

海洋入侵外來魚類對原生態系統影響之研究

(正式報告)

國家海洋研究院自行研究報告

中華民國 110 年 12 月

「本研究報告僅供國家海洋研究院施政參考，並不代表該院政策，該院保留採用與否之權利。」

海洋入侵外來魚類對原生態系統影響之研究

(正式報告)

單位：國家海洋研究院

研究人員：廖運志、塗建銘、陳宜暄、許世霖、

江國辰、張至維

研究期程：中華民國 109 年 3 月至 109 年 12 月

研究經費：新臺幣 70 萬元

國家海洋研究院自行研究報告

中華民國 110 年 12 月

「本研究報告僅供國家海洋研究院施政參考，並不代表該院政策，該院保留採用與否之權利。」

海洋入侵外來魚類對原生生態系統影響之研究

正式報告

國家海洋研究院

目 錄

摘 要	1
第一章 前 言	3
第一節 研究緣起與背景	4
第二節 研究目的及研究重點	5
第三節 預期目標	6
第二章 研究方法與步驟	7
第三章 研究結果與討論	8
參考文獻	10

圖 次

圖一、臺灣沿海龍虎斑分布圖。.....	8
圖二、潮境保育區所獵捕之龍虎斑胃內容物含大量魚類殘骸。.....	9
圖三、外來種龍虎斑與可能食物來源飼料及食物網種類之穩定同位素碳及氮組成。.....	10
圖四、本院研究人員與海科館潛水志工合作進行潮境保育區內龍虎斑移除研究。.....	11
圖五、潛水人員在保育區利用魚叉捕獲外來種龍虎斑。.....	11
圖六、台灣北部漁港在假日常見民間宗教團體進行放生活動。.....	12
圖七、潮境保育區申請潛水獵捕之龍虎斑。.....	12

表 次

表一、臺灣沿海龍虎斑分布圖。.....	8
---------------------	---

摘要

本研究目的為探討海洋外來魚類對生態影響，藉由潛水獵捕移除基隆潮境保育區內之人工雜交石斑魚-龍虎斑，並由釣客提供保育區範圍外之野外龍虎斑個體，進行入侵機制及對生態影響研究。2020年共計採獲龍虎斑19尾，其中5尾來自潮境保育區，標準體長265-475mm，體重578-4000gw。食性分析結果顯示，空胃率89%，其中1尾來自保育區胃內已消化11件魚類組織，經粒線體COI DNA序列進行分子鑑定皆為長身圓鰲(*Decapterus macrosoma*)；另一尾來自保育區之胃內魚種類為烏尾冬(*Pterocaesio digramma*)。利用碳、氮穩定同位素探討龍虎斑食物來源及攝食位階，分析13尾(3尾來自保育區)龍虎斑及基隆潮境海域37種食物網種類，結果顯示5尾(38%)食物源為人工餌料，8尾(62%)來自海域食物網、應以優勢種(攝食浮游動物之小型雀鯛)為主要食物；保育區內2尾龍虎斑為人工餌料、1尾為食物網，顯示保育區龍虎斑來源應為近期人為放生，經放生後改攝食生態系之原生物種。

以上結果推論，基隆潮境保育區及附近海域之人工雜交龍虎斑在食物網內屬攝食位階較高之大型掠食魚類，經人為放生且適應良好後改以原生物種為食。目前雖尚未發現性成熟個體，但野外大型個體恐有在野外自然繁殖之虞，應持續研究及監測，並嚴格管制人為放生。

關鍵詞：外來種、人工雜交、龍虎斑、穩定同位素分析

第一章 前言

依據國家海洋研究院處務規程第 8 條第 1 款至第 5 款：「海洋生態及保育研究中心掌理事項第四項：海洋外來物種入侵防治技術之研究及推廣」辦理。臺灣海域近年因過度捕撈、汙染等問題，已造成漁業資源枯竭、生物多樣性減少，外來種掠食性魚類入侵後恐造成海洋生態破壞、漁業經濟之重大損失，應針對基礎生物及入侵機制進行研究並探討對生態的影響，提供未來移除與防治管理重要參考。

