

國中獨立研究課程—融入式教案(生物)

爭奇鬥艷，看盡歲月風華—從光合色素的色層分析看演化

一、課程簡介

給使用者的話

科技的更迭帶領著生活的改變，我們的教育也必須隨著面對未來的需求而有所調整，新課綱所提出的「核心素養」即是因應未來的變革，過去學習的過程較強調的學科知識及技能學習，現在要更著重於「生活情境」的結合，讓所有的學習與創造都可以更貼近實際生活所需，並培養以人為本的終身學習者。核心素養的三大面向—「自主行動」、「溝通互動」、「社會參與」，再細分成九大項目，三面九項以終身學習為的目標，而生活情境則是環繞三面九項，意味著學習必須要能回應生活經驗，從生活取材，並應用於生活。

自然科在高中新課綱中加入了「探究與實作」課程，挖掘生活中常見的問題後設計一系列探究實驗，並進行實作實驗後歸納結果，充分體現素養導向的精神，對比特殊領域課程的獨立研究核心精神(教育部，2019)，可以發現探究與實作課程幾乎相互呼應，因此探究與實作課程可以設計成獨立研究的前導課程，探索學科性取與培養研究的能力。在設計課程時，探究與實作的學習重點分為「探究學習內容」和「實作學習內容」兩部分，「探究學習內容」著重於科學探究歷程，可歸納為四個主要項目：

- (一) 發現問題
- (二) 規劃與研究
- (三) 論證與建模
- (四) 表達與分享

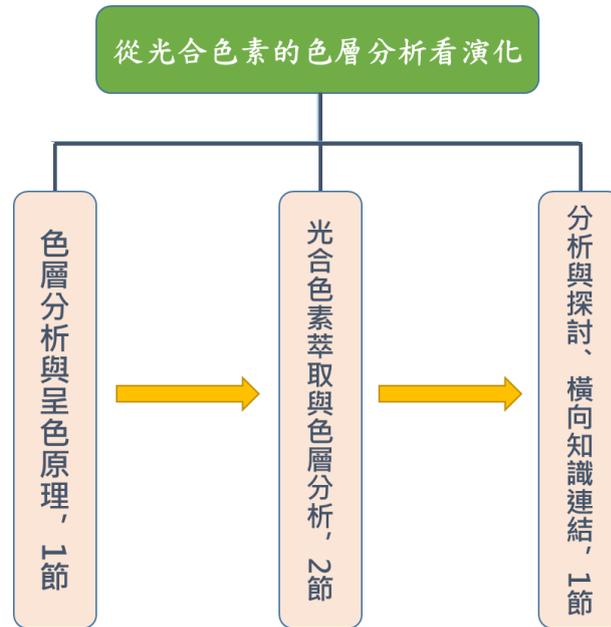
「實作學習內容」為可實際進行操作的科學活動，例如：觀察、測量、資料蒐集與分析、歸納與解釋、論證與作結論等(教育部，2018)。

設計探究實作課程時，也必須個別考慮「探究」與「實作」的重點，實作內容盡量是可立即觀察、多感官刺激或回饋的項目，讓學生較能明確地從中提出問題，學習提問與發現問題的能力。探究的內容必須在乎推論時邏輯的嚴謹性，此時可以協助引導學生紀錄邏輯的推演過程，利用樹狀圖、心智圖、概念圖等方式呈現，讓學生掌握後設認知的技巧，最後經探究歸納所得的知識論點也要能推演至其他議題上，完成知識遷移的擴展。在探究與實作兩者間也必須考量時間配比的平衡，若能讓兩者的時間更有效率的進行，學生便可嘗試多次的探究實作課程，為獨立研究奠定紮實的基礎(張翔凱，2020)。

我們規劃了三個小時共四節課程，主要分成三大區塊：

- (一) 色層分析與呈色原理，1 節
- (二) 光合色素萃取與色層分析實驗，2 節
- (三) 實驗結果分析與探討、橫向知識連結，1 節

單元架構



教材特色與分析

根據上面單元架構的架構圖，第一區塊主要是將色層分析以及物體呈色的原理進行介紹，實體簡單的小實驗讓學生先擁有進行接下來探究實作的基礎認知。第二區塊是讓學生萃取藻類、植物的光合色素後，進行色層分析實驗，完成實作與實驗數據的紀錄。最後第三區塊是將所得實驗結果結合地球環境改變與生物演化的過程，探討光合色素的轉變，理解演化會趨向適應環境方向，並延伸探討人類與環境、氣候變化之間的演化關係，藉此培養學生不同的生命觀點。

光合作用是屬於七年級的生物課程內容，學生知道了葉綠體是光合作用的工作場域，而葉綠體中的光合色素是捕捉光源重要的角色，除了熟知的葉綠素外尚有葉黃素、胡蘿蔔素等其他協助吸收光線的輔助色素，然而不同種類的生物隨著演化會含有不同的光合色素，本實驗即是透過色層分析法將不同種生物的光合色素進行分離，比較各光合色素的異同，再透過文本閱讀交叉比對地球環境變化與生物演化的關係，說明環境改變對物競天擇的影響，最後在反思現代氣候與環境的變遷可能對人類與地球影響的優劣。相關課程開發之知識概念如附件一——課程知識概念圖所示。

二、課程計畫

單元 名稱	從光合色素分析探討演化過程		
適用 對象	<input checked="" type="checkbox"/> 七年級 <input type="checkbox"/> 八年級 <input type="checkbox"/> 九年級	設計 教師	張翔凱、陳信益、蕭仟玫
活動 時間	4 節 (每節 <u>45</u> 分，共 <u>180</u> 分)	設計 日期	2020/10~2021/3
核心 素養	<p>獨-J-A2 提出適切的探究問題，依據習得的知識，透過獨立思考與分析，提出可能的問題解決模式，並實際驗證及解析。</p> <p>獨-J-B1 能分析歸納、製作圖表，整理蒐集之資訊或數據，並運用複雜形式之口語、文字、影像、繪圖或實物，表達獨立研究之過程、發現或成果、價值和限制。</p> <p>獨-J-C2 透過獨立研究小組學習，發展與同儕溝通、共同參與、執行及討論的能力，能接納不同意見，具備與人和諧互動技巧。</p> <p>自-J-A2 能將所習得的科學知識，連結到自己觀察到的自然現象及實驗數據，學習自我或團體探索證據、回應多元觀點，並能對問題、方法、資訊或數據的可信性抱持合理的懷疑態度或進行檢核，提出問題可能的解決方案。</p> <p>自-J-B1 能分析歸納、製作圖表、使用資訊及數學運算等方法，整理自然科學資訊或數據，並利用口語、影像、文字與圖案、繪圖或實物、科學名詞、數學公式、模型等，表達探究之過程、發現與成果、價值和限制等。</p> <p>自-J-C2 透過合作學習，發展與同儕溝通、共同參與、共同執行及共同發掘科學相關知識與問題解決的能力。</p>		
學習 表現 (能力 指標)	<p>特獨1a-IV-2 透過與同儕的討論，分享探索的樂趣。</p> <p>特獨1b-IV-2 主動與同儕合作完成小組獨立研究活動內容並達成目標。</p> <p>特獨2b-IV-1 將蒐集的數據或資料，加以分析、比較，提出關聯與差異。</p>		

	<p>特獨2b-IV-3 知道自己及他人所觀察、記錄或蒐集資料所得的現象、實驗數據，並推論其中的關聯性。</p> <p>特獨3e-IV-2 從得到的資訊或數據，分析出差異，形成解釋、獲知因果關係。</p> <p>tr-IV-1 能將所習得的知識正確的連結到所觀察到的自然現象及實驗數據，並推論出其中的關聯，進而運用習得的知識來解釋自己論點的正确性。</p> <p>pa-IV-2 能運用科學原理、思考智能、數學等方法，從（所得的）資訊或數據，形成解釋、發現新知、獲知因果關係、解決問題或是發現新的問題。並能將自己的探究結果和同學的結果或其他相關的資訊比較對照，相互檢核，確認結果。</p> <p>pc-IV-1 能理解同學的探究過程和結果（或經簡化過的科學報告），提出合理而且具有根據的疑問或意見。並能對問題、探究方法、證據及發現，彼此間的符應情形，進行檢核並提出可能的改善方案。</p> <p>ai-IV-1 動手實作解決問題或驗證自己想法，而獲得成就感。</p>
學習內容	<p>◇ 一般探索： 特獨A-IV-2 獨立研究作品的評析。本土與全球議題的探索。</p> <p>◇ 研究方法訓練： 特獨B-IV-1 批判思考能力訓練。 特獨B-IV-2 研究方法：個案研究、歷史研究等。</p>

