

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

佳作

030307

天方葉談 - 利用葉錠浮沉來測定植物的光合作
用速率

學校名稱：臺中市華盛頓高級中學

作者： 國三 黃存睿 國二 劉力綺 國二 周芷琦	指導老師： 黃錦鴻
---	------------------

關鍵詞：葉錠浮沉、光合作用、呼吸作用

摘要

本研究以葉錠浮沉實驗來測定植物的光合作用速率。由文獻探討發現，影響植物行光合作用的因素很多，但如何以葉錠浮沉實驗來了解這些因素的影響卻鮮少被討論。在這次研究中，我們找出進行葉錠浮沉實驗所需的最佳方法及條件，再以此比較不同光源、不同的植物特性以及不同葉齡等變因下的光合作用與呼吸作用速率的差異。

由實驗結果可知，0.24%的碳酸氫鈉溶液具有最佳的時間穩定性。此外，陽性植物的光合作用速率較快，陰性植物的光合作用速率較慢，耐陰性植物的變異較多，這些結果與植物生理特性一致。為了追根究柢，我們進一步做了葉片的組織切片，發現不同的葉片組織結構與光合作用速率快慢有關。

壹、研究動機

有一次科研社團上課時間，老師分享了一個以葉錠浮沉實驗來測定光合作用與呼吸作用速率。在與老師的討論中我們發現，這個實驗的流程簡易，器材隨手可得，且能客觀的計算出光合作用速率，很有機會讓生物課中我們學到的抽象觀念，透過真實的數據來呈現。我們如獲至寶，便展開一連串的文獻搜尋與討論，並進而設計實驗，希望藉由大量的實驗數據來分析不同的植物，其光合作用與呼吸作用速率是否會有顯著差異。

貳、研究目的

- 一、 找出能穩定進行葉錠浮沉實驗的條件
- 二、 比較陰性、耐陰性及陽性植物行光合作用的速率差異
- 三、 探討不同植物葉部組織結構對葉錠浮沉測定的影響

參、研究設備與器材

一、器材：

玻棒、燒杯、量筒、定量瓶、刮勺、電子天平、打洞機、培養皿、夾鏈袋、計時器、滴管、針筒、抽氣瓶、鏢子、蓋玻片、載玻片、刮鬍刀、抽氣瓶、複式顯微鏡、植物燈、標籤紙、呼吸作用速率觀察暗箱。

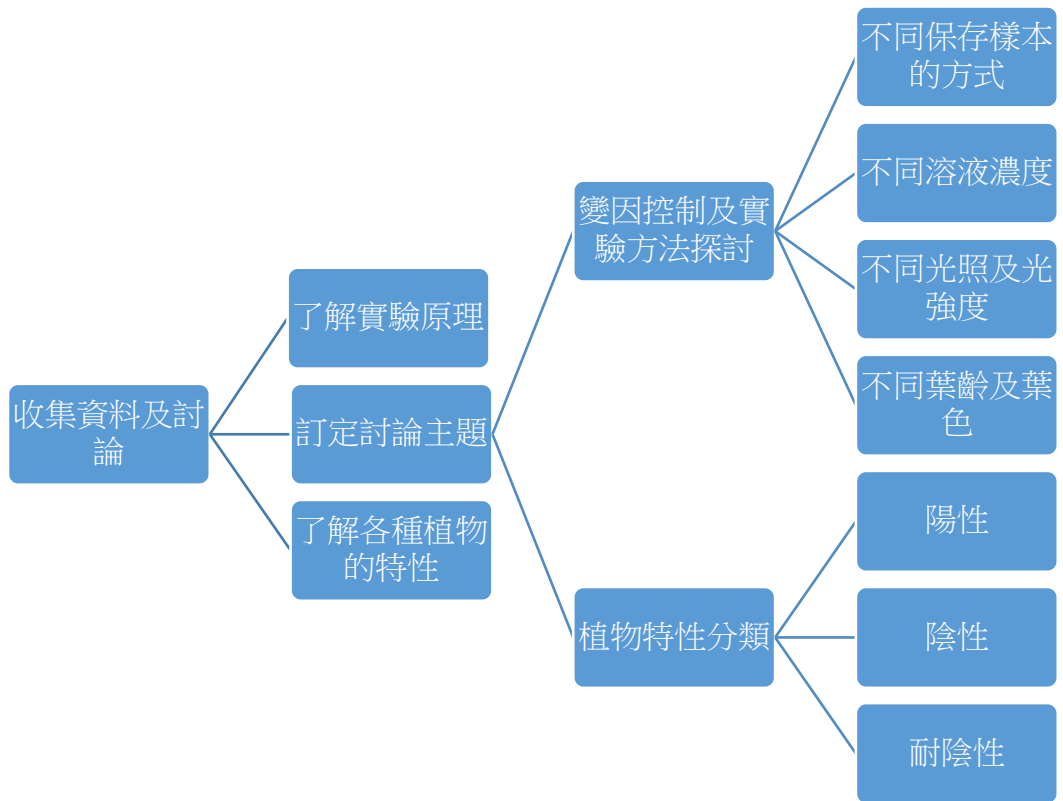
二、藥品：碳酸氫鈉、磷酸氫二鈉、檸檬酸鈉。

三、植物樣本：

茄苳、大葉山欖、山薑、水黃皮、櫻花、雞蛋花、青剛櫟、鹿角蕨、鳥巢蕨、鵝掌藤、密葉竹蕉、竹柏、蝴蝶蘭、美鐵芋、紫鴨跖草、變葉木。

肆、研究過程與方法

一、研究架構



二、葉錠浮沉原理

將葉錠放入真空密封罐時，一開始葉錠內有較多的氣體充滿葉肉海綿組織，所以會浮在液面；當抽氣使壓力變小，葉子的葉肉海綿組織內的空氣也會被抽出來。當抽氣罐洩壓後，氣體重新進入密封罐，這時瞬間壓力變大，可使溶液進入葉子海綿組織的縫隙，充滿液體，所以本來浮起的葉錠會因密度變大而沉下去。

在進行光合作用時產生的氧氣，將使得葉錠體積變大，因此密度變小，使得葉錠浮起。接下來將放葉錠的溶液燒杯置入暗箱中，當植物行呼吸作用時，將氧氣消耗後，則葉子的密度變大，所以又會再度下沉。

三、 研究方法

(一) 採樣方法之探討

現況分析：

在文獻上及預備實驗結果發現，對於葉錠採樣方式、葉齡、葉子的顏色、採樣的時間、植物的生長環境、天氣條件等，都可能對實驗結果造成影響。

改善方式：

在設計實驗時將可能影響的變因，盡量在固定的幾項控制變因條件下，來進行特定變因的探討，再以實驗中所得較適合之條件，繼續進行後續實驗，待找出所有較適合之條件後，探討不同植物的生理特性在光合作用速率的差異。

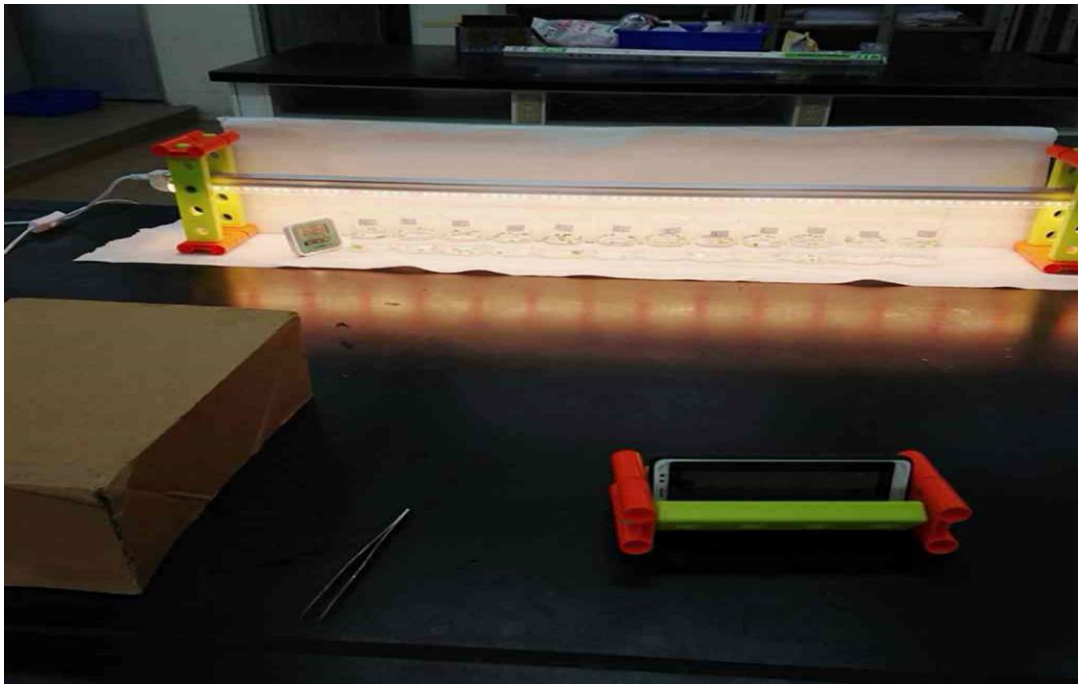
(二) 葉錠浮沉時間記錄方法之改良

現況分析：

因一次要做多組的葉錠浮沉實驗，且有時葉錠會同時有數片浮起，無法同時記錄到所有的葉錠浮起時間。

改善方式：

除了直接觀察葉錠浮起，同時利用手機拍攝葉錠浮起過程，再用影片詳細的檢視浮起時間並紀錄。



(圖一)以手機錄下葉錠浮起過程

(三) 葉錠浮沉的製作

現況分析：

針筒抽真空的過程中，可能因為不同操作者的力氣不同，使得壓力變化不一樣造成葉錠能下沉的時間不一致；也會造成手部疼痛，無法持續進行抽氣，且一個人操作時，一次只能做一組。

