

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 植物學科

第二名

052106

嗨!金沙!—海金沙型態與生理之研究

學校名稱：臺北市立中山女子高級中學

作者： 高二 江奕臻 高二 吳璟灃 高二 洪珮瑜	指導老師： 陳美蘭
---	------------------

關鍵詞：海金沙、蒸散作用

摘要

本研究主要觀察海金沙 (*Lygodium japonicum*)與毛葉腎蕨(*Nephrolepis hirsutula*)及鳳尾蕨(*Pteris multifida Poir.*)的葉片，比較三者上、下表皮葉綠體分布及氣孔數目、大小的差異；並比較三者蒸散作用速率及葉軸維管束的差異，及測量海金沙攀爬於粗、細水管的所能承受的下拉力。發現三者葉片的上表皮葉綠體多集中在細胞邊緣，下表皮葉綠體多均勻散佈在細胞中，且海金沙葉軸維管束中木質部較發達。海金沙單位面積平均氣孔數及總周長均比毛葉腎蕨和鳳尾蕨為多，海金沙葉片的蒸散作用速率較毛葉腎蕨和鳳尾蕨為快，且越高處海金沙羽葉的氣孔總周長越大，蒸散速率越快。故從實驗推論，海金沙有較強的蒸散拉力而能將水分運輸至頂端。在真實與模擬海金沙葉軸所能承受下拉力實驗中，也推論細水管較利於海金沙攀爬。

壹、 研究動機

在一般人行道或校園中常常可以發現海金沙(*Lygodium japonicum*)的身影，但並不是十分了解其形態及特性。一次生物課，老師帶我們到校園做一趟植物巡禮，發現原來海金沙也是蕨類的一種。海金沙顛覆了我們對於一般蕨類生長於比較低處的印象，於是引發我們研究的興趣。上網查了一些相關資料，發現海金沙為爬藤類蕨類，葉軸較其他種蕨類長，可以長至三到五公尺。在課本中我們學到，植物水分的運輸，主要動力即為藉由蒸散作用來達成。為了使水分運輸至海金沙的頂端，我們推測海金沙的蒸散作用可能會比其他種非爬藤類的蕨類好。因此，我們希望能進一步對海金沙進行研究，比較海金沙與其他種蕨類的異同。




貳、 研究目的

- 一、 探討海金沙葉軸攀爬的型態與規則，並使用物理實驗來探討其生長的模式
- 二、 探討海金沙與其他非攀爬蕨類的葉片氣孔、葉綠體及維管束構造差異
- 三、 探討海金沙葉片生長於不同高度羽葉之葉綠體數以及氣孔數、大小、周長，並探討其與光合作用和蒸散作用速率的關係
- 四、 探討海金沙葉片與其他非攀爬蕨類葉片蒸散作用速率的差異

參、 研究設備及器材

- 一、 使用植物：海金沙(圖一)、鳳尾蕨(圖二)、毛葉腎蕨(圖三)

二、 使用器材：粗水管(直徑:2.7cm)、細水管(直徑:1.8cm)、棉線、捲尺、照片分析軟體 Imagej、相機、橡皮管、鋁線、滴定管架、5g/10g/20g 砝碼(數個)、迴紋針、複式顯微鏡(一台)、顯微鏡拍攝軟體 Webcam Companion、手提電腦、解剖刀、剪刀、蓋玻片(數片)、載玻片(數片)、植物生長箱、電子秤(單位公克:精確值至小數點下三位)、滴管(數支)、針筒(數個)、碳酸氫鈉粉末、大小培養皿(數個)、1000ml/100ml 燒杯(數個)、打洞器

		
<p>圖(一) 海金沙 (<i>Lygodium japonicum</i>)</p>	<p>圖(二) 鳳尾蕨 (<i>Pteris multifida Poir.</i>)</p>	<p>圖(三) 毛葉腎蕨 (<i>Nephrolepis hirsutula</i>)</p>

肆、 研究過程或方法

一、 實驗一：海金沙生長型態觀察

- (一) 觀察海金沙葉軸順時針、逆時針纏繞於攀附物個體數比。
尋找生長於校園中的海金沙，紀錄並統計葉軸纏繞順時針與逆時針個體數。
- (二) 觀察海金沙生長規則。
由葉軸分支出的部分剪開，觀察海金沙的回數。
- (三) 將海金沙的葉軸，分別以不同的方式，固定於每隔五公分劃記比例尺的水管上，紀錄葉軸攀附於水管的長度、螺距、角度。
 1. 利用橡皮管將海金沙葉軸引導至粗、細不同的水管上使其能沿著水管攀爬。
 2. 利用橡皮管將海金沙葉軸引導至橫放的水管上使其能沿著水管攀爬。
 3. 利用橡皮管將海金沙葉軸倒立引導至水管上使其能沿著水管攀爬。

4. 使用棉線由橡皮管固定的位置作為開始點，沿著海金沙葉軸纏繞至葉軸頂端，使用捲尺測量綿線長度，得到葉軸生長長度，並拍照紀錄。
5. 將照片使用照片分析軟體 imagej 分析葉軸攀爬於水管的螺距、角度。

(四) 觀察海金沙葉軸的生長形狀。

二、 實驗二：海金沙葉軸纏繞於水管上的模擬實驗。我們假設海金沙葉軸纏繞的角度不同，其對水管抓牢的程度也不同。

(一) 採取實驗一所得海金沙葉軸纏繞於粗、細水管的平均角度結果，來進行海金沙葉軸攀爬的模擬。

1. 我們選取與海金沙葉軸寬度相近的鋁線長度 40 公分，貼緊管壁，分別以 35 度纏繞於粗水管、50 度纏繞於細水管。並於鋁線底部綁上棉線及迴紋針掛勾。
2. 將纏繞後的水管固定於改良後的滴定管架上，使其與地水平面垂直。(圖四)
3. 緩慢的將迴紋針，一個一個慢慢的掛至掛勾上，直到整條纏繞的鋁線瞬間向下位移時，停止增加迴紋針吊掛數量。
4. 測量移動瞬間，鋁線下方所承載的重量。

(二) 採集纏繞於粗、細水管海金沙的葉軸，進行真實海金沙葉軸能承受的下拉力。

1. 剪取現採的，分別生長在粗、細水管上，長度 40 公分的海金沙葉軸。
2. 再將剪取一段下來的海金沙分別纏繞在粗、細水管上。並於海金沙葉軸下方綁上棉線及迴紋針掛勾。
3. 將纏繞後的水管固定於改良後的滴定管架上，使其與地水平面垂直。
4. 緩慢的將迴紋針，一個一個慢慢的掛至掛勾上，直到海金沙葉軸瞬間向下位移時，停止增加迴紋針吊掛數量。
5. 測量移動瞬間，真實海金沙葉軸所能承受的重量。



圖(四)-模擬攀爬實驗裝置

三、 實驗三：觀察海金沙葉片及腎蕨、鳳尾蕨之葉片上、下表皮葉綠體分布範圍、葉綠體數目、氣孔數目、氣孔大小及氣孔周長。我們欲藉由葉綠體的分布及葉綠體數目，探討葉片光合作用的效率。另外，觀察上下表皮的氣孔密度、氣孔大小及氣孔周長，以分析比較其與葉片蒸散作用效率的關係。

(一) 摘採生長於距離地面不同高度的海金沙營養葉的羽葉、海金沙產生孢子的羽葉(稱孢子葉)及毛葉腎蕨、鳳尾蕨葉片在顯微鏡下觀測。

1. 我們觀察到距離地面約 150 公分處，開始分化出孢子葉。因此於距離地面約 150 公分處，分別採取營養葉與孢子葉進行觀測。距離地面約 50 公分及 100 公分則取營養葉進行觀測。
2. 取其他種蕨類，我們選擇腎蕨、鳳尾蕨。這兩種蕨類為非爬藤類蕨類，但生長環境與海金沙相似，葉片的質地看起來摸起來也相似。
3. 採集葉片後，將其浸泡於水中約十分鐘，使其氣孔打開，以利觀察其氣孔打開時的大小、周長。
4. 撕取葉片上、下表皮後放入載玻片中，滴水保濕潤，蓋上蓋玻片，並在複式顯微鏡 100x、400x 及 600x 倍率下觀測，觀察的葉綠體分布、氣孔數目及使用 Webcam Companion 軟體進行拍攝。
5. 使用照片分析軟體 imagej 計算單位面積葉綠體數目、單位面積氣孔數目、氣孔大小及氣孔周長。

四、 實驗四：海金沙與其他蕨類蒸散作用比較

(一)「蒸散作用所產生的蒸散拉力是植物吸收和輸導水分的蒸散作用所產生的主要動力。」(柯勇，2006)。我們提出了以下兩個假設:植物要運輸水分至頂端，越遠端的羽葉蒸散拉力應較強；海金沙為運輸水分至植物頂端其蒸散拉力比其他蕨類強。

1. 用剪刀由葉軸到葉柄的部分，剪取距離地面約 50 公分、100 公分及 150 公分的海金沙羽葉、海金沙孢子葉及毛葉腎蕨、鳳尾蕨的葉片，剪下後立即將其插入水中，防止脫水。
2. 將滴管由上半部剪開，並貼上標籤(圖五)，將滴管裝滿水後，用石臘膜包覆起來，放入電子秤秤量，所得數值寫在標籤上。



圖(五)-測量蒸散作用速率裝置

3. 將植物插入滴管前，先在水中減除一小段海金沙葉軸與毛葉腎蕨、鳳尾蕨的葉柄，防止有空氣殘留於葉軸和葉柄，影響蒸散。
4. 在石臘膜插一個小洞，立即將植物插入水中，並置於已控制好溫度為 25°C 的植物生長箱。由插入水中那一刻，開始計時一小時。
5. 一小時後，將植物從植物生長箱取出，並把植物從滴管中慢慢取出，以防水溢出。將滴管放入秤子秤量，紀錄數值於標籤上。
6. 把取出的植物，平貼於桌面，使整個葉片面積大小皆能清楚記錄。在桌面旁放置尺，作為比例尺，並拍照。
7. 使用 imagej 計算葉面積大小。
8. 以一小時內滴管中水分變化量/葉片面積，來比較葉片蒸散作用的效率。

五、 實驗五：探討海金沙與其他種蕨類的維管束橫切面構造

- (一) 使用刀片橫切海金沙的葉軸與腎蕨、鳳尾蕨的葉柄。
- (二) 橫切後放入載玻片中，在複式顯微鏡下觀測，並使用 Webcam Companion 拍攝。

六、 實驗六：光合作用實驗，比較光合作用速率

- (一) 採集海金沙營養葉及孢子葉，並以葉片錠浮起數是全部的一半為比較光合作用速率的基準。

1. 採集海金沙約 150 公分處的營養葉及孢子葉，並浸泡在水中以免枯乾。
2. 配製 1%的碳酸氫鈉(NaHCO_3)水溶液。
3. 使用打洞器把海金沙羽葉打成每片面積一樣大的葉片錠數片，並放入小培養皿裡面繼續以清水浸泡。
4. 把 10 片葉片錠放入針筒內，並放入少量配製好的碳酸氫鈉水溶液，一手抵住針孔，一手擠壓活塞，使針筒內的葉片錠都往下沉。
5. 打開活塞，把針筒內的葉片錠和碳酸氫鈉水溶液一同倒入燒杯中，並補充碳酸氫鈉水溶液至 50ml。
6. 把燒杯置於有陽光處，並測量營養葉和孢子葉浮起一半數量葉片錠所需的時間。

七、 實驗七：檢測葉綠素含量與光合作用速率比較

(一) 採集海金沙營養葉及孢子葉，檢測葉綠素含量與光合作用速率比較。

1. 將海金沙營養葉及孢子葉置於 80°C 烘箱中烘乾。
2. 分別取 1.00g 乾燥海金沙葉片，放置於研鉢中研磨。
3. 加入 3ml 80%的丙酮繼續研磨。
4. 加入 2 mL 80%丙酮稀釋後，倒入離心試管中。
5. 再用 2 mL 80%丙酮清洗磨鉢中的葉綠素，再倒入離心試管中，如果沒有完全洗下葉綠素的話，最多再用 2~2.5 mL 80%的丙酮把磨鉢上的葉綠素洗下，因為丙酮總體積不得超過 10 mL。
6. 用石蜡膜將離心試管口封起來。
7. 以 2500 rpm 離心 10 min。
8. 將濾出的綠色溶液盛於棕色定量瓶中(不要倒入沉澱物)，並加蓋以免揮發。
9. 在棕色定量瓶內加入 80%的丙酮到總體積為 10 mL。
10. 先用 80%的丙酮溶液調節零點(放入裝有 80%丙酮溶液的光電比色管於光電比色計對照的位置，然後按 Zero)。
11. 取少許葉綠素抽出液清洗另一支光電比色管。
12. 取 3~4 mL 葉綠素抽出液盛於光電比色管中。
13. 測量在波長為 663 nm、645 nm 時的吸光值(A)。
14. 計算每 1g 海金沙葉片組織中所含葉綠素的量，葉綠素的含量可用下列公式求出：

葉綠素 a (mg/g) = [12.7×(A663) - 2.69×(A645)]×V/(1000×W)

葉綠素 b (mg/g) = [22.9×(A645) - 4.68×(A663)]×V/(1000×W)

葉綠素總量(Tchl)(mg/g) = [20.2×(A645)+8.02×(A663)]×V/(1000×W)

註：A663：葉綠素抽取液在波長 663 nm 的吸光值

V：葉綠素 80%丙酮抽出液的總體積 (mL)

W：葉片組織的鮮重量 (g)

Tchl：葉綠素總含量

伍、 研究結果

一、 海金沙生長型態觀察

(一) 於校園中尋找海金沙，紀錄海金沙葉軸順時針、逆時針纏繞於攀附物個體數。

海金沙葉軸順時針、逆時針纏繞於攀附物個體數比為 16:46，逆時針纏繞個體數大於順時針纏繞個體數。

(二) 海金沙生長規則。

1. 生長時，葉片會交錯分布。
2. 葉片對稱生長，約有一到三回羽狀複葉。
3. 海金沙葉軸生長時，貼著水管的那一面比較平緩，未接觸水管面則較為圓滑。
4. 觀察到葉軸頂端分生組織若斷裂，會由葉軸旁的休眠芽長出新的頂端分生組織。
5. 海金沙約從離地 150cm 處以上開始出現孢子葉，從幼葉出現後，約四個月左右會開始出現孢子葉，且孢子葉均出現於葉軸較頂端處。

(三) 將海金沙的葉軸以不同的方式，引導至水管上，使其能沿著水管攀爬。

1. 將海金沙固定於垂直於地面的直立水管上，持續拍照記錄一段時間，各採取 4 個生長較好的植株做為樣本，分析葉軸攀附於水管與水管水平方向的角度、兩個螺旋之間的平均距離及平均生長速率。(圖六)



