

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

030304

利用光合作用原理打造世界第一台室內二氧化碳
碳清淨機

學校名稱：臺中市私立明道高級中學(附設國中)

作者： 國一 陳韋廷	指導老師： 賴姿秀 魏育琳
---------------	---------------------

關鍵詞：光合作用、二氧化碳、綠能

摘要

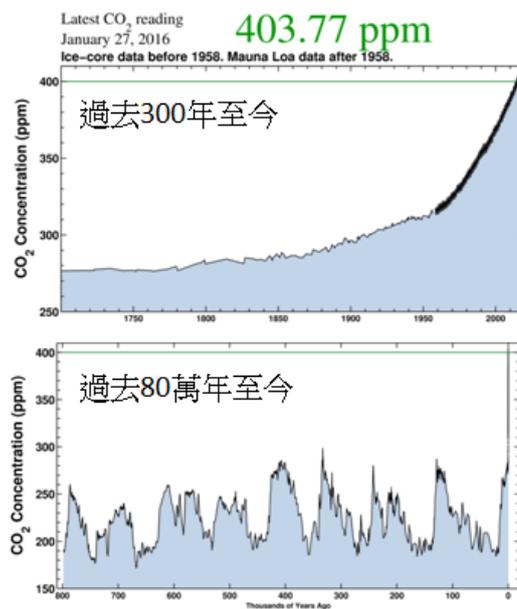
藻類，一群會行光合作用的生物，種類與數量龐雜而多元，與陸地上雨林一樣，堪稱為地球水域的肺。本研究的紀錄，藻類的複雜度及數量多寡，與人口密集呈正相關。光照時進行光合作用，的確會消耗二氧化碳；如同其他生物一樣會進行呼吸作用，所以於黑暗處理時，也證實排出二氧化碳。實驗中藻類對於藍光的喜好度優於紅光，但仍不能忽略紅光對藻類生長的必要。CP system 運作下，於第 6-10 天的消除二氧化碳速率達到最高，一直穩定到 19 天，並於第 20 天出現疲態。呼吸作用所產生的二氧化碳速率 20 天內的差異並不明顯。經動物實驗證實，系統確實擁有強大消除二氧化碳與減緩氧氣消耗的能力。實驗後的藻類也可製成對人類與環境有利的健康油品、生質柴油等。

壹、研究動機

幾次在家中看著患有心臟病的爸爸不順暢的呼吸著，短而急促。我總是會連忙打開窗戶讓空氣可以流通，讓爸爸呼出的二氧化碳能散開並能吸到足夠的氧氣，但是有時候外面環境的空氣品質 PM2.5(細懸浮微粒)濃度太高，真是很糟糕。我總是想盡辦法想要降低二氧化碳濃度及提高氧氣的含量。國小一直到國中所學的知識，讓我想到了可以利用光合作用(國中自然與生活科技第一冊第三章)的雙向效應：1.吸走二氧化碳、2.產生氧氣。但是種一棵樹就能解決這個問題嗎？多擺幾盆綠色植物在家中就能改善情況嗎？家中又沒有太陽照射，那光線能量夠嗎？我將我的疑問與想法告訴爸爸，他是一位生物化學研究學者，經過長時間的討論，選定了主角: (綠)藻，開始了我的科學創作之旅。

貳、研究目的

其實我的目的很簡單，就是要讓爸爸有新鮮的空氣可以呼吸。若要擴大解釋，那就是創造一套系統來解決二氧化碳濃度與日俱增的全球性問題。二次大戰之後的二氧化碳濃度僅有 310ppm，經過近 70 年，濃度不停竄升（資料來源：基林曲線，Charles David Keeling, 1958），如右圖，直到今天 2016.01.27 二氧化碳濃度已經來到 403.77ppm。這個濃度也是地球過去 80 萬年來的最高峰，依照基林曲線推估，如果再不想辦法減少二氧化碳的產生源，到了 2100 年濃度將到達 936ppm。人類大量的砍伐樹木與叢林已經嚴重破壞地球的肺，再加上石化工業污染，使得原來緩升的二氧化碳濃度瞬間驟升並達到地球自有生物以來的最高峰。二氧化碳濃度越大溫室效應就會越劇烈，隨之而來的問題就是大氣溫度上升、冰山溶解、海平面上升縮減人類生存空間、海水鹽度稀釋、生態嚴重改變、多數生物被迫遷移，並將帶來大量病原菌擴散效應，最終影響到人類的生存。



藻類雖然不屬於植物界，但是在我用顯微鏡觀察下卻發現，其細胞中存在著極為龐大的胞器~葉綠體。根據臺灣海洋大學陳衍昌教授表示，利用藻類光合作用所消滅的二氧化碳能力，會是植物造林效果的 60~6000 倍。臺灣的生物多樣性世界第一，當然藻類也不例外，臺灣島國四週又是溫暖海域，的確擁有大量的藻類資源。同時藻類不是只有消除二氧化碳的能力，自古以來藻類一直是人類的食物之一，食品中的添加更是屢見，根據相關的報導它還具有降低血液中膽固醇含量、預防癌症及減緩病情、營造腸胃中健康的乳酸桿菌群、減輕汞及藥物對於腎的毒性、刺激前列腺素作用、可提高免疫系統、抑制病毒、輻射的保護、提高鐵的吸收調理貧血症及減肥。

基於上述優點，我選擇藻類來當作消除二氧化碳的工具，即使藻類死亡或淘汰後還能直接運用在健康(食品)的產業之上；多數藻類更富含 $\omega 3$ 的亞麻油酸、DHA，更值得健康油品的開發。我期望這個研究的創作能達到下列幾項目的：1.有效降低二氧化碳濃度；2.相對產生新鮮氧氣；3.健康產品的製作；4.(綠)藻的後續能達到能源再生利用，如生質柴油。

參、研究設備及器材

【儀器/裝置】

光學顯微鏡	空氣幫浦	顯微攝影系統
二氧化碳濃度測量儀	空氣攪拌器	索氏脂肪萃取裝置
高速離心機	金鋼砂氣曝器	冷凍真空乾燥儀
超水製造機	縮時攝影機	控溫水浴鍋
CP system(Chloroplast Photosynthesis system,葉綠體/光合作用系統，自製)。專利編號 M503749 號	MR system(Meeting Room system,會議室系統，自製)	精密電子秤盤
LED 紅光藍光燈組	個人電腦	恆溫循環水槽
深水循環幫浦	血球計數盤	

【容器/塑膠、玻璃類】

採集瓶	錐形瓶	蓋玻片
96 孔盤	量筒	油鏡油
培養皿	漏斗	圓筒濾紙
微量離心管	安全吸球	分液漏斗
450mL 離心管	吸管	溫度計
燒杯	載玻片	

【藥品】

Agar(洋菜粉末)	Ethanol(乙醇)	NaOH(氫氧化鈉)
Hexane(己烷)	Methanol(甲醇)	
Walne 培養液配方 (Walne, 1974) 如下:		

Walne 培養液配方:

貯備液 I	NaNO ₃	100	g	貯備液 III	維生素 B12	10	mg
	NaH ₂ PO ₄ · 2H ₂ O	20	g		維生素 B1	200	mg
	Na ₂ EDTA	45	g		加蒸餾水到	100	mL
	H ₃ BO ₃	33.6	g				
	MnCl ₂ · 4H ₂ O	0.36	g				
	FeCl ₃ · 6H ₂ O	1.3	g				
	貯備液 II	1	mL				
	加蒸餾水到	1000	mL				
貯備液 II	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	4.4	g				
	CoCl ₂ · 6H ₂ O	2	g				
	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	0.9	g				
	CuSO ₄ · 5H ₂ O	2	g				
	加蒸餾水到	100	mL				

* 註:上側培養基使用時以水 1000 mL 之中混合貯備液 I 1 mL 以及貯備液 III 0.1 mL 的比例進行調配。

肆、研究過程或方法

一、藻類採集

攜帶採樣瓶，於有太陽的同一天(溫度、氣壓、風力均相同)，水深 30 公分洩氣採樣。

二、藻類的分離與單離

先計算藻類濃度，利用 Walne 液態培養液以 10^n 稀釋法在 96 孔盤中連續稀釋，計算稀釋倍率使最終每個孔洞僅存個位數(或僅有一個)藻類。28°C 下照光培養一周，吸取部分塗布在 Walne 平面培養基，照光培養兩周直到長出顆粒狀藻類，挖取一顆在 Walne 液態培養液中培養一周後，以顯微鏡觀察。重複步驟直到顯微鏡下確定為單一品種藻類。

三、CP system 槽體養殖

CP 槽體的養殖重點在於必須將 Walne 液態培養液灌滿整個槽體，使上下光源能充分將光線射入。沒有灌滿會造成氣泡產生使光線散射而浪費光能。養殖的起始濃度均為 1:10(一份綠水+九份 Walne 培養液)。

四、追蹤(綠)藻生長情況:血球計數盤的使用

在 10x 物鏡下觀察並合計左上、右上、中間、右下、左下五區的正方 16 小格，並依公式 $n = [(數到的藻總數)/(5 \times 16)] \times 4000$ ，即可得到每立方公釐的藻數(n)。

五、追蹤二氧化碳利用情況

利用二氧化碳濃度測量儀連續測量讀值。

六、(綠)藻的收集、濃縮與乾燥

利用離心法集藻，濃縮後的藻類再以冷凍真空乾燥儀進行乾燥。

七、藻油萃取

利用索氏脂肪萃取裝置，70°C 下進行藻油萃取與分離。

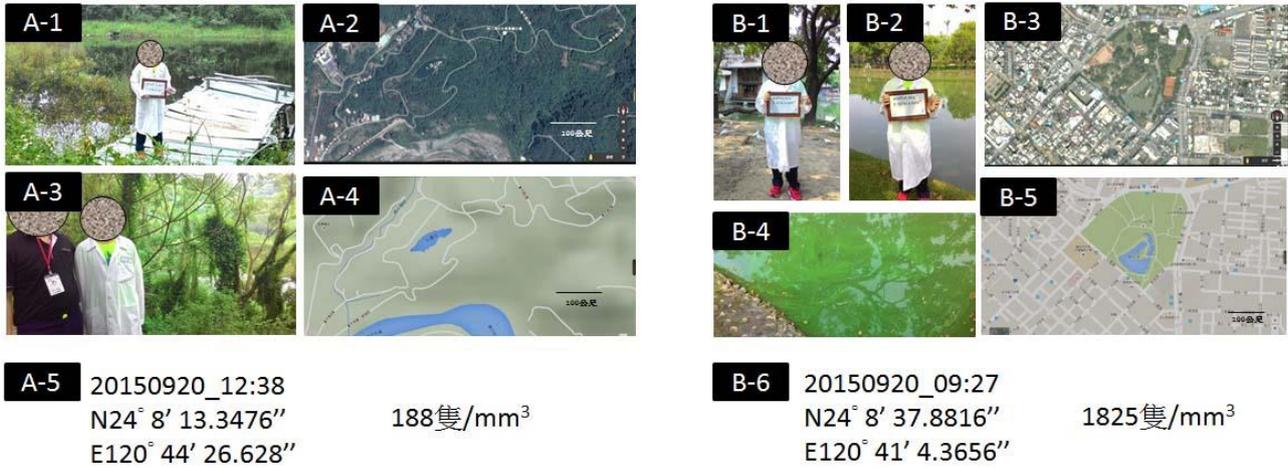
八、生質柴油製作

利用甲醇+氫氧化鈉(強鹼)，溶解後混入藻油，65°C 下攪拌混合一小時，之後倒入分液漏斗靜置二小時以上，等待分層後，先流出下層液(甘油)，再倒出上層即為生質柴油。

