

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

081551

水草的有氧運動

學校名稱：嘉義縣朴子市大同國民小學

作者： 小六 黃雅亭 小六 戴士堯 小六 林意婷 小六 趙允偉 小六 王筱文 小六 林子傑	指導老師： 邱怡倩、邱孟月
---	------------------

關鍵詞：水草、光合作用、產氧量

水草的有氧運動—影響綠菊行光合作用的因素探討

摘要

影響水草行光合作用的三大主因有陽光、空氣、水。故在本研究中，欲進一步深入探討綠菊與光源的距離、色光、水源、液肥及碳酸氫鈉對於綠菊行光合作用的影響。實驗過程中，我們在地下室吊起太陽燈來照射綠菊，並利用加工過的 26ml 滴定管收集氧氣。由實驗結果得知，以綠菊和光源間的距離來說，距離愈近，愈能促進綠菊行光合作用；色光方面則以藍色色光對於綠菊行光合作用的幫助最大，紅、綠及紫色色光對於綠菊行光合作用的影響則不相上下；水源方面，地下水對於綠菊行光合作用有最大助益；液肥方面，種植綠菊時添加液肥可促進其生長，進而提升光合作用的速率，但須留意添加液肥應適量即可，其濃度不宜超過 1%；以添加的碳酸氫鈉的濃度而言，故若要在水中加入碳酸氫鈉水溶液以促進綠菊行光合作用時，其添加的濃度不宜超過 6.7%。

壹、研究動機

在四年級自然課程中，有個單元是針對「水草行光合作用產生什麼氣體？」進行探究，當時做實驗，因為種種因素，導致我們蒐集到的氧氣量很少，所以不容易觀察和測量。而我們相信只要針對影響光合作用的三大主因—陽光、空氣、水等問題進行研究分析，一定可以找到許多影響水草行光合作用產氧量的因素。

此外，有次到同學家裡拜訪，見到他家的小巧的水族箱，裡頭嫩綠的水草、悠游的彩魚，心裡好生羨慕。回家後，央求爸媽添購了一組水族用具與生氣盎然的水草，紅綠摻雜加上小巧可愛的孔雀魚，真是美麗極了！但是，好景不常，原本生氣盎然的水草漸漸呈現黃褐色澤，甚至有腐爛的跡象。求助於水族店老闆再加上與自然老師討論之後，我們決定自己來動手實驗看看，什麼因素會影響綠菊的光合作用，如何讓它們製造更多的氧氣、生產更多的養分。

貳、研究目的

一、探討加入 0ml、10ml、20ml、30ml、40ml 碳酸氫鈉水溶液對於綠菊行光合作用產氧速

率之影響。

二、探討綠菊與光源間的距離對於行光合作用產氧速率之影響。

三、探討紅、黃、綠、藍與紫色光對於綠菊行光合作用產氧速率之影響。

四、探討自來水、開水、地下水對於綠菊行光合作用產氧速率之影響。

五、探討在 500ml 的水中加入 1ml、3 ml、 5 ml、 7 ml 的液肥對於綠菊行光合作用產氧速率之影響。

參、研究設備與器材

一、水草

(一)簡介：綠菊的俗名稱爲菊花草、金魚草，屬於沉水性水草。具有鮮綠色至深綠色的羽狀葉，從水面往下看，好像是一朵朵綠色的菊花，是最早被引進水族缸栽培的水草之一。生長快速，可栽種用來吸收過量的氮肥及磷肥。當光線較弱時，莖節會拉長，葉片無法全開。雖可適應廣泛的水溫及水質變化，但在硬度高及鹼性水質中，生長狀況較差(<http://www.tbs-aqua.com.tw/>)。



圖一：綠菊

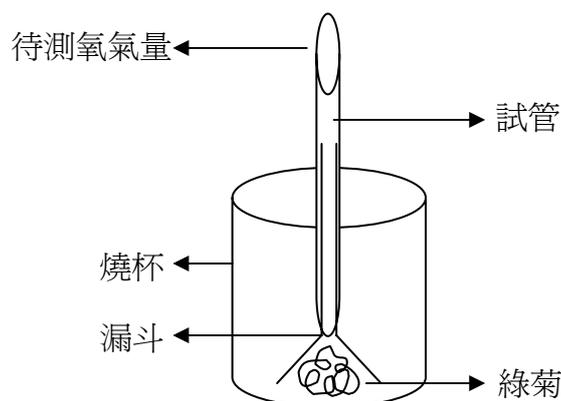
(二)選擇的原因：

1.價格便宜、生長快速。

2.羽狀葉有利於氣體交換，因此光合作用的速率可以在較短的時間反應出來。

二、設備及工具：太陽燈具 4 份（廠牌：NEC；型號：FL20SSEX-D /18-X；瓦數：20W）、水族箱四個、漏斗二十個、500 毫升玻璃燒杯三十個、玻璃試管三十支、滴定管 20 支、玻璃紙（紅、黃、綠、藍與紫）全開各一張、自來水、地下水、開水、碳酸氫鈉、液肥 2 瓶、量筒 3 個、磅秤二台、標籤紙 1 包、實驗紀錄表六張。

