

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

最佳團隊合作獎

030319

含「晴」脈脈

~葉片排列與受光面積對太陽能板效率之研究

學校名稱：彰化縣立陽明國民中學

作者： 國一 黃晉揚 國一 黃正葆 國一 蔡明貴	指導老師： 蔡名峯 黃彥淵
---	-----------------------------

關鍵詞：葉序、光合作用、機器視覺

摘要

近年來環保意識抬頭，但是人類對電力的需求卻從未減少，太陽能有效利用一直是個課題。本研究調查各種植物經物競天擇的樹葉排序方式，想像植物葉片就是太陽能板，研究其角度、面積和排列方式...等，並找出利用太陽光最有效率的葉序排列。本研究蒐集不同葉序的植物，在不同角度陽光照射之下，使用**機器視覺技術來自動定位葉片**，再進行**影像判讀測量出受光與非受光相對面積比例的變化**，探討哪種植物的葉片排序方式對太陽能利用最有效率。實驗顯示：**受光面積相對比例由大到小分別是：叢生 > 互生 > 輪生 > 對生**，此重大發現期望未來能深入研究，改善太陽能板的設計，期待將模組化微型太陽能板藏於仿生行道樹中，提高效率並為城市注入生活美學。

壹、研究動機

校園生活與校外參觀常看到爭奇鬥豔的花花草草，學校上課曾經學到，植物是利用光合作用製造養分(**一上 3-3 植物如何製造養分**)，對於植物用這種方式來利用光能，實在是令人讚嘆，大自然實在是鬼斧神工。

有一次在家中屋頂看見工人安裝太陽能板，心想，太陽能板接收太陽光的能量，這不就是樹葉接收太陽光的方式(**二上 4-1 光的傳播**)，而太陽能板組裝是四四方方的排列，看見陽光灑落在太陽能板上，心想若是**太陽能板也能設計的像植物的葉子**，一定會更加有效率，為了證實這個觀點，本組開始了一連串的研究。

本組蒐集了四種不同類別的植物，發現不同種類的植物，葉片的排列方式也不同，查閱網路資料來瞭解葉子的排列，知道**植物的葉片大致可分為對生、互生、輪生和叢生四種**主要的排列方式。這四種排列方式，葉片之間的夾角又不盡相同，所以本組相信大自然這樣設計植物的葉片肯定有其道理，因為對植物來說，**能不能夠讓葉子接收到足夠的太陽光，可是生死攸關的大事**，植物葉片生長經過千萬年漫長的生物演化(**一下 3-2 演化的學說**)，只有葉片能有效利用陽光的植物能夠存活，所以本組想找出大自然所設計的排列方式，藉由現代**機器視覺科技**，進行**自動化葉片定位、計算受光非受光相對面積**，來找出自然界最好最有效率的

方式，目前政府大力推行綠能，但是徵收土地成本很大，本組思考未來太陽能板科技能設計的有如樹葉一樣，又輕又薄，如果能設計出樹葉都是太陽能板的仿生人造行道樹，種植隱藏於城市的屋頂與每個角落，整個城市都是太陽能發電廠，兼顧效能與城市設計美學。

貳、研究目的

- 一、研究探討植物不同族群種類葉片排列方式。
- 二、研究機器視覺自動定位葉片與樹葉表面積影像計算的方式。
- 三、研究葉片的排列方式對於受光與非受光面積相對比例的影響。
- 四、研究植物向光性與受光面積相對比例的關連性。
- 五、找出受光比例最佳最有效率的葉片排列方式。

參、研究設備及器材

- 一、下列為實驗研究設備與器材（詳見表 1）

（表 1、實驗材料）

實驗材料	數量	備註
(1) 桂花植物	9 盆	
(2) 金桔植物	9 盆	
(3) 軟枝黃蟬植物	9 盆	
(4) 馬拉巴栗植物	9 盆	
(5) 油漆筆	1 盒	
(6) 剪刀、美工刀	兩組	
(7) 膠水	1 個	
(8) 手機支架	1 組	
(9) 收納盒	1 個	
(10) 厚紙板	20 張	
(11) 筆記型電腦	1 台	
(12) 照相機	1 台	

二、各種實驗用的植物如圖（圖 3-1 至 3-4）

本組選擇這四種植物來做實驗，主要考慮因素是因為這四種植物是台灣常見植物，在相似的海拔，相似的生態環境，體型高度也相似，容易進行打光與拍照。



（圖 3-1）桂花(對生)



（圖 3-2）金桔(互生)



（圖 3-3）軟枝黃蟬(輪生)



（圖 3-4）馬拉巴栗(叢生)

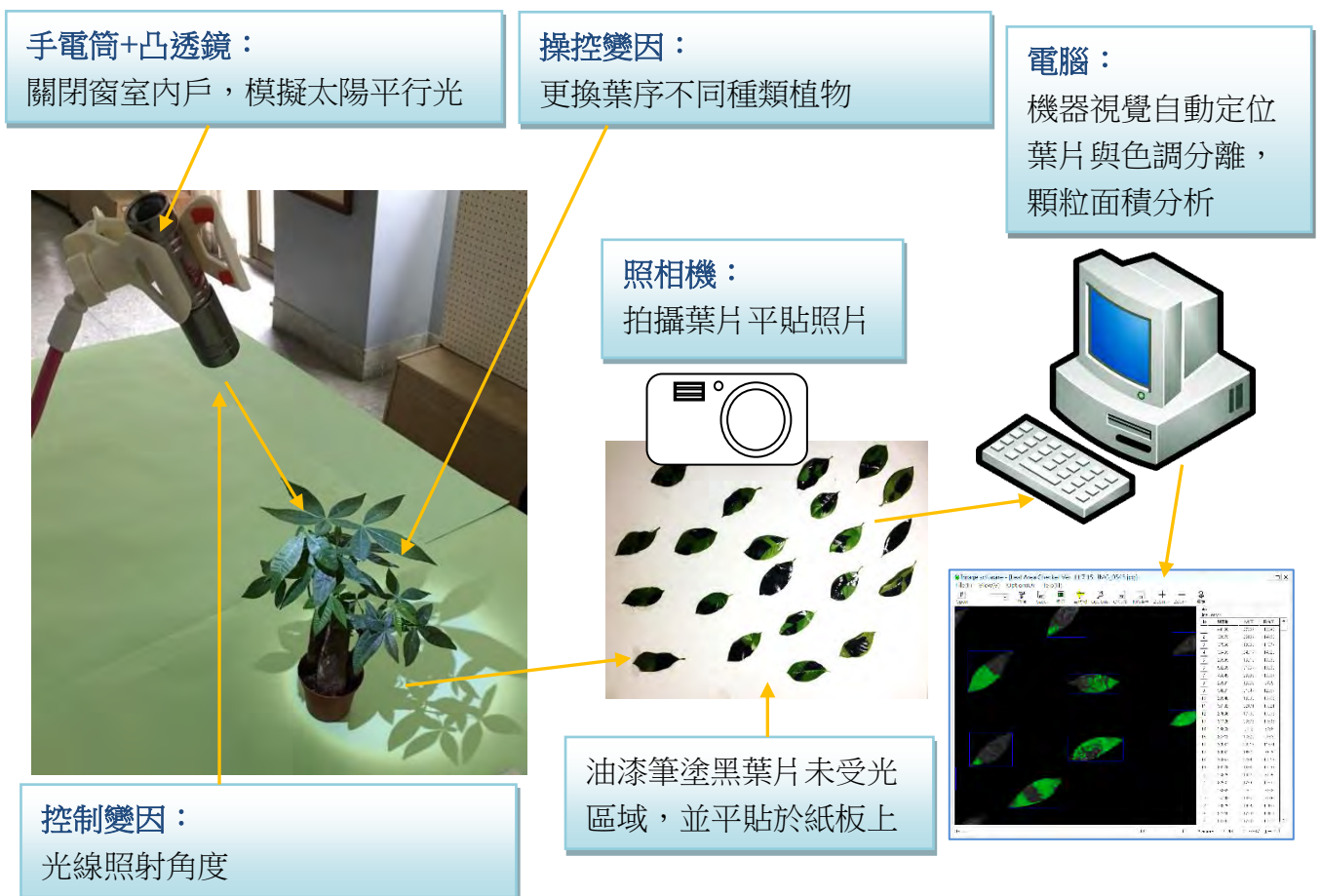
三、實驗作法示意（如下圖 3-5）

為了避免室外光源干擾葉子受光面的測量實驗，實驗過程中必須將所有窗戶關閉，在黑漆漆的房間內進行實驗，而為了找出能準確測量出樹葉受光與非受光的方法，本組經過各種想法與實驗失敗：

(一)將受光與非受光的樹葉做記號後剪下來進行秤重，但因植物肉厚不均，重量無法代表面積。

(二)直接對著打光後的植物，進行固定距離角度的拍照，但因為樹葉是層層分明，有上層與下層距離不同，導致拍出來的照片，因為有遠近之分，所以無法用照片本身的大小來代表樹葉的大小。

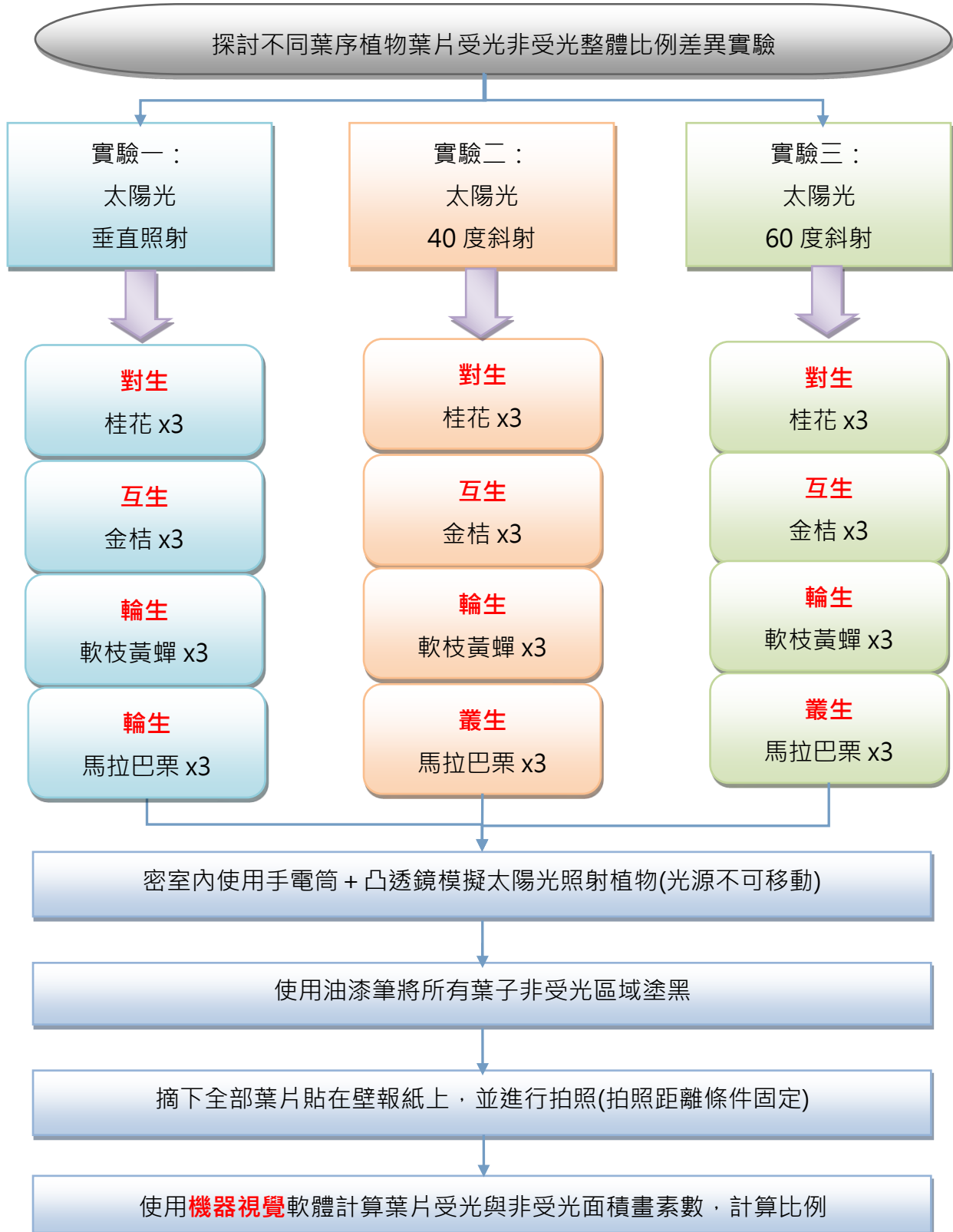
最後我們找出將樹葉塗漆之後，全部摘下，平貼於同一平面的厚紙板之後拍照，再送到電腦使用影像處理軟體進行定位與面積測量計算。



(圖 3-5) 實驗示意說明圖

肆、研究方法

一、研究實驗流程如下圖及示意圖(圖 3-6)



(圖 3-6)實驗流程示意圖

二、研究原理：

採集四種葉序的植物各三株，將手電筒光源置於凸透鏡焦點，模擬出平行光(參考圖 4-7)多重角度照射植物後，將未受光葉片區域用油漆筆塗黑後摘下，平貼於背景純色的厚紙板，安排角度垂直、距離固定的環境進行相機拍照，再以機器視覺自動化定位葉片位置、找出受光與非受光面積的影像畫素數來計算相對的面積。

