

固形物濃度對牛糞廢水厭氧處理之影響⁽¹⁾

蕭庭訓⁽²⁾ 蘇天明⁽²⁾ 陳水財⁽³⁾ 蕭宗法⁽⁴⁾ 黃裕益⁽⁵⁾ 程梅萍⁽²⁾ 沈韶儀⁽⁶⁾⁽⁷⁾

收件日期：104 年 11 月 2 日；接受日期：105 年 3 月 21 日

摘 要

本試驗利用 5 組有效容積為 10 L 之攪拌式厭氧模型槽，操作條件設定為 HRT 10 d，每日分別添加 TS 含量為 0.5% (A1)、1% (A2)、2% (A3)、4% (A4) 及 8% (A5) 之牛糞混合液，進行不同固形物含量牛糞廢水之厭氧處理後水質及沼氣產量評估。試驗結果顯示 5 組厭氧模型槽出流水之各組去除量亦有相同趨勢，且組間差異顯著 ($P < 0.05$)，但就去除率而言，若進流 TS、COD、VS 有機負荷太高反而會降低，尤其以 A4、A5 組最為明顯。若厭氧模型槽設定為 HRT 10 d，則建議 A1 及 A2 組可作為參考，該 2 組之進與出流水 COD 濃度平均分別為 8,130 及 15,100 mg/L 與 860 及 1,540 mg/L。5 組之平均沼氣產量隨進流 TS 濃度增加而增加，且組間差異顯著 ($P < 0.05$)，其中以 A5 組平均日產氣量 11.96 L/d 為最高，以廢水進流 TS 與 VS 濃度評估比沼氣產量及比甲烷產量，則以 A3 組為最佳，同時其沼氣中也具較高的甲烷含量。

關鍵詞：牛糞、固形物、厭氧處理、沼氣。

緒 言

自民國 79 年起，農政主管單位鑒於畜牧排泄物的污染嚴重，建立由畜產試驗所及其分所、場為技術主導之畜牧污染防治輔導系統，輔導全國畜牧場設置三段式廢水處理設施—亦即廢水經固液分離後，固形物採堆肥化處理，液體部分則依序經厭氧、好氧處理後排放。選擇此處理模式的考量為兼顧放流水達到環保要求且處理技術經濟可行，使畜牧業者得以永續經營為目標。畜牧糞尿廢水固形物濃度高，適合先以厭氧處理降低有機物及固形物濃度，後續再搭配處理效率高的好氧處理方法，不但可以在相對較低成本下使放流水符合環保標準，而且可生產沼氣能源為副產品。沼氣為生質能之一，若妥善規劃再利用，不僅可降低溫室氣體排放量又可充作替代能源，彌補廢水操作的成本。

厭氧消化 (anaerobic digestion, AD) 兼具廢水處理與能源取得兩種技術，已被廣泛應用於含生物可分解性廢水之產業如工業廢水、生活污水、畜牧廢水、屠宰場廢水及農業廢棄物等 (Li *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2008)。厭氧消化藉由厭氧微生物在無氧環境中將有機物分解成低分子量有機酸並轉化成甲烷 (CH_4)、二氧化碳 (CO_2)、氨氣 (NH_3)、水蒸氣、硫化氫 (H_2S)...等沼氣 (biogas) 成分。分解過程包括：水解 (hydrolysis)、酸化 (acidogenesis) 及甲烷化 (methanogenesis) 等 (Rasi *et al.*, 2007)。Harasimowicz *et al.* (2007) 指出沼氣是潔淨能源，一般而言沼氣包含 48 – 65% 甲烷 (CH_4)、30 – 45% 二氧化碳、17% 以上的氮 (N_2)、微量的硫化氫及水蒸氣。

行政院環境保護署 (2014) 公告養牛 (畜牧業二) 放流水之標準，其化學需氧量 (chemical oxygen demand, COD)、生化需氧量 (biochemical oxygen demand, BOD) 及懸浮固體 (suspended solid, SS) 等之最高限值分別為 450、80 及 150 mg/L，同時放流水之 pH 值亦須在 6 – 9 範圍內。另行政院環境保護署 (2015) 公告之「水污染防治費收費辦法」規定，將於 106 年起徵收畜牧業水污染防治費，其費率計算公式略為：費率 (COD 12.5 元/kg、SS 0.62 元/kg) × 排放水質 (豬 COD 600 mg/L、SS 150 mg/L；牛 COD 450 mg/L、SS 150 mg/L) × 排放水量 (豬每頭 20 L/日、乳牛 200 L/日) × 在養頭數，另可依實際排放水量及水質徵收水污費。因此，如果業者能降低其畜牧場之排放水之 COD 及 SS 濃度，即可減少水污費支出。

