

旋轉生盤法預先處理受污染自來水原水之研究

應堅聖 *

歐陽嶠暉 **

一 前言

近年來台灣地區由於經濟發展快速，工廠林立，再加上人口增加，人口聚居由都市而擴延至郊區，甚至河川上游，使得許多地面水源遭受到家庭污水及豬糞尿廢水、工業廢水污染，使原水中有機物及氮含量日益增加，又因水中氮可使微生物滋生並阻塞濾床，發生耗氧反應之硝化作用，使濾床呈厭氧狀態，則水中先前已被氧化之物質如鐵、錳，被還原成溶解狀，使水質再度轉壞。國內淨水廠大多採用預氯處理，雖可將氮氮去除，然原水中大量有機物有可能與氯反應，產生三鹵甲烷之致癌性物質⁽¹⁾，故為了解決此類問題，並減輕淨水廠的困擾，原水的預先處理將成為傳統淨水處理之必要措施。

本研究即以旋轉生物盤法於淨水廠現場進行原水預先處理，探討水質改善效果及各種處理特性。

二 文獻回顧

旋轉生物盤法簡稱RBC法，是近來發展成功的一種二級生物處理方法。其原理為利用附著於圓盤上之微生物群，以去除污水中有機污染物質之處理方法。本法是將許多圓盤分成數段固定於轉軸上，而置於反應槽中使圓盤約有40~70%之浸水率⁽²⁾，引入原水後，使轉盤緩慢的轉動，經數日後，圓盤表面開始附著微生物。附著之微生物群隨著圓盤而旋轉，自原水中吸收有機物、氮，自空氣中攝取氧而進行氧化分解，並合成新菌體群，RBC法即利用這些微生物群，去除原水中之有機污染物，由於有機物之去除導致生物膜生長而變厚，被覆於底部之微生物由於氧氣傳送不足，造成兼氣或厭氧狀態而失去活性，由圓盤旋轉時水流產生之剪力而剝落，剝落之生物膜隨著處理水自反應槽中流出，在沈澱槽沈降分離後被去除。

* 國立中央大學土木工程研究所碩士

** 國立中央大學土木工程研究所教授兼所長

影響旋轉生物盤處理效果之因素有(1)圓盤性質⁽²⁾⁽³⁾，包括材質、表面形狀、間隔等；(2)轉速、轉速大，對BOD及氨氮之處理效果均佳，但若轉速太快，水流之剪力作用將導致生物膜附著不易，驅動電力為RBC法主要操作費用，故轉速應維持在適當範圍，一般採用周邊速度約18~20 m/min；(3)水量負荷，在相同條件下，BOD及氨氮之去除率隨著水量負荷的增加而降低⁽⁴⁾⁽⁵⁾，(4)有機負荷，石黑政儀⁽⁶⁾以旋轉生物盤法處理污水的二級處理水，結果顯示當BOD負荷愈高，其BOD去除率增加，而當BOD濃度高時，會使得硝化作用不明顯；(5)氨氮負荷，日本大阪府水道生物處理實驗⁽⁷⁾，以二組不同轉速之RBC處理時，均顯示氨氮負荷愈高，其氨氮去除量愈多，處理水氨氮濃度愈高；(6)溫度，同一般生物處理一樣，溫度每增加10℃其反應速率增加1~2倍，但水溫維持在13℃以上，則水溫對去除率之影響不大⁽²⁾。(7)溶氧，RBC法是藉圓盤轉動使微生物與空氣接觸以獲得氧，一般反應槽溶氧至少應維持在1 ppm以上，若欲發生硝化作用，則溶氧應在3 ppm以上較適宜⁽²⁾。

旋轉生物法之優點包括(1)所需動力費省(2)維持管理容易，且不須高度的技術(3)短時間的接觸反應，即可得到較高淨化率，負荷變動強(4)污泥產生量少，(5)從低濃度到高濃度均可處理，處理範圍大故可做為三級處理技術⁽⁸⁾。旋轉生物盤法之缺點包括(1)為防日晒、風吹、雨淋，需加蓋或設置於室內，(2)圓盤、轉軸及驅動馬達易發生問題，轉軸需定期上油，(3)若氧氣傳送不足，會產生惡臭。

三、實驗設備與方法

3.1 實驗設備

本法係採三組四段式之旋轉生物圓盤模型廠規格如表1，主要設施如圖1，另附屬設備如下：

(1) 驅動裝置

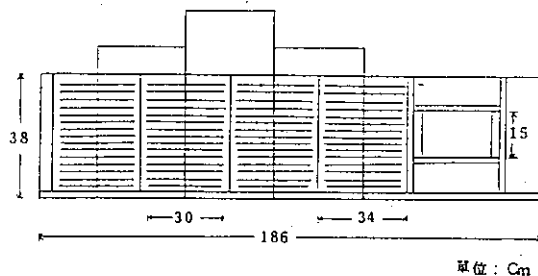
圖盤由馬達連接減速機以驅動，轉速可由調節桿控制在4~50 rpm之間，採用的為日本Shimpo Industrial Co. Ltd. 所製造之TW 658型。本實驗轉速控制在18 rpm，周邊速度17.0 m/min。

(2) 渾水抽水機

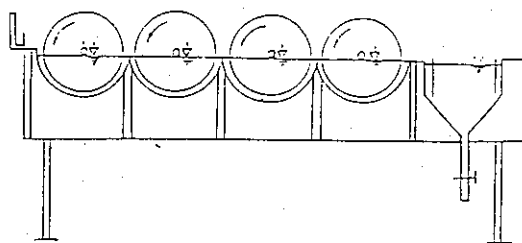
採用東元電機所製之抽水機，機型BEEZ BR，馬力 $\frac{1}{4}$ Hp，數量2台。

表 1 旋轉生物盤模型設備規格

項 目	規 格
圓 板 型 式	平 板
圓 板 材 質	壓 克 力
圓 板 直 徑	30 cm
圓 板 厚 度	0.2 cm
圓 板 間 距	1.5 cm
圓板數 (枚)	15 枚 × 4 = 60 枚
圓板總表面積	8.48 m ²
圓板浸水率	40 %
圓板距槽底	2 cm
各 段 容 積	9.8 ℓ
沈澱池容積	11.3 ℓ
液量面積比	4.62 ℓ / m ²



(1) RBC 平面圖



(2) RBC 之斷面圖

圖 1. 旋轉生物盤模型廠圖

3.2 實驗方法：

本實驗為模擬原水之實際狀況，選擇於六堵自來水廠原水分水槽附近，設置模型廠三座，直接引入自來水原水至三組旋轉生物盤上，在不同之流量負荷下進行生物膜培養，俟其穩定後，探討其對氮、有機物之處理效果及各種處理特性，每日下午定時校核流量，並定時排泥。

(1) 操作條件

三組RBC之操作條件各為 $200 \text{ ℓ/m}^2 \cdot \text{d}$ ， $500 \text{ ℓ/m}^2 \cdot \text{d}$ 及 $800 \text{ ℓ/m}^2 \cdot \text{d}$ ，相當於流量 1.178 ℓ/min ， 2.945 ℓ/min 及 4.712 ℓ/min 。

