

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 化學科

040210

多醣類廢棄物轉化為微生物燃料電池研究

學校名稱：國立彰化高級中學

作者： 高二 賴璟霈 高二 葉韋辰 高二 洪敏峰	指導老師： 周文釗 陳瑞文
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：水解葡萄糖溶液、碘量法、微生物燃料電池

多醣類廢棄物轉化為微生物燃料電池研究

摘要

本研究以綠能概念出發，嘗試將各類富含纖維素的廢棄物先行回收，經水解處理產生葡萄糖，再以葡萄糖為養分供應微生物繁殖。微生物分解葡萄糖之機制為氧化還原反應，經由電池裝置而產生電流，順利完成廢棄物轉換為能源的目的。

在水解條件中，硫酸水解效果較鹽酸佳，硫酸水解效果為 8M>9M>10M>11M；而就葡萄糖產量而言，木屑相較於舊棉質品、白紙產量較低，而在 30~40 分鐘是三者之最佳水解時間。比較白紙及舊棉質品葡萄糖產量，舊棉質品和白紙平均濃度約相等。

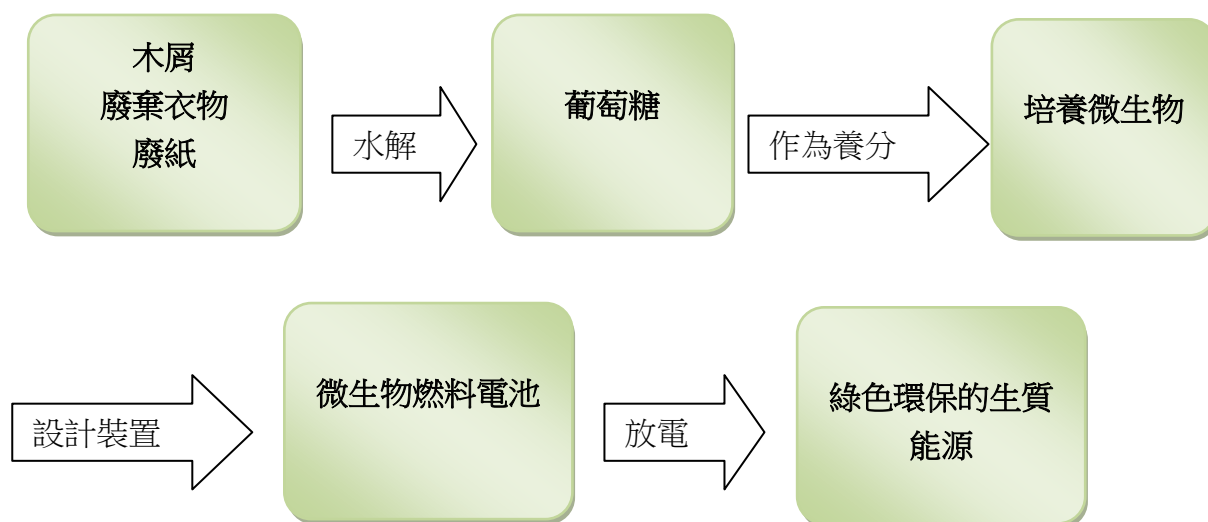
最初所設計的第一代微生物電池，所產生之最大電壓可高達 60mV，且持續放電時間長達 5 小時；而改良第二代燃料電池所得其最大電壓為 125mV，且電壓在 100mV 以上持續時間 72 小時，十分穩定。

本研究藉由廢棄物水解所產生之葡萄糖而供應微生物發電，是綠能觀念的延伸，應用上的創新，希望往後再改良、測試電池裝置，持續提高電壓及發電時間，製作出未來的替代能源。

壹、研究動機

當今人類的社會，大量使用石化燃料，不僅對環境造成污染，更排放了大量的溫室氣體。然而，人類所依賴的能源，卻再不到一個世紀就將耗盡，能源危機已經是重大問題。綠色能源成為了一門顯學，而其中生質能源又十分熱門。上網時，看到有關微生物燃料電池的議題，微生物燃料電池是利用微生物在分解葡萄糖時所產生的電子進行發電，將微生物所含的化學能轉化成人類可以使用的電能，這則消息立即引起了我們的注意，詳細閱覽實驗內容，發現需提供葡萄糖溶液當微生物的養分。突然想起基礎化學的內容，纖維素是多醣，可以藉由水解產生葡萄糖。如果我們能將含有纖維素的廢棄物，例如木屑、廢棄衣物、廢紙等水解產生葡萄糖，再經過細菌培養程序，如此一來便能將所得到的葡萄糖溶液當作微生物燃料電池能量來源，達到「一兼二顧，摸蚬仔兼洗褲」的境界。既可以省去廢棄物的空間，又可以轉移成能量來發電，產生綠色能源。此外，微生物燃料電池還擁有低污染、低成本、高穩定等優點，於是我們就展開了以下的實驗。

貳、研究目的



研究流程圖




- 一、尋找測定葡萄糖濃度適合方法
- 二、探討含纖維素之廢棄物水解條件並研究含纖維素之廢棄物水解反應
- 三、探討微生物燃料電池之原理及設計
- 四、探討影響微生物燃料電池發電效率的因子
- 五、結合以上實驗所得之最佳條件，製作微生物燃料電池

參、研究器材與藥品

一、研究器材：

		
<p>燒杯(1000、500、250、100ml)</p>	<p>量筒(100、10ml)、玻棒、滴管</p>	<p>特製玻璃容器</p>
		
<p>試管、標籤</p>	<p>抽濾裝置</p>	<p>血糖機</p>
		
<p>加熱板、磁石</p>	<p>滴定裝置</p>	<p>透析膜</p>
		
<p>伏特計(單位：mV)</p>	<p>ScienceWorkshop 750 Interface(USB)</p>	<p>訂製壓克力容器 點滴瓶</p>

二、研究藥品：

		
木屑	舊棉質品(白汗衫)	酵母菌
白紙	葡萄糖($C_6H_{12}O_6$)	碳酸鈣($CaCO_3$)
硫酸(H_2SO_4)	鹽酸($HCl_{(aq)}$)	氫氧化鈉($NaOH$)
過錳酸鉀($KMnO_4$)	碘化鉀(KI)	碘(I_2) _n
澱粉($C_6H_{10}O_5$)	硫酸鈣($CaSO_4$)	氯化鈉($NaCl$)
赤血鹽 ($K_3Fe(CN)_6$)	水合硫代硫酸鈉 ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$)	磷酸鹽緩衝溶液 ($K_2HPO_{4(aq)} + KH_2PO_{4(aq)}$)

肆、研究過程與方法

一、尋找測定葡萄糖濃度適合方法

(一) 血糖機測定法

1. 血糖機的校正

- (1) 配置不同濃度的葡萄糖溶液
- (2) 各濃度水溶液分別以血糖機測量 3 遍求平均值
- (3) 記錄並整理資料，找出線性關係，已修正誤差值

2. 葡萄糖濃度的測定

- (1) 將試紙插入血糖機向前推，直到完全插入為止，血糖機將自動開啟，準備測量
- (2) 將待測的葡萄糖溶液均勻攪拌，並快速將已準備的血糖機的試紙部分浸入溶液中，待五秒後顯示結果，並測量 3 遍求平均值
- (3) 紀錄並整理資料，再利用所求得的修正公式，校正誤差值，求得準確濃度

