

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

030319

綠能固碳做環保--水藻固碳效能的探討與應用

學校名稱：臺北市立天母國民中學

作者： 國一 陳涵 國一 陳艾卿 國二 顏鈞汶	指導老師： 王禮章 羅文杰
----------------------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：光合作用、葉綠素、固碳

摘 要

水族箱中讓人討厭的絲狀藻，富含光合色素，若能廢物利用，以它為植物固碳機的主角，結果有令人亮眼的效果。為了找尋其他固碳的植物，比較水蘊草、珍珠草、大紅葉和綠藻後，發現：

- 1.由比較各種水中植物的固碳效果中，發現葉片小的植物，光合作用的效率比較佳
- 2.由測定植物葉綠素的成分中，得知植物光合色素濃度高者，固碳效果好；且發現胡蘿蔔素亦可行光合作用
3. 影響植物固碳的因素有：適當的水中植物(絲狀藻、綠藻)；將空氣中的 CO_2 溶解到水中；照光效果要好
- 4.結合綠藻、PVC 管、太陽能水循環裝置，設計綠藻二氧化碳清除機，幾乎可以完全去除二氧化碳

魚缸中令人討厭的藻類，變身為對抗溫室效應的尖兵！

壹、研究動機

我們的科技愈發達，工業與交通所排放的廢氣也就愈可觀，二氧化碳是造成地球暖化的主角之一。最近看到新聞上有不少關於溫室效應的報導，老師也有在課堂上和我們提過未來地球可能遭遇的危害。想了很久之後覺得，何不利用自然界中植物，以光合作用來固碳，一方面可以降低空氣中二氧化碳濃度，一方面可以轉變成生質能。於是，我們想找到一種光合作用高的水生植物，結合科技，設計出可以很有效率的植物清除二氧化碳機，以幫助工廠解決大量排放二氧化碳的問題，希望對環境生態保護有一些助益。

貳、研究目的

- 一、瞭解植物外觀與固碳效果的關係
- 二、測定各種植物葉綠素的成分與固碳的關係
- 三、探討影響水藻固碳效率的因素
- 四、利用實驗發現，設計天然環保的植物固碳機

參、研究設備及器材

一、減碳機實驗組：

(一)CO₂反應箱：紙箱、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、CO₂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：大紅草、珍珠草、水蘊草、絲狀藻、綠藻

三、實驗儀器：CO₂偵測器、光度計、微量電子秤

四、實驗藥品：丙酮(90%藥品級)、石油醚(藥品級)

五、研究器材設備照片












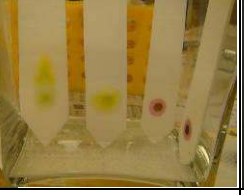









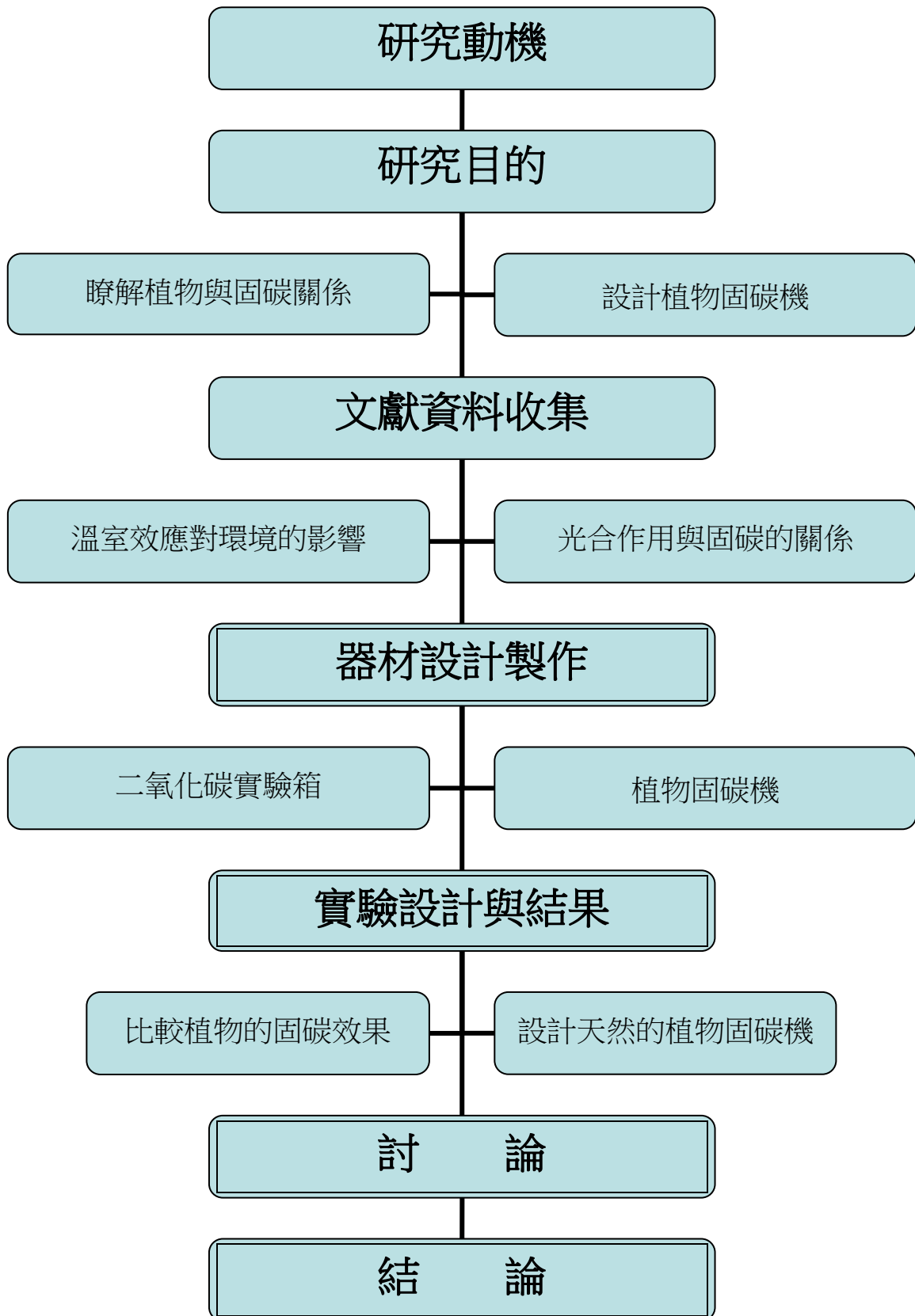
				
大紅草	珍珠草	水蘊草	絲狀藻	紙箱
				
CO ₂ 瓶	CO ₂ 偵測器	氣體流量計	植物生長燈	研鉢
				
丙酮	濾紙	離心機	層析展延箱	試管
				
離心管 50mL	微量離心管	微量定量吸管	三通水管	壓克力板
				
打水幫浦	打氣幫浦	PVC 管	緊迫環	水族箱
				
光譜分析儀				石英管

圖 1 實驗器材&設備

肆、研究過程與方法

一、研究流程圖



二、植物固碳實驗

(一)比較各種植物的固碳效果

說明：植物行光合作用時，會吸收二氧化碳而放出氧氣。到底哪一類型的植物，固碳效果最好？為方便觀察，及控制二氧化碳的量，於是找了大紅草、珍珠草、水蘊草及絲狀藻，四種水生植物。希望看出**植物外觀**的特徵與**固碳效果**的關係



圖 2 水族箱

- 1.設計壓克力箱長 30cm x寬 30cm x高 45cm，可密閉的上方蓋子 29cmx29cm
- 2.每一次實驗各放入水蘊草(40g),珍珠草(40g),大紅草(40g),絲狀藻(5g)於水箱
- 3.放入 CO₂ 濃度測定器
- 4.打入 CO₂ 後，將反應箱密閉，打開植物生長燈讓植物開始進行光合作用
- 5.紀錄 CO₂ 濃度及溫度



圖 3 討厭的絲狀藻

(二)測定各種植物葉綠素成分與固碳的關係

說明：在比較出各種植物的外觀與固碳效果後，我們也很想知道這些植物所含的葉綠素成分到底如何。希望能看出**葉綠體**的成分與**固碳效果**的關係



圖 4 水草萃取液

濾紙色層層析方法：

- 1.將水草葉瀝乾，置入研鉢中以 5ml 的丙酮加以研磨，再加入 5ml 沖洗研鉢壁上殘留的水草葉，使全部水草葉都能研磨完全
- 2.研磨後的樣品以兩層紗布過濾，取汁液樣品即可
- 3.9ml 石油醚與 1ml 90% 丙酮混合
- 4.濾紙一端 1.5cm 處剪成尖形尖頭，吸取水草萃取液，點在離尖端三公分處，風乾後重複點 8-10 滴
- 5.點好水草萃取液的濾紙置於層析展延箱中展延

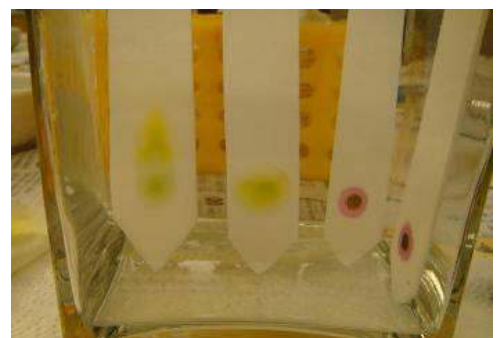


圖 4 .葉綠素濾紙薄層層析

光合色素萃取及分析方法：

- 1.將水草葉瀝乾，在 80 °C 烤箱中烘乾後秤重，放到研鉢中再以研鉢棒搗碎葉片



- 2.研磨後的樣品，加入 6 毫公升的丙酮，並以震盪器混合，使丙酮



能將植物內之光合色素萃取完全。

圖 5 搗碎及萃取

接著放入離心機，使萃取液與植物殘渣分開。

- 3.將萃取液取出放入微量離心管中，進行光合色素光譜分析

- a. 先將丙酮放入石英管中，裝有丙酮之石英管放入光譜分析儀器中進行波長 700 nm 到 340 nm 進行連續掃描，測量其光譜吸收情況
- b. 接著將各種水草萃取液放入石英管中，進行波長 700 nm 到 340 nm 進行連續掃描，測量其光譜吸收情況。