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 2377 號。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所經營組。

(3) 行政院農業委員會畜產試驗所技術服務組。

(4) 行政院農業委員會畜產試驗所產業組。

(5) 國立中興大學生物產業機電工程學系。

(6) 南臺科技大學餐旅管理系。

(7) 通訊作者：ssheen@mail.stust.edu.tw。

國內牛糞尿清理方式大致為清水沖洗或人工 / 機械刮除再沖洗後，將糞尿廢水集中於貯存池，再以水車式或斜背式固液分離機將固形物與液體分離，分離液以厭氧—好氧廢水處理系統處理。因固液分離型態與清洗水量各場不一，致使廢水性質變異大。為瞭解不同固形物含量之廢水之厭氧處理效果，本試驗設計以不同總固形物含量 (0.5% — 8% TS) 之養牛廢水，以水力停留時間 10 天進行厭氧處理 (臺灣省畜產試驗所，1993)，評估其對處理後水質及沼氣產量之影響，作為養牛場廢水處理操作時之參考。

材料與方法

I. 試驗設備

厭氧處理模型槽 (圖 1) 共 5 個，規格為內徑 9.9 cm、外徑 14 cm、高 120 cm，有效容積為 10 L，頂部為固、氣、液分離裝置，頂端設置沼氣收集孔，底部設有排泥管。連結 6 組攪拌葉之攪拌機，由可程式邏輯控制器 (programmable logic controller, PLC) 設定攪拌頻率。厭氧處理模型槽利用恆溫水浴槽 (禾益興業股份有限公司，臺灣)，以馬達抽取恆溫水由模型槽下部側邊入口注入，另由模型槽上部側邊出口將水導回恆溫水浴槽，以維持處理槽溫度為 $28 \pm 1^\circ\text{C}$ 。

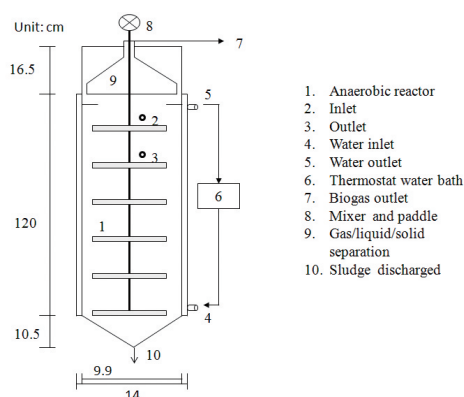


圖 1. 厭氧模型槽示意圖。

Fig. 1. A schematic diagram of anaerobic reactor system.

II. 試驗材料

試驗牛糞採集自畜產試驗所 (臺南市新化區) 之乳牛舍，每 2 星期採集一次，採集之新鮮牛糞立即儲存於 4°C 冷藏庫備用。

III. 試驗設計

(i) 固形物濃度試驗

每次取得之新鮮牛糞立即測定其固形物含量。翌日將冷藏之牛糞依分析結果調配成 A1、A2、A3、A4 及 A5 等 5 組不同濃度之牛糞混合液 (2 星期份)，儲存於 4°C 冷藏庫。

(ii) 厭氧模型槽操作

攪拌式厭氧處理模型槽 5 個，攪拌頻率為每 30 分鐘攪拌 1 分鐘，連續循環操作，水力停留時間設定為 10 天。試驗初始，每一處理組植入 2 L 畜產試驗所廢水處理場之厭氧污泥，添加厭氧處理後之排出水 (450 mg COD/L) 至 10 L，第二天開始每日於上午 8:30 採取各組之排出水，分別添加 TS 濃度 0.5% (A1 組)、1% (A2 組)、2% (A3 組)、4% (A4 組) 及 8% (A5 組) 之牛糞混合液。每 10 天自模型槽底部排出污泥，分析污泥之 VS 濃度並紀錄廢棄污泥量。各試驗組分別裝設 1 — 3 個 10 L 之沙灘球收集沼氣，每日以氣體流量計 (Shinagawa Corporation, Japan) 計量並紀錄。操作 1 個月後，沼氣產量已趨於穩定，分析各組之進流及出流水質和沼氣成分。