單元 目標	1. 了解觀察到物體具有顏色的原理。 2. 了解色層分析的原理。 3. 從色層分析實驗中，了解生物具有不同的光合色素。 4. 從實驗結果探討生物為了適應環境，而演化出不同的光合色素。		
區分性 教學之 調整	區分性課程調整		
	能力分組	中能力組	高能力組
	優弱勢分析	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 優勢：學生熟稔國小階段與現階段課程內容。能透過引導或協助進行類化與批判思考的活動。 ➤ 弱勢：學生對於實驗研究較為被動，需要較多的引導跟指示才能進行實驗或活動。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 優勢：學生的學習自主性高，能自行按照步驟說明進行實驗；學生的類化能力較強，學習遷移的應用能力佳。 ➤ 弱勢：學生注重自主學習能力，可能有較差的合作能力或溝通表達能力。
	內容	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 熟悉過去與現階段的課程，並願意學習未來會遇到的科學內容。 ➤ 能接受別人的引導或透過適當的合作方式，進行合作學習。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 熟悉過去與現階段的課程內容，並對未來的課程有一定的認識。 ➤ 習慣進行類化與批判思考，展現對科學的好奇心。
	過程	使用分組合作學習的方式，透過與高能力組成員的合作，刺激想法進行類化的活動。老師也可從旁協助進行討論。	使用分組合作學習的方式，透過與組員討論與分享，增進溝通、傾聽與表達的能力
	成果	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 能針對光合色素的色層分析結果提出演化的流程與地球環境改變之關係。 ➤ 能具體、有邏輯的寫出實驗報告。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 能針對光合色素的色層分析結果提出演化的流程與地球環境改變之關係，並嘗試推論人類、環境之間彼此影響演化的交互關係。 ➤ 能針對實驗的過程提出精進之處或提出可再研究之方向。

<p>參考 資料</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 高等植物非葉綠色組織之葉綠素 a/b 比值 http://www.legacy.agron.ntu.edu.tw/download.php?filename=123_00686c6f.pdf&dir=writing&title=%E9%99%84%E4%BB%B6%E6%AA%94%E6%A1%88 2. 演化分類~原始色素體生物 說明葉綠素演進史 https://dinosaurim.blogspot.com/2017/11/blog-post_80.html 3. 紅藻、綠藻一家親，由葉綠體起源談植物演化 http://web2.nmns.edu.tw/PubLib/NewsLetter/88/137/05.html 4. http://formosa.ntm.gov.tw/seaweeds/b/b3_03.asp 5. http://formosa.ntm.gov.tw/seaweeds/search/search_list.asp
<p>教學 資源</p>	<p>教學簡報、學習單、實驗報告、線上資源平台</p>

三、各單元教學活動

第一節教學活動	時間	多元 評量
<p>一、引導活動</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 提問我們使用的彩色筆是由什麼顏色所組成的。 <p>二、發展活動</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 透過色層分析實驗的縮時攝影，講解色層分析的原理，並實際操作彩色筆的色層分析實驗，觀看色素分離的組成。 <p>三、綜合活動</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 說明三原色可以相互搭配，組合成不同顏色。 ✓ 說明色層分析可以將混合顏色加以分離。 	1節	課堂表現、 學習單
第二節教學活動	時間	多元 評量
<p>一、引導活動</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 植物具有五顏六色的部分是為什麼？ ✓ 我們有沒有辦法透過上次的學習內容，將這些五顏六色加以分離？ <p>二、發展活動</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 透過萃取，將葉綠體中的光合色素萃取出來，並簡單理解萃取的原理。 ✓ 透過濾紙色層分析，將藻類、植物的光合色素加以分離，並將各色素點的R_f值計算出來。 ✓ 比較藻類、植物光合色素的R_f值，說明這些色素的關係。 <p>三、綜合活動</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 了解不同生物有不同的光合色素，並推論為何會需要有不同的光合色素呢？ 	2節	課堂表現、 實驗報告、 學習單
第三節教學活動	時間	多元 評量

<p>一、引導活動</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 看到光合色素的分離，想想藻類、植物之間的關聯性。 ✓ 從生物五界分類後，是否能從光合色素找到分類或演化的蛛絲馬跡？ <p>二、發展活動</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 比較演化樹與光合色素的關係，說明演化過程時，光合色素的改變。 ✓ 比較藻類與生存環境的關係，了解光合色素的變化原因。 ✓ 透過文獻閱讀——地球環境演變的過程，整理文中歷史上地球的變化。 ✓ 透過整理的地球環境變化，說明藻類、植物的生長環境轉變與光合色素的改變關係，並說明環境的改變將刺激物種的演化發生。 <p>三、綜合活動</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 嘗試說明現今地球的環境、氣候等變化，並指出未來生物演化將與之有關。 ✓ 嘗試說明預測的演化改變，對人類與地球環境的優劣為何。 	1節	課堂表現、 學習單
--	----	--------------

四、教學省思及建議

1. 七年級學生在配置90%丙酮，再配置90%丙酮：石油醚=9：1較容易有問題，老師宜先配好丙酮的濃度，學生比較不會陷入混淆。
2. 由於丙酮與石油醚等有機溶劑揮發較快，教學環境宜選擇通風良好處進行。
3. 有機溶劑之廢液須集中回收，統一處理，萃取後的固體廢棄物亦如是。
4. 為落實實驗減量，可以讓二到三組共同萃取藻類與葉子的葉綠素，再一起共用，惟需特別注意學生萃取的步驟是否正確、使用時是否有交叉污染，避免實驗誤差。

五、附件（教材、補充資料、學生學習單、教學活動評量、學生回饋及學生成果，例如學習單、海報或影片等）

附件目錄：

(一) 課程知識概念圖

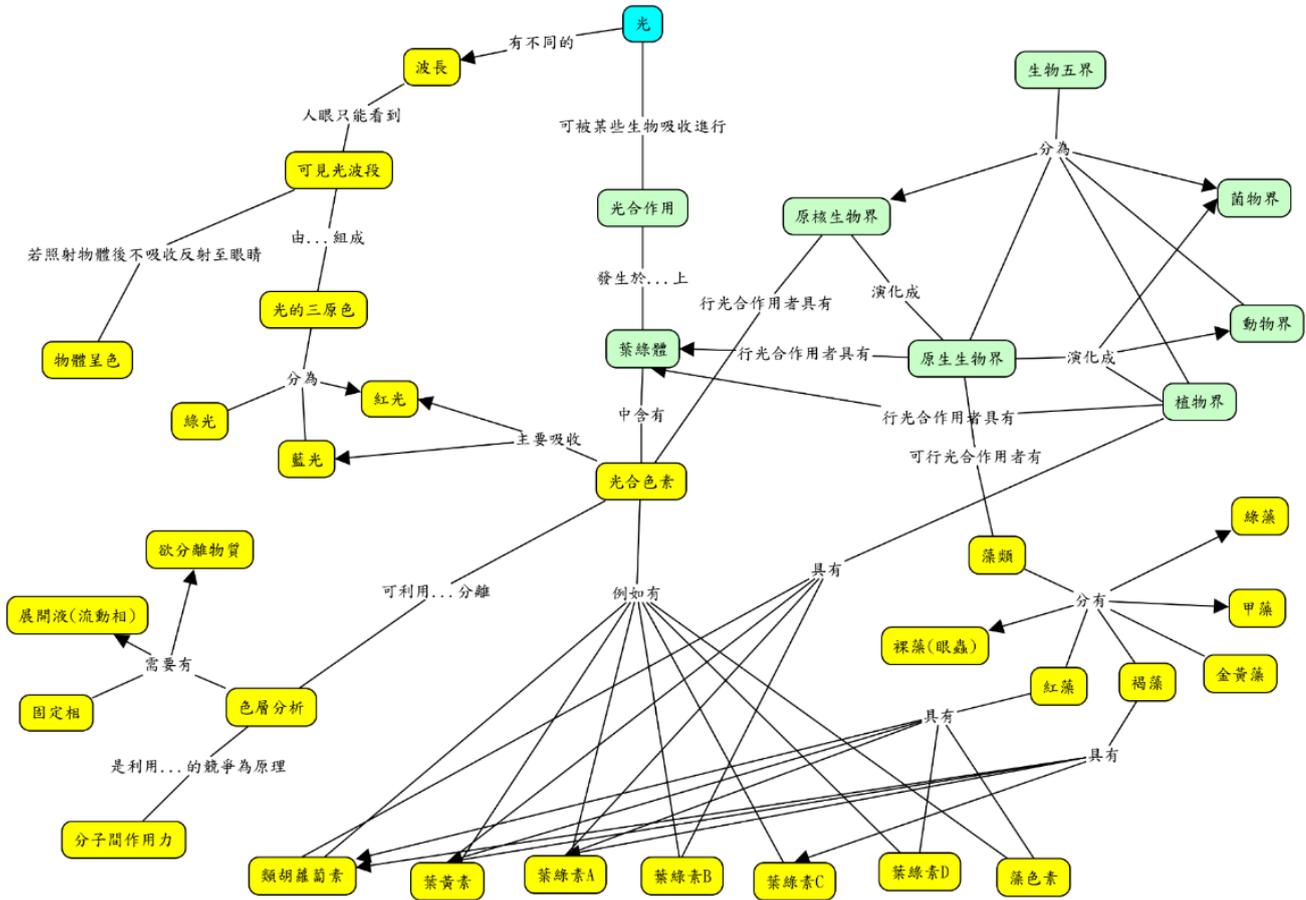
(二) 第一堂實驗課之講義—色層分析(一)五顏六色爭奇鬥艷

(三) 第二、三堂實驗課之講義—色層分析(二)從光合色素分析探討演化過程

(四) 第四堂問題與討論之學習單

(一) 課程知識概念圖

為了確認學生的認知與課程的邏輯性，我們將本課程的知識畫成概念圖，圖中的起點「光」是本次課程共通的大主題，綠色底的部分是七年級學生已知的知識內容，而黃色底的部分是七年級學生尚未學習的知識內容，因此在製作課程與學習單就可以按照學生的起點認知進行鋪陳。