圖 6 光合色素光譜分析

三、研究器材設計與製作

(一)二氧化碳實驗箱：為實驗植物吸收二氧化碳並降低溫室效應的影響，於是訂製一個密閉的透明壓克力箱，灌入二氧化碳後，既方便觀察又不會漏氣。製作步驟如下

- 1.找一個 13cm*40cm*27cm 的報廢紙箱，在紙箱內部貼上塑膠貼皮，外面的蓋子使用膠帶密封。內置透明水箱(15cm*13cm*20cm)，在水箱上夾一植物燈(50cm)，以代替太陽光提供照明。將打氣幫浦的打氣管放入水箱中，以維持水中空氣流動，同時在前方下端有開有 20cmx20cm 可密閉的透明蓋子，做為箱內檢視窗。
- 2.將二氧化碳灌入箱中，觀察測定儀的讀數
- 3.當讀數達到指定數值，抽掉塑膠管、貼上膠帶開始實驗
- 4.由二氧化碳濃度測定儀讀數，計算二氧化碳的消耗量



圖 7 二氧化碳實驗箱

(二)植物固碳管路箱：

- 1.選擇固碳植物：利用實驗發現，針對：植物外型、最大光照面積、快速溶解二氧化碳等設計組合，試驗並比較最有效率的植物固碳機
- 2.改良具有環保設計的植物固碳機：將最有效率的植物固碳機，改以天然、乾淨的能源來運轉，以達到真正環保的植物固碳機



圖 8 植物固碳機雛型

伍、研究結果

實驗一：比較各種植物的固碳效果

結果：大紅草、絲狀藻、珍珠草與水蘊草固碳效果比較表

表 1：四種水生植物二氧化碳濃度變化表

大紅草(重量40g)10/25				珍珠草(重量40g)10/29			
時間	CO ₂ 濃度 (PPM)	溫度 (°C)	CO ₂ 減少濃度	時間	CO ₂ 濃度 (PPM)	溫度 (°C)	CO ₂ 減少濃度
14:15	5300	26.6	0	07:00	5650	26.7	0
15:15	5189	27.6	111	08:00	5593	27.9	57
16:15	4867	28.8	433	09:00	5262	28.3	388
17:15	4532	28.5	768	10:00	4790	28.6	860
18:15	4254	28.7	1046	11:00	4390	28.7	1260
19:15	4003	28.8	1297	12:00	3980	28.8	1670
20:15	3764	28.9	1536	13:00	3625	28.9	2025
21:15	3468	28.9	1832				
22:15	3253	29	2047				
二氧化碳降低量約 6.40公克/小時				二氧化碳降低量約 9.64公克/小時			
水蘊草(重量40g)11/03				絲狀藻(重量5g)11/15			
時間	CO ₂ 濃度 (PPM)	溫度 (°C)	CO ₂ 減少濃度	時間	CO ₂ 濃度 (PPM)	溫度 (°C)	CO ₂ 減少濃度
11:40	5454	26.6	0	10:45	5594	26.7	0
12:40	5288	27.6	166	11:45	5330	27.9	264
13:40	5035	28.8	419	12:45	4957	28.3	637
14:40	4509	28.5	945	13:45	4527	28.6	1067
15:40	4469	28.7	985	14:45	4335	28.7	1259
16:40	4213	28.8	1241	15:45	4000	28.8	1594
17:40	4126	28.9	1328	16:45	3676	28.9	1918
18:40	3823	28.9	1631	17:45	3448	29	2146
19:40	3450	29	2004	18:45	3204	29.1	2390
二氧化碳降低量約 6.26公克/小時				二氧化碳降低量約 59.75公克/小時			

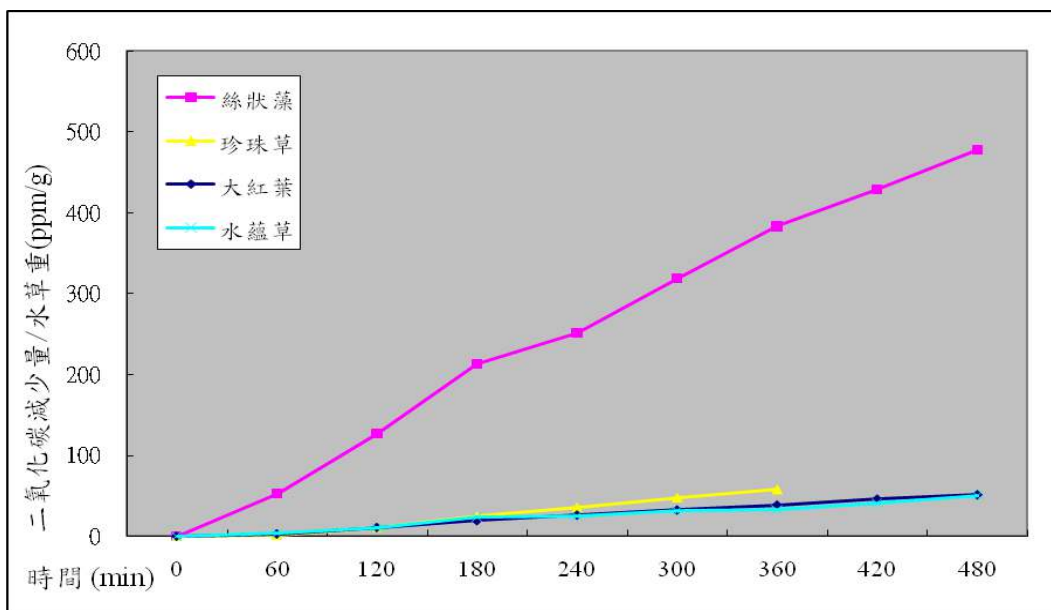


圖 9 大紅草、絲狀藻、珍珠草與水蘊草二氧化碳的消耗量趨勢圖

發現：

- 1.四種植物的實驗時間，都在不同天但有陽光的日子，但以溫度推估日照
- 2.將二氧化碳的消耗量除以其重量後，發現一個有趣的現象，植物間對二氧化碳利用率，以絲狀藻最好(59.75g/hr)，珍珠草次之(9.64g/hr)，大紅草(6.40g/hr)與水蘊草(6.26g/hr)更次
- 3.比較四種植物固碳趨勢圖，絲狀藻的確明顯高於其他植物
- 4.由實驗一結果來看，5g 絲狀藻的效率，已數倍於其他的植物(40g)，所以就進一步探討絲狀藻的固碳效果

驗證：

為進一步瞭解絲狀藻的固碳效果，於是再拿絲狀藻在反應箱中，連續兩天，持續記錄二氧化碳濃度的變化。同時也拿一個沒有植物的空箱，當對照組。兩組都利用鋼瓶，並持續灌入二氧化碳(21 drops/min)



圖 10 測試絲狀藻的固碳

表 2 絲狀藻與對照組二氧化碳濃度變化表

Day1				Day2							
時	時	CO2濃度	增減	CO2濃度	光照情形	時	時	CO2濃度	增減	CO2濃度	光照情形
10:30	0	550	0	449	輸入CO2	06:20	19.5	3812	101		天黑了
11:30	1	534	-16	2380	21drops/min 太陽光	07:20	20.5	3829	17		太陽光
00:30	2	627	93	4490	停止CO2輸入	08:20	21.5	3710	-119		太陽光
13:00	2.5	816	189	6805	太陽光	09:20	22.5	3600	-110		太陽光
13:30	3	969	153	8554	太陽光	10:20	23.5	3238	-362		太陽光
14:00	3.5	1027	58	9360	太陽光	11:20	24.5	2813	-425		太陽光
14:30	4	1017	-10	9966	太陽光	00:20	25.5	2311	-502		太陽光
15:00	4.5	1006	-11	10300	太陽光	13:20	26.5	1793	-518		太陽光
15:40	5.16	1006	0	11100	對植物控	14:20	27.5	1380	-413		太陽光
16:20	5.83	1027	21	11300	對植物控	15:20	28.5	1110	-270		太陽光
18:00	7.5	1300	273	11500	對植物控	16:20	29.5	799	-311		太陽光
19:00	8.5	1515	215	11200	黑暗	17:20	30.5	810	11		太陽光
20:00	9.5	1769	254	11000	黑暗						
21:00	10.5	2101	332	10900	黑暗						
22:20	11.5	2498	397	10800	對植物控						
23:20	12.5	2788	290		對植物控						
24:10:00	13.33	3001	213		對植物控						
04:20	17.5	3711	710		對植物控						

驗證發現：12月20日10:30至12月21日17:20

- 1.在輸入 CO₂ 後，無藻類的對照組二氧化碳濃度明顯升高，而絲狀藻組雖有上升，但幅度卻小很多
- 2.停止輸入 CO₂，兩者的二氧化碳濃度依舊持續上升，在有太陽光的情況下，絲狀藻組的

濃度增加兩倍(550→1006ppm)，而對照組則到 21 倍(440→10300ppm)

- 3.改照**植物燈**後，對照組二氧化碳濃度些微增加(10300→11500ppm)，但絲狀藻組二氧化碳濃度有明顯增加(1006→1300ppm)，可看出**太陽光對植物行光合作用效果比植物燈好**
- 4.一旦關掉植物燈後，絲狀藻組二氧化碳濃度增加幅度就更明顯(1515~2101ppm)，對照組則沒有太大變化，可見**植物燈對行光合作用有幫助**
- 5.由於對照組濃度一直沒有變化，到 22:20 時便停止記錄
- 6.重新打開植物燈絲狀藻組的**濃度依舊上升**，好像沒有太大作用。到天亮後，整天的光照，使濃度穩定的下降到 810ppm
- 7.我們發現**植物固碳有一個最佳的時間區段**(12/20/10:30~16:20 與 12/21/6:20~17:20)，且都是在**白天**，而晚上就算有照植物燈，CO₂ 濃度依舊上升，從這裡好像可以看出，植物行**光合作用的時段是固定的**。時間未到，就算開燈效果也不明顯；時間一到，不管是**太陽燈或植物燈**，效果都不錯

