

紫背萬年青葉片不同部位的氣孔特徵變化 與土壤水量多寡的相關性

萬喬琳¹ 陳翔昱² 歐韶蓁³ 陳品妤³ 林靖修⁴ 林庭妤³ 房樹生^{5*}

¹ 台南市立建興國民中學

² 國立臺南第二高級中學

³ 國立臺南女子高級中學

⁴ 國立臺南第一高級中學

⁵ 國立臺南家齊高級中學

摘要

本研究旨在探討當土壤水量改變後，紫背萬年青葉片不同部位的氣孔特徵是否會隨之調整改變，以了解紫背萬年青可否藉由氣孔特徵的變化，來適應環境中水量的改變。本研究先利用透明指甲油觀察並拍攝葉片下表皮葉尖、葉中及葉基的氣孔，再利用 image J 軟體測量三個部位氣孔特徵的差異。結果顯示，葉尖的氣孔密度與氣孔開啟面積最大，因此推測葉片不同部位氣孔特徵的差異，可能是一種植物對於水分的適應。為了驗證以上的假說，分別以不同水量澆灌植物，結果發現，在高水的環境下，氣孔密度在長時間的變化趨勢為葉尖變多，葉基變少；在低水的環境下，氣孔密度在長時間的變化趨勢為葉尖變少，葉基變少，且葉尖變化斜率較小。由以上的結果可推論，紫背萬年青葉片不同部位的氣孔特徵差異及變化，與其適應環境中水量多寡有關。

*為本文通訊作者

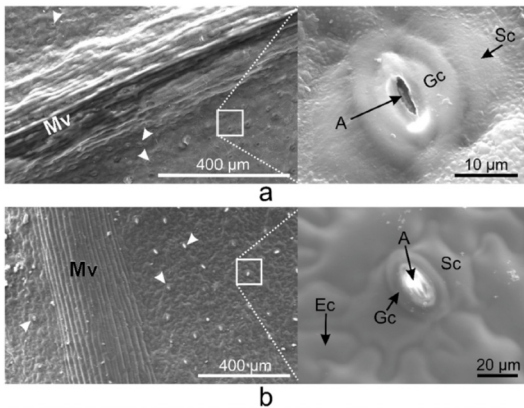
壹、前言

水對於植物的生存至關重大，除了可作為細胞內代謝反應的溶劑外，在光合作用的光反應中，水也是電子的提供者，協助將光能轉換成 ATP，以提供固碳反應的順利進行。但環境中的水分常常是變動的，在天擇的作用下，植物體的外部形態與內部生理反應，都會根據環境水分的多寡做出適當的變化。例如植物的葉子大小、葉脈結構和耐旱能力就具有明顯的相關性，具有較高葉脈密度和較小葉子的植物有較高的耐旱能力 (Christine Scoffoni, et. al., 2011)。

葉片氣孔由成對的保衛細胞圍繞而成，是氣體進出植物體的主要通道。氣孔的出現是植物適應陸地環境的重要演化特徵，當植物登陸後，生存所遇到的最大難題有二：水分的開源與節流，及生殖方式的改變。在水分適應的部分，減少植物體水分散失的方式，主要是體表出現角質層等防水構造；增加植物體攝取水分的方式，主

要是出現維管束組織協助水分運輸，及葉片出現氣孔構造行蒸散作用，才能將水分由根部維管束往上運送到葉肉細胞進行光合作用。生殖的適應則是由體外受精方式改變成體內受精，並形成胚胎的保護構造，後期出現的種子植物更是出現了種子及果實等構造（黃怡清，2015）。

不同種的植物具有不同的遺傳特性，且生活環境也不盡相同，因此葉片表面的氣孔分布與氣孔特徵也會有所差異。以小長春花與大長春花為例，兩者屬於同屬植物，但兩者的氣孔大小與氣孔密度差異很明顯（圖一）（Alexandra Ciorîț et. al., 2021）。



圖一：不同植物葉片下表皮的掃描式電子顯微鏡圖。(a) 小長春花，(b) 大長春花。A—氣孔，Ec—表皮細胞，Gc—保衛細胞，Mv—葉脈，Sc—輔助細胞。（圖片來源：Alexandra Ciorîț et. al., 2021）。

