

以模型槽探討高濃度養豬廢水處理⁽¹⁾

蘇天明⁽²⁾⁽³⁾ 鍾承訓⁽²⁾ 蕭庭訓⁽²⁾

收件日期：110 年 6 月 2 日；接受日期：111 年 1 月 18 日

摘 要

本試驗應用模型槽以三段式處理高濃度養豬廢水，調查各處理階段之水質變化。使用平均體重 47 – 107 kg 的 LD 肉豬 12 頭飼養於代謝架上，試驗期間飼糧任飼、飲用水充分供應，每日收集糞便及尿液分別秤重後混合，依重量比調製糞尿：水 = 1 : 1 (A 廢水) 及 1 : 2.5 (B 廢水) 等 2 種不同濃度廢水，經固液分離處理後注入有效容積 200 L 的 6 個厭氧槽，水力停留時間 (HRT) 分別為 10、15 及 20 日，而後各組曝氣處理 HRT 皆為 1.5 日，調查各處理階段水質變化。結果廢水經三段式處理後，A 廢水的化學需氧量 (COD)、生化需氧量 (BOD)、懸浮固體 (SS)、總氮 (TN) 和總磷 (TP) 濃度分別為 904、298、638、488 和 420 mg/L，皆極顯著地高於 B 廢水。在水力停留時間的影響方面，經三段式處理後 HRT 10 日組的 COD、BOD、SS、TN 和 TP 濃度分別為 823、257、545、453 和 369 mg/L，皆較 HRT 15 日組及 HRT 20 日組為高 ($P < 0.001$)，而 HRT 15 日組除 COD 濃度外，其他水質濃度亦顯著地較 HRT 20 日組為高。試驗結果顯示，B 廢水經過厭氧處理 10 日再經 1.5 日的好氧處理，水質即符合放流水標準，而 A 廢水雖經過 20 日厭氧處理再經 1.5 日好氧處理，水質尚無法符合標準。綜上，高濃度廢水經三段式處理後 TN 和 TP 濃度仍高，在遵循法令及處理成本的雙重考量下，可予以再利用於農地施灌，供作作物營養源。

關鍵詞：水力停留時間、養豬廢水、廢水濃度。

緒 言

臺灣地區主要的水源來自降雨，但由於地形坡陡水資源蓄存不易，且隨著氣候變遷、極端氣候的影響下，水資源欠缺問題日趨嚴重。另外畜牧業放流水已從民國 106 年開始依照放流量及其水質徵收水污染防治費 (行政院環境保護署，2018)，豬隻節水飼養是養豬產業永續經營後續必循路徑。

夏 (2001) 指出，以飼養 100 頭母豬規模的一貫作業豬場而言，實地面豬舍每日需用水量約 189 m³，條狀地面用水量則約需 113 m³，條狀地面每日需用水量約為實地面豬舍的 60%，顯示養豬場沖洗水用量愈少，廢水量相對減少。但廢水量減少，相對的廢水中污染物的濃度將隨之提高。蘇等 (2016；2018) 將肉豬飼養於實地面 (SOF 組)、部分條狀地面 (PSF 組) 及全條狀地面 (TSF 組) 等 3 種地面結構豬欄，結果不同地面結構對生長肥育期豬隻的採食量和飼料效率皆無顯著影響。在熱季 PSF 及 TSF 組豬隻的沖洗水用量分別僅為 SOF 組的 74 – 84 及 35 – 43%，廢水量則為 SOF 組的 65 – 85 及 38 – 49% (蘇等，2016)，在涼季 (蘇等，2018) PSF 及 TSF 組的沖洗水用量分別僅為 SOF 組的 61 – 77 及 41 – 51%，廢水量則為 SOF 組的 61 – 78 及 41 – 53%。顯示豬舍地面結構採取部分條狀或全條狀地面，可有效節省豬舍沖洗的用水量及減少廢水產量，如果把處理後的水回收再利用於沖洗糞尿溝，更能大幅減少沖洗水使用量。此外，為了擴大畜牧糞尿水資源化永續利用，行政院農業委員會與行政院環境保護署相繼修正農業事業廢棄物再利用管理辦法 (2013) 及水污染防治措施及檢測申報管理辦法 (2015；2017) 等法令，積極推動畜牧廢水回歸農田作為農糧作物肥分使用，以及水資源澆灌植物等政策，且皆已明定時間表，養豬場亦必須予以遵循。

臺灣省畜產試驗所 (1993) 係以實地面豬舍 (糞 + 尿：沖洗水 = 1 : 5) 進行養豬廢水處理設施規劃，估計每一動物單位 (體重 100 kg 肉豬) 的廢水量以 30 L/d，厭氧及曝氣階段的水力停留時間分別為 10 日及 1.5 日，但養豬節水飼養後廢水量減少，廢水濃度勢必提高，宜研發適當處理方式，以供業者參酌應用。由於試驗在養豬場內進行可能衍生因處理後水質無法符合放流水標準受罰問題，因此本試驗參考蘇等 (2016；2018) 試驗結果，模擬豬隻飼養在部

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 2695 號。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所經營組。

(3) 通訊作者，E-mail: tmsu@mail.tlri.gov.tw。

分條狀地面及全條狀地面之糞尿與沖洗水用量的比例，調製 2 種濃度廢水，應用模型槽並在厭氧處理階段予以不同水力停留時間，探討高濃度養豬廢水應用三段式處理的水質變化。

