# 中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
# 作品說明書

高中組　生物(生命科學)科

佳作

040715

根固水萍面，葉穩沉芙間 ~探討水芙蓉的平衡機制~

學校名稱：國立清水高級中學

| 作者： | 指導老師： |
| --- | --- |
| 高二 關淮中<br>高二 蔡愉涵<br>高二 楊琮華<br>高二 謝傳洲 | 蔡篤志 |


關鍵詞：水芙蓉　穩定作用　根

# 摘要

我們設計一系列的實驗來探討爲什麼水芙蓉的根需要那麼長。我們以剪根的方式來檢測對植株的影響，結果發現根有吸收養分的作用，但是只要長到一定程度就能達到養分吸收的目的，根再長對養分吸收似乎沒有特別的幫助。根重改變對水芙蓉翻正有很明顯的影響，但根長改變則影響不大，顯示根的重量對穩定有重要的影響，但實驗也發現根部太重對植株也有不利的影響。植株型質分析發現葉子提供浮力，而根的重量提供穩定作用，使之不會在水面上亂漂或可能翻覆。最後，生長在各水域的植株根會隨水愈深而愈長，實驗結果支持我們的假說，即是水芙蓉根的長短和穩定有關；同時也暗示水芙蓉的生理具可塑性，能依其生活環境的不同，對根或葉部做不同能量的投資。

# 壹、 研究動機

在學校裡有個池塘，中午我們時常在那裡享用午餐，久而久之，對池塘裡的生物與環境也有所了解。我們有看到許多生物包括吳郭魚、鯉魚、水芙蓉、浮萍及蝸牛等等動植物。在諸多生物中，我們對水芙蓉特別有興趣，因爲我們觀察到水芙蓉的根長與植物本體不成比例，特別引人注目。書本所學的告訴我們，植物的根有吸收養分及水分和固定之功能；可是水芙蓉是飄浮生長在水體表面，根本不缺水分，又不需要固定，那麼它的根究竟爲何需長得那麼長呢？這個問題驅使我們來設計一系列的實驗，並參考前人所作過的水芙蓉實驗，來探討這些問題。

# 貳、研究目的

一、探討根對吸收養分之影響

二、根長相同下，不同重量的根對水芙蓉翻正的影響

三、重量相同下，根長不同的根對水芙蓉翻正的影響

四、探討水芙蓉在水面下的生長情形

五、水芙蓉型質分析

六、水域的深淺與水芙蓉型質的關係

# 參、研究設備及器材

## 一、水芙蓉的基本的分類及形態之認識：

水芙蓉，正式名稱爲大萍，學名爲 *Pistia stratiotes*，屬單子葉，天南星科多年生漂浮性植物，生長於熱帶和亞熱帶水域。側根發達，莖極短，花藏在叢生的葉腋中非常不明顯。水芙容繁殖能力強，成熟的植株會萌生許多走莖，每一走莖又會萌發一株幼苗。

## 二、工具及器材:

(一)溫室內：100 公升的裝水容器 8 個以上、小容器 4 個、鑷子 2 隻、腐泥 50 公升(當養分)、營養液、粗線 1 捆、N 次貼 1 包、膠帶 1 捲。

(二)實驗室：電子磅秤 1 台、A4 紙數張、鉛筆、橡皮擦、30 公分與 15 公分尺各 1 把、剪刀、數位像機、塑膠杯 10 個以上、碼錶 2 隻、衛生紙。

# 肆、研究過程或方法

## 實驗(1)：探討根對吸收養分之影響

一、目的與假說：

水芙蓉的根那麼長，我們假設它是和吸收養分有關。如果水芙蓉根的長度是爲了吸收養分，我們預期長根的水芙蓉生長得會比短根的水芙蓉好。反之，如果水芙蓉的根的長度和吸收養分有無關，我們預期長根的水芙蓉和短根的水芙蓉的生長是相似的。

二、方法：

(一)隨機取 9 株水芙蓉，分成 3 組。

(二)先量每一組的根長並作紀錄，每組依序做保留全根組(對照組)，水芙蓉原根長剪 1/2(半根組)，及全剪根(無根組)。

(三)每組水芙蓉放置在一個 20 公升水箱培養，加塑線將之隔開。

(四)每星期記錄一次重量，此外也記錄葉片數。

(五)每次測重量時，會儘量敷乾根及葉面的水分以減少誤差。爲求測量之一致性，我們有固定的動作如下: 依序取出每一株並輕甩 5 次，用衛生紙敷乾葉子上的水珠，放置到磅秤上測量第一次。測量完第一次之後再放置回水中，取出甩 5 次再用衛生紙敷乾葉面上的水分，再放在磅秤上測量第 2 次，依此作紀錄。

