中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組　化學科

第二名

080201

廚餘生沼氣能源免憂鬱

學校名稱：苗栗縣苗栗市建功國民小學

作者：	指導老師：
小六 林芍甫	李宜佳
小六 何昕穎	謝文娟
小五 林延瑋	
小五 陳登意	
小五 張耕培	
小五 翁啟倫	

關鍵詞：沼氣、厭氧醱酵

廚餘生沼氣　能源免憂鬱

摘要

沼氣存在我們的生活四周，只要是臭水溝、池塘、下水道等都有非常多蘊藏。台灣早期養豬戶便大量利用沼氣作為畜牧場裡電力、熱能的來源。國外也有把沼氣發電應用在垃圾掩埋場，創造廢棄物更多附加價值的例子。於是我們嘗試用生態池裡的泥巴加上廚餘來製造沼氣。發現產氣量在基質濃度較高、醱酵瓶周圍溫度較高、基質 pH 值接近中性的環境中產量較高。國內家庭廢棄物裡，廚餘就佔了不小的量，若能建置完善的回收機制與發電設備，不但能減少垃圾量，也提供解決能源問題的方法之一。

壹、　研究動機

學期初忙亂地尋找科展主題，我們確定了研究方向：「有沒有一種利用生活廢棄物，就能簡單、快速，又有效率產生能源的方法？」卻想不出新穎的主題。幸運的在一天午餐時，同學幫我盛太多飯，我看著吃不完的的飯，倒掉覺得很可惜的簡單念頭中決定了。「這些剩飯有沒有搖身一變的機會？」於是我們共同討論，並找老師研究。上網查詢資料，發現台灣很多畜牧場都有簡易沼氣集氣設備，沼氣來源是畜牧場裡的糞便，產生的沼氣可供應畜牧場的電力、保溫燈等等。學校營養午餐常剩下很多飯菜，這些進不了五臟廟的食物可不可以也用來產生沼氣呢？經過大家的討論，我們決定響應全球暖化，為了解決人類的能源問題，來一趟知性的世博之旅！

貳、　研究目的

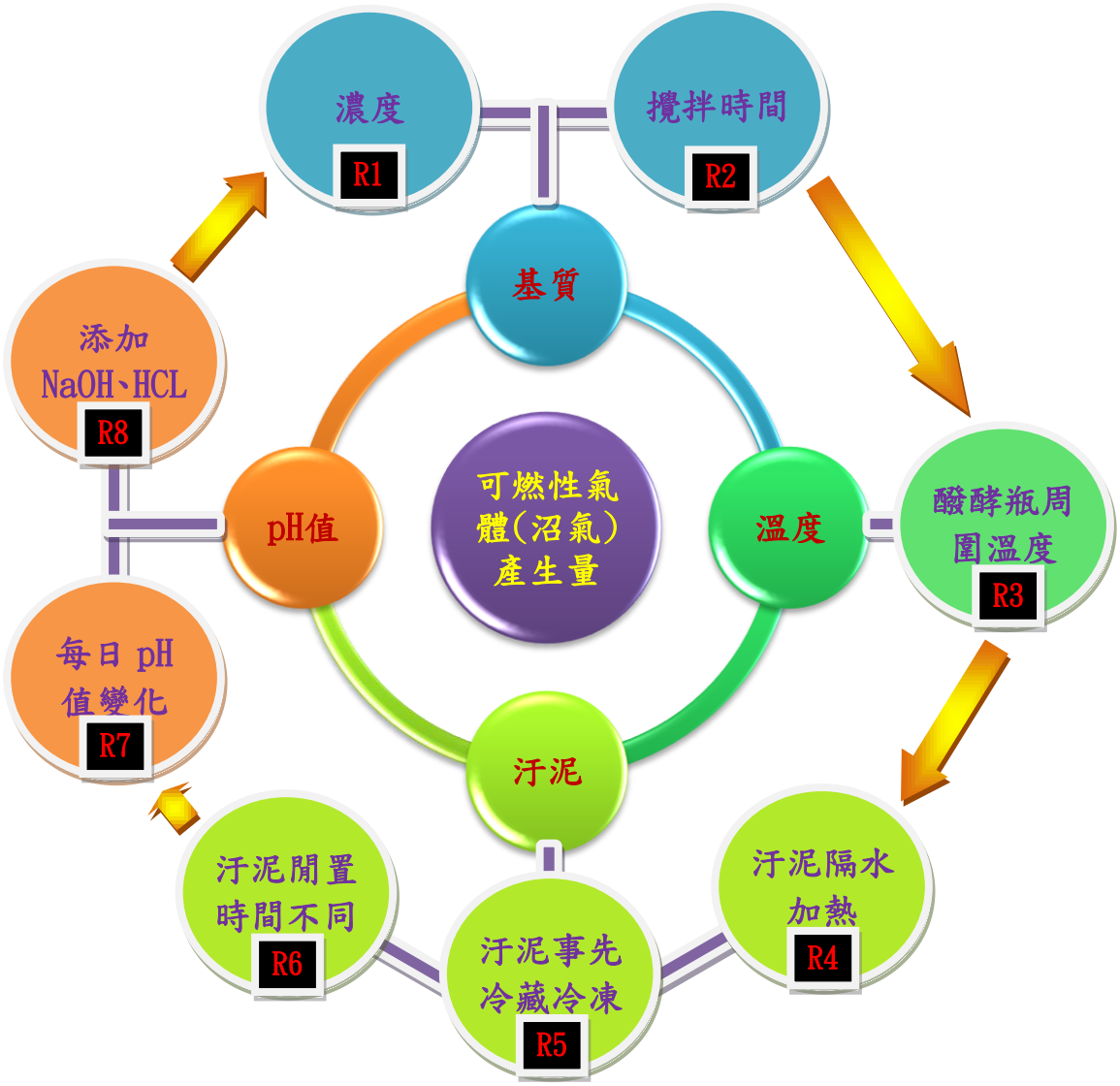
一、　基質對產氣量的影響
二、　醱酵溫度對產氣量的影響
三、　汙泥對對產氣量的影響
四、　pH 值對產氣量的影響

參、　研究設備及器材

一、　實驗配置器材：木材、塑膠盆、寶特瓶、玻璃瓶、水族用加熱棒、廚餘、生態池泥土、黑晶爐、果汁機、電子點火槍。
二、　測量及記錄工具：電子秤、pH 測量儀、量杯、電腦。

肆、 研究過程或方法

一、 實驗架構



二、 文獻探討

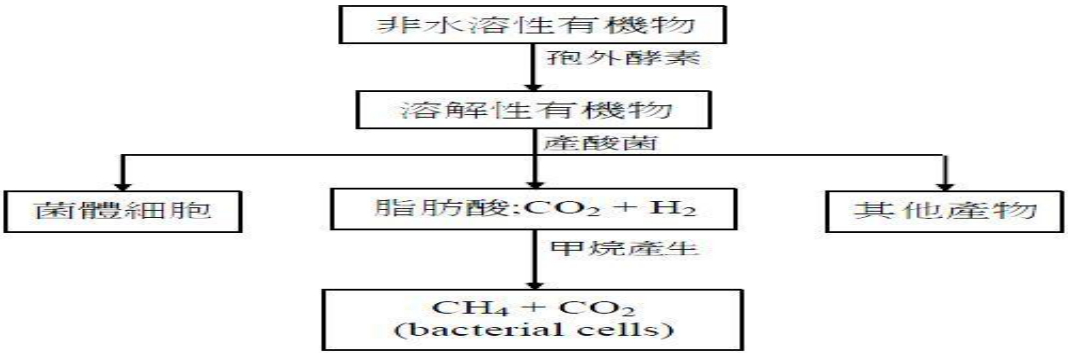
(一) 沼氣

沼氣是有機物經微生物的厭氧醱酵所產生的氣體，其主要成分為甲烷、二氧化碳及微量的硫化氫等物質，其熱值約在 5000~5500kcal/m^3(0.5556~0.6111 油當量)是一種相當好的能源。又其含有的甲烷造成溫室效應的能力為二氧化碳的 24 倍，在京都議定書內，已將甲烷排放列入管制氣體。故沼氣不但值得加以回收利用，若無法妥善加以利用的情況下，也必須積極地進行排放管理。

