

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 生物科

第三名

080304

「浮」「啟」蝴蝶蘭—探究光合作用速率與氣孔的關係

學校名稱：臺北市中山區濱江國民小學

作者： 小五 陳采淳 小五 陳宣儒 小五 歐蕎銘 小五 黃品哲	指導老師： 江宗誠
---	--------------

關鍵詞：浮葉法、光合作用速率、氣孔開闔百分比

摘要

本實驗自行設計『**均衡打出葉錠分法**』將蝴蝶蘭有系統編號平均打出葉錠，以此做『**浮葉法**』和『**印模法**』實驗。浮葉法測量**光合作用速率**，印模法檢測**氣孔開啟百分比**，研究**二氧化碳、光照度、水溫、色光和化學肥料**對於光合作用和氣孔的影響。蝴蝶蘭在不同環境因子補給或刺激下，到了最高**臨界點呈現緩慢成長甚至停滯**，像二氧化碳濃度高於 1.6%或光照度超過 6000lux 反應速率會停止成長；水溫 20 度成長最高；色光對氣孔影響最大是紅光，光合作用速率最快是黃光；化學肥料對氣孔影響最大是鉀肥，光合作用速率最快是氮肥，由此了解蝴蝶蘭照顧方法和本身防衛機制啟動產生的變化。**浮葉法用簡單器材和方法可檢測光合作用，建議加進小學自然課本做為觀察光合作用現象方法。**

壹、研究動機

臺灣稱為「蘭花王國」，蝴蝶蘭是本土高經濟價值的外銷作物，學校也栽培許多蝴蝶蘭。五年級自然課第 2 單元「**植物世界面面觀**」單元認識「**植物根，莖，葉的功能**」，我們從中認識植物的**光合作用、呼吸作用及蒸散作用**，有了更進一步動機，想要探究影響蝴蝶蘭光合作用的因素？近年來「蘭花王國」美名的臺灣逐漸被其他國家取代，所以技術必須不斷研究和精進，我們也很喜歡學校的蝴蝶蘭，因此開啟了關於「**蝴蝶蘭的光合作用生長與氣孔關係**」的研究。在實驗中，我們以**科學方法**設計蝴蝶蘭在不同環境因子刺激下會呈現的反應，用**有效的數據**判斷蝴蝶蘭面對飽和或外在刺激對生長的幫助，藉以調整蝴蝶蘭生長的需求。

貳、研究目的

- 一、探討不同濃度的**二氧化碳**對蝴蝶蘭光合作用效率與**氣孔開闔**的效果？
- 二、探討不同強度的**光照度**對蝴蝶蘭光合作用效率與**氣孔開闔**的效果？
- 三、探討不同的水中**溫度**對蝴蝶蘭光合作用效率與**氣孔開闔**的差異效果？
- 四、利用**物理肥料-色光**進行蝴蝶蘭光合作用效率與**氣孔開闔**的影響？
- 五、利用**化學肥料-鉀、磷、氮肥**進行蝴蝶蘭光合作用效率與**氣孔開闔**的影響？
- 六、**綜合比較**不同變因間蝴蝶蘭光合作用與**氣孔開闔**的**相關分析**？

參、研究設備及器材

一、研究設備：

蝴蝶蘭	加壓器(翻拍機)	載玻片	計時器	LED 燈泡
顯微鏡	玻璃棒	蓋玻片	蒸餾水	燒杯
打洞器	電子秤	吹風機	湯匙	溫度計
檯燈	100ml 針筒	指甲油	碼表	培養皿

二、化學試劑：

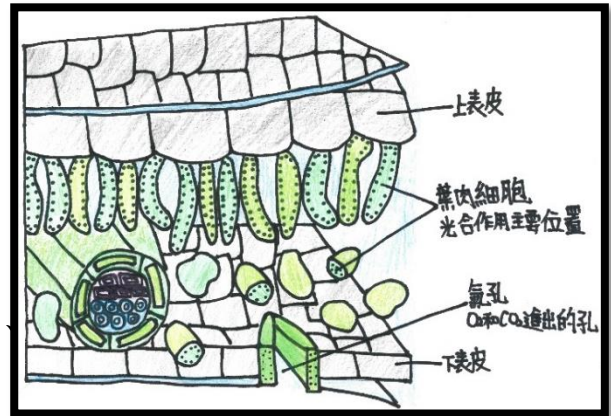
碳酸氫鈉	氮肥(尿素)	磷肥	鉀肥
------	--------	----	----

三、蝴蝶蘭材料：

七盆市售蝴蝶蘭(蘭科 Orchidaceae；蝴蝶蘭屬 Phalaenopsis)植株，生長約 24 個月已開花植株的葉片共 30 片，實驗前放在室內無光照 2 天(48 小時)再進行實驗研究。

四、氣孔介紹：

氣孔是一個孔，由兩個半月形的**保衛細胞**組成，它們形成一個可以開閉的孔，氣孔主要功能是用來**調節二氧化碳、氧氣和水分**進入的通道。氣孔內含有**葉綠素**是為了進行**光合作用**，攝取光水等**無機物轉化成養分**。



五、光合作用反應式： $$\text{水} + \text{光能} + \text{二氧化碳} \rightarrow \text{氧氣} + \text{水} + \text{葡萄糖}$$

光合作用是植物、藻類和某些細菌等生產者，利用可見光的照射下，經過**光反應和暗反應**，將**無機物轉換成有機物**的過程。光合作用是一系列複雜代謝反應的總和，是生物界賴以生存的基礎，也是地球碳氧迴圈的重要媒介。

肆、研究過程或方法

一、研究方法一【如何打出葉錠：**均衡打出葉錠分法**】

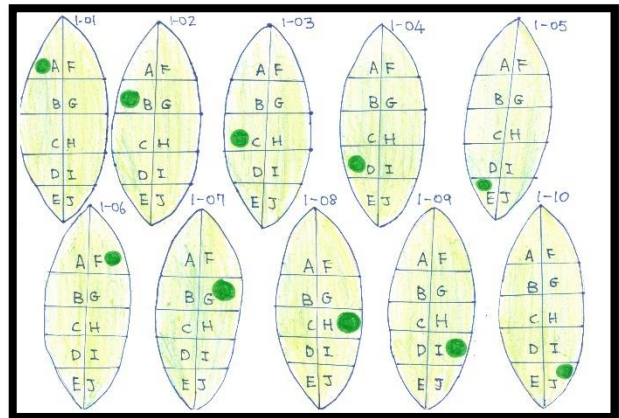
(一)**均衡打出葉錠分法說明**：如何均衡打出葉錠？為什麼要這樣打葉錠？因為**同一片葉子不同部位氣孔密度會不同、不同葉子的光合作用也會不一樣、不同葉齡**也會造成實驗誤差，我們在正式實驗前經過數百次實驗前預試，依據預試結果整理出以下實驗步驟，所以我們整理設計出『**均衡打出葉錠分法**』來打出葉錠進行實驗，**減少實驗誤差**。

(二)均衡打出葉錠分法步驟：

1.本次實驗共使用 30 片蝴蝶蘭葉片，在第 1 片葉片標上 1-01，以此類推到第 3 次實驗標上 3-01~3-10 編號。

2.把每一片葉片分為 10 個區域，分別標上 A、B...J 的 10 個區域編號，每次實驗在**同一片葉片上只取 1 錠葉錠**。

3. 完成第 1 次重複實驗的 10 片葉錠：第 1 片葉子 1-01-A 區域利用打洞器打出第 1 個葉錠後；換到第 2 片葉子 1-02-B 區域打出第 2 個葉錠，以此類推到重複打完 1-10-J 區域第 10 個葉錠後，就**完成第一次重複實驗的 10 錠葉錠**。



4.再分別以此方法完成第二次重複實驗的 10 錠葉錠和第三次重複實驗的 10 錠葉錠。

5.共有 30 片蝴蝶蘭葉片，**每一片葉片只打 1 個葉錠，每次重複實驗有 10 個來自不同葉子的葉錠，且包含葉子 10 個區域(A~J)**，利用以上均衡方法打出的 30 個葉錠，能**避免葉錠來自同 1 片葉子**，也能**避免葉錠來自葉子的相同部位**，可以減少實驗的誤差。

(三)均衡打出葉錠分法照片：



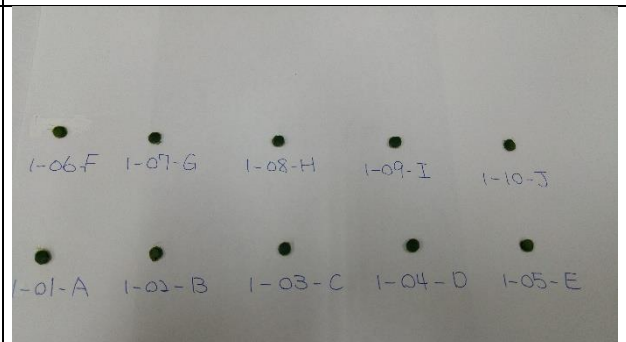
1.分別在 30 片蝴蝶蘭葉片標上 1-01~3-10



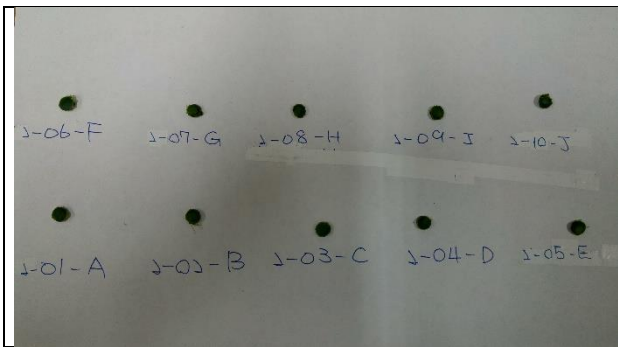
2.每一片葉片分別標上 A~J 區域



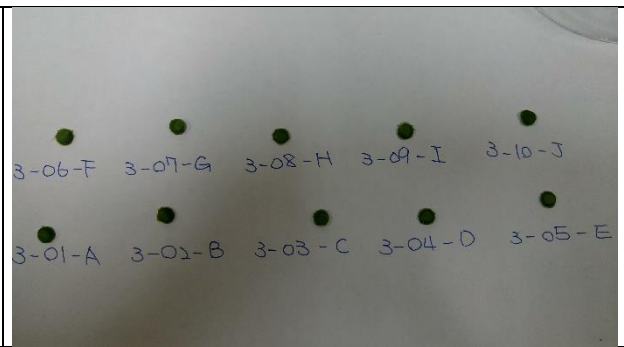
3.1-01-A 打 1 個葉錠以此類推到 1-10-J 葉錠



4.完成第 1 次重複實驗 10 葉錠 1-01-A~1-10-J



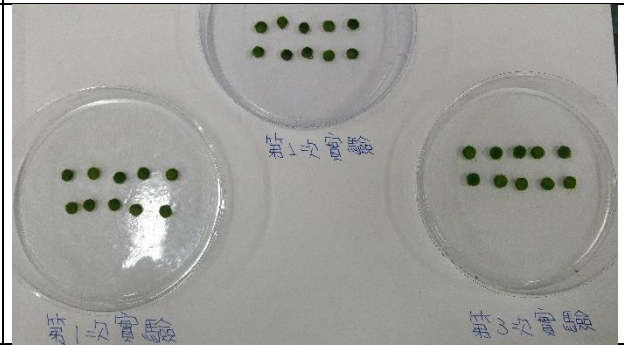
5.完成第 2 次重複實驗 10 葉錠(2-01-A~2-10-J)



6.完成第 3 次重複實驗 10 葉錠(3-01-A~3-10-J)



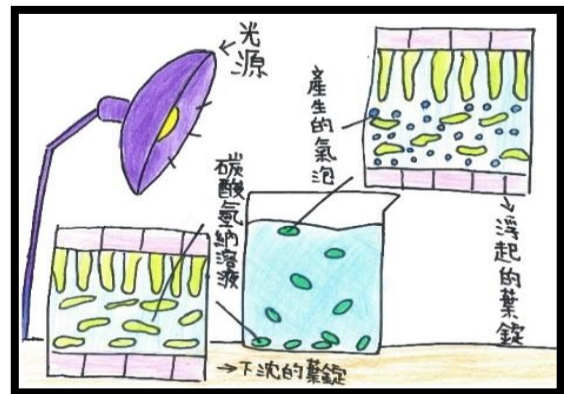
7. 30 片蝴蝶蘭每一片葉片只打 1 個葉錠



8.均衡方法打出的 30 個葉錠減少實驗誤差

二、研究方法二【檢測光合作用速率方法：浮葉法】

(一)浮葉法原理：浮葉法實驗是利用一些簡單的裝置就可以進行檢測光合作用速率的實驗。以研究二氧化碳對光合作用的影響為例子，實驗方法是用打洞器打出 10 錠葉錠，把葉錠放入蒸餾水中加壓，葉錠就沉下去，再放在光照下計算葉錠浮起來的時間。原理是加



壓的時候，空氣被擠壓，水跑進葉錠裡，葉肉海綿體組織內的空隙會充滿液體，葉錠沒有空氣就沉下去，而在行光合作用時，光合作用會產生氧氣，氧氣在水中的溶解度較低，故會在葉肉細胞的間隙中形成氣泡，又可以讓葉錠浮起來。

(二)浮葉法實驗步驟：

- 1.利用「均衡打出葉錠分法」打出 10 錠葉錠為一次實驗，裝在 100ml 針筒裡，滴上 2 毫升稀釋過後的洗碗精，破壞水的表面張力讓水更容易進入葉錠內。
- 2.針筒裡倒入蒸餾水到刻度 100ml 後裝上活塞，利用自行設計的加壓器，加壓相同壓力並固定 15 分鐘，將深色布蓋在加壓器上避免光線照入針筒。
- 3.利用自行設計的加壓器每次可加壓相同壓力，加壓讓葉肉海綿體組織充滿液體，在加

壓過程中有發現葉錠表面冒出氣泡，葉錠沉下去，針筒固定加壓 15 分鐘，讓所有葉錠沉下去後，打開活塞將沉下去葉錠溶液倒入 100ml 燒杯內。

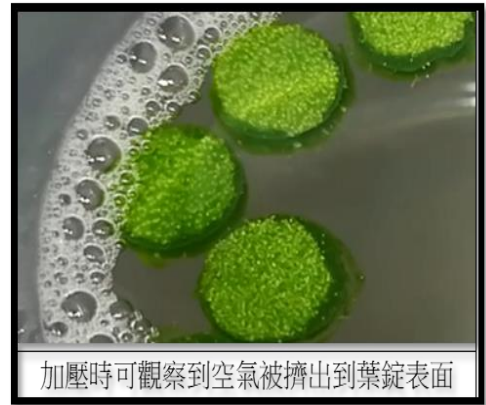
4.將沉下葉錠倒進燒杯，根據後續實驗的目的加入不同溶質，輕微攪拌 30 秒確認完全溶解在蒸餾水中。

5.將含有葉錠的燒杯，在自製的鋁箔光源箱，固定光照下，讓光源平均照射到光源箱內，進行光合作用。

6.開始計時紀錄完成半數葉錠(5 錠)浮起的時間，其觀察值即為光合作用時間，設為 $ET_{50light}$ (分鐘/浮起半數葉錠)。

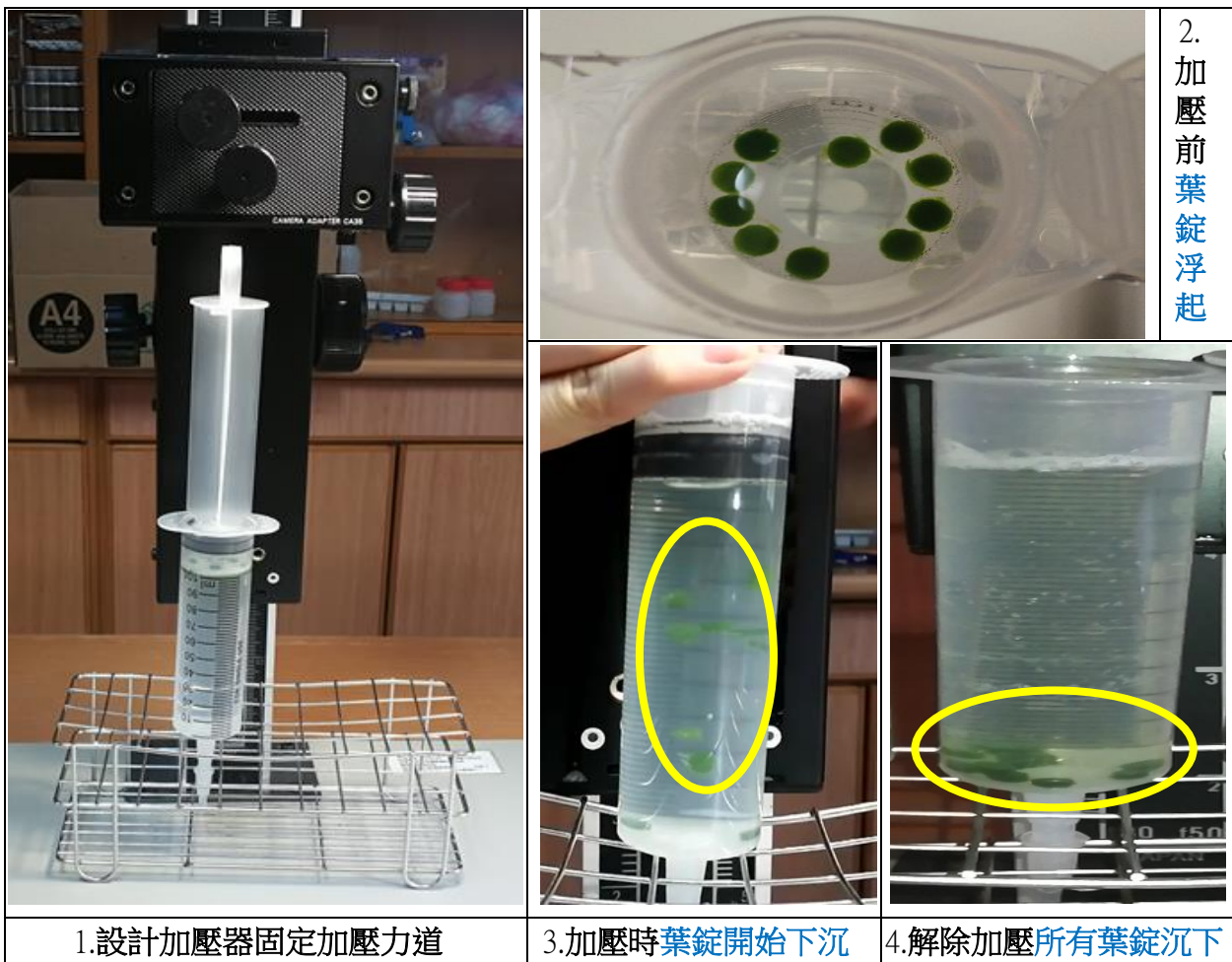
7.計算每分鐘可完成浮起半數葉錠(5 錠)，表示浮葉法行光合作用時每分鐘製造多少氧氣量，其計算值即為光合作用速率，將光合作用速率設為 ET_{50ps} (浮起半數葉錠/分鐘)。

