

嘉義縣國民中小學 科學展覽會作品說明書

屆 別：61

科 別：環保與民生

組 別：國中組

作品名稱：「紙」要再來「電」

關 鍵 詞：電解質

編 號：G210

嘉義縣第 61 屆國民中小學科學展覽會
作品說明書（封面）

科 別：環保與民生科

組 別：國中組

作品名稱：「紙」要再來「電」

關鍵詞：紙張 生物電池 電壓（最多三個）

編號：（系統自動產生）

”紙”要再來”電”

摘要

本實驗是延續**嘉義縣第 59 屆國中小科展比賽**，「紙要你來電」的結果，探討增加電量的方法，利用回收的影印紙及衛生紙，經加入纖維素酶後，以不同的反應時間與溫度將紙張中的纖維素糖化成葡萄糖後，再加入酵母菌使其成為燃料電池的原料，以三用電表測量電壓的大小，並以前次的實驗結果來比較其放電之能力。

比較相同實驗材料，不同實驗條件：反應時間(24 小時和 48 小時)及反應溫度(40°C 和 50°C)等電壓之差異，由實驗結果得知，無論是衛生紙或影印紙，以反應時間來看，都是以 24 小時的反應時間所產生的葡萄糖獲得的電量較多，另以溫度條件來比較，則多以 40°C 的反應溫度產生的電量最高，可見溫度太高或太低都有可能讓纖維素酶的活性降低。

另比較相同溫度條件，不同材料的衛生紙與影印紙，反應溫度 40°C 的以反應 24 小時影印紙產生的電壓最高，其他三個條件結果都很接近。而反應溫度 50°C 亦是反應 24 小時影印紙電量最高，反應 48 小時影印紙次之，衛生紙的電壓較差。綜合所有的實驗結果以反應溫度 40°C 反應時間 24 小時的影印紙，所得到的電量最高，且優於 59 屆科展於室溫下反應的結果。

經實驗結果得知，紙發電是可行的，故可考慮把回收紙當成綠能源來使用，不但可增加回收紙張的價值也能延續其物命，更為愛惜地球資源盡一份心力。

壹、 研究動機

學長們在參加**嘉義縣第 59 屆的科展比賽評語**中，評審認為實驗結果的發電量不高，期望可以嘗試其他方法提高電量，於是我們上網查了纖維素酶反應的溫度是介於 45~55°C 之間，於是我們試著想提高反應時的溫度及拉長反應時間，看看是否能提高發電量。

而現在地球處於發燒狀態，有很多解救辦法，其中一種就是找出無污染的能源，紙張經過纖維素酶反應後，會產生葡萄糖，而葡萄糖正好是生物電池的燃料，而且生物電池不會產生汙染，達到無汙染的綠色能源。

貳、 研究目的

利用纖維素酶將紙張分解成葡萄糖，當作生物電池的燃料，透過酵母菌將其分解釋放電子藉此發電。本研究在探討不同的反應時間與反應溫度，分解不同紙張所得的葡萄糖為燃料，經酵母菌作用後，藉由亞甲基藍協助電子釋放，可產生的電壓差異，來比較是否能增加發電量。

本研究要探討的問題為：

- 一、衛生紙分解所得葡萄糖，在不同反應時間與溫度的情況下，是否造成電壓差異？
- 二、影印紙分解所得葡萄糖，在不同反應時間與溫度的情況下，是否造成電壓差異？
- 三、與前次在常溫反應的實驗結果做比較，是否能增加發電量？

參、 研究設備及器材

一、實驗設備：

燒杯、碳棒、三用電表、質子交換膜(玻璃紙)、橡皮筋、橡皮塞、膠帶、冰棒棍、測量水壓的中空玻璃管、恆溫水浴鍋、溫度計、手機計時器、天平、廣用試紙、濾網

二、實驗藥品：

蒸餾水、紙張(衛生紙、回收影印紙)、纖維素酶、酵母菌、過錳酸鉀溶液、亞甲基藍液、醋酸



			
石墨棒	過錳酸鉀溶液	三用電表	燒杯
			
纖維素酶	恆溫水浴鍋	回收影印紙	衛生紙

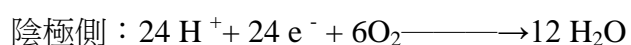
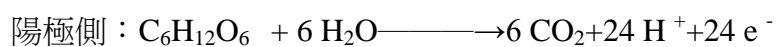
肆、 研究過程或方法

一、研究原理

(一)生物電池的發電原理：

生物電池是利用微生物在厭氧代謝分解有機化合物讓化學能轉化成電能，產生電力，原理是在此電池的陽極槽放入微生物及有機化合物，兩者進行氧化反應產生電子；電子經由外部電路到陰極，在陰極接收來自陽極產生的電子進行還原作用；溶液中陽極產生的質子，經過質子交換膜到陰極，才能完成一個電池的發電迴路，產生電流、電壓。不過，由於質子交換膜的價格昂貴，所以我們使用有相同功能的玻璃紙代替。

微生物



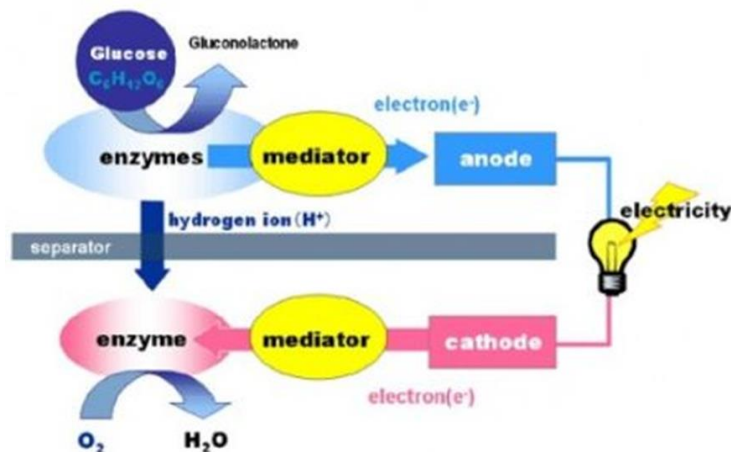
(二)酵母菌在生物電池發電的功能：

酵母菌廣泛指能發酵糖類的微生物，是屬於真菌界。酵母菌是兼性厭氧菌，他能夠直接吸收利用多種單醣分子，例如:葡萄糖、果糖等。然而有一些酵母還能夠代謝利用五碳糖、乙醇或有機酸。有一部份雙糖，例如：蔗糖，能在胞外酶的作用下水解成為單糖被吸收利用。但酵母菌不能直接利用澱粉等多醣類物質。

酵母菌在生物電池中扮演釋放電子的角色，是藉由吸收單醣類的能量，進行代謝，且釋放出電子讓生物電池運作。

(三)亞甲基藍溶液在生物電池中的功能：

由於酵母菌在發電的時候電子會在膜上，影響生物電池的發電效率，所以加入亞甲基藍溶液來幫助細胞膜上的電子釋放，本實驗也添加亞甲基藍溶液來幫助發電。



此圖摘錄自網路：

<https://www.ntsec.edu.tw/LiveSupply-Content.aspx?cat=6844&a=6829&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&lsid=8165>

