

生命力強勁的水草——小圓葉

對環境適應的探討

國中組生物科第二名

新竹市立光華國民中學

作者：李志國、邱士韡、曾韋翔、黃瑋婷
指導教師：張秀徵、蘇碧卿

一、研究動機

去年，我們到竹東田寮國小參觀他們的水生植物園，看到各種的水生植物，其中在小圓葉生長區，水面上植株長得很茂盛，我們無意間撥開一堆植株，竟然發現它們在水面下又有另一種葉型存在，引起我們的好奇和興趣，想找出小圓葉的生長情形及對環境適應的變化，因此，我們就著手設計本實驗，期望能找出小圓葉的生長情形及對環境適應的變化。

二、研究目的

- (一) 探討小圓葉生長習性。
- (二) 探討小圓葉在空氣部分成長的水上草栽種於水族箱及潮濕的土壤內，對環境適應的變化情形。
- (三) 探討小圓葉水中草在水池中、水族箱及潮濕的土壤，對環境適應的變換情形。
- (四) 探討小圓葉的水中葉在不同酸鹼環境下，葉子顏色變化，與花青素的含量關係。
- (五) 探討小圓葉水上葉及水中葉的氣孔分佈及上下表皮細胞的變化。

三、研究器材

水族箱(61x61x44.5公分)x2、昆蟲箱x9、水銀燈x2、植物燈x2、二氧化碳供應器x2、分光光度計x1、過濾器x2、淺盆x1、pH儀x1、KOHx1瓶、HCLx1瓶、顯微鏡x3、量筒x5、總固體溶解量測試筆x1、物鏡測微計x1、植物燈x2、光學顯微鏡(附照相裝置)x1、南寶樹脂x1瓶。

四、研究過程與方法

(一) 標本採集：

自新竹田寮國小水生植物園，採集小圓葉，選取有頂芽的10cm的水上草，再分別栽植於本校的水族箱、潮濕土壤中。

(二) 觀察和記錄：

- 1.以pH儀、總固體量測試筆、及量筒、蠟燭測三種生長環境（潮濕土壤、水族箱、田寮國小）的pH值、總固體溶解量、濁度。
- 2.每日觀測記錄栽植於學校環境中植株的生長情形並定期拍照。
- 3.利用假日到田寮國小觀測小圓葉水上草及水中草生長情形和拍照。

4.徒手切片法

(1)選取健壯的水上葉、在水中繼續生長的水上葉、水中轉型葉、水中穩定葉四種葉片分別夾於通草髓，再由通草髓一併朝水平方向連續切片後，將所切出材料漂浮在水上，再挑出適當厚度者置於70%酒精的固定液，固定4小時。

(2)脫水及染色步驟如下：

0.5% safranin之50%酒精 ---- 3小時 → 50% 酒精沖洗 ---- 3次
→ 70%酒精 ----- 10分鐘 → 85% 酒精 ----- 10分鐘 → 95%
酒精 ---- 10分鐘 → 0.1% fast green 之95% 酒精溶液 ---- 3分鐘
→ 95% 酒精沖洗 ---- 3次 → 無水酒精 -----5分鐘 → 無水酒精
----- 5分鐘 → 無水酒精加二甲苯(1:1) ----- 10分鐘 → 二甲苯
----- 10分鐘。

