

台灣地區水產養殖 水回收再利用之探討

工研院能資所/陳仁宗、盧文章、徐宏良

一、前言

由於台灣地區隨著人口的成長、都市化的發展與產業結構的改變，用水需求量逐漸增加，但是新水源開發卻愈來愈困難，為不影響民眾的生活品質及產業發展，政府有責任積極研發替代水源，來滿足各標的用水的需求。依據 90 年 1 月 16 日第六次全國科學技術會議結論



與建議：「面對新世紀全球永續經營的新思維，水資源與海洋資源科技的研發必須重新調整，並積極研究替代水源，用水調配及水再生利用技術，以期達到水資源利用、經濟發展、環境保育、共存共榮的目標。」，故水再生利用是當前檢討現階段台灣地區水資源供應策略時必須正視的課題。

一般而言，水再生利用範疇包含雨水貯蓄利用、工業廢水、都市(生活)廢水、農業灌溉排水、水產養殖漁業廢水等再生循環利用，在台灣地區面對水資源開發不易、河川水質污染嚴重及用水成長壓力等嚴峻條件下，前述水再生利用作為替代水源之重要性日顯重要；因此，為因應台灣地區未來社會經濟用水需求之變革，宜即早對水再生利用在台灣地區供給潛能及分布進行有系統、有計畫的調查與規劃，俾納入政府在檢討台灣地區水資源供應策略時，作為水資源開發、調配及供應之參考依據，使珍貴的水資源得以永續利用，滿足社會經濟發展之需求。本研究主要針對水產養殖漁業廢水回收再利用進行探討。

二、國外案例分析

水產養殖即為水體中的農業，一直是人類在陸地獲得食物的重要來源。水產養殖為開發中國家之重要產業，養殖魚貝亦為人民之主要蛋白質營養源，預計到公元 2020 年，世界之水產養殖產量將會與捕撈產量相同，約 5,000 萬噸。一般而言，陸域水產養殖分為野放式田野養殖，與集約式循環水養殖。野放式田野養殖之用水量，放流水再生利用較有機會，而集約式循環水養殖因用水量較小，放



流水之污染物濃度較高，一般僅能在處理後作為特定之農業用途。有一些開發中國家已開始使用都市生活污水處理廠放流水再生作為水產養殖用水(Kaul et al., 2002)，但水產養殖放流水中因富含氮磷等難去除物質，並含有細菌，目前世界各國大都用於農業用途，較少利用至工業與民生用途。

1. 水產養殖漁業用水現況分析

根據財團法人農業工程中心民國 88 年 6 月所出版之「合理養殖用水量推估模式之建立」報告中，有關台灣地區現有養殖用水調查資料中，其針對地區別與養殖魚種別所做的養殖用水量調查曾有四次，其中一次係 1985 年由中興大學農經研究所執行，另三次則由農業工程研究中心執行。茲將此四次調查之調查方法及其研究結果加以比較並詳列於表 1。

資料別 項目	農業工程研究中心 (1984、1986)	中興大學農經研究所 (1985)	農業工程研究中心 (1989)
目的	調查了解養殖用水量，提供養殖區用水規劃設計參考及改善養殖漁業之管理。	1. 剖析本省各養殖漁業區中，淡鹹水養殖漁業之供水情況及高低峰用水量，以提供總體及個體用水層面分析研究參考。 2. 探討用水量之因子及相互間關係。 3. 探討養殖漁業與對照產業間之用水之相互關係。 4. 分析養殖漁業與對照產業之發展遠景，預估面積比例的變動及用水量之差異。 5. 探討養殖漁業之經濟效益。	調查區域性養殖面積與魚種及用水量，期求養殖業與水資源利用之平衡。
用水量調查方法	1. 容量—測定某一時間內用水量。 2. 抽水井出口水平抽水井出口水平。 3. 水池設水尺測定抽水水量。 4. 抽水機馬力估算水量。	1. 簡捷法: $V(m^3/ha/year) = \sum_{N=1}^{12} \{ \text{各月換水量} \times \text{次數} \}。$ 2. 比例法: $V(m^3/ha/year) = \sum_{N=1}^{12} \text{魚塭容積} \div \text{面積} \times \{ \text{各月換水總時數} + \text{空池至滿池注水所耗時數} \}$ 3. 標準法: 利用抽水機出水口理論式。	裝設水錶或水位計實測魚塭用水量。
調查對象	1. 地區：彰化、雲林、屏東。 2. 魚種：鰻魚、草蝦、虱目魚、紅吳郭魚。	1. 地區：全省各地。 2. 魚種：鰻魚、草蝦、文蛤、虱目魚、鱸魚、吳郭魚。	1. 地區：彰化、雲林、屏東。 2. 魚種：草蝦、鰻魚。
研究結果	某一養殖魚種一年每公頃用水量之範圍。	1. 養殖方式：淡水、鹹水。 2. 養殖型態：單養、混養。 3. 土質：黏砂、黏壤、砂壤、砂 4. 塭池結構：有、無。 5. 放養密度：低、中、高五種條件 互相組合情況下每公頃每年用水量。	1. 單位面積年用水量，年淡水用水量。 2. 單位生產量使用水量及使用淡水量。

