

豬糞尿水之生物去氮除磷

蔡孟潔¹，周楚洋²

1. 國立台灣大學生物產業機電工程學系碩士

2. 國立台灣大學生物產業機電工程學系副教授，本文通訊作者

摘 要

為處理豬糞尿水中的氮磷，本研究發展出一套包含無氧、厭氧及好氧等單元的系統，同時進行實驗以評估不同有機負荷時此系統的處理效果。

實驗時無氧槽及厭氧槽的溫度控制在攝氏 $37 \pm 1^\circ\text{C}$ ，好氧槽則為攝氏 $30 \pm 1^\circ\text{C}$ 。進流原廢水的COD濃度調整在約 $5,000\text{ mg/L}$ ，並以系統水力停留時間(HRT) 5.75 天、3.83 天及 2.875 天為操作參數改變有機負荷，然後觀察整個系統及各槽的固形物、有機物、氮化物及磷化物的變化情形。

實驗結果顯示本系統對豬糞尿水中的COD及氮磷均有顯著的去除效果，COD、總氮及總磷的去除率分別為 92~98%，62~93% 及 42~88%。

關鍵詞：豬糞尿水、生物處理、氮磷去除

BIOLOGICAL NUTRIENT REMOVAL FOR SWINE WASTEWATER

Meng-Chieh Tsai¹, Chu-Yang Chou²

1. *Former Graduate Student, Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University.*
2. *Associate Professor, Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University, Corresponding Author.*

ABSTRACT

A system including units of anoxic, anaerobic and aerobic has been developed in this study to remove nutrients for swine wastewater. Three tests at different organic loading rates were also conducted to evaluate the treatment efficiency for this system.

Both anoxic and anaerobic units were controlled at $37 \pm 1^\circ\text{C}$, while the aerobic unit was controlled at $30 \pm 1^\circ\text{C}$. The influent COD was prepared at a concentration about $5,000\text{ mg/L}$ before feeding. Three different sets of tests at system HRT of 5.75 d, 3.83 d and 2.875 d were operated to evaluate the performance of the whole system and each individual unit. Water quality including solids, organic matters, nitrogen and phosphate were monitored during experiment.

Experimental results showed that all three tests had significant effect in removing both COD and nutrients for swine wastewater. The removal efficiencies of COD, total nitrogen and total phosphate were achieved at the ranges of 92~98%, 62~93% and 42~88%, respectively.

Keywords : Swine wastewater, Biological treatment, Nutrient removal

一、前言

養豬業是國內農業中年產值最高的產業，長久以來都佔有很重要的地位。目前的在養頭數約有七百萬頭（行政院農委會，2002），而豬糞尿水加上清洗豬舍所產生的廢水，若以每日每頭豬30公升之廢水量來計算，則每日所產生的廢水量高達20幾萬公噸，這些大量的廢水若未經處理就直接排入河川等水體，將直接衝擊水中的生物，破壞生態環境並造成水體的優養化（陳，1996）。目前台灣的養豬戶都已設有廢水處理設備，且大部份都採用三段式廢水處理系統（固液分離－厭氧－好氧）來處理豬糞尿，而三段式廢水處理的設計是二級的生物處理，主要是著重在生化需氧量(BOD)、化學需氧量(COD)以及懸浮固體(SS)的去除，排放水中氮、磷的含量依舊偏高，對環境仍會有不良的影響。

過去處理廢水中氮磷的方法，有物理－化學的處理如：氣提法(Gas stripping)、折點加氯法(Break-point chlorination)、離子交換法(Ion-exchange)（稻森等人，1987；Metcalf & Eddy, 2003; WEF, 1998）；及生物的處理(WPCF, 1983)如：循序批次反應槽(Sequencing batch reactor, SBR)、厭氧－無氧－好氧(A₂O)、UCT(University of Cape Town process)、Bardenpho、VIP(Virginia Initiative Plant)等。以上的方法各有優缺點，但是考量成本及操作的便利

性等因素，則以採用生物方法居多，表1所列為不同的生物氮磷去除方法之優缺點比較。若考慮國內養豬戶的現況，目前亟待解決的問題應該是將目前的三段式廢水處理設備做最小幅度的修改，而使排放水中的氮磷達到有效的去除。因此本研究之目的為：1. 配合目前的三段式廢水處理設備，建立一個豬糞尿水氮磷之處理系統，以及2. 評估此系統對於氮、磷的去除效果及特性。

二、材料與方法

(一)氮磷處理流程設計

本實驗採用之脫氮除磷程序為無氧－厭氧－好氧，如圖1所示，此程序跟一般脫氮除磷程序不同的地方，是將無氧槽置於最前面。而採用上述之廢水處理流程的原因如下(Metcalf & Eddy, 2003; WPCF, 1983; WEF, 1998; Grady et al., 1999):

