

行政院原子能委員會 委託研究計畫研究報告

纖維原料解聚產品應用於生質沼氣技術開發

Study of using anaerobic digestion to produce biogas from
de-aggregation pretreatment organic source and organic waste

計畫編號：NL1050453

受委託機關(構)：國立交通大學生物科技系

計畫主持人：曾慶平

連絡電話：(03) 5712121 #56911

E-mail address：cpts@cc.nctu.edu.tw

核研所聯絡人員：化學組 詹明峯

研究期程：中華民國 105 年 5 月至 105 年 12 月

研究經費：新臺幣 127 萬元

報告日期：2016/02/28

目 錄

目 錄.....	I
中文摘要.....	1
英文摘要.....	2
壹、計畫緣起與目的.....	3
貳、研究方法與過程.....	5
一、纖維料源及豬場廢水基本性質測試.....	5
二、纖維料源批次式厭氧產沼氣測試.....	8
參、主要發現與結論.....	13
一、纖維料源及豬場廢水基本性質測試.....	13
二、批次型產氣測試結果.....	14
肆、參考文獻.....	21

中文摘要

台灣每年約有 500 萬噸農業廢棄物，由纖維組成之有機質可作為厭氧醱酵料源。目前以農業廢棄物做為厭氧沼氣生產料源分解時間長且產沼氣效果不佳，利用纖維料源解聚技術破壞纖維料源組成，可縮短醱酵時程並提昇沼氣產量，因解聚後纖維料源 pH 值低、碳氮比高，會導致解聚纖維料源產沼氣成效不彰。本計畫透過研究解聚纖維廢棄物的基本性質，並探討厭氧醱酵反應參數，藉由調整纖維料源 pH 值、碳氮比等參數，以批次型反應獲得解聚料源最佳醱酵參數。成果證實調整 pH 值及碳氮比可有效增加沼氣產量，其中 pH 值以接近中性之 6 到 7 之間效果最為顯著，而碳氮比調整為 20 可以有最大的產氣量。

英文摘要

The agricultural waste output approximates about 5 million tons for every year in Taiwan. It has been suggested that the compose of cellulose and hemi-cellulose have great potential for biogas production. To improve the anaerobic digestion efficiency on raw agricultural waste, INIR develops a de-aggregation technique to accelerate cellulose decomposition. The disadvantage of de-aggregation materials is low pH value and high C/N ratio, leading to anaerobic digestion failure. In this study, we investigated the characteristics of agricultural waste and analyzed anaerobic parameters, pH value as well as C/N ratio, to enhance biogas production. The results indicated that pH value between 6 and 7 or C/N ratio equal to 20 can increase biogas production conspicuously. These results provide the useful information and parameters of de-aggregated agricultural wastes for further anaerobic biogas production.

壹、計畫緣起與目的

沼氣是由微生物在厭氧環境下分解有機物質產生的氣體，可以有效地將有機物質轉為能被利用的再生能源，沼氣主要組成分為甲烷(CH₄, 佔 50-75%)、二氧化碳(CO₂, 30-40%)及硫化氫(H₂S, 0.5-1%)等氣體，將沼氣收集作為能源使用可以減緩溫室效應達到環保目的。甲烷作為能源使用有下列兩項優點：(1) 高熱值：沼氣平均熱值約 5200 kcal/m³，高於煤氣所含標準熱值 4500 kcal/m³，使用沼氣進行發電時可以提高單位燃燒效益；(2) 燃料特性佳：沼氣可燃成分單純，可有效完全燃燒，符合乾淨能源要求。

近年來沼氣資源受到各國重視，根據 IEA (International Energy Agency)統計，全球在 2000-2009 年期間，沼氣使用量每年約有 14% 成長，在 2014 年德國境內已有超過一萬座沼氣廠，沼氣現行利用方式主要區分為下列三項：(1) 直接燃燒應用於家用爐具、一般照明以及工廠設施。(2) 利用內燃機燃燒再推動發電機產生電力，同時收集發電機組餘熱產生熱水或蒸汽，熱值回收效率可達 80%。(3) 沼氣純化轉為管線氣體(pipeline gas)，可提供民生用途或工業原料，具有極高的經濟價值。

2015 年台灣農業生物性廢棄物產量達 479 萬公噸，其中稻稈及蔗渣約佔四成農業廢棄物，每年廢棄物產量達 200 萬公噸以上，多數農業廢棄物處理方式為就地翻耕掩埋、焚燒掩埋，或作倉庫墊料、育苗栽培介質、堆肥、飼料燃料等用途。隨著近年來積極開發替代能源，農業廢棄物含大量木醣及纖維素，藉由解聚前處理技術破壞纖維結構，可做為厭氧發酵料源，因此農業廢棄物具有高價值沼氣能源潛力。

本計畫主要目的在探討不同解聚料源(稻稈、蔗渣及木屑)之纖維廢棄物生產沼氣參數評估，藉由進料調整及最佳化產氣參數，評估纖維廢棄物轉沼氣之效益。

貳、研究方法與過程

本研究透過實驗室批次式厭氧產沼氣技術，來評估纖維解聚技術對纖維料源產沼氣效能及厭氧產沼氣條件最佳化，並完成解聚纖維料源混合養豬場廢水生產沼氣可行性的先導評估。

一、纖維料源及豬場廢水基本性質測試

為評估蔗渣、稻稈及木屑等解聚纖維固體料源生產沼氣潛力，建立厭氧生產沼氣條件標準、設計實驗參數及分析實驗結果，分別對纖維固體料源與養豬場廢水進行基本性質分析，包括總固體含量(total solid, TS)、揮發性固體含量(volatile solid, VS)、化學需氧量(chemical oxygen demand, COD)、元素分析(carbon/nitrogen ratio, C/N ratio)。

