

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 化學科

030213

嗜甜發電廠

學校名稱：臺北縣私立南山高級中學(附設國中)

作者： 國二 劉哲安 國二 王冰 國二 張維軒 國二 黃亭諭	指導老師： 李世軍
--	------------------

關鍵詞：燃料電池、酵母菌、氧化劑

摘要

利用低成本且簡易之方式製作一個微生物燃料電池，以了解其構造、原理及功能，測試不同嗜甜微生物(酵母菌、乳酸菌)在不同濃度下產生電壓的關聯性，並測試不同蛋膜的效果，以及尋找更好的氧化劑和反應條件。實驗發現，以雞蛋的蛋膜作為微生物燃料電池的質子交換膜只能有效隔絕兩槽 3 分鐘，也就是說所有測量必須在 3 分鐘內完成，否則赤血鹽水溶液會滲到外槽，造成電壓不穩以及下滑。若改用雙氧水取代赤血鹽水溶液，電壓穩定且反應後只生成氧氣，比較不會對實驗操作者以及環境造成傷害，應是一個比較好的材料。也由實驗結果得知，乳酸菌的電子轉換率較酵母菌佳，另外，微生物濃度增加時，電壓會隨之增加，但反應的最佳條件尚未找到。

壹、研究動機

近年來油價不斷飆高，全球能源頗有面臨枯竭之憂，科技大國紛紛尋求潔淨且具經濟效益的替代性能源。以氫氣為燃料的燃料電池，具有零污染、高電能轉換效率、低噪音及可再生性等特點，已成為全球寄予厚望的綠色能源。我們偶然在 NASA 的網站上，得知在太空梭上是以燃料電池作為供應電能的裝置，和課程中曾經提到有關燃料電池的內容，有許多互通之處，因此引起我們一探究竟的動機。燃料電池這樣先進的供應電能裝置，實在讓人想親眼目睹，不過很可惜，課本中對燃料電池只有大略敘述和簡圖說明，同時又因為取材不易造價太高、體積過大不易攜帶等原因，在日常生活中無緣一見，於是興起製作一個簡易的燃料電池作為展示模型的想法，以說明其構造原理及功能，增加我們對燃料電池的認識，並試著改善其電子轉換效率。

貳、研究目的

以低成本且簡易之方式製作一個基本的燃料電池，以了解其構造、原理及功能，測試不同嗜甜微生物(酵母菌、乳酸菌)在不同濃度下產生電壓的關聯性。並測試不同蛋膜的效果，以及尋找更好的氧化劑和反應條件，希望此裝置未來能當作檢驗乳酸菌濃度的方式之一。

參、研究設備及器材

一、微生物：食用酵母菌

優酪乳 (乳酸菌)

二、藥品：葡萄糖

乳糖

亞甲基藍

赤血鹽

硝酸

雙氧水

二氧化錳

過錳酸鉀

硫酸

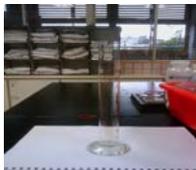
三、溶劑：去離子水

四、器材：蛋、玻璃紙、透析膜

外接導線	電子天平
石墨棒 x2	秤量紙
刮勺	鱷魚夾 x2
微安培計	滴管 x2
三用電表	玻璃棒 x2
伏特計	量筒(50 mL)、(100 mL)
試管夾	小試管
燒杯 (500 mL)、(250 mL)、(150 mL) 數個	



燒杯



量筒



試管夾、試管



漏斗



玻璃紙



銅片



鋅片



砂紙



碳棒



吸管架



滴管

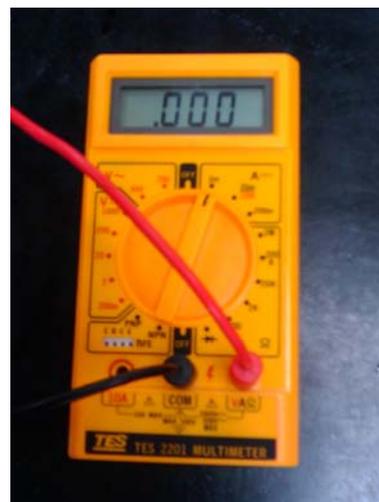


小瓷杯

赤血鹽→



三用電表→

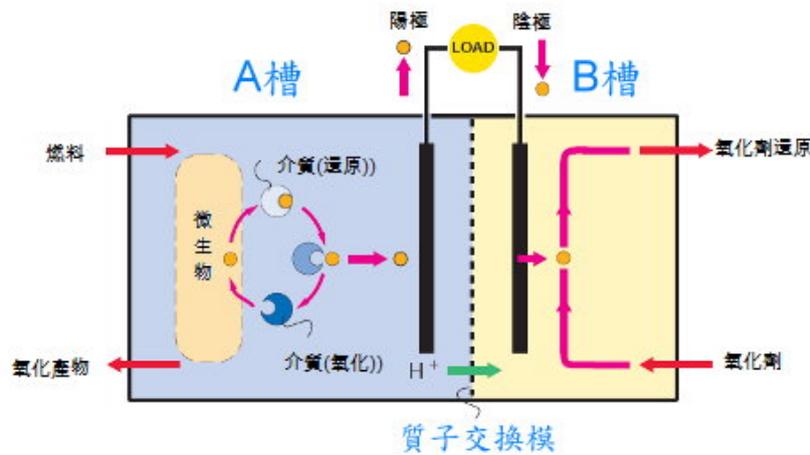


各種藥品器材↑

肆、研究過程或方法

運作原理：

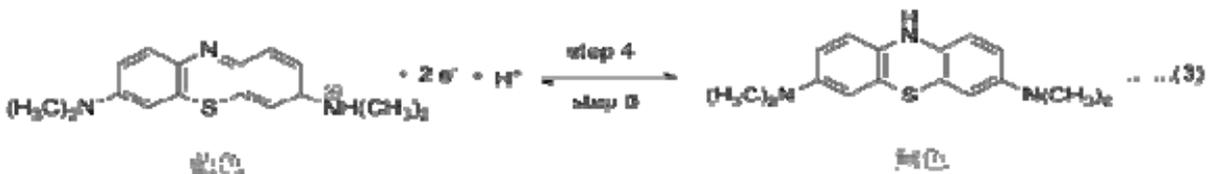
生物燃料電池是藉由微生物的催化反應，將化學能轉換為電能的組件。典型的微生物燃料電池是由陽極和陰極，及一片質子交換膜所構成，生物在陽極氧化燃料，並同時產生電子和質子，電子可經由外部電路到達陰極，而質子則通過質子交換膜到陰極，在陰極會消耗電子和質子與氧結合產生水¹。本實驗一開始以文獻資料所說的赤血鹽為氧化劑，以亞甲基藍為電子載具，其反應方程式及裝置圖，如下所示：



