

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生物科

第三名

080301

白孢子銀白葉背與星狀茸毛功能之探討

學校名稱：臺北市內湖區內湖國民小學

作者： 小六 林宥均 小六 葉宥陞 小六 陳羿全 小六 曾彥荃 小六 劉恩碩	指導老師： 許璋銜 陳延睿
---	-----------------------------

關鍵詞：白孢子、銀白葉背、星狀茸毛

摘要

白匏子為低海拔地區常見先驅植物，具銀白葉背特徵。利用顯微鏡觀察葉背發現密佈白色星狀茸毛，利用分光測色儀測量幾種植物葉背反光強度，發現白匏子反光能力最高。利用氯化亞鈷試紙顏色變化測量蒸散速率，白匏子葉背蒸散速率最慢。去除葉背茸毛後，反光能力下降很多，蒸散速率也變快很多。幼葉上表面長有濃密褐色星狀茸毛，下表面則為白色星狀茸毛，之後新生葉上表面褐色星狀茸毛消失，最後成熟葉只剩下表面有白色星狀茸毛。野外觀察發現幼葉與新生葉較完整且無損傷，成熟葉則大多有蟲咬痕跡。在葉子滴硝酸鐵，檢測是否含有抗蟲的單寧酸成分，結果發現幼葉與新生葉密生的褐色茸毛含有單寧酸，隨葉子成熟，單寧酸茸毛漸變少，只剩葉背有少量分布。

壹、前言

一、研究動機

國小五年級的自然課本介紹了植物的根、莖、葉構造與功能，並提到許多植物特殊的葉子。例如，豌豆的葉呈卷鬚狀，能纏繞在物體上，協助植株攀爬生長；豬籠草的葉子則特化成捕蟲囊，用以捕食昆蟲。大部分植物的葉子是綠色，能進行光合作用。然而，有些植物的葉子會呈現不同顏色，如楓樹的葉子，在秋冬時會從綠色變成黃色或紅色；秋海棠的葉子上表面綠色，背面則為紅色；還有青苧麻，其葉子背面呈銀白色（圖 1、2）。在學校附近的公園步道上，生長著許多白匏子。每逢強風一陣吹過來，白色的葉背隨風掀起，彷彿綠色山坡上掀起一陣陣浪花，經常吸引我們的目光（圖 3）。好奇白匏子葉背為何呈銀白色以及銀白色葉背的功能為何？（圖 4）我們在公園步道上還觀察到白匏子新長出來的葉子顏色呈現黃褐色或褐綠色，葉子兩面都密佈茸毛，搓一搓褐色茸毛還會脫落，與成熟綠色葉子葉背一整片白色茸毛不一樣。而且新生葉子葉片都很完整，沒有被蟲咬過的痕跡，成熟的葉子常看到被蟲咬得破破爛爛的，沒有一片完整（圖 5、圖 6），我們覺得很奇怪，為什麼？



↑圖 1：青苧麻具有白色的葉背特徵



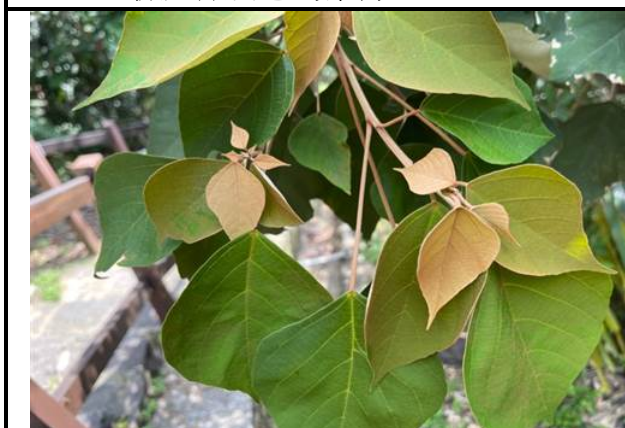
↑圖 2：陽光照射下，青苧麻葉片會反捲



↑圖 3：風吹來時，白匏子葉子在風中翻轉，掀起銀白色的葉背



↑圖 4：長時間乾燥缺水時，白匏子葉片反捲，露出銀白色葉背



↑圖 5：新長出來的葉子顏色呈現黃褐色或綠褐色，葉子兩面都密佈茸毛



↑圖 6：新生葉子，葉片完整無破損，但成熟葉子大多被蟲咬得破爛

為了研究白匏子銀白葉背與茸毛有何功能，我們查了相關參考文獻後，得到以下資訊：

- (一)白匏子是一種半落葉性中喬木，通常生長在臺灣平地至低海拔山區之空曠地向陽的山坡上，或成片分布在裸露的土地或崩塌地上。其葉子形狀似匏。葉背密佈著茸毛，白色覆蓋形成銀白葉背，因此得名「白匏子」。(臺灣生命大百科 Taiwan Encyclopedia of Life)
- (二)植物茸毛或毛狀體(trichomes)是源自於植物葉片或其他器官表皮細胞的小型突出物，區分為腺毛及非腺毛兩大類。毛狀體的結構和功能各不相同，有柔毛、剛毛、腺毛、鱗片、乳突毛等。茸毛形成的覆蓋，稱為『毛被』(indumentum)。(維基百科，毛狀體)
- (三)葉子上濃密的茸毛覆蓋可以反射陽光，降低葉片過多的熱能吸收；並能在葉表形成「邊界層」(boundary layer)，使得空氣移動降低，進而減緩葉片蒸散作用，是一種植物適應乾燥環境的重要方式。(Benz and Martin, 2006)
- (四)當植物受到攻擊時，茸毛數量和形態具有防禦作用，且新生葉片會增加茸毛密度以應對後續的傷害。高密度的茸毛能提高植物對昆蟲的抵抗力，例如濃密的茸毛讓昆蟲不易移動，降低昆蟲攻擊。(廖君達，2012)

(五)白匏子為大戟科(Euphorbiaceae) 野桐屬(*Mallotus*)植物，科學家針對大戟科多種植物的葉片解剖進行了詳細研究，發現茸毛構造在大戟科植物中很常見 (Živa et. al., 2012)。

二、研究目的

- (一)研究白匏子與其他植物葉子的表面構造。(二)研究白匏子與其他植物葉子的反光強度。(三)研究白匏子與其他植物葉子的蒸散速率。(四)研究白匏子葉子茸毛分布與密度之變化。(五)研究白匏子葉子茸毛的防禦或保護作用。(六)研究白匏子與其他植物茸毛構造的差異。

貳、研究設備及器材

項目	器材	說明
1	複式顯微鏡	觀察葉子上表皮與下表皮構造
2	解剖顯微鏡	觀察葉子上表面與下表面構造
3	分光測色儀(YS6000)	測量葉子可見光的反射光波長與強度
4	氯化亞鈷試紙	藍色遇水變成粉紅色，可測量葉子蒸散速率
5	指甲油	塗在葉表面可黏住茸毛，將整片茸毛從葉背分離

參、研究過程或方法

一、葉子表面構造之研究

我們在公園次生林地採集白匏子以及其他九種先驅植物、陽性植物或有茸毛植物的葉子，並將葉子用密封袋帶回實驗室。我們用手機拍攝『葉正面』(向陽面)與『葉背面』(向地面)的形態和特徵，接著使用解剖顯微鏡觀察葉上表面、下表面結構，再用複式顯微鏡觀察葉上表皮、下表皮的細微構造(圖7至9)。比較不同植物葉子茸毛部位、茸毛密度、茸毛形態等差異。



二、葉子反光強度之研究

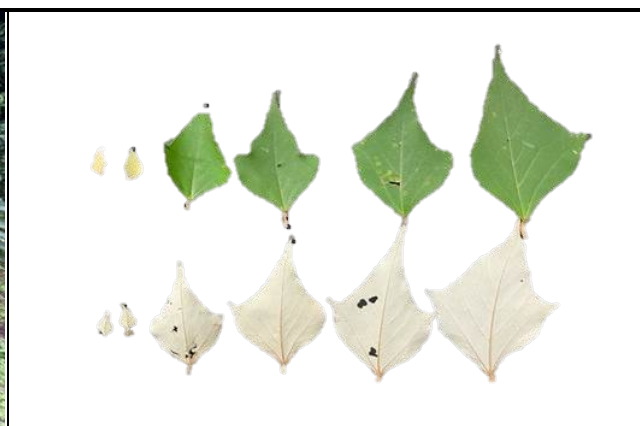
分光測色儀是一種能辨識顏色差異的儀器，可以測量不同波長的反射光相對強度(3 nh 網頁)。將白匏子的葉子放在測量口，測量其反射光譜(圖10至11)，截取400到700 nm之間的可見光譜進行反光強度分析。為了比較不同部位反射光譜是否有差異，葉上表面、葉下表面隨機選擇五個部位測量，比較不同部位的測量結果，發現反光強度沒有差異(圖12)，之後其他種植物只測量葉子中間部位的反射光譜，代表整個葉子的反光強度。

三、葉子蒸散速率之研究

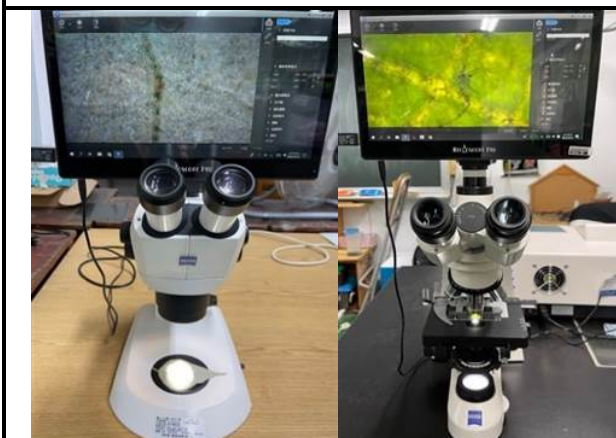
蒸散作用是指水以水蒸氣形式從植物表面散失的生理過程。我們利用氯化亞鈷試紙的變色速率來測量葉子的蒸散速率（邱相齡等人，2013）。該試紙在乾燥時呈藍色，吸水後變成粉紅色。變色時間越短，表示蒸散速率越高。在相同的溫度、濕度和光照條件下，將藍色氯化亞鈷試紙用膠帶貼在葉子表面，試紙一側接觸葉子表面以吸收氣孔蒸散的水分，另一側用膠帶密封四周，以免空氣中的水蒸氣影響變色時間。開始計時時將試紙貼在葉子上，當試紙完全變成粉紅色時，停止計時。對每種植物測量三片葉子並求平均（圖 13 至 16）。為了了解白匏子葉背生長的茸毛結構是否影響蒸散速率，我們選取三片葉子，先測量葉背有茸毛狀態下的蒸散速率（圖 14），接下來分別在同一部位塗指甲油（王士綦等人，2018），待風乾後，使用膠帶黏住茸毛構造並將其撕下，以露出原本綠色的下表皮。將藍色氯化亞鈷試紙用膠帶貼到葉子的下表皮，測量試紙變色所需的時間。接著，比較葉背有茸毛的變色時間與移除茸毛後的變色時間，並計算兩者之間的差異（圖 17 至 18）。透過這一系列的實驗，我們期望能夠更深入了解白匏子銀白色葉背的茸毛結構在反射陽光、減少水分蒸散等方面的功能，並探討其他植物(野桐、血桐、山黃麻、構樹與青芋麻)茸毛功能是否與白匏子相似。



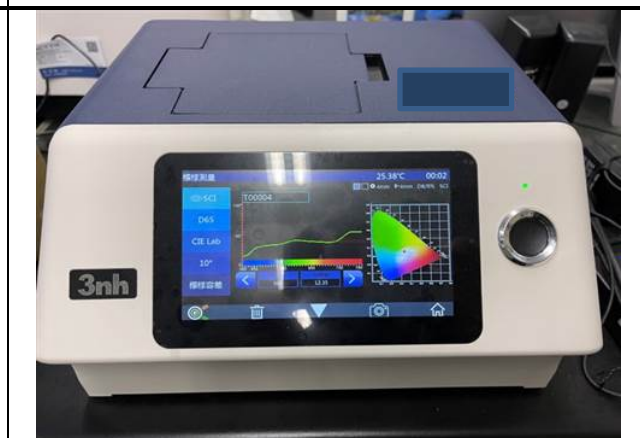
↑圖 7：開闊向陽地採集幾種植物葉子



↑圖 8：使用手機拍攝葉子的形態與特徵



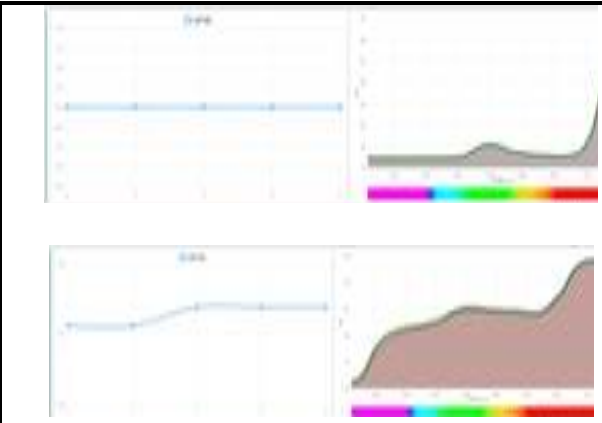
↑圖 9：顯微鏡觀察葉子上、下表面構造



↑圖 10：分光測色儀測量葉子反射光強度



↑圖 11：將白匏子葉子放到測量口，測量葉子上、下表面的反射光譜



↑圖 12：白匏子葉子上、下表面隨機選五個部位測量，反光強度無差異



↑圖 13：將藍色氯化亞鈷試紙用膠帶貼到白匏子的葉上表面（葉正面）



↑圖 14：將藍色氯化亞鈷試紙用膠帶貼到白匏子的葉下表面（葉背面）



↑圖 15：測量氯化亞鈷試紙從藍色變成粉紅色所需的時間



↑圖 16：比較不同種植物葉上、下表面蒸散速率之差異



↑圖 17：在葉背塗上指甲油，用膠帶將白色毛被層撕下來，露出原本綠色的下表皮



↑圖 18：測量同一部位氯化亞鈷試紙從藍色變成粉紅色所需的時間

四、茸毛分布密度之研究

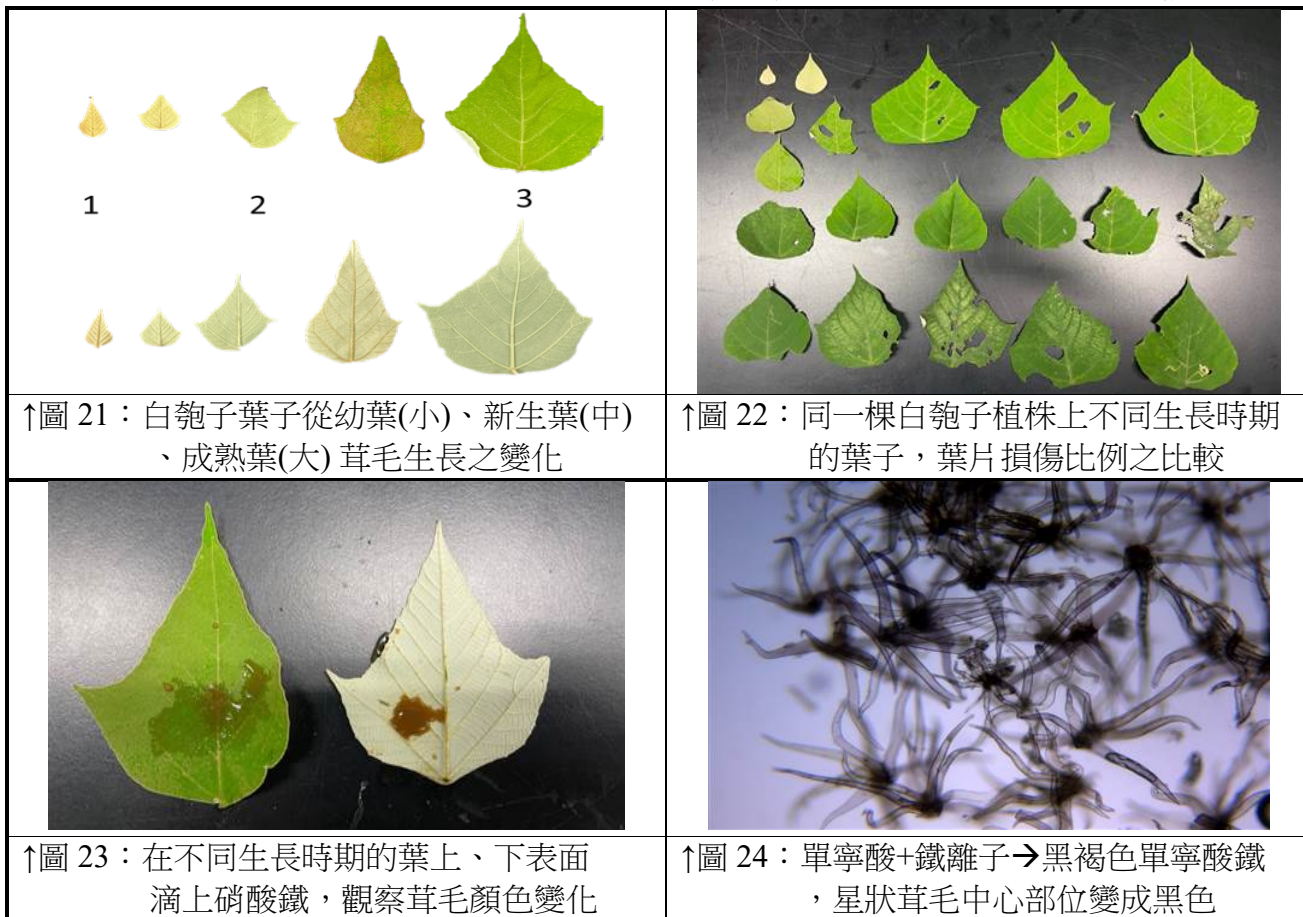
為了瞭解白匏子葉子從**幼葉**、**新生葉**至**成熟葉**，葉背面茸毛分布與密度的變化，我們將從植物莖頂部往下生長的葉子，按照大小順序排列在桌上，並分別拍攝葉子正面和背面的形態（圖 21）。選擇最小的葉子(1)、中等大小的葉子(2)、最大的葉子(3)進行觀察和研究。

五、茸毛防禦作用之研究

單寧酸(Tannin)為淡黃色至淺棕色，是植物的一種防禦用化學物質，讓植物產生一種不好吃味道，可以防止種子或果子在成熟之前被動物食用(維基百科：單寧酸)。由於白匏子的幼葉呈現黃褐色，而且幾乎沒有被蟲咬蟲蛀，我們認為這些茸毛上應該含有單寧酸。鄭博璋等人在 2011 年全國科展研究中，使用硝酸鐵來檢測單寧酸，單寧酸跟鐵離子反應，產生黑色的單寧酸鐵。所以先到公園步道上觀察十棵白匏子，紀錄葉子的完整無傷或蟲咬破損的數量，比較幼葉、新生葉與成熟葉在野外環境遭受昆蟲攝食的狀況（圖 22）。採集不同生長時期的葉子各三片帶回實驗室，在葉上、下表面滴上硝酸鐵，在解剖顯微鏡 20X 倍率下拍照，計數照片中黑色茸毛(單寧酸茸毛)總數量（圖 23-24），比較單寧酸茸毛密度變化。

六、不同植物茸毛之研究

白匏子、野桐、血桐、山黃麻、構樹、青苧麻等同樣是次生林中的先驅植物。比較同一屬、同一科或不同科植物葉子的茸毛生長分布、形態構造、數量密度之差異，進一步探討不同植物的茸毛扮演的功能與角色，以及葉子的茸毛是否是先驅植物適應環境重要的構造。



肆、研究結果

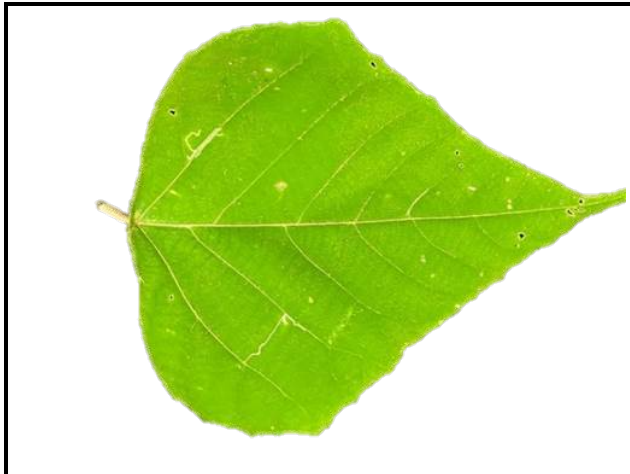
一、葉子表面構造與反光強度之研究

(一) **白匏子** (*Mallotus paniculatus*)：大戟科(Euphorbiaceae)野桐屬(*Mallotus*) 木本植物-喬木

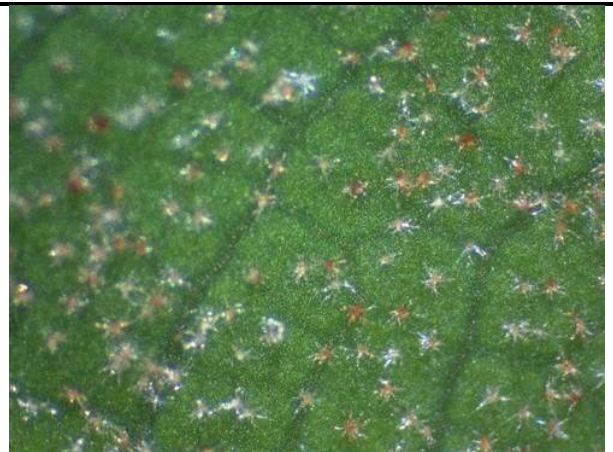
1. 葉子表面構造之研究

(1) 葉上表面（葉正面）

新生葉表面上有少許星狀茸毛，成熟葉茸毛只剩一點零星分布或消失無毛(圖 25-28)。



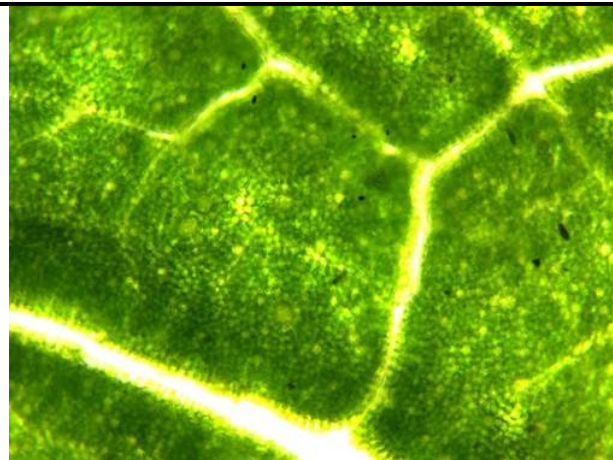
↑圖 25：手機拍攝葉子上表面的形態與特徵



↑圖 26：解剖顯微鏡 40X 拍攝上表面(有毛)



