

彰化縣 108 學年度國民中小學學生獨立研究作品徵選

作品說明書

作品編號：

- 組別：
- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> 國小高年級組 | <input type="checkbox"/> 數學類 |
| <input type="checkbox"/> (四、五、六年級) | <input checked="" type="checkbox"/> 自然與生活科技類 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 國中組 | <input type="checkbox"/> 人文社會類 |

作品名稱：

談「酵」風生，風生「電」起

—利用自製酵素發電裝置探討「酵」氣發電之可行性



目錄

第一階段 研究訓練階段

- 一、 近二年學校獨立研究課程之劃.....01
- 二、 學校如何提供該生獨立研究訓練.....01

第二階段 獨立研究階段

- 一、 研究動機.....02
- 二、 擬定正式計畫、研究問題及工作進度表.....03
- 三、 彙整相關文獻.....07
- 四、 資料分析.....09
- 五、 研究成果與討論.....13
- 六、 評鑑與檢討.....25
- 七、 參考資料.....30



第一階段 研究訓練階段

一、近兩年學校獨立研究課程之規劃

(一) 課程安排：

校方會利用社團課辦理獨立研究課程，讓學生依照本身興趣去選填，同時也會安排具有相關知識背景的教師來指導學生。

(二) 研究內容：

由課內教材延伸，結合生活靈感，尋找研究題材，並設計相關實驗進行探討，以利多元化學習。

(三) 行政協助：

透過輔導室、設備組及相關領域召集人與指導教師合作，提供學生良好環境，專心從事相關研究。

二、學校如何提供該生獨立研究訓練

學生的研究及發表能力，將是十二年國教新政策下的一個重視的環節。學校整合科展與近年之彰化縣獨立研究競賽紙本書面（成果冊、光碟）提供師生借閱，並在網站上闢有科學教育及獨立研究專區提供研究資訊（包含研究方法、如何擬定主題及研究計畫、歷年簡章辦法、得獎作品等）。教師群中，亦會由有經驗的老師帶動小班群共同激勵，強化學生參賽的動機及給予正確的指導。感謝學校設備組長規畫實施多場的科展系列研習，讓學生也可將參加科展研習所習得的研究方法，套用在此獨立研究。硬體方面，學生無論是週六、日或暑假期間，均全面開放電腦教室、E化教室等電腦設備，供學生使用，並有老師陪同現場指導。雖是漫漫時日，但也是另類學校特色。

第二階段 獨立研究階段

一、 研究動機

一年多前，在一個因緣際會下，開始接觸**環保酵素**的製作，在製作過程中，發現蔬菜水果皮在**發酵過程中**，會產生源源不絕的氣體，當氣體無法宣洩時，**所累積的壓力是相當可怕的**，足以炸開瓶蓋並將瓶內**發酵液及果皮一併噴飛**，噴到整個天花板都是黃褐色液體。這樣的場景還真讓本組組員碰到了。善後的過程中，除了苦苦哀嚎外，腦袋總想著**這般威力應該能做點什麼有意義的事情才對**，這個想法一直深藏心裡。

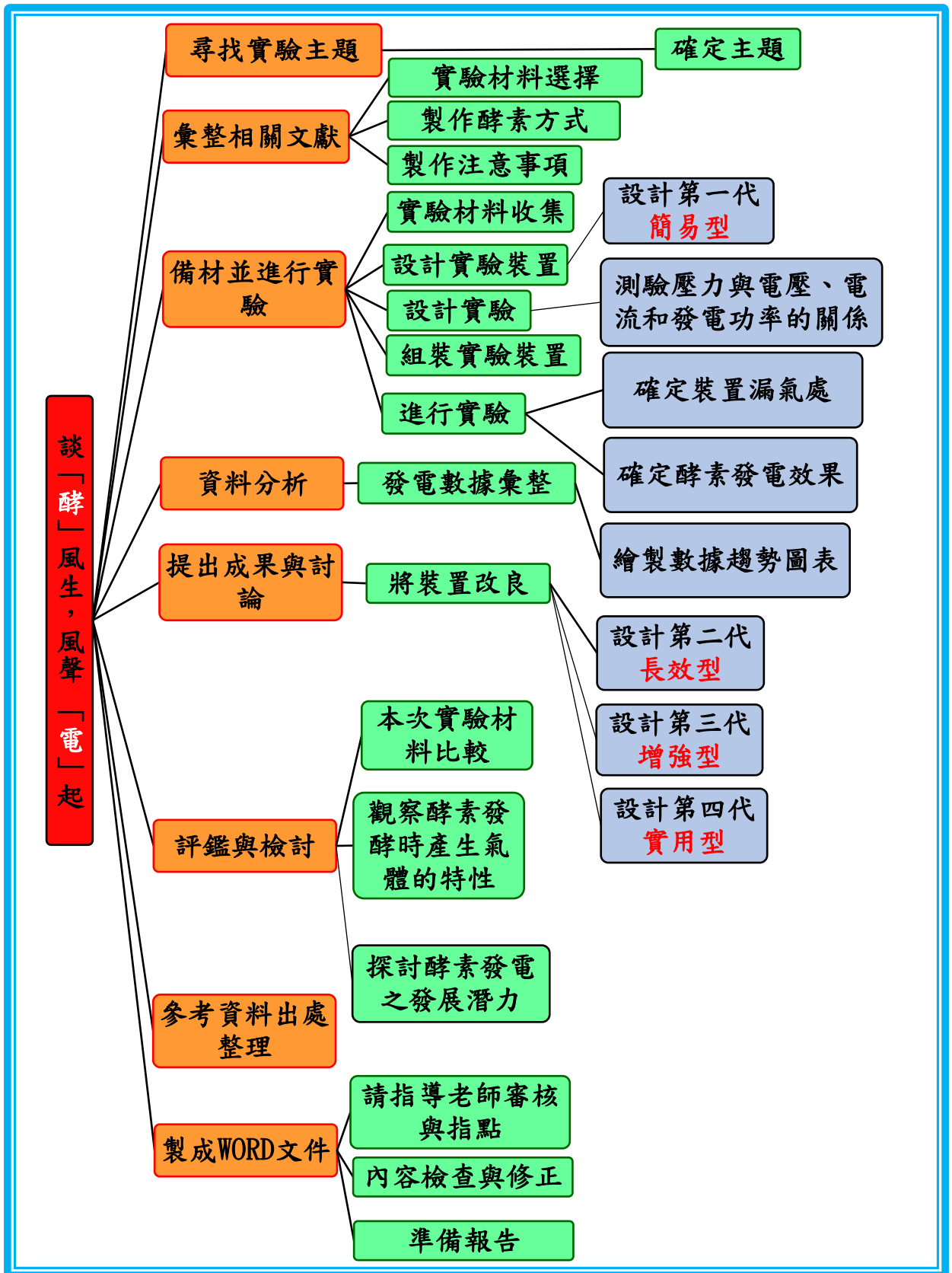
台灣是缺電的國家，主要是透過**核能發電**以及**火力發電**產生電力，但核能發電有**核廢料與危險性**問題，而火力發電則具**空氣污染**問題。且最近**反空污議題**大家吵得沸沸揚揚，促使本組產生「**利用環保酵素發電**」之想法。本組期望透過此次研究**取代不環保以及昂貴的發電方式**，並利用**環保以及便宜的材料**，使實驗裝置成為**大眾化的發電裝置**。