圖(六)-海金沙攀爬於粗水管的照片

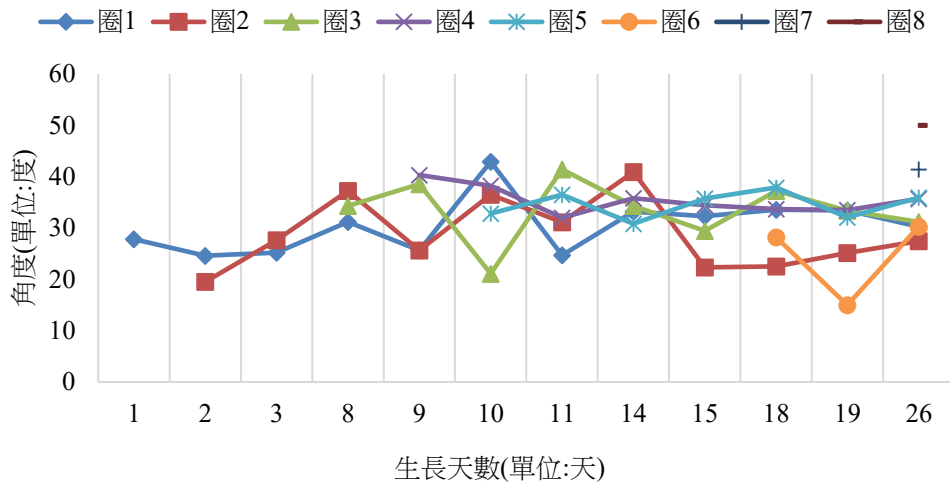
(1) 比較海金沙葉軸纏繞於粗、細不同的水管，發現纏繞於粗水管的平均角度小於纏繞於細水管。(表一)

表(一)-海金沙葉軸纏繞於粗、細水管平均角度

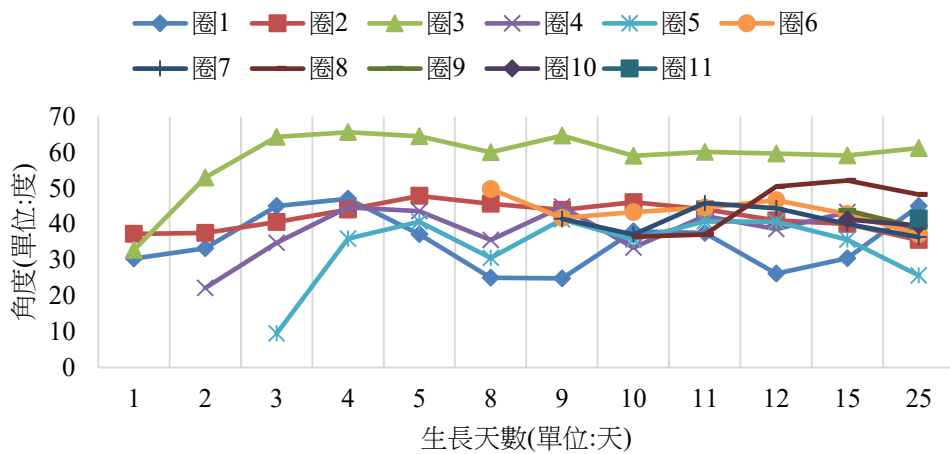
(纏繞於粗水管與纏繞於細水管之平均角度作 t-test, $p < 0.05$)

	樣本 1	樣本 2	樣本 3	樣本 4	平均
粗水管	35.3°	39.6°	33.2°	40.4°	35°
細水管	43.6°	49.7°	46.4°	51.2°	47.7°

(2) 取海金沙在固定後的數天，海金沙葉軸攀附於水管與水管水平方向的角度來觀察。由固定橡皮管初開始向上，纏繞於水管的第一圈視為圈數 1，接著往上為圈數 2.....以此類推。每天同一圈角度皆有正負十以內的變化，開始攀爬的前幾天角度並不穩定，上下變動幅度大。而取生長時間過久一點(約 8~10 天後)的角度做觀察，發現海金沙纏繞角度的變動逐漸變小。(圖七、八)



圖(七)-纏繞於粗水管之海金沙葉軸纏繞角度變化(樣本二)



圖(八)-纏繞於細水管之海金沙葉軸纏繞角度變化(樣本二)

(3) 海金沙葉軸纏繞於粗、細不同的水管，每個螺旋之間間距，並沒有太大的差別。(表二)

表二-海金沙葉軸纏繞於粗、細水管平均螺距(cm)

(纏繞於粗水管與纏繞於細水管之平均螺距作 t-test, $p > 0.05$)

	樣本 1	樣本 2	樣本 3	樣本 4	平均
粗水管	6.03	5.28	6.68	11.9	7.5
細水管	5.68	6.19	6.73	6.77	6.3

(4) 海金沙葉軸纏繞於粗、細不同的水管，持續記錄葉軸長度，求其生長速率。

(表三)

表三-海金沙葉軸纏繞於粗、細水管每日平均生長速率(cm/日)

(纏繞於粗水管與纏繞於細水管之平均生長速率作 t-test, $p>0.05$)

	樣本 1	樣本 2	樣本 3	樣本 4	平均
粗水管	2.98	2.89	2.28	5.25	3.35
細水管	3.53	4.07	2.29	2.48	3.09

2. 將海金沙固定於橫放的水管上，持續拍照記錄一段時間後，觀察到有些海金沙逐漸枯死，有些會繼續牽直往上長，直到因為環境外力而使其碰到能纏繞的物體而開始纏繞，或因自身重量過重而往下垂，而開始纏繞自己。
3. 將海金沙倒立固定於水管上，觀察到海金沙在倒立的狀態當中不易生長，在我們持續拍照記錄一段時間後，都沒有繼續生長，並且逐漸乾枯。

二、海金沙葉軸纏繞於水管上所能承受下拉力的實驗

(一) 模擬海金沙分別纏繞於細水管及粗水管時所能承受的拉力大小比較

根據表四，利用鋁線模擬海金沙纏繞於水管的下拉力實驗中，我們發現細水管比纏繞於粗水管所能承受的拉力大。

表四-纏繞於粗細水管上鋁線所能承受的平均最大拉力

(纏繞於粗水管與細水管上鋁線能承受的拉力作 t-test, $p<0.05$, $n=15$)

	以 50° 向上纏繞於細水管	以 35° 向上纏繞於粗水管
平均最大拉力(gw)	17.02	10.70

(二) 真實海金沙葉軸纏繞於水管時所能承受的下拉力實驗

根據表五，發現真實海金沙葉軸纏繞於細水管時，比纏繞於粗水管所能承受的下拉力大。

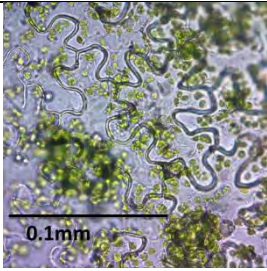

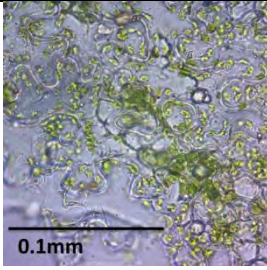
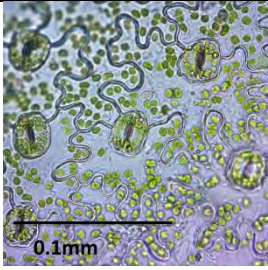
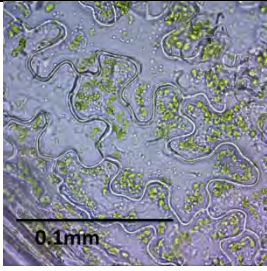
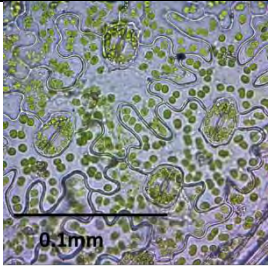
表五-纏繞於粗細水管上海金沙葉軸所能承受的平均最大拉力
 (纏繞於粗水管與細水管上鉛線能承受的拉力作 t-test, $p < 0.05$, $n=8$)

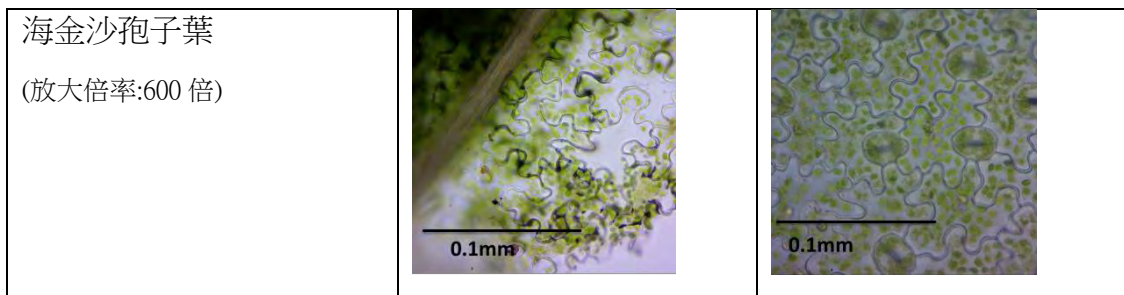
	纏繞於細水管海金沙葉軸	纏繞於粗水管海金沙葉軸
平均最大拉力(gw)	142.70	99.98

三、海金沙羽葉及其他種蕨類葉片上、下表皮葉綠體分布範圍、葉綠體數目、氣孔數目及氣孔大小

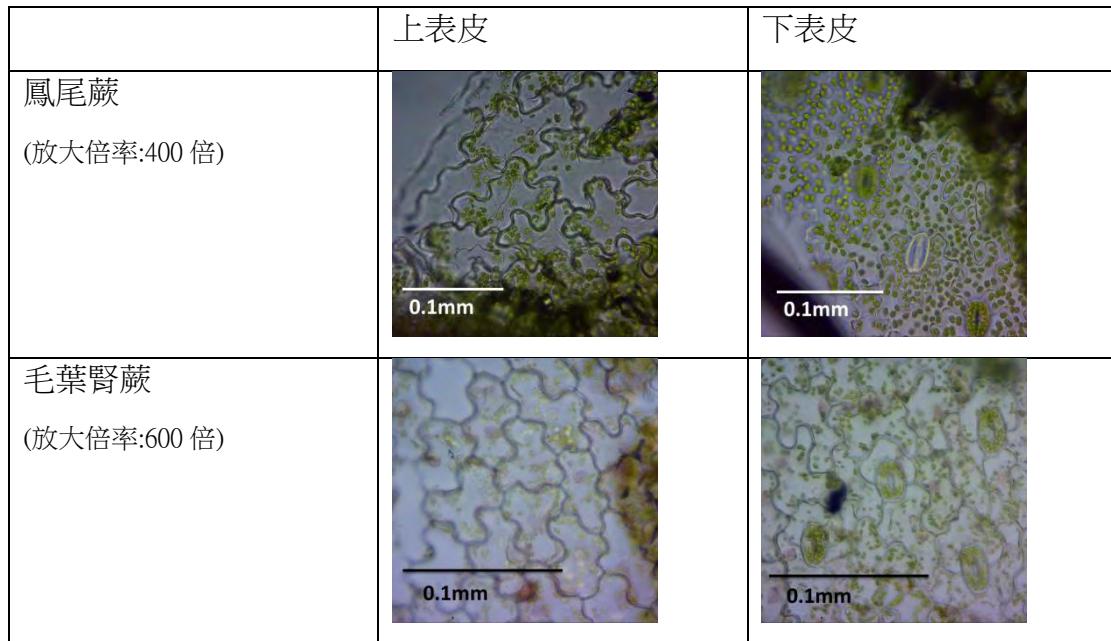
(一) 海金沙、腎蕨、鳳尾蕨葉片上、下表皮葉綠體分布範圍

1. 由圖(九)可觀察到海金沙羽葉上表皮葉綠體多集中於細胞邊緣，而下表皮葉綠體較平均分布於細胞內。另外，在上表皮沒有觀察到氣孔，氣孔皆分布於下表皮。
2. 由圖(十)可觀察到其他蕨類葉片上表皮葉綠體多集中於細胞邊緣，而下表皮葉綠體較平均分布於細胞內。且在上表皮沒有觀察到氣孔，氣孔皆分布於下表皮。

	上表皮	下表皮
離地 50cm 處海金沙羽葉 (放大倍率:600 倍)		
離地 100cm 處海金沙羽葉 (放大倍率:600 倍)		
離地 150cm 處海金沙羽葉 (放大倍率:600 倍)		



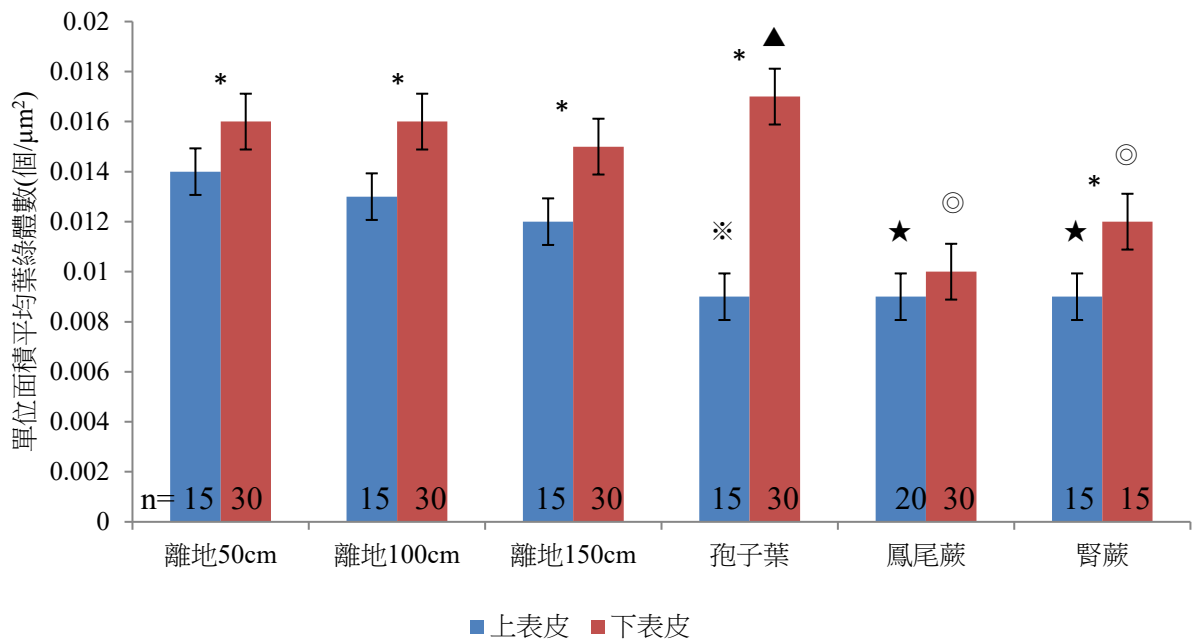
圖(九)-顯微鏡下 600 倍率海金沙羽葉上、下表皮葉綠體分布



圖(十)-顯微鏡下其他蕨類上、下表皮葉綠體分布

(二) 海金沙不同高度羽葉及孢子葉、鳳尾蕨、毛葉腎蕨上下表皮單位面積平均葉綠體數(圖十一)

1. 下表皮單位面積平均葉綠體數皆大於上表皮單位面積平均葉綠體數。
2. 比較離地 150cm 海金沙營養葉與孢子葉的上下表皮葉綠體數目，皆有顯著差異，且孢子葉的葉綠體數目明顯比營養葉多。
3. 分別比較離地 50cm 海金沙羽葉分別與毛葉腎蕨、鳳尾蕨的上下表皮葉綠體數目，皆有顯著差異，且海金沙羽葉的葉綠體數較多。