材料與方法

I. 厭氧槽與曝氣槽型式及污泥馴養

- (i) 從 2016/2/22 開始，由行政院農業委員會畜產試驗所產業組豬場載回固液分離後廢水，每日各注入 20 L 廢水於 6 個有效容積約 200 L 之不銹鋼製厭氧槽 (槽體規格：長 × 寬 × 高 = 200 × 30 × 40 cm；有效容積：長 × 寬 × 高 = 200 × 30 × 33.5 cm)，進行厭氧污泥培養。
- (ii) 收集厭氧後廢水注入 6 個壓克力製曝氣槽，2 個 X 槽、2 個 Y 槽，以及 2 個 Z 槽之有效容積分別為 30、20 及 15 L (槽體內規格：X 槽：長 × 寬 × 高 = 25 × 36 × 40 cm；Y 槽：20 × 30 × 40 cm；Z 槽：17.5 × 26 × 40 cm)，有效容積高度皆為 33.5 cm，使用小型曝氣機連接曝氣槽底部之曝氣器全日提供空氣，進行活性污泥馴養。

II. 糞尿收集及處理

- (i) 在 2016/3/21 至 2016/5/29 期間進行，將平均體重 47.4 kg 的 LD (Landrace ♀ × Duroc ♂) 肉豬共 12 頭、閩公豬與肉女豬各半，飼養於代謝架上。每日上、下午分別餵飼飼糧 (表 1) 1 次，隔餐飼料槽中尚存飼糧於餵飼前收集秤重記錄以扣除，飲用水以碗式飲水器連接自來水充分供應，在平均體重 107.7 kg 時下架。

表 1. 實驗豬隻飼糧組成

Table 1. Dietary compositions for experimental pig

Items	% (as fed basis)
Ingredients	
Corn meal, CP 7.8%	73.32
Soybean meal, CP 43.8%	19.00
Wheat bran	3.00
Molasses	2.00
Limestone, pulverized	1.00
Dicalcium phosphate	1.00
Choline chloride, 50%	0.08
Salt	0.40
Vitamin premix ¹	0.10
Mineral premix ²	0.10
Total	100.00
Calculated value	
Digestible energy, kcal/kg	3,369
Crude protein, %	15.16
Cu, mg/kg	12.5
Zn, mg/kg	85.9

¹ Vitamin premix provided per kilogram of diet as following: Vitamin A, 6,000 IU; Vitamin D3, 800 IU; Vitamin B₁₂, 0.02 mg; Vitamin E, 20 IU; Vitamin K₃, 4 mg; Riboflavin, 4 mg; Pantothenic acid, 16 mg; Niacin, 30 mg; Pyridoxine, 1 mg; Folic acid, 0.5 mg; and Biotin, 0.1 mg.

² Mineral premix provided per kilogram of diet as following: Fe (FeSO₄ · 7H₂O), 140 mg; Cu (CuSO₄ · 5H₂O), 7 mg; Mn (MnSO₄), 20 mg; Zn (ZnO), 70 mg; and I (KI), 0.45 mg.

- (ii) 每日收集個別豬隻糞便及尿液秤重後混合，依重量比分別加入 1 倍 (A 廢水，糞 + 尿：沖洗水 = 1：1；模擬全條狀地面廢水) 及 2.5 倍 (B 廢水，糞 + 尿：沖洗水 = 1：2.5；模擬 1/3 部分條狀地面廢水) 的沖洗水 (用於平時清潔豬舍的農塘水)，調製總固形物 (total solids, TS) 含量平均分別為 2.33 及 1.63% 的 2 種不同濃度

廢水。

- (iii) 試驗動物飼養於行政院農業委員會畜產試驗所經營組豬場內，動物之使用、飼養及實驗內容，經「行政院農業委員會畜產試驗所實驗動物照護及使用小組」審查同意（畜試動字第 105 - 11 號）。

III. 廢水處理流程及分組

- (i) 調製後的廢水以孔隙 0.20 mm 之分離桶進行固液分離。
- (ii) 收集 (i) 廢水以 2×3 複因子設計，分別注入污泥馴養完成之有效容積約 200 L 不銹鋼製厭氧槽，其中 AX、AY 及 AZ 槽注入 A 廢水（糞 + 尿：水 = 1：1），BX、BY 及 BZ 則注入 B 廢水（糞 + 尿：水 = 1：2.5），AX 與 BX 槽、AY 與 BY 槽及 AZ 與 BZ 槽的水力停留時間 (hydraulic retention time, HRT) 分別為 10、15 及 20 日，即每日分別注入 20、13.4 及 10 L 固液分離後廢水，共形成 2 種廢水濃度 \times 3 種 HRT 的 6 個處理組。
- (iii) 厭氧處理後之廢水，以孔隙 0.20 mm 之分離桶過濾後，將污泥廢棄。
- (iv) 厭氧廢水過濾後，注入活性污泥馴養完成後之壓克力製槽體。為控制各組的 HRT 皆約為 1.5 日而採取批式進水，即每 6 小時 1 批次、每日 4 批次，利用蠕動馬達抽入曝氣槽，每小時約抽入 0.9 L 過濾後廢水，並以小型曝氣機連接曝氣槽底部之曝氣器保持全日提供空氣。AX 與 BX 槽、AY 與 BY 槽及 AZ 與 BZ 槽之有效容積分別為 30、20 及 15 L，每批次分別抽取 5.25、3.50 及 2.50 h 之廢水進入曝氣槽，即每日進入曝氣槽的廢水分別約 18.9、12.6 及 9.0 L。各處理組使用之廢水種類及操作設定，示於表 2。為考量各曝氣槽活性污泥量恐有差異，試驗期間每週二、五測定污泥沉降比 SV30，再調整各槽的活性污泥量使相近。

