

從觀賞魚到永續養殖— 在美國水產研究機構的見聞與啟發

蕭玉晨

水產試驗所淡水養殖研究中心

前言

近年來，臺灣的觀賞魚產業不僅在出口市場佔有一席之地，其研究與育種領域也逐漸成熟。然而，在推動外來種管理與防止基因外流上，仍有許多挑戰。過去部分研究著重於魚類不孕技術，但這些方法往往需要精密的操作環境與昂貴試劑，難以在業界廣泛應用。為了尋找更可行的途徑，筆者赴美參訪多個重要研究機構，實地訪視他們在魚類生理控制、循環水養殖、疾病防治及生態復育等領域的成果，並藉此思考這些經驗能如何轉化為臺灣未來水產養殖發展的養分。

見聞與啟發

一、從生理抑制技術談起：馬里蘭州海洋與環境科技研究所的研究啟示

此行的第一站是位於美國馬里蘭州的海洋與環境科技研究所 (Institute of Marine and Environmental Technology, IMET)。該所的 Dr. Zohar 教授是國際知名的魚類生殖生理專家 (圖 1)，他的研究團隊長年致力於探討魚類內分泌調控與性腺發育，近年將研究重心放在如何「暫時抑制」或「完全阻止」魚類的生殖活動，目的是防止養殖魚種逃逸後與野生族群交配，造成基因混雜與生態衝擊。

該研究所有 1 位來自臺灣的翁天佐教



圖 1 拜會 Dr. Zohar 合照

授，筆者與翁教授團隊交流是從前兩年開始，他們以斑馬魚為模型，利用 dnd-MO-Vivo 進行魚卵浸泡，抑制生殖細胞發育達到不孕效果。這項技術的特點是操作相對簡單，不需顯微注射即可達成抑制目的。雖然目前在部分慈鯛魚類 (例如吳郭魚、厚唇雙冠麗魚) 上仍無法達到百分之百的不孕率，但其應用潛力值得持續追蹤。

這種以「浸泡魚卵」方式達到生殖抑制的概念，為臺灣觀賞魚外來種管理提供新思路。若能持續改良藥劑滲透性並降低成本，未來或許能發展成適用於商業量產的簡便技術。翁教授也提到，團隊正朝替代性化學成分與疫苗型抑制方向研究，若能成功，將可降低應用門檻，並拓展跨物種應用的潛力。

二、循環水養殖與能源回收的結合：永續養殖的實例

在 IMET 的參訪中，另一項令人印象深

刻的研究是「整合循環水養殖與沼氣能源回收系統」。這是一個以鮭魚養殖為主體的永續模型，透過多層水質過濾與廢棄物回收，實現近乎百分之百的循環水再利用。

整個系統將魚糞、殘餌與廢水集中處理，經過生物過濾後，氨氮被硝化菌轉化為硝酸鹽，再由脫碳氮菌還原成氮氣排放；水中多餘的二氧化碳則經脫氣塔移除，最終潔淨的水重新回到養殖池中。而沉積的固體廢棄物則進入厭氧消化槽，轉化為甲烷氣體，可用於發電或加熱。這樣的「魚養殖－污泥－能源」循環模式，不僅減少廢水排放，也讓整個養殖場成為能量自給的生產單元。

相較之下，臺灣目前多數沼氣應用集中於畜牧業，水產領域仍處起步階段。若未來能引入類似技術，特別是在中大型規模的循環水養殖場中設置簡化版消化系統，不僅有助於減廢，也能創造新的能源價值。當然，這需要解決成本、規模與技術維護等挑戰，但美國的案例可提供良好的參考。

三、當地捕撈的重要經濟漁獲藍蟹復育： 從漁業資源到生態指標

除了技術層面的研發成果，IMET 在生態復育上的投入同樣值得關注。藍蟹 (*Callinectes sapidus*) 是美國東岸具代表性甲殼類，卻長期受到過度捕撈與污染影響。IMET 與美國國家海洋暨大氣總署合作建立「藍蟹重建計畫」，從早期的人工育苗到基因體定序與抗病性研究，逐步建立起完整的復育體系。

