

# 生物脫硝法處理污染源之研究

Pilot Study on Biological Denitrification  
for Polluted Water Supply

鄭幸雄\* 陳振正\*\* 羅宜川\*\*\*

## 摘 要

根據本計劃前二年之研究結果及相關文獻顯示，以生物硝化程序處理污染源已有良好之效果，惟硝化作用後之處理水含偏高之硝酸鹽濃度（ $2.7 \sim 6.4 \text{ mg/l}$ ），幾乎接近美、日公共給水之河川水質標準及我國飲用水標準。因此本研究繼續以模型廠規模之填充式焦炭生物濾床，串聯硝化—脫硝兩反應槽處理嚴重污染之東港溪溪水，進行硝化—脫硝試驗，以期完全去除原水中之氮化物及有機物。實驗結果，脫硝槽操作濾速在  $24 \sim 60 \text{ m/day}$ ，水力停留時間  $15 \sim 37.5$  分鐘時，硝酸氮去除率為  $30 \sim 53\%$ 。影響脫硝速率之兩大因素為溶氧及可生物分解之有機物，硝化作用後殘留之溶氧妨礙脫硝菌之生物還原能力，而剩餘之有機物無法供脫硝菌分解利用。當刻意加入有機碳源時， $\text{TOC}/\text{NO}_3^- - \text{N}$  比值大於 2.5 硝酸氮去除率升高達到  $80\%$  以上。但分析脫硝處理水質發現有機物（TOC）偶有漏出（Breakthrough）現象，判斷是生物質量（Biomass）裂解（Lysis）溶出所致，故有機碳源之添加應妥為謹慎。

---

\* 國立成功大學環境工程研究所副教授

\*\* 國立成功大學環境工程研究所碩士

\*\*\* 台灣省自來水公司工程師

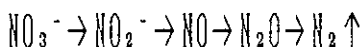
## 壹 . 前 言

給水源遭受污染的程度逐年增加。根據台灣省自來水公司鳳山水庫提供的資料，東港溪原水氨氮濃度由民國72年的0.58mg/l至民國77年上半年的2.85mg/l，耗氮量亦由民國72年的14mg/l升至77年上半年的48.1mg/l，顯示污染程度日益嚴重。給水源含偏高氨氮及有機物，若經生物氧化作用，氨氮轉化成亞硝酸氮、硝酸氮。中央大學歐陽氏在六堵自來水廠完成兩類模型廠研究，可將原水所含至高濃度氨氮9.4mg/l，硝酸氮2.06mg/l，BOD<sub>5</sub> 5.6mg/l，加以生物氧化為硝酸氮至高濃度7.4mg/l，幾乎接近美日公共給水之河川水質及我國飲水水質標準。又成功大學葉氏於東港溪港西抽水站進行填充式生物濾床模型廠試驗，也將原水所含氨氮至高濃度4.55mg/l，硝酸氮3.64mg/l，BOD<sub>5</sub> 9.6mg/l，生物氧化為硝酸氮至高濃度6.53mg/l，仍然偏高之硝酸鹽含量，不利於飲用水之衛生條件。蓋因硝酸鹽過多，會妨礙嬰兒血紅素組成，造成藍嬰病症狀。因此，本研究於東港溪港西抽水站進行兩種接觸式生物氧化法及無氧生物脫硝法模型廠試驗，藉生物硝化、脫硝程序徹底去除受污染給水源氮化合物及有機物等污染物，以開發生物脫硝處理技術於受污染水源之淨化程序，及尋求最佳之操作條件及實廠放大設計之參考。

## 貳 . 文 獻 回 顧

以往，生物脫硝作用是被應用於污水廠之第三級處理程序。其目的乃在於氮的去除，以防止放流水域之優養化。但是現在已有國家如法國、德國、英國、美國<sup>(1)</sup>等歐美國家開始研究將脫硝程序應用於飲用水水質之改善，並且有些國家已經具有工程化規模。表2-1是這些國家以生物處理去除硝酸鹽之經驗。

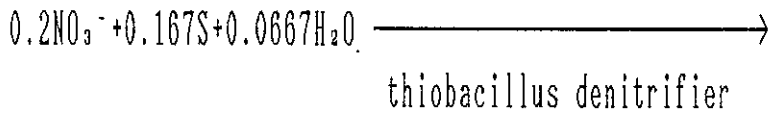
脫硝作用 (Denitrification) 乃脫硝菌 (Denitrifying organisms) 利用硝酸鹽或亞硝酸鹽為基質，以有機物或無機物如硫、氫為能源，將氧化態氮還原成氮氣 N<sub>2</sub> 之反應。其還原步驟為：



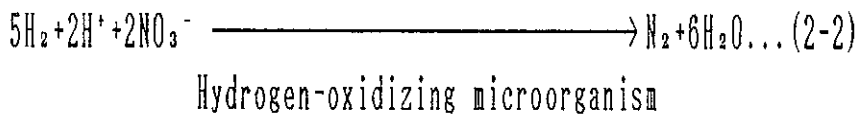
NO、N<sub>2</sub>O、N<sub>2</sub>皆為最終氣態產物，但以 N<sub>2</sub> 為主要產物，因NO、N<sub>2</sub>O其電子結構並不穩定。但仍有研究<sup>(2)(3)</sup>指出影響終產物形式因微生物種類、pH值而定，pH低於7.3，N<sub>2</sub>O生成量會增加。

脫硝菌依據其能源之利用屬於化學性營生物 (Chemotrophs)，可分為自營菌 (Autotrophs)，異營菌 (Heterotrophs) 二種。自營菌以無機物，如硫、氫為其能源，而異營菌以有機物為其之能量來源。其代表之反應方程式分別如下<sup>(4)(5)</sup>：

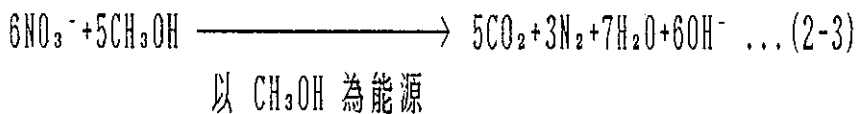
自營菌



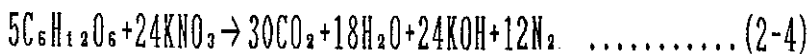
自營菌



異營菌



一般以異營脫硝菌佔大多數，種類亦多，包括<sup>(6)(7)</sup> Achromobacter, Alcaligenes, Bacillus, Chrombacter, Coryneboacterium, Halobacterium, Methanomohas, Moraxella, Paracoccus, Propionibacterium, Pseudomonas, Spirillum, Thiobacillus, 及 Xanthomonas 等。異營脫硝菌大部份利於缺氧 (anoxic) 狀況下進行代謝，但有些菌屬是兼氣性菌在低溶氧之下亦能進行代謝，這些菌在氧化有機質時利用硝酸鹽或氧分子作為電子接受者。以 glucose 為例說明<sup>(8)</sup>：