表 2. 各處理組使用之廢水種類及操作設定

Table 2. Types of wastewater used by each treatment group and operation settings

Items	A ¹			B		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Anaerobic tank						
Amount of added, L/day	20	13.4	10	20	13.4	10
HRT ² , day	10	15	20	10	15	20
Aeration tank ³						
Time of added, hr/batch	5.25	3.50	2.50	5.25	3.50	2.50
Amount of added, L/batch	4.73	3.15	2.25	4.73	3.15	2.25
Amount of added, L/day	18.9	12.6	9.0	18.9	12.6	9.0
HRT ² , day	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

¹ Manure and washing water were mixed to have A and B wastewater at 1:1 and 1:2.5 by weight ratio, respectively.

² HRT: hydraulic retention time.

³ Each batch was 6 hr, and influent rate was 0.9 L/h.

IV. 調查與測定項目

- (i) 豬隻上架及下架分別秤重，記錄每日採食量，計算生長性能。
- (ii) 每 2 週採集調製完成的廢水與固液分離後廢水，以及各處理組厭氧處理後、厭氧廢水過濾後與曝氣處理後樣品，分析水質的氫離子濃度（pH 值）與電導度 (electrical conductivity, EC)，以及化學需氧量 (chemical oxygen demand, COD)、生化需氧量 (biochemical oxygen demand, BOD)、懸浮固體 (suspended solids, SS)、總氮 (total nitrogen, TN) 與總磷 (total phosphorus, TP) 濃度 1 次。

V. 分析分法

- (i) pH 值、EC、COD、BOD 及 SS 濃度：分別依照行政院環境保護署公告之 NIEA W424.53A (行政院環境保護署環境檢驗所，2019a)、NIEA W203.51B (行政院環境保護署環境檢驗所，2000)、NIEA W515.55A (行政院環境保護署環境檢驗所，2018)、NIEA W510.55B (行政院環境保護署環境檢驗所，2011) 及 NIEA W210.58A (行政院環境保護署環境檢驗所，2013) 方法分析之。
- (ii) 總氮：參照行政院環境保護署公告之 NIEA W423.52C (行政院環境保護署環境檢驗所，2004) 方法計算之。
水中總氮濃度 = 水中硝酸鹽氮濃度 + 水中亞硝酸鹽氮濃度 + 水中凱氏氮濃度。水中硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮

及凱氏氮之測定，分別參照行政院環境保護署環境檢驗所 NIEA W419.51A (2006a)、NIEA W418.53C (2019b) 及 NIEA W451.51A (2006b) 方法分析之。

- (iii) 總磷：參照行政院環境保護署公告之 NIEA W423.52C27.53B (行政院環境保護署環境檢驗所，2010) 方法分析之。

VI. 統計分析

試驗豬隻生長性能及糞尿排泄量平均值及標準偏差以 Excel 2019 計算。其他分析資料利用 SAS 統計分析套裝軟體的一般線性模式程序 (general linear model procedure) 進行變方分析 (SAS, 2002)，若有處理效應 ($P < 0.05$)，再以鄧肯氏新多域測驗法 (Duncan's new multiple range test)，檢定不同廢水濃度和不同水力停留時間對厭氧及曝氣處理後水質成分的差異顯著性，以及廢水濃度 \times 水力停留時間之交感效應。

結果與討論

I. 豬隻生長性能及糞尿排泄量

本試驗共使用平均體重 47.4 – 107.7 kg 的生長肥育期 LD 豬隻 12 頭，每頭飼養在一個代謝架，期間的日增重 (average daily gain, ADG)、採食量 (average daily feed intake, ADFI) 及飼料效率 (feed efficiency, G/F) 分別為 0.86、2.34 kg/d 及 0.37 (表 3)，與蘇等 (2020) 使用平均體重 52.9 kg 的豬隻，在平均體重 112 kg 時下架，其 ADG、ADFI 及 G/F 分別為 0.85 kg/d、2.38 kg/d 及 0.36 相近。蘇等 (2012) 使用平均體重 30 kg 的 LYD 肉豬飼養至平均體重 110 kg，結果各處理組在試驗期間 ADG、ADFI 及 G/F 分別為 0.78 – 0.81 kg/d、2.33 – 2.69 kg/d 及 0.30 – 0.34，亦與本試驗獲致結果相似。本試驗豬隻飼養在代謝架上，主要係為收集糞尿以供調製不同濃度廢水之用，豬隻上架頭數係依照試驗所需糞尿量，參考蘇等 (2009) 計算約需 10.4 頭豬隻糞尿排泄量，為避免豬隻糞尿排泄量不足以供試驗所需，故以一次上架 12 頭。試驗期間豬隻糞便及尿液平均排泄量分別為 737 及 2,912 g/d，較蘇等 (2009) 調查體重 50 及 100 kg 的豬隻，其糞便排泄量為 816 及 980 g/d、尿液 3,390 及 3,960 g/d，以及蘇等 (2020) 測得糞便及尿液平均排泄量分別為 0.79 及 4.20 kg/d 皆稍少，惟足以提供本試驗調製不同濃度廢水使用。

