

循環水在淡水魚類養殖上之應用

余廷基*

摘 要

本省地貌山高水短,養殖用淡水資源極其有限。從如何有效利用水資源的層面來考慮,循環水設施是比較經濟而方便之選擇。為了解循環水設施用於淡水養殖上之效益,本研究自 1985 至 1989 年選定本省淡水養殖之主要種類—吳郭魚及鰻魚為對象,在循環水設施、濾材與操作方法上做系列的探討。經研究改進,池魚之放養密度由原先之 15 尾/m³提升到 66 尾/m³,而循環水養殖者池魚成長情形及飼料效益也漸與地下水流水式養殖者相若,歷年來,本研究之試驗結果綜述如下:

1. 循環水養殖者之水色較地下水流水式養殖者為佳,但前者濾材對有機物之負荷能力有其一定限度,極易導致濾牀阻塞,水質驟變,須定期加以清洗。
2. 循環水組普遍有排放水之溶氧高於注入水者的現象,若於過濾池配合臭氧處理則可提高溶氧。
3. 循環水養殖之池魚成長及餌料效率優於止水式者。
4. 循環水組之水中硬度隨使用時間之增長而逐漸降低。
5. 循環水因曝氣而充份與空氣接觸,在低溫期易受氣溫影響而水溫下降,對不耐低溫之養殖對象頗為不利。

由於本研究全部在室外進行,而試驗期間均涵蓋冬季,所以有循環水者之水質條件優於地下水流水式者,但成長情形前者卻略遜於後者之現象,因此,若能在本省低溫期配合防寒設備或措施,以提高池水水溫,當有利於池魚之生存與生長,循環水之使用也會更趨理想。

關鍵詞:淡水魚,循環水養殖。

循環水應用在淡水魚類養殖上之實例

本省陸上淡水養殖漁業興盛,由於大量抽取地下水,對水產用水之使用既缺乏經濟性且易造成沿岸地層之嚴重下陷。在減少地下水使用量之各種方法中,循環水設施是比較經濟且方便之選擇⁽¹⁾。為瞭解循環設施在淡水養殖上之效益,本分所歷年來在試驗材料與方法上力求改進,池魚之放養密度也由 15 尾/m³提升到 66 尾/m³⁽²⁻³⁾;試驗過程與結果報告如下:

74 年度:

試驗用魚:本分所生產之雜交吳郭魚,平均體重 1.78 公克,平均體長 3.68 公分。

試驗設施(Fig.1):

1. 沈澱池:6m×4.5m×2m 之長方形水泥池
2. 砂礫過濾槽:13.9m×4.5m×1.8m 之長方形水泥槽,槽中鋪設 40.66m³之砂礫,表層鋪厚 5 公分以上之海綿墊。

* 臺灣省水產試驗所 鹿港分所

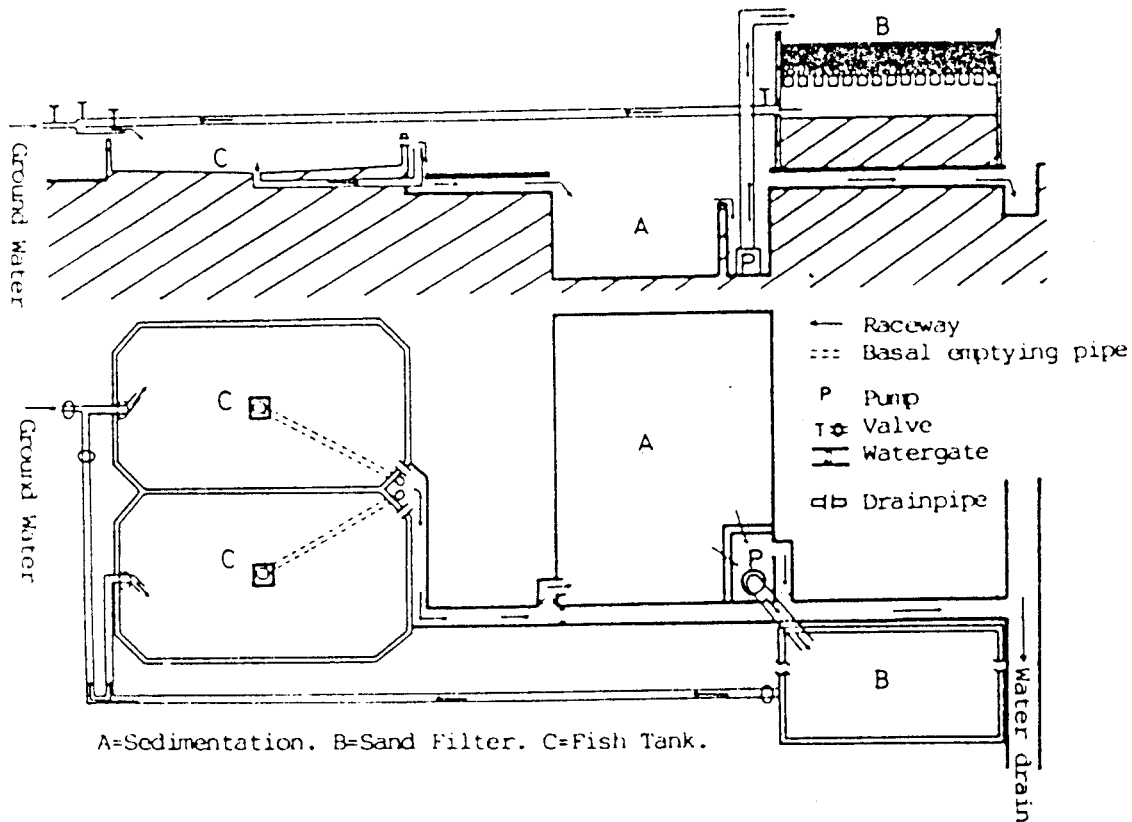


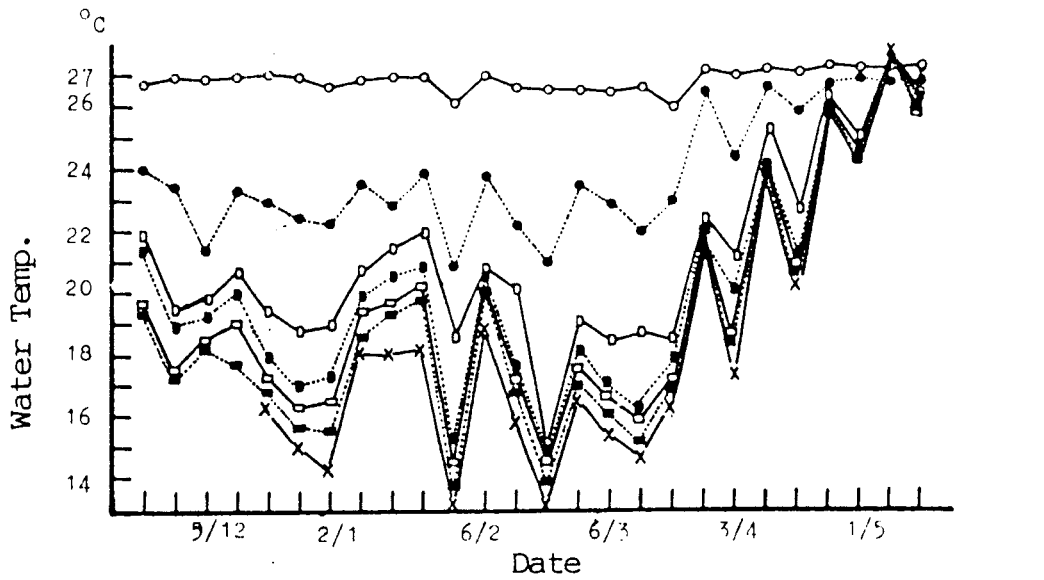
Fig.1 Schematic representation of a recycle-system with sand filter.(1985-1986)

3. 養殖池：面積 18.2m^2 之長八角形水泥池三座及 12.7m^2 同形水泥池一座，水深同為 55 公分。

試驗方法：A池：地下水組，面積 12.7m^2 ，注水量 9.7 l/min ，放養池魚 105 尾，直接注入地下水做流水式養殖。B池：混合水組，面積 18.2m^2 ，注水量 13.9 l/min ，放養 150 尾，地下水與循環水以 1 : 3 比例混合注入養殖池，排出水經過濾處理後，取需要量注入養殖池。C池：循環水組，面積 18.2m^2 ，注水量 13.9 l/min ，放養 150 尾，養殖池排出水經過濾處理後，注入養殖池。D池：止水組，面積 18.2m^2 ，採止水養殖，平均放養密度為 $15\text{ 尾}/\text{m}^2$ 。水質測定每週進行一次，止水組採底層水，其餘各組採注入水與排出水分別測定。每月中旬排乾池水測定魚體成長情況與活存率、餌料係數等。

