

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

最佳創意獎

030201

酵母鎂味

學校名稱：臺北市立民權國民中學

作者： 國二 張家豪 國二 陳思瑋	指導老師： 王鈞慧
---------------------------------	------------------

關鍵詞：合宜酸鹼度、合宜正負電極、
鎂帶酵母-硫酸鐵石墨電池

摘要

本研究提高酵母菌電池放電方法有：1.活性酵母 2.碳紙(-)-石墨(+)
3. pH=7.73 葡萄糖混液 4. 需空氣 5.大透膜 6. 溫度 40°C 7. 出芽菌數增多；單一電池接近 1.00 V。

當研究電極材質時發現鎂帶(-)-石墨(+)放電值高(2.368 V)，滿足負載 LED 的目標，因此製作鎂帶酵母-硫酸鐵石墨電池，單一電池接近 2.20V，四次負載 LED 中解決提高電能方法：

- 1.蒸發結晶法使石墨內長硫酸鐵結晶
- 2.豎立起酵母菌濾紙包能接觸空氣，裝箱保溫，讓酵母菌活得活躍易導電
- 3.盒底裝 pH=7.70 的葡萄糖溶液藉由濾紙毛細現象不斷提供糖液給酵母生長。

每次串聯 4 顆德製酵母鎂味電池，第一次點 1 顆藍 LED 45 分鐘接 3 顆 LED 藍紅藍，點亮 1524 分，第二次亮 2788 分，日製酵母鎂味電池，亮 1076min。第三次 1 顆藍 LED 45 分鐘接 3 顆 LED 藍紅綠，亮 1430 分。

壹、研究動機

在工業時代大量使用石油能源，不但帶來環境汙染，石油也逐漸耗竭，那研發生質能源的使用方法就顯得重要。紅光 LED 與綠光 LED 的出現已長達半世紀，最近 2014 諾貝爾物理學獎得主發明高效能又環保的藍色發光二極體 (Light-Emitting Diodes, LED)，進而延伸出更明亮節能的白光照明。我們想利用生質能來點亮 LED，先自行自修國二下、三下學期課程 [1] [2] [3]，探索提高麵包酵母菌電池放電效應的因素，進而製作能點亮 LED 燈的電池。

貳、研究目的

- 一、(一)麵包酵母菌電池的放電如何？探討正負極溶液的合宜濃度？
(二)麵包酵母菌來源是否影響電池放電成效？
- 二、探討負極溶液的合宜酸鹼度？
 - (一) 探討含食醋時(pH=2~3)
 - (二) 探討含小蘇打粉時(pH=8~9)
 - (三) 探討含氫氧化鈉時(pH=8~13)

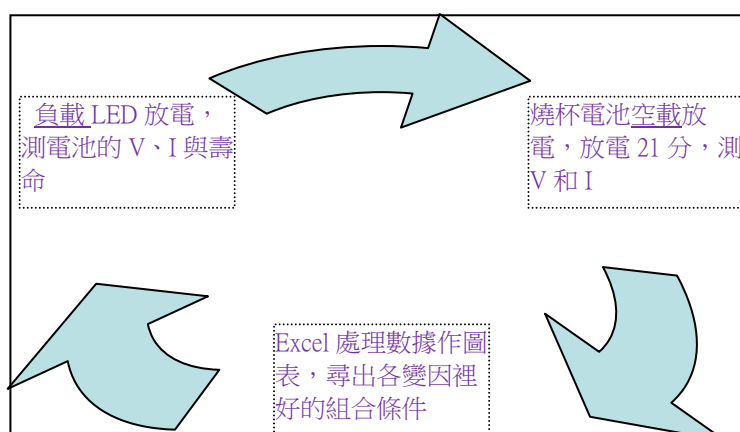
- 三、半透膜的大小、新舊如何影響？探討加 Na_2HPO_4 、 K_2HPO_4 的影響？
- 四、探討電池的合宜電極材質？
- 五、酵母菌在無氧呼吸、有氧呼吸狀態中哪一放電成效較好？
- 六、探討設計的『酵母鎂味電池』負載 LED 如何？
- 七、溫度對酵母菌電池放電的影響？
- 八、酵母菌加葡萄糖後對酵母菌電池放電有何影響？
- 九、如何提高酵母鎂味電池放電效能？

參、研究設備及器材

一、葡萄糖、硫酸鐵、食鹽、食醋、氫氧化鈉、 K_2HPO_4 、 Na_2HPO_4 、蒸餾水、去離子水 二、麵包酵母菌(中國、美國、德國、日本製)、石墨棒、鎂帶、鋅棒 $\phi 0.7\text{cm}$ 、鋁棒 $\phi 0.7\text{cm}$ 、Pt 絲 99.95% $\phi 1 \times 150\text{mm}$ 、迴紋針(鍍鎳鐵線)、石墨烯($35\text{-}50\text{k}\Omega/\text{sq}$, $5\text{cm} \times 5\text{cm}$)、圓形碳導電紙($3\text{k}\Omega$)直徑 4cm 、不鏽鋼絲 $\phi 0.8 \times 150\text{mm}$ 、半透膜(寬= 3.3cm 、 4.5cm)	三、燒杯、玻棒、刮杓、量瓶、秤量紙、濾紙、雙面膠，膠帶，保鮮膜 四、硬體設備：整流電供應器、三用電表、電子天平、恆溫槽、碼表、LED(紅、綠、藍)、pH 儀、8 片壓克力板($15\text{cm} \times 15\text{cm}$)中挖直徑 6cm 圓孔四角有洞。4 組螺絲釘與帽。、複式顯微鏡 Olympus、電子目鏡 Dino-Eye、軟體 DinoCapture
---	--

肆、研究過程或方法

- 一、(一)參考“綠色能源-天然微生物燃料電池之開發” 2014 台灣科學展覽會作品說明書[4]：我們用石墨棒替代他們的碳紙、正極傳遞電子用硫酸鐵替代他們的葉綠素鐵；我們就先著手麵包酵母菌電池的一連串實驗探討。

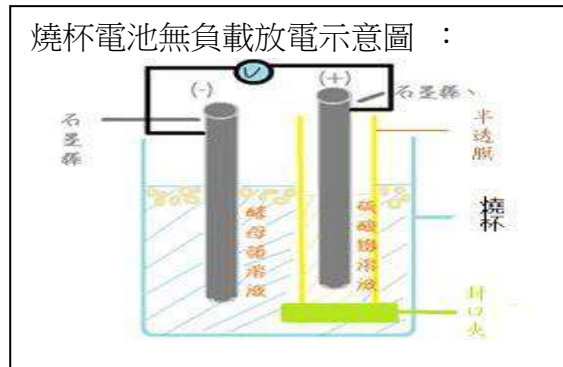


二、【實驗手續】

(一)設定恆溫水槽溫度實驗

(二)配藥正極、負極溶液濃度，稱酵母菌克數。

(三)組成燒杯電池：



1.半透膜剪出所需長度，浸在去離子水中軟化一天，用蒸餾水洗淨後使用。

2.半透膜一端夾緊另一端插入石墨棒當正極，加硫酸鐵溶液當正極溶液，置燒杯中。

3.相同燒杯中加入負極溶液和負極石墨棒

(四)找其中可能變因來操縱研究：

三用電表每三分測放電電流、電壓共 21 分，Excel 數據處理做圖討論，再進行下一實驗。

三、【整流電源供應器逐加電流、電壓，測出點亮 LED 的數值】

LED 色	舊的紅	紅	綠	藍	白
點亮至少	2.0V,0.004A	2.1 V,0.001A	2.0 V,0.006A	2.5 V,0.001A	燒壞

四、【進行實驗】：

實驗(一)-1 麵包酵母電池的空白組放電如何？

正負極溶液相對濃度該如何？

[(-)1 石墨 | 2g 酵母菌+?M100 mL 葡萄 || 半透膜 || ?MFe₂(SO₄)₃5mL | (+)1 石墨]

控制變因：

溫度	負電極	負極溶液	隔離層	正極溶液	正電極
28.5°C	碳棒 1 支	葡萄(100ml)	半透膜	硫酸鐵(5ml)	碳棒 1 支

操縱變因：

中製	空白組 1	空白組 2	# 1	# 2	# 3	# 4
酵母菌	2.00g	無	2.00g	2.00g	2.00g	2.00g

葡萄糖	無	0.10M	0.10M	0.20M	0.10M	0.20M
硫酸鐵	0.05M	0.05M	0.05M	0.05M	0.10M	0.10M
濃度比值		2 : 1	2 : 1	4 : 1	1 : 1	2 : 1(較濃)

實驗(一)-2 酵母菌來源會影響嗎?

控制變因：

溫度	負電極	負極溶液	隔離層	正極溶液	正電極
28.5°C	碳棒 1 支	葡萄糖 0.1M(100ml)	半透膜	硫酸鐵 0.05M(5ml)	碳棒 1 支

操縱變因：

	空白組 2	# 1	# 2	# 3	# 4
酵母菌	中國	中國	美國	德國	日本
有效期	20141013	20141013	20140916	20150731	20150827
葡萄糖	無	✓	✓	✓	✓

實驗(二)-1 負極溶液含食醋而變酸，會影響嗎?

控制變因：

溫度	負電極	負極溶液	隔離層	正極溶液	正電極
28.5°C	碳棒 1 支	葡萄糖 0.10M100ml+ 2.00g 酵母菌(德製)	小半透 膜	硫酸鐵 0.05M 5ml	碳棒 1 支

操縱變因：

食醋 ml	20	40	50	60	80	100
加純水到 100mL 測 pH	2.96	2.74	2.67	2.63	2.58	2.55

實驗(二)-2 負極溶液含小蘇打影響嗎?(有日、德製酵母菌兩組比較)

控制變因：

溫度	負電極	負極溶液	隔離層	正極溶液	正電極
28.5°C	碳棒 1 支	葡萄 0.10M100ml+ 2g 酵母菌(德與日製)	小半透 膜	硫酸鐵 0.05M 5ml	碳棒 1 支

操縱變因：

NaHCO ₃ 克數	空白組	1.6802	0.8401	0.4201	0.2101	0.1051
加純水溶解，再到 100mL 測 pH	沒加酵母菌	8.23	8.27	8.25	8.23	8.18

實驗(二)-3 用氫氧化鈉由濃稀釋，再用食醋調出負極溶液不同 Ph 值，哪一放電最好？

控制變因：

溫度	負電極	負極溶液	隔離層	正極溶液	正電極
28.5°C	碳棒 1 支	葡萄糖 0.10M 100ml+ 2.00g 酵母菌(德製)	小半透 膜	硫酸鐵 0.05M 5ml	碳棒 1 支

操縱變因：先配 NaOH 溶液連續稀釋 7 杯，再用食醋調不同 pH 值，加德國酵母菌

	空白組	# a	# b	# c	# d	# e	# f
pH	沒加酵母菌	6.00	7.73	8.20	9.19	10.23	12.56

實驗(三)比較滲透膜的大小新舊的影響？

控制變因：

溫度	負電極	負極溶液	隔離層	正極溶液	正電極
28.5°C	碳棒 1 支	葡萄糖 0.10M 100ml+ 2.00g 酵母菌(德製)	半透膜	硫酸鐵 0.05M 5ml	碳棒 1 支

操縱變因：用 NaOH、Na₂HPO₄、K₂HPO₄、調 pH

a	b	c	d
大透膜 NaOH、Na ₂ HPO ₄	大透膜寬=4.5cm NaOH、K ₂ HPO ₄	小透膜寬=3.3cm NaOH、K ₂ HPO ₄	舊小透膜 NaOH、K ₂ HPO ₄

