



箱網養殖魚群攝食水面動態影像辨識技術

張致銓¹、鄭勝文²、邱治凱²、翁進興¹

¹水產試驗所沿近海資源研究中心、²工業技術研究院

前言

依據聯合國糧農組織 (FAO) 報告與相關研究指出，全球捕撈漁業產量已趨近飽和，而水產養殖在全球動物性蛋白質的供應上具有高度重要性。隨著陸地空間與水資源的限制，運用海洋進行養殖儼然已成為全球養殖新趨勢。此外大數據、物聯網、人工智慧、影像辨識技術的蓬勃發展，臺灣應進一步導入新科技，轉型為智慧水產養殖，以突破發展瓶頸。

海上箱網養殖生產週期長、資本投入與管理風險高，需要面對飼料、人力與設備成本、經驗累積傳承以及災害風險應變等問題，其中餌飼料的投餵控制更為養殖作業中最重要的環節。過去研究指出，箱網養殖成本與利潤結構中，餌飼料支出約佔 47—60%，是為最主要的生產成本 (高，2001；徐，2004；楊等，2017)。因此減少餌飼料的浪費除了可以降低海域污染，保持魚體的健康外，更可降低整體養殖成本增加利潤。

現有臺灣的海上箱網養殖產業，以黃鰻鯪 (紅衫)、石斑魚、海鱺為主要對象，投餵方式多採人工作業，僅憑肉眼觀察與經驗主觀判定魚隻飽食狀況，無具體量化數據作為是否該繼續投餵的依據，因而容易發生為了避免魚隻沒有吃飽而投餌過量之情況。如

此，除了浪費之外，未食用之餌飼料亦會衍生污染海域環境、影響魚隻健康，甚或破壞生態等問題。

本研究以海上箱網養殖黃鰻鯪為對象，監測進行投餵時，水面之水花動態，記錄魚群的攝食活動力與飼料消耗情形，以提供量化數值作為停止投餵時機參考，並結合現場實務操作，達成精準量化魚群攝食活動狀態之目標。

材料方法

本研究於澎湖縣西嶼鄉二崁村的天和生物箱網養殖場 (圖 1)，以直徑 16 m 的圓形箱網進行黃鰻鯪養殖，分別於 7 月 24—25 日、8 月 15—16 日及 11 月 11—12 日進行 3 次投餵試驗。



圖 1 澎湖箱網養殖現場

養殖初期以沉料馴餌，而後慢慢轉換為浮料，夏季 (或多數時期) 大部分餵食下雜魚，在黃鱮出魚 (出貨) 前 1 個月改換投餵浮性飼料。在投餵黃鱮成魚浮料過程中，魚群會聚集水面攝食。以浮性飼料為例，業者多透過投餵飼料後魚群搶食過程中造成的水花噴濺程度判斷魚群攝食狀況與活動情形，剛開始投餵時，水花噴濺程度大，後期則較無水花。

本研究現場試驗流程如圖 2 所示，首先

於供試之圓形箱網邊框上緣架設 3 組攝影機，以 3 支鏡頭 (Camera C、B 與 F) 同步錄影以比較不同位置之水花量測結果 (圖 3)，並配合現場作業，連續拋灑飼料於箱網中心，透過水面上之攝影機拍攝搶食時之水花，蒐集魚群活動影像。