表 3. 實驗豬隻生長性能及糞尿排泄量 (n = 12)

Table 3. Growth performance and manure excretion of experimental pig (n=12)

Items	Mean	SD	Range
Initial body weight, kg	47.4	5.2	40.0 – 57.0
Final body weight, kg	107.7	5.1	99.0 – 119.0
ADG ¹ , kg/day	0.86	0.07	0.76 – 0.99
ADFI ¹ , kg/day	2.34	0.05	2.20 – 2.37
FE ¹ , gain/feed	0.37	0.02	0.34 – 0.42
Manure excretion, g/d			
Feces	737	130	439 – 1,029
Urine	2,912	652	1,805 – 4,539
Urine/feces ratio	3.98	0.75	2.89 – 6.43

¹ ADG: average daily gain; ADFI: average daily feed intake; FE: feed efficiency.

II. 不同濃度廢水固液分離前後之水質

本試驗使用畜產試驗所平日用於清潔豬舍的沖洗水來調製 2 種濃度的廢水，在試驗期間配合各處理組水質採樣分析，同時採集沖洗水進行分析，結果其 pH、EC、COD、BOD、SS、TN 及 TP 分別為 7.37 ± 0.16 、 0.11 ± 0.00 dS/m、 13.7 ± 4.7 mg/L、 2.9 ± 2.5 mg/L、 7.4 ± 10.9 mg/L、 17.3 ± 9.9 mg/L 及 1.1 ± 0.7 mg/L。調製完成的廢水在固液分離前，A 廢水 (糞 + 尿：沖洗水 = 1 : 1) 的水質除了 pH 值與 B 廢水 (糞 + 尿：沖洗水 = 1 : 2.5) 無差異外，其餘水質濃度皆較 B 廢水顯著為高 (表 4)。A 廢水和 B 廢水經過固液分離處理後，COD、BOD 和 SS 濃度

皆明顯降低 (表 4)，BOD 及 SS 的去除率分別約 11 – 12% 及 9 – 10%，而除了 pH 值無差異外，A 廢水的水質濃度皆較 B 廢水為高 ($P < 0.05$)。

表 4. 不同濃度廢水固液分離前後的水質變化

Table 4. Water quality changes before and after solid-liquid separation (SLS) of wastewater with different concentrations

Items	Before SLS		SE	After SLS		SE
	A ¹	B		A	B	
pH	8.10	8.28	0.13	8.20	8.35	0.12
EC, dS/m	20.22 ^a	12.52 ^b	0.69	20.80 ^a	12.60 ^b	0.68
COD, mg/L	24,231 ^a	17,689 ^b	624	19,127 ^a	15,589 ^b	618
BOD, mg/L	6,315 ^a	4,610 ^b	236	5,605 ^a	4,063 ^b	209
SS, mg/L	20,755 ^a	14,551 ^b	279	18,887 ^a	13,114 ^b	253
TN, mg/L	3,222 ^a	2,730 ^b	246	2,331 ^a	1,713 ^b	219
TP, mg/L	1,799 ^a	1,124 ^b	225	1,012 ^a	812 ^b	144

¹ Manure and washing water mixing were mixed to have A and B wastewater at 1:1 and 1:2.5 by weight ratio, respectively.

^{a, b} Means in a row with in same SLS with different superscript differ ($P < 0.05$).

Cheng *et al.* (2019) 指出，養豬廢水 BOD 在 2,000 – 30,000 mg/L，TN 和 TP 分別為 200 – 2,055 mg/L 和 100 – 620 mg/L。本試驗 A 廢水經固液分離後的 TN 和 TP 分別為 2,331 和 1,012 mg/L，B 廢水則為 1,713 和 812 mg/L，除 B 廢水的 TN 外，皆高於 Cheng *et al.* (2019) 研究結果，此與 2 種廢水的糞尿與沖洗水比值較大有關。Chynoweth *et al.* (1999) 指出，養豬廢水的組成會因豬隻年齡、飼料組成、在養頭數、飼養方法及其他環境因素 (例如溫度和濕度) 而有所不同，Cheng *et al.* (2019) 的研究數據是以整個一貫式養豬場作探討，與本試驗使用的豬隻年齡、豬隻頭數和飼料組成等亦不相同。

III. 不同濃度廢水厭氧及曝氣階段處理之水質

本試驗原規劃由厭氧後槽將污泥迴流至厭氧前槽，但在污泥馴養階段發現，使用 A 廢水的各組 (AX、AY 及 AZ 組) 雖每週排泥 1 次，惟厭氧處理後的廢水中仍含大量污泥，因此試驗期間在厭氧處理後以孔隙 0.20 mm 之分離桶過濾污泥並廢棄。A 廢水在厭氧處理後、厭氧處理水過濾後及曝氣處理後的水質，除了曝氣處理後的 pH 值外，皆極顯著地較 B 廢水為高 (表 5)。水力停留時間 10 日者，除了厭氧處理後和厭氧處理水過濾後的 pH 值及曝氣處理後的 EC 外，皆較 HRT 較長 (15 日及 20 日) 者為高 ($P < 0.001$)。厭氧處理後水質的 BOD、厭氧處理水過濾後的 EC 與 BOD，以及曝氣處理後水質的 COD、BOD、SS、TN 及 TP，在廢水濃度及 HRT 間具有顯著的交互效應 (表 6)，係因 AZ 組 (使用 A 廢水、HRT 20 日) 厭氧處理後水質的 BOD 濃度、厭氧處理水過濾後的 EC，以及曝氣處理後水質的 COD、BOD、SS、TN 及 TP 濃度皆較 BX 組 (使用 B 廢水、HRT 10 日) 顯著為高，而 AY 組 (使用 A 廢水、HRT 15 日) 厭氧處理水過濾後的 BOD 濃度，也較 BX 組為高 ($P < 0.05$) 所致。

