

鰻魚循環水養殖技術開發

台灣省水產試驗所竹北分所 劉富光·林天生

一、前 言

鰻魚為本省最主要的淡水養殖魚種，每年外銷值約達一三〇億台幣，佔外銷水產品的首要地位，替國家賺取大量外匯，其重要性可見一斑。然而，養鰻多採高密度流水方式，平均每年每公頃養鰻池約需三〇萬噸水量，其耗損地下水量之大，可想而知。因此，循環水養鰻模式之建立，實為當前刻不容緩的重要課題。

通常，養殖池內由於水產生物的新陳代謝以及含氮有機質經細菌的分解，而產生了污染水質及影響養殖生物最嚴重的氨態氮。目前有關養殖用水氨態氮去除的方法有許多，諸如：(1)空氣擠壓法 (Air-stripping)，(2)離子交換法 (Ion exchange)，(3)微生物處理法 (Biological filtration using bacteria)，以及(4)植物與藻類處理法 (Biological filtration using plants and algae) 等。然而，空氣擠壓法在操作時，要調整pH值在10以上，否則會減低其過濾效果，因此，在使用上是一大缺點。另外，離子交換法的設備昂貴，且使用一段時間後，因濾材 (樹脂) 內氨態氮飽和而影響過濾效果，必需以鹽水將濾材之氨態氮除去，所以由於操作不便而無法大量推廣。因此，目前去除氨態氮最常用的方法，還是以微生物處理法為主。

二、背景需求

微生物處理方法，可分為下列四種型式：

- (一)微生物旋轉盤 (Rotating contactors)
- (二)擴展性濾材過濾法(Expandable media)
- (三)流式濾床法 (Fluidized bed filters)
- (四)塔式過濾法 (Packed tower filters)

上述四種方法雖各有其使用上之優缺點，但也有它的一定應用效果。

由於養殖錦鯉需要清淨、穩定的水質，且錦鯉身價不凡，因此，本省錦鯉養殖業者，在幾年前就已開始利用「毛刷過濾」方式，來循環淨化養殖用水。另一方面，本省有許多工廠已應用「生物旋轉盤」處理並淨化排放廢水。

上述二種過濾方法，不但效果被肯定且製造技術不成問題，加上造價不貴而且操作簡單，維護也不困難，所以水試所竹北分所乃於年前進行此二種微生物處理方法的試驗。此外，另一種以物理方式過濾為主，輔助以微生物處理的所謂泡沫分離式過濾系統也一併予以測試比較，以期尋求較佳的微生物處理模式。本節即根據竹北分所初步試驗結果，對此三套循環系統作概括性的介紹，以供業界參考。

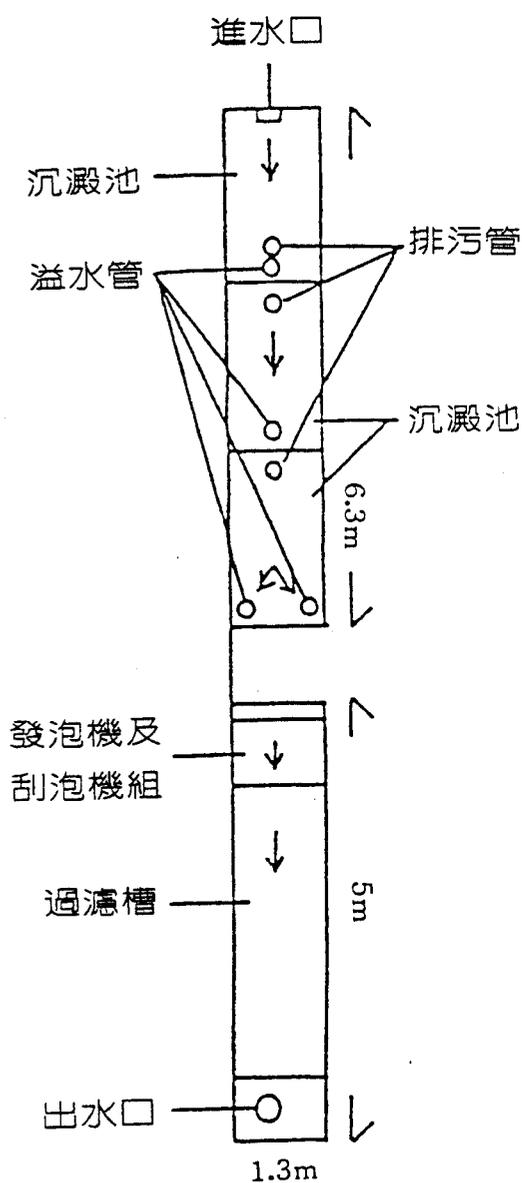
三、循環系統之平面配置及循環淨化原理與流程

(一)泡沫分離式循環系統：

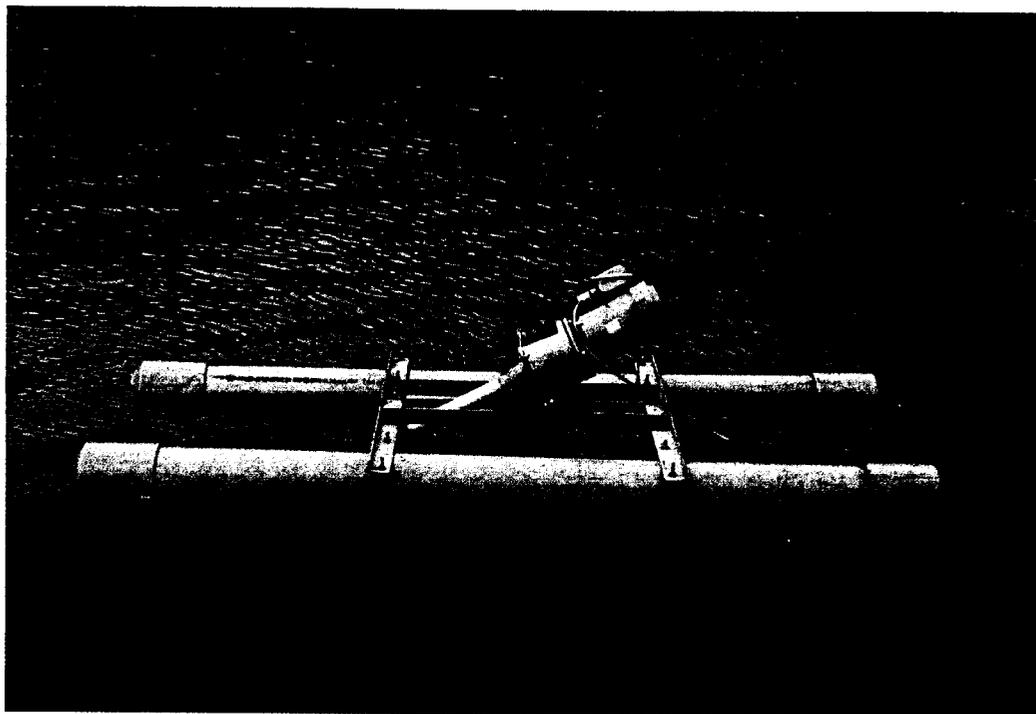
1. 循環系統平面配置情形：(圖一)

- (1)在水試所竹北分所選擇一口魚池，面積七二〇 m^2 (36m \times 20m)，水深1m，以進行泡沫分離式循環水養鰻試驗。
- (2)魚池裝設美製一馬力曝氣機二台(照片1-1)，並安裝獨立之水錶、電錶。
- (3)以水泥砌磚，隔成三個沉澱池，每池面積約三 m^2 (照片1-2)。
- (4)在沉澱池後裝置發泡機及刮泡機各二組(照片1-3)。

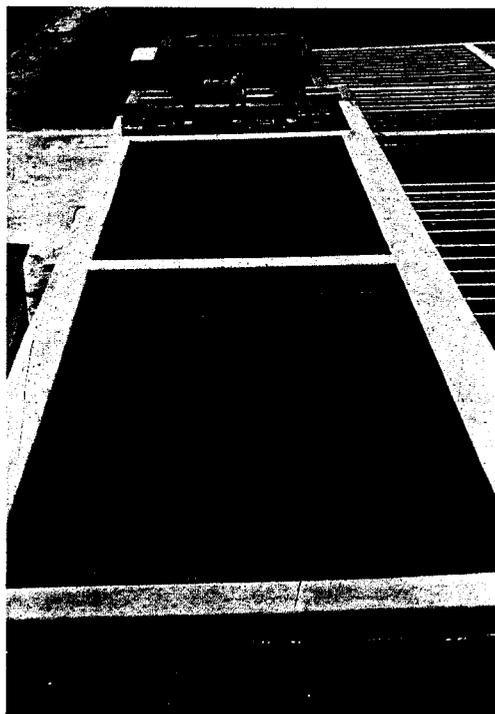
- (5)以水泥砌磚，隔成面積六·五 m^2 ($5 \times 1.3\text{m}$)之微生物處理槽，其內裝填之濾材為：珊瑚石廿四袋，每袋二〇公斤，牡蠣殼廿四袋，每袋體積五〇公升，麥飯石二〇袋，每袋約五〇公升(照片1-4)。
- (6)循環淨化系統裝設控制配電盤一個。
- (7)在魚池裝設一馬力沉水式循環抽水馬達二台(照片1-5)。