↑圖 27：解剖顯微鏡 40X 拍攝上表面(無毛)



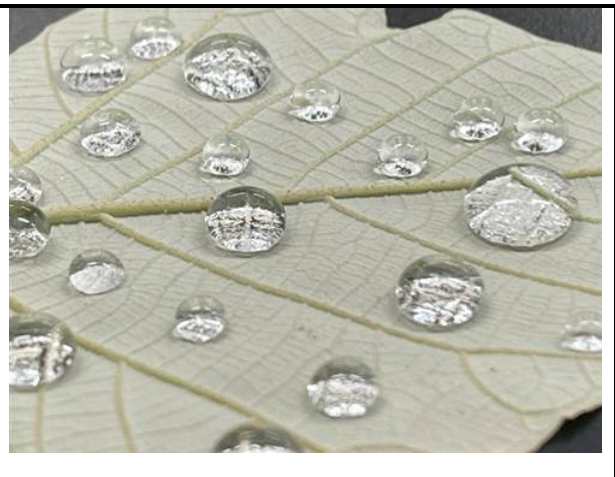
↑圖 28：複式顯微鏡 400X 拍攝表皮組織

(2) 葉下表面（葉背面）

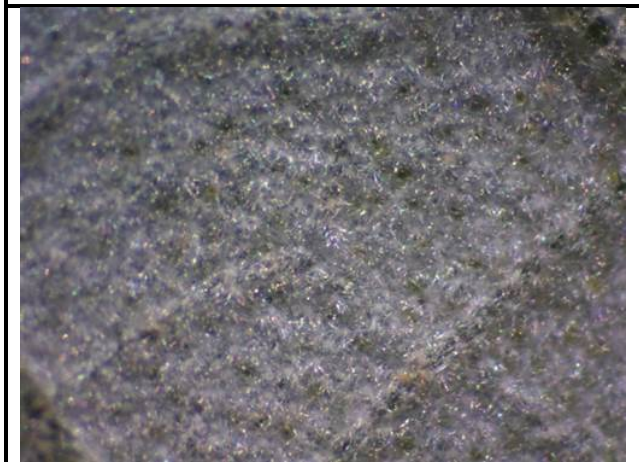
葉子下表面密生**白色星狀茸毛(stellate hairs)**，星狀茸毛是由一個中心構造往外延伸 6-10 個臂，密集的堆疊在葉的表皮組織外，覆蓋整個葉背形成白色的『毛被』(indumentum)。毛被層緊貼葉表面，不易與下表皮組織分離，且滴水後水珠凝聚成圓球形，呈現疏水特性，具有**蓮葉效應**，能防止雨水或露水吸附葉背上，滋生黴菌、細菌，也讓葉背不易沾附灰塵或雜質(圖 29-32)。葉背還有**黃色球形腺毛(globular glandular hair)**散佈在表皮上(圖 37)。



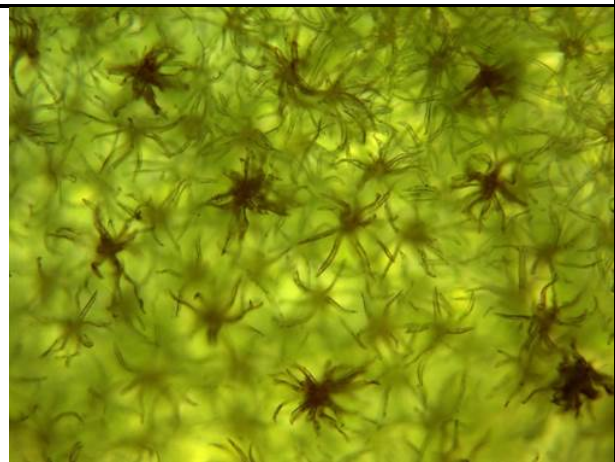
↑圖 29：手機拍攝葉子下表面的形態與特徵



↑圖 30：葉背茸毛具疏水性的蓮葉效應



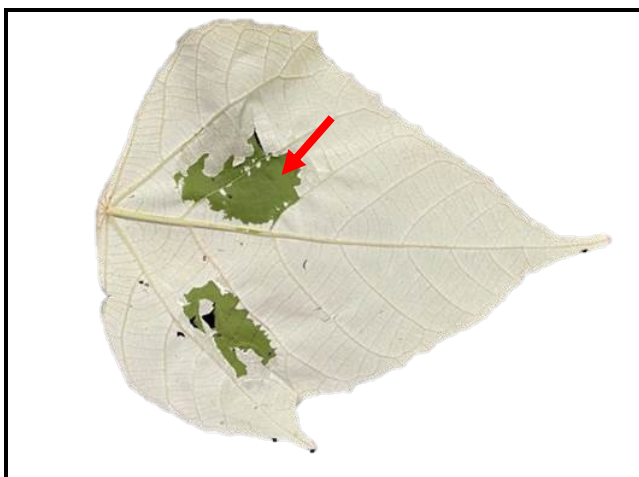
↑圖 31：解剖顯微鏡 40X 拍攝葉子下表面



↑圖 32：複式顯微鏡 400X 拍攝星狀茸毛

(3) 去除白色茸毛

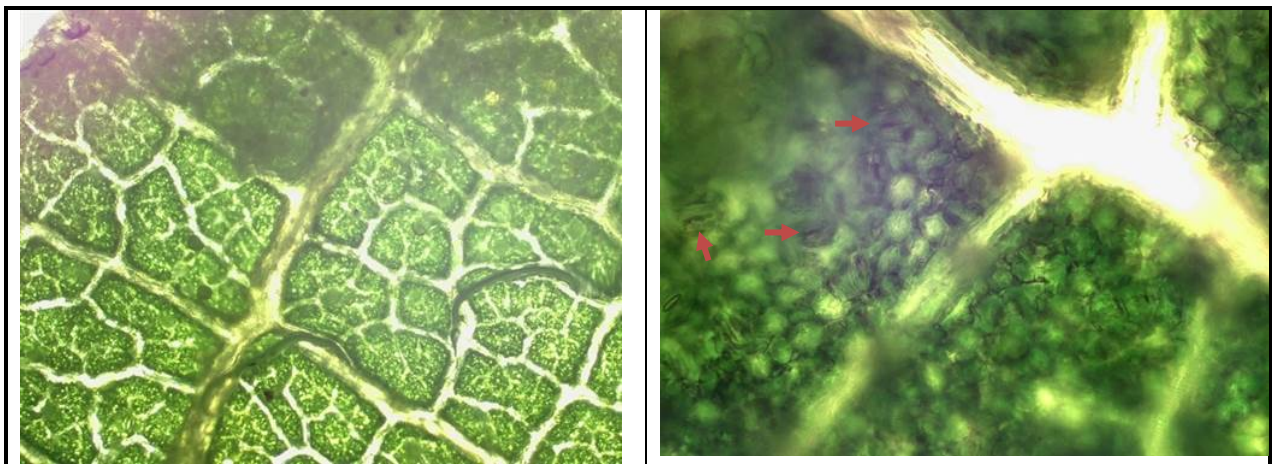
將指甲油塗在葉背面白色茸毛上，等風乾後，用膠帶將指甲油連同白色毛被層撕下來，露出綠色的下表皮構造，顯微鏡下可觀察到許多氣孔(箭頭)。



↑圖 33：將葉子背面去除白色茸毛覆蓋後，呈現綠色下表皮組織



↑圖 34：解剖顯微鏡 40X 拍攝移除白色茸毛覆蓋後，葉下表皮組織構造



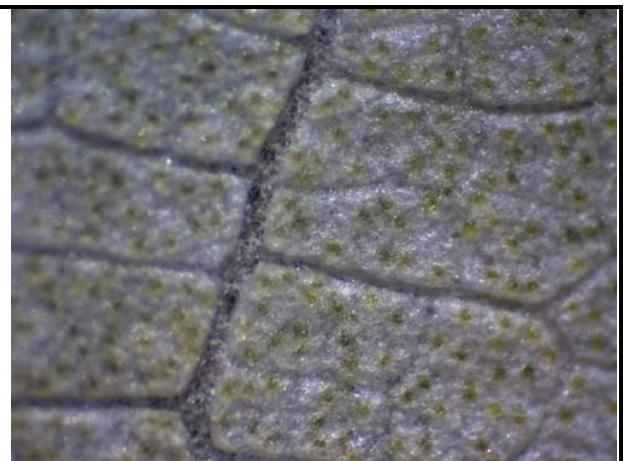
↑圖 35：複式顯微鏡拍攝去除茸毛覆蓋後的下表皮組織構造(左圖 100X；右圖 400X)

(4)白色構造內側面

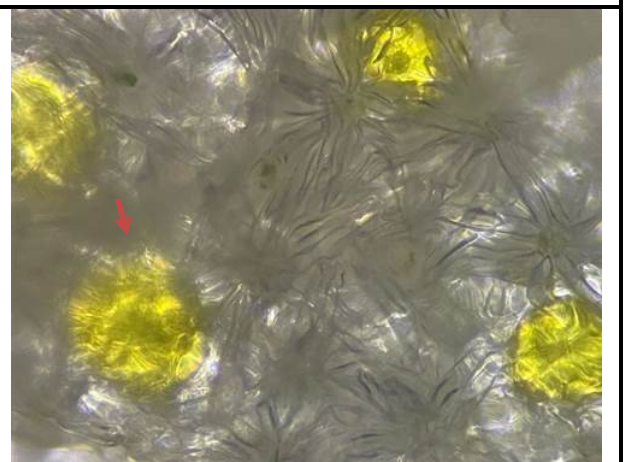
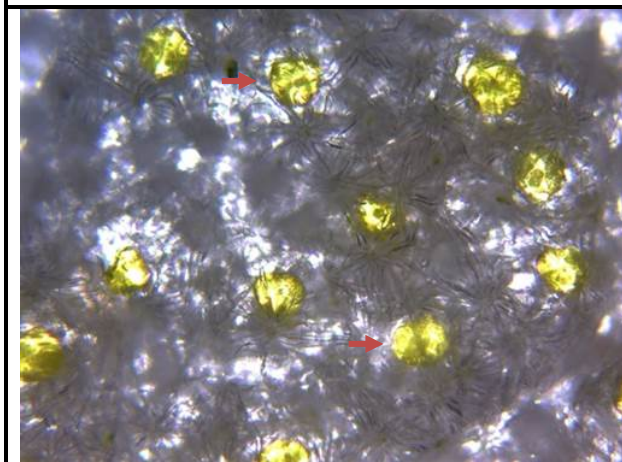
取下葉背面白色茸毛構造，將靠近表皮的部分朝上，放到顯微鏡下觀察，發現密佈許多黃色球形腺體茸毛構造(**globular glandular hair**) (圖 38 箭頭指示)。



↑圖 36：葉背毛被層的外側面 a 與內側面 b



↑圖 37：解剖顯微鏡 40X 拍攝毛被內側面

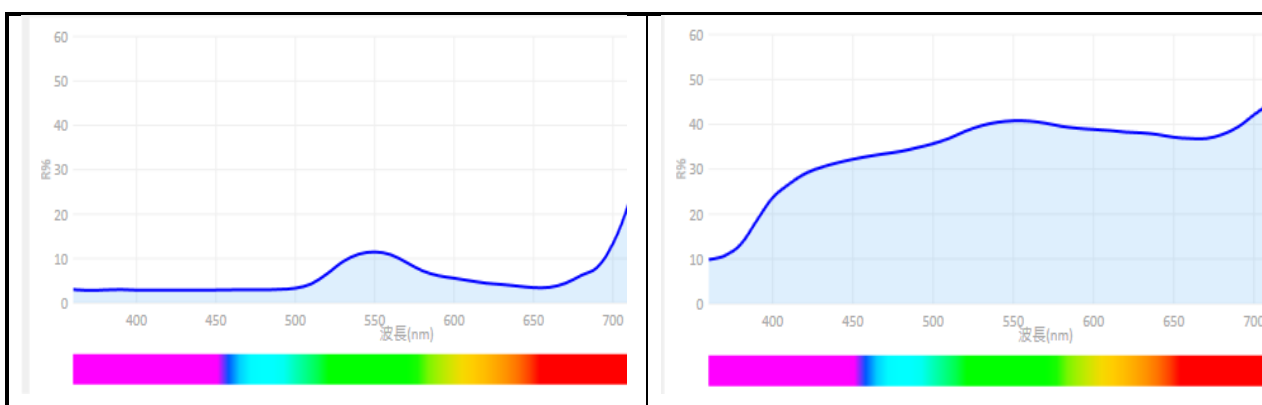


↑圖 38：複式顯微鏡拍攝毛被層的內側面構造(左圖 100X；右圖 400X)

2. 葉子反光強度之研究

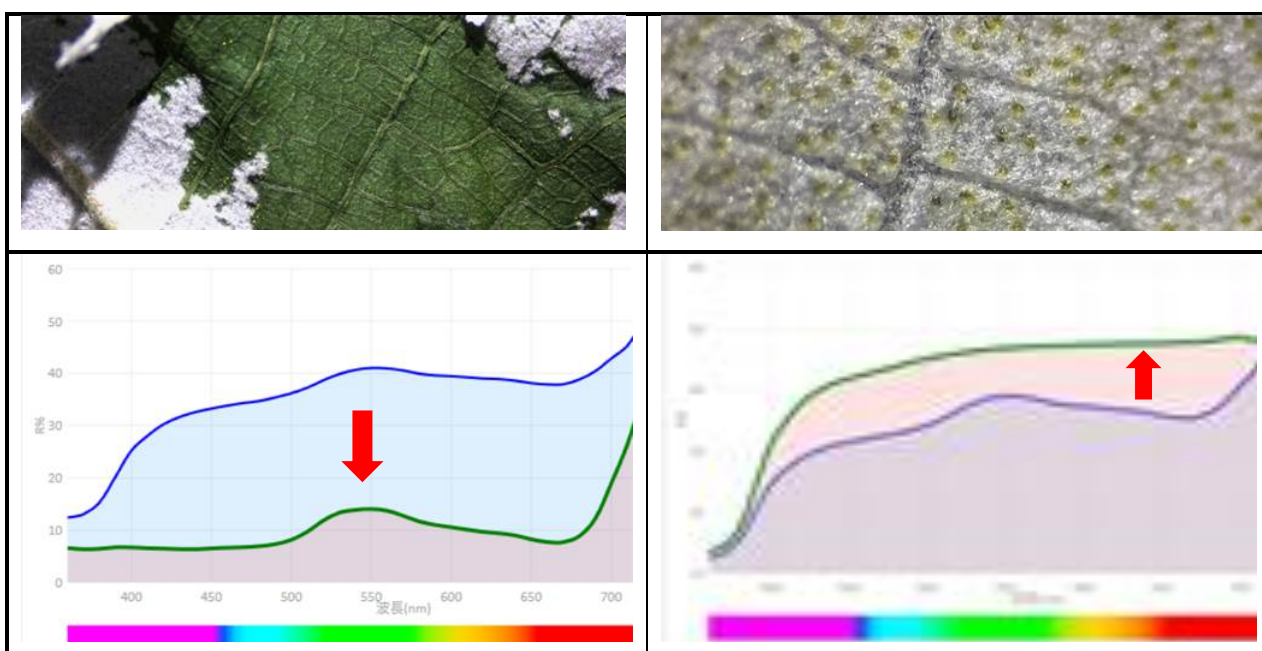
我們使用測色儀來測量葉子的反射光譜。結果顯示，綠色的葉上表面 550 nm 綠光區有一個較高的反射波峰。而白色的葉下表面在各種顏色光中都有較高的反射，尤其在 400-700 nm 波段的反射較強，**整體的反射光強度遠高於葉子上表面(圖 39)**。因此，白匏子具有濃密茸毛覆蓋的銀白色葉背確實可以反射更多的光線(陽光)。

在去除葉背白色茸毛後，我們測量了上、下表面的反射光譜，發現去除茸毛的上表面反射強度沒有變化，但**下表面的反射強度下降很多(圖 40)**。另外我們也發現，白色茸毛靠近表皮的內側面的反射強度比外側面更強(圖 41)。



↑圖 39：測色儀測量白匏子葉上表面(左圖)與葉下表面(右圖)反射光譜

移除葉背白色茸毛結構，露出綠色表皮後，反射光強度降低。因此，當風吹起葉子，使白色葉背翻轉至外側時，帶有白色茸毛的葉背能夠反射陽光，從而避免對植物造成傷害。



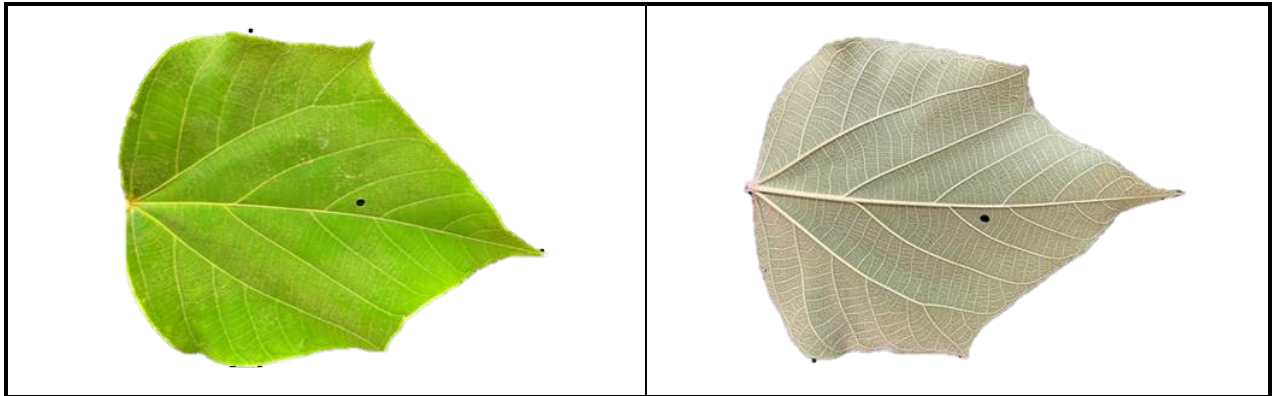
↑圖 40：移除白色茸毛構造的反光強度(綠色線)，比原來的反光強度低很多(藍色線)

↑圖 41：測色儀測量白色構造內側的反射光譜(綠色線)，比外側反射更強(藍色線)

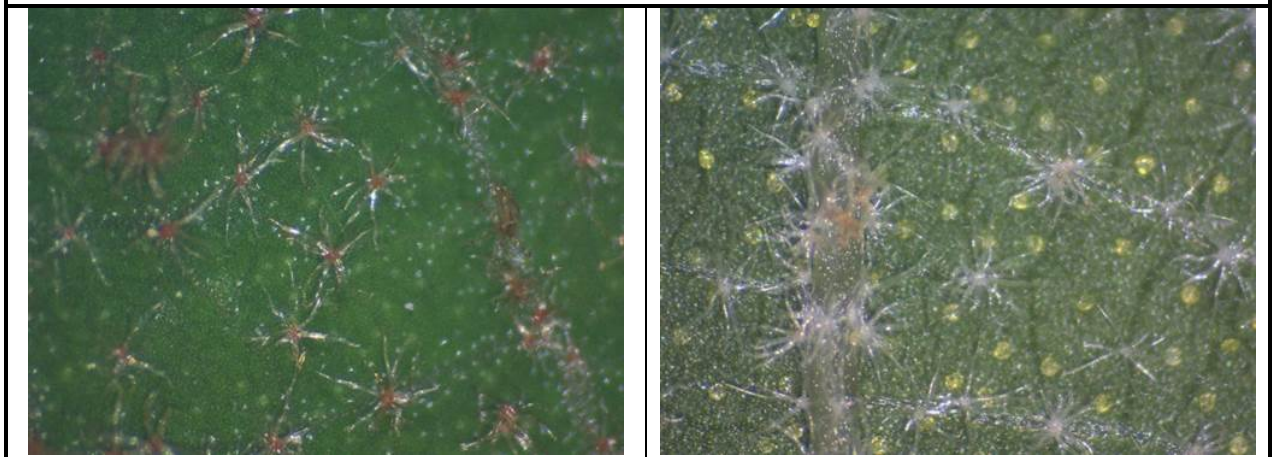
(二)野桐 (*Mallotus japonicus*)：大戟科(Euphorbiaceae)野桐屬(*Mallotus*) -木本植物-喬木

1.葉子表面構造之研究

嫩葉密生紅褐色茸毛，成熟後漸消失。葉背下表面淡黃綠或灰白色，疏生白色星狀茸毛與褐色星狀茸毛，密度不高，另有許多黃色顆粒腺體分布在下表皮上(圖 42-43)。



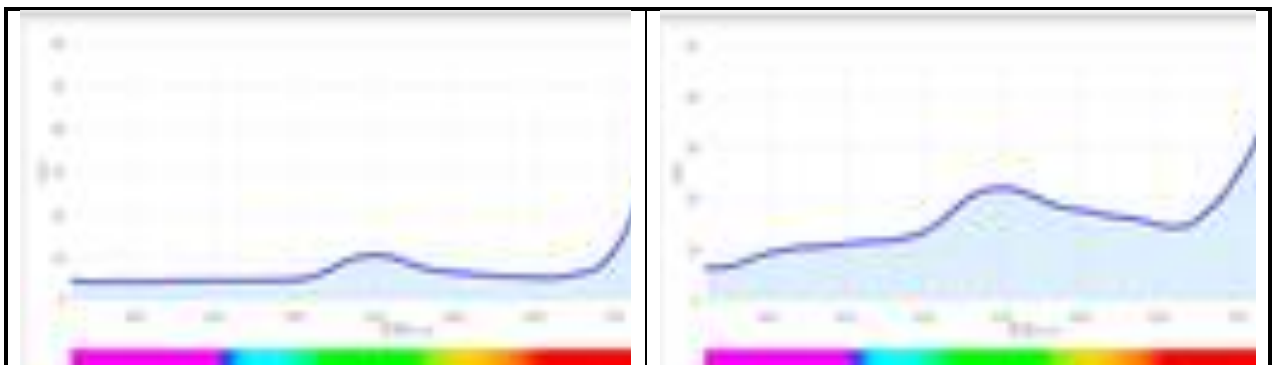
↑圖 42：手機拍攝野桐葉上表面(左圖)與葉下表面(右圖)的形態與特徵



↑圖 43：解剖顯微鏡 40X 拍攝野桐葉子上表皮構造(左圖)與下表皮構造(右圖)