其次，依據現場養殖作業人員之經驗判斷是否停止餵食，並記錄連續餵食之時間與餵食情形。完成一次投餵操作流程循環後，將影像資訊分別從記憶卡擷取至影像分析工

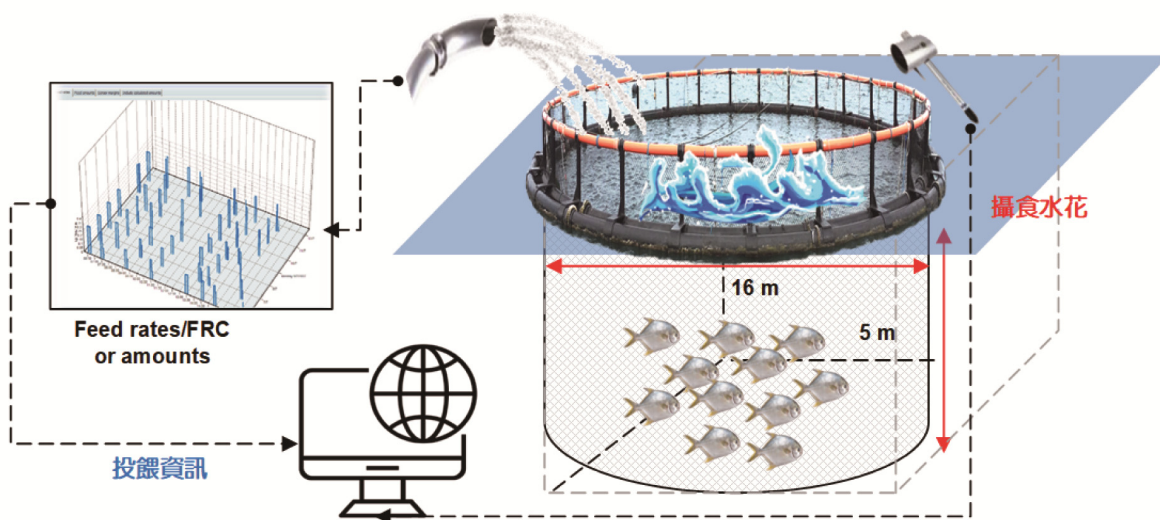


圖 2 現場試驗流程示意圖

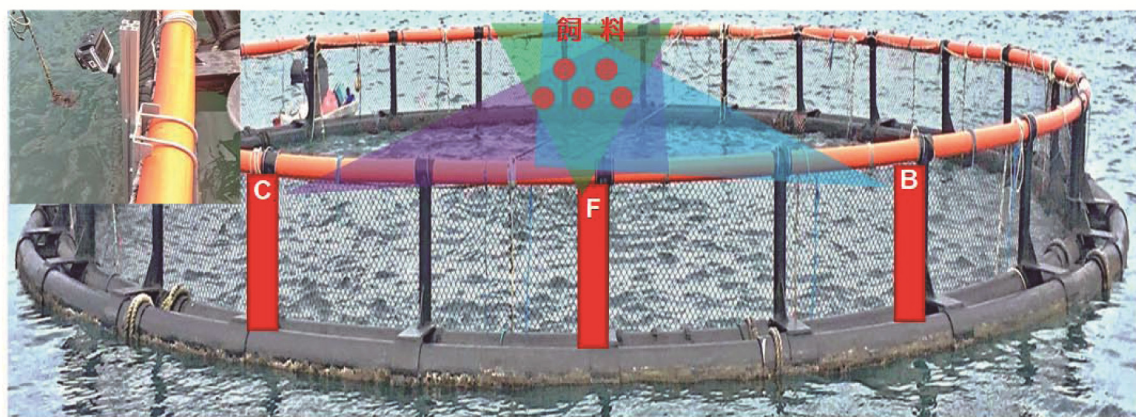


圖 3 攝影機架設與飼料投餵示意圖



作站，進行水面水花影像分析。將分析結果儲存於後端資料庫，透過運算主機搭配視覺分析軟體，運用「水花偵測演算法」進行演算。

試驗用防水攝影機採用 GoPro Hero 7 Black，最高支援 4K 解析度，每秒幀數 60 fps，內建影像穩定功能，防水 10 m，可連續錄影時間超過 75 分鐘。為了節省影像處理運算時間，採用 1080p 解析度，每秒幀數 30 fps 作為錄影規格，水平視野範圍為 86 度左右。

影像辨識處理流程

本研究主要運用影像平滑化、影像動量計算、影像二值化處理、影像過濾、圖像分割 (segmentation) 等影像辨識處理技術。其中圖像分割指的是將數字圖像細分為多個圖像子區域 (像素的集合，即超像素) 的過程，其目的是簡化或改變圖像的表示形式，使得圖像更容易理解和分析。

影像辨識處理流程如圖 4，首先透過架設好的攝影機進行取像並存取至 DVR，再將影像傳送至電腦，即可完成前置的取像作業。接著利用電腦進行圖像分割，將水花和背景切離，並將連續影像儲存至緩衝區 (buffer)，每次至少儲存 10 張影像，再將緩衝區連續影像做雜訊過濾 (noise filtering)，消除影像中非水花的部分，留下真正的水花像素資料，然後再進行水花動態類型分類，以每段緩衝區內的影像為樣本，計算水花動態類型 (分布範圍及大小) 並將其值量化計算動量數值 (motion index)，最後將量化的

數值對應到數值 0、1、2、3 (水花型態量級：無、小、中、大四種等級，如圖 5)，即為活動力數值，由此辨識判斷活動力大小。水花判定以分離白色浪花與非浪花區域為演算法開發方向，白色愈多即代表攝食愈激烈。

