

環保豬場建立與糞尿能源化及資源化之研究

郭猛德 經營組

mtkoh@mail.tlri.gov.tw

一、 中文摘要

本研究之目的，在改善豬糞尿處理方式，達到減廢降低臭味、增加能源之目的。藉由自動化水簾式豬舍之建立，採用環保飼糧、處理水再利用及設置臭味防治設施等達到降低糞尿中氮磷排出量、廢水量及臭味等效果。及為因應能源高漲，達到豬糞尿廢水增加沼氣能源之產生，採用二相高率式厭氣發酵方式，在酸化階段水力停留時間 (HRT) 24 小時時，可降 pH 值，提高甲烷化槽之 COD 去除率，增加沼氣產量 45.54%、甲烷含量 1.5%、去除每 g COD 可增加甲烷產量 0.022L 及增加甲烷化槽中乙酸含量等，並可縮短甲烷化槽之 HRT 節省發酵槽容積，甚至將豬糞經由熱化學轉換設備處理後，生產燃料油，每公斤可產製 10-15mL 的燃料油，當一般燃料油用。以及將厭氣發酵排出之上澄液，經適當處理後轉化為液態肥料當有機肥利用，使養豬業達到零污染及能源化與資源化之目標。

關鍵詞：二相式厭氣發酵 (Two-stage anaerobic digester)、熱化學轉換 (Thermochemical conversion)、環保豬場 (Environmental-friendly pig farm)、豬糞燃料油 (Swine oil)、沼氣 (Biogas)。

二、 前言

由於生活環境品質的要求日益提高及能源高漲與短缺，造成對畜產業極大的衝擊，需顧及環境污染問題也需考量節省能源；甚至產生能源或將畜禽產生的糞尿廢棄物轉化有機肥當資源利用。豬糞尿廢水屬有機廢水，內含大量有機質及作物所需之營養源。豬糞尿廢水採用厭氣發酵處理可產生大量的沼氣，當替代能源；經肥料化處理，可做為有機肥利用。於今能源高漲之際，增加豬糞尿沼氣產量與製成液態肥料，是改變及因應目前環境變遷之處理模式之一。採用環保豬舍、環保飼糧，可降低糞尿排出量與污染量，設置臭味防治設施及處理水循環再利用，可減少臭味污染與用水量等。為增加沼氣能源，以二相高率式厭氣發酵法處理豬糞尿廢水，可增加沼氣產量與甲烷成分，及將厭氣後排出液，經液態肥處理後，可製成液態肥料，以及將豬糞固體，經熱化學轉換器後，可直接生產燃料油及降低臭味之產生等。都是改善豬糞尿處理方式，達到源頭減廢及廢棄資源再利用之目的。因而進行相關之研究。

三、 環保豬場建立之研究

建造一棟自動化水簾式豬舍，內含通風控制、室內外溫濕度感應器、氮氣感應器、高床下糞尿溝自動清洗控制處理、電子連線式水量計、自動警報器，由中央監控系統控制等設施及臭味防治設備之操作結果。

(一) 水簾式豬舍降溫性能及同開放式豬舍之比較

水簾式豬舍長 26m 寬 5.5m，飼養 80 頭肉豬，於豬舍內（前、中、後）外量測溫溼度，評估水簾式豬舍降溫性能，溫度感測元件為 PT-100 型，量測範圍 0-100°C，準確性 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ，溼度感測元件為高分子薄膜型，量測範圍 0-100%，準確性 $\pm 1\%$ ，溫溼度感測元件均為電阻式，連接至數據記錄器 (Multi-channel data-logger, DELTA DEVICE, Burwell-Cambridge, UK) 每 30 分鐘記錄一次 5 分鐘測定之平均值。豬舍外及內之溫溼度量測自 91 年 8 月 15 日自 91 年 9 月 24 日止，量測期間計算每天早上 8 時至下午 6 時之平均溫溼度，結果白天之豬舍外平均溫度為 $31.2 \pm 1.4^\circ\text{C}$ ，豬舍內前方靠近水簾處溫度為 $25.9 \pm 0.7^\circ\text{C}$ ，中央為 $26.5 \pm 0.6^\circ\text{C}$ ，後方靠近風扇處為 $27.1 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ，以靠近水簾處之溫度低於中央及後方風扇出口處可降低溫度 $4.1 \sim 5.3^\circ\text{C}$ 。豬舍內外之溼度分佈白天之豬舍外平均溼度為 $62.2 \pm 5.1\%$ ，豬舍內前方靠近水簾處溫度為 $88.8 \pm 3.9\%$ ，中央為 $91.8 \pm 4.3\%$ ，後方靠近風扇處為 $87.2 \pm 4.5\%$ ，水簾式畜舍以加濕及風速作為降溫控制手段，以豬舍中央之溼度最高，靠近水簾處之溼度次低，後方風扇出口處之溼度最低，但比外界溼度增加。

