

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

第三名

030310

聖誕紅-oh~葉!

--聖誕紅芭葉變色與葉綠素含量的研究

學校名稱：嘉義縣立布袋國民中學

作者： 國一 黃百韻 國一 蔡沛家 國一 蘇坊誼	指導老師： 劉佳惠
---	------------------

關鍵詞：聖誕紅、葉綠素、芭葉

摘要

聖誕紅苞葉在開花季有轉色情形，為測試苞葉變色後是否仍具葉綠素，以不同品種聖誕紅的綠葉、半變色葉、變色葉及枯萎葉，進行光合作用產物檢驗（澱粉、葉與莖內葡萄糖含量）及葉綠素分離檢測（濾紙層析、分液漏斗與 430nm、635nm 葉綠素吸收值）並探討葉綠素螢光現象。由吸光值檢測結果，苞葉開始變色後，吸光值遽降，故在澱粉測試、色素層析及分液漏斗皆有相符結果；苞葉不似綠葉具四種光合色素，因此無法得到足夠澱粉。在葡萄糖測試結果，葉內葡萄糖含量變色苞葉明顯較綠葉高，但在莖內只有綠葉莖明顯較高，顯示苞葉內糖來自內部分解而非自其他部位運送而來。萃取出葉綠素在紫外光有明顯血紅色螢光，其他 LED 光源亦有明顯紅色，但在綠光則表現較弱。

壹、研究動機

「叮叮噹~ 叮叮噹~ 鈴聲多響亮…」時序入冬，聖誕節前後，紅紅綠綠的聖誕紅是最喜氣洋洋的植物了，媽媽總會準備一盆一盆的應景盆栽來慶祝。到了花市，玲瓏滿目、大大小小的聖誕紅不禁人目不暇給，正要認真挑選的同時，更發現不只有原先印象中紅紅綠綠的聖誕紅，也留意到了竟然出現黃色、金色、粉色……等新奇的顏色，甚至連像玫瑰花般的聖誕紅也出現了！觀察的同時我們也注意到，聖誕紅的「花」跟它的葉片長得很像，甚至還看到了變色變一半的綠葉，這些跟葉片很像的「花」似乎都集中在植株的上層，而整群「花」的中間，竟又出現圓珠狀的小花苞……種種新鮮有趣的現象，不禁讓我們對這些原本再熟悉不過的植物重新再燃起一股研究的熱忱，在與老師討論與上網蒐集資料過後，得知原來這些看似葉片的「花」其實就是由綠葉轉變而來的苞葉。「綠葉戀愛時變成了花，花崇拜時變成了果實。」印度詩人泰戈爾這樣形容葉片因愛而美麗！這些令我們感到讚嘆不已的美麗葉片究竟還存在什麼樣的功能？如此漂亮的葉子還存在葉綠素嗎？能行光合作用嗎？配合國一生物剛學過植物體營養與生理功能，使我們更想運用所學來探究這美麗的自然現象。

相關教學單元：

國民中學一年級上學期 自然與生活科技課程「生物體與營養」— 葉的構造

國民中學一年級上學期 自然與生活科技課程「生物體與營養」— 光合作用

國民中學一年級上學期 自然與生活科技課程「生物體的運輸作用」— 植物養分的運輸

貳、研究目的

- 一、聖誕紅外部構造及葉片變色過程觀察。
- 二、檢測聖誕紅綠葉與苞葉是否行光合作用製造澱粉。
- 三、以本氏液檢測聖誕紅綠葉與苞葉內葡萄糖的含量。
- 四、以分液漏斗檢測並分離聖誕紅綠葉與苞葉中葉綠素。
- 五、以濾紙色層分析法檢測並分離聖誕紅綠葉與苞葉中葉綠素。
- 六、以分光光度計檢測聖誕紅綠葉與苞葉內葉綠素含量。
- 七、以不同 LED 色光觀察並測試聖誕紅綠葉葉綠素的螢光現象。
- 八、以本氏液檢測聖誕綠葉與苞葉莖內葡萄糖含量。

參、研究設備及器材

一、材料：

聖誕紅 (*Euphorbia pulcherrima*)，本氏液，碘液，甲醇，乙醇，乙醚，丙酮，石油醚，圓形濾紙，長條濾紙，氯化鉀，蒸餾水。

二、設備：

電子秤、研鉢及研杵、分液漏斗，試管、試管架、分光光度計，洗瓶、烤箱，刀片、鑷子、解剖顯微鏡，滴管，量筒 (100 mL、25 mL、10 mL)，燒杯 (1 L、500 mL、250 mL)，LED 燈源(紅光、白光、藍光、綠光、橘光)，紫外光燈，培養皿、數位相機。

註：本實驗研究主題聖誕紅植株(傳統紅、粉紅桃莉、金色秋天、紅寶石、聖誕玫瑰…等)均購自於嘉義縣市植栽園藝商店，並於實驗結束後繼續在校園、庭園內培植照顧，基於尊重生命立場，除觀察花內外構造、萃取葉片葉綠素外，並無任意對植物有破壞或浪費之情事。

肆、研究方法

一、聖誕紅外部構造及苞葉觀察

(一) 外部構造觀察

選擇具有完整根、莖、葉、苞葉、花苞的健康聖誕紅觀察其構造（圖 1A），分辨花與變色苞葉的不同並拍照記錄觀察苞葉由綠色轉色的過程（圖 1B）。

(二) 花的觀察

取聖誕紅盛開的花苞，觀察記錄花的雄雌蕊等各部位構造，並以刀片切開花苞（圖 1C），觀察雌蕊內部的子房等構造。

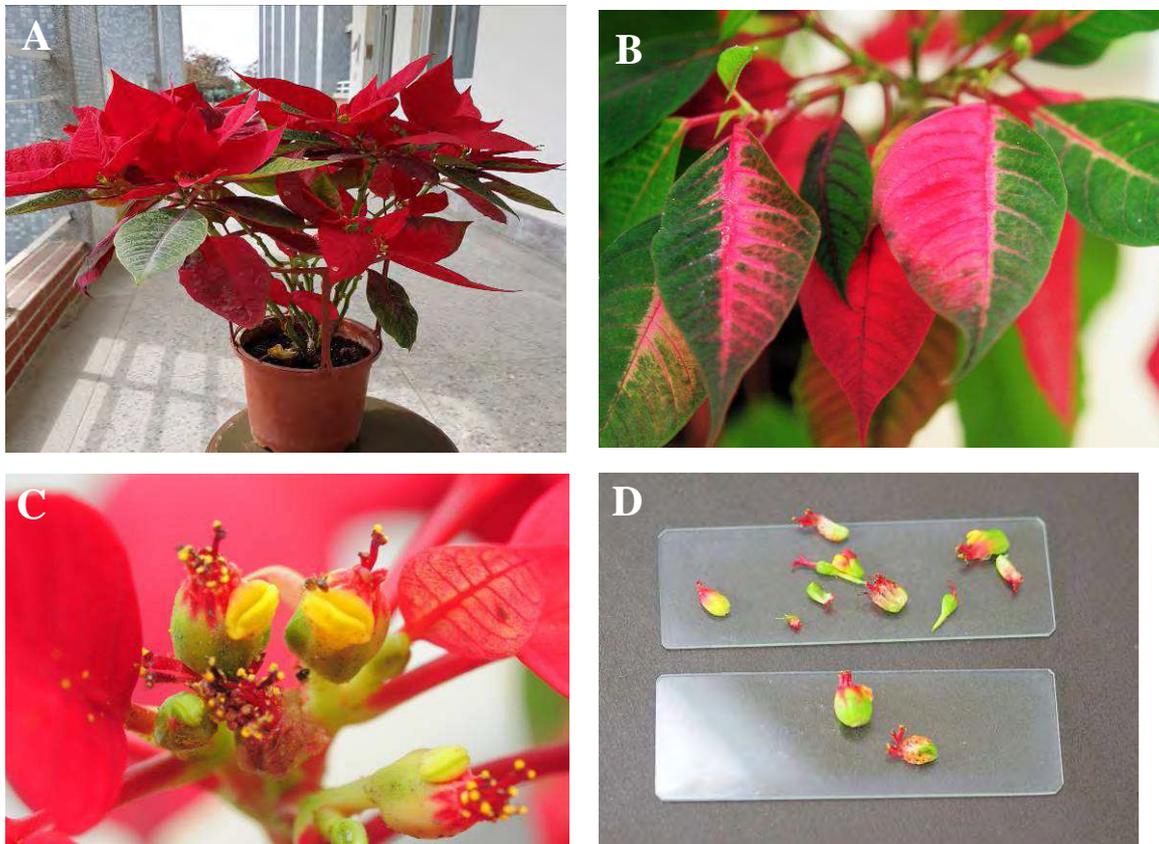


圖 1 聖誕紅外部構造及花苞觀察

二、檢測聖誕紅綠葉與苞葉是否行光合作用製造澱粉

經由初步觀察，聖誕紅變色苞葉可由原綠葉漸漸變色而來，為了確定完全變色的苞葉是否仍具行光合作用能力，我們以國中生物課程學習過的光合作用產物檢驗法來測試。植物葉片在行光合作用後，通常將光合作用產物最終產物葡萄糖轉換其它糖形

式經韌皮部運送至其它部位儲存或轉換成澱粉儲存在葉內。

實驗方法與流程：

- (一) 使用不透光的鋁箔紙，剪成愛心形，貼在不同品種聖誕紅的大小面積相近的綠葉、半變色葉及完全變色的苞葉上，並放置戶外正常日照區七天，使同一片葉上分成隔絕光照的心形 a 區及照光 b 區(圖 2A,圖 2B,圖 2C,圖 2D)。
- (二) 七天後小心撤除鋁箔紙，以熱水破壞葉片角質層。
- (三) 使用 95%酒精隔水加熱，將葉片色素完全洗除(圖 2F)。
- (四) 置回熱水中洗去殘存酒精，以鑷子快速夾起培養皿中。
- (五) 葉片冷卻後，滴加碘液觀察顏色變化。



圖 2 檢測聖誕紅綠葉與苞葉是否行光合作用製造澱粉

三、以本氏液檢測聖誕紅綠葉與苞葉內葡萄糖的含量

聖誕紅變色苞葉由原綠葉漸漸變色而來，為了確定聖誕紅綠葉、半變色葉與完全變色的苞葉行光合作用後葡萄糖產物的量，我們也一併測試在不同品種聖誕紅綠葉、半變

色葉及完全變色的苞葉上，其葉肉內葡萄糖濃度是否具差異。

葡萄糖為光合作用的直接產物，具有還原性，濃度愈高可使原本呈現藍色本氏液依次轉變為綠色、黃色、橙色與紅色。

實驗方法與流程：

- (一)取相同重量(約 2.5 克)傳統聖誕紅綠葉、半變色葉、完全變色的苞葉與變色末期枯萎葉置入 110°C 烤箱烘烤 10 分鐘，去除多餘水分(圖 3A)。
- (二)以 80%丙酮並隔水加熱，待葉綠素、花青素去除至葉片呈白色(圖 3B)。
- (三)夾起葉片以雙層紗布包覆，置入研鉢中，以研杵研磨得到濾液(圖 3C)。
- (四)取 1ml 濾液，加入 2ml 本氏液分成 A.綠葉、B.半變色葉、C.完全變色葉、D. 變色末期枯萎葉及 E.對照組五組，隔水加熱後觀察其顏色變化(圖 3D)。

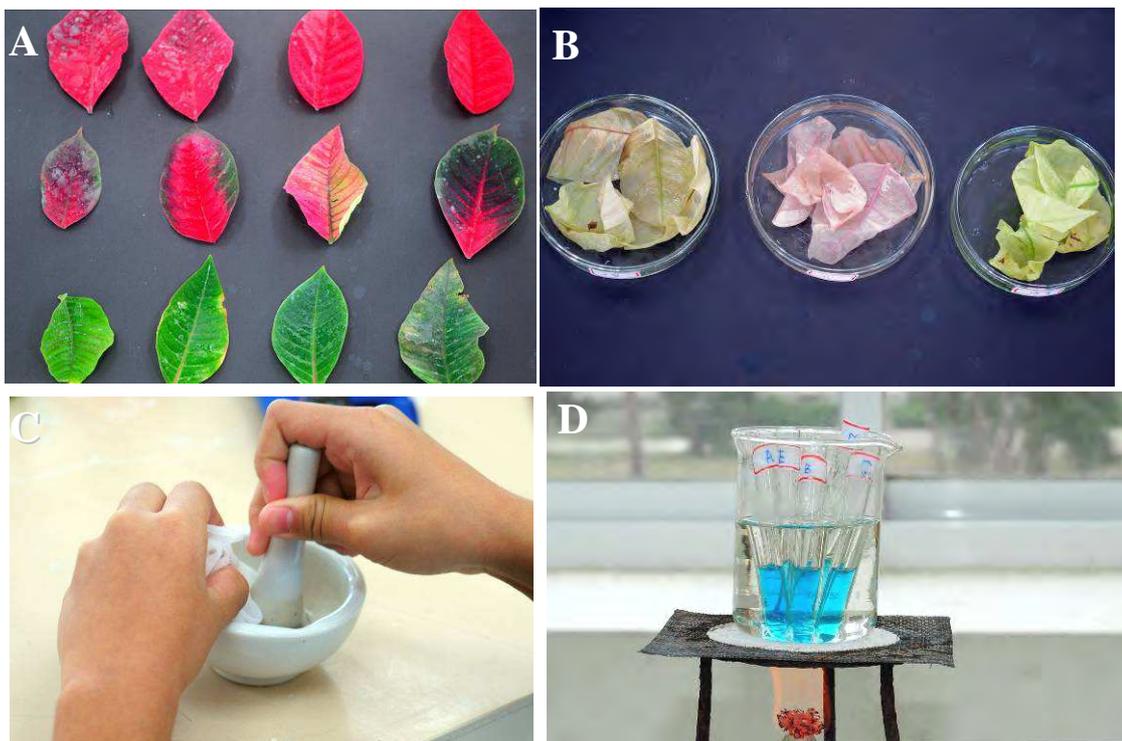


圖 3 以本氏液檢測聖誕紅綠葉與苞葉內葡萄糖的含量

四、以分液漏斗檢測並分離聖誕紅綠葉與苞葉中葉綠素

植物色素在不同有機溶劑中有著不同的溶解度，例如葉綠素 a 及胡蘿蔔素較為親脂性，易溶於極性較低的石油醚或甲苯中；而葉綠素 b 及葉黃素則較為親水性，可溶於極性較大之甲醇、丙酮或酒精中。運用此特性，我們試著分離萃取並分離聖誕紅苞

葉與綠葉中的葉綠素。

實驗方法與流程：

- (一)、取新鮮綠葉及變色苞葉，置 110°C 烤箱內烘至一碰即碎程度（圖 4A，圖 4B）。
- (二)、秤量葉片乾重 2.5g 置於磨鉢內磨成細粉。
- (三)、加入 40mL 80%丙酮；繼續研磨使溶液呈深綠色。
- (四)、取 50mL 石油醚先置入分液漏斗內，再將濾液徐徐倒入，慢慢旋轉(不可用力振盪)，使其分層，下層顏色淺、上層顏色深綠，再沿管壁徐徐加入 70mL 蒸餾水，再旋轉之，使分層更明顯，丟掉下層液，再用 25mL 蒸餾水洗二次，同法丟掉下層液。
- (五)、加入 50mL 92%甲醇於步驟(四)之上層液慢慢旋轉，使分二層，沿管壁每次加入 5mL 蒸餾水直至二層明顯分開。上層液—葉綠素 a 及胡蘿蔔素下層液—葉綠素 b 及葉黃素。
- (六)、取步驟(五)之上層液(葉綠素 a 及胡蘿蔔素)30mL，加 15mL 新鮮配之 30%甲醇-氫氧化鉀溶液，靜置 10 分鐘，再加 30mL 蒸餾水，下層液為葉綠素 a。