(二) 厭氧醱酵(Anaerobic Digestion)

厭氧醱酵是應用微生物的作用與轉換，配合適當的環境因子，將有機廢棄物進行減量與穩定化的處理。除具污染防治之功能外，並可使其轉為可用能源。有機物的厭氧醱酵，不僅可有效將有機物減量與穩定化，相較其他處理程序如堆肥處理，厭氧醱酵於密封環境下較不會有臭味問題，生質氣體可回收為能源利用，醱酵汙泥脫水後之濃縮過濾液也可作為植物液肥，可說是物盡其用。

厭氧醱酵可分為三個階段：水解、酸化、甲烷化，如下圖。



（圖片來源：行政院環保署。推動廚餘、水肥、養豬廢水及生活廢水產生之污泥集中處理及生質能源再利用可行性評估計畫）

（三）影響厭氧醱酵的環境因子

厭氧醱酵的主角是微生物，微生物對環境有相當卓越的適應力，即使生存環境惡劣也能維持最基本的生命。但牠也相當的敏感，只有在適當的環境條件下才會大量繁殖。主要影響厭氧醱酵的環境因子有：pH 值、溫度、醱酵時間、有基負荷物。每種微生物需要的生長條件均有差異，甲烷菌最適 pH 值在 6.8 至 7.4 之間，最適溫度範圍在兩個區塊，分別是中溫醱酵接近 35℃上下，與高溫醱酵接近 57℃上下。

（四）廚餘回收現況

廚餘含水份高，鹽份也高，不適合焚化處理。若送到掩埋場，也會造成臭味及滲出水污染問題。行政院環保署自 90 年度起，即補助各鄉、鎮、市建立廚餘清運回收再利用系統，以促使各鄉鎮市全面推動廚餘回收。迄 95 年 3 月底全國 319 鄉鎮已全面進行廚餘回收，初步已獲具體成效。目前世界廚餘回收再利用方式有以下幾種。

1. 製成堆肥
2. 養豬
3. 有機廢棄物生物厭氧醱酵處理廠
4. 飼料化

九十七年全國與苗栗縣之廚餘回收與再利用情形(資料來源：行政院環保署)

	累計廚餘回收量(噸)	廚餘再利用方式			廚餘回收率(%)
		堆肥	養豬	其他	
苗栗縣	11635	2201	9434	-	7.05
全國	691194	164586	522854	3754	9.09

由統計資料可知，全國廚餘回收率仍有相當大進步的空間，但更可看見生質能源的發展潛力十足。完善的資源回收利用系統，不但可以減少垃圾量，更可降低自然資源的損耗，還給萬物喘息的空間。

（五）台灣發展沼氣發電的優勢

1. 全年平均接近 30℃的氣溫，適合厭氧醱酵之進行。
2. 技術發展成熟，且已累積豐富之實務經驗。
3. 汙染物中超過 70%之 COD 可藉由厭氧程序移除。
4. 可產生大量沼氣以供利用。

三、　沼氣製備的流程

步驟：1. 至生態池挖取汙泥

用水溝杓挖取生態池底部的汙泥

2. 將汙泥過篩，除去雜質

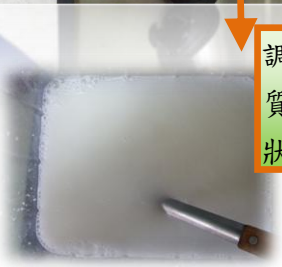
用篩子除去雜質後的汙泥，變成泥漿狀

3. 收集午餐用後的剩飯剩菜

4. 調配基質

使用電子秤，以調配出不同濃度的基質

調配完成的基質呈白色濃稠狀



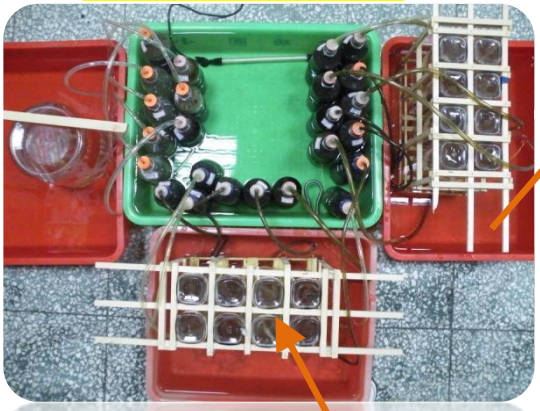
用橡膠塞加上塑膠管創造密閉空間，並收集氣體

5. 汙泥與基質加入醱酵瓶，置於加溫水槽

使用水族箱用加熱石英管，提高醱酵瓶周圍的水溫

汙泥與基質加入醱酵瓶，都要經過秤重，確保重量相同

6. 連接醱酵瓶與集氣瓶

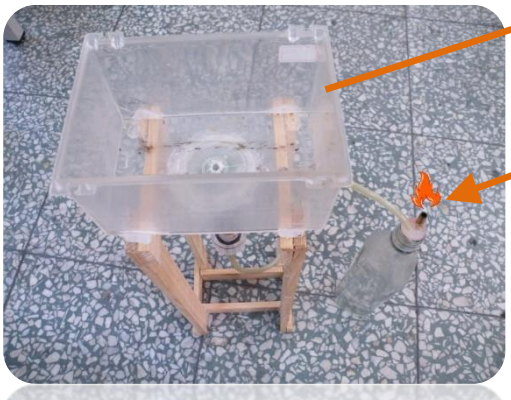


製作木架，讓新的玻璃集氣瓶(520ml)可以整齊擺放，方便收集

集氣瓶添滿水，再插入木架中繼續收集氣體

7. 測量排水量並記錄

8. 測試可燃性



水加入方盒後流入玻璃瓶中，氣體會由蓋子上的金屬噴嘴排出，此時點火測試

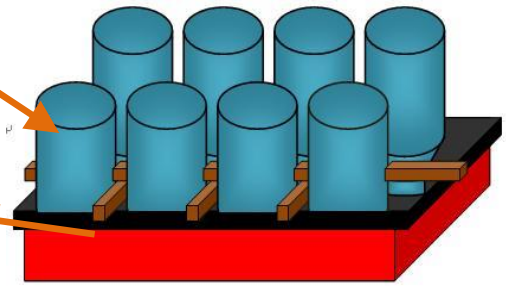
用來測試收集到氣體的可燃性之電子點火槍

四、 實驗流程

（一）基質濃度對產氣量的影響(**本研究所有實驗所稱之基質濃度，為「飯與水之重量比」，非固體重量與水分之實際重量比**)

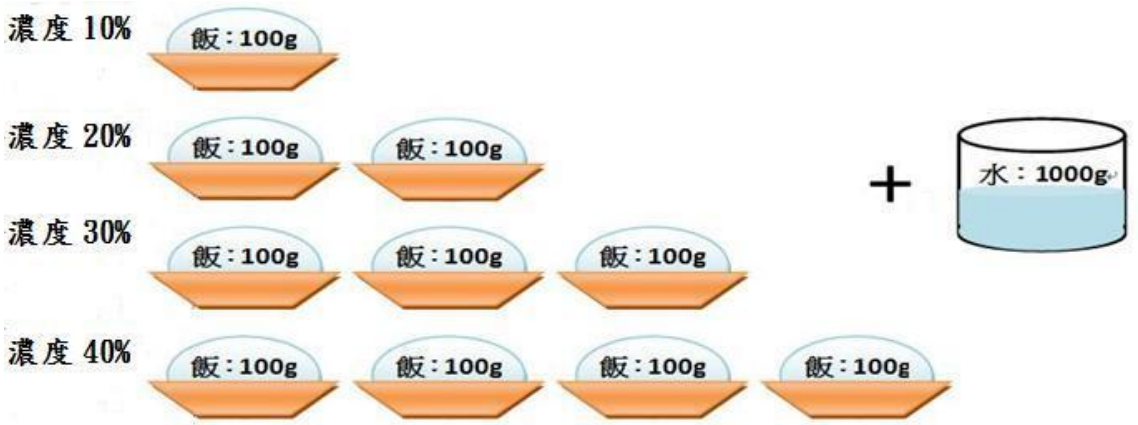
1. 製作 2 個網狀木架，可固定在塑膠盆上。
2. 在塑膠盆底部放置木條，將裁剪後的鐵網放置其上。
3. 把網狀木架固定在塑膠盆上，盆內注水。寶特瓶(2000ml)裝滿水後倒置插入木架，作為集氣瓶，每盆可放置 8 瓶。注意盆內水位要高過寶特瓶瓶口。

