

養殖用水循環試驗

中鋼爐石濾材及臭氧對池水 再處理之水質變化和吳郭魚養殖之影響

余廷基·張永坤

**Studies on Circulating Water-reuse Systems
for Aquaculture-The efficiency of hearth-stone
filter and with ozone applied to *Tilapia* culture**

Ting-Cbi Yu and Yeong-Kuen Chang

1. Five concrete ponds (13.5m² X 0.52m) were used in the experiment, 140 fish(tilapia) were stocked in each pond, the stock density was 20 fish/m³. Except the still-ground water pond (A pond), water inflow rate was controlled at 14.6 l/min. The rearing water of D pond was running ground water (without water re-used system), the test periods from 16 November, 1985 to 17 March, 1986.
2. The water bulk of the other three ponds (B.C.E) were circulated. The filter materials of B pond was hearth-stone but C pond without filter and the filter of E pond was gravel with ozone. Before 17 March, 1986, the inflow water was circulating water mixed with ground water (3:2), then the mixed ratio was below to 3:1. The test proceeded 5 months (from 16 November, 1985 to 19 May, 1986).
3. As the experiment went by, NH₄⁺ -N, NO₂⁻ -N, BOD, and turbidity of the inflow water of circulating ponds were increasing gradually, and pH was decreasing gradually.
4. Except C pond, the mean daily growth rate of tilapia had positive correlation with water temperature.
5. The growth condition of tilapias in B pond was no good at first but after two months passing, the growth condition was changed and even better than that in E ponds.
6. Tilapia grew in circulating pond without filter (C pond), their growing rate was worse than circulated ponds with filters.

前 言

許多先進國家，諸如：美國、日本、德國等，因其優良天然水質源的缺乏，或預防其過度之使用，無不致力於研究將魚池排出的水經過適當的處理後予以再利用之技術與方法。而我國，近年來養殖漁業蓬勃發展，普遍大量地取用地下水源已造成地層嚴重下陷，當局雖然曾適當地管制使用地下水源，然而可取代地下水源之河川水源又被工業及家庭廢水嚴重污染，所以，為達到最少養殖用水使用量，研究開發過濾循環系統之水質淨化處理方法和使用技術，應極具可行性。因此，本分所於七十四年度起以砂礫為濾材，計劃逐年更換過濾材料及處理方法，本次試驗是以中鋼廢棄物爐石為濾材另外在使用砂礫濾材之同時加上臭氧處理，分析比較其處理過程中水質之變化和養殖的效果，提供將來之參考與改進。