使用 A 廢水的各組經過固液分離、厭氧處理、厭氧後過濾及曝氣處理等程序後，上澄液的水質 COD、BOD 及 SS 去除率雖皆達 95% 以上 (表 7)，惟皆未符合行政院環境保護署 (2019) 規定之 600、80 及 150 mg/L 放流水標準，主要應與廢水濃度較高有關，而使用 B 廢水的各組除 BX 組的 BOD 濃度 (89 mg/L) 外，水質 COD、BOD 和 SS 濃度皆達放流水標準，顯示應用生物處理高濃度廢水仍有其極限。蘇等 (2020) 依重量比調製糞尿：水 = 1：1 (A 組)、1：2.5 (B 組) 及 1：5 (C 組) 等 3 種濃度廢水，經厭氧處理約 10 日、曝氣處理約 1.5 日後，COD、BOD 或 SS 濃度皆以 C 組顯著較 A 組為低，在厭氧階段不論 A 組 (COD 71%、BOD 65%、SS 86%) 或 B 組 (COD 74%、BOD 76%、SS 89%) 的去除率皆較本試驗為低，此與本試驗厭氧處理階段平均 HRT 較為長應有關係。

經三段式處理後 A 廢水的 TN 和 TP 濃度皆極顯著地較 B 廢水為高，而不論 TN 或 TP 濃度皆隨著 HRT 的增長而降低 ($P < 0.001$)。2 種不同濃度廢水除了厭氧階段的 TN 去除率無顯著差異外，皆以 B 廢水的 TN 及 TP 去除率較 A 廢水為高 ($P < 0.001$)，而 TN 或 TP 的去除率皆隨著 HRT 增長而極顯著提高 (表 7)，顯示廢水中 TN 或 TP 濃度較低及延長水力停留時間，皆可提高 TN 或 TP 之去除率，而 B 廢水組的 TN 與 TP 及 HRT 15 及 20 日的 TN 去除率皆達 90% 以上。本試驗在厭氧處理與曝氣處理間，增加分離桶過濾污泥並廢棄之程序，可去除

厭氧處理後水質的 TN 約 10% 與 TP 約 20%，因而降低了進入曝氣處理階段的 TN 與 TP 濃度，亦使得 TN 及 TP 從固液分離前到曝氣處理後整個處理過程的去除率提高。研究 (曾等, 2003; 蔡及周, 2005; 蘇等, 2020) 指出，養豬廢水經三段式廢水處理後氮和磷的濃度大約在 200 – 400 mg/L 和 20 – 100 mg/L 之間，本試驗使用 B 廢水的各組經曝氣處理後的 TN 和 TP 濃度 (表 5) 皆於上述研究範圍內，而使用 A 廢水各組的 TN 與 TP 濃度則較上述研究為高，而 2 種不同濃度廢水經 10、15 及 20 日厭氧處理再經 1.5 日曝氣處理後，仍富含高濃度的氮和磷等營養鹽。Beuckels *et al.* (2015) 指出，從廢水中去除磷受廢水中氮濃度的影響，需要足夠的氮以有效地同時從廢水中去除磷，而從本試驗曝氣處理階段發現，廢水中 TN 濃度較高也可能影響 TP 的去除率。放流水氮、磷濃度過高，將衍生環境污染與河川水質優養化等環保問題 (Giannuzzi *et al.*, 2011)，而氮、磷是植物生產中最重要營養素 (Razaq *et al.*, 2017)，宜予以善加利用。

表 5. 廢水濃度及厭氧處理水力停留時間對各處理階段水質之影響

Table 5. Effects of wastewater concentration (WWC) and hydraulic retention time (HRT) of anaerobic treatment on water quality after each treatment stage

