

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物及地球科學科

佳作

031716

「藻」也「碳」息--二氧化碳濃度對浮游藻類生存之影響

學校名稱：臺中縣立新光國民中學

作者： 國二 王子僑 國二 吳昭儀 國二 鄭湖瀚 國二 林怡瑄	指導老師： 李志堅
---	------------------

關鍵詞： 浮游藻類、二氧化碳、光合作用

「藻」也「碳」息

----二氧化碳濃度對浮游藻類生存之影響----

摘要

二氧化碳劇增引起的氣候變遷，已對許多陸生動植物的生存造成嚴重的影響，而廣大水域生態系的變化也已開始受到注意。針對此生態系的主要生產者——浮游藻類，我們分別探討了二氧化碳濃度對其生長、光合作用速率及水中 pH 值之影響。實驗以透光度推算藻類生長重量、以產氧量評估光合作用速率，並每天測量水中 pH 值之變化。研究結果顯示二氧化碳濃度升高只在短期（兩週）內對浮游藻類的生長及光合作用速率有所助益。然而當 pH 值持續下降使水溶液過酸時，即可能抑制藻類的生長，光合作用速率也相對降低，最後導致浮游藻類的死亡。如果人類再不控制二氧化碳排放，屆時水中酸度下降到某種程度，即可能會對水域生態產生極大的破壞！

壹、研究動機

本世紀人類最關注的問題莫過於大氣中二氧化碳的累積對全球氣候的影響，近年來它對海洋生態的衝擊也開始引起科學家的關注。在第 83 期國家地理雜誌的一篇報導中，提及隨著二氧化碳濃度增加，有殼動物可能消失絕跡（文獻一，2007）。這令我們想到海洋主要生產者——浮游藻類的生存是否亦受到影響？我們想進一步的瞭解。

貳、研究目的

蒐集相關文獻得知，由於二氧化碳易溶於水，截至目前為止，海洋已經吸收了四分之一以上釋入大氣中的二氧化碳。科學家預估本世紀末地表水的酸度將增加 100 至 150%（文獻一，2007）。海洋酸化的結果，將導致碳酸鹽的溶解，如此勢必對珊瑚、軟體動物等有殼類生物的生存造成威脅。然而對植物呢？溶於水的二氧化碳確實可促進大型水生植物的生長（文獻三，2006），而廣大水域中的主要生產者——浮游藻類是否亦是如此？二氧化碳濃度的升高對它的光合作用及生長的影響會是如何？（文獻二，2006）我們擬定以下三個研究項目：

- 一、不同濃度二氧化碳對浮游藻類生長之影響
- 二、不同濃度二氧化碳對浮游藻類光合作用速率之影響
- 三、不同濃度二氧化碳對浮游藻類培養液的 pH 值之影響

參、研究器材

一、調配浮游藻類培養液

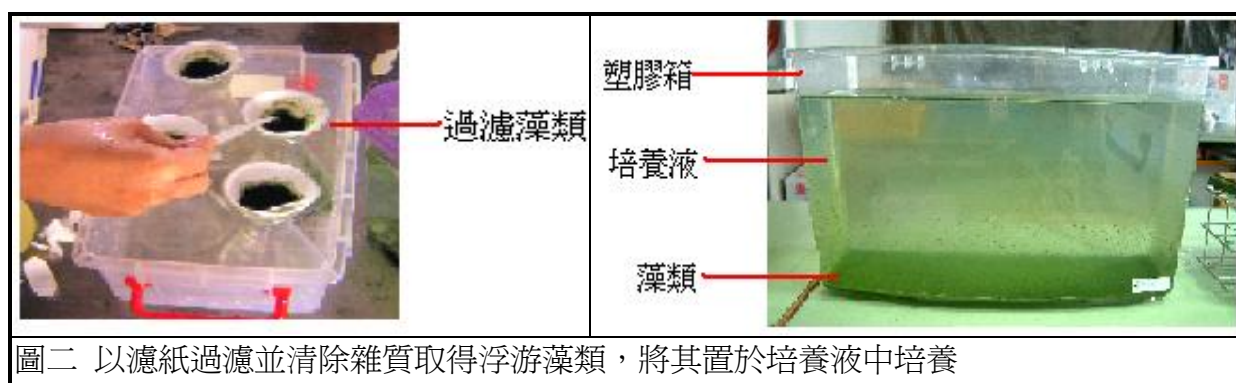
1. 於學校花園取得土壤約 5ml，去除雜質後加入蒸餾水 10ml 隔水加熱，以取得內部的養分（土壤浸出液）。
2. 將 500mL 的蒸餾水加入燒杯中，再分別加入硫酸銨(2g)、過磷酸鈣(0.3g)、硫酸鎂(0.8g)、氯化鉀(0.3g)、碳酸氫鈉(1g)、三氯化鐵 1%水溶液(10 滴)、土壤浸出液(5g)、磷酸氫二鉀(0.1g)，再加水至 1000mL 當作母液（文獻四，2007）。
3. 使用時，取 100mL 母液以及 900mL 的蒸餾水混合，即為浮游藻類培養液。

二、分離培養浮游藻類

1. 在學校水池，用虹吸管將底部的藻類吸取起來置於水桶中，等池水沉澱之後，再將上清液倒除，如此重複取得沉澱底部的藻類。
2. 用濾紙將藻類過濾，再仔細將濾紙上其他雜質如枯枝落葉砂土去除掉。
3. 將上述藻類放入含 10 公升培養液的透明塑膠箱中並加蓋。每隔兩個禮拜更換一次培養液。



圖一 於學校水池取得藻類



圖二 以濾紙過濾並清除雜質取得浮游藻類，將其置於培養液中培養

三、製備二氧化碳

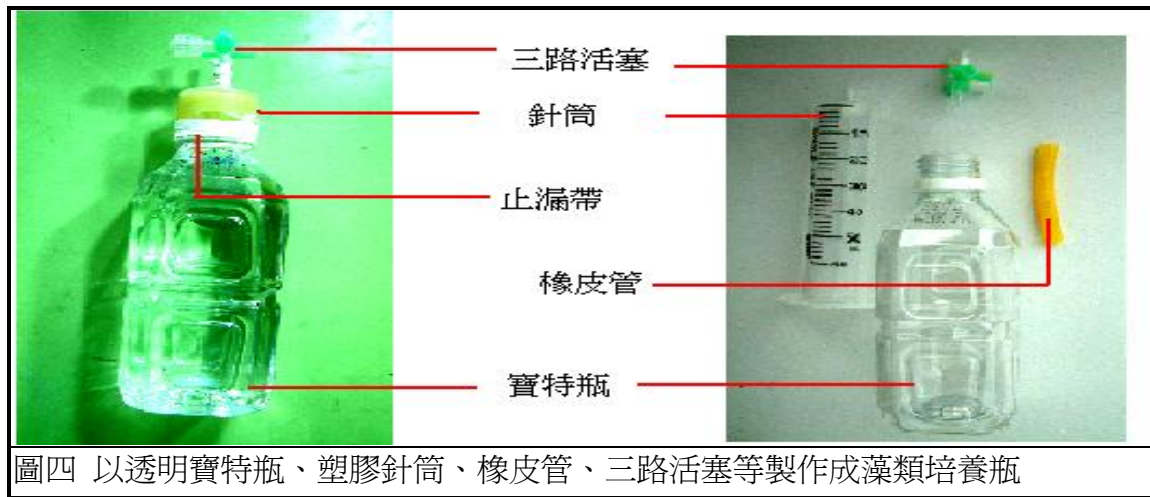
1. 由薈頭漏斗加入稀鹽酸遇到小蘇打粉即產生二氧化碳。使用排水集氣法收集二氧化碳，並依所需不同的體積裝入不同的針筒內儲存備用。



圖三 以排水集氣法收集二氧化碳

四、製作藻類培養瓶

1. 取一透明寶特瓶裝入 360mL 培養液，共計 24 瓶。將 60 毫升的針筒只取前段 10 毫升部份，其餘剪除。再剪一條約 8 公分的橡皮管，將橡皮管繞於寶特瓶口，再將針筒旋轉到瓶口至底。
2. 針筒口插上三路活塞，以強力膠及止漏帶固定寶特瓶與針筒間的縫隙及針筒與三路活塞的縫隙，防止漏氣。