貳、研究目的

本研究探討的問題是，同一植物葉片不同部位的氣孔特徵的差異（氣孔密度、氣孔開啟面積等），是否與水分的適應有關？當土壤中的水量改變後，葉片不同部位的

氣孔特徵是否也會隨之調整改變呢？因此本實驗的目的有二：

- 一、了解紫背萬年青葉片下表皮不同部位（葉尖、葉中、葉基）的氣孔特徵差異，與水分適應的相關性。
- 二、了解土壤中水量多寡對於紫背萬年青葉片下表皮不同部位（葉尖、葉中、葉基）氣孔特徵的影響。

參、研究設備及器材

- 生物材料：3 吋盆紫背萬年青（學名：*Tradescantia spathacea*）6 盆。
- 設備器材：複式顯微鏡、載玻片、蓋玻片、50mL 燒杯、滴管、透明指甲油、鑷子、數位相機（手機）、筆電、image J 軟體、Excel 軟體。

肆、研究過程與方法

- 一、紫背萬年青葉片下表皮不同部位（葉尖、葉中、葉基）的氣孔特徵差異。

- (一) 分別選取 3 吋盆紫背萬年青由上而下的第三片葉片（圖二），3 盆共選取三片，分別編號為 A、B、C。



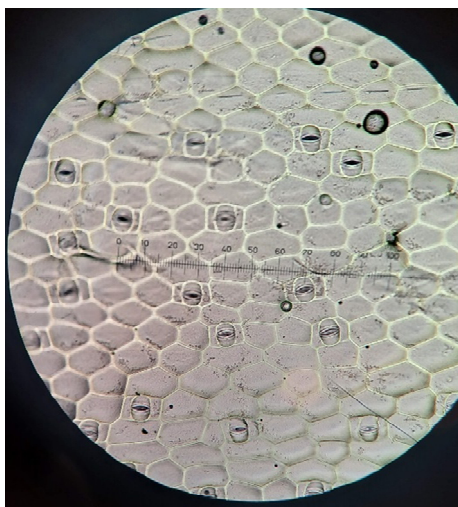
圖二：選取 3 盆紫背萬年青由上而下的第三片葉片

(二) 將每片葉片平均分成葉尖、葉中與葉基三個部位，均勻塗滿透明指甲油（圖三）。



圖三：將葉片平均分成葉尖、葉中與葉基三個部位

(三) 待指甲油完全乾燥後利用鑷子取下，置於載玻片上滴水觀察，在放大 100 倍的視野下，每個部位隨機選取五個視野拍照（圖四）。



圖四：放大 100 倍的視野下的下表皮

(四) 利用 image J 軟體，測量各葉片不同部位的氣孔特徵：氣孔密度（個 / mm^2 ）、氣孔長度（ μm ）、氣孔寬度（ μm ）、氣孔開啟面積（ μm^2 ），所有數據皆為三重複，以求得平均值

與標準差。不同部位的氣孔特徵數據會利用 T-TEST 的統計法，以求得數據間是否有顯著差異。

二、分多寡對於紫背萬年青葉片下表皮不同部位（葉尖、葉中、葉基）氣孔特徵的影響。

(一) 選取 3 盆 3 吋盆紫背萬年青，每 3 天分別澆水 30mL（高水）、15mL（中水）、7.5mL（低水），24 小時照光（目的在加速光合作用進行，加大水分差異對植物氣孔特徵變化的影響），上方第一片葉片的照度控制為 5000 lux（圖五），連續澆灌四周。



圖五：不同水量處理的紫背萬年青 3 吋盆（由左而右分別為低水、中水、高水）。

(二) 每周分別重新選取由上而下的第三片葉片，每片葉片平均分成葉尖、葉中與葉基，利用透明指甲油及 image J 軟體，測量氣孔密度（個 / mm^2 ）、氣孔開啟面積（ μm^2 ），連續觀察四周，分析不同水量對氣孔