(二) 碘量法

1. 實驗反應

- (1) $I_2 + 2NaOH \rightarrow NaIO + NaI + H_2O$
- (2) $C_6H_{12}O_6 + NaIO \rightarrow C_6H_{12}O_7 + NaI$
- (3) 總反應式： $I_2 + 2NaOH + C_6H_{12}O_6 \rightarrow H_2O + C_6H_{12}O_7 + NaI$
- (4) NaIO 在鹼性條件下： $3NaIO \rightarrow NaIO_3 + 2NaI$
- (5) $NaIO_3 + 5NaI + 6HCl \rightarrow 3I_2 + 6NaCl + 3H_2O$
- (6) $I_2 + 2Na_2S_2O_3 \rightarrow Na_2S_4O_6 + 2NaI$
- (7) $10I^- + 2MnO_4^- + 16H^+ \rightarrow 2Mn^{2+} + 5I_2 + 8H_2O$
- (8) $I_2 + 2S_2O_3^{2-} \rightarrow S_4O_6^{2-} + 2I^-$
- (9) $2MnO_4^- + 10S_2O_3^{2-} + 16H^+ \rightarrow 2Mn^{2+} + 5S_4O_6^{2-} + 8H_2O$

2. 實驗藥品配置與標定

- (1) 取 24.8 克 $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ 加水配置成 1000ml 0.1M $Na_2S_2O_3(aq)$
- (2) 取 13.33 克 I_2 及 26.67 克 KI 加水配置成 1000ml 0.05M $I_2(aq)$
- (3) 標定 $Na_2S_2O_3(aq)$

取 25ml 0.02M $KMnO_4(aq)$ 於錐形瓶中，加入 10ml 10% $KI(aq)$ 和 5ml 6M $H_2SO_4(aq)$ ，用表面皿蓋上瓶口，於暗處放置 5 分鐘，取出後，加入水 50~100ml，立即用 $Na_2S_2O_3(aq)$ 滴定至溶液呈黃綠色時，加入 2ml 澱粉溶液，繼續用 $Na_2S_2O_3(aq)$ 滴定至藍色恰好褪去為滴定終點。

- (4) 標定 $I_2(aq)$

取 25ml $I_2(aq)$ 於錐形瓶中，加 100ml 蒸餾水稀釋，用已標定好的 $Na_2S_2O_3(aq)$ 滴定至草黃色，加入 2ml 澱粉溶液，繼續用 $Na_2S_2O_3(aq)$ 滴定至藍色恰好褪去即為滴定終點。

3. 葡萄糖濃度的測定

取葡萄糖溶液於錐形瓶中，經過適當比例稀釋後，加入 25ml $I_2(aq)$ ，慢慢滴入 0.2M $NaOH(aq)$ ，邊加邊搖，直至溶液成淡黃色(速度不能太快)。將錐形瓶蓋好表皿靜置 10~15 分鐘，加 6ml 2M HCl，立即用 $Na_2S_2O_3(aq)$ 滴定至淺黃色時，加入 2ml 澱粉溶液，繼續用 $Na_2S_2O_3(aq)$ 滴定至藍色恰好褪去為滴定終點。

二、探討含纖維素之廢棄物水解條件並研究含纖維素之廢棄物水解反應

(一)纖維素是由葡萄糖組成的多醣，也是自然界含量最多的多醣，是由 β -葡萄糖縮合聚合而成，占植物界碳含量的 50% 以上，而棉花的纖維素含量接近 100%，天然纖維素為無臭、無味的白色絲狀物，纖維素不溶於水及一般有機溶劑。雖然不易用酸水解，但是稀酸或纖維素酶可使纖維素生成 D-葡萄糖、纖維二糖和寡糖。纖維素分子量約 50000~2500000，相當於 300~15000 個葡萄糖基，其分子式為 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 。

(二)藉由加酸催化水解可得葡萄糖，其反應式如下： $(C_6H_{10}O_5)_n + n H_2O \rightarrow n C_6H_{12}O_6$ ，利用此反應可將含纖維素的物質和廢棄物水解而得到葡萄糖溶液，供應微生物燃料電池當作養份使用。

(三)在實驗中，我們選定木屑、舊棉質品(汗衫)、白紙作為實驗對象，利用纖維素加酸水的基本原則，再加以處理，達到當做能量的目的。

(四)探討含纖維素之廢棄物水解條件

1. 催化劑條件

選定硫酸、鹽酸進行實驗，分別探討之間的差異和優缺點，並選擇最適合的酸液，當做實驗的催化劑。

2. 濃度條件

使用濃度不同的酸液，分析實驗結果，並找出實驗效果最佳的濃度，作為實驗所使用的酸液濃度。

(五)研究含纖維素之廢棄物水解反應

1. 木屑

- (1).取 0.5 克木屑置入燒杯中，加入水解酸液 20ml，並放入磁石
- (2).將燒杯置於攪拌器上，轉速為 3
- (3).每隔 10 分鐘取出 2ml，以 $CaCO_3$ 中和後抽濾
- (4).稀釋抽濾後的液體至 25ml
- (5).測其水解後葡萄糖濃度
- (6).比較實驗數據並重複實驗

2. 舊棉質品(汗衫)

- (1).取 0.5 克汗衫置入燒杯中，加入水解酸液 20ml，並放入磁石
- (2).將燒杯置於攪拌器上，轉速為 3
- (3).每隔 10 分鐘取出 2ml，以 $CaCO_3$ 中和後抽濾
- (4).稀釋抽濾後的液體至 25ml

- (5).測其水解後葡萄糖濃度
- (6).比較實驗數據並重複實驗

3.白紙

- (1).取 0.5 克白紙置入燒杯中，加入水解酸液 20ml，並放入磁石
- (2).將燒杯置於攪拌器上，轉速為 3
- (3).每隔 10 分鐘取出 2ml，以 CaCO_3 中和後抽濾
- (4).稀釋抽濾後的液體至 25ml
- (5).測其水解後葡萄糖濃度
- (6).比較實驗數據並重複實驗

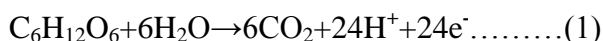
三、探討微生物燃料電池之原理及設計

(一)原理

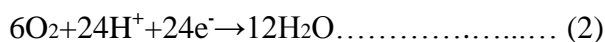
微生物燃料電池是藉由微生物的新陳代謝，將化學能轉化成電能的一種裝置，含陰陽兩極，其中陽極為厭氧部分、陰極為好氧部分。當微生物分解葡萄糖時，會釋出電子，電子經由外部電路達到陰極，在陰極與質子和氧結合產生水。因為微生物燃料電池產生電能的原理是利用微生物的新陳代謝反應，作為電池所需的氧化還原反應，因此在部分文獻中，認為微生物在此反應中所扮演的角色為催化劑。

