

# 2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

## 普高組 成果報告表單

<b>題目名稱：校園常見植物光合作用效率之探討</b>
<b>一、摘要</b>
近年來因為全球暖化加速，因此各地政府也開始推廣，綠化城市、綠化校園等各種可以有效增加植物覆蓋量的方法，為此減緩全球暖化達到碳中和。所以我們藉由綠化校園接觸到了這一塊，並開始探討校園適合種植的植物。藉由實驗數據我們得知每株植物所富含的葉綠素濃度皆不相同，將葉子烘乾後相同重量的葉片光合作用強度最佳的是厚葉石斑木，其次是厚皮香，再來則是鵝掌藤，整體來說以烘乾後相同重量光合作用強度灌木>喬木>草本植物。若乘上植物綠葉體積，則喬木>灌木>草本植物。接下來我們進行分組討論，乘上植物綠葉體積後，喬木之間光合作用效率最好的為茄苳，其次則是臺灣欒樹；灌木之間則為朱槿，其次是黃椰子；而草本植物之間則為金絲竹，其次是仙鶴草。並藉由計算後的數據，即可規劃一片土地應種植何種植物使光合作用效率達到最大化。
<b>二、探究題目與動機</b>
近年來，教育部逐步在推動綠色校園的計畫，而我們因為喜愛種植植物及綠化環境，因此協助學校衛生組綠化校園，而在調查校園中的植物與分析校園適合種植的植物種別時，發現校園中的植物，類別橫跨了中小型草本、大型草本、蔓性草本、常綠灌木、著生攀緣灌木、蔓性常綠灌木、常綠喬木、落葉喬木等。但在查找資料的時候發現，在內政部所提供的 EEWH 綠建築指標中，並沒有將不同的植物給細分。因此我們好奇這麼多植物，究竟誰的光合作用效率最好，可以大量吸收空氣中的二氧化碳，達到碳中和的目的。
<b>三、探究目的與假設</b>
探究目的： (一) 尋找學校中光合作用效率最佳的植物。 (二) 給予政府及學校綠化校園種植植物的建議。 (三) 藉由實驗數據達到淨零排放的目標。 探究假設： (一) 不同植物葉綠素濃度不相同。 (二) 比較不同種類喬木之光合作用效率。 (三) 比較不同種類灌木之光合作用效率。 (四) 比較不同種類草本植物之光合作用效率
<b>四、探究方法與驗證步驟</b>
實驗對象： 本次實驗所使用的植物共有 32 種，分別是屬於常綠喬木的稜果榕、青剛櫟、白肉榕、榕樹、馬拉巴栗、茄苳；屬於落葉喬木的山菜豆、臺灣欒樹、阿勃勒、白玉蘭；屬於常綠灌木的仙丹花、東方紫金牛、桑樹、厚葉石斑木、皋月杜鵑、日本女貞、變色木、

威氏鐵莧、金露花、厚皮香、桂花、臺灣紫珠、朱蕉、朱槿；屬於叢生灌木的黃椰子；屬於著生攀緣灌木的鵝掌藤；屬於蔓性常綠灌木的馬纓丹；屬於大型草本植物的金絲竹；屬於中小型草本植物的紫花蘆荊草、仙鶴草、香葉萬壽菊；屬於蔓性草本的烏斂莓。

實驗步驟：

- (一) 於同一植株上隨機採取葉況良好的葉片 10~20 片，測量其重量，得出葉片濕重的平均值。
- (二) 放入烘箱以 80°C 烘乾 30 分鐘後取出。
- (三) 測量葉片重量，得出葉片乾重的平均值，並計算葉片乾濕重比。
- (四) 將烘乾的植物裁剪成小碎屑後，量取 1g 放入試管中。
- (五) 加入 20mL 的 95% 酒精。
- (六) 將裝有酒精以及植物碎屑的試管管，放入 80°C 水浴中加熱 30min，萃取葉綠素。
- (七) 將萃取完的葉綠素取出，將酒精添加至 40mL，標準化其數據並以利後續測量。
- (八) 將調製完的葉綠素溶液，取樣出 5mL 放入光析管中，藉由光譜儀利用吸光度比較葉綠素濃度，每種植物檢測 3 次以減少誤差。
- (九) 將先前取樣放入光析管中的葉綠素，再次使用光譜儀利用 500nm 之色光測量螢光得出不同植物葉綠素的光合作用效率，每種植物檢測 3 次以減少誤差。
- (十) 計算 25cm<sup>3</sup> 的空間內每種植物葉片數量(如右圖一)。
- (十一) 回推植物綠葉總重，乘上其光合作用強度及其綠葉部分體積後推算光合作用效率。