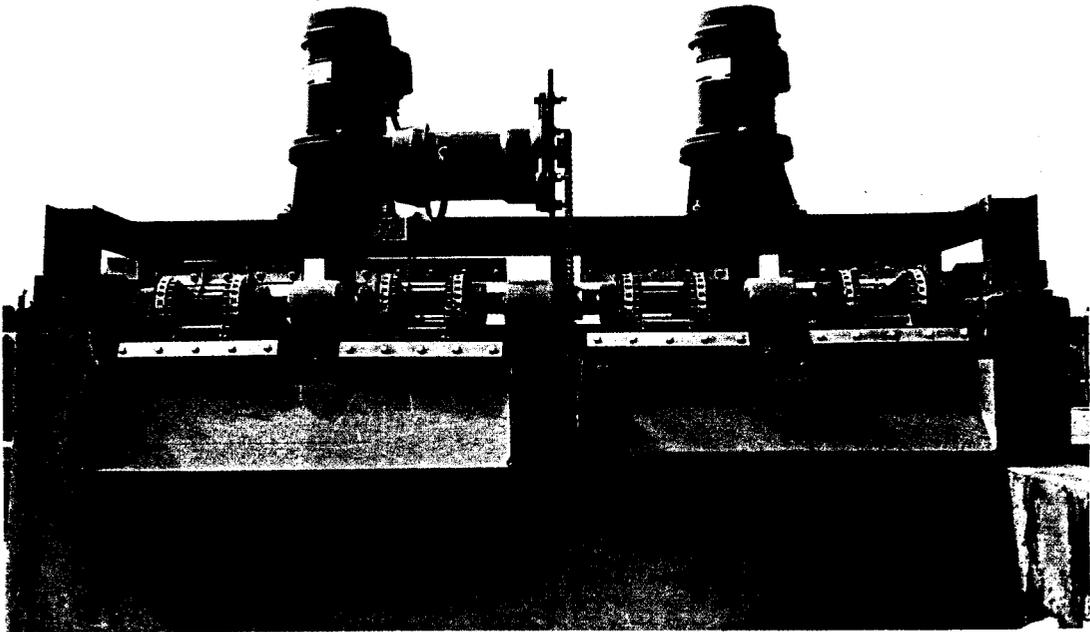
圖一 泡沫分離式過濾系統平面配置情形



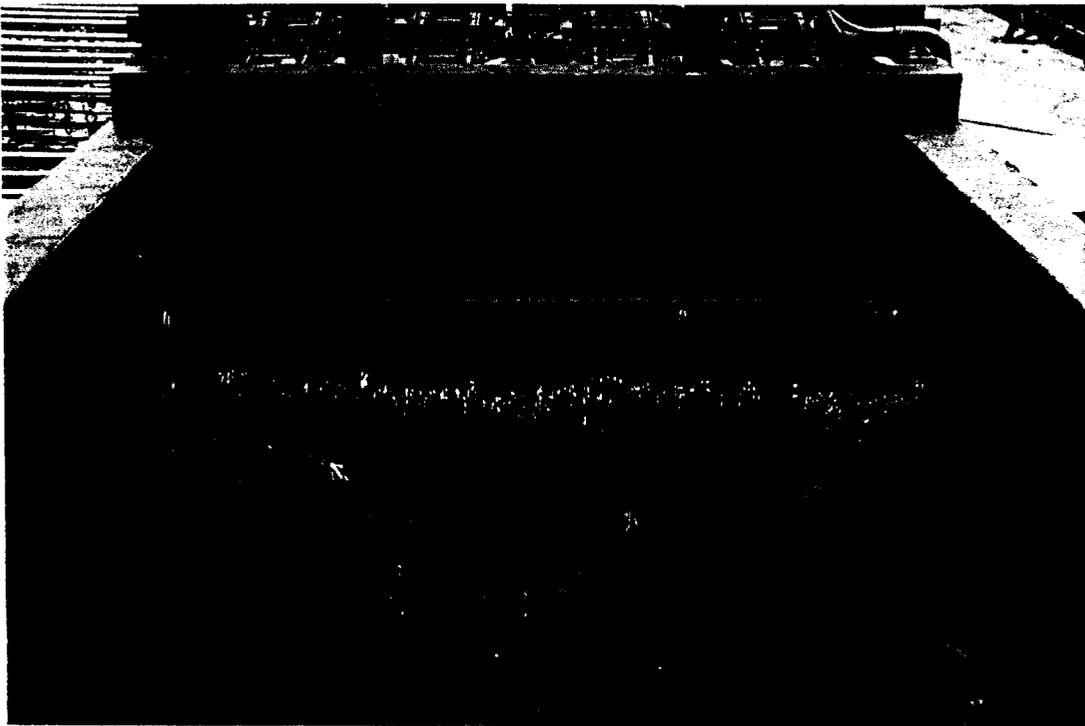
照片1-1 真空曝氣水車



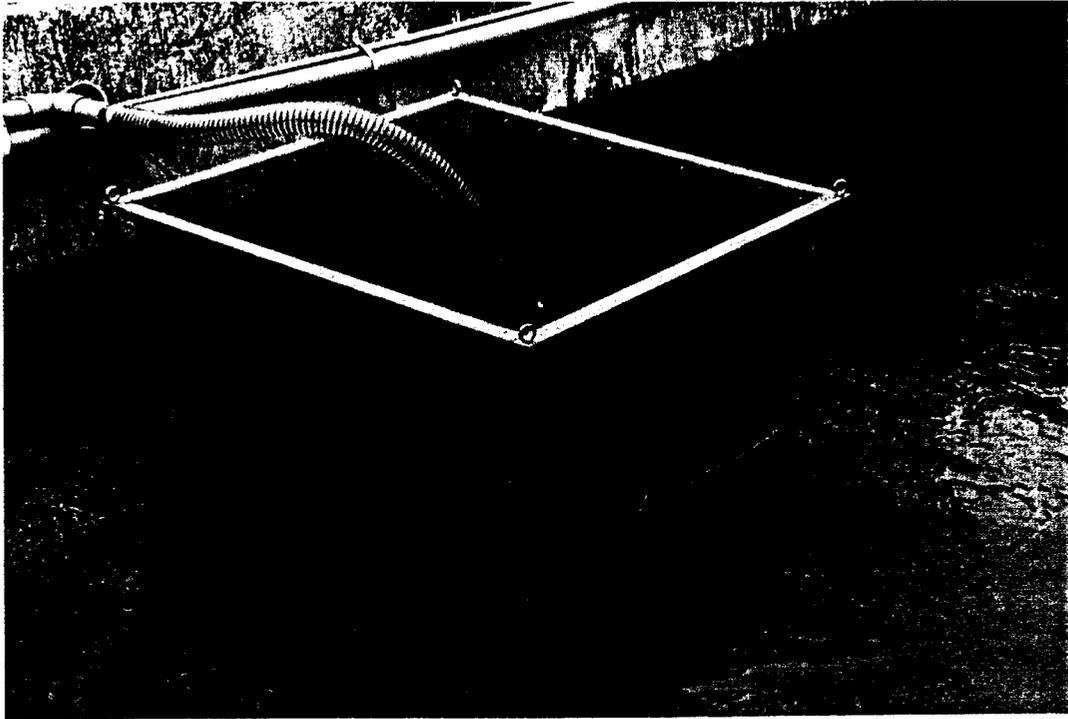
照片1-2 泡沫分離式過濾系統



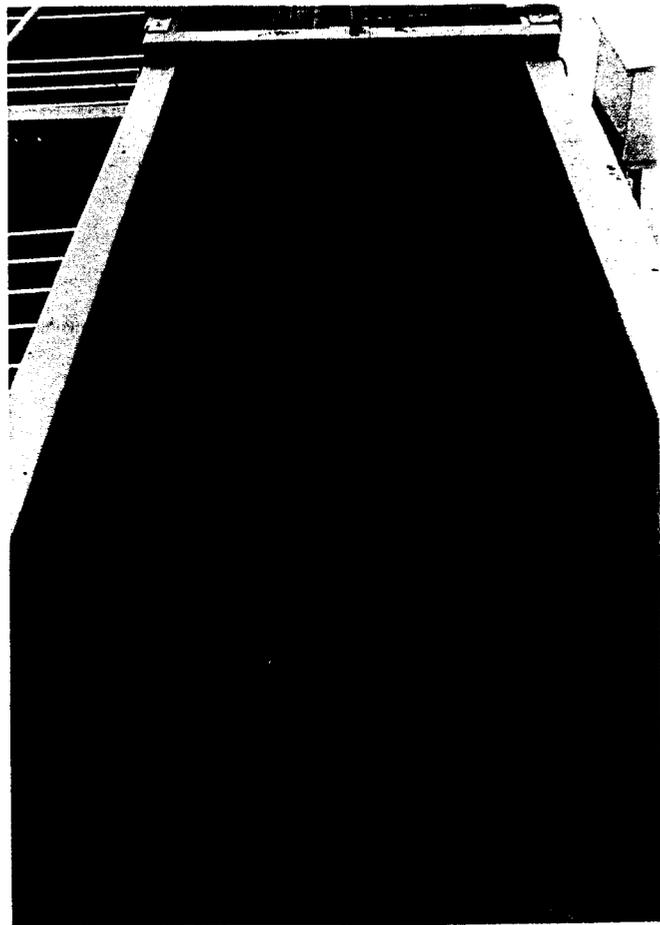
照片1-3 泡沫分離式過濾系統—發泡機及泡沫分離裝置



照片1-4 泡沫分離式過濾系統—自曝氣槽溢流至過濾槽之情形



照片1-5 泡沫分離式過濾系統—沉水式抽水機及箱網



照片1-6 泡沫分離式過濾系統—過濾槽污泥沉機情形

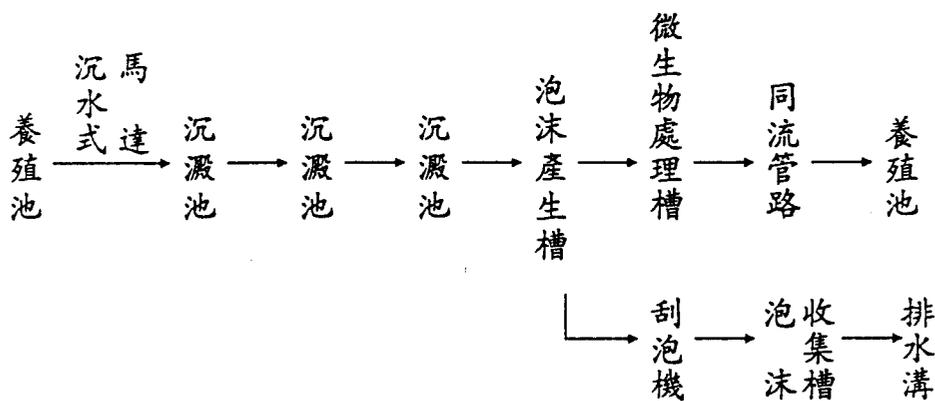
2. 循環淨化原理：

此法的循環淨化原理可分為二：先是經物理去除再輔以微生物處理。

(1) 物理去除原理：先將養殖用水抽進沉澱池，使砂粒及大型懸浮固體 (Suspended solids) 沉澱後，再引入發泡機槽，如水質不良便會產生大量泡沫，而此泡沫可黏附水中之小型顆粒物質 (小於 0.03 mm，一般佔懸浮固體量的 50% 以上)，同時也可吸附一些有機質 (Organic wastes)，可溶固體 (Dissolved solids)，以及部份之代謝物，如：蛋白質及酵素等，再利用刮泡機將泡沫刮除，而達到去除懸浮固體及有機蛋白質之目的。

