

2022 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱：你所不知道的氣孔前世今生

一、摘要：

我們一直很好奇葉片上的小洞-氣孔是如何變出來的，在遍查不到資料下開始了這個主題的探究。過程中意外發現春不老保衛細胞在不同時期的芽與葉片(芽 1~5 及葉 1~5)有同步發育的現象，這讓我們有機會一窺保衛細胞如何由表皮細胞一步步發育而成的完整演變過程，且隨著葉片發育的演進，氣孔密度有逐漸變少，氣孔長度則逐漸變長的趨勢，並在葉 5 階段達到穩定；另發現其發育過程與光合作用啟動時期相關聯。遮光、連續照光及乾旱處理皆使各時期葉片的氣孔密度與長度提早往後面階段發育，包含氣孔密度更快降低及氣孔長度更快變長；其中連續照光更讓葉片直接超越了最終發育的葉 5 時期，因而造成氣孔變形；另外，乾旱處理則造成春不老形成氣孔簇的現象。

二、探究題目與動機

當我們從課本裡學到氣孔及保衛細胞時，即對它們結構的與眾不同十分感興趣，氣孔是氣體進出植物體的孔道，就如同房子的窗戶一般，是植物非常重要的構造。然而，課本中只提到植物的「葉片」及「草本植物的莖」有氣孔和保衛細胞，我們往往自己想當然爾，其他部位應該也要有氣孔吧！但不能眼見為憑總是令我們心中充滿問號，所以我們想實際觀察「植物到底哪些部位有氣孔？」。另外，文獻資料的記載多與蒸散作用及氣孔的開合有關，但我們更想知道葉片上「這特別的孔洞(氣孔)是何時開始出現的？是在葉部發育的早期就已出現，或是隨著葉片成熟才慢慢出現的？」，「它的發育過程又是如何演變的呢？」，最後，我們還想知道「保衛細胞與氣孔的發育會受環境因素影響嗎？」，於是展開我們的研究。

三、探究目的與假設

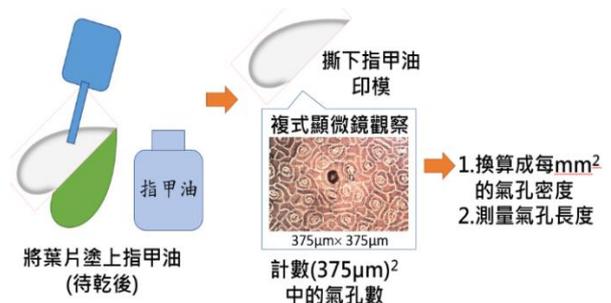
- (一)觀察植物哪些部位有氣孔。➡ 實驗發現：氣孔大多分佈在可行光合作用的部位。
- (二)觀察葉部氣孔的出現時機與發育過程。➡ 實驗發現：春不老非常適合做為此主題的觀察對象，故逐步記錄其保衛細胞與氣孔完整的演變過程。
- (三)假設春不老不同時期的葉片其氣孔的發育與光合作用的能力有關。➡ 實驗發現：二者相關。
- (四)探討光合作用要素(光線與水分)對春不老保衛細胞發育的影響。➡ 實驗發現：影響顯著。

四、探究方法與驗證步驟

◆研究架構：



◆研究器材及方法：透明膠帶、載玻片、指甲油、紙箱、照度計、夜間照明光源、土壤溼度感測計、3 吋盆栽數個、培養土、電子目鏡 Motacam S6



實驗一：觀察植物哪些部位有氣孔？

選取數種校園植物的葉片、花瓣、果實(由於季節性關係，校園植物的果實不是那麼容易取得，故部份以家中水果代替)，以指甲油印模法取得細胞外形並拍照後，利用軟體 Motic Image Plus 3.0 測量各部位氣孔密度 (stomatal density; SD) (邱相齡等人，2013)，每個數據都至少由同一部位的三張照片求得平均值，以下步驟皆同。結果如下表：

