

中華民國第 56 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

052109

鳳言鳳語—空氣鳳梨毛狀體與吸收路徑探討

學校名稱：國立潮州高級中學

| | |
|--------|-------|
| 作者： | 指導老師： |
| 高二 吳思儀 | 楊勝惠 |
| 高二 洪禎林 | 洪育祥 |

關鍵詞：空氣鳳梨、毛狀體、氣孔

摘要

鳳梨是多年生單子葉草本植物，可再細分為三個亞科，分別為地生型鳳梨、積水型鳳梨及空氣型鳳梨，本研究主要是觀察空氣型鳳梨(*Tillandsia capitata*) 葉子表面氣孔與毛狀體分布密度、氣孔開閉，還有根部及葉子維管束吸水的模式。結果發現此種空氣鳳梨的氣孔只分布在下表皮，主要在晚上開啟，而葉子的毛狀體大多分布在上表皮與基部。另外，根部似乎不具輸導能力，僅靠葉子的毛狀體吸收水份。而分布在葉表的毛狀體的鱗片還具有毛細作用的功能，可以將葉子尖端的水份傳輸到葉子基部，形成類似積水型鳳梨的集水效果，水份主要由基部的毛狀體進入至維管束內，再由下而上的蒸散作用產生拉力，推測此種空氣鳳梨可能主要是藉由夜晚氣孔打開時進行水份的輸送。

壹、研究動機

屏東是鳳梨的著名產地，有些同學家甚至是以此為生。另外我們也對此類CAM 植物很有興趣，再加上查了一些相關資料及實驗報告後，對鳳梨科特殊的吸水方式感到興趣，後來發現有一類空氣型鳳梨雖然不需要種在土裡，但是竟然可以適應炎熱的環境，我們覺得太神奇了！此外，在課本中瞭解到很多有關植物吸水以及水分在根部運輸的方式，所以希望能進一步探討空氣鳳梨如何進行水份的吸收與輸送。

貳、研究目的

一、目的

- (一) 探討空氣鳳梨氣孔密度與開閉的時間
- (二) 探討空氣型鳳梨葉子毛狀體的構造與分布情形
- (三) 探討空氣型鳳梨葉子毛狀體吸收水的路徑

二、相關資訊

空氣鳳梨是鳳梨科的多年生草本植物，原產於美國南方及中南美洲。它們與大部份的植物不同之處為根系不發達，僅提供固定作用，真正吸收水及養分的器官是葉片，因此，它們不需要長在土中，只要接收點雨水或吸收空氣中的濕氣便可生存，在原生環境中，它們多附生或垂掛於樹幹或石頭、甚至於電纜線上。

空氣鳳梨外觀，常泛著銀白色光澤，這是因為有適應環境的利器—毛狀體的原因。毛狀體是一種葉毛細胞，由表皮細胞特化而來，可以折射掉過強的陽光，提供光保護(photo-protection)的功能，具有減少水份散失與降溫的效果。同時毛狀體還能吸收空氣中濕氣與養分，使在枝椏上的空氣鳳梨得以生長(梁和顏，2015)。

此種 *Tillandsia capitata* 是一種園藝種的空氣鳳梨。在空氣鳳梨當中，卡比他他算是常見，也常有人討論的種類之一。光是它的中文名字「卡比他他」就讓人覺得新鮮。臺灣所引進的空氣鳳梨種類名稱大多是約定成俗的名字，其中不少會讓人匪夷所思。雖然學界曾有人命名過一些種類，但這些名字在市場上流通並不多，更別說那些沒被學界命名過的種類了。這些在臺灣市場中流通的名稱中，「卡比他他」是其中直接採用拉丁文學名發音的。這種鳳梨的種小

名 capitate 是「頭狀的」的意思，是形容它的花序呈頭狀，有人因此戲稱它是有頭的空氣鳳梨。不過這個特徵要在它開花的時候才看的到。卡比他他空氣鳳梨的天然分布從墨西哥到中美洲的宏都拉斯與多明尼加，西印度群島中的古巴也可見到，從平地到海拔高度 2500 公尺的地方都有它的蹤跡 (國立自然科學博物館網站)。至於我們為何選擇此種空氣鳳梨為實驗材料，主要是由於相對於其他種而言價格較低，且其葉片大較易採樣，尤其是其毛狀體發達較容易觀察。

參、研究設備與器材

一、實驗器材：

培養皿(個)、燒杯(數個)、保鮮膜(一捲)、鑷子(支)、解剖刀、刀片(數片)、蓋玻片(數片)、載玻片(數片)、滴管(數支)、手套(數雙)、解剖顯微鏡(一台)、光學顯微鏡(一台)、數位顯微鏡(一台)、桌上型掃描式電子顯微鏡、手提電腦、水氧加濕機(加濕量: 250-350 ml/h)、空氣鳳梨(數十株)、嘉得麗雅蘭、指甲油(一罐)、紗布。

二、實驗藥品：

甲基藍染劑、優碘、水溶性色素(紅色墨水一瓶)、0.5% safranin O in 50% 酒精、0.1% fast green in 95% 酒精、50% 70% 85% 95% 酒精。

肆、研究方法與過程

一、探討空氣鳳梨葉子氣孔密度、開閉時間與毛狀體的分布情形

1. 於採集時間點將指甲油反覆厚塗在葉表皮上，每 6 個小時採樣一次，其中夜間每 2 小時採樣一次。採樣部位分葉子的中間部位與基部，因為葉尖較不容易撕取表皮，因此未採樣此部位。
2. 待指甲油乾後，以解剖刀和鑷子撕取一層細胞之厚度。
3. 置於顯微鏡下觀察，拍照並且計數不同部位，單位面積的毛狀體與氣孔數目，單位面積是指在特定倍率下(100X)的照片影像，長*寬各為 1100*550 μm 。此外，也記錄並比較各個時段氣孔開閉之情形。

二、探討空氣鳳梨葉子表面毛狀體的構造

1. 撕取空氣鳳梨的葉子表皮組織，置於載玻片上，以光學顯微鏡進行毛狀體構造的觀察並拍照。
2. 切取幾小塊空氣鳳梨的葉片，置於掃描式顯微鏡的座台上，進行毛狀體的表面與橫切面細部構造之觀察。

三、探討空氣鳳梨根與葉子橫切面的構造

1. 根及葉的橫切面構造之觀察。

將根及葉橫切薄片之後放入載玻片中，滴一滴甲基藍染劑，蓋上蓋玻片，用水洗去染劑，並在顯微鏡下進行觀察及拍照。

2. 將根及葉橫切薄片之後放入載玻片中，滴一滴碘液作為染劑，蓋上蓋玻片，用水洗去染劑，並在顯微鏡下進行觀察澱粉粒的分布及拍照。
3. 切取幾小塊空氣鳳梨的根與葉片橫切，置於掃描式顯微鏡的座台上，進行表面與橫切面細部構造之觀察。
4. 將空氣鳳梨與嘉得麗雅蘭葉橫切薄片之後放入 50% 酒精固定 2-4 小時，之後以 0.5% safranin O in 50% 酒精染色 3 小時，經過酒精序列脫水後 (50% 70% 85% 95% 酒精，分別浸泡約 10 分鐘)，再以 0.1% fast green in 95% 酒精染色 1 分鐘，最後以 95% 酒精清洗 2-3 次各 10 分鐘，放置顯微鏡底下觀察並拍照。

