.6 億美元，佔當時日本市場一半以上的供應量；之後在 2011 年以前的養殖面積還有約 1,000—2,400 公頃，產量約 1—2 萬公噸，產值 2—3 億美元。因為鰻魚為迄今少數尚未達到量產繁殖的魚種，養殖所需鰻苗全賴天然捕獲，但近年來全球鰻苗的捕獲量遽減，資源量甚至有趨

於枯竭的現象 (Dekker et al., 2003; Tsukamoto et al., 2009)。臺灣也不例外，歷年的鰻苗捕獲量呈明顯下降，經常不足以供應養殖所需的量 (圖 1)，以最近的捕撈期為例，在 2017 年底至 2018 年初禁漁期止的捕撈量只有 1.1 公噸，而全東亞地區的日本鰻鰻線總量也僅有 20.3 公噸 (資料來源：鰻魚發展基金會)。鰻線資源量的不足以致每尾單價在 100 元以上，有時超過 200 元大關，養殖成本大幅增加，影響養殖戶放苗意願，甚至無苗可放，在 2017 年的放養面積已萎縮至 409 公頃 (漁業署，2018)，導致漁民和相關產業的收益大幅減少，嚴重影響鰻魚產業的發展。

* 通訊作者/50562 彰化縣鹿港鎮海埔里 106 號；
TEL: (04)7772175; FAX: (04)7775424;
E-mail: sdyang@mail.tfrin.gov.tw



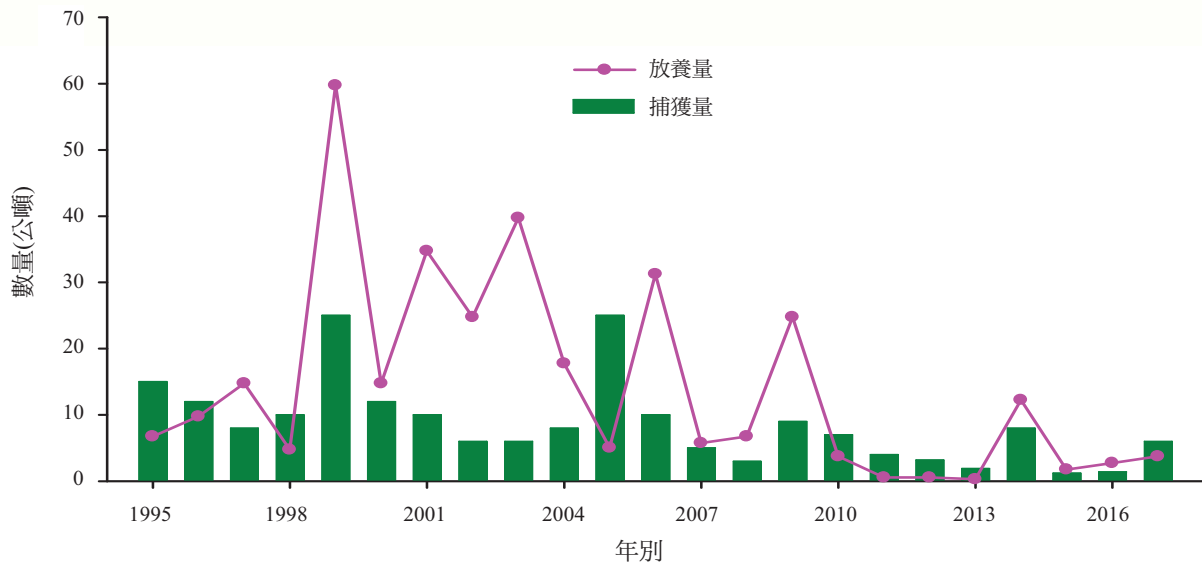


圖 1 臺灣 20 年來日本鰻苗捕獲量與放養量(資料來源：鰻魚發展基金會)

日本鰻棲息於河川、河口域或沿海，其中河水型鰻與河口型鰻共約佔 80% (Tsukamoto and Arai, 2001)，鰻魚歷經數年的成長，一旦成熟在秋天到早冬時節，洄游到西馬亞納南部的海山附近產卵，孵化後的仔魚隨北赤道洋流和黑潮的推送，進入臺灣、中國、日本和韓國等地的河口域 (塚本, 2012a)，漁民便在河口或沿岸捕捉俗稱鰻線或玻璃鰻的魚苗做為養殖之用。近年來鰻魚資源補充量的急驟減少，綜合學者專家的推測，這與鰻魚洄游的每個過程和環節都有相關，包括：(1)人為過度捕撈，東亞地區因興盛的鰻魚養殖而過度捕撈鰻線，據估計約有 44–75% 的鰻苗做為養殖之用 (曾等, 2012)，使得洄游至海洋生殖之成鰻數量大幅減少；(2)棲地遭到破壞，例如人工建設河堰、攔沙壩和水庫等造成鰻魚棲地的減少；(3)水域化學污染影響鰻魚的健康、代謝、成長、生殖和繁殖，導致野生鰻魚族

群量的減少或導致生殖族群品質不良；(4)氣候變遷和海洋大氣變化造成產卵場地的環境變動，這種海洋環境異動影響鰻魚的產卵洄游行為，並導致鰻魚幼生的餌料短缺 (井田, 2007; MacGregor et al., 2013)。

各國關於鰻魚資源減少所提出的主要復育對策大致包括資源現況調查、採取資源管理措施、鰻線捕捉的管理、鰻線流通量的透明化以及河川環境的改善等，例如在漁法、漁獲量與漁期的設限方面，制定野生鰻線與銀鰻的捕捉量及捕捉期間；另推動民間組織自主性強化資源保育觀念並徹底執行合理設限規定。在河川、河岸及沿岸棲地作連貫性的環境改善，以保護種鰻得以生息，增加降海洄游的數量，另外在水庫和堤堰設置魚道讓鰻線可向上洄游、種鰻降海洄游 (MacGregor et al., 2013; 高知縣, 2014)，換言之，對於鰻魚生活史的每個階段都儘可能全面保護。





此外，為使鰻魚資源能永續利用，增殖放流是各國長久以來的重要做法。早期在天然水域放流鰻線或稚鰻，是以增加天然資源的漁獲為目的，例如日本、加拿大以及芬蘭等幾個歐洲國家 (Welcomme et al., 1983; 廣瀨, 2001; MacGregor et al., 2013)。而近幾十年來的重點則是以增加種鰻數量為目的，潛在的好處是補充因各種原因死亡而減少的野生鰻數量，改善飽和棲地和低密度棲地的鰻魚雌雄比例，以期增加合適降海洄游種鰻數量 (Defra, 2010a)。在歐、美、日、加等國也都有放流鰻魚的活動和研究探討 (Pursiainen and Toivonen, 1982; 廣瀨, 2001; Defra 2010b; MacGregor et al., 2013)。

在臺灣，水產試驗所自 1976 年起至 2017 年已陸續執行了 66 次的鰻魚放流，共計約 4.6 萬公斤、12 萬餘尾 (圖 2)。此長期的放流工作，受到鰻魚發展基金會、鰻蝦生

產合作社聯合社及新竹縣生態休閒發展協會等民間團體的支持，也多次與地方政府協調，策劃放流宣導活動，透過地方人士參與，不僅容易吸引媒體關注，亦可宣示天然資源保育的重要性 (圖 3)；最近幾年，漁政單位也提供學術界研究資源，使其協助放流鰻魚的後續效益評估。這些做法對鰻魚資源保育已普獲臺、日養鰻業界之重視與肯定。



圖 3 種鰻放流宣導活動

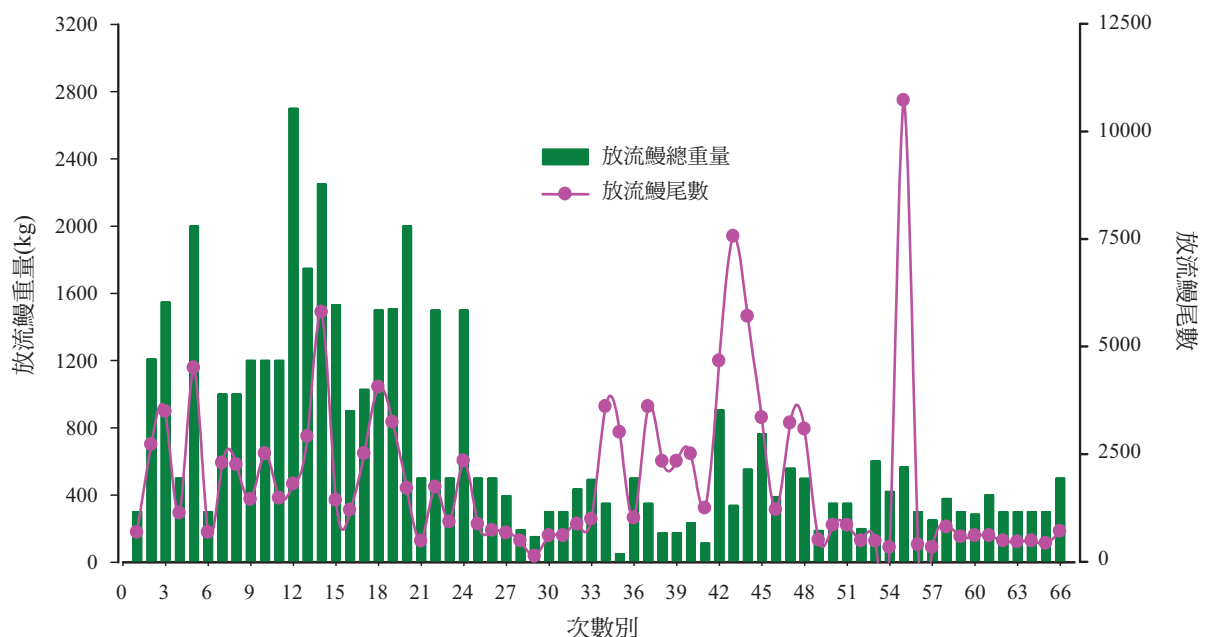


圖 2 水產試驗所歷年來放流鰻魚的次數與數量(統計至 2017 年)



臺灣鰻魚放流的階段性演變

臺灣的鰻魚放流工作迄今已執行 40 餘年，根據不同的條件考量和目的，劉 (2011) 大致將臺灣的鰻魚人工放流計畫分為三個階段，各階段的放流情形如表 1 所示，分別說明如下：

一、第 I 階段 (1976–2001 年)

日本的鰻魚研究專家松井魁由十幾年所採集到的柳葉型 (*leptocephalus*) 鰻魚幼生的地點，在 1968 年推測日本鰻的產卵場位於琉球列嶼的沖繩本島和宮古島東南東方的琉球海溝 (井田，2007)。而當時國內專家認為如果上述假說成立，那麼出現在臺灣西部河口域的鰻苗，可能來自於臺灣西南部琉球海溝附近的另一個產卵場 (曾等，2012)，本所據此自 1976–2001 年間，先後於上述小琉球海域 (東經 120°、北緯 22°) 以人工方式放流重約 1–2 尾/kg 的大體型鰻魚，且都經過激素催熟處理。此階段放流的鰻魚蓋以體外數字標記、剪尾鰭或微磁鐵金屬號碼標籤作標誌，共計放流 24 次、30,121 kg、約 52,542 尾。

二、第 II 階段 (1999–2003 年)

日本的鰻魚研究學者塚本教授在 1992 年的報告中指出，日本鰻的產卵場在北太平洋西側馬里亞納群島西方的北赤道洋流海域，亦即接近西馬里亞納海嶺周圍之海山 (14–16°N, 134–143°E) (Tsukamoto, 1992)，孵化後的柳葉型鰻苗會被動朝西漂游並經由北赤道洋流與黑潮洋流，分布至東亞之沿岸淡水河口。本所因而於 1999–2003 年另在前述海域執行鰻魚放流作業。此階段放流的鰻魚體型及標識方式與第 I 階段大致相同，共計放流 3 次、1,500 kg、約 2,261 尾種鰻；惟公海放流需耗費大量人力、物力且不易評估成效，因此，曾於 2003 年試著在大鵬灣放流 2 次，計 548 kg、790 尾的種鰻。

三、第 III 階段 (2005 年迄今)

如前節所述，日本鰻的產卵族群，可分為三個類型：(1)河水型鰻 (river eel)：長期在淡水成長者佔 23%；(2)河口型鰻 (estuarine eel)：主要棲息在河口或來往淡水與海水之間佔 57%；(3)海水型鰻 (sea eel)：在海水域完成整個生活史者佔 20% (Tsukamoto and Arai, 2001)。基於產業界對

表 1 歷年臺灣種鰻放流情形

階段	起迄年代	次數	放流數量		放流地點
			總重量(kg)	尾數	
I	1976-2001	24	30,121	52,542	小琉球海域
II	1999-2003	3	1,500	2,261	西馬里亞納海域
	2003	2	548	790	大鵬灣
III	2005 迄今	37	13,961	71,904	宜蘭河、頭前溪、鳳山溪、後龍溪、高屏溪等
合計		66	46,130	127,497	



於放流鰻魚多持正面的看法，本所自 2005 年 3 月起，多次召開鰻魚放流會議，根據上述研究的結果，即河水型及河口型鰻約佔 8 成以上之論點及與會學者專家之意見，而決定在鰻苗捕獲較多的河川如宜蘭縣宜蘭河、屏東縣高屏溪或有自主性護漁之河川，如苗栗縣後龍溪、新竹鳳山溪等處放流。

自 2005 年起均在河川放流，同時也考量幼鰻適應環境能力較成鰻強，且在適應環境後可在河域生長成黃鰻 (yellow eel)，故本階段放流鰻魚體型分為成鰻 (1–3 尾/kg) 和幼鰻 (50–80 尾/kg) 二種。除使用傳統標識方法外，為提升追蹤評估放流效果，另增加動物晶片及耳石螢光染色等二項較新的標識方式，並由臺灣大學漁科所協助評估放流效益。此階段迄今已放流鰻魚計 37 次、13,961 kg、約 71,904 尾的成鰻和幼鰻。

鰻魚放流策略與流程

放流策略與流程關係放流的成功與否，包括放流鰻的體型與健康程度、放流地點與時間、標識方法與流程及蓄養與運輸等，以確保魚隻在被放流後的活存，並預期提高鰻魚成熟後可降海洄游加入生殖群的數量。

一、放流體型與健康程度

放流鰻魚在全球各主要鰻魚生產國 (包括野外採捕者) 都在持續進行，放流體型由小到大都有，視放流目的而定；一般以幼鰻 (50 g 以下) 或大型種鰻 (500 g 以上) 為多，何者較為妥適則各有優缺點。放流幼鰻會比放流鰻線的折損率來得低，且被人類

圈養的時間不長，較成鰻更易適應野外環境 (塚本，2012b)；但幼鰻勢必溯河，上游是否有通暢的河道應列為第一考量，另若放流在人工湖或水庫也需考慮鰻魚成熟後的降海路徑是否受阻；而且加入生殖群的時間拉長，非短時間內能展現放流的成果 (張和陳，2004)。放流大體型成鰻雖較不易被天敵獵食，但延長養殖時間，不僅增加養殖風險，更會提高放流成本。另外亦可採行在不同地點放流不同體型鰻魚的方式，即放流幼鰻則以體型每尾在 20–50 g 較為妥適，並且對於成鰻放流同時也採取同樣的積極作為 (高知県，2014)；本所近十年來約放流 11 公噸的鰻魚，其中幼鰻約有 1 公噸、3 萬 7 千餘尾，餘為使用 2–3 年以上鰻魚，體重為 500 g 以上的成鰻計 10 公噸、5 萬 7 千餘尾。

放流的鰻魚必須維持良好的健康狀態，包括外觀形態、生理健康程度，甚至從血液生化學的觀點來檢測 (廣瀨，2001)。本所放流鰻魚來源係由自行養殖培育或是透過行政程序標購，依據政府『水產動物增殖放流限制及應遵行事項』之相關規定辦理。主要原則為：(1)活鰻外觀體色鮮明、健康、無病變、游泳力強；(2)不得摻有美洲鰻 (*Anguilla rostrata*) 或歐洲鰻 (*A. anguilla*) 等其它鰻種；(3)須檢測合格沒有非法使用的水產用藥如硝基呋喃類、孔雀綠及氯黴素等藥物殘留；(4)標識放流前先蓄養於水池中以為適應，並便於觀察魚隻健康程度，以免放流鰻帶有病原，反而影響野生族群。



二、放流地點與時間

放流地點的選擇攸關到放流成效，在餌料豐富、掠食天敵少、水質條件穩定、人為障礙物少以及在低風險的環境放流，可提高放流鰻的活存、發育和降海。因此，必需在放流前進行各河川水域環境與棲地生態調查，以選擇海拔不超過 500 m 的適當放流地點，通常會以緩流、深瀨、深潭、濱溪植物相豐富和水量充裕的區域為優先考量，並考量經政府公告禁捕及有河川巡守隊巡護之處所為佳（圖 4）；水質條件建議 pH 為 5–8、溶氧量大於 2 ppm、氨濃度小於 0.2 ppm (Taylor, 2011)。此外，河川流域的污染情形會影響鰻魚的成長和生殖，國外研究顯示，有的河段區域污染超過水質基準，即使其他河段流域符合標準，仍有可能影響日後受精卵的胚胎發育 (ICES, 2016)。



圖 4 放流點察勘評估(鳳山溪關西渡船頭河段)(黃家富攝)

本所放流鰻魚的季節多為秋、冬季，主要是考量避開颱風季大量降水的沖刷，且放流成鰻能經過半年以上的環境適應後，在隔年或往後幾年得以成熟降海繁殖，而在日本的放流鰻魚時機點主要也是選在秋天，比較不會影響鰻魚的棲息生長（廣瀨，2001）。

三、標識方法與流程

有關放流鰻魚的標識方法在本刊已另有專章介紹，本所目前大量鰻魚放流常用的標識法有剪尾鰭、植晶片和經四環素 (oxytetracycline, OTC) 標識。至於標識流程則以多年累積經驗的標準作業方式為準則（圖 5），每一步驟由專人負責操作，務求在最短時間內標識完畢（圖 6），以運用最適的操作過程來降低預期存在的風險，如操作死亡或因外表皮膚受損導致二次感染等問題。



圖 5 標識作業流程



圖 6 分工合作在最短時間內完成標識作業

四、蓄養與運輸

經標識後的鰻魚先置於蓄養池集中蓄養，若未經蓄養或時間太短，鰻隻容易死亡且不耐搬運。蓄養時，藉由不斷的流水沖激排除分泌過多的黏液和雜質，剛抽取的地下水經充分曝氣，或是直接取用水質較穩定的池水。蓄養時程比照一般收穫成鰻的蓄養方





式約 1—3 天，如有必要可延至 1 星期。放流當日清晨將鰻魚裝入活魚運輸袋中，每袋裝鰻 10—15 kg，以最少的水加入適量碎冰，使水溫維持在 15°C 左右以降溫保定，灌滿氧氣加以密封，但溫度亦不宜過低，以免溫差過大易使魚體虛弱，甚或體表黏液受損、表皮凍傷。

鰻魚放流問題點、風險和效益

鰻魚放流的歷史早在一、二百年前即有紀錄，歐洲在 19 世紀中葉或更早，而日本則始於明治時代，均在開放的水域放流鰻魚，其目的不外是供作食用或養魚嗜好，直到近幾十年來才有以資源增殖為前提的鰻魚放流活動 (Dekker and Beaulaton, 2016; 廣瀨, 2001)，而臺灣於 1976 年開始實施以資源復育為目的的種鰻放流，較之其他國家並不算晚。關於鰻魚增殖放流成效的相關議題，學界看法頗有分歧 (塚本, 2012b)，茲引用 Dekker and Beaulaton (2016) 以法文為論文的抬頭標題：*Faire mieux que la nature?* (做得比自然好?)，其立論並未著眼於放流歐洲鰻的效益，亦非生物過程 (biological processes) 和經濟考量 (成長、活存、競爭及成本效益)，而是由歷史軌跡和有限的數據加以論證，其推論述及，容或鰻魚放流尚有許多待改善之處，但在歐洲某些地區當視為具有一定成效。

一、鰻魚放流的問題點

放流鰻魚是以增加來年的資源量為目標，所以主要的問題點在於這些放流鰻會否

以及如何影響資源量？對回復天然資源的效果有多大？這些問題同樣在其它放流魚種也受到質疑。另外，於河川放流鰻魚是否會影響野生族群，或是合理的放流數量為何，在未調查清楚該水域現存的資源量前，此問題也不易得到答案；更遑論探討有多少放流鰻在成熟後有多少機會能降海產卵，其中有的或許逸散到調查區域以外，或是被自然淘汰都有可能。在鰻魚放流相關研究較先進的歐洲，國際海洋探測委員會 (International Council for the Exploration of the Sea, ICES) 於 2016 的報告中指出，由於缺乏對照和模擬的工具，鰻線放流對區域性鰻魚資源可能有正面的效果，於大區域性的淨效益則不易求得；然而，ICES 也認為鰻魚放流是鰻魚資源管理計畫中所必要進行的科學活動。

即便鰻魚放流的經濟效益與其他魚類增殖放流一樣不易評估，但在這十餘年來全球天然鰻苗資源補充量不足之時，各主要產區國家仍持續加強放流工作，例如在日本多為民間漁協和各級政府合作執行，如於 2011 年執行「鰻供給安定化事業」計畫放流稚鰻，花費經費 600 萬日圓 (海部, 2013)，估計在 2011—2013 年間日本每年均放流 10 餘噸成鰻 (海部, 2018)。在臺灣，本所近年來每年均編列約百萬元預算執行鰻魚放流計畫，但受到鰻線價格的影響，可投放的數量和地點因而受限。另外，政府基於資源維護及國內產業發展考量，自 2007 年起管制鰻線、鰻苗及幼鰻在每年自 11 月至翌年 3 月不得出口，期間偶有緝獲走私鰻線，經培育後亦多已做為放流之用。