表 1 不同植物葉片上、下表皮氣孔密度比較表

植物種類	榕樹	樟樹	苦楝	椴果榕	仙丹	黃金露花	金寶花	圓葉椒	繡球花	日日春	腎蕨	鳥巢蕨	春不老	落地生根	綠豆苗	芹菜	白鶴靈芝
上表皮 氣孔密度 (SD) (個·mm ⁻²)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71.11	56.89	135.11	78.22	13
下表皮 氣孔密度 (SD) (個·mm ⁻²)	192	270.22	608	291.56	234.67	693.74	248.89	439.93	84.66	99.56	33.19	33.19	234.67	113.78	177.78	128	150

表 2 不同植物花朵上、下表皮氣孔密度比較表

植物種類	金寶花 花瓣	白鶴靈芝 花瓣	日日春 花瓣	玫瑰花 瓣	繡球花 花瓣	仙丹花 花瓣	洛神花 花瓣	洛神 萼片	麒麟花 苞片
上表皮 氣孔密度(SD) (個·mm ⁻²)	0	0	0	0	0	26.46	0	0	2.12
下表皮 氣孔密度(SD) (個·mm ⁻²)	0	16.92	3.17	2.12	17.99	49.78	2.12	66.67	156.44

表 3 不同植物果實表皮氣孔密度比較表

植物種類	苦楝	春不老	苦瓜	柳丁	金桔	香蕉	小黃瓜
果實表皮 氣孔密度(SD) (個·mm ⁻²)	0	0	35.56	40.3	113.78	4.74	84

發現所觀察的植物中，葉部的氣孔最多，且多分佈在下表皮，僅少部份植物的葉上表皮有氣孔；花瓣與果實的氣孔較少，甚至沒有，但花朵的其他部位如苞片、萼片則有較多的氣孔分佈；綠色果實-金桔與小黃瓜的氣孔也較多，使我們大膽推測：是否氣孔的形成部位與光合作用密切相關？在後續的實驗中也有相關的發現。

實驗二：觀察葉部氣孔的出現時機與發育過程。

(一)尋找葉部氣孔的出現時機

我們在生物課觀察葉下表皮時的保衛細胞都已經成形，然而，保衛細胞和相鄰的表皮細胞是非常不同的結構，我們想知道這葉部的孔洞(氣孔)是何時開始出現的？我們取不同植物「剛從頂芽發育成的最小幼葉」的下表皮做氣孔印模觀察，結果如下：

