

## 養殖用水循環使用試驗—水流及濾材對

### 吳郭魚成長之影響

余廷基·張永坤

#### Studies on Circulating Water-reuse Systems in Aquaculture-The efficiency of sand filter applied to Tilapia culture

Ting-Chi Yu and Yeong-Kuen Chang

1. Four concrete ponds were used in this project. The rearing water of the first pond ( $12.7\text{m}^2 \times 0.55\text{m}$ ) was underground water (A-pond); water inflow rate was 9.7 l/min; 105 Tilapias were stocked. The others ( $18.2\text{m}^2 \times 0.55\text{m}$ ) used underground water mixed with filtered water 1:3 (B-pond), filtered water (C-pond) and still water (D-pond), respectively; water inflow rate was 13.9 l/min except D-pond; 150 Tilapias were stocked in each pond. The experiments proceeded six months (from November 1984 to May 1985).
2. Water temperature is an important factor in fish growth. From November 14 to March 18, the air temperature was low in Taiwan. The order of the mean water temperature in these four ponds was:  $A > B > C > D$ , and order of the mean daily growth rate of Tilapia was the same. From March 18 to May 16, air temperature and water temperature were increasing, the order of mean daily growth rate of Tilapia in these four ponds was:  $C > B > A > D$ . So, we suggest that when air temperature is temperate, it is better to use circulating re-use system, and during the low temperature period, temperature-controlled system, is needed.
3. DO has negative correlation with  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ .
4. The main purpose of the replacement of water in a culture pond is to exclude fish excreta and food residue. The merit of circulating re-use system for culture water is that it can clarify the water quality. Utilizing settling pond and sand filter bed can make the water be suitably reused.
5. The need to be cleaned periodically by backwashing or some form of agitation is a feature of sand filtration process.

#### 前 言

在美國、日本和德國，因為優良天然水資源缺乏或預防其過度的使用，所以無不致力於研究魚池

排水經過適當處理後予以再利用之技術與方法。目前，我國養殖漁業蓬勃發展，普遍大量取用地下水源已造成地層嚴重下陷，當局雖曾適當地管制使用地下水源，但可以取代之河川水源又被工業及家庭廢水嚴重污染，因此，欲使養殖用水達最少使用量，研究開發循環水之過濾處理等淨化水質的方法及使用技術實具可行性。

許多物理、化學和生物之環境因子都能在密閉的水循環系統中加以控制。藉著沈澱、曝氣、過濾、離子交換、活性污泥和臭氧等等之處理，很有可能使養殖魚類有更合適的環境條件。本試驗是以砂礫為過濾材料，分析比較其處理過程中水質之變化和養殖的效果，提供將來之改進與參考。

## 材料與方法

### 一、試驗材料：

(一)試驗用魚：雄性賀諾魯吳郭魚 (*S. hornorum*) 與雌性尼羅吳郭魚 (*S. nilotica*) 交配之雌性子代，平均體重 1.78 公克，平均體長 3.68 公分。

(二)試驗設備：請參圖 1。

1. 沈澱池：6m×4.5m×2m 之長方型水泥池。

2. 砂礫過濾槽：13.9m×4.5m×1.8m 之長方形水泥槽中鋪設 40.66 m<sup>3</sup> 之砂礫，表層並鋪滿厚 5 公分以上之海綿墊。

3. 試驗水槽：長八角型水泥池平均面積 18.2 m<sup>2</sup> 三組及 12.7 m<sup>2</sup> 一組，水深均為 55 公分。

### 二、試驗方法：

(一)試驗水槽分為四組：除 A 組採面積 12.7 m<sup>2</sup> 之水泥池注水量 9.7 l/min 放養 105 尾外，餘均為 18.2 m<sup>2</sup> 注水量 13.9 l/min 放養 150 尾，即平均放養密度 15 尾/m<sup>2</sup> 注水量為每組 12 小時注滿試驗池之流量。請參表 1

表 1 飼育條件

Table 1 Experimental condition

Pond	size m <sup>2</sup>	Filtered water inflow rate (l/min)	underground water inflow rate (l/min)	Fill a pond time needed (hr.)
A	6.9	0	9.7	12
B	10.0	10.4	3.5	12
C	10.0	13.9	0	12
D	10.0	-	-	-

