

無氧／好氧處理程序去除養豬廢水中 COD 及氮之研究

曾四恭⁽¹⁾

收件日期：89 年 11 月 3 日；接受日期：90 年 2 月 7 日

摘 要

本研究的目的是在於評估改善目前三段式養豬廢水處理程序，以期併同去除有機碳及氮，而建立 (1) 懸浮生長方式之無氧／好氧系統，(2) 生物膜生長方式之無氧／好氧系統，(3) 單一污泥之無氧／好氧系統，比較三個系統對於 COD 及氮去除效率及反應槽水質變化情形，並分別測定硝化菌及脫硝菌之活性。研究結果顯示，對於氮的去除，以懸浮式系統較佳，COD 去除率則與硝化及脫硝效率有關，若硝化及脫硝效率高，則放流水 COD 濃度可達 300 mg/L 以下。在 TKN 負荷 0.236 g-N/L·day 時，COD 去除率可達 97.8%，TKN 轉化率為 98.8%，T-N 去除率 82.5%。至於曝氣槽污泥之硝化活性方面，懸浮式系統好氧槽之 TKN 負荷為 0.418 g-N/L·day 時，SOUR 為 25.01 mg-O₂/g-SS·hr，單一污泥之無氧／好氧系統為 23.84 mg-O₂/g-SS·hr，而生物膜系統則較低，為 21.84 mg-O₂/g-SS·hr。無氧槽之脫硝效率在 HRT 為 3 天及 2 天時，懸浮式及生物膜系統均可達 100%，脫硝菌活性亦以懸浮式系統最高，在 HRT 為 3 天的試程中，為 0.146 mg-N/g-S.S. min。

關鍵詞：養豬廢水、無氧／好氧系統、COD 去除、硝化作用、脫硝作用。

緒 言

台灣地區養豬所產生的廢水為水污染主要來源之一，目前大部分養豬廢水之處理係採用三段式養豬廢水處理程序：固液分離→厭氧消化→好氧處理。這種處理程序，固然解決了部分有機物之污染問題，但政府已於 89 年要求養豬排放廢水 COD 濃度由 450 mg/L 降低到 250 mg/L，而大部分處理廠放流水 COD 尚且無法達到此項標準，因此如何提高處理廠 COD 之去除效率為目前極需進行的研究課題。改善方法中最容易為業者所接受的方法，應為利用即存處理單元，只更改操作流程便可提升 COD 去除量的方法。本研究即試以此方向作為思考 COD 去除改善的可能方法。由於養豬廢水也有氮磷之污染問題，未來政府一定也會對氮磷濃度加以管制，因此本研究擬配合廢水氮的生物去除，利用氮去除中脫硝反應對 COD 的消耗，來促進廢水 COD 的去除效率。故本研究設計除氮之無氧／好氧處理程序進行廢水 COD 及氮去除率的評估 (Bortone *et al.*, 1992; Liao and

(1) 國立台灣大學環境工程學研究所。

Maekawa, 1994; Wanner *et al.*, 1992), 若證明其可行, 則原有三段式處理流程中之厭氧槽部分容積可改為無氧槽, 便組成了無氧／好氧處理流程。本研究共設計三組無氧／好氧處理系統: (1) 懸浮生長方式之無氧／好氧系統, (2) 生物膜生長方式之無氧／好氧系統, (3) 單一污泥之無氧／好氧系統。以實驗室規模的反應槽進流養豬廢水進行處理實驗, 評估並比較三組處理系統之 COD、氮的去除效率。