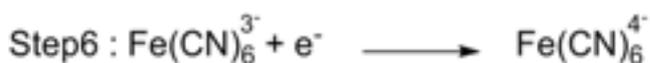
<陽極反應>：



<電子傳遞步驟及膜反應>：



<陰極反應>：



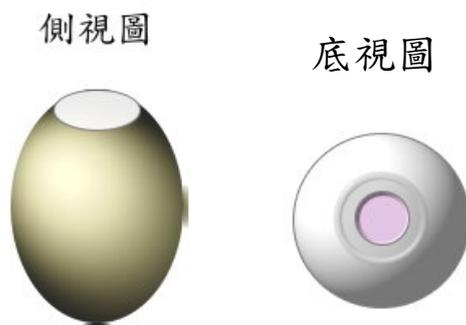
實驗一：銅鋅電池實驗 (測試裝置有無問題)

質子交換膜：玻璃紙

實驗步驟：先拿出一個燒杯(外槽)在裡面加入調好後的 0.1 M (體積莫耳濃度)硫酸銅水溶液，接著放入底層用玻璃紙包覆的有孔小瓷杯(內槽)，小瓷杯加入 20 mL 的 0.1 M 硫酸鋅水溶液，然後分別在燒杯和瓷杯中放入磨過的銅片及鋅片，觀察能否產生電壓及電流。

實驗二：製作半透膜

蛋膜製作流程：首先選用雞蛋做半透膜，在蛋的鈍端輕輕敲破一個洞，留下氣室裡的蛋膜，接著在尖端戳一個大約五元硬幣大小的洞，將裡面的蛋黃和蛋白抽出來，並清洗乾淨。(圖一、二)



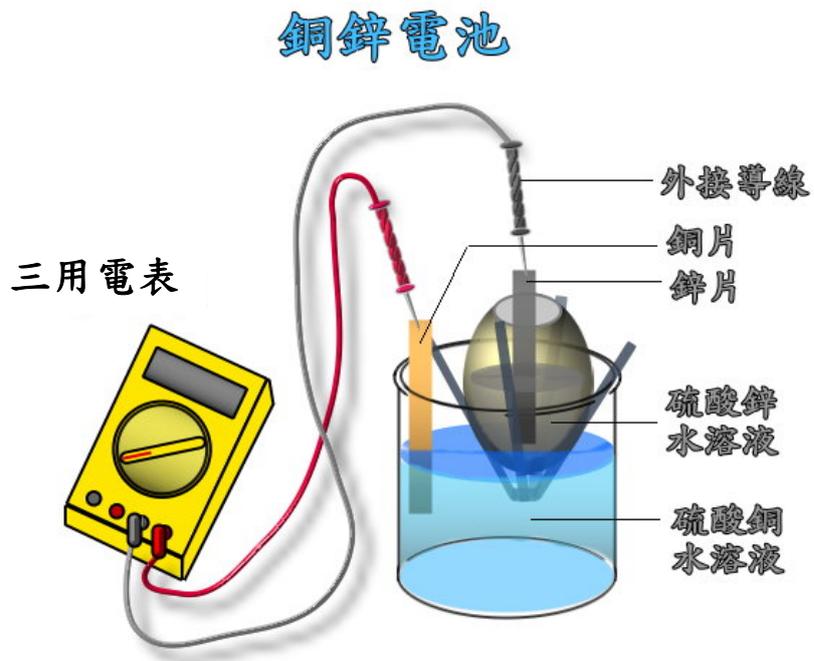
圖一：繪圖的雞蛋蛋膜



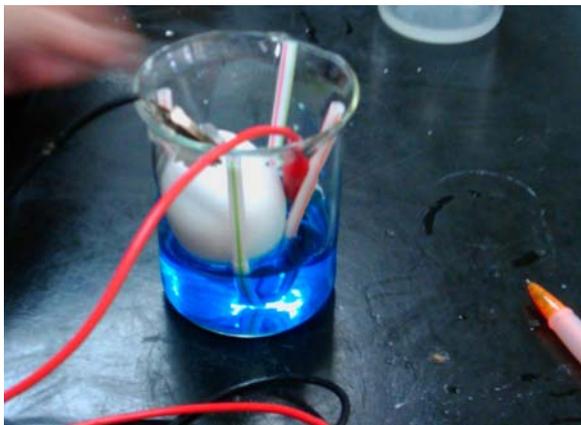
圖二：真實處理完的雞蛋

實驗三：銅鋅電池實驗（測試裝置有無問題）

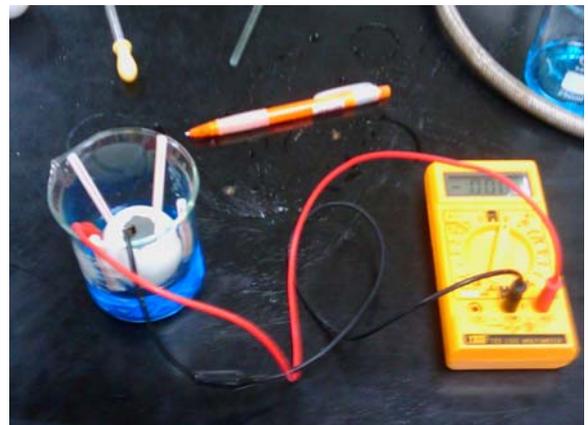
實驗步驟：先拿出一個燒杯在裡面加入調好後的 0.1 M 硫酸銅水溶液，接著放入吸管用以支撐雞蛋，並在蛋中加入 20 mL 的 0.1 M 硫酸鋅水溶液，然後分別在燒杯和蛋中放入清洗過後的銅片和鋅片，觀察能否產生電壓及電流。(如圖三、四、五)