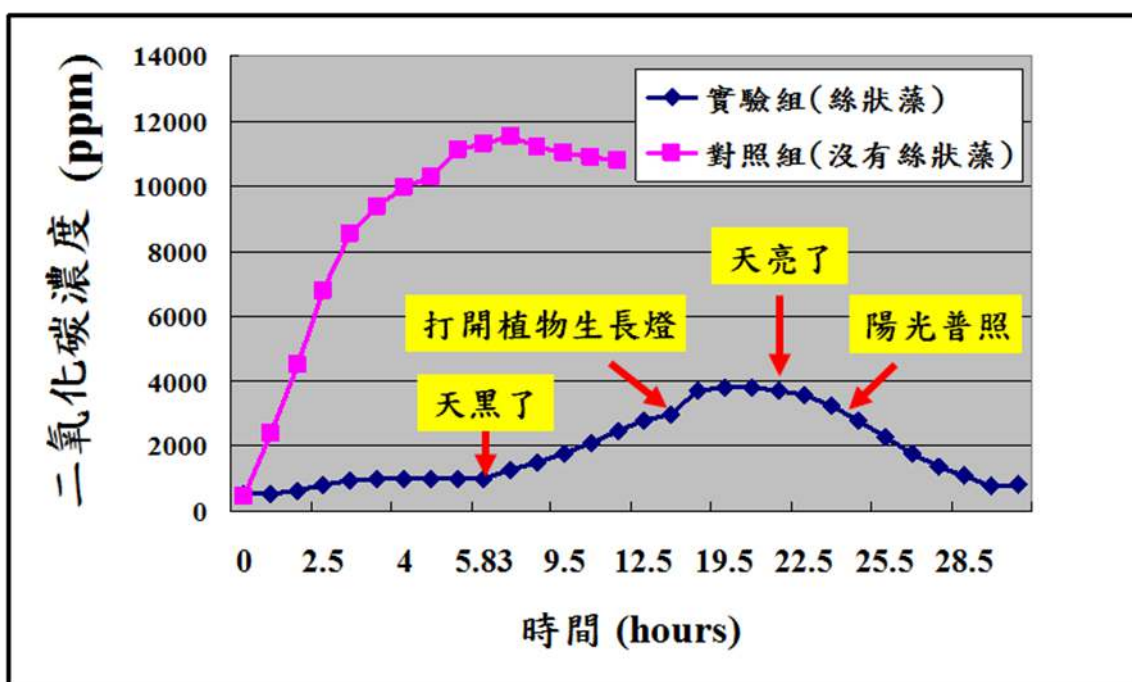


圖 11 不同時段二氧化碳濃度變化

實驗二：測定各種植物葉綠素成分與固碳的關係

結果：濾紙色層層析結果

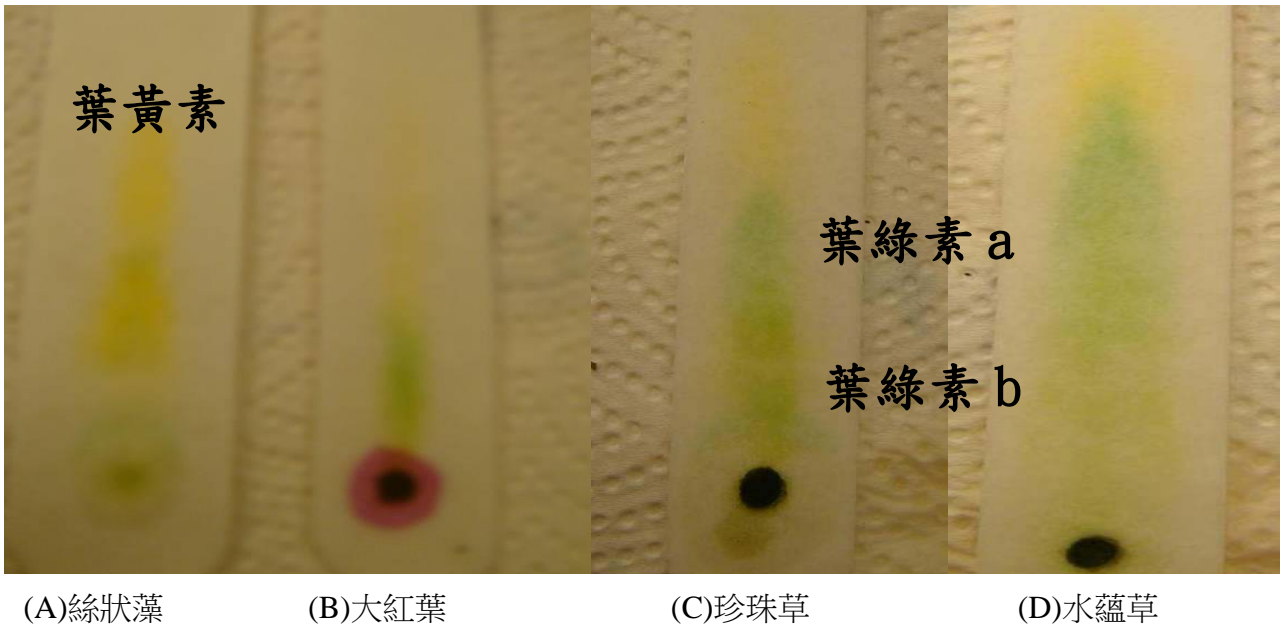



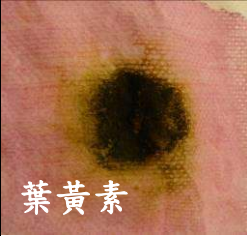

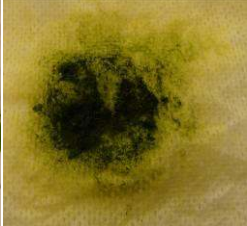
圖 12 濾紙色層層析


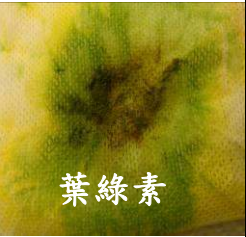

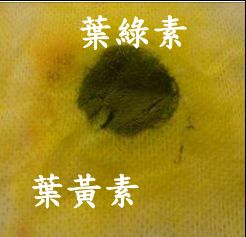
發現：

1. 由濾紙薄層層析後的顏色，可看出各種植物葉綠體的不同成分與比例
2. 珍珠草和水蘊草顏色的比例最接近，絲狀藻的葉黃素及胡蘿蔔素比例最高，大紅葉的葉綠素與葉黃素比例最低

外觀比對：對於葉黃素比例高且固碳效果好的絲狀藻，於是我們再從外觀與生長環境的比對中，希望能找到線索

表 3 植物外觀與生長環境比較表

名稱/外觀	萃取物	外觀特徵與生長環境
	 <p>葉黃素</p>	葉片最大，葉片呈暗紅色 通常種植在水族箱底部 不需照太多光，生長較慢
		葉片較大、稍厚且呈扁圓形 常固定在池底

名稱/外觀	萃取物	外觀特徵與生長環境
水蘊草 	葉綠素 	葉片小，但均勻分散在周圍 可固定在池底或浮在水中 需常照光，否則葉片會變黃 葉片長且薄
絲狀藻 	葉綠素 葉黃素 	葉片呈細絲狀的淡綠色 葉片聚在一起，相當密集 生長在光照強的水面上 光照強、水溫高，長得較快

發現：

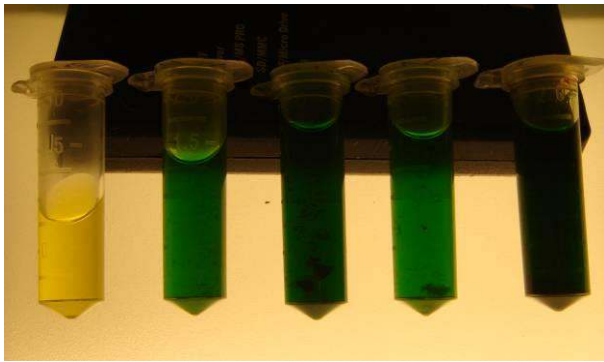
- 1.葉黃素也可以行光合作用
- 2.絲狀藻的葉片細小，與水的接觸面積最大，也最密集
- 3.葉片小的植物，它們對光合作用的效率似乎比較高：長在水的表層，葉片不用大，就足夠行光合作用；長在較深的位置，若有了效率高的葉綠體，也不怕光線弱
- 4.葉片大或不是綠色的植物，它們對光合作用的效率似乎較低：長在水的表層，對光合作用提升的效果有限；長在較深的位置，大面積的葉片，可彌補光線的不足
5. 綠藻是一種微生物，個體更小，相對接觸面積也大，後續實驗亦應將綠藻納入探討

驗證：

- 1.雖然有濾紙薄層層析及外觀比對，依舊無法證明絲狀藻的葉黃素光合作用效率，為何比葉綠素還高？於是決定以光合作用色素的光譜分析，來解決我們的疑惑
- 2.光合作用色素的光譜分析步驟
 - (1)將水草拔去莖、秤重後烘乾
 - (2) 冷卻後磨碎，秤脫水後的乾重
 - (3)加入 6ml 丙酮萃取，離心後取出上部清澈的液體
 - (4)取 50 ml 萃取液，加入 950ml 丙酮
 - (5)放入石英管，進行光譜分析

驗證發現：3月5日 17:20:18

- 1.植物經丙酮萃取，離心後取出上部清澈的液體，經光合色素的光譜分析發現



綠藻 絲狀藻 珍珠草 水蘊草 大紅草

圖 13 植物萃取液

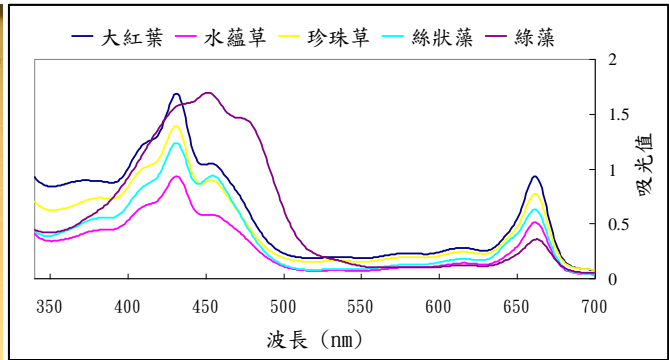


圖 14 光合色素的光譜分析

2.經計算後，算出各種植物的光合色素含量比

表 4 各種植物光合色素含量比

光合色素	波長	大紅葉	水蘊草	珍珠草	絲狀藻	綠藻
葉綠素 a	664 nm	0.8972	0.4926	0.7422	0.6031	0.3527
葉綠素 b	646 nm	0.4458	0.2365	0.3955	0.3561	0.1856
胡蘿蔔素	497 nm	0.2522	0.1255	0.2034	0.1422	0.7557
葉綠素 a:葉綠素 b:胡蘿蔔素		4:2:1	4:2:1	4:2:1	4:3:1	4:2:8

(1)葉綠素 a、葉綠素 b 與胡蘿蔔素的比，大紅葉、水蘊草與珍珠草，都是 4:2:1

(2)絲狀藻的光合色素比為 4:3:1，可看出葉綠素 b 較多(多 50%)，造成固碳效果最好

(3)綠藻的光合色素比為 4:2:8，可看出葉綠素 a、b 和大紅葉等比較，算是正常，但胡蘿蔔素(葉黃素)超多(8 倍)，使固碳效果增加，雖比絲狀藻低，以上結果可確定