(2) 分析項目及方法

本實驗為一連續性操作，故每天在一定之時間取樣分析，主要分析項目包括溫度、pH、濁度、鹼度、溶氧、BOD、COD、氨氮、亞硝酸鹽氮、硝酸鹽氮及需氧量，分析方法參照美國標準檢驗法第16版所述。另污泥量之測定方法，係先將污泥排盡，隔天同一時間再將污泥排出，測其體積及分析TS, TVS, 以得一天所產生之污泥量。

四 結果與討論

本實驗自1986年10月初開始進水進行馴養，而自10月開始分析至1987年8月止。

4.1 原水及處理水水質分析

實驗期間原水水質 pH = 6.4 ~ 7.69，溶氧 0.3 ~ 9.1 mg/l，濁度 6.1 ~ 8.5 NTU，BOD = 0.3 ~ 14 mg/l，COD = 0 ~ 55.5 mg/l，氨氮 = 0.0416 ~ 4.53 mg/l，亞硝酸鹽氮 = 0 ~ 0.381 mg/l，硝酸鹽氮 = 0.43 ~ 2.1 mg/l，且經處理後之處理水 pH 可維持在 7 左右，溶氧量亦可保持在 6.5 mg/l 以上，均可達到甲類河川一級公共給水之水質標準。另將原水及處理水之 BOD、氨氮，在不同濃度範圍下所佔百分比繪於圖 2 及 3，由圖 2 可知欲達二級公共給水之 BOD 標準 (BOD < 2 mg/l)，原水及三組不同流量負荷之處理水 (800 l/m²·d, 500 l/m²·d, 200 l/m²·d)，其及格率分別為 25%，79%，100%，100%，而對氨氮而言，欲達二級公共給水之水質標準 (NH₃ - N < 0.3 mg/l)，由圖 3 知原水及三組不同流量負荷之處理水，其及格率分別為 9.5%，53%，85%，97%。

綜合整理原水及處理水之水質狀況，處理效果列如表 2，可知以 RBC 處理當原水氨氮濃度 = 0.042 ~ 4.53 mg/l，COD = 0 ~ 55.5 mg/l，BOD = 0.3 ~ 14 mg/l，濁度 = 6.1 ~ 85 NTU 時，對於氨氮、BOD、COD、濁度之去除率，以流量負荷 200 l/m²·d 為例，平均去除率氨氮 = 89%，COD = 68.5%，BOD = 80.6%，濁度 = 61.7%，且處理後之水質可百分之百達到二級公共給水原水水質標準，大大減低了後續傳統淨水處理的操作負荷。

4.2 不同流量負荷之處理特性

當流量負荷愈高，處理水水質愈差，且隨流量負荷之增加，其濁度、BOD、COD、氨氮之去除率隨之降低，主要因流

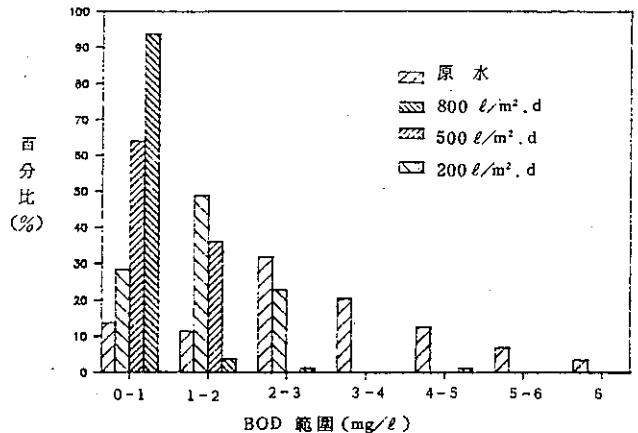


圖 2. 旋轉生物盤法原水及不同負荷下處理水之 BOD 水質百分比

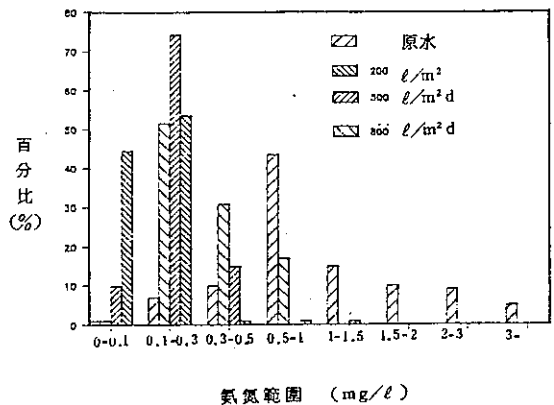


圖 3. 旋轉生物盤法原水及不同負荷下處理水之氨氮水質百分比

表 2 旋轉生物盤法處理水質分析

項 目	原水及各項負荷下之水質去除率								
	800			500			200		
流量負荷($l/m^2 \cdot d$)	800			500			200		
流 量(l/min)	4.712			2.945			1.178		
停留時間(hr)	0.140			0.22			0.55		
處理水質	原 水	處理水	去除率(%)	原 水	處理水	去除率(%)	原 水	處理水	去除率(%)
pH	7.69 - 6.4	7.7 - 6.7	—	7.69-6.4	7.7 - 6.72	—	7.69 - 6.4	7.9 - 6.8	—
鹼 度(mg/l)	609 - 18	84 - 17.6	—	609 - 18	85 - 3.4	—	609 - 18	88 - 0.6	—
溶 氧(mg/l)	9.1 - 0.3	85 - 3.8	—	9.1 - 0.3	9.6 - 4.6	—	9.1 - 0.3	10 - 4.5	—
濁 度(NTU)	85 - 6.1	123 - 3.7	2.8 - 76.4 (31.2)	85 - 6.1	75 - 2.1	5.9 - 100 (44.5)	85 - 6.1	68 - 1.6	20 - 100 (61.7)
BOD (mg/l)	14 - 0.3	2.9 - 0.1	0 - 94.3 (48.3)	14 - 0.3	2 - 0	17 - 97.3 (65.1)	14 - 0.3	4.9 - 0	8.3 - 100 (80.6)
COD (mg/l)	55.5 - 0	47.3 - 0	0 - 100 (31.43)	55.5 - 0	33.4 - 0	0 - 87.8 (48.8)	55.5 - 0	18.8 - 0	2.6 - 100 (68.5)
氨 氮(mg/l)	4.53-0.0416	0.91-0.096	16- 92.7 (65.3)	45.3-0.012	1.26 - 0	45 - 100 (79.6)	453-0.042	0.78 - 0	65.9-99.5 (89)
亞硝酸氮(mg/l)	0.381 - 0	0.307-0.013	—	0.381 - 0	0.347-0.003	—	0.381 - 0	0.314-0.002	—
硝酸氮(mg/l)	2.1 - 0.43	5.95-0.45	—	2.1 - 0.43	6.03 - 0	—	2.1 - 0.43	6.14-0.54	—
備 註： 75年10月20日~76年8月16日之資料統計 ()表平均價									

量負荷增加時，由於停留時間縮短，相對的未能充分反應，致使去除效果降低，其關係如圖 4 所示，由圖中可知去除效果以氨氮最高，流量負荷由 $200 l/m^2 \cdot d$ 升至 $800 l/m^2 \cdot d$ 時，去除率由 89% 降至 65.3%，而 BOD、COD、濁度之去除效果較差，且去除率相差無幾，可見本法之去除作用，仍以硝化作用為主。

