

濕地化養殖魚塭對水質穩定效益

Application of Wetland-like Systems in Fish Farms to Enhance Water Quality Stability

逢甲大學 水利工程與資源保育學系 副教授	逢甲大學 土木及水利工程 博士學位學程博士候選人	逢甲大學 水利工程與資源保育學系 研究所碩士	逢甲大學 水利工程與資源保育學系 副教授
蘇 惠 珍*	周 佳 賢	陳 逸 儒	李 漢 鏗
H.-S. Su	J.-S. Chou	I.-R. Chen	H.-K. Lee

摘 要

台灣沿海養殖因為地層下陷、水資源分布不均和開放進口的影響，目前面臨養殖型態轉型的必要。近年來雖有設施型循環養殖和生態養殖的技術發展，但因初期投入成本較高，不易被一般養殖業者接受。本研究則是學習水質處理型濕地，利用水耕浮板來模擬水生植物的功能，將傳統魚塭轉營造為一個最簡約的生態養殖模式，藉由類濕地環境的營造來達到水質穩定的目的，降低養殖過程中因水質不佳所造成的換水風險，藉以達到降低換水需求及穩定水質目標。

關鍵詞：地層下陷，類濕地，水耕浮板，生態養殖。

ABSTRACT

The aquaculture along Taiwan's coasts now confronts the threats of water resources and lands subsidence, and impact of accession into WTO. Even though development of the recirculating aquaculture system (RAS) and eco-aquaculture technologies were valued recently, which still are difficult to be accepted because of high initial investment and low water rate. The artificial floating beds with vegetation to build a wetland-like system in this study, and ecological aquaculture transformation for fish farms can be easily done. Through the water quality monitoring, the concentration of total nitrogen and nitrate are obviously reduced in the fish farm with artificial floating beds. Moreover, the objectives of water purification and the water consumption efficiency improvement are proved in this study.

Keywords: Lands subsidence, Wetland-like, Artificial aquatic-plant bed, Ecological aquaculture.

*通訊作者，逢甲大學水利工程與資源保育學系副教授，40724 台中市西屯區文華路 100 號，hcsu@fcu.edu.tw

一、前言

台灣沿海低地區因持續地層下陷造成許多地表高程低於海平面，使得颱風時排水不易，也因為長期依賴地下水導致海水入侵、土壤鹽化等問題，使得許多農地生產不易轉而成為養殖魚塭或閒置，加上沿海大面積鹽田釋出，便形成海岸濕地型態，也因此有多處被陸續規劃為重要濕地或大型蓄洪區。而這些豐富的濕地生態雖然吸引了相當多遊客到此進行賞鳥、環境教育活動、浪漫黃昏等活動，但總是因為沒有足夠的食宿誘因和冬季強大的東北季風不利久待而無法給地區帶來經濟收入，因此必須依賴政府資源來進行這些海岸濕地的維護。此外，政府對於大量依賴地下水的現況，多是以建造人工湖或水庫等方案來取代現有的地下水供水量，而對於民間私井則是提出封井、建立公井或聯合供水系統來因應，然而對於目前民間私井的數量和取用水量卻難以估算。又因為沿海養殖魚塭產值相當高，且不論鹹水或淡水均可以經營，不若農地一但鹽化要復耕難度較高，許多農民便放棄生產，也因此當政府想要取締違法水井時，總是因引起嚴重民怨而無法執行。鑒於上述原因，本研究團隊自 2005 年起，除了對於沿海地層下陷區提出生態旅遊、鹽水農業、生態養殖、高腳屋等在內的生態產業和建築形式方案(楊等，2005-2006；Yang & Su，2008；Su，2008 and 2010)，並陸續進行相關試驗(蘇和連，2011；蘇，2012；Tsai 等，2012)，主要研究方向均在建立沿海地層下陷區環境永續和經濟並進的模式。