(3)將步驟2.處理後的切片移至載玻片上，加一滴巴爾森，蓋上蓋玻片進行顯微鏡下的觀察。

(4)葉片、水中葉片的橫切面、平行表面之切面的內部構造，配合埋腊切片在顯微鏡下以10x40倍率觀察和拍照，並將洗成的照片進行比較分析，找出彼此間的相互關係。

（註：埋腊切片由中興大學協助製作）

(三) 改變生長環境的pH值，觀察水中草顏色變化及測定葉片之花青素含量的多寡。

- 1.以KOH和HCl兩種試劑，配pH值為5、6、7、8的溶液。
- 2.將上述四種溶液分別放入四個底部有2cm砂石的昆蟲箱內，水深15公分。

3. 在每個昆蟲箱植入約6公分水中葉各5株。
 4. 每日觀察葉片顏色變化，記錄之。並於第六天，用分光光度計測定生長在不同pH值的環境中的葉片其花青素的含量的變化。
 - (1) 取下生長在不同pH值的葉片稱重後，用含1%HC1的甲醇溶液萃取花青素。
 - (2) 將萃取液放入冰箱下層24小時。
 - (3) 取出萃取液放入分光光度計，測定在530nm的光照下的吸光值(OD_{530nm})。
 - (4) 換算每克鮮重的吸光值。
- (四) 探討水中葉、水上葉氣孔的分佈、數目及表皮細胞的變化。
1. 氣孔分佈
 - (1) 在水中長出的過渡轉型葉二種、水中定型葉及水上葉四種葉片，在其上、下表皮均勻塗上一層南寶樹脂。
 - (2) 待南寶樹脂變成透明時（即乾了），用鑷子剝下透明膜，放在載玻片上。
 2. 單位面積上氣孔數目平均值的測定：
 - (1) 利用物鏡測微計測定在放大率150倍顯微鏡下視野的直徑，換算成公分單位，再利用圓面積公式計算視野面積。
 - (2) 將玻片標本置於150倍的顯微鏡下，計算視野內氣孔數目，再將載玻片很輕微的移動後，計算其它不同部位之氣孔數目，如此連續計算6個區域求其平均值。
 - (3) 將各區域所測得氣孔數目之平均值除以區域面積，即得單位面積之氣孔數目。

五、研究結果與討論

- (一) 生長習性：小圓葉學名 *Rotalia rotundifolia* 又叫水豬母乳。
1. 科別：千屈菜科(Lythraceae)，水豬母乳屬(*Rotalia*)。
 2. 生長在淺水池塘，休耕期有流動水源處。內灣鐵路沿線、山溝、泉水、溪流邊等活水處。
 3. 莖匍匐或垂直、斜向生長，露出水面上的部分莖略帶紅色及生出對生圓葉。而在水中長出的葉則較細長，莖在水中匍匐時，在每節處可長出不定根及腋芽。
 4. 花期在秋冬季，在莖的末端長出呈穗狀花序，至多八公分長，花為紫

紅色。

5. 可以插枝法繁殖，插在砂土的莖很快由莖節處向下長出白色的根，喜歡生長於高光量、低水溫、中性至弱酸性的水中。

(二) 生長地觀察：

地點	田寮國小水池	本校水族箱	本校潮濕土壤
日期	86.4~87.1	86.4~87.1	86.10~87.1
水質	流動性	流水	流水
	PH質	5.5~5.9	5.45~6.5
	相對混濁度	263.4cm	330.5cm
	總固體溶解量(ppm)	240~180	250~240
光照	日照(陽光充足)	100W水銀燈，每天照光10小時	植物燈，每天照光10小時
生長環境	水深	10cm	15cm,25cm
	土深	26cm	10cm

本校水族箱繁殖環境	
尺寸	長61cm寬61cm高44.5cm
光源	100W水銀燈，每日照光10小時
二氧化碳	每秒2個二氧化碳氣泡，且與照光同時進行
肥料	水草基肥(置於底砂下0.2cm)
底砂	砂砂(10cm深)
過濾器	內置圓筒過濾器
水深	25cm和15cm
換水	每週換水一次(學校地下水)

(三) 外部形

1. 根：結果

生長環境	型態	顏色	適應情形
田寮國小水池	不定根	扦插長出的根	固定於泥沼的根，由埋在泥沼的莖從其節上長出根且呈輻射狀向下長入土中，最多一個節可長出七支不定根，且都有支根。
		由匍匐莖長出	在水中的每個節幾乎可垂直向下長出1~7支不定根，可長達23cm，深入池底泥沼時不定根上會長出許多支根。
		由直立莖長出	直立莖只有浸在水中較易向下長出不定根，挺出水面的部分則不易長出，每節可長1~2根，未觸及泥沼時不易長出支根。
水族箱	不定根	扦插長出的根	固定砂土的根由沒入砂土的節長出，深入砂土，每節有1~4根長達8.9cm，且有支根，抓牢砂石，不易鬆動，且呈輻射狀分布，較田寮國小的短，支根較少。
		由匍匐莖長出	不定根自莖節向下垂直生長，有些還深入砂土，和扦插根一樣有支根，每節有1~7根。
		由直立莖長出	長在較下端的莖節，且平行於莖生長，每節有1~7根，不定根較短小，未觸及砂石時無支根。
潮溼土壤	不定根	扦插的根	從沒入土壤中的節上生出根，比起水族箱和田寮國小的短了許多可達3.2cm，可能受限於土深，有少量的支根，但在空氣中的節上都不長不定根。