Energy yield per mole glucose: 570 kcal



Energy yield per mole glucose: 680 kcal

故有機物存在時，以氧作為電子接受者在熱力學上比硝酸鹽有利，即glucose 氧化產生之自由能較高，所以，溶氧存在時，有機物先行氧化，再行脫硝作用。因此為提高脫硝速率，在缺氧的環境裡較有利其作用。

而自營菌如 *paracoccus denitrificans*, *Thiobacillus denitrificans*, *Hydrogen-oxidizing microorganism* 等能利用氫、還原態硫作為能量來源進行脫硝作用，且不受溶氧之抑制。在德國已有利用自營菌進行地下水脫硝處理之工程設備，並已商業化<sup>(5)</sup>。

## 參 . 實 驗 設 備 與 方 法

本研究之實驗設備主要是設於港西淨水場區內之露天模型廠 (pilot plant)。本模型廠共有參座反應槽，分別進行硝化、脫硝試驗。硝化系統以平行方式操作導引東港溪原水當作進流水，而經硝化作用後之出流水再引入脫硝系統進行脫硝反應。全部實驗設備及操作流程如圖3-1所示，而試程之操作條件及期間整理如表3-2。

### 一. 模型廠系統

模型廠組成單元分別說明如下：

1. 反應槽：三座，包括蜂巢式接觸曝氣槽（以下簡稱R1）與填充式焦碳濾床（R3）之硝化系統各乙座，以及填充式焦碳濾床（R2）之脫硝系統乙座。反應槽之大小尺寸，採用之濾料規格整理如表3-1所示。
2. 貯存桶：二個，容積各為3m<sup>3</sup>，2m<sup>3</sup>。前者作為硝化填充濾床出流水收集和供應脫硝填充濾床進流水之用，後者作為脫硝加藥桶。皆為大峰牌產品。
3. 空氣壓縮機：二部110V，分別是1/2Hp，1Hp，復盛牌。
4. 流量計：氣體流量計2支；2-20 l/min，1-10 l/min。  
液體流量計3支；5-50 l/min，2-20 l/min，1-10 l/min。欣川牌面積式流量計，Ptype, PT型。

5. 進流泵：5部，離心式。1馬力1部當作濾床反沖洗之用，1/2馬力3部中分別當作反應槽進流水之進流馬達，另一部1/2馬力備用。

## 二. 實驗方法

### 1. 生物膜培養

由於脫硝填充濾床是承接自硝化濾床，所以培養之前先關掉原先之曝氣裝置，並改採上流式進流。培養期間以填充式硝化槽之出流水配製約 $30\sim 50\text{mg/l NO}_3^- - \text{N}$ 及 $100\text{mg/l}$ 之醋酸鈉 ( $\text{NaAc}$ )，考慮水中溶氧抑制脫硝菌之生長，先加入約 $20\text{mg/l Na}_2\text{SO}_3$ 及 $4\text{mg/l CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ；理論值每 $\text{mg/l D.O.}$ 需 $8\text{mg/l Na}_2\text{SO}_3$ ，以及 $2\text{ppm CoCl}_2 / 1\text{H}_2\text{O}$ ，但為求經濟，部份D.O.亦可由加入之碳源消耗之，而所需之植種污泥則取自成功大學環境工程研究所鄭幸雄教授之實驗室脫硝污泥，將此污泥以泵自採樣口平均打入槽內。因為配製基質不易，所以採用批式 (Batch) 培養，每二天配製基質乙次，同時測定進出流水之基質濃度。進流量 $2\sim 3\text{l/min}$ ，直到硝酸氣去除率維持在85%以上，培養期間約三周。水力停留時間 $20\sim 30\text{分}$ 。

### 2. 水質分析

水質分析主要項目均參照16th Standard Method，包括如下：

- (1) 硝酸鹽氮 ( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ )：變色酸法；Chromotropic Acid Method。
- (2) 亞硝酸鹽氮 ( $\text{NO}_2^- - \text{N}$ )：偶氮比色法。
- (3) 氨氮：直接納氏法；Direct Nesslerization Method。
- (4) 總鹼度：滴定法。
- (5) 濁度：Model 2100A, Hach chemical CO. U.S.A.。
- (6) 餘氯量：碘滴定法；Iodometric method。
- (7)  $\text{BOD}_5$ ：BOD恆溫培養箱。
- (8) 總有機碳 (TOC)；Total Organic Carbon Analyzer, Model 915B, Beckman Instruments, U.S.A.。TOC=T.C.-I.C.
- (9) pH：TOA pH meter, Japan。
- (10) 溶氧 (D.O.)：改良疊氮滴定法；Azide Modification。

(11) 掃描式電子顯微鏡 (S.E.M.) : 國科會南部貴重儀器中心。JSM-35, JSM-840。

(12) 真空臨界乾燥機 : Eiko Model No.DX-1。

在實驗操作過程, 另以掃描式電子顯微鏡 (S.E.M.) 輔助作系統之菌相觀察。

## 肆 . 結 果 與 討 論

脫硝濾床槽體是承接自硝化濾床, 將槽改成上流式, 在無氧狀態下刻意投入基質與脫硝污泥進行生物膜培養經一段時間即成。而其進流水是來自硝化濾床的出流水, 如此構成硝化、脫硝作用之串聯以處理嚴重污染之東港溪溪水。表4-1是脫硝濾床R2槽之處理結果。

### 一. 脫硝速率限制因子之探討

圖4-1是R2槽試程一至試程四之硝酸氮去除率, 即濾速45、30、60、24 m/d, 水力停留時間20、30、15、37.5分鐘時之硝酸氮去除率。各試程硝酸氮平均去除率分別是36、53、30、43%, 由此可知濾速愈大, 水力停留時間愈短, 硝酸氮之去除率愈低。Suraphong wat-tanachira<sup>(9)</sup>於實驗室操作填充式脫硝濾床在添加有機碳源情況下, 水力停留時間僅12分鐘時, 可使硝酸氮去除率達95%, 這也許是因外加碳源可促使反應速率增快之故, 不過試程四與試程二比較, 其水力停留時間分別是37.5分鐘及30分鐘, 試程四硝酸氮去除率平均43%仍不及試程二之53%, 顯見水力停留並非主要關鍵, 真正的原因可能是溶氧及可供脫硝菌利用之有機物濃度。圖4-2是試程一至試程四R2槽進出流水溶氧值, 操作初期即試程一進流水溶氧0.2~6.3mg/l, 平均值3.5 mg/l。Lan & Nicholas<sup>(10)</sup>研究脫硝菌 *Paracoccus denitrificans* 發現脫硝過程硝酸鹽, 亞硝酸鹽各有其不同之酵素催化進行還原作用, 有氧存在亞硝酸鹽還原酵素 Nitrite reductase 易被抑制, 當亞硝酸鹽濃度達0.1 mM 以上則無抑制現象。而硝酸鹽還原酵素 Nitrate reductase 不受氧分子抑制, 因此有氧存在情況下亞硝酸氮會累積, 直到足夠濃度, 亞硝酸鹽還原酵素的活性才會提高。此現象與本研究試程一亞硝酸氮累積之情況相符合, 如圖4-3。圖4-3是試程一至試程四R2槽進出流水亞硝酸氮濃度值, 由圖觀之在操作初期, 即試程一時出流水亞硝酸氮濃度有時高出進流水亞硝酸氮濃度, 顯示其係因溶氧太高亞硝酸鹽還原酵素活性降低致亞硝酸氮累積。