二、鰻魚放流的風險

鰻魚放流和其它魚類種苗放流一樣存在著一些可能的風險，主要包括：

(一) 可能降低遺傳多樣性

族群基因窄化是水產種苗放流常被質疑的問題，但依近年的研究顯示，日本鰻可被視為單一、逢機交配族群 (Han et al., 2010; 張等, 2012)，而歐洲鰻和美洲鰻也有類似的發現，雖然這種說法經常受到挑戰，但基因分析顯示日本鰻、歐洲鰻和美洲鰻均分屬於各單一物種，甚至是各自唯一且相同的族群 (Deckker, 2016; MacGregor et al., 2013)。換言之，放流鰻魚應不致有影響遺傳多樣性的疑慮。

(二) 鰻魚異地放流可能干擾洄游行為

即便是均質種群 (homogenous population)，因為無法確認被放流鰻魚是否仍保有洄游印記 (migration imprinting)，若否，則可能影響放流效益。不過，Westerberg et al. (2014) 的研究發現天然生長的成鰻和人工放流者，在行為上並無差異，因此不認為需要有後續的移動路線印記才能定向產卵洄游。而在 2006 年一項歐洲鰻的標識放流研究發現，無論標識鰻或野生鰻，都在同年的秋天洄游到波羅的海出口 (Sjöberg et al., 2008)，這暗示著放流的歐洲鰻仍會穿越波羅的海游向馬尾藻海 (Sargasso sea) 的產卵場。最近，臺灣學者在日本鰻、鱸鰻、太平洋雙色鰻的放流研究也發現，放流鰻與野生鰻隨著黑潮游動的行為相同，因此對鰻魚放流持正面看法 (Chen et al., 2018)。

(三) 病原體和外來種的擴散

鰻魚特有的疾病和寄生蟲可能因異地放流而散播，或是影響到其他野生魚類發生病，如三代蟲等；另外，隨著鰻魚放流也有可能不慎引進非當地的外來種生物，以致衝擊原有的生態系。這些在歐洲和日本都曾案例 (ICES, 2016; 海部, 2013)，而臺灣尚無類此情形的研究報告。

(四) 放流區域鰻魚族群的性比受影響

鰻魚的性比與環境有關，通常在人工養殖環境下，成長較快的鰻隻其雄性比例極高 (Yoshikawa, 2013; Tzeng et al., 2002)，故放流人工養成鰻魚可能會影響族群的性比；然而，若非使用當年養成的鰻魚來放流，那麼在池超過 3 年的鰻魚其雌性比例就超過 5 成 (服部, 2018)，而本所無論是以自行培育或標購的放流鰻，其雌雄比約為 6 : 4。再者，現今有關鰻魚的性別決定及產卵族群生物量的最適性比尚未釐清，不過至少放流鰻魚可以人為篩選方式調控性比，其優點或許高過風險 (ICES, 2016)。

(五) 放流成長較差的個體

放流鰻魚有時取自私人養殖場，鰻魚養殖經常要篩選分池，成長較快的魚隻被當作食用，未達上市體型者繼續予以蓄養。因此，放流的鰻魚可能混摻到成長較差的個體，是否會影響到將來的生殖群則未可知；但這些鰻隻約有五成是所謂大器晚成型的雌鰻 (服部, 2018)，說不定有助於增加產卵洄游的孕卵雌鰻數量。

(六) 放流後鰻魚的適應和活存

放流後鰻魚之體重會有持續下降的現象，推測養殖的日本鰻在放流後可能是因為





仍在適應期階段，而不會進食或適逢低水溫期攝食量較少所致 (張等，2007)；在歐洲鰻也有類似的情形，Pedersen (2000) 指出野生鰻的活存率至少為 55%，而放流鰻則有 42%，且野生鰻體重為 363 g 而養殖的放流鰻較小為 285 g。爾後對於鰻魚標識後到放流前的保定研究，以及放流後的行為觀察，實有必要做較深入的記錄與探討。

三、放流效益

鰻魚增殖放流的重大爭議在於放流回收率偏低，以及放流數量跟天然資源增補量的變動相比顯得微不足道，而難以證明其成效 (Tzeng, 2016)，並且在大部分國家算是成功的案例不多。因此，有學者建議應謹慎評估放流的必要性，但以國外鰻魚放流的經驗，至少放流並無特別的負面效應，因此亦有學者主張放流活動應該持續 (Pursiainen and Toivonen, 1982)。

以歐陸為例，Tesch (2003) 認為在歐陸水域放流鰻魚對維繫減少中的天然資源有其必要性；而在丹麥、德國、瑞典、北愛爾蘭和愛沙尼亞等地湖泊，以及丹麥的淡水流域和沿海區域，放流鰻魚可增加黃鰻和銀鰻的數量 (ICES, 2016)。此外，Knights (2005) 探討在泰晤士河及其支流水域放流鰻魚的後續成效，發現整個水域都有放流鰻的逸散和族群量的增加，因此推測鰻魚放流有助於增加從泰晤士河流域游出的成鰻。在美洲鰻方面，美東地區黃鰻的豐度可能已減少到歷史低點，由於是單一逢機交配族群，某些特定區域的天然資源增補量未必然和該地成熟鰻魚的數量有關，但區域內如能供應相當

比例的種鰻，使之逸游到馬尾藻海的產卵場，會有助於鰻苗資源的增補 (MacGregor et al., 2013)。再者，歐盟理事會法規要求需有 35% 被捕獲的鰻線再放流到歐洲各水域，以回復歐洲鰻的天然資源量。在一項探討以放流為資源保育方式的研究中發現，在暖水域放流鰻魚可在三年後產生銀鰻，是潛在有效的資源管理工具 (Jellyman and Arai, 2016)。

經濟效益是人們對於水產動物增殖放流所關注的焦點，通常是根據野外調查結果求得放流魚的成長率、回收率、死亡率和單位產量之產值，按不同種類的放流量和投入的放流金額估算出產值及其收益，但鰻魚為大洋性生殖洄游的動物，其經濟效益不易由局部的調查結果來推算。Knights (2005) 曾試著估算放流歐洲鰻的經濟效益，以每年每平方公尺放流 1 尾鰻線，可增加泰晤士河流域 60% 的種鰻，這些可能大多為孕卵的雌鰻，每尾可生產超過 100 萬顆的卵，其價值每年預估超過 30 萬英鎊。在日本鰻方面，劉 (2014) 以 2013 年放流的成鰻 2160 尾，粗估有 5—7 成以上於放流後被捕抓或是自然死亡，估計剩下 3—5 成之鰻魚可順利降海洄游，再由前一年日本養殖新聞與中國鰻訊的資料顯示，亞洲的捕抓到鰻線總量約是 20 公噸 (約 1 億尾鰻線)，估計臺灣放流鰻對鰻苗之潛在貢獻度為 0.3—0.5%，以該次放流估算，約可增加 30—50 萬尾鰻線的天然資源，以平均每尾百元計算，可創造潛在產值達 3 千萬元以上。

增殖放流所產生的社會教育等邊際效



益往往被忽略，水產試驗所舉辦之鰻魚放流活動透過新聞發布（圖 7），可以引起全社會關注鰻魚產業、重視漁業資源和珍惜得之不易的優質水產食用資材，而且透過大力宣傳政府為發展漁業資源永續利用而進行的放流活動，亦可提高漁民對有限漁業資源的保護意識，減緩濫捕和過漁。



圖 7 鰻魚放流相關新聞報導

結論與展望

鰻魚資源的復育是否能夠成功，和河川的整治、棲地保護、污染源的 control 及減低漁獲強度有密切的關聯，但不可否認的，鰻魚放流始終是資源復育的重要一環。因為在天

然水域放流（圖 8、9）被認為是有助於回復鰻魚資源的有效方式，水產試驗所在臺灣水域放流鰻魚已近半個世紀，儘管目前由天然鰻線的增補量似乎無法直接反映出人工放流鰻魚的效果，但由於日本鰻和其他重要的鰻鱺科魚種一樣為逢機交配族群，故唯有透過分布區域的國家，如臺灣、日本、中國和韓國等通力合作，才能有效提昇和推展鰻魚放流的實質效益。在放流效益評估方面，目前相關知識基礎的積累相當不足，例如鰻線增補量、天然死亡率及放流對增加降海產卵銀鰻數量的探討等，都有待進一步的研究。再者，鰻魚標識放流前後的生理學和行為學研究等方面，也需要有更深入的觀察和分析，才能對鰻魚放流做更科學化的效益評估。



圖 8 2012 年於宜蘭縣宜蘭河進行鰻魚放流



圖 9 2016 年於新竹縣鳳山溪下游進行鰻魚放流





參考文獻

- 井田徹治 (2007) 産卵場所の謎を追うウナギ地球環境を語る魚。岩波書店, 44-68。
- 海部健三 (2013) ウナギ放流が抱える課題—資源回復目的とした再出発が必要。養殖ビジネス, 629: 38-40。
- 海部健三 (2018) 2018 年漁期シラスウナギ採捕量の減少について その5より効果的な放流とは。 (<http://c-faculty.chuo-u.ac.jp/blog/kaifu/2018/02/26/2018年漁期-シラスウナギ採捕量の減少について>)
- 漁業署 (2018) 中華民國 106 年台閩地區漁業統計年報。行政院農業委員會漁業署(<https://www.fagov.tw/cht/PublicationsFishYear/index.aspx>)
- 高知県内水面漁場管理委員会 (2014) ニホンウナギの資源管理について。30 pp。
- 曾萬年、韓玉山、塚本勝巳、黒木真理 (2012) 尋找鰻魚的故鄉。鰻魚傳奇，蘭陽博物館，28-46。
- 張格銓、黃瀛生、張湧泉、劉富光 (2012) 台灣地區日本鰻鰻線之年內族群遺傳結構。水產研究, 20(1): 51-59。
- 張賜玲、陳紫嫻 (2004) 鰻魚資源復育人工放流鰻魚之省思。水試專訊, 8: 7-12。
- 張賜玲、林世賓、謝介士、鄭新鴻、劉富光、陳紫嫻、蘇茂森、曾萬年、蘇偉成 (2007) 養殖日本鰻野放後之適應行為探討。水產研究, 15(2): 33-42。
- 塚本勝巳 (2012a) ウナギ資源保線全のために何をすべきか？世界で一番詳しいウナギの話，飛鳥新宿社，244-279。
- 塚本勝巳 (2012b) 資源と保全。ウナギ大回遊の謎，PHP 研究所，213-232。
- 服部克也 (2018) 養殖ウナギの雌から見たウナギの姿—一定比率の雌を含む放流魚養成するには？アクアット, 239: 38-42。
- 劉富光 (2006) 台灣鰻魚養殖的過去、現況與展望。鰻魚養殖之健康管理，水產試驗所特刊第 8 號，7-12。
- 劉富光 (2011) 回顧臺灣的鰻魚放流。水試專訊, 36: 21-25。
- 劉富光 (2014) 台灣放流鰻對鰻苗潛在貢獻度為 0.5%。環境資訊中心網頁資料(<https://e-info.org.tw/node/99559>)
- 廣瀬慶二 (2001) うなぎを増やす。成山堂書店, 144 pp。
- Chen, S. C., C. R. Chang and Y. S. Han (2018) Seaward migration routes of indigenous eels, *Anguilla japonica*, *A. marmorata*, and *A. bicolor pacifica*, via satellite tags. Zoological Studies, 57: 21 doi:10.6620/ZS.2018.57-21.
- Defra (2010a) Eel management plans for the United Kingdom-Scotland River Basin District. (<http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20130403021521/http://archive.defra.gov.uk/foodfarm/fisheries/documents/fisheries/emp/scotland.pdf>)
- Defra (2010b) Eel management plans for the United Kingdom-Thames River Basin District. (<http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20130403021227/http://archive.defra.gov.uk/foodfarm/fisheries/documents/fisheries/emp/thames.pdf>)
- Dekker W. and L. Beaulaton (2016) Faire mieux que la nature-the history of eel restocking in Europe. Environment and History, 22: 255-300.
- Dekker, W., J. M. Casselman, D. K. Cairns, K. Tsukamoto and D. Jellyman (2003) Worldwide decline of eel resources necessitates immediate action: Quebec declaration of concern. Fisheries, 28: 28-30.
- Han, Y. S., C. L. Hung, Y. F. Liao and W. N. Tzeng (2010) Population genetic structure of the Japanese eel *Anguilla japonica*: panmixia at spatial and temporal scales. Mar. Ecol. Prog. Ser., 401: 221-232.
- Haxton (2013) Recovery strategy for the American eel (*Anguilla rostrata*) in Ontario. Ontario Recovery Strategy Series. Prepared for Ontario Ministry of Natural Resources, Peterborough, Ontario, 119 pp.
- ICES (2018) Report of the Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eels (WGEEL), 3-10 October 2017, Kavala, Greece. ICES CM 2017/ACOM: 15. 99 pp.
- ICES (International Council for the Exploration of the Sea) (2016) Report of the Workshop on Eel Stocking



- (WKSTOCKEEL), 20-24 June 2016, Toomebridge, Northern Ireland, UK. ICES CM 2016/SSGEPD: 21.
- Jellyman, D. J. and T. Arai (2016) Juvenile eels: upstream migration and habitat use. *In* Biology and Ecology of Anguillid Eels, T. Arai (ed.), CRC Press, Taylor & Francis Group, 143-170.
- Knights, B. (2005) A review of the status of eel populations in the River Thames and its tributaries. Report to Environment Agency Thames Region Fisheries, Hatfield, Herts, England.
- MacGregor, R., J. Casselman, L. Greig, J. Dettmers, W. A. Allen, L. McDermott and T. Haxton (2013) Recovery strategy for the American eel (*Anguilla rostrata*) in Ontario. Ontario Recovery Strategy Series. Prepared for Ontario Ministry of Natural Resources, Peterborough, Ontario, 119 pp.
- Pedersen, M. I. (2000) Long-term survival and growth of stocked eels *Anguilla anguilla* (L.) in a small eutrophic Lake. *DANA: a journal of fisheries and marine research*, 12: 71-76.
- Pursiainen, M. and J. Toivonen (1982) The enhancement of eel stocks in Finland; a review of introduction and stockings. *In* The symposium on stock enhancement in the management of freshwater fish, Budapest, 31 May-2 June 1982, EIFAC-FAO.1, 68-77.
- Rindom, S., J. Tomkiewicz, P. Munk, K. Aarestrup, T. Damm Als, M. I. Pedersen and C. Graver (2014) Eels in culture, fisheries and science in Denmark. *In* K. Tsukamoto and M. Kuroki (eds.), *Eels and Humans*, Springer Japan, 41-60.
- Sjöberg, N. B., H. Wickström and E. Petersson (2008) Bidrar den omflyttade ålen till lekbeståndet i Sargassohavet? Blankålmärkning kan ge svaret. Slutrapport från pilotprojekt till Fonden för fiskets utveckling, Dnr: 231-0721-05, 43 (in Swedish).
- Taylor, A. A. (2011) Stocking European eels (*Anguilla anguilla*). Environmental Agency, eel manual GEHO0211BTMX-E-E, Bristol, UK., 31 pp.
- Tsukamoto, K. (1992) Discovery of the spawning area for the Japanese eel. *Marine Ecology Progress Series*, 220: 265-276.
- Tsukamoto, K. and T. Arai (2001) Facultative catadromy of the eel *Anguilla japonica* between freshwater and seawater habitats. *Nature*, 356: 789-791.
- Tsukamoto, K., J. Aoyama and M. J. Miller (2009) Present status of the Japanese eel: resources and recent research. *In* Eels at the edge (Casselman J and Cairns D, eds.). American Fisheries Society Symposium, 58: 21-35.
- Tsukamoto, K., S. Chow, T. Otake, H. Kurogi, N. Mochioka, M. J. Miller, J. Aoyama, S. Kimura, S. Watanabe, T. Yoshinaga, A. Shinoda, M. Kuroki, M. Oya1, T. Watanabe, K. Hata, S. Ijiri, Y. Kazeto, K. Nomura and H. Tanaka (2011) Oceanic spawning ecology of freshwater eels in the western North Pacific. *Nature Communications*, DOI: 10.1038/ncomms1174.
- Tzeng, W. N. (2016) Fisheries, stocks decline and conservation of Anguillid eel. *In* Biology and Ecology of Anguillid Eels, T. Arai (ed.), CRC Press, Taylor & Francis Group, 291-324.
- Tzeng, W. N., Y. S. Han and J. T. He (2002) Sex ratio and growth strategy of wild and captive Japanese eels. *In* Developments in understanding fish growth (B. Small and D. MacKinlay, eds.), Symp. Proc. Int. Congr. Biol. Fish., Vancouver, Canada, 25-42.
- van den Thillart, G. E. E. J. M. (2014) European eels: Dutch fisheries, culture and eel migration. *In* K. Tsukamoto and M. Kuroki (eds.), *Eels and Humans*, Springer Japan, 61-74.
- Welcomme, R. L., C. C. Kohler and W. R. Courtenay Jr (1983) Stock enhancement in the management of freshwater fisheries: a European perspective. *Nor. Am. J. Fish. Manage.*, 3: 265-275.
- Westerberg, H., N. Sjöberg, I. Lagenfelt, K. Aarestrup and D. Righton (2014) Behaviour of stocked and naturally recruited European eels during migration. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 496: 145-157.
- Yoshikawa, M. (2013) Sex differences in growth rates of early life stage Japanese eels *Anguilla japonica* under experimental conditions. *J. Fish Biol.*, 83: 588-597.



鰻魚放流與標識方法之探討

周爰瑱^{1*}、韓玉山²、黃瀛生³

¹ 行政院農業委員會水產試驗所東部海洋生物研究中心

² 國立臺灣大學漁業科學研究所

³ 行政院農業委員會水產試驗所淡水繁養殖研究中心

摘要

日本鰻是水產養殖的重要魚種之一，然而目前養殖所需的大量鰻苗仍然依賴天然捕撈，成為養殖產業的重大瓶頸，而人工增殖放流，為增加降海種鰻的手段之一，進而可以增加天然鰻線的數量，而放流效益評估則有賴於鰻魚標識，本文即探討鰻魚的標識方法及其進展。本所自 1976 年開始執行鰻魚的人工放流計畫，並自 2013 年與臺灣大學團隊合作選定臺灣宜蘭縣宜蘭河，以及新竹縣鳳山溪，進行日本鰻的標識放流，並追蹤野放後之鰻魚之生活史動態與降海洄游情形，結果發現，放流種鰻於放流後 1–2 個月內會集中在河口區，造成回收高峰幾乎集中在前 2 個月，放流鰻於放流後可適應野外環境，且降海洄游之策略與野生成鰻相似。另外，利用衛星標識放流，最長追蹤日本鰻長達 60 天，發現日本鰻於產卵洄游時 80% 棲息於溫度低於 24.5°C 之水域，且棲息溫差小於 8.5°C，並推測日本鰻之產卵洄游深度受到最小溫度的限制。

關鍵字：日本鰻、上浮式衛星標籤、洄游

前言

鰻鱺屬 (*Anguilla*) 鰻魚現生物種含亞種共有 19 種，分布在熱帶地區至溫帶地區，除南北美洲太平洋沿岸、南大西洋南美洲及非洲沿岸以外，東太平洋、大洋洲、印度洋、地中海、北歐及波羅的海等均有其生存的蹤跡 (Ege, 1939; Tesch, 2003; Watanabe et al., 2009)。

鰻魚屬降海產卵 (catadromous) 的魚類，於海洋中繁殖之後，其幼生經由洋流推送至沿岸、河口、河流及湖泊內生長，Schmidt 在 1920 年代發現歐洲鰻 (*Anguilla anguilla*) 的天然繁殖場是位於加勒比海的馬尾藻海 (Sargasso Sea)，並且經由墨西哥灣暖流 (Gulf Stream) 及北大西洋洋流 (North Atlantic Current) 將其幼生推送至數千公里外的歐洲 (Tesch, 2003)，Tsukamoto (1992) 發現日本鰻 (*A. japonica*) 產卵場在北太平洋馬里亞納群島附近之駿河海山，其幼生經由北赤道洋流朝西漂游、再由

* 通訊作者/96143 臺東縣成功鎮五權路 22 號;
TEL: (089)850090; FAX: (089)850092;
E-mail: ytchou@mail.tfrin.gov.tw



鄂克曼海流及黑潮往北推送至東亞各國沿岸。鰻魚幼生從出生地漂流到成長棲地的距離遙遠而耗費時日，且為適應洋流推送而演化出透明扁平形狀的柳葉期幼生 (leptocephalus) (Smith, 1989; Pfeiler, 1999; Miller and Tsukamoto, 2004)。柳葉期幼生在接近河口時，變態為玻璃鰻 (glass eel)，然後經由淡水的吸引，往河川上溯，在河川中成長，直到成熟後再降海產卵結束一生。

1980 年後，全球氣候變遷造成海溫升高 (Bonhommeau et al., 2008)、聖嬰現象 (Kimura et al., 1994; Zenimoto et al., 2009)、人為因素如棲息地破壞、生存水域受污染或濫捕等諸多因素，鰻魚資源不斷下降，國際自然保護聯盟瀕危物種紅皮書 (IUCN Red List) 已經將歐洲鰻列為極度瀕危物種 (critically endangered)，美洲鰻 (*A. rostrata*) 及日本鰻亦列為瀕危物種 (endangered)，且將其他 12 種可作為替代食用物種的鰻魚列入近危物種 (near threatened)，如果列為極度瀕危的鰻魚，產出國無法提供有效管理鰻魚資源的方法及證據，將會被華盛頓公約 (CITES) 列入禁止貿易物種，對臺灣鰻魚產業將造成巨大的影響。

