

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

030310

交錯的深淺色彩—遮光對光合作用產物儲存位
置之影響

學校名稱：彰化縣立彰安國民中學

作者： 國二 張秉茜 國二 顏韶緯	指導老師： 蔣文蘭 侯松男
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：輪傘莎草、光合作用、澱粉儲存位置

交錯的深淺色彩

一 遮光對光合作用產物儲存位置之影響

摘要

「哇啊！居然有澱粉！這真的太奇怪啦！」

葉片被鋁箔紙包覆、沒有光線、不能行光合作用的部份檢驗出澱粉，有照光的地方反而澱粉消失了，這真是不可思議。因此我們針對植物特性進行分析、改變光照條件等影響因素，重複的進行遮光實驗。研究結果顯示，植物光合作用最終產生的澱粉是儲存在葉肉細胞與維管束細胞，而造成異常結果的原因，則與遮光時間有關。隨遮光時間增加，遮光區的澱粉量會先逐漸減少再逐漸增加。而照光區的澱粉量會隨遮光區澱粉的重新增加而減少，一直到遮光區的澱粉累積範圍接近分界，照光區澱粉才會重新累積，逐漸增加。我們發現了一個與課本理論相反的結果！

壹、研究動機

國一時課本的實驗中，將植物的葉片以鋁箔包覆隔絕光線，葉片被包覆的部份會因為無法進行光合作用，而無法產生澱粉。使用碘液檢驗時，被包覆的部份也會因為沒有澱粉產生，呈現黃褐色。

然而我們所做的實驗卻發現使用碘液檢驗被鋁箔包覆、未行光合作用的部位，出現了澱粉反應；而葉片有光線照射，進行光合作用的區域，其澱粉濃度卻比未行光合作用的區域還低。這個與課本內容完全顛倒的結果，讓我們納悶了很久，在詢問老師、遍尋書籍與網路資料也完全得不到解答的情況下，即開始進行研究，想瞭解到底是什麼因素造成澱粉儲存位置的改變。

貳、研究目的

為瞭解造成實驗結果與理論相異的原因，經過資料蒐集與討論擬出四項研究目的。

- 一、尋找適合「日光對光合作用影響」實驗的相關實驗材料。
- 二、探討光照強度對輪傘莎草澱粉儲存位置的影響。
- 三、探討遮光時間對輪傘莎草澱粉儲存位置的影響。
- 四、探討不同植物(輪傘莎草、大花咸豐草、馬櫻丹與彩葉草)在不同遮光時間下對其澱粉儲存位置的影響。

參、研究材料、藥品與器材

一、研究材料：

研究材料為輪傘莎草、大花咸豐草、馬櫻丹與彩葉草，以下為選擇這些植物的原因。

(一) 輪傘莎草

是我們在國一實驗時發現會出現澱粉儲存位置異常的植物。

(二) 大花咸豐草

從網路資料與實際調查結果，發現是常被使用、且常見的實驗材料。

(三) 彩葉草

葉片靠近葉脈中肋的部份顏色較淡，在蒐集資料裡面顯示中央部分，通常有不會出現澱粉反應的情形。

(四) 馬櫻丹

是常見且經常使用的實驗材料。

表 1 是我們這個研究所使用之輪傘莎草、大花咸豐草、馬櫻丹與彩葉草四種植物的基本資料與外型比較。

二、藥品與器材：

以下將分別介紹我們的研究材料與使用的器材。

1. 葉片尺寸測量器：

為了能快速的選擇葉片樣品，我們利用統計所得之資料在透明塑膠片上繪製基準線，來量測葉片尺寸。透明塑膠片之設計如圖 1 所示。

2. 燈箱：

為了準確記錄碘液讓葉片的變色情形，我們自行設計製作一件燈箱，設計如圖 2，拍攝照片時之裝置配置如圖 3 所示。記錄實驗結果的相機 (OLYMPUS sp5000)，以光圈 5.6、快門 1/100、色溫 5300、感光度 400 的設定進行操作。

