

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

國中-生物科

科 別：生 物 科

組 別：國 中 組

作品名稱：舞台上的光與葉——研究光合作用產物及
碘液呈色的改良方法

關 鍵 詞：光合作用、澱粉、碘液

編 號：030313

學校名稱：

雲林縣私立東南國民中學

作者姓名：

林憶心、廖 常、陳伶君、賴慧如

指導老師：

羅悅華、林東榮



作品名稱：**舞台上的光與葉** ——

研究光合作用產物 及碘液呈色的改良方法

一、摘要：

由於參加學校校內科學博物館解說，其中有一單元為『光合作用』，使我們回想到一年級的生物實驗也有相關的研究—「植物光合作用產物」，實驗並沒有成功，詢問過其他班級、老師實驗的結果後，發現也同樣不盡理想，於是就在老師的建議下展開了一連串有關的研究探討及改良實驗。為避免酒精隔水加熱的危險性，本研究小組以『電茶壺』加上『安全開關』來代替加熱裝置，使用上非常便利、安全。本研究結果發現，校園植物材料的選擇以嫩葉、少毛狀物、葉片較柔軟、角質層薄之葉片，如大理花、向日葵；日照長度以六天為主，選擇可直接照光的葉片。另外為節省藥品用量及減少環境污染，建議碘液用量濃度為 10~15% 的稀碘液即可。本研究小組也建議，以密封袋裝染色後之葉片，效果良好，更可使用二次染色延長十字的定性效果，以作為長期保存之用。

二、研究動機：

一年一度的科學博物館之旅又要展開，有幸獲選擔任一年級學弟、妹的「解說小老師」，負責解說導引館內參觀內容。其中一單元之主題為植物的光合作用，仔細回想後發現，一年級時在進行相關實驗—「植物光合作用產物」並沒有成功，詢問過其他班級、老師實驗的結果後，發現也同樣不盡理想，在好奇心的驅使之下，我們便向生物老師請教問題所在，於是就在老師的建議下展開了一連串有關的研究探討及改良實驗。

三、研究目的：

- (一)、研究探討現行生物課本內實驗的缺點。
- (二)、調查校園內的各種植物，以尋找最適合的實驗材料。
- (三)、探討照度對本實驗的影響。
- (四)、尋找最適當的鋁箔包覆時間，以求最佳實驗效果。
- (五)、探討何種濃度的碘液最適合本實驗。

四、研究設備器材：

（一）、野外調查：

植物圖鑑、紙、筆、記錄本、密封袋、照相機、植物葉片

（桑樹、竹柏、春不老、玫瑰、樟樹、大理花、矮牽牛、美女櫻、一串紅、向日葵、榕樹、美人樹、大葉桉、杜鵑、桂花、金魚草、紫茉莉）

註：各類植物的學名

植物名稱	學名	植物名稱	學名
桑樹	Morus alba	一串紅	Salvia splendens
竹柏	Podocarpus nagi	向日葵	Helianthus annuus
春不老	Ardisia squamulosa	榕樹	Ficus microcarpa
玫瑰	Rosa hybrida	美人樹	Chorisia speciosa
樟樹	Cinnamomum camphora	大葉桉	Eucalyptus robusta
大理花	Dahlia hortensis	杜鵑	Rhododendron kanehira
矮牽牛	Petunia hybrida	桂花	Osmanthus fragrans
美女櫻	Verbena hybrida	金魚草	Antirrhinum majus
紫茉莉	Mirabilis jalapa		

（二）、實驗器材：

解剖顯微鏡、複式顯微鏡、顯微照相機、全自動照相機、單眼相機、電茶壺、燒杯（250 毫升、500 毫升）、照度計、酒精、濃碘液（60mg 碘+40mg 碘化鉀+酒精→1ml）、稀碘液（30mg 碘+20mg 碘化鉀+酒精→1ml）、鑷子、滴管、培養皿、鐵絲、密封袋。註：本實驗設定稀碘液之濃度為 100%，而設定濃碘液為 200%。

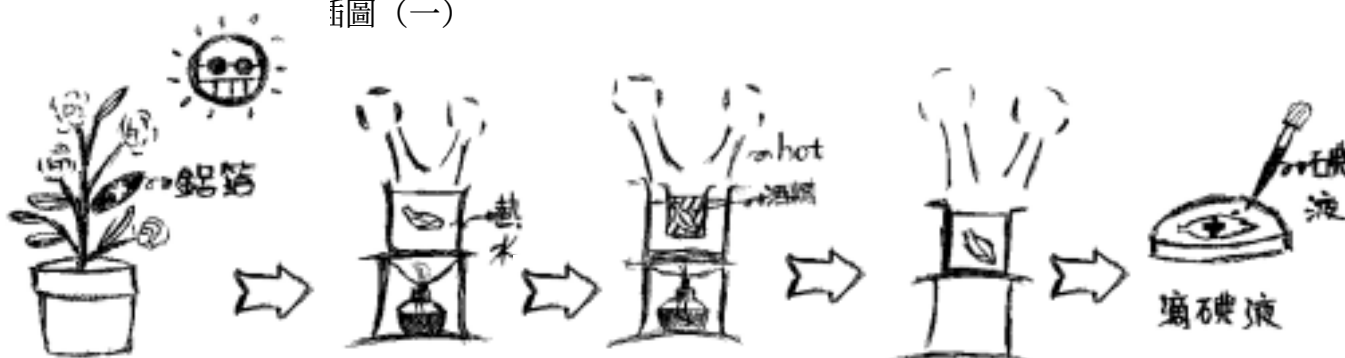
五、研究過程或方式：

（一）、研究探討現行生物課本內實驗的缺點：

詳細研究生物教科書一上冊，如插圖一，活動 3-4「光合作用」的實驗目的，逐一就實驗設計及步驟探究其改良之必要性。

- 1.葉片本身硬度、毛狀物、角質層厚度對實驗結果有無影響。
- 2.直接照光與否對實驗結果有無影響。
- 3.鋁箔包覆天數有無絕對影響。
- 4.酒精燈對學生而言，在進行實驗過程時的潛在危險性。
- 5.碘液濃度與其染色結果的相關性。

圖（一）



（二）、調查校園內的各種植物，以尋找最適合的實驗材料：

以本校校園植物為主要使用材料共十六種，以植物圖鑑及相機記錄植物，每種植物摘取未包覆鋁箔的葉片五片，放入密封袋中，將葉片帶回實驗室做進一步處理。以解剖顯微鏡及複式顯微鏡觀察葉片外觀及特徵，記錄在記錄表。