鰻魚養殖需依賴天然捕獲鰻苗，在鰻魚人工繁殖可量產鰻苗之前，資源復育與維續相形重要，尤其是鰻魚人工放流在歐美國家行之有年，而放流效益評估則有賴於鰻魚標識。近十年來，隨著彈脫型衛星標識器 (Pop-up satellite archival tag, PSAT) 之演進研發，現已運用於大洋性魚類及海洋哺乳類

生態習性及洄游路徑探討，衛星標識器可記錄海洋環境溫度及深度資料，配合光照度資料，可進一步推估地理位置。種鰻之產卵洄游特徵及產卵場之海洋環境因子，一直是鰻魚人工繁養殖重要的一環，標識放流結果可提供種鰻洄游時之海洋環境資訊，進一步了解種鰻環境調控及催熟機制，有助於人工繁殖技術之確立，進而達成鰻魚資源復育之目標。

臺灣鰻魚人工放流

一、標識放流鰻魚的方法

水產試驗所自 1976 年基於鰻魚放流對鰻苗天然資源的培育具有其正面效益的概念，開始執行鰻魚的人工放流計畫。早期先催熟後直接海放，自 2003 年起採用增加河口與淡水棲地中鰻魚資源量的策略，依鰻魚的生態習性，適度的放流大型成鰻，以期能依其生理需要，盡快進行降海產卵並適度的放流幼鰻期能增加河川鰻魚資源量，以增加未來降海產卵的種鰻數量。

人工放流種苗是補充資源最直接的方式 (劉，2011)，而標識鰻魚可用於研究其族群動態、洄游路徑、資源評估等。為了研究鰻魚特殊的生活史，科學家曾用不同的方法來標識鰻魚，例如在個別魚體表或體內以標籤或晶片來加以區分、用浸泡方式在身體或耳石染色、在體表刺青染色或是剪鰭等。以下介紹各種主要標識的差異性及其運用，詳細的方法及優缺點如表 1 所示。

(一) 人工標籤法





在魚體表或體內打上標識，如塑膠標籤（圖 1）、微電子晶片（圖 2、3）、鐵環等物品，作為個體辨識之用。主要應用於黃鰻 (yellow eel) 或是銀鰻 (silver eel) 等大型個體上，幼生或幼鰻因體型小而無法置入。

(二) 體表破壞法

在魚體表上刺青、剪除一部分的尾鰭或胸鰭或是利用硝酸銀溶液、液態氮在皮膚上標識，主要用在幼鰻以上個體，鰻線太小而

無法應用。

(三) 浸泡藥劑法

將魚體浸泡於可染色的藥劑中（圖 4），例如俾斯麥棕 (bismarck brown) 或是羥四環素 (oxytetracycline)，依照不同之藥理作用，可以將藥劑染於體表、肌肉或是骨骼上來作為與野生鰻的區別，但是染色的個體間無法詳細區分，此方法在所有時期的鰻魚均可應用。

表 1 各種標識鰻魚的方法

標識類別	標 識 法	適用位置	適用體型	優 點	缺 點
人工標籤	塑膠標籤	體表	黃鰻、銀鰻	外觀標記、分辨個體	易脫落、侵入性
人工標籤	鐵環	體表	黃鰻、銀鰻	外觀標記、分辨個體	易脫落
人工標籤	微電子晶片	腹腔、皮下	黃鰻、銀鰻	分辨個體、不易脫落	價格稍貴、侵入性
人工標籤	無線電發報器	腹腔	黃鰻、銀鰻	不需重複捕捉	時效短價格貴、侵入性
人工標籤	GPS 發報器	體表	銀鰻	不需重複捕捉	時效短、價格貴、易脫落
體表破壞	剪鰭	體表	黃鰻、銀鰻	外觀標記	易感染
體表破壞	硝酸銀	體表	黃鰻、銀鰻	外觀標記、分辨個體	時效短、易消褪
體表破壞	刺青	體表	黃鰻、銀鰻	外觀標記、分辨個體	時效短、易消褪
體表破壞	液態氮	體表	黃鰻、銀鰻	外觀標記、分辨個體	時效短、易模糊
浸泡藥劑	色素染劑	體表、肌肉	各種體型	外觀標記	時效短、會退色
浸泡藥劑	羥四環素	耳石	各種體型	大量標記	辨識標記需犧牲魚隻
浸泡藥劑	茜素	耳石	各種體型	大量標記	辨識標記需犧牲魚隻



圖 1 塑膠標籤植入鰻魚背部肌肉





圖 2 微電子晶片外觀



圖 3 皮下植入微電子晶片後的魚體表外觀

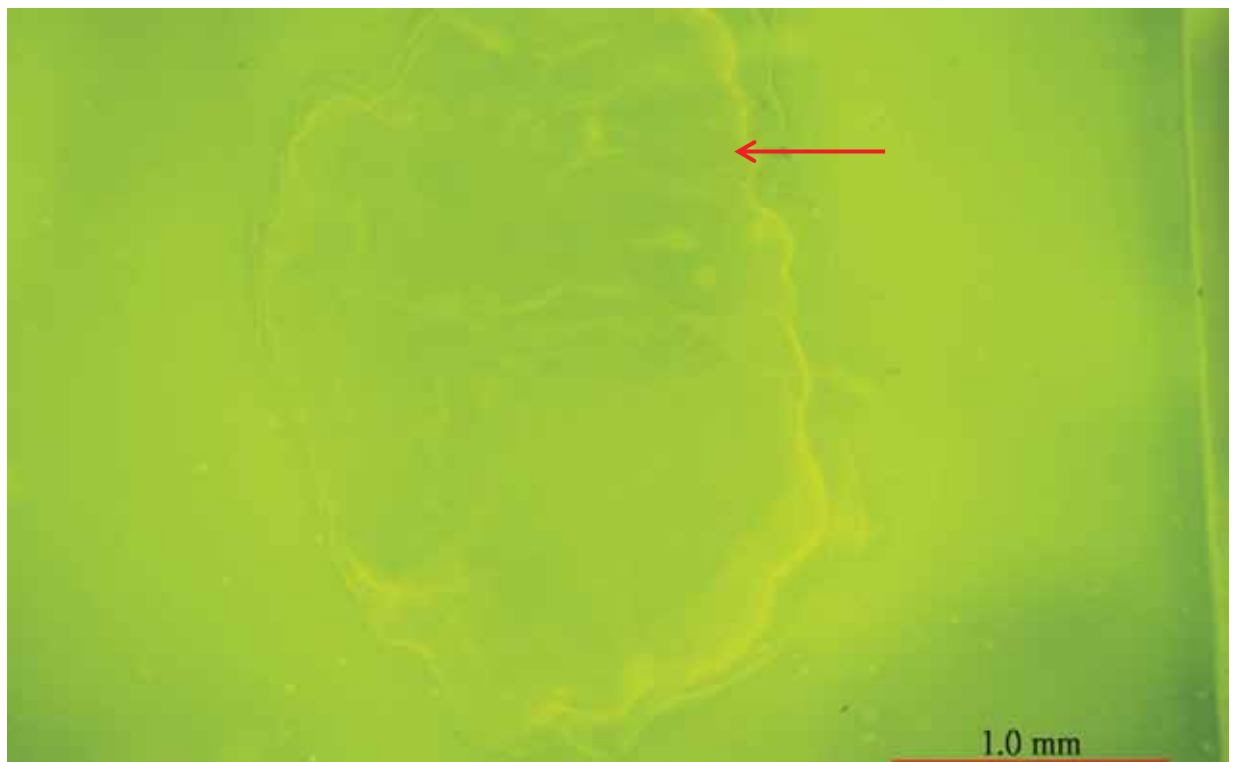


圖 4 鰻魚耳石經四環素染色(放流於 2011 年鳳山溪的幼鰻，於 2013 年捕獲)





Fries (1965) 用 9 種不同染劑將玻璃鰻染色，並認為俾斯麥棕可以用來研究玻璃鰻的近岸洄游路線，這種染料可以讓玻璃鰻染色 6 天以上，並藉由再捕來研究玻璃鰻洄游路徑 (Nielsen, 1988)。Dekker (1986) 利用經四環素標識研究，評估荷蘭多個地區的鰻線採捕量差異，發現標識 1 週後，可於耳石上留下清楚標記，並且認為此標識法可應用於較大鰻魚。Tzeng (1984) 利用螢光染料研究新北市雙溪玻璃鰻上溯洄游動態，總重複捕獲率約為 47%，此標記方式並沒有造成魚體損傷。

二、近年鰻魚增殖放流作業

以水產試驗所於近年內的鰻魚放流為例，在 2013 年度總共放流成鰻 2,160 尾，之後在放流的河川中採樣，共採集野生鰻 303 尾，放流鰻 36 尾（雌 23 隻、雄 13 隻），宜蘭河回收到的成鰻共 24 尾，其中有晶片的有 9 尾，回收率為 2.8%、頭前溪及鳳山溪所回收到的鰻魚總共有 3 尾，回收率為 0.36%，而高屏溪回收到的鰻魚有 9 尾，其回收率為 1.9%。於放流後被捕抓或是自然死亡約佔 5—7 成，最後順利降海洄游約佔 3—5 成。

2014 年度種鰻放流作業，原訂於宜蘭新城溪進行放流作業，經實地考察，發現新城溪河段之中上游有工廠及農田水利會攔水設施，會將溪水引入後再由大排水溝排出，冬季如遇豐水期則水源較充沛，尚有多餘河水流入新城溪下游河道中，但春夏季若逢枯水期間，溪水幾乎全引入大排供灌溉之用，導致新城溪下游河道呈現長期枯竭狀

態，不利於鰻魚生存與遷徙，因此經綜合考量後將地點更換回宜蘭河。

2015 年延續計畫，持續調查鳳山溪、高屏流域中的日本鰻資源量，2016 年於 10 月 25 日至 11 月 08 日進行日本鰻種鰻放流工作，施放地點為宜蘭河中游與河口處，宜蘭河流域共放流 558 尾，總重量 385 kg。10 月 26 日於鳳山溪麻園生態公園與寶石橋進行日本鰻種鰻放流工作，鳳山溪流域共放流 471 尾，總重量 315 kg，放流後定期於麻園生態園區與寶石橋之上下游以電魚法進行採集，採集調查的範圍增加為原本調查距離之 3—5 倍，由回收之晶片標號紀錄，了解放流種鰻的移動路徑，自 2015 年放流開始至年底共進行了 5 次採樣調查，日期與採集結果如下：11 月 2 日於寶石橋往上游約 100 m 的河岸，發現 1 尾已經腐爛且遭到啃食的銀化日本鰻，沒辦法以晶片掃描的方式確認，但透過體態來判斷應該是放流種鰻。11 月 8 日於麻園生態園區捕獲 3 尾放流種鰻，同日於寶石橋沿岸也捕獲 5 尾放流種鰻，都以晶片掃描確認無誤並原處放生。11 月 24 日無捕獲紀錄。12 月 5 日於寶石橋沿岸捕獲 1 尾放流種鰻，以晶片掃描確認無誤後原處放流。12 月 26 日無捕獲紀錄。自放流開始至 2016 年結束，共計 10 尾，而 2017 年 4 月及 5 月的採集調查都無捕獲紀錄，整體而言放流回收率約為 2%。

高屏流域於 10 月 25 日至 11 月 8 日期間作業共放流 455 尾，總重量 208 kg。高屏溪放流後請當地漁民協助，於雙園大橋下設置蛇籠採集鰻魚，採集之鰻魚送至實驗室



進行基本形質量測與晶片掃描，至 4 月 30 日止共捕獲日本鰻 111 尾，都沒掃描到晶片。造成高屏溪回收率極低的因素，可能是放流位置與捕捉位置相差太遠、地形阻隔或由於高屏溪下游河口廣闊，造成放流的日本鰻不易被捕獲。

鰻魚遷徙洄游動態

一、鰻魚產卵洄游研究

隨著彈脫型衛星標識器 (Pop-up satellite archival tag, PSAT) 之演進研發，現亦已運用於大洋性魚類及海洋哺乳類生態習性及洄游路徑之探討，科學家曾經利用浮上式衛星標識器 (PSAT)，追蹤歐洲鰻或紐西蘭大鰻的降海洄游行為 (Aarestrup et al., 2009; Jellyman and Tsukamoto, 2010)。標識器本體搭載了溫度及壓力感應器（可轉換為水深）以記錄被標識個體棲息的水溫與深度，更搭配了光度感應器來解析地理位置，以描繪其洄游路徑。Righton 所主持之歐盟鰻魚資源調查大型研究計畫，發現歐洲鰻每年 10—12 月開始降海，歷經 5,000—10,000 km 之洄游，抵達位於馬尾藻海之產卵場，歐洲鰻降海洄游時，棲息深度範圍為水深 200—1,000 m 之間，棲息環境水溫範圍介於 0—11°C，在產卵洄游的期間進行規律性的日夜垂直洄游。由於 2—5 月下旬可採集到小於 5 mm 的仔魚，因此推斷降海洄游行為介於 80—170 天之間完成，但此理論未能證實，因該團隊追蹤歐洲鰻長達 6 個月後，仍未能追蹤其至產卵場 (Righton

et al., 2016)。日本的研究團隊自 2008 年以後，也數次在日本近海進行日本鰻的衛星標識，追蹤銀鰻如何從陸地河川回到馬里亞納島西側的產卵場 (Manabe et al., 2011)。然而，由於衛星追蹤器大多過早脫離，追蹤日數太短，其降海產卵的洄游路線仍然是個謎。

鰻魚的魚體細長，體表無磷，因此衛星追蹤器易提前脫離，造成記錄時間過短，因此標識技術的良莠為影響鰻魚標識放流成效最重要之一環，本所因此進而研發特殊之鰻魚衛星標識器標識放流方式。

二、彈脫型衛星標識器種類

(一) 上脫型衛星記錄標識器 (PSAT)

上脫型衛星記錄標識器為 Microwave Telemetry (MT) (圖 5) 製造之 Tiny next generation archival Pop-up tag (X-Tag) 適用於中小型魚類，標體長度 32 mm，主體長度為 12 cm，重量 40 g，可承受深度達 3,500 m。感應器元件運作溫度範圍 -4—40°C (標識器記錄誤差為 0.03°C)，深度範圍 0—1,296 m，最大光照靈敏度為 $4 \times 10^{-5} \text{Lux}@555\text{nm}$ 標識器尾，籤體可發射符合 ARGOS 規範之衛星訊號，操作頻率 $401.650 \text{ MHz} \pm 36 \text{ kHz}$ ，發送間隔 45—120 秒。端鼻錐處設有緊急釋放裝置—電解分離鏈接環，倘若達到其中一項彈脫條件，其環狀針腳便會發出電能，緩緩溶斷（腐蝕）與碳纖維之間的連接，使標識器從魚體脫離上浮至海水表面（錨定裝置依然與魚體保持連接）。

(二) 存活標識記錄器 (SPAT)

存活標識記錄器 (圖 6) 為 Wildlife





Computers 製造，標體長度 38 mm，主體長度為 12.4 cm，重量 60 g，標識器在追蹤器植入魚體內 30 天後會自動脫離，並浮至水面上將資料發送至衛星。其具有偵測裝置來確認追蹤生物狀況，若包含以下三種情形，標識器會脫離魚體並上浮至水面：標識器下沉深度超過海平面 1,700 m；標識器連續 24 小時飄浮在水面上；標識器超過 24 小時停留在一定深度 (+/- 2 m)。另追蹤裝置具有光感受器，可以偵測白天或黑夜，因此，若此偵測器沒有晝夜輪替，代表被標識魚類可能已被捕食，標識器在獵食者的腸胃道內。除此外追蹤器可偵測周遭水溫及深度，以判別追蹤器是否被沖上海岸或被捕獲。

(三) 標記報告標識器 (Mark Report PAT, mrPAT)

標記報告標識器 (圖 7) 為一種小型的追蹤裝置，標體長度 23 mm，主體長度為 12.1 cm，重量 31 g、水滴型。主要用來追蹤大範圍的魚群移動情形，其追蹤魚群數量多、使用過程簡單、效率高。當追蹤器標識至於體身上時，過一段時間後，標識器會脫離魚體並上浮至海水面，發射衛星訊號，記錄於電腦中，操作頻率為 401.678 MHz。此追蹤器的電池具有平衡裝置，可在海水中保持其穩定性。

三、彈脫型衛星標識器標識方法

隨著標識器的改良已經越來越的研究開始使用標識器進行生物追蹤，但標識器及手術對生物體造成的影響的研究仍相當闕如，本所測試以下四種不同之標放手術在室內於 0、3、12、36 及 57 小時分別觀察及錄



圖 5
上脫型衛星
記錄標識器
X-Tag



圖 6
存活標識記錄器(SPAT)



圖 7
標記報告標識器(mr PAT)

影 10 分鐘，待 3 天後將石塊及水管置入蓄養池中，以模擬天然的環境，並持續觀察其後續衛星標連接情形及傷口癒合狀況，並於 1 個月後觀察測量體長體重等數值，以了解標識手術後其成長率之變化，並於野外進行實地試驗。

(一) Jellyman and Tsukamoto 標識法

本方法適用於體型較大之鰻魚，為紐西蘭 Jellyman 博士與日本 Tsukamoto 博士首次研發 (Jellyman and Tsukamoto, 2011)，應用於紐西蘭特有種長鰭鰻魚 (*A. dieffenbachii*) 之標識方式，首先準備 3 個圓型的塑膠片及有墊片之圓形鐵圈 3 個，塑膠片的功能為固定標識器，而圓形鐵圈則為保護魚體。準備完成後在圓形之塑膠片上面鑽孔，其中兩面塑膠片及圓形墊片用來固定在鰻魚身體的兩側，另一片置於鰻魚背部，



用來固定衛星標識器。固定方式是透過兩根空心的針頭植入鰻魚背部兩側的肌肉，尼龍線穿過其中一側之塑膠圓片及空心針頭後，於鰻魚背部與衛星標識器連接，接下來穿過另一側之空心針頭、塑膠圓片及圓形鐵圈後，將所有之空心針頭移除，之後將鐵線拉緊並用鉛扣在鰻魚身體兩側以圓形結固定，並剪除多餘的線材（圖 8）。

(二) Økland 標識法

本方法需要準備兩個硬質塑膠板（ $10 \times 45 \times 2$ mm），將這兩個硬質塑膠板分別置於鰻魚兩側，為減少硬質塑膠板傷害魚體皮膚，在塑膠板及魚體之間放置厚度約 4 mm 之矽膠墊，以減少標識器與皮膚產生磨擦。將兩個空心針頭植入鰻魚背部後，以不鏽鋼絲穿過空心針頭，並將空心針頭移除，並拉緊不鏽鋼絲後固定，最後切除多餘的線材。本標識法之優點為不易脫落（Økland et al., 2013），但對鰻魚的肌肉傷害較大，若是應用於鮭魚等具有鱗片之標識物種則效果極佳。

(三) Westerberg 標識法

本標識法為 Westerberg 博士研究開發，應用鰻魚皮膚韌性極強的特性，無須穿透鰻魚肌肉（Økland et al., 2013）。本方法使用於鰻魚身上設置三個連接點的方式減少標識器掉落之機會，雖然在自然環境中水阻仍將集中於同一個連接點，但如果第一連接點鬆脫，第二連接點同時已經有足夠之時間使術後之傷口癒合，因此可有效降低鬆脫機率，若第二連接點亦鬆脫，則仍有第三連接點與標識器相連。首先準備一條長度為 25 mm 直徑為 0.8 mm 之鐵絲，在兩端分別旋轉為垂直及水平的環並以熱塑管包覆中間的部分，尼龍繩一端與標識器連接，另一端穿過垂直之圓圈並以熱塑管固定為圓形環，三根中空針頭水平的植入鰻魚背部皮膚下層，再將直徑 0.8 mm 之鐵絲穿過空心針頭，之後移除所有之中空針頭，靠近頭部之鐵絲穿過尼龍繩圓形環後固定，第二條穿過水平之環後將鐵絲固定，第三條鐵絲則穿過垂直之圓圈後固定。