為了降低R2槽進流水溶氧值，採用二種措施因應，一是降低硝化槽之曝氣量使其出流水溶氧值降低且提高該出流水在貯存桶的停留時間，二是以氣氣提法趨走溶氧以降低R2槽進流水之溶氧濃度。圖4-4是貯存桶進出流水之溶氧值，由圖可知利用貯存桶只能耗去約1~1.5mg/l之溶氧並且變動頗大而使R2槽進流水仍有1.5~2.0 mg/l之溶氧，即試程二至試程三。而且調低硝化槽曝氣量致供氧不足，硝化作用不完全，硝化氮氣濃度增加，如圖4-5所示。圖4-5是R2槽於試程一至試程二進出流水氮氣濃度值，圖中試程二進流水氮氣濃度達到0.04~2.67mg/l，顯示硝化槽之硝化作用不完全，而再觀察圖4-5，發現在此兩試程，出流水之氮氣濃度高於進流水氮氣濃度，這現象是R2槽在進行生物膜培養之後，因開始運轉進流水基質濃度驟然降低，使得大量之biomass相繼進入體用呼吸期而裂解(Lysis)出氮氣，此現象曾將槽中污泥攜回實驗室作簡易之BNP<sup>(11)</sup>，生化氮氣試驗得到證明。故在此措施之下，R2槽進流水溶氧無法更低，而且造成硝化槽之硝化作用不完全。因此以氣氣提法趨走溶氧，使R2槽進流水溶氧低於1mg/l以下，圖4-2試程四(第50天以後)，系統在接近無氧狀態;溶氧1 mg/l以下，硝酸氮平均去除率僅43%，此時水力停留時間是37.5分鐘。如此顯示除溶氧會抑制脫硝速率之外，可供脫硝菌利用之有機物濃度可能亦是影響硝酸氮去除率之另一因素。

圖4-6是R2槽試程一至試程四硝酸氮去除率與 $\Delta BOD_5/\Delta NO_3^- - N$ 即 $BOD_5$ 去除量與硝酸氮去除量比值之混合圖，而表4-2是各試程之 $\Delta BOD_5/\Delta NO_3^- - N$ 、硝酸氮去除率、水力停留時間、進流水溶氧等之平均值。由表4-2發現硝酸氮去除率在進流水溶氧、水力停留時間、 $\Delta BOD_5/\Delta NO_3^- - N$ 大小等三者互相影響之下，不甚理想。

## 二.有機碳源之添加

影響脫硝速率可能因素有水力停留時間、溶氧、有機物濃度等等。但在異營性生物脫硝仍以有機物濃度為主要影響因素，而且從表4-2可以得知硝化處理水後之有機碳源濃度對脫硝系統顯有不足。Suraphong Wattanaachira<sup>(9)</sup>操作填充式脫硝濾床，於溶氧高達7.8~8.5mg/l，水力停留時間12分，濾速100 m/d時以甲醇為外加有機碳源，可使硝酸氮去除率達95%以上。而Nakis<sup>(12)</sup>以醋酸鈉為有機碳源 $BOD_5/NO_3^- + NO_2^-$ 比值2.38以上，脫硝作用可達到100%。Dahab<sup>(13)</sup>等以醋酸當作有機碳源在C/N比接近1.5時可幾乎完全去除硝酸氮，他等並建議勿以甲醇用於給水方面，因其具有毒性，且易燃

。故本研究以工業級醋酸鈉作為外加之有機碳源進行脫硝試驗，圖4-7是添加有機碳源之後即試程五至試程八之硝酸氮去除率，其濾速分別是50、65、80、95 m/d，硝酸氮平均去除率是82、86、97、78%，顯示硝酸氮之去除率比未加碳源即試程一至試程四36~53%高出甚多。又圖4-8、圖4-9分別是未加碳源硝酸氮體積負荷與其去除量之關係，由此兩圖比較可知在相同硝酸氮體積負荷時，添加碳源者之脫硝速率比未加碳源時了近兩倍。

圖4-10是R2槽在添加有機碳源操作期間進出流水亞硝酸氮濃度變化，圖中顯示在添加有機碳源操作初期即試程五，亞硝酸氮有累積之現象，試程六起則不再有累積情形，解釋其原因可能是添加有機碳源初期生物膜厚度不大，亞硝酸鹽還原酵素仍受試程五進流水平均溶氧濃度 1.5 mg/l 之抑制，而有亞硝酸氮累積現象。之後生物膜厚度增大，溶氧質傳阻力提高，降低了對生物膜內亞硝酸還原酵素的抑制。另一方面生物膜厚度增加，biomass 量亦相對提高，造成水頭損失由試程五的40cm提高到試程六的 88cm及試程七之112cm。而出流水氨氮濃度也因槽內微生物之裂解而增加，如圖4-11所示，圖4-11是R2槽試程五至試程八進出流水氨氮濃度變化。試程七末期以後，出流水氨氮濃度偶有高出進流水氨氮濃度，而以試程八情況更為普遍。

圖4-12是R2槽添加有機碳源期間進出流水總有機碳TOC濃度變化，由圖觀之TOC偶有漏出現象，尤其在第10天至第15天期間，出流水TOC濃度高過進流水TOC濃度，推測這是biomass裂解及殘餘TOC漏出(Breakthrough)所致，因此對有機碳源之添加需適量，以減少殘留之有機物對後續淨水工程之困擾。圖4-13是進流水  $\text{TOC} / \text{NO}_3^- - \text{N}$  比值與硝酸氮去除率關係曲線，當 C/N 比值達到約2.5 以上，硝酸氮去除率可達80%以上，此比值與 Dahab<sup>(13)</sup>在實驗室以醋酸當作有機碳源 C/N 1.5 時可幾乎完全去除硝酸氮比較，顯然高些。而 Jeris<sup>(14)</sup>以模型廠操作，甲醇作為有機碳源，C/N 比值約 2.9 可有95%以上之硝酸氮去除率與之比較，則相接近。再觀察圖4-12發現出流水TOC濃度仍有殘餘，因此有機碳源之添加濃度須再降低，且對有機碳源添加需保持謹慎態度以達到真正處理之目的，而出流水可能含沖刷出之 biomass 對淨水工程之影響，根據實廠之操作經驗<sup>(1)</sup>必需有後續則需進一步研究。處理程序如再曝氣、砂濾或活性碳過濾吸附及消毒以完全去除殘餘微量之有機物粒狀物，而 Slot<sup>(15)</sup>研究實廠操作並無臭味及致病菌釋出之問題，但實際情況如何，則需進一步研究。