3. 其他器材包括，燒杯、培養皿、溫度計、電磁爐、顯微鏡、顯微照相機、檯燈、鐵鍋、鋁箔紙等，詳細材料如表 2。



圖 1 量測葉片尺寸用之塑膠片

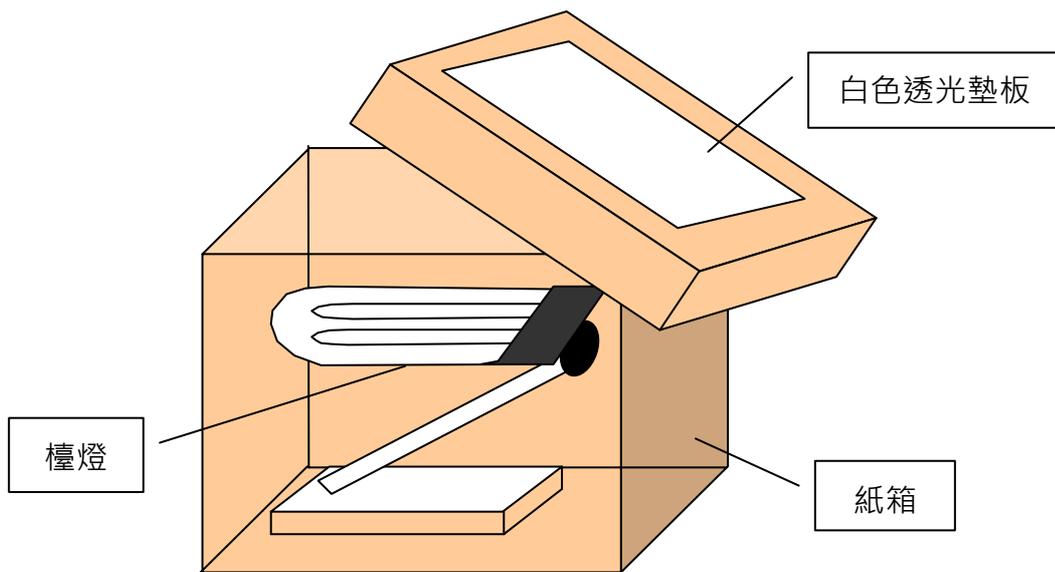


圖 2 自製燈箱示意圖

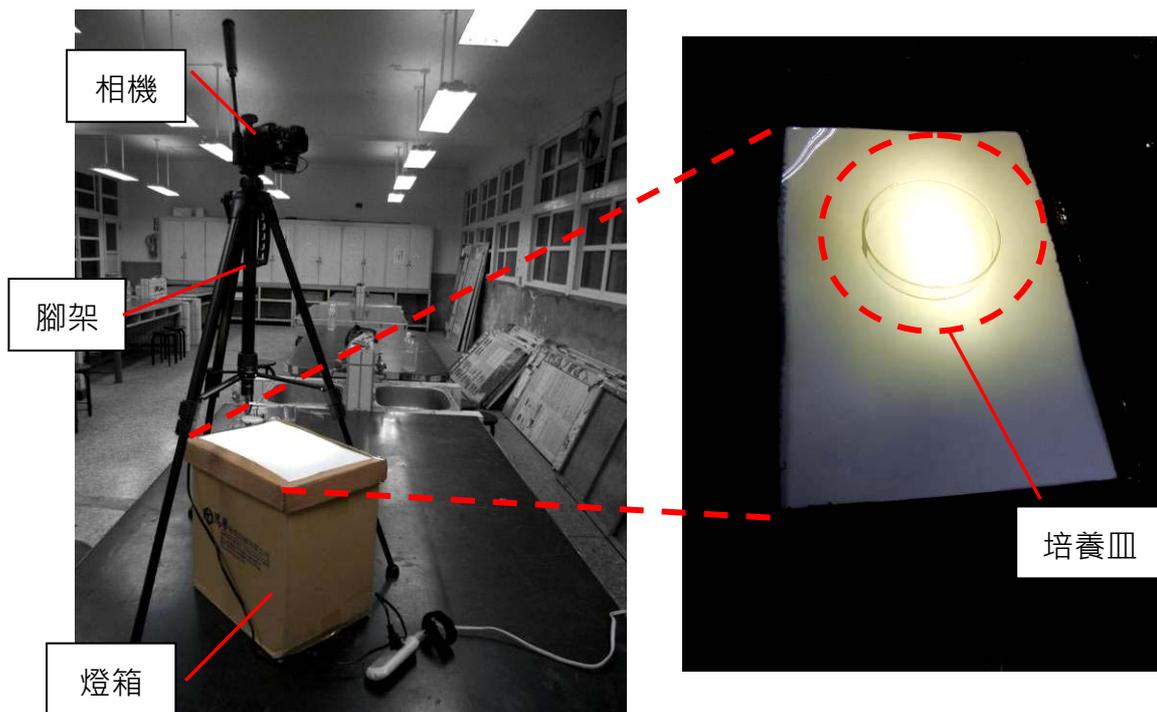


圖 3 拍攝葉片照片時之裝置配置

表 1 輪傘莎草、大花咸豐草、馬櫻丹與彩葉草四種植物的基本資料與外型比較

中文名	輪傘莎草	大花咸豐草
學名	<i>Cyperus alternifolius.</i>	<i>Bidens pilosa</i>
植物照片	 <p>苞葉</p> <p>互生</p> <p>中央遮光 12 天後的葉片</p>	 <p>花</p> <p>葉</p> <p>中央遮光 12 天後的葉片</p>
基本資料	<p>莎草科，挺水性植物，單子葉植物</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.莖-叢生，莖圓柱形直立。 2.葉-莖頂之苞葉互生，呈放射狀，披針形，綠色，平行脈。 3.花-由總苞葉開出穗狀花序，初為綠色而後為紅褐色。 4.果-三角形瘦果，種子細小。 	<p>菊科，鬼針屬，雙子葉植物</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.莖-方形分枝多，節處常帶淺紫色。 2.葉-對生，鋸齒緣，葉柄長。 3.花-頭狀花序呈繖形排列，頂生或腋生，外圍舌狀花白色。 4.果-黑褐色細長瘦果，上端有逆刺。

表 1 輪傘莎草、大花咸豐草、馬櫻丹與彩葉草四種植物的基本資料與外型比較(續)

中文名	馬櫻丹	彩葉草
學名	<i>Lantana camara L.</i>	<i>Coleus hybridus Voss</i>
植物照片	 <p style="text-align: right; margin-right: 5px;">花</p> <p style="text-align: right; margin-right: 5px;">葉</p> <p style="text-align: center;">中央遮光 12 天後的葉片</p>	 <p style="text-align: right; margin-right: 5px;">葉</p> <p style="text-align: center;">中央遮光 12 天後的葉片</p>
基本資料	<p>馬鞭草科，馬櫻丹屬，雙子葉植物</p> <p>特徵：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.莖：小枝四稜形，有逆向的倒鉤刺 2.葉：對生，長卵形，鋸齒緣，葉面和葉背有短硬毛。 3.花：頭狀花序至繖房狀花序，花色有粉紅、橙紅、黃紅、紫紅、橙黃等，為昆蟲之蜜源植物。 4.果：球形，肉質核果，成熟時紫黑色。 	<p>脣形科，彩葉草屬，雙子葉植物</p> <p>特徵：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.莖：莖方形，分枝少。 2.葉：單葉對生，具葉柄，闊卵形至圓形，葉緣呈鋸齒狀，葉面色彩變異甚大，一般以紅色為主，而混雜有綠色，黑色，黃色，紫色等 3.花：成株頂端會抽出花穗，花小，深藍或帶白色。

表 2 研究材料

器材名稱	數量	單位	器材名稱	數量	單位
燒杯(100ml)	9	個	酒精燈	1	盞
燒杯(250ml)	9	個	鑷子	3	支
陶瓷纖維網	1	張	培養皿	19	個
三腳架	1	個	玻棒	2	支
溫度計	2	支	試管架	3	個
試管	18	支	微量滴管(1ml)	1	支
滴管	4	支	鐵鍋	1	個
電磁爐	1	台	鋁箔紙	1	盒
相機(OLYMPUS sp5000)	1	台	寶特瓶	20	個
迴紋針	1	盒	檯燈	1	台
顯微鏡	1	台	顯微照相機	1	台
量測葉片尺寸用之塑膠片	4	片			

肆、 研究過程及方法

在國一實驗時我們的操作條件與其他人的主要差異為光照強度與遮光時間。因此我們就分別以“光照強度”與“遮光時間”二個條件做為實驗的操作變因來設計實驗，圖 4 為我們的研究流程架構圖。