伍、研究結果

關鍵字:綠水(含有藻類的水)

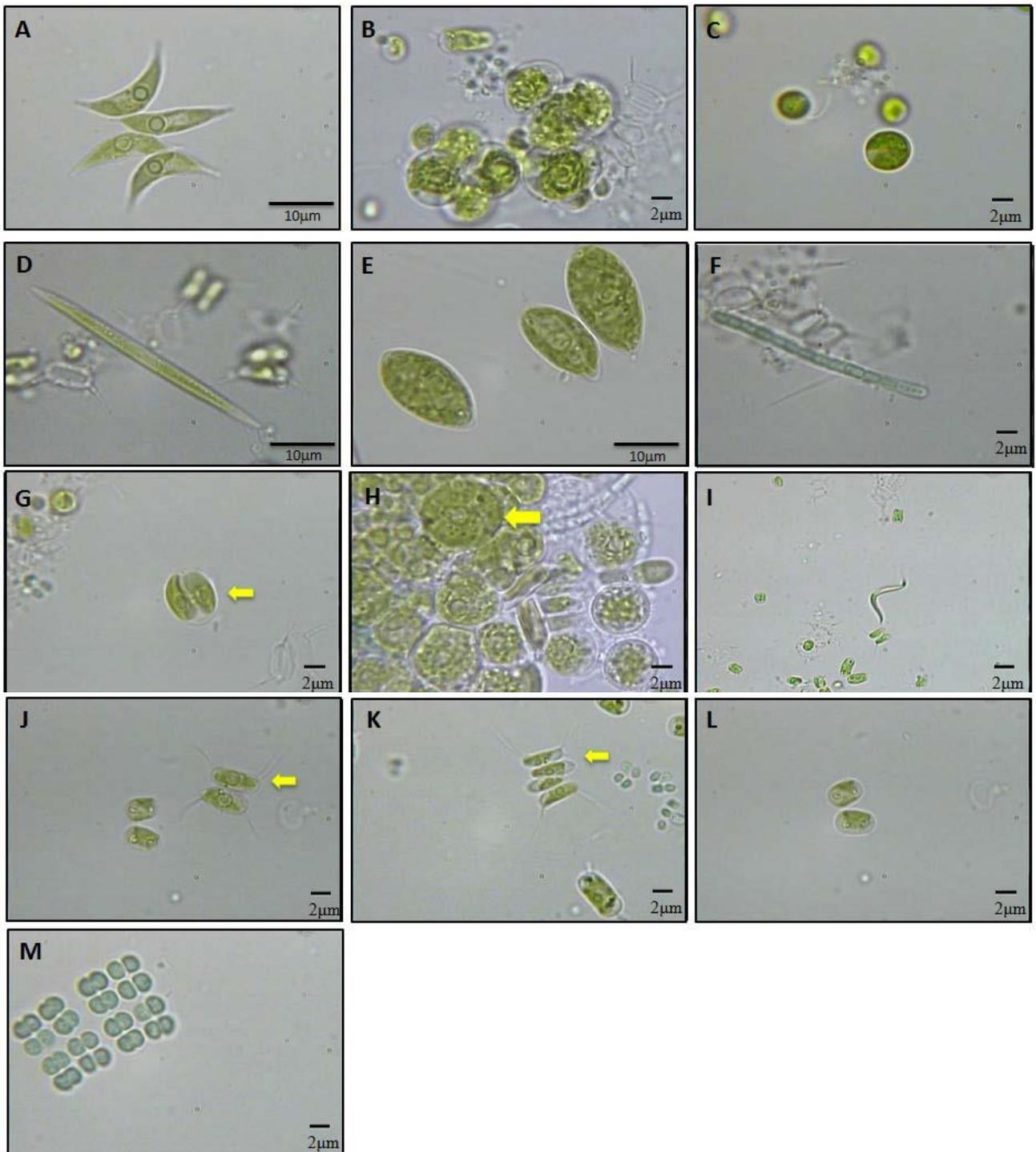
一、野外採樣的藻類歧異度



圖一、同一天內不同地點的藻類野外採集。(A.)採集座標如 A-5 所示，地處郊區人口密度低，經血球計數盤光學顯微鏡下計算，藻類密度為 188 隻/mm³。(B.) 採集座標如 B-6 所示，地處市區人口密度高，經血球計數盤光學顯微鏡下計算，藻類密度為 1825 隻/mm³。B-4 水塘出現藻華現象。

二、光學顯微照片顯示綠水樣品中藻類的多樣性

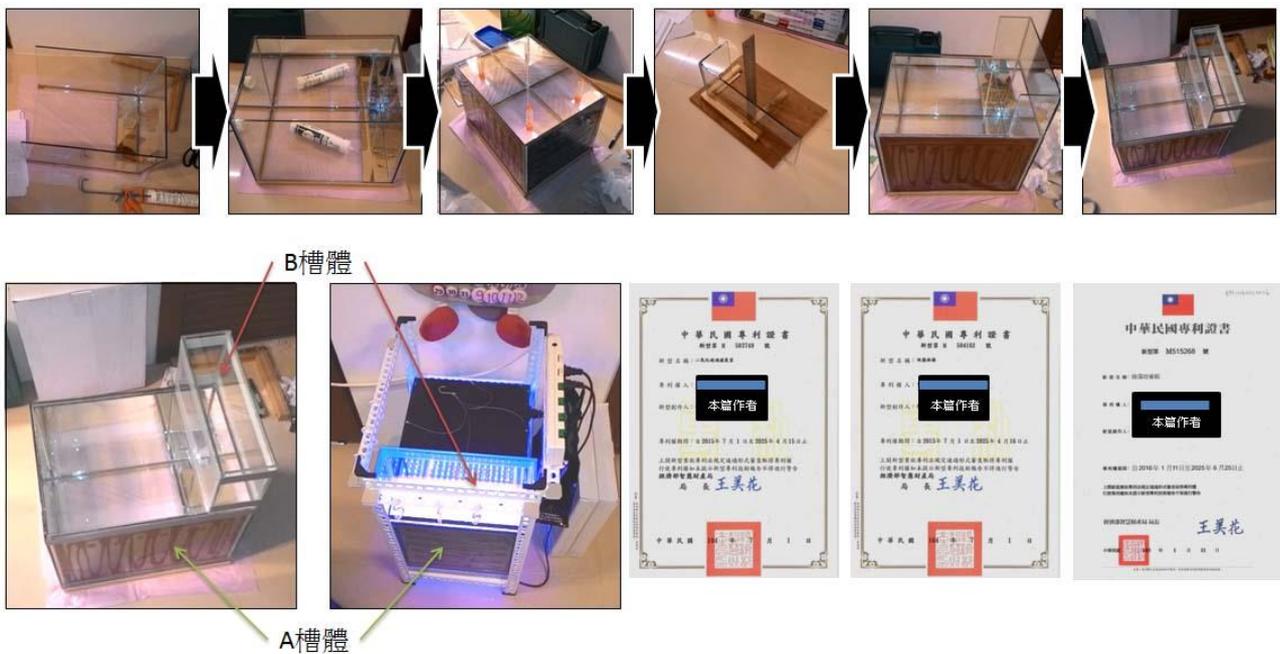
從採集回來的綠水中，經由離心集中吸走上清液等濃縮步驟後，取樣在顯微鏡下觀察。在以 100 倍油鏡的觀察下，記錄所有觀察到的藻類，如下圖(圖二)所示，比對圖鑑結果共找出 11 種綠藻門 (Chlorophyta)，以及 2 種藍綠藻門 (Cyanobacteria)。同時在接目鏡測微尺的觀察協助下(目鏡 100 倍時物鏡測微尺一小格等於 1 μm)，計算所有各式藻類的大小。最長的藻類為長度 50 μm 以上的 *Monoraphidium* sp. 單針藻、*Uronema elongatum* 長尾絲藻；最寬的藻類為長度 15 μm 以上的 *Eremosphaera viridis* 綠色獨球藻、*Oocystis parva* W. et. G. S. West 卵囊藻；而最小的藻類則為長度 2 μm 的 *Chlorococcum infusionum* 土生綠球藻、*Chroococcus minutus* Kutz. 色球藻。



圖二、光學顯微鏡下的藻類。A. *Scenedesmus acuminatus* (Lagerh.) Chod. 柵藻；B. *Oocystis solitaria* 單生卵囊藻；C. *Chlorococcum infusionum* 土生綠球藻；D. *Monoraphidium* sp. 單針藻；E. *Oocystis parva* W. et. G. S. West 卵囊藻；F. *Uronema elongatum* 長尾絲藻；G. *Oocystis marssonii* Lemm. 卵囊藻；H. *Eremosphaera viridis* 綠色獨球藻；I. *Ankistrodesmus angustus* 蛇型箭藻；J. *Scenedesmus armatus* 被甲柵藻；K. *Scenedesmus quadricauda* 四尾柵藻；L. *Chroococcus minutus* Kutz. 色球藻；M. *Merismopedia* sp. 平裂藻；A~K 為綠藻門 (Chlorophyta)，L, M 為藍綠藻門 (Cyanophyta)。