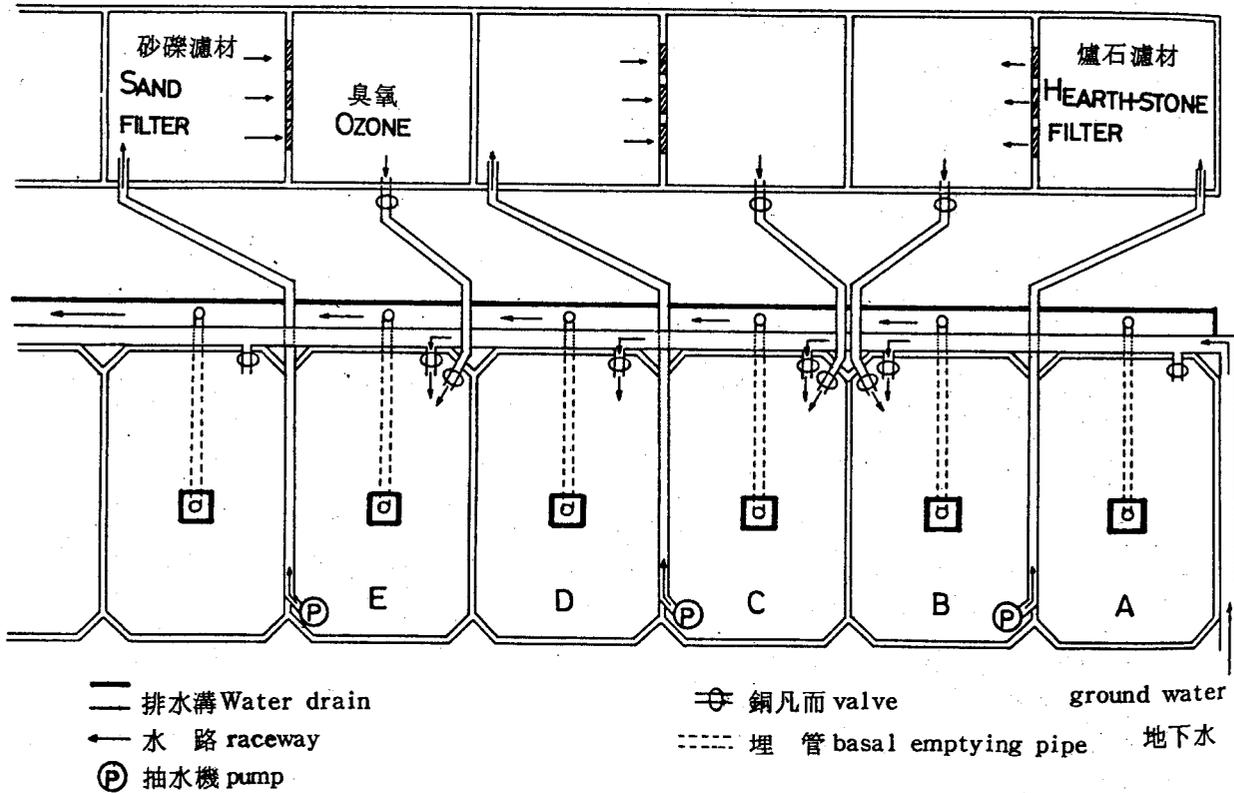


圖 1 過濾循環設施

Fig. 1 Schematic representation of the recycle-systems

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*) 交配之雄性子代，平均體重 114.91 公克。
- (二)試驗設備：請參圖 1。

表 1 飼育條件

Table 1 Experimental condition

| Pond | size m ³ | kind of filter | filtered water inflow rate (l/min) | | ground water inflow rate (l/min) | |
|------|------------------------|-------------------|---------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| | | | 11 Nov. '85 17 Mar. '86 | 17 Mar. '86 16 May. '86 | 11 Nov. '85 17 Mar. '86 | 17 Mar. '86 16 May. '86 |
| B | 6.75-7.42 | hearth-stone | 8.76 | 10.95 | 5.84 | 3.65 |
| C | 6.75-7.42 | blank | 8.76 | 10.95 | 5.84 | 3.65 |
| D | 7.02 | - | | 0 | | 14.6 |
| E | 6.75-7.42 | sand+ozone | 8.76 | 10.95 | 5.84 | 3.65 |
| A | 7.02 | - | | - | | - |

A. 試驗水槽：長八角型水泥池平均面積約 13.5 m² 五組，水深均為 50 至 55 公分。

B. 循環水槽：相連兩個 3.2 m × 2.95 m × 1.3 m 之水泥槽三組，一組鋪設 6.14 m³ 之砂礫，一組鋪設 6.13 m³ 之爐石，第三組空白，前兩組表層並鋪滿兩層塑膠紗網。

二、試驗方法：

(一)試驗水槽分為五組：每組均放養 140 尾試驗魚，即平均放養密度 20 尾/m³。除 A 組外，各組注水量均為 14.6 l/min 即 8 小時注滿試驗池之流量，實驗開始至 3 月 17 日，B、C、E 三組循環水與地下水以 3 : 2 混合注入試驗池，17 日以後改以 3 : 1 混合注入。請參表 1。

A 組：止水養殖。(止水組)

B 組：以地下水和經中鋼爐石為濾材過濾處理之水，按比例注入試驗池。(爐石組)

C 組：以地下水和經空白過濾槽之水，按比例注入試驗池。(空白組)

D 組：直接注入地下水作流水式養殖。(地下水組)

E 組：以地下水和經砂礫濾材過濾加上臭氧處理之水，按比例注入試驗池。(砂礫臭氧組)

(二)水質試驗除 A 組止水組採底層水外，其餘各組採注入水及排出水，其中 B、C、E 三組所採之注入水為經循環水槽處理後尚未與地下水混合之水，每週週三(週假日延至週四)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)。

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

4. NH₄⁺-N (Nessler 法)。

5. NO₂⁻-N (Wood-Armstrong-Richard 法)。

6. BOD₅ (WTW BSB-Controller Model 11010T).

7. Turbidity (Monitor Turbidimeter).

(三)視殘餌情形，每日增減投餌量，以最多殘餌量一組為依據，使各組每次投餌量佔其總體重之百分比值皆相同。每月中旬排乾池水測定各組魚重並算其尾數，死亡之尾數由另蓄養池中平均體重相等者補足後再行放養。飼育成果依下列各式計算：

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

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

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

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

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

W_t : 養殖 t 時間後之平均體重 (g).

W_o : 養殖開始之平均體重 (g).