註明 NaH₂PO₄、Na₂HPO₄、K₂HPO₄ 溶液呈鹼性、KH₂PO₄ 溶液呈酸性

實驗(四)正負極電極種類如何影響？

控制變因：

溫度	pH=7.70 母液	負極溶液	隔離層	正極溶液
28.5°C	K ₂ HPO ₄ 、食醋、	葡萄糖 0.10M 100ml	大半透	硫酸鐵 0.05M

	NaOH 調	+2.00g 德製酵母菌	膜	5ml
--	--------	--------------	---	-----

操縱變因：

負極	1 石墨棒	2 碳紙	3 石墨烯	4 鎂帶	5 鋁棒	6 迴紋針
正極	石墨棒	石墨棒	石墨棒	石墨烯	石墨棒	石墨棒
負極	7 白金	8 碳紙	9 鎂帶	10 白金	11-a 鎂帶 空白組沒酵母	11-b 鎂帶
正極	石墨棒	碳紙	碳紙	碳紙	石墨棒	石墨棒
負極	12 鎂帶	13 石墨烯	14 不鏽鋼絲	15 白金	16 鋅棒	
正極	迴紋針	石墨烯	不鏽鋼絲	白金	石墨棒	

實驗(五)

控制變因：

溫度	負電極材 質和根數	負極溶液	菌種	隔離 層	正極溶液	正電極材 質和根數
28.5°C	石墨棒 x3	葡萄糖 0.10M 200.0 毫升 食鹽 0.02mole	4.0g 中國 製酵母菌	小半 透膜	0.1M10ml Fe ₂ (SO ₄) ₃	石墨棒 x2

操縱變因：

1 無氧呼吸--在大封口袋中進行	2 有氧呼吸--在 1000 毫升的大燒杯中不斷地攪拌
------------------	-----------------------------

實驗(六)-1Mg|Fe³⁺|Pt(或石墨) 電池空白實驗：都不加糖與酵母、只加糖、只加酵母、都加

實驗(六)-2 最佳化實驗：添加酵母菌需幾克為佳？添加葡萄糖溶液到幾 M 為佳？

控制變因：

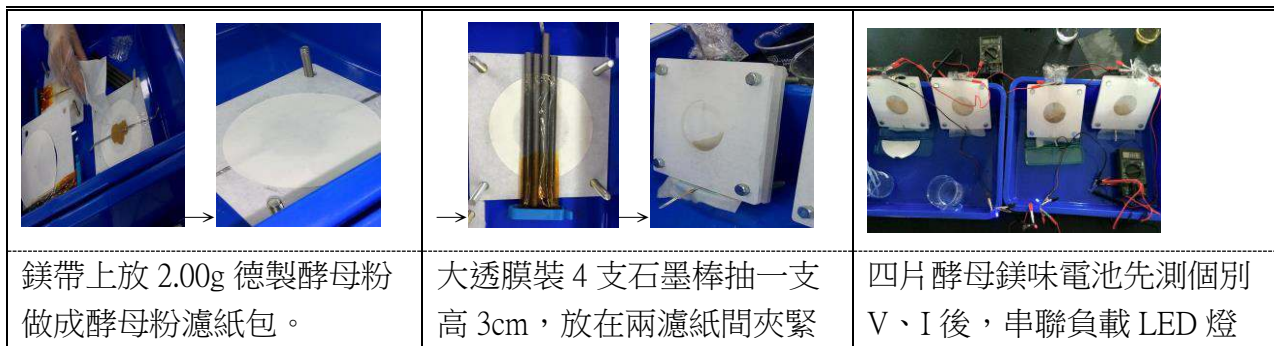
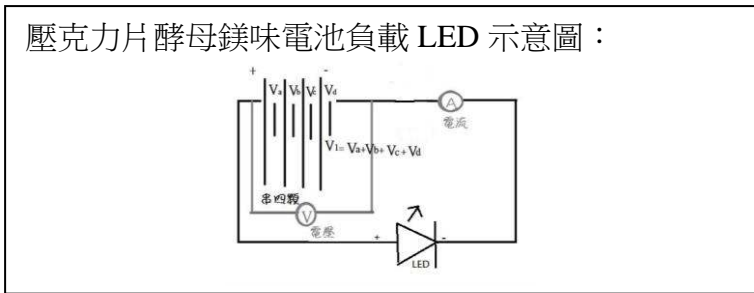
溫度	負電極	負極溶液	酵母菌	隔離層	正極溶液	正電極
28.5 ; 35°C	鎂帶	蒸餾水；緩衝液	德國製	半透膜	0.01M,5mlFe ₂ (SO ₄) ₃	Pt

操縱變因：

※無糖下：酵母菌 0g、0.10g、0.20g、0.30g、0.40g、0.50g、1.00g、1.50g、2.00g、2.50g、3.00g

※取最佳酵母菌質量下：葡萄糖溶液濃度 0M、0.05M、0.10M、0.20M、0.30M、0.40M

根據以上影響條件 DIY 壓克力型的酵母鎂味電池負載 LED，同時比較德、日製酵母菌：



鎂帶上放 2.00g 德製酵母粉
做成酵母粉濾紙包。

大透膜裝 4 支石墨棒抽一支
高 3cm，放在兩濾紙間夾緊

四片酵母鎂味電池先測個別
V、I 後，串聯負載 LED 燈

A：[鎂帶 | 2 g 德製酵母菌+0.10M100 mL 葡萄糖 pH=7.70 || 透膜 || 0.05MFe₂(SO₄)₃5mL | 4 根石墨棒]

B：[鎂帶 | 2g 日製酵母菌+0.10M100 mL 葡萄糖 pH=7.70 || 透膜 || 0.05MFe₂(SO₄)₃5mL | 4 根石墨棒]

C：[鎂帶 | 2.00g 德製酵母菌+0.10M100 mL 葡萄糖 pH=7.70 || 透膜 || 0.05MFe₂(SO₄)₃10mL | 4 根石墨棒]

實驗(七) 溫度的影響如何？

控制變因：室溫 15°C

溫度	負電極	負極溶液	隔離層	正極溶液	正電極
?	白金絲 1 條	葡萄 0.1M(100ml)	大半透膜	硫酸鐵 0.05M(10ml)	碳棒 1 支

操縱變因：使用恆溫槽配合冰塊調出測量溫度

溫度	8°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C
	45°C	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C	75°C

實驗(八) 在定量葡萄糖供應下德製酵母菌吃糖時段對放電的影響？

控制變因：


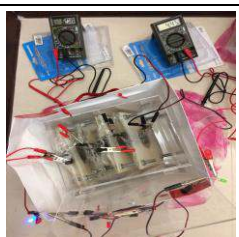

溫度	負電極	負極溶液攪拌均勻	隔離層	正極溶液	正電極
室溫 15°C	碳棒 1 支	葡萄糖 0.1M(1200ml) +24.00g 德製酵母菌	大半透膜	每次硫酸鐵 0.05M(10ml)	碳棒 1 支

操縱變因：加入葡萄糖後，取不同時段來放電，共 11 個時段

每一時段抽驗取 100ml 組燒杯電池來放電，測量其電壓、電流(放電 12 分鐘)，同時也取

1ml 稀釋到 100ml，滴到載玻片，使用複式顯微鏡 10x40 倍觀察到酵母菌，經數位電子目鏡 Dino-Eye 與軟體 Dino-Capture 照像存檔，同時段數幾張菌數求平均值數。

實驗(九)如何再提高酵母錳味電池放電成效？

<p>1. 右圖：正極事前處理：燒杯 100g$Fe_2(SO_4)_3$/400ml 純水，插石墨棒，蒸發結晶法使石墨上長出硫酸鐵晶體。(23 冬天)</p>			
<p>2 右圖：濾紙底浸到葡萄糖緩衝溶液，藉毛細現象不斷上升提供負極酵母菌溶液。</p>	 <p>負載藍紅綠 LED</p>	<p>3 右圖：針對溫度：保溫盒白天包黑紙吸收太陽輻射熱，寒流晚上室溫低包白紙保溫。</p>	 <p>夜晚觀測</p>

伍、實驗結果與圖表

實驗(一)紀錄表:

實驗(一)-1 空白組

放電	時間	0	3	6	9	12	15	18	21	平均
電壓 V	平均	0.050	0.013	0.015	0.010	0.015	0.015	0.012	0.011	0.018
I(mA)	平均	0.000	0.035	0.009	0.004	0.013	0.010	0.010	0.012	0.012

實驗(一)-1 第 #1 組 2.00g 酵母菌

V	平均	0.219	0.215	0.218	0.172	0.537	0.023	0.159	0.156	0.212
I(mA)	平均	0.460	0.024	0.020	0.600	0.261	0.235	0.239	0.228	0.258

實驗(一)-1 第 #2 組 2.00g 酵母菌

V	平均	0.234	0.188	0.214	0.189	0.185	0.183	0.170	0.169	0.191
I(mA)	平均	0.105	0.119	0.160	0.113	0.099	0.094	0.107	0.126	0.115

實驗(一)-1 第 #3 組 2.00g 酵母菌

V	平均	0.139	0.144	0.137	0.134	0.185	0.115	0.108	0.100	0.133
I(mA)	平均	0.097	0.100	0.124	0.106	0.101	0.065	0.063	0.077	0.092

實驗(一)-1 第 #4 組 2.00g 酵母菌

V	平均	0.364	0.121	0.115	0.111	0.064	0.057	0.045	0.064	0.118
I(mA)	平均	0.041	0.068	0.066	0.052	0.044	0.025	0.014	0.034	0.043

實驗(一)-2 第 # 1 組 空白組 2.00g 中國酵母菌在 100mL 純水

V	平均	0.110	0.094	0.080	0.081	0.074	0.081	0.094	0.084	0.087
I(mA)	平均	0.072	0.074	0.065	0.074	0.086	0.088	0.092	0.083	0.079

實驗(一)-2 第 # 2 組 2.00g 中國酵母菌在葡萄糖 0.10M 100mL

V	平均	0.112	0.126	0.094	0.083	0.077	0.079	0.084	0.083	0.092
I(mA)	平均	0.072	0.074	0.065	0.066	0.086	0.088	0.092	0.083	0.078

實驗(一)-2 第 # 3 組 2.00g 德國酵母菌+葡萄糖 0.10M 100mL || 硫酸鐵 0.05M 5mL

V	平均	0.125	0.089	0.111	0.114	0.113	0.119	0.143	0.101	0.114
I(mA)	平均	0.123	0.083	0.098	0.080	0.093	0.110	0.147	0.115	0.106

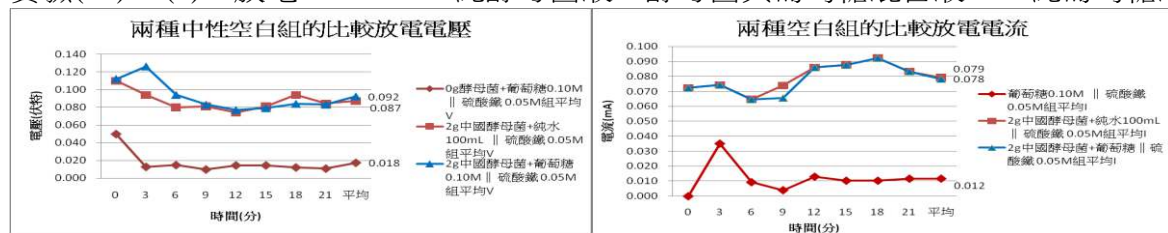
實驗(一)-1 第 # 4 組 2.00g 美國酵母菌+葡萄糖 0.10M 100mL

V	平均	0.058	0.069	0.079	0.085	0.077	0.084	0.086	0.086	0.078
I(mA)	平均	0.037	0.037	0.064	0.069	0.060	0.058	0.061	0.059	0.056

實驗(一)-1 第 # 5 組 2.00g 日本酵母菌+葡萄糖 0.10M 100mL

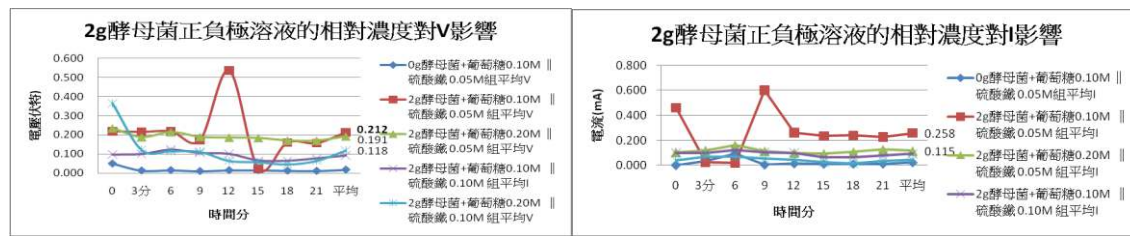
V	平均	0.347	0.331	0.331	0.336	0.318	0.320	0.320	0.318	0.328
I(mA)	平均	0.314	0.316	0.645	0.276	0.501	0.319	0.285	0.361	0.377