1. 溶氧：進流之原廢水原本就會含有不少的溶氧，所以適合先流入無氧槽中，等到氧消耗完畢後再進入厭氧槽中，以避免過多的水中溶氧影響到厭氧槽的菌相生長。
2. 除氮：先經過好氧槽的硝化作用，再利用迴流的方式將硝化後的廢水回到無氧槽中，加上剛進流原廢水中的充足碳源，就可以有較高的除氮效率。

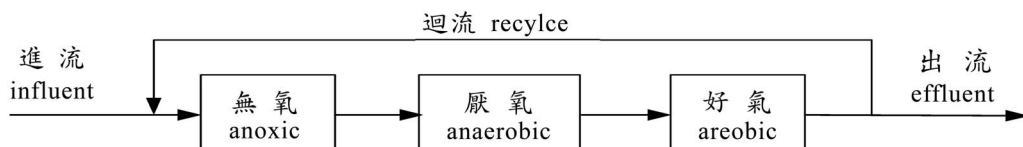


圖1 系統流程圖

Fig.1 Flow diagram of the system

表 1 不同生物氮磷去除方法之比較

Table 1 Comparison of different methods of biological nutrient removal (Metcalf & Eddy, 2003; WEF, 1998; 蔡, 2001)

處理方法 Methods	優點 Advantages	缺點 Disadvantages
SBR	• 單槽的處理系統及管路相當簡單 • 不須太大的體積 • 可以同時去除氮磷 • Single reactor process is easy to operate • Requires smaller tank volumes • Both nitrogen and phosphorus removal are possible	• 較適用於小流量的處理 • 由於延長曝氣的關係，使得上澄液 SS 較高 • 脫氮時會造成污泥上浮，使污泥流出 • More suitable for smaller flowrates treatment • SS of the supernatant is high due to extended aeration • Sludge will be washed out due to floating sludge caused when conducting denitrification
A ₂ O	• 脫硝效果優於 A/O 法 • 脫硝除磷直接使用原本廢水中的碳源，不必外加碳源 • 廢棄污泥含磷量相當高且具肥料價值 • 脫硝與釋磷分開不會造成競爭 • Denitrification efficiency is better than A/O • No need to provide additional (external) carbon source • Wasted sludge has abundant phosphorus and valued fertilizer • Denitrification and phosphorus release are separated and no competition will be occurred	• 比 A/O 複雜 • 硝化、脫硝與除磷所需的 SRT 互相牴觸，硝化、脫硝必須較長的 SRT，而除磷須維持較低 SRT • More complex than A/O • SRTs of Nitrification/denitrification and phosphorus release are conflicted. Nitrification/denitrification requires longer SRT than phosphorus release
UCT	• 將好氧槽回流至無氧槽，對硝酸鹽去除很有幫助，且在厭氧區可提供較佳的釋磷環境 • 脫硝與釋磷分開，不會造成競爭 • 脫硝與除磷時，利用原廢水中碳源，不用外加碳源 • Recycling the effluent of the aerobic tank to the anoxic tank is	• 系統較為複雜，操作不易 • 內部迴流量相當大，耗費相當多的能量及花費 • 需要高的 BOD/P • 厭氧槽由於柱塞流關係，使得厭氧菌不易停留於厭氧槽，而降低其效果 • Operation is not easy due to

	helpful in removing nitrate, and thus increasing phosphorus release capability of the anaerobic tank • Denitrification and phosphorus release are separated and no competition will be occurred • No need to provide additional (external) carbon source	complex system • Requires additional recycle system, and thus increases energy consumption and cost • Need a higher BOD/P ratio • Due to plug flow of the anaerobic tank, anaerobes are hardly retained in the reactor and thus reduce their capability
Five-stage Bardenpho	• 脫硝和釋磷分開，不會造成競爭 • 所有生物除磷系統中產生最少污泥之系統 • 總氮去除率較大程序佳 • 在南非廣泛被使用，所以資料多 • Denitrification and phosphorus release are separated and no competition will be occurred • Least sludge produced of all the biological phosphorus removal system • TN removal rate is better than other processes • Generally used in South Africa, and hence more data available	• 系統較為複雜，操作不易 • 內部迴流量大，耗電及維護花費大 • 體積相當大 • 需要高的 BOD/P • Operation is not easy due to complex system • Requires additional recycle system, and thus increases energy consumption and cost • Requires larger tank volumes • Needs a higher BOD/P
VIP	• 硝酸鹽迴流至無氧槽減少了溶氧需求及鹼度的消耗 • 無氧槽之放流水迴流至厭氧槽，減少了好氧槽之硝酸鹽負荷 • Nitrate is recycled to the anoxic tank, thus reducing DO requirement and alkalinity consumption • Effluent of the anoxic tank is recycled to the anaerobic tank, thus reducing the nitrate loading of the aerobic tank	• 內部迴流量大，耗電及維護花費大 • 低溫會減少除氮效果 • Requires additional recycle system, and thus increases energy consumption and cost • Lower temperature decreases the nitrogen removal