三、研究步驟：

(一)、採集植物：

植物的葉片依照初步分類，有互生、對生、輪生、叢生四種排序方式(表 2)。

1、**對生**：植物莖上每節**相對而生**二片葉子就是對生（詳見圖 4-3-1）。

如：蟛蜞菊、黃金露花、野牡丹、青楓、薄荷、九層塔、桂花等。

2、**互生**：植物莖上每節只長一片葉子，**二葉錯開**而生叫做互生

（詳見圖 4-3-2）。如：榕樹、小葉桑金桔等。





3、**輪生**：植物在同一枝節上每節生三片或更多葉片叫做輪生

（詳見圖 4-3-3）。如：黑板樹、軟枝黃蟬等。

4、**叢生**：節間甚短，具二片以上之**葉密接著生長**叫做叢生。（詳見圖 4-3-4）。

如：鳥巢蕨、馬拉巴栗、沙漠玫瑰等。

(表 2) 植物葉序主要四大分類

對生	互生	輪生	叢生
桂花 薄荷	金桔 扶桑	軟枝黃蟬 黑板樹	馬拉巴栗 沙漠玫瑰
			
(圖 4-3-1) 對生葉	(圖 4-3-2) 互生葉	(圖 4-3-3) 輪生葉	(圖 4-3-4) 叢生葉

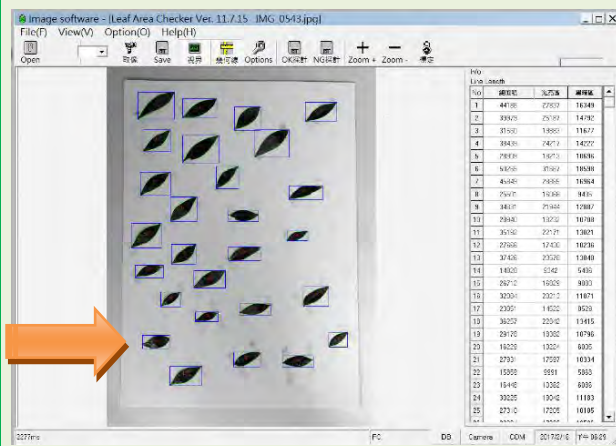
(二)、植物葉片檢測方式

植物葉片機器視覺計算面積的檢測程序如圖（4-4-1 至 4-4-6）所示。

(示範照片為了便於拍照有開燈，正式實驗必須關閉窗戶，讓外來燈光減少到最低)

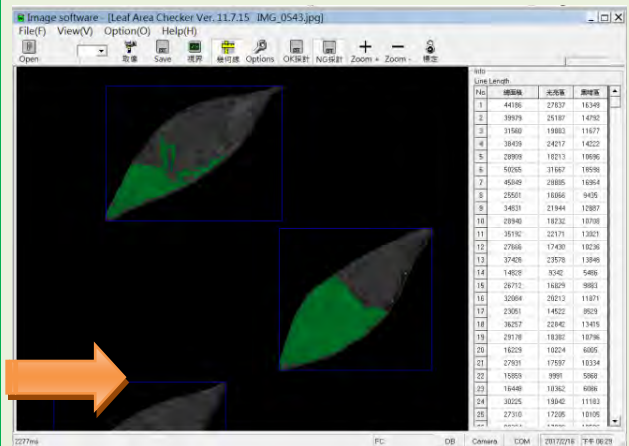


Step 5



(圖 4-4-5) 影像軟體定位所有葉片位置，再計算出受光與非受光面的總畫素面積

Step 6



(圖 4-4-6) 將畫素面積依照比例尺換算成面積，再進行比較，得到統計圖表

將各類植物葉片平貼於厚紙板上拍照結果，如圖(4-5-1~4-5-4)，藉助**機器視覺技術**，透過**亮度來去除背景**，**定位出葉片**之後，由於油漆筆塗黑部分與樹葉未塗黑部分有色調差異，藉此進行色調分離，**透過影像二階化顆粒分析**，**計算顆粒的畫素總數**，便可計算受光面與非受光面積總畫素計算。



(圖 4-5-1) 馬拉巴栗(叢生)



(圖 4-5-2) 桂花(對生)

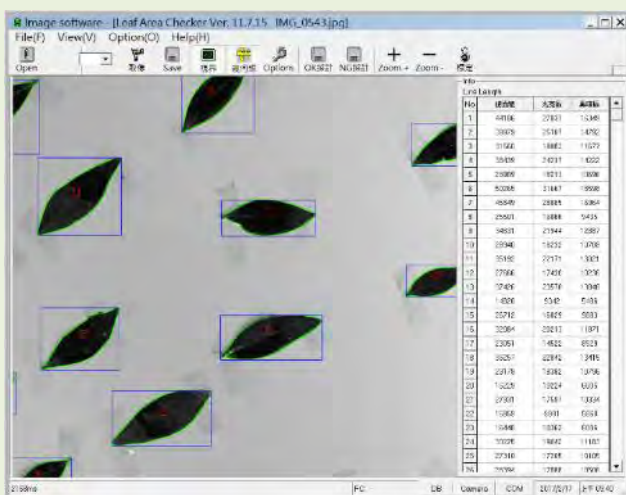


(圖 4-5-3) 軟枝黃蟬(輪生)



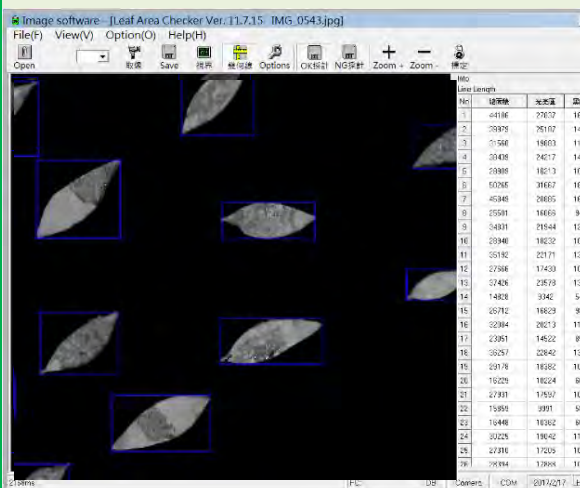
(圖 4-5-4) 金桔(互生)

為了求出有效的樹葉受光面積，我們嘗試很多種方式，諸如剪下受光與非受光面積樹葉分類後秤重，但是因為植物葉片肉厚不均，失去準確性;也嘗試使用直接對植物拍照直接計算照片，但是因為上方與下方葉片因為距離不同，拍出的面積大小有遠近之別，也導致無法計算，最後我們想出這種把葉片塗漆，然後全部剪下貼在同一平面的厚紙板上。



(圖 4-6-1)：影像軟體讀入軟體後，對每一張樹葉進行定位，並將其編號定義

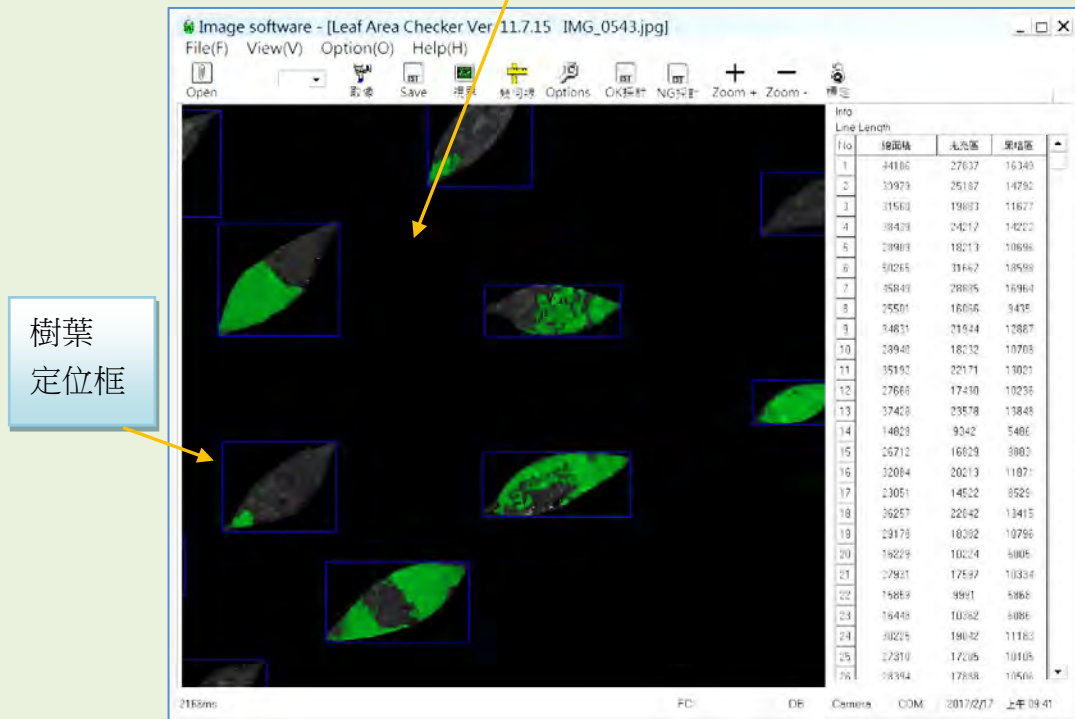
利用亮度分割，去除背景，再轉色調



(圖 4-6-2)：將分割出來的葉片進行色調分離，讓有塗色的區域顯現出來

透過色調分離，過濾出樹葉有油漆筆塗色的區域

計算受光與非受光的顆粒畫素區域總數



(圖 4-6-3)：將無塗色的區域與塗色區域分離後，進行畫素數的統計計算

(三)、受光面積測量

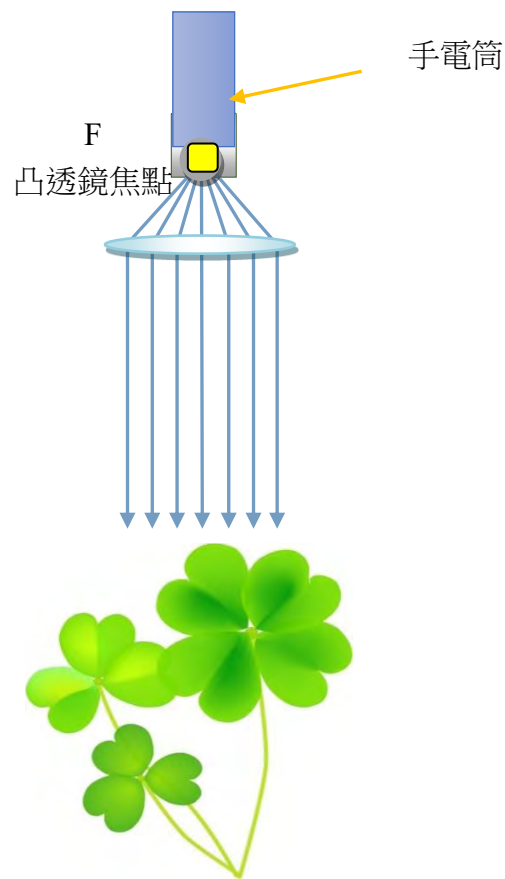
利用手電筒和凸透鏡模擬太陽之平行光（詳見圖 4-7），照射植物，用油漆筆塗黑未受光的葉片部位，之後摘下所有葉片，平貼於厚紙板上進行拍照，透過機器視覺處理軟體計算受光與非受光表面積，再將得到畫素數按照比例尺換算為表面積，使用機器視覺的方式，可以快速得計算出相對面積。



(圖 4-7)：凸透鏡模擬平行光示意圖

由於本組希望光線的照射角度能為實驗中控制變因，模擬環境太陽光自然照射植物的方式，但如採用室外太陽光，會因為實驗時間導致太陽角度改變，難以控制，所以本組採用模擬平行光的方式來取代太陽光。

凸透鏡(圖 4-7)有將平行光聚焦的能力，故本組將手電筒的光源放在凸透鏡的焦點處，透過凸透鏡的折射，產生平行光(圖 4-8)，用來照射植物。



(圖 4-8)：手電筒+凸透鏡模擬平行光示意圖

伍、研究結果與討論

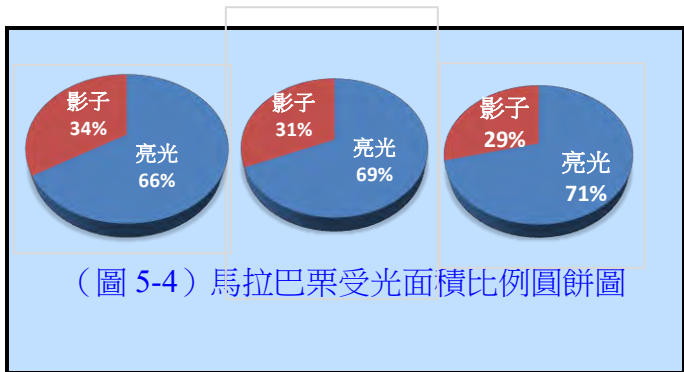
一、實驗 1: 模擬太陽光 90 度照射與葉片受光面積的相關性

操縱的變因	植物的葉序排列
控制的變因	平行光照射角度
應變的變因	受光面積比例

▼(表 3 太陽光 90 度照射對實驗植物的實驗結果統計)

植物名稱	總畫素	受光面積總畫素	未受光面積總畫素	受光面積比例	圓餅圖
桂花(對生)三株	27262	15669	11593	57%	<p>(圖 5-1) 桂花受光面積比例圓餅圖</p>
	28304	17280	11024	61%	
	28399	17748	10651	62%	
金桔(互生)三株	20468	9377	11091	46%	<p>(圖 5-2) 金桔受光面積比例圓餅圖</p>
	20312	9600	10712	47%	
	20007	10003	10005	50%	
軟枝黃蟬(輪生)三株	33479	20074	13406	60%	<p>(圖 5-3) 軟枝黃蟬受光面積比例圓餅圖</p>
	34200	21330	12870	62%	
	34176	22258	11918	65%	

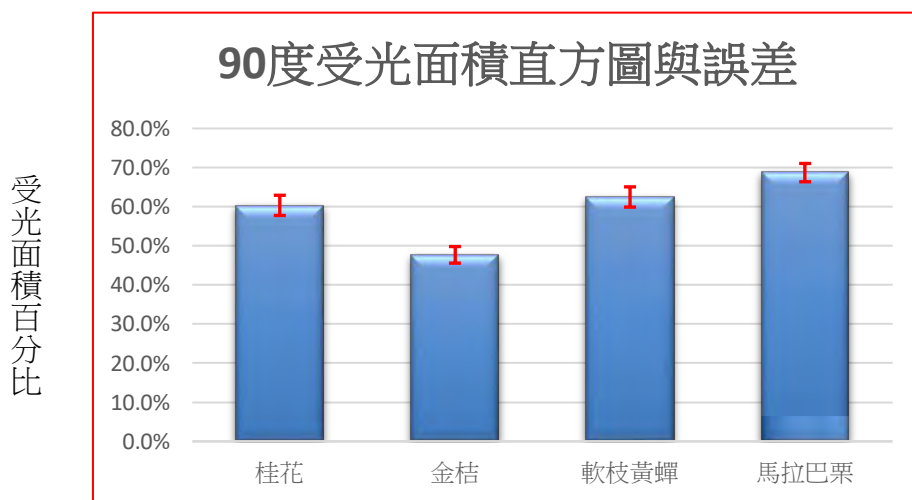
馬拉巴栗(叢生) 三株	69931	46430	23501	66%
	71122	48840	22282	69%
	69772	49591	20181	71%



