

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 化學科

佳作

080203

廚餘變身『沼』出能源

學校名稱：苗栗縣苗栗市建功國民小學

作者：	指導老師：
小六 林延瑋	謝文娟
小六 陳登意	李宜佳
小六 翁赫辰	
小五 謝其煒	

關鍵詞：沼氣、厭氧醱酵、廚餘

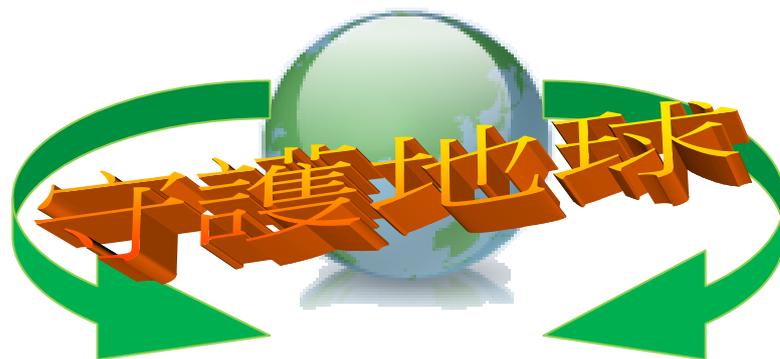
廚餘變身『沼』出能源

摘要

微生物分解有機質進行厭氧發酵，可以產生沼氣等可燃燒的氣體，轉化後便是一種很棒的能源。我們嘗試用不同種類的生活廢棄物混合生態池的泥巴來製成沼氣，發現濃度愈高產氣量愈高。澱粉、醣類物質容易被分解快速產生氣體，而蛋白質則不容易被分解，產氣量較低。另外，蔬菜烹調後，因為細胞被破壞比較容易被細菌分解，因此產氣量較高，而生蔬菜則不易被細菌分解產氣量低。透過這些實驗我們發現，許多生活廢棄物經過適當處理後，都可以成為微生物的食物，並轉換成能源，充分發揮每一分價值。超高油價時代，人類必須開發及使用替代能源，沼氣就是一種很好綠色能源新亮點。

壹、研究動機

地球是我們唯一的家，六年級下學期「永續家園」單元，教我們保護地球愛護生命。但人們過度消費，不斷破壞地球平衡的結果，造成海平面上升、極端氣候、狂暴天氣、糧食危機等，對地球萬物的威脅卻與日俱增。據報導瑞典城市，[克里斯提安斯塔](#)，十年前即誓言擺脫石化燃料，雖然一度被譏為不可能，但經過十年的努力，已經可以不靠石化燃料度過寒冷的冬天。雖然缺乏石化能源，但物產豐饒，不需要依賴暖氣維繫生命的臺灣，如果能善用沼氣、風力、太陽能與潮汐等綠色能源，一定可以重塑一個綠意盎然萬物共生的美麗寶島。



貳、研究目的

- 一、探討果皮類廚餘是否可以產生沼氣
- 二、探討主食類廚餘是否可以產生沼氣
- 三、蔬菜烹調前後產氣量是否有差異
- 四、探討基質分批加入及有無攪拌的差異
- 五、建置可連續蒐集沼氣的裝置

