

第十三屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA13-301

作品名稱：植物的居家風水——

植物葉片溝槽結構環境適應之探討

姓名：林子馨

關鍵字：溝槽、葉子結構、環境因子

壹、 研究動機

葉子是植物行光合作用、產生能量的器官，它的許多特徵會受到環境、自身能量收支狀況的影響，朝向能夠最佳利用能量的方向演化。而對於植物葉片，它對環境適應的最直觀反應會表現在它的生長形態上。

水與風是生物界中重要的環境因子。水可以協助植物體行光合作用、授粉、傳遞種子、作為無機養分傳遞的媒介，卻也可能使植物體腐敗、妨害光合作用，或因為水滴匯聚光線的構造使其被強烈的陽光灼傷；風可以協助植物體促進蒸散作用、授粉、傳遞種子，卻也可能對植物體造成各種機械損壞。但如果植物擁有協助排水及抗風的構造，便能使植物體不受到水逆境與風逆境的干擾，使它的競爭力相對其他植物提升。

在生活中，我們常常在各式建築上看見摺版構造。摺版構造是一種建築學中的基本架構，而摺版構造有兩項特殊之處：一是能夠引導水的流動，如圖 1；二是擁有較大的慣性矩，也就是擁有較大的支撐能力。

對於植物而言，擁有類似摺版構造的生長形態可以說是植物體對環境的逆境迴避。



圖 1、屋頂排水板的溝槽結構

經由文獻尋找後發現，在台灣經常出現的禾本科植物：棕葉狗尾草是少數葉片呈現摺版形態的植物，葉子具有明顯稜凸凹溝——「溝槽構造」的植物(郭，1985)(圖 2D)，相對於其他兩種具有稜凸凹溝的台灣常見禾本植物：水稻及雙稜草，棕葉狗尾草的葉片比較寬大，也較易觀察其特殊之處。

植物的葉片會因適應環境而逐漸演化出特殊的結構，因此提出兩個假說來解釋植物葉片上特殊溝槽構造的功能：其一是植物為了適應多雨的環境，明顯的稜凸凹溝、類似排水溝的溝槽結構可將雨水集中，加速水分流離葉子表面的速度，並避免水分覆蓋葉片表面而阻塞氣孔、影響氣體交換；其二是葉片的摺版構造具有較大的慣性矩可提供葉片抵抗的吹襲，避免葉片破損，影響光能的吸收。

貳、研究目的及研究問題

一、研究問題：棕葉狗尾草葉片上的特殊的摺版形態有何功用？

二、研究目的：了解植物葉子摺版形態與環境適應之間的關聯

三、假說：

(1) 溝槽構造可以協助葉面匯集雨水，加速水分流離葉子表面。

(2) 溝槽構造可以增加慣性矩，使葉子較能抵抗風的吹襲破壞。

參、 研究設計

一、 實驗物種：

主要實驗物種——棕葉狗尾草

學名為 *Setaria palmifolia* (J. Koenig) Stapf.，屬於禾本科，狗尾草屬。俗稱 palm grass、大風草、颱風草，屬於多年生草本禾本科雜草，生長於亞熱帶地區。

葉片披針形，下位葉有毛，葉表有明顯之直向皺折，葉舌由一圈細毛所構成，花絮為圓錐花絮。



A. 棕葉狗尾草的整株植物



B. 棕葉狗尾草的葉片



C. 棕葉狗尾草的凹槽特寫



D. 棕葉狗尾草的凹槽特寫

圖 2、實驗物種：棕葉狗尾草，其葉片具有溝槽結構

其他對比的實驗物種（實驗「溝槽與水」方面實驗的實驗物種）

1. 月桃

學名: *Crinum asiaticum*

月桃喜生長於溫暖濕潤的氣候，光線充足的環境但害怕夏季的烈日暴晒，適合生在排水良好的砂質土壤中，耐鹽鹼土壤。採用分株法及播種方式繁殖。



圖 3、實驗物種：月桃

2. 美人蕉

學名: *Alpinia zerumbet*

美人蕉屬於雙子葉草本植物，草本，以觀葉為主。耐濕植物。花瓣無比美豔，花具有特殊的芳香。端午節常以美人蕉的葉子來包粽子。由分株法繁殖。



圖 4、實驗物種：美人蕉

3. 文殊蘭

學名: *Belamcanda chinensis*

草本植物，莖呈現節狀，外皮為鮮黃色，植物旁有許多鬚根。由莖下部生葉。花朵為橘黃色、同時具有暗紅色的斑點。生性喜歡溫暖的氣候和陽光充足的環境。性耐旱，耐寒，怕積水。以人工栽培為主。



圖 5、實驗物種：文殊蘭

二、實驗器材：

表 1、實驗器材表

器材	數量
軟體 Image J	1
Excel 2007	1
小畫家	1
兩段式電風扇	1
盆栽組	3
複式顯微鏡	1
玻片	2
蓋玻片	2
風速計	1
相機	1
滴定管	1
滴定管夾	1
V8 攝影機	1
支架	1
量筒	1
鐮刀(剪葉子)	1
電子游標尺	1
碼表	1

二、研究方法

我們將實驗分為兩個部分去討論：一個是水與溝槽的關係，另一個是風與溝槽的關係。



圖 6、實驗流程示意圖

(一) 溝槽構造與排水功能的探討實驗

1. 水在不同植物葉片上流動方式之研究

利用棕葉狗尾草及月桃、美人蕉、文殊蘭等 4 種不同的植物做實驗。利用大水流及小水流模擬不同的降水量，來觀察葉子在不同的水量大小下的排水效率，最後再以棕葉狗尾草為對照組，比較其他不同的植物與棕葉狗尾草的差異。

