

台灣水產生物工廠暨設施養殖的發展潛能

撰文/賴珏光

前言

在過往「FORMOSA」美麗之島—台灣天然環境佳、養殖密度低、工業污染少、沒有太多病原，氣候適宜的情況下，傳統的室外水產養殖場非常容易經營，只要人工苗繁殖成功或天然苗源不缺就可大量生產，供應市場，所以台灣曾經以「草蝦王國」、「鰻魚王國」、「九孔王國」享譽世界。但是因生態環境遭受人為的過度開發及破壞污染，1987年草蝦感染草蝦桿狀病毒(MBV)之後，台灣年產量隨即從9萬噸(1987年)減產至5,000噸(1998年)，到現在年產量甚至不到1,000噸(2008年)，草蝦加工廠也早就外移到東南亞了；2001年九孔感染病毒及多重病因後產量也由2.3億顆(2001年)減少至0.3億顆(2005年)，疾病重創九孔養殖業，至今還繼續經營的九孔養殖場已經寥寥可數了。

1998年台灣引進夏威夷無特定病原SPF(specific pathogen free)白蝦種蝦，大量繁殖並推廣SPF蝦苗，雖說2003年白蝦產量也達1萬噸，但還是不及於草蝦1987年的9萬噸年產量，其主要原因仍是病毒疾病的肆虐，能夠有收獲的養殖池絕大多數為混養池而非專養池，這也說明了即使有SPF種苗而沒有SPF環境亦無法避免環境帶原者的傳染，投資者終至血本無歸。除非有辦法開發生產可抵抗特定病原SPR(specific pathogen resist)種苗，就可以直接在傳統室外池飼養而不怕被疾病傳染，學術界目前也

正朝著此方向努力中，期待未來能開發出各種水生動物疾病疫苗讓水產養殖業回到之前的榮景。

目前，在各種水生動物疾病疫苗還在研究開發中，就只能先以環境工程的解決辦法來克服疾病傳染的問題，而發展水產生物工廠(設施養殖)主要就是建立在無特定病原SPF的觀念上來應用於水產養殖。

水產生物工廠必需具備的條件包括：(1)室內養殖環境：與外界環境隔離、不受天候影響，可人為控制、SPF的環境。(2)水處理設備：除了進水處理設備外，養殖系統必需是半循環水設備或是全循環水設備。(3)使用潔淨的種苗、餌料及任何生產過程的添加物：SPF健康種苗、潔淨的人工餌料、自行培養或淨化處理(SPF)生餌及安全來源的SPF添加物。

目前水產生物工廠暨設施養殖運用在水產養殖產業鏈上各階段成效包括：(1)種漁¹蓄養：可控制光週期及溫度週期達到全年度計畫性生產，例如：鮭鱒魚類產卵場、青魷鱈魚類產卵場、鮑魚產卵場、南美白蝦產卵場。(2)漁苗繁殖：淡水漁苗繁殖的設施養殖已經大規模使用，例如：鮭、鱒魚類。海水漁苗繁殖設施主要運用在「餌料生物工廠」。(3)漁苗中間育成：是海水漁養殖分段的重點，中間育成設施養殖就如同是人類早產兒的「保溫箱」，應用在石斑魚的白身苗至三吋苗，活成率已提高至90%以上。(4)成漁養成：在國際上不論淡、海水漁

¹本文以「漁」泛指「魚」、「蝦」、「貝」及其它水生生物，而不單指魚類。

種已經大規模使用在鰻魚、鯛科魚類、比目魚及海水蝦類等，且穩定量產。在台灣，亞太水產國際公司已成功應用在南美白蝦 (*Litopenaus vannamei*) 各階段養殖及老虎石斑魚 (*Epinephelus fuscoguttatus*) 的魚苗中間育成及成魚養殖階段。