此一經驗亦令人聯想到臺灣的螞蛄蝦復育經驗。雖然物種與環境條件不同，但兩者都強調以科學方法了解生殖與棲地需求，並透過人工繁殖與放流策略恢復族群。

不同的是，美國在復育過程中導入了基因資料庫與 G × E (基因－環境交互作用) 模型，使復育決策更具數據基礎。這是臺灣未來在本地物種保育上可以借鏡的方向。

四、智慧化循環水養殖：從水質到風味的 細節管理

接續參訪美國保育基金會淡水研究所 (The Conservation Fund Freshwater Institute)，該所專注於可持續養殖技術研發，特別是在鮭魚循環水系統的應用。目前研究聚焦魚類早熟與魚肉異味兩大課題。前者導致魚隻在未達市場規格時提前性成熟，影響成長與品質；後者則是所謂的「off-flavor」，即魚肉出現土腥味或泥味。研究團隊透過調控水溫、光照與飼料組成延緩成熟，同時利用臭氧與紫外線殺菌結合生物膜控制，減少引起異味的微生物累積 (圖 2)。



圖 2 試驗循環養殖系統 off-flavor 為降解最快的模組，希望未來可以擴充到其他量產生產模式

這些成果顯示養殖管理的細節決定最終產品的品質。過去我們可能著重在生產效率或活存率，但消費者接受度其實也取決於風味與外觀。若能結合自動化監測系統與感測技術，讓水質控制與生長管理更精準，將有助於提升整體產業競爭力。

五、自動化與智慧化：美國農業部冷水魚養殖研究中心的啟示

在緬因州的美國農業部冷水魚養殖研究中心，親眼見到鮭魚從魚卵到成魚的全系統育種研究。他們利用基因選育與自動化投餵系統，不僅提升生產效率，也降低人力成本（圖 3）。另外針對「魚蝨」這種鮭魚養殖最常見的寄生性疾病建立試驗平台，並培育抗魚蝨的品系，使用圓鱗魚（*Cyclopterus lumpus*）作為「清蝨魚」，在混養環境下達到生物防治效果。這樣的作法體現了「生態養殖」與「科技養殖」的結合。魚蝨問題在全球鮭魚產業中十分棘手，透過跨物種互利共養的方式，不僅減少藥物使用，也符合動物福利與永續精神。對比之下，臺灣在熱帶魚與觀賞魚疾病防治上，也可以思考如何運用生物控制或微生物平衡概念，減少藥物依賴。



圖 3 鮭魚養殖試驗區、上方自動投餵機器手臂及工作軌道

六、產官學共創：緬因大學 CCAR 的成功模式

另一個令筆者印象深刻的單位是緬因大學水產養殖合作研究中心 (Center for Cooperative Aquaculture Research, CCAR)，

其定位更接近「養殖育成基地」，透過與美國農業部及州政府合作，提供企業與研究團隊進駐試驗的平台。「American Unagi」公司即在此完成陸上養鰻技術驗證，商業化後再獨立營運。CCAR 亦協助新創團隊發展小丑魚、海藻、海膽與黃尾鰻（青甘）等養殖技術，形塑多元水產創新生態圈（圖 4）。這種「共研共驗」的制度讓學術研究得以有效轉化為產業成果，並協助業界降低研發風險，形成良性循環。