資料來源：陳獻、梁榮元等人，「合理養殖用水量推估模式之建立」報告，財團法人農業工程中心，民國88年6月。

▶表 1 本省現有養殖用水資料比較表

其中中興大學農經研究所(1985)之調查方法有簡捷法、比例法及標準法三種方式，但其調查結果，除簡捷法外，其他二種方法所得資料均不能使用而放棄，此法所求得之數據量測較不準確，且養殖用水變動很大，而以偏高值推估。而農工中心(1984、1986)以測定某一時間內抽水機用水量，再配合漁民提供的抽水時數，求得各月份用水量。至於農工中心(1989)則裝設水錶或水位計實測養殖魚塢用水量，此量測方法可以直接並且十分準確地記錄全期養殖用水量。且農工中心已針對台灣地區養殖重點縣市，包括宜蘭縣、彰化縣、雲林縣、嘉義縣、台南縣、高雄縣及屏東縣等七個縣市，建立 40 個水錶量測點，完成在不同魚種、不同養殖模式下，養殖用水量之現況調查分析。全省水產養殖用水量統計，依據水錶核校後之地區用水量統計資料，民國 87 年全省七個主要養殖縣市之實際養殖面積為 35,632.61 公頃，其用水量如表 2 所示。全省養殖年總用水量約為 19.63 億立方公尺/年，其中淡水年總用水量 13.17 億立方公尺/年，而淡水年總用水量之中包括地下水年總用水量 11.60 億立方公尺/年及地面水年總用水量 1.57 億立方公尺。而若扣除屏東縣位於水源上游之淡水長腳大蝦之養殖，則全省養殖面積為 33,265.09 公頃，其年總用水量則約為 17.79 億立方公尺/年，其中淡水年總用水量 11.46 億立方公尺/年，而淡水年總用水量包括地下水年總用水量 9.89 億立方公尺/年及地面水年總用水量 1.57 億立方公尺/年。

▶表 2 民國 87 年全省養殖漁業用水量統計表

項目	年總用水量(立方公尺/年)
----	---------------

各地區用水量統計係根據養殖魚種、養殖面積及單位面積年總用水量推估而來。其中主要養殖魚種,包括吳郭魚、鰻魚、鱸魚、虱目魚、鯛類、烏魚、海水蝦類、文蛤、蜆、龍鬚菜 等養殖魚種,而養殖面積則以“民國八十七年漁業年報所載為主”。

表 3 台灣地區民國 88 年與 87 年各區域內陸養殖面積數量比較表

(單位：公頃)

另外，根據經濟部水利署(前水資源局)民國 90 年 7 月所出版之「台灣地區民國八十八年各標的用水量統計報告」中所載台灣地區內陸養殖面積民國 88 年約為 4.43 萬公頃(含淡水及鹹水魚塢)，其中以南部 3.09 萬公頃最多，中部 0.86 萬公頃次之，北部為 0.37 萬公頃，東部 0.12 萬公頃最少；而民國 87 年約為 4.35 萬公頃(含淡水及鹹水魚塢)，其中仍以南部 3.06 萬公頃最多，中部 0.81 萬公頃次之，北部為 0.36 萬公頃，東部 0.11 萬公頃最少(詳如表 3)。

年 \ 分區	北部	中部	南部	東部	台灣地區
88年	3,705	8,551	30,879	1,208	44,343
所佔百分比(%)	8.36	19.28	69.64	2.72	100
87年	3,680	8,092	30,615	1,162	43,550
所佔百分比(%)	8.45	18.58	70.30	2.67	100

資料來源：經濟部水資源局，2001年7月

表 4 台灣地區民國 88 年與 87 年各區域內陸養殖用水量比較表

(單位：百萬立方公尺)

台灣地區內陸養殖總用水量，民國 88 年約為 15.12 億立方公尺(含淡水及鹹水魚塢)，其中仍以南部 8.24 億立方公尺為最多，中部 5.62 億立方公尺次之，東部 0.52 億立方公尺，北部 0.44 億立方公尺為最少；而民國 87 年約為 14.63 億立方公尺(含淡水及鹹水魚塢)，其中仍以南部 8.11 億立方公尺為最多，中部 5.60 億立方公尺次之，東部 0.49 億立方公尺，北部 0.43 億立方公尺為最少(詳如表 4)。

年 \ 分區	北部	中部	南部	東部	台灣地區
88年	44	562	824	52	1,512
所佔百分比(%)	2.91	39.15	54.50	3.44	100
87年	43	560	811	49	1,463
所佔百分比(%)	2.94	38.28	55.43	3.35	100

資料來源：經濟部水資源局，2001年7月

由上述資料可知，台灣地區內陸水產養殖主要以中、南部為主，民國 88 年這兩區之內陸養殖面積約為 3.93 萬公頃，約佔全省內陸養殖面積的 88.92%，用水量約佔全省內陸養殖用水量的 93.65%；而民國 87 年這兩區之內陸養殖面積約為 3.87 萬公頃，約佔全省內陸養殖面積的 88.88%，用水量約佔全省內陸養殖用水量的 93.71%。

由此可知，台灣地區內陸水產養殖主要以中、南部為主，其養殖面積及用水量約佔全省內陸養殖的 90%以上，故水產養殖水再生的評估，在此以中、南部兩地區為評估探討區域，其他兩區(北部、東部)因所佔比例太少，暫不列入評估探討範圍內。

