

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高職組 化工、衛工及環工科

第三名

091104

果皮也能變黃金-生物產氫

學校名稱：國立屏東高級工業職業學校

作者：	指導老師：
職二 劉韋廷	許珮玲
職二 劉國鋒	洪嘉佐
職二 蔡博皓	
職二 蕭淑方	

關鍵詞：厭氧菌產氫、G C、分光光度計

摘要

本研究中，我們利用厭氧發酵菌來分解果皮、米飯，由過程中找出厭氧發酵菌產氫最佳環境因子，在於反應槽中添加微量元素，以提供細菌生長於類似原生長環境。在一系列的研究下，最後找到最佳環境因子：培養溫度 35°C、反應前 pH 值約 7 左右、反應後 pH 值約 4.95 為最有利於厭氧產氫菌進行產氣。我們試著利用水果皮當做原料，加上我們所取來的菌種，以利產氫。不需要像利用廚餘那般還需要經過特殊處理，直接拿不要的水果皮產生氫氣，利用在我們生活上，這是更需要的便利！且十分有發展性可言，成本問題也頗能減少許多。

壹、 研究動機

眾所皆知，原油的蘊藏量是有限的，終會有耗盡的一天，所以依賴此能源的我們，危機感也日益嚴重，很多學者開始研究如何使用新的能源以因應能源短缺。目前看來氫能源會比石油環保，就以當作燃料來說，石油使用之後排放出來的二氧化碳，量太多對環境負擔大，也會使溫室效應更嚴重，而氫能源燃燒排出的是水，對環境沒有影響，因為此關係，氫能源在未來應該是可待開發的重要能源之一。

實驗室產氫，在普通化學實驗 I 電解水、普通化學 II 氧化「還原與電化學」課程中，得知簡單的氫氣製法，及其於能源的利用方式，我們希望以自然、環保的方式製造氫氣，例如：微生物產氫，並運用學校儀分實驗室的 GC 儀器，檢驗並操作。因為它不會像燃燒石油會產生廢氣，這方面著實令人思迷，而更引起我們進一步動作。

貳、 研究目的

- 一、 氫能源的製成方式
- 二、 生物產氫的可行性
- 三、 細菌產氫的條件控制
- 四、 營養源改變對產氫效能的影響
- 五、 應用與實用

參、研究設備與器材

一、實驗器材

項次	物品名稱	用途
1	加熱板	加熱與攪拌反應槽
2	攪拌石	協助攪拌
3	抽濾瓶	當作反應槽
4	電子天平	秤量藥品重
5	溫度計	量測恆溫槽內溫度
6	離心機	使菌與液沉澱分離
7	恆溫槽	控質批次實驗溫度
8	橡皮管夾	防止氣體溢出(用於抽濾瓶上段橡皮管)
9	定量瓶	配製所需藥品
10	量筒	排水集氣
11	針筒	抽取厭氧氫發酵產生氣體
12	燒杯	呈裝營養源與加熱菌種
13	pH計	檢測菌種反應前後pH值
14	氣相層析儀	分析氣體含量與成分
15	電腦	監測實驗
16	網路攝影機	監測實驗反應
17	恆溫控制器	恆定溫度

二、實驗藥品

項次	藥品名稱	用途
1	樹薯粉	營養源主原料
2	米飯	營養源主原料
3	果皮(鳳梨、甘蔗)	營養源主原料
4	Na ₂ HPO ₄ (磷酸氫二鈉)	緩衝溶液
5	NH ₄ H ₂ PO ₄ (磷酸二氫銨)	緩衝溶液
6	K ₂ HPO ₄ (磷酸氫二鉀)	生物所需微量金屬
7	MgCl · 6H ₂ O(氯化鎂)	生物所需微量金屬
8	MgSO ₄ · 6H ₂ O(硫酸鎂)	生物所需微量金屬
9	FeSO ₄ · 7H ₂ O(硫酸亞鐵)	生物所需微量金屬
10	CuSO ₄ · 5H ₂ O(硫酸銅)	生物所需微量金屬
11	CoCl ₂ · 6H ₂ O(氯化亞鈷)	生物所需微量金屬

肆、 研究過程與方法

一、文獻探討⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁶⁾

(一) 產氫方式

1. 化燃料重組產氫：

目前工業產氫的原料為甲烷(CH₄)—天然氣的主要構成成分。甲烷和水蒸氣在升溫下混合，將產生劇烈的吸熱反應： 反應： $\text{CH}_4+\text{H}_2\text{O}\rightarrow\text{CO}+3\text{H}_2$

2. 水的電解原理：

一般的電解是使用水狀的鹼性電解液，例如：重量百分比為 30%KOH 或 NaOH，正負電極區域為一微孔薄膜所隔離。

在陽極(亦即，鐵或鎳)反應： $\text{H}_2\text{O}\rightarrow 2\text{H}^++1/2\text{O}_2+2\text{e}^-$ ；陰極為： $2\text{H}^++2\text{e}^-\rightarrow\text{H}_2$

3. 氨裂解製氫：

氨裂解法是合成氨的逆反應。使用鎳或鐵做催化劑，反應溫度 800~1000℃。本法氫氣產量只適合小規模產氫，且生成氣中有 1/4 的氮，要進一步分離提純氫氣。但由於生成氣中不含一氧化碳，故對低溫燃料電池有利。 反應： $2\text{NH}_3\rightarrow\text{N}_2+3\text{H}_2$