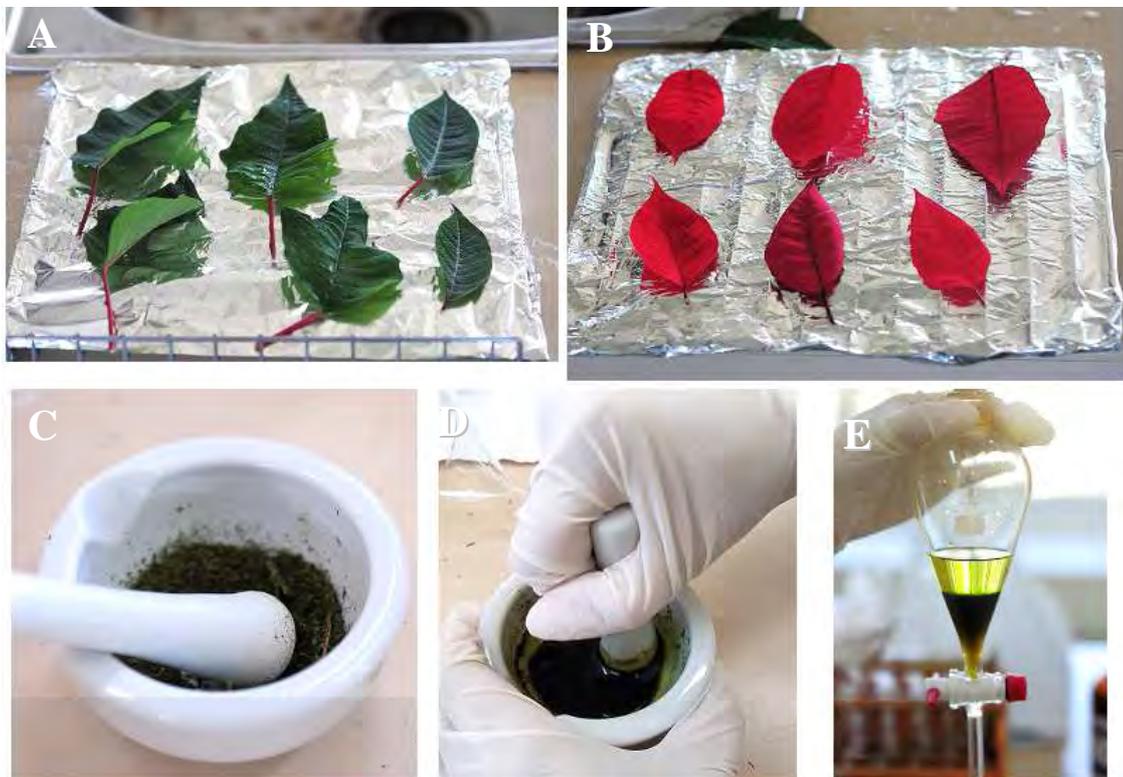


圖 4 以分液漏斗檢測並分離聖誕紅綠葉與苞葉中葉綠素

五、以濾紙色層分析法檢測並分離聖誕紅綠葉與苞葉中葉綠素

植物色素在不同有機溶劑中的溶解度不同，利用此一特性可將植物色素分離，先以丙酮萃取，隨著展開劑石油醚之移動，植物色素因親合力的差異會隨著其在濾紙上之向上移動而有分離的效果，此法稱為濾紙色層分析法（**paper chromatography**），簡稱為濾紙層析法，實驗方法與流程：

- (一) 取不同品種聖誕紅新鮮摘下綠葉、完全變色苞葉，置於 110°C 烤箱內烘乾 10 分鐘至一碰即碎的程度。
- (二) 取 10mL 量筒一個，倒入石油醚 4.5mL 及 90%丙酮水溶液 0.5mL 作為展開液，將兩溶液完全混合後，倒入 100mL 量筒內，儘可能不觸及量筒邊緣，再用鋁箔包住量筒口（圖 5B）。
- (三)、將烘乾葉片以手捏碎，再放入研鉢中研磨至粉末狀。倒 10mL 90%丙酮溶液於研鉢中，繼續研磨使呈濃稠泥狀。
- (四) 取濾紙及漏斗置於架上，將濃稠泥狀研磨液過濾後得到濾液。
- (五) 取長條濾紙一條，在一端 1.5 公分處剪成尖形箭頭，離尖端 3 公分處作上記號，為方便顯示其分離結果，並以 2B 鉛筆每 0.1cm 劃上標記，再以毛細管吸取濾液，小心地滴在離尖端 3 公分處，待乾後再點，如此重覆點三回（圖 5A）。.
- (六)、將長條濾紙放入量筒中，使尖端約 0.5 公分浸入事先配置的展開液中，而另一端則以膠帶固定於量筒口，並以鋁箔將量筒口封住。

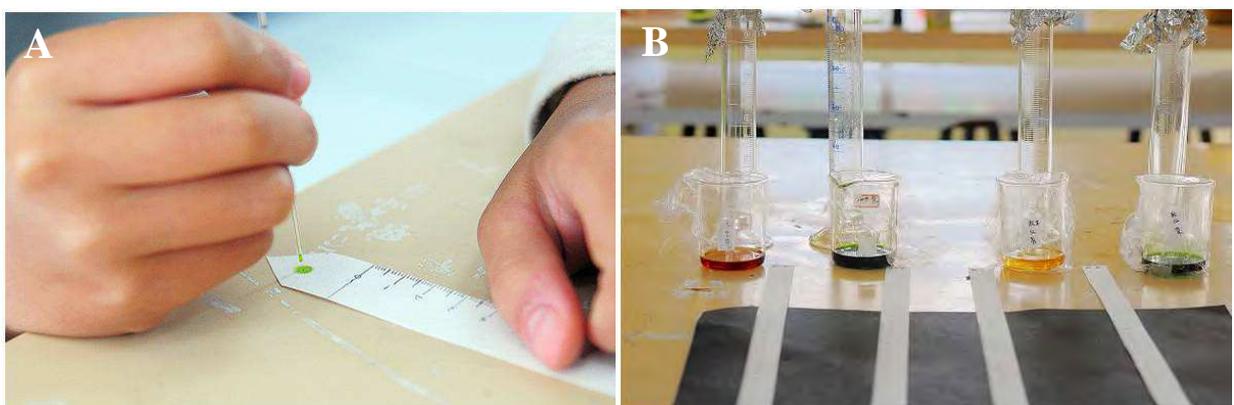


圖 5 以濾紙色層分析法檢測並分離聖誕紅綠葉與苞葉中葉綠素

六、以分光光度計檢測聖誕紅綠葉與苞葉內葉綠素含量

植物葉綠素在波長 430 ~ 480nm (藍光區)與 630 nm~660 nm(紅光區)具有最大的吸收值(圖 6),因此,我們配合分光光度計波段,測定在定量樣品在波長 430 nm 與 635nm 的吸收值,同樣稀釋濃度下的吸收值愈高即代表葉綠素的量愈多。

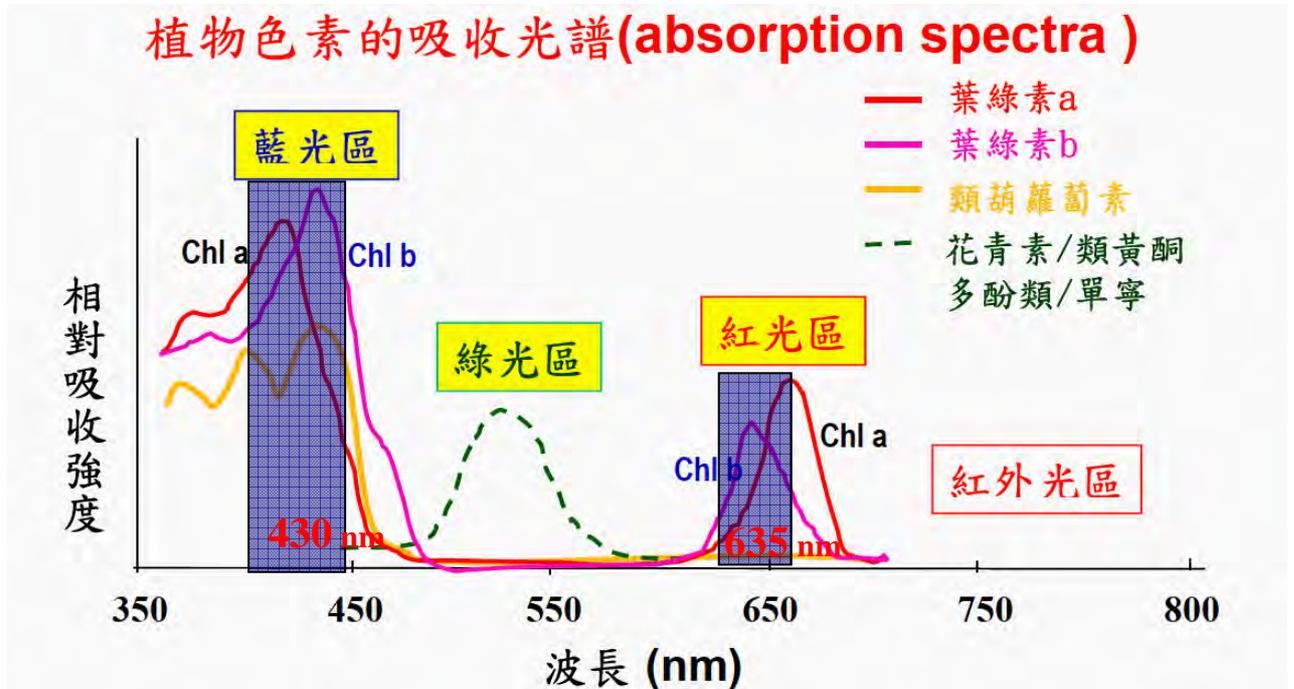


圖 6 植物色素的吸收光譜

實驗方法與流程：

- (一)、取傳統聖誕紅新鮮綠葉、半變色葉、完全變色苞葉與將枯萎苞葉並另取三種不同品種(金色秋天、粉紅桃莉、紅寶石)新鮮摘下綠葉、完全變色苞葉作對照，置於 110°C 烤箱內烘乾 10 分鐘至一碰即碎的程度。
- (二)、秤量葉片乾重 1.5g 置於磨鉢內磨成細粉。
- (三)、加入 20mL 80%丙酮繼續研磨使溶液完全呈色後，以濾紙過濾研磨液。(圖 7A, 7B, 7C)
 - 1.準備分光光度計，設定 430 nm 吸收波長，以空白液校正至吸收值為 "0"。
 - 2.每個樣本使用一根比色管，取 2.5ml 濾液稀釋成原液不同比例的濃度(2.5%, 5%, 10%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%) (圖 7D, 7E, 7F, 7G)。
 - 3.放入分光光度計，測定波長 430nm 的吸光值，且觀察比色管內液體的顏色變化並紀錄讀數，進行三重複測量，取其平均值(圖 7H)。

4. 切換分光光度計至波長 635nm 波段，測定上述濾液在波長 635nm 的吸光值，觀察比色管內液體的顏色變化並紀錄讀數，進行三重複測量，取其平均值（圖 7I）。

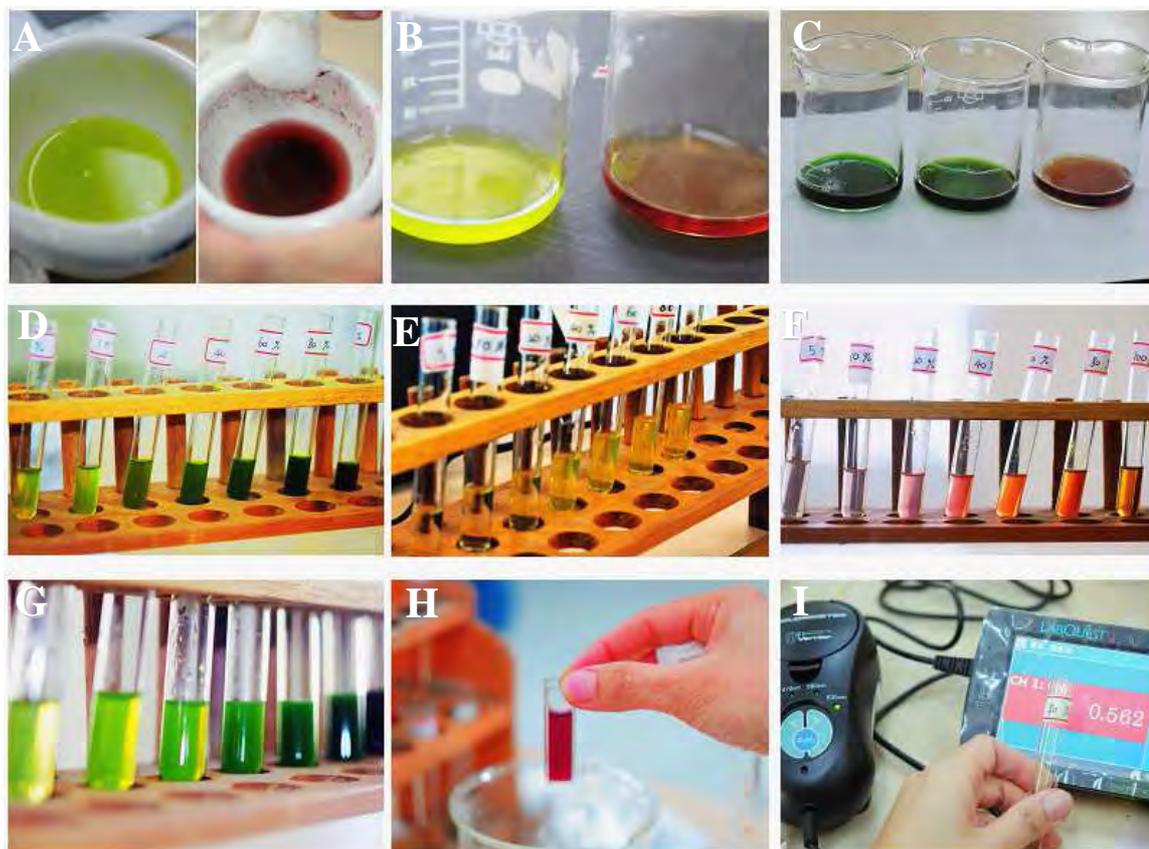


圖 7 以分光光度計檢測聖誕紅綠葉與苞葉內葉綠素含量

七、以不同 LED 色光觀察並測試聖誕紅綠葉葉綠素的螢光現象。

我們在檢驗不同品種聖誕紅的綠葉過程中，新鮮萃取出來的葉綠素透過光線觀察發現隱約出現像血色的暗紅色現象，經過跟老師討論與查閱資料後，得知這是葉綠素特有的螢光現象，恰好我們手邊有不同顏色的 LED 鑰匙圈，於是便興起一併研究不同 LED 色光下葉綠素螢光現象的實驗。實驗方法與流程：

- (一)、將聖誕紅新鮮摘下綠葉、完全變色苞葉，置於 110°C 烤箱內烘乾 10 分鐘，至一碰即碎。
- (二)、加入 20mL 80% 丙酮並置於研鉢內研磨，使溶液呈深綠色後以濾紙過濾。
- (三)、取 10mL 濾液裝於透明玻璃瓶（圖 8A）並置於黑色遮光盒中（圖 8D, 8E），