A 地下水組：直接注入地下水作流水式養殖。

B 混合水組：以地下水和經過過濾處理之水一比三混合注入試驗池，將排水過濾處理後，取需要量注回試驗池。

C 過濾水組：抽取試驗池排水，於過濾系統處理後，注回試驗池。

D 止水組：止水養殖。

(二)水質試驗除止水組採底層水外，其餘各組採注入水及排水，每週週三上午九時採水分析一次。

1. Water Temperature. (棒狀酒精溫度計)。

2. pH (Corning 130 pH meter)。

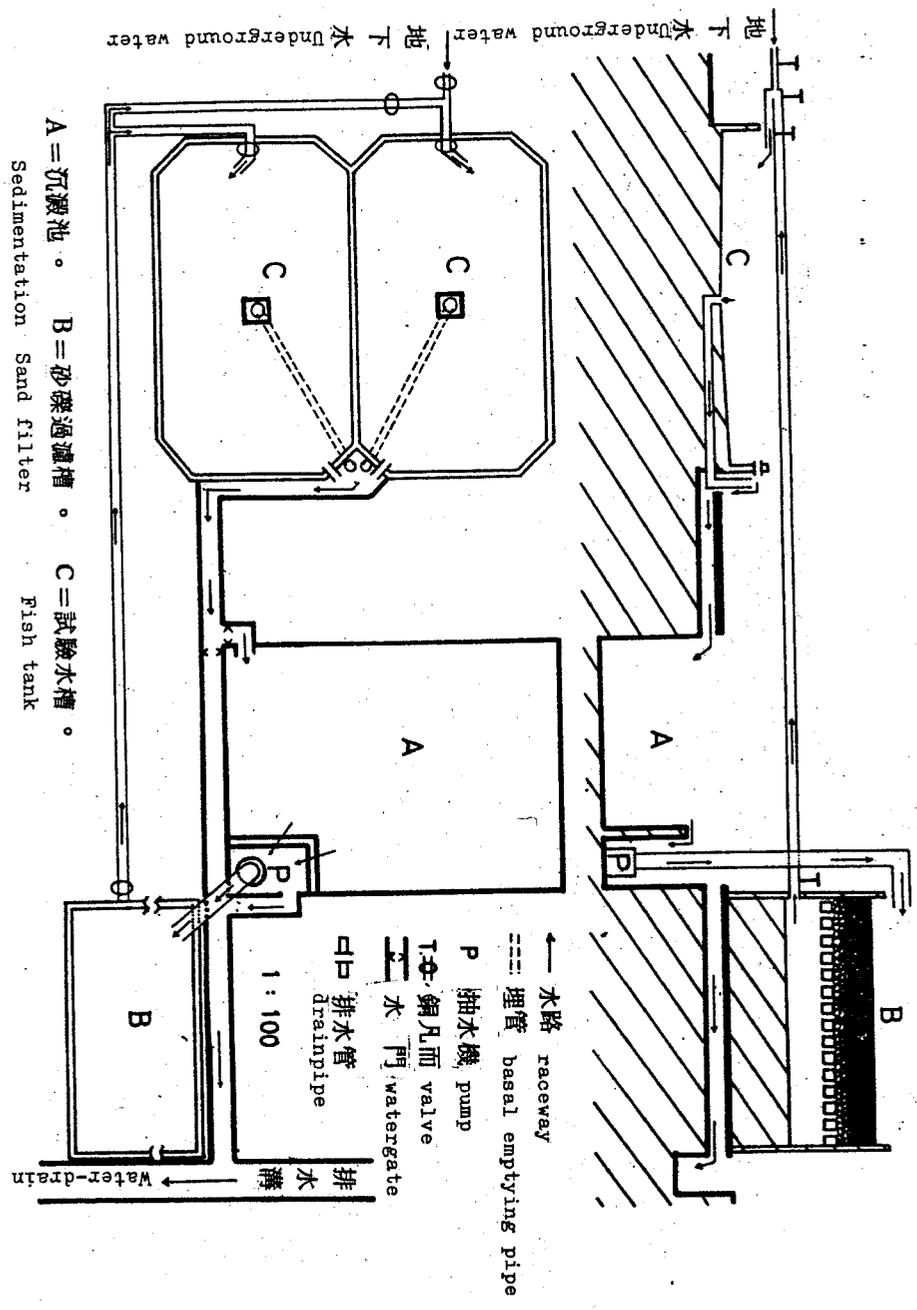


圖 1. 砂礫床過濾循環設施  
 Fig 1 Schematic representation of a recycle-system with sand filter

3. DO (Delta Scientific Model 2110 Multirange DO & Temperature Analyzer).

4.  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  (Nessler 法)

5.  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  (Wood-Armstrong-Richard 法)

6.  $\text{BOD}_5$  (WTW BSB-Controller Modell 1010T)