圖三：銅鋅電池示意圖



圖四：硫酸銅溶液及實驗裝置



圖五：用三用電表測量電壓及電流的情形

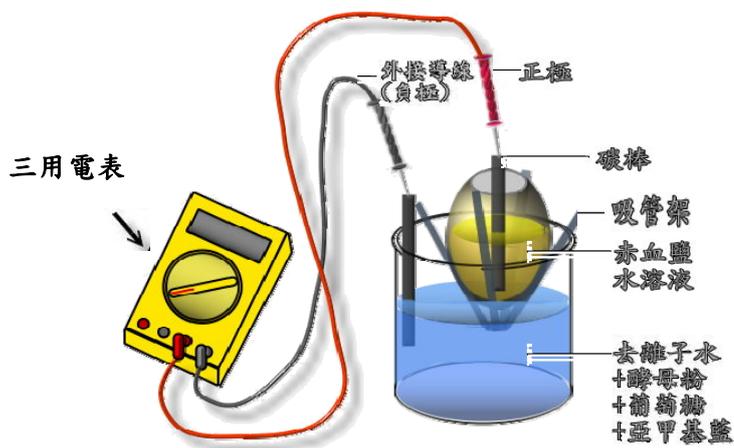
實驗四：酵母燃料電池（觀察酵母粉濃度對電流及電壓之影響）

實驗步驟：先拿出四個燒杯在裡面分別加入調好後的濃度 2.5%至濃度 10%酵母水溶液和亞甲基藍和葡萄糖（表一），接著放入吸管和蛋，並在蛋中加入 10 mL 的 5%赤血鹽水溶液，然後分別在燒杯和蛋中放入清洗過後的碳棒，在內槽的碳棒接上正極電線，在燒杯中的碳棒接上負極的電線，觀察產生的電壓及電流。（如下圖六、七）

<表一：酵母菌水溶液成分>

藥品 濃度	去離子水	酵母粉	亞甲基藍	葡萄糖
2.5%	195mL	5g	10mL	20g
5%	190mL	10g	10mL	20g
7.5%	185mL	15g	10mL	20g
10%	180mL	20g	10mL	20g

酵母菌燃料電池



圖六：酵母燃料電池示意圖



圖七：亞甲基藍+酵母菌+葡萄糖(外槽)及赤血鹽(內槽)

實驗五：乳酸燃料電池（將酵母菌換為乳酸菌(優酪乳)，觀察是否可產生電流、電壓)

實驗步驟：同實驗四的器材，將酵母菌換成優酪乳，配成不同濃度（2.5%、5%、7.5%、10%）（圖八），觀察產生的電壓及電流。



圖八：調配好的實驗藥品

實驗六：針對「赤血鹽水溶液是否會透過氣孔或蛋膜滲透到外槽中」之推論做檢測。

實驗步驟：1.將裝有赤血鹽水溶液的蛋放入一個裝有去離子水的燒杯中，並以保鮮膜覆蓋燒杯，靜置一星期。
2.靜置一星期後解開保鮮膜（如圖九），以兩根滴管分別由蛋殼內及燒杯中吸取液體，分別滴入兩支裝有硫酸亞鐵水溶液之試管中並以手輕輕搖晃，觀察並比較兩試管溶液的差異。



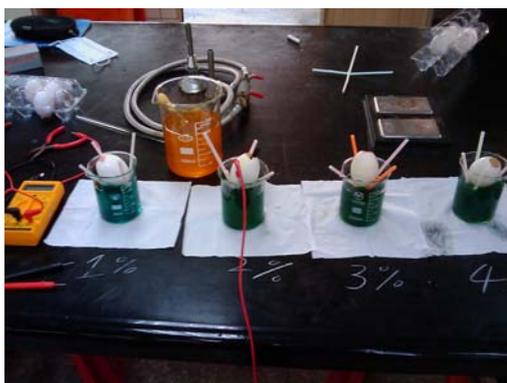
圖九：三個使用過的蛋殼，內裝赤血鹽水溶液

實驗七： 以分鐘為單位，找出赤血鹽水溶液由蛋殼(內槽)滲入燒杯(外槽)中之確切時間。

- 實驗步驟：
1. 將裝有赤血鹽水溶液的蛋放入裝有去離子水的燒杯中並開始計時。
 2. 每過一分鐘，以滴管吸取燒杯內之液體，滴入裝有硫酸亞鐵水溶液之試管中並觀察其反應。

實驗八： 酵母粉濃度對裝置電壓的影響並在蛋內的赤血鹽水溶液滲入燒杯前完成實驗。

- 實驗步驟：
1. 依照實驗三之步驟架設酵母粉濃度 0.1~ 0.5% 之電池裝置（如圖十）
 2. 加入酵母粉後先讓其與葡萄糖計時反應一分鐘，也藉此讓酵母粉溶解至溶液中。
 3. 在反應時間達一分鐘同時將裝有赤血鹽水溶液之蛋殼(內槽)加入裝置中。
 4. 蛋殼放入裝置後每分鐘測量一次電壓至 3 分鐘為止。



圖十：各種不同濃度的酵母燃料電池裝置

實驗九： 測試不同材質的半透膜(玻璃紙、半透膜)，比較赤血鹽、過錳酸鉀滲透的情形

- 實驗步驟：
1. 分別以玻璃紙、半透膜包覆有孔小瓷杯底部，並以膠帶固定，不使溶液滲出。
 2. 調配赤血鹽及過錳酸鉀溶液，分別倒入固定於兩燒杯上的瓷杯中，並觀察滲透情形。

實驗十： 測試不同種類蛋(鴨蛋)的隔離效果

- 實驗步驟：製作不同種類的蛋膜，並在蛋中加入赤血鹽水溶液，將蛋用架子放在一空燒杯中，計時並觀察是否有液體滲出

實驗十一： 測試稀硝酸是否可代替赤血鹽作為裝置的氧化劑。

- 實驗步驟：依酵母菌濃度 0.1% 裝置，調配外槽溶液，並將配好的稀硝酸 20mL 加入蛋殼中(濃度約為 0.1M)，蛋殼在接觸外槽溶液後每 30 秒紀錄一次電壓至電壓穩定。