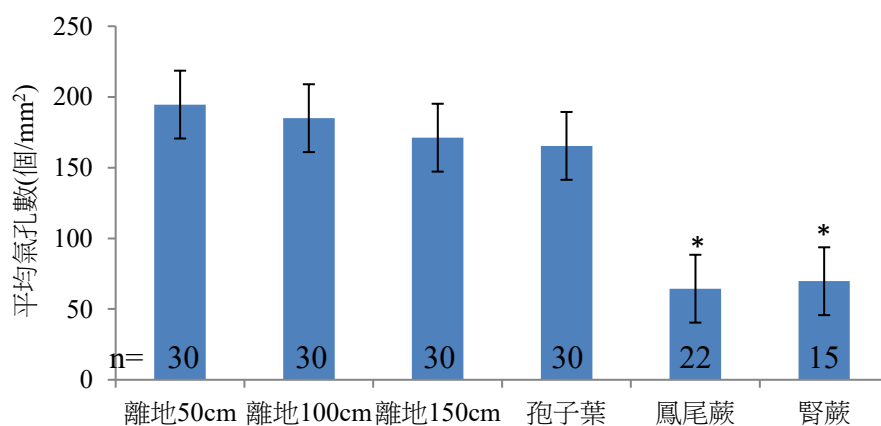


圖(十一)-海金沙不同高度羽葉及孢子葉、鳳尾蕨、毛葉腎蕨上下表皮單位面積平均葉綠體數

(各組上下表皮葉綠體數做 t-test, *: $p < 0.05$; 離地 150cm 羽葉與孢子葉上表皮葉綠體數做 t-test, ※: $p < 0.05$; 離地 150cm 羽葉與孢子葉下表皮葉綠體數做 t-test, ▲: $p < 0.05$; 以離地 50cm 羽葉與其他蕨類葉片上表皮葉綠體數做 t-test, ★: $p < 0.05$; 以離地 50cm 羽葉與其他蕨類葉片下表皮葉綠體數做 t-test, ⊙: $p < 0.05$) (n=樣本數)

(三) 海金沙不同高度羽葉及孢子葉、鳳尾蕨、毛葉腎蕨單位面積平均氣孔數 (圖十二)

1. 距離地面不同高度海金沙羽葉單位面積平均氣孔數差異不大。
2. 離地 50cm 海金沙羽葉與其他種蕨類比較起來，其單位面積平均氣孔數較多。

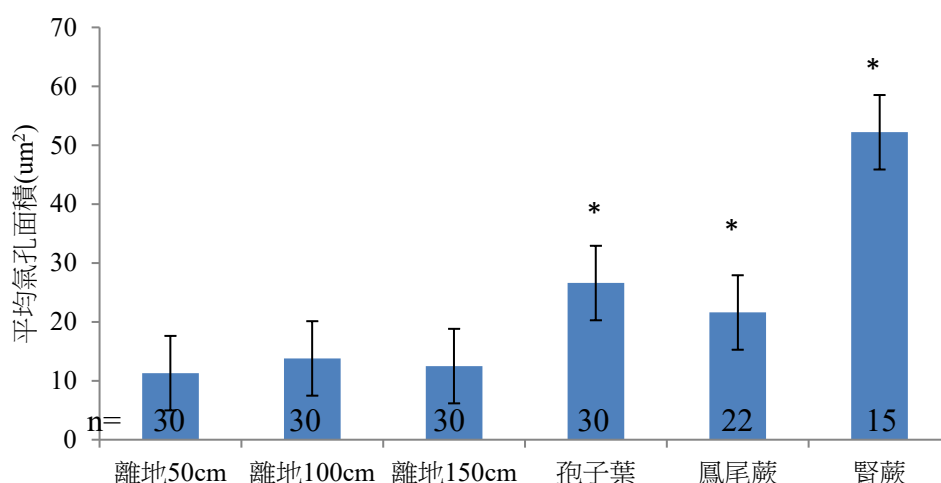


圖(十二)-海金沙不同高度羽葉及孢子葉、鳳尾蕨、毛葉腎蕨之單位面積平均氣孔數

(以離地 50cm 的海金沙羽葉與其他組做 t-test, *: $p < 0.05$) (n=樣本數)

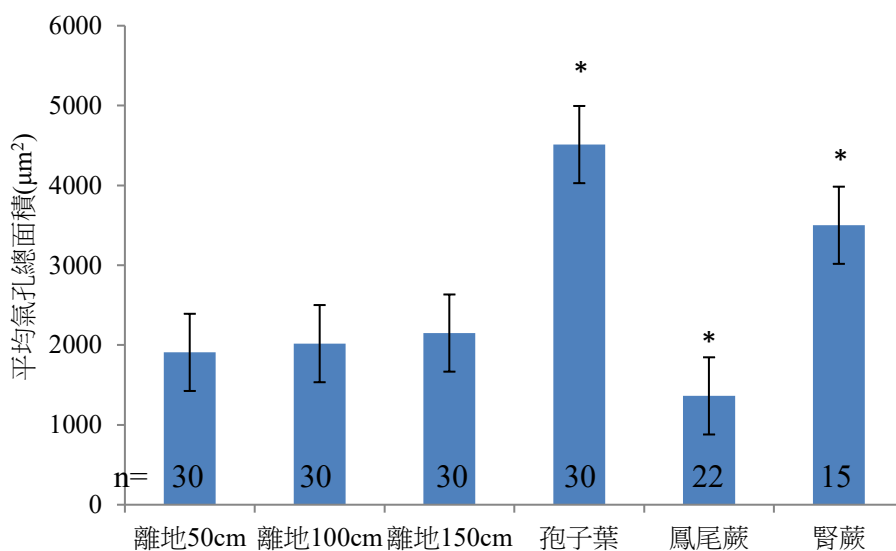
(四) 海金沙不同高度羽葉及孢子葉、鳳尾蕨、毛葉腎蕨之平均氣孔面積 (圖十三、十四)

1. 距離地面不同高度的海金沙營養羽葉平均氣孔面積相差不大。
2. 海金沙孢子葉的平均氣孔面積及單位面積之氣孔總面積均比營養葉大。
3. 50cm 海金沙羽葉的平均氣孔面積比鳳尾蕨和毛葉腎蕨小。
4. 50cm 海金沙羽葉的單位面積之氣孔總面積比鳳尾蕨大但比毛葉腎蕨小。



圖(十三)-海金沙不同高度羽葉及孢子葉、鳳尾蕨、毛葉腎蕨之平均氣孔面積

(以離地 50cm 的海金沙羽葉與其他組做 t-test, *: $p < 0.05$) (n=樣本數)

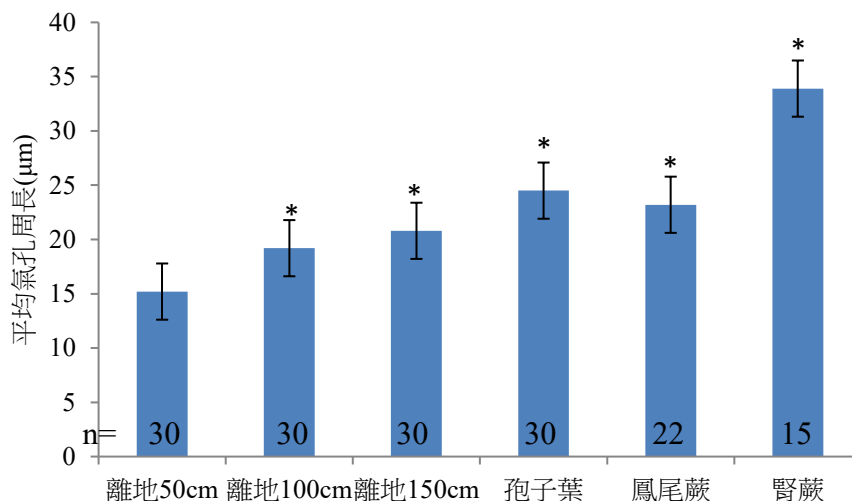


圖(十四)-海金沙不同高度羽葉及孢子葉、鳳尾蕨、毛葉腎蕨之單位面積平均氣孔總面積

(以離地 50cm 的海金沙羽葉與其他組做 t-test, *: $p < 0.05$) (n=樣本數)

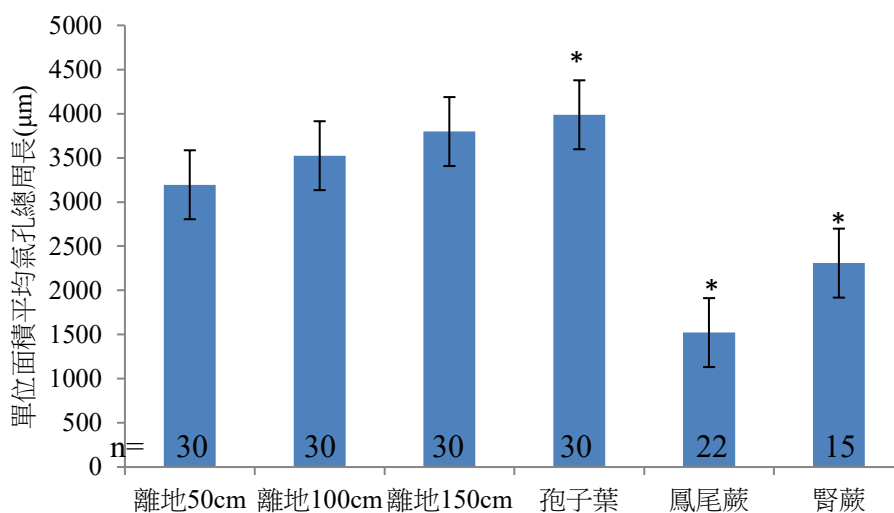
(五) 海金沙不同高度羽葉及孢子葉、鳳尾蕨、毛葉腎蕨之氣孔周長比較 (圖十五、十六)

1. 離地面越遠的海金沙羽葉其平均氣孔周長及單位面積氣孔總周長隨著生長高度增加而增大，尤其以孢子葉的增加最明顯。
2. 50cm 海金沙羽葉的單位面積氣孔總周長較其他蕨類的單位面積氣孔總周長為長。



圖(十五)-海金沙不同高度羽葉及孢子葉、鳳尾蕨、毛葉腎蕨之平均氣孔周長

(以離地 50cm 的海金沙羽葉與其他組做 t-test, * : $p < 0.05$) (n=樣本數)

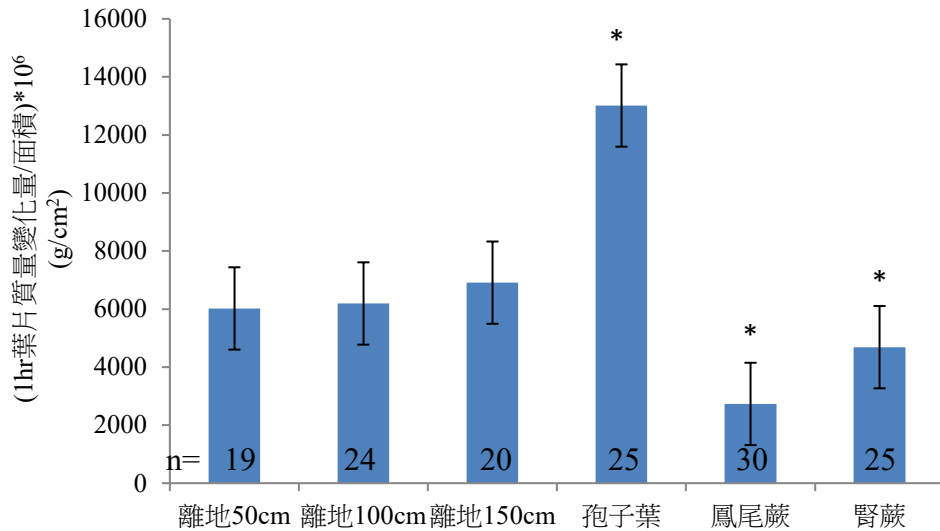


圖(十六)-海金沙不同高度羽葉及孢子葉、鳳尾蕨、毛葉腎蕨之單位面積氣孔總周長

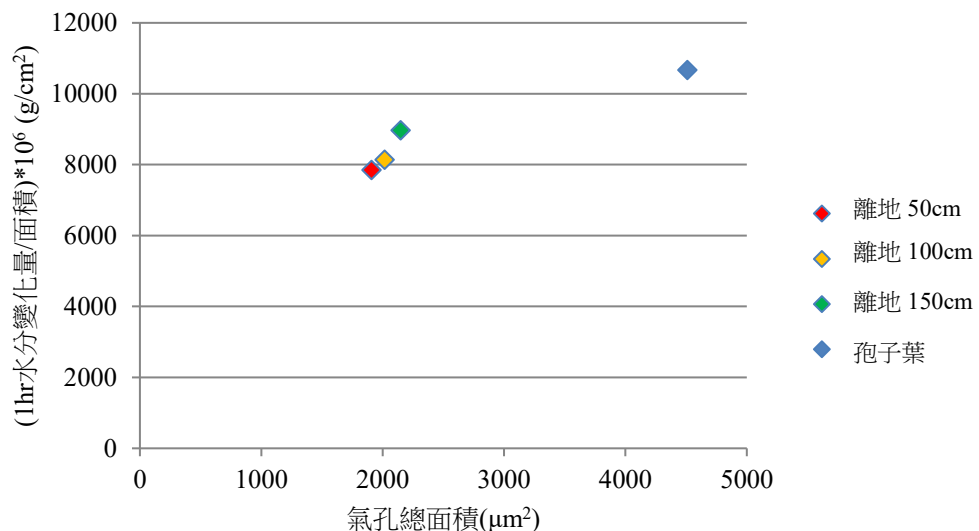
(以離地 50cm 的海金沙羽葉與其他組做 t-test, * : $p < 0.05$) (n=樣本數)

四、海金沙與其他蕨類蒸散作用比較

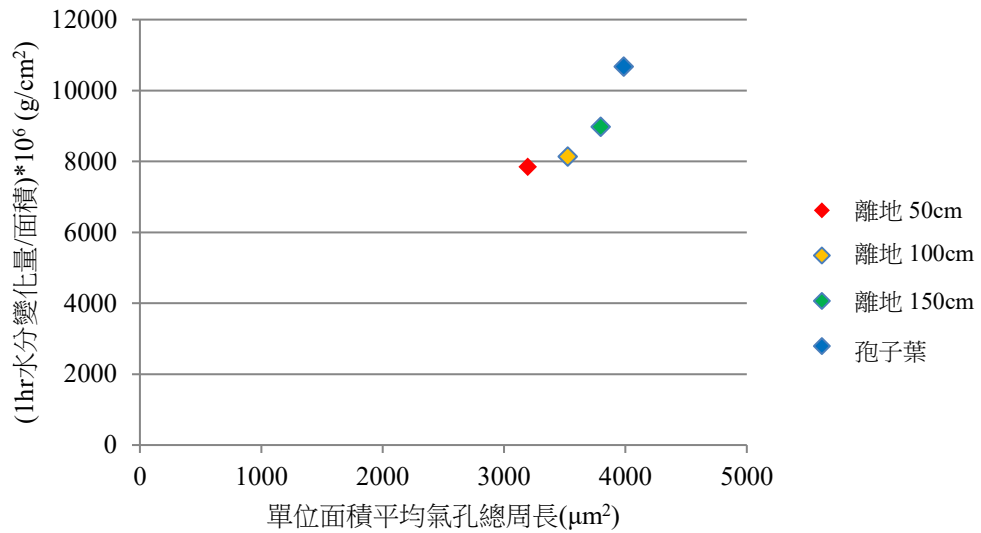
- (一) 距離地面越遠的海金沙葉片，1hr 內每單位面積的蒸散量(水分變化量(g)/葉片面積(cm^2))較大，代表蒸散速率越快。
- (二) 海金沙葉片的蒸散速率，都比其他兩種蕨類快。(圖十七)
- (三) 比較海金沙不同高度羽葉及孢子葉的蒸散速率和單位面積的氣孔總面積及總周長的關係，發現蒸散速率和氣孔總面積和氣孔總周長呈現正相關(圖十八、圖十九)，但氣孔總周長變化的比率與蒸散速率變化的比率較為接近(表六)。