(2) 微生物淨化原理：經前面處理過的水，導入堆放珊瑚石、牡蠣殼以及麥飯石等濾材的過濾槽。由於這些濾材上的某一類硝化細菌 (Nitrifying bacteria) 利用養殖生 (2×1.3m) 物的代謝產物—氨態氮，當作其生長之能源，而把毒性很強的氨態氮氧化分解成毒性較弱的亞硝酸態氮；然後，另一類硝化細菌，再把亞硝酸態氮利用分解成爲毒性很弱的硝酸鹽，硝酸鹽可經由換水，便可將之去除。

3. 循環淨化流程：



(二) 毛刷過濾法：

1. 過濾系統平面配置情形：(圖2、圖3)

(1) 在水試所竹北分所選擇一口魚池，面積為七二〇 m² (36m×20m)，水深約 1m，以進行毛刷微生物過濾循環水養鰻試驗。

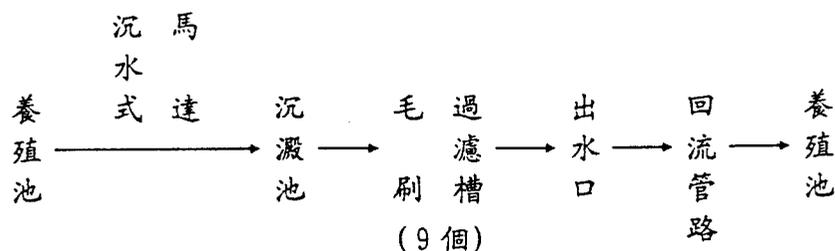
(2) 魚池裝設 1 馬力水車 1 台並安裝獨立之水錶、電錶。

- (3)以水泥砌磚，將面積七二㎡區隔為九個過濾槽（ $4 \times 2 \times 1.3\text{m}$ ），每槽設有三寸塑膠排污管以便獨立排放污泥，並利於清洗水槽。槽內上方以口徑19mm，厚1.36 mm之不銹鋼管架設棚架（照片2-1），同時垂直吊掛長九〇cm之黑色毛刷一、八〇〇支，（照片2-2）。
- (4)在魚池裝設循環抽水馬達一馬力一台（照片2-3）。

2. 循環淨化原理：

此法乃係利用毛刷的阻隔與過濾作用，一方面加速水中懸浮物質之沉澱與去除，另一方面，附著生長在毛刷表面的大量微生物所形成的生物膜，可將氨態氮及亞硝酸態氮轉化成硝酸鹽，以及降低水中的營養鹽類。此外，為供給好氧性微生物充份的氧氣，每槽均加裝打氣設備。