## 伍 . 結 論 與 建 議

本研究以生物無氧脫硝法串聯於硝化系統之後續程序進行模型廠試驗，將受污染嚴重之東港溪原水中之氮化物、有機物予以去除，以作為淨水程序之前處理可行性探討。試驗所獲致之結論分述如下：

1. 填充式脫硝濾床串聯於硝化系統之後，未添加有機碳源時脫硝效率受溶氧及水中所含生物分解之有機物影響甚大，濾速 $24\sim 60\text{m/day}$ ，水力停留時間 $15\sim 37.5$ 分鐘，硝酸氮去除率 $30\sim 53\%$ 。雖然如此，原水經硝化後脫硝程序於濾速 $30\text{m/day}$ ，水力停留時間30分鐘時，可使處理水 $\text{BOD}_5$ 降至 $1\text{mg/l}$ 左右。
2. 東港溪原水經喜氣硝化作用後，剩餘之有機物為生物難分解者，故為促進生物脫硝作用之完全，需加入少量有機碳源，當 $\text{TOC}/\text{NO}_3^--\text{N}$ 比值大於2.5時，即有80%以上之硝酸氮去除率，但顧及水質安全，添加有機碳源應採謹慎態度，並以易溶解者為優先考慮之碳源基質。
3. 脫硝作用需建立在硝化完全之大前提之下，操作方有意義與效果。硝化、脫硝串聯程序之瓶頸在於溶氧及生物分解之有機物，未添加有機碳源時或可於填充式脫硝濾床適當之濾料粒徑時，加高濾床高度，增加水力停留時間，以完全去除硝化後剩餘之有機物及氮化合物。
4. 污染源經生物硝化可有效去除氨氮含量，如硝酸氮濃度高出 $5\text{mg/l}$ ，後續擬以生物脫硝程序分解硝酸鹽，但得添加少量有機碳源基質，才能促進脫硝作用完全。

### 誌 謝

本研究計畫由台灣省自來水公司提供研究經費，謹此誌謝。又研究期間承助理陳見和、黃維祥之協助，一併致謝。

# 參 考 文 獻

1. Bouwer, E.J. and Crowe, P.B., " Biological process in Drinking Water Treatment ", J.AWWA, Vol.80, No.9, pp.82-93,1988.
2. Delwiche, C.D. " Denitrification in Inorganic Nitrogen Metabolism " ed. by W.D. McElroy and B. Glass, Johns Hopkins press, Baltimore, pp.233-256, 1956.
3. Wijler J. and Delwiche, C.C. " Investigations of the Denitrifying Process in Soils ", Plant and Soil, 5, pp.155-169,1954.
4. Lewandowski Z., Bakke R. and Characklis W.G. " Nitrification and Autotrophic Denitrification in Calcium Alginate Be-ads. " Wat. Sci. Tech. 19, pp.139, 1987.
5. Gros, H. Schnoor, G. and Rutten, " Biological Denitrification Process with Hydrogen-oxidizing Bacteria for Drinking Water Treatment, " Water Supply, Vol.6, pp.193-198,1988.
6. Yull-Rhee, G. and Fuhs, G.W., " Wastewater Denitrification with One Carbon Compounds as Energy Source ", J.WPCF, Vol.50, pp.2111-2119, 1978.
7. Payne, W.J., " Denitrification " Trends in Biochemical Sci., 1. pp.220-222, 1976.
8. Delwiche, C.C. The Nitrogen Cycle, Scientific American, 223, No.3, pp.137-146, 1970.
9. Suraphong Wattanchira and Kenji Fujita " Biological Denitrification In Granular Filters, " pp.563-569.
10. Lam, Y., and Nicholas, D.J.D., " Aerobic and Anaerobic Respiration in Micrococcus Denitrificans. " Biochemica et Biophysica Acta, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 172, pp.450-461, 1969.
11. 鄭幸雄等, 固定生物膜脫氮程序之基礎研究, 國科會計畫期末報告, 民國78年1月。
12. Nakis, N., Rebhun, M. And Sheindorf CH., " Denitrification at various Carbon to Nitrogen Ratio ", Water Res., Vol.13, pp.93-98,1979
13. Dahab, M.F. and Lee, Y.W. " Nitrate Removal from water Supplies Using Biological Denitrification. " J.WPCF, Vol.60, No.9, pp.1670-1674, 1988.
14. Jeris, John S., and Owens, R.W. " Pilot Scale High Rate Biological Denitrification at Nassau County, N.Y. " Presented at the Winter Meeting of the New York Water Pollution Control Association, Jan. 1974.
15. Slot, G., " Nitrate Removal: A Compromise Solution ", Water Quality Intl., Vol., pp.29,1987.

表 2-1 生物處理去除硝酸鹽之經驗 (摘自文獻<sup>(1)</sup>)

程	序	地 點	進流水硝酸氮 濃 度 mg/l	去 除 率 %
生物過濾法				
實 廠		法國, Eragny	13.5	50
實 廠		法國, Eragny	37.9	84
模型廠		英國	未 報 告	78-100
流體化床法				
模型廠(26-45mgCH <sub>3</sub> OH/L)		英國, Bucklesham	14	100
實 廠		英國, Stevenage	15	63
旋轉生物圓板法				
實 廠(CH <sub>3</sub> OH C:N=2.6:1)		美國加州, Laverne	60-80	91-93
土壤-水層過濾法				
實廠(dune infiltration)		荷蘭, Castricum	22.5	72
實廠(bark filtration)		德國, Rhine River	未 報 告	75
自營性脫硝法				
模型廠		法國	18.1	90-100
模型廠		法國, Eragny	109-168	78-85
模型廠		荷蘭	65-70	>90

表 3-1 反應槽體積及濾料

反 應 槽 項 目	系 統		
	硝 化 系 統	蜂 巢 式	脫 硝 系 統
	填 充 式 R3	蜂 巢 式 R1	填 充 式 R2
濾 料	焦 碳	*PVC浪板	焦 碳
粒徑大小 cm	1~2.5	**140 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0.8~1.3
濾料高度 cm	*** 200	60×60×30, 5	*** 180
反應槽大小 cm	50×50×400	70×60×230	35 (D) ×300
材 質	鐵	碳鋼 (SS41)	碳鋼 (SS41)
孔 隙 率	0.35	0.94	0.4
水頭計量口	每隔40cm, 共5個	每隔25cm, 共6個	每隔20cm, 共5個
採 樣 口	每隔40cm, 共5個	每隔25cm, 共6個	每隔20cm, 共6個