↑ 圖 1、不環保的發電方式

二、擬定正式計畫、研究問題及工作進度表

(一) 擬定正式計畫



↑圖 2、研究計畫流程圖

(二) 研究問題

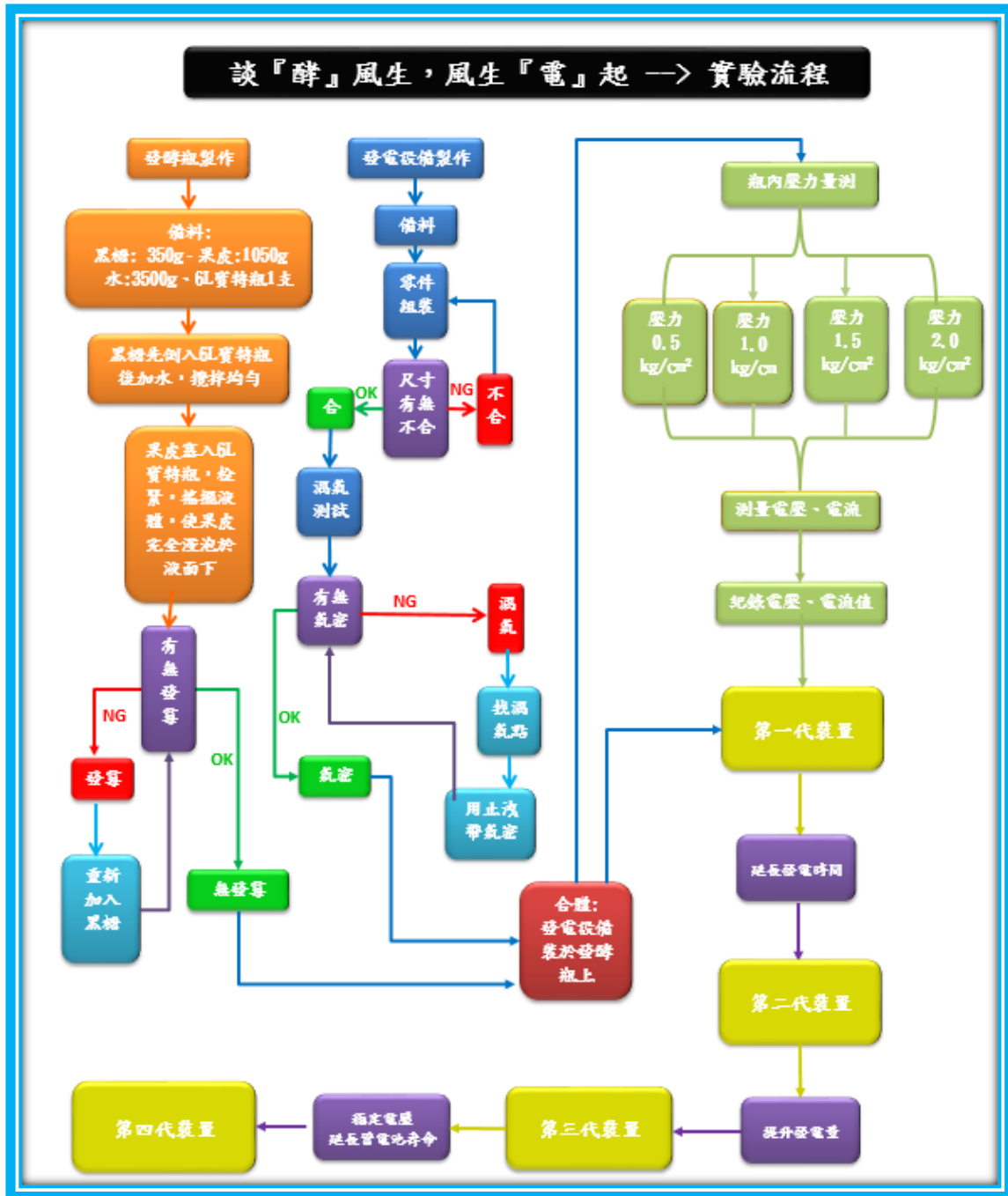
1. 如何選擇最適合之實驗材料
 - (1)如何選擇最適合之集氣瓶
 - (2)如何選擇最適合之管材
 - (3)如何選擇最適合之風力發電機風扇種類
 - (4)如何選擇最適合之發電馬達
2. 如何設計最有效率之實驗裝置架構
 - (1)設計第一代**簡易型發電機**。
 - (2)改良第一代**簡易型發電機**進化為第二代**長效型發電機**。
 - (3)改良第二代**長效型發電機**進化為第三代**增強型發電機**。
 - (4)改良第三代**增強型發電機**進化為第四代**實用型發電機**。
3. 觀察酵素發酵時產生氣體的特性
 - (1)如何紀錄每天收集 1 瓶 6 L 之氣體(壓力 $1\text{kg}/\text{cm}^2$)所需時間，並觀察隨時間改變發氣量增減狀況。
4. 如何探討酵素發電之發展潛力
 - (1)酵素發電如何與現今發電系統之優缺點比較。
 - (2)如何探討酵素發電之附加效益。
 - (3)探討酵素發電改良為其他用途裝置之可行性

(三) 工作進度表

日期 工作 內容	8/4~ 8/10	8/11~ 8/17	8/18~ 8/24	8/25~ 8/31	9/1~ 9/7	9/8~ 9/14	9/15~ 9/21	9/22~ 9/28	9/29~ 10/5	10/6~ 10/12	10/13~ 10/19	10/20~ 10/26
確定主題	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
擬定工作進度	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
擬定正式計畫 及研究問題	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
彙整相關文獻	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
備材並進行實 驗	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
提出研究結果	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
評鑑與檢討	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

表 1 工作進度表

(四) 實驗流程圖



↑ 圖 3、實驗流程圖

三、彙整相關文獻：

3-1、酵素氣體製作：

3-1-1、使用材料：

1. 黑糖（有礦物質）。
2. 果皮（新鮮果皮）。
3. 自來水。

(PS:製作比例請參考圖 4)

3-1-2、選擇容器：

可密封或有開蓋口的塑膠瓶、塑膠桶。

3-1-3 製作方法：

1. 準備一個有密封蓋口的塑膠容器，避免選用玻璃或金屬等無法膨脹的容器。
2. 把水和糖倒進塑膠容器裡攪勻後，加入廚房生廚餘：
（如：樹葉、水果皮，準備丟掉的蔬菜）。
3. 容器內留一些空間，須保有 20%的發酵空間，以防止酵素發酵時溢出容器外。
4. 將容器上蓋，旋緊。
5. 搖晃瓶身使內容物均勻混合。

3-2、製作過程注意事項：

1. 避免選用玻璃或金屬等無法膨脹的容器。
2. 使用生廚餘包括鮮菜葉、水果皮等準備丟掉的蔬菜或植物，不包括廢紙、塑膠、金屬罐頭和瓶子。
3. 避免使用魚、肉、或油膩的廚餘，因為會造成腐臭味；如果要製作出來的酵素有清香氣味，可以加橘皮、檸檬皮等氣味較好的蔬菜果皮。可將酵素原料切片，切得越小，越有助於分解。
4. 製作酵素的容器須保有 20%的發酵空間。
5. 在容器上標示製作日期，酵素原料分解和發酵需要歷時



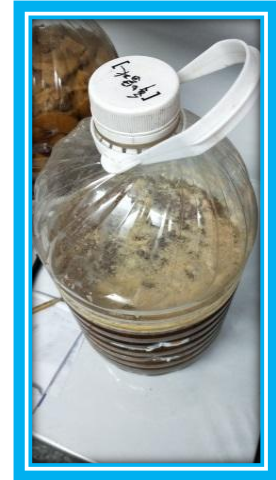
↑ 圖 4、酵素製作比例圖

3 個月，請耐心讓整個過程完整進行。

6. 如果一時無法收集足夠份量的生廚餘，可陸續加入生廚餘，從最後一次加入當天算起 3 個月的期限。

3-4 發酵過程的變化：

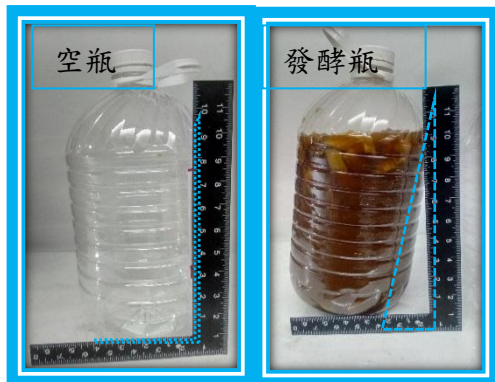
1. 如果酵素液呈現黑色，表示腐敗不成功，需加入黑糖，再繼續發酵 3 個月。
2. 如果發現蟲或蒼蠅卵，需把蓋子封密，讓蟲卵失去與空氣接觸的機會而自行分解，從而加強酵素的蛋白質。
3. 如果在表層呈現白色如圖 5，表示製作得很成功。



