

臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：植物學

作 品 名 稱：南國田字草的型態生理與睡眠運動之研究

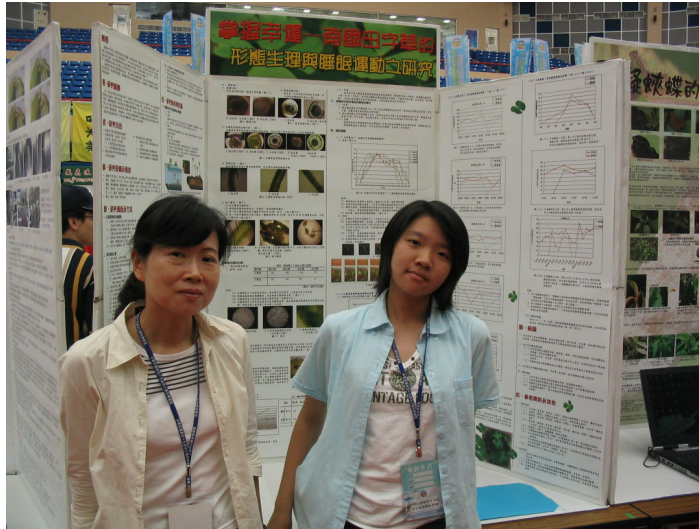
學校 / 作者：臺北縣立福和國民中學 林冠伯
臺北縣立福和國民中學 葉雅瑄

作者簡介



我的名子叫做林冠伯，現在就讀於台北縣福和國中九年級，父母都是老師，從小就常常培養我對科學研究的精神，國小時就讀於資優班，更是培養我們專題研究的能力，之前也多次參加中華民國科展，也都能有不錯的成績。

參加國際科展，雖然得付出很多時間在研究、寫報告上，但卻讓我受益匪淺，學到很多別人不會的知識與技術，更了解到「科學」的奧秘，不管最後我們是否能達到評審的標準，對我而言這都是一次無價的學習經驗。



我的名字是葉雅瑄，現就讀於福和國中三年級，在因緣際會下認識了一群對生物有著極高興趣的同學和老師，帶領我進入生物這浩瀚無邊的領域，也讓我對「生物」產生濃厚的興趣。

這是我第一次參加國際科展，實驗的過程中常因不熟悉而耗上雙倍的時間，也從中認知從事研究並非輕鬆之事。雖然過程艱辛，但整個經驗是我生命中一份盛大且珍貴的禮物。

The study on the morphology, physiology and sleep movement of

Marsilea quadrifolia

英文摘要 (Abstract)

Marsilea quadrifolia, an aquatic perennial rhizomatous fern, is widespread on wetlands in Taiwan. A normal fern frond has the clusters of spore capsules on the back, yet *Marsilea quadrifolia* reproduces clusters at petiole base from sporocarps which are axillary, pedicellate, ovate and hairy; both microsporangia and megasporangia can be found in sporocarps. It is highly polymorphic. The sterile fronds are erect when growing in mud, and floating in water, and they produce leaflets in the shape of four-leaf clovers. Mature leaves are divided into water leaves and terrestrial leaves according to living environments. Water leaves are divided into submerged leaves, floating leaves, and emergent leaves. These four kinds of leaves have obvious differences in stoma density. The submerged leaves have the least starch which means they have the minimum photosynthetic efficiency.

The flexible leafstalks allow the plants to adapt to small changes in water level, while keeping their leaves on the water surface to access light and carbon dioxide. Thus, heterophylly may be seen as an adaptive mechanism which is sensitive to some environmental parameters and that responds accordingly to maximize the capability for survival. The terrestrial leaves have periodic sleep movement according to the alternate changes of day and night. The biggest opening angle is related to a definite leaf closing time cycle. Light interference during the dark period, continuous lighting, or the reversing of day and night all interfere the opening time and speed of them.

中文摘要

南國田字草是一種浮葉性、多年生水生蕨類，匍匐莖細長橫臥在水中泥土或濕地裡，葉四枚對生於葉柄頂端，依生長環境不同，可分為水生葉及陸生葉，水生葉又分沉水葉、浮水葉及挺水葉三種。孢子囊群聚集特化成堅硬的孢子囊果，長於葉柄基部，孢子有大、小孢子兩型。四種異型葉在內部構造、氣孔分布密度上皆有相當的差異，以適應環境的變化，葉片澱粉含量以沉水葉最少。

南國田字草陸生葉隨著晝夜交替，具有週期性的睡眠運動，每天葉片開啓的最大角度和

閉合時間有一定的時間範圍。黑暗期受光照干擾或連續照光、日夜顛倒，皆影響葉片的開閉時間與速率。

壹、前言

一、研究動機

在一次永和社區大學生態之旅中，我們在中正橋下的水池中央，發現了一大片長得很像酢漿草的水生植物。詢問老師後，才知道它們叫做『南國田字草』，果然草如其名。它們是一種蕨類植物，和我們在自然實驗課時觀察的「蕨」外形不一樣，孢子囊的位置也不一樣，後來又發現他們也可以長在水池邊的陸地上呢！好個『雙棲植物』，有趣的是，它們也有睡眠運動耶！這個讓我們驚喜連連的南國田字草，使我們更想認識它們，於是利用課餘時間，開始一連串的研究。

二、研究目的

- 1.南國田字草形態與構造的觀察。
- 2.四種異型葉(沉水葉、浮水葉、挺水葉、陸生葉)的比較：
 - (1) 異型葉氣孔密度的比較。
 - (2) 異型葉澱粉含量的比較。
- 3.探討南國田字草於環境改變時氣孔密度的變化。
- 4.探討南國田字草的睡眠運動：
 - (1) 觀察正常晝夜下睡眠運動的日規律性。
 - (2) 觀察黑暗期被打破的睡眠運動。
 - (3) 觀察連續照光情況下的睡眠運動。
 - (4) 觀察日夜顛倒情況下的睡眠運動。

貳、研究設備及器材

一、南國田字草來源：永和社區大學之生態實驗農場、台北植物園(皆經由許可而後取得)。

二、器材：

昆蟲箱(29 X 25 X 20 cm)、花盆、數位相機(sony DSC P5)、數位攝影機(sony)、複式顯微鏡、解剖顯微鏡、顯微測微器、南寶樹脂、110V, 27W 日光燈、110V, 27W 黃燈、光度計、量角器、分光光度計、磨鉢、溫度計、溼度計、燒杯、廣用試紙、刀片、1000 ml 量筒、勺子、濾紙、酒精燈、陶瓷纖維網、漏斗、電子秤。

三、藥品：碘液、澱粉、95%酒精。

參、研究過程及方法

一、生長環境與形態觀察

1. 移植：到永和社區大學的生態實驗農場，移植一些南國田字草栽植於昆蟲箱，並分成水生與陸生植株(每盆約 50 株，共 10 盆)。
2. 觀測本校、社大生態實驗農場、植物園內的水質酸鹼度、日照情況、流動性，並比較三地的南國田字草生長情況。

3. 選取水生與陸生植株各四株，每日觀察捲曲幼葉至成葉的成長過程，並繪圖拍照攝影。
〈觀察記錄 10-20 天〉
4. 徒手切片觀察根、匍匐莖、葉、葉柄、孢子囊果之內部構造並拍照。

二、異形葉的比較

1. 氣孔形態、分布及密度

- (1) 分別取南國田字草的四種異型葉：陸生葉、挺水葉、浮水葉、沉水葉，並把水份吸掉。
- (2) 以樹脂印模法取得四種葉型的上下表皮印模，觀察小葉的表皮細胞與氣孔。
- (3) 氣孔密度的測量
 - a. 取 7-10 個視野(150 X)，計算視野內氣孔的數量。
 - b. 以數位相機拍下氣孔分布的畫面後，輸入電腦，利用 ACDSsee 軟體與 PhotoImpact 軟體，輔助計算視野內的氣孔數目。

2. 澱粉定量比較

(1) 葉片中澱粉測定

- a. 分別取南國田字草的四種異型葉各一株，只取其四片小葉的部分。
- b. 將葉片放入沸水中加熱兩分鐘。
- c. 改放入酒精中，隔水加熱至葉片顏色褪至近白色。
- d. 將葉片放入沸水中漂洗。
- e. 取出葉片，平放在培養皿中，滴取碘液於葉片上，觀察四種異型葉的碘液顏色變化。

(2) 定量澱粉試驗

- a. 分別取南國田字草的三種葉型：陸生葉、挺水葉、浮水葉，並把水份擦乾後，置於電子天平稱取各 0.5 克。
- b. 重複 (1) 中 b.- d. 步驟。
- c. 取出葉片，置於磨鉢中，加 5 ml 蒸餾水，磨碎成漿狀。
- d. 用濾紙過濾，將濾液收集待用。
- e. 另取澱粉加蒸餾水，配製 0.5 mg/ml 的標準澱粉溶液，並往下稀釋配成 0.25, 0.125, 0.625 mg/ml 等三種濃度。
- f. 分別取 4 ml 上述澱粉溶液，各加入 0.05 ml 碘液，混合均勻後，以分光光度計測量在波長為 600 nm 時的吸光值，依其吸光度和濃度之關係，繪一標準曲線圖。
- g. 將三種異型葉 4 ml 之過濾液，分別加入 0.05 ml 碘液，混合均勻後，測量其吸光值大小，由標準曲線內找其澱粉濃度。

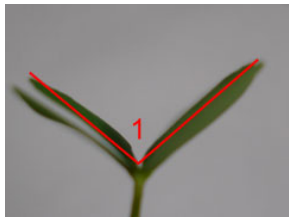
三、南國田字草於環境改變時氣孔密度的變化

1. 將陸生植株移至昆蟲箱中，水深為十公分，栽植至產生沉水葉。
2. 於七天及十四天後，取一株沉水葉植株，用樹脂轉印法，轉印其葉上下表皮，觀察氣孔分布情況，並計算單位面積內氣孔數目。

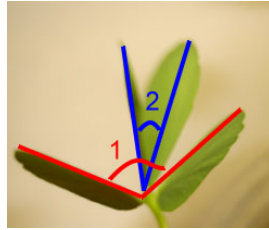
四、睡眠運動之相關研究 (93 年 12 月初至 94 年 5 月底)

1. 觀察正常晝夜下，南國田字草睡眠運動的周期性

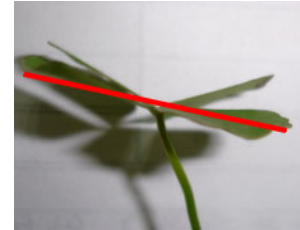
從早上開啓一直到晚上閉合過程中，隨機選取盆中十株植株，利用量角器測量田字草四片小葉的開闔角度，取其平均值，同時記錄觀察時間及光線強度，並用數位攝影機，每十分鐘定點拍攝睡眠運動之開闔情況。



$\angle 1$



$(\angle 1 + \angle 2) / 2$



180 度

圖一 角度測量方式

2. 打破南國田字草的黑暗期對睡眠運動的影響

(1) 夜晚照光時數長短，對其隔天睡眠運動的影響

- 準備南國田字草四盆，一組為對照組(A)，三組為實驗組(B、C、D)。
- 四盆先都置於室外，於晚上南國田字草小葉完全閉合後，將三盆實驗組移入室內，給予 110V, 27W 日光燈，距離十五公分光照，夜晚照光時間分三組如表一。
- 觀察照光期間，測量小葉張合角度。
- 將實驗組三盆(已照光 2h、4h、6h 後)再移至室外，繼續觀察並測量小葉在第二天的開闔角度與時間，並與對照組做比較。

表一：打亂黑暗期之夜晚照光時間處理方式

組別	照光來源：110V, 27W 日光燈
對照組(A)	置於正常室外環境
實驗組(B)	於 18:00~20:00 照光(兩小時)
實驗組(C)	於 18:00~22:00 照光(四小時)
實驗組(D)	於 18:00~24:00 照光(六小時)

(2) 在不同光照來源下，對其隔天睡眠運動的影響

- 準備南國田字草兩盆，一組為對照組，二組為實驗組。
- 三盆先都置於室外，於晚上南國田字草閉合後，將兩盆實驗組移入室內，一組給予 110V, 27W 黃光，另一組給予 27W 白光，距離十五公分光照，夜晚照光時間六小時(18:00-24:00)。
- 觀察照光期間，測量小葉張合角度。

