

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科

第三名

030820

節能、減碳、綠精靈--環保減碳機的探討與設計

學校名稱：臺北市立天母國民中學

作者：  國一 徐士淳  國一 佐藤友里  國一 楊旻翰  國三 羅章晏	指導老師：  王禮章  羅文杰
--	-----------------------------

關鍵詞：植物減碳、絲狀藻、綠藻

## 摘 要

原本去年只是為了清除水族箱中常見的絲狀藻，卻無意間發現它豐富的光合作用色素，今年正好廢物利用，針對絲狀藻與綠藻，設計了水藻減碳機。為了提高減碳的效率，針對水藻種類、數量、水流循環型態、光照強度等變項探討後發現：

- 1.由變項間的交互作用，推論出水藻減碳的經驗公式
- 2.根據經驗公式，依最佳組合，設計出節能的水藻減碳機
- 3.再充分利用太陽能，改良為天然、環保(無碳)的水藻減碳機

最後經由實測發現，水藻減碳機不僅可以提高減碳的速度達 **8.37** 倍，過程中還能達到完全零碳的目標。小兵立大功，把 CO<sub>2</sub> 完全清除了！

關鍵詞：植物減碳、絲狀藻、綠藻

## 壹、研究動機

這幾年報導常提到地球已經面臨暖化的危機，主要是燃燒化石燃料產生的二氧化碳，加上植物大量砍伐，造成因溫室氣體的增加，而導致因暖化所造成的氣候異常。所以利用綠色植物來減碳，是最簡單且環保的方法，不像一般工業或化學減碳，要耗廢能源。所以我們便想設計出一種水藻減碳機，利用太陽能來提高植物的減碳效果，並能實際應用到生活中。

## 貳、研究目的

- 一、利用植物光合作用，設計水藻減碳機
- 二、探討影響水藻減碳效率的因素
- 三、分析水藻減碳機的減碳效率
- 四、提昇水藻減碳機的減碳效率

## 參、研究器材

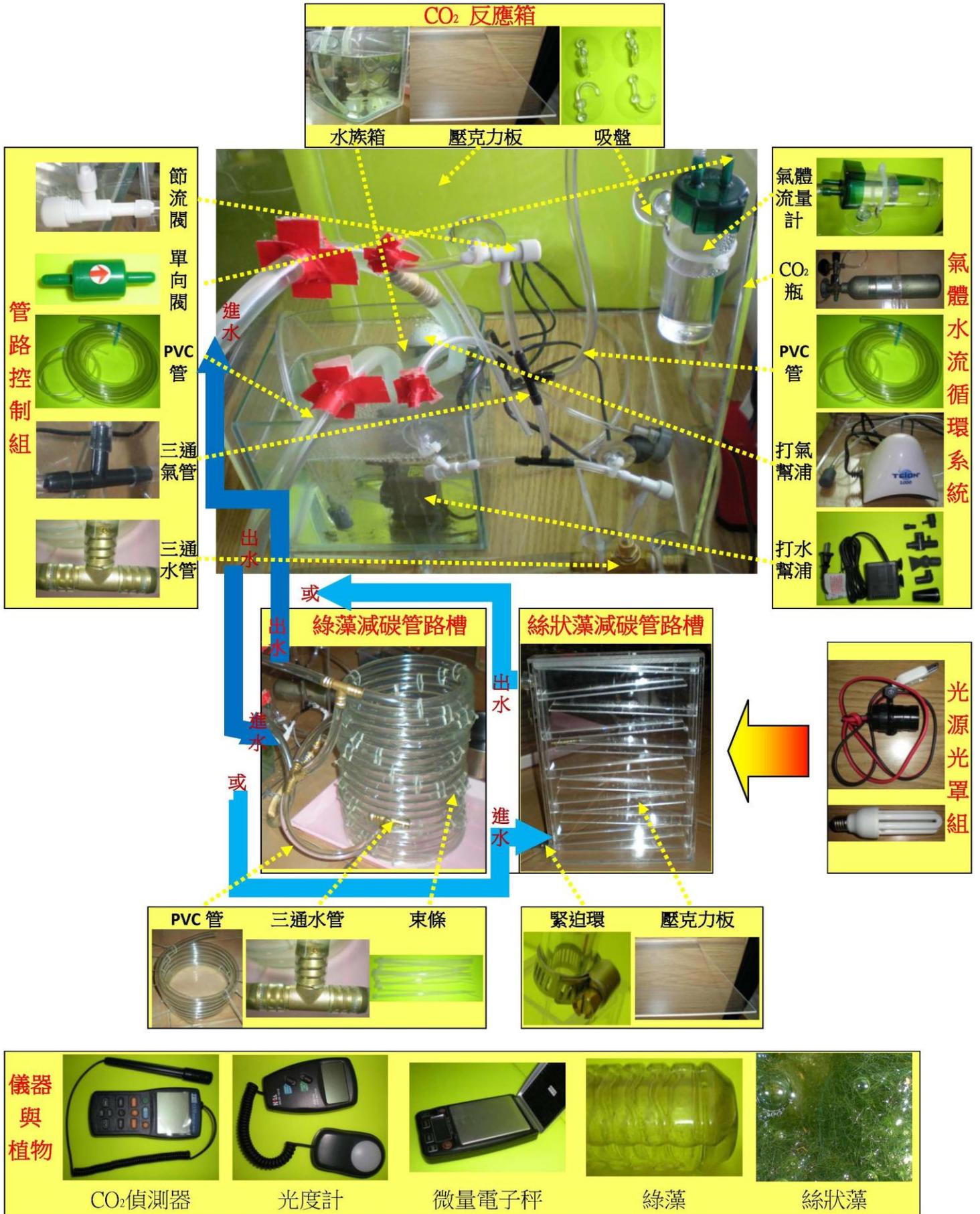
### 一、減碳機實驗組：

- (一)CO<sub>2</sub>反應箱：壓克力板、水族箱、吸盤
- (二)氣體、水流循環系統：打水幫浦、打氣幫浦、PVC管、CO<sub>2</sub>鋼瓶、氣體流量計
- (三)管路控制組：PVC管、三通管(通氣)、三通管(通水)、節流閥、單向閥
- (四)植物減碳管路槽
  - 1.綠藻減碳管路槽：PVC管、三通管(通水)、束條
  - 2.絲狀藻減碳管路槽：壓克力板、緊迫環
- (五)光源光罩組：燈管、燈座、鋁箔紙、厚紙板

### 二、實驗植物：綠藻絲、狀藻

### 三、實驗儀器：CO<sub>2</sub>偵測器、光度計、微量電子秤

四、減碳機實驗組裝圖

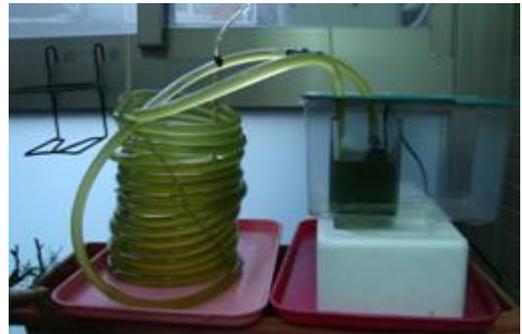


## 肆、研究過程與方法

### 探索一：設計植物減碳機

一、**文獻分析**：在設計植物減碳機前，看到北市 42 屆科展作品「減碳大作戰」提到水藻減碳，「以絲狀藻最好(59.75g/hr)，珍珠草次之(9.64g/hr)，大紅草(6.4g/hr)與水蘊草(6.26g/hr)較差」，同時「**綠藻**的顆粒小，接觸面積大，加上光合色素比為 4:2:8，使得**綠藻單位重量減碳比，僅次於絲狀藻**」。於是我們便以**綠藻**及**絲狀藻**，做為減碳機的減碳植物。

二、**變項控制**：為了使綠藻能充分吸收光線與氣體，在參考了「減碳大作戰」的設計後，構想出減碳機的基本型式，以此為藍本，並配合實驗變項，重新設計減碳機。



#### 變項 1：利用減碳機比較綠藻與絲狀藻的減碳效果

**思考**：綠藻在 PVC 管中，經幫浦不斷循環後

可能被攪爛。幸好後來發現，管中綠藻經一段時間靜置後，竟能均勻附著在管壁內側。故透過跨接不同長度 PVC 管，便可控制綠藻數量。而體積大的絲狀藻在 PVC 管不僅無法附著在管壁內側，還會阻擋水流。於是設計「之」字形的壓克力板斜板，除方便擺放絲狀藻外，還能塞進有入出水孔的密閉壓克力槽中。而 PVC 管與壓克力水槽，都可透過入出水孔的接頭，連到 CO<sub>2</sub> 的反應箱。



