

2024 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告表單

題目名稱：探討落地生根在光照逆境下的氣孔動態

一、摘要

本研究旨在深入探討落地生根 (*Kalanchoe pinnata*) 在光照逆境下的氣孔調節，我們研究了植物氣孔對光照的反應，驗證其調整氣孔長度和數量的能力，預期結果可深入植物氣體交換機制。此外，我們以 Image J 計算氣孔分佈，並以指甲油印模法觀察光照實驗下的氣孔，以全面了解植物的適應策略和生理特性。我們發現，隨著光照時間縮短，植物的氣孔密度上升；光照時間延長，氣孔密度則下降，同時氣孔大小略微上升。這揭示了植物對過量光照時間的適應機制，並顯示在強光下，光照時間對氣孔的密度和長度與下降程度呈現負相關。

二、探究題目與動機

近年來，人類活動已經成為了氣候變遷的主因之一。人類活動所造成的碳排放與工業上所排放對環境有害的氣體，對大氣中溫室氣體含量的變化有著劇烈的影響。目前大氣中的二氧化碳、甲烷和一氧化二氮濃度已達到過去 80 萬年以來的高峰 (政府間氣候變遷委員會，2007)。

隨著氣候的變遷，當今的環境對多數植物來說是較難以生存的。課本中提到，植物在生存時會遇到的逆境包含水分、溫度、鹽分與環境等變因。其中，我們認為光強度變化帶來的影響可謂甚鉅，因為這兩者與植物光合作用中的光反應息息相關。我們想要從植物的氣孔著手，了解植物在逆境底下的生理變化。我們先選擇了 CAM 循環的落地生根作為我們的模式生物，因為其栽培方式十分容易，不需要特別肥沃土壤或良好環境，且其常見於生活周遭。