- d. 照光六小時後，將兩盆實驗組再移至室外，繼續觀察第二天小葉開闔角度與時間，並與對照組做比較。
3. 在連續光照對其睡眠運動的影響
 - (1) 準備南國田字草兩盆，一為對照組，一為實驗組。
 - (2) 給予實驗組 110V, 27W 日光燈，距離十五公分光照，連續光照五天。
 - (3) 觀察五天中是否仍有睡眠運動，記錄小葉開闔的時間與角度是否有所不同。
4. 日夜顛倒，對其睡眠運動的影響
 - (1) 準備一盆南國田字草。
 - (2) 於夜晚 18:00 至次日清晨 6:00 給予 110V, 27W 日光燈，距離十五公分照光，清晨 6:00 後移入黑暗紙箱中至夜晚 18:00。(12 小時光照期，12 小時黑暗期)
 - (3) 日夜顛倒一天後，第二天全日給予黑暗處理，記錄葉片第二天開闔的角度與時間。
 - (4) 重複以上 1-3 步驟，進行日夜顛倒兩天、日夜顛倒三天，觀察與記錄隔天睡眠運動是否會重新建立新的習慣。

肆、研究結果與討論

一、南國田字草生長環境與形態觀察

1. 簡介：

(1) 分類：

南國田字草學名為 *Marsilea quadrifolia*，屬於植物界，蕨類植物門，田字草科，田字草屬，全世界有 3 屬 53~75 種，但台灣只有一屬一種。

(2) 習性：

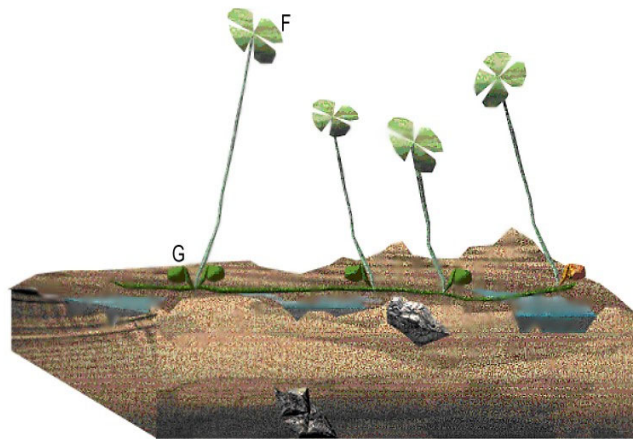
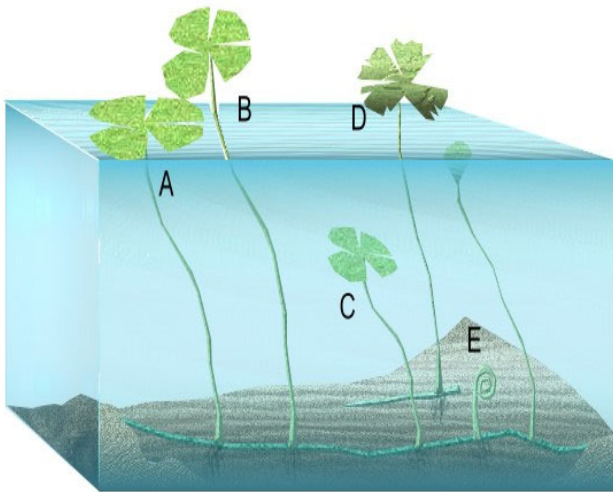
在台灣原本常見於低海拔池塘、水田、濕地，但由於除草劑的使用，現在出現的機率大為減少。

(3) 特徵 (圖二)：

- a. 為多年生草本蕨類植物。
- b. 屬於浮葉型的水生植物，其根與莖需著生於土中，根莖長匍匐狀。
- c. 葉由四片小葉對生於葉柄頂端，小葉呈扇形，排列形狀像田字。
- d. 分為水生葉和陸生葉，水生葉又有沉水葉、浮水葉和挺水葉三種型態。
- e. 孢子囊果有柄，長於葉柄基部。

(4) 四種異型葉生長環境 (圖二)：

- a. 陸生葉：植株生長在溼地上。
- b. 挺水葉：植株的根固定在水中泥土裡，而葉挺出水面。
- c. 浮水葉：植株的根固定在水中泥土裡，葉片則平貼浮在水面上。
- d. 沉水葉：整個植株沉浸在水中，但葉片不會長出水面。



(A 浮水葉 B 挺水葉 C 沉水葉 D 裂葉 E 幼葉 F 陸生葉全緣 G 孢子囊果)



圖二 南國田字草外觀

2. 生長環境的比較：

(1) 結果如表二、圖三：

表二：不同生長環境的比較

生長地點	永和社大生態農場	台北植物園	學校水族箱中
水質酸鹼度	pH~7	pH~7	pH~7
水質流動性	靜水	靜水	靜水
日照程度	無遮蔽，充足	無遮蔽，充足	窗邊，光線中等
植物型態	<ul style="list-style-type: none"> □陸生型。 □小葉葉緣有全緣及撕裂狀兩型。 □有許多綠色孢子囊果。 	<ul style="list-style-type: none"> □陸生型與水生型。 □水生型多是浮水葉與挺水葉，沉水葉較少。 	<ul style="list-style-type: none"> □陸生型與水生型。 □沉水葉多易枯黃。 □小葉大小比前兩地小。 □水中有一些小型纖毛蟲。



A 植物園



B 永和社大生態農場



C 水族箱

圖三 生長地

(2) 討論：

- a. 社大生態農場南國田字草的生長環境原本是水塘，現在是人為力量所造成之枯水期，所以田字草成為陸生型葉，再加上我們採集的季節為冬天，推測環境由淹水改變成淺水溼地再加上冬季寒冷，是我們發現長有孢子囊果的原因。
- b. 觀察的十二月至三月期間，植物園與我們種植的沉水葉大多呈現枯黃，推測可能與冬季季節日照不夠充足有關。
- c. 由參考資料九得知：夏季水分充足時，整個個體呈營養葉狀態，不會結出孢子囊果。冬季水不足時，生長環境不良，於是紛紛由葉柄基部長出孢子囊果，準備渡過嚴冬。

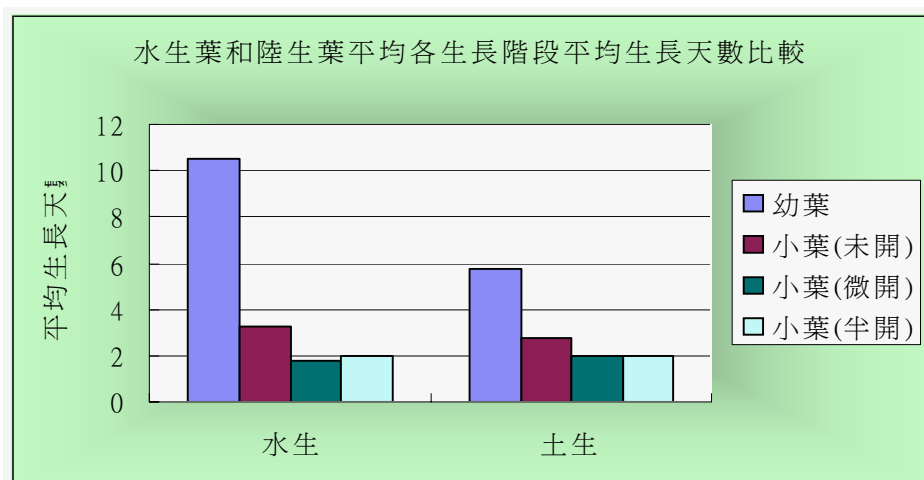
3. 成長情形：

(1) 葉成長觀察：表三

表三：南國田字草葉片各生長階段的區分及說明

生長期	幼葉期 (幼葉)	小葉期			成葉(全開)
		小葉(未開)	(微開)	(半開)	
說明	捲曲狀，以莖捲裹著未成熟的小葉	小葉挺出，不再被莖捲裹著；四片小葉合併尚未開展	小葉微張成二片狀，或四片微開	有同側之二小葉全張近似水平狀，另二片同側之小葉尚未全開	四片小葉呈水平狀張開
圖示					
小葉張合角度	0度	未開 0度	角度 < 90°	同側小葉： 2片約呈180度 另2片 < 180度	180度

(2) 水生葉和陸生葉生長觀察比較 (圖四、圖五、圖六)：



圖四、水生葉與陸生葉各階段平均生長天數比較

說明：

- 水生葉長至成葉所需的平均生長天數較陸生葉多。
- 幼葉期之生長天數，水生葉明顯較陸生葉為長，是否因為水中光照較差，幼葉期延長，累積足夠的生物量才能長成小葉。
- 小葉期之生長天數，水生葉與陸生葉天數差異不明顯。