三、CP system 槽體的內部裝置與綠水的接種

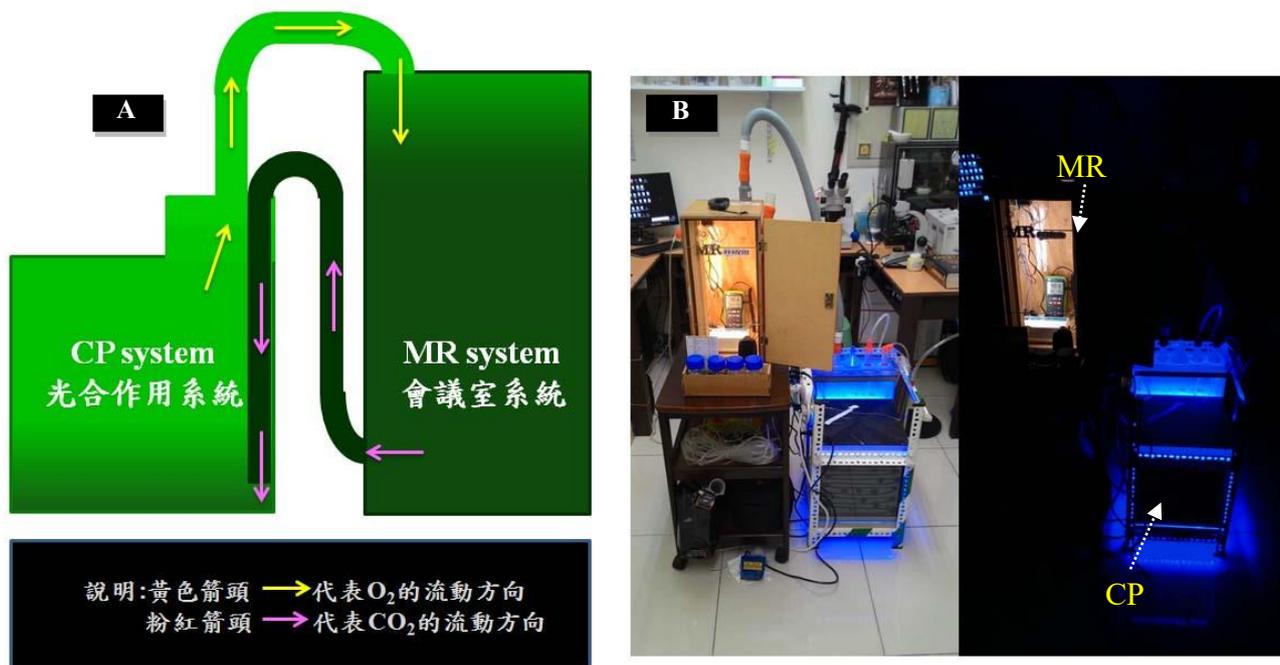
CP system 槽體是我和爸爸兩個人在家中的工作室中胼手胝足一片一片玻璃慢慢拼湊出來的，CP system 指的就是 ”Chloroplast Photosynthesis system 葉綠體光合作用系統”，我們將構想書以及成品照片撰寫申請書來申請中華民國專利，並正式獲得三項專利(中華民國專利證書新型第 M503749 號、新型第 504162 號、新型第 515268 號)，前一項專利是主槽體「二氧化碳過濾裝置」，第二項專利是槽體上的插孔「吸盤結構」，第三項專利是「綠藻培養箱」。槽體內部上下透明，外面的光源可以照入；槽體內部四周貼上平面鏡，可充分將進入槽體的光線進行反射以達到光能充分利用；在一大氣壓下每一公升水約有 1.42 克的二氧化碳溶解其中，所以槽體內部空間分別置入深水循環幫浦、空氣攪拌器、金鋼砂氣曝器來達到水流效果與氣體分散，讓水與氣體的接觸面積增大，加快二氧化碳溶解的速率。



圖三、CP system 專利槽體的製作過程。上排圖形為製作流程；下排左 1、2 圖為槽體完成圖與加置燈源的效果，使用時 A 槽體灌滿液體，並使液體滿到 B 槽體 1/3 處。下排右三張圖片，自左至右分別是專利證書新型第 M503749 號、新型第 504162 號，及新型第 515268 號(依規定遮蔽人名，僅標記”本篇作者”)。

綠水的來源分為兩種，A:單一種綠藻(卵囊藻 *Oocystis parva*)，B:多種混生綠藻，A 與 B 的起始濃度均為 1:10(一份綠水+九份 Walne 培養液)。

四、CP + MR system 的內外部裝置與二氧化碳的追蹤紀錄



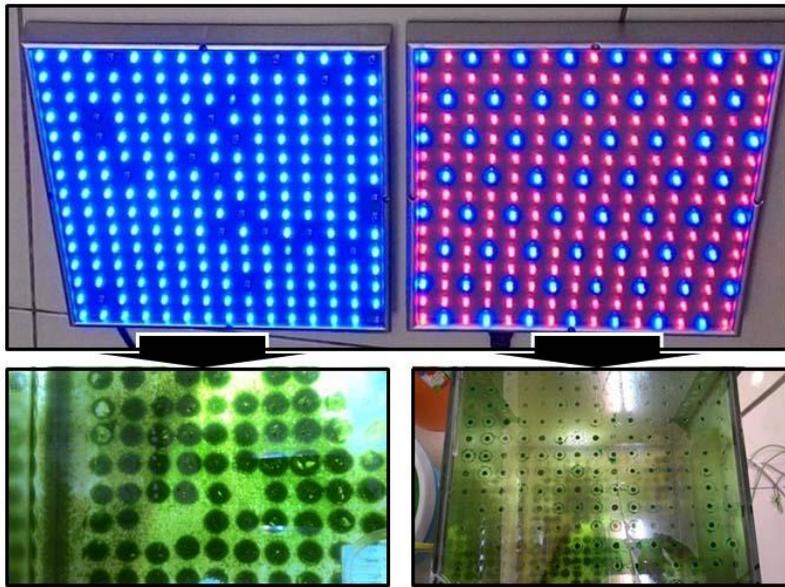
圖四、CP system 與 MR system 的組合圖。A. 兩系統組合意象圖，黃色箭頭指的是較多 O₂ 較少 CO₂ 的氣體流動方向；粉紅色箭頭指的是較多 CO₂ 較少 O₂ 的氣體流動方向。B. 實際組合實驗操作的情形；左側亮表示外部電燈開啟，右側暗表示晚上節能關閉電燈，而外部電燈的開關均不影響 CP system 槽體內的藻類的受光權益。

如同 CP system 的命名法，MR system 指的就是 "Meeting Room system 會議室系統"，言下之意就是指空氣低循環高密閉的「室內空間」。CP system 與 MR system 裡所擺放的材料與設備如下表：

	CP system	MR system
綠水(藻+Walne 液態培養基)	◎	
深水循環幫浦	◎	
空氣攪拌器	◎	
金鋼砂氣曝器	◎	
溫度感應器	◎	
空氣幫浦		◎
日光燈		◎
二氧化碳濃度測量儀		◎
氧氣濃度探測棒		◎
麵包蟲		◎

在兩系統外，CP system 上下方分別置入 LED 紅光藍光燈組(上)與全藍光燈組(下)，MR system 門外放一台縮時攝影機，記錄所有指數與內部動物的狀態。

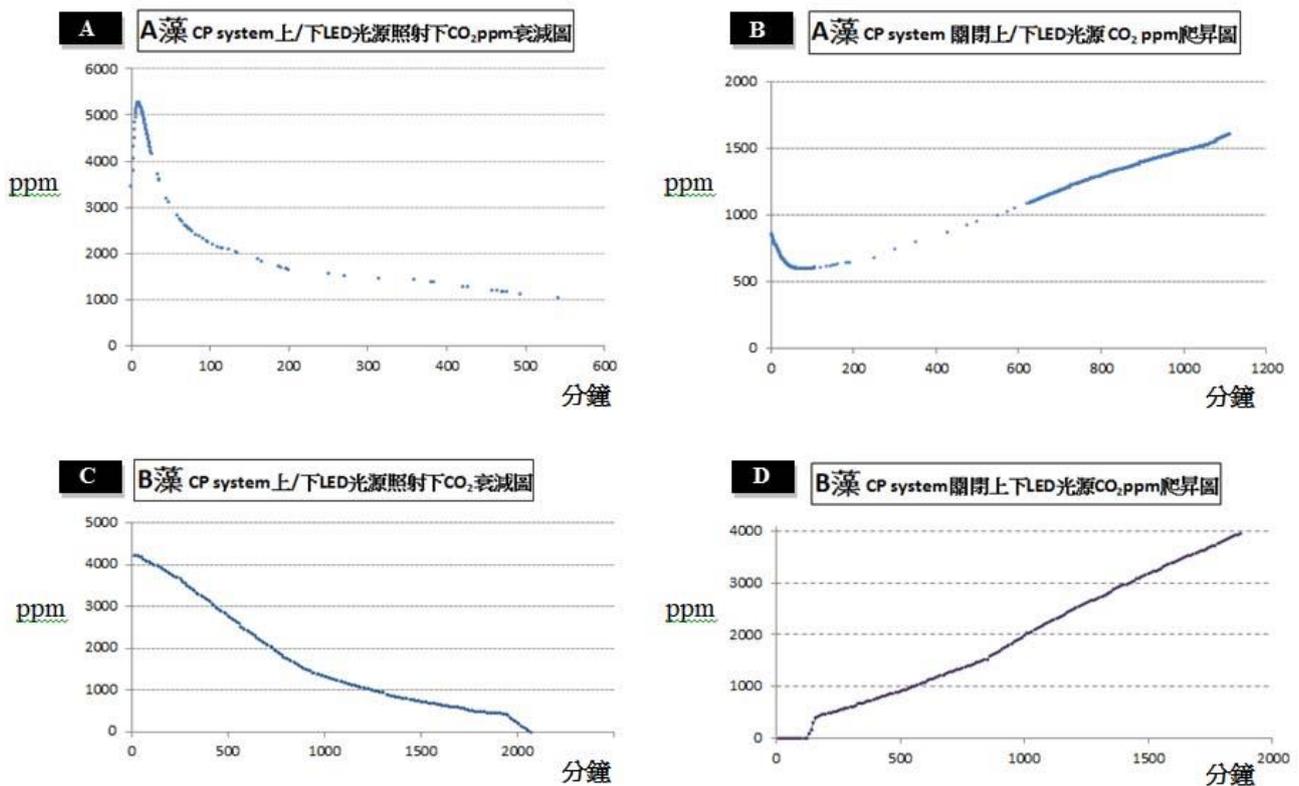
五、CP system 槽體的光源種類與效果



圖五、藍光與紅光對本實驗使用藻類的生長強度(優勢)比較

如圖(五)，由藻類依光源的聚生的狀況，藍色 LED 的照射下(綠)藻生長狀況優於紅光 LED。但是藻類吸收光線的色素體繁雜，有葉綠素-a-b-c、 α - β - γ -類胡蘿蔔素、葉黃素、藻藍素、藻紅素，針對於不同的色素有特定的吸收光波(譜)，葉綠素-a、-b 吸收藍光和紅光，類胡蘿蔔素則以吸收藍光為主，藻藍素以紅光為主要吸收的光譜，藻紅素以藍光為主。所以本實驗的上光源採用紅藍光 LED 混合光源，而下光源則採用全藍光 LED 光源，總藍光(285 顆)比紅光(165 顆)為 19:11。