3. 去磷：(a)先經過厭氧槽的釋磷作用，後經過好氧槽的蓄磷作用，再將好氧槽的污泥排除即可達到去磷的效果。(b)在去磷的整個過程中，當短鏈脂肪酸(SCFA)越多，就越適合磷蓄積菌的生長，也就是越適合磷的去除，然而SCFA必須要在無氧槽中有足夠的時間發酵才

會產生，因此廢水處理流程中適合先經過無氧程序再進入厭氧程序。

4. 厭氧槽後直接連上好氧槽，一方面可以避免過程中有氧氣的進入減少去磷的效率，一方面因為胞外碳源大多會在厭氧槽中利用殆盡，使用這樣的流程所產生的環境，只有磷蓄積

菌可以利用 PHA (Polyhydroxyalkanoates) (或 Polyhydroxybutyrate, PHB) 進行代謝及生存，其他一般非去磷異營菌根本無法競爭。

5. 將無氧程序放在厭氧程序前，使得無氧槽在執行脫硝作用時會有足夠的碳源，並降低廢水中硝酸鹽的濃度使得廢水不會在進入厭氧槽時，因為水中有過高的硝酸鹽濃度而影響到磷的釋放。

(二) 實驗材料

本研究採用之進流廢水取自苗栗縣造橋鄉的平順豬場，此養豬場是以一般飼料來餵養豬隻，原廢水取得之後，以 200 mesh 的濾網過濾殘渣及較大之固形物，然後儲存於 4℃ 冰櫃中以避免微生物孳長，實驗前先測原廢水的 COD，並依需要進行稀釋，使進流 COD 濃度維持在 5,000 mg/L。

(三) 實驗設備

實驗系統配置如圖 2 所示，包含無氧槽、厭氧槽、好氧槽等反應槽主體及沈澱槽，以及進出流設備、溫控裝置、量測儀器、打氣及攪拌裝置、控制電腦和控制模組（蔡，2001）。

1. 反應槽主體：反應槽是以厚度 0.5 cm 的壓克力製成，槽體為長方體，底部為邊長 20 cm 的正方形，高度為 35 cm，淨容積約為 12 公升，下端 5 cm 的區域作為污泥沈澱區，使用斜板設計，使污泥容易集中排放。
2. 沈澱槽：沈澱槽是以厚度 0.5 cm 的壓克力製成，形狀亦為長方體。沈澱槽底部為邊長 15 cm 的正方形，高度為 35 cm，淨容積約為 7.5 公升，下端 8 cm 的區域作為污泥沈澱區。
3. 進出流設備：進出流是以可調速蠕動馬達 (MASTER FLEX, Model No. 7553-80 及 No. 7553-70, Cole-Parmer Instrument Co., Chicago, IL, U.S.A.) 及定時器 (FRONTIER TM-627、Theben TM-26, 台灣) 所控制。
4. 溫控裝置：以壓克力材質的容器 (30 cm×65 cm×36 cm) 當作恆溫水浴，再將反應槽置於其中，利用加熱棒、溫度感測棒以及溫度控制器 (MIN HAW 溫度控制器，台灣) 將反應槽控制在實驗所需的溫度。
5. 量測儀器：ORP 電極 (OR106014-03-B，緯成儀器，台灣)；ORP 數值顯示器 (JENCO Model No. 691N，任氏，台灣)。

