

# 臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：植物學

作 品 名 稱：印度荇菜由沉水型轉為浮水型的支撐機制探討

得 獎 獎 項：佳作

學校 / 作者：嘉義市立北興國民中學 林攸真  
嘉義市立北興國民中學 王宜懿

## 作者簡介



左：林攸真

右：王宣懿

林攸真：目前就讀嘉義市北興國中數理資優班三年級，從小熱愛大自然、動植物觀察。這三年來觀察苔菜的生長，讓我收穫頗豐。希望以後有更多機會認識新的事物。

王宣懿：我也是嘉義市北興國中數理資優班三年級，我們的研究小組從國一開始就興致勃勃地觀察印度苔菜的生長現象，它讓我感到十分好奇，也獲益良多。此次能參加比賽，我相信能從中獲得更多新知識。

## 印度荇菜由沉水型轉為浮水型的支撐機制探討

### **Abstract**

The special life cycle of the *Nymphoides indica*: The veins and petioles of the pleustonic leaves can asexually reproduce adventitious buds. Pleustonic adventitious buds will change the density of the plants and sink into water. When the root of submersible plants attaches to the bottom of the pool, they will extend stems to the water surface and resume the life cycle. Reticulate sigmons and astral sclerenchyma appears in the process of transformation. Astral sclerenchyma merely appear in the species of which its leaves float above the water surface, and *Nymphoides sp.* are the most obvious. The cell wall thickness of astral sclerenchyma is even. The cells are hollow and full of water, and they will utilize water to change turgor between axes and spines. This is also proved in imitating experiments. The reticulate sigmons are frequently seen among aquatic plants, and the horizontal structures prevent air space from collapsing. These two structures make the thin stems of *Nymphoides indica* sustain the leaves instead of being crushed by the floating water.

**Keywords:** Life Cycle, Astral Sclerenchyma, Sigmon

## 簡 介

印度荇菜 (*Nymphoides indica*) 獨特的生長週期：浮水型葉的葉脈和葉柄可以無性繁殖不定芽，浮水型的不定芽會改變植株的密度而沉入水中，當沉水型植株的根系在池底固著後，便會以莖延伸出水面，再次展開浮水型葉的成長週期。轉變過程中會出現網狀的橫膈和星狀厚壁細胞。星狀厚壁細胞僅出現於葉片需由水中浮出水面生長的植物種類，而荇菜屬植物更明顯。星狀厚壁細胞其細胞壁厚度均勻，細胞中空且充滿水分，會利用水分在中軸與突起的棘間移動來改變膨壓變化，在模擬的實驗中也得到證實。網狀的橫膈在水生植物中是較常見到的構造，水平方向的支撐可以讓氣室不會塌陷，兩種構造的作用下使得印度荇菜細長的莖能夠支撐葉片，不會被流水沖斷。

關鍵詞：成長週期、星狀厚壁細胞、橫膈

## 壹、研究動機

水生植物池中常可以看到了一種特殊植物---印度荇菜，它的葉片和睡蓮外表相似，斷裂的葉脈處和葉柄可以繁殖出不定芽，週期性的生長變化，植株如何由浮水型轉變成沉水型一直是我們想要研究的重點。

## 貳、研究目的

- 一、印度荇菜的週期性生長
- 二、花梗的彎曲、伸直機制探討
- 三、沈水型葉轉變成浮水型葉的機制
- 四、星狀細胞的外觀構造
- 五、模型模擬星狀細胞的功能

## 參、研究器材和材料

印度荇菜 水族箱 日光燈 塑膠養殖箱 細繩 量角器  
雙刃刀片 載玻片 蓋玻片 複式顯微鏡 數位照相機  
直尺 美工刀 剪刀 電子秤 冷凍切片機 掃描式電子顯  
微鏡 汽球 解剖顯微鏡 無水酒精 牙膏紙盒 打氣筒  
注射針筒 彈簧秤

## 肆、研究步驟

### 一、印度荇菜的栽培

1. 將印度荇菜浮水葉置於陽光充足處，培育浮水型不

定芽和花苞，幾週後就可轉變成沉水型植株。

2. 在將沉水型植株植入水盆內的有機土中，只要陽光充足就可長成大型的浮水葉。

## 二、花梗的彎曲、伸直機制

1. 在花梗上升到近九十度時，切取五枝不同花朵其彎曲度最大的一段花梗進行徒手縱切和橫切，製成玻片標本。
2. 分別以複式顯微鏡觀察花梗橫切及縱切面，並以顯微照相記錄其影像，並分析彎曲處之內側及外側細胞平均直徑及長度。
3. 取花梗伸直之後，切取五枝不同花朵其之前彎曲處的一段花梗進行縱切和橫切製成玻片標本。
4. 分別以複式顯微鏡觀察花梗橫切及縱切面，並以顯微照相記錄其影像，並分析彎曲處之內側及外側細胞平均直徑及長度。

## 三、不定芽成長時密度的測量

1. 取不定芽最早產生的錐狀芽體作切片，以分辨它到底是莖或是根。
2. 將已完全獨立且浮水型之不定芽（已長有根和葉）利用電子秤量取重量，並利用排水法量取其體積，最後求得此芽體之密度。

3. 重複步驟 2 之方法，測出沈水型之不定芽密度。
4. 切除浮水型不定芽的葉（含葉柄），重複步驟 2 之方法，測出其密度。
5. 切除沈水型不定芽的葉（含葉柄），重複步驟 2 之方法，測出其密度。
6. 對浮水型之不定芽各部分進行徒手切片，並以顯微照相記錄之。
7. 對沈水型之不定芽各部分進行徒手切片，並以顯微照相記錄之。
8. 將步驟 2~5 所得之數據與 6~7 之照片進行分析。

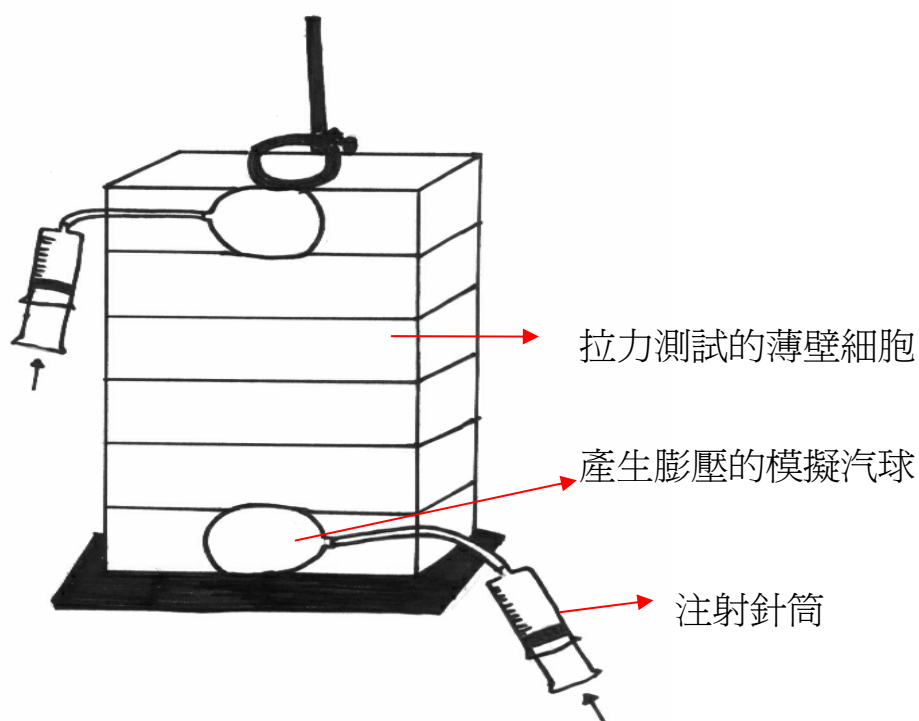
四、沉水型植株和浮水型的莖、葉，每隔 1 公分切段，徒手縱切和橫切，將切片先以低倍解剖顯微鏡觀察再轉換高倍顯微鏡觀察並拍照以數位化照片存檔，由照片計算兩個星狀細胞間的間隔細胞平均數。

