

系統的开发與應用 鹹水整合型多營養階養殖

1 張素容

1 吳育甄

1 葉信利

一、友善環境的生態養殖

地球暖化與氣候變遷所造成的極端氣候，對生態環境產生嚴重衝擊，各國學者均已紛紛示警。就海洋生態角度而言，海洋生物資源逐趨匱乏，加上過度捕撈，已有90%的大型魚類族群逐漸消失，70%的漁場呈現過漁，甚或捕不到魚，使漁業資源和產業面臨嚴峻考驗。而水產養殖方面，在土地面積有限、水體環境限制以及利潤收益考量下，不斷地提高單位面積生產量的同時，卻也導致水質惡化、養殖生物免疫力下降、病原交相傳播感染等後遺



症，經常造成產業極大損失。又為了及時有效治癒養殖生物，藥物被廣泛使用、甚至濫用，不僅導致病原菌的抗藥性，也使得養殖環境更加難以控制，此外還可能因藥物殘留，衍生食安問題。

生態養殖已經成為近年養殖界發展的趨勢，放養生態位互補的經濟動植物形成循環系統，充分利用養殖排放廢棄物作為養殖生物之營養物質，藉以調控養殖池水質環境，並提高水產養殖生產力，同時又可減少養殖廢水對環境的影響，降低水產養殖所帶來的環境衝擊，是一種永續的經營方式。

二、整合型多營養階養殖系統

整合型多營養階養殖系統 (Integrated Multi-trophic Aquaculture System, IMTA) 為一種混合式養殖模式，利用水生生物來處理養殖廢水中的營養鹽與有機物，且成為養殖的附加產物。其優點是利用生態平衡的原理，充分利用資源，除了可以減少餌料和飼料等成本，並且維持較佳的水質。

世界各國學者積極不斷地研究混合式養殖模式，例如放養文蛤、西施舌及牡蠣等貝類，過濾水中有機總懸浮固體，來淨化養殖魚塭的水質；然研究發現牡蠣雖能降低懸浮固體量，但仍無法有效去除養殖過程所累積的氨氮，因此建議可加養藻類來吸收水

中氨氮與有機鹽，並且提供大量表面積供硝化菌附著，達到淨化水質的目的。其他魚、貝、藻混養相關研究，包括智利混養鮭魚 (*Salmo salar*) 與龍鬚菜 (*Gracilaria* sp.)，加拿大混養鮭魚與貽貝 (*Mytilus edulis*) 等，即利用藻類或貝類，吸收鮭魚排放出來之氨氮等營養鹽，以降低藻類和細菌等微生物生長；在中國山東則將長牡蠣 (*Crassostrea gigas*)、扇貝 (*Chlamys farreri*) 及海帶 (*Laminaria japonica*) 混養，用海帶處理貝類排泄後之營養鹽等。這些混養模式以多營養階利用的方式來解決養殖過程所產生含氮廢物、溶氧、水質、微藻等的問題，以降低單一品種高密度養殖所引發的疾病問題，並藉由附加養殖的貝類及藻類收成，來提高收益。

三、鹹水整合型多營養階養殖系統之建構

行政院農業委員會水產試驗所海水繁養殖研究中心採多池式鹹水魚塭混合養殖模式，建構整合型多營養階養殖系統，將各種營養階層需求的養殖生物蓄養在不同池，除可維持同池混養之各種生物互相利用的優點外，還可以解決多種養殖生物之間生長、適應和消長以及收穫時在捕撈上分獲的困難等，同時降低單位養殖面積的生物承載量，使水質更為穩定，進而

降低用水量及排放量。本模式實踐的方向包含：(一) 生產安全健康之產品；(二) 低碳排，對環境友善；(三) 符合節能、節水、節電要求；(四) 使用低魚粉配方的綠色養殖飼料。