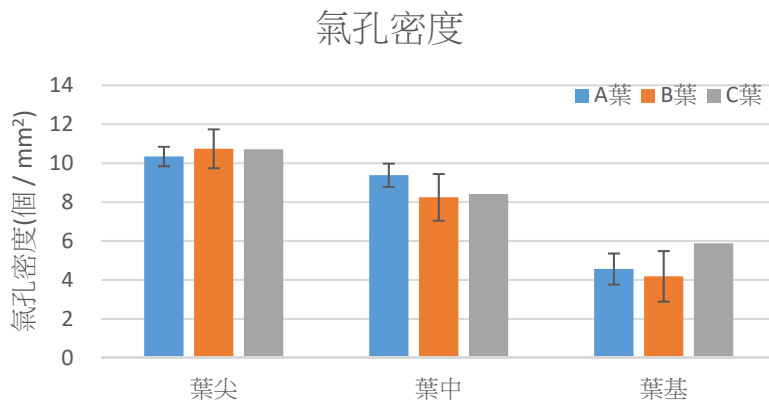
特徵的影響，所有數據皆為三重複，以求得平均值與標準差。不同時間與部位的氣孔特徵數據利用 T-TEST 的統計法，以求得數據間是否有顯著差異。

伍、研究結果與討論

一、紫背萬年青葉片下表皮不同部位（葉尖、葉中、葉基）的氣孔特徵差異，與水分適應的相關性。

（一）氣孔密度的變化

由於水分是由根往葉的方向運送，葉尖離根最遠，水分的運送效率最差，而葉尖的氣孔密度最大，可以增強葉尖細胞的蒸散作用，協助水分運送至根尖，因此本研究假設葉尖的氣孔密度最大。分別獨立選取 3 盆紫背萬年青的三片葉片，其下表皮不同部位的氣孔密度差異結果具有一致性：葉尖 > 葉中 > 葉基（圖六），且三個部位的氣孔密度平均值具有顯著以上的差異，此結果符合研究假設。



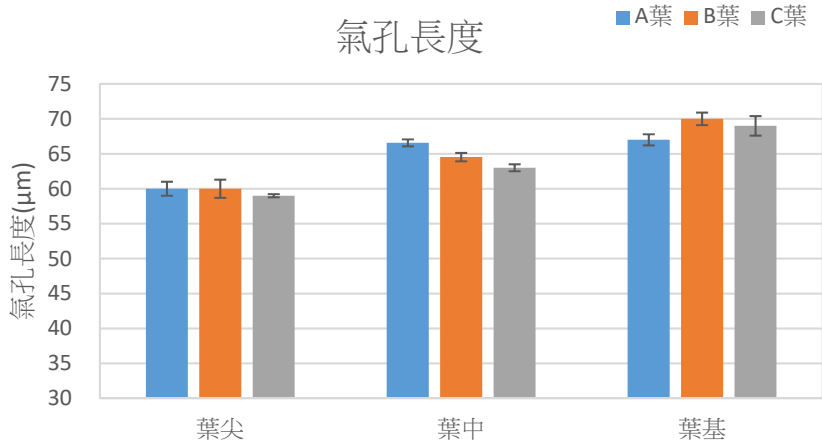
圖六：三個葉片下表皮不同部位的氣孔密度比較。葉中的氣孔密度與葉尖相比呈現顯著差異 ($p < 0.05$) ($n=3$)；葉基的氣孔密度與葉尖相比有非常顯著差異 ($p < 0.005$)

假設二：氣孔長度：葉基 > 葉中 > 葉尖

（二）氣孔長度的變化

同樣的推論，葉尖離根最遠，水分的運送效率最差，那麼氣孔開啟面積變大，可以增強葉尖的蒸散作用，而氣孔開啟時氣孔長度會變小，因

此預期葉尖氣孔長度會最小。量測下表皮不同部位的氣孔長度結果：葉基 > 葉中 > 葉尖（圖七），且三個獨立採樣的葉片結果都具有一致性，且三個部位的氣孔長度平均值具有顯著差異，此結果也符合研究假設。



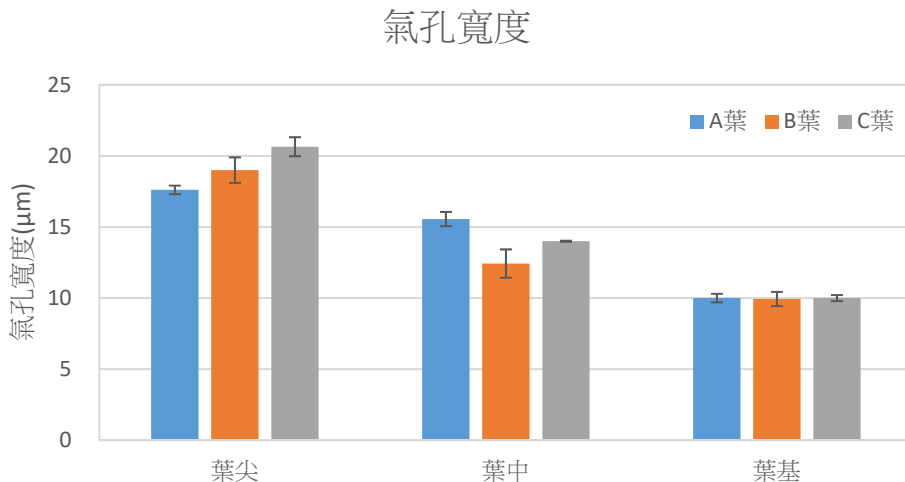
圖七：三個葉片下表皮不同部位的氣孔長度比較。葉中與葉基的氣孔長度與葉尖相比呈現顯著差異 ($p < 0.05$) ($n=3$)。