依據聯合國預估，至 2012 年全球人口將會到達 70 億人，人口增加意味著人類對糧食和水資源等自然資源的需求增加。而隨著健康意識的抬頭，民眾對於食物營養及食材來源愈來愈為重視，追求更安全更健康的飲食；因此，魚肉之高蛋白、低熱量的特性，便成為現代人非常重要的營養來源，其平均每人消費量自 1970~2008 年間增加了 10 倍。而世界捕撈漁業產量在過去 10 年已呈現相對穩定，估計至 2030 年止，依賴養殖漁業供應的魚肉至少還需 4 千萬公噸(FAO, 2006

and 2010)，堪稱是重要經濟收入之一。台灣沿海地區農漁民多年累積的養殖技術，要放棄養殖業並非易事。然而，養殖漁業是一個高耗水產業，並需維持好的水質，為滿足如此龐大的糧食需求和水資源使用門檻，循環水養殖系統(Recirculating Aquaculture System；簡稱RAS)在近年來快速發展，利用環境控制的方式，將飽含氮氮的養殖廢水抽取至植物生長池中作為植物生長的養分，再將植物吸收氮氮廢棄物後的水循環回養殖系統中，利用室內的環境控制設備還可以進行溫控，便可以進行超高密度養殖，此即為養魚工廠。甚至擴大植物池的規模，變成為結合水產養殖(Aquaculture)和水耕栽培(Hydroponics)的魚菜共生(Aquaponics)系統或農業生產工廠。由於投入成本較高，此設施型養殖類型多被應用在高經濟價值的魚種(如鰻魚)或幼苗培育，又或者是企業化生產的模式方可維持。

目前臺灣沿海地區最常見的人工養殖型態仍以高密度的集約式養殖為最多，在集約式養殖系統中，由於放養密度過高，加上投餵了大量的飼料，會造成此類內陸水體中氮氮不斷累積，因而許多塭主便採用大量換水和投藥等方式來避免養殖物種大量死亡。僅管地層下陷和食品安全相關議題不斷被關注，部份業者亦引用設施型循環養殖或大面積之低養殖密度方式，但因投入成本較高，不易被一般養殖業者接受。為此，本研究應用水質處理型濕地的核心精神，利用水生植物來協助魚塭中總氮的降低，來達到水質穩定的功能，降低養殖過程中因水質不佳所造成的換水風險，亦可提供魚、蝦一個夏季避暑、冬季避寒的休憩環境。

二、試驗方法和材料

依據濕地定義，養殖魚塭屬於生態系統較簡單的人工濕地。而天然的湖泊與內陸濕地等封閉水體中，魚類並不需要依賴換水方能存活，概因過去在水產養殖上，多以高密度、高投入人工飼料和高生產的集約式養殖方式來爭取收益，但高密度養殖則對於養殖魚塭的水質便是一大考驗。台灣在經歷塑化劑風暴後，全民對於無毒的

食材來源較過去更為講究，因此生態農、漁法和生產履歷等漸被重視。例如養殖漁業的台江漁人、嘉義邱健程生態水產、溫室內水再生循環系統的「亞太密碼甜蝦」和金車水產養殖等，便是轉型以低密度養殖或儀器控制來達到致病率較低、水質較佳的環境，但上述幾個案例對於目前的一般養殖戶來說是較大的養殖行為改變或成本投入，因此目前效法的塹主並不多見。

近年來，人工濕地的建造在台灣時常可見，因為其可以作為暴雨緩衝空間、生態棲地、淨化水質、環境教育、環境美化等使用；而人工濕地做為水質淨化的重要元素便是底質土壤和水生植物。因此，本研究進一步應用此原理，將台灣常見之養殖魚塹進行最小改造，來達到穩定水質功效。

由於國內養殖戶多為經驗養殖，本研究在多處尋訪後，取得嘉義縣布袋鎮與義竹鄉鄉鎮界交接處某塹主的同意，將其位於布袋市區東邊約 5 公里、溪墘排水左岸處之魚塹做為試驗區（魚塹