參、研究設備及器材

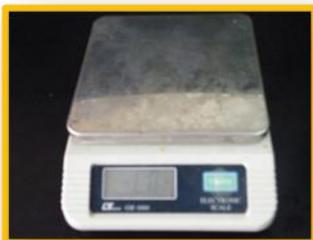
一、汙泥取得：水溝勺、水桶、有孔籃子



二、沼氣生成與蒐集：電子秤、果汁機、廣口瓶、橡膠塞、透明水管、自製木架、玻璃瓶、水族用加熱棒、循環沉水馬達

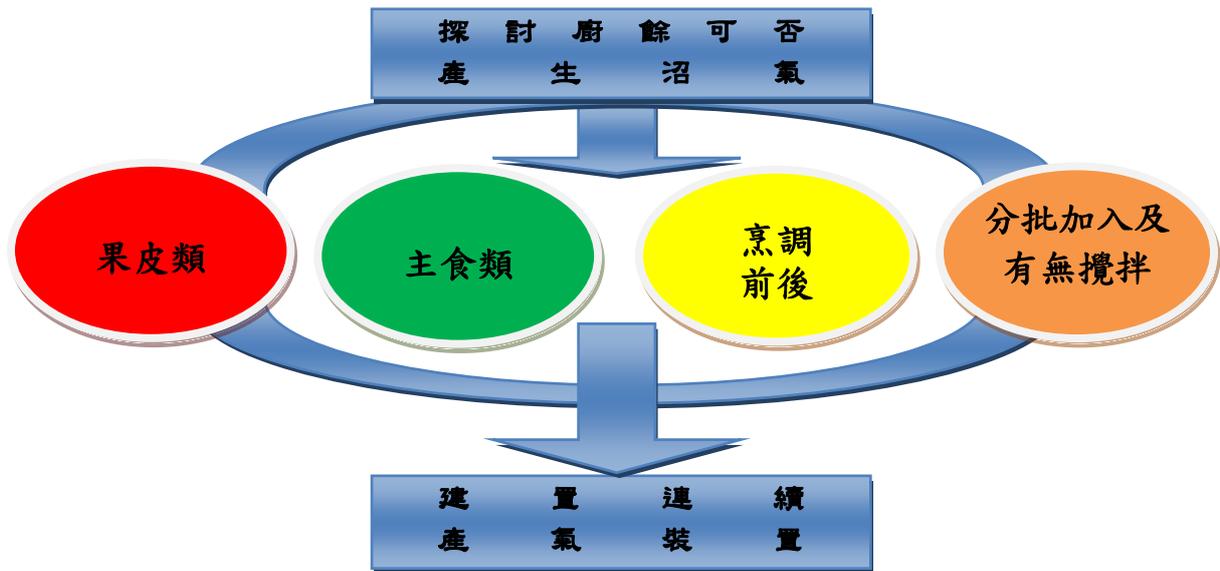


三、測量及紀錄：pH 計、電子秤、電子點火槍、自製可燃性測試架、電腦、相機、記錄表



肆、研究過程與方法

一、研究架構



二、文獻探討

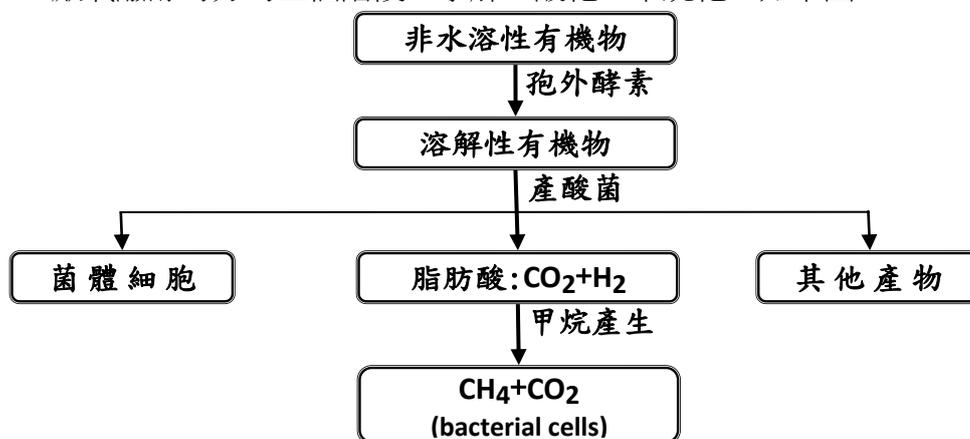
(一)沼氣

沼氣是有機物經微生物的厭氧發酵所產生的氣體，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 $5000\sim 5500\text{kcal/m}^3$ ($0.5556\sim 0.6111$ 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)厭氧發酵

厭氧發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。有機物的厭氧發酵，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，厭氧發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，發酵污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。

厭氧發酵可分為三個階段：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、有機負荷物。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°C 上下，與高溫醱酵接近 57°C 上下。

(四)台灣發展沼氣發電的優勢

1. 全年平均接近 30°C 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。(COD：化學需氧量)
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

使用多孔籃當作篩子，除去汙泥內的雜質，快速方便



3. 蒐集水果攤販不要的水果皮



4. 調配基質



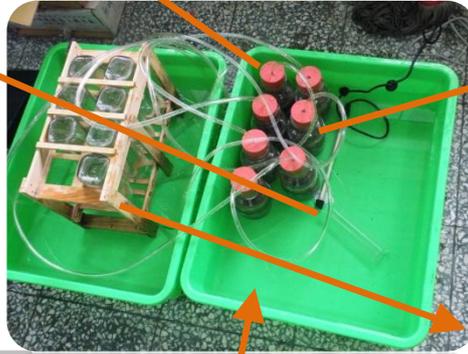
使用果汁機與電子秤以調配出不同濃度的基質



用橡膠塞加上廣口瓶
形成密閉空間，並收集氣體

5. 汙泥與基質加入醱酵瓶，置於恆溫水槽

使用水族箱用加熱
石英管，控制醱酵
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

DIY 木架，可以讓玻璃集氣瓶(520ml)整齊擺放，方便收集與測量



使用沉水馬達
循環水流，提高
水溫一致性

6. 測量排水量並記錄

集氣瓶添滿水，
再插入木架中繼
續收集氣體



7. 測試可燃性

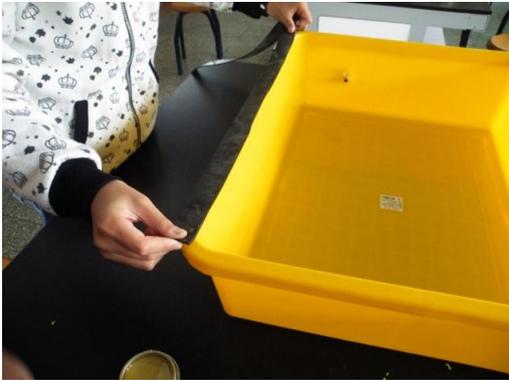


水加入方盒後流入玻璃瓶中，氣體會由蓋子上的金屬噴嘴排出，此時點火測試

用來測試收集到
氣體的可燃性之
電子點火槍



四、試做連續產氣裝置

第一代	
製作過程	說明
	 鑽完洞後，將排水開關、排氣開關用塑鋼土、防漏膠帶、熱熔膠等固定在桶緣上
	 上蓋黏貼防漏橡膠捆帶
	 上蓋、底蓋用橡膠捆帶固定，用電動起子鑽洞
	 兩人協力鎖上螺絲共 16 隻，便大功告成



成 品 展 示

說

明



上蓋全貌

- 1.側邊貼上黑色橡膠捆帶，上下蓋結合時可將螺絲之力道平均分散各區域，並增加密合性，降低漏氣的可能
- 2.排氣孔亦在此側



底盆全貌

下方設置排水口，可排放廢棄之基質



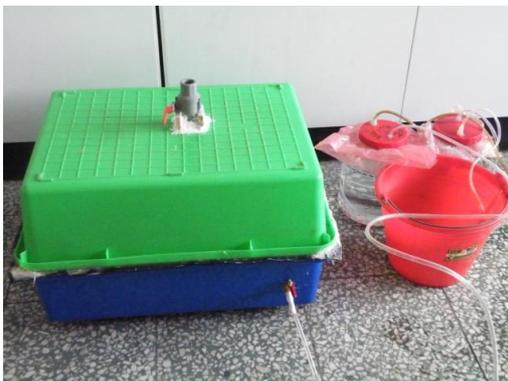
實 際 運 作

說

明



上蓋添加基質添加口
基質、污泥由此加入



成品全貌

連接排氣孔與集氣玻璃瓶、水桶



- 1.沼氣製備過程：一開始我們將 5000g 的汙泥配上 5000g 的基質，但結果不成功。推測因天氣較冷基質及汙泥不夠多，需要更多的汙泥及基質，因此改成 8000g 的汙泥加上 8000g 的基質。
- 2.發現與改進：(1)連續型產氣裝置處在室溫下，沒有適當控溫裝置，可能影響產氣量的多寡。
(2)由於沒有足夠的密閉裝置，因此大桶子的密閉程度有待加強。
(3)裝排水的塑膠桶無加蓋，水有可能蒸發。
(4)盆子無法真空，使得盆內的氣體無法確定是否都是沼氣。
- 3.下次製作改進重點為：A.提高氣密性，以利向下排氣法儲存氣體。
B.增加增溫、保溫裝置。