六、單藻類與多藻類消除/產生二氧化碳的能力分析



圖六、密閉容器中不同藻類群對光照處理與黑暗處理的二氧化碳衰減與產生圖。(A). A 藻 (*Oocystis parva* 卵囊藻)在光照處理的狀況，CO₂ 可衰減到約 700ppm；(B). A 藻在黑暗處理的狀況，CO₂ 濃度則開始上升；(C). B 藻(多種藻類)在光照處理的狀況，CO₂ 可衰減到 0ppm；(D). B 藻在黑暗處理的狀況，CO₂ 濃度開始上升。

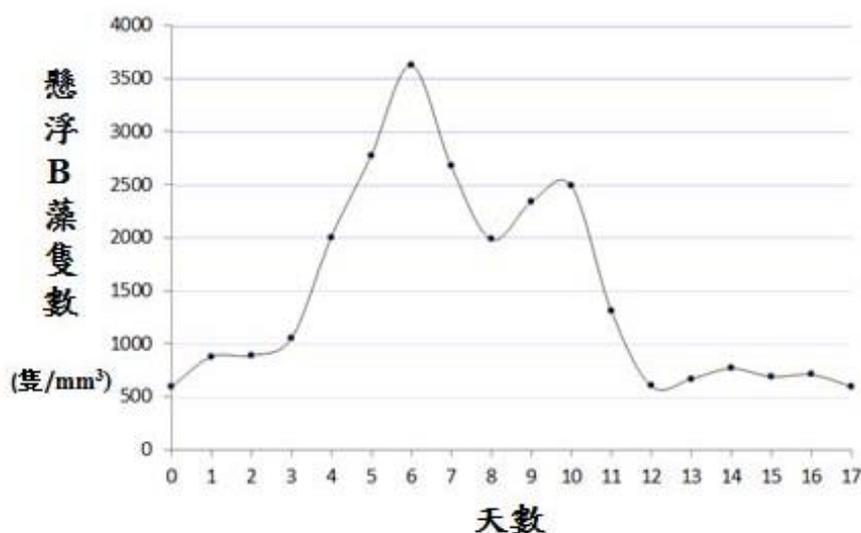
不管動植物或藻類，細胞進行呼吸作用必定產生二氧化碳。但當生物體可以進行光合作用，那就可以產生足夠的能量來固定外來的二氧化碳，來當作該生物所需要的碳源。上述的結果獲得證實，同時我發現 A 藻雖然只有一種藻類，但是在前 100 分鐘，他的吸收二氧化碳能力非常強，將近是混合藻 B 藻同時時間內的 3 倍，(圖六 A、C)。但是 B 藻消除二氧化碳的能力卻能持續直到 0 ppm，所以 A、B 藻各有優缺點。回歸到大自然界的狀態，我考慮著，使用 B 藻做為這個實驗的最主要主角，應是比較實際與理想的狀態，可貼近所有水塘的狀態，同時又不失生態平衡，應該是符合取之於環境用之於環境的最初心。

七、連續 17 天記錄懸浮藻類的數量變化

表一 連續 17 天懸浮 B 藻類數量變化記錄。

天數	0	1	2	3	4	5	6	7	8
隻/mm ³	592	876	889	1045	2000	2775	3625*	2675	1983
天數	9	10	11	12	13	14	15	16	17
隻/mm ³	2333	2488*	1313	600	667	767	688	708	597

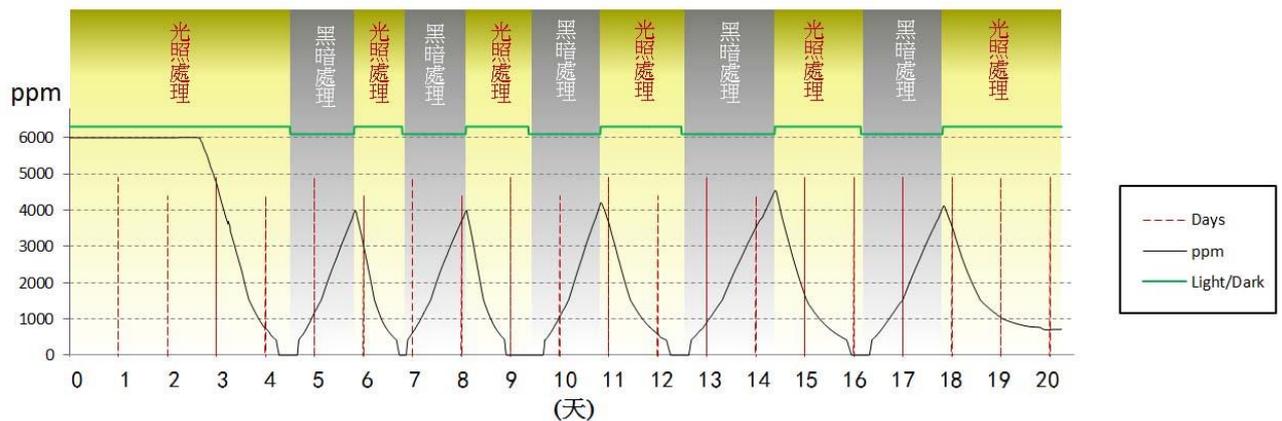
* 懸浮藻密度較鄰近天數高的標記。



圖七、連續 17 天 B 藻養殖懸浮細胞個數增減圖。

在不再額外添加Walne營養劑的條件下，以光學顯微鏡及血球計數盤統計17天內懸浮細胞的隻數，如圖七(依據表一數據繪製而成)。密閉循環槽體內第6天的懸浮細胞數達到最高(3625隻/mm³)，而第10天出現次高點(2488隻/mm³)。CP槽體的肉眼觀察中，發現第7天起原來懸浮生長的藻細胞，因為藻數目密度過高開始抗拒懸浮的效果，無懼深水循環幫浦所帶來的水流沖散力，出現吸附並聚生於槽體壁上；而這種現象越來越明顯，主要的聚生地為光源所在地，特別是藍光，如圖五所示。換句話說，藻類於17天的養殖中，應該仍然持續不斷的生長並繁殖，藻數實際上並未減少，只是一旦聚生現象出現，依水流前進的藻細胞則多了阻礙水流的前進力並造成緩降/吸附的物理現象，如圖七，第7天以後的懸浮細胞逐漸遞減。

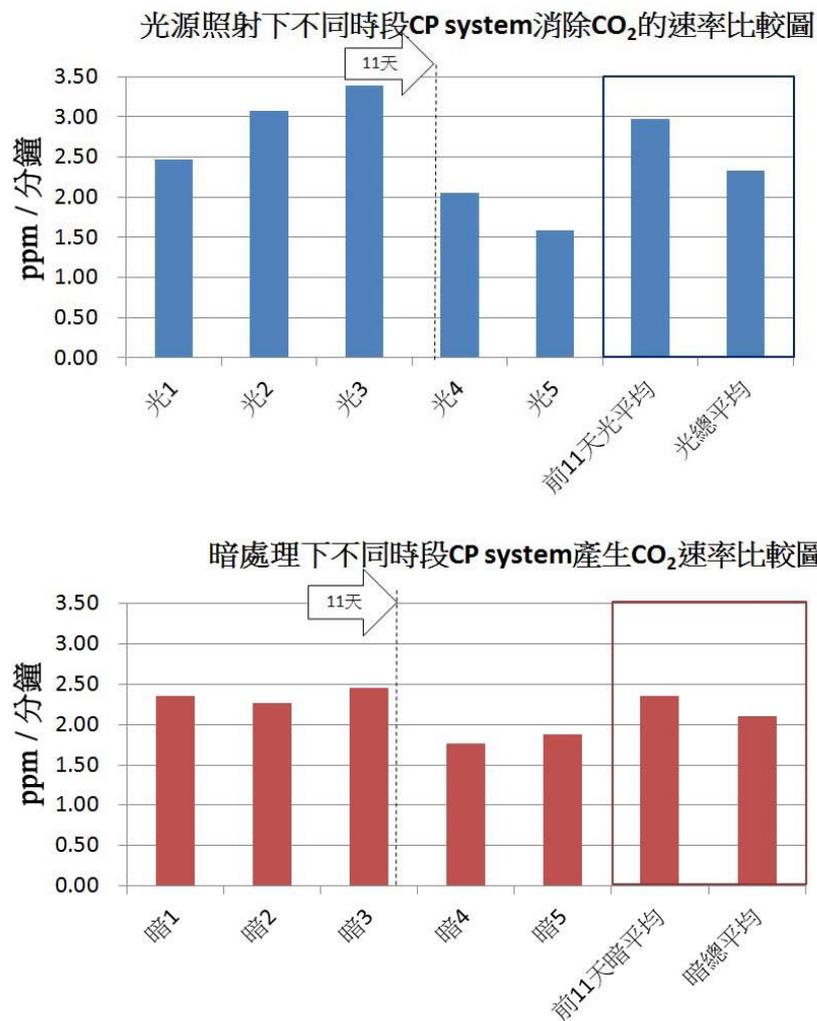
八、連續 20 天觀察消除二氧化碳的穩定性



圖八、B 藻類群對連續 20 天光照處理與黑暗處理交互執行的二氧化碳衰減與產生圖

CP/MR system 串接的密閉循環空間中，(Walne 培養液不再額外添加) 經過 20 天，2540 筆資料紀錄（數據請參考附錄與會場攜帶的實驗日誌），統計彙整如上圖。縱座標軸為二氧化碳在 MR system 的殘留量 (ppm)，橫座標為天數。原本會擔心第 7 天以後的懸浮細胞逐漸遞減，加上聚生現象是否影響光線的進入，會影響到光合作用。分析了這 2540 筆資料後，終於鬆了一口氣。看來我們對於 CP 槽體的設計~四週內置反光鏡，讓光線充分反射，維持光合作用的進行而成功了躲過這個危機。這個實驗的結果大大的振奮人心，連續 20 天的追蹤下證實實驗是穩定的，換句話說只要開啟光源就持續性地消除二氧化碳。雖然到了第 20 天出現消除二氧化碳能力的疲憊態，不過這與 20 天來不再給予新的 Walne 培養液有關。