光合作用主要是靠葉綠素 a 與 b 的作用

胡蘿蔔素可以行光合作用

3.再從光合色素的含量比較後，更有重要的發現

表 5 各種植物單位體積光合色素含量

光合色素含量 mg/ml/dry weight	大紅葉	水蘊草	珍珠草	絲狀藻	綠藻
葉綠素 a	8.83	5.43	6.07	75.65	14.2
葉綠素 b	6.51	3.78	5.05	75.85	11.0

(1)光合色素的含量絲狀藻最高，綠藻次之

(2)和我們前面所推論外觀特徵與生長環境的結果是一致

(3)光合色素含量會影響光合作用及固碳效果

探索一：利用實驗的發現，設計天然的植物固碳機

(一)歸納：由實驗的結果我們發現，**影響植物固碳的因素**

- 1.空氣中的二氧化碳無法及時**溶解到水中**，讓植物行光合作用
- 2.植物行光合作用的光合色素(葉綠素)**濃度偏低**
- 3.**光線無法均勻**的照到水中各部位，降低光合作用效果
- 4.植物本身光合作用**效果**就比較差

(二)列出**固碳機設計需求**

- 1.能快速的將空氣中的二氧化碳溶解到水中
- 2.能使光線均勻的照到水中每角落
- 3.利用固碳效果較好的植物

(三)討論並畫**設計圖**

- 1.用幫浦將空氣打入水中，這樣溶到水中的空氣可能會不平均
- 2.要是把水族箱改成寬而扁形狀，雖然增加光照，但會佔空間

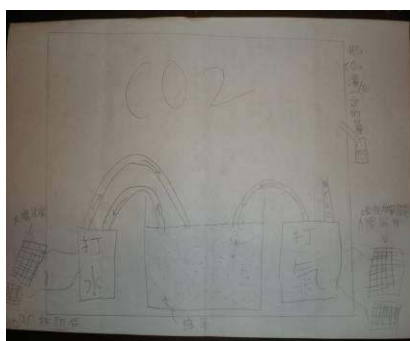
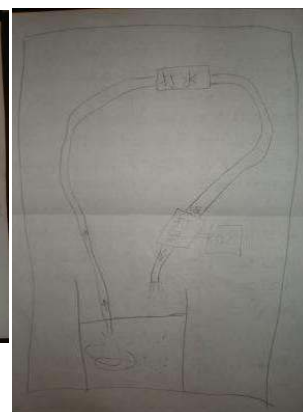


圖 15 減碳機設計草圖



- 3.不如用**透明水管**來代替**水族箱**，這樣就可以**增加光照面**
- 4.這樣一來，透明管就**不能只打空氣**不然水生植物會**乾死**
- 5.要是只打水，而水中沒有足夠的二氧化碳，那麼也無法固碳
- 6.那麼在將水族箱的水，打入透明管，在經過管中植物出來時，在出水口設計一個有落差的瀑布，而**瀑布所形成的水花**，便能將**空氣溶到水中**
- 7.透明管中的植物，以絲狀藻為原則，但**絲狀藻無法塞入透明管**，所以改由**綠藻**代替

(四)固碳機組裝：由於發現植物的數量一多、密度過高，

會使光線不易照到底部的植物，反而降低減碳效果

- 1.為提高效果，增加與光接觸的面積，於是特別設計能讓植物透過細的管路，以增加光照面積，所以就將透明 PVC 管環狀纏繞成內徑 30cm 的生物反應器

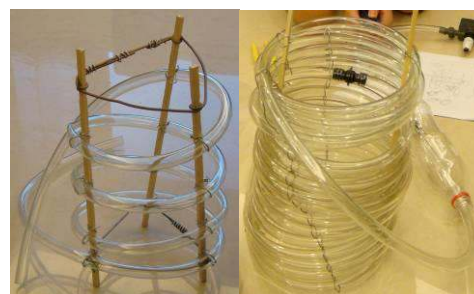


圖 16 圈繞透明水管

2.但要讓植物進入管路，又不能用切的，於是能以能進入管路的綠藻代替絲狀藻



3.後來測試時發現，綠藻要是一直停留在水箱中，就無法讓全部綠藻都照到光，所以就把沉水馬達濾網拿掉，讓綠藻透過馬達，直接進入



管路中，又為了不讓二氧化碳跑掉，所以又在裝有馬達的水族箱上加蓋子



如何使二氧化碳溶到水中讓綠藻吸收呢？

方式一：讓水族箱中的二氧化碳自然溶到水中

→但不確定多久才會溶到水中→再試試別的方式

方式二：直接把二氧化碳加進管路中

→只要不漏水，綠藻又可以直接吸收→應該做得到

於是在反應器前端距管口 40cm 處，垂直植入一條

內徑 0.4cm 的透明 PVC 管長 1.5m 作為二氧化碳注入口

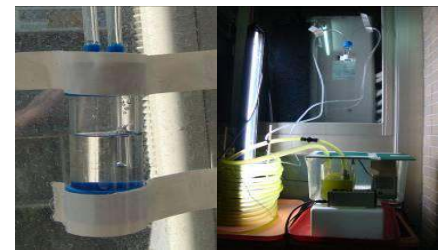


圖 17 固碳機組裝

5.可是鋼瓶直接打入管路中，無法看出二氧化碳的量到底有多少，於是在鋼瓶與管路中，加裝一個流量控制器，從氣泡的數量就可以知道二氧化碳的流量

(五)固碳機測試

測試一：固碳速率趨勢：短時間看綠藻降低二氧化碳濃度的速度

測試二：實際固碳效果：長時間看綠藻降低二氧化碳濃度的效果

結果：1.二氧化碳濃度降低速率趨勢

表 6 二氧化碳濃度降低趨勢(短時間)

綠藻(重量20g)			
時間	CO ₂ 濃度 (PPM)	溫度 (°C)	CO ₂ 減少濃度(PPM)
11:00	6073	26.6	0
11:30	5700	27.6	373
12:00	5306	28.8	767
14:40	4373	28.5	1700
16:00	4014	28.7	2059
二氧化碳降低量約20.59公克/小時			

2.實際二氧化碳濃度降低效果

表 7 二氧化碳濃度降低效果(長時間)

2/1~2/2		綠藻(重量 20 g)			2月28日		綠藻(重量 95 g)			
時間	時	CO ₂ 濃度	增減	光照情形	時間	時	CO ₂ 濃度	增減	光照情形	
21:40	0	278	0	輸入CO ₂	08:30	0	438	0	輸入CO ₂ 20 drops/min	太陽光
22:40	1	450	172	2 drops/min	09:30	1	660	222	停止CO ₂ 輸入	
12:00	2.33	900	450	停止CO ₂ 輸入	10:30	2	821	161		
01:00	3.33	1400	500	黑暗中	11:30	3	463	-358	太陽光	
06:15	8.58	3008	1608	太陽光	12:30	4	95	-368	太陽光	
08:45	10.83	3188	180	太陽光	13:30	5	0	-95	太陽光	
12:00	14	2904	-284	太陽光	14:30	6	0	0		
14:00	16	2331	-573	太陽光	15:30	7	0	0		
15:00	17	1887	-444	太陽光	16:30	8	0	0		
16:00	18	1462	-425	太陽光	17:30	9	252	252		
17:00	19	1136	-326	太陽光	18:00	9.5	866	614	停止CO ₂ 輸入	
18:00	20	898	-238	黑暗中	19:15	10.75	2466	1600	黑暗中	
19:25	21.5	399	-499	黑暗中	20:15	11.75	3153	687	黑暗中	
20:45	23.5	388	-11	黑暗中	23:00	14.75	4416	1263	黑暗中	
					00:00	15.75	5200	784	黑暗中	

發現：

- 1.以綠藻的重量換算二氧化碳濃度降低速率趨勢後，和其他植物的比較後發現，綠藻的固碳效果，次於絲狀藻但又比其他水草好
- 2.現在確定，固碳機所採用的植物，以綠藻和絲狀藻為主
- 3.於是在管路中加裝保特瓶，就能放絲狀藻，增加實用性



圖 18 管路測試

4.在 2/1~2/2 中所做的綠藻**實際降低二氧化碳濃度效果**中發現，在打入 CO₂時濃度緩慢上升，直到隔天太陽升起時最高，當太陽出現後，濃度有明顯降低，雖然太陽落下後，濃度也有些微下降，但固碳的主要時段，還是在**有陽光的時候**

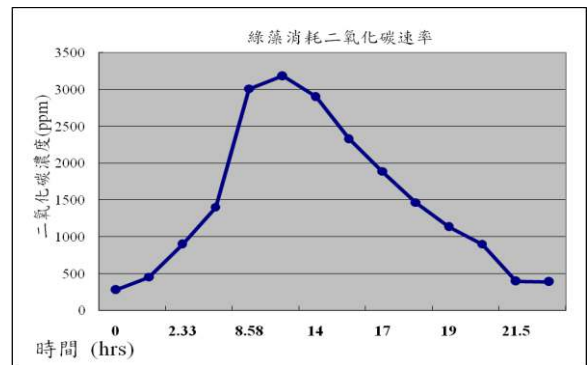


圖 19 長時間二氧化碳濃度降低效果曲線圖

5.但最讓我們興奮的是，在 2/28 所做的綠藻(95g)的實驗中。當太陽升起時開始灌入 CO₂，也看到**濃度上升後明顯下降**，有趣的是在重新灌入 CO₂後，**濃度值便一直持續維持 0ppm**，一直到太陽下山，停止灌入 CO₂，濃度才上升

6.這個結果可除了看到綠藻降低二氧化碳濃度幾乎達到 **0ppm** 外，還可以把這裝置應用在日常生活中，讓我覺得非常有成就感

7.在檢查管子後，意外發現，在 2/1~2/2 做完實驗後，留在**管中的綠藻**，竟然附著在管的內壁上，原本覺得**討厭難以清除的綠藻**，現在卻幫了**固碳的大忙**。這和絲狀藻一樣，換個角度來看，不起眼的小東西，說不定能發現奇妙的大道理