(表 4) 四種植物各個受光面積平均與標準差計算

植物名稱	第一株	第二株	第三株	平均	標準差
桂花(對生)	57%	61%	62%	61.6%	4.37%
金桔(互生)	46%	47%	50%	47.7%	2.12%
軟枝黃蟬(輪生)	60%	62%	65%	62.8%	3.13%
馬拉巴栗(叢生)	66%	69%	71%	67.1%	1.39%

以下是上表(表 4)所有植物受光面積百分比的長條圖 (詳見下圖 5-5)



(圖 5-5) 垂直光照射各類葉序植物受光面積相對百分比

實驗一結果與討論(太陽光 90 度照射植物受光相對比例探討):

參考各類葉序受光面積比例結果比較之後(表 3, 表 4,圖 5-1, 5-2, 5-3, 5-4), 以叢生的馬拉巴栗受光面積最高(67.1%)(表 3,圖 5-4), 其次分別是輪生的軟枝黃蟬(62.8%)與對生的桂花(61.6%)(表 3,圖 5-1,5-3), 以互生的金桔為最低(47.7%)(表 3,圖 5-2), 本組分析各種植物葉序排列的優缺點:

(一)、對生的植物:缺點:本組觀察對生植物葉片依照相對性來生長,所以葉片生長方向比較容易與下層葉片疊合,所以 90 度的垂直光照射時,會讓下層的葉片被上層葉片擋光,所以導致整體受光面積會比較小。

優點:對生植物葉片不會長的太大,所以能夠向外平伸不會下垂,葉片之間的夾角比較大,所以剛好多少可彌補上層葉片 90 度垂直光蓋到下層的缺點。

(二)、互生的植物:缺點:由於互生莖節上只長一片葉子,二葉錯開而生,所以 90 度的垂直光照射時,下層的葉片被上層葉片擋住光線,所以導致整體受光面積會比較小。

優點:因為葉片錯開而生,上下葉片因為不會互相擋到,所以就算是較下層的葉片也有機會吸收到比較多陽光。

(三)、輪生的植物:缺點:由於同一枝節上每節生三片或更多葉片,所以導致同一輪的葉片容易互相擋光,生長方式如對生和互生,皆是從莖上面以極短的葉柄長出,且輪生植物較下層之葉片並無較突出,所以容易受上層葉片阻擋。

優點:因為葉片生長較多,故每一層總受光面積就更大,所以雖說最上層是光照面積最大的地方,但輪生能夠更有效的加倍運用。

(四)、叢生的植物:缺點:叢生植物葉片生長方式較為緊密,所以葉片因此長的又大又重,而加上生長的高度比較高,莖因為需要支撐起龐大重量,導致因為無法有效讓葉片挺拔,導致葉片會有下垂現象,而因此比較無法有效率的吸收陽光。

優點：因為叢生植物高度長的比較高，讓每一層葉片的間隔較大，因此下層的葉片因為與上層的距離拉開，所以下層葉片的受光面積較不受上層葉子的阻擋，而叢生葉片的生長方式較無一定的角度規律，所以上下層的葉片更因此彼此夾角不同，不容易互相阻擋。

二、實驗 2: 模擬太陽 40 度斜射與葉片受光面積影響

操縱的變因	植物葉序排列方式
控制的變因	平行光照射角度
應變的變因	受光面積比例

由交通部[中央氣象局]網站查詢如下表(表 5)，發現太陽照射角度與地面夾角在這些時候和地點大約是 40 度，探討實驗控制變因所決定採用光照角度的合理性。

(表 5)：各地太陽光與地面夾角呈 40 度時間(採用的合理性)

台北	春秋分 9 時(40 度)、春秋分 15 時(40 度)、冬至 11 時(40 度)、冬至 13 時(40 度)
台中	春秋分 9 時(40 度)、春秋分 15 時(40 度)、冬至 11 時(41 度)、冬至 13 時(41 度)
高雄	春秋分 9 時(41 度)、春秋分 15 時(41 度)、冬至 11 時(42 度)、冬至 13 時(42 度)
恆春	春秋分 9 時(41 度)、春秋分 15 時(41 度)、冬至 11 時(43 度)、冬至 13 時(43 度)

因此本組將光源與地面夾角調整至 40 度，對四個植物模型進行實驗結果如下表（詳見表 6、表 7）

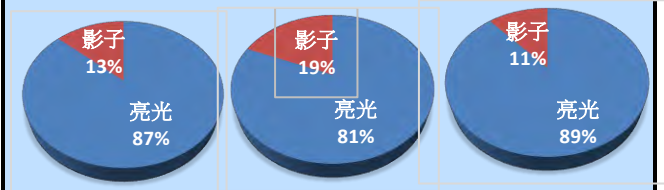
(表 6)：實驗 2(太陽光 40 度斜射植物受光相對比例面積影像分析)結果

	總畫素	受光面積總畫素	未受光面積總畫素	受光面積比例
桂花(對生)	8525	5283	3242	62%
	9720	7088	2633	73%

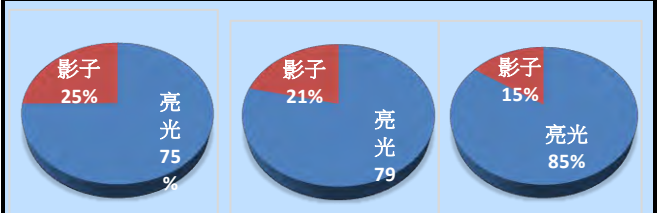
圓餅圖

	10885	8900	1986	82%
金桔(互生) 三株	7475	6082	1394	81%
	8047	6975	1073	87%
	9143	8094	1050	89%
軟枝黃蟬(輪生) 三株	29142	21822	7320	75%
	32134	25289	6846	79%
	37377	31688	5689	85%
馬拉巴栗(叢生) 三	31508	27561	3948	88%
	38850	35438	3413	91%
	45923	42927	2997	94%

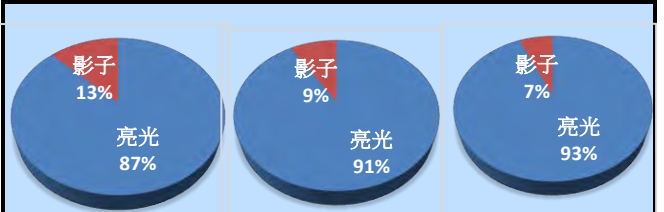
(圖 5-6) 桂花受光面積比例圓餅圖



(圖 5-7) 金桔受光面積比例圓餅圖



(圖 5-8) 軟枝黃蟬受光面積比例圓餅圖

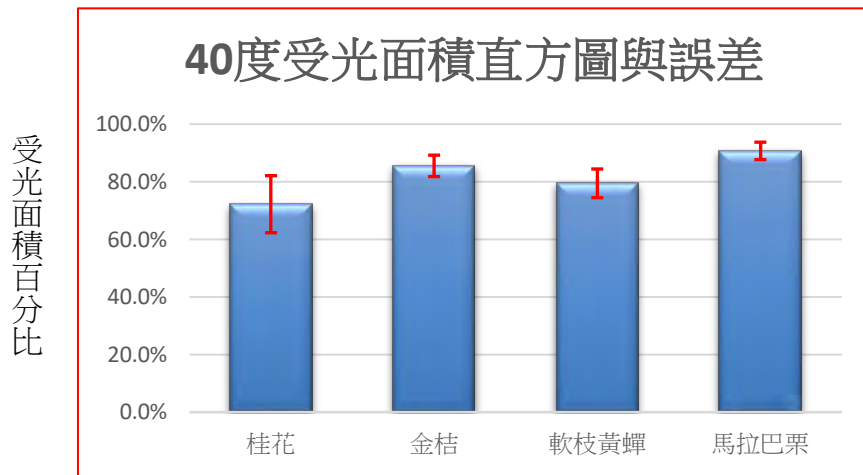


(圖 5-9) 馬拉巴栗受光面積比例圓餅圖

(表 7) 四種植物太陽光 40 度角受光面積平均與標準差計算

植物名稱	第一株	第二株	第三株	平均	標準差
桂花(對生)	62%	73%	82%	72.2%	9.9%
金桔(互生)	81%	87%	89%	85.5%	3.72%
軟枝黃蟬(輪生)	75%	79%	85%	79.5%	4.99%
馬拉巴栗(叢生)	87%	91%	93%	90.7%	3.03%

以下是上表(表 7)所有植物受光面積百分比的長條圖 (如圖 5-10)



(圖 5-10) 40 度角光照射各類葉序植物受光面積相對百分比

實驗 2 結果與討論(太陽光 40 度照射植物受光相對比例探討)：

參考各類葉序受光面積比例結果比較之後(表 6, 表 7,圖 5-6, 5-7, 5-8, 5-9)，以叢生的馬拉巴栗受光面積最高(90.7%)(表 6,圖 5-9)，其次分別是互生的金桔(85.5%)與輪生的軟枝黃蟬(79.5%)(表 6,圖 5-7,5-8)，以對生的桂花為最低(72.2%)(表 6,圖 5-6)，而陽光 40 度照射時，各種植物受光面積比例大幅增加，本組觀察推測是因為當陽光傾斜照射時，位於上層的葉子比較不會擋到下層的葉子，本組分析當光線 40 度照射時各種植物葉序排列的優缺點：

(一)、對生的植物: 缺點：對生的葉片之間比較接近，會讓下層的葉片被上層葉片擋住光線，所以導致受光面積會比較小，但因葉片之間夾角大，所以能比互生植物更容易擋住斜射的陽光。

優點：對生植物葉片不會長的太大，所以能夠向外平伸不會下垂，葉片下垂會減少受光面積，而光線 40 度斜射時，因為斜射的角度關係，下層的葉子被上層葉子擋住的比例會降低。

(二)、互生的植物:缺點：由於互生莖節上只長一片葉子，二葉錯開而生，所以 40 度的垂直光照射時，下層的葉片被上層葉片擋住光線，所以導致整體受光面積會比較小。

優點：因為葉片錯開而生，上下葉片因為不會互相擋到，所以就算是較下層的葉片也有機會吸收到比較多陽光。而光線 40 度斜射時，較下層的葉子被上層擋住的情況會有減低的狀況。

(三)、輪生的植物: 缺點：當光線 40 度照射時，遠離光源的另一邊葉片會受到上層葉片阻擋光線，導致愈是下層葉片的受光亮越小。

優點：當光線 40 度斜射時，陽光較容易照射到下層葉片，而不會幾乎都受到最上層的阻擋(但是因為最上層葉片之間的空隙太小，所以受光比例小於互生)。

(四)、叢生的植物: 缺點：叢生植物葉片緊密著生長，所以葉片容易因此長的又大又重，而加上生長的高度較高，莖因為需要支撐起龐大重量，導致因為無法有效讓葉片挺拔，導致葉片會有下垂現象，而因此比較無法有效率的吸收陽光。

優點：叢生植物生長的高度比較高，剛好讓每一層葉片的間隔較大，因此下層的葉片因為與上層的距離拉開，所以下層葉片的受光面積不會受上層葉子的阻擋，而葉片生長方式較無一定的角度規律，所以上下層的葉片更因此彼此夾角不同，不容易互相阻擋。而且當光線 40 度照射時，因為斜射會彌補因為葉片下垂而導致受光量較少的缺點。

三、實驗 3: 模擬太陽 60 度斜射與葉片受光面積的關連

操縱的變因	植物葉序排列方式
控制的變因	平行光照射角度
應變的變因	受光面積比例

由 (中央氣象局)查詢(表 8)發現太陽照射角度與地面夾角在這些時候和地點大約是 60 度，探討實驗控制變因所決定採用光照角度的合理性。

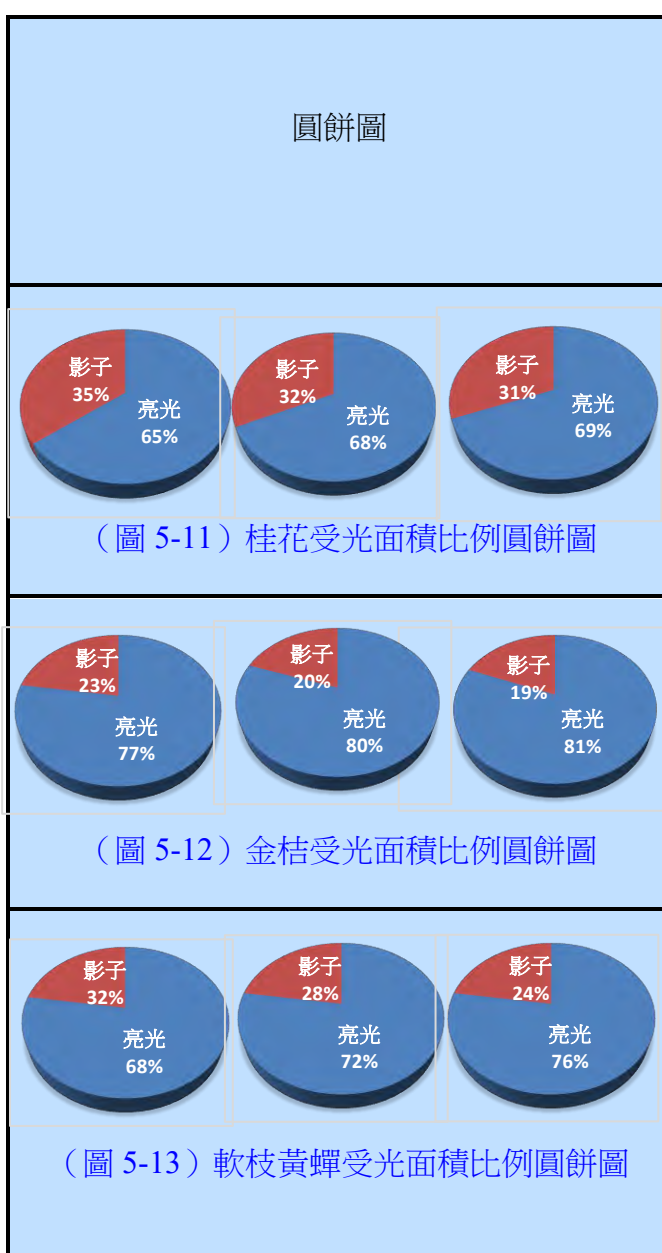
(表 8) ▼：各地太陽光與地面夾角呈 60 度時間(採用的合理性)

台北	夏至 10 時(63 度)、夏至 13 時(63 度)、春秋分 11 時(61 度)、春秋分 13 時(61 度)
台中	夏至 10 時(63 度)、夏至 13 時(63 度)、春秋分 11 時(62 度)、春秋分 13 時(62 度)
高雄	夏至 10 時(62 度)、夏至 13 時(62 度)、春秋分 11 時(63 度)、春秋分 13 時(63 度)
恆春	夏至 10 時(62 度)、夏至 13 時(62 度)