九、消除/產生二氧化碳的速率分析圖

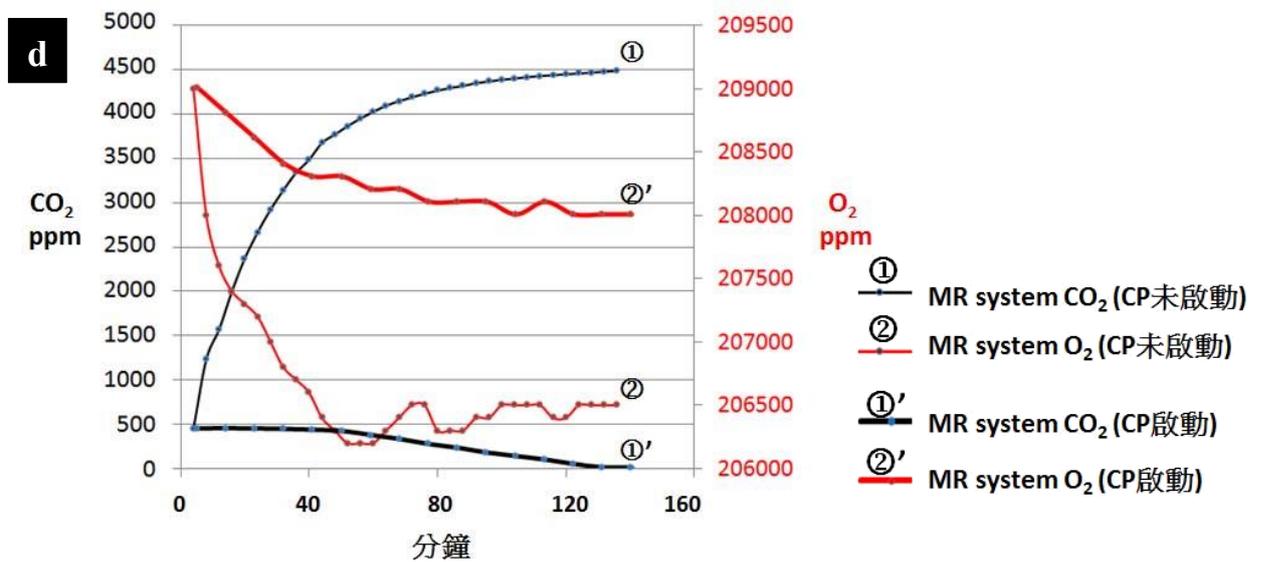


圖九、B 藻類群的二氧化碳消除與產生速率分析圖

二氧化碳的消除與產生速率是以下列公式計算： $|\Delta\text{ppm}|/\Delta\text{min}$ ，這裡的 Δppm 指的是光照處理或黑暗處理從起始到結束的二氧化碳濃度差， Δmin (分鐘)則是指這段反應的時間差。相關數據紀錄於實驗日誌。從實驗分析圖，圖九 A、B，可明確看到幾件事實：(1). 只要進行光照處理就等於開啟二氧化碳消除裝置。(2). 光照處理消耗掉二氧化碳的能力均優於黑暗處理產生二氧化碳的能力。(3). 在光 3(約等同於第 9-10 天)消除二氧化碳的能力最強(3.39ppm/min)。 (4). 黑暗處理呼吸作用所造成的二氧化碳產生從暗 1 到暗 5 差異均不大。(5). 第 11 天過後消除二氧化碳的速率確實有減少，這個時間點應該可以考慮添加額外的 Walne 培養液來做改善。

十、動物實驗

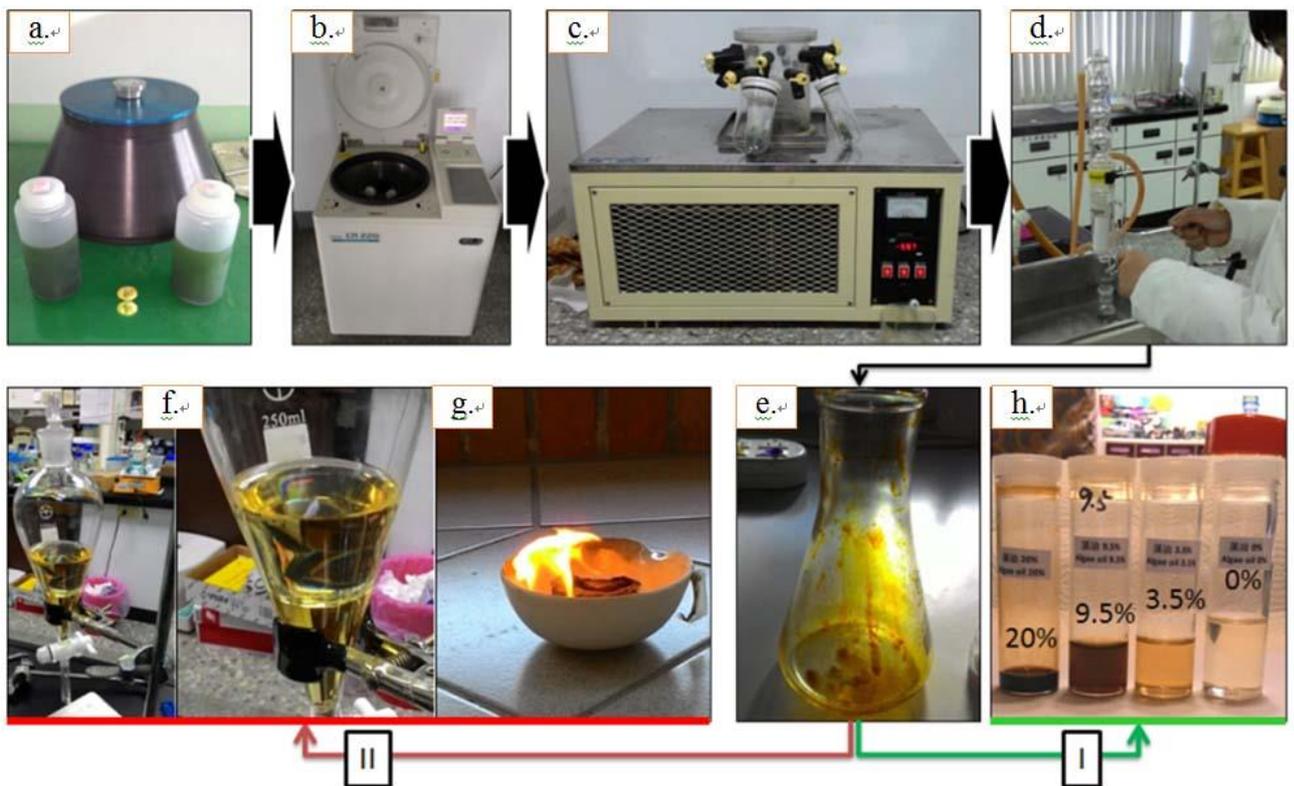
在呼吸測試的動物實驗中，基於遵守動物保護法在實驗動物上的限制，我們避開脊椎動物的直接使用，而改用無脊椎動物來取代，儘管有部分無脊椎動物可能在遇到空氣品質不佳時，會有閉氣或調慢呼吸等類似冬眠(蛹化)的現象。我們選擇了黃粉蟲(*Tenebrio molitor*)的幼蟲，俗稱麵包蟲(圖十 a)來當作我們的實驗動物。



圖十、利用黃粉蟲幼蟲實際進行 CP/MR system 的動物實驗。**a.** 黃粉蟲 (*Tenebrio molitor*) 的幼蟲，俗稱麵包蟲的養殖；**b.** 挑選 89 隻(平均 0.1g/隻)；**c.** MR system 中測定二氧化碳與氧氣濃度的情形；**d.** 實驗數據分析圖:①/①'分別代表關閉/開啟 CP system 時的二氧化碳濃度變化曲線，②/②' 分別代表關閉/開啟 CP system 時的氧氣濃度變化曲線。

首先邀請 89 位小客人(黃粉蟲幼蟲，重 87 公克)進駐 MR system(圖十 b、c)，分別在 CP system 未開啟與開啟的兩種狀況下，監看二氧化碳及氧氣的變化，時間均為 2 小時 20 分鐘，結果如圖十 d。黃粉蟲因呼吸作用而產生逐漸增高濃度的二氧化碳，可以隨著 CP system 的開啟而呈現 180 度的變化，最終降至 0ppm；而原本因呼吸作用消耗的氧氣濃度，也隨著 CP system 的開啟而大幅度的改善，最終維持在 208000ppm，也就是 20.8%，這個濃度與原本大氣中的氧氣濃度 20.8% 差距僅有 0.1%。換句話說，CP system 的開啟的確可以維持並改善生物所需要的空氣品質。這個實驗維持進行 24 小時，實驗結束後，89 位小客人依舊生龍活虎，安然无恙。

十一、藻類養殖後的回收、乾燥以及藻油的萃取與附加價值產品的製作



圖十一、藻類的回收與利用~藻油的萃取圖及其附加價值。I、健康油品；II、生質柴油。

進行完消除二氧化碳大任務功成身退之後，我認為藻類這個英雄不應該就此被扔入垃圾桶或當成簡單的燃料，他應該還有更好的利用價值。經與爸爸和師長們討論後，我們決定試一試藻油的提煉。如圖十一 a、b 所示，將養殖後的藻類先置於離心瓶中，放入離心機

以 10000rpm 的轉速進行 10 分鐘的集藻動作，之後將濃縮的藻液冷凍定型後，利用冷凍真空乾燥機進行脫水，圖十一 c；完成的乾燥藻粉放進如圖十一 d 所示萃取裝置中的圓筒濾紙裡，並以己烷進行 70°C 脂肪萃取的實驗；最後將己烷蒸發後留下純淨的藻油(圖十一 e)。有趣的是，這種藻油是我這一輩子到目前為止，所見過的油品當中最黏稠的一種，也因為這樣所以市場上販售的藻油膠囊換算真的藻油成分僅占總重量的 10~20%，這些濃稠的藻油需要用沙拉油來洗刷溶解才能裝填到膠囊當中。