反應方程式如下：

在陽極中，養分為葡萄糖，所進行的氧化反應



電子及質子到達陰極還原氧氣



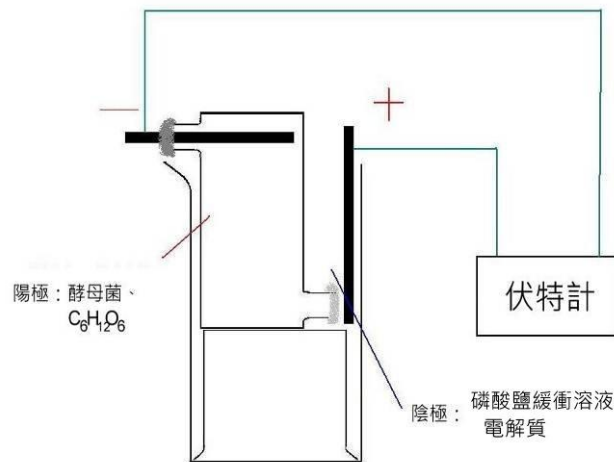
(二)裝置設計

1.實驗裝置的演進

起初，我們使用實驗室和日常生活易取得的物品來製造第一代微生物燃料電池，好處為原料獲取容易、成本低廉；但受限於透析膜不易黏貼而導致產生漏液的現象以及透析膜面積過小而限制反應速率，所以我們著手設計第二代燃料電池，並試圖改善以上缺失。

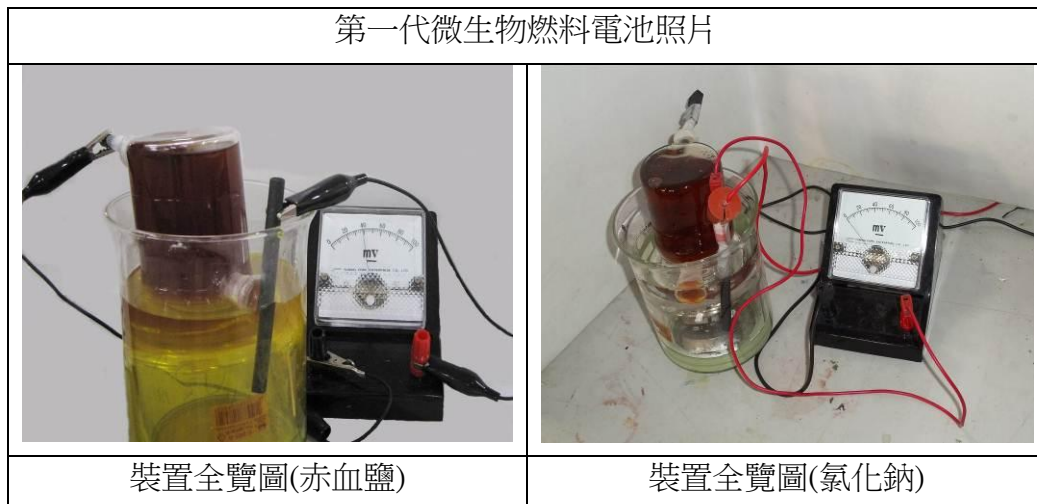
第二代燃料電池擁有更大面積的透析膜、更佳地隔絕性，使陰陽兩極不易產生溶液混合的現象，並增強了密閉性，藉由密封的陽極槽體將陽極控制在缺氧的狀態下，加速反應的進行。還在陰陽槽體上設置進流孔和出流孔，如此一來，便能輸入養分進行循環，以延長發電的時間。

2. 第一代微生物燃料電池

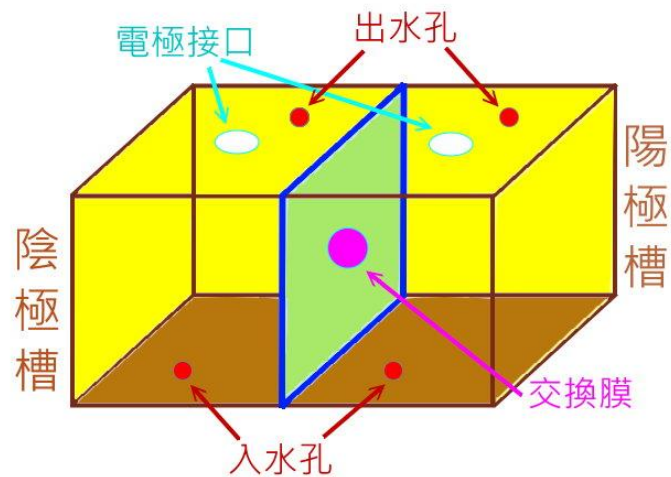


裝置示意圖

- (1). 將酵母菌 9g 和葡萄糖溶液置入陽極槽，將陽極槽溶液控制在 250ml。
- (2). 於陽極一端開口貼上離子交換膜，另一端則固定碳棒，陽極部分準備完成。
- (3). 將電解質、磷酸鹽緩衝溶液置入陰極槽中，將陰極槽溶液控制在 250ml。並於陰極槽邊固定碳棒，陰極部分準備完成。
- (4). 將陽極槽完全浸入陰極槽，並控制於適當高度。
- (5). 將陰陽兩極連接電路，並用電壓計測量其電壓。



3. 第二代微生物燃料電池



裝置示意圖

- (1). 將酵母菌 21.6g 和葡萄糖溶液置入陽極槽，將陽極槽溶液控制在約 600ml。
- (2). 將電解質、磷酸鹽緩衝溶液置入陰極槽中，將陰極槽溶液控制在約 600ml。
- (3). 於中間隔板圓圈處鎖上離子交換膜，在頂部開口處固定碳棒。
- (4). 將陰陽兩極連接電路，並以數位電壓計測量並記錄其電壓。



四、探討影響微生物燃料電池發電效率的因子

電解質濃度的探討

1. 赤血鹽濃度

- (1) 將磷酸鹽緩衝溶液加入陰極，再將預先活化的酵母菌及葡萄糖溶液加入陽極，分別於陰陽兩極接上電壓計、測其電壓求取平均
- (2) 改變加入赤血鹽重量，並重複以上步驟
- (3) 記錄並重複實驗三次

2. 氯化鈉濃度

- (1) 將磷酸鹽緩衝溶液加入陰極，再將預先活化的酵母菌及葡萄糖溶液加入陽極，分別於陰陽兩極接上電壓計、測其電壓求取平均
- (2) 改變加入磷酸鉀重量，並重複以上步驟
- (3) 記錄並重複實驗三次

五、結合以上實驗所得之最佳條件，製作微生物燃料電池

(一) 依照以上「探討影響微生物燃料電池發電效率的因子」之實驗所得最佳濃度(擇一)

1. 赤血鹽濃度——6%
2. 氯化鈉濃度——4%

(二) 依照以上「研究含纖維素之廢棄物水解反應」所得產生最高濃度的水解葡萄糖溶液

1. 水解條件——室溫、硫酸濃度 8M、磁石轉速 3
2. 多醣類廢棄物——白紙
3. 最佳水解時間——40 分鐘
4. 水解步驟

- (1). 取 12.5 克白紙分三等份置入錐形瓶中，分別加入 8M 硫酸約 150~200ml
- (2). 於錐形瓶中放入磁石，並置於攪拌器上，轉速為 3
- (3). 靜候至 40 分鐘，以 CaCO_3 中和後抽濾
- (4). 將抽濾後的葡萄糖液置於陽極，以供酵母菌分解發電