↑ 圖 5、發酵液發白圖

3-5 發酵過程氣體產生量：

酵素產生的氣體威力除了親身經歷（瓶炸）外，在發酵 3 天後，瓶底已鼓起，導致傾斜，如圖 6 所示。在網路上，我們也有找到有關製作酵素時，氣壓過大導致爆炸的新聞，如圖 7 所示，其威力足以讓本組的實驗目的達成。



↑ 圖 6、瓶身變形圖



↑ 圖 7、與酵素爆破相關新聞圖

四、 資料分析：

(一) 實驗材料準備：

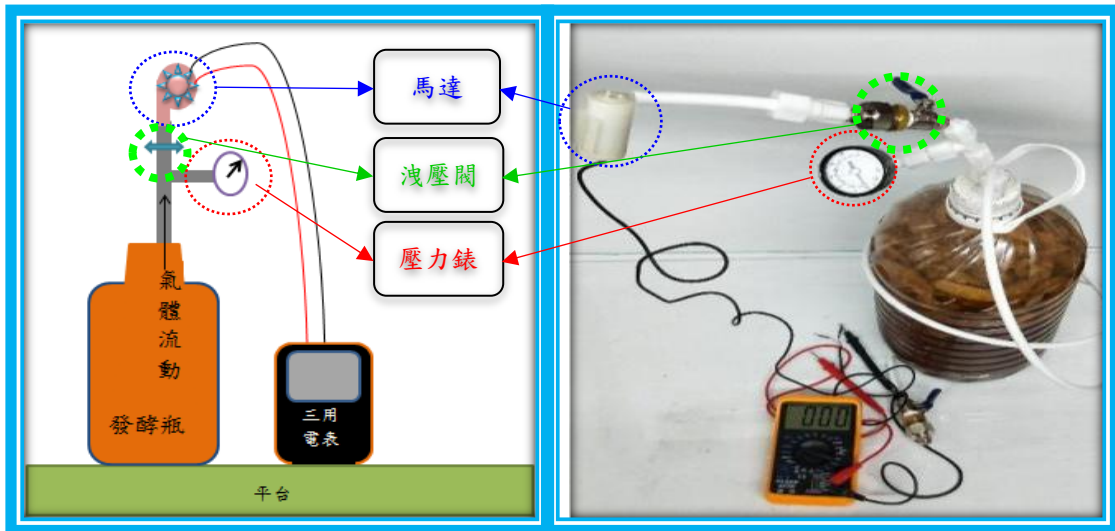
本組實驗材料主要為 RO 逆滲透軟管及銅製管路周邊材料，以其組成研究裝置。



↑ 圖 8 實驗材料圖

(二) 設計實驗裝置

本組經過討論後，設計了「酵素發電裝置一代簡易型」示意圖如圖 9。將實驗材料依裝置示意圖組裝後，如圖 10 所示。果皮於密閉瓶內發酵產生氣體，等氣體達到一定之壓力時，手動開起洩壓，氣體由高壓往低壓高速流動，推動馬達風扇，進而發電。



↑ 圖 9、酵素發電裝置構造示意圖

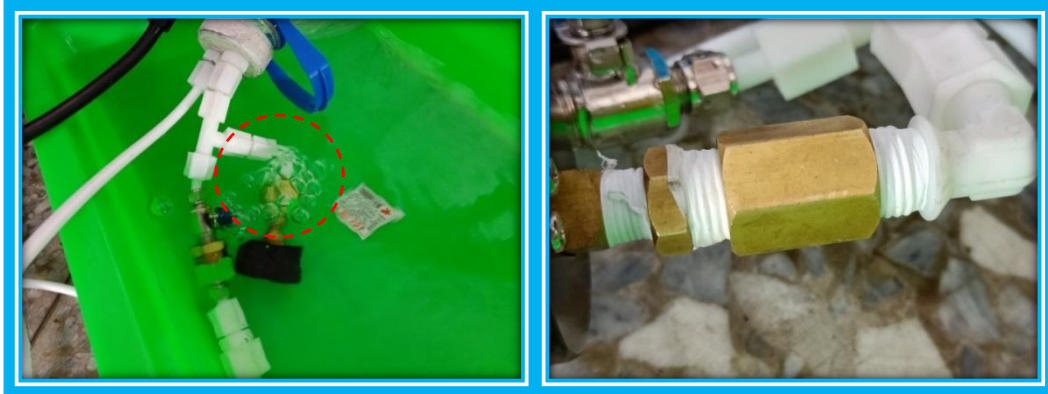
↑ 圖 10、酵素發電裝置圖

氣體在高速流動的狀態下，本組還發現特殊現象，當空氣被「擠進狹窄的管路時」，氣體流速增加。根據白努力原理，流速增加會使氣壓下降，於是氣體就膨脹了一點。氣體在膨脹過程中沒有足夠時間與周圍環境進行熱交換，這就是所謂絕熱膨脹。氣體膨脹時向外作功，失去能量，因此氣體的內能減少，如果外界沒有熱能流入補充，氣體的溫度便會隨內能下降。這是熱力學第一定律的結果。與周圍環境沒有熱交換的情況下，氣體膨脹，溫度便下降，所以整個管路冰冰涼涼的。

(三) 進行漏氣檢測

完成實驗裝置後，組員將其設備鎖在發酵瓶上，經過許久，瓶內產生的氣體無法蒐集，導致壓力不夠，不能發電，有漏氣之疑。如何檢測？大家都有看過腳踏車行補胎狀況吧！於是本組將

設備泡入水中，查看何處有氣泡產生(如圖 11 所示，紅色圈內為漏氣點)，將該處以止洩帶捆綁(如圖 12，為改善後狀況)，增加密合度，達到防漏氣的效果。



↑圖 11、漏氣處 (改善前)

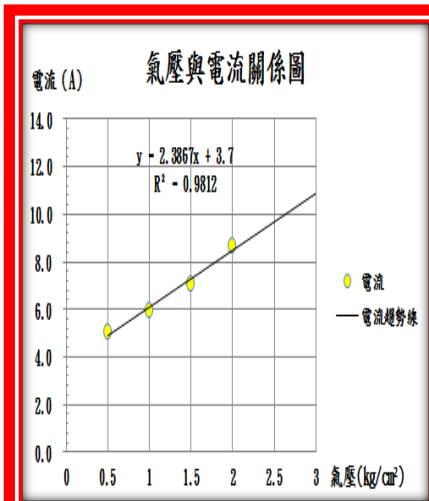
↑圖 12、漏氣處 (改善後)

解決「**管線漏氣**」的問題後，本組進行了下個步驟，「**確定酵素發電效果**」。我們將設備接上三用電表，並取最高數值作為記錄，以下是量測的結果，組員將其數據紀錄下來，並整理成表格，以利分析。

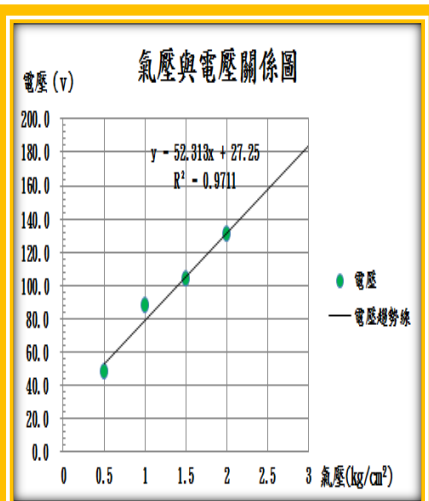
表 2「壓力與電壓、電流和發電功率關係」實驗結果統計表

觀察實驗數據後可知「**當氣壓增加，電流、電壓皆會隨之增加。**」由此可知，本組藉由酵素來發電之構想是可以**被實踐**的。

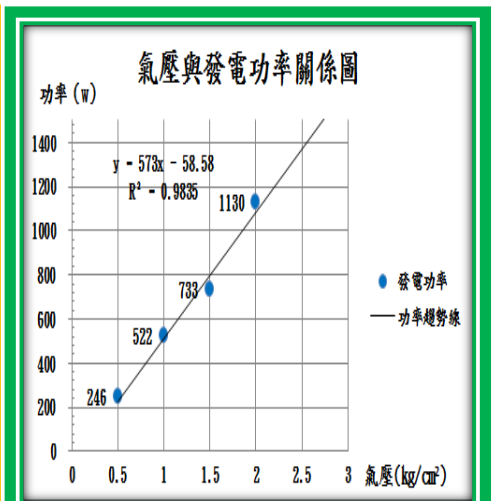
數據單位 氣壓(kg/cm ²)	實驗次別	電流(A)	電壓(v)	功率(w)
0.5	第一次	5.1	48.5	247
	第二次	4.8	47.6	228
	第三次	5.3	49.3	261
	平均	5.1	48.5	246
1	第一次	6.1	88.1	537
	第二次	5.8	87.3	506
	第三次	5.9	88.6	523
	平均	5.9	88.0	522
1.5	第一次	7.2	103.5	745
	第二次	7.1	103.4	734
	第三次	6.9	104.1	718
	平均	7.1	103.7	733
2	第一次	8.7	130.1	1132
	第二次	8.9	131.3	1169
	第三次	8.4	129.9	1091
	平均	8.7	130.4	1130