2.葉子反光強度之研究

葉上表面反光能力較弱，具有茸毛的葉背下表面則有較強的反光能力，因茸毛較稀疏，反射光強度較白匏子低(圖 44)。

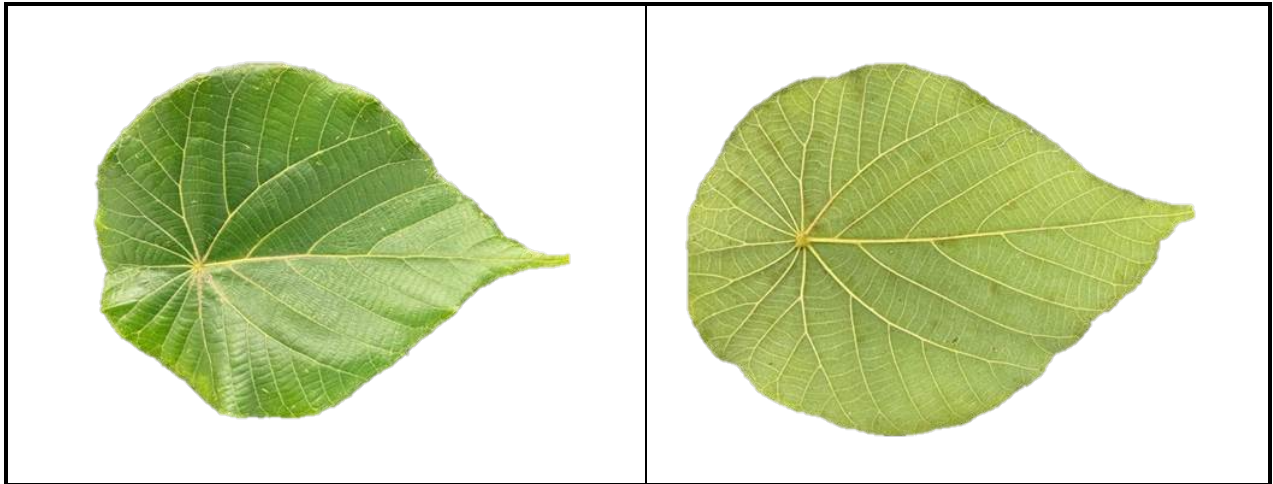


↑圖 44：測色儀測量野桐葉上表面(左圖)與葉下表面(右圖)的反射光譜

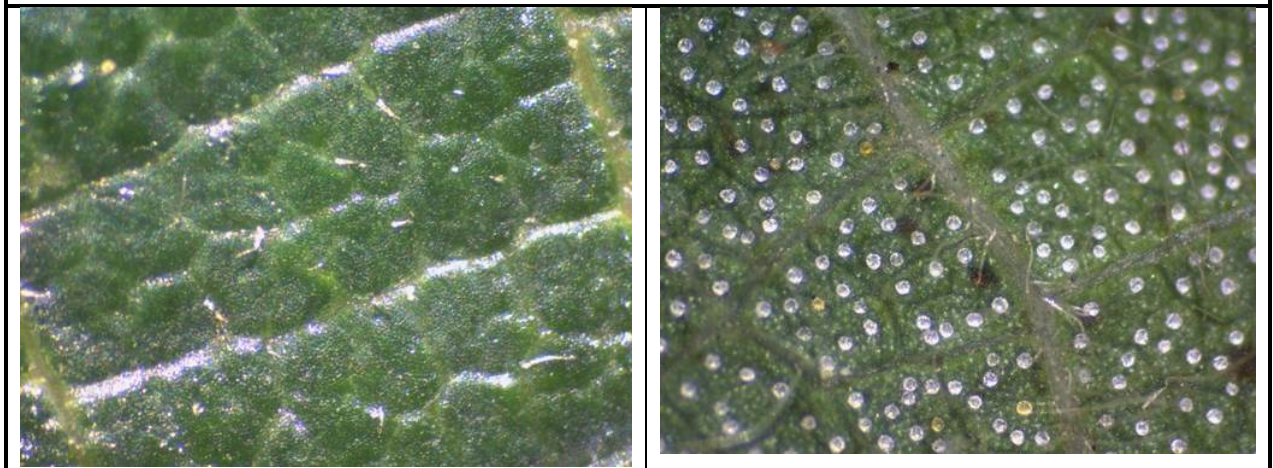
(三)血桐 (*Macaranga tanarius*)：大戟科(Euphorbiaceae) 血桐屬(*Macaranga*) -木本植物-喬木

1.葉子表面構造之研究

葉盾形至闊盾形，葉正無毛，葉背下表面長有尖狀茸毛，數量不多，密生顆粒狀白色腺體(圖 45-46)。



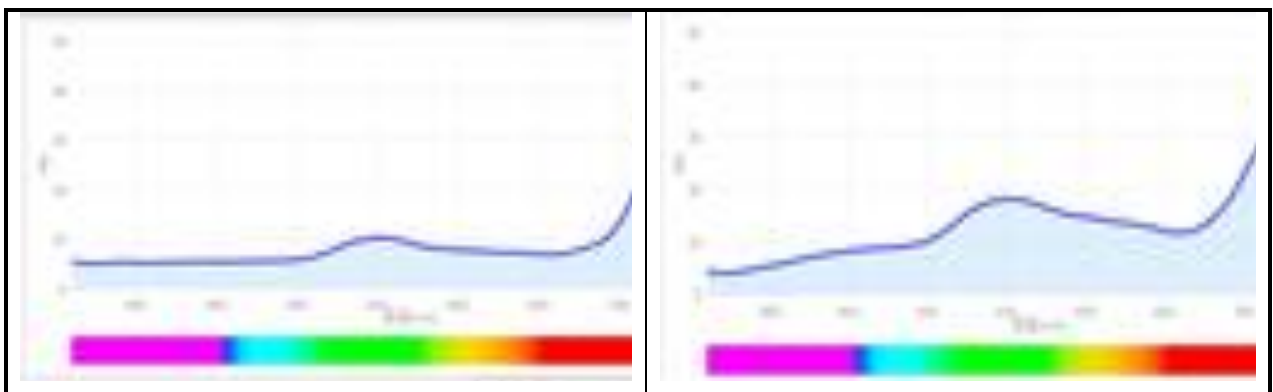
↑圖 45：手機拍攝血桐葉上表面(左圖)與葉下表面(右圖)的形態與特徵



↑圖 46：解剖顯微鏡 40X 拍攝血桐葉子上表皮構造(左圖)與下表皮構造(右圖)

2.葉子反光強度之研究

葉上表面反光能力較弱，葉下表面有較強的反光能力(圖 47)。

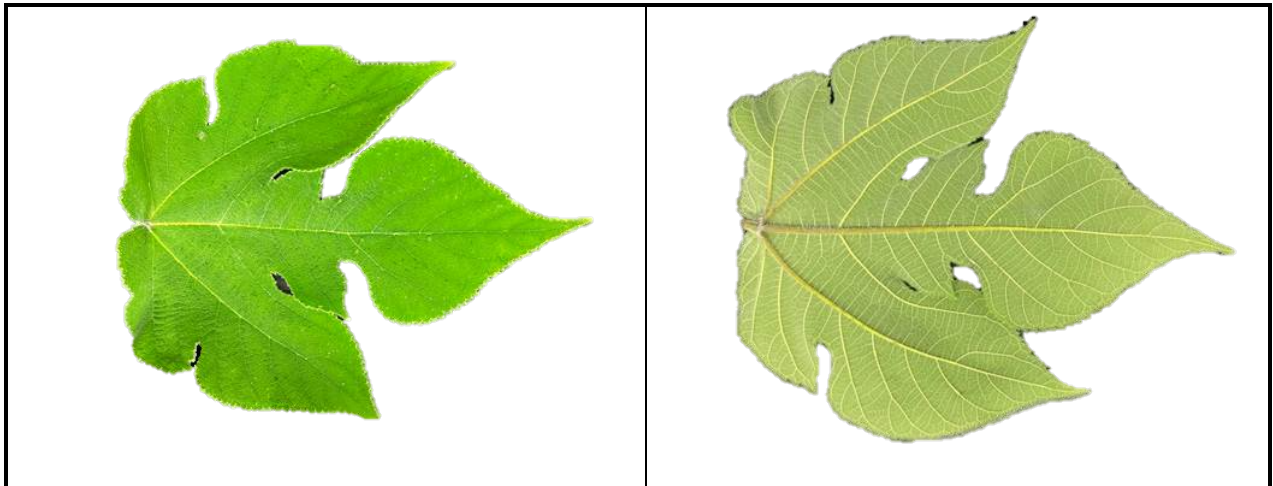


↑圖 47：測色儀測量血桐葉上表面(左圖)與葉下表面(右圖)的反射光譜

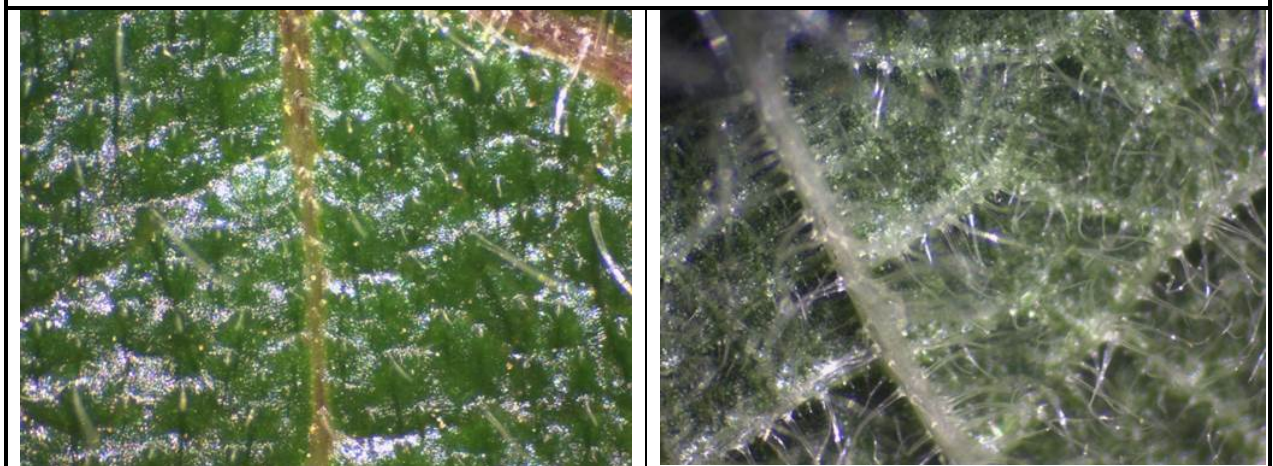
(四) **構樹** (*Broussonetia papyrifera*)：桑科構樹屬(*Broussonetia*)-木本植物-喬木

1. 葉子表面構造之研究

葉上表面粗糙，疏生尖狀茸毛，葉背下表面佈滿尖狀茸毛，茸毛長度較正面長且發達(圖 48-49)。



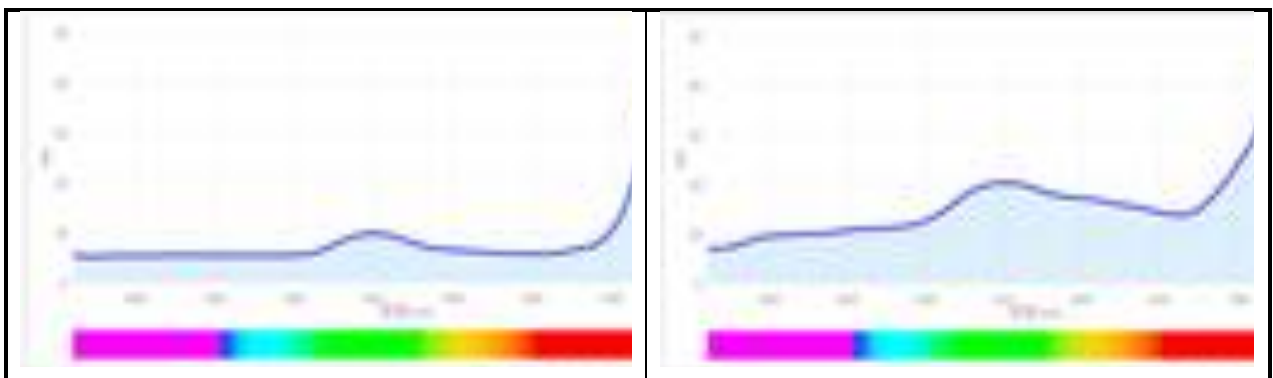
↑圖 48：手機拍攝構樹葉上表面(左圖)與葉下表面(右圖)的形態與特徵



↑圖 49：解剖顯微鏡 40X 拍攝構樹葉子上表皮構造(左圖)與下表皮構造(右圖)

2. 葉子反光強度之研究

葉上表面反光能力較弱，葉下表面因茸毛密度較高，所以有較強的反光能力(圖 50)。

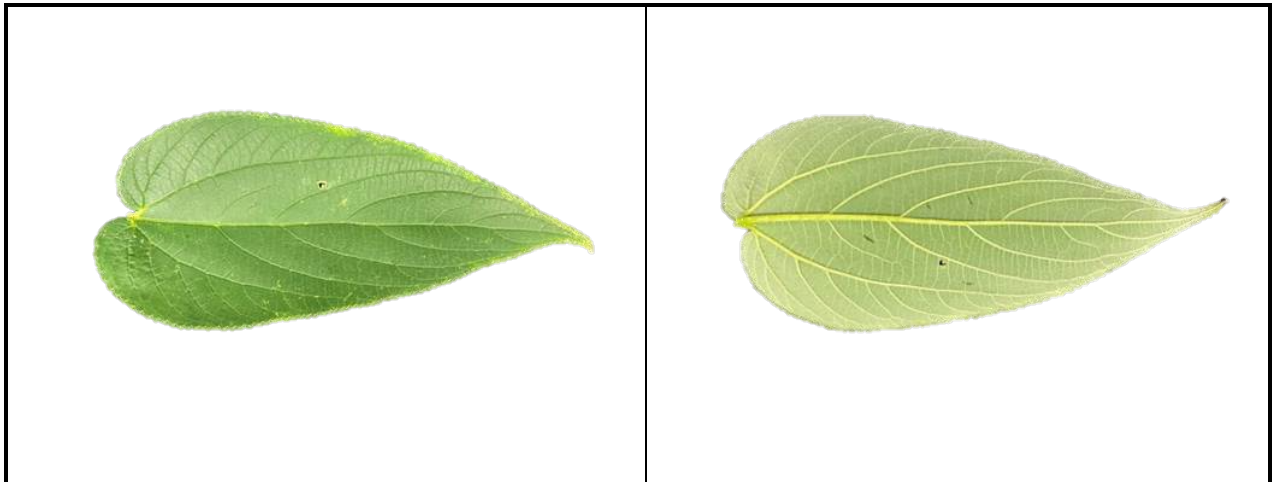


↑圖 50：測色儀測量構樹葉上表面(左圖)與葉下表面(右圖)的反射光譜

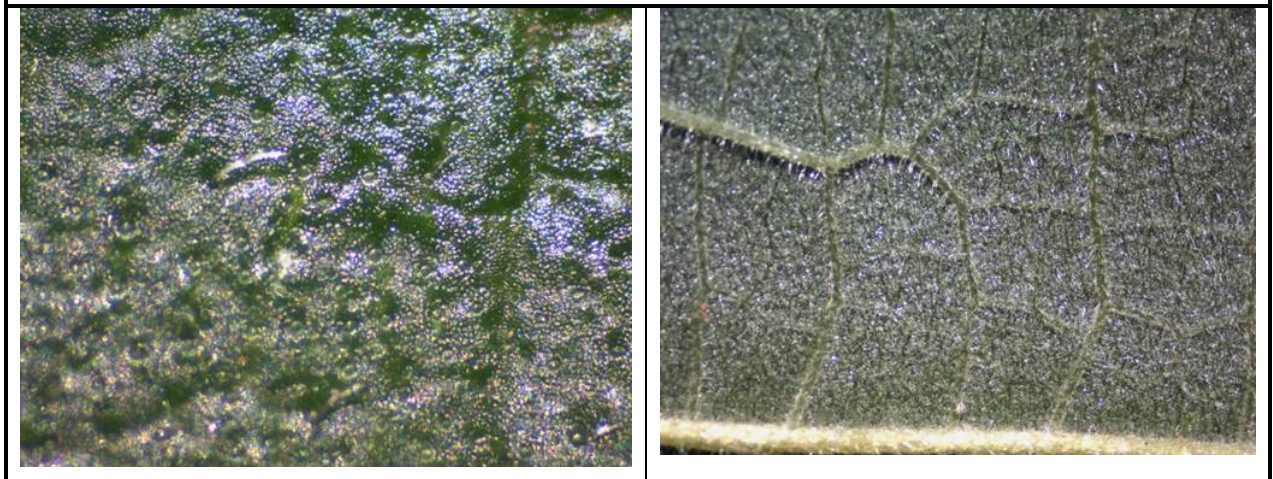
(五)山黃麻 (*Trema orientalis*)：榆科(Ulmaceae)山黃麻屬(*Trema*)-木本植物-喬木

1.葉子表面構造之研究

葉上表面密生尖狀毛茸，葉背下表面灰白色或淡綠灰色，密被尖狀茸毛(圖 51-52)。



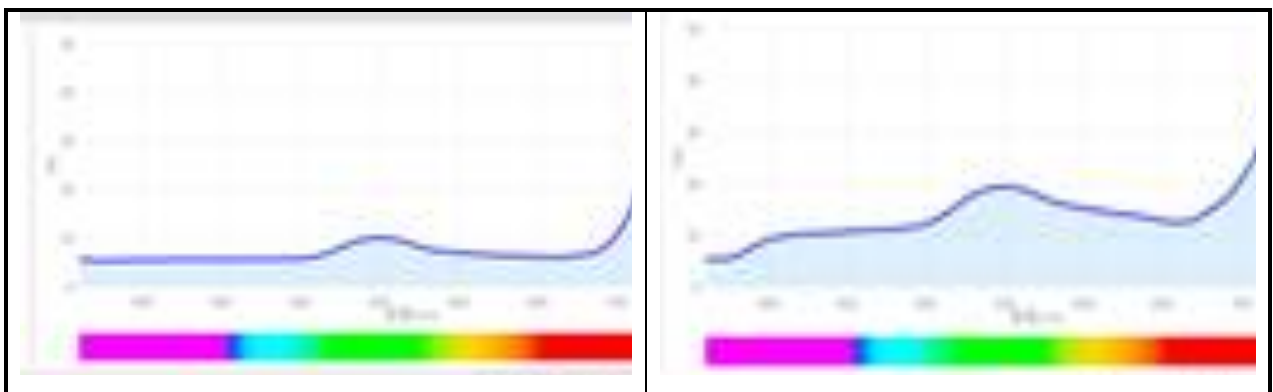
↑圖 51：手機拍攝山黃麻葉上表面(左圖)與葉下表面(右圖)的形態與特徵



↑圖 52：解剖顯微鏡 40X 拍攝山黃麻葉子上表皮構造(左圖)與下表皮構造(右圖)

2.葉子反光強度之研究

葉上表面反光能力較弱，葉下表面茸毛密度較高，有較強的反光能力(圖 53)。

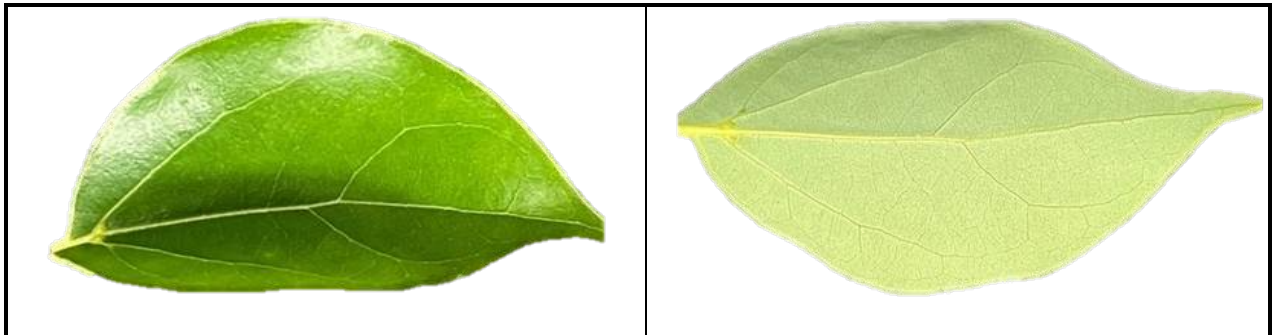


↑圖 53：測色儀測量山黃麻葉上表面(左圖)與葉下表面(右圖)的反射光譜

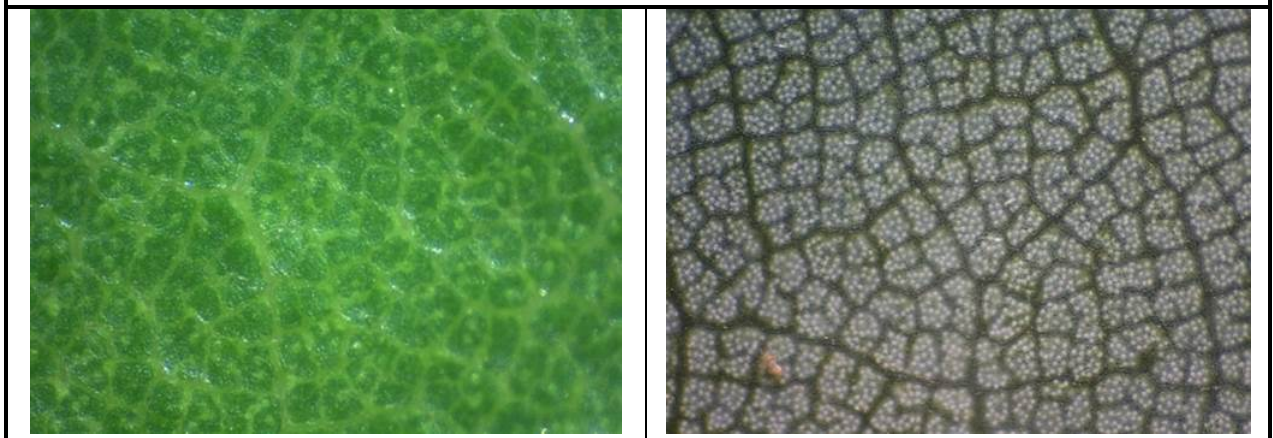
(六)樟樹 (*Cinnamomum camphora*)：樟科(Lauraceae)樟屬(*Cinnamomum*)木本植物-喬木