二、製作生物電池的實驗步驟與流程

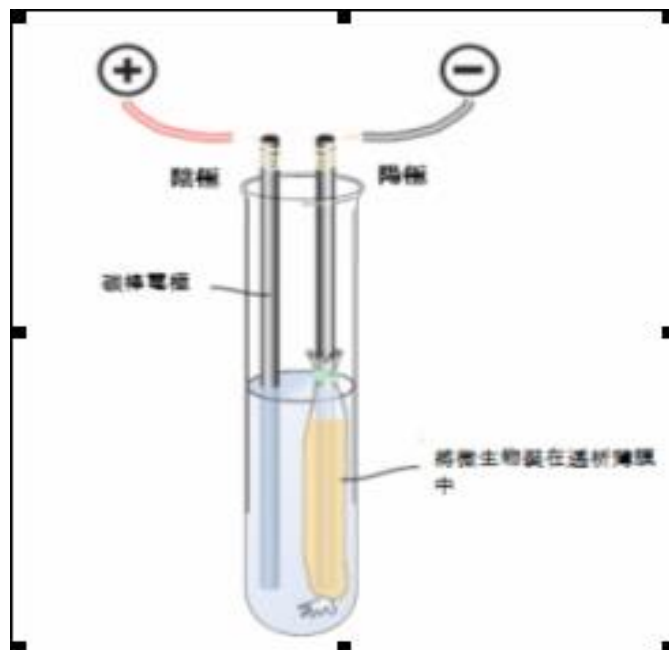
(一)實驗流程

- 1、製作葡萄糖溶液：取 1 公升蒸餾水，滴入醋酸約 1mL，以廣用試紙檢視將蒸餾水的 pH 值調至 3~4 之間，加入 1g 的纖維素酶與蒸餾水混合均勻配成 1g/升，再將水分成二杯各 500mL，二個燒杯分別加入 10g 的衛生紙、影印紙與纖維素酶加水混合，並分別置於 40°C 及 50°C 不同

的溫度環境的恆溫水浴鍋中(如圖一)，等待 24 小時及 48 小時二種不同反應時間後，讓纖維素酶分解紙變成葡萄糖，再將未分解成葡萄糖的紙張濾出，過濾後的液體即為葡萄糖溶液，並比較其發電量。

2、製作陽極槽，將葡萄糖溶液 60 mL 與 1.5 g 酵母菌(如圖二)及 5mL 亞甲基藍溶液加入一端有用玻璃紙包住的中空玻璃管，再以插入碳棒的橡皮塞塞住，並將陽極槽放入陰極槽燒杯中。(如圖三)

3、製作陰極槽，將水與過錳酸鉀加入燒杯，製成重量百分比為 1%的過錳酸鉀溶液，並插入碳棒(如下圖所示)，因碳棒在燒杯中會不穩，所以用冰棒棍或竹筷自製固定器固定。



此圖摘錄自網路：

薛朋雨、葉名倉。簡易微生物燃料電池製作 (The Simple Microbial Fuel Cell)科學 Online 取自：<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=3335>

4、以三用電表的探針與碳棒用橡皮筋綑綁測量電壓，並從 20 分鐘開始，

每隔 5 分鐘記錄電壓至反應至 60 分鐘為止。(如圖三)

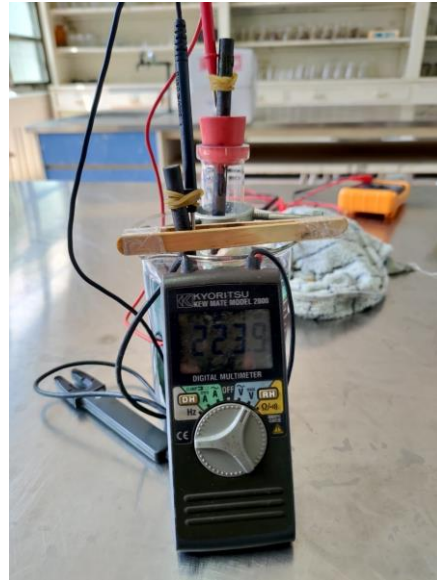
5、每種不同條件實驗做 3 次重複。



圖一 置於恆溫水浴鍋加熱



圖二 加入酵母菌之情形



圖三 實驗裝置

(二)不同變因對發電電壓之大小不同影響

改變陽極不同種類的紙張所分解成的葡萄糖溶液，加入相同重量的酵母菌，比較其發電電壓的差異：

- 1、衛生紙不同反應溫度，反應 24 小時所生成之葡萄糖溶液。
- 2、衛生紙不同反應溫度，反應 48 小時所生成之葡萄糖溶液。
- 3、衛生紙反應溫度 40°C，不同反應時間所生成之葡萄糖溶液。
- 4、衛生紙反應溫度 50°C，不同反應時間所生成之葡萄糖溶液。

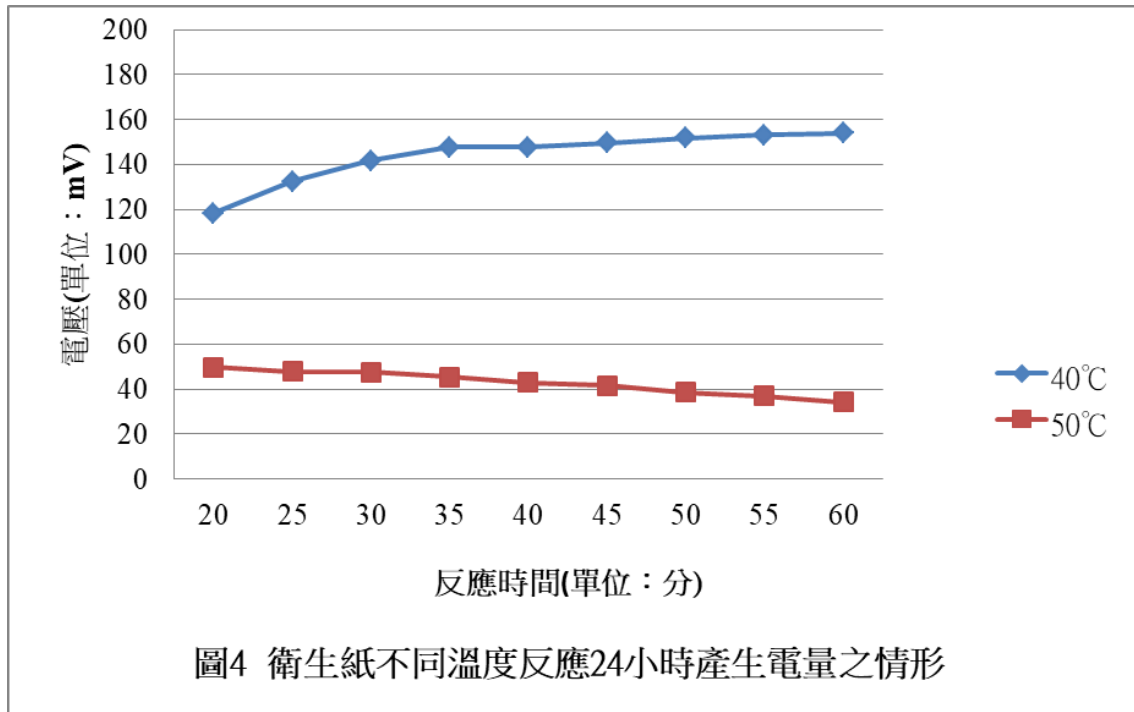
- 5、影印紙不同反應溫度，反應 24 小時所生成之葡萄糖溶液。
- 6、影印紙不同反應溫度，反應 48 小時所生成之葡萄糖溶液。
- 7、影印紙反應溫度 40°C，不同反應時間所生成之葡萄糖溶液。
- 8、影印紙反應溫度 50°C，不同反應時間所生成之葡萄糖溶液。
- 9、衛生紙與前次實驗結果比較。
- 10、影印紙與前次實驗結果比較。
- 11、不同材料之葡萄糖溶液，相同溫度不同反應時間產生電量之結果。
 - (1) 衛生紙、影印紙反應溫度 40°C 不同反應時間產生電量之結果。
 - (2) 衛生紙、影印紙反應溫度 50°C 不同反應時間產生電量之結果。
- 12、衛生紙、影印紙不同反應溫度與反應時間產生電量之結果。