(一)總固體量(Total Solid, TS)

以 105°C 溫度持續 24 小時烘乾至恆定重量(誤差<0.01 克)，秤重後與烘乾前重量差值為水分(Moisture)。

總固體含量實驗方法與步驟如下所述：

- A. 將空坩鍋以 105°C 烘乾 1-2 小時後秤重並記錄重量 A
- B. 取 10 克纖維料源樣品至坩鍋中
- C. 將坩鍋置於 105°C 烘箱中烘乾至恆定重量，秤重並記錄重量 B
- D. 將重量 B 扣除重量 A 再除以 10 克原重，即可得單位重量所含總固體重量並計算出在濕重中所佔比例

(二)揮發性固體量(Volatile Solid, VS)

使用 500°C 高溫爐鍛燒經烘乾後的樣品，其中減少重量為有機可

揮發性固體(VS)，剩餘重量為無機物所組成，稱為灰分(Ash)。

揮發性固體實驗方法與步驟如下所述：

- A. 將上述測試過總固體含量之樣品放入 550°C 超高溫爐中進行灰化
- B. 灰化 4 小時後取出坩鍋，置於耐熱板上等待冷卻，秤重並記錄重量 C
- C. 將重量 B 扣除重量 C 再除以 10 克原重，即可得單位重量所含揮發性固體重量，並計算出在濕重中所佔比例**化學需氧量 (Chemical oxygen demand, COD)**

化學需氧量指將樣品當中所有有機物質氧化時，所消耗的氧總量，相較於生物需氧量(Biological oxygen demand, BOD)以微生物測定有機物氧化的氧總量，化學需氧量是由強氧化劑進行氧化反應，可將生物無法分解之有機物氧化，得知廢水中全部有機物之含量，由於化學需氧量測試方法較生物法簡易且穩定，故常見以化學需氧量來表示樣品中有機物濃度，本研究使用化學需氧量評估有機質含量，進而估算有機物移除率及甲烷理論產量。化學需氧量使用 Standard Methods 方法進行分析。

化學需氧量實驗方法與步驟如下所述：

- A. 將待測纖維料源樣品，均勻懸浮於二次水中
- B. 將懸浮液做適當的稀釋
- C. 將 2ml 稀釋樣品加入 COD 試管(HACH COD HR 20mg-1500mg)
- D. 以 150 度乾浴加熱 2 小時，每一小時需搖晃使其均勻反應
- E. 加熱完畢後，經一小時等試管冷卻，確定試管內無沉澱物
- F. 使用比色器(HACH DR/890 colorimeter)測量其值
- G. 加入二次水之 COD 試管作為空白組，再將待測樣品測量其值

(四)元素分析及碳氮比

元素分析委託國立交通大學應用化學研究所貴重儀器中心，使用元素分析儀(Elemental Analyzer, EA)進行成分分析。此儀器主要原理是藉由高溫燃燒方式將固態樣品轉化成氣體狀態並加以檢測碳(Carbon)、氮(Nitrogen)、氫(Hydrogen)之含量。樣品在燃燒管中經1150°C超高溫燃燒後產生 NO_x 、 CO_2 、 H_2O ，利用He氣帶燃燒後的氣體產物經過還原管，使 NO_x 被還原成 N_2 ，並且直接由He氣帶入TCD(Thermal conductivity) detector 檢測含量。其他產物例如： CO_2 與 H_2O 則分別被不同的吸附管吸附，吸附管依序加溫脫附 CO_2 、 H_2O 再分別進入TCD detector 檢測成分含量，信號經處理後定量運算，即可自動分別列計各成分之重量百分比，在由此數據計算纖維料源樣品碳氮比。

元素分析及碳氮比實驗方法與步驟如下所述：

- A. 將樣品(固體廢棄物)以105°C烘箱乾燥24小時
- B. 以研鉢將樣品研磨粉碎
- C. 以微量電子天秤取至少6 mg 以上樣品
- D. 送貴儀中心進行元素分析
- E. 根據元素分析成果計算纖維料源碳氮比

二、纖維料源批次式厭氧產沼氣測試

(一) 批次式厭氧產沼氣

為研究纖維料源能夠在最佳條件下進行反應，達到最高產氣效率，故設置不同條件下進行厭氧消化產氣實驗。研究使用批次式厭氧反應器進行此實驗，批次式為反應物一次性地投入設置厭氧反應器，等待反應完全後，再一次性地排放出料並分析生成物以及剩餘反應物性質。在設計實驗條件時，纖維料源加入量以化學需氧量(COD)作為調整指標，而汙泥微生物則以揮發性固體含量(Volatile Solids, VS)表示，故 S/I ratio 表示法為 $COD_{\text{substrate}} / VS_{\text{inoculum}}$ 。

批次式產沼氣實驗步驟如下：

- A. 取適量纖維料源進行回溫
- B. 秤量出實驗所需之纖維料源重量並加入反應器中(以照各實驗所需調整實驗參數)
- C. 以氮氣充填反應器 5 分鐘
- D. 以虹吸管快速地將活性汙泥加入反應器中並立刻封蓋
- E. 將採氣袋接上瓶蓋上方矽膠管
- F. 將反應瓶置入 35°C 水浴槽，以 40 rpm 震盪速度進行實驗

1. S/I 比與 pH 值對纖維料源生產沼氣之影響

為研究纖維料源與厭氧微生物汙泥混合之最佳比例(S/I ratio)，使其能夠在最佳條件下進行反應，達到最高產氣效率，故設置不同 S/I ratio 條件下進行厭氧消化產氣實驗，沼氣產量將扣除活性汙泥控制組之沼氣產量。