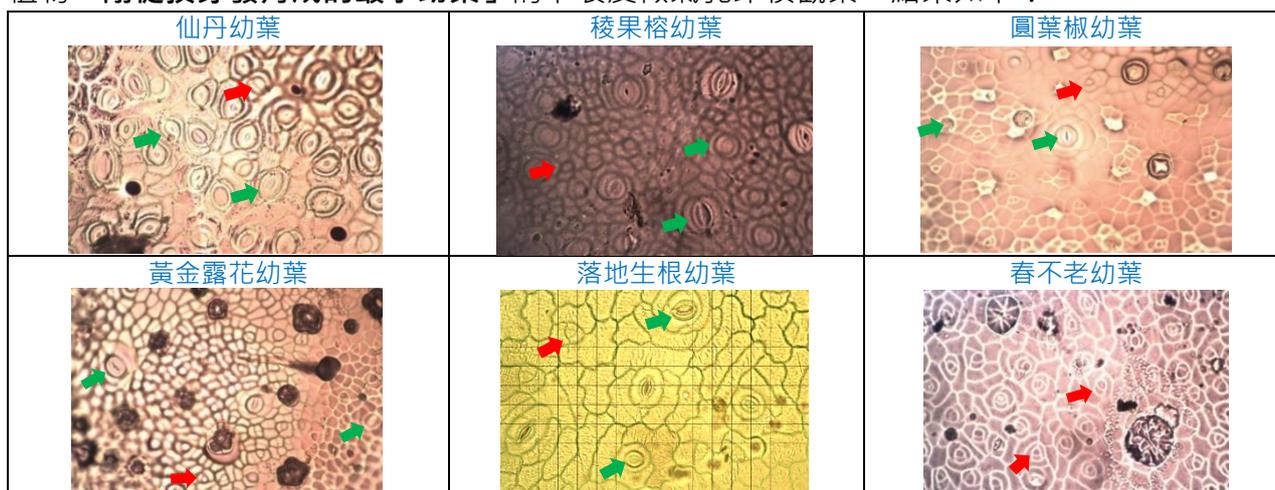


圖 1 顯微觀察(40 倍)不同植物最小幼葉下表皮氣孔形態

75µm

發現：大部份所觀察的植物幼葉下表皮有大、小氣孔並存的現象(如綠色箭頭)，與生物課觀察的保衛細胞幾乎大小一致的情形有所不同；另外，春不老幼葉的下表皮中並沒有成形的氣孔，而是許多像玫瑰狀的結構。值得注意的是，此玫瑰狀結構經仔細觀察，也能在其他植物幼葉下表皮中發現(如紅色箭頭)。究竟這「玫瑰狀結構」最後會變成什麼呢？會與氣孔有關嗎？由於氣孔發育的資料相當少，於是我們決定以春不老植物為觀察對象，持續

研究其後續的演變過程。

(二)觀察春不老不同發育時期「葉片的氣孔形態」

我們從「頂芽旁的第一片幼葉」開始，往下連續取 6 片葉片，分別為 L1~L6；另外又取較接近底層的成熟葉 L7，觀察葉片的外形、顏色，及做氣孔印模分析，並取葉片中段做氣孔密度的計算與氣孔長度的測量，結果如下：(囿於版面空間，氣孔顯微照片僅呈現下表皮)