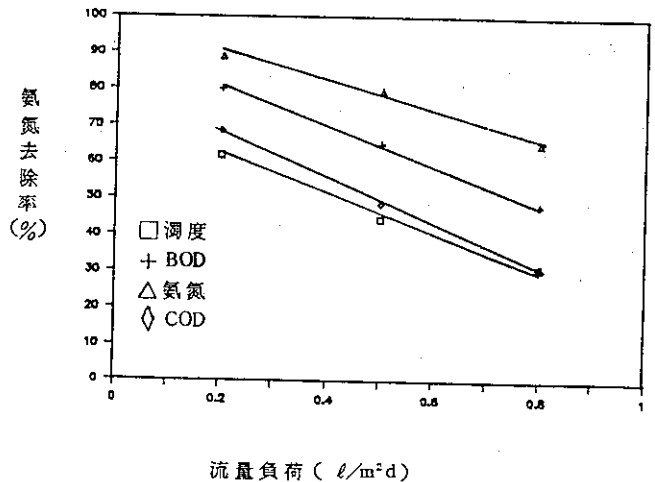


圖 4. 旋轉生物盤法流量負荷與去除率之關係

4.3 不同氨氮負荷之處理特性

將實驗結果中氨氮濃度的資料

，劃分為六部份，並把每部份的氨氮濃度平均值，在不同流量負荷下，換算成氨氮負荷，且每個部份的氨氮去除率及處理水氨氮濃度、平均值，另求出每部份相對應的硝化反應速率 V_r （亦即單位面積之氨氮去除量），結製成如表 3。

表 3 旋轉生物盤法各負荷條件下氨氮之處理分析

氨氮濃度 範圍 (mg/l)	800 l/m ² ·d				500 l/m ² ·d				200 l/m ² ·d			
	氨氮 負荷 (g/m ² ·d)	處理水 氨氮濃度 (mg/l)	氨氮 去除率 (%)	硝化 速率 V_r (g/m ² ·d)	氨氮 負荷 (g/m ² ·d)	處理水 氨氮濃度 (mg/l)	氨氮 去除率 (%)	硝化 速率 V_r (g/ m ² ·d)	氨氮 負荷 (g/m ² ·d)	處理水 氨氮濃度 (mg/l)	氨氮 去除率 (%)	硝化 速率 V_r (g/ m ² ·d)
0.0416-0.492 (平均0.330)	0.264	0.141	57.3	0.15	0.165	0.078	76.4	0.13	0.066	0.025	92.4	0.13
0.502-0.997 (平均0.759)	0.606	0.257	66.1	0.40	0.379	0.165	78.2	0.30	0.152	0.0897	88.2	0.23
1.007-1.496 (平均1.244)	0.995	0.364	70.7	0.70	0.622	0.251	79.8	0.50	0.249	0.114	90.8	0.32
1.522 - 2.0 (平均1.72)	1.37	0.477	72.2	0.99	0.86	0.298	82.6	0.71	0.34	0.137	92.0	0.48
2.06 - 3.69 (平均2.59)	2.07	0.66	74.5	1.54	1.30	0.360	86.2	1.08	0.52	0.174	93	0.61
4.17 - 4.53 (平均4.32)	3.45	0.864	80.0	2.76	2.16	0.703	83.7	1.81	0.86	0.447	89.7	0.78

(1) 氨氮負荷與氨氮去除率之關係

根據表 3，在同一流量負荷下，將氨氮負荷與氨氮去除率繪如圖 5，可看出在相同流量負荷下，氨氮負荷愈高，其氨氮去除率相對提高。而在高流量負荷下（800 l/m²·d），此時氨氮負荷範圍較大（0.264 g/m²·d ~ 3.45 g/m²·d），氨氮負荷由 0.264 g/m²·d 升至 1.37 g/m²·d 時，去除率由 57.3 % 升至 72.2 %，提高了 14.9 %，而氨氮負荷由 1.37 g/m²·d 升至 3.45 g/m²·d，去除率由 72.6 % 升至 80.0%，僅提高了 5.5 %，可知以 RBC 法操作時，氨氮負荷在 3.45 g/m²·d 以上時，硝化菌已無法適應，另在流量負荷 200 l/m²·d 下操作時，其相對的氨氮負荷範圍小（0.066 g/m²·d ~ 0.86 g/m²·d），去除率均很高在 88.2 % 以上，最高達 93.0 %，此時氨氮負荷影響較小。

將不同原水氨氮濃度在不同流量負荷下，對氨氮去除率繪如圖 6，可看出在同一流量負荷下，原水氨氮濃度的增加，其氨氮去除率隨之提升，然在低流量負荷下（200 l/m²·d），原水氨氮濃度的增加（0.330 mg/l ~ 4.32 mg/l），對氨氮去

除率並無太大影響，其去除率均可達 90% 以上，而流量負荷增至 $800 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$ 時，氨氮去除率下降，然當原水氨氮濃度增加時，對氨氮去除率增加的趨勢較為明顯。

(2) 氨氮負荷與處理水氨氮濃度之關係

根據表 3，在同一流量負荷下，氨氮負荷與處理水氨氮濃度之關係如圖 7 所示，由圖中可知氨氮負荷愈高，其處理水氨氮濃度愈高，而在低流量負荷操作下 ($500 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$ ， $200 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$) 因氨氮負荷範圍較小，處理水氨氮濃度隨氨氮負荷的增加，其上升的趨勢較小，而在高流量負荷下操作 ($800 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$)，相對的其氨氮負荷範圍較大，處理水氨氮濃度隨氨氮負荷呈一線性增加。

綜合圖 7 可知欲使處理水氨氮濃度能達到二級公共給水之水質標準 ($\text{NH}_3\text{-N} < 0.3 \text{ mg/l}$) 以 RBC 法處理時，氨氮負荷以小於 $0.9 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$ 為宜。

另將不同原水氨氮濃度在不同流量負荷下，其處理水氨氮濃度之關係，以圖 8 表示，可看出在同一流量負荷下，原水氨氮濃度增加其處理水氨氮濃度亦隨之增加，在流量負荷為 $200 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$ 之條件下，當原水氨氮濃度由 0.330 mg/l 增至 4.32 mg/l 時，其處理水氨氮