8.每次浮葉法實驗為減少誤差皆會重複實驗三次取平均數，重複上述實驗 1~7 步驟三次。



加壓時可觀察到空氣被擠出到葉錠表面

(三)浮葉法實驗照片：

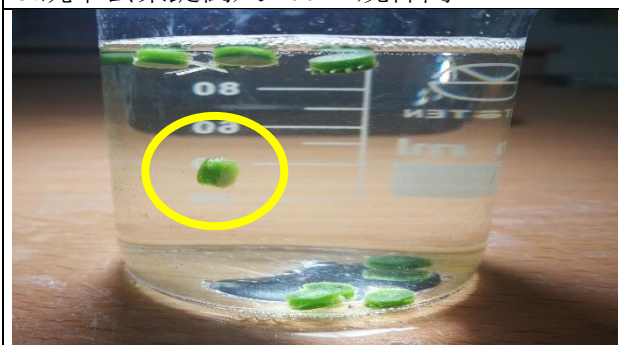




5.沉下去葉錠倒入 100ml 燒杯內



6.自製光源箱光源平均照射進行光合作用



7.行光合作用時葉錠製氧會浮起



8.計算半數葉錠浮起光合作用速率 ET_{50ps}

(四) 浮葉法計算公式：

1.紀錄光合作用時間 $ET_{50light}$ ：

光合作用時間是指完成半數葉錠浮起(5 錠)需要多少時間，將光合作用時間設為 $ET_{50light}$ ($\frac{\text{分鐘}}{\text{浮起半數葉錠(5錠)}}$)。觀察 10 錠沉入水溶液中，紀錄半數葉錠浮起(5 錠)時間，其觀察值即為光合作用時間，設為 $ET_{50light}$ 。光合作用時間 $ET_{50light}$ 值越短，顯示葉錠製氧量越快，表示光合作用越旺盛。

$$\text{公式：光合作用時間 } ET_{50light} = \frac{\text{分鐘}}{\text{一半葉錠浮起來(5葉錠)}}$$

2.計算光合作用速率 ET_{50ps} ：

光合作用速率是指每分鐘可以完成多少半數葉錠浮起(5 錠)，將光合作用速率設為 ET_{50ps} ($\frac{\text{浮起半數葉錠(5錠)}}{\text{分鐘}}$)。光合作用速率 ET_{50ps} 剛好等於光合作用時間 $ET_{50light}$ 的倒數，也就是說光合作用速率 ET_{50ps} 愈快表示光合作用所需時間 $ET_{50light}$ 愈短；光合作用速率 ET_{50ps} 愈快，顯示製造愈多氧氣量排出，葉錠每分鐘行光合作用越旺盛。

$$\text{公式：光合作用速率 } ET_{50ps} = \frac{1}{ET_{50light}} = \frac{\text{一半葉錠浮起來(5葉錠)}}{\text{分鐘}}$$

三、研究方法三【檢測氣孔開闔方法：葉片印模法】

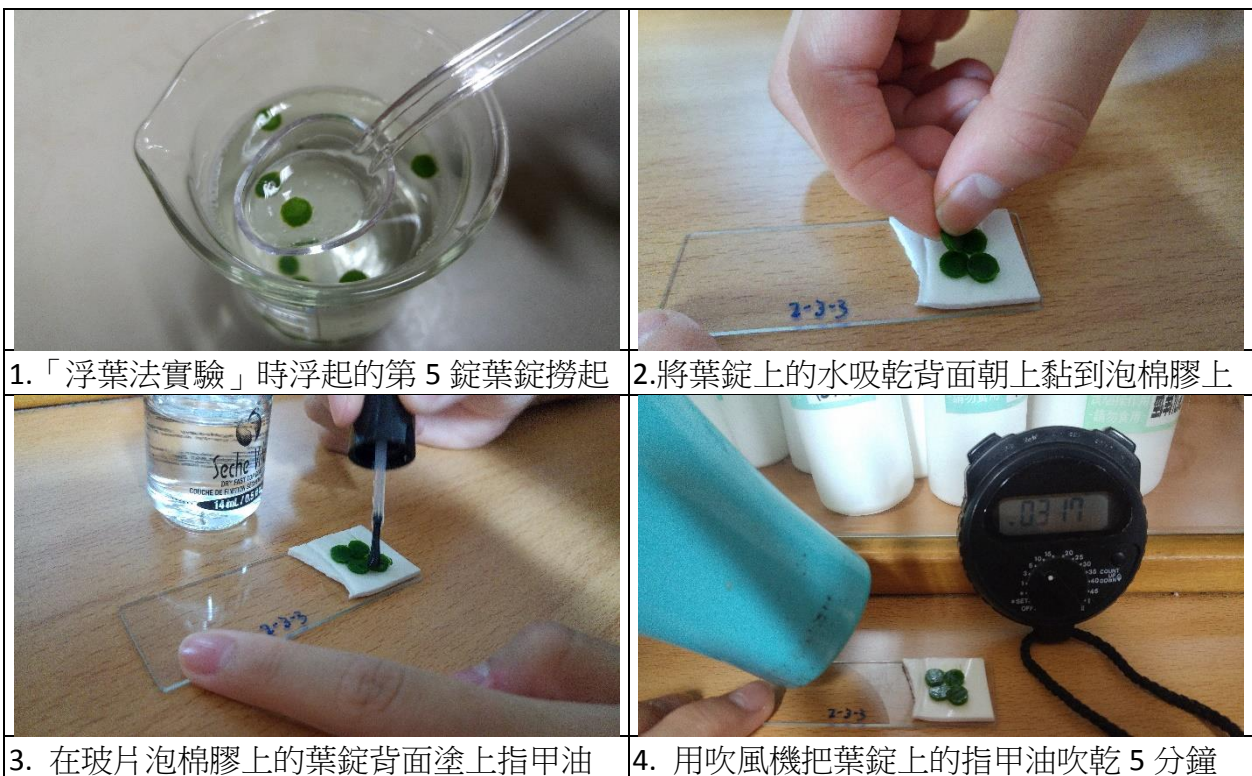
(一)葉片印模法說明：

印模法是利用一些無流動性的塑化材料(例如指甲油),貼合在被測表面上將表面的輪廓複製成模,然後測量印模,從而評定被測表面的粗糙度。**印模法可快速立即將被測表面複製固定**,可以容易看清楚**保衛細胞與氣孔開闔**,**觀測植物表皮細胞形狀與氣孔分布**。

(二)葉片印模法實驗步驟：

- 1.準備一罐速乾透明指甲油和一片載玻片,並將泡棉膠黏到載玻片上,方便固定葉錠。
- 2.將「浮葉法實驗」時浮起的**第 5 錠葉錠撈起來**,用濾紙將葉錠上的溶液吸乾。
- 3.將吸乾的**葉錠確認背面朝上**,黏貼到載玻片的泡棉膠上固定。
- 4.在玻片泡棉膠上的**葉錠背面塗上指甲油**。用吹風機把葉錠上的指甲油**固定吹乾 5 分鐘**。
- 5.用膠帶將葉錠上的指甲油印模撕起並黏到載玻片上。
- 6.使用顯微鏡,將接物鏡固定 4 倍(4X),電子目鏡 130 萬畫素的顯微鏡,對焦觀察氣孔的開闔,並拍照編碼存檔。
- 7.在**比率放大 160 倍(160X)**下列印在 A4 紙張上,圈出實際**單位面積 1.792 平方毫米(mm²)**葉錠上的**氣孔分佈情形**。

(三)葉片印模法實驗照片：

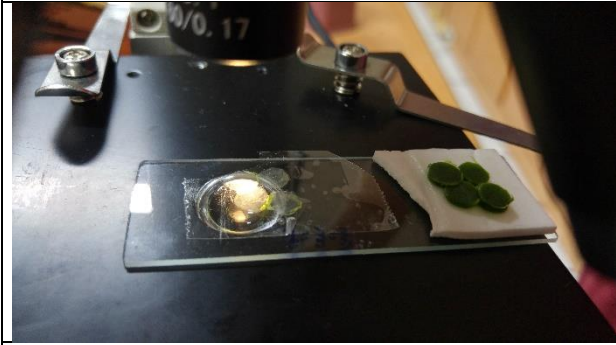




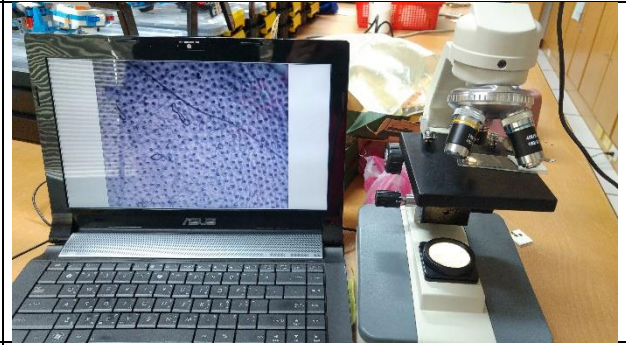
5. 用膠帶將葉錠上指甲油印模撕起



6. 將乾的指甲油印模黏到載玻片上



7. 顯微鏡的接物鏡 4 倍電子目鏡 130 萬畫素



8. 對焦顯微鏡觀察氣孔的開闔拍照編碼存檔

(四)葉片印模法計算氣孔開啟比例公式：

觀察氣孔放大 140 倍(140X)下, 實際單位面積 1.792 平方毫米(mm²)葉片上之分佈情形, 計算氣孔開啟比率百分比。

$$\text{氣孔開啟比率百分比 STO} = \frac{\text{氣孔開啟數量}}{\text{氣孔全部數量}} * 100 (\%)$$

(五)2 天(48 小時)無光源情形下, 利用印模法觀察蝴蝶蘭氣孔開啟百分比(STO)。

數量 \ 實驗	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
氣孔開啟	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1
氣孔關閉	8	5	5	6	6	11	6	10	7	6
總氣孔數	8	6	6	6	6	12	6	10	7	7
氣孔開啟百分比-STO (%)	0	16.7	16.7	0	0	8.3	0	0	0	14.3
實驗 1	實驗 2		實驗 3		實驗 4		實驗 5			
實驗 6	實驗 7		實驗 8		實驗 9		實驗 10			

2 天(48 小時)無光源下蝴蝶蘭氣孔開啟平均百分比=5.41%

伍、研究結果

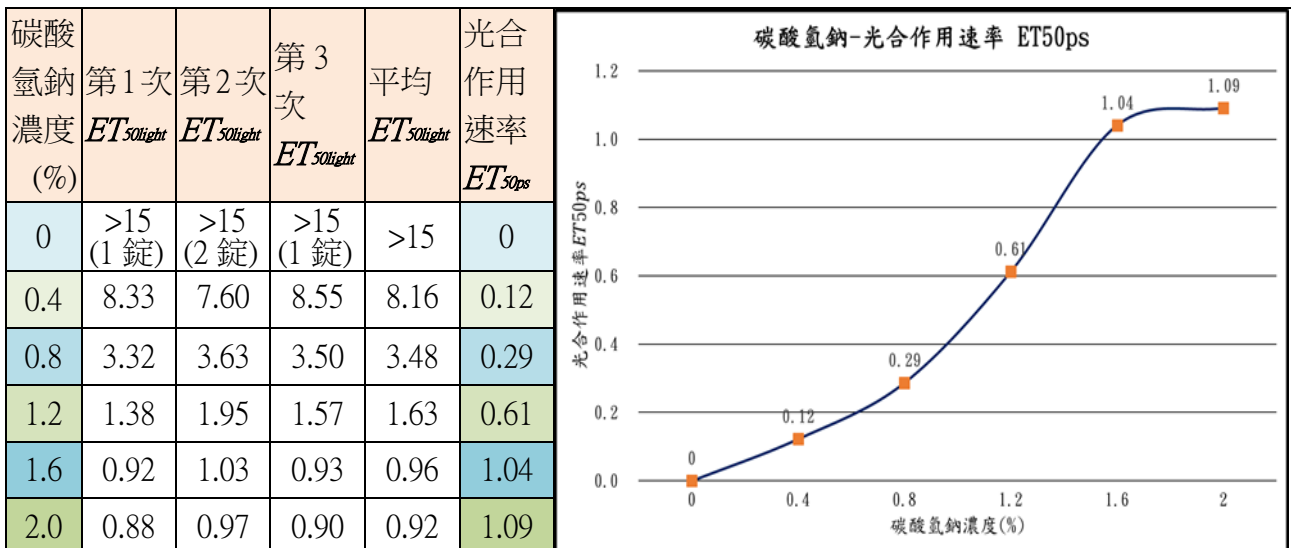
實驗一：不同濃度的【二氧化碳】對蝴蝶蘭光合作用與氣孔開闔的研究結果

(一)說明：本實驗使用碳酸氫鈉(小蘇打粉)對水溶解度(10.5g/100ml, 25°C)，與水結合後開始釋出二氧化碳(CO₂)，碳酸氫鈉水溶液濃度愈高代表二氧化碳濃度愈高，模擬二氧化碳溶於水後的狀況，二氧化碳由氣孔進入可當作光合作用的原料，本實驗濃度分別設為濃度 0、0.4、0.8、1.2、1.6 和 2.0%的碳酸氫鈉水溶液。

(二)研究步驟：

- 1.利用研究方法一【均衡打出葉錠分法】打出 10 錠葉錠。
- 2.碳酸氫鈉分別設定為 0、0.4、0.8、1.2、1.6 及 2.0g 倒入水溫 25°C 100 毫升蒸餾水燒杯，調和出碳酸氫鈉水溶液濃度分別為濃度 0、0.39、0.79、1.18、1.57 及 1.96%，取四捨五入至小數 1 位後濃度為 0、0.4、0.8、1.2、1.6 及 2.0%。
- 3.採用智能 LED 燈泡的檯燈，色光為白光，照度設為 3000 lux 光束角度維持 180°，照度值檢測為 LED 燈泡到照射觀察箱底部的檢測值。
- 4.利用研究方法二【檢測光合作用速率方法：浮葉法】完成浮葉法實驗，紀錄光合作用時間 $ET_{50light}$ 及光合作用速率 ET_{50ps} 。
- 5.將「浮葉法」實驗浮起的第 5 錠葉錠撈起來。利用研究方法三【檢測氣孔開闔方法：葉片印模法】完成檢測氣孔開闔實驗，計算氣孔開啟比例 STO 。
- 6.為了減少實驗誤差，以上「浮葉法」及「葉片印模法」實驗皆重複 3 次取平均數。

(三)「光合作用」浮葉法實驗結果：碳酸氫鈉



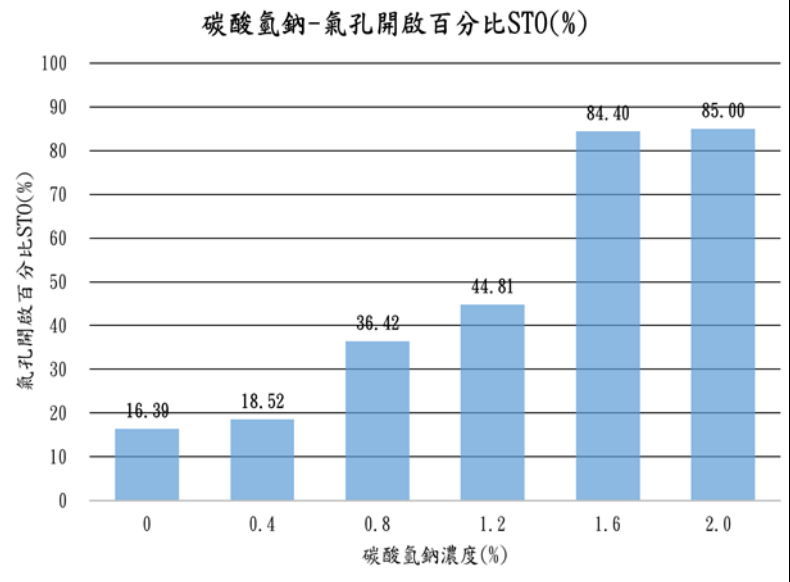
蝴蝶蘭葉錠隨著碳酸氫鈉濃度的增加，光合作用速率也變快。但是當碳酸氫鈉濃度從 1.6%到 2.0%時，光合作用速率已無明顯增加。至於碳酸氫鈉濃度在 0%時，只有 1~2 錠葉錠浮起，這是因為水中含有一些二氧化碳，但濃度不夠導致無法讓所有葉錠浮起。

(四)「氣孔開闔」印模法實驗結果：碳酸氫鈉

碳酸氫鈉	0			0.4			0.8			1.2			1.6			2.0		
照片代號	1-1-1	1-1-2	1-1-3	1-2-1	1-2-2	1-2-3	1-3-1	1-3-2	1-3-3	1-4-1	1-4-2	1-4-3	1-5-1	1-5-2	1-5-3	1-6-1	1-6-2	1-6-3
氣孔開啟	1	1	1	1	2	1	4	5	10	2	8	12	18	7	12	11	16	5
氣孔關閉	7	4	5	5	7	5	7	12	13	3	10	12	3	1	3	1	4	1
STO (%)	12.50	20.00	16.67	16.67	22.22	16.67	36.36	29.41	43.48	40.00	44.44	50.00	85.71	87.50	80.00	91.67	80.00	83.33
平均 STO	16.39			18.52			36.42			44.81			84.40			85.00		

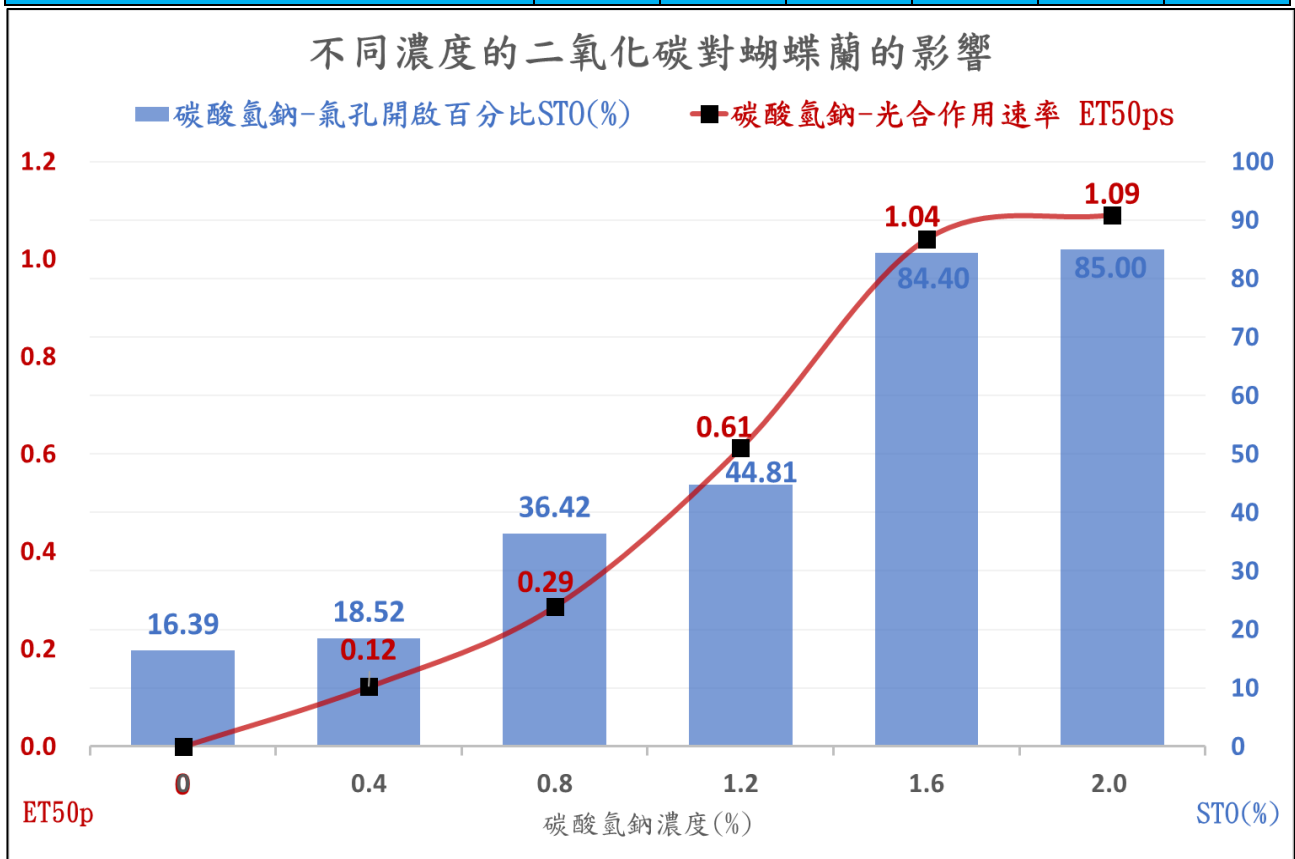
0																		
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

右圖中發現，當碳酸氫鈉濃度由0%增加到2.0%時，氣孔開啟百分比也會由低到高，但碳酸氫鈉濃度在1.6~2.0%時，蝴蝶蘭氣孔開啟百分比只有些微增加而已。



(五)「光合作用」浮葉法實驗與「氣孔開闔」印模法實驗結果比較：碳酸氫鈉

碳酸氫鈉(%)	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
碳酸氫鈉(%) - 氣孔開啟百分比 STO(%)	16.39	18.52	36.42	44.81	84.40	85.00
碳酸氫鈉(%) - 光合作用速率 ET50ps	0	0.12	0.29	0.61	1.04	1.09