(六)因爲半根組及無根組的植株的根通常一星期後又會再長，所以半根組及無根組的根會再剪回第一週的長度。然後再測量其重量，以作爲下一週植株重量的比較。

(七)將植株放回有編號的飼養箱，飼養箱底部倒入些許的腐泥，每週加入適量的水草營養液。

(八)每個星期重複方法(四)~(七)的動作並加以紀錄。

# 實驗(2)：根長相同下，不同重量的根對水芙蓉翻正的影響

一、目的與假說：

我們認爲水芙蓉長那麼長的根有扮演一種穩定的作用，就如不倒翁的原理一樣。我們分別用兩個方式去探討，一個實驗改變根重、另一個實驗改變根長。本實驗是先探討根的重量對植株翻正的影響。我們假設根重量對植物翻正有重要的影響。如果假設是對的話，我們預期根部愈重，植株翻正的速度愈快。相反的，如果假設是錯的話，我們預期根部重的水芙蓉翻正的速度和根部輕的水芙蓉差不多。

二、方法：

(一)先取一株水芙蓉，測量其根長並做紀錄。

(二)取一個大桶子並將水裝滿，一人持碼錶，一人將水芙蓉倒放於水面上，計時其翻正所需的時間並做紀錄(稱之爲全根重組)。

(三)接著，從根基部剪去約 1/2 的根(稱之爲 1/2 根重組)，然後做第二次測量。我們剪根的方式是除去一半的根，但另外一半保留。這樣的處理使得我們能將重量減半，但是根長度不變。重覆步驟(二)，測量翻正所需時間。

(四)接著，從根基部再剪去 1/2 的根(稱之爲 1/4 根重組)，然後重覆步驟(二)，測量翻正所需之時間。

(五)記錄時間以一分鐘爲限，超過就以不翻正作爲紀錄。若能翻正者，則記錄其翻正所需時間。

(六)我們一共做了 9 株水芙蓉。

# 實驗(3)：重量相同下，根長不同的根對水芙蓉翻正的影響

一、目的與假說：

我們做了另外一組實驗，目的是探討根重相同下，根長不同對水芙蓉翻正的影響，我們假設根長對翻正是有影響的。如果我們的假設是對的話，那麼根長的植株翻正時間較根短的植株快。相反的，如果我們的假設是錯的話，那麼根長的植株翻正時間和根短的植株是差不多的。

二、方法：

(一)先取一株水芙蓉，測量其根長並做紀錄。

(二)取一個大桶子並將水裝滿，一人持碼錶，一人將水芙蓉倒放於水面上，計時其翻正所需的時間並做紀錄(稱之爲全根組)。

(三)接著，將水芙蓉的根長均分成三等分，然後將最下面的一等分向上摺，用棉線將它固定在上半部的根(稱之爲 2/3 根長組)，並紀錄翻正時間。

(四)接著，將水芙蓉最下面的兩等分向上摺，且用棉線固定，做第三次測量(稱之爲 1/3 根長組)。

(五)記錄時間以一分鐘爲限，超過就以不翻正作爲紀錄。

(六)我們一共做了 9 株水芙蓉。

# 實驗(4)：探討水芙蓉在水面下的生長情形

一、目的與假說：

如果根是對翻正有重要的影響，那植物的根在演化上是否長愈重愈好？根重也許對植株的穩定有正面的影響，但是如果太重的根會將水芙蓉拉到水面下，是否對植株生長是不利的？我們假設太重的根對水芙蓉的生長有不利的影響。如果我們的假設是對的話，我們預期在水面下的水芙蓉生長比在水面上的水芙蓉差。相反的，如果我們的假設是錯的話，我們預期在水面上下的水芙蓉生長是一樣的。

二、方法：

(一)採取十株水芙蓉，分成對照組及實驗組。每組有 5 株水芙蓉。

(二)測量每株的重量、根長、葉片數。

(三)對照組的植株是放置在水面上培養。實驗組的植株是沉在水底培養。

(四)將水芙蓉沉在水底的做法如下: 首先，我們用一橡皮筋套在植株上，左右各扣上一迴紋針，然後，將迴紋針的另一端扣在綁上橡皮筋的石頭上。然後放入水中，使水芙蓉能因石頭的重量而整株沉入水中(實驗組)。

(五)每週測量它們的重量、根長、葉片數，並紀錄外觀上的變化。

(六)水箱每週加入適量的水草營養液。

# 實驗(5)：水芙蓉型質分析

一、目的與假說：

根是不是愈重愈好呢? 如果太重會使植株沉到水底，對其生長是不利的。那水芙蓉的根應該長得多長多重才好呢？我們就其型質來探討水芙蓉根長、根重、葉重與浮力相關性，以探討它們之間的關係。

