

對聖誕紅葉變色的探討

國中組生物科第三名

新竹市立建華國民中學

作 者：傅如彬、周子勤、高肇宏

指導教師：彭欽銘

一、研究動機

在點綴大自然的一片詩意中，功勞最大的應該算是植物界各式各樣而又多彩多姿的顏色了。然而在這些鮮豔美麗的顏色背後，却都隱藏了生物界某種神秘而又複雜的構造，值得我們細細的去思考探索。而在此衆多色彩繽紛的植物中，最令我心怡的便是聖誕紅這種廣為人所熟知的植物。可是我們是否想過聖誕紅葉為什麼在特定的時期內才會變色呢？促使其變色的主要因素及過程是什麼？而變色對其生理的功用和影響又是什麼呢？現在就讓我們動手一起來研究吧！註：聖誕紅（Xmas Flower）又名一品紅、猩猩木及向陽紅，其學名為 *Euphorbia pulcherrima* 屬於大戟科 Euphorbiaceae 是落葉灌木，原產地在墨西哥，中美等熱帶地區，但在臺灣等副熱帶地區也能生長並繁殖後代，株高可達 3 ~ 4 m，葉呈卵圓形盾狀有柄約 8 ~ 14 cm 長且邊緣有波狀淺裂菱角。苞呈深猩紅色，披針形多數叢生於枝頂，基部著生大戟花序 1 ~ 2 枚，花期約 12 ~ 1 月（在臺灣而言），折斷枝葉時分泌出白色有毒汁液，繁殖多採扦插法。

研究總目的：以各實驗、觀察項目之結果，推論並說明聖誕紅葉變色現象及過程背後所隱藏的最終原因和其中在植物生理學上所代表的意義。

二、研究問題

在初次觀察聖誕紅葉變色的過程中，我們發現其上層葉在特定的時節內，由綠色轉變成紅色。經由一段時間後，逐漸變黃枯死了，於是我們便產生了下列疑問(1)葉內葉綠素含量有改變嗎？倘若有為什麼改變呢？(2)葉內所含的紅色素是什麼？原本就存在嗎？若否，則又如何產生的？而又為什麼要產生呢？(3)為什麼只有在上層葉才有此變色現象呢？(4)葉子在變色末期為何會凋萎呢？(5)為什麼只有在特定的季節才會出現此變異情形呢？(6)聖誕紅變色對其本身有何功用？為了解決上述種種問題，我們便設計一連串簡單的實驗，期能有所得。

三、實驗過程

實驗(一)：聖誕紅其紅葉內所含色素之測定

1. 實驗目的：利用酸鹼溶液或其它物質與該色素作用所產生的化學變化，檢驗並比較出聖誕紅其紅葉內所含的色素是什麼？

2. 實驗器材：(1)磨鉢 (2)烤箱 (3)濾紙 (4)小蘇打 (NaHCO_3) 20g (5)醋酸 (CH_3COOH) 4.5% - 20 ml (6)尼古丁溶液 (Nicotin) 10ml (7)酒精 ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) 400 ml (8)大燒杯 (500 ml) 一個 (9)小燒杯 (200 ml) 一個 (10)酒精燈 (11)夾子一支 (12)試管三支 (100 ml) (13)蒸餾水 500 ml (14)聖誕紅葉 (完全變色) 7 — 10 片。

