

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 化學科

最佳(鄉土)教材獎

080217

豐功偉『葉』

~做一顆最佳『綠能』可充式行動電池之研究

學校名稱：澎湖縣馬公市文澳國民小學

作者： 小四 洪千卉 小四 許子謙 小四 盧瑋澤 小四 陳語柔	指導老師： 黃珮瑜 姚美蘭
---	-----------------------------

關鍵詞：綠能、葉綠素電池、可充式行動電池

壹、研究動機

四上的戶外教學，老師帶我們到風力發電園區參觀，以及看了學校的太陽能板工程，我們才知道神奇的風能、太陽光、熱能都能轉成電能。原來，這些都可以發電，那還有什麼東西可以發電？我們蒐集關於發電的資料，竟發現有種來自植物的葉綠素電池也能發電。由於我們野外也有許多綠色植物，它們享有當地得天獨厚的強烈光能，所以我們也想了解這些綠色植物真的能由光能轉成電能，變成一顆可帶著走的可充式『行動電池』嗎？我們決定親自來嘗試是否能將當地常見的綠色植物製作成一顆電池。

貳、研究目的

- 一、探討葉綠素電池的發電原理。
- 二、找出哪一種萃取方法最適合製作葉綠素電池。
- 三、不同萃取方法對於紫光的反應，分析是否有葉綠素。
- 四、不同電極接觸面積對發電效率的影響。
- 五、不同電極組合對發電效率的影響。
- 六、哪種植物的葉綠素液對發電效率的影響。
- 七、不同葉綠素液濃度對發電效率的影響。
- 八、葉綠素液的凝固程度對發電效率的影響。
- 九、不同吸附劑的葉綠素凍對發電效率的影響。
- 十、不同石墨粉比例的葉綠素凍對發電效率的影響。
- 十一、電極接觸的深度對發電效率的影響。
- 十二、串聯葉綠素凍電池的個數、電極接觸時間對發電效率的影響。
- 十三、串聯葉綠素 2 個電池對 LED 發光時間的影響。
- 十四、加水量對乾掉的葉綠素凍電池發電效率之影響。

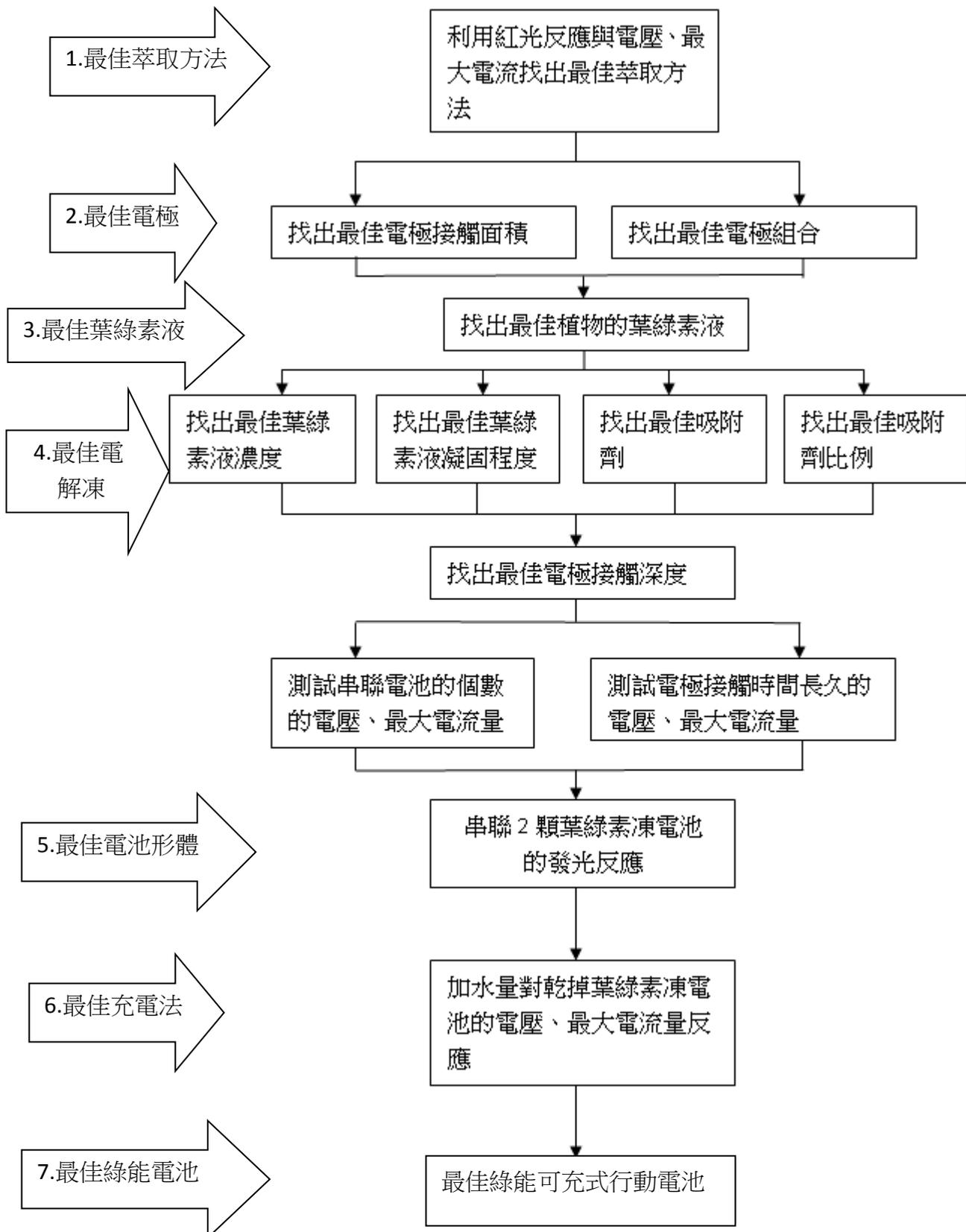
參、研究設備及器材



圖一 研究設備及器材

銅片(0.3*10cm)	鋅片(0.3*10cm)	銅片(1*10cm)	鋅片(1*10cm)
8B 鉛筆芯(10cm)(石墨)	果汁機	布丁瓶數個	方形玻璃罐數個
30 毫升小量杯數個	剪刀+夾子	冰棒結凍模型	酒精溫度計一支
三用電表	鱷魚夾電線	LED 紫光燈	燒杯與玻棒
咖啡濾紙數張	電磁爐一個	電子秤	LED 燈泡(2.0V)
蜂鳴器	計算機	電子鐘	計時器
酒精(濃度 75%)	海菜	仙人掌莖的皮	天人菊葉
火龍果莖的皮	龍舌蘭葉	銀合歡嫩枝葉	蘆薈莖
活性碳粒	洋菜粉	8B 鉛筆芯粉(石墨粉)	

肆、研究過程或方法



圖二 流程圖

一、探討葉綠素電池的發電原理。

(一)利用課餘時間到圖書館查資料，找尋有關葉綠素電池發電的原理說明，並上網搜尋與葉綠素電池相關的資料，特別是歷屆科展中有關葉綠素電池的作品。

(二)分析葉綠素電池發電的必要條件。

(三)葉綠素電池：原理與乾電池相似，正負極也是用兩種金屬片或碳棒，藉由在電解液進行離子的放出與接收，產生了電。其中的電解液就是來自於植物行光合作用後產生的葉綠素，要得到葉綠素必須從植物中萃取出來。而葉綠素在經過加熱或加酸時，易釋放出鎂離子，使「葉綠素聚合物」作用成能量較低的脫鎂葉綠素，在此過程中釋放出的能量，將它轉換成電能（蘇順發等，2012）。不過它是弱電解質，必須測試兩電極組合、與水作用產生離子反應的最佳比例和與電極接觸面積來提高發電效率。

(四)研究變因之定義：

1. 電壓：電位差，使電荷流動的能力(單位 V 伏特)。
2. 最大電流量：單位時間內流過某截面的最大電量(單位 mA 毫安培)。
3. 發電效率：電壓量與最大電流量。

二、探討影響葉綠素電池發電效能的因素。

(一)測量並分析四種萃取方法與電壓、最大電流量之關係。

(二)觀測四種萃取方法對於紫光的反應，分析是否有葉綠素。

(三)測量與分析電極接觸面積大小與電壓、最大電流量的關係。

(四)測量與分析不同電極組合與電壓、最大電流量的關係。

(五)測量與分析不同當地植物種類的葉綠素液與電壓、最大電流量的關係。

(六)測量與分析葉綠素液濃度與電壓、最大電流量的關係。

(七)測量與分析葉綠素液的凝固程度與電壓、最大電流量的關係。

(八)測量與分析以活性炭、石墨粉為吸附劑的葉綠素凍與電壓、最大電流量的關係。

(九)測量與分析不同石墨粉比例的葉綠素凍與電壓、最大電流量的關係。

(十)測量與分析電極接觸深度為1、3、5、7公分與電壓、最大電流量的關係。

(十一)測量與分析串聯葉綠素凍電池2個、3個、4個以及電極接觸時間與電壓、最大電流量的關係。

(十二)測量與分析串聯葉綠素2個電池對LED發光時間的影響。

(十三)測量與分析加水量1、2、3、4、5毫升與乾掉的葉綠素凍電池電壓、最大電流量之關係。

(十四)每個操縱變因都測量三次求平均值，以降低實驗誤差。插入電極後10秒鐘後讀取三用電表電壓量、最大電流量的讀數，每次實驗的電極測量後均需洗淨與擦乾電極後，再進行測量下一次的測量。