2000ml 寶特瓶裝滿水，倒插入盆中，作為集氣瓶



製作好的網狀木架有 8 個間隔，可插入 8 罐 2000ml 寶特瓶

4. 空水盆內加水放入水族箱用加熱石英管作為加溫水盆，調整最高**加熱水溫 34℃**。
5. 寶特瓶(600ml)，每瓶加入 300g 生態池汙泥作為厭氧醱酵瓶，共 16 瓶。
6. **將午餐的剩飯混水使用果汁機打成漿狀。濃度分別為 10%、20%、30%、40%。分別加入醱酵瓶中**，各濃度 4 瓶。



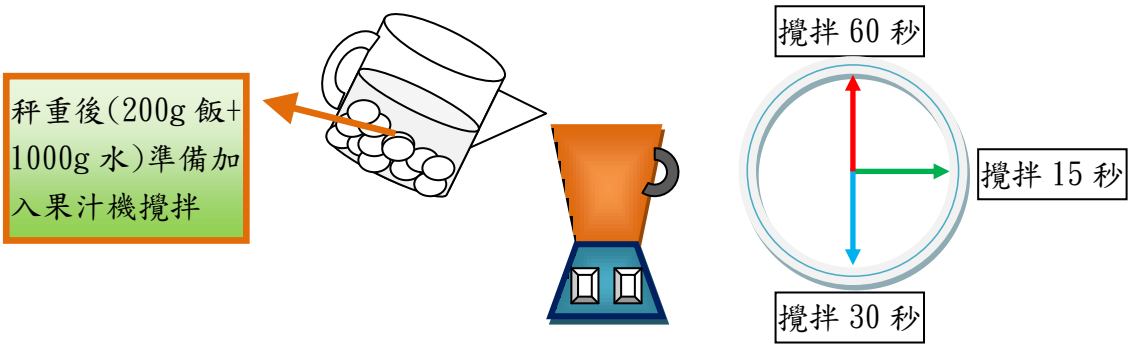
7. 橡膠塞插入塑膠管，塞入醱酵瓶口後放置在加溫水盆中，將塑膠管插入集氣瓶。
8. 隔日中午開始測量，連續 5 日。使用電子秤量取排開水重量並記錄，量測完畢集氣瓶盛滿水，再倒置插入木架。

（二）基質攪拌時間不同對產氣量的影響

1. 製作 3 個木架，每個可放入玻璃瓶(容量 520ml)8 個作為集氣瓶。木架放入盛水的水盆中，水面高度要超過集氣瓶口。

製作好的木架有 8 個間隔，可插入 8 罐 520ml 玻璃瓶，作為集氣瓶

2. 空水盆內加水放入水族箱用加熱石英管作為加溫水盆，調整最高**加熱水溫 34℃**。
3. 寶特瓶(600ml)，每瓶加入 300g 生態池汙泥作為厭氧醱酵瓶，共 12 瓶。
4. **將午餐的剩飯混水使用果汁機攪拌，濃度 20%，攪拌時間依序為無攪拌、15 秒、30 秒、60 秒，加入醱酵瓶中**，各秒數 3 瓶。



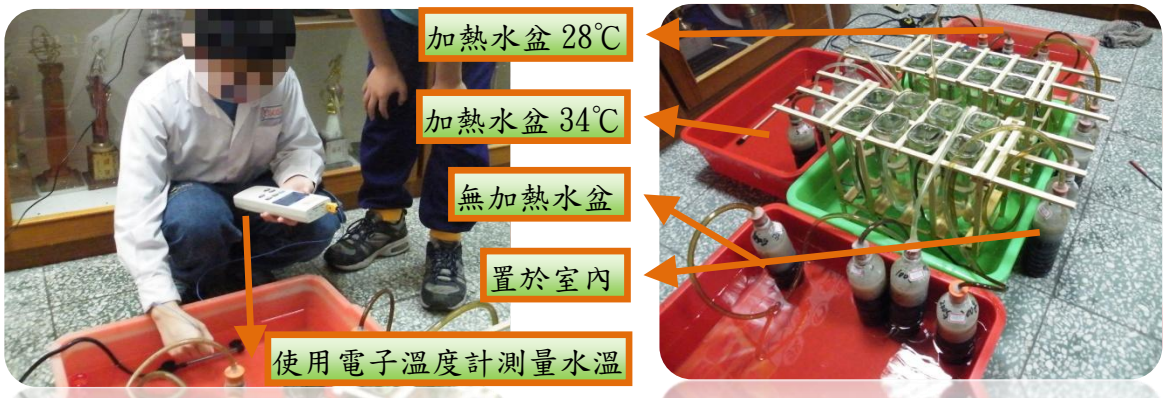
5. 橡膠塞插入塑膠管，塞入醱酵瓶口後放置在加溫水盆中，將塑膠管插入集氣瓶。
6. 隔日中午開始測量，連續 5 日。使用電子秤量取排開水重並記錄，量測完畢集氣瓶盛滿水，再倒置插入木架。

（三）醱酵瓶周圍溫度高低對產氣量的影響

1.、3.、5.、6. 步驟與(二)相同

2. **3 個水盆內注水，取 2 個放入水族箱用加熱石英管作為加溫水盆，調整加熱水溫 34℃、28℃。餘 1 僅加入水不加熱。**

4. **將午餐剩飯混水使用果汁機打成漿狀，濃度 20%。加入 300g 至醱酵瓶中，各溫度(加熱水盆 34℃、加熱水盆 28℃、無加熱水盆、室內)4 瓶，共 12 瓶。**



（四）厭氧醱酵前，汙泥事先加熱對產氣量的影響

1.、2.、5.、6. 步驟與(二)同。

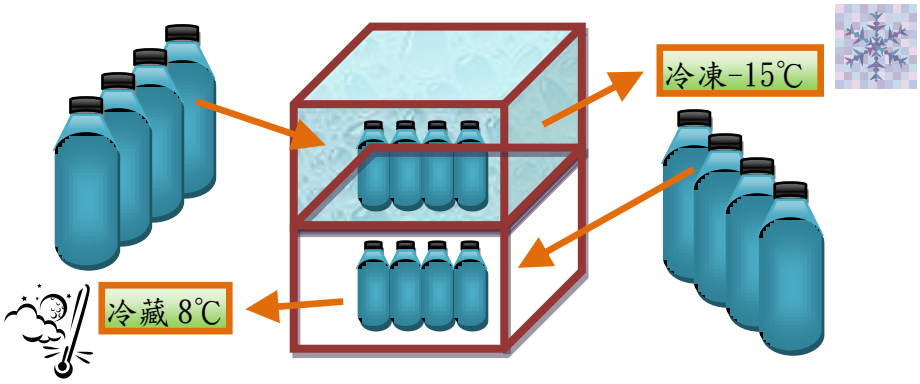
3. **將汙泥舀入容器中隔水加熱，使用溫度計測量汙泥加熱後的溫度，分別達到 80℃、70℃、60℃、50℃後，加入寶特瓶中**，各溫度 4 瓶每瓶 300g，作為厭氧醱酵瓶共 16 瓶。