(二) 第一節實驗課之講義—色層分析(一)五顏六色爭奇鬥艷

色層分析(一)—五顏六色爭奇鬥艷

一、製作吸附層

在濾紙上畫出8×6 cm的長方形，並沿線剪下。之後在兩側長邊往上數1 cm的地方，畫上一條直線，作為起點與終點。依據老師的指示，在起點線上點上顏色。

二、以酒精作為溶劑的色層分析

依據老師的指示，以酒精作為溶劑進行色層分析後，由終點到起點分別是那些顏色呢？

色素顏色	溶劑移動距離 A (cm)	色素移動距離 B (cm)	R _f 值

想想看，為什麼同時起跑，但各個顏色的位置卻不同呢？比較各個色素的差異，靠近終點的色素與濾紙和水的關係為何？

嘗試說明，什麼叫「好的分離效果」？

(三) 第二、三堂實驗課之講義—色層分析(二)從光合色素分析探討演化過程

色層分析(二)—從光合色素分析探討演化過程

實驗藥品&器材

昆布	石油醚	燒杯	鋁箔紙
紫菜	蒸餾水	量筒	滴管
地瓜葉	研鉢	濾紙	直尺
丙酮	紗布	毛細管	鉛筆

實驗步驟

A. 萃取光合色素：

1. 將昆布、紫菜、地瓜葉剪成細碎狀後置入研鉢，並加入 90% 丙酮研磨。
2. 以紗布過濾研磨汁液至燒杯中，並以鋁箔紙彌封，避免丙酮揮發。

B. 配置展開液（流動相）：

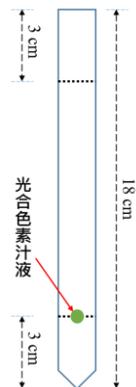
1. 90% 丙酮與石油醚以 1：9 的比例充分混合後，再倒入 50 mL 量筒中並以鋁箔紙彌封，避免丙酮揮發。

C. 準備濾紙（固定相）：

1. 取大張濾紙剪成約 1.5*18 cm 的長條狀濾紙。
(以量筒大小為基準，須能塞入量筒中且不能碰到周圍管壁)
2. 兩側底部上下量約 3 cm 處各畫上一條直線，作為起始線與終點線。
3. 將其中一端修剪成比尖端，作為起始端。(如右示意圖)

D. 色層分析：

1. 以毛細管吸取少量光合色素汁液，在濾紙的起始線上點上光合色素汁液。
(注意點到濾紙後馬上抬起，切勿接觸太久，抬起後立刻吹乾後再點下一次)
2. 將點好光合色素的濾紙放到量筒中，調整高度，切勿使光合色素點接觸到展開液！最後再蓋上量筒的鋁箔紙使之密封。
(濾紙終點線上方可以反摺掛在量筒口緣，使濾紙穩固)
3. 觀察展開液吸附的情形，當展開液碰到終點線，隨即將濾紙拿出，並立即以鉛筆圈上各色素點的位置，計算各點的 R_f 值。



實驗數據分析

請將各植物、藻類上各光合色素點的 R_f 值計算出來，並由大到小記錄於下表中：

植物、藻類 名稱		
色素點 1 的 R_f 值		
色素點 2 的 R_f 值		
色素點 3 的 R_f 值		
色素點 4 的 R_f 值		
色素點 5 的 R_f 值		
色素點 6 的 R_f 值		

植物、藻類 名稱		
色素點 1 的 R_f 值		
色素點 2 的 R_f 值		
色素點 3 的 R_f 值		
色素點 4 的 R_f 值		
色素點 5 的 R_f 值		
色素點 6 的 R_f 值		

(四) 第四堂問題與討論之學習單

形形色色的植物

藻類

類似植物，不具有維管束，故沒有根、莖、葉之分化；具有細胞壁，且含有葉綠體能行光合作用，故為生產者。

	說明	所含色素
紅藻	藻類中最大的一群，大多數是多細胞、海生，如可食用的紫菜、可提煉洋菜膠的石花菜、海紅絲藻等	
褐藻	多細胞的葉狀體，型態變化大，小者為絲狀，用顯微鏡始能見到，大者可長達數十尺，如馬尾藻、石衣藻、海扇藻、昆布等。	
綠藻	含大量葉綠素，如新月藻、水綿、石蓴等。	

1. 根據實驗結果，不同藻類、植物各有幾種色素？

紅藻-紫菜：
褐藻-海帶：
綠色植物-地瓜葉：

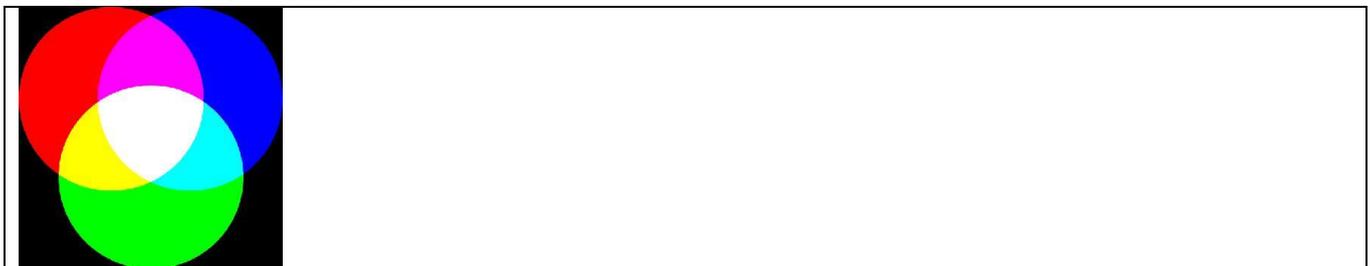
2. 根據實驗結果，地瓜葉的光合色素由R_i值高到低分別是哪些？

3. 根據實驗結果，有哪些色素是大家共有的？判斷相同的依據為何？（根據濾紙上的標號來作答）

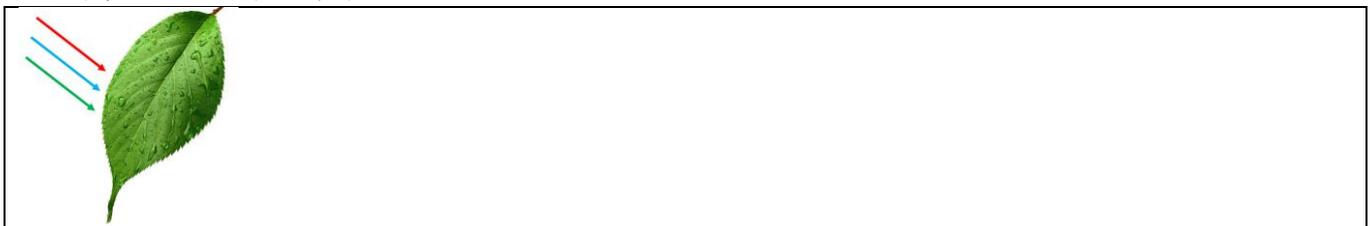
4. 根據實驗結果，請指出那些光合色素是該藻類、植物獨有的？判斷不同的依據為何？