位置示如圖 1）。試驗區共有四個魚塹如圖 2 所示，四個魚塹的試驗配置依據圖 2 之編號分別說明如后。

1. 魚塹 1：面積 5,402 m²，維持該塹主的養殖方式，包括飼料投放數量和次數、飼養物種和數量(每池養殖虱目魚 5000 尾，混養白蝦 100 萬尾，一年中分三階段投入蝦苗)。
2. 魚塹 2：面積 3,025 m²，維持該塹主的養殖方式。但此魚塹與溪墘排水間之堤岸有滲漏情形，水質受溪墘排水影響。
3. 魚塹 3：面積 5,825 m²，維持該塹主的養殖方式。在試驗過程中加入水耕浮床以模擬水生植物功能，但因該魚塹引用水源受海水入侵影響，初期鹽度較高(11.4‰)。由於本試驗在瞭解水生植物對魚塹水體水質穩定的效益，因此暫不探討高鹽度下可生長之植物類型。故本試驗中之水耕浮床栽種植物以沿海地層下陷區最常見的海雀稗為主要，如圖 3 所示意。
4. 魚塹 4：面積 5,755 m²，維持該塹主的養殖方式

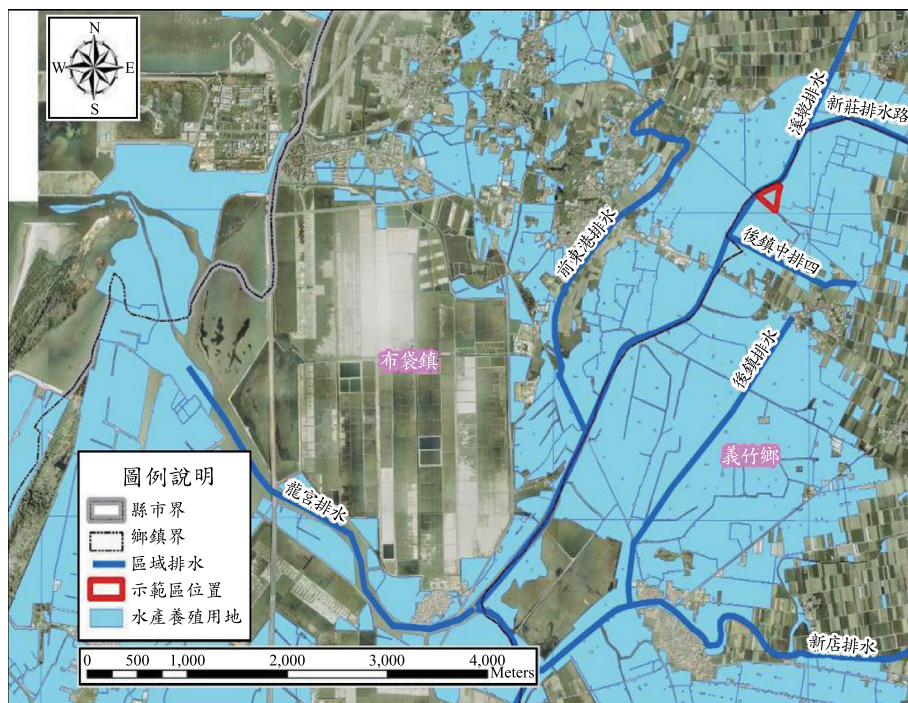


圖 1 試驗區地理位置及其週邊水產養殖分佈圖

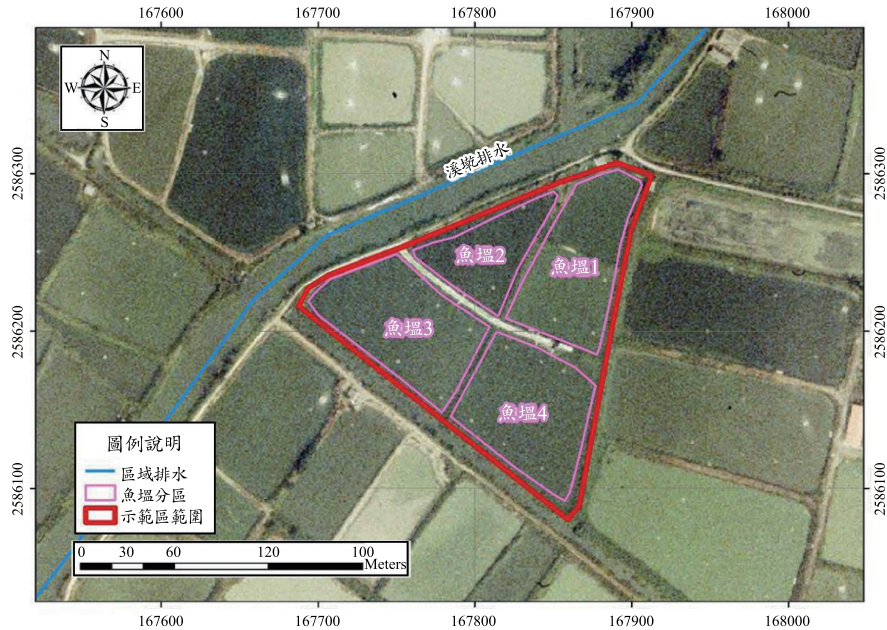


圖 2 試驗區範圍及試驗池編號

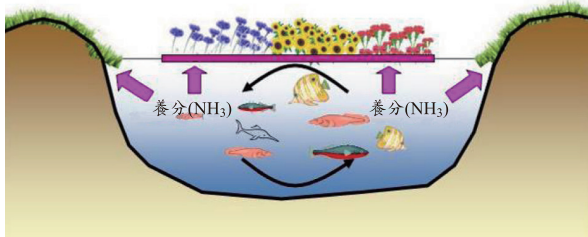