台灣水產生物工廠暨設施養殖的發展

台灣真正可稱謂水產生物工廠暨設施養殖系統，應從 1993 年弘亞公司張勳芳總經理引進 2 套丹麥製循環水養殖系統，並設置於水產試驗所基隆總所開始。在更早期從日本引進的養殖系統或是美國水族館的維生系統充其量也不過是個定性的概念，只是把觀賞魚水族缸系統放大而已，並沒有進入可計算、設計、定量科學數據管理、計畫性生產的層次，故還不能稱之為水產生物工廠。

最早期的水產養殖循環水系統發源於日本，在傳到歐洲時，尤其是北歐惡劣的氣候環境限制反而讓循環水養殖系統成為歐洲水產養殖的必要設備，更整合了周邊工業的技術進而發展成水產生物工廠，培養出最早一批的水產養殖工程師 (Aquaculture Engineer) 人才，也奠定了歐洲發展冷水魚類水產生物工廠的基礎。

1993 年水產試驗所引進的丹麥水產生物工廠是淡水鰻魚的養殖系統，當時因亞洲養殖所需的日本鰻魚 (*Anguilla japonica*) 鰻苗連年欠收，每尾玻璃鰻線 (glass eel stage) 漲到新台幣 58 元，相較於進口北大西洋產的歐洲鰻苗 (*Anguilla anguilla*) 及美洲鰻苗 (*Anguilla rostrata*) 只要 2~3 元，國內鰻魚養殖業者紛紛引進來自於北大西洋的 2 種鰻苗。但因台灣夏天室外養殖池高水溫造成鰓部寄生蟲快速繁殖，破壞鰓部組織引發細菌性疾病暴發大量死亡，水試所為了解決養鰻業者的問題，於觀摩歐洲鰻在當地的養殖環境後，引進了鰻魚水產生物工廠並加以推廣。



圖二 亞太水產國際公司—老虎石斑魚養成生物工廠內部



圖一 亞太水產國際公司—老虎石斑魚養成生物工廠外觀



圖三 亞太水產國際公司—高密度老虎石斑魚養成池

鰻魚水產生物工廠引進投產就如其所提供的基本生產參數一樣，業者也順利量產，1994~1996 因天然捕撈的日本鰻苗仍不足供應所需，成鰻的價格一直維持在每公斤新台幣 380 元以上，最高甚至高達每公斤 580 元，對照每公斤約 250 元的生產成本，利潤相當好。但好景不常，1997 年後連年日本鰻苗豐收，成鰻傳統室外養殖池的池邊收購價格下跌至每公斤 155 元，造成投資鰻魚生物工廠生產業者每賣一公斤就虧損約 100 元，導致業者紛紛轉養其它魚種或是關廠²。

然而 1994~1996 年間，台灣周邊相關業者如玻纖養殖槽製造商、機電工程公司、水產養殖業者及學研單位，陸續投入本土型水產生物工廠的開發，因此也開啟台灣水產生物工廠的發展史。

發展水產生物工廠的必要條件

水產生物工廠不僅僅是水產養殖設備單元或水處理設備單元而已，而是能夠「計畫性」生產水產生物的「流程」及「系統」，開發設計者或團隊必需具備所有下列基礎：

（一）水產生物養殖背景

每種水產生物的行為、習性並不相同，要瞭解其行為習性才能設計出符合的養殖單元。舉例來說，有業者直接複製有鯉魚類養殖槽來飼養蝦，多次嘗試飼養後，養殖密度就是低於每噸水 3 公斤，其原因就是不瞭解蝦類為底棲生物，需要的是棲息表面積而不是水體的大小；亦即有鯉魚類因泳鰾可控制自如的停在養殖槽水體的任何水層，可自由分層而不需消耗很多能量；但蝦類只能依附在表面積上而無法不耗能的在任何水層中停留，故如果將蝦類養殖槽單元設計成深層養殖槽和淺層養殖槽，兩相比較下，前者浪費結構成本且養殖的生物密度並不會比後者多。又如鮪魚類具有上下洄游的特性，如果種魚產卵槽深度設計小於 5 公尺，則相對想要讓鮪魚種魚自然產卵的機率就很小了，但是此設計運用於海鱺種魚的自然產卵就足夠了。在養殖槽進