↑圖 13-1、氣壓對電
流關係圖



↑圖 13-2、氣壓對電
壓關係圖



↑圖 13-3、氣壓對發電
功率關係圖

圖 13 氣壓與發電功率、電壓、電流關係圖

由圖 13 可知氣壓大小與電流、電壓以及發電功率呈「正相關」關係，即累積愈大氣壓可產生愈多電力，可確定本研究之實驗裝置具足夠可行性。由於本組壓力表為機械式指針，壓力數據不夠精確，故測得電壓、電流數值上下變化較明顯，無法呈現電流、電壓與壓力為正比趨勢。如欲獲得準確的功能轉換成電流、電壓之關係，本組討論可於發電機出風口處用風速計量測其最大風速，用風速數值來代替壓力數值，降低量測儀器及人為判斷誤差，使其得到較可靠之數據，讓實驗數據的準確化。

五、 研究成果與討論

(一) 如何選擇最適合之實驗材料

為達到「以最少材料產生最多電力」目的，本組首先研究「酵素發電裝置」之「最佳設計」。選擇最適合之實驗材料。為設計「最有效率」之裝置，組員至網路上尋找資料，比較相關文獻，或實際測試各種材料之效果，選擇最適合本研究之實驗材料，並整理為表格。如何選擇最適合之實驗材料

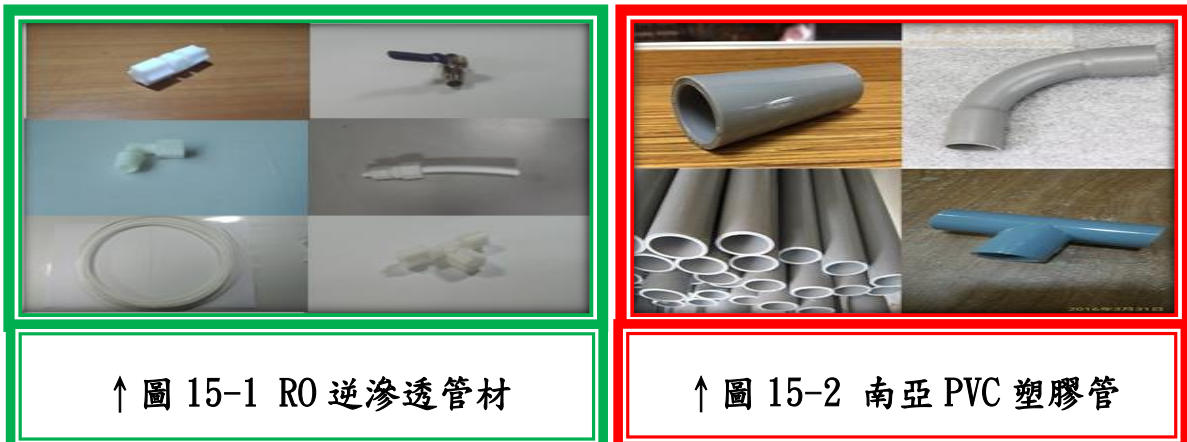
討論 1、集氣瓶之最佳選擇

「集氣瓶」於本研究扮演重要角色，本組比較各種具集氣作用之容器。以下為本組比較之容器。

		
↑ 圖 14-1 PET 密封桶	↑ 圖 14-2 耐高壓鋼瓶	↑ 圖 14-3 6L 寶特瓶
↑ 圖 14 集氣瓶比較圖		
本組組員以價格低、容易取得為前提，分別比較以上三種容器之容量、重量、耐壓度、成本以及取得難易後，再決定集氣瓶的材料。		