N_o : 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，其變化範圍之最高值和最低值請看表 2。

由於實驗從 11 月中旬開始，氣候溫和加上地下水注入比例增加，各試驗組除地下水組外，彼此間之水溫變化差異不明顯，12 月底開始呈不規則變化，75 年元月底普遍有下降之趨向，A 池即止水組出現最低值 9.7°C，3 月中旬後，水溫極明顯回升，各組間幾乎無法看出差異。由圖 2 可看出地下水水溫穩定，全期皆維持在 25.8 至 27.5°C 之間，各組之由循環槽注入試驗池之水溫明顯地比經地下水混合後之試驗池排水水為低，另砂礫臭氧組之注入水水溫受氣溫影響最顯著，氣溫高時，E 池之注入水水溫顯然高於其他流水式養殖池之注入水，氣溫低時則相反，其變化範圍 13.1 至 27.5°C 居各流水式試驗池之冠。

pH 值之變化情形請參圖 3。A 池止水組之 pH 值皆較其餘各組高，隨著每月中旬因測魚重需要而重新換地下水，pH 下降，但飼育期間漸增，pH 值亦跟著增高。C 池 (濾材空白組) 之變動範圍明顯可看出較其餘各組低，且隨著試驗期間之增加而各組皆漸下降。B、D 及 E 三池排水水之 pH 值稍高於注入水，排水水之 pH 變化範圍為 7.27 至 8.39，注入水則為 7.40 至 8.58。

砂礫臭氧組所測得之 DO 量普遍高於其餘各組，而其中注入水又高於其排水水。由圖 4 之曲線中可看出：BD 兩池之注入水之 DO 值均較其本身之排水水及 CE 兩池之排水水低。

表 2 飼育水水質 (最低值—最高值)
Table 2 Water quality (lowest-highest) during culturing period

| Item | Pond | Pond | | | | |
|-------------------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | B | C | D | E | A |
| W.T. °C | inflow | 14.3-27.2 | 14.2-27.7 | 25.8-27.5 | 13.1-27.5 | 9.7-27.8 |
| | outflow | 16.8-26.8 | 16.7-27.1 | 20.2-27.3 | 16.5-26.7 | |
| pH | inflow | 7.67-8.39 | 7.18-7.76 | 7.27-8.04 | 7.55-8.03 | 7.92-8.80 |
| | outflow | 7.83-8.58 | 7.08-7.91 | 7.40-8.39 | 7.59-8.48 | |
| DO ppm | inflow | 3.7-8.0 | 3.9-8.3 | 3.9-6.2 | 6.8-9.8 | 4.1-9.2 |
| | outflow | 5.9-8.3 | 5.7-8.0 | 6.2-8.9 | 6.5-9.2 | |
| NH ₄ ⁺ -N ppb | inflow | 352-986 | 417-970 | 512-800 | 121-417 | 118-459 |
| | outflow | 269-611 | 289-629 | 309-534 | 283-566 | |
| NO ₂ ⁻ -N ppb | inflow | 5.9-30.4 | 5.6-32.7 | 2.3-8.9 | 5.0-21.9 | 0.5-2.1 |
| | outflow | 5.4-29.8 | 5.1-32.9 | 2.4-8.0 | 6.8-19.7 | |
| BOD ppm | inflow | 4.2-16.5 | 4.2-17.9 | 0.7-6.5 | 3.8-14.3 | 4.0-18.4 |
| | outflow | 6.7-15.9 | 5.9-17.8 | 1.4-10.8 | 4.3-13.9 | |
| Turb. N.T.V. | inflow | 40 - 87 | 56 - 109 | 2.5-6.1 | 45 - 89 | 10 - 49 |
| | outflow | 36 - 51 | 43 - 85 | 4.7-8.2 | 38 - 50 | |

A : still water.

D-inflow : ground water.

B-inflow : hearth-stone filtered water
mixed with ground water

E-inflow : sand filtered water + ozone
mixed with ground water.

C-inflow : cyclical water without filter
mixed with ground water.

NH₄⁺-N之變化恰好與DO相反。BCD三池之注入水NH₄⁺-N量均高於其排出水。由圖5之各曲線變化中，E池即砂礫臭氧組注入水曲線變動範圍為121至417 ppb明顯地較其餘各組低。

各試驗組之NO₂⁻-N含量皆極低，最高值為出現在C池濾材空白組排出水，僅32.9 ppb而已。A池之NO₂⁻-N含量最低僅0.5至2.1 ppb，幾乎不易測出其存在。

各循環水槽試驗組之注入水中NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、BOD和濁度均隨著飼育期間之經過漸增。C池之NO₂⁻-N、BOD和濁度值之大更為各組之首。

觀察各試驗組之水色變化情形：A池每月中旬排乾池水換入地下水後由鮮綠轉為濃綠而後泛黃。B池初期仍保持極佳之透明度，74年年底過濾槽中水色漸變為棕黃色，而後水質仍保持良好透明度但紅色因子漸顯明。C池之空白過濾槽，使用初期很快地由鮮綠轉為深綠，透明度極低，水質漸感黏性，注入水之輸水塑膠半透明軟管極易因附生藻類阻塞管徑，而造成流量漸減。D池因完全為地下水且注入量大，全期皆維持清澈見底。E池透明度不高，但全期皆呈鮮綠色。