圖 3 試驗區魚塢 3 生態養殖設置(左為構想示意圖，右為試驗池 10%覆蓋面積照片)

式。周邊土堤以蚵殼建立三種簡易土壤過濾方式（如圖 4 所示意），每日抽取部分魚塢中水量，透過過濾帶滲流回魚塢中，且可提供土堤週邊的植物生長之水份，藉此建立魚塢週邊之綠帶。

由於水質是水產養殖動物所需的生長條件之一，維持好的水質亦可以降低換水和投放藥物的機率。本研究主要監測 pH 值、溶氧、水溫、氨氮、硝酸鹽等項目，瞭解魚塢 3 生物性系統和魚塢 4 物理性系統對於水質維持的效果。

三、試驗結果分析

由於一般養殖，採高密度養殖及投入大量的

飼料，故水中的氨氮易持續累積。若無足夠的硝化細菌使氨氮進一步氧化成無毒的硝酸鹽，易造成養殖物中毒或死亡。為避免此狀況之發生，大部分養殖業者以換水方式來降低水中之氨氮濃度，因此增加了水資源的負擔；且大量的換水使得水質差異太大，也會造成對環境較敏感的白蝦存活率降低。本研究則應用濕地建立的概念，利用植物吸收水中的氮肥，經由植物行光合作用進行硝酸還原，轉化為植物生長使用。

本研究自 2012 年 4 月 14 進行試驗區的第一次水質採樣，初始水位約為 1.5 公尺。為能夠兼顧塢主的收成適宜性和了解水耕浮床植物對於水質淨化的效益，本研究於 2012 年養殖初期於