(十五)歸納出影響葉綠素電池的電壓、最大電流量大小之因素。

伍、研究結果

一、實驗一：哪一種萃取方法最適合？

(一)研究步驟

1.秤取 100 克的海菜，以下列方法萃取葉綠素液做為電解質，並以 0.3*10cm 的銅片為正極、0.3*10cm 的鋅片為負極當作電極，兩極間的距離為 1 公分，插入深度為 3 公分。

(1)做法 1：加入 100ml 的水，用果汁機攪打，再用濾紙過濾。

(2)做法 2：加入 100ml 的水，用果汁機攪打，隔水加熱，水溫 60 度時，定溫 10 分鐘，再用濾紙過濾。

(3)做法 3：加入 100ml 的 75%酒精，用果汁機攪打，再用濾紙過濾。

(4)做法 4：加入 100ml 的 75%酒精，用果汁機攪打，隔水加熱，水溫 60 度時，定溫 10 分鐘，再用濾紙過濾。



圖三 四個做法的製作與用濾紙過濾過程

(二)分別取出 30 毫升，以三用電表測量電壓與最大電流量三次，算出平均值，觀察結果。因電流量會持續下降，因此，電流量以測得的最大電流量為測量標準。

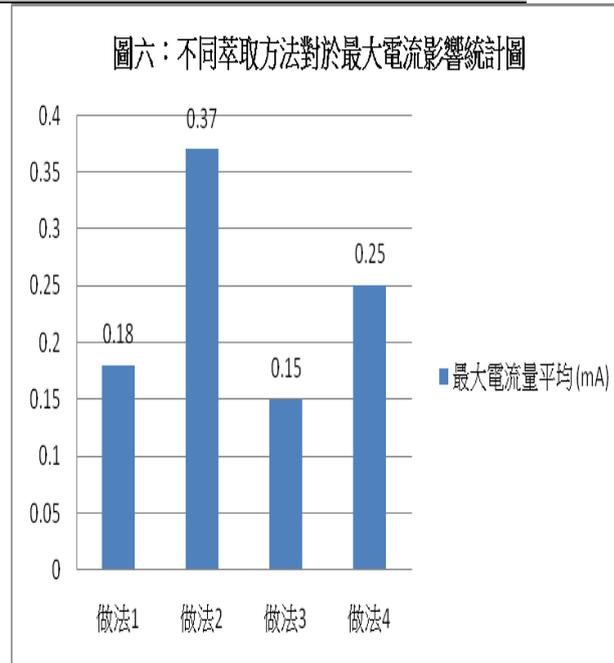
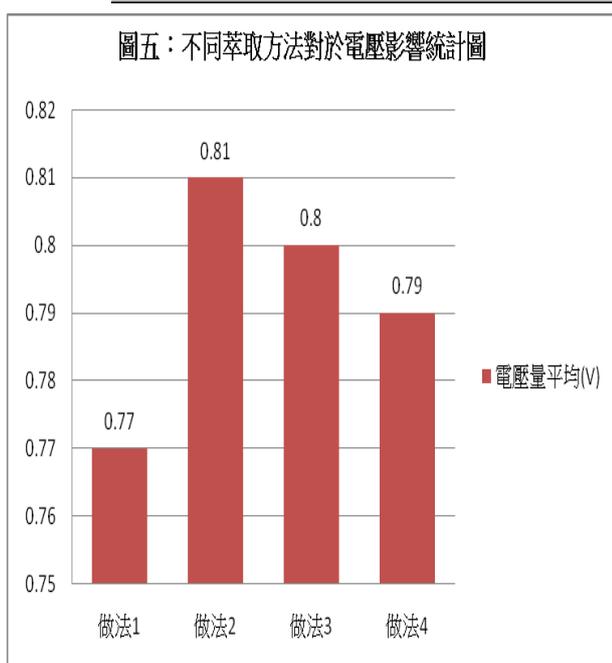


圖四 用三用電表測電壓與最大電流量

結果：

表 1：不同萃取方法對於電壓、最大電流影響記錄表

發電效率/萃取方法	做法 1	做法 2	做法 3	做法 4
1.V(第一次)	0.80	0.78	0.78	0.81
2.V(第二次)	0.84	0.85	0.82	0.78
3.V(第三次)	0.68	0.79	0.79	0.77
電壓量平均(V)	0.77	0.81	0.80	0.79
1.mA(第一次)	0.20	0.36	0.12	0.28
2.mA(第二次)	0.19	0.40	0.14	0.24
3mA(第三次)	0.16	0.35	0.20	0.24
最大電流量平均 (mA)	0.18	0.37	0.15	0.25



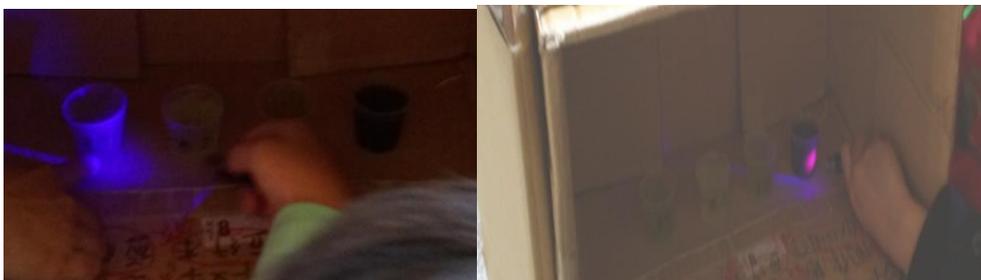
結果記錄：

從電壓的平均值來說，四種做法的電壓無明顯的差異。從電流量來說，四種方法的最大電流量，做法 2 的最高，是 0.37mA，然後是做法 4，是 0.25mA。

二、實驗二：不同萃取方法對於紫光的反應，分析是否有葉綠素？

(一)研究步驟

- 1.用實驗一的四個做法萃取液，取出 30ml。
- 2.在暗箱中，用 LED 紫光進行照射，若有紅光反應，代表葉綠素成分高，反之，葉綠素成分較低。



圖七 使用 LED 紫光進行照射

結果：

表 2：不同萃取方法對於紫光反應之記錄表

萃取方法/ 紅光反應	做法 1 海菜萃取液	做法 2 海菜萃取液	做法 3 海菜萃取液	做法 4 海菜萃取液
紫光照射後 的光線反應	無，因為它用紫 光照以後還是紫 色的光。	無，因為它也是用紫 光照，但是還是只出 現紫色的光。	有一點，因為它用紫 光照後，出現一點點 紅光。	有明顯紅光，因為 用紫光照海菜液 時，原來的紫光變 成了紅光反應，證 明有葉綠素反應。
葉綠素含量 高或低	低	低	中	高

結果記錄：

做法 4 的海菜萃取液顏色最翠綠，且以 LED 紫光照射後，光束會變成紅光，根據文獻資料，做法 4 的紅光反應證明了萃取液內有較高含量的葉綠素。因此，綜合實驗一、二的結果，我們決定以最大電流量較佳且有紅光反應的做法 4 來做為葉綠素電池電解質的萃取方法。

三、實驗三：不同電極接觸面積對發電效率的影響？

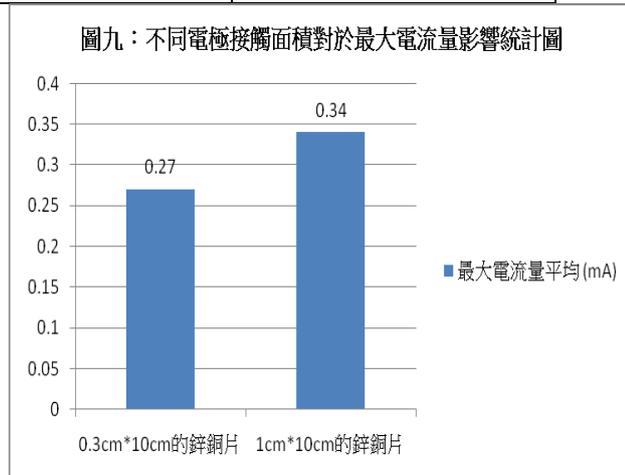
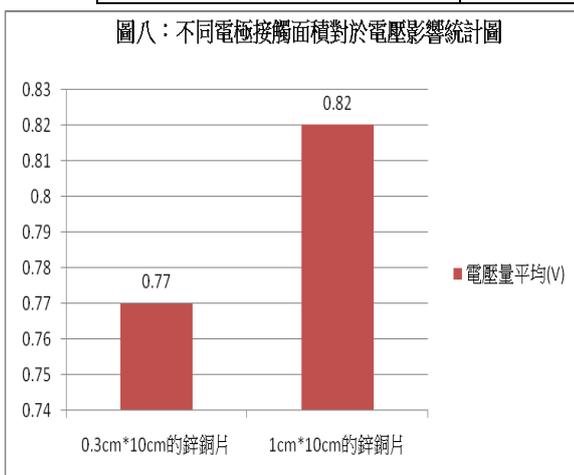
(一)研究步驟