三、裝置圖：



圖二：水草裝置

肆、實驗過程或方法

最初，我們選擇在學校頂樓的陽台進行實驗，以探討不同色光、水源、不同濃度的液肥及碳酸氫鈉水溶液對於綠菊行光合作用的影響，但因光源來自太陽，故在實驗過程中面臨因每天的氣溫不同而導致水溫不同的問題。爲了克服先前所面臨的困難，我們改採太陽燈爲光源，實驗場所也移至學校的地下室，但因太陽燈置於地板上，光源受地板的阻擋未能均勻照射於水草，導致不同的放置點也會影響水草的產氧量。最後，我們將太陽燈吊起，水草裝置則放置於太陽燈下 20 公分處（由實驗一所獲得的結果），進行全部的實驗。

此外，台灣製造的試管口徑不一，因此量測所收集的氧氣量高度時有嚴重的誤差。而我們意外發現利用光碟片中央的圓孔篩選試管，可降低測量產氧量的誤差，但此方法惟能控制試管外徑相同，內徑是否一致的問題則未獲得解決。因此爲了使實驗更精確，我們請化工材料行將 26ml 滴定管截短，其中一端封住，因其管壁上的刻度爲體積刻度（ml），故實驗過程中測量誤差會降到最低。

而當我們將實驗場所移至地下室後，發現水草在太陽燈下行光合作用的情形不如在太陽下，經查閱文獻、請教水草專家後，在水中加入碳酸氫鈉水溶液，以增加水中二氧化碳之溶解量，水草的產氧量則大爲增加。以下圖片爲我們整個實驗方法的修改、調整過程：



圖三：於教室頂樓進行不同水源對於綠菊產氧量之實驗



圖四：於教室頂樓進行不同水溫對於綠菊產氧量之實驗



圖五：於教室頂樓進行不同色光對於綠菊產氧量之實驗



圖六：利用直尺測量綠菊之產氧量



圖七：在學校勤學樓燈光控制室內地板貼定位點情形



圖八：秤水草的情形



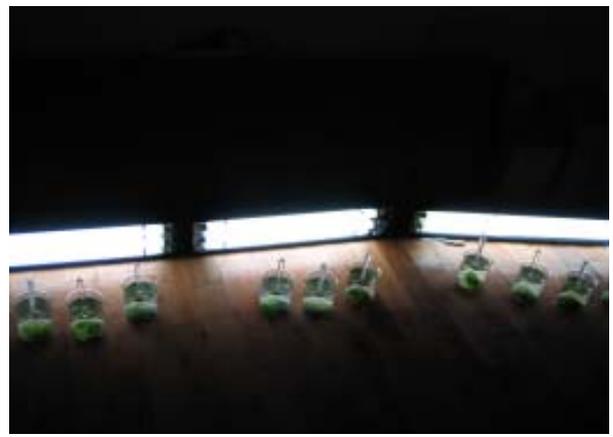
圖九：在大水桶中組裝水草實驗裝置



圖十：將裝好的水草通通擺放在黑暗處



圖十一：比較同樣光源照射下，水草擺放位置對光合作用的影響



圖十二：將光源置地板的於水草實驗情形



圖十三：改良之後的色光實驗裝置



圖十四：將光源置於上方之定案版實驗情形

一、綠菊在不同濃度的碳酸氫鈉水溶液中行光合作用產氧速率之影響。

【實驗過程、方法】

- 1、先利用電風扇把水草的水分吹乾，再秤好 5 公克的水草，將之置於漏斗的頂端。
- 2、將 500 毫升的燒杯、試管、漏斗與水草同時放入水桶中來進行實驗裝置，把漏斗連同水草倒放在燒杯底部，盡量與燒杯底完全密合，待試管裝滿水，倒插於漏斗的尖口端，檢查是否有空氣進入。
- 3、分別於 450、440、430、420、410ml 的水中，加入 0、10、20、30、40ml 的「32.5g NaHCO₃/1000ml 自來水」碳酸氫鈉水溶液。
- 4、將上述實驗裝置放在太陽燈下 20 公分處，每隔 30 分鐘測量、紀錄其產氧量。但在測量前，須輕輕搖晃漏斗 10 秒鐘，使卡在漏斗壁或水草間的氧氣，順利往上移動，方能準確測量。
- 5、測量的方式是直接測量滴定管中產氧區域的體積，單位：0.1(ml)。
- 6、重複上述步驟 3 次，將結果紀錄下來並求出平均值。

二、綠菊與光源間的距離對於行光合作用產氧速率之影響。

【實驗過程、方法】

- 1、先利用電風扇將水草的吹乾，再分別秤好 5 公克的水草，將之置於漏斗的頂端。
- 2、將 500 毫升的燒杯、試管與頂端置入水草的漏斗同時放入水桶中以進行實驗裝置。
- 3、把漏斗連同水草倒放於燒杯底部，盡量與燒杯底完全密合，待試管裝滿水，倒插於漏斗的尖口端，並檢查是否有空氣進入。
- 4、在 420ml 水中加入 30ml 的「32.5g NaHCO₃/1000ml 自來水」對於水草行光合作用有最大的助益，因此在水草裝置完成後，加入前述濃度之碳酸氫鈉水溶液。
- 5、將實驗裝置放在太陽燈底下，且分別距離燈源 20、30、40、50、60、70、80、90 公分，並且每隔 30 分鐘測量、紀錄其產氧量。但在測量前，須輕輕搖晃漏斗 10 秒鐘，使卡在漏斗壁或水草間的氧氣，順利往上移動，方能準確測量。
- 6、測量的方式是直接測量滴定管中產氧區域的體積，單位：0.1(ml)。
- 7、重複上述步驟 3 次，將結果紀錄下來並求出平均值。