改善方式：

(圖二)採用真空密封罐，以抽氣抽五十次為一個周期，可控制同樣的壓力變因，且能一個人同時操作多組的抽氣。



(圖二)抽氣密封罐抽氣使葉錠下沉

葉錠的製作流程：

1. 配製碳酸氫鈉的緩衝溶液

(1) 緩衝溶液：182 mL 0.1M 檸檬酸 + 618 mL 0.2 M 磷酸氫二鈉+200 mL 水。

0.1M 檸檬酸溶液：19.2g 的檸檬酸加水至 1000 mL。

0.2M 磷酸氫二鈉溶液：28.4g 的磷酸氫二鈉加水至 1000 mL。

(2) 於 1000mL 緩衝溶液中加入 2.4 克的碳酸氫鈉。

2. 葉錠採樣及實驗準備

(1) 以打洞器切下葉錠。

(2) 將碳酸氫鈉溶液與葉錠放入真空密封罐。

(3) 以真空密封罐抽出罐中的氣體到最小壓力(抽氣五十次)，等待一分鐘後，再按壓控制閥氣鈕，讓空氣進入真空密封罐，重複數次，可使葉錠中葉肉海綿組織的空氣被碳酸氫鈉溶液置換而使葉錠下沉。

(4) 葉錠全數沉落杯底後，將葉錠置入新的碳酸氫鈉溶液中，並以相同規格的燒杯盛裝，且使燒杯液面等高。

(四) 淨光合作用速率的檢測：

1. 開啟光源，讓葉錠進行光合作用，觀察並記錄每一片葉錠上浮的時間。
2. 取半數葉錠浮起的時間為 $ET_{50light}$ ，當光合作用速率愈快， $ET_{50light}$ 愈小。
3. $1/ET_{50light}$ 表示淨光合作用速率。

(五) 暗呼吸作用速率的檢測

1. 關閉光源，並將燒杯移入蓋住的觀察箱，使葉錠在黑暗中，進行呼吸作用。
2. 觀察並紀錄每一片葉錠下沉的時間。
3. 取半數葉錠沉落的時間為 ET_{50resp} 。
4. $1/ET_{50resp}$ 表示其呼吸作用速率。

(六) 行光合作用速率($1/ET_{50ps}$)的計算

1. 意義：植物行光合作用時，呼吸作用仍照常進行，故 $1/ET_{50light}$ 無法完全代表植物單純行光合作用之速率，應再加上 $1/ET_{50resp}$ 。
2. $1/ET_{50ps} = 1/ET_{50light} + 1/ET_{50resp}$ 。

(七) 葉子組織切片的拍攝

為了比較不同特性植物的葉片組織對於光合作用速率的影響，故做了葉子的組織切片，並利用複式顯微鏡照相後比較組織構造的差異，裝置如(圖三)。

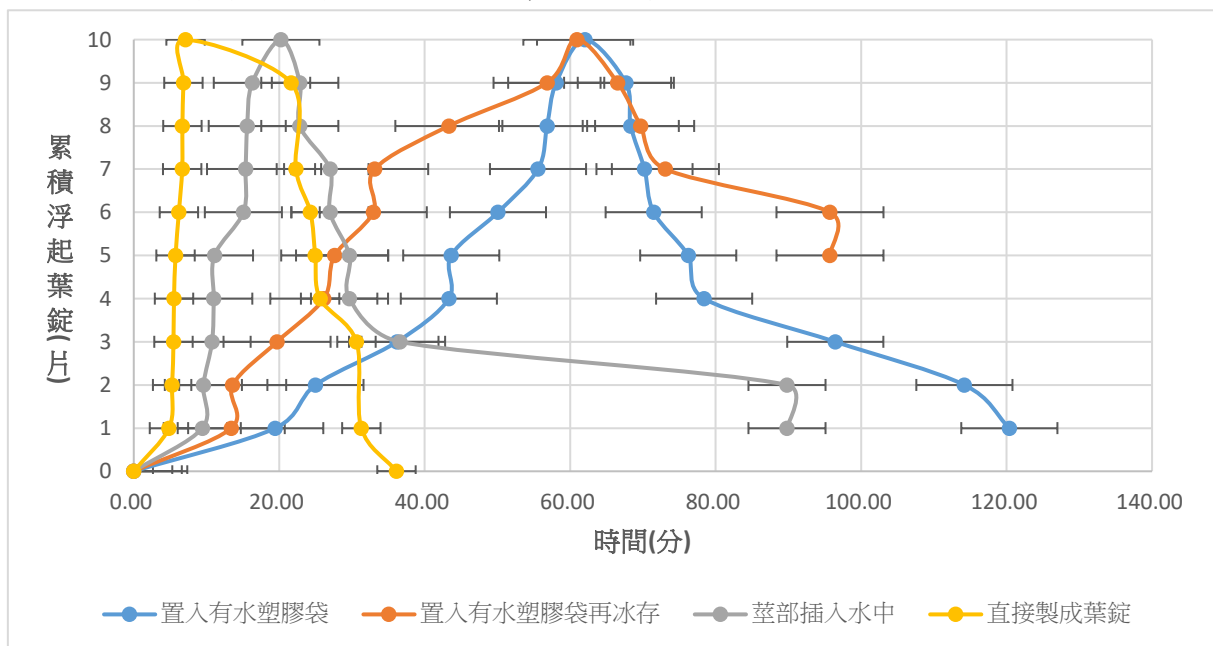


(圖三)拍攝切片的相機架

伍、研究結果

一、 影響葉錠浮沉實驗的條件探討

實驗一：葉子的保存方式對光合作用速率測定的影響



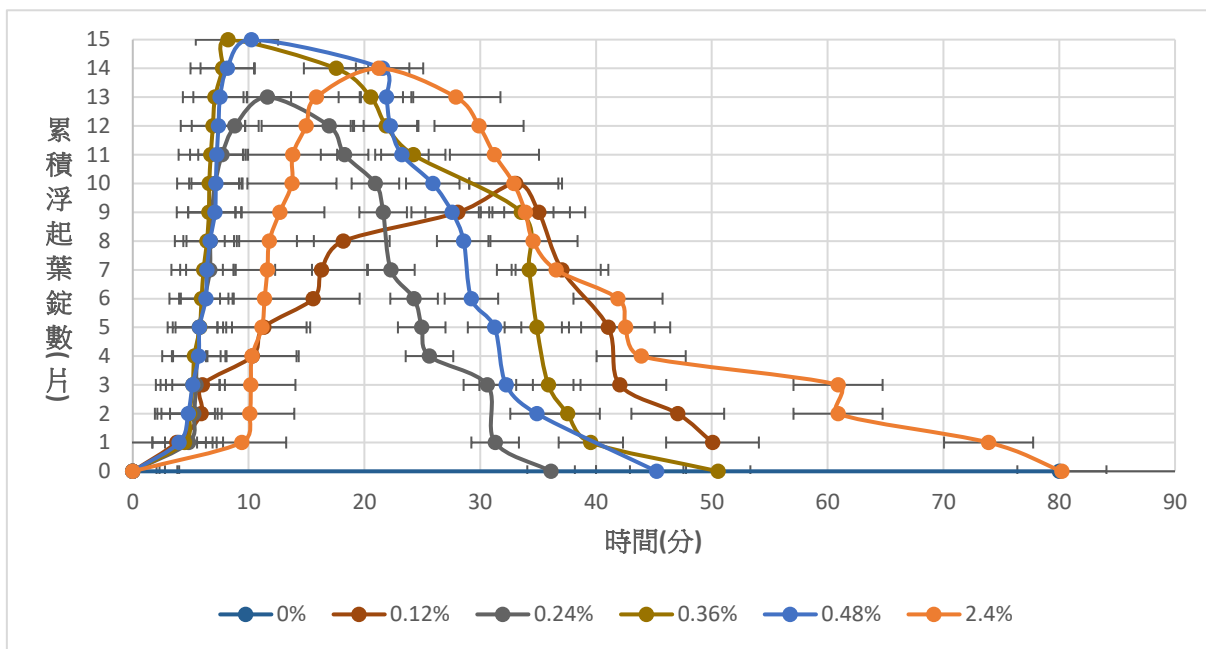
(圖四)不同葉片保存方式的葉錠浮沉情形

實驗結果：

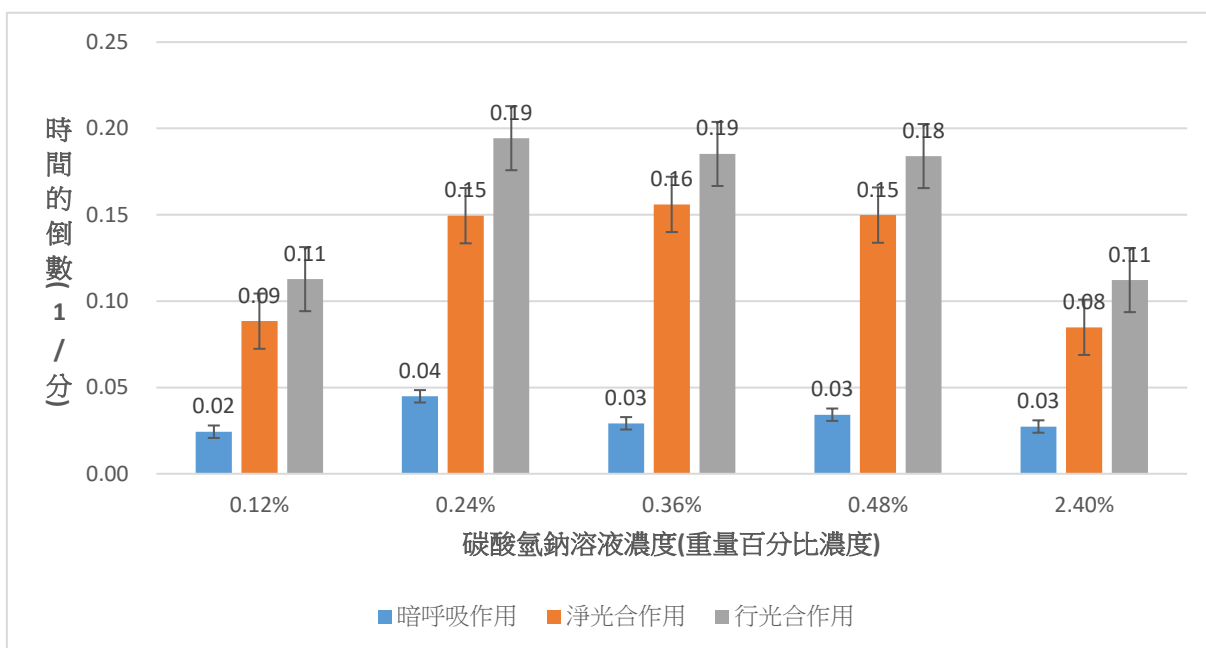
(一)根據(圖四)可看出連同枝條剪下後，將莖部斜切插水保存的葉子，其葉錠浮起與沉入之時間皆較其他採回實驗室的保存方式快且較集中，曲線也較接近從植物葉片上直接採下葉錠的實驗樣本。