4. 新型氧化物材料製氫：

採用新型氧化物材料”鐵改性稀土高氧化物 ” 利用溫度擺動 300~700℃ 並配合甲烷和水汽交換實現了低溫、無催化劑的製氫新方法。

5. NaBH₄ 的催化水解：

利用 NaBH₄ 的催化劑水解反應，可在常溫下生產高純度氫氣，且產生的氫氣不含 CO，適合用作質子交換膜燃料電池或過度性內燃機的燃料源。

反應： $\text{NaBH}_4+2\text{H}_2\text{O}\rightarrow 4\text{H}_2+\text{NaBO}_2 \quad \Delta H = -212.208$

6. 微生物產氫：

利用生物觸媒催化有機物或水分子裂解產氫，可資源利用的生物觸媒包括厭氧氫發酵菌、光合成產氫細菌、部分藻類，其中以厭氧氫發酵菌與光合成產氫細菌的光合發酵，具有能力將有機生質物轉化為氫氣的能力，具有環保的概念，且產器速度快。

反應： $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6+2\text{H}_2\text{O}\rightarrow 2\text{CH}_3\text{COOH}+2\text{CO}_2+4\text{H}_2+184.2 \text{ kJ/mol}$

$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6\rightarrow\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}+2\text{CO}_2+2\text{H}_2+257.1\text{kJ/mol}$

7. 電解 NaCl_(aq)：

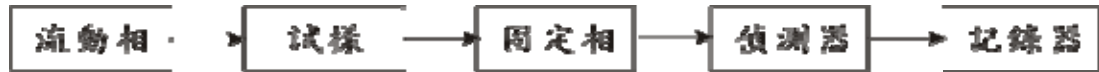
NaCl_(aq) 電解時，因水比鈉離子的還原電位大，表示 H₂O 比 Na⁺ 容易獲得電子，因此陰極反應終會有氫氣產生，而鈉金屬以氫氧化鈉存在。

反應： 陽極： $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$ 陰極： $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

二、儀器⁽³⁾⁽⁴⁾

(一) 氣相層析儀

- 1.基本原理：試料注入層析儀後，混何物中之各成分被移動相帶著通過固定相，因為移動速率隨成分而不同，因此可茲分離。



2.應用：

(1)定性分析：〔檢測氫氣是否存在〕

- A.層析法可依其滯留時間，或經一段時間後在固定相中的位置，來做確認分析。
- B.層析法可做成份存在與否的檢定。

(2)定量分析：〔檢測氫氣濃度〕

- A.依據：管柱層析之定量分析峰的高度或面積。
- B.方法：標準檢量線：先建立不同濃度標準物之高度—濃度或體積—濃度關係圖，求得未知液之濃度。

(二) pH 計

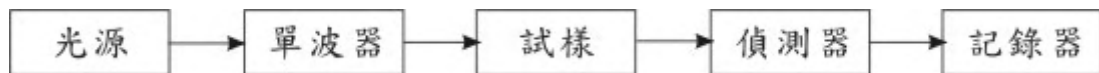
- 1.測量原理:藉著兩電極間的電位差變化,可測得溶液中的 pH 值。

2.應用

- (1)水溶液酸鹼性測定—測量溶液中之 pH 值
- (2)酸鹼中和,當量點之求計算—中和滴定,求未知液之濃度。
- (3)求酸之游離常數。

(三)分光光度計:

- 1.測定原理:利用光譜學原理進行分析。
- 2.基本構造:



(分光光度計)



(氣相層析儀)

二、實驗原理⁽¹⁾⁽⁵⁾

在參考許多產氫方式，大多需要耗費大量資源，其中以生物產氫，以簡單的方式就可以產生氫氣，所以我們以生物產氫作為研究的主旨

生物產氫是利用生物觸媒催化有機物或水分子裂解產氫，可利用的生物觸媒包括厭氧氫發酵菌、光合成產氫細菌、藍綠菌與部分綠藻類。其中厭氧氫發酵菌的厭氧產氫發酵與光合成產氫細菌的光合發酵，具有將有機生質轉化為氫氣的能力。