水單元，如鰻魚有逆流而上的能力及特性，不瞭解的業者不懂得設計有防逃措施的進水管路，不出一個星期，所有鰻魚都順著進水管逆流至前端水處理設備單元內，養殖槽內找不著魚了。在養殖槽出水單元，如果養殖海鱺的出水管設計和一般魚類的底排設計一樣，養殖槽水中的懸浮顆粒將會多到讓海鱺停止攝食，原因就是海鱺的正常糞便並不是紮實的條狀或完整的顆粒狀而是散霧狀。所以不瞭解目標水產生物的行為習性是無法開發出完美的水產生物養殖設施單元。

（二）水處理工程背景

當養殖業者在配置養殖槽進水管時，會考慮要用多大的管徑？或是出水管路要用多大的管徑？會有什麼影響？進水管路決定養殖槽的水力停留時間，而配置的方法位置決定養殖槽內增氧輔助、水流的均勻度及會不會產生死流區等。出水管路的管徑決定出水的流速，如果出水的流速小於糞便或殘餌的沉降速度則無法將糞便及殘餌帶離養殖槽而累積於池底污染水質。

養殖廢水內所含的顆粒物質及溶解性物質如何去除？是以物理過濾、機械過濾、電化學過濾或是生物過濾？何種處理方法、設備？設備處理的能量及效率？處理到何種程度？這些都是水處理工程的範疇及專業，也是水產生物工廠必備的水處理單元，缺少水處理工程的知識也就無法設計出經濟的水產生物工廠。

（三）水電、機電工程背景

水產生物工廠內很多設備都可直接向各家水產設備商採購，各種水處理設備擺設的流程是需要具有水處理工程背景的知識來設計，但是連結所有設備及管路則需要具有水電、機電工程知識的人才來設計，好的設計可讓水產生物工廠的操作非常順利且經濟，但是這一塊反而是大家都忽略的。舉例來說：在動力泵浦輸送水的管線遇到轉彎的地方，好的水電工程師會設計有弧度的大彎接管而不會採用

²當時所有水產養殖業者都認為引進水產生物工廠是錯誤的政策並嚴厲指責漁業署；而筆者於1993年還是研究生時就躬逢其盛在海洋大學劉擎華及曾國鋒教授實驗室接歐洲鰻魚養殖計畫，一路摸著石頭過河將淡水系統改良成海水系統，至今已開發出適合各階段暖水性魚種的水產生物工廠，筆者需說明該政策是正確的，引進水產生物工廠概念是有先見之明的，只是當時選擇的目標水產生物—鰻魚苗需靠天然捕撈而無法計畫性生產是最大的敗筆。

標準的 90 度彎頭接管，避免水頭損失。還有為了維修循環水系統中的某設備，理想的水電管路設計會有 by-pass 管路，可以同時運轉同時維修，避免需整個系統停機才能維修。觀摩現有學研單位或大型水族館的循環水處理設備，通常設計上不甚理想；從採購招標工程的標單來看，會發現有各種水處理設備的單元項目，但是水電、機電管路通常只有一項且單位寫「一式」，也就是只有計算材料費，那試問一開始是如何設計？這部分是整套循環水系統的命脈重點，是要付很高的 know-how 費用，但是因為招標單位知識的欠缺，及設計標得標的建築師委由大宗設備供應商自行來設計連結，等到正式運轉時才發現系統管路設計不當甚至錯置造成無法操作使用，最後系統閒置變成蚊子館；或是發生未設計各種緊急維生設施管路，當發生緊急事件時無法自動啟動及警報告知，造成養殖生物大量死亡等。