(六)實驗一研究結果：隨著碳酸氫鈉濃度增加，光合作用速率就變快，氣孔開啟百分比也會越多。根據實驗結果我們發現碳酸氫鈉濃度超過1.6%時，光合作用速率便不會隨著碳酸氫鈉濃度增加而變快太多，氣孔開啟百分比增加的也不多。

實驗二：不同強度的【光照度】對蝴蝶蘭光合作用與氣孔開闔的研究結果

(一)光照度(lux) 說明:光是光合作用的能源,光照增加則光合作用也隨之增加。勒克斯(lux) :

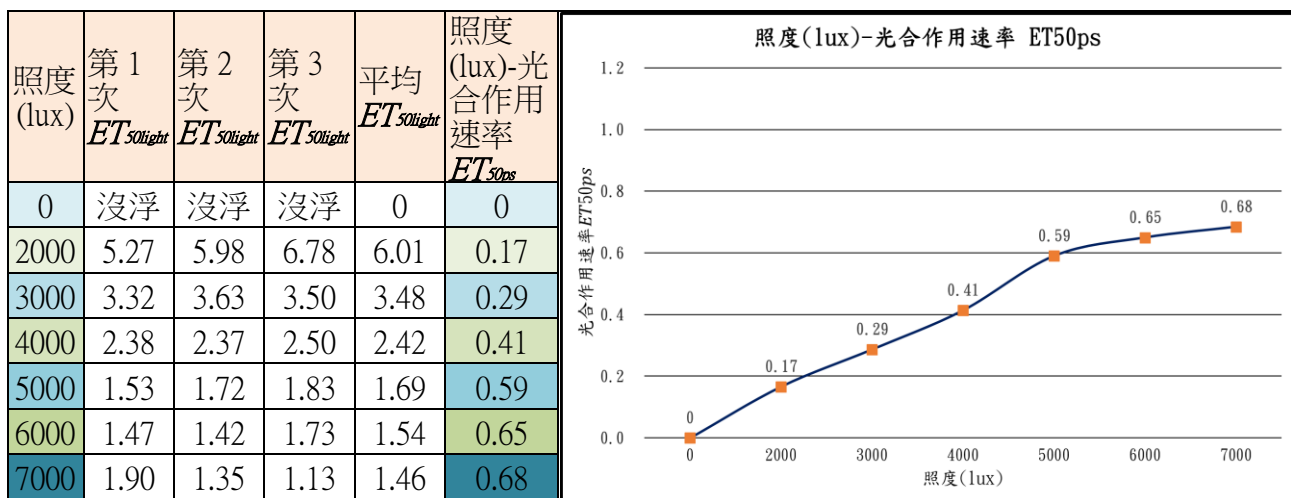
光源在給定方向上,每單位面積內所接收到的光通量(cd/m^2), $1lux=1$ 流明/平方米。烈日照度在 30000 lux、陰天照度在 10000 lux 及居家的一般照度建議在 300~500lux 之間。

日照度在 30000 lux、陰天照度在 10000 lux 及居家的一般照度建議在 300~500lux 之間。

(二)研究步驟:

- 1.將「實驗一的碳酸氫鈉濃度 0.8%」結果設定為本實驗二的**對照組**:條件為**碳酸氫鈉濃度 0.8%、光照度 3000lux、水溫為 25°C、色光白光、無肥料**。
- 2.利用研究方法一【**均衡打出葉錠分法**】打出 10 錠葉錠。
- 3.將碳酸氫鈉設定為濃度 0.8%裝有 100 毫升蒸餾水的量杯中,蒸餾水水溫為 25 度。
- 4.將**光照度(lux)**分別設定 **0 lux、2000 lux、3000 lux、4000 lux、5000 lux、6000 lux 和 7000 lux**。
- 5.採用智能 LED 燈泡,色光為白光,光束角度維持 180°,照度值為檢測觀察箱底部。
- 6.利用研究方法二【**檢測光合作用速率方法:浮葉法**】完成浮葉法實驗,紀錄光合作用時間 **$ET_{50light}$** 及**光合作用速率 ET_{50ps}** 。
- 7.將「浮葉法」實驗浮起的**第 5 錠葉錠**撈起。利用研究方法三【**檢測氣孔開闔方法:葉片印模法**】完成檢測氣孔開闔實驗,計算**氣孔開啟比例 STO**。
- 8.為了減少實驗誤差,以上「浮葉法」及「葉片印模法」實驗皆**重複 3 次取平均數**。

(三)「光合作用」浮葉法實驗結果:光照度(lux)

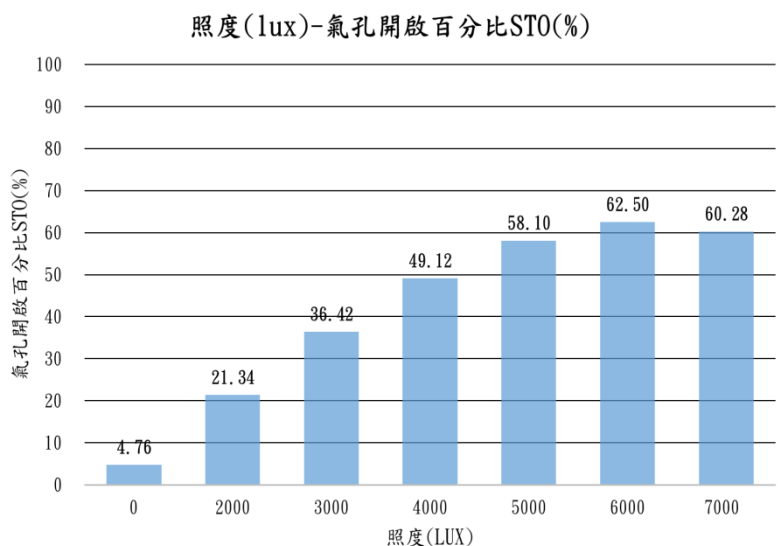


蝴蝶蘭葉錠在照度 0lux~6000lux 之間,光合作用速率隨著光照度增加而變得越快,光合作用在照度增加時,光合作用速率也會變快,但照度到了 6000lux~7000lux 時,**光合作用速率則無明顯增加(變快)**。

(四)「氣孔開闔」印模法實驗結果：光照度(lux)

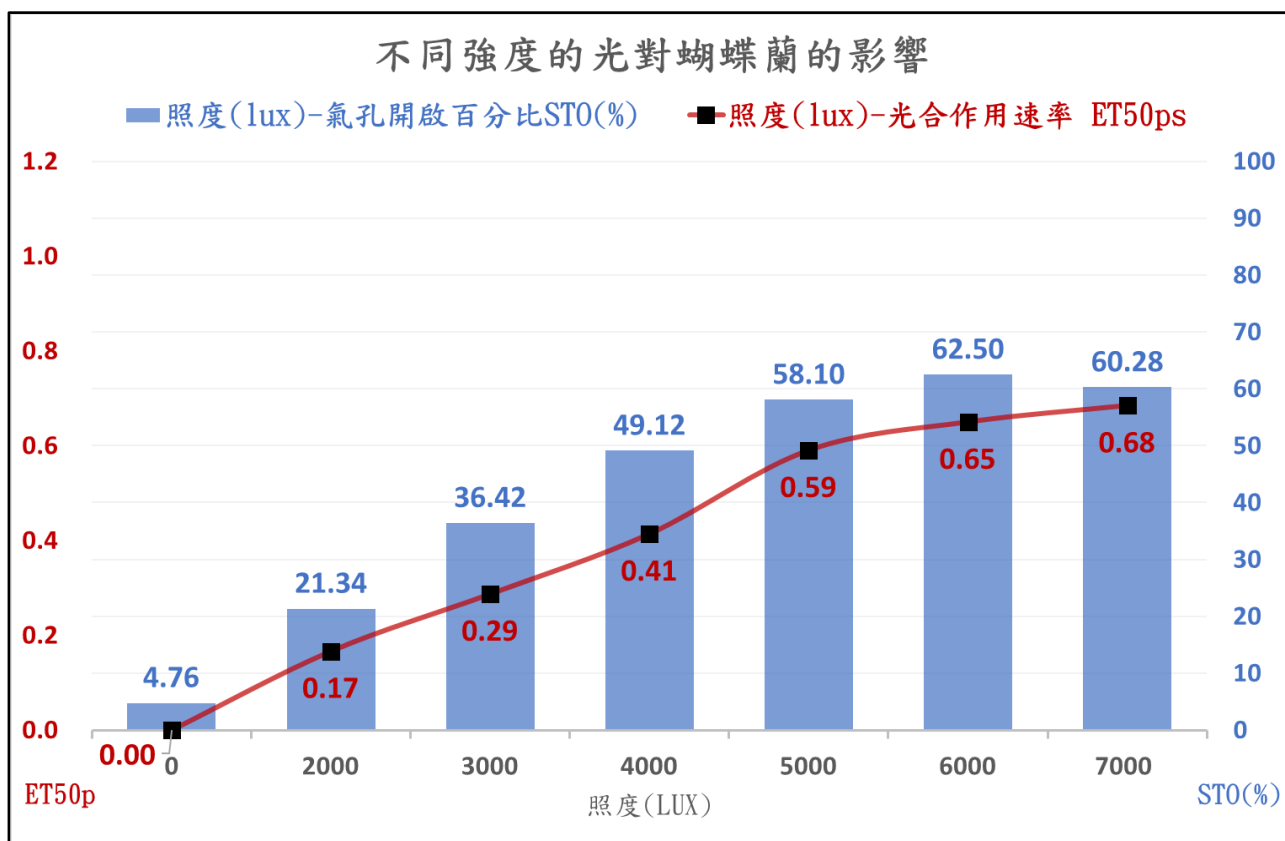
照度(lux)	0			2000			3000-對照			4000			5000			6000			7000		
照片代號	2-1-1	2-1-2	2-1-3	2-2-1	2-2-2	2-2-3	1-3-1	1-3-2	1-3-3	2-4-1	2-4-2	2-4-3	2-5-1	2-5-2	2-5-3	2-6-1	2-6-2	2-6-3	2-7-1	2-7-2	2-7-3
氣孔開啟	0	0	1	1	2	2	4	5	10	7	3	9	4	4	3	5	11	9	6	5	7
氣孔關閉	7	6	6	7	4	9	7	12	13	7	3	10	3	3	2	3	5	7	4	3	5
STO (%)	0.00	0.00	14.29	12.50	33.33	18.18	36.36	29.41	43.48	50.00	50.00	47.37	57.14	57.14	60.00	62.50	68.75	56.25	60.00	62.50	58.33
平均 STO	4.76			21.34			36.42			49.12			58.10			62.50			60.28		
0																					
2000																					
3000																					
4000																					
5000																					
6000																					
7000																					

隨著光照度增加，氣孔開啟百分比也會變多。氣孔開啟的比率最高落在 6000lux，但隨著光照度至 7000lux 時，氣孔開啟百分比已無增加。



(五)「光合作用」浮葉法實驗與「氣孔開闔」印模法實驗結果比較：光照度(lux)

照度(lux)	0	2000	3000-對	4000	5000	6000	7000
照度(lux)-氣孔開啟百分比 STO(%)	4.76	21.34	36.42	49.12	58.10	62.50	60.28
照度(lux)-光合作用速率 ET50ps	0.00	0.17	0.29	0.41	0.59	0.65	0.68



(六)實驗二研究結果：由上圖我們可以發現蝴蝶蘭只要沒有燈光，光合作用就幾乎不會進行，而且氣孔開啟百分比也會跟著變少，但只要光照度逐漸增加，蝴蝶蘭開啟的氣孔數量也會跟著增加，光合作用速率也會跟著變快，但是光照度到了一定的程度後(6000lux)，對蝴蝶蘭的氣孔開啟百分比和光合作用速率來說沒有太大的影響。

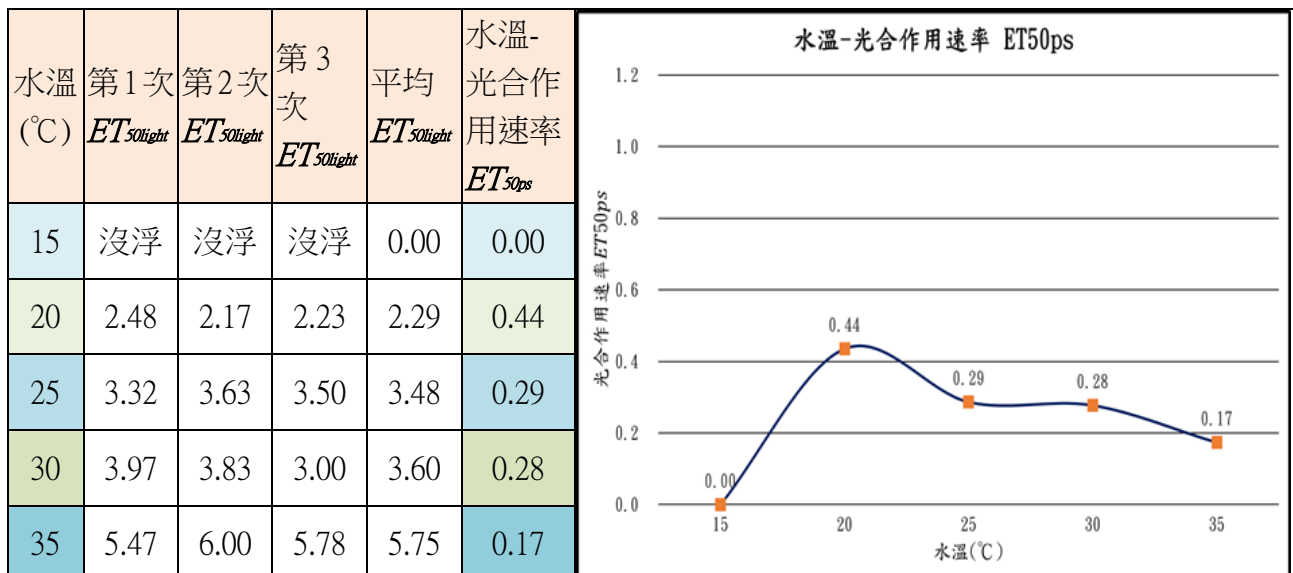
實驗三：不同的【水中溫度】對蝴蝶蘭行光合作用與氣孔開闔的差異結果

(一)說明：曾經聽過中午高溫下不要澆花嗎？植物的生理作用也需要適當的溫度，例如：植物也會需要散熱，植物會藉由葉片背後的氣孔，將水分蒸散出去，隨著水分的蒸散，就會把葉片多餘的熱給帶走。本實驗利用不同的水中溫度檢測蝴蝶蘭在何種溫度下能維持較好的光合作用狀態。

(二)研究步驟：

- 1.將「實驗一的碳酸氫鈉濃度 0.8%」結果設定為本實驗三的**對照組**：條件為**碳酸氫鈉濃度 0.8%、光照度 3000lux、水溫為 25°C、色光白光、無肥料**。
- 2.利用研究方法一【**均衡打出葉錠分法**】打出 10 錠葉錠。
- 3.將碳酸氫鈉設定為濃度 0.8%裝有 100ml 蒸餾水的量杯中，光照度 3000lux。
- 4.將蒸餾水的溫度分別設定為 15、20、25、30、35(°C)等不同蒸餾水的溫度。
- 5.採用智能 LED 燈泡的檯燈，色光為白光，光束角度維持 180°，照度值檢測為 LED 燈泡到照射觀察箱底部的檢測值。
- 6.利用研究方法二【**檢測光合作用速率方法：浮葉法**】完成浮葉法實驗，紀錄光合作用時間 $ET_{50light}$ 及**光合作用速率 ET_{50ps}** 。
- 7.將「浮葉法」實驗浮起的第 5 錠葉錠撈起。利用研究方法三【**檢測氣孔開闔方法：葉片印模法**】完成檢測氣孔開闔實驗，計算**氣孔開啟比例 STO**。
- 8.為了減少實驗誤差，以上「浮葉法」及「葉片印模法」實驗皆**重複 3 次取平均數**。

(三)「光合作用」浮葉法實驗結果：水溫(°C)

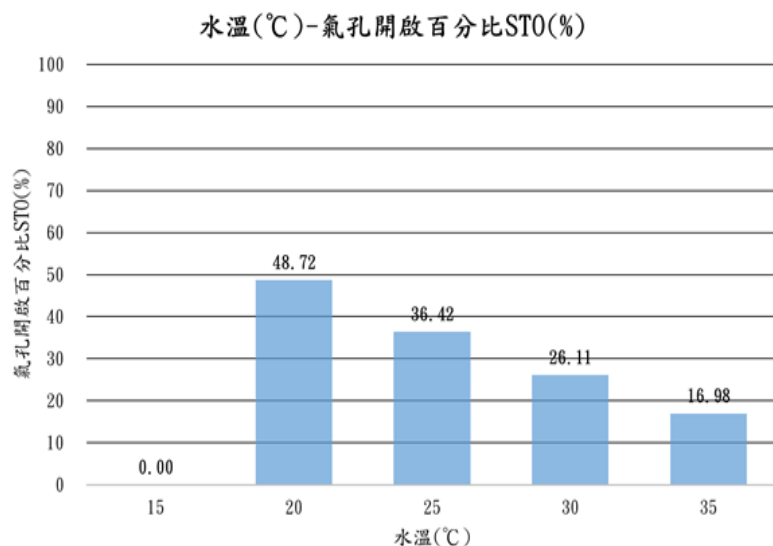


透過本次實驗，可以知道蝴蝶蘭適合生長的溫度在 20 度至 25 度之間。水溫在 20 度時光合作用表現處於最旺盛的狀態；水溫在 15 度下無法進行光合作用，**因為光合作用內暗反應的酵素受到抑制使得氣孔關閉，就不會行光合作用**。如果想讓蝴蝶蘭生長的速度較慢的話，可以把蝴蝶蘭放在 15 度或是 30 度以上的環境，這樣一來光合作用速率將會趨緩，甚至變為 0。

(四)「氣孔開闔」印模法實驗結果：水溫(°C)

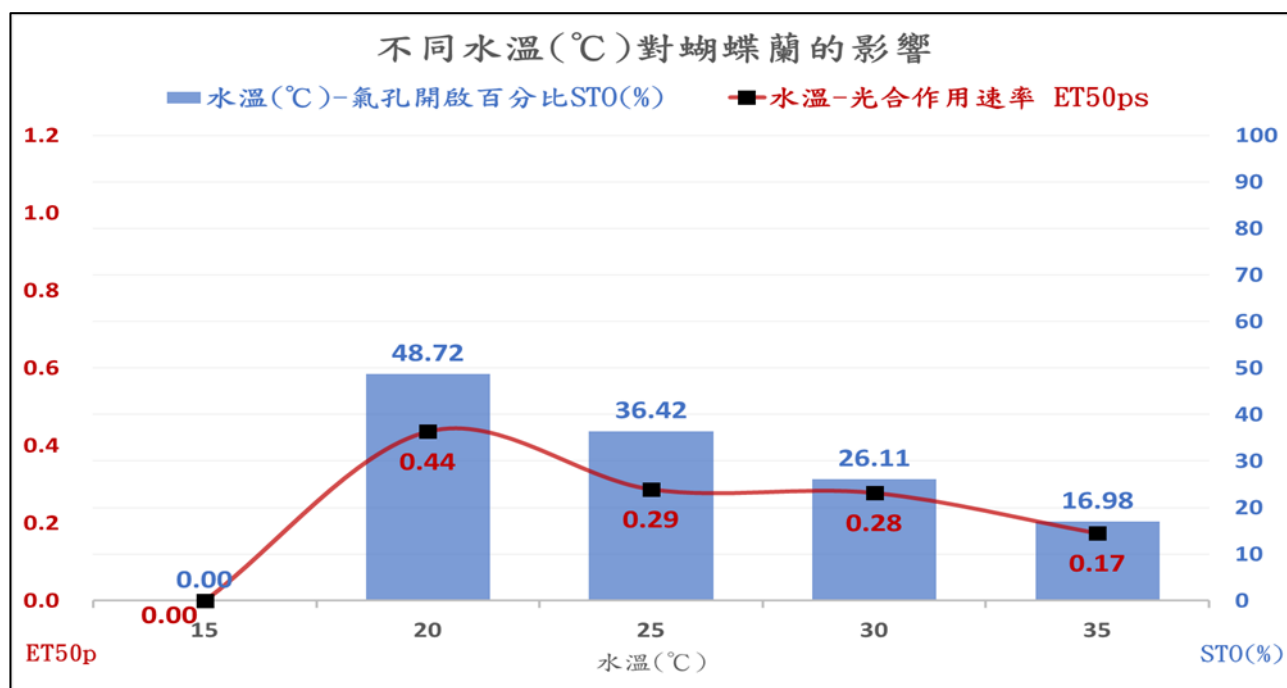
水溫(°C)	15			20			25-對照組			30			35		
照片代號	3-1-1	3-1-2	3-1-3	3-2-1	3-2-2	3-2-3	1-3-1	1-3-2	1-3-3	3-4-1	3-4-2	3-4-3	3-5-1	3-5-2	3-5-3
氣孔開啟	0	0	0	6	5	3	4	5	10	3	2	1	1	1	2
氣孔關閉	7	9	7	7	5	3	7	12	13	9	4	4	6	5	8
STO (%)	0.00	0.00	0.00	46.15	50.00	50.00	36.36	29.41	43.48	25.00	33.33	20.00	14.29	16.67	20.00
平均 STO	0.00			48.72			36.42			26.11			16.98		
15															
20															
25															
30															
35															