綠藻減碳反應槽

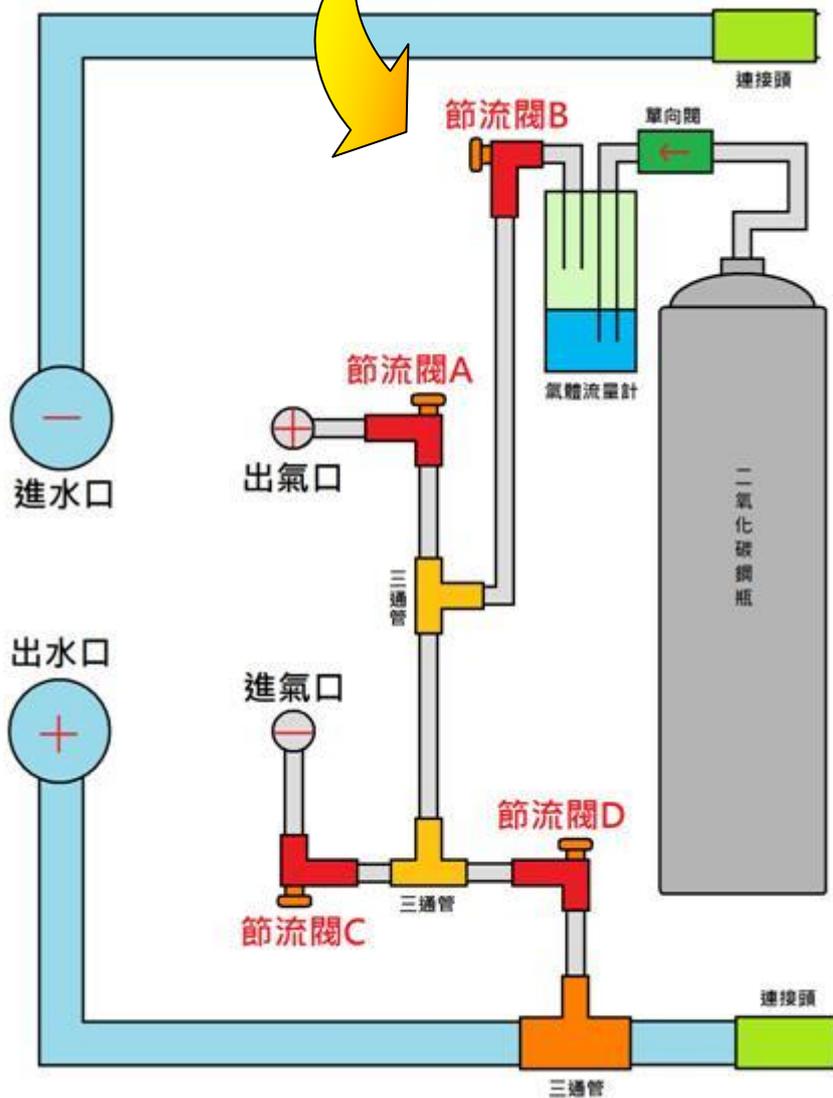
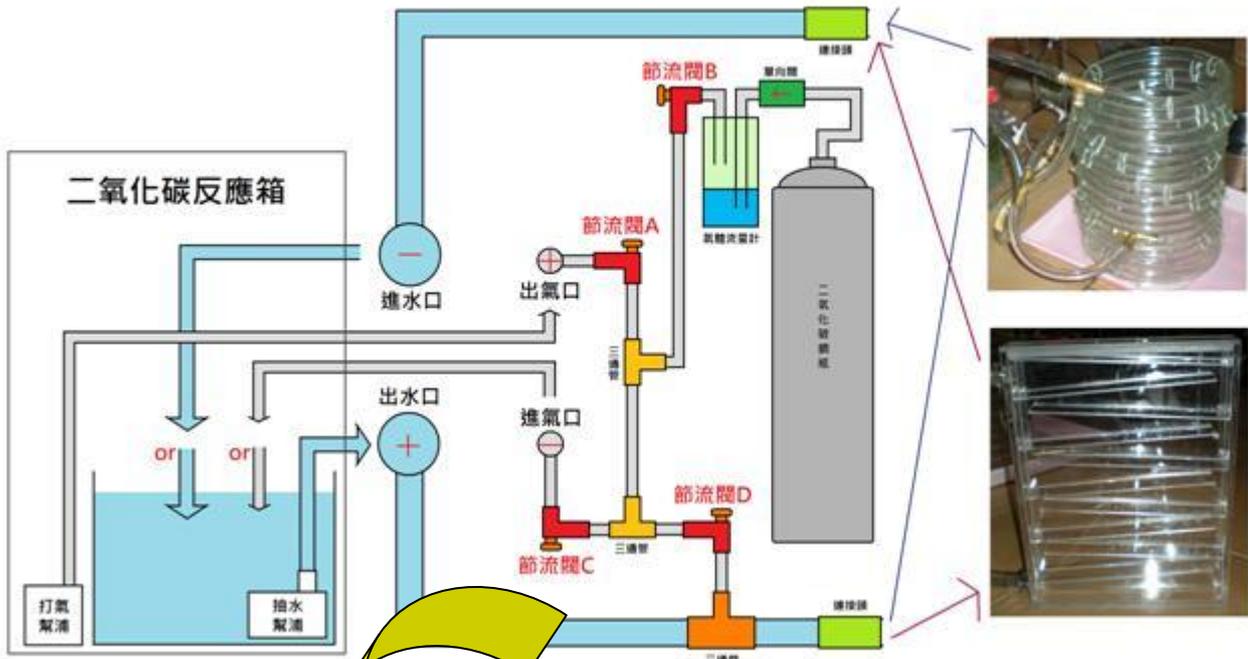


絲狀藻減碳反應槽

#### 變項 2：比較各種水與空氣循環方式，對減碳效果的影響

**思考**：水循環主要靠沉水馬達打水，並把空氣溶到水中，供水藻行光合作用。利用水流瀑布與空氣直接注水，這兩者除溶解速率不同外，所耗的電也不同。在水對氣體溶解度有限，如何達到既減碳、又省電的目標，對減碳機的循環設計，將非常重要。

水循環方式，有封閉式與水流瀑布式，而氣體循環方式，則有主動溶入與自然溶解。兩種通路排列組合後，以**三通管**與**節流閥**，來修改原先的管路，便能設計出**水、氣循環**的管路組。透過節流閥，便可調控出實驗所需的各種循環變項來。



水循環(水流瀑布、無瀑布、自然進氣)，與氣體(空氣、CO<sub>2</sub>)的循環(直接注水、自然溶水)，可組合出以下 9 種型態：

表：九種循環管路控制對照表

	水、氣循環狀態	CO <sub>2</sub> 鋼瓶	打氣 幫浦	打水 幫浦	節流 閥 A	節流 閥 B	節流 閥 C	節流 閥 D
1	空氣直接注水+水循環 <b>水流瀑布</b>	×	✓	✓	✓	×	×	✓
2	CO <sub>2</sub> 直接注水+水循環 <b>水流瀑布</b>	✓	✓	✓	×	✓	×	✓
3	CO <sub>2</sub> 直接注水+水循環 <b>無瀑布</b>	✓	✓	✓	×	✓	×	✓
4	水循環 <b>水流瀑布</b>	×	×	✓	✓	×	✓	×
5	水循環 <b>無瀑布</b>	×	×	✓	✓	×	✓	×
6	<b>文氏管</b> 自然進氣+水循環 <b>無瀑布</b>	×	×	✓	✓	×	✓	×
7	空氣直接注水	×	✓	×	✓	×	×	✓
8	CO <sub>2</sub> 直接注水	✓	×	×	×	✓	×	✓
9	無水、氣循環	×	×	×	×	×	×	×

Ps:**無瀑布**是讓進水管，直接導入水族箱的水面下；**水流瀑布**則是讓進水管與水面保持 15cm 高度，讓水花溶解 CO<sub>2</sub> ；✓表示開啟、×表示關閉；**文氏管**自然進氣，指打水幫浦運作時，利用**白努利**原理，讓空氣自然吸入水管中的設計

### 變項 3：比較藻類數量與減碳效果的相關

思考：藻類數量越多，減碳效果越佳。以現有減碳機設計，能否找出**藻類數量最佳值**。絲狀藻可用濕重控制數量，而綠藻則用 PVC 管長度來預估。於是利用三通管，將全長 12 公尺的 PVC 管，跨接出 4、8、12 公尺三種長度，做為綠藻數量的依據



上排：絲狀藻管路槽結構 下排：絲狀藻管路槽組裝與管壁內側藻類附著(持續 2~3 週)

**變項 4：比較光照強度與減碳效果的相關**

思考：光照強度增加，減碳效果是否也等比例增加，將影響減碳機所需的藻類數量。在平均日照下，要多少藻類，才能達到預期的減碳效果。為找出光照的影響，選用 100 瓦的日光燈管兩隻，並搭配光罩進行內部反射。



**三、器材組裝與測試**

所設計的減碳機實驗組可分為：**CO<sub>2</sub>反應箱**、**水氣循環與管路控制組**、**植物減碳管路槽**、**光源光罩組**四類。透過實驗組，除了探討植物減碳的效果外，未來還可依實驗結果，調整為最佳化的組合，來實際應用



CO<sub>2</sub>反應箱



植物減碳管路槽



水、氣循環與管路控制組



光源光罩組



組裝完成



測試操作

## 肆、研究結果

### 探索二：探討影響水藻減碳效率的因素

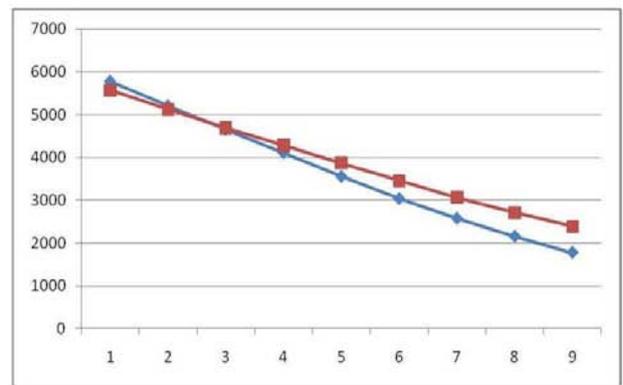
#### 實驗一：比較綠藻與絲狀藻的減碳效果

方法：以一隻光度 **2450Lux** 的植物燈照射，並採**循環 1**(空氣直接注水+水循環水流瀑布)的方式，比較兩者的減碳率

結果：實驗日期 **98 年 11 月 15 日~98 年 11 月 17 日**

表：綠藻與絲狀藻減碳比較表

時間	藻類	減少 ppm	藻類	減少 ppm		
09:00	絲狀藻	5783	0	綠藻	5563	0
10:00	5208	575	5120	443		
11:00	4654	554	4687	433		
12:00	4110	544	4289	398		
13:00	3557	553	3869	420		
14:00	3036	521	3451	418		
15:00	2576	460	3063	388		
16:00	2154	422	2707	356		
17:00	1776	378	2381	326		
減少	4007ppm(濕重 20g)		3182ppm(濕重 12g)			



Ps:以 4m 的綠藻減碳槽內壁所刮下的綠藻濕重約 **3g**，換算全長 **12m** 的濕重約為 **9g**

#### 發現：

- 1.絲狀藻的減碳效果比綠藻好(**4007:3182(ppm)**)，且減碳槽的裝設，也比較方便
- 2.但以單位重量的減碳比來看，綠藻則高於絲狀藻(**200.35:353.55 (ppm/g)**)
- 3.故比較**減碳槽設計**，**綠藻**對 CO<sub>2</sub>的減碳比，要優於絲狀藻