圖(十七)-海金沙不同高度羽葉及孢子葉、鳳尾蕨、毛葉腎蕨之(1hr 水分變化量/葉片面積)*10⁶ (g/cm²)(以離地 50cm 的海金沙羽葉與其他組做 t-test，* : p<0.05) (n=樣本數)



圖(十八)-海金沙(1hr 水分變化量/葉片面積)*10⁶ 與平均氣孔總面積關係圖



圖(十九)-海金沙(1hr 水分變化量/葉片面積)*10⁶ 與單位面積平均氣孔總周長關係圖

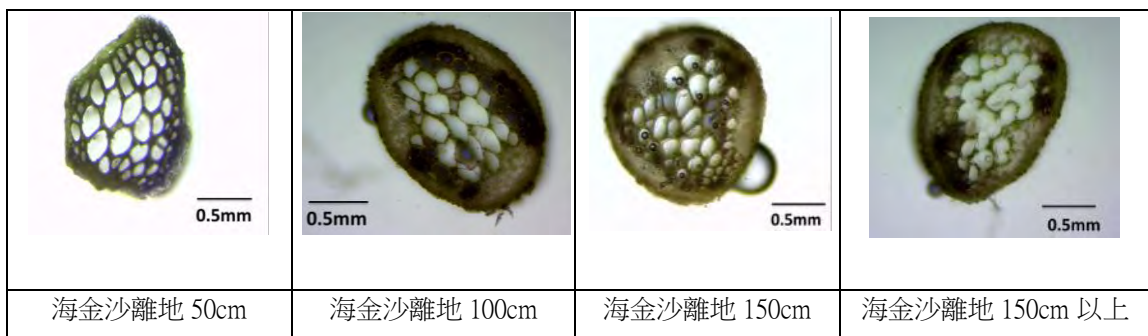
表六-以離地 50cm 海金沙作為基準，比較離地不同高度海金沙營養葉、海金沙孢子葉、鳳尾蕨、毛葉腎蕨的蒸散速率、氣孔總周長、氣孔總面積變化比率

	離地 100cm	離地 150cm	孢子葉	鳳尾蕨	毛葉腎蕨
平均氣孔總周長	1.10292	1.18844	1.24783	0.4762	0.72228
平均氣孔總面積	1.05744	1.12683	2.36413	0.71443	1.83439
蒸散速率	1.03729	1.14334	1.35999	0.34809	0.59745

五、 探討海金沙與其他種蕨類維管束在顯微鏡下的橫切面構造

(一) 海金沙維管束橫切面觀察 (圖二十)

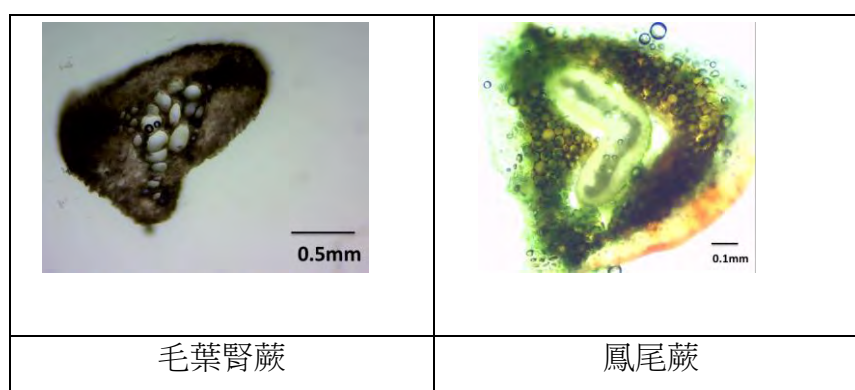
1. 橫切海金沙維管束，能直接觀察到木質部假導管。
2. 離地不同高度的海金沙羽葉之維管束橫切面沒有明顯不同。



圖(二十)-不同高度的海金沙羽葉葉軸橫切面

(二) 毛葉腎蕨與鳳尾蕨維管束橫切面觀察

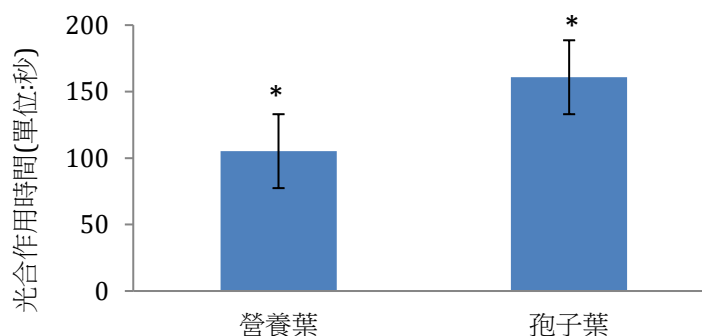
橫切毛葉腎蕨、鳳尾蕨維管束，無法清楚看到鳳尾蕨維管束的木質部構造。(圖二十一)



圖(二十一)-毛葉腎蕨與鳳尾蕨葉軸橫切面

六、 實驗六：光合作用實驗，比較光合作用速率

(一) 以一半數量的葉片錠浮到水面的時間，定為光合作用比較的時間。海金沙營養葉的平均光合作用速率大於孢子葉。(圖二十二)



圖(二十二)-海金沙營養葉及孢子葉光合作用速率比較

(以海金沙營養葉及孢子葉的光合作用時間作 t-test, * : $p < 0.05$, $n = 10$)

七、 實驗七：檢測葉綠素含量與光合作用速率比較

實驗仍在進行中，尚未有完整的實驗數據和結果。

陸、討論

一、 海金沙生長型態觀察

(一) 在海金沙葉軸纏繞於粗、細不同的水管，葉軸攀附於水管與水管水平方向角度實驗中。我們觀察到海金沙纏繞於粗水管的平均角度小於纏繞於細水管的平均角度，且在統計上有顯著差異。而我們將粗、細水管海金沙每日葉軸生長速率做 t-test 檢

定，則沒有顯著差異。因此我們假設海金沙生長速率相似，欲攀爬至同一高度，因攀爬於細水管的角度比較大，且細水管的直徑也比較小，所以攀爬於粗、細水管要達到同一高度，攀爬於細水管會較快到達高度目的地，對其向上生長可能較有利。另外，在實驗二中可以看到，不論是模擬海金沙葉軸的鋁線以 50 度向上纏繞於細水管(表四)，或真實海金沙葉軸纏繞於細水管(表五)，其能承受的下拉力皆較大。我們推測葉軸能支撐海金沙向上攀爬的力量，除摩擦力外應該還有向內纏繞的力量，而同樣長度的葉軸，纏繞於細水管能纏繞較多圈，使其向內纏繞的力量增加，故能承受更大的向下拉力，因此雖然攀爬角度大，卻能獲得足夠的力支撐海金沙在水管上。因此綜合以上兩實驗，我們推測對海金沙而言，攀爬於相對較細處，對其向上生長可能較有利。

- (二) 我們分析了海金沙葉軸攀爬於粗細水管不同天數的角度，發現同一圈數的角度並不會維持於一定值。我們取剛開始攀爬前幾天的角度做分析，海金沙同一圈數的角度變動比較大，但隨著攀爬與生長的時間越長，同一圈數的角度變動就漸趨平緩。唯有最末圈因是海金沙葉軸頂端生長的部分，最末圈開始纏繞後，需要 1 到 2 天來穩定其角度，待其穩定後，就成為中間的圈數，角度就漸趨穩定。另外，我們觀察到海金沙葉軸在長複葉時，有時朝水管方向發芽，芽會碰撞到水管，因此我們認為這也是影響海金沙葉軸攀爬角度變化的原因之一。

二、海金沙羽葉及其他種蕨類葉片上、下表皮葉綠體分布範圍、葉綠體數目、氣孔數目及氣孔大小

- (一) 在顯微鏡下我們看到海金沙羽葉、毛葉腎蕨、鳳尾蕨葉片，上表皮葉綠體多集中於細胞邊緣，而下表皮葉綠體較平均分布於細胞內。加上蕨類通常生長在較陰暗潮濕處，我們推測植物需要吸收大量的陽光，使光合作用達到最好的效率。因此下表皮葉綠體數量較多；上表皮的葉綠體分散在細胞邊緣，下表皮才能有更大的面積不被上表皮的葉綠體擋住，使陽光能更容易達到下表皮以此來增加可以行光合作用的面積。由圖(十一)也發現下表皮的平均葉綠體數量確實較上表皮來的多。如此一來就算生長在較陰暗的環境也可以利用上下表皮葉綠體的交錯分布和較多的數量充分利用陽光以達到光合作用的最大效果，對其向上生長更有幫助。
- (二) 海金沙和其他蕨類分別比較上下表皮葉綠體數量，皆有顯著差異。蕨類主要光合作用的細胞之一即為表皮細胞，海金沙表皮葉綠體總數較多，所以推測其光合作用效率可能較好。

三、 不同高度海金沙羽葉與其他蕨類蒸散作用比較

- (一) 一開始我們的假設：植物要運輸水分至頂端，越遠端的葉片蒸散拉力應較強。在圖(十六)中可以看到：生長位置越高的葉片，1hr 內每單位面積的蒸散量(水分變化量/葉片面積)較大，表示蒸散速率越快。
- (二) 「蒸散速率是與氣孔周長成比例」(Roberts, M., Reiss, M. and Monger, G., 2004, p.257)，於是我們將可能影響蒸散速率的氣孔面積、氣孔數量以及氣孔周長分別與蒸散速率做比較。在海金沙三組不同高度的羽葉和孢子葉中發現蒸散速率越快的海金沙羽葉，其氣孔數量並無顯著差異。但在比較氣孔總面積以及氣孔總周長的方面發現，距離地面不同高度的海金沙羽葉，蒸散速率越快的，其氣孔總面積越大、氣孔總周長越長，且與蒸散速率呈現正相關關係，且與氣孔總周長更成比例關係。(圖十八、十九、表六)由以上我們推論:氣孔數量與蒸散速率可能沒有直接的關係，葉片蒸散速率則與氣孔總面積以及單位面積氣孔的總周長有正相關。
- (三) 比較海金沙營養葉與孢子葉的蒸散速率，孢子葉蒸散比營養葉好，但孢子葉的單位面積平均氣孔數與營養葉的並無顯著差異。實際觀察海金沙時，發現孢子葉均長於較高處的葉軸末端，於是我們推測可能是因為羽葉在由營養葉轉成孢子葉時發生改變，使氣孔數量減少，孢子葉受到水份不夠的逆境而氣孔面積變大、氣孔周長變長，使得蒸散速率增加，以增加運輸至此高度的水分。
- (四) 而從實驗中我們也發現，海金沙葉片 1hr 內每單位面積的蒸散量與非爬藤蕨類的鳳尾蕨、毛葉腎蕨比起來，其蒸散速率確實較快。海金沙的單位面積平均氣孔總周長均明顯高於其他蕨類，故我們推測總周長的增加，可能是讓海金沙蒸散速率高於其他兩種蕨類的主要原因。

四、 探討海金沙葉軸與其他種蕨類的維管束橫切面構造

- (一) 海金沙維管束的木質部面積較鳳尾蕨的大；而在差不多面積下，海金沙維管束木質部也比毛葉腎蕨的假導管所占面積大。水分的運輸不只受到氣孔的影響，也非常仰賴維管束內的木質部。因此我們推論，因海金沙的木質部假導管面積較大，且數量多，在相同時間內，能輸送較多的水分，進而加快了海金沙的蒸散速率。(圖十九、二十)

五、 海金沙營養葉及孢子葉之間光合作用速率比較

- (一) 在圖(十一)中，海金沙 150 公分營養葉的單位面積葉綠體總數(上下表皮相加)比孢

子葉多。而由葉片錠測量光合作用效率的實驗中，海金沙營養葉的平均光合作用速率也大於孢子葉(圖二十二)。由統計出來的葉綠體總數，以及實驗中營養葉的光合作用速率比孢子葉快，我們推測海金沙主要行光合作用的器官是營養葉，而孢子葉主要用來產生孢子，其光合作用效率較營養葉低。

柒、結論

一、 探討海金沙葉軸的型態與攀爬規則

- (一) 海金沙在細水管的攀爬角度較大，更容易到達特定高度，對生長可能較有利。
- (二) 以鉛線模擬的海金沙葉軸纏繞於細水管，所能承受的下拉力較大。
- (三) 真實海金沙葉軸纏繞於細水管，所能承受的下拉力較大。

二、 探討海金沙與毛葉腎蕨、鳳尾蕨的葉片氣孔、葉綠體數及維管束差異

- (一) 海金沙羽葉、毛葉腎蕨、鳳尾蕨葉片，上表皮葉綠體多集中於細胞邊緣，下表皮葉綠體則平均分散於細胞中，且下表皮平均葉綠體比上表皮多。
- (二) 海金沙單位面積平均氣孔數較多。
- (三) 海金沙的平均氣孔面積較小。
- (四) 海金沙的單位面積平均氣孔總周長比毛葉腎蕨及鳳尾蕨長。
- (五) 海金沙葉軸橫切面中的木質部假導管數量較多，木質部假導管大橫切面積也較另外兩種蕨類大。
- (六) 海金沙表皮葉綠體總數較多，所以推測其光合作用效率可能較毛葉腎蕨及鳳尾蕨好。

三、 探討海金沙葉片生長於不同高度之葉綠體數以及氣孔數、大小、周長，並探討其光合作用和蒸散作用之速率

- (一) 植物要運輸水分至頂端，越遠端的葉片蒸散拉力應較強。距離地面越遠的海金沙葉片，一小時內每單位面積的蒸散量越大。
- (二) 海金沙孢子葉的蒸散速率、氣孔總周長、氣孔總面積均高於營養葉，應該有助於海金沙將水分運輸至位於植株頂端的孢子葉。
- (三) 距離地面不同高度的海金沙羽葉，蒸散速率越快的，其氣孔總周長越長、氣孔總面積越大，且蒸散速率與氣孔總周長呈現較明顯的比例關係。
- (四) 氣孔數量與蒸散速率沒有直接的關係。
- (五) 海金沙營養葉光合作用速率較孢子葉快。

