

新竹市第四十三屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別： 生物科

組 別： 國中組

作品名稱：水芙蓉的圓葉之謎

關 鍵 詞：浮水植物、希爾反應、植物環境適應

編 號： 114JA-B007

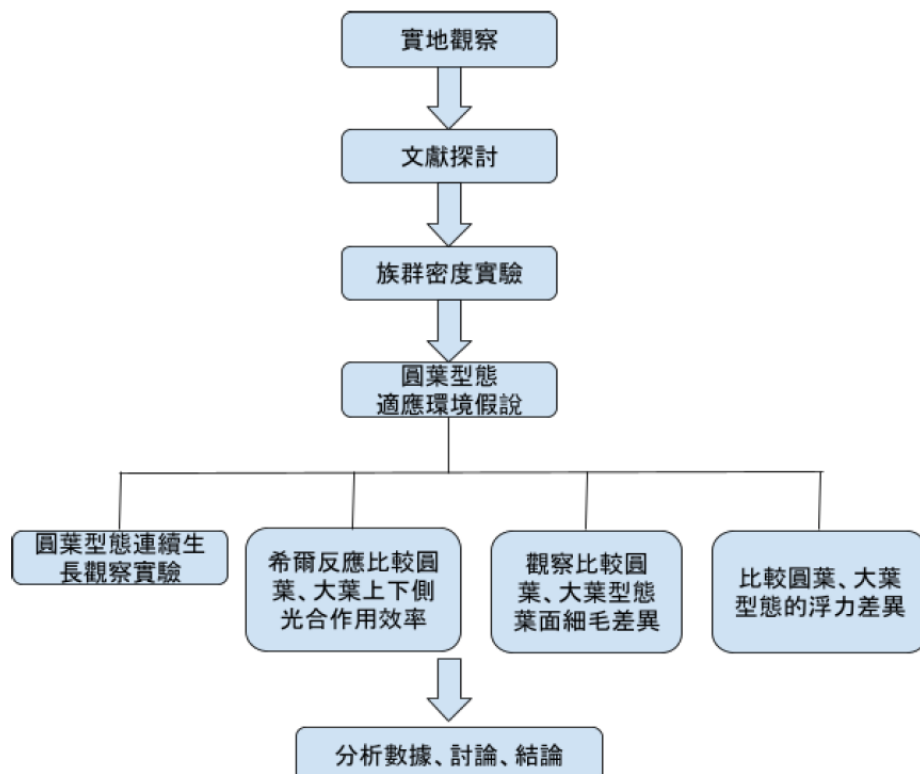
摘要

本研究探討水芙蓉（*Pistia stratiotes*）在不同環境下的葉型變化與適應機制。我們發現低密度環境下的水芙蓉會生長出較小的圓葉，並在一個月內不會轉為大葉型態，顯示其為對環境變化的適應，而非過渡狀態。

透過希爾反應測定顯示圓葉型態的葉綠體較少，降低養分需求在冬季更具適應優勢。透過手動刮除比較葉面上下側的光合作用效率，大葉與圓葉的下表皮側葉綠體含量皆高於上表皮側，因浮水植物的氣孔多分布於上表皮，較多水分散失而降低光合作用效率，而圓葉型態的上表皮光合作用效率優於大葉型態，可能因氣孔較少，減少水分蒸散，亦助於適應冬季。細毛觀察則顯示，圓葉型態的上表皮細毛較多，但相比大葉型態不會產生更多浮力，圓葉型態較多的細毛可能有其他功能。本研究揭示水芙蓉葉型變化與環境適應有關，水生植物可能同變葉植物，具備適應季節變化的生存策略。

壹、前言

一、研究架構



二、研究動機

新竹市溪埔子人工濕地栽培許多濕地植物，豐富的生態景觀吸引我們進行觀察，四個生態池畔都有許多乾掉的水芙蓉，疑似是因為生長速度太快，排擠其他水生植物的生存空間，而被大量的撈出移除。我們想了解水芙蓉族群擴展速度有多快、族群密度是否會影響拓展速度。

因上述好奇，我們想觀察生長快速的水芙蓉族群是否會受到族群密度的影響，將水芙蓉放置於 2.25 平方公尺的塑膠水管框內養殖。一個月後，低密度的水芙蓉生長出特別小的圓葉型態並滿佈於水管框內，長 2 公分，寬 2-3 公分，先端些微凹頭，且野外環境較少此圓葉型態的水芙蓉生長。



▲ 圖 1 高密度與低密度實驗



▲圖 2 一個月後長滿圓葉型態



▲圖 3 圓葉型態(葉長小於 3 公分)



▲圖 4 大葉型態(葉長大於 6 公分)

而後，雖然因颱風連續侵擾中斷實驗，但也意外發現，一個月的養殖時間會讓水芙蓉表現出特殊的小圓葉（稱為“圓葉型態”）並佈滿塑膠方框。這一型態與其原有的大葉形狀有明顯不同，引發了我們對其生理特性及適應意義的好奇。

我們把少量圓葉型態的水芙蓉帶回到學校生態池養殖，其族群拓展很快，半個月就佈滿整個生態池，生長時間是冬季 12 月至 1 月時間，可見冬季環境不影響其族群增加趨勢，而大葉型態族群部分出現枯黃與腐爛的狀況，讓我們更加相信大葉型態與圓葉型態有環境適應的差異。



▲圖 5 校園水池養殖水芙蓉



▲圖 6 大葉型態普遍出現枯黃腐爛

而我們觀察僅有大葉型態的水芙蓉較多出現枯黃狀況，且以光照強度較弱的樹蔭下較為明顯。

植物葉片的型態常與其光合作用效率及環境適應能力密切相關。我們假設這些圓葉型態，可能有光合作用效率或葉片表皮的細毛有差異，使其不同於大葉型態，進而展現其他生存適應上的特徵。因此，我們希望透過對水芙蓉圓葉型態的研究，探討其光合作用強度、葉片細毛是否與大葉型態存在差異，並以連續生長紀錄檢驗圓葉型態不會長成大葉型態。