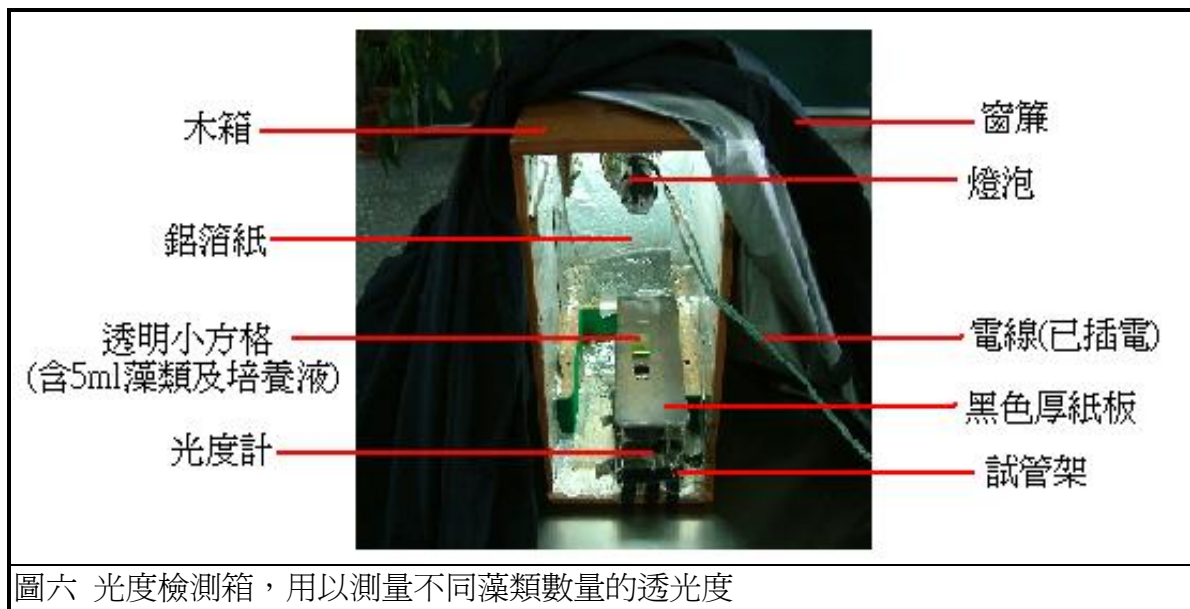
五、設置藻類恆溫水浴槽

1. 準備一個大型透明塑膠箱，裝入 25 公升的水，再將水浴恆溫器架於一側，並加裝一濾水幫浦幫助水的循環。℃
2. 在培養槽上方設置四個相同的白光燈泡，調整高度距離使水面各處亮度為 4000lux。每天光照、黑暗各 12 小時，共計 42 天。
3. 將水浴恆溫器溫度調到 25℃，藻類培養瓶的藻類搖均勻後，即置入培養槽內，使其在 25℃ 恆溫中生長繁殖。



六、製作光度檢測箱

1. 把裝顯微鏡木箱的門板拆開，用鋁箔紙將內部全部貼滿並且在上面穿 4 個小洞，用鐵絲穿過 4 個洞把燈泡固定在木箱上方。
2. 把試管架的側邊用紙板黏住，其規格剛好可使光度計置入不會移動，並將試管架固定於木箱中。
3. 試管架四周、上方皆黏上黑色紙板，上方黑色紙板在中間割兩個小洞，其中一個剛好可置入裝蓋玻片的透明小方格。



肆、研究步驟

一、不同濃度二氧化碳對藻類生長之影響

(一).繪製藻類重量與透光度之標準曲線圖

- 1.以濾紙過濾藻類培養液，靜置十分鐘，刮取藻類以電子天平秤重，取得 0.4g 及 0.3g 的藻類。
- 2.將藻類放入塑膠小方格內，以培養液二等分連續稀釋成下列濃度：每 5ml 各含 0.4g、0.3g、0.2g、0.15g、0.1g、0.05g、0.075g、0.025g 的藻類。
- 3.將上述藻類置入透明小方格內，放入光度檢測箱測量其透光度，重複至少 3~5 次並記錄求其平均值。
- 4.將數據統整，畫出藻類重量與透光度之標準曲線圖。

(二)測量不同濃度二氧化碳培養下藻類的重量



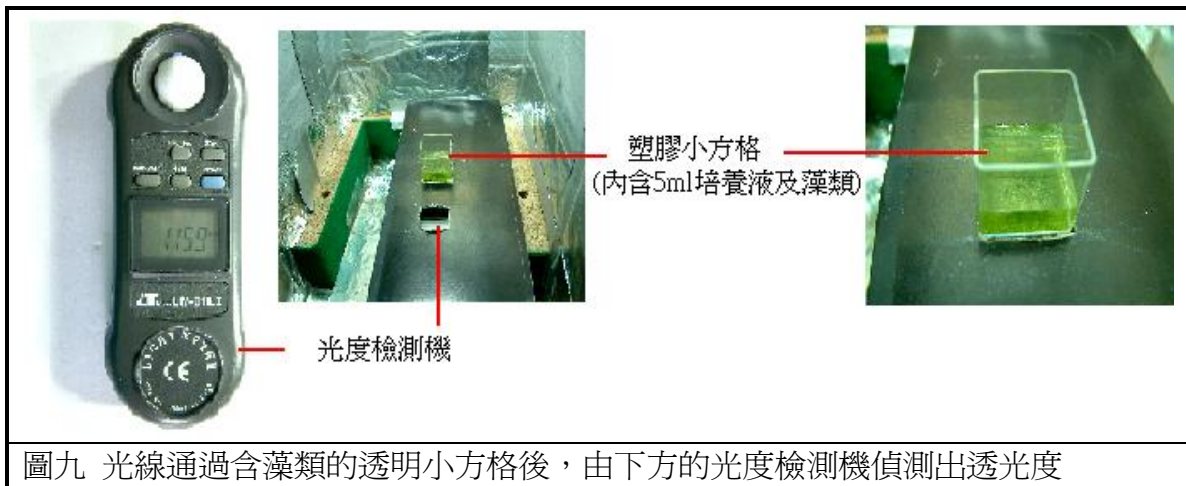
圖七 不同濃度的藻類培養瓶，共 24 瓶



圖八 將藻類倒放靜置沉澱

1. 以針筒吸取不同濃度的培養瓶所需之二氧化碳的體積 (0 ml、1.8 ml、3.6 ml、18ml、36 ml、54 ml、72 ml)，接上藻類培養瓶的三路活塞，打開通路後將二氧化碳完全打入瓶中，盡力搖晃可使二氧化碳完全溶解。最後濃度分別為 0%(無藻)、0%、0.5%、

- 1%、5%、10%、15%、20%，重複三組共 24 瓶。
2. 除無藻的一組外，其餘每瓶皆注入 0.025g 的藻類，搖均勻後置入藻類恆溫水浴槽中 25°C 培養。
 3. 每隔七天，取出培養瓶倒置，使瓶內的藻類沉澱後，用針筒將含藻類培養液吸出共 5ml。加入不同編號的小方格中，攪拌使藻類均勻，置入光度檢測箱中蓋上黑色窗簾，只留一隻手在內操縱光度檢測機以測其透光度。
 4. 透過標準曲線圖及透光度數據，反推出藻類的重量。

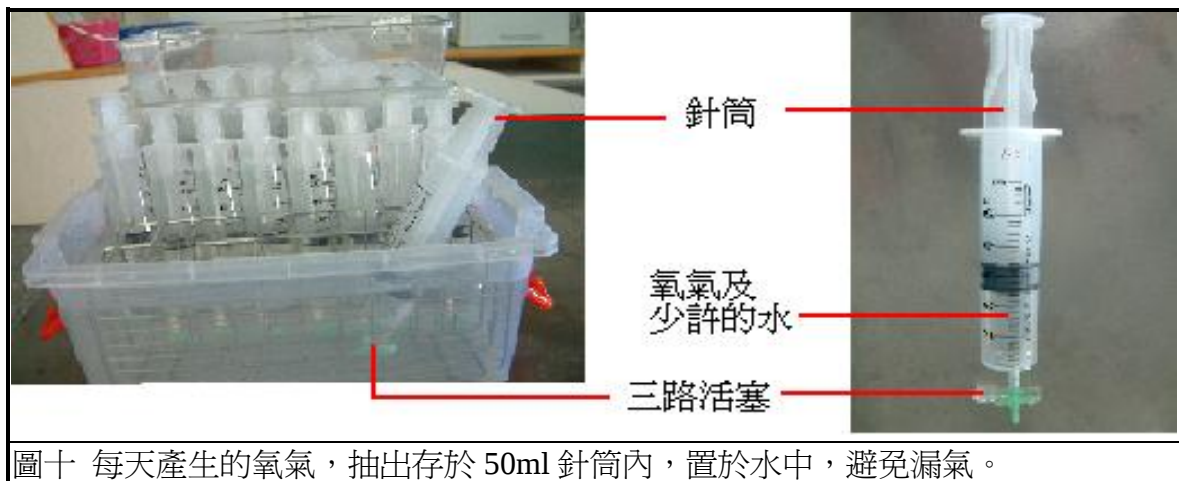


(三)藻類型態觀測

1. 每星期測完透光度後，再將透明小方格依序排列整齊後拍照紀錄之，共計六週。
2. 第一組每個濃度各取微量藻類置於載玻片下，再用顯微鏡觀測其顏色型態變化且拍攝記錄之。

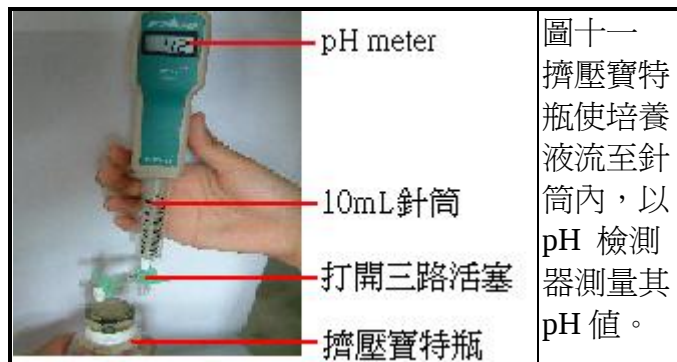
二、不同濃度二氧化碳對藻類的光合作用速率之影響

1. 每天中午，將 6ml 針筒接上藻類培養瓶三路活塞後，抽盡瓶內氣體，分別注入相對應 50ml 氣體收集針筒內，共計 24 管，皆置於水中，避免漏氣。
2. 每週將氣體收集針筒放入水槽中，打開三路活塞，使水進入針筒內，搖晃數次靜待壓力平衡後，判讀其體積並紀錄之，共計 6 週。



三、不同濃度二氧化碳對藻類培養液 pH 值之影響

1.如研究二的 24 瓶藻類培養瓶，在未加入藻類前，先插上 10mL 針筒，將三路活塞打開，擠壓培養瓶使培養液至針筒的 3ml 處，再放入 PH 計，使培養液覆蓋住 PH 計的電極部份，等到數字穩定後，讀取其 PH 值，並紀錄之。