四、 探討海金沙葉片與其他非攀爬蕨類葉片的蒸散作用速率

- (一) 海金沙有長達 3~5 公尺的葉軸，海金沙蒸散拉力應比其他非爬藤蕨類強。海金沙葉片的蒸散速率，比其他種的蕨類快。

捌、參考資料及其他

- 一、林冠璋。植物的神秘孔道—氣孔與蒸散作用。國立台中一中。
- 二、盧靖衡等。自然界的控溫大師-葉子。市立內湖高中。
- 三、51 屆科展作品說明書，高中組生物科，以碎形理論解釋植物的生長形態。
- 四、51 屆科展作品說明書，高中組生物科，蕨類孢子傳播機制之探討。
- 五、52 屆科展作品說明書，高中組生物科，蕨類氣孔系之型態研究。
- 六、2015 國際科展科展作品說明書，以碎形理論解釋植物的生長形態。
- 七、邱子芸、邱文良、黃曜謀。2013。假紫萁營養葉與孕性葉物候差異。台灣生物多樣性研究台灣生物多樣性研究 15(4): 311- 322。
- 八、Roberts, M., Reiss, M. and Monger, G. (2004). *Advanced biology*. Walton-on-Thames: Nelson.
- 九、蔡智賢(2008)，國立嘉義大學園藝學系植物生理學實驗，取自 <http://web.ncyu.edu.tw/~jtsay/physiol/phyexp/expp04.htm>

【評語】 052106

1. 設計海金沙攀爬粗細不同管子，比較不同旋轉角度的支持力，用物理學知識解釋攀緣植物旋轉生長向上的適應，跨生物與物理的探討，有創意。
2. 書寫實驗日誌紀錄清楚且完整，具有良好的研究精神與實驗態度。
3. 本研究較偏向單純學理上的觀察與研究，蒸散拉力與植物攀附能力之相關性結論，仍有繼續探討之空間。

壹、研究動機

在一般人行道或校園中常常可以發現海金沙(*Lygodium japonicum*)的身影，但並不是十分了解其形態及特性。一次生物課，老師帶我們到校園做一趟植物巡禮，發現原來海金沙也是蕨類的一種。海金沙顛覆了我們對於一般蕨類生長於比較低處的印象，於是引發我們研究的興趣。上網查了一些相關資料，發現海金沙為爬藤類蕨類，葉軸較其他種蕨類長，可以長至三到五公尺。在課本中我們學到，植物水分的運輸，主要動力即為藉由蒸散作用來達成。為了使水分運輸至海金沙的頂端，我們推測海金沙的蒸散作用可能會比其他種非爬藤類的蕨類好。因此，我們希望能進一步對海金沙進行研究，比較海金沙與其他種蕨類的異同。

貳、研究目的

- 一. 探討海金沙葉軸攀爬的形態與規則，並使用物理實驗來探討其生長的模式
- 二. 探討海金沙與其他非爬藤蕨類的羽葉氣孔、葉綠體及維管束構造
- 三. 探討海金沙生長於不同高度羽葉之光合作用、蒸散作用速率

參、研究設備與器材

- 一. 使用植物：海金沙(圖一)、鳳尾蕨(圖二)、毛葉腎蕨(圖三)
- 二. 使用器材：粗/細水管(直徑:2.7/1.8cm)、棉線、捲尺、照片分析軟體Imagej、相機、橡皮管、鋁線、滴定管架、5g/10g/20g砝碼、迴紋針、複式顯微鏡、顯微鏡拍攝軟體Webcam Companion、手提電腦、解剖刀、剪刀、蓋/載玻片、植物生長箱、電子秤(單位公克:精確值至小數點下三位)、滴管、針筒、碳酸氫鈉粉末、大小培養皿、1000ml/100ml燒杯(數個)、打洞器、紫外線可見光光譜儀UVWin、分光光度計、80%丙酮水溶液、研鉢、離心機、濾紙、試管、鋁箔紙



圖(一) 海金沙(*Lygodium japonicum*)

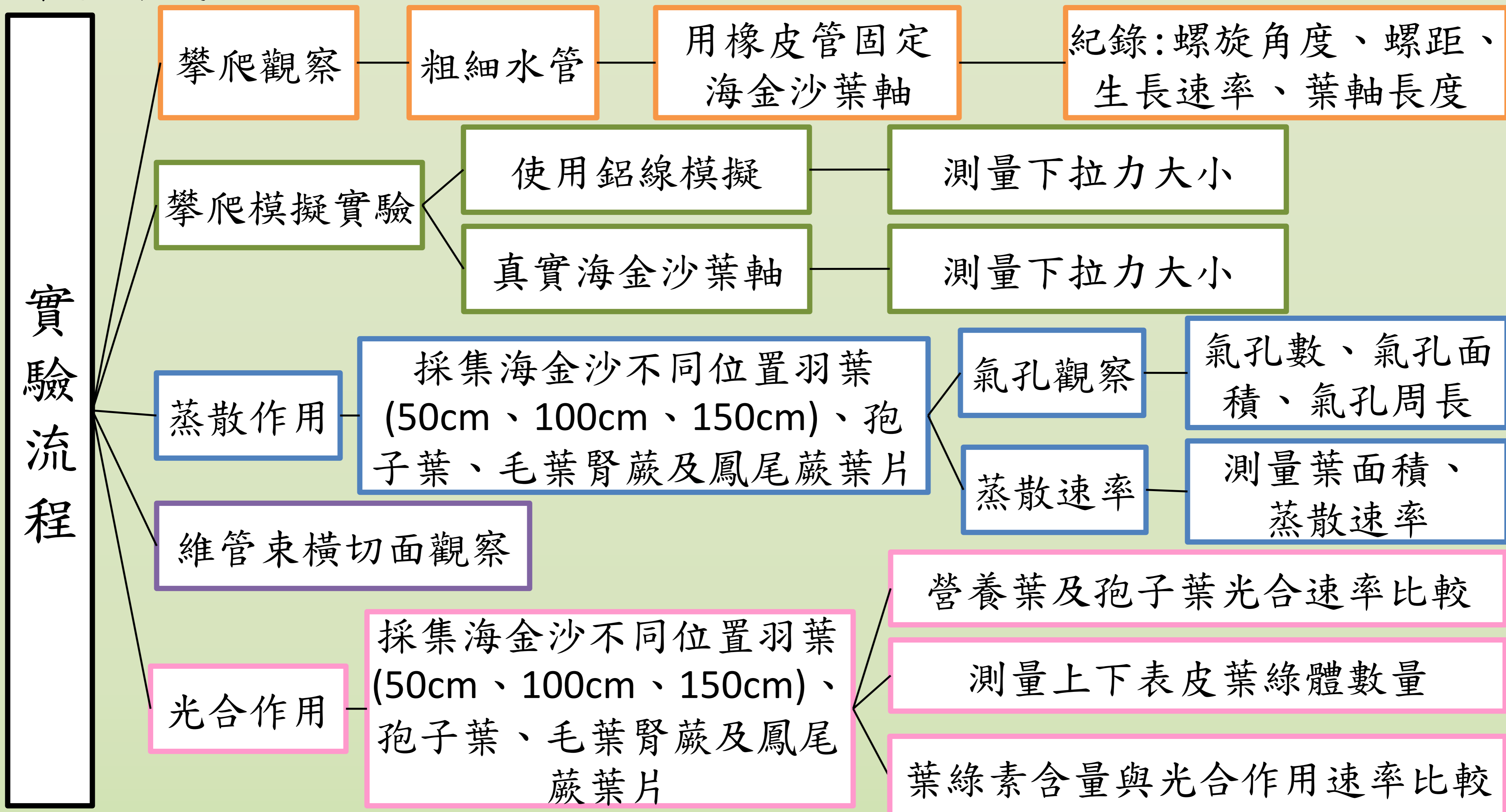


圖(二) 鳳尾蕨(*Pteris multifida Poir.*)



圖(三) 毛葉腎蕨(*Nephrolepis cordifolia*)

肆、研究過程或方法



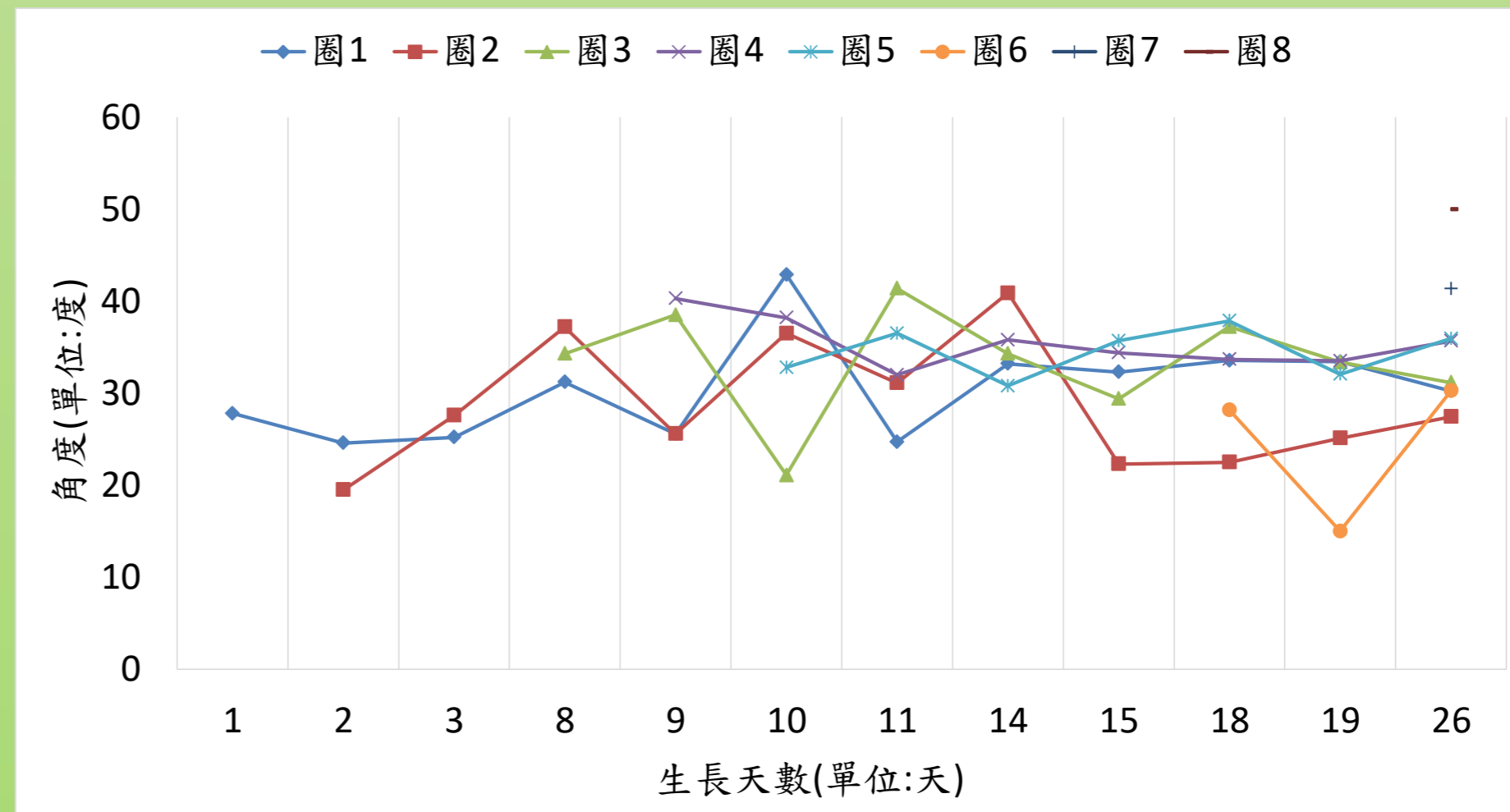
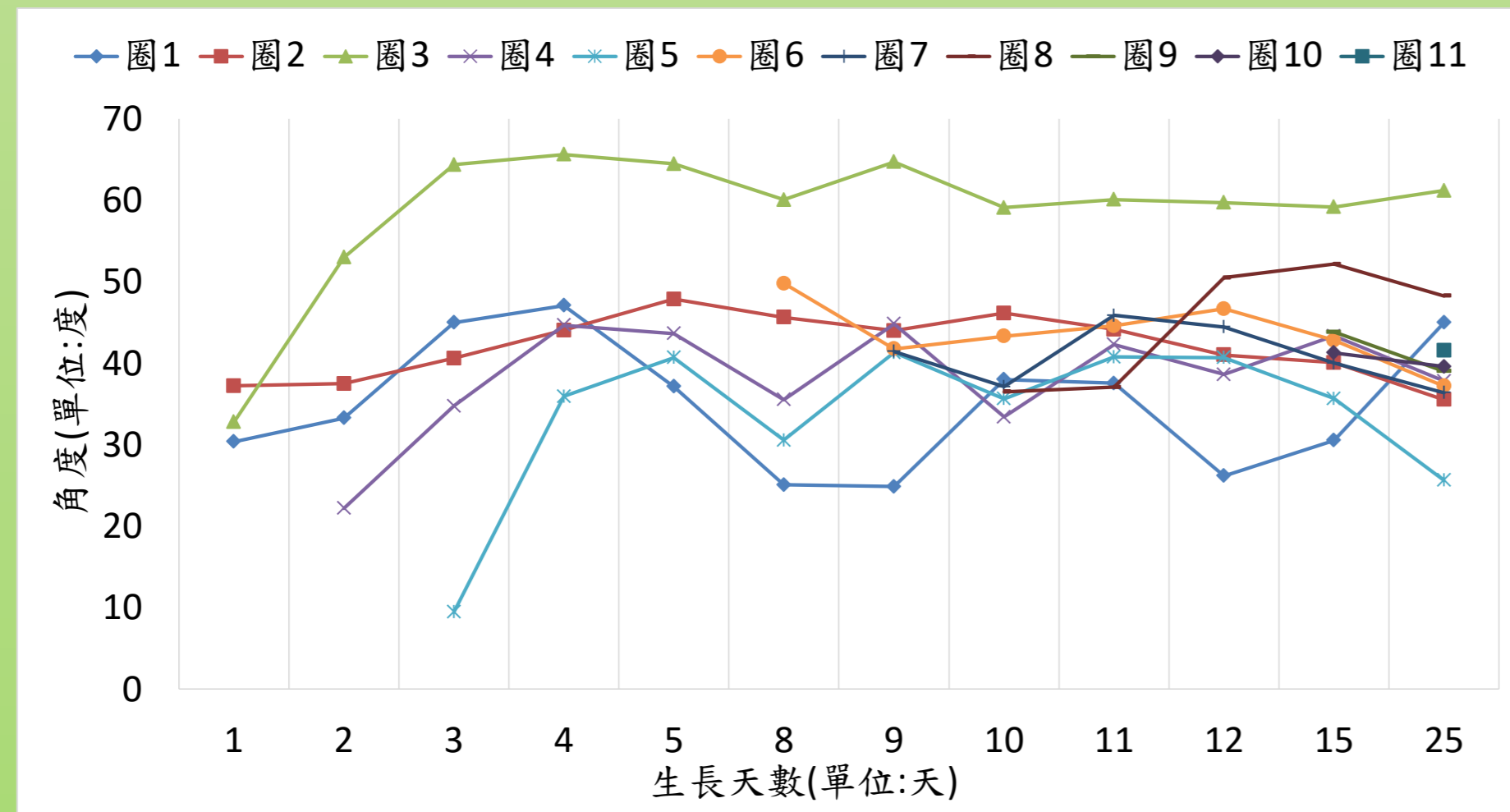
伍、研究結果