三、研究目的

- (一) 以連續生長記錄檢驗圓葉型態不會長成大葉型態。
- (二) 以希爾反應法檢測圓葉型態與大葉型態的光合作用效率差異。
- (三) 以手動刮除比較圓葉型態與大葉型態的上下側光合作用效率。
- (四) 以樣區法比較圓葉型態與大葉型態的上下表皮細毛差異。
- (五) 以懸掛砝碼比較圓葉型態與大葉型態的浮力差異。

四、文獻回顧與背景研究

水芙蓉 (*Pistia stratiotes*) 為天南星科多年水生草本植物，具細長根莖及長羽毛狀的懸根。單葉，簇生短莖上，匙形至舌狀，長 4-10 公分，寬 5-10 公分，先端截形或微凹頭，基部長楔形，無柄。屬於浮葉植物，其氣孔多集中於上表皮組織（國立自然科學博物館館訊，2012）。

環境因素上，其植株耐污能力很強。在前人研究指出，對水體濁度、懸浮固體和營養濃度均有下降的效果，水濁度降低 60% 以上。（Qin Lu, 2008），因此可以用於廢水處理上，廣泛種植於溪埔子人工濕地，又因繁殖力強大，透過走莖生出無性芽，進而萌發一株幼苗，即能長成新個體植株，因此新竹市環保局定期將生長過剩的水芙蓉撈出到岸邊，且不論是野外溪埔子人工濕地或是校園水池，冬季都有許多水芙蓉生長，這個觀察與文獻資料不符，農業部林業試驗所與先前研究指出水芙蓉於冬季葉片會枯黃（台北植物園好花共賞，2017）。

變葉植物於冬季時節，會透過落葉與離層素（其主要生理作用有：抑制芽的萌發，促進芽的休眠、抑制種子的萌發，促進種子的休眠。面臨缺水逆境時，可促進氣孔關閉，防止失水）減少葉片所需的養分需求，來渡過不利生長的條件。我們認為在冬季生長的水芙蓉族群，應該也有類似的機制，調節環境影響。大葉型態的根部較長，有助於個體在漂浮環境中保持穩定，即使吹翻後也能較快翻正（芙生六記~水芙蓉的平衡機制，2013），圓葉型態的根部較短則可能不具備穩定漂浮的能力，或是有其他不同於大葉型態的構造差異，即使圓葉型態沒有很長的根，也能在漂浮環境中保持穩定。

貳、研究設備及器材

一、調查設備與器材

塑膠水管框、漁網、筆記本、電子秤(最小單位 0.01 公克)、直尺(最小單位 0.1 公分)

二、希爾反應實驗設備器材

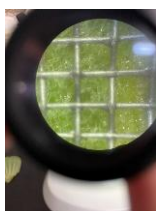
光電比色計	光照度計	離心機與離心管	DCPIP0.2mM	果汁機
				
試管	鋁箔紙			

(一) DCPIP 為用於氧化還原指示劑的化合物。當 DCPIP 處於氧化態時呈現藍色，最大吸光值為 600 奈米；還原態時則為無色。

(二) 光電比色計用於測量以用戶所選擇的波長穿過樣本溶液的的光線的數量。

本研究中使用未加入葉綠體的 DCPIP 作為標準值，吸光值越低代表光合作用效率越高，用以比較不同實驗處理的樣本，光合作用效率高低。光合效率指的是在一定光強度下所能引起的光合作用反應的多少。

三、型態觀察器材：解剖顯微鏡、紗網（網目 1/9cm）、鑷子。



►圖 7 紗網（網目 1/9cm）為樣區法測量細毛數量

四、浮力測量工具：垃圾桶、棉繩、砝碼組(最輕 0.2gw、最重 200gw)、電子秤、直尺。

參、研究過程與方法

一、以連續生長記錄驗證圓葉型態不會長成大葉

- (一) 從溪埔子人工濕地撈了一些小圓葉水芙蓉至學校的水池養殖。
- (二) 每週三、五放學時進行溫度、葉長及葉寬的測量，每次測量十株，持續測量一個月。
- (三) 並將數據記錄下來，進行統計。

二、以希爾反應法檢測大葉與圓葉的光合作用效率

- (一) 秤取小圓葉水芙蓉，加入適量的水於果汁機內打碎。
- (二) 四層紗布過濾，並分裝至離心管。
- (三) 秤重平衡後，至離心機以轉速 250xg 離心五分鐘。
- (四) 拋棄沈澱物，取上層液再以 2000xg 離心十分鐘，使葉綠體沈澱。
- (五) 將離心管內的沈澱物懸浮起來，包覆鋁箔待用。
- (六) 混合 DCPIP 0.2mM 1.5ml、0.35ml 水、葉綠體懸浮液 0.15ml 於試管中，以 8000Lux 照度距離 30 公分照射，並於 2 分鐘、5 分鐘、10 分鐘測定 620nm 光吸收度，重複 5 次並記錄數據。
- (七) 改秤取大葉水芙蓉重複上述 1 至 6 步驟。

三、以手動刮除比較大葉上下側光合作用效率

- (三) 取大葉水芙蓉以單式刀片刮除葉片上側表皮及葉肉，加入適量的水於果汁機內打碎。
- (四) 以四層紗布過濾，並分裝至離心管。
- (五) 秤重平衡後，至離心機以轉速 250xg 離心五分鐘。
- (六) 拋棄沈澱物，取上層液再以 2000xg 離心十分鐘，使葉綠體沈澱。
- (七) 將離心管內的沈澱物懸浮起來，包覆鋁箔待用。

- (八) 混合 DCPIP 0.2mM 1.5ml、0.35ml 水、葉綠體懸浮液 0.15ml 於試管中，以 8000Lux 照度距離 30 公分照射，並於 2 分鐘、5 分鐘、10 分鐘測定 620nm 光吸收度，重複 5 次並記錄數據。
- (九) 改取大葉水芙蓉以單式刀片刮除葉片下側表皮及葉肉重複上述 1 至 6 步驟。
- (十) 取大葉水芙蓉不刮除作為對照組，重複上述 1 至 6 步驟。