記錄後，將葉片做 1.軟化（照片 5）→2.酒精褪色（隔水加熱酒精）（照片 6）→3.漂洗→4.以碘液染色（照片 7）→5.觀察結果（照片 9~13）等步驟，記錄各種葉片所需之軟化時間、褪色時間、漂洗時間及碘液染色時間，以尋求最適合的實驗材料。

（三）、探討照度對本實驗的影響：

由第二個研究結果，選出效果較佳之植物五種—大理花（照片 1）、向日葵（照片 15）、玫瑰（照片 14）、大葉桉（照片 2）、桑樹，每種植物各十片以中央剪十字的鋁箔包覆葉片（照片 2）分成 A、B 兩組（A、B 各五片；A 組：白天日光可直接照射實驗葉片五小時以上及 B 組：全天日光均無法直接照射實驗葉片），以照度計測量並記錄照度情形。第六天後，摘除所有包覆的葉片，進行軟化→酒精褪色→漂洗→以碘液染色→觀察結果等步驟，觀察並記錄實驗結果。

註：各植物之 A、B 二組各平均照度如下一

植物名稱	A 組（燭光）	B 組（燭光）
大理花	7186	642
向日葵	7306	712
玫瑰	7524	844
大葉桉	3334	544
桑樹	6374	990

》》》每日 7：00 17：00，每二小時以照度計測量照度（照片 14、15），連續測量六天，求平均值。

（四）、尋找最適當的鋁箔包覆時間，以求最佳實驗效果：

由第二個研究結果，選出效果較佳之植物五種—大理花、向日葵、玫瑰、大葉桉、桑樹，每種植物以中央剪十字的鋁箔包覆葉片各十五片。分別於三天、六天、九天後，摘取包覆的葉片各五片（實驗組）及未包覆鋁箔之葉片一片（對照組），進行軟化→酒精褪色→漂洗→以碘液染色→觀察結果等步驟，觀察並記錄實驗結果。

（五）、探討何種濃度的碘液最適合本實驗：

由上述研究結果，選出效果最佳之植物—大理花，以中央剪十字的鋁箔包覆葉片二十七片。分別於三天後，摘取所有包覆的葉片二十七片及未包覆鋁箔之葉片九片，進行軟化→酒精褪色→漂洗→分成九組→以不同濃度之碘液染色→觀察結果等步驟，其中以碘液染色之步驟，碘液濃度有 200%（濃碘液）、100%（稀碘液）、75%、50%、25%、20%、15%、10%、5%共九種（其中 5% 75%濃度碘液是依照稀碘液 100%加酒精稀釋而成），觀察並記錄實驗結果，以尋找使用量最低、濃度最低且定性效果仍持久的碘液濃度，以減少藥品浪費及降低環境污染且可達到最理想的實驗結果。

本研究小組發現染色後，部分葉片之十字容易隨著時間褪色。因此，本小組便對這些葉片進行二次染色，並記錄其定色時間及效果，做成記錄，以供未來教師教學之參考。

六、研究結果：

（一）、研究探討現行生物課本內實驗的缺點：

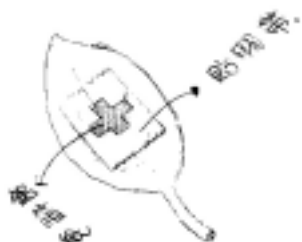
國立編譯館所出版的生物教科書一上冊，活動 3-4「光合作用」，實驗目的是利用室外生長的植物來證明澱粉是光合作用的最終產生物，而光照是光合作用製造澱粉的必要條件。植物葉片只要接受適當光線，在其葉片中就會有澱粉儲存，而碘液測得澱粉時則會由黃褐色轉為藍黑色。實驗方式是（如插圖一）以鋁箔中央剪十字，包覆葉片（照片 3），數天後取下葉片，進行軟化→酒精褪色→漂洗→以碘液染色→觀察結果等步驟。

若以放任學生任意包覆葉片，一、二週後，進行實驗結果測試，根據老師多年經驗，通常成功機率幾乎不到 30%，使得學生對此實驗感到失望。因此，針對幾項實驗步驟進行實驗改良，希望能有 100%的成功率，以下是本組提出的幾項改良方向：

- 1.尋找適合本實驗且容易取得的校園植物。學校校內植物種類眾多，數百種以上，而學生多半在老師的交代下隨機取樣包覆葉片，故實驗結果多半全軍覆沒，偶有成功機率，也算難能可貴。因此，找尋最適合的植物材料是本實驗的首要任務，並以成功機率為 100%為主要目標。
- 2.指定學生包覆之實驗植物，設計包覆方式及影響。包覆方式有全部包覆鋁箔中央剪十字（插圖二、照片 3）、單以十字鋁箔以膠帶固定（插圖三）、以鋁箔將半片葉片完全包覆（插圖四）。上述三種都可行。而經本組夥伴討論後，本實驗採取第一種方式，唯有包覆時須注意葉片背面也需完全包覆，以免干擾結果。