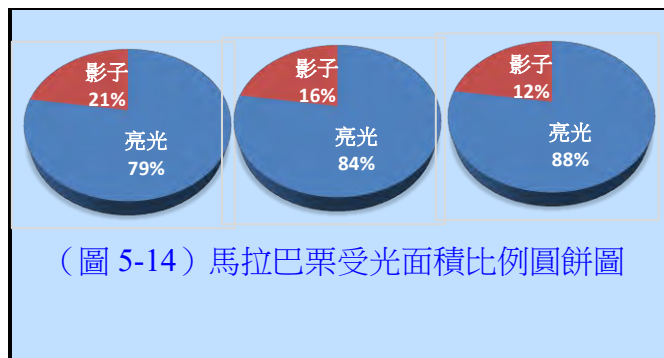
因此本組將光源與地面夾角調整至 60 度，針對桂花(對生)、金桔(互生)、軟枝黃蟬(輪生)、馬拉巴栗(叢生)四個植物模型進行實驗，結果如下表(詳見表 9、表 10)

(表 9) ▼：實驗 3 結果(太陽 60 度斜射植物樹葉受光面積相對比例)

	總畫素	受光面積總畫素	未受光面積總畫素	受光面積比例
桂花(對生)三株	7790	5029	2761	65%
	7613	5175	2438	68%
	7621	5262	2359	69%
金桔(互生)三株	8810	6821	1989	77%
	9938	7988	1950	80%
	10075	8170	1905	81%
軟枝黃蟬(輪生)三株	31788	21450	10338	68%
	33429	24029	9400	72%
	37640	28522	9117	76%



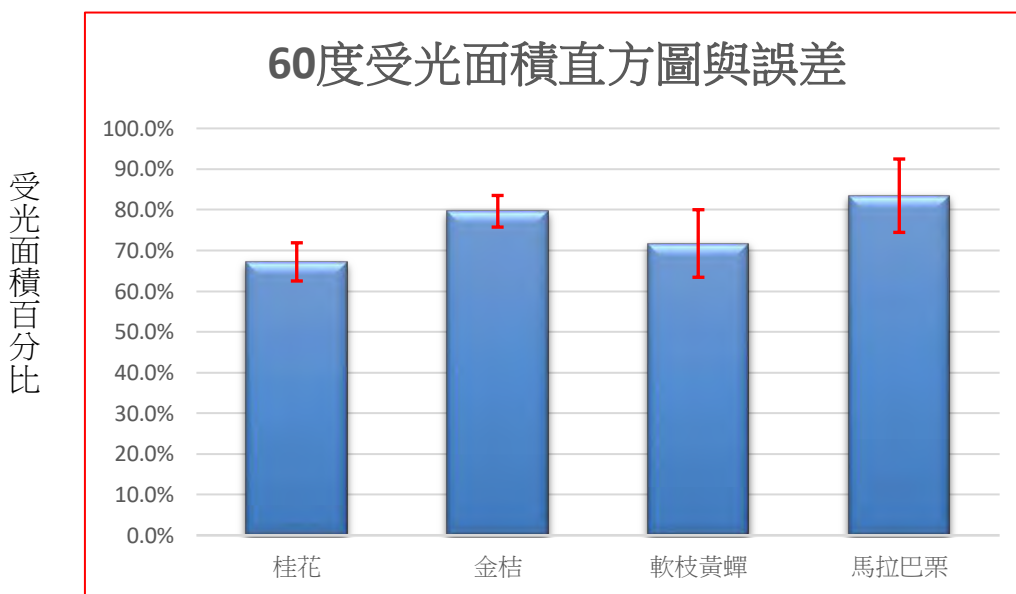
馬拉巴栗(叢生) 三株	34891	27539	7351	79%
	38400	32063	6338	84%
	42285	37188	5097	88%



(表 10) 四種植物太陽光 60 度角受光面積平均與標準差計算)

植物名稱	第一株	第二株	第三株	平均	標準差
桂花(對生)	65%	68%	69%	67.2%	4.7%
金桔(互生)	77%	80%	81%	79.6%	3.9%
軟枝黃蟬(輪生)	67%	72%	76%	71.7%	8.3%
馬拉巴栗(叢生)	79%	83%	88%	83.5%	9.0%

以下是上表(表 10)所有植物受光面積百分比的長條圖 (詳見下圖 5-15)



(圖 5-15) 60 度角光照射各類葉序植物受光面積相對百分比

實驗 3 結果與討論(太陽 60 度斜射受光面積相對比較)：

參考各類葉序受光面積比例結果比較之後(表 9, 表 10,圖 5-11, 5-12, 5-13, 5-14)，以叢生的馬拉巴栗受光面積最高(83.5%)(表 9,圖 5-14)，其次分別是互生的金桔(79.6%)與輪生的軟枝黃蟬(71.7%)(表 9,圖 5-12,5-13)，以對生的桂花為最低(67.2%)(表 9,圖 5-11)，本組分析當光線 60 度照射時各種植物葉序排列的優缺點：

(一)、對生的植物:缺點：對生植物葉片因為相對而生，所以葉片生長方向比較容易與下層葉片疊合，所以 60 度的垂直光照射時，會讓下層的葉片被上層葉片擋住光線，所以導致整體受光面積會比較小。

優點：對生植物葉片不會長的太大，所以能夠向外平伸不會下垂，葉片之間的夾角比較大，所以剛好多少可彌補上層葉片 60 度光線蓋到下層的缺點，但比較 40 度光線效果差一點。

(二)、互生的植物:缺點：由於互生莖節上只長一片葉子，二葉錯開而生，所以 60 度的垂直光照射時，上層會擋住下層的葉片光線，所以導致整體受光面積會比較小。

優點：因為葉片錯開而生，上下葉片因為不會互相擋到，所以 60 度角的光線，會讓較下層的葉片也有機會吸收到比較多陽光，但是還是 40 度光線的受光效果較佳。

(三)、輪生的植物:缺點：當光線 60 度斜射時，遠離光源的另一邊葉片會受到上層葉片阻擋光線，愈下層葉片的陰影面積愈大。

優點：觀察數據，60 度斜射其受光面積比例還是低於 40 度角的光線，下層葉片還是因角度較低的原因更優於大角度光線。

(四)、叢生的植物:缺點：叢生植物葉片緊密著生長，所以葉片容易因此長的又大又重，而加上生長的高度較高，莖因為需要支撐起龐大重量，導致因為無法有效讓葉片挺拔，導致葉片會有下垂現象，而因此比較無法有效率的吸收陽光。

優點：叢生植物一般生長高度較高，剛好讓每一層葉片的間隔較大，因

此下層的葉片因為與上層的距離拉開，所以下層葉片的受光面積不會受上層葉子的阻擋，而叢生葉片的生長方式較無一定的角度規律，所以上下層的葉片更因此彼此夾角不同，不容易互相阻擋，但觀察數據還是 40 角度光受光面積會優於 60 度角。

四、綜合比較分析：

(一)綜合上述所有實驗，可觀察出當**照射角度為 90 度時**，**受光面積比例：叢生>輪生>對生>互生**（詳見圖 5-1 至 5-9、表 3 至表 4），推測可能原因為：

因為**叢生植物莖較長**，上下二片的間隔距離較大，因此**下層的葉子較不會受上層葉子的阻擋**。加上叢生葉片每一輪中，葉片都是往不同方向生長，彼此之很不容易阻擋；而對生植物雖然其上下二片葉子的間隔距離較近，較下層的葉片容易被較上層的葉子擋到，但因為葉片通常夾角呈 90 度，所以可以減少上下二片葉子的間隔距離較近的缺點影響；而互生植物只有在當每個葉片多往不通方向生長時，上下葉片才比較不會互相擋到，否則其上下二片葉子的間隔距離較近，因此較下層的葉片容易被較上層的葉子擋到，輪生植物由於最上層能非常有效率的吸收陽光，所以受光比例高。

(二)當**照射角度為 40 度、60 度時**，**受光面積比例：叢生>互生>輪生>對生**（詳見表 5 至表 12），推測可能原因為：

叢生植物每一叢葉子都有較長的莖，因此受到上方葉片阻擋的比例較低。加上叢生葉片每一輪中，葉片都是往不同方向生長，彼此之間很不容易互相阻擋，而且當光線 40 度、60 度照射時，可以大幅度減少叢生植物普遍較大，造成大株的叢生植物葉片容易**因為葉片太大太重，加上莖太長而使葉片下垂而無法有效率的吸收陽光的缺點影響**。

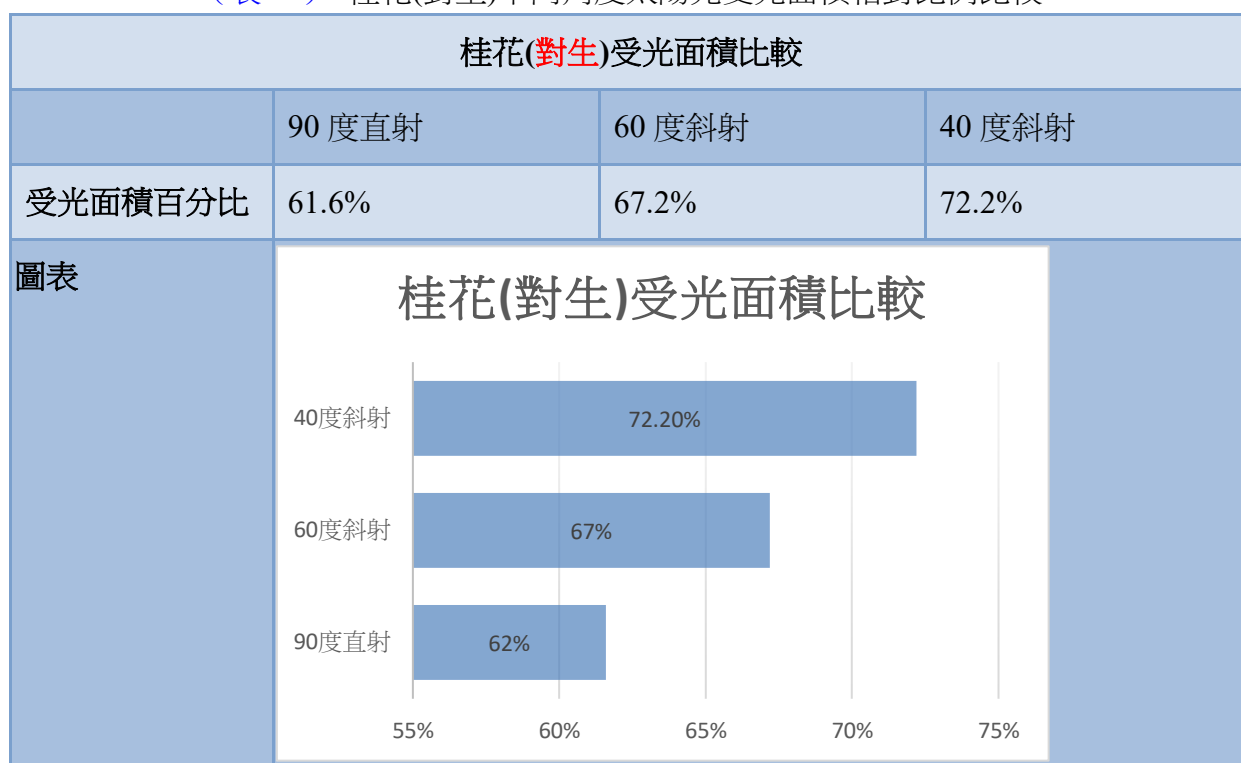
而互生植物雖然其上下二片葉子的間隔距離較近，但是當光線傾斜照射時，較下層的葉子可以減少被上層葉子的阻擋；對生植物雖然當光線傾斜照射時，較下層的葉子也可減少被上層葉子的阻擋，但因葉片通常夾角呈 90 度，所以會比互生植

物更易擋住斜射的陽光。輪生植物的葉片通常與主要的莖距離很近，上下二層的葉片距離也較近所以易被阻擋。

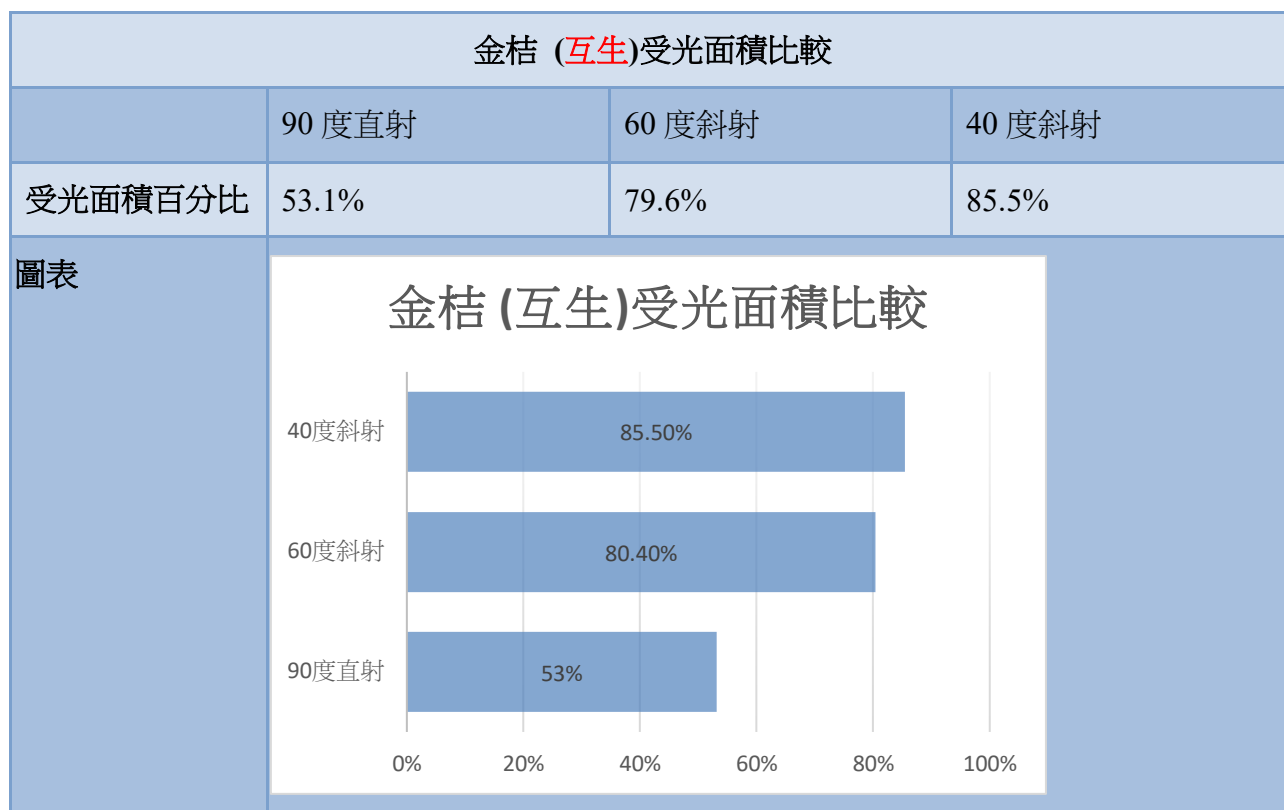
(三)在不同的光線角度照射下，不論對生、互生、輪生或叢生，受光面積比例：**40 度斜射 > 60 度斜射 > 90 度直射**（詳見表 11 至表 14），推測可能原因為：