溫度在 15 度時氣孔不會開啟；當溫度在 20 度時氣孔開啟最旺盛；當溫度超過 30 度之後氣孔會隨著溫度的上升而蒸散較多的水分，因此滲透壓降低，促使氣孔關閉，由此可知蝴蝶蘭較適宜生長在氣候溫暖的地方。



(五)「光合作用」浮葉法實驗與「氣孔開闔」印模法實驗結果比較：水溫(°C)

水溫(°C)	15	20	25-對	30	35
水溫(°C)-氣孔開啟百分比 STO(%)	0.00	48.72	36.42	26.11	16.98
水溫(°C)-光合作用速率 ET50ps	0.00	0.44	0.29	0.28	0.17



(六)實驗三研究結果：蝴蝶蘭在 20 度的水溫，氣孔開啟及光合作用速率最旺盛，15 度的水溫下氣孔開啟百分比及光合作用速率最低。水溫在 25 度的氣孔開啟為 36.42%，光合作用速率為 0.29；30 度的氣孔開啟為 26.11%，光合作用速率為 0.28，比較兩者，在氣孔開啟百分比相差有 10.31 但光合作用速率卻只差 0.01，表示溫度增加光合作用速率或氣孔開啟百分比的數據並不會隨著溫度的上升而有所變化。

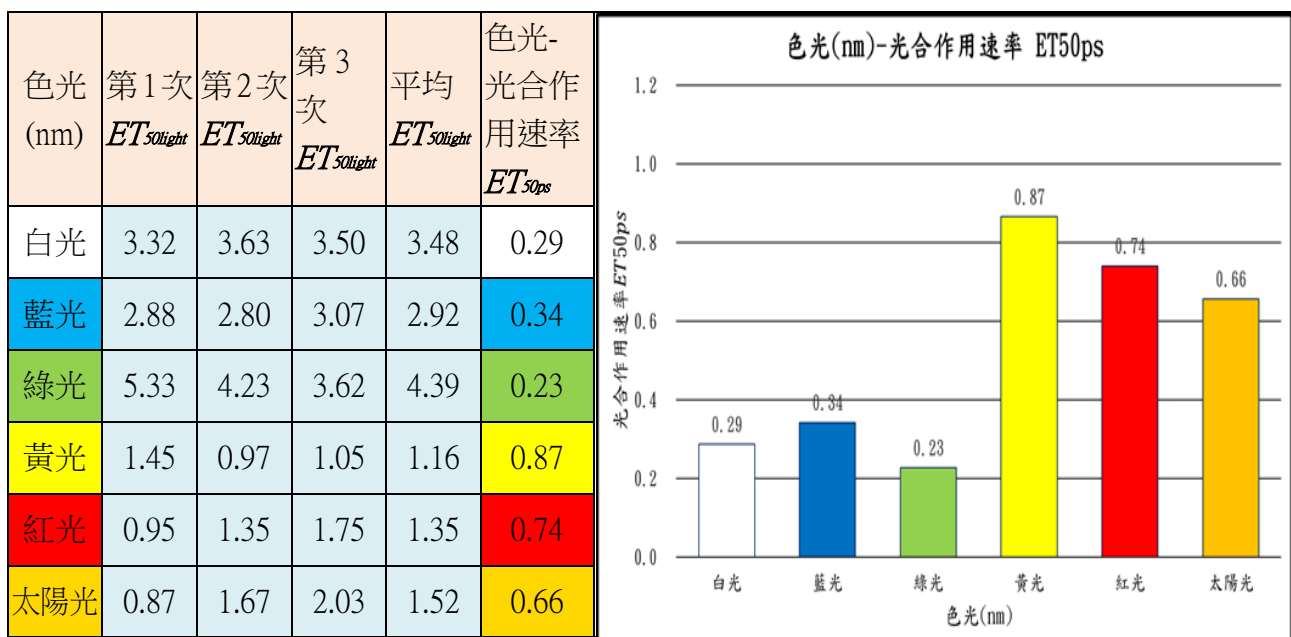
實驗四：物理肥料-【色光】進行蝴蝶蘭光合作用與氣孔開闔的實驗結果

(一)說明：使用輔助**色光刺激植物生長**，是常見的種植技術。太陽光是最重要的自然光源，可見光的波長為 400nm~760nm，光的三原色為 R(紅)G(綠)B(藍)，**藍光波長 440~485nm**；**綠光波長 500~565nm**；**黃光波長 565~590 nm**；**紅光波長 625~740nm**。

(二)研究步驟：

- 1.將「**實驗一的碳酸氫鈉濃度 0.8%**」結果設定為本實驗四的**對照組**：條件為**碳酸氫鈉濃度 0.8%、光照度 3000lux、水溫為 25°C、色光白光、無肥料**。
- 2.利用**研究方法一【均衡打出葉錠分法】**打出 10 錠葉錠。
- 3.將碳酸氫鈉設定為濃度 0.8%裝有 100ml 蒸餾水的量杯中。
- 4.採用智能 LED 燈泡，**色光**分別設定**白光、藍光、綠光、黃光及紅光**，光照度皆**固定 3000lux**；光束角度維持 180°，照度值檢測為 LED 燈泡到照射觀察箱底部的檢測值。
- 5.另有 1 組放置在**太陽光**底下(光照度約 30000lux)進行實驗。
- 6.利用**研究方法二【檢測光合作用速率方法：浮葉法】**完成浮葉法實驗，紀錄光合作用時間 **$ET_{50light}$** 及**光合作用速率 ET_{50ps}** 。
- 7.將「浮葉法」實驗浮起的**第 5 錠葉錠**撈起來。利用**研究方法三【檢測氣孔開闔方法：葉片印模法】**完成檢測氣孔開闔實驗，計算**氣孔開啟比例 STO**。
- 8.為了減少實驗誤差，以上「**浮葉法**」及「**葉片印模法**」實驗皆**重複 3 次取平均數**。

(三)「光合作用」浮葉法實驗結果：**色光(波長 nm)**

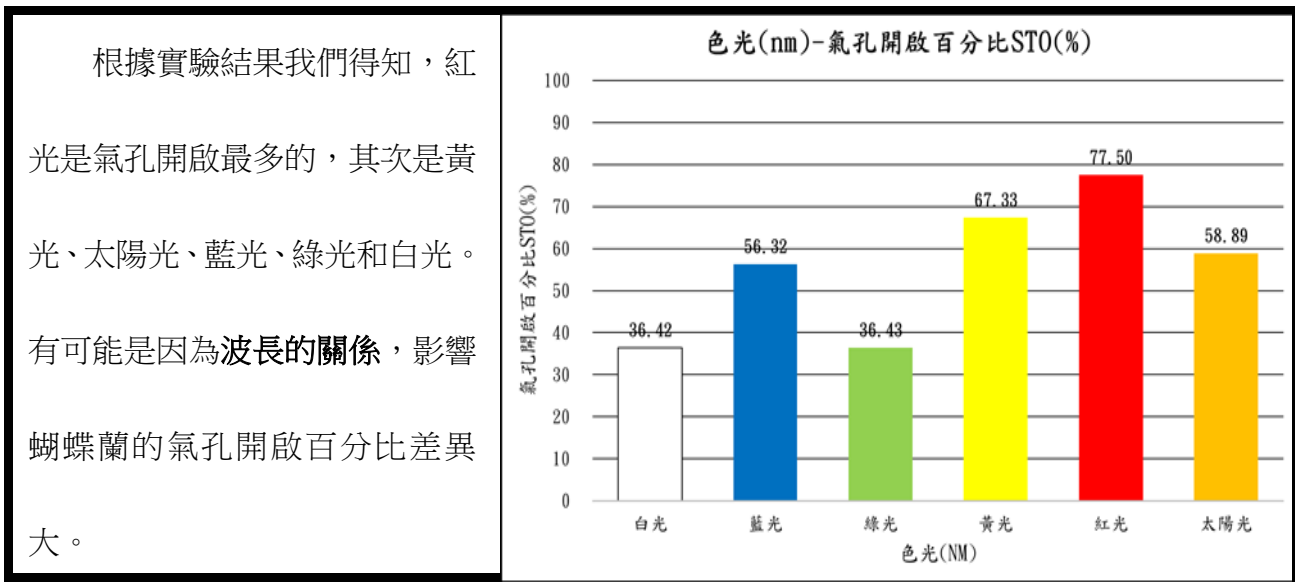


根據實驗結果得知，不同波長的色光對蝴蝶蘭光合作用速率的影響，從浮葉法中，我們發現黃光是光合作用速率最快，其次紅光、太陽光、藍光、白光，反應最慢的是綠光，由此可知蝴蝶蘭在生長時較適宜使用黃光。

(四)「氣孔開闔」印模法實驗結果：色光(波長 nm)

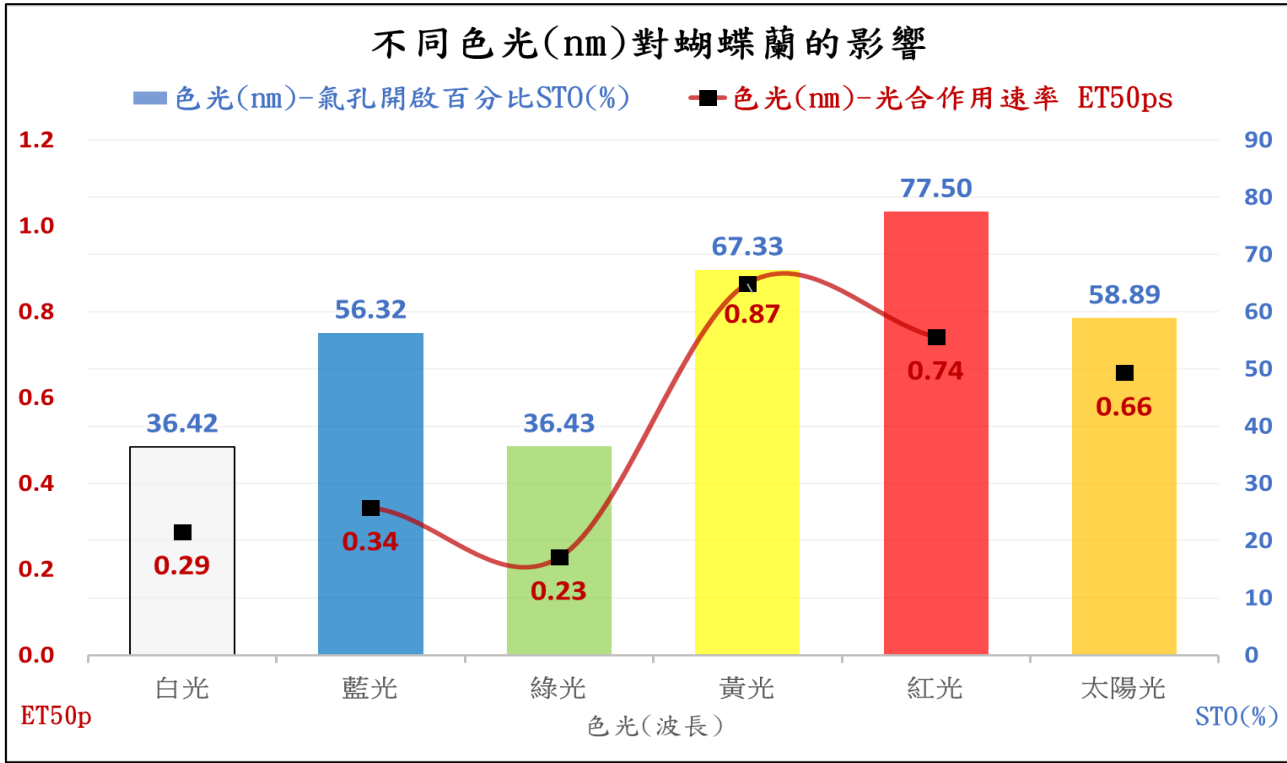
色光(nm)	白光-對照組			藍光			綠光			黃光			紅光			太陽光		
照片代號	1-3-1	1-3-2	1-3-3	4-4-1	4-4-2	4-4-3	4-3-1	4-3-2	4-3-3	4-5-1	4-5-2	4-5-3	4-2-1	4-2-2	4-2-3	4-6-1	4-6-2	4-6-3
氣孔開啟	4	5	10	9	5	4	3	3	5	5	15	5	7	7	6	4	3	3
氣孔關閉	7	12	13	7	4	3	6	5	8	2	5	4	1	3	2	2	2	3
STO (%)	36.36	29.41	43.48	56.25	55.56	57.14	33.33	37.50	38.46	71.43	75.00	55.56	87.50	70.00	75.00	66.67	60.00	50.00
平均 STO	36.42			56.32			36.43			67.33			77.50			58.89		

白光																		
藍光																		
綠光																		
黃光																		
紅光																		
太陽光																		



(五)「光合作用」浮葉法實驗與「氣孔開闔」印模法實驗結果比較：色光(波長 nm)

色光(nm)	白光	藍光	綠光	黃光	紅光	太陽光
色光(nm)-氣孔開啟百分比 STO(%)	36.42	56.32	36.43	67.33	77.50	58.89
色光(nm)-光合作用速率 ET50ps	0.29	0.34	0.23	0.87	0.74	0.66



(六)實驗四研究結果：蝴蝶蘭照不同色光時，氣孔開啟的數量和光合作用速率都會不一樣，其中紅光、黃光和太陽光是效果較好的，而綠光、藍光是效果比較弱的，太陽光的照度30000lux，但是太陽光的效果並沒有比黃光、紅光效果還好，可見蝴蝶蘭行光合作用時，利用不同色光(波長)對蝴蝶蘭的光合作用速率有不同的影響，同樣的，不同顏色的光也對蝴蝶蘭氣孔開啟百分比，有著不同的影響。

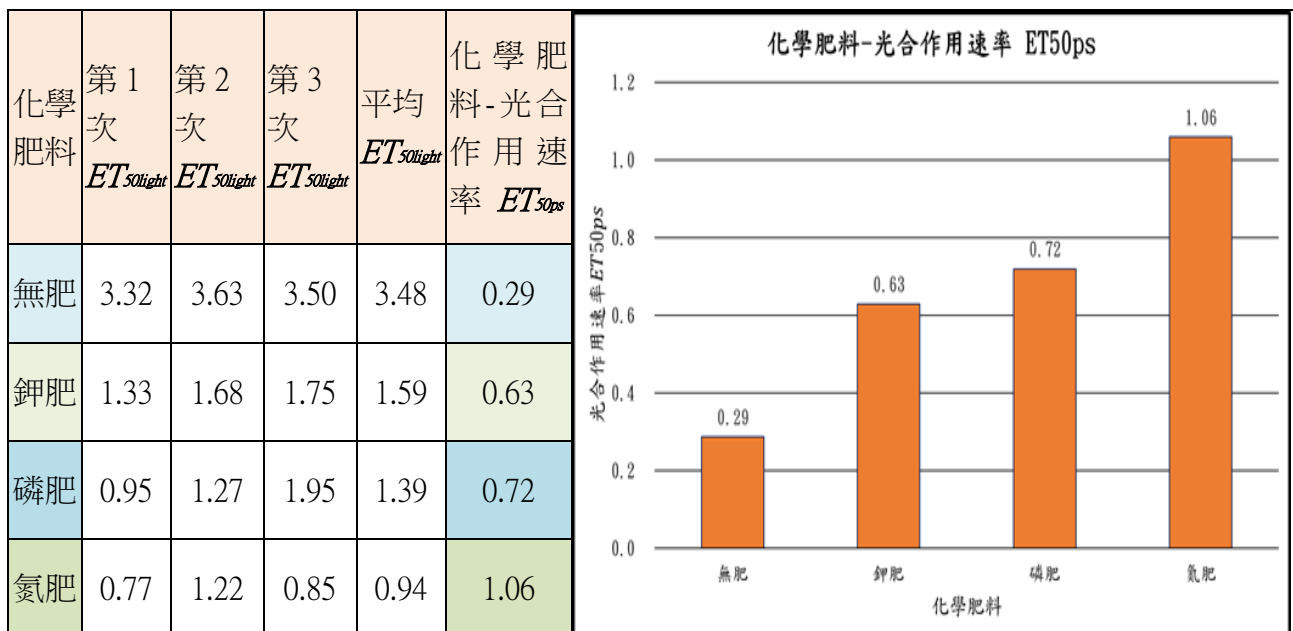
實驗五：化學肥料-【鉀、磷、氮肥】進行蝴蝶蘭光合作用與氣孔開闔的實驗結果

(一)說明：無機肥料又稱「化學肥料」或「合成肥料」，通常是指非生物體或無機化合物、礦物中提煉製成的。人工合成的肥料主要包括**氮(N)**、**磷(P)**、**鉀(K)**，肥料的作用在於**幫助植物吸收養分**，是現代科學技術帶給植物的高效營養物質。

(二)研究步驟：

- 1.將「**實驗一的碳酸氫鈉濃度 0.8%**」結果設定為本實驗五的**對照組**：條件為**碳酸氫鈉濃度 0.8%、光照度 3000lux、水溫為 25°C、色光白光、無肥料**。
- 2.利用研究方法一【**均衡打出葉錠分法**】**打出 10 錠葉錠**。
- 3.將氮磷鉀肥分別設定為**0.8** 公克倒入水溫 25°C、碳酸氫鈉濃度為 0.8%、100 毫升蒸餾水燒杯，調和出碳酸氫鈉和肥料濃度各**0.8%**的水溶液(四捨五入至小數 1 位)。
- 4.採用智能 LED 燈泡的檯燈，色光為白光，光照度 3000lux，光束角度維持 180°，照度值檢測為 LED 燈泡到照射觀察箱底部的檢測值。
- 5.利用研究方法二【**檢測光合作用速率方法：浮葉法**】完成浮葉法實驗，紀錄光合作用時間 **$ET_{50light}$** 及**光合作用速率 ET_{50ps}** 。
- 6.將「浮葉法」實驗浮起的**第 5 錠葉錠**撈起。利用研究方法三【**檢測氣孔開闔方法：葉片印模法**】完成檢測氣孔開闔實驗，計算**氣孔開啟比例 STO**。
- 7.為了減少實驗誤差，以上「**浮葉法**」及「**葉片印模法**」實驗皆**重複 3 次取平均數**。