- 1.使用做法 4 的海菜萃取液，分別以 0.3*10cm 的銅片、鋅片和 1*10cm 的銅片、鋅片當作兩組電極，其中銅片為正極，鋅片為負極，兩極間距離 1 公分，插入深度 3 公分。
- 2.以三用電表測量電壓與最大電流量三次，算出平均值，觀察結果。

結果：

表 3：不同電極接觸面積對於電壓、電流影響記錄表

發電效率/電極接觸面積	0.3cm*10cm 的鋅銅片	1cm*10cm 的鋅銅片
1.V(第一次)	0.75	0.84
2.V(第二次)	0.79	0.80
3.V(第三次)	0.76	0.81
電壓量平均(V)	0.77	0.82
1.mA(第一次)	0.27	0.40
2.mA(第二次)	0.28	0.34
3.mA(第三次)	0.26	0.27
最大電流量平均 (mA)	0.27	0.34



結果記錄：

由實驗三的結果可以得知兩種電極的電壓與最大電流量差距不大，但是 1cm*10cm 的鋅

銅片在電壓與最大電流量都比 0.3cm*10cm 的鋅銅片表現佳，因此，接下來的實驗將採用 1cm*10cm 的銅片為正極，1cm*10cm 的鋅片為負極進行測量，兩極間距離 1 公分，插入深度 3 公分。

四、實驗四：不同電極組合對發電效率的影響？

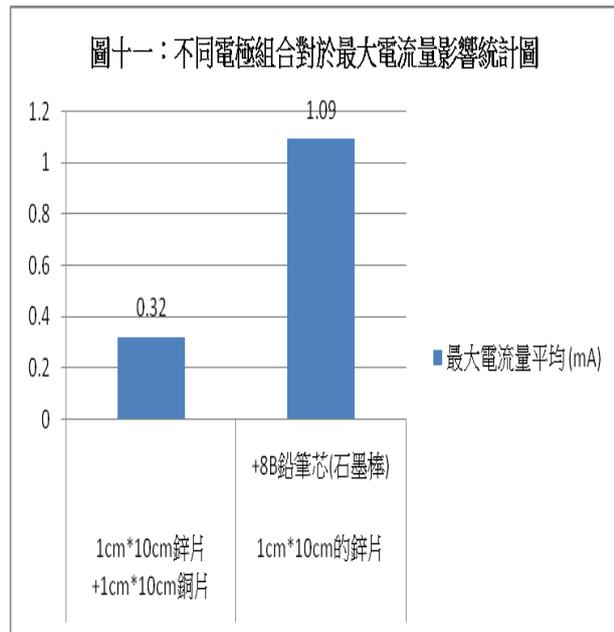
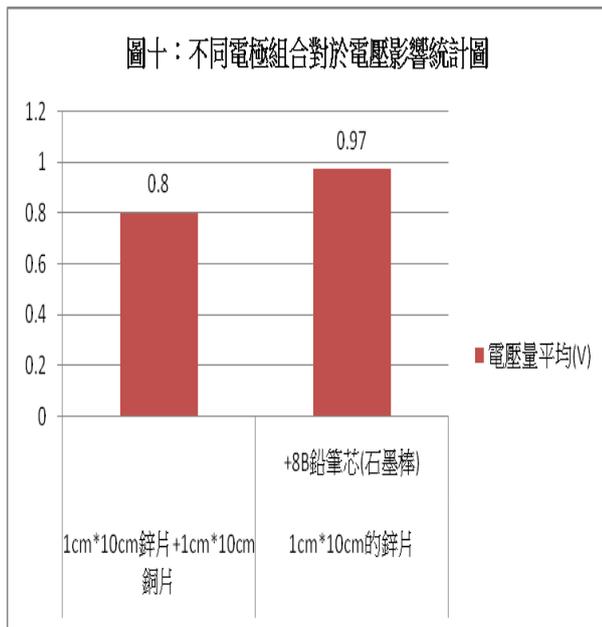
(一)研究步驟

- 1.使用實驗一做法 4 的海菜萃取液，以 1cm*10cm 的鋅片分別與 1cm*10cm 的銅片和 8B 鉛筆芯當作電極，兩極間距離為 1 公分，插入深度為 3 公分。
- 2.以三用電表測量電壓與最大電流量三次，算出平均值，觀察結果。

結果：

表 4：不同電極組合對於電壓、電流影響記錄表

發電效率/電極組合	1cm*10cm 鋅片 +1cm*10cm 銅片	1cm*10cm 的鋅片 +8B 鉛筆芯(石墨棒)
1.V(第一次)	0.81	0.99
2.V(第二次)	0.82	0.96
3.V(第三次)	0.78	0.96
電壓量平均(V)	0.80	0.97
1.mA(第一次)	0.34	1.11
2.mA(第二次)	0.40	1.09
3mA(第三次)	0.22	1.06
最大電流量平均 (mA)	0.32	1.09



結果記錄：

實驗四發現，用 8B 鉛筆芯與 1cm*10cm 的鋅片為正負極時，電壓平均值較大，為 0.97V。用 1cm*10cm 的鋅片為負極與 8B 鉛筆芯為正極的組合時，最大電流量有 1.09mA，明顯大於 1cm*10cm 的鋅銅片組合。可知，1cm*10cm 的鋅片為負極與 8B 鉛筆芯為正極的組合能產生較高的電壓與最大電流量，因此，接著的實驗將用此電極組合。

五、實驗五：哪種植物的葉綠素液對發電效率的影響？

(一)研究步驟

- 1.秤取 50 克的海菜、仙人掌莖的皮、天人菊葉、火龍果莖的皮、龍舌蘭葉、銀合歡嫩枝葉、蘆薈莖，加入 50 毫升的酒精，用果汁機攪打，隔水加熱 10 分鐘，再以濾紙過濾，萃取葉綠素液為電解質。
- 2.分別取出 30 毫升，以 8B 鉛筆芯與 1cm*10cm 的鋅片為正負極，兩極間距離為 1 公分，插入深度為 3 公分，用三用電表測量電壓與最大電流量三次，算出平均值，觀察結果。

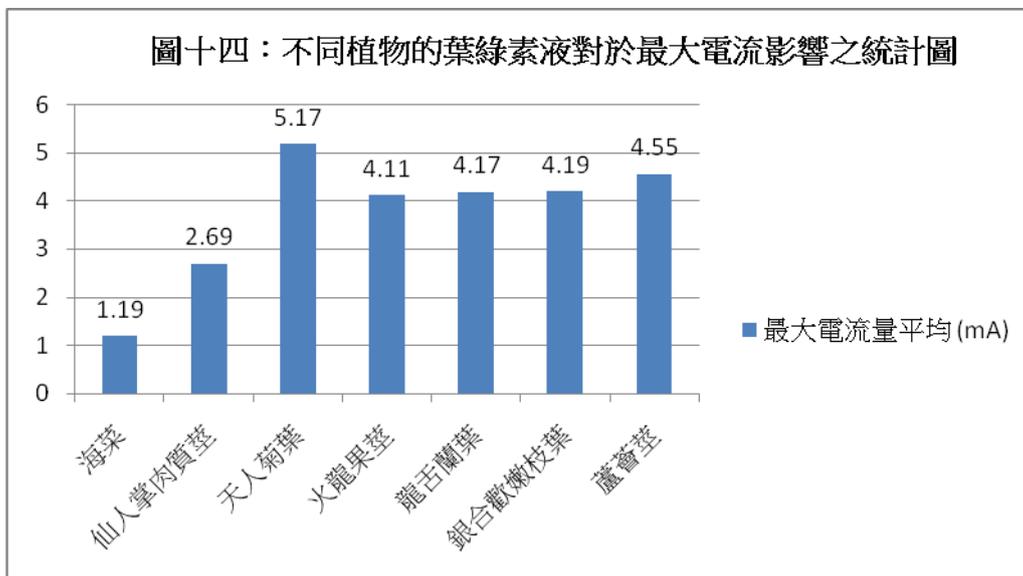
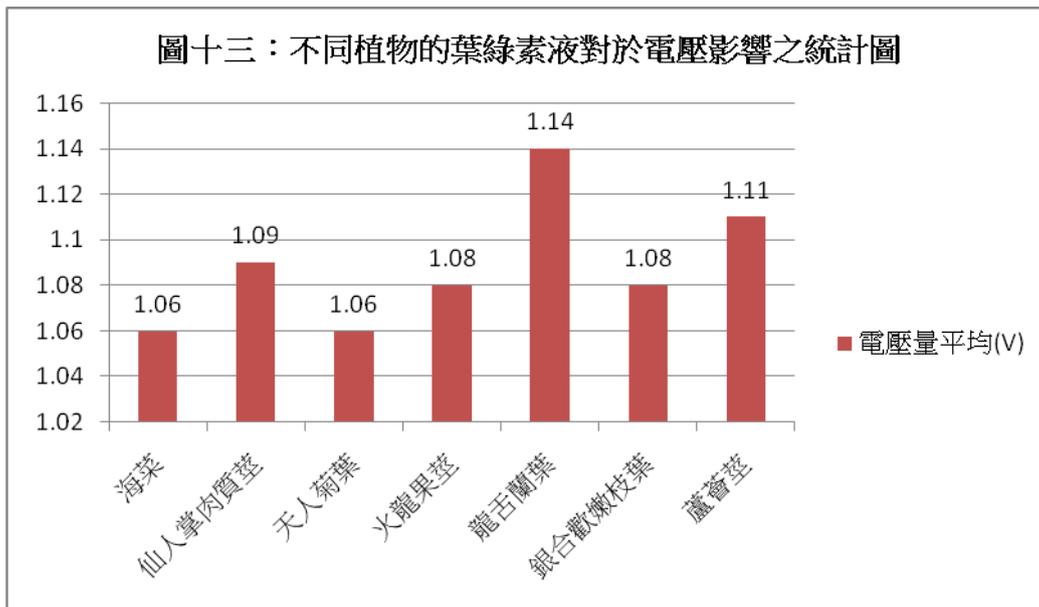


