中華民國第54屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組　生物科

佳作

030308

「蕨」無僅有－南國田字草的秘密檔案

學校名稱：宜蘭縣立復興國民中學

作者：	指導老師：
國二 李昱婷 國二 林芷妤 國三 藍宇君	陳卉 蘇敬菱

關鍵詞：睡眠運動、觸發運動、蒸散作用

「蕨」無僅有-南國田字草的秘密檔案

摘要

一般高等被子植物的睡眠及觸發運動與葉枕細胞有關，當受到碰觸或黑暗時，葉枕細胞就會把水分排入細胞間隙中，造成葉子閉合。而南國田字草是一種蕨類植物，它進行睡眠及觸發運動時將水分排出的方式與被子植物完全不同，它是利用葉脈將水分送至氣孔排出，因此當小葉葉脈無法進行運輸和氣孔無法讓氣體出入時，即無法進行睡眠及觸發運動。我們亦發現田字草葉柄上具有兩種特殊構造—「漏斗型小孔」及「圓型小孔」，「漏斗型小孔」具一外凸的漏斗型構造；而「圓型小孔」則為一內凹之小孔。當小葉閉合時，小葉與葉柄上之氣孔閉合比例亦增加，而此這兩種特殊構造主要的功用是讓田字草在環境變化造成氣孔關閉無法進行蒸散作用時，取代氣孔進行蒸散作用。

壹、研究動機

我們學校附近有一水池，我們發現好多『幸運草』生長在水中，它與酢漿草一樣有著睡眠運動與觸發運動；可是又發現它有蕨類的特徵——捲曲的幼葉，上網查詢後才知道它叫做南國田字草，是一種蕨類，與屬於被子植物的酢漿草差異很大。一年級上學期『自然與生活科技』課程有教到某些被子植物具有睡眠運動和觸發運動，而這些運動都與葉枕細胞的水分有關。我們想瞭解蕨類是否也是由相同方式控制亦或有其他因素或機制牽涉其中，因此設計一連串的實驗探討南國田字草睡眠運動及觸發運動的機制和蒸散作用與葉柄特殊構造的關聯。

貳、研究目的

一、探討南國田字草的氣孔與睡眠和觸發運動的關係

(一)瞭解南國田字草氣孔於不同部位分布情況

(二)南國田字草各部位於睡眠和觸發運動時閉合情形

(三)鉀離子和鈉離子對田字草氣孔閉合之影響

(四)酸性和鹼性溶液對田字草氣孔閉合之影響

(五)氣孔與光合作用產物的關係

二、探究南國田字草小葉基部和葉柄與睡眠和觸發運動的關係

(一)南國田字草之維管束與睡眠和觸發運動的關係

(二)南國田字草小葉基部和葉柄構造及組成成份

(三)酸性和鹼性溶液對睡眠和觸發運動的影響

三、探索南國田字草葉柄上之漏斗型和圓型小孔的構造與功能

(一)漏斗型和圓型小孔的組成物質及分布情形

(二)漏斗型和圓型小孔的功能

(三)酸性和鹼性溶液對漏斗型和圓型小孔的影響

(四)溫度對漏斗型和圓型小孔的影響

(五)比較水生田字草與陸生田字草老葉、年輕葉與幼葉之氣孔、漏斗型和圓型小孔之分布差異或有無

參、研究器材

一、田字草來源: 學校附近池塘

南國田字草的基本介紹

南國田字草的學名為 *Marsilea guadrifolia*，屬於蕨類植物門、田字草科、田字草屬。南國田字草是一種多年生的草本水生蕨類植物，其根與莖需附著於土中，莖匍匐於土壤或軟泥基質表面，節上着生細根及葉。葉柄長約 8~20 公分，葉柄頂端具小葉四片，十字形對生，葉子薄且柔軟，呈扇形之倒三角狀。葉脈為二叉分支，在葉緣處的葉脈則將整片小葉的葉脈連結成一封閉系統。田字草的地下莖冬天喜生長於潮溼的土壤；夏天喜生長於水中。

(圖一)田字草的生長環境及外觀

二、器材

複式顯微鏡、數位照相機、定時攝影機、電風扇、美工刀

三、藥品

透明指甲油、NaOH、HCl、KCl、NaCl、蛋白質測試劑、紅墨水、藍墨水、凡士林

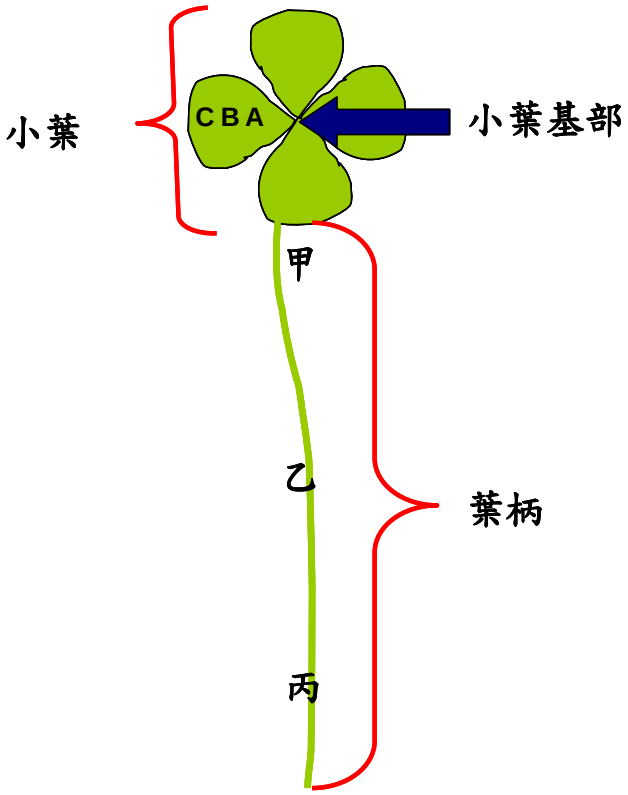
肆、研究過程

一、探討南國田字草的氣孔與睡眠和觸發運動的關係

(一)瞭解南國田字草小葉及葉柄氣孔觸發前後分布及閉合情況

1.將透明無色指甲油快速塗抹在待觀察之葉片上，以鑷子輕輕撕下，置於載玻片上，於顯微鏡下觀察。

2.觀察記錄分為上下表皮，並將葉片分為 A、B、C 三區和葉柄分為甲、乙、丙三部分(圖二)計算。



(圖二)田字草構造分區示意圖

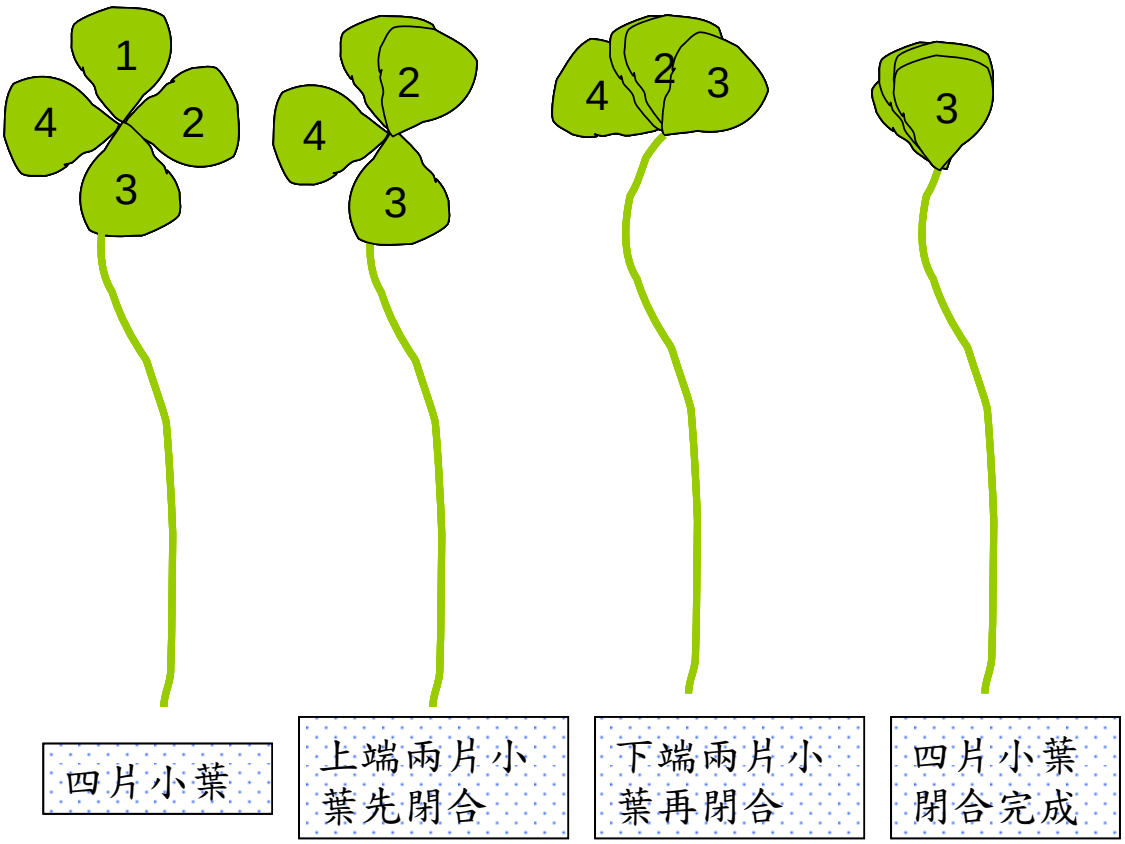
3.將因觸發運動而閉合的小葉以及未進行觸發運動的小葉和其葉柄，用複式顯微鏡觀察並計算氣孔分布及閉合的情況。

(二)探討氣孔對南國田字草睡眠運動的影響

1.南國田字草睡眠運動時間的計算，以四片小葉完全閉合在一起，即認為『睡著』了；以四片小葉打開呈 180 度，即認為田字草已『睡醒』了。以定時攝影機對準南國田字草拍照，再至電腦中計算開啟及閉合所需時間。

2.把田字草分成四組，每組有 6 株的田字草，第一組田字草上表皮塗凡士林；第二組為田字草下表皮塗上凡士林；第三組為田字草上下表皮塗凡士林；第四組則是沒有塗凡士林的田字草，做為對照組。

3.於當日下午三點，將定時照相機設定為每五分鐘照一張照片，觀察並記錄田字草閉合時間。



(圖三)田字草進行睡眠及觸發運動四片小葉閉合過程

(三)探討氣孔對南國田字草觸發運動的影響

1.與睡眠運動實驗的分組方式相同，此實驗於當天早上九點將實驗操作完成。

2.將定時照相機設定為每五分鐘拍一張照片，之後使用 250cm/sec 的風速直接吹田字草 20 分鐘，之後將觀察結果記錄下來。

(四)鈉離子和鉀離子對田字草氣孔閉合之影響

1.準備三個培養皿，並調配 10^{-3} M KCl 和 NaCl 溶液，分別加 10ml 至二個培養皿中，另一培養皿則加 10ml 的水，各放入 3 片田字草小葉片，靜置 30 分鐘。