(三)「光合作用」浮葉法實驗結果：**化學肥料**



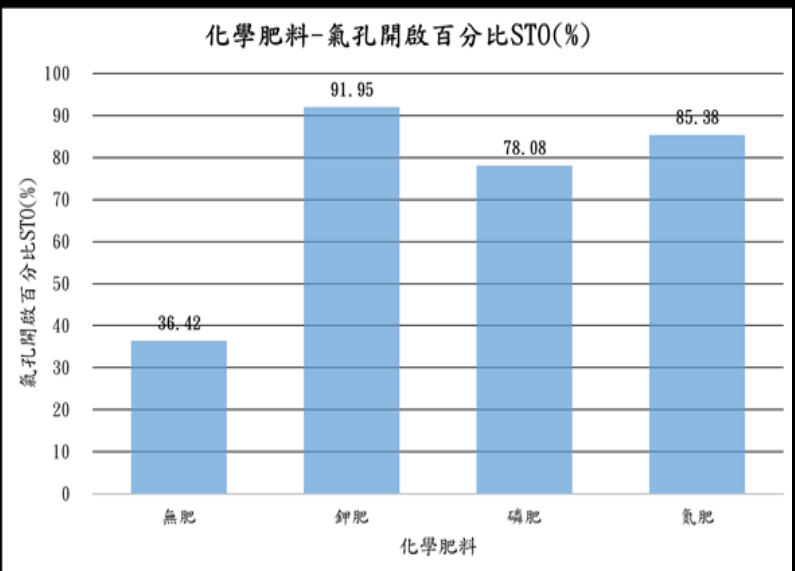
根據實驗結果我們發現，對於光合作用速率的影響，**氮肥是影響最高的**、其次是磷肥、第三是鉀肥最後是無肥。因為氮肥可以製造葉綠素提供光合作用所需，所以對於光合作用速率的影響最大。

(四)「氣孔開闔」印模法實驗結果：**化學肥料**

化學肥料	無肥-對照組			鉀肥			磷肥			氮肥		
照片代號	1-3-1	1-3-2	1-3-3	5-2-1	5-2-2	5-2-3	5-3-1	5-3-2	5-3-3	5-4-1	5-4-2	5-4-3
氣孔開啟	4	5	10	16	13	16	4	13	7	17	16	7
氣孔關閉	7	12	13	2	1	1	1	4	2	2	2	2
STO (%)	36.36	29.41	43.48	88.89	92.86	94.12	80.00	76.47	77.78	89.47	88.89	77.78
平均 STO	36.42			91.95			78.08			85.38		

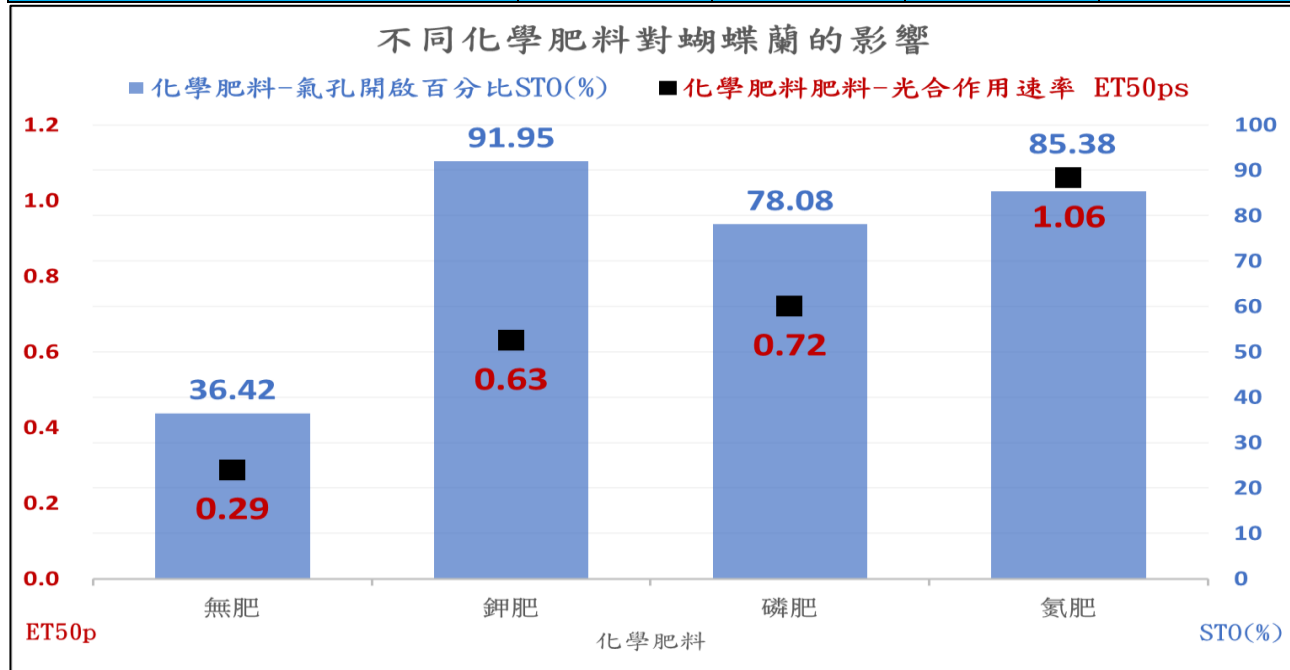
無肥				
鉀肥				
磷肥				
氮肥				

根據實驗結果我們發現，對於氣孔開啟百分比的影響，鉀肥是影響最高的、其次是氮肥、第三是磷肥最後是無肥。因為鉀肥可以控制保衛細胞，所以對於氣孔開啟百分比的影響最大。



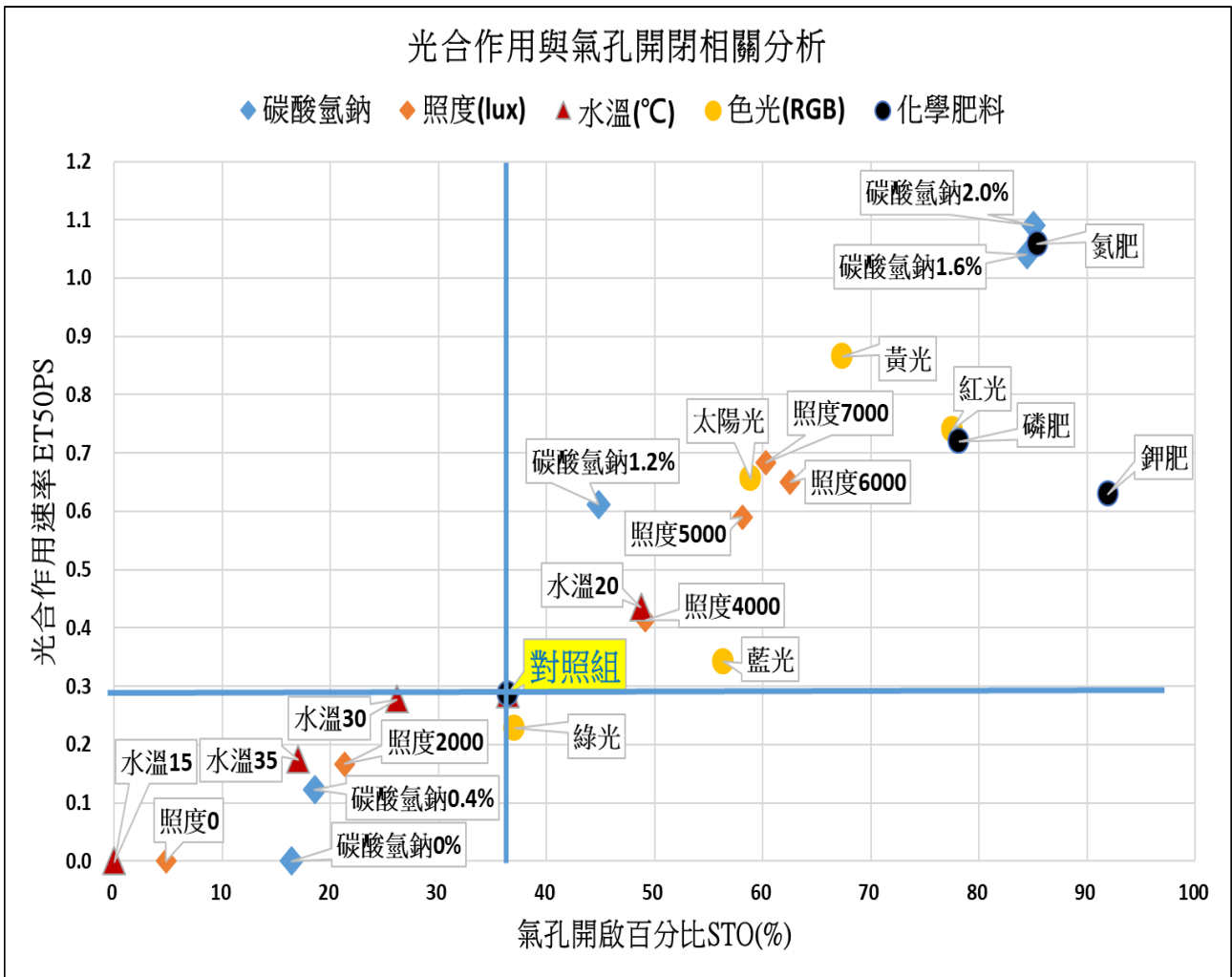
(五)「光合作用」浮葉法實驗與「氣孔開闔」印模法實驗結果比較：化學肥料

化學肥料	無肥-對	鉀肥	磷肥	氮肥
化學肥料-氣孔開啟百分比 STO(%)	36.42	91.95	78.08	85.38
化學肥料-光合作用速率 ET50ps	0.29	0.63	0.72	1.06



(六)實驗五研究結果:根據實驗結果我們得知，鉀肥對於蝴蝶蘭的氣孔開啟百分比影響最大，因為鉀肥會藉由主動運輸進入保衛細胞，使保衛細胞膨漲，氣孔就會開啟。光合作用速率則以氮肥對蝴蝶蘭葉錠有最佳的幫助，因為氮肥是葉綠素組成成分的其中一種，葉綠素對光合作用有很大的幫助，所以氮肥的光合作用速率最快。磷肥不管是光合作用速率還是氣孔開啟的數量都較氮肥弱，因為磷肥的主要的功能是能量的製造和運移，對開花結果的幫助較大。

六、綜合比較：蝴蝶蘭光合作用與氣孔開闔的【相關分析】



綜合比較研究結果：上圖以對照組為中心(對照組：條件為碳酸氫鈉濃度0.8%、光照度3000lux、水溫為25°C、色光白光、無肥)，將圖表分成四個象限，左下角第一象限—光合作用速率慢氣孔開啟百分比少，內容包括：碳酸氫鈉濃度0~0.4%、光照度0~2000lux、水溫15度以及30~35度；右下角第二象限—光合作用速率慢氣孔開啟百分比多只有綠光；右上角第三象限—光合作用速率和氣孔開啟百分比比較旺盛的象限，內容包括：碳酸氫鈉濃度1.2~2.0%，光照度4000~7000lux，水溫20度，色光為藍、黃、紅和太陽光，肥料則是三種都有；左上角第四象限—光合作用速率快氣孔開啟百分比少的因子則是一個都沒有。從實驗中我們發現，在第一象限和第三象限的指標最多。從上圖可以得知，左下象限一到右上象限三有一條規律上升的曲線呈現正相關曲線分布，表示光合作用和氣孔開闔有一定的關係，也就是說，大部份氣孔開的越多，光合作用速率就會越快，而越靠近曲線越顯示光合作用速率和氣孔開啟百分比的指標呈正相關。

陸、討論

實驗一：【不同濃度的「二氧化碳」對蝴蝶蘭「光合作用」與「氣孔開闔」的討論】

- 一、植物利用陽光將二氧化碳和水轉換成葡萄糖，所以將**二氧化碳濃度提高對植物的產能有明顯的幫助**。根據實驗結果得知，當**碳酸氫鈉濃度超過 1.6%**時，其光合作用速率及氣孔開啟百分比已**無明顯增加**，表示植物的生長能力已呈現飽和，這種現象稱為「**二氧化碳飽和現象**」。二氧化碳飽和主要原因是光合作用的光反應速度跟不上暗反應，導致二氧化碳固定的化合物無法被還原。
- 二、比較蝴蝶蘭在二氧化碳溶液中和在蒸餾水中葉錠浮起的差異，**蒸餾水**的葉錠在三次實驗中**浮起的數量都很少**，可能是因為雖然蒸餾水中含有二氧化碳，但是**二氧化碳濃度不足讓所有葉錠浮起**。
- 三、利用浮葉法來進行實驗時，發現在**加壓過程中**可以看到在**葉錠表面冒出氣泡**，判斷氣泡是在加壓的時候，**水會跑進葉錠裡的葉肉細胞**，空氣被擠出到葉錠表面，葉錠就會沉下去，才會在葉錠表面出現氣泡。

實驗二：【不同強度的「光照度」對蝴蝶蘭的「光合作用」與「氣孔開闔」的討論】

- 四、光合作用是一種生物化學反應，光合作用可分為**光反應**和**暗反應**，在光反應過程中葉綠素利用太陽光的能量，將水分解成氧氣、氫離子，所形成的氧氣藉由氣孔釋放，**光照度會影響光反應**，隨著光照度增加葉肉細胞中會產生氧氣泡，所以葉錠會浮起，當**光照度越強，氧氣泡越多**，**葉錠浮起的時間更快**，光合作用速率也會跟著變快。
- 五、植物行光合作用最重要的是光和二氧化碳，所以光合作用速率和氣孔開啟百分比會隨著光照度的增加變快或變多，但**達到一定程度時**，其光合作用速率和氣孔開啟百分比**無明顯增加**，這種現象稱為「**光飽和現象**」，各種植物的**飽和點**不同，可能與**葉片厚薄、品種或葉綠素含量**有關。

實驗三：【不同的水中「溫度」對蝴蝶蘭行「光合作用」與「氣孔開闔」的討論】

- 六、光合作用可分為光反應和暗反應兩個步驟，其中影響**光反應**的因素有**光強度**、**水分的供給**；而影響**暗反應**的因素有**溫度**和**二氧化碳濃度**。所以我們認為本實驗中**溫度的變化**對光合作用速率的影響，主要就是對**暗反應**的影響。

七、光合作用的暗反應是與溫度相關，暗反應有許多酶的參與，而酶的作用有最適的溫度範圍，超過 30°C 時引起酶鈍化、變性，有可能破壞光合作用系統導致速率下降；相反的，水溫低於 15°C，酶也會受到抑制影響植物行光合作用。

八、高溫加劇植物的蒸散作用，葉片會隨著溫度上升而蒸散較多的水分，葉片為了不脫水因此滲透壓降低促使氣孔關閉；而溫度過低時酵素呈現靜止狀態也會導致氣孔關閉，氣孔關閉便無法行光合作用，由此可以知道溫度太低或太高都不利於蝴蝶蘭生長。

實驗四：【利用物理肥料—「色光」進行蝴蝶蘭「光合作用」與「氣孔開闔」的討論】

九、對植物來說幫助最大的波長為 400~760nm，其中，紅光波長 625~740nm 是被葉綠素吸收最多的光線，具有最大的光合活性，但本次實驗卻是氣孔開啟百分比比較多；反而是黃光促進蝴蝶蘭的光合作用生長，黃光波長是 565~590nm，雖然氣孔只開了 67.33%，但是黃光可以促進光合作用速率，所以光合作用速率才是最快。而綠光在本實驗中反應吸收最少，主要原因葉片是綠色，根據色光反射原理綠光被反射，所以綠光無法有效被吸收。

十、根據相關資料得知，每種波長的光線對於植物光合作用的影響是不同的，紅光和藍光是光合作用速率最快的，而黃、綠光則差不多。這與我們的實驗結果有些許的不同，黃光的光合作用速率是全部之中最快；紅光卻是氣孔開啟最多；藍光會增加氣孔的開啟，但光合作用速率卻沒有同步增加。所以當氣孔開的越多，並不代表光合作用速率就會越快；而當氣孔開的很多，光的種類並不符合蝴蝶蘭需求時，也會影響蝴蝶蘭的生長。

實驗五：【化學肥料—「鉀、磷、氮肥」對蝴蝶蘭「光合作用」與「氣孔開闔」的討論】

十一、肥料的吸收率和植物發育生長的生命過程有密切關係，在浮葉法(光合作用速率)中表現最好的是氮肥，可是氣孔開啟百分比中最好的是鉀肥，探究其原因可能與植物的生長期有關，營養生長階段植物最需要氮肥；磷肥則是影響生殖生長階段，由此得知肥料對植物的成長有重要的影響。

十二、根據相關資料得知，鉀、磷、氮肥對植物不同的生長期各有不同的效果。氮肥會影響植物的光合作用速率(氮素是葉綠素組成成份的一種)；而鉀肥會幫助物質轉運促進植物合成澱粉、調節水分代謝，維持細胞內的電解質平衡與細胞膨縮影響氣孔的開闔；磷肥的功能是能量的製造和運移，對開花結果的幫助較大。

綜合討論：【「綜合比較」不同變因間對蝴蝶蘭「光合作用」與「氣孔開闔」相關分析討論】

十三、以對照組為中心，在區域左下(光合作用速率較慢且氣孔開啟百分比比較少)和區域右上(光合作用速率較快且氣孔開啟百分比比較多)，**呈現正相關曲線分布**。我們發現，研究目的**一(不同濃度的二氧化碳)**和研究目的**二(不同強度的光)**，只要**濃度或照度增加**，**光合作用速率和氣孔開啟百分比就會跟著增加**，也都會有**飽和現象**。

十四、另外研究目的**三(不同溫度的水溫)**，溫度在**過高或過低的溫度範圍裡都有負面的影響**；研究目的**四(不同色光)**和研究目的**五(鉀、磷、氮肥)**則是不同外在因素，並**沒有呈現光合作用速率增加和氣孔開啟百分比就會跟著增加**的現象。這是否表示**植物氣孔具有自動調節的功能**使植物的生理環境保持穩定。

討論建議：【蝴蝶蘭「光合作用」與「氣孔開闔」的討論建議】

十五、根據實驗結果我們發現：碳酸氫鈉 0%、光照度 0lux 或溫度 15 度以下時，**光合作用速率都是 0**，這表示二氧化碳、光和溫度對蝴蝶蘭來說缺一不可，是**生長的必要條件**。另外二氧化碳、色光或化學肥料等因子加入，**光合作用反應明顯提升(因子敏感度高)**；而光照度或溫度對**光合作用反應提升較慢(因子敏感度低)**。

十六、實驗中為了減少誤差，而且不同部位的葉錠氣孔密度不同，所以我們**設計均衡打出葉錠方法**打出葉錠，並利用自行**改編過後的浮葉法**來檢測光合作用速率，例如：利用翻拍機固定加壓力道及時間、使用 100 毫升針筒改善葉錠浮沉的問題和**設計光源箱**平均照射光源。為了**觀察光合作用當下的氣孔開闔情形**，**設計撈起第 5 錠葉錠**利用**印模法**檢測氣孔開啟百分比，以上實驗設計的改善都是為了**減少實驗誤差**。

柒、結論

實驗一：【不同濃度的「二氧化碳」對蝴蝶蘭「光合作用」與「氣孔開闔」的結論】

一、**碳酸氫鈉濃度增加**，會促使蝴蝶蘭的**光合作用速率及氣孔開啟百分比變多**，但是二氧化碳濃度的影響不是沒有上限的，如**碳酸氫鈉濃度到 1.6%**的時候，其**光合作用速率和氣孔開啟百分比到達高峰**，然後再增加至濃度 2.0%時，數據已無明顯增加，表示二氧化碳濃度並非越高越有利於植物生長。

二、本實驗驗證當**碳酸氫鈉濃度 0%**時氣孔開啟百分比為 16.39%，其**光合作用速率** ET_{50ps} 為 0，是因為暗反應利用光反應所產生的氫離子及能量，透過許多酵素的作用，將二氧化