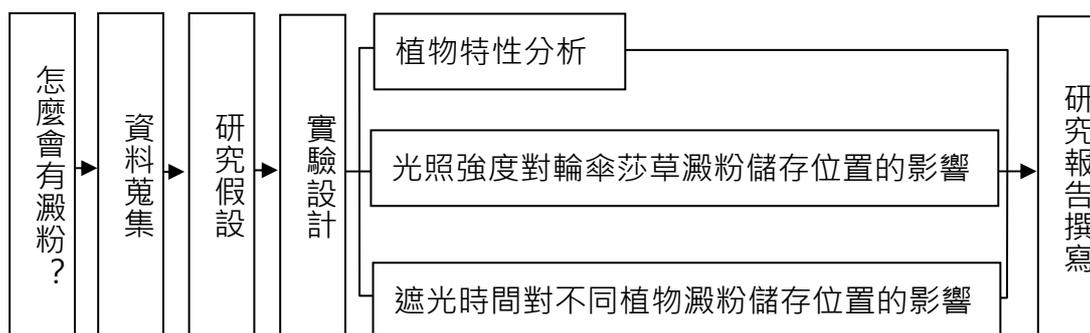


圖 4 交錯的深淺色彩 研究流程架構圖

我們檢驗光合作用產物的實驗步驟可分為三階段，分別為準備階段、樣品前處理與光合作用產物檢驗，以下將分別說明各階段操作方法，檢驗流程如圖 5 所示。

1. 準備階段

遮光區處理，以鋁箔包覆植物葉片，讓植物在實驗條件下進行光合作用。直到檢驗澱粉前，再將葉片摘下。

2. 樣品前處理

將葉片置於水中加熱，停止細胞活性；再以酒精隔水加熱將葉綠素及其他色素溶出(脫色)，最後以熱水漂洗葉片(洗淨)。

3. 檢驗階段

滴上碘液檢驗葉片上澱粉的儲存位置。

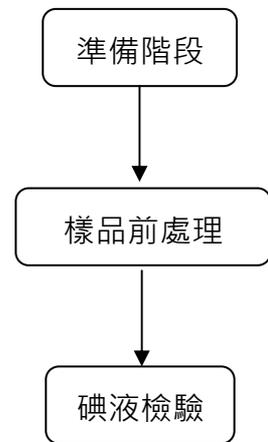


圖 5 澱粉的檢驗流程圖

伍、研究結果

本研究之結果呈現如下，內容包括：植物特性分析、光線強度對植物澱粉儲存位置之影響、鋁箔包覆時間(遮光時間)對植物澱粉儲存位置之影響。

一、植物特性分析

我們選用校園內常見植物作為實驗材料，由於葉片差異大，實驗操作條件會有所差異。因此先進行葉片特性分析。包括，葉片大小、葉片脫色時間差異。另外，在顯微鏡下觀察經過脫色處理的葉片切片，觀察葉片切面之結構，並在玻片間滴入碘液直接觀察變色情形，藉此瞭解葉片將澱粉儲存在何處。

(一) 葉片大小

為了控制實驗樣品的一致性，必須知道葉片的大小，因此以隨機取樣之方式量測葉片大小並取平均值的 $\pm 10\%$ ，當作尺寸範圍，結果如下。

表 3 輪傘莎草、咸豐草、馬櫻丹、彩葉草之葉片大小統計表

植物	葉片長度取樣值(cm)										平均值 (cm)	尺寸範圍 (cm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
輪傘莎草	9.7	9.0	11.5	9.7	7.8	11.0	11.0	9.9	10.2	8.8	9.8	8.8~10.8
咸豐草	6.0	5.5	6.0	6.0	5.0	7.8	6.2	5.7	5.8	5.9	6.0	5.4~6.6
馬櫻丹	7.0	6.8	7.0	6.2	6.8	7.8	6.8	6.8	7.7	8.3	6.4	5.8~7.0
彩葉草	9.1	8.5	8.2	8.0	8.7	8.0	7.7	7.5	8.8	7.5	8.1	7.3~8.9

(二) 葉片脫色時間差異

葉片須充分脫色，才不致於干擾碘液與葉片中澱粉反應後之呈色。而這段時間通常會因為葉片質地而會有所差異，為了增進實驗操作效率，縮短脫色時間，本實驗以不同之葉片進行長時間加熱(30 分鐘)的樣品為基準，嘗試找出最有效率的脫色時間，表 4 為實驗樣品之比較。

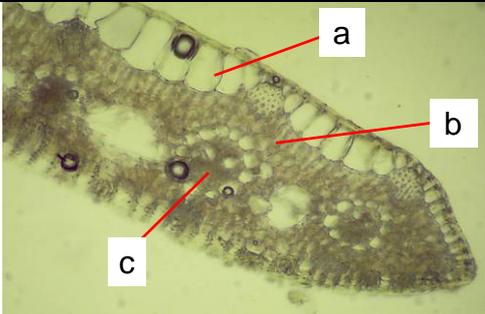
表 4 輪傘莎草、咸豐草、馬櫻丹、彩葉草最佳脫色時間樣品與長時間脫色樣品之比較

植物名稱	脫色樣品比較		最佳脫色時間
	30 分鐘脫色樣品	最佳脫色時間樣品	
輪傘莎草			20 分鐘
咸豐草			4 分鐘
馬櫻丹			10 分鐘
彩葉草			5 分鐘

(三) 葉片澱粉儲存位置

我們以刀片橫切脫色後之輪傘莎草葉片，在顯微鏡下觀察葉片的橫切面，再滴入碘液，觀察滴入碘液後之葉片變色情形，實驗結果如表 5 所示。結果顯示，澱粉存在於葉肉細胞與維管束細胞內。葉肉細胞滴入碘液後變成紅棕色，隨著時間增加，部分紅棕色的位置會加深為黑色。維管束也會在滴入碘液後變為紅棕色，而表皮細胞滴入碘液後不變色，實驗結果如下。

表 5 輪傘莎草切面及滴入碘液後之前後變化

階段	輪傘莎草切面	說明
滴入碘液前		置於顯微鏡下之輪傘莎草切片(尚未滴入碘液)。 a. 表皮細胞 b. 葉肉組織 c. 維管束
滴入碘液時		碘液剛滴入玻片時，葉肉組織顏色開始改變，呈紅棕色(箭頭處)。
滴入碘液後		待葉片切片與碘液完全接觸，下方的葉肉細胞變成紅棕色。 表皮細胞與維管束未變色。
滴入碘液 3 分鐘後		滴入碘液 3 分鐘後，原先紅棕色的葉肉組織，出現許多黑色不規則顆粒。而維管束(箭頭處)在 3 分鐘後轉變為紅棕色。 表皮細胞仍未變色。

二、光線強度對植物澱粉儲存位置之影響

本實驗控制光照強度，以瞭解澱粉儲存的情形。結果顯示，**光線強弱對澱粉儲存位置無直接影響**，但是**對澱粉之生成量有明顯差異**，光線較強者之澱粉生成量較光線弱者多。