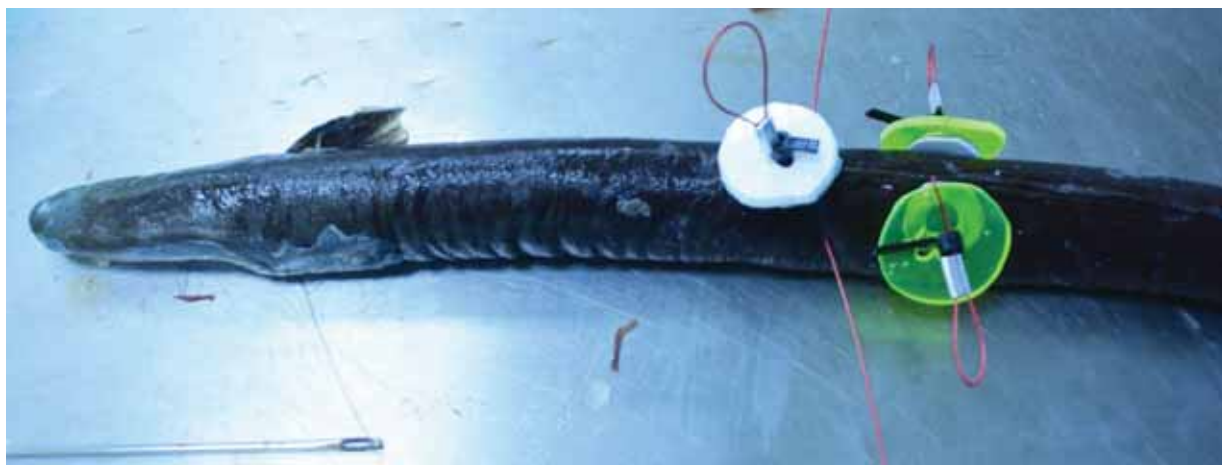


圖 8 Jellyman 與 Tsukamoto 標識法





(四) 本所標識法

本所將 Jellyman and Tsukamoto 標識法之使用圓形鐵圈固定的方式結合 Westerberg 標識法穿過皮膚下層的連結方式，並增加擾流環以減少擾流。結果發現，混合 Westerberg 標識法及 Jellyman and Tsukamoto 標識法之方式來進行標放對鰻魚影響最小，但因該標識法手術時間較久，建議搭配 2-苯氧乙醇，並使用 650 ppm 作為麻醉劑劑量及麻醉時間不得超過 10 分鐘，可達最佳之麻醉效果。

四、鰻魚遷徙動態研究及成果

本所東部海洋生物研究中心分別以 mrPAT、sPAT、X-Tag 及 Highrate X-Tag 於 2016—2017 年標放 6 尾之人工催熟鰻魚，標放彈脫設定為 30、60 天及 8 個月，當符合彈脫條件時，標識器即彈脫於水面，並可透過衛星下載包含地理位置、海溫等資料，該資料與同時區之溫鹽深儀資料進行比對，發現由成功外海放流之鰻魚游泳深度於 50—225 m 之間，並有 80% 之機率棲息於

水溫低於 24°C 之水域，其中 1 尾的鰻魚追蹤達 3 日，由記錄顯示出鰻魚有日夜垂直洄游的行為；2016 年追蹤另一尾日本鰻長達 60 天，發現日本鰻於產卵洄游時，80% 棲息於溫度低於 24.5°C 之水域，且棲息溫差小於 8.5°C，並推測日本鰻之產卵洄游深度受到最小溫度的限制（圖 9）。

結語

標識放流鰻魚時，標籤遺失或是造成鰻魚出現異常行為，仍是目前需要克服的困難，主要的原因是鰻魚的生理構造與生態習性跟其他魚類不同。標識鰻魚是個試誤實驗 (try and error)，有很多標識方法會對成長產生負面影響。但因為資訊與科技的進步，早期的方法可以現代科技取代，為了解開鰻魚生態之謎及資源管理目的，放流及標識是必須且持續的，而標識方法研究及改進可使後繼研究者不會再因錯誤的標識方法而減少不必要的犧牲。

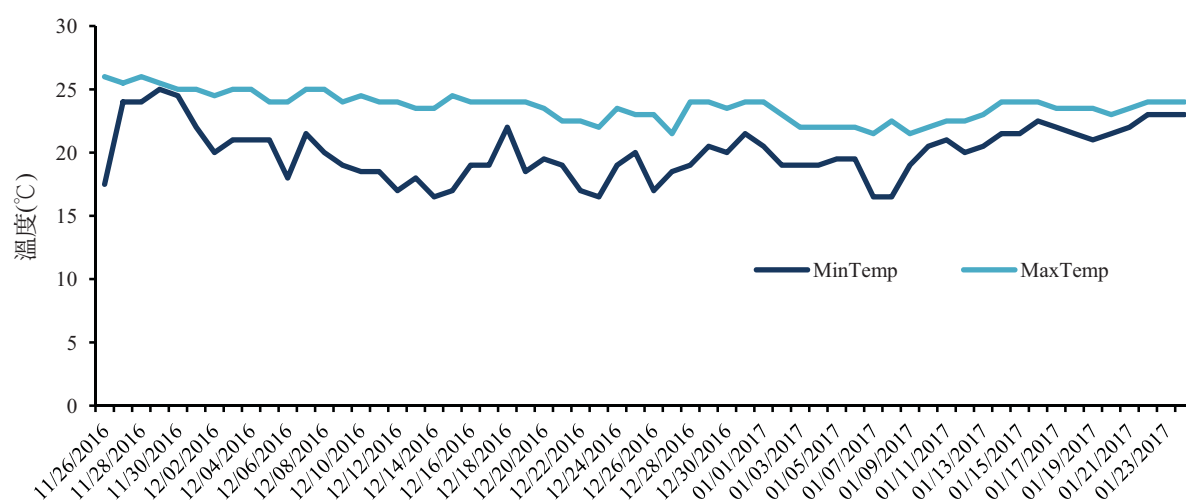


圖 9 日本鰻洄游 60 天之環境溫度變化



參考文獻

劉富光 (2011) 回顧臺灣的鰻魚放流。水試專訊, 36: 21-25。

Aarestrup, K., A. Koed, S. Pedersen and F. Økland (2009) Escapement and progression rate of European silver eel bypassing a hydroelectric power station. *Fish. Manag. Ecol.*, 254: 149-156.

Bonhommeau, S., E. Chassot, and E. Rivot (2008) Fluctuations in European eel (*Anguilla anguilla*) recruitment resulting from environmental changes in the Sargasso Sea. *Fish. Oceanogr.*, 17: 32-44.

Dekker, W. (1986) Age reading of European eels using tetracycline labelled otoliths. *International Council for the Exploration of the Sea C. M. 1986/M: 16*, 14 pp.

Ege, V. (1939) A revision of the genus *Anguilla* Shaw, a systematic, phylogenetic and geographical study. *Dana Report*, 16: 1-256.

Fries, G. (1965) Färbungsversuche an Glasaalen für Markierungszwecke. *Arch. fish.-Wiissensch. Dtsch.*, 15(3): 165-178.

Jellyman, D. and K. Tsukamoto (2010) Vertical migrations may control maturation in migrating female *Anguilla dieffenbachii*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 404: 241-247.

Kimura, S., K. Tsukamoto and T. Sugimoto (1994) A model for the larval migration of the Japanese eel - roles of the trade winds and salinity front. *Mar. Biol.*, 119: 185-190.

Manabe, R., J. Aoyama, K. Watanabe, M. Kawai, M. J. Miller and K. Tsukamoto (2011) First observations of the oceanic migration of Japanese eel, from pop-up archival transmitting tags. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 437: 229-240.

Miller, M. J. and K. Tsukamoto (2004) An Introduction to Leptocephali: Biology and Identification. *Ocean Res. Inst., Univ. Tokyo, Oceanogr.*, 17: 32-44.

Nielsen, J. (1988) Marking and tagging methods applied to eel, *Anguilla anguilla* (L.). European Inland Fisheries Advisory Commission occasional

paper 21, FAO, Rome, p. 24.

Økland, F., E. B. Thorstad, H. Westerberg, K. Aarestrup and J. D. Metcalfe (2013) Development and testing of attachment methods for pop-up satellite archival transmitters in European eel. *Anim. Biotelemetry*, 1: 3. (<http://www.animalbiotelemetry.com/content/1/1/3>)

Pfeiler, E. (1999) Developmental physiology of elopomorph leptocephali. *Comp. Biochem. Physiol.*, A123: 113-128.

Righton, D., H. Westerberg, E. Feunteun, F. Økland and P. Gargan (2016) Empirical observations of the spawning migration of European eels: The long and dangerous road to the Sargasso Sea. *Sci. Adv.*, 2: e1501694.

Smith, D. G. (1989) Introduction to leptocephali. *In* *Fishes of the Western North Atlantic. Leptocephali. Part 9, Vol. 2.* (E. B. Böhlke, ed.), *Sears Foundation for Marine Research, New Haven*, 657-668.

Tesch, F. W. (2003) *The eel.* Blackwell Science, Oxford UK, 408 pp.

Tsukamoto, K. (1992) Discovery of the spawning area for Japanese eel. *Nature*, 356: 789-791.

Tzeng, W. N. (1984) Dispersal and upstream migration of marked anguillid eel, *Anguilla japonica*, elvers in the estuary of the Shuang River, Taiwan. *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr.*, No. 45.

Watanabe, S. J. (2003) Taxonomy of the freshwater eels, genus *Anguilla* Schrank, 1798. *In* *Eel Biology* (K. Aida, K. Tsukamoto and K. Yamauchi, eds.), Springer, Tokyo, 3-18.

Watanabe, S., J. Aoyama and K. Tsukamoto (2009) A new species of freshwater eel *Anguilla luzonensis* (Teleostei: Anguillidae) from Luzon Island of the Philippines. *Fish. Sci.*, 75: 387-392.

Zenimoto K, T. Kitagawa, S. Miyazaki, T. Sasai, H. Sasaki and S. Kimura (2009) The effects of seasonal and interannual variability of oceanic structure in the western Pacific North Equatorial Current on larval transport of the Japanese eel *Anguilla japonica*. *J. Fish Biol.*, 74: 1878-1890.



日本鰻增殖放流之效益評估

韓玉山*

國立臺灣大學漁業科學研究所

摘要

鑑於日本鰻 (*Anguilla japonica*) 天然資源銳減，日本環境省於 2013 年將其指定為瀕危物種，2014 年國際自然保護聯盟組織 (IUCN) 也把日本鰻與美洲鰻 (*A. rostrata*) 列入紅皮書的瀕危物種，臺灣林務局更在 2017 年把日本鰻列入臺灣淡水魚紅皮書的極度瀕危物種。但是在龐大的產業利益之前，資源管理的工作舉步維艱。水產試驗所放流鰻來源為天然採捕之鰻苗養殖而成，因此並無一般放流魚種的近親繁殖問題；此外，因日本鰻僅有一個單一族群，因此放流活動亦無污染基因池之問題。臺日中韓與歐洲每年皆有進行鰻魚放流工作，若以 1,000 尾種鰻 (母) 計算，合理假設有 10% 可成功洄游至產卵場產卵，每尾母鰻至少可生下 150 萬顆以上的卵，保守推估至少會有 1 億顆以上受精卵。

關鍵詞：日本鰻、增殖放流、效益評估

前言

鰻魚屬於鰻鱺科 (Anguillidae)，鰻鱺屬 (*Anguilla*)，是陸海之間的洄游性魚類。全世界總共有 19 種及亞種。臺灣地區最常見為日本鰻 (*A. japonica*) 及鱸鰻 (*A. marmorata*)，而太平洋雙色鰻 (*A. bicolor pacifica*) 為熱帶品種，臺灣位於其分布邊緣，因此數量不多 (韓, 2013)，另外於 2009 年發現一新種呂宋鰻 *A. luzonensis* (又名黃氏鰻, *A. haungi*) (Teng et al., 2009, Watanabe

et al., 2009)，臺灣很少見。此外，臺灣亦曾發現西里伯斯鰻 (Tzeng and Tabeta 1983; 本實驗室，未發表)，但在臺灣極為罕見。其中日本鰻僅有一個單一族群 (Han et al., 2010)，成年後經過變態的銀鰻，會離開原先棲息的河川或是河口域，花費半年左右時間，游過 3,000 km 以上，最後到達馬里亞納海脊西側海域附近進行繁殖之後便死亡 (Tsukamoto, 2006)，而孵化出來的柳葉鰻會從產卵場，順著北赤道洋流往西漂送，到了菲律賓東方海域之後，往北漂送進入黑潮，途經臺灣、中國、韓國及日本的大陸棚水域，歷經 4—6 個月變態為玻璃鰻後，進入河口域 (Han, 2011)。

* 通訊作者/10617 臺北市大安區羅斯福路 4 段 1 號；TEL:(02)33663726；FAX:(02)33669449；E-mail: yshan@ntu.edu.tw



日本鰻是亞洲水產養殖的重要魚種之一，而商業化之人工繁殖技術尚未建立，因此大量鰻苗在河口被捕撈以供養殖所需。根據統計，亞洲地區現今的日本鰻資源量相較於 1970 年代而言，估計低於當時的 10% (Han et al., 2009, Chen et al., 2014)。鰻魚資源量大幅下降的原因推測與棲地惡化、過度捕撈及全球氣候變遷等因素有關 (Bonhommeau et al., 2008; Han et al., 2009; Zenimoto et al., 2009; Chen et al., 2014)。近數十年來，東亞各國經濟飛速成長，導致河川與河口域受到嚴重的破壞，例如濕地填平、河岸水泥化、水壩、堰、港口等開發，以及河川污染如工業廢水、農業廢水，以及河川上游引水導致中下游基流量不足等等，均會減少鰻魚之有效天然棲地，筆者認為棲息地之破壞應是鰻魚資源量大幅下降的主因。因此，要有效恢復鰻魚資源量，首要之務是重新找回鰻魚之棲息地。近十餘年來，因鰻魚市場供不應求，導致東亞各國大量捕撈鰻苗，鰻苗開發率極高，再加上自然死亡率，鰻苗能順利上溯到河川的比例非常有限，導致天然鰻魚補充量日益減少。此外，由於民間相信野生鰻魚為滋補上品，亦增加了漁民對野生成鰻的捕捉誘因，導致能夠進行產卵洄游的種鰻數量很低，加劇了鰻魚資源量的下降。除亞洲的日本鰻外，歐洲地區的歐洲鰻 (*A. anguilla*) 及美洲地區的美洲鰻 (*A. rostrata*) 亦同樣面臨資源量快速減少的困境 (Dekker, 2004)。以歐洲鰻為例，在 1980 年代中期加入到歐洲各河口的鰻苗資源量，僅為全盛時期的 10%，近年來更降到 1%，未來有瀕臨絕種

的可能。因此，歐洲鰻於 2007 年第 14 屆 CITES 締約國大會決議中，被列入附錄二物種，2009 年 3 月 CITES 貿易管理生效，歐盟科學組織認為，因無法判定出口不影響鰻魚資源的存續，建議歐盟不予核發出口許可證，因此自 2010 年 1 月起，歐盟決議除舊庫存外，禁止輸出歐洲鰻至歐盟以外地區。國際自然保護聯盟組織 (IUCN) 並於 2010 年將歐洲鰻列為紅皮書極度瀕危物種。2003 年國際海洋探測委員會 (ICES) 在歐洲大陸規定，針對捕捉之野生銀鰻，必須流放 40% 的漁獲量，以確保有足夠的親魚降海繁殖下一代。2007 年更進一步透過歐盟法規，建立鰻魚資源管理框架，目標是至少流放 40% 以上捕獲之鰻苗與降海種鰻，以確保河川天然鰻魚資源量。

鑑於日本鰻天然資源銳減，日本環境省於 2013 年將其指定為瀕危物種。2014 年 IUCN 也把日本鰻與美洲鰻列入紅皮書瀕危物種，臺灣林務局更在 2017 年把日本鰻列入臺灣淡水魚紅皮書極度瀕危物種。科學界早已對日本鰻資源提出預警，但是言者諄諄，聽者藐藐，在龐大的產業利益之前，資源管理工作仍然舉步維艱。雖然 IUCN 紅皮書本身不具有法律約束力，但是在每 3 年集會 1 次的瀕危野生動植物種國際貿易公約 (CITES，又名華盛頓公約) 會議中，歐盟於 2016 年 4 月寄給 CITES 的公開信中提出要求，應積極調查與評估現有鰻魚屬之資源量與貿易現況，作為下屆 (2019 年) 提案與否之參考。公開信指出，臺灣、日本、中國、韓國等國共同同意的日本鰻資源管理措施





並不完善，且走私問題嚴重，所以具有公信力的研究及調查是必要的。附錄二物種的出口，必須檢附非違法捕獲（也就是合法捕撈來源）以及此輸出不危害此物種存續之證明文件。而在 2019 年 CITES 年會中，則決議持續針對鰻魚屬之資源量與貿易狀況進行資料收集，作為下屆是否將日本鰻與其他鰻種列入附錄二物種之參考。2016–2017 年，東亞地區日本鰻鰻苗總捕撈量達 62 公噸（臺灣 5 公噸）。然而，2017–2018 年日本鰻鰻苗產量呈現崩落，2017 年 11–12 月臺灣的總捕撈量居然未滿 100 kg，為史上前所未見。2018–2019 年，東亞地區日本鰻鰻苗產量繼續下滑，臺灣及東亞的鰻苗本年總捕撈量，臺灣約 2.5 公噸，東亞地區約 21 公噸，創下歷史次低（前次歷史新低是 2012–2013 年之 20 公噸）。日本鰻鰻苗每年來游量雖然變動很大，但都在一定的下降軌道區間內。以鰻魚的生活史來看，每年秋冬時種鰻會進行降海洄游產卵，日本鰻必須在河川累積足夠的能量，才能成功洄游產卵，因此河川棲地品質的好壞，對日本鰻來說非常重要的。然而，水壩、攔沙壩、河岸水泥化、河水被抽走做為農業工業和民生用及河川污染等，皆嚴重影響日本鰻的遷徙、覓食和生存。筆者近年利用衛星遙測技術，分析過去 40 年間，東亞地區日本鰻河川棲地的長期變遷，研究結果發現，日本鰻棲地被破壞情形非常嚴重，至少削減 7 成以上。沒有種鰻，就沒有下一代，這是鰻魚資源量長期下降的主要原因。筆者曾經一再公開呼籲，鰻苗資源長期來看還是處於衰退態勢，若不採

取有效對策，在 10 年內將面臨無魚可捕的困境。

行政院農業委員會自 2013 年起，公告全國鰻苗捕撈漁期管制規定，捕撈許可時間訂為 11 月初至隔年 2 月底共 4 個月，希望讓部分鰻苗能夠上溯到河川中長大。另各縣市政府亦陸續公告轄內指定河川，禁止使用任何方式採捕體長 8 cm 以上之鰻魚，讓野生鰻與放流鰻能夠順利降海產卵。這些措施是鰻魚資源永續利用最直接、迅速可見效果的作法。然而，雖然臺灣管制日本鰻鰻苗出口，但實際執行效果不彰，大多數的早期苗仍走私出口至日本。究其根本，皆導因於鰻苗資源嚴重不足所致。因此，如何管理與復育日本鰻的資源，為臺灣及東亞鰻魚產業永續發展的關鍵。

鰻魚人工增殖放流

鰻魚資源復育除管制鰻魚的捕捉與棲地保護外，亦可藉由人工增殖放流，在環境容量負載範圍內，有效增加鰻魚資源量。以歐洲為例，早在 20 世紀初，德國、義大利及波蘭，都有鰻魚資源復育的紀錄。其復育方法大多野放鰻苗，但在地中海區域，也放流幼鰻（15–20 cm），其來源為野捕或養殖鰻。在臺灣，水產試驗所於 1976–2003 年間，於外海開放性水系完成了 27 次日本鰻的放流工作，其中包括 24 次的近海放流及 3 次公海放流，共計放流了 54,384 尾、31,621 kg 的種鰻。其方法為將養殖鰻進行催熟注射及標識後，再以船運輸至外海投放，但因塑膠



標籤深及肌肉，傷口在高鹽的海水中無法癒合，往往因滲透壓失調與感染問題，導致虛弱死亡，以致放流效果常被質疑，再者因開放性水系不易評估與追蹤，較難確定放流效果。故自 2003 年起，採用加強河口與淡水

棲地中鰻魚資源量的策略，依鰻魚的生態習性，適度放流幼鰻與大型種鰻，期望種鰻能依其生理需要盡快進行降海產卵。適度放流幼鰻則能增加河川鰻魚資源量及未來降海產卵的種鰻數量。自 2010 年以來（表 1），

表 1 水試所/漁業署 2010-2017 年鰻魚河川放流紀錄

放 流 日 期	重量(kg)	尾 數	放 流 地 點	放 流 單 位	備 註
2010.12.07	368	7,759	新竹縣鳳山溪	水試所	
2010.12.16	467	5,000	屏東縣高屏溪	水試所	
2010.12.23	560	3,500	宜蘭縣宜蘭河	水試所	
2011.05.24	387	1,200	宜蘭縣宜蘭河	漁業署	
2011.12.14	559	3,220	新竹縣鳳山溪	水試所	
2011.12.14	499	3,080	屏東縣高屏溪	水試所	
2012.04.22	188	496	宜蘭縣宜蘭河	漁業署	
2012.11.27	350	840	宜蘭縣宜蘭河	水試所	
2012.11.29	200	480	新竹縣鳳山溪	水試所	
2012.11.29	150	360	新竹縣頭前溪	水試所	
2012.11.29	200	480	屏東縣高屏溪	水試所	
2013.11.21	282	420	新竹縣鳳山溪	水試所	
2013.11.27	387	602	宜蘭縣宜蘭河	水試所	
2014.01.28		12,000	新竹縣鳳山溪麻園段	漁業署+水試所	鰻苗
2014.01.28		18,000	新竹縣鳳山溪義民大橋	漁業署+水試所	鰻苗
2014.01.28		30,000	宜蘭縣宜蘭河中央大橋上游	漁業署+水試所	鰻苗
2014.01.28		15,000	宜蘭縣宜蘭河中央大橋下游	漁業署+水試所	鰻苗
2014.01.28		53,000	宜蘭縣冬山河加禮遠橋	漁業署+水試所	鰻苗
2014.01.28		35,000	宜蘭縣冬山河利澤簡橋	漁業署+水試所	鰻苗
2014.06.04	565	10,715	宜蘭縣宜蘭河	水試所	
2014.06.04	300	390	屏東縣高屏溪	水試所	
2014.06.06	250	325	新竹縣鳳山溪	水試所	
2015.10.30	379	800	宜蘭縣宜蘭河	水試所	
2015.10.30	285	603	新竹縣鳳山溪	水試所	
2015.10.28	270	518	屏東縣高屏溪	水試所	
2016.10.25	385	558	宜蘭縣宜蘭河	水試所	
2016.10.26	315	471	新竹縣鳳山溪	水試所	
2016.10.25-11.08	208	455	屏東縣高屏溪	水試所	
2016.12.26		30,000	新北市雙溪	漁業署+水試所	鰻苗
2016.12.28		30,000	宜蘭縣宜蘭河	漁業署+水試所	鰻苗
2016.12.28		30,000	宜蘭縣冬山河	漁業署+水試所	鰻苗
2016.12.30		50,000	新竹縣鳳山溪	漁業署+水試所	鰻苗
2016.12.30		50,000	屏東縣高屏溪	漁業署+水試所	鰻苗
2017.11.20	521	733	宜蘭縣宜蘭河	水試所	
2017.11.20	230	331	新竹縣鳳山溪	水試所	
2017.11.10-11.16	312	450	屏東縣高屏溪	水試所	