經影像處理後的數據，會同步將數據儲存至資料庫，也將數據顯示於使用者 (UI) 介面回饋給使用者，整體流程結束後，再匯出文件檔記錄辨識結果。

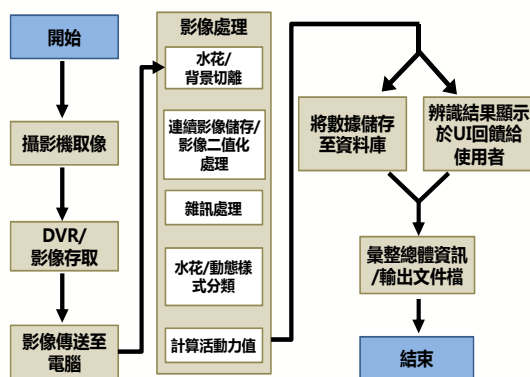


圖 4 影像辨識處理流程圖

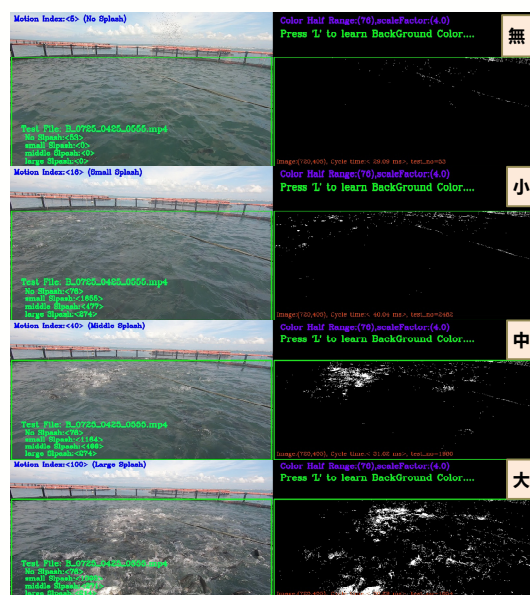


圖 5 水花型態量級 (由上至下為無、小、中、大)

水花偵測演算法技術

本研究之箱網魚類攝食水面水花動態係以「水花偵測演算法」進行分析，在養殖現場，餵食初期因魚群搶食飼料，水花噴濺程度通常較大，後期則較無水花；故本研究運用前述現象，將水花與背景切離，以水花分布範圍及大小判定噴濺程度，作為魚群是否飽食的依據。

首先，比較同一組箱網內不同位置鏡頭之水面水花噴濺程度大小，結果顯示 Camera B 與 F 在同一時間點開始拋撒飼料後約 40 秒 (以 30 fps 計算) 水花達到連續最大值 (圖 6)。在系統參數設定完全相同情況下，其動態剖面圖相似性非常高，代表不同位置之鏡頭所監測之水花噴濺結果幾乎相同，證明演算法之可靠性。

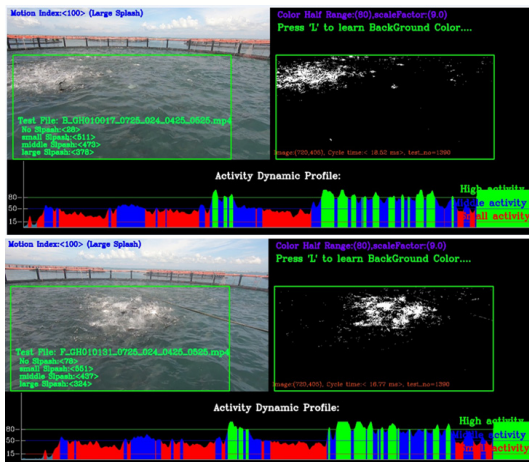


圖 6 Camera B 與 F 量測結果比較

另一方面，比較投餵過程中 (全程餵食飼料量皆維持一致) 不同時段之水花噴濺程度。在 2019 年 7 月 25 日下午進行約 18 分鐘之投餵試驗，比較 Camera B 鏡頭記錄之

第一次與最後一次餵食影像 (圖 7)，從畫面下方之動態剖面圖可得知，餵食後段之活動力已呈現減弱趨勢。投餵前段其「水花型態一大 (large splash)」累計值為 361 (圖 7 上)，後段累計值已降至 178 (圖 7 下)。

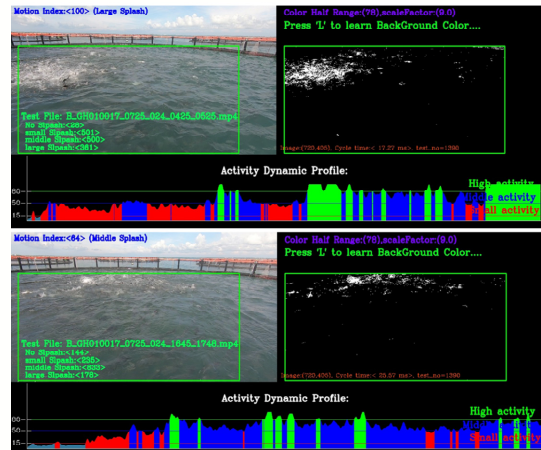


圖 7 投餵前後階段影像辨識差異 (Camera B)，前段水花型態一大，累計值為 361 (上圖)，後段累計值為 178 (下圖)