(二)從植物體上直接採下葉錠製成的樣本，葉錠浮起與沉入之時間為最快且最集中。

實驗二：茄冬在不同碳酸氫鈉溶液濃度對光合作用速率測定的影響(0%、0.12%、0.24%、0.36%、0.48%、2.4%)



(圖五)不同碳酸氫鈉溶液濃度的茄冬葉錠浮沉情形



(圖六)不同碳酸氫鈉溶液濃度下的速率比較

實驗結果：

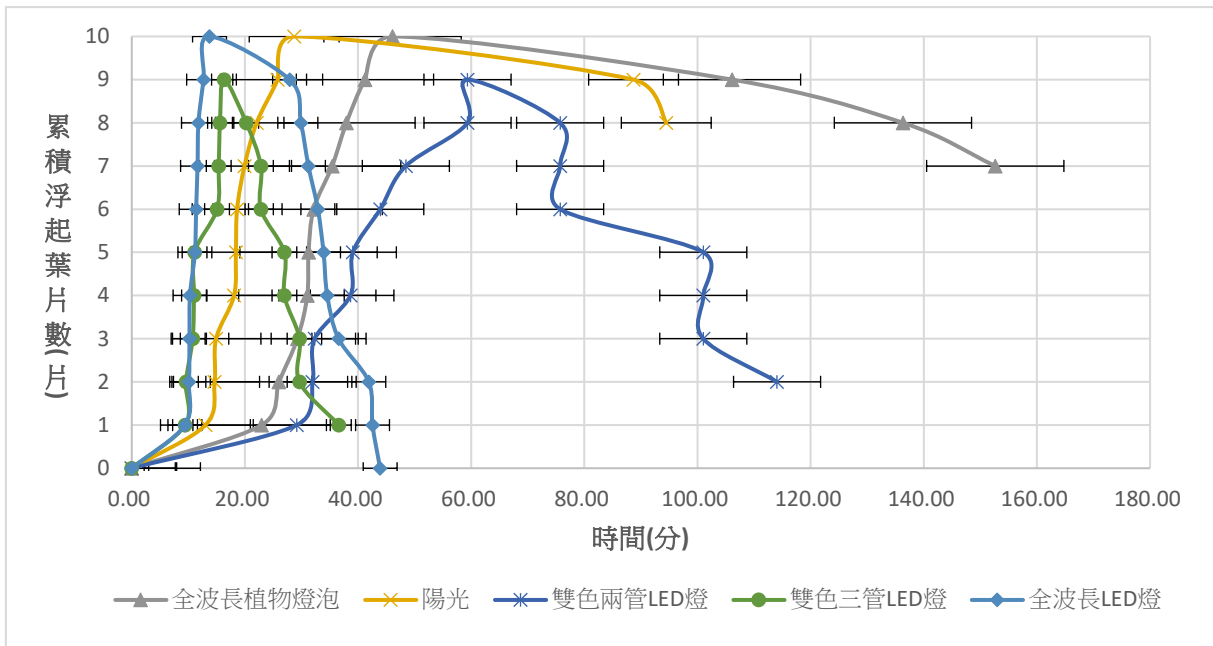
- (一) 根據(圖五)及(圖六)未加入碳酸氫鈉溶液的清水中，所溶解的二氧化碳濃度不足，因此經過五個小時以上，茄冬的葉錠仍無法上浮。
- (二) 濃度 0.12%的碳酸氫鈉溶液，一杯 15 片的茄冬葉錠能浮起的數量只有 10 片，且上浮及下沉時間較其他濃度長，實驗結果不理想。取中位數計算後其光合作用及呼吸

作用速率與濃度 2.4%的碳酸氫鈉溶液數值相近。

(三) 濃度 0.24%的碳酸氫鈉溶液實驗結果，發現其葉錠上浮時間最短。取中位數計算後，發現三種碳酸氫鈉溶液濃度 0.24%、0.36%，與 0.48%的光合作用速率及呼吸作用速率數值相近。

(四) 濃度 2.4%的碳酸氫鈉溶液實驗後的葉錠邊緣會呈現黑色，其葉錠的組織細胞應該已經被破壞。

實驗三：在不同的光源的不同光通量密度下對光合作用速率測定的影響



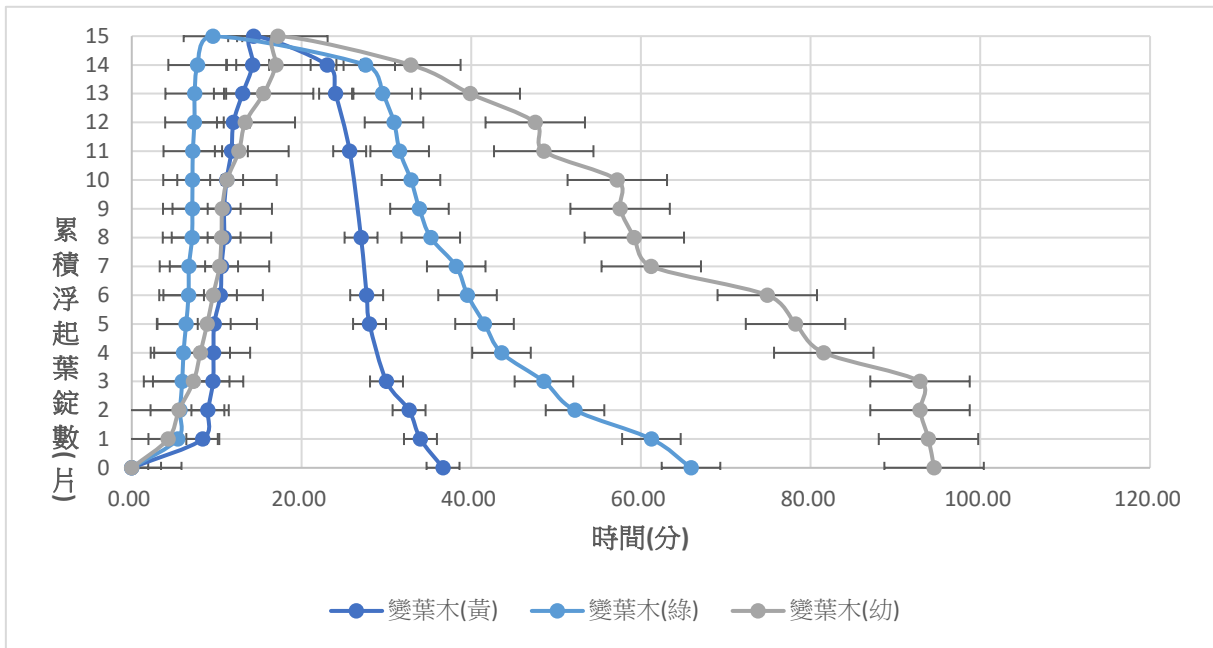
(圖七)不同光照下的葉錠浮沉情形

實驗結果：

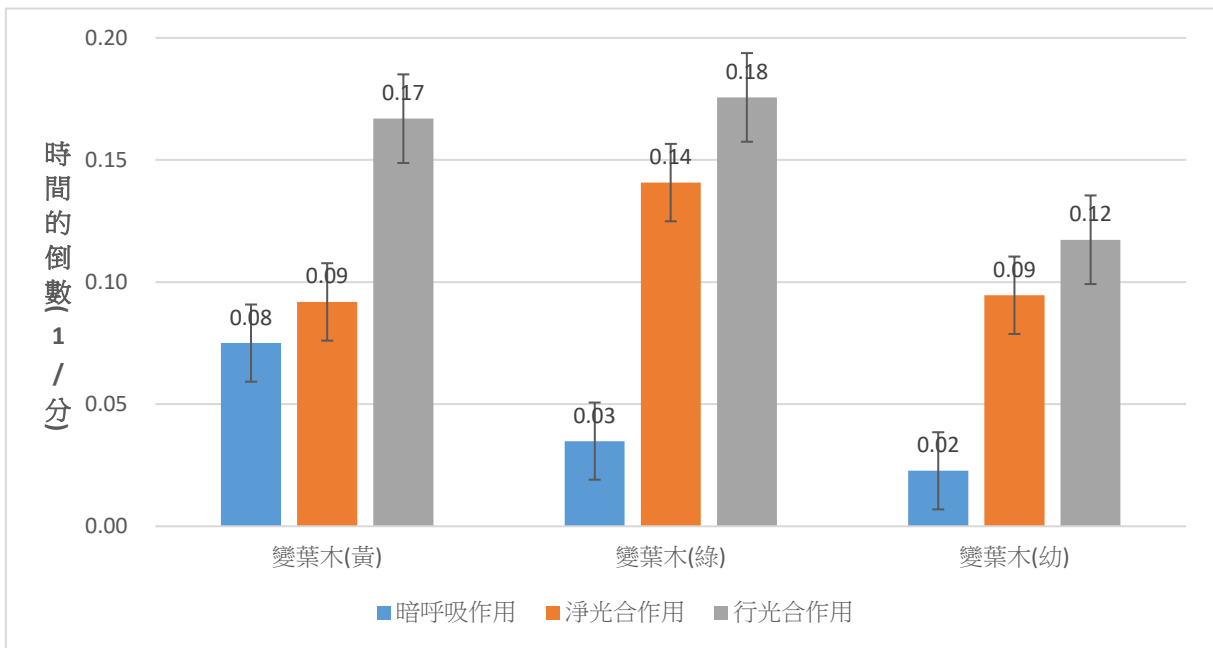
(一) 根據(圖七)以全波長 LED 燈較陽光照射和其他種植物燈，對茄冬進行實驗時，其葉錠浮起的時間較快，淨光合作用速率亦較快，且陽光照射下在測定呼吸作用速率時，其葉錠很難下沉。

