

餌料生物連續生產系統： 升降式換水技術之開發與效益評估

王郁峻¹、朱元南²

¹水產試驗所技術服務組、²國立臺灣大學生物產業機電工程學系

前言

輪蟲 (*Brachionus* spp.)、微藻、豐年蝦及橈足類等是水產養殖過程中不可或缺的初期餌料生物。以海水褶皺臂尾輪蟲 (*Brachionus plicatilis*) 為例，因其體型微小 (100 – 1,000 μm)、在水層中懸浮力佳、游動速度緩慢且具備極高的誘引力與營養價值，不僅能滿足初生魚蝦苗微小口徑的攝食需求，更是高經濟海水觀賞魚及珊瑚繁養殖過程中極為關鍵的活體餌料。目前，產業界大多採用室外池以粗放方式進行批次養殖，然而此模式高度依賴天然氣候條件，易受暴雨、氣溫劇變等不可控因素影響，導致產量極不穩定；此外，室外開放環境極易引入外來病原菌或遭受野生大型纖毛蟲污染，大幅增加後續魚苗培育過程中的疫病風險。

為解決上述問題並穩定供應無污染的高品質餌料生物，產業正朝向室內工廠化與高密度連續養殖發展。然而，室內高密度養殖面臨的技術瓶頸在於水質管理，輪蟲在攝食與代謝過程中會於水體中釋放並累積大量氨氮，而輪蟲對氨氮極為敏感。研究文獻指出，當水中的非離子態氨 (NH_3) 濃度高於 0.7 ppm 時可能對輪蟲產生生長抑制，高於 2 ppm 時則會嚴重影響其存活與繁殖，因此，維持水質穩定成為連續生產

成敗的關鍵。

控制氨氮最直接的方法為「換水」，但實務上困難重重。輪蟲體型微小、抗流能力差，傳統換水易造成輪蟲流失或附著濾網而受損死亡。為避免濾網堵塞，業界常擴大濾網面積或於濾網下方打氣以產生垂直上升水流的方式來減緩阻塞，但濾網長時間浸泡於充滿有機質的養殖水中，其表面會逐漸形成生物膜，導致濾網過濾能力下降，必須以人工頻繁拆卸清洗，耗時費力且不利商業運作。同時，高換水率也會造成飼料流失，文獻指出日換水率 500% 時飼料浪費可達 60%。為解決此問題，本系統結合微電腦控制技術與創新機械結構，開發「養殖槽升降式換水系統」(專利號：TW 1914097 B)，透過定時升降與旋轉自淨，有效防堵濾網阻塞與生物膜生成，實現低成本、高效率的小型化輪蟲連續生產，期能大幅減輕養殖者的勞力負擔並提升產業競爭力。

系統設計原理與硬體架構

本系統設計理念在於打造一台體積輕巧、易於安裝且具備高度自動化能力的換水設備，其安裝所需空間僅約 40 × 90 cm，可輕易設置於一般外部養殖槽 (如玻璃缸或



塑膠橘桶)的側邊機台上，硬體架構主要由四大核心單元構成：升降機組、滾筒機組、換水機組及控制模組。

一、升降機組與配重節能設計

升降機組包含延伸至養殖槽水面上方的兩支對稱懸臂及位於機台內部、負責驅動懸臂升降位移的升降動力單元(升降馬達)，本系統在機械力學上導入巧妙的配重平衡設計，利用槓桿原理使前後兩端重量達到完美平衡，此設計不僅加強機組上下位移時的平穩度，更大幅節省升降馬達運轉所需的耗電量與馬達負載，延長設備使用壽命。

二、滾筒機組與流體剪力自淨技術

滾筒機組橫向跨設於雙懸臂的前端，外圍緊密包覆 300 目(孔徑約 $48\ \mu\text{m}$)之不鏽鋼精細濾網，旋轉中的滾筒表面會與周圍養殖水體產生相對的流體剪力，水流受負壓穿過網孔進入滾筒內部時，被阻擋在濾網外部的微小輪蟲會順勢被流體剪力輕柔地洗刷回養殖槽內，達成動態旋轉自淨的防堵效果，此設計徹底免除傳統靜態濾網因水流吸附而造成的生物死亡與網孔堵塞問題。

三、換水機組與快拆維護設計

換水機組的核心為一自吸式抽水馬達，當滾筒半沉入水中並開始旋轉時，抽水馬達即可將進入濾網內的過濾水體抽出，排至外部儲水槽進行水質淨化。此外，為方便長期使用後的例行維護，當系統升降至最高位置時，操作人員只需徒手解除兩側定位扣，即可將整組滾筒由連桿夾爪上拆下，沖洗清潔或進行漂白水消毒。