碳進行固定，轉換成葡萄糖和水，所以如果**沒有二氧化碳時就無法進行暗反應**。

實驗二：【不同強度的「**光照度**」對蝴蝶蘭的「**光合作用**」與「**氣孔開闔**」的結論】

- 三、在本實驗中暗室的葉錠完全沒有浮起，是因為**蝴蝶蘭需要光才能行光合作用**；而光照度 6000lux 是光合作用速率跟氣孔開啟百分比對蝴蝶蘭而言是最有效的，但是**光照度最強的太陽光(照度 30000lux)**，實驗時的氣孔開啟百分比和光合作用速率跟**照度 6000lux 的數據相近**，我們認為在**照度 6000lux 時產生了光飽和現象**。
- 四、不同植物對光照度的需求不同，就蝴蝶蘭的實驗為例，光照度如果超過 6000lux，則光合作用速率成長就會停滯，也就是光線太強時(太陽光下)，輸入的能量超出植物所能運用的範圍，則**植物本身會有對應的機制**來面對過多或不及的外力變化。**利用人工光源照度實現光環境的調節**來突破自然條件的侷限性，使得植物不受天氣條件影響。
- 五、從這個實驗我們可以得知，如果想要蝴蝶蘭生長得快一點，可以將蝴蝶蘭放在適當光線(6000lux)的地方進行光合作用，而不能放在光照度很強的地方，**避免蝴蝶蘭加速蒸散作用**；如果要運送蝴蝶蘭到較遠的地方，建議在運送過程中給與不同的**適當光線**，如光線 2000lux，在**長時間運送中有足夠的光**即可行光合作用。

實驗三：【「不同的水中」**溫度**對蝴蝶蘭行「**光合作用**」與「**氣孔開闔**」的結論】

- 六、當**溫度在 15 度以下**時氣孔不會開啟且光合作用的暗反應酵素太少就無法行光合作用；當溫度在 **20~25 度**之間時，**氣孔開啟的比率最旺盛**，排出的氧氣值最高；但是**溫度超過 25 度**時，氣孔開啟百分比隨著溫度增加而減少，這應該與**溫度上升會加速水分的蒸散**，蝴蝶蘭為了避免脫水，**氣孔關閉**便是一種自我保護的措施。
- 七、蝴蝶蘭最佳光合作用速率的溫度在 20 度至 25 度之間，不同種類的植物都會有**最佳促進光合作用速率的溫度**，當氣候不宜時我們可以藉由**溫度的變化**，來調節蝴蝶蘭的光合作用，進而影響蝴蝶蘭的生長。

實驗四：【利用物理肥料-「**色光**」進行蝴蝶蘭「**光合作用**」與「**氣孔開闔**」的結論】

- 八、根據實驗結果我們可以得知，**不同的波長**對氣孔開啟百分比以及光合作用速率有影響，如果要進行溫室栽培蝴蝶蘭，建議使用**黃光**並且使其保持在 3000lux 上下。如果使用**紅光**的話，雖然氣孔開啟的較多，但**光合作用速率卻比黃光慢**，這樣就算氣孔開啟，也只是在**增加呼吸作用或蒸散作用**。

九、太陽光(30000lux)光合作用速率為 0.66，對比研究目的二光照度 6000lux 的光合作用速率為 0.65，雖然照度多了將近 5 倍但光合作用速率只差了 0.01，是因為在照度 6000lux 的時候已經到了光飽和現象，即使光照度增加到 30000lux(太陽光)也沒有太大的差別。

實驗五：【化學肥料-「鉀、磷、氮肥」對蝴蝶蘭「光合作用」與「氣孔開闔」的結論】

十、實驗結果我們發現，氣孔開啟最多的是鉀肥其次是氮肥第三是磷肥最後是無肥。光合作用速率最快的是氮肥其次是磷肥第三是鉀肥最後是無肥。如果想要在生長期時讓蝴蝶蘭生長好一點的話，建議可以使用氮肥，因為氮肥可以促進蝴蝶蘭的光合作用速率，氣孔開啟百分比又比鉀肥少，可以減少水分的蒸散，蝴蝶蘭生長的速度也會比較快。

十一、在本實驗中，鉀肥是氣孔開啟百分比最多的，因為 K+(鉀離子)會藉由主動運輸進入保衛細胞，會影響到氣孔開啟百分比。而氮肥是光合作用速率最快的，是因為氮肥會製造葉綠素。磷肥對氣孔開啟百分比和光合作用速率都落後氮肥，是因為磷肥的主要功能是能量的製造和運移，所以光合作用速率沒有氮肥高。

綜合結論：【「綜合比較」不同變因間對蝴蝶蘭「光合作用」與「氣孔開闔」的相關分析結論】

十二、「光合作用」與「氣孔開闔」的相關分析圖，象限右上部是光合作用速率和氣孔開啟百分比比較旺盛的區域，相對於象限左下部的指標呈現正相關曲線分布。這條曲線上的數據表示，蝴蝶蘭對二氧化碳或光照度的光合作用速率和氣孔開啟百分比成正比。

十三、另外一些特別因子像綠光、紅光、藍光、磷肥、和鉀肥沒有靠近曲線上。如象限右下部的綠光因為葉綠素不吸收所以反應較弱；紅光和鉀肥可以增加氣孔開啟百分比但無法等比例增加光合作用速率；磷肥和藍光在相同的氣孔開啟百分比下，光合作用速率低於氮肥和太陽光，這個因子顯示氣孔開啟越多不一定代表光合作用速率越快。

結論建議：【控制蝴蝶蘭「光合作用」與「氣孔開闔」的結論建議】

十四、本次實驗建議為：1.碳酸氫鈉適度調整到濃度 1.6%，濃度再高只會呈現二氧化碳飽和現象。2.光照度以 6000lux 達到光飽和點，過多的光也只是浪費。3.溫度 20 度的環境下達到生長最適點，過高或過低的溫度會有負面影響。4.人工光源紅光和黃光都是幫助植物生長的色光，可用來替換自然光源。5.化學肥料對植物行光合作用都有影響，氮肥能增加光合作用速率，鉀肥促進氣孔開啟，但這也與蝴蝶蘭生長階段有密切關係。

十五、研究的過程中我們以浮葉法和印模法的實驗來比較碳酸氫鈉、光照度、水溫、色光

和化學肥料對蝴蝶蘭光合作用的影響，在兩種實驗方式反覆的操作後得到的結果大致相同，大部分數據、圖表對照理論都有**接近的結論**，表示**本實驗設計的模型和浮葉法實驗模式是可以被參考且接受**。

十六、目前小學自然課本沒有觀察光合作用現象的方法，根據本實驗結果證明，浮葉法是一個有效的檢測光合作用速率方法。如果想**檢測光合作用速率或比較不同因子的影響**，我們建議利用本實驗的研究方法一【**均衡打出葉錠分法**】及研究方法二【**浮葉法**】完整的完成實驗步驟。如果只是單純**觀察光合作用現象**，我們建議的**簡易版實驗步驟**為：**1.利用打洞器打出 2~4 個葉錠**(不需使用均衡打出葉錠分法、不可用水生植物、多毛植物和肉質植物)；**2.將葉錠裝入 20~40ml 的針筒**後滴上洗碗精；**3.加水加壓至所有葉錠都沉下去**(不需使用加壓器)；**4.打開活塞直接加入 0.1~0.2g 碳酸氫鈉攪拌溶解**(不用倒出到燒杯)；**5.放在檯燈下或室外走廊**(不用太靠近光源)；**6.等待 2~3 分鐘觀察葉錠浮起**的情形，可簡單的觀看到光合作用現象。浮葉法可利用較簡單裝置就能進行檢測或觀察光合作用，所以我們**建議將浮葉法加進小學自然課本裡，做為觀察光合作用現象的方法**。

捌、參考資料及其他

- 一、陳加忠(2016)。植物光合作用速率量測。林業研究專訊23No.4，59-60。
- 二、興倫學生自主學習系統。量度光合速率的方法。香港新高中課程系列。取自<http://lms.hanluninfo.com/modx/index.php?id=12013>
- 三、邱莉雯、童美慈、王暉絢、劉水德、房達文、房樹生(2013)。誘發特定C3及CAM植物氣孔開啟因素的探討。科學教育月刊 第357期，43-58。
- 四、簡志祥(2011)。用浮沈葉錠測量光合作用和呼吸作用。阿簡生物筆記。取自http://a-chien.blogspot.com/2011/10/blog-post_6314.html
- 五、許哲瑜(2018)。以浮葉法測定光合作用速率。臺北市：龍騰文化。
- 六、羅聖賢(2004)。蝴蝶蘭的合理化施肥。豐年卷Vol.54，38-40。
- 七、This experiment was originally described in Steucek, Guy L., Robert J. Hill, and Class/Summer 1982. 1985. "Photosynthesis I: An Assay Utilizing Leaf Disks." *The American Biology Teacher*, 47(2) : 96 - 99.

【評語】 080304

本作品自行設計『均衡打出葉錠分法』並以此做『浮葉法』和『印模法』實驗。來探討不同濃度的二氧化碳、光照度、水中溫度、色光及不同化學肥料對蝴蝶蘭光合作用、效率與氣孔開闔的影響。

1. 本實驗自行設計『均衡打出葉錠分法』將蝴蝶蘭有系統編號平均打出葉錠，以此做『浮葉法』和『印模法』實驗。浮葉法測量光合作用速率，印模法檢測氣孔開啟百分比。
2. 此簡易研究法探討植物光合作用之影響因子是本研究的特色，可以多加強調與目前常用測試方式不同的層面，得以顯示此方法的特殊性。
3. 使用經濟作物蝴蝶蘭作為觀測對象。利用簡易方式來探討光合作用速率與觀察氣孔開合，研究內容豐富有趣，也帶有討論內涵，是一個完整的研究成果。

摘要

本實驗設計『**均衡打出葉錠分法**』將蝴蝶蘭有系統編號平均打出葉錠，以此做『**浮葉法**』和『**印模法**』實驗。浮葉法測量光合作用速率，印模法檢測氣孔開啟百分比，研究二氧化碳、光照度、水溫、色光和化學肥料對於光合作用和氣孔的影響。蝴蝶蘭在不同環境因子補給或刺激下，到了最高**臨界點呈現緩慢成長甚至停滯**，二氧化碳濃度高於**1.6%**或光照度超過**6000lux**反應速率會停止成長；水溫**20度**成長最高；色光對氣孔影響最大是紅光，光合作用速率最快是黃光；化學肥料對氣孔影響最大是鉀肥，光合作用速率最快是氮肥，由此了解蝴蝶蘭照顧方法和本身防衛機制啟動產生變化。浮葉法用簡單器材和方法可檢測光合作用，**建議加進小學自然課本做為觀察光合作用現象方法**。

壹、研究動機

臺灣稱為「蘭花王國」，蝴蝶蘭是本土高經濟價值的外銷作物，學校也栽培許多蝴蝶蘭。五年級自然課第2單元「植物世界面面觀」單元認識「植物根、莖、葉的功能」，我們從中認識植物的**光合作用、呼吸作用及蒸散作用**，有了更進一步動機，想要探究影響蝴蝶蘭光合作用的因素？近年來「蘭花王國」美名的臺灣逐漸被其他國家取代，所以技術必須不斷研究和精進，我們也很喜歡學校的蝴蝶蘭，因此開啟了關於「**蝴蝶蘭的光合作用生長與氣孔關係**」的研究。在實驗中，我們以**科學方法**設計蝴蝶蘭在不同環境因子刺激下會呈現的反應，用**有效的數據**判斷蝴蝶蘭面對飽和或外在刺激對生長的幫助，藉以調整蝴蝶蘭生長的需求。

貳、研究目的

- 一、探討不同濃度的**二氧化碳**對蝴蝶蘭光合作用效率與氣孔開闔的效果？
- 二、探討不同強度的**光照度**對蝴蝶蘭光合作用效率與氣孔開闔的效果？
- 三、探討不同的水中**溫度**對蝴蝶蘭光合作用效率與氣孔開闔的差異效果？
- 四、利用**物理肥料-色光**進行蝴蝶蘭光合作用效率與氣孔開闔的影響？
- 五、利用**化學肥料-鉀、磷、氮肥**進行蝴蝶蘭光合作用效率與氣孔開闔的影響？
- 六、綜合比較不同變因間蝴蝶蘭光合作用與氣孔開闔的**相關分析**？

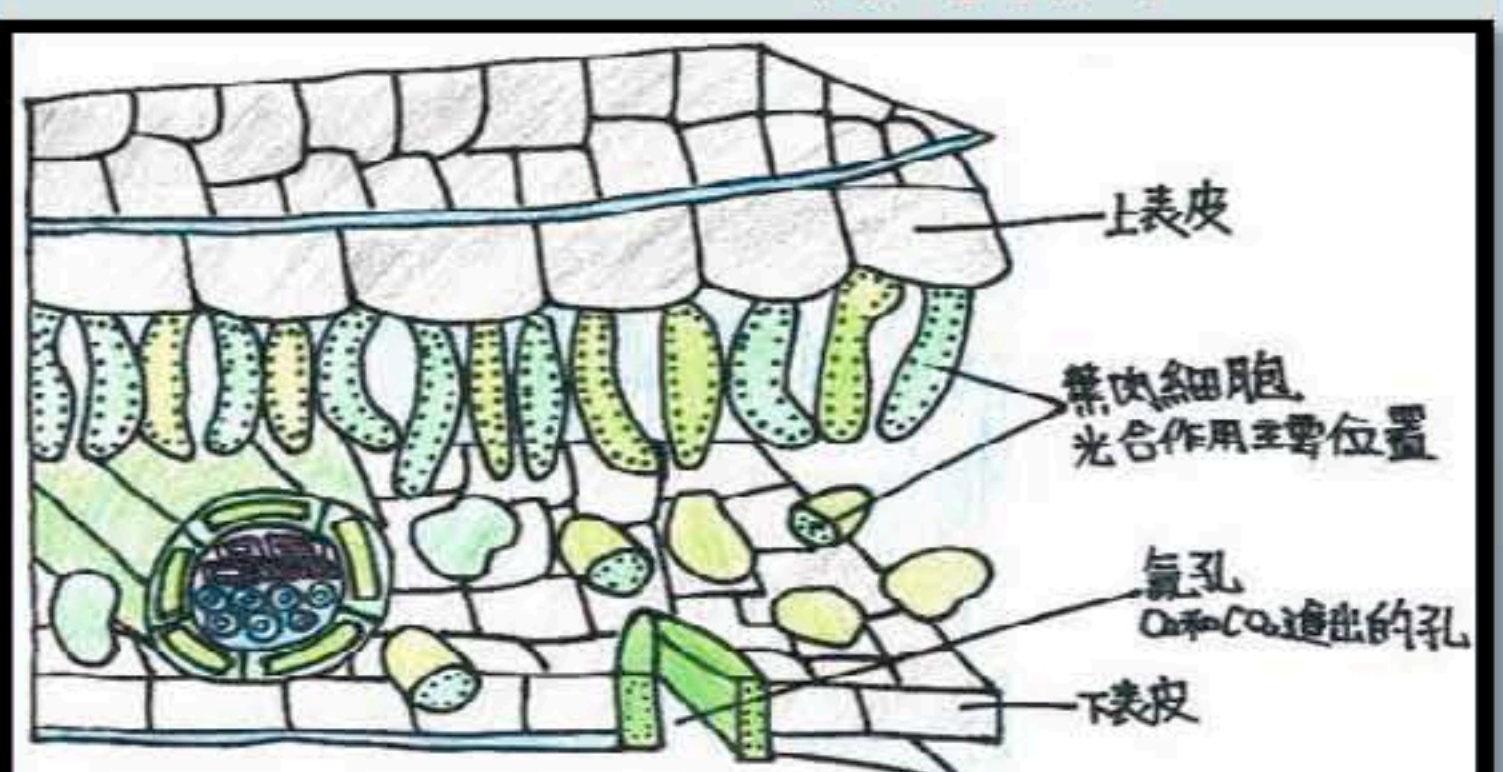
參、研究方法

研究方法一

【如何打出葉錠：均衡打出葉錠分法】

(一)均衡打出葉錠分法說明：

如何均衡打出葉錠？為什麼要這樣打葉錠？因為**同一片葉子不同部位氣孔密度會不同、不同葉子光合作用也不一樣、不同葉齡**也會造成實驗誤差，我們在正式實驗前經過數百次實驗前預試，依據預試結果整理出以下實驗步驟，所以我們設計出『**均衡打出葉錠分法**』來打出葉錠進行實驗，**減少實驗誤差**。



(二)均衡打出葉錠分法步驟：



(三)光合作用反應式：



浮葉法計算公式：

1. 紀錄光合作用時間 $ET_{50light}$ ：

$$\text{公式：光合作用時間 } ET_{50light} = \frac{\text{分鐘}}{\text{一半葉錠浮起來(5葉錠)}}$$

2. 計算光合作用速率 ET_{50ps} ：

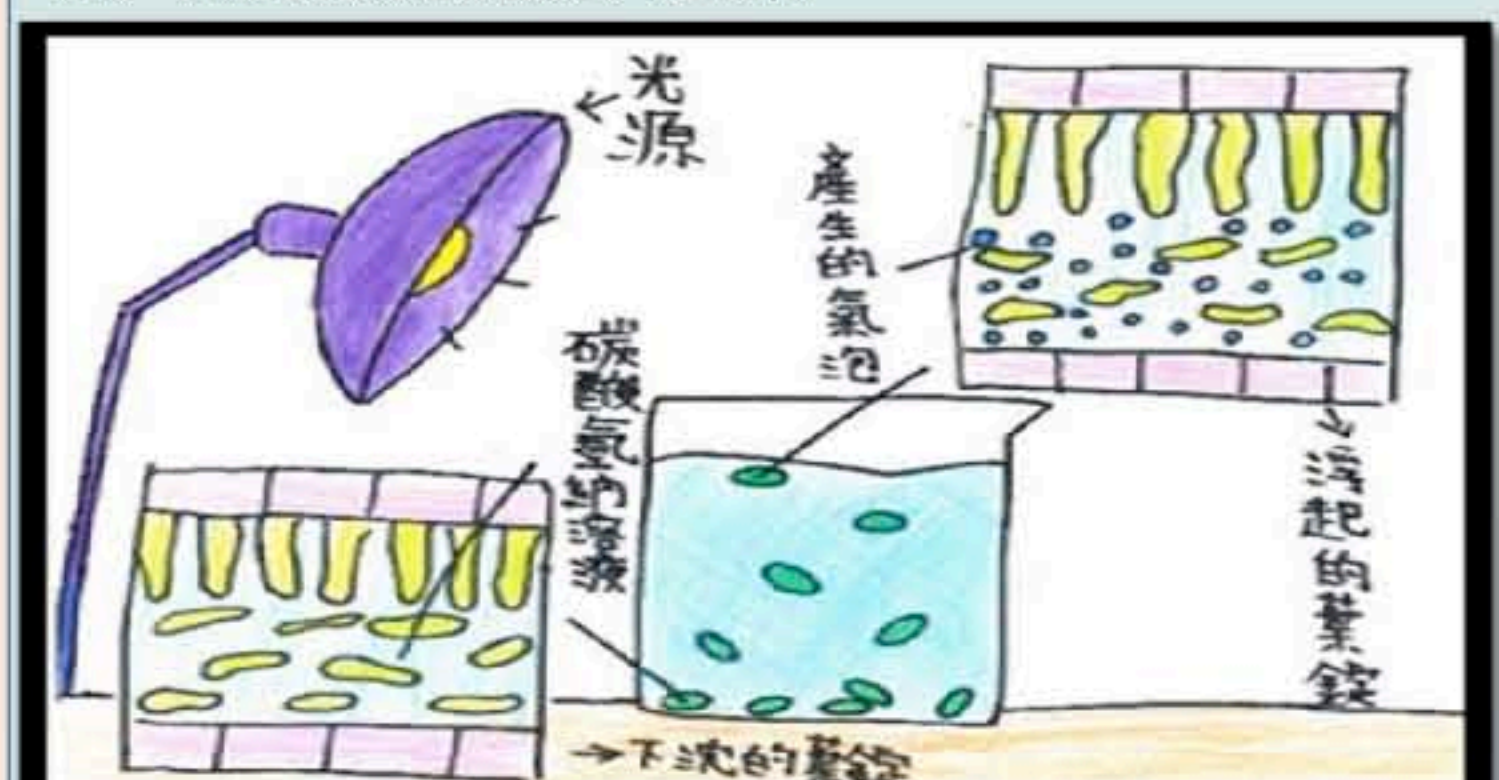
$$\text{公式：光合作用速率 } ET_{50ps} = \frac{1}{ET_{50light}} = \frac{\text{一半葉錠浮起來(5葉錠)}}{\text{分鐘}}$$