(二) 若以不同照度的雙色植物燈照射，則三管的植物燈所有葉錠浮起時間，皆明顯較兩管的植物燈快，淨光合作用速率亦明顯較快。

實驗四：葉齡及葉子的顏色對光合作用速率的影響(以變葉木為比較)



(圖八)變葉木不同葉齡的葉錠浮沉情形



(圖九)變葉木不同葉齡的各項速率比較

實驗結果：

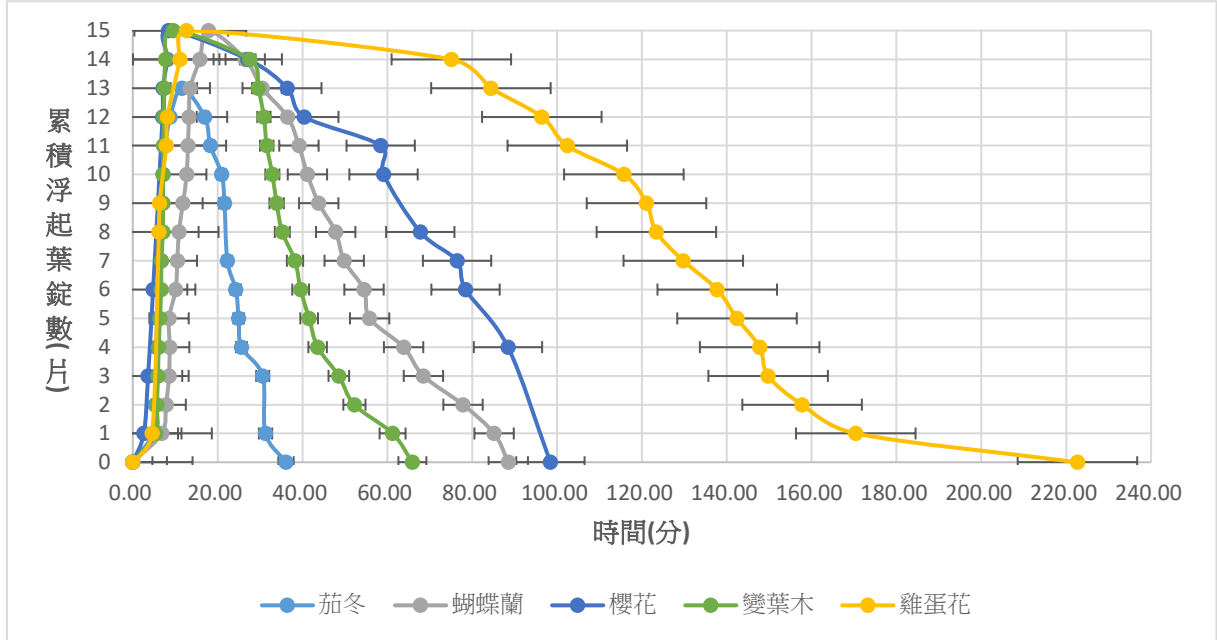
- (一) 變葉木的幼葉是嫩綠色，葉子質地也較軟；較成熟的葉子(成葉)為綠色且葉脈會變成黃色，質地變得較硬；到了更成熟的葉片(老葉)則葉子會全部變紅色，且質地更硬。
- (二) 根據(圖八)及(圖九)，可看到淨光合作用速率為成葉最快，而呼吸作用速率為老葉最快，淨光合作用速率則仍是成葉較快，幼葉及老葉之光合作用速率則相近。