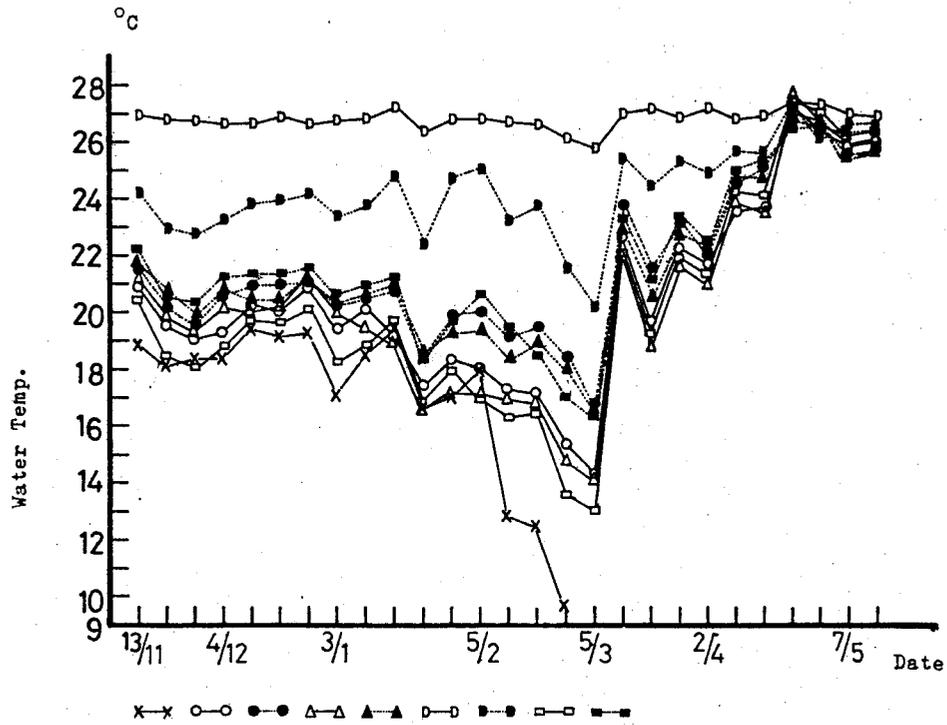
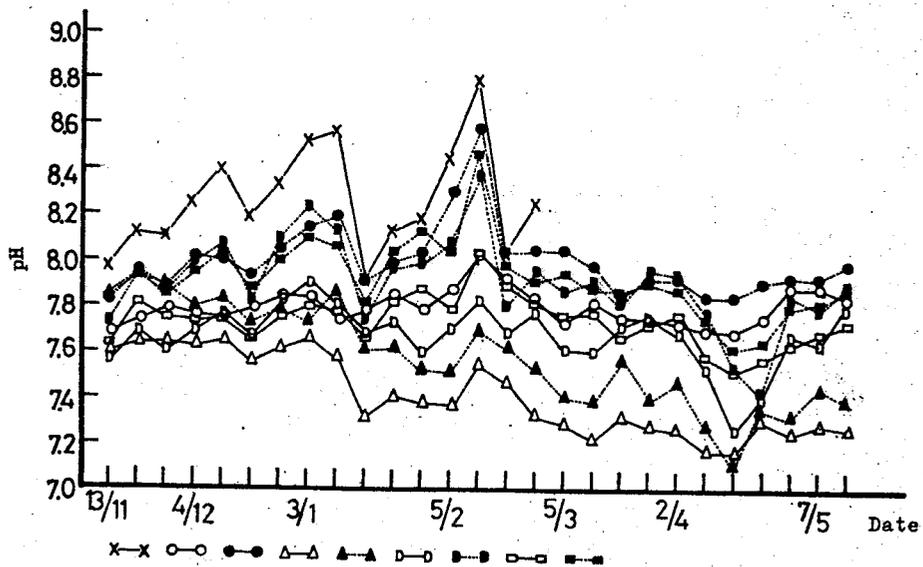


圖 2 飼育期間水溫之變化

Fig 2 The variations of water Temperature in rearing duration.