第二代



製作過程

說明



將真空袋的吸氣口改裝，套入醬料罐的瓶嘴



底盆內加入汙泥與基質，並套上改裝過的真空袋



連接排氣管與集氣瓶



主要改進項目

1. 使用真空袋提高氣密性。
2. 使用排水集氣法，降低收集氣體的困難性。
3. 使用加溫棒提高醱酵溫度。

五、拜訪平順牧場



平順牧場大門口



集氣槽



直接燃燒沼氣發電機



廢水處理曝氣池

伍、研究結果

* 本次研究所有基質之濃度，為各實驗討論物質與水的重量比 *

* 本次研究紀錄以實際排開水量為準 *

一、探討果皮類廚餘是否可以產生沼氣

(一) 鳳梨皮

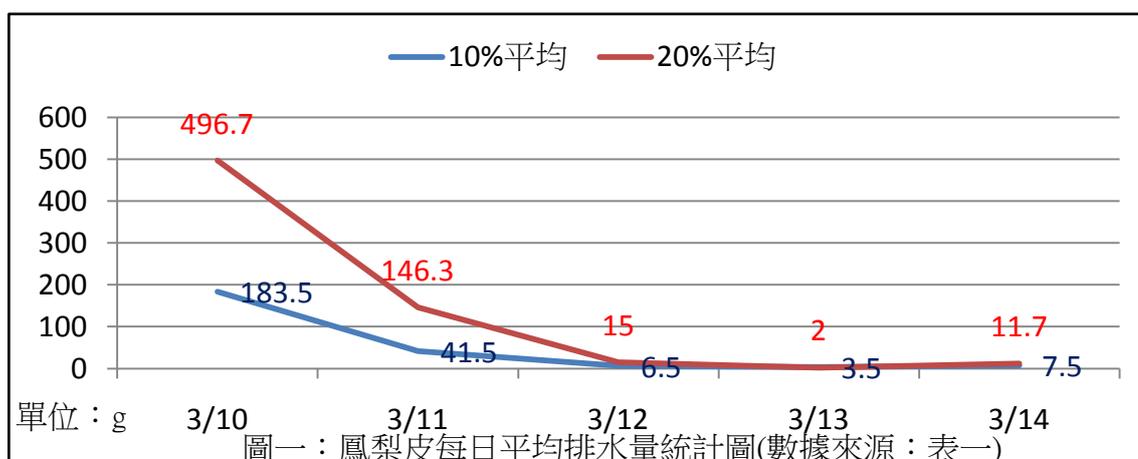
1. 實驗內容

控制變因	1. 同一天挖取之汙泥，每瓶 250g 2. 基質為同一批鳳梨皮製成，每瓶 200g 3. 加熱 34°C (中溫發酵)	
操縱變因	濃度不同(鳳梨皮與水的重量比) 1. 鳳梨皮 10% 2. 鳳梨皮 20%	
配 置 日	量 測 開 始	量 測 結 束
3/9	3/10	3/14
鳳梨皮 10%，pH 值	4.6	5.2
鳳梨皮 20%，pH 值	4.4	4.9

2. 實驗結果

鳳梨皮平均排水量統計(數據來源：附錄，記錄表，表一)

	3/10	3/11	3/12	3/13	3/14	總平均排水量
鳳梨皮 10% 平均 (單位：g)	183.5	41.5	6.5	3.5	7.5	43.26
鳳梨皮 20% 平均 (單位：g)	496.7	146.3	15	2	11.7	134.34



3. 發現與討論

- (1) 實驗結束 10% 和 20% 之 pH 值都高於一開始的 pH 值，不減反增，但幅度不大。
- (2) 排水量呈現前高後低的模式，表示產氣量愈來愈少。
- (3) 總平均排水量，鳳梨皮 20% 較高，濃度較高產氣量較多。

(二)甘蔗皮

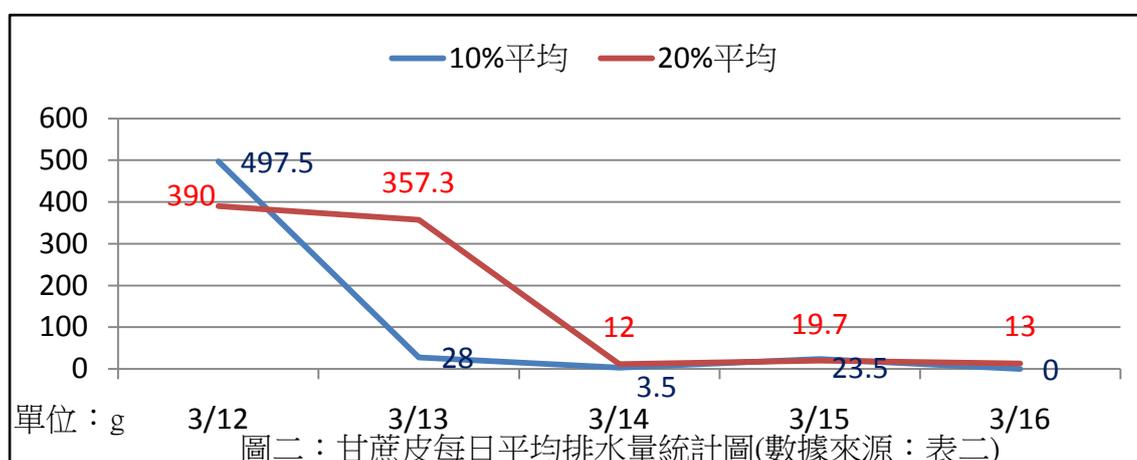
1.實驗內容

控制變因	1.同一天挖取之汙泥，每瓶 250g 2.基質為同一批甘蔗皮製成，每瓶 200g 3.加熱 34°C（中溫發酵）	
操縱變因	濃度不同(甘蔗皮與水的重量比) 1.甘蔗皮 10% 2.甘蔗皮 20%	
配 置 日	量 測 開 始	量 測 結 束
3/11	3/12	3/16
甘蔗皮 10%，pH 值	7.5	4.9
甘蔗皮 20%，pH 值	7.0	4.7

2.實驗結果

甘蔗皮平均排水量統計(數據來源：附錄，記錄表，表二)

	3/12	3/13	3/14	3/15	3/16	總平均排水量
甘蔗皮 10%平均 (單位：g)	497.5	28	3.5	23.5	0	110.5
甘蔗皮 20%平均 (單位：g)	390	357.3	12	19.7	13	158.4



3.發現與討論

- (1)10%和 20%一開始呈現為弱鹼性與中性，而結束時的 pH 值大幅下降。可見酸化情形很高。
- (2)排水量呈現前高後低的圖形，表示產氣量愈來愈少。
- (3)20%濃度較高者在第二天排水量仍很高，而 10%則是第二天馬上大幅下降，我們推測 20%在第二天仍可供給微生物發酵。10%則已被發酵完畢。
- (4)濃度較高排水量較高。