\* 瑞典Munters公司出品, Biodek 19型

\*\* 比表面積

\*\*\*含30cm之無煙煤層

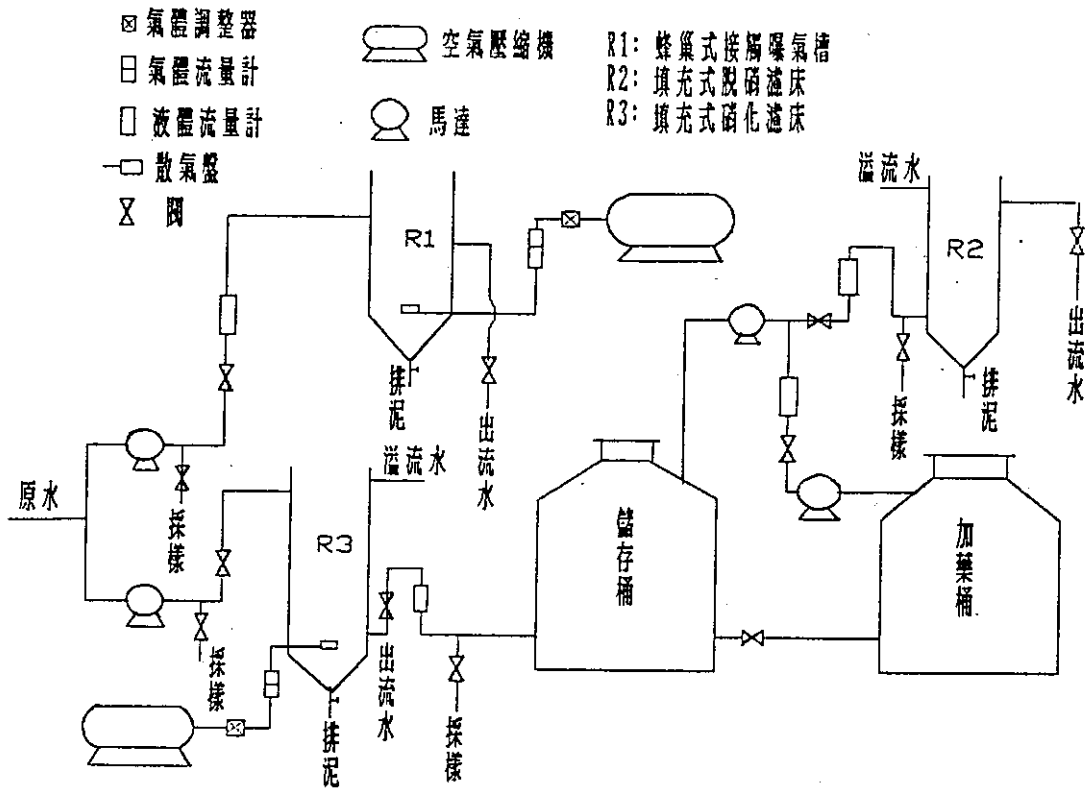


圖 3-1 實驗設備及流程示意圖

表 3-2 填充式濾床R2槽脫硝試程之操作條件及期間

試程	流量 l/min	HRT min	濾速 m/day	流量負荷 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ·day	進流水硝酸氮 mg/l	硝酸氮負荷 g/m <sup>3</sup> ·day	期 間	濾料 高度 cm	樣本 數	氣提法	外加 碳源
1	3	20	45	25	0.47~6.36 (4.1)	11.8~158.3 (102.5)	78.3.18~ 78.4.15	180	21	無	無
2	2	30	30	16.6	1.94~4.65 (2.98)	32.2~77.2 (49.5)	78.4.17~ 78.5.14	180	14	無	無
3	3	15	60	33.3	2.6~5.1 (3.75)	86.6~169.8 (124.9)	78.5.18~ 78.6.15	180	16	無	無
4	1.6	37.5	24	13.3	3.5~4.4 (3.83)	46.6~58.5 (50.9)	78.12.4~ 78.12.25	180	11	有	無
5	3.35	18	50	27.9	2.26~3.21 (2.65)	63.1~89.6 (73.9)	78.8.3~ 78.8.8	180	6	無	有
6	4.35	13.8	65	36.2	2.47~3.18 (2.79)	89.4~115.1 (101)	78.8.9~ 78.8.20	180	5	無	有
7	5.35	11.2	80	44.5	1.92~2.74 (2.33)	85.4~121.9 (103.7)	78.8.21~ 78.8.26	180	6	無	有
8	6.35	9.4	95	52.8	1.83~4.01 (2.97)	96.6~211.8 (156.8)	78.8.28~ 78.9.6	180	9	無	有