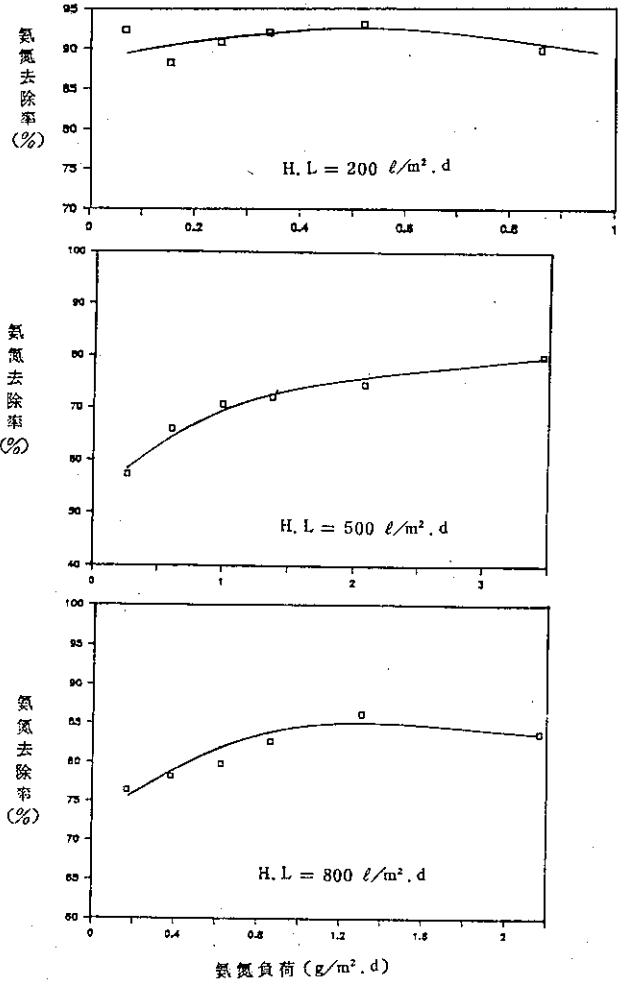


圖 5. 不同流量負荷下氨氮負荷與氨氮去除率之關係

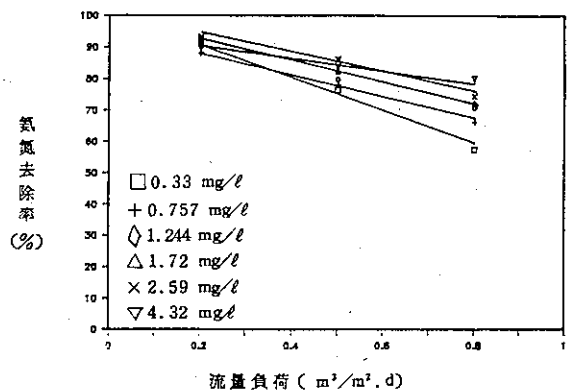


圖 6. 不同原水氨氮濃度下流量負荷與氨氮去除率之關係

濃度均可達二級公共給水標準，而流量負荷增至 $800 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$ 時，當原水氨氮濃度超過 1.007 mg/l 時，已無法達到二級公共給水之氨氮標準。

(3) 處理水氨氮濃度與硝化速率 V_r 之關係

$$V_r = Q/Aw (C_o - C_e) \dots\dots(1)$$

式中 Aw : 圓板生物膜面積 =

$$3.396 \text{ m}^2 \text{ 。}$$

在不同流量負荷下，硝化速率 V_r 與處理水氨氮濃度 C_e 之關係，整理於表 4 及圖 9。

可知當在同一流量負荷下操作，其處理水氨氮濃度愈高，硝化速率愈大，因處理水濃度增高時，其相對的原水氨氮濃度及氨氮負荷亦高。故單位面積之氨氮去除量亦多。

綜合本節可知，單位面積之氨氮去除量受到流量負荷及原水氨氮濃度兩者之影響，將實驗期間中不同的流量負荷、原水氨氮濃度與其相對應之氨氮去除量導出如下之關係式：

$$L_r = 2.388 \times 10^{-3} H_L^{0.817}$$

$$C_o^{1.056}$$

$$R^2 = 0.9956 \dots\dots(2)$$

其中 L_r = 單位面積之氨氮去除量 ($\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$)

H_L = 流量負荷 ($\text{l/m}^2 \cdot \text{d}$)

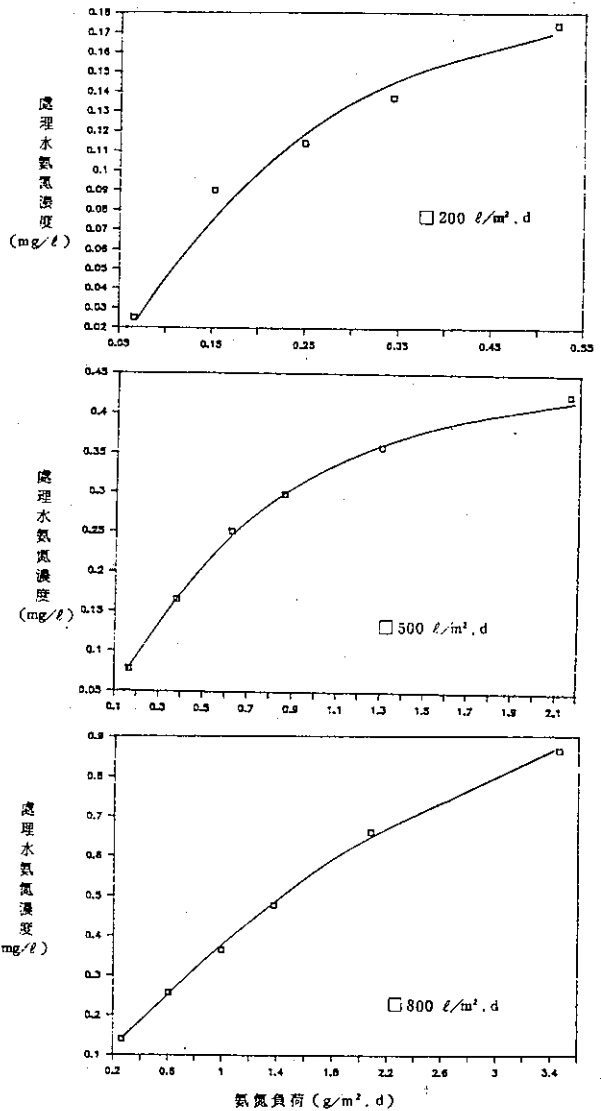


圖 7. 旋轉生物盤法不同流量下氮負荷與處理水濃度之關係

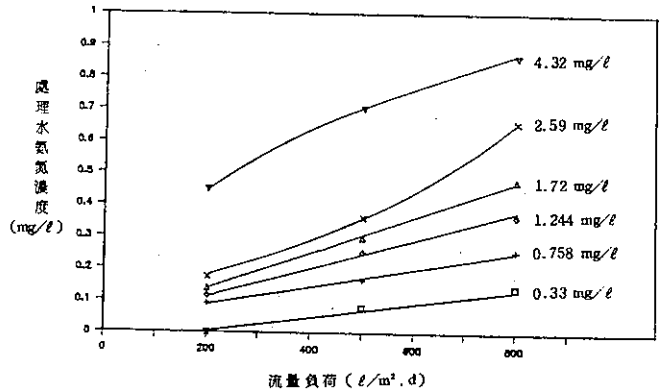


圖 8. 旋轉生物盤法不同原水氨氮濃度下流量負荷與處理水氨氮濃度之關係

C_0 = 原水氨氮濃度 (mg/l)

表 4 旋轉生物盤法各流量負荷下之硝化速率

流量負荷 (l/m ² ·d)	800	500	200
流量 (m ³ /d)	6.784	4.24	1.696
硝化速率 (g/m ² ·d)	$V_r=3.24 C_e^{1.56}$	$V_r=3.14 C_e^{1.27}$	$V_r=1.82 C_e^{1.11}$

4.4 不同有機物負荷之處理特性

將實驗結果中BOD 濃度的資料，劃分為六部份，並把每部份的BOD 濃度平均值在不同流量負荷下換算成BOD 負荷，分析每部份的BOD 去除率及處理水BOD 濃度如表 5。