五、將步驟三中剩餘的一半材料利用冷凍切片的方式，觀察星狀細胞中的構造。

六、利用掃描式電子顯微鏡拍攝，並將照片轉成 BMP 檔後，再以測量用比例尺進行薄壁細胞的細胞壁厚度，星狀細胞的細胞壁厚度及與星狀細胞相鄰兩側細胞的高度。

七、以 6 個牙膏盒子側面相疊模擬薄壁細胞，上下 2 個盒子內裝汽球  
模擬星狀細胞及其內部構造，汽球未充氣時以彈簧秤拉正中間  
的紙盒記錄排列的紙盒倒塌時的拉力(見圖一)。

八、上、下兩個汽球充滿氣體時，再測拉力。將氣體釋放後，改用  
注射筒打入自來水，記錄充水前、後細胞重量的變化及拉力。



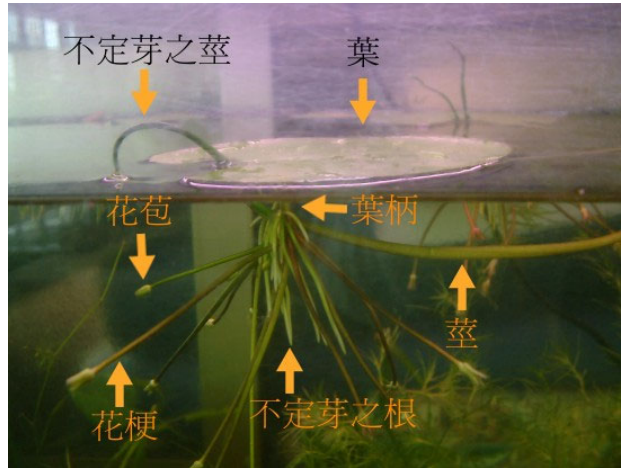
圖一、星狀細胞功能模擬實驗裝置

## 伍、實驗結果與分析

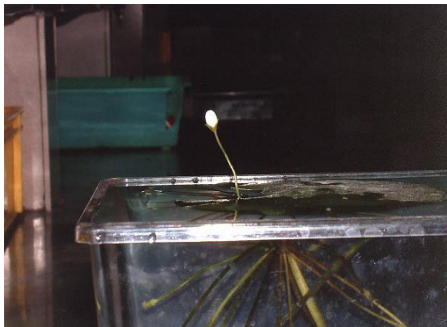
### 一、開花週期

印度芥菜在日照充足的環境中，在浮水葉的葉柄和莖的交

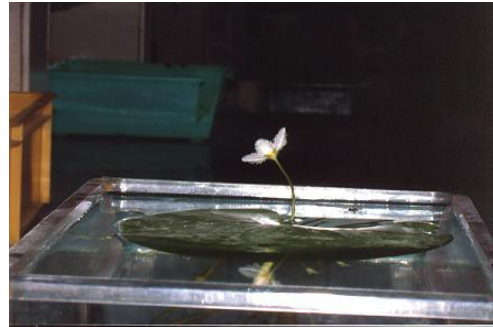
接處均可以長出花苞（照片 1），而花苞開放時會因花梗細胞的變化，使得花朵挺降的角度不同（照片 2、3），花謝後又沉入水中。



照片 1：花苞由浮水葉之葉柄和莖的交界處長出



照片 2：花苞由水中挺升至近垂直線



照片 3：花朵完全開放

## 二、沉水型葉與浮水型葉的生長週期

當浮水型葉的葉柄或葉脈處發生斷裂，就能以無性生殖的方式發育出小芽。當無性生殖的葉片尚未完全腐敗之前，新生的小芽尚可浮於水面生長（見照片 4a），待其根系成長後就會沉入水中生長，稱為沉水型植株（見照片 4b）。

沉入水中後其生長速度減緩，直到根系順利延伸進入底部泥土中，便開始長出抽長的莖並長成浮水型葉，只要日照充足生長的週期性就可進行。整個無性生殖週期如下：  
浮水型葉柄或葉脈破裂 → 浮水型不定芽植株 → 沉水型植株 → 根系固著 → 成長浮水型葉 → 浮水型葉柄或葉脈破裂



照片四 a：浮水之不定芽株



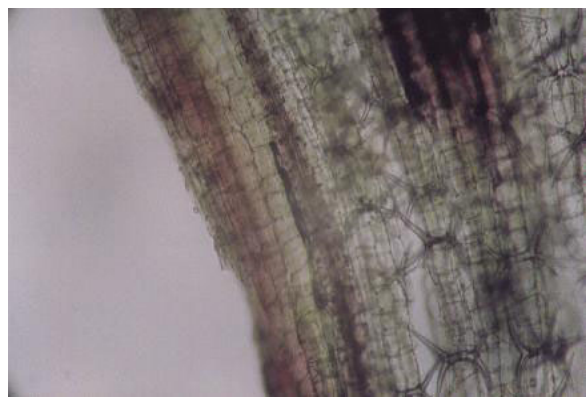
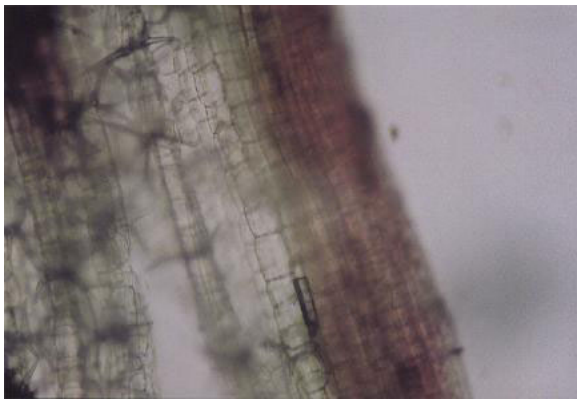
照片四 b：沉水型不定芽株