2.觀察其氣孔閉合及氣孔大小情況。

(五)酸性和鹼性溶液對氣孔閉合之影響

1.將田字草分別浸泡於 pH 6 及 pH 8 之 HCl 和 NaOH 溶液中 30 分鐘，並以水做為對照組。

2.觀察氣孔閉合及外形變化。

(六)氣孔與光合作用產物的關係

1.將田字草分別用凡士林塗上表皮、下表皮、葉柄和對照組，共分成 4 組，一組 4 株。

2.將它們置於固定的日照處，共放置 5 天，之後去除小葉葉綠素，並加入碘液觀察它的變化。

二、探究南國田字草小葉基部和葉柄與睡眠和觸發運動的關係

(一)南國田字草及酢漿草進行觸發運動時葉枕細胞的變化

1.將六株田字草及六株酢漿草各分為兩組，一組為未進行觸發運動；另一組為已進行觸發運動。

2.分別將此四組浸泡於蛋白質測試劑 30 分鐘之後，利用顯微鏡觀察並記錄葉枕細胞的變化並比較四者之間的差異。

(二)南國田字草小葉基部和葉柄構造及組成成份

1.剪 10 個一小段的田字草，拿取兩個培養皿,一個裝 10 毫升的蛋白質測試劑，一個則是裝 10 毫升的水，再把田字草泡進去，每個各有五株田字草。

2.靜待一小時後，再將它們一一取出來用複式顯微鏡觀察。

(三)酸性和鹼性溶液對睡眠運動的影響

1.將田字草分別浸泡於 pH 6 及 pH 8 之 HCl 和 NaOH 溶液中，並以水做為對照組。

2.於當日下午三點，將定時照相機設定為每五分鐘照一張照片，觀察並記錄田字草閉合時間。

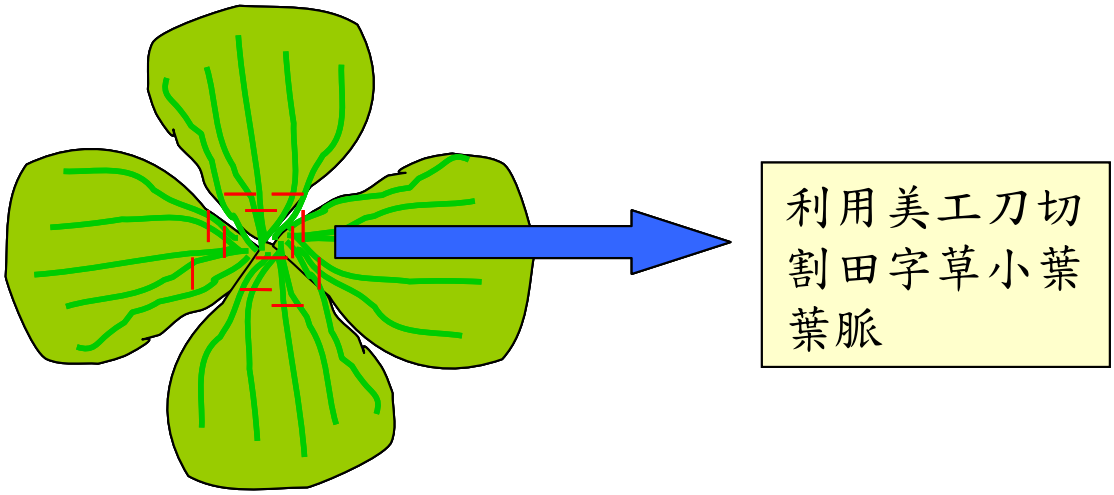
(四)酸性和鹼性溶液對觸發運動的影響

1.將田字草分別浸泡於 pH 6 及 pH 8 之 HCl 和 NaOH 溶液中 30 分鐘，並以水做為對照組。

2.將定時照相機設定為每五分鐘拍一張照片，之後使用 250cm/sec 的風速直接吹田字草 20 分鐘，之後將觀察結果記錄下來。

(五)田字草小葉葉脈對睡眠及觸發運動的影響

1.利用美工刀輕輕切小葉內側葉脈，但不切斷小葉，切割方式如(圖四)所示。

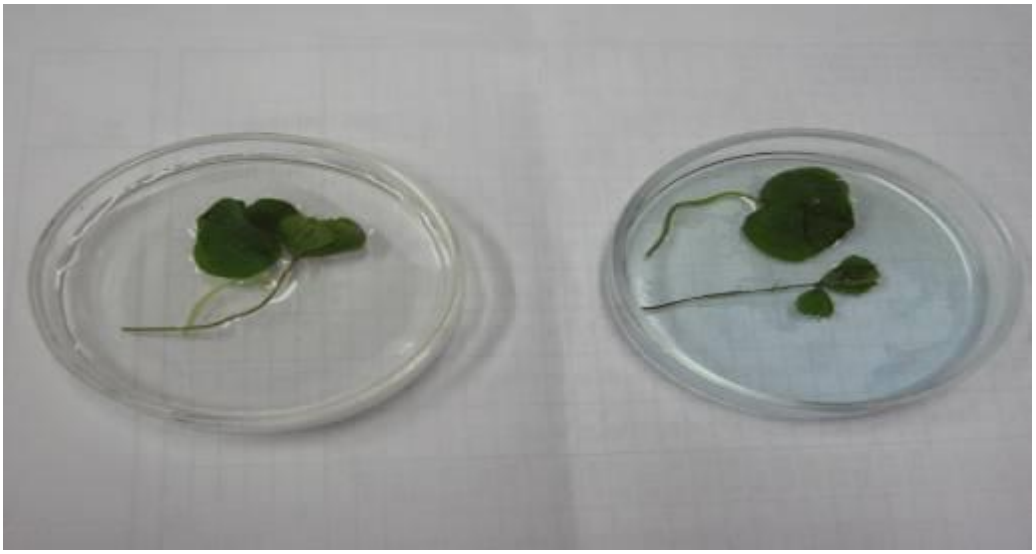


(圖四)田字草小葉葉脈對睡眠及觸發運動之實驗設計

三、探索南國田字草葉柄上之漏斗型和圓型小孔的構造與功能

(一)漏斗型和圓型小孔的組成物質

1.將田字草與酢漿草分別浸泡於蛋白質測試劑一小時(圖五)，之後置於顯微鏡下觀察。



(圖五)右邊為蛋白質測試劑，左邊為水浸泡之田字草及酢漿草

(二)田字草上下表皮及葉柄之漏斗型和圓型小孔密度

1.將田字草浸泡於蛋白質測試劑一小時，之後置於顯微鏡下計算田字草上下表皮及葉柄之漏斗型和圓型小孔。

(三)漏斗型和圓型小孔對蒸散作用的影響

1.剪下十六株田字草從葉柄到小葉的部位。

2.將田字草分成以下四組:第一組用凡士林塗上表皮加葉柄;第二組用凡士林塗下表皮加葉柄；第三組用凡士林塗上下表皮；第四組為對照組。

3.將這四組分別泡入裝有等量紅墨水的小燒杯裡。

4.在 10、20、30、40 秒後分別每個燒杯各取出一株田字草。

5.用美工刀切開它的葉柄並以直尺測量紅墨水上升高度。

6.再準備 6 株田字草，將葉柄部分浸泡於藍墨水中 30 分鐘，觀察氣孔與圓型小孔之變化。

(四)酸性和鹼性溶液對圓型小孔的影響

1.將田字草分別浸泡於 pH 6 及 pH 8 之 HCl、NaOH 溶液中 60 分鐘，並以水做為對照組。

2.將田字草的葉柄及小葉放置顯微鏡下觀察。

(五)溫度對漏斗型和圓型小孔的影響

1.將蛋白質測試劑的試劑瓶浸入 35℃(夏天最高溫)、25℃、15℃和 5℃(冬天最低溫)的水中，並靜置 20 分鐘。

2.將田字草分成四組，每組有三株田字草，分別泡入 35℃、25℃、15℃及 5℃的蛋白質測試劑，並靜置一小時。

3.將田字草的葉柄及小葉放置顯微鏡下觀察。

(六)比較水生田字草與陸生田字草年老葉、年輕葉與幼生葉之氣孔、漏斗型和圓型小孔之分布差異或有無

1.將水生與陸生田字草年老葉、年輕葉與幼生葉浸泡於蛋白質測試劑一小時。

2.置於顯微鏡下計算田字草上表皮及葉柄之氣孔、漏斗型和圓型小孔的數量。

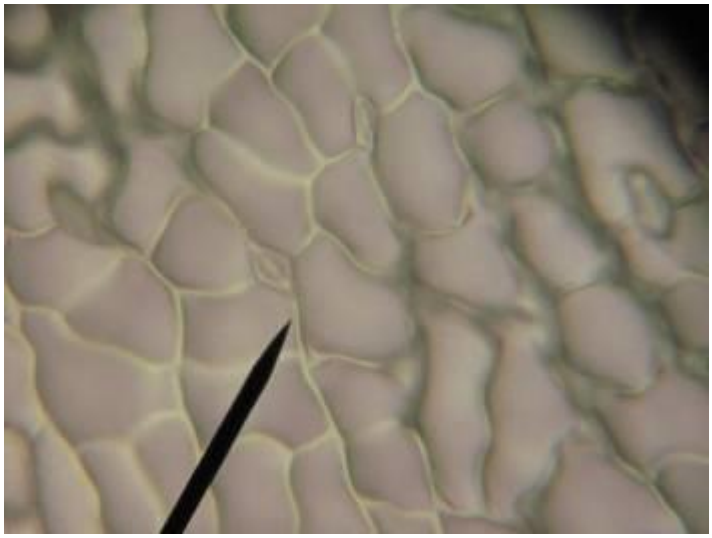
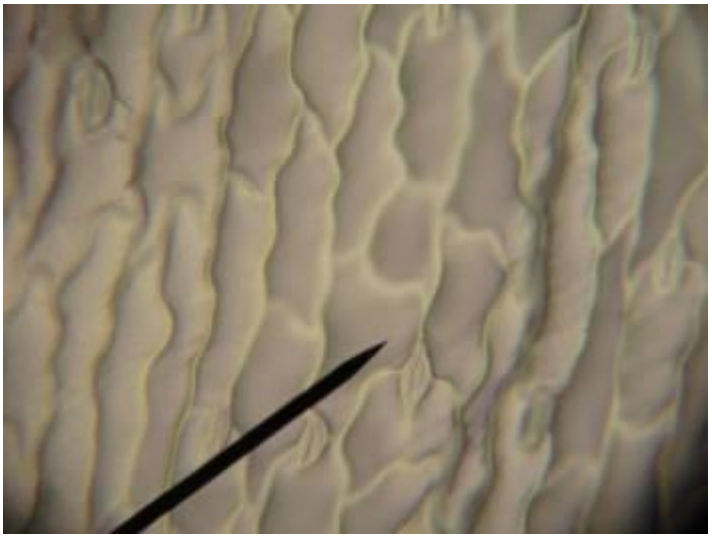
3.觀察各組的差異。

伍、實驗結果

一、探討南國田字草的氣孔與睡眠和觸發運動的關係

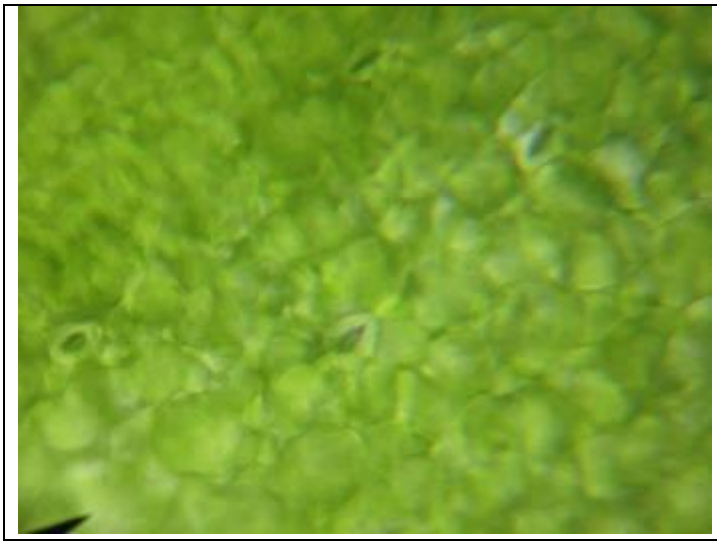
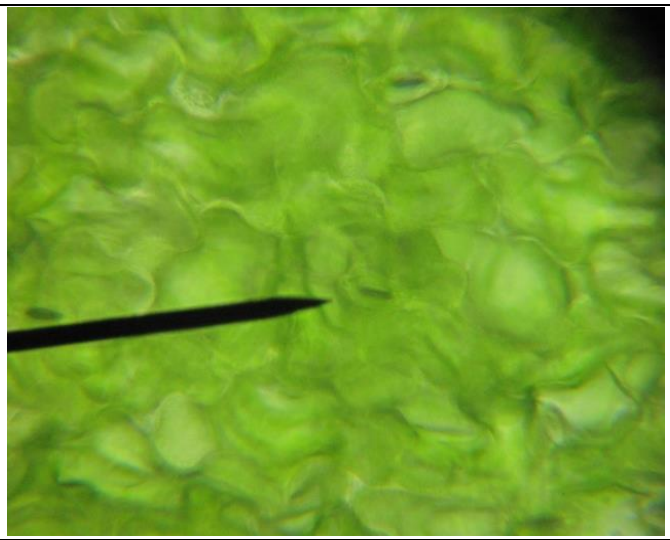
(一)瞭解南國田字草不同部位氣孔分布情況