5. 承上題，導致結果有所誤差的因素可能為何？

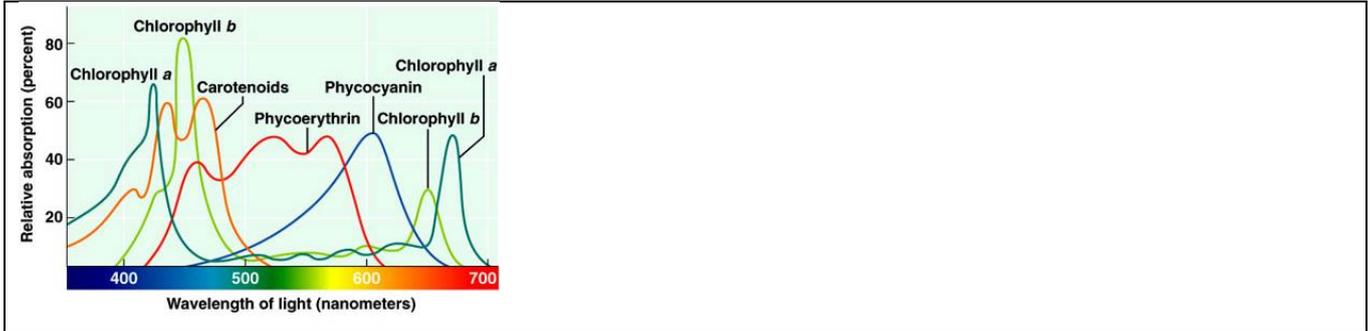
6. 不同色素是如何呈現顏色的呢？



7. 試問葉子呈色的原理為何？



8. 試推論下列哪些曲線為陸生綠色植物的吸收光譜?原因為何?



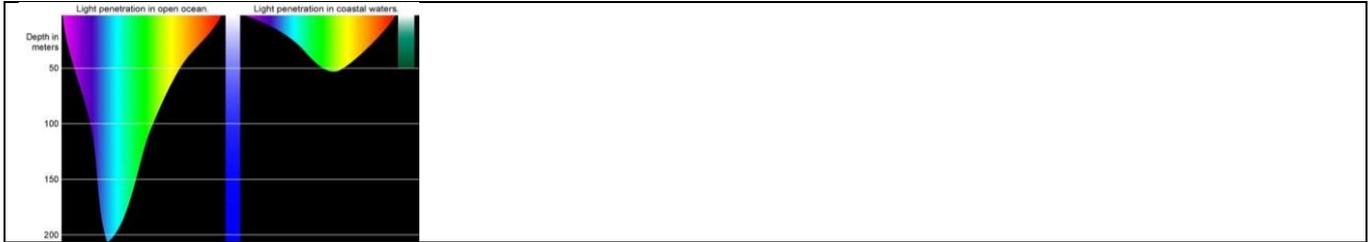
9. 為了證明吸收光譜與光合作用的關係，試設計「作用光譜」的實驗。

材料：白光源、三稜鏡、水綿、厭/嗜氧菌

10. 試推論作用光譜的結果為何?

11. 請嘗試說明，為什麼需要有不同的色素?

12. 根據上述推論與下方的資訊，推測各種藻類的生活環境為何?