材料與方法

I. 處理系統

- (i) 生物膜生長方式之無氧／好氧系統 (如圖 1): 分別在無氧槽及好氧槽內, 填充蜂巢管, 及泰勒式緞帶結, 作為微生物附著生長之介質。廢水進流後經無氧槽→沈澱槽→好氧槽→沈澱槽→出流, 並將部份出流水 (進流量之 2 倍) 迴流至無氧槽, 其中無氧槽培養出異營菌以進行脫硝化作用, 而在好氧槽中培養出硝化菌將廢水中之氨氮轉化成硝酸態氮或亞硝酸態氮等物質。
- (ii) 懸浮生長方式之無氧／好氧系統 (如圖 2): 程序如系統 (1), 但無氧槽及好氧槽內無介質而是以攪拌及曝氣造成污泥懸浮之完全混合槽, 並迴流沈澱池之污泥以維持反應槽內污泥濃度。
- (iii) 單一污泥之無氧／好氧系統 (如圖 3): 以懸浮生長方式在無氧槽及好氧槽內培養微生物, 和上述二種系統之差別, 在於無氧槽及好氧槽之間並無沈澱槽, 因此, 無氧槽的混合液直接流到好氧槽, 部分出流水 (進流量之 2 倍) 則迴流至無氧槽以進行脫硝作用。此外從好氧槽廢棄污泥, 並使沈澱污泥迴流到無氧槽 (進流量之 1/2), 以維持系統內各槽污泥濃度 MLSS 在 2000 mg/L 左右。

II. 實驗方法

三個處理系統均改變水力停留時間 (HRT) (HRT=1、2 及 3 天), 以控制不同氮負荷 (TKN Loading)。待試程系統水質狀況穩定後 (約 5 倍的 HRT), 結束試程, 採取各段水樣分析各項水質。每個試程結束之後, 採取反應槽內污泥, 進行下列批次試驗, 以印證污泥活性和反應槽狀況間的關係:

- (i) 硝化活性試驗: 取得曝氣槽 (好氧槽) 內的污泥, 以電解呼吸儀進行累積攝氧率實驗, 再換算成比攝氧率 (Specific oxygen uptake rate, SOUR), 以 SOUR 大小來判定好氧槽內硝化菌的活性。
- (ii) 脫硝活性試驗: 取得無氧槽內的污泥, 以 150ml 之血清瓶進行脫硝試驗。

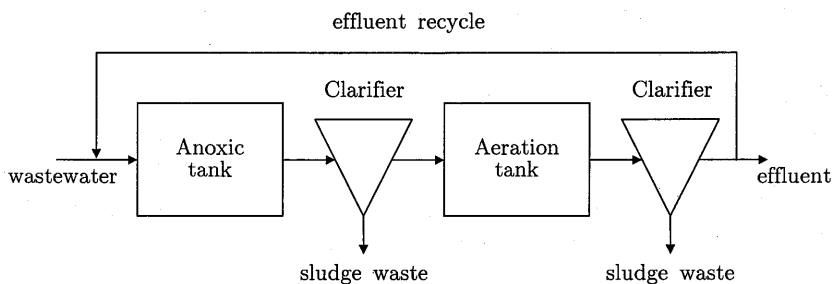


圖 1. 生物膜生長方式之無氧／好氧系統。

Fig. 1. The anoxic/aerobic system with biofilm growth.

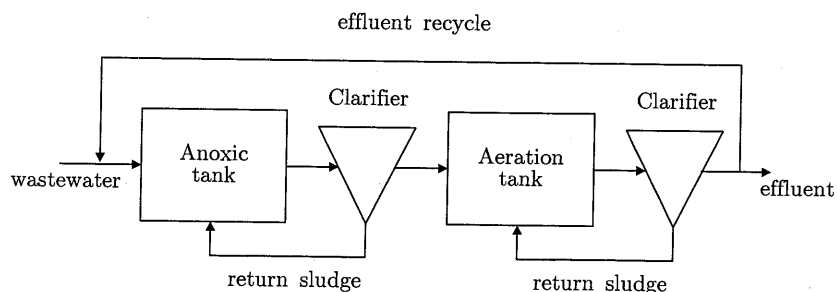


圖 2. 懸浮生長方式之無氧／好氧系統。

Fig. 2. The anoxic/aerobic system with suspended growth.