IV. 牛糞、水質及沼氣成分分析

新鮮牛糞採樣後立即分析固形物含量。A1、A2、A3、A4 及 A5 等 5 組試驗組之進流及出流水，均分析其 pH、COD、BOD、鹼度、TS 及揮發性固體物 (volatile solids, VS) 含量。各組採集之沼氣樣品均分析甲烷氣體成份。

(i) 水質分析方法：pH 值以 pH 計分析 (Denver Instrument)。電導度 (electrical conductivity, EC) 以電極法 (Microprocessor conductivity meter, WTW) 分析。COD 以密閉式重鉻酸鉀迴流法 (NIEA W517.52B) 分析。水中 BOD

以 NIEA W510.55B 法檢測。TS 以 103℃ – 105℃ 乾燥法 (NIEA W210.58A) 分析，烘乾物再經 550℃ 高溫燃燒，逸失之重量為 VS (NIEA R212.02C)。水中鹼度檢測方法以滴定法測定 (NIEA W449.00B)。

- (ii) 全氮 (Total Nitrogen, TN, 方法編號 AFS2110-1)：樣品在 70℃ 下烘乾至恆重，以磨碎機磨碎，並通過 35 mesh 篩網，再在 70℃ 下烘乾至恆重，移入乾燥器內，冷卻至室溫。利用濃硫酸、水楊酸及硫代硫酸鈉在高溫處理下，使肥料中含氮化合物及硝酸態氮轉為銨態氮。取適量分解液於熱蒸餾器中加入氫氧化鈉，使銨態氮轉為氨，經硼酸溶液吸收後，再以標準酸溶液滴定之，計算肥料全氮含量。
- (iii) 沼氣產量：各試驗組分別裝設 1 – 3 個 10 L 之沙灘球收集沼氣，每日以氣體流量計 (Shinagawa Corporation, Japan) 計量並紀錄。
- (iv) 沼氣成分分析：以氣相層析儀－熱導偵測器 (gas chromatography-thermal conductivity detector, GC-TCD, Thermo Fisher Scientific, Inc, USA) 搭配 Porapak Q 80/100 mesh 層析管 (Alltech, 美國)，攜帶氣體為高純度氮氣 (99.995%)，注射器、烘箱與偵測器之溫度分別為 12℃、35℃ 及 200℃。

V. 資料分析

試驗資料利用 SAS 套裝軟體 (SAS, 1988) 計算，包括各分析值之平均值及標準偏差，以一般線性模式程序 (General Linear Model Procedure, GLM) 進行分析值之變方分析，並以鄧肯氏新多變域測定法 (Duncan's New Multiple Range Test) 比較各試驗組之差異性。

結果與討論

I. 牛糞成分分析

本試驗之新鮮乳牛糞便之成分分析結果示如表 1，乳牛糞便之 pH、含水率、TS、VS 及 TN 之平均含量分別為 7.46、84.3%、15.8%、83.5% (乾物) 及 2.53% (乾物)。本結果與 Yin *et al.* (2014) 及 Wang *et al.* (2012) 報告中之牛糞 pH、TS、VS 分析值 7.0、14.8%、78.6% 及 7.12、14.4%、78.6% 相近，但 VS 含量較高，亦更適合於生物處理。

表 1. 新鮮乳牛糞特性

Table 1. Characteristics of dairy manure^a

Properties	Mean ± SD
pH	7.46 ± 0.31
Moisture (%)	84.3 ± 2.6
Total solids, TS (%)	15.8 ± 2.08
Total volatile solids, VSb (%)	83.5 ± 3.34
Total nitrogen, TNb (%)	2.53 ± 0.22

^a n = 5.

^b Dry basis.

II. 厭氧模型槽之操作參數

5 組厭氧模型槽之操作條件及 TS、COD、VS 有機負荷率如表 2。相較於相關文獻之厭氧模型槽 TS、COD 及 VS 有機負荷設計，如：Demirer and Chen (2005) 之試驗 COD 為 1.19 – 7.53 kg/m³/d、Li *et al.* (2014) 之研究 VS 為 1 – 4 kg/m³/d、Rico *et al.* (2011) 為 2.0 – 4.5 kg VS/m³/d 及 Karim *et al.* (2005) 以 TS 有機負荷 3.1、6.2、9.3 kg/m³/d 進行研究，本試驗之有機負荷範圍更廣。A1 – A5 組厭氧模型槽內之平均污泥濃度，依序為 7,990、11,860、15,200、23,100 及 48,000 mg VS/L，隨進流液之有機負荷增加而提高。