13. 根據上述推論，推測藻類演化的順序，並畫出藻類與植物的演化樹

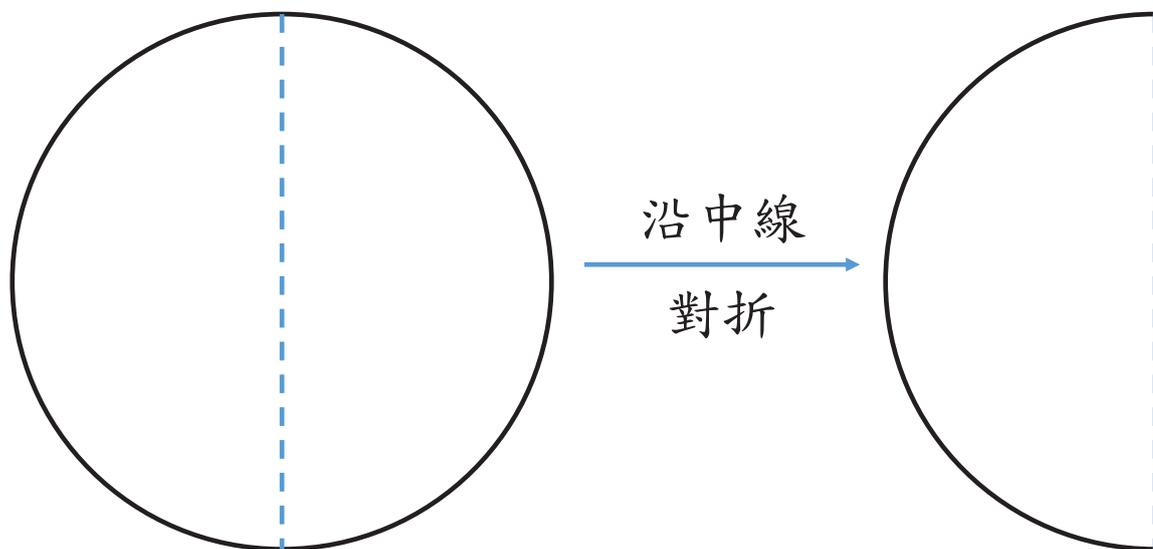
14. 根據上述的推論，陸生綠色植物的祖先可能為誰?試說明原因。

爭奇鬥艷，看盡歲月風華— 從光合色素的色層分析看演化

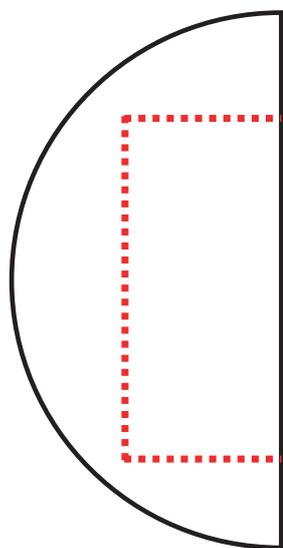
設計教師:張翔凱、陳信益、蕭仟玫

第一堂實驗課

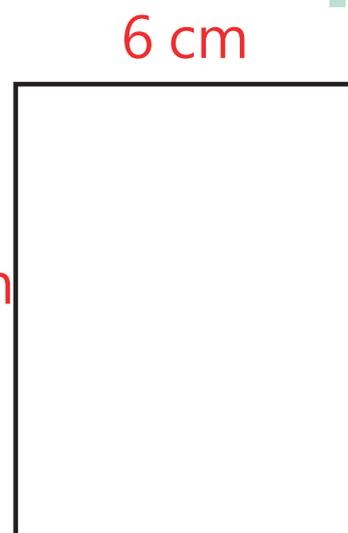
製作濾紙吸附層



製作濾紙吸附層



在摺好的濾紙上畫上一個 8×3 cm 的長方形，
沿虛線剪下攤開就會是一個 8×6 cm 的長方形！



製作濾紙吸附層

6 cm

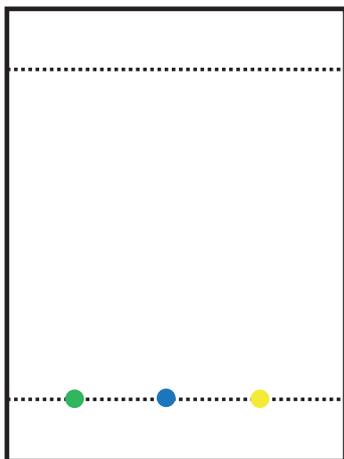


終點

起點

在長邊的上下兩側數1 cm，
以鉛筆畫線作為起點與終點！
這樣就完成囉！

製作濾紙吸附層

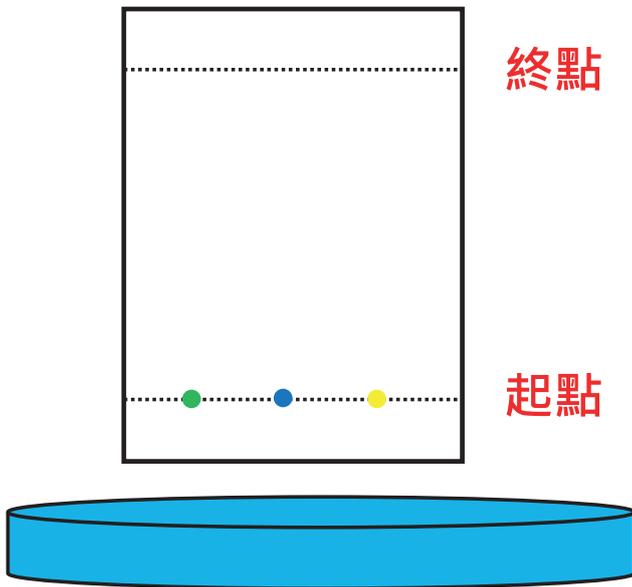


終點

起點

在起點線上分別點上色素點

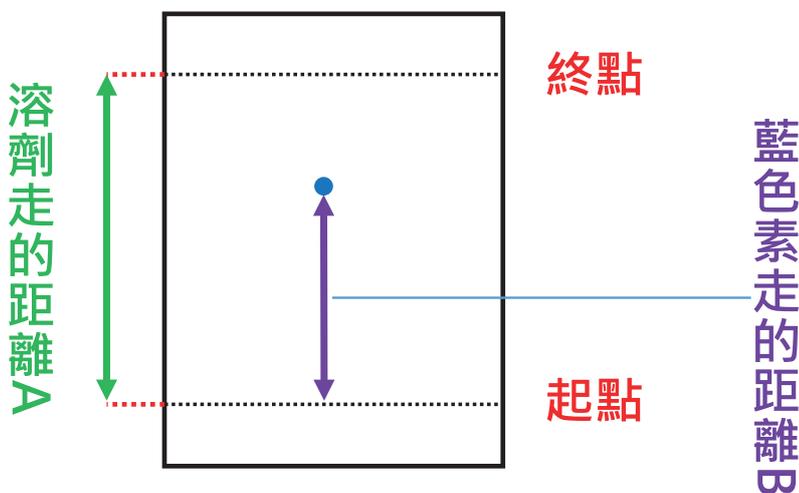
進行色層分析



將濾紙吸附層放入以水為溶劑的塑膠盤中，水會因毛細現象沿濾紙緩緩的上升。

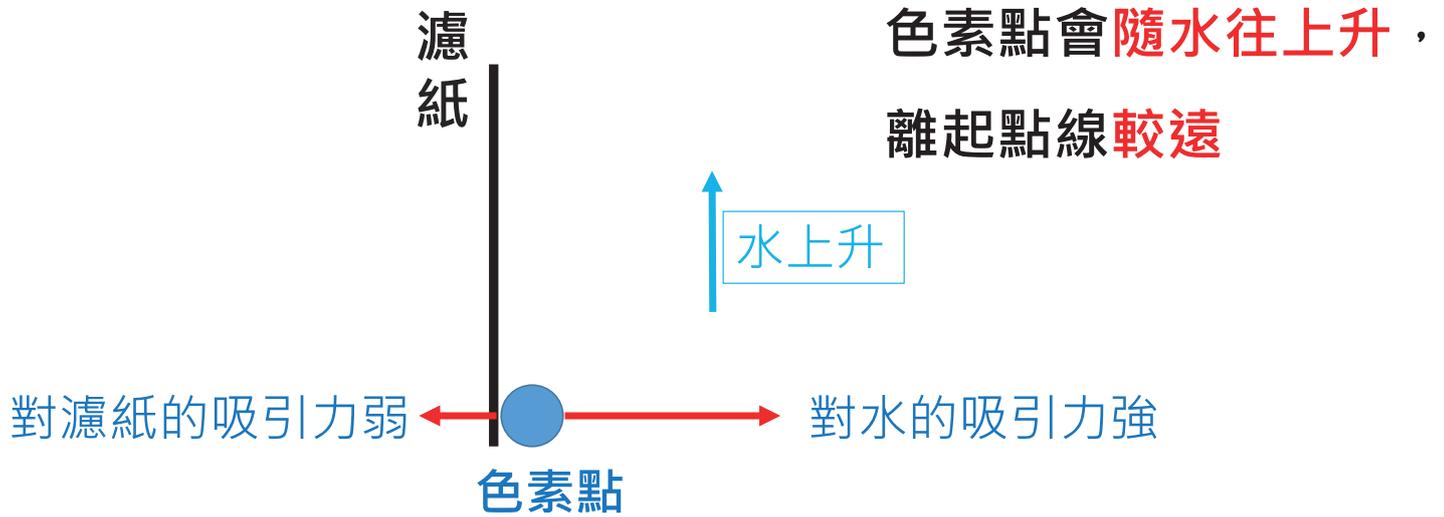
待水碰到終點線時立即拿出，並圈出每個色素點的位置！

分析Rf值

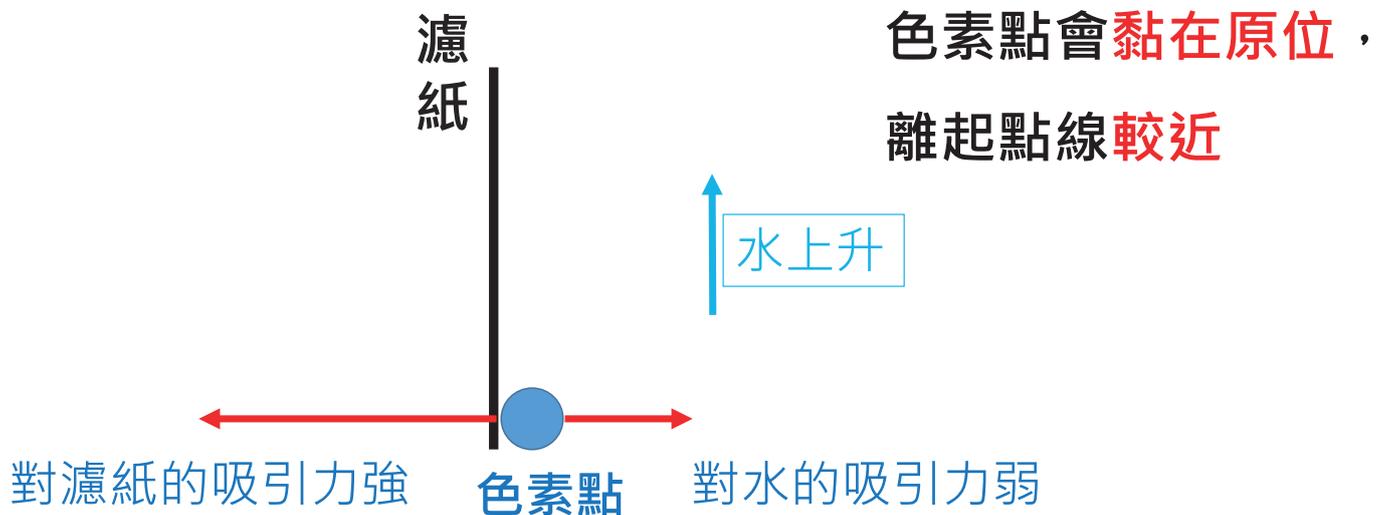


$$R_f \text{ 值} = B/A$$

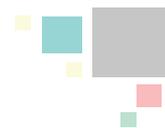
為什麼色素位置會不同呢?



為什麼色素位置會不同呢?