圖十二 用三用電表測量不同植物的葉綠素液的電壓與最大電流量

結果：

表 5：不同植物的葉綠素液對於電壓、電流影響記錄表

發電效率/植物種類	海菜	仙人掌肉質莖	天人菊葉	火龍果莖	龍舌蘭葉	銀合歡嫩枝葉	蘆薈莖
1.V(第一次)	1.06	1.12	1.07	1.08	1.13	1.09	1.12
2.V(第二次)	1.07	1.09	1.06	1.06	1.14	1.08	1.11
3.V(第三次)	1.05	1.07	1.06	1.09	1.14	1.08	1.10
電壓量平均(V)	1.06	1.09	1.06	1.08	1.14	1.08	1.11
1.mA(第一次)	1.25	2.59	5.48	3.99	4.34	4.12	4.40
2.mA(第二次)	1.17	2.75	4.96	4.24	4.13	4.23	4.68
3mA(第三次)	1.16	2.72	5.14	4.11	4.05	4.21	4.56
最大電流量平均 (mA)	1.19	2.69	5.17	4.11	4.17	4.19	4.55



結果記錄：

實驗五中，使用相同電極，測量七種不同的葉綠素液，發現電壓量都在 1.0V 以上，依大小排列，依序為龍舌蘭葉>蘆薈莖>仙人掌肉質莖>火龍果莖、銀合歡嫩枝葉>海菜、天人菊葉。龍舌蘭葉的葉綠素液測得的電壓量最高，為 1.14V。最大電流量部分，依大小排列，依序為天人菊葉>蘆薈莖>銀合歡嫩枝葉>龍舌蘭葉>火龍果莖>仙人掌肉質莖>海菜。經過，電壓與最大電流量的表現，龍舌蘭葉的葉綠素液為電解液時可測得最大的電壓，又能有 4.17mA 的最大電流量，因此，決定以龍舌蘭葉葉綠素液為電解液的植物原料。

六、實驗六：不同葉綠素液濃度對發電效率的影響？

(一)研究步驟

- 1.分別秤取 25 克、50 克、75 克、100 克、125 克龍舌蘭葉，先剪成碎塊，分別加入 100 毫升的酒精，用果汁機攪打，隔水加熱 10 分鐘，再以濾紙過濾，萃取葉綠素液為電解質。
- 2.分別取出 30 毫升，以 8B 鉛筆芯與 1cm*10cm 的鋅片為正負極，兩極間距離 1 公分，插入深度 3 公分，用三用電表測量電壓與最大電流量三次，算出平均值，觀察結果。

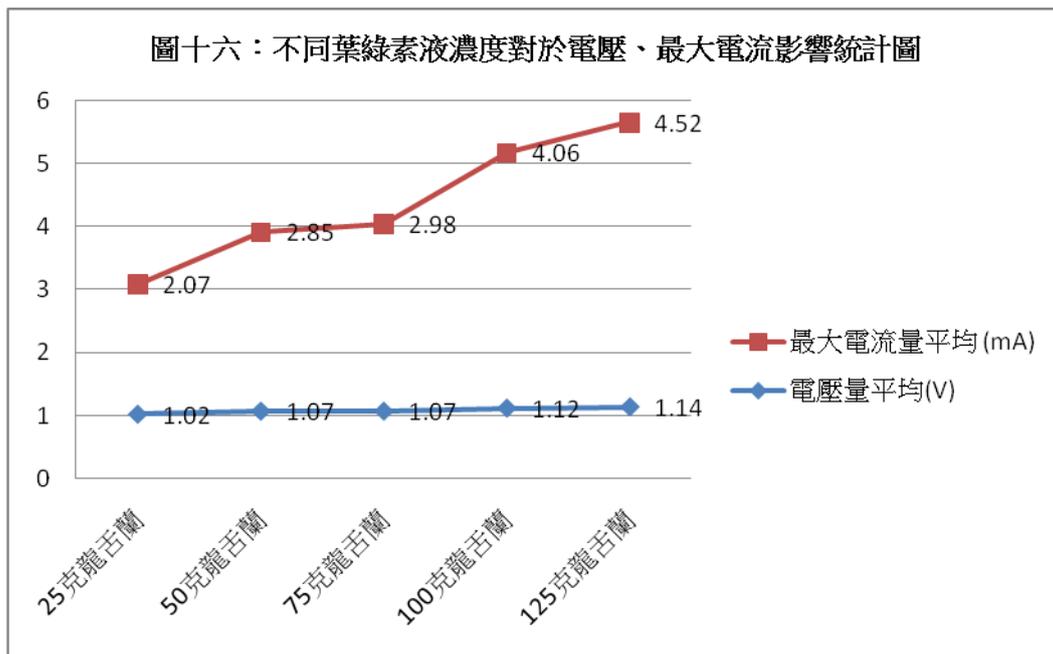


圖十五 不同濃度的龍舌蘭葉綠素液的製作與測量

結果：

表 6：不同葉綠素液濃度對於電壓、電流影響記錄表

發電效率/葉綠素液濃度	25 克龍舌蘭	50 克龍舌蘭	75 克龍舌蘭	100 克龍舌蘭	125 克龍舌蘭
1.V(第一次)	1.04	1.07	1.08	1.09	1.14
2.V(第二次)	1.00	1.06	1.06	1.10	1.14
3.V(第三次)	1.02	1.08	1.07	1.13	1.14
電壓量平均(V)	1.02	1.07	1.07	1.12	1.14
1.mA(第一次)	1.54	2.62	4.05	4.17	4.48
2.mA(第二次)	2.34	3.41	2.39	4.01	4.60
3mA(第三次)	2.33	2.52	2.51	3.99	4.49
最大電流量平均(mA)	2.07	2.85	2.98	4.06	4.52



結果記錄：

由實驗六結果得知，125 克的龍舌蘭葉與 100 毫升的 75%酒精為葉綠素電解液所測得的電壓最高，為 1.14V，最大電流量也是最高，為 4.52mA。而實驗中可發現，當濃度越大時，使用相同的電極所測得的電壓與最大電流量也越大。

七、實驗七：葉綠素液的凝固程度對發電效率的影響？

(一)研究步驟

- 1.秤取 125 克龍舌蘭，加入 100 毫升的酒精，用果汁機攪打，隔水加熱 10 分鐘，再以濾紙過濾，萃取葉綠素液為電解質，再如法炮製一杯，共 200 毫升。
- 2.分裝成 4 杯 50 毫升的溶液，先測其電壓與最大電流量三次。
- 3.四溶液中分別加入 0.5 克洋菜粉、1 克洋菜粉、1.5 克洋菜粉與 2 克洋菜粉，加熱後，並倒入 30 毫升的容器成形。因等待凝固，一天後進行測量。
- 4.以 8B 鉛筆芯為正極，鋅片 1*10cm 為負極，兩極間距離為 1 公分，插入深度 3 公分，用三用電表量電壓與最大電流量三次，算出平均值，觀察結果。