三、探究目的與假設

目的：探討植物在不同光照逆境下的氣孔調節機制，透過指甲油印模法，研究不同光照強度下的氣孔變化程度。深入理解植物對環境變化的適應機制，提供植物生長管理的科學基礎。

假設：（一）落地生根於不同光強度下的氣孔生長狀況會有差異。

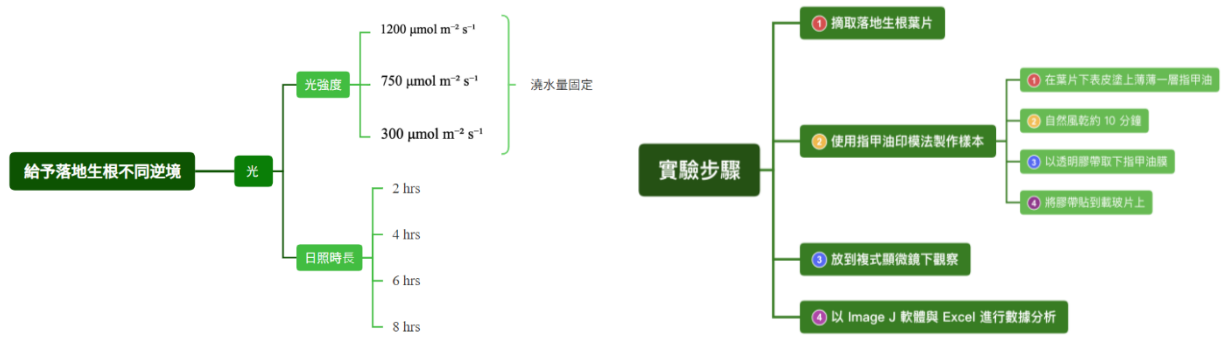
（二）落地生根於不同光照暴露時間的氣孔生長狀況會有差異。

四、探究方法與驗證步驟

一、實驗設備與器材

全光譜育苗植物燈、顯微鏡電子目鏡攝像頭、複試顯微鏡、目鏡測微器、指甲油、膠帶

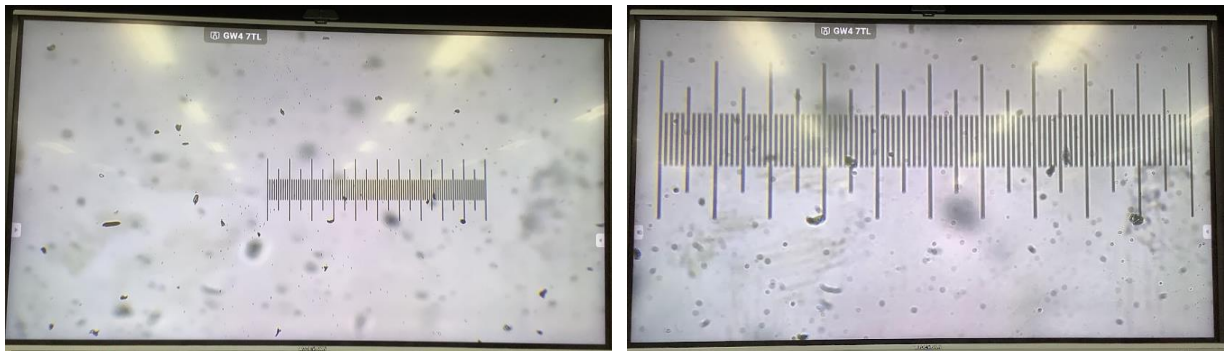
二、研究架構與步驟



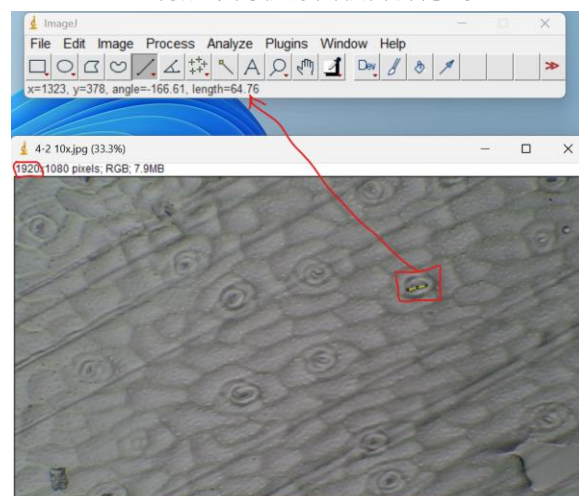
圖一、實驗設計架構圖與實驗步驟架構圖

三、數據收集

在此實驗中，我們主要分析兩種應變變因，分別為氣孔密度及氣孔大小（長度），而接下來是測量這兩種變因的方式與流程：在測量氣孔密度與大小時，我們須先知道整個視線的實際總長度以求得總面積。在得知面積以後，便可以利用氣孔密度公式「個數 / mm²」來計算氣孔密度。而在氣孔長度方面，我們利用軟體 Image J 精密測量氣孔長與視線下邊長的比例，再藉由已知的視線下邊長長度，最終求出氣孔大小。