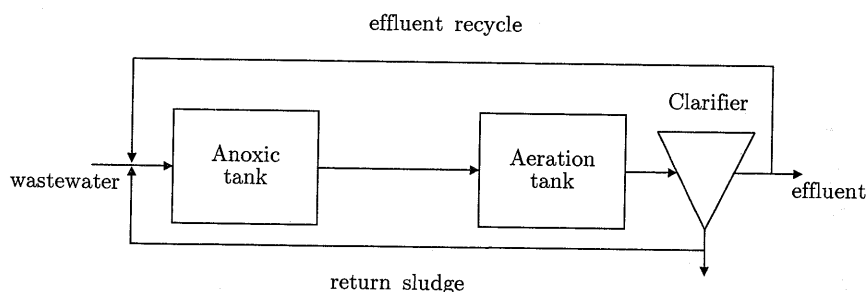


圖 3. 單一污泥之無氧／好氧系統。

Fig. 3. The anoxic/aerobic system with single sludge recycle.

結 果

I. 不同進流負荷下之 COD 及 N 去除效率

實驗之 TKN loading 範圍控制在 0.236~0.920 g-N/L·day，三種處理系統之 COD 及 N 去除率如下：

- (i) 懸浮生長方式之無氧／好氧系統：於 TKN 負荷 0.236 g-N/L·day 時，COD 去除率可達 97.8%，TKN 轉化率為 98.8%。但提高負荷之後，COD 仍可達 90% 以上去除率，TKN 轉化率則在 TKN 負荷 0.917 g-N/L·day 時下降至 24.5%，出流水水質濃度，於 TKN 負荷為 0.236 g-N/L·day 時 COD 115 mg/L，TKN 8 mg/L， $\text{NO}_x\text{-N}$ 115 mg/L。
- (ii) 生物膜生長方式之無氧／好氧系統：於 TKN 負荷 0.238 g-N/L·day 時，COD 去除率可達 97% 以上，TKN 轉化率為 80%。但提高負荷之後，COD 去除率仍可達 88%，TKN 轉化率則明顯下降許多，在 TKN 負荷 0.901 g-N/L·day 時，TKN 轉化率只剩 14%。至於出流水濃度方面，在較小的 TKN 負荷 0.238 g-N/L·day 時，約 COD 195 mg/L，TKN 145 mg/L， $\text{NO}_x\text{-N}$ 113 mg/L 左右，其中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 151 mg/L，而 $\text{NO}_2\text{-N}$ 高達 97.9 mg/L，顯然出流水中有 $\text{NO}_2\text{-N}$ 累積的現象。

- (iii) 單一污泥之無氧／好氧系統：對於 COD 的去除，本系統進行的三個試程中，均可達 90% 左右，TKN 在較低的負荷下亦有不錯的效果，於 TKN 負荷 0.303 g-N/L.day 時，TKN 轉化率高達 98.2%，同樣地，當負荷增加，TKN 轉化率亦下降至 50% 以下。

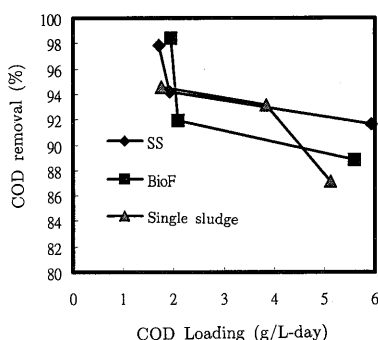


圖 4. COD 總體去除率之比較。

Fig. 4. The correlation between COD loading and removal efficiency.

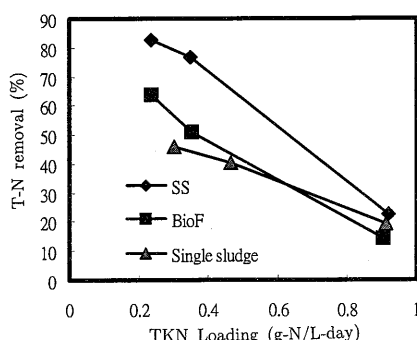


圖 7. T-N 總體去除率之比較。

Fig. 7. The correlation between the TKN loading and T-N removal efficiency.