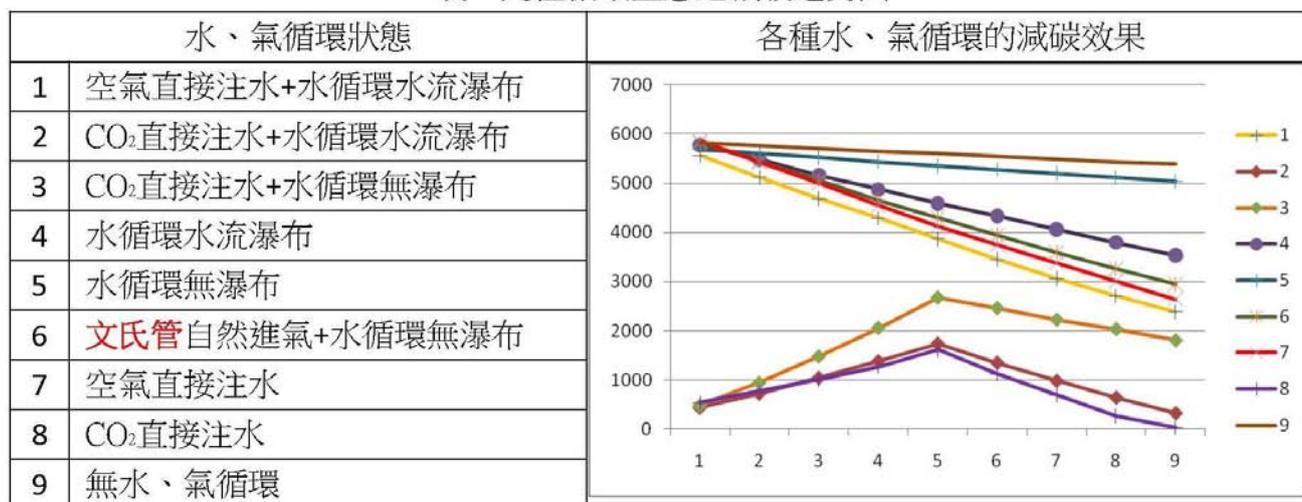
#### 實驗二：水流與空氣循環的組合，對減碳效果有何影響

##### 方法：

- 1.**循環 2、3 與 8**，發現 CO<sub>2</sub>若直接注入 CO<sub>2</sub>反應箱中，擴散後再溶到水中，結果將與**循環 1** 空氣直接注水的循環相同。故改以 **25drop/min** 的 CO<sub>2</sub>流量，直接灌入減碳槽的管路中，持續 **5 小時後關閉**，同時監測 CO<sub>2</sub>濃度變化，來看減碳槽對純 CO<sub>2</sub>的減碳效果
- 2.綠藻減碳槽，由於要靠打水幫浦帶動水流與溶在水裡的 CO<sub>2</sub>，讓管內的綠藻吸收。而**循環 7、8** 只有**氣體直接注水**，並**關閉水幫浦**，如此一來氣體會把管內的水擠掉，無法正常運作，故改以**絲狀藻**的減碳槽代替
- 3.光度以 **2450Lux** 的植物燈照射，減碳槽的植物數量，綠藻 **12m(約 9g)**，絲狀藻 **20g**，搭配 **9 種水、氣循環**，以交叉比較出各循環的差別

結果：實驗日期 98 年 11 月 19 日~98 年 12 月 09 日

表：九種循環型態之減碳趨勢圖

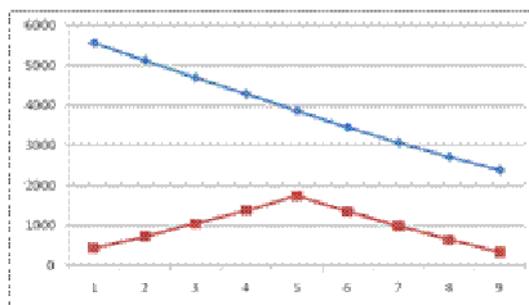


表：九種循環型態之減碳結果表

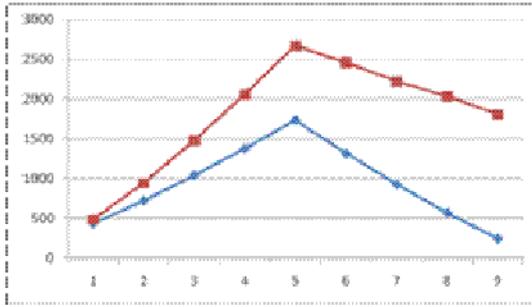
時間\循環	1 綠藻		2 綠藻		3 綠藻		4 綠藻		5 綠藻		6 綠藻		7 絲狀藻		8 絲狀藻		9 綠藻	
09:00	5563	0	438	0	487	0	5777	0	5693	0	5833	0	5864	0	534	0	5814	0
10:00	5120	443	723	+285	944	+457	5494	283	5610	83	5446	387	5430	434	767	+233	5758	56
11:00	4687	433	1043	+320	1479	+535	5167	327	5534	76	5069	377	5006	424	1004	+237	5708	50
12:00	4289	398	1377	+334	2057	+578	4877	290	5442	92	4658	411	4544	462	1273	+269	5655	53
13:00	3869	420	1733	+356	2670	+613	4590	287	5354	88	4295	363	4131	413	1611	+338	5604	51
14:00	3451	418	1348	385	2455	215	4336	254	5284	70	3940	355	3749	382	1124	487	5549	55
15:00	3063	388	982	366	2221	234	4058	278	5203	81	3589	351	3374	375	693	431	5491	58
16:00	2707	356	642	340	2033	188	3798	260	5118	85	3257	332	3004	370	272	421	5441	50
17:00	2381	326	329	313	1806	227	3530	268	5036	82	2945	312	2642	362	27	245	5389	52
減少	3182ppm		2783ppm		3047ppm		2247ppm		657ppm		2888ppm		3222ppm		2661ppm		425ppm	
倍率	7.49		5.58		7.17		5.29		1.55		6.8		7.85		6.26		1	

發現：

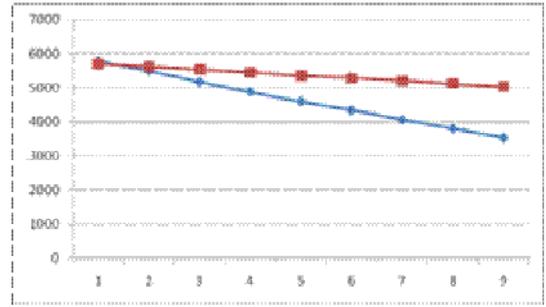
- 1.比較循環 1、2，可看出水對 CO<sub>2</sub> 的溶解度有限，飽和後便會擴散到空氣中，並使 CO<sub>2</sub> 濃度增加
- 2.比較循環 2、3 與循環 4、5 可看出水流瀑布的不同效果。氣體若先注入水中，水流瀑布反而會降低水對 CO<sub>2</sub> 的溶解；若只有水循環，水流瀑布則可增加對 CO<sub>2</sub> 的溶解



循環 1(藍) vs 循環 2(紅)

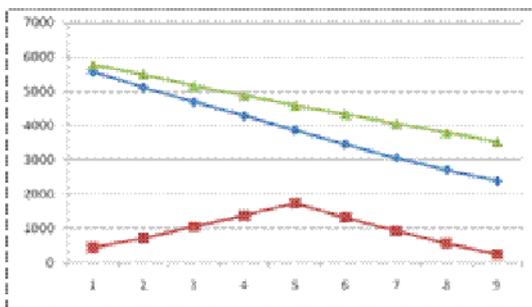


循環 2(紅) vs 3 循環(藍)

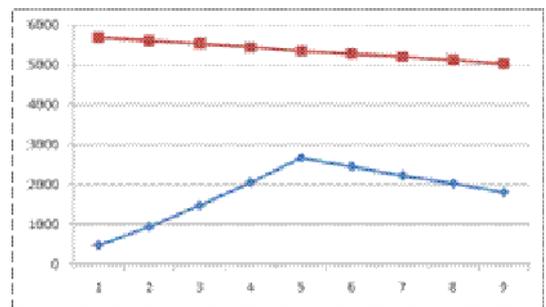


循環 4(藍) vs 循環 5(紅)

3. **循環 1、4** 則可證明氣體若先注入水中時，水流瀑布在降低 CO<sub>2</sub> 的溶解度後，對減碳所造成的影響(3182→2247ppm，下降 29.38%的減碳率)。且**循環 2、4** 也反應出純 CO<sub>2</sub> 也有相同的趨勢(2783→2247ppm，下降 19.26%的減碳率)
4. **循環 3、5** 更印證，無水流瀑布的水循環，可保存溶解在水中的 CO<sub>2</sub>(3047vs657ppm)

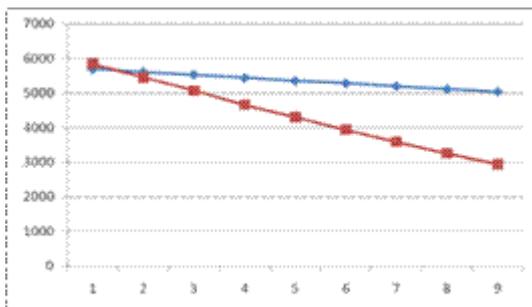


循環 1(藍) vs 循環 2(紅) vs 循環 4(綠)

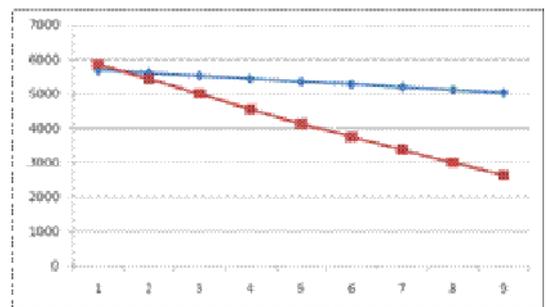


循環 3(藍) vs 循環 5(紅)

5. **循環 5、6** 可看出，相同的打水幫浦，加裝**文氏管自然吸氣**的配件，明顯比只有水循環的減碳率要高(657→2888ppm)，雖然比**循環 1 (3182ppm)**稍差，但卻省了打氣幫浦的耗電
6. **循環 5、7** 中，雖是不同水藻，但依舊可看出氣體直接注水，比純打水的減碳效果要好(3047vs657ppm)，且打氣幫浦(1.7w)也比打水幫浦(5.3w)省電