(2)不定根由莖上的節長出時，最多有 7 支不定根。

2. 莖：結果

生長環境	型態	顏色	適應情形
田寮國小水池	匍匐莖	墨綠色	莖橫向生長，向上生出腋芽，向下生出不定根，機率皆極高，節間距平均，莖節全長最長可達約35cm。
	水中莖	紅中帶綠	莖質地細小柔軟，不能挺出水面，在水中只要稍有傾斜就會生出不定根和腋芽，節間距很不平均，愈近頂芽就愈短，全長受水深影響，水越深，水中莖越長，最長可達13.5cm。
	水上莖	綠中帶紅	莖較粗壯，具有挺出水面的能力，不易長出腋芽及不定根，只有末端靠近水中時，才會生出不定根，節間距也很不平均，全長可達34.5cm。
水族箱	匍匐莖	墨綠色	在莖的節上向上生出腋芽，向下生出不定根，機率皆極高，節間距平均，莖節全長最長可達約16.9cm。
	水中莖	紅中帶綠	質地較柔軟，依靠水的浮力生長，有轉型期的水中莖較粗及穩定型的水中莖較細。全長隨水深而定。
	水上莖	綠中帶紅	水中的過渡葉，在出水面之後又長回水上葉，但因過渡莖軟弱，撐不起水上葉的重量，所以生長的高度有限約1.5cm。
潮溼土壤	匍匐莖	綠色	在莖節處，會向下生長一到二根不定根，也會向上生出腋芽。
	水上莖		在莖節上不長任何不定根，但傾斜時會生出腋芽，不過機率很低。

討論：水中莖有轉型期的水中莖較粗及穩定型的水中莖較細。

(1)穩定型的柔軟水中莖在水中生長的情形

- A.生長在水深小於10cm處時，就會在近水面的地方變成較硬、粗的轉型期莖，此時莖向上長時可凸出水面，又可成為水上莖繼續生長。
- B.生長在水深大於15cm處，穩定型水中莖就無法長出轉型期的莖葉，仍以較柔軟的水中莖繼續生長，所以無法凸出水面，只能沿水面橫向生長。

(2)水上莖在水中生長時

- A.如果距離水面淺短，則在近水面處生出轉型莖葉，便能挺出水面，再長回水上莖葉。
- B.距離過長時（大於15cm）在長出轉型期莖葉後，再長出穩定型的水中莖，因質地柔軟，只能靠水的浮力生長，導致植株沿水面橫向生長了。

(3)小圓葉在水中生長時：莖的粗細也會隨著轉型而漸近改變：

- A.由水上葉繼續成長為水中葉時，莖逐漸變細。
- B.由水中葉繼續成長為水上葉時，莖逐漸變粗。

(4)水上莖、水中莖如果在水中繼續生長時，由莖節長出的腋芽，最後會形成柔軟的穩定型水中葉

1. 葉：結果

生長環境	型態	顏色	形狀	大小 (cm)		葉形圖示	
田寮國小水池	水上葉	綠色	圓形	長	0.8-1.5	(1)水上葉 	
				寬	1.0-1.7		
	水中葉	轉型期葉	葉面墨綠色 葉背綠中帶紅	倒卵形	長	0.9-1.4	(2)轉型期葉 
					寬	0.75-0.85	
		頂芽長出的定型葉	葉面綠中帶粉 紅色葉背偏紅	狹長橢圓形	長	1.35-1.50	(3)頂芽長出的定型葉 
					寬	0.3-0.5	
腋芽長出的定型葉	葉面綠中帶粉 紅色葉背偏紅	狹長橢圓形	長	0.9-1.35	(4)腋芽長出的定型葉 		
			寬	0.31-0.48			
水族箱	水上葉	墨綠色	圓形	長	0.45-0.53	(1)水上葉 	
				寬	0.40-0.55		
	水中葉	轉型期葉	葉面墨綠色 葉背綠中帶紅	倒卵形	長	0.85-1.45	(2)轉型期葉 
					寬	0.67-0.85	
		頂芽長出的定型葉	葉面綠中帶粉 紅色葉背偏紅	狹長橢圓形	長	1.05-1.65	(3)頂芽長出的定型葉 
					寬	0.15-0.25	
腋芽長出的定型葉	葉面綠中帶粉 紅色葉背偏紅	狹長橢圓形	長	0.95-1.35	(4)腋芽長出的定型葉 		
			寬	0.15-0.19			
潮土溼壤	水上葉	綠色	圓形	長	1.0-1.3	(1)水上葉 	
寬	0.8-1.0						