表二、S/I 比對生產沼氣之影響實驗配置條件

	解聚稻稈 (g)	解聚甘蔗渣 (g)	解聚木屑 (g)	活性污泥 (gVS)
S/I=1	25.6/9.4	35.7/15.0	21.7/8.5	10
S/I=2	51.2/18.8	71.4/30.0	43.4/17.0	10

S/I=1	解聚稻稈	解聚甘蔗渣	解聚木屑
	12N NaOH 添加量 (uL)	12N NaOH 添加量 (uL)	12N NaOH 添加量 (uL)
原始 pH	2.14	2.31	2.05
Control	-	-	-
pH=5	375	590	575
pH=6	453	730	675
pH=7	515	860	700

S/I=2	解聚稻稈	解聚甘蔗渣	解聚木屑
	12N NaOH 添加量 (uL)	12N NaOH 添加量 (uL)	12N NaOH 添加量 (uL)
原始 pH	2.06	1.95	1.78
Control	-	-	-
pH=5	775	1000	1130
pH=6	883	1375	1275
pH=7	975	1500	1400

2. 解聚技術對纖維料源生產沼氣之影響

為研究纖維料源解聚前後產氣效率差異，故以上述 S/I ratio 為 1 時，紀錄解聚前後每日產沼氣量，以了解解聚技術對生產沼氣之影響，沼氣產量將扣除活性污泥控制組之沼氣產量。

表三、解聚技術對生產沼氣之影響實驗配置條件

	稻稈(g) (濕重/乾重)	甘蔗渣(g) (濕重/乾重)	木屑(g) (濕重/乾重)	活性污泥 (gVS)
S/I 1	6.1/5.7	9.3/8.9	5.3/4.7	10
	解聚稻稈 (g)	解聚甘蔗渣 (g)	解聚木屑 (g)	活性污泥 (gVS)
S/I 1	25.6/9.4	35.7/15.0	21.7/8.5	10

3. pH 值對生產沼氣之影響

根據文獻指出厭氧醱酵最佳之 pH 為 6-7，纖維解聚後料源 pH 值約在 1.9-2.2 之間，本實驗以 12N 之 NaOH 溶液對纖維料源進行 pH 調整，以了解厭氧醱酵生產沼氣之最佳 pH 值，沼氣產量將扣除活性汙泥控制組之沼氣產量。

4. 碳氮比對解聚纖維料源生產沼氣之影響

碳氮比為一厭氧醱酵重要指標，其值大約平均在 20-30，為普遍厭氧醱酵所採用之 C/N 值，其值表示微生物生長所需要的碳源與氮源比例，碳源為微生物將有機物轉為甲烷主要來源；氮源則為微生物生長所需重要物質。過高碳源會有反應酸化情形；氮源過高則會有氨累積情形，兩者皆對於厭氧醱酵有抑制情形，為了解碳氮比對纖維料源產氣影響，以元素分析為數據推算調整至碳氮比 20、30 及 40 所需之尿素添加量，沼氣產量將扣除活性汙泥控制組之沼氣產量。

表四、不同碳氮比對生產沼氣之影響實驗配置條件

	解聚稻稈 尿素(g)	解聚甘蔗渣 尿素(g)	解聚木屑 尿素(g)	活性污泥 (gVS)
C/N 20	1.03	0.85	1.06	10
C/N 30	0.6	0.29	0.67	10
C/N 40	0.38	-	0.47	10

5. 廢水混參解聚纖維料源生產沼氣之先導評估

廢水於台中月眉養豬場取得，其 COD 值為 4740mg/L (根據養豬場用水量有所變化)，氨氮濃度為 420mg/L，本次先導評估方式為固定廢水量為 325mL，配置 1%、3%、5% 及 7% 乾重比例之料源，藉以評估混參料源之沼氣發酵生產量，扣除廢水 control 組後，以每克乾重可額外產生之沼氣量作為混參條件的評估。

表五、不同廢水混參解聚纖維料源配置條件

	解聚稻稈(g) (濕重/乾重)	解聚甘蔗渣(g) (濕重/乾重)	解聚木屑(g) (濕重/乾重)	活性污泥 (gVS)
1%	8.83/3.25	7.75/3.25	8.33/3.25	10
3%	26.49/9.75	23.25/9.75	25/9.75	10
5%	44.15/16.25	38.76/16.25	41.66/16.25	10
7%	61.81/22.75	54.25/22.75	58.31/22.75	10

註：養豬場廢水 N-NH₃=420mg/L，化學需氧量 4740mg/L，添加廢水體積固定為 325mL

(二) 批次式厭氧產沼氣結果分析

生化甲烷氣潛能 BMP(Biochemical Methane Potential, BMP) 是

目前許多文獻在進行實驗室規模研究時所使用之評估標準，BMP 意指藉由厭氧消化利用有機物質後產生之單位甲烷體積，常見以每單位反應物揮發性固體重量所能產生之甲烷體積($V_{\text{methane}}/VS_{\text{substrate}}$)或是每單位反應物 COD 所產之甲烷體積($V_{\text{methane}}/COD_{\text{substrate}}$)表示，計算方式為反應生成之總甲烷體積除以進料之 VS 或 COD 重量，用以找出能使得消耗單位反應物 COD 可產生最接近理論甲烷產率之最佳反應條件，根據過去文獻指出，將有機物 COD 完全消耗轉化為甲烷氣之理論甲烷產率為 350 ml/gCOD (McCarty, 1964)。BMP 不只能用以顯示出甲烷生成之最大量，其亦具有可看出其他代表意義之指標功能，例如：找出對於厭氧消化影響最大之條件因素、有機物被完全分解利用所需時間、產生生質甲烷氣之平均速率以及作為可供科學家了解甚至改善一個厭氧消化過程的工具(Giovanni et al., 2012)。本研究參考此方式，以 Biogas potential 作為實驗室規模研究時所使用之評估標準，計算方式為原料每克 COD 之沼氣產量，作為評估料源產沼氣比較，並列出最佳組別之 BMP 供作為沼氣發電潛能參考。