討論 2、管材之最佳選擇

本組需要管材連接實驗裝置中各部分，以下為本組比較項目。



↑圖 15-1 RO 逆滲透管材

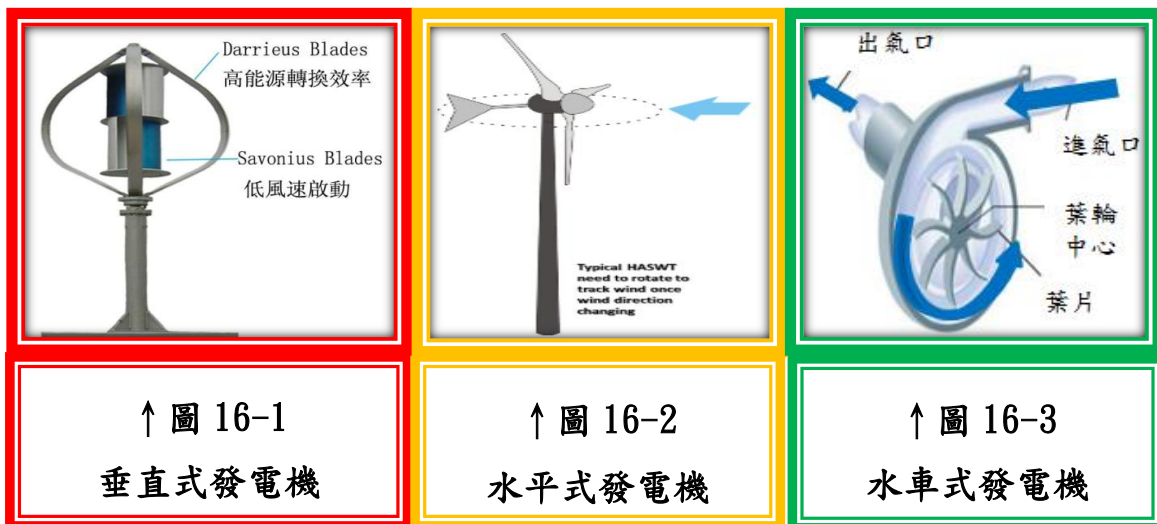
↑圖 15-2 南亞 PVC 塑膠管

↑圖 15 管材比較圖

本組組員分別比較兩種管材之安裝難易、模組化難易、成本、抗壓程度及體積大小後，決定使用之管材。

討論 3、風力發電機風扇種類最佳選擇

為使風力發電馬達達到最高效率，種類的選擇是十分重要的。



↑圖 16-1
垂直式發電機

↑圖 16-2
水平式發電機

↑圖 16-3
水車式發電機

↑圖 16 風力發電機風扇種類比較圖

組員選擇三種常見風扇種類，比較結構設計難易、對準風向需求性、對風蝕陀螺性有無、尖速比大小、擷取風力係數、風切噪音、製作成本及發電效能等因素後。

討論 4、發電馬達最佳選擇

「風力發電馬達」是本研究的主角，**決定本組之研究結果**，因此組員比較各種風力發電馬達。



↑ 圖 17-1
垂直式發電機



↑ 圖 17-2
水平式發電機



↑ 圖 17-3
水車式發電機

↑ 圖 17 發電馬達種類比較圖

本組組員選擇三種常見風力發電機風扇種類，比較**結構設計難易、對準風向需求、對風蝕陀螺性有無、尖速比大小、擷取風力係數、風切噪音、製作成本及發電效能**。

(二) 如何設計最有效率之實驗裝置架構

為使本研究之實驗裝置達到足夠效率，組員於設計裝置時以「使用最少材料達到最高效率」為原則，規劃裝置設計。

討論 1、如何設計第一代簡易型：

先設計簡易裝置，再作成品，因為之後將會用再「壓力與電壓、電流和發電功率關係」之實驗。

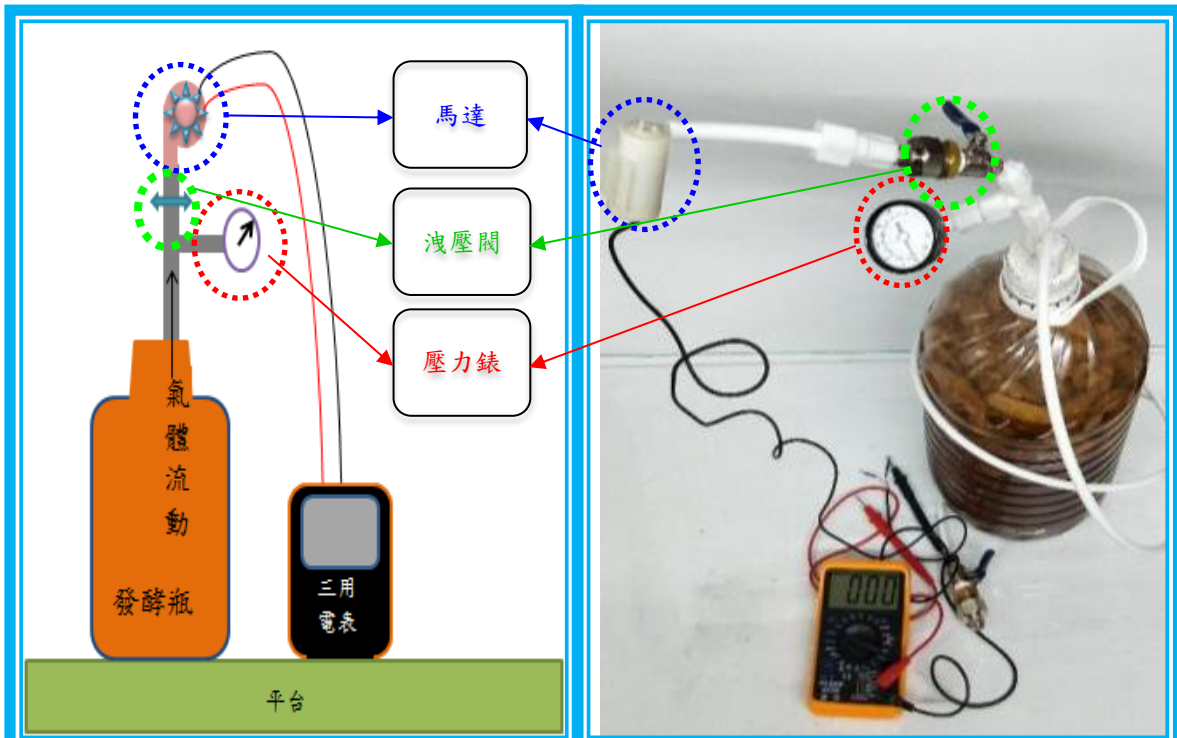


圖 18 發電裝置第一代簡易型設計圖

本研究之第一代實驗裝置設計十分陽春，發酵瓶直接接上壓力計、球閥及發電機，當氣體壓力達 $1 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ 時，發電量最高達 522W ，發電時間 1sec 。初代裝置尚有不少缺點，需要進行改良。

討論 2、如何改良實驗裝置第一代簡易型進化為第二代長效型：

針對第一代裝置發電時間短之缺點方向改良，先增設集氣瓶 1 瓶，作測試，結果有改善，後續追加至 4 瓶。設計最有效率之實驗裝置架構。

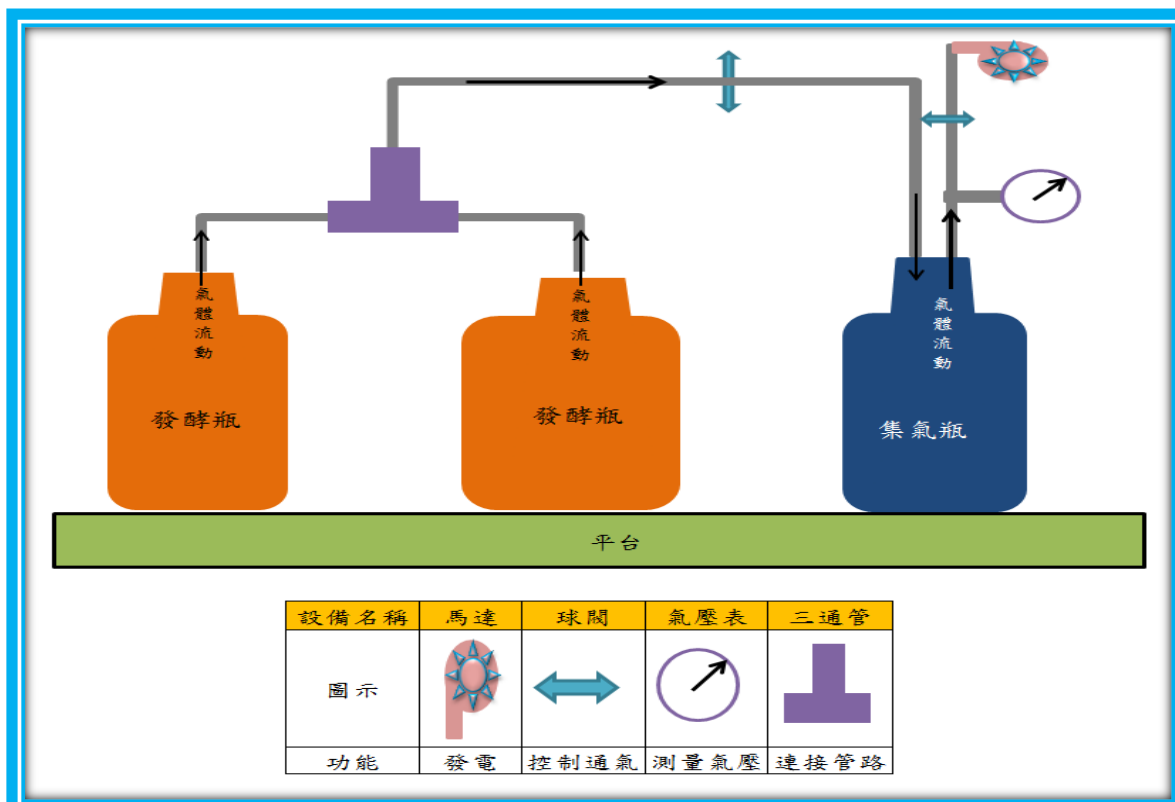


圖 19 實驗裝置第二代長效型設計圖

第二代實驗裝置主要改善第一代集氣空間不足之問題，經組員測試，效率略勝一籌。由於第一代發電時間短，增加集氣瓶數量，來延長發電時間，每增加一瓶時間延長為 6sec，最終版有 4 瓶集氣瓶，故發電時間得以持續 24sec。