實驗十二： 觀察酵母濃度對以稀硝酸為氧化劑之裝置的影響

- 實驗步驟：依酵母菌濃度 0.5% 裝置，調配外槽溶液（葡萄糖維持 1 克），並將配好的稀硝酸 20mL 加入蛋殼中，蛋殼接觸外槽溶液後每 30 秒紀錄一次電壓至電壓穩定，並與實驗十一之結果作比較

實驗十三：觀察葡萄糖濃度對實驗十二之裝置的影響

實驗步驟：依酵母菌濃度 0.5% 裝置，調配兩組外槽溶液；葡萄糖分別改加入 5 克及 10 克。將配好的稀硝酸 20mL 加入蛋殼中，蛋殼接觸外槽溶液後每 30 秒紀錄一次電壓至電壓穩定，觀察兩裝置的電壓以及比較實驗十一、十二、十三之結果。

實驗十四：將氧化劑換為雙氧水，並比較經硫酸催化的雙氧水裝置與未經硫酸催化的雙氧水裝置電壓間的差異。

實驗步驟：依酵母菌濃度 0.1% 裝置，調配外槽溶液，將調好的雙氧水 20mL 加入蛋殼中（濃度約 0.1M），在蛋殼接觸外槽溶液後每 30 秒紀錄一次電壓，一杯記錄至電壓穩定時；另一杯在電壓上升趨緩時加入 10 滴稀硫酸水溶液至電壓穩定為止，觀察兩裝置的電壓並與實驗十一之結果作比較

實驗十五：將裝置氧化劑換成二氧化錳，以稀硫酸做催化劑

實驗步驟：依酵母菌濃度 0.1% 裝置，調配外槽溶液，取 0.174 克二氧化錳加入蛋殼中，並加入 20mL 水，在蛋殼接觸外槽溶液後每 30 秒紀錄一次電壓，持續在電壓上升趨緩時加入 10 滴稀硫酸至電壓穩定為止，觀察電壓並與實驗十一之結果作比較。

實驗十六：測試半透模效果：將蛋換成以半透模包覆的有孔小瓷杯，和蛋膜裝置的電壓比較以及觀察不同氧化劑下產生的電壓。

實驗十六(一)：氧化劑為稀硝酸

實驗步驟：依照實驗八的酵母菌濃度 0.1% 裝置，調配外槽溶液，將配好的稀硝酸 18mL 加入瓷杯中，在瓷杯接觸外槽溶液後每 30 秒紀錄一次電壓，至電壓穩定為止，與實驗十的結果比較，並和實驗十六之另外三種氧化劑的結果做比較。

實驗十六(二)：氧化劑為 35% 雙氧水

實驗步驟：依酵母菌濃度 0.1% 裝置，調配外槽溶液，取 35% 雙氧水 9mL 及 9mL 的稀硫酸加入瓷杯中，在瓷杯接觸外槽溶液後每 30 秒紀錄一次電壓，持續在電壓上升趨緩時加入 10 滴硫酸，測至電壓穩定。

實驗十六(三)：氧化劑為二氧化錳

實驗步驟：依酵母菌濃度 0.1% 裝置，調配外槽溶液，取 0.174 克二氧化錳及 18mL 的硫酸加入瓷杯中，在的瓷杯接觸外槽溶液後每 30 秒紀錄一次電壓，在電壓上升趨緩時加入 10 滴稀硫酸，測至電壓穩定為止。

實驗十六(四)：氧化劑為過錳酸鉀

實驗步驟：依酵母菌濃度 0.1% 裝置，調配外槽溶液，取配好的過錳酸鉀 9mL (0.1M) 及 9mL 的硫酸加入瓷杯中，瓷杯接觸外槽溶液後每 30 秒紀錄一次電壓，在電壓上升趨緩時加入 10 滴催化劑，測至電壓穩定為止。

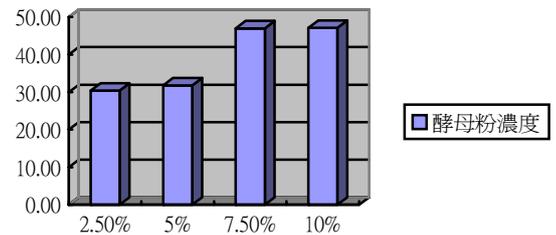
伍、研究結果

實驗一：實驗失敗，裝置並無產生電壓，發現玻璃紙已有破損，瓷杯內外溶液已經混合，再加上玻璃紙包覆瓷杯並不容易固定，液體易從縫隙穿過，因此考慮其他的方式來製作半透膜。

實驗二：聽老師說，有示範實驗是以雞蛋作為滲透壓的裝置，因此我們嘗試以蛋膜當作質子交換膜，把蛋殼又可以當作內槽溶液的容器，一舉解決實驗一的問題。

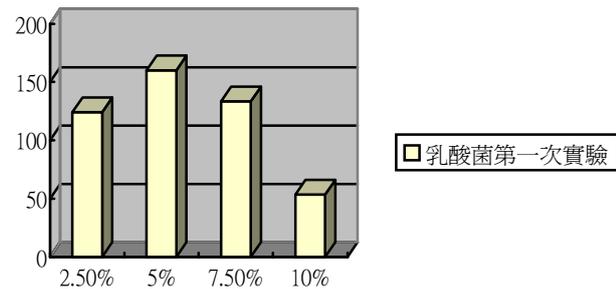
實驗三：裝置測試結果成功，產生電壓約 1.056 ~ 1.058 伏特，電流大約為 3.9 毫安培。

實驗四：根據所查文獻資料，配置不同酵母粉濃度，生物燃料電池發電成功。濃度越大時，產生的電壓有變大的趨勢，但超過濃度 7.5% 之後，電壓變化不大。(如圖十一)



圖十一：不同酵母濃度及電壓

實驗五：將酵母粉改成乳酸菌，依然發電成功，狀況和實驗四類似，濃度 7.5% 和濃度 10% 雖然濃度增加，但是電壓反而是下降的，令人覺得疑惑。(如圖十二)