作法：

- (1) 先用大剪刀採集單子葉和雙子葉的葉片
- (2) 將葉片固定在支架上，準備好器材
- (3) 準備好照相機或攝影機，拍攝水在葉片流動的方式
- (4) 先用流量較少的滴定管滴水
- (5) 接著用流量較大的水龍頭滴葉片
- (6) 紀錄水在葉片上的流動方式

2. 水在不同植物葉片上流動速度之研究

探討棕葉狗尾草葉片的表面流速與其他三種植物葉片之差別。在這個實驗中我們會利用四種植物作為我們的實驗物種：棕葉狗尾草、月桃、美人蕉、文殊蘭。

作法：

- (1) 先用大剪刀採集單子葉和雙子葉的葉片
- (2) 將葉片固定在支架上
- (3) 用游標尺量取自夾取的根部到葉尖的距離
- (4) 將滴管的開關打開
- (5) 當第一滴水滴到葉片上時，按下碼錶開始計時
- (6) 當第一滴水自葉尖留出時，碼錶停止計時
- (7) 記錄數據

計算流速的公式：

距離 d : 第一滴水滴滴到葉片的位置到葉尖的長度(cm)。

時間 t : 第一滴水滴滴到葉片的瞬間到離開葉片的時間(t)。

流速 v : 由上式的 d/t 可得到流速。

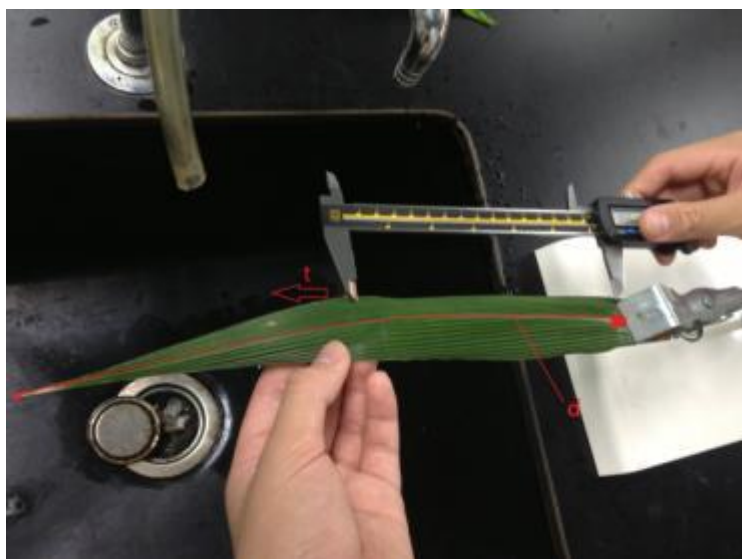


圖 7、葉片水流速測量方法示意圖

二、溝槽構造與抗風功能的探討實驗

1. 葉片溝槽顯內部微構造之研究

將棕葉狗尾草葉片橫切(垂直葉脈)成細長型，在複式顯微鏡下觀察棕葉狗尾草的葉片剖面、並找出是否有特殊構造能夠影響其凹溝角度的大小。

作法：沿著圖 8 的紅線切下非常薄（不到 0.5mm）的葉肉後，將葉肉組織放到倍率為 10×10、10×25、10×40 的複式顯微鏡下觀察並記錄。

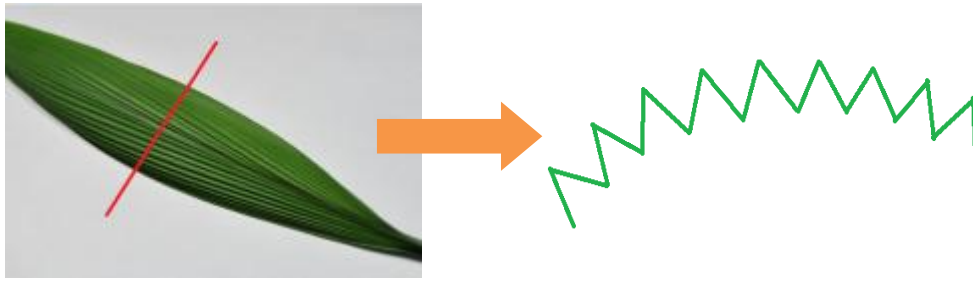


圖 8、葉片溝槽的構造示意圖

2. 風吹襲對溝槽角度影響之研究

此研究目的想要了解風吹襲後對葉片溝槽角度的影響。實驗設計為：無風靜置 20hr 後、再以風速 2.68m/s 吹襲 4hr；接著在無風靜置 20hr 後，再以風速 3.50m/s，吹襲 4hr。在四個時段末進行葉片溝槽切片顯微照相，再利用顯微照片使用軟體 Image J 量測其凹槽角度(如圖 9)。測量角度的位置為葉片長軸的 1/2 處，如果葉片前端有損毀者則測距離損毀處大約整個葉片的前 1/3 處；所測角度為葉片上的隨機 11 個溝槽角度。



圖 9、溝槽角度與風之關係實驗流程示意圖

利用 Image J 軟體量測角度的功能量測角度後比較相同葉片在吹風前、吹風後的角度差異。最後進行統計分析得出其溝槽角度是否具有顯著改變差異，來了解棕葉狗尾草葉片溝槽之角度是否會受到風的影響而改變。

