

出國報告(出國類別：考察)

赴美參訪經濟養殖水產精準育種技術
及觀賞魚育種技術研究計畫
參訪報告

服務機關：農業部水產試驗所淡水養殖研究中心

姓名職稱：蕭玉晨助理研究員

派赴國家：美國

出國期間：2025/09/18~2025/09/29

報告日期：2025/10/20

目次：

摘要.....	3
一、計畫緣起.....	5
二、考察國家特色與概況	8
三、參訪目的.....	11
四、執行過程.....	12
馬里蘭州海洋與環境科技研究所（Institute of Marine and Environmental Technology）	12
巴爾的摩國家水族館	21
美國保育基金會淡水研究所 The Conservation Fund Freshwater Institute	24
冷水魚養殖研究中心（USDA-ARS National Cold Water Marine Aquaculture Center） ..	28
緬因大學水產養殖合作研究中心（Center for Cooperative Aquaculture Research）	31
緬因大學推廣診斷與研究實驗室 UMaine Extension Diagnostic & Research Laboratory	33
五、心得與建議.....	35
六、參考文獻.....	39

摘要：

本次赴美參訪重點涵蓋水產精準育種及養殖技術、魚類生理抑制研究、環境永續應用。首先於馬里蘭州海洋與環境科技研究所 IMET 拜會專家學者 Dr. Zohar、Dr. Hill 與翁天佐教授團隊，探討以 dnd-MO-Vivo 與疫苗抑制魚類性腺發育之可行性，交流相關生理抑制試驗進度及未來方向，另觀摩 IMET 結合循環水養殖與沼氣能源回收之永續系統、藍蟹復育及 PCB 污染底泥微生物修復研究，獲得多項綠能與環境治理啟發。在觀賞魚方面於國家水族館觀察展示動線設計與教育應用。隨後參訪保育基金會淡水研究所，了解美國重要經濟性養殖魚類鮭魚早熟與異味控制及循環水處理流程；於 USDA-ARS 緬因州冷水魚養殖中心（NCWMAC）觀察鮭鱒類育種、抗魚蝨研究與自動化飼養設備。另至緬因大學水產養殖合作研究中心（CCAR）了解業界育成平台與美國鰻、海膽、黃尾鰺等物種研發，並於合作延伸診斷與研究實驗室（含 Aquatic Animal Health Lab）瞭解 BSL-3 隔離設施與水生動物病原檢測能力。整體行程加強對美國水產養殖永續發展、疾病防治及產學鏈結模式之理解，並促進國際交流，建立未來合作發展橋樑。

本次參訪行程表：

日期	參訪單位
9/18	抵達華盛頓特區
9/19	馬里蘭州海洋與環境科技研究所 IMET 參訪及專家拜會、翁天佐教授實驗室參訪
9/20	巴爾的摩國家水族館參觀
9/22	美國保育基金會淡水研究所參訪
9/23	美國境內航班飛往緬因州
9/24	冷水魚養殖研究中心及緬因大學水產養殖合作研究中心參訪
9/25	緬因大學推廣診斷與研究實驗室參訪
9/26	阿卡迪亞國家公園遊覽
9/27	航班返回臺灣

本文

一、計畫緣起：

淡水觀賞魚在水族市場上的主要利用價值為觀賞及飼養樂趣。這類觀賞型水族生物通常具備顯眼奪目的特殊體色、別緻特殊的外觀型態、特殊獨特的生態習性及行為、具備特殊體型表現或者具備特殊的功能性等，是除了經濟魚類之外的重要水產養殖項目，根據聯合國糧食及農業組織（Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO）估計，全球有超過100 個國家，每年有超過5,000種淡水觀賞魚與1,800種海水觀賞魚在貿易市場上流通。一般而言，觀賞魚產業包含活體生物、周邊設備與相關衍生產業，全球觀賞魚零售市場預估每年約60億美元，觀賞水族整體產業及其附屬水質器材等產業所帶動之總產值推估則高達150億美元。從臺灣的產值來看，觀賞水族活體產值超過新臺幣11.5億元，若計入上下游產業約50億元，發展前景看好。109-111雖因疫情導致國際運輸成本大漲，但國內觀賞魚市場不減反增；根據屏東縣政府資料顯示，2024年臺灣觀賞魚活體產值超過10億元，若加上周邊產業包括飼料、魚缸等，整體產值超過40億元，顯見其蓬勃發展。然而以臺灣主要觀賞魚養殖區域屏東為例，坊間觀賞魚業者多用慈鯛雜交培育新品種，慈鯛屬多次產卵型，且繁殖門檻較低，因此業界希冀藉由保留種魚並發展生理抑制方法避免優良種原外流，也能減少外來種入侵原生環境之疑慮。

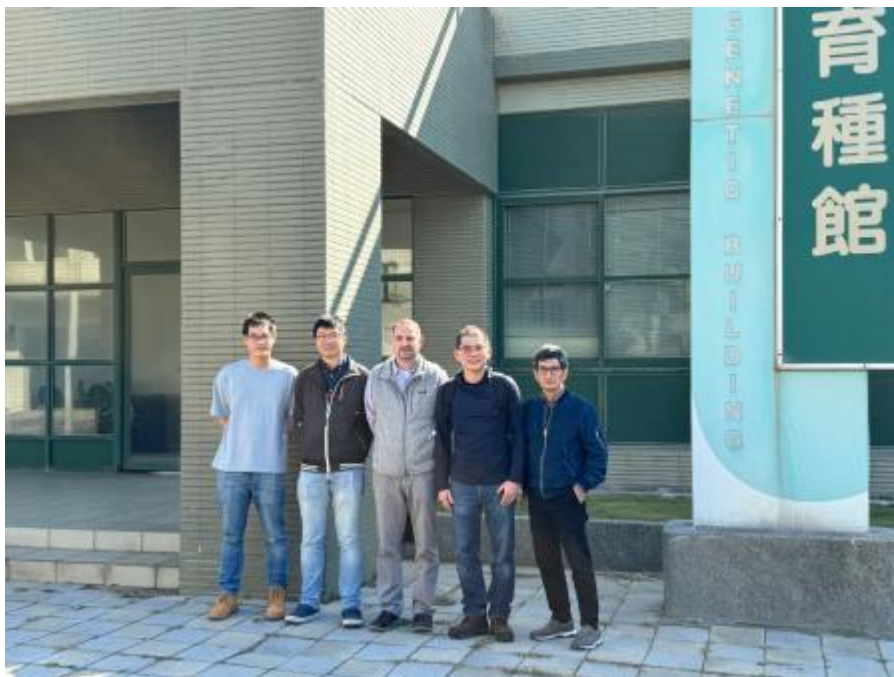
觀賞魚市場過去曾透過基因轉殖研發新品種，強化其螢光體色表現後引領風潮，也因此發展從基因轉殖的基礎上發展出針對魚種的性別抑制技術，過去應用於水生生物的不孕技術包括：(1)不同種間雜交技術，典型不具生殖能力之案例為觀賞魚常見之血鸚鵡，種魚是由紅魔鬼 (*Amphilophus citrinellus*) 與紫紅火口 (*Cichlasoma synspilum*) 雜交而來。(2)荷爾蒙處理：透過使用雌性或雄性荷爾蒙（如甲基睪固酮等）處理發育中的種魚生殖腺，破壞其發育功能。然而，不同魚種或個體的發育速度而有所差異，且使用荷爾蒙易有負面觀感，對環境污染等顧慮，使用上較受限制。(3)干擾性核糖核酸（RNAi）技術：利用反義股核糖核酸