圖 2 春不老植株

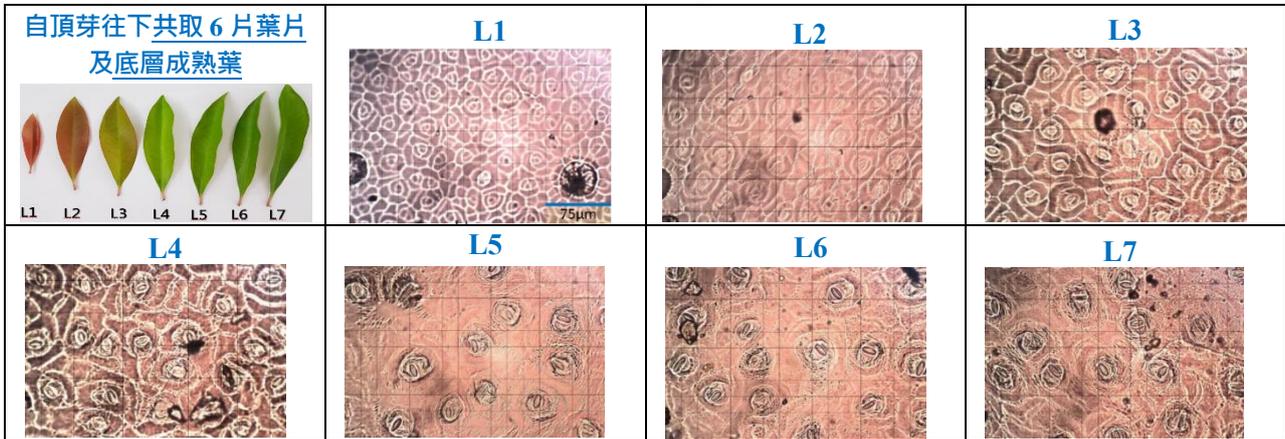


圖 3 顯微觀察(40 倍)春不老植物不同葉片下表皮氣孔形態

75µm

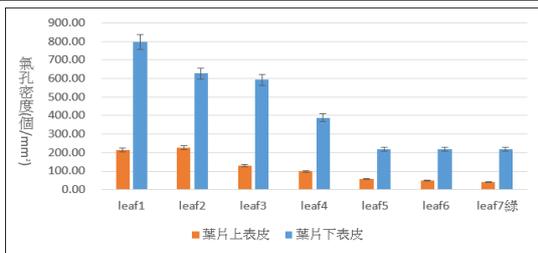


圖 4 春不老不同發育時期的葉片氣孔密度比較圖

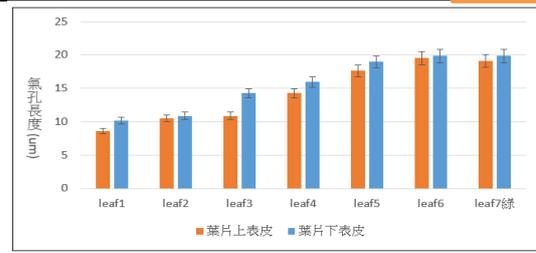


圖 5 春不老不同發育時期的葉片氣孔長度比較圖

- 1.發現 L1~L2 葉片呈紅色，L3 開始慢慢轉綠色。
- 2.顯微鏡視野中則呈現以下的變化：玫瑰狀結構(L1)→保衛細胞的輪廓出現，且在中間出現小圓洞(L2) →氣孔逐漸成形，但仍偏小(L3-L4) →保衛細胞變大並分裂成二個細胞，表皮細胞輪廓變模糊(L5-L7)。

3.由圖 4 及 5 可知：上下表皮的氣孔密度都逐漸變少，氣孔則逐漸變長，並在 L5 階段達到穩定；而表皮細胞也在此時變模糊，推測是角質層變厚，致使印模不到表皮細胞的緣故，由此可知 L5 的保衛細胞無論在形態、密度、長度都已達發育成熟期。



圖 6 5 個葉芽(B1~B5)

(三)觀察春不老不同發育時期「芽的氣孔形態」

我們想了解玫瑰狀結構之前的發育情形，於是將尚未展開的葉芽一層層剝開，共得 5 個葉芽(B1~B5)，如圖 6。將芽外側(未來平展開來即成為葉下表皮)做氣孔印模觀察，結果如下：



圖 7 顯微觀察(10 倍)春不老植物不同葉片下表皮氣孔形態

75µm

發現：B1 只有表皮細胞→B2~ B3 出現初步的不對稱分裂→ B4~ B5 才有較明顯的玫瑰狀結構。 ➡ **春不老的保衛細胞從頭到尾的形成過程自此一覽無遺。(B1~B5 + L1~L5)**

實驗三：假設不同時期春不老葉片的氣孔發育與光合作用能力有關

我們發現其他植物的 B1~L5 時期的保衛細胞形態都一同出現在第一小葉中；而不像春不老在第一小葉時保衛細胞都仍同步地處於未發育好(沒有氣孔洞)的狀態。故**我們假設：是否因為這些植物的小葉一展開已經是綠色，可能已負有光合作用的使命，所以需要一邊分裂、一邊分化，先形成部份氣孔來執行氣體進出的功能；而春不老的小葉是紅色，是否因葉綠體尚未發育好，無法進行光合作用，所以氣孔的功能與發育也就緩慢一些？**因此，我們探討了不同時期的春不老葉片進行光合作用的情形。

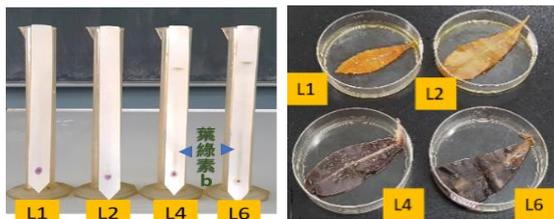


圖 8 不同葉片濾紙色層分析 圖 9 不同葉片澱粉檢測

◆我們選取 L1、L2、L4、L6 做「濾紙色層分析」及「澱粉檢測(課本光合作用實驗)」，結果發現：L1、L2 沒有葉綠素，也沒有澱粉儲存，代表此時期的葉片應無法進行光合作用；L4、L6 有葉綠素，也有澱粉儲存。**推論：氣孔形成過程可能與光合作用啟動(需求)的時期相關。**