7. Turbidity (Moniter Turbilimeter)

(三)視殘餌情形，每日增減投餌量，以最小量一組為依據，使各組每日投餌量佔總體重之百分比值皆相同。11月14日至2月15日餵以鰾粉製成之乾料顆粒，2月15日至3月18日以鰾粉顆粒和人工合成粒狀飼料混合投餵，3月18日至5月16日則完全投以吳郭魚人工合成粒狀飼料。每月中旬排乾池水稱得魚重並算其尾數，死亡之尾數由另蓄養池中平均體重相等者補充後再行放養。飼育成果依下列各式計算：

$$1. \text{平均每日成長率 (I)} = \frac{W_t - W_0}{\frac{W_t + W_0}{2} \times t} \times 100\%$$

$$2. \text{平均每日攝餌率 (B)} = \frac{F}{\frac{W_t + W_0}{2} \times \frac{N_t + N_0}{2} \times t} \times 100\%$$

$$3. \text{餌料效率 (E)} = \frac{I}{B} \times 100\%$$

$$4. \text{增重係數 (R)} = \frac{F}{(W_t - W_0) \times \frac{N_t + N_0}{2}}$$

$$5. \text{活存率} = \frac{N_t}{N_0} \times 100\%$$

$W_t$  : 養殖  $t$  時間後之平均體重 (g)。

$W_0$  : 養殖開始之平均體重 (g)。

$N_0$  : 養殖開始之尾數 (尾)。

$N_t$  : 養殖  $t$  時間後之尾數 (尾)。

$F$  : 養殖  $t$  時間之總投餌量 (g)。

$t$  : 養殖時間 (天)。

## 結 果

試驗期間各組所測水質項目，其最高值和最低值請看表 2。

12月至3月氣溫偏低，水溫因而普遍下降，D池出現最低值 $13.2^\circ\text{C}$ ，由圖2所示地下水水溫全皆維持在 $26.0 \sim 27.3^\circ\text{C}$ ，受地下水注入量及氣溫之影響，各組水溫為A池注水 > A池出水 > B池注水 > B池出水 > C池注水 > C池出水 > D池。四月起，氣溫迴昇後，各組水槽間之排注水水溫差異漸

pH值之變化情形請參圖3。D池pH值遠高於其餘三組，每月中旬因測魚重換水，pH下降後著飼育期間之增長而漸增，其餘各組均在 $7.2 \sim 8.9$ 間變化。ABC三池排出水之pH值稍高於注水。

D池之DO量普遍高於ABC三池。三流水試驗池之溶氧量變化不大規則，但由圖4中看出，排水之DO值明顯地高於注入水。

$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 三月前變化極大，由圖5之各組注入水曲線變化中看出C池 > B池 > A池。三月中旬

表2 飼育水水質(最低值-最高值)

Table 2 Water quality (lowest-highest) during culturing period

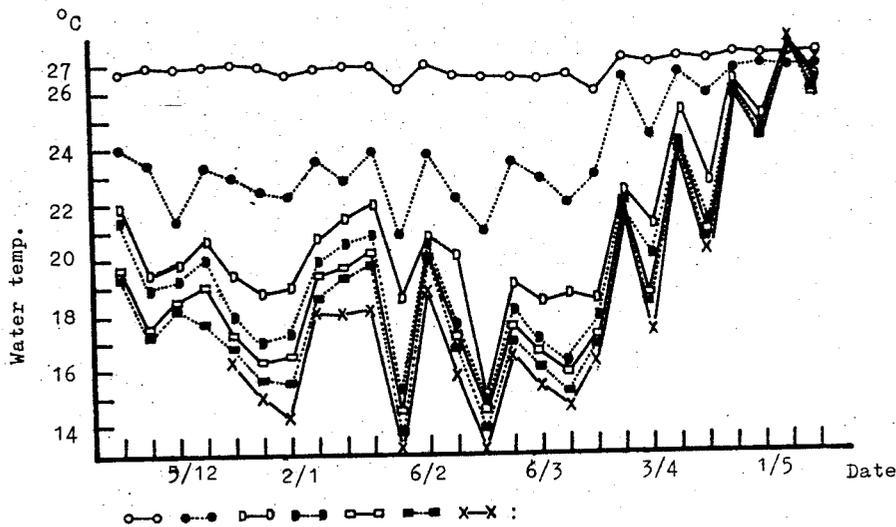
Item	Pond	A	B	C	D	
WT	°C	inflow	26.0-27.3	14.9-27.3	14.5-27.4	13.2-27.9
		outflow	21.0-26.8	14.8-27.4	13.9-27.7	
pH		inflow	7.47-8.03	7.33-8.03	7.24-8.28	9.09-10.45
		outflow	7.74-8.51	7.73-8.92	7.61-8.90	
DO	ppm	inflow	3.5-5.5	3.0-6.4	3.3-8.2	7.4-12.6
		outflow	6.3-9.0	5.7-9.7	5.2-9.9	
NH <sub>4</sub> -N	ppb	inflow	530-805	423-912	411-1119	89-417
		outflow	235-594	193-714	173-618	
NO <sub>2</sub> -N	ppb	inflow	2.1-9.5	4.3-18.9	4.3-25.9	0.1-1.8
		outflow	2.5-8.0	1.4-13.9	7.5-20.7	
BOD	ppm	inflow	0.2-7.8	4.2-12.5	7.0-16.0	3.3-13.4
		outflow	1.0-11.4	6.0-13.1	6.6-15.6	
Turb.	N.T.U.	inflow	2.7-6.2	33-82	41-86	11-36
		outflow	4.3-7.9	37-47	39-54	