二、方法：

(一)本實驗共測量 39 株水芙蓉，這些植株是取自深淺不同的水池。先測量植株根長，後剪去全部的根，分別測量根與葉兩部分的重量。

(二)接著，測量葉子的浮力。我們定義浮力爲單株葉子在水面所能承受的最大重量(單位：g)。

(三)測量浮力步驟如下: 將底片盒上方穿個洞，綁條棉線，並在末端繫一根針。針穿在葉的基部，然後將之放置水面上。

(四)依序將十元、一元的硬幣放入至底片盒，當葉部剛好沉入水面的那個重量爲其浮力。結束後，將硬幣的重量加總即是其浮力。

# 實驗(6)：水域的深淺與水芙蓉型質的關係

一、目的與假說：

本實驗目的是採集野外不同環境的水芙蓉，並比較植株型質與水深度的關係，以印證我們的假說。我們推測，在深水的環境水面可能較易搖晃，因此必須要有足夠的根重來穩定；反之，水芙蓉在水淺的環境可能影響不大，因此根較短及輕。

二、方法：

(一)從五處深淺不同的水域或水池，採取地包括彰化師大校園兩個水深約 10 及 30 公分深的水池、東海大學校園的大型水箱(約 40 公分深)及水溝((約 17 公分深)及台中縣高美植物園水池(約 24 公分深)。

(二)我們是以葉部的大小爲取集依據，在每處地點採取 10~20 株大小相近的水芙蓉。

(三)並用量尺測量 3-5 次水深並求平均後，得到平均水深。

(四)帶回實驗室後，先測量其根長，然後剪去根，分別測量根與葉兩部分的重量，並測量其根長。

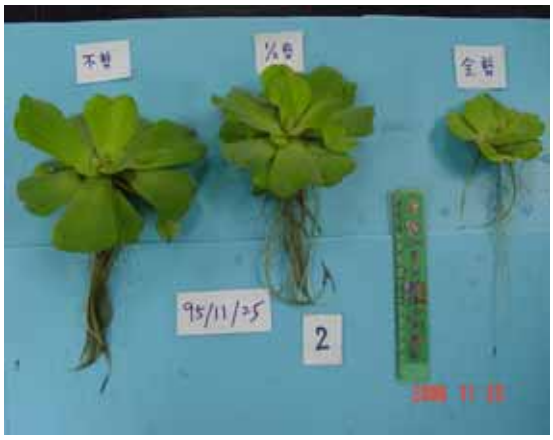
# 伍、結果與討論

## 一、實驗(1)：探討根對吸收養分之影響

(一)經過三週的持續觀察，我們發現每一組的植株都存活(圖一)。無根組植株也能存活下來，可能是無根對它的存活影響不大，也可能是無根組植株在很短的時間內會再長出少許的根，這些根就足於組持植株體的存活所需。

11 月 11 日 (A)

11 月 25 日(C)

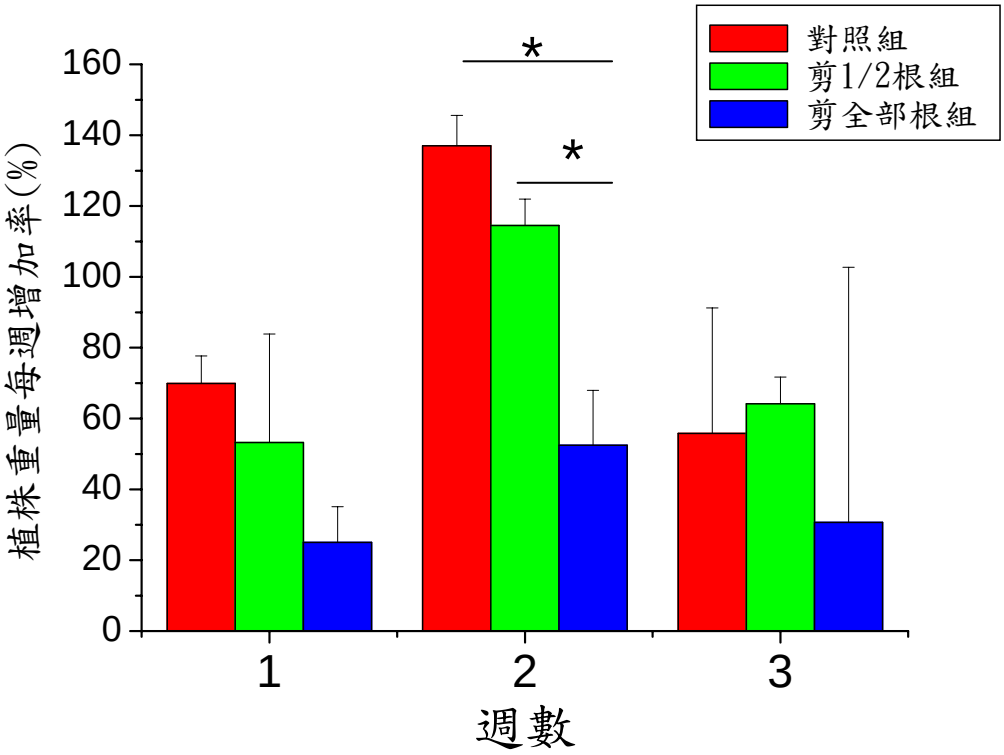



11 月 18 日 (B)