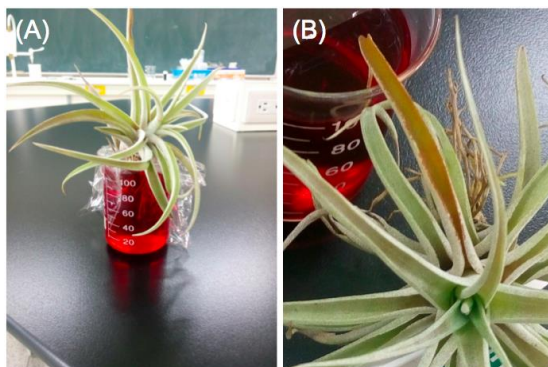
四、探討空氣型鳳梨根部與葉子吸收水的方式

1. 根部吸水及葉子吸水的比較。

將紅墨水分別吸出 50ml 於燒杯中，加入 50ml 的蒸餾水稀釋(1:1 的比例充分攪拌至均勻)，之後將空氣鳳梨分別放入：

A (紅)只將根浸泡在溶液中。

B (紅)只將葉尖大約 0.5 公分浸泡在溶液中。



2. 切片前處理之測試

(1). 先取下一片葉子，再將其用衛生紙以沾吸的方式將顏料擦乾之後再切 (並切除原先那一個切面)。

(2). 先取下一片葉子，再將其用水沖 30 秒，並將顏料吸乾之後再切 (並切除原先那一個切面)。

發現：以第一個作法比較不會有顏料在洗的時候被沖掉，影響觀察色素分布的情形。因此採用處理(1)的方式進行切片。

3. 切片後處理之測試

(1). 將切片置於載玻片上，滴一滴水並蓋上蓋玻片觀察。

(2). 將切片置於載玻片上，不滴水並直接蓋上蓋玻片觀察。

發現：以第二個作法比較不會有水溶性顏料被溶出擴散的情形。因此採用處理(2)的方式進行鏡檢。

4、空氣鳳梨根部與葉子水分運輸速率的觀察，每小時進行觀察及採樣至葉子表面吸滿紅墨水。之後取出作根部及葉子的橫切觀察。觀察切片表面與內部紅色素分布情形並作記錄，以推測水分在維管束運輸的狀況。觀察時間分為白天時段與晚上時段，白天時段為早上 11:00-17:00 (溫度 25 度 C，濕度 70%)，晚上時段為午夜 12:00-04:00 (溫度 25 度 C，濕度 90%)的觀察。

五、探討空氣型鳳梨葉子毛狀體吸收水的路徑

1、取一片空氣鳳梨葉子，在葉子中間部位以浸泡過紅墨水的紗布包著，觀察色素毛細作用的速率。

2、經過 10-20 分鐘的時間採樣一次，分別切取包著紅墨水紗布的上方與下方部位。

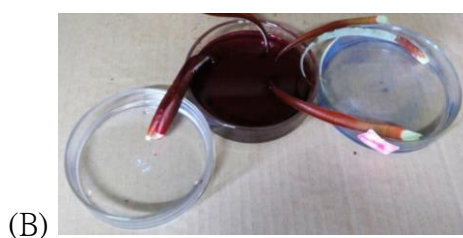
3、取其橫切，置放在顯微鏡下，觀察毛狀體吸入紅墨水分布情形，以判斷水份輸送的方向性。取新的葉子重複此實驗三次。

六、探討空氣型鳳梨葉子毛狀體吸收霧氣的路徑

1. 取數片葉子固定在燒杯內，使其懸空且不碰觸杯壁也不碰到水氧加濕機。

開啟加濕機，並在裡面加入紅墨水溶液(與蒸餾水 1:4 比例)。每隔三十分鐘切片觀察結果，如圖(A)。

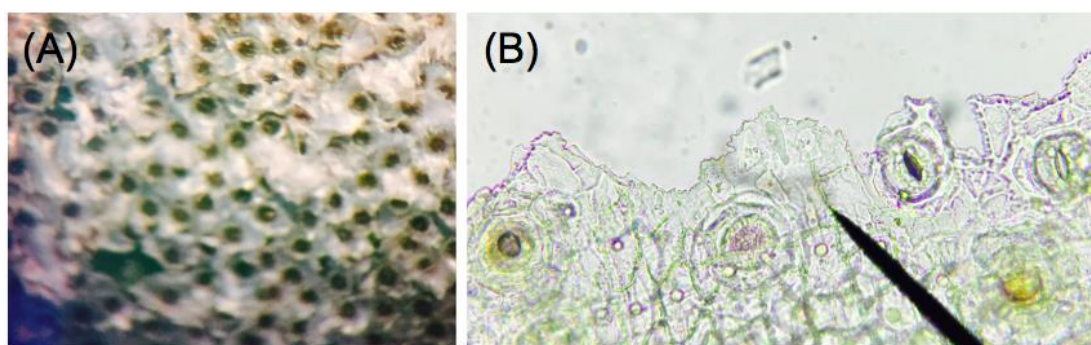
2. 以培養皿在裡面加入紅墨水溶液(與蒸餾水 1:4 比例)，取數片葉子放置在旁並且以葉尖部位吸取紅墨水，作為霧氣吸收路徑的比較。每隔三十分鐘切片觀察結果，如圖(B)。



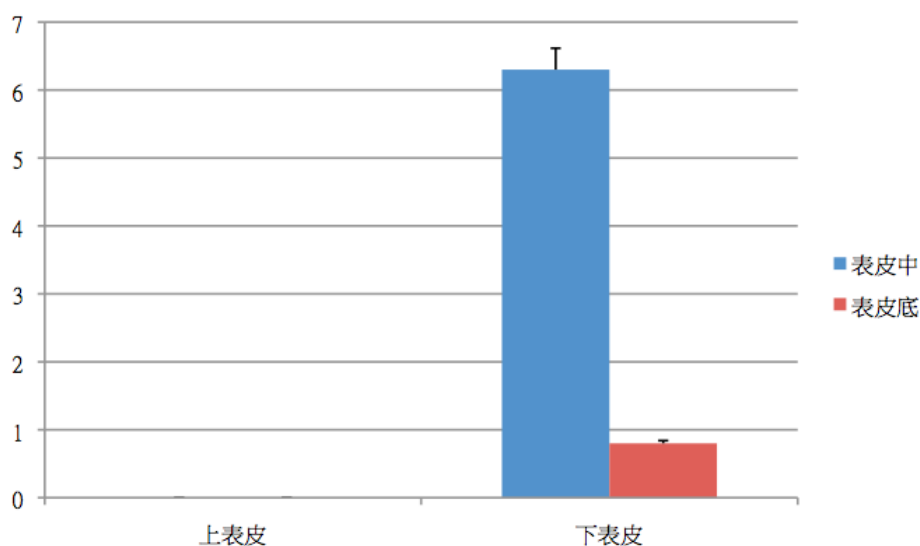
伍、研究結果

一、探討空氣鳳梨葉子氣孔密度、開閉時間與毛狀體的分布情形

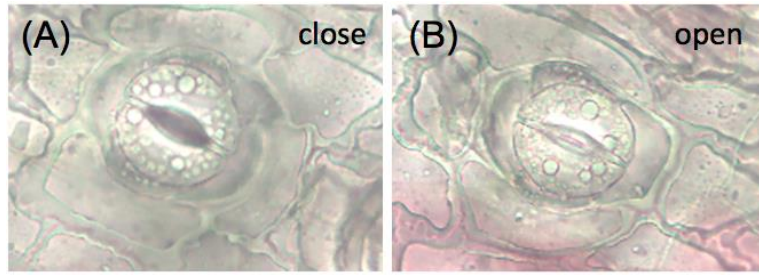
1. 於初步觀察時發現，此種空氣鳳梨的葉表呈現銀白色是因為布滿杯狀鱗片的毛狀體(A)，進一步撕其表皮觀察，同時具有兩類特化的細胞在表皮上，即氣孔與毛狀體(B)。