伍、研究結果

一、衛生紙不同反應溫度，反應 24 小時之結果。

表 1 衛生紙不同溫度反應 24 小時，產生電量之情形

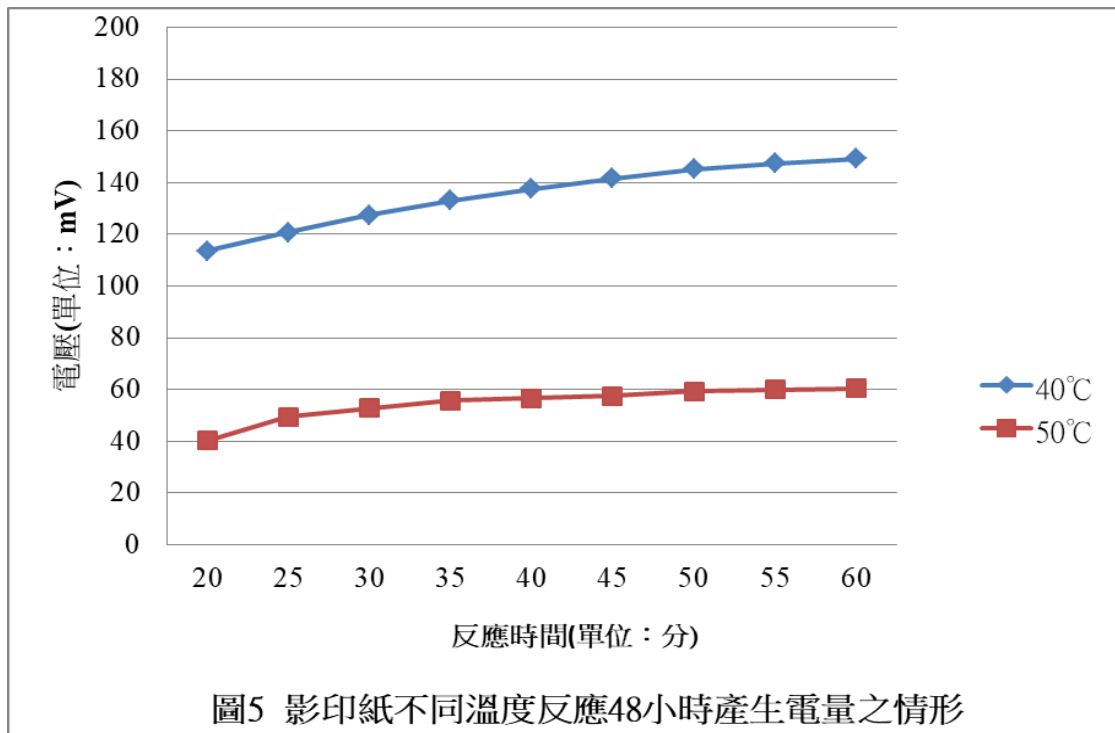
作用時間(分) 電壓(mV) 反應條件	作用時間(分)									
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
40°C	118.4	132.4	141.7	147.6	147.7	149.7	151.8	153.0	154.0	
50°C	49.8	48.0	47.6	45.3	43.0	41.6	38.7	36.9	34.2	



二、衛生紙不同反應溫度，反應 48 小時之結果。

表 2 衛生紙不同溫度反應 48 小時，產生電量之情形

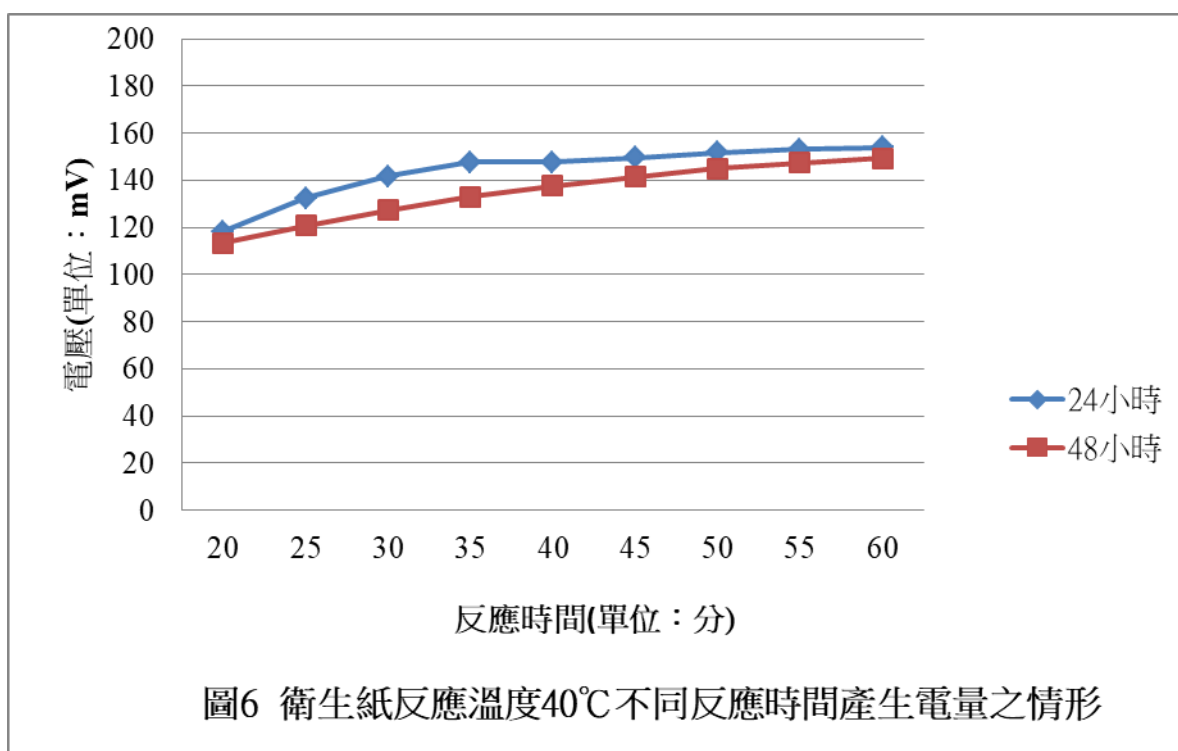
反應條件	作用時間(分)									
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
40°C	113.5	120.8	127.4	133.1	137.6	141.5	145.1	147.5	149.3	
50°C	40.2	49.5	52.7	55.8	56.6	57.5	59.3	60.0	60.5	