12 月 2 日(D)

*圖一：第二組的植株在 11/11(A)，11/18(B)，11/25(C)及 12/2(D)的變化圖。 (A)至(D)圖植株的處理(由左到右)分別是對照組、半根組及無根組。*

(二)植株重量增加率是代表植株成長的快慢。從圖二結果來看，第一週和第二週各組的成長的趨勢相同，也就是說，植株成長：對照組 > 半根組 > 無根組。但是到了第三週時，植株成長反而是：半根組 > 對照組 > 無根組。




***圖二：對照與實驗組植株重量每週增加率。增加率的算法是將當週重量減去上週的重量，先除以上週的重量，然後乘上 100%。每個長條圖是三組的平均值，並加上標準偏差。星號是代表兩者在統計上有顯著的差異。***

(三)拿無根組和對照組做比較之後，發現無根組的生長速率遠不及對照組，而且無根組的葉面嚴重枯黃，植株長得最慢。在第二週兩者在統計上(t 測檢)有顯著的不同 ($P < 0.05$)。第一週和第三週兩者在統計上沒有顯著不同($P > 0.05$)，可能是樣本太少的原因。總而言之，結果顯示根的有無的確對水芙蓉的生長有一定的影響，可能是吸收養分的功能受到影響。

(四)拿對照組和半根組做比較，兩者的成長率相似。其中對照組前 2 個星期生長速率相較於半根組爲比較快，但後來第 3 個星期半根組的生長速率反而還略快對照組一些。在統計上兩者都沒有顯著的不同 ($P > 0.05$)。這結果顯示，水芙蓉的根只要長到一定長度後，就可以吸收足夠養分以供植株生長用，根如果長更長的話，如對照組，對吸收養分沒有太大的幫助。那麼水芙蓉的根爲什麼要長那麼長呢?我們的推測是水芙蓉的長根可能還有其他的功能如穩定作用。

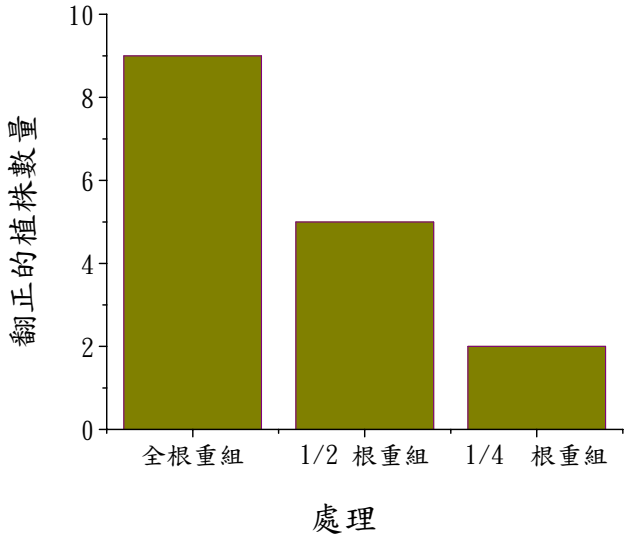
## 二、實驗(2)：根長相同下，不同重量的根對水芙蓉翻正的影響

(一)在全根重組，我們測量 9 株水芙蓉翻正的時間發現，全部都在很短時間內(幾秒內)就可以翻正，平均時間爲 3.47 秒。

(二)在 1/2 根重組，我們測量 9 株水芙蓉翻正的時間發現，有 4 株在幾秒內即翻正，有 1 株等了 16 秒後才翻正，其他 4 株在一分鐘內皆無法翻正。

(三)在 1/4 根重組，我們測量 9 株水芙蓉，有 2 株在幾秒內即翻正，但有 7 株在一分鐘內都沒有翻正，所以我們就只記錄到一分鐘爲止。

(四)在減少根的重量時，我們發現植株翻正的能力變差，到了只剩下 1/4 根重時，大多的植株根本無法翻正。利用卡方測驗檢測，發現三種處理對翻正的植株數量的影響有顯著的不同 ($P < 0.05$)。結果顯示，根的重量是有幫助植株翻正的作用。