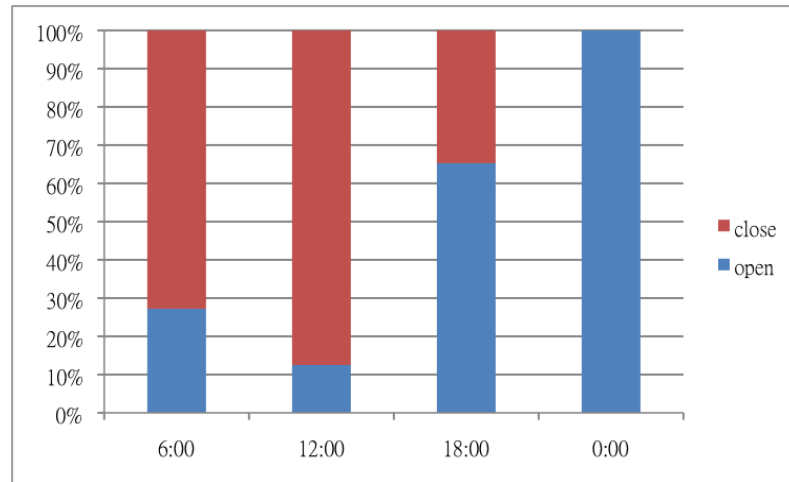
2. 空氣鳳梨葉子上表皮氣孔在中間部位與基部位置，單位面積的數量皆為零。而下表皮氣孔中間部位較基部為多。



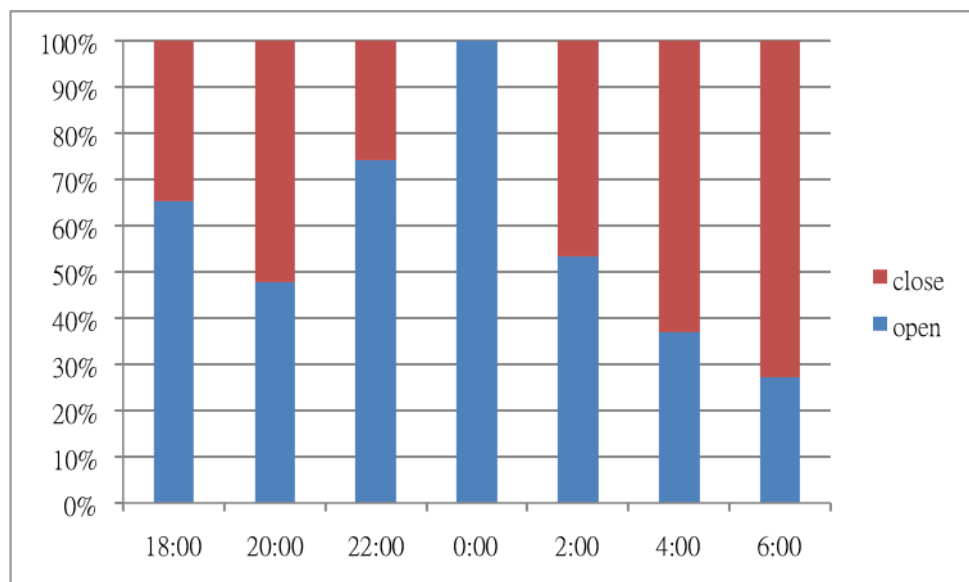
3. 氣孔於傍晚 18:00 時發現有較高比例為開啟的狀態，並且於午夜 24:00 時為開啟高峰，清晨 6:00 時至中午 12:00 時發現有較高比例為關閉。下圖(A)為氣孔關，(B)為氣孔開。



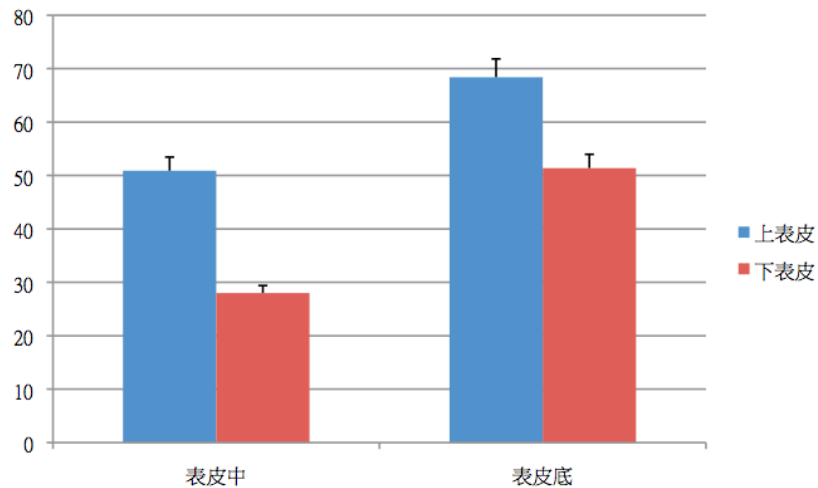
一天中不同時段的氣孔開閉，每六個小時採樣一次。



夜晚到清晨的氣孔開閉比例，每兩個小時採樣一次。

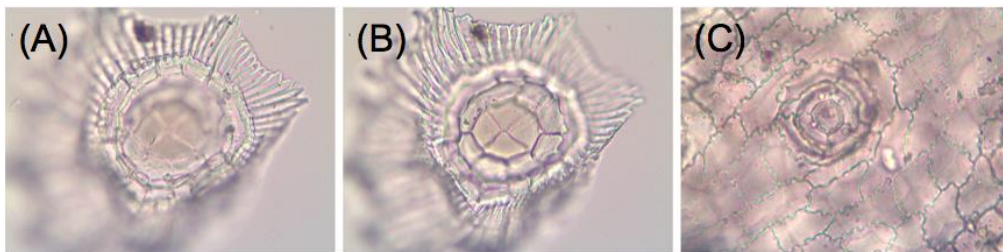


4. 上表皮之毛狀體較下表皮單位面積多約 $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{3}$ 。此外，基部位置之毛狀體無論是上下表皮皆是分布數量高於葉中間部位。