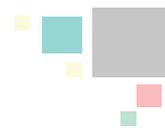
R_f值的意義



以相同溶劑做層析法，同一種物質的R_f值皆相同。

從R_f值可以推斷未知物。

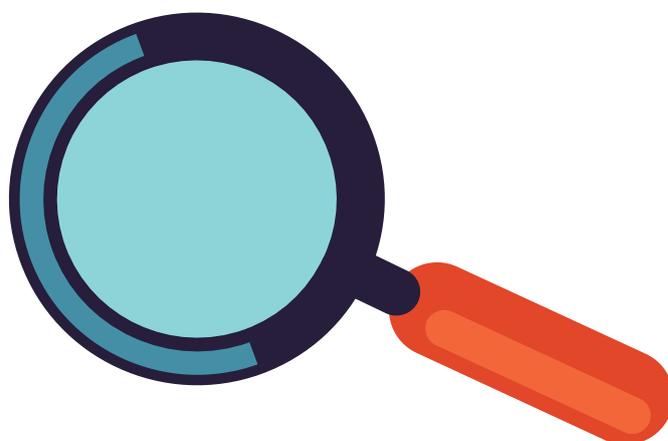
換成酒精作為溶劑



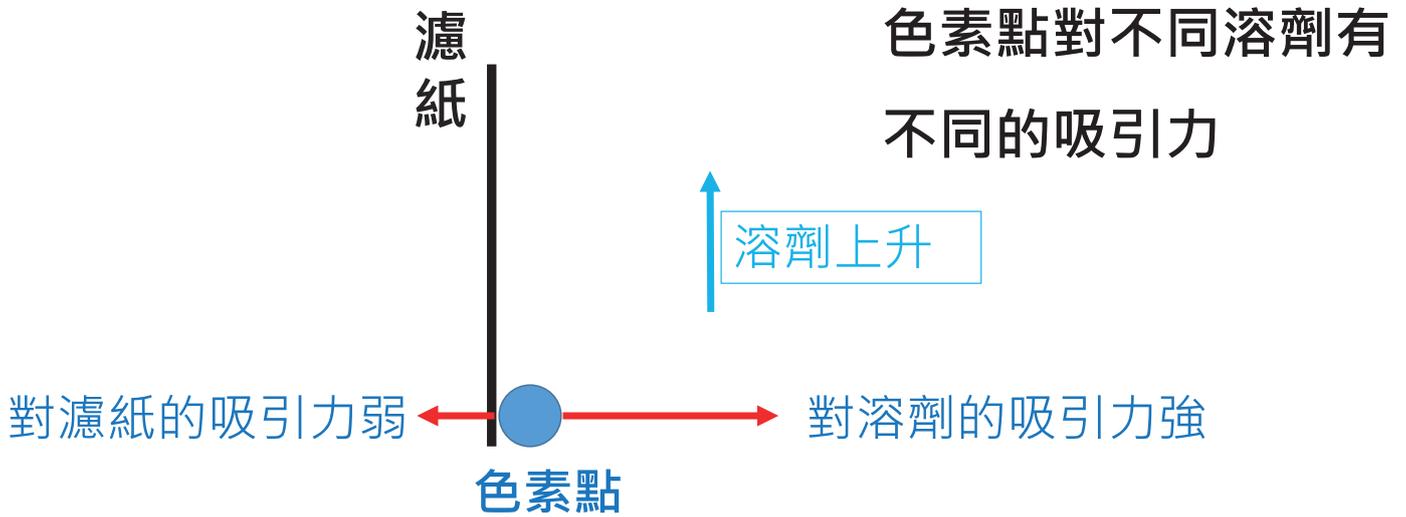
活動說明



重複剛剛的實驗步驟，
將溶劑換成酒精，看看
實驗結果會有什麼不同
呢？



為什麼酒精跟水實驗結果不同?



誰作為溶劑有較好的分離效果?



第二、三堂實驗課

葉綠素色層分析

問題

七年級生物學到的光合作用，
是在植物的哪個胞器作用？



問題

為什麼葉子是綠色的呢？



1 葉綠體中含有
多種光合色素，
協助吸收光線

2 不同種的生物
含有的光合色
素不盡相同

問題

那為什麼紫甘藍高麗菜是紫色的呢？



A. 萃取光合色素

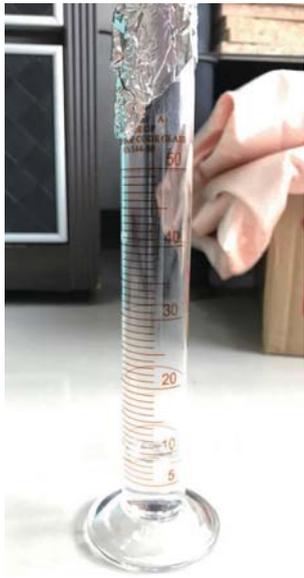


1. 將綠葉剪成細碎狀後置入研鉢，並加入90%丙酮研磨

2. 以紗布過濾研磨汁液至燒杯中，並以鋁箔紙彌封，避免揮發。

90%丙酮的配置方式：量9 mL的丙酮，再加入1 mL的水

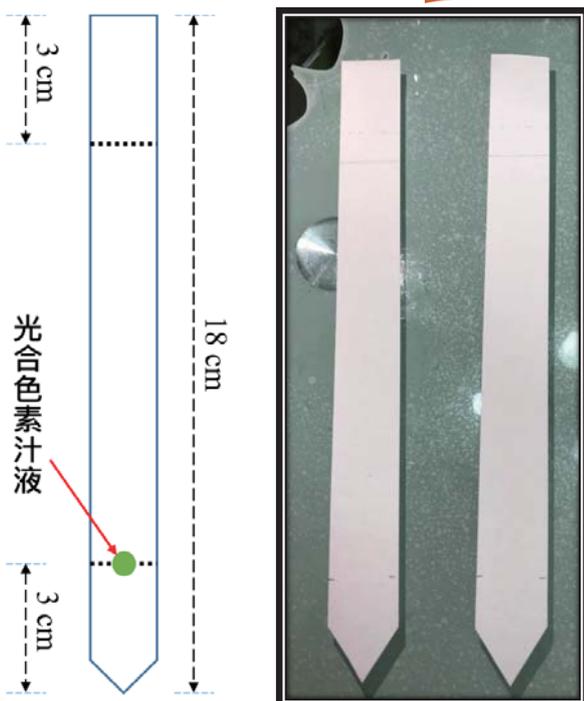
B. 配置展開液（流動相）：



1. 量取90%丙酮0.5毫升，與石油醚4.5毫升充分混合後，再倒入50 mL量筒中並以鋁箔紙彌封，避免丙酮揮發。

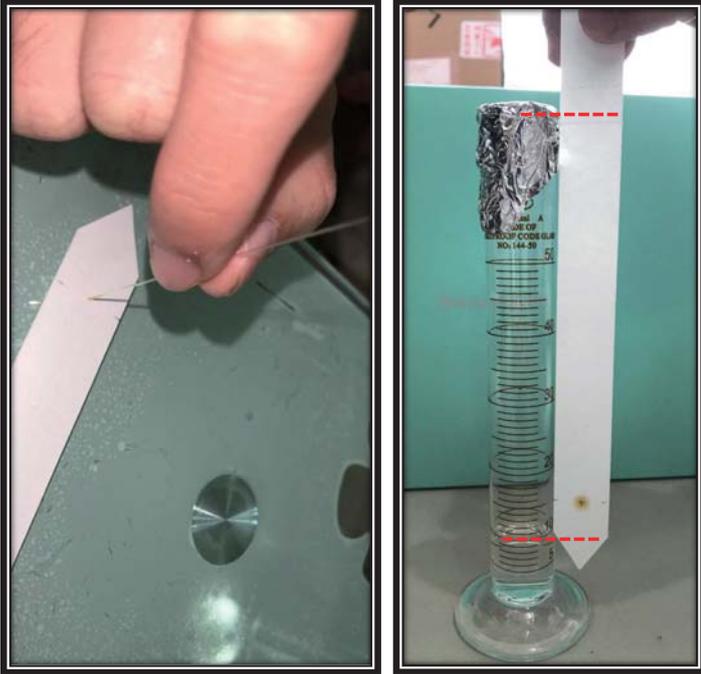
90%丙酮的配置方式：量9 mL的丙酮，再加入1 mL的水

C. 準備濾紙（固定相）：



1. 取長條濾紙對折減半，成約2*20 cm的長條狀濾紙。
2. 兩側底部上下量約3 cm處各畫上一條直線，作為起始線與終點線。
3. 將其中一端修剪成尖端，作為起始端

D. 色層分析:



1. 以毛細管吸取少量光合色素汁液，在濾紙的起始線上點上光合色素汁液。

2. 將濾紙放到量筒中，調整高度，切勿使色素點接觸到展開液！最後再蓋上量筒的鋁箔紙使之密封。

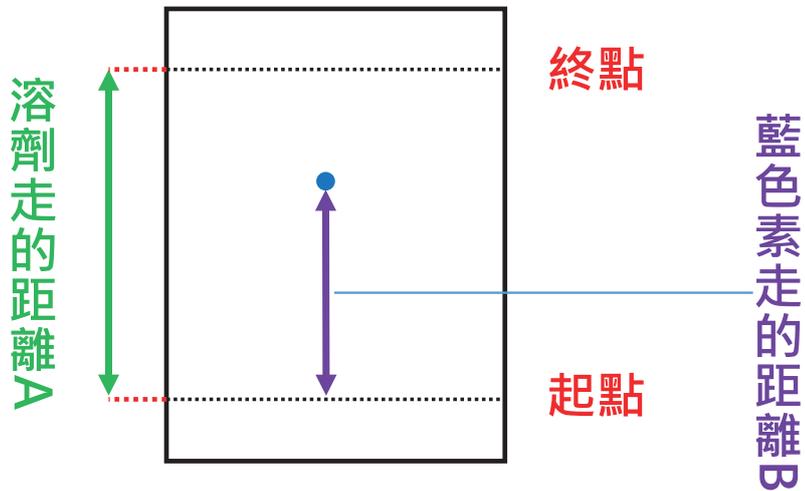
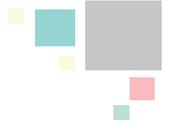
D. 色層分析:



3. 觀察展開液吸附的情形，當展開液碰到終點線，隨即將濾紙拿出，並立即以鉛筆圈上各色素點的位置，計算各點的 R_f 值。

做完後將葉片改成藻類，並重複A~D步驟

分析 R_f 值



$$R_f \text{ 值} = B/A$$

第四堂課 問題與討論

形形色色的植物

藻類

- 類似植物，具有細胞壁，且含有葉綠體能行光合作用，故為生產者；不具有維管束，故沒有根、莖、葉之分化。

	說明	所含色素
紅藻	藻類中最大的一群，大多數是多細胞、海生，如可食用的紫菜、可提煉洋菜膠的石花菜、海紅絲藻等	
褐藻	多細胞的葉狀體，型態變化大，小者為絲狀，用顯微鏡始能見到，大者可長達數十尺，如馬尾藻、石衣藻、海扇藻、昆布等	
綠藻	含大量葉綠素，如新月藻、水綿、石蓴等。	