考慮各養殖池生物承載量與水生生態作用等層面，各池的建構重點為：(一) 養殖池：以生產養殖經濟魚類為主，考量養殖面積生物承載容積量、供氧水車水流配置、抽水排污效益、溢流管路排水功能等；(二) 貝類池：貝類為有機物濾食者，可減少懸浮藻類和有機物。其規劃包括：沉澱大顆粒有機物、狹長型構建以積集濾食效果、物種懸掛水深等；(三) 大型藻類池：藻類為營養鹽吸收者，用以減少水中營養鹽成分，需考慮水深對光合作用之影響、採收操作便利性、進行營養鹽硝化作用效率、淨化循環回收注水等。

本模式(圖1)主要養殖生物為虱目魚，養殖池水流經貝類淨化功能之

「牡蠣池」，接著流入大型藻類淨化功效之「龍鬚菜池」，最後再抽進「養殖池」而成為一封閉水循環系統。目前共有兩套循環系統進行試驗，每組試驗池包含：養殖池0.25公頃(ha)、貝類池0.08公頃以及大型藻類池0.17公頃，各一池。養殖池面積配比為養殖池：貝類池：大型藻類池=3：1：2、蓄水量配比則為5：2：1(表1)。養殖生物放養量配比為，每個系統6,000~10,000尾虱目魚、500~800公斤牡蠣和1,200~1,500公斤龍鬚菜。另在養殖池旁分別建立光合菌培養槽，定時添加光合菌輔助穩定養殖池水水質。

四、池塘水質環境與水的再利用

懸浮固體(Suspended Solids, SS)為水中會因攪動或流動而呈懸浮狀態之有機或無機性顆粒。本系統養殖水流經牡蠣池再流入龍鬚菜池，透

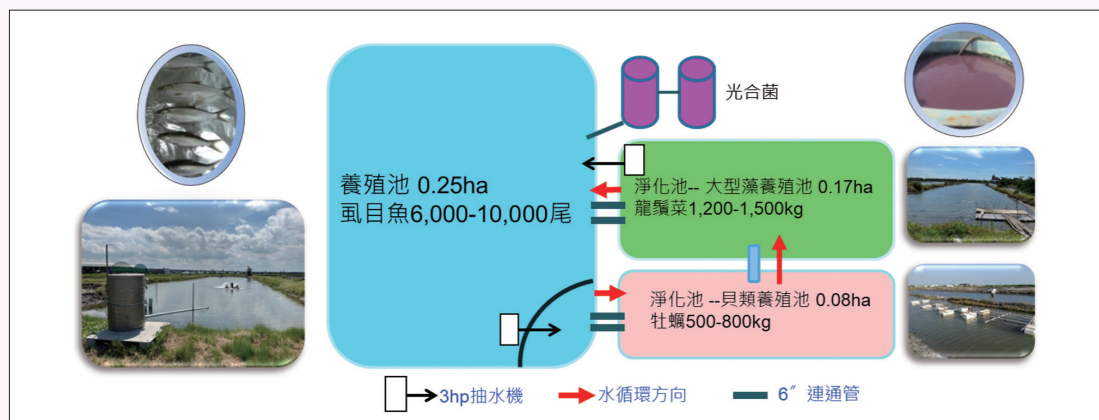


表1. 鹹水整合型多營養階養殖系統中各養殖池面積、水深、蓄水量

養殖池	養殖池	貝類池	大型藻類池
面積(平方公尺)	2,500	800	1,700
水深(公尺)	1.8	2.0	0.5
蓄水量(立方公尺)	4,500	1,600	850

過不同水流位置點的SS測定，牡蠣池入水口處SS濃度為56 mg/L，流至牡蠣池末端降至28 mg/L。而位於兩池中間偏後端的匯流處為36 mg/L，再流至末端的龍鬚菜池則已降至16 mg/L（圖2）。而在養殖期間共進行9次採樣，養殖池SS濃度平均為59.11 mg/L，明顯高於牡蠣池與龍鬚菜池的39.33與34.89 mg/L（表2），顯示本系統為有效率的養殖水循環模式。

氨、亞硝酸與硝酸為自然界的氮循環所產生含氮的有毒廢物，會對水生生物產生毒性。而生化需氧量（Biochemical Oxygen Demand, BOD）為水體污染的重要指標，水中所含有機污染的程度愈嚴重BOD則愈高。本模式養殖虱目魚的廢水，透