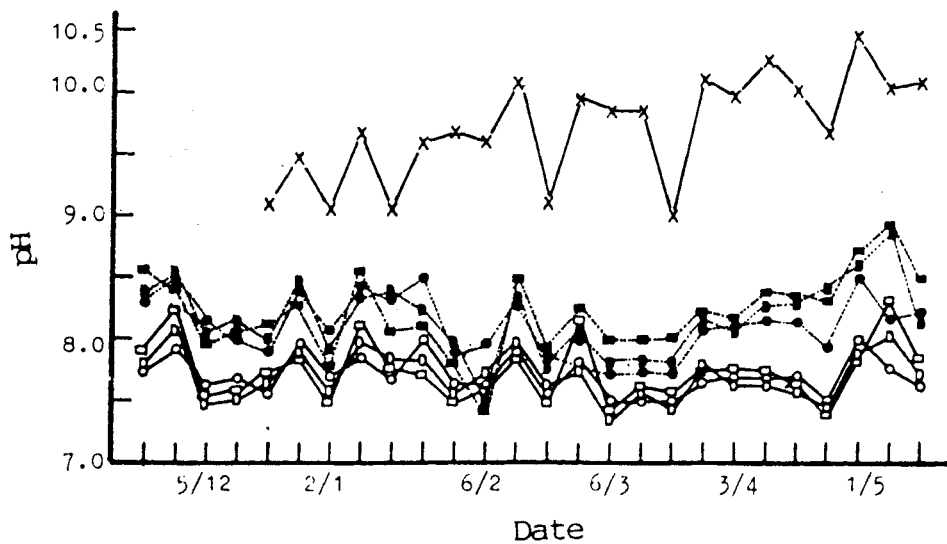
試驗結果：如 Fig.2 所示，試驗期間除 A 池水溫全期皆維持在 $26^\circ\text{C} \sim 27.3^\circ\text{C}$ ，其它池之水溫在 12 月至 3 月氣溫偏低時，均普遍下降，D 池出現最低值，為 13.2°C 。各池水溫為 A 池注水 > A 池出水 > B 池注水 > B 池出水 > C 池注水 > C 池出水 > D 池。四月起，氣溫回升後，各池之水溫差異逐漸減小。在 pH 值方面，顯示 D 池之 pH 值遠高於其餘三池 (Fig.3)；每月中旬因測魚重新換水後，D 池之 pH 值均先下降，然後隨著飼育期間之增長而漸增，其餘各池之 pH 值則在 $7.2 \sim 8.9$ 間變化。此外，其排出水之 pH 值均略高於注入水。

溶氧量以 D 池最高 (Fig.4)，另三池溶氧量之變化則不太規則，但可看出排出水之溶氧明顯地高於注入水。 $\text{NH}_3\text{-N}$ (氨態氮) 量三月前變化極大 (Fig.5)，一般為 C 池入水 > B 池入水 > A 池入水。三月中旬後，變化範圍縮小，不過 A 池顯然稍高於 B、C 兩池。D 池又較其它兩池為低。



○—○ A—inflow; ●—● A—outflow; □—□ B—inflow; ■—■ B—outflow;
 □—□ C—inflow; ■—■ C—outflow; X—X D—still water

Fig.2 The variations of water temperature in rearing duration.(1985—1986)



○—○ A—inflow; ●—● A—outflow; □—□ B—inflow; ■—■ B—outflow;
 □—□ C—inflow; ■—■ C—outflow; X—X D—still water

Fig.3 The variations of pH values in rearing duration.(1985—1986)

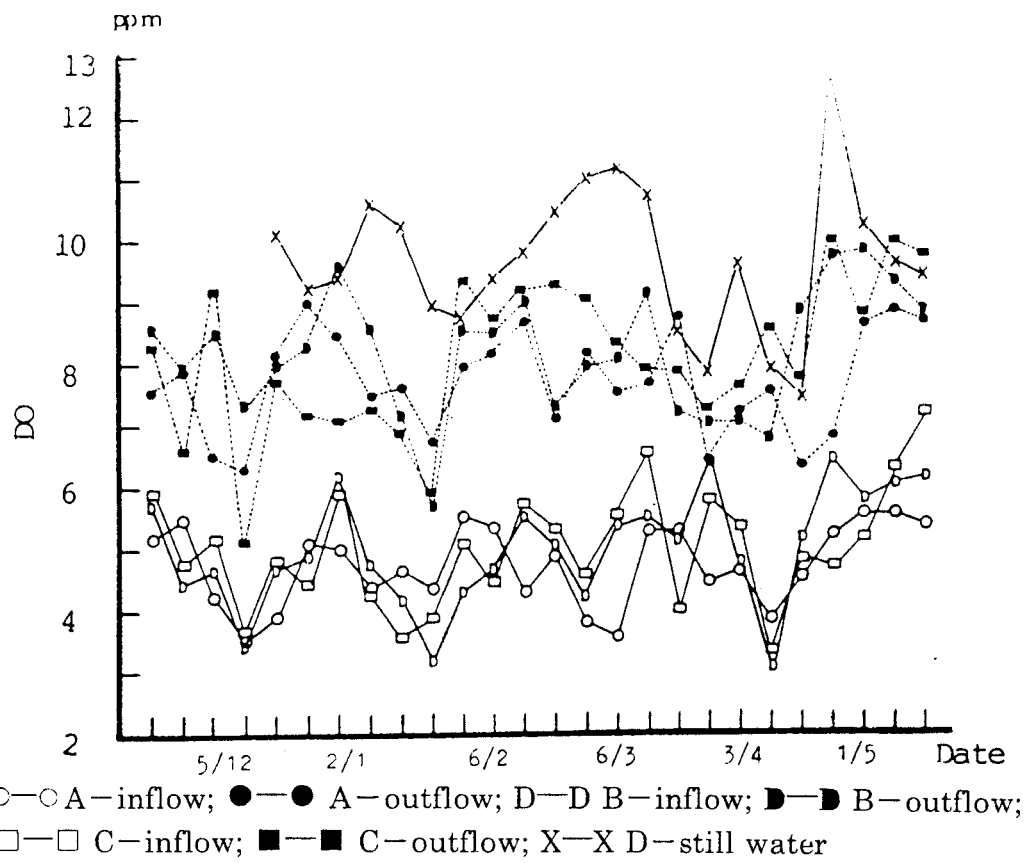


Fig.4 The variations of D.O. in rearing duration.(1985-1986)

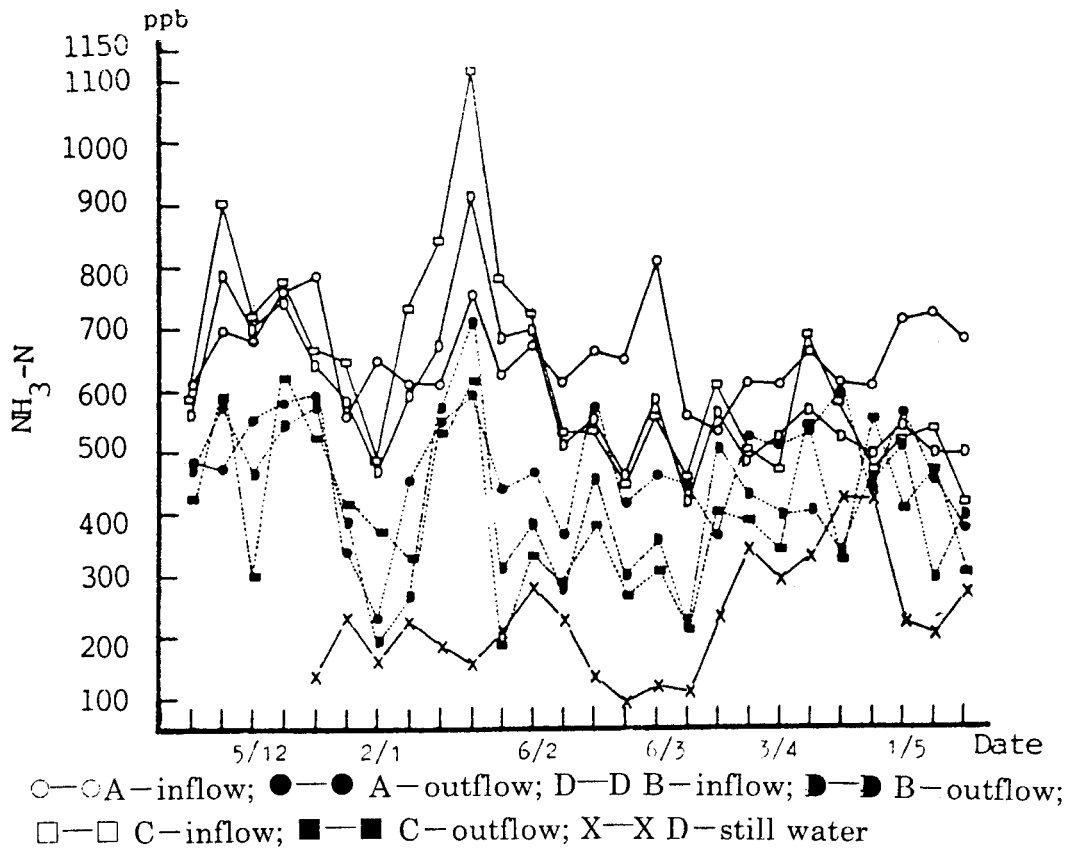


Fig.5 The variations of NH_3-N in rearing duration. (1985-1986)

各試驗組之 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ (亞硝酸態氮) 量 (Fig.6) 皆極低, 最高值出現在 C 池注入水之 25.9 ppb, 三月前, 流水試驗槽之注入水與排出水之 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 含量比較為: C 池 > B 池 > A 池, 三月起, 變化較不規則。D 池之 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 量極少, 最高僅 1.8 ppb 而已。

水色變化方面, A 池較其它池清澈, B 池為淡綠色, C 池為深綠色, D 池則由淡綠轉深綠後再轉為泛黃色。另外, 池魚成長率與餌料效率之比較為 A 池 > B 池 > C 池 > D 池。