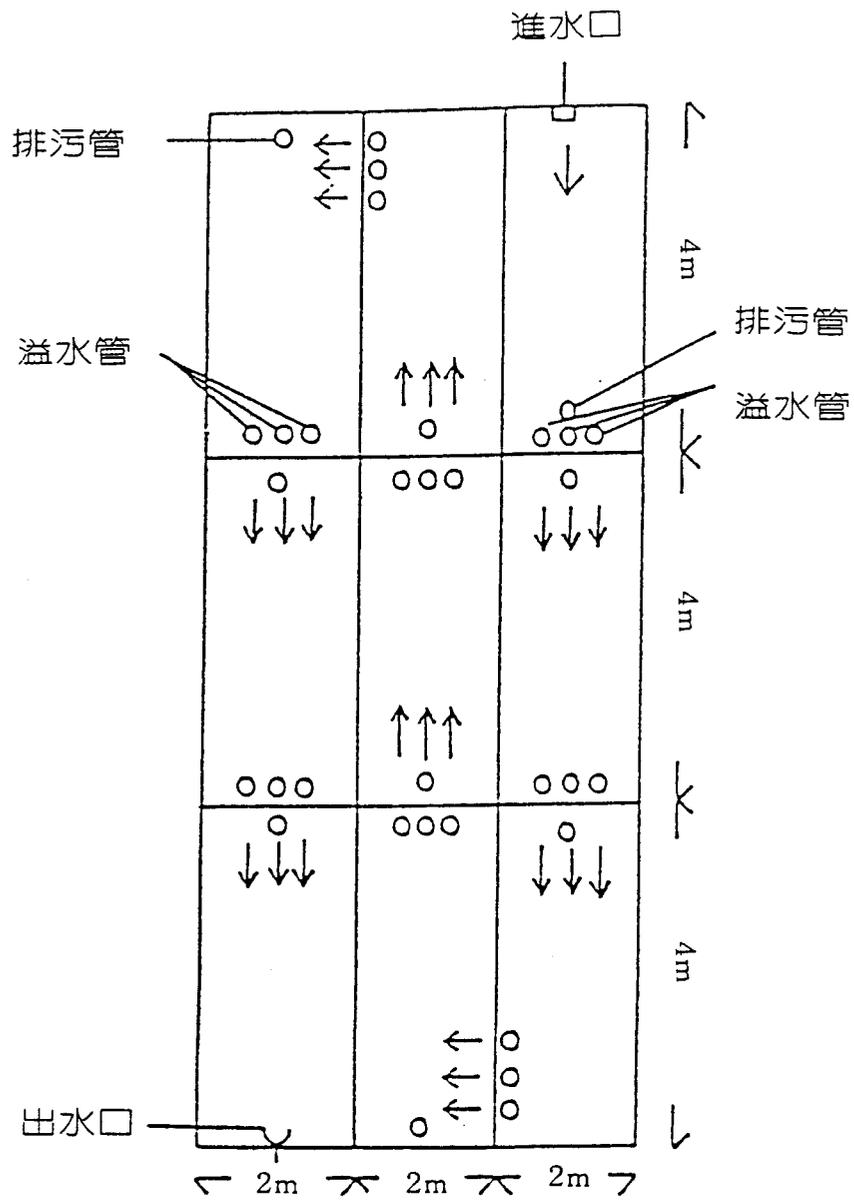
3. 循環過濾流程：



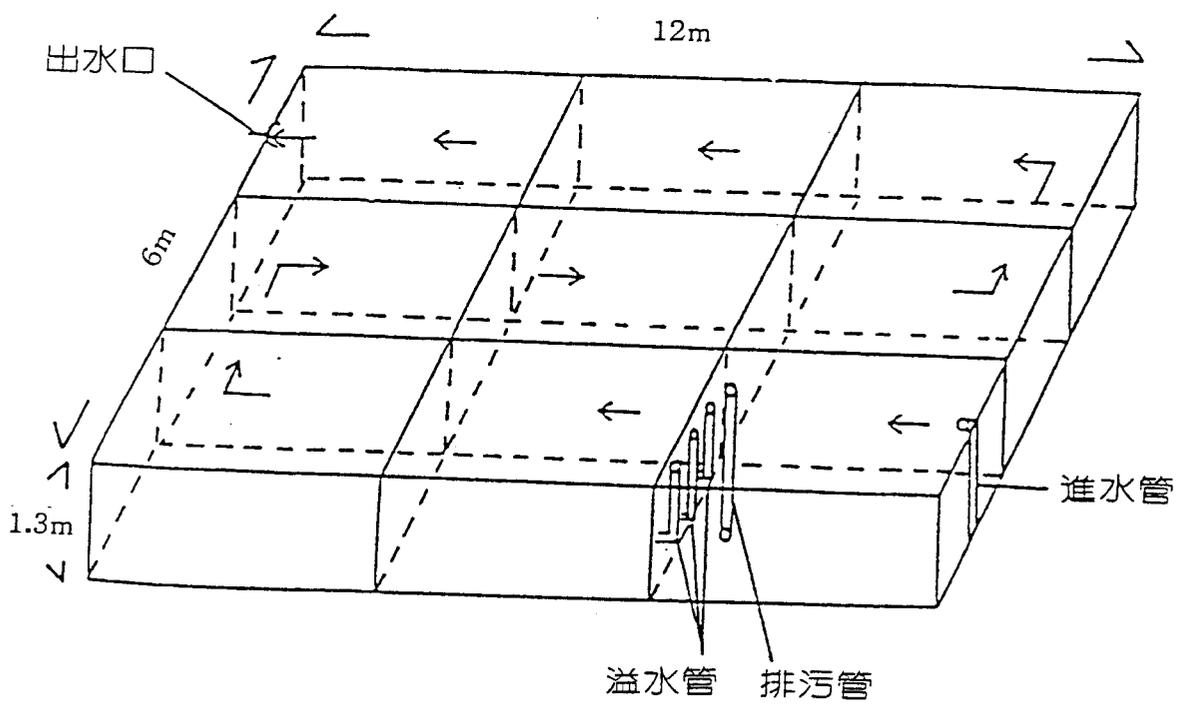
(三) 微生物旋轉盤處理法：

1. 循環系統平面配置情形：（圖4）

- (1)在水試所竹北分所選擇一口魚池，面積為720㎡（ $36\text{m} \times 20\text{m}$ ），水深約1m，以進行生物旋轉盤處理循環水養鰻試驗。
- (2)魚池裝設1馬力水車1台並安裝獨立之水錶、電錶。
- (3)以水泥砌磚，區隔為4個過濾槽（ $3 \times 2 \times 1.3\text{m}$ ），面積共36㎡，每槽設有三寸塑膠排污管。
- (4)在第二及第三水槽，分別架設直徑2m，長2.1m不銹鋼圓桶盤各一個（照片3-1），每個裝填直徑約5cm白色塑膠球（球內中空，呈骨架狀），約十萬粒（照片3-2），轉盤動力為三馬力馬達並加裝減速器（照片3-3）。
- (5)魚池裝有循環抽水馬達一馬力一台。



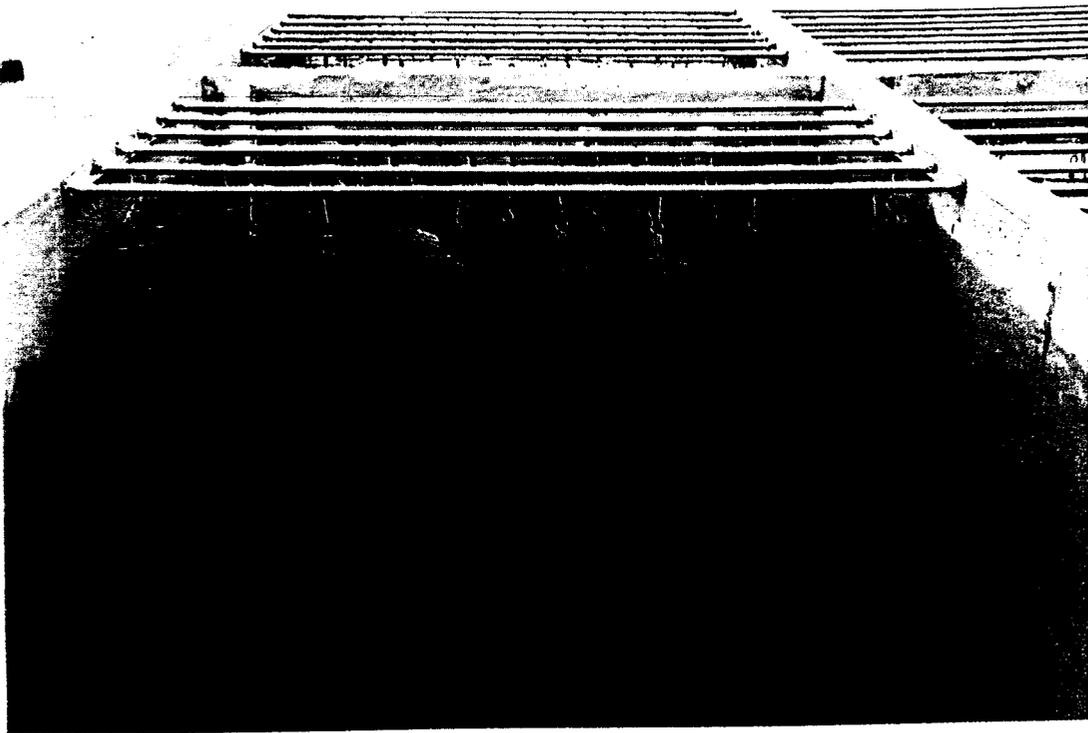
圖二 毛刷微生物過濾法平面配置情形(一)



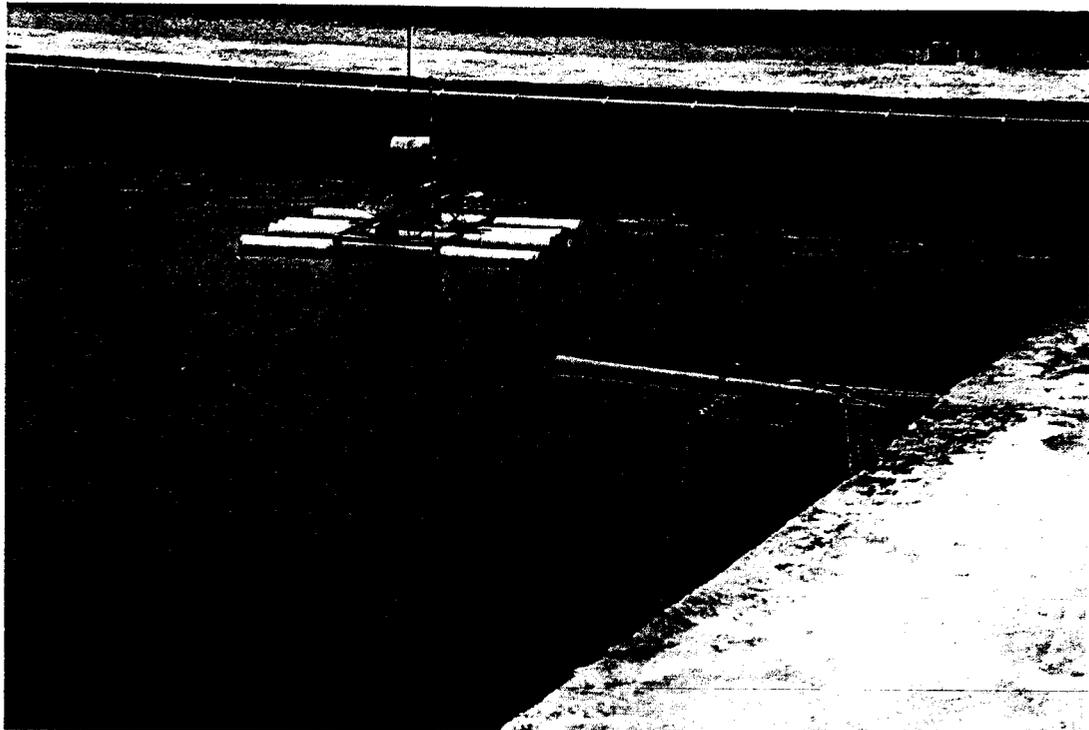
圖三 毛刷微生物過濾法平面配置情形(二)