*圖三：水芙蓉翻正的植株數。若超過一分鐘，就以不翻正爲記錄。橫軸的處理分別是代表全根重組、1/2 根重組及 1/4 根重組。每組共測試 9 株。*

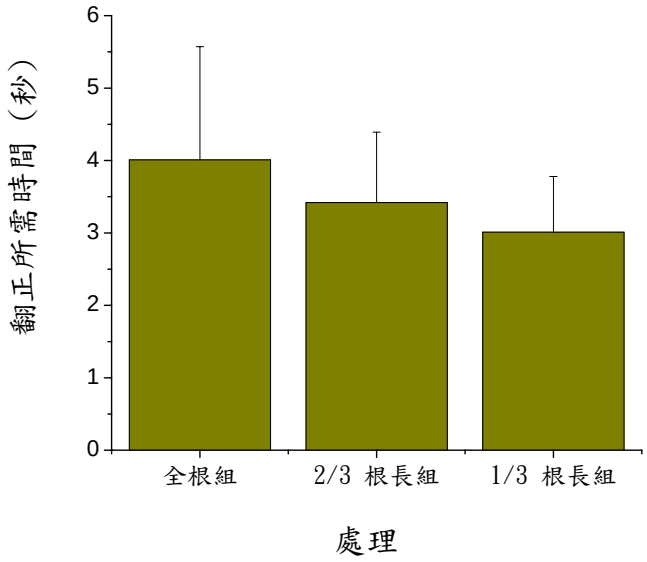
(五)至於說爲什麼有些 1/2 根重組及 1/4 根重組的植株會在很短時間內翻正，這可能是和植株葉子的外型有關。我們發現到，如果植株葉子向上翹的情形，它翻正的機會比較大。這可能是因爲向上翹的形狀使得植株呈不穩的狀態，所以稍微有點傾斜，植物體就有翻正的機會。這結果也顯示，根部越輕翻正的機會越少。

# 三、實驗(3)：重量相同下，根長不同的根對水芙蓉翻正的影響

(一)所有組別的水芙蓉都能在數秒內翻正。全根組的水芙蓉翻正的時間爲 4.01±1.56 秒。2/3 根長組的水芙蓉翻正的時間爲 3.42 ± 0.97 秒。1/3 根長組的水芙蓉翻正的時間爲 3.01±0.77 秒。利用統計測驗(單因子變方分析)發現三個處理間沒有顯著的不同 ($P > 0.05$)

(二)實驗結果顯示，當根向上摺後(不管是 2/3 或 1/3 根長組)，翻正所需時間大致而言變化不大，所以我們推論根長度變化對於水芙蓉翻正影響不大。結合實驗(2)的結果，我們推論根的重量對水芙蓉翻正的影響才是最重要的。

(三)實驗結果也顯示，當根向上摺愈多，植株翻正有愈快的趨勢，這可能是根的重心改變，對植株的翻正更有利。



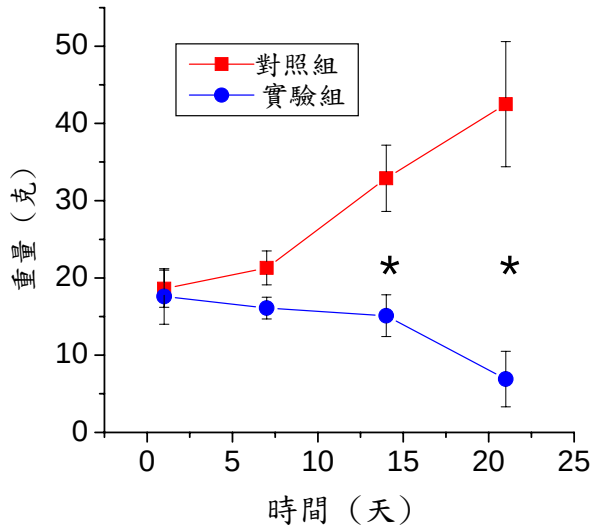

*圖四：縱軸是水芙蓉翻正所需時間；橫軸爲重量一樣，根長分別爲全根組、2/3 根長及 1/3 根長組(註：每個長條皆爲 9 株測量後的平均值加標準偏差)。*

# 四、實驗(4)：探討水芙蓉在水面下的生長情形

(一)對照組植株有明顯地成長; 相反的，實驗組的植株在第一週重量沒太大改變，之後明顯地下降。兩組的植株重量在第 14 天開始即有明顯的不同($P < 0.05$)

(二)實驗組生長的水芙蓉，葉的觸感也沒像對照組如此柔順，對於此現象，我們推測這可能與水芙蓉葉的氣孔無法正常行光合作用有關。實驗組生長的水芙蓉，總重銳減了不少，可能的原因與根脫落了許多，葉子也逐漸脫落甚至腐爛有關。