四、自動化控制模組

控制模組內部整合單晶片微電腦控制器，並設有電源與模式切換開關(連續運轉/手動/自動排程)，內部另有一組限位開關，當懸臂上升至最高點或下降至設定最低水位時會自動觸發，傳送訊號令升降馬達精準停機，確保系統的精確性與安全性(圖 1、2)。

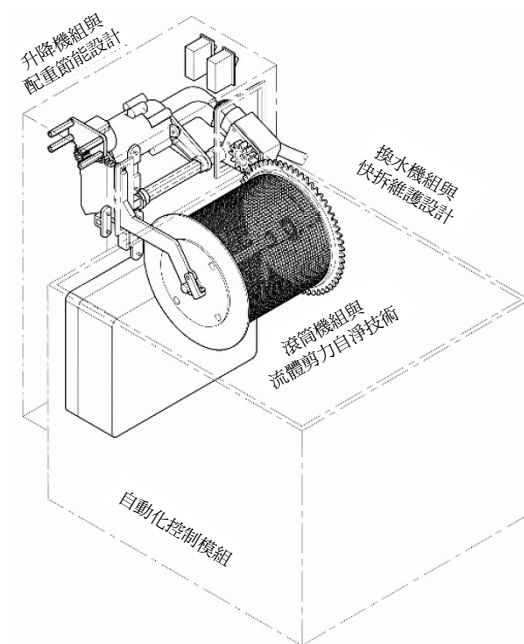


圖 1 養殖槽升降式換水系統架構



圖 2 系統實體安裝，體積輕巧(約 $40 \times 90\ \text{cm}$)，可直接附掛於 10 L 輪蟲養殖缸側邊，後方連接 30 L 儲水槽進行水質循環

自動化換水防污流程

本系統最大的技術突破在於遠離水面以防止生物膜滋生的自動排程設計，在連續養殖模式下，操作者可將系統切換為自動模式，為避免浪費飼料，換水通常設定於投餌後數小時、待餌料被攝食完畢時進行，標準自動換水流程如下：(1) 下降與就位：當到達微電腦設定的換水時間（例如每 6 小時 1 次），升降馬達啟動，懸臂帶動滾筒緩慢降下至最低位置限位開關觸發，此時滾筒下方沒入養殖槽水面。(2) 旋轉與抽水：滾筒馬達啟動，驅動濾網旋轉；同時啟動自吸抽水泵浦，將養殖槽內含有代謝廢物的水體抽至後方儲水槽，經生物濾材處理後，乾淨的水再回流至養殖槽中。(3) 上升與乾燥：單次換水排程結束後，升降馬達隨即反轉，將懸臂與滾筒向上拉抬，直至最高點完全離開水面（圖 3）。

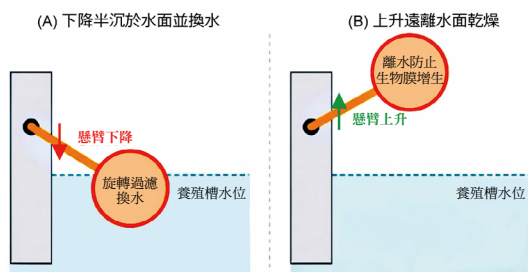


圖 3 定時升降與離水乾燥作動示意

此離水乾燥機制是阻斷生物膜生成的絕對關鍵，過往的過濾設備長期浸泡水中，提供細菌與微藻絕佳的附著環境；本系統讓濾網在漫長的非換水期間保持懸空乾燥狀態，從物理環境上破壞生物膜的生長條件，使濾網能長期保持高通透性，此一設計展現高度自動化與減少人力的核心價值。

小型化輪蟲連續生產試驗

為嚴格驗證本系統於實際量產之效能，建置一套小型輪蟲連續生產系統，試驗設備包含 10 L 玻璃養殖槽、30 L 儲水槽及升降式換水器。試驗物種選用海水褶皺臂尾輪蟲，自專業生餌公司購入後，初始接種密度設定為 1,548 隻/ml；養殖環境水溫於 25 – 30℃；鹽度於 5 – 15 psu；溶氧在 5 ppm 以上，並每日監測 pH 值，餌料採用人工藻粉，每日總投餌量為 9 g，分 2 次投餌，避免單次大量投餌造成溶氧急遽下降，自動換水排程設定為每日自動換水 4 次，單次抽水量約 8.3 L，總換水量約 33 L，本連續生產試驗共進行 7 天，每日於水體充分混合後以人工方式固定收穫 30% 體積的輪蟲與養殖水，藉此評估系統在高採收壓力下的長期承載力。