水產養殖水再生就水量而言，因考慮到廢水處理的成本，故本研究僅就淡水養殖魚種的廢水再

生利用進行評估探討，因半鹹水及鹹水養殖魚種的廢水再生，相對成本會更高。

由表 5.更可歸納出真正全為淡水養殖之重點縣市各魚種年總用水量，詳如表 6。

►表 5 台灣地區水產養殖重點縣市各魚種年總用水量統計表

縣市別 魚種	年總用水量(立方公尺/年)							合計	所佔百分比(%)
	彰化縣	雲林縣	嘉義縣	台南縣	高雄縣	屏東縣			
吳郭魚	4,611,962*	15,915,636*	30,955,152*	91,329,504	27,263,978	3,738,748*	173,814,980	8.85(2.81)△	
鰻魚	24,950,729*	17,732,300*	12,062,199*	1,131,579*	6,211,181*	15,027,123*	77,115,111	3.93	
鱸魚	4,307,970	17,039,127	4,386,135	900,030	7,662,759	3,360,576	37,656,597	1.92	
虱目魚	1,958,112	4,303,581	31,262,422	144,502,032	104,297,794	12,084,619	298,408,560	15.20	
鯛魚	551,994	1,540,682	21,022,233	2,982,966	11,535,863	68,792,166	106,425,904	5.42	
草蝦	2,836,105	17,296,358	-	-	-	-	20,132,463	1.03	
文蛤	29,161,279	95,534,068	9,826,888	-	-	-	134,522,235	6.85	
蜆	338,742,222*	23,474,708*	-	-	-	-	362,216,930	18.45	
其他鹹水魚	6,751,827	474,484	6,269,863	43,407,630	5,937,579	26,530,883	89,372,266	4.55	
其他淡水魚	5,032,345*	2,279,297*	2,917,959*	25,006,704*	7,878,863*	8,333,164*	51,448,332	2.62	
烏魚	-	1,435,562	4,118,545*	12,672,140	-	-	18,226,247	0.93	
龍鬚菜	-	161,692,785	-	-	-	-	161,692,785	8.24	
海水蝦類	-	-	38,445,713	48,877,709	36,125,190	34,953,785	158,402,397	8.07	
石斑	-	-	-	-	11,162,511	83,233,946	94,396,457	4.81	
長腳大蝦	-	-	-	-	8,748,455*	170,490,621*	179,239,076	9.13	
合計	418,904,545	358,718,588	161,267,109	370,810,294	226,824,173	426,545,631	1,963,070,340	100	

備註：

*：代表全為淡水養殖

△：吳郭魚全為淡水養殖有彰化縣、雲林縣、嘉義縣、屏東縣等，合計總用水量為55,221,498立方公尺，約佔重點縣市各魚種年總用水的2.81%。

►表 6 台灣地區水產養殖重點縣市全為淡水養殖各魚種年總用水量統計表

縣市別 魚種	年總用水量(立方公尺/年)							合計	所佔百分比(%)
	彰化縣	雲林縣	嘉義縣	台南縣	高雄縣	屏東縣			
吳郭魚	4,611,962	15,915,636	30,955,152	-	-	3,738,748	55,221,498	2.81	
鰻魚	24,950,729	17,732,300	12,062,199	1,131,579	6,211,181	15,027,123	77,115,111	3.93	
蜆	338,742,222	23,474,708	-	-	-	-	362,216,930	18.45	
長腳大蝦	-	-	-	-	8,748,455	170,490,621	179,239,076	9.13	
烏魚	-	-	4,118,545	-	-	-	4,118,545	0.21	
其他淡水魚	5,032,345	2,279,297	2,917,959	25,006,704	7,878,863	8,333,164	51,448,332	2.62	
合計	373,337,258	59,401,941	50,053,855	26,138,283	22,838,499	197,589,656	729,359,492	37.15	

資料來源：陳獻、梁榮元等人，「合理養殖用水量推估模式之建立」報告，農業工程中心，民國88年6月。

由表 6 得知，真正全為淡水養殖魚種之用水量，其中以彰化縣及雲林縣兩縣市的養硯年用水量約佔 18.45%為最多，其次為高雄縣及屏東縣兩縣市的長腳大蝦年用水量約佔 9.13%；吳郭魚年用水量約佔 8.85%(但台南縣及高雄縣並非全為淡水養殖，應予扣除，故實際為 2.81%)，鰻魚的年用水量約佔 3.93%，嘉義縣烏魚全為淡水養殖，約佔 0.21%，其他淡水魚年用水量約佔 2.62%，故全為淡水養殖之魚種，約佔重點縣市各魚種年總用水量 37.15%。

根據本研究小組工作人員，於民國 91 年 5 月 15 日至 91 年 5 月 17 日分赴彰化縣芳苑鄉漢寶村現地調查，並參訪中華民國養殖漁業生產區發展協會彰化縣集貨包裝處理場業務部許永利經理及採購專員許永坤兩位先生，所得到之結果，得知依他倆之瞭解，全縣養蜆池之養殖廢水，因一般養蜆及養文蛤之養殖戶會在養殖池旁養一些鴨或雞，會將鴨或雞之排泄物當為營養源給養殖池內之蜆或文蛤吃，因養殖池內之池水富含豐富營養源，故排放之廢水，養殖戶均自溝渠抽用廢水作為農作物之灌溉用，因此一般而言，養殖廢水在本縣淡水養殖的蜆而言，作為農業用水是作最有效的利用。