1.葉子表面構造之研究

葉上表面有光澤且光滑，葉背下表面光滑，黃綠色，略帶白粉狀(圖 54-55)。



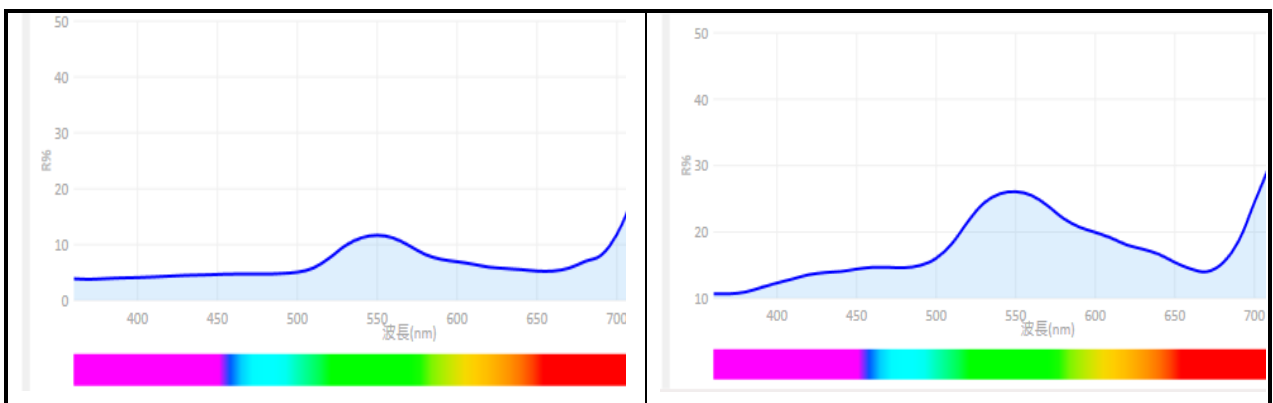
↑圖 54：手機拍攝樟樹葉上表面(左圖)與葉下表面(右圖)的形態與特徵



↑圖 55：解剖顯微鏡 40X 拍攝樟樹葉子上表皮構造(左圖)與下表皮構造(右圖)

2.葉子反光強度之研究

葉背下表面較高的反射強度，也比其他植物的葉背高，反光強度很強的原因可能跟葉背特殊反光構造有關(圖 56)。

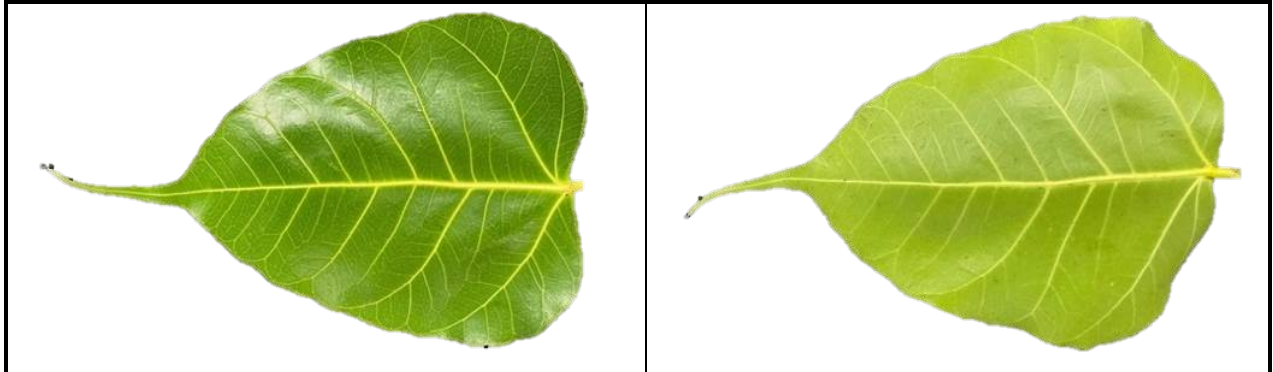


↑圖 56：測色儀測量樟樹葉子葉上表面(左圖)與葉下表面(右圖)的反射光譜

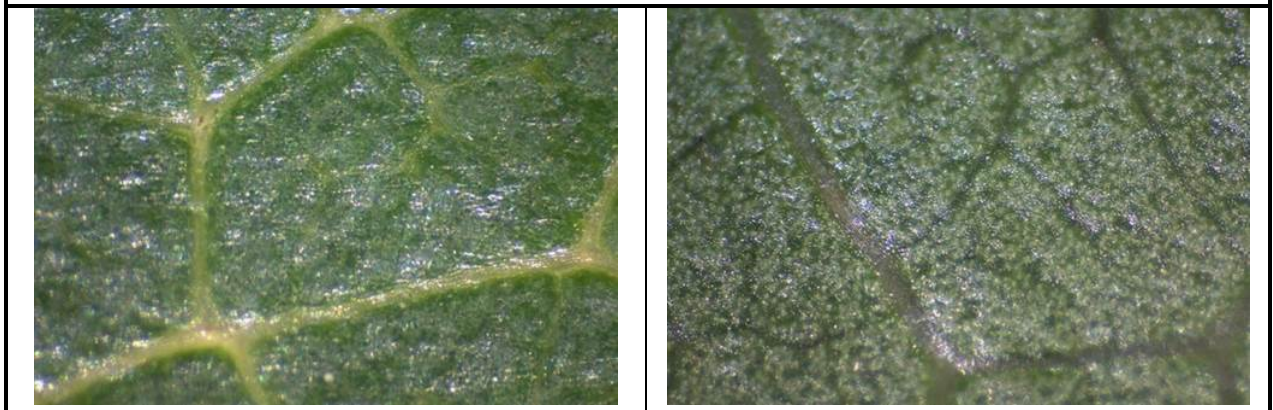
(七)菩提樹 (*Ficus religiosa*)：桑科(Moraceae)榕屬(*Ficus*)-木本植物-喬木

1.葉子表面構造之研究

葉上表面光滑且有光澤，葉背下表面顏色較淡，兩面皆無毛且具有蠟質的角質層(圖 57-58)。



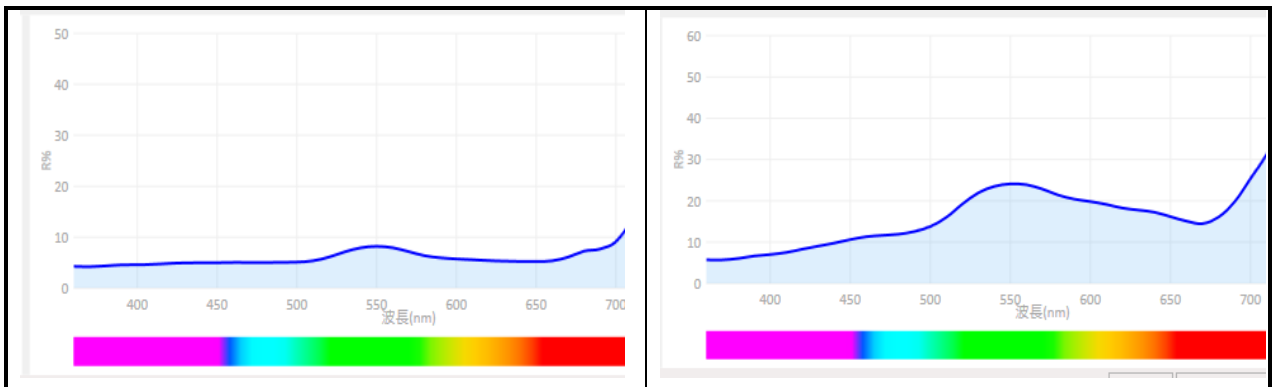
↑圖 57：手機拍攝菩提樹葉上表面(左圖)與葉下表面(右圖)的形態與特徵



↑圖 58：解剖顯微鏡 40X 拍攝菩提樹葉子上表皮構造(左圖)與下表皮構造(右圖)

2.葉子反光強度之研究

葉背下表面較葉上表面有較高的反光強度，反光能力與樟樹類似，比其他植物高一點，但還是比不上白匏子葉背的強反光能力(圖 59)。

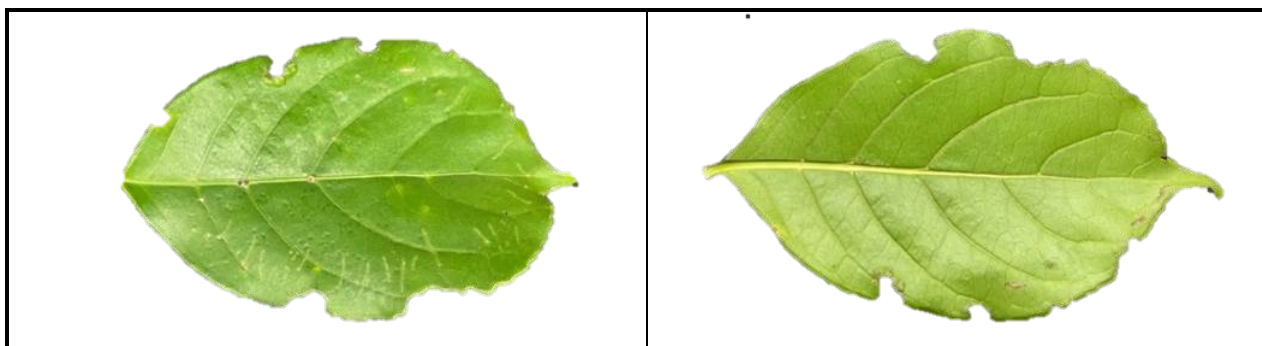


↑圖 59：測色儀測量菩提樹葉正(左圖)與葉背(右圖)的反射光譜，葉背反光較強

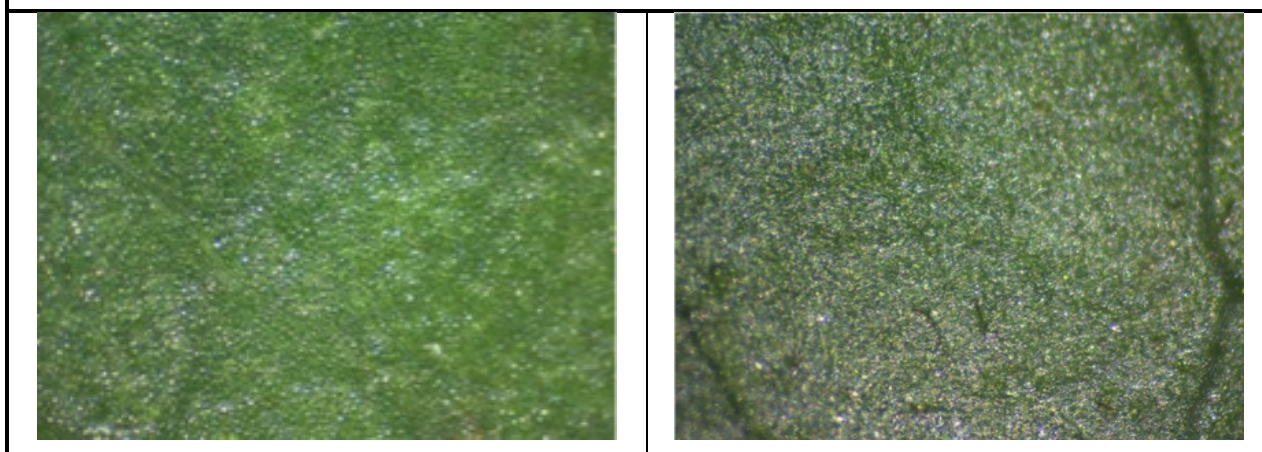
(八)茄苳 (*Bischofia jabanica*)：大戟科(Euphorbiaceae)重陽木屬(*Bischofia*)-木本植物-喬木

1.葉子表面構造之研究

葉上表面與葉下表面都平滑無毛，兩者差異不大(圖 60-61)。



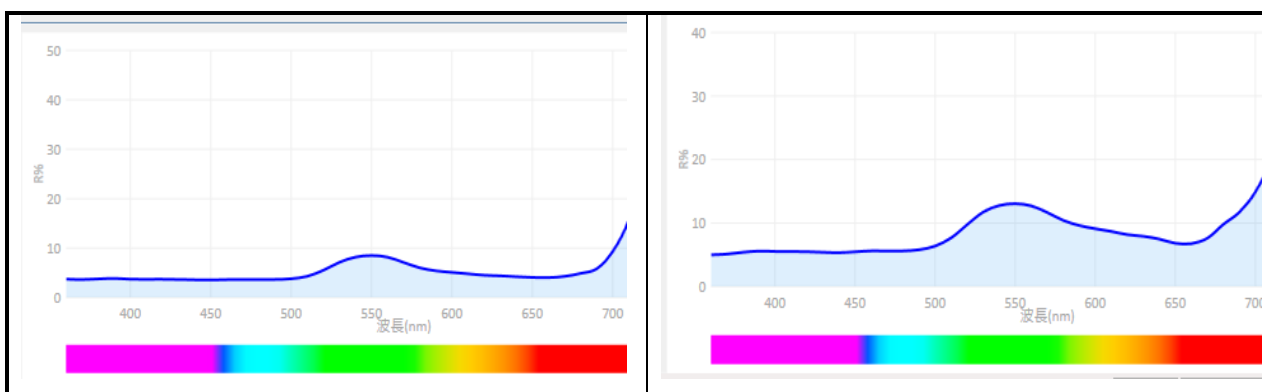
↑圖 60：手機拍攝茄苳葉上表面(左圖)與葉下表面(右圖)的形態與特徵



↑圖 61：解剖顯微鏡 40X 拍攝茄苳葉子上表皮構造(左圖)與下表皮構造(右圖)

2.葉子反光強度之研究

葉背下表面較葉上表面有較高一點的反射強度，但與其他陽性先驅植物相比，較低一點(圖 62)。

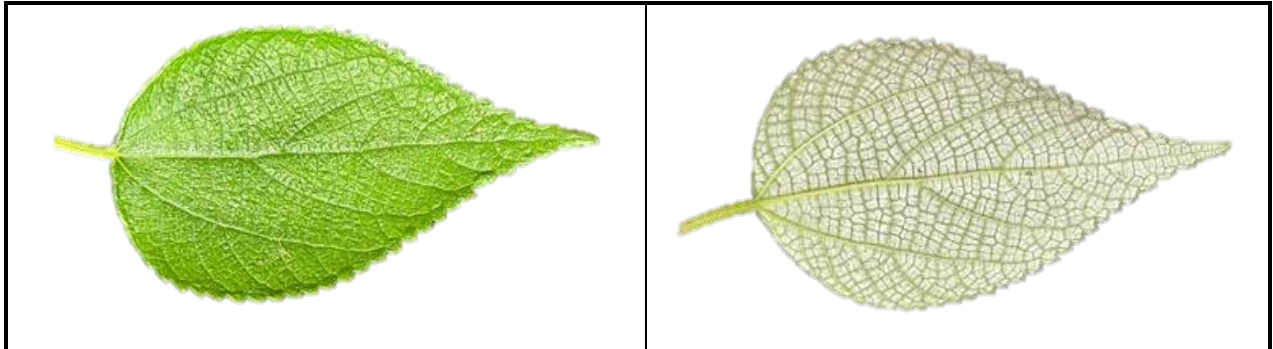


↑圖 62：測色儀測量茄苳葉上表面(左圖)與葉下表面(右圖)的反射光譜

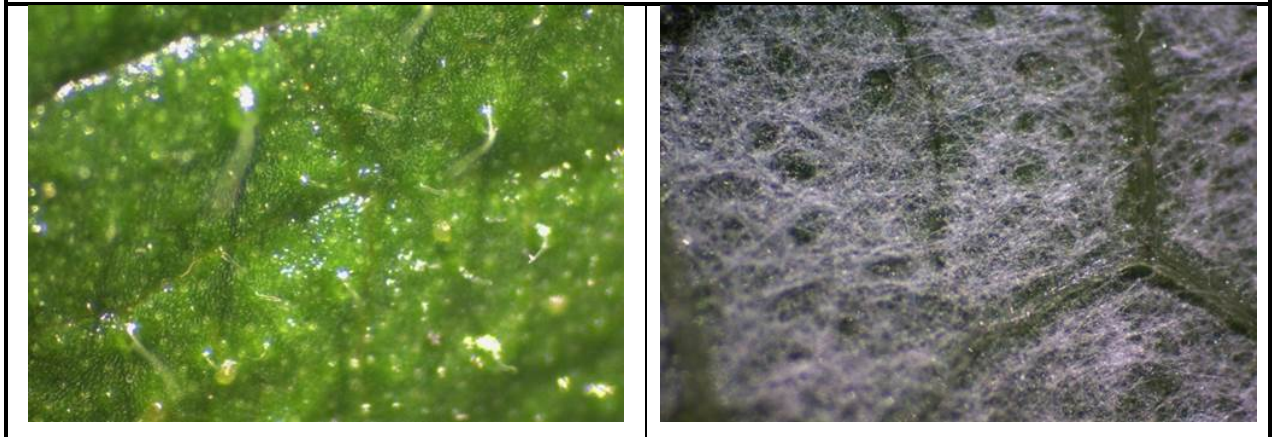
(九)青苧麻(*Boehmeria tenacissima*)：蕁麻科(Urticaceae)苧麻屬(*Boehmeria*)-本本植物-灌木

1.葉子表面構造之研究

葉上表面為綠色，具類似魚鱗的特徵。葉背下表面為灰白色，密生白色絲狀茸毛，茸毛凌亂交織覆蓋，偶見綠色下表皮，覆蓋密集度沒有像白袍子茸毛構造這麼緊密，較容易去除茸毛(圖 63-64)。



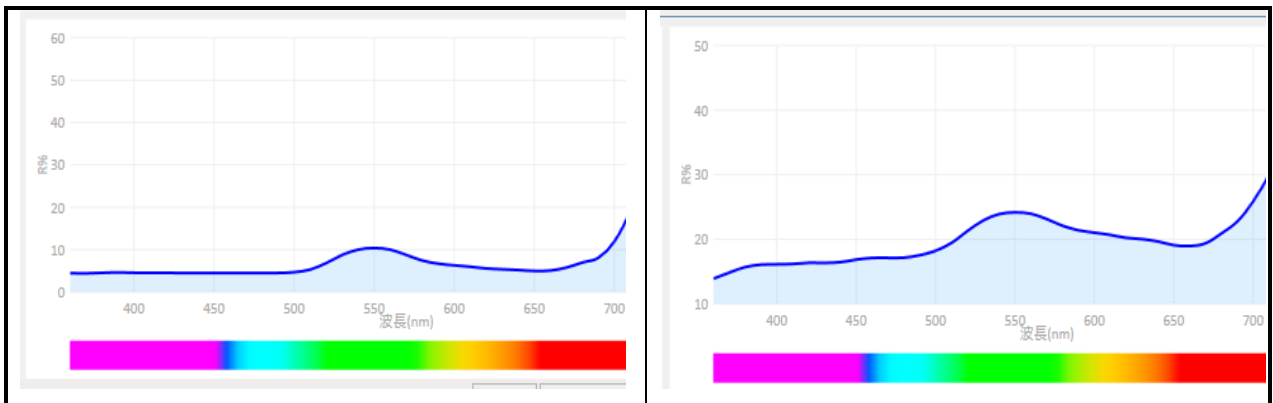
↑圖 63：手機拍攝青苧麻葉上表面(左圖)與葉下表面(右圖)的形態與特徵



↑圖 64：解剖顯微鏡 40X 拍攝青苧麻葉子上表皮構造(左圖)與下表皮構造(右圖)

2.葉子反光強度之研究

白色葉下表面能比葉上表面反射更多光線，但其反射強度沒有白袍子這麼強。在野外觀察時，發現當青苧麻受到強烈陽光照射時，葉片也會反捲，露出白色葉背(圖 65)。

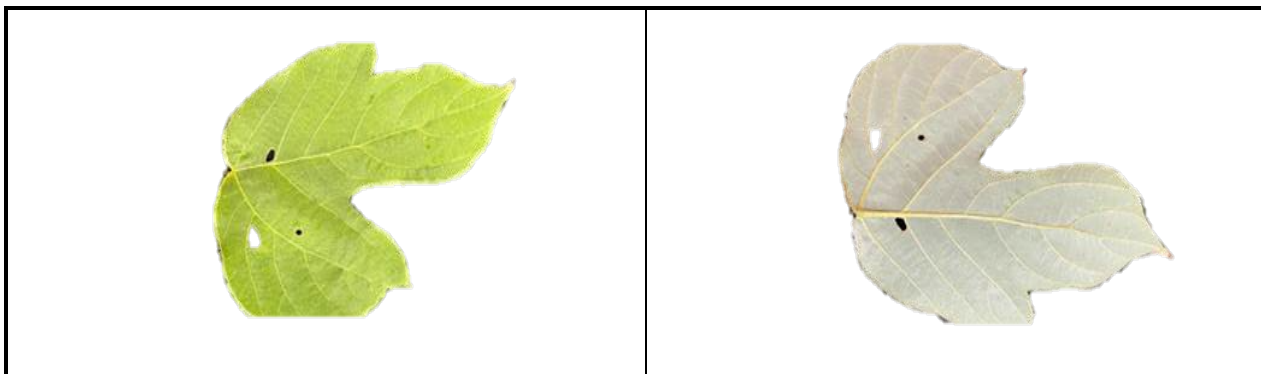


↑圖 65：測色儀測量青苧麻葉正(左圖)與葉背(右圖)的反射光譜，葉背反光較強

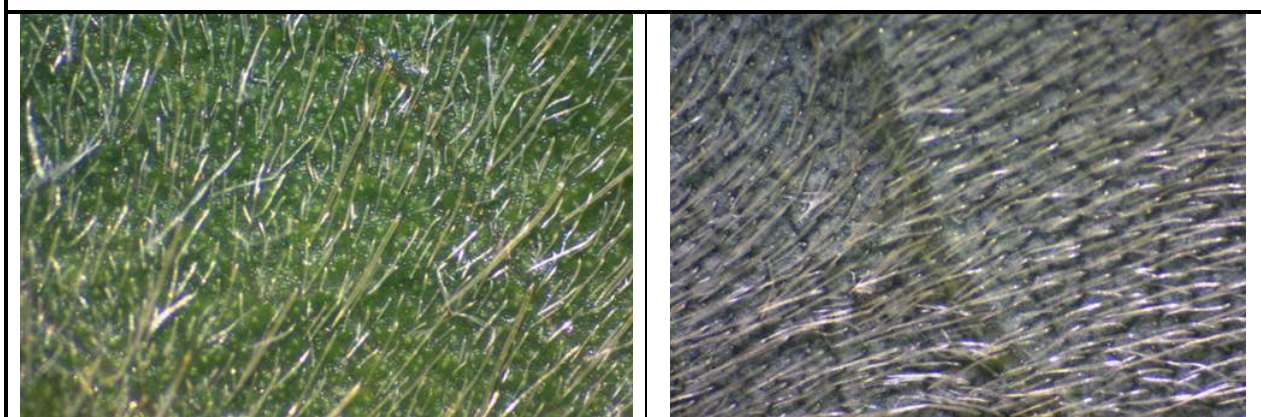
(十) **賽芻豆** (*Macroptilium atropurpureus*)：豆科(Leguminosea)賽芻豆屬(*Macroptilium*)草本植物-藤蔓