(三)沼氣成分分析

本實驗沼氣成分主要偵測甲烷(CH_4)、二氧化碳(CO_2)以及硫化氫(H_2S)。

1. 甲烷

甲烷測定由 Perkin Elmer 公司所代理的 CLARUS 500 Gas Chromatography(GC)，使用偵測器為火焰離子化偵測器(Flame Ionization Detector, FID)，所使用的層析管柱(column)為 SUPELCO 公司所生產之 EQUity-1 Capillary GC Columns (50 m × 0.32 mm ID × 1.0 μg film thickness)，分流比為 19:1，GC 需先以標準甲烷氣體(95%

甲烷)分別稀釋成 2 - 10 % 並製作出檢量線，再進一步將待測氣體樣品稀釋 10 倍(由氣針取 30mL 待測氣體混合 270 毫升 N₂)後以 GC 偵測取得訊號 Area 值並帶入檢量線中回推求得其值。

以下為操作條件：

Injection volume 5mL

Carrier gas N₂, flow rate 0.5 mL/min

Detector FID. Temperature 200°C , Synthetic Air flow rate (400 mL/min), H₂ flow rate (50 mL/min)

Injector Temperature 200°C

Column-oven 170 °C (isothermal)

2. 二氧化碳與硫化氫

二氧化碳與硫化氫由硫化氫-檢知管(KITAGAWA-120SF, 0.05-1.2%)
二氧化碳-檢知管(KITAGAWA-120UM, 5-50%)測定。

操作步驟如下：

- A. 利用檢知器上之切孔將檢知管兩端的密封玻璃切除，依照檢知管上的入氣方向指示插入檢知器入口。
- B. 檢知管接上預測量之目標氣體將拉桿往後拉，可以抽取兩種不同的氣體量(50 mL 與 100 mL)，達到預測量的氣體位置時旋轉 90 度。
- C. 等待檢知器入口防抽取指示裝置，當紅色點突起表示氣體抽取完畢，取出檢知管並將拉桿推回原位。
- D. 觀察目標氣體檢知管變色刻度濃度。

參、主要發現與結論

一、纖維料源及豬場廢水基本性質測試

纖維料源經解聚後每克乾重的化學需氧量皆下降，為原始料源的 55-60%，解聚後碳氮比為木屑最高(C/N=199)，其次分別為解聚稻稈(C/N=101)及解聚蔗渣(C/N=40.6)，但原料稻稈則小於蔗渣碳氮比，目前仍未記載經稀酸水解及蒸汽爆裂後對於碳氮比影響之相關文獻，豬場廢水取自於月眉養豬場，經三個月紀錄觀察化學需氧量皆介於 3,000-5,000mg/L，與以往所測得 12,000-14,000mg/L 有較大的差異，推測與養豬場依季節性用水習慣有關，其中氨氮含量為 420mg/L。

表六、纖維料源與養豬場廢水成份分析

料源	總固體含量 (Total Solid, TS)	揮發性固體含量/乾重 (Volatile Solid, VS)	灰份/乾重 (Ash)	化學需氧量 (Chemical Oxygen Demand, COD)		C/N 值
				濕重	乾重	
解聚稻稈	36.8%	88.9%	11.1%	390 mg/g	1060 mg/g	101
稻稈	94.0%	86.0%	14%	1639 mg/g	1743 mg/g	26.6
解聚蔗渣	41.9%	97.5%	2.5%	280 mg/g	668 mg/g	40.6
蔗渣	95.2%	91.1%	8.9%	1075mg/g	1129 mg/g	58.4

解聚木屑	39.0%	99.6%	0.4%	460 mg/g	1179 mg/g	199
木屑	89.4%	99.1%	0.9%	1884 mg/g	2107mg/g	167.4
狼尾草	99.6%	93.6%	6.4%	1306 mg/g	1311mg/g	17.4
養豬場廢水	0.5%	48%	52%	4740mg/L	-	