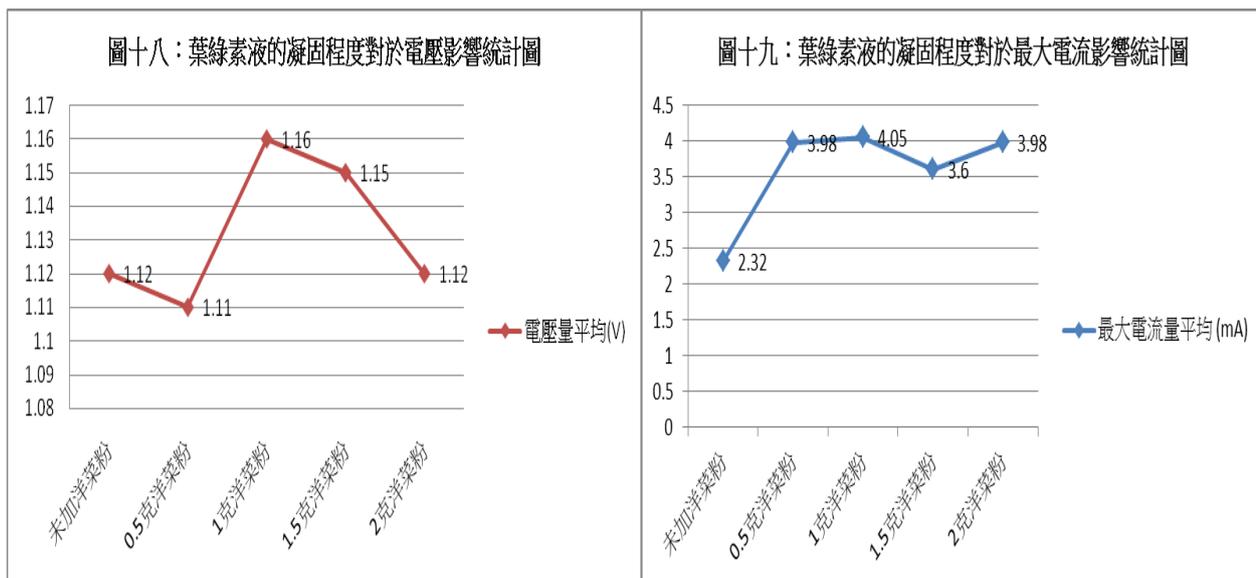


圖十七 測量不同凝固程度的電解液

結果如下：

表 7：葉綠素液的凝固程度對於電壓、電流影響記錄表(50 毫升葉綠素液)

發電效率/洋菜粉克數	未加洋菜粉	0.5 克洋菜粉	1 克洋菜粉	1.5 克洋菜粉	2 克洋菜粉
1.V(第一次)	1.11	1.10	1.16	1.16	1.13
2.V(第二次)	1.13	1.11	1.16	1.13	1.12
3.V(第三次)	1.12	1.11	1.16	1.15	1.12
電壓量平均(V)	1.12	1.11	1.16	1.15	1.12
1.mA(第一次)	2.42	3.11	3.04	3.03	3.57
2.mA(第二次)	2.37	4.12	4.67	3.54	4.01
3.mA(第三次)	2.17	4.71	4.44	4.23	4.36
最大電流量平均(mA)	2.32	3.98	4.05	3.60	3.98



結果記錄：

從實驗七發現，只加 0.5 克凝固程度就像愛玉，容易移動，其他則都能穩固在杯內。我們發現 50 毫升加入 1 克洋菜粉的凝固程度得到最佳的電壓 1.16V，加入 1.5 克洋菜粉的電壓也有 1.15V；從最大電流量來看，加入洋菜粉後，最大電流量都大幅提升，電流量都在 3.6~4.05mA 間，可能是洋菜粉對葉綠素液的影響。整體而言，發現 50 毫升的葉綠素液加入 1 克的洋菜粉後電壓與電流量都是最高，發電效率最好。

八、實驗八：不同吸附劑的葉綠素凍對發電效率的影響？

(一)研究步驟

- 1.秤取 125 克龍舌蘭，加入 100 毫升的酒精，用果汁機攪打，隔水加熱 10 分鐘，再以濾紙過濾，萃取葉綠素液為電解質，並如法炮製一杯，共 200 毫升。
- 2.分成 3 杯 50 毫升的溶液。
- 3.分別加入 1 克洋菜粉。
- 4.在三杯中，一杯不加吸附劑，一杯加入 1 克活性碳粒，一杯加入 1 克石墨粉，加熱後，分別倒入 30 毫升的容器成形。因等待凝固，一天後進行測量。
- 5.以 8B 鉛筆芯為正極，鋅片 1*10cm 為負極，兩極間距離 1 公分，插入深度 3 公分，用三用電表測量電壓與最大電流量三次，算出平均值，觀察結果。

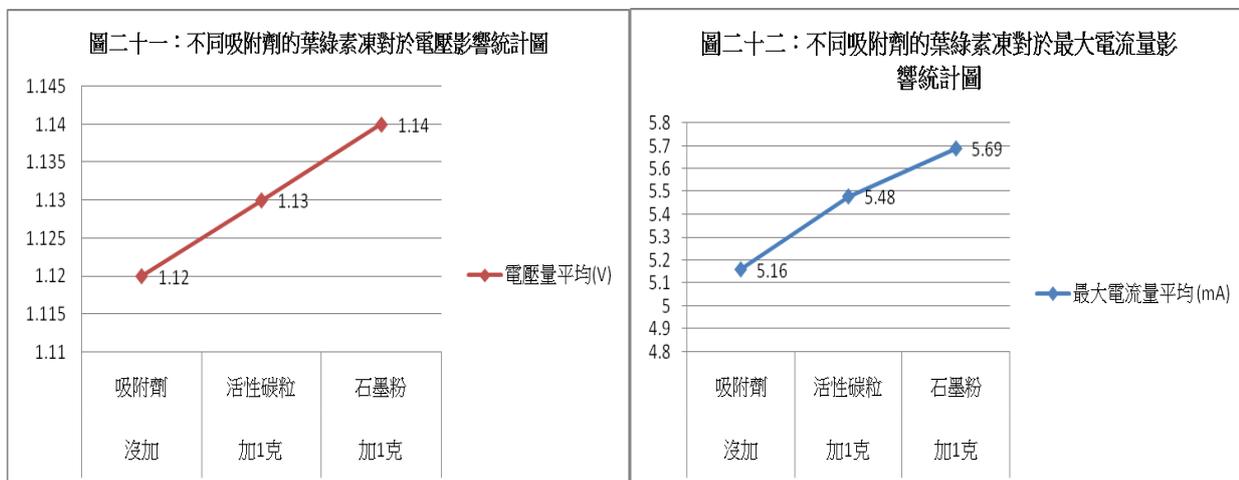


圖二十 不同吸附劑葉綠素凍的製作與測量

結果如下：

表 8：不同吸附劑的葉綠素凍對於電壓、電流影響記錄表

發電效率/吸附劑的種類	沒加 吸附劑	加 1 克 活性碳粒	加 1 克 石墨粉
1.V(第一次)	1.13	1.13	1.14
2.V(第二次)	1.12	1.13	1.14
3.V(第三次)	1.11	1.12	1.15
電壓量平均(V)	1.12	1.13	1.14
1.mA(第一次)	5.76	6.21	6.47
2.mA(第二次)	5.03	5.27	5.57
3.mA(第三次)	4.69	4.96	5.03
最大電流量平均 (mA)	5.16	5.48	5.69



結果記錄：

在混合情形方面，加入活性碳粒的葉綠素凍，大部分的活性碳粒都沉澱到杯底，而石墨粉大部分都均勻混合在葉綠素凍中。加入吸附劑的葉綠素凍，從電壓與最大電流量來看，都比沒加入的好。其中，加入石墨粉葉綠素凍的電壓 1.14V 與最大電流量 5.69mA，都是最高的，因此，實驗後決定以石墨粉為葉綠素凍的吸附劑。

九、實驗九：不同石墨粉比例的葉綠素凍對發電效率的影響？

(一)研究步驟

- 1.秤取 125 克龍舌蘭，加入 100 毫升的酒精，用果汁機攪打，隔水加熱 10 分鐘，再以濾紙過濾，萃取葉綠素液為電解質，再如法炮製兩杯，共 300 毫升。
- 2.分成 5 杯 50 毫升的溶液，取一杯測得電壓為 1.12、1.11、1.12，平均值為 1.12V，最大電流為 2.20、2.45、2.40，平均值為 2.35mA。。
- 3.分別加入 1 克洋菜粉。
- 4.在四杯中，分別加入 0 克石墨粉、1 克石墨粉、2 克石墨粉、3 克石墨粉與 4 克石墨粉，加熱後，並分別倒入 30 毫升的容器成形。因等待凝固，一天後進行測量。
- 5.用三用電表以 8B 鉛筆芯為正極，鋅片 1*10cm 為負極，兩極間距離 1 公分，插入深度 3 公分，測量電壓與最大電流量三次，算出平均值，觀察結果。

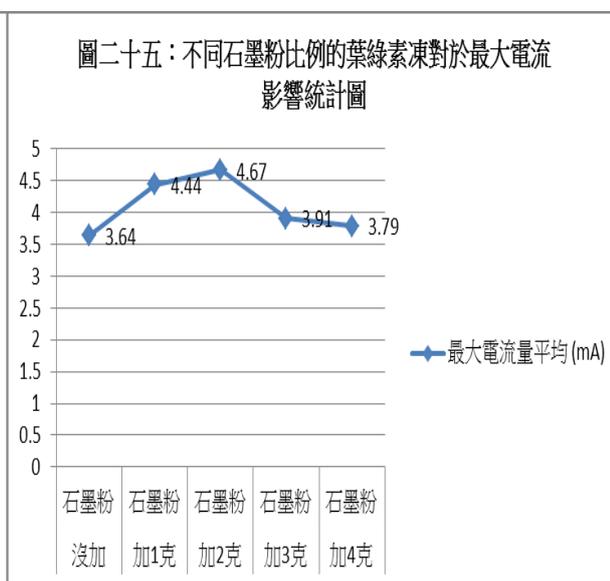
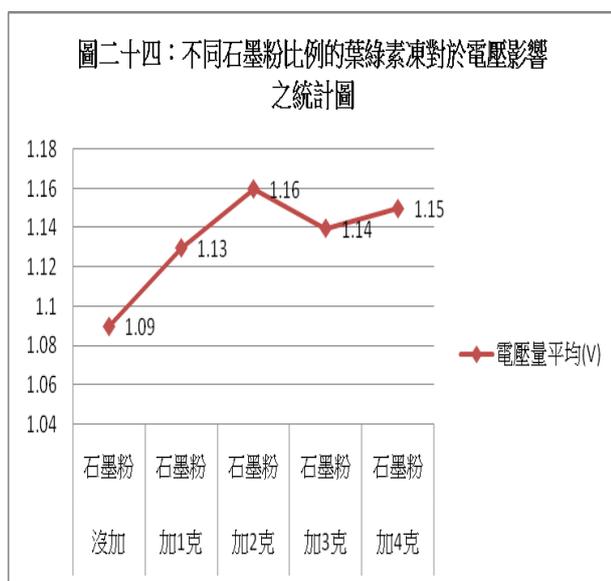