一. 海金沙生長形態觀察

- 1. 海金沙葉軸逆時針纏繞個體數大於順時針纏繞個體數。
- 2. 海金沙約從離地150cm處以上開始出現孢子葉。
- 3. 觀察並記錄海金沙分別攀爬於粗細水管的生長情形。
 - 1) 比較海金沙葉軸纏繞於粗、細不同的水管，發現纏繞於粗水管的平均角度小於纏繞於細水管的平均角度。(表一) 表(一)-海金沙葉軸纏繞於粗、細水管平均角度 (纏繞於粗水管與纏繞於細水管之平均角度作t-test, $p < 0.05$)

	樣本1	樣本2	樣本3	樣本4	平均
粗水管	35.3°	39.6°	33.2°	40.4°	35°
細水管	43.6°	49.7°	46.4°	51.2°	47.7°

- 2) 海金沙剛開始纏繞的角度變動較大，生長數天之後纏繞角度漸趨穩定。



圖(四)-纏繞於粗、細水管之海金沙葉軸纏繞角度變化

3) 海金沙葉軸纏繞於粗、細不同的水管，每個螺旋之間的間距，沒有太大的差別。(表二)

表(二)-海金沙葉軸纏繞於粗、細水管平均螺距(cm)
(纏繞於粗水管與纏繞於細水管之平均螺距作t-test, p>0.05)

	樣本1	樣本2	樣本3	樣本4	平均
粗水管	6.03	5.28	6.68	11.9	7.5
細水管	5.68	6.19	6.73	6.77	6.3

4) 海金沙葉軸纏繞於粗、細不同的水管，持續記錄葉軸長度，求其生長速率。(表三)

表(三)-海金沙葉軸纏繞於粗、細水管每日平均生長速率(cm/日)
(纏繞於粗水管與纏繞於細水管之平均生長速率作t-test, p>0.05)

	樣本1	樣本2	樣本3	樣本4	平均
粗水管	2.98	2.89	2.28	5.25	3.35
細水管	3.53	4.07	2.29	2.48	3.09

二. 海金沙葉軸纏繞於水管上的模擬及真實實驗

1. 模擬海金沙纏繞於細水管所能承受的下拉力較大(表四)

表(四)-纏繞於粗細水管上鋁線所能承受的平均最大拉力
(纏繞於粗水管與細水管上鋁線能承受的拉力作t-test, p<0.05, n=15)

	以50° 向上纏繞於細水管	以35° 向上纏繞於粗水管
平均最大拉力(gw)	17.02	10.70

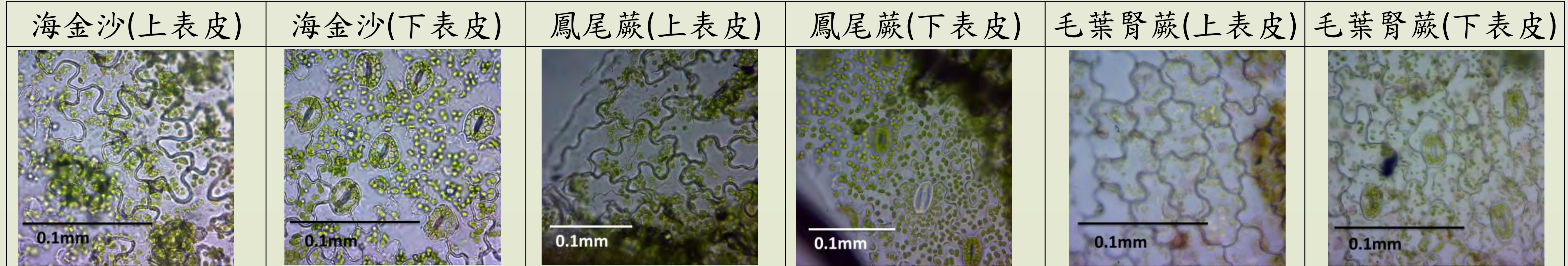
2. 真實海金沙纏繞於細水管所能承受的下拉力較大(表五)

表(五)-纏繞於粗細水管上鋁線所能承受的平均最大拉力
(纏繞於粗水管與細水管上鋁線能承受的拉力作t-test, p<0.05, n=8)

	纏繞於細水管海金沙葉軸	纏繞於粗水管海金沙葉軸
平均最大拉力(gw)	142.70	99.98

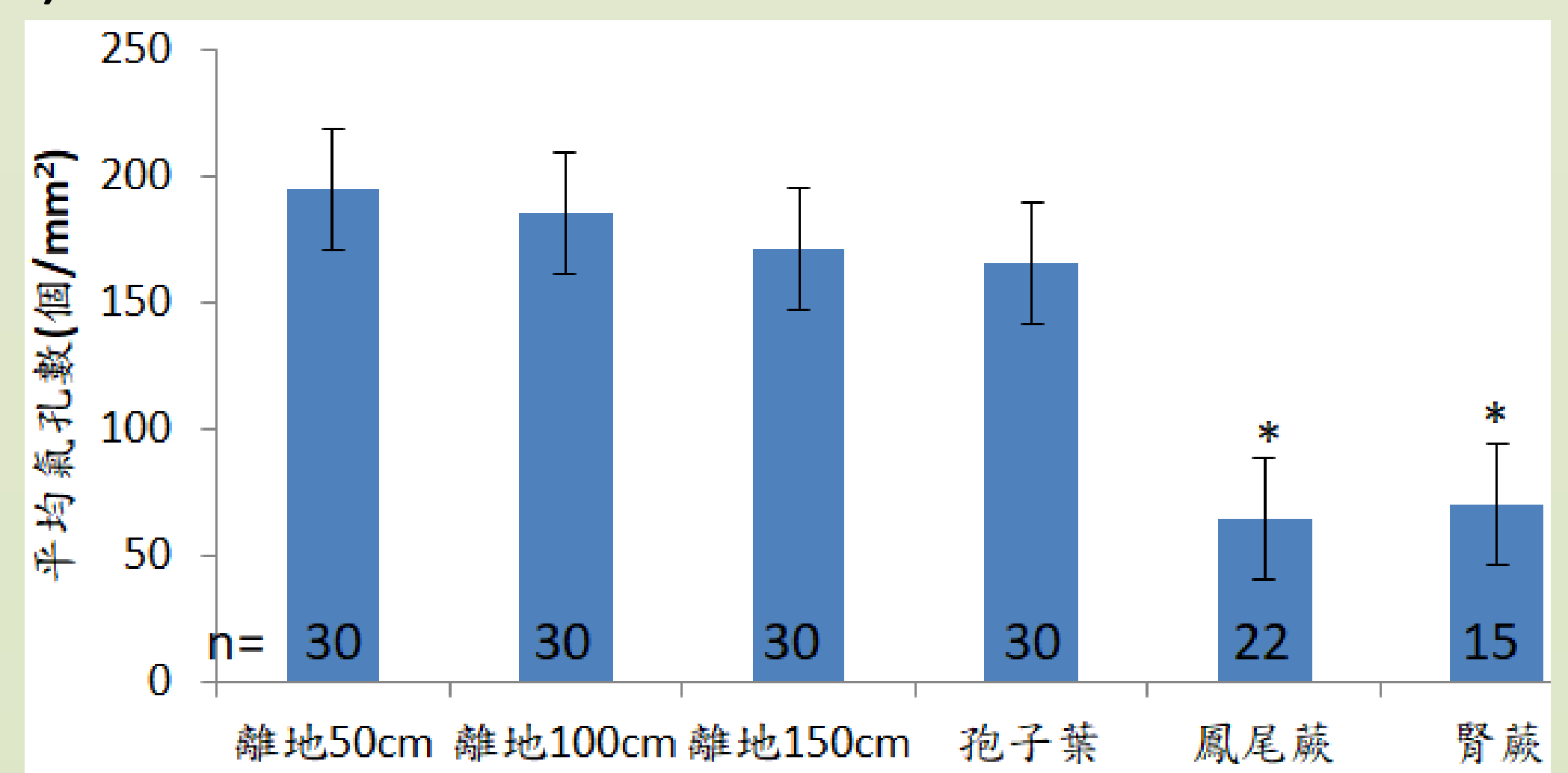
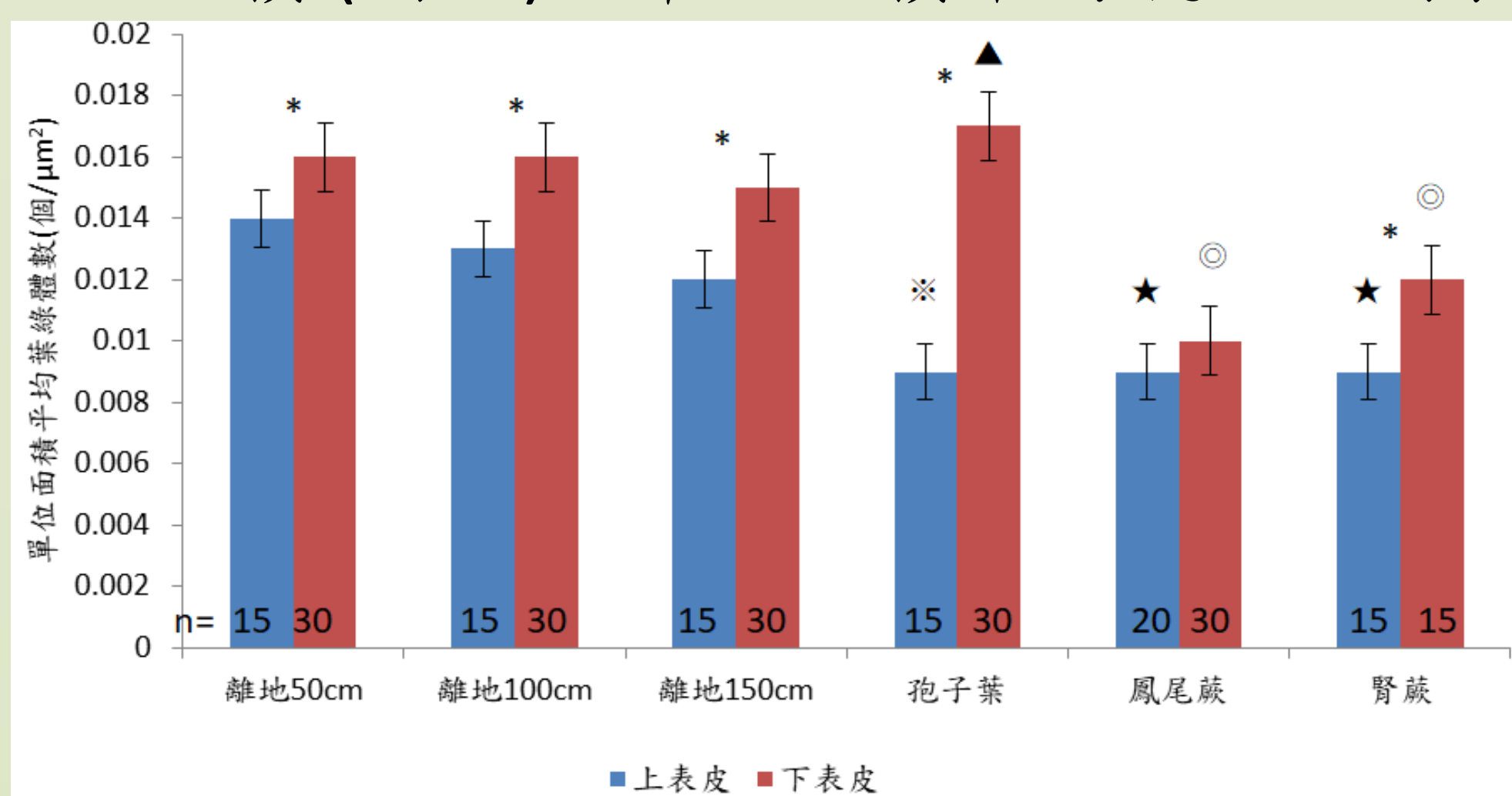
三. 海金沙羽葉及其他種蕨類葉片上、下表皮葉綠體分布範圍、葉綠體數目、氣孔數目及氣孔大小