註：(1)HRT以60l計算之

(2)硝酸氮負荷 = 流量負荷 × 進流水硝酸氮

(3)流量負荷 = 流量 / 濾料空槽體積, 0.173m<sup>3</sup>

表 4-1 填充式濾床 R2槽進行脫硝試程之處理結果

試程	項目	硝酸氮		亞硝酸氮		氨氮		pH		鹼度 as CaCO <sub>3</sub>		溶氧		BOD <sub>5</sub>		TOC		水質	氮去除率 (%)	BOD <sub>5</sub> 去除率	TOC去除率	樣本數	
		進	出	進	出	進	出	進	出	進	出	進	出	進	出	進	出						
1	最大平均值 最小平均值 標準差	6.36	5.31	0.54	0.39	1.21	0.97	7.6	7.6	360	380	6.3	6.0	6.9	6.3	11.9	14.4	30	30	92.3	71.7	9.4	21
		0.47	0.33	0.06	0.05	0.23	0.03	5.9	6.8	185	184	0.2	0.2	2.2	1.3	5.9	3.6	20	20	8.8	13.6	-30.9	
		4.11	2.6	0.2	0.18	0.22	0.22	7.3	7.3	224	230	3.5	1.8	4.2	2.3	8.8	9.2	25	25	36.5	40.3	-7.9	
2	最大平均值 最小平均值 標準差	1.39	1.13	0.12	0.09	0.28	0.23	0.34	0.22	34.2	37.2	1.79	1.96	1.79	1.96	2.03	3.84	33	33	20.6	21.6	14.5	14
		4.65	3.73	0.45	0.35	2.67	3.16	7.6	7.5	238	234	3.6	1.3	7.4	5.9	11.5	6.2	33	33	86.9	69.8	100	
		1.94	1.58	0.32	0.18	1.04	1.04	6.7	6.8	204	213	0.9	0.6	2.5	1.0	5.3	3.8	28	28	29.9	3.2	-350	
3	最大平均值 最小平均值 標準差	5.1	3.9	0.06	0.07	4.1	3.43	7.6	7.2	234	235	1.8	1.1	8.3	4.6	6.3	6.2	32	32	45.3	69	8	16
		2.6	2.60	0.21	0.09	1.2	0.95	7.5	7.4	159	152	0.8	0.8	3.3	3.0	5.4	5.4	26.5	26.5	14.1	19.7	42.8	
		0.9	0.70	0.24	0.18	1.08	0.94	0.11	0.10	17.7	19.3	0.26	0.14	1.59	1.2	0.9	0.4	1.59	1.59	7.92	7.92	20.69	
4	最大平均值 最小平均值 標準差	4.4	3.1	0.07	0.08	1.3	1.1	7.2	7.5	201	206	2.9	1.2	1.8	1.2	10.1	8.6	26	26	80	71.4		11
		3.5	0.7	0.02	0.05	0.18	0.13	7.2	7.4	180	181	0.4	0.1	0.4	0.4	7.2	8.0	21	22	21.6	21.6		
		3.8	0.71	0.01	0.02	0.36	0.32	0.11	0.10	191	195	1.0	0.4	1.2	0.7	8.3	8.0	1.1	1.28	42.9	69	2.39	
5	最大平均值 最小平均值 標準差	3.2	1.42	0.1	0.17	0.66	0.61			212	212	2.5	0.4			45.9	35.5	29	29	100	100	55.2	6
		2.2	trace	0.03	0.06	0.25	0.41			139	152	0.8	trace			7.2	8	32	32	40	40	-13.5	
		0.4	0.48	0.02	0.06	0.12	0.21			167	23.2	1.5	0.1			24.7	18.4	1.1	1.1	81.5	81.5	23.3	
6	最大平均值 最小平均值 標準差	3.18	0.89	0.28	0.34	0.52	0.55	7.1	8	244	225	2.1	0.6			36.4	25.4	33	33	99	100	59.2	5
		2.47	0.06	0.07	0.01	0.41	0.33	6.8	7.2	184.5	179	0.9	trace			10.7	8.3	30	30	72	70	-84.2	
		2.79	0.4	0.08	0.15	0.12	0.14	6.9	6.8	205	195	1.5	0.12			19.1	14.3	31	31	86.4	86.4	13.9	
7	最大平均值 最小平均值 標準差	2.74	0.29	0.07	0.04	0.62	0.28					3.8	-			31.4	32	32	32	100	100	39.5	6
		1.92	0.03	0.03	0.02	0.3	0.14					2.3	trace			10	10	28	28	95.4	97.3	-19	
		2.33	0.06	0.1	0.02	0.18	0.09					1.0	-			17.7	17.7	1.49	1.49	5.0	5.0	10.8	
8	最大平均值 最小平均值 標準差	4.01	1.07	0.17	0.05	0.5	0.74					3.4	-			25.4	18.4	33	33	100	100	49.1	9
		1.83	0.69	0.03	0.02	0.09	0.42					1.9	trace			21	12.9	30	30	70	70	20.2	
		3.1	0.33	0.06	0.01	0.13	0.21					0.99	trace			23.7	16	31.5	31.5	78.3	78.3	31.6	
															1.89	2.31	0.7	0.7	9.19	9.19	12.6		

表 4-2 影響脫硝速率可能因素之平均值

項目	試程	一	二	三	四
HRT mins		20	30	15	37.5
inf DO, mg/l		3.5	1.7	1.1	1.0
$\Delta BOD_5 / \Delta NO_3^- - N$		0.55	1.47	1.62	0.92
$NO_3^- - N$ Rem %		36	53	30	42