討論 3、如何改良實驗裝置第二代長效型進化為第三代增強型：

第二代實驗裝置之發電時間雖增加但為提高發電效率，組員在作實驗的過程發現氣壓經過發電機後，風力仍然充足，因此產生「串聯馬達」之想法，並測試串聯之可行性。

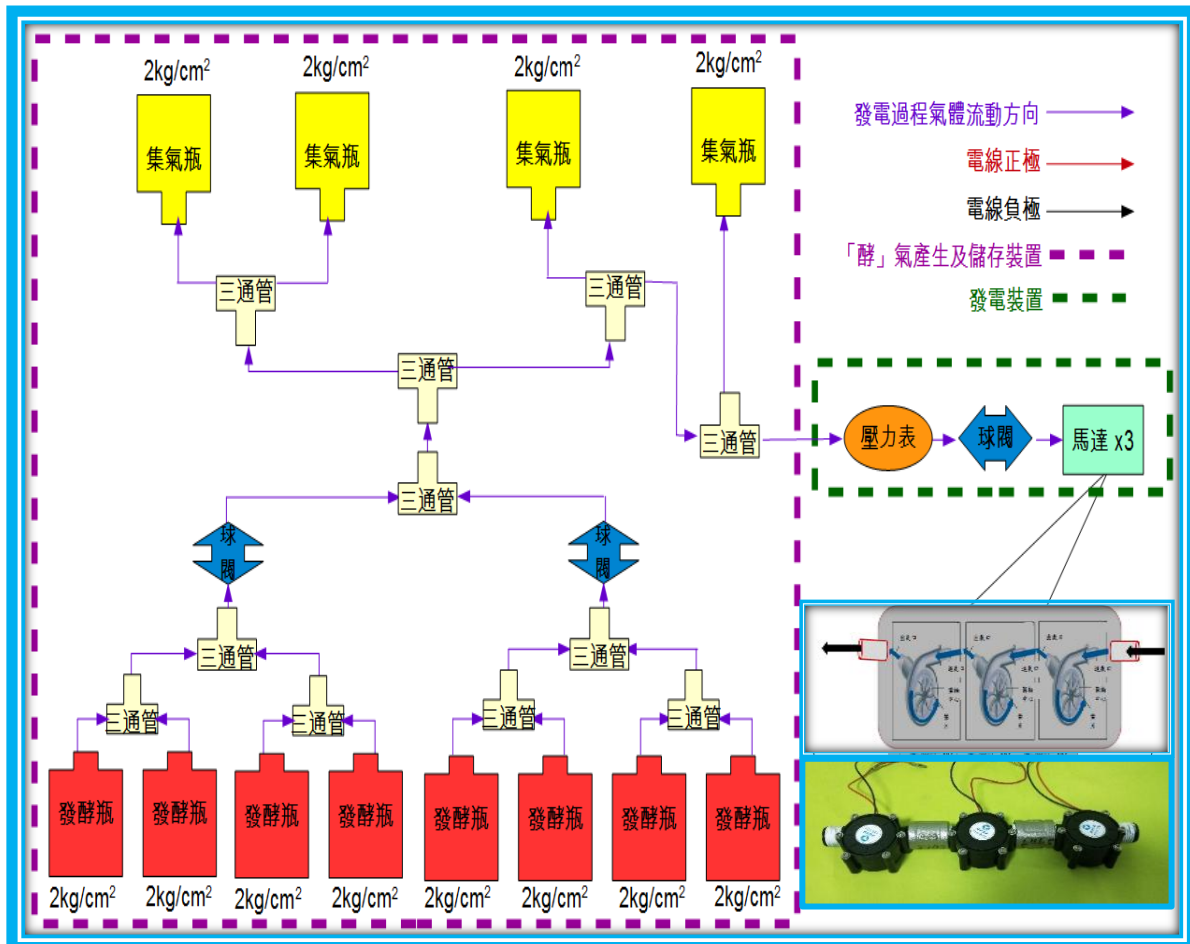


圖 20 實驗裝置第三代**增強型**設計圖

第三代實驗裝置為**提升發電效率**由原本 1 台發電機加設至 3 台，如圖 20 右下角所示，**發電量亦由 522W 增加為 1044W**。

討論 4、如何改良實驗裝置第三代增強型進化為第四代實用型。

發電系統經過多次改良後，已可產生足夠電力，卻無法有效儲存及使用。組員上網查詢相關資料，尋找能轉換電壓及穩定電壓之裝置，希望能達到「對電器穩定充電」效果，故架設**充電控制器**，除**穩定電壓**外，還可對**5V 電氣設備充電**、架設**鉛蓄電池**得以儲存所產生的**電力**供日後有需要使用。

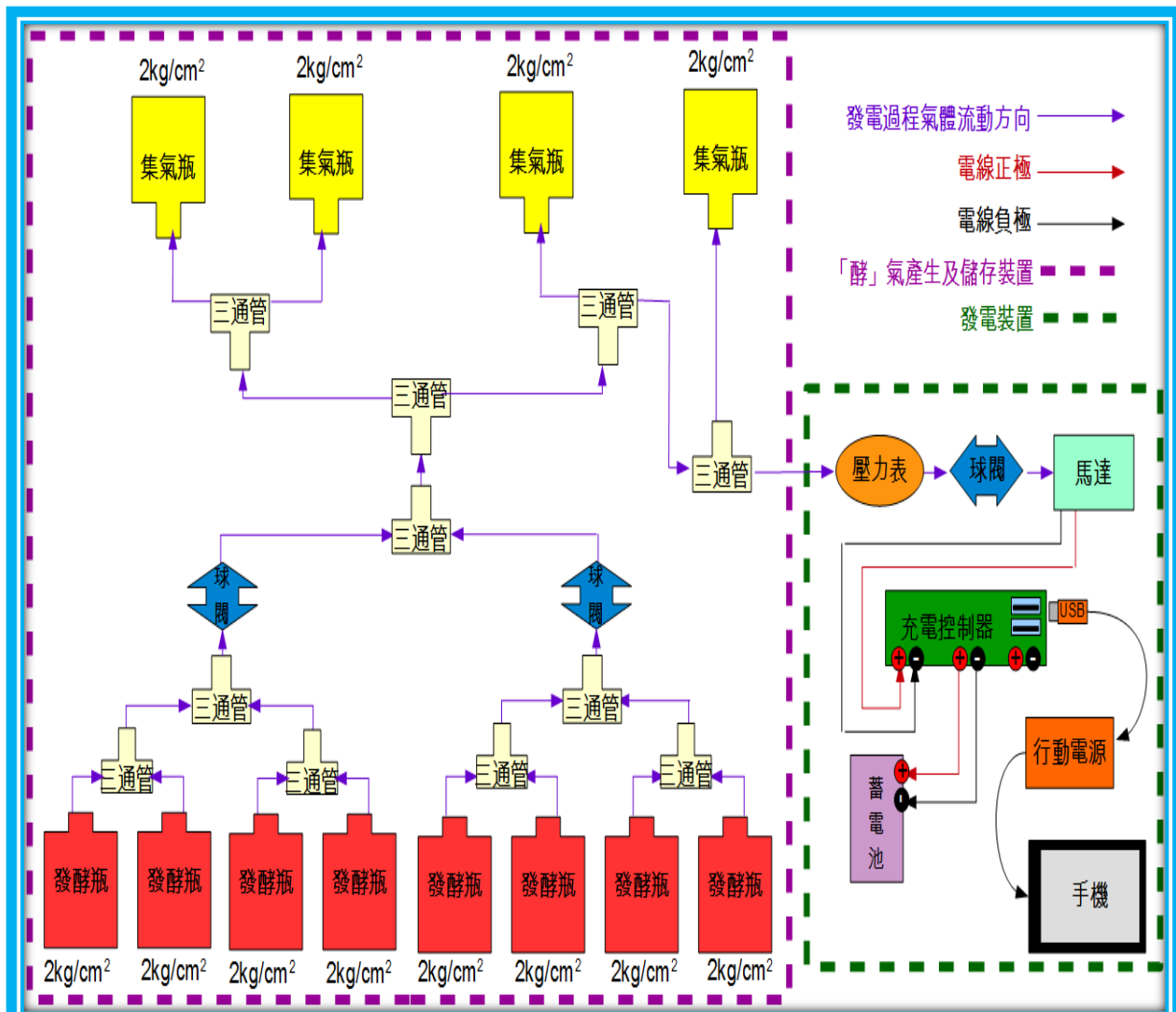


圖 21 實驗裝置第四代**實用型**設計圖

第四代實驗裝置主要改善第三代裝置**電壓不穩定及無法直接充電於電器上**之問題，增設**充電控制器**以及**蓄電池**等，達到**穩定供電**之效果。

本組依據第四代裝置設計圖，購買材料實際組裝後，能正常運作對電器供電，如圖 22 所示。



圖 22 第四代酵素發電裝置實機圖

8 瓶酵素瓶發酵產生氣體，收集於 4 瓶集氣瓶中，待調壓閥顯示壓力為 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 後，轉動球閥，氣體一洩而出，帶動 3 顆發電機，進而產生電能，電流經由充電控制器對蓄電池蓄電或供電給電器使用，圖中顯示黑色風扇轉動、LED 燈發光、手機充電中。