或RNAi技術抑制魚體內調節生殖系統的荷爾蒙，例如促生殖腺激素釋放激素（GnRH）或促生殖腺激素（GTH）的表現。(4)多倍體技術：利用溫度、壓力或藥物改變魚體的染色體數目，以使其不孕。然而，這種方法可能因外界環境條件而使魚體恢復生殖能力。由於近年對養殖魚類進行基因編輯精準育種漸成發展顯學，尤其用於性別決定、單性養殖或不孕的生殖限制等方面之應用，更有效協助養殖業者保存新興研發／重要種原不外流、協助養殖業者提高養殖效益等，因此如何抑制種魚生殖機能也是觀賞魚相關研究的研究目標之一。然而業界需求發展生理抑制技術更需具體考慮執行成本及抑制效率，且不同魚種有其處理劑量之差異，近年陸續發展出許多生理抑制技術，包括使用Morpholino-oligo以顯微注射技術注入魚苗胚胎導致不孕；或用CRISPR基因編輯特定基因，此一技術目前已有應用在日本嘉鱸魚提高肌肉生成量、或用於斑馬魚胚胎導致不孕。然而這些操作技術包括顯微注射或是電穿孔胚胎都需要精細的操作，因此改良的Morpholino浸浴技術：dnd-MO-Vivo於2015年發表，利用魚卵浸泡方式，透過特定的載體蛋白化合物Vivo將dnd Morpholino穿透卵膜層，成功抑制原始生殖細胞發育，達到斑馬魚子代100%不孕比例。同樣的技術目前也已經應用於鮭魚商業養殖，是否能同樣應用於觀賞魚則有待試驗。

本中心雖於2023年開始初步試驗，並選擇淡水觀賞魚中的厚唇雙冠麗魚做為試驗目標，測試其魚卵浸泡dnd-MO-Vivo的劑量與時間（如圖一），然而初步試驗成效不佳，並於同年邀請該技術專利之研發學者翁天佐教授及同樣應用鮭魚養殖研究之美國農業部研究員Dr. Peterson來臺灣參訪並分享對育種技術交流（如圖二）。因此本年度提出赴美參訪計畫，主要目的為赴美參訪翁天佐教授討論交流試驗及未來可能合作方向，並參訪農業部冷水魚養殖研究中心，進一步參訪美國將生理抑制技術及精準育種應用在經濟魚類上的實地應用發展，透過雙方互訪建立良好的國際合作計畫基礎，並了解國際養殖發展趨勢，評估相關技術發展及未來應用於臺灣水產養殖之可行性。



圖一、厚唇雙冠麗魚人工採卵操作及藥物浸泡試驗



圖二、2023 年美方專家訪臺合照

二、考察國家特色與概況

根據美國農業部 USDA 的資料，2023 年美國水產養殖業的銷售額達約 19 億美元(較 2018 年成長約 26%)，美國水產養殖業對整體經濟的貢獻估計約 40 億美元／年，且可創造兩萬多個直接就業機會。美國在全球水產養殖產業中的產量排名約第 17 名，美國對海鮮的進口依賴度很高，近 90%以上的海鮮是透過進口取得，身為全球重要的海鮮消費國之一，且目前國內養殖無法滿足整體需求，因此具備進口替代與市場擴張的可能性。若能在成本、品質與效率上取得優勢，有可能把部分進口需求轉為國內生產。

美國的水產養殖種類相當多元，包括魚類（淡水與海水魚）、貝類（牡蠣、蛤蜊、蚌類）、甲殼類、海藻、水生植物等。在海水養殖方面，貝類（如牡蠣、蛤蜊）一直是重要的項目；在魚類養殖方面，鮭魚、鯰魚與鱒魚等也已經發展多年頗有成效。近年來，陸上循環水系統 (RAS, recirculating aquaculture systems) 或全封閉系統在美國逐漸受到重視，特別是在對環境影響較敏感或條件受控要求高的魚種養殖，也因此鮭魚的RAS養殖系統漸受矚目。另外，水產養殖可與其他生產系統結合，例如海藻養殖、貝類與魚類共養 (polyculture)、海洋生態復育與藻類生質能源整合等，使經濟與環境效益兼顧。像是 GreenWave 等組織就在美國推廣海藻與貝類共養等再生型 (regenerative) 海洋農業模式亦持續發展中。

美國在水產養殖的研究、監測、疫病控制、環境監控等技術方面具備全球領先的能力。許多大學、研究機構與政府單位（如NOAA、USDA等）在此領域投入研發資源。例如 NOAA 有“Aquaculture Program Highlights” 報告，其中支持科學創新與技術開發的策略。本次參訪的地點之一IMET(the Institute of Marine and Environmental Technology，圖三)也是由馬里蘭大學環境科學中心、馬里蘭大學巴爾的摩分校和馬里蘭大學巴爾的摩部分校的科學家共同組成，並與USDA密切合作。透過這樣的產學研合作，提供美國強大的技術研發與科學基礎，對於水產養殖的研究亦日益增加。至於政策支持與法規框架方面，美國自 1980 年通過《國家水產養殖法 (National Aquaculture Act) 》以來，美國在政策層面就有意扶持水

產養殖的發展，並協調不同聯邦部門之間的角色與責任，顯示政府從管理層面上也頗為支持，且鼓勵創新的養殖模式發展，包括循環水系統、基因改造魚類，如 Atlantic Sapphire 在美國佛州建設內陸循環式鮭魚養殖場便是具體實例。

簡述美國不同區域典型案例分列如下：

密西西比州－美國鯰魚（Catfish）養殖區：2024 年密州養殖鯰魚產值約 2.14 億美元、超過全美65%市占率。

太平洋西北（華盛頓州為主）為主要牡蠣產業帶：NOAA在2025針對牡蠣市場展望報告中彙整美國牡蠣的需求、通路與成長機會，估計西北沿岸牡蠣產業年產值超過2.7 億美元，並密切關注海洋環境變遷對該產業的衝擊性。在美國養殖太平洋牡蠣被認為是「智慧海鮮選項」，由州與聯邦規定管理。

緬因州－大西洋鮭海水網箱養殖、雙貝／海藻共養：美籍銷售的鮭魚多為養殖大西洋鮭，2024 - 2025 年間，緬因州沿岸的環境與監管議題備受關注，尤其是從箱網改為推薦RAS養殖系統的推行。另外，波特蘭外海的 Bangs Island Mussels 同步貽貝與海帶共養，研究指出海帶可局部提升 pH、緩解酸化，提高雙殼類生長；實際產量可達貽貝年收60萬磅、海藻10萬磅，顯示共養模式的商業發展性。

佛羅里達州（邁阿密）－RAS 鮭魚示範場為例（Atlantic Sapphire）：2025營收 2,150 萬美元、屬資本密集、持續優化階段的產業創新型態。

阿拉斯加州－海帶與高緯度貝類成長：2024 - 2025 年間海帶市場顯示成長漸緩，但乾燥加工能力提升與有機認證進場，帶來新通路；NOAA 發佈 2025 年在地養殖成果與種苗品質提升計畫，研究指出阿拉斯加太平洋牡蠣與海帶養殖呈擴張趨勢，高緯度條件下的生長與品質議題是重點。

墨西哥灣與南加州外海－聯邦「養殖機會區」（AOA）：根據2025-09-19 NOAA 公布 13 個 AOA、超過21,000 英畝（墨灣＋南加州）並發布相關環評報告；德州外海 3 處具高潛力區位提供養殖的空間規劃與許可，是未來關鍵發展區域。