三、衛生紙反應溫度 40°C，不同反應時間所生成之葡萄糖溶液。

表 3 衛生紙反應溫度 40°C 不同反應時間，產生電量之情形

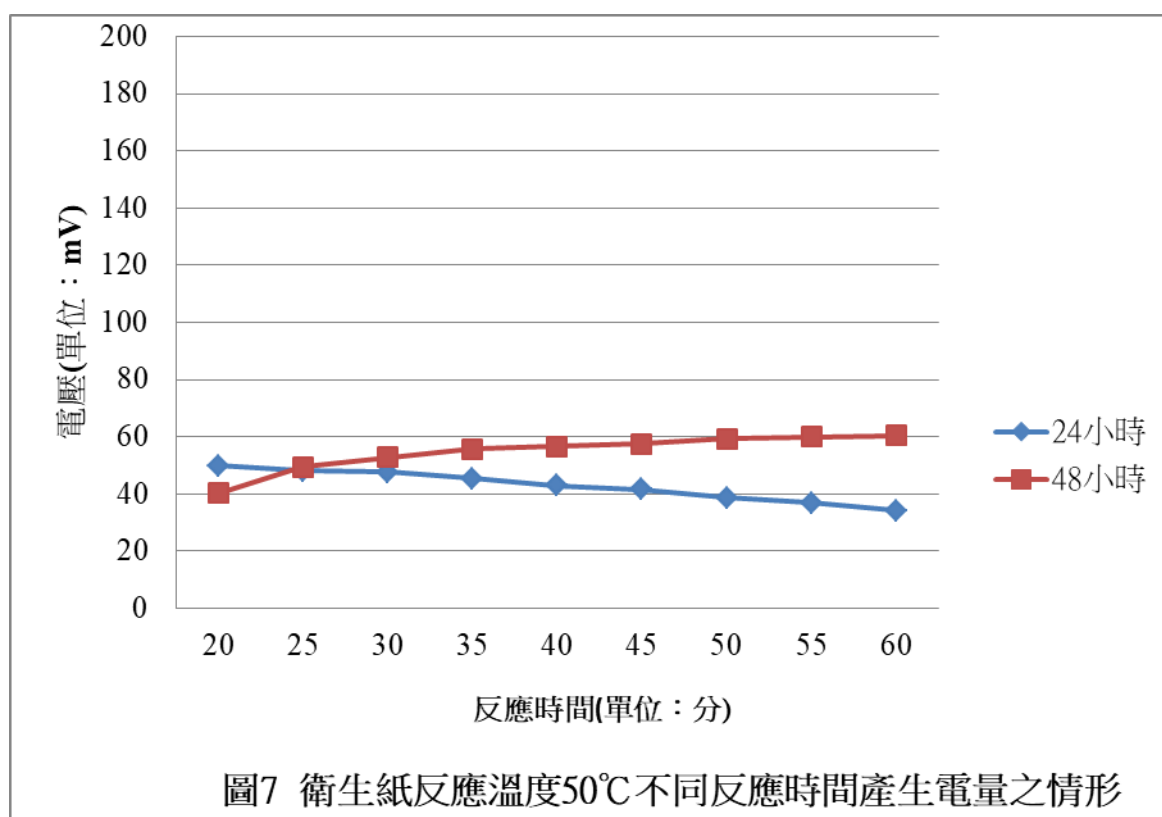
反應條件	作用時間(分)									
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
24 小時	118.4	132.4	141.7	147.6	147.7	149.7	151.8	153.0	154.0	
48 小時	113.5	120.8	127.4	133.1	137.6	141.5	145.1	147.5	149.3	



四、衛生紙反應溫度 50°C，不同反應時間所生成之葡萄糖溶液。

表 4 衛生紙反應溫度 50°C 不同反應時間，產生電量之情形

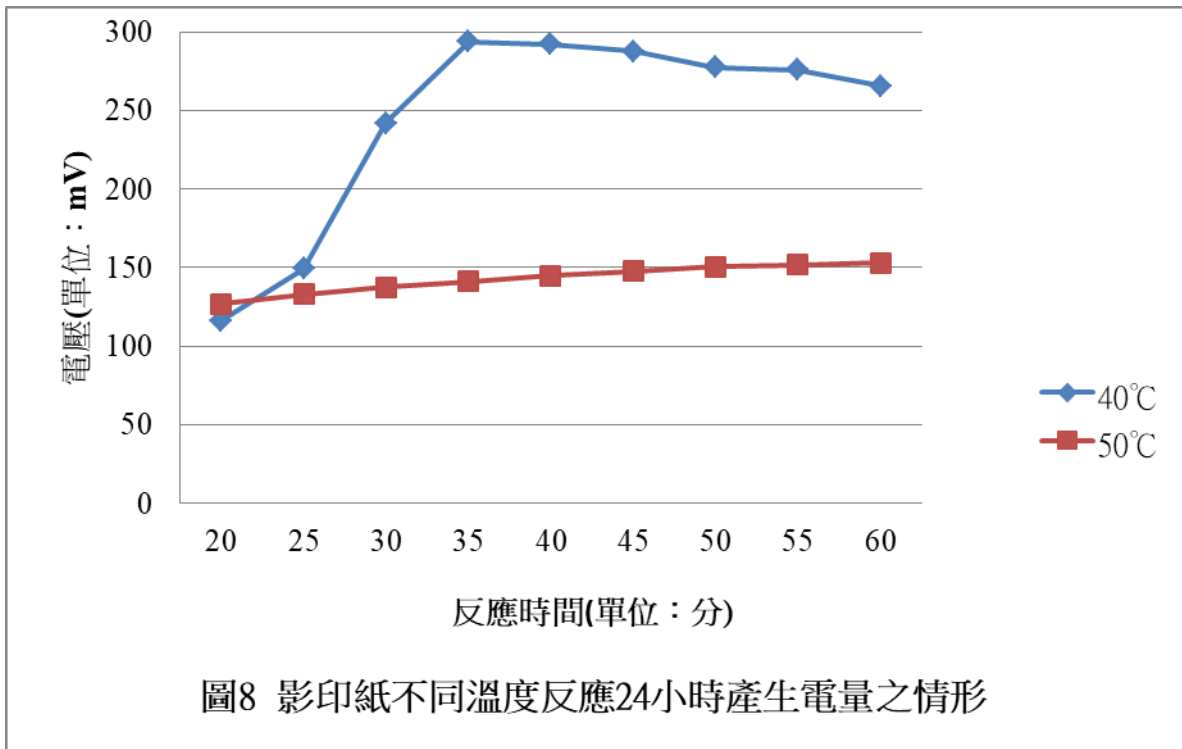
反應條件	作用時間(分)									
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
24 小時	49.8	48.0	47.6	45.3	43.0	41.6	38.7	36.9	34.2	
48 小時	40.2	49.5	52.7	55.8	56.6	57.5	59.3	60.0	60.5	



五、影印紙不同反應溫度，反應 24 小時所生成之葡萄糖溶液。

表 5 影印紙不同溫度反應 24 小時，產生電量之情形

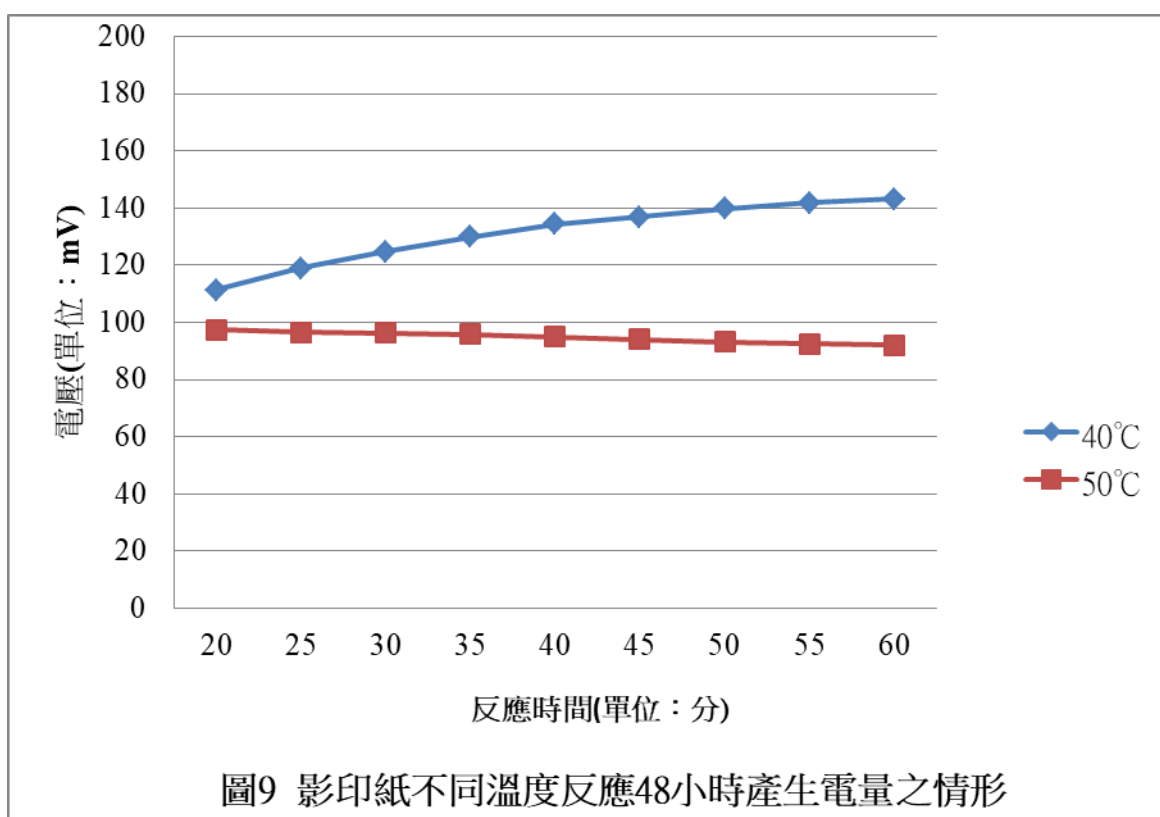
作用時間(分) 電壓(mV) 反應條件	作用時間(分)									
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
40°C	116.2	149.4	241.8	293.6	292.1	287.7	277.5	276.0	265.8	
50°C	126.9	133.0	137.5	141.2	144.7	147.8	150.4	151.8	153.2	