利用水簾式豬舍同一般水泥地面之開放式豬舍，於熱季高溫時比較兩者間之溫濕度變化，結果顯示，水簾式豬舍之溫度在上午 9 時時舍內與舍外相差 3.27°C (27.63 vs. 30.9°C)，開放式豬舍內外差 1.05°C (29.99 vs. 31.04°C)；下午 2 時水簾式豬舍內外差 4.03°C (28.67 vs. 32.70°C)，開放式豬舍內外差 0.89°C (31.70 vs. 32.59°C)。在相對溼度方面，水簾式豬舍內顯著比開放式豬舍高。

(二) 環保豬舍內各種自動化控制系統之應用情形

本環保豬舍內設置之自動化控制儀：環境品質監測儀及遠端監控制系統等儀器項目多，控制之程式軟體也多，但其中以自動溫控、自動餵飼與高床下之糞尿溝自動清洗控制等之使用較多，其他監控系統與儀器則因應試驗之需而設置及資料收集，這些儀器與設施，在開始應用都可得到需要之資料，也可節省人力，達到自動記錄之效果，但經一段時間後，短則半年內就會失靈或軟體套用太多後，電腦產生故障等而失去功能，需再花費大筆經費維修，經查其造成之因，主要是環保豬舍內溼度高，腐蝕性氣體濃度高，易影響監偵測儀之靈敏度，其中為害最大的可能是老鼠之破壞；而有關遠端監控系統之設置已完成，但目前只能監看尚不能達到飼養管理操控之目標。因此豬舍內之自動化控制與監測儀器，以實用及簡單為宜，否則實用性與費用需考量。

(三) 環保飼糧對降低污染量之影響

為達到源頭減廢之目標，由供給之飼糧中降低蛋白質含量添加胺基酸、添加植酸酵素及低銅含量等具環保飼糧之使用，以達到降低糞尿中之氮、磷與銅之含量，除可降低污染量外，對糞尿當有機肥施用時將有極大之幫助，尤以糞便與污泥中之銅、鋅含量太高對後續堆肥與污泥之有機肥應用影響非常大，也由於豬糞與污泥中之含銅、鋅量太高，有機農業之業者拒絕施用外，連一般之污泥都因含銅量太高，而被堆肥製業者所拒收，使豬糞尿廢水所產生的污泥無處可去之困擾，因此需慎重不得不重視源頭管理問題。

依據試驗結果，採用低蛋白質飼糧可降低糞便中之氮含量，差量達顯著 ($P < 0.05$)。添加植酸酵素，可明顯降低豬糞中的磷含量，不論是生長豬或肥育豬，但尿中之磷含量在生長豬添加植酸酵素組反而較對照組高。對廢水處理之影響，採用環保飼糧雖未能顯著改善生長性狀，但對廢水處理仍具有其效果。以肥育豬隻之糞尿廢水進行三段式處理結果，其放流水中之總氮 (TN) 差異小，總磷 (TP) 之含量差異大 (95 vs. 48.5 mg/L)。另一試驗結果，為肥育豬隻 (76~90 kg)，採用添加 500 U/kg 有包埋處理之植酸酵素飼養結果，結果顯示，添加植酸酵素對糞中之氮與磷含量降低有限，但對尿中之氮與磷含量有添加植酸酵素者顯著較低，差異達顯著 ($P < 0.05$)，因此添加植酸酵素在肥育期豬隻，可顯著降低磷之排泄量。

(四) 處理水循環再利用對放流水質之影響

為因應環保法令及廢棄物資源化開發利用之趨勢以及研擬新的廢棄(水)物處理模式，畜舍之改善是影響廢水量與處理模式之最主要關鍵之一。建造高床式豬舍，糞尿溝設置於豬床下，除可減少豬床沖洗之用水量外，也可採定時定量沖洗方式，減少廢水量，如能採用三段式處理後之放流水回流沖洗，更能達到放流水減量之目的。但處理後的放流水循環利用，會造成放流水之濃度提高包括 TS、COD、TN 等，尤以氨氮濃度之增加會影響沖洗時豬舍內臭味升高。本所利用水簾式高床自動沖洗式豬舍飼養肉豬，配合三段式廢水處理之處理水循環再利用，試驗期間 8 個月，結果顯示，處理水再利用會增加厭氣處理排出水之濃度，COD 濃度在開始增加平均 16.5% (915 vs. 1,066 mg/L)，但至豬隻飼養後期，其厭氣槽排出之 COD 濃度會比開始時提高 84.61% (915 vs. 1,680 mg/L)，總固體物 (TS) 濃度循環利用之增加快，由初沉槽開始之 7,964 mg/L，至第 2 個月提升至 17,796 mg/L，至第 4 個月達 33,022 mg/L，此時不但濃度提高，處理系統中之污泥增加更快，如未按時抽取處理，則會嚴重影響好氣處理階段及循環再利用之水質；廢水中之總氮 (TN) 濃度在二個月內增加 40.45% (665 vs. 934 mg/L)，往後雖未再升高，但仍維持在 700~800 mg/L 間，因用水量少，廢水中之尿量提高，造成處理水仍含有氨氮之濃度高，如未行適當處理，則於沖洗豬舍時會增加豬舍內之臭味濃度。