循環 5(藍) vs 循環 6(紅)



循環 5(藍) vs 循環 7(紅)

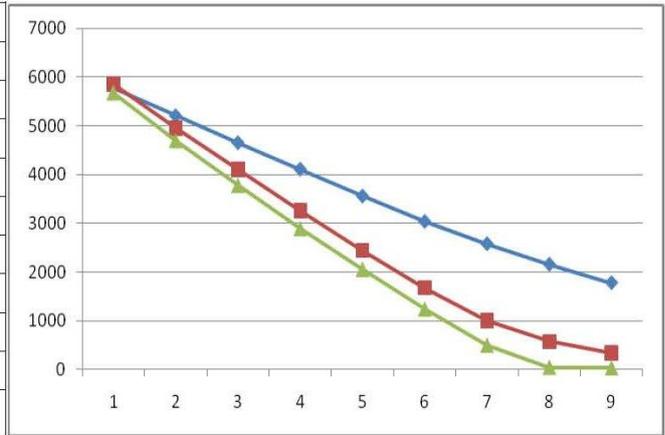
7. 由水氣循環的相互比較後，可以分析出各種循環對減碳的影響。同一循環的不同擺置，減碳效果也會不同(水循環水流瀑布 vs 水循環無瀑布)。甚至改變不同循環的組合，對減碳也有相乘效果，如只有水循環(657ppm)，若加上水流瀑布，可增加至 2247ppm
8. **循環 8** 是在自然狀態下，使氣體溶到水裡，讓綠藻減碳。以此為對照組，便可比較出各種循環的效能，依序是：循環→7>1>3>6>8>4>5。故氣體溶水的速度，將影響減碳的效果
9. 根據以上的結果，考量**耗能與減碳**下，可搭配出**低電耗、高減碳率**的設計

### 實驗三：藻類數量對減碳效果有何影響

結果：實驗日期 98 年 11 月 25 日~98 年 12 月 16 日

#### 1.不同重量的絲狀藻對減碳的影響

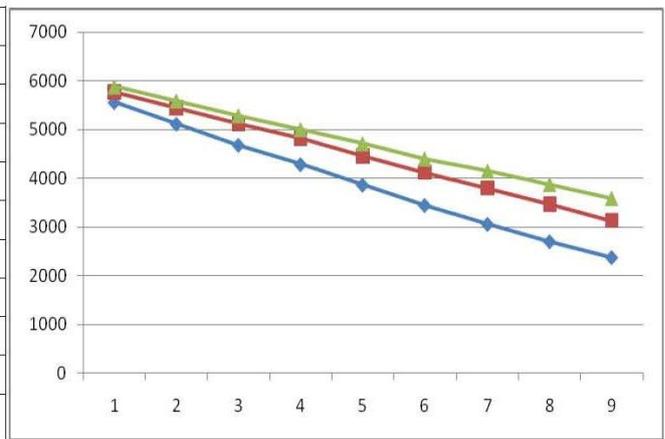
時間 \ 重量	20g	減少	40g	減少	60g	減少
09:00	5783	0	5855	0	5683	0
10:00	5208	575	4953	902	4697	986
11:00	4654	554	4097	856	3775	922
12:00	4110	544	3261	836	2888	887
13:00	3557	553	2438	823	2053	835
14:00	3036	521	1672	766	1236	817
15:00	2576	460	1005	667	493	743
16:00	2154	422	571	434	38	455
17:00	1776	378	337	234	26	12
減少	4007ppm		5518ppm		5657ppm	



20g(藍)、40g(紅)、60g(綠)

#### 2.不同重量的綠藻對減碳的影響

時間 \ 重量	3g	減少	6g	減少	9g	減少
09:00	5885	0	5775	0	5563	0
10:00	5592	293	5449	326	5120	443
11:00	5290	302	5129	320	4687	433
12:00	5005	285	4817	312	4289	398
13:00	4714	291	4463	354	3869	420
14:00	4403	311	4122	341	3451	418
15:00	4150	253	3799	323	3063	388
16:00	3875	275	3467	332	2707	356
17:00	3586	289	3133	334	2381	326
減少	2299ppm		2642ppm		3182ppm	



9g(藍)、6g(紅)、3g(綠)

#### 發現：

- 1.絲狀藻減碳效果比綠藻好，但以單位重量減碳比，反而綠藻比較好。可能是綠藻的**表面積較大**，在相同的光度與水、氣循環，使得綠藻的減碳槽設計，效果要優於絲狀藻
- 2.**水藻數量**和**水流循環**，會產生交互作用。**數量少，水流變快**，雖可增加水藻與氣體接觸機會，但不一定會因數量減少而增加減碳量；**數量多、流速變慢**，雖減少接觸機會，但也不見得會因數量增加，而減少整體減碳量但不一定會因數量減少而增加減碳量；**數量多、流速變慢**，雖減少接觸機會，但也不見得會因數量增加，而減少整體減碳量
- 3.絲狀藻隨重量增加(20g→40g→60g)，減碳效果(4007→5518→5657ppm)反而不是呈比例增加(1→1.38→1.41)；而綠藻(3g→6g→9g)，所增加的減碳效果(2299→2642→3182ppm)，也有相同的趨勢(1→1.15→1.38)。
- 4.當光照固定，**水流循環速度**對減碳的影響，要大於水藻所增加的**數量**，除非**提高光照強度**與**維持水流速度**

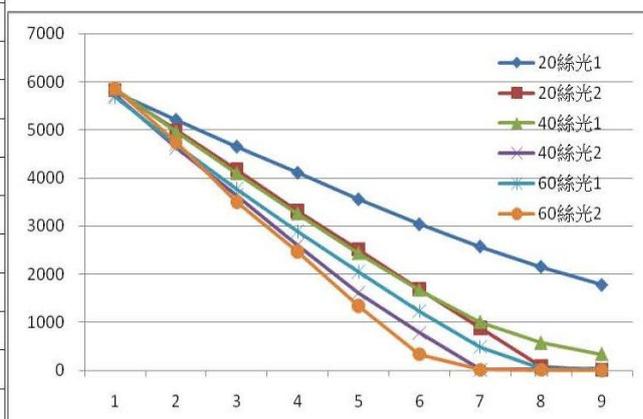


## 實驗四：光照強度對減碳效果有何影響(實驗日期 99 年 01 月 05 日~99 年 01 月 18 日)

結果：

### 1.光照對不同重量的絲狀藻減碳的影響

重量	20g		40g		60g	
	光 1	光 2	光 1	光 2	光 1	光 2
09:00	5783	5824	5855	5721	5683	5855
10:00	5208	4988	4953	4631	4697	4738
11:00	4654	4170	4097	3639	3775	3507
12:00	4110	3313	3261	2604	2888	2474
13:00	3557	2519	2438	1616	2053	1349
14:00	3036	1697	1672	781	1236	338
15:00	2576	886	1005	18	493	18
16:00	2154	81	571	15	38	15
17:00	1776	15	337	37	26	7
減少	575	836	902	1090	986	1117
倍率	1.45		1.21		1.13	

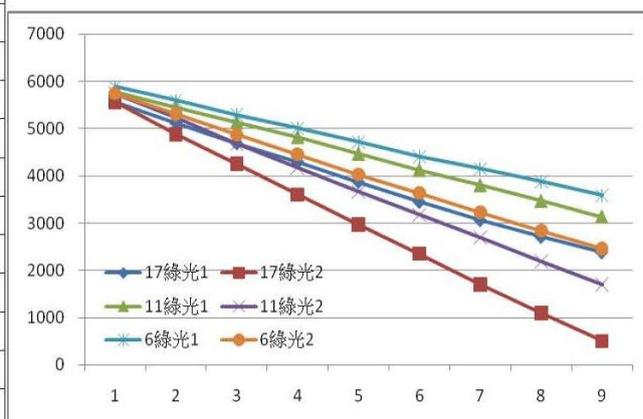


←倍率是比較 2:1 隻燈管(4532:2450Lux)減碳比

Ps:由於 CO<sub>2</sub>在不到 7hr 便消耗完，且減碳速率由快而慢，於是以**第一小時的減碳數值**為準

### 2.光照對不同重量的綠藻減碳的影響

重量	9g		6g		3g	
	光 1	光 2	光 1	光 2	光 1	光 2
09:00	5563	5558	5775	5743	5885	5743
10:00	5120	4874	5449	5221	5592	5303
11:00	4687	4256	5129	4687	5290	4869
12:00	4289	3604	4817	4179	5005	4457
13:00	3869	2971	4463	3664	4714	4030
14:00	3451	2351	4122	3176	4403	3638
15:00	3063	1698	3799	2701	4150	3228
16:00	2707	1095	3467	2190	3875	2841
17:00	2381	507	3133	1698	3586	2461
減少	3182	5051	2642	4045	2299	3282
倍率	1.59		1.53		1.43	



發現：

- 光照增加 **1.85 倍(2450→4532Lux)**減碳效果明顯提高，發現**綠藻(1.43~1.59)**要比**絲狀藻(1.13~1.45)**對光的吸收好
- 對光的吸收，數量少(循環快)的又比數量多(循環慢)的好，再次印證**數量與循環成反比**
- 二支燈管照 3g 綠藻**的減碳量，相當於**一支燈管照射 9g**的效果；而**一支燈管照射 40g 絲狀藻**，也相當**兩支燈管照射 20g**的效果。數量少除有利光線充分照射，再加上循環速度增加，有利加速減碳。故**數量增加便要加速循環，與提高光照才能增加減碳效率**