### 三、花梗的彎曲、伸直機制

1. 由花梗彎曲處之橫切面照片（照片 5）均明顯的可以看到整個彎曲內側部分有扁平化之情形，也就是說由中心維管束到彎曲內側表皮的平均直線距離（0.60mm）比中心維管束到彎曲外側表皮的平均直線距離（0.71mm）還短。於花梗上升至近九十度時對花梗彎曲處進行縱切觀察（照片 6），由照片換算其細胞尺寸如表一。



照片 5：花梗彎曲處之橫切面，右上為內側，左下為外側（40X）

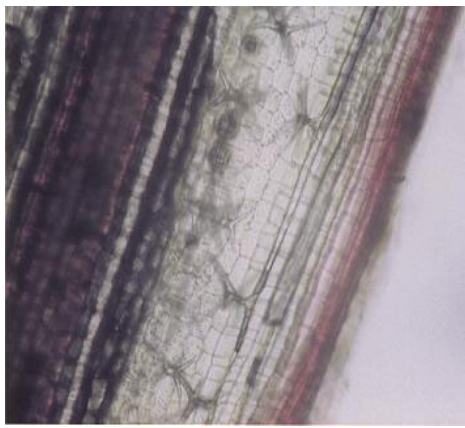


照片 6a：花梗彎曲處外側縱切(100X) 照片 6b：花梗彎曲處內側縱切(100X)

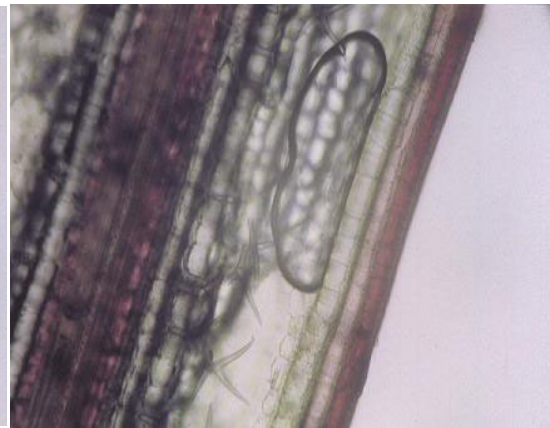
表一、花梗最大彎曲處之細胞平均直徑及平均長度

花梗最大彎曲處之細胞平均直徑 (mm)		花梗最大彎曲處之細胞平均長度 (mm)	
內側	外側	內側	外側
0.0060	0.0086	0.0054	0.0068

2· 於花梗伸直至近一百八十度時對花梗先前彎曲處進行縱切觀察（照片 7、8），由照片顯示其細胞尺寸如表二。



照片 7：花梗伸直時先前彎曲處  
外側縱切 (100X)



照片 8：花梗伸直時先前彎曲處  
內側縱切 (100X)

表二、花梗伸直時，先前彎曲處之細胞平均直徑及平均長度

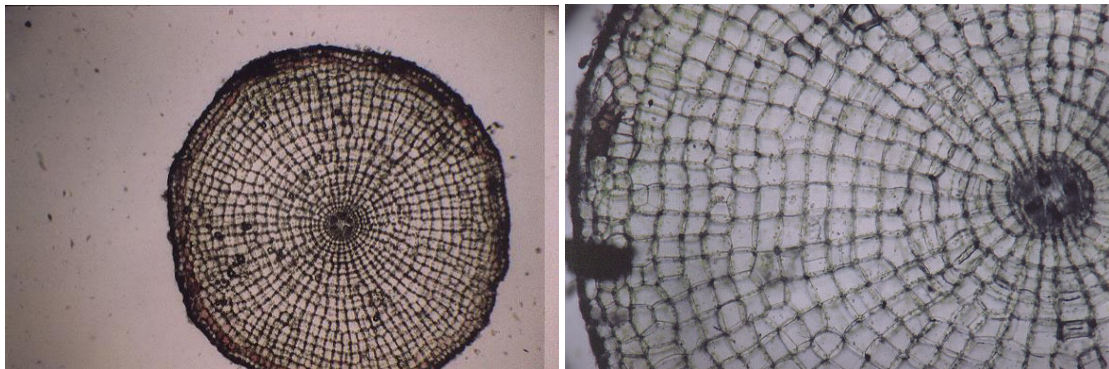
花梗伸直時先前彎曲處之細胞 平均直徑(mm)		花梗伸直時先前彎曲處之細胞平均 長度(mm)	
內側	外側	內側	外側
0.0056	0.0057	0.0065	0.0064

3. 由表一、二數據顯示在彎曲時，花梗靠彎曲內側的細胞無論直徑或長度均明顯小於靠彎曲外側的細胞直徑及長度，顯然的在彎曲處內外兩側的細胞體積有明顯的差異存在；相反的，在花梗重新伸直時，原來彎曲處的內外兩側細胞直徑、長度並無明顯差異，也就是說細胞體積無明顯差異存在。因此我們得知花梗的彎曲、伸直的週期性變化乃是通過控制細胞之大小來達成的，至於造成兩側細胞體積短時間內有如此大的變

化的原因，我們推測：它是以調整細胞內膨壓變化來達成的。

#### 四、生長時植株密度對浮、沉的影響

不定芽成長的早期會出現錐狀芽體，此芽體具有很厚的一層薄壁組織，和莖、葉柄、花梗及葉子最大的不同點，就是在皮層細胞之間「找不到通氣組織形成的任何通氣用的管道」，因為通氣組織的存在會不利於芽體的下沈，只有一束維管束位於正中央，由木質部分佈方式確定它是根，不是莖，其結構和後來長出的根（照片 9）是相類似的。