第一節 研究緣起與背景

2019年10月底一則「獵龍行動開跑！基隆保育區開抓外來種龍虎斑」新聞引發潛水界的高度討論，許多人質疑為何保育區內明文禁止採捕卻開放志工打魚？少數常於水中餵食魚類的潛水人士強力反對將保育區內這幾尾易與人類互動的明星物種大石斑魚移除。但經過說明這些將被移除的石斑魚，是經由人工雜交的外來魚類，一旦在自然環境中成長繁殖後恐造成生態浩劫。反而吸引另一批潛水同好欲報名參加此次外來種移除的盛況！

「龍虎斑」是近年來受歡迎的新興養殖魚種，因肉質較為Q彈紮實、卻又不失石斑魚的細緻口感，十分受到饕客的喜愛。但龍虎斑並非天然環境下的物種，是水產界經由人工繁殖技術，將雄性龍膽石斑(*Epinephelus lanceolatus*)與雌性老虎斑(*Epinephelus fuscoguttatus*)雜交繁殖而成。因身體紋路兼具龍膽石斑的斑點與老虎斑的虎紋，故又名珍珠石斑、虎膽石斑等，特點是成長更快速，僅需要不到一年的養殖時間即可收成上市，已成近年養殖界的新寵兒，更是漁業署極力推廣的養殖物種。但最近研究人員卻意外發現，在臺灣北部海域的基隆、野柳及新北市等多處地點，甚至離島澎湖與遠至臺灣西南海域的臺灣灘海域，已陸續在野外潛水觀察或釣獲到零星的龍虎斑、有時甚至集結成群、大量出現。因為臺灣地區石斑魚的主要養殖區域在西南沿海魚塭或箱網，初步懷疑這些龍虎斑的來源應該是由宗教團體所放生。

根據過去研究，外來種生物入侵後往往會改變當地族群密度、分布、成長特徵、行為及生態群聚改變、物種組成變化、外來的病原菌與疾病等，即使花費大量人力與經費來移除或管理，幾乎仍無法恢復原狀，也造成重大的經濟損失，例如台灣過去淡水外來種如吳郭魚、魚虎、牛蛙、福壽螺等等。回顧全球外來海水魚類已成功入侵的案例，例如夏威夷為了水產增值於1960年代引進四線笛鯛(*Lutjanus kasmari*)後已迅速成為當地的優勢物種，影響原生魚類群聚為首例；第二例為1998年來自太平洋俗稱獅子魚的魔鬼蓑鮋(*Pterois volitans/miles*)，在逃逸至美國東岸的大西洋海域後，因無天敵、食物充足、且適應良好的情況下，在短短十年內大量自然繁殖、擴散至加勒比海等地造成嚴重生態浩劫。眼斑擬石首魚(*Sciaenops ocellatus*)，又稱紅鼓魚、紅古(臺灣)或美國紅魚(中國)，原生棲息地為美國東岸及墨西哥灣之河口與沙灘底質之淺海域，自引進後常見於臺灣西部與中國沿海，已成為世界成功入侵之海水魚類第三例(Liao et al., 2010)。因其適應力佳、成長快速、體型大且性貪食，恐已能在野外自然繁殖，將嚴重影響當地魚類群聚及海洋生態。然而，近幾年臺灣多處海域可見大量人工雜交種石斑(龍虎斑)遭宗教團體放生，未來恐造成嚴重生態問題！

第二節 研究目的及研究重點

研究人員過去已多次於基隆市潮境保育區及附近海域內觀察記錄到龍虎斑，且因潮境保育區於 105 年起依據漁業法公告為海洋資源保育區後嚴格限制採捕。推測龍虎斑來源應該為宗教團體所放生，且游進保育區後因限制採捕而獲得保護，加上觀察有部分潛水人士固定餵食而續存活成長，目前約有 10-20 尾大小不等龍虎斑分散保育區內幾處地點，擔憂因適應野外環境後會大量掠食其他原生魚類造成生態問題。值得注意的是，過去學界普遍認為經由人工繁殖雜交的魚類會因為生理或行為上的生殖隔離故無法於自然環境下繁殖成功，但 2018 年研究者廖運志參訪馬來西亞沙巴大學內人工繁養雜交種龍虎斑技術的起源地時，意外由研究人員提及這些人工雜交的龍虎斑已能在人工環境下自然繁殖至第三代，如因人為放生或天然災害等因素而逃逸至野外環境、成功地自然繁殖後代，恐會造成無法彌補的生態浩劫！故藉本計畫向基隆市政府提出此外來種龍虎斑的移除研究申請。