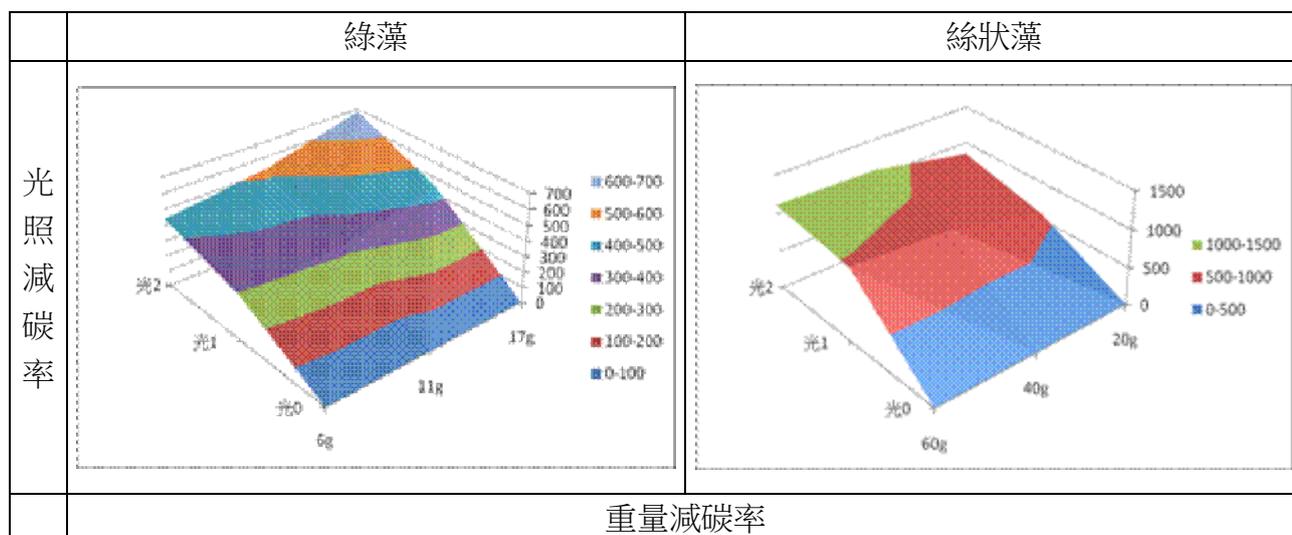
## 伍、討 論

### 探索三：分析水藻減碳機的減碳效率

#### 討論一：歸納影響植物減碳變項間的交互作用

##### 歸納：

- 比較水藻與減碳槽對減碳的影響
  - 水藻減碳效果：絲狀藻>綠藻
  - 減碳槽減碳效率：綠藻槽>絲狀藻槽
- 分析水氣循環對減碳的影響
  - 循環型態減碳：水+氣循環>氣體循環>水循環
  - 水流循環減碳：文氏管自然吸氣>水流瀑布>無瀑布
  - 氣體循環減碳：氣體直接注水>自然溶水
  - 氣體溶水效果：氣體直接注水>文式管自然吸氣>水流瀑布>無瀑布>自然溶水
  - 減碳電力消耗：打水幫浦>打氣幫浦
- 水藻數量、水流循環速度與減碳的關係
  - 光照固定下，水藻數量與水流循環速度成反比關係
  - 水藻數量固定下，水氣循環與減碳效果成正比關係
  - 水氣循環固定下，水藻數量與減碳效果成正比關係
- 光照、水藻數量與水循環流速的交互作用
  - 光照固定下，水藻數量與減碳效果成反比關係
  - 光照固定下，水氣循環與減碳效果成正比關係
  - 水藻數量固定下，光照與減碳效果成正比關係
  - 水氣循環固定下，水藻數量與光照成反比關係



圖：水藻重量與光照所產生的交互作用，對水藻種類所造成的影響

## 討論二：推論水藻減碳機效率的經驗公式

由討論一歸納，可看出水藻種類、水藻重量、水氣循環、光照強度，對減碳機減碳速率的影響，並進一步整理出水藻減碳的經驗公式

$$\text{經驗公式一：水解之 } CO_2 \text{ 流速} = \frac{l}{t} \quad (l=\text{溶水之 } CO_2 \text{ 體積；} t=\text{時間})$$

$$\text{經驗公式二：水、氣循環} = \text{水解之 } CO_2 \text{ 循環} = \frac{\text{水解之 } CO_2 \text{ 流速}}{\text{水藻重量}} = \frac{\frac{l}{t}}{g} = \frac{l}{t \times g}$$

$$\text{經驗公式三：減碳機減碳速率} = \text{水藻種類} \times \frac{\text{水解之 } CO_2 \text{ 流速}}{\text{水藻重量}} \times \sqrt{\text{光照強度}} = A \times \frac{l}{g} \times (B\sqrt{C})$$

其中水藻種類(A)、光照強度(C)和光度修正(B)，可視為常數，如此一來公式三中減碳機的減碳量，便可視為水藻在一定時間內，其單位重量的減碳率  $\rightarrow \frac{l}{t \times g}$ ；實驗四中光照強度在增加兩倍後，絲狀藻減碳率只達 1.45 倍，綠藻則增加 1.59 倍，若與減碳槽的光照強度(C)相比，大概呈平方根的關係下降

## 討論三：尋求減碳機變項的最佳組合

由推論的經驗公式，除了進一步瞭解變項間的交互作用外，還能根據現有條件、需要，來預測減碳機的減碳量。由公式預估，幫浦功率大，雖可增加水氣循環，但不同型態的循環，CO<sub>2</sub>的溶解度不同，將直接影響減碳效果，在比較耗電量(g/w)和減碳率(g/hr)後，可看出各循環的淨減碳比(植物減碳率/發電產碳率)

表：水氣循環耗電量(g/w)和減碳率(g/hr)的關係

水、氣循環狀態 耗電情形	1	2	3	4	5	6	7	8	9
打氣(1.7w)	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗
打水(5.3w)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
耗電率(w/hr)	7	7	7	5.3	5.3	3	1.7	0	0
發電產碳率(g/hr)	4.452	4.452	4.452	3.3708	3.3708	1.908	1.0812	0.0000	0.0000
植物減碳率(g/hr)	4.873	4.598	2.365	2.794	0.913	4.257	4.774	5.357	0.856
淨減碳比	1.09	1.03	0.53	0.83	0.27	2.35	4.42	∞	∞

Ps:每一度發電會產生 0.636kg 的 CO<sub>2</sub>，一度的電=1000W/hr

淨減碳比=植物減碳率/發電產碳率

### 歸納：

1. 高效率的水、氣循環耗電也高，淨減碳比不一定高(循環 3→0.53)；低耗能的減碳率雖不高，但淨減碳比反而較高(循環 7→4.42)。
2. 循環 6 採文氏管自然進氣與打水二合一設計，只打水就能進氣，適合綠藻減碳槽(2.35)
3. 循環 7 純打氣，因耗電少，所以淨減碳比高(4.42)，適合絲狀藻減碳槽
4. 循環 8 的淨減碳比最高，但屬非自然情況(CO<sub>2</sub>直接注水)
5. 由淨減碳比可看出：**高效能減碳雖快，但可能因耗電大又產生更多的碳；淨減碳比高雖省電，但可能因效能低而耗時**

**小結：**根據淨減碳比與減碳機減碳速率公式，並比較變項間的關係後，發現水藻種類、幫浦耗電固定下，只有**提高光照**、**加快循環水流速**、**增加 CO<sub>2</sub>水解速度**，才能提高減碳速率。其中

1. **提高光照：**可將植物燈改為太陽光，由光度(2450→120000Lux)增加的倍數(40.82)，約可增加 **6.39 倍**的減碳量
2. **加快循環水流速度：**實驗四結果，可看出減碳量不隨重量增加，成相同比例增加。少於預估值部分，可視為循環水流所降低的流速。若不減少水藻量，又要增加流速，綠藻可採縮短 PVC 管路與縮小口徑，並增加內壁綠藻附著密度，而絲狀藻則降低減碳槽水量

表：水藻數量與減碳比值對照

光照	植物燈一隻照射(2450Lux)						植物燈兩隻照射(4532Lux)					
	綠 3g	綠 6g	綠 9g	絲 20g	綠 40g	綠 60g	綠 3g	綠 6g	綠 9g	絲 20g	綠 40g	綠 60g
實際減碳	2299	2642	3182	575	902	986	3282	4045	5051	836	1090	1117
預估減碳	2299	4598	6897	575	1150	1725	3282	6564	9846	836	1672	2508
比值	1	0.57	0.46	1	0.78	0.57	1	0.62	0.51	1	0.65	0.45
不足	0%	-43%	-54%	0%	-22%	-43%	0%	-38%	-49%	0%	-35%	-55%

Ps: 比值=實際減碳/預估減碳；不足=比值-1

3. **增加 CO<sub>2</sub>水解：**水循環再快，若沒有足夠的 CO<sub>2</sub>水解，也無法有效減碳，故綠藻減碳槽採循環 6 的設計，而絲狀藻減碳槽則採循環 7 的方式，以增加 CO<sub>2</sub>水解與淨減碳比

## 探索四：提昇水藻減碳機的減碳效率

### 討論四：探討水藻減碳機環保、節能的設計

理由：高效率的循環必定耗電(低減碳比)，若要提高減碳比，又要高效率循環，故利用**太陽能**，來帶動水、氣循環，將是必要的設計

困難：

1. 太陽能板發電量偏低
2. 水、氣循環的耗電，要配合太陽能板的發電
3. 光照角度隨時移動不易追蹤

解決策略：因應低耗能的水、氣循環，根據討論三的發現

1. 提高光照：光照來源以**太陽光**為主
2. 減少水藻數量以加快循環水流速度

綠藻：**縮短 PVC 管路與縮小口徑**，並**增加內壁綠藻附著密度**

絲狀藻：**降低減碳槽水量**

3. 採低電耗又能增加 CO<sub>2</sub> 水解的循環方式

綠藻：只採加裝**文氏管**的打水幫浦循環

絲狀藻：以**打氣幫浦**的循環為主

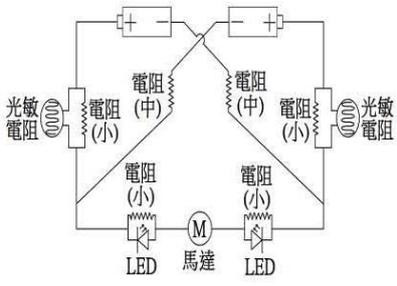
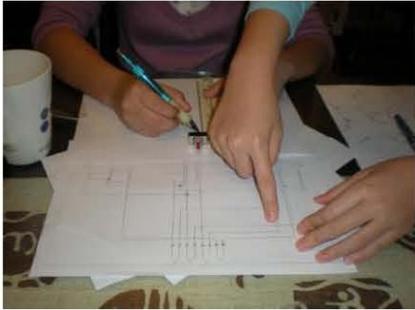
4. 太陽能利用