4. 將午餐剩飯混水使用果汁機打成漿狀，**濃度 20%**。加入 300g 至醱酵瓶中。

（五）厭氧醱酵前，汙泥事先冷藏、冷凍對產氣量的影響。

1. 、2. 、4. 、5. 、6. 步驟與(二)同。

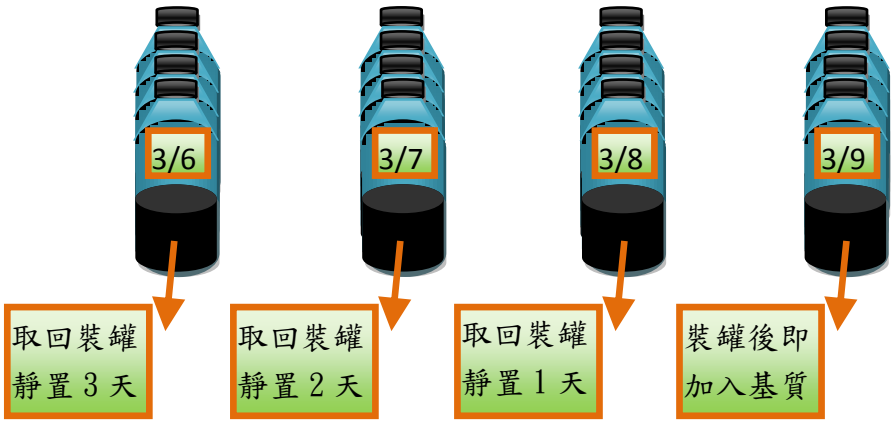
3. **將汙泥舀入寶特瓶中，每瓶 300g 共 12 瓶，作為厭氧醱酵瓶。取 4 瓶置於冷凍庫一天、4 瓶置於冷藏室一天，4 瓶置於室內一天。**



（六）汙泥閒置時間不同對產氣量的影響。

1. 、2. 、4. 、5. 、6. 步驟同(二)。

3. **分別於 3 天前、2 天前、1 天前，當天，取生態池汙泥裝入寶特瓶中，置於室內，各天數 4 瓶，每瓶 300g，作為厭氧醱酵瓶。**



（七）醱酵過程基質的 pH 值變化。

1. 、2. 、5. 步驟同(二)。

3. 將汙泥舀入寶特瓶中，每瓶 300g 共 8 瓶，作為厭氧醱酵瓶。

4. **將午餐剩飯混水使用果汁機打成基質，濃度 20%，加入 300g 至 4 個醱酵瓶中。其餘 4 個醱酵瓶加入自來水 300g。**

6. **隔日中午開始測量，連續 5 日。使用 pH 測量儀測量基質 pH 值，並記錄。**

使用 pH 測量儀測量基質 pH 值

（八）改變 pH 值對產氣量的影響。

1. 、2. 、5. 、6. 步驟同(二)。

3. 將汙泥舀入寶特瓶中，每瓶 300g 共 24 瓶，作為厭氧醱酵瓶。

4. **將午餐剩飯混水使用果汁機打成基質，濃度 20%，加入 300g 至醱酵瓶中。分別再加入鹽酸、氫氧化鈉水溶液，5ml、10ml、15ml**，各 3 瓶，共 18 瓶。餘 6 瓶不添加。**(本實驗所用之鹽酸為清洗浴廁用，氫氧化鈉濃度為 1M，使用上安全無虞)**

分別將鹽酸、氫氧化鈉加入醱酵瓶中

五、 步驟檢討與改進

（一）醱酵瓶

4 公升醱酵瓶產氣量很大，我們沒有相符的儲氣設備。改用 600 毫升礦泉水瓶，以降低產氣量

（二）集氣瓶

4 公升集氣瓶笨重，也無法容納同樣大小醱酵瓶的產氣量

較易操作，但容易變形，導致數據可能有較大的誤差

最容易操作、不變形，數據較準確。但容量仍嫌不足

（三）測量工具

一般磅秤無法完成精密的測量，測量的時間也相對漫長。改用電子秤不但快速也更精確

伍、 研究結果

一、 基質濃度不同對產氣量的影響

表一：基質濃度不同排水量統計表，單位：g

	2/11	2/12	2/13	2/14	2/15
10%1	171	58	55	43	40
10%2	167	56	50	15	11
10%3	185	55	49	25	16
10%4	202	59	53	22	15
20%1	284	104	109	132	100
20%2	262	160	169	207	189
20%3	225	216	214	206	207
20%4	302	176	176	179	171
30%1	199	907	1452	1044	1053
30%2	181	258	431	324	355
30%3	279	251	395	278	267
30%4	164	376	591	417	410
40%1	191	514	1089	992	977
40%2	167	499	999	877	820
40%3	193	532	833	585	593
40%4	213	494	1032	932	921

（一）2/11 至 2/15 的總排水量。

1. 濃度 10%：1347g。最低。
2. 濃度 20%：3788g。次低。
3. 濃度 30% ：9632g。次高。
4. 濃度 40%：13453g。最高。

（二）2/11 至 2/15 每日平均排水量變化圖。

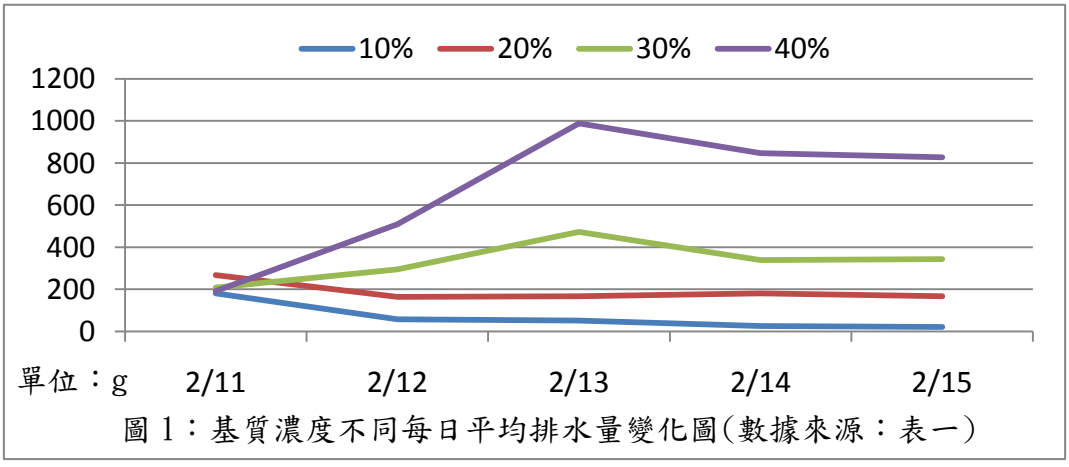


圖 1：基質濃度不同每日平均排水量變化圖(數據來源：表一)

1. 為了**避免少數過高或過低的值影響總平均值，本變化圖之數值將「30%1」排水量異常突出的極端值去除不計**。(平均排水量，「30%1」:931g;「30%2」:310g；「30%3」: 294g；「30%4」: 392g)

2. 濃度 10%每日平均排水量在 2/11 最高(181g)，之後隨天數增加遞減。濃度 20%在 2/11 最高(268g)。兩組之後四天的排水量並沒有很大的差異。變化為前高後低的溜滑梯形狀。

3. 濃度 30%與 40%的每日平均排水量，皆在 2/13 日達到最高，分別為：472g、988g，排水量變化為中間高前後低的峰型形狀。

（三）發現：**基質濃度在 10%至 40%的區間，排水量與基質濃度呈正相關。而基質濃度也會影響最高排水量的發生時間，愈低愈早，愈高則愈晚。**我們懷疑攪拌時間長短(影響固形物的分布)，是否也會影響排水量的多寡？於是設計下個實驗。

二、 基質攪拌時間不同對產氣量的影響

表二：基質攪拌時間不同排水量統計表。溫度：34℃，濃度 20%，單位：g

（排水量超過集氣瓶容量者以 520g 計）

	4/9	4/10	4/11	4/12	4/13
無攪拌 1	184	520	442	223	120
無攪拌 2	180	/	/	/	/
無攪拌 3	196	520	444	229	99
15 秒 1	136	520	444	169	58
15 秒 2	124	520	439	178	57
15 秒 3	113	520	293	118	24
30 秒 1	122	520	328	133	29
30 秒 2	99	520	290	128	34
30 秒 3	112	/	/	/	/
60 秒 1	154	520	235	87	21
60 秒 2	111	493	225	74	18
60 秒 3	102	492	205	80	39

（一）4/9 至 4/13 的總平均排水量(總排水量/項目個數)。

1. 無攪拌：298g。最高。(第 2 瓶傾倒，計算時排除)
2. 攪拌 15 秒：248g。次高。
3. 攪拌 30 秒：220g。次低。(第 3 瓶傾倒，計算時排除)
4. 攪拌 60 秒：190g。最低。