六、影印紙不同反應溫度，反應 48 小時所生成之葡萄糖溶液。

表 6 影印紙不同溫度反應 48 小時，產生電量之情形

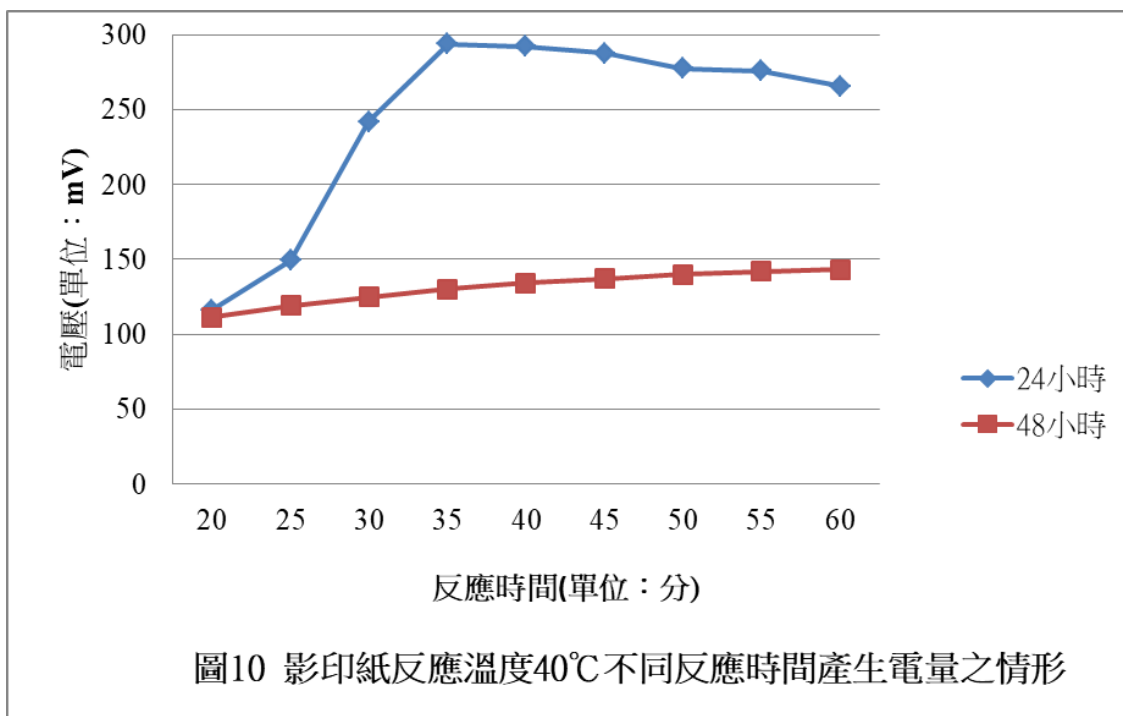
反應條件	作用時間(分)									
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
40°C	111.3	119.0	124.8	130.0	134.4	136.9	139.8	141.8	143.1	
50°C	97.4	96.6	96.3	95.8	94.9	94.1	93.2	92.5	92.0	



七、影印紙反應溫度 40°C，不同反應時間所生成之葡萄糖溶液。

表 7 影印紙反應溫度 40°C 不同反應時間，產生電量之情形

反應條件	作用時間(分)									
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
24 小時	116.2	149.4	241.8	293.6	292.1	287.7	277.5	276.0	265.8	
48 小時	111.3	119.0	124.8	130.0	134.4	136.9	139.8	141.8	143.1	



八、影印紙反應溫度 50°C，不同反應時間所生成之葡萄糖溶液。

表 8 影印紙反應溫度 50°C不同反應時間，產生電量之情形

反應條件	作用時間(分)									
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
24 小時	126.9	133.0	137.5	141.2	144.7	147.8	150.4	151.8	153.2	
48 小時	97.4	96.6	96.3	95.8	94.9	94.1	93.2	92.5	92.0	

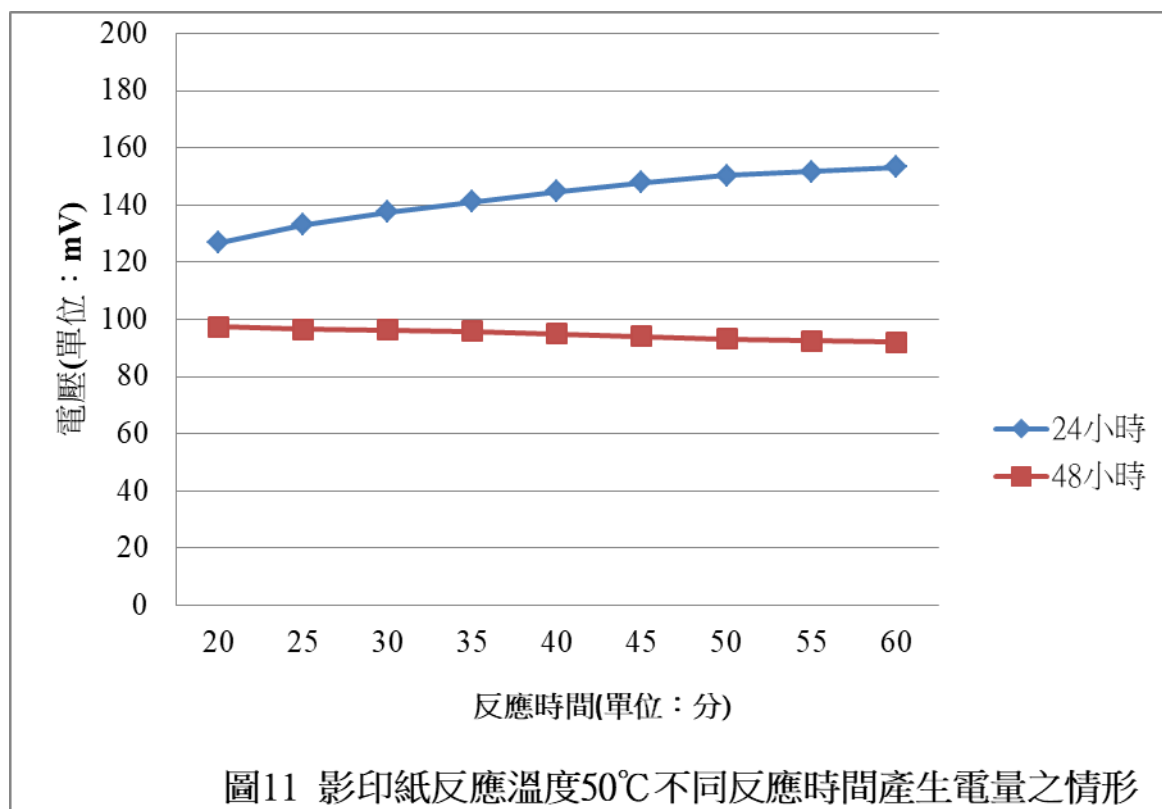
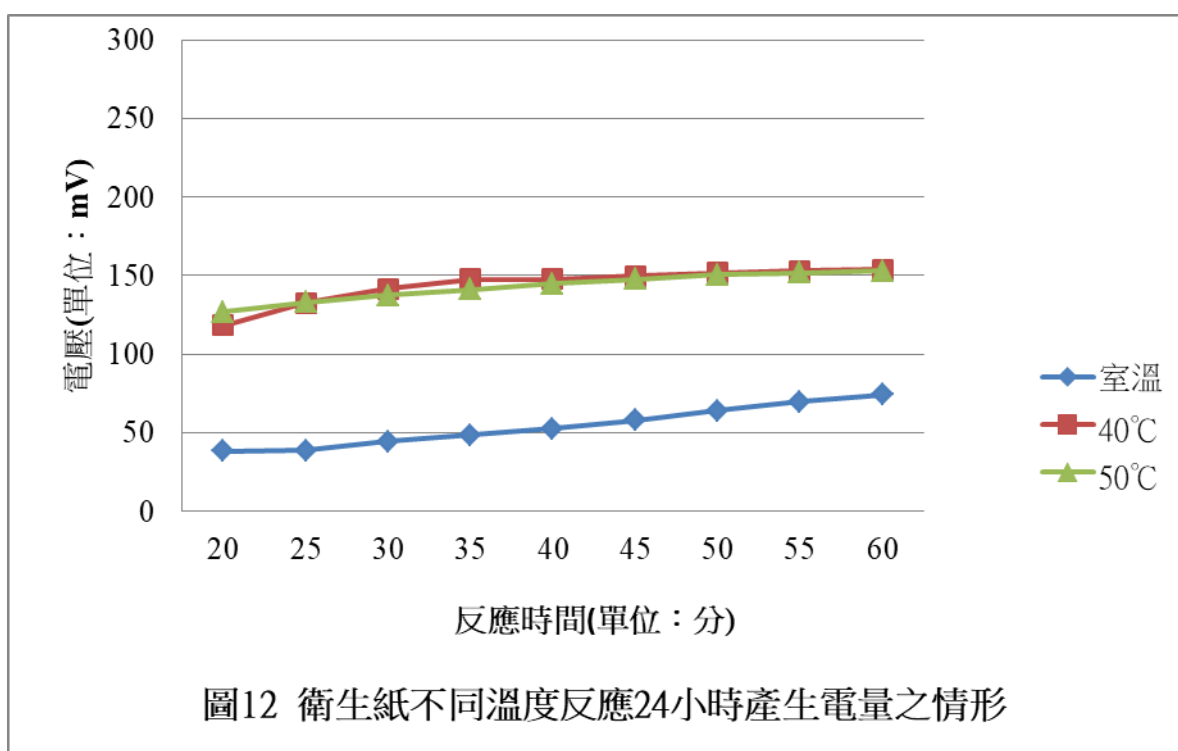