二、 比較陰性、耐陰性及陽性植物的光合作用速率

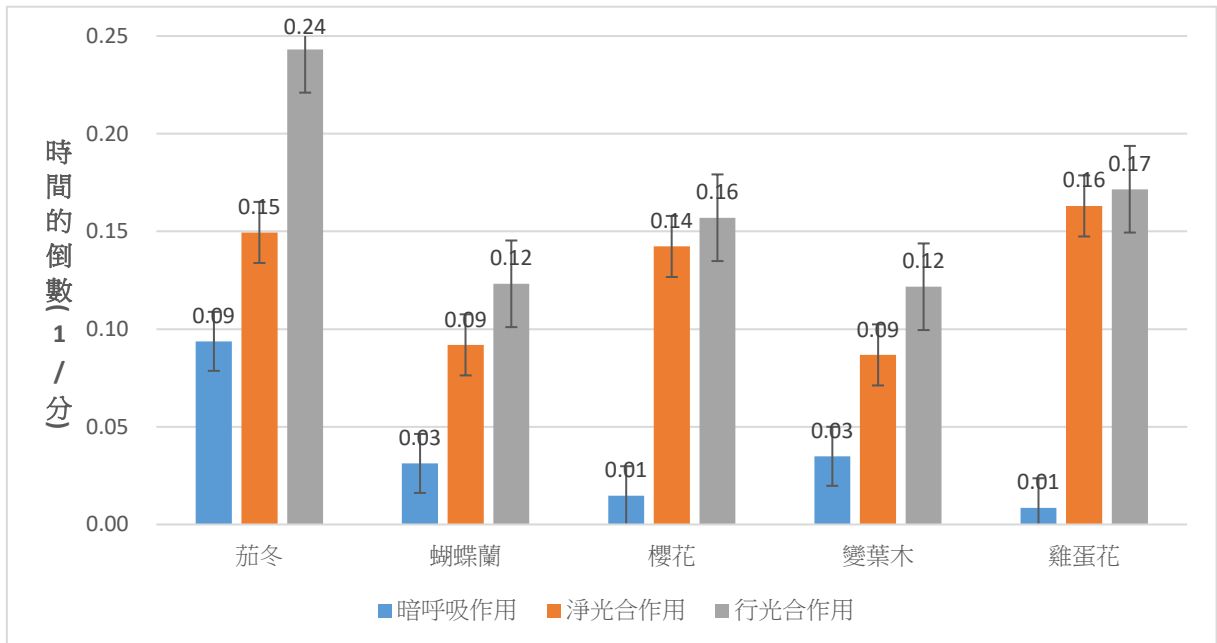
實驗五、不同特性的植物種類

陽性植物

陽性植物是指常出現於向陽處，能適應強烈且長時間的太陽曝曬。



(圖十)陽性植物的葉錠浮沉情形



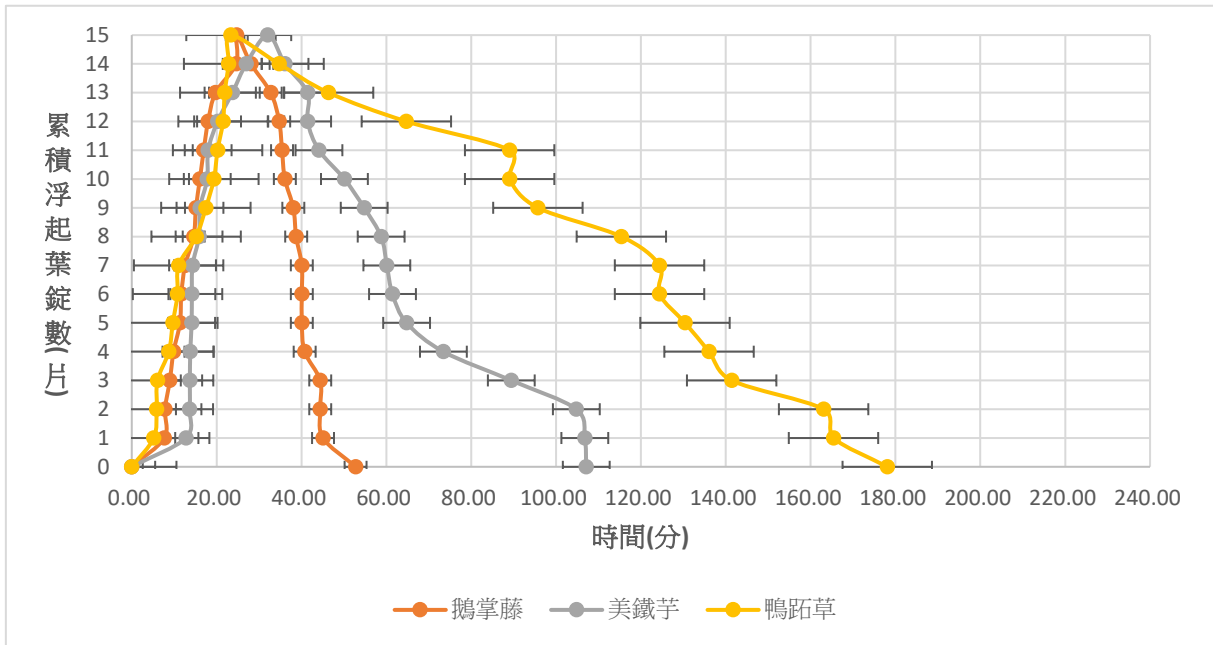
(圖十一)陽性植物的各項速率比較

實驗結果：

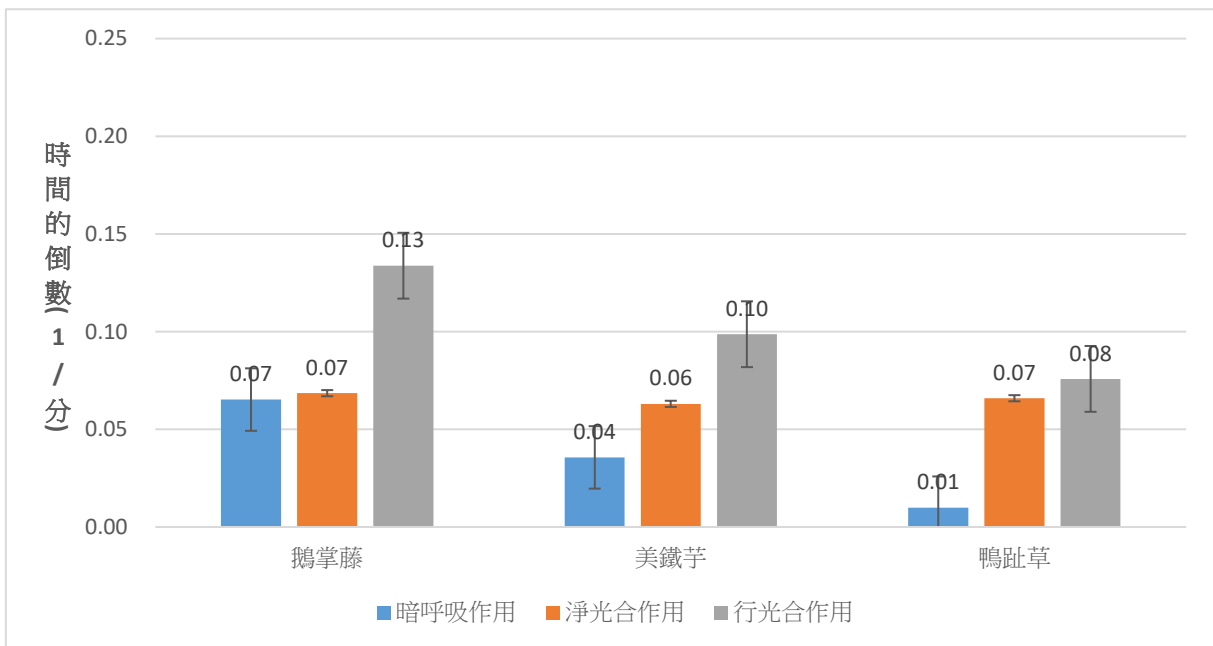
根據(圖十)及(圖十一)陽性植物的光合作用速率普遍快，行光合作用速率都較耐陰性植物快，但與陰性植物接近。

耐陰性植物

耐陰性植物是指可在光照條件充足或缺乏的情況下，能維持生長良好的植物種類。



(圖十二)耐陰性植物的葉錠浮沉情形



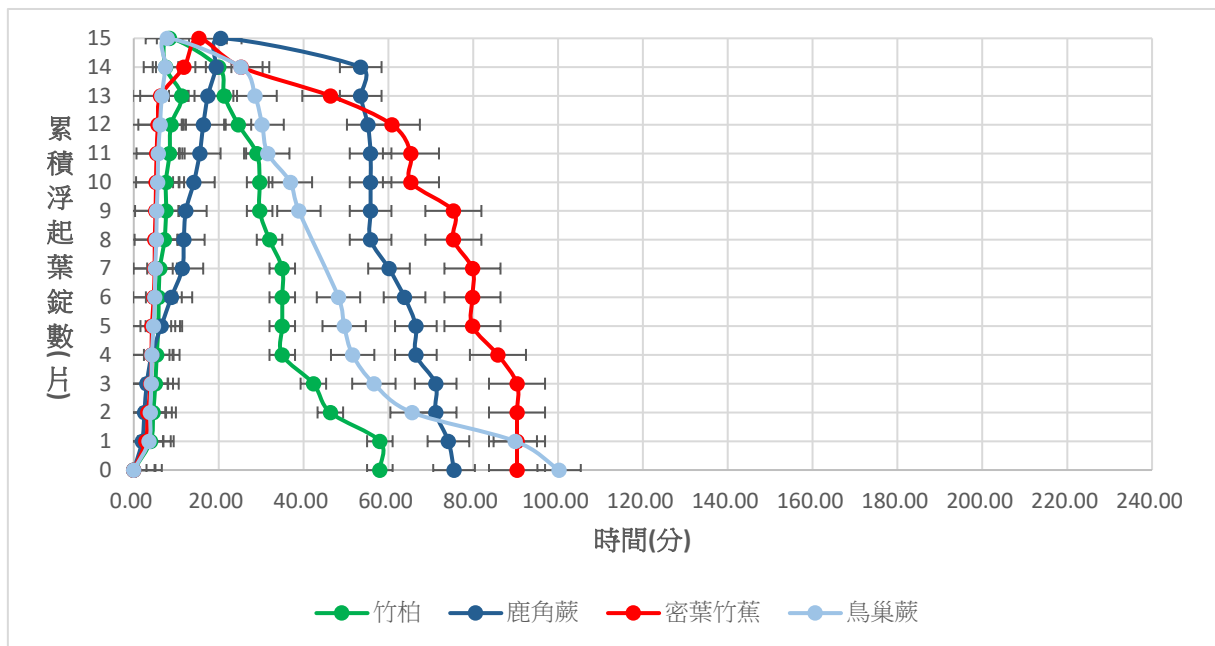
(圖十三)耐陰性植物各項速率比較

實驗結果：

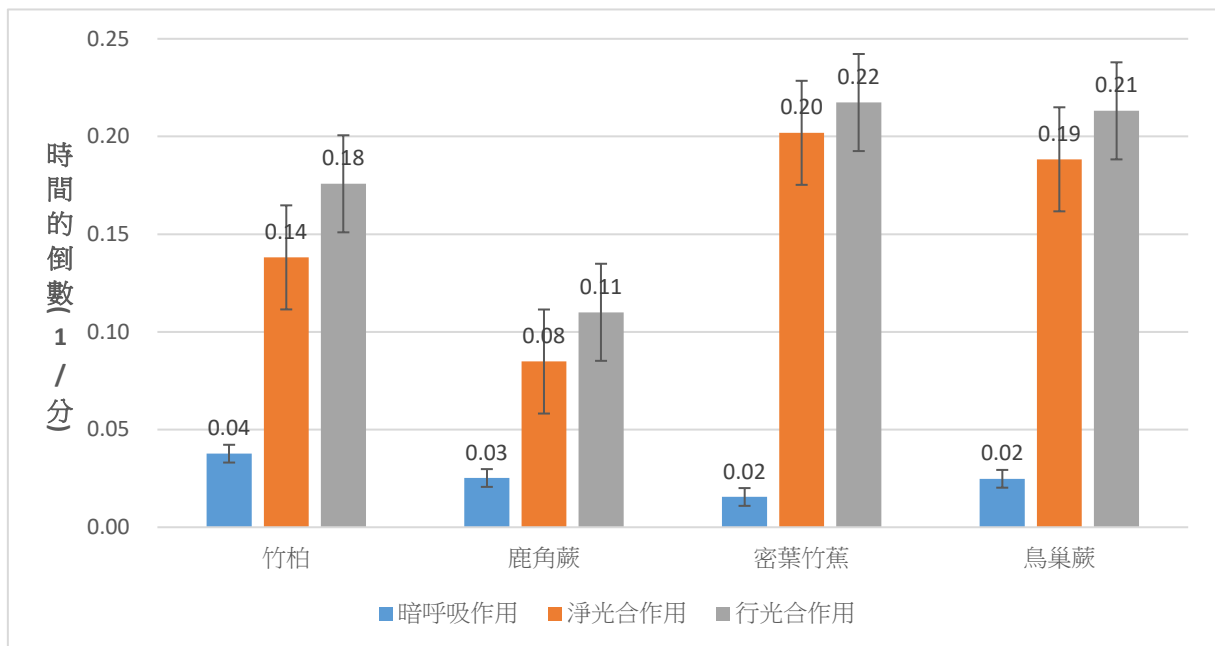
根據(圖十二)及(圖十三)，耐陰性植物的光合作用速率都不快，且行光合作用速率也較陽性植物慢。

陰性植物

陰性植物是指能在光照不足的環境下生長良好，但光照太強時可能會使得植物生長情形不佳的植物種類。



(圖十四)陰性植物的葉錠浮沉情形

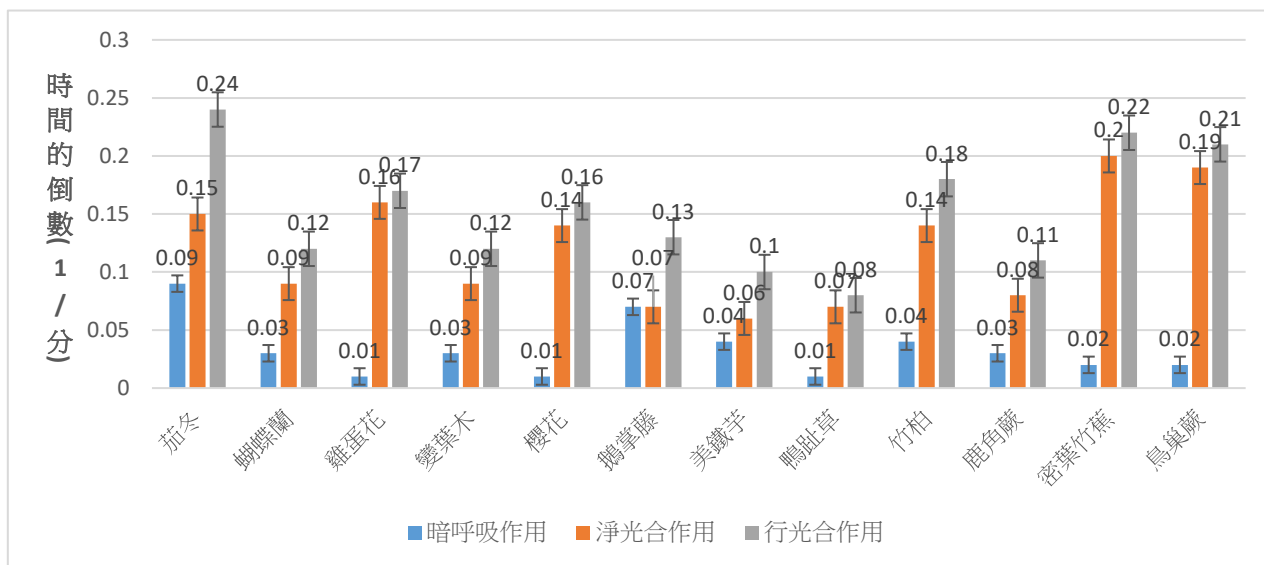


(圖十五)陰性植物的各項速率比較

實驗結果：

(一) 根據(圖十四)及(圖十五)，陰性植物的光合作用速率，除了採到的鹿角蕨樣本是種植於陽光強烈照射環境，不符合陰性植物常見生長環境之特性以外；當以同樣的光照情形做實驗時，發現其他陰性植物的行光合作用速率和陽性植物相近，且較耐陰性植物快。