(三)香蕉皮

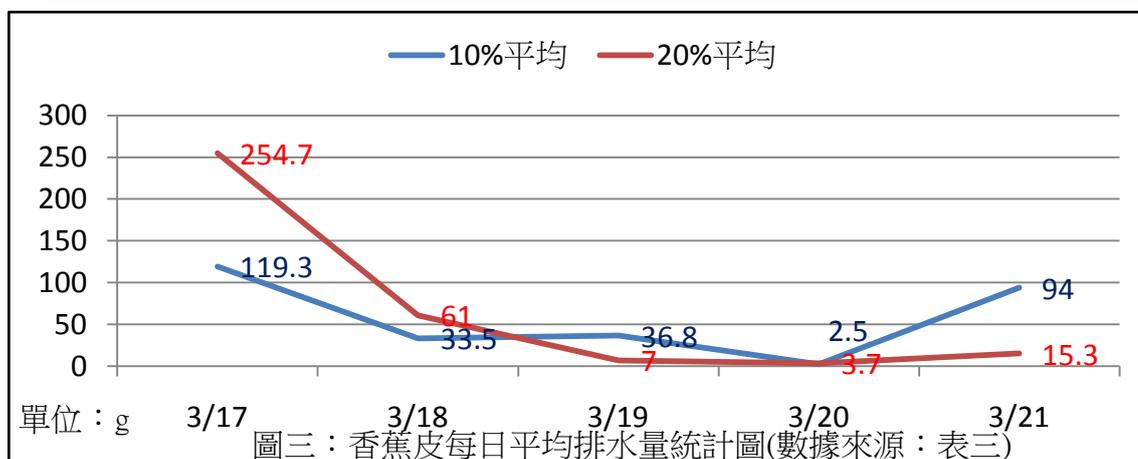
1.實驗內容

控制變因	1.同一天挖取之汙泥，每瓶 250g 2.基質為同一批香蕉皮製成，每瓶 200g 3.加熱 34°C（中溫發酵）	
操縱變因	濃度不同(香蕉皮與水的重量比) 1.香蕉皮 10% 2.香蕉皮 20%	
配 置 日	量 測 開 始	量 測 結 束
3/16	3/17	3/21
香蕉皮 10%，pH 值	6.8	8.5
香蕉皮 20%，pH 值	6.3	8.2

2.實驗結果

香蕉皮平均排水量（數據來源：附錄，記錄表，表三）

	3/17	3/18	3/19	3/20	3/21	總平均排水量
香蕉皮 10%平均 (單位：g)	119.3	33.5	36.8	2.5	94	57.22
香蕉皮 20%平均 (單位：g)	254.7	61	7	3.7	15.3	68.34



3.發現與討論

- (1)10%和 20%結束時量測的 pH 值高於開始，不減反增，甚至接近弱鹼性。
- (2)20%呈現前高後低的產氣模式，而 10%的產氣模式則沒有一定規律。
- (3)剛開始排水很高，後來產氣量越來越少，有下降的趨勢。
- (4)20%濃度較高排水量較高。

(四)蘋果皮

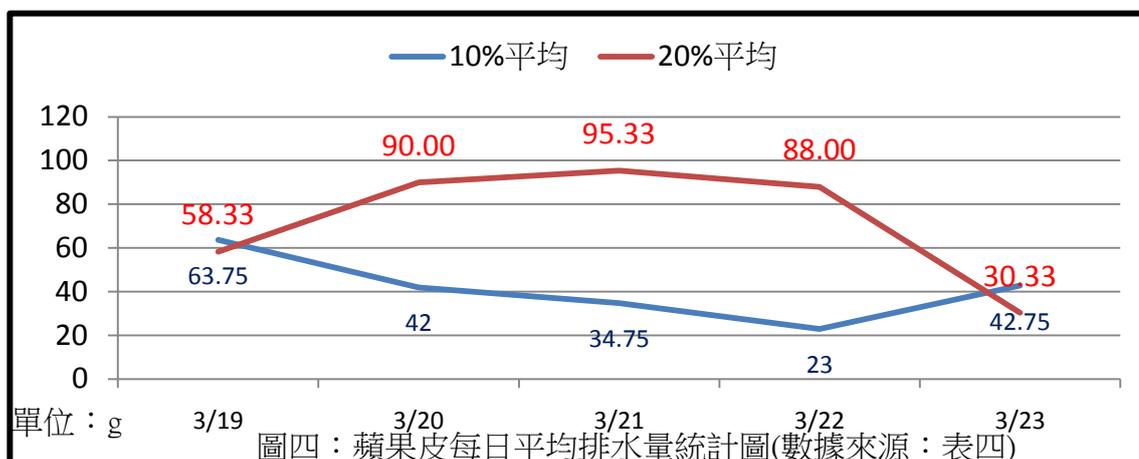
1.實驗內容

控制變因	1.同一天挖取之汙泥，每瓶 250g 2.基質為同一批蘋果皮製成，每瓶 200g 3.加熱 34°C（中溫發酵）	
操縱變因	濃度不同(蘋果皮與水的重量比) 1.蘋果皮 10% 2.蘋果皮 20%	
配 置 日	量 測 開 始	量 測 結 束
3/18	3/19	3/23
蘋果皮 10%，pH 值	4.9	4.5
蘋果皮 20%，pH 值	4.5	4.3

2.實驗結果

蘋果皮平均排水量統計(數據來源：附錄，記錄表，表四)

	3/19	3/20	3/21	3/22	3/23	總平均排水量
蘋果皮 10%平均(單位：g)	63.75	42	34.75	23	42.75	41.25
蘋果皮 20%平均(單位：g)	58.33	90.00	95.33	88.00	30.33	72.40



3.發現與討論

- (1)蘋果皮之 pH 值呈現酸性，且比其他組都低。
- (2)由排水量可看出產氣量與其他組比較，相對平穩，沒有大起大落的情形。
- (3)濃度較高排水量也較高。