實驗四：探討光線與水份對保衛細胞發育的影響

由前面的實驗可知：春不老保衛細胞的形成與發育可能與光合作用相關，因此，我們想探討影響光合作用的要素(光線與水份)是否也影響著保衛細胞的發育。我們分別以紙箱遮光、檯燈連續照光、乾旱(未澆水，土壤溼度數值由 60 逐步下降至 10)處理春不老植株 4 天與 10 天，並與對照組(正常日照，每 2 天澆水 20ml，土壤溼度數值維持在 60-80)做比較，觀察 L1~L4 葉片外形及保衛細胞的形態、計數氣孔的密度及測量氣孔的長度。結果如下：

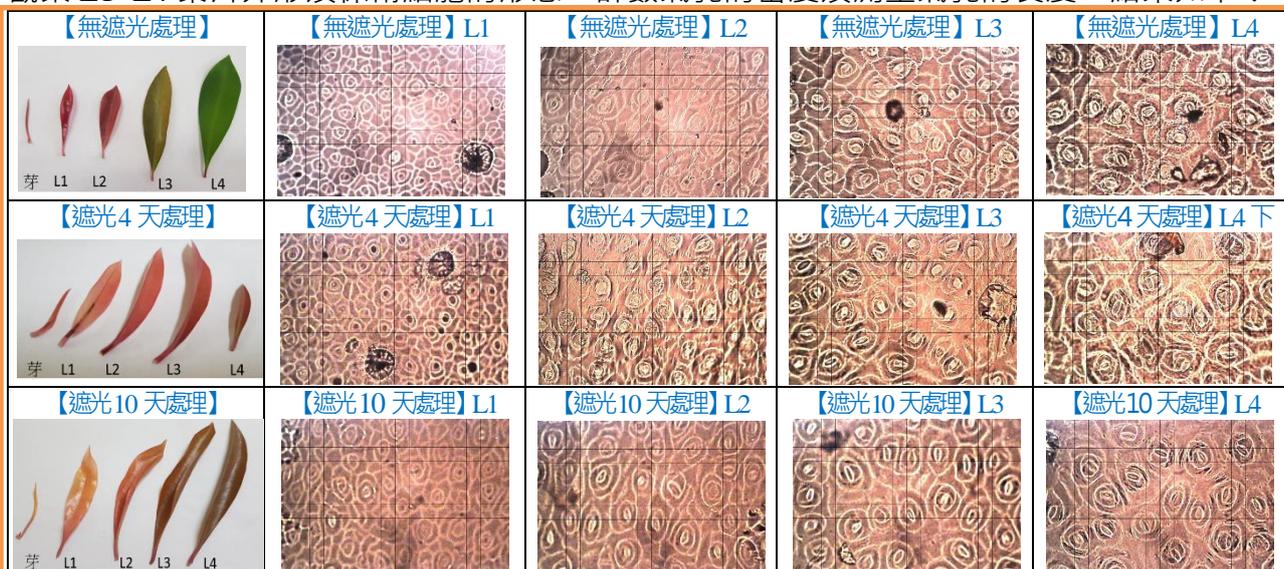


圖 10 顯微觀察(40 倍)不同遮光天數對春不老植物不同葉片下表皮氣孔形態的影響

75um

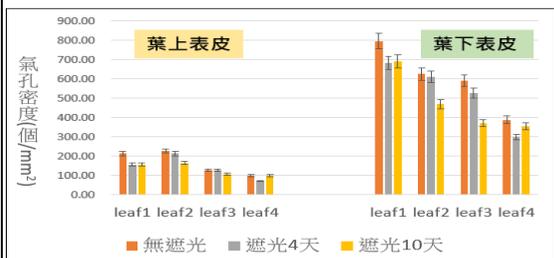


圖 11 不同遮光天數對春不老葉表皮氣孔密度的影響