討論：

(1)由上表中得知，水中葉的長寬大小關係：

生長在田寮國小>生長在水族箱

(2)水上葉

水上葉從水面上的莖節處生出，對生，綠色，呈卵圓形，網狀葉脈，有角質層，無柄。

(3)水中葉

水中葉從兩處生出，一是水上葉的頂芽在水中繼續生長，葉型由倒卵型逐漸轉為狹長橢圓形，一是水中莖節處長出，只有狹長橢圓形，水中葉對生，葉面綠帶微紅色，葉背紅色，網狀葉脈，無角質層，無柄。

(4)水上莖葉是否可在水中生存？

A.我們觀察發現可在水中生長，此時，頂芽向上生長，葉子由圓形逐漸轉型。

B.水上草的圓形葉最後定型為狹長橢圓形，且在水中繼續生長，顏色並隨著生長由綠，綠中帶紅，最後轉為紅中帶綠色。在水中長出的莖葉，因利用水的浮力不必自己來撐體重，因此葉子及莖部都變得柔軟，葉子也變薄，無角質層。

(5)水中莖葉是否可在水上生存？我們觀察發現：

C.水中莖葉在空氣中很快凋萎死亡，質軟且薄，在空氣中其內水分易蒸散，所以很快就失水凋萎。

D.水中莖葉若以轉型莖葉靠近水面時，因轉型莖較硬挺，則頂芽可突出水面向上伸長生長，此時長出的葉型是圓形的水上葉，至於水上葉繼續成長的高度是以水中莖葉能撐住才行，以致生長的高度有限。

E.水中莖葉若以水中狹長橢圓形葉片靠近水面時，因莖柔軟，無法使頂芽突出水面，而是沿著水面下繼續伸長。

(6)水中葉在水族箱內，及在田寮國小的顏色有些不同，我們發現pH不同可能是原因之一，因此我們就設計實驗四“不同pH值是否會影響水中葉的顏色變化”。

(7)水中葉的上下表皮細胞在行光合作用時都有大量氣泡存在，使我們聯想到“小圓葉的水中葉究竟有無氣孔存在？”因此我們就設計實驗五，想探個究竟。

2.花

花只生長在水上莖的部分，且對生於頂端的葉腋上，為穗狀花序，可至8cm左右，花瓣4片呈紫紅色，長0.15~0.2cm，寬0.08~0.1cm，萼片四片呈淡綠色，長0.08~0.11，寬0.03~0.05，雄蕊4枚，長約0.15cm，花藥橘色，雌蕊柱頭橘色，長寬約0.1cm。

3.葉片內部構造：

水上葉、在水中繼續生長的水上葉、水中轉型葉、水中穩定葉四種葉片的橫切面、平行表面之切面的柵狀組織及海綿組織等內部構造的照片。

(1)水上葉

A.葉片厚度約0.10~0.13 II.上下表皮均有氣孔

B.柵狀組織二層，海綿組織的細胞中有結晶 IV.柵狀細胞與海綿細胞趨近等徑

(2)水上葉在水中繼續生存時：

A.葉片厚度約為 0.10~0.11mm。

B.上下表皮細胞，柵狀細胞幾乎沒有改變。

C.海綿細胞變成裂瓣狀，使細胞間隙變大些。

(3)水中轉型葉：

A.葉片厚度約0.09~0.10mm，上下表皮均有氣孔

B.柵狀細胞排列密集，大多數為一層，少部分有二層

C.海綿細胞裂瓣，使細胞間隙變大很多，所以有通氣組織形成

(4)水上穩定葉（狹長橢圓形）：

A.葉片厚度約0.06~0.07mm

B.柵狀細胞排列較密，且變成單層，上下表皮有氣孔但很少

C.海綿細胞，裂瓣很深，使間隙變得很大，所以有明顯的通氣組織

討論：

水上葉在水中繼續生長時，由水中轉型葉到水中穩定葉，除葉形有改變外，葉片的厚度逐漸變薄，柵狀組織由兩層變成一層，排列漸密，最明顯的變化是在海綿組織，海綿細胞由趨近等徑，裂瓣逐漸加深，使通氣組織越來越明顯，這種轉變，既可幫助水中葉的通氣，又可在其在水中受到的浮力增大。