生物活性碳處理系統之應用，為改善三段式處理水循環再利用之水質，色澤及透視度，在三段式處理系統之處理水貯水槽前增加生物活性碳處理槽，內置 Norit PK 3-5 粗粒活性碳 450 kg，於底部裝置曝氣盤，利用定量馬達抽取處理水，經長期之應用結果，可降低三段式處理後之 COD 濃度 33%，由平均 812 mg/L 降至 554 mg/L，氨氮濃度降低 30.54% (167 vs. 116 mg/L)，透視度由 4.68 提升至 9.3 cm，經生物活性碳處理後之水質變較清澈無氨氮臭味存在，可延長循環水再利用期間。

(五) 密閉式豬舍之臭味防治結果

養豬場之空氣污染臭味將會是未來污染的重大事件之一，受抗議事件會愈來愈多，需加重視及設法防治。豬舍內主要空氣污染物有粉塵與臭氣，其防治方法有很多種，包括物理、化學與生物防治法，其中生物防治法又有生濾床法、生物滴濾塔法、生物洗滌法等，都可達到降低豬場臭味之目的。本研究則設置本所研發之遮陽網加噴霧設施，其設置方式在水簾式豬舍風扇出口處架設遮陽網並安裝噴霧設施，噴霧頭配置每排 20 個 0.7 mm 霧粒噴頭，計 3 排分別置於風扇中間及上方，並配合一組 3 Hp 高壓噴霧馬達。對臭味氣體之去除結果對氨氣去除率 58.4%、硫化氫 43%、臭氣 29.6%、三甲胺 38.3%；所噴霧之水中也可加入沐浴乳，使所排放之氣體中帶有沐浴乳之香味，而不感覺是豬場之臭味，經測試網內與網外之臭味濃度，NH₃ 網內 0.9 ppm、網外 0.31 ppm，去除率 66%，(CH₃)₃N 為 1.34 vs. 0.57 ppm，去除率 77%，(C₂H₅)₃N 1.00 vs. 0.39 ppm 去除率 63%，H₂S 則未測得，顯示其去除效率佳，所費也不多，但因臭味之成分複雜又遇濃度高時，欲達完全去除之目標有所困難，仍以盡量降低其濃度，或以其他方式減少臭味之產生或擴散，降低對周遭環境影響為宜，有關豬場臭味污染防治問題，乃有專題報告。

四、 豬糞尿能源化

(一) 豬糞尿二相高率式厭氣發酵處理方式之研究

厭氣發酵是在厭氣狀態下把複雜之有機物經兩個階段，被兩種性質完全不同的微生物所利用，據 Mckinny (1962) 將厭氣發酵分成二個階段，一為酸產生階段，一為甲烷產生階段，每個階段都有其特定為生物與作用。而有關畜禽糞尿厭氣分解過程類似二階段方式，依據 Hobson *et al.* (1983) 於農業和家庭廢棄物生成甲烷之報告中，提出動物排泄物與植物廢棄物都含有機物質，可提供厭氣發酵為生物所需之能量氮與少許鹽類之原料，其中進料中之碳水化合物和脂質是產生 CH₄ 和 CO₂ 之重要來源，蛋白質和非蛋白質以產生菌體細胞為主，只有部分轉化成揮發性脂肪酸 (VFA) 者才能轉化生成 CH₄ 和 CO₂，而其他非消化性物質如木質素、纖維、油質等則直接變成污泥而無法分解轉化成甲烷，這也可證明在豬糞尿廢水處理過程中污泥產生量中 95% 是由豬糞固體沉澱而來之因 (郭等，1995)。據 Lettinga