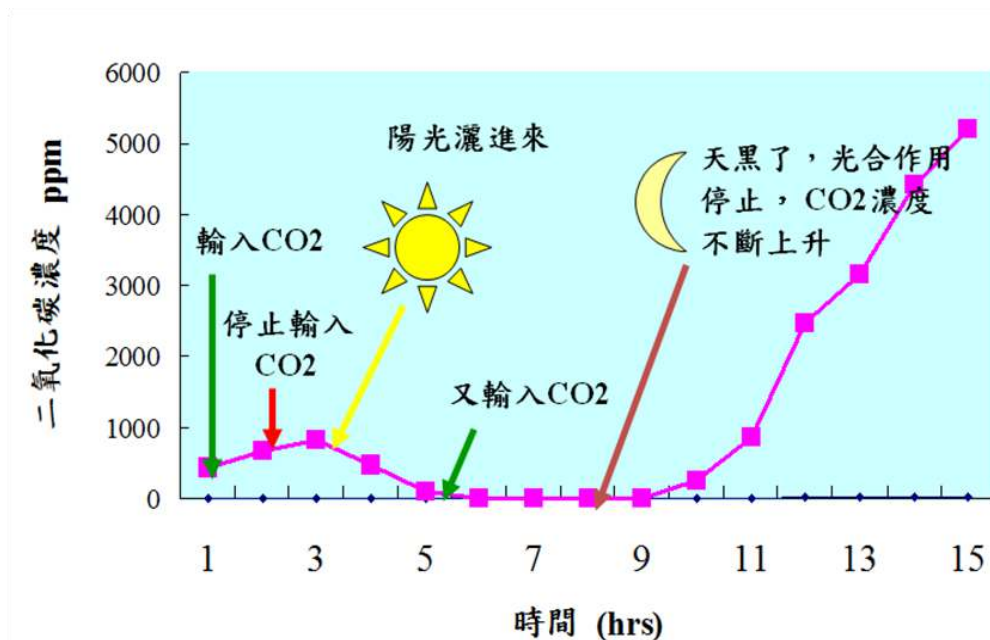


圖 20 綠藻二氧化碳清除機的實際減碳效果

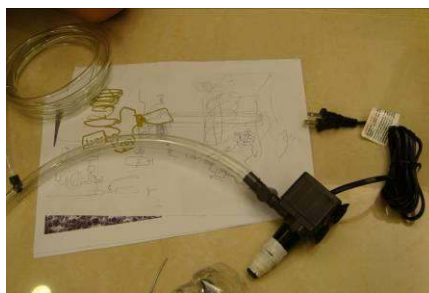
陸、討 論

探索二：改良具有環保設計的植物固碳機

(一)檢視植物固碳機問題

1.水循環所用的沉水馬達需用電，不環保，可能為了增加減碳效果，反而用掉更多電
同時又產生不少的二氧化碳

2.綠藻流經管子速度較快，使得
光合作用的時間不夠，不易提
高固碳效果



3.沉水馬達抽水，攪動扇葉時，圖 21 啟動沉水馬達需消耗電能 圖 22 扇葉會攪碎植物
綠藻常被打碎而破壞

(二)尋求解決方法

1.電源改以太陽能板代替，水循環馬達改
以模型用的小型水幫浦代替



圖 23 太陽能板



圖 24 小型水幫浦

(1) 太陽能板電力測試：a.利用光度計測量戶外的光度

表 7 戶外光度

12月14日	陽光下	陰影處
早上八點	56400 lux	4600 lux
中午十二點	112300 lux	5600 lux
下午四點	58900 lux	4400 lux
平均	75866 lux	4867 lux



圖 25 測量戶外光度



圖 26 調整太陽燈高度

表 8 高日照與低日照距離

b.以太陽燈調整出高日照(76000lux)與低日照(5000lux)的距離

距離(cm)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
太陽燈光度	1080	1351	1648	2180	3000	3740	5590	9210	15160	38400
日照基準							5000			76000

單位：Lux

c.比較太陽能電池的發電效率：比較單位面積發電量

表 9 太陽能電池發電效能



圖 27 測量太陽能電池發電

尺寸	17.5*12(cm)		
電能	7.5V/200mA		
效能	V	mA	W
效能	V	mA	W
100cm	13.76	259	3562.55
90cm	13.97	318.5	4447.85
80cm	14.21	371	5271.9
70cm	14.49	437.5	6339.38
60cm	14.7	619.5	9106.65
50cm	14.95	833	12449.2
40cm	15.3	1165.5	17826.3
30cm	15.54	1816.5	28228.4
20cm	15.86	3111.5	49332.8

(a)電流與電壓會隨亮度而增加，當電壓到達設計值則增加有限，反而在電流方面有大幅增加，從公式：

$$\text{電功率} = \text{電壓} * \text{電流} (P = V * A) \text{可解釋此一現象}$$

(b)從效能距離可看出，**50cm** 幾乎都可達到發電的最高效能，可做為高光照距離：

而 **1.5m** 則可做為低光照距離

(2)太陽能水循環裝置

a.以太陽能電池的發電量，連接小型水幫浦馬達.再把水循環馬達連接在太陽能板上

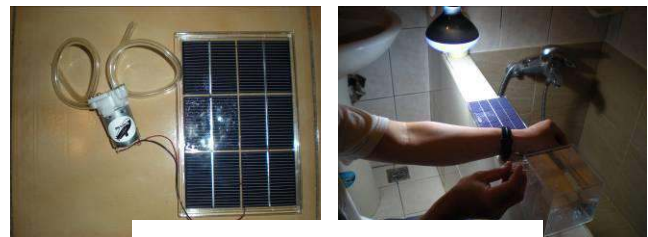


圖 28 組裝太陽能水循環裝置

b.測試抽完 1 公升的水所需的時間

(3)水循環進氣設計

a.提高出水口與水面落差，產生水花溶解二氧化碳，不如直接打空氣理想，可是綠藻在管中循環，就不能用空氣幫浦

b.思考一種水循環馬達，除了抽水，還能自動把空氣吸入管中這樣一來**抽水**、**打氣**二合一的馬達才能省電 c.查資料得知**文氏管**可讓**氣體直接流進水管中**，以達到自然直接加氣，還可讓**抽水幫浦具有空氣幫浦的雙重功效**

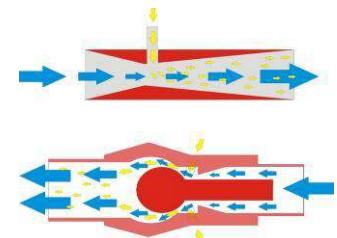


圖 29 文氏管原理

e.在計算抽水馬達的效能(1L/138sec)後，製作出文氏管的尺寸

(4)增加植物停留管中時間：由探索一的過程中發現，讓裝有綠藻的管子擺放一段時間後，綠藻便會自然吸附在管子內壁對於固碳的效果非常好，這也成為綠藻固碳機的製作過程



圖 30 自行設計的文氏管

(三)植物固碳機對環保的功效：由實驗的過程中我們比較

a：家用電 + 一般沉水馬達

b：太陽能板 + 小型水幫浦 + 文氏管

c：只照太陽光

- 1.a 的固碳效果優於 c(實驗一)，而 b 則受限於陽光強度，效果比 a 要差，但以耗電量來看，b 由電量所轉換的固碳效果，就比 a 要好很多，因為增加的固碳效果，加上用電量算進去，等於是增加的固碳量，又會因為發電廠提供的電，又增加了許多二氧化碳
- 2.未來可考慮在太陽能板上加裝充電電池，這樣一來，就不會受限於陽光強度，而影響水循環與打氣的功能

(四)找尋適合做為固碳機的植物：由實驗中發現可以做為固碳機的植物必須是

1.光合色素濃度高，而且葉綠素 a、b 的比例也要高(實驗二)

2.要是沒有適當的設備，也可從植物的外觀、生長環境找尋初步的線索(實驗二)

柒、結 論

一、研究結果摘要

(一)植物的固碳效果

- 1.對二氧化碳利用率，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
- 2.**太陽光**對植物行光合作用效果比植物燈好
- 3.植物固碳有一個**最佳的時間區段**，時間未到，就算開燈效果也不明顯；時間一到，不管是太陽燈或植物燈，效果都不錯

(二)植物葉綠素成分與固碳的關係

- 1.由濾紙薄層層析後的顏色，可看出各種植物葉綠體的**成分與比例**
- 2.珍珠草和水蘊草顏色的比例最接近，絲狀藻的葉黃素及胡蘿蔔素比例**最高**，大紅草的葉綠素與葉黃素比例**最低**
- 3.葉片**小**的植物，它們對**光合作用**的效率似乎很**高**：長在水的表層，葉片不用大，就足夠行光合作用；長在較深的位置，有了效率高的葉綠體，也不怕光線弱
- 4.葉片**大**或**不是綠色**的植物，它們對光合作用的效率似乎較**低**：長在水的表層，對光合作用提升的效果有限；長在較深的位置，大面積的葉片，可彌補光線的不足
- 5.葉綠素 a、葉綠素 b 與胡蘿蔔素的**比例**，**大紅葉、水蘊草與珍珠草**，都是 **4:2:1**
- 6.**絲狀藻**的光合色素比為 **4:3:1**，可看出**葉綠素 b 較多(高出 50%)**，使得固碳效果最好
- 7.**綠藻**的光合色素比為 **4:2:8**，可看出葉綠素 a、b 正常，但**胡蘿蔔素超多(高出 8 倍)**，使固碳效果增加，可是還是比絲狀藻低，以上結果可確定

胡蘿蔔素可以行光合作用

光合作用主要是靠葉綠素 a 與 b 的作用

- 8.從**光合色素的含量**發現：光合色素的含量**絲狀藻最高**，**綠藻次之**

(三)植物固碳機設計

- 1.以**綠藻**的重量換算固碳速率趨勢後發現，固碳效果次於絲狀藻但又比其他水藻好

2.利用**綠藻**的固碳機，固碳率幾可達到**100%**，極有應用價值

(四)改良具有環保設計的植物固碳機

1.**電源**改以**太陽能板**代替，**水循環**馬達改以模型用的**小型水幫浦**代替

2.利用**文氏管**做為**水循環進氣**設計，除了抽水，還能自動把空氣吸入管中，以達到**抽水、打氣**二合一的功用

3.讓裝有綠藻的管子擺放一段時間，綠藻會吸附在管子內壁，便能使植物停留管中，增加固碳效果

4.改良後的植物固碳機，在電能使用與固碳效果來看，的確具有環保的功效

5.做為固碳機的植物，**光合色素濃度高**，而且**葉綠素 a、b 的比例**也要高

二、研究的重要性

(一)發現光合作用中，植物固碳與光線變化關係

(二)分析光合作用色素成分，與植物固碳的關係

(三)廢物利用，發展出天然環保的植物固碳機

三、未來展望

(一)找尋固碳效果更好、更多樣的植物，可用在不同功能的固碳機上

(二)利用調整光照週期，改變植物的概日韻律，發展出全天候的植物減碳機

三、心得感想

我們實驗發現魚缸中令人討厭的絲狀藻及綠藻小兵立大功，把 CO_2 完全清除了。絲狀藻含大量的光合色素，可以吸收大量太陽輻射能，以進行光合作用，幫助清除大量的 CO_2 ，雖然目前只是小規模實驗，將來若放大其規模，一定可以幫工廠解決大量排放二氧化碳的問題。也為綠色工業帶來一個可以思考的方向。