三、紅、黃、綠、藍與紫色光對於綠菊行光合作用產氧速率之影響。

【實驗過程、方法】

- 1、先利用電風扇把水草的水分吹乾，再秤好 5 公克的水草，將之置於漏斗的頂端。
- 2、將 500 毫升的燒杯、試管與頂端置入水草的漏斗同時放入水桶中來進行實驗裝置。
- 3、把漏斗連同水草倒放在燒杯底部，盡量與燒杯底完全密合，待試管裝滿水，倒插於漏斗的尖口端，檢查是否有空氣進入。
- 4、在 420ml 水中加入 30ml 的「 $32.5\text{g NaHCO}_3/1000\text{ml}$ 自來水」碳酸氫鈉水溶液。
- 5、太陽燈罩上分別貼上紅、黃、綠、藍與紫色的玻璃紙，以產生不同的色光，並將實驗裝置放在太陽燈下 20 公分處。
- 6、每隔 30 分鐘測量、紀錄其產氧量。但在測量前，須輕輕搖晃漏斗 10 秒鐘，使卡在漏斗壁或水草間的氧氣，順利往上移動，方能準確測量。
- 7、測量的方式是直接測量滴定管中產氧區域的體積，單位：0.1(ml)。
- 8、重複上述步驟 3 次，將結果紀錄下來並求出平均值。

四、綠菊在不同水源下行光合作用產氧速率之影響。

【實驗過程、方法】

- 1、先利用電風扇把水草的水分吹乾，再秤好 5 公克的水草，將之置於漏斗的頂端。
- 2、將 500 毫升的燒杯、試管、漏斗與水草同時放入三種不同的水源（自來水、開水和地下水）中來進行實驗裝置。
- 3、把漏斗連同水草倒放在燒杯底部，盡量與燒杯底完全密合，待試管裝滿水，倒插於漏斗的尖口端，檢查是否有空氣進入。
- 4、在 420ml 水中加入 30ml 的「 $32.5\text{g NaHCO}_3/1000\text{ml}$ 自來水」碳酸氫鈉水溶液。
- 5、將實驗裝置放在太陽燈下 20 公分處，每隔 30 分鐘測量、紀錄其產氧量。但在測量前，須輕輕搖晃漏斗 10 秒鐘，使卡在漏斗壁或水草間的氧氣，順利往上移動，方能準確測量。
- 6、測量的方式是直接測量滴定管中產氧區域的體積，單位：0.1(ml)。
- 6、重複上述步驟 3 次，將結果紀錄下來並求出平均值。

五、綠菊在不同濃度的液肥中行光合作用產氧速率之影響。

【實驗過程、方法】

- 1、先利用電風扇把水草的水分吹乾，再秤好 5 公克的水草，將之置於漏斗的頂端。
- 2、將 500 毫升的燒杯、試管、漏斗與水草同時放入水桶中來進行實驗裝置，把漏斗連同水草倒放在燒杯底部，盡量與燒杯底完全密合，待試管裝滿水，倒插於漏斗的尖口端，檢查是否有空氣進入。
- 3、在 420ml 水中加入 30ml 的「32.5g NaHCO₃/1000ml 自來水」碳酸氫鈉水溶液，並分別於燒杯中滴入 0、1、3、5、7ml 的液肥。
- 4、將實驗裝置放在太陽燈下 20 公分處，每隔 30 分鐘測量、紀錄其產氧量。但在測量前，須輕輕搖晃漏斗 10 秒鐘，使卡在漏斗壁或水草間的氧氣，順利往上移動，方能準確測量。
- 5、測量的方式是直接測量滴定管中產氧區域的體積，單位：0.1(ml)。
- 6、重複上述步驟 3 次，將結果紀錄下來並求出平均值。

伍、研究結果

一、綠菊在不同濃度的碳酸氫鈉水溶液中行光合作用產氧速率之影響。

表一：在 450ml 的水中加入 0ml 的碳酸氫鈉水溶液					表二：在 440ml 的水中加入 10ml 的碳酸氫鈉水溶液				
	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均		第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
0.5 時	0	0	0	0.0	0.5 時	2	2	3	2.3
1.0 時	0.2	0.1	0.3	0.2	1.0 時	2	4	3	3.0
1.5 時	0.2	0.2	0.2	0.2	1.5 時	2	3	2	2.3
2.0 時	0.1	0.3	0.1	0.2	2.0 時	4	3	2	3.0
2.5 時	0.3	0.2	0.1	0.2	2.5 時	2	2	3	2.3
3.0 時	0.2	0.2	0.3	0.2	3.0 時	2	4	1	2.3
3.5 時	0.3	0.2	0.1	0.2	3.5 時	2	2	2	2.0
4.0 時	0.3	0.3	0.2	0.3	4.0 時	2	2	2	2.0

表三：在 430ml 的水中加入 20ml 的碳酸氫鈉水溶液

	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
0.5 時	2	1	2	1.7
1.0 時	2	2	1	1.7
1.5 時	3	2	1	2.0
2.0 時	3	2	2	2.3
2.5 時	2	2	2	2.0
3.0 時	1	2	2	1.7
3.5 時	2	1	3	2.0
4.0 時	2	2	2	2.0

表四：在 420ml 的水中加入 30ml 的碳酸氫鈉水溶液

	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
0.5 時	4	4	5	4.3
1.0 時	3	5	4	4.0
1.5 時	5	4	6	5.0
2.0 時	5	6	6	5.7
2.5 時	6	5	7	6.0
3.0 時	5	5	6	5.3
3.5 時	5	5	5	5.0
4.0 時	6	4	4	4.7