et al. (1999)之報告指出，採用二相式高效率厭氣系統，可在低溫(3-8°C)之環境下產生沼氣，其對丙酸、VFA 及丁酸之分解率高，因此利用二相高效率厭氣槽，在中溫或常溫之環境下，應可提高厭氣處理效率與沼氣產量。而提高厭氣發酵處理效率除控制溫度外，攪拌混合與增加污泥停留時間(SRT)也是提升厭氣處理效率方式之一，厭氣發酵槽經常以適當攪拌混合，可顯著促進消化過程，據 Parkin and Owen (1986) 之報告指出，攪拌混合有下列優異包括發酵容積有效利用、分散代謝產物、避免發酵槽內分層與梯度及纖維有機物、微生物之密切接觸等，而據 Verhoff *et al.* (1974) 及 Garber *et al.* (1975)之報告指出，利用沼氣加壓回流攪拌混合應用較廣也較實用。污泥停留時間 (SRT)是微生物生長最重要因子之一，為了確保複雜有機物能有效轉化成甲烷和二氧化碳，除發酵槽內微生物族群之種類與濃度必需足夠外，尚需有適當之停留時間使其基質能被代謝，因此需有足夠的發酵容積。據 Smith and Miner (1975)及 Van Velsen (1977)對豬糞尿廢水中溫厭氣發酵之最小水力停留時間是 12~15 天，污泥停留則需 30 天以上，且污泥迴流可增加厭氣槽內之活性消化，增加槽內之酸形成菌與甲烷菌，控制污泥迴流在 0.5 時不論反應槽中之微生物活性、甲烷產量、甲烷成分和系統內 SRT，皆優於其他反應槽 (劉與歐陽，1990；林等，1991)。因此為配合水簾式高床豬舍循環水再利用，提高豬糞尿廢水濃度及增加沼氣能源產量與處理後之廢水轉為液態肥料之應用，以簡化現有三段式處理之流程，而進行本項研究。

1. 二相高率式厭氣處理模型場設置與測試結果

試驗材料採用環保豬舍所產生的糞尿廢水。在環保豬舍廢水處理場處設置二相式厭氣處理模型場 2 組，每組包括糞尿貯存桶 (3,000 L)、酸化槽 (500 L)、甲烷化槽 (1,000 L)、排出液貯存桶 (500 L)。豬糞尿廢水利用污泥馬達抽至糞尿貯存桶內，再依試驗設計之需要量抽至酸化槽，酸化處理後再入甲烷化槽內。酸化槽底部設有加熱設施，於酸化槽處理需要加熱時應用。

2. 豬糞尿酸化階段之 pH 值變化

豬糞尿廢水酸化階段之 pH 變化，抽取 300 L 之豬糞廢水置於酸化槽內，分為常溫組與加熱組 (60°C)，測定 0 至 6 小時 pH 值變化，每兩小時測定一次，結果顯示，在 0 至 6 小時兩組之 pH 值，第 6 小時比第 0 小時低的，在 20 天 (次)之試驗中，加熱組比常溫組多一次 (9 次 vs. 8 次)。而在每 2 小時測定一次之試驗中，其第 2 至 6 小時之變化中，以第 2 小時之 pH 值最低，佔 90%，第 4 小時較高，而且其 pH 值大部分高於第 0 小時之值，顯示豬糞廢水酸化階段在 6 小時內 pH 值有升高的趨勢。酸化階段 HRT 24 小時，則其 pH 值降低 (8.14→7.81)。

3. 模型場測試結果

依酸化階段，不同 HRT 分別為 2、4 及 24 小時等，甲烷化階段為 3.3 天與 5 天；及酸化階段加溫與不加溫，加溫組加熱溫度 60°C。試驗結果由表 1、表 2、表 3 之結果顯示，不論酸化階段之 HRT 長短，酸化槽加溫組之 COD 去除率都比不加溫高，但差異小，TS 與 VS 則未有一致之變化，在酸化階段 HRT 2 與 4 小時組，加溫組稍高於不加溫組，而酸化階段 24 小時處理，則不加溫組比加溫組高 9.47%；對總氮 (TN) 之去除率，不加溫組高於加溫組。沼氣產量與甲烷含量方面，則加溫組之沼氣產量與甲烷含量高於不加溫組，在酸化階段 HRT 2 小時組，沼氣產量加溫組比不加溫組，每日增加 152.2 L (52.41%)，甲烷含量高 3.2%，去除每 g COD 對 CH₄ 之產量也以加溫組高。酸化階段 HRT 4 小時與 24 小時組之結果同 HRT 2 小時之結果一樣，但酸化階段 HRT 24 小時組，因甲烷化階段之 HRT 為 5 天，結果顯示其 COD 去除率較高，達 83.55 與 84.32%，沼氣產量加溫與不加溫組差異小，甲烷含量也一致，但酸化階段 HRT 24 小時，甲烷化階段 5 天之去除每 g COD 產生之甲烷含量都達 0.1 L 以上。由以上結果顯示，在酸化階段不論 HRT 之長短，加溫組都比不加溫組之 COD 去除率高，沼氣產量與甲烷含量也高。但加溫組每日需利用沼氣或一般瓦斯當燃料加溫，而加溫所消耗之燃料多於沼氣產生量，以酸化階段 HRT 24 小時、加熱溫度 60°C、甲烷化階段 HRT 5 天為例，每日酸化階段需消耗沼氣量 150~250 L，而所增加的沼氣產量每日只有 10 L。其他試驗組，加溫組之沼氣產量每日約增加 138~150 L 間，因此試驗結果認為在酸化階段加溫之效果未達預期，為整體提高沼氣產量達到預期之效果，可能需結合甲烷化階段之恆溫設置，否則只在酸化階段加溫意義不大。因此繼續進行酸化階段 24 小時 (不加溫) 與不酸化之比較，試驗結果顯示，酸化處理可增加 COD 去除率(80.05 vs. 72.64%)、VS 去除率及增加沼氣產量 45.54% (604 vs. 415 L/日)，在甲烷含量方面雖然平均只增加 1.5%，但其最高甲烷含量在酸化處理可達 75.19%，每去除 1 g 的 COD 酸化處理可增加甲烷產量 0.0216 L (0.0834 vs. 0.0618 L CH₄/g COD)，此結果也可由甲烷化處理組之乙酸含量比未酸化處理較高 2% 得到印證。因此二相式之豬糞尿處理模式不但可增加 COD 去除率，也可增加沼氣產量與甲烷含量，以及縮短厭氣發酵之水力停留時間縮短至 5 天以內，可節省發酵槽容積。