另外，根據兩位受訪者之瞭解全縣二、三年前養蜆佔大宗，但目前已改養殖文蛤較多，因文蛤為海水養殖，且經濟價值高於養蜆很多，故未來的趨勢會以海水養殖居多。全縣目前以大城鄉及竹塘鄉養蜆較多一些，有待更進一步的現地瞭解。

由前面所述可知，全為淡水養殖之年總用水量雖佔重點縣市各魚種年總用水量的 37.15%，但假如扣除彰化、雲林縣兩縣市養蜆的部份(因大部養殖廢水內含鴨或雞之排泄物，富含豐富營養源，均被抽取作為農作物灌溉用，且大部份已由淡水養殖的蜆改為海水養殖的文蛤，目前以海水養殖為主)以及高雄、屏東兩縣市的長腳大蝦主要養殖於水源上游區，故全為淡水養殖的年總用水量僅佔重點縣市養殖年總用水量約 9.57%(詳如表 7)，可再生水量約僅剩 1.88 億立方公尺/年。

►表 7 重點縣市全為淡水養殖各魚種年總用水量現況估計表

縣市別 魚種	年總用水量(立方公尺/年)						合計	所佔百分比(%)
	彰化縣	雲林縣	嘉義縣	台南縣	高雄縣	屏東縣		
吳郭魚	4,611,962	15,915,636	30,955,152	-	-	3,738,748	55,221,498	2.81
鰻魚	24,950,729	17,732,300	12,062,199	1,131,579	6,211,181	15,027,123	77,115,111	3.93
烏魚	-	-	4,118,545	-	-	-	4,118,545	0.21
其他淡水魚	5,032,345	2,279,297	2,917,959	25,006,704	7,878,863	8,333,164	51,448,332	2.62
合計							187,903,486	9.57

2. 水產養殖廢水水質概況

台灣地區由於土地資源有限，故淡水養殖業乃採高密度的養殖方式，一向以技術先進聞名，但由於採高密度的養殖方式，使得魚塢中殘餘的飼料與養殖生物的排泄物量大增，造成氨氮及亞硝酸氮濃度明顯的提高，導致養殖生物不易存活。為了解決此問題，業者不斷的抽取地下水注入。

一般養殖廢水再利用會遭遇到幾個水質限制問題，對於養殖池水常見的問題有：溶氧(DO)過低，有機物聚積代謝以及有毒氮化合物濃度過高等。在養殖水處理過程中，使用沉澱池去除懸浮性固

形物，有部分的效果，以生物過濾法分解聚集的有機物相當有效。但連續操作時，有毒的氮化合物持續增加必須加以控制，其他如生物膜對外環境適應較慢等，是本方法主要的缺點。

生物過濾法包含的內容稍有不同，在養殖水中常用的為滴濾池法(濾料不浸沒在水中)及接觸曝氣法(濾料浸沒在水中)，其採用之濾料材質有碎石、牡蠣殼及塑膠摺板等。據 Otte 及 Rosenthal(1979)的探討，基於生物與技術的觀點，養殖用水的處理以滴濾法，採用塑膠濾料為佳。

一般而言，水質管理的改善要點如下：

1. 降低池中有害氣體，如二氧化碳、甲烷、氮氣等。
2. 減少有機物質之殘留與累積。
3. 促進有機物質的快速分解。
4. 增加水中溶氧，使成氧化狀態。
5. 降低、沉澱或分解有毒物質如重金屬、農藥、氨、硫化氫等。
6. 適度增加池水的緩衝能力，使水質穩定。
7. 維持優良的綠色水系，培養優秀的綠藻，並去除不適的絲藻類。
8. 減少或控制池中原生動物、鞭毛蟲及輪蟲之數量。
9. 控制放養的魚種與數量。
10. 確實翻動曝曬池底並移去污泥。

水質管理的方法視放養之魚種、養殖型態、可利用的資源與人為設施、管理人員之學養而多少有些差異。然而主要的管理方法應都雷同。茲將一般常見的方法簡述如下：

1. 增加水深。以穩定水溫、pH 值及水色。
2. 換水。排放池水並注入新水。
3. 增設水車或揚水車。以除去一些有害氣體，維持池水之氧化狀態，促進有機物快速分解。
4. 利用沉澱法或機械過濾法去除懸浮固體物質。
5. 使用各種方法去除有機物。如以生物化學法、凝聚法、物理化學法、泡沫法或微生物分解法處理之。
6. 氮磷之去除。以曝氣法、氯氣法、臭氧法、生物處理法或添加沸石粉去除氮源，另以添



加鈣鹽甚或鐵鹽及鋁鹽去除磷肥。

7. 重金屬之去除。以螯合劑、離子交換樹脂或 pH 值調整法，或水草、貝類吸收法去除之。
8. 以活性碳去除農藥與色素。
9. 水生植物之控制。使用化學藥物控制法、生物控制法或生物抑制法。
10. 施用石灰、白雲石、沸石或麥飯石以穩定水色與水質。
11. 控制飼料投放之數量，並慎選質優的飼料以減少有機物的殘留。
12. 使用化學製劑來減除有害生物穩定水質，並預防魚病之發生。