綜合比較圖




(圖十六)所有實驗植物的各項速率比較


三、探討不同植物葉片組織結構對葉錠浮沉測定的影響

不同植物葉片的組織結構變化很大，且有多種因素會影響浮沉，例如表皮疏水強度、絨毛有無、葉肉氣室多寡等，故就葉錠浮沉實驗的數據較難歸納出其變化情形，我們嘗試著就我們的實驗結果，來討論不同植物種類的葉片組織結構可能對葉錠浮沉實驗產生的影響情形，討論如下。

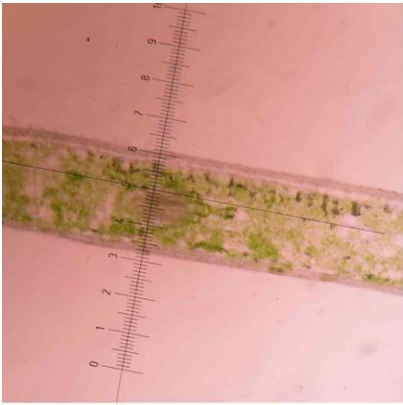
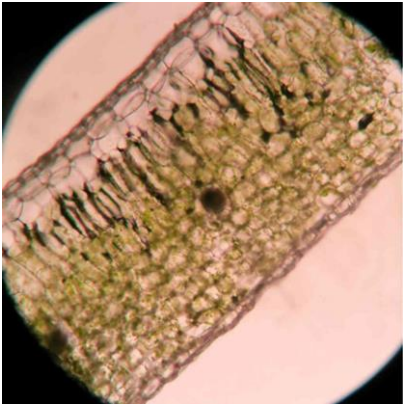
(表一)陽性植物的葉片組織結構對葉錠浮沉實驗的結果討論

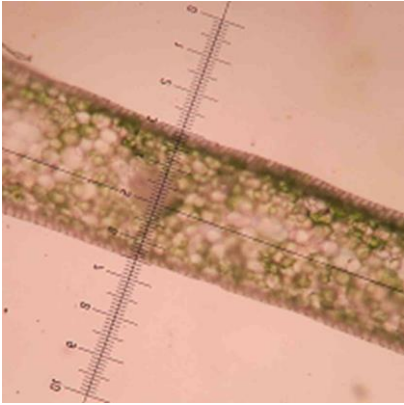

陽性	葉錠浮沉情形	葉子組織切片	討論
茄冬	葉錠上浮及下沉時間穩定		茄冬海綿組織結構非常疏鬆，在上浮及下沉時可以讓葉錠密度變化明顯，所以上浮及下沉時間都較穩定。

<p>蝴蝶蘭</p>	<p>葉錠容易上浮，但不易下沉</p>		<p>蝴蝶蘭葉片較厚，且海綿組織也佔較多比例，葉錠容易上浮，但不易下沉。</p>
<p>雞蛋花</p>	<p>葉錠容易上浮，但不易下沉</p>		<p>雞蛋花的海綿組織佔較多比例，容易上浮，但不易下沉。</p>
<p>變葉木</p>	<p>葉錠上浮及下沉時間穩定</p>		<p>變葉木海綿組織結構非常疏鬆，在上浮及下沉時可以讓葉錠密度變化明顯，所以上浮及下沉時間都較穩定。</p>
<p>山薑</p>	<p>葉錠上浮及下沉時間穩定</p>		<p>山薑海綿組織結構非常疏鬆，在上浮及下沉時可以讓葉錠密度變化明顯，所以上浮及下沉時間</p>

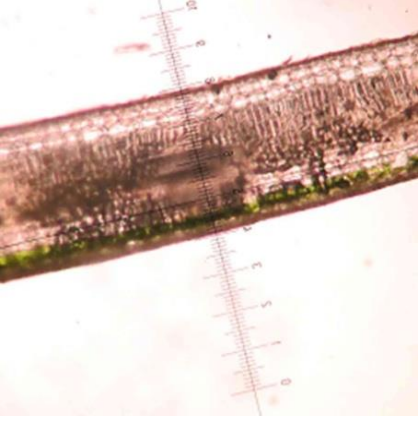
			都較穩定。
青剛櫟	抽氣多次葉錠仍然不易下沉		青剛櫟之葉片較薄，且下表皮有較多蠟質結構，使得抽氣時溶液不易進入葉錠內，葉錠難下沉

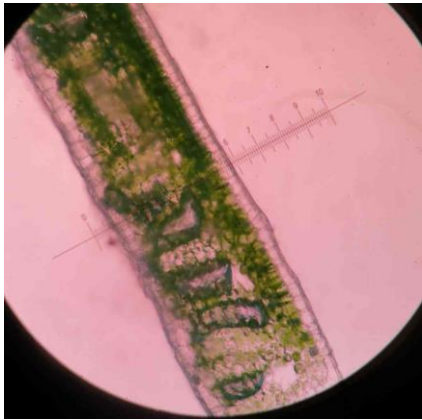
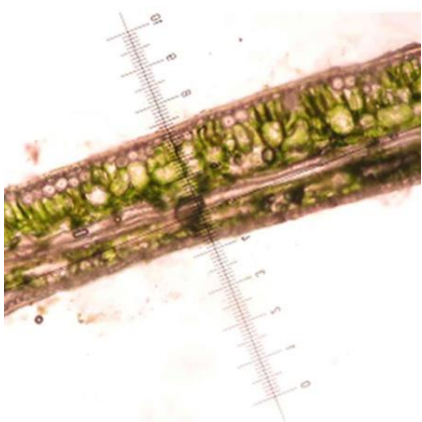
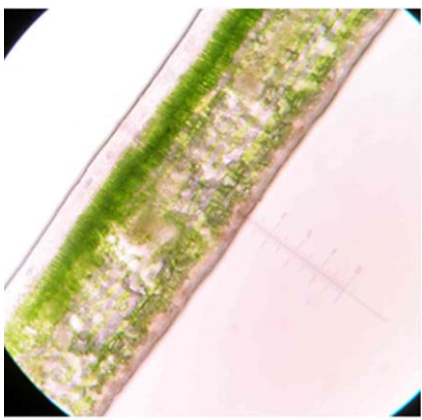
(表二)陰性植物的葉片組織結構對葉錠浮沉實驗的結果討論

陰性	葉錠浮沉情形	切片	討論
鳥巢蕨	葉錠很快上浮，但不易下沉		鳥巢蕨的海綿組織佔較大比例，容易上浮，但不易下沉。
鹿角蕨	葉錠很快上浮，也容易下沉		鹿角蕨海綿組織結構非常疏鬆，在上浮及下沉時可以讓葉錠密度變化明顯，所以上浮及下沉時間都較穩定。

密葉竹蕉	抽氣時不易下沉，葉錠很快上浮，但不易下沉		密葉竹蕉的海綿組織佔較大比例，容易上浮，但不易下沉。
竹柏	抽氣時不易下沉，葉錠很快上浮，但不易下沉		竹柏的海綿組織佔較大比例且排列緊密，抽氣時不易使溶液進入葉錠部易下沉；容易上浮，但不易下沉。

(表三)耐陰性植物的葉片組織結構對葉錠浮沉實驗的結果討論

耐陰	葉錠浮沉情形	切片	討論
鵝掌藤	葉錠容易上浮，也容易下沉		鵝掌藤海綿組織結構非常疏鬆，在上浮及下沉時可以讓葉錠密度變化明顯，所以上浮及下沉時間都較穩定。

美鐵芋	葉錠很快上浮，也容易下沉		美鐵芋海綿組織結構非常疏鬆，在上浮及下沉時可以讓葉錠密度變化明顯，所以上浮及下沉時間都較穩定。
羅漢松	葉錠很快上浮，不易下沉		羅漢松海綿組織結構佔比例較少，且排列緊密，抽氣時不易下沉，上浮及下沉時間不穩定。
大葉山欖	抽氣時不易下沉，葉錠很快上浮，不易下沉		大葉山欖海綿組織結構佔比例大，但下表皮排列緊密，抽氣時不易下沉，上浮及下沉時間不穩定。

陸、討論

一、實驗一：

莖部插水保存之葉子，在一段時間內進行葉錠浮沉實驗效果仍然穩定，只要注意剪下的枝條在水中再剪下一段，以避免空氣阻斷連續水柱，造成空氣卡在維管束內無法讓水分正常輸送，就能讓植物的葉片維持良好狀態，進行葉錠浮沉實驗。

但若能從原來的植物體上，直接採下葉錠則效果更好；因此為了能有較好的光合作用速率的結果，應該盡量直接在原來的植物上採下葉錠。

二、實驗二：

在合適的碳酸氫鈉溶液濃度範圍內，濃度越高，光合作用效率愈好，但當濃度和在一大氣壓下可溶解之二氧化碳的飽和濃度(約為 0.24%)時，則更高濃度的溶液濃度(0.36%、0.48%、2.4%)並沒有差異，且碳酸氫鈉溶液太高濃度可能造成葉肉組織細胞被破壞。