圖二十三 不同石墨粉比例的葉綠素凍

結果如下：

表 9：不同石墨粉比例的葉綠素凍對於電壓、電流影響記錄表

發電效率/石墨粉比例	沒加石墨粉	加 1 克石墨粉	加 2 克石墨粉	加 3 克石墨粉	加 4 克石墨粉
1.V(第一次)	1.09	1.13	1.16	1.14	1.15
2.V(第二次)	1.09	1.13	1.16	1.15	1.15
3.V(第三次)	1.08	1.13	1.16	1.14	1.15
電壓量平均(V)	1.09	1.13	1.16	1.14	1.15
1.mA(第一次)	3.31	3.76	4.40	3.28	3.96
2.mA(第二次)	3.78	4.68	4.95	4.65	3.92
3.mA(第三次)	3.83	4.87	4.66	3.79	3.52
最大電流量平均 (mA)	3.64	4.44	4.67	3.91	3.79



結果記錄：

有石墨粉的葉綠素凍的電壓與最大電流都比沒加時高，電壓方面，加入 2 克石墨粉的電壓為 1.16V，電壓最高，其次為 4 克的葉綠素凍，電壓為 1.15V。最大電流量方面，加 2 克的最大電流量最大，為 4.67mA，其次是加入 1 克石墨粉的，但是，電壓表現 1.15V 的 4 克石墨粉的最大電流量是 4.44mA，卻比 2 克的最大電流量 4.67mA 少。可知，加入 2 克石墨粉的葉

綠素凍不管在電壓與最大電流量的表現都最佳。

十、實驗十：電極接觸的深度對發電效率的影響？

(一)研究步驟

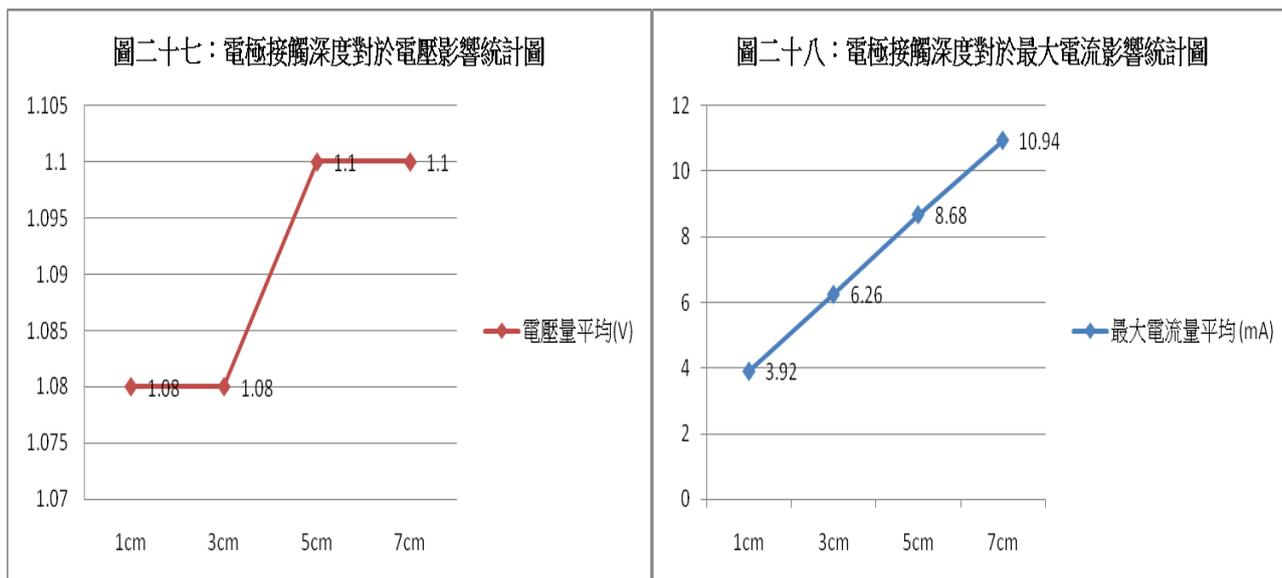
- 1.採用實驗九(125 克蘭舌蘭葉+100 毫升 75%酒精，取 50 毫升中加入 1 克洋菜粉+2 克石墨粉)兩杯之最佳葉綠素凍，為量測其深度，倒入冰棒模型，製成一個最佳葉綠素凍電池，因等待其結凍，一天後量電壓與最大電流量。
- 2.以正負極測量葉綠素凍插入深度 1cm、3cm、5cm、7cm 時的電壓與最大電流量。
- 3.以三用電表以 8B 鉛筆芯為正極，鋅片 1*10cm 為負極，兩極間距離 1 公分，測量電壓與最大電流 3 次，算出平均值，觀察結果。結果如下：



圖二十六 測量不同電極接觸深度之電解凍與冰棒模型

表 10：電極接觸深度對於電壓、電流影響記錄表

發電效率/接觸深度	1cm	3cm	5cm	7cm
1.V(第一次)	1.06	1.07	1.08	1.08
2.V(第二次)	1.09	1.07	1.10	1.10
3.V(第三次)	1.10	1.10	1.13	1.11
電壓量平均(V)	1.08	1.08	1.10	1.10
1.mA(第一次)	4.22	7.07	9.25	12.17
2.mA(第二次)	3.81	5.56	8.09	10.19
3.mA(第三次)	3.72	6.16	8.71	10.45
最大電流量平均 (mA)	3.92	6.26	8.68	10.94



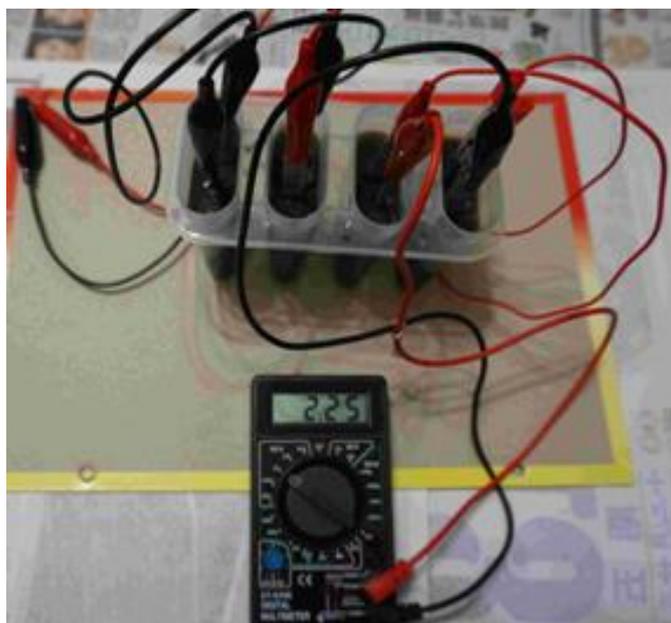
結果記錄：

四種深度的電壓量都在 1.08~1.10 之間，原則上電壓平均值無太大的差別，但 5 公分與 7 公分都比 3 公分與 1 公分佳；另外，從最大電流量可知，接觸深度越深，最大電流量會越大。7 公分的最大電流量又大於 5 公分的。由此實驗可知，接觸深度 7 公分不管從電壓與最大電流量都是最佳的。

十一、實驗十一：串聯葉綠素凍電池的個數、電極接觸時間對發電效率的影響？

(一)研究步驟

- 1.使用實驗九的葉綠素凍電池，倒入四支的冰棒模型中，並用最佳的電池接觸深度 7 公分測量電壓與最大電流量。
- 2.分別串聯 2 個、3 個、4 個葉綠素凍電池。
- 3.以三用電表以 8B 鉛筆芯為正極，鋅片 1*10cm 為負極(用同一組電極，不拔取)，兩極距離 1 公分，每 10 秒量電壓與最大電流 3 次，算出平均值，觀察結果。