1. 根據實驗結果，不同藻類、植物各有幾種色素？

- 紅藻-紫菜
- 褐藻-海帶
- 綠色植物-地瓜葉

2.根據實驗結果，地瓜葉的光合色素由 R_f 值高到低分別是哪些？

- 葉綠素a
- 葉綠素b
- 類胡蘿蔔素
- 葉黃素



3.根據實驗結果，有哪些色素是大家共有的？判斷相同的依據為何？

(根據濾紙上的標號來作答)

4.根據實驗結果，請指出那些光合色素是該藻類、植物獨有的？判斷不同的依據為何？

(根據濾紙上的標號來作答)

不同藻類分別有什麼色素？

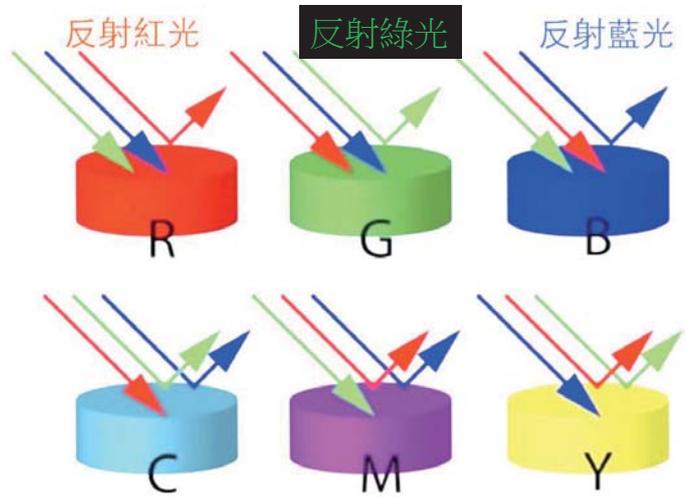
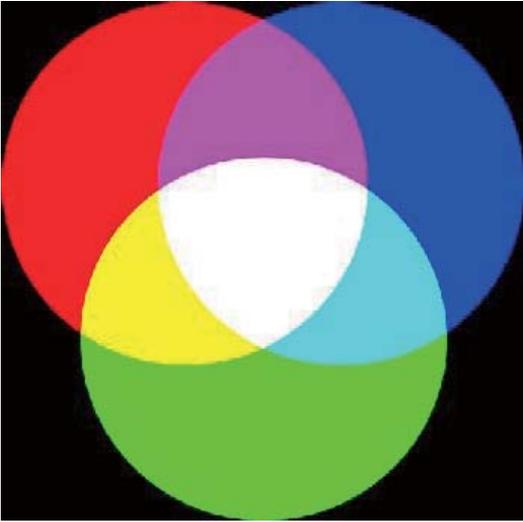
- 紅藻：
 - 葉綠素a、d
 - 類胡蘿蔔素、葉黃素
 - 藻膽蛋白(phycobiliprotein)：藻紅素 (Phycoerythrin) 和藻藍素 (Phycocyanin)
- 褐藻：
 - 葉綠素a、c
 - 類胡蘿蔔素 (Carotenoids)
 - 藻褐素 (Fucoxanthin) 之量較其他色素多，如故常呈黃褐色。

不同藻類分別有什麼色素?

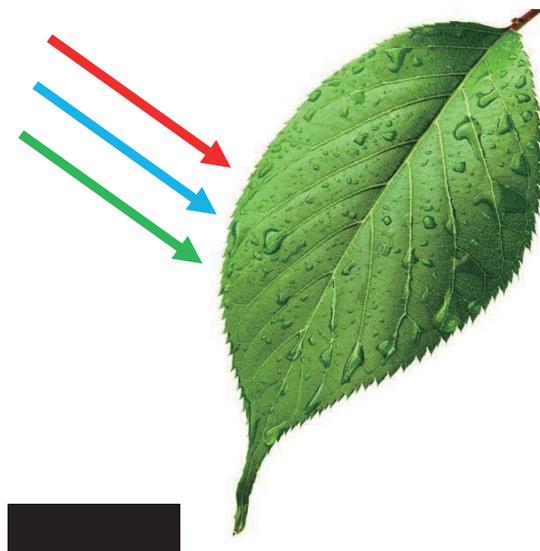
- 綠藻：
 - 葉綠素a、b的量較其他色素多，故呈草綠色
 - 類胡蘿蔔素、葉黃素
 - 缺少藻膽蛋白
- 陸生綠色植物：
 - 葉綠素a、b
 - 類胡蘿蔔素、葉黃素

5.承上題，導致結果有所誤差的因素可能為何?

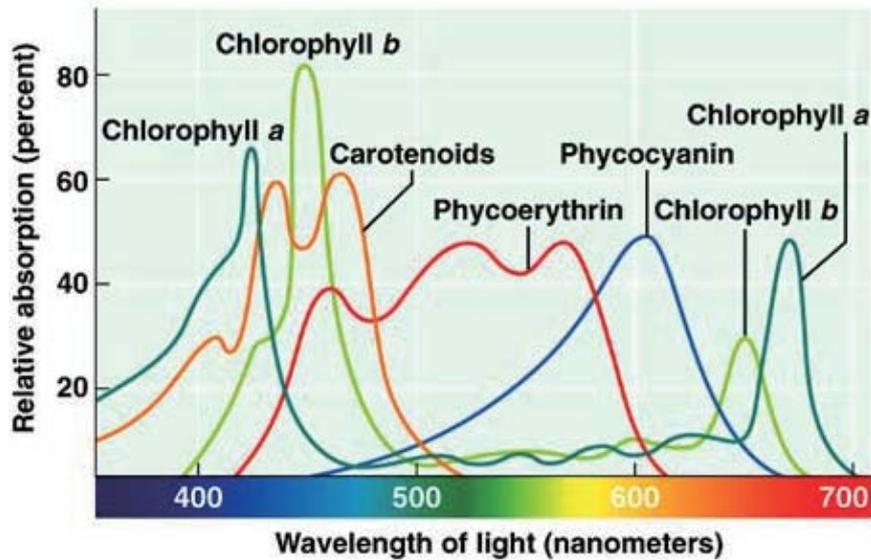
6.不同色素是如何呈現顏色的呢?



7.試問葉子呈色的原理為何?



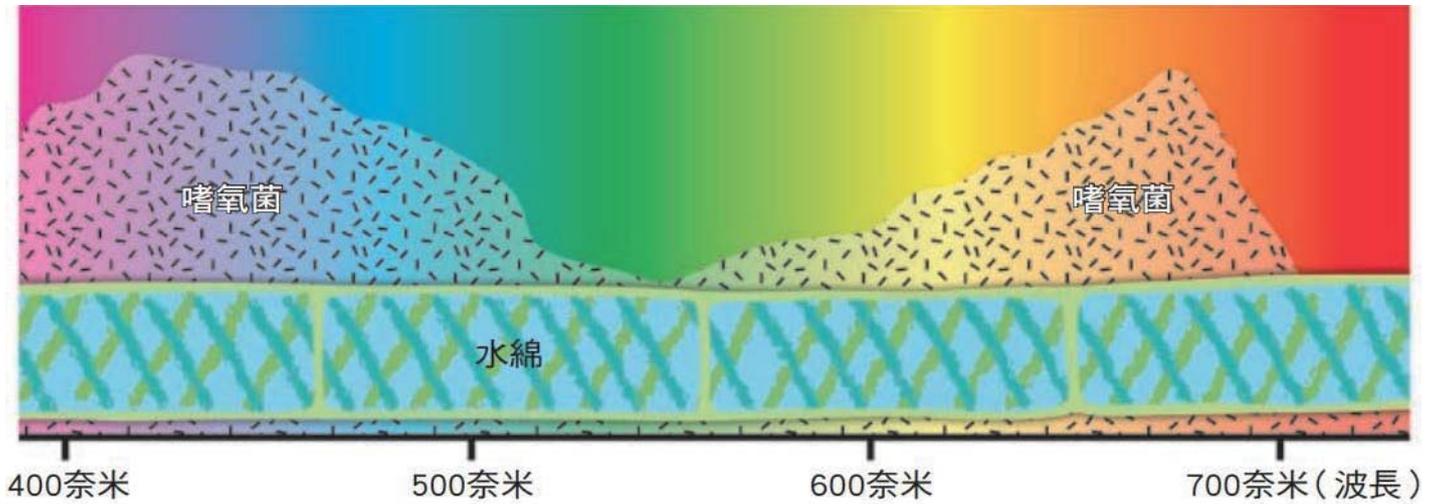
8. 試推論下列哪些曲線為陸生綠色植物的吸收光譜? 原因為何?