圖十二：不同乳酸濃度及電壓

實驗六：吸取蛋殼內外溶液滴入含有硫酸亞鐵的水溶液中，發現皆變為藍色，因此確定兩槽溶液會滲透至另一邊。(如右圖十三)

(圖十三：為某次實驗中赤血鹽水溶液滲出之燒杯(圖右)與正常裝置(圖左)之燒杯的比較。)

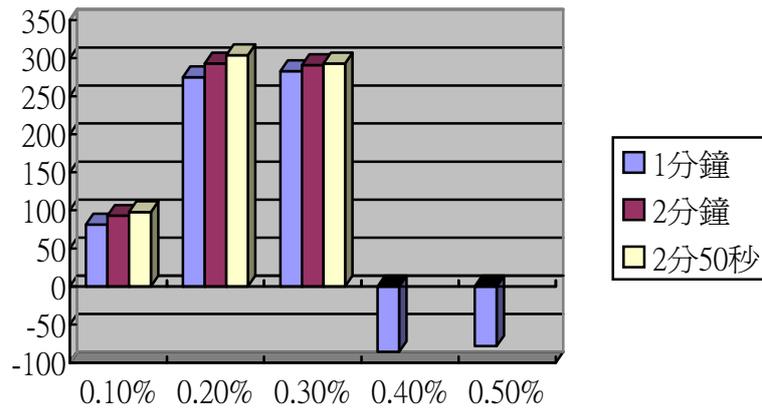


實驗七：右圖為不同時間外槽液體與硫酸亞鐵之反應情況；到三分鐘時顏色有較明顯之改變，因此推論三分鐘後，蛋殼內的溶液已流出蛋殼外，將影響實驗結果。(如圖十四)



圖十四：不同時間外槽液體與硫酸亞鐵之反應

實驗八：下圖為酵母粉濃度 0.1% 至 0.5% 在三分鐘內所產生的電壓變化。(如圖十五)

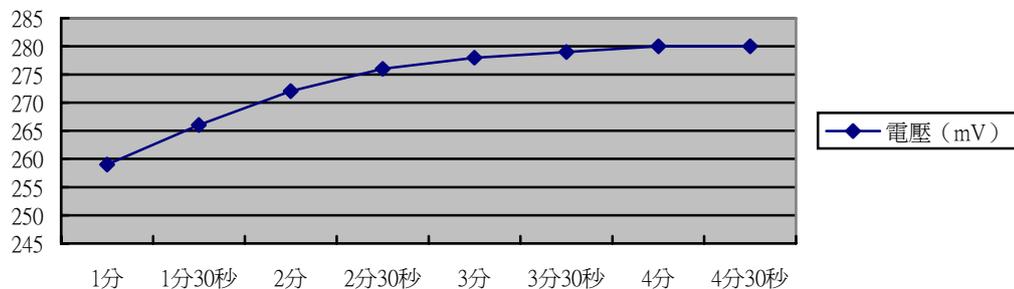


圖十五：不同濃度酵母溶液與電壓

實驗九：加入赤血鹽溶液後五秒後發現有赤血鹽溶液滲出，過錳酸鉀結果亦然；故玻璃紙、半透膜無法有效阻止赤血鹽、過錳酸鉀滲出。

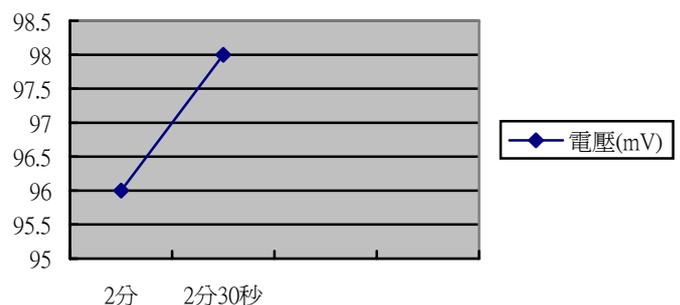
實驗十：把赤血鹽溶液加入鴨蛋殼中，大約一分鐘後有赤血鹽溶液滲出，比一般的雞蛋蛋膜（三分鐘滲出）滲出的速度更快。

實驗十一：以硝酸溶液當作氧化劑，發現電壓穩定，大約 280mV。(如圖十六)



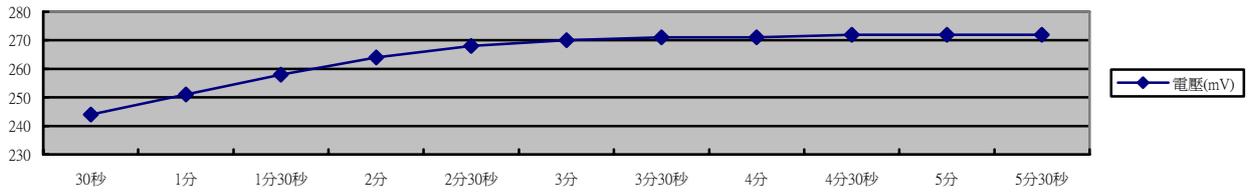
圖十六：反應時間與電壓

實驗十二：酵母菌的濃度變為原來 5 倍 (0.5%)，其他條件與實驗十一相同，發現電壓比實驗十一的結果要來的低，大約只有 97mV。(如圖十七)

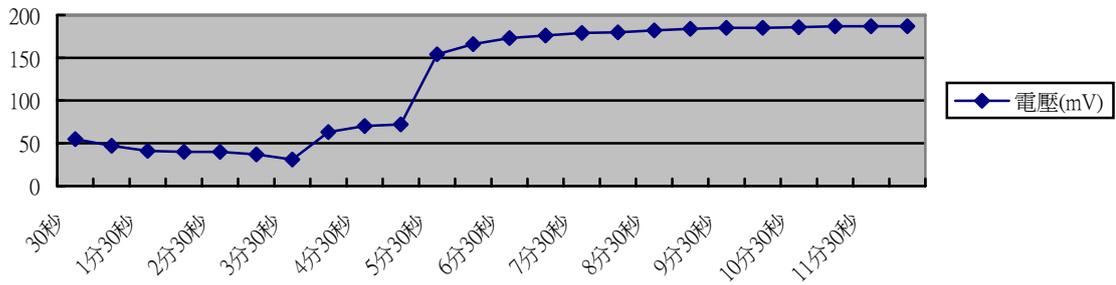


圖十七：反應時間與電壓

實驗十三：酵母菌的濃度維持 0.5%，當把葡萄糖的重量增加為 5 克、10 克時，測量得到的電壓分別為 271mV、186mV。(如圖十八、圖十九)