實驗結果顯示，澱粉儲存位置結果並不一致。而在 3 天的遮光時間內，光照強的學校組，葉片中的澱粉較多，光照弱的自宅組澱粉較少。比較值得注意的是學校組全部以鋁箔遮光的葉片仍然會出現澱粉反應，實驗結果如表 6。

表 6 輪傘莎草葉片在不同光照強度之下之澱粉儲存情形(遮光時間 3 天)

組別	光照強(學校)	光照弱(自宅)	說明
鋁箔包中間			光照強(學校)的結果並不一致，有 2 片葉子遮光區與照光區無明顯差異。1 片葉子中央遮光區較淺，但均檢驗到澱粉。 光照弱(自宅)遮光區有澱粉。
全包覆鋁箔			光照強(學校)能測到澱粉反應，澱粉分布不均勻。 光照弱(自宅)有澱粉。
不包鋁箔			光照強(學校)澱粉反應不均勻。 光照弱(自宅)有澱粉。

三、鋁箔包覆時間(遮光時間)對植物澱粉儲存位置之影響

為瞭解遮光時間對植物澱粉儲存位置的影響，前後共進行三次實驗，實驗結果如下。

(一)實驗一：遮光時間(8 天與 15 天)對植物澱粉儲存位置之影響

結果顯示，在 3 天的遮光時間內，光照強的學校組，葉片中的澱粉較多，光照弱的自宅組澱粉較少。比較值得注意的是學校組全部以鋁箔遮光的葉片仍然會出現澱粉反應。

而不管是 8 天或是 15 天，遮光區都會出現澱粉反應，實驗結果如表 7 所示。

此外，我們發現在遮光區與照光區的分界有二種不同情形(如圖 6)，二者差異分述如下：

第一種，遮光區與照光區的顏色明顯差異，分界清楚。

第二種，遮光區與照光區的分界不清，分界處之澱粉量較低。

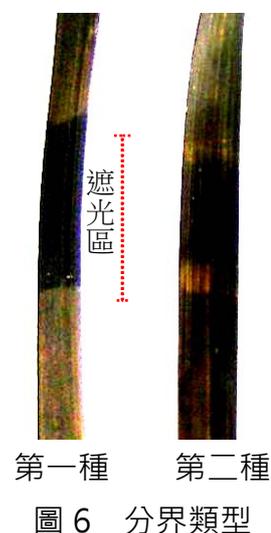


表 7 輪傘莎草葉片在不同遮光時間(8 天與 15 天)之澱粉儲存情形

組別	8 天	15 天	說明
鋁箔包中間	 光照強 光照弱	 光照強 光照弱	光照強(學校)在遮光區會出現明顯可見的澱粉反應。 光照弱(自宅)變化不明顯，但可發現遮光中央有澱粉反應。

全 包 覆 鋁 箔	 <p>光照強 光照弱</p>	 <p>光照強 光照弱</p>	<p>光照強(學校)可以檢驗出高量的澱粉。 光照弱(自宅)澱粉含量較低。</p>
不 包 鋁 箔	 <p>光照強 光照弱</p>	 <p>光照強 光照弱</p>	<p>光照強(學校)有高量澱粉。 光照弱(自宅)雖有澱粉反應，但澱粉量較低。</p>

(二)實驗二：不同遮光時間(第 1、4、5、6、7、8 天)對植物澱粉儲存位置之影響

為了更精確的瞭解遮光時間長短讓輪傘莎草葉片澱粉儲存位置改變的過程。實驗採控制遮光時間的方式，每天包覆一組葉片(3 片)，遮光時間分別為 8、7、6、5、4、1 天，在最後一天同時摘下葉片進行分析，實驗結果如表 8 所示。重新檢視實驗一與實驗二的結果，發現：

1. 部份遮光的組別(遮住葉片中央)，遮光區的澱粉量逐漸減少，直到第 7 天才又逐漸出現。
2. 完全遮光的葉片在 15 天以前都能夠測得澱粉的存在。

由此得知，這些因為無法獲得日光能量而不能進行光合作用的葉片似乎有其他方法能從別處獲得足夠的養份，甚至可以將養分儲存成澱粉。

表 8 輪傘莎草葉片在不同遮光時間(第 1、4、5、6、7、8 天)之澱粉儲存情形

遮光時間	鋁箔包中間(葉片中央遮光) 遮光處 	不包鋁箔	全包覆鋁箔
1 天			
4 天			
5 天			
6 天			
7 天			
8 天			
說明	第 7 天開始出現異常狀況，澱粉出現在遮光區。第 8 天葉片之遮光區與照光區分界出現澱粉量較低的情形。	第 7 天以前不遮光的葉片皆能測得澱粉反應。第 8 天的葉片有枯黃現象澱粉量較低。	從第 4 天開始葉片樣品的一致性變差，完全不提供光照的葉片，有些會出現大量澱粉，而有些會檢驗不到澱粉。

(三)實驗三：遮光時間(第 1~14 天、第 26 天)對植物澱粉儲存位置之影響

實驗三以輪傘莎草、大花咸豐草、彩葉草與馬櫻丹為材料，觀察長時間遮光後澱粉重新出現在遮光區的這個現象是否存在於其他植物。實驗操作改以逐日採樣觀察策略，以瞭解遮光時間對澱粉儲存位置的影響。

輪傘莎草的實驗結果顯示，隨著時間的增加，輪傘莎草葉片上遮光區的澱粉量會先由多變少，再由少變多。輪傘莎草葉片遮光區重新出現澱粉反應的葉片數量如圖 7 所示，實驗結果如表 9 所示。

