

水族世界的光合作用

高小組應用科學科第二名

台北縣埔墘國民小學

作者：莊景翔、陳建甫、姚涵之、林秀宜

指導教師：柯文賢、趙寶琴

一、研究動機

開學的時候，“鹵蛋”很懊惱的告訴我們，暑假他和爸爸準備在家裡的水族缸裡培植一些水草，可是不知什麼原因，水草總是長不好，有些根部腐爛，葉片掉落，顏色枯黃不鮮豔，沒幾週水草就潰爛而死了。

剛好開學不久，自然課實驗植物的光合作用，我們了解了光合作用是植物的葉綠體，吸收太陽光的能，以二氧化碳和水為原料，合成為醣類，並釋出氧氣的一個過程。而白天行光合作用所釋出的氧氣，正好提供植物夜間呼吸作用時的需要。

上完這一單元，“鹵蛋”心裡想：水草長不好，可能和光合作用有關，於是我們請教了老師，老師指導我們從影響光合作用的各項因素進行試驗，探討水族世界裡的奧秘。

二、研究目的

如各實驗

三、研究器材、設備

如各實驗

四、研究過程

研究一：不同顏色水草是否都能行光合作用？

我們在自然科學第十一冊中曾經做過綠色植物的光合作用，然而在水草缸中我們看到了許多不是綠色的水草，他們是否也會行光合作用呢？於是做了本試驗。

(一)方法：

1. 將不同顏色的水草（共10盆）置於大小相同的水族缸中，缸內裝滿水質相同

的自來水。

2. 將缸子置於陽光下，並使用玻璃漏斗罩住各株水草的上方（玻璃漏斗以三角架架起）使用100ml量筒裝滿水，在水中倒裝入漏斗的管口上，收集水草釋出的氣泡。
3. 將水草照射日光6小時，並取出量筒，用手掌壓住筒口，以免收集的氣體流失。
4. 點燃線香，分別插入各個量筒中，觀察火焰的變化情形。
5. 將血心蘭（水草）和紅莧菜（陸生植物）分別在燒杯中煮沸觀察葉片顏色變化。

(二)結果：

不同顏色水草在陽光下的釋氧量

1.

| 水草類別 | 蜈蚣草 | 綠菊花 | 紅菊花 | 珍珠草 | 百葉草 | 小圓葉 | 血心蘭 | 紅柳 | 皇冠草 | 紅松尾 |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| 釋氣泡出量 (ml) (cm ³) | 41 | 32 | 37 | 21 | 17 | 18 | 11 | 6 | 23 | 21 |

2. 線香在插入各個量筒時，火焰在插入的瞬間變大了（燃燒劇烈）。
3. 血心蘭和紅莧菜是紅色葉片，經煮沸後，葉子變綠，原來的紅色不見了。

(三)討論：

1. 本實驗中，各株水草所收集的氣體都能助燃，證明都是行光合作用所釋放出的氧氣。
2. 綠色水草的釋氧量較多，紅色水草較少，（不過紅菊花的釋氧量並不比綠色水草少）。
3. 煮沸後的紅色水草和紅莧菜變綠了，證明葉片中的花青素已溶解於水，而葉綠素不溶於水，所以紅色葉片上確有葉綠素存在。
4. 本實驗說明了不是綠色的植物也行光合作用。