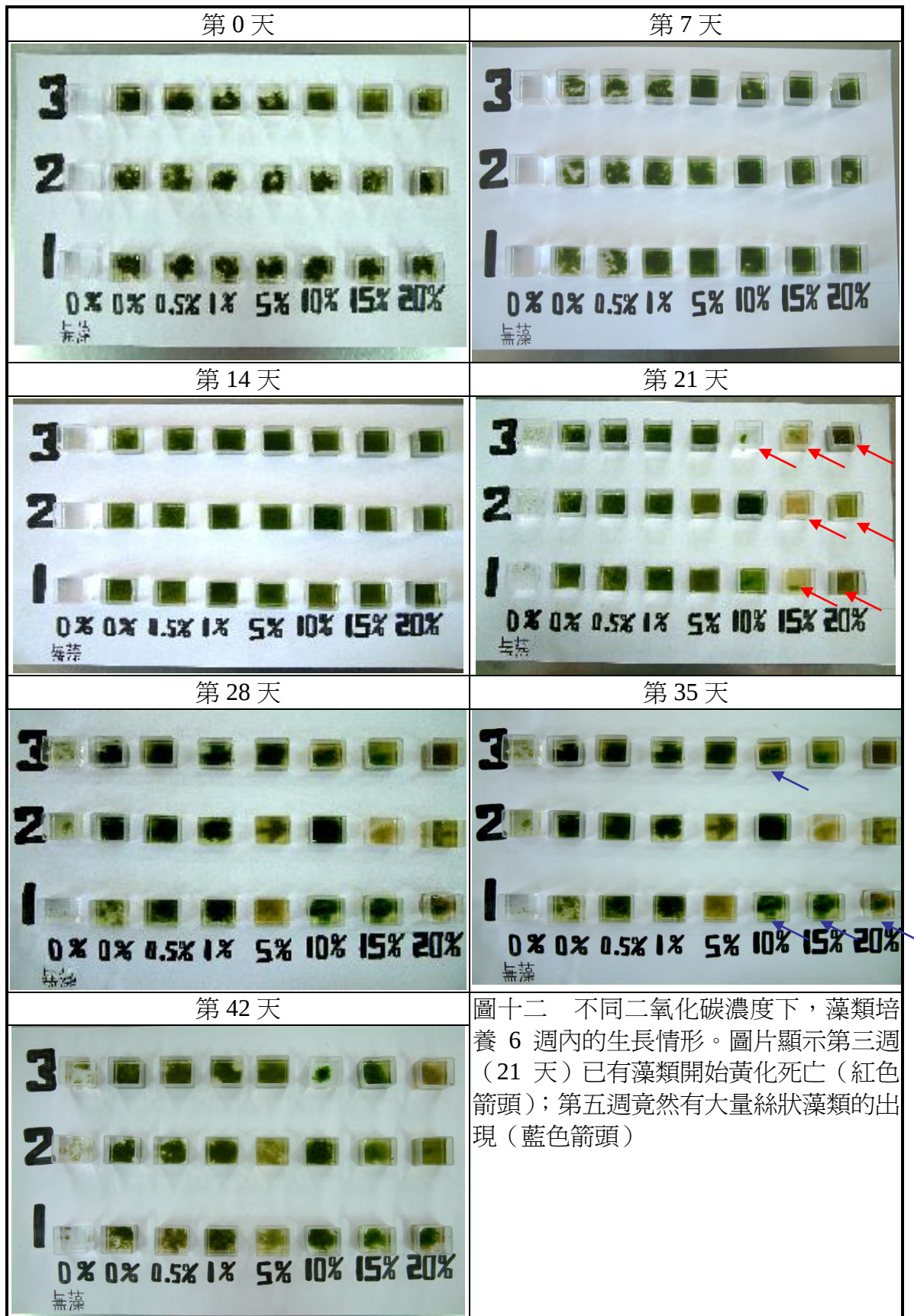


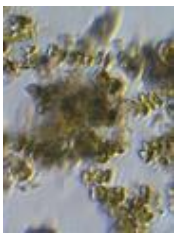
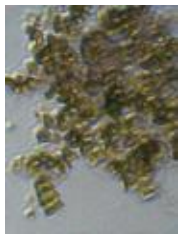
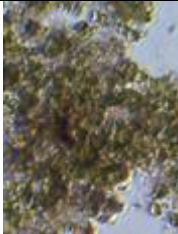
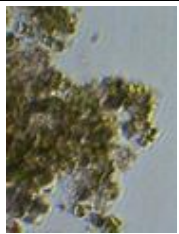
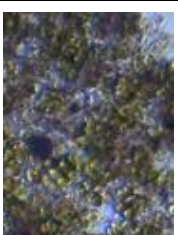
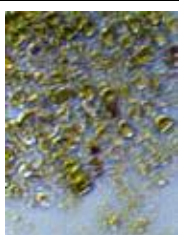
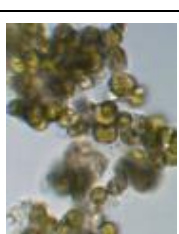
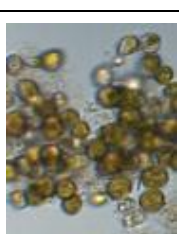
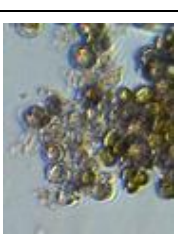
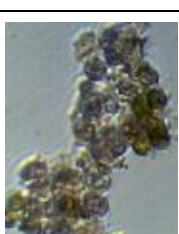
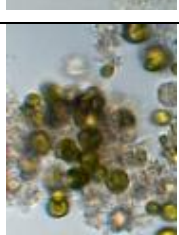
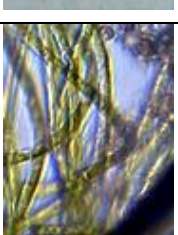
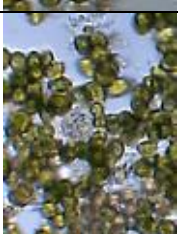
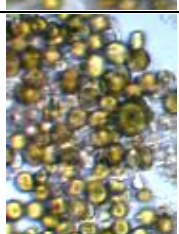
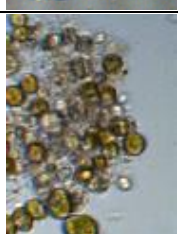
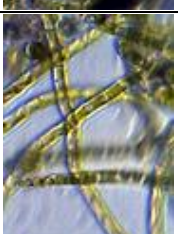
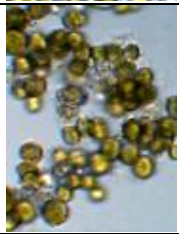
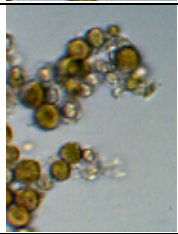
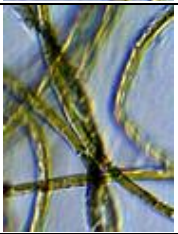
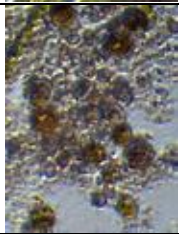
圖十一
擠壓寶特瓶使培養液流至針筒內，以 pH 檢測器測量其 pH 值。