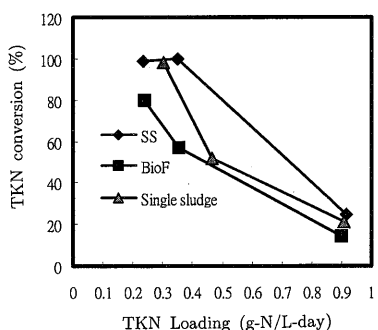


圖 5. TKN 總體去除率之比較。

Fig. 5. The correlation between the TKN loading and TKN conversion efficiency.

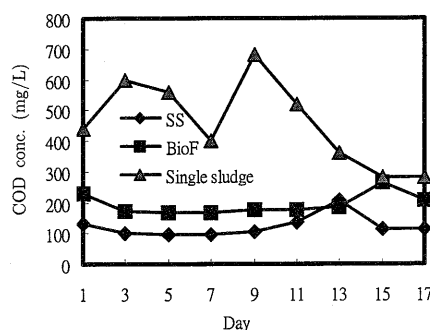


圖 8. HRT=3 天時，試程期間出流水 COD 濃度。

Fig. 8. COD conc. of effluent at HRT = 3 days.

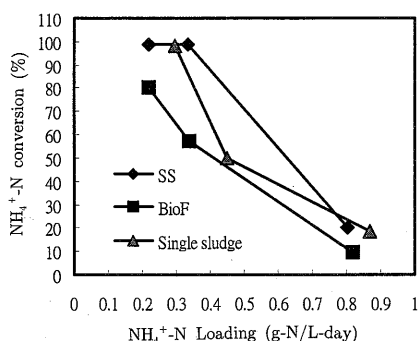


圖 6. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 總體去除率之比較。

Fig. 6. The correlation between $\text{NH}_4^+\text{-N}$ loading and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ conversion efficiency.

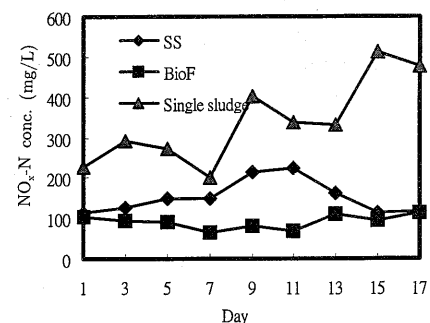


圖 9. HRT=3 天時，試程期間出流水 $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度。

Fig. 9. $\text{NO}_x\text{-N}$ conc. of effluent at HRT = 3 days.

II. 三處理系統 COD 及氮去除效率之比較

- (i) COD 總去除率之比較：本實驗中，COD 的去除率均相當高，懸浮式系統在 91.6%~97.8% 之間，生物膜系統在 88.8%~97% 之間，至於單一污泥系統 COD 去除率較低為 87.1%~94.6%。若操作條件均為低負荷（HRT 高）時，COD 去除率均維持在 94% 以上，高負荷（HRT 短）時，亦能維持 87% 以上的去除率，因此，COD 去除率在本實驗中，不論那一個系統，只要好氧槽中能維持一定程度硝化效率，其 COD 去除率平均能達到理想之程度；脫硝效率亦會影響 COD 之去除，單一污泥系統之脫硝率最低，故出流水 COD 濃度較高。至於三個系統 COD 負荷與去除率之關係如圖 4。
- (ii) TKN 及 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 總體轉化率之比較：由圖 5 及 6 我們可以明顯發現，懸浮生長方式的 TKN 轉化率，在三種系統中效率最佳，生物膜系統效率最差，單一污泥系統則介於中間。由此項結果，仍因懸浮生長系統之好氧槽內曝氣提供良好之混合作用，提供硝化菌利用基質時，較高的質傳速率，此種特點對溶氧需求濃度高的硝化菌硝化反應十分有利。相反地，生物膜系統，因底層生物基質及溶氧利用率較低，加上反應槽內容易造成短流現象，因此降低了氮去除的效果。
- (iii) 總氮（T-N）去除率之比較：於 TKN 負荷 0.236 g-N/L·day 時總氮去除率在懸浮式系統可達 82.5% 最高，而生物膜系統，總氮去除為 64% 次之，單一污泥系統在 TKN 負荷 0.303 g-N/L·day 時，總氮去除率最低，為 46%。單一污泥系統之 TKN 轉化率高於生物膜系統，而 T-N 去除率低於生物膜系統，乃因其無氧槽脫硝效率差，使得出流水 $\text{NO}_x\text{-N}$ 仍高，而使 T-N 去除率降低。圖 7 顯示，三個系統均有 TKN 負荷愈高，總氮去除率愈低的現象。