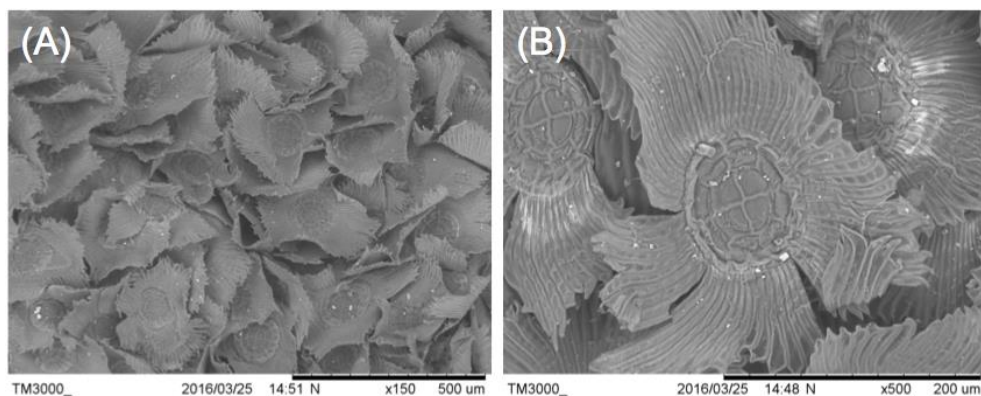


二、探討空氣鳳梨葉子毛狀體的構造

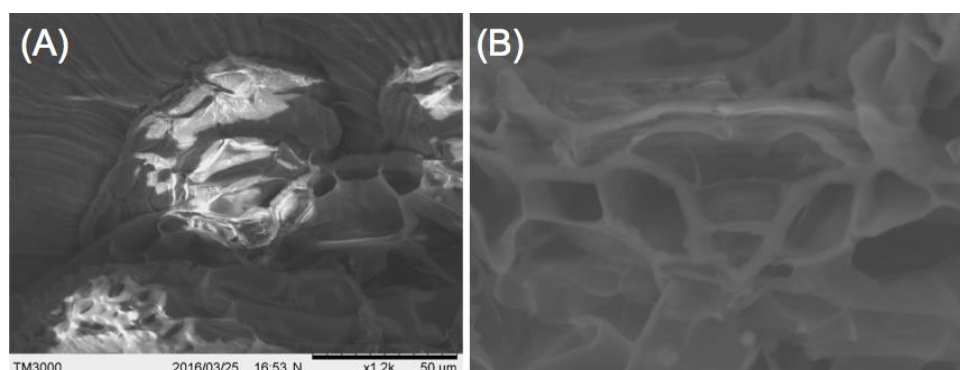
1. 毛狀體從上而下總共可分為三個部分：(A) 外圈的鱗片(wing)與 16 個細胞 (ring cells)圍成一圈 (B) 內圈的中央盤細胞(central disc cells)與 8 個細胞(ring cells)圍成一圈 (C) 下層的凹陷細胞(dome cells)。若施以外力，外圈及內圈的部分可能會依程度不同而脫落，僅剩下底部的凹陷細胞。



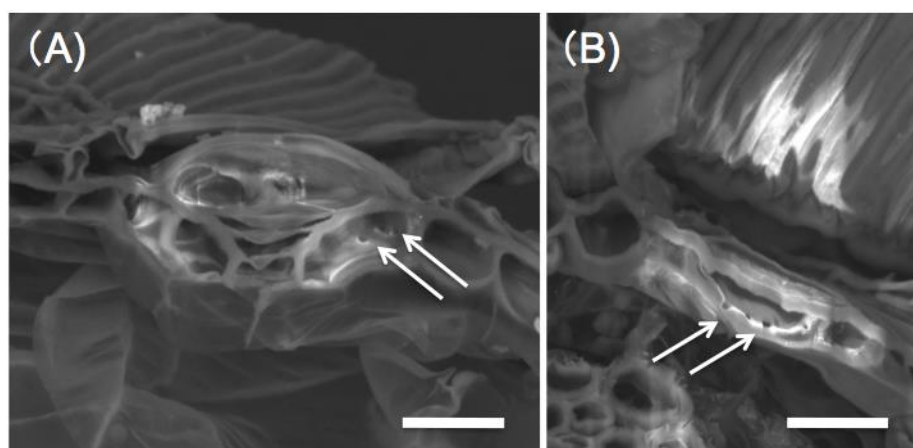
2. 以掃描式電子顯微鏡觀察，可發現毛狀體的鱗片層層相疊，相當緊密(A)，鱗片的紋路為輻射狀平行排列。中央皆為十字型圖樣(B)。



3. 毛狀體的橫切面可見為漏斗型的構造(A)，包含由上而下，依次由大而小有三層細胞，稱為拱頂細胞(dome cells)，兩邊可見還有伴隨漏斗狀傾斜在側邊的細胞(B)。



4. 在拱頂細胞與其兩側之細胞均可見一些小孔，這些孔道可能是類似原生質絲的細胞間隙(A)(B)，如箭頭所示。比例尺皆為 20 μm。

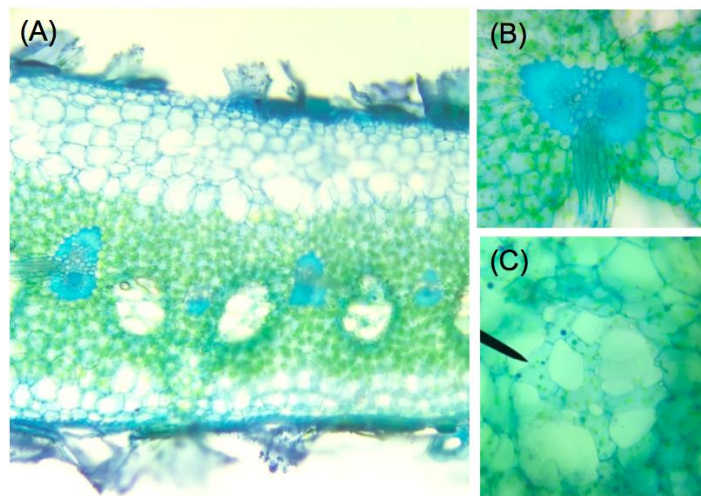


三、葉子的橫切面構造

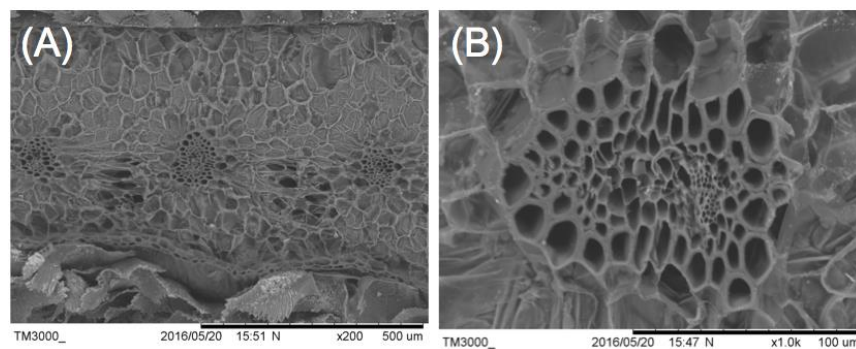
1、葉子的甲基藍染色觀察

- (1) 橫切面可以看到中央部位染成深藍色的維管束，木質部的導管朝向上表皮，韌皮部朝向下表皮，周圍是支持作用的厚壁細胞(B)。
- (2) 上下表皮細胞的下方，是透明的葉肉帶，中間葉肉帶才具有較密集的綠色葉綠體(A)，且上層透明帶較下層透明帶厚。除維管束(B)之外，也具

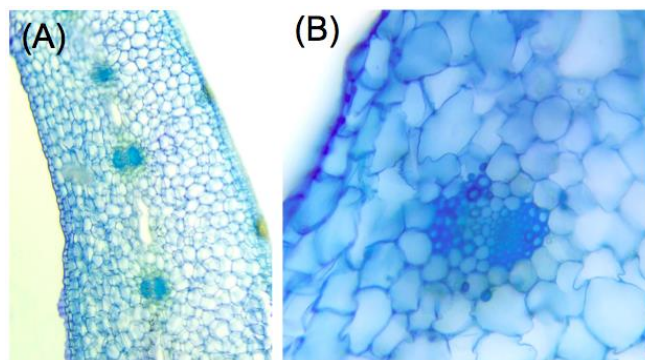
有明顯的氣室與之相間排列。此外，氣室內具有不規則形狀的網狀立體排列細胞，細胞內也具有許多葉綠體(C)。