A-inflow : underground water

C-inflow: filtered water

B-inflow : underground water mixed  
with filtered water 1:3

D : still water



A-inflow, A-outflow, B-inflow, B-outflow, C-inflow, C-outflow, D.

圖2 飼育期間水溫之變化

Fig.2 The variations of Water Temperature in rearing duration

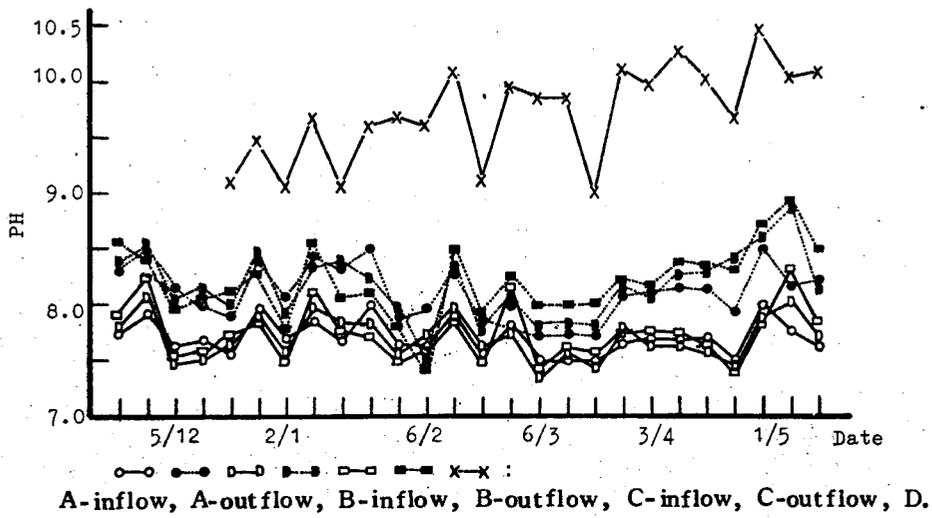


圖3 飼育期間 pH之變化

Fig.3 The variations of pH values in rearing duration.

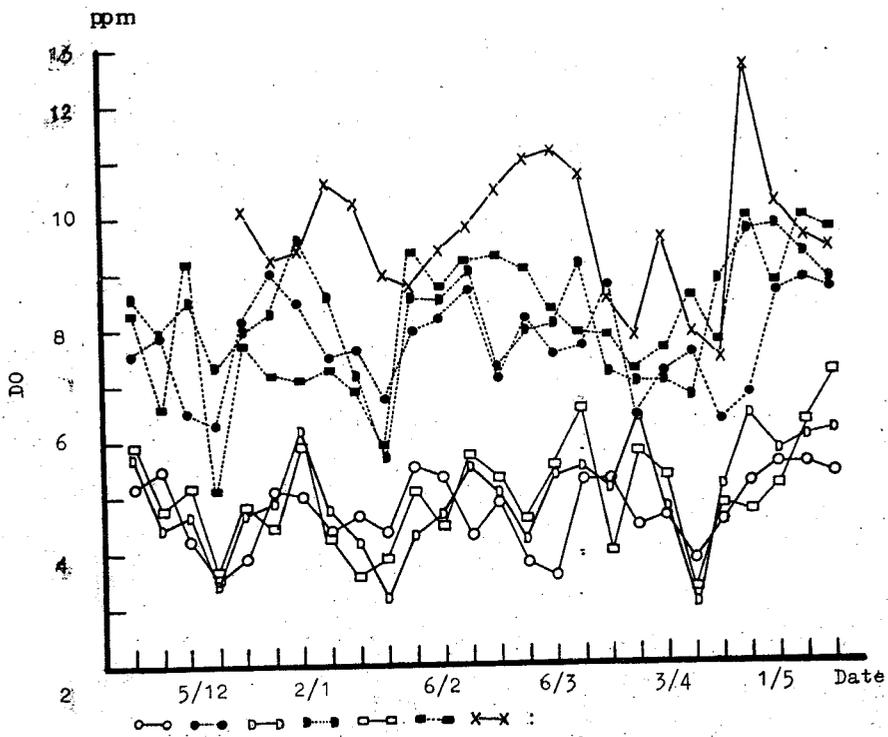


圖4 飼育期間 DO之變化

Fig.4 The variations of DO in culturing duration.