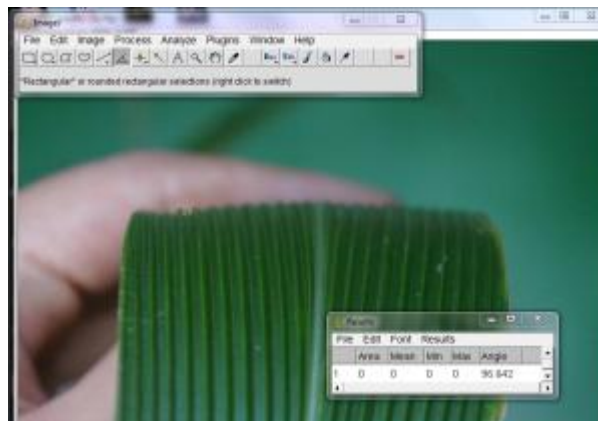


圖 10、使用 Image J 軟體測量葉片溝槽角度

3. 構槽角度與慣性矩抗力之分析

建築學中的摺版構造是能承受較大的構造，而它結構能夠抗力的計算模式便是利用慣性矩的大小來進行計算。慣性矩的計算公式如圖 11，可得知慣性矩的大小與角度餘弦值的平方成正比。而葉面積大小則正比於角度的正弦值。

從上述文字中可知：葉片能受光照面積大小與慣性矩大小皆會受到溝槽角度影響。如果溝槽角度變小，所能接受光照面積也會減少，但所形成的慣性矩越大，越能耐得住強風的吹襲。

本研究想要利用公式推導出葉片的各凹溝角度與支撐力、面積的函數圖形，並將結果換算成百分比，即可比較風的大小與溝槽角度的關係，計算出在各種角度的慣性矩理論值，以了解構槽角度與抗力慣性矩的關係。最後利用光照面積與慣性矩抗力的使用效率求出兩者使用效率相加的最佳值。

1. 葉面積的算法：

$$\text{面積(Area)} = \frac{w}{2} \times \sin \theta \rightarrow (W \text{ 為定值}) \rightarrow \sin \theta$$

2. 支撐力算法：

$$\text{慣性矩(I)} = \frac{1}{48} h W^3 \cos^2 \theta \rightarrow (h, W \text{ 為定值}) \rightarrow \cos^2 \theta$$

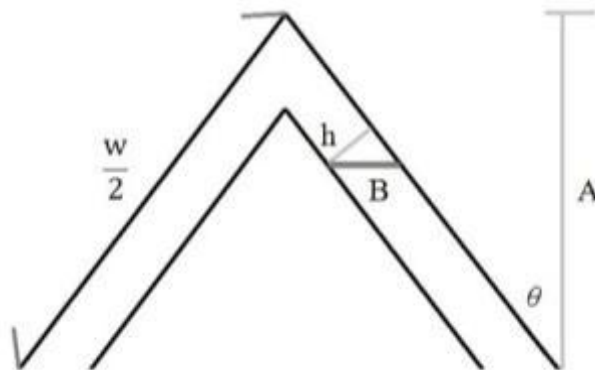


圖 11、摺版構造示意圖

肆、研究結果與討論

一、溝槽構造與排水功能的探討實驗

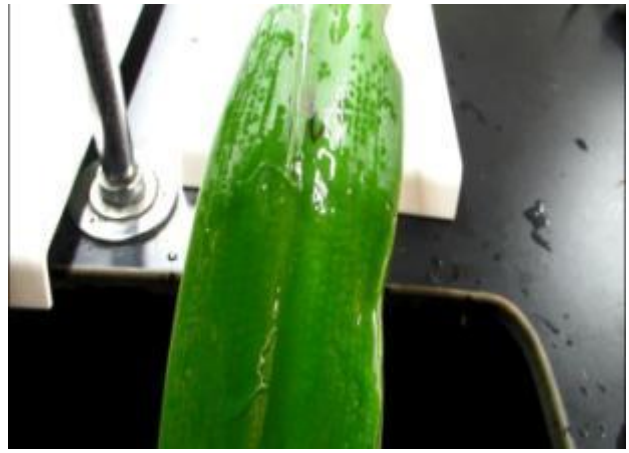
1. 水在不同植物葉片上流動方式之研究

第一項植物：月桃

由月桃的近照可以觀察到月桃的葉片並沒有溝槽的構造(圖 12A)，由實驗照片可看出，較小水流過月桃時不會造成水從兩邊流出的現象(圖 12B)，但是可以看到，月桃在較大水流的時候，水就會從葉片兩側流出(圖 12C)。最後再與棕葉狗尾草做排水功能比較(圖 12D)。