表 1. 酸化階段 HRT 2 小時甲烷化階段 3.3 天對處理效率與沼氣產量之影響

		COD	TS	VS	TN	沼氣 產量	CH ₄	CH ₄ / COD
		mg/L				L/day	%	L/g
處理 組	進流	10,330 ± 1,335	11,792 ± 2,480	7,696 ± 1,908	1,256 ± 295			
	常溫組	2,906 ± 883	4,184 ± 727	1,997 ± 510	937 ± 122	290.4	65.15 ± 5.78	0.0849
	去除率(%)	71.87	64.52	74.06	25.40			
	加溫組	2,438 ± 911	3,952 ± 773	1,679 ± 462	964 ± 102	442.6	68.31 ± 4.99	0.1277
	去除率(%)	76.40	66.49	78.19	23.21			

表 2. 酸化階段 HRT 4 小時甲烷化階段 3.3 天對處理效率與沼氣產量之影響

		COD	TS	VS	TN	沼氣 產量	CH ₄	CH ₄ / COD
		mg/L				L/日	%	L/g
處理 組	進流	10,094 ± 3,464	10,290 ± 2,926	3,635 ± 704	1,294 ± 265			
	常溫組	2,729 ± 630	4,481 ± 540	2,423 ± 315	690 ± 90	531.9	59.90 ± 2.12	0.1442
	去除率 (%)	72.96	56.45	33.34	46.67			
	加溫組	2,665 ± 1,125	4,452 ± 1,020	2,379 ± 371	790 ± 74	668.7	60.81 ± 2.21	0.1822
	去除率 (%)	73.60	56.73	34.55	38.99			

表 3. 酸化階段 HRT 24 小時、攪拌 10 分鐘、甲烷化槽 HRT 5 天對處理效率與沼氣產量之影響

		COD	TS	VS	TN	沼氣 產量	CH ₄	CH ₄ / COD
		mg/L				L/day	%	L/g
處理 組	進流	15,194 ± 5,108	16,313 ± 6,001	4,634 ± 1,352	1,461 ± 452			
	常溫組	2,500 ± 1,699	4,054 ± 1,596	2,054 ± 523	742 ± 140	519.3	58.64 ± 4.65	0.1199
	去除率(%)	83.55	75.15	55.69	49.20			
	加溫組	2,382 ± 1,719	4,809 ± 2,341	2,492 ± 1,364	895 ± 400	529.2	58.91 ± 5.44	0.1217
	去除率(%)	84.32	70.52	46.22	38.78			

4. 二相式高率厭氣處理過程中之揮發性脂肪酸 (VFA)之影響

為瞭解二相式厭氣發酵過程中之揮發性脂肪酸之含量變化，及同沼氣中甲烷含量之關係，而進行本項測定。在酸化階段 HRT 24 小時、甲烷化階段 HRT 5 天之處理組測定結果，由表 4 結果顯示，原廢水中之脂肪酸以 acetic acid 最多 (74.7%)，propionic acid (16%)次之，其他脂肪酸則佔少數。酸化後以常溫組中之 acetic acid 較加溫組高 (75.4 vs. 67.5%)，propionic acid 則以加溫組較高；經甲烷化階段後之排出液中 acetic acid 之含量以加溫較高 (77 vs. 72.1%)，propionic acid 也以加溫組較高，且經甲烷化階段後除乙酸與丙酸，其他脂肪酸之含量低於設定之標準，因此未顯示。由以上結果顯示，豬糞尿經酸化及加溫後再甲烷化處理，則其揮發性脂肪酸中之乙酸與丙酸都較未加溫組高，其沼氣產量與甲烷含量也較高。此結果同 Lettinga *et al.* (1999)之報告指出，採用二相式高率厭氣系統，可增加沼氣產量及脂肪酸中丙酸之分解率，結果相同。