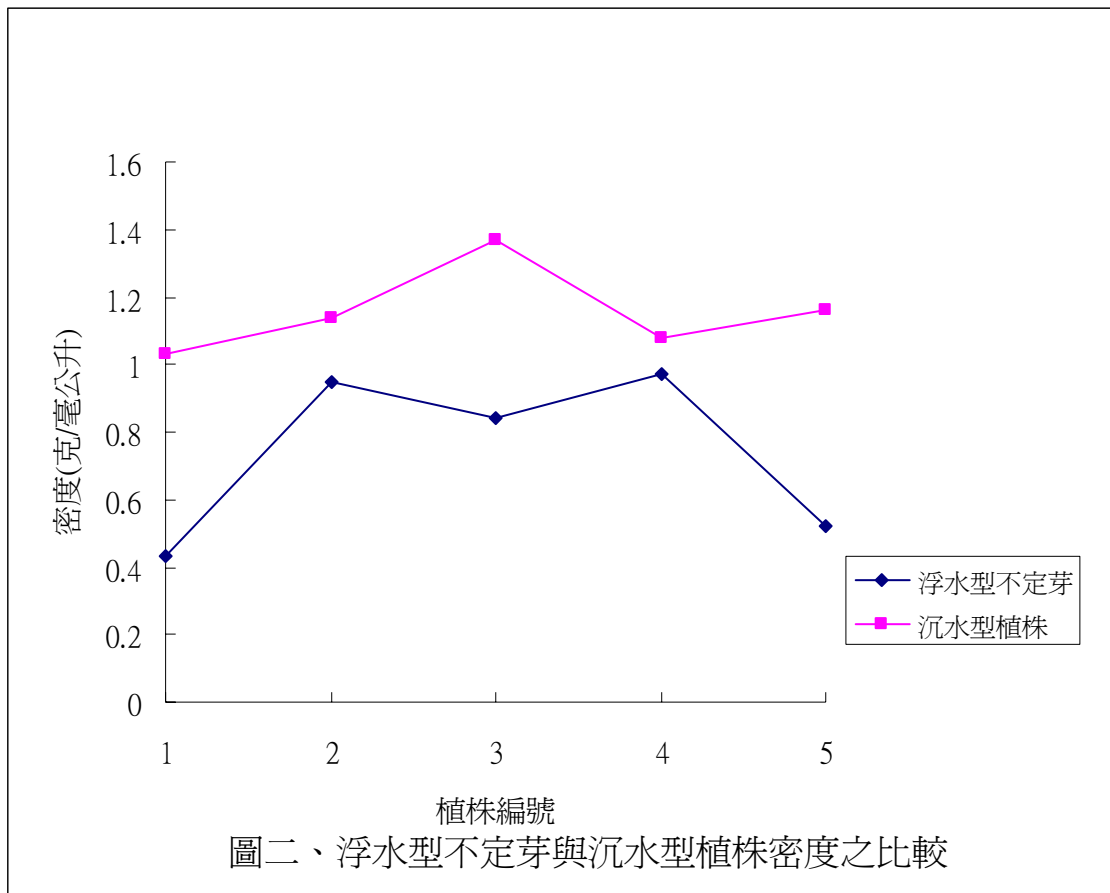


照片 9a：根之橫切（40X）

照片 9b：錐狀根橫切(100X)

整體之密度所造成不定芽的浮與沉，與根部的變化較有關係。將沉、浮兩種不定芽去除莖、葉柄及葉片之後，只測量其根部之密度和細胞平均直徑及長度，由圖二和表三結果，沈底的不定芽根部和浮在水面的不定芽根部，兩者的細胞大小不同，沉水型的根部細胞大小和密度均大於浮水型。因為細胞長大的過程之中若在細胞質之中不斷累積密

度較大的溶質（如礦物質類），便可有效地增加整體的密度。在製作切片時也明顯感覺到在下刀時，沈水型的根部是比較硬的，亦即表皮細胞壁成份變得較硬，這兩項因素是導致整個不定芽密度變大而下沈的原因。



表三、不同型植株根部測量結果

根的種類	浮水型的根	沉水型的根
平均細胞直徑 (mm)	0.036	0.058
平均細胞長度 (mm)	0.041	0.051
平均密度 (公克/立方公分)	0.45	1.2

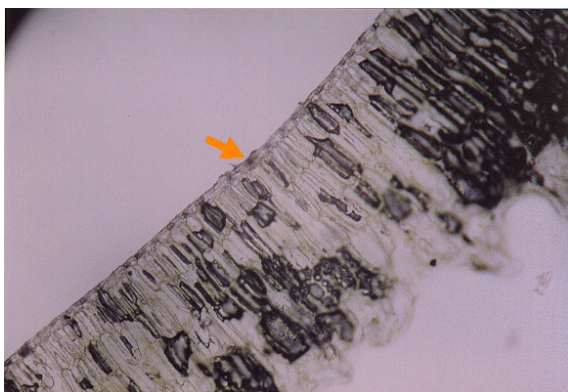
### 五、葉的構造

印度苔菜浮水型的葉子外觀和睡蓮屬同一類型，屬於心型葉，切片中發現氣孔位於上表皮（照片 10），而其柵狀組織和陸生植物一般排列在上，海綿組織在下，具備高度發達的氣室，可是緊密的柵狀組織將氣孔與氣室隔絕，因此氣孔與海綿組織之間存在一個溝通管道。而且在氣室間隔細胞中夾雜著星狀細胞，此星狀細胞具備一個中軸，軸的兩端各有突起的棘。而沉水型的葉子切片僅見堆積排列的細小細胞尚無氣室和氣孔的分化。

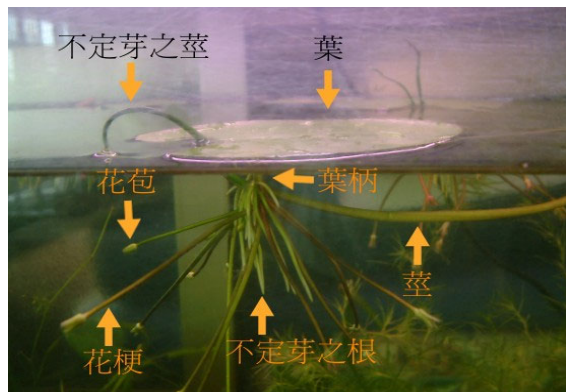
### 六、莖與葉柄的構造

印度苔菜的莖和葉柄很容易讓人誤認，真正的葉柄是從產生花梗及不定芽的位置往上到葉子這段約一公分的區域，而往下的區域則是屬於莖（照片 11），這是苔菜類植物獨樹一格

的特徵，在葉柄的切片（圖 12、13、14）中具有發達的通氣組織，在通氣管道的中隔細胞間，有星狀細胞的存在，此類細胞在氣管道分佈很密集，其中軸的部分則埋入通氣管道的壁中，將突出的棘分別暴露在兩個通氣管道之中，所以我們推測「星狀厚壁細胞如此之安排應可避免通氣管道塌陷而失去功能」，葉柄正中間有一個大型的維管束，而在其周圍環繞著一圈通氣管道，在通氣管道之間又分佈著一圈較小型的維管束。由兩者的交界處的縱切切片（照片 15），發現葉柄的星狀細胞明顯的比莖內的還多，我們推測因為葉柄這段位置較為垂直，受力較大，因此較多的星狀細胞的分佈是必要的。在此交接處也發現許多網狀橫膈，而且不定芽中較年輕的葉子上較接近葉柄的莖部也較密集，其他部位則較少。由於此構造為橫向排列，所以與通氣道的橫向支撐有關。



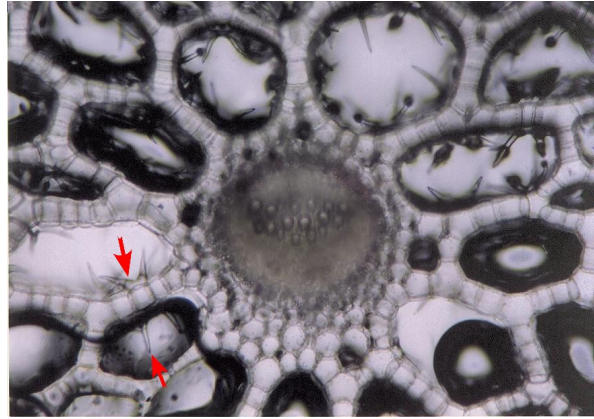
照片 10: 葉片橫切可見到由氣孔通到氣室的縫隙 (100X)