上述的方法都可在某種特定之水質管理中，發揮莫大的功效，使水質改善至適合魚類之生存與生長，因此撰列以供參考，望能精研熟練，使養殖更為容易成功。

表 8 為本研究小組成員於民國 91 年 5 月 15 日至民國 91 年 5 月 17 日分赴彰化縣芳苑鄉漢寶村、雲林縣口湖鄉及嘉義縣義竹鄉新店區、過路子區兩個淡水養殖漁業專區現地訪談所採之水樣，化驗分析之結果。

由表 8 水質化驗分析結果得知，pH 值介於 7.88~8.34 間偏鹼性；濁度介於 1.27~56.3 NTU，其中以編號 7 的鰻魚池 56.3 NTU 為最高，編號 1 的蜆養殖池為最低 1.27 NTU。另外，差異性較大者為編號 5 鰻魚(1)其值為 36.2 NTU，但距離不遠處所採的編號 6 鰻魚(2)其值卻只有 4.67 NTU，兩者差異很大，值得進一步之研究。在 SS 方面，以編號 7 鰻魚池為最高 285 ppm，而編號 1 的蜆養殖池為最低 15 ppm。就 COD 而言，以編號 11 的烏魚+白蝦(混養)池為最高 99 ppm，編號 1 的蜆養殖池為最低 1 ppm。另外，就導電度(EC)而言，編號 11 的烏魚+白蝦(混養)池為最高達 4,330 μ s/cm，可能係因抽取之地下水有海水入侵之跡象，而編號 3 的吳郭魚(1)其值最低為 510 μ s/cm。水溫介於 29.2 ~31.8 之間。

縣市別	編號	魚種	PH	濁度 (NTU)	SS (ppm)	COD (ppm)	EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	水溫($^{\circ}\text{C}$)	取樣時間	備註
彰化縣 芳苑鄉 漢寶村	1	蜆	7.98	1.27	15	1	532	29.4	91.5.15	單養
	2	蜆	8.09	7.12	28	23	582	29.2	91.5.15	單養
雲林縣 口湖鄉	3	吳郭魚(1)	8.14	17	42	44	510	29.7	91.5.16	單養
	4	吳郭魚(2)	8.29	20	48	71	2,650	29.7	91.5.16	單養
	5	鰻魚(1)	8.01	36.2	79	73	878	29.2	91.5.16	單養
	6	鰻魚(2)	8.34	4.67	48	14	728	29.3	91.5.16	單養
嘉義縣 義竹鄉 新店區、 過路子區	7	鰻魚	8.07	56.3	285	51	1,276	30.0	91.5.17	單養
	8	吳郭魚	7.88	18.2	116	83	3,860	31.8	91.5.17	單養
	9	虱目魚	7.98	14.8	65	67	2,160	30.5	91.5.17	單養
	10	草魚+烏魚	7.92	18.3	109	80	2,580	30.7	91.5.17	混養
	11	烏魚+白蝦	7.93	29.2	119	99	4,330	30.4	91.5.17	混養
	12	八掌溪圳水	7.94	2.52	43	8	575	29.8	91.5.17	-

►表 8 彰化縣、雲林縣、嘉義縣養殖魚池廢水水質分析表

3. 水產養殖水再生潛能預估

由前面之敘述可知，水產養殖全為淡水養殖的年總用水量僅佔重點縣市(彰化縣、雲林縣、嘉義縣、台南縣、高雄縣、屏東縣)養殖年總用水量的 9.57%，可再生水量約僅剩 1.88 億立方公尺/年。

另依「地層下陷防治執行方案」採行之相關工作項目及實施要領中「加強地層下陷區產業輔導」，擬調整陸地漁塭面積由「目前五萬三千公頃逐年減少至二萬二千公頃(將減少三萬公頃，約 60%)，主要以台灣西南地區漁塭為優先釋出對象；另外淡水與鹹水養殖產業比重由目前 6.5：3.5 調整為 4：6。由此可知台灣地區內陸養殖漁塭將逐年減少，相對其年用水量亦將逐年隨之遞減，至民國 110 年，估計淡水養殖用水量將會下降至民國 90 年之 25%。因此，屆時台灣地區養殖用水可再生之水量將更為有限。表 9 及表 10 為台灣中部地區及南部地區水產養殖用水可再生之水量潛能估計表。

由表 9 及表 10 可知，到民國 110 年，台灣中部地區養殖用水可再生水量約為 1,763 萬噸/年(4.8 萬噸/天)，而南部地區約為 2,934 萬噸/年(8 萬噸/天)。經彙整表 9 及表 10，台灣地區水產養殖水再生潛能可列如表 11。

三、水產養殖水再生初步配置方案研擬

由上述資料之分析可知，到民國 110 年，台灣中部地區水產養殖用水可再生水量約為 1,763 萬噸/年(4.8 萬噸/天)，而南部地區約為 2,934 萬噸/年(8 萬噸/天)，而這些潛能再生水量以使用於農業用途為佳。因此，表 12 為水產養殖水再生初步配置方案。

