

智慧水下影像辨識系統應用於白蝦養殖初探

楊明樺¹、鄭博仁¹、葉偉倫²、吳兆凱²、黃英哲^{2,3}、張雲南³、鄭獻榮³、吳豐成¹

¹ 水產試驗所東港養殖研究中心、² 國立中山大學數位內容及多媒體技術研究中心、³ 國立中山大學資訊工程學系

前言

白蝦 (*Litopenaeus vannamei*) 為我國主要養殖蝦種，其養成時間短，經濟價值高，因此許多漁民對於養殖白蝦非常熱衷，然而白蝦為底棲性物種，其成長過程的攝食及活動都在混濁的水裡，當飼料投餵時難以觀察到白蝦的攝食狀態或判斷飼料量是否恰當，若投餵不足可能導致殘食，投餵過量則飼料在水體中腐敗又會影響水質，因此養殖管理者只能在水中設置傘網，依據傘網上投放一定比例的飼料量以及被蝦子攝食的情形，來做為飼料增減的重要依據，同時也觀察傘網上蝦子的活力及健康狀況。然而此作法須要有足夠的技術與經驗，同時業者需要長時間駐守在蝦池做投餵與觀察的動作，這對於目前存在養殖漁民年齡層偏高、年輕人從農意願低，以及技術不容易傳承等困境之下，使白蝦養殖產業發展遲緩。

近年來政府提倡智慧科技系統結合養殖漁業的應用，陸續有學術團隊開發水質及環境監測系統與水下影像觀測系統。國立中山大學資訊工程學系與數位內容及多媒體技術研究中心執行國科會及教育部相關計畫，研發針對蝦類養殖的智慧化水下影像辨識系統。該系統建置水下攝影機及物聯網裝置，將水下影像串流至雲端伺服器進行各項 AI

分析，包含利用水下影像辨識及紅外線技術來全天監視蝦隻的攝食、活動力及各項生物資訊 (Huang et al., 2018; 黃等, 2022)。使用者可透過雲端中控介面 (圖 1) 來掌握水下影像、水質感測器、微氣候及設備狀況等資訊。

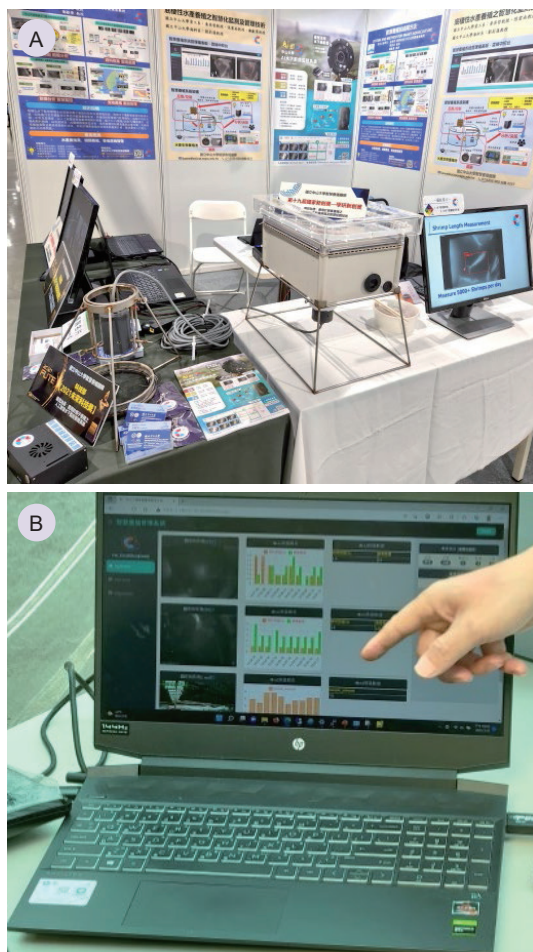


圖 1 智慧水下影像辨識系統
A：硬體設備；B：雲端中控介面

鑒於該系統之技術功能符合政府智慧養殖之方向且已獲得科技部未來科技獎 (2021) 及國家新創獎 (2022) 之肯定，本所東港養殖研究中心與該團隊合作進行新創研究，於本中心之實驗場域探究實際應用該技術在白蝦之完整養成週期，特別是如何利用 AI 水下殘餌偵測的資訊於現場投餌控制之效應，其初步成果可作為後續推廣相關技術於白蝦養殖產業時的參考。