乾燥 B 藻所萃取出的濃稠藻油，經秤重我算出藻油重量佔 B 藻乾重的 15.1%。我們買了一些好油(頂級橄欖油)分別稀釋藻油成為 20%、9.5%、3.5% 以及 0%(圖十一 h)，藻油富含 DHA 是孕婦與幼兒的健康聖品。這是我們第一項頗具經濟價值的附加產品。

其次我們將洗刷下來殘餘的油品與預先溶入氫氧化鈉的甲醇彼此攪拌混合，並維持在 65°C 一小時，之後倒入分液漏斗當中靜置；約二小時就分出上下兩層，如圖十一 f。上層液體就是生質柴油，而下層則是甘油。生質柴油能當作普通燃油，如圖十一 g，也可依不同比例添加入使用柴油的引擎，減緩石油使用殆盡的壓力。而甘油更是許多化學工業的基礎原料，當然包括化妝品。這兩樣液體分別是我們第二及第三項另具經濟價值的附加產品。

陸、討論

從藻類野外採集的經驗所得到的結果充分顯示越是接近人口稠密的地點，藻類的種類與數目將大大的提升，這點應和人類生活環境所製造的有機物大量排入周遭環境水源或地下水源有關。我們實驗中養殖藻類所使用的 Walne 培養基中，除了微量元素的使用也含有氮離子，這是提供它生長所需要的氮來源，而碳的來源則由二氧化碳來提供。相同的，都市水塘中的藻類所需要的微量元素主要應來自土壤裡，而氮來源與碳來源更是比我們的養殖液更不虞匱乏，這些碳氮的大量來源將不止限於二氧化碳和氮離子，而是可從人類的代謝物、排遺物、廚餘等廢棄物大量提供給予藻類生活所需，甚至看到了藻華的現象。對比郊區、人煙稀少的叢林水塘，藻類的數量與種類明顯少了許多。

光學顯微鏡、目鏡測微器、血球計數盤這三樣東西是我觀察藻類大小/計算數量/鑑定種類的主要利器。計算數量只需要利用物鏡 10x，血球計數盤上最小一格長寬分別是 0.05mm x 0.05mm，蓋上蓋玻片後便會產生 0.1mm 的厚度。換句話說，我只要觀察在這 0.05mm x 0.05mm x 0.1mm = 0.00025mm³ 的體積內有幾隻藻類，再乘上 4000，就可知道每立方公厘有幾隻藻類。而觀察藻類外部形態與鑑定則需要在蓋玻片外滴上油滴，並以油鏡 100x 來觀察。我一共自綠水中找到 13 種藻類，其中 11 種屬於綠藻門，2 種屬於藍綠藻門，而有沒找到的呢？我相信一定還有。

藻類的分離法，在這個研究中利用「稀釋法」與「塗抹法」彼此交互進行。這個分類執行將近一個月終於能分出一種單離的藻~卵囊藻 *Oocystis parva*。而整個實驗就以「混生藻 B」與「單離藻 A」分別進行消除二氧化碳的評估。實驗的結果我們發現 A 藻雖然只是單一種藻類，但是在前 100 分鐘，他的吸收二氧化碳能力非常強，將近是混生 B 藻同時間內的 3 倍。但是 B 藻消除二氧化碳的能力卻能持續直到 0ppm，也就是說 B 藻的續航力較強，所以 A、B 藻各有優缺點。因為每執行一次完整的追蹤與數據分析可能要耗費近兩個月的時間，幾經討論後，我決定先從 B 藻著手進行分析，因為我考慮到若一切回歸到大自然界的狀態，使用 B 藻做為這個實驗的最主要主角，應是比較實際與理想的狀態，可貼近所有水塘的狀態，同時又不失生態平衡，應該是符合取之於環境用之於環境的最初心。

在連續 20 天的養殖與追蹤下，連續以光照與黑暗處理，同時連續 17 天每隔 24 小時取樣

計算懸浮藻類細胞數量，得到了一系列的有效而令人振奮的數值。在 CP/MR system 串接密閉的循環系統中，在不再額外添加 Walne 營養劑的條件下，懸浮細胞的濃度隻數在 6 天達到高峰(3625 隻/mm³)，而第 10 天出現次高點(2488 隻/mm³)；這個現象可能跟混生藻類有關，非常值得一細分出單一種藻類來互相比較，這將列入未來的工作項目。CP 槽體的肉眼觀察中，發現第 7 天起原來懸浮生長的藻細胞，因為藻數目濃度過高開始抗拒懸浮的效果，無懼深水循環幫浦所帶來的水流沖散力，出現吸附並聚生於槽體壁上；而這種現象越來越明顯，主要的聚生地為光源所在地，特別是藍光。換句話說，藻類於 17 天的養殖中，應該仍然持續不斷的生長並繁殖，藻數實際上並未減少，只是一旦聚生現象出現，依水流前進的藻細胞則多了阻礙水流的前進力並造成緩降/吸附的物理現象，也因此造成第 7 天以後的懸浮細胞逐漸遞減。

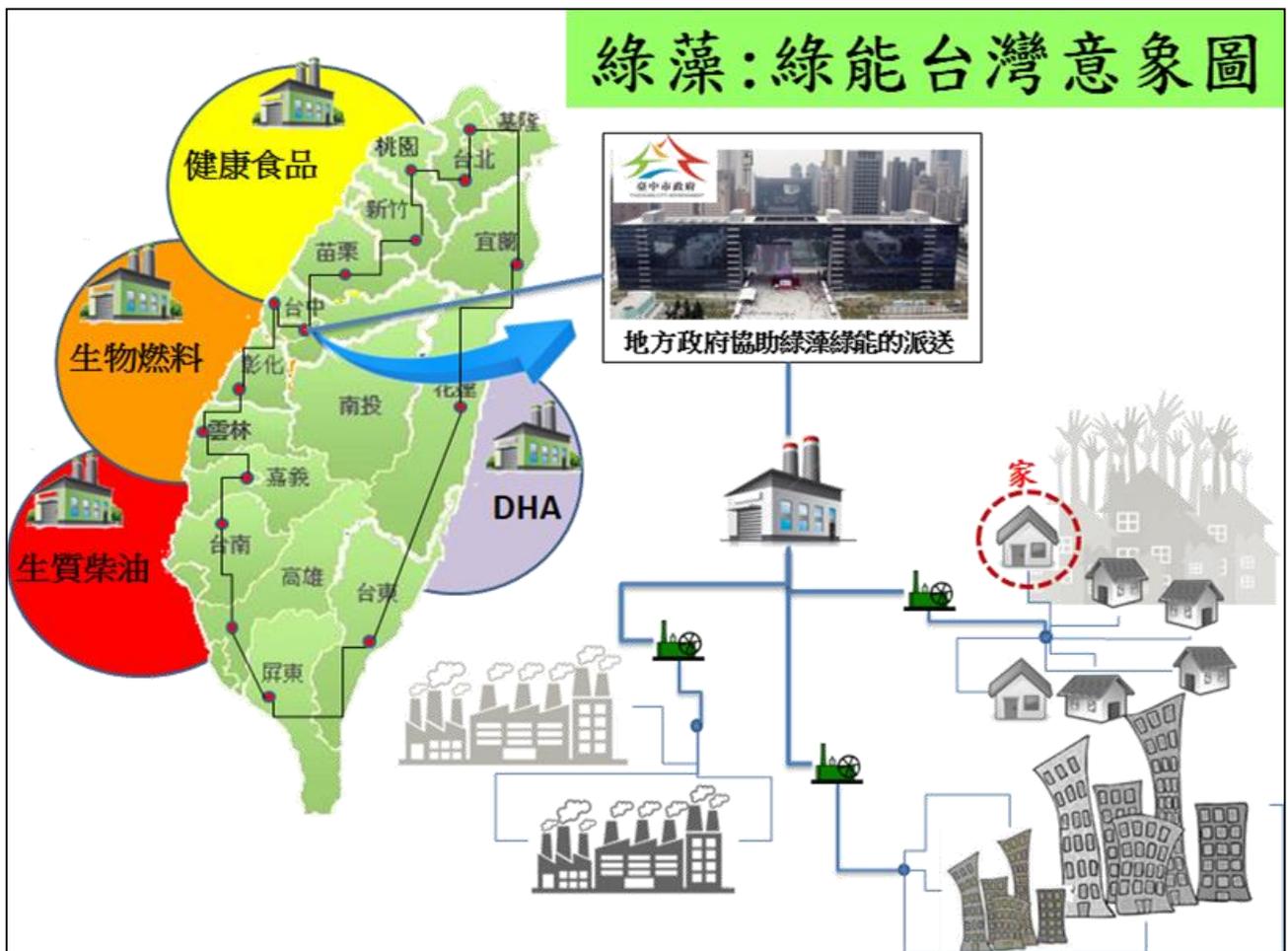
CP/MR system 串接的密閉循環空間中，原本會擔心第 7 天以後的懸浮細胞逐漸遞減，加上聚生現象是否影響光線的進入，會影響到光合作用。分析了這 2540 筆資料後，終於鬆了一口氣。看來我們對於 CP 槽體的設計~四週內置反光鏡，讓光線充分反射，維持光合作用的進行而成功了躲過這個危機。這個實驗的結果大大的振奮人心，連續 20 天的追蹤下證實實驗是穩定的，換句話說只要開啟光源就持續性地消除二氧化碳。雖然到了第 20 天出現消除二氧化碳能力的疲憊態，不過這應與 20 天來從不再給予新的 Walne 培養液有關。也因這項數據的提供，我們在 105.01.11 成功的奪下第三面中華民國新型專利~新型第 515268 號「綠藻培養箱」。

進一步數據整理，計算二氧化碳的消除與產生速率。從針對 B 藻的實驗分析，證實下列幾件事實：(1).只要進行光照處理就等於開啟二氧化碳消除裝置。(2).光照處理消耗掉二氧化碳的能力均優於黑暗處理產生二氧化碳的能力。(3).在第三次光照處理(約等同於第 9 天)消除二氧化碳的能力達到最強(3.39 ppm/min)。(4).黑暗時呼吸作用所造成的二氧化碳產生，從第一次黑暗處理到第五次黑暗處理差異均不大。這點與我們的想法並不一致，原本認為隨著藻細胞數的增加呼吸作用會更明顯，而二氧化碳產生速率應越快，但是事實並非如此；我想這應該與藻類成熟老化有關，光合作用仍旺盛，但是呼吸作用卻不需要太大，因為生活所需的能量看似已足夠。(5).第 11 天過後消除二氧化碳的速率確實有減少，這個時間點應該可以考慮添加額外的 Walne 培養液來做改善。實驗至此，僅討論到 B 藻；下一步我們將討論更具清