（四）養殖經營管理背景

在設計開發水產生物工廠時就需納入經營管理層面，舉例來說，養殖水生生物，最重要的是水溫，在目標生物的最適水溫範圍內，水溫愈高代謝愈快成長愈迅速。故在選擇地點時南方的高溫會優於北部；選擇陽光提供溫室效應產生熱能時，日照天數多的地區優於常陰雨的地區。在設計底棲生物的高密度養殖槽時，水中分層會優於水外分層。所謂水中分層即是指在一個養殖槽內將水體垂直或水平的分區使用，所使用的材質因為有水的浮力支撐，即使是薄薄的一層塑膠材質也是可以的；但是水外分層則是每一水層都必需能承載該水層的重量，也就是所使用的結構必需是牢靠的，相對的投資在水外立體分層的結構成本非常高，將會增加未來設備攤提的成本。

在成漁養成生物工廠投產後，計畫性連續式生產管理為養殖經營管理最基本的概念，但如何做到連續式生產？如何進苗、進多大的苗？何時篩選、分成幾種規格、需預留幾個空池？出魚的動線？還有

選擇何種食品安全認證規劃、飼料規劃、市場規劃等等。

一漁一產業，整合完備上述四種背景知識能力就可以發展各種水產生物工廠。

水產生物工廠的優勢及潛能

以台灣石斑魚類為例介紹各階段水產生物工廠與傳統的水產養殖業的比較：

（一）石斑種魚蓄養階段

台灣目前只有點帶石斑（青斑）在南台灣的自然氣候環境下可全年度產卵，鞍帶石斑（龍躉石斑）以往需等到端午過後約五、六月份水溫回暖後可人工催熟、自然產卵。而南部有龍躉種魚業者於去年（2008 年）將種魚移入室內種魚生物工廠，因水溫可人為控制提高至產卵適當水溫，已經做到可全年度產卵，今年（2009 年）為了配合台南室內繁殖業者養殖場的水溫回升，才於二月開始催熟產卵，三月便成功取得今年度第一批受精卵，比傳統室外種魚池提早了約三個月。

（二）石斑魚苗繁殖階段

今年（2009 年）南部有業者已成功設立一套石斑魚苗繁殖生物工廠，將數個養殖池的水回收至一生態池，內置有珊瑚砂生物濾床及少數蝦類，上方有自然光及人工補充光源，用以培養藻類再將藻水引至魚苗養殖池內；輪蟲、橈腳類等餌料生物則外購，並於以臭氧水消毒洗滌後餵食，所以在養殖池內會有小魚苗、藻類及餌料生物製造出一食物鏈，相較於傳統室內繁殖池平均不到 1% 的成功率，該石斑魚苗繁殖工廠只要魚苗孵化後，有過料（卵質佳的受精魚卵）皆可育成至白身苗階段，而每批受精卵的育成率約 10~15%，已經穩定成功地培養出數批青斑白身苗。

（三）石斑魚苗中間育成階段

石斑魚中間育成生物工廠就如同是人類早產

兒的「保溫箱」，避免因感染細菌性疾病或是水質變化過大造成緊迫而誘發體內的病毒疾病暴發，所以相較於傳統利用流水式水泥池中箱網的中間育成方式活存率要高出 2 倍以上。在實例上，利用石斑魚中間育成養殖工廠育成點帶石斑 (*Epinephelus coioides*) 從白身苗養至 3 吋苗及鞍帶龍躉石斑 (*Epinephelus lanceolatus*) 從白身苗養至 6 吋苗，本階段的活存率皆可達 90% 以上，比傳統利用流水式水泥池中箱網的中間育成方式從白身苗養至 2.2~2.5 吋苗平均活存率約只有 40% 要高出二倍以上。除此之外，利用石斑魚中間育成工廠養出的中大苗，就好比將免疫系統未發育完整的小石斑苗養至免疫系統發育較全的中苗 (青斑 3 吋、龍躉 6 吋)，對於石斑魚成魚養成場承接後續養殖的活存率有明顯的提升，活成率也達 70% 以上高於傳統流水式水泥池中箱網的中間育成中苗 (約 2.2~2.5 吋) 的 50% 活成率。