插圖（二）

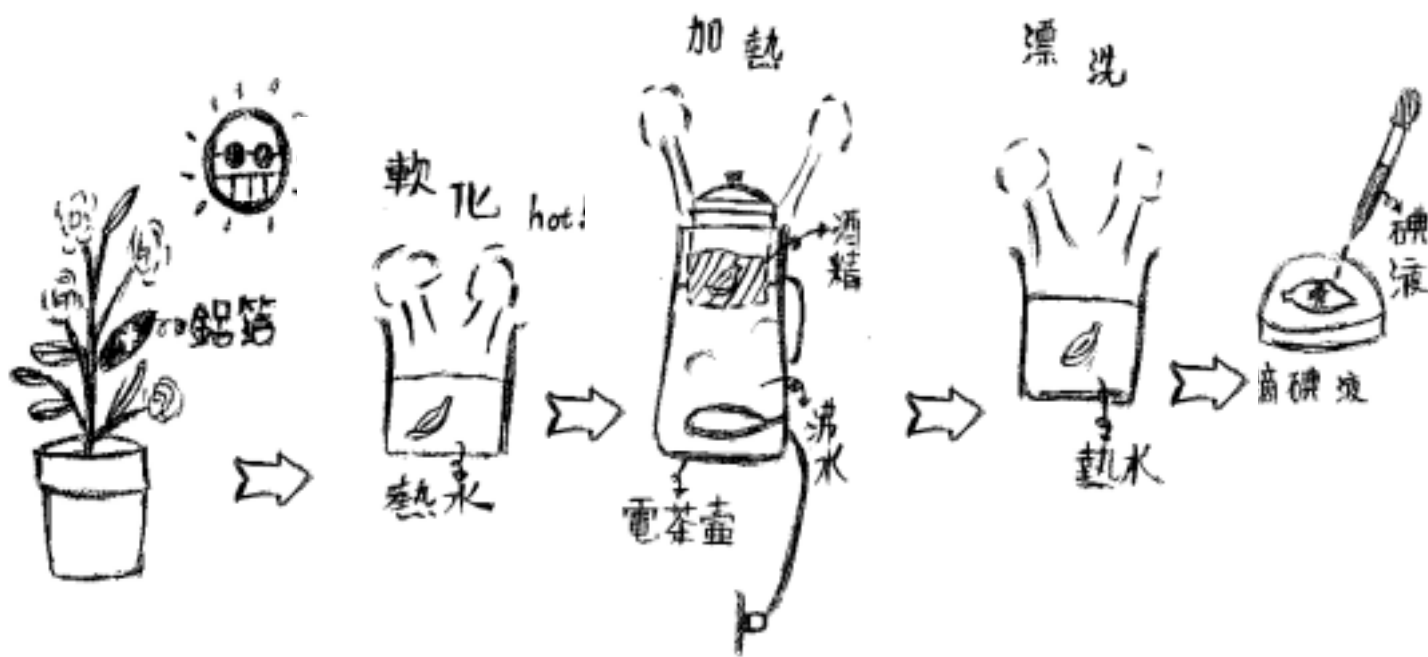


插圖（三）



插圖（四）

- 3.研究比較終日陽光普照下或陰涼不直接照光的葉片實驗結果有無明顯差異。
- 4.探討葉片本身對本實驗結果之影響。葉片本身具有角質層及毛狀物，在軟化時，有些植物需要極長的時間，甚至有些葉片無論煮多久，都無動於衷，這樣就是不適用的材料。
- 5.軟化過程注意事項：軟化過程也是造成褪色成功與否的一個關鍵步驟，葉片角質層較厚、硬度較硬的植物，其軟化時間需要較長，甚至可以在軟化過程中，加入 5 克（／每 250 毫升水）的鹽巴，能夠使軟化過程更快速。
- 6.課文內容中實驗設計時，利用酒精隔水加熱葉片，以褪去葉片中的葉綠素，但是原設計以酒精燈加熱極具危險性，極待改良。本實驗設計則改良為利用『電茶壺』作為加熱工具，如插圖五

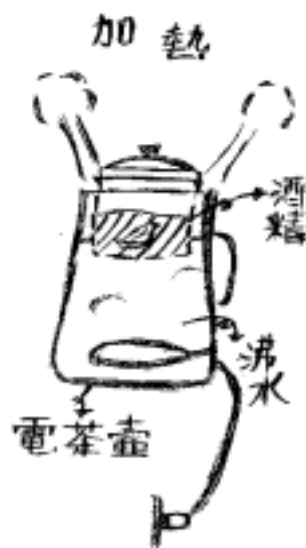


插圖（五）

，以鐵絲將 50ml 燒杯固定於壺口，壺內裝水至燒杯距底部 $1/4$ 深處，如插圖六所示，而且隨時可加熱或斷電，避免過熱。如果實驗之葉片數量較大，也可改用 500ml 燒杯，壺內裝水至燒杯距底部 $1/4$ 深處，如照片 4、7（插圖七）所示，直接利用壺中水的浮力加以支撐，隔水加熱，非常安全。需叮嚀的是，實驗進行中必須隨時注意避免滾燙的熱水由壺邊溢出。



插圖（六）



插圖（七）

7.酒精褪色過程定性化。一般而言，加熱時間由 2 分鐘 10 分鐘不等，而角質層較厚、硬度較硬的葉片種類需較長的加熱時間，方能使酒精將葉片中的葉綠素褪去，甚至連同種植物的葉片也需依照老葉及嫩葉來分褪色時間。同一時間，加熱的葉片數量與酒精份量，也會影響褪色結果，最好加熱至葉片褪至淡黃色最佳。以本實驗為例，使用 500ml 大燒杯，每次加熱時，葉片數量控制在少於六片左右且酒精使用量以蓋過葉片之效果為最佳。

8.研究探討碘液濃度與最佳染色結果的相關性。本實驗剛開始進行時，無論如何實驗，染色成功率幾乎等於零。詢問生物老師的實際經驗，似乎染色效果並不理想，成功率不到 10%。原來部分老師為節省碘液用量，將原實驗室之碘液，歷經幾年一再被稀釋後才使用，所以實驗結果便愈來愈差。直到實驗室的陳年碘液用完，買進新的稀碘液（100%），稀釋成 50%，染色實驗才開始成功。因此，推測碘液濃度對染色結果有其絕對的影響。

（二）、調查校園內的各種植物，以尋找最適合

的實驗材料：

以本校校園植物為主要使用材料共十六種，觀察葉片外觀及特徵，記錄各種葉片所需之軟化時間、褪色時間、漂洗時間及碘液染色時間（照片 6、8），以尋求最適合的實驗材料。

根據本研究結果顯示，如表（一）所示（照片 9-13），所採集的十六種植物中，以桑樹（照片 9）、矮牽牛、美女櫻、一串紅、向日葵、大葉桉、金魚草，所需的軟化時間最短，約需 1-3 分鐘，其他種類約需 5-10 分鐘。桑樹、一串紅、大葉桉所需褪色時間最短，約需 5-10 分鐘，而榕樹、矮牽牛、美人樹，則需要長達 20-30 分鐘，且褪色成淡黃色的效果很差。

碘液染色變色時間，最短、效果最佳的植物有桑樹、大理花、一串紅最好，其次是向日葵、樟樹（照片 10）、大葉桉（照片 11）。染色後澱粉反應（變色效果）最佳的依序有桑樹、大理花（照片 12）、一串紅、向日葵（照片 13）、大葉桉、玫瑰（照片 10）。

綜合各項結果挑選出六種植物有大理花、向日葵、玫瑰、大葉桉、桑樹、一串紅，來進行下一階段的實驗。（註：後因實驗尚未結束，但因校工耕種花圃植物，剷掉一串紅，使該種植物實驗暫告中斷，僅以其他五種報告呈現結果。）