養菌產氫通常是在不同的溫度、pH 值及所供應的碳水化合物原料，會有不同的產能。所供應的原料可為碳水化合物，例如：葡萄糖、澱粉、纖維素等等。



三、考慮條件：

(一)菌種來源：

採樣於學校不同地方水溝污水及養殖廠中豬舍污水，將此污水加熱至 100°C 使水中水中甲烷菌滅除，保持我們所要的菌。

(二)營養源的取捨：

1.基本條件之建立：

(1)營養源配製：

營養源的成分為澱粉，並加入化學藥品做緩衝液和補充微量金屬給細菌，調整 pH 值，在取捨時以 20 mL 菌種搭配 200 mL 營養源。

(2)緩衝液： (a)磷酸

1. Na_2HPO_4

2. $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

(b)碳酸

1. $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$

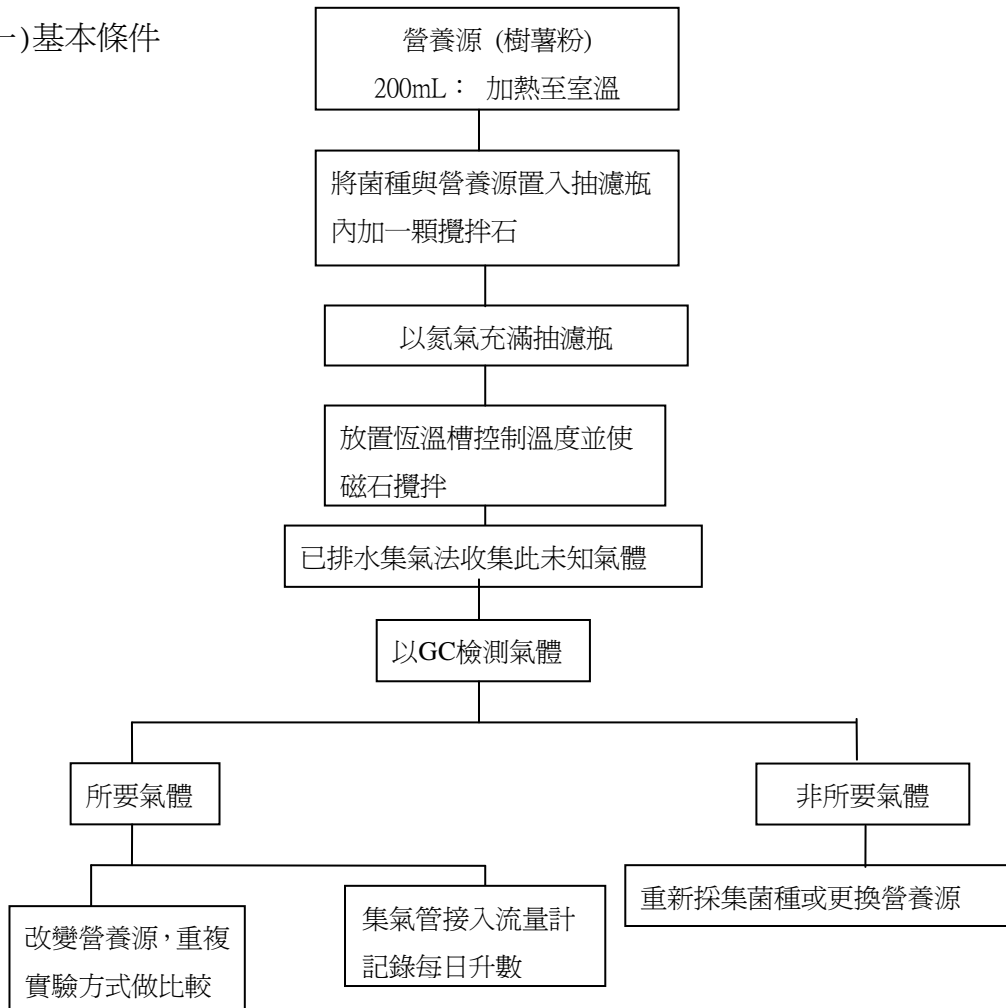
2. NH_4HCO_3

2.改變營養源：利用果皮測試。

(四)連續式進料

四、 實驗設計⁽⁷⁾：