2.每天中午待各瓶氧氣抽完後，即依上述方式測量其培養液之 PH 值。每瓶每天紀錄一次，共紀錄 6 星期(42 天)。

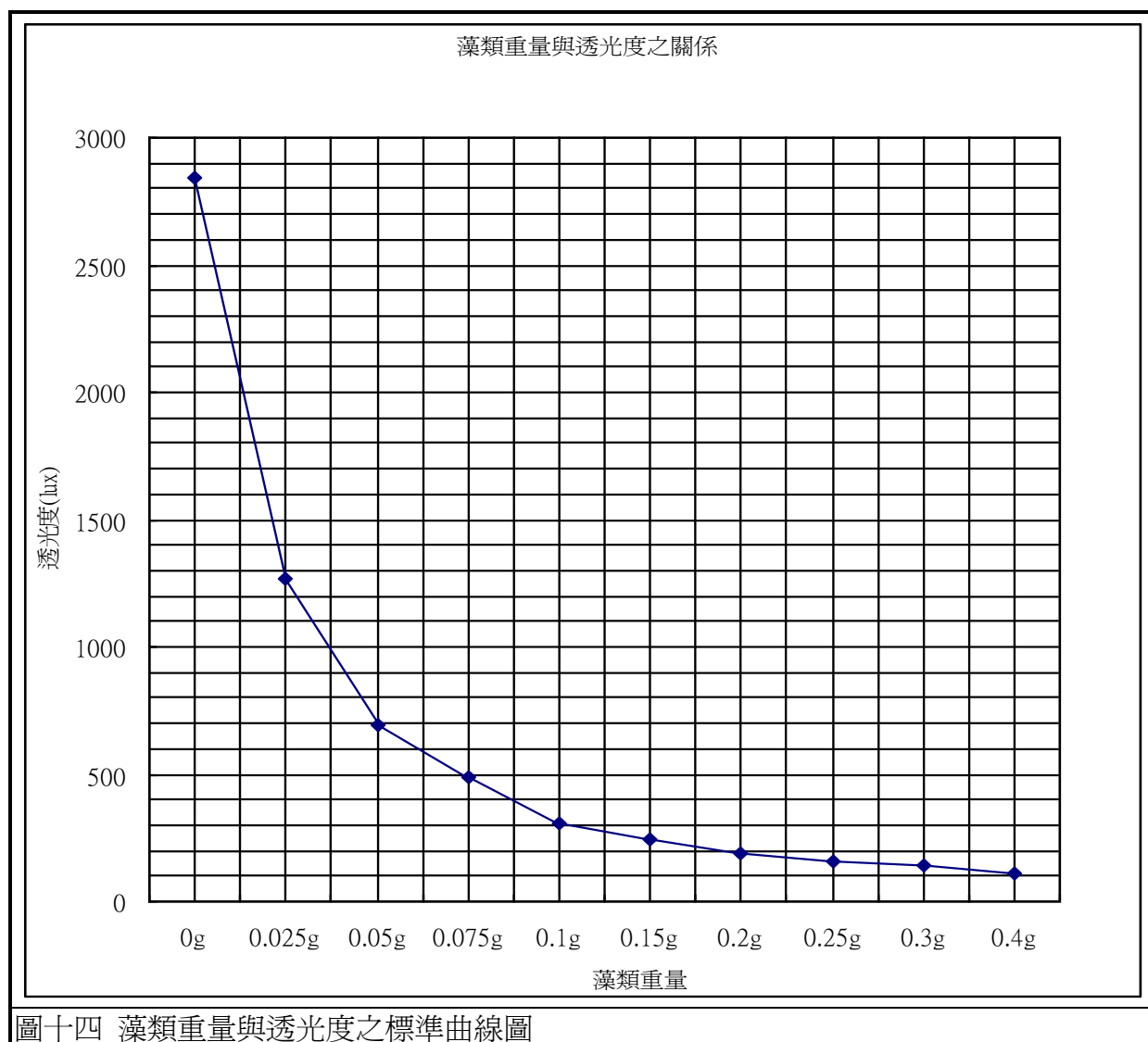
伍、結果與討論

一、不同濃度二氧化碳對浮游藻類生長之影響



濃度	第 7 天	第 14 天	第 21 天	第 28 天	第 35 天	第 42 天
0 %						
0.5 %						
1 %						
5 %						
10 %						
15 %						
20 %						

圖十三 取第一組個別濃度藻類拍攝的顯微照片。第 35 天高濃度（10~20%）組別明顯長出大量絲狀藻類



圖十四 藻類重量與透光度之標準曲線圖

表一 藻類透光度在六週內之變化記錄表

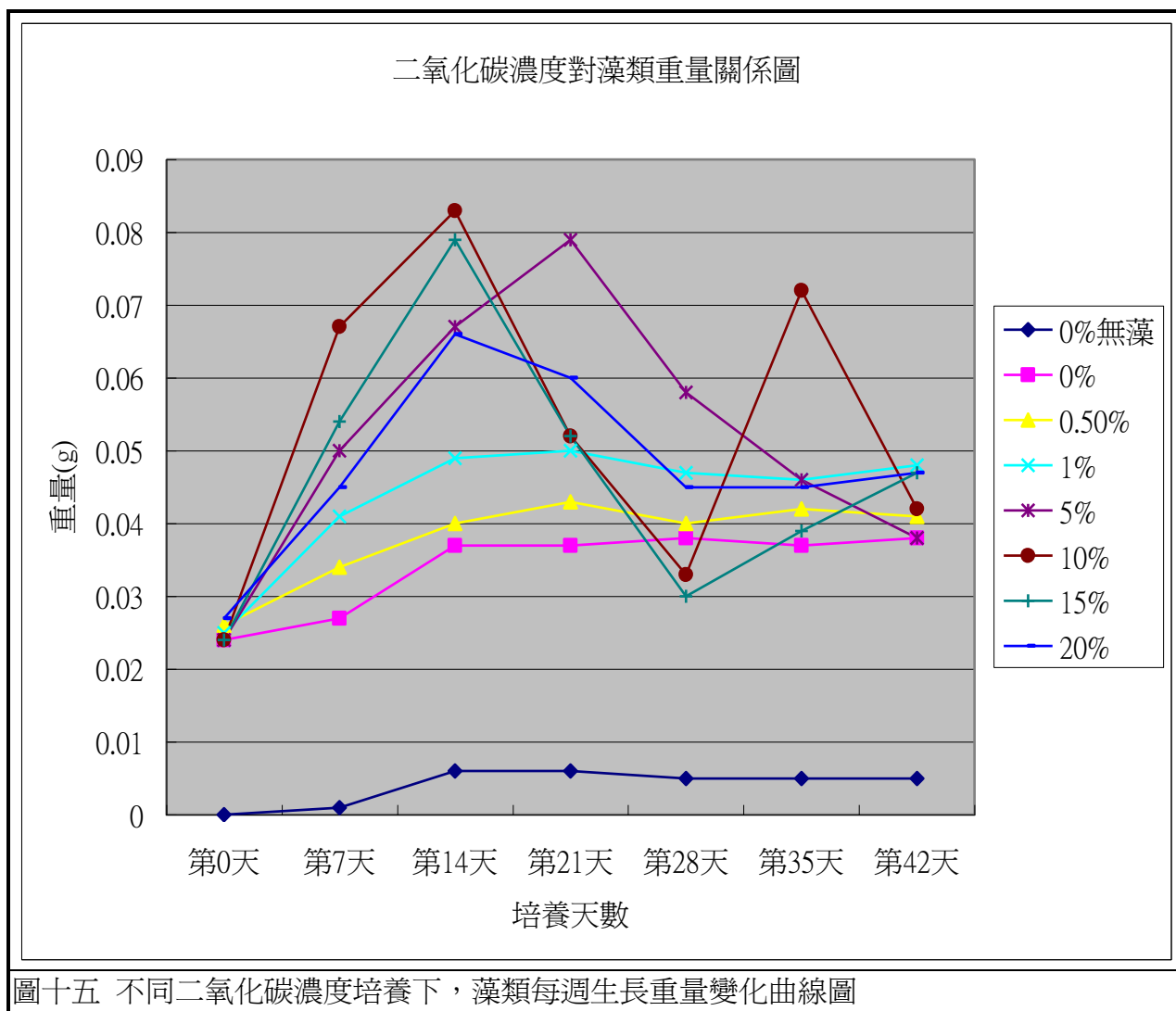
透光度	0%無藻				0%				0.5%			
日期	第一組	第二組	第三組	平均	第一組	第二組	第三組	平均	第一組	第二組	第三組	平均
第一週	2940	2790	2620	2783.3	965	1282	1319	1188.7	1183	929	1082	1064.7
	2880	2790	2630	2766.7	1031	1307	1385	1241	1207	908	1118	1077.7
第二週	2580	2330	2510	2473.3	919	950	1078	982.33	1154	841	785	926.67
	2640	2350	2550	2513.3	927	950	1058	978.33	1124	861	823	936
第三週	2510	2380	2630	2506.7	931	966	1050	982.33	964	863	695	840.67
	2480	2370	2530	2460	996	971	1027	998	948	894	767	869.67
第四週	2840	2500	2310	2550	1060	977	918	985	1055	891	783	909.67
	2850	2460	2350	2553.3	1025	954	919	966	1129	860	767	918.67
第五週	2430	2174	2110	2238	1491	902	820	1071	912	725	700	779
	2400	2116	2120	2212	1543	873	809	1075	905	785	708	799.33
第六週	2400	2190	2060	2216.7	882	833	776	830.33	939	816	710	821.67
	2480	2170	2067	2239	909	756	742	802.33	931	831	700	820.67

透光度	1%				5%				10%			
日期	第一組	第二組	第三組	平均	第一組	第二組	第三組	平均	第一組	第二組	第三組	平均
第一週	960	861	890	903.67	669	841	527	679	650	458	598	568.67
	915	792	917	874.67	653	893	568	704.67	664	448	535	549
第二週	701	661	778	713.33	753	546	367	555.33	565	194	510	423
	714	661	763	712.67	769	493	387	549.67	639	191	482	437.33
第三週	649	623	667	646.33	469	521	413	467.67	974	203	856	677.67
	659	626	707	664	459	501	418	459.33	954	216	865	678.33
第四週	798	721	714	744.33	662	724	489	625	778	180	2320	1092.7
	813	730	735	759.33	694	711	500	635	804	173	2300	1092.3
第五週	755	717	879	783.67	902	861	578	780.33	742	157	684	527.67
	779	624	910	771	909	885	535	776.33	714	158	660	510.67
第六週	706	677	815	732.67	1116	1176	651	981	765	414	1471	883.33
	696	626	848	723.33	1091	1204	638	977.67	751	369	1501	873.67

透光度	15%				20%			
日期	第一組	第二組	第三組	平均	第一組	第二組	第三組	平均
第一週	642	707	637	662	773	826	783	794
	627	685	631	647.67	769	822	804	798.33
第二週	519	472	395	462	584	622	506	570.67
	513	488	395	465.33	562	610	511	561
第三週	711	593	697	667	588	805	435	609.33
	721	590	710	673.67	594	806	431	610.33
第四週	1213	1132	1092	1145.7	735	1142	502	793
	1212	1169	1042	1141	753	1157	501	803.67
第五週	754	1220	809	927.67	941	1015	528	828
	726	1296	804	942	857	998	537	797.33
第六週	1157	793	358	769.33	692	853	721	755.33
	1125	807	336	756	683	854	696	744.33

表二 不同二氧化碳濃度培養下藻類每週生長重量平均總表

	第 0 天	第 7 天	第 14 天	第 21 天	第 28 天	第 35 天	第 42 天
0%無藻	—	0.001	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005
0%	0.024	0.027	0.037	0.037	0.038	0.037	0.038
0.50%	0.026	0.034	0.040	0.043	0.040	0.042	0.041
1%	0.025	0.041	0.049	0.050	0.047	0.046	0.048
5%	0.024	0.050	0.067	0.079	0.058	0.046	0.038
10%	0.024	0.067	0.083	0.052	0.033	0.072	0.042
15%	0.024	0.054	0.079	0.052	0.030	0.039	0.047
20%	0.027	0.045	0.066	0.060	0.045	0.045	0.047