本研究室開始參與日本鰻河川放流與效益評估之研究，由於放流鰻來源為天然採捕之鰻苗養殖而成，因此並無一般放流魚種的近親繁殖問題。此外，因日本鰻僅有一個單一族群，因此放流活動亦無污染基因池之問題。放流之成鰻多選擇 3 齡以上、500 g 左右之體型，多已達準備降海的銀鰻階段（圖 1），雌雄比約 3：2，放流地點主要集中在宜蘭河、鳳山溪和高屏溪中下游。成鰻標識方

法是利用植入微晶片及注射耳石螢光劑處理（圖 2），以方便回收辨識及分析。針對放流所作之效益評估發現，由於標識放流時，鰻魚剪尾後身體狀況回復較慢，在放流初期許多放流的鰻魚尚未適應野外環境，部分放流的鰻魚在注射及剪尾處有發炎潰爛現象，估計將提高其自然死亡率，故現已改為不剪尾，並加強傷口之消毒，減少放流後感染的問題。



圖 1 成長期的黃鰻(上)與準備降海的銀鰻(下)



植入微晶片



注射螢光劑



放流活動



放流活動

圖 2 日本鰻標識放流流程



增殖放流回收評估研究

由過去數年 (2010–2017) 的放流後回收評估資料顯示,放流回收率平均在 2% 左右,放流後初期 1 個月內有明顯之回收高峰 (圖 3), 放流 2 個月後回收鰻即快速減少, 推估原因有二: 一為放流初期鰻魚尚未適應天然環境, 遇到降雨時, 易隨著水流游到下游河口, 非常容易被河口大量之蛇籠捕捉, 尤其在宜蘭河與高屏溪, 實地勘察確實蛇籠遍布, 網具密度過高, 由歷年漁民回報消息推估, 大約一半以上之放流鰻會在短時間內遭到漁民大量捕捉, 極不利於鰻魚降海洄游, 將大大降低放流之成效。因此, 放流後必須加強宣導與執法, 避免漁民捕捉, 才能確實有效讓放流鰻降海產卵, 增加鰻苗資源量。例如, 在鳳山溪的調查活動中發現, 下游的點位常發現大型定置網, 幾乎橫越整條溪寬, 明顯是要一網打盡下溯之魚類與毛蟹, 過去調查時亦發現過壞掉的擋網存在, 表示一直有人在此處嘗試以攔住河川的方式捕魚, 對日本鰻的資源與降海洄游是一大威脅, 建議加強巡視取締非法漁法。二為放流鰻在河口適應一段時間後, 可能離開河口進行降海洄游, 因此消失於河口無法再回收。

少部分放流種鰻因可能未達降海銀鰻之沉態, 因此會滯留於河川中, 由回收資料統計得知, 在放流初期, 由於需要一段時間的適應期, 初期攝食效率很低, 因此體重有明顯減輕的情形 (圖 4), 約經過 3–4 個月後, 體重開始明顯恢復, 到 6 個月時可超過原來放流時之體重。回收鰻中亦發現, 有個

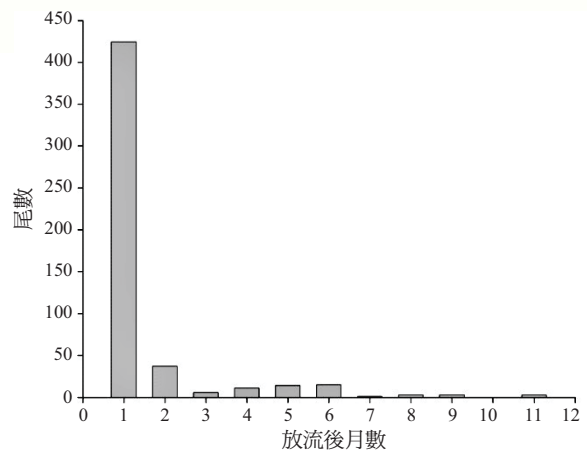


圖 3 2010-2017 年間種鰻放流(n=16882)後之平均回收統計, 放流鰻回收高峰多在放流後 1 個月內

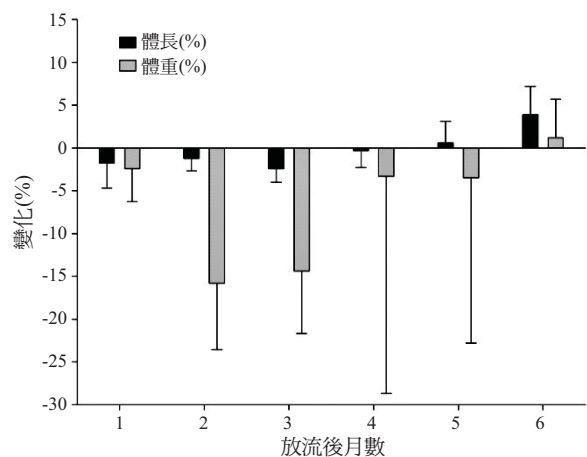


圖 4 種鰻放流後之體長與體重變化趨勢

體由放流前之黃鰻階段轉變成準備降海的銀鰻階段。放流鰻生殖腺與野生鰻發育情形是相似的, 兩者並無明顯區別 (圖 5)。此外, 鰻魚耳石中的鋇元素 (Strontium, Sr), 其濃度經以鈣濃度標準化後的鋇鈣比 (Sr : Ca ratio) 與水體鹽度具正向的關係, 因此由耳石鋇鈣比的時序列變化能重建該魚種在河海之間的洄游環境史。利用回收鰻鋇鈣比所得到的結果, 和過去野生鰻資料做比較可知, 放流鰻與野生鰻一樣, 同樣具有淡水型、河口型及遷徙型之棲地偏好 (圖 6)。



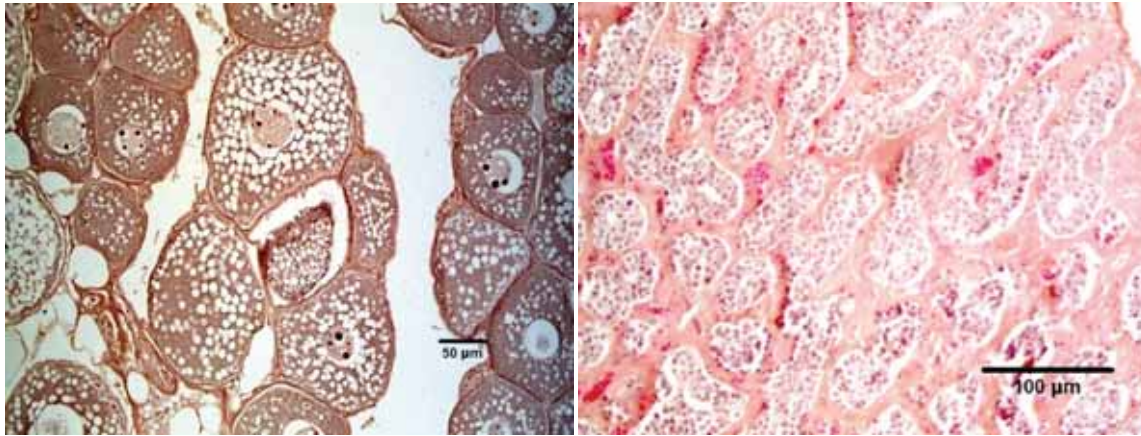


圖 5 種鰻放流後之生殖腺組織切片圖(左：母鰻；右：公鰻)

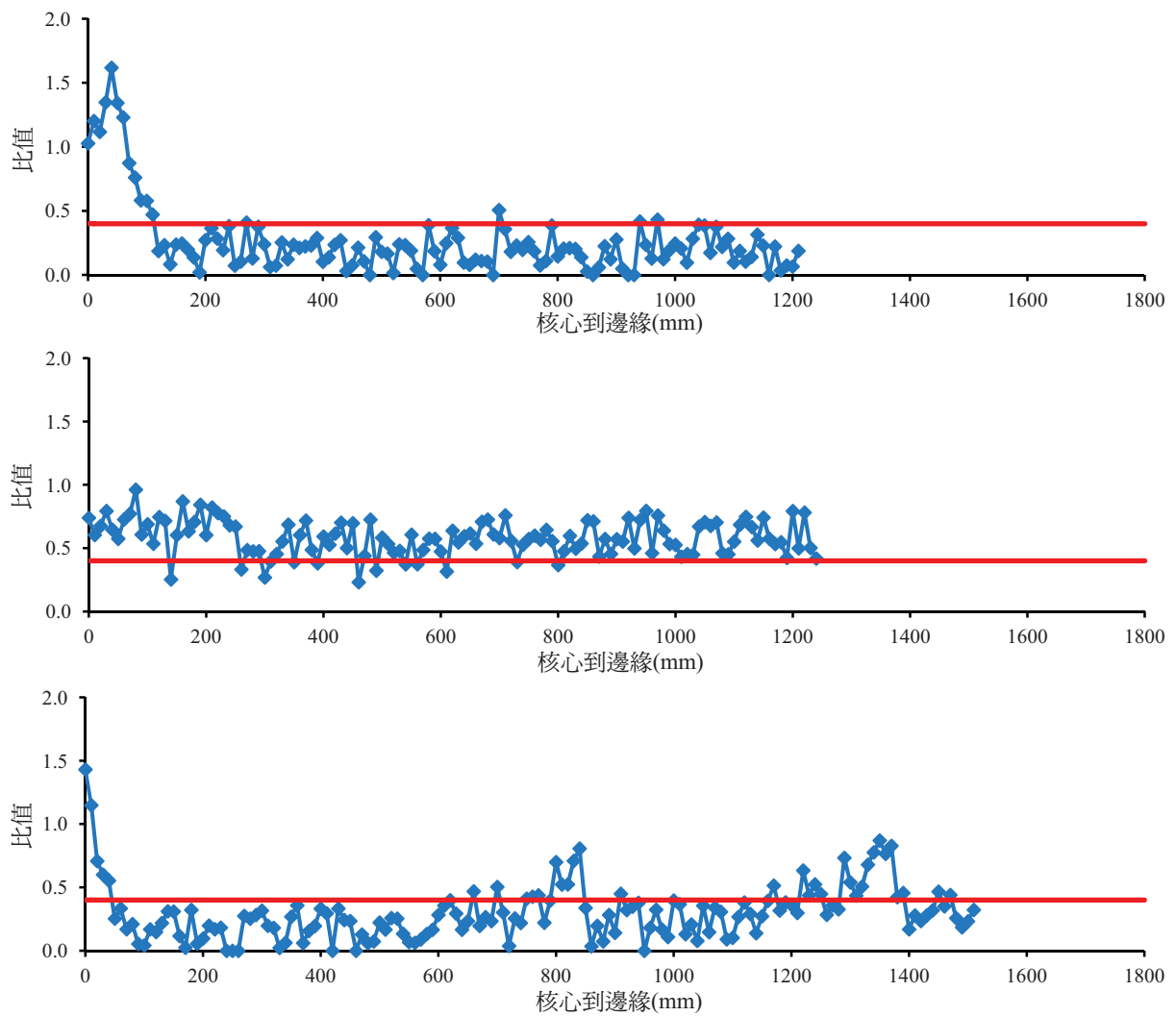


圖 6 放流種鰻之洄游環境史(上：淡水型；中：河口型；下：遷徙型)



為了進一步了解放流鰻之遷移動態，於 2013 年於宜蘭河進行日本鰻成鰻無線電標識放流之工作，體型為 2–2.1 尾/kg，以無線電標籤進行標識 30 尾。無線電標籤內含微小發報器、天線及電池模組 (Lotek Engineering, Newmarket, Ontario, Canada: NTC6-1, 重 2.8 g, 長 22.0 mm, 寬 9.0 mm, 尾部軟質天線長約 18 cm)，無線電發報單元每隔 5–7 秒發射一次訊號，電池使用壽命約為半年。其訊號由接收器 (Lotek Engineering, SRL-DX3) 接收時，除信號之強弱可作為實驗魚體與接受器所在位置相對距離遠近之判斷外，其訊號也另外包含個別標籤之識別號碼，可供作特定個體之辨識。無線電發報器植入鰻魚肛門前腹腔處，待傷口癒合後將標識魚放流至宜蘭河中游處，進行後續追蹤。追蹤方法係利用船筏，由河口駛向中上游，利用無線電接收器搜索訊號，標定每一隻實驗魚所在位置，並利用全球衛星定位系統 GPS 資料，記錄定位位置 (圖 7)。進行鰻魚遷徙行為動態分析，結果發現，大部分的放流鰻於放流後，很快往下游移動，此現象與野生鰻銀鰻之降海洄游習性相符。這些結果顯示，放流鰻在放流後 2 個月內，若能逃過漁具的捕捉，大部分應該能進行降海洄游，而滯留河川之少數個體，經數月之野外適應後，適應良好之個體能夠正常生長並銀化，也可望加入降海洄游群。

自 1990 年代，科學家即開始利用標識一再捕實驗研究銀鰻之遷徙動態 (Dekker et al., 2011)。在瑞典，所有進口之鰻苗放流

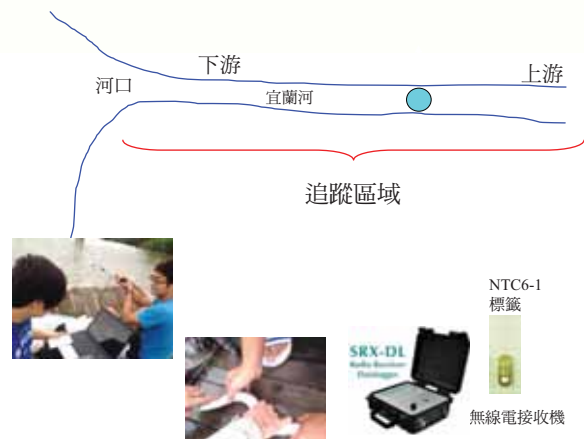


圖 7 利用無線電標籤進行種鰻之標識放流

前須經過檢疫，而放流之幼鰻 (1 g/尾) 也可成功長成銀鰻並開始遷徙 (Sjöberg et al., 2008)。在放流的其中 3 條瑞典河川也發現，因放流而使鰻魚資源量上升的情形 (Pedersen et al., 2009)。在芬蘭，曾於 1966 年放流 1,762 隻鰻苗於 5 個湖泊，於 1992 年仍能回收 56 尾，其中 63% 為銀鰻 (Tulonen and Purisiainea, 1992)。在波羅的海的標識放流實驗，於 2006 放流之鰻魚部分會在放流當年游向波羅的海的出口，與野生鰻一同被捕 (Sjöberg et al., 2008)。其它實驗亦發現，在波羅的海的出口沿岸捕捉之鰻魚，有 26.7% (Limburg et al., 2003) 與 21.3% (Clevestam and Wickström, 2008) 為放流鰻。EIFAC/ICES 在 2009 年的報告以及 Prigge et al. (2013) 之研究亦指出，於波羅的海放流之養殖鰻有許多能游到波羅的海的出口。然而，亦有報告指出，波羅的海的天然鰻會依固定路徑游向波羅的海的出口，而移植鰻會在波羅的海到處亂游，似乎迷失方向 (Westin, 1998)。由於人工增殖放





流之養殖鰻，可能來自遠方其他國家採捕而來，雖然放流鰻能順利降海，但實際上是否能成功定位並洄游至產卵場產卵，至今仍未有具體證據。

科學家遂利用浮上式衛星標識器 (pop-up satellites tags) 追蹤歐洲鰻及紐西蘭大鰻的降海洄游行為 (Aarestrup et al., 2009; Jellyman and Tsukamoto, 2010)。標識器本體搭載了溫度及壓力感應器（可轉換為水深）以記錄被標識個體棲息的水溫與深度，更搭配了光度感應器來解析地理位置，以描繪其洄游路徑。結果發現銀鰻降海後，會在水溫 $5-15^{\circ}\text{C}$ ，深度 $200-800\text{ m}$ 間，進行規律性的日沉夜浮之垂直洄游。日本的研究團隊自 2008 年後，也數次在日本近海進行日本鰻的衛星標識，追蹤銀鰻如何從陸地河川回到馬里亞納海域的產卵場。然而，由於衛星追蹤器大多過早脫離，追蹤日數太短，其降海產卵的洄游路線仍然是個謎。

2015 年本實驗室使用浮上式衛星標識 (MiniPAT tag)，本體搭載了溫度、壓力、感光光度計記錄被標識個體地理位置，以描繪鰻魚洄游路徑 (圖 8)。放流 10 尾養殖與野生銀鰻於臺灣宜蘭外海，觀察其在黑潮水域移動情形，衛星標識浮上時間設定 1-4 個月，資料由衛星回傳後，可進行洄游路徑之綜和分析。透過回傳的深度及溫度資料 (圖 9)，發現鰻魚在降海洄游過程中，亦會有晝夜垂直洄游的習性，即白天光線充足時，會在較深的水域移動 (約 $400-600\text{ m}$)，而夜晚光線微弱時，會在相對表層的水域 (約

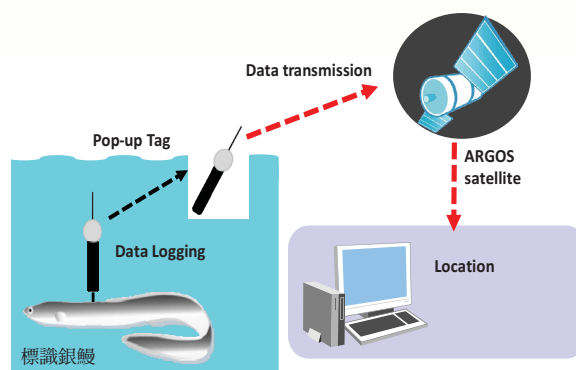


圖 8 利用衛星標識追蹤鰻魚降海洄游路徑

$200-300\text{ m}$)，晝夜垂直洄游的振幅會受到海水深度的限制，因此利用衛星標籤所回傳的資料，與西太平洋水溫與水深即時資料庫比對，進而描繪出放流鰻可能的移動路徑。除三顆衛星標籤資料回傳不完整，發現其餘 7 尾放流鰻，無論是野生或是養殖鰻，皆沿著陸棚邊緣順黑潮往北移動，上浮點分布於沖繩島附近，最遠至日本宮崎縣外海 (圖 10)。

2016 年則使用浮上式單點式衛星標籤 (Mark Reporter PAT tag) (圖 11)，與先前的不同，並未搭載壓力計，僅能呈現日溫差區間與上浮點位置，本體搭載了光感應器以推算被標識個體之地理位置，用以描繪鰻魚洄游路徑。單點式衛星標籤大幅降低體積與重量，有利於小型魚類之追蹤。本年新增在臺灣西側一小琉球海域的放流位置，比較在臺灣兩側不同之洋流系統的環境下，降海洄游路徑之差異。結果顯示，10 尾放流鰻僅成功回收 4 筆紀錄資料，龜山島及小琉球海域各 2 尾 (圖 12)。本年使用之衛星標籤並無早期上浮機制，意即衛星標籤只有在設定時程結束時才會進行資料的回傳，龜山島海域放流之衛星標籤經定位顯示，