III. 各試驗組之水質及處理效果

表 3 為不同 TS 含量的牛糞液以厭氧處理之進出流水質與處理效率，A1、A2、A3、A4 及 A5 等組之平均進流 pH 值，平均進流 TS 濃度，此結果與試驗原始設計之 TS 含量為 0.5%、1%、2%、4% 及 8% 相差不大。5 組試驗組之進流水 COD、BOD、VS 及鹼度的平均濃度，由低而高依序為 A1 < A2 < A3 < A4 < A5。廢水中若含有適量鹼度，對厭氧處理環境中有緩衝劑效果，有助於穩定 pH，防止厭氧模型槽內環境因酸化作用而影響處理效率。本試驗中，各處理組進流水之平均鹼度分別為 530 至 4,860 mg/ CaCO₃ /L，有益於厭氧反應之進行。

表 2. 各厭氧試驗組之操作參數

Table 2. Experimental operation parameters for anaerobic treatment

Treatment	Operation condition					
	Controlled parameter			Organic loading rate		
	HRT	Feed rate	TS	TS	COD	VS
	day	L/d	%	kg/m ³ /d	kg/m ³ /d	kg/m ³ /d
A1	10	1	0.5	0.52 ± 0.01	0.81 ± 0.06	0.43 ± 0.02
A2	10	1	1.0	1.06 ± 0.04	1.51 ± 0.06	0.86 ± 0.02
A3	10	1	2.0	1.94 ± 0.07	2.73 ± 0.22	1.55 ± 0.04
A4	10	1	4.0	4.12 ± 0.09	5.48 ± 0.13	3.35 ± 0.08
A5	10	1	8.0	8.05 ± 0.08	10.79 ± 0.11	6.54 ± 0.08

HRT: hydraulic residence time.

COD: chemical oxygen demand.

Data is expressed as mean ± S.D.

表 3. 厭氧模型槽進出流水質

Table 3. Averaged influent and effluent characteristics and operational parameters of anaerobic digestion (mean ± SD)

Parameter	Treatment*									
	A1		A2		A3		A4		A5	
Influent										
pH	7.31 ±	0.14	7.22 ±	0.20	7.21 ±	0.08	7.06 ±	0.10	7.10 ±	0.18
COD (mg/L)	8,130	± 620	15,100	± 610	27,350	± 2,190	54,830	± 1,300	107,880	± 1,070
BOD (mg/L)	880	± 99	1,550	± 200	3,100	± 710	6,550	± 800	11,090	± 490
TS (mg/L)	5,210	± 140	10,580	± 400	19,410	± 730	41,170	± 860	80,450	± 800
VS (mg/L)	4,300	± 170	8,620	± 160	15,500	± 410	33,500	± 780	65,430	± 780
Alkalinity (mg CaCO ₃ /L)	530	± 18	890	± 51	1,620	± 47	3,110	± 358	4,860	± 200
Effluent										
pH	6.80 ±	0.10	6.84 ±	0.10	6.99 ±	0.15	7.13 ±	0.08	7.33 ±	0.09
COD (mg/L)	860	± 76.5	1,540	± 88.5	2,930	± 170	28,660	± 678	70,450	± 1,353
BOD (mg/L)	53.6	± 11.8	91.4	± 25.4	181	± 28.1	1,692	± 73.3	4,670	± 803
TS (mg/L)	210	± 34.6	440	± 35.6	1,309	± 146	20,145	± 839	52,450	± 2,370
VS (mg/L)	170	± 30.0	370	± 29.3	1,085	± 126	16,430	± 823	43,570	± 2,060
Average removal amount										
COD (mg/L)	7,268 ^e		13,562 ^d		24,240 ^c		26,168 ^b		37,425 ^a	
BOD (mg/L)	824 ^d		1,456 ^d		2,924 ^c		4,860 ^b		6,415 ^a	
TS (mg/L)	5,009 ^e		10,135 ^d		18,096 ^c		21,025 ^b		28,003 ^a	
VS (mg/L)	4,127 ^e		8,253 ^d		14,409 ^c		17,068 ^b		21,856 ^a	
Average Removal (%)										
COD	89.4 ^a		89.8 ^a		89.3 ^a		47.7 ^b		34.7 ^c	
BOD	93.9 ^a		94.1 ^a		94.1 ^a		73.9 ^b		57.8 ^c	
TS	96.1 ^a		95.8 ^{ab}		93.2 ^b		51.0 ^c		34.8 ^d	
VS	96.0 ^a		95.8 ^a		93.0 ^b		50.9 ^c		33.4 ^d	

* Treatment A1, A2, A3, A4, A5 content total solid were 0.5%, 1.0%, 2.0%, 4.0%, 8.0%, respectively.

a, b, c, d, e Means in the same row with the different superscript differ (P < 0.05).