- (一) 由光合作用化學反應式： $6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ 得知，隨著二氧化碳濃度的升高，葡萄糖的合成理論上亦隨之增加（文獻五，2008），如此應有助於浮游藻類的生長繁殖。
- (二) 由圖十二及表一我們推算出藻類每週的平均生長重量（表二），結果顯示前兩週，的確隨著二氧化碳的濃度升高，藻類重量也相對增加（圖十三）。尤其 5%、10%、15%、20% 的組別，藻類重量明顯較 0%、0.5%、1% 的組別為多。其中又以 10% 的組別，重量由原先的 0.024 克在第二週時增加到 0.083 克，重量倍增為原來的 3.46 倍。
- (三) 第二至六週，低濃度 0%、0.5%、1% 的組別，其藻類生長重量變化曲線（圖十三）略呈水平趨勢（0.037~0.050g），顯示其生長似已呈現平衡停滯的狀態。
- (四) 第二週後，10%、15%、20% 藻類重量開始呈現下降的趨勢，而 5% 組別亦在第三週後也開始下降，由圖十、圖十一照相圖片顯示浮游藻類已逐漸死亡。這意味著過高的二氧化碳濃度最終對浮游藻類的生存反而是有害的。
- (五) 第四週開始赫然發現 10%、15%、20% 組別竟然有似水綿的絲狀藻類長出，且逐漸增加，故第五週藻類重量才又再度升高。這表示不同的水質環境可能有不同的藻類適合長出。
- (六) 實驗中，10% 的第二組的生長較其他兩組旺盛，我們推測可能是因為實驗藻類的種

類並非單一純種，因而有不同的生長狀態。我們曾嘗試將藻類加以分離做純種的培養，可惜失敗。未來如果能更進一步的實驗，將藻類純化分離，用同一種藻類進行實驗，相信同組間的差異性能更縮小才對。

(七) 由於每天我們都會打開三路活塞測量 pH 值、每週取出藻類測量透光度，故藻類培養瓶並非完全密閉的系統。因此我們多設計了 0 %無藻的控制組，雖然最後幾週肉眼可見已有少許的藻類長出，但其六週內的重量最多只到 0.006 克，這誤差仍在我們允許的範圍內。

(八) 原先透光度檢測箱是用鐵絲固定手電筒，但實驗進行數週後發現光度越來越弱，顯示實驗是失敗的。我們重新設計改用插電的省電燈泡，以增加光線的亮度及穩定度，且每次測量前先偵測燈泡亮度皆在一固定的範圍內，再開始實驗。

(九) 我們實驗寶特瓶中的瓶口部分，原先是以奶嘴來將其封閉，但奶嘴不固定且容易鬆脫，後來，我們發現 60mL 針筒與寶特瓶口相當吻合，因此我們採用 60mL 針筒來封閉瓶口。

二、不同濃度二氧化碳對浮游藻類光合作用速率之影響

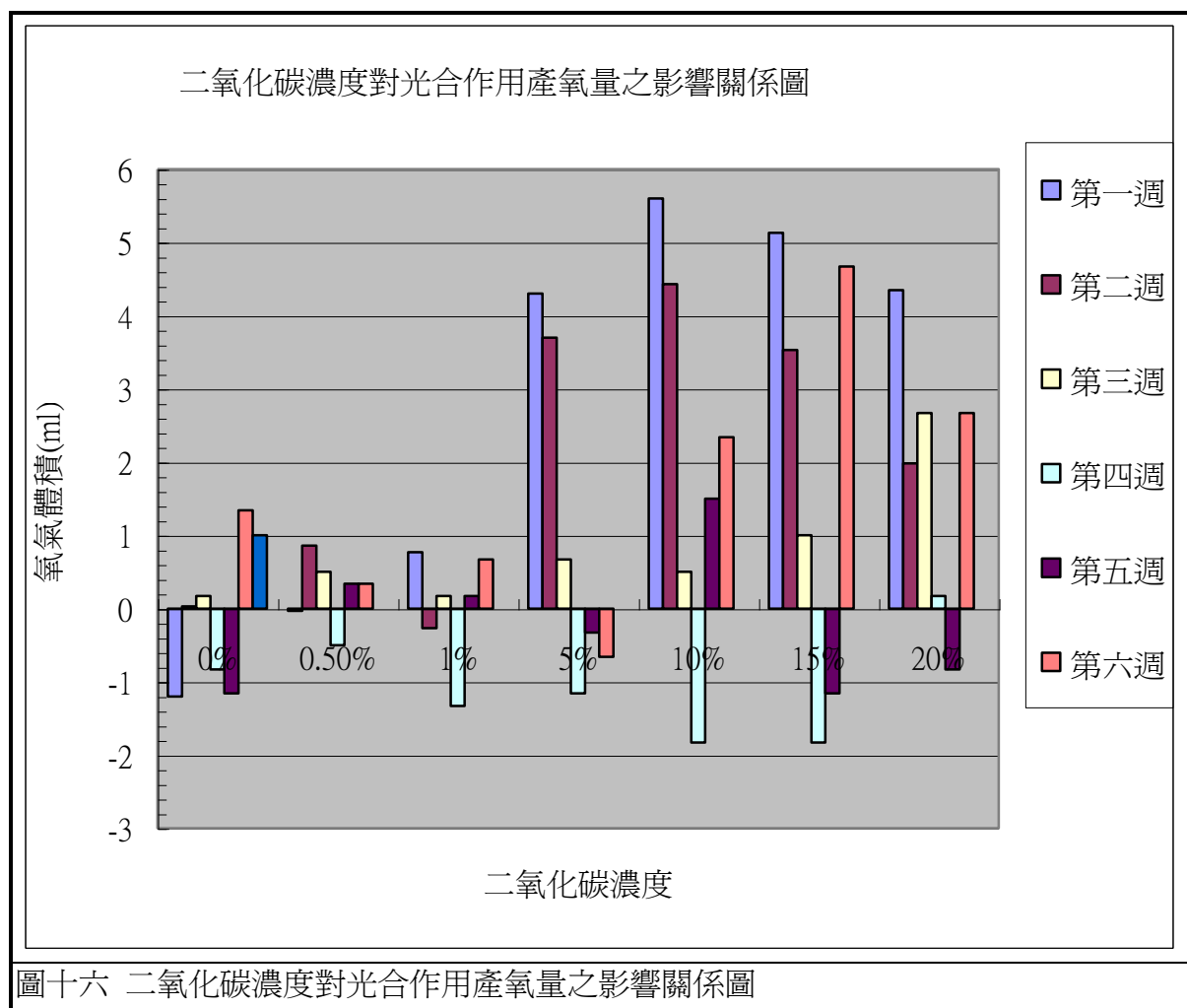
表三 不同二氧化碳濃度培養下藻類之產氧量 (ml) 記錄												
氧氣量	0%無藻				0%				0.5%			
日期	第一組	第二組	第三組	平均	第一組	第二組	第三組	平均	第一組	第二組	第三組	平均
第一週	2.7	3.8	2.5	3	1.8	2	1.6	1.8	3.8	2.6	2.5	2.97
第二週	3.3	2.2	2.5	2.67	3.2	2.5	2.4	2.7	4.2	4.4	2	3.53
第三週	1	—	1	1	0	3.5	0	1.17	2	2	0.5	6.5
第四週	2	0.5	3	1.83	1	0	2	1	2	1	1	1.33
第五週	2	1.5	2	1.83	1	0	1	0.67	4.5	1	1	2.17
第六週	1	1	2	1.33	3	2	3	2.67	2.5	1.5	1	1.67

氧氣量	1%				5%				10%			
日期	第一組	第二組	第三組	平均	第一組	第二組	第三組	平均	第一組	第二組	第三組	平均
第一週	4.4	3.3	3.6	3.77	4.9	8.5	8.5	7.3	6.1	11	8.7	8.6
第二週	3.1	1.7	2.4	2.4	8.1	5.5	5.5	6.37	6.9	—	7.3	7.1
第三週	0.5	2	1	1.17	1	1	3	1.67	1	—	2	1.5
第四週	—	0	1	0.5	0	1	1	0.67	0	0	0	0
第五週	—	3	1	2	2.5	0.5	1.5	1.5	5	3	2	3.33
第六週	3	2	1	2	0.5	1.5	0	0.67	2	5	4	3.67

氧氣量	15%				20%			
日期	第一組	第二組	第三組	平均	第一組	第二組	第三組	平均
第一週	6.9	8	9.5	8.13	—	6.7	8	7.35
第二週	6.1	6	6.5	6.2	—	3.3	6	4.65
第三週	0	6	0	2	4	3	4	3.67
第四週	0	0	0	0	1	0	5	2

第五週	2	0	0	0.67	2	1	0	1
第六週	6	1	11	6	8	2	2	4

表四 不同二氧化碳濃度培養下藻類每週之相對平均產氧量 (ml) 記錄							
二氧化碳濃度	0%	0.50%	1%	5%	10%	15%	20%
第一週	-1.2	-0.03	0.77	4.3	5.6	5.13	4.35
第二週	0.03	0.86	-0.27	3.7	4.43	3.53	1.98
第三週	0.17	0.5	0.17	0.67	0.5	1	2.67
第四週	-0.83	-0.5	-1.33	-1.16	-1.83	-1.83	0.17
第五週	-1.16	0.34	0.17	-0.33	1.5	-1.16	-0.83
第六週	1.34	0.34	0.67	-0.66	2.34	4.67	2.67
註：每週相對平均產氧量=各濃度每週平均產氧量－控制組（0%無藻）每週平均產氧量							