由以上結果顯示，豬糞尿二相式厭氣發酵處理方式，不但可增加 COD 處理效率及顯著提高沼氣產量與甲烷含量，但在酸化階段加溫對甲烷化階段未有改善效果。因此經現場模型場之測試結果，豬糞尿二相式厭氣發酵處理方式同傳統單槽之厭氣處理方式比較，採用此方式豬糞尿廢水未行固液分離，而將豬糞尿廢水全部入厭氣發酵處理槽，及將厭氣發酵處理後的排出液經適當處理濃縮後製成液態肥料，達到節省處理容積與設備，增加沼氣產量與產製液態肥料資源化之目的，合乎目前能源高漲，需增加生質能源產生與資源化之時代趨勢。

表 4. 酸化槽 24 小時、攪拌 10 分鐘、甲烷化槽 5 天中揮發性脂肪酸之變化

	進流	酸化階段		甲烷化階段	
		常溫組	加溫組	常溫組	加溫組
			%		
acetic acid	74.7	75.4	67.5	72.1	77
propionic acid	16	13.1	15.6	22.5	28.9
isobutyric acid	1.7	2	2.3	—	—
butyric acid	4.8	4.4	5.7	—	—
isovaleric acid	2.8	2.7	3.8	—	—
n-valeric acid	0.7	0.7	—	—	—
isocaproic acid	3.5	3.2	3.3	—	—

(二) 豬糞產製燃料油研究

1. 熱化學轉換設備之規劃與建造

依據 He *et al.* (2000)之報告，設計建造一台可耐受溫度 300~500°C 與壓力 5.5~18 Mpa 壓力之熱化學轉換設備。依據初步試驗結果，利用不銹鋼或特殊材料建造一只可耐受溫度 350°C 與壓力 5000psi 之熱化學轉換器 (圖 1)，有效容積 2 公升，並包含加熱設施、溫度控制與壓力控制等。



圖 1. 熱化學轉換器裝置微調式安全洩壓閥。

2. 豬糞中之 TS 與 COD 含量對原油產量之關係

豬糞中之 TS 含量影響熱化學轉換器處理之原油固體產量，依據試驗結果，豬糞中之 TS 含量約在 15~35% 之間，較適合於進行熱化學處理。而豬糞中之 TS 含量如低於 10% 以下，經熱化學轉換器處理後所產生的燃料油量非常少，大部分為水 (90% 以上)；而 TS 含量如高於 35% 以上則操作困難外，所產生的產物中含有甚多焦化固體，無法產生燃料油，此結果同 He *et al.* (2000)之報告指出，豬糞中之 TS 含量以 25% 對燃料油之產生較有利之結果相同。豬糞中之 COD 含量同燃料油產生量之關係小，COD 含量高產油量不一定高，豬糞中之

COD 含量 361g/L 產油量比 214g/L 低 2.45 倍 (45.97ml vs. 18.74ml)，但試驗結果也顯示，豬糞中之 COD 含量在 260~300g/L 間之燃料油產生量變化小。熱化學轉換器對 COD 之去除率約在 $49.70 \pm 9.27\%$ ，因所產生之產物除了燃料油固體外就只有水而已，因此在處理上較簡單，只要將所產生的液體部分加以適當處理，轉變成液體肥料或其他，則可將豬糞固體全部資源化利用。

3. 豬糞原油之分餾

豬糞利用熱化學轉換設備產製之燃料油，成黑色泥狀或塊狀，需經分餾處理才能獲得燃料油質，其分餾方式原以一般熱油加熱爐設定溫度加以分餾，其溫度需介於 150°C 至 200°C，溫度高操作上較危險，後來改用真空分餾方式，可在較低之溫度下進行分餾，加熱方式也改用加熱包，加熱溫度可調控。但採用真空分餾方式，易造成真空馬達過濾設施之阻塞，需定期更換外，如因油氣過大冷凝不足，常會造成燃料油被真空馬達抽出，而累積於過濾器處，形成阻塞需常更換，也是一種負擔。

4. 豬糞原油產出率與燃料油成分分析

豬糞經熱化學轉換設備處理後，所產製的產物，可分成原油固體與液體及消失的氣體三部份，依多次試驗結果，其三者之百分比，分別為水 79.23% (75.56-82.9%)、原油固體 13.22% (12.2-14.22%)、氣體 7.55% (4.9-10.22%)。再將原油固體，利用真空分餾方式，加以分餾生產燃料油，其燃料油之產出率，依試驗結果，約佔原油固體的 62.3%，其餘為水 13.%、殘餘固體 7.8% 及氣體 16.9%。依據豬糞重量估算，每公斤豬糞 (含水分 75~82%) 約可產製 10-15mL 的燃料油。