(三)實驗結果顯示，實驗組的水芙蓉生長平均都下降，這可以說明水芙蓉的生長環境是不適合在水面下的；我們可以藉此推論，根假如重到足以使水芙蓉沒入水裡，則對它的生存是不利的。換言之，水芙蓉的根不能太輕，也不能太重，某種根重量和植株的比例似乎是很重要的。

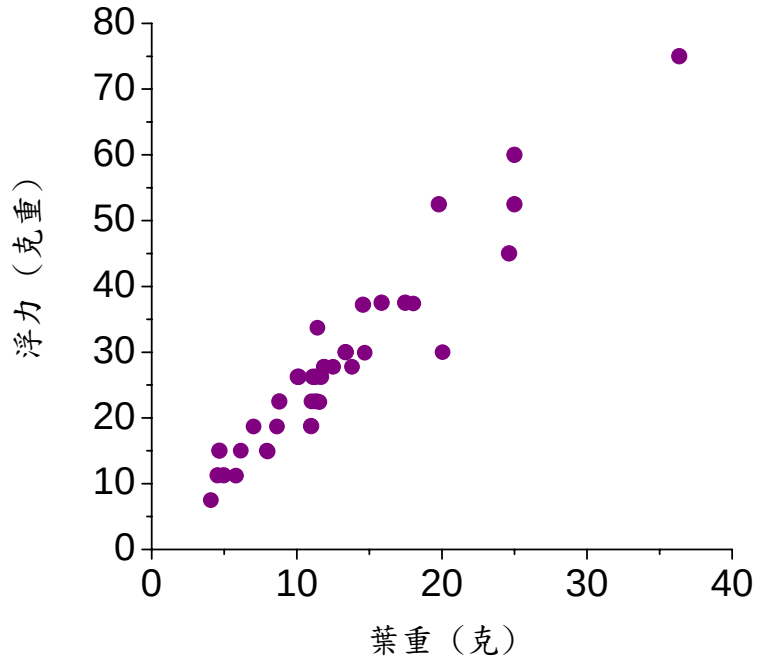



*圖五：浮在水面(對照組)及沉在水裡(實驗組)的水芙蓉植株重量變化圖。紅與藍點分別爲對照和實驗組中五株總重的平均值加標準偏差。星號是代表對照組和實驗組在統計上有顯著差別 ($P < 0.05$)。*

## 五、實驗(5)：水芙蓉型質分析

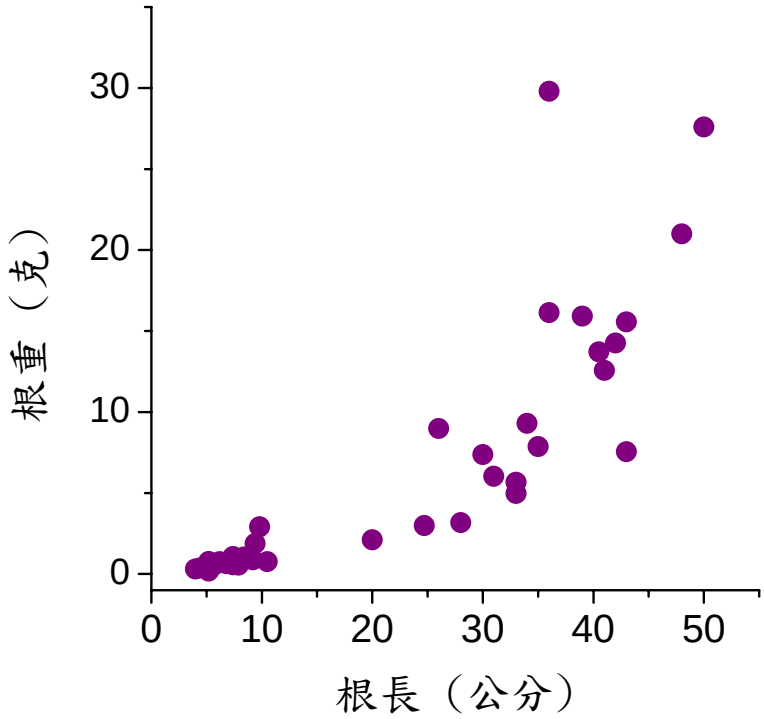
(一)本實驗共測量 39 株水芙蓉，根長爲 21.79 ± 15.48 公分 (平均 ± 標準偏差)，根重爲 6.36 ± 7.76 克，葉重爲 12.84 ± 6.64 及浮力爲 28.20 ± 14.04 克。

(二)由圖六可以看出葉部的重量(葉重)和所能承受最大載重(浮力)成正相關。我們推測水芙蓉葉具薄肉質，具類似氣室的組織，提供葉子浮力。當植株葉子愈多，它所提供的載重愈大，這樣可讓植株浮在水面，避免下沉到水裡。