(三) 藉由以上(一)、(二)各種實驗數據的結合，並依前述步驟製作微生物燃料電池，進行電壓持續性的測試與分析以下數據：

1. 放電時電壓的大小
2. 放電時電壓的穩定性
3. 放電持續的時間

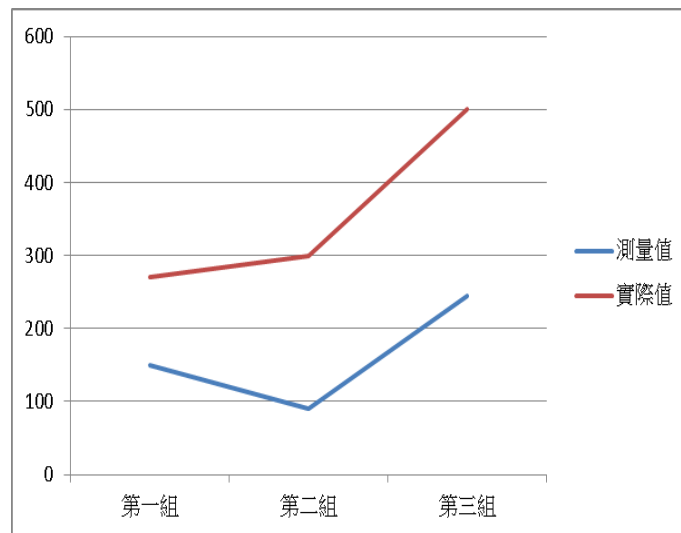
伍、研究結果

一、尋找測定葡萄糖濃度適合方法

(一) 血糖機測定法

(表一) 血糖機測葡萄糖濃度(mg/dl)

	第一組	第二組	第三組
葡萄糖實際濃度	270	300	500
測量濃度一	169	100	262
測量濃度二	193	92	234
測量濃度三	88	80	240
平均測量濃度	150.0	90.7	245.3

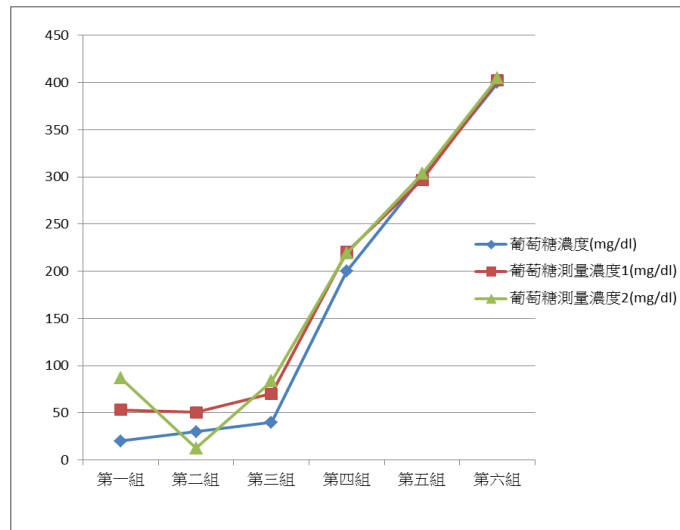


(圖一) (座標軸單位：橫軸—組別、縱軸—葡萄糖濃度(mg/dl))

(二) 碘量法

(表二) 碘量法測葡萄糖濃度(mg/dl)

	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	第六組
葡萄糖實際濃度	20	30	40	200	300	400
葡萄糖測量濃度一	53.28	50.64	70.39	220.55	296.78	402.52
葡萄糖測量濃度二	86.90	12.46	83.52	218.88	303.48	405.00



(圖二) (座標軸單位：橫軸—組別、縱軸—葡萄糖濃度(mg/dl))

二、探討含纖維素之廢棄物水解條件並研究含纖維素之廢棄物水解反應

(一)水解條件 1.——室溫、硫酸濃度 11M、磁石轉速 3

含纖維素之廢棄物水解後，以碘量法測葡萄糖濃度

(表三) 汗衫在水解條件 1.下，各時段葡萄糖濃度(mg/dl)

	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘
第一次	15.84	5.69	15.84	15.84	29.38
第二次	21.24	72.00	4.32	72.00	4.32
第三次	470.88	520.56	222.48	520.56	421.20

(表四) 白紙在水解條件 1.下，各時段葡萄糖濃度(mg/dl)

	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘
第一次	73.37	93.67	19.22	205.34	486.22
第二次	36.14	103.82	22.61	66.60	107.21
第三次	23.76	7.20	23.76	40.32	7.20
第四次	36.36	22.14	221.22	64.80	107.46

(表五) 木屑在水解條件 1.下，各時段葡萄糖濃度(mg/dl)

	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘
第一次	7.20	90.00	23.76	90.00	7.20
第二次	354.96	388.08	288.72	686.16	338.40

(二)水解條件 2.——室溫、鹽酸濃度 11M、磁石轉速 3

含纖維素之廢棄物水解後，以碘量法測葡萄糖濃度

(表六) 汗衫在水解條件 2.下，各時段葡萄糖濃度(mg/dl)

	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘
第一次	26.10	26.10	10.87	71.78	46.40
第二次	61.63	51.48	15.95	102.24	26.10

(表七) 白紙在水解條件 2.下，各時段葡萄糖濃度(mg/dl)

	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘
第一次	31.18	51.48	5.80	66.71	153.00
第二次	26.1	76.86	26.1	102.24	51.48

(表八) 木屑在水解條件 2.下，各時段葡萄糖濃度(mg/dl)

	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘
第一次	66.71	26.10	66.71	61.63	51.48
第二次	51.48	36.25	61.63	61.63	26.10

(三)水解條件 3.——室溫、硫酸濃度 10M、磁石轉速 3

含纖維素之廢棄物水解後，以碘量法測葡萄糖濃度

(表九) 汗衫在水解條件 3.下，各時段葡萄糖濃度(mg/dl)

	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘
第一次	457.92	438.12	406.44	430.20	450.00
第二次	489.60	450.00	390.60	370.80	410.40

(表十) 白紙在水解條件 3.下，各時段葡萄糖濃度(mg/dl)

	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘
第一次	691.56	255.96	426.24	715.32	477.72
第二次	648.00	252.00	410.40	331.20	529.20

(表十一) 木屑在水解條件 3.下，各時段葡萄糖濃度(mg/dl)

	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘
第一次	232.20	267.84	315.36	311.40	184.68
第二次	149.04	252.0	267.84	303.48	196.56

(四)水解條件 4.——室溫、鹽酸濃度 10M、磁石轉速 3

含纖維素之廢棄物水解後，以碘量法測葡萄糖濃度

(表十二) 汗衫在水解條件 4.下，各時段葡萄糖濃度(mg/dl)

	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘
第一次	342.72	476.64	424.80	459.36	360.00
第二次	316.80	377.28	347.04	360.00	273.60

(表十三) 白紙在水解條件 4.下，各時段葡萄糖濃度(mg/dl)

	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘
第一次	377.28	429.12	381.60	403.20	316.80
第二次	420.48	381.60	411.84	360.00	403.20