四、樣區法比較圓葉型態與大葉型態的上下表皮細毛差異

- (一) 將水芙蓉放置於解剖顯微鏡的載物板。
- (二) 用尺測量紗網一格的面積(1/81 平方公分)，並將紗網放置於水芙蓉上。
- (三) 利用手機將透過顯微鏡觀察的水芙蓉葉片進行拍攝。
- (四) 計算紗網一格中細毛數量。
- (五) 利用 excel 推算出 1 平方公分各水芙蓉的細毛數量。
- (六) 重複觀察大葉型態上下表皮、圓葉型態上下表皮，每個樣本重複 10 次取平均

五、比較圓葉水芙蓉與大葉水芙蓉的浮力差異

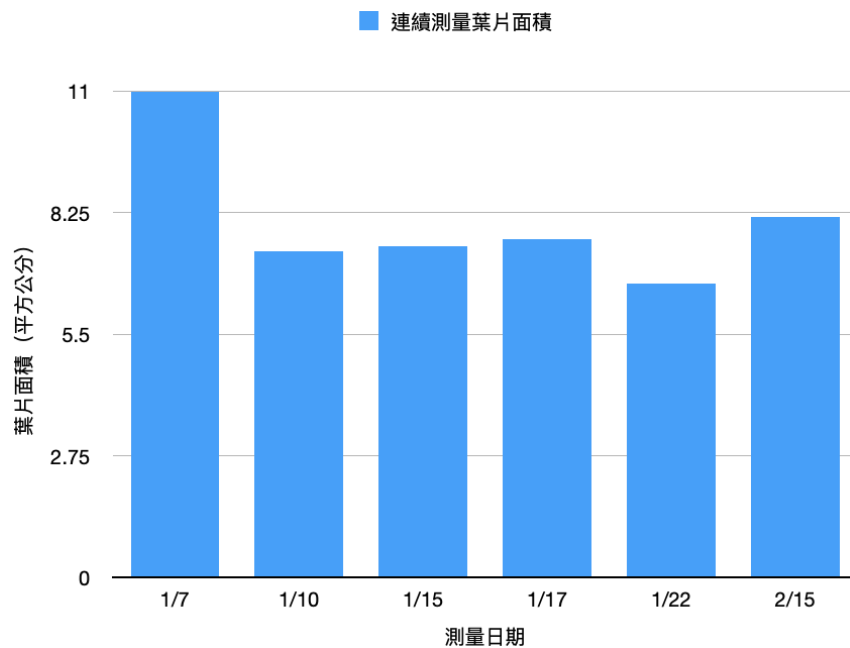
- (一) 取水芙蓉測量重量、根長、葉長、葉寬。
- (二) 將 30 公分長棉繩兩端皆綁於砝碼上，棉繩掛上水芙蓉後放置於水桶，浮起後逐漸增加砝碼重量至剛好下沉，水芙蓉重量與砝碼重量扣除砝碼浮力可得水芙蓉浮力。
- (三) 每種水芙蓉取樣不同個體 10 次，共兩種水芙蓉取樣 20 次。

肆、研究結果

一、以連續生長記錄檢驗圓葉型態不會長成大葉型態

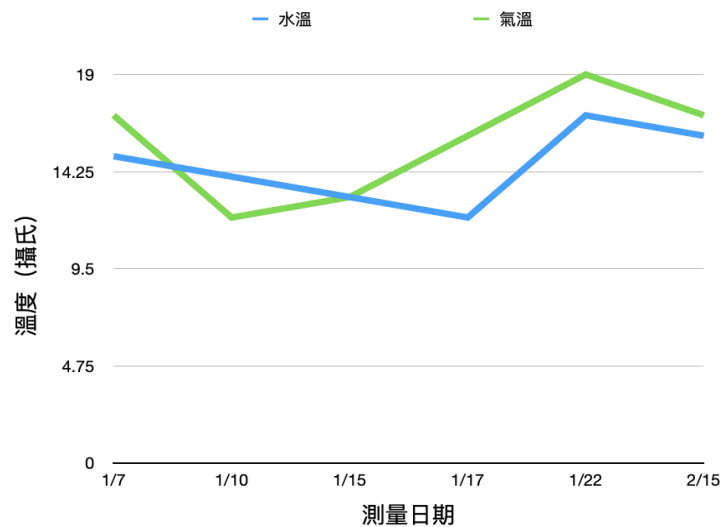
記錄 1 個月的水芙蓉平均面積記錄如圖 1-1，面積最小為 1/22 的 6.65 平方公分，面積最大為 1/7 的 10.98 平方公分。

1 個月間圓葉型態的平均面積維持在 8.25 平方公分，圓葉型態不會在 1 個月的時間成長為大葉型態。



(圖 1-1)水芙蓉每日的平均面積圖

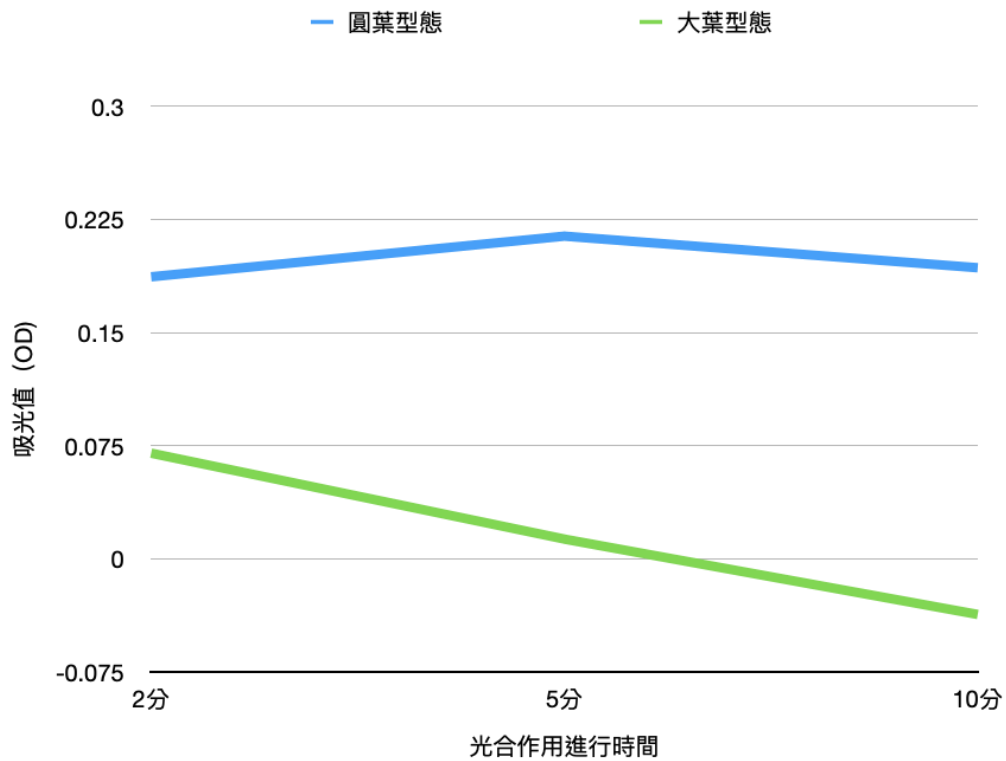
記錄 1 個月的校園水池水溫變化如圖 1-2，水溫範圍在 11 至 17 度之間。