*圖六：葉重和浮力的相關圖。縱軸爲單位葉部所能承受的最大載重，橫軸則是葉部的重量；每顆圓點代表一株水芙蓉，共 39 株。*

(三)由圖七可發現，根長和根重呈正相關的關係。這關係可能說明，植株若要長出有重量的根部，它就必須讓根長得長。唯有將根長長，才能得到足夠的重量來維持植株的穩定。



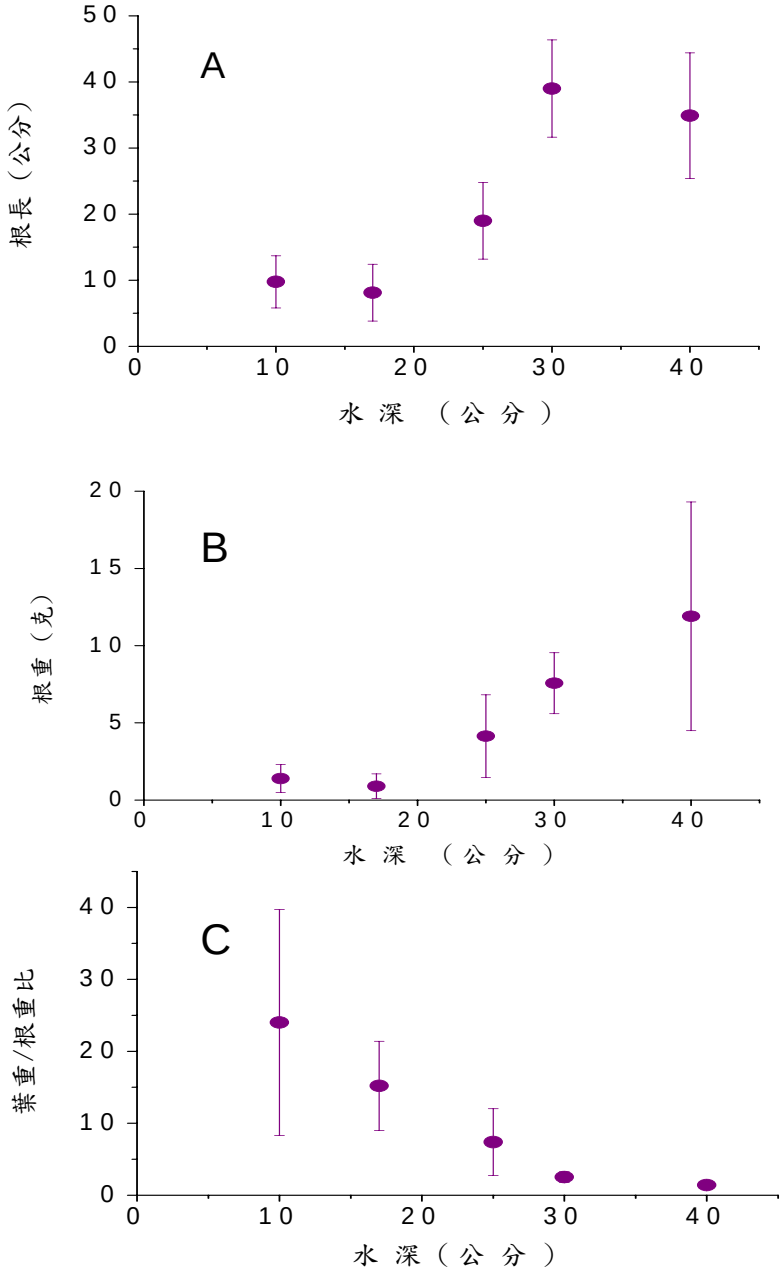

*圖七：根長和根重的相關圖。縱軸爲根部的重量，橫軸則是根部的長度；每顆圓點代表一株水芙蓉，共 39 株。*

# 六、實驗(6)：水域的深淺與水芙蓉型質的關係

(一)五個採集地中，東海大學水溝採取的水芙蓉稍小(葉部重量 11.01 ± 4.12 克)，其他在彰化師大深淺水池、東海大學校園大型水箱及高美植物園所採集的水芙蓉葉部分別爲 18.79 ± 6.81、22.22 ± 7.47、18.79 ± 6.81 及 20.91 ± 5.01 克。五個採集地水芙蓉的外型，其根部的長短及大小和水深有密切的關係(圖八)。

*圖八：比較水深 40 公分(左)及 17 公分(右)的水芙蓉外型。水芙蓉的葉部大小相似，但是深水池植株的根部明顯長且大於淺水池的植株。白色條子是 **15** 公分的比例尺。*