(四)小圓葉的水上葉、水中葉氣孔分布及上下表皮細胞的變化情形如下：

葉 型			上表皮 或下表皮	在顯微鏡150倍視野內六個不同區域						單位面積氣孔數 氣孔數目 (cm ²)		
				0.00534cm ² 的氣孔數目								
				1	2	3	4	5	6		平均	
水上葉 (圓型)			上表面	37	43	40	45	45	51	43.5	8146	
			下表面	63	57	62	56	61	55	59	11048	
水 中 葉	轉 型 葉	倒 卵 形	上表面	2	2	2	3	1	2	2	374	
			下表面	2	3	2	3	2	3	2.5	468	
	橢 圓 形	上表面	2	1	2	3	1	2		337		
		下表面	3	2	3	2	1	1	2	374		
	穩 定 葉	狹 長 橢 圓 形	上表面	2	0	2	0	1	2	1.2	224	
			下表面	0	2	1	2	1	2	1.3	243	

討論：

由圖表得知：

(1)水上葉、水中葉上下表皮均有氣孔分布，且水上葉比水中葉多很多，下表皮又比上表皮多。

(2)小圓葉葉片的上下表皮，其氣孔在單位面積分布之數目會隨葉形變化而改變，其氣孔數目大小關係依序如下：

水上葉（圓形）>水中轉型葉（倒卵形）>水中轉型葉（橢圓形）>水中穩

定葉（狹長橢圓形）。

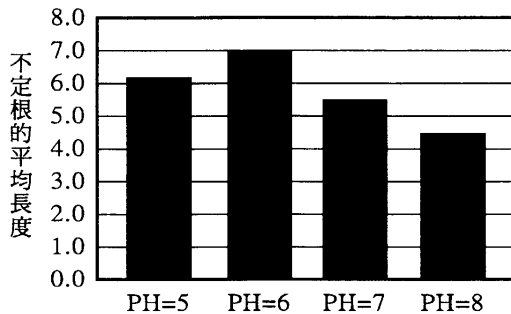
(3)由顯微鏡下觀察的葉片上下表皮細胞的形狀，水上葉表皮細胞成波浪狀而水中穩定葉表皮細胞則偏向長形，而轉型期葉表皮細胞形狀介於兩者間。

我們在水族箱養殖小圓葉時，發現水中葉的顏色容易隨著打入二氧化碳的量的多寡，及水中pH值大小而呈現不同程度的紅色，也與田寮國小的水中葉有所不同，所以我們就設計下面的實驗。

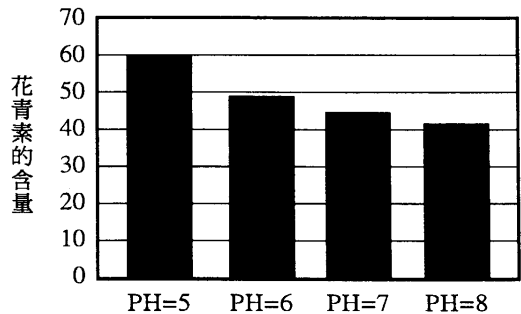
(五) 改變水族箱內的pH值探討水中葉顏色變化的影響。

結果如下：六天後

pH值與不定根平均
長度的關係圖如下：



水中葉在不同pH值
環境下花青素的含量



註：每克鮮重吸光值越大表示花青素含量多，固上表中每克鮮重吸光值可視為花青素的相對含量

討論：

我們在六天的觀察：小圓葉的水中葉

1. 在pH5至8的環境下皆可存活。
2. 在不同pH值的環境下，長出不定根的最長長度的平均值大小依序如下：
pH6>pH5>pH7>pH8
3. 莖葉的顏色隨pH值減少，紅色比例漸增
4. 由圖(1)表(1)得知：pH=5時水中葉片上所含花青素很多，再隨pH值漸增，花青素再依次遞減，pH=8，花青素最少，這也是造成水中葉隨pH值減少，葉子（尤其是葉背）愈紅的原因。