1. 葉子表面構造之研究

葉上表面為綠色，葉下表面為灰白色，兩面披有濃密尖狀茸毛，背面茸毛密度高於葉上表面(圖 66-67)。



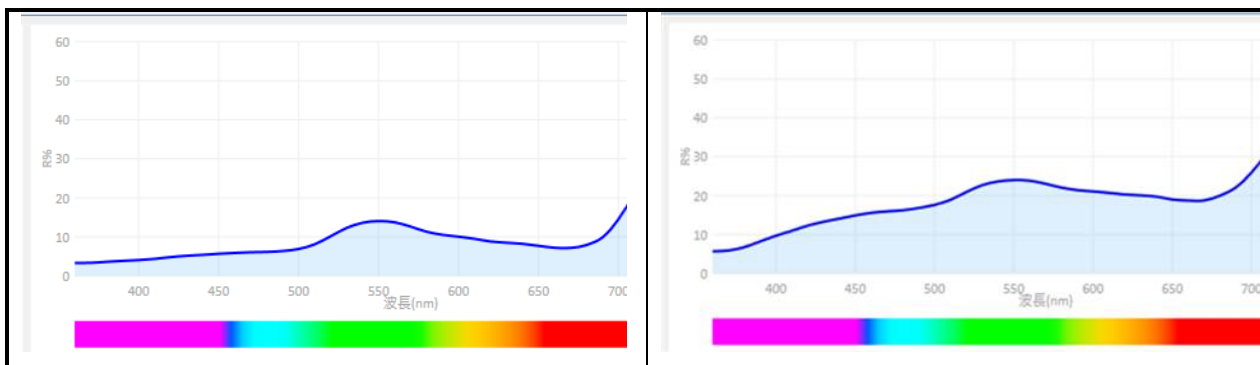
↑圖 66：手機拍攝賽芻豆葉上表面(左圖)與葉下表面(右圖)的形態與特徵



↑圖 67：解剖顯微鏡 40X 拍攝賽芻豆葉子上表皮構造(左圖)與下表皮構造(右圖)

2. 葉子反光強度之研究

下表面有非常高的反射強度，當葉背朝上時可反射較多陽光，夏季中午烈陽下，兩片葉子正面緊貼，只露出葉背朝外，可反射陽光(圖 68)。



↑圖 68：測色儀測量賽芻豆葉上表面(左圖)與葉下表面(右圖)的反射光譜

參考陳榮坤、楊純明（2002）的文獻：『可見光波段部份(400~700nm)被綠色植體中的葉綠體及其它細胞色素吸收利用，葉綠素會吸收紅藍光，反射綠光。近紅外光波段(700~1300nm)則受細胞間隙、細胞壁的反射，而呈現較低的吸收率與較高的反射率。』所以我們將十種植物反射光譜 400~700nm 範圍內，每 50 nm 取樣 1 個反光強度數據，總共取樣 7 個數據（400 nm, 450 nm, 500 nm, 550 nm, 600 nm, 650 nm, 700 nm），求取平均後，代表葉子的反射光相對強度(R%)平均數值(表 1 和圖 69)。

結果發現大部分植物葉下表面(葉背)反射光強度均高於上表面。白匏子密生茸毛的白色葉背，反射光強度是最強的。野桐、血桐、山黃麻、青芋麻與賽芻豆等具茸毛的葉下表面也有類似現象，有較強的反光能力。我們另外發現，樟樹、菩提樹雖然沒有茸毛生長，但葉下表面好像有特殊結構，具有較強的反光能力。茄苳是十種測試的植物中，反光能力最弱的。我們塗指甲油將白匏子葉背去除白色茸毛後，**結果沒有茸毛覆蓋的綠色下表皮，反光強度數值下降很多，而且比大部分的植物還低**；我們還發現沒有茸毛層的葉上表面（葉子朝上那一面）的反光強度沒有變化，有無茸毛層對上表面的反光強度沒有影響。

表 1、測色儀測量葉上、下表面的反射光相對強度(R%)平均數值之比較(取樣 400-700 nm)

		白匏子		野桐	血桐	構樹	山黃麻	樟樹	菩提樹	茄苳	青芋麻	賽芻豆
葉子部位	對照組 葉子	葉背 移除茸毛										
上表面	6.0	6.0	7.3	7.7	7.7	7.0	7.3	6.9	5.9	7.1	9.6	
下表面	35.4	10.9	15.9	13.3	15.4	13.9	18.4	16.4	8.9	20.1	17.1	

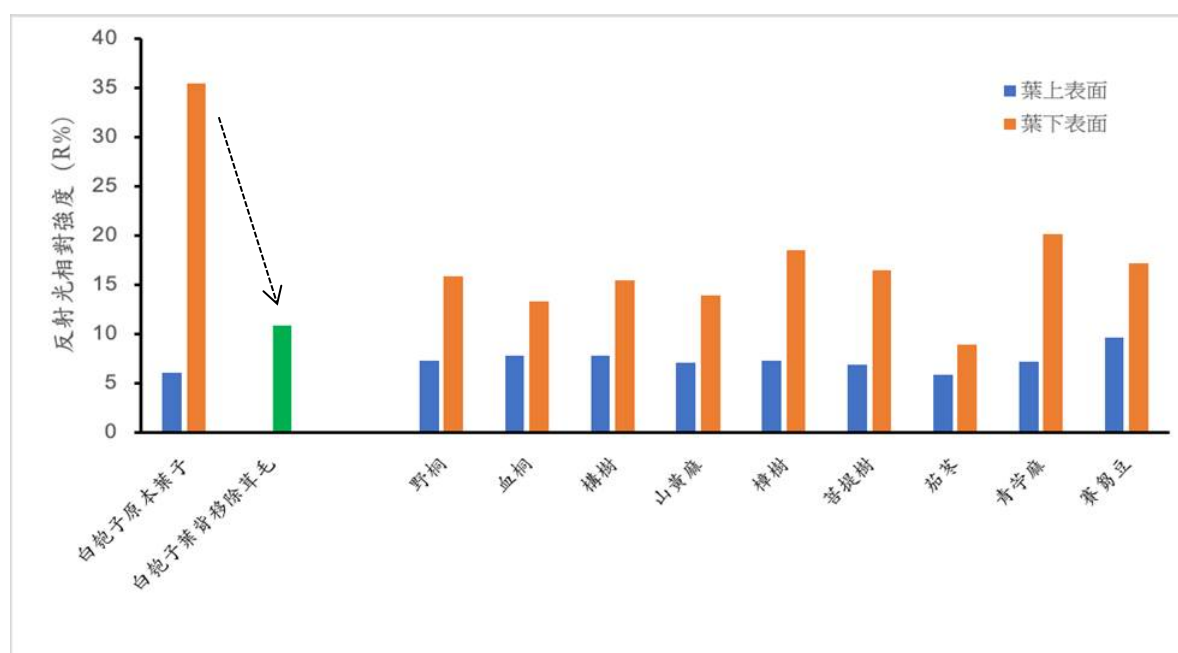


圖 69、測色儀測量葉上、下表面的反射光相對強度(R%)平均數值之比較(取樣 400-700 nm)

二、葉子蒸散速率之研究

大多數植物的葉子的葉上表面朝向陽光以進行光合作用，故氣孔數量通常較葉下表面少，以降低蒸散作用，避免水分大量流失。有些耐旱植物，如樟樹和菩提樹，其葉上表面覆有蠟質，能反射強烈陽光，幾乎不會蒸散水分。然而，大多數植物的葉下表面的氣孔數量較多，蒸散速度較快，氯化亞鈷試紙大約 5 分鐘內就會變色，顯示葉下表面的蒸散速率非常快。白匏子葉下表面(葉背)的變色時間是十種植物中最長的，其蒸散速率相對較慢。去除葉背茸毛後，同一部位測量結果，變色時間變快很多，兩者有顯著差異(pair t-test, $t=12.1$, $df=2$, $p<0.05$)。白匏子葉背的茸毛構造確實能降低蒸散速率(表 2 和圖 70)。

表 2、藍色氯化亞鈷試紙變粉紅色所需時間(超過 100 分鐘未變色，以 100 分計)

測量部位	變色時間(分)	白匏子		木本								草本
		對照組 葉子	葉背 移除 茸毛	野桐	血桐	構樹	山黃麻	樟樹	菩提樹	茄苳	青芋麻	賽芻豆
葉上表面	N0.1	51	51	16	27	7	65	100	100	62	2	20
	No.2	49	49	18	23	7	61	100	100	59	3	17
	No.3	52	52	15	32	6	67	100	100	64	3	24
	平均	50.7	50.7	16.3	27.3	6.7	64.3	100	100	61	2.7	20.3
	標準差	1.5	1.5	1.5	4.5	0.6	3.1	0	0	2.5	0	0.6
葉下表面	N0.1	9	2	2	1	2	1	6	5	3	2	3
	No.2	11	3	2	2	2	2	5	6	3	1	5
	No.3	8	2	3	1	3	2	8	5	4	2	6
	平均	9.3	2.3	2.3	1.3	2.3	1.7	6.3	5.3	3.3	1.7	4.7
	標準差	1.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	1.5	0.6	0.6	0	0.6

備註：白匏子成熟葉只有葉背(下表面)有茸毛，測量同一部位有茸毛(對照組)與移除茸毛(實驗組)蒸散速率

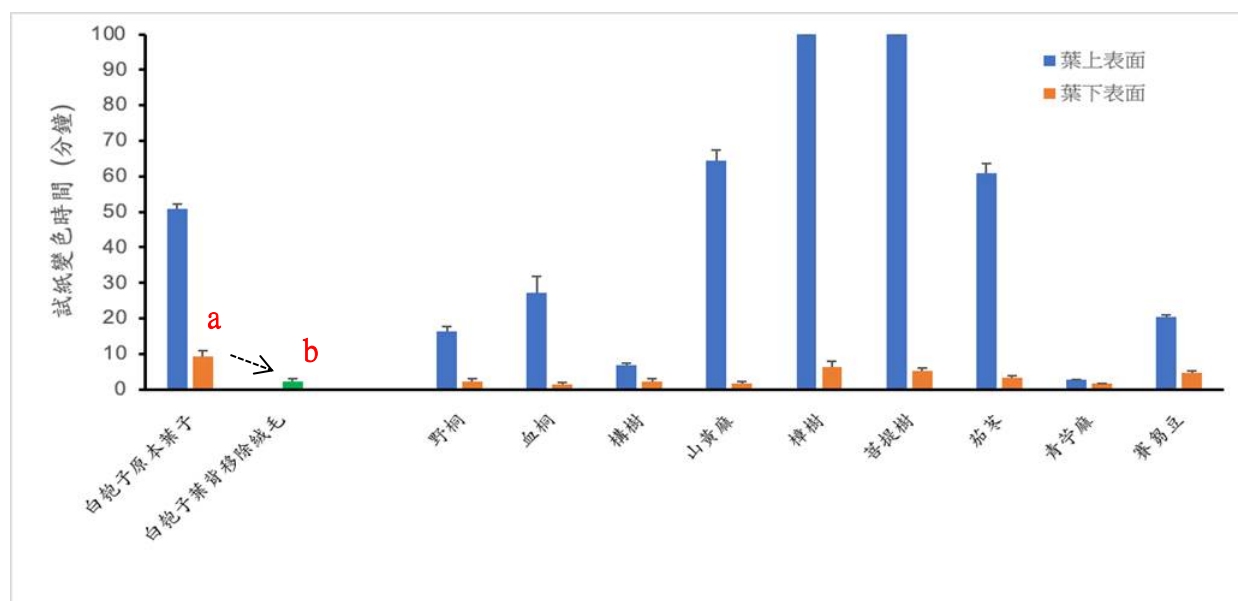


圖 70、藍色氯化亞鈷試紙變粉紅色所需時間之比較圖(變色時間越久→蒸散速率越慢)
(英文數字不同表示有顯著差異)

Benzand Martin (2006) 的研究曾指出「葉子上高密度的茸毛，可反射陽光、降低葉片熱能傷害；並能在葉表形成邊界層，使得空氣移動降低進而減緩葉蒸散作用，是一種植物適應乾燥環境的重要方式」。因此，我們認為當白匏子的葉片受風吹動而翻起，或是在土壤缺水時葉片反捲（如圖 3、4 所示），其葉背的白色茸毛結構有助於反射更多的陽光，避免強烈陽光直接照射葉片。同時，茸毛結構也能保護氣孔免受陽光直射，減緩蒸散作用，降低水分散失。這些特點使白匏子在面對炙熱陽光或缺水環境時，仍能保持良好的生長狀態。

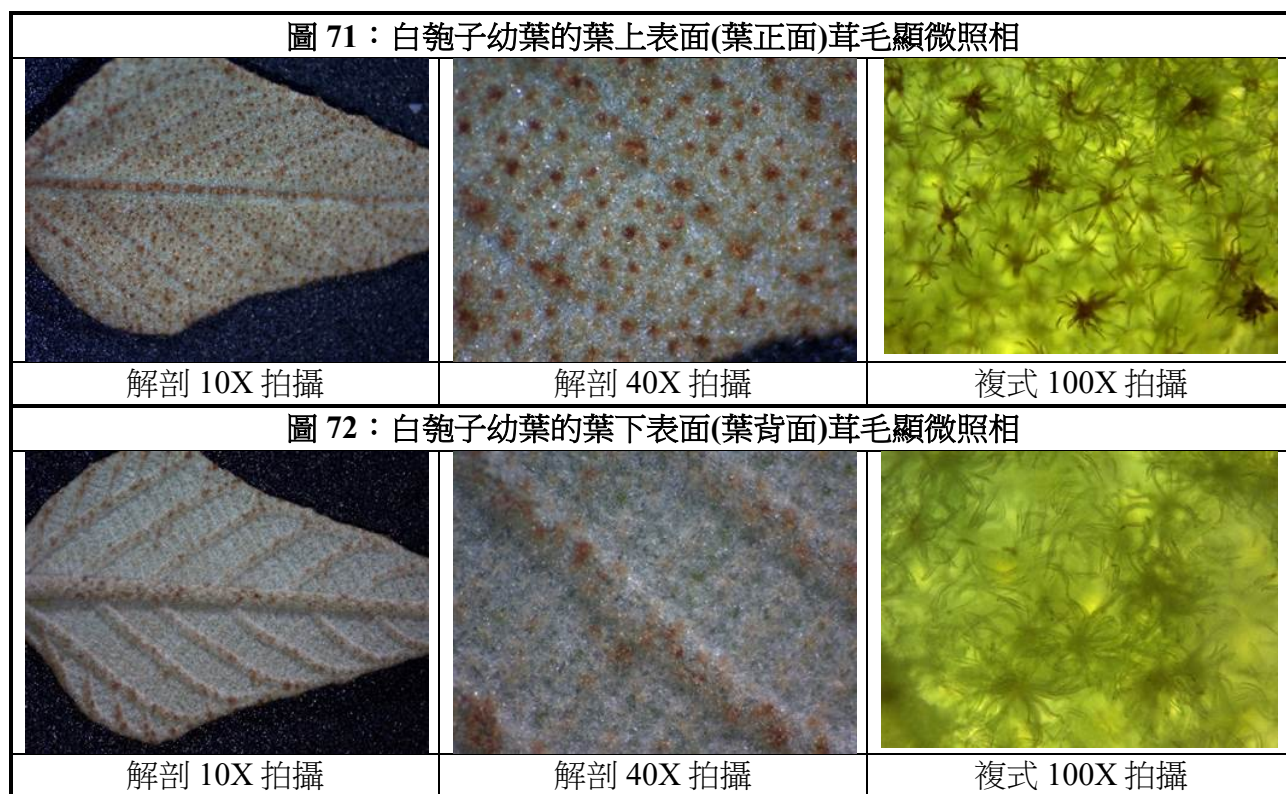
三、茸毛分布密度之研究

我們發現白匏子葉有白色與褐色兩種星狀茸毛，剛出生的葉子呈黃褐色或灰白色，葉上表面(葉正面)和下表面(葉背面)都覆蓋著許多褐色星狀茸毛。隨著葉子的成長和變大，上表面的褐色星狀茸毛逐漸退化並消失，葉子顏色呈現褐綠色、淺綠色。對於剛出生的葉子而言，葉下表面的白色星狀茸毛非常密集。隨著葉子的逐漸生長，這些白色星狀茸毛繼續覆蓋在葉背的下表面上，而且並未出現退化或消失的現象。

(一)分布密度變化

1. 幼葉 (編號 1 葉子)

莖最頂端生長點剛生長的葉子，葉上表面密生許多褐色與白色星狀茸毛，下表面在葉脈上也有褐色星狀茸毛，其他下表面則密生許多白色星狀茸毛 (圖 71-72)。



2. 新生葉 (編號 2 葉子)

隨著葉子逐漸生長，葉上表面的褐色星狀茸毛數量減少，可看到綠色葉肉組織，葉下表面的褐色星狀茸毛與白色星狀茸毛數量也都減少(圖 73-74)。

圖 73：白匏子新生葉上表面(葉正面)的茸毛顯微照相

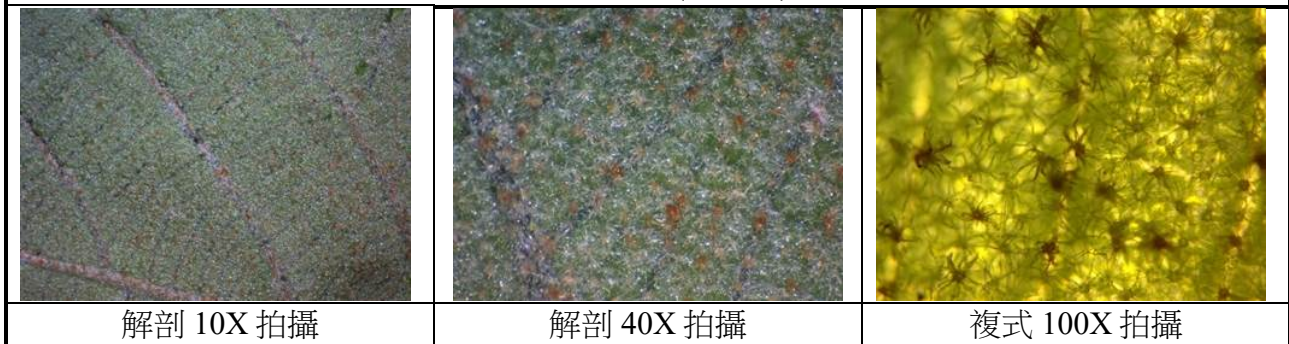
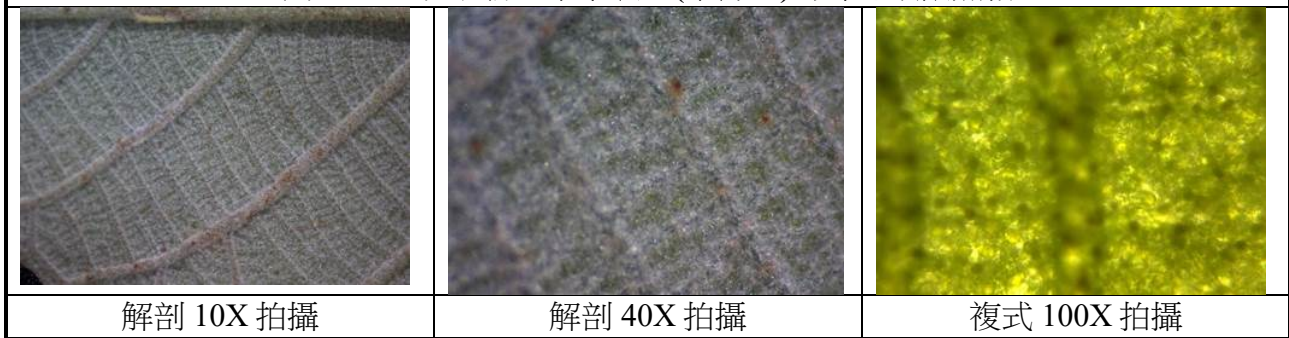


圖 74：白匏子新生葉下表面(葉背面)的茸毛顯微照相



3. 成熟葉 (編號 3 葉子)

隨著葉子逐漸變大，葉上表面的褐色星狀茸毛逐漸消失，只剩少數零星散佈在葉子表面。葉下表面則是密佈白色星狀茸毛 (圖 75-76)。

圖 75：白匏子成熟葉上表面(葉正面)的茸毛顯微照相

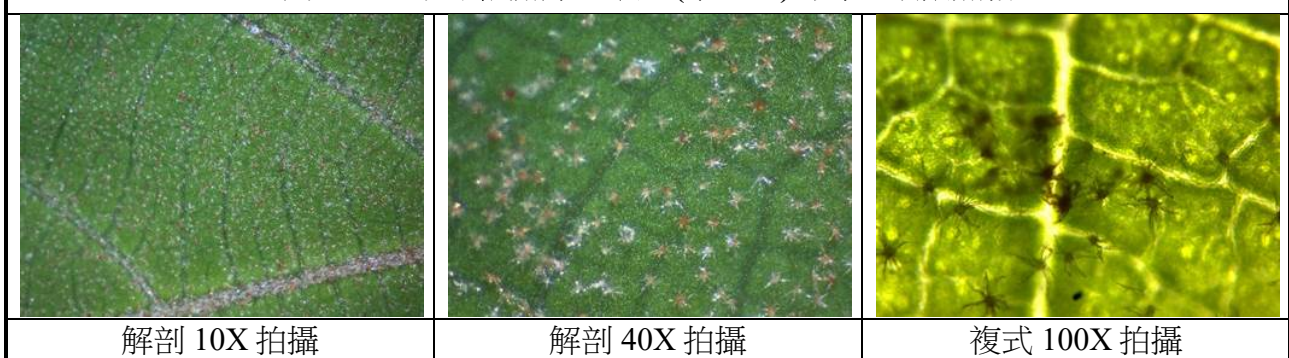
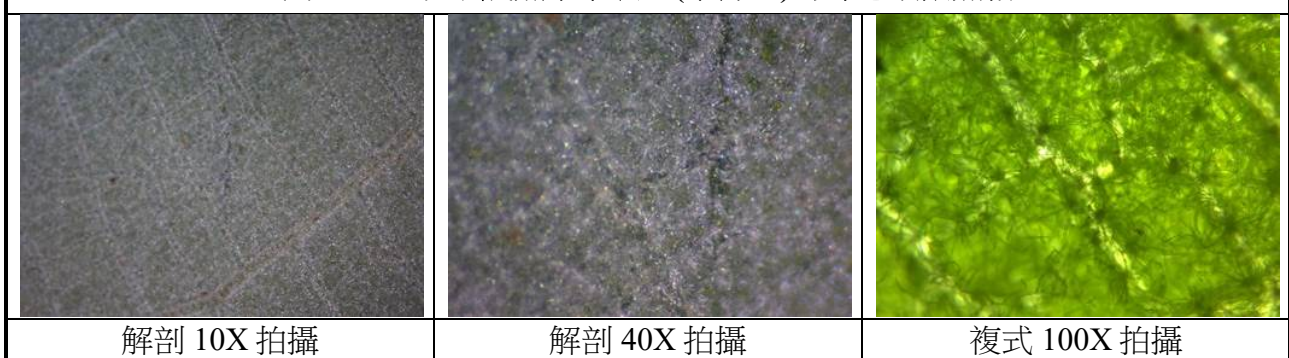