四、水產養殖廢水再生技術與成本

國內水產養殖漁業廢水之大宗為大型養殖池定期換水之排放水。至於室內高密度集約式養殖則用水量較小。

養殖廢水中的氮磷營養物質，未經妥善處理直接排放至自然水體中，將會造成湖泊、河川的優養化，降低水源水質及影響水體生態。尤其含氮化合物若累積在自然界之中，使許多地區的地下水或地表水的硝酸鹽高於允許限制值，為飲水衛生上的警訊。廢水處理為氮磷之水污染防治工作上直接有效的策略，其中物化及生物處理法為最常見的氮磷去除技術。

1. 人工濕地系統處理技術

人工濕地系統 (constructed wetland system) 是將生態工程技術應用於水或廢水管理及處理上的一種自然淨化程序，屬於能量耗用少、初設成本低、操作維護簡單的綠色環保技術。

污染物在人工濕地系統中被去除的機制，包括了各種物理性(吸附、沉降及過濾作用)、化學性(離子交換、沉澱沉積、氧化還原等)、微生物性處理(有機質之氧化分解作用、氨化、硝化、脫硝及同化作用)，尚包括水耕系統中的植物攝取作用，多功能且全面性。至目前，人工濕地大多應用在處理都市污水、工業廢水、畜牧業廢水、垃圾掩埋場(或礦場)滲出水、非點源逕流水等。對廢水中的主要污染物，例如懸浮固體、有機物質、氮磷營養物、重金屬及微生物，均可提供良好的去

▶表 9 中部地區養殖用水可再生之水量潛能估計表

	民國90年	民國100年	民國110年
吳郭魚	20,527,598	10,263,799	5,131,900
鰻魚	42,683,029	21,341,515	10,670,757
其他淡水魚	7,311,642	3,655,821	1,827,911
合計	70,522,269	35,261,135	17,630,568

▶表 10 南部地區養殖用水可再生之水量潛能估計表

立方公尺/年

	民國90年	民國100年	民國110年
吳郭魚	34,693,900	17,346,950	8,673,475
鰻魚	34,432,082	17,216,041	8,608,021
烏魚	4,118,545	2,059,273	11,034,173
其他淡水魚	44,136,690	22,068,345	1,827,911
合計	117,381,217	58,690,609	29,345,305

▶表 11 水產養殖水再生潛能表

單位：1000CMD

	民國90年	民國95年	民國100年	民國100年	民國100年
北區	0	0	0	0	0
中區	193.20	144.9	96.6	72.5	48.3
南區	321.6	241.2	160.8	120.6	80.4
東區	0	0	0	0	0
合計	514.8	386.1	257.4	193.1	128.7

▶表 12 水產養殖水再生初步配置方案 - 農業用途

單位：1000CMD

	民國90年	民國95年	民國100年	民國100年	民國100年
北區	0	0	0	0	0
中區	193.20	144.9	96.6	72.5	48.3
南區	321.6	241.2	160.8	120.6	80.4
東區	0	0	0	0	0
合計	514.8	386.1	257.4	193.1	128.7

除效能。另外，人工溼地亦可提供鳥類庇護、覓食及生育時的棲息地，也是魚類、甲殼類及其他野生動物的棲息處，並具備景觀美化、補注地下水、調節洪流、遊憩及生態教育等功能。

人工溼地對於含氮物質的主要去除機制包括：植物攝取及微生物硝化-脫硝作用；含磷物質的主要去除機制包括：植物攝取、吸附作用及化學沉澱作用等。廢水中之氮磷濃度比可能影響彼此之去除機制及最後處理效能。然而，如何影響效應之相關報導仍然相當缺乏。根據嘉南藥理科技大學環境工程衛生系林瑩峰教授等人之研究則是利用種植不同本土型水生植物的小型表面流 (free water surface, FWS)人工溼地，及不種植植物但是含有土壤層的對照組，改變進流水氮磷濃度進行五個試程操作，探討廢水氮磷比對人工溼地系統氮磷去除效能之影響。

根據林瑩峰教授等人之研究，所獲得之結論如下：

1. 植物溼地系統與未加蓋溼地系統其 TIN 去除率(60-95%)明顯高於加蓋對照組系統，此結果說明光合成生物的存在對於營養鹽的去除具有重要的貢獻。
2. 在試程三的高氮磷比的營養鹽限制下，限制了光合成生物的生長，使 TIN 的去除率明顯下降，但仍可維持在 60%以上的去除效果，而加蓋對照組系統仍可維持在 20%左右的去除率，由此可以說明，硝化 脫硝作用為溼地主要的除氮機制。
3. 當氮磷比降低時，各系統的營養鹽去除率開始明顯增加，TIN/PO₄-P =1.8 時，磷酸鹽平均為 52-70%，而當 TIN/PO₄-P=4.8 時，磷酸鹽去除率增加至 55-89%，所以當氮磷比在 5 左右時，人工溼地系統可得到最佳氮磷營養鹽去除效果。

2. 生物流體化床處理技術

此法為利用生物固定化技術將培養之微生物菌體包覆於擔體內部，藉由較高之生物量平衡水池生態中之食微比，使污染物得以有效之分解穩定，其所具有之優點包括：1.不需迴流污泥以控制食微比，操作維護容易；2.可維持較高之微生物量，不易被沖洗而流失；3.擔體具有保護菌體之功效，可抵抗外來毒性物質之傷害；4.同時兼具好氧及厭氧之環境，有益於脫氮處理；5.因微生物之生物相複雜，食物鏈較長，故污泥產量少。