全國層面參考（規模與結構）：USDA 2023 水產養殖普查：3,453 場、19 億

美元銷售；密西西比、華盛頓、路易斯安那、佛羅里達、阿拉巴馬合計佔 55% 銷售／49% 場數；食用魚與軟體動物為最大類別，鯰魚與牡蠣領先。而本次可參訪的地點就包括太平洋西北（華盛頓州為主）鄰近的馬里蘭州及緬因州當地。



圖三、本次參訪的 IMET 研究大樓外觀照。

(本次出訪恰逢外牆整修，因此以 IMET 官網照片示意。照片來源：
<https://imet.usmd.edu/about>)

三、參訪目的：

目前國內針對觀賞魚外來種外流之因應措施仍有待突破，一方面為過去不孕技術大多需精細的試驗操作，無法推廣至業界，且受限於養殖成本無法配合使用。浸泡魚卵可能是一個可嘗試的方向，但實際效益仍須進一步試驗才能完整評估。本次參訪對象為使用斑馬魚魚卵浸泡不孕技術並取得美國專利的馬里蘭大學翁天佐教授、以及配合該套技術應用到大西洋鮭魚養殖的美國農業部冷水養殖研究中心，希望透過參訪交流評估對觀賞魚的應用發展，並期望藉由雙方交流與學習經濟魚種及觀賞魚種的精準育苗技術，強化臺灣在水產育種領域的研發能力與技術能量，另外參訪過程包括美國農業部對於經濟性魚種鮭鱒類的養殖育種試驗，也期望藉由本次參訪觀摩美國養殖育種技術，推廣智慧化育種技術與管理系統，提升苗種生產過程的效率與精準度。

本次參訪行程包括：

- 美國馬里蘭州海洋與環境科技研究所 (Institute of Marine and Environmental Technology, 簡稱 IMET)：主要拜會生理抑制及魚類育種專家 Dr. Zohar 與翁天佐教授團隊，交流生理抑制試驗進度及未來可能的合作方向。
- 巴爾的摩國家水族館：針對美國的觀賞魚教育場域及觀賞魚市場參訪評估。
- 美國保育基金會淡水研究所 The Conservation Fund Freshwater Institute：位於西維吉尼亞州的循環水鮭魚養殖示範場域。
- 緬因州冷水魚養殖研究中心 (USDA-ARS National Cold Water Marine Aquaculture Center，簡稱 NCWMAC)：參訪美國農業部對於鮭鱒類育種研究。
- 緬因大學水產養殖合作研究中心 (Center for Cooperative Aquaculture Research，簡稱 CCAR)：參訪緬因大學－美國農業部－業界結合產官學三方的試驗平台。
- 緬因大學推廣診斷與研究實驗室 UMaine Extension Diagnostic & Research Laboratory (含 Aquatic Animal Health Lab)：養殖試驗過程魚病防治及診斷。

四、參訪計畫執行過程：

IMET 拜會專家及參訪：

Dr. Zohar 是魚類的生殖生理與內分泌學專家(圖四)，並精研育種／親魚管理技術、水產養殖生物技術、循環海水養殖系統 (RAS)等研究項目，早年主要研究的項目為魚類的內分泌及賀爾蒙調控生理繁殖，近年也主導抑制魚類性腺早期發育的方法，以使魚無法產卵／生育相關研究計畫，這在養殖業有益於加速生長、控制基因流失、減少逃逸魚對野生族群的影響等。



圖四、與 Dr. Zohar 合照。

拜會 Dr. Zohar 後也進入翁天佐教授實驗室進行魚類生理抑制的試驗執行及相關討論：先前提及本中心於 2023 年選擇厚唇雙冠麗魚測試其魚卵浸泡 dnd-MO-Vivo 的劑量與時間，此試驗是參考翁天佐教授先前利用斑馬魚卵浸泡試驗，並選用慈鯛的 dnd 基因片段進行合成分析，也利用本次機會跟翁教授進一步討論，他們實驗室除了斑馬魚之外也有嘗試吳郭魚測試，同樣因為慈鯛類卵膜較厚影響 Vivo 滲透效果，導致無法像斑馬魚卵一樣達到 100%不孕的效果。目前有幾個可執行的方向，包括事先選育測試不同的慈鯛魚種／品系、針對不同魚種適用的藥劑濃度與浸泡時間拉長，目前在特定的吳郭魚品系中可以達到六成的比例做到生理抑制，雖然此方法可以有效應用在經濟型養殖魚類（如鮭魚、鱒魚）提

高單位養殖產量，並有效提升魚隻的成長率，但就本計畫針對觀賞魚種原保存的考量來說，若無法 100%保證不孕就還是有種原外流的可能性。因此在魚卵浸泡 dnd-MO-Vivo 的試驗操作來說難度更高，且不符合實際成本考量。



圖五、顯微注射儀器及試驗吳郭魚畜養。

實驗室中也可看到同樣使用顯微注射進行試驗比較 dnd knockout 的效果(圖五)，但此法受限於合成片段成本過高，且可能條件限制性較高，若無其他前期的浸泡條件測試找出適當條件，較不適合廣泛應用在其他經濟型魚類的生理抑制過程。

評估到降低藥劑成本的可行性，目前持續考慮的發展方向包括用其他化學成份取代 dnd-MO-Vivo、而最新的方向之一則是朝向疫苗試驗。第一階段已經初步試驗在虹鱒養殖中，利用疫苗可以有效阻斷 84%的子代原始生殖細胞發育，換言之可以達到 84%的生理抑制效果，應為未來有潛力發展的試驗方向，也進一步跟翁教授討論是否有應用在其他淡水養殖魚類的可能性，後續可以朝向這方面共同交流國際合作的執行項目。

另外在 IMET 參訪過程也得到許多研究方向的啟發：首先是鮭魚養殖系統中研發的沼氣發電：



圖六、整合循環水養殖（RAS）與沼氣能源回收系統設施說明圖示。

「整合循環水養殖（RAS）與沼氣能源回收」系統(圖六)，也就是 IMET 提出的永續養殖模型。整個流程可以分成五大區塊：可以由圖片看到這套系統是應用在鮭魚的養殖系統，圓型池為養殖主體（Fish Tank），鮭魚養殖區，水質透過一整套生物過濾與廢水再利用系統維持穩定，因此能達到「健康水質、最佳成長條件 (Healthy water quality with optimal growth conditions)」。

魚在生長過程中產生：固體廢物：魚糞與殘餌；溶解廢物：氨 ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$)、硝酸鹽 (NO_3^-)、二氧化碳 (CO_2)。左邊路徑為好氧區的水質循環處理與再利用路徑，包括：氨氮去除 (Biofiltration for waste ammonia removal)：首先經由硝化菌床（含 *Nitrosomonas/Nitrobacter*），將氨氧化為硝酸鹽。實際操作中通常是固定床或移動床生物膜反應器 (MBBR)；接著進入硝酸鹽去除 (Biofiltration for waste nitrate removal)階段，進入反硝化槽(厭氧段)，利用反硝化菌將硝酸鹽還原成氮氣 (N_2)，排入大氣中，達到水體脫氮減少排放的目的。水中的 CO_2 由脫氣塔或曝氣裝置移除，以防止水體酸化，同時幫助水重新充氧，維持溶氧量，最後潔淨水回流