(1) BOD 負荷與BOD去除率之關係

在同一流量負荷下，BOD 負荷與BOD 去除率之關係如圖10所示，顯示BOD 負荷增加時，BOD 去除率增加。

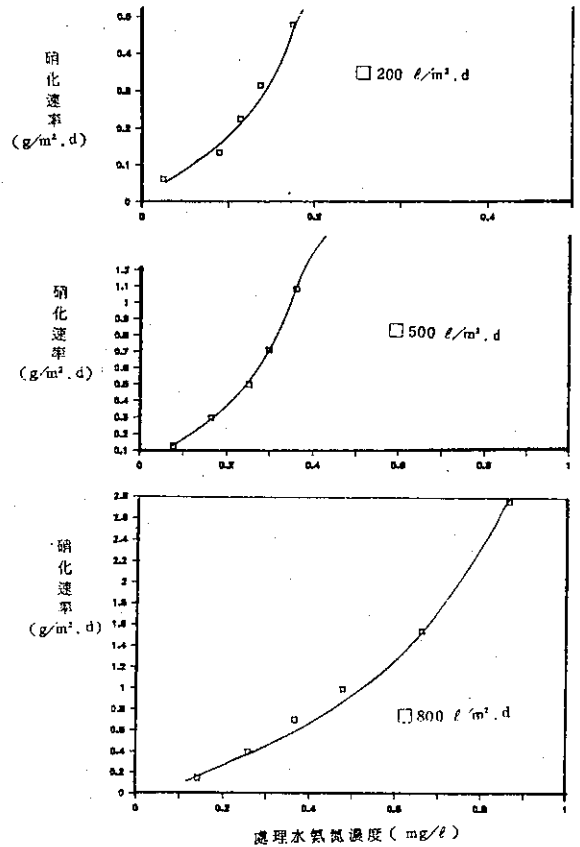


圖 9. 旋轉生物盤法不同流量負荷下硝化速率 (V_r) 與處理水氨氮濃度 (C_e) 之關係

表 5 旋轉生物盤法各負荷條件下BOD 之處理分析

BOD 濃度範圍 (mg/l)	800 l/m ² ·d			500 l/m ² ·d			200 l/m ² ·d		
	BOD負荷 (g/m ² ·d)	處理水BOD濃度 (mg/l)	BOD去除率 (%)	BOD負荷 (g/m ² ·d)	處理水BOD濃度 (mg/l)	BOD去除率 (%)	BOD負荷 (g/m ² ·d)	處理水BOD濃度 (mg/l)	BOD去除率 (%)
0.3-0.9 平均(0.563)	0.45	0.35	37.0	0.28	0.23	59.3	0.11	0.05	91.1
1.2-1.9 平均(1.48)	1.18	0.86	42.0	0.74	0.53	64.2	0.30	0.20	86.4
2.05-3.0 平均(2.48)	1.98	1.29	48.0	1.24	0.79	68.0	0.37	0.37	85.0
3.1-4.0 平均(3.44)	2.75	1.69	50.9	1.72	1.07	68.9	0.60	0.60	82.4
4.1-4.85 平均(4.37)	3.50	2.16	50.5	2.19	1.44	67.2	0.82	0.82	81.2
5.6-14 平均(5.86)	4.69	2.51	57.2	2.93	1.74	70.2	1.35	1.35	77.0

在流量負荷為 $200 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$ 之條件下操作時，其相對應之BOD負荷為 $0.11 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d} \sim 1.17 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$ ，此時之BOD去除率均在 77% 左右，且BOD負荷增加，BOD去除率並無明顯的增加，主要因流量負荷影響較大。在流量負荷為 $500 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$ 之條件下操作時，相對應之BOD負荷為 $0.28 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d} \sim 2.93 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$ ，此時BOD去除率隨BOD負荷的增加而稍有增加，但影響不大。而在流量負荷為 $800 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$ 之條件下操作時，相對應之BOD負荷為 $0.45 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d} \sim 4.69 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$ ，隨著BOD負荷的增加，BOD去除率可由 37% 提高至 57.2% ，故可知在高BOD負荷下，有助於提升BOD去除率，因異營菌有更多的機會生長。

(2) BOD負荷與處理水BOD濃度之關係

BOD負荷與處理水BOD濃度之關係如圖 11 所示，由圖 11 顯示隨BOD負荷的增加，其處理水BOD濃度呈線性增加，而欲達到二級公共給水之BOD水質標準時 ($\text{BOD} < 2 \text{ mg/l}$)，原水BOD負荷以小於 $3 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$ 為宜。

4.5 鹼度之消耗

將實驗期間中，鹼度之變化量（進、出水鹼度之差值）與氮氮去除量（進、出水氮氮之差值）相除，即得單位氮氮硝化所需消耗之鹼度量，整理如表 6。

由表 6 顯示，以RBC法操作時，三組

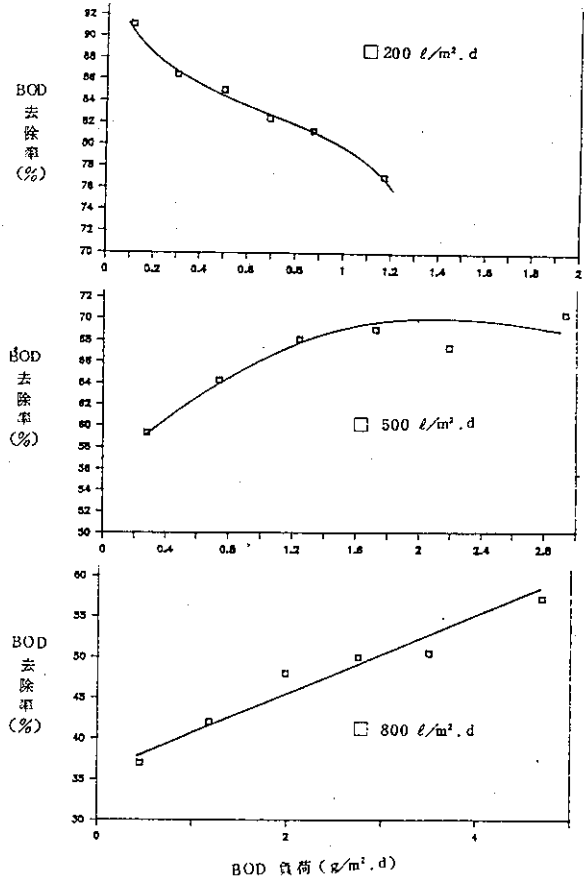
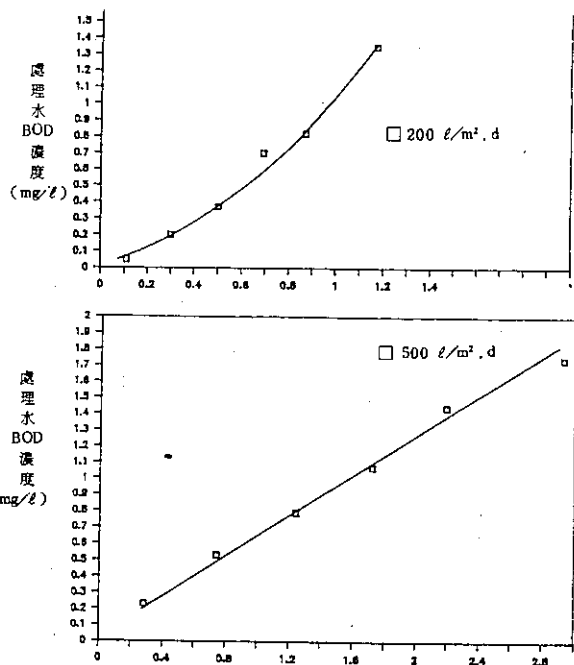