二、 批次型產氣測試結果

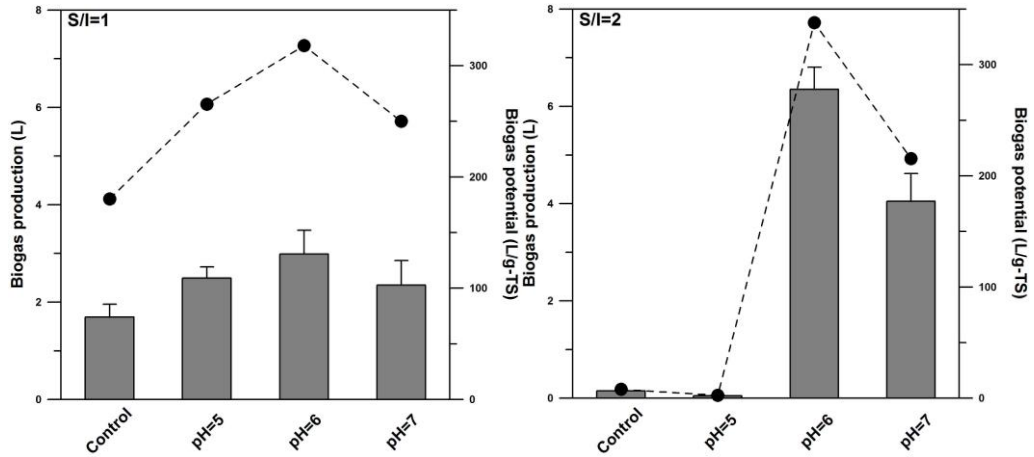
1. S/I 比與 pH 值對纖維料源生產沼氣之影響

本實驗經鹼(氫氧化鈉)調整至 pH= 5、6 及 7(以 12N NaOH 調整、見表二)後纖維料源進行厭氧發酵，其 S/I 計算方式為固定厭氧污泥菌之總量為 10gVS，以計算解聚稻稈、解聚蔗渣及解聚木屑之總化學需氧量所需濕重克數，依此計算進行批次式厭氧沼氣發酵，控制組(control)為未調整 pH 值之纖維料源，厭氧產沼氣天數為 7 天。

在原料(substrate)與活性污泥(Inoculum)比例為 1 時，解聚稻稈及解聚木屑在未調整 pH 值下仍可產生沼氣，分別為 1.7L 及 1.6L，以氫氧化鈉調整為 pH=6 時，解聚稻稈產氣量提昇 176%達 3L(見圖一左及圖三左)，解聚木屑產氣量提昇 147%達 2.4L，為較佳的調整組別。而解聚蔗渣在未調整 pH 下，產氣產量僅為 0.44L，以氫氧化鈉調整為 pH=7 後，解聚稻稈產氣量提昇至 3.2L(見圖二左)。

在原料與活性污泥比例為 2 時，解聚稻稈及解聚蔗渣在未調整 pH 值產氣不足 0.2L(無甲烷檢出)，以氫氧化鈉調整為 pH=6 時，解

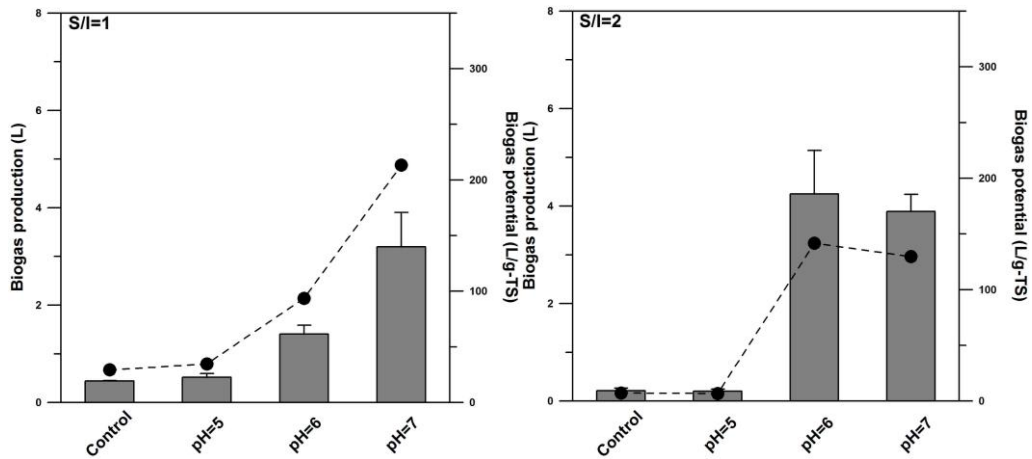
聚稻稈產氣量為 6.4L，解聚蔗渣產氣量 4.3L(見圖一右及圖二右)。
 解聚木屑控制組仍可產沼氣 2.0L，經調整至 pH=5 後，沼氣產量提
 昇 192%達 3.8L(見圖三右)。



圖一、解聚稻稈在不同 S/I 比在 pH 調整至 5、6 及 7 後沼氣產量及每克化學需
 氧量所產生的沼氣比較，左為 S/I=1；右為 S/I=2，左邊縱軸對應 bar、右邊縱軸
 對應曲線圖。

表七、解聚稻稈在不同 S/I 比之沼氣量、成分及每克乾重可產沼氣量

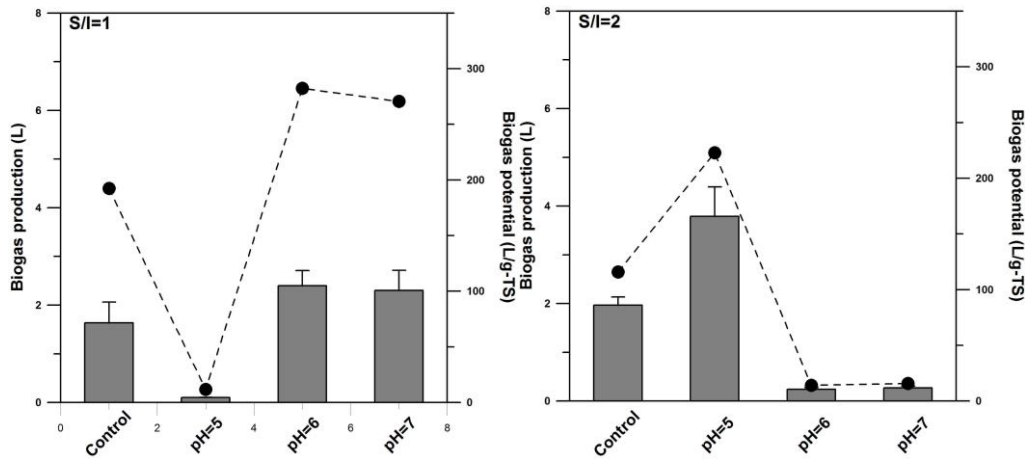
S/I=1	總氣量 (L)	甲烷 (%)	二氧化碳 (%)	沼氣/克乾重 (mL/g-TS)
Control	1.695±0.26	42±3	12±1	180
pH=5	2.495±0.23	45±4	16±3	266
pH=6	2.99±0.49	65±4	22±6	318
pH=7	2.35±0.50	70±4	18±4	250
S/I=2	總氣量 (L)	甲烷 (%)	二氧化碳 (%)	沼氣/克乾重 (mL/g-TS)
Control	0.15±0.00	ND	ND	8
pH=5	0.05±0.01	ND	7±1	3
pH=6	6.35±0.46	64±6	28±2	338
pH=7	4.05±0.57	70±2	13±1	215