- 1、受光面積比例，40 度斜射 > 60 度斜射：因為光線從愈傾斜的角度照射植物，下面的葉子愈不會被上層的葉子阻擋。
- 2、40 度斜射 > 90 度直射：因為 40 度下層的葉子是斜射，又因為光線從愈傾斜的角度照射植物，下層的葉子愈不會被上層的葉子阻擋，所以 40 度斜射 > 90 度直射。

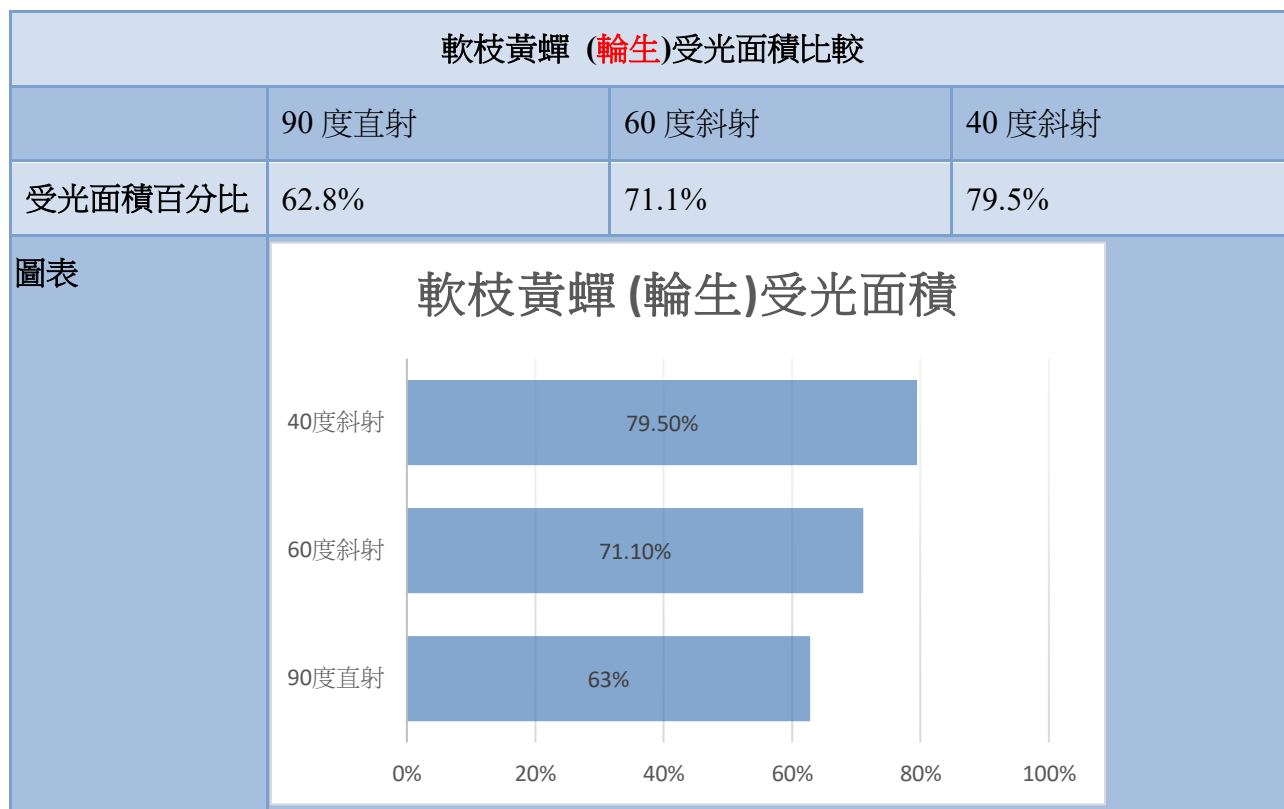
(表 11)：桂花(對生)不同角度太陽光受光面積相對比例比較



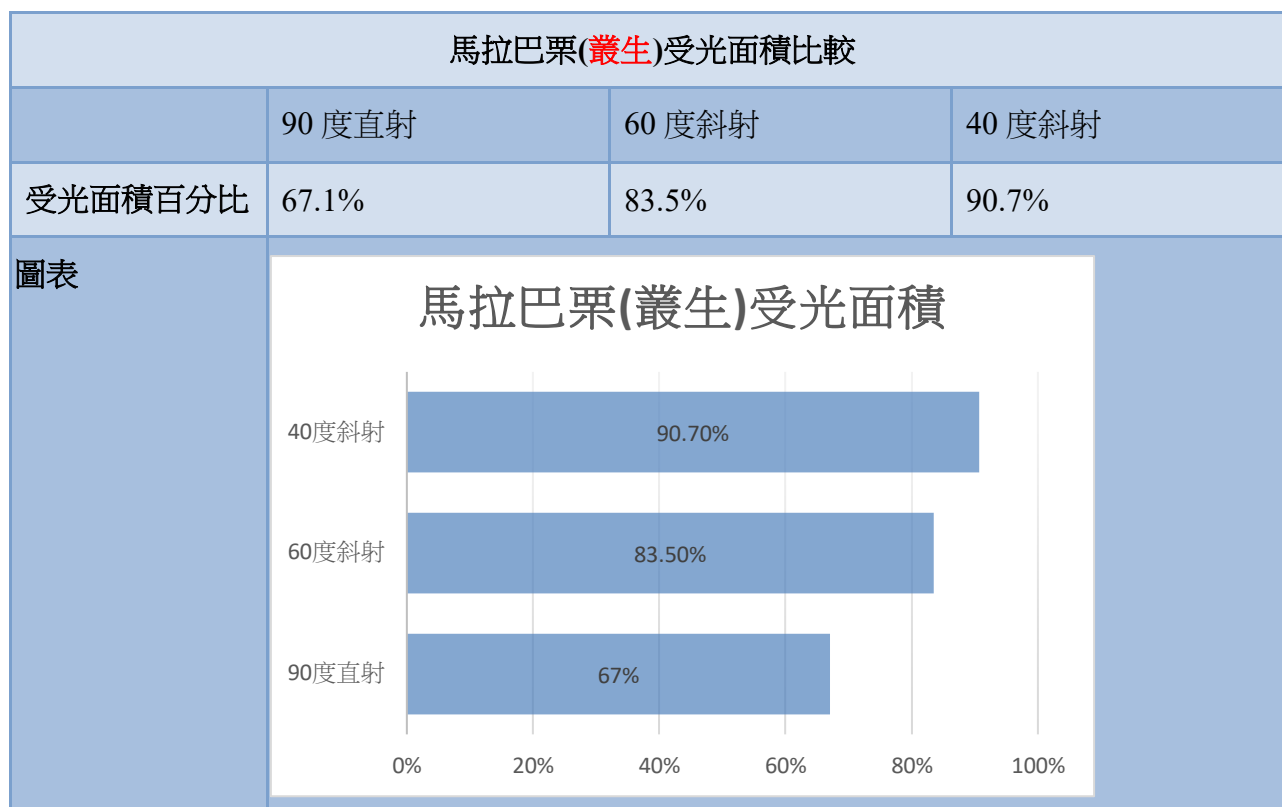
(表 12)：金桔受光不同角度太陽光受光面積相對比例比較



(表 13)：單對軟枝黃蟬受光不同角度太陽光受光面積相對比例比較



(表 14)：馬拉巴栗受光不同角度太陽光受光面積相對比例比較



陸、結論

- 一、照射角度為 **90 度**時，**受光面積比例:叢生 > 輪生 > 對生 > 互生**。
- 二、照射角度為 **40 度**時，**受光面積比例:叢生 > 互生 > 輪生 > 對生**。
- 三、照射角度為 **60 度**時，**受光面積比例:叢生 > 互生 > 輪生 > 對生**。
- 四、在不同的光線角度照射下，不論對生、互生、輪生或叢生，**受光面積比例**：
40 度斜射 > 60 度斜射 > 90 度直射。
- 五、**機器視覺**葉片**自動定位**與**影像表面積計算**方式，是最佳避免造成誤差的量測方法，之前嘗試過的其他失敗作法，例如秤重、尺量、直接拍照等方式量測，
- 六、根據實驗結果，受光面積比例最大的葉片排列方式是叢生，應可以應用在太陽能板排列方式上，以獲得吸收太陽光的最大效率。

柒、未來展望

隨著地球溫室效應、PM2.5 空氣污染越來越嚴重，但人類對電力的需求卻是有增無減，而火力發電廠的燃煤方式、燃燒汽油、核電廠的安全性與反核聲浪，都讓電力取得困難重重，尋找乾淨低污染的替代能源已經是全人類的課題，本組期望發展能源的同時，人類能向大自然學習，學習大自然最有效率的太陽能板排列方式，不但能提高發電效率，也能縮小空間，希望能為尋求乾淨無污染的能源貢獻一己之力。

我們期待未來科技可以開發出**高效能、輕薄如樹葉的模組化太陽能面板**，在目前土地昂貴的現今，如果做成太陽能仿生植物，真植物與仿生植物穿插其中，隱藏在我們的生活環境中，相信能夠大量減少土地成本、聚沙成塔的收集太陽能，在**兼顧效能**的同時，也為**城市注入一道生活美學**。



(圖 7-1) 本組自製仿生太陽能植物

捌、參考資料

- 一、中央氣象局。臺灣四季太陽仰角與方位角天文曆像參考資料。台北市：交通部。
- 二、楊皓文、郭彥甫(2016)。利用機器學習於葉子影像辨識樟科植物。2016 生機與農機學術研討會，10/20-21，嘉義：國立嘉義大學生物機電工程學系。
- 三、鄭元賢、陳文平(2012)。台灣樟科與殼斗科植物樹葉影像之檢索系統。國立高雄應用科技大學，電機工程研究所。
- 四、陳柏宇、蔡進來(2009)。臺灣常見被子植物葉序之研究。國立中興大學，生命科學院研究所。
- 五、顏君靜、郭耀綸(2013)。不同耐陰性樹種葉片達最大光合潛力葉序之比較。國立屏東科技大學，森林系所。

【評語】 030319

1. 本研究在探討哪種植物葉片的排序方式對太陽能的利用最有效率，在單位體積上，求出最大的受光面積。如此作為仿生學研究，推估太陽能板效率之研究，很有創意。結果發現當太陽光照射夾角為 40/60 度時：叢生>互生>輪生>對生。
2. 所採用的實驗設計及方法大致可行，也有運用統計方法來分析或呈現所得數據，可惜的是，並未比較組別之間是否具有顯著差異性。盆栽擺放的角度或位置可能會影響受光面積，此研究是否有考慮此因素？受光／未受光區域需有明確的定義，即亮度多大才算是受光區域。要注意有些數據的計算有誤，例如表四的馬拉巴栗。建議可與 2011 年 Aidan Dwyer 的發現做比較。
3. 葉子是三維立體結構，各種葉子的葉序即使相同但變異仍大，單就實驗選擇的幾種植物，代表性可能不足。另外，只計算簡單的光影比可能無法作為光合作用效率之判斷依據，因為光線直射與斜射的光合作用效能差很多（太陽能板也是）。
4. 同學報告介紹台風穩健，也有以影片輔助實驗內容的介紹，內容充足。

作品海報

壹、研究動機

學校生物課學到植物利用光合作用製造養分(一上3-3植物如何製造養分)，樹葉能否接收到足夠的太陽光(二上4-1光的傳播)，對植物來說可是生死攸關的大事，本組研究觀察各種植物樹葉生長方式，透過實驗光照各種不同葉序的植物，藉由現代機器視覺科技，進行葉片自動化定位、計算受光非受光相對面積，來找出自然界最好最有效率的方式，想像樹葉為太陽能板，希望藉此研究提供太陽能板排列設計，參考自然界最有效率的方式，希望未來太陽能板做成仿生人造行道樹，兼顧效能與城市設計美學。

貳、研究目的

- 一、研究探討植物不同族群種類葉片排列方式。
- 二、研究機器視覺自動定位葉片與樹葉表面積影像計算的方式。
- 三、研究葉片的排列方式對於受光與非受光面積相對比例的影響。
- 四、研究植物向光性與受光面積相對比例的關係性。
- 五、找出受光比例最佳最有效率的葉片排列方式。