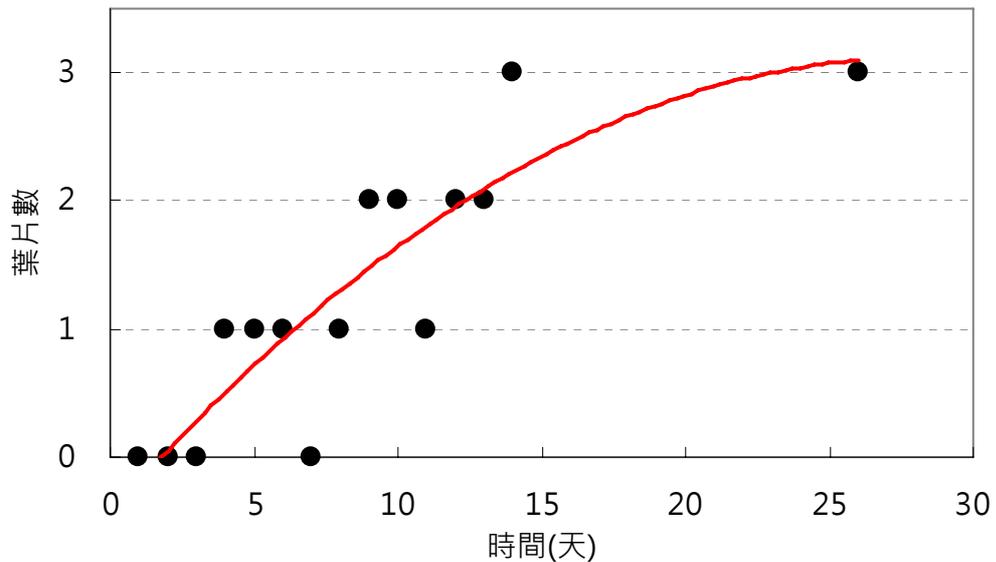
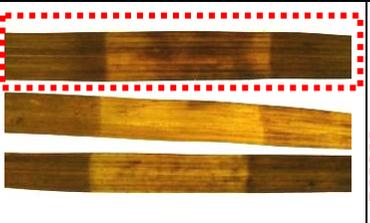
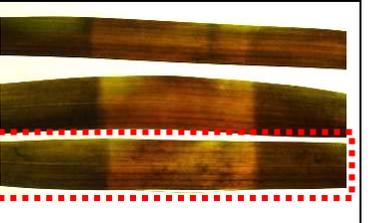
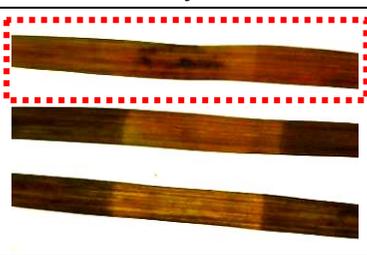
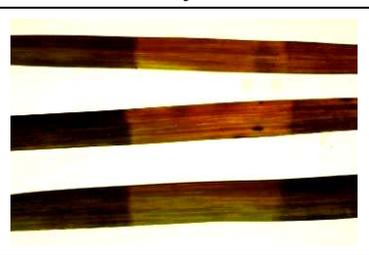
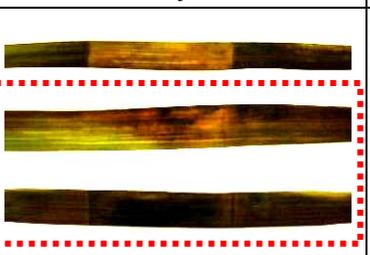


圖 7 輪傘莎草遮光處重新出現澱粉葉片統計圖

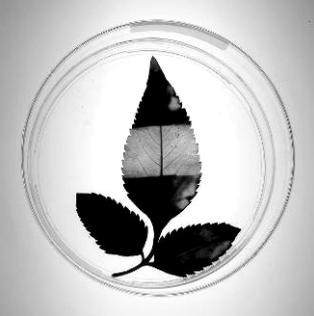
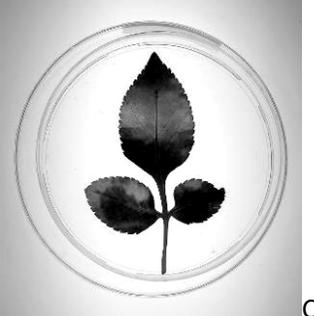
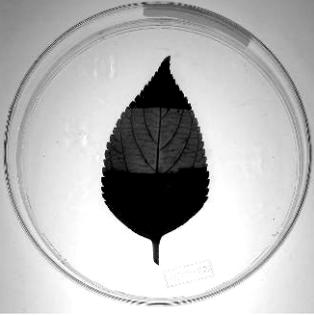
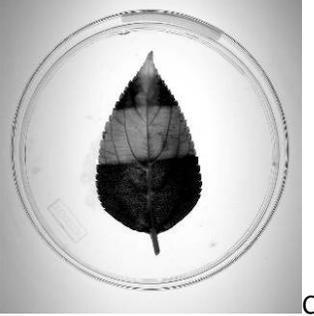
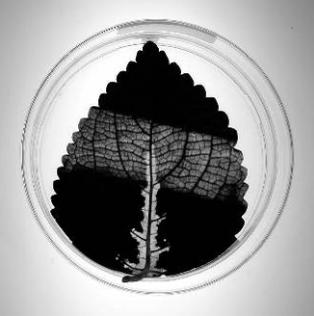
此外，由馬櫻丹、大花咸豐草與彩葉草之結果顯示，遮光區皆不會有澱粉重新出現的情形。但可發現部份遮光時間較長的樣品，照光區會出現澱粉量不均勻的情形，這個現象在彩葉草的葉片上特別明顯(表 10)。

表 9 輪傘莎草葉片在不同遮光時間(第 1~14 天、第 26 天)之澱粉儲存情形

Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5
				
Day 6	Day 7	Day 8	Day 9	Day 10
				
Day 11	Day 12	Day 13	Day 14	Day 26
				

註：紅色框線者表示鋁箔遮光區重新出現澱粉之樣品，其中第 9、11、13 天的樣品都有出現遮光區澱粉濃度高於照光區的情形。

表 10 遮光時間(第 1~14 天、第 26 天)對馬櫻丹、大花咸豐草、彩葉草澱粉儲存位置之影響

種類	遮光時間較短之樣本	遮光時間較長之樣本	澱粉量分布不均之葉片樣本
大花咸豐草	 <p>day2</p>	 <p>day12</p>	 <p>day12</p>
馬櫻丹	 <p>day1</p>	 <p>day14</p>	 <p>day12</p>
彩葉草	 <p>day1</p>	 <p>day12</p>	 <p>day4</p>

陸、討論

一、「日光對光合作用的影響」實驗之植物特性分析

問題(一)、什麼樣的植物最適合當「日光對光合作用的影響」實驗的對象？

回答：經彙整比較的實驗材料優缺點如表 11 所示。

依實驗之目的，若要順利觀察到課本所述之現象，我們建議使用馬櫻丹或大花咸豐草做為這個實驗的材料。

但若要觀察遮光後養分移動的情形，我們建議使用輪傘莎草，因為經長時間遮光可以獲得到養份轉移的證據。

表 11 「日光對光合作用的影響」實驗之植物優缺點比較

實驗材料	優點	缺點
馬櫻丹	<ul style="list-style-type: none">● 校園常見、取材容易● 質地堅韌、耐煮不易破裂● 實驗結果明顯	<ul style="list-style-type: none">● 脫色時間略長(約 10 分鐘)。
大花咸豐草	<ul style="list-style-type: none">● 校園常見、取材容易● 脫色時間最短，結果明顯	<ul style="list-style-type: none">● 葉片薄、柔軟，容易破裂。
輪傘莎草	<ul style="list-style-type: none">● 若加長遮光時間(超過 4 天)，有機會觀察到養份轉移的現象。● 質地堅韌、耐煮不易破裂。	<ul style="list-style-type: none">● 質地堅韌，脫色時間較長。● 葉片狹長，脫色操作不易。
彩葉草	<ul style="list-style-type: none">● 脫色時間短	<ul style="list-style-type: none">● 葉片不平整，鋁箔不好包。● 葉片薄、柔軟，容易破裂。● 照光區常出現澱粉分布不均的現象。