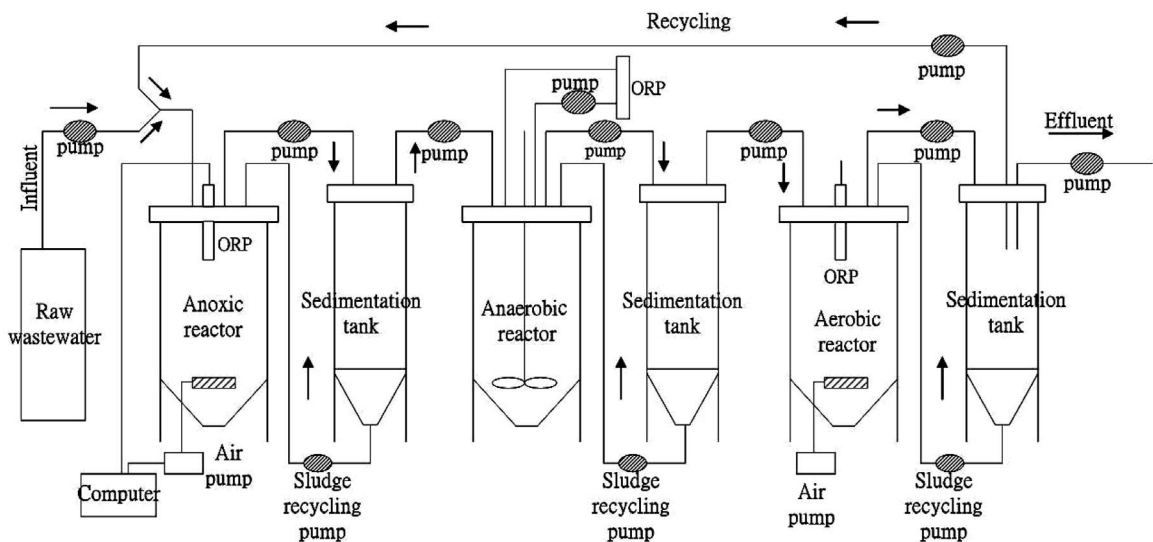


圖 2 實驗系統配置圖

Fig.2 Schematic diagram of the experimental system layout

6. 打氣及攪拌裝置：無氧槽及好氧槽皆裝設有打氣裝置（EP-3000 及 EP-9000，藍波水族器材，台灣），厭氧槽則有可調速之攪拌裝置，幫助厭氧槽混合均勻。
7. 控制電腦及控制模組：本實驗使用 GENIE 2.0 圖控程式（研華，台灣）於 Windows 環境下進行無氧槽氧化還原電位之監測，並依照所讀取之數據利用控制模組（ADAM 4520 及 ADAM 4012，研華，台灣）來控制無氧槽中的打氣裝置。

四 實驗設計與步驟

本研究之實驗系統是利用定時器採取全自動半連續進流之方式，進流之原廢水 TN（總氮）維持在約 500 mg/L。在正式實驗前，豬場原廢水經五次採樣之分析結果，COD/TN 的比值約為 10，因此將原廢水稀釋，使進流 TCOD 調整約為 5,000 mg/L。由前人的研究經驗(WEF, 1998; Grady et al., 1999; Metcalf & Eddy, 2003)，選定處理系統中個別反應槽之水力停留時間，採用無氧：厭氧：好氧為 2：1：2 之比例，為了維持上述之 HRT 比值，且三個槽的進出流量都相同，因此操作時系統中之無氧槽廢水的體積為 10 公升，厭氧槽為 5 公升，好氧槽則為 10 公升，此系統亦有內部迴流裝置（將好氧沈澱槽之上層液迴流至無氧槽），而其迴流比訂為 1.3（常，1995）。三個反應槽之操作條件如下：

1. 無氧槽

無氧槽是要將槽中的溶氧控制在約 0 mg/L，為了避免溶氧不足變成厭氧狀態，以及溶氧過多會成為好氧狀態，所以在無氧槽中加上 ORP 電極以電腦控制，使反應槽中的 ORP 值維持在 -100 mV 到 -50 mV。同時為了適合脫硝菌等無氧菌之生存及提高其去除效率，無氧槽的溫度維持在 $37 \pm 1^\circ\text{C}$ 。

2. 厭氧槽

厭氧槽槽體是完全密封的狀態，槽內設置機械式攪拌器做連續的攪拌，使得槽內廢水能均勻混和，增加處理效率，厭氧槽的溫度控制在 $37 \pm 1^\circ\text{C}$ 以利於厭氧菌生長。

3. 好氧槽

好氧槽的溫度控制在 $30 \pm 1^\circ\text{C}$ ，為了提供足夠的溶氧，好氧槽的曝氣機維持在連續開啓的狀態，以維持槽內溶氧高於 2.0 mg/L。

整個實驗分為三個批次，其操作特性如表 1 所列，主要的控制參數為整個系統之水力停留時間，各批次之實驗步驟如下所述：

第一批次：每天原廢水進流量 Q 為 4.35 公升 ($2.3Q = 10$ 公升)，無氧槽的 HRT 為 1 天，厭氧槽的 HRT 為 0.5 天，好氧槽的 HRT 為 1 天。每天取樣 1 次，取樣項目包括進流原廢水、無氧沈澱槽上層液、厭氧沈澱槽上層液及放流水。反應槽中污泥迴流以人工每天從各沈澱槽迴流兩次，迴流方式是維持各個槽體中 25% 之污泥量。

第二批次：每天原廢水進流量 Q 為 6.52 公升 ($2.3Q = 15$ 公升)，無氧槽的 HRT 為 0.67 天，厭氧槽的 HRT 為 0.33 天，好氧槽的 HRT 為 0.67 天。此批實驗每天取樣 2 次，取樣項目同第一批次。污泥迴流方式改為全自動控制，控制策略亦是維持各槽體中 25% 的污泥量。

第三批次：每天原廢水進流量為 8.70 公升 Q ($2.3Q = 20$ 公升)，無氧槽的 HRT 為 0.5 天，厭氧槽的 HRT 為 0.25 天，好氧槽的 HRT 為 0.5 天。此批實驗每天取樣 2 至 3 次，取樣項目同第一批次。污泥迴流方式及策略同第二批次。