二、探討主食類廚餘是否可以產生沼氣

(一)豆腐渣

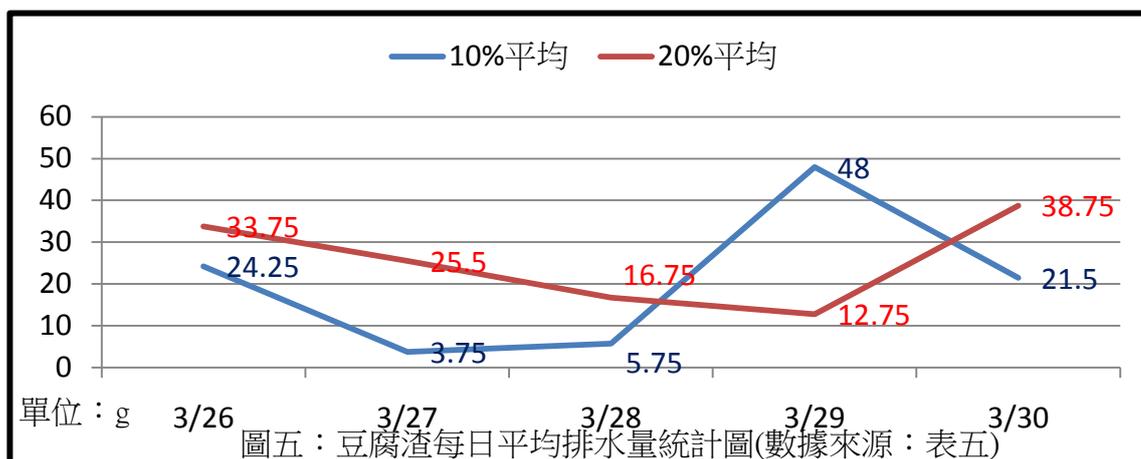
1.實驗內容

控制變因	1.同一天挖取之汙泥，每瓶 250g 2.基質為同一批豆腐渣製成，每瓶 200g 3.加熱 34°C（中溫醱酵）	
操縱變因	濃度不同(豆腐渣與水的重量比) 1.豆腐渣 10% 2.豆腐渣 20%	
配 置 日	量 測 開 始	量 測 結 束
3/25	3/26	3/30
豆腐渣 10%，pH 值	7.1	7.3
豆腐渣 20%，Ph 值	7.3	7.2

2.實驗結果

豆腐渣平均排水量統計(數據來源：附錄，記錄表，表五)

	3/26	3/27	3/28	3/29	3/30	總平均排水量
豆腐渣 10%平均(單位：g)	24.25	3.75	5.75	48	21.5	16.65
豆腐渣 20%平均(單位：g)	33.75	25.5	16.75	12.75	38.75	25.5



3.發現與討論

- (1)豆腐渣的 pH 值在實驗前後並沒有顯著變化，推測豆腐有添加鹼性物(鹼水、石灰)質幫助其凝固有相關。
- (2)豆腐渣的產氣量很少，我們推測因為組成為蛋白質，醣類、澱粉含量較少，提供微生物醱酵的物質很少，所以產氣量很低。
- (3)濃度愈高排水量愈高。

(二)麵包

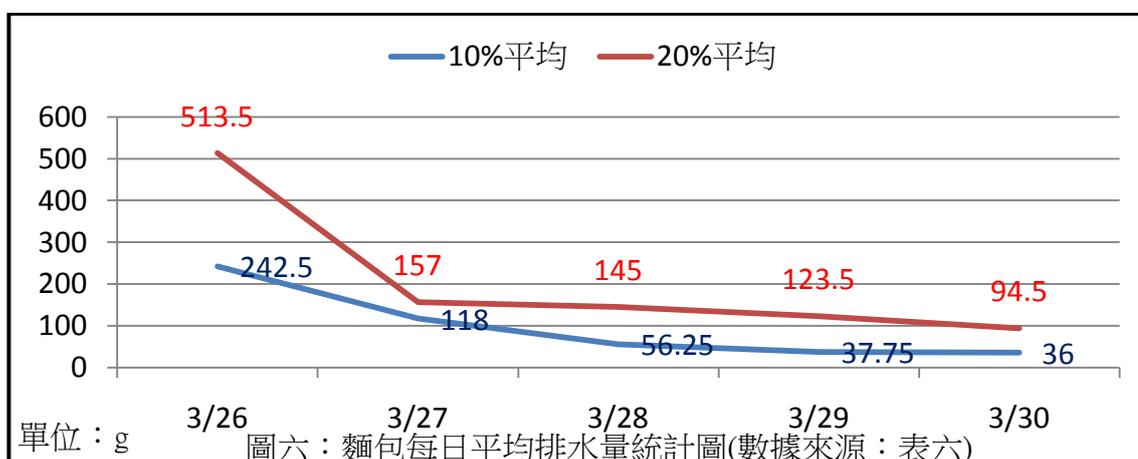
1.實驗內容

控制變因	1.同一天挖取之汙泥，每瓶 250g 2.基質為同一批麵包製成，每瓶 200g 3.加熱 34°C（中溫發酵）	
操縱變因	濃度不同(麵包與水的重量比) 1.麵包 10% 2.麵包 20%	
配 置 日	量 測 開 始	量 測 結 束
3/25	3/26	3/30
pH 值 10%	7.3	6.4
pH 值 20%	7.2	6.1

2.實驗結果

麵包平均排水量統計(數據來源：附錄，記錄表，表六)

	3/26	3/27	3/28	3/29	3/30	總平均排水量
麵包 10%平均 (單位：g)	242.5	118	56.25	37.75	36	98.1
麵包 20%平均 (單位：g)	513.5	157	145	123.5	94.5	206.7



3.發現與討論

- (1)兩者產氣模式類似。
- (2)與果皮類廚餘相較，麵包的排水量相對平穩，可見每日都有產氣，內含澱粉質較多，至量測結束仍有養分供給給微生物進行發酵。
- (3)濃度愈高排水量愈高。
- (4)實驗結束有酸化現象。

