

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 化學科

第三名

080214

垂榕葉的類胡蘿蔔素探究與在洗髮精上之應用

學校名稱：臺北市私立靜心高級中學(小學部)

作者： 小六 黃詠淇 小六 許智森 小六 劉晉綸 小六 許睿恩	指導老師： 王晶瑩 蔡垂其
---	-----------------------------

關鍵詞：類胡蘿蔔素、葉綠素、鹽析

摘 要

研究校園樹種的類胡蘿蔔素含量及萃取方法製成的自製光合色素天然洗髮精。以分光光度計測量類胡蘿蔔素的濃度且計算含量，發現垂榕向陽葉的類胡蘿蔔素含量最高 1.01 (mL/100g)。經丙酮萃取再以 4 M 氯化鈉溶液鹽析後，可得最高類胡蘿蔔素含量 1.70 (mL/100g)，比對照組增加 39% 的類胡蘿蔔素含量，能替代二次萃取的丙酮。以 LED 燈光照垂榕，發現以藍光 1600 lux 連續光照 24 小時/日後，可以達到最高類胡蘿蔔素含量變化率 58.69%。以校樹萃取出類胡蘿蔔素加茶籽粉製成的自製光合色素天然洗髮精，經自製洗髮試驗裝置洗髮後，測量出洗髮水的導電度，發現去除模擬人體油脂量大於市售洗髮精，TDS 279 ppm，pH 5.96 呈弱酸，可維持人體皮膚健康，天然環保且成本低、製備容易，未來可應用至洗手乳。

壹、前言

一、研究動機

每年秋天，原本一片綠油油的校樹，葉子一下子由綠轉金黃、越變越黃，秋風颳起又產生了落葉，我們覺得很好奇，發現葉子變黃主要是類胡蘿蔔素的影響，我們開始研究類胡蘿蔔素，想要從葉子裡留下秋天的顏色，在萃取色素的過程中，發現類胡蘿蔔素竟然具有親油特性，於是我們決定研究類胡蘿蔔素的萃取，希望可以得到最環保、綠色化學的萃取方法，且運用類胡蘿蔔素親油的性質，研究出光合色素天然洗髮精。

二、研究目的

- (一) 探討校園裡不同樹種的類胡蘿蔔素含量
- (二) 探討環境中影響類胡蘿蔔素含量的原因
- (三) 探討二次萃取溶液對光合色素萃取液濃度的影響
- (四) 探討氯化鈉溶液濃度對光合色素萃取液濃度的影響
- (五) 探討不同照度對類胡蘿蔔素含量的影響
- (六) 探討不同光照時間對類胡蘿蔔素含量的影響
- (七) 探討不同顏色光對類胡蘿蔔素含量的影響
- (八) 探討類胡蘿蔔素、模擬人體油脂、茶籽粉、純水之間相互作用機制

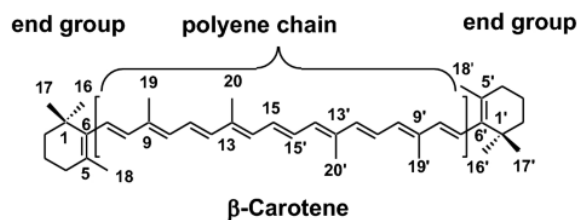
(九) 探討模擬人體油脂在不同體積比的類胡蘿蔔素及茶籽粉溶液中的溶解效果

(十) 研究自製光合色素天然洗髮精的去油能力

三、文獻回顧

(一) 類胡蘿蔔素

胡蘿蔔素與葉黃素通稱為類胡蘿蔔素 (carotenoid)，貯存在葉綠體及雜色粒內。胡蘿蔔素類是一種助吸光素，可以吸收藍、紫部分的可見光中的能量，吸收後剩下的光線呈紅及黃色。所吸收能量可以轉移給葉綠素，幫助葉綠素取得光合作用所需的能量。它們的一般結構通常由具有九個共軛雙鍵的多烯鏈和在多烯鏈兩端的端基組成，其結構如【圖 1】。類胡蘿蔔素比葉綠素穩定，不會因受到照光而分解。