（二）4/9 至 4/13 的平均每日排水量變化圖。

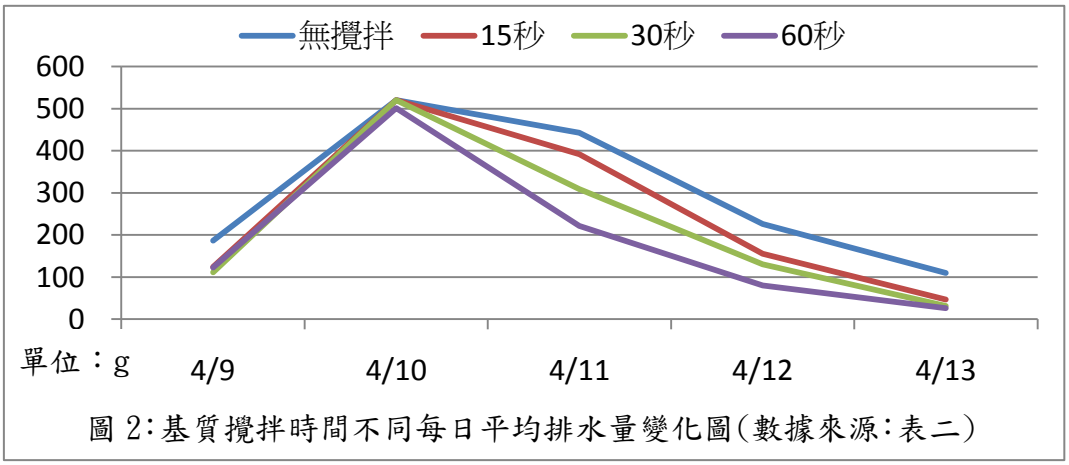


圖 2:基質攪拌時間不同每日平均排水量變化圖(數據來源:表二)

1. 4/10 除「60 秒 2」、「60 秒 3」，以及翻覆的「無攪拌 2」、「30 秒 3」外，其餘各瓶排水量均超過集氣瓶之容量，記錄時以 520g 計。
2. 各組排水量皆在 4/10 達到最高。排水量變化形成中間高前後低的峰型。
3. 由 4/9、4/11、4/12、4/13 日的每瓶每天平均排水量(4/10 多瓶排水量超過集氣瓶之容量，在此不計)。我們發現攪拌時間愈長，排水量愈低。

（三）發現：**攪拌時間(固形物分布愈均勻)與排水量呈負相關。**我們查找網路資料、論文，並沒有發現直接相關的研究或學理證明，但很多研究指出「過高的基質濃度會導致醱酵環境快速酸化，對產氣量反而有抑制的效果」。我們推測本實驗攪拌最久的操作，其固形物在醱酵液中分布最均勻，提供產酸菌快速大量生長的條件，造成酸化過度，導致產氣量減少。

三、 醱酵瓶周圍溫度高低對產氣量的影響

表三：3/3 至 3/7 每日量測溫度記錄，單位：℃

每日量測溫度	3/3	3/4	3/5	3/6	3/7	平均
室內	24	24	24	24	20	23.2
無加熱水	22	24	23	23	20	22.4
加熱水 28℃	28	28	28	28	28	28
加熱水 34℃	34	34	34	34	34	34

表四：醱酵瓶周圍溫度不同排水量統計表。濃度 20%，單位：g

(排水量超過集氣瓶容量者以 520g 計)

	3/3	3/4	3/5	3/6	3/7
室內 1	35	111	186	192	143
室內 2	29	137	194	227	230
室內 3	31	96	117	119	115
室內 4	22	94	143	188	201
無加熱水 1	27	72	89	75	67
無加熱水 2	21	107	114	96	85
無加熱水 3	19	99	133	140	140
無加熱水 4	14	85	115	125	131
加熱水 28 度 1	54	197	286	271	230
加熱水 28 度 2	48	132	243	146	147
加熱水 28 度 3	62	197	304	218	167
加熱水 28 度 4	65	130	109	77	76
加熱水 34 度 1	97	520	520	384	520
加熱水 34 度 2	103	520	373	171	145
加熱水 34 度 3	103	520	520	233	228
加熱水 34 度 4	114	464	401	108	86

（一）3/3 至 3/7 的總排水量。

1. 室內：2610g。次低。
2. 無加熱水：1754g。最低。

3. 加熱水 28℃：3159g。次高。

4. 加熱水 34℃：6150g。最高。

（二）3/3 至 3/7 的每日平均排水量變化圖。

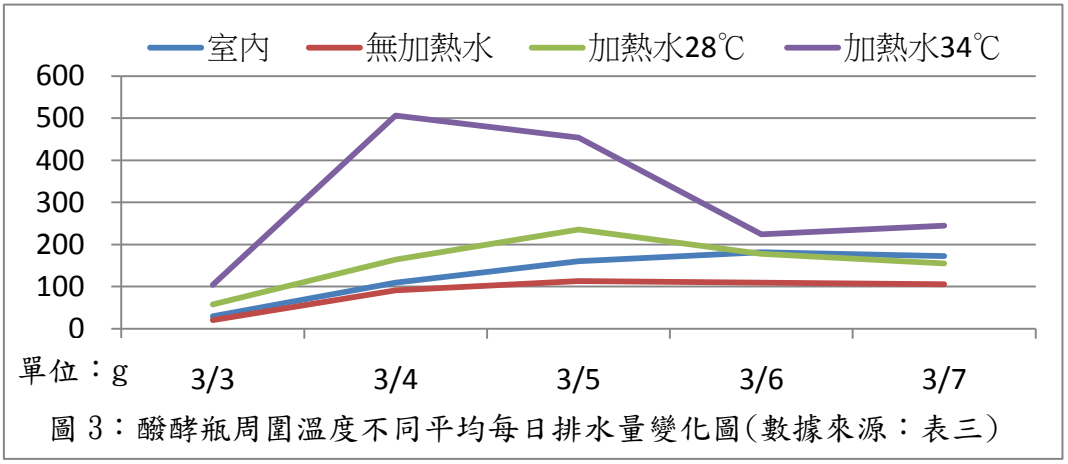


圖 3：醱酵瓶周圍溫度不同平均每日排水量變化圖(數據來源：表三)

1. 「加熱水 34℃」排水量在 3/4 即達到最高，「加熱水 28℃」與「無加熱水」則在 3/5 達到最高，室內則要到 3/6。我們發現溫度除了和排水量呈正相關外，也會影響最高排水量產生的時間，溫度愈高則愈早產生。

（三）發現：**醱酵瓶周圍溫度與總排水量，及最高排水量發生時間呈正相關**。此結果與相關期刊論文所提雷同，「溫度是影響微生物活動的一個重要的環境因子，一般微生物最適生長溫度與最高生長溫度相當接近」，甲烷菌在中溫醱酵 35℃最適合生長，醱酵環境愈接近這個溫度也應有愈高的產氣量。根據這個結果，我們嘗試在醱酵前把汙泥加熱、降溫，觀察產氣量是否被影響。

四、 汙泥事先加熱對產氣量的影響

表五：汙泥事先加熱排水量統計表。溫度：34℃，濃度 20%，單位：g

	3/24	3/25	3/26	3/27	3/28	3/29
50 度 1	147	226	491	229	229	31
50 度 2	155	322	254	227	227	29
50 度 3	156	319	247	246	246	32
50 度 4	162	327	271	232	232	30
60 度 1	226	343	247	222	222	22
60 度 2	224	327	263	222	222	25
60 度 3	231	320	257	228	228	19
60 度 4	223	332	252	211	210	22
70 度 1	241	279	222	222	193	23
70 度 2	241	284	244	216	199	19
70 度 3	249	275	256	227	207	19
70 度 4	249	287	257	228	227	10
80 度 1	256	222	150	97	97	2
80 度 2	255	212	138	96	96	16
80 度 3	268	228	157	103	103	16
80 度 4	265	205	147	89	89	1