討論: 止水組 D 池之 pH 值偏高係因植物性浮游生物多, 而光合作用旺盛所致。循環水組 C 池之氨態氮與亞硝酸態氮稍高 (在安全範圍內), 有改進之必要; 至於注入水之溶氧略小於排出水顯然是因濾材上微生物氧化氨態氮與亞硝酸態氮之過程需利用到氧氣且池水中植物性浮游生物在日間行光合作用, 放出氧氣所致。

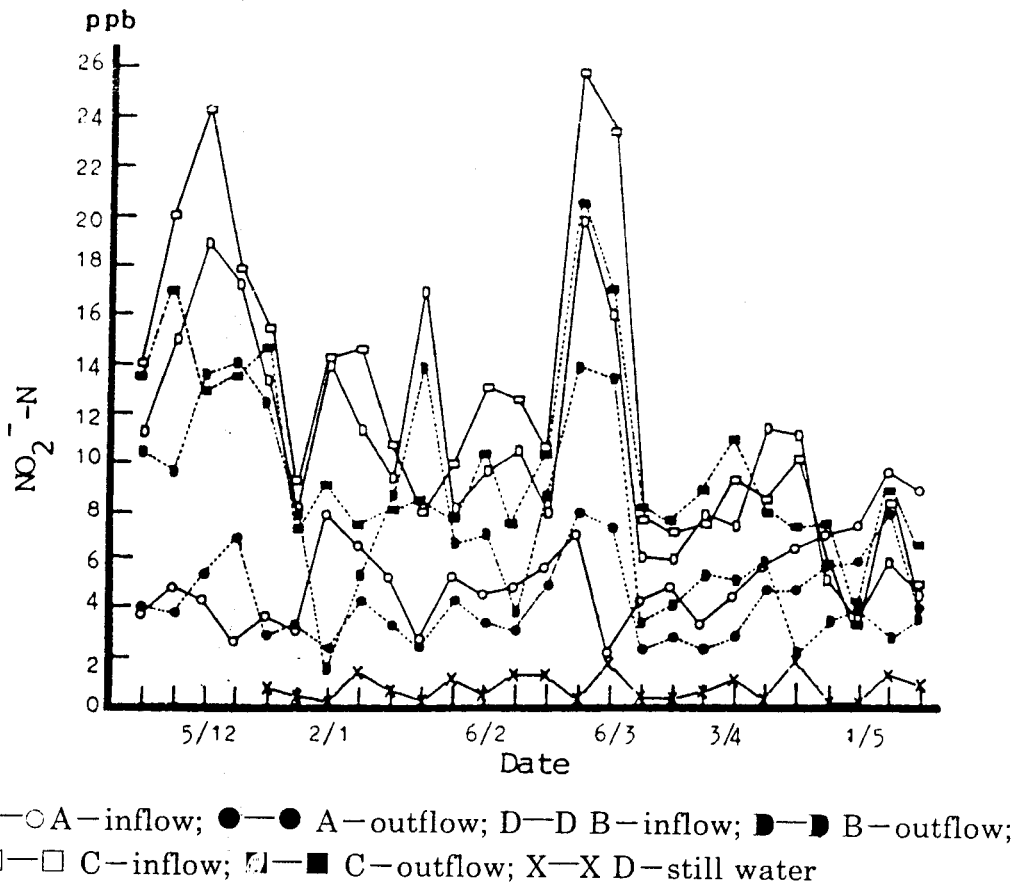


Fig. 6 The variations of $\text{NO}_2^- - \text{N}$ in rearing duration. (1985-1986)

75年度:

試驗用魚: 本分所生產之雜交種吳郭魚, 平均體重 114.91 公克。

試驗設施 (Fig.7):

1. 試驗水槽: 面積 13.5m^2 之長八角形水泥池 5 座, 水深為 50~55 公分。
2. 循環水槽: 兩個相連之水泥槽 ($3.2\text{m} \times 2.95\text{m} \times 1.3\text{m}$) 三組, 一組鋪 6.14m^3 之砂礫, 一組鋪 6.14m^3 之爐石, 另一組為空白組。前兩組表層並鋪兩層塑膠紗網。

試驗方法: 試驗水槽分五組, 分別為

A: 止水養殖;

- B：地下水和經中鋼爐石過濾處理之水，混合注入試驗池（爐石組），
 C：地下水和經空白過濾槽之水，混合注入試驗池（空白組）；
 D：直接注入地下水做流水式養殖（地下水組）；
 E：地下水與經砂礫過濾後，用臭氧處理之水，混合注入試驗池（砂礫臭氧組）。

每組放養 140 尾魚，其放養密度為 20 尾/m³。除 A 組外，各組注水量為 14.6 l/min 左右。試驗期間 74 年 11 月 11 日至 75 年 3 月 17 日，由於氣溫較低，循環水與地下水以 3：2 比例混合注入試驗池。17 日以後，改為 3：1 比例混合注入。

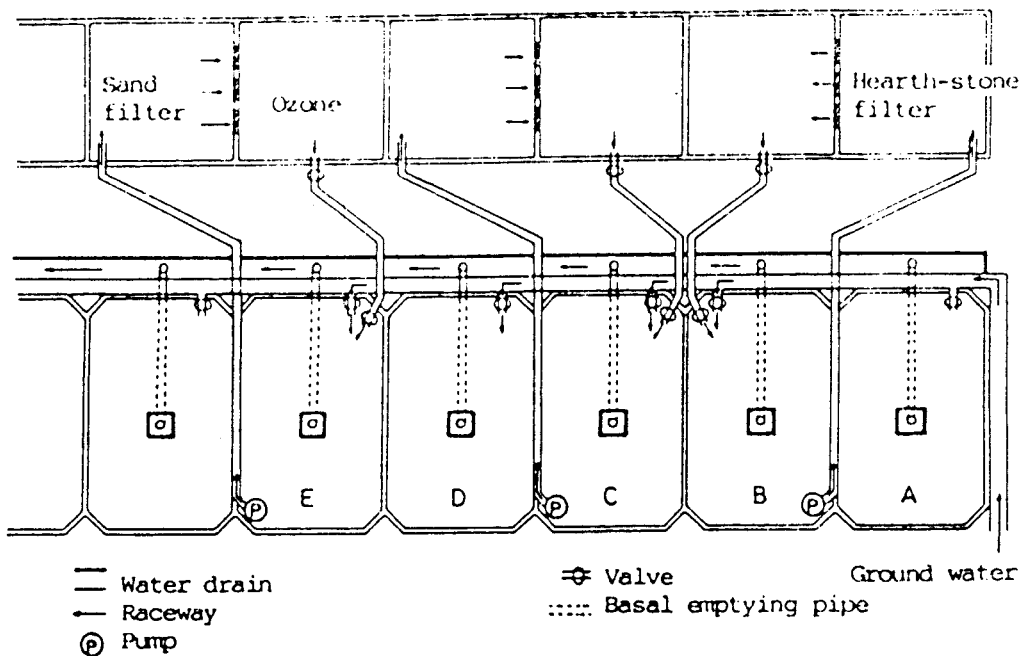


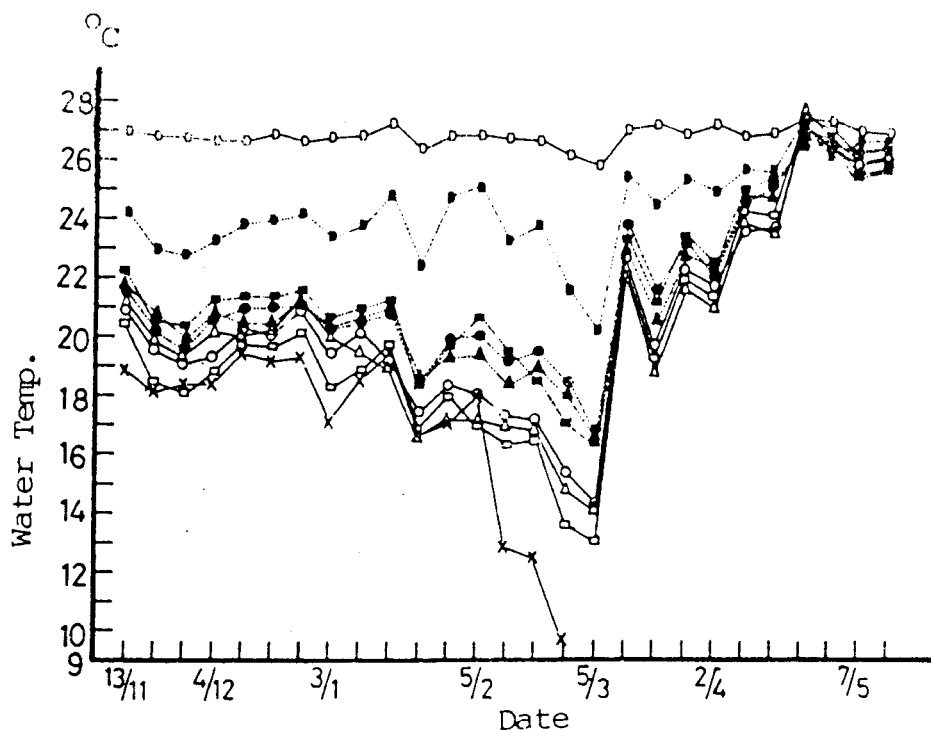
Fig.7 Schematic representation of the recycle-system. (1986-1987)