1. 葉綠體在上表皮集中在細胞邊緣，下表皮分散於細胞內



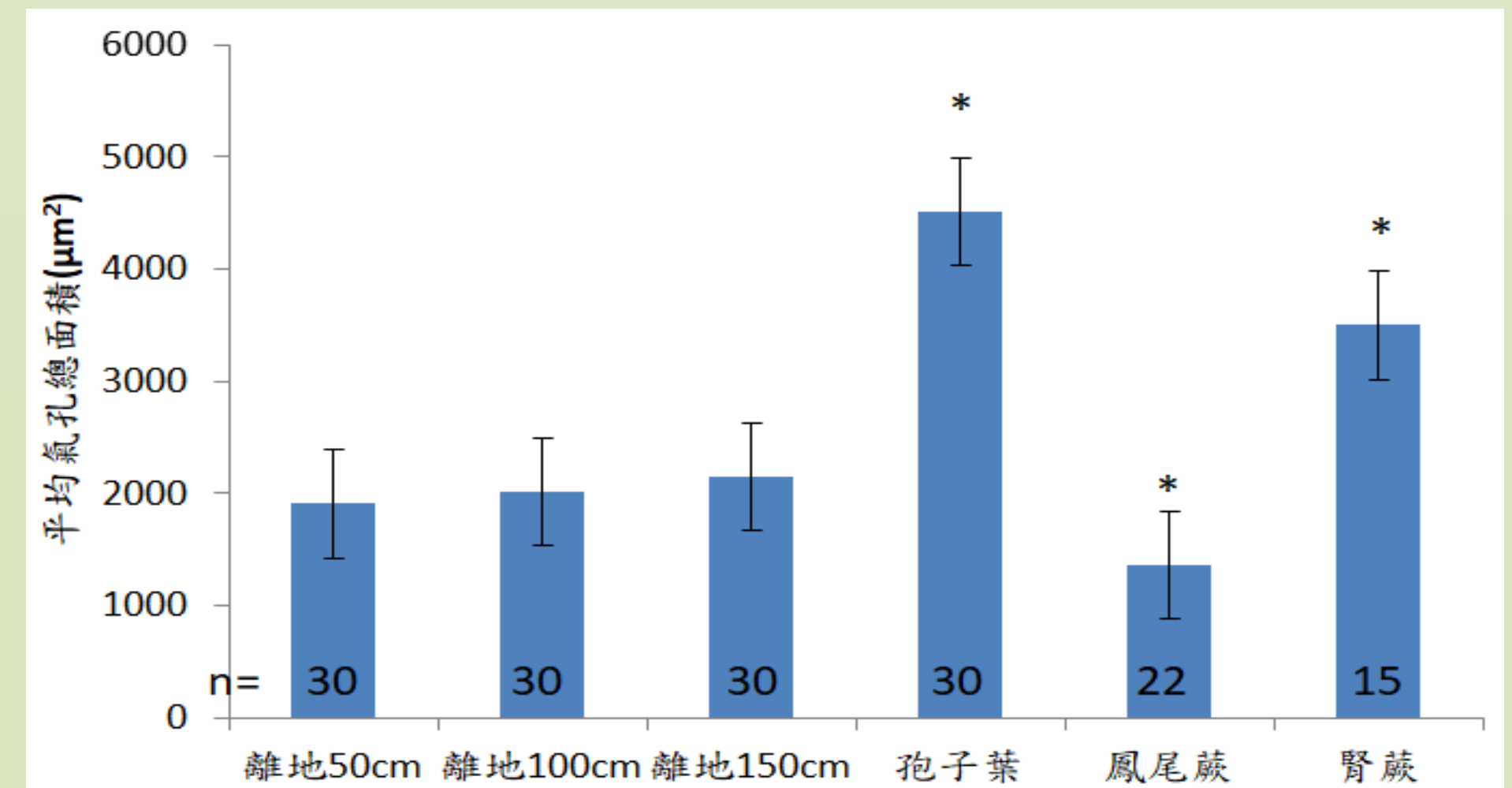
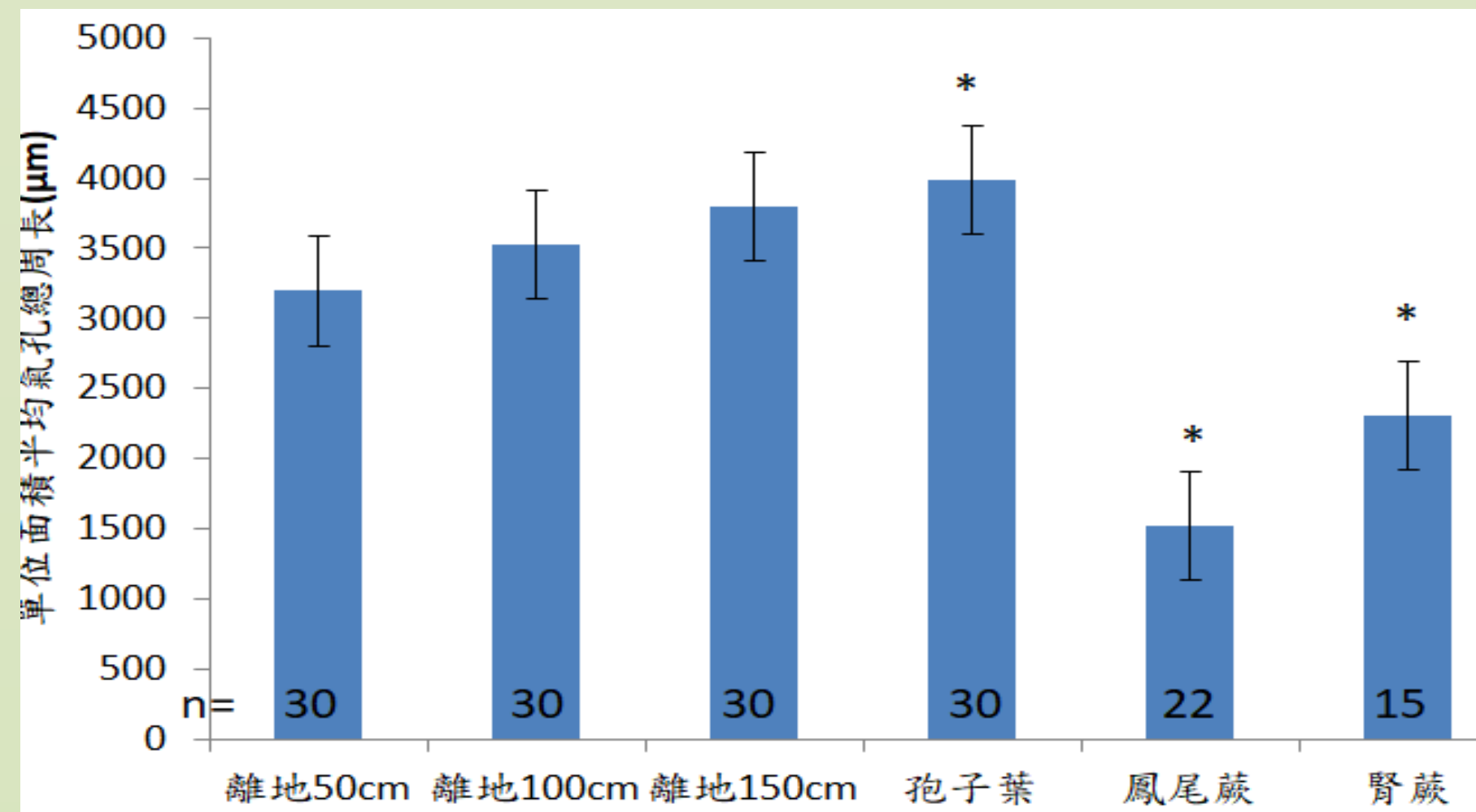
圖(五)-海金沙、毛葉腎蕨、鳳尾蕨葉片上下表皮葉綠體分布範圍

2. 海金沙不同高度羽葉、鳳尾蕨、毛葉腎蕨之上下表皮單位面積平均葉綠體數目(圖六)、單位面積平均氣孔數(圖七)、平均氣孔總面積(圖八)、單位面積平均氣孔總周長(圖九)(n=樣本數)



(左)圖(六)-海金沙不同高度羽葉及孢子葉、鳳尾蕨、毛葉腎蕨之上下表皮單位面積平均葉綠體數(各組上下表皮葉綠體數做t-test, *: p<0.05; 離地150cm羽葉與孢子葉上表皮葉綠體數做t-test, ※: p<0.05; 離地150cm羽葉與孢子葉下表皮葉綠體數做t-test, ▲: p<0.05; 以離地50cm羽葉與其他蕨類葉片上表皮葉綠體數做t-test, ★: p<0.05; 以離地50cm羽葉與其他蕨類葉片下表皮葉綠體數做t-test, ◎: p<0.05)

(右)圖(七)-海金沙不同高度羽葉及孢子葉、鳳尾蕨、毛葉腎蕨之單位面積平均氣孔數(以離地50cm的海金沙羽葉與其他組做t-test, *: p<0.05)



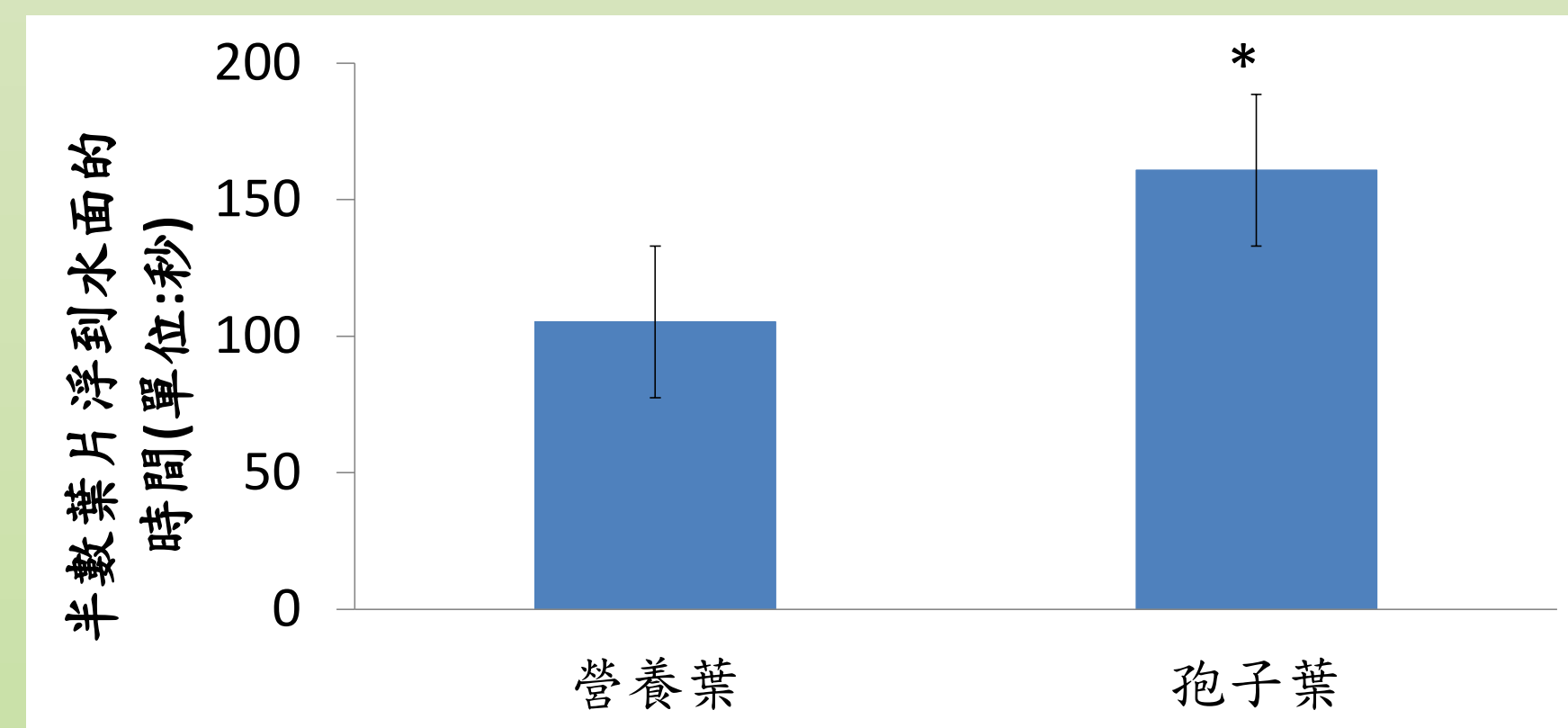
圖(八)-海金沙不同高度羽葉及孢子葉、鳳尾蕨、毛葉腎蕨之單位面積氣孔總面積(以離地50cm的海金沙羽葉與其他組做t-test, *: p<0.05)

圖(九)-海金沙不同高度羽葉及孢子葉、鳳尾蕨、毛葉腎蕨之單位面積氣孔總周長(以離地50cm的海金沙羽葉與其他組做t-test, *: p<0.05)