(一)基本條件



〔圖一〕



調配藥品



配製營養源



篩菌

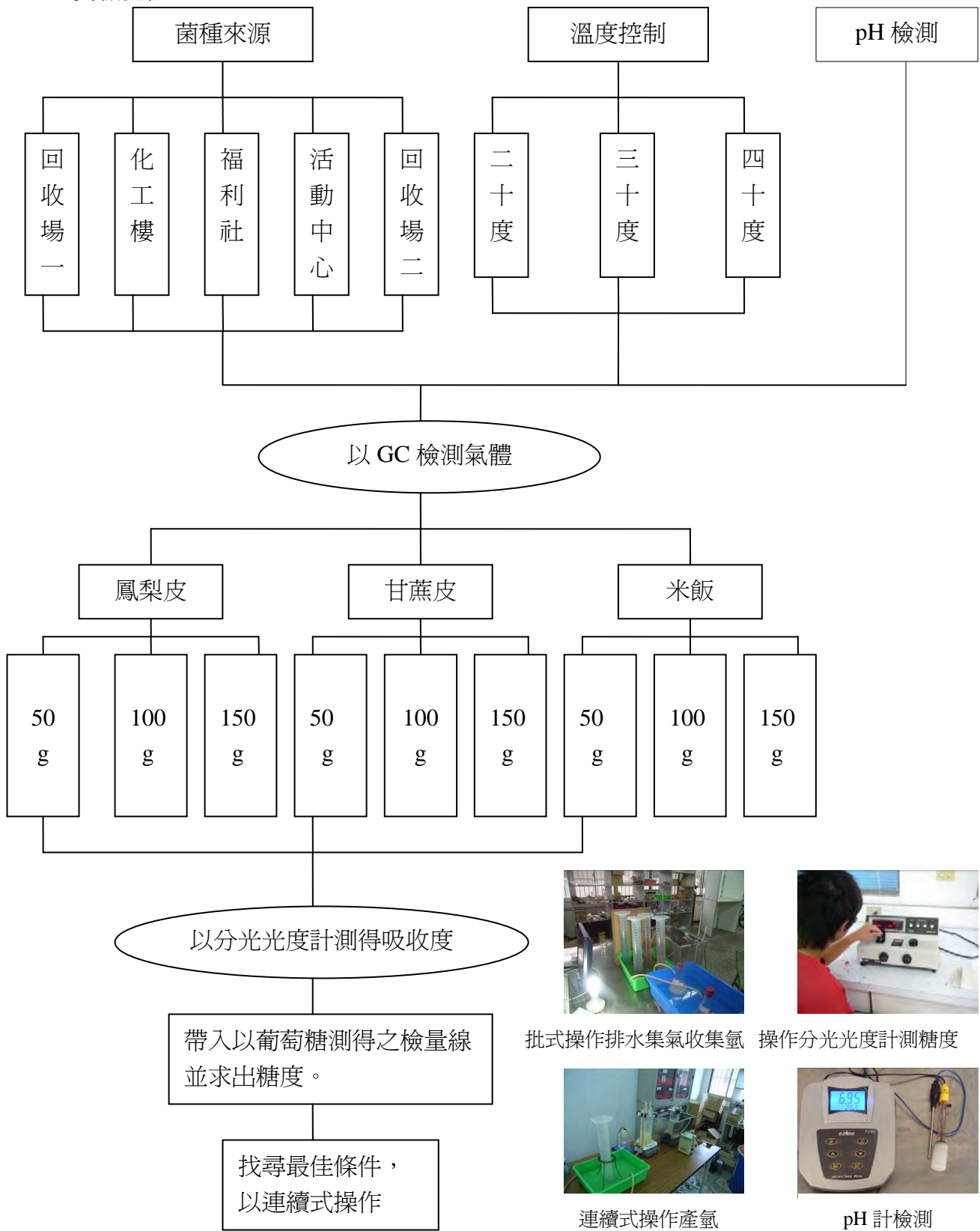


收集氣體



以 GC 檢測氣體

二、實驗流程



(圖二)

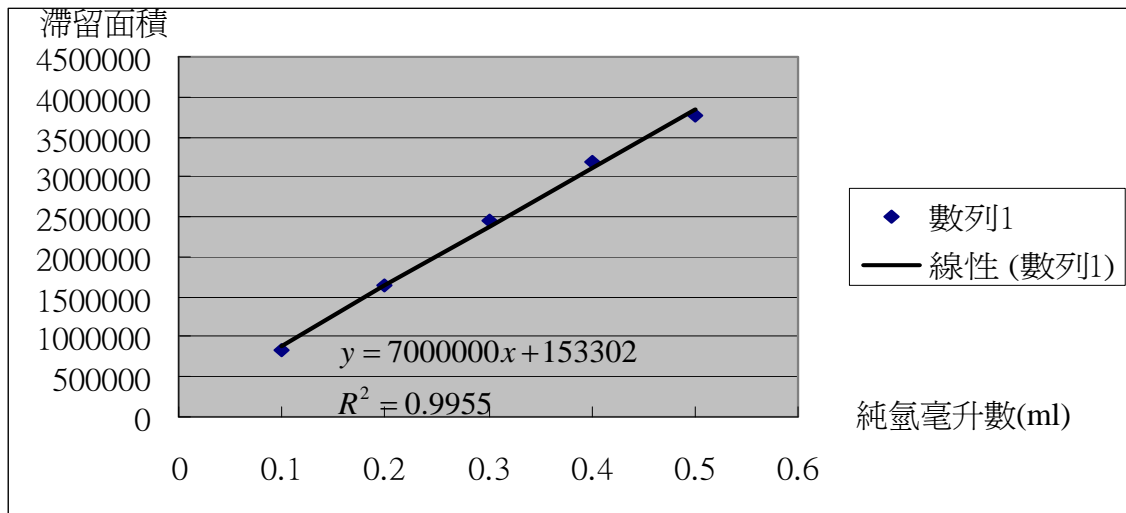
五、研究結果

(一)基本條件探討

1.純氫檢量線製作

【表一】檢量線數據

純氫毫升數(ml)	滯留面積
0.1	823486
0.2	1646693
0.3	2452201
0.4	3174728
0.5	3754420



【圖三】純氫檢量線圖

2.氫純度檢驗：

【表二】氫純度數據

組別	一	二	三	四	五
滯留面積	2740319	2618206	1885753	884792	2218908
氫氣濃度	36.96%	35.21%	24.75%	28.00%	29.50%

討論：

- (A) .厭氧菌以營養源培養，檢驗後可以產生氫氣。
- (B) .我們取的菌種檢驗之後純度最高達 36.96%。
- (C) .平均大約在 30.88%左右。