利用 25cm<sup>3</sup> 樣品框計算葉子數量

(圖一)

計算光合作用效率公式：

$$\frac{\text{植物綠葉部分體積}m^3}{0.015625m^3} \times (\text{單片葉片乾重} \times 25cm^3\text{內葉片總數}) \times \text{光合作用強度} \times \text{可行光合作用時間(註一)}$$

= 植物光合作用效率

註一：植物分為常綠及落葉兩種，落葉植物無法一年四季穩定行光合作用，因此乘上植物行光合作用較強的時間，單位為月。

植物葉片的定義：

植物的葉片有許多形狀也有許多樣式，外界普遍將一片葉子定義為「由單個葉柄生長出來的葉片即為一片完整的葉子」，因此可以將葉片分為兩大類，一種是一個葉柄生長出一個葉片，這種我們稱之為「單葉」(如下圖二)，而一個葉柄生長出兩個或以上葉片，我們則稱之為「複葉」(如下圖三、四)。

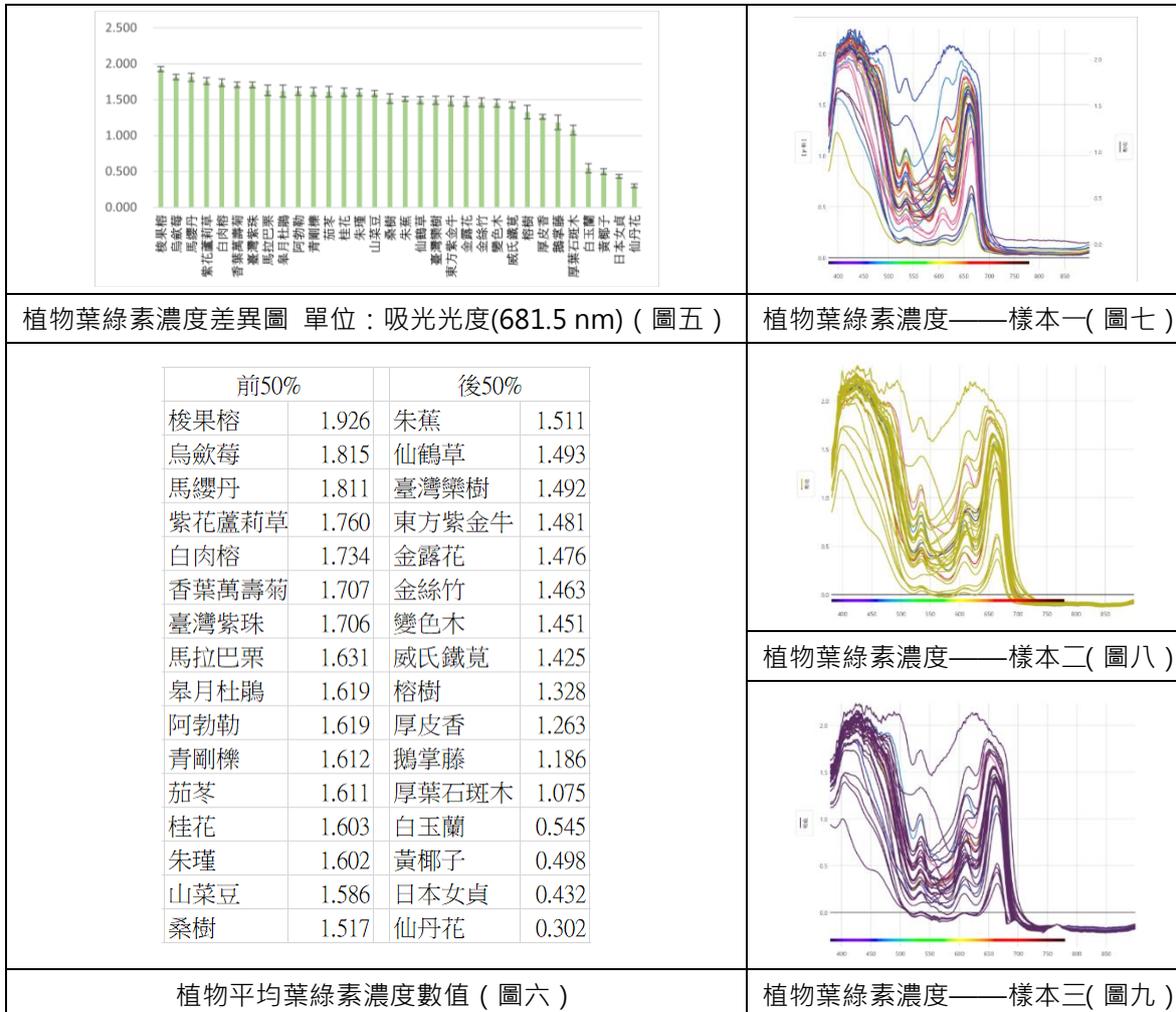
<p>單葉示意圖 (圖二)</p>	<p>複葉——羽狀複葉示意圖 (圖三)</p>	<p>複葉——掌狀複葉示意圖 (圖四)</p>