參考資料

何謂‘溫室效應’ http://www.hko.gov.hk/wxinfo/climat/greenhs/c_grnhse.htm

溫室效應：造成全球暖化衝擊生態環境 <http://e-info.org.tw/column/eccpda/2004/ec04052501.htm>

淺探溫室效應的影響與因應對策，王心妤,石雅婷,陳欽姿，2007。

光合色素的色層分析 <http://www.shs.edu.tw/works/essay/2006/09/2006091614150710.pdf>

減碳抗暖化你也可以做的 12 件事。吳韻儀在 2007 年 4 月。天下雜誌 369 期 p130-135。

以台灣分離微藻行二氧化碳生物固定之一些特性，張義宏、楊盛行。Bot. Bull. Acad. Sin. (2003)
44: 43-52。

附件一：光譜分析儀

Report Date:	18:55:25, 03/25/2009		
Run Date:	18:54:03, 03/25/2009		
Instrument			
Model:	U-3310 Spectrophotometer		
Serial Number:			
ROM Version:	2520 10		
Instrument Parameters			
Measurement Type:	Wavelength Scan		
Data Mode:	Abs		
Starting Wavelength:	700.00 nm		
Ending Wavelength:	200.00 nm		
Scan Speed:	600 nm/min		
Sampling Interval:	1.00 nm		
Slit Width:	2 nm		
PMT Voltage:	Auto		
Lamp Change:	340.00 nm		
Baseline Correction:	System		
High Resolution:	Off		
Path Length:	10.0 mm		
Peak Integration			
Method:	Rectangular		
Sensitivity:	1		
Threshold:	0.01		

附件二：光譜分析儀數值

樣品	丙酮	大紅葉	水蘊草	珍珠草	絲狀藻	綠藻	樣品	丙酮	大紅葉	水蘊草	珍珠草	絲狀藻	綠藻
濕重(g)		1.61	3.48	2.65	0.22	0.59	濕重(g)		1.61	3.48	2.65	0.22	0.59
乾重(g)		1.21	1.09	1.43	0.09	0.3	乾重(g)		1.21	1.09	1.43	0.09	0.3
稀釋	1X	20X	20X	20X	20X	1X	稀釋	1X	20X	20X	20X	20X	1X
nm	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	nm	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
700	0.0318	0.0778	0.0372	0.0786	0.0394	0.0463	663	0.0324	0.9194	0.5043	0.7608	0.6199	0.3561
699	0.0317	0.078	0.0372	0.0788	0.0398	0.0465	662	0.0324	0.9289	0.5091	0.7693	0.6285	0.3555
698	0.0317	0.0786	0.0374	0.0792	0.0403	0.0471	661	0.0323	0.9257	0.507	0.7676	0.6287	0.3513
697	0.0318	0.0793	0.0377	0.0798	0.0409	0.0478	660	0.0323	0.9102	0.4983	0.7561	0.6208	0.3437
696	0.0318	0.0801	0.0381	0.0805	0.0416	0.0487	659	0.0323	0.8849	0.4842	0.7367	0.6062	0.3336
695	0.0319	0.0812	0.0387	0.0814	0.0424	0.0497	658	0.0322	0.8515	0.4656	0.7106	0.5864	0.3215
694	0.032	0.0823	0.0394	0.0824	0.0432	0.0507	657	0.0322	0.8121	0.4436	0.6797	0.563	0.308
693	0.0321	0.0837	0.0402	0.0835	0.0441	0.0518	656	0.0322	0.7689	0.4196	0.6458	0.5373	0.2938
692	0.0323	0.0853	0.0412	0.0848	0.0452	0.0529	655	0.0323	0.7242	0.3946	0.6106	0.5109	0.2794
691	0.0322	0.0872	0.0423	0.0863	0.0464	0.0542	654	0.0323	0.6803	0.37	0.5761	0.4852	0.2654
690	0.0321	0.0893	0.0435	0.088	0.0479	0.0556	653	0.0323	0.6385	0.3464	0.5435	0.4611	0.2521
689	0.032	0.0919	0.045	0.09	0.0495	0.0572	652	0.0322	0.5999	0.3247	0.5136	0.4395	0.2397
688	0.032	0.095	0.0468	0.0924	0.0516	0.0592	651	0.0322	0.5653	0.3051	0.487	0.4208	0.2285
687	0.0319	0.0988	0.0489	0.0955	0.0541	0.0615	650	0.0321	0.535	0.2879	0.4638	0.4047	0.2184
686	0.0319	0.1035	0.0517	0.0993	0.0572	0.0642	649	0.0319	0.5087	0.2728	0.4438	0.3909	0.2092
685	0.0318	0.1093	0.055	0.104	0.061	0.0675	648	0.0318	0.4857	0.2596	0.4263	0.3788	0.2009
684	0.0318	0.1166	0.0592	0.1099	0.0658	0.0715	647	0.0318	0.465	0.2476	0.4104	0.3674	0.1931
683	0.0318	0.1258	0.0644	0.1172	0.0717	0.0764	646	0.0319	0.4458	0.2365	0.3955	0.3561	0.1856
682	0.0319	0.1372	0.0709	0.1263	0.0793	0.0824	645	0.032	0.4276	0.226	0.3811	0.3444	0.1784
681	0.032	0.1512	0.0788	0.1375	0.0885	0.0895	644	0.0321	0.41	0.2158	0.3669	0.332	0.1714
680	0.032	0.1681	0.0884	0.151	0.0998	0.0979	643	0.0322	0.3925	0.2058	0.3525	0.3185	0.1644
679	0.032	0.1882	0.0997	0.1671	0.1133	0.1076	642	0.0323	0.3751	0.196	0.3379	0.3041	0.1577
678	0.0321	0.2124	0.1134	0.1864	0.1295	0.1189	641	0.0324	0.358	0.1864	0.3231	0.2889	0.1512
677	0.0322	0.2413	0.1297	0.2095	0.149	0.132	640	0.0324	0.3416	0.1772	0.3088	0.2734	0.145
676	0.0322	0.2754	0.1489	0.2368	0.1721	0.1468	639	0.0324	0.3261	0.1685	0.2949	0.2581	0.1392
675	0.0322	0.3151	0.1713	0.2687	0.1992	0.1634	638	0.0324	0.3116	0.1604	0.2818	0.2431	0.1338
674	0.0321	0.3605	0.1967	0.3051	0.2301	0.1816	637	0.0324	0.2983	0.1531	0.2697	0.229	0.129
673	0.0321	0.4114	0.2251	0.3462	0.2649	0.2014	636	0.0325	0.2865	0.1466	0.2587	0.216	0.1248
672	0.0321	0.4674	0.2563	0.3914	0.3032	0.2222	635	0.0325	0.2762	0.1409	0.249	0.2043	0.1211
671	0.0322	0.5273	0.2896	0.4398	0.3442	0.2436	634	0.0326	0.2678	0.1363	0.2409	0.1941	0.1181
670	0.0322	0.5892	0.3238	0.4899	0.3867	0.2648	633	0.0326	0.261	0.1325	0.2342	0.1854	0.1156
669	0.0323	0.6511	0.358	0.5402	0.4293	0.285	632	0.0326	0.2559	0.1297	0.229	0.1783	0.1136
668	0.0324	0.7114	0.3914	0.5895	0.4712	0.3038	631	0.0327	0.2524	0.1278	0.2251	0.1727	0.1123
667	0.0325	0.7684	0.4228	0.6362	0.5111	0.3206	630	0.0326	0.2504	0.1267	0.2227	0.1686	0.1114
666	0.0326	0.8202	0.4511	0.6786	0.5475	0.3347	629	0.0326	0.2498	0.1263	0.2214	0.1658	0.111
665	0.0326	0.8637	0.4746	0.7144	0.5785	0.3456	628	0.0326	0.2503	0.1264	0.2213	0.1642	0.1109
664	0.0325	0.8972	0.4926	0.7422	0.6031	0.3527	627	0.0326	0.2517	0.1271	0.2218	0.1635	0.1112