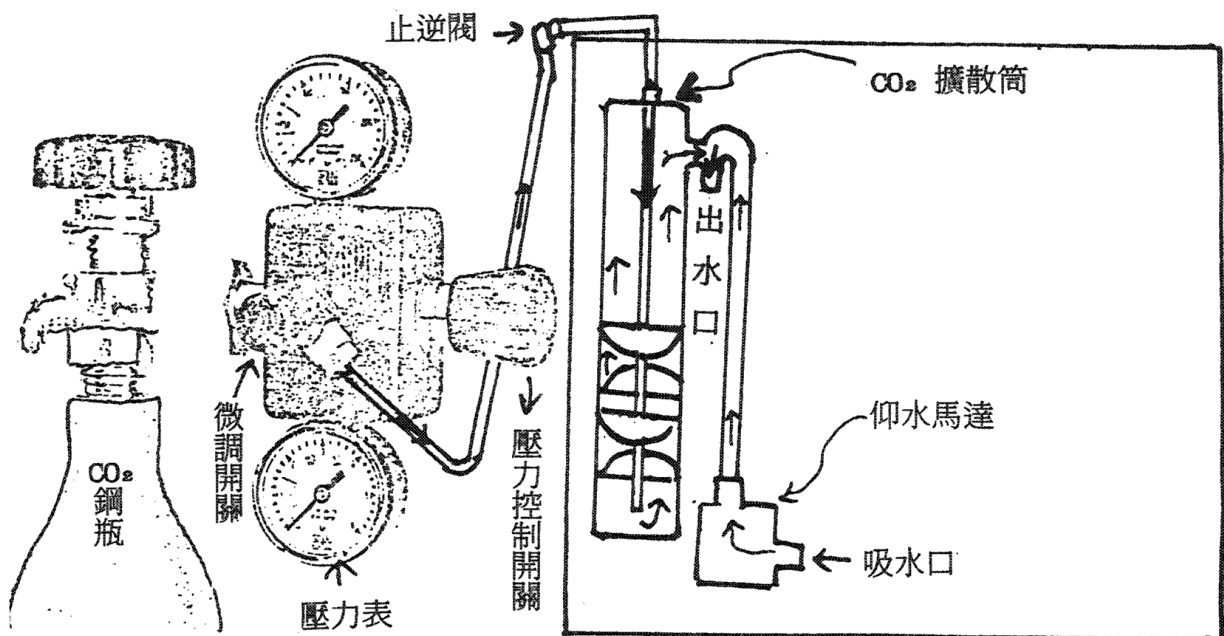
研究二：水中二氧化碳（CO₂）的濃度會不會影響光合率？

(一)方法：

1. 如同研究一的裝置，將水草缸移入室內；為控制光照強度的一致性，窗戶拉上窗簾，使用水銀燈代替日照。

2. 用照度計測得玻璃漏斗內（水草末端）的照度為6500LUX。
3. 水質為自來水，為保持水溫一定，在缸子內裝上全自動控溫桿，維持水溫在25°C。
4. 在水中加入10C.C營養液，提供水草生長所需的養料，定時定量換水，維持水質的穩定。
5. 選用紅菊花和綠菊花各一盆水草，置於光源下左右兩側的漏斗內。
6. 裝配一個CO₂的添加設備，包括CO₂高壓鋼瓶、擴散筒、仰水馬達、止逆閥、微調開關、壓力錶等（如下圖）。
7. 每次調整CO₂添入水中不同的量，（其他條件都保持一樣）以CO₂濃度測試液來測試水中CO₂的濃度，分別比較CO₂濃度變化下水草的光合率。
8. 每個CO₂濃度都持續燈照8小時，每隔1小時需測CO₂的濃度一次。
9. 每次調整CO₂的濃度後，都要讓水草適應好新的環境變化，隔一天再實測水草的光合率。
10. 每次實驗的水草，其大小、生長狀況都相當。

CO₂ 添加系統簡圖

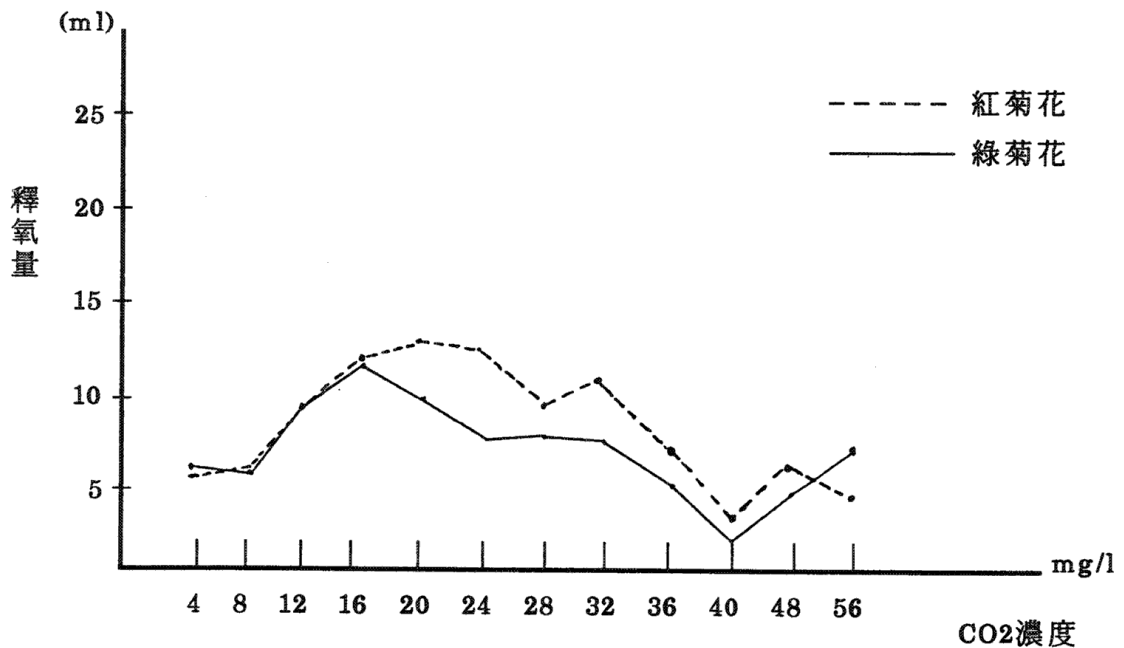


(二)結果：

不同CO₂濃度水草光合率紀錄表

| 釋氧量 ml | CO ₂ 濃度 mg/l | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 | 32 | 36 | 40 | 48 | 56 |
|-----------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l |
| 水草別 | | | | | | | | | | | | | |
| 紅菊花 | | 7 | 7.5 | 11 | 12.5 | 13 | 12.5 | 9 | 11 | 6.5 | 2 | 4.5 | 3 |
| 綠菊花 | | 8 | 7 | 11 | 12 | 10 | 8 | 8 | 7 | 4 | 0.5 | 3 | 5 |

不同CO₂濃度水草光合率變化折線圖



(三)討論：

1. 一般而言，增加二氧化碳濃度，可以增加水草的光合率。
2. 由折線圖中發現，紅菊花在20mg/l時，綠菊花在16mg/l時的CO₂濃度狀態下，光合率達到最高點。隨後再繼續增加CO₂的濃度，則光合率反而開始下降，儘管偶有起伏，但比最高光合率遜色許多。
3. 由上說明了如果水中CO₂含量超過一定的濃度時，將抑制光合作用，對水草光合作用不但沒有幫助，甚至可能造成傷害。