水質與魚體成長度之測定方式與上年度相同。試驗結果：A 池魚在 3 月 3 日由於寒流侵襲水溫降低至 9.7°C，死亡 102 尾，乃中止試驗，不予敘述。

各循環池之注水水溫明顯地比經地下水混合後之排水水低（Fig.8）。E 組由於曝氣作用，其注入水之溫度在氣溫高時，顯然高於其它循環池之注入水，氣溫低時則相反 pH 值方面（Fig.9），B、D、E 三池排水之 pH 值稍高於排水。E 組所測得之溶氧量（Fig.10）普遍高於其它各組，其注入水之溶氧高於排水之現象與另一循環池組 B 池相反。

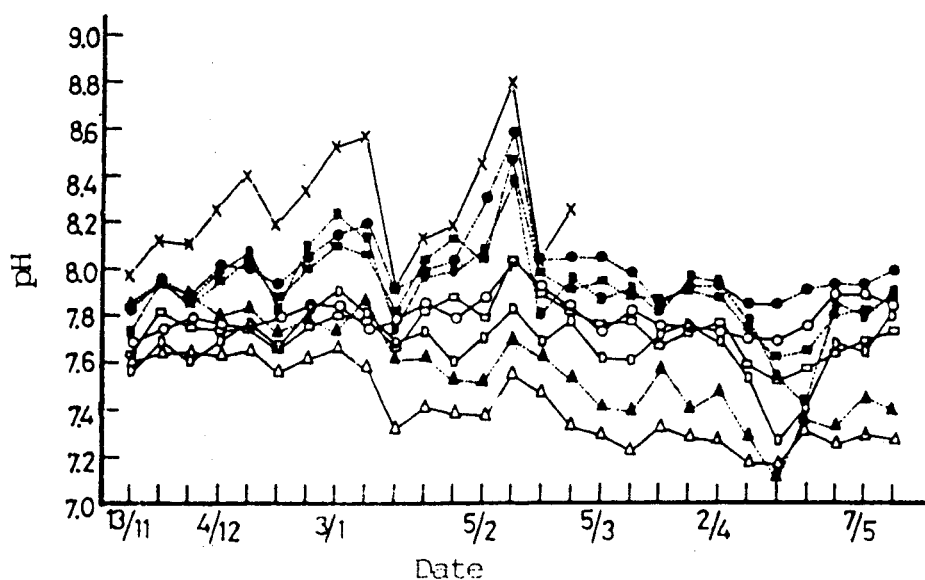
氨態氮之變化恰好與溶氧相反（Fig.11）。B、C、D 三池注入水之氨態氮量均高於排水，而 E 組之氨態氮量明顯地較其它各組低。水色方面，B 池初期之透明度高，然逐漸轉為棕黃色；E 池全期呈鮮綠色；地下水組 D 池則全期清澈見底。池魚每日成長率與餌料係數之順序為 D>E>B>C。

討論：本次試驗之三組循環池中，C 池由於無濾材設施，池中之有機物無法大量被細菌分解，導致 pH 值顯著較另兩組低。E 池水質最好，顯然是多了一道臭氧處理過程（臭氧是強氧化劑），可氧化、分解有機物，並提供氧氣；也就因為如此，其池魚之成長較另二組循環池為佳。



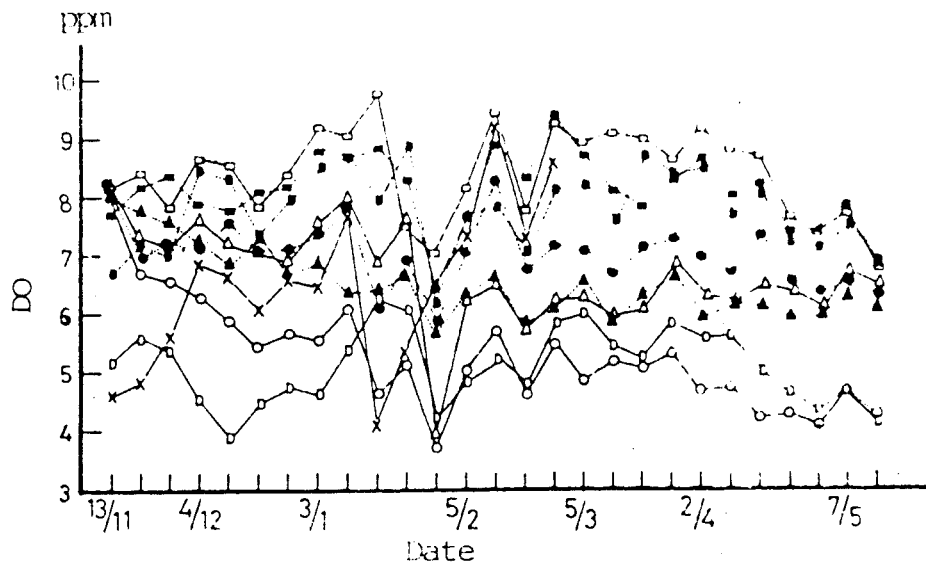
X-X A-still water; O-O B-inflow; ●-● B-outflow; △-△ C-inflow;
 ▲-▲ C-outflow; D-D D-inflow; ■-■ D-outflow; □-□ E-inflow; ■-■ E-outflow

Fig.8 The variations of water temperature in rearing duration. (1986-1987)



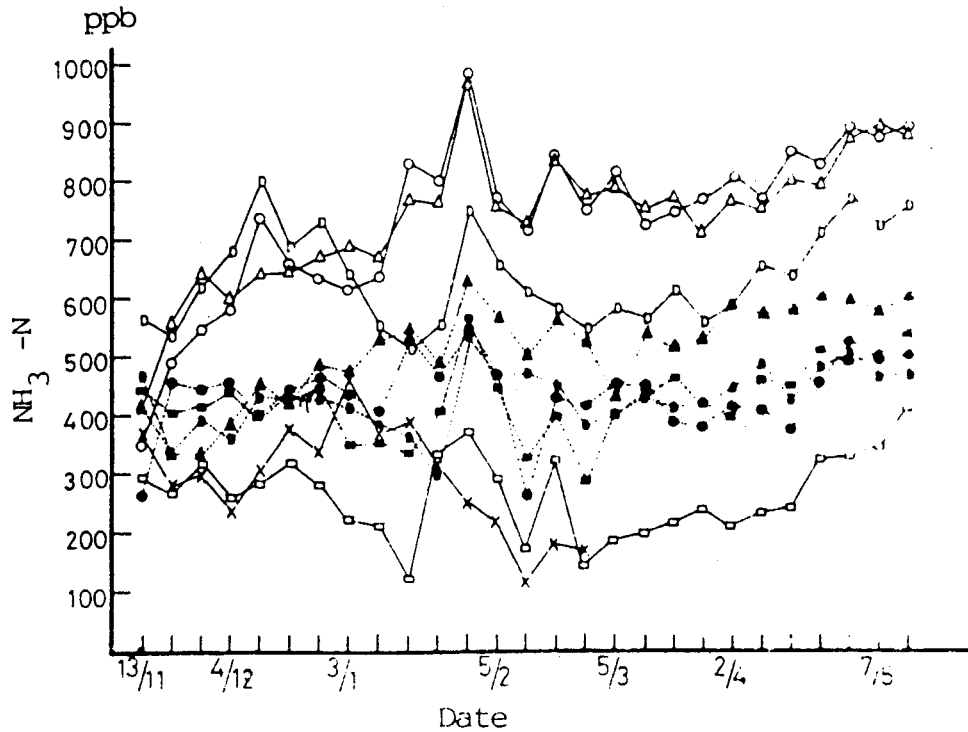
X-X A-still water; O-O B-inflow; ●-● B-outflow; △-△ C-inflow;
 ▲-▲ C-outflow; D-D D-inflow; ■-■ D-outflow; □-□ E-inflow; ■-■ E-outflow

Fig.9 The variations of pH value in rearing duration. (1986-1987)



X-X A-still water; O-O B-inflow; ●-● B-outflow; Δ-Δ C-inflow;
 ▲-▲ C-outflow; D-D D-inflow; ■-■ D-outflow; □-□ E-inflow; ■-■ E-outflow

Fig.10 The variations of DO in rearing duration. (1986-1987)



X-X A-still water; O-O B-inflow; ●-● B-outflow; Δ-Δ C-inflow;
 ▲-▲ C-outflow; D-D D-inflow; ■-■ D-outflow; □-□ E-inflow; ■-■ E-outflow

Fig.11 The variations of $\text{NH}_3\text{-N}$ in rearing duration. (1986-1987)

76 年度：

試驗用魚：本分所生產之雜交種吳郭魚，分三個試驗組，每組 310 尾，放養密度為 45 尾/m³，開始時平均體重 5.45 公克，平均體長 4.58 公分。

試驗設施 (Fig.12)：養殖池三座、沈澱池一座 (均為長八角形水泥池，面積為 13.5m²，水位 50~55 公分)。沈澱池底部鋪設廢棄之中鋼爐石 (5 公分厚)。過濾池及蓄水池 (均為 12.27m³) 二座，曝氣設備二座 (以木板及經打孔之塑膠浪板搭建)。

試驗方法：A池：池水經沈澱池沈澱後，用抽水機抽上進行曝氣、過濾，再由蓄水池流入養殖池。B池：不經沈澱，直接用抽水機抽上進行曝氣、過濾，再由蓄水池流入養殖池。C池：採流水式養殖。三池之注水量每分鐘約 12 公升，循環養殖池 (B、C) 為抵銷池水蒸發、漏水、曝氣散失等因素，添加少量地下水 (每分鐘約 0.6 公升)，多出之蓄水由蓄水池上端之排水口排棄。循環池池水每隔 1 小時 20 分左右抽上曝氣架，每次抽水量約為全池水之 1/4。每隔一或二週採水測定水質。視池魚索餌情況決定投餌量，於 2 月 11 日及 6 月 12 日測定各池魚之成長情況，以資比較。