除二氧化碳能力的 A 藻~卵囊藻 *Oocystis parva*，相信威力會更強，期待實驗再進行。

動物實驗是這套系統確認實際功能的最重要一步驟。我們成功自動物實驗中證實了 CP system 的確具有超強大消除二氧化碳的能力，同時也大幅度的改善氧氣被消耗的情形。受限於動物保護法在實驗動物上的限制，也許下一次可以正式提出申請，進行脊椎動物的動物實驗。

清缸後，我認為藻類這個英雄不應該就此被扔入垃圾桶或當成簡單的燃料，他應該還有更好的利用價值，必須善盡每一公克可用的資源。在兩個簡單的小實驗中，我們成功的將這些藻類的剩餘價值(15.1%藻油)榨了出來。其一、健康食品富含 DHA 的藻油；其二、取代石油的生質柴油，同時產生甘油的衍生產品。我有個想法，我畫了個圖，期待我的國家成為綠能臺灣。



柒、結論

這是我第一次參加科學展覽，從國小四年級起在假日裡我總是跟著爸爸在實驗室裡摸東摸西，看到許多的大哥哥大姐姐假日依舊待在實驗室努力的研究，我覺得他們好辛苦，我調皮的問著他們：「你們不想出去玩嗎？」，有一個跟我說：「你爸爸會電我」，但卻有另一個跟我說：「當你看到實驗數據不停的跑出來，你會興奮得不想出去玩！」。這次的科展主題從設定到實驗甚至是專利圖的繪製，我都充分的執行，我真的從這次完整的實驗中感受到那兩個大哥哥大姐姐的切身感受。嚴謹的父親加上學校指導老師的學問傳授造就了這個科展報告的完成，謝謝他們。

科學實驗的執行方法或許有好多種，但是主要的精神我覺得就是「耐煩」而已。這次的科展主題的進行，我學到了野外藻類的採集方法、如何在眾多種藻類中單離出一個藻、看到了紅光與藍光對具有葉綠體藻類的生長影響、學會了完整的顯微鏡操作以及油鏡的使用和血球計數盤的計算方法、學會了離心機以及冷凍真空乾燥機的使用、以及索氏脂肪萃取裝置的原理、學會簡單的製造生質柴油、知道了藻類消除二氧化碳的實力、也了解藻類對於人類的附加價值。

地球環境不停惡化，二氧化碳濃度不斷上升，加上 PM2.5 霾害層出不窮，室內空氣與室外空氣一定程度下必須分流。我們的設計將引領臺灣走向環保室內低汙染領域的先驅的地位。如能結合里、鄉、鎮乃至縣，由下而上共同執行管路化，將使臺灣如同德國般正式走入綠能國家。

歸納本次實驗內容我將結論重點條列式彙整如下：

- 一、藻類的複雜度及數量的多寡，與人口密集程度有正相關聯性。
- 二、藻類於光照處理時進行光合作用，的確會消耗二氧化碳(固定碳源)。
- 三、藻類與其他生物一樣會進行呼吸作用，所以於黑暗處理時，確實會排出二氧化碳。
- 四、實驗中的藻類對於藍光的喜好度遠優於紅光，但仍不能忽略紅光對藻類生長的必要性。
- 五、密閉循環槽體內第 6 天的懸浮細胞數達到最高，第 10 天達到次高。
- 六、密閉循環作用下將於第 6-10 天的消除二氧化碳速率達到最高，一直穩定到第 19 天，並於第 20 天出現疲憊態。

- 七、密閉循環作用下藻類細胞呼吸作用所產生的二氧化碳速率於 20 天內的差異並不明顯。
- 八、基於上述第五、六點，CP system 的清除二氧化碳工作只要插上電源，開啟光源便開始執行。
- 九、CP system 可以在 20 天內，不加任何營養劑下穩定的清除二氧化碳。
- 十、動物實驗中證實了 CP system 消除二氧化碳的能力確實超強大，同時也大幅度改善氧氣被消耗的情形。
- 十一、實驗結束後的藻類可提供健康食品、健康油品、生質柴油等對人類與環境有利的附加價值應用。

實驗仍持續中。爸爸常說實驗不能只利己，應該有造福人群的志向。我希望自己能再多累積一些有效的數據，提供給地方、國家、乃至世界參考，讓臺灣真正成為「綠能國家」。

捌、參考資料及其他

1. Charles David Keeling (1958). Keelingcurve. Mauna Loa observatory in Hawaii.
<https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>。
2. Walne, P.R. (1974). The Culture of Bivalve Molluscs: 50 Years of Experience at Conwy.
Fishing News, West Byfleet 173。
3. 台科大食品檢驗工作室 (2014)。丙級食品檢驗分析學術科通關寶典 2 版。粗脂肪之萃取，
C-3。
4. 陳曉薇、陳茂景、陳志聖、曹志明(2012)。生態循環生產模式—台電公司在微藻減碳技術
的發展。經濟部能源局能源報導，8-10。
5. 彭子倩，陳衍昌 (2008)。螺旋藻的介紹。國立臺灣海洋大學水產養殖系養殖科學研究所。
6. 翡翠水庫出現的藻類。取自: <http://proj1.sinica.edu.tw/~dbalgae/P-2.htm>。
7. 闕壯志 (2009)。微藻類固碳工程。科學發展，433，6-11。
8. 藻類圖鑑。取自: <http://www.paludarium.net/34299390062229437969.html>。

玖、附錄

穩定性測試: 20 天內 CP system + MR system 二氧化碳濃度觀測量的詳實記錄。

【說明】總共 2450 筆資料，這些資料所呈現的規律恆定性是我們可以拿到「第三面專利」的重要依據。在 20 天內以縮時攝影機每間隔 10 秒紀錄，再以目視影片檔，用手打鍵盤方式紀錄資料。紀錄如下：

(資料量龐大，僅以三頁表示。其餘資料詳實紀錄於實驗日誌，將攜帶至會場以供查詢。)

時間 (min)	CO ₂ 濃度 (ppm)																				
第 3 天	3840	5963	第 4 天	4430	4356	第 5 天	5020	2468	第 6 天	6200	0	第 7 天	7380	1493	第 8 天	7970	2988				
	3850	5945		4440	4324		5030	2434		5620	913		6210	0		6800	505	7390	1509	7980	3015
	3860	5920		4450	4281		5040	2400		5630	901		6220	0		6810	516	7400	1526	7990	3034
	3870	5905		4460	4248		5050	2361		5640	887		6230	0		6820	528	7410	1552	8000	3064
	3880	5888		4470	4213		5060	2328		5650	870		6240	0		6830	539	7420	1577	8010	3091
	3890	5878		4480	4181		5070	2295		5660	853		6250	0		6840	550	7430	1606	8020	3111
	3900	5855		4490	4149		5080	2262		5670	839		6260	0		6850	559	7440	1635	8030	3135
	3910	5831		4500	4118		5090	2215		5680	826		6270	0		6860	572	7450	1661	8040	3156
	3920	5806		4510	4081		5100	2175		5690	813		6280	0		6870	585	7460	1687	8050	3178
	3930	5769		4520	4052		5110	2137		5700	799		6290	0		6880	599	7470	1718	8060	3201
	3940	5744		4530	4021		5120	2096		5710	784		6300	0		6890	617	7480	1748	8070	3226
	3950	5714		4540	3987		5130	2058		5720	773		6310	0		6900	629	7490	1779	8080	3253
	3960	5689		4550	3954		5140	2020		5730	760		6320	0		6910	643	7500	1804	8090	3271
	3970	5670		4560	3925		5150	1974		5740	748		6330	0		6920	657	7510	1832	8100	3293
	3980	5647		4570	3885		5160	1931		5750	744		6340	0		6930	673	7520	1861	8110	3318
	3990	5632		4580	3852		5170	1902		5760	746		6350	0		6940	692	7530	1890	8120	3345
	4000	5604		4590	3824		5180	1863		5770	741		6360	0		6950	708	7540	1916	8130	3367
	4010	5584		4600	3785		5190	1821		5780	734		6370	0		6960	726	7550	1941	8140	3386
	4020	5561		4610	3761		5200	1784		5790	723		6380	0		6970	744	7560	1969	8150	3414
	4030	5542		4620	3732		5210	1750		5800	710		6390	0		6980	761	7570	1995	8160	3434
	4040	5525		4630	3703		5220	1713		5810	699		6400	0		6990	782	7580	2022	8170	3454
	4050	5497		4640	3677		5230	1678		5820	688		6410	0		7000	797	7590	2052	8180	3477
	4060	5470		4650	3646		5240	1644		5830	679		6420	0		7010	813	7600	2075	8190	3503
	4070	5439		4660	3621		5250	1612		5840	668		6430	0		7020	833	7610	2100	8200	3529
	4080	5406		4670	3695		5260	1572		5850	655		6440	0		7030	852	7620	2128	8210	3553
	4090	5377		4680	3661		5270	1540		5860	644		6450	0		7040	868	7630	2154	8220	3573
	4100	5346		4690	3628		5280	1518		5870	634		6460	0		7050	886	7640	2177	8230	3598
	4110	5319		4700	3600		5290	1498		5880	620		6470	0		7060	904	7650	2202	8240	3618
	4120	5288		4710	3573		5300	1479		5890	604		6480	0		7070	924	7660	2234	8250	3639
	4130	5253		4720	3540		5310	1460		5900	586		6490	0		7080	942	7670	2255	8260	3662
	4140	5213		4730	3410		5320	1440		5910	566		6500	0		7090	963	7680	2282	8270	3681
	4150	5195		4740	3379		5330	1421		5920	553		6510	0		7100	982	7690	2309	8280	3704
	4160	5169		4750	3350		5340	1402		5930	539		6520	0		7110	1004	7700	2334	8290	3728
	4170	5145		4760	3319		5350	1382		5940	537		6530	0		7120	1022	7710	2354	8300	3753
	4180	5123		4770	3289		5360	1362		5950	523		6540	0		7130	1043	7720	2377	8310	3770
	4190	5096		4780	3253		5370	1344		5960	518		6550	0		7140	1062	7730	2405	8320	3798
	4200	5071		4790	3225		5380	1326		5970	505		6560	0		7150	1082	7740	2428	8330	3847
	4210	5047		4800	3194		5390	1309		5980	496		6570	0		7160	1102	7750	2454	8340	3878
	4220	5022		4810	3161		5400	1286		5990	488		6580	0		7170	1123	7760	2477	8350	3901
	4230	4994		4820	3127		5410	1268		6000	481		6590	0		7180	1143	7770	2504	8360	3925
	4240	4967		4830	3095		5420	1251		6010	473		6600	0		7190	1163	7780	2525	8370	3944
	4250	4939		4840	3066		5430	1234		6020	464		6610	0		7200	1182	7790	2547	8380	3962
	4260	4903		4850	3041		5440	1214		6030	457		6620	0		7210	1200	7800	2569	8390	3980
4270	4879	4860	3006	5450	1199	6040	449	6630	0	7220	1216	7810	2593	8400	3994						
4280	4855	4870	2967	5460	1178	6050	440	6640	0	7230	1236	7820	2617	8410	3982						
4290	4827	4880	2934	5470	1161	6060	433	6650	0	7240	1251	7830	2638	8420	3954						
4300	4804	4890	2901	5480	1144	6070	424	6660	0	7250	1268	7840	2664	8430	3925						
4310	4777	4900	2862	5490	1124	6080	402	6670	0	7260	1286	7850	2688	8440	3876						
4320	4747	4910	2828	5500	1108	6090	351	6680	0	7270	1301	7860	2711	8450	3833						
第 4 天	4330	4718	4920	2800	5510	1092	6100	291	6690	0	7280	1318	7870	2738	8460	3785					
	4340	4685	4930	2762	5520	1074	6110	235	6700	33	7290	1335	7880	2762	8470	3751					
	4350	4651	4940	2726	5530	1057	6120	190	6710	152	7300	1354	7890	2791	8480	3710					
	4360	4615	4950	2694	5540	1040	6130	137	6720	259	7310	1371	7900	2816	8490	3671					
	4370	4579	4960	2663	5550	1023	6140	95	6730	347	7320	1393	7910	2837	8500	3632					
	4380	4540	4970	2629	5560	1007	6150	46	6740	423	7330	1409	7920	2863	8510	3593					
	4390	4498	4980	2595	5570	993	6160	0	6750	438	7340	1424	7930	2886	8520	3554					
	4400	4457	4990	2563	5580	978	6170	0	6760	450	7350	1443	7940	2913	8530	3515					
	4410	4418	5000	2532	5590	960	6180	0	6770	465	7360	1458	7950	2947	8540	3471					
	4420	4391	5010	2497	5600	945	6190	0	6780	481	7370	1474	7960	2965	8550	3428					