Items	WWC ¹ (W)		HRT ² (H)			SE	Significance ³		
	A	B	X	Y	Z		W	H	W × H
After anaerobic									
pH	7.87	7.98	7.79 ^b	7.97 ^a	8.02 ^a	0.05	**	***	NS
EC, dS/m	20.5	12.5	17.1 ^a	16.5 ^b	16.0 ^c	0.2	***	***	NS
COD, mg/L	1,916	1,017	1,841 ^a	1,371 ^b	1,187 ^c	90	***	***	NS
BOD, mg/L	635	332	627 ^a	445 ^b	378 ^c	22	***	***	*
SS, mg/L	1,326	790	1,463 ^a	994 ^b	717 ^c	18	***	***	NS
TN, mg/L	1,035	579	1,002 ^a	756 ^b	662 ^b	55	***	***	NS
TP, mg/L	895	456	857 ^a	629 ^b	541 ^b	46	***	***	NS
After anaerobic filtration									
pH	7.84	7.97	7.79 ^c	7.92 ^b	8.02 ^a	0.04	***	***	NS
EC, dS/m	20.5	12.4	17.0 ^a	16.5 ^b	15.9 ^c	0.2	***	***	*
COD, mg/L	1,566	886	1,529 ^a	1,135 ^b	1,014 ^b	73	***	***	NS
BOD, mg/L	516	286	526 ^a	369 ^b	307 ^c	18	***	***	*
SS, mg/L	1,091	670	1,188 ^a	850 ^b	602 ^c	15	***	***	NS
TN, mg/L	931	521	902 ^a	681 ^b	596 ^b	49	***	***	NS
TP, mg/L	716	365	686 ^a	503 ^b	433 ^b	37	***	***	NS
After aerobic									
pH	8.52	8.42	8.52	8.49	8.39	0.14	NS	NS	NS
EC, dS/m	13.1	7.7	11.4	10.3	9.4	1.1	***	NS	NS
COD, mg/L	904	266	823 ^a	491 ^b	441 ^c	47	***	***	***
BOD, mg/L	298	71	257 ^a	163 ^b	134 ^c	10	***	***	***
SS, mg/L	638	91	545 ^a	315 ^b	233 ^c	7	***	***	***
TN, mg/L	488	157	453 ^a	276 ^b	238 ^b	28	***	***	***
TP, mg/L	420	106	369 ^a	236 ^b	185 ^c	21	***	***	***

¹ Manure and washing water mixing were mixed to have A and B wastewater at 1:1 and 1:2.5 by weight ratio, respectively.

² Hydraulic retention time on anaerobic treatment of X, Y and Z are 10, 15 and 20 days, respectively, and the aeration treatment is all 1.5 days.

³ NS: not significant; ** P < 0.01; *** P < 0.001.

表 6. 廢水濃度及厭氧處理水力停留時間對各處理階段水質影響之主效應

Table 6. Effects of wastewater concentration and hydraulic retention time (HRT) of anaerobic treatment on water quality after each treatment stage

Items	AX ¹	AY	AZ	BX	BY	BZ	SE
After anaerobic							
BOD, mg/L	758 ^a	637 ^b	510 ^c	496 ^c	254 ^d	246 ^d	23
After anaerobic filtration							
EC, dS/m	21.34 ^a	20.42 ^b	19.69 ^c	12.73 ^d	12.50 ^{de}	12.07 ^e	0.20
BOD, mg/L	606 ^a	522 ^b	418 ^c	446 ^c	216 ^d	197 ^d	19
After aerobic							
COD, mg/L	1,276 ^a	753 ^b	684 ^b	371 ^c	229 ^d	198 ^d	47
BOD, mg/L	424 ^a	261 ^b	209 ^c	89 ^d	65 ^{de}	59 ^e	10
SS, mg/L	971 ^a	535 ^b	407 ^c	119 ^d	95 ^e	58 ^f	7
TN, mg/L	689 ^a	407 ^b	370 ^b	218 ^c	145 ^{cd}	107 ^d	28
TP, mg/L	599 ^a	368 ^b	295 ^c	139 ^d	104 ^{de}	75 ^e	21

¹ AX, AY and AZ used wastewater A, the manure and washing water mixing 1:1 by weight ratio; BX, BY and BZ used wastewater B, the manure and washing water mixing 1:2.5 by weight ratio, respectively. The hydraulic retention time on anaerobic treatment of AX and BX, AY and BY, and AZ and BZ are 10, 15 and 20 days, respectively, and the aeration treatment is all 1.5 days.

^{a, b, c, d, e} Means in a row without a common superscript letter differ ($P < 0.05$).

表 7. 廢水濃度及水力停留時間對水質處理效率之影響

Table 7. Effects of wastewater concentration (WWC) and hydraulic retention time (HRT) of pig wastewater on the pollutant removal efficiencies

Items	WWC ¹ (W)		HRT ² (H)			SE	Significance ³		
	A	B	X	Y	Z		W	H	W × H
----- % -----									
Anaerobic stage									
COD	90.03	93.48	89.62 ^b	92.32 ^a	93.34 ^a	0.21	***	***	***
BOD	88.68	91.83	87.14 ^c	91.20 ^b	92.43 ^a	0.10	***	***	***
SS	92.98	93.97	90.86 ^c	93.89 ^b	95.68 ^a	0.04	***	***	***
TN	79.86	81.93	75.92 ^b	82.33 ^a	84.44 ^a	2.22	NS	***	NS
TP	88.66	85.07	82.65 ^b	88.43 ^a	89.52 ^a	1.66	*	***	NS
Aerobic stage									
COD	49.66	78.46	50.00 ^c	69.47 ^b	72.70 ^a	0.88	***	***	***
BOD	50.74	84.08	55.00 ^c	71.15 ^b	76.08 ^a	0.37	***	***	***
SS	54.04	90.85	59.00 ^c	75.94 ^b	82.39 ^a	0.16	***	***	***
TN	55.25	77.79	53.47 ^c	70.94 ^b	75.15 ^a	1.31	***	***	***
TP	50.74	80.40	52.31 ^c	68.98 ^b	75.42 ^a	1.61	***	***	***
Total removal rate									
COD	96.23	98.50	96.28 ^b	97.79 ^a	98.02 ^a	0.23	***	***	**
BOD	95.28	98.46	95.68 ^c	97.23 ^b	97.70 ^a	0.05	***	***	***
SS	96.93	99.38	97.25 ^c	98.38 ^b	98.82 ^a	0.02	***	***	***
TN	84.84	94.26	84.77 ^c	90.73 ^b	92.00 ^a	0.42	***	***	*
TP	76.63	90.58	74.78 ^c	83.84 ^b	87.37 ^a	0.39	***	***	*

¹ Manure and washing water mixing were mixed to have A and B wastewater at 1:1 and 1:2.5 by weight ratio, respectively.