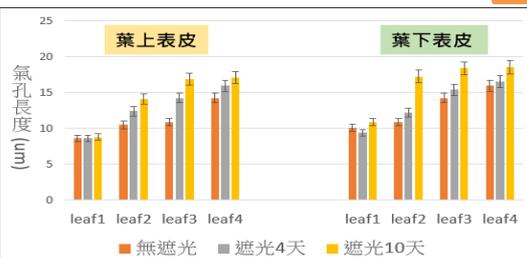


圖 12 不同遮光天數對春不老葉表皮氣孔長度的影響

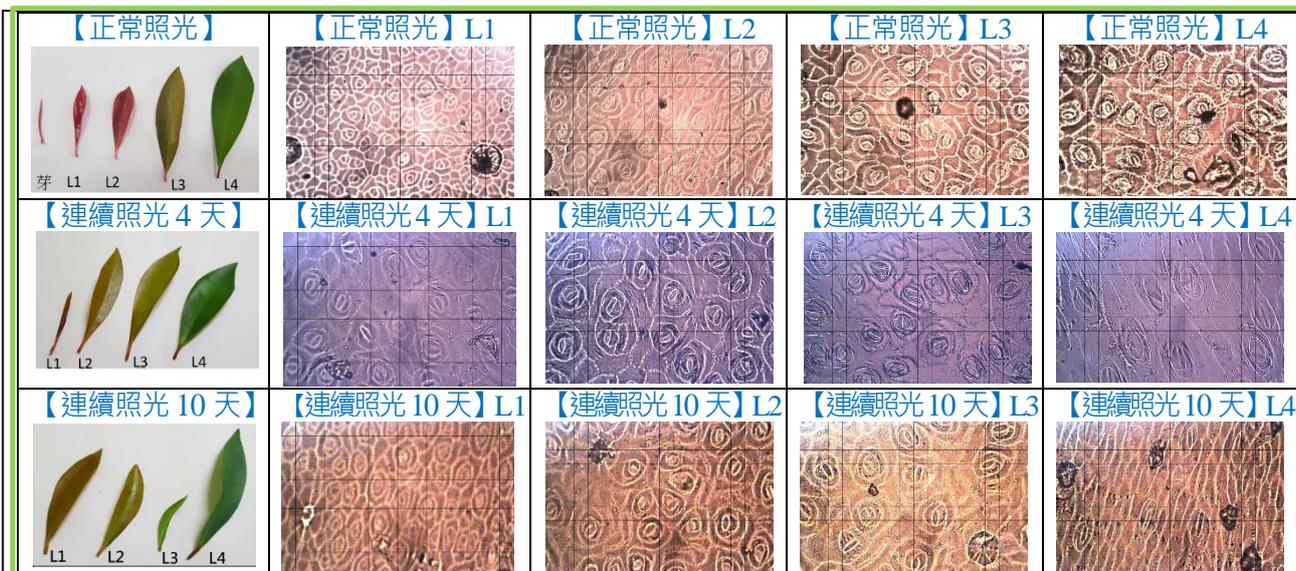


圖 13 顯微觀察(40 倍)不同連續照光天數對春不老植物不同葉片下表皮氣孔形態的影響

75μm

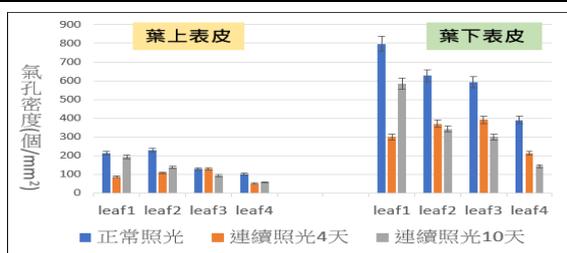


圖 14 不同照光天數對春不老葉表皮氣孔密度的影響

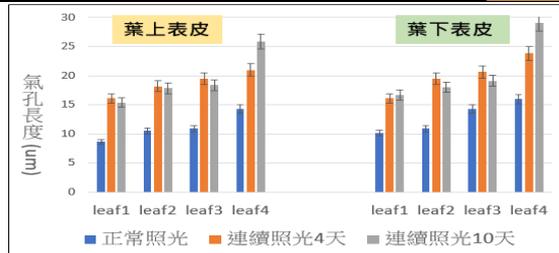


圖 15 不同照光天數對春不老葉表皮氣孔長度的影響

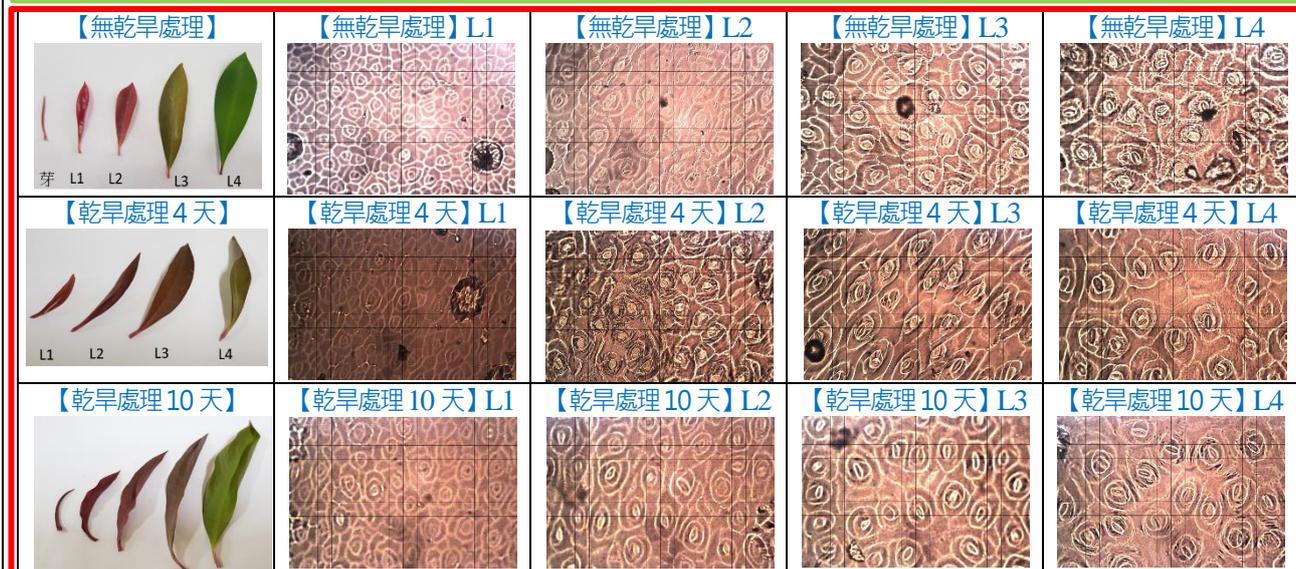


圖 16 顯微觀察(40 倍)不同天數乾旱處理對春不老植物不同葉片下表皮氣孔形態的影響

75μm