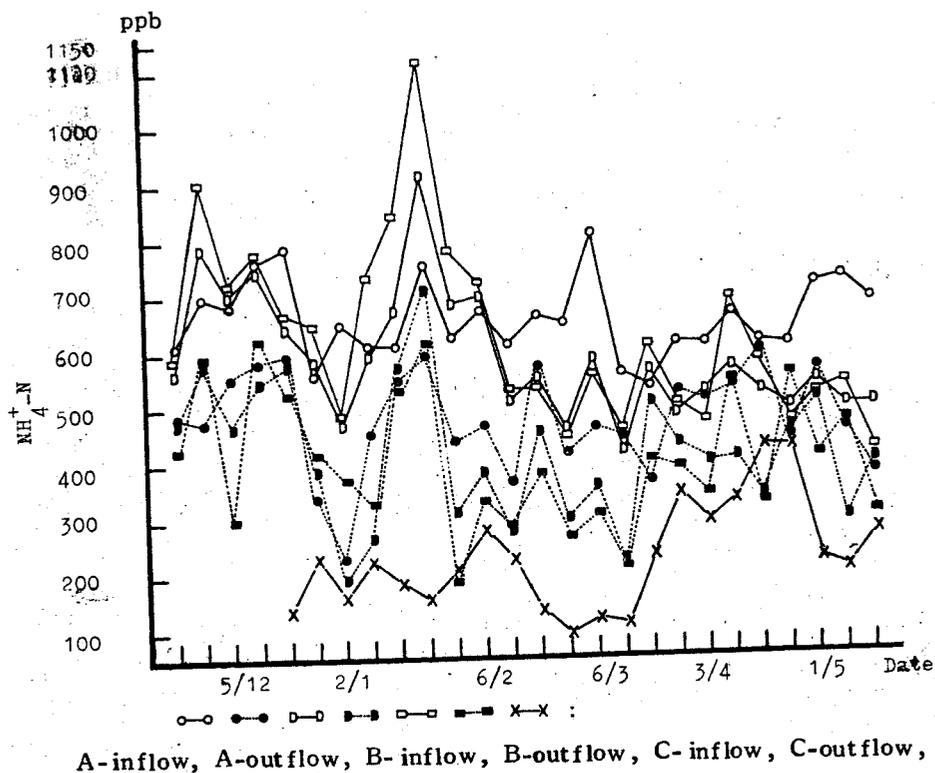


圖 5 飼育期間  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  之變化

Fig. 5 The variations of  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  in culturing duration

，變動範圍縮小，但A池顯得稍高於B C兩池。D池較其他三組皆稍低，但三月中旬起有明顯增加之趨勢。

各試驗組之 $\text{NO}_2^--\text{N}$ 含量皆極低，最高值僅出現在C池注入水之25.9 ppb。前期三組流水式試驗水槽之注入水及排出水分別為C池>B池>A池，請參圖6。三月起，變化較不規則。D組之 $\text{NO}_2^--\text{N}$ 含量極少，最高量僅1.8 ppb而已。

BOD<sub>5</sub>與濁度在各試驗組之比較有相同的結果，均以C池最高，次為B、D兩池，A池最低。觀察四池之水色變化，A池全期皆較其他組清澈，B池鮮綠色，C池呈深綠色，D池每月中旬換水後由鮮綠轉深綠而後泛黃。

在飼育成果方面，請參看表3。

全期試驗中，總死亡尾數A池最少僅2尾，B池17尾，C池28尾，D池雖較其他組慢一個月才開始，但其死亡尾數仍居四組之冠一共38尾。六次測定中，以1月15日至2月15日期間之死亡情形較嚴重：D池16尾，C池11尾，B池8尾，A池1尾。

前四個月之平均每日成長率以A池最高，B池次之，C池第三，D池最差；後兩個月則以C池較佳。以整個飼育期間來比較，其順位為A池、B池、C池以及D池。

平均每日攝餌率與平均每日成長率大小正好相反。前四個月以D池最高，C池次之，B池第三，A池最低；後兩個月則以A池最高。全期之平均每日攝餌率為D池>C池>B池>A池。

飼育期間，A池魚攝食情形皆極佳，前四個月所投前述限度之飼料均在一小時內吃光，C、D兩池魚攝餌不活潑，控制相等之投餌率，致投餌量不大。前四個月之餌料效率情形為A池>B池>C池>D池，3月18日至4月18日為C池>B池>A池>D池，4月18日至5月16日為C池>D池>

表三 飼育成果

Table 3 Growth of Tilapia during experimental period.