表五：在 410ml 的水中加入 40ml 的碳酸氫鈉水溶液

	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
0.5 時	3	5	4	4.0
1.0 時	4	6	4	4.7
1.5 時	4	5	5	4.7
2.0 時	7	5	6	6.0
2.5 時	6	6	5	5.7
3.0 時	5	7	4	5.3
3.5 時	7	6	4	5.7
4.0 時	4	5	6	5.0

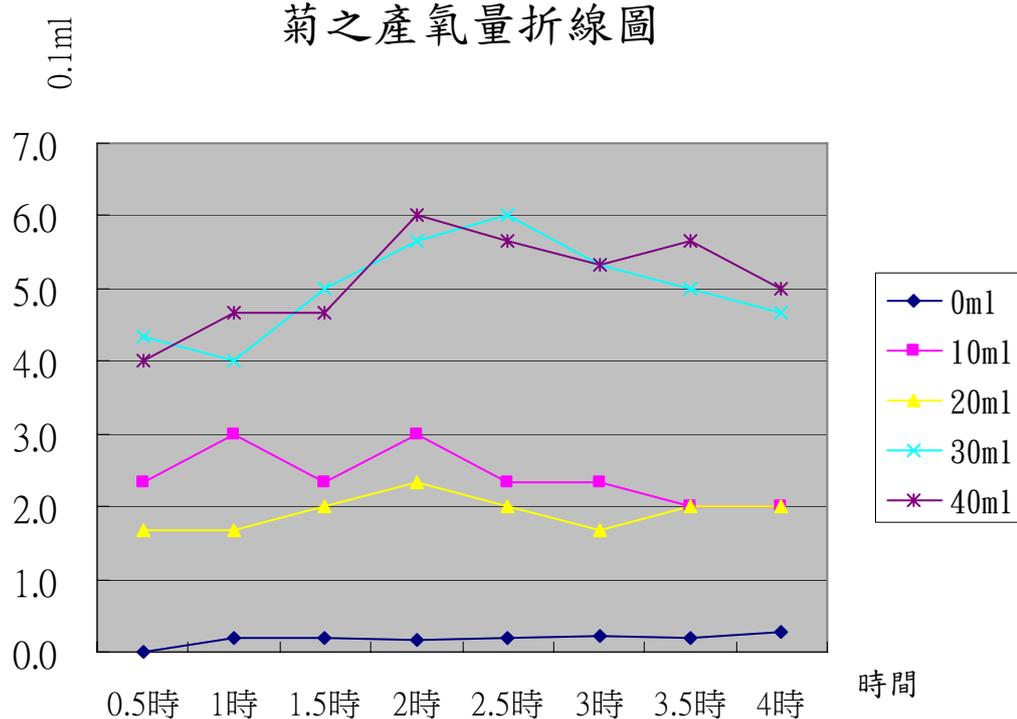


圖十五：加入不同量的碳酸氫鈉水溶液之實驗情形

表六：加入不同量碳酸氫鈉水溶液對綠菊產氧量之影響

	0ml	10ml	20ml	30ml	40ml
0.5 時	0.0	2.3	1.7	4.3	4.0
1.0 時	0.2	3.0	1.7	4.0	4.7
1.5 時	0.2	2.3	2.0	5.0	4.7
2.0 時	0.2	3.0	2.3	5.7	6.0
2.5 時	0.2	2.3	2.0	6.0	5.7
3.0 時	0.2	2.3	1.7	5.3	5.3
3.5 時	0.2	2.0	2.0	5.0	5.7
4.0 時	0.3	2.0	2.0	4.7	5.0

圖十六：加入不同量碳酸氫鈉水溶液的綠菊之產氧量折線圖



由加入不同量之碳酸氫鈉水溶液對於綠菊產氧量影響的折線圖看來，在自來水中加入 30ml 以及 40ml 碳酸氫鈉水溶液組的產氧量遠遠超過於其他三組，而完全沒加組的產氧量非常少。換句話說，加入較多的碳酸氫鈉水溶液愈能促進綠菊行光合作用，產生愈多的氧氣。

因為加入 30ml 和 40ml 兩組的效果差異不大，再加上我們從文獻中得知，加入過量的碳酸氫鈉反而會抑制水草的光合作用及影響健康狀況。因此，我們決定剩下的四個實驗皆在 420ml 的水中加入 30ml 的碳酸氫鈉水溶液以促進水草的產氧量、節省實驗觀察的時間。