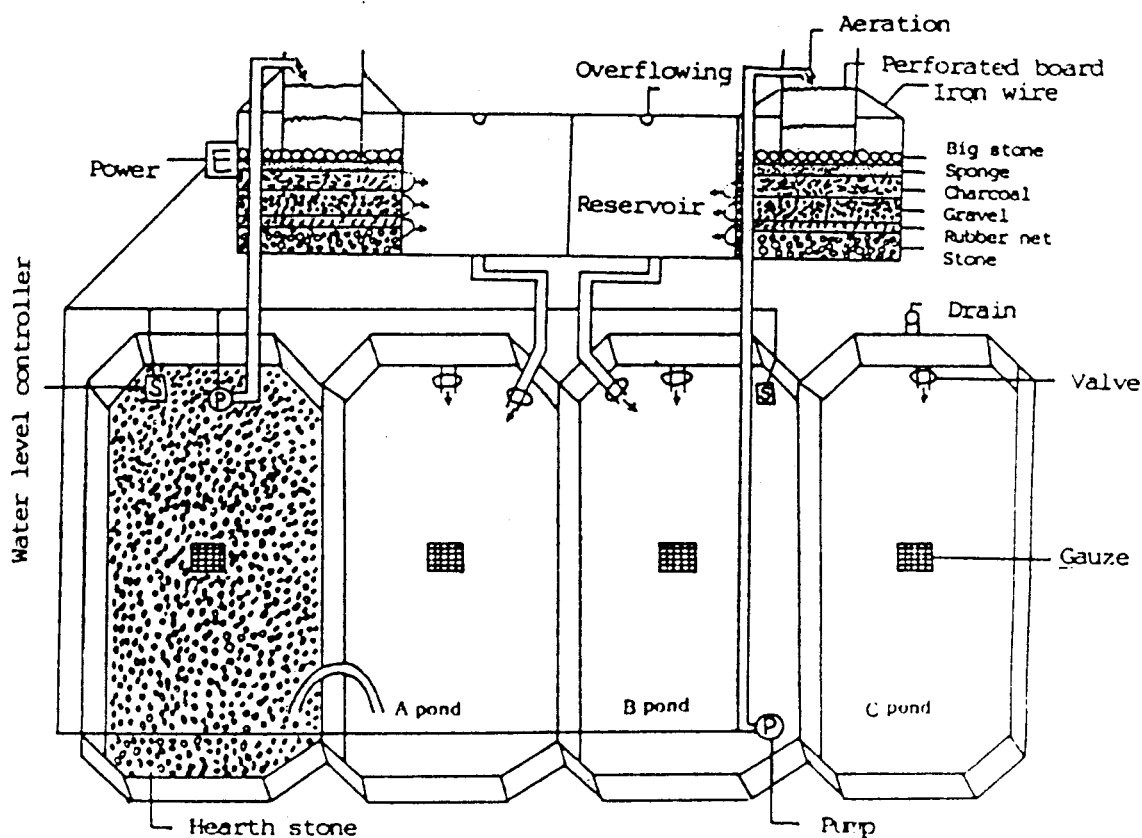


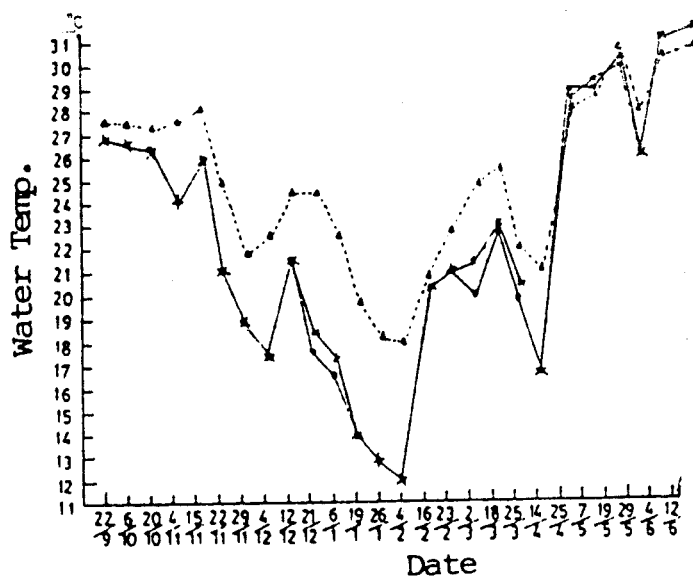
Fig.12 The schematic representation of flowing ground water pond and recirculation system. (1987-1988)

試驗結果：如 Fig.13 所示，自 75 年 9 月 22 日至 76 年 2 月 11 日止，此段期間為自秋季進入冬季，氣溫逐漸下降，設於室外之循環池水溫也就隨之下降（最低為 11.6°C），池魚之食慾低，成長緩慢（尤其是 A、B 兩循環池之池魚）。2 月 11 日自各池取 15 尾魚測體長與體重。A 池魚平均體長 11.2 公分，平均體重 28.2 公克；B 池魚平均體長 11 公分，平均體重 28.0 公克；C 池魚平均體長 14.5 公分，平均體重 50 公克。C 池魚之成長較好，顯然是水溫較高所致。

水質方面，與流水池比較，一般而言循環池之溶氧量較高（Fig.14）、pH 值先高後低（Fig.15）、濁度先低後高（Fig.16）、亞硝酸態氮（Fig.17）呈低→高→低→高現象、生化需氧量也是先低後高（Fig.18）。A、B 兩循環池之間，池水經沈澱之 A 池水質較未經沈澱之 B 池好，濁度、亞硝酸態氮、生化需氧量前者均較後者低，不過溶氧量則稍微偏低。至於池水總硬度，A、B 池均在 85.5~102.6ppm 之間，C 池則為 102.6~119.7ppm 之間。

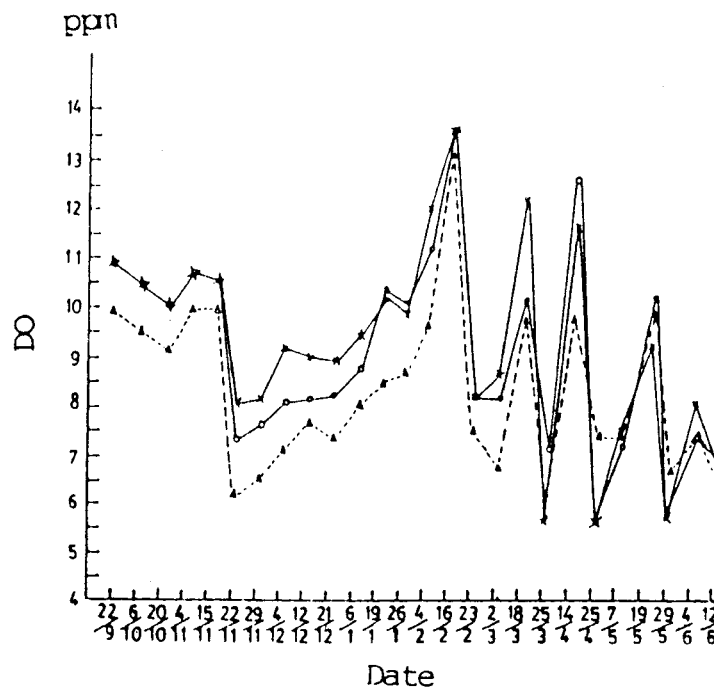
於 6 月 12 日自三池各取 20 尾測定成長結果。A 池魚平均體長 17.14 公分，平均體重 97.25 公克；B 池魚平均體長 15.82 公分，平均體重 82.53 公克；C 池魚平均體長 17.45 公分，平均體重 111.75 公克；在生統分析上，彼此間並無顯著性之差異（F test, $P > 0.05$ ）

討論：造成池水硬度之主要成份為碳酸鎂、碳酸鈣中的鈣、鎂離子，其會與水中之磷酸根離子反應，發生沈澱，導致循環水之硬度逐漸降低⁽⁶⁾。循環池中每天添加少量地下水，一方面可補充池水之蒸發、漏水與曝氣散失量，一方面可減小池水硬度之下降量。另外，本過濾設備之濾材主要為石粒，會溶出鈣質，如果採用塑膠濾材，則需定期添加石灰或放置牡蠣殼，以防池水太軟或太酸⁽⁷⁾。循環水之生化需氧量與日俱增的原因應是過濾池中有機物負荷量增加所致⁽⁷⁾，顯然過濾池設備需定期清洗。池水經沈澱後才進行過濾，可減少過濾池之有機物負荷量，而曝氣則可增加池水之溶氧及進行脫氮作用。殘餌與池魚所排放之糞、尿直接（或先形成可溶性有機物後）由細菌分解轉變成無機物⁽⁸⁾，而在此過程中細菌消耗大量氧氣⁽¹⁾⁽⁸⁾，池水在過濾前先行曝氣，則有助於提供多量之氧氣給細菌利用⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。



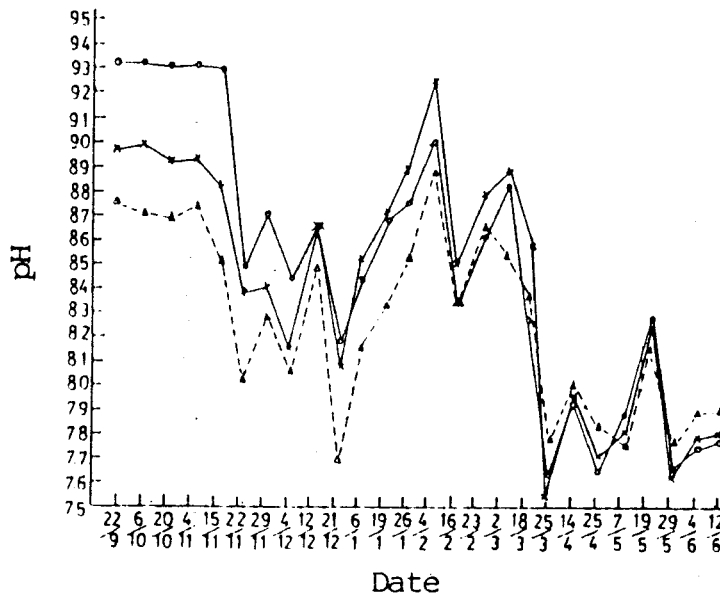
- O— A pond : Recirculating system with aeration and sedimentation.
- X— B pond : Recirculating system with aeration, without sedimentation.
- △— C pond : Flowing ground water system.