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

圖 3 飼育期間 pH 之變化

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

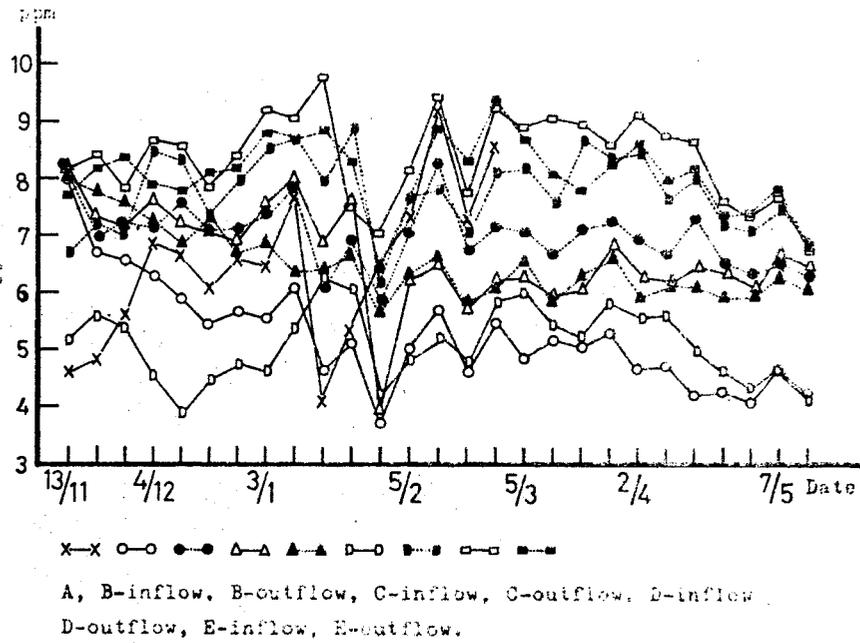


圖 4 飼育期間 DO 之變化
 Fig.4 The variations of DO in culturing duration.

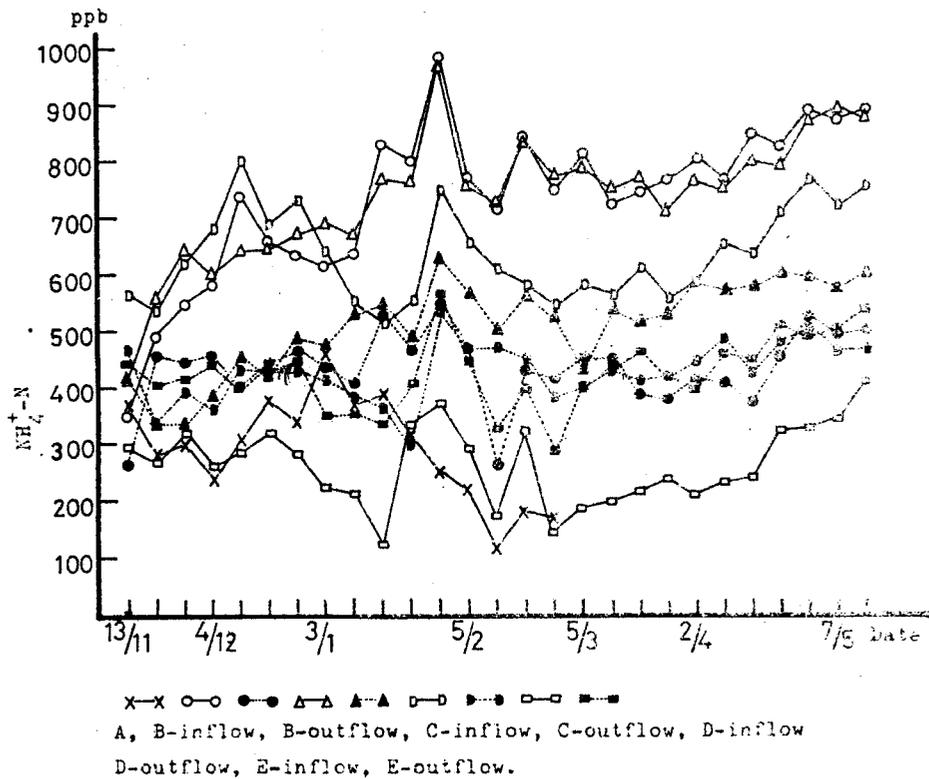


圖 5 飼育期間 NH_4^+-N 之變化
 Fig. 5 The variations of NH_4^+-N in culturing duration.

表3 飼育成果

Table 3 Growth data of Tilapia during experimental period.