各試驗組之厭氧處理出流水 pH 值平均介於 6.80 – 7.33，顯示本試驗之各組之 pH 變化不大，與文獻值相符，如 Ward *et al.* (2008) 及 Liu *et al.* (2008) 指出理想之厭氧模型槽環境 pH 值介於 6.5 – 7.5。除 A1 與 A2 之 BOD 去除量外，厭氧模型槽對牛糞廢水之 COD、BOD、TS 及 VS 平均去除量，各試驗組間呈現顯著性差異，隨 TS 加入量的增加而增加，各組之污染物去除量亦隨之顯著增加 (表 3)。COD 與 BOD 去除率方面 (表 3)，A1、A2、A3、A4 及 A5 組之平均去除率以 A1、A2、A3 組顯著優於 A4 組，而 A4 組又顯著高於 A5 組 ($P < 0.05$)。對 TS 之平均去除率 A1、A3、A4 及 A5 等組間具顯著性處理效果 ($P < 0.05$)，以 A1 組顯著高於 A3、A4 及 A5 組。對 VS 之平均去除率以 A1、A2 組顯著高於 A3、A4、A5 組 ($P < 0.05$)，而 A1 及 A2 組無組間統計差異。本試驗之結果顯示 5 組厭氧模型槽出流水之 COD、BOD、TS 及 VS 濃度隨 TS、COD、VS 有機負荷 (表 2) 提高而增加，各組之去除量亦有相同之趨勢，且組間差異顯著，但就去除率而言，若進流 TS、COD、VS 有機負荷太高反而會降低，尤其以 A4 (TS 4%)、A5 (TS 8%) 組最為明顯，可能原因為厭氧處理槽之 HRT 僅設計 10 d，不足以消化進流之有機物。

本試驗之 A1、A2、A3 組對 COD、TS 及 VS 去除率較其他文獻為佳，如 Mara $\tilde{\text{n}}\text{on}$ *et al.* (2001) 牛糞廢水以 HRT 10.6 d 厭氧醱酵處理，COD 進流濃度 45,503 mg/L，有機負荷 4.32 kg/m³/d，去除 61% 之 COD；Demirer and Chen (2005) 以牛糞廢水以 HRT 10 d (酸化 2 天，甲烷化 8 天) 厭氧醱酵，COD 有機負荷 1.19 – 7.53 kg/m³/d，其 COD 及 VS 去除率分別為 30% – 62% 及 33% – 68%；Rico *et al.* (2011) 指出牛糞廢水經 HRT 10 d 厭氧醱酵，VS 有機負荷 4.5 kg/m³/d，COD 及 TS 去除率分別為 38.1% 及 27.8%。Li *et al.* (2014) 研究指出 TS 及 VS 去除率隨有機負荷 (1、2、3、4 g VS/L/d) 升高而降低之趨勢，本研究亦得到類似的結果。

Chan *et al.* (2009) 認為高濃度有機廢水 (COD 高於 4,000 mg/L) 應以厭氧程序再接好氧程序處理，低濃度有機廢水 (COD 近於 1,000 mg/L) 則以好氧程序處理較適當。此外，106 年起環保署將徵收畜牧業水污染防治費，其費率計算可依實際排放量及水質徵收，因此降低畜牧業排放水質之 COD 及 SS 濃度，即可減少業者水污費之支出。在考慮厭氧程序之消化功能及出流水質對於後續好氧處理之影響，依本試驗之結果，可以選擇 A1 及 A2 組，該 2 組之進與出流水之平均 COD 濃度分別為 8,130 ± 620 及 15,100 ± 610 mg/L 與 860 ± 76.5 及 1,540 ± 88.5 mg/L，且處理效率均高達 89% 以上，A3、A4 及 A5 組出流水之 COD 濃度太高，則會增加後續好氧處理之難度。