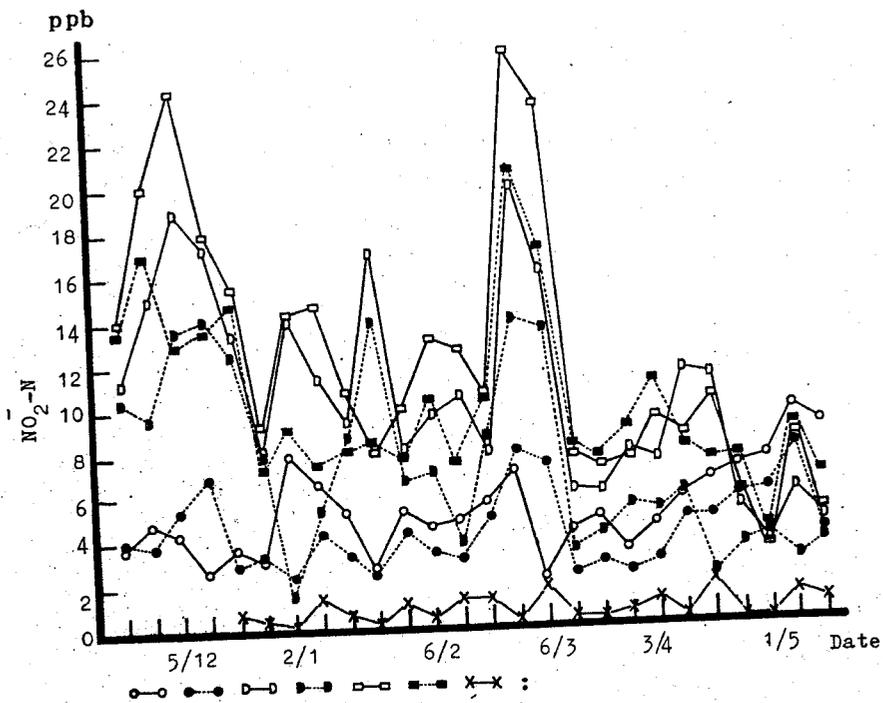
Date (duration) (days)	Pond	Mean body wt. (g)		Total amount consumed (g)	Mean daily rate of growth (%)	Mean daily rate of feeding (%)	Coefficient of growth (%)	Conversion factor	Survival (%)
		Initial	Final						
14 Nov. '84 }	A	1.81	5.75	95.03	3.47	0.80	435.36	0.23	100
	B	1.78	2.89	133.50	1.58	1.28	123.47	0.81	98
	C	1.76	2.24	132.00	0.80	1.49	53.82	1.86	97.33
	D	-	-	-	-	-	-	-	-
14 Dec. '84 }	A	5.57	9.80	198.85	1.63	0.76	213.86	0.47	100
	B	2.89	4.18	147.39	1.14	0.87	130.41	0.77	98.67
	C	2.24	2.80	114.24	0.69	0.96	72.30	1.38	96.67
	D	2.19	2.58	111.69	0.51	1.00	50.98	1.96	94.67
15 Jan. '85 (32)	A	9.80	15.63	618.03	1.48	1.50	98.41	1.02	99.05
	B	4.18	6.49	376.20	1.40	1.56	89.65	1.12	94.67
	C	2.80	4.02	252.00	1.15	1.65	69.96	1.43	92.67
	D	2.58	3.49	232.20	0.97	1.74	55.65	1.80	89.33
15 Feb. '85 }	A	15.63	23.31	886.22	1.27	1.41	90.56	1.10	99.05
	B	6.49	8.32	525.69	0.80	1.51	52.92	2.31	97.33
	C	4.02	4.87	325.62	0.62	1.61	38.37	2.61	96.
	D	3.49	4.20	282.69	0.60	1.62	36.79	2.72	95.33
18 Mar. '85 (31)	A	23.31	34.46	1468.53	1.25	1.56	79.72	1.25	100
	B	8.23	13.40	748.80	1.51	1.48	101.76	0.98	100
	C	4.87	7.95	438.30	1.55	1.48	104.04	0.96	98.67
	D	4.20	6.10	378.00	1.19	1.60	74.39	1.34	98
18 Apr. '85 }	A	34.46	50.43	3075.30	1.34	2.46	54.53	1.83	100
	B	13.40	21.80	1708.50	1.70	2.31	73.75	1.36	100
	C	7.95	15.30	1014.05	2.26	2.08	108.72	0.92	100
	D	6.10	10.33	777.75	1.84	2.25	81.58	1.23	100

A-inflow: underground water

C-inflow: filtered water

B-inflow: 25% underground water + 75% filtered water

D: still water



A-inflow, A-outflow, B-inflow, B-outflow, C-inflow, C-outflow, D.