| (days of reared) | Pond | Mean body wt. (g) | | Total amount consumed (g) | Mean daily rate of growth (g) | Mean daily rate of feeding (g) | Coefficient of growth (g) | Conversion factor | Survival rate (g) | Note |
|---|------|-------------------|--------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | Initial | Final | | | | | | | |
| 11 Nov. '85 { 12 Dec. '85 (30) | A | 115.02 | 133.21 | 7164.51 | 0.49 | 1.37 | 35.59 | 2.81 | 100 | |
| | B | 112.50 | 127.63 | 7008.75 | 0.42 | 1.39 | 30.11 | 3.32 | 99.29 | |
| | C | 117.01 | 130.80 | 7289.10 | 0.37 | 1.41 | 26.31 | 3.80 | 98.57 | |
| | D | 116.03 | 139.93 | 7226.82 | 0.62 | 1.35 | 46.19 | 2.17 | 99.29 | |
| | E | 114.07 | 126.71 | 7106.65 | 0.35 | 1.41 | 24.91 | 4.02 | 100 | |
| 12 Dec. '85 { 14 Jan. '86 (32) | A | 133.21 | 136.00 | 8206.00 | 0.06 | 1.36 | 4.75 | 21.04 | 99.29 | |
| | B | 127.63 | 137.50 | 7805.60 | 0.23 | 1.31 | 17.71 | 5.65 | 100 | |
| | C | 130.80 | 146.93 | 7942.00 | 0.36 | 1.28 | 28.44 | 3.52 | 100 | |
| | D | 139.93 | 160.46 | 8558.00 | 0.43 | 1.27 | 33.59 | 2.98 | 100 | |
| | E | 126.71 | 144.11 | 7805.60 | 0.40 | 1.29 | 31.20 | 3.21 | 100 | |
| 14 Jan. '86 { 14 Feb. '86 (31) | A | 136.00 | 151.46 | 11138.40 | 0.35 | 1.79 | 19.44 | 5.15 | 100 | |
| | B | 137.50 | 164.79 | 11261.25 | 0.58 | 1.72 | 33.92 | 2.95 | 100 | |
| | C | 146.93 | 170.86 | 12033.45 | 0.49 | 1.75 | 27.84 | 3.59 | 100 | |
| | D | 160.46 | 198.75 | 13139.10 | 0.69 | 1.69 | 40.79 | 2.45 | 100 | |
| | E | 144.11 | 173.32 | 11802.38 | 0.59 | 1.71 | 34.65 | 2.89 | 100 | |
| 14 Feb. '86 { 17 Mar. '86 (31) | A | - | - | - | - | - | - | - | 27.14 | A組於3月3日死亡102尾試驗中止 |
| | B | 164.79 | 178.93 | 11535.00 | 0.27 | 1.55 | 17.17 | 5.83 | 100 | |
| | C | 170.86 | 179.68 | 11960.00 | 0.16 | 1.57 | 10.33 | 9.68 | 100 | |
| | D | 198.75 | 233.64 | 13912.50 | 0.52 | 1.48 | 35.11 | 2.85 | 100 | |
| | E | 173.32 | 184.46 | 12132.50 | 0.20 | 1.56 | 12.86 | 7.78 | 100 | |
| 17 Mar. '86 { 16 Apr. '86 (30) | B | 178.93 | 204.14 | 9769.50 | 0.44 | 1.21 | 36.13 | 2.77 | 100 | |
| | C | 179.68 | 184.53 | 9810.45 | 0.09 | 1.28 | 6.93 | 14.44 | 100 | |
| | D | 233.64 | 269.61 | 12756.90 | 0.48 | 1.21 | 39.47 | 2.53 | 100 | |
| | E | 184.46 | 209.57 | 10071.75 | 0.42 | 1.22 | 34.89 | 2.87 | 100 | |
| | B | 204.14 | 223.18 | 11289.10 | 0.30 | 1.26 | 23.61 | 4.24 | 100 | |
| 16 Apr. '86 { 16 May. '86 (30) | C | 184.53 | 195.07 | 10204.83 | 0.19 | 1.28 | 14.46 | 6.92 | 100 | |
| | D | 269.61 | 297.64 | 14909.28 | 0.33 | 1.25 | 26.44 | 3.80 | 100 | |
| | E | 209.57 | 231.01 | 11588.91 | 0.32 | 1.25 | 25.90 | 3.86 | 100 | |

在飼育成果方面，請參表 3。

在全期的試驗中，除 A 池於 3 月 3 日死亡 102 尾外，總死亡尾數僅 5 尾，其中以試驗開始的第一個月也就是 74 年 11 月 11 日至 12 月 12 日，B 池死亡 1 尾，C 池 2 尾，D 池 1 尾，總共 4 尾較為嚴重。E 池飼育的六個多月期間無任何的死亡。

六個月的飼育期，平均每日成長率以 D 池最高。第一個月之順位為 D 池 > A 池 > B 池 > C 池 > E 池，第二個月為 D 池 > E 池 > C 池 > B 池 > A 池。第三個月為 D 池 > E 池 > B 池 > C 池 > A 池。第四、五兩個月相同均為 D 池 > B 池 > E 池 > C 池。最後一個月則又恢復與第三個月同。全期來看為 D 池 > E 池 > B 池 > C 池 > A 池。

平均每日攝餌率在本次試驗中，各組間差異不大，最大差值出現在 75 年 1 月 14 日至 2 月 14 日的 A 池與 D 池差僅 0.10%。除第一個月外，全期之平均每日攝餌率以 A 池最高，C 池次之，B、E 兩池相近，D 池最低。

A 池在放養的第一個月攝食的情形良好，但其後則較他組明顯偏低。控制佔各組總體重比例相同的投餌量，很容易可觀察到：D 池在十分鐘左右即會索光殘餌，B、E 兩池約需四十分鐘，C 池約一小時。各組間餌料效率大小順序與平均每日成長率相同，但除第一個月外，A 池均出現最小值。全期來看，其大小順位為 D 池 > E 池 > B 池 > C 池 > A 池。