五 實驗分析方法

本研究中樣品分析的項目包括：TS, VS, SS, COD, TKN, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 和 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 。除了 $\text{NO}_3\text{-N}$ 以離子電極(DetectION, Nico Scientific, Huntington Valley, PA, U.S.A.)分析外，其餘都是根據 Standard Methods (APHA, 1992)，分析時每個樣品做三重複，並取其平均值，各樣品之分析項目及分析方法如表 2 所列。

表 2 水質分析項目及分析方法
Table 2 Analytical items and methods used for water samples

分析項目 Items	分析方法 Analytical methods
TS(g/L)	Standard Methods 2540B
TVS(g/L)	Standard Methods 2540G
TSS(g/L)	Standard Methods 2540D
TCOD(mg/L)	Standard Methods 5220B
BOD(mg/L)	Standard Methods 5210B
TKN(mg/L)	Standard Methods 4500-Norg C
NO ₃ ⁻ -N(mg/L)	DetectION NO ₃ ⁻ -電極
NO ₂ ⁻ -N(μg/L)	光度計法 (Standard Methods 4500-NO ₂ -N B)
PO ₄ ⁻³ -P(mg/L)	維生素 C 比色法(Standard Methods 4500-P E)

三、結果與討論

(一) 批次實驗結果

本研究藉著改變水力停留時間(HRT)，以控制COD負荷作為操作因子，共進行三個批次實驗，其COD負荷分別為0.794、1.342及1.859g COD/L/d。

各個批次實驗中糞尿水及各個反應槽出流水之水質及其去除率之結果如表3、表4及表5所示，表中所列為各個批次之平均值及標準差(standard deviation)。結果顯示系統的COD累積去除率可達90%以上，而總氮的去除率為73%~91%，磷(PO₄⁻³)的去除率則為64%~77%。

表 3 第一批次實驗結果
Table 3 The experimental results of the first batch

	Raw wastewater	Anoxic effl.	Anaerobic effl.	Aerobic effl.
TS, g/L	4.363±0.435*	-**	-	1.152±0.080
VS, g/L	2.710±0.401	-	-	0.559±0.050
SS, g/L	2.425±0.357	-	-	0.027±0.020
VSS, g/L	1.915±0.382	-	-	0.006±0.006
COD, mg/L	4563±876	1274±443	641±145	133±24
TKN, mg/L	536±61	247±38	200±39	14±15
NO ₃ -N, mg/L	64±29	39±16	34±13	147±48
NO ₂ -N, μg/L	673±267	264±65	180±41	2841±726
PO ₄ ⁻³ -P, mg/L	67±19	31±13	25.5±6.4	23±6
TN, mg/L	600±79	286±49	234±47	164±45
Cumulative COD removal, %	-	72±8	86±3	97±1
Cumulative TN removal, %	-	52±6	61±7	73±7
Cumulative PO ₄ ⁻³ -P removal, %	-	52±20	58±22	64±14

* average ± SD ** not available

表 4 第二批次實驗結果

Table 4 The experimental results of the second batch

	Raw wastewater	Anoxic effl.	Anaerobic effl.	Aerobic effl.
TS, g/L	4.617±0.533*	-**	-	1.410±0.146
VS, g/L	2.987±0.352	-	-	0.669±0.065
SS, g/L	3.000±0.816	-	-	0.051±0.034
VSS, g/L	2.188±0.588	-	-	0.023±0.015
COD, mg/L	5144±701	1046±171	865±124	249±23
TKN, mg/L	597±55	227±21	215±18	11±12
NO ₃ ⁻ -N, mg/L	16±3	14±3	12.3±4.8	35±4
NO ₂ ⁻ -N, μ g/L	671±334	246±29	203±40	7873±3355
PO ₄ ⁻³ -P, mg/L	107±27	32±7	29±7	25±5
TN, mg/L	628±59	241±23	227±19	54±12
Cumulative COD removal, %	-	80±1	83±3	95±1
Cumulative TN removal, %)	-	60±4	62±4	91±2
Cumulative PO ₄ ⁻³ -P removal, %	-	70±5	72±6	77±5