問題(二)、光合作用所製造的澱粉儲存在哪裡？

回答：澱粉是由光合作用產生的葡萄糖所合成產生，由輪傘莎草葉片切片得知，澱粉會儲存在在葉肉細胞、保衛細胞和維管束中，表皮細胞則不儲存澱粉。

問題(三)、為什麼輪傘莎草的葉片切片中出現二種顏色的澱粉反應？

回答：澱粉顏色不同的原因可能有二：

1. 澱粉在葉片中分布濃度不同，造成局部澱粉重疊，顏色自然較深。
2. 澱粉種類不同，對澱粉的反應顏色也不相同，若是支鏈澱粉，遇上碘液會變成紫紅色(紅棕色)；而若是直鏈澱粉；遇上碘液會變成深藍色(藍黑色)。

二、日光對澱粉儲存位置之影響

問題(一)、光照的強弱對澱粉儲存位置有何影響？

回答：本研究發現，不管光線強弱，輪傘莎草的遮光區皆會在一段時間後重新出現澱粉反應。但其結果仍有差異，其異同點如下。

表 12 光照強弱對輪散莎草澱粉儲存位置影響之異同比較表

實驗材料	光照差異	相同處	相異處
輪傘莎草	光線較強	遮光區在經過較長的遮光區理，最後都會有澱粉反應	遮光區澱粉量較多，反應較明顯
	光線較弱		遮光區澱粉量較少，反應較不明顯

問題(二)、遮光時間對澱粉儲存位置之影響為何？

回答：研究過程，我們曾對遮光區出現澱粉的原因，提出二個推論。

1. 遮光區的澱粉尚未消耗，因此遮光區之檢驗結果有澱粉反應。
2. 澱粉消失後又重新出現(再加上照光區澱粉減少)，所以變成與課本所述理論相反的結果。

由實驗結果發現當遮光時間越長，輪傘莎草遮光區重新出現澱粉的機率越高。澱粉儲存位置改變的葉片會隨著遮光時間增長，遮光區的澱粉量會先減少再增加，照光區的澱粉量也會在遮光區開始增加時開始減少。這個現象直至遮光區澱粉累積範圍增加至遮光與照光分界處，照光區的澱粉才會繼續累積。

依遮光時間長短，將葉片澱粉儲存變化分成以下三個階段(表 13)，並做出以下推論：

1. 遮光區澱粉消耗階段：

遮光區初期缺乏光線，遮光區因無法行光合作用製造葡萄糖，需使用遮光前所儲存的澱粉分解以獲得葡萄糖，因此澱粉量會隨著時間減少。在使用碘液檢驗時，遮光區也因澱粉量降低而隨著時間顏色逐漸變淺。此階段結果與課本所述之理論相同。

2. 遮光區澱粉重新累積階段：

遮光區因缺乏養份，開始從其他地方(可能是照光區)將養份運送至遮光區以維持遮光區細胞的活動。同時我們觀察到此階段遮光區澱粉量開始增加，照光區澱粉量開始減少。

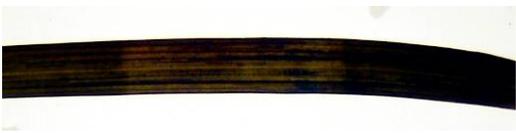
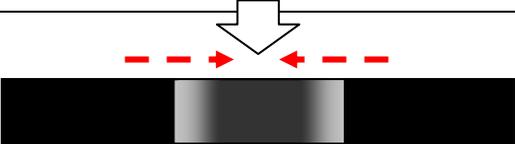
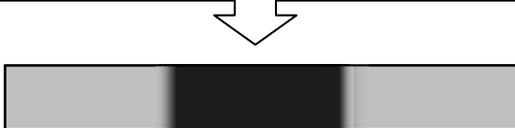
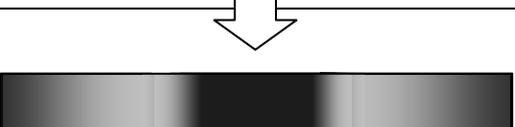
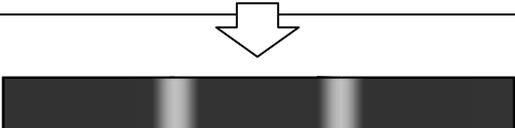
3. 照光區澱粉重新累積階段：

我們的實驗結果發現照光區在遮光區中央開始出現澱粉時，澱粉量會逐漸減少，直至遮光區之澱粉擴大至二區交界，照光區的澱粉重新累積。

除此之外，實驗過程所使用的馬櫻丹、大花咸豐草、彩葉草在遮光實驗過程，發現在照光區會出現澱粉分布不均的現象，並且隨遮光時間增加這個情況越明顯，我們推論遮光區澱粉消失的原因可能與遮光區養分不足有關。

雖然我們實際針對雙子葉植物進行之遮光實驗，遮光區並不會重新出現澱粉，但是我們透過網路上的資料蒐集，發現曾經有人使用雙子葉植物實驗得到與我們相似的結果。這個發現讓我們推論，讓光合作用實驗結果顛倒的現象，會同時發生在雙子葉植物與單子葉植物。

表 13 輪傘莎草葉片澱粉儲存位置的變化三階段

階段	實際照片	示意圖	說明
遮光區澱粉消耗			照光區：有澱粉反應。 遮光區：澱粉開始減少。
			照光區：有澱粉反應。 遮光區：澱粉明顯減少，與照光澱粉量有明顯差異。
遮光區澱粉重新累積			照光區：有澱粉反應，但逐漸減少。 遮光區：中央開始有澱粉重新累積。
			照光區：澱粉大量減少，且分布不均。 遮光區：出現大量澱粉反應，澱粉量大於照光區。
照光區澱粉重新累積			照光區：澱粉逐漸重新累積。 遮光區：靠近分界處出現黃褐色區域。
			照光區：澱粉量恢復正常情況。 遮光區：澱粉量和照光區差不多，分界處出現明顯黃褐色區域。