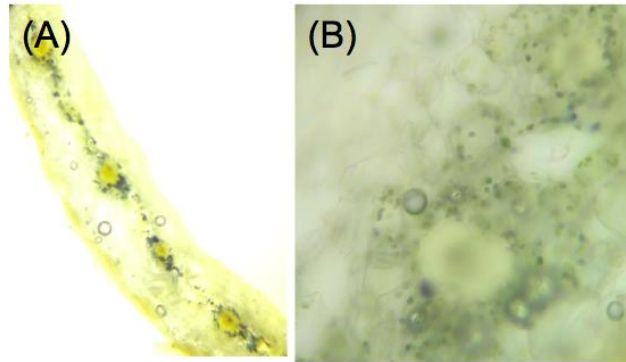
2. 以掃描式電子顯微鏡觀察空氣鳳梨的葉子橫切面(A)，以及維管束的局部放大圖(B)，發現中央部位的木質部導管管徑較韌皮部篩管大，且周圍具有厚壁細胞圍繞。



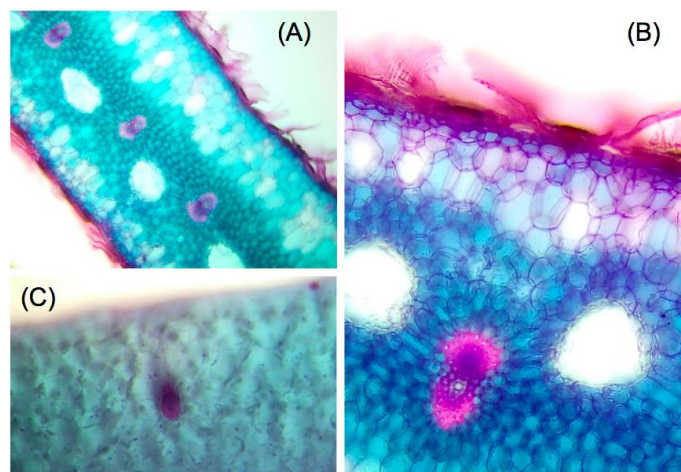
3. 葉鞘部位的甲基藍染色觀察，發現在此處上下表皮皆缺乏毛狀體的分布(A)。此外，維管束與上下表皮之間距較近(B)。



4. 染碘液之後，發現在葉子的中間地帶，出現許多紫黑色的澱粉粒(A)，然而在根部卻看不到此種現象，此處也是葉綠體分布較密集之處(B)，顯示光合作用的產物醣類，就近儲藏於此，而不是運送到根部。

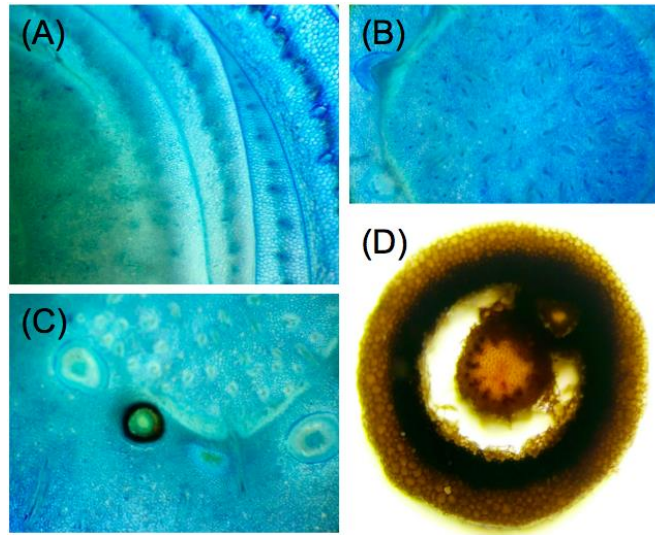


5. 染番紅(safranin)和固綠(fast green)的結果顯示，除了維管束的厚壁細胞外，空氣鳳梨上下表皮細胞部位，尤其是毛狀體的杯狀構造，皆有細胞壁加厚的現象(A, B)，番紅可以染植物次生細胞壁(如木質化、木栓化的組織)，如圖中染成的紅色部位。另外，加得麗雅蘭的表皮細胞則無此現象(C)。

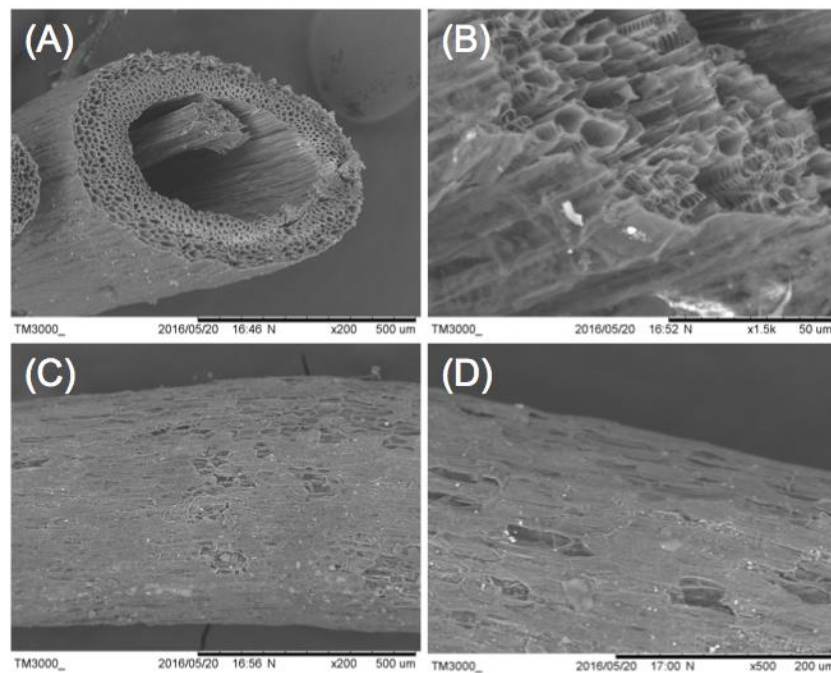


四、根部的構造與吸收水份的路徑

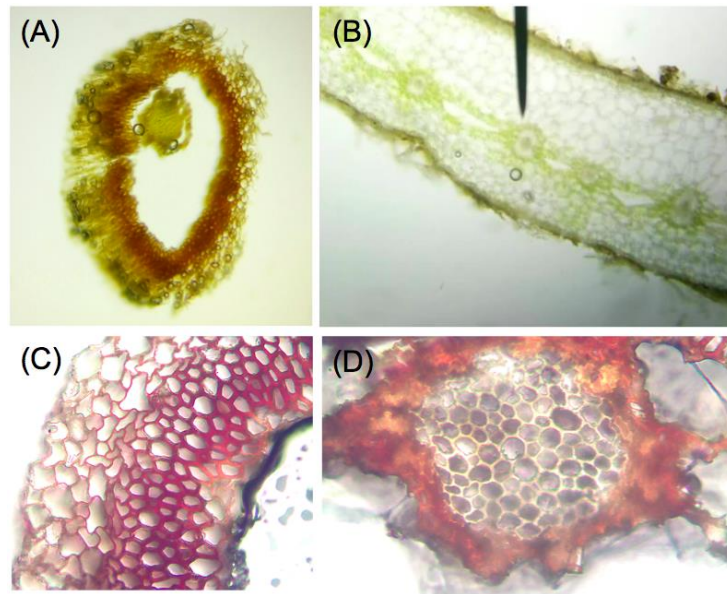
1. 由莖部往下橫切，可見葉子基部的葉鞘包圍著莖(A)，於中間部位莖的維管束呈現散生分布(B)，在莖周圍的初生根仍保有單子葉根的正常型態(C)，次生根有加粗的厚壁細胞生成，且內皮細胞似乎已經退化不見，取而代之的是環狀的空洞與中間一小部分的髓與維管束(D)。