4. 由實驗中發現，大小差不多的紅、綠菊花，在適量的CO₂濃度下，竟然紅色菊花的光合率大於綠菊花，與我們預測的正好相反，並不是綠色水草一定光合率高。
5. 本實驗缸內只有2株水草，在16~20mg/l的CO₂濃度下光合率最高；可是種植的水草如果更密集時，要達到最高光合率，CO₂所需的量是否要增多或維持不變？值得進一步探討。
6. 紅菊花在CO₂是4mg/l的時候，光合率低於綠菊花；之後CO₂濃度增加，紅菊花的光合率也隨著超越綠菊花，我們推測紅菊花行光合作用需要的CO₂量較高。

研究三：不同光照強度對光合作用率的影響試驗

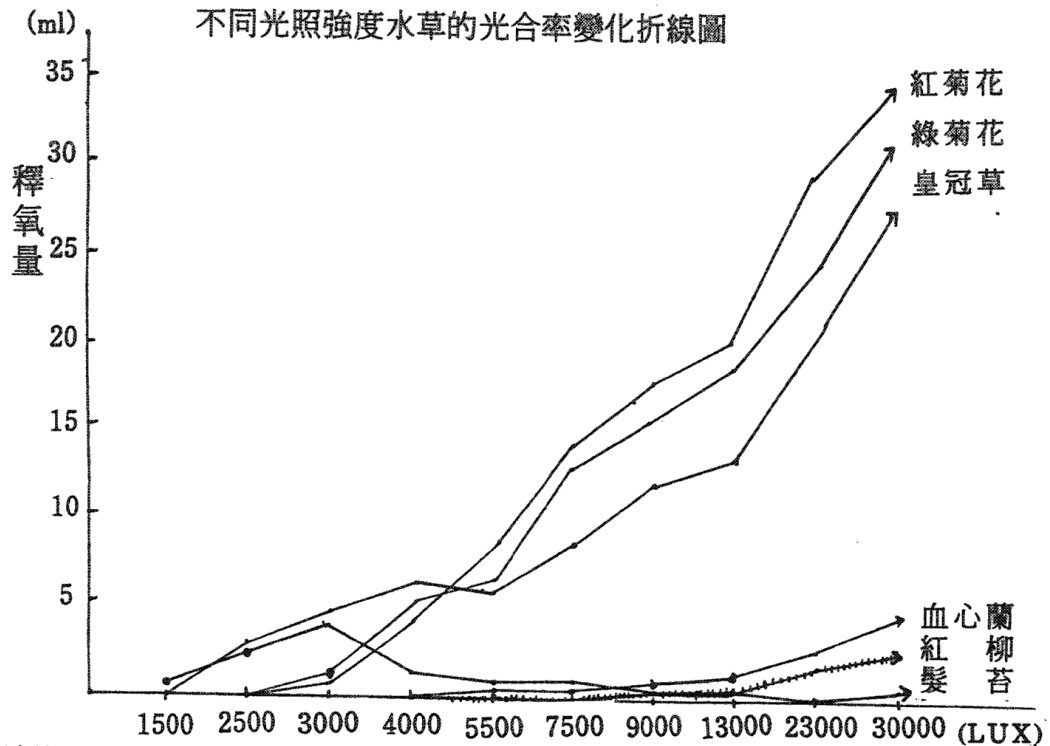
(一)方法：

1. 使用相同光質的照明燈（本試驗選用水銀燈），分別調整架設高度，以控制漏斗內水草上端不同的照度。
2. 使用照度計測試每一次試驗的光照強度。兩株水草置於燈源左右兩側，接受的光照強度要保持一樣。
3. 每次試驗的水草要相同，（大小差不多的紅、綠菊花、髮苔草、皇冠草、血心蘭、紅柳六種各一盆）。
4. 缸內佈置同研究二，各項變因要保持一致。（水溫為25°C、CO₂濃度維持在16~20mg/l之間，水質為自來水）
5. 改變不同照度，分別照射8小時，記錄水草的釋氧量。

(二)結果：

不同光照強度水草的光合率比較表

| 照度 釋氧量ml 水草別 | 1500 LUX | 2500 LUX | 3000 LUX | 4000 LUX | 5500 LUX | 7500 LUX | 9000 LUX | 13000 LUX | 23000 LUX | 30000 LUX |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 髮苔草 | 微量 氣泡 | 2 | 3.5 | 1 | 0.5 | 0.5 | 微量 氣泡 | 微量 氣泡 | 0 | 微量 氣泡 |
| 皇冠草 | 0 | 2.5 | 4.5 | 6.5 | 6 | 8 | 11.5 | 13 | 21 | 27 |
| 綠菊花 | 0 | 0 | 1 | 5 | 6.5 | 12.5 | 15 | 18 | 24 | 31 |
| 紅菊花 | 0 | 0 | 微量 氣泡 | 4 | 8 | 14 | 17.5 | 20 | 29 | 34 |
| 血心蘭 | 0 | 0 | 0 | 0 | 微量 氣泡 | 微量 氣泡 | 0.5 | 1 | 2.5 | 4.5 |
| 紅柳 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 微量 氣泡 | 微量 氣泡 | 1.5 | 2 |