² Hydraulic retention time on anaerobic treatment of X, Y and Z are 10, 15 and 20 days, respectively, and the aeration treatment is all 1.5 days.

³ NS: not significant; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$. ND: not determined.

養豬場應用全條狀豬舍或部分條狀豬舍飼養皆具有節水減廢的效果，但廢水濃度較每日沖洗的傳統實地面豬舍為高(蘇等，2016；2018)。本試驗所使用的 A 廢水是模擬全條狀豬舍的糞尿及沖洗水比例調製，AX、AY 及 AZ 組分別經 10、15 及 20 日的厭氧處理再經過約 1.5 日曝氣處理，且在厭氧處理後再增加污泥過濾廢棄程序，經處理後水質的 COD、BOD 和 SS 濃度仍無法符合放流水標準，厭氧處理後的污泥量也相對較多。郭等(1995)指出，污泥產生量與進流水中固體物濃度有直接關係，而養豬廢水經固液分離後在厭氧處理階段每去除 1 g 的全 COD 約產生 0.023 g 的污泥，推測使用 A 廢水各組厭氧污泥量相對較多，係因 A 廢水的 COD 濃度與處理過程 COD 去除量皆較 B 廢水為高所致。

本試驗結果顯示，B 廢水經過三段式處理後，除 BX 組的 BOD 濃度外，其 COD、BOD 和 SS 濃度皆可符合放流水標準(行政院環境保護署，2019)，而 A 廢水由於濃度較高，仍需再作後續研究以建立適當的處理模式，而建置高床條狀豬舍且廢水採用三段式處理的養豬場，建議必須更著重在厭氧槽的污泥清理與污泥後續處理，以提高放流水合格率。行政院環境保護署(2017)在水污染防治措施及檢測申報管理辦法中，已訂有養豬業應採行畜牧糞尿資源化處理措施相關規定，因此將高濃度養豬廢水經厭氧處理後或再經曝氣處理後，用於農作物施灌、還肥於田，落實資源化再利用，也是現階段養豬業可行且必須遵循的方式。

參考文獻

- 行政院農業委員會。2013。農業事業廢棄物再利用管理辦法。中華民國 102 年 6 月 3 日農牧字第 1020042705 號令修正發布。
- 行政院環境保護署。2015。水污染防治措施及檢測申報管理辦法。中華民國 104 年 11 月 24 日環署水字第 1040095824 號令修正發布。
- 行政院環境保護署。2017。水污染防治措施及檢測申報管理辦法。中華民國 106 年 12 月 27 日環署水字第 1060103859 號令修正發布。
- 行政院環境保護署。2018。事業及污水下水道系統水污染防治費收費辦法。中華民國 107 年 12 月 26 日環署水字第 1070105655 號令公告。
- 行政院環境保護署。2019。放流水標準。中華民國 108 年 4 月 29 日環署水字第 1080028628 號令修正發布。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2000。水中導電度測定方法—導電度計法(NIEA W203.51B)。中華民國 89 年 11 月 23 日(89)署檢字第 70017 號公告。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2004。水中總氮檢測方法(NIEA W423.52C)。中華民國 93 年 8 月 9 日環署檢字第 0930057400 號公告。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2006a。水中硝酸鹽氮檢測方法—分光光度計法(NIEA W419.51A)。中華民國 95 年 8 月 8 日環署檢字第 0950062980 號公告。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2006b。水中凱氏氮檢測方法(NIEA W451.51A)。中華民國 95 年 3 月 31 日環署檢字第 0950025578 號公告。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2010。水中磷檢測方法—分光光度計／維生素丙法(NIEA W427.53B)。中華民國 99 年 9 月 15 日環署檢字第 0990084224 號公告。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2011。水中生化需氧量檢測方法(NIEA W510.55B)。中華民國 100 年 1 月 27 日環署檢字第 1000009050 號公告。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2013。水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法—103℃～105℃乾燥(NIEA W210.58A)。中華民國 102 年 1 月 15 日環署檢字第 1020004998 號公告。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2018。水中化學需氧量檢測方法—重鉻酸鉀迴流法(NIEA W515.55A)。中華民國 107 年 11 月 22 日環署授檢字第 1070007386 號公告。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2019a。水之氫離子濃度指數(pH 值)測定方法—電極法(NIEA W424.53A)。中華民國 108 年 1 月 22 日環署授檢字第 1080000393 號公告。
- 行政院環境保護署環境檢驗所。2019b。水中亞硝酸鹽氮檢測方法—比色法(NIEA W418.54C)。中華民國 108 年 7 月 30 日環署授檢字第 1080004541 號公告。
- 夏良宙。2001。豬舍設備。畜牧要覽養豬篇(增修版)。中國畜牧學會，臺北市，第 285-292 頁。
- 郭猛德、沈添富、曾四恭。1995。豬糞廢水固形物含量對厭氣處理後污泥產量之研究。中畜會誌 24：497-510。
- 曾四恭、吳建輝、鄭榮春、郭猛德、馬冀芳。2003。生物處理法去除養豬廢水中氮之研究(上)。飼料營養雜誌