III. HRT=3 天三種處理系統之放流水水質

- (i) 出流水 COD：圖 8 為 HRT 為 3 days 下，各系統試程操作開始至穩定的期間，出流水 COD 的濃度變化值。其中以懸浮系統 COD 出流水濃度最低，約 115 mg/L 左右，生物膜系統次之，約 200 mg/L 左右。至於單一污泥系統變動值較大，出流水 COD 值約 300 mg/L 左右。
- (ii) 出流水 $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度：如圖 9，出流水 $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度在懸浮式及生物膜式之無氧/好氧系統約為 100 mg/L 左右，至於單一污泥系統則較高，達 475 mg/L。懸浮式及生物膜系統之 $\text{NO}_x\text{-N}$ ，均為 $\text{NO}_3\text{-N}$ ，而生物膜系統則除 $\text{NO}_3\text{-N}$ 外，還含有 $\text{NO}_2\text{-N}$ ，這是生物膜硝化槽產生亞硝化現象，使 $\text{NO}_2\text{-N}$ 累積，為生物膜硝化槽的特性之一。
- (iii) 出流水 pH：懸浮式及生物膜系統穩定維持在 pH 8 左右。至於單一污泥系統除變動值較大外，出流水 pH 值亦較前二種系統低，約在 pH 7 左右，乃因系統中之脫硝效率低，產生鹼度低所造成。

討 論

I. 三種無氧/好氧系統之 COD 去除效率：

由以上之三種處理系統之處理成果看來，COD 去除率與系統之硝化效率有關，凡系統之硝化效率高達 50% 以下時，則放流水 COD 均可達到 300 mg/L 以下，若硝化效率達不到 30%，則放流水 COD 濃度則在 300 mg/L 以上。除硝化效率可以影響放流水 COD 濃度外，系統中脫硝效率亦會影響 COD 之放流濃度，若脫硝率高，表示由脫硝作用所去除之 COD 量高，因此可降低 COD 之出流水濃度。單一污泥系統之硝化效率雖高於生物膜系統，但生物膜系統之脫硝效率很高

，均高達 100%，其脫硝量大於單一污泥系統，故導致放流水 COD 濃度低於單一污泥系統即為印證，因此單一污泥系統只要提高系統中之硝化及脫硝效率，放流水 COD 濃度便會降低到政府要求的放流水標準。