實驗(一)-1-(1)：放電 V、I、P：純酵母菌液 = 酵母菌與葡萄糖混合液 >> 純葡萄糖液



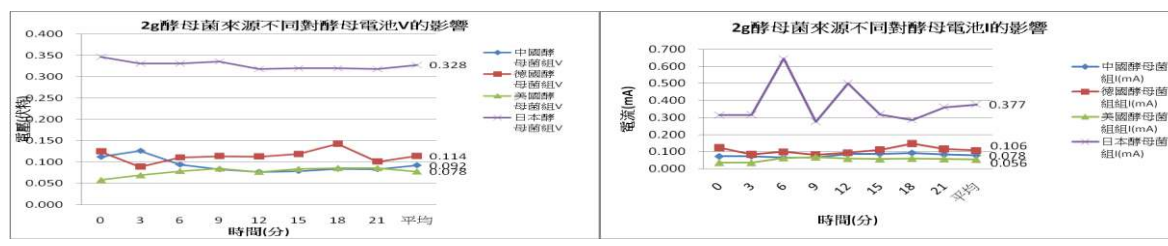
實驗(一)-1-(2)：最佳濃度比：負極葡萄糖溶液 0.10M 對正極硫酸鐵溶液 0.05M

21 分空載放電 0.212 伏特，0.258mA，0.054696mW



實驗(一)-1-(3)：酵母菌四種來源組電池放電 V、I：日製 > 德製 > 中製 > 美製

最佳日製 21 分放電平均值：0.328 伏特，0.377mA，0.123656mW



實驗(二)負極溶液加酸加鹼的影響

沒有酵母菌實驗(二)-1-空白(沒酵母菌) 20mL 食醋/100ml 在 0.1M 葡萄糖 100mL

	時間	0	3	6	9	12	15	18	21	平均
pH=2.96	V	0.213	0.194	0.193	0.189	0.188	0.184	0.179	0.179	0.190
	I(mA)	0.237	0.394	1.283	0.563	0.375	0.587	0.293	0.478	0.526

實驗(二)-1 第 # 1 組 0.10M 葡萄糖在(20mL 食醋/ 100mL)+2g 德國酵母菌

pH=2.96	V	0.188	0.167	0.178	0.187	0.193	0.179	0.187	0.205	0.186
	I(mA)	0.152	0.135	0.265	0.257	0.263	0.312	0.172	0.336	0.237

實驗(二)-1 第 # 2 組 0.10M 葡萄糖在(40mL 食醋/ 100mL) +2g 德國酵母菌

pH=2.74	V	0.165	0.115	0.108	0.107	0.101	0.088	0.082	0.085	0.106
	I(mA)	0.051	0.061	0.207	0.244	0.204	0.116	0.184	0.193	0.158

實驗(二)-1 第 # 3 組 0.10M 葡萄糖在(50mL 食醋/ 100mL) +2g 德國酵母菌

pH=2.63	V	0.191	0.174	0.16	0.164	0.15	0.157	0.149	0.137	0.160
	I(mA)	0.185	0.115	0.170	0.241	0.194	0.150	0.151	0.151	0.170

實驗(二)-1 第 # 4 組 0.10M 葡萄糖在(60mL 食醋/ 100mL)+2g 德國酵母菌

pH=2.63	V	0.075	0.094	0.1	0.109	0.104	0.104	0.099	0.104	0.099
	I(mA)	0.142	0.154	0.122	0.123	0.171	0.133	0.126	0.092	0.133

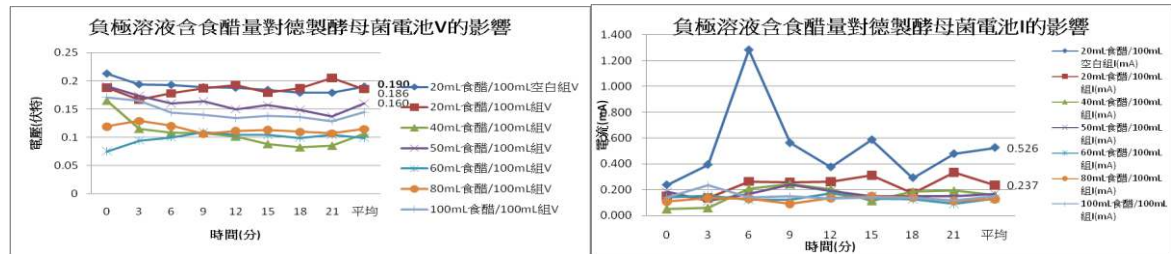
實驗(二)-1 第 # 5 組 0.10M 葡萄糖在(80mL 食醋/ 100mL)+2g 德國酵母菌

pH=2.58	V	0.119	0.129	0.12	0.106	0.111	0.113	0.11	0.107	0.114
	I(mA)	0.110	0.135	0.132	0.091	0.136	0.149	0.138	0.112	0.125

實驗(二)-1 第 # 6 組 0.10M 葡萄糖在 100mL 食醋+2g 德國酵母菌

pH=2.55	V	0.171	0.165	0.144	0.14	0.134	0.138	0.136	0.128	0.145
	I(mA)	0.141	0.233	0.140	0.148	0.130	0.137	0.133	0.116	0.147

實驗(二)-1 負極溶液由食醋加蒸餾水形成溶液，對德製酵母菌電池放電的影響：都不如空白組 V、I、P 大小：20mL 食醋/100mL > 50mL 食醋/100mL > 100mL 食醋/100mL



實驗(二)-2 (碳酸氫鈉溶於純水後，再稀釋到 100ml，pH 儀測酸鹼度)

沒有酵母菌實驗(二)-2 空白 NaHCO₃1.680g + 葡萄糖 0.10M 100mL

	時間	0	3	6	9	12	15	18	21	平均
pH=8.23	V	0.297	0.236	0.228	0.216	0.205	0.204	0.217	0.207	0.226
I(mA)	平均	0.696	0.525	0.307	0.373	0.590	0.404	0.299	0.256	0.431

實驗(二)-2-(1)-- 1.6802g 碳酸氫鈉 +2g 德製酵母菌+葡萄糖 0.10M 100mL

pH=8.23	V	0.398	0.301	0.236	0.276	0.269	0.252	0.257	0.244	0.279
I(mA)	平均	0.325	0.162	0.190	0.203	0.130	0.148	0.100	0.144	0.175

實驗(二)-2-(1) # 2 --0.8401g 碳酸氫鈉+2g 德製酵母菌+葡萄糖 0.10M100mL

pH=8.27	V	0.317	0.292	0.275	0.201	0.203	0.175	0.17	0.233	0.233
I(mA)	平均	0.293	0.460	0.455	0.316	0.256	0.298	0.288	0.279	0.331

實驗(二)-2-(1) # 3-- 0.4201g 碳酸氫鈉+2g 德製酵母菌+葡萄糖 0.10M100mL

pH=8.25	V	0.082	0.197	0.252	0.272	0.253	0.248	0.223	0.218	0.218
I(mA)	平均	0.117	0.186	0.293	0.276	0.284	0.194	0.247	0.068	0.208

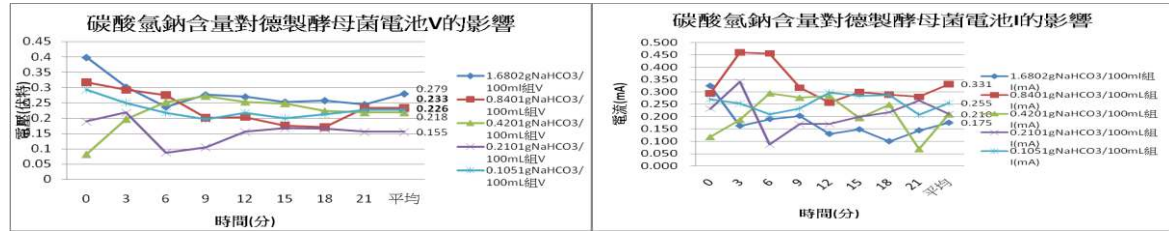
實驗(二)-2-(1) # 4 --0.2101g 碳酸氫鈉+2g 德製酵母菌+葡萄糖 0.10M100mL || 硫酸鐵 0.05M 5mL

pH=8.23	V	0.189	0.218	0.087	0.105	0.155	0.167	0.165	0.155	0.155
I(mA)	平均	0.232	0.341	0.087	0.170	0.170	0.199	0.218	0.264	0.210

實驗(二)-2-(1) # 5-- 0.1051g 碳酸氫鈉+2g 德製酵母菌+葡萄糖 0.10M 100mL || 硫酸鐵 0.05M 5mL

pH=8.18	V	0.293	0.25	0.217	0.196	0.217	0.2	0.212	0.226	0.226
I(mA)	平均	0.270	0.253	0.208	0.232	0.298	0.285	0.288	0.207	0.255

實驗(二)-2-(1)結果：負極溶液鹼性時，德製酵母菌在小蘇打 0.20M 的平均電壓最高 0.279V；0.10M 的電流最高 0.331mA；0.10M 的電功率最高 0.077123mW。



實驗(二)-2-(2) # 1 NaHCO₃1.680g +2g 日本酵母菌+葡萄糖 0.10M 100mL

pH=8.23	V	0.491	0.465	0.431	0.396	0.358	0.356	0.336	0.405	0.405
I(mA)	平均	0.736	1.292	1.020	1.154	1.081	1.162	0.708	0.682	0.979

實驗(二) -2-(2) # 2 NaHCO₃0.840g +2g 日本酵母菌+葡萄糖 0.10M100mL

pH=8.27	V	0.342	0.418	0.384	0.385	0.389	0.383	0.357	0.358	0.377
I(mA)	平均	1.262	1.150	1.136	1.347	1.340	1.265	1.095	1.436	1.254

實驗(二) -2-(2) # 3NaHCO₃0.420g +2g 日本酵母菌+葡萄糖 0.10M100mL

pH=8.25	V	0.404	0.415	0.438	0.436	0.404	0.391	0.401	0.413	0.413
I(mA)	平均	0.549	0.836	0.878	1.215	0.896	0.930	0.912	0.865	0.885

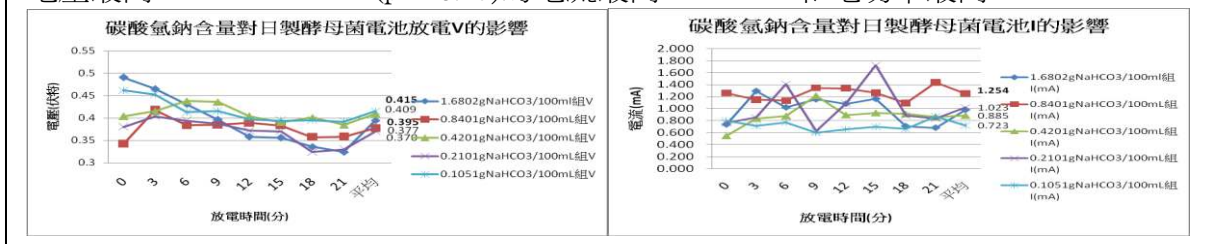
實驗(二) -2-(2) # 4 NaHCO₃0.210g +2g 日本酵母菌+葡萄糖 0.10M 100mL

pH=8.23	V	0.38	0.404	0.394	0.387	0.372	0.37	0.324	0.33	0.370
I(mA)	平均	0.765	0.853	1.411	0.626	1.085	1.723	0.887	0.832	1.023
pH 變化	由鹼	7.69	7.01	6.73	6.51	6.39	6.26	6.16	6.13	變酸

實驗(二) -2-(2) # 5 NaHCO₃0.105g +2g 日本酵母菌+葡萄糖 0.10M100mL

pH=8.18	V	0.462	0.453	0.413	0.415	0.397	0.394	0.395	0.392	0.415
I(mA)	平均	0.801	0.713	0.776	0.601	0.658	0.703	0.663	0.873	0.723