(二)從圖九 A、B 來看，不管植株大小，根重與根長對水深有正相關的關係，這可能暗示隨著水域的深度增加，植株可能需要愈重的根來穩定植株。




*圖九：不同水深水域區採集水芙蓉的(A)根長、(B)根重及(C)葉、根重比(平均值加上標準偏差)。*

(三)而圖九 C 來看，植株葉重和根重的比會隨著水深增加而有遞減的趨勢，生長在水深的植株其根明顯地比水淺的來的長且重。這實驗結果支持我們的假說，即是水芙蓉根的長短和穩定有關。我們推測生活在深水的水芙蓉將較多的能量投資在根部(如在 40 公分深水的水芙蓉其葉根重量比例約爲 1: 1)，是爲了穩定植株; 相反地，生活在淺水的水芙蓉將較多的能量投資在葉部(如在 10 公分深水的水芙蓉其葉根重量比例約爲 25: 1)。這實驗也暗示水芙蓉的生理具可塑性，能依其生活環境的不同，對根與葉部做不同比例能量的投資。

# 陸、結論

一、水芙蓉的根有吸收養分的作用，但是我們發現根只要長到一定程度就能達到養分吸收的目的，根再長對養分吸收沒有特別的幫助。因此我們認爲水芙蓉的根部一定有其他用途，我們推測它是有穩定水芙蓉的作用。

二、如果有穩定的作用，那麼到底是根重還是根長對它的影響最大? 將根長度固定，但改變根重時，對水芙蓉翻正有很明顯的影響；相反的，將根重量固定，但改變根長時，對水芙蓉翻正的影響不大。實驗結果顯示，水芙蓉根的重量對穩定有絕對重要的影響。

三、水芙蓉的葉提供植株所需的浮力，使植株能浮在水面，而根的重量提供穩定作用，使之不會在水面上亂漂或翻覆；但根太重對植物體也有不利的影響，因此根與葉維持某種比例是有必要的。

四、實驗結果發現植株的根長和根重呈明顯正相關，這暗示水芙蓉長出不成比例長的根，可能是要將植株的能量(重量)分配到植株下半部(根)有關。我們推測，水芙蓉唯有將根長得很長，植株的下半部才會變得更重，以作爲穩定植株之用。

五、從不同水深環境所採集的水芙蓉的根長及重有明顯的不同。隨著水域越深，植株的根明顯地比水淺的來的長且重。這實驗結果支持我們的假說，即是水芙蓉根的重量和穩定有關。我們推測生活在深水的水芙蓉將較多的能量投資在根部，是爲了穩定植株; 相反的，生活在淺水的水芙蓉將較多的能量投資在葉部。這實驗也暗示水芙蓉的生理具可塑性，能依其生活環境的不同，對根或葉部做不同比例能量的投資。

# 柒、參考資料及其他

林春吉。台灣水生植物 1。自然觀察圖鑑。田野影像出版社。2000。

林春吉。台灣水生植物 1。濕地觀察導覽。田野影像出版社。2000。

董世良、黃淑梅、黎明儀、葉雲吟、林佩青。福山植物園解說系列—水生植池。台灣省林業試驗所。1998。

鍾楊聰、崔文惠、葉開溫、徐歷鵬 (譯)。生物學 (下冊)。偉明圖書出版社。2005。

## 網站資料:

1. 天南星家族 http://www.htps.tn.edu.tw/plant/arac/bottom.htm
2. 水芙蓉 http://www.kces.tcc.edu.tw/plant/water-cabage.htm
3. 認識校園蔓藤、水生、蕨類植物 http://www.dtes.chc.edu.tw/localspecial/plant/w2.htm
4. 水芙蓉 http://www.kces.tcc.edu.tw/plant/water-cabage.htm
5. 校園植物 http://www.hlps.tcc.edu.tw/plant/w2.htm
6. 植物介紹 http://www.mchps.kh.edu.tw/green/22/stratiotes.htm
7. 大萍 http://www.dkes.tyc.edu.tw/garden/03.htm
8. 自然資源手冊
   http://nature.ptes.tp.edu.tw/plant/%E6%B0%B4%E7%94%9F/water-04.htm
9. 客庄植物網 http://www.ktes.mlc.edu.tw/~plant/plant20.html
10. 水中的不倒翁 http://www.ntsec.gov.tw/activity/race-1/42/pdf/c/3/080313.pdf

【評 語】 040715

根固水萍面，葉穩沉芙間 ~探討水芙蓉的平衡機制~

本研究旨在探討水芙蓉根長與根重，葉型(植株大小)的相關性以及共在水中「平衡」機制，立意非常清楚在「取材」上忽略了一些細節，(如「水深」≠池塘中不同的區域)，以致在「結論」中可能有不同之解釋，值得進一步探討。