(表十四) 木屑在水解條件 4.下，各時段葡萄糖濃度(mg/dl)

	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘
第一次	204.48	247.68	252.00	230.40	187.20
第二次	92.16	144.00	169.92	135.36	5.76

由以上四種不同水解條件，可得一小結論——就葡萄糖濃度而言，水解效果之比較——**硫酸** > **鹽酸**、**10M 濃度** > **11M 濃度**；**白紙** > **汗衫** > **木屑**

因此以下實驗為：持續降低**硫酸**濃度，並比較其水解**白紙**之效果

(五)水解條件 5.——室溫、硫酸濃度 9M、磁石轉速 3

白紙水解後，以碘量法測葡萄糖濃度

(表十五) 白紙在水解條件 5.下，各時段葡萄糖濃度(mg/dl)

	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘
第一次	450.58	312.98	256.54	880.99	351.79
第二次	507.02	302.4	249.48	863.35	436.46

(六)水解條件 6.——室溫、硫酸濃度 8M、磁石轉速 3

白紙水解後，以碘量法測葡萄糖濃度

(表十六) 白紙在水解條件 6.下，各時段葡萄糖濃度(mg/dl)

	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘
第一次	679.9	260.06	634.03	761.04	439.99
第二次	690.48	362.38	609.34	778.68	401.18

三、探討影響微生物燃料電池發電效率的因子

電解質濃度的探討

(一)赤血鹽濃度的探討

陰極(250ml)：0.1M 磷酸鹽緩衝溶液、赤血鹽

陽極(250ml)：酵母菌 9g、10%葡萄糖溶液

(表十七) 改變赤血鹽濃度，產生之電壓值(mV)

	第一次電壓	第二次電壓	第三次電壓	平均值
2% (5g)	2.0	2.0	1.5	1.8
3%(7.5g)	3.0	2.0	2.5	2.5
4%(10g)	3.0	3.5	3.5	3.3
5%(12.5g)	5.5	4.5	4.0	4.7
6%(15g)	6.0	6.5	5.5	6.0
7%(17.5g)	6.0	5.5	6.0	5.8

(二)氯化鈉濃度的探討

陰極(250ml)：0.1M 磷酸鹽緩衝溶液、氯化鈉

陽極(250ml)：酵母菌 9g、10%葡萄糖溶液

(表十八) 改變氯化鈉濃度，產生之電壓值(mV)

	第一次電壓	第二次電壓	第三次電壓	平均值
2% (5g)	3.5	2.5	3.0	3.0
3%(7.5g)	5.5	4.5	5.0	5.0
4%(10g)	6.5	7.0	7.5	7.0
5%(12.5g)	6.0	6.5	6.0	6.2

四、結合以上實驗所得之最佳條件，製作微生物燃料電池

(一)第一代微生物燃料電池

陰極(250ml)：0.1M 磷酸鹽緩衝溶液、赤血鹽 6%(15g)

陽極(250ml)：酵母菌 9g、白紙水解葡萄糖液(8M 硫酸)

(表十九) 第一代微生物燃料電池放電之電壓值(mV)

時間(min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
電壓(mV)	52	54	57	57	59	62	62	55	53	51
時間(min)	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
電壓(mV)	47	46	43	41	44	40	39	36	32	35
時間(min)	200	210	220	230	250	260	270	280	290	300
電壓(mV)	31	30	28	25	24	25	27	23	24	25

(二)第二代微生物燃料電池

陰極(600ml)：0.1M 磷酸鹽緩衝溶液、氯化鈉 4%(10g)

陽極(600ml)：酵母菌 21.6g、白紙水解葡萄糖液(8M 硫酸)

(表二十) 第二代微生物燃料電池放電之電壓值(mV)

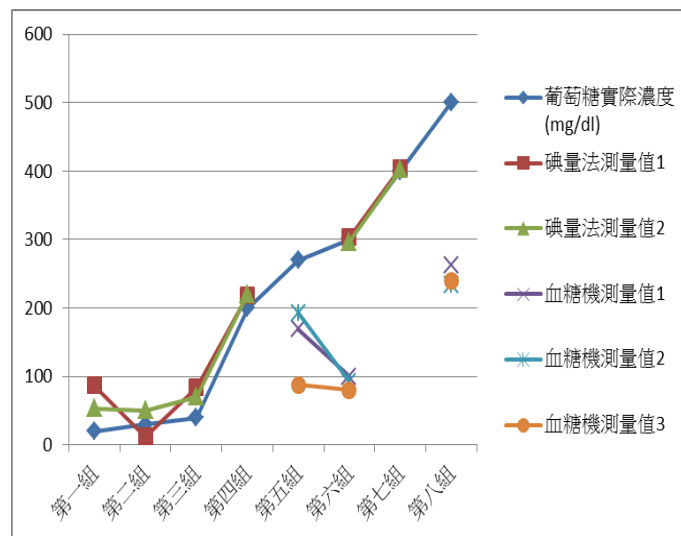
時間(hr)	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48
電壓(mV)	95	82	79	88	100	107	110	107	103	103	103	103	106
時間(hr)	52	56	60	64	68	72	76	80	84	90	92	96	100
電壓(mV)	110	115	117	122	125	123	42	40	38	33	33	29	24

陸、討論

一、尋找測定葡萄糖濃度適合方法

結合(圖一)、(圖二)成(圖三)，由下圖中可得——血糖機測量值與實際值中有段明顯差距；碘量法在葡萄糖較高濃度時($\geq 200\text{mg/dl}$)，測量值與實際值相去不遠。

又因血糖機測量範圍有限制($20\sim 600\text{mg/dl}$)，故以下實驗皆以碘量法測定葡萄糖濃度，以求取實驗的精確性。



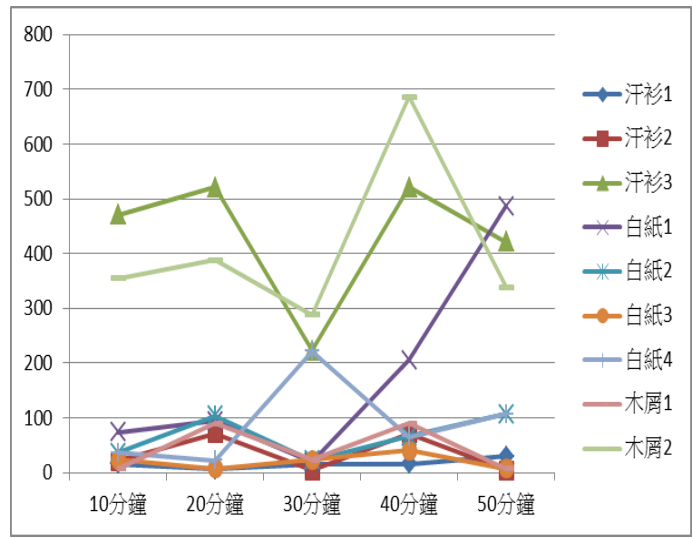
(圖三) (座標軸單位：橫軸—組別、縱軸—葡萄糖濃度(mg/dl))