準備白色、綠色、藍色、橘色、紅色 LED 燈光照射（圖 8B），觀察並記錄葉綠素的螢光現象。

(四)、將燈源換成紫外光燈照射（圖 8C），觀察並記錄葉綠素的螢光現象。

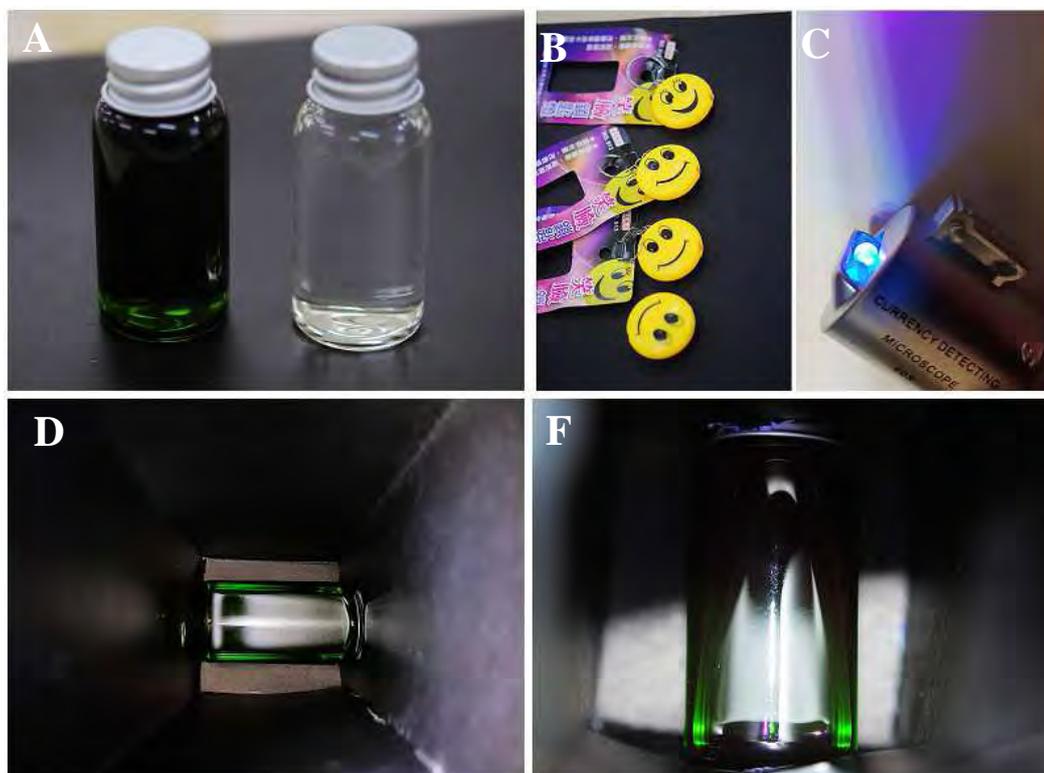


圖 8 以不同 LED 色光觀察並測試聖誕紅綠葉葉綠素的螢光現象

八、以本氏液檢測聖誕紅綠葉與苞葉莖內葡萄糖含量之比較。

我們取相同重量(約 1.0 克) 傳統聖誕紅綠葉（圖 9A）、半變色葉（圖 9B）與完全變色苞葉（圖 9C）的連接莖，使用 110°C 烤箱烘乾去除多餘水分後，再使用 80% 丙酮隔水加熱去除葉綠素、花青素等色素使莖呈黃白色，以雙層紗布及研鉢研磨後（圖 9D），各取 0.5ml 濾液、2ml 本氏液分成四組：A.綠葉的莖、B.半變色葉的莖、C.完全變色葉的莖、D. 空白對照組(對照組以 0.5ml 代替濾液)（圖 9E），隔水加熱後觀察其顏色變化(圖 9F)。

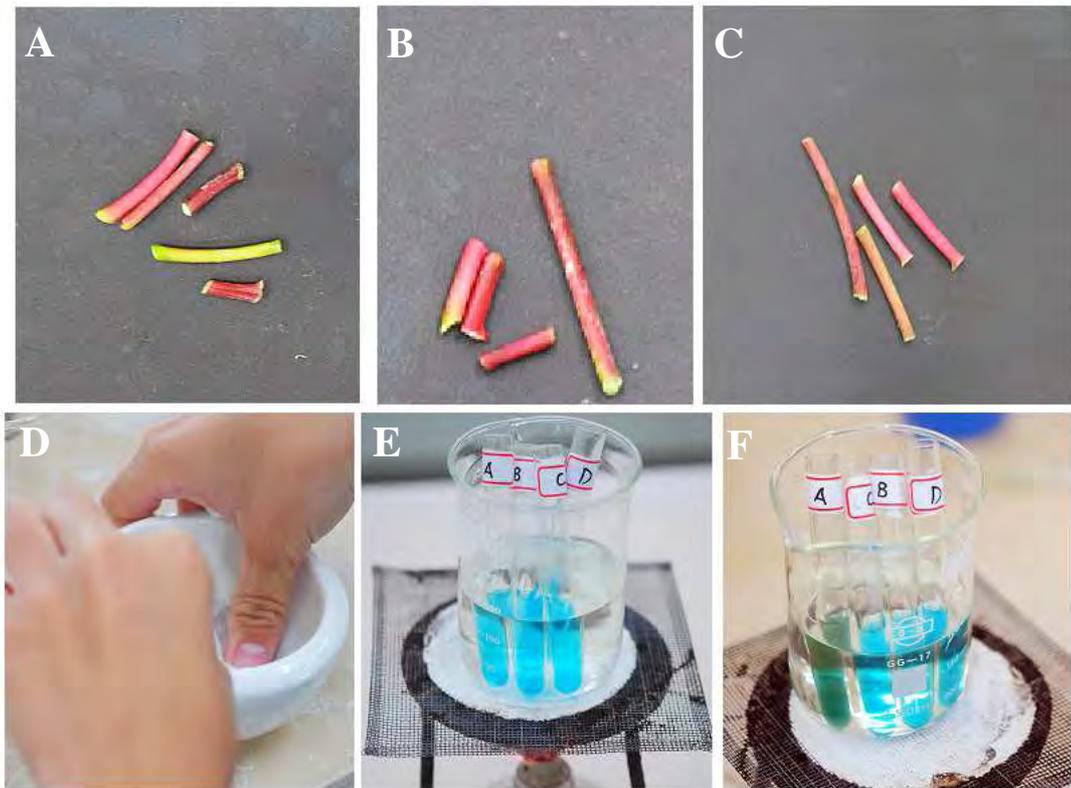


圖 9 以本氏液檢測聖誕紅綠葉與苞葉莖內葡萄糖含量的比較

九、實驗結果數據分析

本研究結果數據，以 Microsoft® Office Excel 進行圖表製作、簡單敘述統計並初步比較其差異性。

伍、研究結果

一、聖誕紅外部構造及苞葉觀察

聖誕紅以美麗似花而色彩豐富的苞葉著稱，在本實驗使用的聖誕紅品種，除最常見、最受歡迎的傳統紅綠型聖誕紅（圖 10 E）外，另以黃白色系（金色秋天,圖 10 A）、改良花瓣型（玫瑰聖誕紅或聖誕玫瑰,圖 10 B）、紅黃鑲嵌型（紅寶石,圖 10 C）與粉紅色系（粉紅桃莉,圖 10 D）加以對照觀察。

聖誕紅真正的花位於莖頂上位，多呈黃或紅色。秋冬開花時期的聖誕紅，花苞最內圈的新生苞葉會直接顯色（圖 12 A），而靠近花苞，原先萃綠的綠色葉片，則會由葉脈開始，自葉的基部呈漸進式的變色。（圖 11 A, B, C, D, E, F）

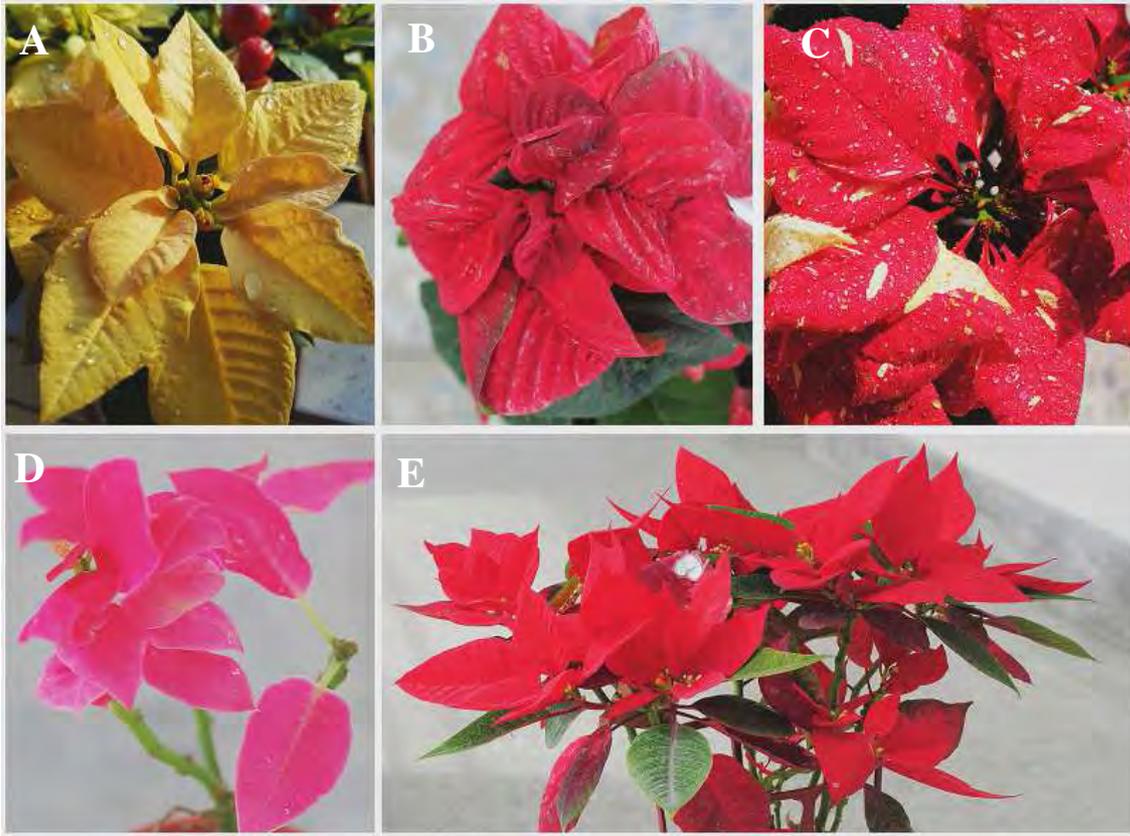


圖 10 聖誕紅品種 (A.金色秋天, B.玫瑰聖誕紅, C.紅寶石, D.粉紅桃莉, E, 傳統紅)

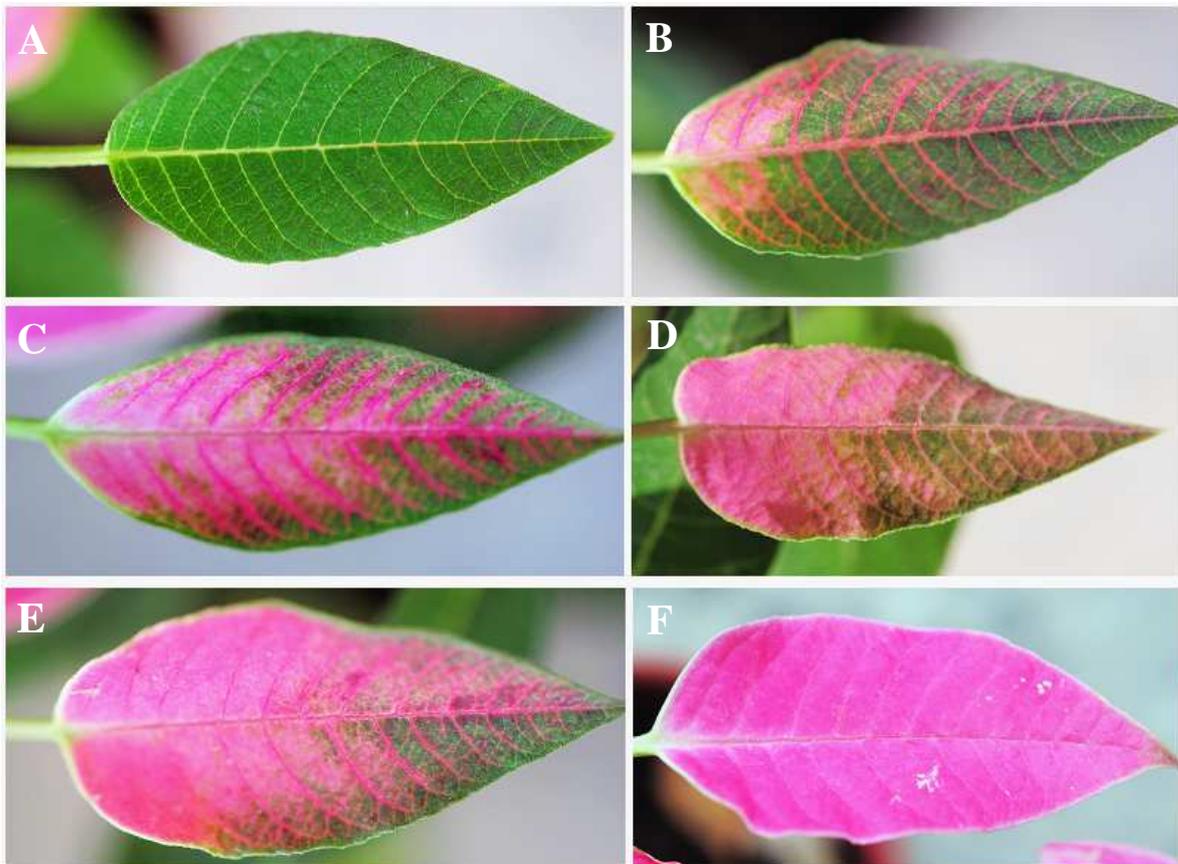


圖 11 聖誕紅苞葉變色圖 (品種：粉紅桃莉)



圖 12 聖誕紅花的觀察

(二) 花的觀察

聖誕紅的花為大戟花序，外圍由一個橢圓球狀的總苞所構成（圖 12C），顏色連著花序梗成相同的綠色，前端有細小紅色或其它顏色裂片，總苞上有蜜腺，可分泌蜜液吸引螞蟻等昆蟲助其授粉（圖 12B, 12D）。聖誕紅為兩性花（圖 12E），雌花為單生，由中央向外伸展，下方有膨大的子房，內含二或三顆胚珠（圖 12H）；雄花僅呈具柄的雄蕊（圖 12 I），由苞片內壁生出，包在總苞中形成一杯狀花序（圖 12J）。

二、檢測聖誕紅綠葉與苞葉是否行光合作用製造澱粉

光合作用產物檢驗結果，不同品種聖誕紅在澱粉測試的結果均呈一致現象（表 1），各品種綠葉在加入碘液後，均呈現深褐色至黑色，而以鋁箔愛心遮蓋 a 區處，在隔絕日光照射七天加入碘液後，顏色變淺而淡，與照光 b 區呈現深褐色有明顯對比而出現愛心形。（圖 13, 圖 14）

表 1 澱粉測試結果

品種	傳統紅			金色秋天			紅寶石		
	綠葉	半變色葉	苞葉	綠葉	半變色葉	苞葉	綠葉	半變色葉	苞葉
葉片狀態	✓	✓	無	✓	✓	無	✓	✓	無
澱粉測試	深褐色	褐色	淺褐色	深褐色	褐色	淺褐色	深褐色	褐色	淺褐色
	粉紅桃莉			聖誕玫瑰					
	綠葉	半變色葉	苞葉	綠葉	半變色葉	苞葉			
	✓	✓	無	✓	✓	無			
	深褐色	褐色	淺褐色	深褐色	褐色	淺褐色			