研究方法二

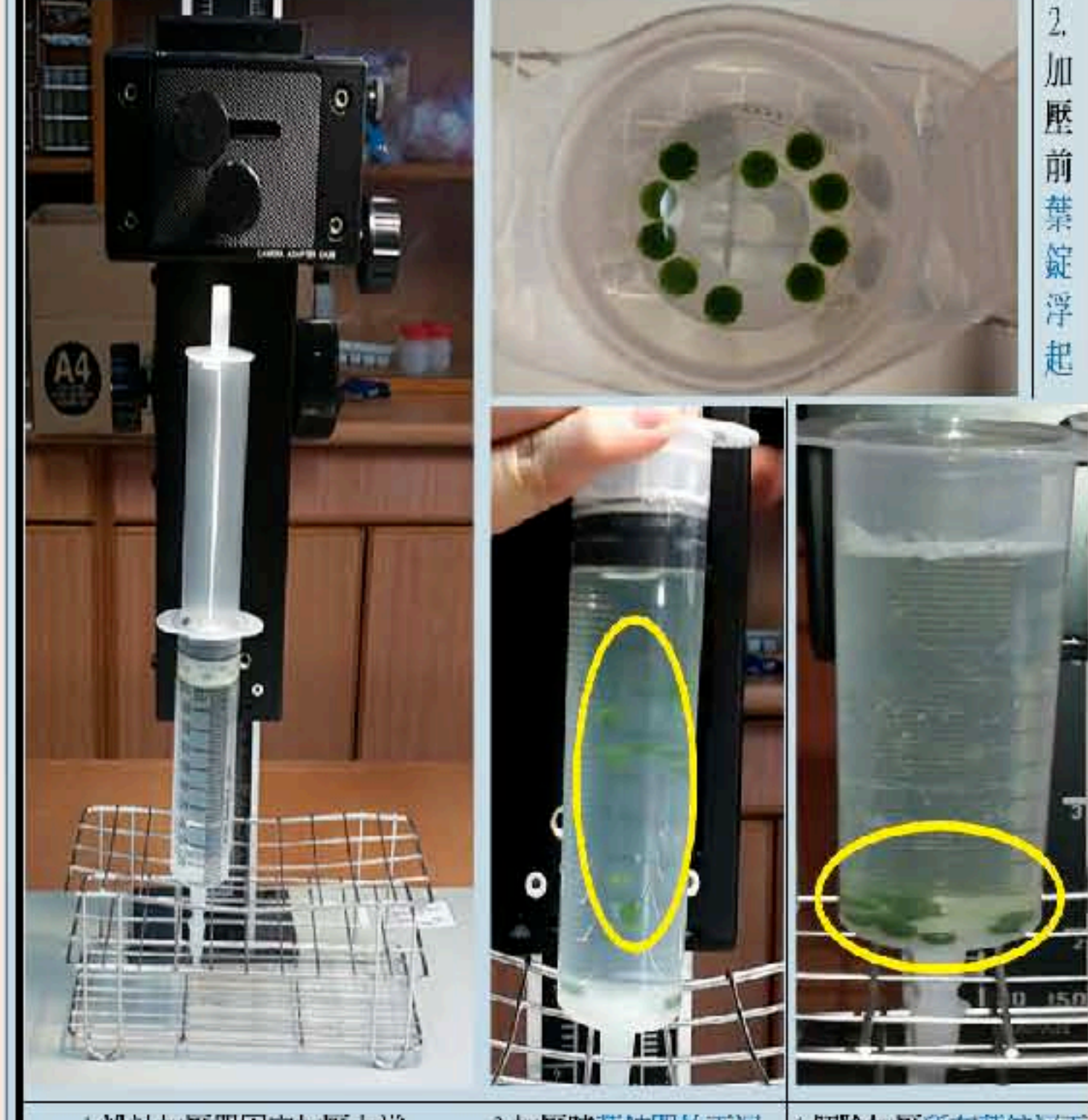
【檢測光合作用速率方法：浮葉法】

(一)浮葉法原理：

浮葉法實驗是利用一些簡單裝置就可以進行檢測光合作用速率的實驗。原理是**加壓**的時候，空氣被擠壓，水跑進葉錠裡，葉肉海綿體組織內的空隙會充滿液體，**葉錠沒有空氣就沉下去**而在行光合作用時，**光合作用會產生氧氣**，氧氣在水中的溶解度較低，故會在葉肉細胞的間隙中形成氣泡，又可以讓葉錠浮起來。



(二)葉片印膜法實驗步驟：



研究方法三

【檢測氣孔開闔方法：葉片印膜法】

(一)印膜法說明：

印膜法是利用無流動性的塑化材料(例如指甲油)，貼合在被測表面上將表面的輪廓複製成模，然後測量印模，從而評定被測表面的粗糙度。**印模法可快速立即將被測表面複製固定**，可以容易看清楚保衛細胞與氣孔開闔，**觀測植物表皮細胞形狀與氣孔分布**。

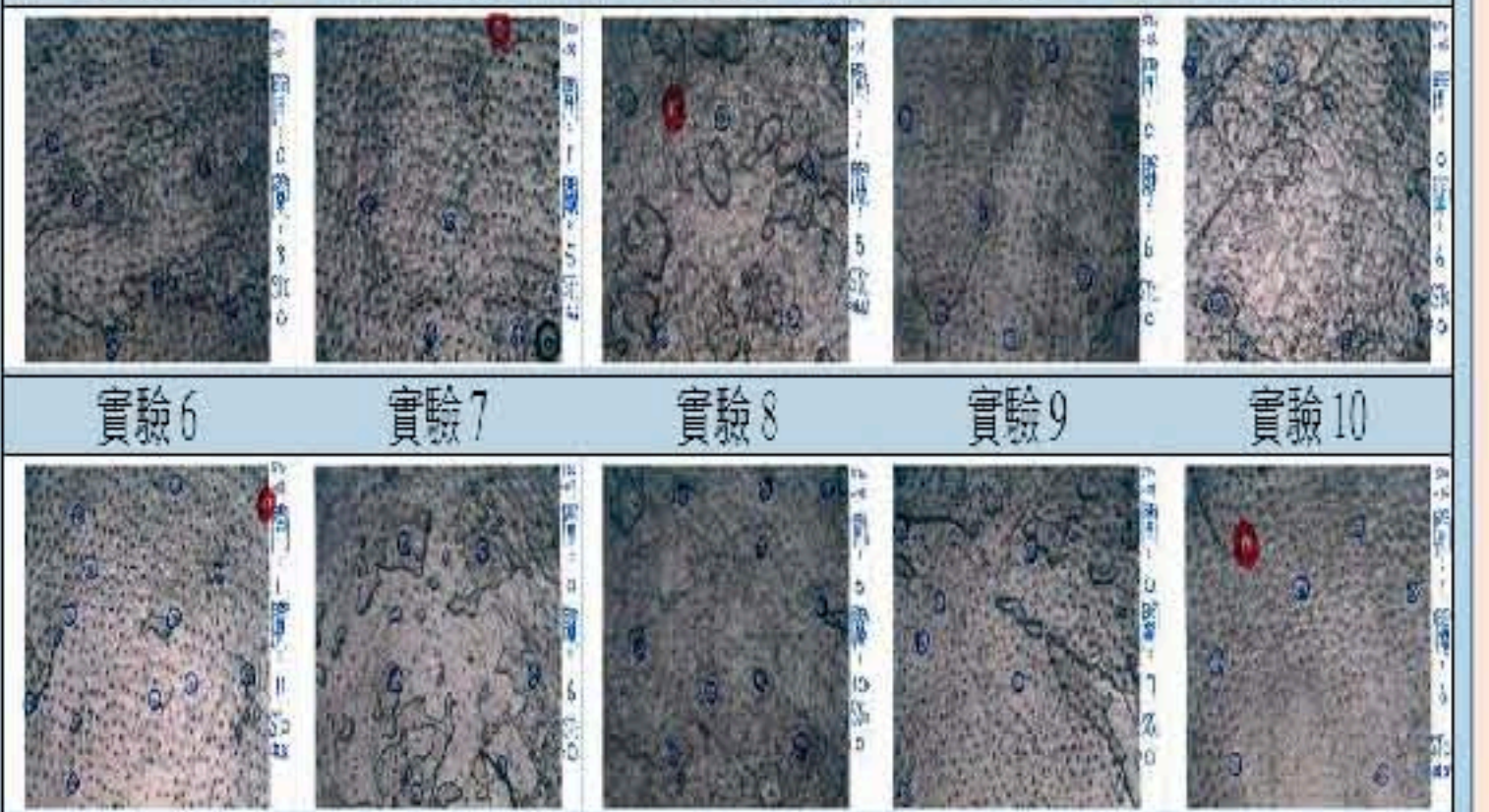


(三)葉片印膜法計算氣孔開闔比例公式：

$$\text{氣孔開闔比率百分比 } STO = \frac{\text{氣孔開闔數量}}{\text{氣孔全部數量}} * 100 (\%)$$

(四)48小時無光源情形下，利用印膜法觀察蝴蝶蘭氣孔開闔百分比(STO)。

數量	實驗 1	實驗 2	實驗 3	實驗 4	實驗 5	實驗 6	實驗 7	實驗 8	實驗 9	實驗 10
氣孔開闔	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1
氣孔關閉	8	5	5	6	6	11	6	10	7	6
總氣孔數	8	6	6	6	6	12	6	10	7	7
氣孔開闔百分比-STO(%)	0	16.7	16.7	0	0	8.3	0	0	0	14.3



48小時無光源蝴蝶蘭氣孔開闔平均百分比=5.41%

肆、實驗結果

實驗一：二氧化碳對蝴蝶蘭光合作用與氣孔開闔

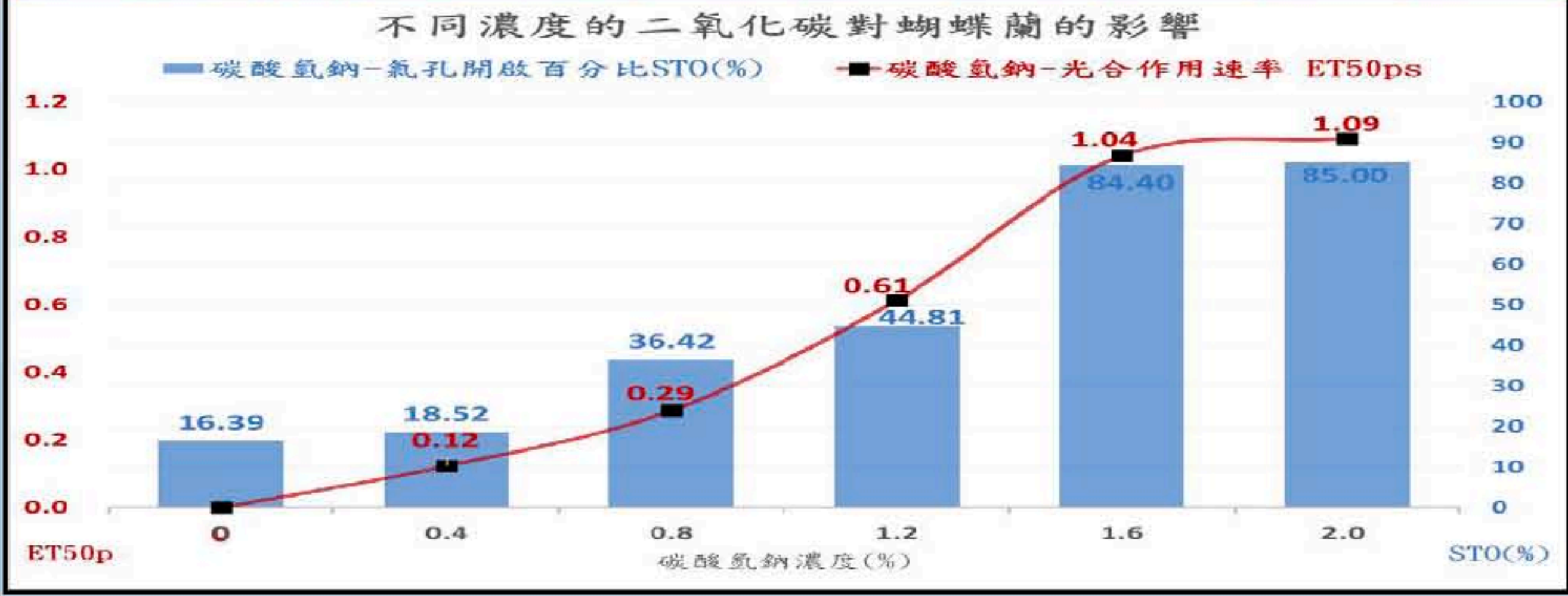
(一)二氧化碳說明：本實驗使用碳酸氫鈉(小蘇打粉)，與水結合後開始釋出二氧化碳(CO₂)，**碳酸氫鈉水溶液濃度愈高代表二氧化碳濃度愈高**，本實驗濃度分別設為**濃度0、0.4、0.8、1.2、1.6和2.0%**的碳酸氫鈉水溶液。

(二)「光合作用」浮葉法實驗結果-碳酸氫鈉

碳酸氫鈉濃度(%)	第1次 ET _{50ps}	第2次 ET _{50ps}	第3次 ET _{50ps}	平均 ET _{50ps}	ET _{50ps} 變率
0	>15 (0.00)	>15 (0.00)	>15 (0.00)	>15 (0.00)	>15 (0.00)
0.4	8.33	7.60	8.55	8.16	0.12
0.8	3.32	3.63	3.50	3.48	0.29
1.2	1.88	1.95	1.57	1.63	0.61
1.6	0.92	1.03	0.92	0.96	1.04
2.0	0.88	0.97	0.90	0.92	1.09

(四)「光合作用」浮葉法實驗與「氣孔開闔」印膜法實驗結果比較：碳酸氫鈉

碳酸氫鈉濃度(%)	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
碳酸氫鈉(%) - 氣孔開闔百分比 STO(%)	16.39	18.52	36.42	44.81	84.40	85.00
碳酸氫鈉(%) - 光合作用速率 ET50ps	0	0.12	0.29	0.61	1.04	1.09



實驗二：光照度對蝴蝶蘭光合作用與氣孔開闔

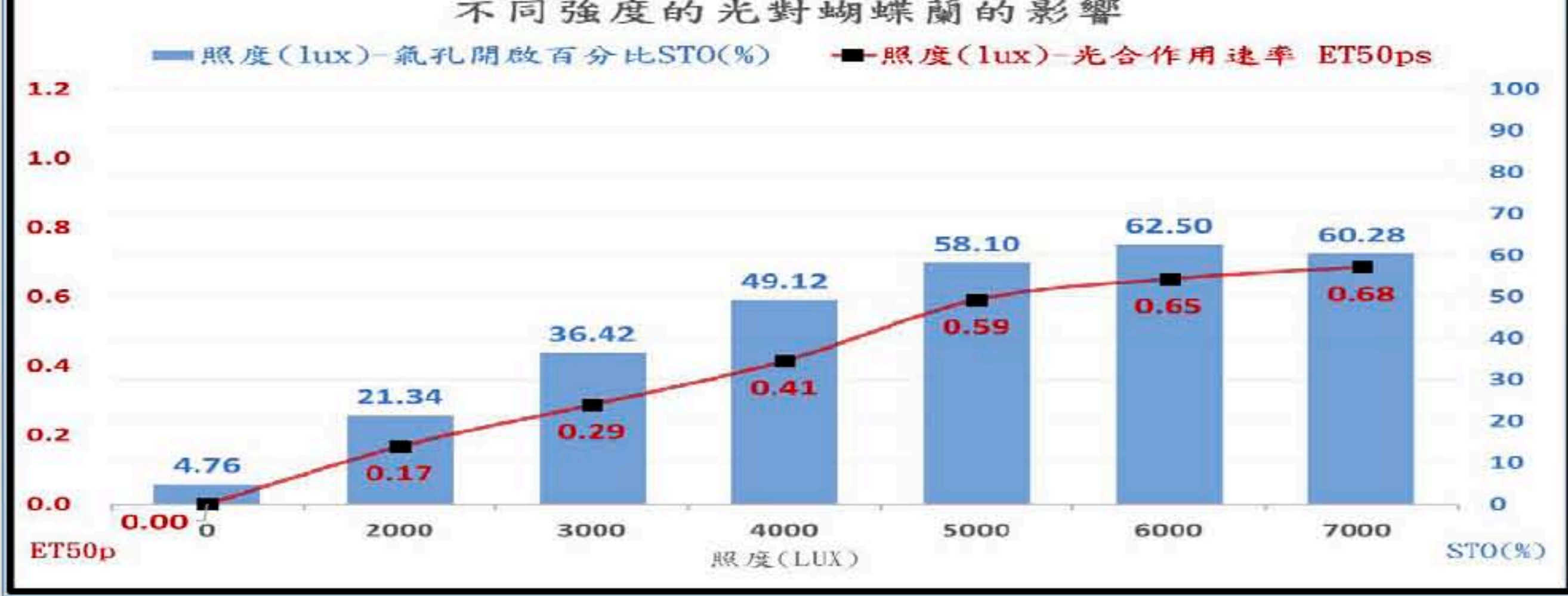
(一)光照度(lux)說明：光是光合作用的能源，勒克斯(lux)：每單位面積內所接收到的光通量(cd/m²)。本實驗將光照度(lux)分別設定**0 lux、2000 lux、3000 lux、4000 lux、5000 lux、6000 lux和7000 lux**。

(二)「光合作用」浮葉法實驗結果-光照度(lux)

光照度(lux)	第1次 ET _{50ps}	第2次 ET _{50ps}	第3次 ET _{50ps}	平均 ET _{50ps}	ET _{50ps} 變率
0	沒浮 沒浮 沒浮	0	0	0	0
2000	5.37	5.98	6.75	6.01	0.17
3000	3.32	3.63	3.50	3.48	0.29
4000	2.38	2.37	2.50	2.42	0.41
5000	1.53	1.72	1.83	1.69	0.59
6000	1.47	1.42	1.73	1.54	0.65
7000	1.80	1.35	1.13	1.46	0.68

(四)「光合作用」浮葉法實驗與「氣孔開闔」印膜法實驗結果比較：照度(lux)

照度(lux)	0	2000	3000	4000	5000	6000	7000
照度(lux) - 氣孔開闔百分比 STO(%)	4.76	21.34	36.42	49.12	58.10	62.50	60.28
照度(lux) - 光合作用速率 ET50ps	0.00	0.17	0.29	0.41	0.59	0.65	0.68