二、探討含纖維素之廢棄物水解條件並研究含纖維素之廢棄物水解反應

(一)水解條件 1.(圖四)——室溫、硫酸濃度 11M、磁石轉速 3

含纖維素之廢棄物水解後，葡萄糖濃度之測定

- 1.白紙在 30 分鐘和 40 分鐘時水解效果較佳，50 分鐘次之，20 分鐘時效果最差。我們推論，10 分鐘時因反應時間太短而無法使白紙所含的纖維素完全水解；50 分鐘時由於硫酸導致水解得到的葡萄糖產生碳化現象，所以效果較差。
- 2.舊棉質品和木屑在 20 分鐘和 40 分鐘時水解效果較佳，50 分鐘次之，30 分鐘時效果最差。我們推論：10 分鐘時因反應時間太短而無法完全水解；50 分鐘時由於硫酸導致葡萄糖產生碳化現象，所以效果較差。由於木屑所含的雜質較多，相較於舊棉質品和白紙所得的葡萄糖產量是較少的。

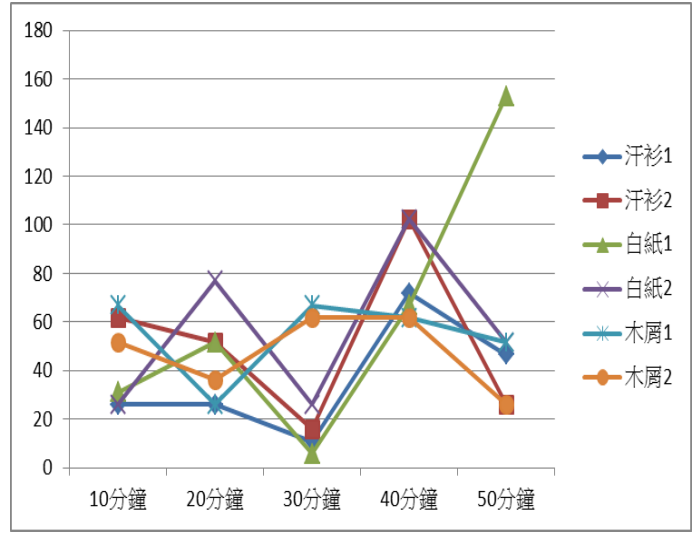


(圖四) (座標軸單位：橫軸—時間、縱軸—葡萄糖濃度(mg/dl))

3.就葡萄糖產量而言，「汗衫3」以及「木屑2」算是濃度最高的。整體平均濃度在 0~100 (mg/dl)之間，而汗衫及木屑整體誤差值過大，以白紙水解出的葡萄糖液濃度最為穩定。

(二)水解條件 2.(圖五)——室溫、鹽酸濃度 11M、磁石轉速 3

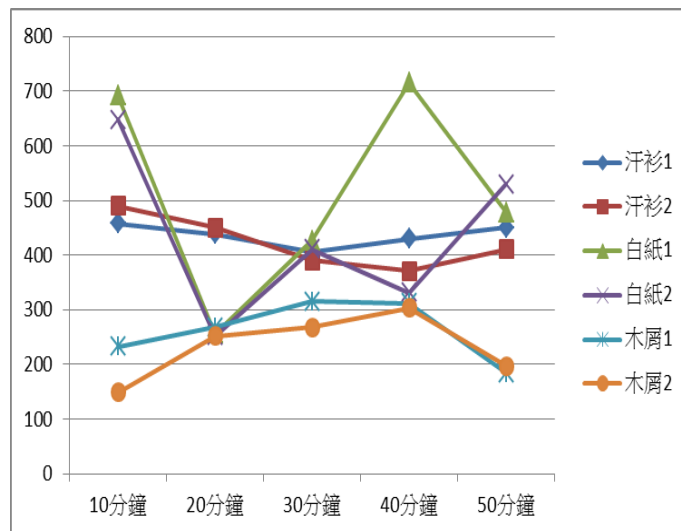
- 11M 鹽酸水解效果較同濃度硫酸差
- 整體而言，舊棉質品在 40 分鐘時水解效果最佳；白紙在 40~50 分鐘水解效果最佳；而木屑因雜質過多，葡萄糖產量較舊棉質品及白紙低。



(圖五) (座標軸單位：橫軸—時間、縱軸—葡萄糖濃度(mg/dl))

(三)水解條件 3.(圖六)——室溫、硫酸濃度 10M、磁石轉速 3

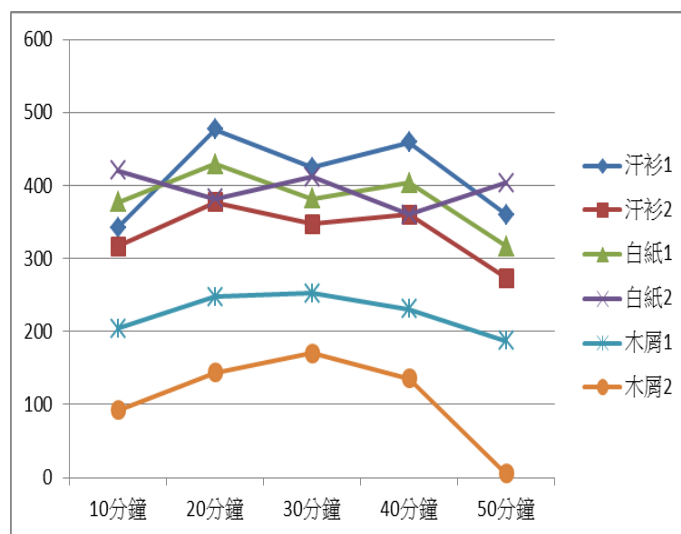
1. 10M 硫酸水解效果較 11M 硫酸佳
2. 就葡萄糖產量而言，舊棉質品平均濃度在 400~500(mg/dl)間；白紙平均濃度在 300~500(mg/dl)間；而木屑因雜質過多，平均濃度只有 200~300(mg/dl)。



(圖六) (座標軸單位：橫軸—時間、縱軸—葡萄糖濃度(mg/dl))

(四)水解條件 4.(圖七)——室溫、鹽酸濃度 10M、磁石轉速 3

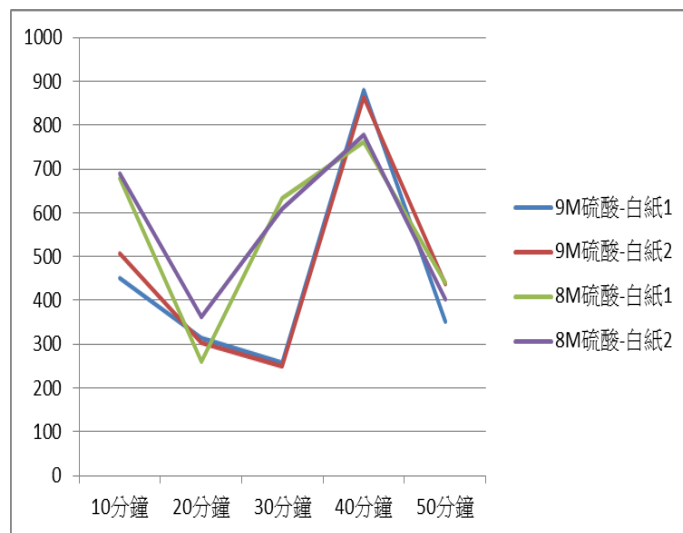
1. 10M 鹽酸水解效果較 11M 鹽酸佳，較同濃度硫酸差
2. 整體而言，三種廢棄物在 20~40 分鐘水解效果最佳。舊棉質品平均濃度在 400~500(mg/dl)間；白紙平均濃度在 400~500(mg/dl)間；而木屑因雜質過多，平均濃度低於白紙及舊棉質品，只有 100~200(mg/dl)。