參、研究設備與器材



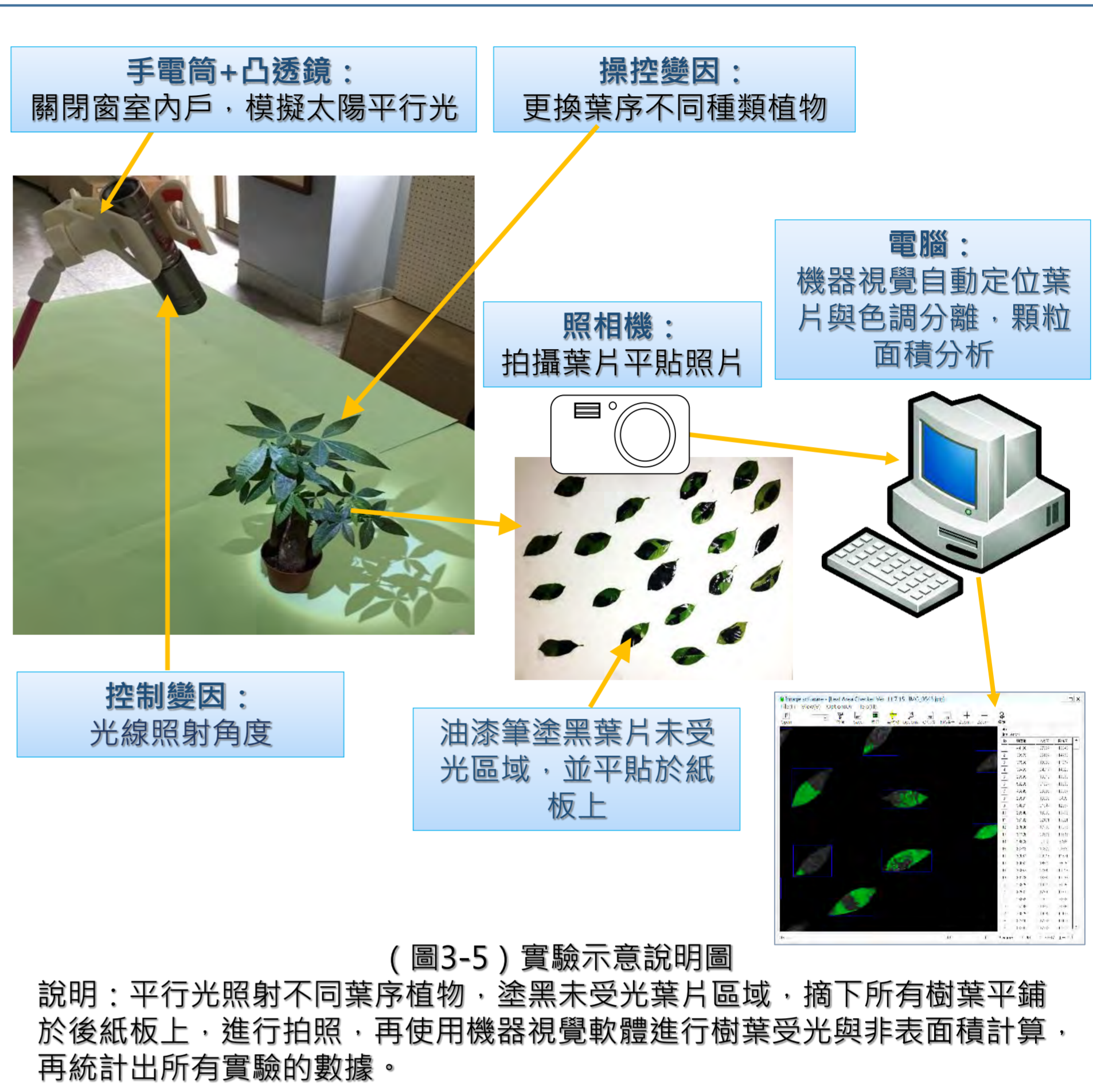
(表1、實驗材料)

實驗材料	數量
(1) 桂花植物	9盆
(2) 金桔植物	9盆
(3) 軟枝黃蟬植物	9盆
(4) 馬拉巴栗植物	9盆
(5) 油漆筆	1盒
(6) 剪刀、美工刀	2組
(7) 膠水	1個
(8) 手機支架	1組
(9) 收納盒	1個
(10) 厚紙板	20張
(11) 筆記型電腦	1台
(12) 照相機	1台

(表2 植物葉序主要四大分類)

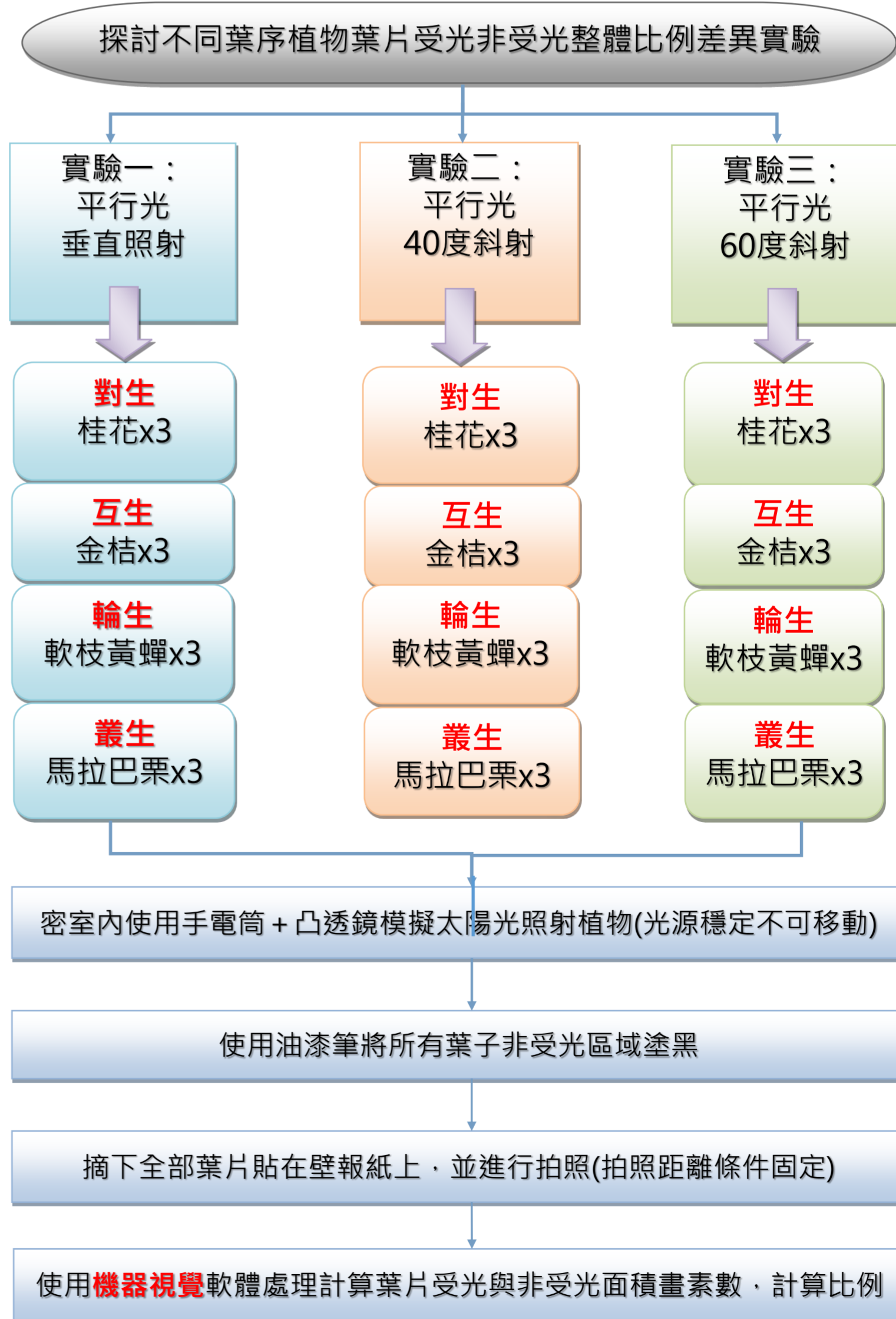
- 1、對生：植物莖上每節相對而生二片葉子就是對生
- 2、互生：莖上每節只長一片葉子，二葉錯開
- 3、輪生：同一枝節上每節生三片或更多葉片
- 4、叢生：節間甚短，具二片以上之葉密接著生長

對生	互生	輪生	叢生
薄荷 桂花 九層塔	金桔 扶桑	軟枝黃蟬 黑板樹	馬拉巴栗 沙漠玫瑰



肆、研究過程與方法

一、研究實驗流程圖



二、研究原理：

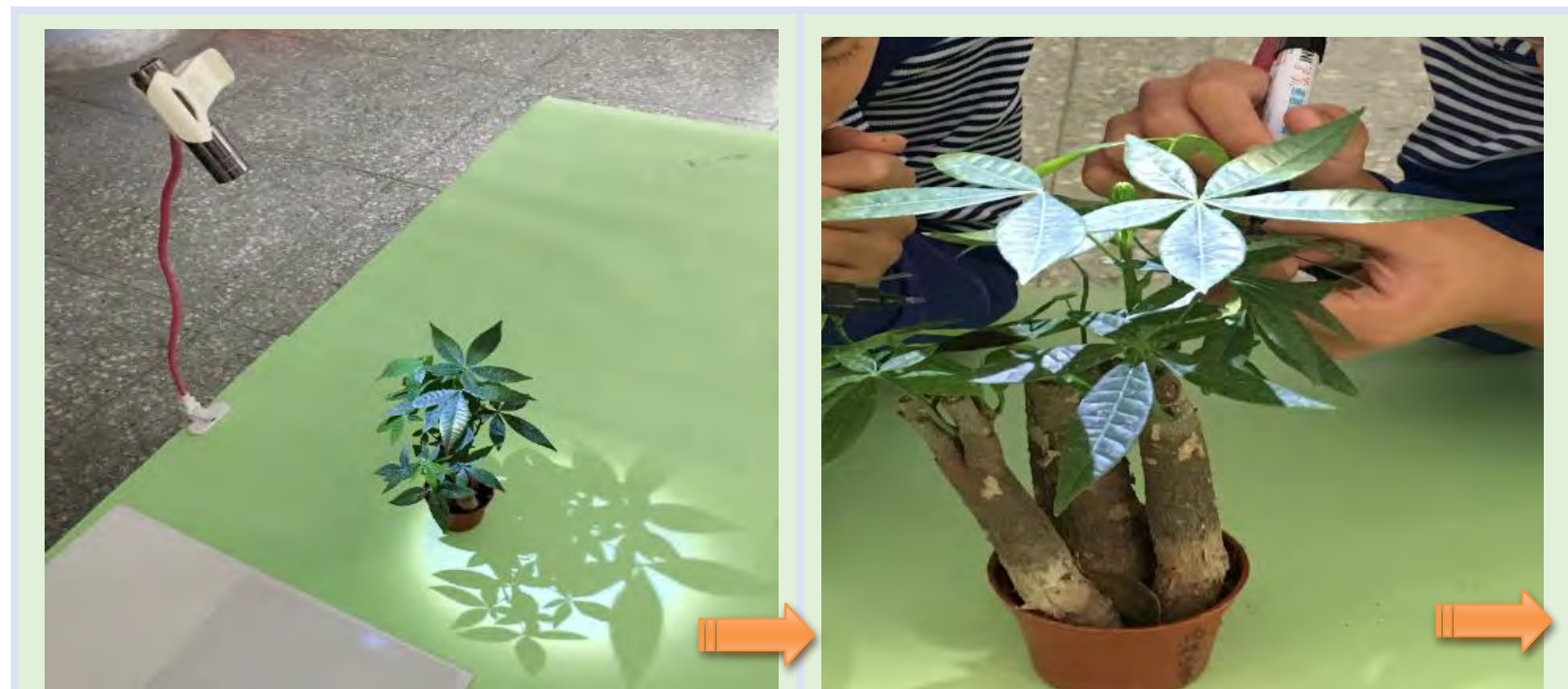
採集多種各種不同葉序的植物，模擬平行光多重角度照射植物後，將未受光葉片區域用油漆筆塗黑後摘下，平貼於背景純色的厚紙板，再以機器視覺自動化定位葉片位置、找出受光與非受光面積的影像畫素數，再用比例尺的方式回推相對的面積。