三、蔬菜烹調前後產氣量是否有差異

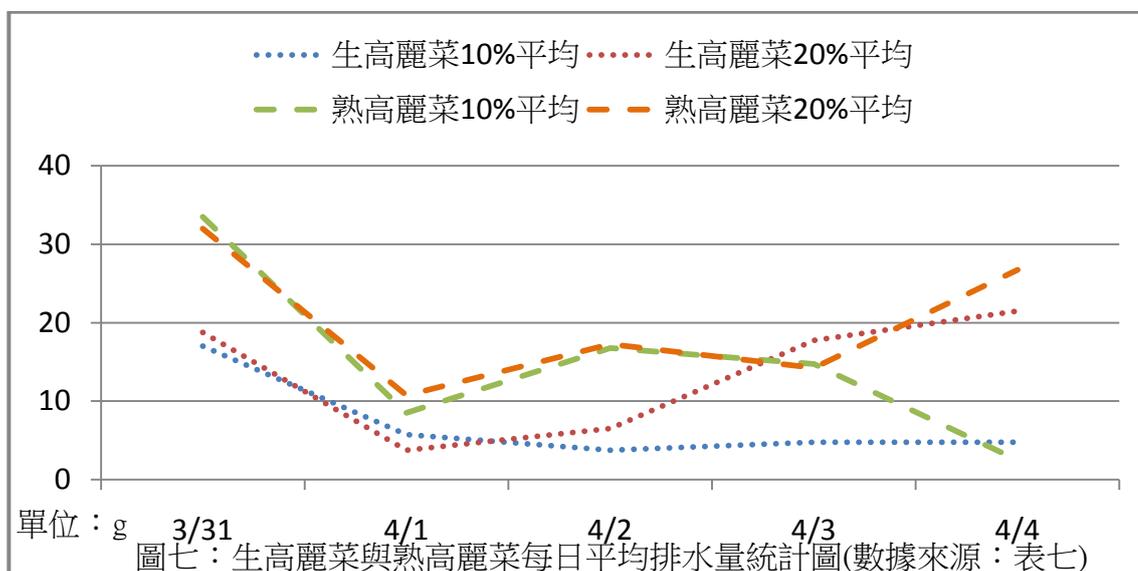
(一)實驗內容

控制變因	1.同一天挖取之汙泥，每瓶 250g 2.基質為同一批取得的高麗菜葉製成，每瓶 200g 3.加熱 34°C（中溫發酵）	
操縱變因	烹調前後及濃度不同 1.生高麗菜葉 10% 2.生高麗菜葉 20% 3.熟高麗菜葉 10% 4.熟高麗菜葉 20%	
配 置 日	量 測 開 始	量 測 結 束
3/30	3/31	4/04
生高麗菜 10%pH 值	7.2	6.3
生高麗菜 20%pH 值	7.0	5.6
熟高麗菜 10%pH 值	7.2	6.0
熟高麗菜 20%pH 值	7.0	5.7

(二)實驗結果

生高麗菜與熟高麗菜平均排水量統計(數據來源：附錄，記錄表，表七)

	3/31	4/1	4/2	4/3	4/4	總平均排水量
生高麗菜 10% 平均(單位：g)	17	5.75	3.75	4.75	4.75	7.2
生高麗菜 20% 平均(單位：g)	18.75	3.75	6.5	17.75	21.5	13.65
熟高麗菜 10% 平均(單位：g)	33.5	8.5	16.75	14.75	2.5	15.2
熟高麗菜 20% 平均(單位：g)	32	10.75	17.25	14.25	26.75	20.2



(三)發現與討論

- 1.實驗結束基質有酸化的現象。
- 2.生蔬菜產氣量較低，推測生蔬菜細胞未被破壞，較不易被細菌分解。
- 3.濃度愈高排水量愈高。
- 4.熟蔬菜產氣量比生蔬菜還多，我們推測是否是蔬菜烹調後比較容易被細菌分解，因此產氣量較高。

四、探討基質分批加入及有無攪拌的差異

(一)基質分批加入

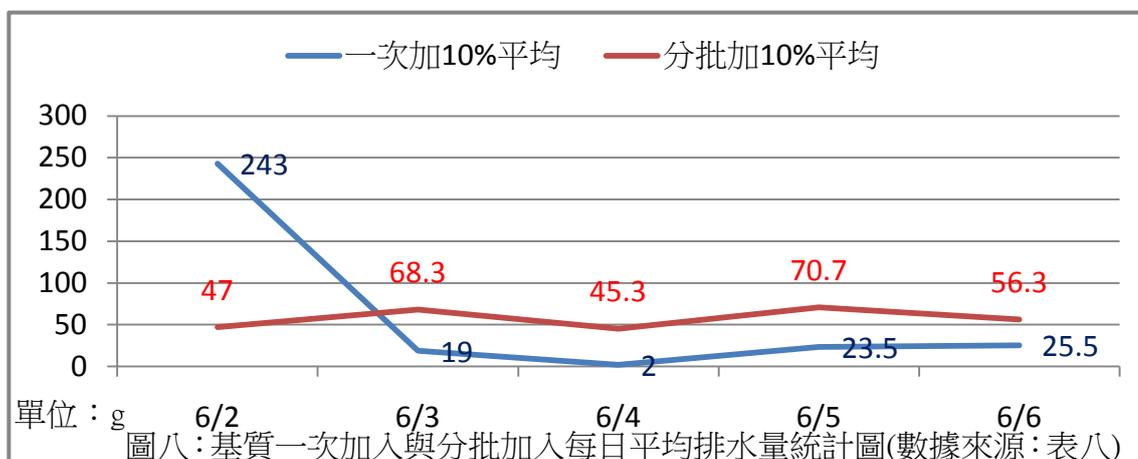
1.實驗內容

控制變因	1.同一天挖取之汙泥，每瓶 250g 2.基質為同一批鳳梨皮製成，每瓶 200g，10%(鳳梨皮與水的重量比) 3.加熱 34°C (中溫醱酵)	
操縱變因	1.一次加入 200g 2.分批加入，每天加入 40g	
配 置 日	量 測 開 始	量 測 結 束
6/1	6/2	6/6

2.實驗結果

基質一次加入與分批加入平均排水量統計(數據來源：附錄，記錄表，表八)

	6/2	6/3	6/4	6/5	6/6	總平均排水量
一次加 10% 平均(單位：g)	243	19	2	23.5	25.5	62.6
分批加 10% 平均(單位：g)	47	68.3	45.3	70.7	56.3	57.52



3.發現與討論

- (1)一次加入基質，第一天的產氣量很高，接著就大幅下降直到第五天結束。而分批加入，每日的產氣量均相差不大。
- (2)一次加入的總平均產氣量略高於分批加入，但相差無幾。