(Pristine water / Recirculation)，經過上述處理後的水再次回到養殖池中，整體為 100% 水再利用 (100% water reuse)，幾乎零排放。右邊路徑為固體廢棄物收集與處理，首先經過水循環系統中的沉降槽 / 過濾設備會集中魚糞與未食飼料，這些固體被送入「Collection and treatment of 100% of solid wastes」區段。在這裡固體經過厭氧消化 (Anaerobic treatment)，轉化為可燃氣體（沼氣）與沼渣。這一步是整個系統的能源核心。

本系統的重點為沼氣產能與再利用 (Bio-methane production)，可由圖右側的瓶狀容器標示為 Bio-methane production (renewable energy)，代表厭氧消化槽或氣體收集罐，透過微生物分解有機物產生甲烷 (CH_4)。這些甲烷可用於發電 (CHP)；或供加熱、維持消化槽溫度；或升級成「生物天然氣 (biomethane)」供給外部使用(圖七)。



圖七、現場目前可見到三個 Biogas 收集桶槽，且可提供加熱使用。

過去在臺灣沼氣發電建置成本較高，目前多由畜產業(尤其是養豬場)推廣沼氣發電，水產應用層面較少。美國目前已經開始縮減箱網養殖的規模，轉向推廣

RAS 循環水養殖，與開放式的網箱式、海上籠養相比，陸域循環水系統更容易集中收集魚糞、殘餌與廢水，便於後續處理與厭氧消化，因此在養殖水體底部設計沉降 / 固液分離設施，引導有機物集中至消化槽，另外需考量魚類養殖的有機殘餘物很多是分散在水體中的細懸浮物、溶解有機物、分散顆粒、底部沉降物等。要將它們有效收集至厭氧消化系統，本身就可能需要額外處理、沉降、絮凝或分離技術；加上魚糞／未消化飼料／有機懸浮物可能含高氮、硫化物、鹽分或其他抑制性化合物，這些成分在厭氧消化過程中可能抑制微生物活性、產氣效率或造成毒殺。例如，過高的氨（ $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ ）濃度、硫化氫（ H_2S ）等，都可能對甲烷菌有毒性影響。水中溶解氧變動、有機物衝擊、高鹽度（尤其海水養殖）等，都可能干擾厭氧消化的穩定性，也是必須評估的條件之一，若魚場規模不足、產生的廢物量太小，沼氣系統可能無法維持穩定運作（缺乏足夠的、有機質濃度高的進料）。在畜牧業（如養豬）中，有一說法是「至少要達到某個飼養規模（例如上千頭）才值得做沼氣發電」，否則投入與固定成本難以回收。雖然魚類養殖的特性不同，但這個「經濟規模門檻」的概念仍是參考指標。在挪威陸續開始研究將養殖場死亡魚體與污泥作為原料進行沼氣／熱能利用，同樣在水產加工或魚肉加工場端，有學者評估將魚肉去骨、內臟、魚皮、下腳料等副產物作為有機質進料至生物 refinery（含厭氧消化+下游處理）系統的效能與經濟性，未來也是納入參考修正的，並做為未來水產養殖綠能發展的思考方向之一。

再來是當地的物種復育：

藍蟹（*Callinectes sapidus*）是美國東岸沿海最具代表性的經濟甲殼類（圖八），也是馬里蘭州象徵性物種。牠們棲息於切薩皮克灣（Chesapeake Bay）及其支流，然而，過度捕撈、棲地喪失、污染與氣候變遷導致藍蟹族群長期衰退。特別是在 1990 至 2000 年代，藍蟹年捕獲量銳減近一半，部分年份甚至創下歷史低點，顯示野生族群再生能力受限。除了人為捕撈壓力，環境變遷也是關鍵因素。切薩皮克灣

長期受到氮磷污染形成缺氧區，導致幼蟹與蟹苗棲地縮減；海水升溫與酸化則改變牠們的繁殖週期與幼體存活率。此外，寄生蟲與原生生物造成大規模死亡，進一步削弱族群穩定性。這些問題使藍蟹不僅是一種漁業資源，更成為沿海生態健康的指標物種。

以時間軸來看，1996 – 1998 年間多份報告指出藍蟹繁殖量下滑。IMET 成立前，馬里蘭大學與 NOAA 就開始進行早期人工育苗研究。官方統計顯示，1993 年後母蟹數量下降超過 60%，2000 年捕撈量跌破歷史平均的一半；野外數量持續低迷，2008 年被馬里蘭州與維吉尼亞州正式列為「瀕危漁業資源」(collapsed fishery)，於是兩州啟動「藍蟹重建計畫 (Blue Crab Stock Rebuilding Program)」，當時 IMET 研究團隊開始著重藍蟹生理學、營養與病原研究，並於 2009 年發現 Hematodinium 寄生蟲感染為主要死亡原因。2011-2015 年間因管理政策讓族群量短暫回升，但極端氣候及冬季高死亡率又再次影響蟹群，IMET 於 2015 年建立藍蟹實驗繁殖系統，包括挑選個體進行基因體定序、並與 NOAA 共同研發早期幼蟹培育方法。2018 年 IMET 正式啟動 Blue Crab Genome Initiative，2020 年開始進行「藍蟹育種與疾病抵抗性」的分子層面研究，IMET 推出「Bypassing Blue Crab Natural Mortality for Profit and Conservation」計畫，由 Dr. Schott 主導，目標是以籠具人工培育取代野外高死亡幼蟹期，同年公布藍蟹全基因體成果，作為未來復育核心資料庫，目前主要進度為 IMET 與 UMCES、NOAA 正擴大應用基因體資料，用於母蟹繁殖力、抗病性與適應性研究，並計畫建立「藍蟹基因型 × 環境 (G×E) 韌性模型」，作為復育決策輔助。

同樣執行當地物種復育，過去水產試驗所淡水養殖研究中心曾經也協助彰化進行螻蛄蝦的復育研究。螻蛄蝦是臺灣西部沿海潮間帶的一種底棲甲殼動物，具有經濟價值，是許多沿海地區（如彰化／鹿港）傳統小吃與生態資源的一環。近年來，因為潮間帶環境破壞、採捕壓力、底質變化、水質污染等因素，蝦猴的天然資源量有逐漸下降的趨勢。當時基於資源壓力，淡水養殖研究中心協助參與螻

蛄蝦資源復育相關研究，目標包括：1. 了解其生殖、發育、生態特性；2. 人工環境下育苗／孵化蝦猴幼苗；3. 放流／資源補償，以期提升野外族群量；4. 支援漁民／漁業管理政策，避免過度捕撈並提升資源永續利用。計畫執行方向包括生殖生理機制與性腺發育觀察、人工孵化／育苗實驗、放流策略與生態運用、資源調查／族群監測等工作，較少從分子選育的角度切入，透過本次參訪也可與本中心過去執行工作進行比較，隨著氣候變遷極端氣候因素，對水產養殖及水生物種的考驗也日漸增加，除了經濟養殖物種之外，如何協助原生環境中的經濟水產物種，IMET 對於藍蟹的相關研究也可做為日後的參考。



圖八、藍蟹照片：當地慣用 old bay 香料烹煮，是非常受歡迎的美食。

本次參訪除了魚類生理相關的學者交流之外，同時也在翁教授引薦下拜訪了 IMET 的 Dr. Russel Hill(圖九)，Dr. Hill 主要研究方向為海洋無脊椎動物與微生物共生體系 (symbiosis)，特別是海綿 (sponges) 與其共生菌群，並探討這些共生菌在氮循環、磷循環、生物活性物質 (bioactive compounds) 生產上的角色、近年來更是研究海洋微藻與其共生微生物在碳捕捉 (carbon capture)、生物燃料 (biofuels) 與其他生物產品 (bioproducts) 的應用潛力，期許未來討論水產的淨零減排相關研究也可以與 Dr. Hill 有更深入的交流。