（一）3/24 至 3/28 的總排水量。

1. 50℃：5067g。次高。
2. 60℃：5098g。最高。
3. 70℃：4874g。次低。
4. 80℃：3308g。最低。

（二）3/24 至 3/29 每日平均排水量變化圖。

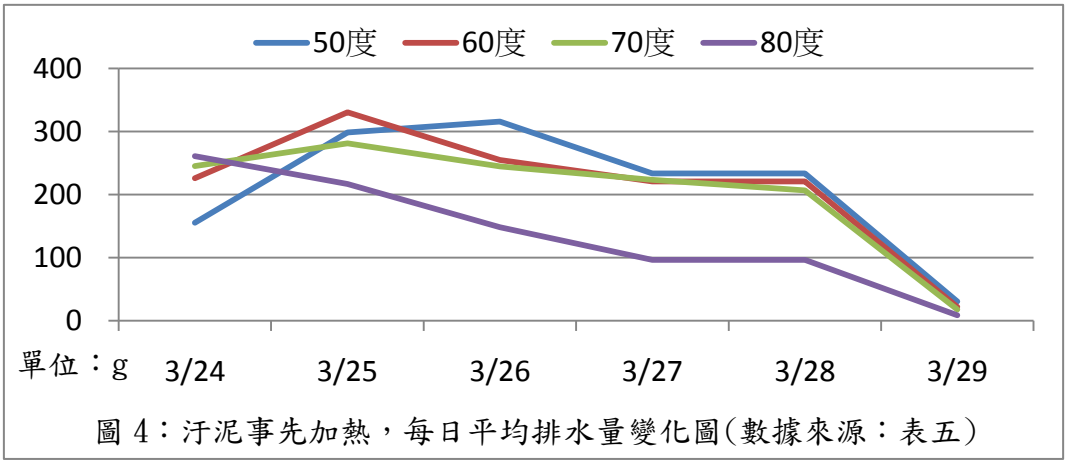


圖 4：汙泥事先加熱，每日平均排水量變化圖(數據來源：表五)

1. 將汙泥加熱至 50℃、60℃、70℃後總排水量並沒有相差很多，但加熱至 80℃後排水量則下降很多。
2. 加熱至 80℃之汙泥在 3/24 即達到最高排水量(261g)且均高於其他組，但後續則快速減少未再高過其他組別。60℃、70℃的最高排水量出現在 3/25，50℃則遲至 3/26。

（三）發現：**將汙泥加熱至 80℃總產氣量會大幅降低。加熱溫度愈高，最高產氣量愈早發生。測試氣體之可燃性，我們發現加熱 70℃以上所收集的氣體具爆炸性**，查詢網路上的論文資料發現，高溫醱酵會抑制沼氣菌，而活化產氫菌。此法多用在發酵工程以製造高純度的氫氣，所以推測收集之氣體應含有許多氫氣。

五、 汙泥事先冷藏、冷凍對產氣量的影響

表六：汙泥事先冷藏、冷凍排水量統計表。溫度：34℃，濃度 20%，單位：g

	4/11	4/12	4/13	4/14	4/15
室內 1	220	132	34	24	8
室內 2	213	118	33	28	10
室內 3	220	161	35	20	6
室內 4	215	125	32	20	6
冷藏 1	180	165	54	29	10
冷藏 2	171	164	46	22	8
冷藏 3	172	158	42	23	8
冷藏 4	177	150	38	20	6
冰凍 1	306	197	40	12	4
冰凍 2	330	200	39	14	4
冰凍 3	319	204	47	25	8
冰凍 4	284	202	38	10	2

（一）4/11 至 4/15 的總排水量。

1. 室內：1660g。次高。
2. 冷藏（約 8℃）：1643g。最低。
3. 冷凍（約-15℃）：2285g。最高。

（二）4/11 至 4/15 每日平均排水量變化圖。

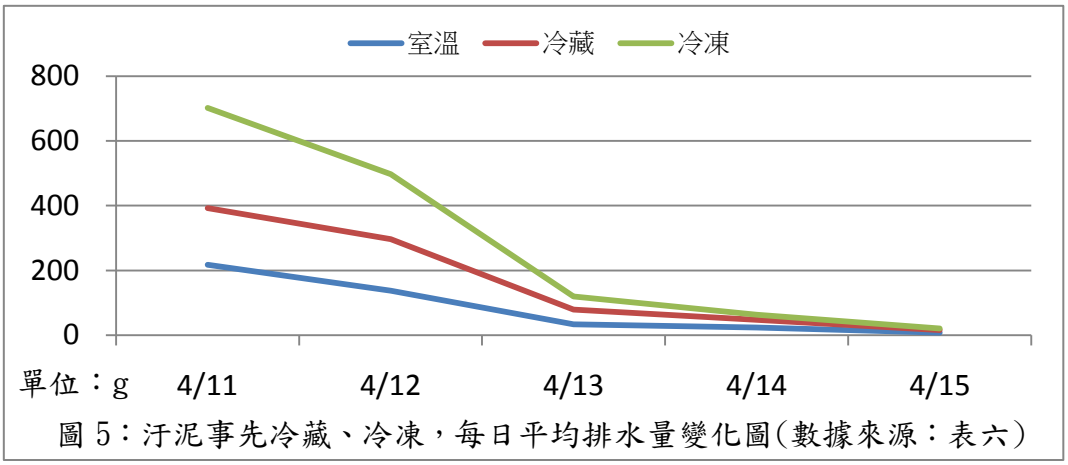


圖 5：汙泥事先冷藏、冷凍，每日平均排水量變化圖（數據來源：表六）

1. 由 4/11 至 4/15 的總排水量與每日平均排水量發現，事先將汙泥冷藏與室內靜置，排水量並沒有顯著差異，而事先冷凍反而排水量較高。三組均在第一天達到最高排水量，接著就快速減少，平均排水量形成前高後低的溜滑梯狀。

（三）發現：**汙泥經過冷凍後，產氣量反而較高。**我們推測是否在一定溫度之下，細菌活動繁衍會受到抑制，不致因缺乏食物死亡，溫度升高後才又開始活動。於是我們設計下個實驗，針對汙泥閒置時間不同，比較產氣量的差異。

六、 汙泥閒置時間不同對產氣量的影響

表七：汙泥閒置時間不同排水量統計表。溫度：34℃，濃度 20%，單位：g

	3/9	3/10	3/11	3/12	3/13
3/6, 1	64	85	72	82	22
3/6, 2	66	79	78	115	87
3/6, 3	61	77	72	111	67
3/6, 4	51	73	80	108	72
3/7, 1	188	245	273	250	120
3/7, 2	246	246	246	283	198
3/7, 3	42	290	271	273	201
3/7, 4	88	219	277	276	183
3/8, 1	347	443	414	345	298
3/8, 2	326	425	321	461	310
3/8, 3	242	440	421	427	400
3/8, 4	386	421	426	475	397
3/9, 1	454	369	429	400	372
3/9, 2	362	391	320	479	334
3/9, 3	268	390	375	459	299
3/9, 4	294	405	354	520	420

（一）3/9 至 3/13 的總排水量。

1. 3/6：1522g。最低。
2. 3/7：4415g。次低。
3. 3/8：7725g。最高。
4. 3/9：7694g。次高。

（二）3/9 至 3/13 每日平均排水量變化圖。

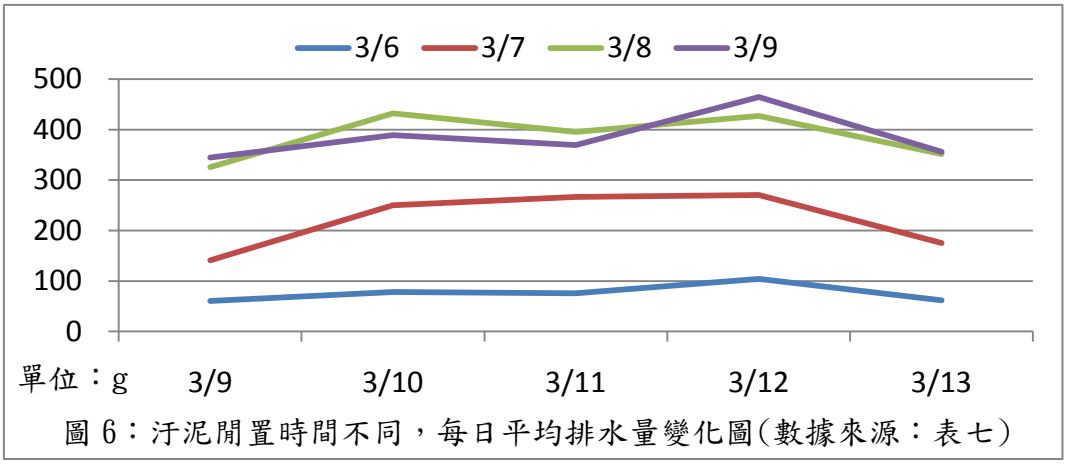


圖 6：汙泥閒置時間不同，每日平均排水量變化圖(數據來源：表七)