同一時段之 Camera F 鏡頭所記錄之第一次與最後一次餵食影像 (圖 8) 亦具有相同趨勢，其投餵前段「水花型態一大 (large splash)」累計值為 720 (圖 8 上)，後段累計值為 513 (圖 8 下)。

體型 1 斤左右的黃鰱鰻在正常餵食狀態下，每口圓形箱網平均投餵約 13 包的 30 kg 級浮性飼料，總投餵量約 390 kg，7 月 25 日以系統試驗輔助投餵總計投餵 12 包，至少減少 30 kg (約 8%) 的浮性飼料投餵量。

討論

實驗結果顯示，以水面攝影機量測水花型態之效果尚屬穩定，水花偵測演算法因其

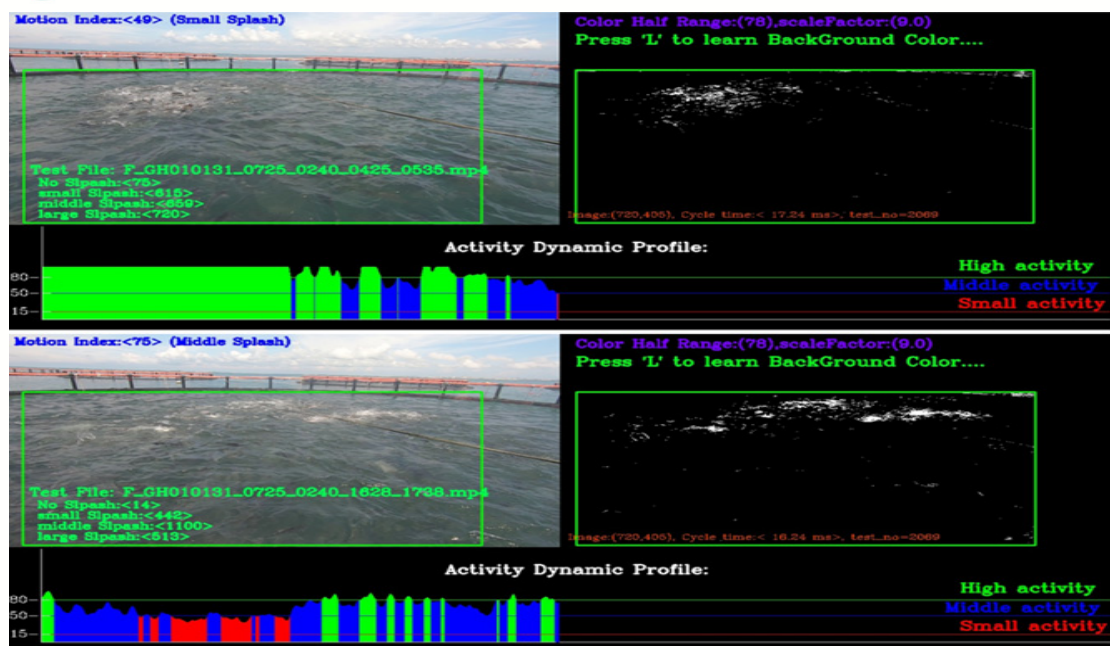


圖 8 投餵前後階段影像辨識差異 (Camera F)，前段水花型態一大，累計值為 720 (上圖)，後段累計值為 513 (下圖)

特徵主要來自於水面上水花噴濺程度變化，因此適用的場域需為投餵浮餌飼料者，若投餵沉餌或雜魚類型餌料，雖然投餵初期仍會引起魚群搶食而激起水花，唯沉入水中後則難以判定水花變小係因為魚群已吃飽或因進食行為在水中而造成水花變小，故演算法較不適用於攝食沉料或下雜魚的魚種。

另一方面，結果也顯示在投餵前段、後段有明顯差異，可推測於餵食後段，多數魚群已逐漸吃飽或進食慾望下降而導致水花噴濺程度下降。而在不同梯次投餵時，可比較不同梯次之整體活動力的差異性，其可能原因為不同成長時期魚隻大小不同而呈現之活動力差異，或因不同天候季節健康狀態呈現不同的活動力，為後續技術可精進之方向。藉由初期試驗結果顯示本技術可作為未來投餵量與時間控制之參考依據。

目前養殖現場人員投餵方式並未特別檢視魚群飽食之狀態，每次多以固定或依照經驗進行投餵，並未特別觀察或記錄魚隻進食狀況。長期下來可能導致飼料投餵過量造成成本增加與海域污染。若能累積長期數據，並導入智慧化分析輔助決策，即可作為現場人員投餵依據，甚或結合自動化投餵裝置，以控制餌料最適投餵量，進而達成精準養殖之目標。

誌謝

本研究感謝天和生物公司協助箱網養殖試驗，另本研究為農委會補助智慧科技農業計畫施政項下細部計畫「箱網養殖物聯網智慧感控技術之開發」(108 農科-13.2.8-水-A2)之部分成果。