圖九、與 Dr. Russel Hill 合照

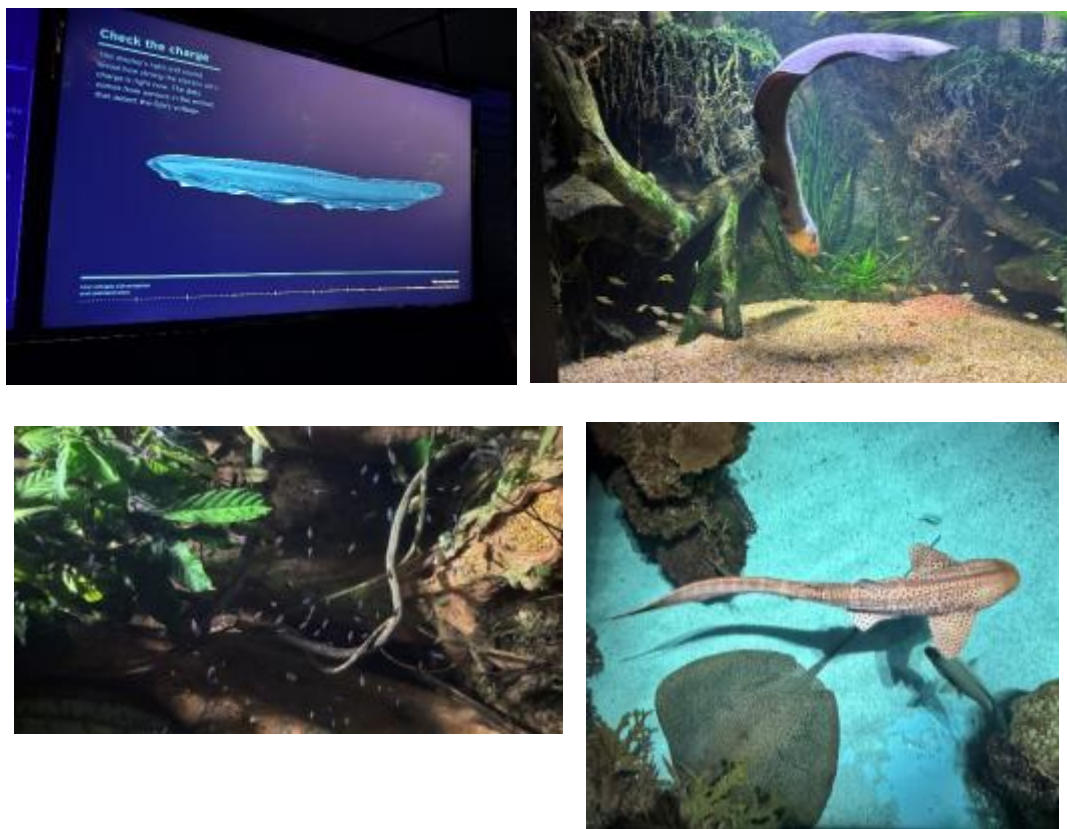
另外在 Dr. Hill 主導的海洋環境相關研究方面，本次參訪也看到了另一個面向的研究。IMET 的研究團隊 (Dr. Kevin Sowers 等人) 在 Quantico (維吉尼亞州) 被 PCB 污染水體場域進行試驗，PCB (多氯聯苯) 是持久性有機污染物 (POPs)，在環境中難以降解，對水體與生態系有長期累積毒性風險，過去傳統處理方式如挖除 (dredging)、覆蓋 (capping) 雖有效，但成本高、對環境擾動大，且不易應用在大面積或敏感區域，因此 Dr. Sowers 等人的核心概念是結合活性炭的吸附能力與微生物降解能力 (bioaugmentation)，在原地處理 PCB 污染沉積物，以兼具穩定性與降解功能。首先利用原生微生物多樣性分析在原水域中找到 PCB 去氯化與氧化微生物共生菌株，發現該菌株在厭氧去氯化 (anaerobic dechlorination) 與

好氧氧化 (aerobic degradation) 的作用下，對不同 PCB 同族物都有降解效果，因此純化擴增該菌種後將之種在一種稱為 SediMite™ 的活性碳顆粒作為載體，該載體既可吸附 PCB，也可讓微生物附著並在其上建立 biofilm，當將 SediMite 投入水中，顆粒隨水柱下沉到沉積層，緩慢散開、釋放微生物至沉積物中。經過 409 天的試驗後發現泥土裡的 PCB 減少約一半，水裡的 PCB 濃度減少高達 90%；整個過程幾乎不需挖除底泥，也不會翻攪擾動環境。此項研究已經獲得專利並委託企業製造，也讓我跟翁教授討論起類似這樣純化原環境的菌株加強分解能力的研究方向，是否可以同樣應用在水產養殖模式呢？畢竟過往在魚蝦養殖池或循環水系統中，底部會累積大量殘餌、魚糞、有機碎屑等物質並生成氨氮、硫化物、還有有機懸浮物和脂肪酸。這些沉積物不僅造成厭氧發酵、臭味、釋放氨氮、硫化氫，導致水質不佳、刺激魚蝦鰓部；還會在長期運轉的 RAS 系統形成厭氧的黑泥層，這情況其實與 PCB 污染底泥在「缺氧、有機負荷高、污染物積聚」的環境非常相似，可能也適用「活性碳載體+微生物生物膜」的這套移除概念。利用活性碳或生物炭微粒底層覆蓋顆粒直徑 1 – 3 mm，分佈於出水端或底部積泥處可吸附有機污染並提供菌附著面；搭配「混合微生物」接種，例如：硝化菌、光合細菌、反硝化菌、芽孢桿菌群；在生物炭表面形成生物膜，分解魚糞與氨，最後形成「微氧層」而非完全厭氧層，可在底部設微弱曝氣或氣石流通，防止黑泥發酵；可以把這個概念擴散成：「生物炭底泥修復系統 (Biochar Bioremediation Layer for Aquaculture Ponds)」，核心理念就是：活性吸附（穩定底泥）、微生物降解（去除有機負荷）、氣體釋放控制（減少 H_2S 、 NH_3 ）、碳循環再利用（底泥→生物炭→再鋪設）。這樣的系統能在不換水、不抽泥的情況下，讓底部環境長期維持在可呼吸、無臭、低毒的狀態，對養殖生物也有所助益。或許未來也可以比照這樣的生物處理方式分解水產養殖的池底淤積問題。