圖 76：白匏子成熟葉下表面(葉背面)的茸毛顯微照相



(二)反光強度變化

幼葉：剛出生的幼葉的葉子兩上下面都密生褐色茸毛或白色茸毛，具有很強的反光能力。

新葉：隨著葉肉組織的發育，葉子生長的茸毛減少。葉綠素吸收紅藍光並反射綠光，使得反射光譜中紅光強度下降，綠光強度上升。

成葉：葉上表面的茸毛只剩一點，反光能力較新生葉子低。然而，成熟葉的葉下表面仍然密生許多茸毛，因此其葉下表面的反光能力明顯強於葉上表面。

從編號 1 至編號 3 葉子的反光強度測試結果來看(圖 77)，我們發現剛出生的幼葉尚在發育中，密生褐色與白色茸毛作為一種保護構造，能夠有效地反射陽光，保護脆弱的嫩葉。隨著綠色葉肉組織的逐步發育成熟，葉上表面(葉正面)的茸毛逐漸減少並消失，以利用陽光照射到葉綠體進行光合作用。與此同時，葉下表面(葉背面)仍然保留著濃密的白色茸毛，增強反光能力，以反射光線，避免陽光直接照射到氣孔，從而減少水分蒸散。

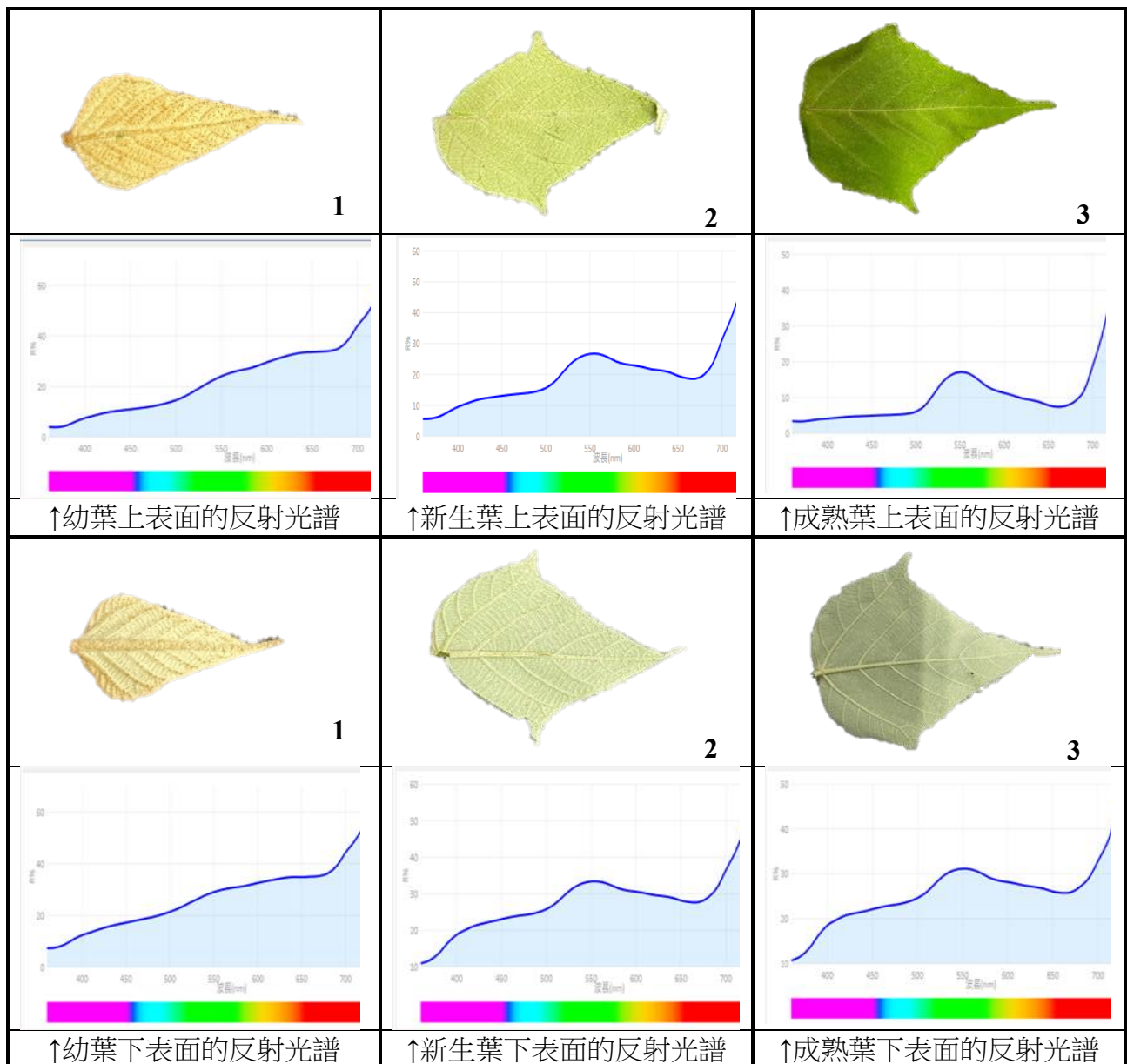
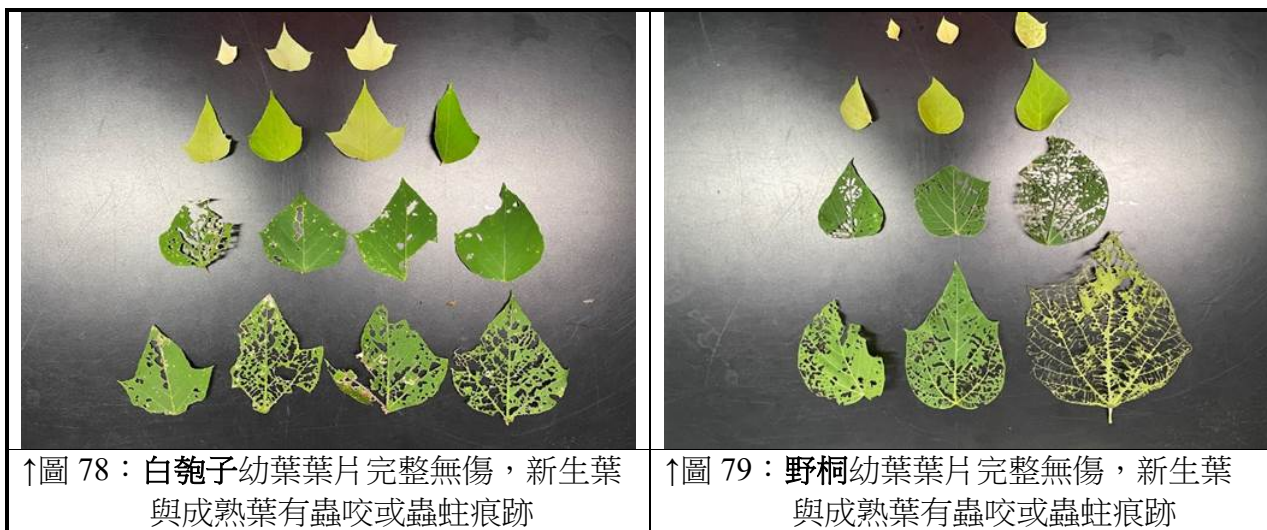


圖 77：白匏子不同生長期葉子，葉上表面(葉正面)、下表面(葉背面)的反光強度之變化

四、茸毛防禦功能之研究

(一) 野外觀察紀錄

白匏子與野桐幼葉都具有高密度的褐色與白色茸毛，幼葉都完整無傷，而隨著褐色茸毛漸消失，葉片出現蟲咬的比例就提高，成熟葉片損傷的比例非常高（圖 78-79）。



↑圖 78：白匏子幼葉葉片完整無傷，新生葉與成熟葉有蟲咬或蟲蛀痕跡

↑圖 79：野桐幼葉葉片完整無傷，新生葉與成熟葉有蟲咬或蟲蛀痕跡

(二) 葉子狀況統計

計數 10 棵白匏子植株葉片損傷數量，結果發現密生茸毛的幼葉幾乎沒有被蟲咬破壞的痕跡，新生葉約有 35% 有被蟲咬，成熟葉則大多有蟲咬過破洞或蟲蛀過的痕跡，比例高達 94% (表 3、圖 80)，三種葉子損傷比例有顯著性差異 (ANOVA test, $F=131.9$, $df=29$, $P<0.05$)。結果顯示有褐色星狀絨毛與白色星狀絨毛的葉子雖然會被昆蟲啃食，但褐色星狀茸毛密度較高的幼葉與新生葉被啃食的比例低很多。

表 3、白匏子植株幼葉、新生葉與成熟葉的損傷比例 (%) 統計

植株	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	NO.10	平均	標準差
幼葉	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
新葉	75	6	15	0	33	38	16	50	27	25	35.5	24.4
成葉	100	97	100	93	100	100	79	100	88	92	94.9	7.0

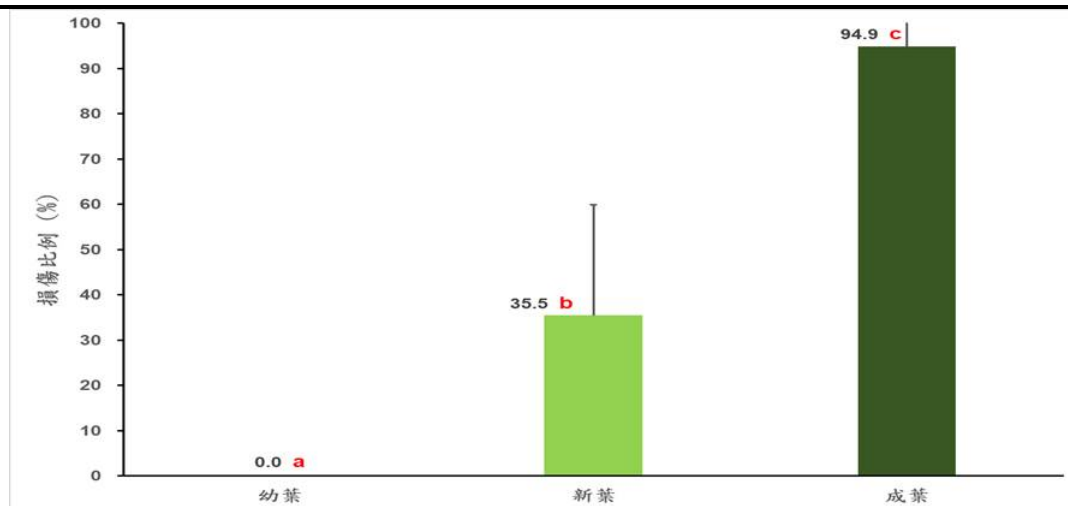


圖 80、白匏子植株幼葉、新生葉與成熟葉的損傷比例%之比較(英文數字不同表示有顯著差異)

(三) 單寧酸檢測

將醋酸鐵滴到白匏子葉上表面(正面)與下表面(背面)，檢測茸毛是否含有單寧酸(圖 81)。

- 1.上面：幼葉的上表面含有單寧酸茸毛(黑褐色)密度最高，隨著葉成熟，密度越來約低，成熟葉表面無茸毛分布。三者有顯著差異(ANOVA test, $F=45.6$, $df=8$, $P<0.05$)。
- 2.下面：幼葉下表面含有單寧酸茸毛數量較上表面少，主要分布在葉脈上。新生葉與成熟葉上有少量單寧酸茸毛。三者有顯著差異(ANOVA test, $F=6.8$, $df=8$, $P<0.05$)。

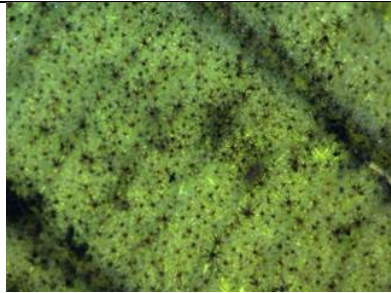
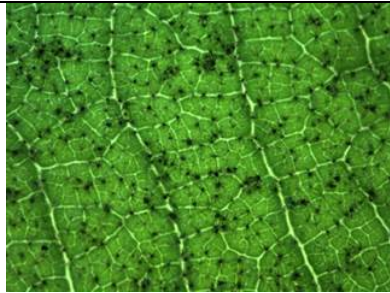

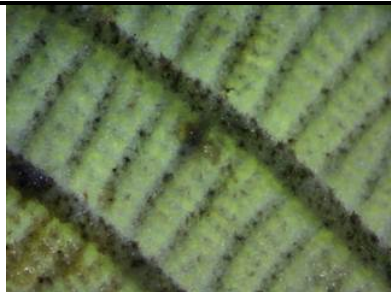


	幼葉	新葉	成葉
葉上表面			
	↑單寧酸茸毛密度最高	↑單寧酸茸毛密度變低	↑沒有茸毛分布
葉下表面			
	↑單寧酸茸毛在葉脈上	↑單寧酸茸毛少量分布	↑單寧酸茸毛零星分布

圖 81：白匏子不同生長期葉上表面與下表面含有單寧酸茸毛密度的比較(解剖顯微鏡 20X)

表 4、白匏子葉子單寧酸茸毛密度之比較 (解剖顯微鏡 20X 拍照，照片範圍內計數)

葉子生長期	部位	第一片葉子	第二片葉子	第三片葉子	平均	標準差
幼葉	上表面	685	476	548	569.7	106.2
	下表面	44	56	74	58.0	15.1
新葉	上表面	265	288	391	314.7	67.1
	下表面	45	56	67	56.0	11.0
成葉	上表面	0	0	0	0	0
	下表面	20	16	37	24.3	11.2

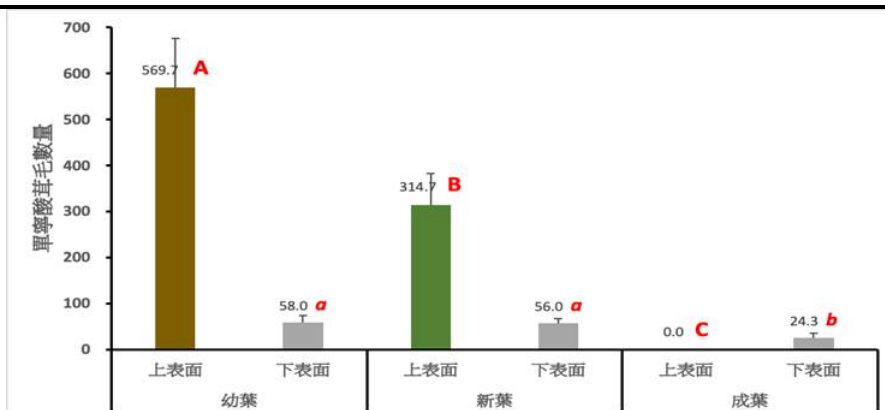


圖 82：白匏子葉子單寧酸茸毛密度之比較 (解剖顯微鏡 20X 拍照計數) (英文數字不同表示有顯著差異)

(四) 單寧酸茸毛的防禦功能

由圖 83 可看出，白匏子葉子單寧酸茸毛數量(密度)越多，則昆蟲咬傷比例越低，兩者有負相關性，相關係數為 -0.996，顯示單寧酸茸毛應該具有防禦昆蟲攝食的功能。

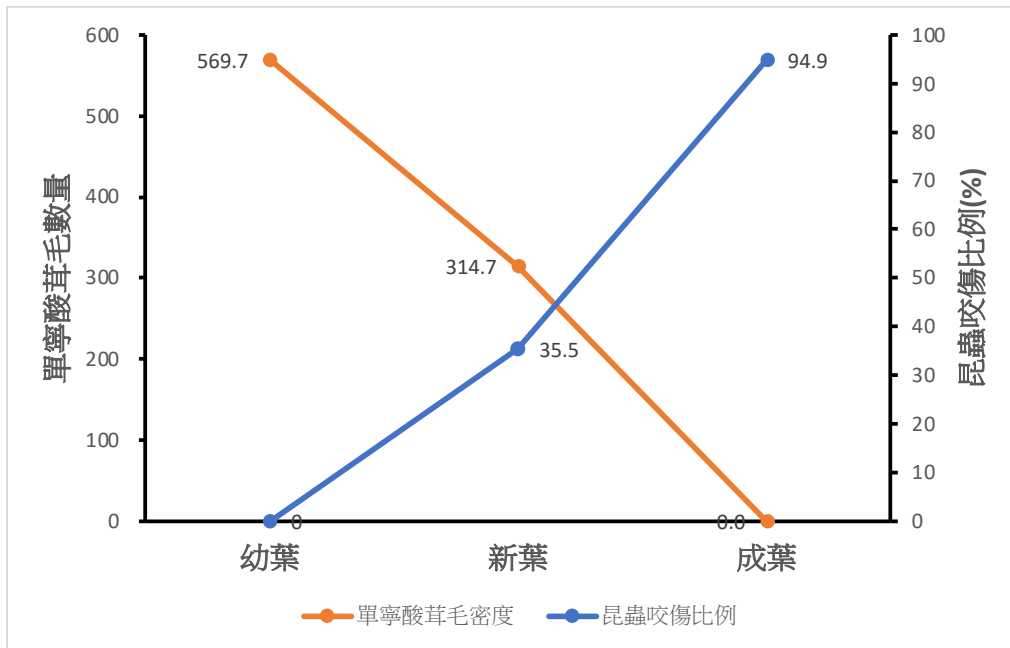


圖 83：白匏子葉子單寧酸茸毛密度與昆蟲咬傷比例之關係

五、不同植物茸毛之研究

大戟科 *Mallotus* 屬的白匏子與野桐，幼葉都有濃密星狀茸毛分布，隨著葉子生長，褐色星狀茸毛退化，成熟葉只有葉背有白色星狀茸毛。不一樣的是，野桐茸毛只有零星分布，不像白匏子會一整面覆蓋葉背。大戟科 *Macaranga* 屬的血桐則為尖狀茸毛，且無褐色茸毛分布，所以幼葉為淺綠色。構樹、山黃麻也是尖狀茸毛的形態，葉正面零星分布，葉背面的密度較高。青苧麻為絲狀茸毛，會一整面覆蓋葉背，但密度沒有白匏子那樣濃密(圖 84)。將醋酸鐵滴到不同植物茸毛上，測試是否含有單寧酸，發現白匏子與野桐幼葉上的褐色星狀茸毛會變成黑色，含有單寧酸，但血桐、構樹、山黃麻與青苧麻的茸毛都不含單寧酸。

植物	葉子	茸毛構造	茸毛密度	茸毛顏色	單寧酸
白匏子	上表面	星狀茸毛	幼葉密度高，成葉消失	幼葉褐色茸毛	○
	下表面	星狀茸毛	幼葉與成葉密度高 佈滿葉背一整片	幼葉褐色、白色 成葉多為白色	○
野桐	上表面	星狀茸毛	幼葉密度高，成葉消失	幼葉褐色茸毛	○
	下表面	星狀茸毛	幼葉密度高 成葉零星分佈	褐色茸毛較少 白色茸毛較多	○
血桐	上表面	尖狀茸毛	幼葉、成葉都零星分布	白色	X
	下表面	尖狀茸毛	只分布在葉脈上	白色	X
構樹	上表面	尖狀茸毛	幼葉密度高，成葉零星分布	白色	X
	下表面	尖狀茸毛	佈滿葉背，密度高	白色	X
山黃麻	上表面	尖狀茸毛	幼葉密度高，成葉零星分布	白色	X
	下表面	尖狀茸毛	密佈葉背表面	白色	X
青苧麻	上表面	尖狀茸毛	幼葉、成葉零星分布	白色	X
	下表面	絲狀茸毛	佈滿葉背一整片	白色	X