626	0.0327	0.254	0.1281	0.2232	0.1637	0.1118	583	0.0328	0.2284	0.1013	0.1931	0.1289	0.0982
625	0.0327	0.2568	0.1294	0.2251	0.1645	0.1125	582	0.0328	0.2291	0.1015	0.1936	0.1288	0.0984
624	0.0328	0.2599	0.1309	0.2273	0.1658	0.1132	581	0.0329	0.2294	0.1014	0.1937	0.1286	0.0986
623	0.0328	0.2632	0.1324	0.2296	0.1674	0.114	580	0.033	0.2293	0.1012	0.1936	0.1281	0.0987
622	0.0328	0.2663	0.1339	0.2319	0.169	0.1148	579	0.0331	0.229	0.1008	0.1933	0.1275	0.0988
621	0.0328	0.2692	0.1352	0.2341	0.1706	0.1155	578	0.0331	0.2284	0.1002	0.1927	0.1266	0.0988
620	0.0328	0.2718	0.1363	0.236	0.1721	0.1161	577	0.0332	0.2274	0.0995	0.1919	0.1256	0.0988
619	0.0328	0.2739	0.1372	0.2375	0.1733	0.1166	576	0.0332	0.2262	0.0986	0.1909	0.1245	0.0987
618	0.0328	0.2756	0.1378	0.2388	0.1742	0.117	575	0.0332	0.2249	0.0977	0.1897	0.1232	0.0987
617	0.0328	0.2768	0.1382	0.2397	0.1749	0.1173	574	0.0332	0.2235	0.0966	0.1885	0.1219	0.0987
616	0.0328	0.2776	0.1382	0.2401	0.1753	0.1175	573	0.0331	0.2219	0.0954	0.1871	0.1205	0.0986
615	0.0328	0.2778	0.1381	0.2401	0.1753	0.1175	572	0.033	0.2202	0.0942	0.1856	0.119	0.0984
614	0.0328	0.2775	0.1376	0.2397	0.1749	0.1173	571	0.0331	0.2184	0.0929	0.184	0.1175	0.0982
613	0.0327	0.2768	0.1369	0.2388	0.1742	0.117	570	0.0332	0.2166	0.0917	0.1824	0.1159	0.0981
612	0.0326	0.2755	0.1359	0.2376	0.1731	0.1165	569	0.0332	0.2145	0.0903	0.1806	0.1141	0.098
611	0.0326	0.2739	0.1347	0.236	0.1717	0.1159	568	0.0333	0.2123	0.0888	0.1787	0.1123	0.0978
610	0.0326	0.2718	0.1332	0.234	0.17	0.1152	567	0.0333	0.2099	0.0873	0.1766	0.1102	0.0976
609	0.0325	0.2694	0.1314	0.2318	0.1681	0.1144	566	0.0333	0.2075	0.0857	0.1745	0.1081	0.0975
608	0.0325	0.2666	0.1295	0.2293	0.166	0.1134	565	0.0333	0.2051	0.0841	0.1723	0.1059	0.0973
607	0.0325	0.2637	0.1275	0.2267	0.1637	0.1123	564	0.0332	0.2026	0.0825	0.17	0.1037	0.0972
606	0.0326	0.2602	0.1252	0.2236	0.1613	0.1111	563	0.0331	0.2	0.0808	0.1676	0.1015	0.0971
605	0.0325	0.2566	0.123	0.2205	0.1589	0.1098	562	0.0331	0.1976	0.0792	0.1654	0.0993	0.0971
604	0.0325	0.2529	0.1207	0.2173	0.1563	0.1084	561	0.0331	0.1953	0.0777	0.1632	0.0973	0.0973
603	0.0325	0.2491	0.1183	0.2142	0.1535	0.107	560	0.0332	0.1931	0.0763	0.1613	0.0953	0.0976
602	0.0326	0.2455	0.1159	0.211	0.1506	0.1057	559	0.0333	0.1912	0.075	0.1595	0.0935	0.0981
601	0.0328	0.2419	0.1135	0.2079	0.1475	0.1045	558	0.0333	0.1896	0.0738	0.1579	0.0919	0.0986
600	0.033	0.2384	0.1112	0.2049	0.1443	0.1033	557	0.0334	0.1881	0.0728	0.1565	0.0904	0.0993
599	0.0331	0.235	0.109	0.202	0.1413	0.1021	556	0.0334	0.1869	0.0719	0.1553	0.0891	0.1003
598	0.0331	0.2317	0.1069	0.1992	0.1385	0.101	555	0.0334	0.186	0.0711	0.1542	0.0879	0.1014
597	0.0332	0.2286	0.1049	0.1965	0.1361	0.0998	554	0.0334	0.1853	0.0704	0.1534	0.087	0.1027
596	0.0331	0.2259	0.1031	0.1941	0.134	0.0988	553	0.0334	0.1849	0.0698	0.1528	0.0862	0.1043
595	0.0331	0.2236	0.1016	0.1919	0.1322	0.0979	552	0.0334	0.1847	0.0694	0.1524	0.0856	0.1061
594	0.0331	0.222	0.1003	0.1902	0.1307	0.0972	551	0.0334	0.1847	0.0692	0.1523	0.0853	0.1082
593	0.0331	0.2211	0.0995	0.1891	0.1295	0.0968	550	0.0335	0.185	0.069	0.1524	0.0851	0.1106
592	0.0332	0.2206	0.0989	0.1884	0.1285	0.0965	549	0.0335	0.1854	0.0689	0.1524	0.085	0.1131
591	0.0333	0.2206	0.0987	0.1882	0.128	0.0965	548	0.0335	0.1859	0.069	0.1527	0.085	0.1158
590	0.0333	0.2211	0.0987	0.1883	0.1277	0.0966	547	0.0335	0.1866	0.0692	0.153	0.0851	0.1188
589	0.0333	0.2219	0.0989	0.1888	0.1277	0.0967	546	0.0335	0.1872	0.0694	0.1535	0.0852	0.122
588	0.0332	0.2229	0.0992	0.1894	0.1279	0.0969	545	0.0336	0.1879	0.0696	0.154	0.0854	0.1254
587	0.0331	0.2241	0.0997	0.1901	0.1281	0.0971	544	0.0336	0.1887	0.0699	0.1545	0.0855	0.129
586	0.033	0.2253	0.1001	0.1909	0.1283	0.0973	543	0.0336	0.1894	0.0701	0.155	0.0856	0.1328
585	0.033	0.2266	0.1007	0.1918	0.1286	0.0976	542	0.0336	0.1901	0.0704	0.1555	0.0857	0.1367
584	0.0328	0.2276	0.1011	0.1925	0.1288	0.098	541	0.0336	0.1908	0.0707	0.1559	0.0858	0.1407

540	0.0336	0.1915	0.0709	0.1564	0.0859	0.1447	497	0.0349	0.2522	0.1255	0.2034	0.1422	0.7557
539	0.0336	0.1921	0.0712	0.1568	0.086	0.1488	496	0.035	0.2613	0.132	0.2106	0.1503	0.797
538	0.0337	0.1926	0.0714	0.1572	0.086	0.1528	495	0.035	0.2714	0.1391	0.2184	0.1591	0.8384
537	0.0338	0.1931	0.0717	0.1575	0.086	0.1568	494	0.035	0.2824	0.1467	0.2266	0.1686	0.8798
536	0.0339	0.1935	0.0719	0.1579	0.086	0.1606	493	0.0351	0.2944	0.1548	0.2354	0.1789	0.9215
535	0.0339	0.1936	0.072	0.158	0.0858	0.1643	492	0.0352	0.3076	0.1635	0.2447	0.1901	0.964
534	0.034	0.1935	0.072	0.158	0.0855	0.1677	491	0.0353	0.3218	0.1728	0.2547	0.2021	1.0071
533	0.034	0.1934	0.072	0.1579	0.0851	0.1709	490	0.0354	0.337	0.1824	0.2653	0.2148	1.0508
532	0.0339	0.193	0.0718	0.1577	0.0845	0.174	489	0.0354	0.3532	0.1926	0.2768	0.2283	1.095
531	0.0339	0.1924	0.0717	0.1575	0.0839	0.177	488	0.0355	0.3705	0.2031	0.2892	0.2425	1.1386
530	0.0339	0.1918	0.0714	0.1571	0.0832	0.1799	487	0.0356	0.3889	0.2142	0.3027	0.2577	1.1793
529	0.034	0.1911	0.0712	0.1567	0.0826	0.1828	486	0.0355	0.4084	0.2259	0.3175	0.2738	1.2174
528	0.034	0.1904	0.0709	0.1562	0.0818	0.1859	485	0.0356	0.4291	0.2382	0.3333	0.291	1.2539
527	0.0341	0.1897	0.0706	0.1557	0.0812	0.1891	484	0.0356	0.4509	0.2509	0.3497	0.3092	1.288
526	0.0341	0.1889	0.0703	0.1552	0.0805	0.1927	483	0.0356	0.4738	0.2642	0.3668	0.3284	1.3193
525	0.0341	0.1882	0.0701	0.1547	0.0799	0.1966	482	0.0356	0.4977	0.2779	0.3848	0.3487	1.3476
524	0.0341	0.1874	0.0699	0.1541	0.0792	0.201	481	0.0357	0.5224	0.2919	0.4037	0.3699	1.3728
523	0.0341	0.1865	0.0696	0.1536	0.0786	0.2058	480	0.0358	0.5476	0.3061	0.423	0.3918	1.3942
522	0.0341	0.1859	0.0694	0.1531	0.0781	0.2112	479	0.0359	0.5731	0.3203	0.4427	0.4144	1.4122
521	0.034	0.1852	0.0693	0.1526	0.0776	0.2172	478	0.0359	0.5989	0.3347	0.4627	0.4376	1.4269
520	0.0341	0.1846	0.0692	0.1522	0.0772	0.2239	477	0.036	0.6248	0.3491	0.4831	0.4614	1.4386
519	0.0342	0.1843	0.0693	0.1519	0.077	0.2314	476	0.036	0.6508	0.3635	0.5039	0.4859	1.4476
518	0.0342	0.1841	0.0695	0.1518	0.0769	0.2397	475	0.036	0.6765	0.3777	0.5249	0.5107	1.4539
517	0.0343	0.184	0.0698	0.1518	0.077	0.2491	474	0.036	0.7016	0.3915	0.5458	0.5355	1.458
516	0.0343	0.1841	0.0702	0.1519	0.0773	0.2597	473	0.036	0.7261	0.4049	0.5667	0.5605	1.4604
515	0.0344	0.1845	0.0708	0.1522	0.0778	0.2714	472	0.036	0.7498	0.4178	0.5874	0.5854	1.4619
514	0.0344	0.1851	0.0716	0.1526	0.0786	0.2843	471	0.0362	0.7725	0.4302	0.608	0.6101	1.4633
513	0.0344	0.186	0.0725	0.1532	0.0796	0.2987	470	0.0363	0.7941	0.442	0.6283	0.6344	1.4649
512	0.0343	0.1873	0.0737	0.1541	0.0809	0.3146	469	0.0364	0.8146	0.4532	0.648	0.6581	1.4673
511	0.0344	0.1889	0.0751	0.1553	0.0825	0.3319	468	0.0364	0.8341	0.464	0.6675	0.6817	1.4712
510	0.0344	0.1908	0.0768	0.1567	0.0843	0.3508	467	0.0364	0.8531	0.4746	0.6871	0.7053	1.4772
509	0.0344	0.1929	0.0787	0.1584	0.0865	0.371	466	0.0365	0.872	0.4852	0.7069	0.7292	1.4855
508	0.0345	0.1954	0.0809	0.1602	0.0889	0.393	465	0.0366	0.8907	0.4958	0.7271	0.7535	1.4964
507	0.0346	0.1982	0.0832	0.1623	0.0916	0.4167	464	0.0367	0.9095	0.5065	0.7475	0.7778	1.5099
506	0.0346	0.2014	0.0858	0.1647	0.0947	0.4423	463	0.0367	0.9285	0.5172	0.7682	0.8023	1.5259
505	0.0346	0.2049	0.0888	0.1673	0.0981	0.4697	462	0.0368	0.9475	0.528	0.7888	0.8267	1.5442
504	0.0346	0.2088	0.092	0.1702	0.1019	0.4991	461	0.037	0.9662	0.5385	0.8091	0.8503	1.5638
503	0.0346	0.2132	0.0956	0.1735	0.1062	0.5305	460	0.0371	0.9839	0.5483	0.8283	0.8723	1.5842
502	0.0346	0.218	0.0995	0.1773	0.1109	0.564	459	0.0372	1.0004	0.5573	0.8461	0.8922	1.6045
501	0.0347	0.2236	0.1039	0.1816	0.1161	0.599	458	0.0374	1.0149	0.5652	0.8617	0.9091	1.6241
500	0.0347	0.2297	0.1087	0.1862	0.1219	0.6359	457	0.0376	1.027	0.5716	0.8747	0.9224	1.6422
499	0.0348	0.2365	0.1139	0.1914	0.1281	0.6747	456	0.0377	1.0365	0.5764	0.8848	0.9321	1.6583
498	0.0348	0.2439	0.1195	0.1971	0.1348	0.7148	455	0.0378	1.0428	0.5795	0.891	0.9362	1.6716