圖11 影印紙反應溫度50°C不同反應時間產生電量之情形

九、衛生紙與前次實驗結果比較

表 9 衛生紙不同反應溫度反應 24 小時產生電量之比較

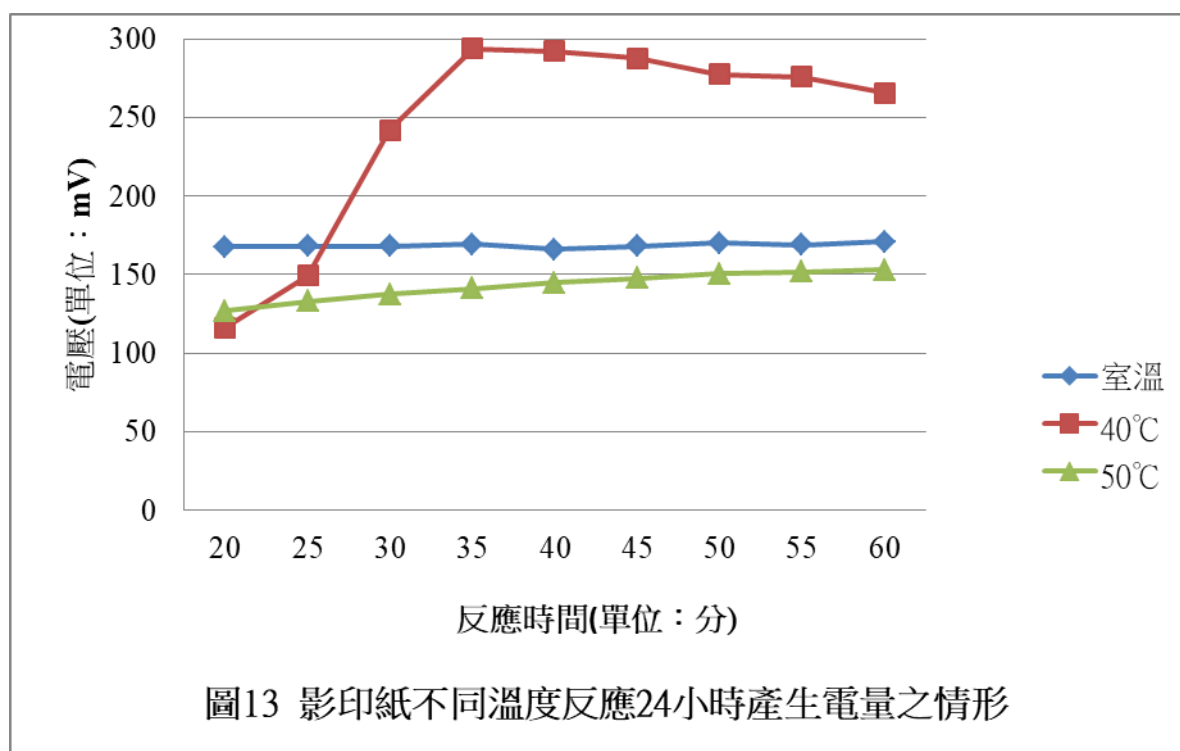
反應時間(分) \ 電壓(mV) \ 反應條件	20	25	30	35	40	45	50	55	60
室溫	38.3	38.7	44.6	48.5	52.8	58.0	63.9	69.6	74.3
40°C	118.4	132.4	141.7	147.6	147.7	149.7	151.8	153.0	154.0
50°C	126.9	133.0	137.5	141.2	144.7	147.8	150.4	151.8	153.2



十、影印紙與前次實驗結果比較

表 10 影印紙不同反應溫度反應 24 小時產生電量之比較

反應條件	反應時間(分)									
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
室溫	167.5	168.2	168.3	169.4	166.0	168.2	170.2	168.9	170.8	
40°C	116.2	149.4	241.8	293.6	292.1	287.7	277.5	276.0	265.8	
50°C	126.9	133.0	137.5	141.2	144.7	147.8	150.4	151.8	153.2	