假設三：氣孔寬度：葉尖 > 葉中 > 葉基

(三) 氣孔寬度的變化

同樣地，本研究預期葉尖的氣孔開啟面積最大，而氣孔開啟時氣孔寬度會變大，因此預期葉尖氣孔寬度最大。下表皮不同部位的氣孔寬度

結果：葉尖 > 葉中 > 葉基 (圖八)，和本研究的假設一致，三個獨立採樣的葉片結果都具有一致性，且三個部位的氣孔寬度平均值具有顯著以上的差異，此結果符合研究假設。



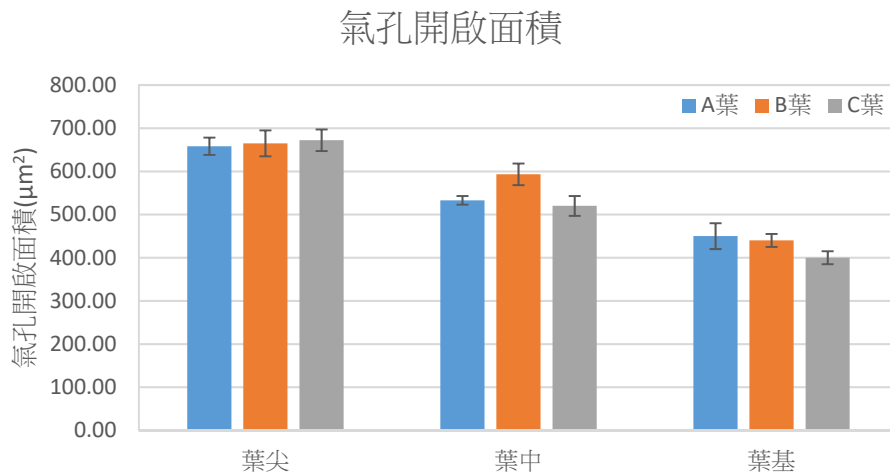
圖八：三個葉片下表皮不同部位的氣孔寬度比較。葉中的氣孔寬度與葉尖相比呈現顯著差異 ($p < 0.05$) ($n=3$)；葉基的氣孔寬度與葉尖相比有非常顯著差異 ($p < 0.005$) ($n=3$)。

假設四：氣孔開啟面積：葉尖 > 葉中
> 葉基

(四) 氣孔開啟面積的變化

與其他兩部位相比，葉尖的氣孔長度最小，氣孔寬度最大，因此本研究預期葉尖的氣孔開啟面積應該最大。下表皮不同部位的氣孔開啟面

積結果：葉尖 > 葉中 > 葉基(圖九)，確實和本研究假設一致，且三個獨立採樣的葉片結果都具有一致性，且三個部位的氣孔開啟面積平均值具有顯著差異，此結果完全符合研究假設。



圖九：三個葉片下表皮不同部位的氣孔開啟面積比較。葉中與葉基的氣孔開啟面積與葉尖相比呈現顯著差異 ($p < 0.05$) ($n=3$)。

生物經過長時間的天擇，個體具有許多適應的特徵，使得族群得以在多變的環境下生生不息的繁衍，本實驗探討的紫背萬年青下表皮不同部位的氣孔特徵差異，就是一個生物適應生存環境很好的例子。葉尖的氣孔密度與氣孔面積比其他葉片的其他部位大，可以促進蒸散作用的效率，增加葉尖葉肉細胞獲得較多的水分，有利於光合作用的進行，以克服葉尖離根部最遠的先天水分不足的限制。