(三) 發現：由 3/9 至 3/13 的總排水量與每日平均排水量。我們發現。**排水量隨汙泥閒置時間愈長而遞減，閒置 1 天與當天直接使用相當接近。閒置 2 天開始迅速減少。產氣量隨汙泥閒置時間愈長會大幅遞減。**

七、 醱酵過程基質的 pH 值變化。

表八：有無基質的 pH 值變化。溫度：34℃，濃度 20%，單位：pH 值

	3/23	3/24	3/25	3/26	3/27
飯 1	6.4	5.5	5.4	5.7	5.3
飯 2	6.3	5.5	5.4	5.8	5.2
飯 3	6.1	5.5	5.4	5.8	5.2
飯 4	6.5	5.5	5.4	5.9	5.3
水 1	7.2	7.1	7.3	7.1	6.7
水 2	7.2	7.2	7.4	7.1	6.7
水 3	7.2	7.1	7.2	7	6.7
水 4	7.2	7	7.3	7.1	6.8

（一）3/23 至 3/27 每日平均 pH 值變化圖。

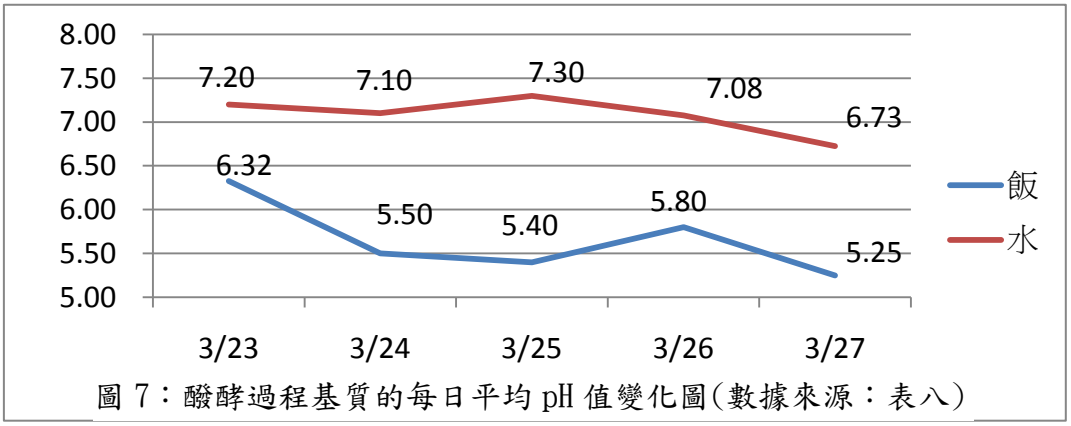


圖 7：醱酵過程基質的每日平均 pH 值變化圖(數據來源：表八)

1. 以濃度 20%飯漿為基質的組別，每日平均 pH 值變化在 3/23 即變成微酸性，3/24 之後再降成為弱酸性。僅加入水的醱酵瓶，則由 3/23 的中性一路維持，至 3/27 才變為微酸性。

（二）發現:**厭氧醱酵時基質 pH 值會隨滯留時間增加而下降**。我們查找相關研究提到，微生物會因為代謝產物產生而改變環境的 pH 值。厭氧醱酵會經過三個程序：水解、酸化、甲烷化，甲烷菌以產酸菌之代謝產物為食物，卻因本身較容易受溫度、pH 值等環境因子所影響，成為參與厭氧發酵過程中，最容易被影響的微生物。過多的酸會抑制其分解的能力，變成一個酸敗的環境，嚴重者醱酵槽會完全無法運作。太少的酸無法供應甲烷菌食物來源，則形成一個產氣效率很低的環境。所以一個運作良好的醱酵槽必須時時注意槽內酸鹼值的變化，必要時還要添加鹼性物質以維持穩定的 pH 值。

八、 改變 pH 值對產氣量的影響

表九，添加不同劑量氫氧化鈉與鹽酸排水量統計表。溫度：34℃，濃度：20%，單位：g

	3/31	4/1	4/2	4/3	4/4	3/30pH 值	4/4pH 值
無添加 1	165	343	275	100	34	6	5.1
無添加 2	150	328	249	121	34	6	5
無添加 3	168	330	283	132	36	6.1	5.1
NAOH5ml 1	196	511	384	139	50	6.7	5
NAOH5ml 2	192	476	392	164	48	6.7	5.1
NAOH5ml 3	179	461	367	117	32	6.7	5.1
NAOH10ml 1	195	513	387	88	23	7.1	5.1
NAOH10ml 2	172	511	393	147	18	7.1	5.1
NAOH10ml 3	181	511	413	147	29	7	5.1
NAOH15ml 1	189	484	174	26	5	7.7	4.9
NAOH15ml 2	187	497	179	25	7	7.7	4.8
NAOH15ml 3	203	490	171	28	7	8.1	4.9
無添加 A	158	334	265	98	27	6	5.1
無添加 B	147	337	232	88	19	6	5.1
無添加 C	161	333	255	109	30	6	5.1
HCL5ml A	189	195	296	55	17	5.4	4.9
HCL5ml B	192	256	309	80	19	5.4	5
HCL5ml C	201	246	224	70	16	5.5	4.9
HCL10ml A	161	176	245	44	8	5.1	4.8
HCL10ml B	143	202	255	48	12	5.1	4.8
HCL10ml C	191	181	210	41	9	5.1	4.8
HCL15ml A	142	152	61	18	9	4.9	4.8
HCL56ml B	138	183	65	23	9	4.8	4.8
HCL15ml C	158	144	62	23	8	4.9	4.8

表十：添加鹽酸 HCL 及氫氧化鈉 NaOH，第一天配置及最後一天之平均 pH 值

3/30pH 值	無添加	5ml	10ml	15ml
NaOH	6	6.7	7.1	7.8
HCL	6	5.4	5.1	4.9
4/4pH 值	無添加	5ml	10ml	15ml
NaOH	5.6	5.1	5.1	4.9
HCL	5.1	4.9	4.8	4.8

（一）3/31 至 4/3 的總排水量。

1. 無添加(NaOH 對照組)：2748g。
2. NaOH，5ml　　：3708g。次高。
3. NaOH，10ml　　：3728g。最高。
4. NaOH，15ml　　：2872g。
5. 無添加(HCL 對照組)　：2593g。
6. HCL，5ml　　：2365g。
7. HCL，10ml　　：1926g。次低。
8. HCL，15ml　　：1195g。最低。

（二）3/31 至 4/4 每日平均排水量變化圖。

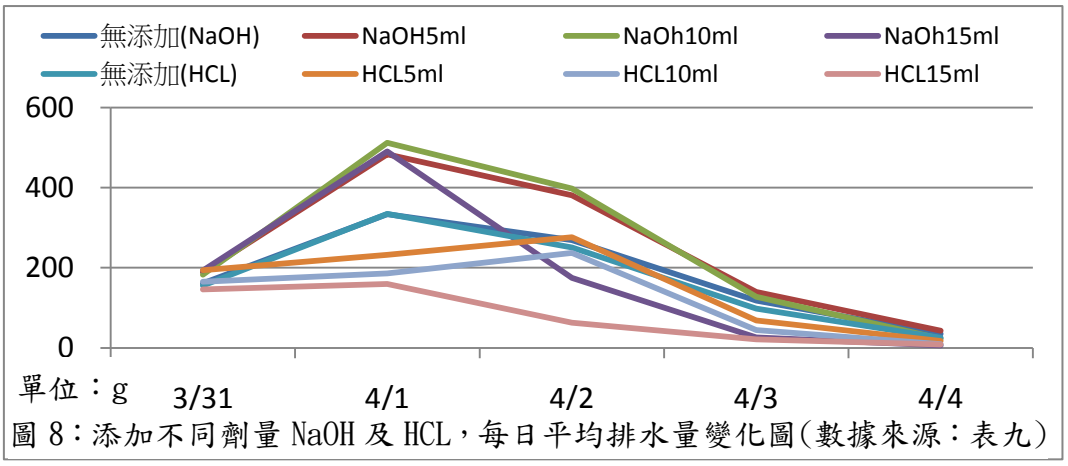


圖 8：添加不同劑量 NaOH 及 HCL，每日平均排水量變化圖(數據來源：表九)