(二)討論：

1. 實驗的6種水草，除髮苔外，一般說來光照強度增加，釋氧量也增多，即光合率與光照強度成正比。
2. 由紀錄表中發現：
 - (1) 髮苔草在1500LUX時即可行光合作用，我們歸類為陰性水草。
 - (2) 皇冠草在2500LUX時開始行光合作用，我們歸類為半陰性水草。
 - (3) 綠菊花、紅菊花在3000LUX時開始行光合作用，我們歸類為半陽性水草。
 - (4) 血心蘭在5500LUX時有光合作用現象，我們也歸類為半陽性水草。
 - (5) 紅柳需要9000LUX以上才有光合作用，我們歸類為陽性水草。
3. 髮苔（陰性水草）在低照度時即可行光合作用，當3000LUX時達到最高點，之後，光照強度增加，光合率不增反減，可能造成傷害。
4. 半陰性（皇冠草）和半陽性水草（綠菊花、紅菊花、血心蘭）在中度光照時行光合作用，而陽性水草（紅柳）行光合作用的光補償點最高，需要高強度的光照。
5. 本實驗發現：紅色水草行光合作用需要較強的光照強度，而綠色水草所需要的光照強度較弱。
6. 本研究說明不同類別的水草，它生長所需要的最適宜光照是不一樣的；不過只要它光合作用所產的氧氣量足夠提供呼吸作用所需，如此的光照強度，應該都可以讓它長得不錯。
7. 皇冠草、紅菊花、血心蘭、紅柳等在30000LUX時光合率最高；如果再提高

照度，會不會也對光合作用產生抑制作用？哪種照度才是各類水草最適宜生長的光照？這些都因限於我們的能力與設備，實在值得進一步探索。

8. 我們假設每種水草，當光照強度太強時，光合作用都和髮苔一樣也產生抑制現象；如此一來，爲了維護水草的正常生長及以節約能源的眼光來看，找出各類水草適宜的光照強度是很有意義的。

研究四：比較不同的CO₂濃度和光照強度間彼此消長對光合率的影響

(一)方法：

1. 光照強度的控制同研究三。
2. CO₂濃度的操控同研究二。
3. 本研究分別測試紅菊花和綠菊花兩盆水草。
4. 研究過程中，水溫均控制爲25°C，水質盡量求穩定，每天測試一種光照強度和CO₂濃度下的釋氧量，光照時間也是8小時。
5. 每次測試的水草、大小、生長狀況都要相當。

(二)結果

綠菊花在不同光照強度和CO₂濃度的釋氧量

| 釋氧量ml CO ₂ 濃度 \ 照度 | 4000 LUX | 7500 LUX | 13000 LUX | 23000 LUX | 30000 LUX |
|----------------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 4mg/l | 3 | 10 | 11 | 17 | 24 |
| 16mg/l | 5 | 12.5 | 18 | 24 | 31 |
| 40mg/l | 0 | 4 | 6 | 12.5★ | 27★ |
| 52mg/l | 0 | 5 | 5 | 8★ | 25★ |

紅菊花在不同光照強度和CO₂濃度的釋氧量

| 釋氧量ml CO ₂ 濃度 \ 照度 | 4000 LUX | 7500 LUX | 13000 LUX | 23000 LUX | 30000 LUX |
|----------------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 4mg/l | 2 | 11 | 16 | 21 | 25 |
| 16mg/l | 4 | 13 | (20) | 29 | 34 |
| 40mg/l | 微量氣泡 | 3 | 4 | 14★ | 18.5★ |
| 52mg/l | 0 | 3.5 | 4 | 9.5★ | (20)★ |

(三)結論：

- 1.由兩個比較表中發現：在各種不同照度的組別中，CO₂ 濃度在16mg/l時，水草的釋氧量都是最多的。
- 2.CO₂ 濃度高時，水草大部分的光合率較低；但有趣的是光強度增強後，則高濃度的CO₂ 才能被利用，如表中★的各組。
- 3.雖然高濃度的CO₂ 配合高照度的光照，也可以有很高的光合率，（如菊花 CO₂ 52mg/l在30000LUX時釋氧量為20ml，和CO₂ 只有16mg/l在13000LUX時的釋氧量相等），但就經濟的觀點來看，實在比較浪費，也說不定可能對水草造成傷害，值得進一步研究。