本計畫執行期間，由本院研究人員及海科館潛水志工於潮境保育區及鄰近海域範圍內進行水肺潛水觀察記錄，並利用釣魚、圍網或魚叉及魚槍(具合法使用登記)等方法進行採集清除。本計畫更擴大至全臺灣海域，進行龍虎斑的野外族群分布及密度、生殖週期及年齡等生物特徵、食物組成、攝食行為及生態系之攝食位階等研究，並探討對當地魚類群聚及生態影響。

在技術面上，一般傳統海洋生態調查，包含水肺潛水調查、網具採樣及底泥採集等方法。然而，傳統調查仍有其限制，除須投入大量人力、資源及時間成本外，亦存在氣候條件、採樣時間、生物隱蔽習性、形態鑑種之困難等問題。為提升我國海洋生態之研究效能，發展長期性、應用性及基礎性之調查研究，配合本計畫嘗試使用新創科技，包含環境 DNA (environmental DNA, eDNA)、水下被動聲納等技術，進行外來種偵測之研究初探。

紅鼓魚屬於發聲魚類，在生殖季節會產生類似敲鼓的聲音，目前在國外已利用水下被動聲納技術來推估發聲魚類的位置、棲地分布、群體數量的推估，做為漁業資源管理及產卵與生活棲地保護的重要資料根據。由於紅鼓魚的聲音與臺灣沿海石首魚類的聲音特徵有所差別，利用水下被動聲納技術應可與其他石首魚類的聲音中分辨。

第三節 預期目標

針對海洋外來魚類龍虎斑進行基礎生物與生態及入侵機制研究，預期研究成果將提供未來外來種移除、水產養殖管理及外來種教育之重要參考。

有鑑於人工雜交種龍虎斑在台灣沿海的分布範圍已見擴散，包含離島地區甚至台灣西南海域接近台灣海峽中線的臺灣灘皆陸續紀錄，故本計畫將針對遭大量放生之人工雜交石斑魚龍虎斑展開初步調查，進行生物特徵、生態影響及入侵機制等研究。本研究將了解以下問題：

- 一、了解野外族群分布、密度、生殖及年齡等生物特徵。
- 二、探討食物組成、攝食行為及生態系之攝食位階等。
- 三、研究入侵的機制以及對當地魚類群聚及生態影響。
- 四、擬提外來種移除方法之可行性研究，租船進行野外外來種採集及移除方法測試。

第二章 研究方法與步驟

首先，利用網路調查過去在釣魚社群所釣獲紀錄及分布，包含時間、地點及體長估算等資訊，提供野外龍虎斑族群的時空分布現況。此外，在國內釣魚相關社群公開徵求龍虎斑樣本採集與收購，另外與海科館潛水志工向基隆市政府申請於潮境保育區內進行潛水採集。魚樣本將進行形質測量及基礎生物資料收集(標準體長、體重、胃內容物及生殖腺重等)。

利用採獲之龍虎斑、飼料及生態系食物網物種之肌肉的穩定同位素分析法來判別其食物來源，藉此分辨入侵機制為人為或野生(在野外捕食天然餌料生物)。探討對生態的影響方面，分布、胃內容物分析及生殖生態等研究成果能證明龍虎斑是否能成功適應、食性與繁殖情形，但在生態系中的攝食位階(trophic level)為何將會決定對當地生態的影響程度。魚類樣本之胃內容物食性分析可判斷不同地區之攝食位階及差異，但這項方法主要限制為很可能多為空胃，或只能反應死亡前的攝食狀態。因此，將採集養殖及野外採或之龍虎斑及生態系中的生物種類進行穩定同位素(碳、氮)分析法，可以藉此了解其食物來源及攝食位階。