經過分餾之油品送至台灣中油股份有限公司煉製研究所，及崑山科技大學進行油品成分與熱值測定，以及 GC/MS 分析等。初級分餾之油品其成分為微量法殘碳量 (燃料油) 0.48 wt%、碳 77.98%、氫 10.50%、氮 4.85%、熱值 5,979 cal/g、KF-含水量 12.345 wt%，而送至崑山科技大學分析測定之熱值為 31,707 J/g、含碳數 30.99%，此結果與 Kim *et al.* (2003) 之報告，由豬糞產製之燃料油中含氮 4% 及熱值 31,100 KJ/kg 之結果相近。而為得到更淨化之油品，再以不同溫度設定，將初級分餾之油進行二次分餾，可得到較清澈之油品，流動性更好，經分析測定結果，其成分為微量法殘碳量 (柴油) 1.46 wt%、淨熱值 7,733 cal/g、碳 75.07 wt%、氫 8.60 wt%、熱值 8,169 cal/g、KF-含水量 3.914 wt%，顯示熱值提高含水量降低，燃燒時黑煙也較少，但產量少。將此二次分餾油進行 GC/MS 測定，其結果如圖 2，由圖 2 顯示油品含量最多的為含碳 6~13 間，其中以 C8 含量最多，由圖 2 中顯示 C3~C13 佔總成分含量 80% 以上，顯示油成分已接近柴油，因此台灣中油公司進行微量法殘碳量測定時，以柴油規格測定。

\\Gcmsdisk_d\PY9605\FD51471.D
Operator : WEI KUO MIN
Acquired : 1 Jun 2007 10:36 using AcqMethod S-PY-M
Instrument : GC/MS Ins
Sample Name : GD9605147.SR100
Misc Info : INJ.300
Vial Number: 12

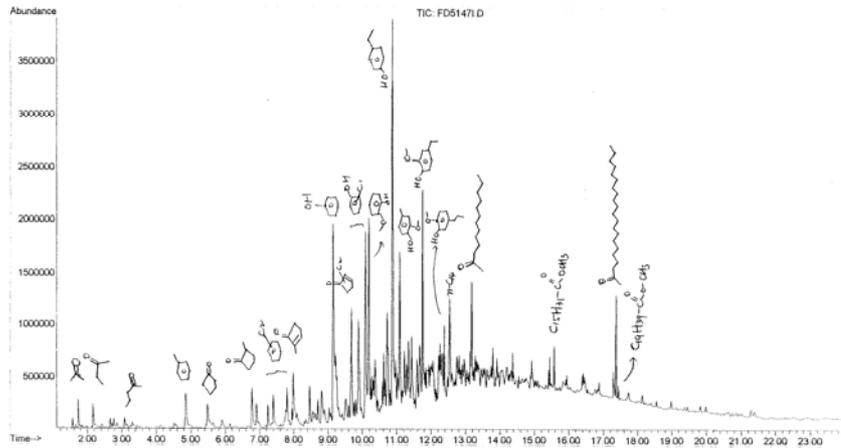


圖 2. 二次分餾之燃料油 GC/MS 分析圖。

由以上結果顯示，豬糞尿產製之油可利用加熱分餾方式直接分餾產製燃料油，其熱值約 5,979 cal/g，也可再以不同溫度分餾出更高級的油品，顏色較清澈、流動性佳，熱值提高至 8,169 cal/g，且其含碳數在 $C_3 \sim C_{13}$ 間為主，已接近柴油成分，於此能源短缺價格高漲之際，值得開發取代目前之廢棄物 (水)處理模式。

五、豬糞尿廢水液態肥料之測試

(一)利用二相式厭氣處理後之排出液沉澱後之上澄液進行液態肥料之製作，以曝氣方式降低豬糞尿厭氣處理之臭味，及測定總氮與氨氮之含量變化。利用酸化階段 HRT 24 小時、甲烷化階段 HRT 5 天之排出液進行液態肥料之測試，試驗結果，臭味氣體經厭氣後 NH_3 與 H_2S 之濃度低， H_2S 以檢知管難測出， NH_3 在第 0 天無法測出，第一天升至 9 與 20 ppm，但第三天後就測不出，顯示此方式處理液態肥料已無臭味問題，其總氮之含量第三天為 366 與 374 mg/L，至第 14 天升至 457 mg/L 與 416 mg/L。第二次試驗結果， NH_3 之含量在第 2 天最高 (148 ppm)，至第六天降至 14 ppm；總氮含量第 0 天 788 mg/L 至第 6 天 495 mg/L，降低 37.18%，但此時之液態肥料已無臭味存在，在施用上可被接受。