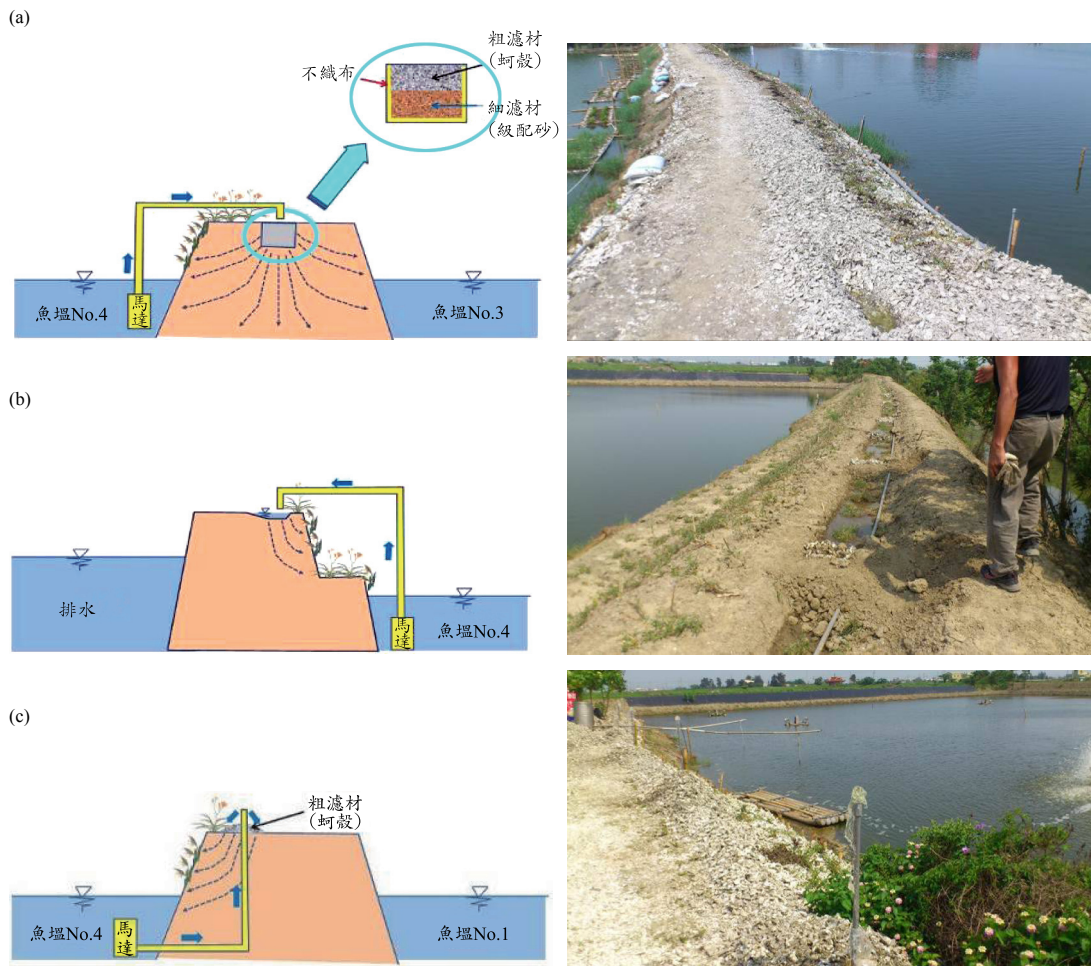


圖 4 試驗區魚塢 4 周邊土堤配置(左為構想示意圖，右為配置時照片)：(a)濾材過濾型；(b)土堤掘溝過濾型；(c)濾材漫流型

魚塢 3 配置水耕浮床之植物覆蓋率僅占約 3.5% (2012 年 4 月 14 日至 8 月 7 日)，8 月 8 日至魚收成日則增加覆蓋率至 10%。本研究自 2012 年 4 月 14 日至 10 月 11 日止，對於試驗區四個魚塢的各項水質測結果分析如下：

3.1 水溫

若受到集中降雨事件影響，則水溫有明顯下降趨勢。此外，自 9 月份起少有降雨事件，惟水溫持續下降，其主因是受天候影響、水溫自然降低。7-8 月盛夏無雨時，魚塢 3 人工浮床下水溫

可較其他直接接觸陽光之水溫降低 1-2 度。

3.2 pH

試驗區四個魚塢之 pH 值變化趨勢於試驗期間內大致相同，於 7.5~8.5 之間。

3.3 鹽度

試驗初期因久旱不雨，所引用之水源因受海水入侵影響，故 4 個魚塢之鹽度於 4~5 月間高達 11-14‰。6 月中旬則受降雨量 417 公釐影響，鹽度降至 8‰；8 月 2 日單日降雨高達 112 公釐，