圖 10. 旋轉生物盤法不同流量負荷下 BOD 負荷與 BOD 去除率之影響



不同流量負荷 ($800 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$, $500 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$ 及 $200 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$) 之單位氮氮硝化所需之鹼度量分別為 7.52 , 7.61 及 7.50 , 與理論值稍有差異, 但與一般文獻記載者相近, 故於實際操作時, 可以理論值做為鹼度消耗之依據, 然在高氨氮, 低鹼度地區, 需注意應有足夠之鹼度以期硝化完全, 且鹼度消耗後會降低 pH , 抑制硝化作用, 故為防止鹼度之不足, 可以加入人工鹼度。本法操作時, 處理水 pH 均維持在 7 左右, 適合硝化菌生長, 且亦有足夠之鹼度使氮氮硝化完全。

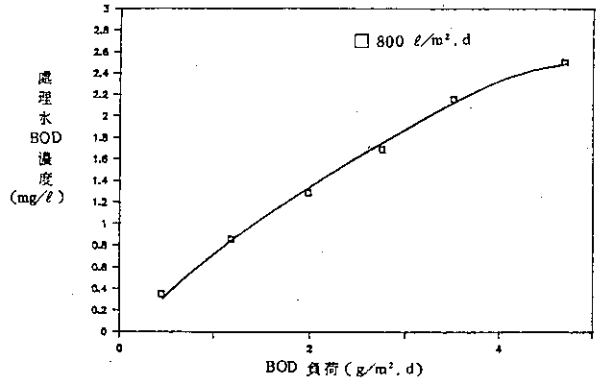


圖 11. 旋轉生物盤法不同流量負荷下 BOD 負荷與處理水 BOD 濃度之關係

4.6 原水及處理水加藥量之比較

(1) 加氯量之探討

圖 12 為 1986 年 1 月 9 日之原水及三組不同負荷處理水 ($800 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$, $500 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$, $200 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$) 例, 加入不同量之次氯酸鈉 (NaOCl), 經 30 分鐘之接觸時間後, 所測得之總餘氯量, 原水及處理水之氮氮分別為 0.915 mg/l , 0.413 mg/l , 0.254 mg/l , 0.099 mg/l , 由圖中可看出原水及處理水之折點加氯量分別為 11 mg/l , 5 mg/l , 3 mg/l , 0.8 mg/l , 其氯與氮氮比分別為 12.02 、 12.1

11.8 及 8.08 , 均比理論值 7.6 大, 此原因為原水及處理水含有一些有機物, 亦會消耗一些氯, 故使之折點加氯量較理論計算值為高。

將實驗期間中單位氮氮去除之折點加氯減少量的關係, 整理於表 7 。由表中可知在不同流量負荷操作下 ($800 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$, $500 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$, $200 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$) , 其加氯減少量約為氮氮去除量之 10.12, 10.54 及 10.55 倍, 總平均 10.20 倍。故氮氮去除量愈多, 折點加氯減少量也愈多, 此相對的降低了三鹵甲烷生成機會。

(2) 混凝劑 PAC 添加量之探討

表 6 旋轉生物盤法氮氮消化之鹼度消耗量

流量負荷 (l/m ² ·d)	鹼度消耗量 mg 氮氮去除量 mg	標準偏差	樣本數
800	(5.37 - 10.2) 平均 7.52	0.97	71
500	(5.41 - 9.71) 平均 7.61	0.81	71
200	(5.10 - 9.37) 平均 7.50	0.78	71

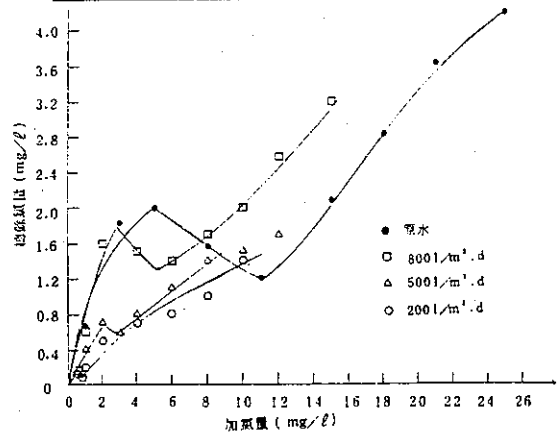


圖 12 加氯量與餘氯量之關係

本實驗混凝劑採用多元氯化鋁 (PAC)，研究濁度去除特性，並探討原水及處理水欲達到相同之濁度所需之最佳混凝劑添加量，如圖 13 為 3 月 2 日原水及三組不同負荷處理水 (800 l/m²·d, 500 l/m²·d, 200 l/m²·d)，經瓶杯試驗後之 PAC 添加量與殘存濁度之關係。由圖 13 可知原水及三組處理水之最佳 PAC 添加量分別為 30 mg/l, 25 mg/l, 20 mg/l 及 15 mg/l，茲將歷次實驗結果整理於表 8 及圖 14。顯示出當水中濁度愈高，所需之混凝劑量愈多。水中濁度 (x) 與 PAC 添加量 (y) 之關係可以下式表之：

$$y = 11.63 x^{0.374} \quad R^2 = 0.7815$$

式中 x : 水中濁度 (NTU) (3)

y : PAC 添加量 (mg/l)

表 8 旋轉生物盤法原水及各不同負荷處理水之濁度與最佳 PAC 添加量

日期	濁度 (NTU)				最佳混凝劑 PAC 添加量 (mg/l)			
	原水	800 l/m ² ·d	500 l/m ² ·d	200 l/m ² ·d	原水	800 l/m ² ·d	500 l/m ² ·d	200 l/m ² ·d
76.3.2	8.8	6.1	4.9	4.75	30	25	20	15
76.3.3	6.1	3.3	3.1	2.3	25	22	20	15
76.3.13	8.7	4.9	3.5	2.1	30	20	15	10
76.3.20	11.2	8.1	7.7	5.6	40	35	30	25
76.3.26	53	47	42	26	50	45	40	30
76.3.8	24	18	12	8.5	45	35	35	25
76.4.15	43	34	22	16	50	40	35	25

表 7 旋轉生物盤法氨氮去除之加氯減少量

流量負荷 (l/m ² ·d)	加氯減少量 mg 氨氮去除量 mg	標準偏差	樣本數
800	7.78 - 12.39 (平均 10.12)	0.90	22
500	8.05 - 12.45 (平均 10.54)	1.03	22
200	7.76 - 12.50 (平均 10.55)	0.98	22