圖二、解聚蔗渣在不同 S/I 比在 pH 調整至 5、6 及 7 後沼氣產量及每克化學需氧量所產生的沼氣比較，左為 S/I=1；右為 S/I=2，左邊縱軸對應 bar、右邊縱軸對應曲線圖。

表八、解聚蔗渣在不同 S/I 比之沼氣量、成分及每克乾重可產沼氣量

S/I=1	總氣量 (L)	甲烷 (%)	二氧化碳 (%)	沼氣/克乾重 (mL/g-TS)
Control	0.44±0.01	ND	8±1	29
pH=5	0.52±0.07	ND	10±2	35
pH=6	1.405±0.18	65±3	12±0	94
pH=7	3.2±0.70	67±5	15±2	213
S/I=2	總氣量 (L)	甲烷 (%)	二氧化碳 (%)	沼氣/克乾重 (mL/g-TS)
Control	0.215±0.05	ND	2±0	7
pH=5	0.205±0.04	ND	13±1	7
pH=6	4.25±0.89	59±2	32±2	142
pH=7	3.89±0.35	59±3	33±4	130



圖三、解聚木屑在不同 S/I 比在 pH 調整至 5、6 及 7 後沼氣產量及每克化學需氧量所產生的沼氣比較，左為 S/I=1；右為 S/I=2，左邊縱軸對應 bar、右邊縱軸對應曲線圖。

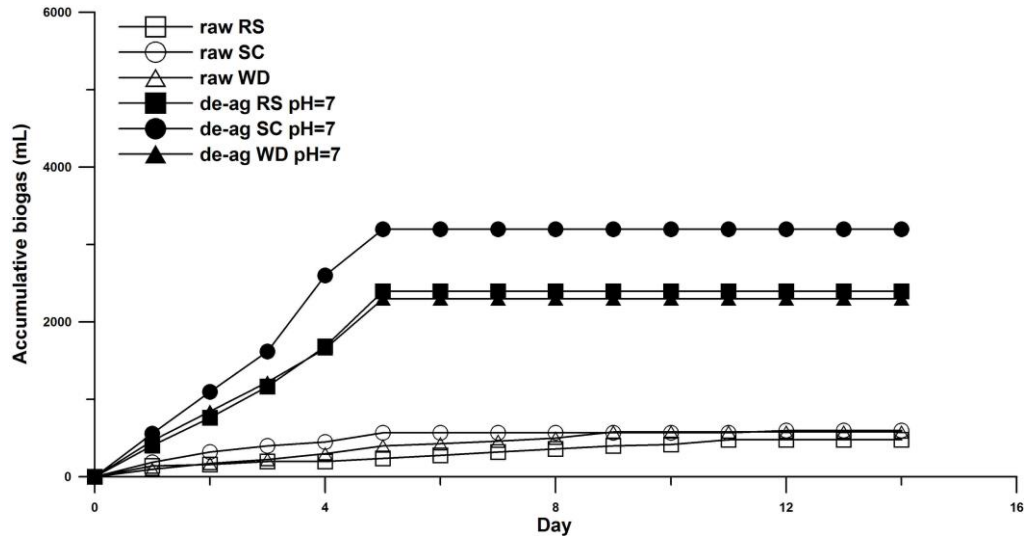
表九、解聚木屑在不同 S/I 比之沼氣量、成分及每克乾重可產沼氣量

S/I=1	總氣量 (L)	甲烷 (%)	二氧化碳 (%)	沼氣/克乾重 (mL/g-TS)
Control	1.635±0.43	56±2	14±3	192
pH=5	0.1±0.00	ND	24±2	12
pH=6	2.4±0.31	64±3	13±0	282
pH=7	2.3±0.41	64±1	6±0	271
S/I=2	總氣量 (L)	甲烷 (%)	二氧化碳 (%)	沼氣/克乾重 (mL/g-TS)
Control	1.97±0.17	73±3	24±2	116
pH=5	3.79±0.61	67±1	28±0	223
pH=6	0.24±0.04	ND	3±0	14
pH=7	0.27±0.04	ND	16±3	16