實驗(二) -2-(2)結果：負極溶液鹼性時，日製酵母菌在小蘇打 0.0125M(PH=8.18)的平均電壓最高 **0.415V**；0.10M(pH=8.27)的電流最高 **1.254mA** 和電功率最高 **0.472758mW**。



用 2g 德國酵母菌，負極溶液以 NaOH、食醋調不同 pH 值

實驗(二) -3 空白組 NaOH + 無酵母菌 + 葡萄糖 0.10M 100mL

pH=6.00	時間	0	3	6	9	12	15	18	21	平均
V	平均	0.498	0.416	0.438	0.393	0.341	0.324	0.312	0.389	0.389
I(mA)	平均	0.127	0.154	0.245	0.263	0.230	0.221	0.223	0.241	0.213

實驗(二) -3 # a NaOH + 2g 德酵母菌 + 葡萄糖 0.10M 100mL

pH=7.73	V	0.477	0.466	0.444	0.419	0.378	0.378	0.366	0.418	0.418
I(mA)	平均	0.274	0.262	0.347	0.299	0.339	0.526	0.359	0.295	0.338

實驗(二) -3 # b NaOH + 2g 德酵母菌 + 葡萄糖 0.10M 100mL

pH=8.20	V	0.319	0.22	0.311	0.303	0.022	0.302	0.268	0.249	0.249
I(mA)	平均	0.099	0.065	0.172	0.079	0.046	0.184	0.171	0.184	0.125

實驗(二) -3 # c NaOH + 2g 德酵母菌 + 葡萄糖 0.10M 100mL

pH=9.19	V	0.403	0.377	0.363	0.353	0.345	0.345	0.309	0.293	0.349
I(mA)	平均	0.274	0.171	0.268	0.281	0.162	0.260	0.184	0.192	0.224

實驗(二) -3 # d NaOH + 2g 德酵母菌 + 葡萄糖 0.10M 100mL

pH=10.23	V	0.239	0.26	0.247	0.271	0.248	0.172	0.245	0.240	0.240
I(mA)	平均	0.104	0.152	0.198	0.249	0.156	0.153	0.243	0.178	0.179

實驗(二) -3 # e NaOH + 2g 德酵母菌 + 葡萄糖 0.10M 100mL

pH=11.27	V	0.245	0.279	0.252	0.275	0.269	0.162	0.233	0.245	0.245
I(mA)	平均	0.145	0.210	0.302	0.312	0.187	0.161	0.263	0.263	0.230

實驗(二) -3 # f NaOH + 2g 德酵母菌 + 葡萄糖 0.10M 100mL

pH=12.56	V	0.376	0.128	0.266	0.307	0.326	0.324	0.329	0.294	0.294
I(mA)	平均	0.817	0.307	0.646	0.655	0.817	0.816	0.742	0.792	0.699

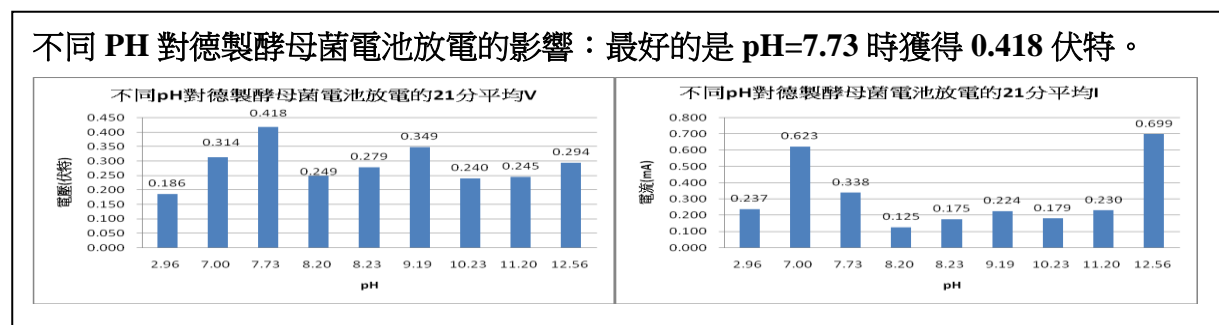
實驗(二) -3 補做 0.01molNaCl+2g 德酵母菌+葡萄糖 0.10M 100mL

pH=7.00	V	0.323	0.319	0.832	0.247	0.216	0.205	0.202	0.171	0.314
I(mA)	平均	0.663	0.828	0.543	0.659	0.547	0.606	0.561	0.578	0.623

下表：整理 pH 不同時德製酵母菌電池放電的 V、I、P

調劑	醋	食鹽	NaOH+ 醋	NaOH	小蘇打	NaOH	NaOH	NaOH	NaOH
pH	2.96	7.00	7.73	8.20	8.23	9.19	10.23	11.20	12.56
V	0.186	0.314	0.418	0.249	0.279	0.349	0.240	0.245	0.294
I	0.237	0.623	0.338	0.125	0.175	0.224	0.179	0.230	0.699

不同 PH 對德製酵母菌電池放電的影響：最好的是 pH=7.73 時獲得 0.418 伏特。



實驗(三)-0.001mol Na_2HPO_4 +2g 德酵母菌+葡萄糖 0.10M 100mL

	時間	0	3	6	9	12	15	18	21	平均
較大透膜	V	0.156	0.178	0.210	0.171	0.172	0.157	0.161	0.134	0.167
I(mA)	平均	0.085	0.292	0.115	0.322	0.228	0.309	0.264	0.221	0.230

驗(三) -4-0.001mol K_2HPO_4 +2g 德酵母菌+葡萄糖 0.10M 100mL

較大透膜	V	0.249	0.213	0.217	0.211	0.196	0.195	0.195	0.194	0.209
I(mA)	平均	0.481	0.432	0.545	0.550	0.394	0.521	0.552	0.459	0.492

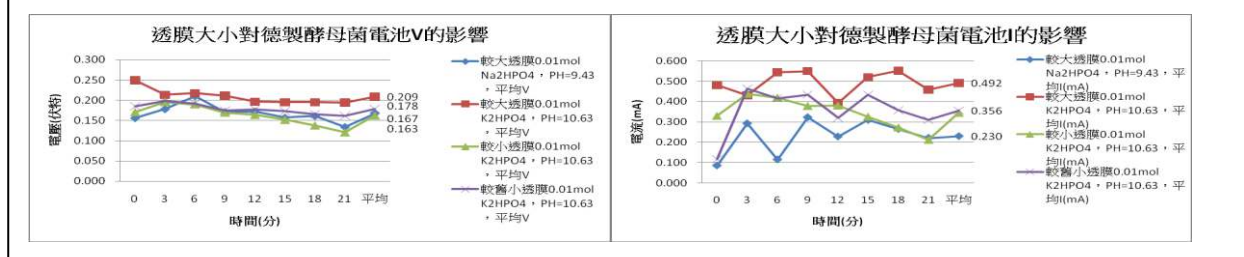
實驗(三) -0.001mol K_2HPO_4 +2g 德酵母菌+葡萄糖 0.10M 100mL

較小透膜	V	0.171	0.196	0.190	0.170	0.164	0.152	0.138	0.121	0.163
I(mA)	平均	0.330	0.439	0.420	0.378	0.380	0.326	0.272	0.211	0.345

實驗(三)-0.001mol K_2HPO_4 +2g 德酵母菌+葡萄糖 0.10M 100mL

較小舊透膜	V	0.185	0.198	0.191	0.174	0.177	0.173	0.165	0.161	0.178
I(mA)	平均	0.116	0.463	0.416	0.433	0.319	0.433	0.358	0.309	0.356

實驗(三)影響放電效率比較：大透膜 > 小透膜；舊透膜 > 新透膜； K_2HPO_4 > Na_2HPO_4



實驗(四)-1 食醋與 K_2HPO_4 調氫氧化鈉溶液 pH=7.70 +2g 德酵母菌+葡萄糖 0.10M 100mL

電極材質	時間	0	3	6	9	12	15	18	21	平均
石墨(-)- 石墨(+)	平均 V	0.204	0.213	0.212	0.209	0.213	0.200	0.203	0.174	0.204
I(mA)	平均	0.576	0.645	0.769	0.726	0.658	0.635	0.427	0.550	0.623
碳紙(-)- 石墨(+)	平均 V	0.875	0.889	0.892	0.919	0.922	0.949	0.970	0.995	0.926
I(mA)	平均	2.970	2.557	2.537	2.207	2.380	2.327	2.473	2.457	2.488
石墨烯(-)- 石墨(+)	平均 V	0.255	0.263	0.240	0.320	0.328	0.471	0.488	4.900	0.908
I(mA)	平均	0.269	0.454	0.175	0.459	0.215	0.136	0.155	0.407	0.284
鎂帶(-)- 石墨(+)	平均 V	2.390	2.260	2.220	2.230	2.200	2.200	2.230	3.210	2.368
I(mA)	平均	34.367	64.033	57.333	60.567	55.500	41.700	51.500	53.500	52.313
鋁棒(-)- 石墨(+)	平均 V	1.561	1.361	1.346	1.352	1.277	1.281	1.290	1.292	1.345
I(mA)	平均	33.967	33.767	29.500	27.767	29.800	27.100	27.300	22.433	28.954
迴紋針(-)-	平均	0.683	0.877	0.890	0.904	0.887	0.898	0.905	0.881	0.866

石墨(+)	V									
I(mA)	平均	0.416	1.313	1.720	1.974	1.769	1.821	1.867	1.913	1.599
白金(-)- 石墨(+)	平均 V	0.277	0.263	0.281	0.270	0.311	0.299	0.308	0.286	0.287
I(mA)	平均	0.010	0.007	0.021	0.037	0.044	0.041	0.057	0.038	0.032
碳紙(-)- 碳紙(+)	平均 V	0.379	0.300	0.290	0.278	0.273	0.254	0.231	0.163	0.271
I(mA)	平均	0.413	0.318	0.385	0.354	0.362	0.262	0.252	0.188	0.317
鎂帶(-)- 碳紙(+)	平均 V	1.742	1.745	1.712	1.696	1.675	1.605	1.558	1.338	1.634
I(mA)	平均	23.700	21.433	17.600	17.033	16.467	13.600	16.967	15.400	17.775
白金(-)- 碳紙(+)	平均 V	0.241	0.380	0.550	0.516	0.516	0.554	0.565	0.566	0.486
I(mA)	平均	0.088	0.588	0.578	0.672	0.438	0.464	0.330	0.256	0.427
鎂帶(-)- 石墨(+)	平均 V	2.330	2.280	2.270	2.240	2.240	2.280	2.290	2.300	2.279
I(mA)	平均	7.637	6.867	8.000	5.967	6.967	6.833	6.433	7.733	7.055
鎂帶(-)-石 墨烯(+)	平均 V	2.180	2.210	2.190	2.250	2.240	2.250	2.250	2.260	2.229
I(mA)	平均	9.033	7.833	7.100	7.633	7.367	7.533	8.033	7.200	7.717
鎂帶(-)-迴 紋針(+)	平均 V	1.630	1.610	1.620	1.570	1.740	1.680	1.720	1.720	1.661
I(mA)	平均	1.700	1.200	1.267	1.100	4.300	3.700	3.567	4.267	2.638
石墨烯(-)- 石墨烯(+)	平均 V	0.110	0.080	0.030	0.022	0.019	0.022	0.040	0.028	0.044
I(mA)	平均	0.049	0.038	0.020	0.006	0.018	0.015	0.026	0.030	0.025

不鏽鋼(-)- 不鏽鋼(+)	平均 V	0.212	0.034	0.038	0.070	0.083	0.098	0.086	0.084	0.088
I(mA)	平均	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
白金絲(-)- 白金絲(+)	平均 V	0.470	0.525	0.557	0.498	0.555	0.553	0.553	0.471	0.523
I(mA)	平均	0.018	0.021	0.018	0.014	0.018	0.013	0.011	0.010	0.015
鋅棒(-)- 石墨(+)	平均 V	1.700	1.650	1.600	1.570	1.550	1.540	1.510	1.500	1.578
I(mA)	平均	31.667	34.367	32.033	30.833	29.533	28.467	26.933	16.433	28.783