註：pH 7.1~7.6 溫度 20~31°C

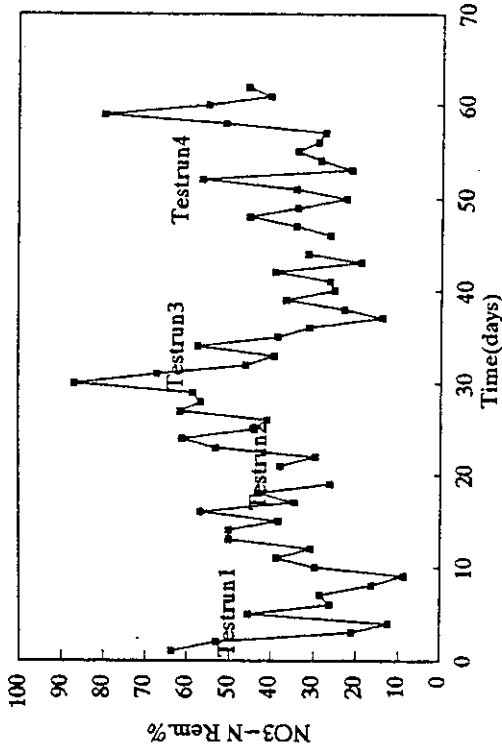


圖 4-1 填充式脫硝濾床R2槽試程一至試程四之硝酸氮去除率

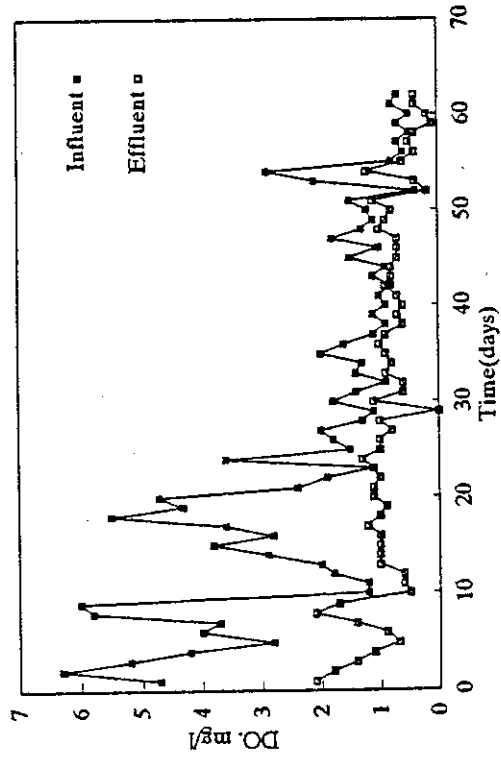


圖 4-2 R2槽試程一至試程四進出流水溶氧濃度

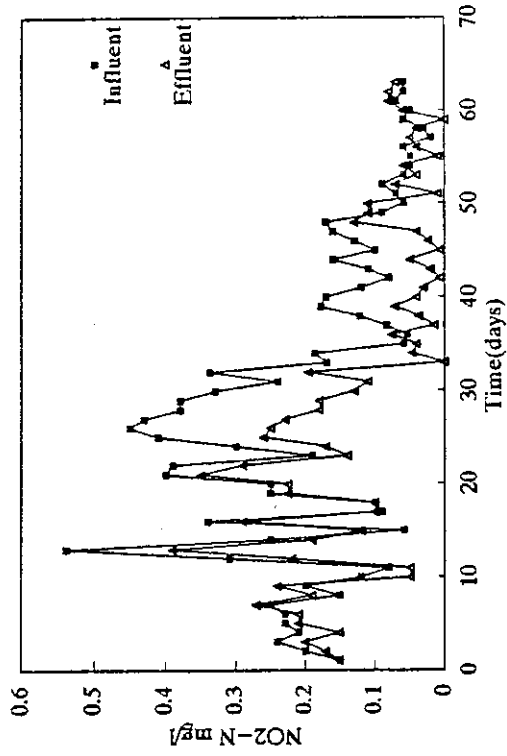


圖 4-3 R2槽試程一至試程四進出流水亞硝酸氮濃度變化

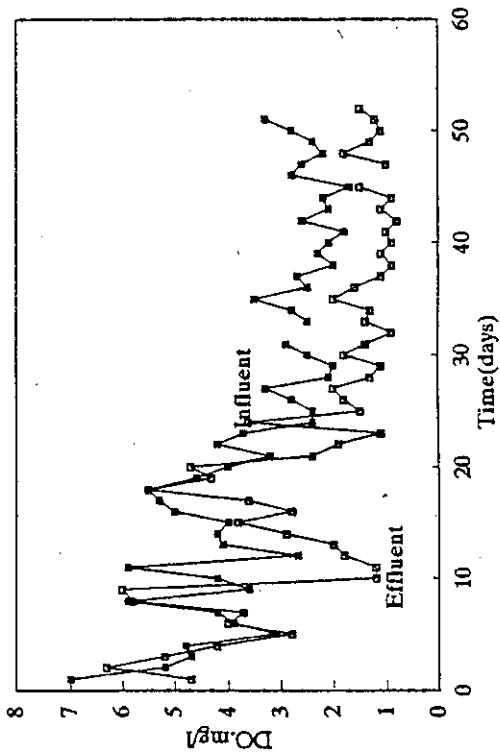


圖 4-4 貯存桶進出流水溶氧濃度

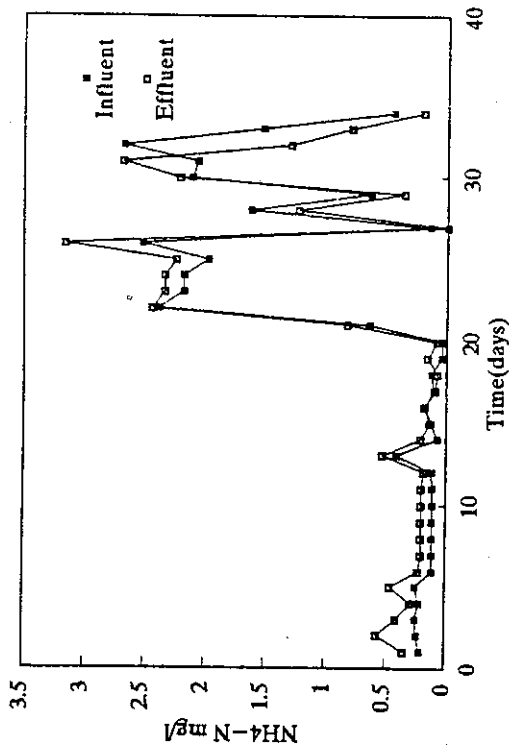


圖 4-5 R2槽試程一至試程二進出流水氨氮濃度

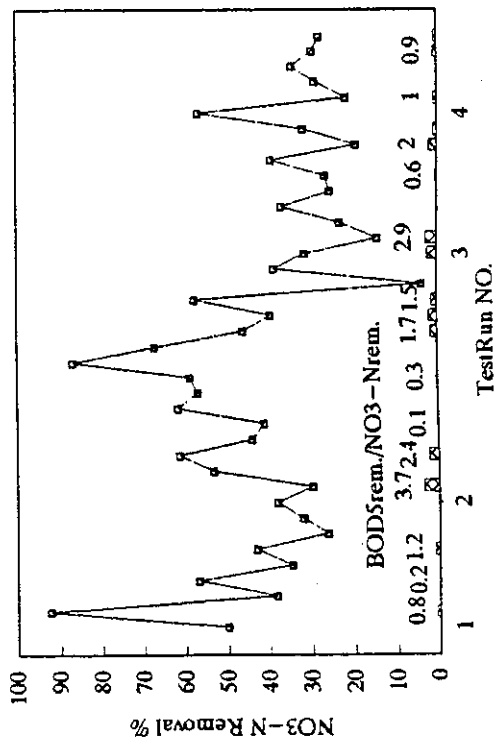


圖 4-6 R2槽試程一至試程四硝酸氮去除率與 $\Delta\text{BOD}_5/\Delta\text{NO}_3\text{-N}$

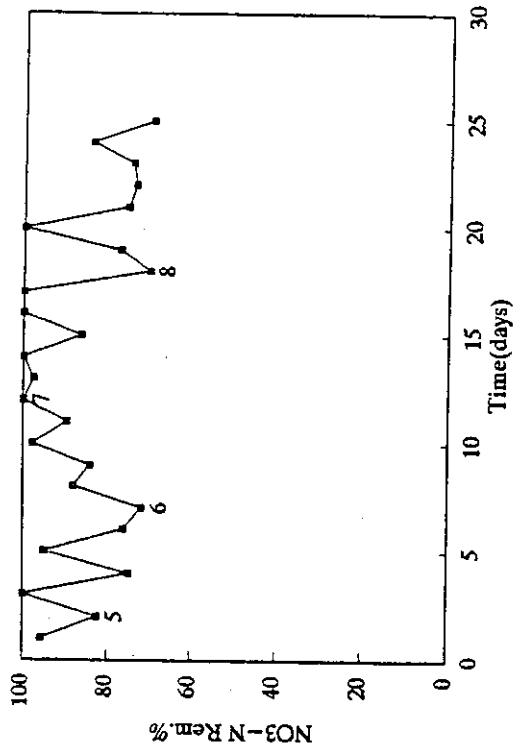