二、綠菊與光源間的距離對於行光合作用之產氧速率。

表七：距離光源 20 公分

	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
1 時	13	12	15	13.3

表八：距離光源 30 公分

	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
1 時	7	8	10	8.3

表九：距離光源 40 公分

	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
1 時	3	4	3	3.3

表十：距離光源 50 公分

	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
1 時	3	4	4	3.7

表十一：距離光源 60 公分

	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
1 時	0	0	0	0

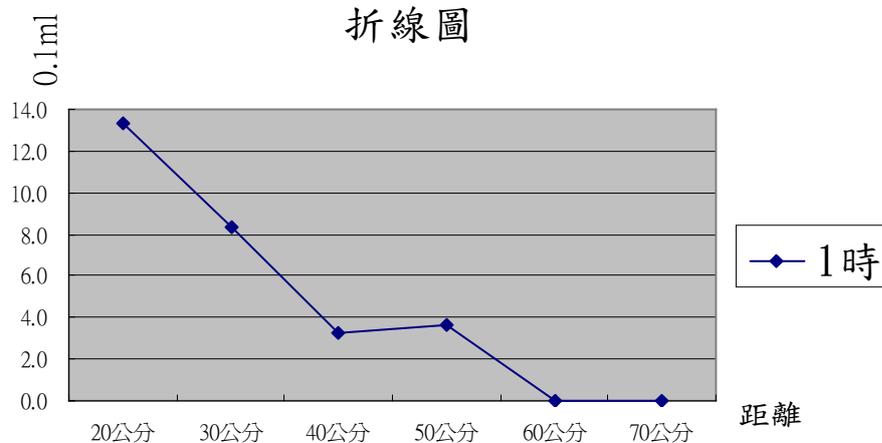
表十二：距離光源 70 公分

	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
1 時	0	0	0	0

表十三：綠菊在不同光源距離的產氧量

	20 公分	30 公分	40 公分	50 公分	60 公分	70 公分
1 時	13.3	8.3	3.3	3.7	0	0

圖十七：綠菊在不同光源距離的產氧量折線圖



因為我們將光源置於整個水草裝置的上方，礙於水草裝置的高度，所以最光源與水草的最短的距離為 20 公分。

由實驗的結果看來，將水草放置在距離光源 20 公分組的光合作用效果最好、產氧量最多。隨著距離的增加，綠菊行光合作用的效果愈差，甚至到了距離 50 公分以上時，整個光合作用似乎已經停擺了，因為產氧量幾乎都為 0。因此，之後的所有實驗，我們都將光源與綠菊的垂直距離設定為 20 公分。

三、紅、黃、綠、藍與紫色光對於綠菊行光合作用產氧速率之影響。

表十四：綠菊在紅光照射下之產氧量

	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
0.5 時	2	2	3	2.3
1.0 時	2	2	2	2.0
1.5 時	3	3	3	3.0
2.0 時	2	3	1	2.0
2.5 時	3	2	2	2.3
3.0 時	3	1	2	2.0
3.5 時	2	3	2	2.3
4.0 時	2	2	3	2.3



圖十八：以紅光照射綠菊之實驗裝置

表十五：綠菊在黃光照射下之產氧量

	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
0.5 時	3	2	3	2.7
1.0 時	3	3	3	3.0
1.5 時	4	2	2	2.7
2.0 時	4	2	3	3.0
2.5 時	3	4	4	3.7
3.0 時	4	3	2	3.0
3.5 時	4	2	3	3.0
4.0 時	3	2	3	2.7



圖十九：以黃光照射綠菊之實驗裝置

表十六：綠菊在藍光照射下之產氧量

	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
0.5 時	5	6	4	5.0
1.0 時	4	2	6	4.0
1.5 時	3	4	5	4.0
2.0 時	2	4	6	4.0
2.5 時	4	6	4	4.7
3.0 時	5	4	3	4.0
3.5 時	4	2	4	3.3
4.0 時	4	2	4	3.3



圖二十：以藍光照射綠菊之實驗裝置

表十七：綠菊在綠光照射下之產氧量

	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
0.5 時	2	2	1	1.7
1.0 時	2	2	3	2.3
1.5 時	2	4	2	2.7
2.0 時	0	2	3	1.7
2.5 時	2	1	4	2.3
3.0 時	2	3	3	2.7
3.5 時	0	4	1	1.7
4.0 時	2	2	2	2.0



圖二十一：以綠光照射綠菊之實驗裝置

表十八：綠菊在紫光照射下之產氧量

	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
0.5 時	2	1	1	1.3
1.0 時	1	2	2	1.7
1.5 時	1	3	2	2.0
2.0 時	2	4	4	3.3
2.5 時	3	3	2	2.7
3.0 時	2	1	2	1.7
3.5 時	2	2	3	2.3
4.0 時	1	2	2	1.7