(四) 石斑成魚養成階段

石斑魚成魚養成生物工廠與傳統的室外養殖池比較，最大的優勢為：(1) 計畫性生產：室內養殖、不受天候影響、不受疾病干擾、可每天穩定生產供應市場，可永續經營。(2) 消費地直接生產：在台灣由於是海島型國家，南北距離短，從屏東到台北陸

運也不過 6 小時以內感覺沒有太大的差異；但如果在中國大陸型國家從海南島到上海或北京陸運會超過 2~3 天，靠近市場的配送機制就突顯出時效性的重要。可直接面對市場，假如直接就在上海或北京近郊設養殖場，幾乎可以做到 24 小時配送而且不用額外設活魚轉運物流站；也就不用送到批發市場且受制於現有中間商，可直接面對餐廳飯店甚至更末端的消費者。(3) 容易取得安全食品生產認證：SOP 工廠化生產流程，容易管控，容易取得安全食品生產認證。(4) 養殖活成率高：石斑魚成魚養殖工廠活成率達 85% 以上，遠高於傳統室外養成池 50% 的平均活存率。

台灣水產生物工廠暨設施養殖未來的發展 — 根留台灣、漁養天下

台灣擁有地球上最多暖水性魚種的養殖經驗，並可結合發達的周邊工業及 IT 產業，非常適合發展高科技的「暖水性魚種的水產生物工廠」。但是，目前各大專院校及研究所設立的水產養殖科系都被歸入農學院，從入學一開始就將物理學科包括環境工程、機電工程學科剔除，會影響水產養殖朝向科技化產業的發展，所以如何整合水產養殖、工程及商業經營管理是值得研究的課題，而加快整合知識，培養水產養殖工程師人才則是發展水產生物工廠的當務之急，畢竟水產養殖是應用科學而非基礎科學。

另外，要從市場需求面來考量台灣水產生物工廠的發展，例如台灣一年生產約 17,000 公噸的石斑魚，但是有 10,000 噸以上的石斑魚是出口至香港及大陸，從環境生態保護「食物哩程」的角度來想，我們就要思考這 10,000 噸是否就要就消費地直接生產而不是從台灣出口。

所以就暖水性成魚養成生物工廠未來主要發展趨勢，應以整廠輸出為其重要考量，目前在成魚養成生物工廠就需趕緊納入遠端監控的資通訊介面開發，讓台灣可以直接從網際網路監控世界各地的暖水性成魚養成生物工廠的營運。



圖四 老虎石斑魚苗中間育成

最後，配合行政院農委會政策將台灣定位為亞太水產種苗中心，水產種苗也是水產養殖業的核心技術，所以有必要將前三階段水產生物工廠包含種漁蓄養工廠、漁苗繁殖工廠及漁苗中間育成工廠的核心技術根留台灣，然後生產大量的暖水性漁苗銷售給世界上各大都會區的成漁養成生物工廠養殖，讓台灣不僅成為亞太水產種苗中心更是世界暖水性水產種苗生物工廠。

AgBIO

賴珪光 亞太國際水產種苗公司 總經理

參考文獻

1. 賴珪光 (2004) 水產養殖設備及器材手冊，增訂。
2. 賴珪光 (2007) 由水產養殖業專利分析、智財保護及智財鑑價談台灣水產養殖業的轉型。養魚世界，31(3):50-54。
3. 賴珪光 (2008) 參加石斑魚產銷國際研討會後記。養魚世界，32(1):21-23。
4. 鄭金華 (2006) 無特定病毒白蝦繁殖技術與遺傳育種。優質種苗與水產養殖專刊，XII:111-124。
5. 蘇惠美、曾福生、周賢鏘 (2006) 台灣鮑優質種苗之生產。優質種苗與水產養殖專刊，XII:135-144。