巴爾的摩國家水族館參觀

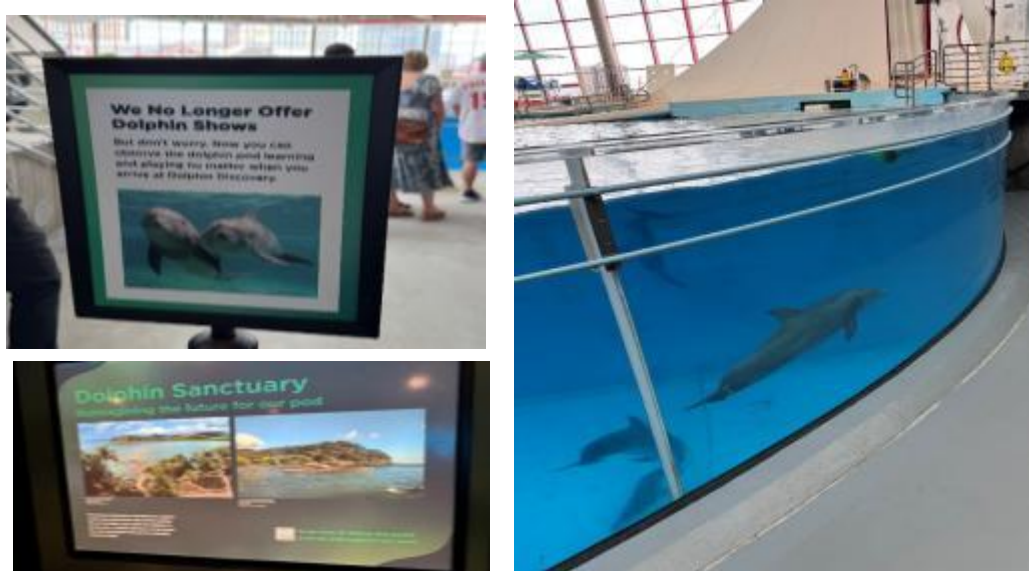
由於我近年執行的計畫多為觀賞魚繁殖，因此也特別請翁教授協助安排 Baltimore National Aquarium 的參觀行程。這棟 1981 年啟用至今的大型水族館每年遊客人次超過 150 萬人，整個建築的水容量超過 8300 噸水，館內有超過 17000 個標本及 750 多種物種展示。以水族生物觀光的角度來看，有幾點是讓我印象較深刻的細節：像臺灣屏東海洋生物館當初展示是明確將淡水跟海水種類區別成兩個獨立展區，而 Baltimore 的展示方式是同一個展區依照地形逐一推演，從馬里蘭州本地河流沿著切薩皮克灣一路到開放海域大西洋物種，所以可以從展示生物的階層循序漸進地從內陸河川、汽水域到沿岸、遠洋魚種這樣排列，對於觀光客來說其實更有融入當地的氛圍(如圖十)，並且配合參觀動線，會先經過河川區、汽水域、沿岸展示區，拾階而上則會通往亞馬遜展示區，相較於水族展示空間，走到展館最上層是雨林跟明亮天窗，除了魚類之外還有其他鳥類、爬蟲類的展示；往下走則是水母跟大洋池還有鯊魚洄游展示區，對於這種動線安排往上走出林梢、往下潛入海洋的安排頗有巧思，覺得是很有邏輯性的展示手法。另外特別吸引注意的是電鰻缸，缸子上方除了生物介紹之外還有特別標註發電瓦特數，只要牠在水中放電時就會顯示目前的電量，對於生物科學教育來說是蠻有意思的手法，很容易讓觀光客理解生物習性，私心很喜歡這個設計。





圖十、Baltimore National Aquarium 的展示照片，前兩張為按照不同水域棲地的標示說明，中間兩張為電鰻展示缸及電力顯示；左下為我近年研究的阿氏霓虹脂鯉，顯見其為全球熱門觀賞水族品種。

生物展示表演近年來常有的動物福利爭議，因此該館已經明確取消了海豚秀的項目(圖十一)，目前僅保留場地畜養海豚，並持續規畫後續野外放養場地，這部分資訊也有提供遊客用電子報追蹤。



圖十一、Baltimore National Aquarium 的海豚秀說明。

另外，水族館港區周邊設置浮動濕地，屬於水族館跟景觀設計師還有當地生物保育單位共同進行的 Waterfront Campus Plan（濱水校園計劃，圖十二），促進當地水質、吸引原生物種，並作為教育展示設施。

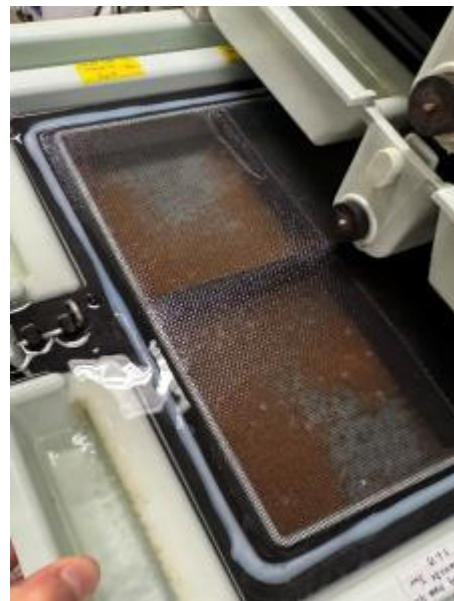


圖十二、水族館周邊濕地及智慧水質監控系統。

美國保育基金會淡水研究所 The Conservation Fund Freshwater Institute

Freshwater Institute 是美國非營利組織 The Conservation Fund（保育基金會）的一個研究／應用部門，位於西維吉尼亞州（West Virginia），主要研究項目為可持續水產養殖（特別是循環水養殖系統）、提升魚類養殖效率與品質、減少環境衝擊，並強化水資源與水質管理。其目標之一是減少對海洋漁獲、進口水產品的依賴。

本次參觀的重點為鮭魚全雌性化養殖以及循環水系統建置(圖十三)。目前推廣鮭魚養殖的商業化最常遇到的兩個問題點，一個是 early maturation，另一個是 off flavor。尤其是在 RAS 循環水系統中的養殖鮭魚相當早熟，例如養殖比例最高的大西洋鮭魚 *Salmo salar* 在還沒達到理想出貨體重或時機就開始性腺發育、在淡水階段就成熟、部分雄魚於青春期的就開始產生配子等，早熟的魚往往會把能量從成長／增重轉移到生殖發育，導致成長速率降低、飼料效率變差、肉質降低、出貨比例降低等問題，其影響原因有可能是水溫較高、光照時間、飼料組成比例脂肪含量過高、養殖密度的環境壓力或者基因型遺傳，然而早熟的鮭魚肉質過差可能導致無法販售市面流通、僅能提供飼料原料，不符養殖成本。另外像冷水型的 Coho salmon 在性成熟後繁殖完便會衰弱死亡，這也導致養殖業者出貨率降低 / 市場規格魚數量減少，可能需提前處理或淘汰早熟個體。因此這次去參觀時他們主要是針對養殖水溫的調控、光照以及單性養殖持續進行試驗。在水質調控方面，他們先用鼓式過濾器去除大部分的固態懸浮物質，再逆洗集中到濃縮槽中沉降固體，配合膜生物反應器去除氮磷等處理，並導入 Biofloc 去淨化水質，最後是臭氧跟 UV 殺菌後幾乎可達到系統水完全回收。