(一)問題：此實驗的葉錠浮沉，是依靠氣體之產生及消耗，為何與二氧化碳濃度有關？

(二)討論：整體光合作用是連貫的，當光反應分解水產生氧氣及獲得能量後，所吸收能量固定在 ATP 及 NADPH 等再進行碳反應。而碳反應結束後，ATP 及 NADP⁺才能空出來繼續參與光反應。故本實驗中應該添加類似空氣中二氧化碳溶於水中的碳酸氫根離子參與反應，才能讓光反應持續進行。

三、實驗三：

(一) 陽光及全波長植物燈泡，後續的呼吸作用速率實驗時間拉長，細胞可能已經被破壞，無法下沉。而兩管的雙色 LED 植物燈管之光通量密度較低，因此實驗結果不穩定；若為三管的 LED 植物燈管光通量密度較高時，則有較穩定的實驗結果。但因此植物燈管較短，無法進行較多組的實驗，所以後來我們改採用光通量密度也高的四尺長的全波長 LED 植物燈進行後續實驗。

(二) 採用較高光通量密度的全波長的 LED 植物燈照射下進行實驗，則光合作用及呼吸作用都較為穩定，因此我們建議若要在室內或晚上進行葉錠浮沉實驗，要特別注意光源的光通量密度。

(三) 若要在陽光下進行葉錠浮沉實驗，在接近中午時間光照太強烈或早上太早、傍晚太晚，則實驗狀況並不穩定。

四、實驗四：

- (一) 以變葉木來進行不同葉齡及不同顏色的葉片，進行葉錠浮沉實驗時，可明顯看出較嫩的葉子和老葉的光合作用速率相同，但老葉的呼吸作用速率較慢，所以老葉的淨光合作用速率較快。
- (二) 而成葉的光合作用速率較其他兩種葉子快，但呼吸作用速率較慢，而行光合作用速率則較其他兩種葉子快。這似乎說明葉子的顏色對光合作用速率影響不大，但葉齡則對光合作用速率影響較大。

五、實驗五：

- (一) 陽性植物的光合作用速率皆較快，應該和其生長環境是在光照充足的環境下，所以其利用光能之效率也較好。
- (二) 耐陰性植物的光合作用速率都不快，應該是因為其生長環境可以同時適應光照較強或較弱之環境，所以在用同樣的光照情形下，其光合作用速率和陽性植物相近。
- (三) 陰性植物的淨光合作用速率和陽性植物相近；以此可看出陰性植物大多長期適應在光照不足的環境下生長，但因所使用的光通量密度剛好和其生長環境相仿，故以這樣的情況對這類植物做光合作用實驗時，光合作用速率可以變快。

柒、結論

- 一、 直接從樹上取得葉錠的實驗結果較穩定，也就是上浮或下沉的時間變異性較低。如果使用保存過的葉子會讓時間變異性增加。建議直接從樹上採下葉錠，並在最短時間內完成實驗。
- 二、 **0.24%**的碳酸氫鈉溶液較適合葉錠浮沉實驗；超過 **0.24%**的碳酸氫鈉溶液不但不能增加葉錠的光合作用速率，反而會傷害葉肉組織細胞，讓葉錠邊緣變黑。
- 三、 採用光通量密度較高的植物燈來模擬陽光，能讓照度成為一個穩定的控制變因。光通量密度越大，光合作用速率越快。
- 四、 以變葉木而言，葉子的顏色對於光合作用速率並沒有明顯差異，反而是葉子的葉齡會影響光合作用速率；當葉齡屬於較成熟、但非老葉時，光合作用速率較快。
- 五、 依照文獻對應植物生長環境的光照強度，本次研究的植物共分為三類：適合生長在較強光照環境的陽性植物、可適應光照強度變化較大的耐陰性植物，以及適應光照

不足的環境之陰性植物。以我們所做的葉錠浮沉實驗結果，對照文獻中記載的這三種植物的生理狀況是相符的，因此可用葉錠浮沉實驗來進行植物光合作用速率的測定。

六、實驗過程中，我們也發現有些植物的上浮下沉時間變異性較高，例如：大葉山欖、青剛櫟...等。我們由植物的組織切片推論，不同植物的葉片組織結構差異很大，即使是相同植物也會受到生長環境的不同，在葉部組織結構產生一些適應環境的變化，進而影響葉錠浮沉的實驗結果。

捌、參考資料及其他

- 一、許雅婷(2015)。植物耐蔭特性及杜鵑花耐蔭指標研究。國立台灣大學園藝暨景觀學系碩士論文，未出版，台北。
- 二、郭耀綸(08,01,2013)。植物耐陰性及臺灣原生樹種耐陰性類別。林業研究專，Vol.20 No.4，P.36-40。
- 三、洪儷文、王亞男(2003)。樟樹不同冠層位置之光合作用淨生產力。中華林學季刊 (Quarterly Journal of Chinese Forestry)，36(1)，P.27－38。
- 四、何佳勳、楊純明、蕭巧玲(2014)。不同室內光環境對特定景觀植物光合作用速率及生長表現之差別效應。作物、環境與生物資訊，157期，P.145-157。
- 五、許大全(2006)。光合作用測定及研究中一些值得注意的問題。植物生理學報，第42卷第6期，P.1163-1167。
- 六、姚明輝(2011)。光度單位轉換問題之探討，農業試驗所技術服務，85期，P.26-29。
- 七、許庭羽、王婷卉、沈晏如(2019)。董兒藏奧秘，一葉知千秋。中華民國第59屆中小學科學展覽會高級中等學校組植物學科，未出版。
- 八、阿簡的生物筆記(2011)。用浮沉葉錠測量光合作用和呼吸作用。檢自：
<https://reurl.cc/V6gYbR> (06,15,2020)
- 九、CASE 報科學(2016)。感光也感熱的光敏素。檢自：<https://reurl.cc/Y1bYgO> (06,15,2020)
- 十、中易購農業科技(2018)。農業人都關心的問題：如何促進光合作用？。檢自：
<https://reurl.cc/arge2G> 06,15,2020)

【評語】 030307

本研究主題具實用性。同學們利用簡易可行的操作，開發出檢測植物光合速率的方法，並且還比較陰性、耐陰性及陽性植物的光合作用速率差異及其該差異與葉部結構的關係，研究目標明確，並有初步結果。

然而相關的實驗操作內容在網路資料中已多有報導，是以該研究的創新性較為不足；另外，反應速率並非時間的倒數，而是反應物(或產物)在單位時間的變化量。

摘要

本研究以葉錠浮沉實驗來測定植物的光合作用速率。由文獻探討發現，影響植物行光合作用的因素很多，但如何以葉錠浮沉實驗來了解這些因素的影響卻鮮少被討論。在這次研究中，我們找出進行葉錠浮沉實驗所需的最佳方法及條件，再以此比較不同光源、不同的植物特性以及不同葉齡等變因下的光合作用與呼吸作用速率的差異。

由實驗結果可知，0.24%的碳酸氫鈉溶液具有最穩定的實驗結果。此外，我們試著探討不同生理特性的植物之光合作用情形，發現陽性植物的光合作用速率快，耐陰植物的變異較多，陰性植物在實驗中的光照條件與其生長環境接近，故光合作用速率也快，這些結果與植物生理特性一致。為了追根究柢，我們進一步做了葉片的組織切片，發現不同的葉片組織結構會影響葉錠浮沉實驗的結果。

壹・研究動機

有一次科社社團上課時間，老師分享了一個以葉錠浮沉實驗來測定光合作用與呼吸作用速率。在與老師的討論中我們發現，這個實驗的流程簡易，器材隨手可得，且能客觀的計算出光合作用速率，很有機會讓生物課中我們學到的抽象觀念，透過真實的數據來呈現。我們如獲至寶，便展開一連串的文獻搜尋與討論，並進而設計實驗，希望藉由大量的實驗數據來分析不同的植物，其光合作用與呼吸作用速率是否會有顯著差異。

貳・研究目的

- 一、找出能穩定進行葉錠浮沉實驗的條件
- 二、比較陰性、耐陰性及陽性植物行光合作用的速率差異
- 三、探討不同植物葉部組織結構對葉錠浮沉測定的影響

參・研究設備與器材

一、器材：

玻棒、燒杯、量筒、定量瓶、刮勺、電子天平、打洞機、培養皿、夾鏈袋、計時器、滴管、針筒、鑷子、蓋玻片、載玻片、刮鬍刀、複式顯微鏡、植物燈、標籤紙、呼吸作用速率觀察暗箱、真空密封罐。

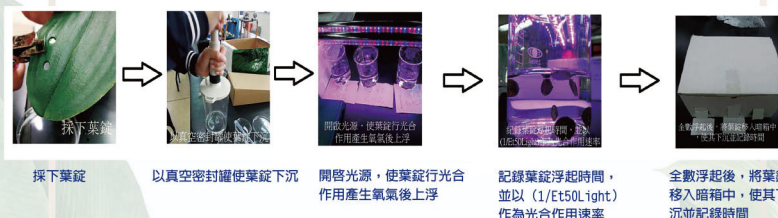
二、藥品：碳酸氫鈉、磷酸氫二鈉、檸檬酸鈉。

三、植物樣本：

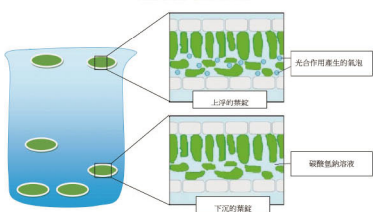
茄冬、大葉山欖、山薑、水黃皮、櫻花、雞蛋花、青剛櫟、鹿角蕨、鳥巢蕨、鵝掌藤、密葉竹蕉、竹柏、蝴蝶蘭、美鐵芋、紫鴨跖草、變葉木。