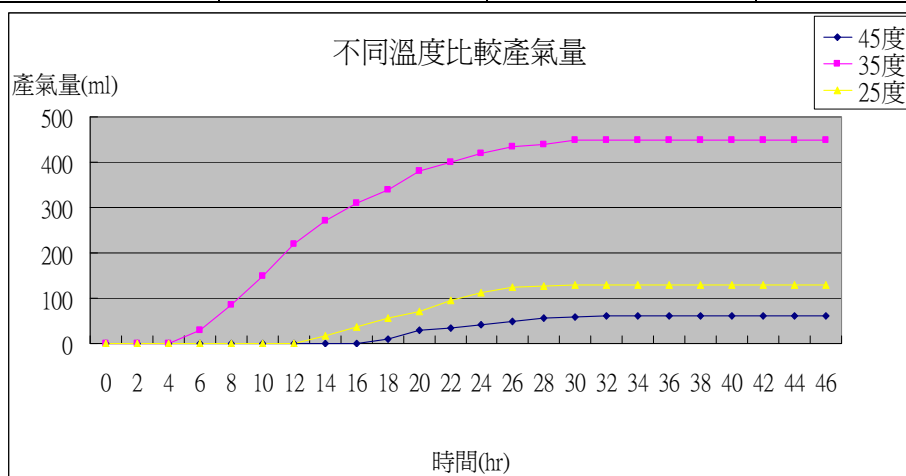
3.影響因素

A.溫度

a.溫度與產能的比較（數據一） 200ml 營養源

【表三】溫度與產能的比較表

溫度 產氣量(ml) 時間(hr)	25°C	35°C	45°C
0~4	0	0	0
6	0	30	0
8	0	85	0
10	0	150	0
12	17	220	0
14	36	270	0
16	56	310	0
18	71	340	10
20	94	380	30
22	112	400	35
24	125	420	41
26	128	435	50
28	130	440	56
30	130	448	58
32	130	450	60
34	130	450	60
36	130	450	60
38	130	450	60
40	130	450	60

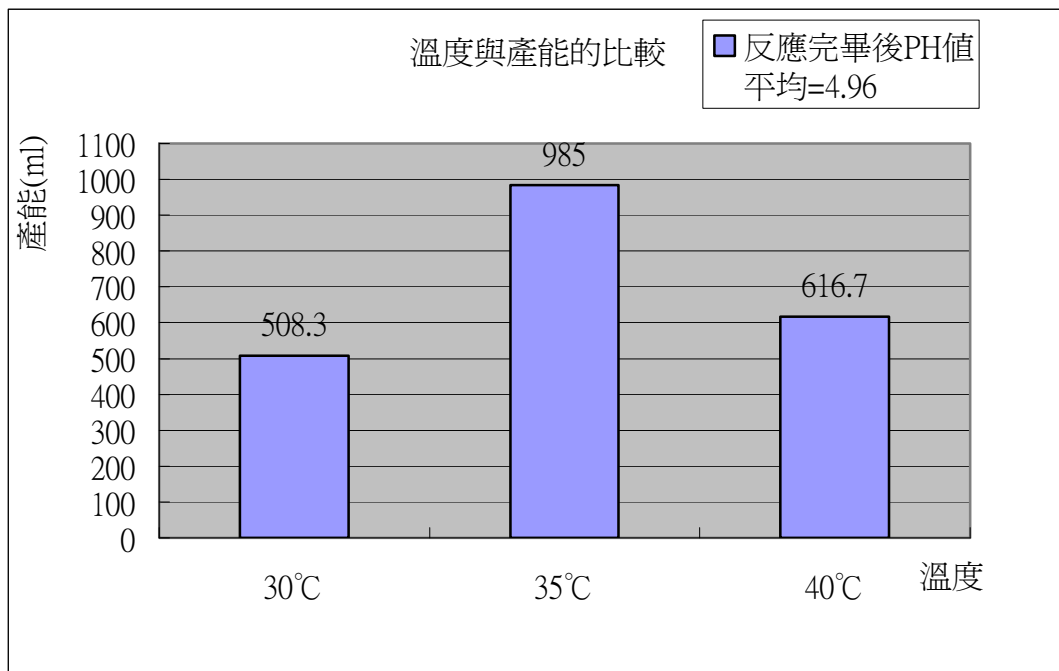


(圖四)

(數據二)

【表四】溫度與產能的比較表

次數 產能 溫度	一	二	三	四	五	六	平均	H ₂ 產量(ml)	產率 (%)
25°C	570ml	530ml	410ml	500ml	490ml	550ml	508.3ml	156.96ml	9.63%
35°C	1030ml	810ml	990ml	960ml	1190ml	930ml	985.0ml	304.17ml	18.66%
45°C	620ml	650ml	580ml	620ml	630ml	600ml	616.6ml	190.41ml	11.68%



【圖五】溫度與產能的比較圖

討論

(A)從以上數據可以發現，厭氧菌在約 35°C 的氣體產量較其他溫度高。

$$(B) \text{產率}\% = \left\{ \frac{V_{\text{營養源}} \times \left[15 \times \left(\frac{0.9}{162} \right) \times 4 \right] \times R \times T}{P} \right\} \times 100\%$$