圖 6 飼育期間 $\text{NO}_2\text{-N}$ 之變化

Fig.6 The variations of  $\text{NO}_2\text{-N}$  during rearing period

B池>A池。全期來看，其順位為A池>B池>C池>D池，與平均每日成長率之順位一致。

增重係數大小順序與餌料效率完全相反。前四個月為D池>C池>B池>A池，3月18日至4月18日為D池>A池>B池>C池，4月18日至5月16日為A池>B池>D池>C池。全期之順位為D池>C池>B池>A池。

## 討 論

水質之變化與魚體呼吸、排泄、給餌、過濾系統之設計、池水之排乾、魚池中微生物之作用、氣候變化和地下水所造成的稀釋補充等等皆有很密切的關係。一個單一的處理過程，也許會使水質產生許多變化，而此過程之結構可能相當簡單，例如：將流水引入瀉湖，使其自然淨化以便再利用，此過程之結構雖簡易，但水質已引起許多變化。

沈澱法和砂礫過濾床去除固形粒子的功能相同，然而却有重要的差異。在砂礫過濾方面，固形物可被除去與否，取決於粒子的大小，而沈澱法則決定於「尺寸-密度」(size-density)因子。沈澱法也許無法去除有機固形物，尤其是小形或膠狀者，但以「留置」方式，可不斷去除固形物。砂礫過濾法能顯著降低池水有機(沈澱性和膠質狀)粒子和無機粒子之存在，但對於溶解性物質則僅能少量去除。

止水組 pH 值之所以偏高的原因，推測可能是試驗水槽均為水泥池，此可能亦造成了各組排出水之 pH 值稍高於注入水之結果。

水充分流動，加上在濾床生育之微生物進行氧化作用會使溶氧量降低，致各組注入水之 DO 量普遍小於排出水。另由止水組水面有極明顯的波動現象推測：可能是大海風之影響，使止水組所測得之 DO 值較其他三組高。

由圖 4 和圖 5 可看出：DO 和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  呈負相關。

對於  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的毒性已有不少報告。一般認為非解離之 ammonia ( $\text{NH}_3 - \text{N}$ ) 較具毒性，且隨水溫、pH 之變動毒性亦顯著變動。 $\text{NH}_4^+$  之毒性隨 pH 值之升高而增加，主要是具有高度毒性之非游離態  $\text{NH}_3$  之濃度隨 pH 值之升高而增加之緣故。蔡添財等 (1983) 對吳郭魚之毒性 48 小時之  $\text{TLm}$ ，氮為 54.59 ppm。R. D. Mayo 在鮭科養殖上，在恒定狀態  $\text{NO}_2^-$  轉變為  $\text{NO}_3^-$ ，如果  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  超過 0.2 mg/l 對鮭科魚類會產生毒害。本試驗中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  及  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  之最高值均出現於過濾水組，但僅分別為 1.119 ppm 及 0.0259 mg/l 而已，當不致對於試驗之吳郭魚產生毒害。

循環過濾水槽之  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  最高，此由於濾材中亞硝化菌屬之作用，達到  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  酸化的效果，與千葉健治 (1980) 之結果相同。在養魚池和水循環系統上，主要關鍵在硝化的過程。達成硝化作用過程之細菌被認為附著在濾槽內的介質上，這些介質包括碎石、砂、木條、塑膠基或是任何有固定表面的材料。侯英物 (1984) 過濾砂中的細菌對氮氣的氧化及同化量為砂 100 g 時一天氮 0.21 mg，100 g 重的魚一天排泄總氮量為 50 mg，因此，淨化時所需的過濾砂重需為飼育魚重的 25 倍，但安全量以 30 倍為佳。

1 月 15 日至 2 月 15 日飼育魚之死亡率佔全期之冠，推其死亡可能原因主要是測定後受傷，加上氣溫寒冷水溫過低，感染水黴菌所致。

因本試驗以殘餌量最少之組為主，每次投餌量佔各組總體重之百分比值均相等，故由地下水組平均每日攝餌率為各組之最低者知：試驗前期顯然飼料供應不足。

放養初期，各組試驗魚個體均小，投餵鰹粉之效果尚佳。2 月 15 日至 3 月 18 日，或因水溫偏低，或因飼料轉換期，餌料效率最低。11 月放養時，地下水組之池壁附生藻類厚層，另 3 月 18 日起氣溫水溫均迥昇，過濾水組及混合水組之池底有藻類沈積，且池中有紅筋蟲等水生昆蟲出現，觀得魚群時時啄食池壁及池底，且其糞均呈深綠色推知：可能是池魚在飼料不足的情況下，攝食藻類等有機質而造成增重係數小於 1 的情形。