(圖 1-2)校園水溫及氣溫的變化圖

二、以希爾反應法檢測圓葉型態與大葉型態的光合作用效率差異

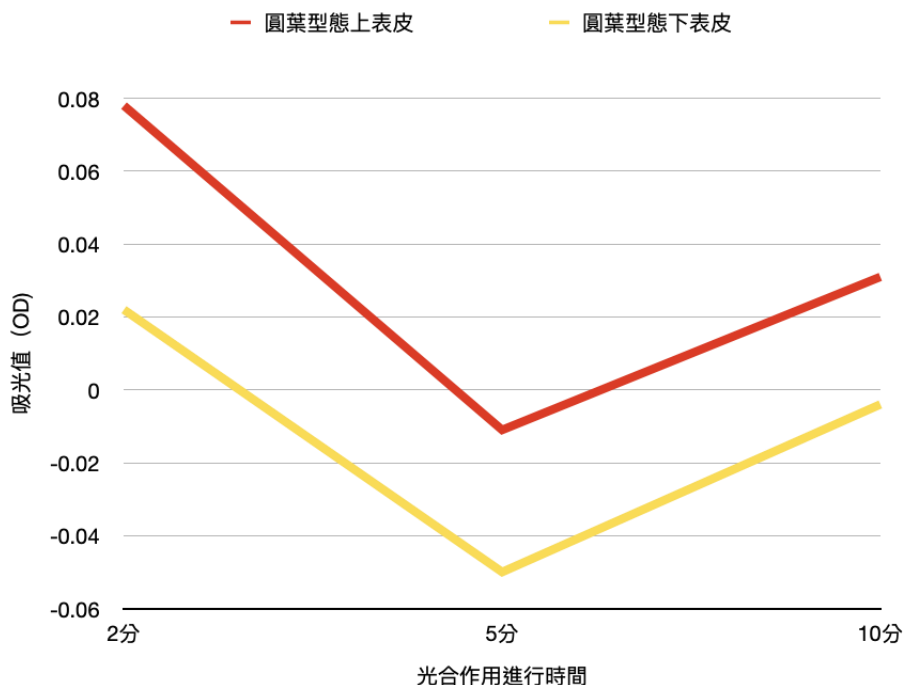
大葉型態的吸光值較圓葉型態的吸光值低，兩者吸光值差距 0.23，表示大葉型態的光合作用效率穩定且高，如圖 2-1。