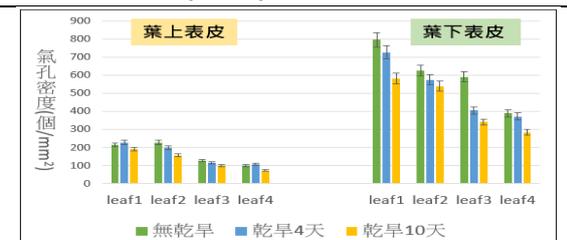


圖 17 不同天數乾旱對春不老葉表皮氣孔密度的影響

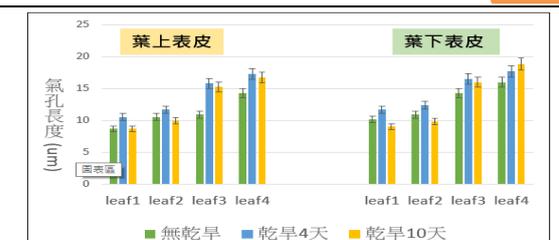


圖 18 不同天數乾旱對春不老葉表皮氣孔長度的影響

- (一)遮光造成植株無法形成綠葉，連續照光使葉片提早變綠，乾旱則造成葉片捲曲不平整。
 (二)所有處理皆使各時期葉片提早往下階段發育，包含氣孔密度更快降低及氣孔長度更快變長。

(三)我們將不同處理之下的葉下表皮氣孔密度及長度分別與對照組做比對(如圖 19-20)，發現：

- 1.乾旱與遮光 4 天皆使氣孔往前推進 0.5~1 個時期；10 天則推進 0.5~2 個時期，且不超過最終發育的 L5 時期。
- 2.連續照光讓氣孔密度與長度的快速發育更明顯，L1 已經與對照組 L3 或 L4 相似，L4 甚至超越了最終的 L5 時期