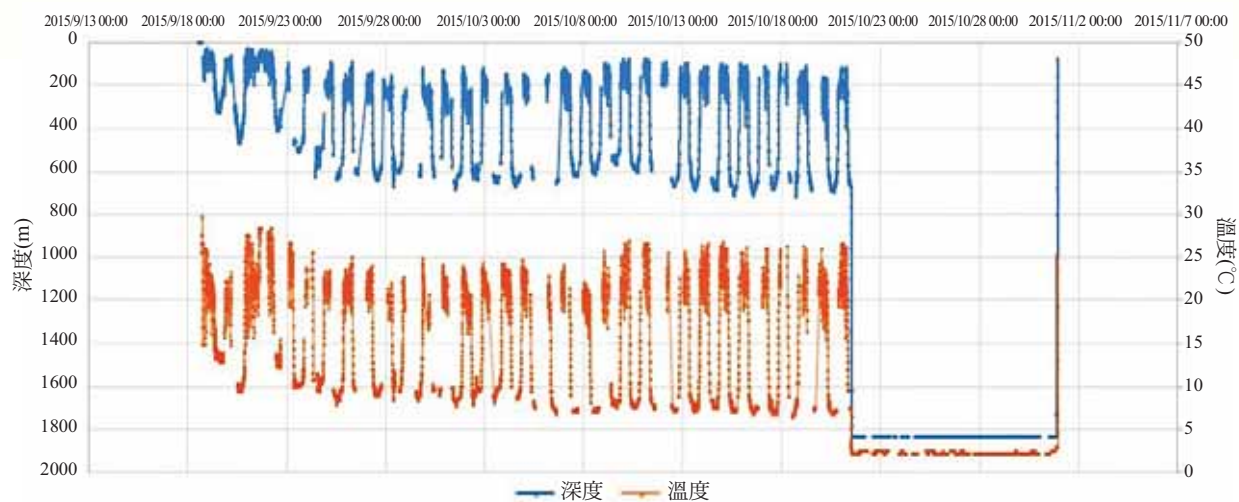


圖 9 放流鰻有晝夜鉛直洄游習性

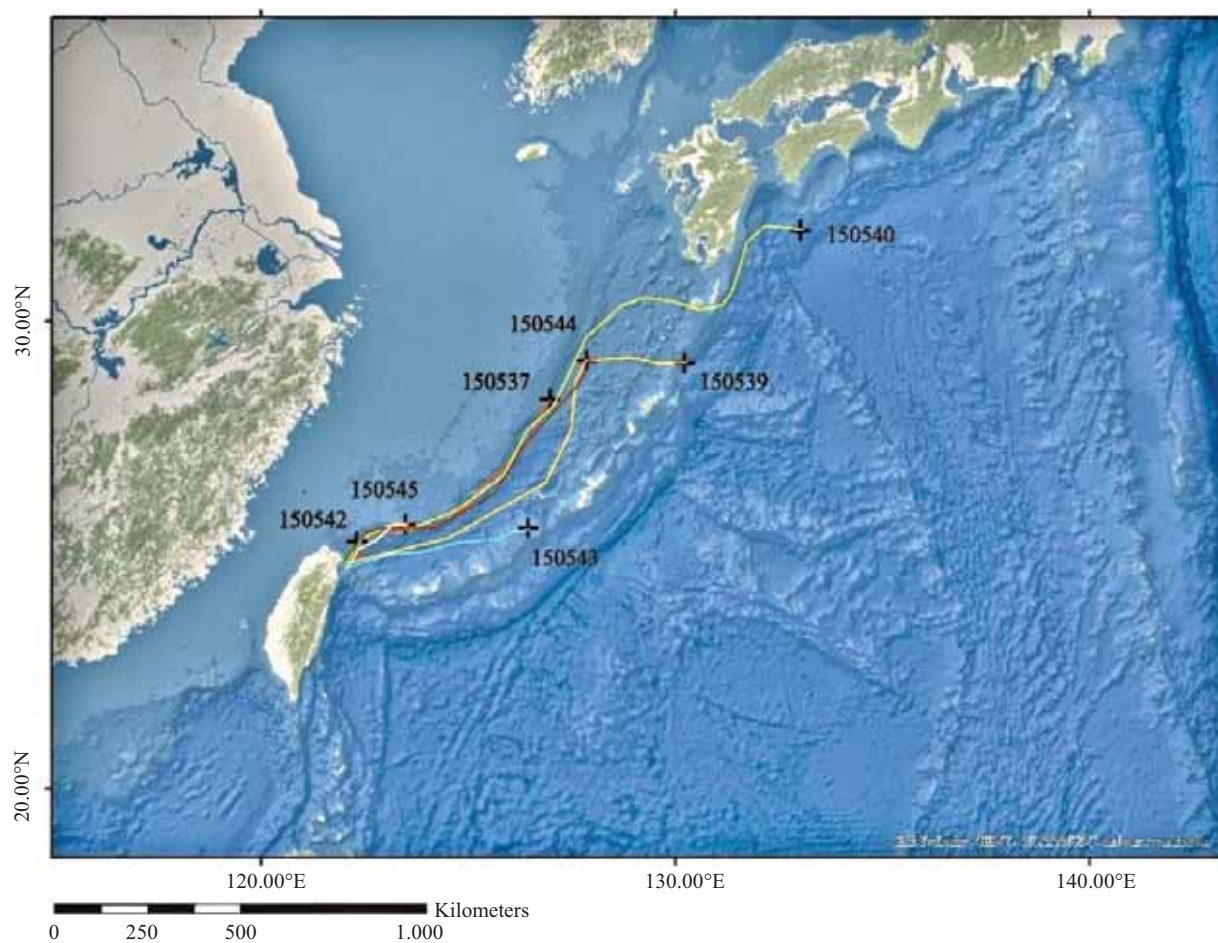


圖 10 2015 年衛星標籤上浮位置推估



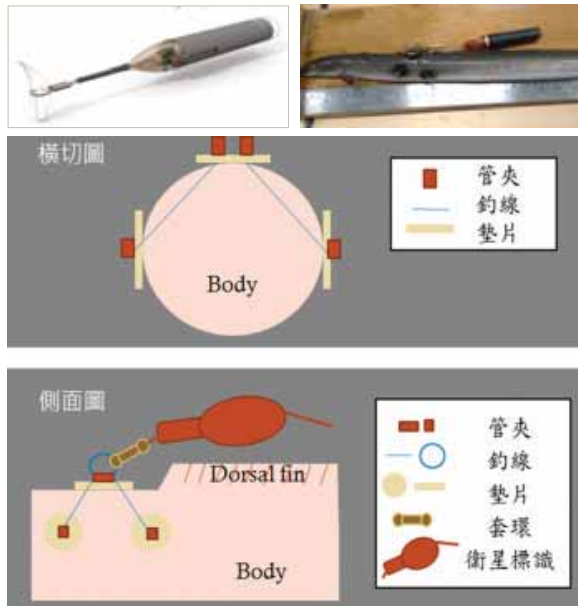


圖 11 浮上式單點式衛星標籤(Mark Reporter PAT tag)安裝

在日本伊豆小笠原群島區域的海域，而小琉球海域放流之回傳資料得到的位置卻是分別在東西兩個不同的方位。本年實際記錄到放流鰻行為之天數分別是 11 及 15 天，再利用洋流流速資料，計算衛星標籤在浮上後於海上漂流之距離，來推估衛星標籤與放流鰻當初脫離的位置。經過計算，可能脫離的位置在沖繩海槽西側之大陸棚邊緣，距臺灣約 300 – 600 km (圖 12、橘色黃色+)。但相同的估算方法無法運用於小琉球的放流組別，主要因為臺灣西南方海域有局部環流存在，衛星標籤會受到環流影響，無法估計實際漂流路徑。若將 2016 年宜蘭放流資料與 2015 年資

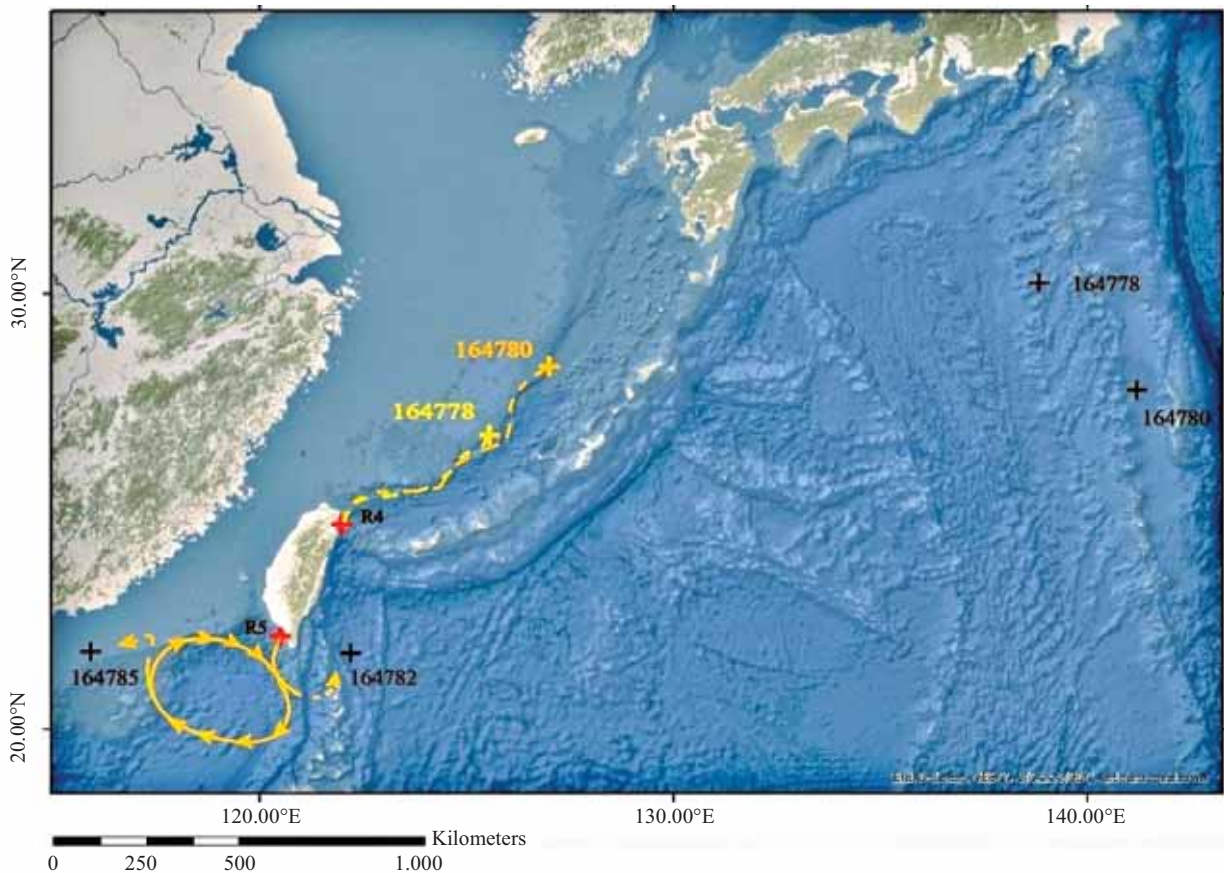


圖 12 2016 年衛星標籤上浮位置推估



料整合能發現，於小琉球與龜山島共放流鱸鰻，太平洋雙色鰻，日本鰻共 20 隻，數據分析顯示，所有放流鰻均表現出晝夜垂直洄游行為，在大洋中之水平移動速度則介於 13–65 km/day，白天洄游之平均深度為 518 m，平均溫度為 9°C；夜晚洄游之平均深度為 125 m，平均溫度為 21°C。在潛水能力的比較中，鱸鰻具有最佳的下潛速度（平均 5.05 m/分）。通過對比 2 年移動路徑的紀錄，發現養殖鰻與野生鰻之洄游路徑有很高的相似度，推測放流之鰻魚可能先順著黑潮移動往北移動，在日本千葉縣外海碰到由太平洋板塊及菲律賓板塊形成的伊豆小笠原海脊，轉變方向向南洄游至產卵場，或是在適當時機，脫離黑潮，往產卵場方向筆直游去。

歐洲的跨國研究團隊，整理了近年來歐洲鰻降海洄游研究成果 (Righton et al., 2016)。研究收集了歐洲 20 條河川之天然鰻魚降海資料，歸納出降海多發生於 8–12 月。利用浮上型衛星標籤，研究 707 隻銀鰻由 4 條河川放流後之降海洄游路徑，在成功回收之 206 個標籤資料中發現，雖然許多鰻魚很快就被捕食，仍然有 80 個以上樣本可資分析洄游路徑。洄游路徑可由西歐大陸追蹤至亞速爾群島，鰻魚皆具有晝沉夜浮之特徵，白天會下潛至 800 m，弱光深水層，夜晚則在 200–300 m，弱光之水層游泳，因此可以有效躲避敵害 (Righton et al., 2016)，洄游速度介於 3–47 km/day。降海洄游的種鰻，不須進食，但會受如鯊魚、鮪魚、鯨豚等掠食者捕食 (Amilhat et al.,

2016; Béguer-Pon et al., 2012)。分析產卵場之柳葉鰻資料，歸納出產卵活動主要介於 12 月至隔年 2 月。若鰻魚在秋季降海，不太可能全部於冬季到達 5,000 km 以上距離之藻海產卵場。因此，歐洲鰻可能有少部分能在數月內及時到達產卵場，另一部分可能要游 1 年以上，在次年方到達產卵場產卵。日本鰻多在秋冬降海，於 5–8 月產卵，因此有充分時間洄游，應不至於耗時 1 年以上之洄游時間。

依照歷年來對鰻魚放流後回收紀錄、耳石鋸鈣比、無線電標籤放流分析及衛星標籤追蹤結果發現，放流種鰻於放流後，1–2 個月內會集中在河口區，造成回收高峰幾乎集中在前 2 個月，顯示種鰻可能於河口等待降海時機，其洄游路徑與野生鰻相同。但是放流鰻魚是否能成功到達產卵場，則仍待驗證。

鰻魚增殖放流效益

臺灣、日本、中國、韓國與歐洲每年皆有進行鰻魚放流工作，以 2016 年來說，中國 5 月 19 日在江蘇省地方政府在洪澤湖泗陽高渡水域舉辦鰻魚放流活動，本次共計投放鰻魚苗 3 萬尾，規格大於 12 cm，鰻魚苗放流後將會給漁民帶來較高的經濟收益。2016 年日本鰻魚放流活動，在愛知、靜岡、高知、熊本、宮崎、鹿兒島等 6 縣舉行，約計 1,000 萬日幣，其中政府負擔一半，養鰻團體負擔一半。臺灣於 2016 年 11 月 26 日臺北關緝獲走私鰻苗共約 32 萬尾，扣除損





失與水試所保留研究使用外，於 12 月底分別於新北市雙溪、宜蘭縣宜蘭河及冬山河、新竹縣鳳山溪及屏東縣高屏溪，共放流稚鰻 19 萬尾，以充裕河川鰻魚資源量。另臺灣民間宗教團體亦有進行鰻魚放流活動，放流地點為嘉義縣外傘頂洲，鰻魚放流前已經海水飼養馴化。放流魚隻體型 1.5–2 斤/尾，2016 年總計放流 3,417 尾，2017 年至 5 月總計放流 465 尾。韓國歷年鰻魚放流活動，規格多介於 12–30 cm，由地方政府與養鰻協同組合各自進行，主要放流在上游地區。但是放流後之後續評估工作，則幾乎付之闕如。

若以 1,000 尾種鰻 (母) 計算，合理假設有 10% 可成功洄游至產卵場產卵，每尾母鰻至少可生下 150 萬顆以上的卵 (MacNamara et al., 2016)，保守推估至少會有 1 億顆以上受精卵。孵化出之仔魚須歷經 6 個月的長途洄游，過程中會有大量死亡，不過因柳葉鰻體色透明，具有隱蔽效果，加上途經低生產力海域，因此可以有效降低被捕食機率。在歐洲鰻的估計中，柳葉鰻之年活存率約為 2.2% (Bonhommeau et al., 2009)，若以 6 個月保守估計柳葉鰻活存率為 1% 的話，則可得到 100 萬尾玻璃鰻苗，以每尾鰻苗 100 元計算，產值可達 1 億新臺幣，放流成本約 100 萬新臺幣，因此潛在效益極高。由於柳葉鰻的變態日齡是決定玻璃鰻進入那個國家的時間點。臺灣與日本的柳葉鰻變態時間相差 3 個星期左右，早變態者進入臺灣，晚變態者則漂到日本 (Cheng and Tzeng, 1996)。日本鰻的玻璃鰻是隨著

黑潮與黑潮支流到達臺灣與東亞其它國家的，因此，放流鰻之子代日本鰻苗，會洄游至臺中日韓 4 個國家，凸顯了鰻魚資源共享的概念。

要有效提高鰻魚人工增殖放流效益，筆者在此提出幾個建議供參：(1)東亞目前對河川鰻魚保育政策，存在許多問題，例如臺灣目前之封溪護魚河川，多半設在上游，不符合日本鰻棲地主要為下游之實際需求。而根據目前各縣市政府公告之鰻魚保護河川，亦多半不符合日本鰻實際需求，例如設在上游 (暖暖溪、瑪陵溪、草濫溪、友蚋溪)，流域太小 (鹽港溪)、非日本鰻棲息地 (知本溪)，或是嚴重污染 (老街溪、朴子溪、二仁溪)。由歷年資源調查可知，宜蘭河、鳳山溪與高屏溪河川現存之鰻魚資源量極少，顯示鰻魚棲地嚴重之破壞與過漁現象。天然鰻魚資源下降之趨勢似乎仍未停止。欲落實鰻魚資源養護之工作，需要重建河川自然生態與落實禁漁期與禁漁區措施。日本某些縣市在秋冬時期，對日本鰻的採捕有限制，但每年仍然抓了數十噸野生成鰻。面對日本鰻資源嚴峻的現況，筆者建議應全面禁止東亞河川捕捉 8 cm 以上之野生鰻魚，方可有效保育天然與放流鰻魚的資源。(2)人為過度捕撈鰻苗也是造成野生日本鰻減少的原因。2013 年漁業署公布「鰻苗捕撈漁期管制規定」，只有 11 月至隔年 2 月可以合法捕撈鰻苗。但這段期間的鰻苗，幾乎就佔了當年臺灣可捕獲鰻苗量的 9 成以上，受保護的鰻苗量比例很低，效果相當有限。但若縮短捕撈期限，漁民又會反



彈，政策便在保育跟經濟中不斷拉鋸。可如今面對日本鰻資源危機，不可再心存僥倖，以歐盟保護至少 40% 的鰻苗標準來看，臺灣適當的可捕撈期應該設在 12 月至隔年 1 月，約佔當年臺灣可捕獲鰻苗量的 6 成 5。東亞各國亦須進一步限縮日本鰻苗的可捕撈期，至少讓 30–40% 以上的鰻苗可以上溯至河川中，補充天然鰻魚資源量。(3)可由政府出面收購當地河口捕獲之部分鰻苗，一是直接在放流至原河川中游，二是於當地養殖場養殖 2–3 個月，使成為每尾 5

–10 g 之幼鰻，於夏季時將此幼鰻放流回原捕捉河口，讓其恢復野性，並應將鰻魚放流河川皆劃設為封溪護魚河川，禁止一切漁業活動，方可確保河川天然資源與生態，對於鰻魚資源之養護與放流鰻魚之降海，效益方能極大化。放流鰻約經 3–5 年後之成長，便可偕同野生鰻一同降海洄游（圖 13）。由於放流鰻是原地捕捉與原地放回，因此能確保其產卵洄游之空間定位能力。此法特點是可確保放流鰻找到產卵場，並大幅增加河川鰻魚之資源量。