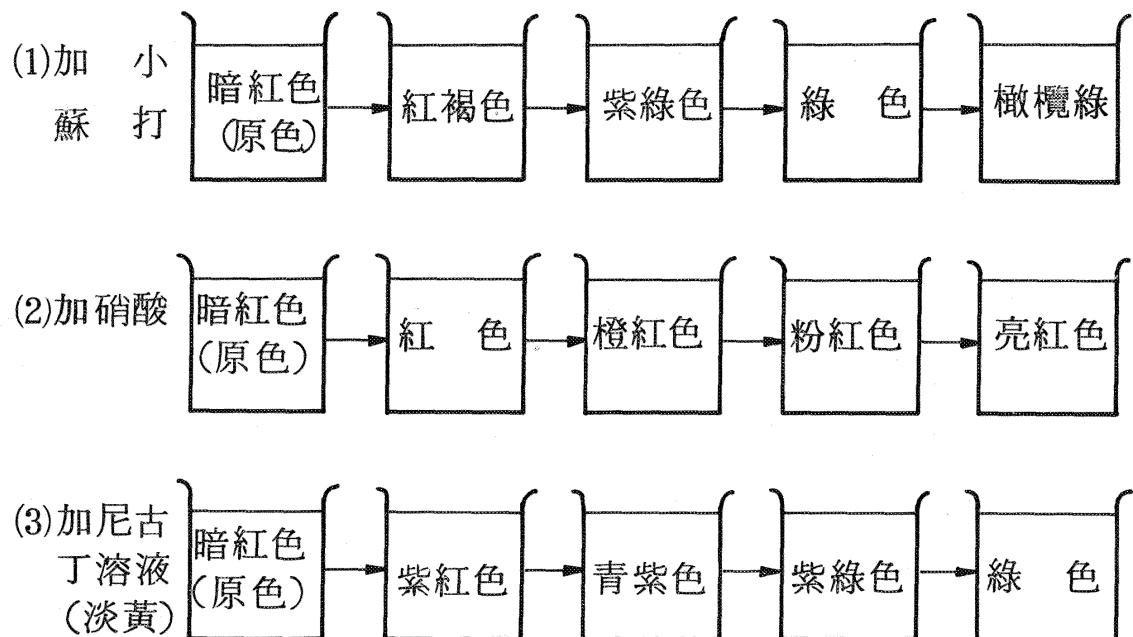
3. 實驗步驟：

- (1)先將此 7 — 10 片葉放入溫高 110°C 的烤箱中一小時。
- (2)將烘乾後的葉片放入磨鉢中磨成細粉狀。
- (3)將細粉倒入有丙酮溶液或蒸餾水的燒杯中，再經由濾紙倒入試管中，如此重覆多次，直到剩下的粉狀物層無法溶解為止。
- (4)再分別等量倒入編號為 A_1 、 A_2 、 A_3 支試管中。
- (5)將 A_1 加入約 5 g 的小蘇打， A_2 加入醋酸約 10 ml， A_3 則

加入淡黃色的尼古丁溶液。

(6) 觀察上述各試管內液體顏色變化情形，並加以紀錄比較。

4. 觀察實驗紀錄表：



5. 實驗結果與推論：

從上述實驗中我們發現聖誕紅其紅葉內所含的色素能與鹼類物質作用，使得顏色由脂紅轉變成污綠色，也能與酸類物質作用，其液色則由紅轉變成青紅色。此酸鹼變化情形與含有花青素（anthocyanin）的植物葉片所產生的結果極其相近，於是利用花青素測劑—尼古丁溶液發現顏色由暗紅轉變成綠色，故可確定聖誕紅其紅葉內之色素大部分是花青素。然而花青素的產生和植物體內葡萄糖的恆定性被破壞有密切的關係，於是我們又更進一步的做了以下實驗(二)。

實驗(二)：

聖誕紅變色葉與未變色葉內，葡萄糖與澱粉含量之測定。

1. 實驗目的：

藉此了解聖誕紅其葉內葡萄糖與澱粉含量之變化，是否跟其葉色發生改變有密切關係。

2. 實驗器材：

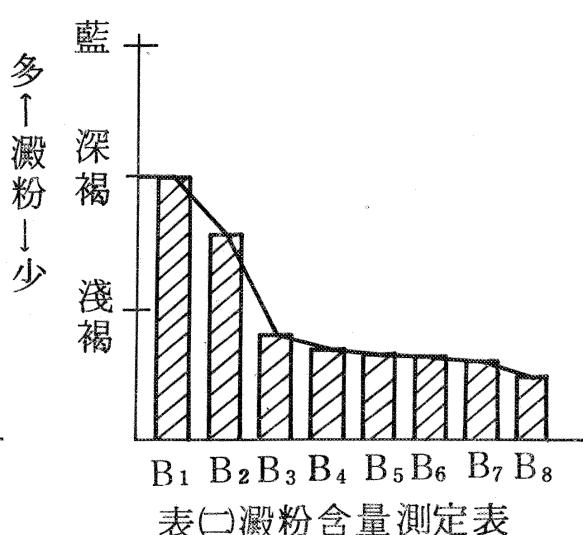
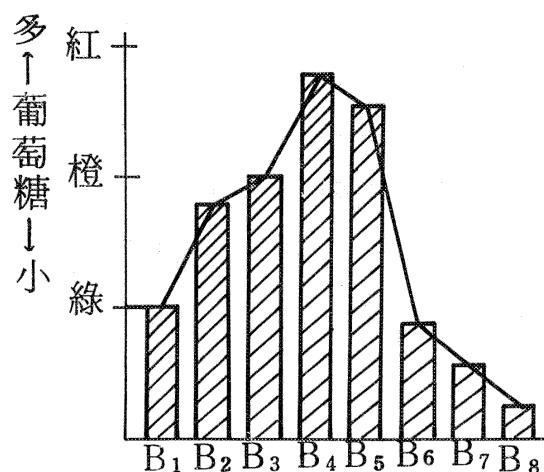
(1) 本氏液 0.5% — 20 ml (2) 碘液 — 20 ml