B.pH 值

a.反應前後 pH 值

【表五】 pH9 反應前後 pH 值、產氣量

時間(hr)	組別	一	二
	產氣量(ml)		
1~24		0	0
	反應前 pH 值	9.23	9.07
	反應後 pH 值	9.20	9.06

【表六】 pH8 反應前後 pH 值、產氣量

時間(hr)	組別	一	二
	產氣量(ml)		
1~24		0	0
	反應前 pH 值	8.38	8.65
	反應後 pH 值	8.35	8.60

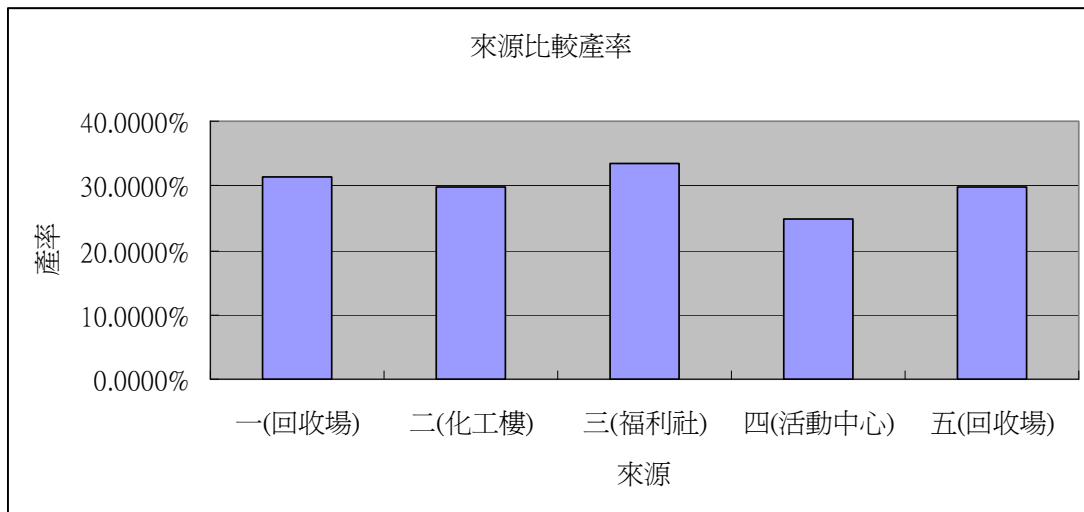
【表七】 pH7 應前後 pH 值、產氣量

時間(hr)	組別	一	二	三	四	五	六
	產氣量 (ml)						
1~11		0	0	0	0	0	0
12		10	15	12	10	18	20
13		30	42	35	35	40	43
14		75	80	70	75	90	85
15		120	130	127	130	145	140
16		190	195	195	192	214	200
17		270	265	257	260	280	265
18		345	323	310	322	335	312
19		400	375	360	369	372	367
20		450	410	400	408	402	410
21		460	430	425	425	428	430
22		470	430	425	445	443	453
23		470	430	425	445	443	453
24		470	430	425	445	443	453
	反應前 pH 值	7.04	7.06	7.01	7.08	7.03	7.06
	反應後 pH 值	4.67	4.83	5.02	5.19	5.01	4.99

4.不同來源

【表八】來源比較總產率（溫度維持 35°C）

來源	一 (回收場)	二 (化工樓)	三 (福利社)	四 (活動中心)	五 (回收場)
總產率	31.3637%	29.8049%	33.4352%	24.8302%	29.6777%



【圖六】來源比較總產率圖

討論：

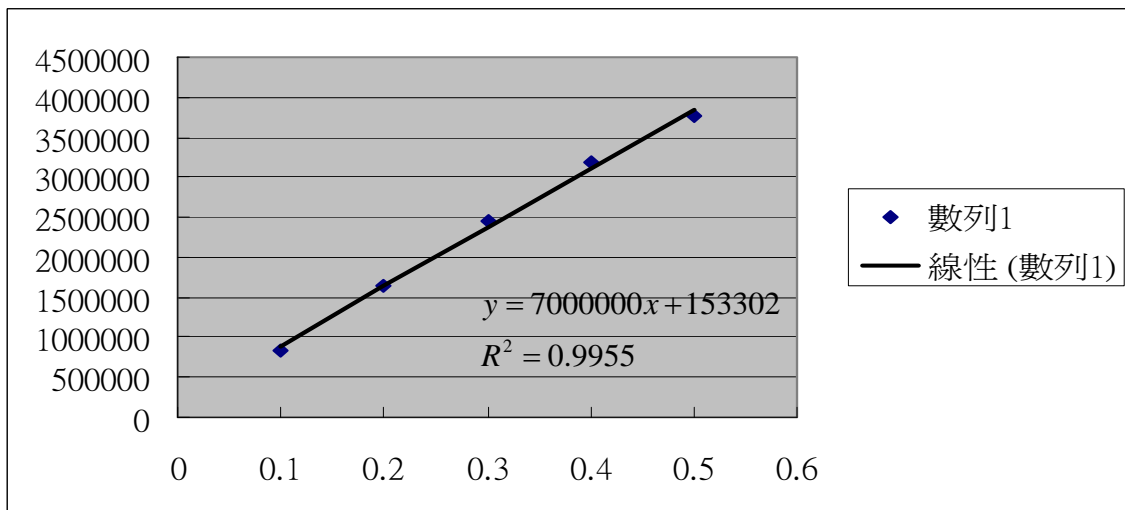
- (A).來源不同的菌以相同的營養源培養，氣體產量差不多，但以福利社的菌為最佳。
- (B).也就是說來源取得容易。

5.改變營養源：（果皮、廚餘）

A.氫濃度檢測

【表九】不同果皮之滯留面積

種類 滯留面積 次數	鳳梨	甘蔗	米飯
一	2357308(33.65%)	2807347(37.91%)	2299904(30.67%)
二	1497258(19.20%)	2561992(34.41%)	2380458(31.82%)
三	2571734(34.55%)	1553976(20.01%)	1924169(25.30%)
四	1077104(13.20%)	2362637(31.56%)	3267414(44.49%)
五	1914024(25.15%)		2593338(34.86%)
六	1377562(17.49%)		



(圖七)