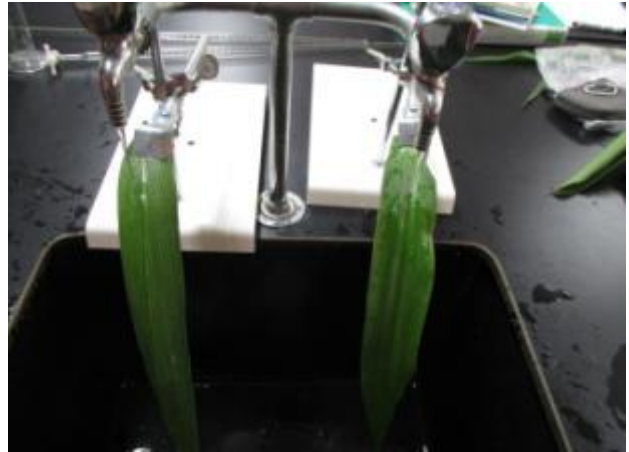
A. 月桃-近照



B. 月桃-較小水流



C. 月桃-較大水流



D. 月桃 VS 棕葉狗尾草排水功能之比較

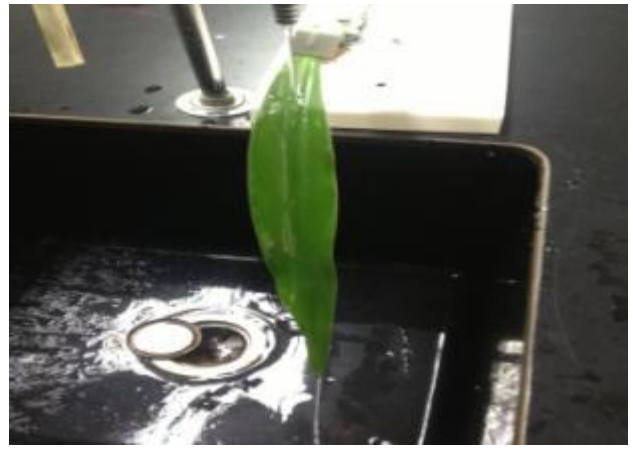
圖 12、月桃葉片上的排水實驗

第二項植物：美人蕉

美人蕉屬於雙子葉草本植物，所以沒有單子葉的狹長葉片，反而有較寬大的葉片，葉片表面也較光滑(圖 13A)。不過由實驗得知，美人蕉在較小水流的時候，水也不會從兩旁流出(圖 13B)，在較大水流時，則會從葉緣兩側溢出(圖 13C)，這跟一般沒有溝槽的單子葉植物一樣。同樣的美人蕉也有與棕葉狗尾草做排水功能之比較(圖 13D)。



A. 美人蕉-近照



B. 美人蕉-較小水流



C. 美人蕉-較大水流



D. 美人蕉 VS 棕葉狗尾草排水功能之比較

圖 13、美人蕉葉片上的排水實驗

第三項植物：文殊蘭

文殊蘭屬於單子葉植物，葉長也較棕葉狗尾草長，但是文殊蘭並沒有溝槽的結構(圖 14A)。文殊蘭在較小水流過的時候，水並不會從葉緣兩側流出(圖 14B)。但當較大水流流過時，水就會從葉緣兩旁流出(圖 14C)，最後再與棕葉狗尾草做排水功能之比較(圖 14D)。



A. 月桃-近照



B. 月桃-小水流



C. 月桃-大水流



D. 月桃 VS 棕葉狗尾草排水功能之比較

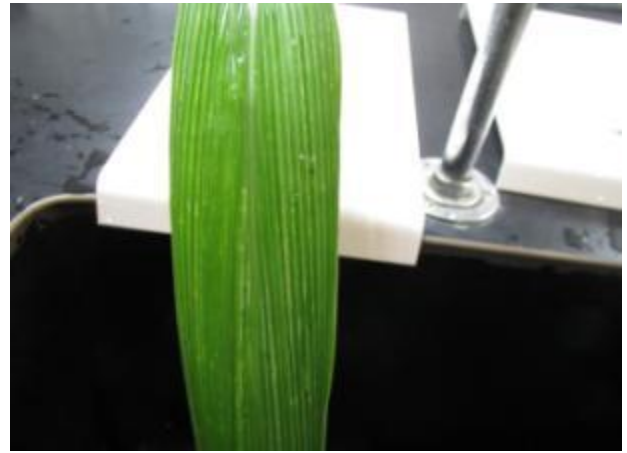
圖 14、文殊蘭葉片上的排水實驗

第四項植物(對照組)：棕葉狗尾草

由棕葉狗尾草的近照可以觀察到棕葉狗尾草葉片的溝槽(圖 15A)，棕葉狗尾草無論在小水流或者是大水流，水都會匯聚到葉尖留下，並不會由兩旁葉緣流出(圖 15B、C)。由棕葉狗尾草的近照可以觀察到，棕葉狗尾草溝槽的排列。經由上述實驗，可以看到水在棕葉狗尾草與其他葉子的流動明顯的差異性，溝槽構造可協助水分集中匯集，不會讓葉面上布滿水分。



A. 棕葉狗尾草-近照



B. 棕葉狗尾草-較小水流



C. 棕葉狗尾草-較大水流



D. 棕葉狗尾草的實驗照片

圖 15、棕葉狗尾草葉片上的排水實驗

綜合以上四種植物排水的結果可知:棕葉狗尾草和其他植物在排水功能上是有明顯的差異性。根據實驗,可觀察到水在棕葉狗尾草中是沿著葉片上的溝槽流動的,更進一步觀察到溝槽的排列方式,發現溝槽分布是以一支主幹分散出去,不過並不是每一條溝槽都能匯聚到葉尖,有一些的溝槽到葉緣部分就會消失。不過水流在葉子上流動時,水會沿著葉緣流到葉尖,而不會從一旁的葉緣流出。但這種現象只有在有溝槽的棕葉狗尾草才能觀察到,像其他沒有溝槽的植物如文殊蘭、美人蕉或月桃等,如果水量一次過大的話,水仍會從兩旁的葉緣流出。由以上研究可知棕葉狗尾草葉片溝槽構造是可以幫助水分在葉面上匯集排出,避免水分在葉面上不規則流動。

2. 水在不同植物葉片上流動速度之研究

將四種植物測量出的流動速度製成柱狀圖(圖 16)比較,並將棕葉狗尾草的實驗數據與其他三種植物進行 T-test 分析,了解水的排出流速統計上有無顯著差異(表 2)。