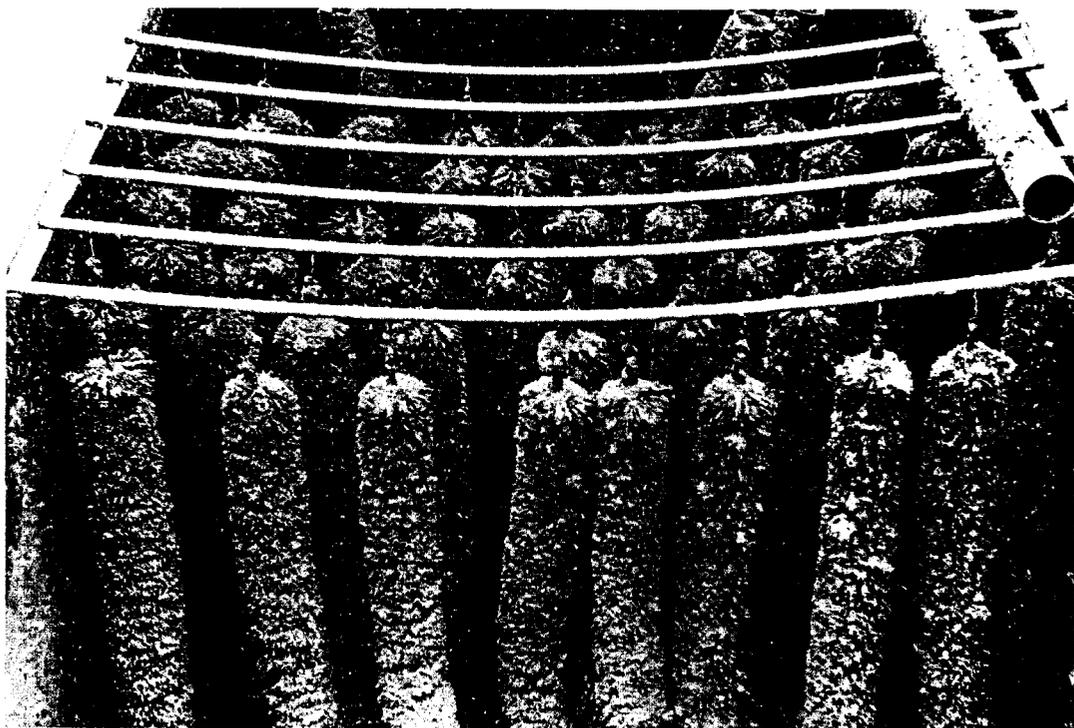
照片2-1 毛刷循環過濾系統



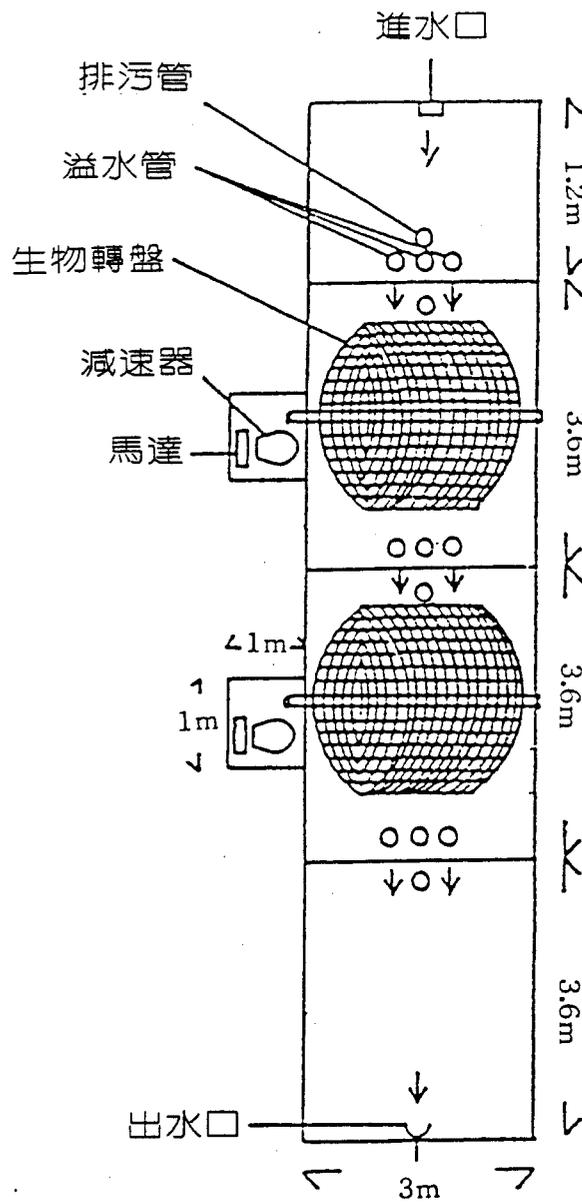
照片2-2 毛刷吊掛情形



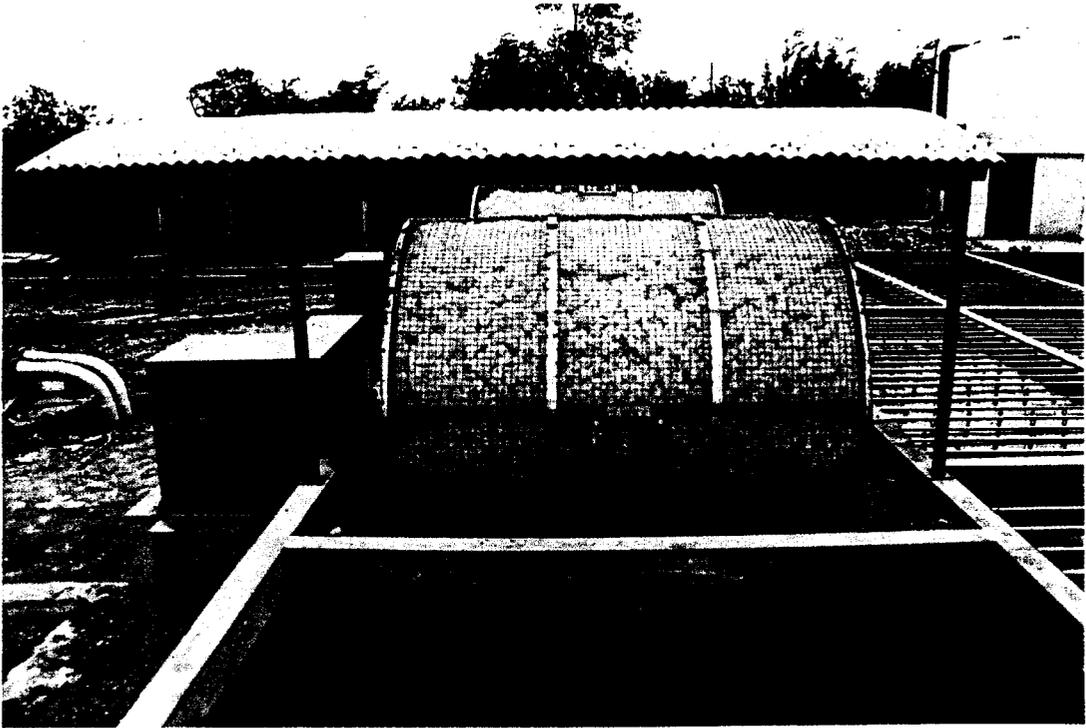
照片2-3 毛刷循環過濾系統—水車及沉水式抽水機



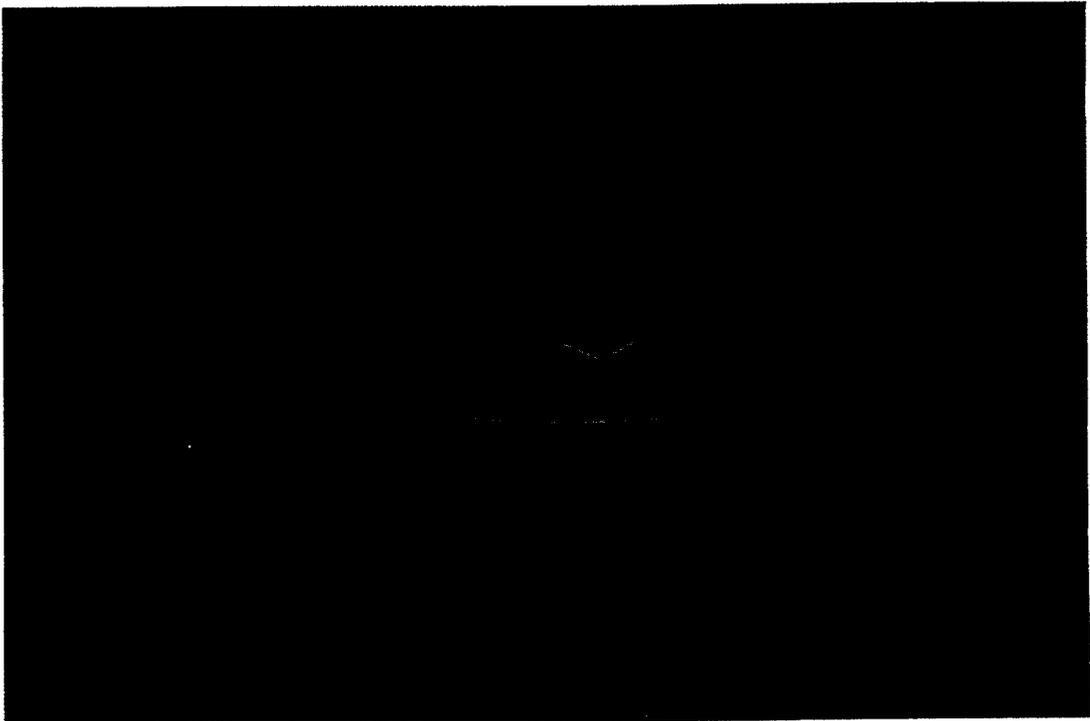
照片2-4 毛刷黏附大量污泥



圖四 微生物旋轉盤法平面配置情形



照片3-1 生物旋轉盤過濾循環系統



照片3-2 生物旋轉盤濾材—白色塑膠球

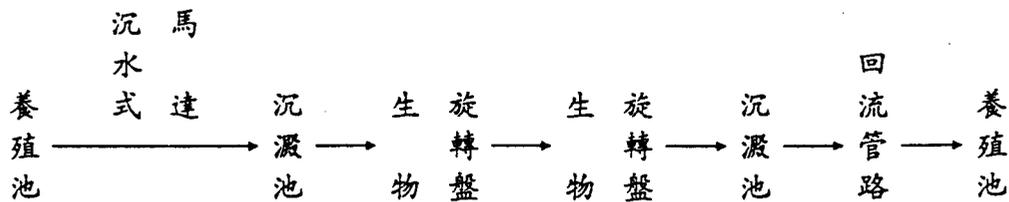


照片3-3 生物旋轉盤—運轉馬達及減速器

2. 循環淨化原理：

基本上，此方法之淨化原理與前述方法大致相同，都是利用濾材的廣大表面積，黏附生長大量微生物，而產生淨化效果。所不同的是，此方法所用的濾材是一種塑膠製的空心球，其內部有許多骨架狀造型，以便增加單位體積的表面積，使之有更多接觸水的面積，進而增加微生物量。此外，旋轉圓盤以每分鐘三轉之緩慢速度，讓大約有40-50%之表面積浸泡到水裡，就靠這樣的旋轉，微生物不但可將二氧化碳排除，同時也可藉此吸取新鮮的氧氣。

3. 循環淨化流程：



四、養殖管理

爲了瞭解上述各套循環系統的養鰻成長情形，除前述三個鰻魚池外，另擇二個魚池，其中一個以每天換一／一〇池水量來作比較，另一個爲對照組，即不換水也沒有過濾設備。爲便於介紹我們將這五個試驗池依序編成一—五號。於八十二年二月間分別在一—四號池放養日本鰻苗二、五〇〇尾（平均體長廿二公分，平均體重一一公克），而五號池（面積較大）放養三、〇〇〇尾。至八十三年一月間，每池各增放一、四〇〇尾（因鰻苗價昂且計畫預算有限）。養殖期間在每個魚池入水口對面池角放置萬能網製成的飼料籃，每日早上約九時左右，投餵鰻魚人工配合飼料，投飼量爲魚體總重的3%。本試驗經二個月養殖後，每月各池捕撈五〇尾測定其體長、體重、以及水質、動植物性浮游生物定性、定量分析。而淨化系統每個月清洗一次，其水質變化如表1~8。在冬季期間池水溫度，平均以每月換水一／一〇池較高，而池水流經循環淨化系統後，都會因氣溫影響而稍降。透明度平均以生物旋轉盤池最低，且變化最小，其次是對照池，而對照池曾於二月四日發生藻相突變，大量藻類死亡，透明度由11cm急速升高至25cm，顯示對照池之浮游生物相較不穩定。由池水溶氧量變化可發現，池水流經毛刷過濾池後，由於產生好氧性分解，雖有一／四馬力鼓風機供給打氣，溶氧量仍明顯下降。由pH變化情形，可發現池水流經三組淨化系統後，pH值都有稍增現象，而池水之pH值以生物旋轉盤池最高，其次是毛刷過濾池。氨變化情形，對照組 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量較高，有時可達5.341 ppm（藻類大量死亡後），由進、出水變化可瞭解淨化效果，以毛刷過濾池最好，其次爲生物旋轉盤，不過清洗後十六天（二月四日）亦會因大量污泥沉積而降低淨化效果。池水經淨化處理後，亞硝酸鹽常有增加現象，似乎顯示轉換成硝酸鹽的硝化作用的速度較慢。池水之磷酸鹽量，以每天換水一／一〇者，濃度在0.104~0.160 ppm爲最低，相對生物旋轉盤池最高，曾高達1.396 ppm，而由進出水中磷酸鹽量變化情形，可確立以毛刷過濾池降低水中磷含量效果最佳。另外由硫化氫變化顯示，毛刷過濾池效果較好，唯在十六天後