CO ₂ 濃度 (ppm)	時間 (min)	CO ₂ 濃度 (ppm)															
250	第14720	1692	第15490	3880	第16260	2202	第17030	789	第17800	0	第18570	715	第19340	1888			
418	11 14730	1725	11 15500	3912	12 16270	2167	12 17040	781	13 17810	0	13 18580	725	15 19350	1907			
402	天 14740	1759	天 15510	3934	天 16280	2132	天 17050	772	天 17820	0	天 18590	735	天 19360	1931			
429		14750	1782		15520	3961		17060	762		17830	0		19370	1955		
440		14760	1815		15530	3992		17070	753		17840	0		19380	1975		
452		14770	1847		15540	4022		17080	746		17850	0		19390	2000		
463		14780	1880		15550	4051		17090	737		17860	0		19400	2025		
472		14790	1907		15560	4076		17100	728		17870	0		19410	2045		
483		14800	1936		15570	4104		17110	720		17880	0		19420	2067		
494		14810	1972		15580	4144		17120	710		17890	0		19430	2088		
508		14820	2002		15590	4160		17130	701		17900	0		19440	2111		
522		14830	2031		15600	4204		17140	693		17910	0		19450	2132		
535		14840	2059		15610	4206		17150	687		17920	0		19460	2149		
545		14850	2091		15620	4200		17160	678		17930	0		19470	2172		
560		14860	2118		15630	4188		17170	670		17940	0		19480	2195		
577		14870	2150		15640	4174		17180	660		17950	0		19490	2218		
593		14880	2180		15650	4153		17190	652		17960	0	第18730	927	19500	2238	
605		14890	2212		15660	4130		17200	645		17970	0	14 18740	942	19510	2256	
618		14900	2243		15670	4105		17210	638		17980	0	天 18750	955	19520	2279	
631		14910	2272		15680	4085		17220	630		17990	0	18760	969	19530	2297	
647		14920	2301		15690	4059		17230	622		18000	0	18770	980	19540	2318	
662		14930	2329		15700	4034		17240	613		18010	0	18780	990	19550	2339	
674		14940	2356		15710	4011		17250	607		18020	0	18790	1002	19560	2360	
691		14950	2385		15720	3984		17260	602		18030	0	18800	1013	19570	2383	
708		14960	2416		15730	3955		17270	597		18040	0	18810	1026	19580	2401	
721		14970	2446		15740	3932		17280	592		18050	0	18820	1038	19590	2420	
740		14980	2478		15750	3905		17290	584		18060	0	18830	1050	19600	2436	
756		14990	2506		15760	3872	第17300	569	18070	0	18840	1065	19610	2458			
772		15000	2532		15770	3850	13 17310	555	18080	0	18850	1078	19620	2478			
789		15010	2561		15780	3821	天 17320	544	18090	0	18860	1091	19630	2494			
806		15020	2591		15790	3784	17330	533	18100	0	18870	1107	19640	2515			
823		15030	2619		15800	3762	17340	521	18110	0	18880	1120	19650	2531			
838		15040	2647		15810	3732	17350	508	18120	0	18890	1135	19660	2552			
856		15050	2673		15820	3706	17360	497	18130	0	18900	1151	19670	2570			
875		15060	2702		15830	3680	17370	492	18140	0	18910	1164	19680	2592			
890		15070	2733		15840	3653	17380	488	18150	0	18920	1180	19690	2612			
907		15080	2763	第15850	3626	16620	480	17390	480	18160	0	18930	1194	19700	2631		
926		15090	2797	12 15860	3598	16630	477	17400	477	18170	0	18940	1205	19710	2651		
941		15100	2823	天 15870	3563	16640	468	17410	474	18180	0	18950	1218	19720	2670		
958		15110	2852	15880	3521	16650	459	17420	467	18190	0	18960	1232	19730	2689		
975		15120	2883	15890	3485	16660	450	17430	461	18200	42	18970	1248	19740	2708		
995		15130	2915	15900	3447	16670	441	17440	460	18210	107	18980	1265	19750	2729		
1014		15140	2943	15910	3409	16680	432	17450	456	18220	163	18990	1279	19760	2750		
1030		15150	2972	15920	3373	16690	423	17460	450	18230	221	19000	1291	19770	2770		
1047		15160	3001	15930	3336	16700	414	17470	448	18240	289	19010	1303	19780	2791		
1065		15170	3033	15940	3304	16710	405	17480	444	18250	342	19020	1316	19790	2809		
1081		15180	3060	15950	3273	16720	396	17490	438	18260	407	19030	1329	19800	2830		
1100		15190	3093	15960	3238	16730	387	17500	435	18270	427	19040	1342	19810	2853		
1117		15200	3121	15970	3203	16740	378	17510	430	18280	436	19050	1356	19820	2870		
1134		15210	3146	15980	3171	16750	369	17520	427	18290	447	19060	1370	19830	2891		
1154		15220	3170	15990	3139	16760	360	17530	421	18300	457	19070	1383	19840	2911		
1171		15230	3204	16000	3111	16770	351	17540	398	18310	466	19080	1396	19850	2929		
1191		15240	3231	16010	3070	16780	342	17550	367	18320	472	19090	1411	19860	2952		
1210		15250	3253	16020	3035	16790	333	17560	332	18330	482	19100	1424	19870	2969		
1223		15260	3282	16030	3003	16800	324	17570	290	18340	490	19110	1438	19880	2989		
1238		15270	3309	16040	2966	16810	315	17580	256	18350	500	19120	1450	19890	3014		
1253		15280	3335	16050	2932	16820	306	17590	229	18360	509	19130	1466	19900	3030		
1266		15290	3363	16060	2897	16830	297	17600	192	18370	521	19140	1478	19910	3052		
1279		15300	3389	16070	2856	16840	188	17610	139	18380	532	19150	1491	19920	3075		
1294		15310	3411	16080	2821	16850	179	17620	122	18390	542	19160	1505	19930	3094		
1309		15320	3437	16090	2786	16860	170	17630	93	18400	552	19170	1517	19940	3111		
1331		15330	3466	16100	2748	16870	161	17640	56	18410	562	19180	1537				
1350		15340	3500	16110	2710	16880	152	17650	6	18420	574	19190	1549				
1367		15350	3522	16120	2676	16890	143	17660	0	18430	584	19200	1577				
1387		15360	3547	16130	2642	16900	134	17670	0	18440	595	19210	1600				
1404		15370	3575	16140	2610	16910	125	17680	0	18450	605	19220	1623				
1425		15380	3599	16150	2576	16920	116	17690	0	18460	617	19230	1646				
1443		15390	3625	16160	2540	16930	107	17700	0	18470	627	19240	1668				
1463		15400	3646	16170	2509	16940	98	17710	0	18480	636	19250	1694				
1481		15410	3673	16180	2475	16950	89	17720	0	18490	648	19260	1714				
1499		15420	3698	16190	2439	16960	80	17730	0	18500	660	19270	1736				
1516		15430	3718	16200	2402	16970	71	17740	0	18510	674	19280	1757				
1539		15440	3745	16210	2371	16980	62	17750	0	18520	685	19290	1784				
1569		15450	3765	16220	2336	16990	53	17760	0	18530	694	19300	1804				
1602		15460	3791	16230	2302	17000	44	17770	0	18540	700	19310	1824				
1631		15470	3821	16240	2266	17010	35	17780	0	18550	704	19320	1846				
1662		15480	3854	16250	2236	17020	26	17790	0	18560	710	19330	1865				

【評語】 030304

1. 研究主題具應用性，且能自行動手設計實驗器材，值得嘉許。
2. 藻類若能純系培養，實驗的再現性結果的穩定性應可更佳。
3. 圖七結果中的藻數成雙峯分布；但圖八的二氧化碳消耗結果卻呈相對穩定變化。二結果的關聯性不甚一致，應有解釋為宜。
4. 若能將本研究開發的 CO₂ 清淨機，就其效能，維護及花費等條件與在室內種植植物盆栽作一比較，將可強化本研究的可行性價值。