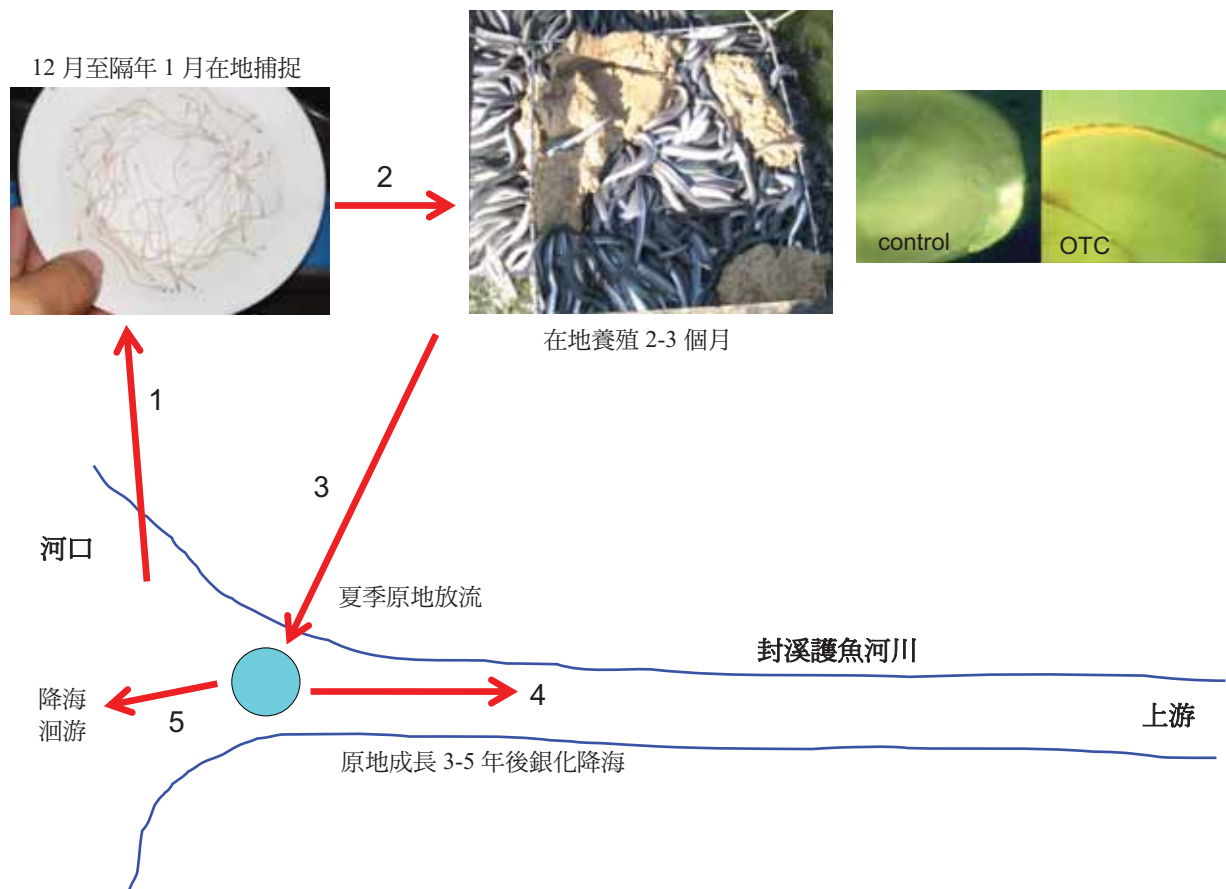


圖 13 建議的日本鰻人工增殖放流策略





參考文獻

- 韓玉山 (2013) 人工放流鰻魚之效益評估。行政院農業委員會 102 年度科技計畫研究報告。
- 韓玉山 (2015) 日本鰻人放流效益及策略評估之研究。行政院農業委員會 104 年度科技計畫研究報告。
- 韓玉山 (2016) 日本鰻人放流效益及策略評估之研究。行政院農業委員會 105 年度科技計畫研究報告。
- Aarestrup, K., F. Okland, M. M. Hansen, D. Righton and P. Gargan (2009) Oceanic Spawning Migration of the European Eel (*Anguilla anguilla*). Science, 325: 1660.
- Aqua report 2011:23 Swedish University of Agricultural Sciences, Drottningholm.
- Bonhommeau, S., E. Chassot, B. Planque, E. Rivot, A. H. Knap and O. Le Pape (2008) Impact of climate on eel populations of the Northern Hemisphere. Mar. Ecol. Prog. Ser., 373: 71-80.
- Chen, J. Z., S. L. Huang and Y. S. Han (2014) Impact of long-term habitat loss on the Japanese eel *Anguilla japonica*. Estuar. Coast. Shelf Sci., 151: 361-369.
- Cheng, P. W. and W. N. Tzeng (1996) Timing of metamorphosis and estuarine arrival across the dispersal range of the Japanese eel *Anguilla japonica*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 131: 87-96.
- Clevestam, P. and H. Wickström (2008) Rädda ålen och ålfisket! Ett nationellt bidrag till en Europeisk förvaltningsplan. Slutrapport från pilotprojekt till Fonden för fiskets utveckling. Dnr: 231-1156-04, 42, Swedish.
- Dekker, W. (2004) Slipping through our hand. Population dynamics of the European eel. PhD dissertation. Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics, Univ. of Amsterdam.
- Dekker, W., H. Wickström and J. Anderson (2011) Status of the eel stock in Sweden in 2011.
- Han, Y. S. (2011) Temperature-dependent recruitment delay of the Japanese glass eel *Anguilla japonica* in East Asia. Mar. Biol., 158: 2349-2358.
- Han, Y. S., W. N. Tzeng and I. C. Liao (2009) Time series analysis of Taiwanese catch data of Japanese glass eels *Anguilla japonica*: possible effects of the reproductive cycle and El Niño events. Zool. Stud., 48: 632-639.
- Han, Y. S., C. L. Hung, Y. F. Liao and W. N. Tzeng (2010) Population genetic structure of the Japanese eel *Anguilla japonica*: panmixia in spatial and temporal scales. Mar. Ecol. Prog. Ser., 41: 221-232.
- Jellyman, D. and K. Tsukamoto (2010) Vertical migrations may control maturation in migrating female *Anguilla dieffenbachii*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 404: 241-247.
- Limburg, K. E., H. Wickström, H. Svedäng, M. Elfman and P. Kristainsson (2003) Do stocked freshwater eels migrate? Evidence from the Baltic suggests "Yes". Am. Fish. Soc. Sym., 33: 275-284.
- MacNamara, R., T. K. McCarthy, H. Wickstrom and P. D. Clevestam (2016) Fecundity of silver-phase eels (*Anguilla anguilla*) from different habitat types and geographic locations. ICES J. Mar. Sci., 73: 135-141.
- Pedersen, M. I. (1998) Recapture rate, growth and sex of stocked cultured eel *Anguilla anguilla* (L.). Bull. Fr. Peche Piscic., 349: 153-162.
- Pedersen, M. I., K. Aarestrup, A. Koed, S. Pedersen and F. Økland (2009) Escapement and progression rate of European silver eel by passing a hydroelectric power station. Fish. Manag. Ecol., 254: 149-156.
- Prigge, E., L. Marohn and R. Hanel (2013) Tracking the migratory success of stocked European eels *Anguilla anguilla* in the Baltic Sea. J. Fish Biol., 82: 686-699.
- Righton, D., H. Westerberg, E. Feunteun, F. Økland and P. Gargan (2016) Empirical observations of the spawning migration of European eels: The long and dangerous road to the Sargasso Sea. Sci. Adv., 2:





e1501694.

- Sjöberg, N. B., H. Wickström and E. Petersson (2008) Bidrar den omflyttade ålen till lekbeståndet i Sargassohavet? Blankålsmärkning kan ge svaret. Slutrapport från pilotprojekt till Fonden för fiskets utveckling, Swedish, 231: 5-43.
- Teng, H. Y., Y. S. Lin and C. S. Tzeng (2009) A new *Anguilla* species and a reanalysis of the phylogeny of freshwater eels. Zool. Stud., 48: 808-822.
- Tsukamoto, K. (2006) Spawning of eels near a seamount. Nature, 439: 929.
- Tulonen, J. and M. Pursiainen (1992) Eel stockings in the waters of the Evo State Fisheries and Aquaculture Research Station. Suomen Kalatalous, 60: 24-261.
- Tzeng, W. N. and O. Tabeta (1983) First record of the short-finned eel *Anguilla bicolor pacifica* elvers from Taiwan. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 49: 27-32.
- Watanabe, S., J. Aoyama and K. Tsukamoto (2009) A new species of freshwater eel *Anguilla luzonensis* (Teleostei: Anguillidae) from Luzon Island of the Philippines. Fish. Sci., 75: 387-392.
- Westin, L. (1998) The spawning migration of European silver eel (*Anguilla anguilla* L.) with particular reference to stocked eel in the Baltic. Fish. Res., 38: 257-270.
- Zenimoto, K., T. Kitagawa, S. Miyazaki, Y. Sasai, H. Sasaki and S. Kimura (2009) The effects of seasonal and interannual variability of oceanic structure in the western Pacific North Equatorial Current on larval transport of the Japanese eel *Anguilla japonica*. J. Fish Biol., 74: 1878-1890.



國際鰻魚資源現況

韓玉山*

國立臺灣大學漁業科學研究所

摘要

鰻魚是東亞重要的經濟養殖魚種之一，但是其人工繁殖技術還未能達到商業化量產的階段，因此，鰻魚的養殖，目前全靠天然鰻苗的採捕。隨著日本鰻資源的快速枯竭危機，業界不斷開發替代鰻種（簡稱異種鰻），如今異種鰻以美洲鰻為大宗，產量甚至已超過日本鰻，其他如歐洲鰻、太平洋雙色鰻、印尼雙色鰻以及鱸鰻等亦已大幅開發，對整體鰻魚的資源，形成龐大的壓力。本文將介紹近年來各鰻種之資源現況與養殖態勢，以及未來的發展潛力。

關鍵詞：鰻魚、資源、異種鰻、國際

前言

鰻魚屬於鰻鱺科 (Anguillidae)、鰻鱺屬 (*Anguilla*)，是陸海之間的洄游性魚類，全世界總共有 19 種（包含亞種），除了歐洲鰻 (*A. anguilla*) 及美洲鰻 (*A. rostrata*) 分布於北大西洋之外，其餘 17 種皆分布在印度太平洋一帶（圖 1）。近數十年來，無論是鰻苗還是河川中鰻魚親魚的數量，均出現了急劇減少的現象。1970 年代以前，臺日韓中四地一年光是日本鰻 (*A. japonica*) 鰻苗的捕撈量，估計可以超過 500 公噸（約 25 億尾），而河川中的日本鰻成魚捕撈量，光是日本一年就超過 3,000 公噸，而近年來每年

之鰻苗的捕撈量已剩數十公噸，日本河川中的成鰻捕撈量也已銳減至每年不到 100 公噸，資源減少的態勢十分明顯。由於鰻魚的人工繁殖技術還未達到實際量產階段，因此鰻魚資源的枯竭危機，如今已成為產業的噩夢。鑑於鰻魚天然資源銳減，日本環境省於 2013 年將日本鰻指定為瀕危物種。國際自然保護聯盟組織 (IUCN) 亦針對鰻魚屬進行大規模資源評估。IUCN 根據嚴格準則去評估數以萬計物種的絕種風險，是全球動植物物種保護現狀最全面的名錄。IUCN 根據物種數目的下降速度、物種族群總數、地理分布、族群分散程度等，將物種編入 9 個不同的保護等級，包括：滅絕 (Extinct, EX)、野外滅絕 (Extinct in the Wild, EW)、極度瀕危 (Critically Endangered, CR)、瀕危 (Endangered, EN)、易危 (Vulnerable, VU)、

* 通訊作者/10617 臺北市大安區羅斯福路 4 段 1 號；TEL:(02)33663726；FAX:(02)33669449；E-mail: yshan@ntu.edu.tw



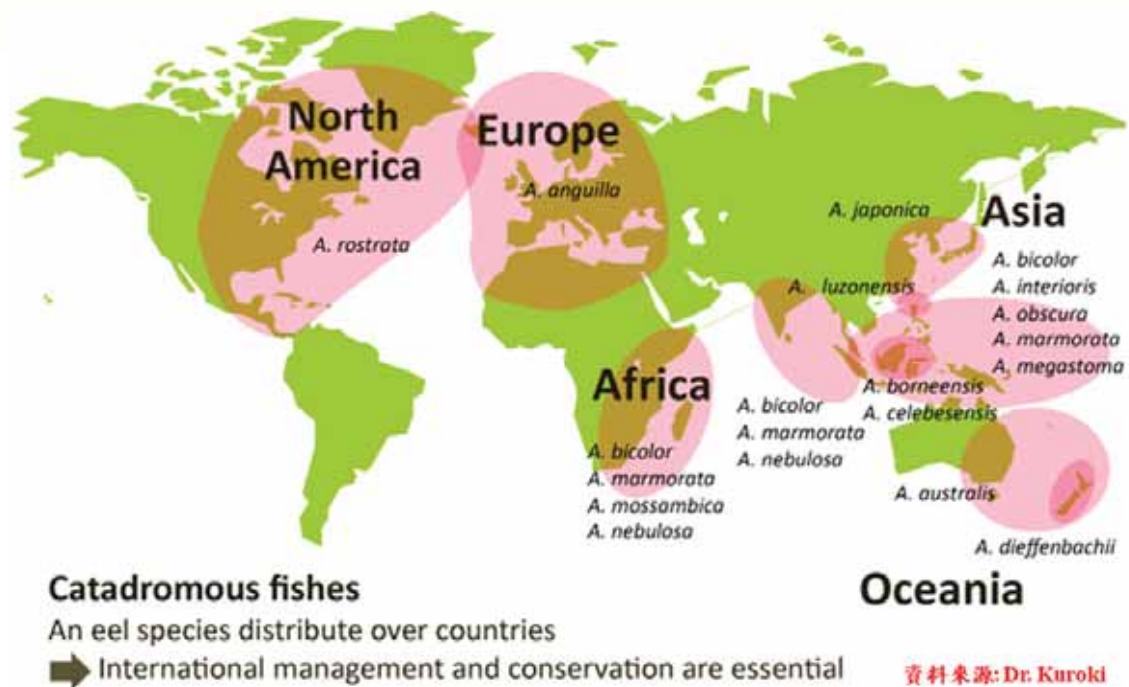


圖 1 世界鰻魚分布圖

近危 (Near Threatened, NT)、無危 (Least Concern, LC)、數據缺乏 (Data Deficient, DD)、未評估 (Not Evaluated, NE)。目前歐洲鰻已於 2010 年被列為極度瀕危物種、日本鰻與美洲鰻則於 2014 年列入瀕危物種紅色名錄 (或稱 IUCN 紅色名錄，簡稱紅皮書)，同時列入紅皮書評估之其他鰻種尚有：加里曼丹鰻 (*A. borneensis*) (易危)、雲紋鰻 (*A. nebulosa*) (近危)、雙色鰻 (*A. bicolor*) (近危)、西里伯斯鰻 (*A. celebesensis*) (近危)、呂宋鰻 (*A. luzonensis*) (近危)、鱸鰻 (*A. marmorata*) (無危)、莫三比克鰻 (*A. mossambica*) (無危)、內唇鰻 (*A. interioris*) (數據缺乏)、大口鰻 (*A. megastoma*) (數據缺乏)、灰鰻 (*A. obscura*) (數據缺乏)。臺灣林務局亦在 2017 年，把

日本鰻列入臺灣淡水魚紅皮書的極度瀕危物種。雖然 IUCN 紅皮書本身不具有法律約束力，不會直接導致鰻魚養殖與貿易的禁止，但是每 3 年集會 1 次的瀕危野生動植物種國際貿易公約 (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, CITES，又名華盛頓公約) 會議，近年來積極討論日本鰻是否應列入 CITES 附錄二物種。CITES 係藉由國際合作，防止因國際貿易致稀有或瀕臨絕種野生動植物之滅絕，以達保護之目的，該物種附錄分三類。附錄一物種係完全禁止商業性貿易；附錄二物種必須檢附非違法捕獲以及此輸出不危害此物種存續之證明文件；附錄三物種為保育國要求締約國協助管理。其中歐洲鰻於 2007 年 6 月之第 14 屆締約國大





會決議中，被列入附錄二極度瀕危物種，2009 年 3 月 CITES 貿易管理生效，歐盟科學組織認為，因無法評估歐洲鰻的資源量，致無法判定出口不影響資源的存續，建議歐盟不予核發出口許可證，因此自 2010 年 1 月起，歐盟決議除舊庫存外，禁止輸出歐洲鰻至歐盟以外地區。中國長期以來歐洲鰻的養殖也因此遭逢打擊，由過去高峰期每年進口動輒超過 200 公噸的鰻苗，到近年迅速萎縮至 20 公噸以下（走私進口）。根據歐盟於 2016 年 4 月 27 日寄給華盛頓公約組織的公開信提出要求，應積極調查與評估現有鰻魚屬之資源量與貿易現況，作為提案與否之參考。公開信指出，臺灣、日本、中國、韓國等國共同同意的日本鰻資源管理措施（放養量上限），最大的問題是「違法交易情形令人相當憂心」。並指出東亞地區針對防止濫捕的管理體制並不完善。另外，由於歐洲鰻已經無法進行國際交易，現在美洲鰻以及熱帶鰻種在東亞地區取而代之成為需求急增的物種。因為資訊不足，導致阻礙了有效的資源管理，所以具有公信力的研究及調查是必要的。雖然 2019 年年會將暫時不會提案將日本鰻與其它異種鰻列入附錄二物種，但隨著鰻魚資源繼續惡化，下一屆會議恐怕不甚樂觀。

日本是全球最大的鰻魚消費市場，佔全球總消費量的 60% 以上。為了因應日本鰻養殖產業的缺口，近年來東亞各國興起了異種鰻的養殖風潮。目前中國以歐洲鰻與美洲鰻為主、韓國以美洲鰻與太平洋雙色鰻 (*A. bicolor pacifica*，俗稱黑鰻) 為主、臺灣則

以鱸鰻與太平洋雙色鰻為主、菲律賓以太平洋雙色鰻為主、印尼則以印尼雙色鰻 (*A. bicolor bicolor*) 為主、日本基本上未跟進。值得注意的是，菲律賓與印尼兩國近年來積極投入鰻魚養殖，其中菲律賓於 2015 年成立了鰻魚養殖協會，積極投入太平洋雙色鰻的養殖，希望拓展幼鰻 (> 15 cm) 出口市場；而印尼近年則積極開發印尼雙色鰻的養殖，希望拓展蒲燒鰻出口市場。由於兩國為鰻苗主產地，先天發展條件較佳，故吸引臺中日韓與當地業者爭相投入，後續發展情況值得密切關注。臺灣本土異種鰻發展條件雖然不錯，但瓶頸是現階段僅能合法進口幼鰻，鰻苗取得管道則受制於人，尚無法正常化。臺灣對於異種鰻的養殖在 2013 年達到高峰，2014 年因日本鰻鰻苗豐收，導致異種鰻價格大幅崩落，業界放養意願不高。但長期來看，日本鰻鰻苗的供應還是處於衰退趨勢，因此異種鰻的發展，仍有一定之市場潛力。圖 2 為目前全世界具有開發潛力的鰻種以及其潛在年捕撈量，下文將擇要介紹各鰻種之地理分布、資源量與養殖現況、以及未來發展潛力。

鰻魚之資源與養殖現況

一、日本鰻

日本鰻是東亞主要的養殖鰻種，僅有一個單一族群。其成年後變態為銀鰻，會離開原先棲息的河川或是河口域，花費半年左右時間，游過 3,000 km 以上，最後到達馬里亞納群島西方海域，約當東經 141—142



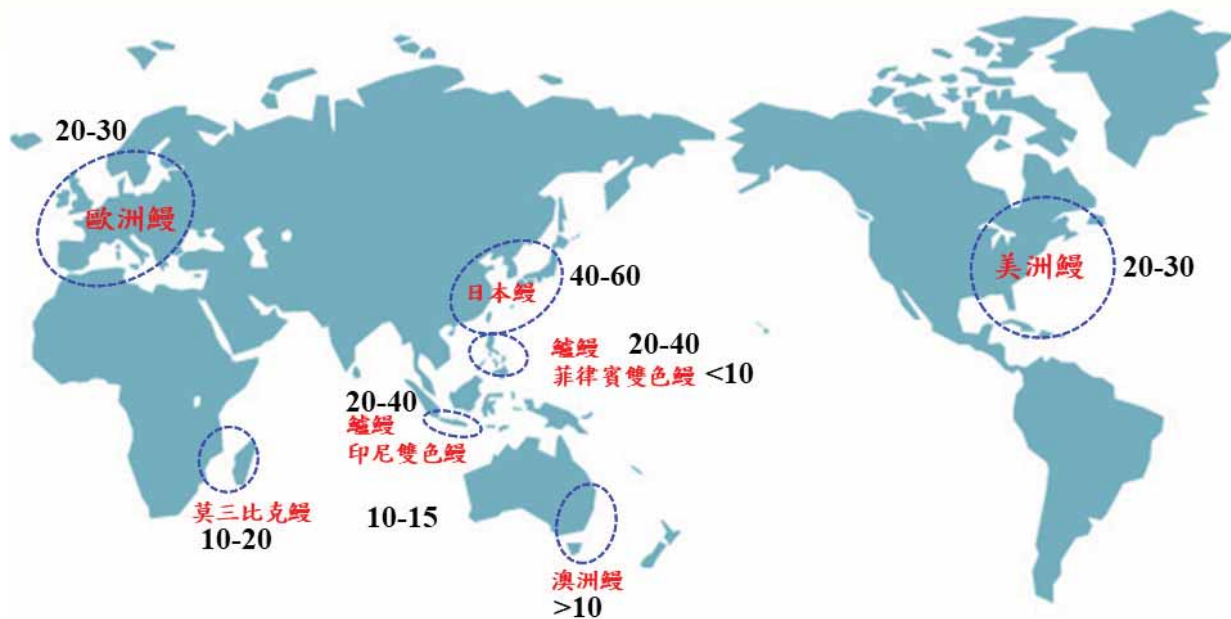


圖 2 世界鰻苗開發潛力圖(單位：公噸)

度，北緯 12–16 度區域之海山西側附近進行繁殖之後便死亡，而孵化出來的柳葉鰻 (*leptocephalus*) 會從產卵場，順著北赤道洋流 (North Equatorial Current) 往西漂送，到了菲律賓東方海域之後，北赤道洋流一分為二，向北之洋流為黑潮 (Kuroshio)，向南之洋流則為民答那峨洋流 (Mindanao Current)。日本鰻之柳葉鰻主力往北漂送，歷經 4–6 個月後，變態為玻璃鰻 (鰻苗)，途經臺灣、中國、韓國及日本的大陸棚水域後進入河川中成長 (Tsukamoto, 2002, 2006)。

在臺灣，日本鰻和鱸鰻兩者合佔臺灣鰻魚資源 95% 以上。而鰻苗靠岸的季節及持續時間，因種而異，日本鰻鰻苗集中在冬季 11 月至隔年 2 月，而鱸鰻鰻苗終年皆可捕獲，在臺灣主產期在每年 3–10 月，正好與日本鰻錯開。臺灣日本鰻鰻苗分布以西海岸

各縣市及宜蘭縣為主，花東地區日本鰻鰻苗很少。而鱸鰻鰻苗則主產於臺灣東部地區與南部屏東的枋山溪以南。這樣的分配，與海流輸送及鰻苗靠岸時對溫度的偏好有關。依據臺灣日本鰻鰻苗產期顯示，南部屏東地區之鰻苗產期早於西岸其他地區，淡水地區出苗最慢。整個西海岸之鰻苗出現順序呈現由南往北之現象。而臺灣東岸的鰻苗，花東地區比宜蘭要早幾天。由此推測，臺灣地區的日本鰻鰻苗分布受到兩種海流所影響，當鰻苗在冬季時隨著黑潮經過臺灣地區時，一部分鰻苗隨著黑潮主流經由臺灣東部由南向北進入宜蘭地區，而另一部分鰻苗則藉由臺灣海峽南端的黑潮支流經巴士海峽沿著臺灣西海岸北上穿越臺灣海峽。因此，日本鰻鰻苗在臺灣地區之分布，應是由南往北，分成東岸與西岸兩支獨立之輸送系統。此外，日本鰻苗上溯時，偏好 10–20℃ 之低水





溫，當水溫過冷時（ $< 6^{\circ}\text{C}$ ），即會抑制鰻苗之上溯；而鱸鰻鰻苗上溯時，偏好 $> 25^{\circ}\text{C}$ 之水溫，低溫 $< 15^{\circ}\text{C}$ 時會死亡，因此冬季漂送至東亞陸棚之鱸鰻鰻苗，因遭逢低溫而幾乎全滅。東部的花東地區和南部屏東的枋山溪以南則受黑潮高水溫影響，因此以鱸鰻鰻苗為主。而在夏季時，因臺灣海峽受南海暖流佔據，黑潮入侵流勢力減弱，阻擋了鱸鰻鰻苗在臺灣西岸之輸送，因此鱸鰻鰻苗集中在臺灣東部地區和南部屏東的枋山溪以南。