含「晴」脈脈

~葉片排列與受光面積對太陽能板效率之研究

三、研究步驟：

(一)植物葉片檢測方式



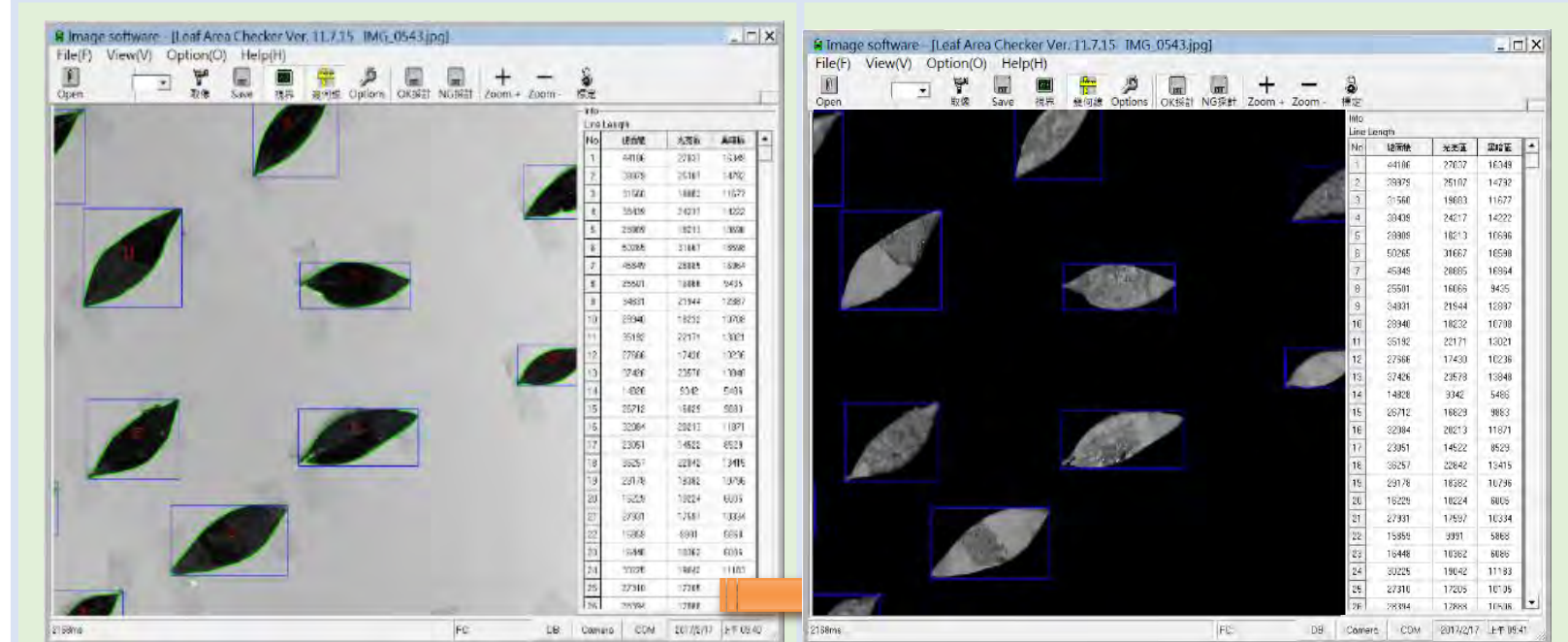
(圖4-3-1) 凸透鏡平行光模擬平行光，量測固定角度後，進行對各類植物照射

(圖4-3-2) 用油漆筆將所有實驗的植物樹葉無受光部分進行塗黑



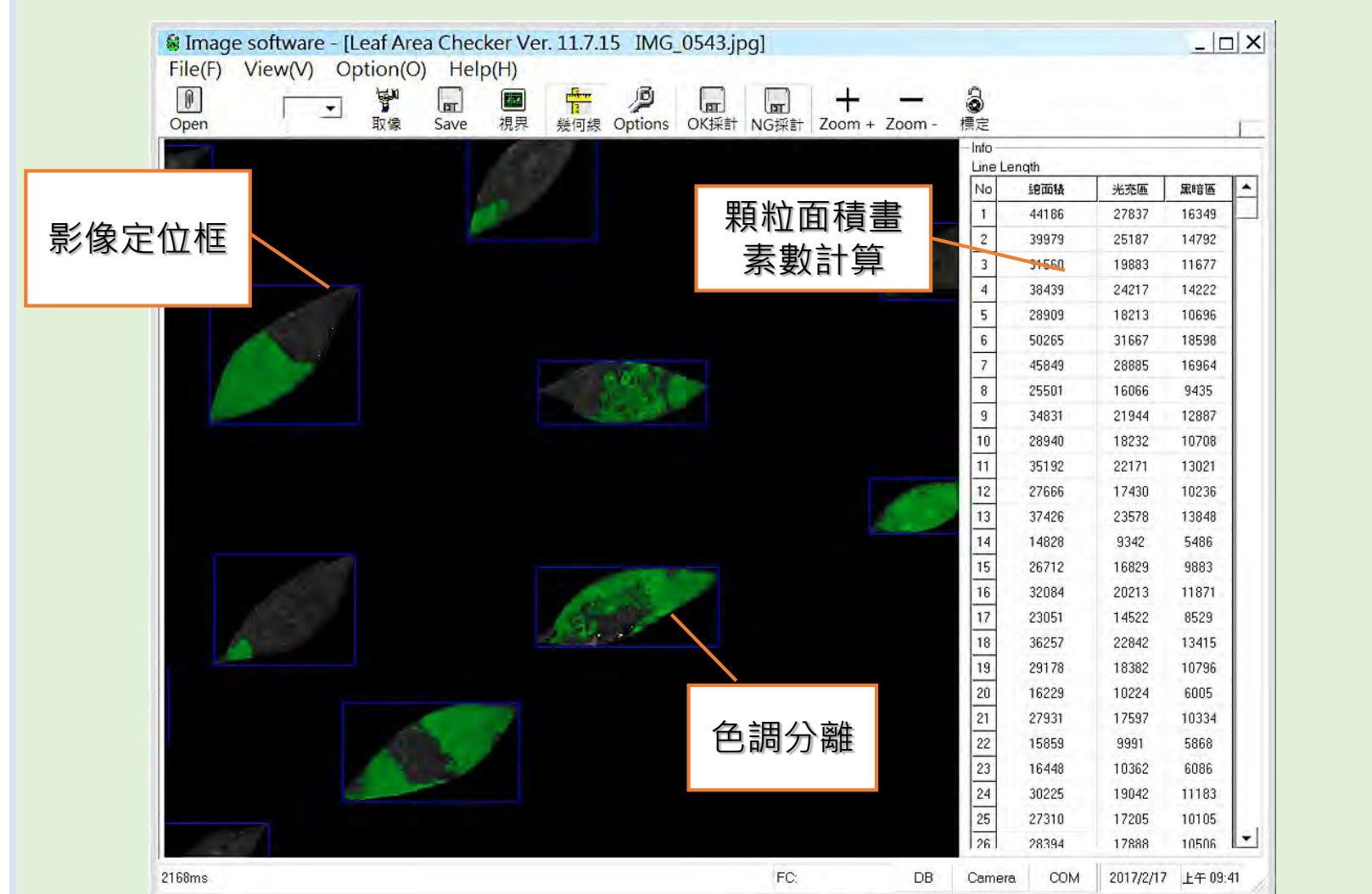
(圖4-3-3) 將所有樹葉摘下，平展平貼於厚紙板上，並且彼此之間要分開

(圖4-3-4) 每株植物做好的厚紙板用相同距離角度拍照條件拍照



(圖4-3-5) 影像軟體讀入軟體後對每一張樹葉進行定位，並將其編號定義

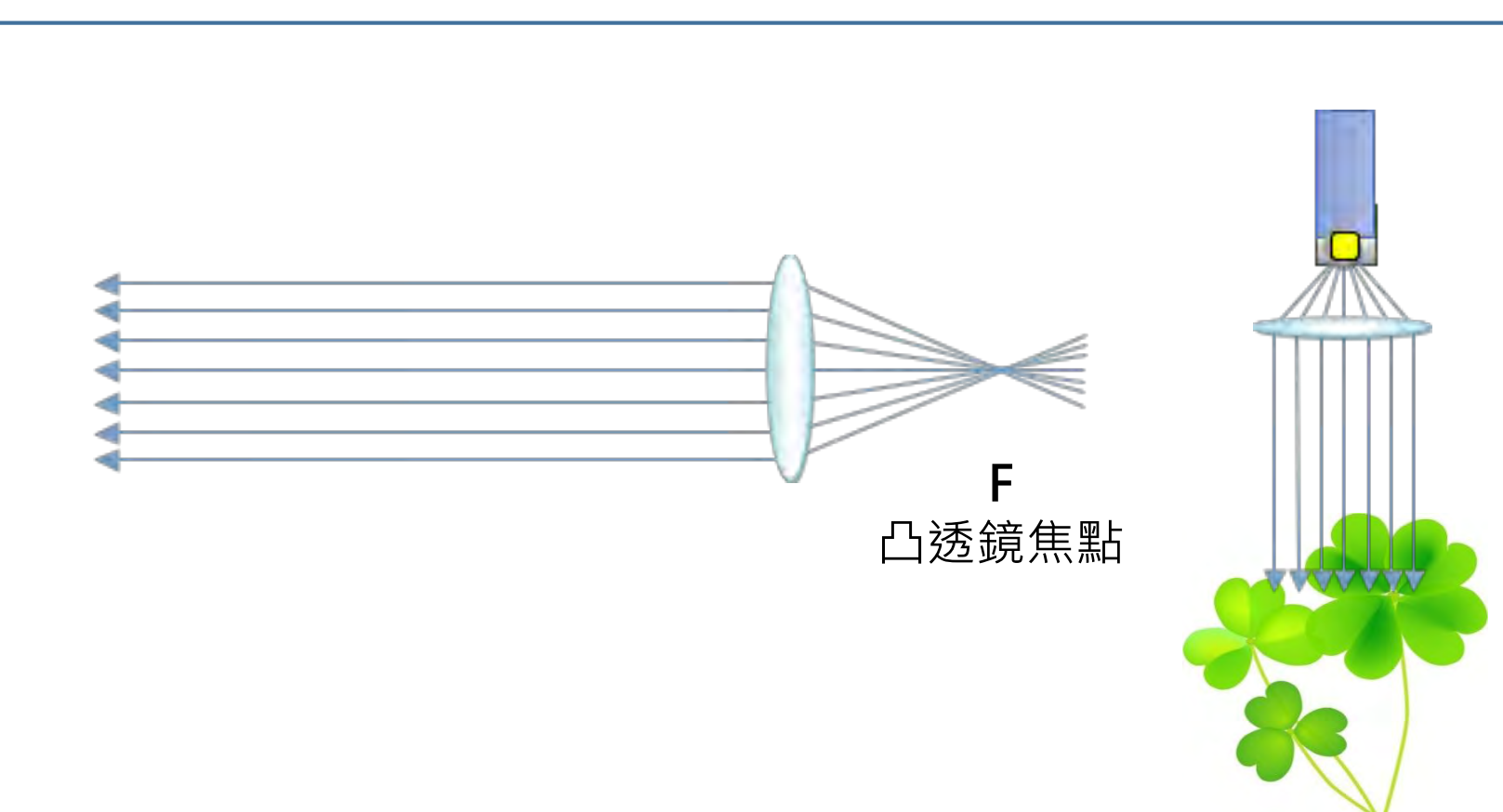
(圖4-3-6) 將分割出來的葉片進行色調分離，讓有塗色的區域顯現出來



(圖4-3-7) 將色調分離後的影像二階化分成兩群，重新著色，並以顆粒計算方式來分別計算出有塗色與無塗色的面積畫素數

(二)受光面積測量

本組希望光線的照射角度能為實驗中控制變因，模擬環境太陽光自然照射植物的方式，但如採用室外太陽光，會因為實驗時間導致太陽角度改變，難以控制，所以本組採用模擬平行光的方式來取代太陽光。



(圖4-7)：凸透鏡模擬平行光示意圖

將手電筒的光源放在凸透鏡的焦點處，透過凸透鏡的折射，產生平行光，用來照射植物。

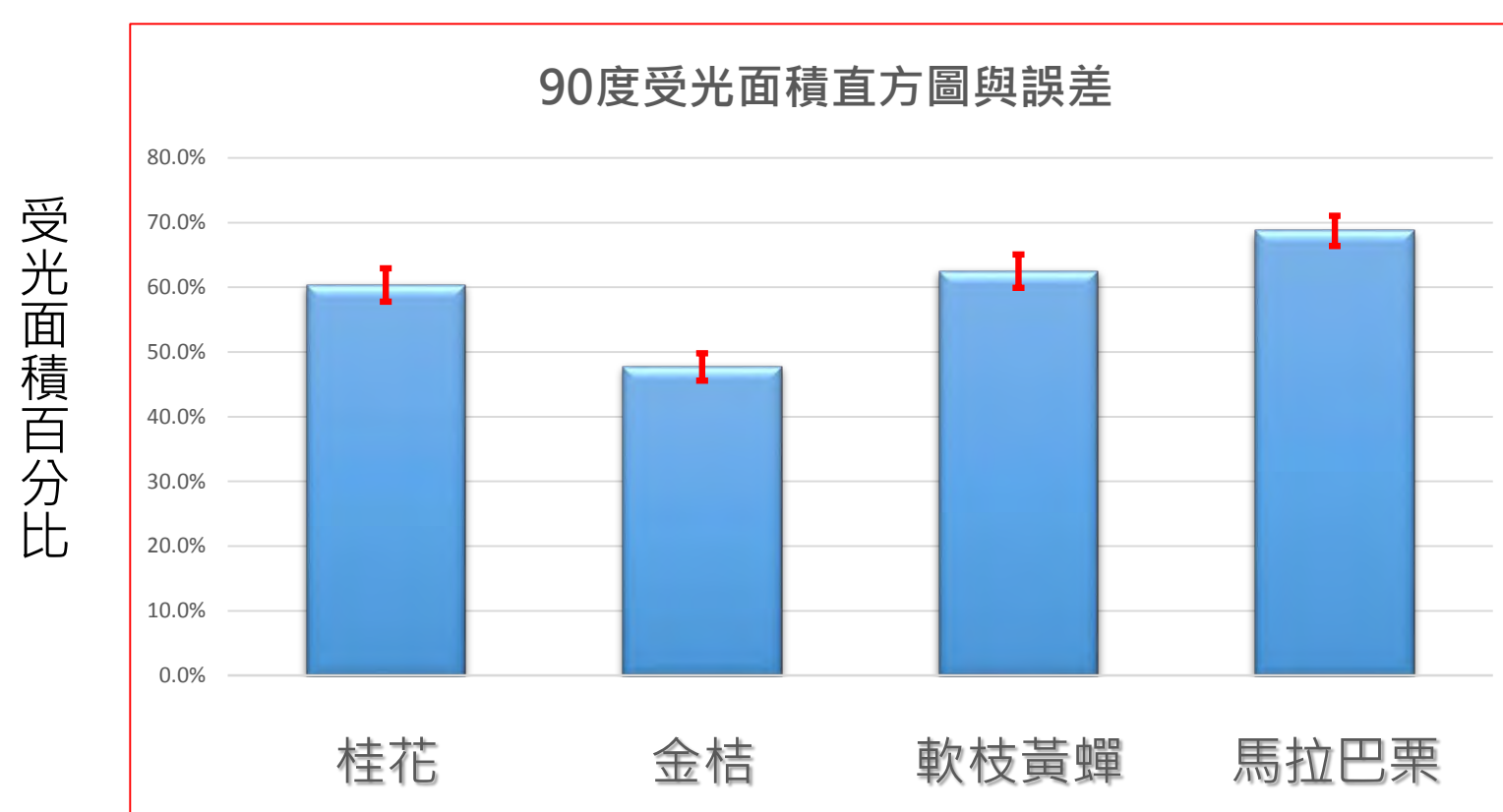
伍、研究結果與討論

一、實驗1:模擬太陽90度垂直照射與葉片受光面積的關連

操縱的變因	植物葉序排列方式
控制的變因	平行光照射角度
應變的變因	受光面積比例

(表3、四種植物各個受光面積平均與標準差計算)

植物名稱	第一株	第二株	第三株	平均	標準差
桂花(對生)	57%	61%	62%	61.6%	±4.37%
金桔(互生)	46%	47%	50%	47.7%	±2.12%
軟枝黃蟬(輪生)	60%	62%	65%	62.8%	±3.13%
馬拉巴栗(叢生)	66%	69%	71%	67.1%	±1.39%



(圖5-1)：垂直光照射各類葉序植物受光面積相對百分比

實驗一結果與討論(太陽光90度照射植物受光相對比例探討):

參考各類葉序受光面積比例結果比較之後，以叢生的馬拉巴栗受光面積最高(67.1%)(表3,圖5-1)，其次分別是輪生的軟枝黃蟬(62.8%)與對生的桂花(61.6%)(表3,圖5-1)，以互生的金桔為最低(47.7%)(表3,圖5-1)，本組分析各種植物葉序排列的優缺點：

(一)、對生的植物:

- 缺點：本組觀察對生植物葉片依照相對性來生長，所以葉片生長方向比較容易與下層葉片疊合，所以90度的垂直光照射時，會讓下層的葉片被上層葉片擋光，所以導致整體受光面積會比較小。
- 優點：對生植物葉片不會長的太大，所以能夠向外平伸不會下垂，葉片之間的夾角比較大，所以剛好多少可彌補上層葉片90度垂直光蓋到下層的缺點。

(二)、互生的植物:

- 缺點：由於同一枝節上每節生三片或更多葉片，所以導致同一輪的葉片容易互相擋光，生長方式如對生和互生，皆是從莖上面以極短的葉柄長出，且輪生植物較下層之葉片並無較突出，所以容易受上層葉片阻擋。
- 優點：因為葉片錯開而生，上下葉片因為不會互相擋到，所以就算是較下層的葉片也有機會吸收到比較多陽光。