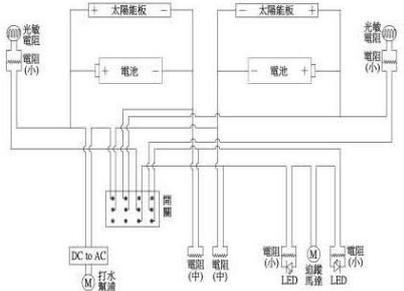
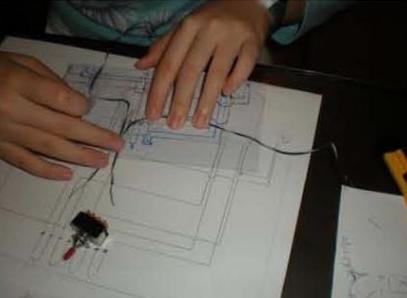
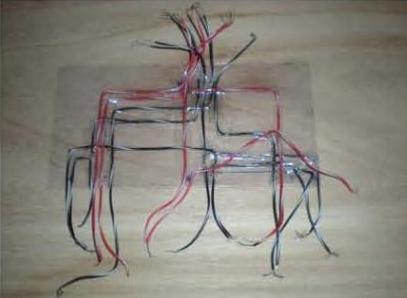
(1) 電能轉換：把家用電換成太陽能發電(**10W**)，只要加裝車用 **DC(12V)轉 AC(120V)**的變壓器接頭，便可帶動幫浦運轉

(2) 太陽能追蹤：為提高太陽能板發電功率，可採**自動追蹤**設計

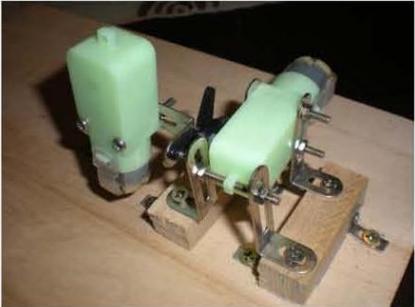
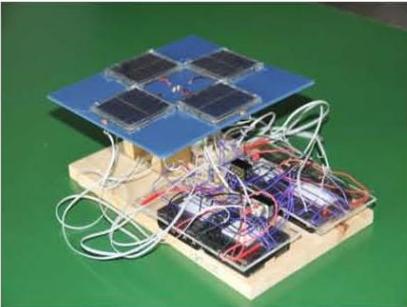
### 討論五：利用太陽能設計環保減碳機

文獻分析：在設計太陽能追蹤時，看到北市 41 屆科展作品**夸父追日-雙面直立式染料敏化電池的探討與設計**。利用**串聯、並聯、通路與斷路**就能設計、製作出太陽能追蹤裝置。參考電路型式，發現可以應用到太陽能板的追蹤設計上

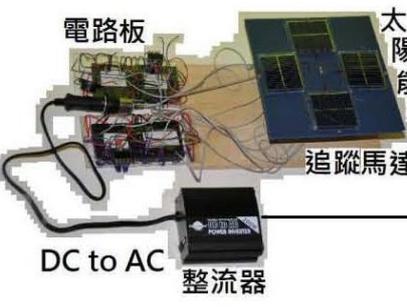
試驗光敏電阻→	→電路圖分析→	→討論電路板型式→
		
<p>以電表測量光敏電阻，光照前後的電流變化→<b>光照強度和電阻成反比</b></p>	<p>再利用不同方向電流相互拉距，來控制馬達轉動的方向，以追蹤太陽<b>(附件五)</b></p>	<p>若要將電路圖實際應用，必須轉化為電路板線路，並以開關切換<b>減碳機幫浦與追蹤馬達</b></p>

→新版電路圖→	→組裝電路板→	→新版電路板
		
<p>利用光敏電阻的特性，設計太陽追蹤的電路圖(附件六)</p>	<p>限於技術與器材，以塑膠板、電線、膠帶來做為電路板</p>	<p>組裝完成的電路板，透過開關可切換減碳與追蹤的迴路</p>

### 機械結構設計過程

追蹤機械結構分析→	→組裝 3D 追蹤結構→	→新版追蹤機械結構
		
<p>將兩組減速馬達，以(X-Y)與(Y-Z)的垂直角度結合，以達 3D 的追蹤功能</p>	<p>將追蹤的機械結構與自行設計的電路板組合後，除能進行太陽能板 3D 方向的運作外，還能透過電路板的控制，選擇太陽追蹤與幫浦循環的功能</p>	

### 太陽能減碳機組裝過程

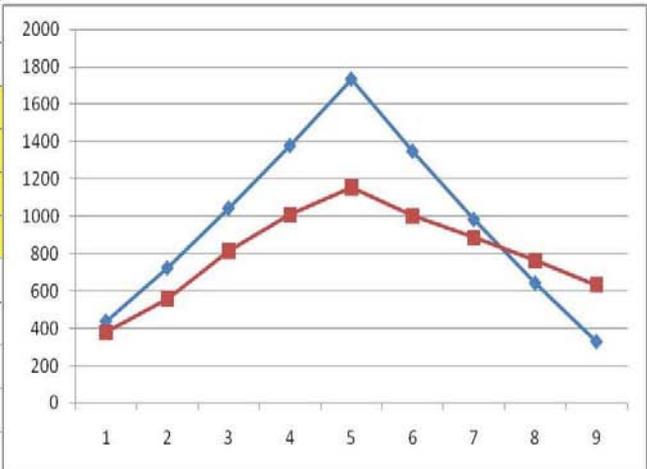
調整水藻減碳槽與循環幫浦→	→整合機、電結構→	→組裝環保減碳機
		
<p>縮短 PVC 管路(8m)、降低減碳槽水量、增加內壁綠藻附著、文氏管打水幫浦、打氣幫浦</p>	<p>以電路板連接太陽能板、追蹤馬達、水氣循環幫浦，以開關控制減碳與追蹤的運作</p>	<p>組裝完成後，測試追蹤與減碳效果</p>

## 討論六：環保減碳機減碳實測結果

結果：

1.利用太陽能的環保減碳機與循環 2 的減碳比較

時間	循環 2		太陽能循環		效能
09:00	438	0	378	0	0
10:00	723	+285	560	+182	+103
11:00	1043	+320	815	+255	+65
12:00	1377	+334	1007	+192	+142
13:00	1733	+356	1156	+149	+207
14:00	1348	385	1002	154	-230
15:00	982	366	885	117	-249
16:00	642	340	763	122	-218
17:00	329	313	633	130	-183
減少	2783ppm		1003ppm		-1780
倍率	5.58		8.37		



循環 2 (藍)、太陽能循環(紅)

Ps:效能指兩種減碳機每小時減碳的差異，倍率指與無循環的靜置水藻減碳的比

發現：

- 由結果可以看出，比較循環 2(CO<sub>2</sub>直接注水+水循環水流瀑布)與環保減碳機的減碳效果
  - 前五小時(9:00~13:00)有 CO<sub>2</sub>注入管路槽中時，太陽能循環的減碳效果優於循環 2，可看出**提高光照**的確可以提高減碳速度
  - 後四小時(13:00~17:00)停止注入 CO<sub>2</sub>管路槽時，則受限於太陽能循環的效率較低，影響水氣循環的效果
- 由光照強度與循環的交互作用，可看出結果符合先前經驗公式預估的趨勢
- 由 pm13:00 的殘留 CO<sub>2</sub>的濃度，可看出太陽能循環(1156ppm)明顯比循環 2(1733ppm)要好。若**循環 2**的減碳率，比**靜置水藻**要高 **5.58 倍**來看，那麼**太陽能循環**便為 **8.37 倍**。可見要是能提高太陽能板的發電量，讓幫浦能充分運作以提高水氣循環，那麼減碳的倍數將更可觀，而這樣也才能達到真正環保、節能的目標



## 陸、結 論

- 一、利用水藻所設計的植物減碳機，透過實驗，找出**水藻種類**、**水氣循環**方式、**數量**與**光度**間的連動關係，並推論出減碳的**經驗公式**，不僅能有效減碳，甚至還可依現有條件，搭配出最有效率的**減碳組合**
- 二、水、氣循環的關鍵，在於 **CO<sub>2</sub>能有效水解**，若提供水藻充足的 CO<sub>2</sub>與光照，配合**快速的循環水流**，才能達到高效能的循環
- 三、高效能的減碳，不一定具有真正環保減碳的功用，還要考慮因水、氣循環時所耗費的**電能**，來算出減碳機的**淨減碳比**(植物減碳率/發電產碳率)，如此才具有真正減碳的意義
- 四、**淨減碳比高**，通常**減碳速度慢**，但高效率的減碳，會降低淨減碳比。也就是為加快減碳速度，而耗費更多的電，這樣會因發電所產生的碳，抵消掉植物所減的碳了
- 五、減碳機**節能設計**的原則
  - (一)提高**光照**與**水藻密度**
  - (二)加快**循環水流速度**與**縮短管路長度**
  - (三)增加 **CO<sub>2</sub>水解量**
- 六、所以採用**太陽能**發電來減碳，既可以加快減碳速度，又能提高淨減碳比。根據實測比水藻自然狀態下，減碳的速度要快 **8.37 倍**以上，且**完全無碳**
- 七、利用簡單的電路，就能設計出**追蹤太陽**的裝置，來增加太陽能的發電量，以提高淨減碳比及減碳速度，這樣就能完全取之於自然(水藻、太陽)，而回饋於大自然(加速淨化空氣)
- 八、原本不起眼的綠藻及絲狀藻，在平常是視為水族箱中無用的廢棄物，但對減碳而言卻是功不可沒的角色。利用不起眼的廢棄物，反而幫我們淨化了更多的二氧化碳，真可說是小兵立大功