材料與方法

試驗場域為屋棚下兩口圓形水泥池 (對照池與 AI 池) (圖 2)，每口面積 50 m^2 ，水深 1.2 m ，每口養殖池搭配 5 只串連的 FRP 桶做為簡易循環裝置。蝦苗為本中心自行培育的 SPF 白蝦苗，蓄養至均重 0.06 g 時，移至養殖池開始進行試驗，密度為 $300\text{ 隻}/\text{m}^2$ 。試驗期間全程投餵人工飼料，兩池在均重 5 g 以前均以人力投餌，每日 8 時及 16 時各 1 次。 5 g 以後對照池持續每日 2 次以人力投餌，AI 池則每日 6 次 (09:00、11:30、14:00、16:30、19:00 及 21:30) 由系統控制投餌機投餵，使每次分配到 AI 觀察架裡的飼料量約為每次投餵量的 10–20%，接著由智慧水下影像辨識系統辨識畫面中的飼料面積比例 (圖 3) 並繪製成圖形 (圖 4)，藉以判斷白蝦攝餌情形。原則上每次飼料消耗時間 (如圖中的紅色雙向箭頭) 需小於 60 分鐘 (生長後期降為 50 或 40 分鐘)，如果連續 2 天 (生長後期為 3 天) 都有達到上述條件時，AI 系統就建議於隔天增加投餵量約 5–10%，反之則減少投餵量。

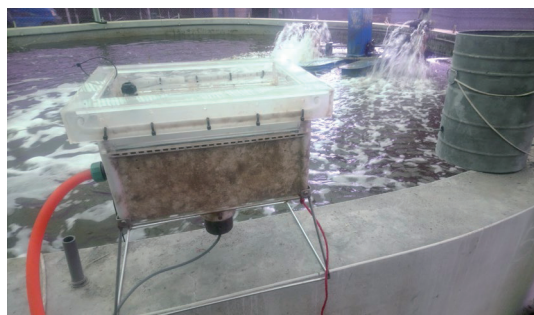


圖 2 AI 池安裝智慧水下影像辨識系統及投餌機



圖 3 智慧水下影像辨識系統辨識影像畫面的飼料面積比例

試驗期間每週各採樣 30 尾白蝦測量體長及體重，以了解其成長情形。每週取水樣檢測水質，參數包含溫度、pH (HANNA HI98194 三合一多功能水質測定儀)、總氨氮、總鹼度 (SPIN TOUCH FX 自旋式水質分光檢測儀) 及總懸浮固體濃度 (水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法)，做為養殖管理依據。試驗結束後收集 2 池白蝦均重、總產量、總飼料量、用水量及相關資材添加量等數據，以分析智慧水下影像辨識系統輔助白蝦養殖的成效。