2. 以掃描式電子顯微鏡觀察空氣鳳梨的根橫切面，周圍有加粗的厚壁細胞
(A)，內部呈現環狀的空洞與中心部分可見具有網紋狀的導管(B)。根部外觀呈現粗糙有空隙的表皮(C)，與放大圖(D)。

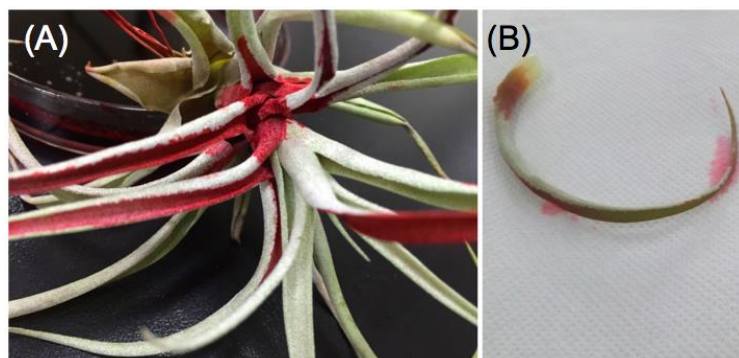


3. 根部原本的橫切面(A)。經過浸泡紅墨水 1 小時、2 小時、24 小時及 72 小時，發現只有根部的厚壁細胞 (C)及中間部位的導管細胞(D)具有色素，但是無法運送到葉子，葉子基部切片並無吸收染料(B)。



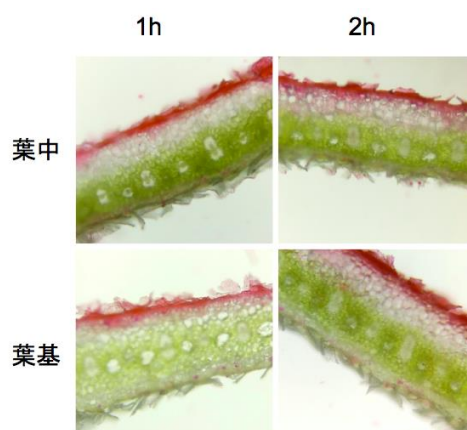
五、葉子毛狀體的吸收水份的路徑

1、以葉尖 0.5 公分沾吸紅色素，發現色素會藉由毛細現象染紅上表皮，稀釋後的紅墨水速度較快，由葉尖至葉子基部只需 20-30 分鐘，未稀釋的紅墨水因濃度較高，速度較慢，約需要 2-3 小時。紅墨水沿著上表皮至葉子基部後會染紅葉基下表皮，接著再使其他葉子上表皮繼續變紅(A)，此種利用毛細現象的運輸方式，可使整株植物葉面沾滿水份，尤其是葉子的上表皮與基部的下表皮(B)。

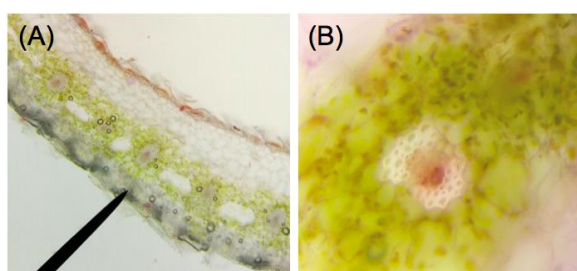


2. 在白天經過不同時間將葉片橫切，包括葉尖、葉中與葉基部分，分別是 1 小時、2 小時、24 小時、72 小時，結果發現短時間內 (1-2 小時) 紅色墨水位在表皮與透明葉肉附近，未進入維管束內，約經過 24 小時後，才在維管束內可見到明顯的紅色墨水，葉鞘部位則沒有染上紅墨水。O 代表有紅色出現，X 代表無紅色出現。

| 1-2hr | 表皮 | 透明葉肉 | 綠色葉肉 | 維管束 |
|-------|----|------|------|-----|
| 葉鞘浸溶液 | X | X | X | X |
| 葉基浸溶液 | O | O | X | X |



經過 24-72 小時的觀察切片，可在上表皮及維管束中觀察到紅色染劑出現(A)，與局部放大維管束(B)。



3. 將染劑直接沾棉花包在葉子中間位置，水平放置葉子，並觀察水份向上、下傳輸速度，我們發現從葉子表面向上輸送水份較向下方向快。

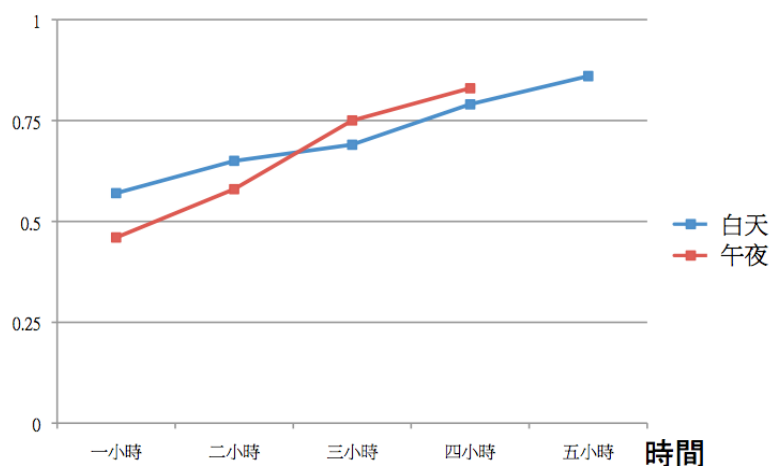
| | | |
|-----------|---|-----------|
| 由中間傳至葉基速度 | > | 由中間傳至葉尖速度 |
| 由中間傳至葉基速度 | < | 由中間傳至葉尖速度 |
| 由中間傳至葉基速度 | < | 由中間傳至葉尖速度 |

| 30min | 表皮 | 透明葉肉 | 綠色葉肉 | 維管束 |
|------------|----|------|------|-----|
| 葉中至葉基，葉基橫切 | O | O | X | X |
| 葉中至葉尖，葉尖橫切 | O | O | X | X |

4. 白天與晚上吸水的觀察比較

(1) 葉子表面毛細現象的吸水速度，發現午夜的速率較快，最後的葉鞘因為無法吸附紅墨水，造成無法到達 100%。(以紅墨水占葉面的比例代表吸水速率%)