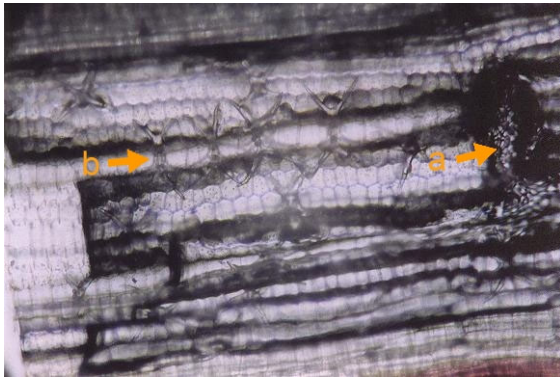
照片 11: 長出花梗的位置以上的部分是葉柄，以下部分是莖



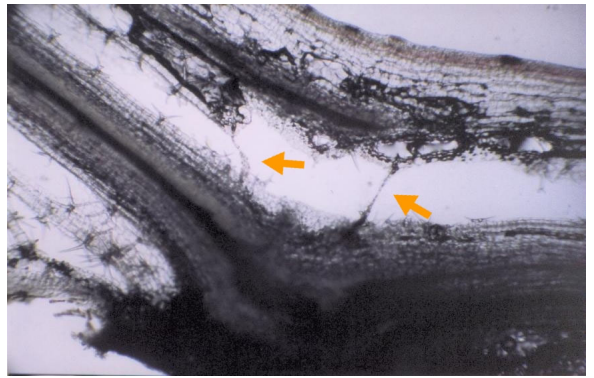
照片 12：葉柄之橫切見照片，a 正中央具一最大的維管束，b 通氣管道小而多 (40X)



照片 13：圖中央維管束附近清楚地看到星狀厚壁細胞(100X)



照片 14：葉柄縱切可見到右側網狀之橫膈板 a，星狀細胞 b 之中軸夾在通氣管道壁中間 (100X)



照片 15：葉柄和莖交界處縱切面，右邊為莖，左邊為葉柄，前者通氣道較大星狀細胞少，後者相反，中央可看到兩個橫膈 (40X)

## 七、花梗的構造

花梗之構造和葉柄較為相似，一樣具備為數較多的星狀細胞，由於花梗要將花朵挺直需承受較大的重力，故擁有較多的星狀細胞。它也和葉柄一樣在正中央具備一個最大的維管束，不過其周圍並無一整圈的較小維管束，只有在外側一方擁有半圈很小的維管束。通氣管道方面則只有一兩個通氣管道環繞於中央的維管束周圍，排列上比莖和葉柄簡單得多。

八、沉水型植株中尚未有通氣管道的形成，所以沒有找到星狀細胞。浮水型則形成氣室和通氣管道的構造，又因橫膈間距變大，遂需有星狀細胞的形成來協助支撐(見表四 A.B)。

表四 A、印度苔菜的各項組織中是否有星狀細胞和橫膈

項目	沉水型		浮水型	
	星狀細胞	橫膈	星狀細胞	橫膈
根	×	×	×	×
莖	√	√	√	√
葉	√	×	√	×
葉柄	×	×	√	√
花梗	-	-	√	×

×：沒有    √：有    -：缺主要構造無法比較

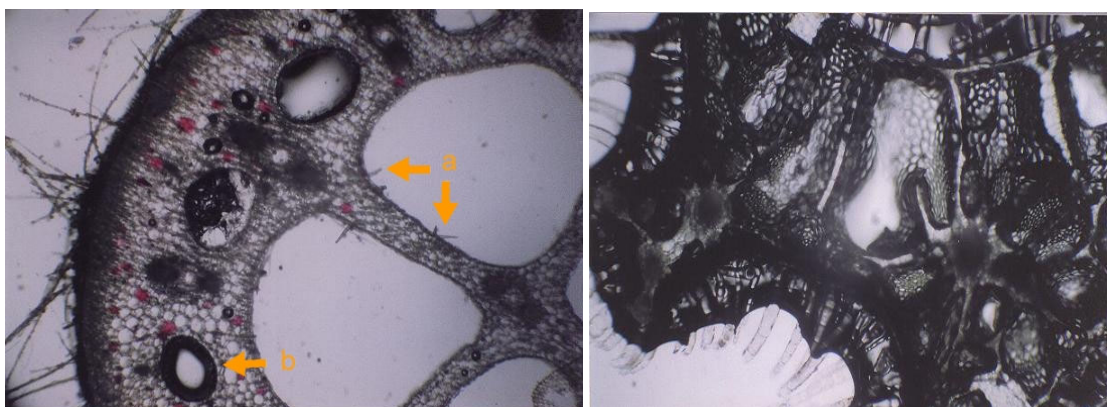
表四 B、兩個橫膈的間距

項 目	橫膈平均間距( $\mu\text{m}$ )
沉水型的莖前段	157.5
沉水型的莖末段	58.8
浮水型的莖	21832.5
浮水型的葉柄	1008.4
沉水型的葉柄	336.2

九、根據文獻資料小蒼菜和台灣萍蓬草均具有星狀細胞，睡蓮及大萍進行切片觀察（照片 16），在睡蓮的葉柄中擁有中央的四個大型通氣管道及周圍一圈小型的通氣管道，在管道壁中我們也找到了星狀細胞，不過它的出現的數量遠不如印度蒼菜那麼多。睡蓮的葉肉具有非常大的氣室，在其氣室壁上找到了少量的星狀細胞。至於大萍的葉肉氣室更是高度發展，不過在大萍的切片內找不到任何的星狀厚壁細胞，由於後兩種植物的維管束中纖維均比印度蒼菜發達，在纖維細胞較少的印度蒼菜中，星狀細胞提供了植物相當的支撐能力。