結果與討論

本次試驗採用循環水養殖模式，循環系

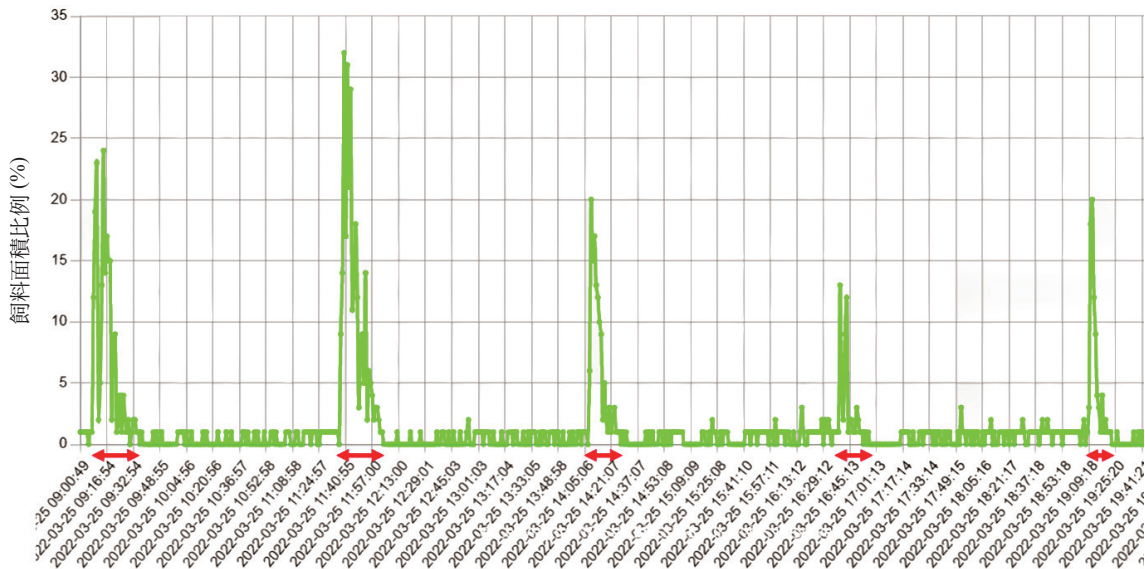


圖 4 智慧水下影像辨識系統顯示餌料消耗趨勢 (從 9:00 到 19:41 投放 5 次, 每次都順利在 30 分鐘內消耗完畢)

統從第 4 週白蝦約 0.7 g 時開始運轉, 初始每日循環次數以流經沉澱槽的水量估算約 0.3 次, 到養殖後期循環次數最大達 1.3 次/日。循環系統淨化原理僅利用沉澱槽移除過多懸浮顆粒, 每次流經沉澱槽對懸浮顆粒的移除率約 18.5—22%, 使養殖期間總懸浮固體濃度大致維持在 200 ppm 以下 (圖 5), 後期則偶而上升至 300 ppm 以上, 不過對白蝦並無影響, 但濃度偏高則可能降低水下影像清晰度或飼料的辨識度。養殖期間皆未清理沉澱

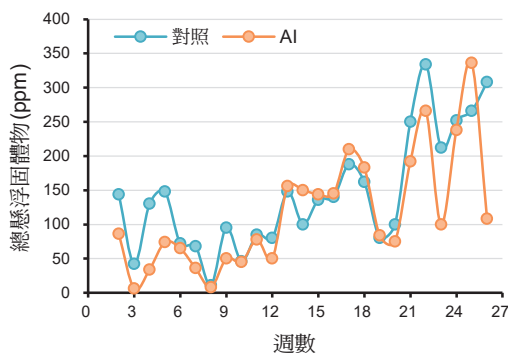


圖 5 白蝦養殖期間的總懸浮固體濃度變化情形

槽, 僅養殖池每週 1—2 次短暫中央排污, 為了維持水質及水位, 每日少量補水, 2 池補水率皆為 1.1%/日 (表 1)。

表 1 AI 池及對照池白蝦以密度 300 尾/ m^2 養殖 26 週的生產表現、用水及資材添加情形

	對照池	AI 池
密度 (隻/ m^2)	300	300
初重 (g)	0.06	0.06
末重 (g)	22.3	20.6
成長率 (g/週)	0.86	0.79
存活率 (%)	62.6	84.7
產量 (kg/m^2)	4.2	5.2
產量 (kg/m^3)	3.4	4.3
飼料轉換率 (FCR)	1.8	1.7
補水率 (%/日)	1.1	1.1
用水量 (噸/kg 蝦)	0.6	0.5
糖蜜添加量 (kg)	2.4	1.2
碳酸氫鈉添加量 (kg)	56.9	74.4