(二)有無攪拌

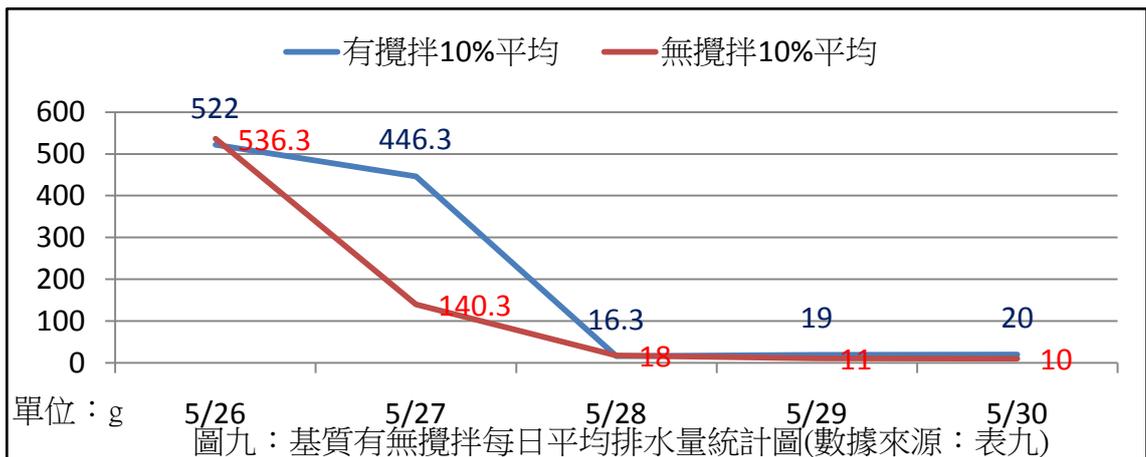
1.實驗內容

控制變因	1.同一天挖取之汙泥，每瓶 250g 2.基質為同一批鳳梨皮製成，每瓶 200g，10%(鳳梨皮與水的重量比) 3.加熱 34°C (中溫發酵)	
操縱變因	1.有攪拌 10% 2.無攪拌 10%	
配 置 日	量 測 開 始	量 測 結 束
5/25	5/26	5/30

2.實驗結果

基質有無攪拌平均排水量統計(數據來源：附錄，記錄表，表九)

	5/26	5/27	5/28	5/29	5/30	總平均排水量
有攪拌 10% 平均(單位：g)	522	446.3	16.3	19	20	204.72
無攪拌 10% 平均(單位：g)	536.3	140.3	18	11	10	143.12



3.發現與討論

- (1)兩者的產氣模式都是前高後低。
- (2)有攪拌的總平均產氣量高於無攪拌，可見攪拌可以幫助微生物分解基質。

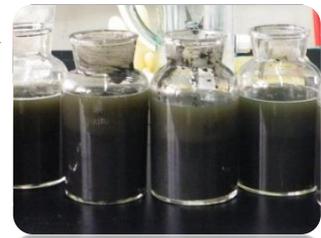
陸、討論

一、實驗裝置檢討與改進

(一) 醱酵瓶裝置修正



600 毫升礦泉水瓶改成玻璃廣口瓶，可加大受溫面積、防止傾倒



(二) 循環裝置修正



添加水循環系統，讓水溫更維持恆定

(三) 測量工具修正



改用更好的電子秤不但，更快速也更精確



二、我們不斷在錯誤中尋找合適的實驗器材，從去年用的 600ml 的寶特瓶，因寶特瓶本身較高、易倒，因此我們決定改良成 500ml 的廣口瓶當作厭氧醱酵瓶，也用 520ml 的玻璃瓶當作集氣瓶、濃度用 10% 和 20% 的果皮類、蔬菜類和主食類廚餘當作標準實驗基質、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。

三、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。

四、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。

五、從實驗中發現，大部分的產氣模式呈現「前高後低」，最高排水量集中在量測的前兩天。我們推測除醣類、澱粉溶解於水中，可以較快被分解外，可能汙泥內尚有許多微生物的食物未被分解完畢。

六、比較果皮類總平均排水量，發現甘蔗皮 20%排水量最高。推測甘蔗皮含糖量較高，所以產氣量較高。蘋果皮 10%最低，可能與其 pH 值較低，且濃度較低有關。

	總平均排水量
鳳梨皮 10%平均(單位：g)	43.26
鳳梨皮 20%平均(單位：g)	134.34
甘蔗皮 10%平均(單位：g)	110.5
甘蔗皮 20%平均(單位：g)	158.4
香蕉皮 10%平均(單位：g)	57.22
香蕉皮 20%平均(單位：g)	68.34
蘋果皮 10%平均(單位：g)	41.25
蘋果皮 20%平均(單位：g)	72.4

七、比較主食類總平均排水量，發現麵包 20%排水量最高。推測麵包因主要原料為澱粉，較容易被微生物分解，所以產氣量較高。而豆腐渣的產氣量表現均相當的低。

	總平均排水量
豆腐渣 10%平均(單位：g)	16.65
豆腐渣 20%平均(單位：g)	25.5
麵包 10%平均(單位：g)	98.1
麵包 20%平均(單位：g)	206.7

柒、結論

- 一、從實驗中發現基質濃度，濃度愈高產氣量愈多。
- 二、厭氧醱酵時基質 pH 值會隨滯留時間增加而下降。
- 三、pH 值會影響產氣量，接近中性的環境較適合甲烷菌活動。
- 三、蔬菜烹調後比較容易被細菌分解(煮熟的蔬菜容易腐敗，沼氣菌的食物來源是，酸化菌分解食物後的產物)，因此產氣量較高。生蔬菜不易被細菌分解，所以產氣量低。
- 四、成分差異會造成排水量不同，鳳梨皮、甘蔗皮等含醣量高，所以產氣量比較高，而豆腐渣含 40%蛋白質，因蛋白質不容易被分解掉，所以產氣量較低。
- 五、煮熟的食物較容易酸化腐敗，也較容易被微生物醱酵分解。
- 六、連續型產氣裝置處在室溫下，因沒有適當控溫裝置，所以會影響產氣量的多寡。這次無法得出數值，做為下次改進的方針。

捌、參考資料及其他

一、參考資料

- (一) 新北市經濟發展局，清潔生產資訊網，「活用沼氣 瑞典城市擺脫石油」報導
<http://www.tpc-factory.tw/dispPageBox/tpcCT.aspx?ddsPageID=TPCNEWS&dbid=4852914548>
- (二) 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
- (三) 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。
- (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) 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。
- (六) 苗栗建功國民小學。『廚餘生沼氣 能源免憂鬱』。第50屆全國中小學科展。國小組，化學科。

二、致謝

感謝苗栗農工畜保科陳老師多次給予協助，每每都在我們碰到困難的時候，提供即時的援助，學有專精、熱心助人是我們學習仿效的榜樣。

玖、附錄

紀錄表

表一，鳳梨皮

	3/9 pH 值	3月10日	3月11日	3月12日	3月13日	3月14日	3/14 pH 值	備註
鳳梨皮 10%1	4.6	512	90	5	1	8	5.2	異常不予計算
鳳梨皮 10%2	4.6	168	5	1	2	10	5.2	
鳳梨皮 10%3	4.6	199	78	12	5	5	5.2	
鳳梨皮 10%4	4.6	105						翻倒不予計算
鳳梨皮 20%1	4.4	2	14	15	0	8	4.9	異常不予計算
鳳梨皮 20%2	4.4	458	143	20	5	11	4.9	
鳳梨皮 20%3	4.4	516	133	7	0	0	4.8	
鳳梨皮 20%4	4.4	516	163	18	1	24	5	