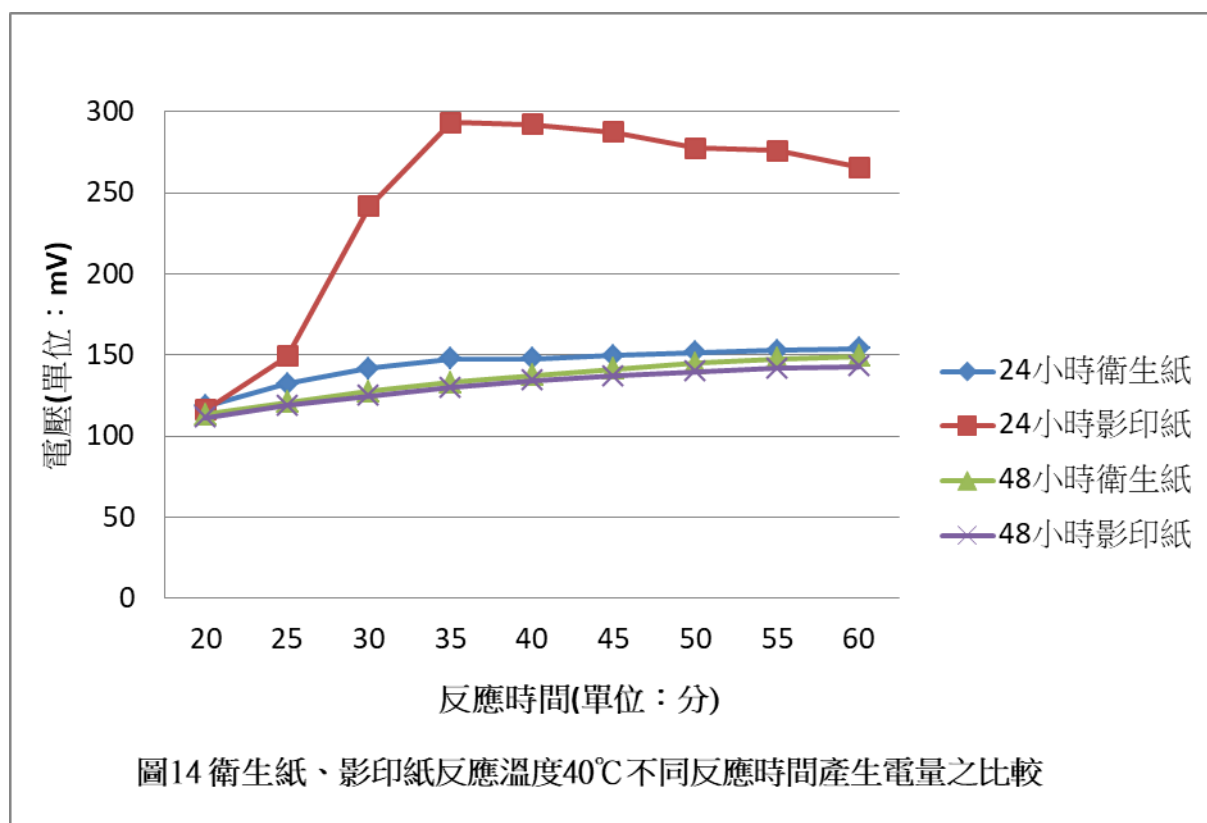


十一、不同材料之葡萄糖溶液，相同溫度不同反應時間產生電量之結果。

(一) 衛生紙、影印紙反應溫度 40°C 不同反應時間產生電量之結果

表 11 衛生紙、影印紙反應溫度 40°C 不同反應時間產生電量之比較

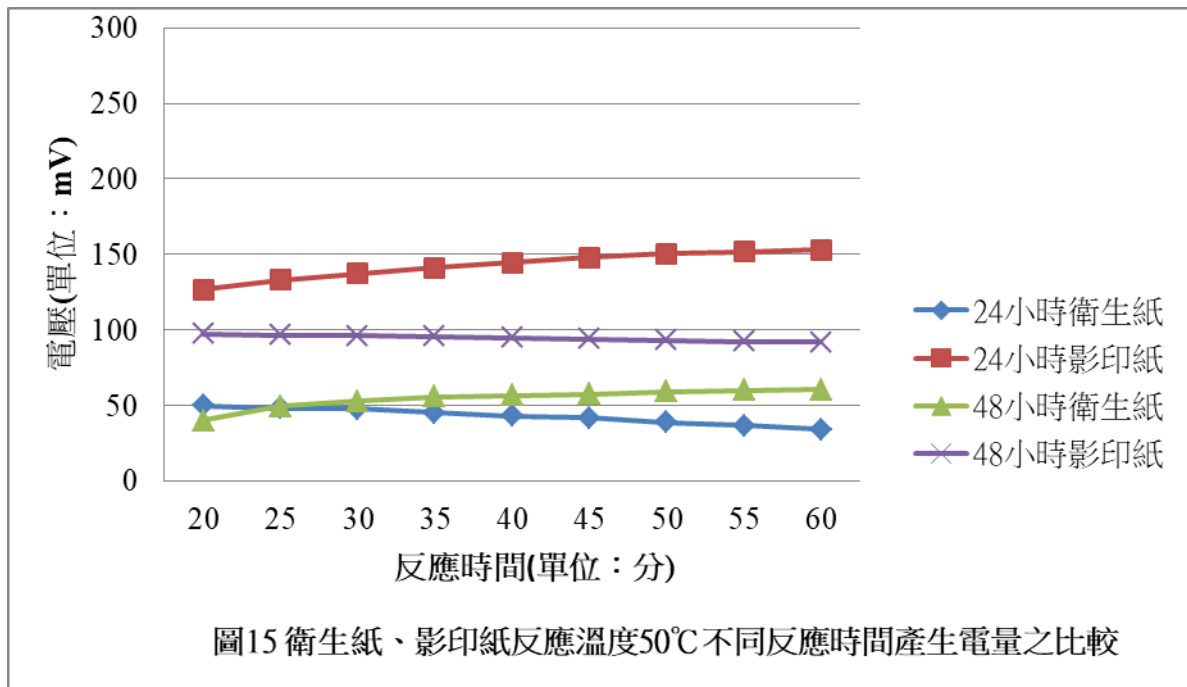
反應條件		反應時間(分)								
		電壓(mV)								
		20	25	30	35	40	45	50	55	60
24 小時	衛生紙	118.4	132.4	141.7	147.6	147.7	149.7	151.8	153.0	154.0
	影印紙	116.2	149.4	241.8	293.6	292.1	287.7	277.5	276.0	265.8
48 小時	衛生紙	113.5	120.8	127.4	133.1	137.6	141.5	145.1	147.5	149.3
	影印紙	111.3	119.0	124.8	130.0	134.4	136.9	139.8	141.8	143.1



(二) 衛生紙、影印紙反應溫度 50°C 不同反應時間產生電量之結果

表 12 衛生紙、影印紙反應溫度 50°C 不同反應時間產生電量之比較

反應條件		反應時間(分)								
		20	25	30	35	40	45	50	55	60
24 小時	衛生紙	49.8	48.0	47.6	45.3	43.0	41.6	38.7	36.9	34.2
	影印紙	126.9	133.0	137.5	141.2	144.7	147.8	150.4	151.8	153.2
48 小時	衛生紙	40.2	49.5	52.7	55.8	56.6	57.5	59.3	60.0	60.5
	影印紙	97.4	96.6	96.3	95.8	94.9	94.1	93.2	92.5	92.0



十二、衛生紙、影印紙不同反應溫度與反應時間產生電量之結果

表 13 衛生紙、影印紙不同反應時間與反應溫度產生電量之比較

反應條件		反應時間(分)								
		20	25	30	35	40	45	50	55	60
40°C	衛生紙	118.4	132.4	141.7	147.6	147.7	149.7	151.8	153.0	154.0
	影印紙	116.2	149.4	241.8	293.6	292.1	287.7	277.5	276.0	265.8
40°C	衛生紙	113.5	120.8	127.4	133.1	137.6	141.5	145.1	147.5	149.3
	影印紙	111.3	119.0	124.8	130.0	134.4	136.9	139.8	141.8	143.1
50°C	衛生紙	49.8	48.0	47.6	45.3	43.0	41.6	38.7	36.9	34.2
	影印紙	126.9	133.0	137.5	141.2	144.7	147.8	150.4	151.8	153.2
50°C	衛生紙	40.2	49.5	52.7	55.8	56.6	57.5	59.3	60.0	60.5
	影印紙	97.4	96.6	96.3	95.8	94.9	94.1	93.2	92.5	92.0