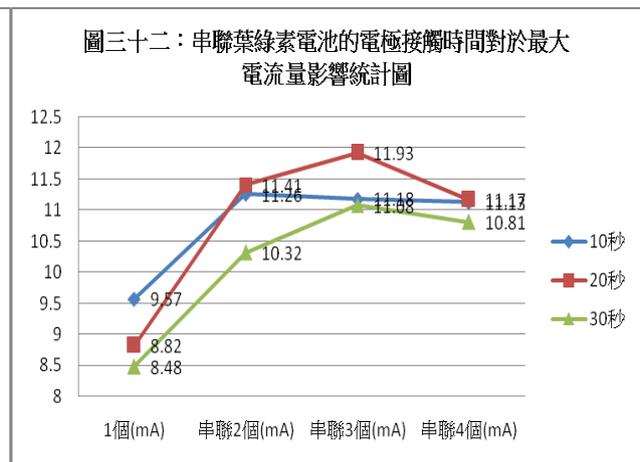
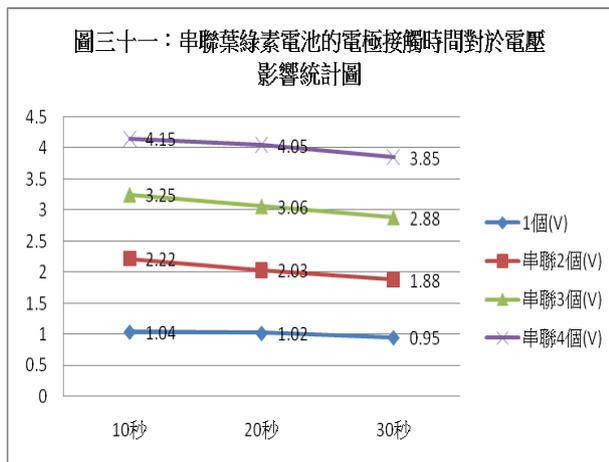
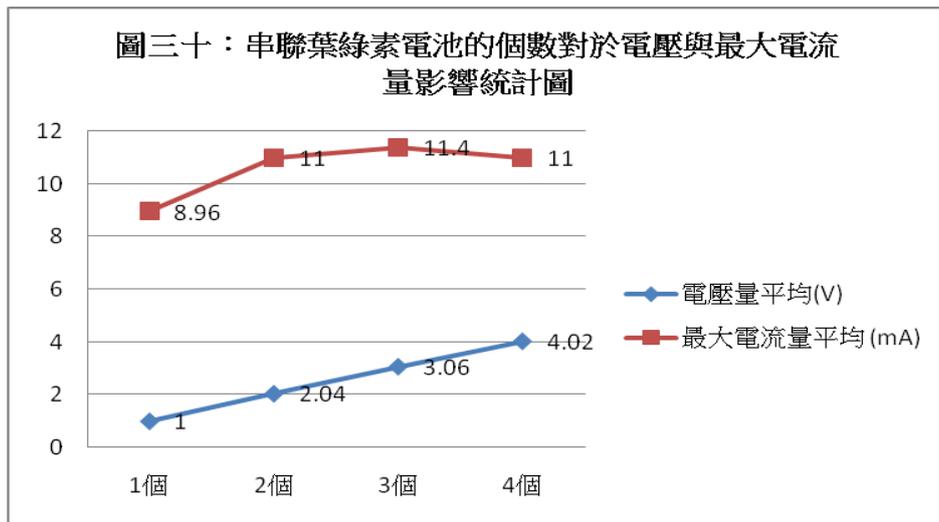


圖二十九 串聯電池個數實驗

結果：

表 11：串聯葉綠素電池的個數對於電壓、電流影響記錄表

發電效率/串聯個數	1 個	2 個	3 個	4 個
1.V(10 秒)	1.04	2.22	3.25	4.15
2.V(20 秒)	1.02	2.03	3.06	4.05
3.V(30 秒)	0.95	1.88	2.88	3.85
電壓量平均(V)	1.00	2.04	3.06	4.02
1.mA(10 秒)	9.57	11.26	11.18	11.13
2.mA(20 秒)	8.82	11.41	11.93	11.17
3.mA(30 秒)	8.48	10.32	11.08	10.81
最大電流量平均 (mA)	8.96	11.00	11.40	11.00



結果記錄：

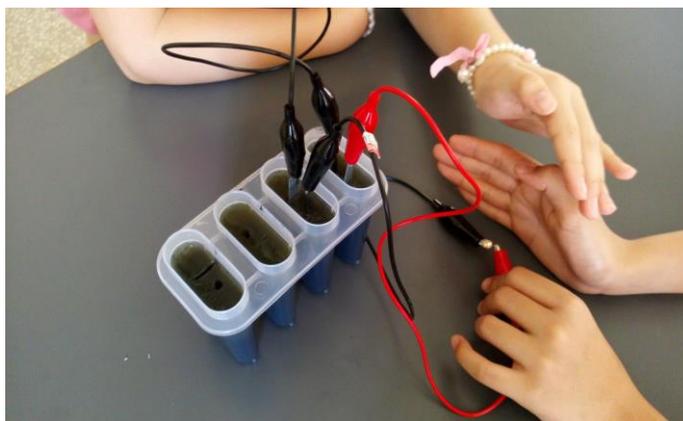
我們發現串聯越多顆，電壓也越大，但串聯時，最大電流量無明顯差異。另外，從電極接觸時間上，可以發現電極每接觸時間越久，電壓與最大電流量會逐漸的下降，且實驗後，鋅片的表面會有腐蝕的樣子，但石墨棒則無影響。

我們也發現串聯兩顆電池的電壓平均值為 2.04V，因此，將串聯兩顆測試是否能使 2.0VLED 燈發亮及能發光的時間。

十二、實驗十二：串聯葉綠素 2 個電池對 LED 發光時間的影響？

(一)研究步驟

- 1.取實驗十一的其中兩組葉綠素凍電池。
- 2.串聯 2 個葉綠素凍電池，接上 2.0VLED 燈泡(黃)，測試發光時間。
- 3.於每日的 10 時、13 時、16 時進行觀測與記錄。



圖三十三 串聯 2 顆葉綠素凍電池使 2.0VLED 燈泡發光

結果：

表 12：串聯葉綠素 2 個電池使 LED 發光時間記錄表

發光時間/串聯個數	2 個	日期與時間
發光時間(小時)	436 小時後(兩星期又 5 天), 仍發黃光	4/7(13:00)~4/25(16:00)

結果記錄：

我們將兩組電池中一組的正極接另一組的負極，再將另外的正極與負極接到 LED 燈上。一接上，LED 燈發出明顯的黃光。等到 9 小時後，再觀察時，黃色的光略為減弱。到第三天時，必須要在暗箱中，或將 LED 燈轉到某角度，才能看到發黃光的情形，我們發現串聯電池的時間越久，發的光也越微弱。但兩星期後，LED 燈仍能發出黃光，燈泡也沒有過熱或燒掉的現象。

兩星期後，觀察葉綠素凍電池，體積只有表面縮小一些，但是電極仍能固定在葉綠素電解凍裡，並使電池持續產生電壓與電流。

十三、實驗十三：加水量對乾掉的葉綠素凍電池發電效率之影響？

(一)研究步驟

- 1.使用實驗九葉綠素凍電池，於 20 天後，取實驗十一的另兩組葉綠素凍電池來實驗。
- 2.串聯 2 個葉綠素凍電池，在兩葉綠素凍電解液中分別加入 1 毫升、2 毫升、3

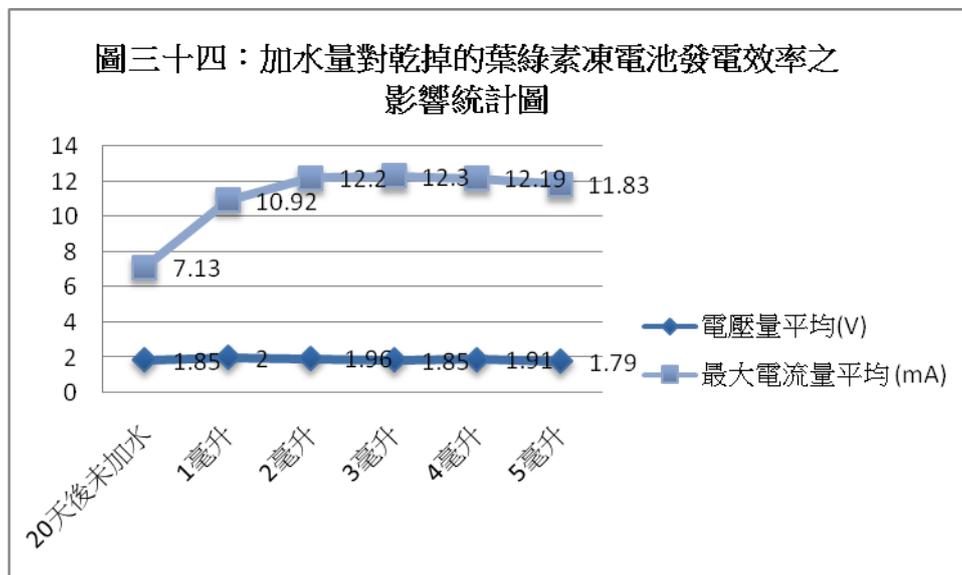
毫升、4 毫升、5 毫升的水。

3.以三用電表以 8B 鉛筆芯為正極，鋅片 1*10cm 為負極，兩極間距離 1 公分，測量電壓與最大電流 3 次，算出平均值，觀察結果，以驗證水是否能使它再生電力，就像可充電一樣。