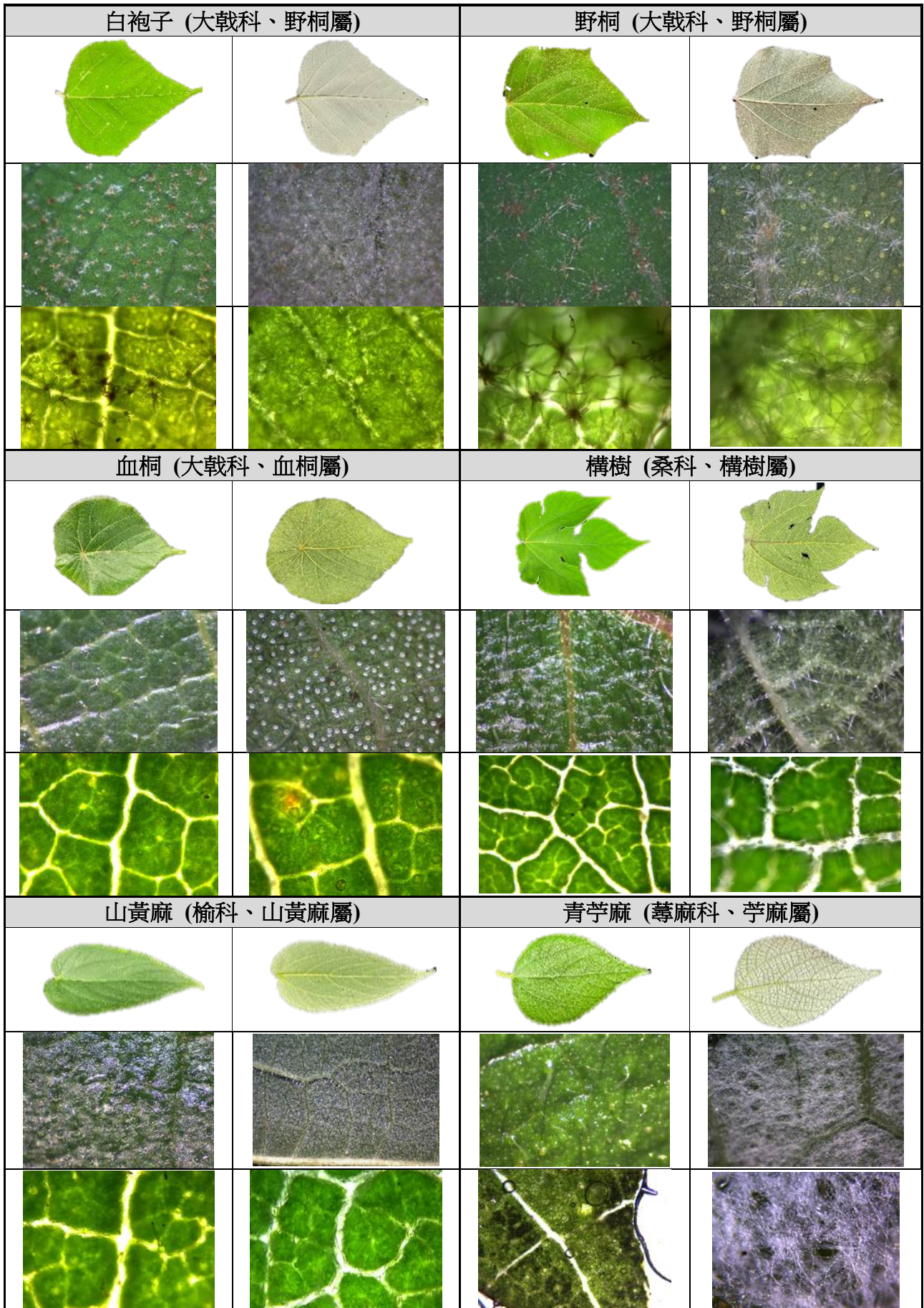


圖 84：臺灣低海拔常見先驅植物葉上表面、葉下表面茸毛構造與形態之比較

伍、討論

一、茸毛的功能

白匏子葉背面為一整片白色茸毛濃密覆蓋在葉表皮上，形成銀白葉背特徵，並賦予葉背較強的反光能力與蓮葉疏水效應。當風吹起葉子使背面朝向陽光時，或是乾燥缺水失去膨壓反捲葉背朝上時，這些茸毛除了可以反射光線，避免過量的熱能傷害，也可以避免氣孔直接暴露在表皮，減少水分喪失。茸毛的疏水特性，除了讓氣孔水分不易蒸發外，也可避免雨天水分吸附在茸毛上，孳生黴菌或細菌，造成葉片腐爛。茸毛構造也在構樹、野桐、血桐、山黃麻、青苧麻等先驅植物的葉子上發現。陳羽等人在 2017 年的第 57 屆全國科展研究報告中指出，構樹葉子上的茸毛可反射陽光，若清除表皮細毛，滯塵量、遮光率及溫度都會受到影響。青苧麻跟白匏子一樣，也有濃密茸毛覆蓋在葉子上，形成白色葉背特徵，也發現在脫水的狀態下，葉片會反捲，將白色的葉背朝上(圖 2, 4)，這種反捲型態是否可以降低葉片溫度以避免過量的熱能傷害？未來要探討葉片反捲與植物熱傷害適應的關聯性。另外野外採集過程中也有發現白匏子與青苧麻葉背有些很白，有些灰一點，想要知道不同陽光強度下生長白匏子或青苧麻，茸毛密度的差異，是否與陽光強度成正相關？也是未來研究的方向。

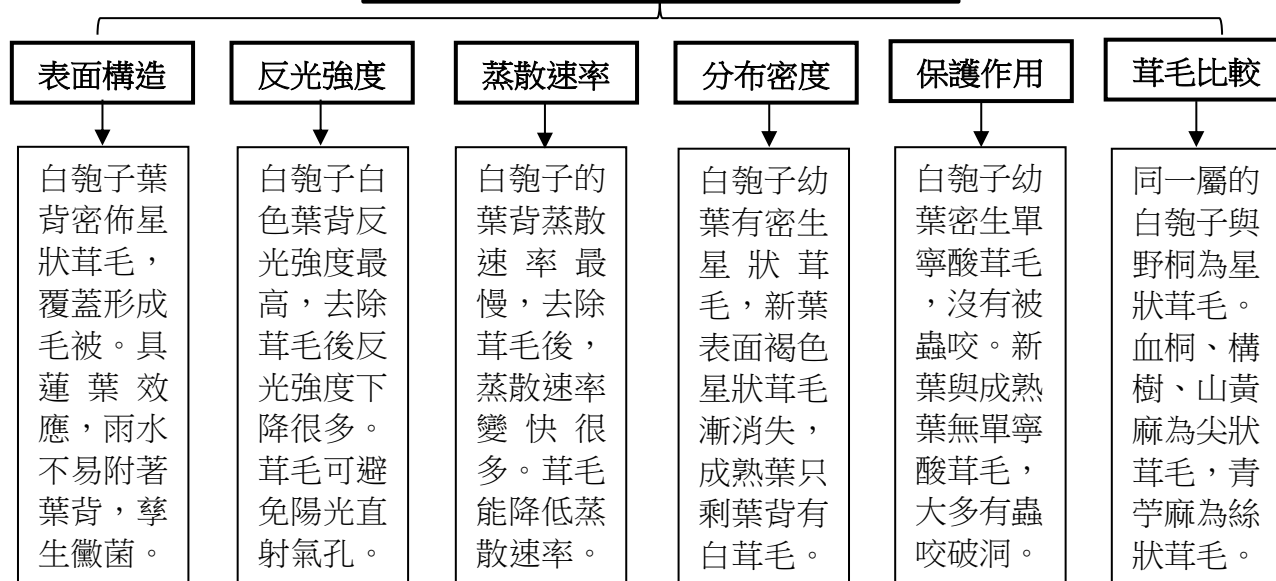
白匏子剛生長的幼葉，葉上、下表面均覆蓋著濃密的褐色與白色茸毛構造，褐色星狀茸毛不僅出現在幼葉上，還出現在嫩枝和芽上。白匏子的幼葉在野外很少被昆蟲啃食。廖君達(2012)整理植物茸毛功能的文獻資料中有說道：「當植物受到有害生物攻擊時，茸毛的密度和形態具有防禦功能，且新生葉片會增加茸毛密度以應對後續的傷害。高密度的非腺毛茸毛能提高植物對昆蟲的抵抗力，阻礙昆蟲在植物表面的移動，甚至使小型植食者陷入其中而死亡。腺毛會分泌多種具抗蟲功能的二次代謝物，可降低害蟲的生長發育及群聚偏好性。」我們的研究中發現白匏子黃褐色的茸毛內含有單寧酸，且幼葉茸毛含有較多的單寧酸，成熟葉背茸毛只有少量的單寧酸。蘇暘程等人在 2021 年全國科展研究報告結果有寫到：「單寧酸做為生物農藥的可行性，發現偽菜蚜體表蠟粉被破壞，單寧酸接觸後具一定程度立即致死能力。」白匏子具有單寧酸茸毛應該具有防禦昆蟲啃食及保護幼葉的功能。未來可以將單寧酸茸毛餵食以白匏子葉子為寄主的白斑黃毒蛾幼蟲，以了解單寧酸保護幼葉的作用。

二、茸毛的比較

在複式顯微鏡下觀察白匏子葉子茸毛構造時，可以看到一顆顆星狀茸毛，中心是一個較厚的構造，由中心往外延伸 6-10 個細長的毛(圖 24)，這些細長的毛向各個方向向外輻射。由於星狀茸毛在 *Mallotus* 屬中很常見(Ziva et. al., 2012)，我們發現同一屬植物的白匏子、野桐，幼葉與新生葉都有高密度的褐色星狀茸毛，茸毛也都含有單寧酸，且這兩種植物幼葉與新生葉在野外都少有被昆蟲啃食(圖 78-79)，所以單寧酸茸毛對昆蟲應該具有一定的防禦作用。血桐的茸毛為尖細狀，雖然沒有單寧酸，但葉子上有密佈許多白色圓狀的腺毛(圖 84)，未來可以研究這圓狀腺毛是否會分泌抗蟲功能的二次代謝物，以保護葉子。

陸、結論

白匏子銀白葉背與星狀茸毛功能之探討



柒、參考文獻資料

一、期刊文獻

- Benz, B. W., and C. E. Martin. 2006. Foliar trichomes, boundary layer, and gas exchange in 12 species of epiphytic *Tillandsia* (Bromeliaceae). *J. Plant Physiol.* 163:648-656.
- Živa F. P. N., K. K. J. Kulju, S. E. C. Sierra, P. BAAS, and P. C. V. Welzen. 2012. Leaf anatomy of *Mallotus* and the related genera. *Blumeodendron* and *Hancea* (Euphorbiaceae *sensu stricto*). *Botanical Journal of the Linnean Society* 169 : 645–676.
- 陳榮坤、楊純明 (2002)，簡介農作物光譜- 植被光譜特徵與植物含水量關係。農業試驗所技術服務 第 50 期：8-13。
- 廖君達 (2012)，植物茸毛及其防禦質在抗蟲上扮演的角色。臺中農業改良場專題討論專集：231-235。
- 邱相齡、童美慈、房達文、劉水德、房樹生 (2013)，秋海棠 (*Begonia coccinea*) 在逆境生長條件下氣孔簇數量的變化關係。科學教育月刊 第 365 期：38-53。
- 王士綦、郭椀寧、林存藝、吳蕙君、房樹生 (2018) 三種 C3 植物氣孔密度與氣室面積及柵狀組織面積的相關性。科學教育月刊 第 413 期：23-30。

二、科展文獻

- 陳羽、陳信琦、陳妍稀、潘咨伶、袁登城 (2017)，為「構」爭光：金門地區構樹葉形與葉毛之研究。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書。(科教館科展群傑廳網頁)
- 鄭博璋、郭庭君、廖子翔、蕭貫育、黃泓達、林頂立 (2021)，單寧酸現形記。中華民國第 61 屆中小學科學展覽會作品說明書。(科教館科展群傑廳網頁)
- 蘇暘程、李珣琳、李函庭 (2021)，探討單寧酸作為生物農藥的可行性。中華民國第 61 屆中小學科學展覽會作品說明書。(科教館科展群傑廳網頁)

三、網路文獻

- 臺灣生命大百科：白匏子 (<https://taicol.tw/pages/41496>)
- 維基百科：毛狀體 (<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%AF%9B%E7%8A%B6%E4%BD%93>)
- 維基百科：單寧酸 (<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%9E%A3%E8%B4%A8>)
- 3 nh 分光測色儀 Spectrophotometer (<https://product.acttr.com/zh/spectrometer-c-13/colorimeter-c-81/ys6000-spectrophotometer-p-311>)

【評語】 080301

本科展作品主題在於探討白匏子的葉背茸毛功能。其研究結果顯示，此茸毛對於葉片具有反光能力，可減緩蒸散速率，並且隨葉子成熟，含有單寧酸成分的茸毛漸變少，以至於無法防禦昆蟲攝食。

實驗方法適切並能妥善運用上課所學與生活知識結合，學以致用並詳加觀察和試驗。各組重複試驗有獨立三次以上重複，並且在呈現的圖中適切地應用科學性統計方法分析。

建議：

1. 圖的序列要連貫，作品說明書中圖 19 與 20 不見了。
2. 測色儀測量葉上、下表面的反射光相對強度(R%)平均數值之比較(取樣 400-700 nm)，如何取樣測量及取平均值？誤差範圍如何？
3. 研究中與其他木本、草本植物的葉片做比較，其目的為何？比較的結果又能解釋什麼？
4. 圖 12 如何解讀？為什麼是隨機選取五個部位測量，反光強度無差異？

5. 反光強度是否將各種植物放在同一張圖上比較。
6. 表 1 上下表皮皆有移除茸毛吧？
7. 葉子損傷數量如何計算？
8. 褐色茸毛與白色茸毛差異？單寧酸？其功能與意義？
9. 與其他葉子的比較，意義？
10. 構造如何影響功能？茸毛的內外側反光強度不同，在構造上有何差異？會何可以有這樣的結果？

作品海報



白匏子銀白葉背



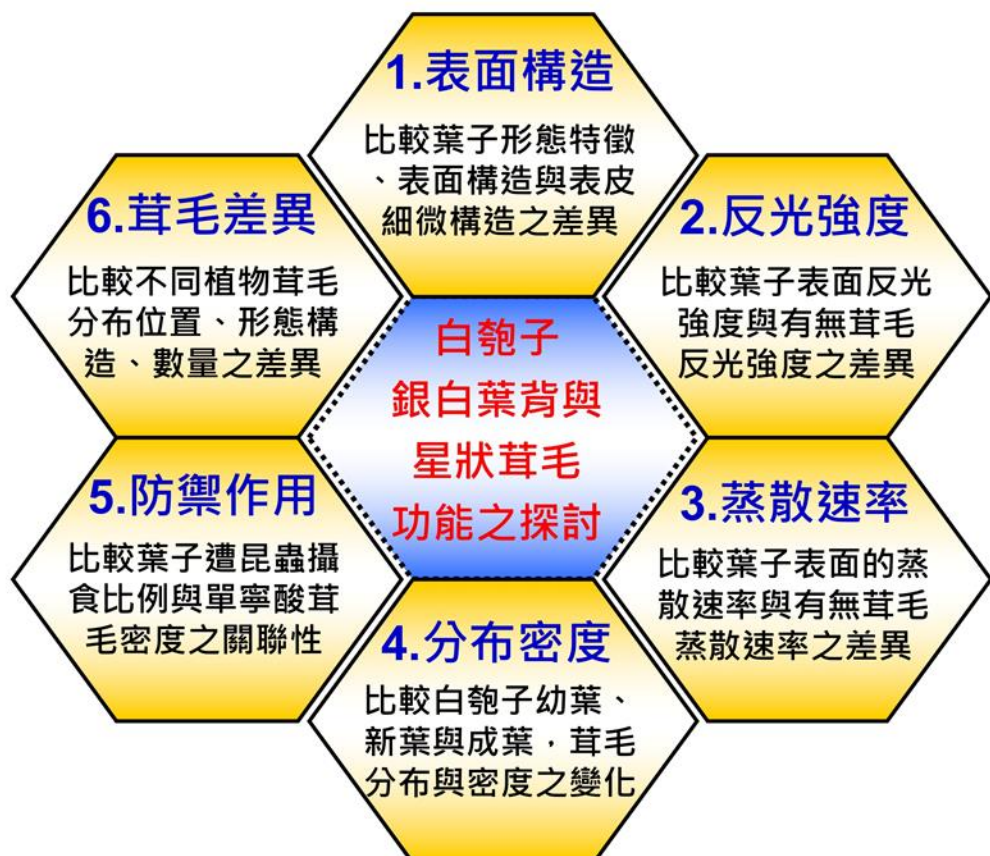
與星狀茸毛功能之探討

壹、簡介

白匏子多生長於向陽坡地，其葉子形狀似匏，具銀白葉背特徵。白色葉背密佈星狀茸毛，除了可以反射陽光，避免熱能傷害，還可減少水分蒸散。剛生長幼葉上下表面密佈褐色茸毛，含單寧酸成分，具防禦與保護作用。



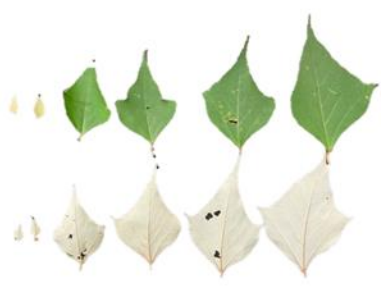
貳、目的



參、方法

一、葉子表面構造之研究

採集白匏子與其他植物數片葉子，手機拍攝形態特徵，解剖顯微鏡觀察葉表面構造，複式顯微鏡觀察葉表皮細微構造。



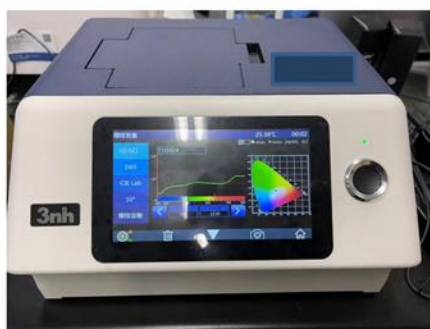
↑使用手機拍攝葉子的形態與特徵



↑顯微鏡觀察葉子上、下表面構造

二、葉子反光強度之研究

利用分光測色儀來測量葉子正、背兩面的反光強度，並比較白匏子葉子表面有無茸毛狀態下的反光強度之差異。



↑分光測色儀測量葉子反射光強度



↑測量葉子上、下表面的反射光譜

三、葉子蒸散速率之研究

每一種植物選三片葉子，在葉正面、背面貼上氯化亞鈷試紙，測量變色所需時間，變色時間越短，蒸散速率越快。先測量白匏子葉背有茸毛狀態下的蒸散速率，之後在同一部位塗指甲油，風乾後用膠帶將茸毛去除，再測一次無茸毛狀態下的蒸散速率，並比較有無茸毛構造對蒸散作用的影響。



↑將藍色氯化亞鈷試紙用膠帶貼到白匏子的葉上表面(葉正面)



↑將藍色氯化亞鈷試紙用膠帶貼到白匏子的葉下表面(葉背面)



↑測量氯化亞鈷試紙從藍色變成粉紅色所需的時間



↑比較不同種植物葉上、下表面蒸散速率之差異



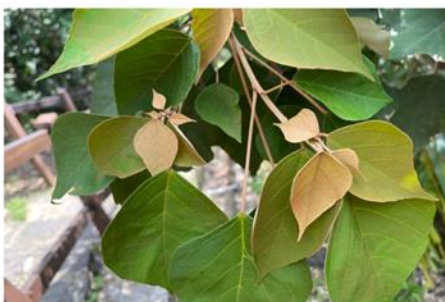
↑在葉背塗指甲油，用膠帶將毛被層撕下來，露出原本綠色的下表皮



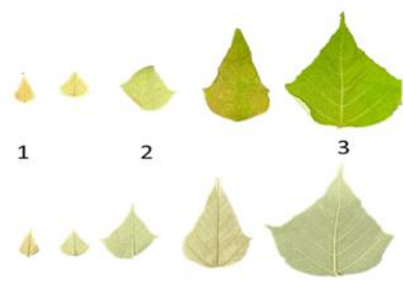
↑測量同一部位氯化亞鈷試紙從藍色變成粉紅色所需的時間

四、茸毛分布密度之研究

從白匏子莖頂採集大小不同的葉子，利用顯微鏡觀察幼葉、新生葉與成熟葉茸毛構造，利用測色儀測量葉子反光強度，比較葉子發育過程，茸毛密度與反光強度的變化情形。



↑新長出來的葉子顏色呈現黃褐色或綠褐色，葉子兩面都密佈茸毛



↑白匏子葉子從幼葉(小)、新生葉(中)、成熟葉(大)茸毛生長之變化

五、茸毛防禦作用之研究

觀察十棵白匏子，比較幼葉、新生葉與成熟葉在野外遭受昆蟲啃食損傷的狀況與比例。由於單寧酸是植物常見的化學防禦物質，會與三價鐵產生黑色單寧酸鐵。在葉子上、下表面滴硝酸鐵，在解剖顯微鏡20X倍率下拍照，計數照片中黑色茸毛(單寧酸茸毛)總數量，比較單寧酸茸毛密度變化。



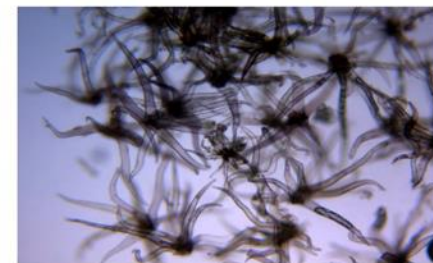
↑新生葉子，葉片完整無破損，但成熟葉子大多被蟲咬得破爛



↑同一棵白匏子植株上不同生長時期的葉子，葉片損傷比例之比較



↑在不同生長時期的葉上、下表面滴上硝酸鐵，觀察茸毛顏色變化



↑單寧酸+鐵離子→黑褐色單寧酸鐵，星狀茸毛中心部位變成黑色

六、茸毛構造差異之研究

比較白匏子、野桐、血桐、山黃麻、構樹、青芋麻葉子茸毛的分布位置、形態構造、數量密度之差異，進一步探討同一屬、同一科或不同科植物茸毛構造與功能的差異，以及葉子的茸毛是否為先驅植物適應環境與生物逆境重要的構造。