圖二、物鏡下的視線面積計算應用圖。

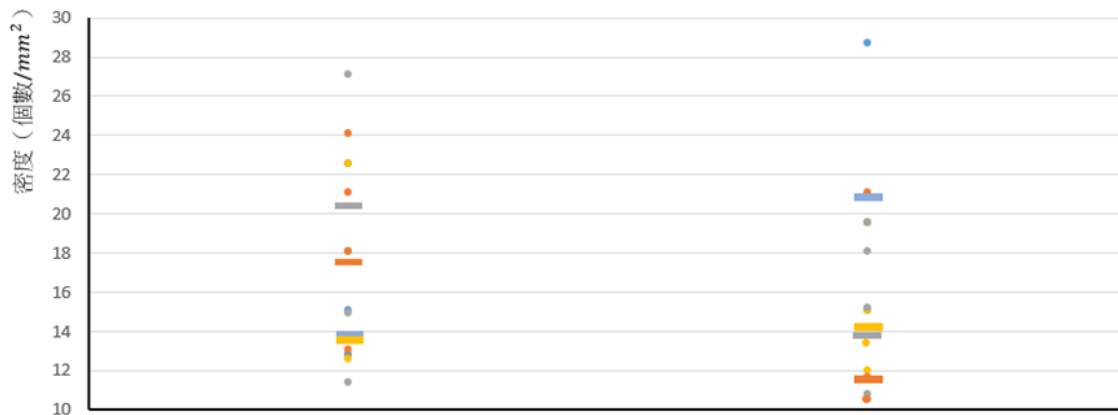


圖三、Image J 軟體操作示意圖。

四、落地生根在不同光強度與不同照光時間下之分析

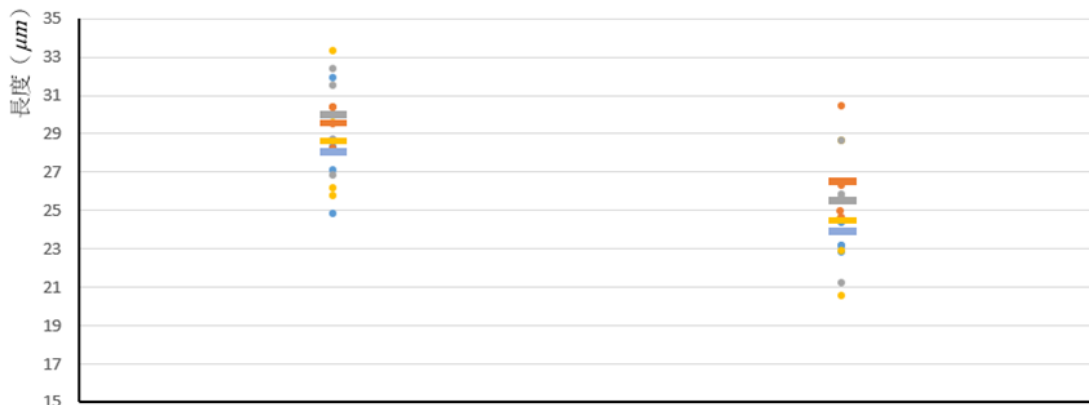
(一) 植物在 $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下不同照光時數之氣孔生長情形

在 $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下照射一星期後，日照 2hrs 的氣孔密度大幅度上升，從 13.95 ± 3.89 攀升到 20.99 ± 5.70 個 / mm^2 ，日照 4hrs 的氣孔密度則僅微幅上升，前後分別為 13.74 ± 4.14 及 14.12 ± 2.84 個 / mm^2 。而日照 6hrs 及 8hrs 組別中，氣孔密度皆呈大幅下降趨勢，分別從 20.26 ± 5.83 到 13.86 ± 3.33 個 / mm^2 ，及從 17.64 ± 4.08 到 11.76 ± 4.43 個 / mm^2 (圖四)。



圖四、 $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下氣孔密度 (個數 / mm^2) 分布圖

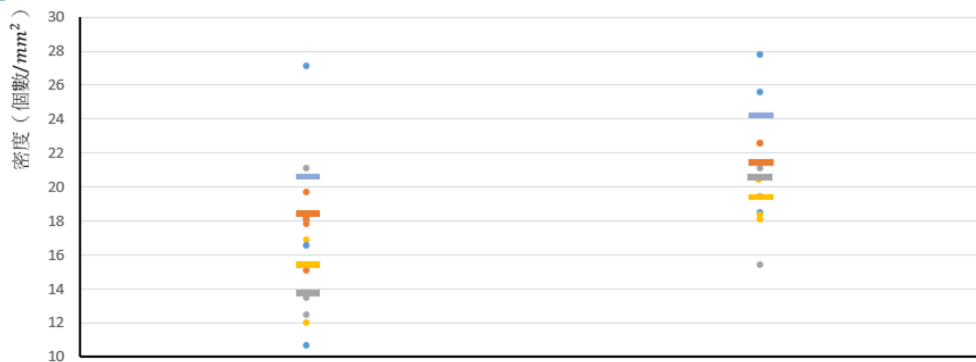
經過一星期的實驗後，各組的氣孔長度都有一定下降的趨勢。日照 2hrs 的組別中，其氣孔長度前後分別為 28.06 ± 2.55 及 $23.48 \pm 0.68 \mu\text{m}$ ，日照 4hrs 組別的氣孔長度從 28.72 ± 3.04 下降至 $24.36 \pm 2.94 \mu\text{m}$ 。日照 6hrs 組別的氣孔長度則從 28.89 ± 2.22 降至 $25.35 \pm 2.66 \mu\text{m}$ 。最後，日照 8hrs 組別自 29.65 ± 0.88 降至 $26.61 \pm 2.33 \mu\text{m}$ (圖五)。