當環境的水量過多或過少時，水分運送至葉尖的效率可能會變好或變差，因此

葉片不同部位的氣孔特徵會有不同的趨勢變化，使得植物體得以存活。植物對水量變化可能的適應方式是：

高水的環境：由於水分是充足的，因此氣孔密度與氣孔開啟面積在長時間的變化趨勢：葉尖變多，葉基變少。低水的環境：由於水分是不足的，因此氣孔密度與氣孔開啟面積在長時間的變化趨勢：葉尖變少，葉基變少，且葉尖變化斜率較小。

接下來本研究設計以下實驗，分別以不同水量澆灌植物，驗證紫背萬年青葉片不同部位的氣孔特徵差異，與其適應土壤

中水量多寡有關的假設。

二、探討土壤水量多寡對於紫背萬年青葉片下表皮不同部位（葉尖、葉中、葉基）氣孔特徵的影響。

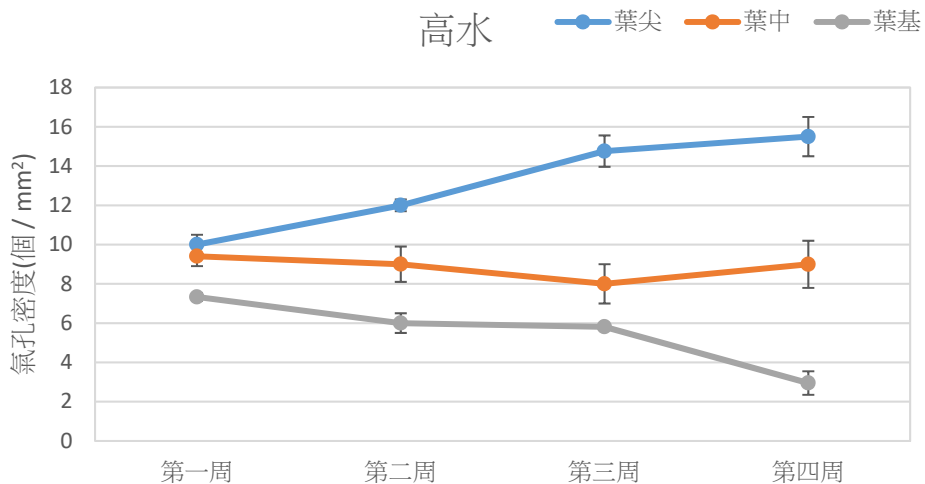
假設五：

高水環境下氣孔密度在長時間的變化趨勢：
葉尖變多，葉基變少。

低水環境下氣孔密度在長時間的變化趨勢：
葉尖變少，葉基變少，且葉尖變化斜率較小。

（五）氣孔密度的變化

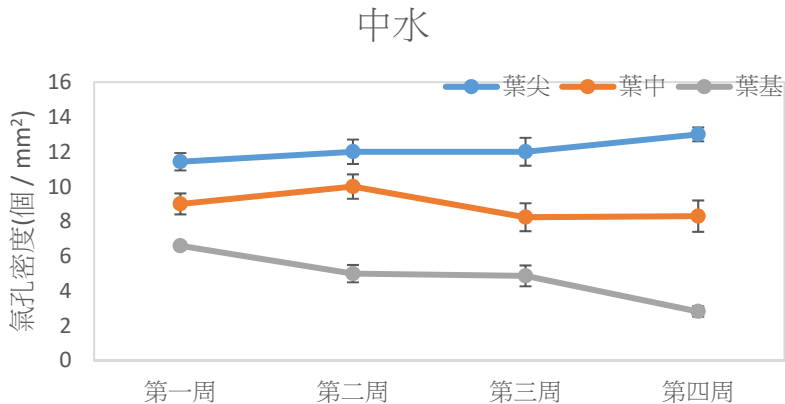
在高水環境下，氣孔密度長時間的變化趨勢符合預期：葉尖的折線圖斜率為正，代表氣孔密度會隨時間增加而變多；葉基的折線圖斜率為負，代表氣孔密度會隨時間增加而變少，且葉尖與葉基的氣孔密度變化都具有顯著差異（圖十）。葉片不同部位的氣孔密度變化趨勢不同，代表不同部位的氣孔特徵差異與植物適應環境中水量變化有關。