肆、研究過程與方法

浮沉葉錠實驗流程圖



葉錠浮沉原理



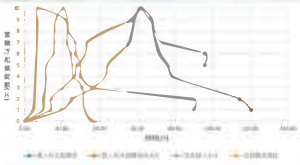
以葉錠浮沉測定植物光合作用速率的計算方法

淨光合作用速率($1/ET_{50Light}$)的檢測	半數葉錠浮起的时间為 $ET_{50Light}$ $1/ET_{50Light}$ 表示淨光合作用速率
暗呼吸作用速率($1/ET_{50Dark}$)的檢測	半數葉錠沉落的时间為 ET_{50Dark} $1/ET_{50Dark}$ 表示其暗呼吸作用速率
行光合作用速率($1/ET_{50Net}$)的計算	植物行光合作用時，呼吸作用仍照常進行，故 $1/ET_{50Net}$ 無法完全代表植物單純行光合作用的速率，應再加上 $1/ET_{50Dark}$ 。 $1/ET_{50Net} = 1/ET_{50Light} + 1/ET_{50Dark}$

伍、研究結果

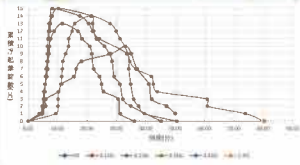
一、影響葉銨浮沉實驗的條件探討

實驗一：以茄冬了解葉子的保存方式對光合作用速率測定的影響

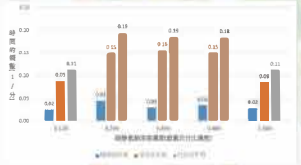


不同葉片保存方式的葉銨浮沉情形

實驗二：以茄冬了解不同碳酸氫鈉溶液濃度對光合作用速率測定的影響 (0%、0.12%、0.24%、0.36%、0.48%、2.4%)

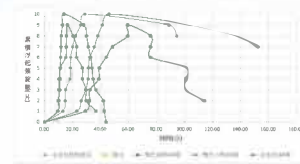


不同碳酸氫鈉溶液濃度的茄冬葉銨浮沉情形



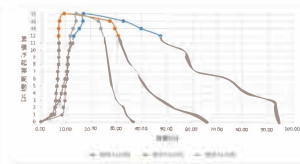
不同碳酸氫鈉溶液濃度下的速率比較

實驗三：以茄冬了解不同的光源的不同光通量密度下對光合作用速率測定的影響

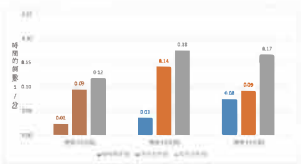


不同光照下的葉銨浮沉情形

實驗四：葉齡及葉子的顏色對光合作用速率的影響(以變葉木為比較)



變葉木不同葉齡的葉銨浮沉情形

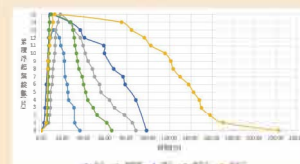


變葉木不同葉齡的各項速率比較

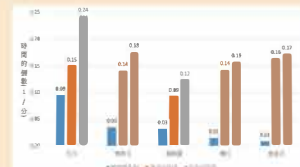
二、比較陰性、耐陰性及陽性植物的光合作用速率

實驗五、不同特性的植物種類

陽性植物

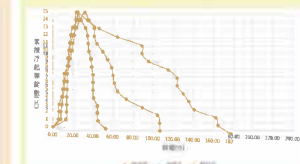


陽性植物的葉銨浮沉情形

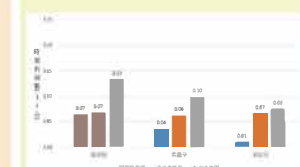


陽性植物的各項速率比較

耐陰性植物

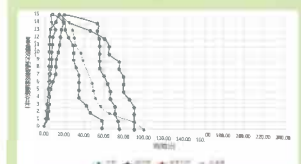


耐陰性植物的葉銨浮沉情形

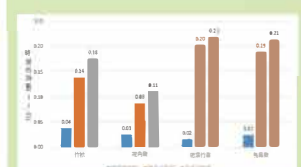


耐陰性植物的各項速率比較

陰性植物

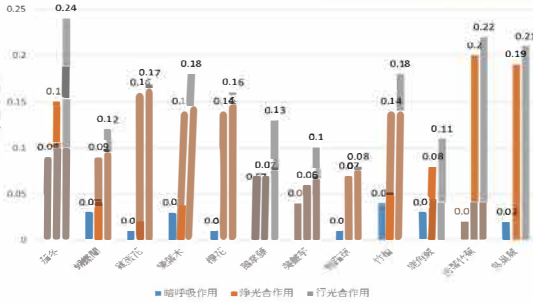


陰性植物的葉銨浮沉情形



陰性植物的各項速率比較

所有植物各項速率綜合比較



所有植物的各項速率整理

三、探討不同植物葉片組織結構對葉錠浮沉測定的影響

陽性植物

茄冬	鹽菜木	山蘿	蝴蝶蘭	雞蛋花	青剛櫚
葉錠上浮及下沉所需時間穩定且短	葉錠上浮及下沉所需時間穩定且短	葉錠上浮及下沉所需時間穩定且短	葉錠容易上浮，不易下沉	葉錠容易上浮，但不易下沉	抽氣多次葉錠仍然不易下沉
海綿組織結構非常疏鬆，且細胞間的空隙較多	海綿組織結構非常疏鬆，且細胞間的空隙較多	海綿組織結構非常疏鬆，且細胞間的空隙較多	葉片較厚，且海綿組織細胞在葉肉組織中佔數多比例	海綿組織在葉肉組織中佔數多比例	葉片較薄，且下表皮有較多蠟質結構，使得抽氣時溶液不易進入葉錠內

陰性植物

烏蘆蔴	鹿內蘆	竹柏	密葉竹筴
葉錠很快上浮，也容易下沉	葉錠很快上浮，不易下沉	抽氣時不易下沉，葉錠很快上浮，也容易下沉	抽氣時不易下沉，葉錠很快上浮，不易下沉
海綿組織在葉肉組織中佔數多比例	海綿組織結構非常疏鬆，即細胞間的空隙較多	海綿組織在葉肉組織中佔數多比例且排列緊密	海綿組織在葉肉組織中佔數多比例

耐陰性植物

點草蓆	美鐵芋	大葉山鹿	羅漢松
葉錠容易上浮，也容易下沉	葉錠很快上浮，不易下沉	抽氣時不易下沉，葉錠很快上浮，不易下沉	葉錠很快上浮，不易下沉
海綿組織結構非常疏鬆，即細胞間的空隙較多	海綿組織結構非常疏鬆，即細胞間的空隙較多	海綿組織在葉肉組織中佔數多比例	海綿組織結構排列緊密

陸、討論

- 一、從原來的植物體上直接採下葉錠進行實驗，所得的實驗結果最穩定。如需剪下枝條帶回實驗室測定時，則應將枝條浸泡在水中，如此才能維持水分正常輸送，確保光合作用速率的測定不受影響。
- 二、光反應所產生的ATP及NADPH會參與後續碳反應的進行，結束後再返回ADP及NADP⁺形式，使光反應持續進行，才能不斷產生氧氣，使得葉錠密度變小後浮起。故本實驗將葉錠置於碳酸氫鈉溶液中，提供碳酸根離子來參與碳反應，能讓光合作用循環不斷。
- 三、以陽光及光通量密度較小的全波長植物燈泡照射，在暗呼吸作用速率的實驗時間拉長後葉錠邊緣變黑，推測細胞可能因此被破壞，以致無法下沉。而在陽光下進行葉錠浮沉實驗，若日照不足或光照太強烈時，實驗過程也會有葉錠浮沉不穩定的結果。而光通量密度較低的兩管雙色LED植物燈，實驗結果亦不穩定，故本實驗以較高光通量密度植物燈照射，確保實驗有較穩定的結果。
- 四、本實驗中陰性植物行光合作用的速率和陽性植物相近，推測實驗中所使用的光通量密度剛好和陰性植物生長環境相仿，但對陽性植物來說偏低，故造成這樣的實驗結果，而這樣的光照使得耐陰性植物的光合作用速率表現較不佳。

柒、結論

- 一、直接從樹上取得葉錠的實驗結果較穩定，也就是所測得的上浮或下沉時間集中。故建議應該直接從樹上採下葉錠，並在最短時間內完成實驗。
- 二、0.24%的碳酸氫鈉溶液較適合葉錠浮沉實驗，超過0.24%的碳酸氫鈉溶液不能增加葉錠的光合作用速率，反而會傷害葉肉組織細胞，讓葉錠邊緣變黑。
- 三、採用光通量密度較高的植物燈來取代陽光照射下進行實驗，能讓照度成為一個穩定的控制變因。採用的植物燈的光照之光通量密度越大，所測得的光合作用速率越快。
- 四、以變葉木而言，葉子的顏色對於光合作用速率並沒有明顯差異，反而是葉子的葉齡會影響光合作用速率。當葉齡屬於成葉，光合作用速率較快。
- 五、以我們所做的葉錠浮沉實驗結果，對照文獻中記載的陽性植物、耐陰性植物，以及陰性植物的光合作用速率表現情形，大致符合此分類方式，因此我們認為，用葉錠浮沉實驗來進行植物光合作用速率的測定有其可行性。
- 六、不同植物的葉片組織結構有差異性，這除了影響光合作用速率快慢外，也會對葉錠浮沉實驗造成影響，因此未來可以再進一步探討葉片組織結構對於光合作用速率以及葉錠浮沉實驗的影響情形。

捌、參考資料及其他

1. 許雅婷(2015)。植物耐陰性及杜鵑花耐陰指標研究。國立台灣大學園藝暨景觀學系碩士論文，未出版，台北。
2. 郭耀倫(08,01,2013)。植物耐陰性及臺灣原生樹種耐陰性類別。林業研究專，Vol.20 No.4，P.36-40。
3. 許大全(2006)。光合作用測定及研究中一些值得注意的問題。植物生理學報，第42卷第6期，P.1163-1167。
4. 姚明輝(2011)。光度單位轉換問題之探討，農業試驗所技術服務，85期，P.26-29。
5. 阿蘭的生物筆記(2011)。用浮沉葉錠測量光合作用和呼吸作用。檢自：<https://reurl.cc/V6gYbR> (06,15,2020)
6. CASE報科學(2016)。感光也感熱的光敏素。檢自：<https://reurl.cc/Y1bYgO> (06,15,2020)