問題三、為何澱粉會重新出現在遮光區？

回答：我們在蒐集相關資料及與老師討論之後，我們針對澱粉會重新出現在遮光區的情形做出以下二種推論。

1. 從植物內養份供需的觀點，養分會從能行光合作用的照光區運輸到遮光區，以提供細胞的正常生理運作，甚至遮光區的細胞將獲得之養份轉換為澱粉儲存，示意圖如下。

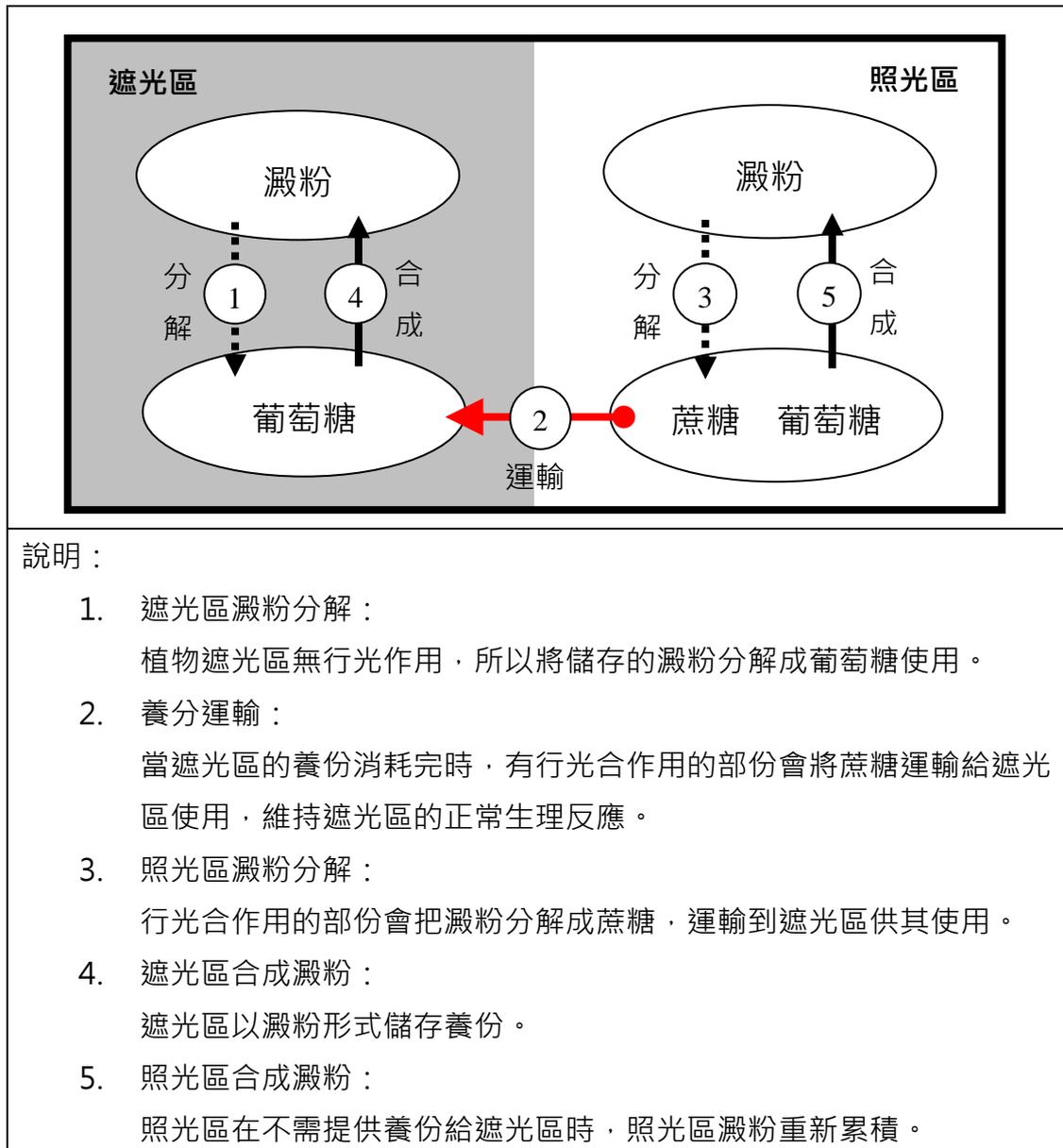


圖 8 遮光區及照光區澱粉變化示意圖

2. 遮光區可以由照光區獲得光合作用之暗反應所需的能量，因此可以製造養分，進而合成澱粉。

雖然做出以上二點推論，但其中仍有許多問題尚待研究。例如在第一點推論中，遮光區的澱粉為何會在缺乏養份下，再將養份轉化成澱粉儲存，這是我們所不能理解的，這一點也將在日後進行更深入的探討。

柒、結論

經過我們的研究得到以下幾點結論：

- 一、輪傘莎草光合作用產生的澱粉會存在葉肉細胞與維管束細胞內，表皮細胞並無澱粉。且我們檢驗到的澱粉與碘液反應後的顏色會有所差異(紅棕色與黑色)。
- 二、馬櫻丹與大花咸豐草具有準備期短、脫色容易、脫色效果良好、方便觀察等特性，適合做為國中自然與生活科技課程「日光對光合作用的影響」實驗之實驗材料。且以鋁箔包覆植物的遮光時間不宜超過 3 天。
- 三、我們發現光線強度對輪傘莎草澱粉儲存位置並不會有直接影響。但光線較弱時，遮光區澱粉澱粉累積量會較少；反之在光線較強時，遮光區澱粉澱粉累積量也會較多。
- 四、針對輪傘莎草的遮光實驗，發現遮光區的澱粉量會先減少後增加。而照光區的澱粉會隨著遮光區澱粉的增加而減少，一直到遮光區澱粉累積範圍接近分界，照光區澱粉又會重新累積，而逐漸增加。
我們將觀察結果，分為三個時期，依時間先後順序分別為，遮光區養份消耗階段、遮光區養份重新累積階段，和照光區養份重新累積階段(表 13)。各階段變化如下：