1. 由平均排水量變化圖可發現，排水量形成中間高兩邊低的鋒形，在 4/1 及 4/2 達到最多，顯示產氣量的發展模式，發展到高峰後又漸趨緩和。

（三）發現：**經過厭氧醱酵基質 pH 值會下**降，至最後一天每瓶都接近酸性。由 3/31 至 4/4 的總排水量，我們發現。添加 NaOH，5ml 及 10ml 的樣本排水量最好。以添加 HCL，10ml 及 15ml 的樣本排水量最差。顯示添加酸鹼性物質，改變醱酵環境也會影響產氣量。而**趨近中性的醱酵環境最適合厭氧醱酵的運作**。

九、　拜訪平順畜牧場，場內三段式廢水處理系統的部分設備

陸、 討論

一、 我們不斷在錯誤中尋找合適的實驗器材，從 4 公升的大玻璃罐、2 公升的可樂瓶集氣瓶、一般的磅秤等等絞盡腦汁，最後才確立 600ml 的寶特瓶當作厭氧醱酵瓶、520ml 的玻璃瓶當作集氣瓶、濃度 20%的米飯漿當作標準實驗基質、電子秤作為測量工具等，以完成這些實驗，過程非常辛苦但也非常值得，當然需要改善的空間還有很多，只能靠大家的努力。

二、 討論基質濃度的實驗外，其餘都使用濃度 20%之米飯漿作為標準基質，除了控制基質成分避免誤差，也考量醱酵容器與集氣瓶的容納量，讓排水量維持在可測量的範圍內，可惜仍有排水量超過的情形，是我們下次研究必須克服的目標。

三、 由實驗我們發現溫度不但影響產氣量，也會影響最高產氣量出現時間。相關研究也提到微生物最適生長溫度與最高容忍溫度接近，提高醱酵溫度使其接近最佳生長溫度，可讓產氣量大幅增加，同時縮短微生物處理相同質量有機物的時間。我們推測研究結果即因此原因所造成。

四、 從實驗中發現，大部分的產氣模式都屬於峰型(中間高，前後低)，最高排水量集中在量測的第 2、3、4 天。相關研究提到微生物有所謂的成長週期，由先而後分別為：遲滯期、對數生長期、穩定期和死亡期。遲滯期：細菌於新環境需要時間適應，此時細胞不分裂繁殖。對數生長期：此時細菌代謝作用最強，細胞也快速分裂，生長直線上升。穩定期：由於食物耗竭或代謝產物之累積，細胞分裂開始受到抑制，呈現不增加也不減少的狀態。死亡期：代謝產物累積過多，食物也沒有補充，細菌死亡率遠大於增值率，使得存活之細菌數目隨時間而減少。此原因會造成產氣量模式與生長週期雷同。

五、 實驗中採相同操作的樣本，排水量大部分都集中在一個範圍內。偶有異常突出的排水量。在基質與加熱固定的情況下，汙泥內的微生物多寡想必也會影響實驗的準確性。所以我們會先用篩網來過濾汙泥且均勻攪拌，希望能降低誤差。

六、 我們很訝異沒有攪拌過的米飯排水量竟比攪拌過的還多，且四種操作的平均產氣量更呈現攪拌時間愈久平均產氣量愈低的趨勢。我們查找期刊論文裡提到基質濃度對產氣量影響，當基質濃度過高時，產酸菌大量生長，其代謝廢物無法及時被甲烷菌分解，造成酸化累積 pH 值下降，進而抑制甲烷菌的生長。我們推測長時間的攪拌讓米飯均勻散布，供給酸化菌大量生長的空間，造成上述的情形。但我們的研究僅有單一濃度還不足以確定，往後還必須探討不同濃度是否亦有同樣的結果。

七、 我們將汙泥加熱至 80℃後排水量大幅下降，僅有量測第一天大於其他的組別。查詢相關學術報告，得知高溫下產甲烷菌會被殺死，反之產氫菌則會非常活躍。在低溫下產氫菌則沒有活性。從試燃加熱 80℃生產之氣體，火焰猛烈噴出卻又快速消失的情形也驗證收集到的氣體應為氫氣。我們推斷此實驗因高溫殺死產甲烷菌，然僅使用 34℃加熱，又讓產氫菌失去活性，導致產氣量大幅下降。

八、 汙泥經過冷凍後，產氣量反而較高，我們推測是否在低溫環境，細菌活動繁衍受到抑制，不致因缺乏食物而死亡，溫度升高後才又開始活動。但找不到相關的期刊論文，成為一個未解的謎團。

九、 從改變 pH 值的實驗中，我們發現醱酵容器內基質的酸鹼度也會影響產氣量的多寡。查詢相關研究報告發現，沼氣醱酵的最適 pH 值為 6.8-7.4。6.4 以下、7.6 以上都對產氣有抑制作用。pH 值在 5.5 以下，產甲烷菌的活動則完全受到抑制。添加鹽酸與氫氧化鈉大幅改變醱酵瓶內酸鹼值，對產氣量影響甚大，長期而且有效運作的厭氧醱酵槽，除了控制進料(基質)濃度、溫度、醱酵時間要斤斤計較外，pH 值的也是不容忽視的環節。

柒、 結論

一、 本實驗基質濃度，飯與水比例 20%、30%、40%下，濃度愈高產氣量愈多。最高產氣量產生時間，則是濃度愈低愈快發生。

二、 醱酵瓶周圍在室內至最高加溫溫度 34℃的範圍內，溫度愈高產氣量愈多。

三、 汙泥自生態池取出後不添加基質閒置，產氣量隨閒置時間愈長而遞減。

四、 厭氧醱酵時基質 pH 值會隨滯留時間增加而下降。

五、 添加鹽酸與氫氧化鈉大幅改變醱酵瓶內酸鹼值，對產氣量影響甚大，趨近中性的環境較適合厭氧醱酵的進行。

捌、 參考資料及其他

一、 參考資料

（一）國立苗栗高級農工職業學校。**『糞便變黃金』－不同基質來源及濃度與環境因子對沼氣生產之影響**。第49屆全國中小學科展。高職組，農業及生物科技科

（二）王文堯(2007)。**廚餘能源化處理之生命週期評估**。國立台北大學自然資源與環境管理研究所。

（三）陳雍熙(2002)。**殺菌劑混合物用於造紙濕端之藥效研究**。朝陽科技大學應用化學系。

（四）行政院環境保護署(2008)。**推動廚餘、水肥、養豬廢水及生活廢水產生之污泥集中處理及生質能源再利用可行性評估計畫**。

（五）張仕旻(2002)。**利用薄膜反應器於高溫厭氧產生物程序之研究**。國立成功大學環境工程學系。

（六）王明滄(2001)。**探討氧化還原電位作為 Clostridium butyricum 連續產氫之研究**。國立中央大學化學工程與材料工程所。

（七）范姜楷(2001)。**以CSTR 合併中空纖維微過濾膜組進行厭氣污泥連續式產氫醱酵**。逢甲大學化學工程學系。

（八）陳文欽(2009)。**厭氧生物消化程序處理有機性固體廢棄物暨資源化技術探討(第3 年)研究成果報告**。元培科技大學環境工程衛生系。

二、 誌謝

特別感謝平順畜牧場賴總經理、臺北科技大學房教授，以及苗栗農工畜保科陳老師的傾囊相授指點迷津，從研究過程的每一步到成果報告的修訂，都讓我們獲得寶貴的知識與明確的方向，再次感謝。

【評語】080201

能對生活化問題，因探究之發現新問題，繼之加以研究，並自創探究用工具。惟疏於數據的小心處理，致推論受影響。