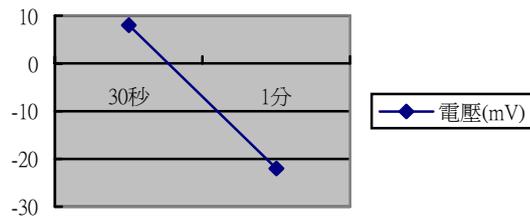


圖十八：葡萄糖 5 克時，反應時間與電壓

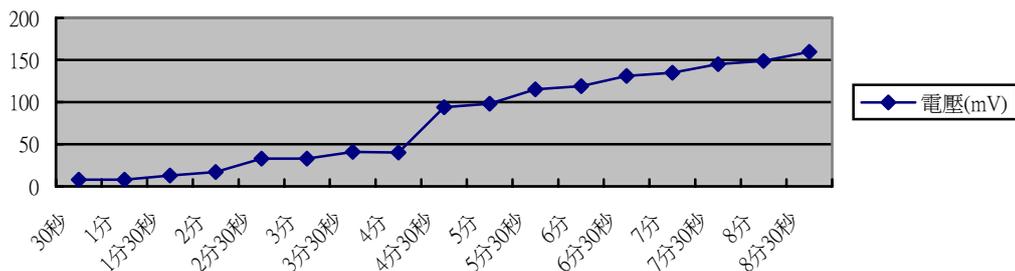


圖十九：葡萄糖 10 克時，反應時間與電壓

實驗十四：以雙氧水溶液當作氧化劑，未加硫酸水溶液的電壓低（8mV），且持續降低到變為負值（-22mV）；有加入硫酸水溶液的電壓較高，後來因為蛋膜破裂，最高電壓只測到大約為 160mV。(如圖二十、圖二十一)

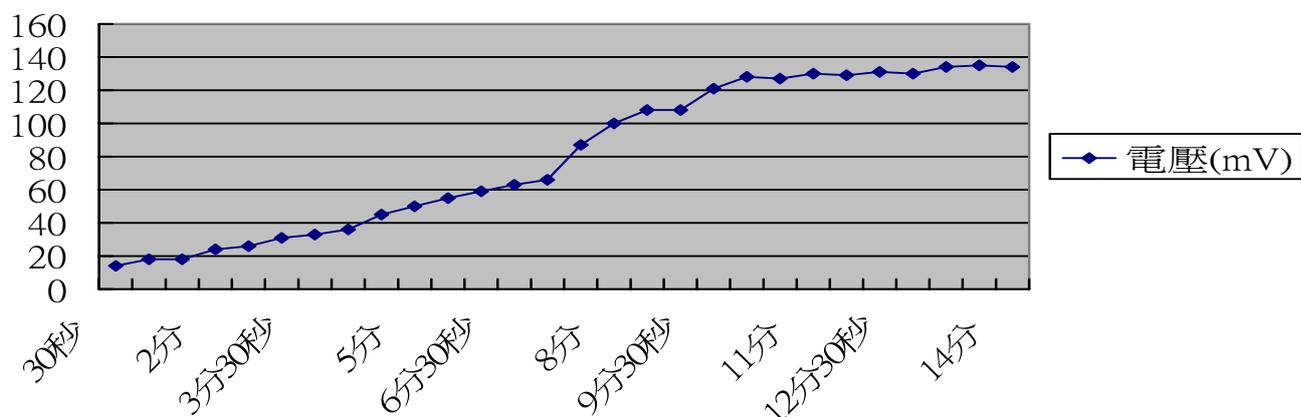


圖二十：雙氧水未經催化之反應時間與電壓



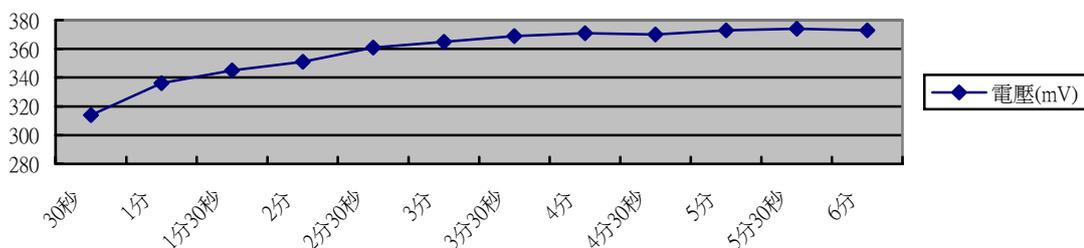
圖二十一：雙氧水經硫酸催化之反應時間與電壓

實驗十五：以二氧化錳當作氧化劑，持續在電壓上升趨緩時加入 10 滴硫酸水溶液，測至電壓穩定為止，最高電壓維持在大約 134mV。(如圖二十二)