* average $\pm$ SD ** not available

表 5 第三批次實驗結果

Table 5 The experimental results of the third batch

	Raw wastewater	Anoxic effl.	Anaerobic effl.	Aerobic effl.
TS, g/L	5.212±0.915*	-**	-	1.826±0.966
VS, g/L	3.204±0.465	-	-	0.855±0.085
SS, g/L	3.1312±0.1692	-	-	0.118±0.019
VSS, g/L	2.056±0.349	-	-	0.078±0.018
COD, mg/L	5346±647	1410±119	1117±111	378±39
TKN, mg/L	698±87	282±39	227±32	67±20
NO ₃ ⁻ -N, mg/L	30±3	27±2	26±2	50±5
NO ₂ ⁻ -N, μ g/L	790±230	336±70	240±47	8146±4840
PO ₄ ⁻³ -P, mg/L	109±28	32±10	27±2	25±4
TN, mg/L	729±86	309±39	254±31	125±19
Cumulative COD removal, %	-	73±4	79±4	93±1
Cumulative TN removal, %)	-	57±6	65±4	83±2
Cumulative PO ₄ ⁻³ -P removal, %	-	69±11	74±4	76±6

* average $\pm$ SD ** not available

(二)有機負荷之影響

1. 有機負荷對於整個系統處理結果之影響

如圖 3 所示 COD 的去除率會隨著 COD 負荷增加而有下降的趨勢，不過去除率仍可維持在 90%以上，由此可知本系統設計對於養豬廢水中的有機污染物有極好的處理效果。

總氮(TN)及正磷酸鹽($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)的去除，則和 COD 不同，即 TN 和 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的去除率並非隨著 COD 負荷的增加而呈現下滑的趨勢，從圖中可以發現，雖然第一批次的 COD 負荷最小，但是去除率反而是 3 個批次中最低的。表

示 COD 負荷對於整個系統氮磷去除是個極重要的因素之一，過低的 COD 負荷會使得處理氮磷的菌種（如 *nitrosomonas*, *nitrobacter* 和 *acinetobacter*）無足夠的碳源供其生長所需，當菌種無法有效生長，會使得系統氮磷的去除率降低。但是過高的 COD 負荷也會造成菌種的負擔，就如第 3 批次，會漸漸降低其氮磷處理效率，所以選擇適當的 COD 負荷，是提高整個系統效率的重要關鍵。

2. 有機負荷對於無氧槽之影響

如圖 4 所示 COD 的負荷並不會影響到無氧槽 TN 的去除率，去除率維持在 20 % 左右，

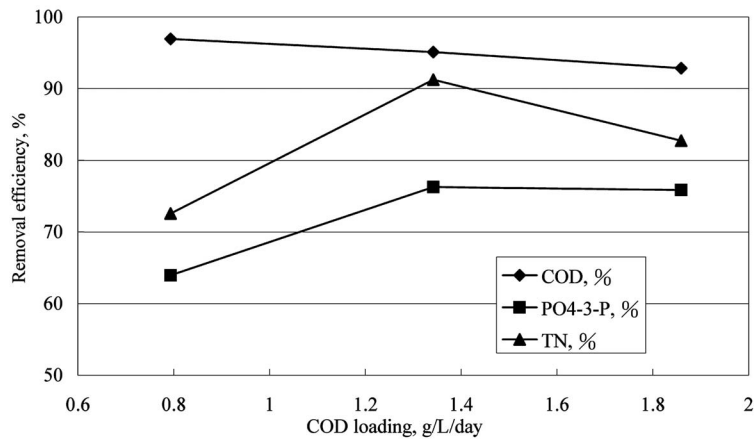


圖 3 COD 負荷對於整個系統處理結果之影響

Fig.3 Effect of the COD loading on treatment efficiency of the system

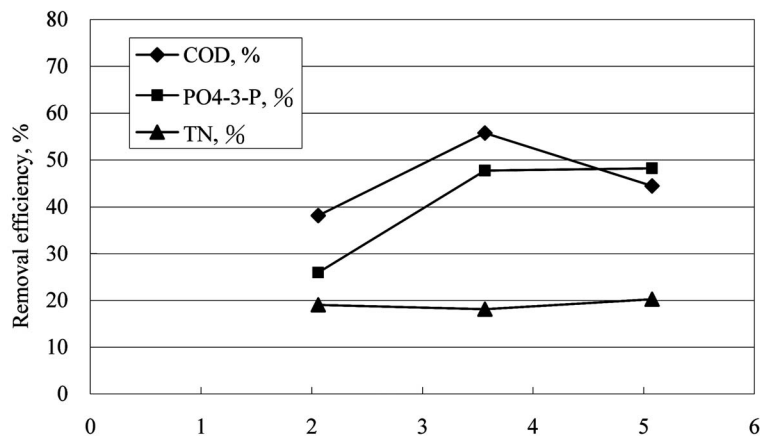


圖 4 COD 負荷對於無氧槽處理結果之影響

Fig.4 Effect of the COD loading on treatment efficiency of the anoxic reactor

因為除了無氧槽本身菌種生長需要氮源之外，並沒有很多脫硝菌所需要的硝酸鹽(NO_3^-)流入，所以去氮的效果普通，沒有特別明顯。而隨著 COD 負荷增加，COD 及正磷酸鹽的去除率也隨之增加，但當 COD 負荷達到 5 g/L/d 的時候，COD 的去除率反而降了 10% 左右，但正磷酸鹽的去除率卻沒有很大的變動。