實驗三：溫度對蝴蝶蘭光合作用與氣孔開闔

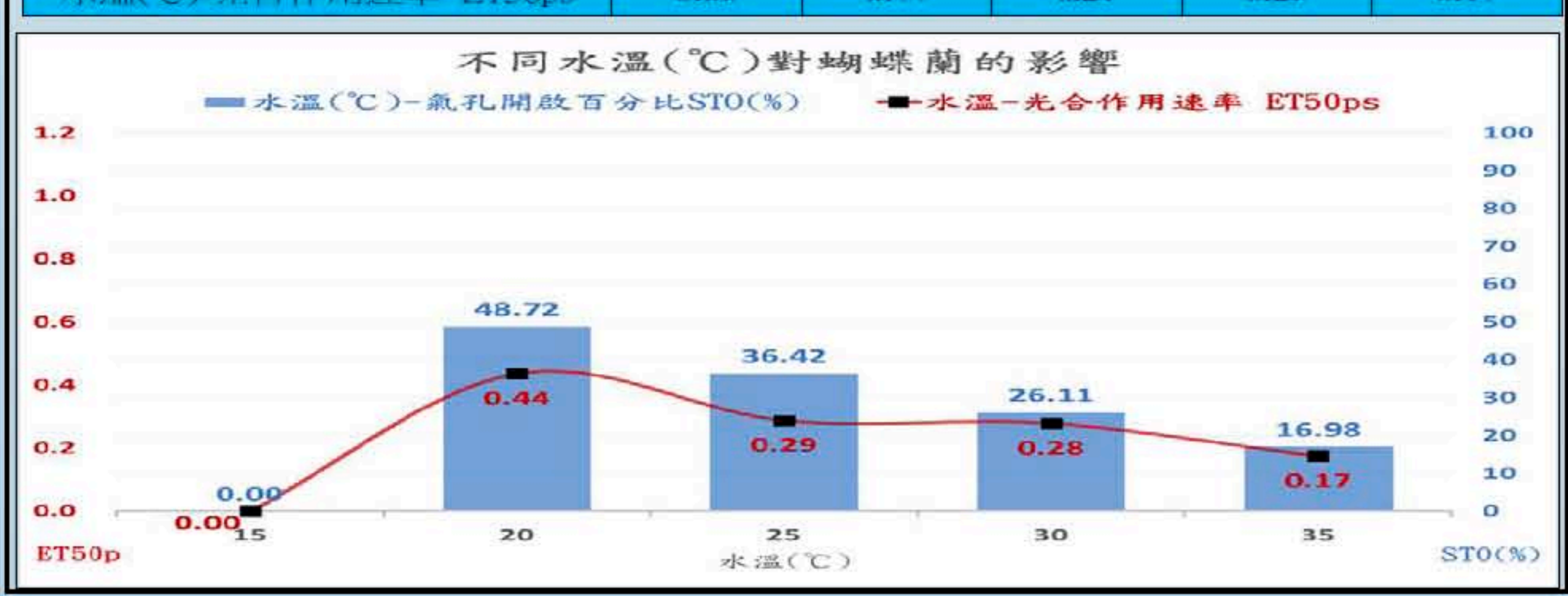
(一)溫度說明：植物生理作用需要適當的溫度。本實驗利用不同的水中溫度檢測蝴蝶蘭在何種溫度下能維持較好的光合作用狀態。本實驗將蒸餾水的溫度(°C)分別設定**15、20、25、30、35**等不同的蒸餾水的溫度裡。

(二)「光合作用」浮葉法實驗結果-水溫(°C)

水溫(°C)	第1次 ET _{50ps}	第2次 ET _{50ps}	第3次 ET _{50ps}	平均 ET _{50ps}	ET _{50ps} 變率
15	沒浮 沒浮 沒浮	0.00	0.00	0.00	0.00
20	2.48	2.17	2.23	2.29	0.44
25	3.32	3.63	3.50	3.48	0.29
30	3.97	3.83	3.00	3.60	0.28
35	5.47	6.00	5.78	5.75	0.17

(四)「光合作用」浮葉法實驗與「氣孔開闔」印膜法實驗結果比較：水溫(°C)

水溫(°C)	15	20	25	30	35
水溫(°C) - 氣孔開闔百分比 STO(%)	0.00	48.72	36.42	26.11	16.98
水溫(°C) - 光合作用速率 ET50ps	0.00	0.44	0.29	0.28	0.17



實驗四：物理肥料-色光對蝴蝶蘭光合作用與氣孔開闔

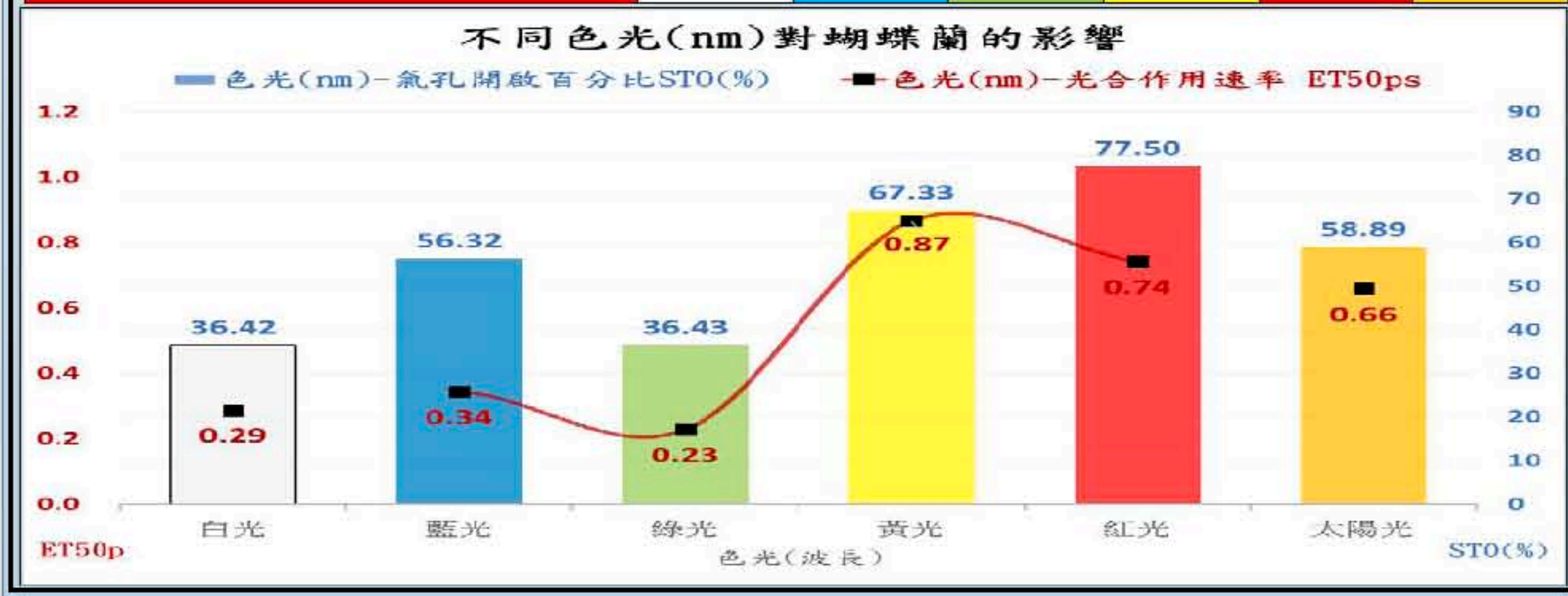
(一)色光說明：藍光波長440-485nm；綠光波長500-565nm；黃光波長565-590nm；紅光波長625-740nm。本實驗將色光分別設定**白光、藍光、綠光、黃光及紅光**，另有1組放置太陽光底下(光照度3000lux)進行實驗

(二)「光合作用」浮葉法實驗結果-色光(波長nm)

色光(nm)	第1次 ET _{50ps}	第2次 ET _{50ps}	第3次 ET _{50ps}	平均 ET _{50ps}	ET _{50ps} 變率
白光	3.32	3.63	3.50	3.48	0.29
藍光	2.88	2.80	3.07	2.92	0.34
綠光	5.33	4.23	3.62	4.39	0.23
黃光	1.45	0.97	1.05	1.16	0.87
紅光	0.95	1.15	1.75	1.35	0.74
太陽光	0.87	1.67	2.03	1.52	0.66

(四)「光合作用」浮葉法實驗與「氣孔開闔」印膜法實驗結果比較：色光(波長nm)

色光(nm)	白光	藍光	綠光	黃光	紅光	太陽光
色光(nm) - 氣孔開闔百分比 STO(%)	36.42	56.32	36.43	67.33	77.50	58.89
色光(nm) - 光合作用速率 ET50ps	0.29	0.34	0.23	0.87	0.74	0.66



實驗五：化學肥料-鉀磷氮對蝴蝶蘭光合作用與氣孔開闔

(一)化學肥料-鉀肥、磷肥、氮肥說明：化學肥料是指非生物體或者是礦物中提煉製成的。人工合成的肥料主要包括**氮(N)、磷(P)、鉀(K)**，本實驗將化學肥料：鉀肥、磷肥及氮肥濃度設定為**0.8%**。

(二)「光合作用」浮葉法實驗結果-化學肥料

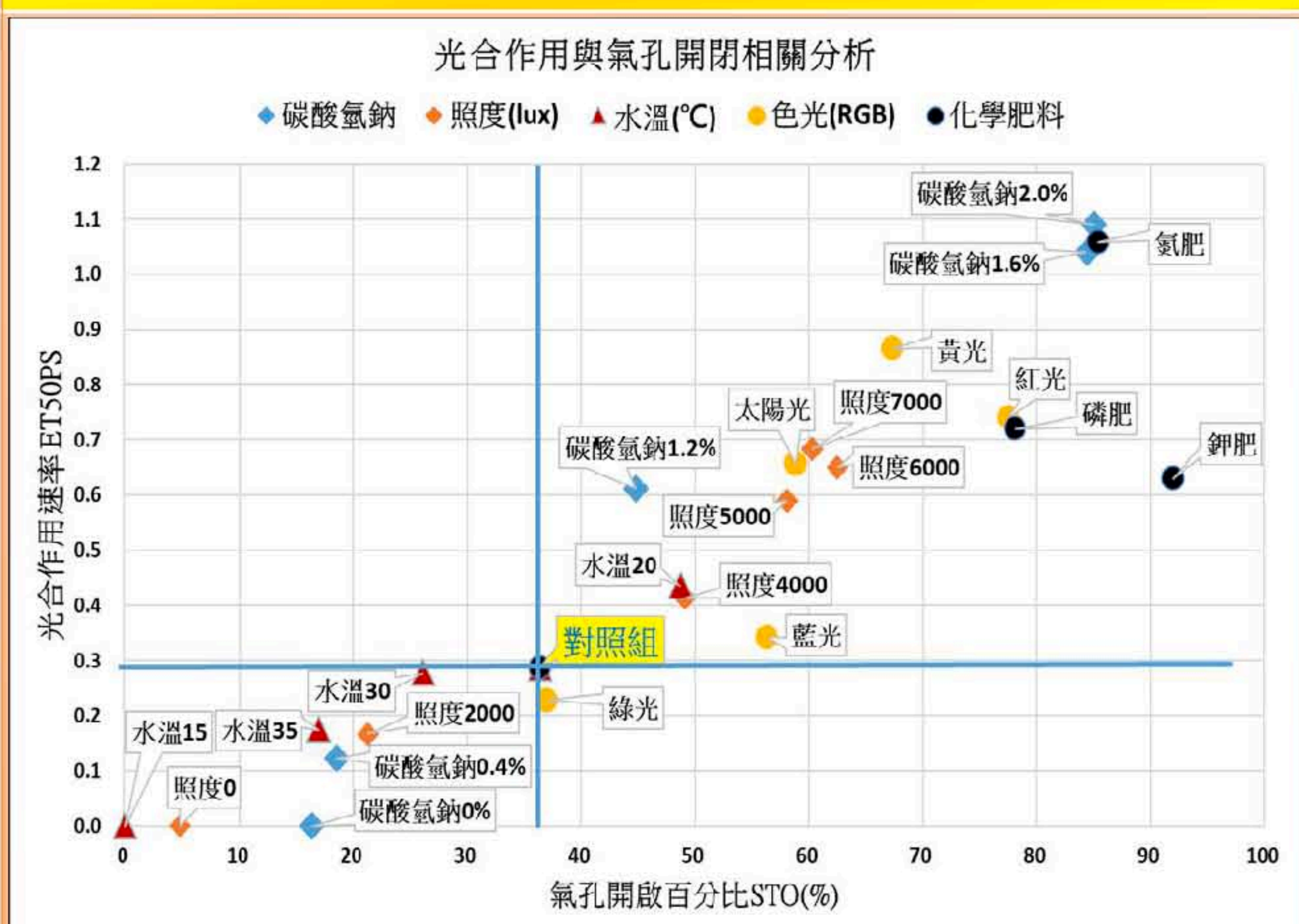
化學肥料	第1次 ET _{50ps}	第2次 ET _{50ps}	第3次 ET _{50ps}	平均 ET _{50ps}	ET _{50ps} 變率
鉀肥	3.32	3.63	3.50	3.48	0.29
磷肥	1.33	1.68	1.75	1.59	0.63
氮肥	0.95	1.27	1.95	1.39	0.72
無肥	3.77	1.22	0.85	0.94	1.06

(四)「光合作用」浮葉法實驗與「氣孔開闔」印膜法實驗結果比較：化學肥料

化學肥料	無肥-對	鉀肥	磷肥	氮肥
化學肥料 - 氣孔開闔百分比 STO(%)	36.42	91.95	78.08	85.38
化學肥料 - 光合作用速率 ET50ps	0.29	0.63	0.72	1.06



綜合比較：蝴蝶蘭光合作用與氣孔開闔的相關分析



綜合相關分析：以對照組為中心，左下角第一象限包括：碳酸氫鈉濃度0~0.4%、光照度0~2000lux、水溫15度以及30~35度；右下角第二象限，只有綠光；右上角第三象限包括：碳酸氫鈉濃度1.2~2.0%，光照度4000~7000lux，水溫20度，色光為藍、黃、紅和太陽光，肥料則是三種都有。從上圖得知，左下象限一到右上象限三有一條**規律上升的曲線呈現正相關曲線分布表示光合作用和氣孔開闔有一定的關係。**

伍、討論與結論

一【二氧化碳】對蝴蝶蘭光合作用與氣孔開闔

- 一、當**碳酸氫鈉濃度**超過**1.6%**時，其光合作用速率及氣孔開啟百分比已無明顯增加，表示植物的生長能力已呈現飽和，這種現象稱為「**二氧化碳飽和現象**」。
- 二、**蒸餾水**的葉錠在三次實驗中浮起的數量都很少，可能是因為雖然蒸餾水中含有二氧化碳，但是**二氧化碳濃度不足讓所有葉錠浮起**。
- 三、發現**加壓過程中**看到**葉錠表面冒出氣泡**，判斷在加壓時候水跑進葉錠裡的葉肉細胞，空氣被擠出到葉錠表面葉錠就會沉下去，才會在葉錠表面出現氣泡。
- 四、本實驗驗證當**碳酸氫鈉濃度0%**時氣孔開啟百分比為**16.39%**，其**光合作用速率** ET_{50ps} 為**0**，所以如果**沒有二氧化碳時就無法進行暗反應**。

三【溫度】對蝴蝶蘭光合作用與氣孔開闔

- 一、光合作用分為光反應和暗反應，影響**暗反應**的因素有**溫度和二氧化碳濃度**。我們認為實驗中**溫度的變化**對光合作用的影響，主要就是對**暗反應**的影響。
- 二、暗反應有**酶的參與**，而酶的作用有**最適的溫度範圍**，**超過30°C**時引起酶鈍化有可能破壞光合作用；**水溫低於15°C**酶也會受到抑制影響植物行光合作用。
- 三、葉片隨**溫度上升**而**蒸散較多水分**，為了不脫水因此**滲透壓降低使氣孔關閉**；**溫度過低酵素呈現靜止**會導致氣孔關閉**溫度太低或太高不利於蝴蝶蘭生長**。
- 四、溫度在**20~25度**時，氣孔開啟比率最旺盛，排出的氧氣值最高；但**溫度超過25度**時，氣孔開啟百分比隨著溫度增加而減少氣孔關閉便是一種自我保護的措施。

五【肥料】對蝴蝶蘭光合作用與氣孔開闔

- 一、肥料表現最好的是**氮肥**，氣孔最好的是**鉀肥**，探究其原因可能與**植物的生長期有關**，營養生長階段植物最需要氮肥磷肥則是影響生殖生長階段。
- 二、相關資料得知，**氮肥**影響**光合作用速率**(氮素是葉綠素組成成份的一種)；**鉀肥**會維持細胞內的電解質平衡**影響氣孔的開闔**；**磷肥**功能是能量的製造和運移。
- 三、在生長期時讓蝴蝶蘭生長好一點的話建議可以使用**氮肥**，因為氮肥可以**促進蝴蝶蘭的光合作用速率**，氣孔開啟百分比又比鉀肥少，可以減少水分的蒸散。
- 四、**鉀肥**是氣孔開啟百分比最多的，因為**K⁺(鉀離子)**會藉由主動運輸進入保衛細胞而**氮肥**是光合作用速率最快的。**磷肥**光合作用速率沒有氮肥高。

二【光照度】對蝴蝶蘭光合作用與氣孔開闔

- 一、**光照度**會影響**光合作用**，隨著照度增加葉肉細胞產生氧氣泡，所以葉錠會浮起，當**光照度越強**，**氧氣泡越多**，葉錠浮起的時間更快光合作用速率也變快。
- 二、光合作用速率和氣孔開啟會隨著光照度增加變快或變多，但**達到一定程度時**其光合作用速率和氣孔開啟百分比無明顯增加這種現象稱為「**光飽和現象**」。
- 三、光照度最強的太陽光(照度30000lux)，實驗時的氣孔開啟百分比和光合作用速率跟照度6000lux的數據相近，我們認為在**照度6000lux**時產生了**光飽和現象**。
- 四、不同植物對光照度的需求不同，就蝴蝶蘭的實驗為例，**利用人工光源照度實現光環境的調節**來突破自然條件的侷限性，使得植物不受天氣條件影響。

四【色光】對蝴蝶蘭光合作用與氣孔開闔

- 一、**綠光**在本實驗中反應吸收最少，主要原因葉片是綠色，根據**色光反射原理綠光被反射**，所以綠光無法有效被吸收。
- 二、當**氣孔開的越多**，並不代表**光合作用速率就會越快**；而當氣孔開的很多，**光的種類並不符合蝴蝶蘭需求時**，也會影響蝴蝶蘭的生長。
- 三、如果進行溫室栽培蝴蝶蘭，建議使用**黃光**。如果使用**紅光**的話，雖然氣孔開啟的較多，但光合作用速率比黃光慢，這樣就算氣孔開啟，也只是在**增加呼吸作用或蒸散作用**。
- 四、**太陽光**(30000lux)光合作用速率為0.66，對比**光照度6000lux**為0.65，雖然照度多了將近5倍但**光合作用速率只差了0.01**，是因為照度6000lux已經到了**光飽和現象**。

六【綜合比較】— 相關分析

- 一、以對照組為中心**呈現正相關曲線分布**研究目的**一(二氧化碳)**和研究目的**二(不同強度光)**，**光合作用速率增加和氣孔開啟會跟著增加**，都有**飽和現象**。
- 二、研究目的**三(溫度)**在**過高或過低溫度有負面影響**；研究目的**四(色光)**和**五(鉀磷氮肥)**是不同外在因素，**沒有呈現正相關**這是否表示植物具有自動調節功能。
- 三、光合作用與氣孔相關分析圖，象限右上部相對於左下部的指標**呈現正相關曲線分布**，蝴蝶蘭對**二氧化碳或光照度**的**光合作用速率和氣孔開啟成正比**。
- 四、特別因子像綠光、紅光、藍光、磷肥和鉀肥沒有靠近曲線上。如象限右下部的**綠光反應較弱**，這些因子顯示**氣孔開啟越多不一定代表光合作用速率越快**。

建議【蝴蝶蘭「光合作用」與「氣孔開闔」】

- 發現** 碳酸氫鈉0%、光照度0lux或溫度15度以下時，**光合作用速率都是0**，表示二氧化碳光和溫度對蝴蝶蘭是**生長必要條件**。另外二氧化碳、色光或化學肥料等，**光合作用反應明顯提升(因子敏感度高)**；而光照度或溫度對**反應提升較慢(因子敏感度高)**。
- 改善** 實驗中為了減少誤差，而且不同部位的葉錠氣孔密度不同，所以我們**設計均衡打出葉錠方法**打出葉錠，並利用自行**改編過後的浮葉法**來檢測光合作用速率，例如：利用翻拍機固定加壓力道及時間、使用100毫升針筒改善葉錠浮沉的問題和**設計光源箱**平均照射光源。為了觀察光合作用當下的氣孔開闔情形，**設計撈起第5錠葉錠**利用**印模法**檢測氣孔開啟百分比，以上實驗設計的改善都是為了減少實驗誤差。
- 建議** 改善後的浮葉法利用簡單裝置能觀察光合作用，我們**建議將浮葉法加進小學自然課本裡**做為觀察光合作用現象的方法。建議**簡易版實驗步驟**為：1.利用打洞器打出**2~4個葉錠**；2.將葉錠裝入**20~40ml**的針筒後滴上洗碗精；3.加水加壓至所有葉錠都沉下去；4.打開活塞直接加入**0.1~0.2g**碳酸氫鈉攪拌溶解；5.放在**檯燈下或室外走廊**；6.等待**2~3分鐘**觀察葉錠浮起的情形，可簡單的觀看到光合作用現象。