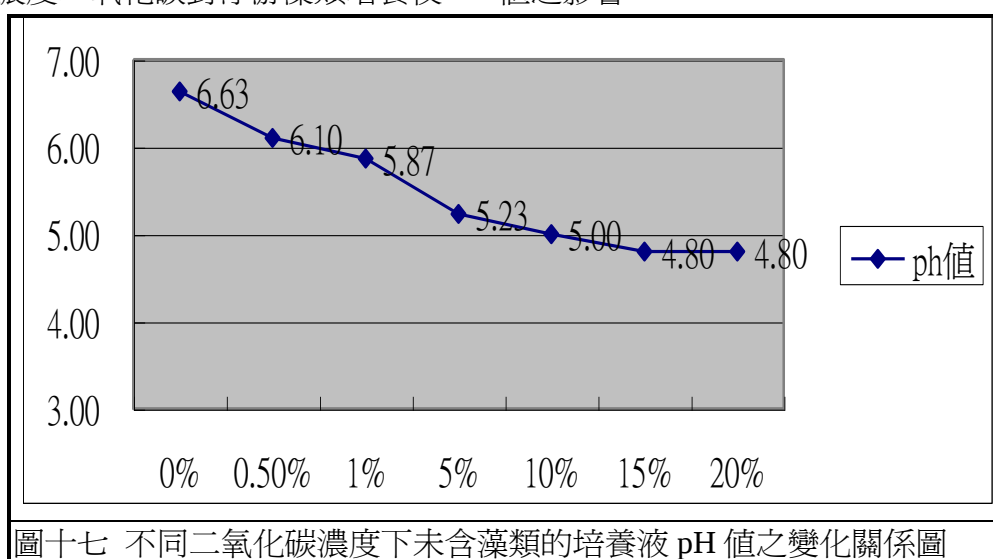


- (一) 在培養瓶內的藻類在白天有光時進行光合作用產生氧氣，但也日夜隨時進行呼吸(分解)作用消耗氧氣、產生二氧化碳而溶於水中。故本研究中所提及的二氧化碳濃度切確而言指的應是實驗剛開始時的起始濃度。
- (二) 實驗過程中須開關三路活塞，因此必然會有少許氣體跑入瓶內，此項誤差必須扣除。故在測得各濃度的藻類之產氧量(表三)後須再扣除控制組(0%無藻)的氣體量以

求得每週相對平均產氧量（表四、圖十四）。

- (三) 由表四及圖十四結果看來，0%、0.5%、1%的組別，其產氧量在六週內體積介於-1.33ml~1.34ml 之間，顯示較低的二氧化碳濃度導致光合作用的速率無法提升。這也間接証實了前面的研究，碳源的不足是導致這些組別的藻類生長重量無法大量提高的主要原因之一。
- (四) 濃度 5%、10%、15%、20%的組別，在前兩週的產氧量相對明顯較高，其中又以 10% 第一週的產氧量最高（5.6ml）。顯示較高濃度二氧化碳在短期內的確可促進光合作用速率，進一步也促進了藻類重量的增加，但並非濃度越高促進效果就越好。第三週開始產氧量明顯降低，主要原因應是藻類大量死亡所致。
- (五) 在第六週時，10%、15%、20%的組別因長出大量絲狀藻類，才使得氧氣量又增加許多。最後，我們認為高濃度二氧化碳只在初期能促進浮游藻類的光合作用，但隨後會逐漸導致浮游藻類的死亡，進一步引起水質惡化、優養化現象的產生。

三、不同濃度二氧化碳對浮游藻類培養液 PH 值之影響



圖十七 不同二氧化碳濃度下未含藻類的培養液 pH 值之變化關係圖

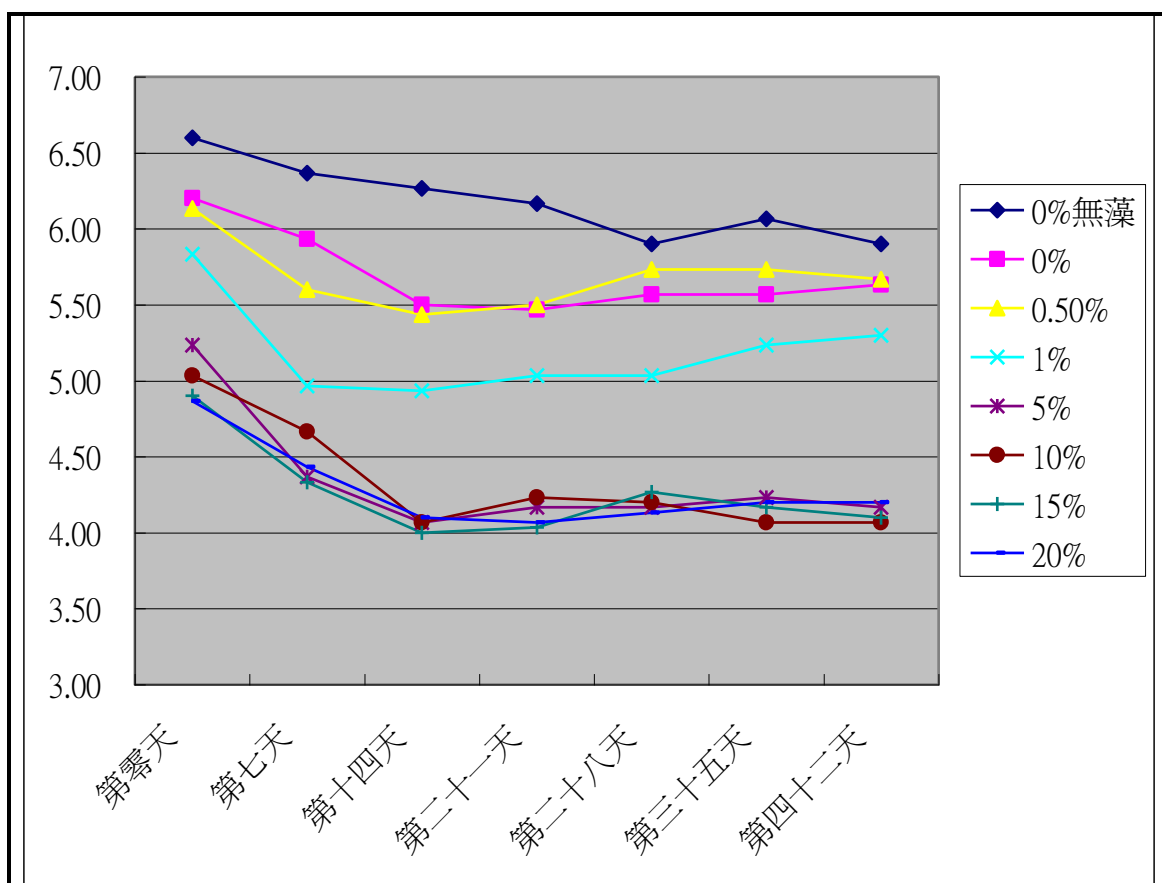
表五 不同二氧化碳濃度對每天藻類培養液 pH 值之影響記錄												
濃度	0%無藻				0%				0.50%			
日期	第一組	第二組	第三組	平均	第一組	第二組	第三組	平均	第一組	第二組	第三組	平均
第零天(無藻)	6.6	6.8	6.4	6.60	6.8	6.6	6.5	6.63	6	6	6.3	6.10
第零天	—	—	—	—	6.4	6.1	6.1	6.20	6.1	6	6.3	6.13
第一天	6.7	6.2	6.3	6.40	6.6	6	6.3	6.30	6	5.8	6.3	6.03
第二天	6.5	6.1	6.3	6.30	6.5	6.2	6.3	6.33	5.9	5.8	6.3	6.00
第三天	6.5	6.4	6.6	6.50	6.5	6.3	6.3	6.37	5.7	5.6	6.3	5.87
第四天	6.4	6.2	6.5	6.37	6.3	6.2	6.3	6.27	5.6	5.5	6.3	5.80
第五天	6.4	6.1	6.4	6.30	6.2	5.8	6.2	6.07	5.8	5.2	6.1	5.70
第六天	6.1	6	6.4	6.17	5.9	5.9	6.2	6.00	5.4	5.3	6.1	5.60
第七天	6.3	6.3	6.5	6.37	5.8	5.9	6.1	5.93	5.5	5.4	5.9	5.60
第八天	6.3	6.3	6.4	6.33	5.7	6	6.1	5.93	5.6	5.6	6.1	5.77