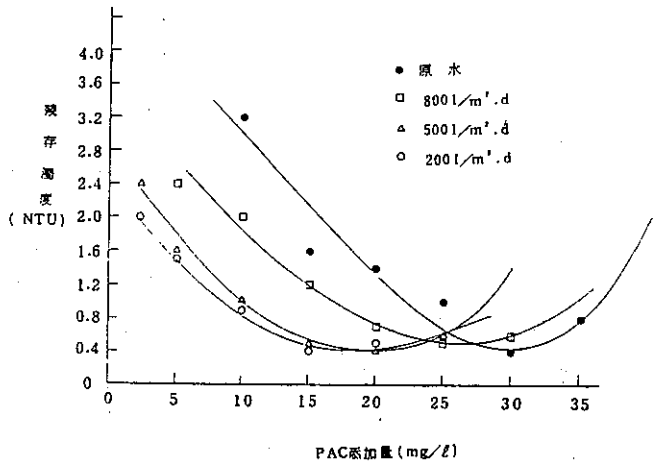


圖 13 旋轉生物盤法原水及各不同負荷下處理水之 PAC 添加量與殘存濁度之關係

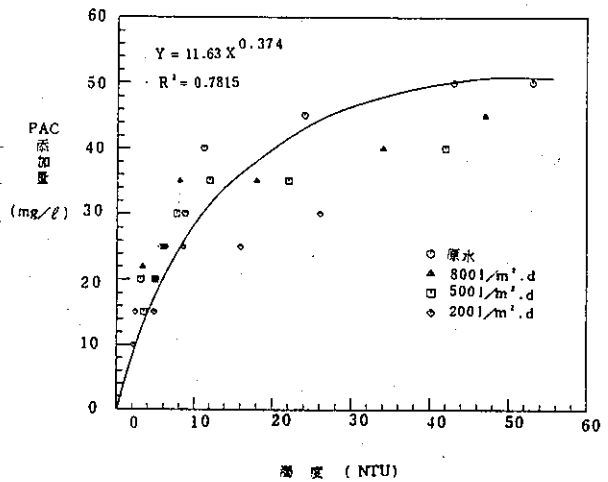


圖 14 旋轉生物盤法原水及各不同負荷下處理水之濁度與最佳 PAC 添加量之關係

根據表 8，將 PAC 減少率及單位濁度減少之 PAC 添加量整理於表 9，可知隨流量負荷的增加，其 PAC 減少率愈小，因此時濁度去除率低，而在不同流量負荷下（800 $\ell/m^2 \cdot d$ ，500 $\ell/m^2 \cdot d$ ，200 $\ell/m^2 \cdot d$ ）其所減少的 PAC 量分別為濁度去除量之 1.54、1.77、2.14 倍。

表 9：旋轉生物盤法不同流量負荷之 PAC 減少量

流量負荷 ($\ell/m^2 \cdot d$)	PAC 減少率 (%)	PAC 減少量 mg/ℓ
		濁度去除量 NTU
800	10 - 33.3 (平均 18.1)	0.83 - 2.63 (平均 1.54)
500	20 - 50 (平均 28.6)	0.71 - 2.88 (平均 1.77)
200	37.5 - 66.7 (平均 46.9)	0.74 - 3.70 (平均 2.14)

4.7 污泥量之探討

表 10 為 76 年 4 月 16 日 ~ 4 月 21 日連續 6 日之污泥量測定，由此表可看出流量負荷愈大，每天所產生的污泥量愈多，又每日之污泥量須視當日的原水水質及去除率而定，水質去除效果愈差，其污泥產量愈高，又由表中 TS 與 TVS 的比較，可知其 TS 均遠大於 TVS (平均 $TVS/TS = 21.8\%$)，故其污泥中有機成份偏低，因原水中有機物低，且硝化菌單位產量低，所以本法操作所產生之污泥主要乃為原水中的濁度，SS 等無機物質。將每天所產生的污泥量除以每天的處理水量，即得處理 $1 m^3$ 原水所產生之污泥量，由表中可知其平均值約在 $0.26 g/m^3 \sim 0.36 g/m^3$ 。

表 10 旋轉生物盤法不同流量負荷下之污泥產量

日期	濁度 (NTU)	SS (mg/ℓ)	每天所產生之污泥量 g/day						處理 $1 m^3$ 原水所產生之污泥量 g/m^3					
			800 $\ell/m^2 \cdot d$		500 $\ell/m^2 \cdot d$		200 $\ell/m^2 \cdot d$		800 $\ell/m^2 \cdot d$		500 $\ell/m^2 \cdot d$		200 $\ell/m^2 \cdot d$	
			TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS
76. 2. 16.	12	18	6.84	1.73	4.95	1.10	2.97	0.60	1.01	0.26	1.17	0.26	1.75	0.35
76. 2. 17.	8.2	28	5.85	1.56	4.71	0.94	2.41	0.51	0.86	0.23	1.11	0.22	1.42	0.30
76. 2. 18.	6.9	31	5.88	1.62	4.17	0.85	2.94	0.57	0.87	0.24	0.98	0.20	1.73	0.34
76. 2. 19.	17	44	9.60	1.80	5.49	1.35	3.25	0.69	1.42	0.27	1.29	0.32	1.92	0.41
76. 2. 20.	15	36	9.14	1.81	5.44	1.15	3.02	0.62	1.35	0.27	1.28	0.27	1.78	0.37
76. 2. 21.	16	40	9.36	1.89	5.45	1.11	3.08	0.64	1.38	0.28	1.29	0.26	1.82	0.38
平均	12.5	32.8	9.78	1.74	5.04	1.08	2.95	0.61	1.15	0.26	1.19	0.26	1.74	0.36

表 11 為原水處理水經混凝沈澱後之污泥量與原水直接以 RBC 處理之污泥量的結果所加入的混凝劑均為最佳劑量。由表顯示出原水以 RBC 處理再經混凝沈澱所產生之污泥量其間之差異性，整理於表 12，可知原水經 RBC 處理後再以混凝沈澱，二者所產生之總污泥量（即表中 B 值）比原水直接以混凝處理產生之污泥量（即表中 A 值）要小，其所減少量（A - B 值）視原水水質條件而異，且流量負荷愈低，污泥減少量也愈低。在流量負荷 = $800 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$ ， $500 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$ 及 $200 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$ 之條件下，平均污泥減少量 TS 為 50.89 g/m^3 ， 63.88 g/m^3 及 81.34 g/m^3 ，TVS 為 9.88 g/m^3 ， 12.9 g/m^3 ， 19.12 g/m^3 。

表 11 旋轉生物盤法處理與混凝處理產生之污泥量

日 期	濁 度 (NTU)	SS (mg/l)	旋轉生物盤法處理產生之污泥量 (g/m^3)						混凝處理產生之污泥量 (g/m^3)							
			800 $\text{l/m}^2 \cdot \text{d}$		500 $\text{l/m}^2 \cdot \text{d}$		200 $\text{l/m}^2 \cdot \text{d}$		800 $\text{l/m}^2 \cdot \text{d}$		500 $\text{l/m}^2 \cdot \text{d}$		200 $\text{l/m}^2 \cdot \text{d}$		原 水	
			TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS
76.4.13.	30	53	1.41	0.24	1.10	0.22	1.65	0.35	85.6	20.2	77.4	18.1	63.0	12.8	79.11	46.3
76.4.18.	23	47	0.85	0.21	1.10	0.23	0.65	0.21	109.3	32.1	89.5	29.1	67.6	24.3	150.2	37
76.4.20.	20	25	0.83	0.17	1	0.21	1.49	0.32	75.8	20.9	58.4	17.3	49.5	14.4	93	24
76.5.22.	31	65	0.95	0.18	1.18	0.23	1.56	0.31	101	28.3	88.4	24.3	57.2	10.8	168.9	40.1
76.5.26.	19	33	0.62	0.12	1.12	0.20	1.44	0.27	60.8	17.2	52.9	14.5	40.6	9.8	88.3	21.6