(圖 2-1)大葉水芙蓉及圓葉水芙蓉的光合作用效率差異

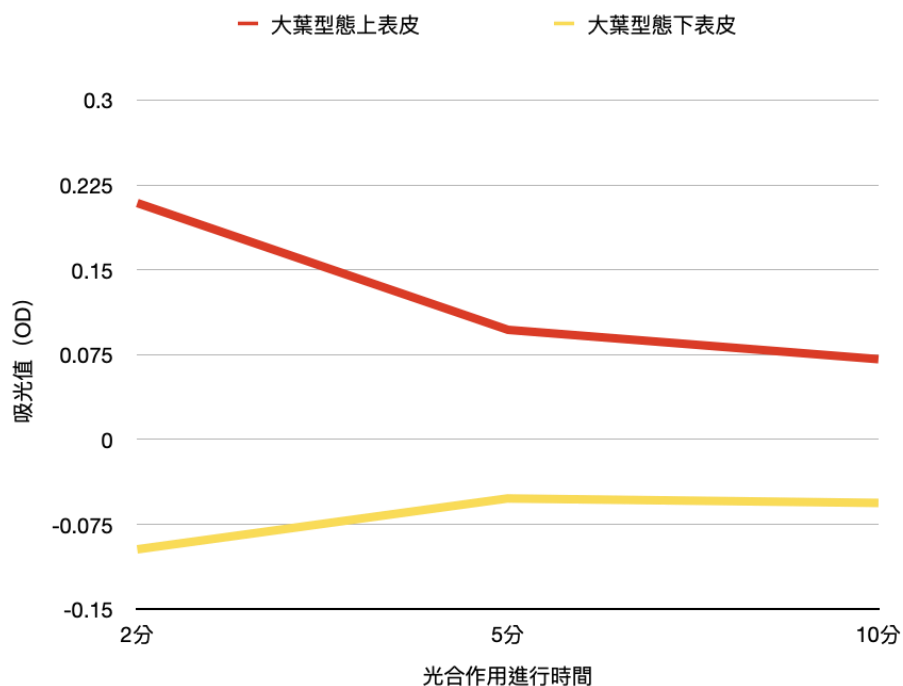
三、以手動刮除比較圓葉型態與大葉型態的上下側光合作用效率

圓葉型態的下表皮吸光值較上表皮的吸光值低，兩者吸光值差距 0.035，表示圓葉型態的下表皮光合作用效率略高於上表皮，如圖 3-1。



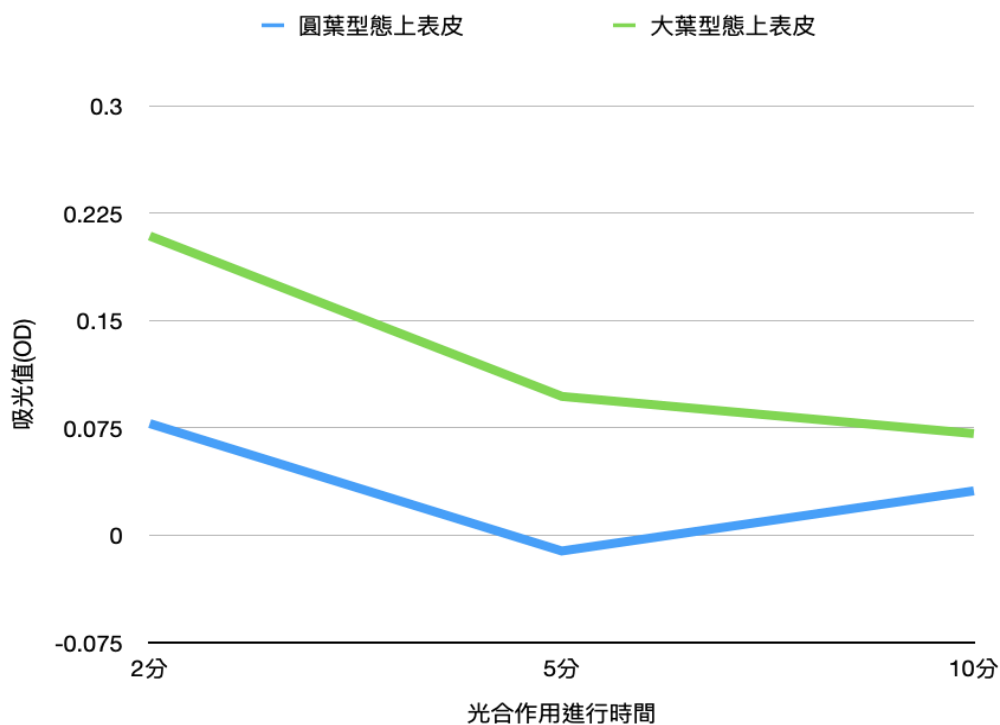
(圖 3-1)圓葉型態上表皮及圓葉型態下表皮光合作用效率差異

大葉型態的下表皮吸光值較上表皮的吸光值低，兩者吸光值差距 0.127，表示大葉型態的下表皮光合作用效率高於上表皮，如圖 3-2。



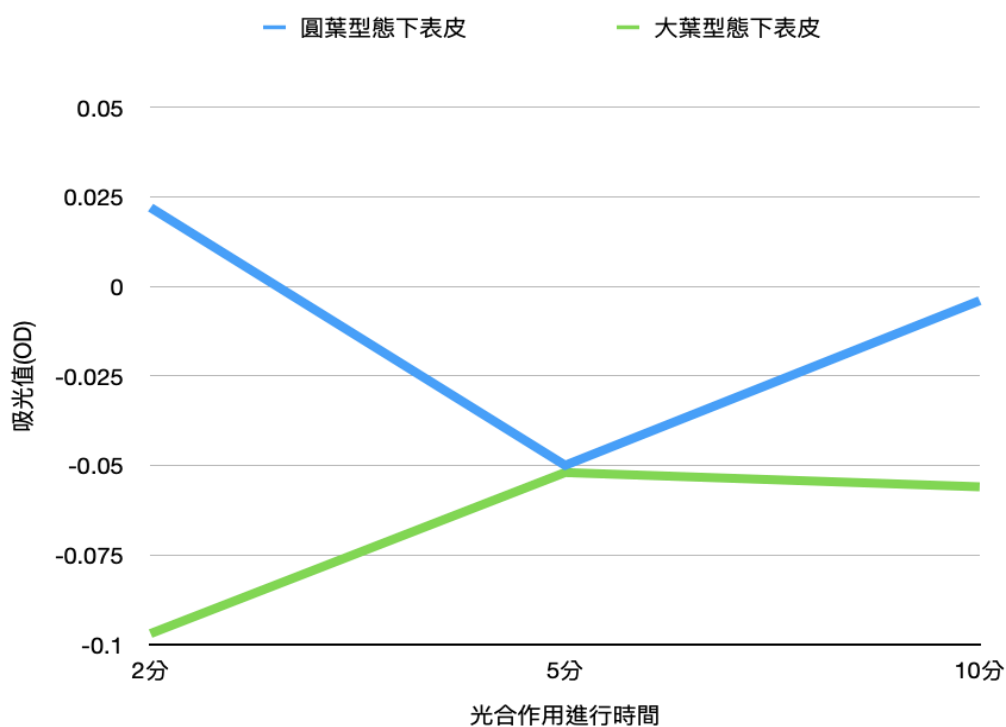
(圖 3-2)大葉型態上表皮及大葉下表皮的的光合作用效率差異

圓葉型態的上表皮吸光值較大葉型態的吸光值低，兩者吸光值差距 0.04，表示圓葉型態的上表皮光合作用效率高於大葉型態的上表皮，如圖 3-3。



(圖 3-3) 大葉上表皮及圓葉上表皮的光合作用效率差異

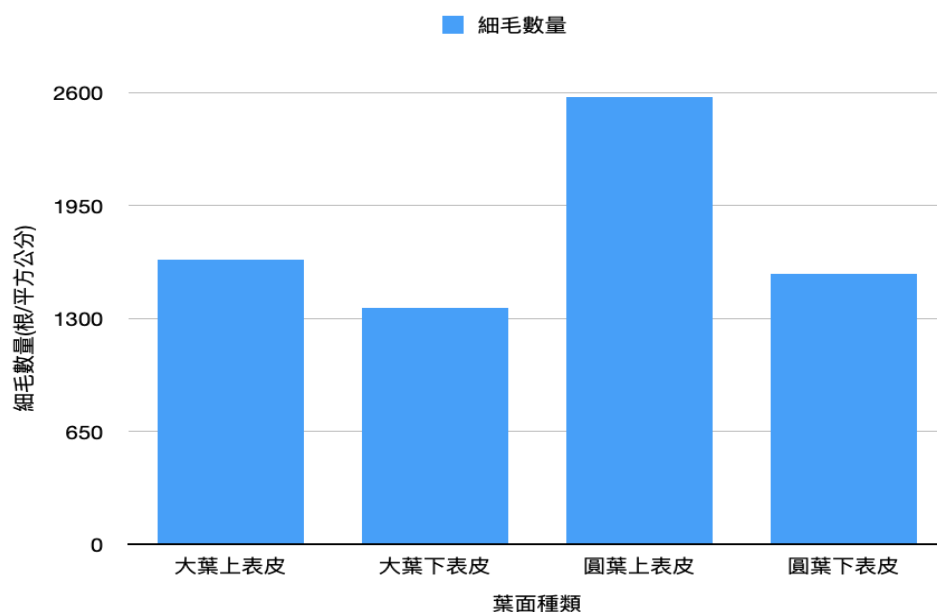
大葉型態的下表皮吸光值較圓葉型態的下表皮吸光值低，兩者吸光值差距 0.52，表示大葉型態的下表皮光合作用效率明顯高於圓葉型態的下表皮。