IV. 各試驗組之沼氣產量

各試驗組之沼氣產量於操作 10 日後 (相當於水力停留時間)，即大致趨於穩定 (圖 2)，且隨 A1、A2、A3、A4 及 A5 組之進流牛糞廢水有機負荷提高而依序增加，其中 A1 及 A2 組於試驗初始即呈現穩定產氣量，但沼氣產量相對於其他 3 組明顯偏低，而 A5 之沼氣產量為相對最高。於厭氧模型槽操作 30 日 (3 倍水力停留時間) 後，各組之平均沼氣產量 (表 4)，隨進流 TS 濃度增加而增加，且組間具差異顯著 ($P < 0.05$)。平均日產氣量以 A5 為最佳，表示添加高濃度之牛糞廢水可得到較高的沼氣產量，此結果與 Rico *et al.* (2011) 之研究指出添加高濃度 VS 可得較佳的沼氣產量相似。但由比沼氣產量 (specific biogas yield) 評估，A1、A2、A3、A4 及 A5 組分別為 171、172、208、147 及 149 ml/g TS/d 與 207、211、260、181 及 183 ml/g VS/d (表 4)，均以 A3 組表現最優 ($P < 0.05$)，A1、A2 組其次，但均顯著高於 A4、A5 組。各組之比甲烷產量 (specific methane yield) 亦有相同之趨勢 (表 4)，顯示在超過特定值後，提高 TS 與 VS 有機負荷反而會降低比沼氣產量及比甲烷產量。Demirer and Chen (2005) 利用攪拌式厭氧模型槽 (HRT = 20 d; 36°C) 處理牛糞廢水亦發現提高有機負荷率，比沼氣產量有下降現象。Rico *et al.* (2011) 利用牛糞廢水厭氧醱酵 HRT 10 d，操作溫度 37 ± 1°C，有機負荷 4.5 kg VS/L/d，之比沼氣產量為 328 L/kg VS/d。本研究厭氧處理之比沼氣產量結果 (HRT = 10 d，環境溫度為 28°C) 與 Demirer and Chen (2005) 相近似，但較 Rico *et al.* (2011) 為低。若比較平均甲烷含量，則 A1 組顯著低於其他 4 組 ($P < 0.05$)。試驗結果與文獻之沼氣中甲烷含量 48% – 67% 報告相似 (Rasi *et al.*, 2007; Karim *et al.*, 2005 and Ferrer *et al.*, 2011)。試驗結果顯示 2% TS 試驗組 (A3)，具有最高之每克總固形物及揮發性固形物與比沼氣產量及比甲烷產量，同時沼氣中也具較佳的甲烷含量，故為 5 組中之最佳沼氣生產配方。

結 論

5 組厭氧模型槽出流水之 COD、BOD、TS 及 VS 濃度隨 TS、COD、VS 有機負荷提高而增加，各組之去除量亦有相同之趨勢，且組間差異顯著，但若進流 TS、COD、VS 有機負荷太高反而會降低去除率，尤其以 A4 (TS 4%)、A5 (TS 8%) 組最為明顯。5 組之平均沼氣產量隨進流 TS 濃度增加而增加，且組間差異顯著，以 A5 組平均日產氣量 11.96 L/d 為最高，若評估廢水進流 TS 與 VS 濃度之比沼氣產量及比甲烷產量，則以 A3 組為最佳。為考慮厭氧

程序之消化功能及其出流水能有利於後續之好氧處理，若厭氧模型槽 HRT 設定為 10 天，則建議 A1 及 A2 組之操作參數可作為參考，至於採用 A3 – A5 組之操作參數時，則必須延長厭氧處理之 HRT 或其他更有效率的處理方法使出流 COD 濃度降到 1,000 mg/L 左右。