第九天	6.4	6.2	6.4	6.33	5.7	5.5	6.1	5.77	5.3	5.3	5.9	5.50
第十天	6.5	6.2	6.6	6.43	5.7	5.5	6	5.73	5.4	5.3	5.9	5.53
第十一天	6.3	6.3	6.4	6.33	5.5	5.5	5.9	5.63	5.4	5.3	5.8	5.50
第十二天	6.5	6.1	6.2	6.27	5.5	5.5	5.7	5.57	5.3	5.7	5.8	5.60
第十三天	6.6	6.3	6.2	6.37	5.5	5.4	5.7	5.53	5.3	5.3	5.8	5.47
第十四天	6.5	6.1	6.2	6.27	5.5	5.3	5.7	5.50	5.2	5.3	5.8	5.43
第十五天	6.5	6.1	6.3	6.30	5.5	5.3	5.9	5.57	5.3	5.3	6	5.53
第十六天	6.3	6.2	6.1	6.20	5.5	5.4	5.9	5.60	5.4	5.3	6.1	5.60
第十七天	6.4	6.1	6.1	6.20	5.4	5.5	5.8	5.57	5.6	5.3	6	5.63
第十八天	6.6	6.1	6	6.23	5.5	5.3	5.8	5.53	5.5	5.4	6	5.63
第十九天	6.5	6.1	6	6.20	5.6	5.5	5.7	5.60	5.5	5.4	5.9	5.60
第二十天	6.5	6	6	6.17	5.5	5.3	5.8	5.53	5.5	5.4	6	5.63
第二十一天	6.6	6	5.9	6.17	5.6	5.5	5.3	5.47	5.3	5.4	5.8	5.50
第二十二天	6.6	6.2	5.9	6.23	5.5	5.6	5.7	5.60	5.3	5.6	5.8	5.57
第二十三天	6.5	6	5.9	6.13	5.8	5.5	5.7	5.67	5.4	5.4	5.9	5.57
第二十四天	6.5	6	6.1	6.20	5.7	5.5	5.7	5.63	5.5	5.4	5.8	5.57
第二十五天	6.4	5.9	5.9	6.07	5.9	5.4	5.9	5.73	5.5	5.4	6	5.63
第二十六天	6.6	6	6.1	6.23	6	5.5	6	5.83	5.5	5.5	6.1	5.70
第二十七天	6.8	5.8	5.8	6.13	5.5	5	5.4	5.30	5.4	4.9	6.3	5.53
第二十八天	6.4	5.6	5.7	5.90	5.8	5.4	5.5	5.57	5.6	5.6	6	5.73
第二十九天	6.6	5.6	5.7	5.97	5.8	5.3	5.6	5.57	5.5	5.4	6	5.63
第三十天	6.6	5.6	5.7	5.97	5.8	5.4	5.5	5.57	5.7	5.3	6	5.67
第三十一天	6.6	5.6	5.8	6.00	5.9	5.3	5.4	5.53	5.8	5.4	6.1	5.77
第三十二天	6.7	5.8	5.9	6.13	5.9	5.4	5.4	5.57	5.9	5.5	6.2	5.87
第三十三天	6.7	5.9	5.7	6.10	5.9	5.3	5.7	5.63	6	5.5	6.1	5.87
第三十四天	6.8	5.6	5.6	6.00	5.8	5.3	5.6	5.57	5.8	5.5	6	5.77
第三十五天	6.9	5.7	5.6	6.07	5.9	5.4	5.4	5.57	5.8	5.5	5.9	5.73
第三十六天	6.6	5.7	5.6	5.97	6	5.4	5.3	5.57	5.8	5.5	6	5.77
第三十七天	6.6	5.6	5.7	5.97	6	5.5	5.5	5.67	5.9	5.5	5.9	5.77
第三十八天	6.9	5.4	5.4	5.90	6.1	5.5	5.3	5.63	5.7	5.2	6	5.63
第三十九天	6.8	5.4	5.5	5.90	6	5.6	5.3	5.63	5.7	5.4	5.9	5.67
第四十天	6.8	5.6	5.4	5.93	6.2	5.5	5.3	5.67	5.8	5.5	5.8	5.70
第四十一天	6.6	5.4	5.4	5.80	6.1	5.6	5.5	5.73	5.9	5.5	5.9	5.77
第四十二天	6.7	5.5	5.5	5.90	6	5.4	5.5	5.63	5.6	5.4	6	5.67
濃度	1%				5%				10.00%			
日期	第一組	第二組	第三組	平均	第一組	第二組	第三組	平均	第一組	第二組	第三組	平均
第零天(無藻)	5.8	5.7	6.1	5.87	5.2	5.1	5.4	5.23	4.9	5.2	4.9	5.00
第零天	5.8	5.7	6	5.83	5.2	5.2	5.3	5.23	5	5.2	4.9	5.03
第一天	5.8	5.5	5.9	5.73	5.1	5.1	5.3	5.17	4.9	5.5	4.8	5.07
第二天	5.3	5	5.5	5.27	5	4.8	5.1	4.97	4.9	5.4	4.7	5.00
第三天	5	5	5.3	5.10	4.8	4.8	4.8	4.80	4.8	5.5	4.6	4.97

第四天	4.9	4.9	5.2	5.00	4.8	4.8	4.7	4.77	4.7	5.4	4.5	4.87
第五天	5.1	4.7	5.1	4.97	4.7	4.4	4.5	4.53	4.6	5.3	4.4	4.77
第六天	4.8	4.9	5.3	5.00	4.4	4.4	4.5	4.43	4.5	5.3	4.4	4.73
第七天	5	4.8	5.1	4.97	4.5	4.3	4.3	4.37	4.5	5.2	4.3	4.67
第八天	4.8	4.8	5	4.87	4.3	4.3	4.1	4.23	4.3	5.2	4.1	4.53
第九天	4.8	4.7	5.1	4.87	4.2	4.2	4.1	4.17	4.1	4.9	4.1	4.37
第十天	4.9	4.8	5.1	4.93	4.2	4.2	4.1	4.17	4.2	4.8	4.1	4.37
第十一天	4.8	4.8	5	4.87	4.2	4.2	4	4.13	4.2	4.6	4	4.27
第十二天	4.8	4.8	5	4.87	4.1	4.1	4.1	4.10	4	4.3	4.1	4.13
第十三天	4.8	4.8	5	4.87	4.1	4.1	4.1	4.10	4.1	4.2	4.1	4.13
第十四天	4.8	4.9	5.1	4.93	4.1	4.1	4	4.07	4	4.2	4	4.07
第十五天	4.8	4.9	5.2	4.97	4.1	4.1	4	4.07	4	4.2	4	4.07
第十六天	4.8	4.9	5.1	4.93	4.1	4.1	4	4.07	4.1	4.2	4	4.10
第十七天	4.8	4.9	5.3	5.00	4.1	4.1	4.1	4.10	4.1	4.2	4.1	4.13
第十八天	4.8	4.8	5.2	4.93	4.1	4.1	4.1	4.10	4.1	4.3	4.1	4.17
第十九天	4.8	4.8	5.3	4.97	4.1	4.1	4.1	4.10	4.2	4.3	4.1	4.20
第二十天	4.8	4.9	5	4.90	4.2	4.1	4.1	4.13	4.2	4.2	4.1	4.17
第二十一天	4.9	4.9	5.3	5.03	4.2	4.1	4.2	4.17	4.2	4.3	4.2	4.23
第二十二天	5	4.9	5.4	5.10	4.1	4.1	4.1	4.10	4.2	4.3	4.1	4.20
第二十三天	5	4.8	5.3	5.03	4.1	4.1	4.1	4.10	4.2	4.3	4.1	4.20
第二十四天	5.1	4.8	5.4	5.10	4.1	4.1	4.2	4.13	4.2	4.3	4.2	4.23
第二十五天	4.9	4.8	5.4	5.03	4.1	4.1	4.2	4.13	4.2	4.3	4.2	4.23
第二十六天	4.8	4.8	5.2	4.93	4.2	4.2	4.2	4.20	4.1	4.3	4.3	4.23
第二十七天	4.7	4.7	5	4.80	4.2	4.1	4	4.10	4	4.2	4.2	4.13
第二十八天	4.9	4.9	5.3	5.03	4.2	4.1	4.2	4.17	4	4.3	4.3	4.20
第二十九天	4.9	5	5.3	5.07	4.2	4.2	4.1	4.17	4.1	4.2	4.2	4.17
第三十天	4.9	4.8	5.5	5.07	4.2	4.2	4.3	4.23	3.9	4.4	4.3	4.20
第三十一天	5.1	4.9	5.3	5.10	4.3	4.4	4.1	4.27	3.9	4.2	4.3	4.13
第三十二天	5.2	4.9	5.4	5.17	4.2	4.4	4.3	4.30	3.9	4.3	4.2	4.13
第三十三天	4.8	5	5.6	5.13	4.3	4.3	4.4	4.33	4	4.5	4.2	4.23
第三十四天	5.1	4.9	5.2	5.07	4.5	4.3	4.1	4.30	3.9	4.5	4	4.13
第三十五天	5.2	4.9	5.6	5.23	4.4	4.2	4.1	4.23	3.8	4.3	4.1	4.07
第三十六天	5.1	5	5.5	5.20	4.2	4.3	4.1	4.20	3.8	4.3	4.1	4.07
第三十七天	5	5.1	5.3	5.13	4.3	4.2	4.1	4.20	3.8	4.3	4	4.03
第三十八天	4.9	5.3	5.4	5.20	4.4	4.2	4.2	4.27	3.8	4.4	4	4.07
第三十九天	5.2	4.9	5.3	5.13	4.3	4.2	4.1	4.20	3.8	4.3	3.9	4.00
第四十天	4.8	5.1	5.2	5.03	4.2	4.2	4.1	4.17	3.8	4.3	4.1	4.07
第四十一天	4.8	5.2	5.5	5.17	4.3	4.2	4	4.17	4	4.4	3.9	4.10
第四十二天	5.1	5.3	5.5	5.30	4.3	4.1	4.1	4.17	3.9	4.4	3.9	4.07