Fig.13 The variations of water temperature during experiment. (1987—1988)



- O- A pond : Recirculating system with aeration and sedimentation.
- X- B pond : Recirculating system with aeration, without sedimentation.
- Δ- C pond : Flowing ground water system.

Fig.14 The variations of dissolved oxygen amount during experiment.(1987-1988)



- O- A pond : Recirculating system with aeration and sedimentation.
- X- B pond : Recirculating system with aeration, without sedimentation.
- Δ- C pond : Flowing ground water system.

Fig.15 The variations of pH value during experiment.(1987-1988)

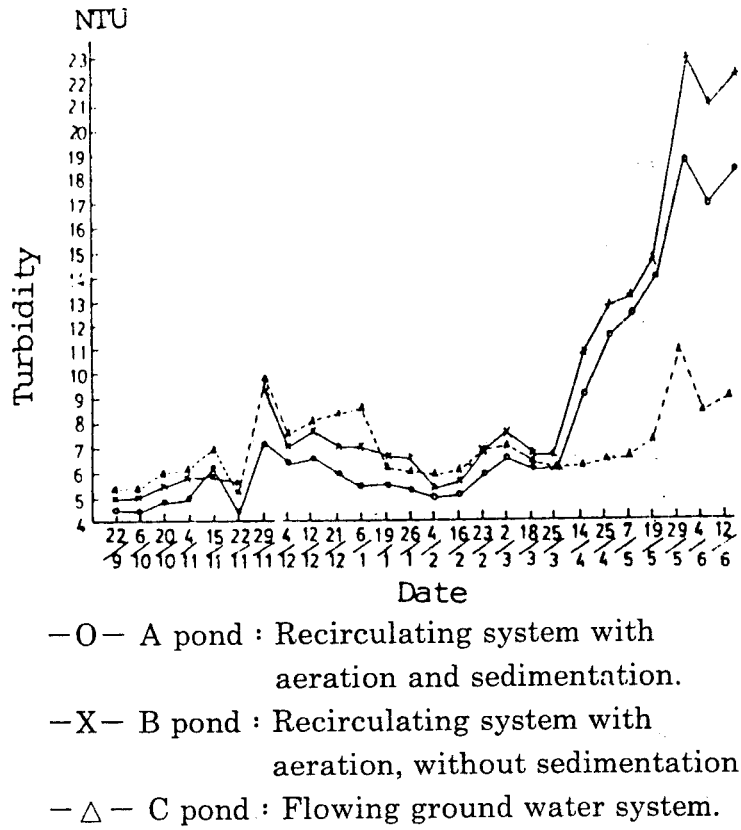


Fig.16 The variations of trrbidity during experiment.(1987-1988)

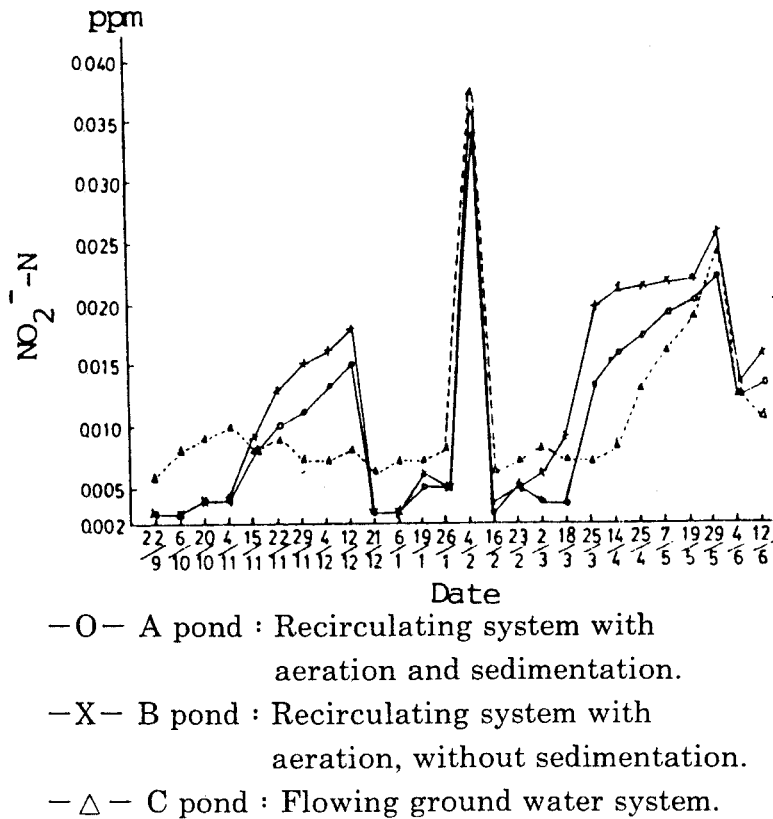


Fig.17 The variations of $\text{NO}_2^- - \text{N}$ during experiment. (1987-1988)

77 年度：

試驗用魚：本分所培育之雜交種吳郭魚，分養於二個試驗池，A池放養 300 尾，B池放養 400 尾，試驗開始時（8 月 6 日）平均體重 12.6 公克，平均體長 8.13 公分，放養密度各為 50 尾/m³及 66 尾/m³。

試驗設施：同上年度之循環池（Fig.12），不過養殖池水深調整為 45 公分左右。

試驗方法：大致同上年度，不過在冬季低溫期將地下水與循環水注入池中之比例調高為 1：5（上年度為 1：20），藉以提高池水溫度。投餌方面，自放養當天，投餵相當於池魚體重 5% 之吳郭魚粒狀配合飼料，每月 A 池增加 70 公克，B 池增加 100 公克。低溫期則酌量投餌。5 月 6 日及 6 月 14 日各測定池魚之成長一次。

試驗結果：就整體而言，溶氧量 A 池比 B 池高（Fig.19），pH 值互有高低（Fig.20），氨態氮多半是 B 池較 A 池高（Fig.21），亞硝酸態氮亦互有高低，差異不大（Fig.22）；然於 76 年 10 月 28 日與 77 年 4 月 30 日，A 池及 B 池之亞硝酸態氮濃度呈異常偏高現象，原因不明，硝酸態氮為 A 池大於 B 池（Fig.23）。生化需氧量變化呈凹谷型（Fig.24），開始與結束時較高，中間低溫期較低。濁度方面（Fig.25），A 池顯然低於 B 池。

由於去年度之試驗顯示，低溫期池魚攝食慾大減，本年度則在低溫期將地下水之注入量調高，測得池水之最低溫為 16.5°C 較去年度之 11.6°C 為高，故池魚尚有攝食行動，不致完全停餌。

於 5 月 6 日自 A、B 兩組池魚各取 30 尾，測定其體重及體長結果，A 池之平均體重為 130.17 公克，平均體長為 15.4 公分；B 池之平均體重為 110.57 公克，平均體長為 14.75 公分。6 月 14 日亦各取 30 尾測定；A 尾組之平均體重為 140.43 公克，平均體長為 16.55 公分，B 組之平均體重為 118.17 公克，平均體長為 15.69 公分。在生統分析上，兩次之體重與體長均有顯著性之差異（t test, P<0.05）

討論：循環池之水質由於經過處理可達一定程度之淨化，在理論上其放養密度較一般靜水池為高⁽¹⁰⁾。然而循環設施之濾材有一定程度之負荷能力，倘若超過此負荷量，池魚之成長與水質淨化就會受限制。以本試驗為例，A 組（300 尾）就比 B 組（410 尾）要好。

78 年度試驗摘要：

試驗用魚：日本鰻，每尾平均體重 10.4 公克。

試驗設施：同上年度。

試驗方法：分循環水組與地下水組，放養量為 405 尾，放養密度為 60 尾/m³，每隔一或二週測定水質一次，每三個月排乾池水測定魚體之總重量。

目前結果之摘要：經 5 個月飼育後，鰻魚之平均體重，地下水組為 21.7 公克，循環水組為 17.5 公克。前組之水溫、溶氧量、氨態氮變動範圍分別是 26~21°C、5.0~7.0ppm、0.55~0.02ppm；後組則分別為 24~16°C、6.2~8.3ppm、0.38~0.01ppm。在 pH、亞硝酸態氮、硝酸態氮方面則互有高低，差異不大。