表二，甘蔗皮

	3/11 pH 值	3月12日	3月13日	3月14日	3月15日	3月16日	3/16 pH 值	備註
甘蔗皮 10%1	7.5	504	56	7	46	0	4.9	
甘蔗皮 10%2	7.5	2	156	0	0	0	4.9	異常不予計算
甘蔗皮 10%3	7.5	134	154			6	4.9	異常不予計算
甘蔗皮 10%4	7.5	491	0	0	1	0	4.8	
甘蔗皮 20%1	7.0	348	321	3	0	9	4.7	
甘蔗皮 20%2	7.0	131	157	0		8	4.7	異常不予計算
甘蔗皮 20%3	7.0	502	488	5	36	5	4.7	
甘蔗皮 20%4	7.0	320	263	28	23	25	4.7	

表三，香蕉皮

	3/16 pH 值	3月17 日	3月18 日	3月19 日	3月20 日	3月21 日	3/21 pH 值	備註
香蕉皮 10%1	6.8	123	44	84	1	226	8.5	
香蕉皮 10%2	6.8	139	32	14	7	103	8.5	
香蕉皮 10%3	6.8	91	33	10	1	23	8.4	
香蕉皮 10%4	6.8	124	25	39	1	24	8.4	
香蕉皮 20%1	6.3	259	69	19	10	22	8.2	
香蕉皮 20%2	6.3	543	6	6	6	20	8.2	異常不予計算
香蕉皮 20%3	6.3	228	47	1	1	21	8.2	
香蕉皮 20%4	6.3	277	67	1	0	3	8.2	

表四，蘋果皮

	3/18 pH 值	3月19 日	3月20 日	3月21 日	3月22 日	3月23 日	3/21 pH 值	備註
蘋果皮 10%1	4.9	60	39	38	25	50	4.5	
蘋果皮 10%2	4.9	59	57	41	34	87	4.5	
蘋果皮 10%3	4.9	72	53	34	18	32	4.5	
蘋果皮 10%4	4.9	64	19	26	15	2	4.5	
蘋果皮 20%1	4.5	375	71	71	5	7	4.3	異常不予計算
蘋果皮 20%2	4.5	61	84	103	66	0	4.3	
蘋果皮 20%3	4.5	60	92	141	104	40	4.3	
蘋果皮 20%4	4.5	54	94	42	94	51	4.3	

表五，豆腐渣

	3/25 pH 值	3 月 26 日	3 月 27 日	3 月 28 日	3 月 29 日	3 月 30 日	3/30 pH 值
豆腐渣 10%1	7.1	60	0	1	18	17	7.4
豆腐渣 10%2	7.1	35	7	8	59	3	7.3
豆腐渣 10%3	7.1	2	0	3	13	29	7.3
豆腐渣 10%4	7.1	0	8	11	22	37	7.3
豆腐渣 20%1	7.3	86	16	15	16	44	7.2
豆腐渣 20%2	7.3	0	0	7	17	31	7.3
豆腐渣 20%3	7.3	14	36	13	8	41	7.2
豆腐渣 20%4	7.3	35	50	32	10	39	7.2

表六，麵包

	3/25 pH 值	3 月 26 日	3 月 27 日	3 月 28 日	3 月 29 日	3 月 30 日	3/30 pH 值	備註
麵包 10%1	7.3	248	140	42	50	37	6.4	
麵包 10%2	7.3	160	122	53	40	23	6.3	
麵包 10%3	7.3	172	63	60	18	18	6.4	
麵包 10%4	7.3	390	147	70	43	66	6.4	
麵包 20%1	7.2	515	171	124	124	95	6.1	
麵包 20%2	7.2	512	143	166	123	94	6.1	
麵包 20%3	7.2	0	0	0	0	0	6.2	異常不予計算
麵包 20%4	7.2	0	0	0	0	0	6.1	異常不予計算

表七，生蔬菜與熟蔬菜

	3/30 pH 值	3 月 31 日	4 月 1 日	4 月 2 日	4 月 3 日	4 月 4 日	4/4 pH 值
生高麗菜 10%1	7.2	4	0	0	0	10	6.6
生高麗菜 10%2	7.2	40	14	11	11	8	6.3
生高麗菜 10%3	7.2	23	0	4	4	0	6.2
生高麗菜 10%4	7.2	1	9	0	4	1	6.2
生高麗菜 20%1	7.0	60	15	28	16	5	5.7
生高麗菜 20%2	7.0	63	19	32	19	5	5.4
生高麗菜 20%3	7.0	10	0	7	17	0	5.7
生高麗菜 20%4	7.0	1	0	0	7	0	5.7
熟高麗菜 10%1	7.2	0	2	1	3	1	6.1
熟高麗菜 10%2	7.2	33	20	28	26	39	6.1
熟高麗菜 10%3	7.2	48	7	18	14	39	6.1
熟高麗菜 10%4	7.2	47	14	22	14	28	5.5
熟高麗菜 20%1	7.0	42	0	13	24	44	5.7
熟高麗菜 20%2	7.0	33	4	4	26	35	5.6
熟高麗菜 20%3	7.0	0	3	8	21	2	5.6
熟高麗菜 20%4	7.0	0	8	1	0	5	5.7

表八，一次加入與分批加入

	6月2日	6月3日	6月4日	6月5日	6月6日	備註
一次加 10%1	278	32	1	25	40	
一次加 10%2	208	6	3	22	11	
一次加 10%3	0	44	0	25		異常不予計算
一次加 10%4	88	36	1	309	352	異常不予計算
分批加 10%1	8	68	43	68	50	
分批加 10%2	493	36	48	69	51	異常不予計算
分批加 10%3	96	75	44	74	69	
分批加 10%4	37	62	49	70	50	

表九，有無攪拌

	5月26日	5月27日	5月28日	5月29日	5月30日	備註
有攪拌 10%1	482	509	18	53	31	
有攪拌 20%2	0	21	10	45	2	異常不予計算
有攪拌 20%3	614	396	24	4	29	
有攪拌 20%4	470	434	7	0	0	
無攪拌 20%1	509	195	20	24	20	
無攪拌 20%2	586	120	26	9	3	
無攪拌 20%3	0	58	25	4	1	異常不予計算
無攪拌 20%4	514	106	8	0	7	

【評語】 080203

1. 實驗裝置能逐次改進，控制變因。
2. 結論能依實驗範圍解釋。
3. 汙泥的厭氧菌控制量不等。
4. 若能將各種廚餘混合探討其產生氣體與單獨之相異處更接近現實。
5. 若能將 CO₂ 去除，更能達成能源使用之目的。