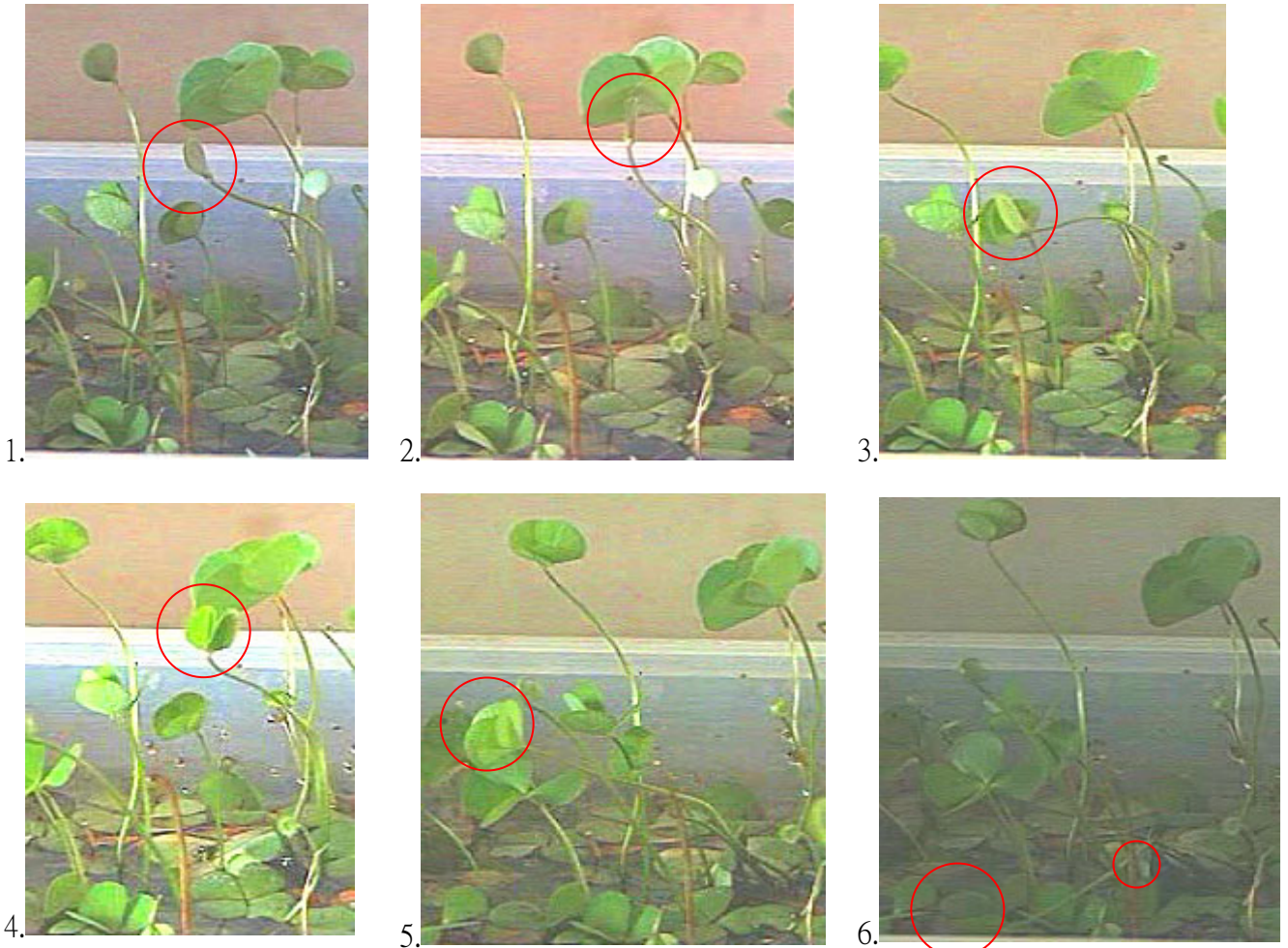
晚上 10 : 00

早上 7 : 40

中午 12 : 05

下午 2 : 00

圖五、沉水葉葉柄生長情形(一日內變化) ※動態請見報告後所附光碟



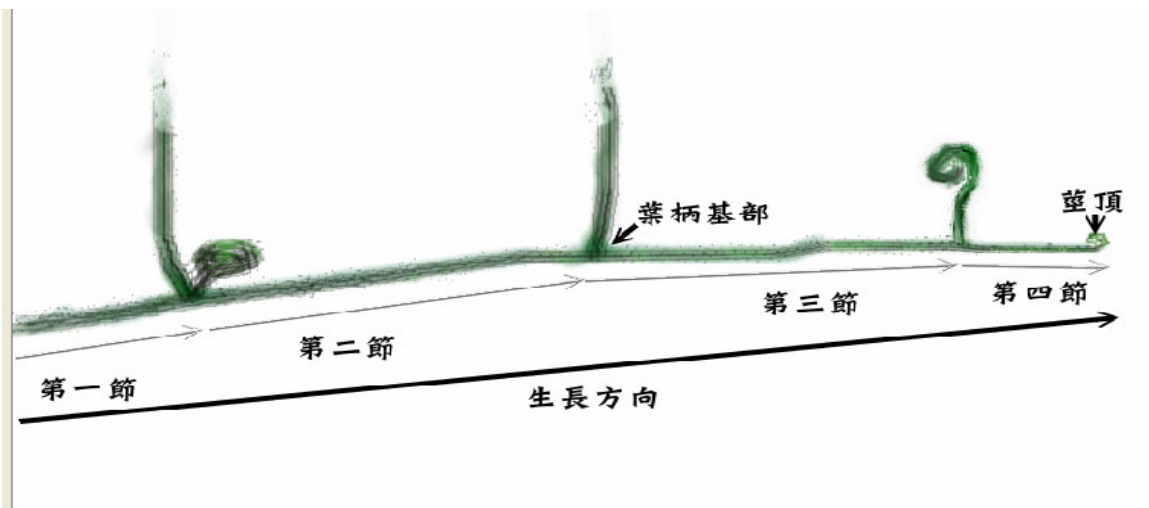
圖六、挺水葉彎折而成浮水葉之連續照片(一天內的變化) ※動態請見所附光碟

說明：

- a. 沉水葉只要四片小葉張開，葉柄便停止生長。
- b. 將陸生植株移植在水族箱中(水深 30 cm 以上)，葉柄生長速度快而細，長至水面時，葉柄無法挺出液面，小葉會直接張開成浮水葉。(圖五)
- c. 若將陸生植株移植在水較淺的水族箱中(水深 15cm)，葉柄會挺出水面，一段時間後，葉柄彎折，小葉浮於水面。(圖六)

(2) 匍匐莖的觀察：(圖七)

- a. 匍匐莖細長，莖上有細毛。
- b. 觀察匍匐莖生長速率只以水生植株為主，因為陸生植株的匍匐莖埋在土中，不方便測量。
- c. 莖上各小節以尖端(最末節)的生長速率最快。
- d. 當長出第三節時，第一節的生長速度趨緩或停止生長。
- e. 當第四節長出時，第二節成長趨緩，第一節則完全停止生長。

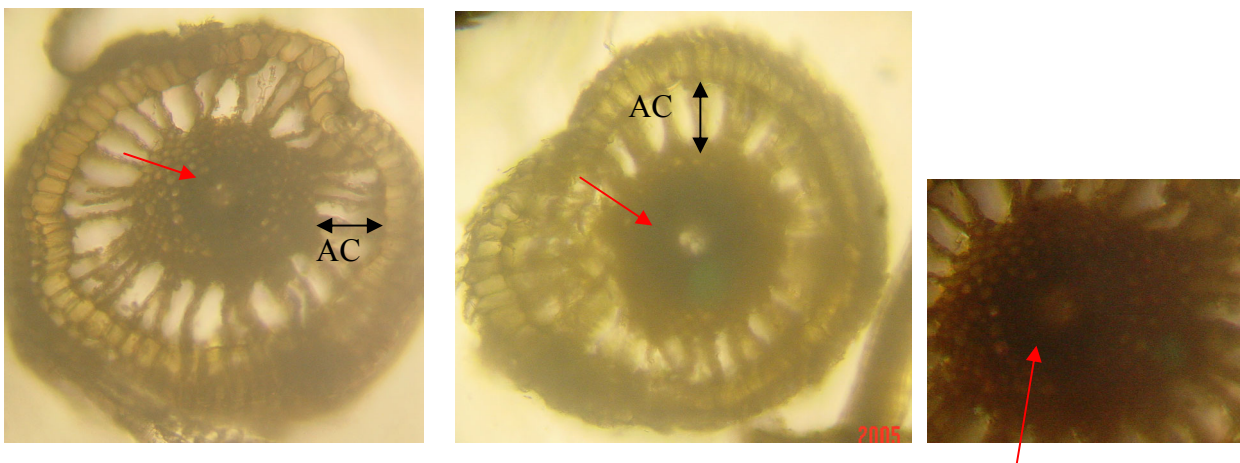


圖七、 匍匐莖手繪示意圖，前端成捲曲

4. 顯微鏡下：

(1) 根橫切面：(如圖八)

水生型的根通氣組織和陸生型一樣明顯，中心皆有深褐色木質化現象。(圖八 C)。(圖中 → 箭號所指深褐色部分為木質化組織，而 AC 即 aerenchyma 為通氣組織)



A:水生型—沉水葉(100X)

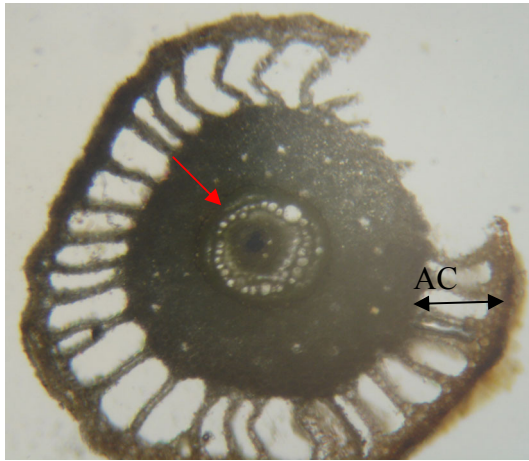
B:陸生型 (100X)

C: 木質化組織

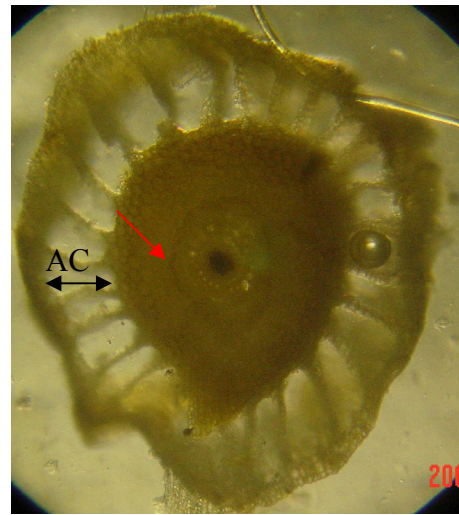
圖八、 根橫切面

(2) 匍匐莖橫切面：(如圖九)

陸生型、水生型皆可見到許多通氣組織，水生型的通氣組織所佔比例較陸生型大，匍匐莖具有木質化組織(見圖九 C、D)，應具有較大的支持力。



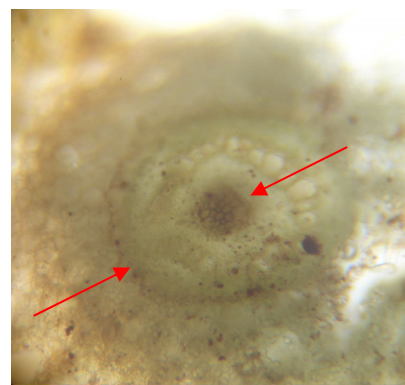
A 水生型—挺水葉



B 陸生型



C 水生型—挺水葉木質化組織

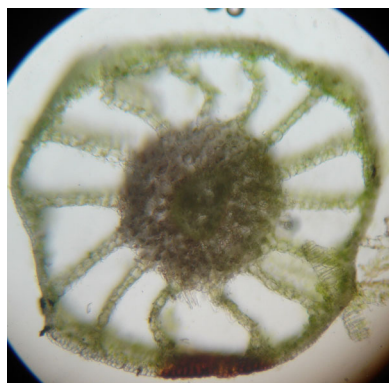


D 陸生型木質化組織

圖九、匍匐莖橫切面

(3) 四種異型葉葉柄橫切面：(如圖十)

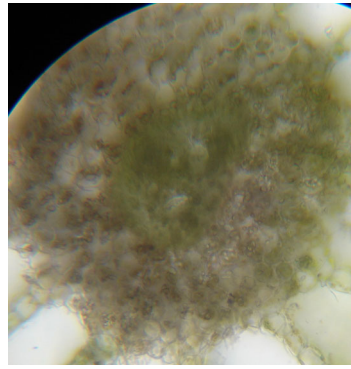
四種異型葉的葉柄都有明顯的通氣組織，但在切面上所佔的比例，以水生葉較明顯，在浮水葉與沉水葉枝葉柄未見木質化組織（見圖十 C、D），可能與生長在水中之水生植物類似需保持在水中的柔軟性以適應水流。至於陸生葉與挺水葉葉柄，皆如匍匐莖橫切面可見明顯木質化組織（見圖十 H、I、J），因此才有較大的支持力支撐葉片挺立於空氣中，得到較多的光線。



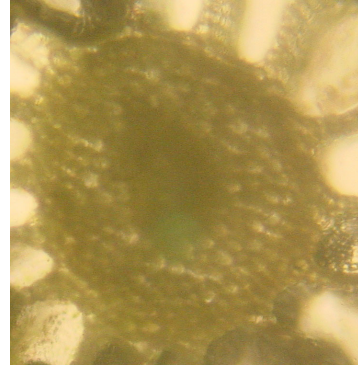
A. 沉水葉 (100X)



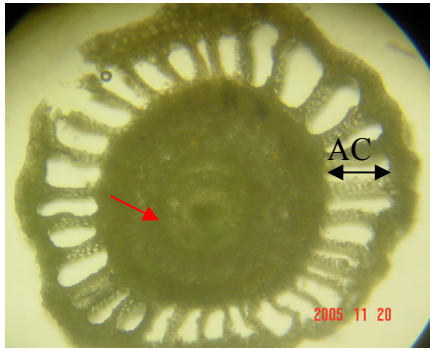
B. 浮水葉 (100X)



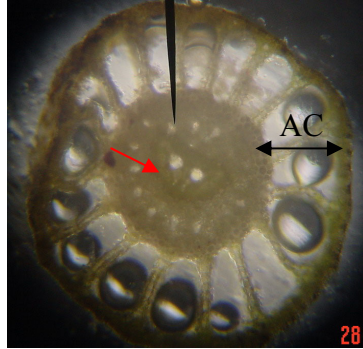
C. 沉水葉未見木質化組織 (100X)



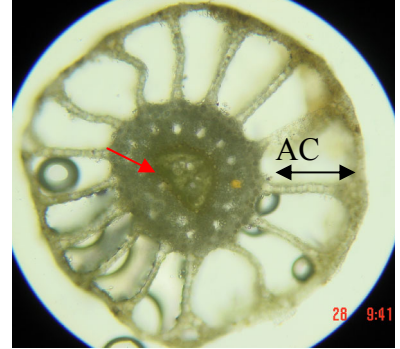
D. 浮水葉未見木質化組織



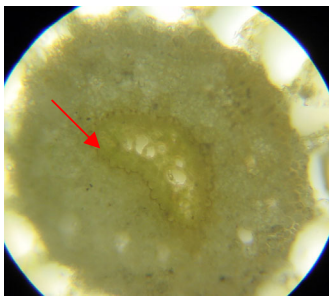
E. 陸生葉(100X)



F. 挺水葉—水面上(100X)



G. 挺水葉—水面下(100X)



H 陸生葉木質化組織(100X)



I 挺水葉木質化組織
—水面上(100X)