結論與建議

本分所之循環設施為室外露天式，由試驗結果可知其水質雖較地下水注入池為優，然而池魚之成長卻不見得比地下水注入池好。此關鍵在於冬季低氣溫期，循環池之水溫太低所致。77 年度雖將循環水與地下水之注入比例調高成為 1：5，但水溫與地下水注入池比較，則尚差 5~6°C，導致池魚之成長亦受到影響。倘若在冬季，於池上端覆蓋塑膠布，採用類似室內循環池式，則有助於提高池水溫度，循環池之使用效果亦會更為理想。

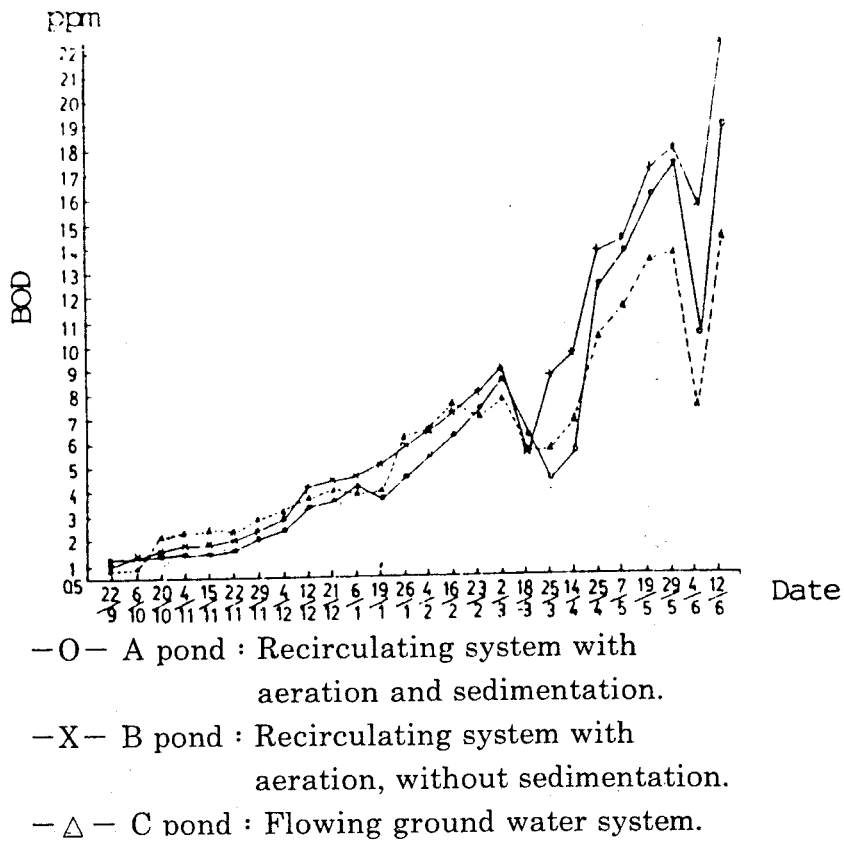


Fig.18 The variations of BOD during experiment. (1987—1988)

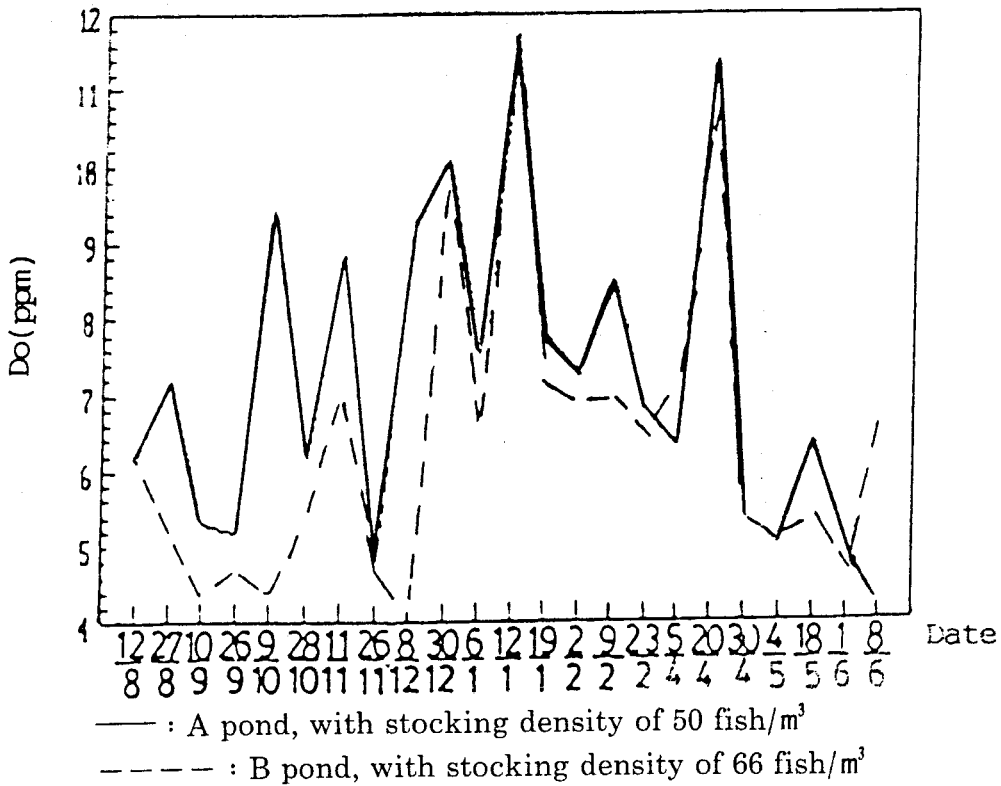
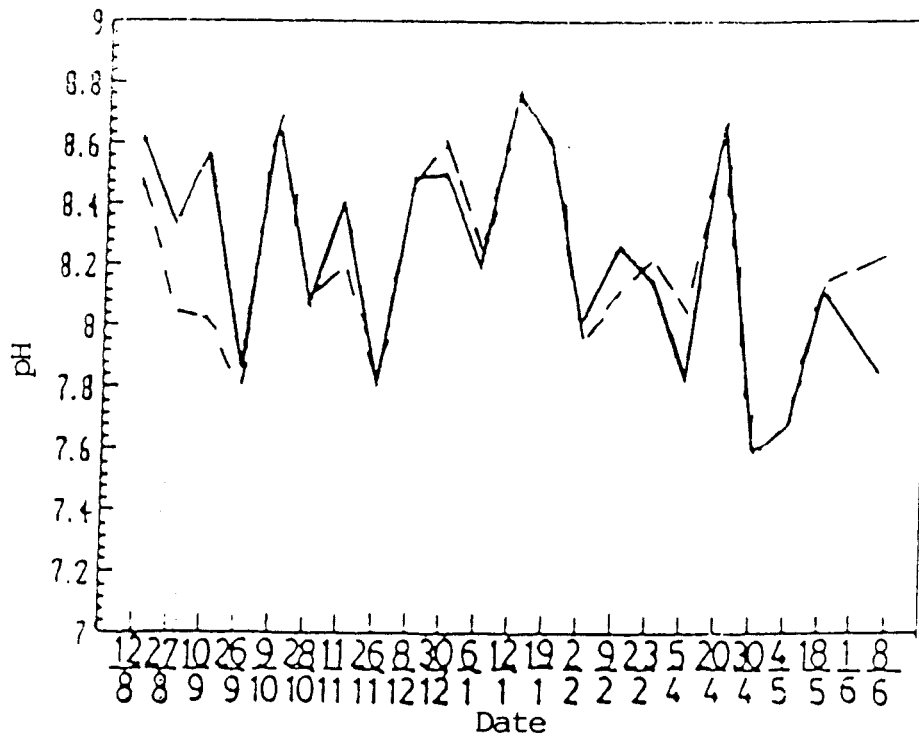
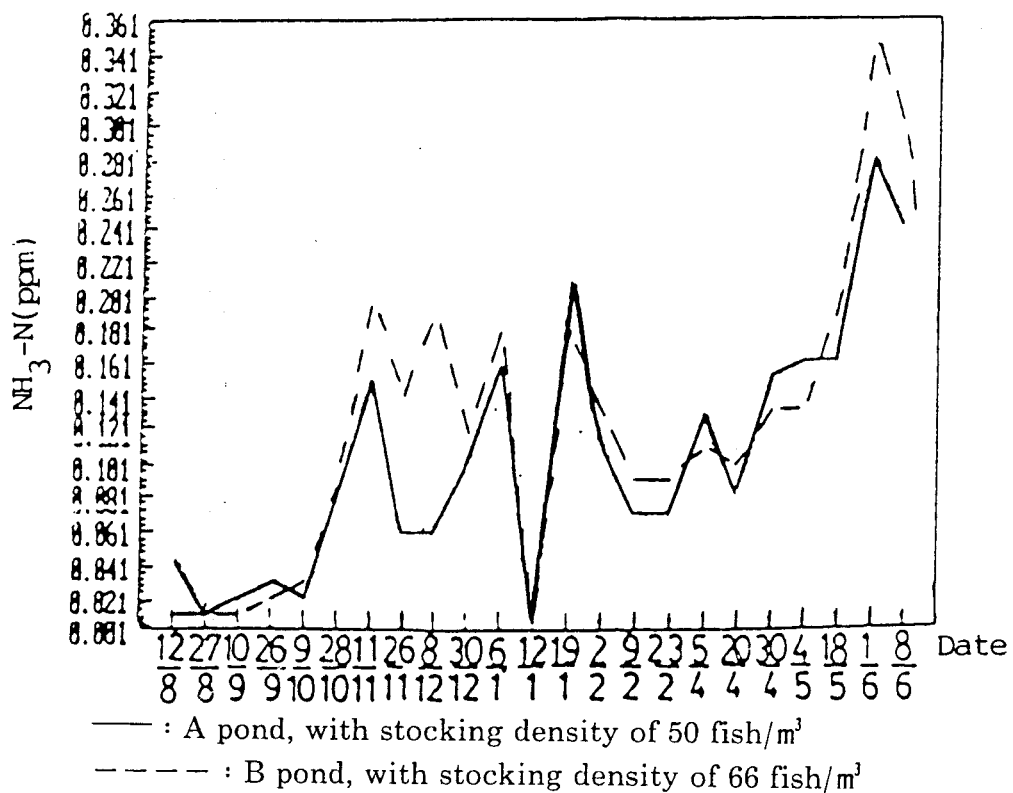