圖十三、全雌性鮭魚養殖池及進水過濾系統介紹。本池為大西洋鮭魚，水溫控制在 18 度以下。下方為當地養殖鮭鱒魚的商業販售魚卵孵化盤，可直接控溫及避光。

Off-flavor 指的是魚肉或魚體在風味上有異味、泥味 (muddy)、土腥味 (earthy / musty) 或其他不良風味，通常是由某些揮發性有機化合物在魚肉中累積而導致的。尤其在封閉或循環水系統中特別常發生。主要兩種常被提及的化合物：Geosmin (GSM)、2-Methylisoborneol (MIB)，這些揮發性化合物通常來自微生物（尤其是藍綠菌、某些放線菌或其他生物中間產物）在水體或生物膜 (biofilm)、濾材、生物過濾器等處生成，加上養殖水體是封閉或部分循環，魚體、微生物與水體之間有密切交互，魚可能通過魚鰓、組織、脂肪等方式吸收或累積這些化合物。因此水質管理不佳（如溶氧不足、停滯水流、沉積物過多、生物膜過厚）同樣會加劇這些化合物的產生與累積。一旦累積在魚體中，即使在後續進行脫味程序 (depuration) 中也可能需要一段時間才能消滅到消費者可接受的狀態。Off flavor 造成魚肉品質下降，消費者接受度降低、甚至被退貨或降價；需要額外的處理時間（脫味階段）、成本（更換水體、脫味設備、排水處理等），且脫味期間魚通常停止投餵，魚體會有體重減少的問題，影響後端產量。在養殖實務過程中，早熟控制與異味控制往往會互相牽制。舉例來說：抑制性成熟可能會減少飼料投餵量、養殖密度或調整光照／溫度，但又可能反而限制生長速度；但如果生長太慢也可能導致疾病、成本上升；另外在脫味階段停止投餵雖有助於異味排除，但對於已經可能處於早熟前期或者營養調控階段的魚隻，可能造成壓力導致魚隻生理恢復；選育晚熟品系與異味累積傾向（如脂質代謝、吸附能力）之間可能存在基因上的差別，需要評估不同養殖品系等。目前淡水研究所也針對魚肉異味進行各種可能的成因測試，在他們自行研發的小型循環水模組中發現鮭魚的魚肉異味明顯降低，相較於其他養殖鮭魚有明顯差異，目前仍持續進行相關測試，希望找出模組中降低異味的主要關鍵因素，並嘗試推廣到其他循環水養殖物種測試(圖十四)。



圖十四、上圖為目前該場의各種循環養殖系統中 off flavor 降解最快的模組，仍在持續試驗降解原因。下方圖片為與 Freshwater Institute 的研究員 John Davidson 合照。

美國農業部緬因州冷水魚養殖中心 (USDA-ARS National Cold Water Marine
Aquaculture Center, NCWMAC)參訪：

主要為研究鮭鱒類養殖，目前可供應自卵、稚魚(fry / parr)、洄游前(smolt)、成魚與親魚(broodstock)全程培育，用於育種與各階段試驗。同時進行遺傳改良與育種，包括多性狀選拔：重量、肉色、脂肪等商品性狀；建立北美系群的 SNP 資源、把基因體資訊納入家系育種流程，以加速遺傳增益。針對不同發育階段(parr/smolt/grow-out)在溫度、鹽度、飼料條件下的生長效率與體品質進行實驗、比較海上網箱跟內陸循環水養殖環境下的表現，評估基因與環境交互作用，強化選育策略，同時作為示範/驗證場域支持美國國內鮭魚產業升級(圖十五)。除此之外另一個主要工作項目為魚蟲抗性評估與機制：建立挑戰試驗與轉錄體分析，快速檢驗魚蟲，近年則朝向篩選抗魚蟲等抗病性狀進行選育。



圖十五、鮭魚養殖池。

可見到試驗場區內人員較少，主要日常投餵仰賴自動化機器手臂投餌及監測(圖十六)，除了鮭魚之外，因應魚蝨的試驗，中心內也有繁養殖圓鰭魚作為清蝨的工具魚(圖十七)，不只可以在與鮭魚共養的情況下協助清除魚蝨、同時可識別鮭魚的化學／嗅覺信號 (olfaction cues)，對鮭魚發出的化學訊號有行為與生理反應。這意味著在混養系統中不只達到被動除魚蝨，也可能與鮭魚之間存在互動刺激反應。



圖十六、鮭魚養殖試驗區及上方自動投餵機器手臂，機器手臂下方為 parr（早期魚苗）養殖試驗系統，含有 234 個小型 50 加侖的培養槽，用於幼魚到進階階段飼養。下圖為可分批次處理魚卵的工作檯



圖十七、可人工繁殖的圓鰭魚，作為清除魚蝨的重要幫手。

水產養殖合作研發中心 (Center for Cooperative Aquaculture Research, CCAR)參訪

這是緬因大學和 USDA NCWMAC 合作的水產合作研發中心，擁有超過 100,000 平方英尺的水產研發設施，包含五棟主要建築與四座溫室，設施內含海水孵化場 (marine hatchery)、海水養殖實驗室 (mariculture labs)、魚類試驗生產區 (fish production trials)、Maine Aquaculture Technology Lab (MATL) 等區域，除了跟 USDA 合作進行鮭魚養殖試驗外，同時提供為水產研究，類似臺灣的育成中心廠商進駐，提供產業試驗創業平台。American Unagi 美國鰻魚養殖公司是 2014 年創立，並透過 CCAR 持續研究緬因州陸上循環水系統養鰻(主要養殖品種為美洲鰻)，並進行加工、銷售，並於 2023 年擴大經營規模後遷移至自建養殖設施，是 CCAR 成功輔導案例之一，可惜因該廠商已經遷出，本次參訪行程無法看到鰻魚養殖相關設施。但同樣可在中心看到其他廠商持續進行研發的水產養殖物種，包括主打海水觀賞魚的 Sea and Reef Aquaculture LLC(商品：小丑魚)；Springtide Seaweed 主要

與 CCAR 合作養殖有機海藻；Ocean Resources 與 CCAR 合作開發海膽底棲養殖方法；Kingfish Maine 目前主要研究方向為黃尾鰺的親魚 / 幼體育成，以支援其將來在緬因州的魚場選址與經營(圖十八)。



圖十八、CCAR 內不同的試驗物種：包括海膽、海藻、黃尾鰺及目前還是少量蓄養的緬因州龍蝦。

緬因大學合作延伸診斷與研究實驗室 Cooperative Extension Diagnostic and Research Laboratory 參訪

該設施為 2018 年啟用(圖十九)，為緬因州內高等教育機構中最高級別隔離／生物控制實驗室 (highest-level containment laboratory) 之一，其中包括獸醫診斷實驗室 (Veterinary Diagnostic Laboratory)、害蟲管理單位 (Pest Management Unit)、水生動物健康實驗室 (Aquatic Animal Health Laboratory) 等部門，分別提供動物疾病診斷 (病理、微生物、病毒學、寄生蟲學等測試)；昆蟲鑑定、植物病害診斷、害蟲監測/農業病蟲害相關服務；處理水生動物 (魚、無脊椎動物、養殖物種等) 疾病檢測/監控/研究；同時為農戶、養殖業者、野生動物/漁業部門、社區、個人提供樣本檢測/諮詢/教育課程/技術延伸服務等，並協助公共衛生，涵蓋如蜚蟲類與人類健康有關病媒昆蟲的科普及生態監測。以養殖研究來說主要參訪目的為水生動物健康實驗室，其內部設有專用的隔離水族實驗室，可處理新興或水生動物病原體。設施包括濕實驗室 (wet lab / aquaria) 與乾實驗室 (dry lab) 的混合配置，能支援 in vivo / in vitro /分子生物、病毒學、細胞學、免疫學等研究。AAHL 設有約 2,150 平方英尺的生物安全水族實驗室。隔離水族室與解剖室 (necropsy suite)，皆在 Biosafety Level 3 (BSL-3) 的環境控制中。其中隔離實驗室有兩區，第一區為較小型的實驗室，約 48 個 10 加侖水族箱(換算約臺灣 1.5 尺水族缸)：可進行小型疾病試驗或者溫控、光週期控制試驗。第二區為較大規模之試驗區，可容納超過 20 個 135 加侖水族箱(換算臺灣 5 尺-6 尺缸)，同時具備循環水系統與 inline UV 裝置消毒。該試驗區的廢水處理排放前均透過化學處理達到 BSL-3 病原體水樣之安全排放。該系統設計可處理每日最高 4,500 加侖的水體。由於在 2018 年前緬因州並無此類先進隔離水產設施，因此該實驗室為州內少數有能力處理水產疫病 /鑑定 /試驗的設施之一，更可協助業界建立測試模組 (更多物種、更複雜環境條件) 以模擬實際養殖場條件，推動商業驗證平台，與養殖公司合作試驗抗病策略等發展，協助學研究與產業界連結。