1.顯微鏡下田字草小葉氣孔分布

	
A. 未進行觸發運動之田字草小葉氣孔	B. 已進行觸發運動之田字草小葉氣孔

(圖六)利用透明指甲油觀察田字草之上下表皮

利用透明指甲油在 400 倍顯微鏡下，可觀察到田字草小葉未進行觸發運動前與進行觸發運動後氣孔閉合情況。

	
A. 田字草小葉氣孔打開	B. 田字草小葉氣孔閉合

(圖七)直接利用顯微鏡觀察田字草之上下表皮

田字草小葉薄可透光，因此除了要瞭解未進行觸發運動小葉氣孔閉合情形時，使用透明指甲油外，其餘實驗皆直接使用複式顯微鏡觀察。

表(一)田字草三個不同的區之氣孔閉合數量及比例

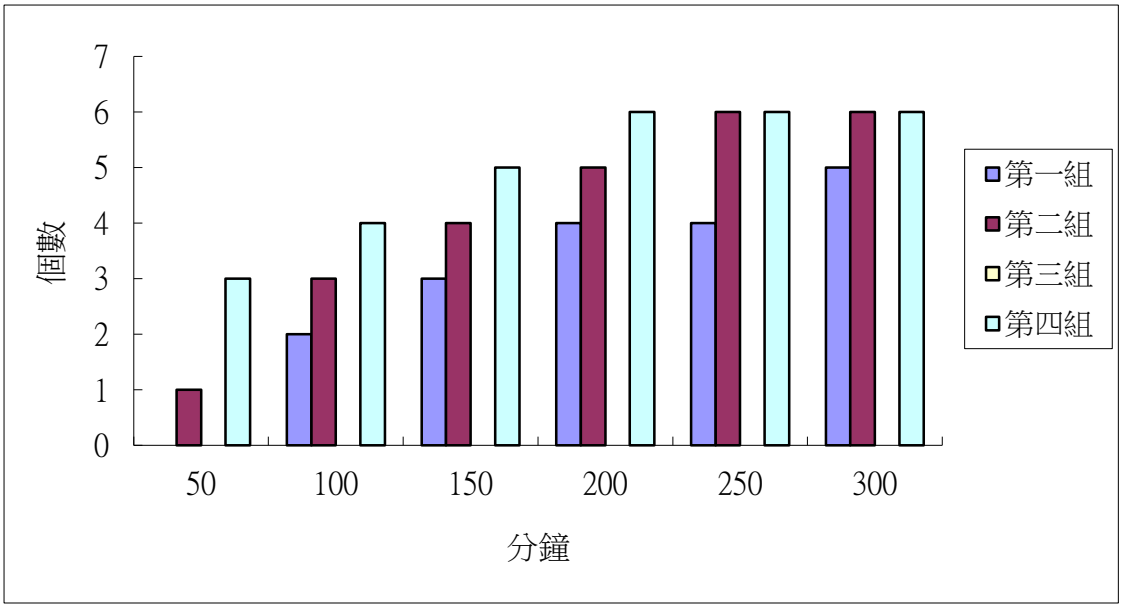
氣孔數量 / 區域	未進行觸發及睡眠運動氣孔的平均數量						進行觸發運動氣孔的平均數量					
	上表皮			下表皮			上表皮			下表皮		
	開	閉	閉合比例	開	閉	閉合比例	開	閉	閉合比例	開	閉	閉合比例
A	185	102	36%	144	61	30%	112	182	62%	102	142	58%
B	256	138	35%	183	102	36%	102	265	72%	109	162	60%
C	142	61	30%	142	58	29%	61	144	70%	83	112	57%
平均	194	100	34%	156	74	32%	92	197	68%	98	139	59%

註:田字草 A、B、C 部分在 1 平方公釐裡上下表皮氣孔的平均數量

因此上表皮氣孔平均 292 個；下表皮氣孔平均 234 個。南國田字草小葉氣孔數目上表皮＞下表皮；B 區＞A 區＞C 區，當進行觸發運動時，上下表皮及其各區氣孔閉合比例增加。

(二)探討氣孔對南國田字草睡眠運動的影響

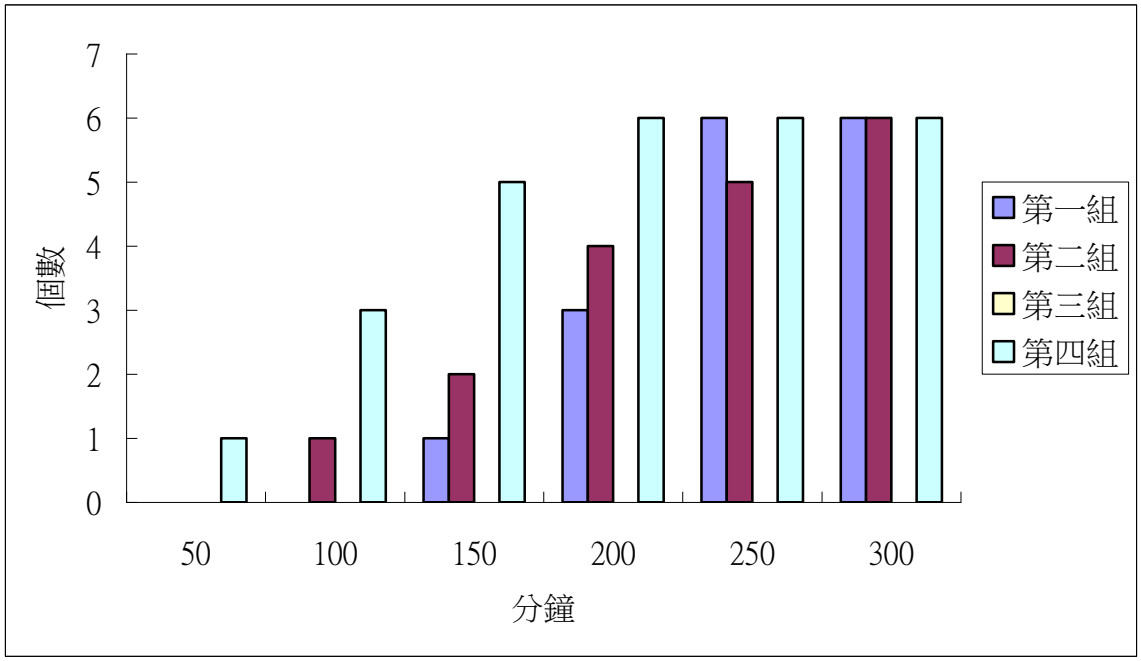
1.田字草進行睡眠運動小葉片閉合情況



圖(八)田字草進行睡眠運動小葉閉合的個數及所需的時間

第一組睡眠運動的平均時間是 160 分鐘；第二組睡眠運動的平均時間是 120 分鐘；第四組睡眠運動的平均時間是 90 分鐘；第三組完全沒有進行睡眠運動。

2.田字草結束睡眠運動小葉片開啟情況

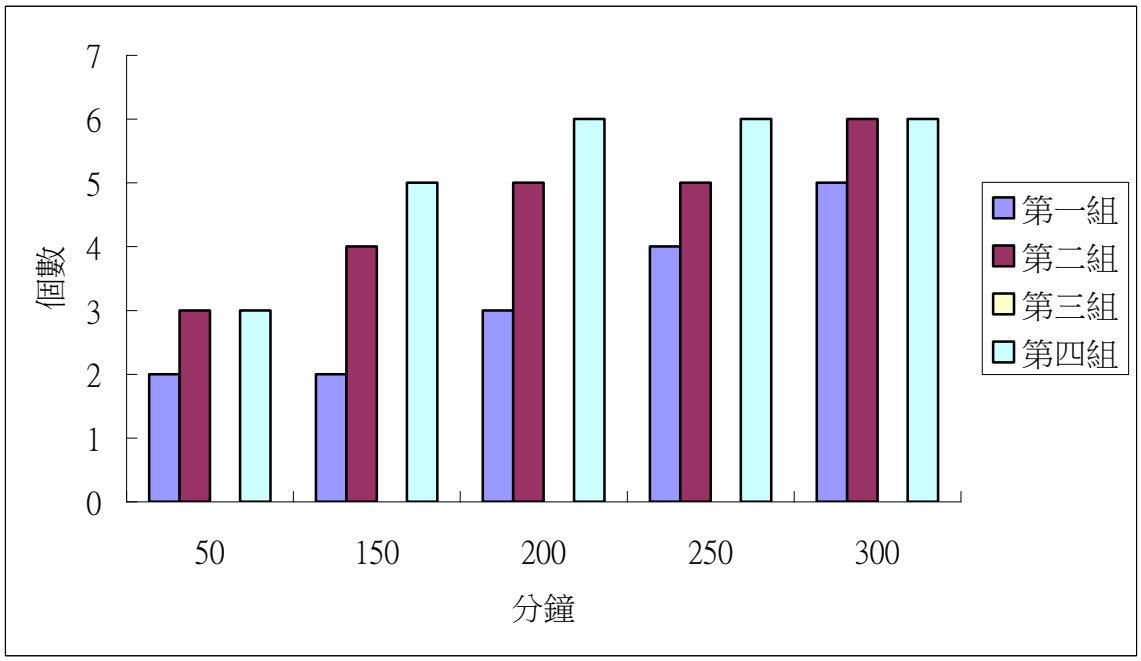


圖(九)田字草結束睡眠運動後打開小葉之個數及所需的時間

第一組平均醒來所需的時間是 150 分鐘；第二組平均醒來所需的時間是 120 分鐘；第四組平均醒來所需的時間是 90 分鐘；第三組因為沒有進行睡眠運動，所以一直都是閉合的。