（三）、探討照度對本實驗的影響：

以包鋁箔六天而言（表三），A 組（白天日光可直射葉片五小時以上者）日光照度較充裕（照片 14、15），碘液呈色結果及染色成功率都比 B 組（全天日光均無法直射葉片者）效果好很多。其中 A 組又以向日葵碘液呈色效果最好。大理花、大葉桉碘液呈色效果也不錯，至於染色成功率也很高，可高達 100%。B 組效果尚可，僅大理花呈色結果及成功率都不錯，其他植物都不盡理想。

根據表三，平均照度 3000 燭光以上，需要包鋁箔的時間可以縮短，若平均照度 1000 燭光以下，則需要較長的鋁箔處理時間，才能達到實驗效果，甚至如：玫瑰、大葉桉、桑樹也無法達到有效結果。另外，如果包覆鋁箔時間過短，也會使澱粉未完全分解利用完畢，造成結果與對照組沒有差異。

（四）、尋找最適當的鋁箔包覆時間，以求最佳

實驗效果：

根據實驗結果，如表四所示，不同植物日照三天後，僅向日葵葉片變黃，酒精褪色時間都差不多，約需要 6 分鐘左右；滴上碘液轉成藍黑色十字所需要的時間：大理花、向日葵、桑樹都僅需 10 秒即可，大葉桉最長需約 3 分鐘。至於呈色後十字出現明顯程度以大理花最明顯（照片 16），其次是向日葵（照片 17），最差的是大葉桉、玫瑰（照片 18）。染色後出現十字的成功機率（以下均簡稱染色成功率）以大理花最佳，其次是向日葵、桑樹（照片 19）。

日照六天後結果，如表五所示，向日葵、玫瑰葉片變色更為嚴重。酒精褪色時間加倍，

約需要 5 10 分鐘左右，其中以向日葵所需時間最長，13 分 20 秒才能完成酒精褪色，最短的是桑樹，只需 5 分鐘。呈色時間：大理花、向日葵、桑樹都僅需 10 秒完成，玫瑰最長需 3 分鐘。至於，染色後出現十字的效果以大理花（照片 20）、向日葵較明顯（照片 21），成功率達 100%，其次是桑樹（照片 23），成功率 70%，最差是大葉桉（照片 24），成功率僅 20 %。

日照九天後結果（參考表六），依舊是以向日葵、玫瑰葉片變色最為嚴重，甚至有些枯黃傾向，其他葉片都不因包鋁箔而變色，特別是大理花依然翠綠。酒精褪色時間拉得更長，約需要 6 21 分鐘左右，其中以向日葵所需時間最長，20 分 30 秒才能完成酒精褪色，最短的是大理花，只需 6 分鐘 10 秒。呈色時間：大理花、向日葵僅需 10 秒內完成，玫瑰 3 分鐘、大葉桉 4 分鐘。至於，十字效果以大理花（照片 25）、向日葵較明顯（照片 26），成功率達 100%，至於桑樹（照片 27）、玫瑰，成功率下降為 40%，最差是大葉桉（照片 28），成功率僅 30%，但是比六天效果稍好。

整體效果看來，以大理花、向日葵最佳，尤其是大理花的十字形狀非常明顯易見，是最佳的實驗材料。日照時間則以六天最好，酒精褪色分別為 6 分及 13 分鐘即可，碘液檢驗澱粉的變色時間也最短，10 秒內即可變色，成功率幾乎高達 100%，葉片中央十字呈現藍黑色情況也非常明顯、清晰。

（五）、探討何種濃度的碘液最適合本實驗：

本實驗所使用之碘液，是以稀碘液（100%）之碘液濃度稀釋成 1%、5%（照片 32）、10%（照片 33）、15%、20%（照片 34）、25%（照片 35）、50%（照片 36）、75%（照片 37）八組以及 100%（照片 38）、200%（照片 39）兩組。根據表十三結果所示，十字呈色結果以 75%、100%、200% 效果最佳，非常明顯。濃度 25% 15% 稍微差一些，結果也蠻明顯的。濃度 10% 5% 更差，結果不很明顯，但是仍是可見的。至於濃度 1%，濃度太稀，都沒有任何呈色反應。

以十字呈色時間而言，濃度 200% 10% 都在 10 秒內可以顯現十字，而且顏色明顯。染色成功率，濃度 200% 15% 都是百分之百，效果非常成功，濃度 10% 有百分之九十的成功率，最差的濃度 5% 也有百分之八十的成功率。

染色後，碘液將十字染出後會經時間而褪色，根據實驗觀察，碘液濃度越濃，十字保存時間越長。以濃度 200% 50% 都可以保存 24 小時以上不褪色，就連濃度 25% 5% 也可以保存 12 20 小時。至於褪色後二次染色，濃度 200% 10% 都可以保存 24 小時以上不褪色。實驗還發現任何濃度或植物在二次染色時的效果都比第一次來的好。

研究小組發現，二次染色後，將葉片即刻裝入密封袋中，滴入幾滴碘液，拉上封條，可以作為長期保存（二星期以上）。值得叮嚀的是，注意碘液的含量及葉片漂洗時的殘餘水分不可過多，密封袋中的空氣必須徹底擠出，否則容易發霉。

七、討論及應用：

1. 根據表一研究結果發現，實驗植物的選擇對實驗結果有十分重要的影響，硬度、角質層厚度、毛狀物對酒精褪色情況有很明顯的影響，葉片的選擇，如幼葉、老葉、翠綠、墨綠的葉片也會影響實驗結果，根據實驗結果發現，植物葉片的選擇最好選翠綠的嫩葉，葉片本身角質層較薄，葉片本身硬度較軟，容易軟化，且無毛狀物的植物種類來使用，如大理花