(圖七) (座標軸單位：橫軸—時間、縱軸—葡萄糖濃度(mg/dl))

(五)水解條件 5.和 6.(圖八)——室溫、硫酸濃度 8M 和 9M、磁石轉速 3

- 1.由下圖觀察可知 8M 硫酸水解效果最佳。
- 2.在水解條件 5.和 6.下白紙之水解葡萄糖液，整體而言，平均濃度皆在 400~700(mg/dl)間，而都在 40 分鐘時，水解葡萄糖濃度有最高值約 800(mg/dl)。



(圖八) (座標軸單位：橫軸—時間、縱軸—葡萄糖濃度(mg/dl))

三、探討影響微生物燃料電池發電效率的因子

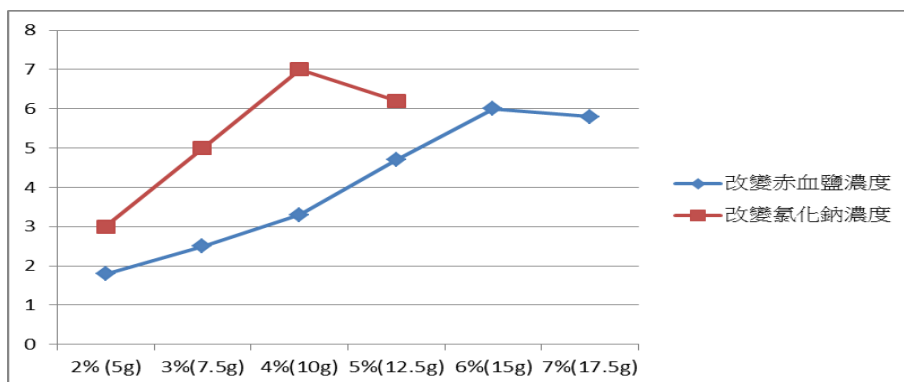
電解質濃度的探討

(一)赤血鹽濃度的探討

隨著赤血鹽濃度的增加，電壓跟著穩定上升。加至 6%(15g)。

(二)氯化鈉濃度的探討

隨著氯化鈉濃度的增加，電壓隨之穩定上升。加至 4%(10g)時電壓到達最高，5%(12.5g)趨於下降。以氯化鈉為電解質產生之電壓較赤血鹽高，又因赤血鹽還原後會產生普魯士藍沉澱，不易清洗，所以採取 4%(10g)氯化鈉為最佳濃度。



(圖九) (座標軸單位：橫軸—濃度、縱軸—電壓(mV))

四、結合以上實驗所得之最佳條件，製作微生物燃料電池

(一)第一代微生物燃料電池

將陽極置入 9g 酵母菌及白紙水解出的葡萄糖液，陰極加入 15g 赤血鹽、20g 磷酸鉀，控制陰陽極體積為 250ml 之微生物燃料電池得到之電壓最高可達到 60mV，且電壓在 20mV 以上持續時間超過 5 小時，遠遠超過先前配製不同濃度葡萄糖溶液時的電壓值及放電時間。初步猜測，在中和後的葡萄糖溶液中含有少許 CaSO_4 ，或是酵母菌更能適應中和後葡萄糖的 pH 值，就是大幅提升發電效能的因素。

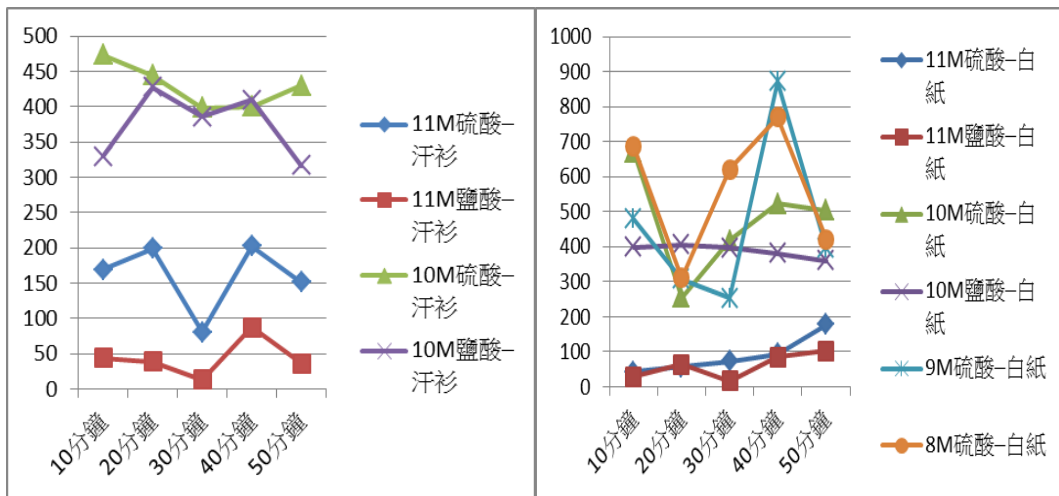
(二)第二代微生物燃料電池

將陽極置入 21.6g 酵母菌及 8M 硫酸水解白紙的葡萄糖液，陰極加入 0.2M NaCl 及 0.1M 磷酸鹽緩衝溶液，並控制陰陽極槽體積為 600ml 之微生物燃料電池，得到之電壓最高可達到 125mV，且電壓在 100mV 以上持續時間 64 小時，十分穩定；於 72 小時降至 40mV，此後電壓緩慢下降。經由小組討論，認為應是葡萄糖已消耗完畢，造成電壓持續下降。而此次實驗結果遠遠超過第一代微生物燃料電池的電壓值及放電時間。