過牡蠣與龍鬚菜作水質淨化，以及光合菌的添加，促進氨氮、亞硝酸氮與硝酸間的轉化，能有效穩定氨氮濃度，並降低SS濃度以及BOD（表2）。

養殖試驗期間亦監測各池水水質，2套系統的差異不大，pH、溫度、鹽度、透明度、溶氧、SS和BOD均維持在適合養殖範圍內，氨氮、亞硝酸氮的濃度亦穩定在安全濃度以下，系統可在虱目魚養殖期間達到零換水的目標。

表2. 鹹水整合型多營養階養殖系統中水質變化的情形

水質檢測項目	養殖池	牡蠣池	龍鬚菜池
氨氮	0.25 ± 0.02^a	0.27 ± 0.02^a	0.25 ± 0.02^a
亞硝酸氮	0.05 ± 0.01^a	0.09 ± 0.01^b	0.07 ± 0.01^c
硝酸氮	3.28 ± 0.36^a	2.37 ± 0.35^b	2.71 ± 0.21^{ab}
懸浮固體(SS)	59.11 ± 6.60^a	39.33 ± 6.54^{ab}	34.89 ± 13.29^b
生化需氧量(BOD)	23.83 ± 1.27^a	6.17 ± 0.44^b	5.25 ± 0.41^b

註：a、b、c表示在統計下各組之間有5%以上的顯著差異。

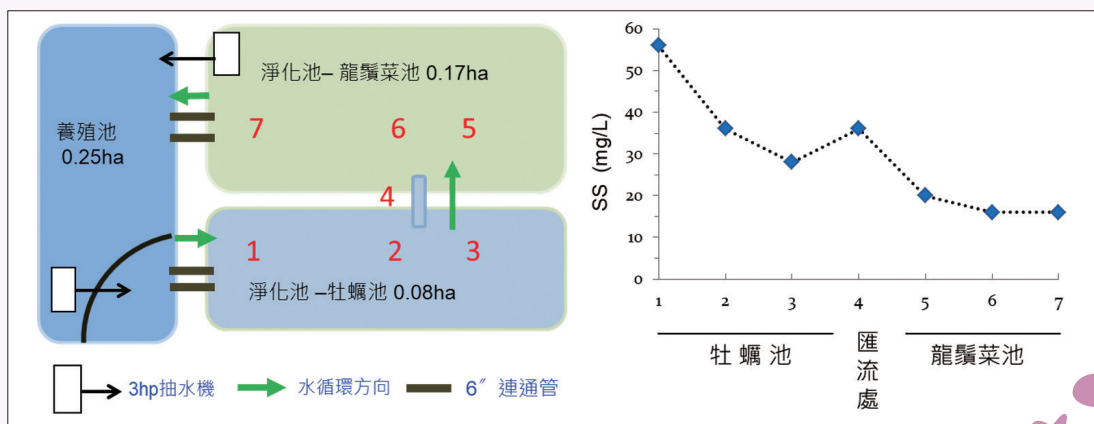


圖2. 鹹水整合型多營養階養殖系統中懸浮固體(SS)的變化情形。

五、綠色養殖飼料的應用

在綠色養殖飼料開發方面，以3種飼料配方（一）米糠組、（二）米糠+豆粉組、（三）米糠+豆粉+輪蟲組，投餵虱目魚60天，試驗結果顯示，米糠+豆粉組及米糠+豆粉+輪蟲組之虱目魚成長速度相近，均較只投餵米糠者佳，因此採用米糠、豆粉作為主要原料，開發成不添加動物蛋白與油脂之綠色養殖飼料，應用在鹹水整合型多營養階養殖系統的虱目魚養殖，每公斤約可節省成本2~3.5元，既能降低飼料成本，又能提高虱目魚成長。由於養殖系統所在區域的鹽度經常高過35 psu，因此飼料換肉率較淡水養殖者差，在1.68~2.86，然而1.68在純海水養殖虱目魚已是不錯的表現；而經過配方微調，飼養虱目魚的肥滿度在0.92~1.22。