圖 21 乾旱造成春不老葉上表皮形成氣孔簇

，而導致氣孔形態異常，且照光 4 天即有顯著影響，顯示連續照光對春不老的氣孔影響很大。

- 3.另外，我們發現 乾旱造成氣孔簇出現，查閱文獻得知：某些植物為減少水分散失會形成氣孔簇來因

應(因下表皮氣孔密度較高，氣孔簇判定不易，故圖 21 提供上表皮來佐證)。

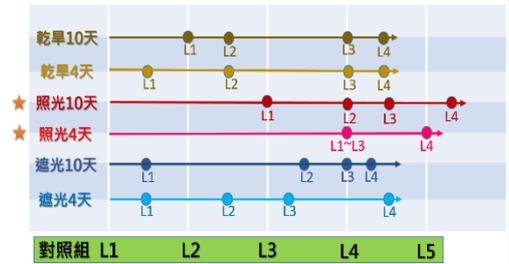


圖19 各種不同處理之下葉下表皮氣孔密度發育時期對應圖

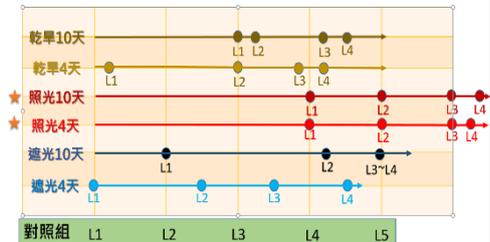


圖20 各種不同處理之下葉下表皮氣孔長度發育時期對應圖

五、結論與生活應用

(一)結論

- 1.發現所觀察的植物部位中，以葉部的氣孔最多；花朵則以苞片、萼片有較多的氣孔分佈，花瓣上很少氣孔；綠色果實的氣孔也較多，推測氣孔的密度可能與光合作用的需求部位相關。
- 2.我們從頂芽(B1~B5)至葉片(L1~L6)連續做氣孔印模觀察，發現了春不老保衛細胞完整的形成過程：表皮細胞→初步的不對稱分裂→玫瑰狀結構→保衛細胞的輪廓出現，並在中間出現小洞(小氣孔)→保衛細胞變大並裂成二個細胞，且表皮細胞輪廓變模糊(可能是角質層形成)。
- 3.我們也發現上下表皮的氣孔密度隨著葉片發育而逐漸變少，氣孔則逐漸變長，並在 L5 階段達到穩定。由於春不老的保衛細胞需由芽葉初期的玫瑰狀結構進行同步發育，無法後來新生形成，故推測氣孔密度降低應是由於已形成的保衛細胞個數隨著葉片面積擴展所致。
- 4.實驗發現：L1、L2 不含葉綠素，也無澱粉儲存，顯示尚無法進行光合作用；由前面實驗得知此時氣孔也仍處於初期發育階段，推論：氣孔形成過程可能與光合作用啟動(需求)的時期相關。
- 5.遮光、連續照光及乾旱處理除了造成植株葉片顏色或外形與對照組的差異以外，皆使各時期葉片提早往後面階段發育，包含氣孔密度更快降低及氣孔長度更快變長。其中連續照光所造成的影響非常顯著，甚至無法停留在最終發育期 L5 而造成氣孔形態異常，且 4 天即有影響。
- 6.文獻中針對氣孔的探討多與水分的蒸散作用有關，我們的探究則發現氣孔的分佈與發育與光合作用的關聯也十分密切。

(二)生活應用

我們藉由這次的探究發現：原來植物連續照光對氣孔的發育影響這麼嚴重，讓我們聯想到公園、人行道等都會區裡與我們相伴的植物(春不老就是)晚上也接受著路燈的連續照光呢!未來是否能在路燈的設計方式上既保護行人的安全，也能考量植物生存的需求呢?或許這正是我們下一步可以努力的目標。

參考資料

1. 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，365：38-53。
2. 葉表皮的發育。https://ipmb.sinica.edu.tw/ch/people/ipmb_researchers/ho-chin-min。