六、結論

(一) 小圓葉在水池生長，有水中草及水上草二型。

(1) 水上草在每個節上長出對生綠色的圓形葉子，呈匍匐狀、直立或斜上

狀。莖較堅硬，顏色綠中帶紅。

(2)水中草的葉則對生，呈倒卵形、長橢圓形或狹長橢圓形，質薄而軟，葉面綠中帶紅，葉背偏紅色。莖也較柔軟，偏紅色。

- (二) 小圓葉的水上草可於濕地、水池，水深可達25cm的環境下生存。
- (三) 小圓葉可用無性生殖大量繁殖：水上草可用扦插法或使其匍匐砂土中，則觸及砂土的莖節，向上長出腋芽向下長出不定根1~7根，其長度決定於砂土的深度，每一不定根都有許多支根以增強固著砂土的能力，此時長有腋芽及不定根的每一莖節都可成為獨立植株。
- (四) 小圓葉的水上草扦插於水中，可從莖節處向下長出不定根，若不觸及砂土，呈白色細長光滑狀。各莖節長根的機率與植株傾斜角度有關，即傾斜角度越小，長不定根的機率越大。
- (五) 小圓葉的水上草在水中成長時，因受水的浮力作用，其莖由硬挺逐漸轉為較柔軟，隨著莖的向上延伸，葉子由原來的圓形，依序變轉型期的倒卵形、橢圓形、到穩定的水中型—狹長橢圓形。
- (1)若是轉型期的莖葉，接近水面時，則頂芽可凸出水面繼續成長為水上草，但水上莖葉成長的高度，受制於水中莖葉的支撐，以致生長的高度有限。
- (2)若是穩定的水中莖葉（狹長橢圓形），接近水面時，則頂芽無法凸出水面，而會沿著水面橫向生長。
- (六) 小圓葉的水中草
- (1)無法用扦插法在濕地存活，但在水中仍可以扦插法繁殖。
- (2)水中草在水中是否能凸出水面，也是決定於接近水面是否有轉型期的莖葉存在。
- (七) 小圓葉的水中草在pH=5到pH=8的環境下，都可存活，葉內所含花青素隨pH減少而增多，而使葉子的顏色——尤其是葉背——偏向紅色。
- (八) 小圓葉的水上葉及水中葉上下表皮都有氣孔分布，且水上葉比水中葉多很多，下表皮又比上表皮多，而氣孔在上下表皮單位面積分布之數目，會隨葉形而改變，其大小關係依序如下：
水上葉（圓形）>水中轉型葉（倒卵形）>水中轉型葉（橢圓形）>水中穩定葉（狹長橢圓形）
又上下表皮細胞的形狀變化如下：水上葉呈波浪形—水中穩定葉則偏向長形—轉型期葉介於兩者之間

- (九) 小圓葉的水上草可適應水中生活，水中草雖只能在水中生活，但穩定的水中型莖葉若再靠近水面時，能接受足夠的陽光，頂芽可向上長出，轉型期莖葉則可凸出水面，繼續生長為水上草，所以小圓葉是水陸兩棲植物，是一種生命力強勁的水草。
- (十) 在這次實驗中，我們發現水上葉轉型至水中葉或水中葉轉型至水上葉，葉片厚度、內部結構、氣孔數目及表皮細胞是漸進改變，其中葉片內部的結構變化明顯，水上葉變為水中葉時，柵狀組織由兩層變成一層，而以海綿組織變化最大，其細胞由近等徑變成有很深的裂瓣，造成有明顯的通氣組織，除可幫助水中葉的通氣，又可增加其在水中的浮力，這也是造成水中葉柔軟的原因，至於根、莖的內部構造是否也是以漸進改變的方式，適應其生存之道，這是下一步我們要繼續研究探討的方向。

七、參考資料

1. 水草的栽培方法—孫家慶譯，信宏出版社，P.77&P.88~P.96
2. 水生植物，羅森才 彭久田編著，新竹縣政府編印（83年4月）
3. 水草栽培指南，柯清水編著，翠湖水草栽培研究所出版（82年9月），P.2~P.12&P.24
4. 植物觀察入門，鄭之春審訂，徐珠湖譯，渡假出版社有限公司（81年6月），P.87~P.140
5. 牛頓科學研習百科—植物，牛頓出版社，P.100~P.142
6. 台灣植物誌 第三卷，台灣植物誌編輯委員會編著，現代關係出版社，P.816~P.823
7. 植物組織切片技術綱要，蔡叔華編著，茂昌圖書公司，P.18~P.20 & P.30P.46
8. 最新作物生理實驗法，北條良夫 石塚潤爾編著，農業技術協會(1985年) P.345

評語

本試驗同學發現水中之水草可分為兩型，即水上草及水中草，水上草之葉為圓形，而水中草則為狹長型。其實此二型之水草葉可以互相變更其形狀，也就是水草會因不同環境而變異其形狀。本試驗同時發現小圓葉發育的最適生長條件，例如：PH，光色，深度等都是很有意義的試驗，利用簡單的植物，說明生物在地球上水陸兩棲的生命力，是一個很好的研究展示。