上下表皮都塗凡士林的葉片無法進行睡眠運動，可見田字草的睡眠運動必須仰賴小葉的氣孔才能進行。

(三)探討氣孔對南國田字草觸發運動的影響



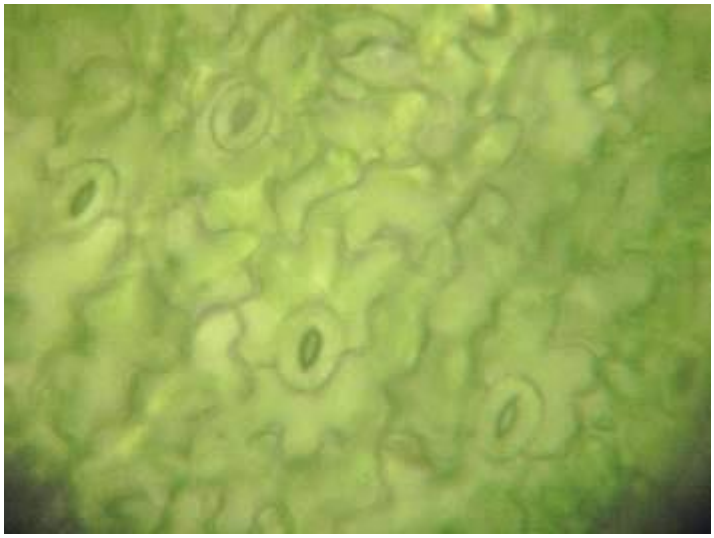
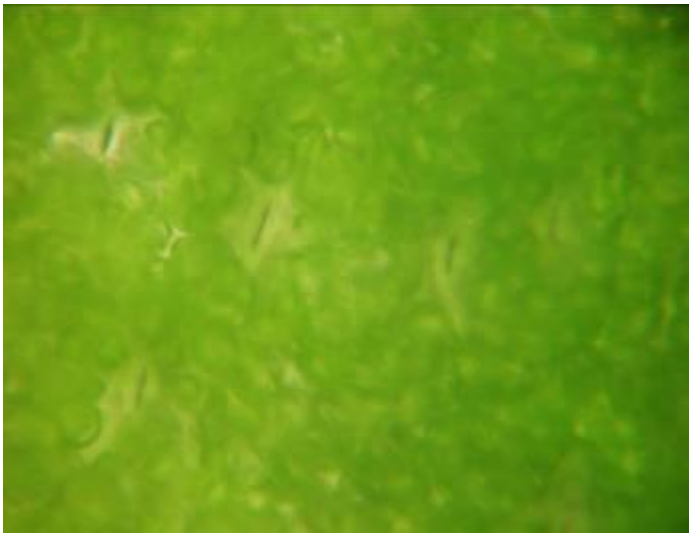
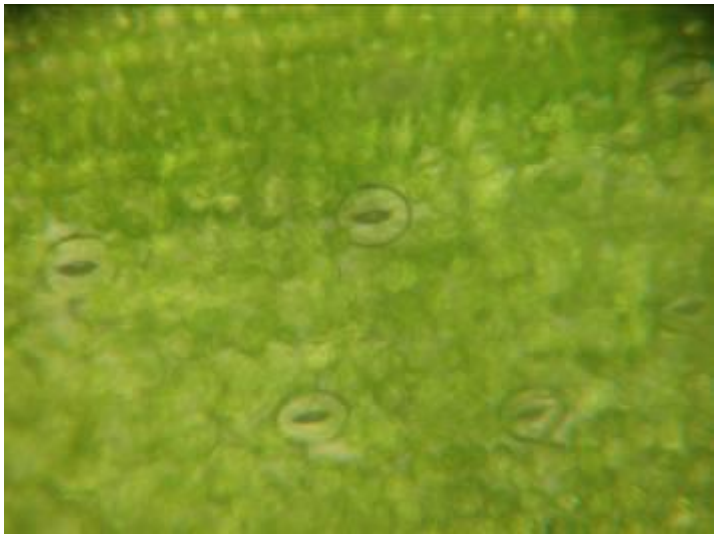
圖(十)氣孔與南國田字草觸發運動時間之關係

第一組進行觸發運動小葉閉合的時間是 160 分鐘；第二組所需的時間是 140 分鐘；第四組所需的時間是 100 分鐘；第三組因為沒有進行觸發運動，所以一直都是打開的。

上表皮所含的氣孔量較下表皮多，塗凡士林下表皮之組別其閉合的速率比塗凡士林上表皮之組別快。上下表皮都有塗凡士林的田字草，都沒有閉合，而對照組的田字草是閉合最快也是最多的，從這個實驗可以發現田字草的觸發運動和氣孔有關。

因田字草小葉閉合與打開各需要 2 至 3 小時，且觸發運動小葉閉合時間與睡眠運動小葉閉合時間相似，故本實驗未進行田字草觸發運動小葉打開時間的比較。

(四)鉀離子和鈉離子對田字草氣孔閉合之影響

	
鈉離子	鉀離子
	
水	

(圖十一)鈉鉀離子和水對氣孔的影響

(表二)鈉鉀離子和水對氣孔閉合的影響

組別 / 區域	NaCl 溶液		KCl 溶液		水	
	上表皮	下表皮	上表皮	下表皮	上表皮	下表皮
	閉合比例(%)	閉合比例(%)	閉合比例(%)	閉合比例(%)	閉合比例(%)	閉合比例(%)
A	17.8%	25.3%	17.6%	30%	9.2%	12.9%
B	11.2%	12.5%	23.4%	23%	25%	35.3%
C	14.2%	7%	30.2%	36.3%	15.7%	36.5%
平均	14.4%	14.9%	23.7%	29.8%	16.6%	28.2%

表(三)鈉鉀離子和水對田字草氣孔大小的影響

物質	NaCl		KCl		H_2O	
位置	上表皮	下表皮	上表皮	下表皮	上表皮	下表皮
長 (mm)	0.028	0.031	0.022	0.02	0.023	0.029
寬 (mm)	0.013	0.014	0.006	0.006	0.006	0.013

實驗結果發現鈉離子會使保衛細胞膨脹變大，氣孔打開；水雖會使保衛細胞膨脹，但氣孔卻打開比例較少；鉀離子不僅會使保衛細胞變小，氣孔閉合比例亦增加。保衛細胞膨脹情況為鈉離子＞水＞鉀離子；氣孔打開比例亦為鈉離子＞水＞鉀離子。

(四)氣孔與光合作用產物的關係

第一組	第二組
第三組	第四組

(圖十二)田字草光合作用產物

第四組為對照組光合產物最多，小葉及葉柄皆呈藍紫色，顏色最深；因此其次為葉柄塗凡士林的第三組，葉柄為淡黃色，小葉則呈藍紫色；接著為下表皮塗凡士林的第二組，小葉呈部分藍紫色；光合產物最少的為上表皮塗凡士林的第一組。

(五)田字草各部位對蒸散作用之影響

表(四)田字草各部位蒸散作用的結果

組別 時間	下表皮	上表皮	葉柄	對照組
10 秒	2%	9%	5%	41.7%
20 秒	6%	13%	9%	44.6%
30 秒	13%	33%	20%	100%
40 秒	22%	40%	38%	100%

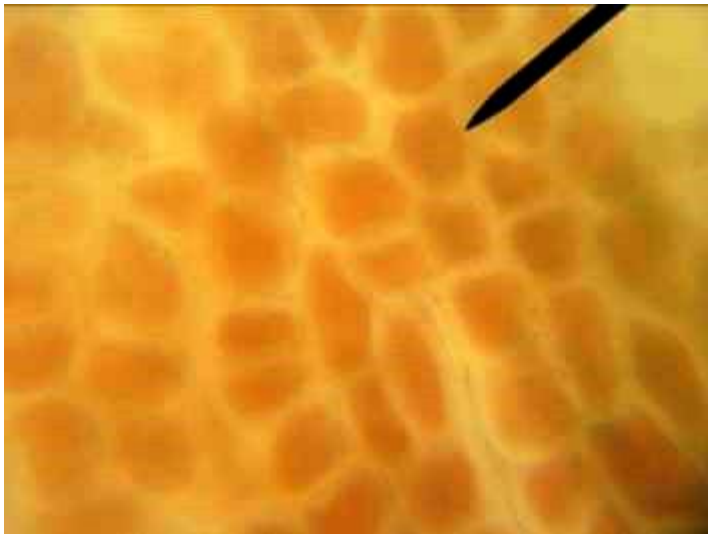
由此表能得知田字草各部位蒸散作用進行的速率:對照組>上表皮>葉柄>下表皮

二、探究南國田字草小葉基部和葉柄與睡眠和觸發運動的關係

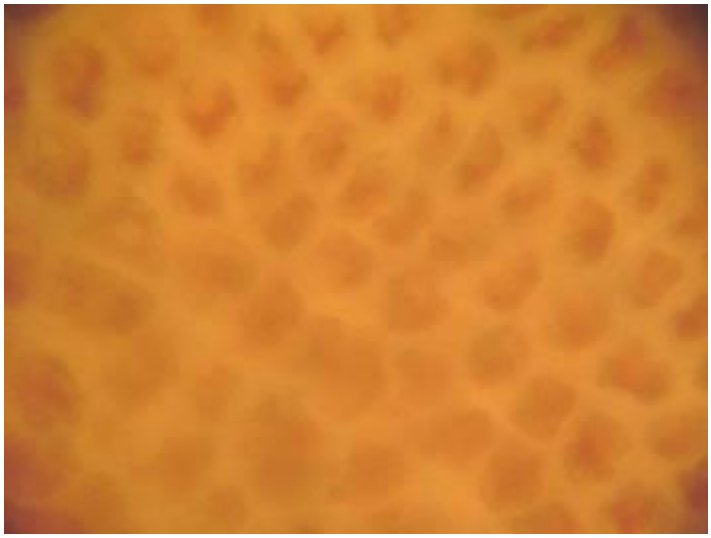
(一)觸發運動對田字草及酢醬草葉枕細胞大小之影響

(表五)觸發運動對田字草及酢醬草葉枕細胞大小之影響

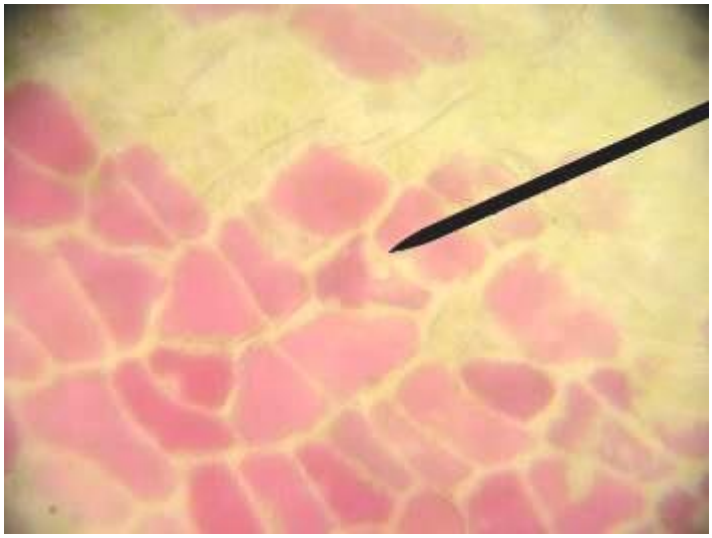
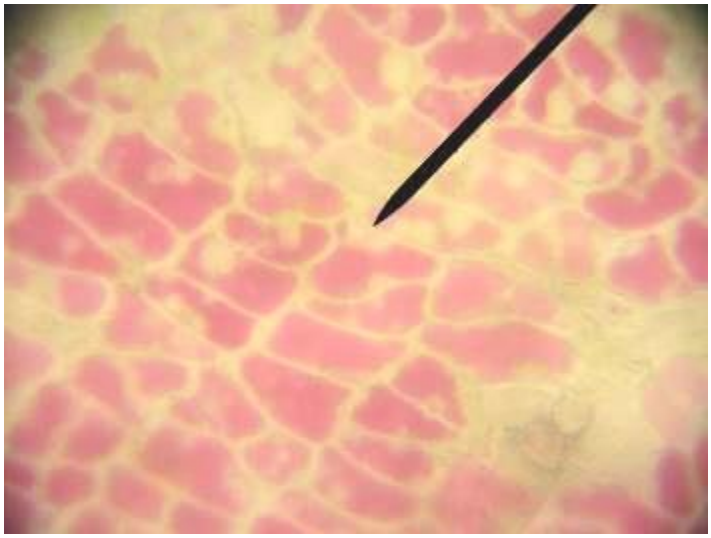
種類	田字草		酢醬草	
觸發運動	未進行觸發運動	進行觸發運動	未進行觸發運動	進行觸發運動
長(mm)	0.098	0.087	0.053	0.048
寬(mm)	0.038	0.027	0.028	0.023