- (3)丙酮溶液 1.5 %—500 ml (4)酒精 500 ml 。
- (5)大燒杯 500 ml 一個 (6)小燒杯 200 ml 一個 (7)夾子一支。
- (8)酒精燈 (9)自來水 400 ml (10)乳頭滴管二支。
- (11)玻璃八個 (12)聖誕紅葉依 15 天為一期分為 $B_1 \rightarrow B_2 \rightarrow B_3$
 $\rightarrow B_4 \rightarrow B_5 \rightarrow B_6 \rightarrow B_7 \rightarrow B_8$ 其中 B_1 是未變色葉， B_2 、 B_3 、 B_4 則是半變色葉， B_5 、 B_6 、 B_7 是全變色葉， B_8 是已變黃枯死的葉片。

3. 實驗步驟：

- (1)利用丙酮當溶劑，將聖誕紅葉片之葉綠素及花青素一一洗去。
- (2)把經過脫色手續的聖誕紅葉片分別用夾子放入玻璃皿內倒入定量的本氏液，最後觀察並紀錄其顏色變化情形。
- (3)同步驟(1)(2)法，將本氏液改用碘液。註：(1)花青素可被丙酮、乙醇等溶解，但甲醇、乙醚不可 (2)丙酮也可以溶解葉黃素，但效果較差，仍會餘留部分葉黃素在葉片上 (3)選擇聖誕紅葉片的大小、形狀大約一致。

4. 觀察實驗紀錄表：



5. 實驗結果與推論：

根據以上的結果我們提出了幾點疑問：

- (1)在葉組 $B_1 \sim B_4$ 間葡萄糖量增加迅速是否是植物體本身大量製造葡萄糖，還是植物運輸糖分的組織受阻，大量葡萄糖積留在

葉內，或是葡萄糖向上運輸積留葉中，葡萄糖被利用機會減少。

(2)在葉組 $B_4 \sim B_8$ 間葡萄糖量銳減則可能是葡萄糖被大量利用消耗却無法再製造合成還是葡萄糖受某種酶的作用而轉化成別的物質了，或是葡萄糖向下運輸速率增快，葉內製造葡萄糖速率變慢，澱粉含量之測定中我們同樣的也提出了幾個問題：(1)在葉組 $B_1 \sim B_8$ 時澱粉含量銳減是否是大量澱粉轉變成葡萄糖或直接被分解利用，還是葉內無法製造養分，或製造的養分入不敷出沒有多餘的轉變成澱粉來儲藏，根據前所做的葉內葡萄糖含量之測定中，顯然地製造葡萄糖不足而沒有多餘的轉變成澱粉來儲藏是唯一合理的假設，由於實驗(二)的觀察結果並不令我們滿意且又產生了許多問題與疑點，有待進一步考查的必要，於是我們又做了下列有關實驗，希望能有更確切的答案與結果。