圖十：連續四周的高水環境下，葉片下表皮不同部位的氣孔密度的變化。葉尖的第三周與第四周的氣孔密度變化具有顯著差異 ($p < 0.05$) ($n=3$)；葉基的第四周氣孔密度變化具有顯著差異 ($p < 0.05$) ($n=3$)。

在中水環境下，氣孔密度長時間的變化趨勢符合預期：葉尖的折線圖斜率仍為正，但斜率變化比高水環境小，且無顯著

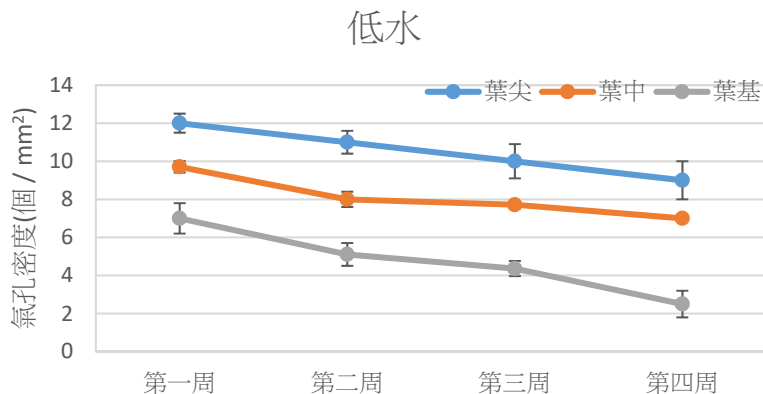
差異；葉基的折線圖斜率仍為負，且第四周呈現顯著差異，代表氣孔密度會隨時間增加而變少（圖十一）。



圖十一：連續四周的中水環境下，葉片下表皮不同部位的氣孔密度的變化。葉基的第四周氣孔密度變化具有顯著差異 ($p < 0.05$) ($n=3$)。

在低水環境下，氣孔密度長時間的變化趨勢符合預期：葉尖的折線圖斜率為負，且第四周有顯著差異，代表氣孔密度會隨時間增加而變少，可以減少水分蒸散；葉基的折線圖斜率也為負，且第三周與第四周具有顯著以上的差異，代表氣孔密度會隨時間增加而變少，且變化斜率大於葉尖

(圖十二)。在高水環境時，葉尖的氣孔密度會隨時間變大(圖十)，而低水環境時，葉尖的氣孔密度則隨時間變小，代表當土壤中的水量改變後，葉片不同部位的氣孔特徵也會隨之調整改變，這可能是植物適應環境中水分多寡的一種方式。



圖十二：連續四周的低水環境下，葉片下表皮不同部位的氣孔密度的變化。葉尖第四周的氣孔密度變化具有顯著差異 ($p < 0.05$) ($n=3$)；葉基的第三周氣孔密度變化具有顯著差異 ($p < 0.05$) ($n=3$)，第四周氣孔密度變化具有非常顯著差異 ($p < 0.005$) ($n=3$)。