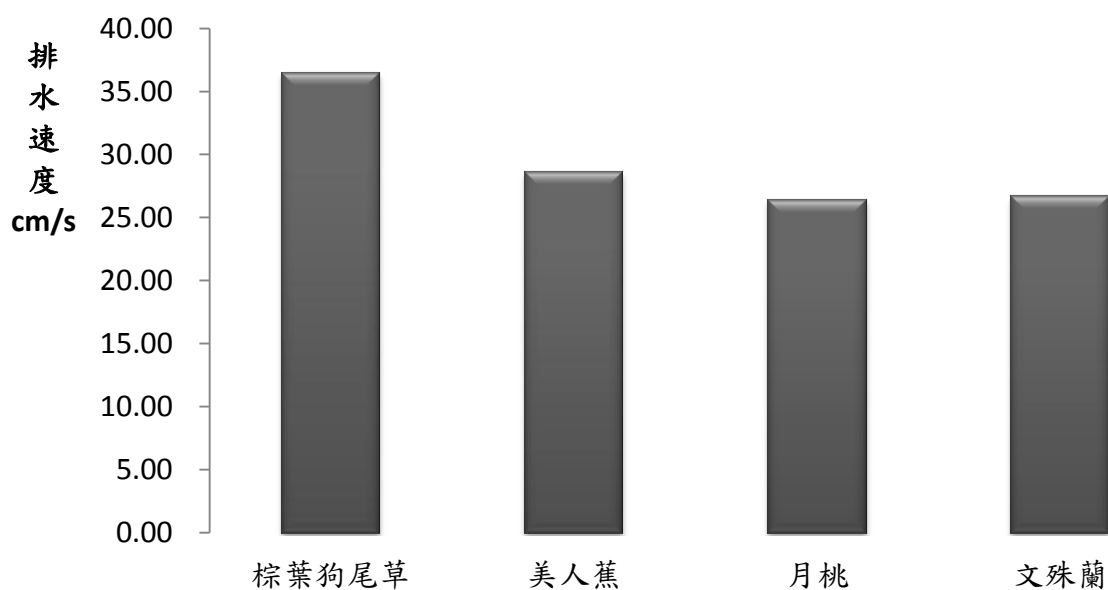


圖 16、水分在四種植物葉片表面流速之比較圖

表 2、棕葉狗尾草與其他三種植物的葉片表面流速 T-test 統計結果

棕葉狗尾草	vs 美人蕉	vs 月桃	vs 文殊蘭
p 值	0.000267	0.00000133	0.00000193

由圖表數據中可以得知棕葉狗尾草有最大的排水速度，而且與其他三種植物的表面流速皆有顯著差異($P < 0.05$)，所以棕葉狗尾草的葉片具有較好的排水效率。

從棕葉狗尾草的溝槽構造來推斷流速較快的原因，我們推測溝槽能夠使落在葉面上的水滴因重力作用而匯集於溝槽凹處，其解釋如下：

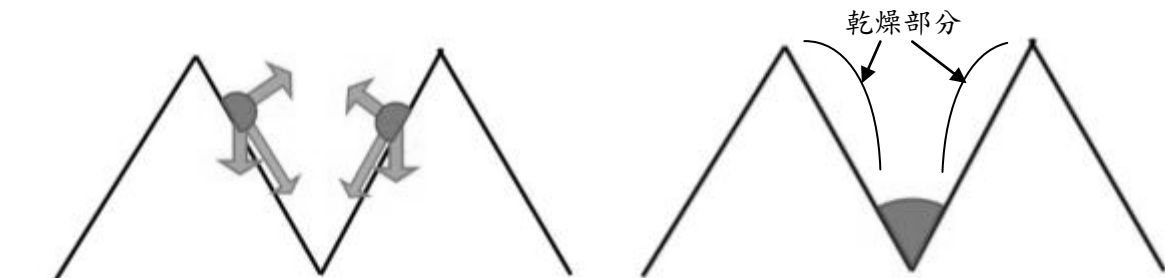


圖 17、溝槽上的水滴示意

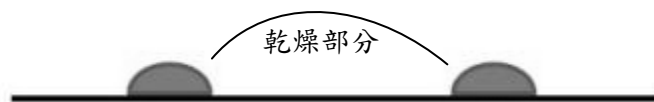


圖 18、平板上的水滴示意

對於溝槽斜面上的水滴，在溝槽角度較小時，斜面斜率較大，在加上其靜摩擦力與表面材質、斜面角的正切值成正比，所以水滴較容易突破靜摩擦力的最大值而下滑。在下滑至溝槽時，葉片表面即可擁有較大的面積無水份覆蓋，使葉片表面較為透氣。

綜合以上兩個與排水相關的研究結果，可知棕葉狗尾草的溝槽構造可以協助葉面匯集雨水，並加速水分流離葉子表面。實驗結果支持葉面排水功能的假說。

二、溝槽構造與抗風功能的探討實驗

1. 葉片溝槽內部顯微構造之研究



圖 19、複式顯微鏡下葉片的溝槽凹溝處構造(紅色箭頭處為泡狀細胞)



圖 20、棕葉狗尾草的泡狀細胞在葉上、下表皮的分布區域(紅色箭頭處為泡狀細胞)

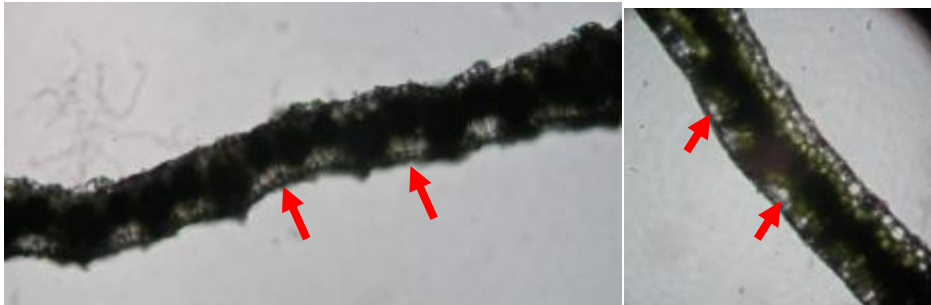


圖 21、其他禾本科葉片的泡狀細胞分佈於上表皮(紅色箭頭處為泡狀細胞)