研究五：不同光質的燈照下，水草光合作用率比較試驗

(一)方法：

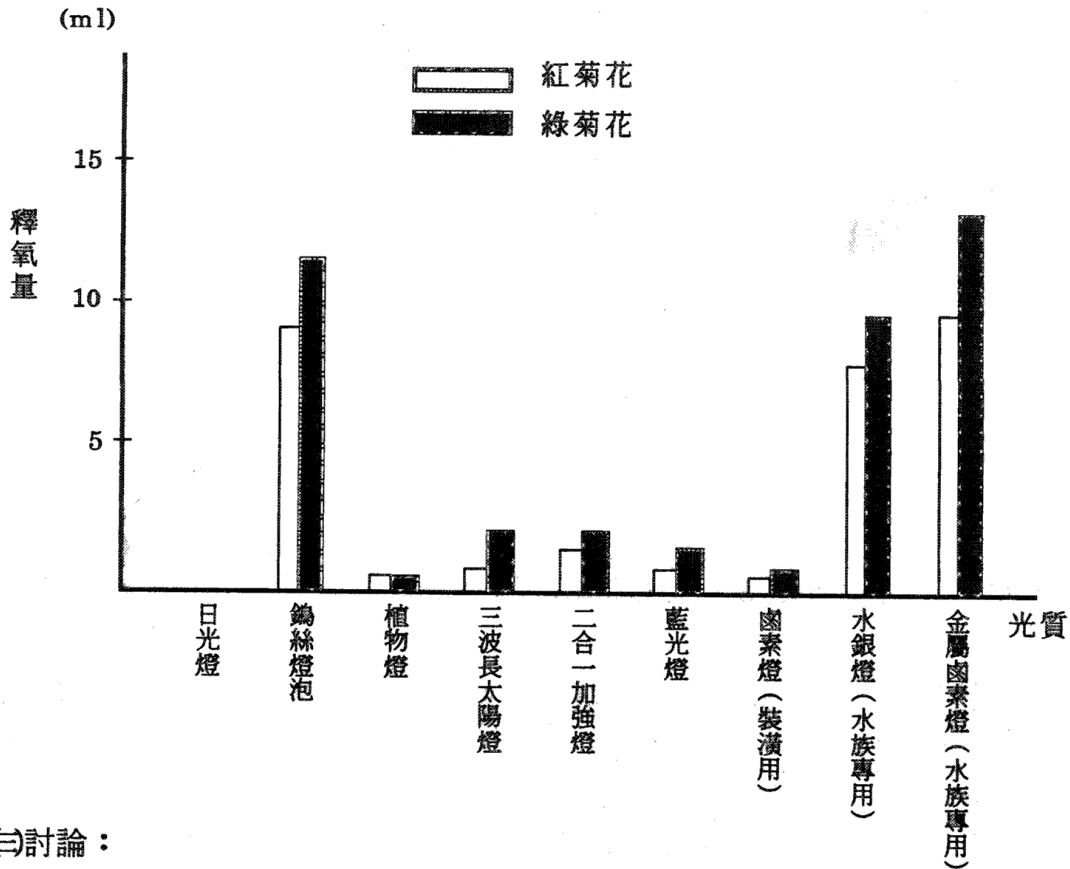
- 1.就市面上所售的不同光質燈具，分別依序架設於水族缸上方。（本研究共實驗9種燈具）
- 2.因每種燈具的光譜強度並不一樣，所以要使用照度計調整各燈具離水面的距離或燈管數量，維持每種燈具照射水草上端的照度在5000LUX左右。
- 3.缸內裝置同研究四，水溫25°C，CO₂ 濃度控制在16~20mg/l之間。
- 4.每更換一種燈具，都要讓水草適應新的光質2天，第3天才開始測量釋氧量。
- 5.每次測試的水草（紅、綠菊花）大小以及生長狀況要相當。
- 6.每種燈具都持續燈照12小時。

(二)結果：

不同光質燈照下，水草光合率比較表

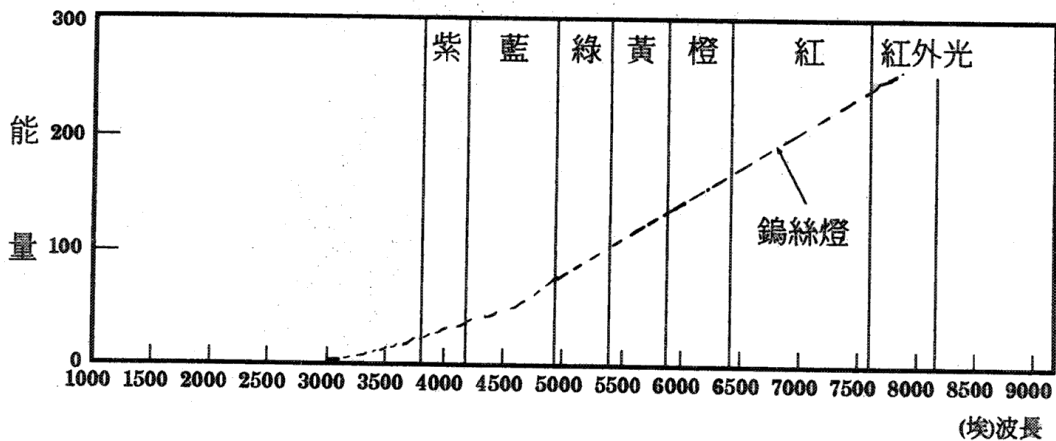
| 釋氧量 水草別 | 光質 | 日光燈 | 鎢絲燈泡 | 植物栽培燈 | 三波長太陽燈 | 二（植陽 一物燈） 合（加燈 強+燈太 | 藍光燈 | 鹵（裝潢用 燈） | 水（水 銀 燈） | 金（水 族 專 燈） |
|------------|----|-----|------|-------|--------|------------------------------|-----|-------------|----------------|---------------------|
| 紅菊花 | | 0 | 11.5 | 微量氣泡 | 1.5 | 1.5 | 1 | 0.5 | 9.5 | 4 |
| 綠菊花 | | 0 | 8 | 微量氣泡 | 0.5 | 1 | 0.5 | 微量氣泡 | 7 | 11.5 |