3. 物理處理技術

經由沉澱、過濾處理，去除廢水中之固形物體，再加上曝氣處理降低水中氨氮後，可將處理後之水再生利用。截至目前為止，國內外養殖漁業廢水再生利用尚在研究階段，研究方向著重於以『人工濕地系統』進行養殖漁業廢水再生。然因為廢水再生採用『人工濕地系統』佔地較廣，不太適用於土地昂貴地區；且『人工濕地系統』進行廢水處理因涉及土壤地下水污染問題，國內至今尚無相關法令管理，若要大幅推廣，將引起環保單位關切。此外，若要採用廢水高級處理方法，則亦有經濟

可行性因素之考量。

人工濕地系統 (constructed wetland system, CW) 是將生態工程技術應用於水或廢水管理及處理上的一種自然淨化程序，具有省能源、低成本、無二次污染、不破壞生態等優點，頗能符合處理廢污水的技術要求。濕地系統可概分為天然濕地 (natural wetland) 及人工濕地。天然濕地為自然形成的沼澤、草澤、淺灘、瀉湖等，具有淨水、造地、生態保育等功能，通常規劃作為生態保護區，對所承受的進流水常以嚴格的水質標準來加以管制。而人工濕地不僅具有天然濕地的淨水及生態保育的功能，且不需管制進流水的水質。影響人工溼地操作的因素十分繁複，在地點的選擇需要考量氣候、水力、地質以及環保法規等因素。在實地操作上需要考量進流水質、水生植物種類、微生物、底棲生物、溼地種類、環境狀況等因素。因此，欲以人工溼地有效的處理目標廢水，需要對上述之影響因素做一通盤的了解。



近十幾年間，無論是已開發國家 (如美國、英國、挪威、澳大利亞) 或開發中國家 (如南非、印度、中國、斯洛凡尼亞) 均陸續有許多學者參與計畫研究，並有超過 1,000 個濕地系統被實際應用。這些文獻報導又以人工濕地系統佔絕大多數，其研究與應用目的，大多是將人工濕地當作二級處理程序或高級處理程序，用以處理都市污水、農工業廢水及垃圾掩埋場 (或礦場) 滲出水。而從研究結果中可知，對於廢 (污) 水中的主要或微量污染物，例如：懸浮固體、有機物質、氮磷營養物、重金屬及微生物，人工濕地均具有去除效能。

人工溼地大致分為兩大類：(1).表面水自由流動式 (free water surface flow CW, FWS) 、及(2).表面下流動式 (subsurface flow CW, SSF) 。

CW, FWS 系統可由種植不同的大型水生植物 (macrophytes) ，分為五種：

a. 挺水植物型 (emergent macrophytes)

常用的水生植物有：蘆葦類 (Phragmites spp.)、燈心草類 (Juncus spp.)、香蒲類 (Typha spp.)、狼尾草類 (Pennisetum spp.)、薑屬類 (Cyperus spp.) 等。

b. 浮水植物型 (floating macrophytes)

常用的水生植物有：布袋蓮 (Eichhornia crassipes)、浮萍 (Lemna spp.)、水芙蓉 (Pistia stratiotes) 等。

c. 著根浮水植物型 (bottom-rooted floating macrophytes)

葉片為浮水性，根部為著生於底泥中，如蓮花類 (*Nymphaea* spp., *Nelumbo* spp., *Nuphar* spp.) 等。

d. 挺水植物浮水型 (emergent macrophytes with floating mat)

一些挺水植物聚生在一起之後，其根部交叉生長同時累積植物殘渣之後形成類似墊片物 (mat) 而浮在水中。具有此種行為的植物包括：蘆葦、香蒲、石蓮花 (*Hydrocotyle umbellata*) 等。

e. 沉水植物型 (submersed macrophytes)

常用的水生植物有：水草類 (*Elodea* spp.)、耆草類 (*Myriophyllum* spp.) 等。

CW, SSF 系統一般依水流動方式可分為兩類：

a. 水平流動型 (horizontal-flow system)

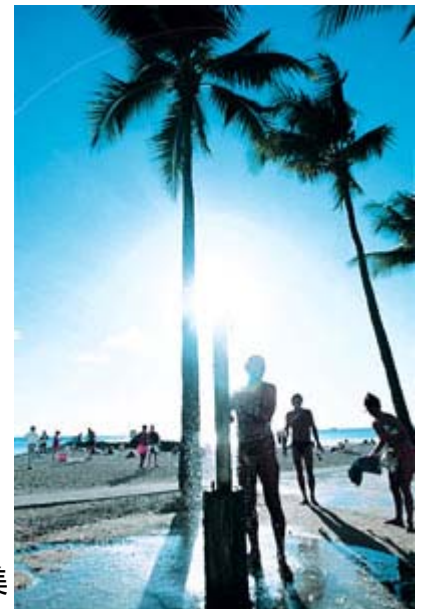
進流由一端進入，水平流向另一端出口，常用的水生植物有：蘆葦、香蒲等。

b. 垂直流動型 (vertical-flow system)