### 未來發展

- 一、現有的環保減碳機，對於太陽能追蹤與水、氣循環，無法同時進行而且只能手動切換，希望以後能設計出可自動切換的電路，讓太陽能的利用更有效率
- 二、植物減碳受限於白天要有陽光，若能改變植物的生理時鐘，配合人造光源，那就能達到全天候減碳的目的
- 三、由植物所含的葉綠素，比例、密度、水藻個體大小，可做為判斷植物減碳效率的參考指標，希望找出更多種類的植物，讓減碳機的運作，不受季節的影響

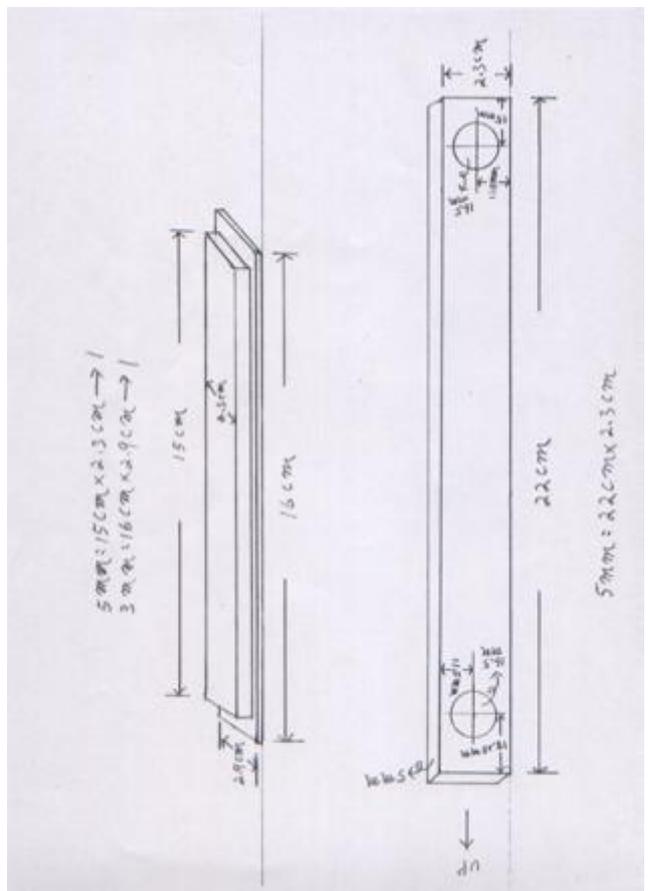
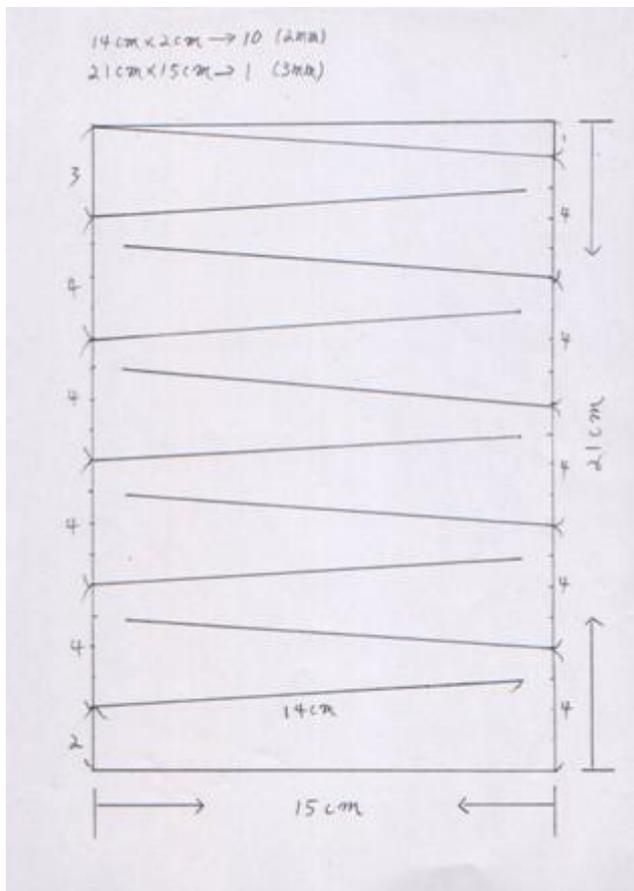
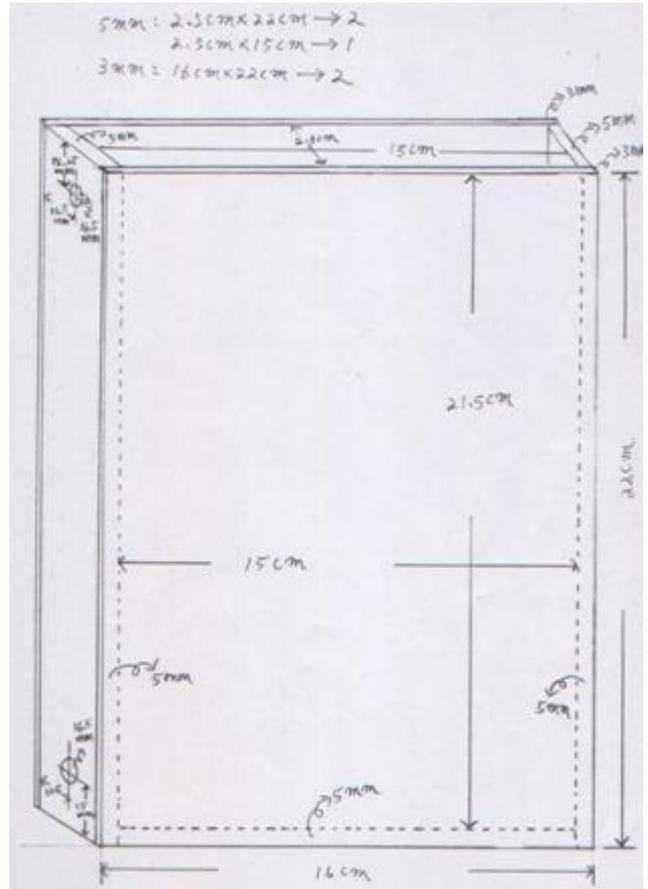
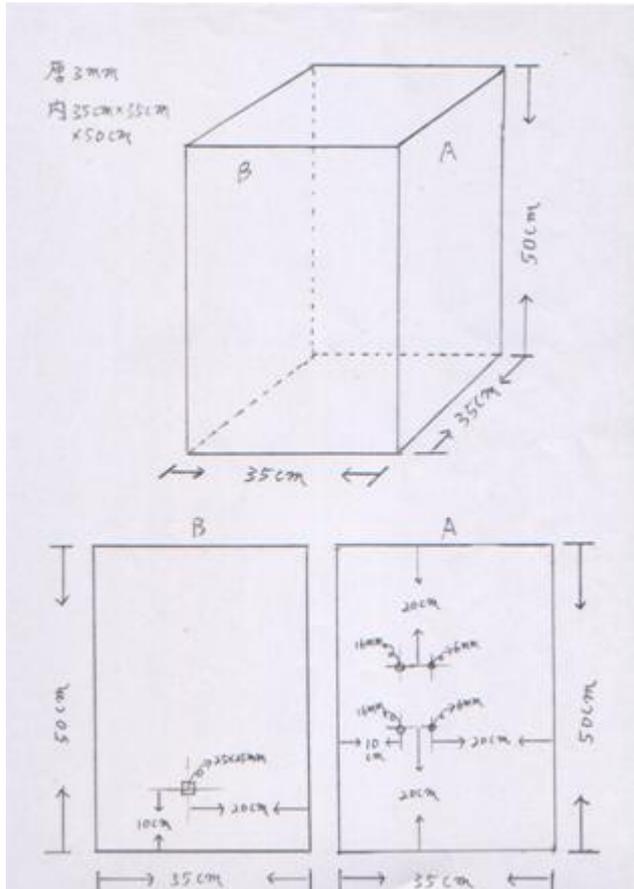
## 參考資料