十、由表四的測量結果中可以發現兩個星狀細胞間の間隔細胞在不同部位會有所不同。花梗因為要將花朵撐離水面，較需要支撐能力所以星狀細胞の間隔細胞數目較少。其次是浮水型

的葉柄、沉水型的莖，再來是浮水型的莖，但浮水型的莖具有橫膈，而沉水型的莖沒有。



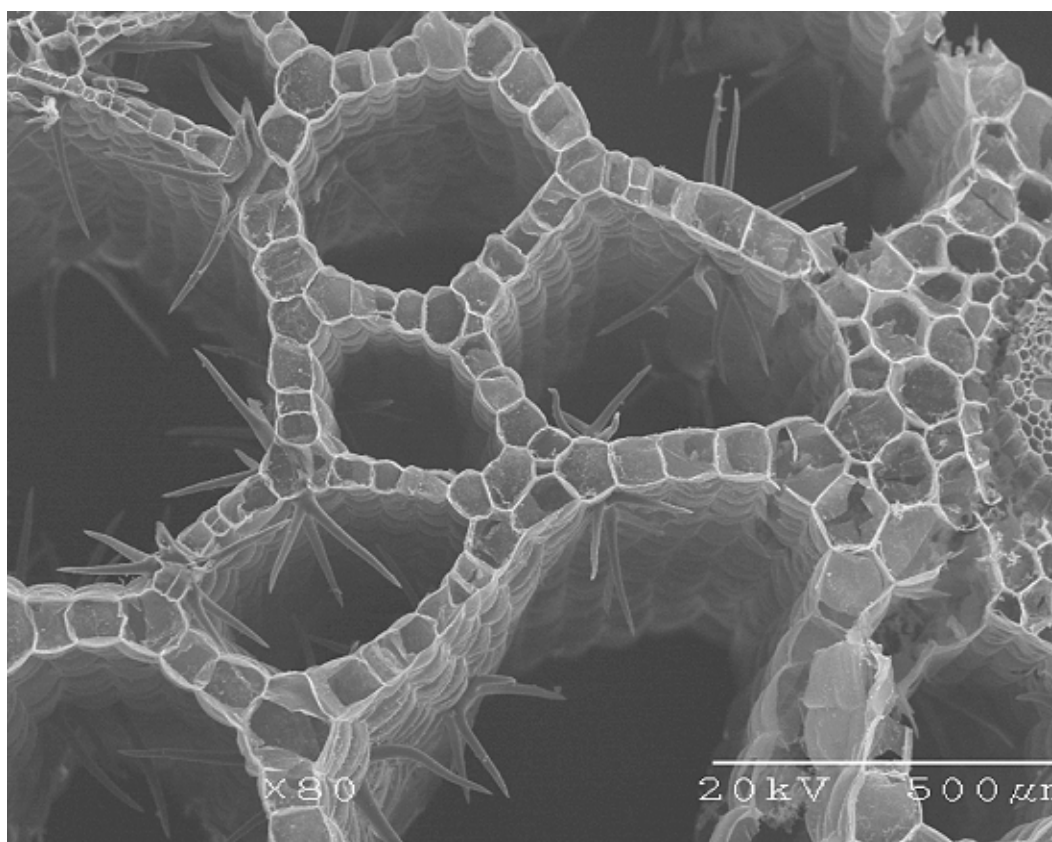
照片 16a：睡蓮之葉柄橫切面，中央擁有四個大型的通氣管道，內壁橫切僅見少量厚壁細胞 a 周圍則有一圈小型的管道 b (40X)

照片 16b：大萍葉之橫切面，維管束內之纖維細胞量多，沒有星狀厚壁細胞(40X)