實驗(三)：

聖誕紅變色葉與未變色葉內葉綠素含量之測定。

1. 實驗目的：

藉此了解在聖誕紅葉變色過程中，其植物體內葉綠素在含量上是否也會發生變化。

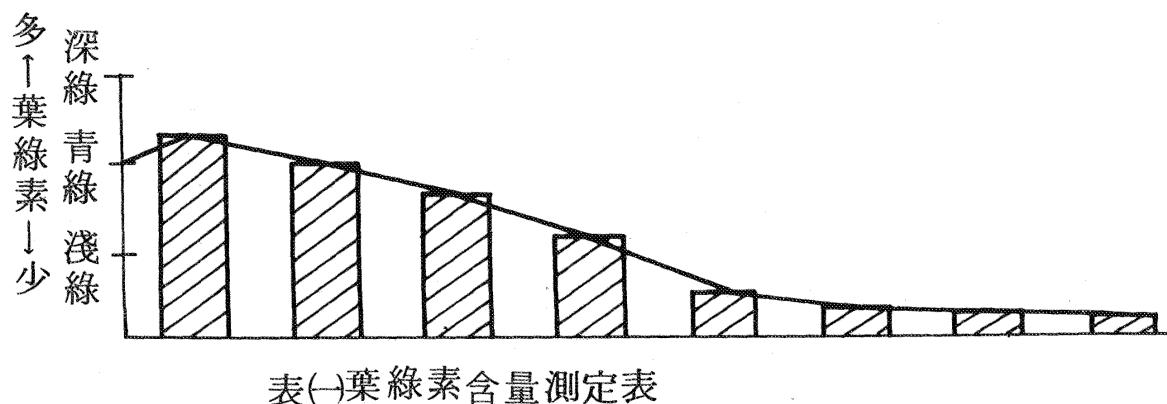
2. 實驗器材：

- (1)大燒杯 (500 ml) 一個 (2)小燒杯 (200 ml) 八個。
- (3)酒精約 1000 ml (4)酒精燈 (5)夾子。
- (6)自來水約 1000 ml (7)聖誕紅葉 (同實驗(二)所取的 8 種式樣) 分別編號為 F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 F_{B4} 、 F_{B5} 、 F_{B6} 、 F_{B7} 、 F_{B8} 。

3. 實驗步驟：

- (1)將上述葉片 ($F_{B1} \sim F_{B8}$) 分別利用酒精加熱脫色法將葉綠素溶解至杯子中。
- (2)把葉子取出，比較其各杯內液色的差異，註：(1)步驟(2)葉內的葉綠素必須完全溶解出來，可藉葉片來判斷是否徹底析出(2)各杯內利用酒精加熱脫色法時，酒精的體積要相同，否則會影響其溶解葉綠素在杯中分子的分布情形與密度。

4. 觀察實驗紀錄表：



5. 實驗結果與推論：

從上列表一葉綠素含量測定表中我們發現聖誕紅在綠葉變成紅葉的過程中其葉綠素含量一直減少到了 F_{B8} 時葉綠素含量已達最低點，此一現象明白的告訴我們兩個事實：

- (1) 聖誕紅其紅葉內幾乎不製造養分，也就是葉綠素含量極低。
- (2) 這正好也可解釋為何聖誕紅葉在變色末期層枯黃死亡，因為葉綠素不足，無法製造足夠的養分供紅葉內生理作用的消耗。

實驗(四)：

聖誕紅變色葉所連接之莖脈與未變色葉所連接之莖脈內葡萄糖的測定。

1. 實驗目的：

藉此了解聖誕紅各段莖脈內葡萄糖之含量，是否因所連接之葉色不同，而有所差異。

2. 實驗器材：

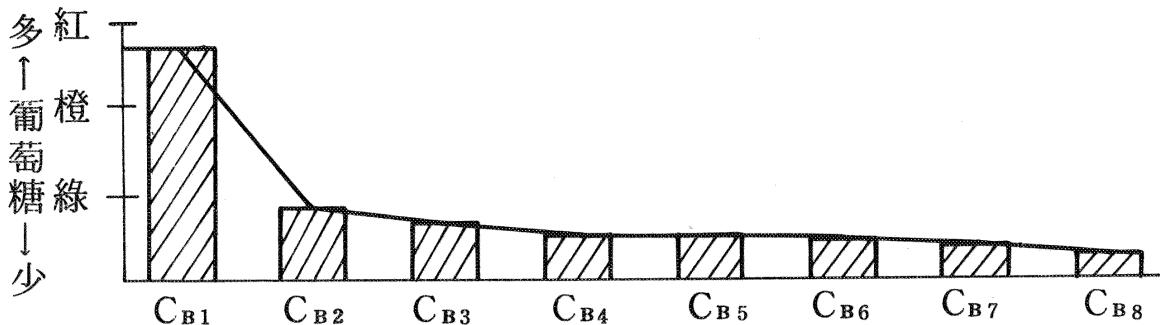
- (1) 本氏液 0.5%—20 ml
- (2) 丙酮—400 ml
- (3) 夾子一支。
- (4) 玻璃皿八個
- (5) 聖誕紅之莖（上述實驗(二)中之各葉所連接之莖）編號為 $C_{B1} \rightarrow C_{B2} \rightarrow C_{B3} \rightarrow C_{B4} \rightarrow C_{B5} \rightarrow C_{B6} \rightarrow C_{B7}$
 C_{B8} 。