亦會因污泥沉積而引發硫化氫量升高，而經清洗淨化系統後，淨化作用即可恢復。泡沫分離式過濾系統，對降低硫化氫幾乎沒有發揮作用，經清洗過濾槽，將每袋珊瑚石、牡蠣殼及麥飯石搬出，發現池水經發泡後，雖有部份懸浮物質黏附於泡沫被刮除，但大部份隨即流入過濾槽，造成珊瑚石等被大量污泥所覆蓋，而無法產生生物淨化作用。

池水之植物性浮游生物採樣，經台大海研所定性、定量分析後，結果全年平均現存量（以細胞數計）以換水一／一〇池最小，對照池其次，而以生物旋轉盤池、毛刷過濾池及泡沫分離式池較大，三者依序遞增但相差不大。另外，對照池及換水一／一〇池植物性浮游生物現存量在採集時間上的變化不大，而在其他三池則有顯著的季節性變化，一般在二、十、十一及十二月有較明顯增加情形。而就藻相組成而言，均以藍綠藻、綠藻及矽綠藻三大類為主。前兩者的種類多以群體出現，尤其藍綠藻的出現量大小影響整個植物性浮游生物的現存量變化，如 Microcystic、Oscillatoria、Aphanocapsa、Anabaena、Lyngbya、Merismopedia等。矽藻出現量在十～一月低水溫期有增加趨勢，而綠藻在時間上的變化則不明顯。養殖的結果可以由圖5、6中瞭解，鰻魚的成長以四號池較佳，而1號池較差，其他各組則沒有顯著差異。至於總收成量，則以二號池最好（約五三〇公斤），三、四號池次之，五號對照池也不好，而一號池最差（約四一〇公斤）。至於養殖期間過濾循環系統之清洗方法為：泡沫分離式循環系統每半個月清洗一次，而毛刷過濾及生物旋轉盤則每個月清洗一次。

表一 不同循環淨化系統之水温變化情形

進水日期 池別 出水 水温 (°C)	1/18	1/20	1/22	1/26	1/31	2/4	2/8	2/14	2/18
D1 進水	18.3	14.3	11.2	16.3	16.7	16.9	20.5	16.9	16.9
D1 出水	18.1	14.3	11.2	16.2	16.5	17.1	20.8	17.0	16.8
D2 進水	17.9	14.2	11.1	15.8	16.3	17.0	20.4	16.8	16.8
D2 出水	18.1	14.2	11.4	15.8	16.1	16.9	19.8	16.8	16.8
D3 進水	18.0	14.0	10.9	16.0	16.3	16.8	19.5	16.7	16.7
D3 出水	17.6	14.0	10.7	15.9	15.9	16.6	19.0	16.7	16.5
D4 池水	18.2	14.7	12.0	16.3	16.4	17.1	20.4	16.9	16.9
D5 池水	18.1	14.4	11.7	15.8	16.2	17.3	20.8	16.7	16.8

註：D 1：泡沫分離式循環系統 D 2：毛刷過濾系統
 D 3：生物旋轉盤循環系統 D 4：每日換水1/10
 D 5：對照池

表二 不同循環淨化系統之透明度變化情形

透明日期 池別 度 (cm)	1/18	1/20	1/22	1/26	1/31	2/4	2/8	2/14	2/18
D1	14	13	14	12	11	9	10	12	12
D2	18	17	26	13	17	20	23	24	37
D3	7	7	6	6	6	6	6	5	5
D4	17	18	25	15	14	13	12	11	15
D5	10	9	14	13	11	25	17	18	17