(三) 如何觀察酵素發酵時產生氣體的特性

組員經由觀察，發現**酵素發酵至固定氣壓時長並非「隨機」**，可能具有一定線性，並決定觀察發氣相關數據。

討論 1、如何紀錄每天收集 1 瓶 6L 之氣體(壓力 1kg/cm²)所需時間，並觀察隨時間改變發氣量增減狀況。

表 3 酵素發氣至 1 公斤壓力所需時間統計表

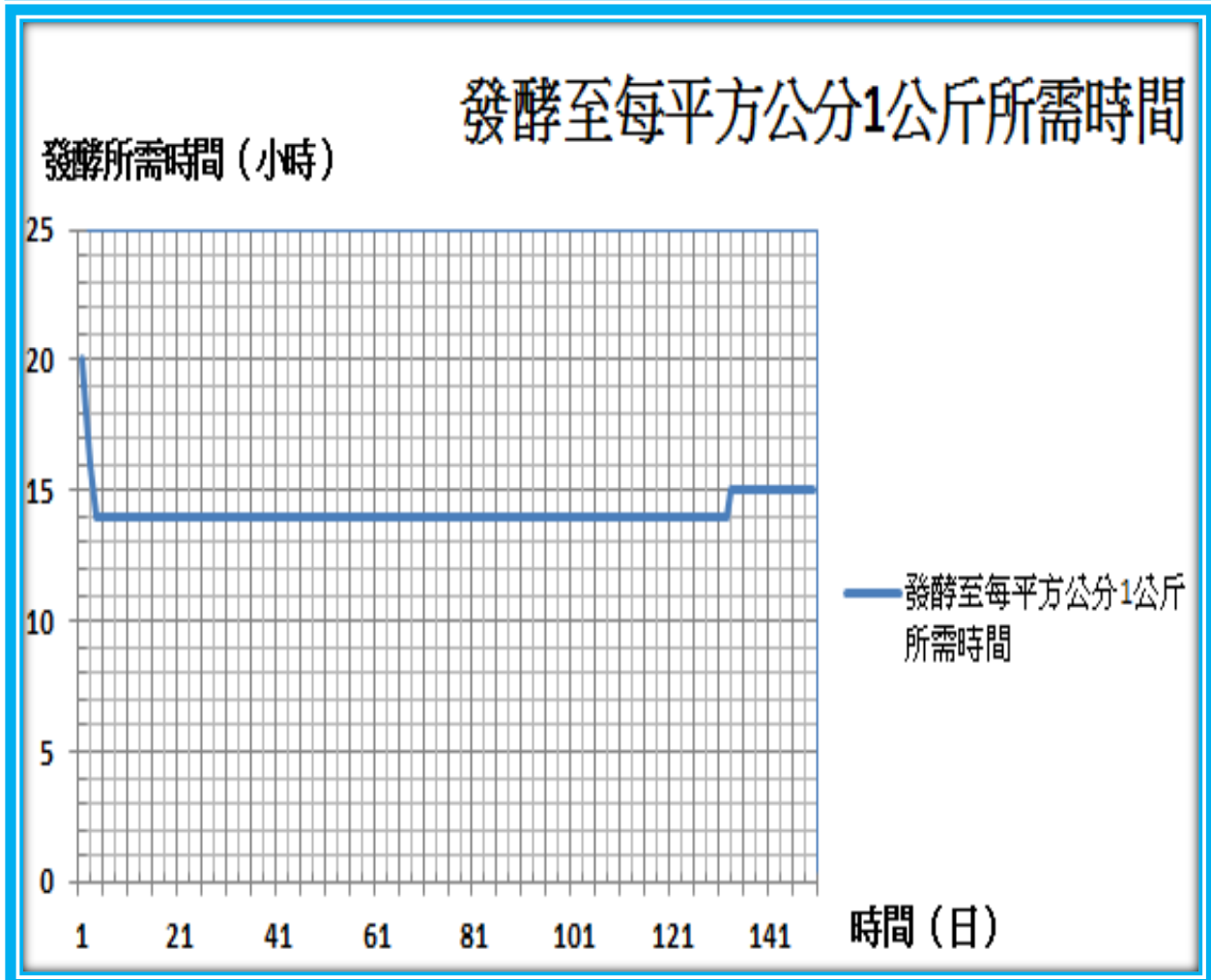
觀察統計表後可得知酵素發氣至每平方公分 1 公斤大約需要 **14 小時**，組員觀察同一瓶酵素 150 天，可由後段結果得知**酵素放置越久，發酵所需時間越長**。

次數	產生 1瓶6L 壓力為 1(kg/cm ²) 所需時間(hr)	次數	產生 1瓶6L 壓力為 1(kg/cm ²) 所需時間(hr)	次數	產生 1瓶6L 壓力為 1(kg/cm ²) 所需時間(hr)	次數	產生 1瓶6L 壓力為 1(kg/cm ²) 所需時間(hr)	次數	產生 1瓶6L 壓力為 1(kg/cm ²) 所需時間(hr)
1	20	31	14	61	14	91	14	121	14
2	18	32	14	62	14	92	14	122	14
3	16	33	14	63	14	93	14	123	14
4	14	34	14	64	14	94	14	124	14
5	14	35	14	65	14	95	14	125	14
6	14	36	14	66	14	96	14	126	14
7	14	37	14	67	14	97	14	127	14
8	14	38	14	68	14	98	14	128	14
9	14	39	14	69	14	99	14	129	14
10	14	40	14	70	14	100	14	130	14
11	14	41	14	71	14	101	14	131	14
12	14	42	14	72	14	102	14	132	14
13	14	43	14	73	14	103	14	133	15
14	14	44	14	74	14	104	14	134	15
15	14	45	14	75	14	105	14	135	15
16	14	46	14	76	14	106	14	136	15
17	14	47	14	77	14	107	14	137	15
18	14	48	14	78	14	108	14	138	15
19	14	49	14	79	14	109	14	139	15
20	14	50	14	80	14	110	14	140	15
21	14	51	14	81	14	111	14	141	15
22	14	52	14	82	14	112	14	142	15
23	14	53	14	83	14	113	14	143	15
24	14	54	14	84	14	114	14	144	15
25	14	55	14	85	14	115	14	145	15
26	14	56	14	86	14	116	14	146	15
27	14	57	14	87	14	117	14	147	15
28	14	58	14	88	14	118	14	148	15
29	14	59	14	89	14	119	14	149	15
30	14	60	14	90	14	120	14	150	15
sum	432	sum	420	sum	420	sum	420	sum	438
發電150次所需時間(hr)		2130		約3個月					

根據表 3 數據，組員整理為下圖(圖 23)，分析發酵所需時間增減情形。

圖 23 酵素發氣至 1 公斤壓力所需時間統計圖

觀察圖 23 之實驗數據可知酵素發酵時長於前五天因果皮尚未開始反應，需要較長時間達到指定壓力，而經過長時間多次的發酵因反應物逐漸被分解，反應時長逐漸增加。



(四) 如何探討酵素發電之發展潛力

討論 1、酵素發電如何與現今發電系統之優缺點比較。

發電成本比較：太陽能>酵素>沼氣>燃油>燃氣>風力>火力>水力>燃煤>核能

表 4 發電方式比較表

酵素發電最大的優勢為「非常環保」，酵素發電能將廢寶特瓶及果皮回收利用，且發電過程不產生汙染及廢熱，發電後的酵素液還能當作清潔劑及液肥，減少垃圾及改善環境。

發電方式	優點	缺點	成本
燃煤	成本便宜， 發電穩定	空氣汙染， 產生輻射	每度約1.61 元
燃油	儲存、提煉容易	空氣汙染， 原料危險	每度約4.80元
燃氣	空汙較燃煤低， 發電穩定	燃料危險	每度約2.38元
火力	成本便宜， 發電穩定	空氣汙染， 產生輻射、原料危險、 燃料危險	每度約1.71元
核能	發電穩定， 成本便宜 (不考慮廢料處理)	造成汙染、危險	每度約1.25元
風力	發電時不產生汙染	發電不穩定， 易造成動物死亡， 噪音大	每度約1.90元
水力	發電原料容易取得	對生態產生傷害， 造成海岸線侵蝕， 排放大量溫室氣體	每度約1.71元
太陽能	發電原料容易取得， 發電時不產生汙染	成本高， 發電量少、不穩定， 發電板製作不環保	每度約7.92元
沼氣	減少甲烷汙染	發電成本高， 轉換效率低， 原料處理不易	每度約5.01元
酵素	裝置簡單， 設備成本低， 能將果皮回收利用 發電時不產生汙染	產電週期長	每度約5.2元