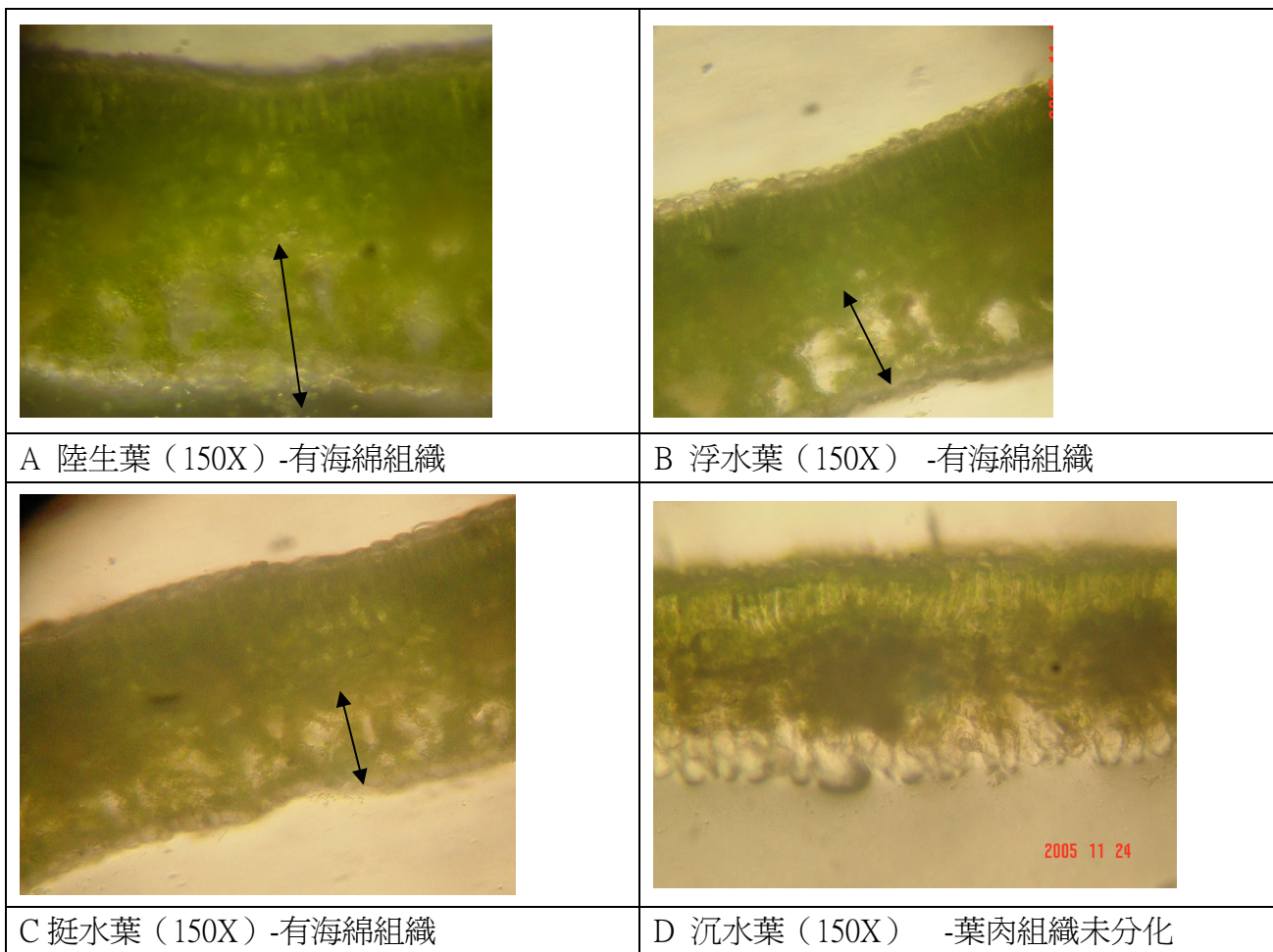
J 挺水葉木質化組織
—水面下(100X)

圖十、 四種異型葉葉柄橫切面

(4) 葉橫切面：(圖十一 \longleftrightarrow 表示海綿組織)

四種異型葉的柵狀組織組織緊密排列於上表皮下方，推測應與光合作用效率較高有關，至於浮水葉的海綿組織較明顯，因浮水葉是由挺水葉葉柄產生產生通氣組織後彎折形成，前人在文獻上曾說通氣組織的產生應與組織間乙烯的累積造成細胞的崩解而形成，是否因同一原因產生則有待進一步的觀察。(林 91)

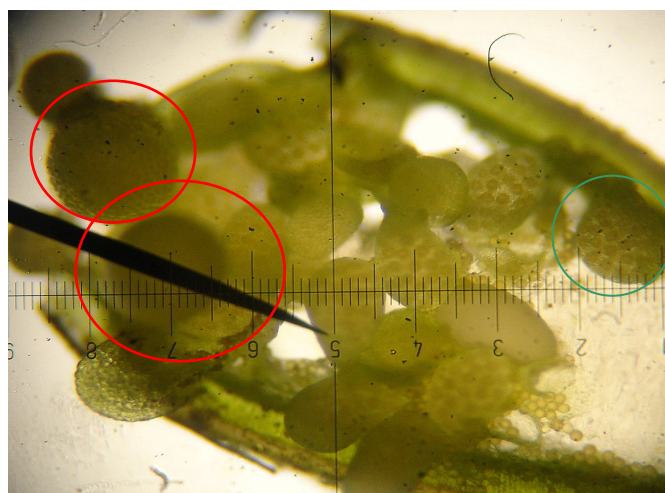
沉水葉未見明顯海綿組織似乎葉肉組織並未產生分化，應與在水中海綿組織無助於二氧化碳的獲得，符合前人對它種水生葉的解剖觀察 (Lin and Yang 1999)。



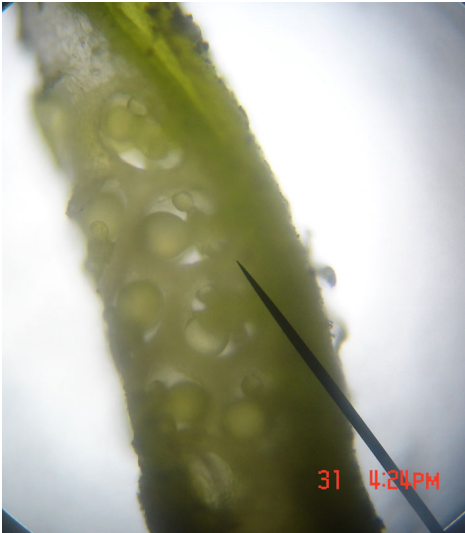
圖十一、三種異型葉橫切面

(5) 孢子囊果：(圖十二)

- a. 孢子囊果有柄長，呈卵圓形，單獨或群聚於葉柄基部。
- b. 幼時密佈透明細密的毛，呈綠色，成熟後轉為褐色。
- c. 單一孢子囊果裡的孢子囊數平均約有 45 個，有大、小孢子囊之分。
- d. 單一小孢子囊裡的小孢子數目，觀察結果約 10-18 個，其中以 15 或 16 個最常出現，大孢子囊內有一個大孢子。
- e. 南國田字草與台灣水韭一樣是異型孢子蕨類，其孢子發育過程有待進一步研究。



A. 大小孢子囊(紅色圈內為大孢子囊—其內大孢子未成熟，淺綠色為小孢子囊) (100X)



B.未成熟孢子囊果(100X)



C.小孢子囊內的小孢子(150X)

圖十二、孢子囊果縱切面

二、四種異形葉的比較

1. 氣孔形態及密度：

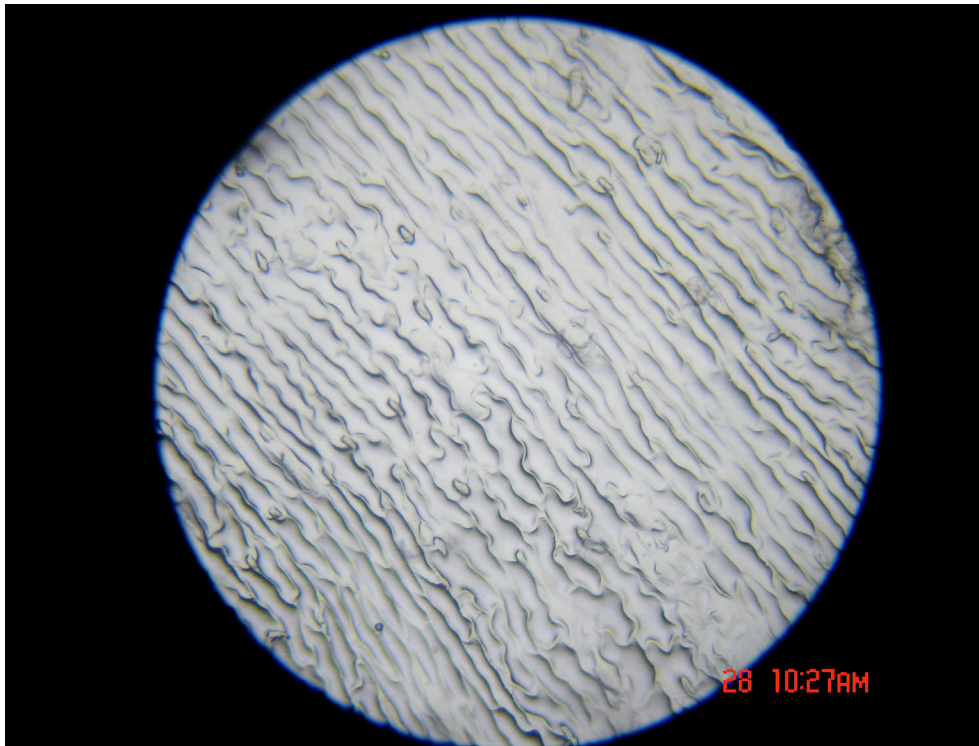
(1) 結果：如表四

表四：異型葉上下表皮之氣孔密度（單位：個/平方公厘）

葉形態	陸生葉	挺水葉	浮水葉	沉水葉
上表皮	243	183	210	177
下表皮	167	126	64	6
比值 (上表皮氣孔數/下表皮氣孔數)	1.46	1.45	3.28	29.5
上表皮氣孔百分比	59%	59%	77%	97%

(2) 說明：

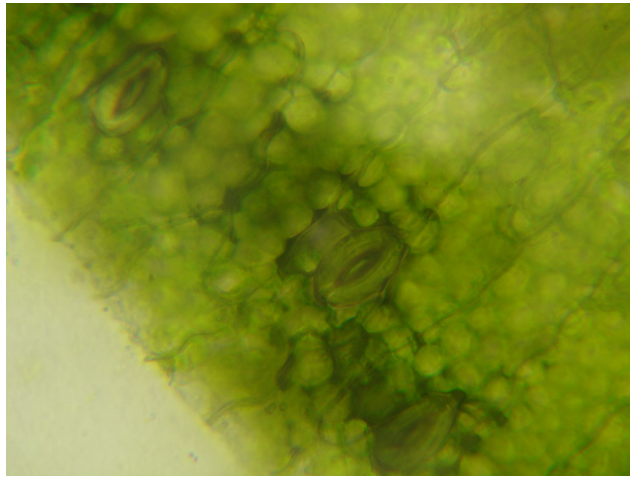
- 保衛細胞為半月形、氣孔為橢圓形，表皮細胞呈不規則波浪型。
- 四種葉型上下表皮皆有氣孔，陸生葉比水生葉多，上表皮又比下表皮多。
- 四種葉型在下表皮氣孔密度方面有顯著差異，陸生葉與挺水葉的下表皮氣孔密度遠高於浮水葉和沉水葉，即陸生葉 > 挺水葉 > 浮水葉 > 沉水葉。
- 四種葉型在上表皮氣孔密度上雖有差異，但差異不大，但仍以陸生葉數量最多。但是若比較上下表皮氣孔數比值則發現陸生葉與挺水葉比值相同，兩者的上表皮氣孔數約佔總氣孔數的 59%。而浮水葉則有 77% 的氣孔集中在上表皮，至於沉水葉的上表皮氣孔數比例則高達 97%。



A. 下表皮細胞與氣孔分布—沉水葉(150X)



B. 上表皮細胞與氣孔分布—沉水葉(150X)



C. 葉橫切看氣孔—沉水葉(150X)

圖十三、 氣孔

(3) 討論：

- a. 陸生葉上下表皮皆有大量氣孔，浮水葉及沉水葉氣孔大多集中於上表皮，尤以沉水葉最明顯，上表皮氣孔數遠大於下表皮氣孔數。
- b. 我們認為田字草異型葉上/下表皮氣孔分布比例的改變，有助於它適應不同的水陸環境變化，水生葉氣孔集中於上表皮，應可幫助取得二氧化碳以提高光合作用氣體，有助於生存。(林，91年)