圖 13 傳統聖誕紅、聖誕玫瑰澱粉測試圖

而各品種半變色葉在澱粉測試結果與綠葉結果有一致現象，滴加碘液後亦呈現褐色，整片葉片與綠葉結比呈色略淡，但仍比苞葉深，以鋁箔愛心遮蓋 a 區，在隔絕日光照射七天並加入碘液後，顏色亦變淺，與 b 區褐色亦有明顯對比而出現愛心形(圖 13,圖 14)。



圖 14 不同品種聖誕紅澱粉測試圖

各品種變色苞葉在澱粉測試結果則上述明顯不同，滴加碘液後僅呈現碘液之黃褐色，而以鋁箔愛心遮蓋 a 區，在隔絕日光照射七天並加入碘液後，顏色與 b 區周圍無明顯對比，不能看出鋁箔愛心形狀(圖 13, 圖 14)。

三、檢測聖誕紅綠葉與苞葉葡萄糖含量的比較

以本氏液檢驗葉片葡萄糖含量之結果如表 2，綠葉可讓本氏液呈藍綠色，半變色葉含量略增，呈黃綠色，而苞葉可明顯使本氏液快速變化至橙色偏紅色，而變色後期將枯萎苞葉，則只讓本氏液略為變色，在與 A 組綠葉及 E 組對照組比較時，可見到有藍色略偏綠的現象(圖 15D, 15E)。

表 2 聖誕紅葉片葡萄糖含量的比較

		聖誕紅葉片(傳統紅)				對照組
		綠葉	半變色葉	苞葉	枯萎葉	
葡萄糖 測試	葉片狀態					
	加熱前顏色	藍色	藍色	藍色	藍色	藍色
	結果	藍綠色	黃綠色	橙紅色	藍色(略綠)	藍色
	葡萄糖含量	++	+++	++++	+	-

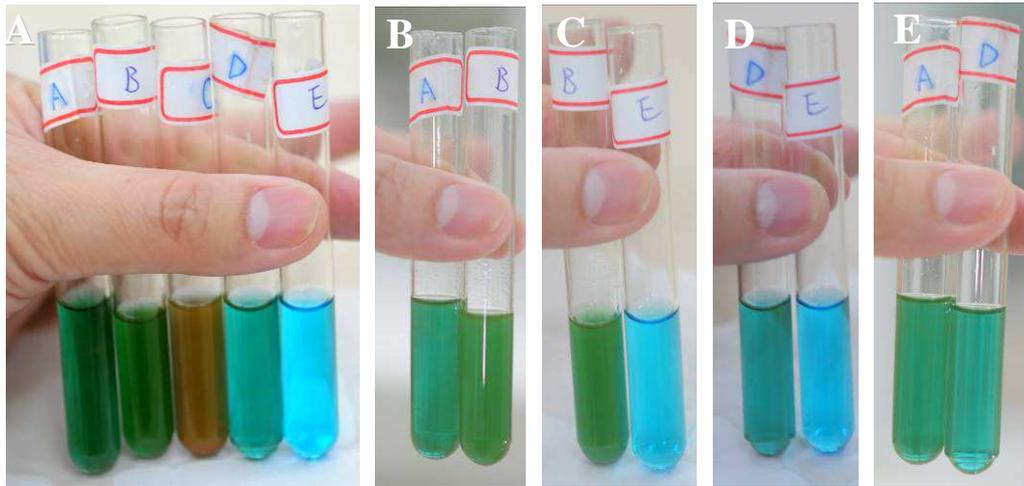


圖 15 聖誕紅葉片葡萄糖含量的比較

若將本氏液對葡萄糖變色結果為縱軸，A~D 各組葉片再加入對照組 E 為橫軸，可以得到圖 16，顯示從綠葉至完全變色苞葉這段時期，葡萄糖含量有上升趨勢，但變色後期的苞葉葡萄糖含量則又快速降低（圖 16）。

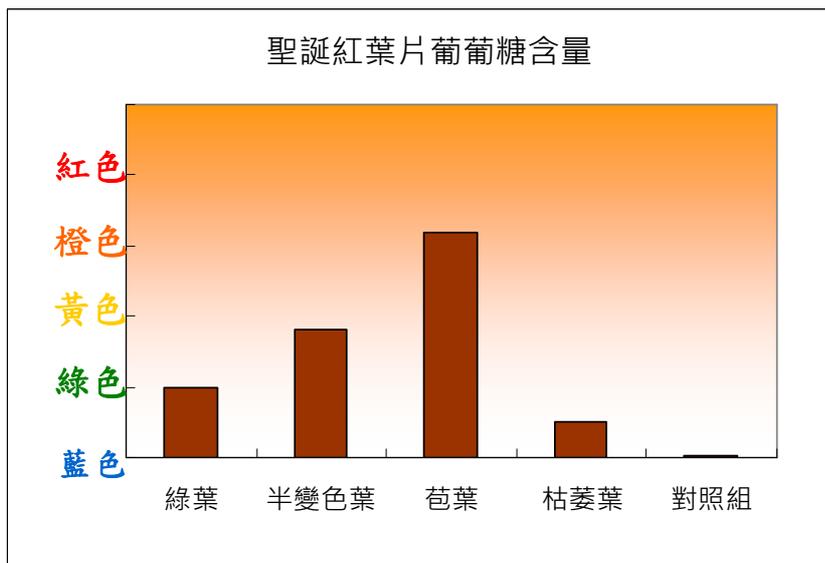


圖 16 聖誕紅葉片葡萄糖含量的比較

四、以分液漏斗檢測聖誕紅綠葉與苞葉中葉綠素含量並分離

表 3 分液漏斗分離聖誕紅綠葉與苞葉色素

分液漏斗 測試	新鮮綠葉				完全變色苞葉			
	葉綠素a	葉綠素b	葉黃素	胡蘿蔔素	葉綠素a	葉綠素b	葉黃素	胡蘿蔔素
	藍綠色	黃綠色	黃色	橙黃色	無	無	無	橙黃色

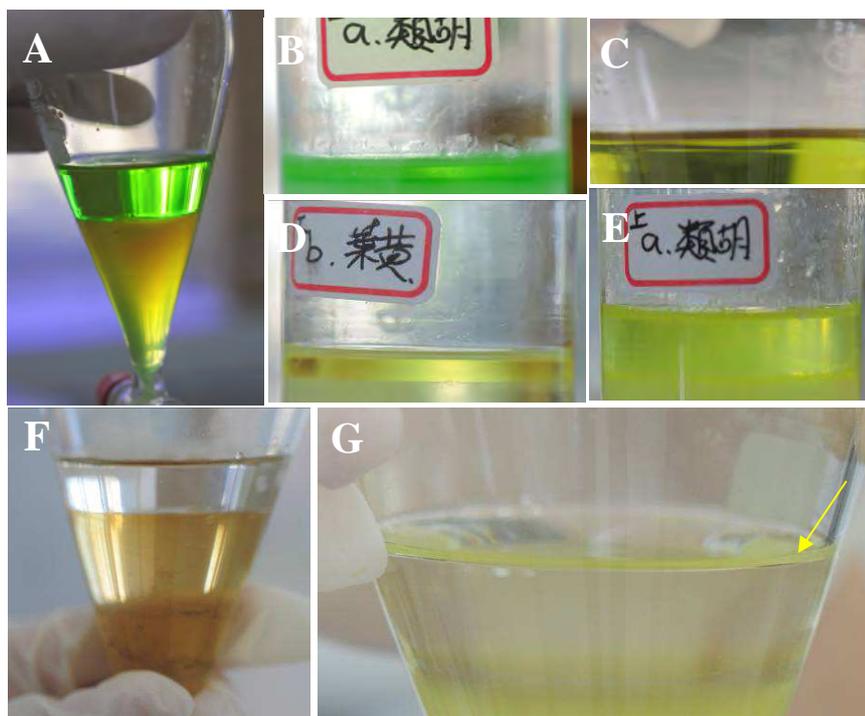


圖 17 分液漏斗分離聖誕紅綠葉與苞葉色素

從分液漏斗分離聖誕紅綠葉與苞葉中的葉綠素檢測結果來看，新鮮的聖誕紅綠葉可以分出四種光合色素，並有著不同顏色（表 3）；完全變色苞葉在分液漏斗測試難以用肉眼看出光合色素之存在（圖 17F），僅勉強分辨出金黃色的胡蘿蔔素。（圖 17G）

五、以濾紙色層分析法檢測聖誕紅綠葉與苞葉中葉綠素含量多寡並分離

各品種綠葉在濾紙色層分析法檢測結果均能分離出四種光合色素（表 4），自滴入基準線向上分別為黃綠色的葉綠素 b，藍綠色的葉綠素 a，黃色的葉黃素以及金黃色的胡蘿蔔素（圖 19）。

表 4 濾紙色層分析法分離聖誕紅綠葉與苞葉色素

品種	葉狀態	光合色素			
		葉綠素a	葉綠素b	葉黃素	胡蘿蔔素
傳統紅	綠 葉	藍綠色	黃綠色	黃色	金黃色
	半變色葉	藍綠色	黃綠色	黃色	金黃色
	苞 葉	無	無	無	淡金黃色
紅寶石	綠 葉	藍色	藍色	藍色	藍色
	苞 葉	藍綠色	黃綠色	黃色	淡金黃色
粉紅桃莉	綠 葉	藍綠色	黃綠色	黃色	金黃色
	苞 葉	無	無	無	無
金色秋天	綠 葉	藍綠色	黃綠色	黃色	金黃色
	苞 葉	無	無	無	淡金黃色

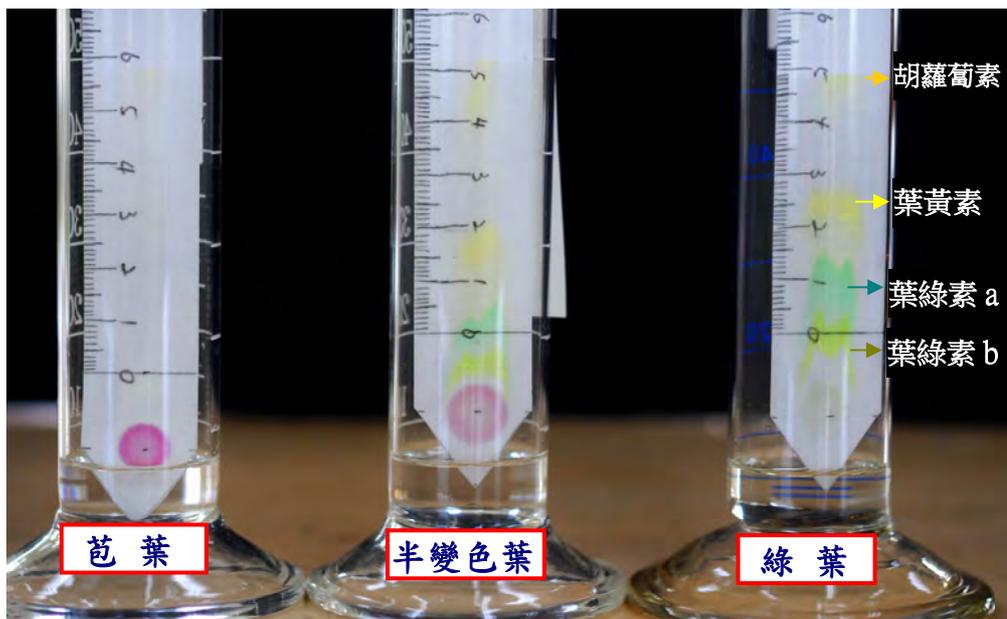


圖 18 濾紙色層分析法分離聖誕紅綠葉與苞葉色素 (傳統紅)

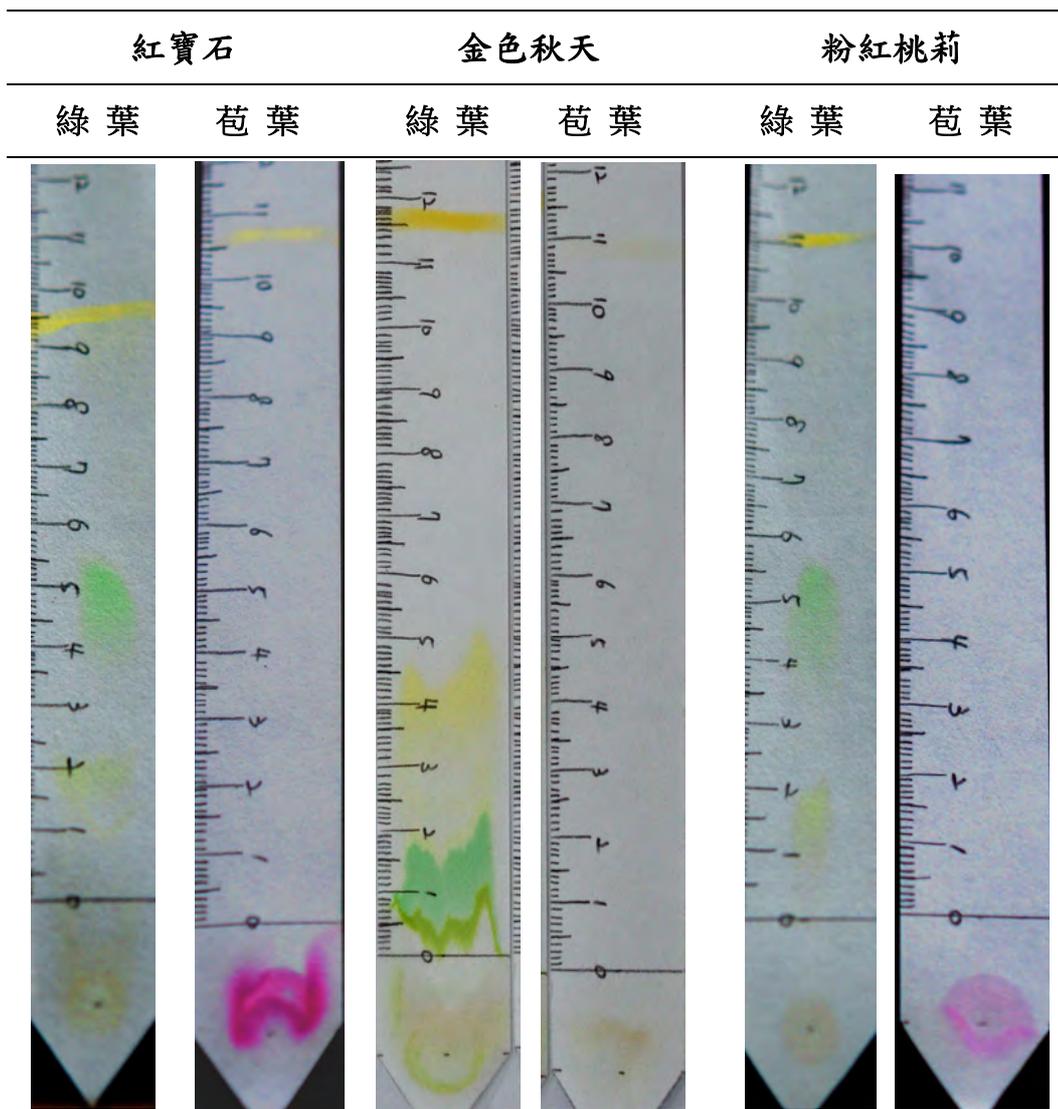


圖 19 濾紙色層分析法分離聖誕紅綠葉與苞葉色素

半變色葉濾紙層析結果，同樣可見到明顯的四種光合色素，但在量的部分較新鮮綠葉有顯著地下降，各色素區間與亮度均不如綠葉，因半變色綠色成分不固定，僅以傳統紅為代表（圖 18）。

在苞葉部分，則明顯與綠葉有所不同，各品種均僅能在滴入基準線為圓心的附近見到呈圓形的花青素，而無法看見葉綠素 a、葉綠素 b 與葉黃素，以肉眼僅勉強可見金黃色的胡蘿蔔素（圖 19）。