2. 解聚技術對纖維料源生產沼氣之影響

以圖四每日趨勢圖顯示，調整前料源明顯產氣效率不佳，而 pH 調整之解聚料源，可提升約 4-5 倍產氣量，以添加乾重克數解聚料源

為原料之 1.6-1.8 倍評估 (添加量見表三)，解聚料源調整 pH 值後有助於提升料源的沼氣生產量。



圖四、纖維料源(RS：稻稈、SC：蔗渣、WD：木屑)原料(raw)與解聚後(de-ag)在 S/I=1 下，調整 pH=7 後 14 天下累積生產沼氣量之差異

表十、不同料源在 S/I 比=1 每克乾重可產沼氣量

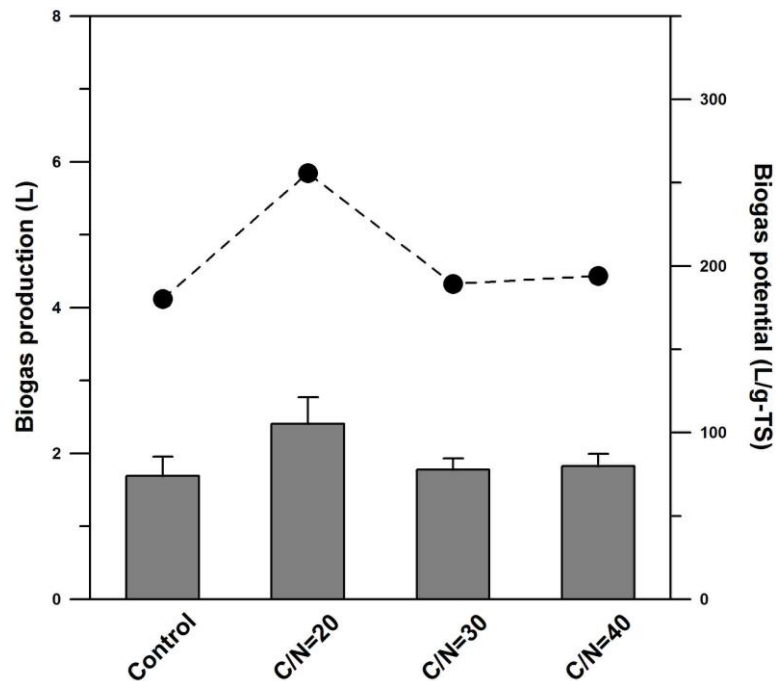
原料	沼氣/克乾重 (mL/g-TS)
稻稈原料	84
解聚稻稈	250
蔗渣原料	67
解聚蔗渣	213
木屑原料	123
解聚木屑	271

3. 碳氮比對解聚纖維料源生產沼氣之影響

本實驗以尿素(CH₄N₂O, C/N=0.5)作為氮源添加原料，藉此調整厭氧醱酵條件，以增加沼氣產量，其實驗方式為固定厭氧汙泥菌之

總量為 10gVS，設定 S/I 比為 1，故添加總化學需氧量(tCOD)為 10gCOD 之解聚稻稈、解聚蔗渣及解聚木屑所需克數後加入尿素將其進料反應條件調整為 C/N 比為 20, 30 及 40 (調整見表四)，控制組 (control) 為未以尿素調整之纖維料源，厭氧產沼氣天數為 7 天。

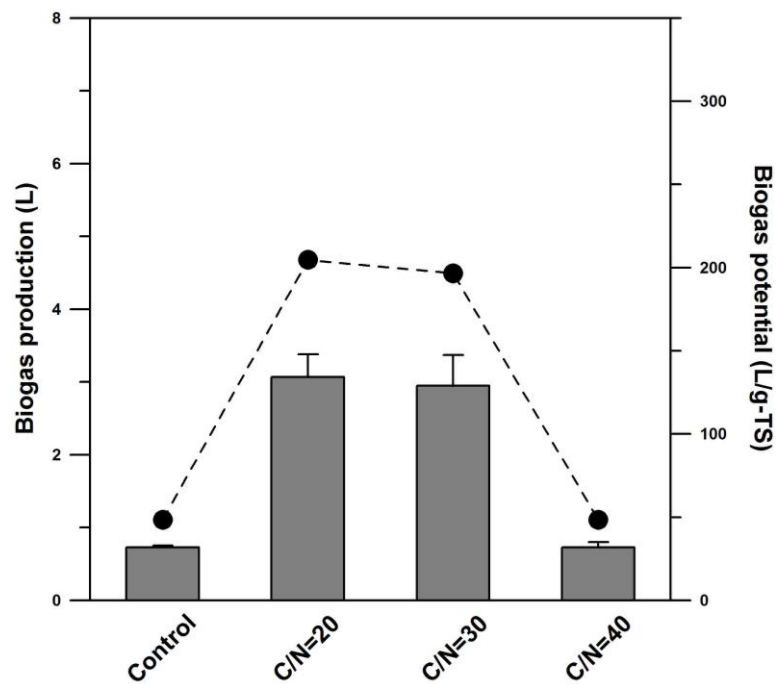
在原料(substrate)與厭氧汙泥(Inoculum)比例為 1 時，解聚稻稈沼氣產量控制組為 1.7L，調整碳氮比為 20 時，沼氣產量提昇 144% 至 2.4L；解聚蔗渣沼氣產量控制組為 0.73L，調整碳氮比為 20 時，沼氣產量提昇 425% 至 3.1L；解聚木屑沼氣產量控制組為 1.21L，調整碳氮比為 20 時，沼氣產量提昇 221% 至 2.7L，實驗結果發現經碳氮比調整，以 20 皆為最佳組別，可有效提昇解聚料源產沼氣產量。