(圖 3-4) 大葉下表皮及圓葉下表皮的光合作用效率差異

四、以樣區法比較圓葉型態與大葉型態的上下表皮細毛差異

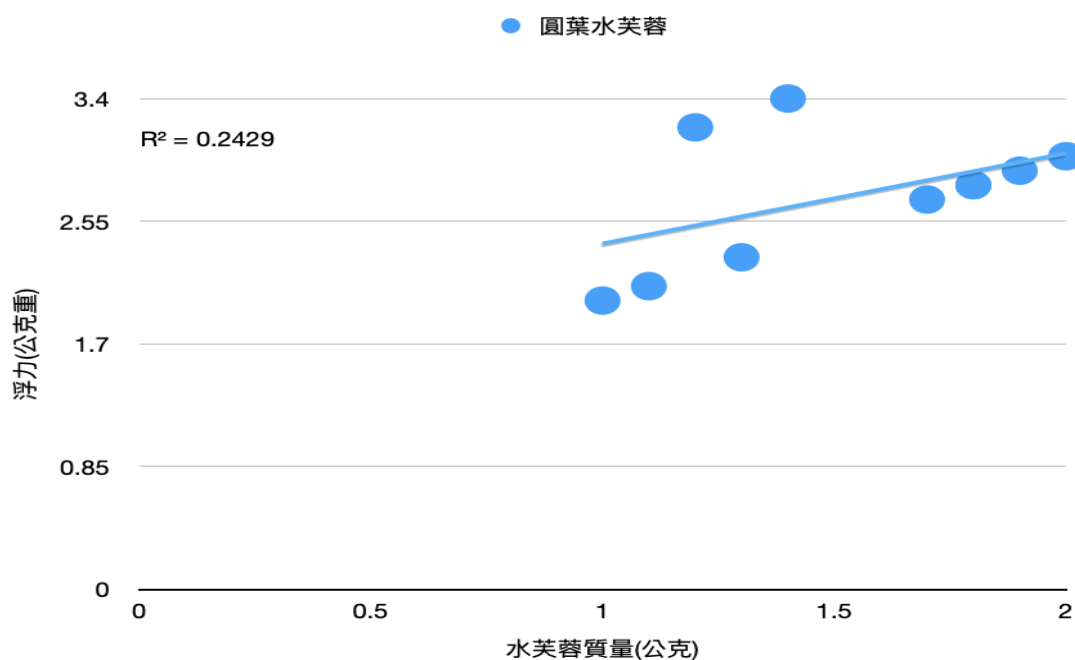
大葉型態與圓葉型態的下表皮平均細毛數量沒有差異，大約為 1400(根/平方公分)左右。僅有圓葉型態的上表皮平均細毛數量大於下表皮數量，兩者差距約 1018(根/平方公分)，如圖 4-1。