由水質變化與飼育成果之關係：3 月 18 日後  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  普遍降低及水溫的迥昇皆可能是造成平均每日成長率與餌料效率提高之原因；但在與全期之比較下，水溫變化極明顯與平均每日成長率一致，因此影響魚體成長最大者應為水溫。換句話說：循環過濾系統中，水溫對魚體成長仍為重要因子。養殖一般魚類，宜在氣候適宜時啓用循環系統，否則需另加裝控溫系統。

由水質及經濟的關係來看，並不能明確指出是否需要水循環處理。天然水源充足時，仍需水循環處理的例子如：需要前處理去除水源之病源，然而循環處理之成本低於前處理，或需後處理以完成養殖所造成污染之控制，而循環處理系統的成本低於後處理。

1 月 25 日排乾過濾槽中之積泥及 5 月 9 日清洗沈澱池及過濾槽，由測得之水質變化情形得知，對水質均有明顯的改善，因此，定期清洗或逆洗循環過濾系統，才能維持淨化水質的效果，故欲達到推廣效果，需進一步研究探討簡化其技術及過程。利用高密度循環水養殖時，其水質完全處理設備之投資和操作費用均高，非具有高經濟價值之養殖魚類，難以符合生產成本，所以初期宜採低密度養殖方式，再配合各種節省用水的方法如打氣及水車之使用等，較易達成推廣之目的。

## 摘 要

一本試驗於四組水泥中進行。一組  $12.7 \text{ m}^2 \times 0.55 \text{ m}$  (A 池) 注入地下水養殖 105 尾吳郭魚，注水量  $9.7 \text{ l/min}$ ，其餘三組  $18.2 \text{ m}^2 \times 0.55 \text{ m}$  放養 150 尾，注水量  $13.9 \text{ l/min}$ ，分別為地下水與過濾水一比三混合組 (B 池)、過濾水組 (C 池) 及止水組 (D 池)，即平均放養密度  $15 \text{ 尾/m}^2$ ，注水量為每組 12 小時注滿試驗池之流量，進行六個月之飼育 (73 年 11 月至 74 年 5 月)。

二、DO 和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  呈負相關。

三、循環過濾系統中，水溫對魚體成長是重要因子。11 月至 3 月氣溫偏低，水溫受較高溫之地下水注入

量影響，平均每日成長率以地下水組最高，依序為混合水組、過濾水組、止水組。3月中旬至5月，氣溫水溫均迴昇，含有機養料多的過濾水組平均每日成長率最佳，依序為混合水組、地下水組、止水組。因此，養殖一般魚類，宜在氣候適宜時啓用循環系統，否則需另外加裝控溫系統。

四換水的主要功能是除去魚類排泄物以及殘留餌料。養殖用水循環過濾系統乃能將污水經過處理，再注回魚池中。魚池排水經由沈澱池及砂礫過濾床之淨化作用而達到再利用之目的。

五循環過濾系統的定期清洗或逆洗是維持過濾效果的主因。

## 謝 辭

本試驗承蒙所長李燦然之鼓勵，助理研究員蔡添財、賴仲義、漁業局二股侯英物股長、李治中、海洋學院養殖系陳建初主任、研究助理劉秉忠及鹿港分所諸同仁之熱心協助得以完成，謹致謝意。

## 參考文獻

1. 陳建初 (1981)，水質分析，九大圖書公司。
2. 陳建初 (1983)，水質管理，九大圖書公司。
3. 千葉 健治 (1980)，水質環境と魚類の成長—I、II，水產増殖第 28 卷第 1 號，1—16。
4. Nägel, Ludwig (1980), Water-reuse systems in aquaculture, *Animal Research and Development*, Vol. II, 12—31.
5. 美國公共衛生協會等 (1965), *Standard Method for Examination of Water and Waste Water*.
6. H. Bleier (1972), *Water Research*, 6, 605—609.
7. R. D. Mayo, A Technical and Economic Review of the Use of Reconditioned Water in Aquaculture, *Advances in Aquaculture*, 508—520.
8. 蔡添財、簡肇衡、余廷基 (1983)，硫化物及銨鹽對鰻魚、吳郭魚之急性毒性，台灣省水產試驗所試驗報告第 34 號，259—264。
9. 侯英物 (1984)，循環水養魚簡介。