六、以分光光度計檢測聖誕紅綠葉與苞葉內葉綠素含量

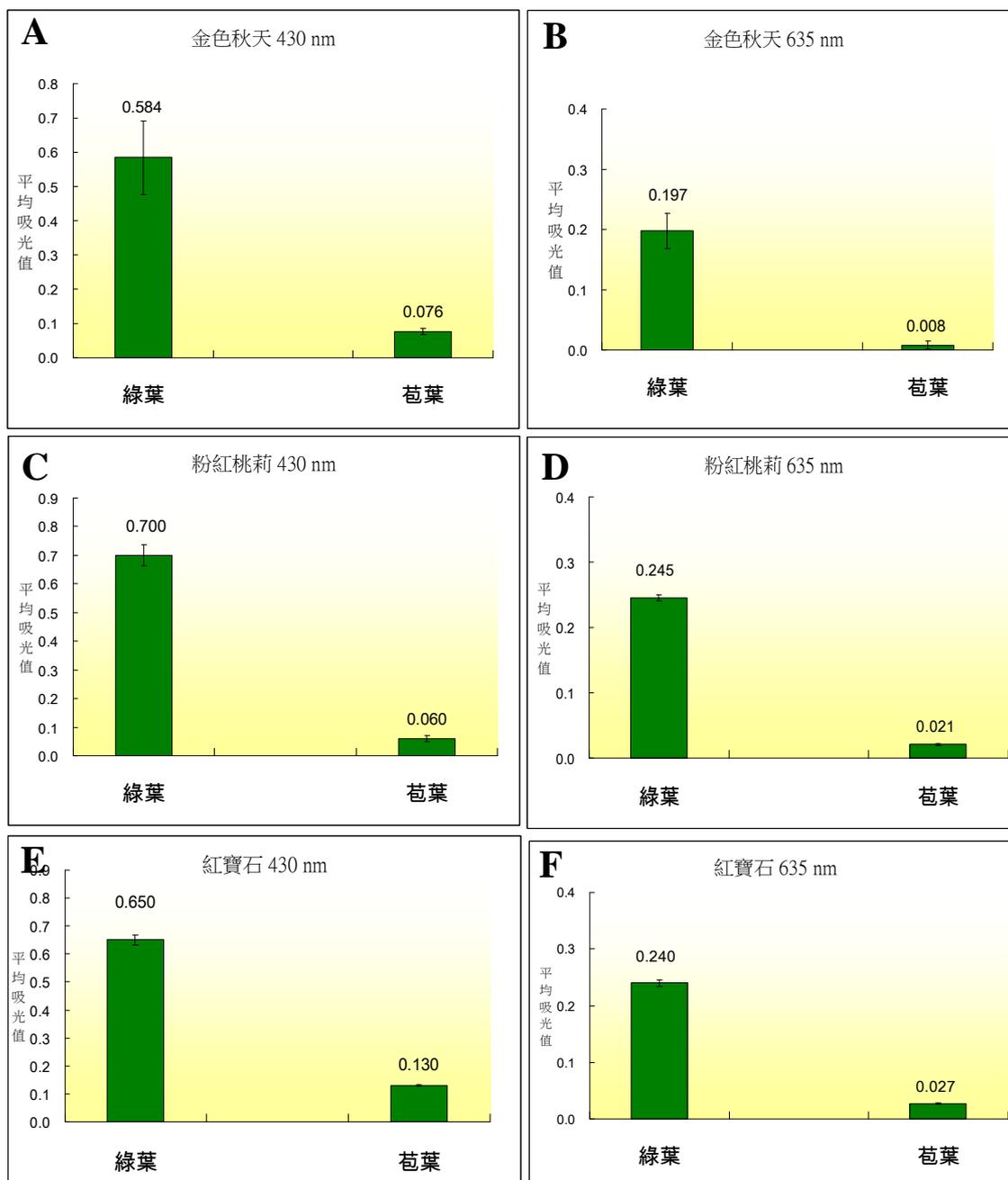


圖 20 不同聖誕紅品種綠葉與苞葉在分光光度計葉綠素檢測結果

以分光光度計檢測各品種綠葉與苞葉葉綠素的吸光值均有明顯的差異，在 430nm 部分，各品種綠葉平均吸光值均在 0.5 ~ 0.7 之間（圖 19，圖 20），而完全變色苞葉，僅在 0.1 左右（圖 19，圖 20）；切換至 635nm 的吸光值，亦有同樣情形，各品種綠葉平均吸光值在 0.19 ~ 0.24 之間，完全變色苞葉，僅在 0.04 以下（圖 19，圖 20）。

以葉片各時期完整度最高的傳統紅為對象，加入葉片自新鮮綠葉至將枯萎苞葉來看，葉綠素的吸光值在 430nm 有逐漸下降趨勢，而 635nm 的葉綠素吸光值在各時期的葉片亦呈下降趨勢，但最後枯萎葉平均吸光度比完全變色苞葉略高，但相差無幾（圖 21）。

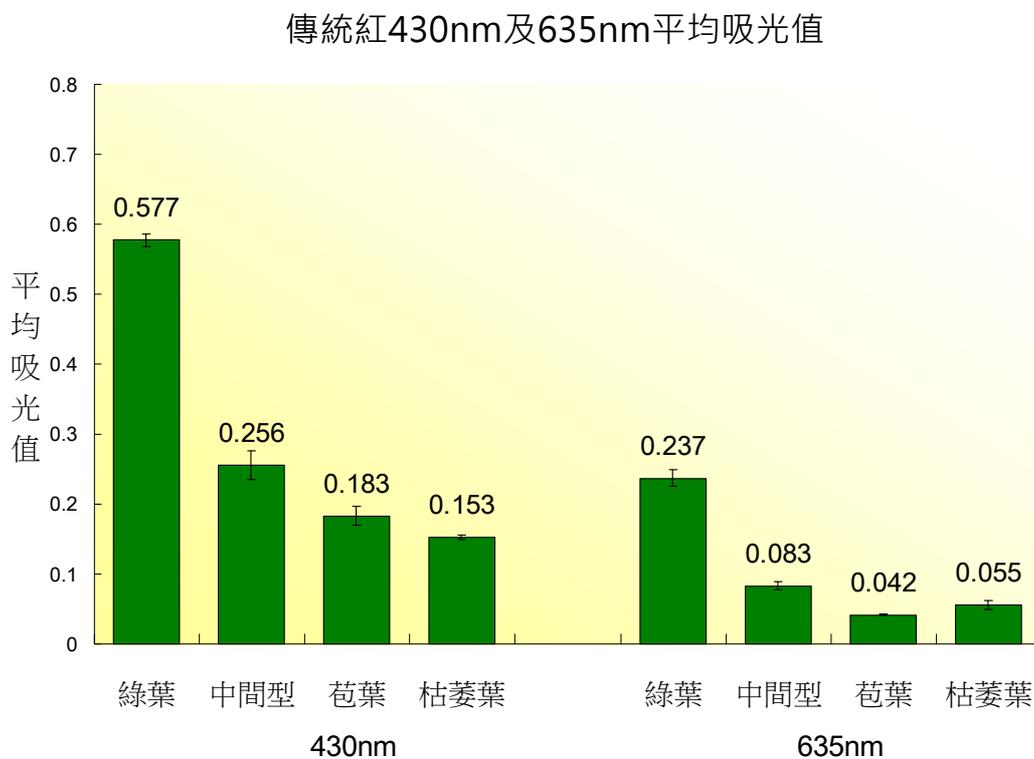


圖 21 傳統聖誕紅不同時期葉片在分光光度計檢測結果

七、以不同 LED 色光觀察並測試聖誕紅綠葉葉綠素的螢光現象。

在 LED 色光照射結果，在良好隔絕光的暗室中均可以肉眼觀察出明顯紅色螢光光束（圖 22），光束的大小與 LED 照射的距離，發光功率及光波的波長密切相關，在白光、藍光、橘光、紅光 LED 光源下，調整照射角度均可見明顯紅色螢光光束（圖 22B, 22C, 22D, 22E ），但在綠光 LED 光源照射下，紅色螢光束有較弱的表現。

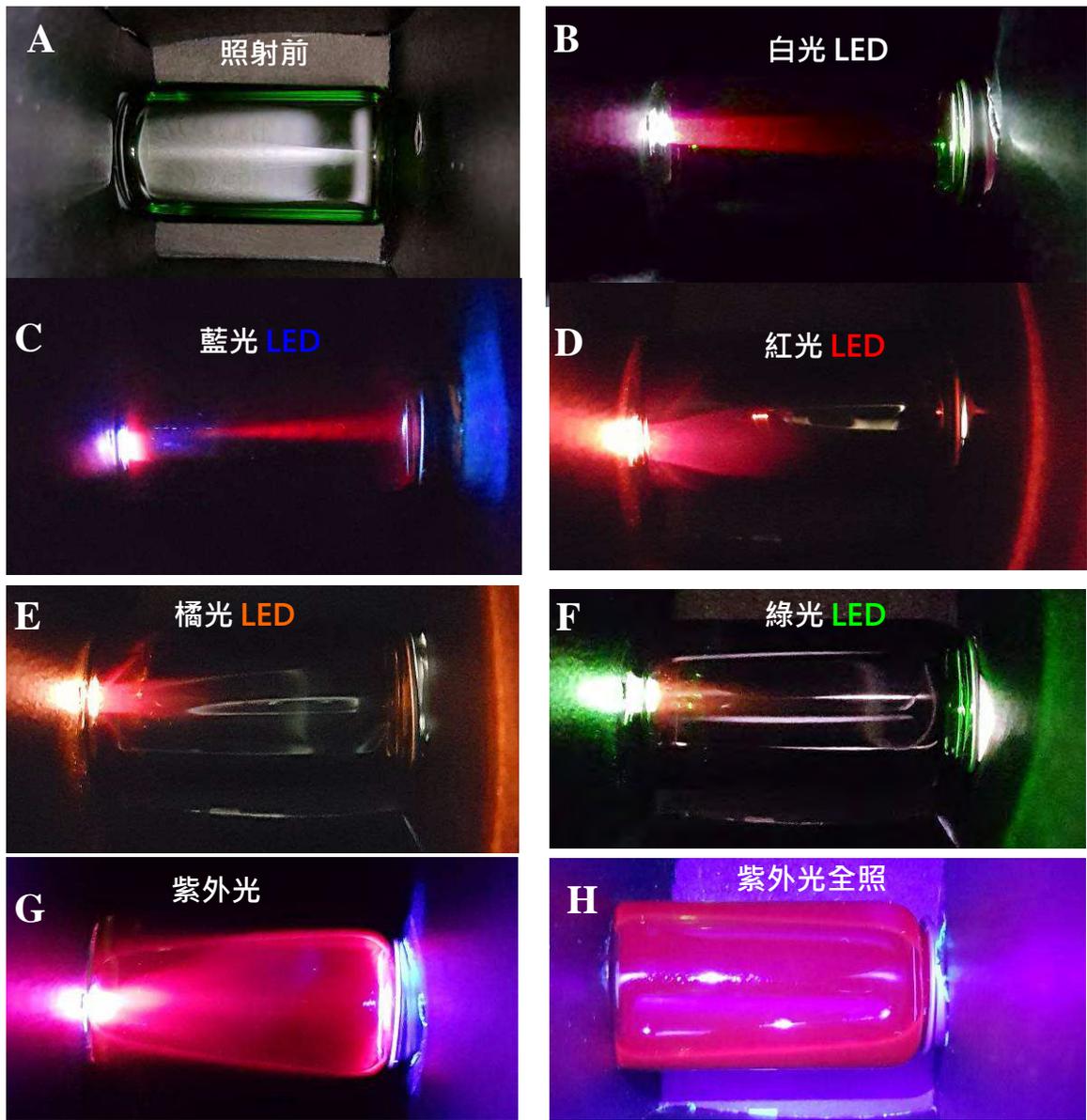


圖 22 不同 LED 色光測試聖誕紅綠葉葉綠素的螢光現象

而在紫外燈下照射，葉綠素溶液不但有明顯紅色光束（圖 22G），甚至整個溶液均反射呈現血紅色之螢光（圖 22G, 22H）。

八、以本氏液檢測聖誕紅綠葉與苞葉莖內葡萄糖含量的比較。

表 5 聖誕紅綠葉與苞葉莖內葡萄糖含量的比較

		聖誕紅葉片連接莖(傳統紅)			
		綠葉莖	半變色葉莖	苞葉莖	對照組
葡萄糖 測試	莖的來源				
	加熱前顏色	藍色	藍色	藍色	藍色
	結果	橙紅色	綠色	淡綠色	藍色
	葡萄糖含量	++++	++	+	-

以本氏液檢驗莖葡萄糖含量之結果如表 5，綠葉的莖使本氏液呈橙紅色，半變色葉的莖使本氏液呈綠色（圖 23A, 23B），而苞葉的莖，則只讓本氏液略為變色，與 D 組對照組比較時，可見到有藍色略偏綠的現象（圖 23C, 23D）。

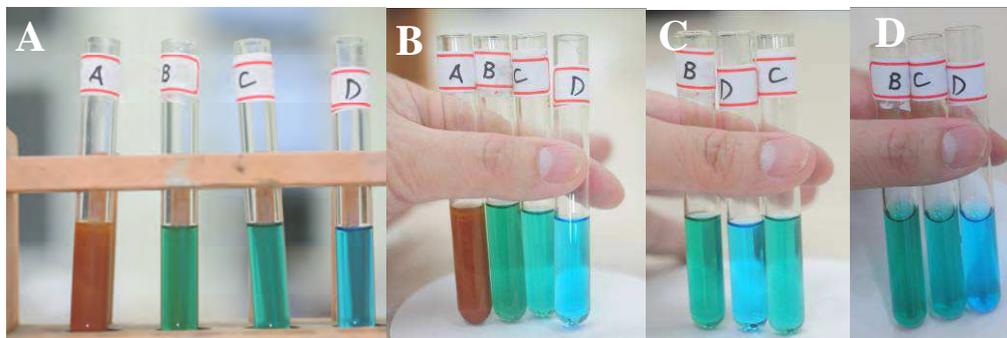


圖 23 聖誕紅葉片莖內葡萄糖含量的比較

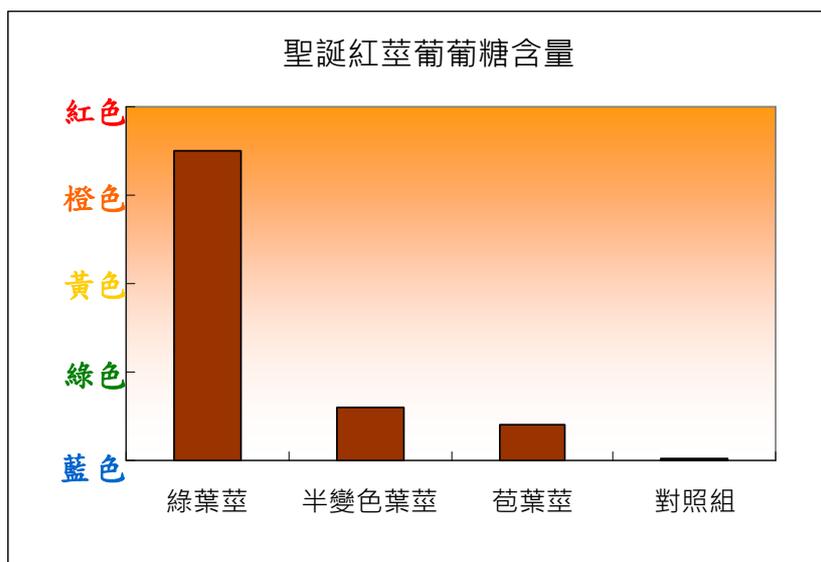


圖 24 聖誕紅葉片莖內葡萄糖含量比較

陸、討論

一、聖誕紅外部構造及葉片變色過程觀察

(一) 聖誕紅

聖誕紅 (*Euphorbia pulcherrima*)，又名一品紅、向陽紅、猩猩木、猩紅木、聖誕花老來嬌等，英文名為 *Poinsettia*，為原生墨西哥地區之落葉性小喬木，英文名為紀念美國駐墨西哥第一任大使 Joel Roberts Poinsett 在 1828 年於墨西哥 Taxco 地區將它引進美