食醋與 K_2HPO_4 調氫氧化鈉溶液 pH=7.70 +2g 德酵母菌+葡萄糖 0.10M 100mL || 硫酸鐵 0.05M 5mL

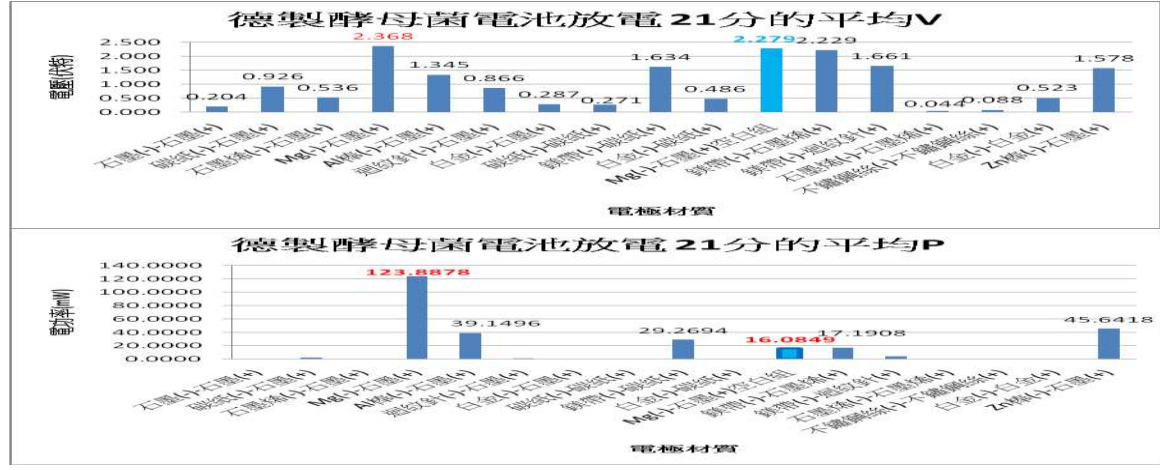
	#1	#14	#8	#16	#2	#3	#7	#10	
負電極-	石墨(-)-	石墨烯(-)-	碳紙(-)-	白金(-)-	碳紙(-)-	石墨烯(-)-	白金絲(-)-	白金絲(-)-	
正電極	石墨(+)	石墨烯(+)	碳紙(+)	白金(+)	石墨(+)	石墨(+)	石墨(+)	碳紙(+)	
平均 V	0.204	0.044	0.271	0.523	0.926	0.908	0.287	0.486	
I(mA)	0.623	0.025	0.317	0.015	2.488	0.284	0.032	0.427	
P(mW)	0.127092	0.0011	0.085907	0.007845	2.303888	0.322739	0.009184	0.207522	
	#4	#11	#12	#9	#13	#6	#15	#5	#17
鎂帶(-)- 石墨(+)	鎂帶(-)- 石墨(+) 空白組	鎂帶(-)- 石墨烯 (+)	鎂帶(-)- 碳紙(+)	鎂帶(-)- 迴紋針 (+)	迴紋針 (-)-石墨 (+)	不鏽鋼 絲(-)-不 鏽鋼絲+	鋁棒(-)- 石墨(+)	鋅棒(-)- 石墨(+)	
	2.368	2.279	2.229	1.634	1.661	0.866	0.088	1.345	1.578
	52.396	7.055	7.717	17.775	2.638	1.599	0.001	28.954	28.783
	123.88775	16.07835	17.20119	29.04435	4.381718	1.384734	0.000088	38.94313	45.64183

實驗(四) 17 組中比較不同電極材質對酵母電池之影響：

電壓：**Mg-石墨(2.368V)** > **Mg-石墨空白組(2.279V)** > Mg-石墨烯(2.229V) > Mg-迴紋針(1.661V) > Mg-碳紙(1.634V) > Zn 棒-石墨(1.578V) > Al 棒-石墨(1.345V)

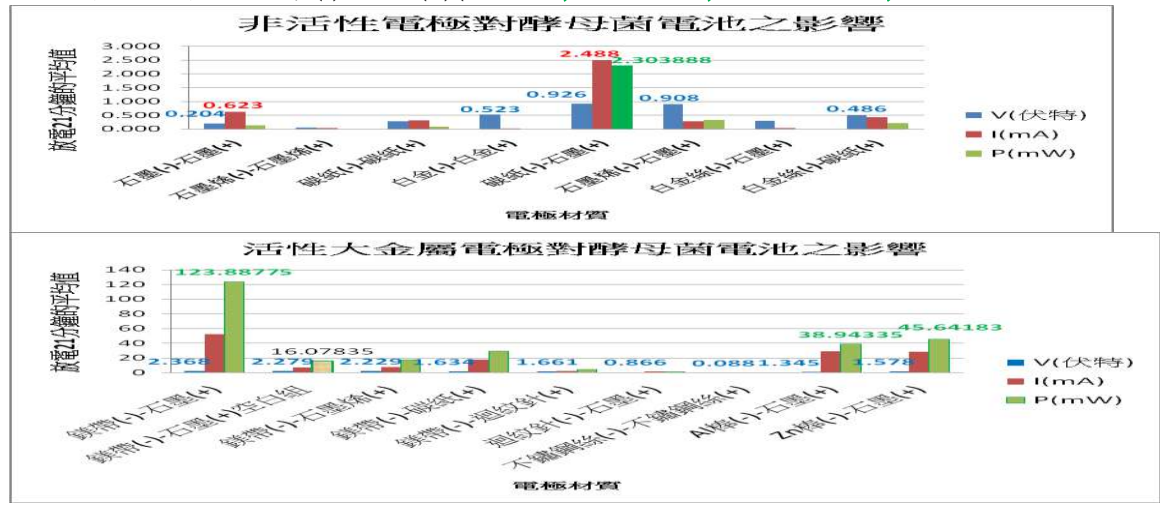
電流：**Mg-石墨(52.338mA)** > 鋁棒-石墨(28.954mA) > Zn 棒-石墨(28.783mA)

電功率：**Mg-石墨(123.8878mW)** > 鋅棒-石墨(45.642mW) > Al 棒(-)-石墨(39.1496mW)



實驗(四)電極分兩類：各類最佳

1. 非活性電極：碳紙(-)-石墨(+)(0.926V, 2.488mA, 2.303888 mW)
2. 活性大電極：鎂帶(-)-石墨(+)(2.368 V, 52.313 mA, 123.8878mW)



實驗(五)紀錄表

實驗(五)#1 組 4.00g 中國酵母菌+葡萄糖 0.10M200mL +1.1688g 氯化鈉 || 硫酸鐵 0.05M 10mL

裝入大封口袋	時間	0	3	6	9	12	15	18	21	平均
電壓 V	平均	0.081	0.065	0.057	0.049	0.060	0.051	0.046	0.041	0.056
電流 mA	平均	1.005	0.464	0.444	0.340	0.318	0.276	0.228	0.200	0.409

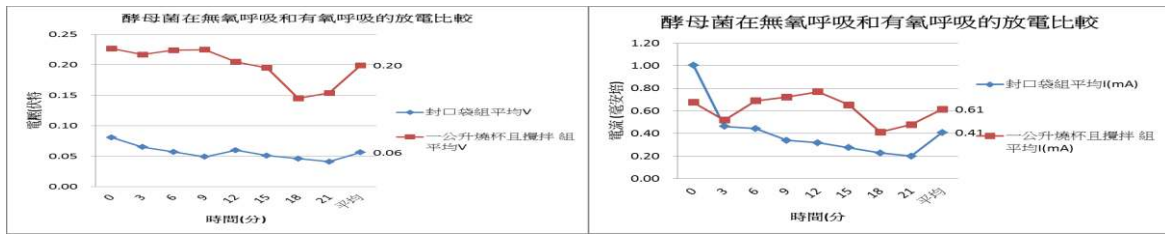
實驗(五)#2 組 4.00g 中國酵母菌+葡萄糖 0.10M200 mL +1.1688g 氯化鈉 || 硫酸鐵 0.05M 10 mL

大燒杯進行且不斷攪拌	平均 V	0.227	0.217	0.224	0.225	0.205	0.195	0.145	0.154	0.199
------------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

電流 mA	平均	0.675	0.519	0.689	0.723	0.769	0.653	0.412	0.478	0.615
-------	----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

實驗(五)圖表:1. 有氧呼吸的發電效果>無氧呼吸的發電效果

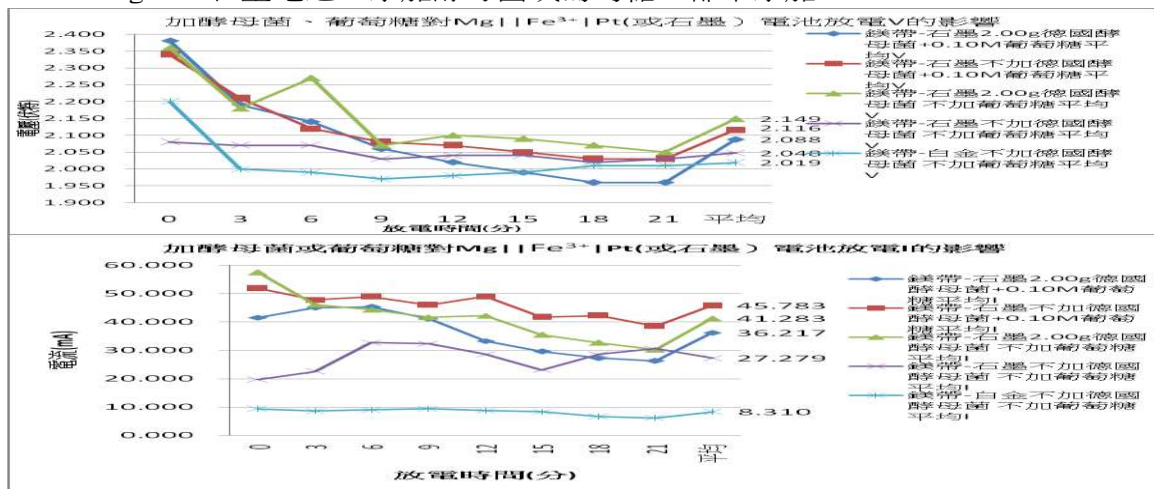
2. 電極石墨棒變多支，接觸表面積變多，放電電流比實驗(一)增加。



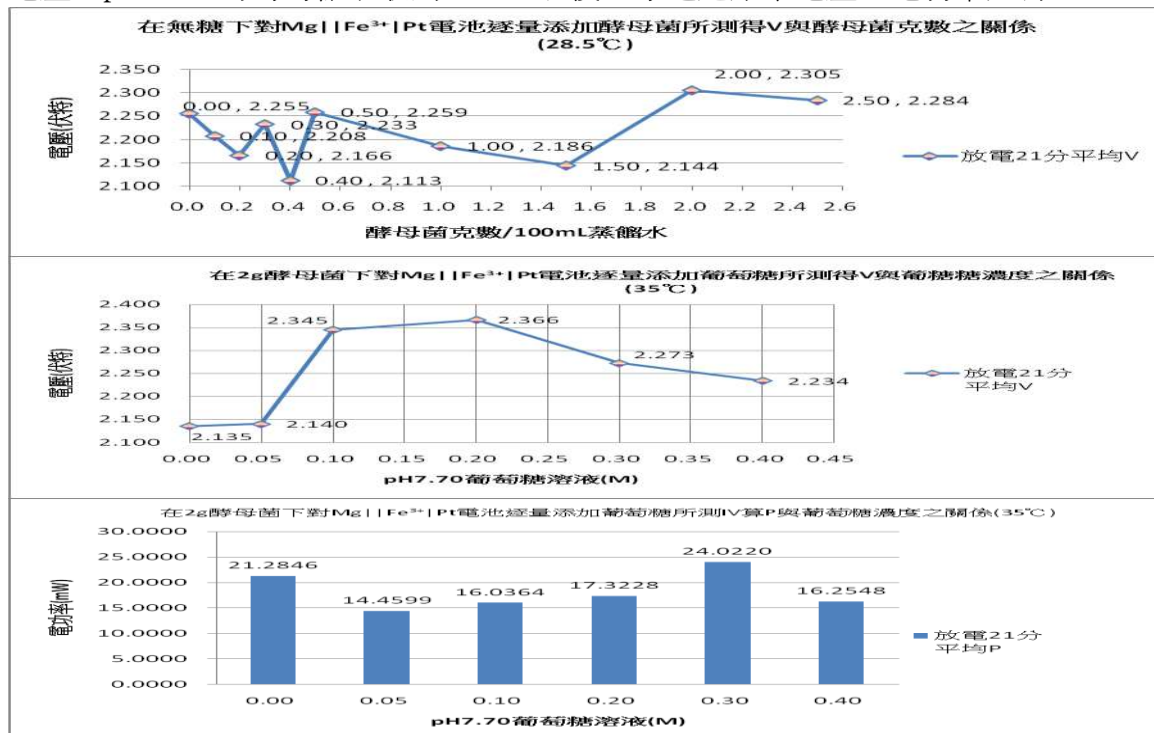
實驗(六)設計的『酵母鎂味電池』負載 LED

(六)-1 放電 V、I 比較： $Mg|Fe^{3+}|Pt$ 石墨電池 > $Mg|Fe^{3+}|Pt$ 電池

$Mg|Fe^{3+}|Pt$ 石墨電池 添加酵母菌或葡萄糖 > 都不添加



(六)-2 最佳化實驗發現： $Mg|Fe^{3+}|Pt$ 電池因逐量添加德製酵母菌加到 2.00 克才超越原來電壓；pH=7.70 的葡萄糖溶液到 0.10M 以後，才超越原來電壓，電功率只有 0.30M。