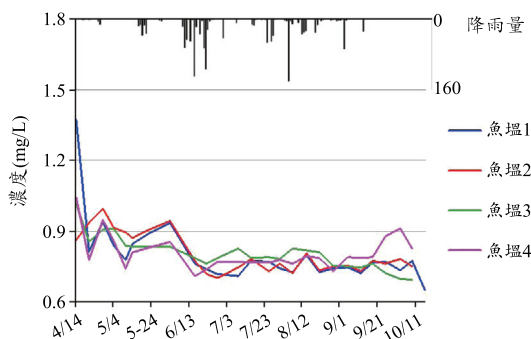


圖 5 氨氮濃度變化趨勢圖

使得試驗區鹽度再度降為 6‰，直至試驗結束為止，變化不大。

3.4 氨氮

如前所述，本研究在魚塢 3 中之植物覆蓋率分別為 4 月 14 日至 8 月 7 日為 3.5%、8 月 8 日至試驗結束為 10%。氨氮之監測結果如圖 5 所示，四個魚塢的氨氮濃度於植物覆蓋率 3.5% 時之差異不大。分析後概因本研究並未改變養殖行為(如投入飼料、養殖生物數量等)，因此每日殘餘飼料和排泄物應變化不大，但四個魚塢的週邊水生植物仍發揮其功能，故讓氨氮濃度能夠維持在一定範圍，但仍發現魚塢 3 之變化趨勢較其他三池穩定。當植物覆蓋率增加至 10% 後，魚塢 3 之氨氮濃度降低速率顯著高於其他三池，至九月中旬後已較其他三個魚塢為低。但採用物理過濾法的魚塢 4，其氨氮濃度則是在試驗初期有較其他池為低的趨勢，但到了 7 月中便呈現持平的趨勢，而 9 月至試驗結束卻呈現升高的趨勢，推測原因為蚵殼若未翻攪或置換，容易產生生物膜後影響其過濾效果。

3.5 硝酸鹽

水中總氮為硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、氨氮與總有機氮之總和，水生植物吸收足夠的硝酸鹽後，行光合作用轉換為生長所需。如前所述，魚塢中每日因魚蝦排泄物和飼料殘餘量而持續增加一定的氨氮，故本研究自 9 月中旬，除氨氮濃度外，還量測水中硝酸鹽濃度，如圖 6 所示。綜

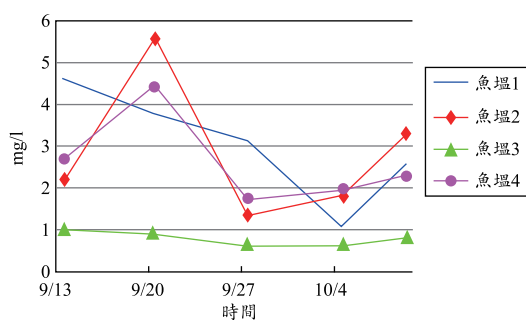


圖 6 硝酸鹽濃度變化趨勢(植物覆蓋率 10%)

合圖 5 和圖 6 可以發現，本研究所採用之魚塢 3 在增加水生植物覆蓋率至 10% 後，不僅氨氮濃度顯著降低，植物的光合作用更是快速的吸收了硝酸鹽，該池的硝酸鹽平均濃度則保持在 1 mg/l 以下。顯示本研究所採用學習自濕地的方法確可有效維持養殖魚塢水體品質，不但可以在養殖過程中僅依賴降雨來補注水量，且完全不需換水，甚至試驗結束之水質優於初始引入水源水質(圖 5)，使排放水體不致於造成排放水路的汙染。

3.6 用水量

本研究所進行試驗之 2012 年 6-8 月間歷經數次颱風，使魚塢中水位由 1.0 公尺增高至近 2.0 公尺(水位變化與降雨關係示如圖 7)，足以克服蒸發散量。因此整個試驗期間均未有人為換水、補水等情形，僅 7 月 7 日至 7 月 15 日間因試驗操作需要，將魚塢 3 及魚塢 4 池之水深降到 1.5 公尺(但並未因此補充水量)。

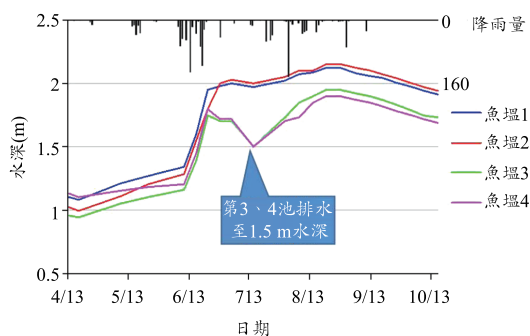


圖 7 各魚塢水位變化圖

表 1 試驗區各魚塢養殖物種生長情形

量測日期	魚塢編號	養殖物種之生長 平均長度(公分)	
		虱目魚	白蝦
5 月 23 日	1	20	8
	2	20	8
	3	14	5
	4	20	6
6 月 16 日	1	26	9
	2	26	9
	3	26	10
	4	26	7
7 月 15 日	1	33	13
	2	28	13
	3	31	10
	4	31	10
8 月 21 日	1	33	14
	2	32	14
	3	32	13
	4	33	16
9 月 18 日	1	41	15
	2	42	15
	3	42	14
	4	42	16