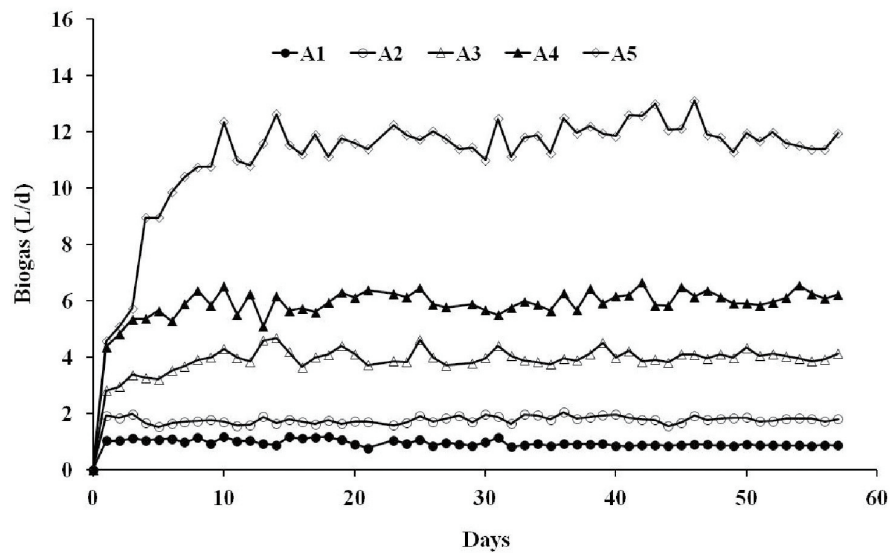


圖 2. 各試驗組之沼氣產量。

Fig. 2. The biogas yield of anaerobic digestion.

表 4. 牛糞廢水厭氧處理之比沼氣產量

Table 4. The specific biogas yields from anaerobic digestion of dairy manure wastewater

Treatment	Biogas		Specific biogas yield		Specific methane yield	
	yield	CH ₄				
	L/d	%	ml/g TS/d	ml/g VS/d	ml/g TS/d	ml/g VS/d
A1	0.89 ^e	50.6 ^b	171 ^b	207 ^b	90 ^c	109 ^c
A2	1.82 ^d	61.0 ^a	172 ^b	211 ^b	108 ^b	132 ^b
A3	4.03 ^c	64.8 ^a	208 ^a	260 ^a	133 ^a	167 ^a
A4	6.07 ^b	62.1 ^a	147 ^c	181 ^c	89 ^c	109 ^c
A5	11.96 ^a	63.8 ^a	149 ^c	183 ^c	94 ^c	116 ^c

a, b, c, d, e Means in the same column with the different superscript differ ($P < 0.05$).

誌 謝

本試驗承蒙本所技工陳漢興先生、勞務外包技術工金慶梅及鄭婷月小姐等協助完成，特此致謝。

參考文獻

- 臺灣省畜產試驗所。1993。豬糞尿處理設施工程設計、施工手冊。臺灣省畜產試驗所專輯編號第 21 號。
- 行政院農業委員會畜產試驗所。2010。畜禽糞尿量及其成分。行政院農業委員會畜產試驗所專輯第 141 號。
- 行政院環保署環境檢驗所。2003。水中鹼度檢測方法—滴定法 (NIEA W449.00B)。
- 行政院環保署環境檢驗所。2009。水中化學需氧量檢測方法 - 重鉻酸鉀迴流法 (NIEA W510.52B)。
- 行政院環保署環境檢驗所。2011。水中生化需氧量檢測方法 (NIEA W510.55B)。
- 行政院環保署環境檢驗所。2014。污泥廢棄物中總固體、固定性及揮發性固體含量檢測方法 (NIEA R212.02C)。
- 行政院環境保護署。2014。放流水標準。中華民國 103 年 1 月 22 日。行政院環境保護署環署水字第 1030005842 號令修正發布第二條條文。