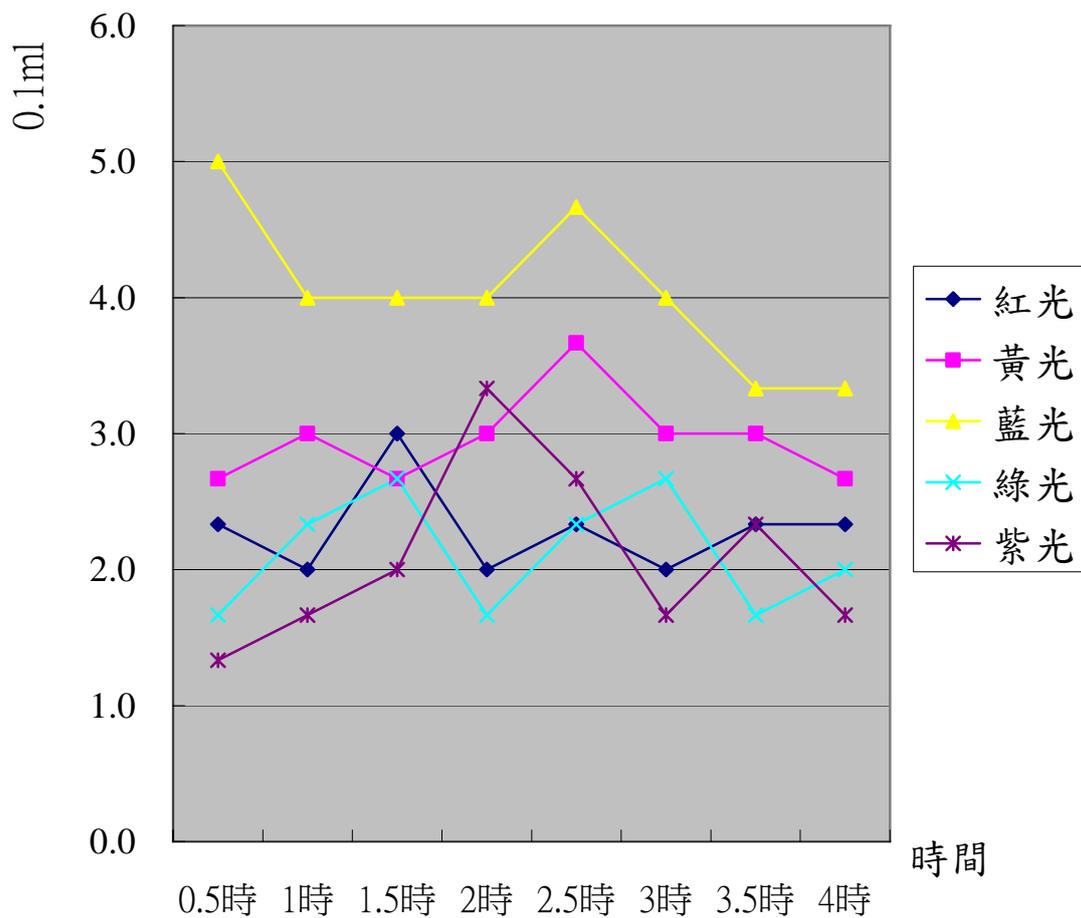


圖二十二：以紫光照射綠菊之實驗裝置

表十九：在紅、黃、藍、綠以及紫色光照射下之綠菊產氧量

	紅光	黃光	藍光	綠光	紫光
0.5 時	2.3	2.7	5.0	1.7	1.3
1.0 時	2.0	3.0	4.0	2.3	1.7
1.5 時	3.0	2.7	4.0	2.7	2.0
2.0 時	2.0	3.0	4.0	1.7	3.3
2.5 時	2.3	3.7	4.7	2.3	2.7
3.0 時	2.0	3.0	4.0	2.7	1.7
3.5 時	2.3	3.0	3.3	1.7	2.3
4.0 時	2.3	2.7	3.3	2.0	1.7

圖二十三：紅、黃、藍、綠以及紫色光對於綠菊產氧量之折線圖



綠菊在紅、黃、綠、藍與紫色光下進行光合作用的實驗結果顯示，水草在藍光下行光合作用最旺盛，其產氧量最多；在黃光下次之；至於在紅光、綠光與紫光下的產氧量則不相上下，無顯著差別。

四、綠菊在不同水源下行光合作用產氧速率之影響

表二十：綠菊在自來水中的產氧量

	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
0.5 時	2	3	3	2.7
1.0 時	2	2	2	2.0
1.5 時	3	3	3	3.0
2.0 時	1	3	3	2.3
2.5 時	3	3	2	2.7
3.0 時	2	2	3	2.3
3.5 時	2	3	3	2.7
4.0 時	1	2	3	2.0

表二十一：綠菊在開水中的產氧量

	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
0.5 時	2	3	3	2.7
1.0 時	2	2	2	2.0
1.5 時	3	1	3	2.3
2.0 時	4	1	3	2.7
2.5 時	2	2	2	2.0
3.0 時	3	1	2	2.0
3.5 時	2	1	1	1.3
4.0 時	1	2	1	1.3

表二十二：綠菊在地下水中的產氧量

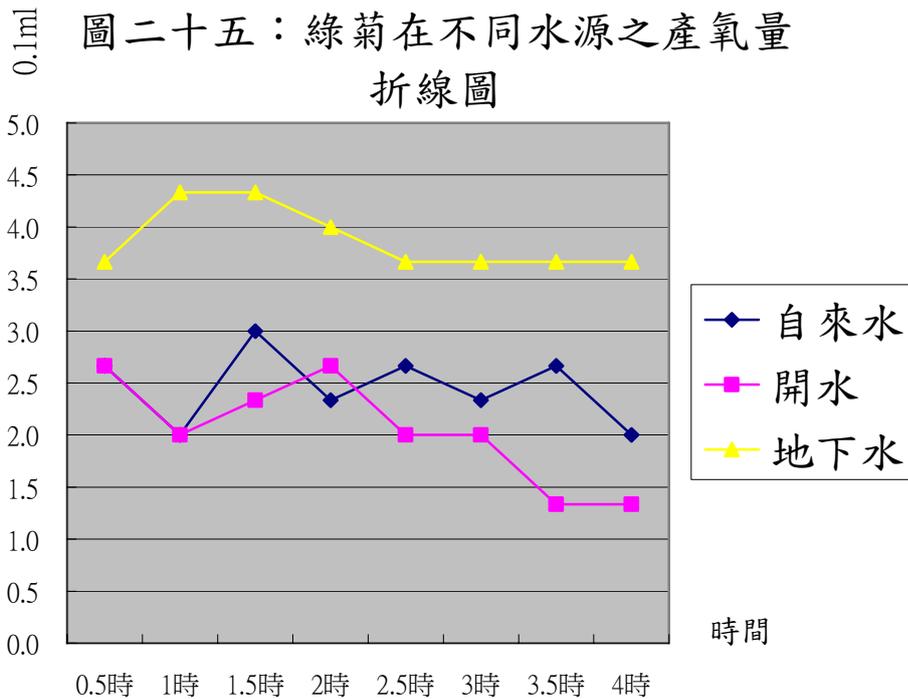
	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
0.5 時	4	4	3	3.7
1.0 時	4	5	4	4.3
1.5 時	4	4	5	4.3
2.0 時	4	3	5	4.0
2.5 時	4	4	3	3.7
3.0 時	4	4	3	3.7
3.5 時	3	4	4	3.7
4.0 時	4	3	4	3.7