試驗結果與討論

一、換水效能與水質維持分析

在實際運轉過程中，即便養殖槽內的水體呈現高密度混濁狀態，滾筒運轉時不鏽鋼濾網表面依然保持潔淨，無任何輪蟲附著或堵塞現象，採樣比對養殖槽原水與系統抽出的過濾水：原水中充滿高密度游動的輪蟲，而抽出的管線水則極度清澈，顯微鏡檢完全無輪蟲流失，證明滾筒的旋轉洗刷設計完美達成生物阻隔。在水質監測方面，採用每日 4 次的定時排程換水，能有效將有害代謝廢物移出養殖槽。試驗數據顯示，在每日投餌高達 9 g 人工飼料的極限測試下，養殖水體中非離子態氨最高濃度僅 0.54 ppm，隨後呈平緩下降，此



數值未達會對輪蟲造成生長抑制的臨界值 (0.7 ppm)。本系統成功將水質控制在安全閾值內，證明其換水效能與流量設計配合外部生物濾床，足以維持高密度輪蟲的安全與高速生長。

二、輪蟲生產量與密度動態

連續 7 天的生產數據顯示，儘管每日承受高達 30% 的強烈收穫壓力，輪蟲優異的繁殖速度仍完美彌補採收所造成的數量下降，養殖槽內的輪蟲密度始終維持在動態平衡，7 天試驗期間的平均密度不降反升，達到 1,816 隻 /ml。經換算，本系統在僅僅 10 L 的微型養殖空間中，每日平均可穩定產出高達 5.45×10^6 (545 萬) 隻活體輪蟲，若視不同階段的魚苗需求，亦可透過增減投餌量來彈性調整輪蟲產量 (圖 4)。

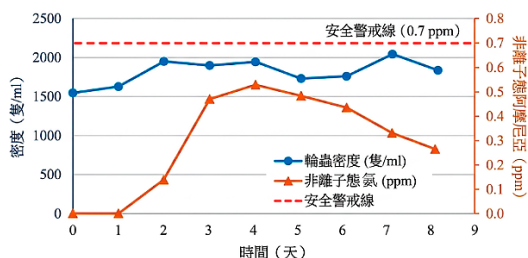


圖 4 連續生產輪蟲密度與水質變化

三、成本效益評估

由經濟層面進行深度剖析，傳統連續換水極易造成飼料流失，而本系統採「間歇性換水」，可選在輪蟲攝食完畢後再進行定時換水，將飼料浪費降至最低。經成本分析，使用本系統每生產 100 萬隻輪蟲，僅需消耗飼料約新臺幣 3.3 元，相較於目前國內專業生餌廠，本系統可將活餌取得成

本大幅削減將近 90%。就人力成本而言，系統實現極高程度的自動化，操作人員每日僅需花費約 20 分鐘進行簡單的投餌、收穫與設備巡視，徹底擺脫過去需耗費大量工時刷洗濾網，大幅降低隱性的人力管理成本。

結論與展望

本研究成功開發出「養殖槽升降式換水系統」，運用創新的「定時升降乾燥防污」與「滾筒旋轉流體剪力自淨」雙重機制，徹底解決長期以來小型餌料生物養殖中，濾網易堵塞、生物膜滋生以及連續換水導致飼料流失的三大技術痛點。

試驗結果顯示，本系統於極小空間內即可創造高達 1,816 隻 /ml 之高密度連續生產力，且能精準控制水中氨氮濃度，每日穩定產出約 545 萬隻高品質活體輪蟲。其飼料成本低廉 (約 3.3 元 / 百萬隻)，具高度商業應用價值。本系統具啟動快速、操作簡便且產量穩定等優勢，若需擴大產能，僅需並聯增加機組即可達成模組化擴展。

對於小型水產苗種繁殖場而言，導入本系統能輕鬆建構專屬的餌料連續生產線，實現健康無污染活餌之自給自足；對海水觀賞魚及珊瑚養殖業者，本系統亦提供一個低門檻、低維護之微型活餌解決方案，有效降低外購餌料帶入疫病之風險。

本項核心技術成果已取得我國發明專利，未來將持續與產學研各界進行技術移轉、授權與商品化開發，透過機電自動化與水產養殖之跨領域整合，期能為推動臺灣繁養殖產業之智慧化設備升級與永續發展，帶來更實質的貢獻。