圖十九、緬因大學合作延伸診斷與研究實驗室

五、心得及建議：

這次到美國參訪主要參訪了幾個跟水產養殖有關的重要研究機構，包括馬里蘭大學 IMET、緬因州的 USDA 冷水魚養殖研究中心（NCWMAC）、The Conservation Fund 的 Freshwater Institute，以及緬因大學的 CCAR 水產養殖合作研究中心，還有他們最新啟用的合作延伸診斷與研究實驗室，裡面包含水生動物健康實驗室（AAHL）。整趟行程讓我對美國在養殖技術、疾病防治、以及永續發展上的整體規劃有非常深的印象。除了自身目前的研究發展透過與翁教授交流討論之後有更明確的執行方向、也可以持續建立聯繫管道討論未來合作項目。除了自身的研究計畫之外，也因為看到美國不同的養殖模式跟研發成果有了不少收穫跟感想。

首先，美國的研究單位真的很強調「跨領域整合」。像 IMET，不只是養殖研究，它把循環水養殖系統（RAS）和能源回收、廢水再利用結合起來，水處理後的污泥可以拿去產沼氣發電，整個系統既環保又能自給自足。再像 USDA 的 NCWMAC，他們專門研究鮭魚、鱒魚這些冷水魚的育種，重點放在延遲早熟、提升抗病力，甚至研發抗魚蟲的品系。現場可以看到自動餵食、監測水質和行為感測的系統，非常精準高效，在人力成本非常昂貴的美國透過自動化跟智慧養殖的部分來平衡養殖成本。

在緬因大學的 CCAR，我印象也很深。那邊不只是研究中心，更像是一個「產業培育基地」，讓新創公司或研究團隊進駐試驗，比如美國鰻（American Unagi）就是從這裡起家。他們提供完整的試驗場域與技術支援，讓創新想法能從實驗室走到商業化，是很完整的產官學三方連結建構的成果，臺灣向來推動育成中心鼓勵廠商進駐與研究合作也是希望朝向這樣正面地輔導產業提升，希望未來在這一塊我們都能做得更完善。

另外一個讓我收穫豐富的參訪點是從 Aquatic Animal Health Lab 擴充延伸的緬因大學合作延伸診斷與研究實驗室，他們的生物安全等級到 BSL-3，代表可以進行高風險病原的檢測與挑戰試驗。那邊不只做魚病診斷，也能進行疫苗測試、分子檢測，甚至幫業界驗證產品效能。整個流程非常符合科學化應用、效率也高。相比之下，臺灣目前的水產疾病防治體系比較分散，大多靠各縣市的獸醫防治各自運作，尤其在水族病理診斷這一塊又跟一般坊間的獸醫體系不太一樣，如何在試驗所立場輔導業界養殖管理的過程又能提供相關的健康養殖管理方案是我們工作中常面臨的挑戰，如果能有更完整的病理診斷體系跟管道應該可以更有效地輔助業界發展。

整體來說，美國的水產養殖產業強調「研發與產業要同步」，學術單位會主動跟業界合作、提供技術驗證與法規協助。這種制度化的合作模式，讓研究成果能很快被業界採用。臺灣的研究能量其實不輸，過去累積下來的繁殖技術也很可觀，但這些量能似乎都沒有整合的系統。本次參訪後私以為臺灣可以從幾個方向嘗試改善：

整合式平台與長期數據共享機制：目前臺灣的產學合作多屬「專案型」或「個別場域」，但缺乏跨區域、跨物種的長期資料庫與共用平台，若能整合建立國家級水產養殖資料平台：整合試驗場、水質監測、病害診斷、產量與氣候數據，並透過數據驅動決策：建立 AI 與雲端資料庫，形成「預警系統」，在疾病或水質異常時快速回饋給養殖戶。共用研究標準：制定全國統一的病原命名、樣本採集與診斷報告格式，以利跨機構比較與追蹤。

另外，從 CCAR 的經驗上看起來產學合作不只是「場域開放、學界試驗」，可以進一步朝向「共研（co-research）」與「共驗（co-validation）」模式發展：共研：讓廠商與學者共同設計試驗，資料透明共享，縮短研發週期；共驗：試驗成果由第三方驗證單位（例如學校或研究院）提供公信背書，提升商業化信任度；

建立專屬培育制度：像美國 CCAR 一樣，提供企業三年試驗期、技術輔導與產學共管評估，也可能有效提升產學合作效益。

聚焦「環境永續 + 經濟可行」的雙軸策略，這一點在目前臺灣很可惜，很多綠能政策的主要方向是正確的，卻很容易被誤導或者影響民眾觀感。當然多數養殖戶在意的是成本與報酬，因此未來的研究合作不只聚焦於技術突破，也要讓成果能直接「節能、省水、減廢」節省成本，同時也可以考慮建立環境信用制度：對使用節能、水循環系統或低排放設施的養殖場提供稅務或補助誘因，獎勵真正有落實綠能永續生產的場域。

鼓勵建立「國際交流與人才培訓」，鼓勵學生或技術人員交流，實際學習他們的養殖管理與研究思維。

這趟參訪給我最大的感觸是，美國在做水產養殖不只是想「把魚養好」，而是把養殖當成一個「永續產業」來經營，從箱網養殖到推動 RAS、原棲地經濟消費物種復育，他們在乎的不只是產量，還包括環境影響、能源效率、甚至教育價值。像他們的實驗計畫也有包括參觀教育功能，讓學生、社區居民都能了解養殖的科學與環保意義。回到臺灣，我覺得我們的技術和經驗都很紮實，但未來需要更重視系統性整合。要讓養殖不只是生產行為，而是一個能兼顧環境、科技與經濟的整體產業。透過與國際接軌、導入輔導前期試驗與推動永續技術，我相信臺灣的水產養殖一定能走得更穩、更長遠。

本次行程特別致謝：

全程陪同並協助各種行程安排、大力支持本次參訪行程的翁天佐教授，及協助緬因州參訪安排的美國農業部冷水海洋水產養殖中心主任 Dr. Brian Peterson，非常高興也榮幸自 2023 年邀請兩位來臺後仍可保持後續連繫，未來也會針對生理抑制的相關研究進一步與雙方討論國際合作的方向。



六、參考文獻：

Davidson, J., Good, C., Summerfelt, S. (2017). Evaluating performance of Atlantic salmon in land-based recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 78, 1-10.

Peterson, B. C., et al. (2021). Genomic selection for sea lice resistance in Atlantic salmon. *Aquaculture*, 543, 736974.

Sowers, K. R., May, H. D., & Ghosh, U. (2018). Colonization and growth of dehalorespiring biofilms on carbonaceous sorptive amendments. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(16), 15625–15635.

Wong, T. T. & Zohar, Y. (2015) Production of reproductively sterile fish by a non-transgenic gene transgenic gene silencing technology. *Sci Rep. silencing technology. Sci Rep.* 2015;5:1582.

Zohar, Y., & Tse, W. et al. (2016). Controlled reproduction and sex control in finfish aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 8(1), 1-28.