國而取，植株生長可達 4~5 公尺高，分類上是屬於大戟科 (*Euphorbiaceae*) 大戟屬 (*Euphorbia*) 的一種，該屬約有 1600-2000 種，主要分佈於熱帶及亞熱帶地區。聖誕紅是世界很多地區聖誕節的象徵，最早在墨西哥 Aztecs 地區栽培。台灣地區聖誕紅盆花之年產量約 150 萬盆左右，主要產區集中在桃園縣各鄉鎮、苗栗縣卓蘭鎮及南投縣埔里鎮等地，大部分栽植進口品種，除了傳統紅色品種外，經人為育種而衍生有粉色、粉白雙色及黃白色等多種花色；現行園藝品種為迎合市場需求，大多較野生種更具有葉片持久及觀賞期長之特性。

(二) 花的觀察

聖誕紅的花為大戟花序，真實的花藏在一顆顆的總苞中，總苞內包含雄蕊與雌蕊，不管是雌蕊或雄蕊都沒有花瓣，亦或許是這個緣故，聖誕紅以花苞週圍的變色苞葉來變化出更明顯、豔麗的色彩吸引傳粉昆蟲前來，其視覺效果不遜於花瓣，也難怪我們聖誕節及新年假期時，總要放幾盆大紅大綠的聖誕紅來吸引目光，增添喜慶氣氛；在實驗觀察過程中，也常看到數隻螞蟻被總苞的蜜腺所吸引，幾度穿梭汲取裡面的花蜜 (圖 12B,12D)，經過成熟雄蕊花藥旁，身上即沾滿黃黃的花粉，再爬至其他株的總苞收集花蜜時，便把花粉順利地傳播過去，達成授粉目的。

聖誕紅為雙性花，但我們實際常常看到只有雄蕊成熟或僅看到成熟的雌蕊，旁邊的雄蕊已凋謝的單性花情況，偶而可見雄、雌蕊同時存在同一個總苞上，推測大部分時間，聖誕紅以「雌先熟」或「雄先熟」的策略來避開自花授粉的情況，亦即同一個總苞，在同一段時間內，雌雄蕊會錯開成熟的時間，來避免自己的花粉傳至柱頭上；但，從同一總苞雄雌蕊同時存在的情形來看，聖誕紅亦可能採取「自花授粉」的策略來完成有性生殖。(圖 12C)。

(三) 變色苞葉的轉色過程

秋冬開花季節的聖誕紅，其苞葉葉色之轉換從葉脈開始 (圖 11B)。原先呈黃綠色的葉脈，慢慢轉色，而葉基部亦開始漸層式的變色，此時，伴隨著葉子的葉綠素大幅分解而減退，使得葉片中葉黃素及花青素等其他色素開始展現 (圖 11F)。

變色的過程，主要在於葉內花青素的展現。不同品種的聖誕紅，所合成與儲存花青素濃度均不一，加上花青素極易受 pH 值影響而隨葉內酸鹼度的環境轉色，而聖誕紅隨人為育種而有近百種的不同顏色的品種，當中的關鍵可能即在於細胞內花青素的顏色控制，我們在進行層析實驗的同時，亦曾試著在不同品種的萃取液滴加入不同的酸鹼液來觀察顏色變化，多變的花青素不只會隨著酸鹼值轉色，光照、與空氣接觸氧化等因子皆能使我們剛調製好顏色的試液隨即再變化，也不禁讓我們驚嘆大自然對顏色的掌控能如此精準穩定。

二、澱粉，葡萄糖，葉綠素含量與光合作用

（一）澱粉與光合作用

國中一年級上學期自然與生活科技課程提到以澱粉含量來檢測光合作用的效率，從本次實驗結果來看，有一致的結果，各品種苞葉遮光區 a 區與對照區 b 區對比均不明顯，表示葉內幾乎沒有澱粉儲存；對照綠葉組與半變色葉組，兩組 a 區與 b 區均有明顯對比，而能顯現心形，但綠葉組結果呈深褐色接近黑色，半變色葉深褐色程度不如綠葉組，苞葉組則呈只呈淺褐色或淡褐色；根據此結果，可推斷從綠葉至苞葉，其澱粉含量有逐漸下降之趨勢，其一原因在於苞葉葉綠素已大幅下降，因此無法有效地進行光合作用合成澱粉，另一原因則可能澱粉被大量分解成葡萄糖供苞葉生理活動用。

（二）葡萄糖與光合作用與苞葉變色

葡萄糖為葉片行光合作用的直接產物，亦為維持細胞生理活動所必需的基本養分分子，由葉與莖本氏液測試實驗結果分析，葉片中葡萄糖的含量在綠葉不高而在自葉片開始變色後立即增加，於完全變色苞葉時有最高峰，但隨後又突然急遽降低（圖 16）；對照葉片莖內葡萄糖的含量則發現，莖葡萄糖含量在綠葉的莖有最高表現，而自開始變色後，立即有戲劇性劇烈降低，降幅十分明顯，幾乎與對照組相差無幾（圖 24）。

這現象使我們感到十分好奇且疑惑，為何兩者呈不同步情況？由澱粉測試可看出綠葉的光合作用非常旺盛，葉內葡萄糖濃度應該可使本氏液變化明顯才是，結果與我們一開始臆測大相逕庭，最快讓本氏液變色的，竟是在完全變色苞葉的 C 組，綠葉組僅變成綠色，代表綠葉內的葡萄糖含量不高，而葉綠素含量很低的變色苞葉含有相當高的

葡萄糖。這現象十分有趣，後續試了金色秋天、聖誕玫瑰、粉紅桃莉的變色苞葉，結果都是很快地開始變色，代表高濃度的糖與葉子變色有相關，原因之一可能是無法行光合作用的苞葉自植株的根或莖運送大量的葡萄糖至苞葉，而苞葉再轉換成花青素等色素而使葉片變色；另一可能則是苞葉變色是因葉綠素或澱粉被大量分解轉換成葡萄糖，葡萄糖再與葉內色素進一步合成花青素而開始變色。這兩個問題再檢查過連接莖內葡萄糖濃度即得到答案，半變色葉及苞葉的莖內並沒有很高濃度的葡萄糖，換句話說，其實主要不是植株其他部位運送而來的高濃度糖使葉子變色，而是變色苞葉內本身累積而含有高濃度的糖。

根據之前的文獻與參考資料得知，植物葉片根據光照週期與環境變化，會產生離層酸(*abscisic acid*, ABA)，形成離層的葉會在與莖連接處，形成一層由薄壁細胞構成的物理性阻隔，葉片中葡萄糖難以輸出至莖，莖內維管束的養分亦難以運送到葉脈裡。因此，聖誕紅在進入開花季節後，莖頂感受部位開始分泌離層酸，使葉片與莖之間開始產生離層，因此，與莖連接的葉脈因澱粉、葉綠體儲存相對較少，在阻隔性離層產生後，最先開始變色，這也是前面我們觀察到半變色葉總是葉脈附近開始展色，最後，延伸至全葉。

綠葉在開花季節前儲存很多澱粉，葉肉細胞內亦含有許多葉綠體。當離層產生，澱粉、葉綠素開始分解後，便轉換成葡萄糖及其他代謝物。褪去葉綠素後葉片轉色也開始明顯，高濃度的葡萄糖一方面能提供已減少葉綠素的半變色葉生理活動所需養分，另一方面，降解後的葉綠素和葡萄糖也能轉換成花青素，使得半變色葉能完全地展現鮮艷的顏色成為完全變色苞葉，直到苞葉內葉綠素降至很低，澱粉也分解殆盡，細胞內葡萄糖含量愈來愈少，此時變色苞葉也近枯萎了。

(三) 葉綠素層析與分光光度計

1. 濾紙色層分析

濾紙色層分析的原理是利用色素對溶劑的親合力不同來分離，實驗所用的是 90% 的石油醚及 10% 丙酮的展開液來使色素分離，由於光合色素皆易溶於有機溶劑，而水溶性的花青素無法隨著展開液上升而留在原地，因此，本實驗主要在各品種、狀態葉

片內含的光合色素，花青素在萃取過程中大部分遺留在濾紙上（圖 25），隨濾液濾過的花青素則因毛細管所點的量極少且難溶於展開液而留在原點。

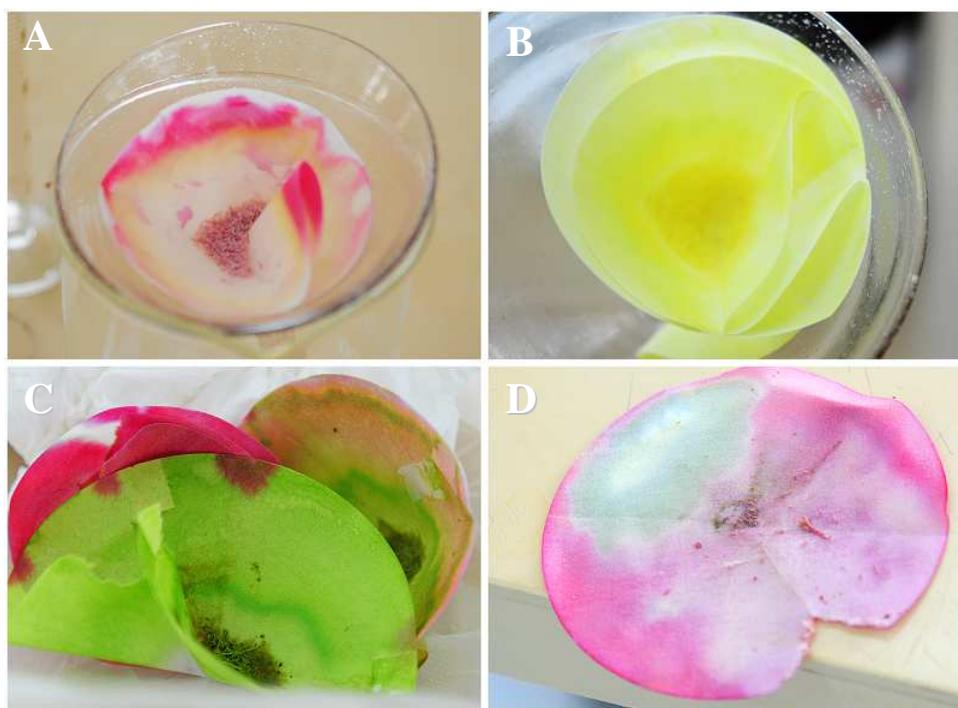


圖 25 殘存於濾紙上聖誕紅葉片的花青素

2. 分光光度計

比色計原理在於依據朗伯－比爾定律(Lambert-Beer's Law)所設計的儀器，根據所發出波長與溶液吸收值所設計而得的吸光值，濃度愈大，吸光值愈高，當吸光值在 0~1 間變化時，其變化最明顯而呈一線性關係，在此範圍內操作所得的實驗結果較具可信性。因此，我們經過幾度測試，並將個品種濾液統一稀釋至儀器最佳測定範圍，來定量比較葉片中所含的葉綠素。

葉綠素 a 與葉綠素 b 在 430~ 440nm 附近有一最大吸收值，而葉綠素 a, b 也是植物細胞內光合色素中內最主要的關鍵，因此，在各葉片 430nm 所測得的吸光值能代表葉綠素的含量，而葉綠素 a, b 另一吸收相對高峰落在 640~650nm 附近，雖相對吸收強度未如 430nm，但亦能代表葉綠素的含量，因此，我們另選定儀器中最接近 640nm 的 635nm 吸光做為另一判斷參考依據。

所得結果相當明顯，不管在 430nm 或 630nm 的吸收波長，各品種綠葉及苞葉皆存在顯著的差異，而各品種的綠葉彼此差異則不大，平均吸光值皆在 0.5~0.7 之間，而苞

葉則是隨品種有所差異，但幾乎在 0.1 以下，最低的金色秋天在 635nm 僅測得 0.008 的極低平均吸光值(在 430nm 也只有 0.076)，而苞葉最高吸光值的品種則在傳統紅(0.183, 430nm)與紅寶石(0.130, 430nm)，另兩種吸光值則是均不足 0.01；此結果也令我們感到有趣，傳統紅與紅寶石的美麗苞葉維持時間均相當久，而葉綠素含量低的另二種苞葉亦十分漂亮，但維持時間則不如以上兩者久，提高苞葉內的葉綠素含量是否與苞葉維持時間呈正相關是一個值得繼續研究的有趣問題。

由圖 21 我們亦證實了當綠葉開始變色後，葉綠素即大幅下降，一直到枯萎，葉綠素呈現一直降低的趨勢，落葉植物在大自然中，均具有這樣的現象，當離層形成，葉子即將枯萎，便開始分解葉綠素，也使美麗的花青素開始顯現，但在 635nm 的吸收光譜，由於處於葉綠素吸收值相對低點，所以偵測到的數字偏低，接近或已低於儀器的偵測極限，因此，在傳統紅的 635nm 吸收光譜，枯萎葉的吸收值 0.054 略高於完全變色苞葉吸收值 0.041，但因兩者都趨近於儀器線性值建議下限 0.05，因此，可以合理解讀為誤差。

三、葉綠素的螢光現象

光合作用中的光反應是能量來源是因葉綠體內葉綠素及其他聯合色素吸收光能後透過一連串的能量傳遞而驅動，而我們直接照光在新鮮葉片並沒有發現螢光現象，但是，萃取後的葉綠素離開葉綠體，吸收光能後，高能狀態的葉綠素因失去能量接受者而以螢光的方式發散出來。

對照我們實際測試的結果，白、綠、橘、藍、紅等可見光，都可以在我們的葉綠素溶液中照射紅色螢光光束，但綠光 LED 的紅色光束似乎較弱，但其他各色光的螢光現象以肉眼並無法明顯地做出區別。

紅色螢光光束的亮度及範圍，影響的變數很多，與我們萃取葉綠素使用的溶劑種類、萃取後葉綠素的濃度以及 LED 光源直接照射的角度都有關係，因此，除了比較明顯的綠光較弱外，在無法明顯量化的情況下，我們並沒有去比較各色螢光的強弱，但綠光較弱的可能原因，或許與葉綠素對紅、藍光有較明顯的吸收效率而對綠光吸收較差有關。

柒、結論

經由本研究的實驗與分析之後，我們歸納得到以下的結論：

- 一、聖誕紅秋冬季開花時，花苞週圍的苞葉葉片會有逐漸變色的情況。
- 二、聖誕紅變色苞葉葉片，因葉綠素含量逐漸降低，而使葉片澱粉量隨之降低。
- 三、聖誕紅葉片內葡萄糖在開始變色後提高，而在枯萎前急遽下降。
- 四、聖誕紅綠葉在分離漏斗法可分離出四種光合色素，而完全變色苞葉則無。
- 五、各品種聖誕紅綠葉在濾紙層析法可分離出四種色素，而苞葉只含胡蘿蔔素或無。
- 六、各品種聖誕紅綠葉在分光光度計葉綠素含量在 430nm 及 635nm 皆明顯大於變色苞葉，且葉綠素含量隨變色末期逐漸下降。
- 七、聖誕紅綠葉中葉綠素可使各色 LED 燈發出紅色螢光，但綠色 LED 燈源發出較弱；而紫外光燈則明顯發出血紅色螢光。
- 八、聖誕紅綠葉的莖葡萄糖含量高於半變色葉與苞葉的莖，顯示苞葉內高濃度的葡萄糖來自葉片內部而非外部運送。