不同光質燈照下，水草釋氧量長方圖

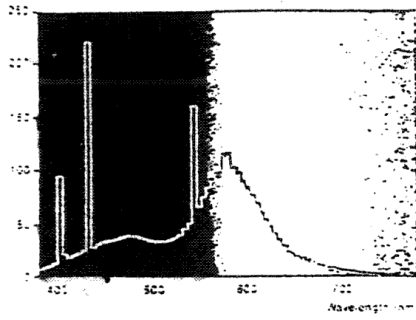


(三)討論：

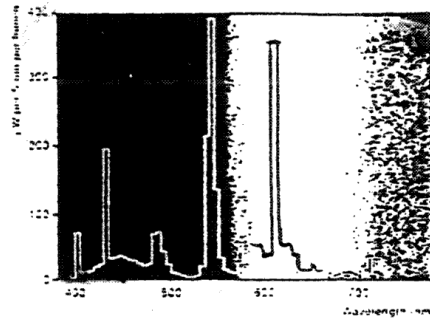
1. 本實驗結果以金屬鹵素燈的光質對水草的光合率最高，其次是鎢絲燈和水銀燈，效果也不錯，這種光照都明顯的能促進水草行光合作用。而其中鎢絲燈效果雖然很好，可惜金黃的燈光，不能呈顯水的本色。
2. 普通日光燈，植物栽培燈，和裝潢照明用的鹵素燈效果都很不理想。
3. 我們查閱一些資料，並請經銷燈具的廠商協助，找到了部分燈具的燈譜資料如下：



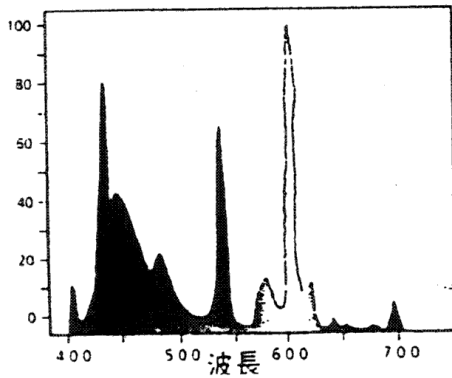
鎢絲燈泡光譜



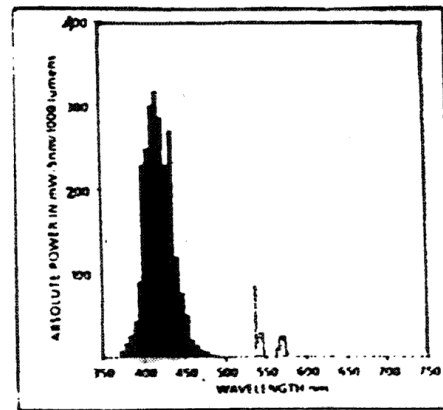
普照日光燈光譜



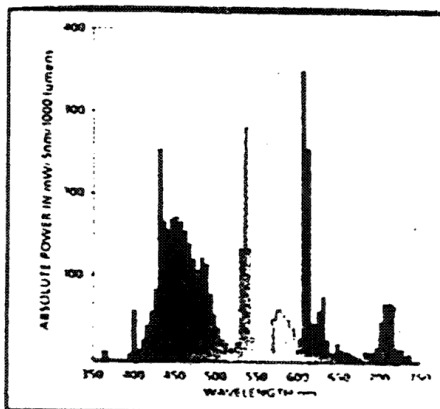
三波長自然色日光燈光譜



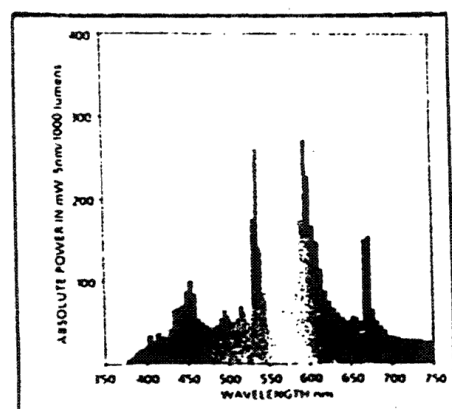
二合一(植物燈+太陽燈)
加強燈光譜



藍光燈管之光譜



水銀燈光譜



金屬鹵素燈光譜

4. 根據光譜資料進行分析，發現光合率最高的3種燈具，波長7000埃左右的紅光光譜強度比其他燈具強，可見紅光對水草的光合作用是有利的。

5. 波長5500埃左右的綠、黃光在每種燈具中都有不弱的光譜強度，但實驗證明

並不是每種燈具光合率都高；從日光燈光譜中可看出，黃色光、綠色光、紫外線等對水草的光合作用影響不大。

6. 橙色光在日光燈、三波長太陽燈、二合一加強燈中光譜強度也不弱，但光合率並不明顯，可見橙色光對光合作用影響也不大。
7. 波長4500埃左右的藍光對光合作用也有較明顯的影響，金屬鹵素燈、水銀燈的藍光都不弱，而藍光燈管就是靠著能量300左右的藍光使水草能行光合作用。
8. 一般家庭種植水草常用植物栽培燈，或配合裝潢，用投射照明的鹵素燈照射水草缸，這樣的水草是不會長得好的。
9. 有很多人聽信不實廣告，或只用單管照射水草缸（照度不足），結果水草種不好。經由本研究，以後我們再不上當了。
10. 投射照明用鹵素燈和金屬鹵素燈為什麼光合率差別這麼大？值得對各種鹵素燈再深入研究。