(圖 4-1) 比較不同葉面的細毛數量

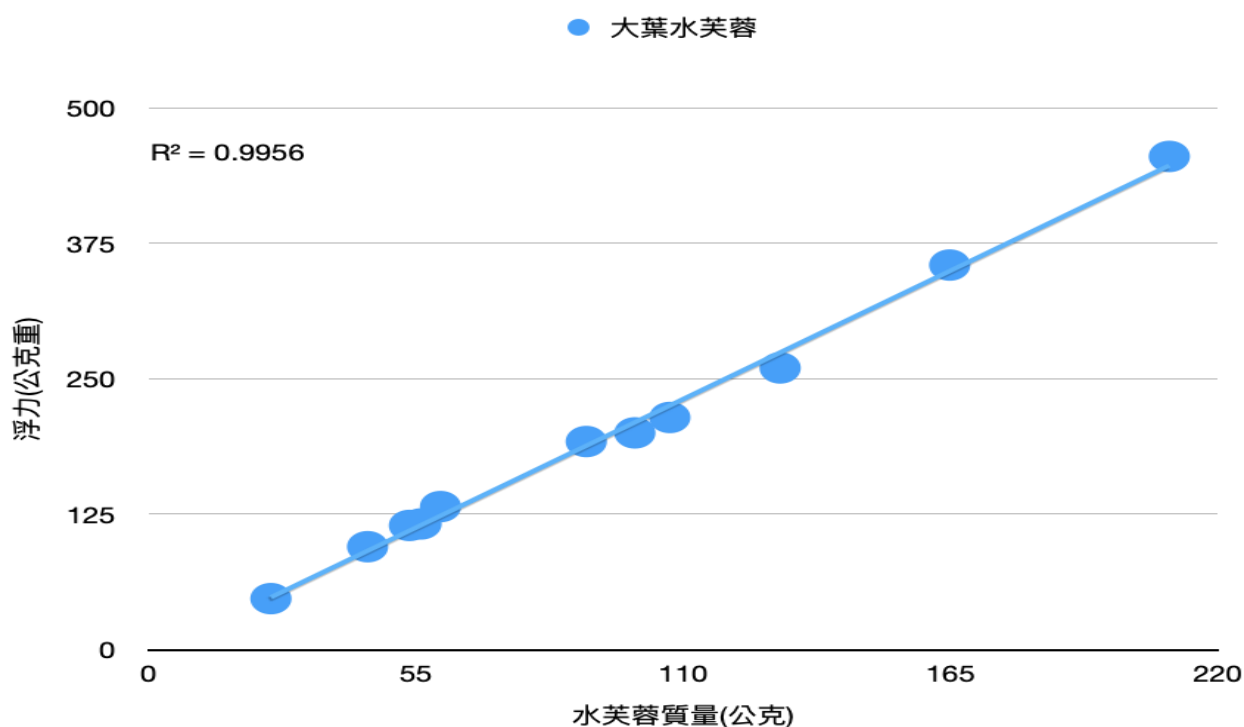
五、比較圓葉水芙蓉與大葉水芙蓉的浮力差異

圓葉水芙蓉的浮力平均為 2.72 公克重，圓葉水芙蓉質量與浮力的 R 平方值為 0.24，水芙蓉質量與浮力沒有明顯關聯性，如圖 5-1。



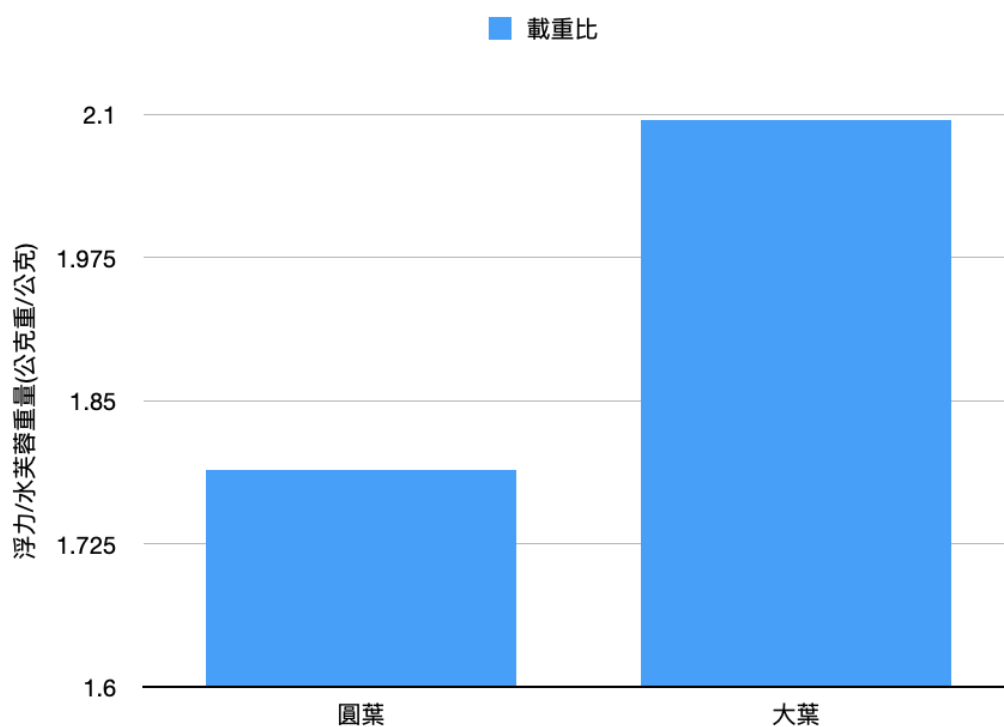
(圖 5-1) 圓葉水芙蓉的質量與浮力

大葉水芙蓉的浮力平均為 103 公克重，大葉水芙蓉質量與浮力的 R 平方值為 0.99，大葉水芙蓉質量與浮力有明顯正相關，如圖 5-2。



(圖 5-2) 大葉水芙蓉的質量與浮力

大葉水芙蓉的載重比較圓葉水芙蓉高，1 公克大葉水芙蓉能產生 2.1 公克重的浮力，1 公克圓葉水芙蓉能產生 1.8 公克重的浮力，如圖 5-3。



(圖 5-3) 圓葉水芙蓉與大葉水芙蓉的載重比

伍、討論

一、以連續生長記錄檢驗圓葉型態不會長成大葉型態

校園水池的水溫大致上略低於氣溫，可能學校水池的光照條件與水體大小等因素影響，只有一個測量日期的水溫高於氣溫，顯示校園水池的培養環境波動較大，但我們觀察中，圓葉水芙蓉沒有出現大量枯黃、腐爛的狀況，而大葉水芙蓉較多出現枯黃、腐爛。

圓葉型態在 1 個月的校園水池環境生長，大小維持一致，並不會生長成大葉型態，因此圓葉型態是針對不同環境條件的適應，讓水芙蓉族群能以圓葉型態為主的繁殖方式，而不是維持大葉型態後，全部枯黃、腐爛導致族群減少。

二、以希爾反應法檢測圓葉型態與大葉型態的光合作用效率差異

大葉型態的光合作用效率較圓葉型態高，我們認為大葉的葉綠體含量較圓葉型態的葉綠體量多，因此在冬天季節的短日照與低溫等不利光合作用進行的條件下，葉綠體量較少的圓葉型態較有優勢。此狀況類似於部分變葉植物在秋冬季節，會分解葉綠素或是透過落葉，來減低植物葉綠體的養分需求，以渡過不利生長的环境條件。

三、以手動刮除比較圓葉型態與大葉型態的上下側光合作用效率

大葉型態與圓葉型態的下表皮葉綠體含量皆高於上表皮，因為浮水植物的氣孔大多為於上表皮側，而在強烈的光照條件下，上表皮的蒸散作用較明顯，使得光合作用所需的水份較少，因此水芙蓉的上表皮側有較少的葉綠體分佈，以適應浮水的生長環境。而上表皮通常具有較厚的角質層，以減少水分蒸散，但這層結構也可能降低氣體交換的效率，使得 CO_2 進入葉片的能力下降，進而影響上表皮的光合作用效率。

又根據圓葉型態的上表皮與大葉型態的上表皮光合作用效率比較實驗，得知圓葉型態的上表皮光合作用效率較大葉型態的上表皮光合作用效率高，我們推測圓葉型態的上表皮氣孔可能較少，在強烈的光照條件下，蒸散較少水分使得光合作用需要的水分較多，影響光合作用效率提升。此狀況類似於部分變葉植物在秋冬季節，會透過離層素關閉氣孔量，減少水分散失，以度過不利生長的环境條件。