四. 海金沙營養葉及孢子葉的光合作用及葉綠素含量比較

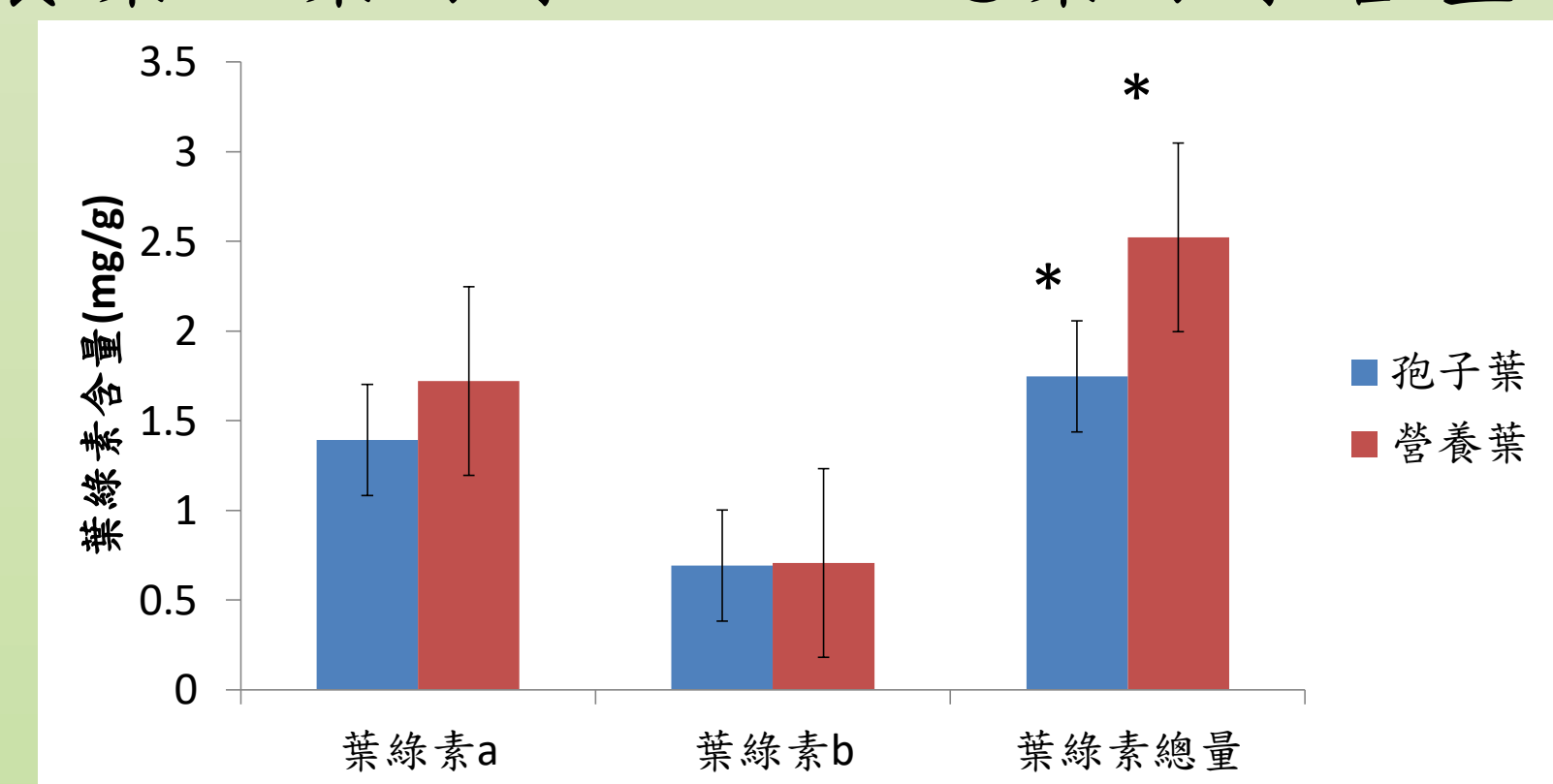
1. 以一半數量葉片錠浮到水面的時間，代表光合作用的速率

2. 海金沙營養葉之葉綠素a、b及總葉綠素含量比孢子葉多



圖(十)-海金沙營養葉及孢子葉光合作用速率比較

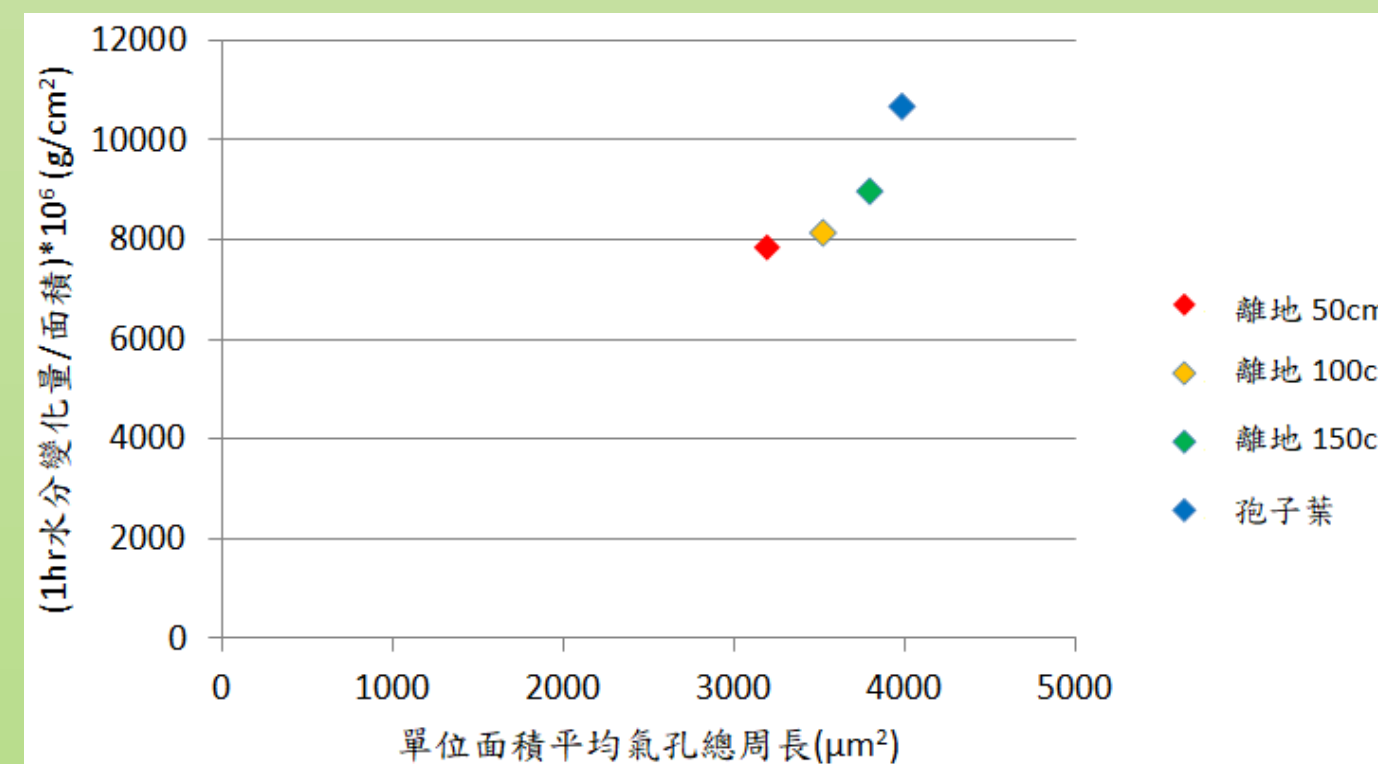
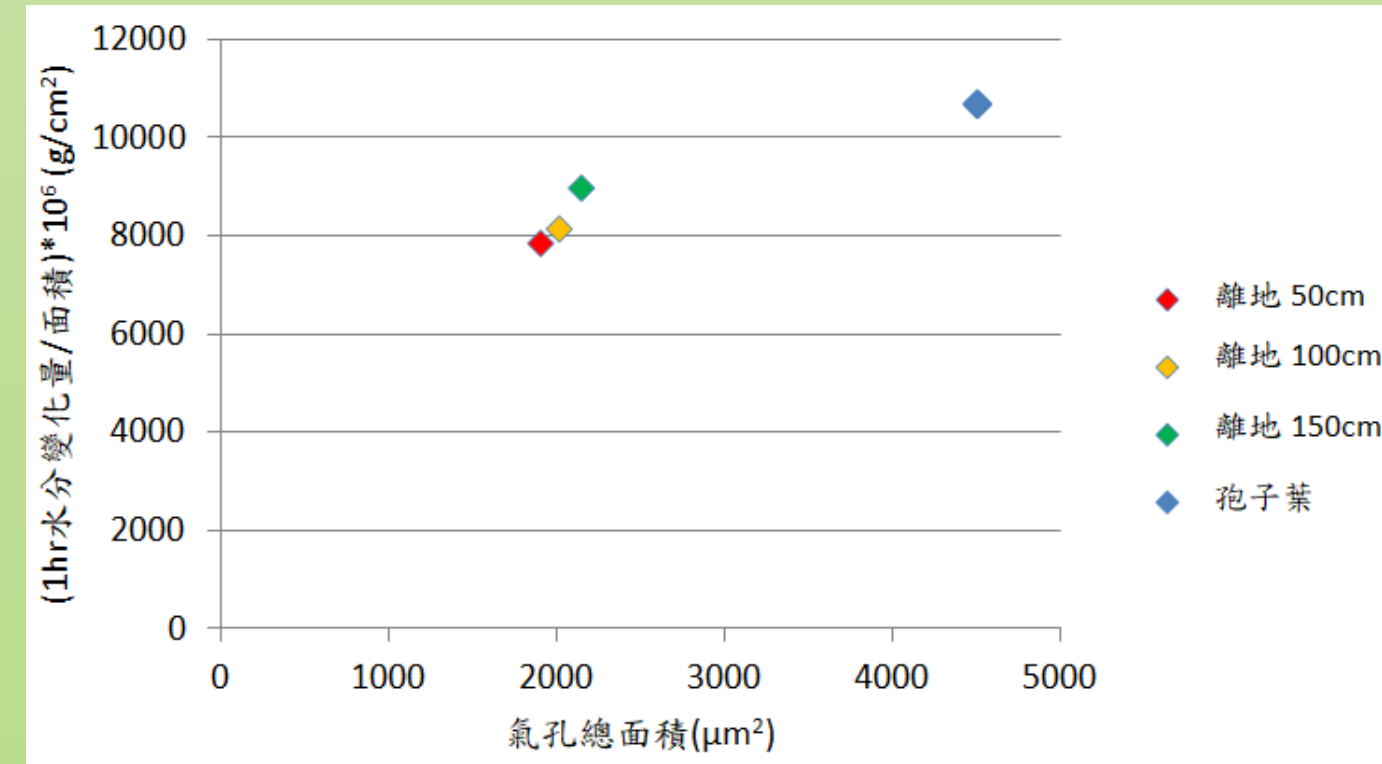
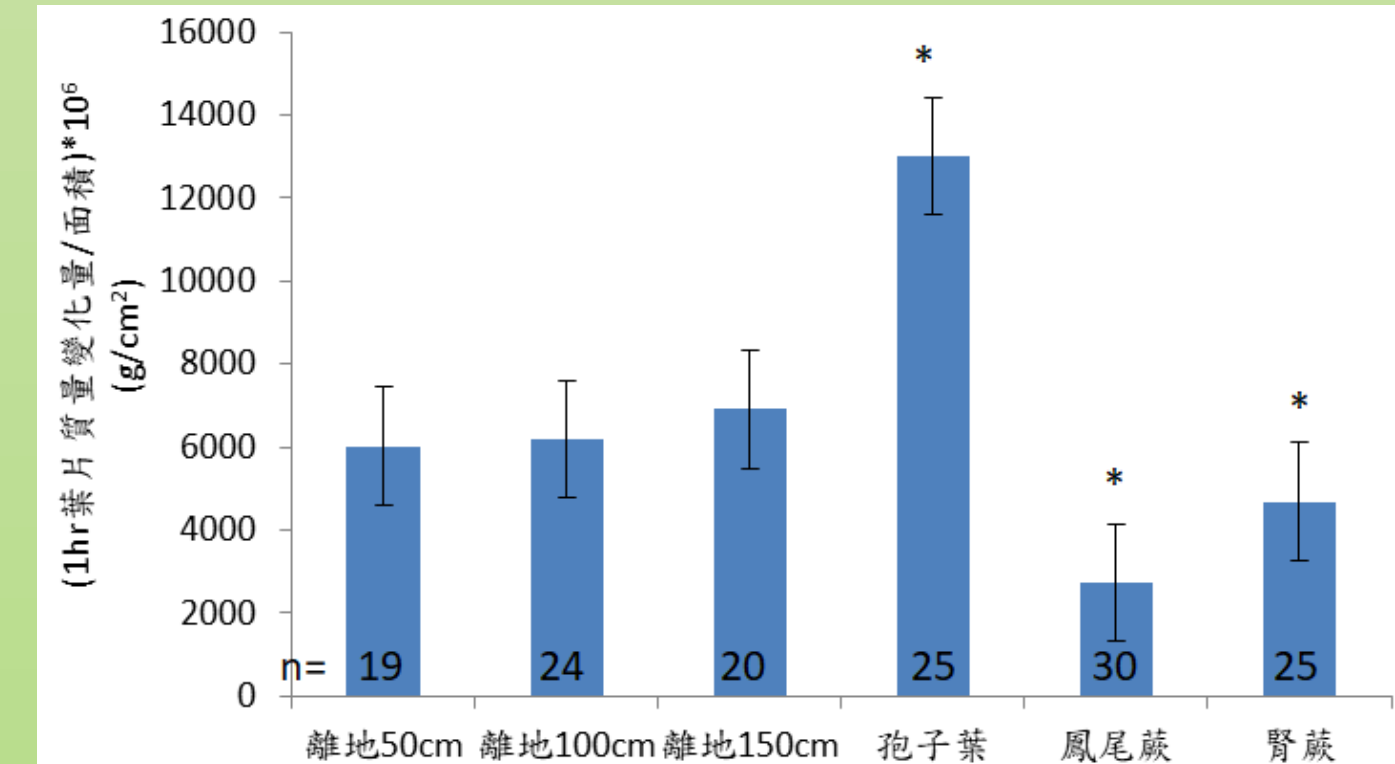
(以海金沙營養葉及孢子葉的光合作用時間作t-test, *: p<0.05, n=10)



圖(十一)-海金沙營養葉及孢子葉葉綠素a、葉綠素b以及葉綠素總量比較

(以海金沙營養葉及孢子葉的葉綠素總量作t-test, *: p<0.05, n=10)

五. 海金沙與其他蕨類蒸散作用比較



	氣孔總周長	氣孔總面積	蒸散速率
離地100cm	1.10292	1.05744	1.03729
離地150cm	1.18844	1.12638	1.14334
孢子葉	1.24783	2.36413	1.35999
鳳尾蕨	0.4762	0.17443	0.34806
毛葉腎蕨	0.72228	1.83439	0.59745

(左)圖(十二)-海金沙不同高度羽葉及孢子葉、鳳尾蕨、毛葉腎蕨之蒸散速率以離地50cm的海金沙羽葉與其他組做t-test, *: p<0.05 (n=樣本數)

(中)圖(十三)-海金沙蒸散速率與平均氣孔總面積關係圖 (右)圖(十四)-海金沙蒸散速率與單位面積平均氣孔總周長關係圖

表(六)-以離地50cm海金沙作為基準，比較離地不同高度海金沙營養葉及孢子葉、毛葉腎蕨、鳳尾蕨的蒸散速率、氣孔總周長、氣孔總面積變化比率

六. 海金沙、毛葉腎蕨及鳳尾蕨維管束橫切面觀察



圖(十五)-海金沙羽葉葉軸、毛葉腎蕨葉柄、鳳尾蕨葉柄橫切面

陸、討論

海金沙生長型態觀察

- ①葉軸攀爬角度：細水管>粗水管
- ②生長速率、螺距：粗水管 \approx 細水管
→當海金沙要生長至某一定高度時，因為生長速率、螺距在粗細水管上沒有顯著差異，在細水管上攀爬角度較大的海金沙可以較快到達高處

海金沙生長模式：為了爬得夠快以得到較多陽光，海金沙可能傾向攀在較細的攀附物上

由實驗二：海金沙葉軸在細水管上能承受的下拉力較大

葉綠體分布範圍,數目,葉綠素含量以及光合作用效率比較

由實驗三：海金沙表皮細胞葉綠體總數較其他蕨類多
→海金沙光合作用效率可能較好

上表皮葉綠體多集中於細胞邊緣
→下表皮有更大的面積不被上表皮的葉綠體擋住，使陽光能更容易達到下表皮，以此來增加行光合作用的面積

- ①單位面積葉綠體總數：營養葉>孢子葉
- ②光合作用速率：營養葉>孢子葉
- ③葉綠素總量：營養葉>孢子葉
→海金沙主要行光合作用的器官是營養葉，而孢子葉的功能主要為形成孢子來繁衍下一代，並非行光合作用

氣孔數目、面積、周長以及不同高度海金沙羽葉與其他蕨類蒸散作用比較

蒸散速率：生長位置越高的葉片蒸散速率越快
→植物要運輸水分至頂端，越遠端的葉片蒸散拉力應較強

由圖(十三)、圖(十四)、表(六)：距離地面不同高度的海金沙羽葉，當氣孔總面積越大、氣孔總周長越長，蒸散速率也會越快，且氣孔總周長與蒸散速率又更趨近於比例關係

- ①蒸散速率：海金沙>毛葉腎蕨、鳳尾蕨
- ②單位面積平均氣孔總周長：海金沙>毛葉腎蕨、鳳尾蕨
→氣孔總周長的增加，可能是海金沙蒸散速率高於其他兩種蕨類的原因之一

海金沙葉軸與其他種蕨類的維管束橫切面構造

由實驗五：海金沙葉軸橫切面的木質部面積較毛葉腎蕨、鳳尾蕨大
→相同時間內，海金沙能輸送較多的水分

柒、結論

攀爬實驗

纏繞於細水管：
1. 攀爬角度較大
2. 葉軸能承受的下拉力較大

容易到達特定高度，對生長可能較有利

蒸散作用實驗

1. 蒸散作用速率：海金沙>腎蕨及鳳尾蕨，離地越高越快
2. 蒸散速率越快，氣孔總周長及總面積越長、越大

海金沙蒸散確實較強

光合作用實驗

1. 光合作用速率：營養葉>孢子葉
2. 葉綠體分布：上表皮→集中細胞邊緣、下表皮→平均分散
3. 葉綠體數目：下表皮>上表皮
4. 葉綠素含量：營養葉>孢子葉

葉軸橫切面

1. 管胞數：海金沙>腎蕨及鳳尾蕨
2. 橫切面積：海金沙>腎蕨及鳳尾蕨

捌、參考資料及其他

- 一. 林冠璋。植物的神秘孔道-氣孔與蒸散作用。國立台中一中。
- 二. 盧靖衡等。自然界的控溫大師-葉子。市立內湖高中。
- 三. 51屆科展作品說明書，高中組生物科，以碎形理論解釋植物的生長形態。
- 四. 51屆科展作品說明書，高中組生物科，蕨類孢子傳播機制之探討。
- 五. 52屆科展作品說明書，高中組生物科，蕨類氣孔系之型態研究。
- 六. 2015國際科展科展作品說明書，以碎形理論解釋植物的生長形態。
- 七. 邱子芸、邱文良、黃曜謀。2013。假紫萁營養葉與孕性葉物候差異。台灣生物多樣性研究台灣生物多樣性研究15(4): 311- 322。
- 八. Roberts, M., Reiss, M. and Monger, G. (2004). *Advanced biology*. Walton-on-Thames: Nelson.
- 九. 蔡智賢(2008)，國立嘉義大學園藝學系植物生理學實驗，取自 <http://web.ncyu.edu.tw/~jstsay/physiol/phyexp/expp04.htm>