增重係數大小順序與餌料效率完全相反。74 年 11 月 11 日至 12 月 12 日為 E 池 > C 池 > B 池 > A 池 > D 池，74 年 12 月 12 日至 75 年 1 月 14 日為 A 池 > B 池 > C 池 > E 池 > D 池，1 月 14 日至 2 月 14 日為 A 池 > C 池 > B 池 > E 池 > D 池，2 月 14 日至 4 月 16 日為 C 池 > E 池 > B 池 > D 池，4 月 16 日至 5 月 16 日為 C 池 > B 池 > E 池 > D 池。全期來看其順位為 A 池 > C 池 > B 池 > E 池 > D 池。

討 論

1 至 3 月氣溫偏低，尤其是 3 月 3 日低至 5°C，受其影響致水溫變化最大的是止水組，最高值與最低值差達 18.1°C，雖然本次實驗提高了地下水之混合比例，但砂礫臭氣組因曝氣之結果，水溫溫差亦高達 14.2°C，爐石組與空白組溫差相近，而地下水組最少僅 7.1°C。

余、張在 (1985) 養殖用水循環使用試驗報告以砂礫過濾循環水和地下水混合飼育吳郭魚結果指出：地下水注入量少的試驗池水溫低、溶氧低和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 重增加，造成吳郭魚成長不佳。而由本次試驗增加地下水注入比例及減少注滿試驗池之時間，水質變化和飼育成果較顯著的關係為水溫與平均每日成長率呈正相關，顯示影響魚體成長最大者應為水溫，亦即循環過濾系統中水溫對魚體之成長仍為重要因子。

3 月 3 日氣溫低達 5°C，止水組水溫低達 9.7°C，導致試驗魚凍斃比例高達 72.86%，此組試驗中止。往往要使水溫適合養殖，使用太陽能或池加蓋等方式，可降低能源需求。

pH 值過高或過低均會造成平均每日成長率降低。某些循環處理系統所造成之水質變化往往使 pH 值變得不再適合養魚，這通常是因 pH 的影響使氨以離子狀態存在，為了維持 pH 於適當的範圍，化學緩衝劑往往會被應用在循環系統上，其緩衝系統包括碎牡蠣殼濾材、石灰石濾材及添加如蘇打、灰分或石灰的化學緩衝劑。

曝氣可提供數項處理需求，如加熱、冷卻、增加溶氧及去除如 CO_2 、 NH_3 、氮等氣體。利用臭氧來處理污水時，可將經生物性作用不易分解掉的有機化合物分解為小分子，然後再被細菌代謝掉。在臭氧處理污水時，水中的蛋白質可予去除，這個功能使其在污水之生物性處理過程中成為一個有用的補助性方法。曾有人指出臭氧能提供毒性殘留和病源之控制，且對 Virus 病毒之控制最有效，其真實性未可知。

砂礫臭氣組因臭氧曝氣之結果，其 DO 含量偏高且其注入水高於排出水。但在其他試驗組中，因水

充分流動加上濾床生育之微生物進行氧化作用，使溶氧降低，致各組注入水之 DO 量普遍小於排出水。

將魚池池水或其排出水汲起再落入池中使用，理論上這種設施如能加大注水量，則能因曝氣而溶氧增加，水流速增快導致糞便和殘餌能有效地去除，然而隨試驗之進行，濾材空白組之餌料效率由 28.44 % 降至 6.93 %，增重係數由 3.52 增至 14.44，顯見未具濾材之循環系統，雖有流水養殖作用，但依長期試驗結果證實其試驗魚之成長遠較有使用濾材者差。可是濾材空白組在第一個月所飼育之魚成長之佳，似乎上述效用可短期應用在無濾材設備的循環水槽上。

本實驗併用循環水或僅注入地下水作比較，由於循環水落下時水流和曝氣，使排出水具較高之 DO 量。另外，循環過濾較僅循環者之 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 多； $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 少，可見濾材有使 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 酸化之效果。

與平均每日成長率及餌料效率有關之水質分析項目為 DO、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 等。隨著 DO 之下降與 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 之增加，造成平均每日成長率及餌料效率之下降；不過，因 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 DO 等有相互關連的關係，到底那個項目較具影響力尚無法判斷，也許其中有僅是外表關連之項目而已亦未可知。

從各組 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 量漸增之曲線說明：濾材中氮化作用的效果，當水溫和 pH 值維持在可接受之程度時，其效果決定於介質的留置時間和固形物之量。此效果和介質留置時間成正比，懸浮的有機物濃度高時，會干擾濾材的氮化作用，所以污水在進入濾材之前，必須清除其大部份粒子固體和從沈澱池中不斷地移去沈澱固體，以確保氮適當地被氧化。許多設計者提出建議：養魚池之水循環系統中，如果能將池中固形物沈澱，則經濟上要來得節省許多。