假設六：

高水環境下氣孔開啟面積在長時間的變化

趨勢：葉尖變多，葉基變少。

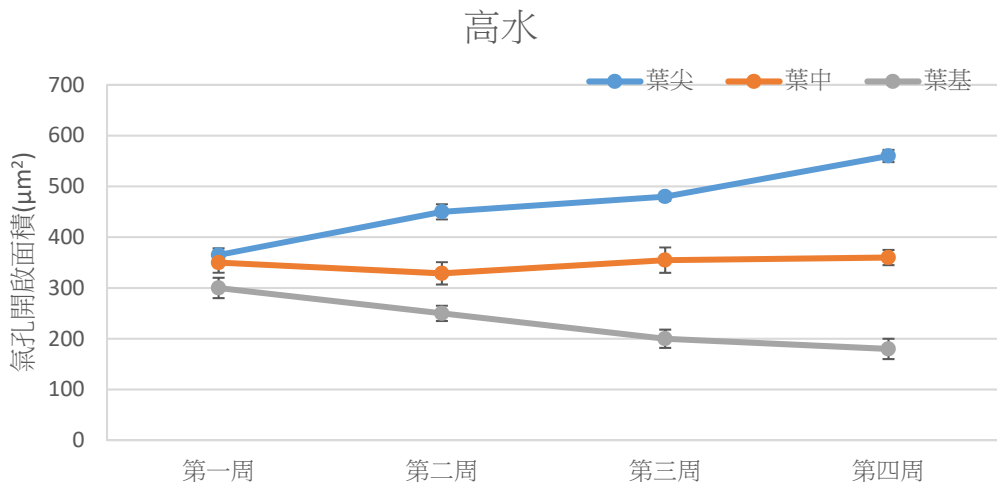
低水環境下氣孔開啟面積在長時間的變化

趨勢：葉尖變少，葉基變少，且葉尖變化斜率較小。

(六) 氣孔開啟面積的變化

在高水環境下，氣孔開啟面積長時間的變化趨勢符合預期：葉尖的折線圖斜率為正，且第四周有顯著差

異，代表氣孔開啟面積會隨時間增加而變多；葉基的折線圖斜率為負，且第四周有顯著差異，代表氣孔開啟面積會隨時間增加而變少（圖十三）。葉片開啟面積的變化趨勢與氣孔密度的變化趨勢一致，此結果也可證實不同部位的氣孔特徵差異可能與植物適應環境中水量變化有關。



圖十三：連續四周的高水環境下，葉片下表皮不同部位氣孔開啟面積的變化。葉尖與葉基的第四周氣孔開啟面積變化都具有顯著差異 ($p < 0.05$) ($n=3$)，但葉尖斜率變化為正，葉基斜率變化為負。

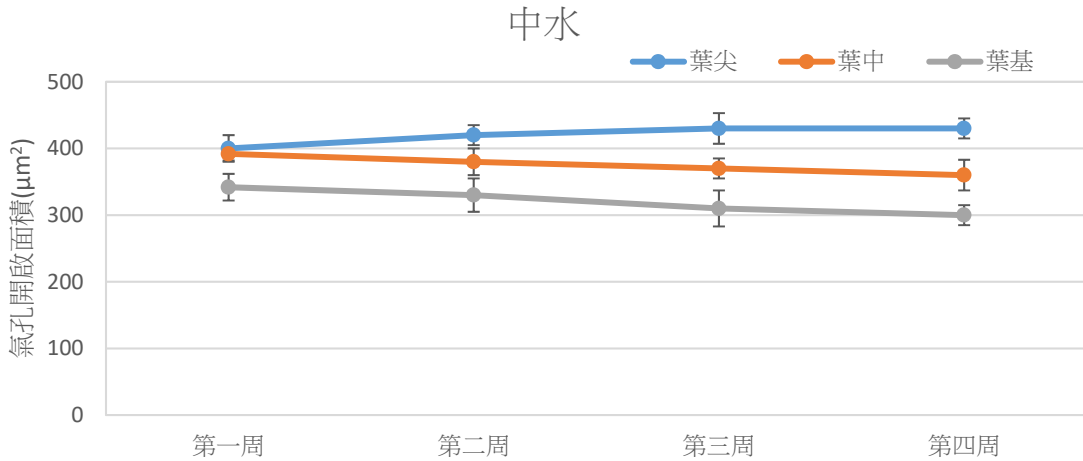
在中水環境下，氣孔開啟面積長時間的變化趨勢符合預期：葉尖的折線圖斜率仍為正，但斜率變化比高水環境小；葉基的折線圖斜率仍為負，代表氣孔開啟面積會隨時間增加而變少（圖十四）。