捌、未來展望

一、醣類濃度與葉片變色

由實驗結果我們發現，在完全變色葉的葉片內含有高濃度的醣類，而此醣類來源很可能是來自快速減少的澱粉，大分子澱粉分解成小分子醣類，濃度逐漸累積而引發葉片變色反應。因此，我們未來企圖以人為方式，在聖誕紅的綠葉施以外加的高濃度的醣類，令其透過維管束進入葉肉細胞後，看看是否能誘發進一步變色反應；此外，若變色苞葉中的高濃度醣類是來自澱粉的分解，那即將變色的綠葉及半變色葉中必定含有大量的澱粉酶（ α -Amylase），且酵素作用與溫度密切相關，若能進一步測定秋冬開花期間各時期葉片的澱粉酶含量，即能進一步解答高濃度醣類與葉片變色的相關性，或許將來也能在炎熱的春夏期營造不同花色的熱情聖誕紅也說不定。

二、葉綠素螢光檢測

我們在此實驗中亦引進了葉綠素的螢光反應，原先亦想進一步用來檢測所分離的各種葉綠素，但是因有更精確、可靠的分光光度計可準確定量比較，因此以分光計的結果為主；另一方面，雖利用藍光 LED 及紫外光可以肉眼觀察到葉綠素螢光的強弱判定，但在定量上尚有許多困難需要克服，譬如說藍光的照度（Illuminance），與對螢光反應強弱定量的數據等，都要進一步去訂定標準，但若能建立具科學說服力的標準後，或許能進一步開發來在園藝上使用，讓花農能在商店或園區內，即能初步判定植株葉綠素含量的多寡，來方便推知上市的花期與植株健康程度等與葉綠素相關的資訊。

玖、參考資料

傅如彬、周子勤、高肇宏 (1989)。對聖誕紅葉變色的探討。第 29 屆中華民國全國中小學科學展覽作品說明書。國立台灣科學教育館科展群傑廳。

朱建鏞 (1998)。聖誕紅育種技術。聖誕紅生產技術與消費。台灣省桃園區農業改良場特刊第 12 號 5-11 頁。

王月雲、陳是瑩、童武夫 (2000)。植物生理學實驗(增訂版)。藝軒圖書出版社。88-98 頁。

章錦瑜 (2004)。灌木賞花圖鑑。晨星出版有限公司。台北。352 頁。

張碧員 (2005)。賞葉：葉生活&葉形圖鑑。商周出版社。

張蕙芬、張碧員、呂勝由、陳一銘、傅蕙苓 (2006a)。台灣野花 365 天春夏篇。天下遠見股份有限公司。台北。

張蕙芬、張碧員、呂勝由、陳一銘、傅蕙苓 (2006b)。台灣野花 365 天秋冬篇。天下遠見股份有限公司。台北。

潘瑞熾 (2006)。植物生理學。藝軒圖書出版社。

田中修(Osamu Tanaka)著、吳佩俞譯 (2009)。不可思議的葉子-圖解葉子的神奇構造與功能。晨星出版社。

【評語】 030310

1. 本研究探討聖誕紅的苞葉在變色過程中，其葉綠素與糖分含量的變化情形。國中生作者能針對老師上課教學內容抱持懷疑的態度，極富科學精神。
2. 本研究對自然界有趣現象進行探討，有學術意義。
3. 實驗設計能妥善運用上課所學，學以致用並詳加觀察和試驗，並適當地應用統計方法分析實驗數據。
4. 國內較缺相關探討，但國外有相關文獻發表 (Woodrow and Grodzinski (1987) Ethylene Evolution from Bracts and Leaves of Poinsettia, *Euphorbia pulcherrima* Willd. *J Exp Bot* 38 (12): 2024-2032.)。

作品海報

壹 研究動機

「叮叮噠、叮叮噠、鈴聲多響亮...」鈴聲入冬，聖誕節前後，紅紅綠綠的聖誕紅是應景氣洋洋的植物了。媽媽總會準備一盆一盆的聖誕紅栽來慶祝。到了花市，玲瓏滿目、大大小小的聖誕紅不讓人目不暇給，正當認真挑選的同時，更發現不只有原先印象中紅紅綠綠的聖誕紅，也留意到了竟然出現黃色、金色、粉色……等新奇的顏色，甚至像玫瑰花瓣的聖誕紅也出現了！觀察的同時我們也注意到，聖誕紅的「花」跟它的葉片長得很像，甚至還看到了藍色跟一半的綠葉，這些跟葉片很像的「花」，似乎都集中在植株的上部，而整群「花」的中間，竟又出現圓珠狀的小花苞……種種新鮮有趣的現象，不讓我們對這些原本再熟悉不過的植物重新再燃起一股研究的熱忱，在與老師討論與上網蒐集資料過後，得知原來這些像葉片的「花」，其實就是由綠葉轉變而來的苞葉。

「綠葉怎麼會變成了花，花葉拜拜變成了果實。」印度詩人姜文爾這樣形容葉片因愛而美麗！這些令我們感到讚嘆不已的美麗葉片究竟還存在什麼樣的功能？如此漂亮的葉子是否存在葉綠素呢？能行光合作用嗎？

貳 研究目的

- 一、聖誕紅外部構造及葉片變色過程觀察。
- 二、檢測聖誕綠葉與苞葉是否行光合作用製造澱粉。
- 三、以本氏液檢測聖誕綠葉與苞葉內葡萄糖的含量。
- 四、以分液漏斗檢測並分離聖誕紅綠葉與苞葉中葉綠素。
- 五、以濾紙色層分析法檢測並分離聖誕紅綠葉與苞葉中葉綠素。
- 六、以分光光度計檢測聖誕紅綠葉與苞葉內葉綠素含量。
- 七、以不同LED印色光觀察並測試聖誕紅綠葉葉綠素的發光現象。
- 八、以本氏液檢測聖誕綠葉與苞葉內葡萄糖含量。

參 研究設備及器材

- 一、材料：
聖誕紅 (*Euphorbia pulcherrima*)、本氏液、碘液、甲醇、乙醇、乙醚、丙酮、石蕊紙、圓形濾紙、長條濾紙、氯化鈣、蒸餾水。
- 二、設備：
電子秤、研鉢及研杵、分液漏斗、試管、試管架、分光光度計、洗瓶、烤箱、刀片、鑷子、解剖顯微鏡、滴管、量筒 (100mL、25mL、10mL)、燒杯 (1L、500mL、250mL)、LED燈源 (紅光、白光、藍光、綠光、橘光)、紫外光燈、培養皿、數位相機。

肆 研究方法

- 一、聖誕紅外部構造及苞葉觀察
(一) 外部構造觀察
選擇具有完整苞葉、花苞的健康聖誕紅觀察構造 (圖1A)，分析花與藍色苞葉的不同並拍照記錄觀察苞葉由綠色轉色的過程 (圖1B)。



圖1 聖誕紅外部構造及苞葉觀察

- (二) 花的觀察
取聖誕紅盛開的花苞，觀察記錄花的雄蕊等各個部位構造，並以刀片切開花苞 (圖1B)，觀察雄蕊內部的子房等構造。
- 二、檢測聖誕紅綠葉與苞葉是否行光合作用製造澱粉
經由初步觀察，聖誕紅藍色苞葉可由綠葉漸漸變色而來，為了確定完全變色的苞葉是否仍具光合作用能力，我們以國中生物理學學習過的光合作用產物檢驗法來測試。

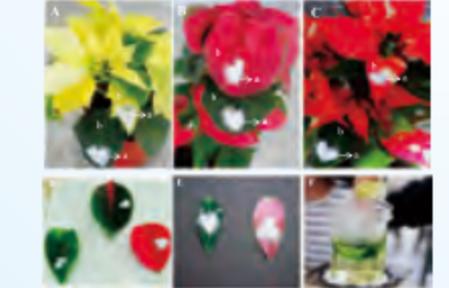


圖2 聖誕紅綠葉與苞葉是否行光合作用製造澱粉

- 三、以本氏液檢測聖誕綠葉與苞葉內葡萄糖的含量
為了確定聖誕紅綠葉、半藍色葉與完全變色的苞葉行光合作用後葡萄糖產物的量，我們也一併測試在不同品種聖誕紅綠葉、半藍色葉及完全變色的苞葉上，其葉肉內葡萄糖濃度是否具差異。葡萄糖為光合作用的直接產物，具有還原性，濃度高可使原本呈藍色本氏液依次轉變為綠色、黃色、橙色與紅色。



圖3 以本氏液檢測聖誕紅綠葉與苞葉內葡萄糖的含量

- 四、以分液漏斗檢測並分離聖誕紅綠葉與苞葉中葉綠素
植物色素在不同有機溶劑中有著不同的溶解度，例如葉綠素a及胡蘿蔔素較為親脂性，易溶於極性較低的石油醚或甲苯中；而葉綠素b及葉黃素則較為親水性，故可溶於極性較大之甲醇、丙酮或酒精中。運用此特性，我們試著分離萃取並分離聖誕紅綠葉與苞葉中的葉綠素。



圖4 以分液漏斗萃取並分離聖誕紅綠葉與苞葉中葉綠素

- 五、以濾紙色層分析法檢測並分離聖誕紅綠葉與苞葉中葉綠素
植物色素在不同有機溶劑中的溶解度不同，利用此一特性可將植物色素分離，先以丙酮萃取，隨後觀察石油醚之移動，植物色素因極化力的差異會隨著其在濾紙上之向上移動而有分離的效果。



圖5 以濾紙色層分析法檢測並分離聖誕紅綠葉與苞葉中葉綠素

- 六、以分光光度計檢測聖誕紅綠葉與苞葉內葉綠素含量
植物葉綠素在波長430-490nm (藍光區)與630nm-660nm (紅光區)具有最大的吸收值，測定在定量樣品在波長430nm與635nm的吸收值，同樣精確度量下的吸收值愈高即代表葉綠素的量愈多。



圖6 以分光光度計檢測聖誕紅綠葉與苞葉內葉綠素含量

- 七、以不同LED印色光觀察並測試聖誕紅綠葉葉綠素的發光現象。
我們在檢驗不同品種聖誕紅的綠葉過程中，新鮮萃取出來的葉綠素透過光線觀察發現顯約出現藍白色的螢紅色現象，經過老師對於顯與實驗資料後，得知這是葉綠素特有的螢光現象，恰好我們手邊有不同顏色的LED顯顯，於是便與組一併研究不同LED色光下葉綠素螢光現象的實驗。



圖7 以不同LED印色光觀察並測試聖誕紅綠葉葉綠素的螢光現象

- 八、以本氏液檢測聖誕紅綠葉與苞葉內葡萄糖含量的比較。
我們取相同重量的1.0g傳統聖誕紅綠葉 (圖9A)、半藍色葉 (圖9B)與完全藍色苞葉 (圖9C)的連接莖，使用110°C烤箱烘乾去除多餘水分後，再使用90%丙酮隔水加熱萃取葉綠素，花青素等色素使呈潔白色，以雙蒸水及研鉢研碎後 (圖9D)，各取0.5ml濾液、2ml本氏液分成四組；A. 綠葉的莖、B. 半藍色葉的莖、C. 完全藍色葉的莖、D. 空白對照組 (對照組以0.5ml代替濾液) (圖9E)，隔水加熱後觀察其顏色變化 (圖9F)。



圖8 以本氏液檢測聖誕紅綠葉與苞葉內葡萄糖含量的比較

伍 研究結果

- 一、聖誕紅外部構造及苞葉觀察
(一) 聖誕紅外部構造及苞葉觀察
聖誕紅以美麗花形而色彩豐富的苞葉著稱，在本實驗使用的聖誕紅品種，除最常見、最受歡迎的傳統紅綠葉聖誕紅 (圖10E)外，另以黃色系 (金色秋天，圖10A)、改良花型系 (玫瑰聖誕紅，圖10B)、黃綠色系 (紅寶石，圖10C)與粉紅色系 (粉紅桃紅，圖10D)加以對照觀察。
聖誕紅真正的花位於頂端上位，多呈黃或紅色。秋冬開花時期的聖誕紅，花苞葉片的新生苞葉會直接顯色 (圖11A)，而靠近花苞，最先轉綠的綠色葉片，則會由葉動開始，白葉的基部呈漸進式的顯色。(圖11A, B, C, D, E, F)



圖10 聖誕紅品種 (A. 金色秋天、B. 玫瑰聖誕紅、C. 紅寶石、D. 粉紅桃紅、E. 傳統紅)

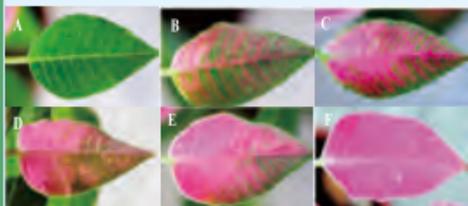


圖1 聖聖紅葡萄葉形態

(二) 花的觀察

聖聖紅的花為大花序，外觀由一圓錐繖球狀的總苞所構成(圖12C)，顏色隨著花序成熟而變化，前期有小紅色或其它顏色對片，成熟後有蜜露，可分泌蜜露吸引其授粉(圖12B, 12D)。聖聖紅為兩性花(圖12E)。雄花為雄蕊，由中央向外伸展，下方有膨大的子房，內含一至三顆胚珠(圖12H)；雌花僅具柄的總苞(圖12I)，由柄內產生出，並在總苞中形成一杯狀花序(圖12J)。



圖2 聖聖紅花的結構

二、檢測聖聖紅綠葉與舊葉能否行光合作用製造澱粉

光合作用產物檢驗結果，不同品種聖聖紅在澱粉測試的結果均一致現象，各品種綠葉在加入碘液後，均呈現深褐色至黑色，而以幼葉心葉呈黃色，在隔絕日光照射七天加入碘液後，顏色變淡而深，與陽光綠葉深褐色有明顯對比而出現愛心形。(圖13, 圖14)而各品種半變色葉在澱粉測試結果與綠葉結果有一致現象，高加碘液後亦呈現深褐色，對片葉片與綠葉比呈黃色區域，但仍比舊葉深，以幼葉心葉呈黃，在隔絕日光照射七天並加入碘液後，顏色亦變淡，與陽光葉亦亦有明顯對比而出現愛心形(圖13, 圖14)。



圖14 不同品種聖聖紅澱粉測試圖

三、檢測聖聖紅綠葉與舊葉糖含量的比較

以本氏液檢驗葉片糖含量結果，綠葉可讓本氏液變藍綠色，半變色葉變藍，並呈綠色，而舊葉可明顯本氏液快速變化並變成偏紅色，而舊葉後將結實舊葉，則只讓本氏液變為藍色，在與紅綠葉及相對照組比較時，可見到有藍色結實舊葉的現象(圖15a, 15c)。

若將本氏液對舊葉變色結果為軸，A-B各組葉片再加入對照B為橫軸，可以得到到，顯示紅綠葉完全完全，而舊葉變色時，糖含量會有上升趨勢，但變色後期的舊葉糖含量則又快速降低。(圖16)

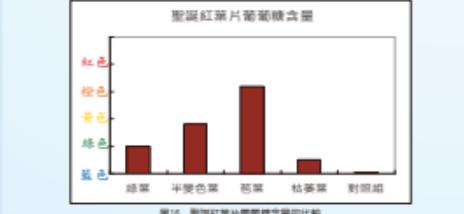


圖16 聖聖紅葉片葡萄糖含量的比較

四、以分光測光計檢測聖聖紅綠葉與舊葉中葉綠素含量並分析

從分光測光計檢測聖聖紅綠葉與舊葉中的檢測結果來看，新鮮的聖聖紅綠葉可以分出四種光合色素，並有著不同顏色：完全變色的舊葉在分光測光計測試難以肉眼看出光合色素的存在(圖17F)，僅能強分辨出金黃色的胡蘿蔔素。(圖17G)