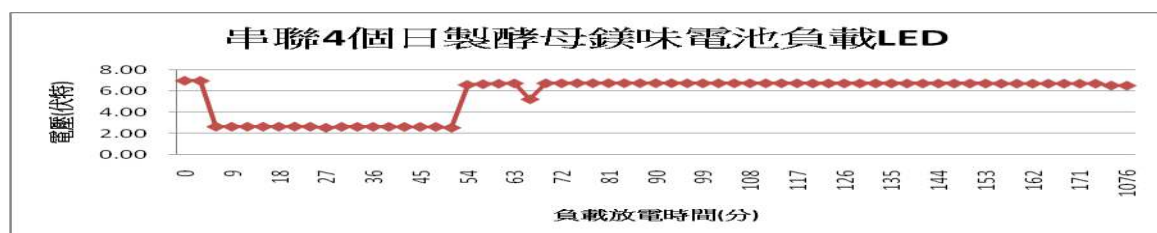
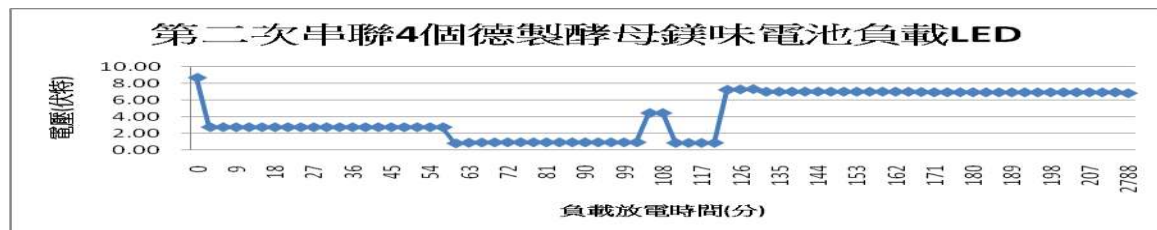
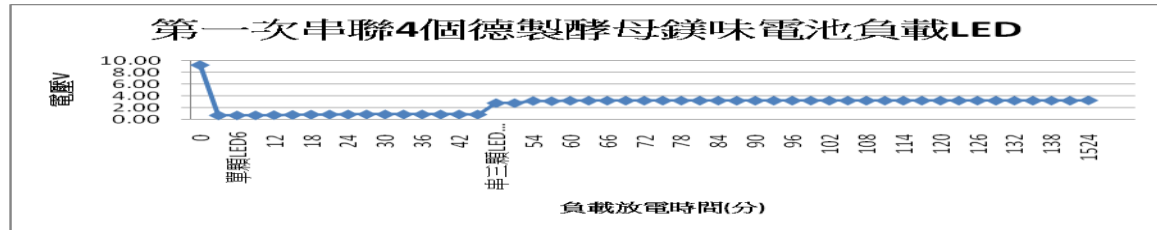


A : [(-)1 條鎂帶 | 2.00g 德酵母菌+0.10M100 mL 葡萄糖 pH=7.70 || 半透膜 || 0.05MFe₂(SO₄)₃5mL | (+)4 根 C]

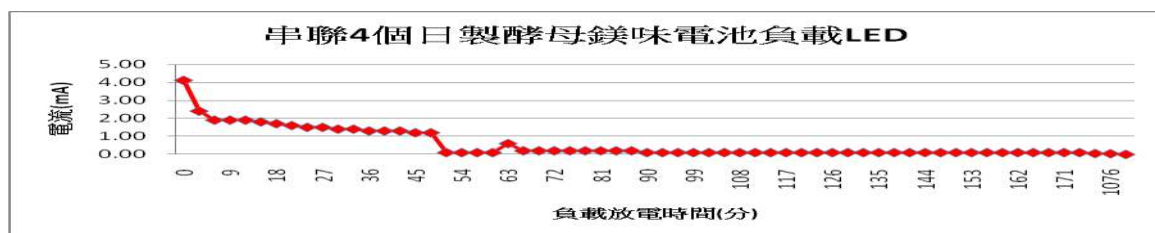
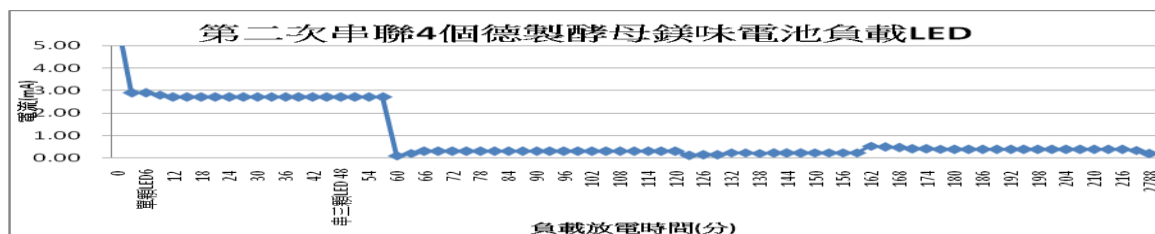
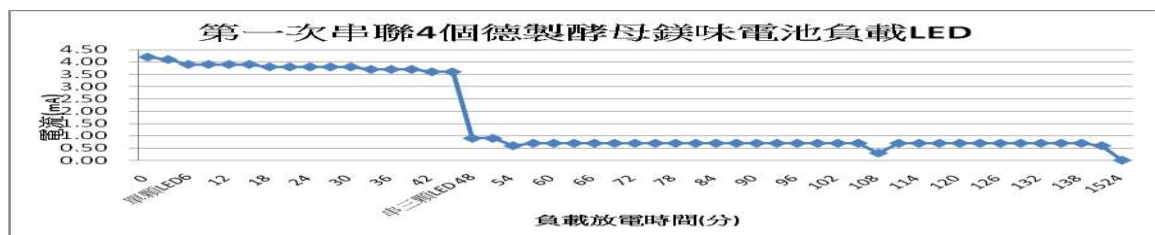
B : [(-)1 條鎂帶 | 2.00g 日酵母菌+0.10M100 mL 葡萄糖 pH=7.70 || 半透膜 || 0.05M Fe₂(SO₄)₃5mL | (+)4 根 C]

C : [(-)1 條鎂帶 | 2.00g 德酵母菌+0.10M100 mL 葡萄糖 pH=7.70 || 半透膜 || 0.05M Fe₂(SO₄)₃10mL | (+)4 根 C]

實驗(六)圖表：第一次德製酵母菌用 Fe₂(SO₄)₃5mL，第二次改用 Fe₂(SO₄)₃10mL，正極溶液硫酸鐵加倍，使電能增加與延壽(1524min→2788min)。日製較德製亮短些(1076min)。



實驗(六)圖表：電流降至 0.2 μA 時 LED 燈就滅了，但電壓仍保持沒下降。



實驗(六)表：第二次製作德製酵母鎂味電池先稱鎂帶質量，負載 LED 前，測各片電池無負載起始 V、I，手工造成差異，負載 LED 後拆解出鎂帶，等乾再稱質量，都增加。

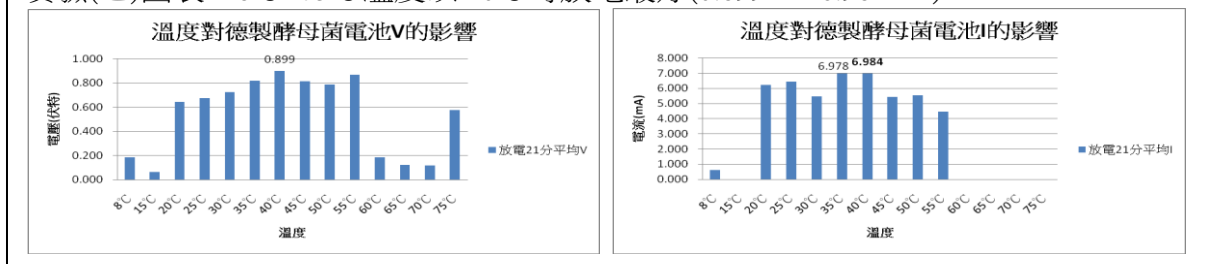
第二次德製 Fe ₂ (SO ₄) ₃ 10mL	第 1 片	第 2 片	第 3 片	第 4 片	平均
放電前鎂帶 Mi	0.2197	0.2432	0.2833	0.2322	—
放電後鎂帶 Mf	0.2333	0.2581	0.3001	0.2588	
整放電增加質量	0.0136	0.0149	0.0168	0.0266	
V ₀	2.23	2.06	2.18	2.18	2.16
I ₀ (mA)	13.19	3.93	5.75	12.48	8.84

實驗(七)：記錄表一溫度對酵母電池如何影響：

[(-)1Pt | 2.00g 德製酵母菌+0.10M 葡萄糖 pH=7.70 溶液 100mL || 硫酸鐵 0.05M 10mL | (+)1 石墨]

溫度°C	8	15	20	25	30	35	40
放電 21 分平均 V	0.185	0.063	0.644	0.675	0.727	0.822	0.899
溫度°C	45	50	55	60	65	70	75
放電 21 分平均 V	0.817	0.790	0.869	0.183	0.121	0.116	0.051

實驗(七)圖表：8°C~75°C 溫度以 40°C 時放電最好(0.899V、6.984mA)。



實驗(八)：記錄表一酵母菌吃糖生長與其發電情況：

[(-)1 石墨 | 2.00g 德酵母菌+0.10M 葡萄糖 pH=7.70 溶液 100mL || 硫酸鐵 0.05M 10mL | (+)1 石墨]

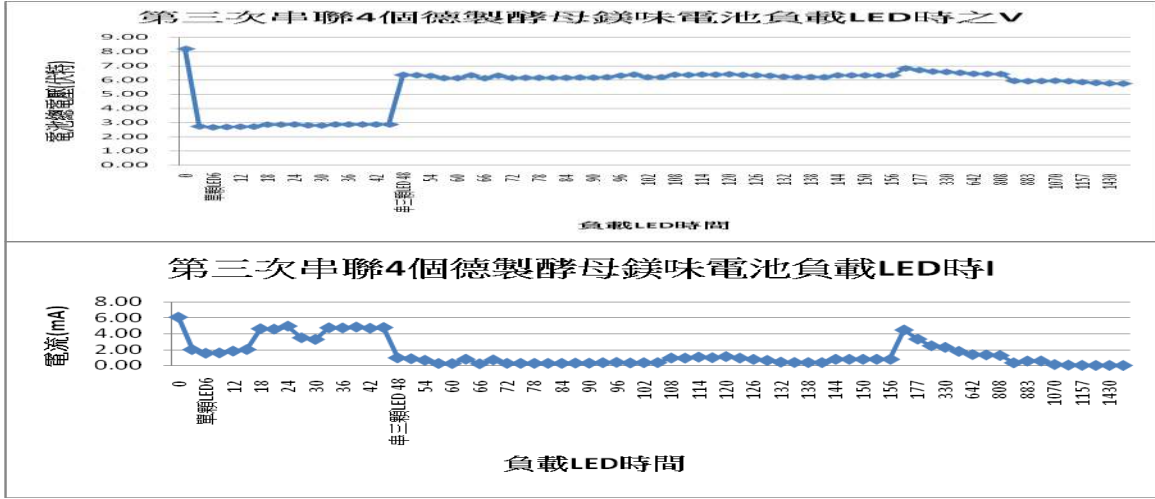
(每時段，顯微鏡下拍不同區幾張，再數這幾張酵母菌數求平均值，測酵母電池放電壓相關?)