註：計算方式為該日單次網撈數量長度量測後的平均值

3.7 生物量

由於本研究係以瞭解水耕生態養殖方式對於維持水質穩定、降低換水發生機率的貢獻程度，故並未改變塢主的養殖行為和養殖數量，四個魚塢的最後收成量差異不大。但魚塢 3 中因試驗初期佈置水耕浮床，故塢主於 4 月 13 日～4 月 26 日僅投入少量飼料，但於 6 月份所測得之生長情形卻能夠趕上其他三池(表 1)。此外，本試驗還發現水耕浮床植物根系被大量啃食，顯示本次試驗所採用之海雀稗或可做為雜食性或草食性魚類的部分食物來源，未來若能大量應用，則可以減少部分飼料投入量。

四、結論與建議

「養魚先養水，好水養好魚」是水產養殖業的經驗和共識。養殖水體中之氮氮主要來自於魚類的含氮排泄物，經硝化作用可轉化為無毒的硝

酸鹽，透過水生植物的協助便可以吸附硝酸鹽，行光合作用轉換為可使用的養分。這樣的架構雖然在人工濕地便大量應用，但對於養殖漁業來說，一般均為了保障經濟物種，並達到容易收成的目的，因此便忽略了水生植物的功效。加上台灣目前在養殖用水上多為各養殖戶自行取用，不需申請水權，故在集約式養殖上便多採用大量換水來達到水質維持的目標。本研究之主要概念是學習自水質處理型濕地，僅加入水耕浮床來模擬水生植物的功能並建構一個最簡約的人工濕地環境，達到維持水質穩定的目的，降低養殖過程中因水質不佳所造成的換水風險；亦可提供魚、蝦一個夏季避暑、冬季避寒的休憩環境。

本研究所合作的塢主，其採用的養殖方式為低密度養殖，且保留魚塢土堤周邊的水生植物，因此其水質應可以較其他高密度集約式養殖為佳。本試驗將魚塢 3 加入水耕浮床來模擬水生植物的功能，當水生植物面積覆蓋率達 10%時，對於水質穩定之效果最為顯著，不僅使得氨氮和硝酸鹽濃度遠低於其他三個魚塢，而試驗結束時水體氨氮濃度亦較初始濃度為低；硝酸鹽濃度更是可維持在 1.0 mg/l 以下。除了使排放水體不致於造成排放水路的汙染，更因為水質維持穩定而不需要換水。未來亦可增加養殖數量，並藉由持續監測水質來瞭解本系統的養殖數量門檻，以提升推廣的可能性。

本試驗旨在證實以水生植物來協助魚塢中水質穩定的效益，故在水耕浮床的植物上僅以鹽度較高水體中容易存活的海雀稗為主要，以避免因植物影響試驗變因。未來可以進行更多的植物物種試驗，提供作為雜食性或草食性魚類的食物來源、或水質淨化、或其他經濟價值選用。

對於台灣目前廣大面積的一般集約式養殖戶，如何協助建構一個操作簡易的生態養殖模式，藉以達到「降低換水需求」、「穩定水質」及「提高養殖用水效率」目標，尤其以沿海地層下陷區更形迫切。透過本計畫證實類濕地化的生態養殖系統的確對於水資源管理上有正向助益，具發展生態養殖潛力。但由於台灣養殖漁業多與白蝦混養，本研究將持續改良水耕浮板型

態，使能夠便利養殖戶操作和多次使用。

謝 誌

本論文係經濟部水利署水利規劃試驗所 2012 年「沿海低地環境改善之研究-以嘉義沿海魚塭區為例」之研究成果，承蒙經費之補助使本研究得以順利完成，謹致謝忱。並感謝宜蘭大學生物技術與動物科學系陳永松教授在試驗過程中提供的專業意見。