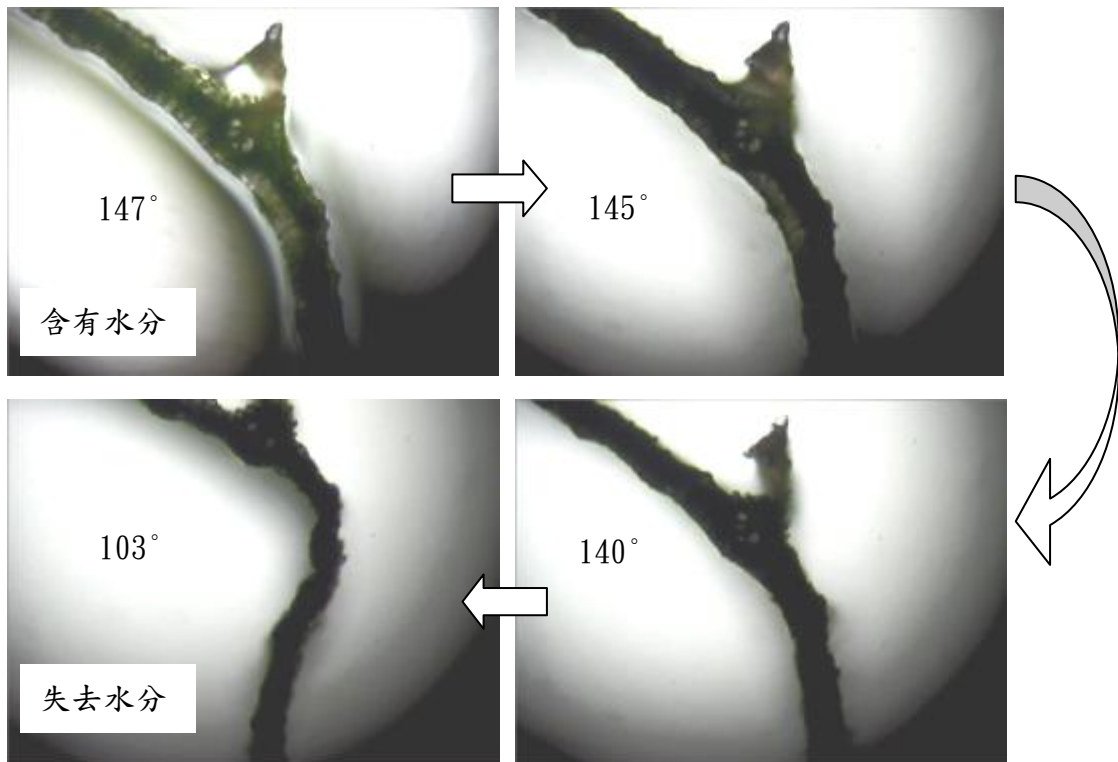


圖 22、棕葉狗尾草葉片在失水情況下的連續攝影(數值為角度大小)

經由圖 19 與 20 實驗的照片，我們可以看到在棕葉狗尾草葉片剖面的凹溝處有禾本科常見的泡狀細胞，由表皮細胞特化而成的細胞。

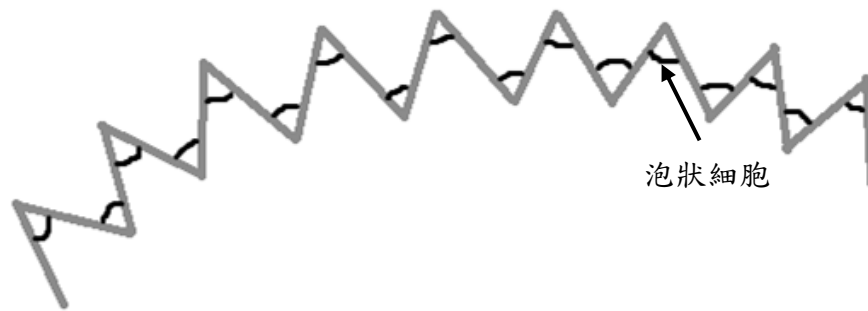


圖 23、棕葉狗尾草泡狀細胞分布於葉片凹溝處的示意圖

在一般的禾本科植物當中泡狀細胞主要分布於葉片上表皮的維管束之間，對禾本科植物有很大的作用。依據前人的研究，泡狀細胞的功用主要作為水分的貯存，並在葉肉缺水時提供水分。而在此中發現棕葉狗尾草的泡狀細胞與其他禾本科植物有相當大的差異(圖 20、21、23)。

從圖 20、21、23 及文獻當中可以發現棕葉狗尾草的泡狀細胞分布在上、下表皮，而且都是位於溝槽的凹溝處，不像其他禾本科植物平展的葉子，其泡狀細胞只位於上表皮處。棕葉狗尾草明顯的凹溝形態與他上下表皮皆有的泡狀細胞可能關聯。於是將葉片摘下後，讓水分逐漸蒸發，蒸發過程便利用連續顯微攝影的方式拍攝溝槽中的泡狀細胞及溝槽角度的連續變化，結果如圖 22 中所示——在細胞失去水分時溝槽的角度逐漸縮小。水分的流失導致溝槽角度改變的原因是因為當泡狀細胞的水分流失，細胞失去膨壓，使得泡狀細胞兩側葉肉組織向內凹陷，致使溝槽角度縮小。由以上的觀察結果推斷棕葉狗尾草葉子的泡狀細胞具有上、下相間的特殊排列方式，並且泡狀細胞內的水分多寡可以控制膨壓大小，進而控制葉子溝槽的角度。