圖五、解聚稻稈在在 S/I=1 下經碳氮調整至 20、30 及 40 後沼氣產量及每克化學需氧量所產生的沼氣比較，左邊縱軸對應 bar、右邊縱軸對應曲線圖。

表十一、解聚稻稈在不同碳氮比之沼氣量、成分及每克乾重可產沼氣量

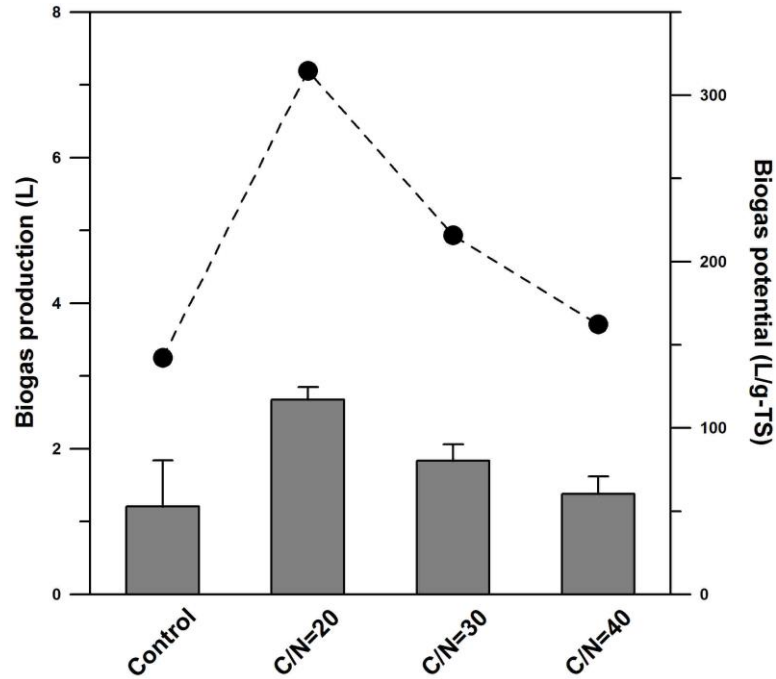
S/I=1	總氣量 (L)	甲烷 (%)	二氧化碳 (%)	沼氣/克乾重 (mL/g-TS)
Control	1.695±0.26	41±4	6±4	180
C/N=20	2.405±0.37	66±3	12±2	256
C/N=30	1.78±0.15	44±5	10±2	189
C/N=40	1.825±0.17	65±4	16±1	195



圖六、解聚蔗渣在在 S/I=1 下經碳氮調整至 20、30 及 40 後沼氣產量及每克化學需氧量所產生的沼氣比較，左邊縱軸對應 bar、右邊縱軸對應曲線圖。

表十二、解聚蔗渣在不同碳氮比之沼氣量、成分及每克乾重可產沼氣量

S/I=1	總氣量 (L)	甲烷 (%)	二氧化碳 (%)	沼氣/克乾重 (mL/g-TS)
Control	0.728±0.02	59±0	2±0	49
C/N=20	3.07±0.31	67±6	10±4	205
C/N=30	2.95±0.42	66±3	14±1	197
C/N=40	0.728±0.07	57±2	2±0	49



圖七、解聚木屑在在 S/I=1 下經碳氮調整至 20、30 及 40 後沼氣產量及每克化學需氧量所產生的沼氣比較，左邊縱軸對應 bar、右邊縱軸對應曲線圖。

表十三、解聚木屑在不同碳氮比之沼氣量、成分及每克乾重可產沼氣量

S/I=1	總氣量 (L)	甲烷 (%)	二氧化碳 (%)	沼氣/克乾重 (mL/g-TS)
Control	1.21±0.63	49±5	11±1	142
C/N=20	2.675±0.18	71±5	19±2	315
C/N=30	1.835±0.23	43±3	7±0	216
C/N=40	1.38±0.024	44±0	4±0	162

肆、參考文獻

1. Govumoni SP, et al., (2013), Evaluation of pretreatment methods for enzymatic saccharification of wheat straw for bioethanol production. *Carbohydr Polym.*
2. Rocha MV, et al., (2009), Enzymatic hydrolysis and fermentation of pretreated cashew apple bagasse with alkali and diluted sulfuric Acid for bioethanol production. *Appl Biochem Biotechnol.*
3. Zhang J, et al., (2013), A comparison of different dilute solution explosions pretreatment for conversion of distillers' grains into ethanol. *Prep Biochem Biotechnol.*
4. Shekiro J, et al., (2012), Enzymatic conversion of xylan residues from dilute acid-pretreated corn stover. *Appl Biochem Biotechnol.*
5. Novy V, et al., (2013), Co-fermentation of hexose and pentose sugars in a spent sulfite liquor matrix with genetically modified *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioresour Technol.*
6. Park JH., et al., (2013), Feasibility of anaerobic digestion from bioethanol fermentation residue. *Bioresour Technol.*
7. 向明 (1983)。微生物產甲烷的作用，工研院能礦所。
8. Guerrero L., et al., (1999). Anaerobic hydrolysis and acidogenesis of wastewater from food industries with high content of organic solid and protein. *Wat. Res.*, 33, No.15, pp.3281-3290.
9. Dar H.G., et al., (1987). Biogas production from pretreated wheat straw, lantana residue, apple and peach leaf litter with cattle dung., *Biol. Wastes*, 21, pp.75–83.
10. Van D.M., et al., (1996). Anaerobic fermentation of solid organic waste in a reactor. WO Patent 9607726.

11. Clark P.B., et al., (1995). Enhancement of anaerobic digestion using duckweed (*Lemna minor*) enriched with iron. *Water Environ. Manage. J.*, 10, pp.92–95.4.
- Torget, R. W., Walter, P. J., Himmel, M., and Grohmann, K. (1991), *Appl. Biochem. Biotechnol.* 28–29, 75–86.
12. Park JH. et al., (2012), Anaerobic digestibility of algal bioethanol residue. *Bioresour Technol.*
13. Yadvika et al., (2004). Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—a review. *Bioresource Technology.*, 95, pp.1–10.
14. Boone D.R., et al., (1993). *Methanogenesis. Ecology, Physiology, Biochemistry and Genetics*, Chapman and Hall, New York, pp.35-80.
15. Mital K., (1996). *Biogas systems-principles and applications*. New age International (P) Ltd.
16. Angelidaki I., et al., (1994). Thermophilic anaerobic digestion of livestock waste: the effect of ammonia. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 38(4), pp.560–564.