3. 實驗步驟：

- (1) 將各莖放入丙酮溶液中除去花青素及葉綠素。
- (2) 經脫色後的莖分別放在玻璃皿上滴上三滴本氏液，觀察其顏色。

變化情形並加以比較紀錄之。註：(1)聖誕紅其莖脈內因含少許花青素故略呈粉紅色。

4. 觀察實驗紀錄表：



表(一)葡萄糖含量測定

5. 觀察實驗結果與推論：

葉內葡萄糖一開始就大量減少。這正可推翻實驗(二)中所做的假設：

- (1)葉組 B₁ ~ B₄間葡萄糖含量增加，是因為葡萄糖向上運輸積留葉中。
- (2)在葉組 B₄ ~ B₈葡萄糖大量減少是因為養分向下運輸，並也可以證實莖部養分運輸作用受阻的事實。

綜合討論：

由於上述實驗中發現了聖誕紅在逐漸變紅時期裏，葉內葡萄糖及澱粉在某段時間內有突增現象，而與此葉所連接的莖脈內却發生了葡萄糖及澱粉短少的現象，此一事實告訴了我們聖誕紅變色葉與其莖脈的交接處發生了某種變異，由於此種變異的研究觀察比較都需極精密的設備，所以我們便藉了查證資料獲得結果。經查證參考比較後，我們發現此一變化和離層作用 (Abscission) 有密切的關係。離層就是在植物體之葉柄或花柄基部，預先形成一層特殊之薄壁組織，橫斷一切組織連繫的現象，此作用的形成則和離層酸的分泌有關。離層酸 (Abscisic Acid) 又名為 (Abscisin II) 簡寫 ABA，其功用是加速並誘使植物發生離層和老化，為了能更進一步確定此一事實，經老師的指導下，根據軒藝出版社所出的植物生理學一書中的生物鑑定法，做詳細的實驗觀察後逐確定此一假設的成立，但到底是什麼外在

因素影響離層酸之分泌呢？於是我們推想在特定的季節內聖誕紅葉才會變色的事實應與溫度和日照長短有關，於是我們又進一步地做了以下兩個實驗：

實驗(五)：

日照長短是否能影響聖誕紅變色速率。

1. 實驗目的：

藉此了解聖誕紅的變色現象（或離層酸的產生）是否因日照長短的不同而有程度上的差異。

2. 實驗器材：

- (1)紫外線燈 5 座
- (2)透明無蓋塑膠箱 5 個。
- (3)未變色聖誕紅五盆編號為 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 、 D_5 。
- (4)質料相同黑布 5 塊。