2. 澱粉含量：

(1) 葉片中澱粉測定

a. 結果：圖十四



圖十四、 葉片中碘液試驗顏色比較

(由左至右，依序為沉水葉、浮水葉、挺水葉、陸生葉)

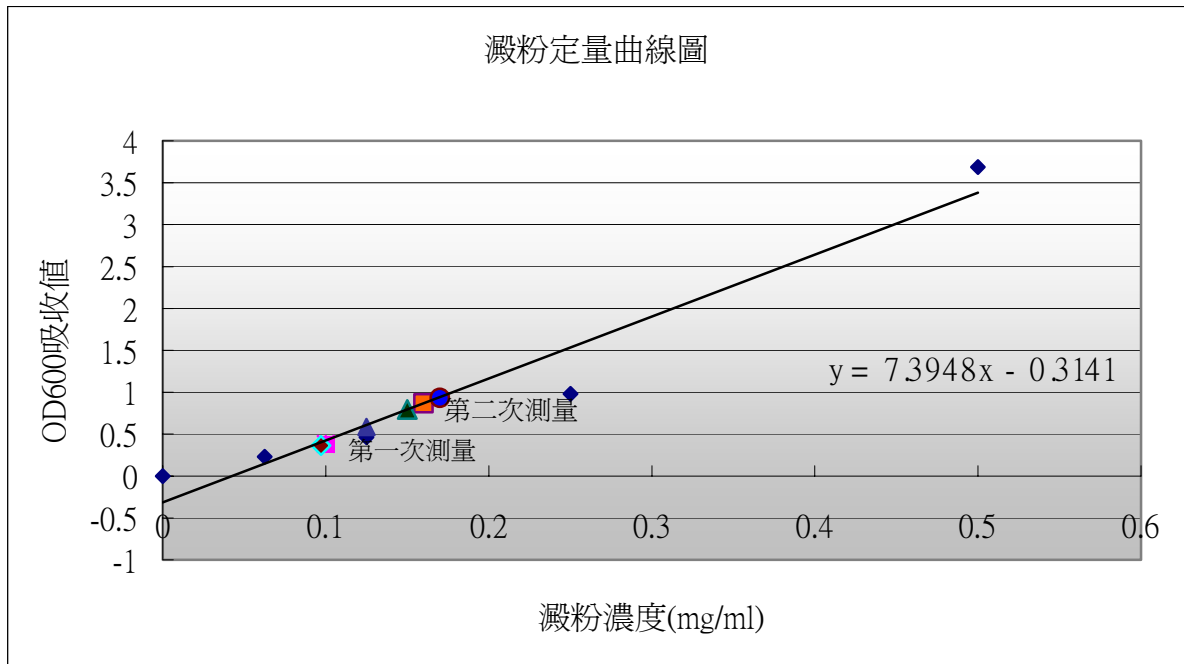
b. 討論：

- b-1 我們挑選葉大小相似的翠綠成葉，由碘液顏色深淺判斷，沉水葉沒有明顯的澱粉反應，可能是因為冬季日照不足，葉子易枯黃之故，而其他三種異型葉沒有差別，顏色都非常深，表示澱粉含量很充足。
- b-2 我們想更進一步的知道，這三種氣生葉澱粉含量是否有所不同，因此針對

這三種異型葉，再去做以下定量的澱粉檢測。

(2) 澱粉定量比較：表五、圖十五

三種氣生異型葉澱粉含量平均值為陸生葉>挺水葉>浮水葉，但差距不大。



圖十五 氣生葉之澱粉含量比較

(綠色記號為陸生葉，粉紅色記號為挺水葉，紫色記號為浮水葉)

表五：三種氣生葉的澱粉含量

葉型		陸生葉	挺水葉	浮水葉
澱粉	第一次	0.13	0.1	0.1
含量	第二次	0.16	0.17	0.15
平均值 (mg/ml)		0.145	0.135	0.125

3. 討論：

澱粉含量平均值為陸生葉>挺水葉>浮水葉，但並無顯著差異，這是否表示三種氣生葉具有相同的光合作用速率，須要再作進一步探討，但根據文獻資料七(林，91年)中指出，田字草三種氣生葉為適應不同環境，可藉由外表形態(氣孔密度、

葉片運動)、內部生理結構有效利用環境資源，以達到最佳的光合作用效率。

三、南國田字草於環境改變時的氣孔數變化

1. 結果：

- (1) 陸生植株移至水生環境第七天，取下表皮來觀察其氣孔分布，發現氣孔密度為 223 個/平方公厘，是屬於陸生葉的氣孔分布形態。
- (2) 陸生植株移至水生環境第十四天，取新長出的沉水葉下表皮來觀察其氣孔分布，發現氣孔密度為 12 個/平方公厘，氣孔數目很少，和表四中的沉水葉氣孔分布形態一樣。

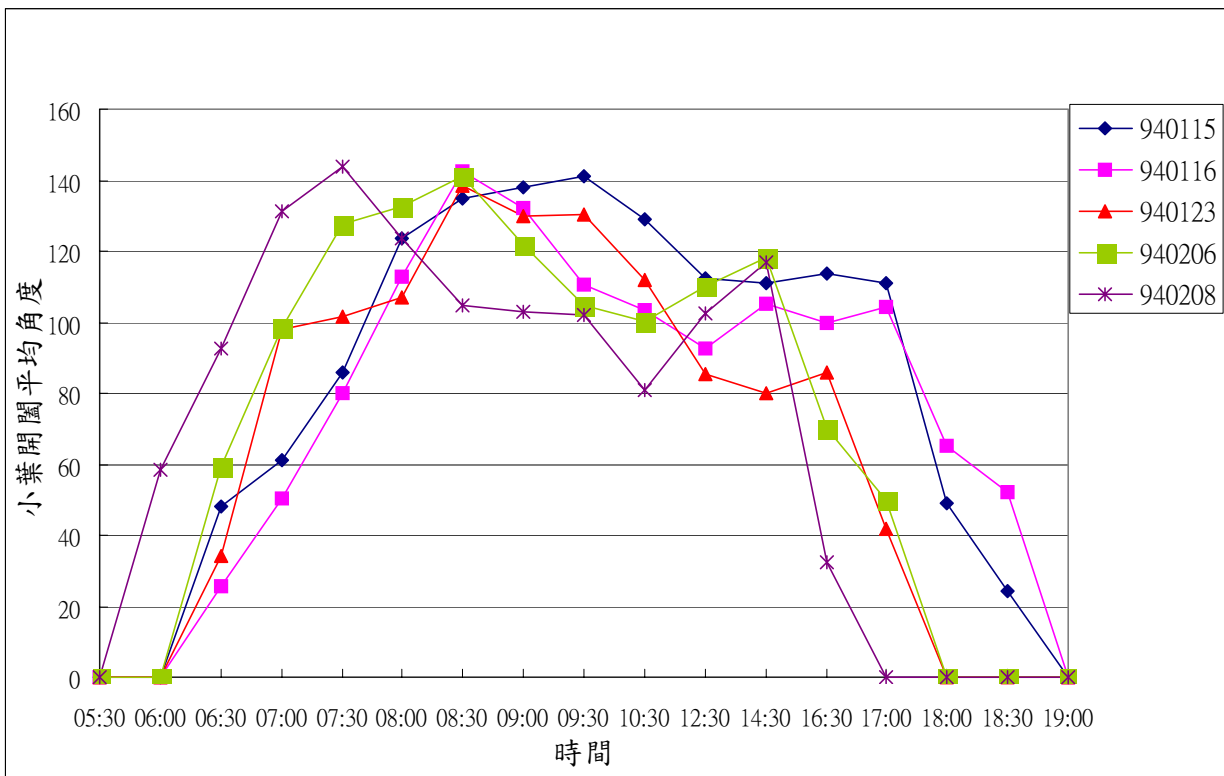
2. 討論：

當棲地由陸生環境轉變成水生環境時，幼葉會快速的轉變成水生葉的狀態，當棲地由水生環境轉變成陸生環境時，是否也有相同的轉變，有待進一步的探討。

四、睡眠運動

1. 正常晝夜下，南國田字草睡眠運動情形：※動態請見所附光碟

(1) 結果：圖十六



圖十六 南國田字草正常晝夜下，小葉開闔角度與時間的關係

說明：

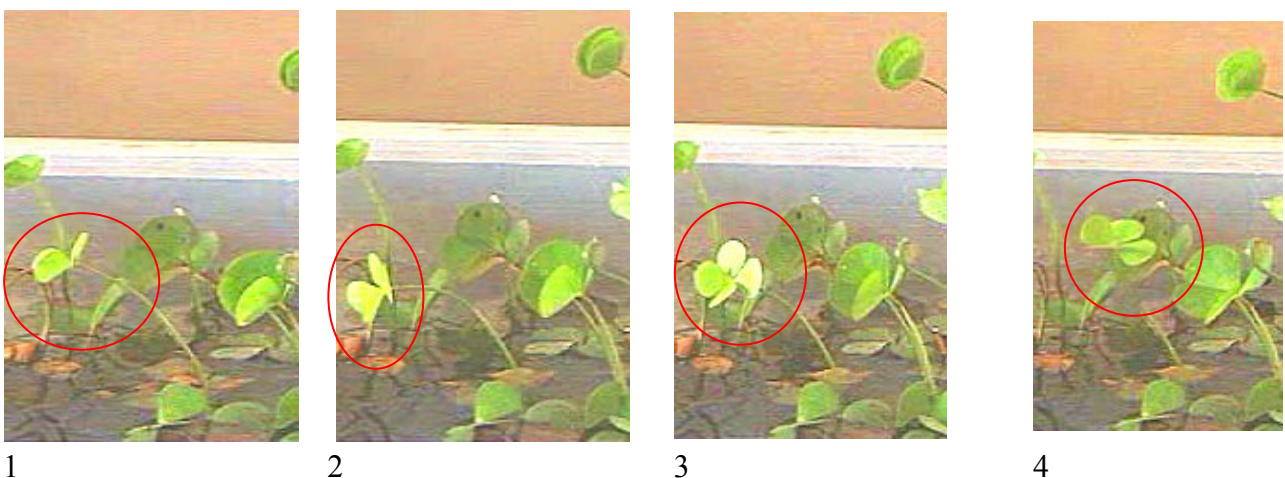
- 測量時的天氣為陰天或晴天，溫度 12-16 度，濕度 60%-80%。
- 我們同時也測量光強度，一天當中光強度最強的時段約是早上十點到下午兩點。

- c. 觀察中發現，每棵植株開合角度會有其快慢差異，所以在隨機取樣時盡量選取翠綠植株，大致上，幼葉偏向晚開啓早閉合，老葉偏向早開啓晚閉合，開闔變化較新葉不明顯。
- d. 陸生葉、挺水葉具有睡眠運動。(圖十七)
- (2) 討論：
- a. 南國田字草在正常晝夜下(一月初至三月中)，能隨晝夜的更替作展開或閉合的變化。
- b. 在進行實驗的期間，冬季時在清晨，小葉開始開啓的時間大約是 5:30~6:00 之間，傍晚小葉開始閉合的時間大約是 17:00~19:00 之間，夏季時小葉開始開啓的時間會提早大約是 5:00~5:20 之間，傍晚小葉開始閉合的時間則相差不大仍為 17:00~19:00 之間。
- c. 早上約 7:30~9:30 之間，小葉開啓的角度會趨近於一天當中的最大角度，角度平均最大可達到 145 度。
- e. 一天當中，光強度最強的時段，並不一定是小葉開啓的最大角度，所以我們推測光強度不是影響小葉開啓的唯一因素。
- f. 從開始開啓至完全閉合的時間，平均約是 11.5~13 個小時，夏季與冬季週期的長短不同，但四季的確實情形仍有待進一步的探討。