9. 為了證明吸收光譜與光合作用的關係，試設計「作用光譜」的實驗。

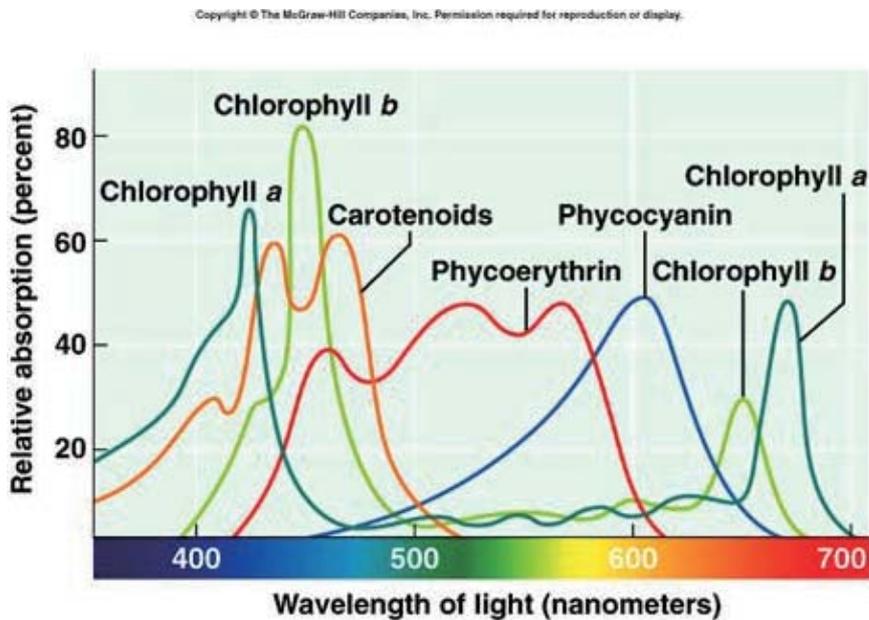
- 材料：白光源、三稜鏡、水綿、厭/嗜氧菌

10. 試推論作用光譜的結果為何?

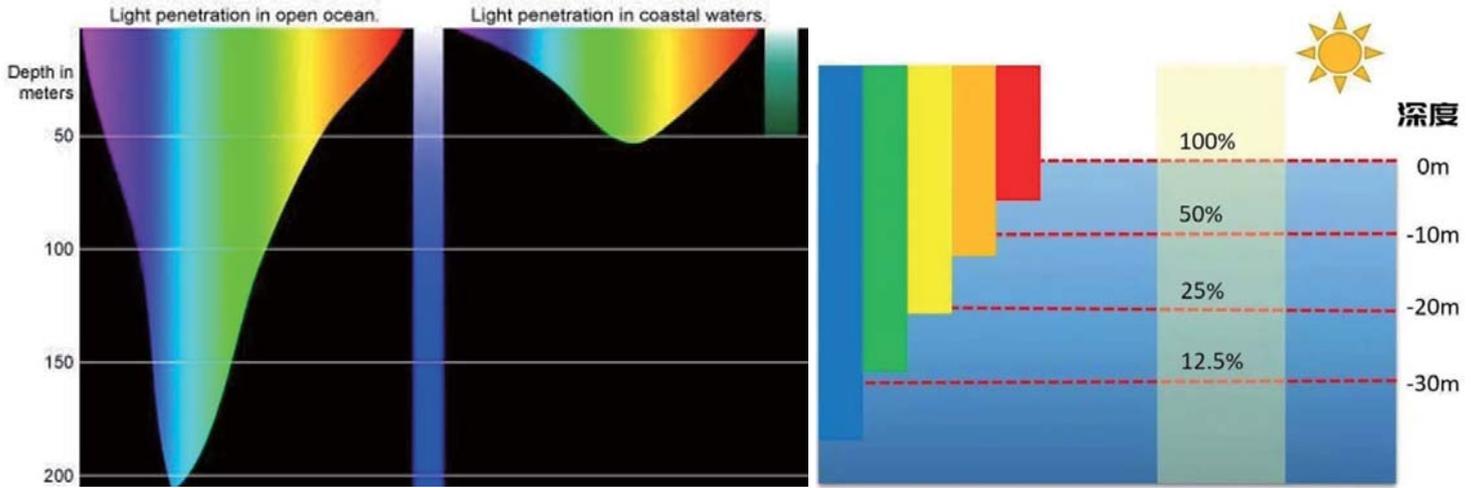


11. 請嘗試說明，為什麼需要有不同的色素?

• 提示

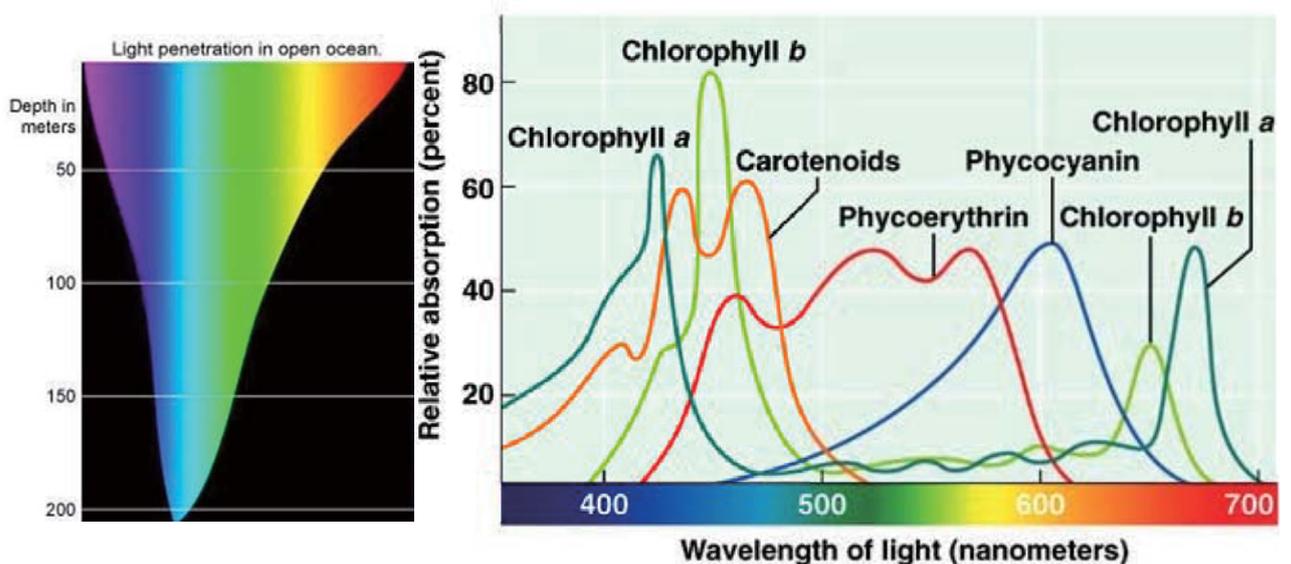


12. 根據上述推論與下方的資訊，推測各種藻類的生活環境為何？



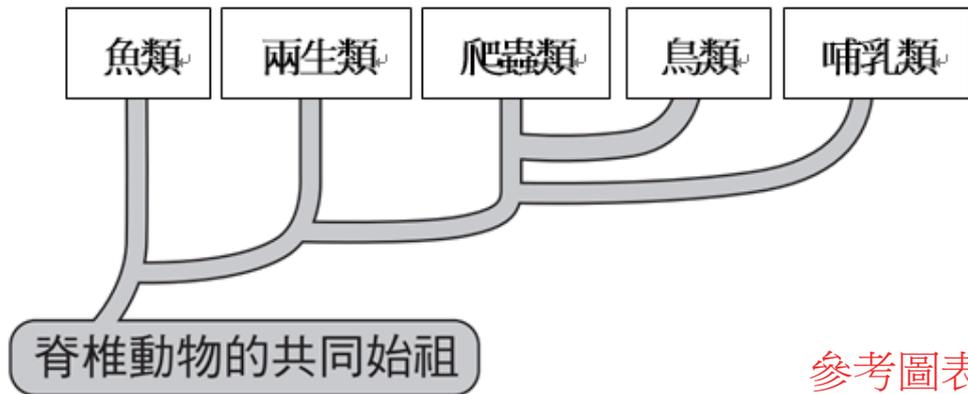
12. 根據上述推論與下方的資訊，推測各種藻類的生活環境為何？

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



13. 根據上述推論，推測藻類演化的順序，並畫出藻類與植物的演化樹

- 一開始需要吸收紅光嗎?
- 不需要吸收紅光應該是怎樣的色素?



14. 根據上述的推論，陸生綠色植物的祖先可能為誰?試說明原因。