圖五、 $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下氣孔長度 (μm) 分布圖

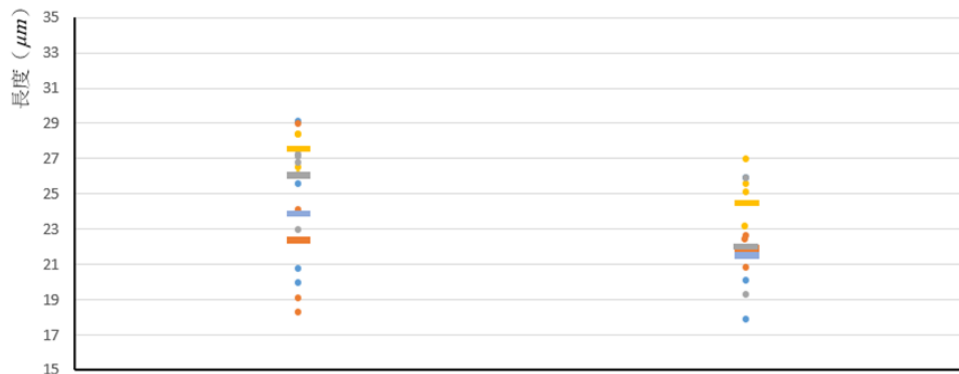
(二) 植物在 $750 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下不同照光時數之氣孔生長情形

在 $750 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下照射一星期後，所有組別皆呈現上升趨勢。其中，日照 2hrs 組別從 21.34 ± 8.36 上升到 24.10 ± 5.75 個 / mm^2 ，日照 4hrs 組別中，前後分別為 15.46 ± 4.18 及 19.54 ± 1.82 個 / mm^2 ($P < 0.01$)。而日照 6hrs 的氣孔密度從 13.95 ± 3.47 大幅上升至 20.31 ± 7.99 個 / mm^2 。最後，日照 8hrs 的氣孔密度則從 18.29 ± 1.67 到 21.31 ± 5.16 個 / mm^2 (圖六)。



圖六、750 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下氣孔密度 (個數 / mm^2) 分布圖

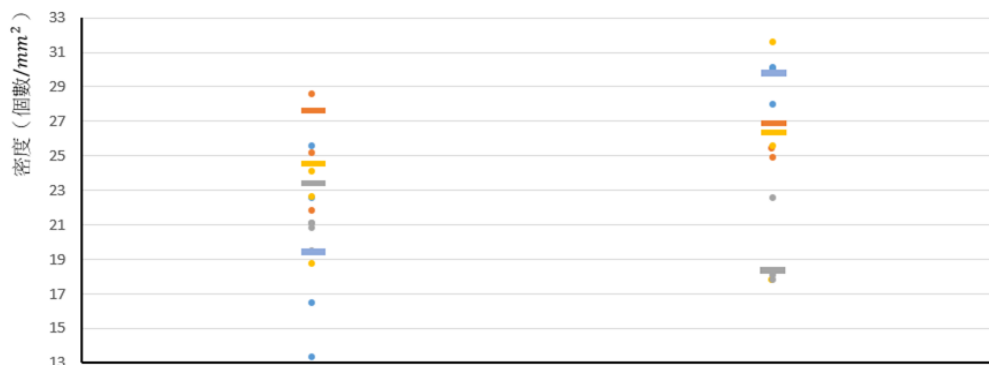
經過一星期的實驗後，各組的氣孔長度都有不同程度下降的趨勢。日照 2hrs 的組別中，其氣孔長度前後分別為 23.88 ± 3.73 及 $21.43 \pm 2.93 \mu\text{m}$ ，日照 4hrs 組別的氣孔長度從 27.38 ± 1.05 下降至 $25.21 \pm 1.37 \mu\text{m}$ 。日照 6hrs 組別的氣孔長度則從 26.03 ± 1.78 降至 $22.25 \pm 2.37 \mu\text{m}$ 。最後，日照 8hrs 組別下降幅度最少，自 22.62 ± 4.32 降至 $21.89 \pm 0.71 \mu\text{m}$ (圖七)。



圖七、750 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下氣孔長度 (μm) 分布圖

(三) 植物在 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下不同照光時數之氣孔生長情形

在 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下照射一星期後，整體呈現上升趨勢。其中，日照 2hrs 組別從 16.22 ± 4.85 巨幅上升 ($P < 0.01$) 到 29.48 ± 2.42 個 / mm^2 ，日照 4hrs 組別中，前後分別為 21.75 ± 5.27 及 26.36 ± 7.97 個 / mm^2 。而日照 6hrs 的氣孔密度則小幅下滑，從 20.25 ± 0.67 降至 18.36 ± 1.97 個 / mm^2 。最後，日照 8hrs 的氣孔密度則從 24.51 ± 4.19 小幅上升到 26.98 ± 7.60 個 / mm^2 (圖八)。