其餘水質參數方面，2 池在試驗初期可能硝化系統尚未建立完全而都有總氨氮上升情形，對照池最高曾達到 2.7 ppm (圖 6)，以添加糖蜜促進異營性細菌增生 (Avnimelech, 1999) 有助於迅速降解氨氮，添加量如表 1 所示，往後硝化系統穩定發展後 2 池的總氨氮皆能維持在 1 ppm 以下，這部分由硝酸鹽濃度逐漸累積 (未顯示) 可以佐證。由於試驗期間換水量極少，水中各種微生物作用均會消耗總鹼度，使水質逐漸酸化，pH 值逐漸下降 (圖 7)，因此當試驗第 8 週總鹼度低於 100 ppm (圖 8) 時，開始添加碳酸氫鈉 (小蘇打)，添加量參考 Thomas and Dennis (2015) 的建議，並依據每週水質檢測情形調整。AI 池由於白蝦產量較高，總投餵飼料較多，然而每日換水率與對照池相同，水體酸化及總

鹼度消耗情形相對較嚴重，因此碳酸氫鈉添加量較多 (表 1)。

本試驗從 12 月 3 日開始至 6 月 2 日結束，共進行 26 週，使白蝦達到均重 20 g 以上的上市體型。蝦苗於冬季低水溫期放養，因第 14 週以前水溫都低於 25°C (圖 9)，同時因放養密度較高 (300 尾/m²)，導致白蝦成長緩慢，2 池的平均成長率都低於 0.9 g/週，雖然對照池的成長率較 AI 池稍高，可能是存活率較低因而相對密度較低所致。

AI 池應用水下攝影機飼料影像辨識及智慧化多時段投餵技術，從圖 10 的 AI 輔助及人工投餵策略之比較，可以看出 AI 投餵策略較為積極、機動、有彈性，會依據料架上飼料消耗情形自動增減投餵量，似乎較能滿足白蝦的攝餌需求。應用智慧水下影像辨識