A 小葉張開順序

※動態請見所附光碟



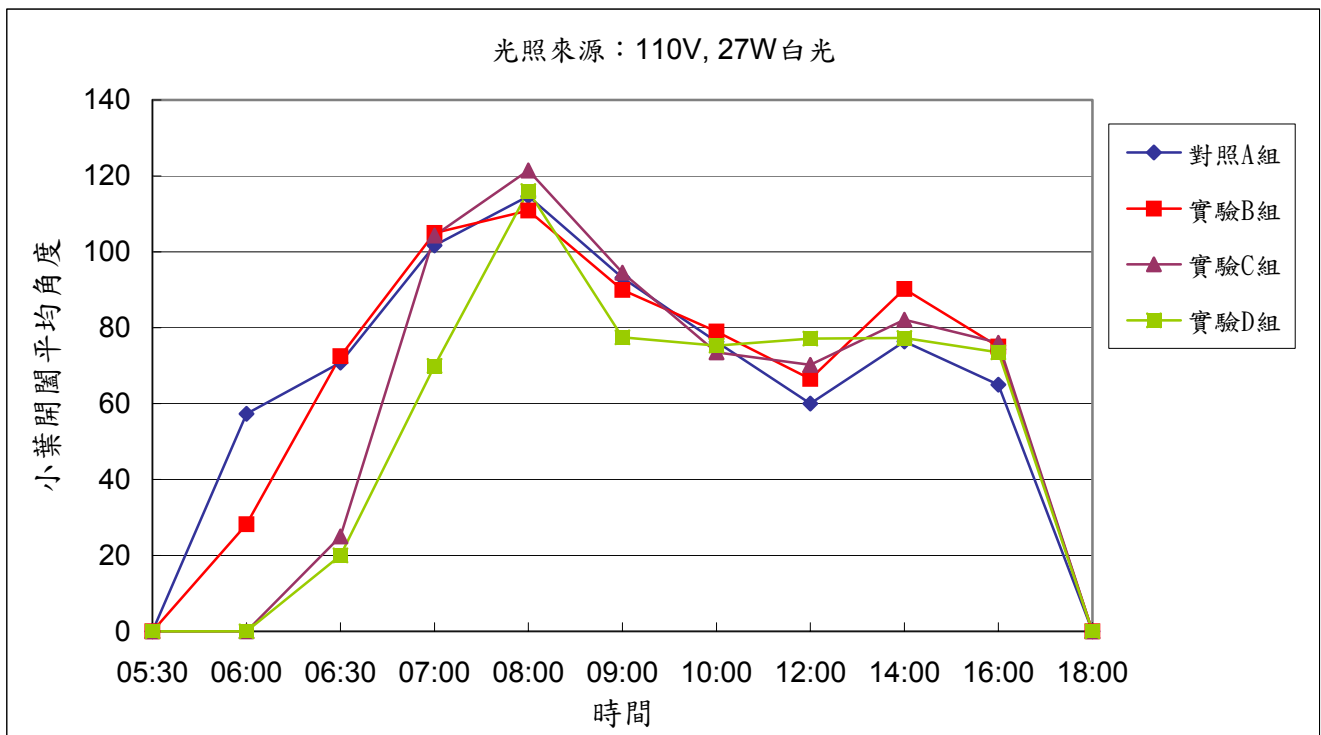


B 挺水葉會依照太陽位置改變而移動方向 ※動態請見所附光碟

圖十七、 田字草對光的反應

2. 打亂黑暗期對睡眠運動的影響：

(1) 黑暗期受不同光照時數干擾，對隔天睡眠運動的影響：(圖十八)



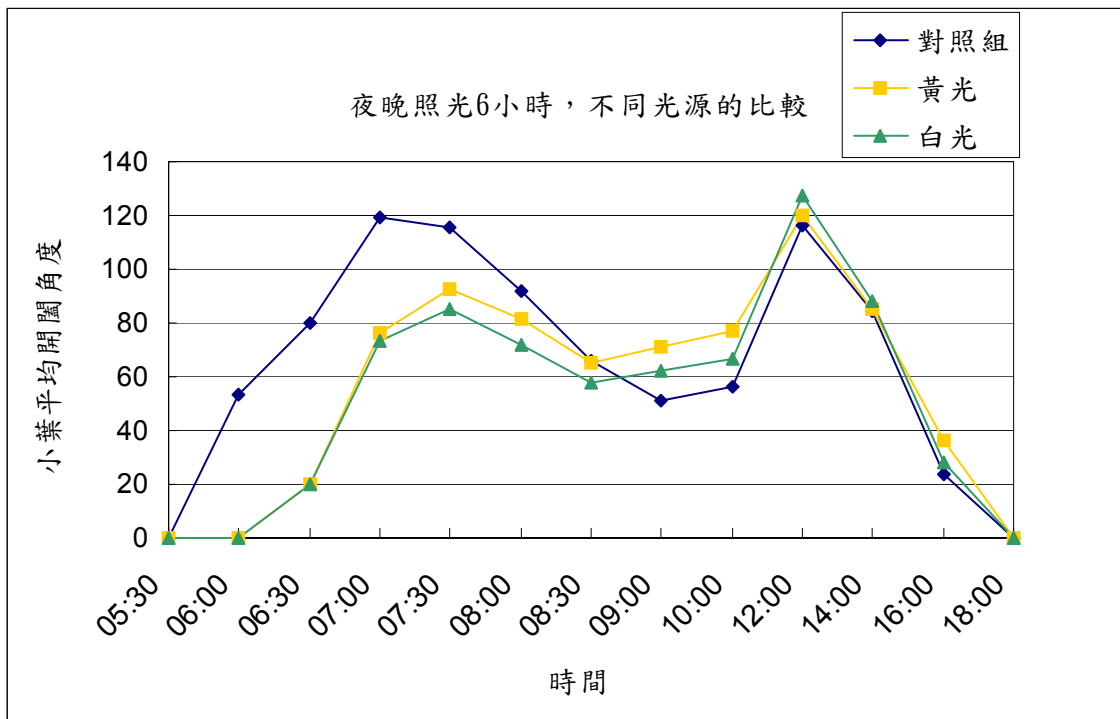
圖十八：夜晚光照時數長短，對第二天小葉開啓時間與速率

討論：

- B 組(黑暗期中斷 2 小時)開閉時間正常。
- C、D 組(黑暗期中斷 4、6 小時)會使小葉延後開啓。
- B、C、D 三組 (有中斷處理者) 隔天小葉的開啓時間與開啓速率都比對照組慢。

- d. 經過黑暗中斷光照處理後，隔天小葉開啓至最大角度時間和閉合時間，皆與對照組相同。
- e. 黑暗期受光照干擾時數長短，主要影響小葉開啓的時間和速率。
- f. 我們也實驗過，南國田字草小葉在白天開啓至最大角度後，將其置於黑暗盒子內四小時(10:00~14:00—中斷光照四小時)，之後再移至室外環境，觀察其小葉閉合時間，發現最後仍與對照組於同一時間閉合。

(2) 黑暗期受不同色光來源干擾下，對其隔天睡眠運動的影響：(如圖十九)

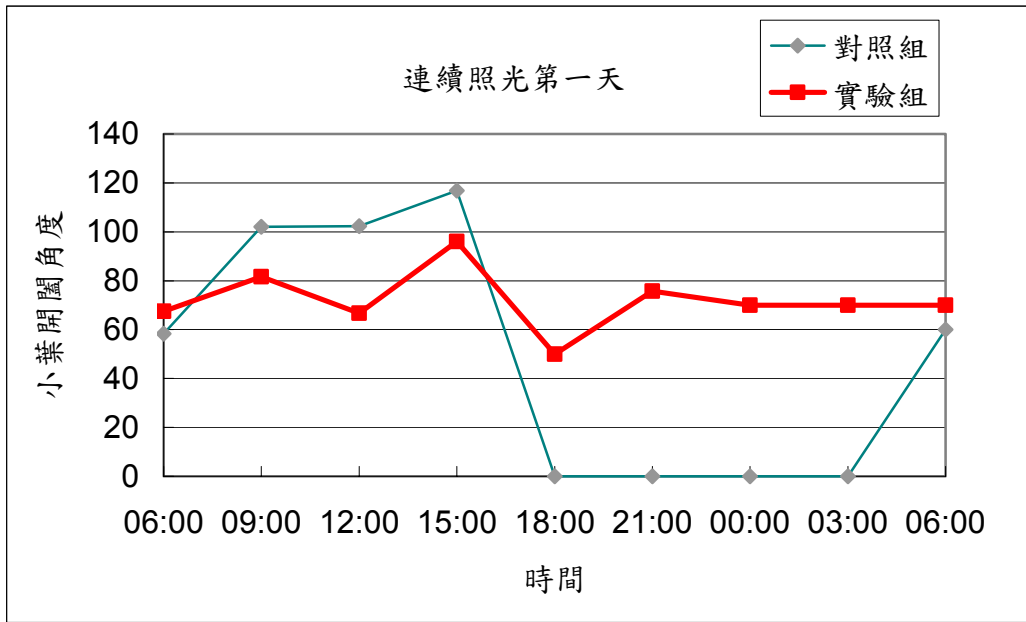


圖十九、 夜晚不同光源的光照，對睡眠運動開啓時間與速度的影響

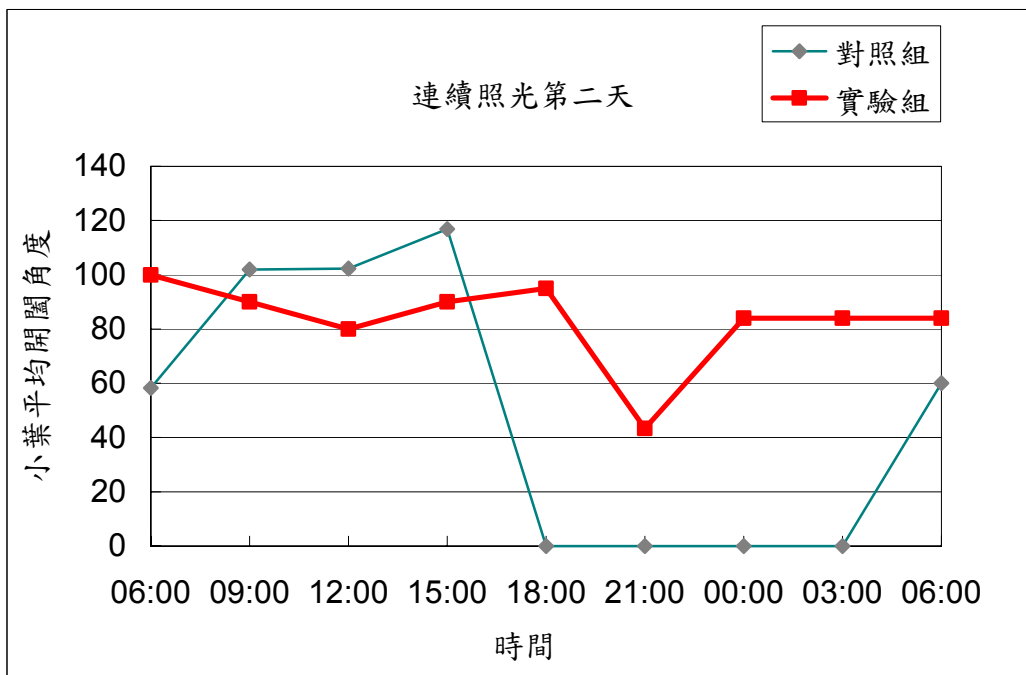
討論：

- a. 白光組與黃光組隔天小葉開啓時間皆比對照組晚半小時，開啓的速率也較慢，一直到中午過後才慢慢追上對照組，並於同一時間閉合。
- b. 黑暗期受白光和黃光的干擾，對睡眠運動影響幾乎一致。
- c. 綜合圖十八與圖十九，黑暗期受光照干擾，皆會影響第二天葉片開啓的時間。