循環過濾水槽之 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 量稍高，此由於濾材中亞硝化菌之作用，無濾材之循環水槽 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 低於前者，其原因為沈澱堆積物的停留造成和濾材同樣的作用。

機械性過濾法是以砂、微細的牡蠣殼碎片和礮石等材料機械性地過濾固體粒子，其他如 pH 調整或生物過濾的變化可能發生於機械過濾的過程中，大部份的機械過濾系統能顯著降低池水之有機（沈澱性和膠質狀）粒子和無機粒子之存在，而溶解性物質則僅能少量降低。

一個新的水循環系統，初期會產生亞硝酸鹽，所以魚放養量最好以漸進方式為之，以免魚因亞硝酸毒素而死亡。

循環過濾槽應用在養鰻上之設計：

一、飼育密度以 25 Kg/m³ 較佳。

二、用碎石為濾材時，最小粒徑以 3—5 cm 之程度。

三、循環水量的影響：速度快溶氧消費少，淨化量大。循環水量大，滯留時間長，溶氧消費增加。

四、濾材深度

(一) 濾砂細時，表層半數達到淨化，下層無效。

(二) 砂粒大，濾速快，則上下均一可達到淨化。

(三) 配合管理作業需求，過濾槽高度在 150 cm 以內較適當（深 100 cm）。

五、考慮濾材洗淨、污泥排出設施之配合措施。

六、新水注入量

循環過濾池由於蒸發、漏水等，每天減少水量約 2 %。日本三重縣水試所使用無注水及每天注水 2 %、10 %、20 % 經 35 天比較結果並無差異。

七、粒徑為 3—5 cm 的石灰石為濾材時，過濾池之設計

例：養 100 公斤鰻魚，若一天平均投飼配合飼料 1.5 公斤，飼養一個月所必需之過濾槽設計為鰻每 m³ 收容 25 Kg 時，100 Kg 飼育水量為 4 m³，依此條件需飼育水量的 35 % 濾材數量，則可順利完成淨化，並在一個月內不必注水。

一般複雜的水循環系統占整個設備成本的 20 %，主要問題在於最經濟的處理系統是哪一種？其答

案視養殖場之結構和地點而不同。一般需要循環系統的情況為可供使用之水源水量不適合所提出的養殖要求及處理過程合乎所提出之養殖計畫中水質需求的最經濟組合兩種。

瞭解水過濾處理系統在科技的意義和其在水產養殖上的應用，或許會對許多水產養殖設計之經濟性產生顯著的衝擊，由國外資料中發現：此項科技正以加速度的步調發展，經濟顯示其在大規模養殖生產上，不失為有效的工具。

摘 要

一、本試驗於五組水泥池中進行。各試驗水槽之平均體積約 $13.5 \text{ m}^2 \times 0.52 \text{ m}$ ，放養 140 尾吳郭魚，即平均放養密度為 20 尾 / m^3 。除止水養殖組 (A 池) 外，各組總注水量均為 14.6 l/min ，即 8 小時注滿試驗池之流量。一組直接注入地下水 (D 池)，實驗開始至 3 月 17 日，另三組分別為經中鋼爐石過濾處理 (B 池)，經空白濾材 (C 池) 及經砂礫濾材加上臭氧處理 (E 池) 之循環水與地下水以 3 : 2 混合注入試驗池，3 月 17 日以後則以 3 : 1 混合注入，進行六個月之實驗 (74 年 11 月至 75 年 5 月)。

二、各循環水槽之注入試驗池之水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、BOD 和濁度隨著飼育期間之經過漸增，pH 則漸降。

三、除濾材空白組外，平均每日成長率與水溫呈正相關。

四、以中鋼廢棄物爐石為濾材，初期飼育效果不彰，但經兩個月的使用後，其效果和砂礫濾材相差無幾，甚或優之。

五、未具濾材之循環系統雖有流水養殖效果，但依長期試驗結果證實其試驗魚之成長速較使用濾材者差。

謝 辭

本試驗承蒙所長李燦然博士之鼓勵及鹿港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. Nagel, Ludwig (1980). Water-reuse systems in aquaculture, *Animal Research and Development*, Vol. II, 12 — 31.
4. 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 期，1 — 16.
5. 侯英物 (1984). 循環水養魚簡介。
6. R.D. Mayo, A Technical and Economic Review of the Use of Reconditioned Water in Aquaculture, *Advances in Aquaculture*, 508 — 520.
7. R.D. Mayo, A Technical and Economic Review of the Use of Reconditioned Water in Aquaculture, *Advances in Aquaculture*, 508 — 520.
8. 余廷基、張永坤 (1985). 養殖用水循環使用試驗，台灣省水產試驗所試驗報告。