II. 硝化功能：

圖 10 為好氧槽氨氮負荷與 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 轉化率結果。單槽負荷低時，懸浮式系統的好氧槽（硝化槽） $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 轉化率可達 95.4%；單一污泥系統，因亦屬懸浮生長污泥系統， $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 轉化亦高達 92% 以上；生物膜好氧槽則明顯地 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 轉化率較低，約 55.5%，由圖中可看出，整體 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 轉化趨勢，仍以懸浮式系統為佳。各系統硝化菌活性可以 SOUR 表示之，各系統好氧槽污泥之 SOUR 值見表 1，在低負荷（HRT 為 3 天）的處理條件之下，懸浮污泥之好氧槽污泥硝化活性最大，在連續流 TKN 負荷 0.418 g-N/L-day 時，SOUR 值為 25.01 mg- O_2 /g-SS-hr，而單一污泥系統次之，SOUR 為 23.84 g-N/L-day，上述二種系統負荷相同時，活性差異不大，但仍以懸浮式系統為佳。而生物膜系統好氧槽污泥之 SOUR 較低，當 TKN 負荷 0.605 g-N/L-day 時，為 21.84 mg- O_2 /g-SS-hr，較前二種系統低，乃因生物膜含有較多的結晶物（如磷酸鎂等），影響其活性，另一個可能原因，為生物膜受到溶氧傳輸之限制，氧供應量不足，也會減少硝化菌之活性。負荷的改變，對硝化活性的影響，結果列於表 2。結果顯示，連續流好氧槽 TKN 負荷愈高，硝化活性（SOUR）愈大，TKN 負荷 0.418 g-N/L-day 時，SOUR 為 23.84 mg- O_2 /g-SS-hr，而當 TKN 負荷增為 4.540 g-N/L-day 時，SOUR 已達 42.90 mg- O_2 /g-SS-hr，但在負荷過大時，其污泥硝化活性雖大，硝化效率反而低，這是因為負荷大時，反應槽內水力停留時間（HRT）過短，使得基質未能充份被生物利用即流出反應槽，而使去除率降低。

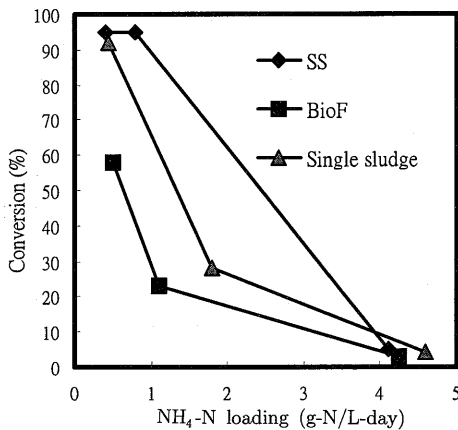


圖 10. 好氧槽 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 轉化率之比較。

Fig. 10. The correlation between the $\text{NH}_4^+\text{-N}$ loading and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ conversion rate in the aeration tank.

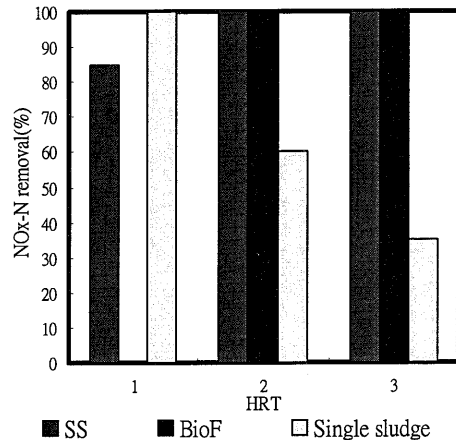


圖 11. 無氧槽 $\text{NO}_x\text{-N}$ 去除率比較。

Fig. 11. Comparison of removal efficiency of $\text{NO}_x\text{-N}$ in the anoxic tank.