肌肉碳、氮穩定同位素分析方法，取野生及人工飼養之龍虎斑及生態系中所有生物(包含餌料及群聚生物)之肌肉組織樣本約 1 公克，將樣本至於烘箱內乾燥(50°C)，將乾燥標本研磨成粉末。取 1mg 組織粉末置於錫杯內包埋。錫杯可直接利用溫定同位素分析儀進行測定。分析儀可檢測出樣本中 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 和 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 的比值，以 δ 表示。 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 利用下列公式計算得出：

$$\delta^{13}\text{C} = \left\{ \frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C sample}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C PDB}} - 1 \right\} \times 1000$$

$$\delta^{15}\text{N} = \left\{ \frac{^{15}\text{N}/^{14}\text{N sample}}{^{15}\text{N}/^{14}\text{N atmosphere}} - 1 \right\} \times 1000$$

環境 DNA(environmental DNA, eDNA)部分，以海洋外來入侵魚種紅鼓魚為目標物種，調查地點設定於開放水域、半封閉水域及封閉水域，分別選擇於基隆潮境海灣、和平島及潮境工作站養殖池，採集 1 公升海水樣本，並以 12S rRNA 基因序列(Miya et al., 2015)，檢測環境 DNA 中是否有屬於紅鼓魚的 DNA 序列。

利用水下被動聲納技術於西部海域進行大面積的側線調查以掌握紅鼓魚及其他石首魚類族群的分布及棲地利用。並比較紅鼓魚與其他石首魚聲學之差異及進行紅鼓魚基礎生物學研究。

第三章 研究結果與討論

利用網路調查在釣魚社群所釣獲紀錄及分布等資訊，可提供野外龍虎斑族群的時空分布現況。由結果顯示，臺灣沿海龍虎斑分布紀錄地點包含基隆、新北市、台中港、台南、高雄及屏東等釣，另外澎湖與臺灣西南海域的臺灣灘亦有野外照片記錄(圖一)。結果顯示，分布範圍相當廣已包含本省及離島海域。

自 2020 年共計採獲龍虎斑 13 尾，其中 3 尾來自潮境保育區，標準體長 265-475mm，體重 578-4000g。初步食性分析結果顯示，空胃率 89%，其中 1 尾來自保育區胃內發現已消化之共計 11 件魚類組織或殘骸無法藉由形態特徵鑑定種類(圖二)，經利用粒線體 DNA 之 COI 進行分子序列鑑定及與基因庫(GenBank)資料庫核對後，所有魚類組織皆為鱈科魚類長身圓鰲(*Decapterus macrosoma*)；另一尾來自保育區之龍虎斑現場翻胃之魚類鑑定為烏尾冬(*Pterocaesio digramma*)。利用碳、氮穩定同位素探討龍虎斑食物來源及攝食位階，分析 13 尾(3 尾來自保育區)龍虎斑及基隆潮境海域 37 種食物網種類(圖三)，結果顯示 5 尾(38%)食物源應該為人工餌料，8 尾(62%)來自基隆海域食物網內物種，應以優勢種(攝食浮游動物之小型雀鯛)為主要食物；保育區內捕獲之 2 尾龍虎斑研判食物來源應為人工餌料，另 1 尾可能為食物網種類，初步結果顯示保育區龍虎斑來源為近期人為放生，經放生後應會改以攝食生態系食物網之原生物種。

以環境 DNA 偵測外來入侵魚類方面，於 109 年 7 月 6 日野外水樣採集，並觀察採集處是否有紅鼓魚，潮境海灣浮潛調查無發現紅鼓魚，和平島岸邊觀察目擊紅鼓魚，潮境工作站養殖池可見紅鼓魚。初步結果顯示(表一)，利用環境 DNA 皆有檢測到 1-3 筆紅鼓魚 DNA 序列，表示水域中近期曾出現紅鼓魚。分布調查將有助於評估入侵範圍及程度，以及外來種移除作業。