表三 不同循環淨化系統之溶氧量變化情形

進出 池別 水	日期 溶氧 量(ppm)	日期								
		1/18	1/20	1/22	1/26	1/31	2/4	2/8	2/14	2/18
D1 進水		6.2	5.3	5.9	6.6	7.8	8.4	7.3	6.5	5.9
D1 出水		6.5	6.7	7.3	7.1	7.9	8.7	7.4	6.5	6.6
D2 進水		5.7	5.0	7.0	7.1	8.3	8.5	6.5	6.0	5.1
D2 出水		5.2	4.7	6.6	5.6	8.2	6.2	5.7	3.5	1.6
D3 進水		6.7	6.6	7.2	6.5	8.3	8.3	7.0	6.1	6.2
D3 出水		6.8	6.8	8.1	6.5	8.1	8.4	7.1	6.7	6.0
D4 池水		6.1	5.8	7.2	6.4	8.1	8.5	6.5	6.3	6.1
D5 池水		6.5	6.2	7.2	6.5	7.8	7.6	6.2	6.3	5.8

表四 不同循環淨化系統之pH變化情形

進出 池別 水	日期 pH	日期								
		1/18	1/20	1/22	1/26	1/31	2/4	2/8	2/14	2/18
D1 進水		7.12	7.09	7.12	7.08	7.23	7.15	7.20	7.19	7.05
D1 出水		7.13	7.09	7.13	7.09	7.20	7.15	7.21	7.20	7.12
D2 進水		7.13	7.11	7.37	7.17	7.29	7.22	7.24	7.20	7.02
D2 出水		7.14	7.11	7.39	7.22	7.28	7.20	7.23	7.16	7.01
D3 進水		7.32	7.49	7.08	7.23	7.42	7.36	7.41	7.09	7.15
D3 出水		7.37	7.52	7.09	7.23	7.44	7.37	7.41	7.10	7.17
D4 池水		7.25	7.14	7.11	7.29	7.62	7.61	7.29	7.11	7.52
D5 池水		7.12	7.08	7.15	7.02	7.17	7.19	7.13	7.12	7.16

表五 不同循環淨化系統之氨變化情形

進出 池別 水	日期 氨 (ppm)	1/18	1/20	1/22	1/26	1/31	2/4	2/8	2/14	2/18
		D1 進水	0.334	0.665	0.523	0.378	0.121	0.220	0.190	0.135
D1 出水	0.324	0.495	0.443	0.392	0.136	0.191	0.150	0.140	0.086	
D2 進水	0.185	0.462	0.132	0.183	0.054	0.061	0.104	0.065	0.205	
D2 出水	0.110	0.267	0.062	0.162	0.038	0.107	0.267	0.219	0.664	
D3 進水	0.422	0.596	0.505	0.549	0.462	0.596	0.553	0.554	0.433	
D3 出水	0.440	0.488	0.448	0.452	0.453	0.522	0.570	0.489	0.425	
D4 池水	0.019	0.157	0.083	0.173	0.062	0.093	0.109	0.151	0.082	
D5 池水	0.640	0.728	0.625	0.749	0.464	5.341	0.646	0.536	0.156	

表六 不同循環淨化系統之亞硝酸鹽變化情形

進出 池別 水	日期 亞硝酸鹽 (ppm)	1/18	1/20	1/22	1/26	1/31	2/4	2/8	2/14	2/18
		D1 進水	0.291	0.316	0.262	0.325	0.326	0.289	0.139	0.127
D1 出水	0.267	0.275	0.272	0.348	0.329	0.290	0.148	0.136	0.093	
D2 進水	0.281	0.314	0.324	0.487	0.432	0.279	0.301	0.091	0.232	
D2 出水	0.302	0.352	0.373	0.601	0.458	0.297	0.284	0.136	0.203	
D3 進水	0.481	0.497	0.506	0.526	0.534	0.637	0.686	0.688	0.517	
D3 出水	0.555	0.524	0.502	0.577	0.488	0.584	0.687	0.604	0.489	
D4 池水	0.156	0.118	0.134	0.153	0.115	0.134	0.150	0.151	0.142	
D5 池水	0.336	0.294	0.263	0.330	0.462	0.486	0.518	0.536	0.440	

表七 不同循環淨化系統之磷酸鹽變化情形

池別	進出 水	日期 磷酸鹽(ppm)	1/18	1/20	1/22	1/26	1/31	2/4	2/8	2/14	2/18
			D1 進水	0.573	0.471	0.377	0.354	0.500	0.442	0.194	0.298
D1 出水	0.668	0.479	0.430	0.297	0.724	0.412	0.159	0.345	0.235		
D2 進水	0.555	0.481	0.436	0.323	0.253	0.236	0.069	0.228	0.173		
D2 出水	0.407	0.432	0.384	0.291	0.211	0.184	0.037	0.226	0.223		
D3 進水	0.932	1.020	0.869	1.091	1.011	1.396	0.578	1.249	1.002		
D3 出水	0.915	1.032	0.849	0.957	0.943	1.142	0.578	1.058	0.838		
D4 池水	0.160	0.170	0.111	0.148	0.155	0.134	0.104	0.196	0.152		
D5 池水	2.680	0.100	0.106	0.128	0.161	0.111	0.056	0.126	0.137		

表八 不同循環淨化系統之硫化氫變化情形

池別	進出 水	日期 硫化氫(ppm)	1/18	1/20	1/22	1/26	1/31	2/4	2/8	2/14	2/18
			D1 進水	0.230	0.188	0.232	0.162	0.131	0.195	0.194	0.144
D1 出水	0.225	0.187	0.230	0.153	0.133	0.190	0.159	0.167	0.108		
D2 進水	0.140	0.131	0.166	0.093	0.089	0.095	0.069	0.059	0.034		
D2 出水	0.123	0.112	0.144	0.076	0.065	0.155	0.037	0.025	0.018		
D3 進水	0.413	0.397	0.694	0.496	0.486	0.475	0.578	0.584	0.435		
D3 出水	0.407	0.416	0.671	0.462	0.454	0.436	0.578	0.518	0.411		
D4 池水	0.071	0.069	0.122	0.090	0.080	0.086	0.104	0.103	0.070		
D5 池水	0.095	0.089	0.101	0.075	0.076	0.162	0.056	0.067	0.081		

五、費用估算與效益比較：

泡沫分離淨化設備，全套由日本進口，價格最昂貴，含過濾槽、濾材及安裝管路，造價約新台幣一二〇萬元。在毛刷過濾設備中，毛刷係國內廠商製造，連同九個過濾槽及安裝工程總價約需四十五萬元。生物旋轉盤過濾設備中，二組旋轉盤、四個沉澱過濾槽以及濾材、管路安裝等，所需經費約八十萬元。以上就設備成本而言，以泡沫分離系統最高，而以毛刷系統最低。

就用電量而言，試驗對照池（即傳統養鰻方式，養殖池面積、水深、養殖方法與前面三種相同）只有水車用電外，沒有循環過濾設備，自然用電最省，養殖期間僅用了二、五〇〇度。但三種循環系統中，以泡沫式耗電最多，達二六、七〇〇度，生物旋轉盤一六、一〇〇度次之，而以毛刷池的一〇、九〇〇度最少。

另就用水量而言，以對照池（即傳統養鰻池）每天換一／一〇池水者用水最多，高達一一、八〇〇噸。三套循環系統中，以毛刷池耗水較多約二、三〇〇噸，其他泡沫分離式及生物轉盤池也分別在二、〇〇〇及一、七〇〇噸左右，可以說三套系統差異不大，但都有達到省水之目的。