圖17 分光測光計檢測聖聖紅綠葉與舊葉色素

五、以濃度色層分析法檢測聖聖紅綠葉與舊葉中葉綠素含量並分析

從濃度色層分析法檢測聖聖紅綠葉與舊葉中的檢測結果來看，新鮮的聖聖紅綠葉可以分出四種光合色素，並有著不同顏色：完全變色的舊葉在濃度色層分析法檢測難以肉眼看出光合色素的存在(圖18F)，僅能強分辨出金黃色的胡蘿蔔素。(圖18G)

在舊葉部分，用明顯與綠葉有所不同，各品種均僅能在滴入基準線為中心的附近見到呈圓形的花青素，而無法看見葉綠素a、葉綠素b與葉黃素，以內顯強勁強可見金黃色的胡蘿蔔素。(圖19)



圖18 濃度色層分析法檢測聖聖紅綠葉與舊葉色素(橫向)

圖19 濃度色層分析法檢測聖聖紅綠葉與舊葉色素

六、以分光測光計檢測聖聖紅綠葉與舊葉內葉綠素含量

以分光測光計檢測各品種綠葉與舊葉葉綠素的吸光值均有明顯的差異，在430nm部分，各品種綠葉平均吸光值均在0.5-0.7之間(圖20)，而完全變色舊葉，僅在0.1左右(圖20)；以換至635nm的吸光值，亦有同樣情形，各品種綠葉平均吸光值在0.19-0.24之間，完全變色舊葉，僅在0.04以下(圖20)。

以葉片各階段完整度最高的傳統紅為對象，加入葉片新鮮綠葉至將結實舊葉來看，葉綠素的吸光值在430nm有逐漸下降趨勢，而635nm的葉綠素吸光值在舊葉期的葉片亦呈下降趨勢，但最終結實葉平均吸光值比完全變色舊葉高，但相差不大(圖21)

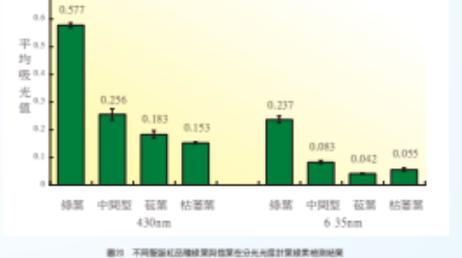


圖21 不同品種葉綠素與舊葉分光光度計計算檢測結果

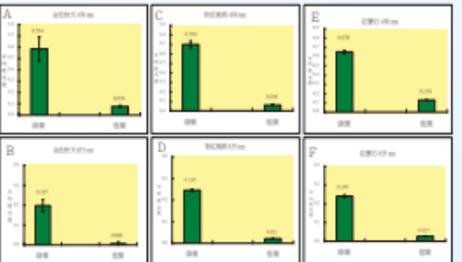


圖22 傳統聖聖紅不同階段葉片在分光光度計檢測結果

七、以不同顏色光觀察並測試聖聖紅綠葉葉綠素的顯光現象

在白光照射觀察，在良好隔絕光的暗室中均可以肉眼觀察出明顯紅色螢光光(圖22)，光束的大小與照射的距離，發光功率及光束的波長光密相關，在白光、藍光、綠光、紅光、印光照射下，調整照射角度均可見明顯紅色螢光光(圖22a, 22c, 22d, 22e)，但在綠光、印光照射下，紅色螢光光有較弱的表現。而在紫外線下照射，葉綠素溶液不但有明顯紅色光(圖22f)，甚至整個溶液均反射呈現紅色之螢光光(圖22g, 22h)。

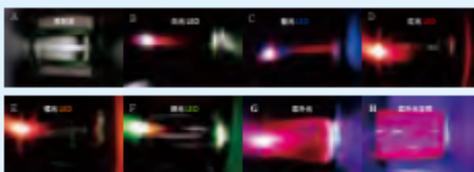


圖22 不同顏色光譜的聖誕紅葉綠素的螢光光譜

(三) 葉綠素含量與分光光度計

1. 濾紙色層分析

濾紙色層分析的原理是利用色素對溶液的親合力不同來分離。實驗所用的是90%的石油醚及10%丙酮的混合液來使色素分離。由於光合色素皆易溶於有機溶劑，而水溶性的花青素無法隨著液體上升而在薄板上。因此，本實驗主要在各品種、狀態葉片內含的光合色素。在薄板上萃取過程中大部分會留在濾紙上。隨液體流過的花青素則因毛細管所黏的膠帶少且溶劑於液體而留在膠帶上。

2. 分光光度計

葉綠素a與葉綠素b在435~440nm附近有一最大吸收值，而葉綠素a、b也是植物細胞內光合色素中內最主要的關鍵。因此，在葉片435nm所測得的吸收光值能代表葉綠素的含量，而葉綠素a、b另一吸收相對高峰落在640~650nm附近，雖相對吸收強度未加430nm，但亦能代表葉綠素的含量。因此，我們只測定儀器中最接近640nm的635nm吸收值為另一判斷參考依據。

所得結果相當明顯，不管在435nm或630nm的吸收波長，各品種綠葉及葉片皆存在顯著的差異，而各品種的綠葉彼此差異則不大。平均吸收值皆在0.5~0.7之間，而葉片則隨品種有所差異，但幾乎在0.1以下。最低的全色秋天在635nm僅測得0.008的極低平均吸收值(在430nm也只有0.076)，而葉片最高吸收值的品種則在傳統紅(0.183、430nm)與紅寶石(0.130、430nm)。另兩種吸收值均是不定0.01，此結果也令我們感到有異。傳統紅與紅寶石的美麗綠葉維持時間均相當久，而葉綠素含量低的另兩種葉片亦十分漂亮，但維持時間則不知比上兩者久，提高葉片內的葉綠素含量是否與葉綠素維持時間呈正相關是一值得繼續研究的有趣問題。

由圖21我們亦證實了當綠葉開始變色後，葉綠素即大幅下降，一直到枯槁，葉綠素呈現一直降低的趨勢。落葉植物在大自然中，均具有這樣的現象，當葉片形成，葉子即將枯槁，便開始分解葉綠素，也使美麗的花青素開始顯現，但在635nm的吸收光譜，由於處於葉綠素吸收值相對低點，所以檢測到的數字偏低，接近或低於儀器檢測的偵測範圍。因此，在傳統紅與635nm吸收光譜，枯槁葉的吸收值0.054高於完全變色葉綠素吸收值0.041，但因兩者都接近於儀器偵測值建議下限0.05，因此，可以合理解釋為誤差。

八、以本氏液檢測聖誕紅綠葉與各葉片內葡萄糖含量的比較

綠葉的葉色本氏液反應紅色、半變色葉的葉色本氏液反應綠色(圖23A, 23B)，而舊葉的葉，可見到有藍色略偏綠的現象(圖23C, 23D)。



圖23 聖誕紅葉片內葡萄糖含量的比較

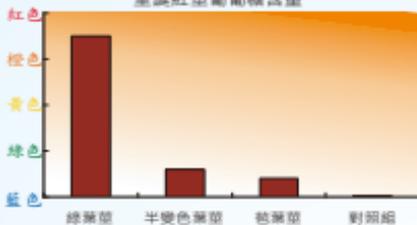


圖24 聖誕紅葉片內葡萄糖含量比較

陸 討論

一、聖誕紅紅外顯構造及葉片變色過程探討
秋天開花季節的聖誕紅，其葉綠素之轉化從葉面開始(圖11B)。最先變黃綠色的葉面，隨後轉為紅色，而葉基部則變為藍綠色的葉色。此種，伴隨著葉片的葉綠素大幅分解而減速，使得葉片中葉黃素及花青素等其他色素開始顯現(圖11F)。

變色的過程，主要在於葉內花青素的表現。不同品種的聖誕紅，所含成與儲存花青素量均不一，加上花青素極易受pH值影響而隨葉內pH值的環境轉色，而聖誕紅種人為轉種而有各式各樣的不同顏色的品種。當中的關鍵可能就在於細胞內花青素的控制。我們在進行分析實驗的同時，亦嘗試將在不同品種的萃取液加入不同的pH值液來觀察顏色變化，多變的花青素不只會隨著pH值轉色，光質、與空氣濕度變化等因子皆能使我們與實際好顏色試液隨再變化，也不禁讓我們驚嘆大自然對顏色的掌控能如此精準穩定。

二、澱粉、葡萄糖、葉綠素含量與光合作用

(一) 澱粉與光合作用

各品種葉綠素a與b與對照組a、b對比均不明顯，表示葉內澱粉沒有澱粉儲存；對照綠葉與半變色葉組，兩者a、b與a、b均有明顯對比，而能顯現心形，但綠葉組結晶呈深褐色近黑色，半變色葉深褐色程度不如綠葉組，舊葉組結晶呈淺褐色或淡褐色；根據此結果，可推斷結晶呈深褐色葉，其澱粉含量有逐漸下降之趨勢，其原因在於舊葉葉綠素已大幅下降，因此無法有效地進行光合作用合成澱粉，另一原因則可能澱粉被大量分解成葡萄糖供葉片生理活動用。

(二) 葡萄糖與光合作用與葉綠素

葡萄糖為葉片行光合作用的直接產物，亦為維持細胞生理活動所必需的基本養分分子。由葉與本氏液測試實驗結果分析，葉片中葡萄糖的含量在綠葉不高而在白葉片開始變色後立即增加，於完全變色葉時有最高值，但隨後又再次逐漸降低(圖16)；對照葉片內葡萄糖的含量發現，葡萄糖含量在綠葉的葉有最高表現，而白葉片變色後，立即有戲劇性劇烈降低，降幅十分明顯，幾乎與對照組相差無幾(圖24)。

這現象使我們感到十分好奇且疑惑，為何兩者呈不同步情況？由澱粉測試可看出綠葉的光合作用非常明顯，葉內葡萄糖量應該可使本氏液變色明顯於白葉。結果與我們一開始的假設，葉內葡萄糖量應該可使本氏液變色，與在完全變色葉葉的0.03。綠葉組僅變成綠色，代表綠葉內的葡萄糖含量不高，而葉綠素含量低的變色葉含有相當高的葡萄糖。這現象十分有趣，後續試了全色秋天、聖誕玫瑰、粉紅紅的變色葉葉，皆很快開始顯現，代表著高含量的澱粉與葉子顏色有相關，可能無法進行光合作用而舊葉白綠葉的收成或快速大量的葡萄糖至舊葉，而舊葉再轉變成花青素等色素而分解成葡萄糖。另一可能則是舊葉變色的原因因葉綠素被消耗於大量分解成葡萄糖，葡萄糖再與葉內色素進一步合成花青素而開始顯色。這兩種結果均與上述澱粉葉片內葡萄糖量即得到答案，半變色葉、舊葉葉內並沒有很高含量的葡萄糖，換句話說，其實主要不是植株其他部位運來的高濃度葡萄糖使葉子變色，而是變色葉葉內本身累積而含有高濃度的糖。

舊葉之前文獻與參考資料得知，植物葉片根據光照週期與環境變化，會產生糖酸類(abscisic acid, ABA)，形成離層的葉會與與葉連接處，形成一層由薄壁細胞構成的物理性阻隔，葉片中葡萄糖難以輸出至空氣，葉內糖管的變色亦難以運送到葉脈管。因此，聖誕紅在進入開花季節後，葉脈管變色的開始分解離層，使葉片與葉之間開始產生離層，因此，與上述運來的糖酸亦難以運送到葉脈管，在因糖酸離層產生後，最先與葉脈管連接處，這也是當我們觀察到半變色葉總是葉面附近開始變色，最後，延伸至全葉。

綠葉在開花季節儲存很多澱粉，葉內細胞內亦含有許多葉綠素。當離層產生後，澱粉、葉綠素開始分解後，便轉成葡萄糖及其他代謝物。隨去葉綠素後葉片轉色也開始明顯，高濃度的葡萄糖一方面提供已減少葉綠素的半變色葉生理活動所需養分，另一方面，降解後的葉綠素和葡萄糖也能轉成花青素，使半變色葉葉完全地展現出鮮豔的顏色成為完全變色葉。直到舊葉內葉綠素降至很低，澱粉也分解殆盡，細胞內葡萄糖含量愈來愈少，此時變色葉也近枯槁了。

植物色素的吸光光譜(absorption spectra)

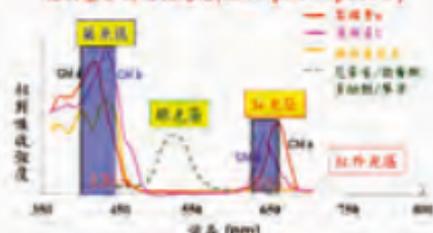


圖21 植物色素的吸收光譜

三、葉綠素的螢光現象

光合作用中的光反應是能量來源是因葉綠體內葉綠素及其他聯合色素吸收光能後透過一連串的能量傳遞而驅動，而我們直接照光在新鮮葉片並沒有發現螢光現象，但是，若將葉片葉綠素能阻斷澱粉，吸收光能後，高能狀態的葉綠素因失去能量接受者而以螢光的方式發散出來。

對照我們實際測試的結果，白、綠、橘、藍、紅等可見光，都可以在我們的葉綠素溶液中照射紅色光線內，但綠光、印的紅色光線似乎較弱，但其他各色光的螢光現象以肉眼並無法明顯地做出區別。

柒 結論

經由本研究的實驗與分析之後，我們歸納得到以下的結論：

- 一、聖誕紅秋冬季開花時，花色顯著的舊葉葉片會有逐漸變色的情況。
- 二、聖誕紅變色葉葉片，因葉綠素含量逐漸降低，而使葉片澱粉隨之降低。
- 三、聖誕紅葉片內葡萄糖在開始變色後提高，而在枯槁後逐漸下降。
- 四、聖誕紅綠葉在分離澱粉法可分離出四種光合色素，而完全變色葉葉片則無。
- 五、各品種聖誕紅綠葉在濾紙層析法可分離出四種色素，而舊葉只含葉黃素或葉素。
- 六、各品種聖誕紅綠葉在分光光度計葉綠素含量在430nm及635nm證明大於變色葉色，且葉綠素含量隨變色天期逐漸下降。
- 七、聖誕紅綠葉中葉綠素可使各色LED燈發出各色螢光，但綠光、印燈管發出較弱；而紫外光則明顯發出紅色螢光。
- 八、聖誕紅綠葉的葉內葡萄糖含量高於半變色葉與舊葉的葉，顯示葉內高濃度的葡萄糖來自葉片內部而非外部運送。

捌 參考資料

潘瑞雄。(2006)。植物生理學。暨軒書局出版社。
傅如彬、周子瑜、高澤宏。(1989)。對聖誕紅變色的探討。第29屆中華民國中小學科學展覽會作品說明書。國立台灣科學教育館出版。
王月全、陳建豐、龔宇天。(2000)。植物生理學實驗。(增訂版)。暨軒書局出版社。88-98頁。
田中耕 著 Osamu Tanaka - 吳佩蘭譯。(2009)。不可思議的葉子-顯微葉子的神奇構造與功能。晨星出版社。
張碧蘭。(2005)。實業：葉生活&葉形圖鑑。商周出版社。
朱建雄。(1990)。聖誕紅高產技術。聖誕紅生產技術與消費。台灣省林園事業改良場特刊第12號。5-11頁。
張麗芬、張碧蘭、呂錦由、陳一銘、傅應芬。2006a。台灣野花365春天喜慶。天下遠見股份有限公司。台北。
張麗芬、張碧蘭、呂錦由、陳一銘、傅應芬。2006b。台灣野花365秋天喜慶。天下遠見股份有限公司。台北。
章錦強。2004。還不見花滿地。晨星出版有限公司。台北。357頁