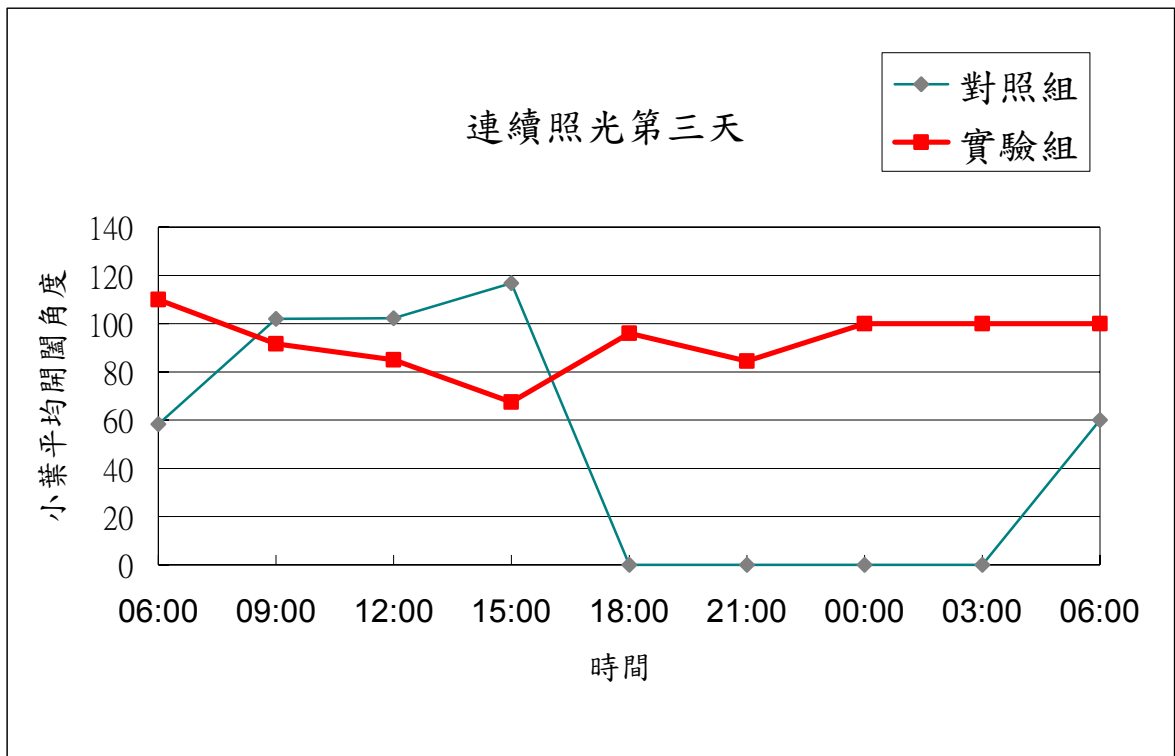
3. 在連續光照下，對其睡眠運動的影響：（圖二十~圖二十四）



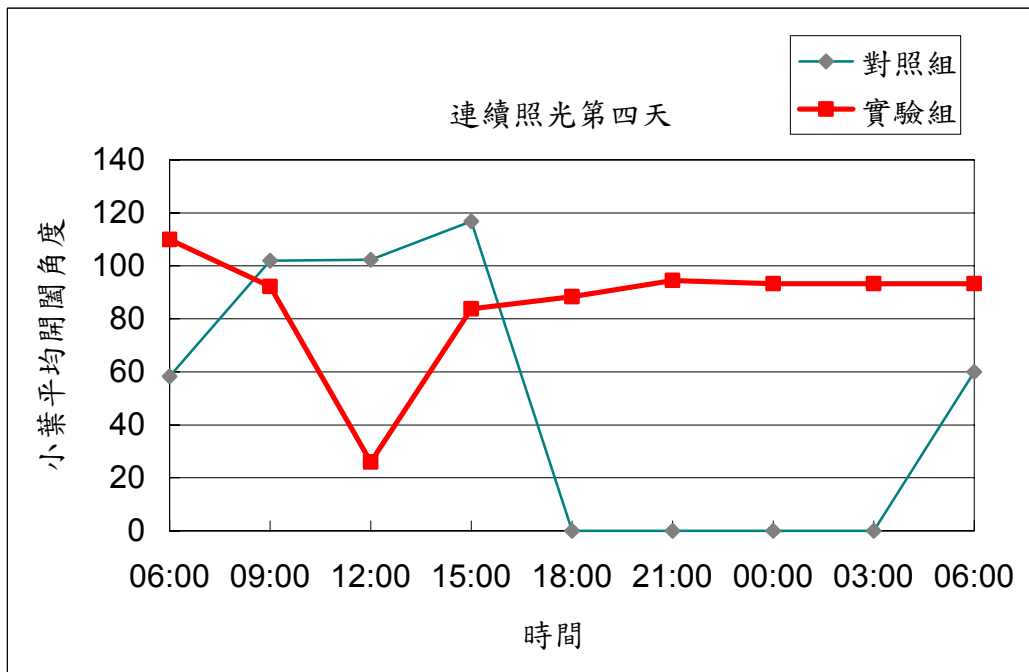
圖二十、連續照光第一天：小葉開合情形同對照組，但仍在晚上 18:00 時，有閉合的傾向，由於照光的影響，閉合角度約 50 度，並無完全閉合。



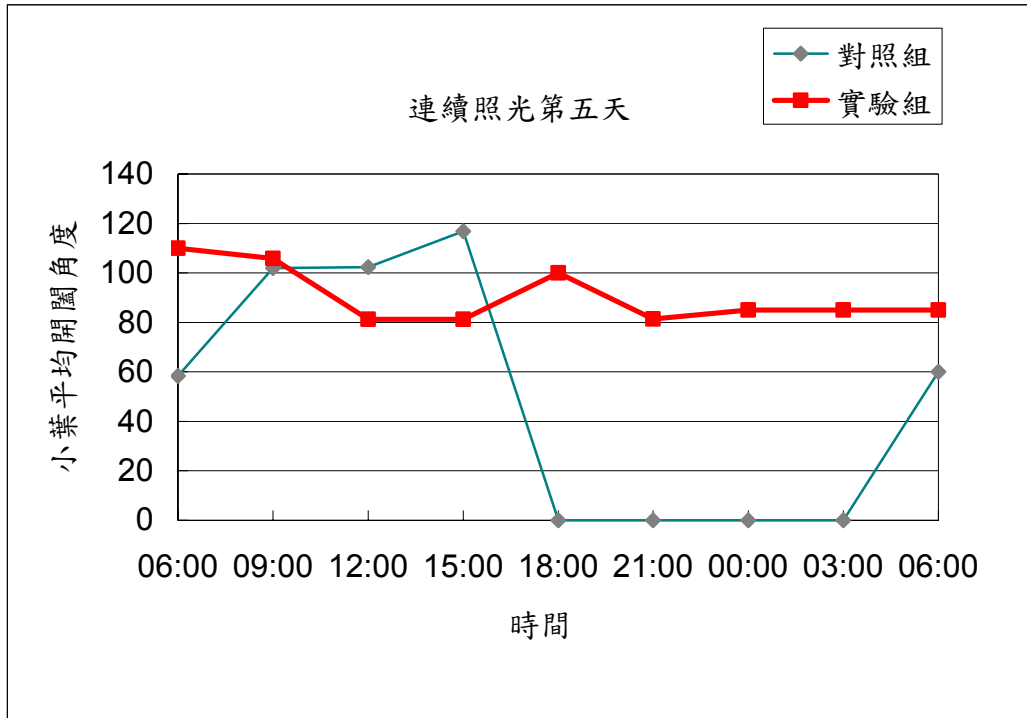
圖二十一、連續照光第二天：小葉在晚上 21:00 時有閉合傾向，閉合的時間比對照組慢三個小時。



圖二十二 連續照光第三天：小葉沒有閉合，整天都是張開狀態，張開角約在 60~100 度間。



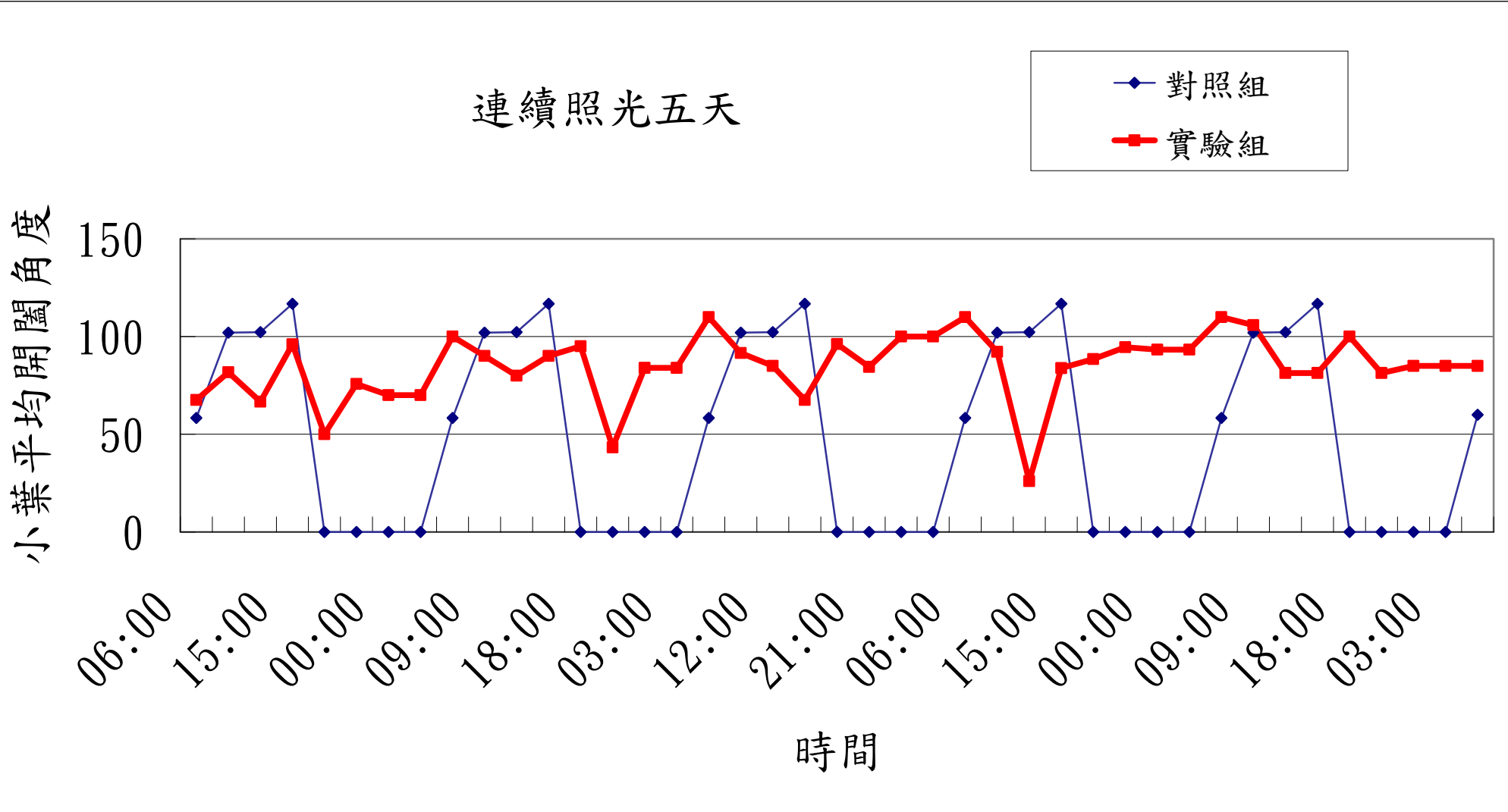
圖二十三、 連續照光第四天：中午小葉閉闔之後全天開啓。



圖二十四、 連續照光第五天：小葉一整天都是張開狀態。

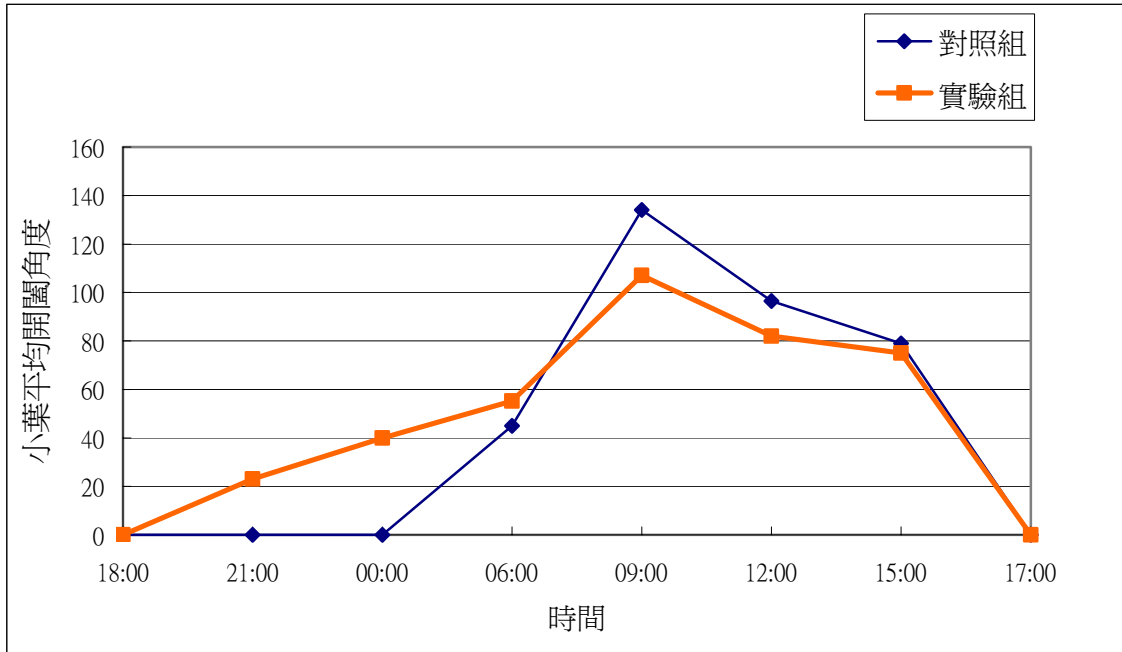
討論：

- (1) 我們一直觀察到第六天，小葉一整天仍是張開狀態，一直到第七天才有閉合傾向，而且實驗組即使閉闔仍呈現約 45-50 度的開闔角度，並未如對照組般完全閉闔。
- (2) 連續照光第三天，原有的睡眠習慣已被打亂，整天都是張開狀態，一直到第四天中午才閉闔，和對照組作比較相當於閉闔時間延緩 18 小時。
- (3) 我們假設在連續照光處理下(外來的控制)，小葉應一直張開，但綜合圖二十到圖二十四的結果顯示(圖二十五)，小葉仍有閉闔傾向，但周期超過二十四小時。
- (4) 我們把連續照光五天的結果綜合成圖二十五，由圖中可以見到相對於對照組在五天內共閉闔五次，連續照光組卻只閉闔三次，而且每次的閉闔時間皆比前一次延後，每次閉闔之間的時間隔期也拉長，因此我們推測連續照光的結果會打亂閉闔週期。
- (5) 我們也實驗過將田字草連續置於黑暗中兩天，置於黑暗中的第一天，依舊有睡眠運動，但實驗組比在正常情況下的葉片開闔角度小許多。在黑暗中的第二天，發現不少葉片出現枯黃的現象，可能是因為太久沒照光的關係，為了防止過多葉片枯死，因此停止實驗。