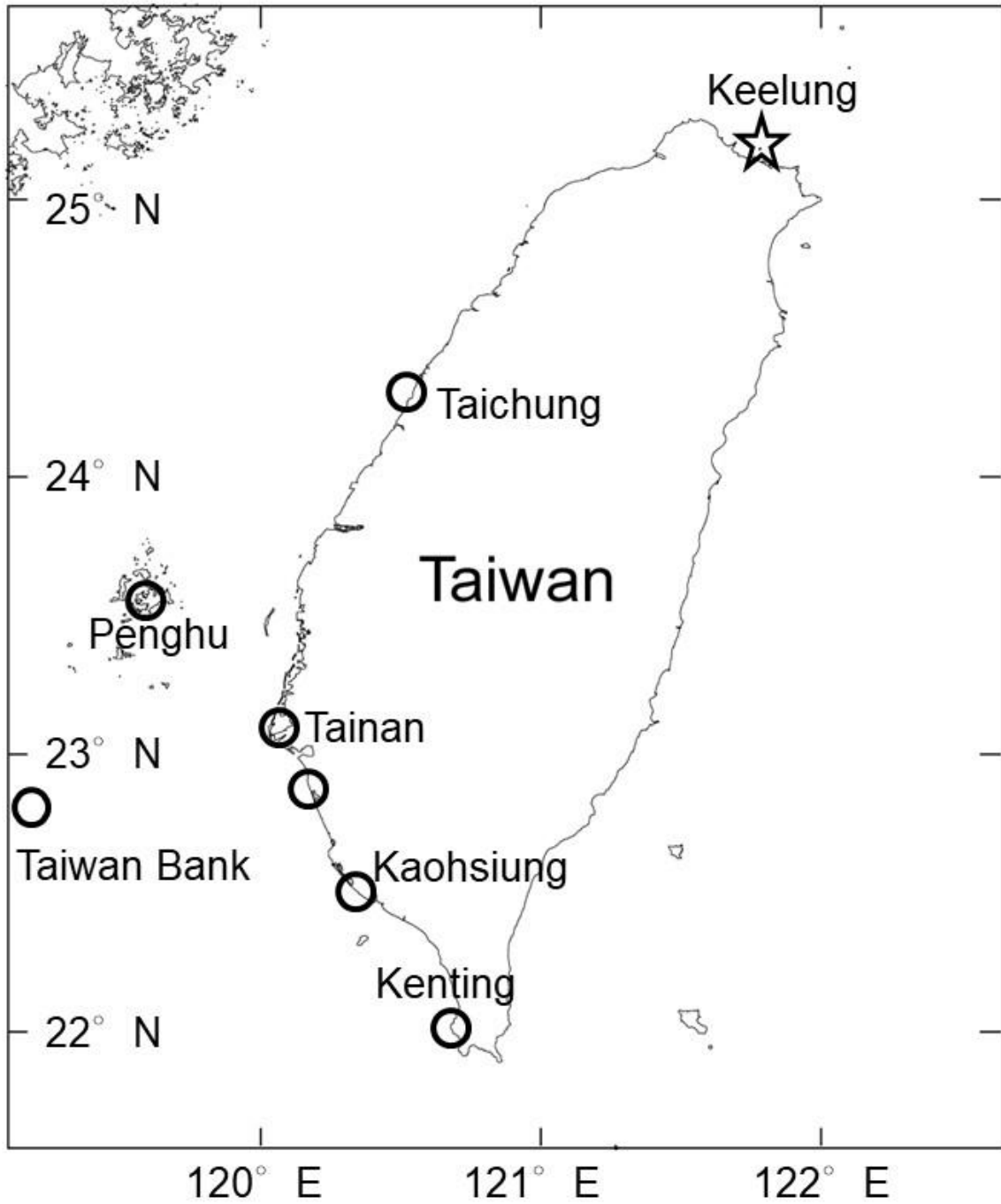
以水下被動聲學技術紀錄嘉義養殖紅鼓魚成魚的結果，經聲音分析可發現紅鼓魚發出 4 至 5 個類似鼓聲(drum)的聲音，聲音的長度(call duration)約 0.86 秒，聲音頻率低於 1KHz，並根據其頻譜圖可發現在第一個脈衝波(pulse)到第二個之間的時間較長(圖八)。