結果：

表 13：加水量對乾掉的葉綠素凍電池發電效率之影響記錄表

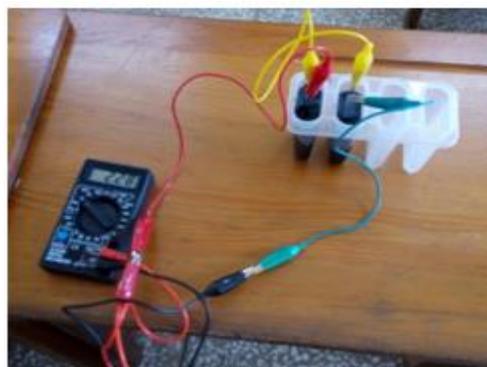
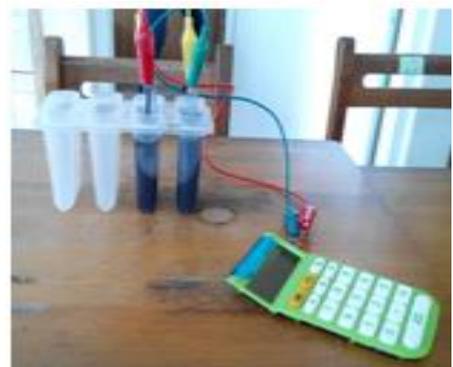
發電效率/加水量	20 天後未加水	1 毫升	2 毫升	3 毫升	4 毫升	5 毫升
1.V(第一次)	1.87	1.99	1.96	1.83	1.89	1.78
2.V(第二次)	1.83	2.00	1.96	1.85	1.89	1.79
3.V(第三次)	1.86	2.00	1.97	1.86	1.96	1.81
電壓量平均(V)	1.85	2.00	1.96	1.85	1.91	1.79
1.mA(第一次)	7.46	11.08	11.86	12.59	12.94	12.64
2.mA(第二次)	7.10	11.06	12.57	12.29	12.57	11.17
3.mA(第三次)	6.82	10.62	12.16	12.03	11.07	11.69
最大電流量平均(mA)	7.13	10.92	12.20	12.30	12.19	11.83



結果記錄：

我們發現比較乾掉的葉綠素凍加入 1 毫升水時，得到最佳電壓 2V。加水後，都能使最大電流量大為增加，尤其是加 3 毫升時。但水量並非越多越好，加 5 毫升時，葉綠素凍表面有多餘水量，電壓與最大電流量均下降了。可見，乾掉的葉綠素電解凍加水後，能提高電壓與最大電流量，加水量最好在 1 到 2 毫升間，建議可以加微量水方式進行『充電』，使葉綠素凍電池再生電力。

另外，為驗證再製性，我們在 5 月 18 日製作另兩顆綠能電池，兩星期後，加微量水，發現一顆就可使廚房計時器運轉，串聯兩顆除了可測得電壓 2.28V，還能使電子鐘、計算機、蜂鳴器和自製手電筒運轉，可見以水充電具有可行性。

1 顆電池~計時器可運轉	串聯 2 顆~電壓測量 2.28V	串聯 2 顆~計算機可顯示
		
串聯 2 顆~蜂鳴器有嗶聲	串聯 2 顆~電子鐘可運轉	串聯 2 顆~自製手電筒可發紅光
		

圖三十五 測試其他電子用品

將模型裁切後，裝上蓋子，製成一個大約 2V 的電池組。



圖三十六 最佳綠能可充式行動電池組

陸、討論

- 一、實驗一、二時，以 75%酒精隔水加熱萃取葉綠素液的方法，能萃取出較高含量的葉綠素與較佳的最大電流量，而加熱後的葉綠素液會由翠綠色轉為棕色，可能是文獻中提到的脫鎂葉綠素。
- 二、實驗三中，1cm*10cm 的電極因接觸面積較大，測得的電壓與最大電流量也較大，這個結果和文獻的結果相似。
- 三、實驗四時，以 8B 鉛筆芯(石墨棒)為正極，放入葉綠素液中，比銅片產生更大的電壓與最大電流量。這與文獻中的結果不太相同，有些研究會以 2B 鉛筆芯(石墨+黏土)為正極，電流效果卻都比鋅銅片差，但在本研究中發現 8B 鉛筆芯為正極能產生較佳的電壓與電流，可能是它的碳含量較高的影響。
- 四、實驗五中，雖然天人菊最大電流量最高，但是電壓卻相對較低，因此，選擇電壓量最大也穩定的龍舌蘭葉為葉綠素電解液原料。而蘆薈莖與仙人掌肉質莖雖在電壓量表現是第二與第三高，但是兩者在萃取時會產生濃稠的黏液，導致過濾時要取得相同容量的困難度增加，因此，較不適合做為葉綠素電解液。
- 五、實驗六中，發現葉綠素的濃度越高，電壓與最大電流量也越大。但是 125 克的容量與 100 毫升的酒精置於玻璃瓶內已為塞滿容器的最大極限，若更多的龍舌蘭葉加入，會呈現酒精無法浸泡入多餘的龍舌蘭葉渣中，亦無法萃取出葉綠素，因此，125 克為實驗六中的最大容量限制。另外，從龍舌蘭的濃度對電壓、電流的影響觀察到當

萃取的葉綠素越多時，電壓無明顯差別，但是最大電流量會明顯的增加。可見，葉綠素的濃度可能與最大電流量有關係。

六、關於實驗七，文獻的研究是在葉綠素液加入洋菜粉使之成膠狀，我們則是製成果凍狀，以增加其攜帶的行動便利性，其中加 1 克為最佳。本研究中也發現若洋菜粉越多，可能會影響電壓與最大電流量，阻撓了電子間的流動，這個結果與一些果凍電池的結果相似。

七、實驗八、九裡，我們研究是以石墨粉為吸附劑加入一起製成葉綠素凍，它的效果比加入活性碳粒的產生較大的最大電流量，而且加 2 克的又比加 1 克的電壓與最大電流量效果較佳。

八、實驗十時，研究發現插入的電極深度越深，最大電流量也越大，這個結果與一些水果電池的文獻結果相似。

九、實驗十一~十三中，串聯葉綠素凍電池可使電壓增加，但是最大電流量則無明顯變化，而串聯 2 顆葉綠素電池就能使 2.0V 的 LED 燈泡持續發光兩星期多。相關文獻中，串聯 5 顆以上電池能使 LED 燈泡發光 66 小時，由研究則可發現，本實驗九的葉綠素凍電池發電效率較文獻中的雜草電池高，串聯 2 顆能使 LED 燈持續發光超過兩星期，且兩星期後，葉綠素電池的電解凍仍無明顯乾掉的現象。若有乾掉的現象時，加入 1~2 毫升的水，又能恢復較佳的電力。

柒、結論

一、以 75%酒精隔水加熱，水 60 度時，定溫十分鐘的萃取方法能萃取到較高含量的葉綠素。

二、以 8B 鉛筆芯(石墨棒)為正極，1*10cm 鋅片為負極的發電效率較以 1*10cm 銅鋅片為正負極時佳。當接觸葉綠素凍深度為 7cm 時，發電效率最佳，可測得電壓為 1.10V，而最大電流量可達 10.94mA。

三、使用當地植物中，以龍舌蘭葉為葉綠素液的發電效率最佳，電壓為 1.14V，最大電流量有 4.17mA。秤取 125 克的龍舌蘭葉和 100 毫升的酒精製成的葉綠素液可得最佳電壓 1.14V，最大電流量為 4.52mA。

- 四、為方便攜帶性，在 50 毫升龍舌蘭葉綠素液中加入 1 克洋菜粉的凝固程度得到最佳的電壓與最大電流量。而在葉綠素凍中加入 2 克的石墨粉當吸附劑可得最佳的電壓 1.16V，最大電流量 4.67mA，能增加其導電性。
- 五、串聯 2 個龍舌蘭葉綠素凍，即能使 2.0V 的 LED 燈發光超過兩星期，且葉綠素電解液仍未明顯乾掉，若加微量的水，可使它恢復較佳的導電性。
- 六、建議日後研究能將龍舌蘭葉綠素凍變得更小、更輕巧，以便串聯多顆，不但增加攜帶方便性，也能增加發電效率。而若使用大片鋅片包覆龍舌蘭葉綠素凍，可能使一顆葉綠素電池就能達到 1.5V(同 3 號乾電池)的發電效果，此設計可為未來研究之參考。

捌、參考資料及其他

- 一、吳佳臻、范宇芮、連名妤、管雅涵、游雅涵、張承涵(民 102)。雜草也能做電池？中華民國第 53 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 二、蘇盈安、蘇盈亘(民 99)。「果」真如此-勁量水果電池。中華民國第 50 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 三、蘇順發、陳姿羽、沈宜蓁、蕭毓慧(民101)。葉綠素電池。南台科技大學化材系專題報告。

【評語】 080217

本作品內容豐富，涵蓋 13 個相關意念，採用了多種變因控制探討葉綠素電池的最佳化條件與各種不同材質與添加物對電池表現之影響。最終能做出環保又可應用之組裝成品時屬難能可貴。