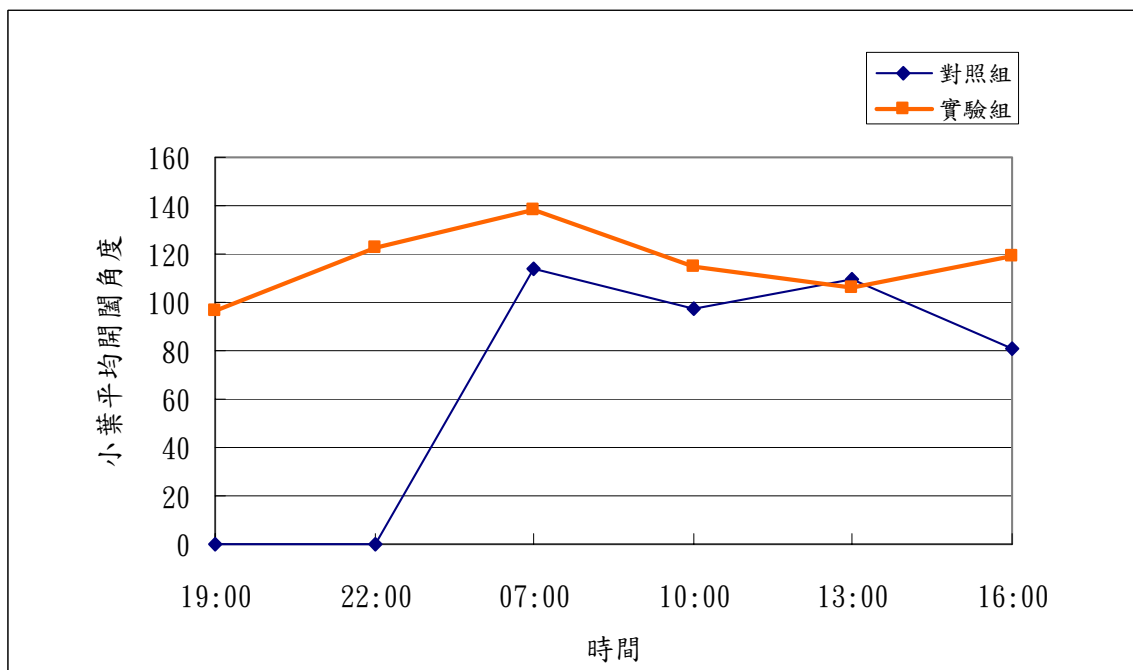


圖二十五

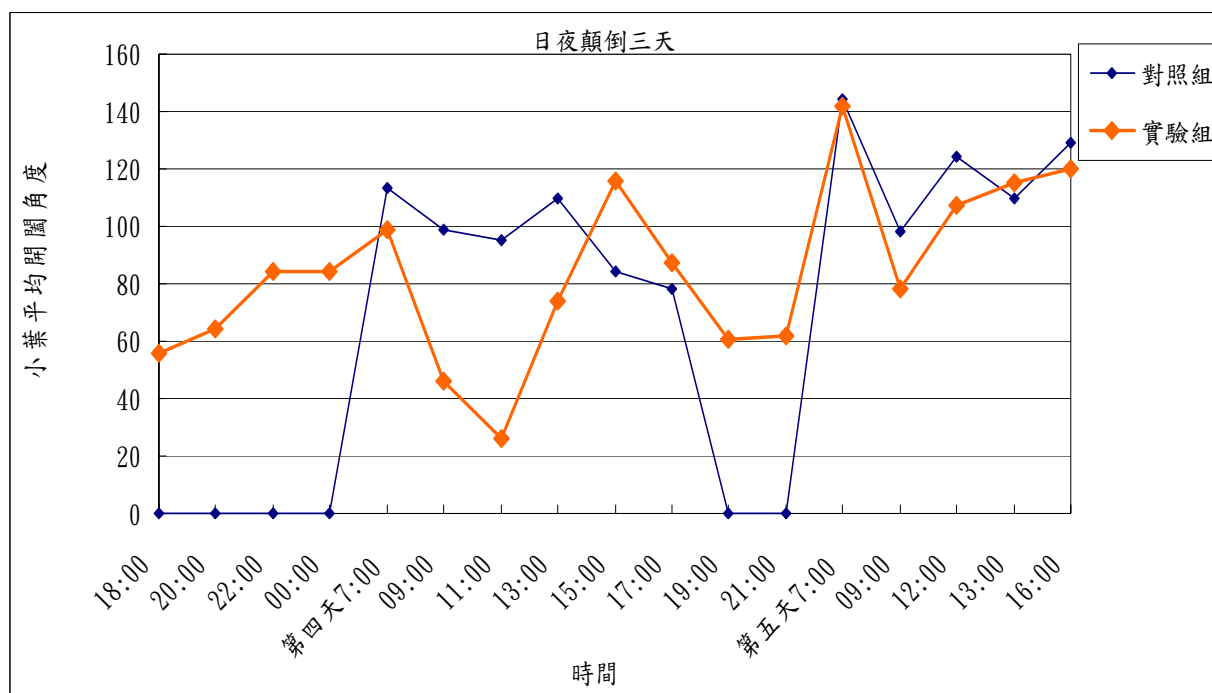
4. 日夜顛倒，對其睡眠運動的影響 (圖二十六—圖二十八)：



圖二十六日夜顛倒一天後：第二天小葉在夜晚九點之後漸漸打開，整晚角度皆是微開(60度以下)，而白天的週期與對照組相似，並於同一時間閉合。



圖二十七 日夜顛倒兩天後：第三天小葉整晚都是開啓狀態，甚至在早上六點出現全天最開的角度(149度)。



圖二十八 日夜顛倒三天後：第四天早上 9:00 至 11:00 小葉有較明顯的閉合傾向，但之後仍漸漸開啓，至中午 15:00 開至最大角度(120 度)，連續觀察到第五天，小葉開閉情形與對照組相同

討論：

- (1) 在日夜顛倒的處理下，實驗組小葉夜晚的開闔情形和對照組相反，即對照組閉，實驗組開，可是白天實驗組應閉，反而沒有閉，仍和對照組一樣開啓，沒有完全符合我們實驗預期(早上閉合，晚上開啓)。
- (2) 在日夜顛倒三天處理後，到第五天又恢復到原有的睡眠習慣。
- (3) 我們推測在日夜顛倒的處理下，小葉夜晚的閉闔習慣會被改變，而白天的開啓習慣沒有受到影響。

5.綜合討論：

綜合連續照光與日夜顛倒對睡眠運動影響的實驗結果，我們推測睡眠運動雖易受外來的控制，但田字草本身也有一個內在的生理時鐘在控制期睡眠運動。(廖、徐，88 年)

伍、未來展望

- 一、未來可以設計不同色光來源，中斷黑暗期，以觀察隔天小葉開啓時間是否有所不同。
- 二、空氣中的溼度大小，是否也會影響睡眠運動週期，可再進一步探討。
- 三、季節的更替，是如何影響睡眠運動的週期長短，還需要做更長期的觀察。
- 四、四種異型葉的光合作用速率是否相同，可以試著以其他方面，如葉綠素含量來探討，進一步研究其在不同環境下的生長策略。
- 五、孢子囊果中異型孢子的受精作用與發育情形，是我們極感興趣的課題。

陸、結論

- 一、田字草是少見的兩棲蕨類，具有四種異型葉，即沉水葉、浮水葉、挺水葉和陸生葉。冬季時，當環境由水域轉為陸域時可在葉柄基部找到孢子囊果，以有性生殖來度過惡劣環境。
- 二、田字草的構造與生態適應：
 1. 水生型與陸生型植株的根、匍匐莖、葉柄，皆具有通氣組織，水生型較陸生型明顯，有利於氣體的供應與保持在水中的柔軟性，以適應水流。
 2. 陸生葉與挺水葉葉柄皆可見明顯木質化組織，才有較大的支持力支撐葉片挺立於空氣中，得到較多的光線。
 3. 葉的氣孔分布：沉水葉、挺水葉、浮水葉氣孔集中於上表皮，有利於空氣中二氧化碳的利用。
 4. 當棲地由陸生環境轉變成水生環境，新長出之幼葉為水生型態的氣孔分布，生態適應的機制明顯。
- 三、沉水葉沒有明顯的澱粉反應，浮水葉、挺水葉、陸生葉澱粉含量大致相同。
- 四、睡眠運動
 1. 田字草葉片的展開或閉合隨晝夜更替，有週期性的變化。
 2. 照光干擾中斷黑暗期，會影響隔天葉片開啓的時間與速率，但不影響閉闔時間。
 3. 連續照光會延後葉片閉合時間，打亂原本的日規律性。
 4. 日夜顛倒的處理下，葉片夜晚的閉合習慣被改變，而白天的開啓習慣沒有受到影響。
 5. 內在生理時鐘的影響大於外在環境的改變。

柒、參考資料及其他

一、參考資料











1. 王月雲、陳是瑩、童武夫 (2000)。植物生理學實驗。台北市：藝軒出版社。
2. 林春吉 (2000)。臺灣水生植物。台北市：田野影像出版社。
3. 鄭湧涇、溫永福、周雪美、郭麗香 (1980)。生物學實驗。台北市：藝軒出版社。
4. 廖玉琬、徐善德、林美華、謝永祥、吳弘達、鍾仁彬 (1999)。植物生理學。台北市：啓英文化事業有限公司。
5. 郭城孟 (2001)。蕨類圖鑑。遠流台灣館。
6. 台灣植物誌編輯委員會 (1980)。台灣植物誌 第一卷。現代關係出版社。
7. 台大生科碩士論文 (民 91)。田字草異型葉和水陸環境變化的關係。台北市：林家宏。
8. 中央研究院生命科學專題研究報告 (民 91)。光質對田字草葉表皮型態和光合作用的影響。台北市：吳佩琪、黃立芸。
9. 林春輝 (1998)。新編光復科學圖鑑-植物
10. 網站資料 <http://www.yctsayl.idv.tw>。
11. Lin, B.-L. and W.-Yang. 1999 Blue light and abscisic acid independently induce heterophylly

switch in *Marsilea quadrifolia*. Plant physiol. 119 : 429-434

12. Gaudet, J. J. 1965. The effect of various environmental factors on the leaf form of aquatic fern *Marsilea vestita*. Physiol. Plant. 18 : 674-686

捌、附件：

一、幼葉成長至成葉各期開始的照片

	陸		生	
	E		F	
幼 葉 期		1/18		1/23
小 葉 期		1/25	 	1/30 2/2
(微 開)		1/28		2/3
(半 開)		1/30		1/31
成 葉 (全開)		2/2		

評語

內容豐富，但深度可再加強。建議針對部份主題進行較深入的探討。