不論是單葉或是複葉，所生長出的葉片皆可行光合作用，因此本次實驗所計算的植物葉片即為由主脈、側脈即葉身所組成可行光合作用之組織計算為一片葉片。

## 五、結論與生活應用

### (一) 不同植物葉綠素濃度

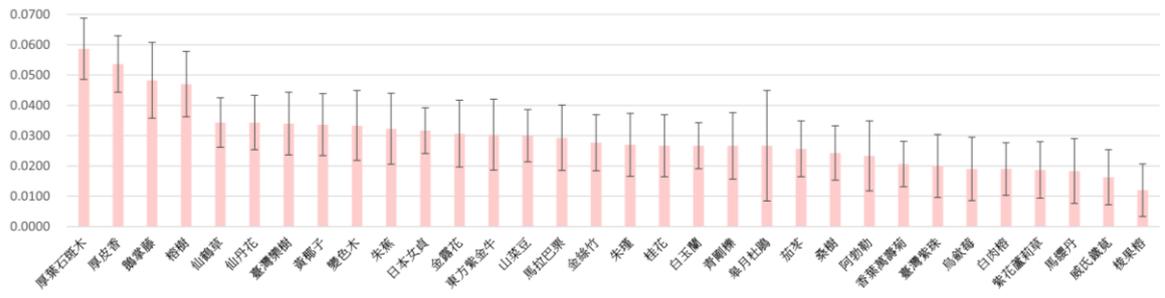
本次取樣的 32 種植物，每種植物各做 3 組樣本，總共 96 組，藉由全色光測定吸光度，實驗結果如下 (圖五~九)。



經過光譜儀所測得的吸收光譜得知，所萃取出物質為葉綠素。日常生活中常見的植物葉綠素為「葉綠素 a」及「葉綠素 b」，這兩種物質的吸收光會有兩個峰值，分別約在 430nm~480nm 之間與 640nm~660nm 之間，在這 32 種植物當中葉綠素濃度最高的植物為梭果榕，最低的則是仙丹花，並且這次測量光譜時發現一件有趣的事，一般來說，不論是葉綠素 a 或葉綠素 b 在黃綠光波段 (490nm~600nm 之間) 應為幾乎不吸收的，但是本次實驗於該波段仍有被吸收，因此我們猜測利用酒精於葉子組織溶解出來的物質，不單單只是葉綠素而已，應該還有吸收峰值約 460nm 的類胡蘿蔔素及葉黃素、吸收峰值約 520nm 的花青素等。並且透過光譜儀所顯示的數據會發現每種植物的葉綠素濃度皆有些許的差異，即使是外表顏色不為綠色的植物 (像是變色木及威氏鐵莧) 也可以萃取出葉綠素。