(照片 1) 等，可達更佳效果。

2. 酒精褪色過程，最好以葉片數量 3~5 片（小片可到 8 片）與酒精一起加熱，酒精需淹蓋過葉片，使葉片完全浸泡到酒精，如此實驗效果最佳。若酒精無法完全淹過葉片則會使葉片無法完全褪色，無論酒精加熱時間多長，褪色效果仍不佳，易使實驗失敗而重來。若褪色步驟不完整，會影響碘液染色情況，千萬要小心。
3. 依據照度實驗結果（表三），平均照度 3000 燭光以上，需要包鋁箔的時間可以縮短，若平均照度 1000 燭光以下，則需要較長的鋁箔處理時間，才能達到實驗效果，甚至如：玫瑰、大葉桉、桑樹也無法達到有效結果。因此，照度強弱對植物行光合作用有其正面意義，本實驗除了需選對植物外，照度因素也要考慮到，最好選擇日光可以直接照到的植物葉片，這樣才能達到事半功倍的效果。
4. 根據「尋找最佳鋁箔包覆時間」的實驗來看，整體效果以「大理花」、「向日葵」最佳，日照時間六天最好，酒精褪色分別為 6 分及 13 分鐘即可，碘液檢驗澱粉的變色時間也最短，10 秒內即可變色，成功率幾乎高達 100%，葉片中央十字呈現藍黑色的情況也非常明顯、清晰（照片 20、21）。學校老師可建議學生採用該種植物來做課本實驗的材料，若該校園中沒有上述兩種植物，也可用效果差一些的桑樹、玫瑰，但是同樣以六天最佳。或是退而求其次，也可使用大葉桉，但是可能需加長包覆時間，最好六天以上，且葉片需要直接照光，軟化時間拉長，酒精褪色時間也拉長，則葉片中央十字呈現藍黑色的效果也是不錯的。
5. 若校園內都沒有大理花、向日葵、一串紅、玫瑰、大葉桉、桑樹等植物，整體研究結果，建議尋找替代植物的基本條件有：
 - (1) 葉片角質層薄、硬度小、葉片本身很薄。
 - (2) 可以直接接受日光照射的葉片。
 - (3) 選取該植物的嫩葉來做實驗。
 - (4) 軟化時間短、褪色時間短之植物。
 - (5) 一、二年生植物。

本研究小組又依據上述條件採用校園新栽種植物—紫茉莉，效果如預期，鋁箔包覆六天，直接照光，結果非常理想，十字呈色也非常明顯，也是理想中的實驗植物。

6. 為避免實驗藥品的浪費以及多餘藥品污染環境，本實驗嘗試尋找最節省且仍能保持效果最佳的碘液濃度。根據表十二結果，稀碘液用量稀釋至 5%（照片 32）仍有染色效果，但定色效果較差，不易保存結果。濃度保持在 10%（照片 33）~25%（照片 35）效果都很好，定色效果也頗佳。學校教師在進行該實驗時，可以使用濃度 15% 的碘液用量最節省，成功率也是百分之百。若濃度再繼續增加，十字會更明顯，但是差不了多少，卻會造成藥品浪費，且碘液本身含有『碘』具有毒性，處理上很麻煩，故建議碘液用量適當即可，不宜太多。以本研究小組的經驗，則推薦 15% 是最適當的選擇。
7. 如何長期保存良好實驗結果之葉片：

如果滴上碘液，葉片仍放置在培養皿中，放置至第二天，葉片會完全捲起乾掉、硬化、十字褪色消失。根據實驗之結果顯示，碘液濃度雖採用 10%（照片 33）即可，但若欲保留其葉片結果，以供長期記錄，恐怕有很大的困難。當酒精揮發之後，藍黑色的十字反應便會隨著消失的無影無蹤，而其持久度卻也不過十多分鐘，有鑑於此，夥伴們便以適當大小的“封口塑膠袋”（密封袋）來試驗看看，卻在實驗過程中意外地發現以 10% 的碘液染

色，第一次效果雖不持久，但是研究小組發現，二次染色後，將葉片即刻裝入密封袋中，將空氣儘量擠出袋外，滴入幾滴碘液，拉上封條（儘量避免沾到水，會導致發霉），可以作為長期保存（二星期以上），且發現第二次效果比第一次染色更好、更明顯。

8. 若要把葉片放進密封袋，要特別注意：葉片在放入密封袋前，有必要把多餘的碘液弄乾，如：利用衛生紙輕拭乾淨。只留下十字旁的些許碘液即可，爾後，放進密封袋要特別留意，是否有空氣留在袋中，若有，一定要把空氣擠出，不可留在袋中。不然，經過幾個禮拜後，葉子中的黴菌會蔓延開來，不僅袋中發臭，亦讓心血付諸流水，多不划算。

八、結 論：

1. 在進行本研究初期，由於沒有注意到碘液濃度的重要性，以完全相信實驗室藥品來源之心進行本研究，但是一直連續一、二個月都一直處在失敗的狀況下，無論多小心進行實驗過程，染色時都沒有十字出現，就像老師提到的一樣，更慘的是，並不是實驗結果較差而已，而是完全都沒有進展。後來，終於在實驗室的碘液用盡後，買了新的碘液才找到答案。原來實驗室的碘液由於濃度過低且調配到使用之時間過長，故導致本研究初期失敗。故本研究認為實驗室的藥品即使以標示濃度也不能太過於相信，最好自己重新調配。而且調配完畢的碘液，最好裝於不透明的罐中，並標上調配的濃度，置於陰涼櫥櫃中保存，避免變質。
2. 本研究過程中，以『電茶壺』取代『酒精燈』來進行酒精褪色過程的隔水加熱步驟，效果非常好（照片 4、7）。酒精燈本身在使用上需添加酒精，酒精的量太多，怕引起共燃，太少又怕引起氣爆，使用中若酒精量不夠，又無法馬上添加酒精，會使實驗過程中斷，危險性極高。但是電茶壺的好處很多，以插電加熱，隨時可以控制加熱狀況（建議可連接在具備電源開關的插座或延長線上，有危險時可立刻關閉電源），且以鐵絲固定小燒杯或以水本身浮力支撐大燒杯都是極好的方式，不會有氣爆危險。電茶壺蓋又可利用來覆蓋燒杯口，避免褪色使用之酒精沸騰後的酒精蒸氣直接衝出，灼傷學生。
3. 國中生物上冊第三章的內容有提到光合作用的進行方式，光合作用需要光才能將水分解與二氧化碳作用，進而產生葡萄糖，最後葉片將葡萄糖轉成澱粉儲存在葉片中。故本研究是針對『光對光合作用的影響』實驗做進一步的研究，結果發現最佳實驗植物葉片材料選擇，有幾項規則：葉片柔軟、角質層薄、嫩葉、可直接照光 6~8 小時以上，這樣的材料可節省實驗時間，縮短『軟化過程』（照片 5）、『酒精褪色』（照片 6）、『漂洗』、『碘液染色』（照片 8）各個步驟的時間。
4. 為避免碘液使用過量，造成藥品浪費，本研究也積極尋找最佳實驗染色之碘液濃度，最後結論是 10~15% 的碘液濃度即可，但是最好做二次染色，可以定色更久，而且可加以放入密封袋中長期保存研究。
5. 實驗材料永久保存時必須注意：葉片在漂洗後水分需充分風乾，滴上碘液時碘液量不可太多，放入密封袋中需將袋中空氣完全擠出，如此能使標本保存更久。