田字草未進行觸發運動之葉枕細胞



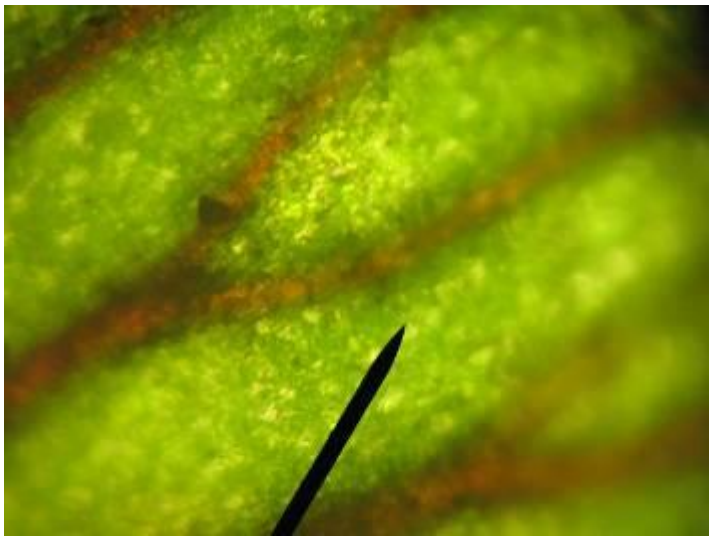
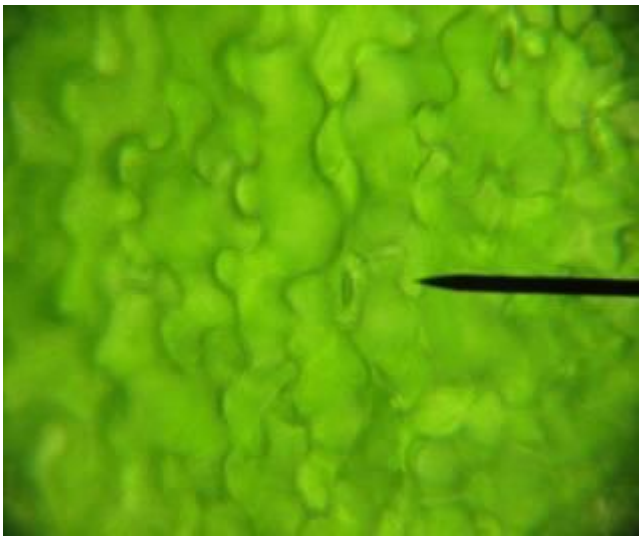
田字草進行觸發運動之葉枕細胞

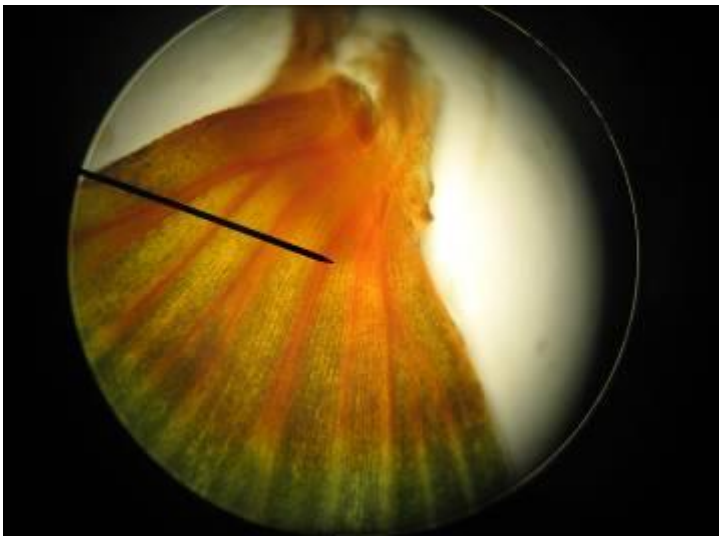
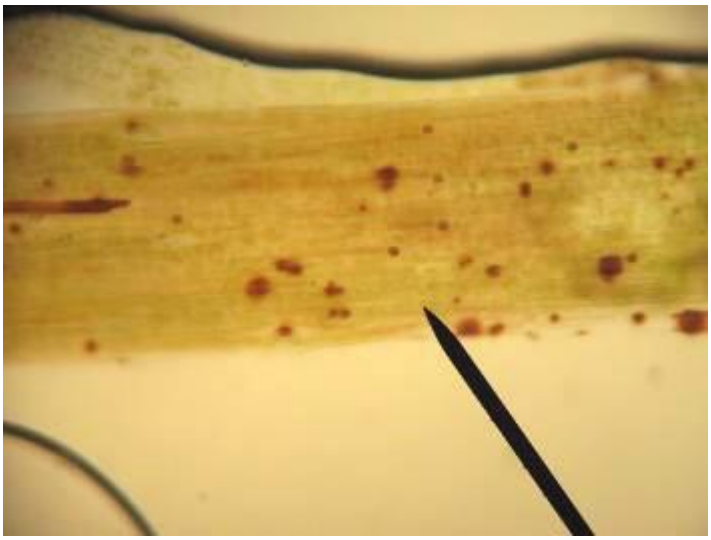
	
酢醬草未進行觸發運動之葉枕細胞	酢醬草進行觸發運動之葉枕細胞

(圖十三)觸發運動對田字草及酢醬草葉枕細胞之影響

從(圖十三)及表(五)的結果可知田字草及酢漿草進行觸發運動後，葉枕細胞皆會變小。

(二)南國田字草及酢醬草葉片基部和葉柄構造及組成成份

	
田字草小葉葉脈(400╳)	酢漿草葉片葉脈(400╳)

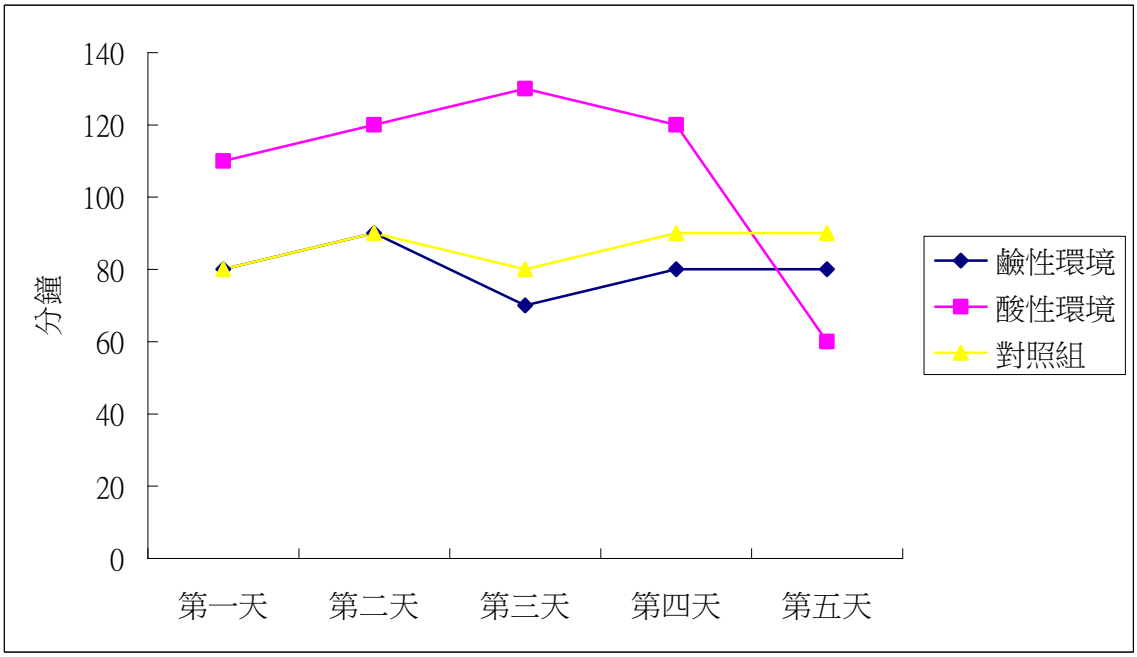
	
田字草小葉基部(40╳)	酢漿草葉片基部(400╳)
	
田字草葉柄(100╳)	酢醬草的莖(40╳)

(圖十四)田字草及酢醬草小葉維管束、基部和葉柄構造

我們發現南國田字草的小葉葉脈、基部及葉柄都有非常豐富的蛋白質，其小葉葉脈、小葉基部呈現紅色反應，葉柄上則出現紅色小點，平均一平方公釐就有 175 個小紅點，代表這些部位蛋白質含量豐富。小紅點的外貌又分兩種，一種似漏斗狀，另一種則為小圓形，而酢漿草的小葉及葉柄則沒有發生顏色變化，也未發現如田字草之特殊構造。