菌數	第一時 段	第二時 段	第三時 段	第四時 段	第五時 段	第六時 段	第七時 段	第八時 段	第九時 段	第十時 段	第十一 時段
第 1 人 算平均	76	65	75	73	110	154	92	158	141	164	210
第 2 人 算平均	77	71	73	86	144	217	142	183	152	287	326
第 3 人 算平均	81	72	78	81	85	94	74	83	67	89	102
V	0.804	0.387	0.627	0.751	0.643	0.813	0.444	0.763	0.832	0.875	0.965

實驗(九)：負載放電 144 分比較電壓：正極石墨含硫酸鐵晶體而增加負載放電 V。

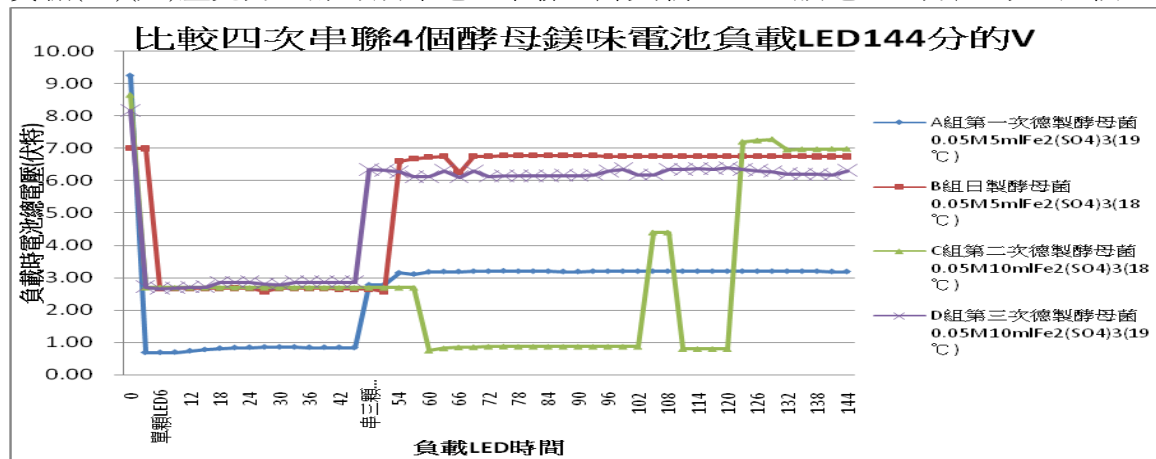
第三次德製酵母 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 10mL	第 1 片	第 2 片	第 3 片	第 4 片	平均
單獨 V。	2.24	2.15	2.17	2.18	2.19
單獨 I。(mA)	6.22	4.14	5.66	4.40	5.11

起始電壓平均有 2.19 伏特。第三次德製酵母菌鎂帶電池點亮 1430 分鐘。

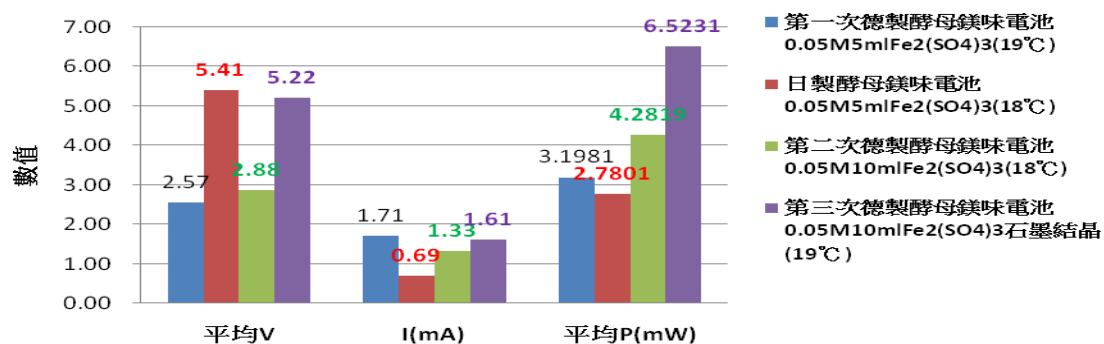


實驗(六)和 實驗(九) 比較		B 組日製酵母 菌 0.05M5ml $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (18°C)	A 組第一次德 製酵母菌 0.05M5ml $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (19°C)	C 組第二次德 製酵母菌 0.05M10ml $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (18°C)	D 組第三次德製 酵母菌 0.05M10ml $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 結晶(19°C)
負載 1 類	平均 V	2.95	0.81	2.69	2.79
	平均 I(mA)	1.20	3.60	2.73	3.60
LED45 分	平均 P(mW)	3.5360	2.8992	7.3563	10.0552 衝高了
負載 3 類	平均 V	6.45	3.17	2.79	6.24
	平均 I(mA)	0.17	0.69	0.55	0.57
LED45 ~144分	平均 P(mW)	1.1146	2.1889	1.5477	3.5355 也衝高了

實驗(六)(九)壓克力型酵母鎂味電池串聯四片負載 LED，放電 144 分鐘的 V 比較



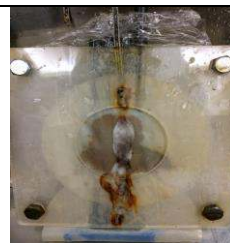
實驗(六)(九)串聯酵母鎂味電池四片負載LED，放電144分鐘的比較



讓放電到沒電後拆解的正極



↑ : 1.正極這邊無棕色鐵離子。



↑ : 1.負極白色氧化鎂生成
2.負極出現棕色鐵離子
3.負極鎂帶斷裂

陸、討論

一、燒杯型酵母菌電池實驗---石墨 || 透膜 || Fe³⁺|石墨的電池：

(一)、實驗(一)-1 負極溶液不同的電池比較

	負極試劑	放電否
空白組(沒酵母菌)	葡萄糖液水溶液	太小 0.018V、0.012 mA
第 1 組	中製酵母菌液溶液	○ 0.212 V、0.258 mA

因為葡萄糖是非電解質，所以它溶於水不易導電

(二)、實驗(一)-2 負極溶液不同的電池比較

	負極試劑	放電否
第 # 1 組(沒酵母菌)	葡萄糖液水溶液	○ 0.087 V、0.079mA
第 # 2 組	中製酵母菌+葡萄糖液溶液	○ 0.092 V、0.078 mA

由上兩結果：酵母菌溶液本身即能放電，酵母液多加葡萄糖，放電並未變小。

(三)、實驗(一)-1(2)找合宜的正、負極溶液濃度：硫酸鐵溶液 0.05M 對葡萄糖溶液 0.10M

(四)、實驗(一)-2 四種麵包酵母菌來源製作電池放電大小：

日本製(0.328V) > 德國製(0.114V) > 中國製 > 美國製

1. 中製與美製酵母菌因過期而活性降低了，所以放電變小了
2. 德製酵母菌不添加化學成分，其電池放電(0.114 伏特，0.106mA，0.012129 mW)
3. 日製包裝標示成分含有乳化劑與維生素 C，致使酵母菌生長速率較快，做成電池，放電 V、I、P 值較高(0.328 伏特，0.377mA，0.123583mW 約是德製的 10 倍)。
4. 日本酵母菌效果雖好但被賣到斷貨，所以我們多採用第二高的德國酵母菌。

二、負極溶液酸鹼度對石墨 || 透膜 || Fe³⁺| 石墨電池影響：(硫酸鐵 0.05M(10ml)的 pH 約 1.10)

(一)、實驗(二)1：加食醋

	pH=2.96	無	P 增為
V、I、P	0.186V、0.237mA、 0.043878mW	0.114V、0.106mA、 <u>0.012129mW</u>	3.6 倍

(二)、實驗(二)2：加小蘇打粉的 pH=8~9 中：

1. 德製酵母菌電池：電壓最高為[碳酸氫鈉]=0.2M(pH=8.23)的 0.279V，

加碳酸氫鈉	pH=8.27	無	P 增為
V、I、P	0.233V、0.331mA、 0.077159mW	0.114V、0.106mA、 <u>0.012129mW</u>	6.4 倍

2. 日製酵母菌電池：

加碳酸氫鈉	pH=8.18	無	P 增為
V、I、P	0.415V ；0.723mA； 0.267755mW	0.114V、0.106mA、 <u>0.012129mW</u>	22.1 倍
加碳酸氫鈉	pH=8.27	無	P 增為
V、I、P	0.380V；1.254mA； 0.472250mW	0.114V、0.106mA、 <u>0.012129mW</u>	38.9 倍

(三)、加氫氧化鈉時 pH=8~13：德製酵母菌電池，電壓最高為 pH=7.73、**0.418V**

加氫氧化鈉	pH=7.73	無	P 增為
V、I、P	0.418V、0.388mA； 0.139223mW	0.114V、0.106mA、 0.012129mW	11.5 倍
加氫氧化鈉	pH=12.56		
V、I、P	0.294V；0.699mA； 0.215902 mW		17.8 倍

(四) 取實驗(二) -2-(2) # 4pH= 8.23 電池放電時每 3 分測 pH 變化發現放電過程 pH 下降，負極溶液由鹼變酸性，放電電壓隨其下降，所以為維持高電壓必需減緩負極溶液 pH 下降。

三、 實驗(三)添加緩衝溶液放電效率的影響： $K_2HPO_4 > Na_2HPO_4$

隔開溶液半透膜對實驗電池放電的影響：大透膜 > 小透膜；舊透膜 > 新透膜
因為透膜面積愈大，同時通過膜離子愈多而導電就較佳。

四、 (一)實驗(四)正負電極材質 16 組的燒杯電池較優者：鎂帶(-)—石墨(+)

電壓：**Mg-石墨(2.368V)** > Mg-石墨空白組(2.279V) > Mg-石墨烯(2.229V)

電流：**Mg-石墨(52.396mA)** > 鋁棒-石墨 > Mg&碳紙(28.954 mA)

電功率：**Mg-石墨(123.88775mW)** > 鋁棒-石墨 > Mg-碳紙

實驗(四)缺點：沒能力控制材質的表面積都相等，電流大小順序與電壓順序沒有一致性。

(二) 將 16 組分成兩類：

1.非活性電極材質-不參與反應的石墨與白金：

最佳放電組合是碳紙(-)-石墨(+)(0.926V, 2.488mA, 2.303888mW)

稱為酵母菌電池

2. 活性金屬電極材質[1]- 鎂帶、鋁棒、鋅棒、迴紋針(鐵鍍鎳)、不鏽鐵絲(鐵鍍鎳)：

最佳放電組合是：鎂帶(-)|0.10M 葡萄糖 pH7.70 溶液 || 透膜 || Fe³⁺|石墨電池

鎂帶(-)-石墨(+)	有酵母菌	無酵母菌	P 增為
V、I、P	2.368 V、52.396Ma、 123.88775 mW	2.279V、7.055mA、 16.07835mW	7.7 倍