(三)、輪生的植物:

- 缺點：輪生植物一輪之中的葉片較多，同一輪的葉片容易互相擋光，生長方式如對生和互生，皆是從莖上面以極短的葉柄長出，且輪生植物較下層之葉片並無較突出，所以容易受上層葉片阻擋。
- 優點：因為葉片生長較多，故每一層總受光面積就更大，所以雖說最上層是光照面積最大的地方，但輪生能夠更有效的加倍運用。

(四)、叢生的植物:

- 缺點：叢生植物葉片生長方式較為緊密，所以葉片因此長的又大又重，而加上生長的高度比較高，莖因為需要支撐起龐大重量，導致因為無法有效讓葉片挺拔，導致葉片會有下垂現象，而因此比較無法有效率的吸收陽光。
- 優點：為叢生植物高度長的比較高，讓每一層葉片的間隔較大，因此下層的葉片因為與上層的距離拉開，所以下層葉片的受光面積較不受上層葉子的阻擋，而叢生葉片的生長方式較無一定的角度規律，所以上下層的葉片更因此彼此夾角不同，不容易互相阻擋。

二、實驗2:模擬太陽40度斜射與葉片受光面積影響

操縱的變因	植物葉序排列方式
控制的變因	平行光照射角度
應變的變因	受光面積比例

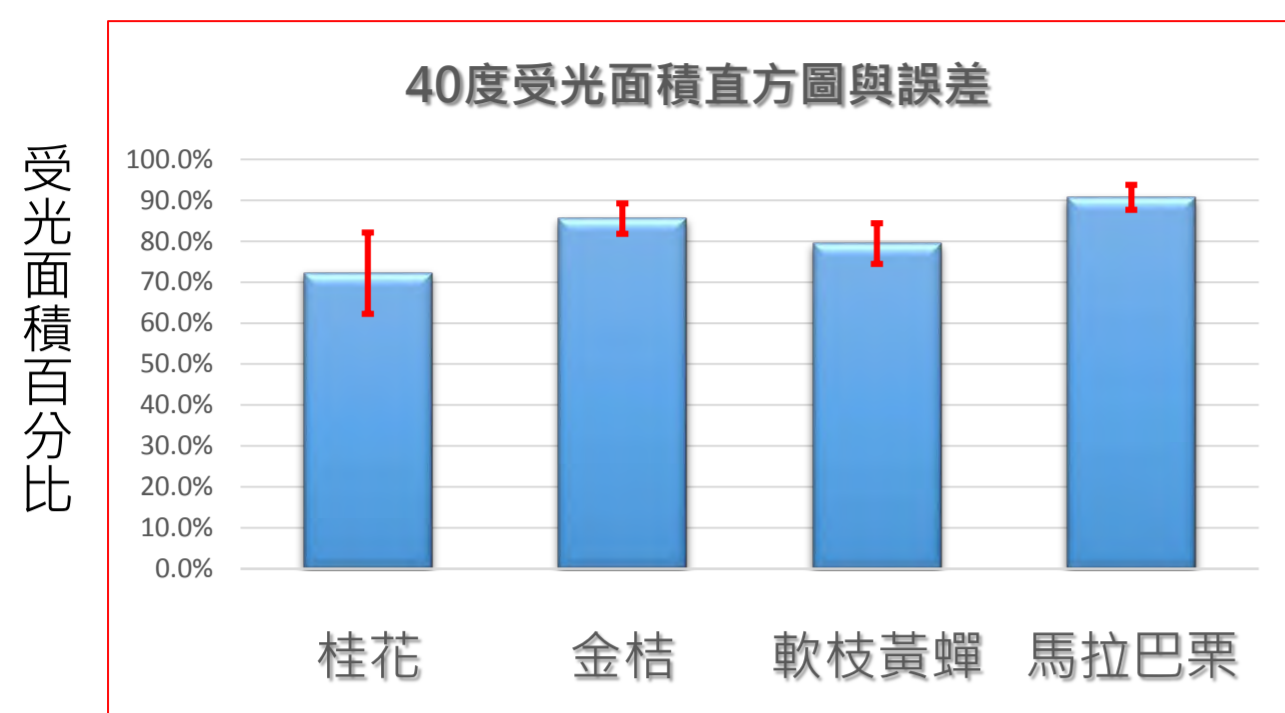
(表4)：各地太陽光與地面夾角呈40度時間(採用的合理性)

資料來源：交通部[中央氣象局]

台北	春秋分9時(40度)、春秋分15時(40度)、冬至11時(40度)、冬至13時(40度)
台中	春秋分9時(40度)、春秋分15時(40度)、冬至11時(41度)、冬至13時(41度)
高雄	春秋分9時(41度)、春秋分15時(41度)、冬至11時(42度)、冬至13時(42度)
恆春	春秋分9時(41度)、春秋分15時(41度)、冬至11時(43度)、冬至13時(43度)

(表5)：四種植物太陽光40度角受光面積平均與標準差計算

植物名稱	第一株	第二株	第三株	平均	標準差
桂花(對生)	62%	73%	82%	72.2%	±9.9%
金桔(互生)	81%	87%	89%	85.5%	±3.7%
軟枝黃蟬(輪生)	75%	79%	85%	79.5%	±5.0%
馬拉巴栗(叢生)	87%	91%	93%	90.7%	±3.0%



(圖5-2)：40度角光照射各類葉序植物受光面積相對百分比

三、實驗3: 模擬太陽60度斜射與葉片受光面積的關連

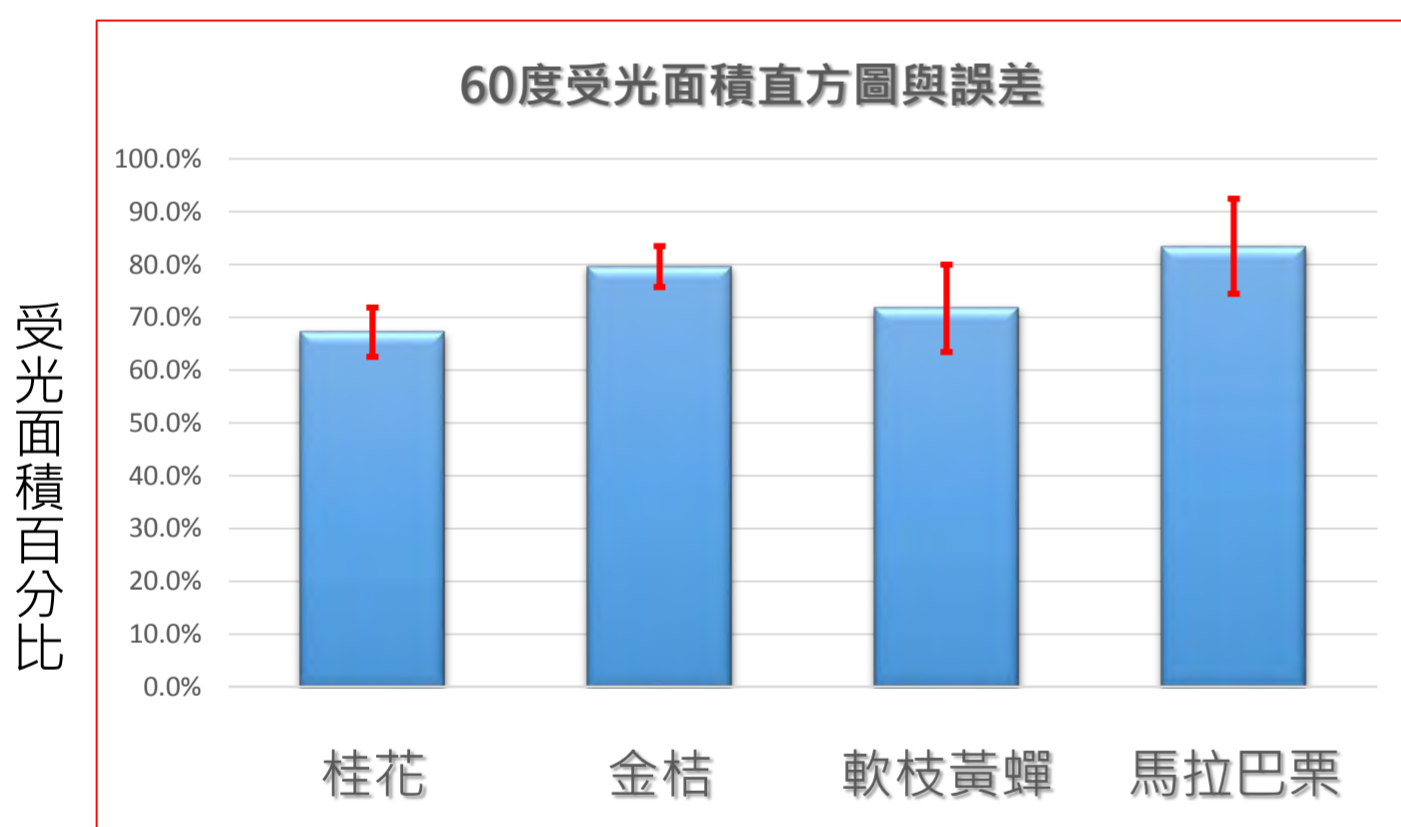
操縱的變因	植物葉序排列方式
控制的變因	平行光照射角度
應變的變因	受光面積比例

(表6) 各地太陽光與地面夾角呈60度時間(採用的合理性)

台北	夏至10時(63度)、夏至13時(63度)、春秋分11時(61度)、春秋分13時(61度)
台中	夏至10時(63度)、夏至13時(63度)、春秋分11時(62度)、春秋分13時(62度)
高雄	夏至10時(62度)、夏至13時(62度)、春秋分11時(63度)、春秋分13時(63度)
恆春	夏至10時(62度)、夏至13時(62度)

(表7)：四種植物太陽光60度角受光面積平均與標準差計算

植物名稱	第一株	第二株	第三株	平均	標準差
桂花(對生)	65%	68%	69%	67.2%	±4.7%
金桔(互生)	77%	80%	81%	79.6%	±3.9%
軟枝黃蟬(輪生)	67%	72%	76%	71.7%	±8.3%
馬拉巴栗(叢生)	79%	83%	88%	83.5%	±9.0%



(圖5-3) 60度角光照射各類葉序植物受光面積相對百分比

五、綜合比較分析

- 綜合上述所有實驗，可觀察出當**照射角度為90度時**，**受光面積比例：叢生>對生>輪生>互生**。
- 當**照射角度為90度、60度、40度**，**受光面積比例：輪生>互生>叢生>對生**。
- 在不同的光線角度照射下，不論對生、互生、輪生或叢生，**受光面積比例：40度斜射>60度斜射>90度直射**，**受光面積比例：40度斜射>60度斜射**；因為光線從愈傾斜的角度照射植物，下面的葉子愈不會被上面的葉子阻擋。
- 太陽能板固定同一方向受光，因此不能有效收集太陽能，而在本研究中，以輪生40度斜射時，可獲得最佳的受光面積，若太陽能板能以此方式排列，當能擷取最多光能。

(表8) 桂花(對生)不同角度太陽光受光面積相對比例比較

桂花(對生)受光面積比較			
光線角度	90度直射	60度斜射	40度斜射
受光比例	61.6%	67.2%	72.2%

說明：對生受光面積 40度>60度>90度

(表9) 金桔(互生)不同角度太陽光受光面積相對比例比較

金桔(互生)受光面積比較			
光線角度	90度直射	60度斜射	40度斜射
受光比例	53.1%	79.6%	85.5%

說明：互生受光面積 40度>60度>90度

(表10) 軟枝黃蟬(輪生)不同角度太陽光受光面積相對比例比較

軟枝黃蟬(輪生)受光面積比較			
光線角度	90度直射	60度斜射	40度斜射
受光比例	62.8%	71.1%	79.5%

說明：輪生受光面積 40度>60度>90度

(表11) 馬拉巴栗(叢生)不同角度太陽光受光面積相對比例比較

馬拉巴栗(叢生)受光面積比較			
光線角度	90度直射	60度斜射	40度斜射
受光比例	67.1%	83.5%	90.7%

說明：叢生受光面積 40度>60度>90度

陸、結論

- 照射角度為90度時，受光面積比例：**叢生>輪生>對生>互生**。
- 照射角度為40度時，受光面積比例：**叢生>互生>輪生>對生**。
- 照射角度為60度時，受光面積比例：**叢生>互生>輪生>對生**。
- 光線角度照射下，不論對生、互生、輪生或叢生，受光面積比例：**40度斜射>60度斜射>90度直射**。
- 機器視覺葉片自動定位與影像表面積計算**方式，是最佳避免造成誤差的量測方法，之前嘗試過的其他失敗作法，例如秤重、尺量、直接拍照等方式量測。
- 根據實驗結果，受光面積比例最大葉片排列方式是**叢生**，應可以應用在太陽能板排列方式上，以獲得吸收太陽光的**最大效率**。

柒、未來展望

隨著地球溫室效應、PM2.5空氣污染越來越嚴重，但人類對電力的需求卻是有增無減，而**火力發電廠的燃煤方式、燃燒汽油、核電廠的安全性與反核聲浪**，都讓電力取得困難重重，尋找乾淨低污染的替代能源已經是全人類的課題，本組期望發展能源的同時，人類能向大自然學習，學習大自然最有效率的太陽能板排列方式，不但能**提高發電效率**，也能縮小空間，希望能為尋求乾淨無污染的能源貢獻一己之力。

我們期待未來科技可以開發出高效能、輕薄如樹葉的模組化太陽能面板，在目前土地昂貴的現今，如果做成**太陽能仿生植物**，**真植物與仿生植物穿插其中**，隱藏在我們的生活環境中，相信能夠大量**減少土地成本**、聚沙成塔的收集太陽能，在**兼顧效能**的同時，也為**城市注入一道生活美學**。



捌、參考資料

- 中央氣象局。臺灣四季太陽仰角與方位角天文曆像參考資料。台北市：交通部。
- 楊皓文、郭彥甫(2016)。利用機器學習於葉子影像辨識樟科植物。2016生機與農機學術研討會，10/20-21，嘉義：國立嘉義大學生物機電工程學系。
- 鄭元賢、陳文平(2012)。台灣樟科與殼斗科植物樹葉影像之檢索系統。國立高雄應用科技大學，電機工程研究所。
- 陳柏宇、蔡進來(2009)。臺灣常見被子植物葉序之研究。國立中興大學，生命科學院研究所。
- 顏君靜、郭耀綸(2013)。不同耐陰性樹種葉片達最大光合潛力葉序之比較。國立屏東科技大學，森林系所。