11：66-75。

臺灣省畜產試驗所。1993。豬糞尿處理設施工程設計、施工手冊(修訂本)，pp. C-F。臺灣省畜產試驗所專輯第21號。

蔡孟潔、周楚洋。2005。豬糞尿水之生物去氮除磷。農業機械學刊 14：1-12。

蘇天明、李免蓮、吳遵文、蕭庭訓、李恒夫、廖宗文、郭猛德。2009。不同體重肉豬糞尿排泄量及其成分調查。中畜會誌 38：97-107。

蘇天明、劉士銘、李恒夫、蕭庭訓、廖宗文、郭猛德。2012。不同型式銅鋅及其用量之飼糧對生長肥育豬生長性能及屠體性狀之影響。畜產研究 45：55-66。

蘇天明、翁義翔、鍾承訓、鄭閔謙、蕭庭訓、程梅萍。2016。地面結構對熱季豬隻生長性能及豬舍用水量、廢水量之影響。畜產研究 49：26-34。

蘇天明、翁義翔、鍾承訓、蕭庭訓、程梅萍。2018。地面結構對涼季豬隻生長性能與豬舍廢水量。畜產研究 51：75-83。

蘇天明、鍾承訓、蕭庭訓、程梅萍。2020。三段式處理對不同濃度養豬廢水之處理效果。畜產研究 53：82-90。

Beuckels, A., E. Smolders, and K. Muylaert. 2015. Nitrogen availability influences phosphorus removal in microalgae-based wastewater treatment. *Water Res.* 77: 98-106.

Cheng, D. L., H. H. Ngo, W. S. Guo, S. W. Chang, D. D. Nguyen, and S. M. Kumar. 2019. Microalgae biomass from swine wastewater and its conversion to bioenergy. *Bioresour. Technol.* 275: 109-122.

Chynoweth, D. P., A. C. Wilkie, and J. M. Owens. 1999. Anaerobic treatment of piggery slurry-review. *Asian-australas. J. Anim. Sci.* 12: 607-628.

Giannuzzi, L., D. Sedan, R. Echenique, and D. Andrinolo. 2011. An acute case of intoxication with cyanobacteria and cyanotoxins in recreational water in Salto Grande Dam, Argentina. *Mar. Drugs* 9: 2164-2175.

Razaq, M., P. Zhang, and H. I. Shen. 2017. Influence of nitrogen and phosphorous on the growth and root morphology of *Acer mono*. *PLoS ONE* 12: e0171321.

SAS. 2002. SAS/STAT® 8.6. SAS Institute Inc., Cary, NC. USA.

Study on the treatment of high -concentration pig wastewater with model tanks ⁽¹⁾

Tein-Ming Su ⁽²⁾⁽³⁾ Cheng-Hsun Chung ⁽²⁾ and Ting-Hsun Hsiao ⁽²⁾

Received: Jun. 2, 2021; Accepted: Jan. 18, 2022

Abstract

The purpose of this study was to investigate the performance of the three-step treatment process in the treatment of high-concentration pig wastewater, using a model tank. Twelve LD pigs with an average weight of 47 to 107 kgs were arranged in individual metabolism cages. Feed and water were provided *ad libitum* during the experimental period. The feces and urine of individual pig were collected daily, weighed separately, and then mixed together. Two concentrations of wastewater were prepared by mixing manure and washing water at ratio of 1:1 (wastewater A) and 1:2.5 (wastewater B) by weight. After solid-liquid separation, the mixture was injected into 6 anaerobic tanks with an effective volume of about 200 L. The hydraulic retention time (HRT) of anaerobic treatment was about 10, 15 and 20 days, respectively. The HRT of aeration treatment for each group was about 1.5 days. Results showed that after the three-step treatment process, chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD), suspended solids (SS), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) concentrations of wastewater A were 904, 298, 638, 488 and 420 mg/L, respectively, all significantly ($P < 0.001$) higher than wastewater B. The COD, BOD, SS, TN and TP concentrations of the HRT 10-day group after the three-step treatment were 823, 257, 545, 453 and 369 mg/L, respectively, which were higher than the groups of HRT 15-day and HRT 20-day. Except for COD concentration, other water quality of group of HRT 15-day was also significantly higher than that of the HRT 20-day group. The results showed that even after wastewater A has undergone anaerobic treatment for 20 days and aerobic treatment for 1.5 days, the water quality still fails to meet the discharge water standard. On contrary, wastewater B subjected to anaerobic treatment for 10 days and aerobic treatment for about 1.5 days, the water quality meets the discharge standard. In summary, after the three-step treatment of high-concentration pig wastewater, the concentrations of TN and TP were still high. Taking considerations of compliance with law and treatment costs, the wastewater can be reused for irrigation on farmland as a nutrient source for crops.

Key words: Hydraulic retention time, Pig wastewater, Wastewater concentration.

(1) Contribution No. 2695 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

(2) Livestock Management Division, COA-LRI, Tainan 71246, Taiwan, R. O. C.

(3) Corresponding author, E-mail: tmsu@mail.tlri.gov.tw.