九、參考資料及其他：

1. 國立編譯館編輯小組，民 90，**生物教科書—上冊**，台北市，國立編譯館，P.50-51。
2. 眾文編輯部，民 84，**自然圖鑑**，台北市，眾文圖書公司。
3. 小牛頓編輯小組，民 78.10，**陽光、植物、養分**，

- 小牛頓兒童科學園地，台北市，牛頓股份有限公司，68：P.82-83。
4. 小牛頓編輯小組，民 77.11，**綠色的加工廠—葉**，
小牛頓兒童科學園地，台北市，牛頓股份有限公司，57：P.64-67。
 5. 小牛頓編輯小組，民 79.07，**生命之光**，小牛頓兒童科學園地，
台北市，牛頓股份有限公司，77：P.54-59。
 6. 薛聰賢著，民 77.04，**家庭園藝—台灣的觀賞花木 100 種**，員林鎮，王子彩色製版有限公司，
第 1 10 輯。
 7. 應紹舜著，民 68.09，**台灣木本植物彩色圖鑑**，第壹卷，新店鎮，
六禾彩色印刷有限公司，P.10-41。
 8. 安奎、鄭元春編著，民 82.12 再版，**台灣產密源植物圖說（上）**，
台北市，台灣省立博物館，P.72、92。
 9. **太空梭上的光合作用研究成果報告**，
http://163.29.20.208/~bili/astro/bio/msad10may99_1.htm。
 10. **本氏液及碘液的變色原理**，
<http://pei.cjjh.tc.edu.tw/wwwboard2/messages/183.html>。
 11. **碘與澱粉的反應原理**，
<http://www.bio.ncue.edu.tw/trialteacher/ch03/supply/7.2.html>。
 12. **植物之光合作用**，
<http://www.bio.ncue.edu.tw/trialteacher/ch03/supply/3-05.html>。
 13. **活動 3—2 澱粉和葡萄糖的測定**，
<http://www.bio.ncue.edu.tw/trialteacher/ch03/supply/a3-2.html>。
 14. **光合作用研究史**，
<http://seed.agron.ntu.edu.tw/civilisation/PlantHistory/sci-photos.htm>。
 15. **光合作用 (photosynthesis)**，
<http://www.bio.ncue.edu.tw/general/ch10/ch10.html>。
 16. **光合作用**，
<http://life.nthu.edu.tw/~lsly/phy/photosys.htm>。
 17. **光合作用菌**，
<http://science.scu.edu.tw/micro/1024/cover/cover003.html>。