3. 有機負荷對於厭氧槽之影響

由圖 5 可知，在去除有機物及氮磷方面，不論負荷的多寡，大部分時間厭氧槽的去除效率都不佳，尤其是在去除 COD 方面，雖然 COD 負荷增加到 5.6 g/L/d，但是根據前人的實

驗結果（劉，1996），這應該還是厭氧槽可以負荷的狀態，COD 的去除率不應該只有 20% 左右，表示此實驗中厭氧槽在後來的狀態不佳，其原因可能是因為自動污泥迴流系統中產生污泥架橋作用，使得迴流系統並沒有將足夠的污泥迴流，因此使得厭氧槽的處理效率變差。不過厭氧槽的功能並非在於去除有機物及氮磷，而是著重在釋磷方面，但是從數據及圖形觀察，釋磷作用並不顯著。

4. 有機負荷對於好氣槽之影響

圖 6 為有機負荷與好氣槽處理結果之關係圖，由圖中可知，隨著 COD 負荷增加，好氣

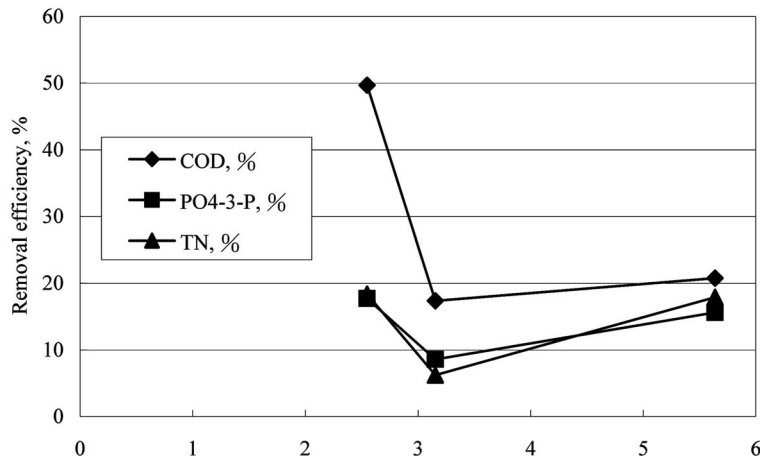


圖 5 COD 負荷對於厭氧槽處理結果之影響

Fig.5 Effect of the COD loading on treatment efficiency of the anaerobic reactor

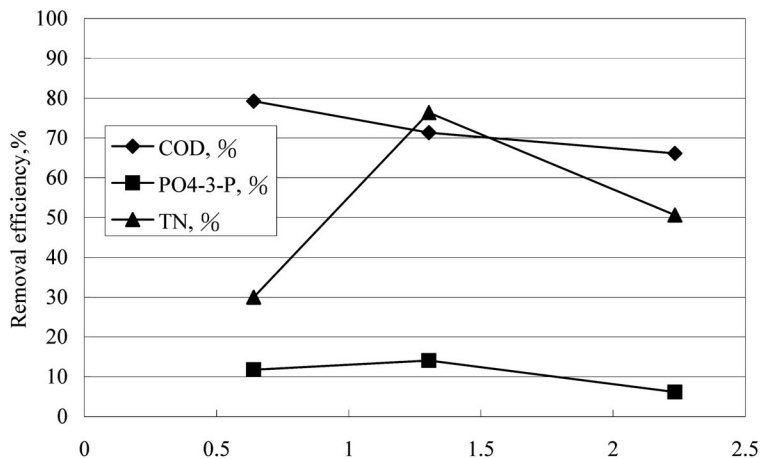


圖 6 COD 負荷對於好氣槽處理結果之影響

Fig.6 Effect of the COD loading on treatment efficiency of the aerobic reactor

表 6 各種生物處理法之比較

Table 6 Comparison of this system and other biological nutrient removal systems

System	Loading kg COD/m ³ -d	HRT, days	Influent COD, mg/L	COD removal efficiency, %	TN removal efficiency, %	PO ₄ ⁻³ -P removal efficiency, %	Sources
Bardenpho	-	13.3	164*	98*	92-93	50-72	Stensel, 1980
Immobilized cells	0.25-1	7.5-20	7500	90-96	20-75	32-69	Liu, 1996
Two SBR	0.13-0.35	7	300	87-89	20-80	92-98	Germán et al., 1998
Anoxic-anaerobic- aerobic	0.8-1.9	2.875-5.750	5000	92-98	62-93	42-88	This study