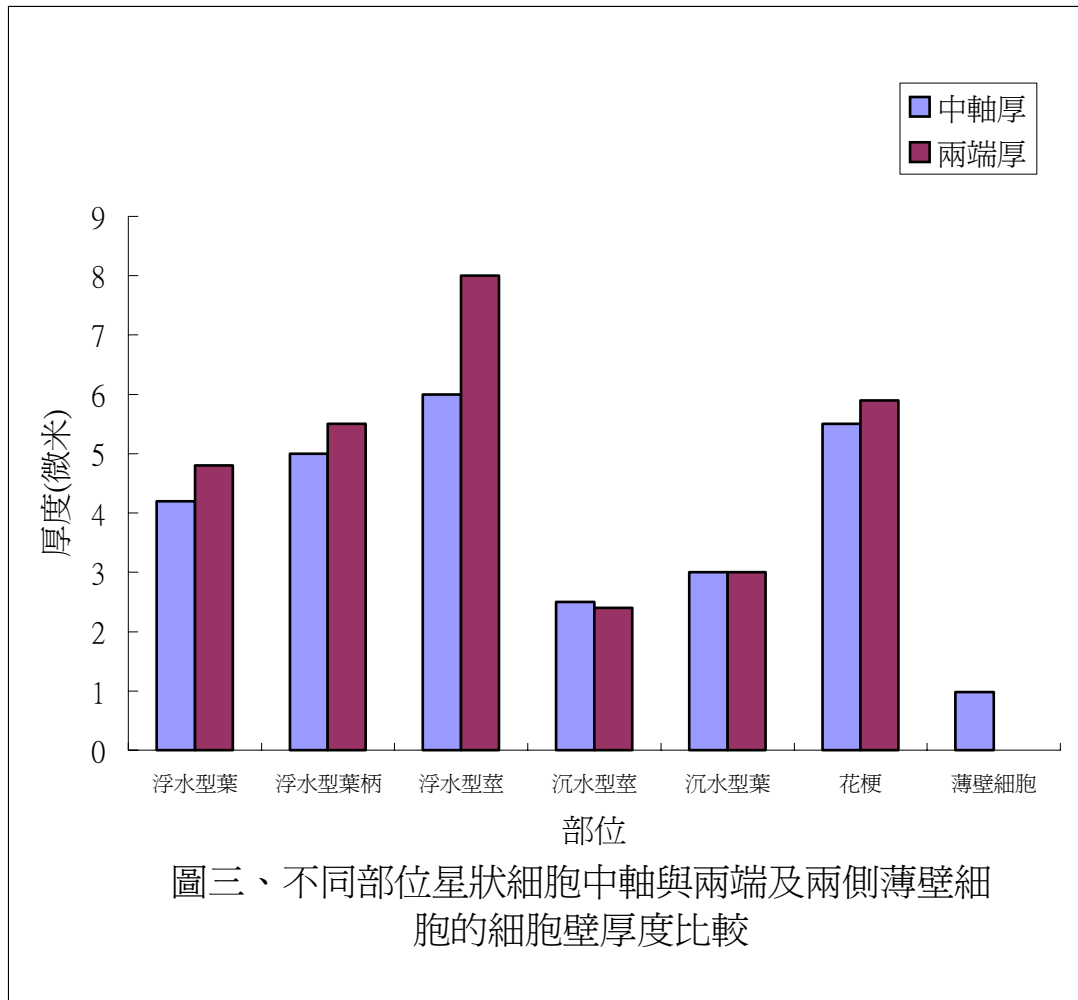
表四、各部位相鄰星狀細胞的平均間隔細胞數

位置	平均間隔細胞個數(個)
浮水型的莖	7.4
浮水型的葉柄	6.9
浮水型的葉	無規律
花梗	4.2
沉水型的莖	6.5

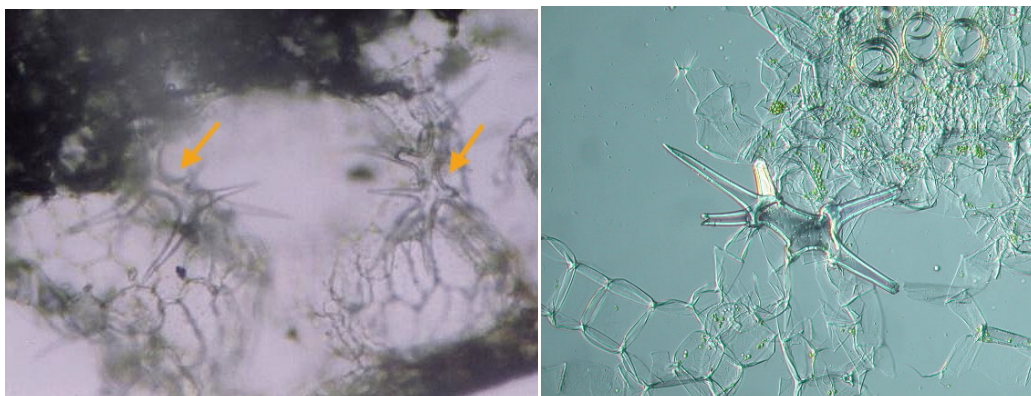
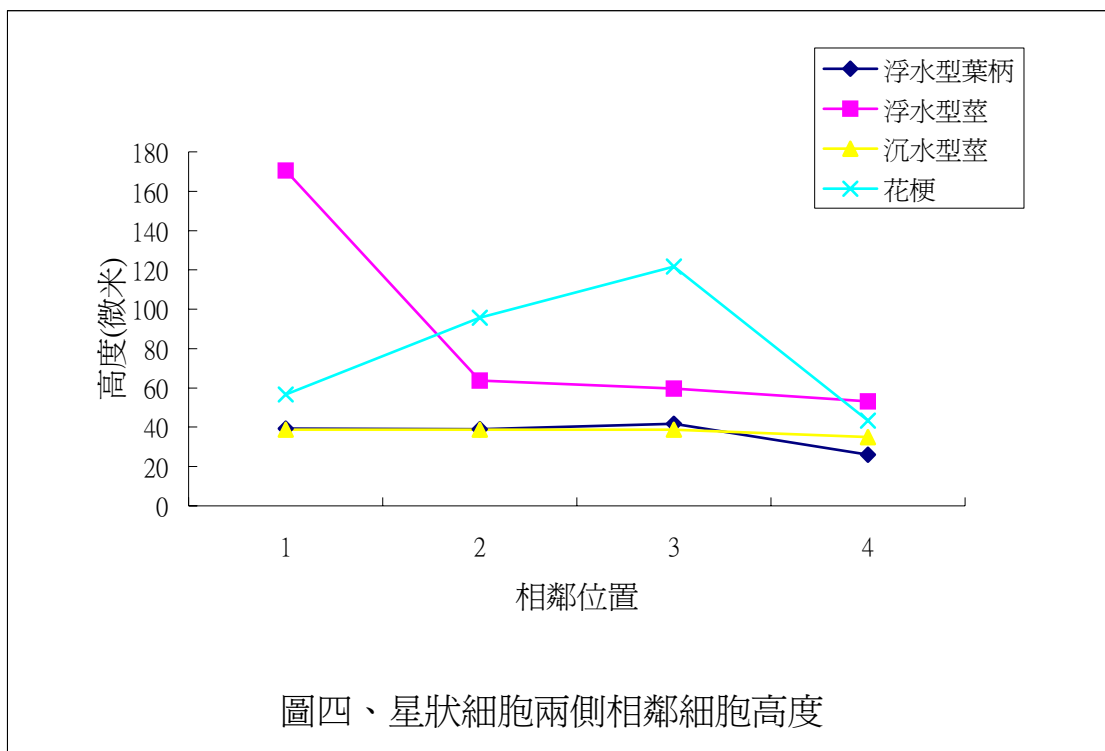
十一、在植物的構造中常需利用厚角細胞及厚壁細胞來協助植物體的支撐，尤其是水生植物的薄壁細胞會行成通氣組織，而這些通氣組織通常只有一層細胞的厚度（見照片 17），要支撐葉片和水流的衝力僅靠薄壁細胞是不足的，所以必須有特殊的細胞來協助支撐，使通氣道不至於塌陷。由圖三結果發現各部位星狀細胞的細胞壁厚度均明顯比薄壁細胞的細胞壁（ $0.98 \mu\text{m}$ ）厚，由於浮水型星狀細胞突出的棘暴露在通氣道中所以細胞壁有明顯增厚，由此可見星狀細胞應屬厚壁細胞的一種。



照片 17：通氣組織間只有一層細胞



十二、星狀厚壁細胞在莖的切片中明顯呈現出，此種細胞兩側的細胞會比其他不相鄰細胞高度較高，較遠端的細胞則高度較小，葉柄則因為星狀細胞間隔較近，相鄰細胞較無規律性，沉水型植株的構造則因通氣管道和薄壁通氣組織尚未成長，所以相鄰細胞高度相差不大(見圖四)。在葉片中不像莖中那麼有規律(見照片 18)。在葉肉氣室的間隔中，星狀細胞型態較其他部分不規則，不過依然可看出有一個中軸。在冷凍切片的標本中發現星狀細胞並非中空而是充滿液體，並且突起和中軸間是相通的(見照片 19)。