四、以樣區法比較圓葉型態與大葉型態的上下表皮細毛差異

圓葉型態的下表皮與大葉型態的下表皮細毛沒有差異，推測細毛夠多就能讓葉片浮水，儘管大葉型態的個體重量較重，只要細毛密度達到 1350(根/平方公分)就能浮起，推測圓葉型態雖然是適應冬季環境而生長的葉形，但浮水條件未改變，所以仍須具備與大葉相同的細毛密度。

圓葉型態的上表皮細毛數量最多，搭配根長度的觀察，大葉型態較長的根有助於穩定水芙蓉不會因為風吹而翻面，圓葉型態的根較短，可能會因為風吹而翻面，因此上表皮需要更密集的細毛，防止水芙蓉個體被吹翻。

五、比較圓葉水芙蓉與大葉水芙蓉的浮力差異

大葉水芙蓉的載重比高於圓葉水芙蓉，顯示上表皮較多的細毛，不會製造更多的浮力，而大葉型態雖然細毛較少，但葉片基部有膨大較厚的海綿狀組織，可以製造更大體積來增加浮力，而圓葉水芙蓉葉片不具備此構造，因此載重能力較大葉型態差，且此構造差異無法透過較多細毛彌補。

推測細毛可能有其他功能，或是用更精密的測量方式，證明較多的細毛對浮水性植物有生存優勢。

陸、結論

一、圓葉型態不會生長成大葉型態

圓葉水芙蓉在校園水池環境中生長一個月後，大小維持一致，未轉變為大葉型態，顯示圓葉型態是對環境變化的適應，而非大葉型態的過渡狀態。校園水池的環境波動較大，但圓葉型態個體並未大量枯黃、腐爛，反而是大葉型態較易枯黃。這說明圓葉型態可透過較低的生長需求適應環境。

二、光合作用效率與葉綠體含量的關係

透過希爾反應測定，大葉型態的光合作用效率高於圓葉型態，可能是因為大葉型態的葉綠體含量較多。然而，在冬季低溫與短日照的條件下，葉綠體含量較少的圓葉型態更具適應優勢，因為較少的葉綠體可減少養分需求，幫助植物度過不利環境。這類似於部分變葉植物在秋冬季節分解葉綠素或落葉，以降低代謝需求。

三、上下表皮光合作用效率的比較

手動刮除實驗顯示，大葉與圓葉的下表皮葉綠體含量皆高於上表皮，可能是因為浮水植物的氣孔主要分布於上表皮，導致上表皮蒸散作用較強，水分流失影響光合作用效率。同時，圓葉型態的上表皮光合作用效率高於大葉型態，推測圓葉型態的氣孔較少，使其在強光下減少水分蒸散，維持較高的光合作用效率，類似變葉植物在冬季減少氣孔開啟以降低水分流失的適應策略。

四、上下表皮細毛數量與浮水適應

圓葉型態與大葉型態的下表皮細毛數量無明顯差異，顯示細毛數量達到一定密度（1350 根/平方公分）即可確保葉片浮水。此外，圓葉型態的上表皮細毛數量較多，可能與其較短的根長有關。由於根較短，圓葉型態在風吹時較易翻面，因此需要更多細毛來增加穩定性，防止個體被風掀翻。

而本研究顯示大葉水芙蓉的載重比較圓葉水芙蓉高，浮水能力以葉片基部膨大的海綿狀組織為主，較多的細毛可能有其他有利浮水植物生存的優勢。

柒、參考文獻資料

1. 歐育茹, 陳絲彤, & 黃郁晴. (2013, December 6). 芙生六記~水芙蓉的平衡機制. 中華民國第 53 屆中小學科學展覽會作品說明書. <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/53/pdf/030301.pdf>
2. 希爾實驗操作步驟, 中山大學, <https://www2.nsysu.edu.tw/Bio/images/commen/plant-physi-ex100.pdf>
3. 郭羽函, 王昱雯, & 劉宸瑜. (2009, December 6). 自製比色計測量希爾反應. 中華民國第 49 屆中小學科學展覽會作品說明書. <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/030312.pdf>
4. Lu, Q., He, Z.L., Graetz, D.A. *et al.* Phytoremediation to remove nutrients and improve eutrophic stormwaters using water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). *Environ Sci Pollut Res* **17**, 84–96 (2010). <https://doi.org/10.1007/s11356-008-0094-0>
5. 呂勝由. (2017, July 24). 台北植物園好花共賞 155—水芙蓉. 農業部林業試驗所電子報. https://www.tfri.gov.tw/News_Content.aspx?n=7658&s=1683
6. Vanderjagt, Dorothy & Garry, Philip & Hunt, W. (1986). Ascorbate plasma as measured by liquid chromatography and by dichlorophenolindophenol colorimetry. *Clinical chemistry*. 32. 1004-6. 10.1093/clinchem/32.6.1004.
7. 農業部 (Ed.). (2009, December 6). 大萍. 農業知識入口網. https://kmweb.moa.gov.tw/theme_data.php?theme=plant_illustration&id=449
8. Yashika Maheshwari, Shalini Tailor, Avinash Marwal, Anita Mishra, Chapter 15 - Plant-microbe interactions to reduce salinity stress in plants for the improvement of the agricultural system, Editor(s): Prashant Swapnil, Mukesh Meena, Harish, Avinash Marwal, Selvakumar Vijayalakshmi, Andleeb Zehra, Plant-Microbe Interaction - Recent Advances in Molecular and Biochemical Approaches, Academic Press, 2023, Pages 297-309, ISBN 9780323918763, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91876-3.00002-6>
9. 氣溫資料
https://tw.weatherspark.com/h/d/135340/2025/1/22/%E6%96%B0%E7%AB%B9%E5%B8%82%E3%80%81%E5%8F%B0%E7%81%A32025%E5%B9%B41%E6%9C%8822%E6%97%A5-%E6%98%9F%E6%9C%9F%E4%B8%89%E6%AD%B7%E5%8F%B2%E5%A4%A9%E6%B0%A3#google_vignette
10. 林仲剛. (2012, March). 水生植物潛與靜的一群. 國立自然科學博物館 館訊第 292 期 第四版. <https://libknowledge.nmns.edu.tw/nmns/lib/PDF/101/292/4.pdf>