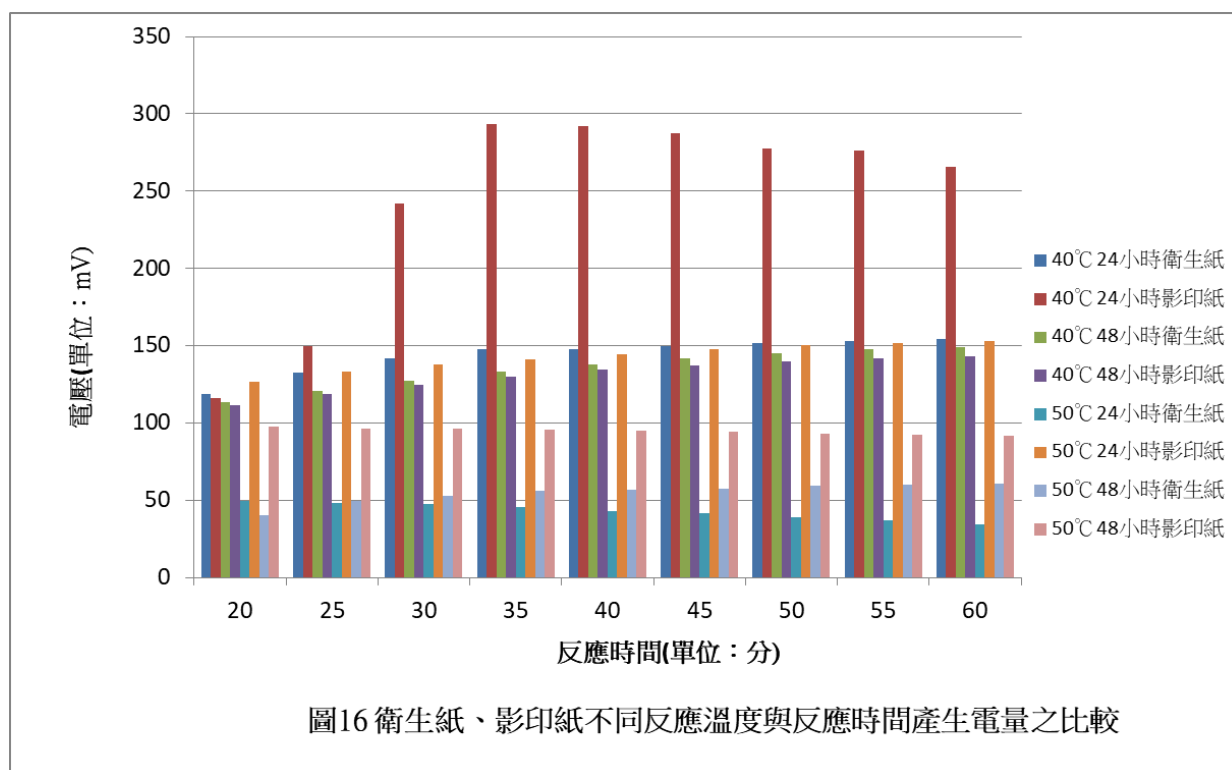


圖16 衛生紙、影印紙不同反應溫度與反應時間產生電量之比較

陸、討論

一、電壓變化

因酵母菌將葡萄糖分解需要時間反應，故從 20 分鐘後開始測量電壓，經實驗結果發現，在 20 分鐘後電壓穩定上升，之後約在 40 鐘分時，電壓上升變緩慢，推測原因可能是因為配置溶液時有攪拌，所以有加速反應，40 鐘分後因為反應物漸漸減少，故電壓上升較慢，有部分反應反而呈現下降趨勢。

二、電壓大小

由實驗結果可發現：

(一)比較相同實驗材料，不同實驗條件電壓之差異：

1、衛生紙：反應 24 和 48 小時的結果，皆是以溫度 40°C 優於 50°C (見表 1、表 2 及圖 4、圖 5)；反應溫度 40°C 和 50°C 的結果，24 小時和 48 小時二種不同反應時間所產生的電壓差都不明顯 (見表 3、表 4 及圖 6、圖 7)。

2、影印紙：反應 24 和 48 小時的結果，皆是以溫度 40°C 優於 50°C (見表 5、表 6 及圖 8、圖 9)；反應溫度 40°C 和 50°C 的結果，皆以 24 小時反應時間優於 48 小時所產生的電壓 (見表 7、表 8 及圖 10、圖 11)。

3、與第 59 屆實驗於室溫下反應 24 小時的結果比較：衛生紙和影印紙在 40°C 的溫度反應產生的結果，皆優於前次室溫下反應所產生的電壓 (見表 9、表 10 及圖 12、圖 13)，由此可知，溫度太低或太高皆有可能影響纖維素酶的活性。

(二)比較相同反應溫度，不同反應時間及材料產生電壓之差異：

1、反應溫度 40°C 時：以反應 24 小時的影印紙最好，其餘三者條件差異不明顯 (見表 11 及圖 14)。

2、反應溫度 50°C 時：亦是以反應 24 小時的影印紙最好，48 小時的影印紙次之，其餘二者衛生紙較差 (見表 12 及圖 15)。

(三)所有實驗結果之比較，無論是材料、反應溫度及反應時間的條件不同，最後皆是以反應時間 24 小時，反應溫度 40°C 的影印紙產生的電量最高(詳見表 13 與圖 16)。

三、由實驗結果得知，纖維素酶反應的溫度以 40°C 優於 50°C 及室溫，另外反應時間延長至 48 小時並未能增加其葡萄糖的生成量。纖維素酶對纖維素纖維的作用分四個程序：滲入，內切，外切，糖化。我們使用的纖維素酶是外切酶，所以只能產生部分的葡萄糖，如果將四種纖維素酶都加入，將可以產生更多的葡萄糖，也就可以產生更多的電量，但由於纖維素酶的價格過於昂貴，以學生的能力無法負擔，所以只購買一種做試驗。

但是經由此次的實驗讓我們了解，只要簡單地增加反應的溫度亦可增加葡萄糖的生成量並提高生物電池的電壓，此次的實驗亦可作為我們下次實驗設計的參考。

柒、結論

經過實驗後，發現利用紙發電是可行的，只不過電壓較小，所以如果要當成綠能的話，需要多個串聯，另外我們發現使用影印紙來發電比用衛生紙來發電要來的高，可能是因為影印紙有加碳酸鈣等填充物，增加其導電性，所以可以考慮把廢紙當成綠能源來使用，回收紙除了可變成再生紙之外，也可發電變成再生能源，不但增加了回收紙張的價值也延續其物命，更為愛惜地球資源盡一份心力。

捌、參考資料及其他

一、書籍資料：

(一)國民中學自然與生活科技課本(一上)：第 3 章養分。3-2 酵素。康軒出版社

(二)國民中學自然與生活科技課本(二下)：第 3 章酸、鹼、鹽。南一出版社

(三)國民中學自然與生活科技課本(三下)：第 1 章電的應用。康軒出版社

(四)紙要你來電。嘉義縣第 59 屆中小學科學展覽會。

二、網路資源：

(五)吳浚銘。台灣網路科教館。科學研習月刊-紙電池。取自：

<https://www.ntsec.edu.tw/LiveSupply-Content.aspx?cat=6844&a=6829&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&lsid=8165>

(六)生活技。用紙發電。取自：

<http://www.grdkingdom.com/2012/01/sonya418wh.html>

(七)劉哲安等。嗜甜發電廠。中華民國第 50 屆中小學科學展覽會

取自：<https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/50/pdf/030213.pdf>

(八)葉浚瑋等。用便宜的年糕紙取代質子交換膜。新竹高工。

取自：<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2016/04/2016040109295923.pdf>

(九)楊政憲、林姍。小兵立大功~生物燃料電池的原理及應用。科學 Online。

取自：<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=42863>

(十)薛朋雨、葉名倉。簡易微生物燃料電池製作 (The Simple Microbial Fuel Cell)

科學 Online 取自：<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=3335>

(十一)C M C 粘度法檢測纖維素酶活力及相關問題分析探討

取自：<https://read01.com/zh-tw/oP5Oe.html#.XKy8cvkzblU>

(十二) 纖維素酶的水解機制和作用條件。每日頭條/分類/農業(2017.05.15)

取自：<https://kknews.cc/zh-tw/agriculture/g8vb4n9.html>