附

件

照片 1：
實驗用大理花



照片 2：
實驗用大葉桉



照片 3：
大葉桉包鋁箔之情形



照片 4：
改良後之加熱實驗裝置



照片 5：
計算、記錄軟化時間



照片6：改良之隔水加熱
實驗裝置



照片 7：將酒精褪色後
之葉片以碘液染色



照片 8：計算、記錄加入
碘液後染色之時間



照片 5：
計算、記錄軟化時間



照片 6：將酒精褪色後
之葉片以碘液染色



照片7：改良之隔水加熱實驗裝置



照片 8：計算、記錄加入
碘液後染色之時間



照片 9：測量、紀錄各種
不同植物的染色情況



照片 10：測量、紀錄
各種植物的染色情況



照片 11：測量、紀錄
各種植物的染色情況



照片 12：測量、紀錄
各種植物的染色情況



照片 13：測量、紀錄

照片 14：以照度計測量

各種植物的染色情況



照片 15：以照度計測量
向日葵葉片的照度量

記錄玫瑰葉片的照度量



照片 16：大理花葉片
日照三天之染色結果



照片 17：向日葵葉片
日照三天之染色結果



照片 18：玫瑰葉片
日照三天之染色結果



照片 19：桑樹葉片



照片 20：大理花葉片

日照三天之染色結果



日照六天之染色結果



照片 21：向日葵葉片
日照六天之染色結果

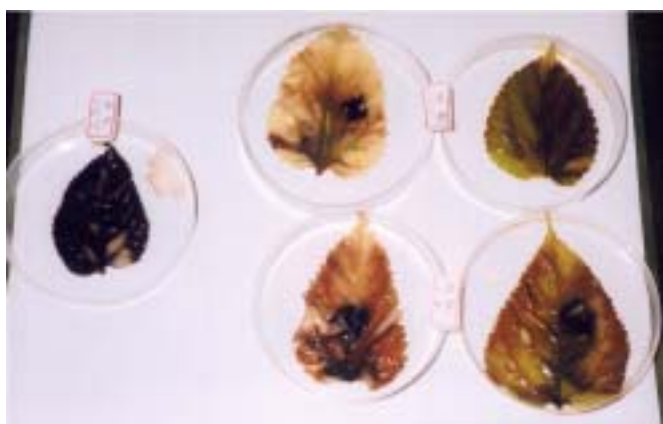
照片 22：玫瑰葉片
日照六天之染色結果



照片 23：桑樹葉片
日照六天之染色結果



照片 24：大葉桉葉片
日照六天之染色結果



照片 25：大理花葉片



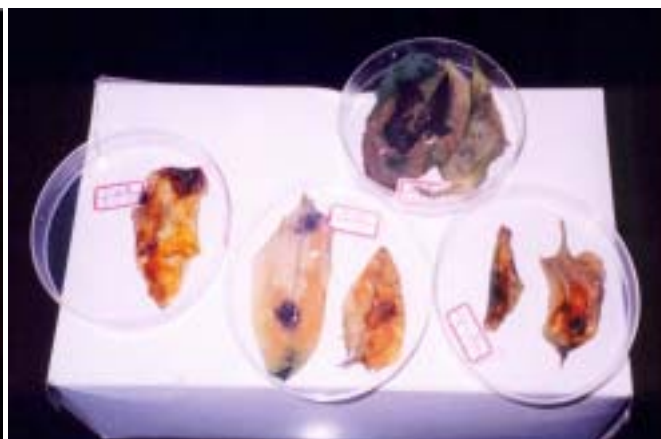
照片 26：向日葵葉片

日照九天之染色結果



照片 27：桑樹葉片
日照九天之染色結果

日照九天之染色結果



照片 28：大葉桉葉片
日照九天之染色結果



照片 29：測量不同碘液
濃度之染色效果



照片 30：測量不同碘液
濃度之染色效果



照片 31：測量及記錄不
同碘液濃度之染色效果



照片 32：以濃度 5% 的
碘液染色後之結果



照片 33：以濃度 10% 的
碘液染色後之結果



照片 34：以濃度 20% 的
碘液染色後之結果



照片 35：以濃度 25% 的
碘液染色後之結果



照片 36：以濃度 50% 的
碘液染色後之結果



照片 37：以濃度 75% 的
碘液染色後之結果



照片 38：以濃度 100%
的稀碘液染色後之結果



照片 39：以濃度 200%
的稀碘液染色後之結果



附 表：

表（一）：調查研究最適合本實驗之校內植物

代號	植物名稱	採集地點	軟化時間 (／分)	褪色時間 (／分)	清洗時間 (／分)	變色時間 (／分)	結 果	
A	桑樹	校園東側 腳踏車棚邊	2'	5'	1'	2"	+++++	褪色情況良好 變色非常明顯， 完全變成藍黑色
B	竹柏	校園東側 玫瑰園旁	10'	10'	1'	24h	+	褪色情況非常不良 變色非常不明顯， 二次染色效果亦不佳
C	春不老	校園東側 光華樓旁	10'	10'	1'	24h	-	褪色情況非常不良幾乎 不褪色、染色均不變色，
D	玫瑰	校園東側 玫瑰園	5'	10'	2'	1'	+++	褪色情況較不佳 染色效果非常明顯，
E	樟樹	校園東側 光華樓旁	5'	10'	2'	40"	+++	褪色情況較不佳 染色效果非常明顯，
F	大理花	至美樓南側 花圃	5'	10'	2'	20"	+++++	褪色情況良好 變色非常明顯， 完全變成藍黑色
G	矮牽牛	大勇樓南側 花圃	3'	19'37"	2'	1'	++	褪色情況非常不佳，時 間需要很長，染色效果 明顯，
H	美女櫻	校園東側 光華樓旁	3'	14'	4'	30"	+++	褪色情況較不佳 染色效果非常明顯，
I	一串紅	大勇樓南側 花圃	3'	8'	3'	10"	+++++	褪色情況良好 變色非常明顯， 完全變成藍黑色
J	向日葵	校園東側 玫瑰園花圃	3'	14'	4'	20"	++++	褪色情況良好 變色非常明顯， 完全變成藍黑色
K	榕樹	校園東側 倉庫旁	5'	35'44"	5'	5'	+	褪色情況非常不良幾乎 不褪色、變色不明顯，
L	美人樹	校園東側 大垃圾場旁	5'	21'48"	6'	5'	++	褪色情況非常差、染色 均不變色，
M	大葉桉	光華樓 西側路旁	2'	7'20"	2'	3'	+++++	褪色情況良好 但缺點是需要時間較長 變色非常明顯， 完全變成藍黑色

N	杜鵑	至善樓北側 花圃	10'	14'	4'	5'	+++	褪色情況較不佳 染色效果非常不明顯,
O	桂花	至真樓南側 花圃	10'	14'	3'	5"	+++	褪色情況較不佳, 幾乎不褪色 染色效果非常不明顯,
P	金魚草	大勇樓南側 花圃	1'	14'	2'	4"	++++	褪色情況尚可, 但需要時間較長 染色效果成點狀斑點, 結果普通

表（二）：效果較佳的校園植物其特殊構造

植物名稱	硬度	角質層	枯黃程度	有無毛狀物	葉脈明顯程度	葉片本身厚度	碘液染色結果
大理花	+++++	++	不變	有	+++++	++++	+++++
向日葵	+++	++++	變枯黃	有	++++	++	++++
玫 瑰	++++	++++	不變	無	++	++++	+++
大葉桉	++++	++++	不變	無	+++	+++++	++
桑 樹	+	++	不變	有	+++	++	+++

表（三）：照度（處理六天）對碘液染色結果的影響

植物名稱	採集地點	平均照度 (燭光)	碘液 染色結果	染色 成功率	平均照度 (燭光)	碘液 染色結果	染色 成功率
大理花	至美樓南側 花圃	7186	+++++	100%	642	+++++	100%
向日葵	校園東側 玫瑰園花圃	7306	+++++	100%	712	+++	60%
玫 瑰	校園東側 玫瑰園	7524	++++	80%	844	+++	60%
大葉桉	光華樓 西側路旁	3334	+++++	100%	544	+++	60%
桑 樹	校園東側 腳踏車棚邊	6374	+++	80%	990	++	40%

表（四）：日照三天後不同植物的實驗結果

植物 名稱	葉片顏色 ／ 枯黃程度	硬度 ／ 厚度	角質層 ／葉脈 明顯程度	有無毛狀物 ／ 軟化時間	酒精褪色 時間／ 漂洗時間	呈色時間 ／ 呈色結果	染色 成功 率	備 註：
大理花	深綠	+++++	++	有	6'	10"	100%	效果非常好， 十字很明顯
	不變	++++	++++	1'	1'	+++++		
向日葵	翠綠	+++	++++	有	6'10"	30"	90%	十字呈現 但顏色較淡
	變黃	++	++++	30"	1'	++++		
玫 瑰	墨綠	++++	++++	無	6'	10"	50%	效果不佳 十字不明顯
	不變	++++	++	3'	1'	+++		
大葉桉	黃綠	++++	++++	無	7'	3'	20%	效果不佳
	不變	+++++	+++	1'30"	2'	++		
桑 樹	翠綠	+	++	有	1'50"	10"	70%	十字並不明顯， 澱粉尚未完全 分解完畢
	不變	++	+++	30"	1'	+++		

表（五）：日照六天後不同植物的實驗結果

植物 名稱	葉片顏色 ／ 枯黃程度	硬度 ／ 厚度	角質層 ／葉脈 明顯程度	有無毛狀物 ／ 軟化時間	酒精褪色 時間／ 漂洗時間	呈色時間 ／ 呈色結果	染色 成功 率	備 註：
大理花	深綠	++++	++++	有	6'40"	10"	100%	效果非常好， 十字很明顯
	不變	++++	+++	45"	1'	++++		
向日葵	翠綠	++	+++	有	13'20"	10"	100%	十字呈現 但顏色較淡
	變泛黃	+++	+++++	1'	1'	++++		
玫 瑰	墨綠	+++	++++	無	10'	2'	50%	效果不佳 十字不明顯
	變泛黃	+++	++	1'30"	1'	+++		
大葉桉	黃綠	++++	++++	無	11'	1'	20%	效果不佳
	不變	+++++	+++	1'20"	1'30"	++		
桑 樹	翠綠	+	++	有	5'	10"	60%	十字並不明顯，澱 粉尚未完全 分解完畢
	不變	++	+++	1'10"	1'	+++		