圖八、300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下氣孔密度 (個數 / mm^2) 分布圖

經過一星期的實驗後，各組的氣孔長度都有不同程度下降的趨勢。日照 2hrs 的組別中，其氣孔長度前後分別為 25.09 ± 1.99 及 $21.11 \pm 2.71 \mu\text{m}$ ，日照 4hrs 組別的氣孔長度從 26.38 ± 3.25 下降至 $24.32 \pm 2.32 \mu\text{m}$ 。日照 6hrs 組別下降幅度最少，氣孔長度則從 24.27 ± 1.77 降至 $23.03 \pm 2.03 \mu\text{m}$ 。最後，日照 8hrs 組別氣孔密度自 27.08 ± 2.83 降至 $23.76 \pm 0.29 \mu\text{m}$ (圖九)。



圖九、 $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下氣孔長度 (μm) 分布圖

五、結論與生活應用

一、結論

(一) 植物在 $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下不同照光時數之氣孔生長情形

對照前測與後測的數據可以發現，在光強度為 $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 時，光照時數較短的兩組成上升趨勢，而較長的兩組則呈現下降趨勢。由此可知在此光強度下，落地生根適合日照時數介於四到六小時之間，超過六小時可能導致葉綠素被大量破壞。

(二) 植物在 $750 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下不同照光時數之氣孔生長情形

對照前測與後測的數據可以發現，皆在 $750 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的光強度照射下氣孔密度上升，並以 6hrs 的落地生根幅度最大。這是因為隨著光強度逐漸降至正常強度，葉綠體的數量漸回歸正常，導致保衛細胞數量及氣孔密度皆呈上升趨勢。

(三) 植物在 $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下不同照光時數之氣孔生長情形

對照前測與後測的數據可以發現，除了照光 6hrs 以外的實驗組 (2 hrs、4 hrs、8 hrs)，皆在 $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的光強度照射下氣孔密度上升，而光照時間越短，氣孔密度的上升幅度最大。由此可知在此光強度下，整體而言是適合植物的，但葉綠素濃度仍以光照 2 小時為最多。

二、生活應用

(一) 農業方面：

透過觀察氣孔的生長動態，可以追蹤一株植物的生長狀況，並藉由給予不同的變因尋找出最適合該植物生長的環境。以本研究中的實驗為例，我們藉由這套流程，發現落地生根最適合在光強度 $750 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的環境下生長。

(二) 氣候適應：

隨著氣候變化導致極端天氣事件增加，現在的生態環境日益嚴峻。藉由這項研究，可從氣孔著手，以了解植物在植物在光逆境底下的生理變化，並藉此幫助植物適應近年來劇烈的氣候變化。

參考資料

1. 劉玉山、張永達。(2009)。植物對低溫的反應。科學 Online。
2. 劉玉山、張永達。(2009)。植物對缺水逆境 (Water deficit) 的反應。科學 Online。
3. 高景輝。(2006)。淹水逆境下之植物生理。國立台灣大學農藝學系。
4. 洪明谷、宋妤。(2013)。光強度對瑞喜結球白菜 (*Brassica rapa pekinensis*) 種苗生長之影響。國立中興大學園藝學系。
5. 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，365 期。
6. Fulei Mo, Xiaopeng Xue, Lingjun Meng, Yao Zhang, Yuling Cui, Jiayin Liu, Mozhen Cheng, Peiwen Wang, Rui Lv, Fanyue Meng, Haonan Qi, Youwen Qiu, Aoxue Wang. (2023).
7. Genome-wide identification and expression analysis of SLAC1 gene family in tomato (*Solanum lycopersicum*) and the function of SISLAC1–6 under cold stress. *Scientia Horticulturae*, volume 313.
8. 氣候變遷的原因。交通部中央氣象署。
https://www.cwa.gov.tw/V8/C/C/Change/change_4.html 【2023 年 12 月 15 日查詢】
9. 植物在逆境下的生理反應。國立清華大學。
<https://webmail.life.nthu.edu.tw/~lslty/phy/g1.html> 【2023 年 8 月 22 日查詢】
10. 陳柏勳、李芯叡、蕭莞芸。(2017)。保衛細胞不保衛？國立臺灣科學教育館。
<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=13521&sid=13570>
11. 洪瑋廷、黃怡宸、謝宇思。(2016)。淹淹「易」息－探討植物在淹水逆境下的生存機制。國立臺灣科學教育館。<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/030319.pdf>