圖 4-7 R2槽試程五至試程八之硝酸氮去除率

混合圖

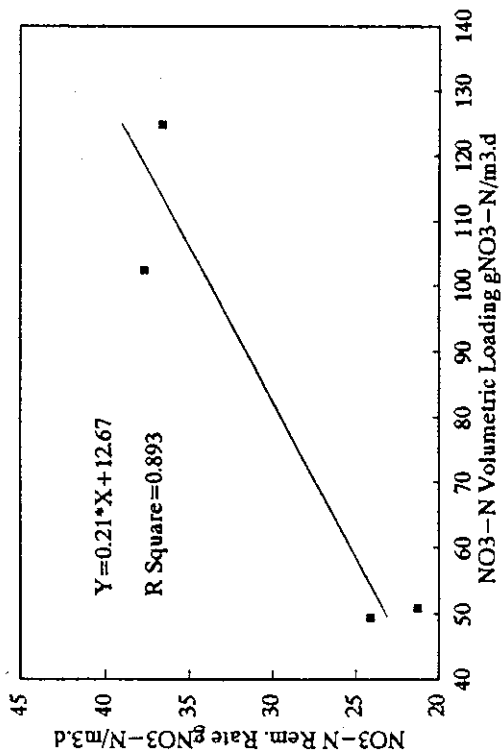


圖 4-8 R2槽未添加碳源硝酸氮體積負荷與硝酸氮去除量之關係

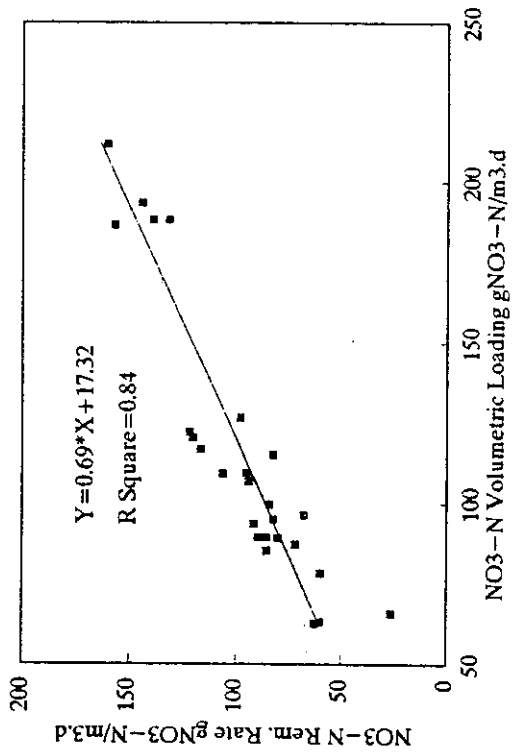


圖 4-9 R2槽添加碳源硝酸氮體積負荷與硝酸氮去除量之關係

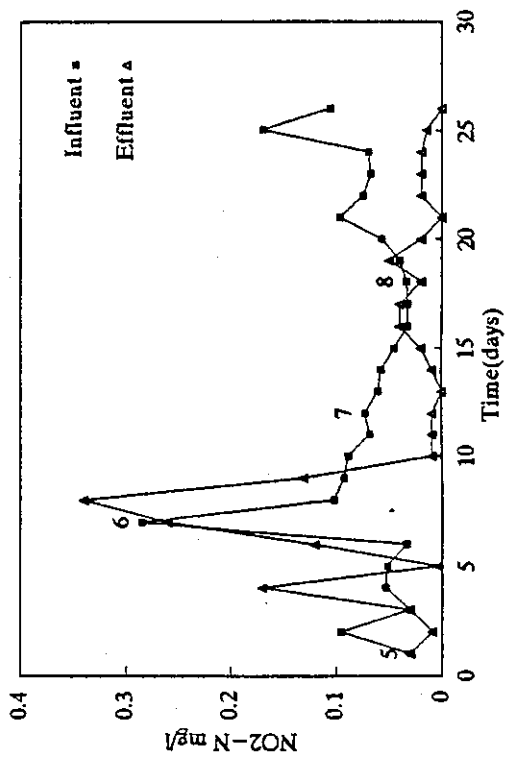


圖 4-10 R2槽試程五至試程八進出流水亞硝酸氮濃度變化

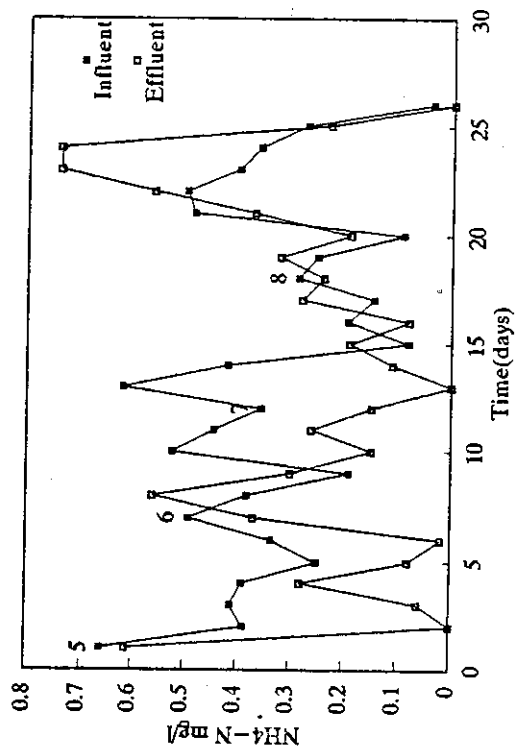


圖 4-11 R2槽試程五至試程八進出流水氨氮濃度變化

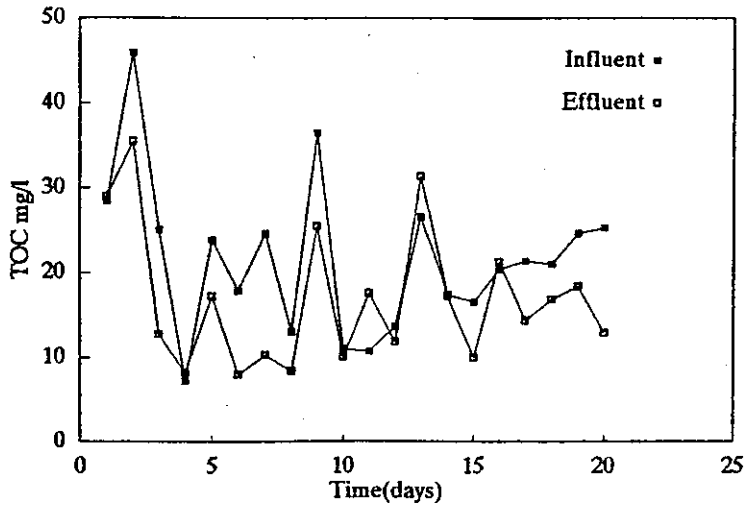


圖 4-12 R2槽試程五至試程七進出流水TOC濃度變化

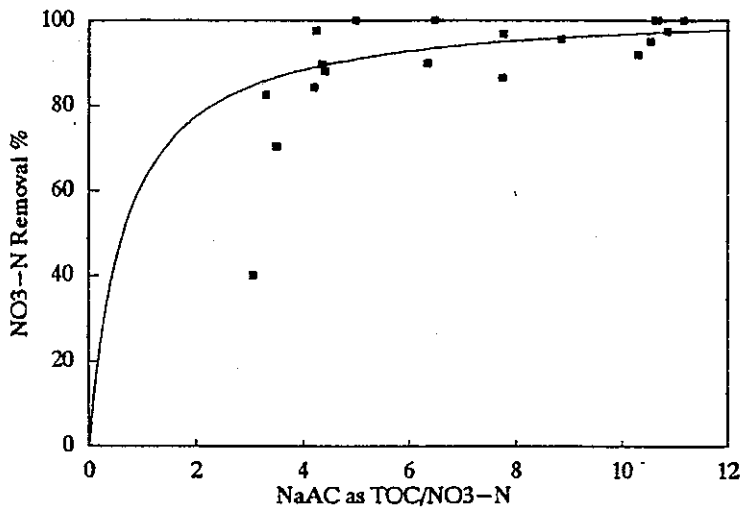


圖 4-13 R2槽 TOC / NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 比值與硝酸氮去除率之關係