(三)酸性和鹼性溶液對田字草睡眠運動之影響

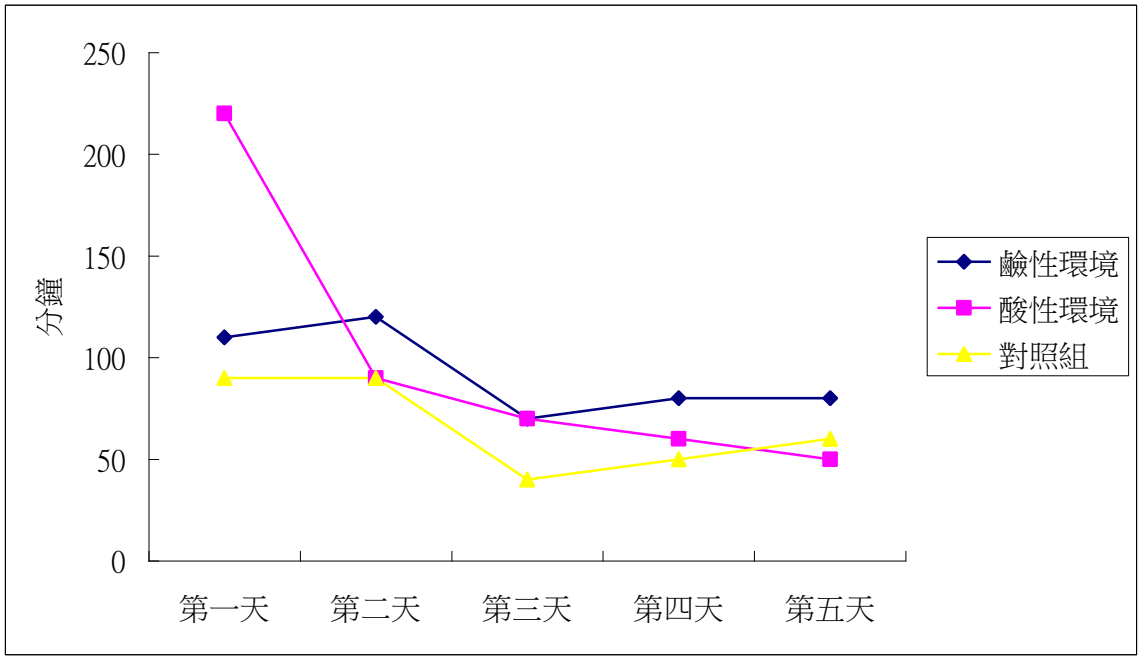
1.酸性和鹼性溶液對田字草睡眠運動關閉葉片所需時間



(圖十五)酸性和鹼性溶液對田字草睡眠運動關閉葉片所需時間

培養在酸性環境的田字草，前四天睡眠運動關閉小葉所需時間較培養在鹼性及對照組長。之後雖然有縮短時間的現象，但田字草卻呈現不健康枯黃的情況。

2.酸性和鹼性溶液對田字草睡眠運動打開葉片所需時間

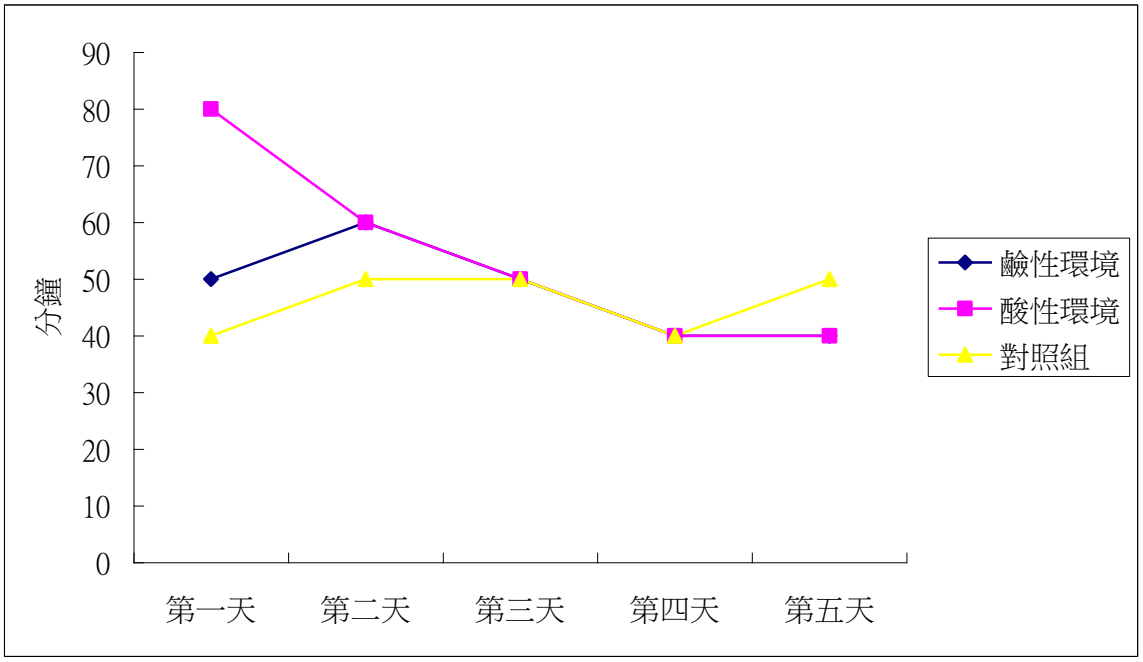


(圖十六)酸性和鹼性溶液對田字草睡眠運動打開小葉所需時間

培養在酸性環境的田字草，前四天睡眠運動打開小葉所需時間較培養在鹼性及對照組長，之後雖然有縮短時間的現象，但田字草卻呈現不健康枯黃的情況與前一實驗相同。

(四)酸性和鹼性溶液對田字草觸發運動之影響

1.酸性和鹼性溶液對田字草觸發運動關閉葉片所需時間



(圖十七)酸性和鹼性溶液對田字草觸發運動小葉閉合所需時間

培養在酸性環境的田字草，前二天進行觸發運動關閉小葉所需時間較培養在鹼性及對照組長。第三天之後雖小葉閉合時間與鹼性環境和對照組相同，但田字草卻呈現不健康枯黃的情況。酢醬草實驗中卻發現酸鹼環境對酢漿草葉片閉合時間無太大影響。

2.打開葉片所需時間

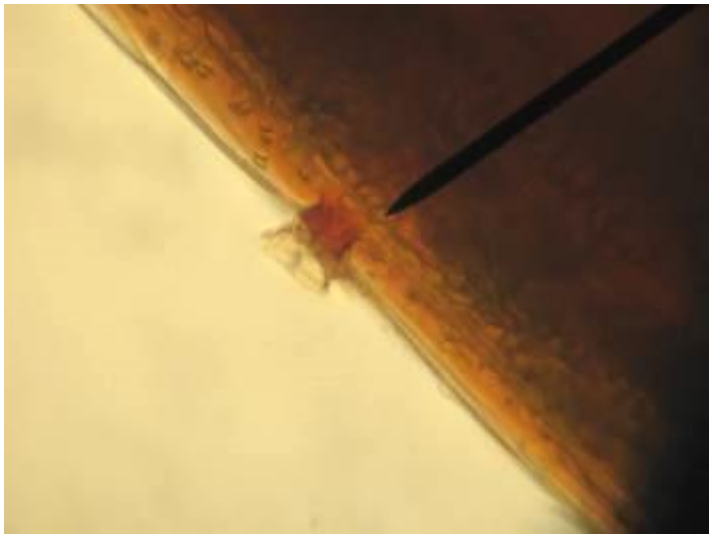
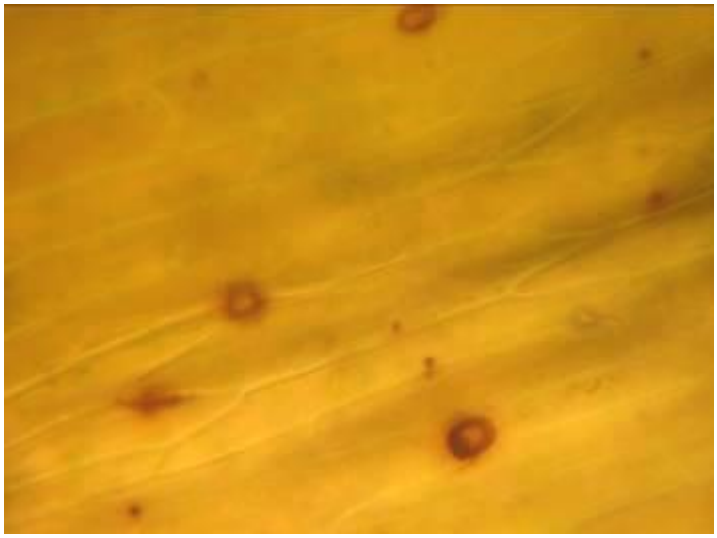
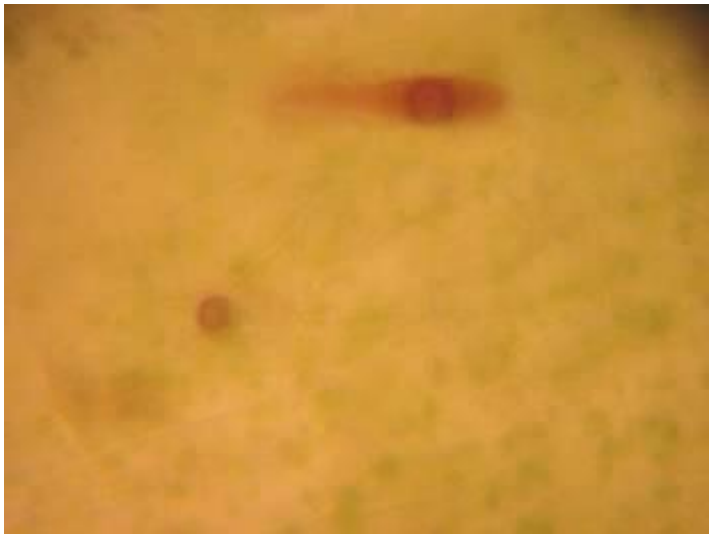
因田字草進行觸發運動所需時間較長，往往小葉尚未完全打開即要進行睡眠運動，因此不呈現這部分實驗結果。

(五)南國田字草之維管束與睡眠和觸發運動的關係

1.切割田字草小葉靠近基部之維管束，發現田字草無法進行睡眠運動與觸發運動。

三、探索南國田字草葉柄上之漏斗型和圓型小孔的構造與功能

(一)漏斗型和圓型小孔的外型及組成物質

	
陸生田字草葉柄上之漏斗型小孔	陸生田字草葉柄上之圓型小孔
	
水生田字草葉柄上之漏斗型小孔	水生田字草葉柄上之圓型小孔

(圖十八)葉柄上氣孔、漏斗型小孔及圓型小孔的分布情形

表(六)平均一平方公厘田字草氣孔、漏斗型小孔及圓型小孔在小葉及葉柄分布情形

	A	B	C	小葉基部	甲	乙	丙
氣孔	287	394	203	0	34	68	61
漏斗型小孔	0	0	0	0	24	24	71
圓型小孔	0	0	0	0	95	119	190

小葉氣孔數量比葉柄多 4~5 倍；氣孔數量葉柄乙區＞丙區＞甲區，平均約 54 個，漏斗型小孔平均約 40 個，圓型小孔平均約 135 個。小葉氣孔平均 295 個。

(四)酸性和鹼性溶液對氣孔和圓型小孔的影響

表(七)酸性和鹼性溶液對氣孔閉合之影響

氣孔數量 / 區域	酸性溶液						鹼性溶液						水					
	上表皮			下表皮			上表皮			下表皮			上表皮			下表皮		
	開	閉	閉合比例 %	開	閉	閉合比例 %	開	閉	閉合比例 %	開	閉	閉合比例 %	開	閉	閉合比例 %	開	閉	閉合比例 %
A	41	244	86	20	81	80	460	33	7	367	26	7	312	33	9	312	67	17.6
B	94	448	83	61	338	85	684	33	5	582	47	7	556	237	29.8	562	262	31.7
C	31	149	83	81	236	74	536	41	7	420	26	6	617	93	13	399	176	30.6
平均	55	280	84	84	218	80	560	36	6.3	456	33	6.7	495	121	17.3	424	168	26.6

由實驗結果得知氣孔在酸性環境下閉合比例會增加，在鹼性環境下則會減少。

表(八)酸性和鹼性溶液對氣孔和圓型小孔長寬之影響

		pH6	pH8	水
氣孔	長	0.036mm	0.039mm	0.039mm
	寬	0.026mm	0.03mm	0.029mm
圓型小孔	長	0.027mm	0.0775mm	0.029mm
	寬	0.023mm	0.028mm	0.02mm

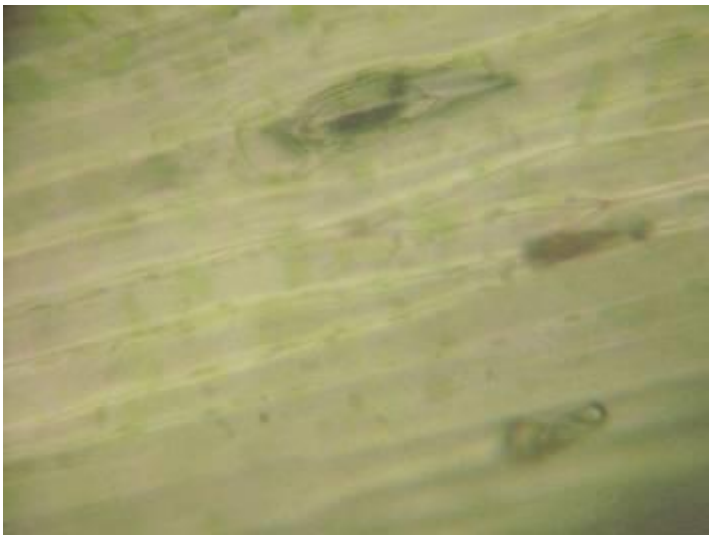
實驗結果發現氣孔及圓型小孔都會受鹼性溶液影響而變大。因漏斗型小孔要泡蛋白質測試劑才看得到，而蛋白質測試劑是鹼性的，故本實驗未觀察漏斗型小孔，不列入本實驗。但漏斗型小孔含豐富蛋白質，理論上應會受酸鹼的影響。