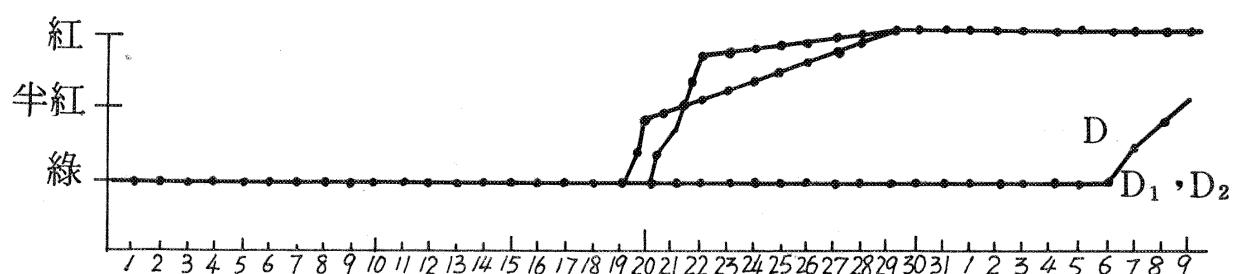
3. 實驗步驟：

- (1)將此五盆聖誕紅分別放入外包黑布的塑膠箱內。
- (2)加裝紫外線植物燈在其上方。
- (3)將此五盆聖誕紅並列在暗室中，每天定時開啓植物紫外線燈，其中 D_1 每天照約 4 小時， D_2 每天照約 8 小時， D_3 每天照約 12 小時， D_4 每天照約 16 小時， D_5 每天照約 20 小時。
- (4)每天觀察並紀錄其顏色變化情形。

註：(1)此五盆聖誕紅其大小約相同，盆內水分，土壤含量成分也應相同，則此實驗誤差可隨之減小。

(2)觀察其葉色變化應以最先變色的為準。

4. 觀察實驗紀錄表：



日期：1／10～8／11 表(一)葉色變化記錄表

5. 實驗結果與推論：

從觀察聖誕紅葉色變化結果中，我們發現利用光期誘導的方式（ photoperiodic inductive ）可以很明顯的增加或減慢聖誕紅的變色速率，所以我們說聖誕紅葉的變色和光期性（ photoperiodism ）有密切的關係，且其臨界日長（ critical day length ）大約在 10 ~ 15 小時，屬於中短日照的植物。

實驗(六)：

溫度是否能影響聖誕紅的變色速率。

1. 實驗目的：

藉此了解聖誕紅的變色現象（或離層酸的產生）是否因溫度的不同而有程度上的差異。

2. 實驗器材：

- (1) 定溫箱（中型）5 個。
- (2) 5 盆還尚未變色之聖誕紅編號為 E_1 、 E_2 、 E_3 、 E_4 、 E_5 。

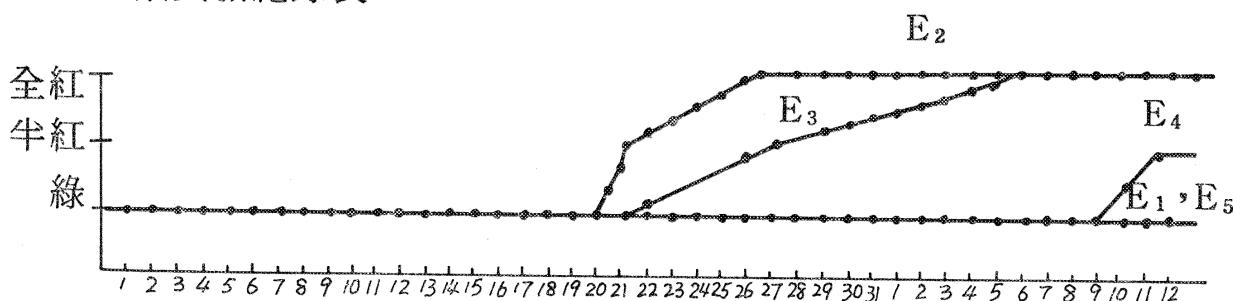
3. 實驗步驟：

- (1) 將聖誕紅分別放入定溫箱內，並調節溫度，其中 E_1 為 10°C ， E_2 為 16°C ， E_3 為 22°C ， E_4 為 29°C ， E_5 為 35°C
- (2) 把 E_1 、 E_2 、 E_3 、 E_4 、 E_5 分別排列在空地上，連續觀察 30 幾天，並紀錄比較其差異性。

註：(1)如無法取得定溫箱可改用透明塑膠箱內加電熱器（植物用）。

(2) 所選擇的聖誕紅其大小應略同，盆內水分、土壤的成分含量也應相同。

4. 觀察實驗紀錄表：



日期 5 / 10 ~ 12 / 11 表(一)葉色變化記錄表

5. 實驗結果與推論：

從以上實驗觀察顯示聖誕紅其葉色的變化深受溫度的影響，其最適溫度（optimum temperature），約在 $16^{\circ}\text{C} \sim 22^{\circ}\text{C}$ 之間，所以在臺灣等副熱帶地區所生長的聖誕紅，皆與其他歐美等地較慢（對其變色率而言，這是由於季節性溫度不同所產生的差異。根據以上結果我們可以說溫度也是促使聖誕紅葉變色的一個重要因素。