454	0.0379	1.0459	0.5809	0.8937	0.9361	1.6821	411	0.0462	1.2306	0.6617	1.0097	0.8449	1.1624
453	0.0381	1.0463	0.5808	0.893	0.9318	1.6892	410	0.0463	1.2197	0.6548	1.0017	0.8352	1.1387
452	0.0382	1.0445	0.5797	0.8893	0.9238	1.6929	409	0.0463	1.2064	0.6466	0.9918	0.824	1.1152
451	0.0384	1.0412	0.5779	0.8836	0.9129	1.6926	408	0.0463	1.1902	0.6371	0.9799	0.8112	1.0915
450	0.0385	1.0375	0.5761	0.8767	0.9	1.6888	407	0.0463	1.1715	0.6262	0.9662	0.7968	1.0682
449	0.0387	1.0347	0.5747	0.8701	0.8867	1.6822	406	0.0462	1.1504	0.6139	0.9506	0.7808	1.0451
448	0.039	1.0345	0.5748	0.865	0.8746	1.6735	405	0.0461	1.1273	0.6003	0.9331	0.7633	1.0222
447	0.0392	1.0383	0.5772	0.8631	0.8648	1.663	404	0.0461	1.1025	0.5859	0.914	0.7445	0.9997
446	0.0394	1.0474	0.5825	0.8656	0.859	1.6516	403	0.0461	1.0764	0.5707	0.8938	0.7247	0.9776
445	0.0397	1.0635	0.5915	0.8739	0.8584	1.6398	402	0.046	1.0495	0.5549	0.8725	0.7042	0.9557
444	0.04	1.0872	0.6049	0.8888	0.8639	1.6288	401	0.046	1.0226	0.5393	0.851	0.6837	0.9344
443	0.0403	1.1195	0.623	0.9112	0.8764	1.6189	400	0.046	0.9966	0.5241	0.83	0.6634	0.9133
442	0.0405	1.1609	0.6461	0.9419	0.8968	1.6108	399	0.046	0.9722	0.5097	0.8099	0.6442	0.8928
441	0.0409	1.2108	0.6741	0.98	0.9236	1.6043	398	0.0459	0.9499	0.4963	0.7913	0.6263	0.8724
440	0.0412	1.2682	0.7061	1.0256	0.9573	1.5996	397	0.0458	0.9303	0.4843	0.7747	0.6102	0.8523
439	0.0414	1.3317	0.7412	1.0771	0.9963	1.5965	396	0.0456	0.9135	0.4738	0.7603	0.5961	0.833
438	0.0416	1.3989	0.7781	1.1326	1.0392	1.5948	395	0.0457	0.9003	0.4652	0.7489	0.5844	0.8132
437	0.0419	1.4665	0.8152	1.1896	1.0838	1.5934	394	0.0457	0.89	0.4584	0.7398	0.5747	0.7944
436	0.0421	1.5307	0.8504	1.2448	1.1269	1.5916	393	0.0453	0.8818	0.4524	0.7324	0.5665	0.7758
435	0.0423	1.5873	0.8811	1.2945	1.1657	1.589	392	0.0454	0.8766	0.4484	0.7278	0.5608	0.7586
434	0.0426	1.6328	0.9055	1.3356	1.1976	1.585	391	0.0452	0.8733	0.4451	0.7248	0.5564	0.7416
433	0.0428	1.6644	0.9225	1.366	1.2202	1.5792	390	0.0451	0.8718	0.4428	0.7231	0.5533	0.725
432	0.0431	1.6807	0.9311	1.3839	1.2323	1.5716	389	0.0453	0.8721	0.4417	0.7232	0.5518	0.7097
431	0.0435	1.6829	0.9316	1.3896	1.2343	1.562	388	0.0458	0.8736	0.4412	0.7243	0.5515	0.6953
430	0.0439	1.6711	0.9246	1.3834	1.2263	1.5504	387	0.0463	0.8758	0.4412	0.7261	0.5518	0.6818
429	0.044	1.6481	0.9113	1.3674	1.2099	1.5372	386	0.0468	0.8784	0.4415	0.7283	0.5525	0.6693
428	0.0442	1.6166	0.893	1.3436	1.1866	1.5224	385	0.0473	0.8809	0.4418	0.7304	0.553	0.6574
427	0.0443	1.5788	0.8713	1.3136	1.1581	1.5063	384	0.0475	0.8828	0.4416	0.7319	0.553	0.646
426	0.0445	1.5373	0.8472	1.2795	1.1262	1.4887	383	0.0473	0.8843	0.4408	0.7326	0.5523	0.6352
425	0.0447	1.4943	0.8221	1.2434	1.0922	1.4699	382	0.0468	0.885	0.4394	0.7324	0.5506	0.6252
424	0.0449	1.452	0.7973	1.2072	1.0579	1.4504	381	0.0467	0.886	0.4378	0.7321	0.5488	0.6152
423	0.0452	1.4119	0.7739	1.1723	1.0248	1.4305	380	0.0465	0.887	0.4363	0.7314	0.5465	0.606
422	0.0453	1.3752	0.7526	1.1401	0.9939	1.4098	379	0.0459	0.8876	0.4338	0.7296	0.5433	0.5966
421	0.0455	1.3436	0.7339	1.1119	0.9662	1.3886	378	0.0462	0.8888	0.4319	0.7282	0.5404	0.5883
420	0.0455	1.3174	0.7183	1.0882	0.9424	1.3673	377	0.0463	0.8899	0.4294	0.7261	0.5368	0.5797
419	0.0456	1.2968	0.7059	1.0691	0.9224	1.3457	376	0.0462	0.8909	0.4264	0.723	0.5323	0.5708
418	0.0458	1.2812	0.6965	1.0543	0.9063	1.3239	375	0.0464	0.8918	0.4229	0.7193	0.5273	0.5617
417	0.0458	1.2699	0.6892	1.0434	0.8934	1.3017	374	0.0465	0.8924	0.4189	0.7147	0.5216	0.5523
416	0.0458	1.2619	0.6837	1.0355	0.8831	1.2789	373	0.0467	0.8926	0.4144	0.7092	0.5152	0.5426
415	0.0459	1.2562	0.6796	1.0299	0.8749	1.2563	372	0.0468	0.8924	0.4095	0.7032	0.5082	0.5328
414	0.0461	1.2514	0.676	1.0255	0.8677	1.2332	371	0.0469	0.8919	0.4044	0.6969	0.5011	0.5231
413	0.0462	1.2461	0.6721	1.0211	0.8608	1.21	370	0.047	0.8907	0.3991	0.6904	0.4938	0.5135
412	0.0462	1.2393	0.6674	1.016	0.8533	1.1863	369	0.0471	0.8893	0.3939	0.6838	0.4865	0.5042

368	0.0471	0.8873	0.3888	0.6773	0.4793	0.4952	353	0.0517	0.8367	0.3404	0.6203	0.3957	0.4183
367	0.0472	0.885	0.3839	0.6712	0.4723	0.4867	352	0.0523	0.8357	0.3393	0.6195	0.392	0.4165
366	0.0473	0.8823	0.3793	0.6655	0.4656	0.4787	351	0.0529	0.8354	0.3389	0.6194	0.3889	0.4152
365	0.0475	0.8793	0.375	0.6601	0.4592	0.4712	350	0.0537	0.8364	0.3392	0.6203	0.3868	0.4145
364	0.0478	0.8759	0.3711	0.6552	0.4532	0.4643	349	0.0547	0.8384	0.3404	0.6224	0.3857	0.4145
363	0.0482	0.8723	0.3675	0.6507	0.4474	0.4581	348	0.0561	0.8418	0.3426	0.6257	0.3857	0.415
362	0.0485	0.8684	0.364	0.6466	0.4419	0.4523	347	0.0578	0.8465	0.3459	0.6305	0.3871	0.4163
361	0.0488	0.8643	0.3607	0.6428	0.4364	0.4471	346	0.0596	0.8516	0.3497	0.6357	0.389	0.4179
360	0.0491	0.8601	0.3576	0.6392	0.4311	0.4424	345	0.0633	0.8601	0.3564	0.6438	0.3937	0.421
359	0.0493	0.856	0.3545	0.6357	0.4257	0.4381	344	0.0672	0.8693	0.3636	0.6527	0.3992	0.4245
358	0.0495	0.8519	0.3516	0.6324	0.4202	0.4339	343	0.0719	0.8797	0.3717	0.6626	0.4056	0.4285
357	0.0498	0.848	0.3488	0.6293	0.4149	0.4301	342	0.0778	0.8921	0.3813	0.6743	0.4137	0.4332
356	0.0501	0.8444	0.3462	0.6265	0.4096	0.4265	341	0.0855	0.9069	0.3929	0.688	0.4239	0.4391
355	0.0506	0.8412	0.3439	0.624	0.4046	0.4233	340	0.0956	0.9252	0.4074	0.7045	0.4369	0.4465
354	0.0511	0.8386	0.3419	0.6219	0.3999	0.4206							

【評語】 030319

1. 能自製二氧化碳固定器，將研究結果應用於實際生活議題上，值得鼓勵。
2. 分析四種不同研究材料中色素的吸光度，且能比較各種色素的含量。
3. 所使用的研究材料中包含了原生生物和植物界，並非全為植物界生物；藻類所含有的色素與一般植物不同，藻類還另有其他色素，此點應納入分析之中。
4. 建議可再進行詳細的文獻探討分析，了解光合作用機制與葉綠素 a、葉綠素 b、紫黃素、類胡蘿蔔素在光合作用中的角色，會有更深層的理解。