(五)溫度對漏斗型和圓型小孔的影響

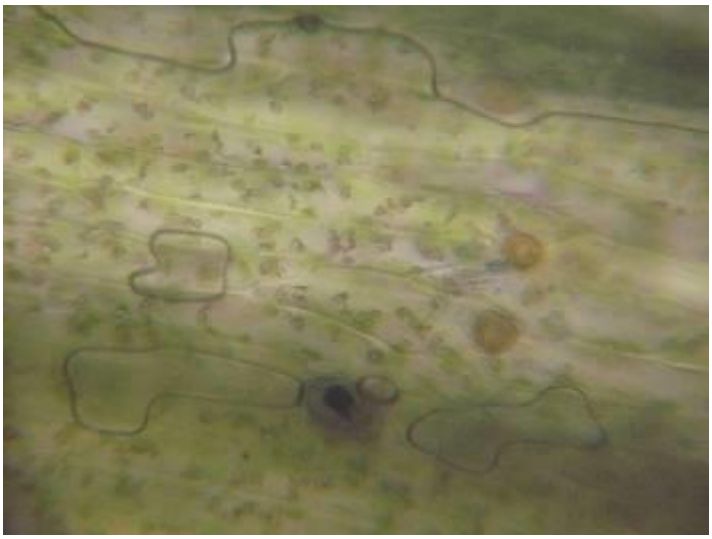
表(九)不同溫度對圓型小孔大小之影響

	5℃	15℃	25℃	35℃
長(mm)	0.0235	0.0235	0.0235	0.0265
寬(mm)	0.0235	0.0235	0.025	0.0235

5℃~35℃之間的環境並不會影響圓型小孔的大小。



氣孔呈現藍黑色



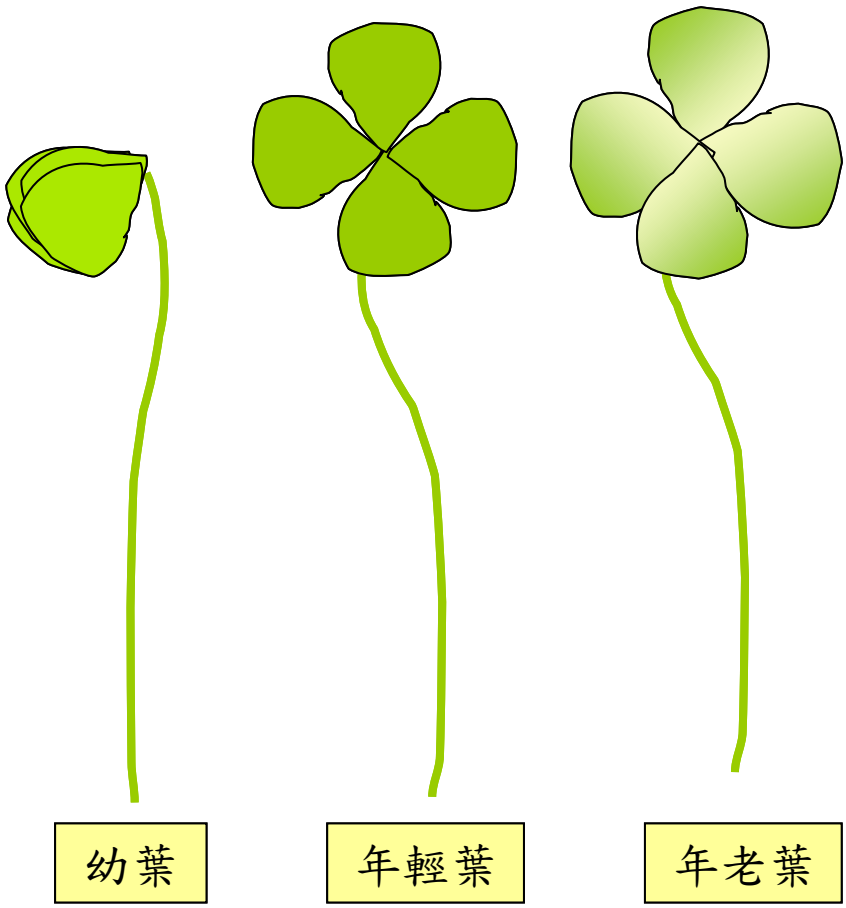
圓型小孔呈現藍黑色

(圖十九)田字草浸泡藍墨水實驗

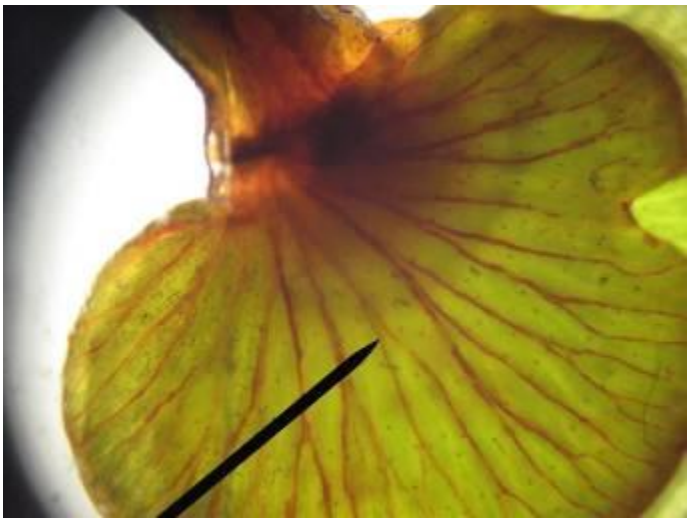
田字草浸泡藍墨水後進行蒸散作用，發現氣孔及圓型小孔會呈現藍黑色。

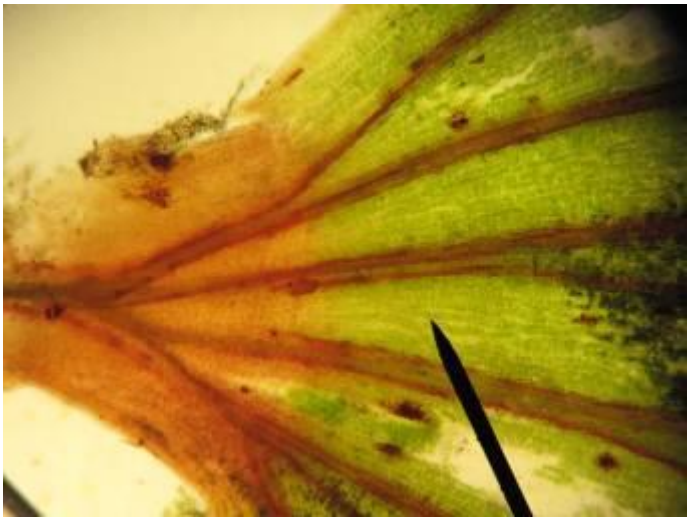
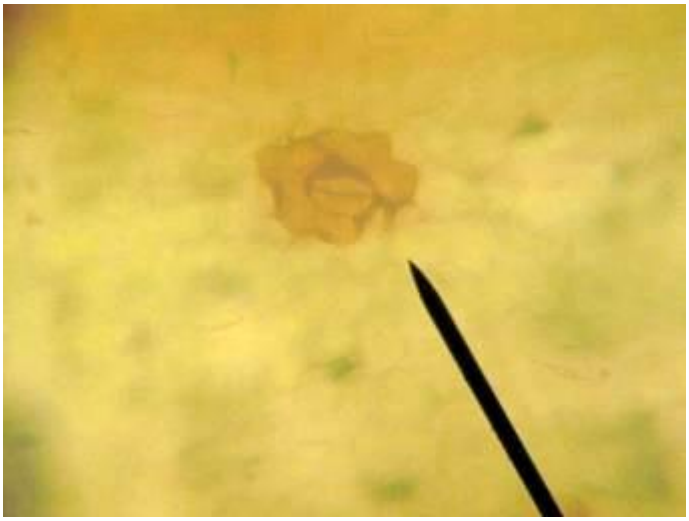
(六)比較水生田字草與陸生田字草幼生葉、年輕葉及年老葉之漏斗型和圓型小孔差異

(圖二十)為田字草三個時期小葉外型，幼生葉小葉閉合並下垂；年輕葉小葉葉子完整並呈翠綠色；年老葉小葉一般邊緣稍有破損呈黃綠色，當外力碰觸時不行觸發運動，而睡眠運動則出現延遲的現象，即小葉閉合及開啟需要較多的時間。



(圖二十)陸生田字草幼生葉、年輕葉及年老葉外型之比較



水生幼生葉小葉(40╳)	水生幼葉葉柄(400╳)
	
水生年輕葉小葉 (400╳)	水生年輕葉葉柄氣孔(400╳)

(圖二十一)水生田字草幼生葉、年輕葉及年老葉之氣孔、漏斗型和圓型小孔

表(十)不同生長階段田字草水生及陸生小葉平均 1 平方公釐氣孔數量

	年老葉			年輕葉		
	A	B	C	A	B	C
水生	95	292	258	380	468	393
陸生	292	407	298	217	420	319

表(十一)不同生長階段田字草葉柄平均 1 平方公釐之氣孔、漏斗型與圓型小孔數量

	年老葉葉柄			年輕葉葉柄			幼葉葉柄		
	氣孔	漏斗型小孔	圓型小孔	氣孔	漏斗型小孔	圓型小孔	氣孔	漏斗型小孔	圓型小孔
水生	73	94	244	60	102	224	40	33	597
陸生	87	68	352	94	474	256	67	94	224

水生田字草不管是氣孔、漏斗型及圓型小孔皆比陸生田字草少。水生田字草氣孔數量:老葉>中葉>幼葉；漏斗型小孔數量:中葉>老葉>幼葉；圓型小孔數量:老葉>中葉>幼葉。陸生田字草氣孔數:中葉>老葉>幼葉；漏斗型小孔數量:中葉>幼生葉>年老葉；圓型小孔數量:老葉>中葉>幼葉。

陸、討論

一、影響田字草氣孔開閉的因素

一般被子植物氣孔的開閉與保衛細胞水分含量有關，水分進入保衛細胞則細胞膨大氣孔打開；反之氣孔則關閉。水分如何進出保衛細胞，雖然有許多不同的理論，但最為大家所接受為鉀離子的累積，當鉀離子移入保衛細胞，則保衛細胞不斷吸水，氣孔打開；反之，氣孔關閉。但本研究顯示結果卻與被子植物相反，當鉀離子移入保衛細胞時，氣孔閉合比例會增加且保衛細胞會縮小；而我們發現當鈉離子移入保衛細胞時，則保衛細胞會不斷吸水，且氣孔打開比例增加。

根據參考文獻結果顯示，酸鹼度對被子植物氣孔的開閉影響很大，處於酸性環境下，氣孔趨向關閉；而處於鹼性環境下，則趨於張開，本研究亦顯示相似結果。

二、田字草氣孔與蒸散作用、光合作用、睡眠及觸發運動之關係

植物體的蒸散作用與氣孔有密切的關係，約有 90%的蒸散量是由氣孔散出，而氣孔的閉合又和保衛細胞的水份進出有關。根據參考資料，環境變化會影響田字草小葉氣孔的分布密度，生長環境水份愈多，氣孔密度愈低；反之，氣孔數量愈多。文獻亦指出水陸環境變化會使田字草上下表皮氣孔分布比例改變，有助於適應不同環境。因此田字草陸生葉的氣孔密度比水生葉多，而上表皮又比下表皮多，在實驗過程中，我們又發現田字草氣孔較集中在小葉中間部分，而葉緣、小葉基部及葉柄的地方較少氣孔分布。使用凡士林將田字草不同部位之氣孔封閉，會影響光合作用的產物。光合作用產物多寡依序為對照組＞葉柄塗凡士林＞下表皮塗凡士林＞上表皮塗凡士林，結果與封閉氣孔數量成正相關。