Fig.19 The variations of dissolved oxygen amount during experiment. (1988—1989)



— : A pond, with stocking density of 50 fish/m³
 - - - : B pond, with stocking density of 66 fish/m³

Fig.20 The variations of pH value during experiment.(1988—1989)



— : A pond, with stocking density of 50 fish/m³
 - - - : B pond, with stocking density of 66 fish/m³

Fig.21 The variations of NH₃-N during experiment. (1988—1989)

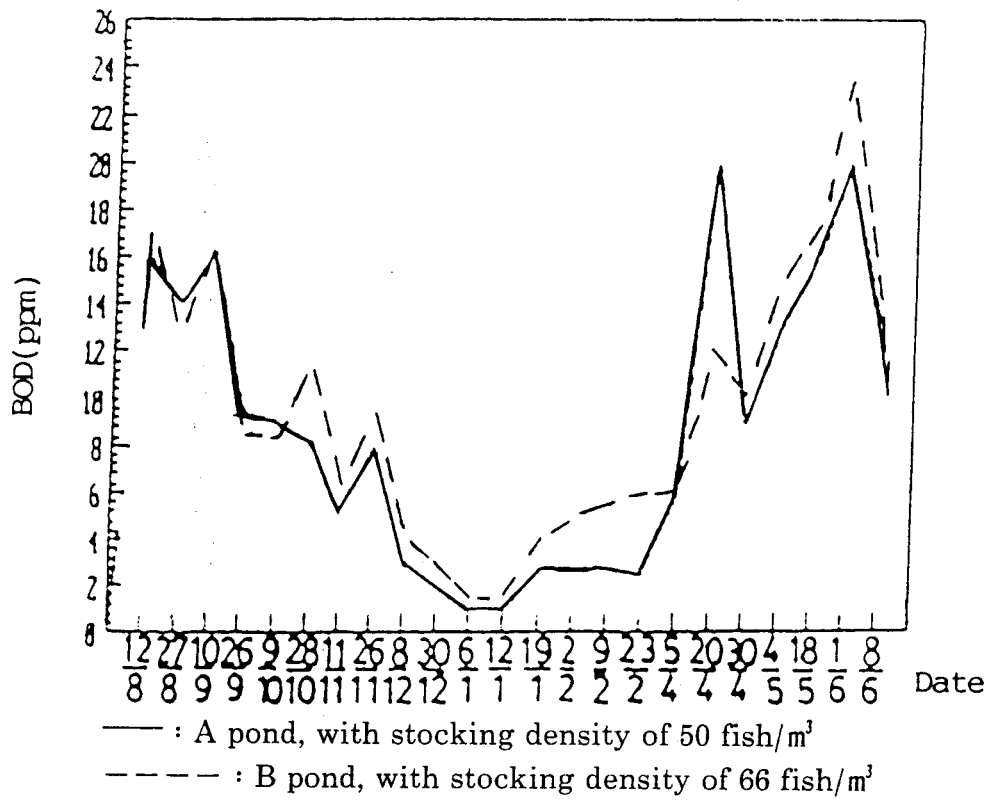


Fig.24 The variations of BOD during experiment. (1988-1989)

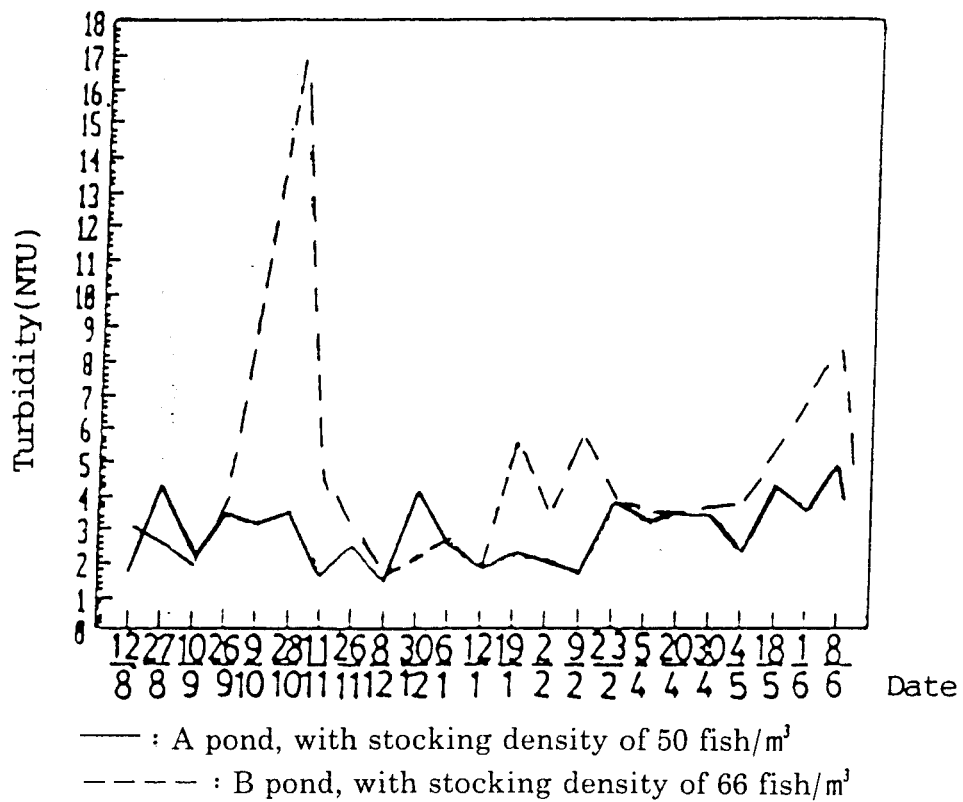


Fig.25 The variations of turbidity during experiment. (1988-1989)

參考文獻

1. 山形陽一、丹羽誠（1983）. 循環濾過方式によるウナギ養殖—水量と生産量及び收容密度の關係。養殖, 20（6）:58-60。
2. 余廷基、張永坤（1986）. 養殖用水循環使用試驗—水流及濾材對吳郭魚成長之影響。台灣省水產試驗所試驗報告, 40: 131~141。
3. 余廷基、張永坤（1987）. 養殖用水循環使用試驗—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。台灣省水產試驗所試驗報告, 42: 231~241。
4. 余廷基、張湧泉（1988）. 沈澱與曝氣對循環養殖池水質之影響。台灣省水產試驗所試驗報告, 44: 137~144。
5. 余廷基、張湧泉（1989）. 養殖用水循環使用試驗—不同放養密度對循環養殖池水質及池魚成長之影響。台灣省水產試驗所試驗報告, 46: 153~158。
6. 田中繁殖（1985）. 循環濾過の仕組みと淨水法。養殖, 22（10）: 58-62。
7. 山形陽一、丹羽誠（1983）. 循環濾過方式によるウナギ養殖—プラスチック濾材の飼育裝置への應用。養殖, 20（10）: 104~107。
8. 山形陽一、丹羽誠（1983）. 循環濾過方式によるウナギ養殖—淨化の機構および濾材の機能等。養殖, 20（7）: 56-59。
9. 山形陽一、丹羽誠（1983）. 循環濾過方式によるウナギ養殖—濾過槽の設計基準。養殖, 20（8）: 56-59。
10. 山形陽一、丹羽誠（1983）. 循環濾過方式によるウナギ養殖—濾過槽の設計基準（續）。養殖, 20（9）: 109-112。

WATER-RECIRCULATION SYSTEM APPLIED TO CULTURE OF FRESH-WATER FISH

Ting-Chi Yu
Lu-Kang Laboratory,
Taiwan Fisheries Research Institute
Lu-Kang, Chang-Hua, Taiwan

ABSTRACT

In order to conserve water resources, the efficiency of culture, with water-recirculation system, of hybrid tilapias (*Oreochromis* sp.) and Japanese eels (*Anguilla japonica*) was studied during 1985–1988 (tilapia) and 1989 (eel).

The results were summarized as follows :

Under the same stocking density (45 pieces/m³), the growth rates of tilapias were not significantly different (F test, $p > 0.05$) among three test groups-A : water-recirculation system with aeration and sedimentation ; B : water-recirculation system with aeration, without sedimentation ; C : flowing ground water system.

Under different stocking densities (50 pieces/m³ and 66 pieces/m³ ; respectively), with the same water-recirculation system, growth rate of tilapias of the former was better than that of the latter (t test, $p < 0.05$).