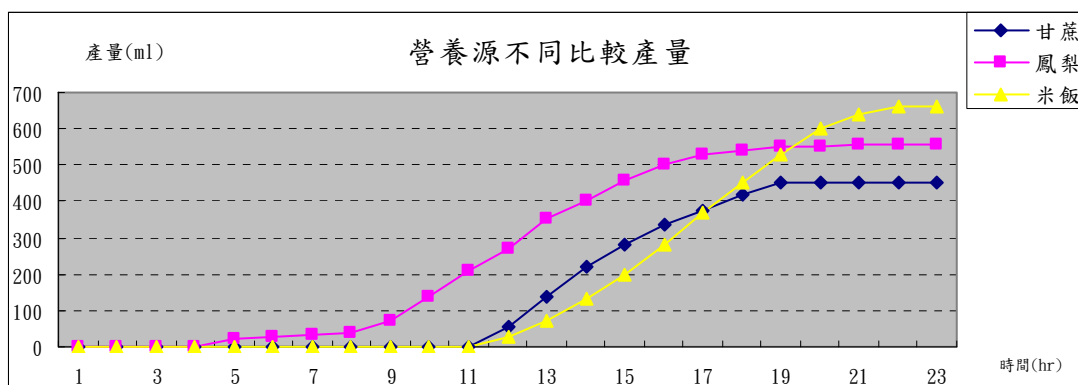
【表十】不同果皮之氫濃度

營養源	氫濃度(%)
鳳梨	23.87(%)
甘蔗	30.97(%)
米飯	33.41(%)

B.不同營養源之產氣量比較

【表十一】不同營養源之產氣量比較

營養源 總產氣量(ml) 時間(hr)	30g 甘蔗皮/ 200ml 營養源	30g 鳳梨皮/ 200ml 營養源	30g 米/ 200ml 營養源
1~4	0	0	0
5		20	
6		25	
7		35	
8		40	
9		70	
10		140	
11		210	
12	55	270	30
13	140	350	70
14	220	400	130
15	280	460	200
16	335	500	280
17	370	530	370
18	420	540	450
19	450	550	530
20	450	553	600
21~23	450	557	640
反應前 pH 值	6.86	6.96	7.03
反應後 pH 值	5.83	5.98	5.76



(圖八)

討論：

(A).我們拿鳳梨、甘蔗、米飯來實驗，發現米飯產量最佳，而鳳梨最快開始產氣。

C. 糖度檢測

【表十二】檢量線製作

標準液濃度 (g/L)	0	0.005	0.01	0.015	0.02	0.03
標準液濃度(ppm)	0	5	10	15	20	30
吸光度	0.040	0.106	0.137	0.215	0.245	0.378

$$Y=0.09x-0.0035$$

【表十三】糖度檢測

	鳳梨	甘蔗	米飯
濃度 (g/L)	0.03	0.03	0.03
吸光度	0.046	0.088	0.55
糖分含量 (g/L)	21.33	147.33	557.45

(a)每克糖轉換的氫氣量

鳳梨

$$(570+380)\text{ml} \times 0.2387 \times 5 = 1879.7625$$

$$1879.7625 / (21.33 \times 3) = 29.37 \text{ml H}_2 / \text{g}$$

甘蔗

$$(510+380)\text{ml} \times 0.3097 \times 5 = 1387.165$$

$$1387.165 / (147.33 \times 3) = 3.13 \text{ml H}_2 / \text{g}$$

米飯

$$(770+380)\text{ml} \times 0.3341 \times 5 = 1286.285$$

$$1286.285 / (557.45 \times 3) = 0.76 \text{ml H}_2 / \text{g}$$

討論：

A. 以分光測得米飯糖度最多，雖然果皮含糖量較少，但是產生的氫氣跟米飯比較差不多。

(b)果皮作為營養源之氫濃度

鳳梨皮: 150g 配製成 1L , 200ml 營養源 產 570ml+瓶內 380ml

$$(570+380)*0.2387 = 226.765\text{ml } (\text{H}_2)$$

$$1.51*5 \text{ H}_2 = 7.56 \text{ ml H}_2 / \text{g 鳳梨皮}$$

甘蔗皮: 150g 配製成 1L , 200ml 營養源 產 510ml + 瓶內 380ml

$$(510+380)*0.3097 = 275.633 \text{ ml H}_2$$

$$1.84*5 = 9.19 \text{ ml H}_2 / \text{g 甘蔗皮}$$

米飯 150g 飯 → 55.56g 米 配製成 1L 200ml 營養源 (產 770ml+瓶內 380)

$$(770+380)*0.3341 = 384.215\text{ml}$$

$$(384.215*5) / 55.56 \text{ ml} = 34.58\text{ml H}_2 / \text{g 米}$$

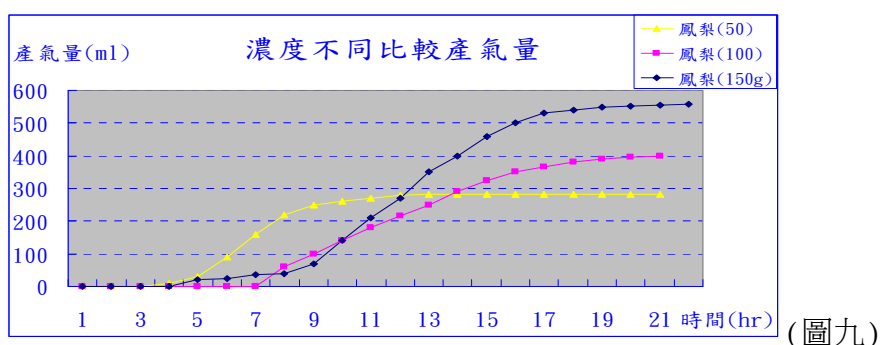
【表十四】每克營養源產生氫氣量

營養源	氫濃度(%)	每克糖產氫量(ml)	每克果皮產氫量(ml)
鳳梨	23.87%	29.37mlH ₂ / g	7.56ml/g H ₂
甘蔗	30.97%	3.13ml H ₂ / g	9.19ml/g H ₂
米飯	33.41%	0.76 ml H ₂ / g	34.58ml/g H ₂