圖二十四：不同水源對綠菊產氧量之實驗裝置

表二十三：綠菊在不同水源之產氧量

	自來水	開水	地下水
0.5 時	2.7	2.7	3.7
1.0 時	2.0	2.0	4.3
1.5 時	3.0	2.3	4.3
2.0 時	2.3	2.7	4.0
2.5 時	2.7	2.0	3.7
3.0 時	2.3	2.0	3.7
3.5 時	2.7	1.3	3.7
4.0 時	2.0	1.3	3.7



依每半小時綠菊產氧量的數據觀之，可以明顯發現使用地下水能使綠菊產生較多的氧氣，自來水次之。由此可知，地下水有助於綠菊行光合作用。

五、綠菊在不同濃度的液肥中行光合作用產氧速率之影響

表二十四：加入 1ml 液肥					表二十五：加入 3ml 液肥				
	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均		第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
0.5 時	4	3	2	3.0	0.5 時	6	4	4	4.7
1.0 時	3	2	2	2.3	1.0 時	4	6	4	4.7
1.5 時	3	4	3	3.3	1.5 時	6	2	4	4.0
2.0 時	2	3	2	2.3	2.0 時	5	3	3	3.7
2.5 時	4	4	3	3.7	2.5 時	5	5	1	3.7
3.0 時	3	4	3	3.3	3.0 時	6	4	1	3.7
3.5 時	2	3	2	2.3	3.5 時	6	2	3	3.7
4.0 時	2	2	1	1.7	4.0 時	4	2	4	3.3

表二十六：加入 5ml 液肥					表二十七：加入 7ml 液肥				
	第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均		第 1 杯	第 2 杯	第 3 杯	平均
0.5 時	8	8	6	7.3	0.5 時	4	4	4	4.0
1.0 時	10	7	8	8.3	1.0 時	3	4	5	4.0
1.5 時	6	9	8	7.7	1.5 時	5	2	6	4.3
2.0 時	4	10	9	7.7	2.0 時	4	2	4	3.3
2.5 時	11	8	8	9.0	2.5 時	3	4	5	4.0
3.0 時	9	9	10	9.3	3.0 時	3	4	5	4.0
3.5 時	6	9	10	8.3	3.5 時	2	3	4	3.0
4.0 時	8	8	9	8.3	4.0 時	4	3	4	3.7

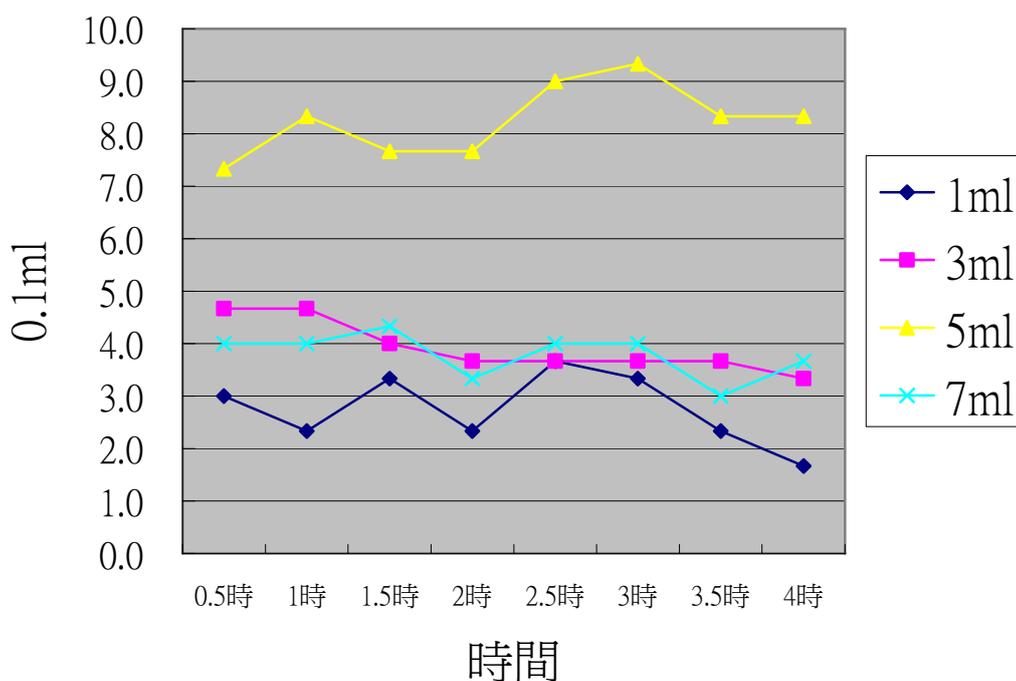


圖二十六：不同液肥濃度之實驗裝置

表二十八：在自來水中加入不同量的液肥對綠菊產氧量之影響

	1ml	3ml	5ml	7ml
0.5 時	3.0	4.7	7.3	4.0
1.0 時	2.3	4.7	8.3	4.0
1.5 時	3.3	4.0	7.7	4.3
2.0 時	2.3	3.7	7.7	3.3
2.5 時	3.7	3.7	9.0	4.0
3.0 時	3.3	3.7	9.3	4.0
3.5 時	2.3	3.7	8.3	3.0
4.0 時	1.7	3.3	8.3	3.7