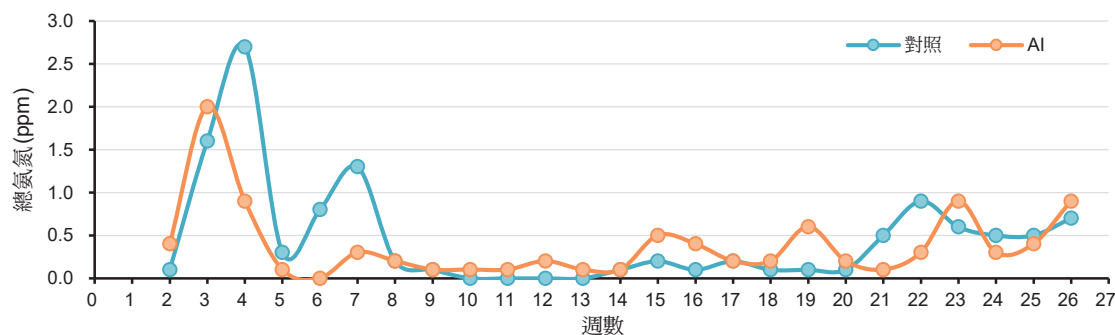


圖 6 白蝦養殖期間的總氨氮濃度變化情形

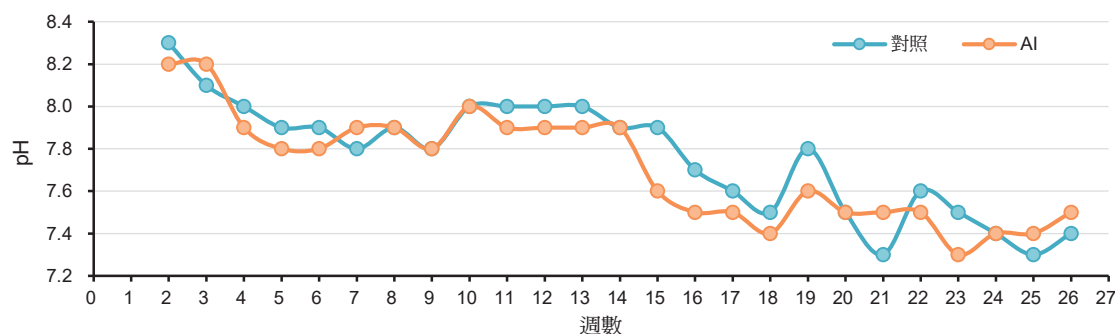


圖 7 白蝦養殖期間的 pH 值變化情形

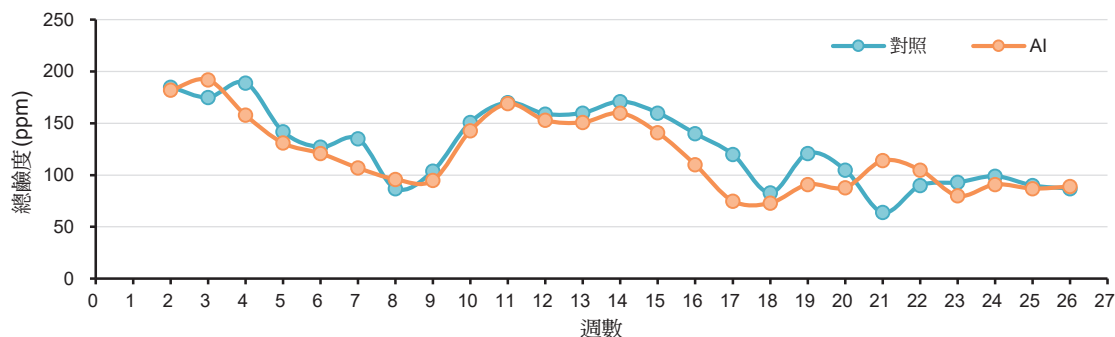


圖 8 白蝦養殖期間的總鹼度變化情形

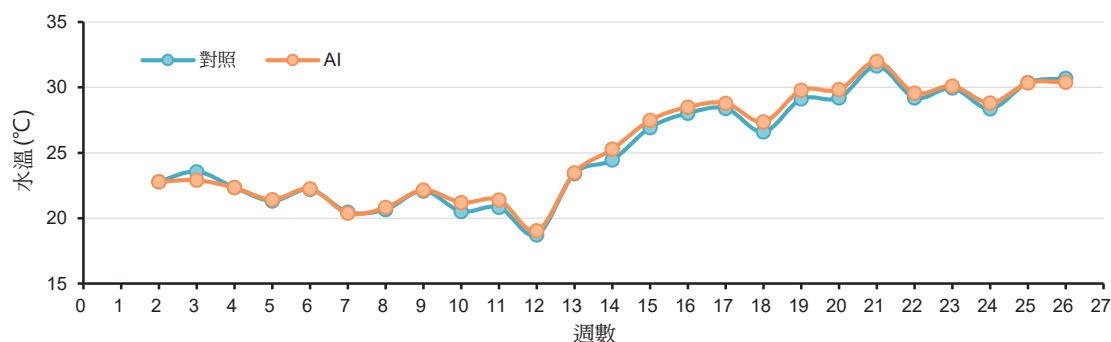


圖 9 白蝦養殖期間的水溫變化情形

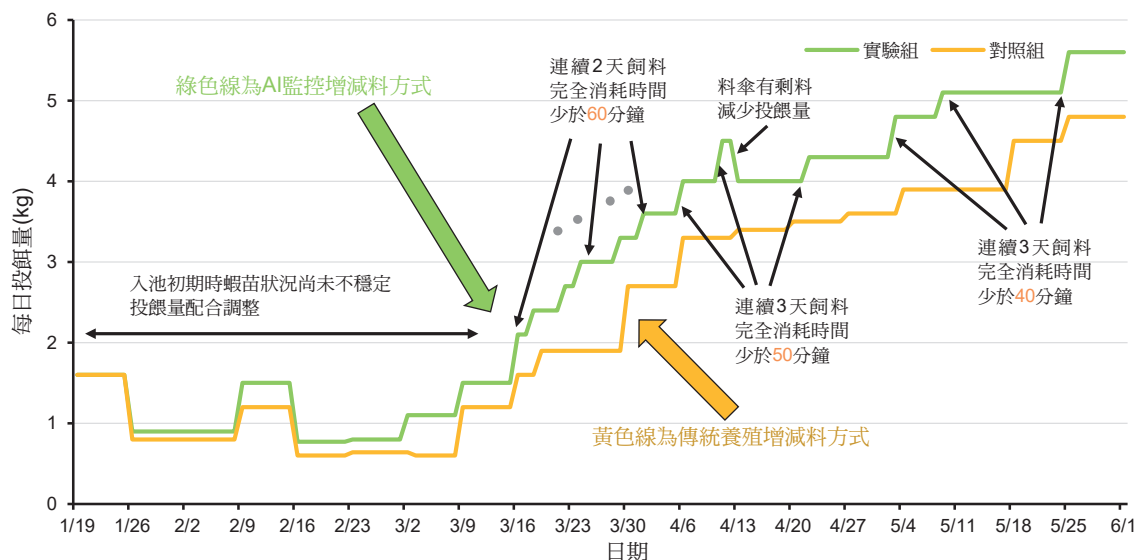


圖 10 每日投餌量之調整 (黃色線及綠色線各為人工監控及 AI 輔助監控之調整方式)

系統在白蝦養成的結果，AI 池的活存率達到 84.7%，較對照池提高 22.1%，同時每平方公

尺及每噸水產量分別達到 5.2 kg 與 4.3 kg，較對照池提高 24% 與 26%，飼料轉換率

(feed conversion ratio, FCR) 亦較對照池改善 6%。由以上結果顯示，利用 AI 智慧監控投餌不僅有助於提高白蝦活存率及產量，並且能提高飼料效率，節省飼料及人力等養殖成本。

本次試驗所使用的智慧水下影像辨識系統除了能夠辨識白蝦攝餌情形來達到精準投餌的功能外，還可全天候觀察蝦子的活動力、臟器顏色及飽滿度等健康指標（圖 11），以及有無死亡情形，並藉由體長體重換算可以隨時掌握蝦子的成長狀況及肥滿度，避免了傳統拉傘網觀察與捕撈測量對蝦子造成的驚擾與緊迫，也免除了人為進出操作可能帶來的疾病感染風險，提升生物安全等級。