在低水環境下，氣孔開啟面積長時間的變化趨勢符合預期：葉尖的折線圖斜率為負，且第四周具有顯著的差異，代表氣

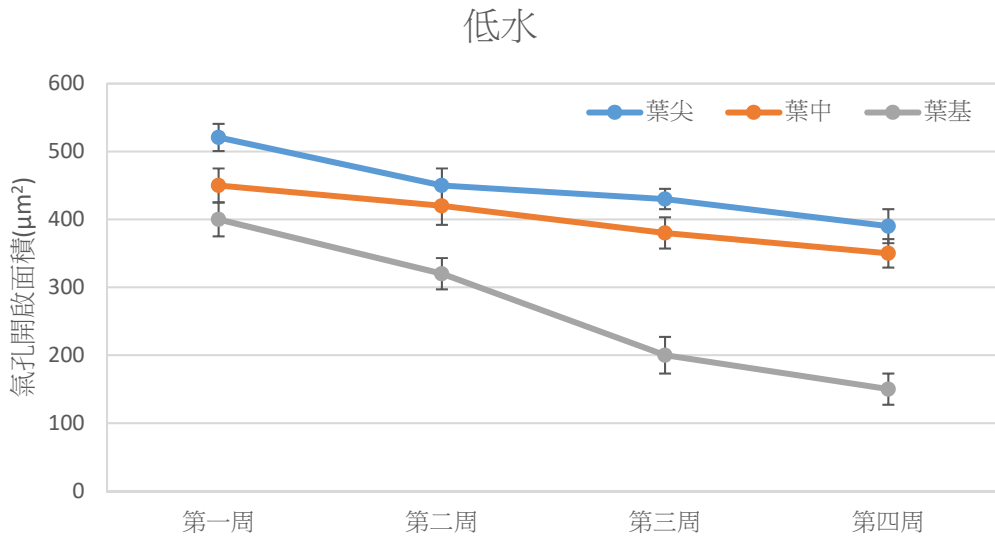
孔開啟面積會隨時間增加而變少，可以減少水分蒸散；葉基的折線圖斜率為負，且第三周與第四周具有顯著以上的差異，代表氣孔開啟面積會隨時間增加而變少，且變化斜率大於葉尖（圖十五）。在高水環境時，葉尖的氣孔開啟面積會隨時間變大（圖十三），而低水環境時，葉尖的氣孔開啟面積則隨時間變小，這個結果和土壤中不同

水量造成氣孔密度的變化是一致的。以上的結果也更進一步地確認，葉片不同部位

的氣孔特徵會隨著土壤中的水量變化而調整，與植物適應環境中水分多寡有關。



圖十四：連續四周的中水環境下，葉片下表皮不同部位的氣孔開啟面積的變化。



圖十五：連續四周的低水環境下，葉片下表皮不同部位的氣孔開啟面積的變化。葉尖與葉中第四周的氣孔面積變化具有顯著差異 ($p < 0.05$) ($n=3$)；葉基的第三周氣孔面積變化具有顯著差異 ($p < 0.05$) ($n=3$)，第四周具有非常顯著差異 ($p < 0.005$) ($n=3$)。

陸、結論與建議

本研究以紫背萬年青為例，探討植物體對於水的適應方式。紫背萬年青對於水分的適應能力很強，它可以調節葉片不同部位的氣孔密度、氣孔長度、氣孔寬度和氣孔開啟面積等特徵，以適應環境中水量的變化。在高水的環境中，紫背萬年青葉片的氣孔密度和氣孔開啟面積會比在低水的環境中更大，這是為了幫助植物體排出多餘的水分，避免過度吸收水分導致植物過度膨脹。隨著時間的變化，紫背萬年青葉片不同部位的氣孔密度和氣孔開啟面積也會發生變化，這是因為植物需要根據環境中水量的變化來調節自身的水分吸收和排放。

未來的研究方向可以進一步研究植物調節氣孔密度、氣孔長度、氣孔寬度和氣孔開啟面積等特徵的生理和生化機制，以更好地理解植物對水分的適應能力。也可以進行橫向比較，探討不同植物在環境變化下的生理和生態適應能力，以了解不同植物的適應策略和演化歷程。

研究紫背萬年青植物對環境變化的適應能力，可以進一步探討紫背萬年青植物對於環境變化的適應能力，如氣候變化、土壤酸鹼度變化等，以了解植物對於多變的環境的適應能力。將來也可繼續探討氣孔特徵與植物生長和產量的關係，可以進一步探討植物不同部位的氣孔特徵與植物生長和產量的關係，以了解氣孔特徵對於植物生長和產量的影響，並為農業生產提供參考。

柒、參考文獻資料

- 黃怡清 (2015)。六種蕨類葉片的氣孔對藍光與二氧化碳濃度之反應。國立台灣大學生命科學院生態學與演化生物學研究所：碩士論文。
- Alexandra Ciorîţ, & Septimiu Cassian Tripon, & Ioan Gabriel Mircea, & Dorina Podar, & Lucian Barbu-Tudoran, & Cristina Mircea, & Marcel Pârnu (2021). The Morphological and Anatomical Traits of the Leaf in Representative Vinca Species Observed on Indoor-andOutdoor-Grown Plants. *Plants*, 10 (622), 1-15.
- Christine Scoffoni, & Michael Rawls, & Athena McKown, & Herve' Cochard, & Lawren Sack(2011). Decline of Leaf Hydraulic Conductance with Dehydration: Relationship to Leaf Size and Venation Architecture. *Plant Physiology*, 156, 832-843.