表 1. 各系統好氧槽 HRT=3 days 下, 硝化菌活性之比較

Table 1. Comparison of the activity of nitrifying bacteria with HRT = 3 days in aeration reactor of the three systems

System	SS	BioF	Single sludge
TNK loading (g-N/L)	0.418	0.605	0.418
OUR (mg-O ₂ /L-hr)	14.76	8.08	12.17
SOUR (mg-O ₂ /g SS-hr)	25.01	21.84	23.84

表 2. 不同 TKN 負荷對好氧槽硝化菌活性之影響

Table 2. Effects of different HRT for the activity of nitrifying bacteria in the single sludge system

	TKN loading (g-N/L-day)		
	0.42	1.93	4.54
OUR (mg-O ₂ /L-hr)	12.17	27.15	30.89
SOUR (mg-O ₂ /g SS-hr)	23.84	33.94	42.90

表 3. 各系統無氧槽 HRT=3days 下, 脫硝活性結果

Table 3. Result of the activity of denitrifying bacteria with HRT=3 days in anoxic tank of the three systems

System	SS	BioF	Single sludge
Specific denitrification rate (mg-N/g SS-min)	0.146	0.124	0.083

III. 脫硝功能：

圖 11 顯示懸浮生長方式及生物膜生長方式之無氧脫硝槽，在 HRT 為 3 天及 2 天時，由於迴流之 NO_x-N 負荷過高，脫硝效率便無法達 100% 之脫硝之效率。至於脫硝活性試驗結果由表 3 顯示，懸浮式系統和生物膜系統分別為 0.146 mg-N/g-SS min、0.124 mg-N/g-SS min，但單一污泥系統則較低，為 0.083 mg-N/g-SS min，其因為污泥在厭氧—好氧交替之環境下生長，而影響了脫硝活性。

結 論

- I. 三種無氧／好氧處理系統之廢水 COD 去除率，與硝化及脫硝效率有關，凡硝化效率達 50% 以上及脫硝率達 100%，COD 出流水濃度便可達到 300 mg/L 以下。
- II. 氧化槽之硝化作用，以懸浮生長系統之硝化效率為佳，生物膜系統因生物膜中形成結晶物質影響，硝化活性低，故系統之硝化效率較低。
- III. 無氧槽之脫硝作用，以懸浮生長系統及生物膜系統為佳，單一污泥系統之脫硝菌污泥因在無氧／好氧循環環境下生長，脫硝活性變差，故脫硝效率亦低。
- IV. 總氮的去除，以懸浮生長系統最佳，次為生物膜系統，單一污泥系統之總氮去除率最低。

參考文獻

- Bortone, G., S. Gemalli, A. Rambaldi and A. Tilche. 1992. Nitrification, denitrification and biological phosphate removal in sequencing batch reactors treating piggery wastewater. *Wat. Sci. Tech.* 26(5~6) : 977~985.
- Liao, C. M. and T. Mackawa. 1994. Nitrification, denitrification in an intermittent aeration process for swine wastewater. *J. of Environmental Science and Health, Part B.* 29 : 1053~1078.
- Wanner, J., J. Cech and M. Kos. 1992. New Process design for biological nutrient removal. *Wat. Sci. Tech.* 25(4~5) : 445~448.

Anoxic/Aerobic Process for the Treatment of Swine Wastewater for COD and Nitrogen Removal

Szu-Kung Tseng⁽¹⁾

Received Nov. 3, 2000 ; Accepted Feb. 7, 2001

Abstract

In order to remove COD and nitrogen from swine wastewater, we established: (1) the anoxic/aerobic system with suspended growth, (2) the anoxic/aerobic system with biofilm growth, (3) the anoxic/aerobic system with single sludge recycle. Among these three systems, we compared the removal efficiency of nitrogen and COD, and the changing of water quality in reactors. We also tested the activity of sludge for the nitrifying bacteria and denitrifying bacteria.

The result showed that the suspension system is better for removal of nitrogen. When TKN loading was 0.236 g-N/l day, the removal efficiency of COD could reach 97.8%, the TKN conversion efficiency was 98.8%. The COD removal efficiency of the three systems were correlated to nitrification and denitrification of the systems. When the nitrification efficiency was over 50% and the denitrification efficiency reached 100%, the COD concentration in the effluent could be reduced to a level below 300 mg/L.

Key words : Swine wastewater, Anoxic/aerobic system, COD removal, Nitrification, Denitrification.

(1) Graduate Institute of Environmental Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C.