討論：由上述實驗得知米飯產量最多，但是由糖的轉換率來看我們發現鳳梨的產氣量遠大於米飯，於是我們選擇鳳梨作為營養源。

【表十五】不同濃度比較總產氣量

營養源 產氣量(ml) 時間(hr)	10g 鳳梨皮/ 200ml 營養源	20g 鳳梨皮/ 200ml 營養源	30g 鳳梨皮/ 200ml 營養源
1	0	0	0
2			
3			
4			
5	10	0	20
6	30		
7	90		
8	160		
9	220	60	40
10	250	100	70
11	260	140	140
12	270	180	210
13	278	215	270
14	283	250	350
15	283	290	400
16	283	325	460
17	283	350	500
18	283	365	530
19	283	380	540
20	283	390	550
21	283	395	553
22~24	283	400	555



討論：

(A). 我們取了相同的營養源, 分別以 50 克、100 克、150 克, 不同的濃度來作比較, 發現 50 克的產氣速率最快; 而 150 克產率最佳。而後我們下一部著手以鳳梨作為營養源來作連續式產氫。

陸、討論

由我們的實驗結果得知，生物產氫在以下的條件，總產量效能最佳

一、溫度

從表三不同溫度與產能的比較表、圖二不同溫度與產能的比較圖中的數據可以發現，菌種在 35°C 的溫度下，總氣產量最佳。

二、pH 值

從表五反應前的 pH 值平均表得知，反應前 pH 值約為 7.00 左右，從表六反應完畢後之 pH 值平均得知，反應完畢 pH 值約為 4.95。當要繼續產氫，可作為是否再添加營養源的依據。

三、厭氧菌

從表四操作條件不同比較產量表與圖四操作條件不同比較產量平均圖得知，生長環境越自然越好。

四、滅除甲烷菌

菌種加熱至 80°C 可以滅除甲烷菌，甲烷菌為好氧菌，會產生二氧化碳，影響產氣效果。

五、好氧菌

以氮氣填滿瓶子，趕走其他氣體，使好氧菌無法生存。

六、菌源

由表七來源比較總產率表和圖五來源比較總產率圖可以發現，總產率都差不多，表示任何地方的菌只要處理過，都可以拿來以生物產氫的方式產生氫氣。

七、緩衝液

以碳酸鹽類為主的緩衝液，產生的氣體中，二氧化碳的含量較高且產能較低，故選擇以磷酸鹽作為主要的緩衝溶液。

八、糖度測定

以分光測得的結果，雖然米飯含糖量較高、果皮含糖量較少，但是比較產量後，發現產氣量差不多。然而使用果皮來產氣，較為環保且不浪費。

柒、結論

在實驗過程中我們發現，溫度控制在 35°C、生長環境越自然，總產氣量為最佳，pH 值低於 4.95 之後就幾乎不再產氣，可做為是否添加營養源的依據，在校園中也有很多地方的廢水經過加熱、篩菌後都可以拿來以生物產氫的方式產氣，來源取得較容易，

目前的地球正面臨的能源不足，許多科學家開始尋找一些替代能源的方法，於是我們看到了生物產氫這個方法來替代能源，就著手下去做，起初碰到了許多困難，在經過和老師、教授討論後我們得到了許多的知識，而在這個過程中我們也學習到了如何去面臨在實驗時所會遇到的問題，然後去解決，也許看起來是一個很簡單的實驗，但如果沒有著手下去做，就不會知道實驗裡的奧妙，一個完整的實驗是需要花很費很多的心力、時間與精神下去研究，這次的實驗讓我得到許多經驗，也學到做實驗應該以積極的心態去面對它。

在現今的科技上，有人將產生的氫氣以化學電池的方式讓化學能轉換成電能，運用在燈泡、小型汽車模型上，在國外也已經有科學家運用在實體的汽車上，往後氫能源會成為更實用的能源之一。我們也希望能以環保、廢物利用的方式，讓氫能源運用在我們的日常生活中，

捌、參考資料及其他

書籍資料:

1. 曲新生、陳發林、呂錫民編著。產氫與除氫技術。五南圖書出版。
2. 毛宗強、張勝雄、管鴻、林矩民、王鴻猷編著。氫能-21世紀的綠色能源。新文京開發。
3. 許薊。儀器分析編著。復文書局。P27
4. 鄭新讚。化工儀器及實習。龍騰文化。P8-7
5. 楊永華、盧麗娟編著。普通化學 I。東大圖書公司。P123
6. 楊永華、盧麗娟編著。普通化學 II。東大圖書公司。P145

研習資料:

7. 王金雄教授(2008/11)。生物產氫

網頁資料:

<http://www.nchu.edu.tw/material/nano/nanoinformation52.htm>

【評語】 091104

- 1、 利用厭氧菌分解果皮、米飯找出厭氧發酵菌之產氫最佳狀況條件，具環保能源發展特色。
- 2、 菌種來源可再更精確鑑別並記錄其濃度，對改善產氫效率將有所助益。
- 3、 研究材料豐富，實驗過程記錄詳細，成果豐碩。