一般被子植物受到碰觸、打擊或振盪等刺激所產生的反應，稱為觸發運動。稍為輕微地碰觸其小葉，小葉便閉合；如刺激連續傳遞，而達葉基部時則葉柄也會下垂。這是因為細胞於接受觸摸的刺激後，內部的膨壓發生變化所致。這些細胞的通透性加大，細胞內水分易於排出，膨壓隨之下降，葉柄自然下垂。刺激停止後，細胞的通透性恢復正常，外面的水分便進入細胞，細胞的膨壓隨之升高，於是葉片和葉柄便恢復原來的位置。我們使用透明指甲油觀察田字草在睡眠及觸發運動時氣孔開合的情況，發現當田字草在進行睡眠及觸發運動時，氣孔閉合比例增加。但我們不瞭解是因為進行睡眠及觸發運動後造成的氣孔閉合；還是氣孔閉合的現象，讓田字草可以進行睡眠及觸發運動，因此我們進一步使用凡士林塗抹田字草各部位氣孔，瞭解其與睡眠及觸發運動的關係。當進行觸發運動時，對照組的田字草的小葉會最先完全閉合，其次是上表皮塗凡士林的那組，而第三完全閉合的就是下表皮塗凡士林的那一組，上下表皮都有塗凡士林的那一組一株都沒有閉合。因此我們發現田字草進行睡眠及觸發運動的時間，隨封閉氣孔數量而增加，即封閉氣孔分布密度愈高的部位，田字草進行睡眠及觸發運動的時間愈長，因此證明田字草進行觸發以及睡眠運動，都需要氣孔的協助。使用同樣的方式進行實驗，將酢漿草葉片塗上凡士林，使葉內的水分不能自氣孔散失，但卻不會影響酢漿草的睡眠與觸發運動，因此可知葉片張合時，酢漿草體內的水分並沒有逸散出去。

如果我們將酢漿草葉脈切割，可觀察到葉片張開速度變慢，但酢醬草亦會進行睡眠運

動。參考文獻指出，酢漿草葉片基部是控制酢漿草睡眠運動的部位。葉片基部有葉枕的構造，光度會影響葉枕內的水含量，白天(或光照下)水分含量多，因此水壓高葉片就展開；晚間(或黑暗下)水分含量少，因此水壓低葉片就下垂。葉枕內水分的變化是水分子在細胞間轉移的結果，所以酢漿草的睡眠運動不受溫度及蒸散作用影響，只有光會影響其睡眠運動。而切割田字草小葉葉脈實驗，小葉完全無法閉合，即無法觀察到睡眠及觸發運動，表示小葉的張合與其葉脈水分運輸有關。實驗過程中，我們亦發現當環境濕度太高時，水分不易由氣孔離開，田字草亦無法進行觸發運動。

本實驗亦發現田字草小葉氣孔數量依序為年輕葉>年老葉>幼生葉，幼生葉尚未展開，故無睡眠與觸發運動；年老葉則出現延遲睡眠運動及觸發運動不靈敏；年輕葉氣孔數量最多，進行睡眠運動及觸發運動所需時間最短。唯目前不瞭解小葉氣孔生成與消失的機制為何。

三、田字草小葉基部與葉柄對睡眠及觸發運動之影響

因田字草的睡眠與觸發運動會受到 pH 值影響，而一年級自然我們學到過主要構成生物體的成份中，會受到 pH 值影響的為蛋白質，因此我們使用蛋白質測試劑，測試田字草是是否亦含有豐富的蛋白質。此法是利用肽類在鹼性溶液中與硫酸銅作用，產生雙肽呈紅紫色。因此當植物組織呈現紅紫色時，代表組織細胞中含有蛋白質。

實驗結果我們發現酢漿草沒有呈現明顯顏色變化，但田字草小葉的維管束及小葉基部呈現顯著的紅紫色，而且葉柄上亦出現很多紅色的小點，外型呈現圓型及漏斗型。這些部位因蛋白質含量豐富，我們想進一步瞭解是否與蒸散作用、睡眠及觸發運動有關，因此利用酸性與鹼性溶液培養田字草，發現培養前三天田字草睡眠與觸發運動受酸性溶液影響大於鹼性溶液，小葉開啟及閉合時間與對照組相對增加。根據參考資料田字草較適合生長在鹼性的環境，將田字草培養在弱酸性的環境中，一開始田字草的睡眠與觸發運動會受影響，雖然之後會恢復規律，但培養在酸性環境下的田字草會愈來愈不健康，甚至最後枯萎死亡。文獻指出氣孔開啟程度會隨 pH 值增加而增大，孤挺花在酸性環境氣孔處於關閉，鹼性環境氣孔則趨於張開，浸水之孤挺花保衛細胞明顯膨脹，但氣孔卻沒有張開。本研究結果三、(四)顯示酸性環境會使田字草氣孔趨於關閉，而氣孔開合會影響睡眠與觸發運動，因此前三天培養在酸性環境的田字草會延遲小葉閉合及開啟的時間，但之後田字草又恢復與對照組一樣的睡眠時間，代表田字草內部亦有一生理時鐘在控制。田字草的觸發運動亦有如此現象，培養在酸性環境下的田字草會延遲觸發運動的進行。

四、田字草葉柄之圓型小孔及漏斗型小孔的功用

我們利用蛋白質測試劑檢測葉柄之成份，發現葉柄除了氣孔外，尚有圓型小孔及漏斗型小孔。田字草漏斗型小孔數量為年輕葉>幼生葉>年老葉；而田字草圓型小孔數量為年老葉>年輕葉>幼生葉。葉柄的生長點為連接小葉處，在葉柄的氣孔分布密度集中在丙區，因此我們推論田字草葉柄之漏斗型小孔和圓型小孔為同一種構造但不同時期，先形成漏斗型小孔，之後去除漏斗構造即形成圓型小孔。

葉柄的氣孔密度比小葉低很多，單位面積氣孔數量相差 4~5 倍，且丙區＞乙區＞甲區，葉柄上的圓型小孔及漏斗型小孔分布密度為丙區＞乙區＞甲區。氣孔的功用為進行蒸散作用和讓氧氣及二氧化碳進出，使用凡士林塗抹田字草，實驗結果發現蒸散作用進行的速率

為對照組>下表皮>葉柄>上表皮，與我們預期結果不同，我們認為下表皮氣孔比葉柄多，結果應為下表皮對蒸散作用的影響大於葉柄，代表有其他構造影響蒸散作用的速率。我們推論葉柄之漏斗型小孔及圓型小孔可協助進行蒸散作用，因此我們分別計算各部位氣孔、漏斗型小孔及圓型小孔總面積，上表皮氣孔總面積為 64.6 mm^2；下表皮氣孔總面積 10 mm^2；葉柄氣孔、漏斗型小孔及圓型小孔總面積為 21.3 mm^2 (表十)，其結果與田字草各部位對蒸散作用之影響結果一致。

(表十二)田字草各部位氣孔、漏斗型小孔及圓型小孔總面積

✱田字草葉片面積 =直徑/2×直徑/2 ×π×小葉角度×4 片小葉 =1/2 15× 1/2 15× π ×70° /360° ×4 ≒549.5 mm^2 **＊上表皮總蒸散面積** =田字草葉片面積×上表皮單位面積氣孔數×單一氣孔面積 =549.5×294×0.0004 =64.6212 ≒64.6 mm^2 **＊下表皮總蒸散面積** =田字草葉片面積×下表皮單位面積氣孔數×單一氣孔面積 =549.5×102×0.00018 =10.0888 ≒10mm^2
✱田字草葉柄面積 **=葉柄直徑×π×葉柄長度** ≒0.9×3.14×(100-10) ≒254.34 ≒254.3mm^2 **＊葉柄氣孔總面積** **=葉柄面積×葉柄單位面積氣孔數×單一氣孔面積** =254.3×20×0.0004 =2.0344 ≒2mm^2 **＊葉柄圓形小孔總面積** **=葉柄面積×葉柄單位面積圓形小孔數×單一圓形小孔面積** =254.3×122×0.0003 =9.3074 ≒9.3mm^2 **＊葉柄漏斗形小孔總面積** **=葉柄面積×葉柄單位面積圓形小孔數×單一圓形小孔面積**

=254.3×132×0.0003
=10.0703
≒10mm^2

✱葉柄總蒸散面積

=葉柄氣孔總面積+葉柄圓形小孔總面積+葉柄漏斗形小孔總面積

=2+9.3+10
≒21.3mm^2

當小葉進行睡眠或觸發運動時，小葉閉合，小葉及葉柄上的氣孔亦會關閉，因此會減少蒸散作用的進行，而田字草又需進行蒸散作用讓水分上升，此時圓型小孔及漏斗型小孔可取代氣孔進行蒸散作用。因此我們更進一步利用藍墨水進行蒸散作用，發現不僅氣孔會呈藍黑色，圓型小孔亦呈藍黑色，更加確認這些特殊小孔可協助蒸散作用的進行。

柒、結論

一般被子植物的睡眠及觸發運動與葉枕細胞有關，當受到碰觸或黑暗時，葉枕細胞內的水分就會排入細胞間隙中，造成葉子閉合。而蕨類田字草進行觸發及睡眠運動，卻是將水分由葉脈送至氣孔排出。田字草葉柄上除具有氣孔外，尚有特殊之圓型小孔及漏斗型小孔，其功用是讓田字草在環境變化(光線、溫度、碰觸等因素)造成氣孔關閉無法進行蒸散作用時，取代氣孔進行蒸散作用。田字草與酢漿草構造和睡眠及觸發運動之差異如表十三所示。

(表十三)田字草與酢漿草睡眠及觸發運動之比較

比較	項目	田字草	酢漿草
相同點	特徵	(1)皆具有睡眠及觸發運動 (2)皆具有氣孔與葉枕構造 (3)進行睡眠及觸發運動時葉枕細胞水分會排出 (4)氣孔閉合比例隨 pH 值下降而增加	
相異點	睡眠及觸發運動方式	小葉朝上閉合	葉片向下閉合
	進行睡眠及觸發運動所需時間	長，較無效率	短
	進行睡眠及觸發運動時，葉枕細胞水分排出位置	從氣孔排出，當氣孔封閉時小葉無法閉合	排入細胞間隙，當氣孔封閉時不會影響睡眠及觸發運動
	小葉葉脈對睡眠及觸發運動之影響	會影響，當切割葉脈時，小葉無法閉合	較無影響
	酸鹼環境下睡眠及觸發運動所需時間	酸性環境下會延長睡眠及觸發運動所需時間	無影響
	影響氣孔開啟的離子種類	鈉離子	鉀離子
	葉柄上之特殊構造	具有圓型小孔及漏斗型小孔協助蒸散作用	無

捌、參考文獻

壹、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。

貳、郭城孟 (2001) 。蕨類圖鑑。台北市：遠流出版社。

參、中華民國第二十五屆中小學科學展覽會國中組生物科第三名。酢醬草睡眠運動捉秘。臺北縣立福和國民中學陳佩君等四人。

肆、中華民國第四十三屆中小學科學展覽會高中組生物科。氣孔開闔機制的探討。國立嘉義高級中學王聖方、吳賀偉、孫裕民、謝式法。

伍、中華民國第四十五屆中小學科學展覽會國中組生物及地球科學科第二名掌握幸運-南國田字草的形態生理與睡眠運動之研究。臺北縣立福和國民中學王成宇、葉雅瑄、林冠伯。

【評語】030308

本研究進行南國田字草的多項生理反應探討，具基礎學術研究的價值。

由於探討的內容相當廣泛，可見同學的認真與努力。可惜也因同時探討過多內容，以致部分初步的觀察發現尚缺明確的證實資料。建議針對各別段落進行較深入、完整的分析，以建立支持論點的基礎。