葉表吸水速率%



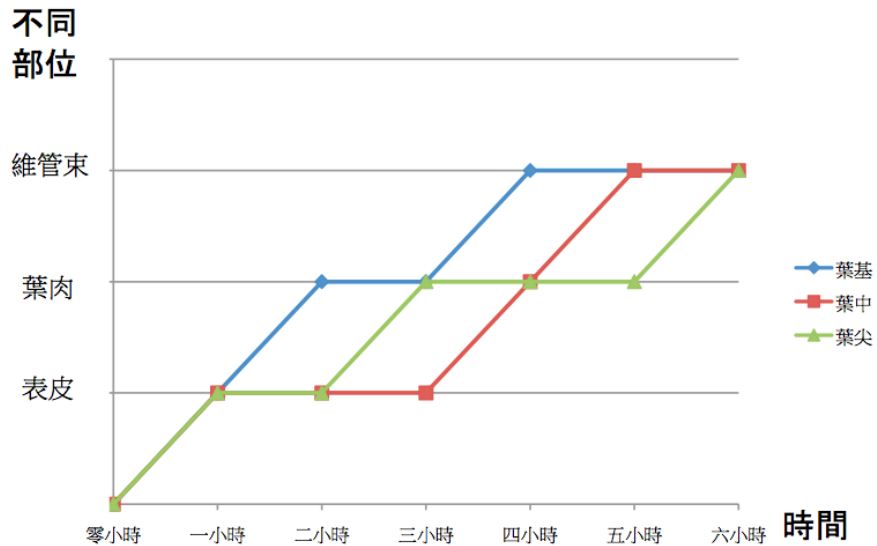
(2) 白天自葉尖吸紅墨水進入不同部位的狀況。

A、上表皮在第一個小時就全部染色，下表皮則是直到六小時才完全被染色。

B、在六小時的觀察時間內，綠色葉肉並不會被染色。

C、紅墨水是從葉基和葉尖進入透明葉肉帶，至第四個小時完全進入。

D、紅墨水是從葉基先進入維管束，至第六個小時整片完全進入。



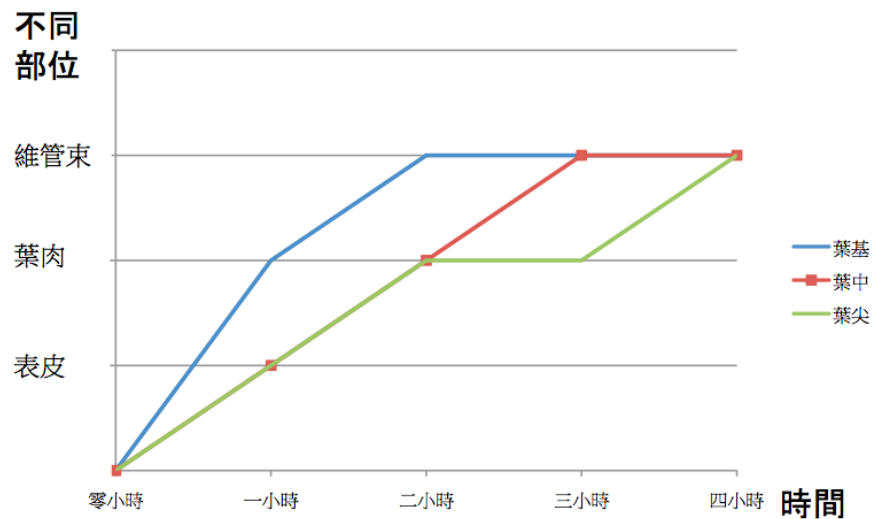
(3) 午夜自葉尖吸紅墨水進入不同部位的狀況。晚上十二點開始

A、上表皮在第一個小時就全部染色，下表皮則是直到三小時才完全被染色。

B、在觀察時間內，綠色葉肉不會被染色。

C、紅墨水是從葉基和葉尖進入透明葉肉帶，至第三個小時完全進入。

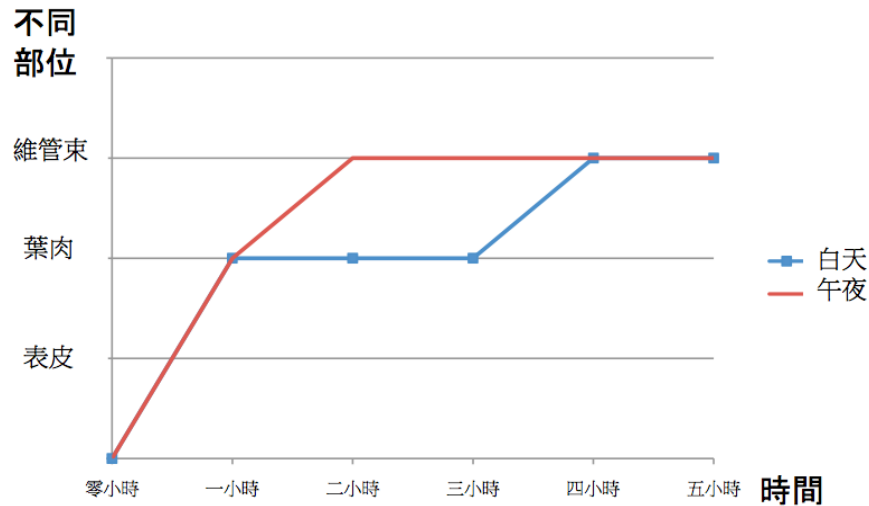
D、紅墨水是從葉基先進入維管束，至第四個小時完全進入。



(4) 白天與午夜之比較，自葉尖吸紅墨水，到空氣鳳梨葉基處，進入不同部位的時間狀況(只看葉基部位)。

A、上表皮毛細現象較旺盛，吸水速率遠大於下表皮，而下表皮晚上的毛細作用較白天旺盛。

B、不管是透明葉肉帶或是維管束，午夜的吸水速率大於白天的吸水速率。



六、探討空氣型鳳梨葉子毛狀體吸收霧氣的路徑

1. 噴霧路徑實驗：三十分鐘時，葉基已經有紅墨水進入維管束，葉中只有邊緣處有進入維管束，葉尖也是已經有紅墨水進入維管束。推測霧氣路徑：由葉基和葉尖的毛狀體進入至維管束。

2. 吸水路徑實驗：三十分鐘時，葉基已經有紅墨水進入維管束，葉中並沒有紅墨水進入維管束，葉尖則只有邊緣有紅墨水進入維管束。推測水分路徑：由毛狀體的毛細作用輸送水分至葉基，再由葉基毛狀體進入維管束，且由葉基維管束傳到葉尖。

陸、討論

一、氣孔及毛狀體的分布密度與氣孔開閉情形

1. 在塗指甲油的採樣過程，可能因為植物葉表之毛狀體過度密集，而難以使位於較底下的氣孔能夠被固定起來，因此關閉的氣孔數較多。
2. 在表皮細胞的觀察發現，葉子基部之毛狀體數量遠多於葉子中間部位之毛狀體，推測該部分可能有較強之吸水功能。在我們觀察到的毛細現象—葉表面的輸水路徑，也可以得到印證，產生類似積水型鳳梨的功能，在基部的水份進入維管束之後，也能有利於水份在木質部的向上運輸。
3. 配合此類 CAM 植物，氣孔主要在夜間打開，產生水份的蒸散作用，可能成為促進水份進入維管束中的主因。但根據我們的實驗觀察，在白天氣孔也不是全部關閉，仍有少數比例的氣孔是打開的，推測可能是為了白天光反應的氣體釋放或是維持小部分水份的蒸散作用。
4. 有研究認為毛狀體有另一功能為減少強光的傷害，生長在沙漠高溫少雨溫差大的環境下，蠟質的鱗毛可反射掉光線，達到降溫的效果 (Pierce et al. 2001, Pierce 2007)。然而此種 *Tillandsia capitata* 毛狀體的鱗毛屬於親水性，不具蠟質成分，可能除了阻擋強光或降溫之外，提供吸水性強的毛細作用更有助於其適應缺水的環境。