1. 遮光區澱粉消耗階段：

遮光區因缺乏光照，遮光前儲存之澱粉逐漸消耗而減少。

2. 遮光區澱粉重新累積階段：

遮光區缺乏養份，開始從其他地方(可能是照光區)將養份運送至遮光區以維持遮光區細胞的活動。此階段遮光區澱粉量開始增加，照光區澱粉量開始減少。

3. 照光區澱粉重新累積階段：

照光區在遮光區中央開始出現澱粉時，澱粉量會逐漸減少，直至遮光區之澱粉擴大至二區交界，照光區的澱粉重新累積。

- 五、我們觀察到無法獲得日光能量而不能進行光合作用的葉片，有其他地方獲得養份的能力，甚至可以將獲得的養分重新儲存成澱粉。

六、比較輪傘莎草、馬櫻丹、大花咸豐草和彩葉草的遮光實驗結果，發現當遮光時間較長時，葉片照光區之部分區域會出現澱粉量減少的情形(澱粉量不均勻)，我們推論此處澱粉分布不均的情形與植物部分區域缺乏養份有關。

七、目前我們只觀察到葉片中養份轉移的情形。但仍有許多問題尚待解決，包括：

- (一) 為何遮光區的養分明明不足，卻還會將獲得的養分重新合成為澱粉儲存？
- (二) 為何遮光區澱粉重新累積現象，沒有出現在所有的研究樣品？
- (三) 遮光區與照光區分界的澱粉量極低，為何該處沒有澱粉重新累積的現象？

以上這些問題都將會是我們日後的研究目標。

捌、參考文獻

1. 台灣大學生物產業電工程系。Chap. 37. Nutrient and Transport in Plants。應用生物學八十七學年度第二學期課程內容。
2. 田中修 Osamu Tanaka。吳佩俞 譯。(2009)。不可思議的葉子。晨星出版社。
3. 自然與生活科技第一冊。(2009)。探討日光對光合作用的影響(64-65 頁)。南一書局。
4. 自然與生活科技第一冊。(2009)。光合作用的探討(60-61 頁)。康軒書局。
5. 周芳瑜、江庭瑩、卜嘉榕、何毓倫。碘液調色盤-直鏈澱粉定量方法之改良。中華民國第四十八屆中小學科學展覽會作品說明書。
6. 阿簡生物筆記 - 光合照片果然還是有靈異現象。2007 年 11 月 8 日。
取自：http://a-chien.blogspot.com/2007/11/blog-post_7273.html
7. 邱耀慶、郭主歆、王暉崙。解開「澱粉~碘」的藍色密碼。中華民國第四十七屆中小學科學展覽會作品說明書。
8. 湯亞昀、高韻嵐、連敏翔、邱奕均。不同光線對植物行光合作用的影響。中華民國第 47 屆中小學科學展覽會作品說明書。

活動 3-3 探討日光對光合作用的影響

〔目的〕證明植物進行光合作用可產生澱粉，而光照是光合作用的必要條件。

〔器材〕（以組為單位）

- | | | |
|---------------------------------------|--|---|
| <input type="checkbox"/> 植物葉子（在植株上）1片 | <input type="checkbox"/> 塑膠黑色貼紙（或長條鋁箔）1張 | <input type="checkbox"/> 迴紋針（使用鋁箔時才用）2個 |
| <input type="checkbox"/> 燒杯（250 mL）1個 | <input type="checkbox"/> 鑷子1支 | <input type="checkbox"/> 陶瓷纖維網1個 |
| <input type="checkbox"/> 三腳架1個 | <input type="checkbox"/> 酒精燈1盞 | <input type="checkbox"/> 量筒（50 mL）1個 |
| <input type="checkbox"/> 燒杯（100 mL）1個 | <input type="checkbox"/> 酒精（95%）約40 mL | <input type="checkbox"/> 碘液約3 mL |
| <input type="checkbox"/> 滴管1支 | <input type="checkbox"/> 培養皿1個 | |

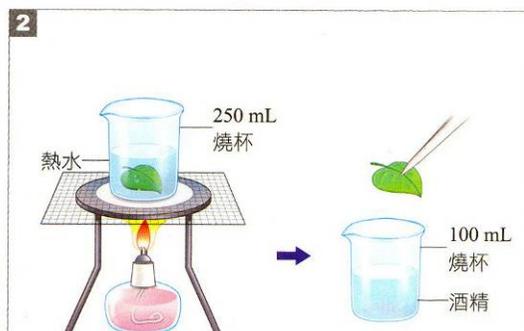
- 建議**
- 植物的葉片可選擇日日春、鬼針草、天竺葵、甘藷葉或繁星花。
 - 請勿選擇：太軟或太薄的葉片，以免撕下貼紙時，造成葉片的破損；過大的葉片不易操作；太厚的葉片，因為角質層太厚，不易軟化。

〔原理說明〕碘液是黃褐色的試劑，與澱粉結合後，會呈現藍黑色。

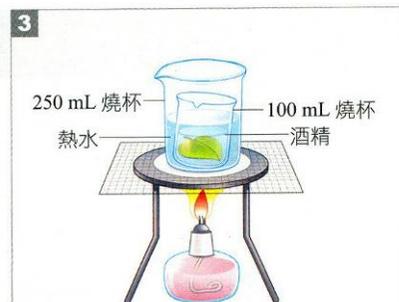
〔步驟〕



進行活動前一週左右，在植株上選擇一片葉片，用黑色貼紙貼在上表皮。
 ※或用長條鋁箔包住葉片的中間一段，並以迴紋針固定。



- 活動時，將處理過的葉片摘下，除去上面的貼紙（或鋁箔紙），放入裝有約半杯熱水的燒杯內加熱。
- 數分鐘後，用鑷子取出已軟化的葉片，改放入裝有適量酒精的100 mL燒杯中。



再把100 mL燒杯放入250 mL燒杯內，隔水加熱。加熱過程中，觀察並記錄酒精及葉片的顏色變化。!



待葉片顏色褪去變淡，熄滅酒精燈，把小燒杯由大燒杯取出，再以鑷子將葉片夾出，改放入大燒杯內的熱水漂洗。
 ▲要記得先熄滅酒精燈，以免發生危險。取出小燒杯時要多加小心，避免燙傷。



用鑷子從大燒杯內取出葉片，平放在培養皿中，以滴管吸取碘液，滴在葉片上，檢驗是否有澱粉反應。



觀察並記錄葉片的顏色變化情形。!
 ※此圖以甘藷葉為例

〔問題與討論〕

- 用黑色貼紙（或鋁箔）貼在葉片上的目的為何？
- 將葉片放在酒精中隔水加熱，此步驟中酒精有何功能？為什麼要隔水加熱呢？
- 根據碘液檢驗的結果，葉片何處變色？請解釋實驗的結果。

【評語】 030310

- 1.取材適合國中生程度。
- 2.對國中光合作用實驗提供適切的建議。
- 3.實驗天數宜拉長，並進一步探討澱粉儲存位置改變的因素及影響。