照片 18：葉中的星狀細胞不像莖中的那麼有規律（200X）

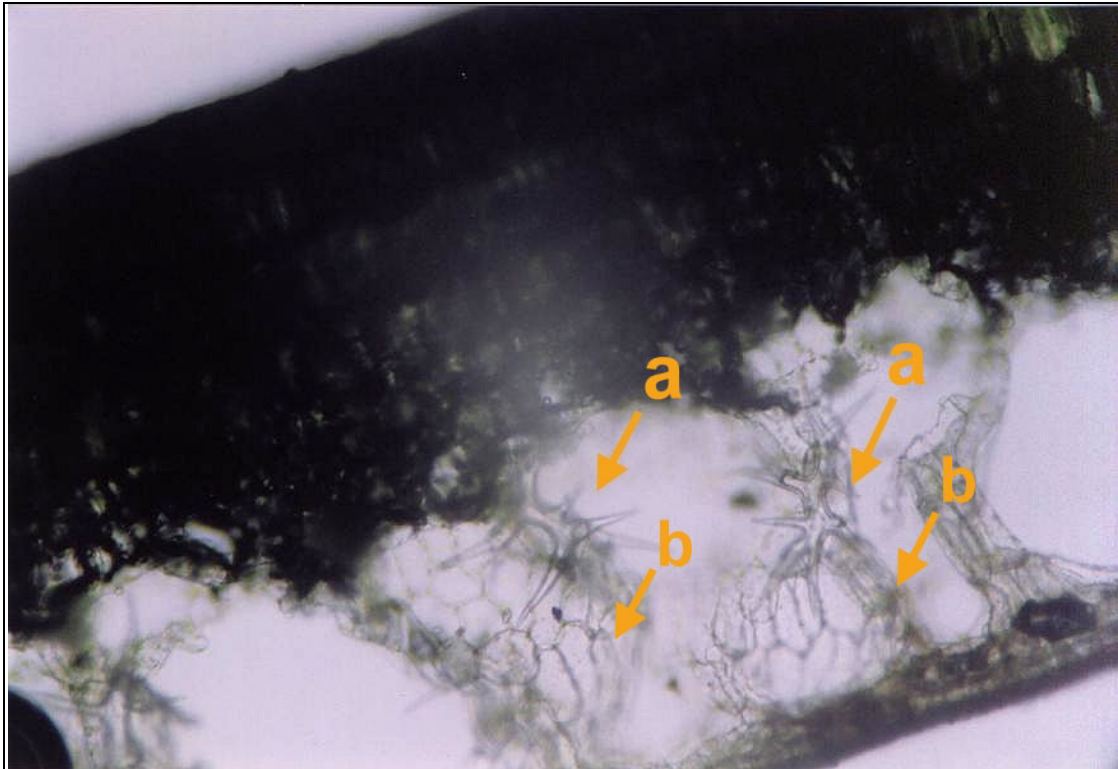
照片 19：冷凍切片顯示中軸與突起間是相通的，其間充滿液體（100X）

### 十三、星狀細胞分布情形：

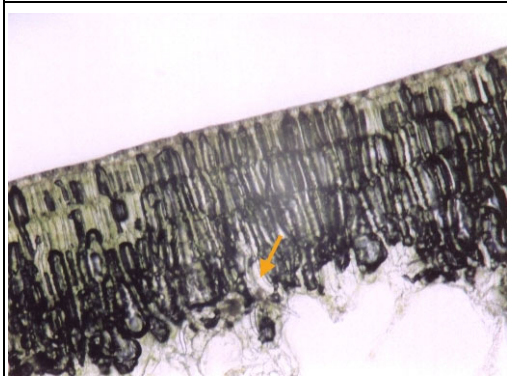
1. 在氣室間隔之星狀細胞分布在間隔上部 2/3 的位置，軸埋在間隔之中（與葉平面垂直）棘大部分露出在氣室中（見照片 20a）。

2 · 柵狀細胞之星狀細胞分佈方向也是軸和葉平面垂直的方向  
(見照片 20b)。

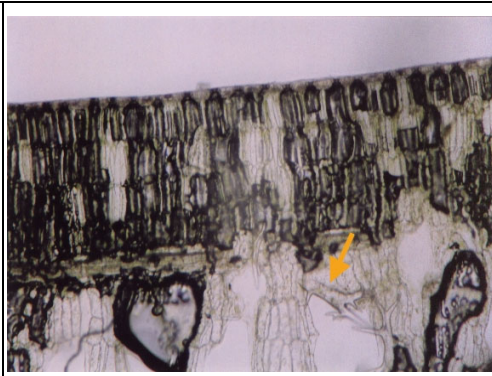
3 · 在氣室頂部和柵狀組織連接處則零星出現水平分布的星狀  
細胞 (見照片 20c)



照片 20a：星狀細胞 a 之軸埋在氣室間隔 b 之中與葉面方向略呈垂直 (200X)



照片 20b：柵狀細胞間之星狀細胞亦與葉面垂直 (100X)



照片 20c：氣室頂部之星狀細胞略呈水平排列 (100X)

十四、以牙膏的包裝紙盒進行星狀細胞中軸支撐力量的模擬實驗，兩個裝填汽球的牙膏盒在填充氣體後，比擬成星狀細胞，其餘細胞為薄壁細胞，當充氣膨脹壓力會使中間的薄壁細胞所能承受的拉力明顯增加。若是灌滿水後，則會因重量增加，造成中間薄壁細胞的摩擦力增加，而且膨脹壓力也會因為細胞內的液體由中軸流向突起的棘中，當星狀細胞受到拉扯力量時，兩側突起棘中的液體會再補充回中軸，以液體流動方式來增加整體所能承受的拉力。

#### 陸、結論

每種生物在環境的影響下均會演化出獨特的構造來增強生物體本身的適應能力，而印度苔菜也演化出奇特的構造和功能來適應水中環境。

一、利用浮水型的葉進行無性生殖產生不定芽株，然後沉入水中形成沉水型植株，當根系在底部泥土中固著後，則又開始長出浮水型的葉片，進行另一次的生長週期。其週期如下：

浮水型葉柄或葉脈破裂 → 浮水型不定芽植株 → 沉水型植株 → 根系固著 → 成長浮水型葉 → 浮水型葉柄或葉脈破裂

二、花梗內外側的細胞會利用膨壓的變化來改變細胞的大小，造成開花時花梗的彎曲變化。

三、不定芽株之浮沈，主要是利用錐狀根的密度加大以及其表皮細胞隨著體積加大而累積較多密度較大的物質以使整個不定芽株密度大於水而沈入水底。

四、葉柄、花梗、不定芽的莖具有中央的維管束，其中通氣管道以葉柄較小而多，花梗及不定芽的莖則只有一到二圈較大的通氣管道。連接水面葉的莖則無中央維管束，通氣管道最大最發達。

五、沉水型植株要長成浮水型葉必須利用薄壁組織來形成通氣管道，爲了防止水流和水壓造成通氣管道的塌陷，於是產生網狀橫膈作爲橫向支撐，星狀細胞作爲縱向支撐。

六、星狀細胞屬厚壁細胞，內部中空且充滿液體，由模擬實驗也證實了可以增加細胞重量和膨脹壓力，利用液體流動可以增加兩個星狀細胞間薄壁細胞所能承受的拉力。

#### 柒、參考文獻

一、印度荇菜、2003/09/26

[http://www.protea.idv.tw/biodiversity/new\\_page\\_70.htm](http://www.protea.idv.tw/biodiversity/new_page_70.htm)

二、印度荇菜、2003/10/2\_

<http://www.yctsayl.idv.tw/yctsay1/html/9i/9i003.htm>

三、盆栽的家-印度荇菜栽培報告、2003/10/23

<http://freebsd.ntu.edu.tw/~city/kkindia/kkindia1.htm>

四、柯清水編著，水草全書上冊，台北市，正文書局，民 88

- 五、柯清水編著，水草全書下冊，台北市，正文書局，民 88
- 六、特別介紹-水生植物、2003/09/22 下午 4:00、  
[http://www.nmns.edu.tw/botany/most/most\\_detail.php?bid=119  
&pid=15](http://www.nmns.edu.tw/botany/most/most_detail.php?bid=119&pid=15)
- 七、開白花的荇菜屬(*Nymphoides*)植物、2003/9/24  
<http://tnl.org.tw/article/column/hydro/009/009.htm>
- 八、蔡淑華著，植物解剖學，台北市，國立編譯館，民 86
- 九、Ling-Long Kuo-Huang, Su-Hwa Chen, and Shiang-Jiuun  
Chen, 1999, Ultrastructural study on the formation of sclereids  
in the floating leaves of *Nymphoid coreana* and *Nuphar  
schimadai*、2003/09/10  
<http://ejournal.sinica.edu.tw/bbas/content/2000/4/bot414-05.htm>  
1

## 評語

非常有趣的研究主題，可以加強的地方是表達能力，如能加入物理數學的模式，必能增強整個研究的完整性。