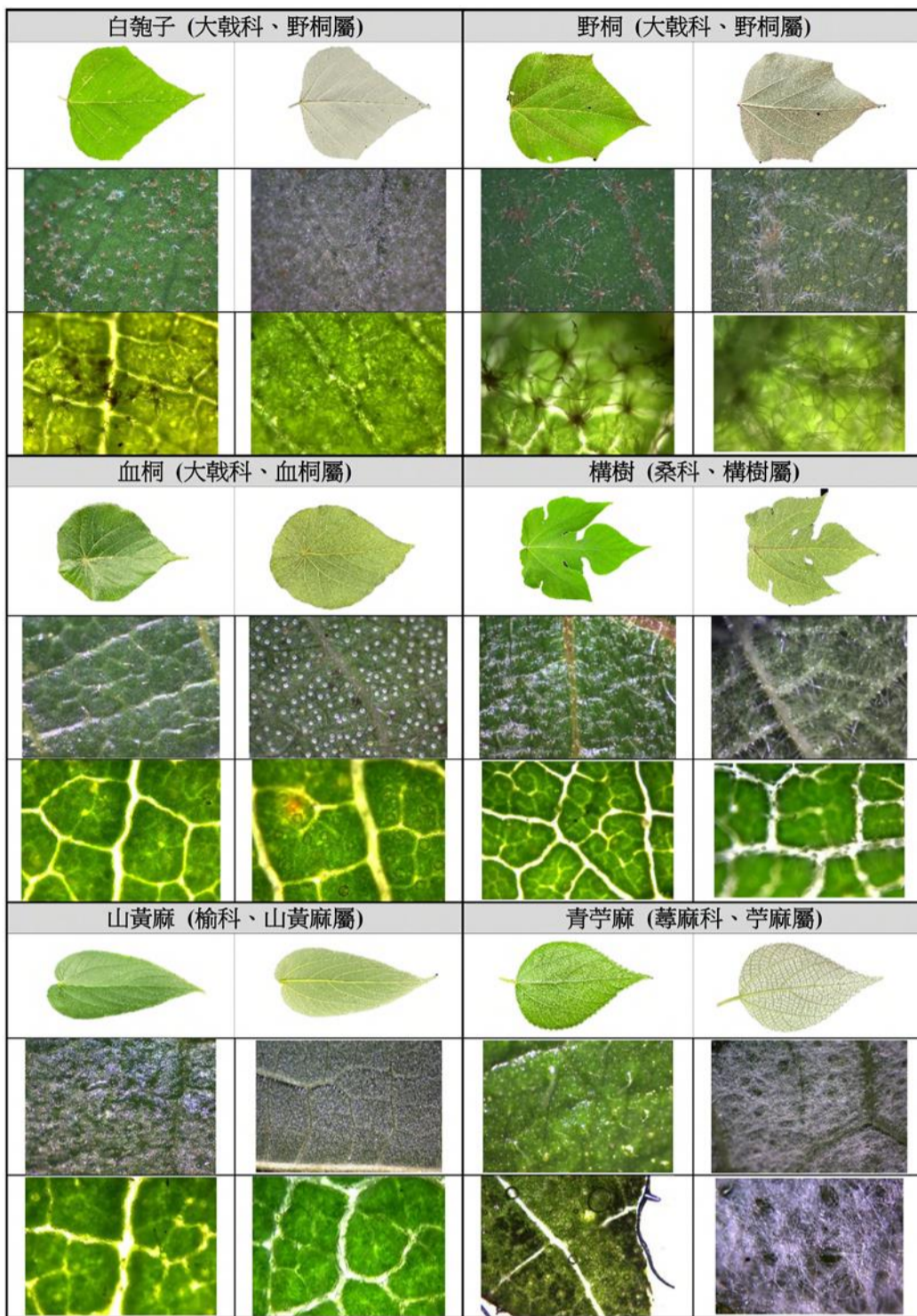
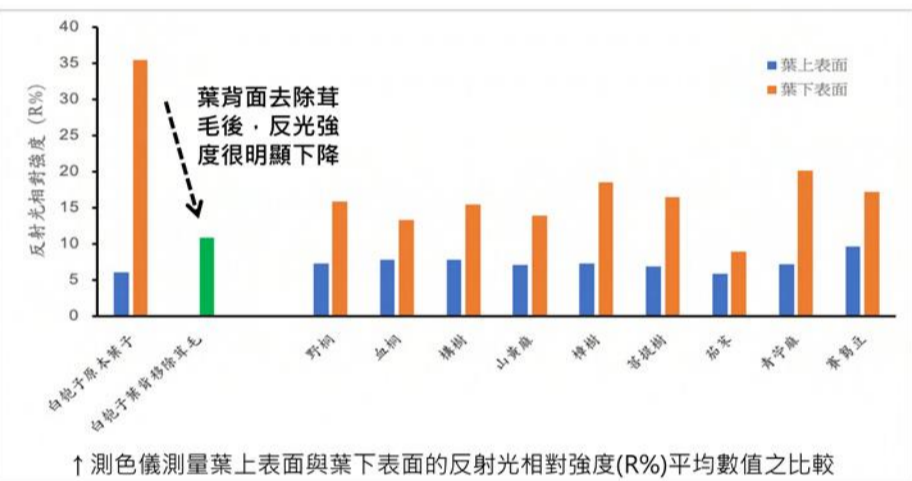
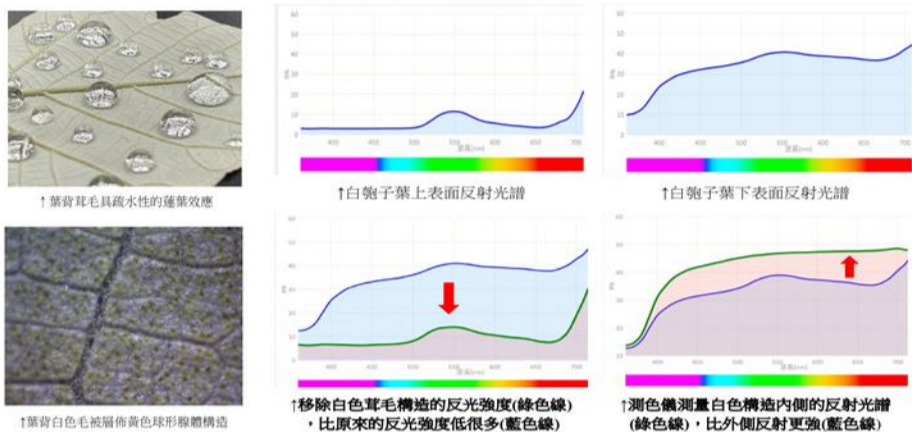
肆、結果與討論

一、表面構造與反光強度之研究

白匏子葉背面密生白色星狀茸毛，是由一個中心構造與6-10個細長毛組成，覆蓋整個葉背形成白色的『毛被』。毛被層緊貼葉表面，具有疏水特性之蓮葉效應，能防止水分附著葉表面進而影響氣體的進出。葉背還有黃色腺毛散佈在毛被層內。

白匏子綠色的葉上表面在綠光有一個較高的反射波峰，白色的葉下表面在各個色光都有較高的反光強度，且遠高於葉子上表面。但將葉背面去除茸毛後，綠色下表面的反光強度則會下降。

十種植物葉下表面反射光強度均高於上表面，白匏子密生茸毛的白色葉背，反射光強度大約是其他植物的兩倍。青芋麻葉下表面也有茂密的白色茸毛，同樣具有較強的反光強度。



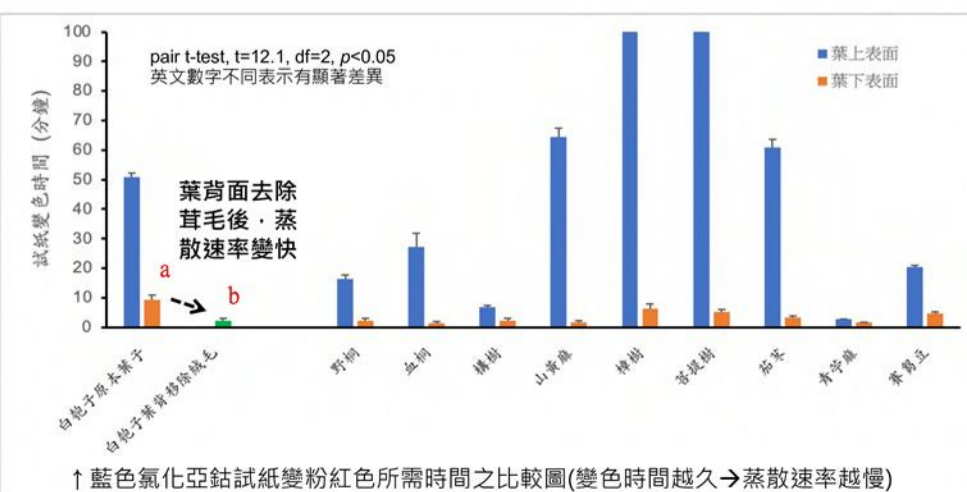
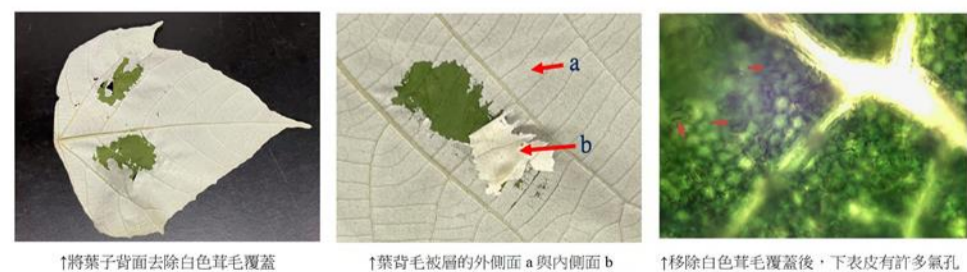
↑臺灣低海拔常見先驅植物葉上表面、葉下表面茸毛構造與形態之比較

二、葉子蒸散速率之研究

有些耐旱植物，如樟樹和菩提樹，其葉上表面覆有蠟質，能反射強烈陽光，蒸散速率非常慢。而大多數植物葉下表面的氣孔數量較多，蒸散速率較快。

白匏子葉下表面(葉背)的變色時間是最長的，其蒸散速率相對較慢。去除葉背茸毛後，蒸散速率變快很多。

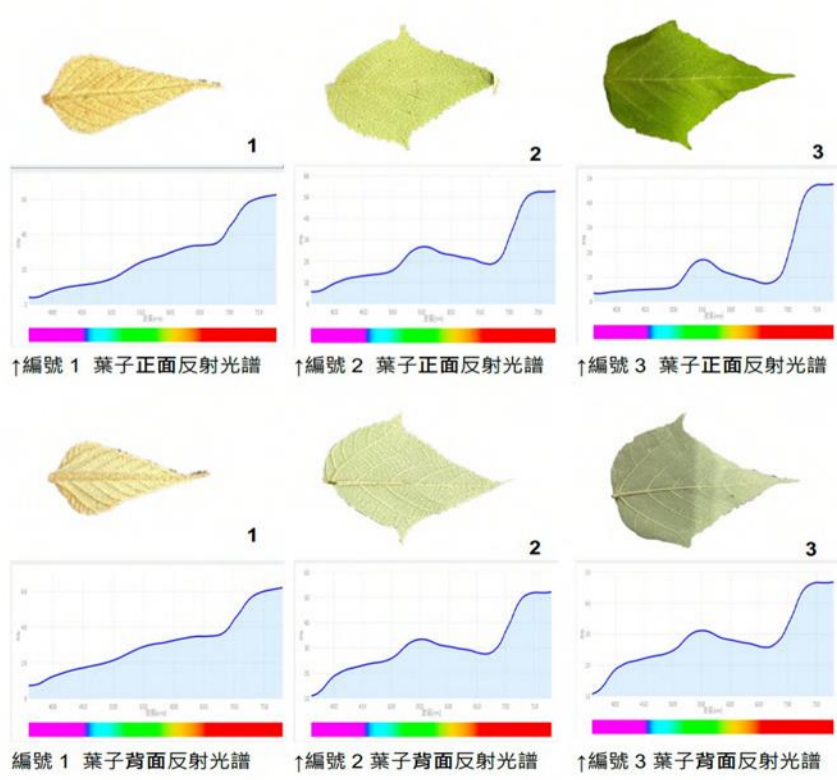
Benz and Martin (2006) 的研究曾指出「葉子上高密度的茸毛，可反射陽光、降低葉片熱能傷害；並能在葉表形成邊界層，使得空氣移動降低進而減緩葉蒸散作用，是一種植物適應乾燥環境的重要方式」。



三、茸毛分布密度之研究

剛生長的幼葉生長許多褐色與白色茸毛，有較強的反光能力。隨著葉子發育，葉上表面褐色與白色茸毛漸漸消失，成熟葉上表面無任何茸毛，葉下表面則還有濃密的白色茸毛與少量的褐色茸毛。所以成熟葉子背面的反光強度較正面高很多。

廖君達 (2012) 的研究曾指出：「當植物遭逢有害生物攻擊時，新生葉片會增加茸毛的密度以因應後續的傷害，較高的茸毛密度可提升植物對昆蟲的抗性與阻礙昆蟲的移動，以面對生物性逆境。」



肆、結果與討論

五、茸毛防禦作用之研究

(一) 葉子損傷狀況

密生茸毛的幼葉幾乎沒有被蟲咬破損的痕跡，新生葉約有35%，成熟葉大多破損不堪，比例高達94%。顯示褐色星狀茸毛密度較高的幼葉與新生葉，被啃食的比例低很多。

(二) 褐色單寧酸茸毛

幼葉上表面單寧酸茸毛密度最高，隨著葉成熟，數量越來越少，成熟葉表面則無茸毛分布，也無單寧酸反應。

幼葉下表面單寧酸茸毛主要密布在葉脈上，新生葉單寧酸茸毛逐漸變少，成熟葉上只有少量單寧酸茸毛分布。

(三) 茸毛防禦功能

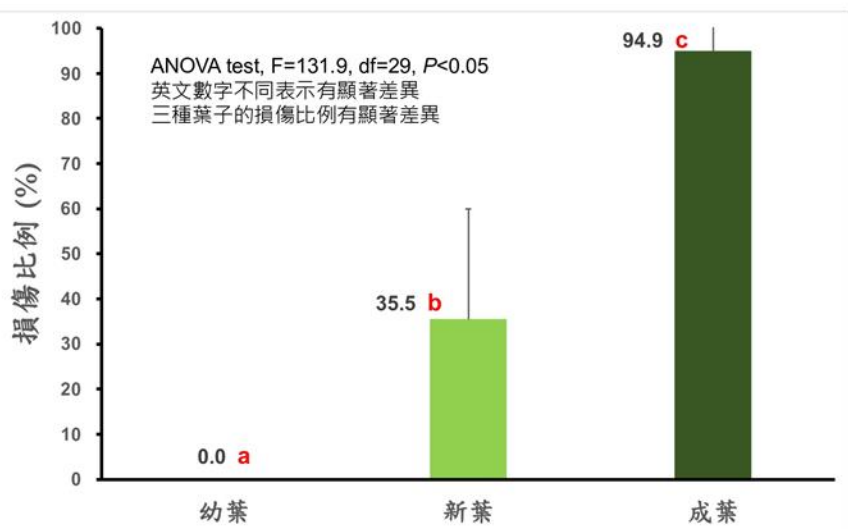
白匏子葉子單寧酸茸毛數量(密度)越多，則葉子損傷比例越低，兩者有高度負相關，相關係數 $r = -0.996$ 。同一屬植物的野桐也有類似現象，顯示單寧酸茸毛應該具有防禦昆蟲攝食功能。



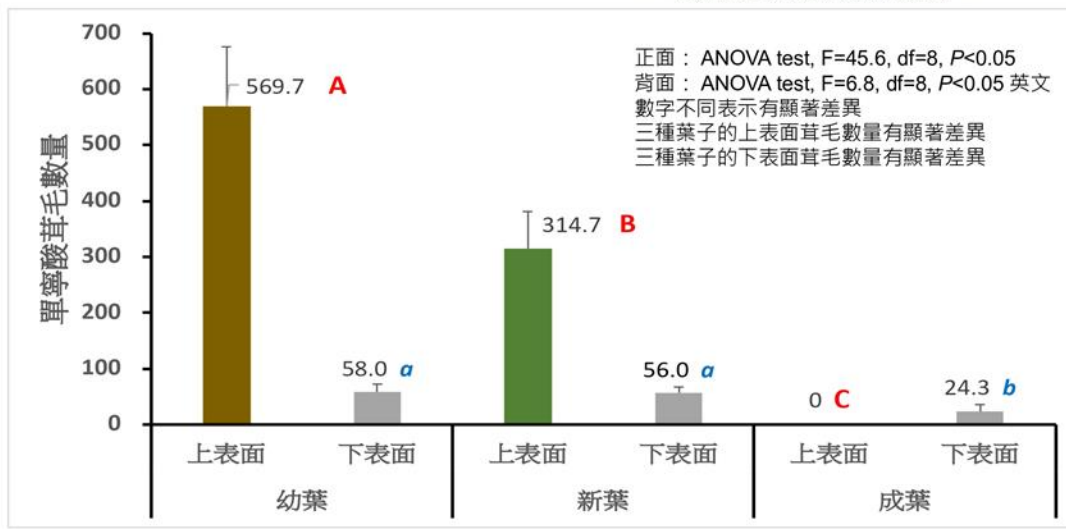
↑白匏子幼葉葉片完整無傷，新生葉與成熟葉有蟲咬或蟲蛀痕跡



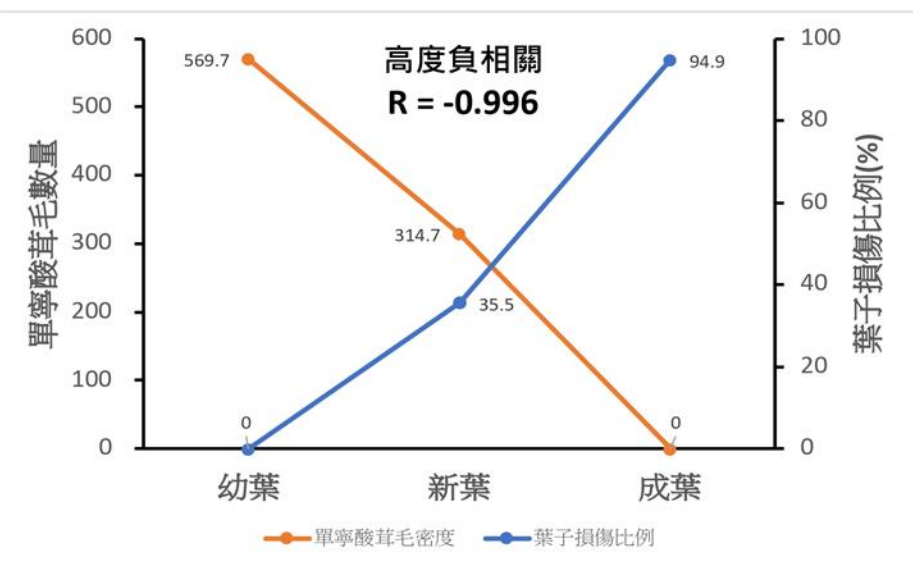
↑野桐幼葉葉片完整無傷，新生葉與成熟葉有蟲咬或蟲蛀痕跡



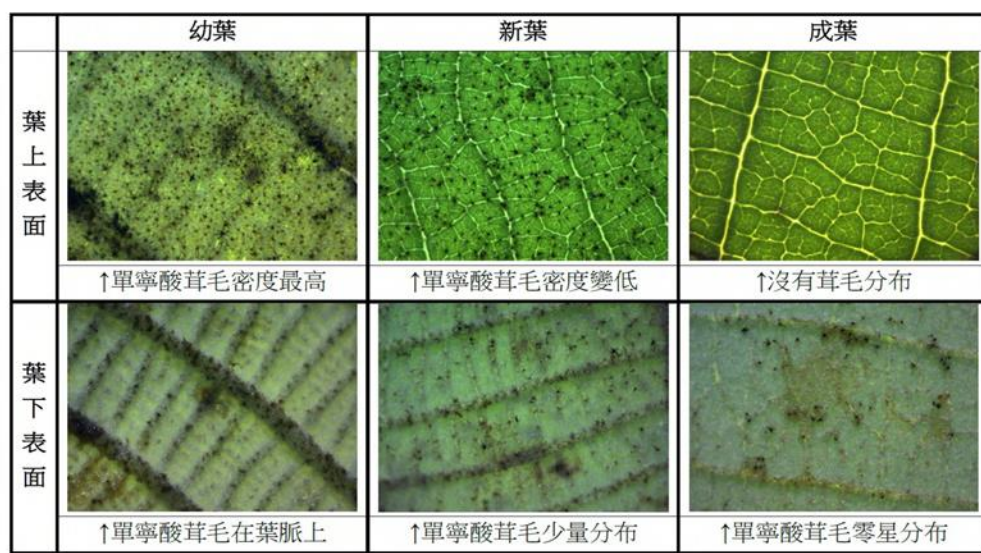
↑白匏子植株幼葉、新生葉與成熟葉的損傷比例%之比較



↑白匏子葉子單寧酸茸毛密度之比較 (解剖顯微鏡20X拍照計數)



↑白匏子葉子單寧酸茸毛數量(密度)與葉子損傷比例(%)之關係



↑白匏子不同生長期葉上、下表面含有單寧酸茸毛密度的比較(解剖顯微鏡20X)

六、植物茸毛差異之研究

大戟科野桐屬的白匏子與野桐，幼葉都有星狀茸毛分布，隨著葉子生長，褐色星狀茸毛漸退化，成熟葉只有白匏子葉背有密佈白色茸毛。大戟科血桐屬的血桐則是尖狀茸毛，無褐色茸毛分布。構樹、山黃麻也是尖狀茸毛的形態。青葙麻為絲狀茸毛，會一整面覆蓋葉背。

利用硝酸鐵測試茸毛是否含有單寧酸，發現只有白匏子與野桐葉上的褐色星狀茸毛含有單寧酸，白色星狀茸毛或其他植物的茸毛都不含有單寧酸。

植物	葉子	茸毛構造	茸毛密度	茸毛顏色
白匏子	上表面	星狀茸毛	幼葉密度高，成葉消失	幼葉褐色茸毛
	下表面	星狀茸毛	幼葉與成葉密度高 佈滿葉背一整片	幼葉褐色、白色 成葉多為白色
野桐	上表面	星狀茸毛	幼葉密度高，成葉消失	幼葉褐色茸毛
	下表面	星狀茸毛	幼葉密度高 成葉零星分佈	褐色茸毛較少 白色茸毛較多
血桐	上表面	尖狀茸毛	幼葉、成葉都零星分布	白色
	下表面	尖狀茸毛	只分布在葉脈上	白色
構樹	上表面	尖狀茸毛	幼葉密度高，成葉零星分布	白色
	下表面	尖狀茸毛	佈滿葉背，密度高	白色
山黃麻	上表面	尖狀茸毛	幼葉密度高，成葉零星分布	白色
	下表面	尖狀茸毛	密佈葉背表面	白色
青葙麻	上表面	尖狀茸毛	幼葉、成葉零星分布	白色
	下表面	絲狀茸毛	佈滿葉背一整片	白色

伍、結論

白匏子銀白葉背密佈白色茸毛，可以反射陽光，減少水份蒸發，以適應炙熱陽光與乾燥土壤的向陽環境。幼葉與新生葉密生的褐色茸毛含有單寧酸，可以減少蟲咬損傷，具防禦作用，同一屬的野桐也有類似的特徵。這些特化的茸毛構造讓兩者成為低海拔地區常見的先驅植物。

陸、文獻

- Benz, B. W., and C. E. Martin. 2006. Foliar trichomes, boundary layer, and gas exchange in 12 species of epiphytic *Tillandsia* (Bromeliaceae). *J. Plant Physiol.* 163:648-656.
- Živa F. P. N., K. K. J. Kulju, S. E. C. Sierra, P. BAAS, and P. C. V. Welzen. 2012. Leaf anatomy of *Mallotus* and the related genera. *Blumeodendron* and *Hancea* (Euphorbiaceae *sensu stricto*). *Botanical Journal of the Linnean Society* 169 : 645-676.
- 陳榮坤、楊純明 (2002)。簡介農作物光譜-植被光譜特徵與植物含水量關係。農業試驗所技術服務 第50期: 8-13。
- 廖君達 (2012)。植物茸毛及其防禦質在抗蟲上扮演的角色。臺中農業改良場專題討論專集: 231-235。
- 鄭博璋、郭庭君、廖子翔、蕭貫育、黃泓達、林頂立 (2021)。單寧酸現形記。中華民國第61屆中小學科學展覽會作品說明書。