2. 風吹襲對溝槽角度影響之研究

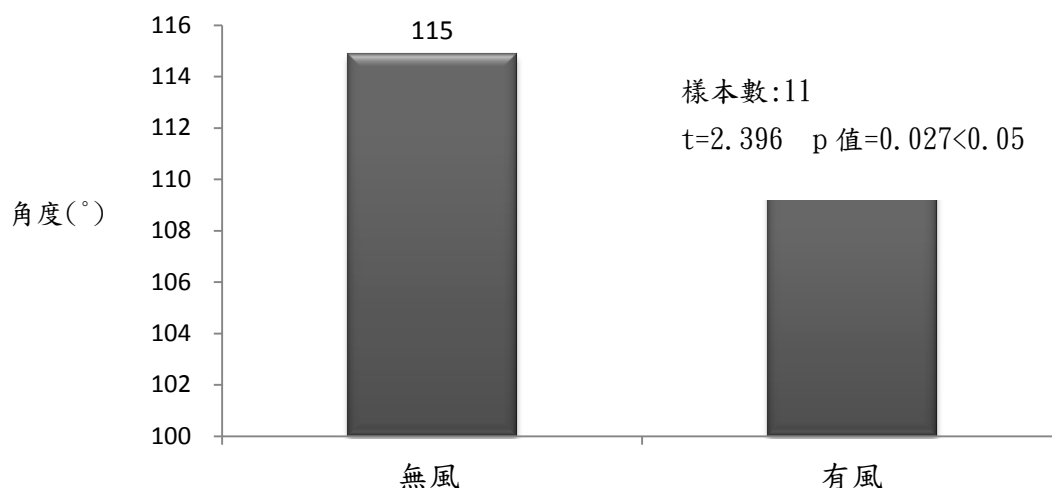


圖 24、溝槽角度在有風、無風下的比較數據圖

將棕葉狗尾草置於無風環境與風吹襲環境下觀察溝槽角度的變化，實驗結果如圖 24 所示，在有風吹襲的環境下，溝槽角度會縮小。兩組數據經過 t-test 統計分析，無風及有風環境下角度差異的 p 值小於 0.05，所以兩者之間具有顯著差異。由此結果可以得知：棕葉狗尾草在不同的環境下其溝槽角度會有所改變，在風吹襲的環境下溝槽角度會變小，無風環境下角度會較大。

風吹襲會造成溝槽角度變小的原因可能是：當風吹拂葉片時會促進植物進行蒸散作用，在蒸散的同時，其他葉肉細胞的水分流失，使泡狀細胞必須釋出水分以提供葉肉細胞使用。失去水分的泡狀細胞會使得原本維持細胞形狀的膨壓減小，使得支撐溝槽撐開的力量變小，因此會讓角度縮小。

一般的禾本科植物泡狀細胞只分布於上表皮，因此當風吹襲時會讓整個葉子上表皮的膨壓小於下表皮，致使葉子由下往上反捲，避免上表皮的氣孔內水分蒸散，是一種逆境的保護措施。但棕葉狗尾草的葉片是呈現上下的摺版狀，因此泡狀細胞是分布於葉片凹槽的凹陷處，上、下表皮都有分布。所以當葉子受到風吹襲後，水分加速蒸散，泡狀細胞失去水分而膨壓降低，不會讓棕葉狗尾草的葉子呈現向上反捲，而是呈現摺版溝槽角度變小的形態。