## (二) 比較相同空間中植物光合作用效率

本次取樣的 32 種植物，每種植物各做 3 組樣本，總共 96 組，藉由 500nm 色光測定螢光，實驗結果如下（圖十）。

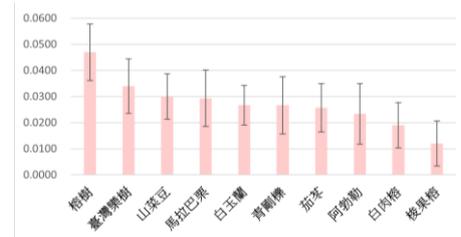


植物葉綠素螢光分析圖（圖十）

經過實驗得知在 32 種植物當中，光合作用效率前三高的分別是厚葉石斑木、厚皮香及鵝掌藤，而 32 種植物光合作用強度的前 25% 有 2 種屬於喬木、5 種屬於灌木、1 種屬於草本，也就是說本次採樣的植物有約 20% 的喬木、約 30% 的灌木及 20% 的草本為光合作用效率較好的組別(前 25%)；而持續向下採樣，前 50% 有 4 種屬於喬木(佔採樣的 10 種喬木中 40%)、10 種屬於灌木(佔採樣的 17 種灌木中約 60%)、2 種屬於草本(佔採樣的 5 種草本中 40%)，根據光合作用效率前 50% 的數值來說，灌木整體上光合作用強度大於喬木及草本，接下來要比較喬木及草本何者光合作用強度較好，所以繼續向下採集數據，前 75% 有 8 種屬於喬木(佔採樣的 10 種喬木中約 80%)、2 種屬於草本(佔採樣的 5 種草本中 40%)因此我們可以得知，以相同重量(乾重)的光合作用效率來說灌木>喬木>草本植物。不過套入前面所提到的公式，則前 50% 的數據中共有 9 種喬木(佔採樣的 10 種喬木中 90%)、6 種灌木(佔採樣的 17 種灌木中 35%)、1 種草本(佔採樣的 5 種草本中 20%)，也就是說加上植物綠葉部分的體積後，植物整體的光合作用效率喬木>灌木>草本植物。

## (三) 喬木之間光合作用效率比較

本次取樣之喬木共有 10 種，種類包括如常綠喬木及落葉喬木，為了比較喬木間光合作用強度，並去除植栽大小所引起的差異，因此我們先比較相同重量下(乾重)植物光合作用強度(如右圖)。



右圖為喬木光合作用之強度，最強的為常綠喬木的榕樹，其次是落葉喬木的臺灣樂樹，接下來為了要驗證常綠喬木與落葉喬木是否有差別，因此我們取 10 種樣本中數值的 1~5 名，並觀察其種類，發現其五名常綠及落葉喬木的比例各佔 50%，因此我們推測喬木的種類並不會影響光合作用效率。

榕樹	0.0470	青剛櫟	0.0267
臺灣樂樹	0.0340	茄苳	0.0257
山菜豆	0.0300	阿勃勒	0.0233
馬拉巴栗	0.0293	白肉榕	0.0190
白玉蘭	0.0267	椴果榕	0.0120

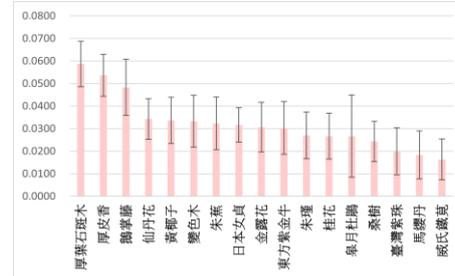
最後我們將植物綠葉部分體積乘上光合作用強度後，本次取樣的喬木中，光合作用效率的前三名分別是，茄苳、臺灣樂樹及榕樹。

#### (四) 灌木之間光合作用效率比較

本次取樣之喬木共有 17 種，種類含括如常綠灌木、叢生灌木、著生攀緣灌木及蔓性常綠灌木，為了比較喬木間光合作用強度，並去除植栽大小所引起的差異，因此我們先比較相同重量下（乾重）植物光合作用強度（如右圖十二）。

右圖為灌木光合作用之強度，強度最高的為常綠灌木的厚葉石斑木，其次是常綠灌木的厚皮香，第三則是著生攀緣灌木的鵝掌藤，但是因為灌木組的除了常綠灌木外，皆只有一種植物代表，因此無法驗證灌木不同的特性是否會影響其光合作用強度。

最後我們將植物綠葉部分體積乘上光合作用強度後，本次取樣的灌木中，光合作用效率的前三名分別是，朱槿、黃椰子及桑樹。



厚葉石斑木	0.0587	金露花	0.0307
厚皮香	0.0537	東方紫金牛	0.0303
鵝掌藤	0.0483	朱瑾	0.0270
仙丹花	0.0343	桂花	0.0267
黃椰子	0.0337	皋月杜鵑	0.0267
變色木	0.0333	桑樹	0.0243
朱蕉	0.0323	臺灣紫珠	0.0200
日本女貞	0.0317	馬纓丹	0.0183
		威氏鐵莖	0.0163

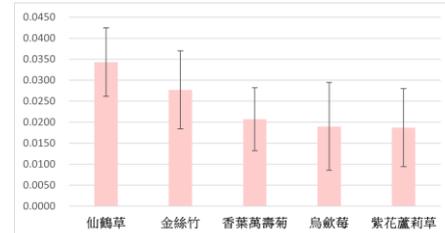
灌木光合作用強度（圖十二）

#### (五) 草本植物之間光合作用效率比較

本次取樣之草本植物共有 5 種，種類含括如大型草本、中小型草本及蔓性草本，為了比較草本植物間光合作用強度，並去除植栽大小所引起的差異，因此我們先比較相同重量下（乾重）植物光合作用強度（如右圖十三）。