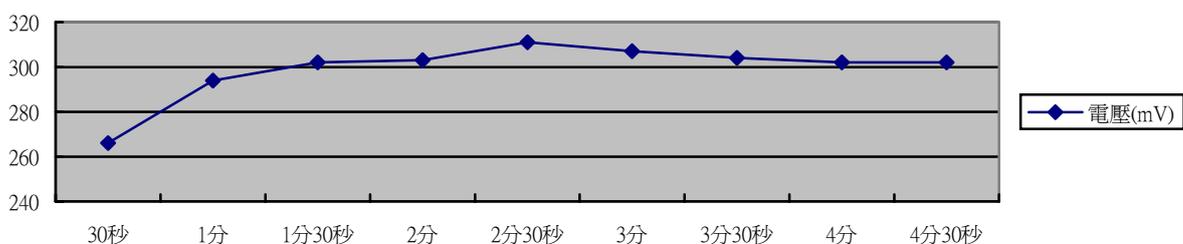


圖二十二：反應時間與電壓

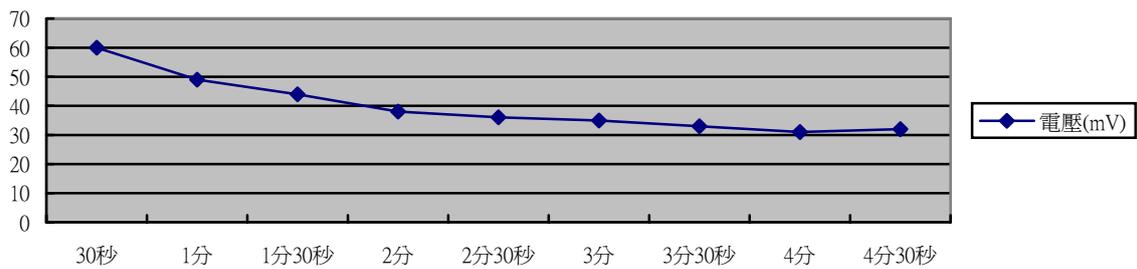
實驗十六：將裝氧化劑的蛋換成以半透模包覆的有孔小瓷杯，測試四種不同氧化劑所產生的電池電壓，分別的結果為：(一) 0.1M 硝酸：電壓最後穩定在 374mV (圖二十三)，(二) 35%雙氧水+硫酸水溶液：電壓最後穩定在 302mV (圖二十四)，(三) 二氧化錳+硫酸水溶液：一開始電壓大約 60mV，電壓持續下降至 32mV 之後穩定 (圖二十五)；反應過程中，瓷杯內持續冒泡，(四) 過錳酸鉀+硫酸水溶液：輕攪拌瓷杯內碳棒，測得最高電壓為 854mV (圖二十六)，只要停止攪拌，電壓就會持續下降。



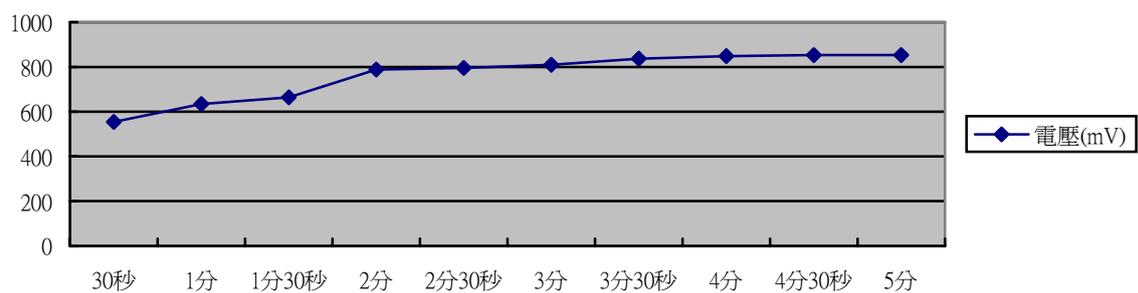
圖二十三：0.1M 硝酸的反應時間與電壓



圖二十四：35%雙氧水+硫酸水溶液之反應時間與電壓



圖二十五：二氧化錳+硫酸水溶液之反應時間與電壓



圖二十六：過錳酸鉀+硫酸水溶液之反應時間與電壓

陸、討論

- 實驗一：第一次的失敗原因除玻璃紙隔離效果不佳外，經過確認實驗過程無誤後且換新的器材後發現是可能因為實驗器材有損壞，例如：電線生鏽造成額外電阻、三用電表故障等等。
- 實驗二：玻璃紙會受化學藥品的腐蝕，無法作為此裝置的質子交換模。再加上小瓷杯不易做到密封，且不易固定在燒杯內，故改用蛋殼、蛋膜為實驗裝置。
- 實驗三：排除器材的問題後，使用自製的裝置，測試銅鋅電池可成功發電，確定此實驗裝置可行，並採用此裝置作為之後實驗的基本裝置。
- 實驗四：由實驗結果推測：酵母粉濃度越大，產生的電壓也就越大，但最後電壓變化不大，可能，我們沒有每次測量前將碳棒清洗乾淨，導致碳棒留有化學藥品，進而影響實驗數據。另外，實驗過程中的配置方法只是暫訂的數據，不知最佳的配法為何，仍在摸索中。
- 實驗五：濃度 2.5%、5% 的電壓呈現上升，但濃度 7.5% 開始卻明顯下降，乳酸濃度 10% 之電壓甚至與濃度 2.5% 差了 1 倍以上，因此我們推論乳酸所產生的電壓受乳糖濃度及反應時間影響。以優酪乳(含有其他物質)代替乳酸菌，無法確定每次倒出的優酪乳中是否含有相同的乳酸菌，再加上測量電壓時的時間也不相同，故無法確定是何因素造成如此結果。另有組員發現一段時間後，蛋殼內外溶液顏色變的混濁奇怪，因此懷疑是否因殼內溶液流出造成如此的結果，有待後面實驗證實。(本有考慮用純乳酸菌來做實驗，但因粉狀乳酸菌價格太高，不考慮採用。)
- 實驗六：由燒杯內液體與硫酸亞鐵水溶液之反應可知蛋內的赤血鹽水溶液會由蛋膜滲出至燒杯溶液中，故蛋不可重複使用。
- 實驗七：所有測量必須在 3 分鐘內完成，才不致使赤血鹽水溶液滲到外槽，影響實驗結果。而先前所有赤血鹽加入蛋殼超過 3 分鐘者，數據皆有誤差，僅能參考使用。
- 實驗八：濃度 0.1% 到濃度 0.3% 裝置所產生的電壓在 2 分 50 秒時都較高，濃度 0.4% 與濃度 0.5% 裝置的電壓則都呈現負數，推測酵母燃料電池所產生之電壓受各物種濃度比例及反應時間影響。
- 實驗九、十、十一：不論用玻璃紙還是半透膜都無法阻止赤血鹽、過錳酸鉀滲出，結果顯示鴨蛋膜也無法改善，因此，考慮沒有金屬離子的氧化劑(稀硝酸)，發現電壓比赤血鹽溶液高且穩定。