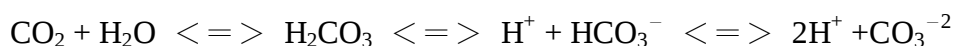
濃度	15%				20%			
日期	第一組	第二組	第三組	平均	第一組	第二組	第三組	平均
第零天(無藻)	4.9	4.7	4.8	4.80	4.7	5.1	4.6	4.80
第零天	5.1	4.8	4.8	4.90	4.7	5.2	4.7	4.87
第一天	4.9	4.7	4.8	4.80	4.8	5.1	4.6	4.83
第二天	4.8	4.6	4.7	4.70	4.7	4.9	4.6	4.73
第三天	4.7	4.6	4.5	4.60	4.7	4.9	4.5	4.70
第四天	4.6	4.6	4.5	4.57	4.6	4.8	4.5	4.63
第五天	4.4	4.4	4.4	4.40	4.5	4.7	4.4	4.53
第六天	4.4	4.5	4.4	4.43	4.5	4.5	4.4	4.47
第七天	4.4	4.4	4.2	4.33	4.5	4.5	4.3	4.43
第八天	4.2	4.4	4.1	4.23	4.3	4.4	4.2	4.30
第九天	4.1	4.2	4.1	4.13	4.2	4.3	4.2	4.23
第十天	4.2	4.2	4.1	4.17	4.2	4.2	4.2	4.20
第十一天	4.1	4.2	4	4.10	4.2	4.2	4	4.13
第十二天	4	4.1	4	4.03	4.1	4.2	4.1	4.13
第十三天	4.1	4.1	4	4.07	4.1	4.2	4.1	4.13
第十四天	4	4.1	3.9	4.00	4.1	4.2	4	4.10
第十五天	4	4	4	4.00	4	4.2	4	4.07
第十六天	4	4	4	4.00	4	4.2	4	4.07
第十七天	4.1	4	4	4.03	4	4.2	4	4.07
第十八天	4	4	4	4.00	4	4.2	3.9	4.03
第十九天	4.1	4	4	4.03	4	4.2	3.9	4.03
第二十天	4.1	4.1	4.1	4.10	4	4.2	3.9	4.03
第二十一天	4.1	4	4	4.03	4	4.3	3.9	4.07
第二十二天	4.1	4	4	4.03	4	4.3	3.9	4.07
第二十三天	4.1	4.1	4	4.07	4	4.2	3.9	4.03
第二十四天	4.1	4.1	4.2	4.13	4.1	4.3	3.9	4.10
第二十五天	4.2	4.2	4	4.13	4	4.2	3.9	4.03
第二十六天	4.2	4.1	4.3	4.20	4.1	4.3	4	4.13
第二十七天	4.2	4.1	4.2	4.17	4	4.2	3.9	4.03
第二十八天	4.3	4.2	4.3	4.27	4.1	4.3	4	4.13
第二十九天	4.3	4.4	4.2	4.30	4.1	4.3	4	4.13
第三十天	4.3	4.3	4.3	4.30	4.1	4.2	4	4.10
第三十一天	4.4	4.3	4.3	4.33	4.2	4.3	4.1	4.20
第三十二天	4.5	4.4	4.2	4.37	4.3	4.4	4.1	4.27
第三十三天	4.4	4.4	4.2	4.33	4.4	4.5	4.1	4.33
第三十四天	4.2	4.3	4	4.17	4.4	4.5	4	4.30
第三十五天	4	4.4	4.1	4.17	4.2	4.4	4	4.20
第三十六天	4	4.4	4.1	4.17	4.2	4.3	4	4.17
第三十七天	3.9	4.4	4	4.10	4.1	4.4	4.1	4.20

第三十八天	4	4.5	4	4.17	4.2	4.4	4	4.20
第三十九天	3.8	4.4	3.9	4.03	4.2	4.4	4	4.20
第四十天	3.8	4.6	4.1	4.17	4.1	4.4	4	4.17
第四十一天	3.9	4.5	3.9	4.10	4.2	4.3	4.1	4.20
第四十二天	3.9	4.5	3.9	4.10	4.1	4.4	4.1	4.20



圖十八 不同二氧化碳濃度下藻類培養液每週 pH 值變化曲線圖

(一) 二氧化碳易溶於水，會與水產生一連串的化學反應：



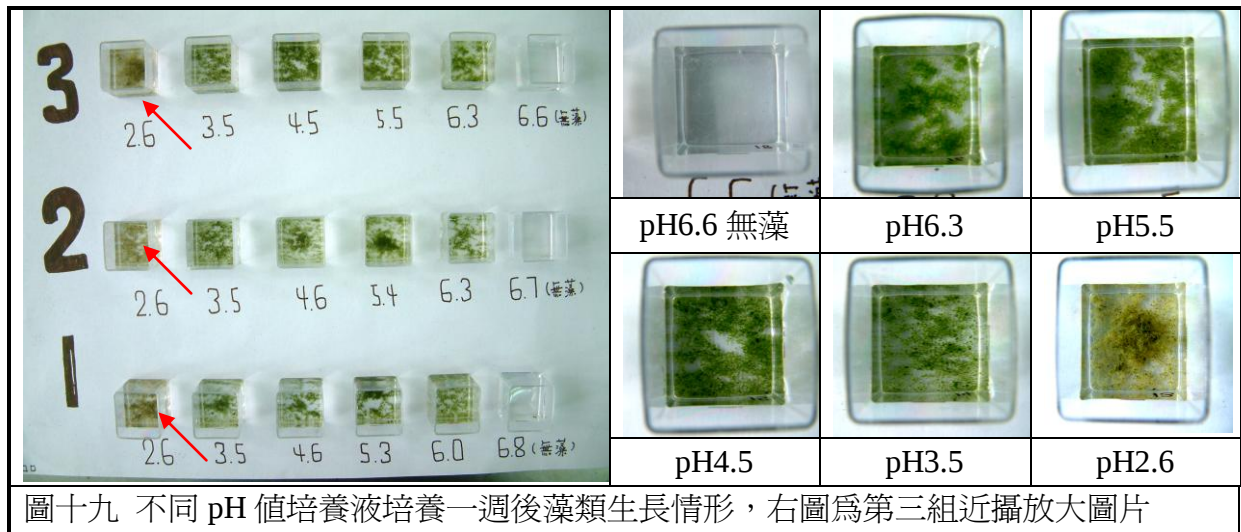
使得水溶液呈現酸性，pH 值降低。由圖十五結果亦證實隨著二氧化碳濃度的增加，未含藻類的培養液之 pH 值亦由 6.63 逐漸降低至 15%、20%時皆為 4.8。這亦顯示此培養液為一含有眾多酸鹼離子的緩衝溶液。

(二) 由每天的培養瓶記錄總表（表五）顯示，pH 值的變化是一緩慢漸進的過程。再由圖十六的曲線變化可知前二週所有組別 pH 值皆呈現逐漸下降的趨勢，約在第二週時達到了最低點。綜合之前的研究，我們認為主要是前兩週藻類分裂生長旺盛（圖十三），吸收了培養液中的相關營養鹽等離子、呼吸作用累積的二氧化碳、代謝分解過程排出的有機酸等原因，共同導致了 pH 值的降低。

(三) 第二週之後的 pH 值分成了二氧化碳濃度 1% 以下、5% 以上兩種類群。1%以下（0%、0.5%、1%）的組別，pH 值分佈在 5.0~6.5 之間，對應這段期間，其生存亦約略呈現出停滯平衡的狀態（圖十三）。而 5%以上（5%、10%、15%、20%）的組別，pH 值一直穩定維持在 4.0 左右，我們推測即可能因這種過酸的 pH 值，影響了光合作用及

其生長，最後導致浮游藻類的大量死亡，進一步引發水質的惡化及優養化的絲狀藻類大量孳生。

- (四) 針對上述的推論（pH 值過酸而造成藻類的死亡），我們又簡單設計了一個不同 pH 值對於藻類生存影響的實驗（圖十七）。初步發現 pH 值 2.6 的三組藻類在一週內均以黃化死亡，後續進一步觀察應更能瞭解 PH 值對於藻類生存所造成的影響。



圖十九 不同 pH 值培養液培養一週後藻類生長情形，右圖為第三組近攝放大圖片

- (五) 綜合以上有關生長重量、光合作用、pH 值的實驗，我們發現二氧化碳濃度 1% 以下與 5% 以上約略呈現兩種不同的生長情況。據此，若能在 1%~5% 之間再多做幾組實驗，相信應能更進一步觀察出其中相關的轉折點。

陸、結論

- 一、隨著水中二氧化碳濃度的增加，初期（約 2 週內）對浮游藻類是有利的。它可促進浮游藻類的迅速生長、重量增加，並提升光合作用的速率。
- 二、當水中二氧化碳濃度過高（大於 5%）時，末期（約 2 週後）會導致水質的過度酸化（pH $\approx$ 4），進而抑制浮游藻類的生長、降低其光合作用速率，最後導致浮游藻類的大量死亡。
- 三、我們的研究雖與實際海洋生態系仍有不小的差距，但也提供了一項警訊，人類若再放任二氧化碳繼續毫無節制的排放，可預見未來的海洋將面臨一場生態的浩劫！

柒、參考文獻

- 一、酸性威脅---隨著二氧化碳濃度增加，有殼動物可能消失絕跡(2007)。國家地理雜誌（中文版），83，94-95。
- 二、黃春蘭（2003）。水域中二氧化碳與 pH 值的關係。水質學，82-89。
- 三、劉惠雅、林吟臻（2006）。海洋酸化的危機。取自：
<http://elearning.ice.ntnu.edu.tw/blogdata/uploadpfo/lcvsa029>。
- 四、藻類的分離和培養（2007）。取自：<http://www.51protocol.com/tool/base>。
- 五、光合作用（2008）。維基百科，取自：<http://zh.wikipedia.org/wiki/>。

【評語】 031716

實驗動機有趣，與現階段地球環境問題相關，值得鼓勵。

實驗方法應更嚴謹，以求得正確的結論。