進流由表面逐步向下滲流至底部的集流管，常用的水生植物有：蘆葦、香蒲等。

可應用人工溼地處理廢污水的產業種類涵蓋很廣，包括一般社區、農業、工業、環境保護事業等。大部分的產業廢污水均為點污染源，如果農田有集中排水的管道或渠道，亦可視為點性污染源。根據嘉南藥理科技大學研究小組以人工濕地系統處理台南地區某漁類養殖池水的結果顯示，懸浮固體、葉綠素、化學需氧量 (COD)、總無機氮及磷酸鹽的去除率分別為 47-86%、76-95%、25-55%、95-98%及 32-71%。(林瑩峰、荊樹人等人，1999、2000)

任何一種處理程序皆有其優缺點，人工溼地系統也不例外。一般考慮利用人工溼地的主要原因在於其為自然處理法，對於環境的衝擊非常低。以 Vermontville, Michigan 的系統為例，1972 年建造耗資 395,000 美金，總面積為 9 公頃。到了 1978 年的整年操作費用為 3,500 美金，1990 年的整年操作費用亦只需 4,200 美金 (主要是用於水生植物收成的工資)，而且系統經過了二十餘年後仍可持續操作，同時也為當地的自然生態建立了一個野生生物的棲息地。由此可見，人工溼地的確



具有經濟、生態保育、淨化污染等多功能的系統。但是以台灣地區而言，需要較大土地面積則為應用 CW 系統最大的障礙。不過，以人為操控方式增進人工溼地淨化功能的效率，便可以有效地降低土地的需求量。這便是目前對於人工溼地系統研究的主要目標。

五、結論

台灣地區內陸水產養殖面積以南部最多，總用水量亦以南部最多，以往養蜆佔大宗，但目前已改以海水養殖文蛤，且未來的趨勢會以海水養殖居多。經考慮「地層下陷防治執行方案」調整陸地漁塢面積由「目前五萬三千公頃逐年減少至二萬二千公頃(將減少三萬公頃，約 60%)，主要以台灣西南地區漁塢為優先釋出對象；另外淡水與鹹水養殖產業比重由目前 6.5 : 3.5 調整為 4 : 6，因此台灣地區民國 110 年之淡水養殖可再生最大潛能量或合理量均僅剩 12.9 萬噸/日，經分析，這些再生水量以使用至農業用途為宜。

六、參考文獻

1. “台灣地區 89 年農業用水量統計報告”
2. 經濟部水資源局，民國 90 年 12 月陳獻、梁榮元等人，“合理養殖用水量推估模式之建立”，台灣省政府農林廳漁業局主辦，農業工程研究中心執行，民國 88 年 6 月。
3. 萬騰州等人，“生物處理技術應用於養殖循環用水淨水系統示範計畫”，經濟部水資源局委辦，雲林科技大學環境與安全工程研究所，民國 88 年 6 月。
4. 徐玉標等人，“養殖池水再處理利用研究”，農業工程研究中心，民國 74 年 3 月。
5. 徐玉標等人，“養殖池水再處理利用及環境改善研究”，農業工程研究中心，民國 74 年 12 月。
6. 養殖漁業生產區公共設施規劃，(1)42 個養殖漁業生產區之水源供應方案及公共設施調查規劃”，行政院農業委員會漁業署主辦，農業工程研究中心承辦，民國 90 年 2 月。
7. “擴大引用八掌溪之淡水供應養殖漁業區可行性規劃計畫”，嘉義縣政府主辦，黎明工程顧問公司承辦，民國 89 年 11 月。
8. “循環水養殖技術推廣訓練講習教材”，行政院農業委員會漁業署主辦，中華民國養殖漁業生產區發展協會、農業工程研究中心承辦，民國 90 年 11 月。
9. 林瑩峰、荊樹人，1999，“水產養殖廢水之人工溼地處理及循環再利用之研究(I)”，國科會專題研究計畫成果報告書，計畫編號：NSC88-2621-Z-041-001。
10. 林瑩峰、荊樹人，2000，“水產養殖廢水之人工溼地處理及循環再利用之研究(II)”，國科會專題研究計畫成果報告書，計畫編號：NSC89-2621-Z-041-001。
11. 林瑩峰、荊樹人、李得元、王姿文、陳益銘、王世榮、徐璋杰，1999，“利用人工濕地處理水

產養殖廢水之研究”，第 24 屆廢水處理技術研討會，pp.673-678，中壢。

12. 林瑩峰、荊樹人、李得元、王姿文、陳益銘、顏文尚、陳韋志，2000，“水產養殖廢水之人工溼地處理 - 啟動特性及效能”，第 25 屆廢水處理技術研討會，pp.888-893，雲林。
13. 林瑩峰、荊樹人、李得元、王姿文、施凱鐘、張庭憲、劉皓、陳韋志，“廢水中之氮磷比對人工濕地營養鹽去除之影響”，嘉南藥理科技大學環境工程衛生系。
14. “台灣地區民國八十八年各標的用水量統計報告”，經濟部水資源局編印，民國 90 年 7 月。
15. “地層下陷防治服務團八十九年度工作推動計畫”，經濟部水資源局編印，民國 89 年 12 月。
16. 經濟部水利署，「台灣地區水資源開發綱領計畫」。