楊旻翰、林祖任、趙心巖(2008)：減碳大作戰--二氧化碳清除機的探討與設計。臺北市第 42 屆中小學科學展覽會。

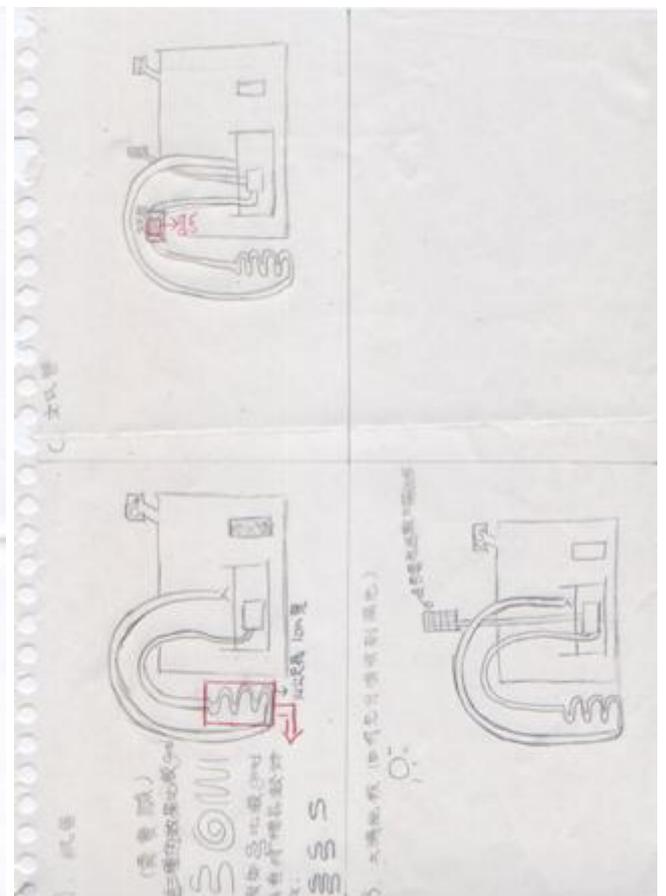
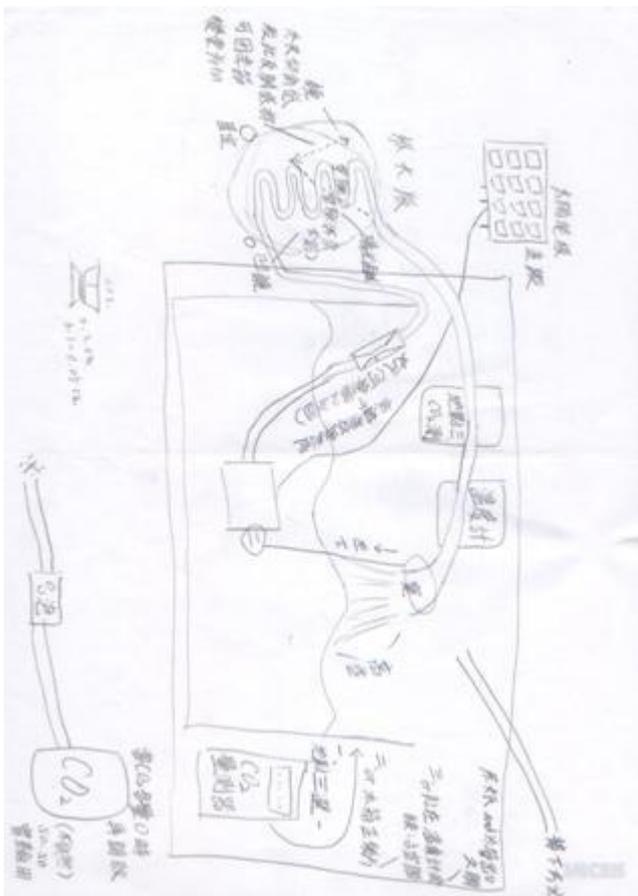
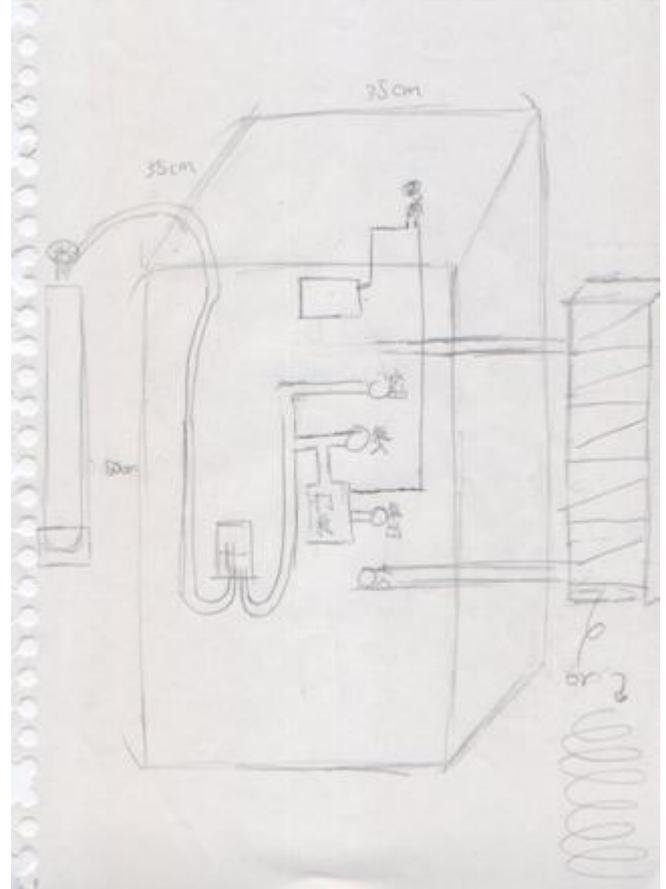
羅章晏、林哲安、曲劭文(2007)：夸父追日--雙面直立式染料敏化太陽電池的探討與應用。臺北市第 41 屆中小學科學展覽會。

我國 CO<sub>2</sub> 電力排放係數。台灣電力公司。網址: <http://www.taipower.com.tw/quickLink/co2.htm>

附件一：CO<sub>2</sub>反應箱與絲狀藻減碳槽設計圖

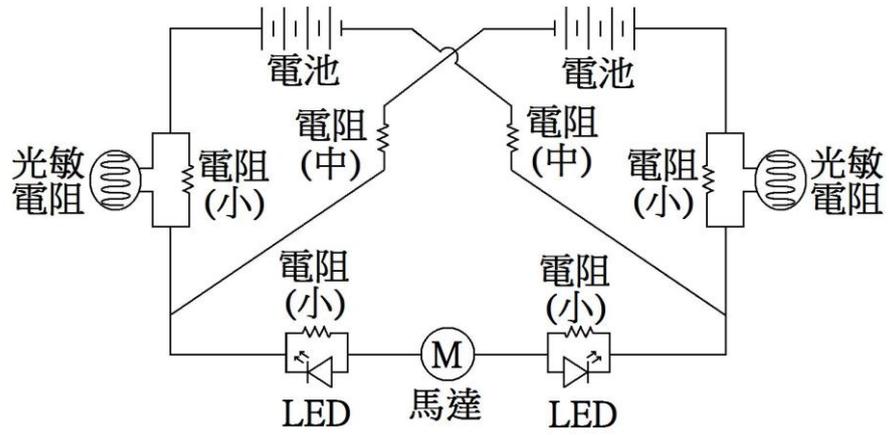


附件二：環保減碳機設計圖



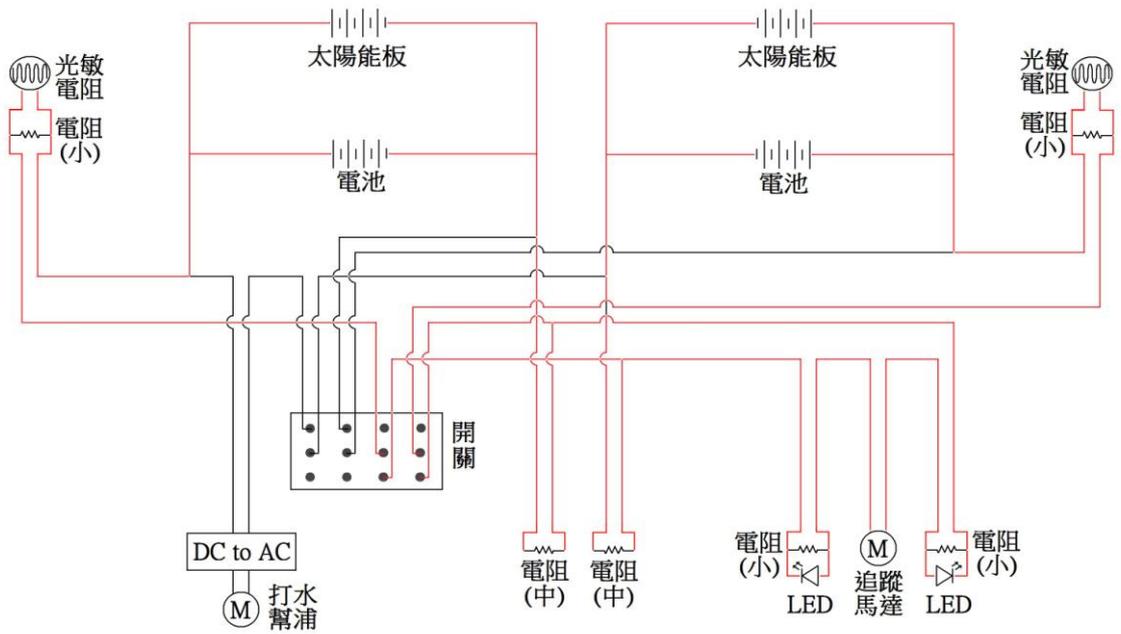


附件五：太陽追蹤  
電路設計圖

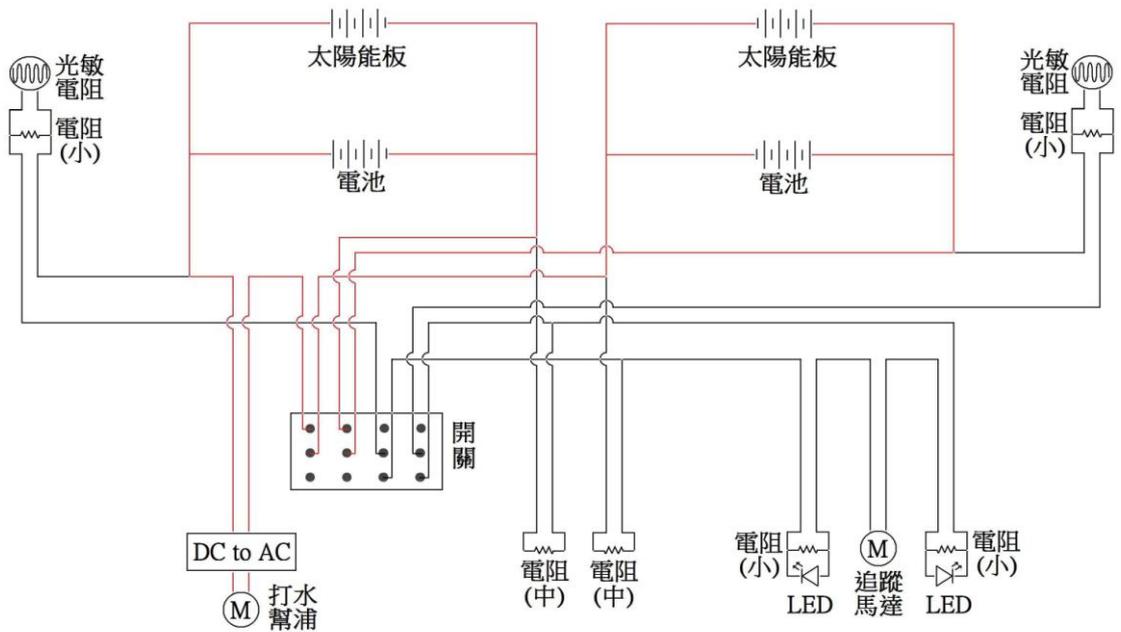


附件六：  
太陽追蹤  
與幫浦循環  
電路板  
設計圖

切換  
太陽追蹤  
紅線



切換  
幫浦循環  
紅線



## **【評語】 030820**

本作品以流動的水，帶動綠藻與絲狀藻，在日光下行光合作用以減少二氧化碳，整體已設計成一個可以運轉的系統，且加以各種量測（如日光光照強度、水流速度、二氧化碳量測），符合科展精神，且未來可以運用，故予以推薦。