右圖為草本植物光合作用之強度，強度最高的為中小型草本的仙鶴草，其次是大型草本的金絲竹，但是因為草本植物樣本數不多，因此無法驗證不同型態的草本植物是否會影響其光合作用強度。

最後我們將植物綠葉部分體積乘上光合作用強度後，本次取樣的草本植物中，光合作用效率的前三名為金絲竹、仙鶴草及香葉萬壽菊。

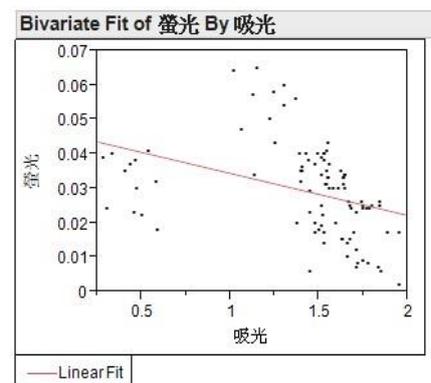


仙鶴草	0.0343	烏斂莓	0.0190
金絲竹	0.0277	紫花蘆莉草	0.0187
香葉萬壽菊	0.0207		

草本植物光合作用強度(圖十三)

#### (六) 植物葉綠素濃度與其光合作用之關係

右圖十四光合作用強度與植物葉綠素濃度之關係圖，我們發現兩者呈現負相關（相關係數約為-0.375），這讓我們非常疑惑，因為根據文獻所說，植物進行光合作用時會經過光系統 I 與光系統 II，在這個過程中所使用的色素即為葉綠素，因此葉綠素濃度越高，光合作用強度應就越高。那這次實驗我們猜測會出現負相關的原因有兩個，分別是：



植物葉綠素濃度與光合作用關係圖（圖十四）

1. 葉綠素照光時，會促使其電子進行化學反應變成激發態，當部分電子還原成基態時會釋放所吸收光的約 10%，並且發出的光波長會介於 680nm ~ 800nm 之間，而波長 680nm ~ 800nm 又剛好是植物中許多色素的吸收光值（例如：葉綠素 a）因此植物葉綠素濃度越高，儀器所接收到的螢光越少。
2. 植物在進行光合作用時，不只有葉綠素會參與反應，像是β-胡蘿蔔素在光合作用中也擔任十分重要的角色，而在萃取葉綠素的時候也會萃取出些微的β-胡蘿蔔素，所以我們認為測試光合作用強度時或許就會受到這些少許色素影響。

### （七）生活應用

本次實驗的數據可以讓任何人去計算土地上植物的光合作用效率，得出該土地的碳中和數值，也可以運用規劃土地上，這裡舉一個例子：

小鳴有一塊土地大小為 $10000m^3$ ，他打算在這片土地上運用複層綠化的概念種植植物（假設完全種滿），目前的他有兩種想法，第一種是最上層種植臺灣欒樹、中間層種植耐陰的皋月杜鵑、最下層種植仙鶴草；或是最上層種植榕樹、中間層種植耐陰的馬纓丹及最下層種植紫花蘆利草的組合。接下來我們將植栽數量乘上個別的光合作用效率數值，即可得出這片土地的光合作用數值，結果如下（表一）。

種植植物兩種組合方式比較表（表一）

想法一					
種類	植物名稱	最大植栽數量	光合作用效率	光合作用強盛時間	最終光合作用數值
喬木	臺灣欒樹	216	1098647.7	5 個月(3~7 月)	1,186,539,516
灌木	皋月杜鵑	83000	10.6	12 個月	10,557,600
草本	仙鶴草	10000	6.9	12 個月	828,000
總計					1,197,925,116
想法二					
種類	植物名稱	最大植栽數量	光合作用效率	可行光合作用時間	最終光合作用數值
喬木	榕樹	621	130229.7	12 個月	970,471,724
灌木	馬纓丹	5884	15.7	12 個月	1,108,545
草本	紫花蘆利草	83000	0.01	12 個月	11,685
總計					971,591,955

藉由計算得出兩種搭配法於該土地最高的光合作用數值分別是 1,197,925,116 及 971,591,955，因此小鳴如果希望能最快速達到碳中和的話，則應使用第一種想法。

### 參考資料

行政院農委會——臺灣樹木解說 <https://reurl.cc/Rv8YO9>

行政院農委會——農業知識入口網 <https://kmweb.coa.gov.tw/>

李裕娟、楊純明(2002)。水稻單葉光譜特徵與葉綠素濃度之關係。航測及遙測學刊。

劉敏莉(2011)。葉綠素螢光在作物耐熱性篩選之應用。高雄區農業改良場研究彙報。