變成鎂帶電池為主角，在 16 組電極組合其放電電壓大小順序蠻符合元素活性大小[1]。

五、 酵母菌有兩方式呼吸：有氧呼吸與無氧呼吸

我們用大封口袋放入正負石墨電極之酵母菌電池，逼其無氧呼吸，實驗(五)結果得知：

1.放電電壓大小：有氧呼吸狀態 > 無氧呼吸狀態

2. 電極石墨棒變多支，接觸表面積變多，會增加放電的電流。
3. 檢討系統中若以定速攪拌，比手拿玻棒攪拌更穩定供氧，得到更高電功率的效果。

六、我們設計『酵母鎂味電池』的實驗：

(一)：Mg|Fe³⁺|Pt(或石墨)電池的電壓與(或)電流對時間變化關係圖中

1. 實驗(六)-1 圖表顯示放電 V：Mg|Fe³⁺|石墨 > Mg|Fe³⁺|Pt

負極溶液：酵母菌無葡萄糖 > 無酵母菌葡萄糖 > 有酵母菌有葡萄糖 > 兩者都無
 石墨多孔性使與試劑接觸表面積較大；所以應加石墨粉，以增加電極與試劑的碰撞面積。Mg|Fe³⁺|Pt(或石墨)電池，添加酵母菌或葡萄糖的放電 V、I 都比兩樣不加得好。

2. 實驗(六)-2：對 Mg|Fe³⁺|Pt 電池最佳化實驗結果：

(1)表：在無糖下對 Mg|Fe³⁺|Pt 電池逐量添加酵母菌所測放電 V 最佳者與空白比較

28.5°C	有酵母菌/蒸餾水	無酵母	增 +
電壓	2.305V(2.00g)	2.255V	2.217%

(2)表：在定酵母菌 2.00 克下對 Mg|Fe³⁺|Pt 電池逐量添加葡萄糖所測值與空白比較

35.0°C	有葡萄糖 pH7.70 溶液	無葡萄糖	增 +
電壓	2.366 V(0.20M)	2.135V	10.82%
電功率	24.0220mW(0.30M)	21.2846 mW	12.861%

(二) 因為要點亮 LED 需足夠高電壓所以『酵母鎂味電池』組成，先看誰電壓高：

1. 正負極；鎂帶(-)-石墨(+)(2.368 V)

2. 葡萄糖濃度 0.20M(2.366 V)與 0.10M (2.345V)的電壓接近，0.20M(16.0364Mw)與 0.10M(17.3228mW)的電功率接近，所以經濟考量葡萄糖濃度用 0.10M。

3. 大透膜插正極 4 支石墨並聯，增加放電電流，豎立起抽高一支石墨以接觸空氣。

(三)串聯四片酵母鎂味，負載藍、紅、藍 3 顆 LED 燈，燈滅時電壓尚在高檔，電流下降到 0.2 微安培，拆解發現是正極溶液乾了，第二次將硫酸鐵溶液加倍，其放電 V、I 提高而且壽命延長(第一次點亮 1524 分，第二次亮 2788 分)。

(四)手工製作壓克力酵母菌鎂帶電池有人為因素誤差，但每個電池的起始電壓都接近 2.2 伏特。

(五)從酵母菌鎂帶負載 1 顆 LED 放電 V 低、I 大，後區段負載 3 顆 LED 放電高、I 小。

(六)拆解放電後的電池，鎂帶質量增加，表面變白色，代表有生成物氧化鎂。『酵母鎂

味電池』發生反應有 $2\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MgO}$

七、實驗(七)圖表：燒杯白金(-)-石墨(+)酵母菌電池在 $8^\circ\text{C} \sim 75^\circ\text{C}$ 的 14 個不同溫度中以 40°C 時 21 分放電平均值最好：**0.899V**、**6.984mA**、**6.356435mW**。酵母菌電池發電 $20^\circ\text{C} \sim 55^\circ\text{C}$ 之間為宜，大於 55°C ，因溫度太高致使酵母菌活性下降。

八、用顯微鏡抽驗觀察：放電電流、電壓的衝高點，為酵母菌出芽大量繁殖期。

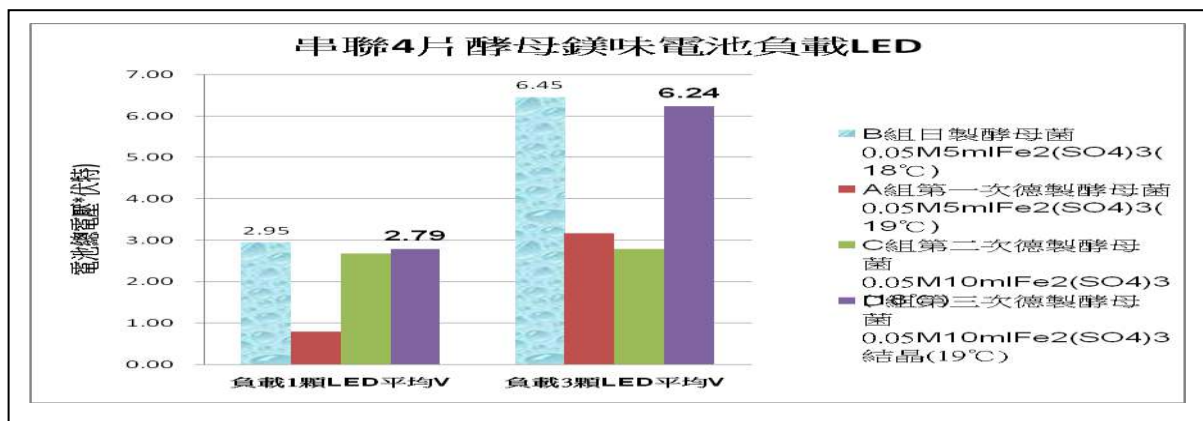
九、第三次酵母鎂味電池之改進方法：

(一)為了負極石墨與鐵離子結合[5]，利用蒸發結晶法，將石墨棒長時間浸泡飽和硫酸鐵溶液中，溶液沿石墨棒毛細上升，水蒸發掉了，硫酸鐵結晶在石墨上。

(二)電池盒底部有葡萄糖溶液毛細現象上升進入酵母菌濾紙包子內，供給酵母菌活命與出芽，提高放電效能。

下圖：一樣德製酵母菌，實驗(六)與 (九)酵母鎂味電池負載 LED144 分鐘的電壓比較：

第三次比第二次與第一次高，幾乎追上實驗(六)日製酵母電池的電壓值。



柒、結論

一、酵母菌燃料電池是藉由酵母菌的催化反應，將葡萄糖燃料轉換為電能的組合。組成有由負極(-)和正極(+)、透膜，酵母菌於負極分解葡萄糖，並同時產生電子和氫離子，電子可經由外部電路到達正極，而氫離子通過透膜到正極，與電子和氧結合產生水。[5]

(一) 如何提高酵母菌電池放電效果，目前研究出因素有：

1. 活性大酵母：日製 (0.328V, 0.377 mA, 0.123656 mW) > 德製 (0.114V)

2. 正負電極合宜材質：碳紙(-)-石墨(+)較佳(**0.926 V**, 2.488mA)

3.負極溶液合宜酸鹼度： pH=7.73 的 0.10M 葡萄糖溶液 (0.418V,0.338mA,0.139223mW)

4.正極溶液合宜酸鹼度：pH=1.10 的 0.05M 硫酸鐵溶液

5.隔離半透膜：大張>小張，因為大張接觸面積愈大，離子流通愈多而易導電

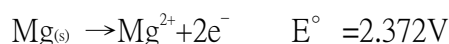
6.溫度： 40°C 最佳 0.899V, 6.984 mA

7.吃糖長久： 2hr57min 時為(0.965 V, 6.001 mA)

(二)更換電極材質研究酵母菌電池中發現鎂帶(-)-石墨(+),其放電值(2.368 V,52.396 mA, 123.88775mW), 滿足我們想負載 LED 的目標，鎂帶就變成為主角；Mg||Fe³⁺|Pt 或石墨電池中添加 2.00g 酵母菌扮演增大電壓的功能，添加 pH=7.70 葡萄糖 0.30M 溶液可增加酵素對系統的電流貢獻；正極用石墨比 Pt 好，理想應加石墨粉，以增加電極與試劑的碰撞面積。

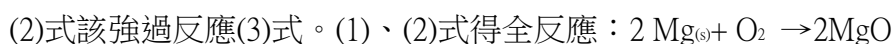
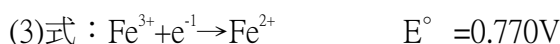
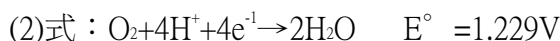
依實際狀況我們 DIY 鎂帶酵母-硫酸鐵石墨電池，簡稱酵母鎂味電池。單一電壓接近 2.20V，

1. 鎂帶當負極電極和 pH=7.70 溶液？ [7]



酵母菌代謝葡萄糖中放電電流為空白組的七倍，使酵母溶液增加導電。

2. 石墨當正極電極和 pH=1.10 溶液？



放電後拆酵母鎂味電池其鎂帶出現白色氧化鎂，O₂ 參與反應。

3.為何添加酵母菌、葡萄糖可以增強電池功率？

Fe³⁺極容易捕獲電子而變成 Fe²⁺，而後穿越半透膜到酵母菌外膜並釋放電子到負極，並再度於陽極槽(負極)形成 Fe³⁺，此一過程將會加速電子傳送速率，因而增加電能輸出。

(三)設計壓克力型電池[4] [5]以便串聯，串 4 顆電池負載 LED 四次觀測，發現提高放電方法有：

1.蒸發結晶法正極石墨內含硫酸鐵結晶，提高負載電壓。

2.豎立起酵母菌濾紙包能接觸空氣，裝箱保溫，讓酵母菌生活得活躍易導電。

3.盒底裝 pH=7.73 的 0.10M 葡萄糖溶液藉由濾紙毛細現象不斷地對酵母菌提供葡萄糖食物。

4.德製酵母菌鎂味電池的點燈壽命：

- (1)負載 1 顆 LED 藍 45 分換 3 顆 LED 藍紅藍，其壽命第一次點亮 1524 分，第二次亮 2788 分；
(2)負載 1 顆 LED 藍 45 分換 3 顆 LED 藍紅綠，其壽命 1430 分

二、未來發展：

- (一)改進酵母鎂味電池內部結構與緊密，使電流由數 mA 增大到數十 mA，甚至數 A 級。[8]
(二)改進酵母鎂味電池製做好一片一片乾片，要 N 伏特電壓就串 N/2 片插入保溫盒，接串它們以後「遇水則發」，使用後就換插新片，舊片進廠更新，所以尚需找出酵母鎂味電池乾片更確實的配方。

捌、參考資料及其他

1. 國中自然與生活科技第六冊 2 上(民 103 年 2 月初版)。第 2 章氧化反應與活性 p36。翰林出版社。台南市。
2. 國中自然與生活科技第六冊 2 下(民 103 年 2 月初版)。第 3 章 3-1 電解質 3-2 酸和鹼 c 3-3 酸和鹼的濃度 p52~71。翰林出版社。台南市。
3. 國中自然與生活科技第六冊 3 下(民 103 年 2 月初版)。第 1 章 1-1 電流的熱效應 1-3 p8~14 1-4 電池 p23~31。翰林出版社。台南市。
4. 莫絲羽 陳美琳 綠色能源-天然微生物燃料電池之開發 2014 台灣科學展覽會 作品說明書 國立臺中女子高級中學
5. 微生物燃料電池基本原理 <http://www.tnu.edu.tw/ice/ice/Requisition/page2.htm>
6. 金屬的腐蝕-表 10-1 金屬的電極電位 web.ckvs.tyc.edu.tw/ezfiles/0/1000/img/56/10.ppt
7. 標準電極電勢表-維基百科，自由的百科全書
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%A0%87%E5%87%86%E7%94%B5%E6%9E%81%E7%94%B5%E5%8A%BF%E8%A1%A8>
8. 日本鎂空氣電池問世，緊急災難加水就可為手機充電 30 次
<http://www.ithome.com.tw/news/90589>

【評語】 030201

以酵母菌電池放電效應來製作能點亮 LED 燈電池頗具創意，
實驗參數也作系統最適化之探討，頗具科學研究之基本法則，值得
鼓勵。