討論 2、探討酵素發電之附加效益

表 5 酵素液與其他清潔劑等液體之比較表

如單以發電功能作為成本考量，無法與其他發電方式匹敵。但將他製作成清潔劑或肥料後與市面上販賣的化學類及環保類比較，其實他的效益極大，極具綠色環保價值，且比便宜的化學類洗劑還要更便宜。

酵素液與其他種類液體之比較									
品名	種類	成分	優點	缺點	容量(cc)	總價	每100cc單價	酵素代替的價錢	價差 (酵素便宜的價錢)
洗衣精	化學類	介面活性劑	成本較低	容易造成環境汙染	2000	51	2.55	17	-34
	環保類	小蘇打	小蘇打為天然物質，可除臭、去汙垢	價格偏高	3500	168	4.8	29	-139
	酵素類	蔬果、糖、水	去汙力強	發酵時間長	3000	25	0.83	NA	NA
廚房清潔劑	化學類	介面活性劑	乳化、溶解油垢	化學物質容易汙染環境	600	129	21.5	5	-124
	環保類	天然橘油、不飽和脂肪酸	清潔效果好、能除去油脂以及汙垢	價格偏高	480	135	28.12	4	-131
	酵素類	蔬果、糖、水	去除油垢且有芳香、環保	發酵時間長	3000	25	0.83	NA	NA
洗碗精	化學類	界面活性劑、香精	價格低	溶液流進大海易造成汙染	300	25	8.3	2	-23
	環保類	橘油潔淨精華、維他命 E	使用萃取橘油，護手、容易清潔油脂	生產原物料需大量的水以及肥料	500	159	31.8	4	-155
	酵素類	蔬果、糖、水	可清潔油垢，可以使碗盤有果香	發酵時間長	3000	25	0.83	NA	NA
液肥	化學類	氮、水溶性氧化鉀	快速成長、適用於各種花卉、蔬果	多餘的溶液可能會流入水溝汙染環境	300	109	36.3	3	-107
	環保類	蛋白質、氮	有機物質可使農作物快速吸收	價格偏高	1000	250	25	8	-242
	酵素類	蔬果、糖、水	環保、保護土壤、植物成長養分多	發酵時間長	3000	25	0.83	NA	NA
馬桶疏通劑	化學類	介面活性劑、氨水	價格便宜、清潔方便	溶液流進大海造成汙染	960	79	8.22	8	-71
	環保類	微生物、酵素	環保、天然、對環境沒有任何汙染	價格高	500	399	79.8	4	-395
	酵素類	蔬果、糖、水	可對環境改善	發酵時間長	3000	25	0.83	NA	NA
廁所清潔劑	化學類	氯化氫(HCl)	快速瓦解油垢	流入大海後，容易造成極大的汙染	1000	25	2.5	8	-17
	環保類	天然食品級橘油、檸檬酸	容易瓦解汙垢、無毒	接觸到皮膚可能會造成不適	480	129	26.8	4	-125
	酵素類	蔬果、糖、水	天然，流入大海可改善環境	發酵時間長	3000	25	0.83	NA	NA

討論 3、探討酵素發電改良為其他用途裝置之可行性

於網路上了解各式各樣的 PUMP，有一種為壓力 PUMP，有壓力即可將水往高處傳輸，本組實驗剛好以產生壓力來當動能來轉換成其它能量，如果可以將其壓力轉換成位能，那不就是一個不用電的抽水馬達了嗎？同時搭配魚菜共生系統，環保酵素發酵產出的氣體中 0.01ppm 的臭氧可將魚池內的阿摩尼亞轉換成適合植物生長硝酸鹽酸，亦可改善魚池的水質，一舉數得啊！而抽水效益如果不錯將可推廣至無電力之區域，當抽水馬達運用，造福人群。

六、 評鑑與檢討

(一) 尋找研究動機的出發點

發現問題：

1. 本組在獨立研究過程剛開始時，尚未確認研究主題，我們希望能透過「參考歷屆獨立研究各組創意」的方式發想主題，但經過長時間的尋找，仍然無法確認研究主題。

解決方法：

1. 本組組員回想過去曾經接觸並製作「酵素」，而在酵素發酵過程中因容器承受過大壓力而爆破，讓我們感受到酵素的威力，因而決定以酵素發電，並將「酵素發酵產生氣體之氣壓對發電量的影響與附加效益」作為研究主題。

(二) 擬定正式計畫、工作進度及研究問題的方向

發現問題：

1. 在確定主題後，本組組員開始擬定計畫、預計工作進度以及研究問題，但是仍沒有確切的擬定方向。

解決方法：

1. 首先，本組組員請教指導老師，上網參考大量作品，從其他作品中選出合適的安排方式，最後和組

員討論出最適合我們的正式計畫、工作進度及研究問題。

(三) 彙整相關文獻的管道

發現問題：

1. 在網路上有許多指導網友「製作酵素」的文章，雖然這有助於本組之研究，但是「酵素發電」才是本組主要的研究內容，而在本組組員多次嘗試從網路、書籍等管道蒐集文獻資料時，卻發現與此相關的文獻資料實在不多。

解決方法：

1. 本組組員決定自行設計「實驗裝置」以及「實驗流程」，而在討論後，終於解決此方面的問題。

(四) 進行資料分析的省思

發現問題：

1. 「如何選擇相關材料」
2. 「實驗材料大小不匹配」
3. 「實驗裝置漏氣」

解決方法：

1. 在選擇實驗材料的部分，本組根據裝置設計圖進行討論，對於發酵瓶的選擇，有人提議鋼瓶、有人提議密封罐，本組經過一番討論後，決定使用 6 公升保特瓶，選用它的原因為較易取得、可會收利用等，本組組員親自到資源回收站，向工作人員索取空瓶。

對於管材的選擇，有人提議南亞塑膠管、有人提議 RO 逆滲透管，經過一番舌槍論戰後，最後選用 RO 逆滲透管，原因是模組化方便，可立即拆裝，但南亞 PVC 塑膠管無法立即拆裝而且組裝困難需要用火焊，以及體積大。

對於發電機的選擇，經過實際測試後，本組以水車式馬達來做這次的發電機。其優勢為：

1. 體積嬌小。2. 發電效率高。3. 價格平易近人。

2. 在決定使用水車式馬達當發電機後，實驗裝置的組裝上，本組遇到了實驗材料大小不匹配問題，先前買的管材式2分管，無法將其套在馬達的入風口上，於是組員拿著馬達再次到五金行直接比對採買符合的材料。



圖 24 如何找尋破胎點

3. 至於實驗裝置漏氣之問題，組員們想起之前腳踏車破胎時，車行老闆找尋破胎點的方式(如圖 23 所示)，於是將裝置放入水中，漏氣處便無所遁形，組員用止洩帶加以纏繞使其達到氣密之效。

(五) 統整研究成果與討論後的想法

發現問題：

1. 根據本組實驗結果可得知，當氣壓增加，電流、電壓以及功率皆會隨之增加，由此可知，本組藉由酵素來發電之構想是可以被實踐的，但是第一代簡易型缺點極多(發電量不足；發電時間短；無法穩定供電及直接對3C產品供電)，需要加以改進。

解決方法：

1. 組員進行討論，將第一代簡易型陸續改良至第四代實用型。改良的過程經歷許多的失敗，從失敗中找尋方法(增加發酵瓶和集氣瓶、串連馬達、增設充電控制器及蓄電池)，促使組員對於本實驗有了更深切的理解，並且，組員們非常清楚要將此綠能發電落實於每

個家庭生活之中尚有一段遙遠的路要走，組員們要不斷的精進及持之以恆的測試，方能解決所有的問題。地球是人類唯一的家，保護環境，義不容遲，如同「酵」順不能等，絕不能以現在的綠能裝置就滿足而不加以改進。

七、 參考資料

(一) 網站

1. 維基百科 (風力發電機):
<https://zh.wikipedia.org/wiki/風力發動機>
2. 「風」華再現-風力發電的探索：
<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=304&sid=5304>
3. 魚缸有效清潔-自製果皮酵素之妙用：
<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=12957&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=2&sid=13208&print=1>
4. 環保廚餘酵素 DIY-主婦聯盟環境保護基金會：
<https://www.huf.org.tw/essay/content/2993>
5. 泛科學-酵素引擎，燃料電池科技新方向：
<https://pansci.asia/archives/51983>

(二) 書籍

1. 環保酵素救地球