參考文獻

1. ndut, Azizah, Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W.B. and Hassan, A., 2010, "A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system", *Biosources Technology*, 101, 1511-1517.
2. FAO, 2006, *The State of World Fisheries and Aquaculture 2006*.
3. FAO, 2010, *The State of World Fisheries and Aquaculture 2010*.
4. Jensen, FB., 2003, Nitrate Disrupts Multiple Physiological Functions in Aquatic animals. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr physiol*, 135(1): 9-24.
5. Melanie Greeley DVM., 1998, Nitrite Toxicosis In Freshwater Fish "Brown Blood Disease". *Animal Disease Diagnostic Laboratory*. Spring 1998 Newsletters.
6. Rakocy, J.E., J.A. Hargreaves, and D.S. Bailey., 1993, Nutrient accumulation in a recirculating aquaculture system integrated with hydroponic vegetable gardening, p. 148-158.
7. Rakocy, James E., Donald S. Bailey, R. Charlie Shultz and Eric S. Thoman., 2004, Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system. (PDF/251K). p. 676-690. In: *New Dimensions on Farmed Tilapia: Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, Manila, Philippines.
8. Rackoy, James E., Masser, Michael P. and Losordo, Thomas M., 2008, *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture*. SRAC Publication.
9. Su, H.-C., Yang, W.-T., Lee, H.-K., Lee, B.-J., 2008, "Wetlands Reclamation for Coastal Lowlands in Taiwan", 2008 SWS Annual Meeting, Washington DC, USA, SWS-Abstract-356.
10. Su, Hui-chen, Lin, Hau-I Lin, 2010, "A Novel Flood Management Strategy to Plan Eco-Industry Development in Areas of Coastal Land-Subsidence in Taiwan", *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol.37 No.4.
11. Tsai, C.S., Su, H.C., Liao, W.C. and Wang, Yan-Ming, 2012, New Seismic Isolation System for Floating House, *Proceedings of the ASME 2012 Pressure Vessels & Piping Division Conference*, July 15-19, 2012, Toronto, Ontario, CANADA.
12. Yang, W. T. and Su, H. C., 2008, A study on the social feasibility of ecotourism development in the lowland areas of Taiwan's southwestern coast. *The 14th International Symposium on Society and Resource Management. Proceedings*, the University of Vermont, Burlington, Vermont, USA.
13. 中華海洋生技網站，生態循環養殖技術。(http://www.hiqbio.com/hiq_tw/eco_01.htm)
14. 農業委員會網站-統計與出版品-循環水養殖之推廣成果。(http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=13209)
15. 陳永松，2011，有機水產養殖之展望：探討國際趨勢與國內未來發展(上)，*漁業推廣* 295: 32-35。
16. 陳永松，2011 有機水產養殖之展望：探討國際趨勢與國內未來發展(下)，*漁業推廣* 296: 34-37。
17. 陳家長等，2010，空心菜浮床栽培對集約化養殖魚塘水質的影響。*生態與農村環境學報*，2010 年 02 期。

18. 楊龍士、蘇惠珍、李素馨、李漢鏗、楊文燦、謝正穎，2005-2006，沿海低地排水區減洪措施與生態產業整合經營之研究，經濟部水利署水利規劃試驗所。
19. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2009，台灣嚴重地層下陷地區國土復育整體規劃。
20. 蘇惠珍、連惠邦，2011，雲林沿海低地排水區發展綠色產業之可行性研究，經濟部水利署水利規劃試驗所。
21. 蘇惠珍，2012，沿海低地環境改善之研究-以嘉義沿海魚塭區為例，經濟部水利署水利規劃試驗所。
22. 嘉義區漁會網站(<http://www.fast.org.tw/q51/>)。
23. 葉有仁，2003，水質環境對魚類之影響，養魚世界，2003 年 3 月。

收稿日期：民國 102 年 8 月 8 日

修正日期：民國 102 年 11 月 8 日

接受日期：民國 102 年 11 月 27 日