- 行政院環境保護署。2015。水污染防治費收費辦法。中華民國 104 年 3 月 31 日行政院環境保護署環署水字第 1040025018 號令修正發布。
- Chan, Y. J., M. F. Chong, L. L. Chung and D. G. Hassell. 2009. A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chem. Eng. J.* 155: 1-18.
- Chen, Y., J. J. Cheng and K. S. Creamer. 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresour. Technol.* 99: 4044-4064.
- Demirer, G. N. and S. Chen. 2005. Two-phase anaerobic digestion of unscreened dairy manure. *Process Biochem.* 40: 3542-3549.
- Ferrer, I., M. Garfi, E. Uggetti, L. Ferrer-Martí, A. Calderon and E. Velo. 2011. Biogas production in low-cost household digesters at the Peruvian Andes. *Biomass and Bioenergy* 35: 1668-1674.
- Harasimowicz, M., P. Orluk, G. Zakrzewska-Trznadel and A. G. Chmielewski. 2007. Application of polyimide membranes for biogas purification and enrichment. *J. Hazard. Mater.* 144: 698-702.
- Karim, K., R. Hoffmann, K. T. Klasson and M. H. Al-Dahhan. 2005. Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mode of mixing. *Water Res.* 39: 3597-3606.
- Li, R., S. Chen and X. Li. 2009. Anaerobic co-digestion of kitchen waste and cattle manure for methane production. *Energy Sources*. 31: 1848-1856.
- Li, Y., R. Zhang, Y. He, C. Zhang, X. Liu, C. Chen and G. Liu. 2014. Anaerobic co-digestion of chicken manure and corn stover in batch and continuously stirred tank reactor (CSTR). *Bioresour. Technol.* 156: 342-347.
- Liu, C. F., X. Z. Yuan, G. M. Zeng, W. W. Li and J. Li. 2008. Prediction of methane yield at optimum pH for anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. *Bioresour. Technol.* 99: 882-888.
- Marañón, E., L. Castrillón, I. Vazquez and H. Sastre. 2001. The influence of hydraulic residence time on the treatment of cattle manure in UASB reactors. *Waste Manag. Res.* 19: 436-441.
- Rasi, S., A. Veijanen and J. Rintala. 2007. Trace compounds of biogas from different biogas production plants. *Energy* 32: 1375-1380.
- Rico, C., J. L. Rico, I. Tejero, N. Muñoz and B. Gómez. 2011. Anaerobic digestion of the liquid fraction of dairy manure in pilot plant for biogas production: Residual methane yield of digestate. *Waste Manage.* 31: 2167-2173.
- SAS. 1988. SAS/STAT User's Guide, Release 6.03 edition. Cary, NC, U.S.A.
- Wang, X., G. Yang, Y. Feng, G. Ren and X. Han. 2012. Optimizing feeding composition and carbon-nitrogen ratios for improved methane yield during anaerobic co-digestion of dairy, chicken manure and wheat straw. *Bioresour. Technol.* 120: 78-83.
- Ward, A. J., P. J. Hobbs, P. J. Holliman and D. L. Jones. 2008. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresour. Technol.* 99: 7928-7940.
- Yin, D., W. Liu, N. Zhai, G. Yang, X. Wang, Y. Feng and G. Ren. 2014. Anaerobic digestion of pig and dairy manure under photo-dark fermentation condition. *Bioresour. Technol.* 166: 373-380.

Effects of total solid concentration on anaerobic digestion of dairy manure wastewater ⁽¹⁾

Ting-Hsun Hsiao ⁽²⁾ Tein-Ming Su ⁽²⁾ Shui-Tsai Chen ⁽³⁾ Tzong-Faa Shao ⁽⁴⁾
Yu-I Huang ⁽⁵⁾ Mei-Ping Cheng ⁽²⁾ and Shao-Yi Sheen ⁽⁶⁾⁽⁷⁾

Received: Nov. 2, 2015; Accepted: Mar. 21, 2016

Abstract

The dairy manure wastewater of TS concentrations varied from 0.5% (A1), 1% (A2), 2% (A3), 4% (A4) to 8% (A5) were feed to the five anaerobic reactors of 10 L working volume to investigate the effects of total solid (TS) concentrations on anaerobic digestion with 10-d HRT. The COD, BOD, TS and VS concentrations of effluents increased with increase organic loading and the same tendencies were also observed for removal amounts, while the removal efficiencies for A4 and A5 were significantly inferior to the other 3 treatments. The results recommended the operation parameters of A1 and A2 for 10-d HRT anaerobic treatment. The average COD concentrations of influent and effluent were 8,130, 15,100 mg/L and 860, 1,540 mg/L of A1 and A2 treatments separately. The averaged biogas production significantly increased with increase TS concentrations of influents. Among the five treatments, the average daily production of A5 was the highest. Considering the feeding/output efficiency, A3 with results of 208 ml/g TS/d and 260 ml/g VS/d specific biogas production and 133 ml/g TS/d and 167 ml/g VS/d specific methane production is recommended.

Key words: Dairy manure wastewater, Solids, Anaerobic digestion, Biogas.

(1) Contribution No. 2377 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

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

(3) Livestock Technical Service, COA-LRI, Hsinhua, Tainan, Taiwan, R.O.C.

(4) Animal Industry Division, COA-LRI, Hsinhua, Tainan, Taiwan, R.O.C.

(5) Department of Bio-industrial Mechatronics Engineering, National Chung-Hsing University.

(6) Department of Hospitality Management, Southern Taiwan University.

(7) Corresponding author. E-mail: ssheen@mail.stust.edu.tw.