表九 三套循環系統設備成本與效益比較

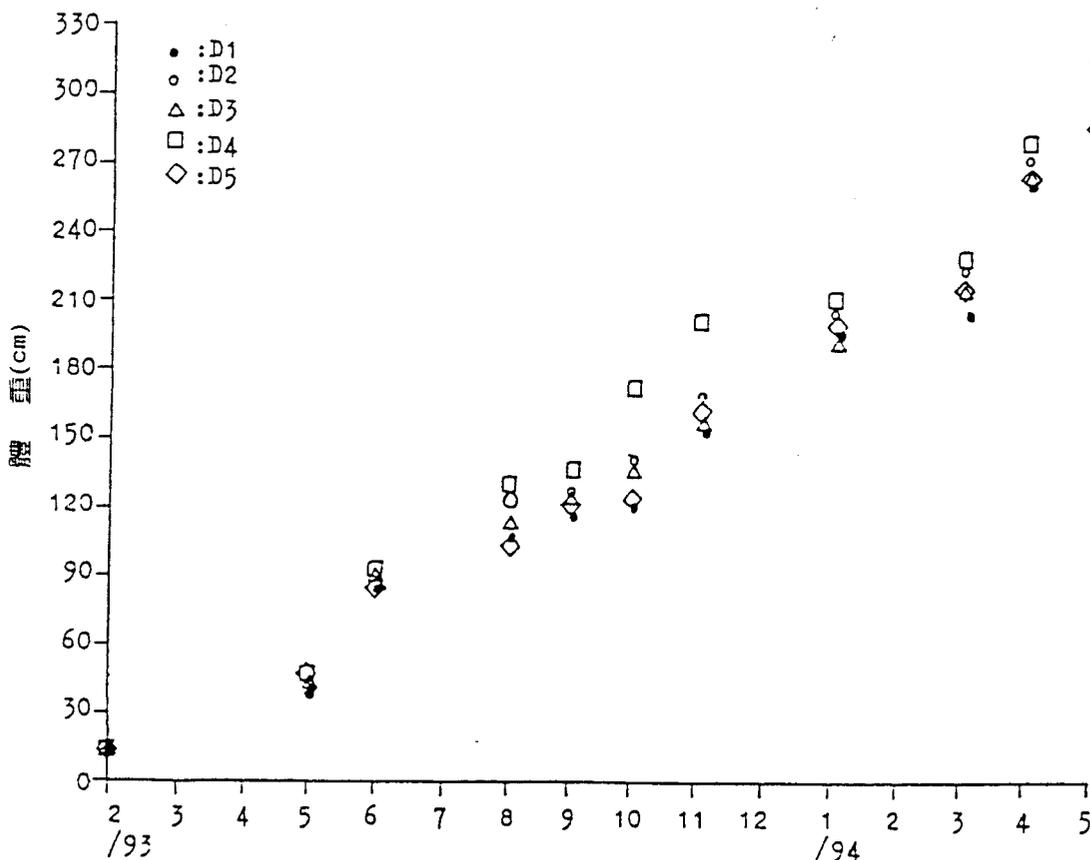
過濾系統名稱	泡沫分離式	毛刷微生物法	生物旋轉盤法	對照組
設備成本	120萬元	45萬元	80萬元	——
用電量	26,700度	10,900度	16,100度	2,500度
用水量	2,000噸	2,300噸	1,700噸	11,800噸
養殖管理	每月清洗二次	每月清洗一次	每月清洗一次	——

一般而言，養殖循環水模式建立之評估依據，不外下列各項條件

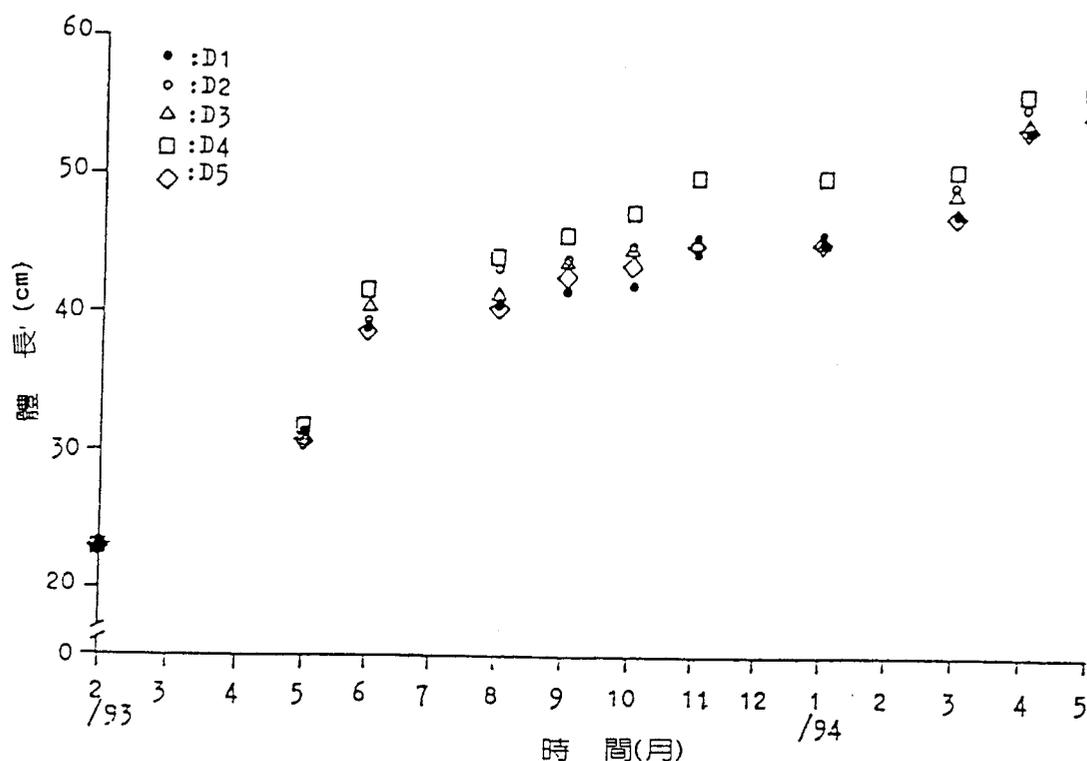
- (1) 是否有省水的效果。
- (2) 設備成本是否合理而可以被養殖戶接受。
- (3) 是否操作簡便、維護方便且費用低廉。
- (4) 是否耗能少而運轉費用不高。
- (5) 是否養殖成果佳，或至少沒有負面影響。

如有符合上述各項條件的循環水模式，才可能大量推廣給民間業者使用，進而可以達到減抽地下水及節約養殖用水之目標。

前述三套循環系統中，就省水的觀點而言，都有其一定的效果。另就養殖成果來看，三套系統中鰻魚的成長相差無幾，與對照組的差異也不大。其次，就設備成本的角度來分析，泡沫式成本最高，生物旋轉盤次之，而以毛刷式最低；且就平時運轉費用來估算，還是以泡沫式最高，生物旋轉盤次之，而毛刷式最低。



圖五 各池鰻魚成長之體長變化情形



圖六 各池鰻魚成長之體重變化情形

六、總結與建議：

三套循環淨化系統經過竹北分所測試所得的初步結論為：

- (1) 三套系統都有省水的效果。
- (2) 養殖結果差異不顯著，至於總收成量則以毛刷式最好（比對照組）。
- (3) 無論就設備成本或是運轉成本，都以泡沫式最高，生物轉盤次之，而毛刷式最低。
- (4) 綜觀前述各項評估條件，初步認為毛刷式效果較好，且設備與運轉成本較低，大量推廣的可行性較高。

但就試驗二年來，所得的結果與經驗，摘述下列檢討建議事項，供業界參考並共謀改進措施：

- (1) 泡沫分離式循環系統較不適於軟式鰻魚池使用：

因為此系統除設備費昂貴外，其原先之設計係針對海水魚運搬及大型水族館使用（因為這類的循環水並不含砂土或污泥）。反觀此次養鰻池水，因含有大量大顆粒砂土等，致使發泡機軸心磨損，很快的就

折斷而無法運轉，不但增加經營成本，且因運轉中斷而影響微生物處理效果。除非，養殖池水在進入發泡機前，經過很完全的沉澱與過濾，務必將所有污泥、砂土除去，才能使發泡機正常運作，淨化效果才能顯現出來。

(2) 為提升淨化效果，應增設足夠的沉澱池：

前面已提過，泡沫式系統中，經發泡機處理過的水，仍然夾帶大量砂土、污泥，致使濾床在很短的時間內沉積大量污泥（照片 1-5），而無法發揮微生物淨化作用，除非耗費大量人力，經常清洗。同樣的，生物旋轉盤處理系統也因沉澱池不足，很快沉積大量污泥在濾材上，淨化效果因此大為降低。然而，毛刷過濾系統由於有九個過濾沉澱槽，養殖用水由第一槽流到第九槽後才流回養殖池使用。試驗發現，水流經前面四槽，污泥大量黏附於毛刷及沉澱池底（照片 2-4），但到第五槽時，污泥已顯著減少，無怪乎第九槽流出的水，肉眼看起來較為清澈，池水也呈養鯉最佳水色—淡綠色，而另二套處理後的水則相對的較污濁。因此，增設沉澱池，對淨化效果之提升，有其正面意義。

(3) 生物旋轉盤系統內的塑膠球濾材材質不佳，應加以改良：

塑膠球在使用一段時間後，會逐漸脆化而碎損，如不及時補充更換新的濾球，則圓盤內因濾球減少而在轉動時會鬆動，致使塑膠球不易生成微生物膜，而影響淨化效果。因此，今後在材質選擇上，應考慮不受浸泡、日曬而變質的材料。

(4) 濾床清洗的次數與程度，應予重視：

在生物處理系統中，濾床具有過濾懸浮固體（含死去之細菌殘骸堆積物）及利用微生物來除去氨態氮及其他營養鹽類的雙重作用。當濾床清洗時，不但清除了懸浮固體，同時也會降低微生物量。因此，如清洗次數多，也許清除懸浮固體的效果較好，但相對的，因微生物的減少，會因而降低去除氨態氮及其他營養鹽類之效果。相反的，如清洗次數少，濾材上沉積大量的懸浮固體，淨化效果必將大打折扣。因此，如何適當的清洗濾床，將是目前先要探討的問題。