圖 11 智慧水下影像辨識系統搭配紅外線功能可以全天候觀測白蝦及餌料

圖 12 顯示在另一次的養殖週期，以這套智慧系統在水下自動測量了超過 120 天之蝦隻體長成長趨勢。這系統每天以 AI 技術於水下精確取樣上百至上千蝦隻之清晰影像並自動量測其長度（橘色線），對比每週手工量測之數值（黑色線），其平均差異僅為 4.5%，顯示本系統確實可取代人工之觀察操作，省時省力並保護蝦隻之健康。

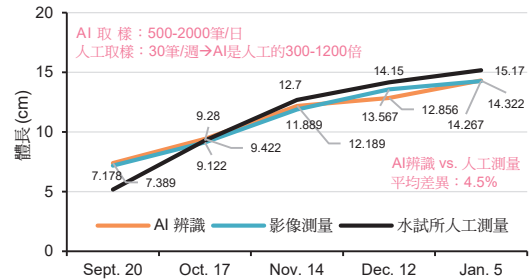


圖 12 分別以智慧水下影像辨識系統長期全天候自動測量及人工測定白蝦的長度

這套智慧系統除了水下影像辨識功能外，還可以連結水質感測儀，檢測的參數包括溶氧、水溫、鹽度、pH 值及氧化還原電位等，能夠幫助養殖管理者隨時掌握水中環境變化，營造適宜白蝦的生存條件。

結語

白蝦為底棲性物種，攝食及活動均在混濁的水體中，這使得養殖管理者難以精準掌握白蝦的投餵量、生物資訊及水體環境的變化。目前國外已有研發利用水聽器來判斷蝦子的索餌意願，精準調控飼料投餵情形，但仍無法提供蝦子本身的相關資訊。雖然國內有一些水下影像系統的研發及專利，但目前僅止於提供影像，而無法根據影像辨識進而做出相對應的決策。本次白蝦養殖試驗中應用的智慧水下影像辨識系統初步顯示，可以藉由 AI 技術自動分析水下影像，達到智慧決策及精準投餵的效果。不過由於只有 1 個池子的實驗數據恐科學證據力不足，未來本中心將繼續驗證該系統在蝦類養殖中省工及智慧化等方面的效益，以提供系統研發單位進行調整和改進的參考依據，有助於加速智慧系統在蝦類養殖產業中的落實應用。