(二)利用新鮮豬糞水混合後加尿及接種硝化菌進行液態肥料之測試，試驗結果，對於臭味氣體 NH_3 之產生與消長，結果顯示，於開始時 NH_3 之濃度逐日增加至第 8 天時未加菌組達 600ppm，加菌組 400ppm 至第 12 天時未加菌組 500ppm，加菌組 380ppm，但至第 22 天以後，則兩處理組之 NH_3 濃度已無差異。對於 TN 之濃度變化，以加菌組之 TN 濃度較低，至第 21 天加菌組 1,434mg/L，未加菌組 1,510mg/L。TP 含量開始加菌組

153mg/L，未加菌組 145mg/L，至第 16 天加菌組 106mg/L，未加菌組 128mg/L，變化小。EC 濃度開始分別為 8.01 與 8.11mS/cm，至第 16 天為 8.3 與 6.25mS/cm，濃度相當高，可能同加入尿液有關。

(三)新鮮豬糞加大豆粕之液態肥料測試，試驗分為 2 個處理，每處理 3 重複。處理 1，豬糞 (濕重) 3 公斤+豆粉 1 公斤；處理 2，豬糞 (濕重) 2 公斤+豆粉 2 公斤，置入 30 公升之塑膠桶內，各加入 16 公升水攪拌混合均勻，靜置任其醱酵，至第 21 日撈起上浮物後仍繼續置於桶中；分別於第 7、14、21、28 及 35 日採樣測定 TN、NH₄-N、NO₃-N、TP、pH、EC 之含量。試驗結果，至第 35 天之結果 pH 6.35、EC 12.65mS/cm、TN 16,193mg/L、NH₄-N 2,628mg/L、TP 為 741.5mg/L。此種液態肥料濃度非常高，但臭味濃度也高且含有酸臭味。因此以長期靜止貯存方式處理，至臭味降至最低後再行分析其成分變化情形。有關此項研究目前尚進行中。

六、 結論與建議

設置環保豬舍，採用二相式厭氣發酵方式及熱化學轉換設備，可降低廢水量與臭味之排出，增加沼氣能源及生產燃料油等效果，使養豬產業達到因應環境變遷，得到永續經營之目的。但需投入大量資金改善目前之豬舍及廢棄物處理設備，因此建議養豬農友能逐步進行改善或政府能給與投資設備資金上之協助。

七、 參考文獻

- 林信一、歐陽嶠暉、張添晉、劉偉裕。1991。控制迴流污泥對污泥厭氣消化影響之研究，第16屆廢水處理技術研討會論文集，pp. 397~408。
- 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(4): 497~510。
- 劉偉裕、歐陽嶠暉。1990。污泥厭氧活性消化法最適迴流比之實驗研究，第十五屆廢水處理技術研討會論文集，pp. 1~16。
- Garber, W. F., G. T. Ohara, J. E. Colbaugh, and S. K. Rasit, 1975. Thermophilic digestion at the hyperion treatment plant, J. Wat. Pollut. Control fed. 47 (5) : 950-961.
- He, B. J., Y. Zhang, T. L. Funk, G. L. Riskowski, and Y. Yin. 2000. Thermochemical conversion of swine manure: An alternative process for waste treatment and renewable energy production. Trans. ASAE43(6) : 1827-1833.
- Hobson, P. N. and Bovsfield and R. Summers, 1983. The microbiology and biochemistry of anaerobic digestrion, Methane production from agricultural and domestic wastes, Applied Science publishers LTD. London, pp. 10-51.

- Lettinga, G. S. Rebac, S. Parshina, A. Nozhevnikova, Jules B. Van Lier, and A. J. M. Stams. 1999. High-rate anaerobic treatment of wastewater at low temperature. *Applied and Environmental Microbiology* Vol. 65(4) : 1696-1702.
- Mckinny, R. E., 1962. *Microbiology for sanitay engineers*. McGrawa Hill Inc. New York. p. 247-258.
- Parkin, G. F., and W. F. Owen, 1986. Fundamental of anaerobic digestion of wastewater sludges, *J. Environ Engin ASCE*.112 (5) : 867-920.
- Smith, R. J., and J. R., Miner, 1975. *Livestock waste management with pollution control*, North Central Regional publ. 222 Midwest plan service, Iowa state Universty, Ames. Iowa.
- Van Velsen, A. F. M., 1977. Anaerobic digestion of piggery waste, 1. The influence of detention time and manure concentration. *Neth. J. Agric. Sci.*, 25, 151-169.
- Verhoff, F. H., M. W. Tenney and W. F. Echelberger, 1974. Mixing in anaerobic digester, *Biotechnology and Bioengineering* 16 (6) : 757-770.