六、虱目魚收穫情形與養殖效益評估

試驗於100~103年經過持續不斷修正鹹水整合型多營養階利用養殖系統應用於虱目魚的模式與策略，包括逐步改善養殖循環系統、調整適合之放養期與密度、開發更適合虱目魚成長的節能飼料等，來提高養殖效率。因此系統單位生產量的成本逐年降低，收穫每公斤虱目魚所需飼料成本可由55.5元降至28.4元，魚苗和飼料成本也由75.5元/公斤降至

45.7元/公斤（表3），最後選定以6寸虱目魚為主要商業化生產目標並評估其養殖效益。

而在103~106年的試驗中，也調整放養量和放養魚苗大小來配合6寸虱目魚市場規格和收購模式，可降低撈捕成本以及減少收成時魚隻參差來提高收穫率，以此再提升養殖效益。在生產量方面，2套養殖系統並無顯著差異，每次2套養殖系統合計放養量12,000~20,000尾、收穫量10,364~18,831尾、收穫率78.0%~94.2%，收穫重量在917.5~1,657.2公斤（圖3）。

本模式在103~106年的虱目魚放養密度為24,000~40,000尾/公頃；4~5寸虱目魚養殖17~47天可達6寸上市體型；魚苗價格2.1~4.0元/尾、每公斤飼料價格11.9~14.8元；收穫每公斤虱目魚所需飼料成本



圖3.6寸虱目魚的收穫與分級。

表3. 鹹水整合型多營養階養殖系統中虱目魚養殖效益

項目	100年 4月	100年 8月	101年 8月	102年 8月	103年 8月	104年 8月	105年 8月	106年 8月	106年 9月
養殖時間(天)	107	75	91	75	25	47	17	20	26
養殖密度(尾/公頃)	20,000	40,000	50,000	40,000	24,000	40,000	40,000	24,000	28,000
放養體型(寸)	3	5	5	6	5	4	5	5	5
收穫體型(寸)	8	8	7	8	6	6	6	6	6
魚苗(元/尾)	5.7	2.2	2.0	2.7	3.4	2.1	2.5	4.0	3.5
飼料(元/公斤)	11.2	12.8	14.8	15.8	14.8	13.1	13.6	12.9	11.9
收穫虱目魚所需飼料成本(元/公斤)*	55.5	48.2	52.0	34.6	28.4	23.3	26.6	34.3	34.5
收穫虱目魚所需魚苗和飼料成本(元/公斤)**	75.5	56.0	64.2	46.7	45.7	37.9	41.2	60.5	56.0

註：*收穫虱目魚所需飼料成本：投餵的總飼料量(公斤)×飼料(元/公斤)/虱目魚總收穫量(公斤)。

**收穫虱目魚所需魚苗和飼料成本：魚苗價格(元/尾)×收穫時每公斤虱目魚尾數(尾)+飼料成本(元/公斤)。

23.3-34.49元，魚苗和飼料成本總計為37.58~60.46元/公斤(表3)。而在此期間所養殖的6寸虱目魚出售價格可達90~140元/公斤。

七、生態養殖價值的提升與展望

在臺灣水土資源有限的情況下，水產養殖業者多採用集約養殖模式，加上魚類大多利用蛋白質為能源，因此產生大量的含氮廢物，養殖廢水多半含有高濃度營養鹽，除了容易污染環境水質外，也易引起養殖生物的疾病爆發。鹹水整合型多營養階養殖系統之養殖池水循環至牡蠣池及龍鬚菜池，使貝類及藻類吸收利用池水中的營養鹽及有機質，提供水產生物成

長，並充分節能循環利用資源，同時還可以淨化維持水質，減少對環境的污染，達到生態養殖的目標。此健康安全多池式的生態化循環養殖模式，要如何推廣至產業且能被大多數的業者接受，如何更進一步提高養殖漁民的收益是重要關鍵。

除了降低成本，以及提高飼養殖魚、蝦、貝、藻的品質和附加價值，增加收益外，還可以從消費大眾面著手，加強生態教育觀念的推廣，並透過展示、包裝、行銷，強調水產品的養殖過程對環境友善，以及食用的安全性，提高消費者的接受度，進而使生態養殖水產品與一般產品產生區隔，創造生產端與消費端同時受惠的雙贏策略。