圖二十七：加入不同量液肥對於綠菊產氧氣量之折線圖



綠菊在加入 1、3 與 5ml 的液肥中，其光合作用的產氧量依序遞增，換言之，水中的液肥量愈多，其產氧量愈多；但當水中加入 7ml 的液肥時，水草並未因液肥量增加，其光合作用也進行的更旺盛，相反的，產氧量卻有明顯變少的結果。

陸、討論

一、綠菊不同濃度的碳酸氫鈉水溶液中行光合作用產氧速率之影響。

雖然在水中加入愈多的碳酸氫鈉水溶液愈能促進水草的產氧量，但是當加入的碳酸氫鈉過多時，卻會影響水草的健康狀況。因為，在實驗結束之後，我們將這些水草仔細清洗之後，放置於陰涼通風的地方。過了幾天，發現在水中加入 40ml 碳酸氫鈉水溶液的那些水草，出現腐爛以及發臭的情形。因此，建議若要在水中加入碳酸氫鈉水溶液以促進綠菊的產氧量時，濃度不應超過 6.7%(也就是在 420ml 的自來水中，加入的碳酸氫鈉水溶液不要超過 30ml)。

二、綠菊與光源間的距離對於行光合作用之產氧速率。

由實驗的數據顯示，當水草裝置距離光源愈近(20 公分)時，綠菊的光合作用最旺盛。因此若要使水草的光合作用速率提升，應盡可能的靠近光源。另外，由不斷實驗方法的比較在距離光源相同位置時，愈靠近中間愈好。

三、紅、黃、綠、藍與紫色光對於綠菊行光合作用產氧速率之影響。

由實驗結果顯示，綠菊在包覆了藍色玻璃紙的太陽燈照射下，其產氧量比其他色光佳，此結果與文獻資料相符；但在本研究中，紅、綠及紫色色光對於水草行光合作用的影響不相上下，而文獻中卻指出水草在綠色色光下行光合作用的效果最差！因此我們認為若能在每份裝置中使用更多的水草進行實驗，應能將紅、綠及紫色組的數據區分的更明顯，比較三者間的氧氣量多寡時應更加容易。

此外，由研究數據可知，綠菊在黃色色光下行光合作用的效果僅次於藍色色光，此結果與文獻有些不符，經過我們一再探討原因，發覺黃色玻璃紙的厚度比其他四者薄，也許正是此原因，使本來對綠菊行光合作用效果不佳的黃色色光，因透光性較好，而有較多的產氧量。

四、綠菊在不同水源下行光合作用產氧速率之影響。

透過不同水源的比較，我們發現地下水對於綠菊行光合作用幫助最大。因此，若要讓水草長得更為翠綠茂盛，水源應使用地下水。

五、綠菊在不同濃度的液肥中行光合作用產氧速率之影響。

本研究發現在 450ml 的水中添加 5ml 的液肥，對於綠菊行光合作用的效果比加入 1、3ml 的效果佳，此乃因水草在生長過程中不可或缺的有陽光、空氣與水，但許多元素如氮、磷、

鉀、鈣、鎂、硫、鐵、錳、鋅、銅、鋇、鎳等亦是維持生命的基本能量，是故在水中添加含有上述元素的液肥，可讓植物的生長情形更佳，這對於水草行光合作用亦有所助益。因此加入的液肥量愈多，其產氧量亦隨之增加，但若液肥添加量達 7ml，對於水草的產氧量反而有抑制的效果，因此在水草缸中添加液肥應適量即可，否則可能會發生揠苗助長的結果。

柒、結論

根據本次實驗的結果，我們可以了解以綠菊和光源間的距離來說，距離愈近，愈能促進綠菊行光合作用，若距離達 50 公分以上，綠菊因接收的光源太微弱，導致無法順利進行光合作用；色光方面則以藍色色光對於綠菊行光合作用的幫助最大，紅、綠及紫色色光對於綠菊行光合作用的影響則不相上下；水源方面，因地下水中內含的礦物質對於綠菊的生長有助益，水草在其中行光合作用的效果也較佳，故建議種植水草的人可選地下水為水源；液肥方面，種植綠菊時添加液肥可促進其生長，進而提升光合作用的速率，但須留意添加液肥應適量即可，其濃度不宜超過 1%，方能對綠菊的生理機能有較好的幫助；以添加的碳酸氫鈉的濃度而言，在一定的範圍中，添加的碳酸氫鈉愈多，水中的二氧化碳溶解量愈高，應愈能促進綠菊行光合作用，但由於碳酸氫鈉水溶液濃度愈高，其水質愈偏鹼性，反而會破壞水草的細胞構造，導致無法順利進行光合作用，故若要在水中加入碳酸氫鈉水溶液以促進綠菊行光合作用時，其添加的濃度不宜超過 6.7%。

捌、參考資料及其他

1. 柯清水（1991）。*水草栽培指南*。高雄市：翠湖水草栽培研究所。
2. 柯清水（1996）。*水草栽培百科*。高雄市：翠湖水草栽培研究所。
3. 孫家慶（1996）。*水草的栽培方法*。台北市：信宏。
4. 翠湖水草網站。<http://www.tbs-aqua.com.tw/>。

評 語

081551 水草的有氧運動

1. 實驗測量能數據化。
2. 樣本的選取要有一致性。(如相同的葉片數)
3. 實驗設計需改進。(如液肥是針對植物生長而非光合作用)