目前日本鰻的養殖主要在臺灣、中國、

日本及韓國（表 1）。其中中國是整個東亞地區鰻魚養殖第一大國，產量大概佔全球的一半以上。日本鰻鰻苗，中國這邊產的也是最多，東亞養殖的 10 尾鰻苗大概有 5-6 尾是中國生產的。全世界鰻魚消費最大的國家是日本，年消費量為 4-5 萬公噸，日本本國養殖的鰻魚遠遠不能滿足其國內需求，一半以上要從中國和臺灣進口。臺灣近年成鰻年產量僅數千公噸，8 成以上出口到日本，中國大概 6 成左右出口。日本不僅從中國進口成魚，還會進口鰻苗。因此整個鰻魚市場的價格受日本導向和控制力度非常大。

表 1 東亞地區近年來的鰻魚放養量(單位：噸玻璃鰻)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
臺 灣 ^{*1}						
日本鰻	0.4	10	1.2	2	6	0.5
鱸 鰻	5	<1	<1	<1	<1	<1
雙色鰻	>1	<1	<1	<1	<1	<1
中 國 ^{*2}						
日本鰻	4	40	10.5	8	26	14
歐洲鰻	11	7	20	18	30	13
美洲鰻	10	13	10	30	20	30
鱸 鰻	10-15	1-2	<1	<1	<1	<1
雙色鰻	1-2	<1	<1	<1	<1	<1
日 本 ^{*2}						
日本鰻	12.9	25	18	19.4	19.5	14
異種鰻	<1	<1	<1	0	0	0
韓 國 ^{*2}						
日本鰻	2.5	13.9	8	10	10.5	4.6
鱸鰻/雙色鰻	5.2	1	1.5	0.9	1.9	2.8
美洲鰻	5.4	0.3	0	0.2	0.1	0.5

^{*1} 資料來源：漁業署

^{*2} 資料來源：日本養殖新聞



2016—2017 年，東亞地區日本鰻苗總捕撈量達到不錯的 62 公噸（臺灣 5 公噸）。然而，當眾人仍沉浸在一片歡樂時，2017—2018 年，日本鰻苗產量呈現斷崖式的崩落，整個東亞總捕撈量約在 24 公噸上下，約只有去年的 1/3 強，創下歷史新低（前次歷史新低是 2013 年的 20 公噸）。今年（2018—2019 年）截至 3 月底為止，捕撈量更只有 16 公噸（預估最終產量在 17 公噸上下），將創下歷史新低。鰻苗資源長期來看仍處於衰退態勢，若再不採取有效對策，在 10 年內將面臨無魚可捕。近數十年來因各國都市及工業不斷擴張，而使鰻魚的自然棲地受到嚴重的破壞。Chen et al. (2014) 使用衛星遙測技術，針對東亞四國鰻魚棲地進行大規模研究，估計鰻魚有效棲地指數過去 40 年來平均下降達 75% 以上，顯示鰻魚資源量近數十年大幅下降，其棲息地之破壞應是主因。冰凍三尺，非一日之寒。日本鰻產業危機的提前到來，迫使我們必須下猛藥，才有一線生機，謹提供下列建議供參。

要有效恢復鰻魚資源量，首要之務是保護鰻魚之棲息地，因此河川必須有良好之規劃，例如整治污染、建造人工溼地、魚梯設置、以及有效分配河川水資源等，方能確保鰻魚資源與產業之永續發展。東亞目前對河川鰻魚保育政策，存在許多問題，例如臺灣目前之封溪護魚河川，多半設在上游，不符合日本鰻魚棲地主要為下游之實際需求。而根據目前各縣市政府公告之鰻魚保護河川，亦多半不符合日本鰻實際需求，例如設在上游（暖暖溪、瑪陵溪、草濫溪、友蚋

溪），流域太小（鹽港溪）、非日本鰻棲息地（知本溪），或是嚴重污染（老街溪、朴子溪、二仁溪）。日本某些縣市在秋冬時期，對日本鰻的採捕有限制，但每年仍然抓了數十噸野生成鰻。面對日本鰻資源嚴峻的現況，建議應全面禁止東亞河川捕捉 8 cm 以上之野生鰻魚，方可有效保育鰻魚僅存的資源。

人為過度捕撈鰻苗也是造成野生日本鰻減少的原因。2013 年漁業署公布「鰻苗捕撈漁期管制規定」，只有 11 月至隔年 2 月可以合法捕撈鰻苗。但這段期間的鰻苗，幾乎就佔了當年度臺灣可捕獲鰻苗量的 9 成以上，受保護的鰻苗量比例很低，效果相當有限。但若縮短捕撈期限，漁民又會反彈，政策便在保育跟經濟中不斷拉鋸。可如今面對日本鰻資源危機，不可再心存僥倖，以歐盟保護至少 40% 的鰻苗標準來看，臺灣適當的可捕撈期應該設在 12 月至隔年 1 月，約佔了當年臺灣可捕獲鰻苗量的 6 成 5。東亞各國亦須進一步限縮日本鰻苗的可捕撈期，至少讓 30% 以上的鰻苗可以上溯至河川中，補充天然資源量。

東亞四國在 2012 年會議中，達成日本鰻苗年養殖配額 78 公噸，這個數量，對比近 5 年度東亞日本鰻苗捕撈量 38、39、62、24、17 公噸，實在是太高了，對鰻魚資源保護沒有任何實質性幫助。建議配額應砍半至 40 公噸以下，並逐年動態檢討修正，方有實質效益可言。

除了上述節流措施外，開源亦是重要手段。可由政府出面收購當地河口捕獲之部分





鰻苗，一是直接再放流至原河川中游，二是於當地養殖場養殖 2–3 個月，使成為每尾 5–10 g 之幼鰻，於夏季時將此幼鰻放流回原捕捉河口，讓其恢復野性，並應將鰻魚放流河川皆劃設為封溪護魚河川，禁止一切漁業活動，方可確保河川天然資源與生態，對於鰻魚資源之養護與放流鰻魚之降海，效益方能極大化。放流鰻約經 2–3 年後之成長，便可偕同野生鰻一同降海洄游。由於放流鰻是原地捕捉與原地放回，因此能確保其產卵洄游之能力。此法特點是可確保放流鰻找到產卵場，並大幅增加河川鰻魚之資源量。

近年來，天然鰻苗的產量有顯著下降的趨勢，供需缺口日益擴大，成為養鰻產業亟待克服的瓶頸。因此，積極開發種苗人工繁殖的技術，生產大量的鰻苗供養殖所需，不但可以減緩鰻魚天然資源的利用壓力，更同時具有龐大的產業利益。目前，僅有日本與韓國具有完全人工繁殖的技術，但始終無法規模化量產。因此，政府應更加積極投資在種苗人工繁殖的技術，否則將來的鰻魚產業，將由日韓完全主導，臺灣將被邊緣化。

二、鱸鰻

鱸鰻是鰻魚屬中全世界分布最廣、資源最豐富的鰻種，橫跨印度洋與太平洋。其分布在非洲東岸、馬達加斯加、印度、孟加拉、斯里蘭卡、印尼、菲律賓、臺灣、越南、新幾內亞、關島、加拉巴哥群島及南太平洋之法屬玻里尼西亞。在緯度上，最北可至日本南端，最南可至南非最南端之好望角，主要集中在熱帶與亞熱帶區域。根據 Minegishi

et al. (2008) 之遺傳研究，鱸鰻之次族群至少有 5 個以上，分別是西北太平洋族群、關島族群、西印度洋族群、東印度洋族群、以及南太平洋族群。由於其廣闊的分布，因此可以推論其至少有 5 個以上之產卵場，以支持其不同族群間之生殖隔離。Watanabe et al. (2008, 2009) 利用形態來研究鱸鰻次族群，指出至少有 4 個次族群，分別是西北太平洋族群、密克羅尼西亞族群（包含關島）、印度洋族群、以及南太平洋族群。雖然鱸鰻生物地理分布極廣，也具有多個次族群與產卵場，但是 Gagnaire et al. (2011) 認為，不同族群間可能具有某種程度的基因交流，導致基因變異在不同族群間變小，實際上可能只有 3 個次族群（北太平洋族群、印度洋族群、南太平洋族群）。鱸鰻雖然被 IUCN 紅皮書列為無危物種，但其實際之資源總量仍不清楚，近年 Delgado (2013) 之研究估計其有效族群量可能比其它鰻種低，族群也可能處於脆弱狀態。族群資源量可能因氣候變遷、過度捕撈及都市及工業不斷擴張，種種人為因素促使鰻魚的自然棲地受到嚴重的破壞而減少。例如在西印度洋區域如 Réunion Island 及 Madagascar 地區，因河川水大量作為農用或是過度捕撈，導致族群資源量明顯下降。因其可切分為數個次族群，因此在保育上應為好幾個管理單位，每個次族群之資源量及面臨之資源下降壓力可能不同，未來應加強對其資源現況之調查，才能正確評估其紅皮書分類。

根據統計，在 2003–2012 年間，估計有約 90 公噸（相當於 54 億尾）之熱帶鰻苗



進口至香港，再轉口至中國、臺灣與韓國被大量飼養。其中以鱸鰻鰻苗佔多數。光是 2012 年就有 35 公噸之鰻苗被捕捉，絕大部分在中國飼養。根據苗商情報，2012 年臺灣自菲律賓進口的鰻苗約為 6 公噸。菲律賓為主要鱸鰻鰻苗出口國，約佔全球出口總量 9 成以上，印尼則為第二大出口國，臺灣本地亦有少量捕捉。自 2005 年開始，鰻苗由 Madagascar 出口至東亞亦時有所聞，於 2012 年達到高峰，達 4 公噸之多。但是出口主力是莫三比克鰻鰻苗，鱸鰻鰻苗主要為混獲。

鱸鰻近年來已成為中國、臺灣、韓國、菲律賓以及印尼地區一新興養殖物種。鱸鰻在 1989 年曾經被臺灣列為第二級珍貴稀有保育類動物，但近幾年來對於鱸鰻之研究，發現其地理分布廣泛，族群總量尚多，臺灣因分布在其地理範圍邊緣，因而數量有限，故在 2009 年被移出保育名單，臺灣自此開始大量養殖鱸鰻。鱸鰻在臺灣東部及屏東南部流域分布較多，主要有兩波洄游上溯期，一波約在春季的 3—6 月間，另一波則約在秋季 8—10 月間。鰻苗是經呂宋島漂送過來，因此洄游時間較呂宋島晚約 1 個月。目前臺灣地區鱸鰻與日本鰻資源量幾乎平分秋色，年產量估計約在 1—3 公噸，勉強可供應臺灣本地養殖需求，但是若一次需要一大批鰻苗，仍需靠菲律賓進口。鱸鰻在菲律賓為優勢鰻種，估計佔所有鰻種 7 成以上，一年四季皆可捕獲，主要產區在呂宋島北部及民答那峨島東部與南部，由近年採捕資料推估，菲律賓平均 1 年約可採捕鱸鰻鰻苗

30 公噸以上，足敷東亞/東南亞養殖需求。在印尼地區，熱帶鰻種眾多，估計超過 9 種，鱸鰻主要分布在蘇拉維西、蘇門達臘、爪哇與新幾內亞，在各地區並無明顯優勢，因此混獲狀況較嚴重，一般養殖戶較不青睞。

三、雙色鰻

雙色鰻具有兩個亞種，一為太平洋雙色鰻、另一亞種則為印尼雙色鰻。印尼雙色鰻分布在印度洋，可能分成東印度洋與西印度洋族群。東印度洋族群分布在蘇門答臘西岸、爪哇島南岸、印度、孟加拉、斯里蘭卡與緬甸。西印度洋族群則分布在非洲東岸（坦尚尼亞至南非）與馬達加斯加。太平洋雙色鰻，臺灣俗稱黑鰻，分布在西太平洋地區，包括中國、臺灣、越南、菲律賓、婆羅洲、蘇拉維西、新幾內亞與馬里亞納群島。雙色鰻至少具有 3 個產卵場，以對應東西印度洋與西太平洋族群。

雙色鰻被 IUCN 列入近危物種，其實際資源量仍不清楚，雖然其生物地理分布範圍很廣，幾乎與鱸鰻不相上下，但實際上分為兩亞種，在各地區多半不佔優勢。唯一例外之處是爪哇島，印尼雙色鰻在當地為優勢族群，明顯勝過鱸鰻。太平洋雙色鰻主要產地在菲律賓，是近年養殖的熱門鰻種，每年 10—12 月產苗量較多，但是其鰻苗產量較不穩定，不易取得整批純的鰻苗為其缺點。由於太平洋雙色鰻在菲律賓非優勢鰻種，因此與鱸鰻苗混獲狀況嚴重，不易統計其正確貿易量。根據 FAO 統計，印尼河川成鰻年捕獲量約 2,000 公噸，大多為印尼雙色鰻。





雙色鰻在原產地印尼以及菲律賓之養殖近年來急速擴張，同時大量鰻苗也出口至中國、韓國與臺灣飼養，企圖部分取代日本鰻消費市場。雙色鰻鰻苗推估年產量可達 10 公噸以上，足以支撐市場規模的生產。

四、美洲鰻

美洲鰻是近年中國熱門的養殖鰻種。2014 年中國放養美洲苗 13 公噸，2015 年放養 10 公噸，2016 年放養 30 公噸，2017 年放養 20 公噸，2018 年放養 30 公噸以上，部分原因是為了填補因歐洲鰻養殖衰退所形成之空窗。過去美洲鰻鰻苗主要由北美洲地區供應，由於近年價格飛漲，每尾甚至超過新臺幣 30 元，目前業界將重心指向中美洲地區的鰻苗（海地、多明尼加、古巴），取代北美地區成為新興供應來源，目前中美洲地區捕撈規模推估年產量超過 20 公噸，未來發展值得密切關注。

五、莫三比克鰻

莫三比克鰻盛產於東非與馬達加斯加，背部無花色，似乎為當地優勢種。近年來中國、韓國與臺灣皆曾引進試養，主要進口產地是馬達加斯加，2013 年韓國放養了 4 公噸，每尾約新臺幣 7—8 元，各地目前尚無大量養成報告，似乎全軍覆沒。值得注意的是，由於日本鰻苗高昂的身價，誘使部分苗商轉向菲律賓、印尼、東非等地收購異種鰻苗，魚目混珠，混充日本鰻，造成養殖業者重大損失。今後須特別關注此一違法情形，養殖業者亦須提高警覺，最好將鰻苗送驗以保障自身權益。

結語

異種鰻的發展，基本上是與日本鰻反向連動，當日本鰻鰻苗豐收時，業者放養異種鰻的意願低落，反之當日本鰻鰻苗歉收時，業者放養異種鰻意願即高漲。異種鰻鰻苗雖然價格便宜，但養殖難度較日本鰻為高，育成率普遍不佳，實際生產成本與利潤受育成率與日本鰻價格左右。但是為了因應日本鰻長期需求的缺口，可以考慮適度發展異種鰻的養殖。以目前臺灣產業現況來說，近年高價的日本鰻鰻苗，導致養殖戶養殖意願低落。因此，加強異種鰻養殖技術開發和其消費市場開拓，尤其是鱸鰻、太平洋雙色鰻與美洲鰻，是目前可以考慮的方向。





參考文獻

- 韓玉山 (2012) 人工放流鰻魚之生物學特性及其效益評估。農委會 101 年度科技計畫研究報告。
- Chen, J. Z., S. L. Huang and Y. S. Han (2014) Impact of long-term habitat loss on the Japanese eel *Anguilla japonica*. *Estuar. Coast Shelf. Sci.*, 151: 361-369.
- Crook, V. (2010) Trade in *Anguilla* species, with a focus on recent trade in European eel *A. anguilla*. In: TRAFFIC: Report prepared for the European Commission.
- Crook, V. and M. Nakamura (2013) Glass eels: Assessing supply chain and market impacts of a CITES listing on *Anguilla* species. *TRAFFIC Bull.*, 25: 24-30.
- Dekker, W. (2004) Slipping through our hand. Population dynamics of the European eel. PhD dissertation. Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics, Univ. of Amsterdam.
- Delgado, S. F. (2013) Eel population genetics and conservation: an evolutionary perspective on declining stocks. *Ecole Pratique des Hautes Etudes*.
- Ege, V. A. (1939) A revision of the genus *Anguilla* Shaw. *DANA Rep.*, 16: 8-256.
- FAO (2013) Capture and Aquaculture Production (1950-2011) and Fisheries Commodities Production and Trade (1976-2009) data.
- Gagnaire, P. A., Y. Minegishi, S. Zenboudji, P. Valade, J. Aoyama and P. Berrebi (2011) Within population structure highlighted by differential introgression across semipermeable barriers to gene flow in *Anguilla marmorata*. *Evolution*, 65: 3413-3427.
- Han, Y. S., A. V. Yambot and H. Zhang (2012) Sympatric spawning but allopatric distribution of *Anguilla japonica* and *Anguilla marmorata*: sieving effects of temperature and oceanic current. *PLoS ONE* 7: e37484.
- Han, Y. S., H. Zhang, Y. H. Tseng, M. L. Shen and C. L. Hung (2012) Larval Japanese eel (*Anguilla japonica*) as the sub-surface current bio-tracers in East Asia continental shelf. *Fish. Oceanogr.*, 21: 281-290.
- Jacoby, D. and M. Gollock (2014) *Anguilla luzonensis*. The IUCN Red List of Threatened Species, Version 2015. 2. Available at: www.iucnredlist.org
- Jacoby, D., I. J. Harrison and M. Gollock (2014) *Anguilla bicolor*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T166894A67015710.
- Kuroki, M., J. Aoyama, M. J. Miller, S. Watanabe, A. Shinoda, D. J. Jellyman, E. Feunteun and K. Tsukamoto (2008) Distribution and early life history characteristics of anguillid leptocephali in the western South Pacific. *Mar. Freshwater Res.*, 59: 1035-1047.
- Minegishi, Y., J. Aoyama and K. Tsukamoto (2008) Multiple population structure of the giant mottled eel, *Anguilla marmorata*. *Mol. Ecol.*, 17: 3109-3122.
- Pous, S., E. Feunteun and C. Ellien (2010) Investigation of tropical eel spawning area in the South-Western Indian Ocean: Influence of the oceanic circulation. *Prog. Oceanogr.*, 86: 396-413.
- Robinet, T., E. Reveillac, M. Kuroki, M. W. Rabenavanana, P. Valade, J. Aoyama, P. Berrebi, K. Tsukamoto and E. Feunteun (2008) New clues for freshwater eels (*Anguilla* spp.) migration routes to eastern Madagascar and surrounding islands. *Mar. Biol.*, 154: 453-463.
- Tesch, F. W. (2003) The Eel. Blackwell Science Ltd., Oxford.
- Tsukamoto, K. (1992) Discovery of the spawning area for Japanese eel. *Nature*, 356: 789-791.
- Tsukamoto, K. (2006) Spawning of eels near a seamount: tiny transparent larvae of the Japanese eel collected in the open ocean reveal a strategic spawning site. *Nature*, 493: 929.
- Watanabe, S., J. Aoyama, M. J. Miller, S. Ishikawa, E.





Feunteun and K. Tsukamoto (2008) Evidence of population structure in the giant mottled eel, *Anguilla marmorata*, using total number of vertebrae. *Copeia*, 2008: 681-689.

Watanabe, S., M. J. Miller, J. Aoyama and K. Tsukamoto (2009) Morphological and meristic evaluation of the population structure of *Anguilla marmorata* across its range. *J. Fish Biol.*, 74: 2069-2093.



國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

鰻魚資源與放流之研究/楊順德等著.— 基隆市：

行政院農業委員會水產試驗所，民 108.10

面：公分.— (水產試驗所特刊：第27號)

ISBN 978-986-5440-14-5 (平裝)

1.魚產養殖 2.鰻

438.661

108016993



鰻魚資源與放流之研究

Studies on the Anguillid Eel Resources and Restoration in Taiwan

發行人：陳君如

編輯委員：張錦宜、曾振德、許晉榮、葉信明、吳豐成、蔡慧君

主編：楊順德

著者：楊順德、冼宜樂、林綉美、張格銓、黃瀛生、謝恆毅、張湧泉、劉富光、蔡惠萍
李彥宏、侯清賢、陳玟妤、吳龍靜、藍揚麒、黃星翰、王友慈、潘佳怡、葉信明
陳紫嫻、周爰瑱、韓玉山

校稿：陳冠如

責任編輯：陳冠如

編輯：李周陵

出版者：行政院農業委員會水產試驗所

地址：基隆市中正區20246和一路199號

電話：(02)24622101

傳真：(02)24629388

網址：<http://www.tfrin.gov.tw>

印刷：紙本館企業有限公司

電話：(02)25322032

定價：新臺幣 240 元

出版日期：中華民國一〇八年十月

展售處：

1. 五南文化廣場臺中總店 臺中市中山路6號 (04)22260330

2. 國家書店 臺北市松江路209號1樓 (02)25180207

<http://www.govbooks.com.tw>

GPN 1010801697

ISBN 978-986-5440-14-5

本書內容保留所有權，非經本所同意，不得重製、數位化或轉載。





Studies on the Anguillid Eel
Resources and Restoration in Taiwan

ISBN 978-9865440145

00240



9 789865 440145