*as BOD

槽的 COD 去除率也隨之降低，這表示對於好氣槽來說，不宜有過高的 COD 負荷。在圖中有一特殊的現象，根據理論好氣槽應該是利用亞硝化菌及硝化菌將 TKN 轉變成亞硝酸及硝酸鹽類，所以 TN 應該不會有太大的變化，但是實驗結果卻顯示好氣槽的 TN 去除率相當高，尤其是 COD 負荷在 1.3 g/L/d 時，TN 的平均去除率居然達到 76%，其原因可能是好氣菌為了生長而急遽消耗的結果，並且隨著好氣污泥沈澱於好氣沈澱槽中，才會達到較佳的 TN 去除率。另一個可能的原因則是氨氣在曝氣槽中容易被揮發(ammonia volatilization)，而形成較高的總氮去除率。

5. 與其他研究之比較

本研究與其他生物處理程序之比較，結果如表 6 所示，本研究使用高濃度進流廢水，對於有機物(COD)的去除率可達到 92% 以上，並且在同時去除水中氮磷方面都優於其他處理程序。

四、結 論

本研究以組合無氧、厭氧及好氣三段反應槽的實驗室規模系統處理豬糞尿水，各反應槽的水力停留時間維持在 2:1:2，但改變原廢水的進流量，共進行 3 個不同 COD 負荷的試驗。

結果顯示 COD 去除率達 90% 以上，總氮(TN)的去除率為 73~91%，正磷酸鹽(PO₄⁻³-P)的去除率

為 64~77%。而 3 個批次的實驗中以 COD 負荷為 1.34 g/L 時，對於氮磷可以達到最高的去除率，TN 之去除率可達到 91%，正磷酸鹽之去除率可達到 77%。同時與其他處理程序作比較，本研究對於 COD 的去除率皆可以達到 90% 以上，高於其他處理程序，而且在氮磷處理方面也不亞於其他處理程序，因此應用本系統於豬糞尿水的處理相當可行。

五、誌 謝

本研究承行政院農委會 90 農科-5.1.1-牧-U1(4)及 91 農科-6.1.1-牧-U1(2)計畫之經費補助、沈韶儀博士及陳力騏博士提供寶貴意見，特此誌謝。

六、參考文獻

1. 行政院農委會。2002。農業統計年報。20。台北：行政院農委會。
2. 沈韶儀、洪嘉謨。1999。養豬廢水之氮磷去除。豐年半月刊 49 (14): 27-28。
3. 官政明。1994。以 SBR 去除豬糞尿廢水中的氮。第三屆國際畜牧污染防治技術研討會專輯。224-234。台北：行政院農委會。
4. 陳國誠。1996。廢水生物處理學。第 3 版。台北：茂昌。
5. 常方麒。1995。硝化液循環比對厭氧缺氧好氣

- 生物除氮去磷法之影響。碩士論文。台北：私立淡江大學水資源及環境工程研究所。
6. 劉安琪。1996。應用固定化細胞技術處理豬糞尿廢水。碩士論文。台北：國立台灣大學農業機械工程研究所。
7. 蔡孟潔。2001。養豬廢水之生物脫氮除磷。碩士論文。台北：國立台灣大學生物產業機電工程研究所。
8. 前川孝昭。1994。利用間歇曝氣法及改進碳氮比去除豬糞尿廢水之氮。第三屆國際畜牧污染防治技術研討會專輯。81-133。台北：行政院農委會。
9. 稻森悠平、竹下俊仁、須藤隆一。1987。湖沼水質保全對策技術諸法今後の方向性。公害の對策 23(9)：26-34。
10. APHA/WEF/AWWA. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed., eds. Arnold E. Greenberg, Lenore S. Clesceri and Andrew D. Eaton., Washington, D.C. : American Public Health Association.
11. Germán Cuevas-Rodríguez, Óscar González-Barceló and Simón González-Martínez. 1999. Wastewater fermentation and nutrient removal in sequencing batch reactors. Water Science & Technology 38 (1) : 255-264.
12. Grady, C. P. Leslie, Jr., G. T. Daigger and H. C. Lim. 1999. Biological nutrient removal. In "Biological Wastewater Treatment", 487-560. New York: Marcel Dekker, Inc.
13. Metcalf & Eddy, Inc., 2003. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, 4th ed. New York: McGraw-Hill Co., Inc.
14. Stensel, H. D. 1980. Performance of first U.S. national seminar on control of nutrients in Municipal wastewater effluents. In "Proc. Vol. III: Nitrogen and Phosphorus." Cincinnati, Ohio: U.S. Environmental Protection Agency, MERL.
15. Water Pollution Control Federation. 1983. Nutrient Control. Manual of Practice No. FD-7, chairman: E.A. Orris. Washington, D.C.: Water Pollution Control Federation.
16. Water Environment Federation. 1998. Biological and Chemical Systems for Nutrient Removal. Washington, D. C.: Water Environment Federation.

收稿日期：2004 年 12 月 27 日

修改日期：2005 年 3 月 1 日

接受日期：2006 年 1 月 19 日