以上初步結果推論，基隆潮境保育區及附近海域之人工雜交龍虎斑在生態系食物網屬攝食位階較高之大型掠食魚類，且經人為放生後改以原生物種為食。目前雖尚未發現性成熟個體，但野外大型個體恐有在野外自然繁殖之虞，應持續研究及監測，並嚴格管制人為放生。本研究結果推測，宗教活動的人為放生與意外逃逸是主要來源。過去各地方政府為增進漁業資源而舉辦各種魚苗放流活動，即使委託專業團體放流活動仍需通過申請、審查及檢驗等，亦避免因放流外來種造成生態問題。但民間宗教放生活動往往未通過正式申請、且對放生物種未經專業評估之下，常誤將外來物種投放至野外海域。因此，未來應嚴格限制未經申請之放生活動，更應該強制禁止放生外來種。透過教育推廣讓國人認識與了解外來種對海洋生態的影響。呼籲所有民眾不要隨意放生，如有釣獲、捕獲龍虎斑或紅鼓魚等外來魚類，請提供標本或聯絡研究單位進行後續研究。

另外，應用環境 DNA 之分子生物技術及水下被動聲納之數位科技，在調查臺灣海洋外來種發聲魚類之族群分布及數量上具發展潛力，未來可建立主動及有效移除外來種之方法，以提供未來移除技術與防治管理重要參考，維持原生態系之平衡。

參考文獻

1. Liao YC, Chen LS, Shao KT (2010) Predatory Atlantic red drum fish, *Sciaenops ocellatus*, invades along the western Taiwanese coast of Indo-West Pacific. *Biological Invasions*. 12(7):1961-1965.
2. Taylor, J. N., W. R., Courtenay, J. A., McCann, W. R., Courtenay, and J. R. Stauffer (1984). Known impacts of exotic fishes in the continental United States. *Distribution, biology and management of exotic fishes*: 322-373.
3. Miller, R. R., J. D. Williams, and J. E. Williams (1989). Extinctions of North American fishes during the past century. *Fisheries* 14: 22-38.
4. Ruiz, G. M., J. T. Carlton, E. D. Grosholz, and A. H. Hines (1997). Global invasions of marine and estuarine habitats by non-indigenous species: Mechanisms, extent, and consequences. *American Zoologist* 37: 621-632.
5. 廖運志、陳麗淑、邵廣昭(2008) 大西洋之掠食性紅鼓魚(*Sciaenops ocellatus*)入侵印度-西太平洋之台灣西岸案例。97年中華民國魚類學會年會與論文發表會暨海峽兩岸魚類學研討會摘要，第80頁。
6. 廖運志、張美瑜、邵廣昭 (2012) Biological Invasion of Atlantic red drum, *Sciaenops ocellatus*, from the West Pacific. 2012 全球石首魚保育研究平台研習會論文摘要集。
7. 廖運志 (2019) 科技部專題研究計畫:大西洋掠食性外來紅鼓魚之入侵機制及生態影響。(MOST 108-261-1-M-369-001，計畫主持人)
8. 海科館保育區獵龍行動開跑.清除外來種魚類維護海洋生態-國立海洋科技博物館新聞稿(文件登載日期:2019/10/29)。[網址 https://www.nmmst.gov.tw/chhtml/newsdetail/29/4610](https://www.nmmst.gov.tw/chhtml/newsdetail/29/4610) (檢索日期:2020/12/20)