實驗十二、十三：僅提高酵母菌的濃度，發現電壓反而下降，推測可能因為葡萄糖不夠的關係，因此提高葡萄糖的重量（5克），結果發現，葡萄糖增加重量時，電壓明顯有增加；但葡萄糖增加至10克時，電壓反而比5克葡萄糖時低，推測增加葡萄糖是有幫助的，但是量太多時，反而有負面影響；從實驗結果觀察，酵母菌濃度（0.5%）產生的電壓都比酵母菌濃度（0.1%）來的低，推測酵母菌反應應有其最佳條件，只是目前尚未求得。

實驗十四：因考慮硝酸反應會產生有毒氣體（NO），故考慮以雙氧水當作氧化劑，並測試其效果。結果發現，當沒有加入硫酸當催化劑之時，電壓很低，甚至變成負值，一旦加入硫酸當催化劑時，電壓較高（160mV）且穩定。

實驗十五：選用二氧化錳是因為其不易溶於水，沒有離子滲漏的問題，並在反應過程中加入硫酸水溶液，可幫助二氧化錳反應，最後電壓可穩定在134mV。

實驗十六：以透析膜為半透膜進行實驗時發現，同濃度的硝酸產生的電壓（374mV）比在蛋膜時（280mV）高出將近100mV且穩定，顯示使用透析膜的效果比蛋膜好；用35%雙氧水+硫酸水溶液，所產生的電壓（302mV）也比稀釋過的雙氧水（160mV）高很多且穩定；當二氧化錳加入硫酸水溶液時，就開始冒泡，應該是硫酸濃度太高，量太多，故直接和二氧化錳反應，因此產生的電壓（32mV）比實驗十五的電壓（134mV）低很多；過錳酸鉀雖然產生的電壓最高，可高達854mV，但因為仍有滲漏的問題，不攪拌時，電壓會一直下降而且並不穩定。

柒、結論

- 一、實驗用的半透膜，試過了玻璃紙、蛋膜，但都有一些問題，都沒辦法只讓質子通過，由實驗六、七可知所有測量必須在 3 分鐘內完成，否則赤血鹽水溶液會滲到外槽，影響實驗結果。也就是說以雞蛋的蛋膜作為質子交換膜只能有效隔絕兩槽 3 分鐘。因此選擇其他的半透膜如：透析膜等，也是改進實驗結果的一個方向。
- 二、從實驗數據中可以發現當酵母粉濃度上升時，所產生之電壓、電流亦會隨之上升，但令人不解的是超過某個濃度後，數據就不再上升，甚至還會降低或是變為負值。探討可能原因：
 - (1) 但由燒杯溶液之顏色可知蛋膜的膜在實驗經過十分鐘後即會有明顯的滲透。
 - (2) 碳棒每次用完必須清洗乾淨，並重新磨過後再行使用，否則會影響數據。
 - (3) 將濃度等比例縮小後（實驗四與實驗八），結果類似，推測應是溶液中各物種的濃度比例不同所造成的結果，因文獻中並無相關資料，只能一樣樣改變來測試，才能知道問題出在哪裡。
- 三、實驗四中乳酸菌燃料電池裝置所能產生的電壓明顯較酵母粉燃料電池裝置高，可至兩到三倍，由此可知乳酸菌的電子轉換率較酵母菌佳。
- 四、為了改善離子滲漏而造成電壓不穩的情況，試過了玻璃紙、半透膜、雞蛋膜、鴨蛋膜，都沒有好的隔離效果，所以改變氧化劑的種類；硝酸、雙氧水、二氧化錳的效果不錯，電壓可以維持恆定，而過錳酸鉀溶液因為滲漏的問題，雖然有最大的電壓，但電壓一直下降並不穩定。
- 五、以蛋膜和半透膜來做比較，以半透膜為裝置所產生的電壓明顯高於蛋膜裝置，以效率來看，半透膜較優異；以成本考量，蛋膜的成本比半透膜的成本低非常多；以製造過程來看，蛋膜製造較為繁瑣、花時間，且失敗率不低，而半透膜較為簡單，。
- 六、我們選用了好幾種氧化劑，在考量效能以及對環境的污染程度，雙氧水應是一個比較好的材料，反應後只生成氧氣，比較不會對實驗操作者以及環境造成傷害。
- 七、從實驗的條件以及結果來看，我們還未找到酵母菌與葡萄糖最佳的比例，因此在酵母菌濃度增加的時候，電壓並非都是增加，對於未來我們想將酵母菌的濃度與電壓關係找出，有一定的難度，有待更多的實驗數據來證明。
- 八、藉由本實驗裝置，若能找到乳酸菌的濃度和電壓的關係，我們希望能推廣到：偵測乳酸菌飲料內乳酸菌的含量。由電壓的多少，推測飲料內乳酸菌的量是否如標示所說，避免被一些黑心不肖的商人所矇騙，而喝入過多的高糖份的飲料，造成對人體的傷害。

捌、參考資料及其他

1.簡易微生物燃料電池製作

來源：<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=4116>

2.微生物燃料電池技術取得新進展

來源：<http://www.droiyan.com.cn/free/2006ny81.htm>

3.燃料電池的演進與原理介紹

來源：<http://www.epochtimes.com/b5/6/12/4/n1544048p.htm>

<http://www.fuelcells.org/>

4.微生物燃料電池基本原理

來源：<http://americanhistory.si.edu/fuelcells/basics.htm>

5.微生物燃料電池相關研究成果

來源：<http://www.tnu.edu.tw/ice/ice/Requisition/page3.htm>

http://www.me.ntou.edu.tw/NMOM_Lab/s161.htm

http://ecogoodies.blogspot.com/2009/10/blog-post_16.html

<http://chem.kshs.kh.edu.tw/Teaching%20resource/teachshare/chem960927/chem41.pdf>

【評語】 030213

本作品為探討” 酵母菌燃料電池” 的各種現象，數據很多，若能加以探討說明為何酵母菌的濃度不是越濃越好，而是變差，將更好！