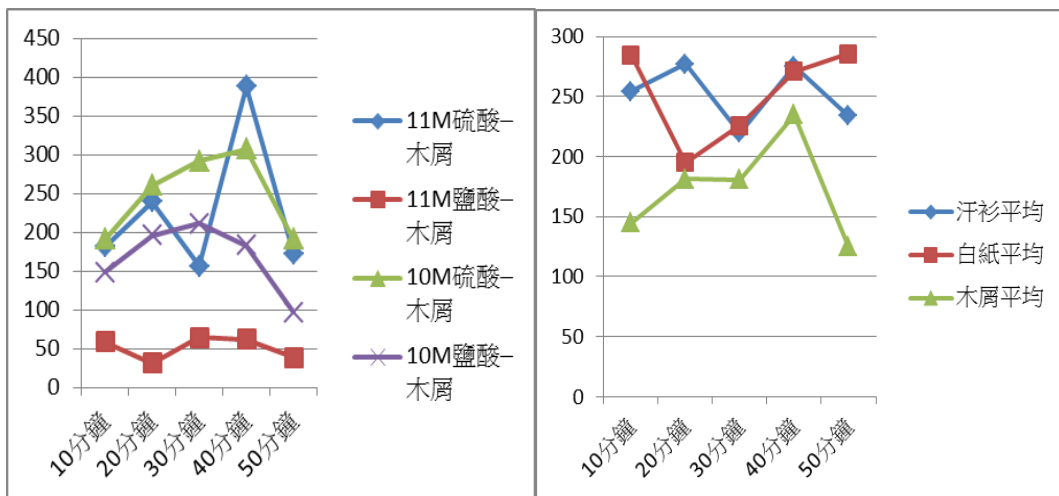


柒、結論

- 一、以碘量法測量葡萄糖濃度，相較於血糖機在較高濃度時($\geq 200\text{mg/dl}$)更為精確。
- 二、就水解效果而言，硫酸 $>$ 鹽酸，且濃度 $8\text{M}>$ 濃度 $9\text{M}>$ 濃度 $10\text{M}>$ 濃度 11M ，濃度 8M 以下之酸液無法使廢棄物完全水解。
- 三、就葡萄糖平均產量而言(圖十~圖十三)，舊棉質品和白紙相差無幾。但因舊棉質品葡萄糖產量不穩定，而其中木屑則因為雜質過多而獲得較低的產量，故微生物燃料電池以白紙水解出的葡萄糖液作為養分。



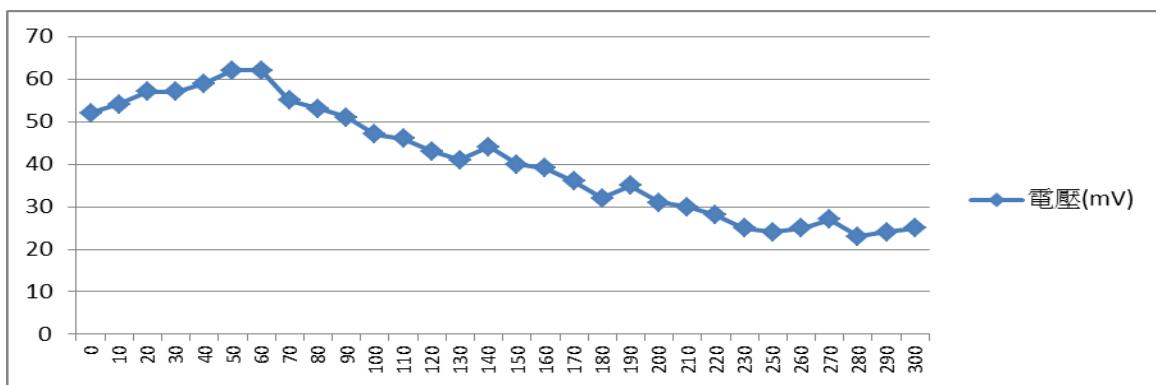
(圖十) (座標軸單位：橫軸—時間、縱軸—葡萄糖濃度(mg/dl)) (圖十一)



(圖十二) (座標軸單位：橫軸—時間、縱軸—葡萄糖濃度(mg/dl)) (圖十三)

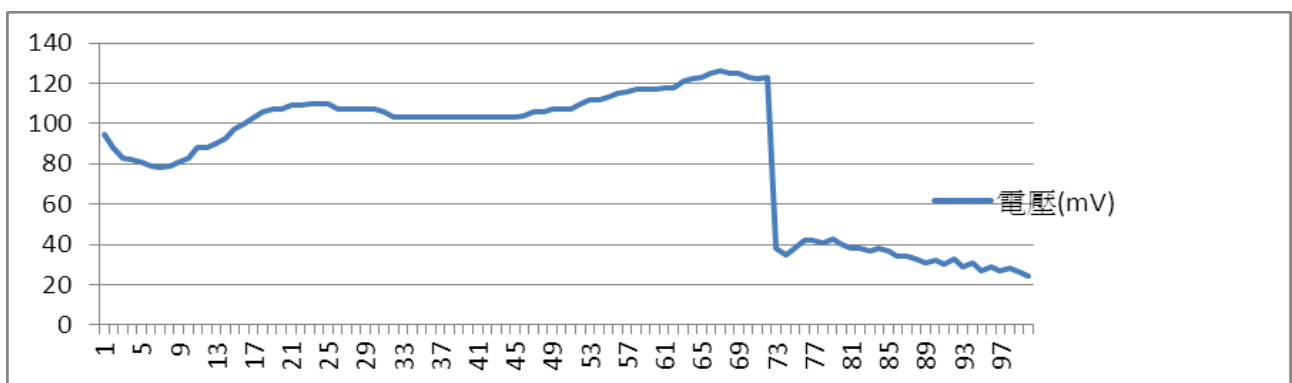
四、從探討電解質濃度中發現，電解質濃度確實會對燃料電池的發電效能造成影響——當電解質濃度上升時，發電效能也隨之上升。但當赤血鹽濃度增加至 6%或氯化鈉濃度增加至 4%時，電壓便不再上升而趨於穩定。

五、結合以上實驗所得之最佳條件，製作第一代微生物燃料電池得到電壓最高可達到 60mv，且電壓在 20mv 以上持續時間超過 5 小時，遠遠超過先前配製不同濃度葡萄糖溶液時的電壓值及放電時間。初步推測，可能是受「硫酸鈣」以及 pH 值所影響，讓酵母菌存活時間及發電效率大大提升。



(圖十四) (座標軸單位：橫軸—時間(min)、縱軸—電壓(mV))

六、結合以上實驗所得之最佳條件並改良第一代微生物燃料電池，製作第二代微生物燃料電池得到電壓最高可達到 125mv，且電壓在 100mv 以上持續時間為 72 小時，超過第一代微生物燃料電池時的電壓值及放電時間。



(圖十五) (座標軸單位：橫軸—時間(hr)、縱軸—電壓(mV))

捌、參考資料

- 一、中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
高中組化學科 微生物電力公司—微生物燃料電池之變因探討
- 二、中華民國第四十九屆中小學科學展覽會
國中組化學科 來電用「絲絲」—絲藻在微生物燃料電池之應用
- 三、<http://www.1shui.com.cn/jiance/20080903putaotang.pdf> 葡萄糖含量的測定(碘量法)
- 四、余苑婷(民 95)。操作條件對微生物燃料電池性能之影響。
國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士學位論文，臺北縣。
- 五、<http://web.ncyu.edu.tw/~jgtsay/jg4-13-4.html> 微生物營養代謝與能量
- 六、<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=3335>
簡易微生物燃料電池製作。國科會高瞻計畫資源平台
- 七、<http://sa.ylib.com/news/newsshow.asp?FDocNo=475&CL=26>
垃圾變黃金——以細菌為動力，以污水為燃料。科學人雜誌網站
- 八、<http://sa.ylib.com/news/newsshow.asp?FDocNo=358&CL=26>
細菌電池——看科學家如何用細菌來發電。科學人雜誌網站

【評語】 040210

本件作品探討生活中的纖維廢棄物水解與微生物分解的過程而產生電能的過程，有趣且具有綠能的價值。本作品的數據的圖如能改良使彼此的差異更明顯而更容易看出處理的結果，會使發現更深入。