綜合討論：

從以上兩個實驗之結果，我們可以發現影響聖誕紅葉變色最重要的外在因素便是日照長短和溫度變化，其實這二項因素最先造成的结果便是離層酸的大量分泌與離層現象的產生，也就是破壞了聖誕紅在生理上葡萄糖含量的恆定性。不過在另一方面看來，聖誕紅的變色速率多少也和空氣的濕度，土壤的成分及其內所含的水分有關，特別是激素的分泌，根據我們長期的觀察，發現每當聖誕紅葉變色時便意味著花苞及花蕊的產生，也就是生殖作用及生殖器官的形成，這和葉內生殖激素的分泌過程及轉換極其相關。也就是生殖激素的產生是由變色聖誕紅葉內某種物質所產生。另外一個作用便是利用鮮豔的紅色吸引昆蟲達到受精的目的。

四、實驗總結論

綜合以上各實驗及觀察的結果我們列出了下面的聖誕紅變色原因過程與時期的流程圖：

最適溫度 (optimum temperature) $16 \sim 20^{\circ}\text{C}$
臨界日長 (critical day length) $10 \sim 15\text{ hr}$ } 條件
} (1) 促使葉內莖脈處離層酸分泌。
} (2) 促使葉內產生酶，可使得花青素轉變成葡萄糖。

- (1) 莖葉交接處產生離層酸(ABA)發生了離層現象(Abscission)。
- (2) 葉綠素被大量分解轉換。
- (3) 植物體內生殖激素大量分泌至莖尖。

- (1) 葡萄糖大量積留葉中，部分轉變成花青素(anthocyanin)，部分則供葉內生理活動所需。
- (2) 莖尖有苞狀物產生。

- (1) 聖誕紅葉完全變紅，並有縮小現象(體內水分被濃縮)。
- (2) 莖尖包狀物內有花蕊產生。

- (1) 聖誕紅葉內花青素消失，葉色轉變成黃。
- (2) 聖誕紅養分耗盡枯死了。

1. 根據以上流程圖所表示的結果，我們可以發現到，假使我們想要延長或縮短聖誕紅葉變色的時間，有下述幾種方法：

- (1) 間接改變其日照長短，溫度高低。
- (2) 直接利用ABA破壞其養分運輸恆定系統。
- (3) 大量供應葡萄糖，促使葉片吸收。
- (4) 破壞部分韌皮部使養分運輸作用受阻。

2. 由於IAA及ABA大多分泌在植物莖尖，所以聖誕紅葉又有在上層靠近莖頂的部分變色，但根據聖誕紅變色原理，只要我們將想變色的葉片內葡萄糖恆定系統破壞，讓大量葡萄糖積留葉中，並在適當日照長短或溫度下也可跟酶作用轉變成花青素，故也可使非上層部聖誕紅變紅。

3. 實際並不只是聖誕紅葉變色過程是如此，根據我們實地觀察採樣

比較的結果發現變色木、楓、槭、地錦等植物甚至於摘下水果後其果皮的顏色變化，如橘子（綠→黃→橘）、香蕉等都和葉內葡萄糖含量的濃度變化有所關聯，只是引發的介質可能有所不同。總之，今後假使想在夏天看看成簇的美麗聖誕紅葉或變色範圍整株不同的聖誕紅，相信不再是不可能的事了。

五、參考資料

- 1.植物生理學：正中書局：易希道著。
- 2.植物生理精要（Essentials of plant Physiology）：Og .A .L traffard著。
- 3.大英科技百科全書：光復書局。
- 4.牛頓科學研習百科：牛頓出版社。
- 5.中正科技大辭典：商務書局。
- 6.最新植物生理學：易希道者。
- 7.光復百科全書：光復書局。
- 8.植物生理學實驗本：藝軒出版社：王月雲、陳是瑩、童武夫著。
- 9.植物荷爾蒙：華香園出版社：高景輝著。

評語

聖誕紅葉變色的原因，由其生長環境的溫度日照等相關實驗，及探討葉綠素的變化、葡萄糖的含量與離層作用有密切關係，由其實驗結果亦可解釋其他植物，例如楓樹、槭樹等變色的原因，是很有價值的。