表 12 旋轉生物盤法處理與混凝處理之污泥量比較

日 期	濁 度 (NTU)	SS (mg/l)	A		B						A - B					
			原 水		800 $\text{l/m}^2 \cdot \text{d}$		500 $\text{l/m}^2 \cdot \text{d}$		200 $\text{l/m}^2 \cdot \text{d}$		800 $\text{l/m}^2 \cdot \text{d}$		500 $\text{l/m}^2 \cdot \text{d}$		200 $\text{l/m}^2 \cdot \text{d}$	
			TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS
76.4.13.	30	53	191.1	46.3	87.01	20.4	78.5	18.3	64.7	13.0	104.1	25.9	112.6	28	126.4	33.3
76.4.18.	23	47	150.2	37	110.15	32.3	90.6	29.3	68.3	24.5	101	4.7	59.6	7.7	81.9	12.5
76.4.20.	20	25	93	21	76.6	21.1	59.4	17.5	51	14.7	16.4	2.9	33.6	6.5	42	9.3
76.5.22.	31	65	168.9	40.1	101.95	28.48	89.58	24.53	58.76	11.11	66.95	11.62	79.32	15.57	110.14	28.99
76.5.26.	19	33	88.3	21.6	61.42	17.32	54.02	14.7	42.04	10.07	26.88	4.28	34.28	6.9	46.26	11.53
平 均	24.6	44.6	138.3	33.8	87.43	23.92	74.42	20.87	56.96	14.67	50.89	9.88	63.88	12.9	81.34	19.12

A：原水直接加 PAC 之污泥產量 g/m^3

B：原水先經旋轉生物盤法處理後再加 PAC 之總污泥量 g/m^3

五、結論與建議

本研究經以三座旋轉生物圓盤模廠，直接以受到污染之原水進行實驗，獲致如下之結論：

1. 根據實驗期之原水水質分析，原水達二級公共給水之BOD、氨氮水質標準，其及格率僅為25.0%，9.5%可見原水污染狀況非常嚴重，而以旋轉生物盤法做為預先處理時，處理水水質可大幅提升，減低後續淨水處理的操作負荷，可達到減少預氯量、混凝劑添加量及污泥量之三大目的。
2. 流量負荷愈高，對氨氮(0.0416~4.53 mg/l)、BOD(0.3~14 mg/l)、COD(0~55.0 mg/l)、濁度(6.1~85 NTU)之去除率愈差，在實驗期間流量負荷=200 l/m²·d下，平均去除率=89%、68.5%、80.6%、61.7%，且處理水水質可達到二級公共給水原水水質標準。
3. 旋轉生物盤法對氨氮和有機物的去除效果，以氨氮最高，顯見本法之去除作用以硝化作用為主，流量負荷(H_L)、原水氨氮濃度(C₀)及氨氮去除量(L_r)關係如下式：

$$L_r = 2.388 \times 10^{-3} H_L^{0.817} C_0^{1.056}$$

4. 對氨氮的去除效果顯示，在氨氮負荷大於3.45 g/m²·d時，氨氮去除率已有下降趨勢，若處理水欲達二級公共給水之氨氮標準(NH₃-N < 0.3 mg/l)，氨氮負荷應小於0.9 g/m²·d為宜。而對有機物的去除特性方面，欲達二級公共給水之BOD標準(BOD < 2 mg/l)，原水之BOD負荷應小於3 g/m²·d。
5. 實驗期間對鹼度的消耗量，在流量負荷為800 l/m²·d，500 l/m²·d及200 l/m²·d下，其單位氨氮硝化所需之鹼度量平均分別為7.52，7.61及7.50 mg/mg，總平均約7.54 mg/l與理論值7.14 mg/l相近，顯示原水鹼度足供硝化之需要。
6. 氨氮去除量愈大，折點加氯減少量也愈多。在流量負荷為800 l/m²·d，500 l/m²·d，200 l/m²·d下，其加氯減少量約為氨氮去除量之10.17，10.54及10.55倍。顯示可以旋轉生物盤法替代受污染原水的預氯處理。
7. 水中濁度愈高，所需之混凝劑添加量愈多，以旋轉生物盤法處理時，水中濁度(x)與混凝劑添加量(y)的關係如下式：

$$y = 11.63 x^{0.374}$$

在流量負荷為800 l/m²·d，500 l/m²·d及200 l/m²·d下，其所減少的PAC

量分別為濁度去除量的 1.54 , 1.77 及 2.14 倍。顯示以本法預先處理自來水原水濁度時，可以減少後續處理之 PAC 添加量。

8. 以旋轉生物盤法做為原水預先處理時，所產生之污泥量遠低於一般傳統混凝沈澱所產生的污泥量，且當達到相同水質，原水先經生物處理，再以 PAC 做混凝處理之總污泥量，亦低於原水直接加 PAC 後混凝沈澱產生之污泥，且流量負荷愈低，污泥所減少的量愈高。在流量負荷為 $800 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$, $500 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$ 及 $200 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$ 之條件下，其平均污泥減少量分別為 TS : 50.89 , 63.88 及 81.34 g/m^3 , TVS : 9.88 , 12.9 及 19.12 g/m^3 。
9. 綜合本實驗各項結論，利用旋轉生物盤法做為原水預先處理時，可獲致下述幾項優點：
- (1) 改善原水水質，減輕淨水廠之操作負荷。
 - (2) 減少原水的預氣量。
 - (3) 可減少所需混凝劑之添加量。
 - (4) 可減少產生之污泥量。

結 語

本研究計畫經費承台灣省自來水公司的支助，實驗期間承該公司謝啓男、廖四郎、王國堅等先生之協助，得以順利進行，在此謹致謝忱。又檢驗工作承張玉霞小姐配合，資料分析承張添晉、萬騰州、呂穎彬、莊順興、蔡振球等同學之協助，謹致謝意。

參 考 文 獻

1. Trussell, R. R. & Umphres, M. D, "The Formation of Trihalomethanes" JAWWA. 70:11:604 (1978)
2. 歐陽嶠暉 "旋轉生物盤法污泥特性" 中國文化大學實驗計畫研究所博士論文 1980年。
3. 歐陽嶠暉 "下水道工程學—旋轉生物圓板法" 長松出版社。
4. 佐藤壯夫及河相則夫 "大阪府における生物處理實驗" 用水と廢水 25 : 8 : 5 (1983)。
5. 須藤侍郎 "東京都における生物膜接觸酸化法の比較實驗" 用水と廢水 25 : 8 : 36 (1983)。
6. 石黑政儀等 "回轉圓板法における下水高度處理に関する研究 (I), (II)" 下水道協會誌 12 : 128 (1975) 14 : 152 (1977) 。
7. 浜野守等 "大阪府における生物處理實驗" 水道協會雜誌, 54 : 9 : 12 (1985)。
8. 岩井重久 "回轉圓板法" 生物膜法第 1 版, 產業用水調查會 pp.138 ~ 146 (1980)