表（六）：日照九天後不同植物的實驗結果

植物 名稱	葉片顏色 ／ 枯黃程度	硬度 ／ 厚度	角質層 ／葉脈 明顯程度	有無毛狀物 ／ 軟化時間	酒精褪色 時間／ 漂洗時間	呈色時間 ／ 呈色結果	染色 成功 率	備 註：
大理花	深綠	++++	+++++	有	6'10"	4"	100%	效果非常好， 十字很明顯
	不變	++++	++++	3'	1'	++++		
向日葵	翠綠	++	+++	有	20'30"	10"	100%	十字呈現 但顏色較淡
	變泛黃	+++	+++++	1'	1'	++++		
玫 瑰	墨綠	+++	++++	無	15'	3'	30%	效果不佳 十字不明顯
	變泛黃	++	++	6'	1'	++		
大葉桉	黃綠	++++	++++	無	12'	4'	40%	效果不佳
	不變	+++++	+++	1'	1'	++		
桑 樹	翠綠	+	++	有	16'40"	43"	40%	十字較不明顯
	不變	++	+++	1'10"	1'	++++		

表（七）：大理花不同日照天數之實驗結果

植物 名稱	葉片顏色 ／ 枯黃程度	硬度 ／ 厚度	角質層 ／葉脈 明顯程度	有無毛狀物 ／ 軟化時間	酒精褪色 時間／ 漂洗時間	呈色時間 ／ 呈色結果	染色 成功 率	備 註：
三 天	深綠	+++++	++	有	6'	10"	100%	效果非常好， 十字很明顯
	不變	++++	++++	1'	1'	+++++		
六 天	深綠	++++	++++	有	6'40"	10"	100%	效果非常好， 十字很明顯
	不變	++++	+++	45"	1'	++++		
九 天	深綠	++++	+++++	有	6'10"	4"	100%	效果非常好， 十字很明顯
	不變	++++	++++	3'	1'	++++		

表（八）：向日葵不同日照天數之實驗結果

植物 名稱	葉片顏色 ／ 枯黃程度	硬度 ／ 厚度	角質層 ／葉脈 明顯程度	有無毛狀物 ／ 軟化時間	酒精褪色 時間／ 漂洗時間	呈色時間 ／ 呈色結果	染色 成功 率	備 註：
三 天	翠綠	+++	++++	有	6'10"	30"	90%	十字呈現 但顏色較淡
	變黃	++	++++	30"	1'	++++		
六 天	翠綠	++	+++	有	13'20"	10"	100%	十字呈現 但顏色較淡
	變泛黃	+++	+++++	1'	1'	++++		
九 天	翠綠	++	+++	有	20'30"	10"	100%	十字呈現 但顏色較淡
	變泛黃	+++	+++++	1'	1'	++++		

表（九）：玫瑰不同日照天數之實驗結果

植物 名稱	葉片顏色 ／ 枯黃程度	硬度 ／ 厚度	角質層 ／葉脈 明顯程度	有無毛狀物 ／ 軟化時間	酒精褪色 時間／ 漂洗時間	呈色時間 ／ 呈色結果	染色 成功 率	備 註：
三 天	墨綠	++++	++++	無	6'	10"	50%	效果不佳 十字不明顯
	不變	++++	++	3'	1'	+++		
六 天	墨綠	+++	++++	無	10'	2'	50%	效果不佳 十字不明顯
	變泛黃	+++	++	1'30"	1'	+++		
九 天	墨綠	+++	++++	無	15'	3'	30%	效果不佳 十字不明顯
	變泛黃	++	++	6'	1'	++		

表（十）：大葉桉不同日照天數之實驗結果

植物 名稱	葉片顏色 ／ 枯黃程度	硬度 ／ 厚度	角質層 ／葉脈 明顯程度	有無毛狀物 ／ 軟化時間	酒精褪色 時間／ 漂洗時間	呈色時間 ／ 呈色結果	染色 成功 率	備 註：
三 天	黃綠	++++	++++	無	7'	3'	20%	效果不佳
	不變	+++++	+++	1'30"	2'	++		
六 天	黃綠	++++	++++	無	11'	1'	20%	效果不佳
	不變	+++++	+++	1'20"	1'30"	++		
九 天	黃綠	++++	++++	無	12'	4'	40%	效果不佳
	不變	+++++	+++	1'	1'	++		

表（十一）：桑樹不同日照天數之實驗結果

植物 名稱	葉片顏色 ／ 枯黃程度	硬度 ／ 厚度	角質層 ／葉脈 明顯程度	有無毛狀物 ／ 軟化時間	酒精褪色 時間／ 漂洗時間	呈色時間 ／ 呈色結果	染色 成功 率	備 註：
----------	-------------------	---------------	--------------------	--------------------	---------------------	-------------------	---------------	------

	枯黃程度	厚度	明顯程度	軟化時間	漂洗時間	呈色結果	率	
三 天	翠綠	+	++	有	1'50"	10"	70%	十字並不明顯，澱粉尚未完全分解完畢
	不變	++	+++	30"	1'	+++		
六 天	翠綠	+	++	有	5'	10"	60%	十字並不明顯，澱粉尚未完全分解完畢
	不變	++	+++	1'10"	1'	+++		
九 天	翠綠	+	++	有	16'40"	43"	40%	十字尚明顯
	不變	++	+++	1'10"	1'	++++		

表（十二）：大理花日照三天後，以不同碘液濃度染色結果

碘液濃度	十字 呈色結果	十字 呈色時間	十字 保存時間	二次染色 保存時間	染色成功率	對照組 呈色結果
200%—濃碘液	+++++	3"	>24h	>24h	100%	+++++
100%—稀碘液	+++++	2"	>24h	>24h	100%	+++++
75%—稀碘液	+++++	4"	>24h	>24h	100%	+++++
50%—稀碘液	++++	6"	>24h	>24h	100%	+++++
25%—稀碘液	+++	3"	24'	>24h	100%	+++++
20%—稀碘液	+++	4"	20'	>24h	100%	++++
15%—稀碘液	+++	4"	18'	>24h	100%	++++
10%—稀碘液	++	4"	14'	>24h	90%	+++
5%—稀碘液	+	27"	12'	8h	80%	+
1%—稀碘液	--	--	--	--	--	--

*對照組：指完全沒有包覆鋁箔之植物葉片

(第三名)

1. 取材課本改良實驗立意結果良好。
2. 研究精神，表達能力良好，可嘉。
3. 本實驗中的藥品是碘酊，並非是標準碘液，建議更正。
4. 建議照片，避免重複出現，說明書 p.22 照片說明可放於整頁下方，並可用同一圖說。