研究六：探討不同水溫對光合率的影響

(一)方法：

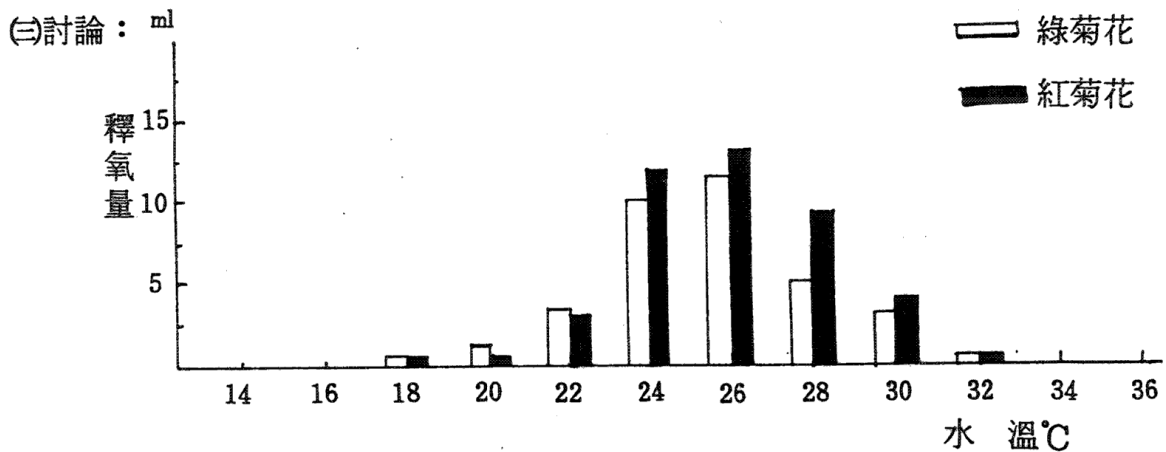
1. 使用加溫器將水溫分別控制維持在不同的溫度，低溫則選在1月份時實驗。水族缸內佈置同研究三。
2. 每一種水溫都以水銀燈為光源，光照強度為6500LUX，CO₂ 濃度16~20 mg/l，水質同為自來水。
3. 實驗水草為大小相當，生長狀況良好的紅、綠菊花，每種水溫都持續燈照8小時，測試不同水溫下的釋氧量。
4. 每調整一種水溫，均需讓水草適應一天，第二天再實測。

(二)結果：

不同水溫下，水草釋氧量記錄表

| 釋氧量 水草別 | 水溫 ml | | | | | | | | | | | | |
|------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | 14°C | 16°C | 18°C | 20°C | 22°C | 24°C | 26°C | 28°C | 30°C | 32°C | 34°C | 36°C | |
| 綠菊花 | 0 | 0 | 微量氣泡 | 1 | 3.5 | 10 | 11.5 | 5 | 3 | 微量氣泡 | 0 | 0 | |
| 紅菊花 | 0 | 0 | 微量氣泡 | 微量氣泡 | 3 | 12 | 13 | 9 | 4 | 微量氣泡 | 0 | 0 | |

不同水溫下，水草光合率長方圖



1. 紅、綠菊花在水溫22°C~30°C之間，光合作用都很明顯，其中以24°C~26°C時的釋氧量最多。
2. 低溫時，對水草的光合作用是不利的；逐漸增高水溫可以加速光合作用的進行。不過當水溫到達28°C時，光合率開始下降；而增高到34°C、36°C時，光合作用幾乎停止。
3. 水溫對水草的光合作用產生影響，因此為使水草正常生長，水溫最好控制在30°C以下，20°C以上，當然水草種類很多，可能有少數耐低溫、耐高溫的水草例外。

研究七：探討水質中酸鹼度〔PH值〕對光合作用的影響

(一)方法：

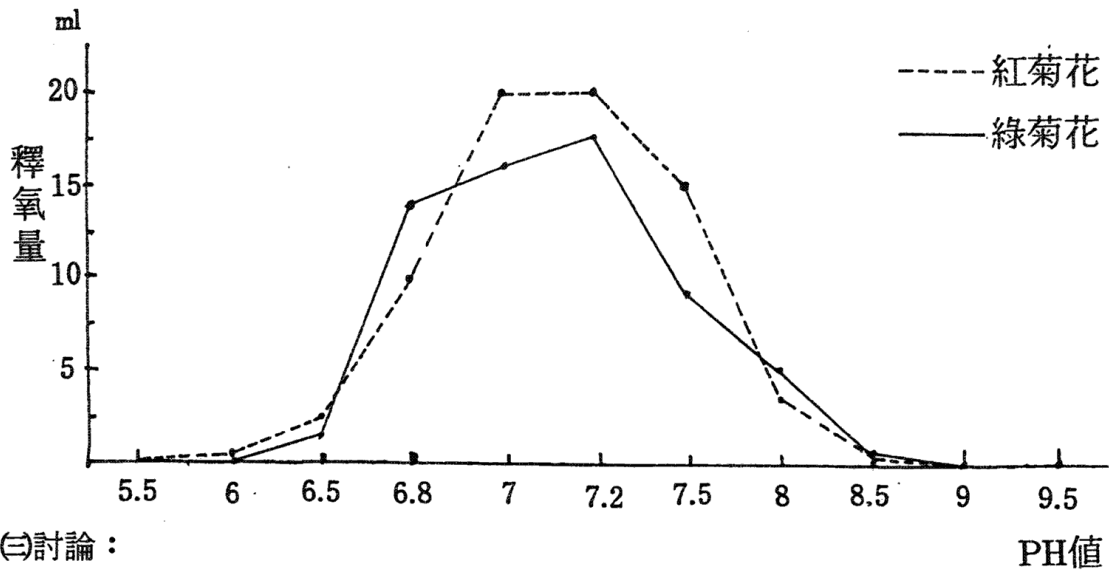
1. 缸內佈置同研究六，水溫維持在25°C，CO₂ 濃度16~20mg/l，光照強度為10000LUX。
2. 以PH值測試器，測量缸內水質的酸鹼度，並以增酸劑、增鹼劑滴入水中，逐漸調整水質成各種試驗所需要的酸鹼度（每隔1小時監測一次）。
3. 實驗水草，燈照時間同研究六。
4. 每調整一種酸鹼度，都要讓水草適應一天，第二天再實測。