3. 溝槽角度與慣性矩抗力之分析

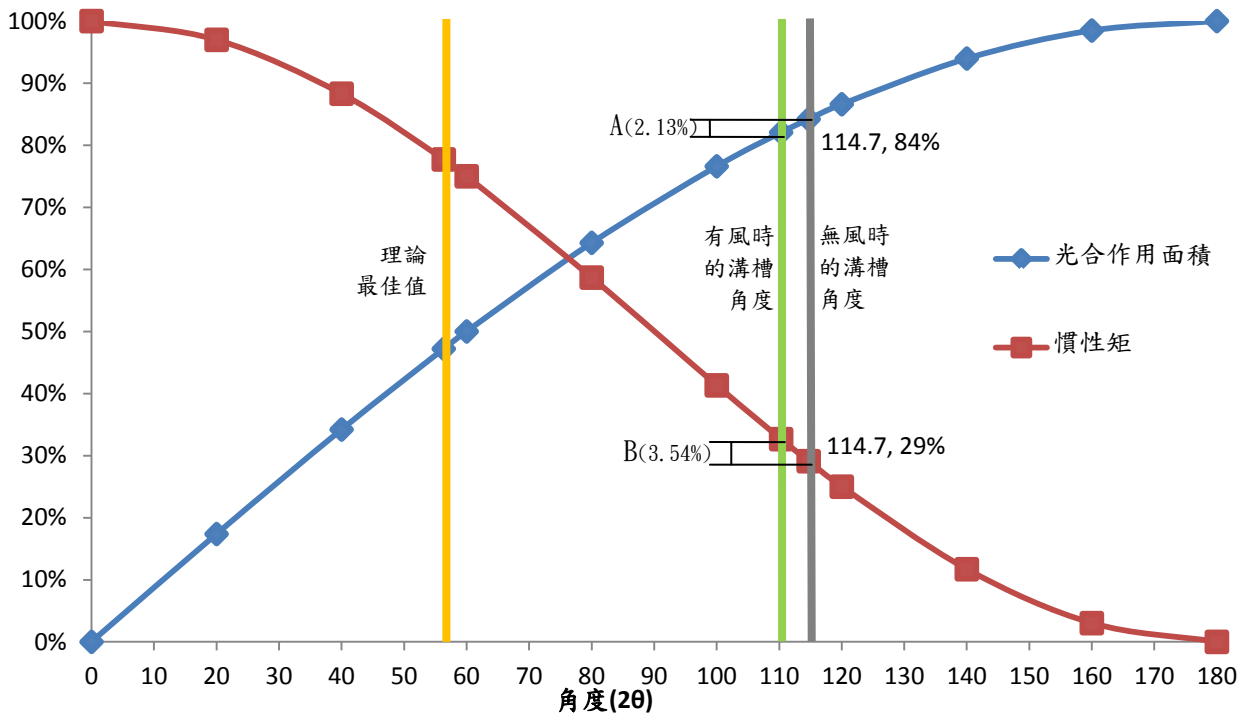


圖 25、溝槽角度與慣性矩抗力、葉光照面積的變化趨勢圖

為了方便比較慣性矩抗力及葉光照面積的理論效率，以兩者的最佳效率作為 100%，而其最差效率作為 0%。

圖中的橘色直線代表慣性矩抗力及葉光照面積理論效率之和的最大值，其角度大小約為 56.3°；圖中的綠色直線為本次實驗中有風環境中棕葉狗尾草的溝槽角度大小，其角度大小約為 110.3°（圖 24）；圖中的灰色直線為本次實驗中無風環境中棕葉狗尾草的溝槽角度大小，其角度大小約為 114.7°（圖 24）。A 段為無風與有風情況下的溝槽角度所造成的葉光照面積效率差；B 段為無風與有風情況下的溝槽角度所造成的抗力慣性矩效率差。

從圖 25 中可以清楚看到在風吹襲葉片造成溝槽角度變小的同時，葉光照面積效率減少 A(2.13%)，但慣性矩抗力效率反而會增加 B(3.54%)。所以在有風的情況下，棕葉狗尾草的葉片受風吹拂而溝槽角度減少是能夠增加抗力效率，增加抵抗風吹襲施加於葉片上的外力，保護葉子。

對於在強風下的植物而言，擁有較大慣性矩是一個能夠協助葉片抗風的一大功臣，但當增加慣性矩的大小的時候，光照面積會同時減少，兩者無法同時增大。因此，我計算光照面積與慣性矩抗力的使用效率相加之最大值，求出圖 25 的橘色線，其值為 124.9%。

從圖 25 中可以觀察到理論的最大值與現實生活中的溝槽角度大小有相當大的落差。除了實驗中的誤差之外，還有其他可能造成此差異的原因：棕葉狗尾草並不需要這麼大的慣性矩抗力來抵抗風的外力傷害，因為要達到最大的現實情況下的植物不能擁有太小的葉光照面積，以免自身能量不足以供應植物體本身的生長所需。另外，如果植物擁有這麼小的角度，可能會影響葉片其他組織的生長，所以溝槽角度不會呈現如最佳理論值的角度大小。

綜合以上三個與抗風的研究結果，可知棕葉狗尾草的溝槽構造凹處因具有泡狀細胞，且分布於上、下表皮處，使得在風吹襲的環境下細胞會失去水分而膨壓降低，造成葉片摺版的溝槽角度變小，角度變小會使得慣性矩抗力增加，以抵抗風吹施加於葉子的外力，避免外力對葉構造的破壞。實驗結果支持葉片抗風功能的假說。

伍、結論

一、溝槽構造有助於植物葉面排水

- (一) 溝槽構造能夠匯集並引導水流至葉尖排除。
- (二) 溝槽構造能加快葉片表面水分排出的速度。

二、溝槽構造有助於植物葉片抗風

- (一) 棕葉狗尾草葉片具儲水特化的泡狀細胞，且分布於上、下表皮的溝槽凹陷區域。
- (二) 泡狀細胞可以藉由液胞內水分的多寡來改變細胞的膨壓，進而控制溝槽的角度。
- (三) 溝槽角度會受到環境的不同而改變，在無風環境角度較大，風吹襲後角度變小。
- (四) 慣性矩抗力會隨角度而改變，角度變小會增加葉片的抗力，以抵抗外力的傷害。

三、棕葉狗尾草摺版葉片是一種有助於植物適應風雨環境的形態構造

陸、參考資料

- 史念海。1997。中國歷史地理論叢。陝西人民出版社。P. 136。
- 曲波等人。2010。二十二種禾本科植物葉片泡狀細胞形態特徵的初步研究。西北植物學報。第 30 卷第 8 期。P1595~1601
- 朱德民。1993。植物環境與逆境。初版。臺北市。國立編譯館。p346
- 易希道。1999。植物生理學。初版第九次。臺北市。國立編譯館。p. 554
- 祈雲枝。2005。與植物零距離。陝西科學技術出版社。P. 210。
- 柳楮。1982。森林生態與環境保育。科學月刊。152 期。
- 馬清溫。2010。北京科普之窗。取自：
<http://www.bjcp.gov.cn/bjcpzc/tszr/zwdg/zwdyx/285283.shtml>
- 許茂雄。1999。建築結構系統。初版。臺南市。成大建築文教基金會。p123、124。
- 許建昌。1975。台灣常見植物圖鑑：台灣的禾草(上、下)。臺北市。台灣省教育會。p621
- 郭長生。1985。台灣產禾草葉部比較解剖(特別關注穎綠環特徵)。國立台灣大學植物學研究所博士論文
- 陳啟中。2008。建築結構系統。初版。臺北市。詹氏書局。p221、222