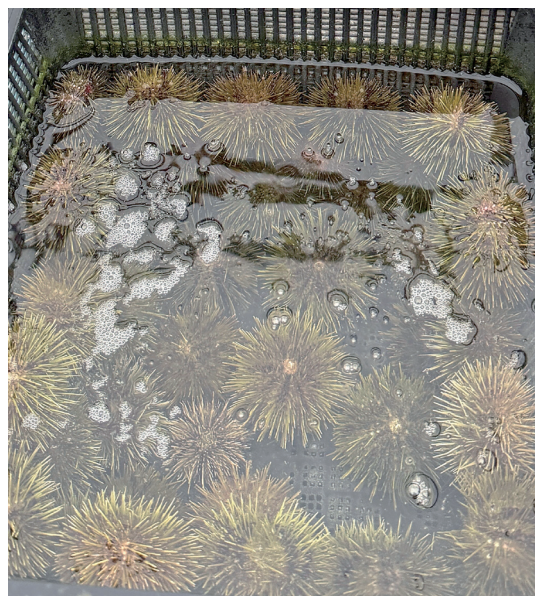


圖 4 新創公司的海膽養殖

七、從病理防治到產業支持：緬因大學的 AAHL 實驗室

此次行程的最後一站是緬因大學的合作延伸診斷與研究實驗室 (UMaine Extension Diagnostic & Research Laboratory)，其中的水生動物健康實驗室 (Aquatic Animal Health Laboratory, AAHL) 是美國少數能達到生物安全三級 (BSL-3) 標準的水產疾病研究設施。該實驗室能進行魚類病原的診斷、疫苗試驗

與安全排放處理，並提供養殖業者檢測與顧問服務。AAHL 結合「研究」與「服務」，同時支援政府部門的疾病監測與業界快速檢測及教育訓練，形成一個從基礎研究到實務應用的完整鏈條。相較之下，臺灣雖具備紮實的學術能量，但在跨單位整合與技術推廣方面仍有強化空間。

八、從觀察到反思：臺灣的下一步

這趟參訪結束後，最深的感想是：我們其實不缺技術，而是缺乏把技術串連起來的系統。此行讓筆者看到的是一種整合的力量，研究人員、業界、政府間的界線沒有那麼明顯，彼此會一起討論問題、規劃試驗、甚至共同決定研究方向。這樣的合作，讓研究不只是停留在實驗室，而能真正走進養殖場。臺灣的養殖技術實力其實非常強，無論是繁殖、疾病防治還是水質管理，都累積了豐富的經驗，但這些成果往往分散在各個單位之間，缺乏長期連結。未來若能建立一個跨單位、跨地區的資料平台，把各試驗場的水質、病害、氣候與產量資料整合起來，透過雲端或 AI 分析，就能在問題發生前先預警，也能讓養殖決策更科學、更省力。

另一個值得學習的地方是在產學合作上的彈性。研究人員與產業界不只是提供技術，更像夥伴共同驗證一個新方法能否真的在市場上落地。這樣的「共研、共驗」精神，讓學術研究與產業應用之間的距離變得更短。反觀臺灣，我們的學術成果很多，但要真正轉化成商業化技術，常常還差臨門一腳。或許未來也能嘗試建立類似的合作制度，讓研究人員在計畫執行階段就與業界共同參與，累積彼此的信任與默契。

筆者也特別注意到，美國的永續策略

從來不是一種口號，而是一種能落地的經營方式。像 IMET 的沼氣循環系統、CCAR 的環保養殖示範，都證明了綠能與經濟效益並不衝突。對臺灣的養殖業者來說，如果能在節能、省水、減碳上確實省下成本，那綠色轉型自然就會變成誘因，而不是壓力。或許政府也可以考慮用補助、稅務減免等方式鼓勵導入這些技術，讓「環保」不只是理想，而是實際的商業策略。

最後，水產養殖的永續發展亦有賴於「人」的流動與交流。技術創新不僅源自設備升級，更來自知識與經驗的相互激盪。若臺灣能持續深化國際合作與人才培訓機制，鼓勵年輕研究人員赴海外觀摩學習，並邀請國外學者參與試驗與交流，將有助於重新檢視自身優勢與發展定位。水產養殖的未來，不僅是產量的提升，更在於同步建構環境友善的生產模式、前瞻技術與兼顧社會價值的永續體系。

結語

這趟旅程深刻體會到，水產養殖不僅是一門技術，更是一項必須同時兼顧生態永續、經濟效益與社會責任的產業。無論是斑馬魚的生殖抑制研究、鮭魚的循環水養殖系統，或藍蟹的復育與教育展示，美國的模式展現了「從科學到應用」的完整架構。

回顧臺灣現況，我們同樣擁有紮實的研究基礎與成熟的技術能量。未來若能進一步整合產官學資源、建立跨領域共享平台，並持續推動永續與智慧化養殖，不僅有助於守護本土水域生態安全，也能提升臺灣水產養殖產業在國際舞台上的競爭力與能見度。