(二)結果：

不同的PH值水草光合率記錄表

| 釋氧量 ml 水草別 | PH 值 | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|-----|-----|----|------|-----|-----|------|---|-----|--|
| | 5.5 | 6 | 6.5 | 6.8 | 7 | 7.2 | 7.5 | 8 | 8.5 | 9 | 9.5 | |
| 綠菊花 | 0 | 0 | 2 | 14 | 16 | 17.5 | 9 | 5 | 0.5 | 0 | 0 | |
| 紅菊花 | 0 | 微量氣泡 | 2.5 | 10 | 20 | 20 | 15 | 3.5 | 微量氣泡 | 0 | 0 | |

不同的PH值水草光合率折線圖



(三)討論：

1. 從記錄表及折線圖看出：水草對PH值改變的反應十分敏感。
2. 兩種水草在PH值6.5~8之間有較明顯的光合率，其中又以PH7（中性）左右時光合率較佳。
3. 當PH低於6，高於8.5後，光合作用不能進行。
4. 日本實驗發現，要使水草正常生長，水質中的酸鹼度一定也得控制適宜。

五、結論

- (一)由本研究發現影響水草正常生長的因素很多，難怪「鹵蛋」家的水草長不好了。水草的光合作用受到水草本身內在因素的影響，如顏色、葉綠體的數量等；同時也受到外在環境的影響，如CO₂的濃度、光照強度、光質、水溫、水質等因素影響。
- (二)不是綠色的水草（如紅柳、紅菊花…等）也能行光合作用；紅色水草葉片表層的花青素遮蔽了內層的葉綠素，所以需要較強的光照以達到理想的光合作用。
- (三)以自來水（CO₂濃度4mg/l）栽培水草需要添加適量的二氧化碳，如此對光合作用有幫助；但是在相同光照強度下，過量的CO₂對光合作用卻產生抑制；使水草光合率降低；如果再增加光強度，則高濃度的CO₂可以再被利用，光合率也不低，但就經濟性來說是比較浪費的。
- (四)一般而言，光照強度與光合率成正比。水草開始能行光合作用的光強度是依水草種類而有所不同；陰性水草（如髮苔）在低照度就可行光合作用，太強的光照反而抑制光合作用。陽性水草（如紅柳）則要高照度才能進行光合作用，在我們研究的這幾個月來，發現紅色水草確較難培育，水草長得好不好，和光照

強度有很大的關係。

- (五)就光質來說，波長較長的紅光對光合作用最有利，藍光也不錯。市面上有很多種水族照明燈具，選購時要小心，如果想要水草長得快又好，採用水族專用的水銀燈是可行的，當然經濟負擔可以的話，金屬鹵素燈更好。
- (六)如果光照強度，CO₂ 濃度都適宜，水草的光合作用在水溫25°C左右進行是最好的。水溫太低或太高對光合作用都是不利的。
- (七)水草對水質中的PH值十分敏感，以本研究而言，紅、綠菊花在PH值6.5~8之間光合作用較有利，接近中性是最好的，當水質太酸或太鹼時，光合作用不能進行。
- (八)本研究所做的各項試驗，只是對少數水草所做的探討；至於其他不同種類的水草，應有他最適宜的生長條件，如果要讓自己種植的水草長得好，只要多深入探討，就能讓水族世界更加多彩多姿。
- (九)本研究透過科學方法的試驗，找出水草行光合作用的最佳條件。應用這次研究所得的科學知識，對往後家居生活中水草缸的栽培有很大的幫助。

六、參考資料

1. 光復百科全書
2. 中山自然科學大辭典—第八篇植物學
3. 國小自然科學第十一冊
4. 千萬個為什麼—農業植物篇
5. 水族生態雜誌
第31、33、34、35、39、42期

評語

- (1)研究光合作用對水族缸內水草的成長影響，有很完整的探討，進行各變因的試驗，具有創意。
- (2)對於光合作用影響成長的變因，諸如二氧化碳濃度、水溫及其酸鹼度光強度…等的相關性，做系統性的觀測，分析的方法符合科學精神。
- (3)作品之研究過程，步驟及相關參考資料呈現十分完整。
- (4)作者之表達能力及說明其研究的成果，頗為優良。