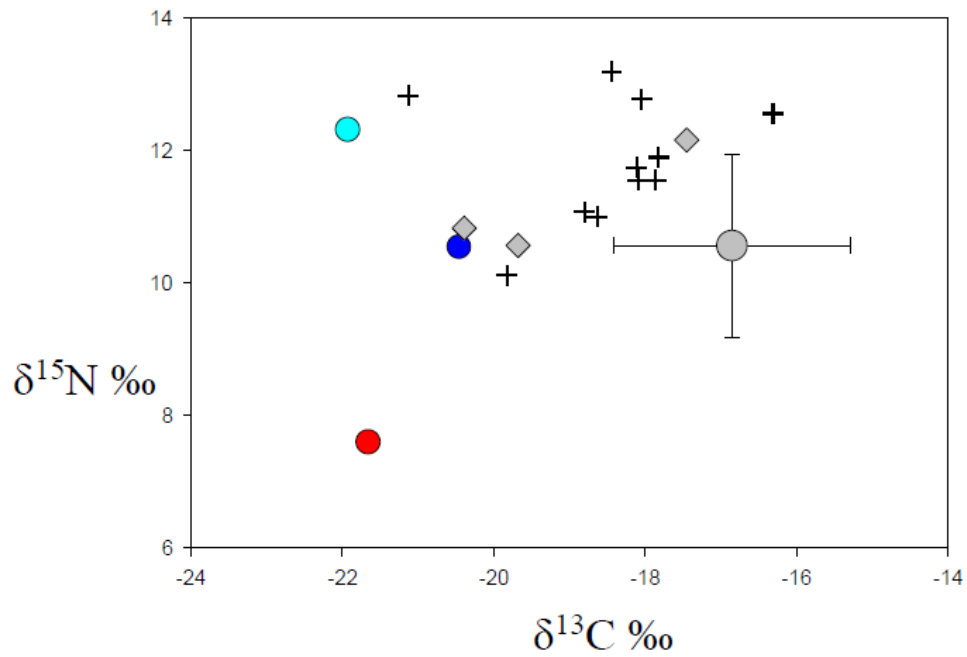


圖一、臺灣沿海龍虎斑分布圖。

(圖說:標本紀錄以星號表示，照片記錄以圓圈表示)



圖二、潮境保育區所獵捕之龍虎斑胃內容物含大量魚類殘骸。



圖三、外來種龍虎斑與可能食物來源飼料及食物網種類之穩定同位素碳及氮組成。

(圖說:釣魚取得之龍虎斑樣共計 13 尾以十字表示、潛水獵捕共 3 尾以灰色菱形表示；飼料以彩色圓圈表示；基隆海域食物網種類共計 37 種以灰色圓圈表示。)



圖四、本院研究人員與海科館潛水志工合作進行潮境保育區內龍虎斑移除研究。



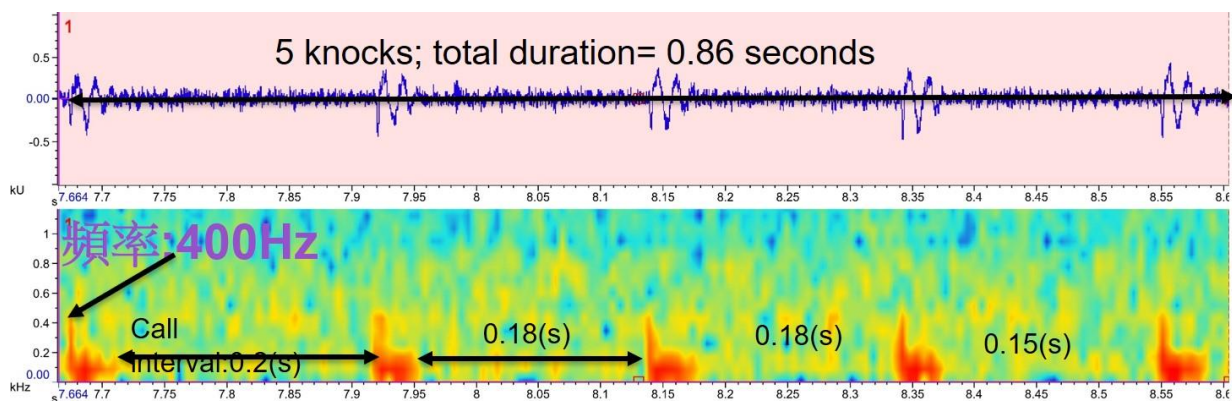
圖五、潛水人員在保育區利用魚叉捕獲外來種龍虎斑。



圖六、台灣北部漁港在假日常見民間宗教團體進行放生活動。



圖七、潮境保育區申請潛水獵捕之龍虎斑。



圖八、紅鼓魚波形圖(waveform)及頻譜圖(spectrogram)初步分析。

表一、各地點環境 DNA 紅鼓魚序列偵測數量

Location	Description	紅鼓魚 <i>Sciaenops ocellatus</i>		
		Count	Avg Perc. ID	Avg E value
潮境海灣	開放水域	3	100%	3.64×10^{-19}
和平島	半封閉水域	1	100%	3.64×10^{-19}
潮境工作站養殖池	封閉水域	2	100%	3.64×10^{-19}