二、葉子毛狀體的吸收水份的路徑

1. 空氣鳳梨的根部已經有退化現象，缺乏內皮與完整的維管束等構造，主要僅剩厚壁細胞用來支撐植物體。實驗中根部的紅墨水無法吸收至葉子，此

外，根也不具儲存澱粉的功能，可見不論是木質部的水份運輸，或是韌皮部的養分輸導，都與根部較無關連。

2. 毛狀體取代根的吸收水份或養分的功能，推測應該有類似根部內皮細胞的管制功能，一般植物根部水份與無機鹽類的吸收路徑有二：一為離質路徑，即經由細胞壁，另一為共質體路徑，即走原生質絲，可選擇性的使特定的無機鹽類進入細胞內。從掃描式電子顯微鏡的觀察發現，在毛狀體漏斗狀的拱頂細胞壁上有許多孔洞，可能是作為管制物質進入的共質體路徑。同時，在染番紅(safranin)的葉子橫切中也發現，毛狀體可能具有次生細胞壁(木質化或木栓化)的情形，因此推測毛狀體此種成分與構造也是造成水份延遲進入葉內維管束的因素之一。

3. 由實驗的結果可知，葉表毛狀體越多，毛細作用吸水速率越快，但是無論吸水的快慢，由葉尖吸水並不會使葉鞘染紅，而透明葉肉則是因為由細胞壁滲入而較快有色素，綠色葉肉部分則可能需要更長時間的運送，因此推論表皮的溶液傳遞，短時間主要還是靠毛細現象傳送至葉基再進入維管束。

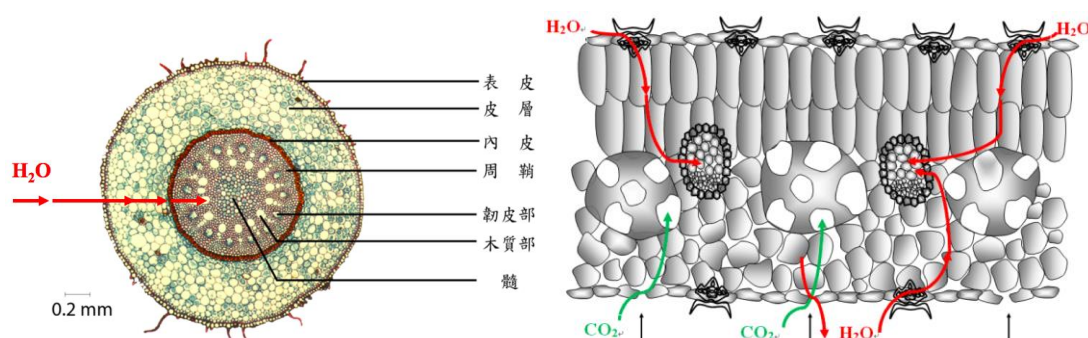
4. 午夜的輸水速率較快與夜間為氣孔打開高峰有關，夜晚二氧化碳由氣孔進入，代謝後儲存中間產物於液胞中，此時蒸散作用進行旺盛，影響細胞滲透壓增加，可能因此導致毛狀體分布較多的葉基部位紅墨水較早進入維管束。另外，輸送水份的濃度也是影響因子，因為本實驗以紅墨水為水份運輸路徑的觀察對象，墨水顏色濃度不能太低，否則無法判斷維管束內呈現的顏色，但水溶液濃度也可能影響水份運送的時間，因此實驗中紅墨水與蒸餾水比例以 1:4 較 1:1 的濃度快，而且以氣態噴霧的效果更佳。

5. 此類 CAM(景天酸代謝)植物通常為肉質葉，具有大型液胞，儲存光合作用的中間產物，可見水份對他們的生理功能相當重要。但是和同樣也是 CAM 植物，也同樣具有氣生根的蘭比較起來，空氣鳳梨葉子橫切面靠近上下表皮處的透明細胞帶顯得相當特別，除了儲水功能之外，是否還有其他特別的作用，有待進一步的探討。

柒、結論

1. 陸生植物要適應陸地乾旱的環境，需要有根來吸收水份與礦物質，但是高等開花植物空氣鳳梨卻能利用密生葉表的毛狀體，以及表面鱗片的毛細作用來協助水份的收集與輸送，毛狀體的特殊構造類似葉表的小漏斗，能暫時儲存滲入的水份，但是要進入組織內可能需走共質體路徑，進入維管束組織的速率與毛狀體分布的密度及氣孔的開閉時間是有密切關係。此外，不同的水溶液濃度也會影響葉表毛細作用速率與進入維管束內的時間，霧狀水氣與水溶液的輸送方式也存在著差異性。

2. 植物吸收水分模式圖的比較，一般植物在日間葉子氣孔打開，蒸散作用旺盛，水份自根部通過內皮進入中柱。空氣鳳梨在夜間葉子氣孔打開，蒸散作用旺盛，水份自葉部通過毛狀體經過共質體路徑進入透明葉肉及維管束。



3. 未來展望：空氣鳳梨能利用葉子特化的表皮細胞—毛狀體，吸收空氣中的水氣與無機鹽類，即可取代根的功能。除了仿生織物的應用之外，還有可能作環境空氣清淨，降低空污 PM2.5 數量，以及除濕除臭的功能，其奧妙的構造與生理運作值得我們繼續探究。

捌、參考資料

梁群健、顏俊宇。2015 年。空氣鳳梨輕鬆玩。麥浩斯出版，城邦文化事業公司發行。台北市。207 頁。

鄭凱、丁久玲、俞祿生。2009。淺析空氣鳳梨的特徵及其研究進展。中國農學通報。

51 屆科展作品說明書，國中組生活與應用科學佳作，空氣中的海綿寶寶—絲蘿吸水特性的研究與應用。

52 屆科展作品說明書，高中組生物科，鳳水輪流轉—鳳梨科植物獲取水份之方式。

53 屆科展作品說明書，高中組生物科，鳳生水起—鳳梨吸水量及吸水速率的探討。

<http://www.nmns.edu.tw/public/BotanicalGarden/flowers/2015/summer/0722.htm>
國立自然科學博物館

Stefano M, Papini A, Brighigna L. 2008. A new quantitative classification of ecological types in the bromeliad genus *Tillandsia* (Bromeliaceae) based on trichomes. Rev. Biol. Trop. 56, 191-203.

Pierce S. 2007. The jeweled armor of *Tillandsia*—Multifaceted or elongated trichomes provide photoprotection. Aliso 23, 44-52.

Pierce S, Maxwell K, Griffiths H, Klaus W. 2001. Hydrophobic trichome layers and epicuticular wax powders in Bromeliaceae. American Journal of Botany 88, 1371-1389.

【評語】 052109

1. 以空氣鳳梨為材料瞭解空氣鳳梨的毛狀體如何透過特殊的輸送途徑幫助空氣鳳梨有效地利用空氣中的濕氣。
2. 研究完整有創意。
3. 團隊表達能力佳，對研究結果解說詳盡，並已思考過可能的應用潛力。