【圖 1】類胡蘿蔔素的基本結構

(二) 類胡蘿蔔素相關的研究與分析

【表 1】類胡蘿蔔素相關的研究

作品類型	題目	研究焦點
中華民國第 47 屆中小學科學展覽會	眼見不為憑：光合色素的濾紙層析分離	以 100 % 丙酮：石油醚=1：9 展開液，色素的排列順序為胡蘿蔔素 > 葉綠素 a > 葉綠素 b > 葉黃素。
國內期刊	葉綠素的萃取及測定方法之比較	以 80 % 丙酮、DMF、DMSO 萃取菠菜葉的葉綠素，以 DMSO 萃取出葉綠素最穩定，將丙酮萃取液置於黑暗及 4 °C 以下保存，葉綠素濃度與其他兩溶劑萃取液差異不大。
國外期刊	Spectral properties and stability of selected carotenoid and chlorophyll compounds in different solvent systems	以高效液相色譜儀分析甘藍葉色素，發現甲醇：純水 80:20 萃取，類胡蘿蔔素在 400-500 nm、葉綠素在 600-700 nm 吸收最強，且發現 β-胡蘿蔔素在丙酮：純水=80:20 溶劑中儲存於冰箱溫度 (4-8 °C) 下時最穩定。
國外期刊	Determination of the Optimum Extraction Conditions of Carotenoid Pigment from Orange Peel by Response Surface Methodology	以乙醇、丙酮和己烷從橙皮中萃取類胡蘿蔔素，發現丙酮可在最低萃取溫度及時間 (30 °C、90 min) 獲得最高含量的類胡蘿蔔素。

(三) 鹽析

當一種聚合物與一種鹽類溶於水中並達到一定濃度時，由於聚合物與鹽之間的分子空間阻礙作用，無法相互滲透，從而形成不互溶的兩相，利用目標物與水分子間不同作用力分配而達純化分離的效果。

國內外的科學報告中指出，類胡蘿蔔素在波長 400-500 nm 之間吸收最強，植物的光合色素常用 80、90% 丙酮萃取葉綠素，純丙酮萃取非極性的類胡蘿蔔素。我們試著以純丙酮萃取類胡蘿蔔素及葉綠素並以鋁箔紙進行遮光處理及冰箱 4°C 保存，再利用丙酮親水的低分子物質特性，以食鹽水進行鹽析，用分光光度計測量類胡蘿蔔素及葉綠素的濃度，過程中試著建立簡易且環保的光合色素萃取方法，並利用類胡蘿蔔素的親脂特性，自製光合色素天然洗髮精及檢視其去油能力。

貳、研究設備及器材

一、材料及藥品器材：

- (一) 天然或市售材料：烏臼、台灣檫、大葉桉、垂榕、垂榕盆栽、市售 β -胡蘿蔔素溶液 (100 $\mu\text{g}/\text{mL}$)、茶籽粉、水性羊毛脂、三酸甘油酯、角鯊烯、神經醯胺、豬皮、市售洗髮精
- (二) 藥品：丙酮、氯化鈉、硫酸銨、生理食鹽水、石油醚
- (三) 器材：燒杯、比色管、滴管、LED 燈、離心管、離心管架、鋁箔紙、冰箱、漏斗、濾袋、篩網、攪拌棒、玻璃試管、塑膠樣品罐、針筒、滴定管架、滴定管夾、樂高 EV3、澆水器、不鏽鋼容器、玻璃容器、1 mm 毛細管、層析片、計時器、果汁機、攪拌器
- (四) 儀器：分光光度計、烘箱、超音波震盪機、旋轉攪拌加熱器、電子秤、水質測試計

【表 2】本研究使用的器材及材料





參、研究過程或方法

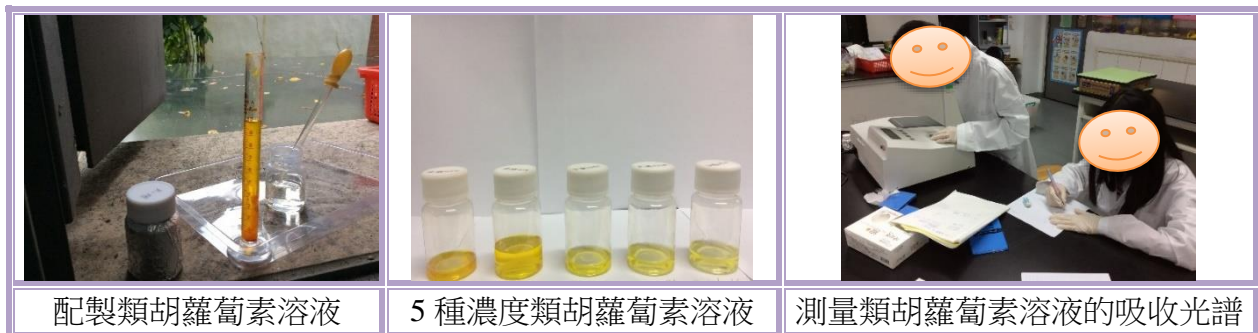
第一部分：預備實驗

一、類胡蘿蔔素濃度測量

(一) 原理：當入射光經過均勻而透明的溶液時，某些波長的光被該物質吸收。類胡蘿蔔素中的共軛鏈代表它們在可見光的區域吸收，因此是有色的。我們參考 (Total Carotenoids Determination) 影片，將溶劑改為丙酮，購買市售 β -胡蘿蔔素溶液，測量市售類胡蘿蔔素在 400-500 nm 之間的吸收光譜。

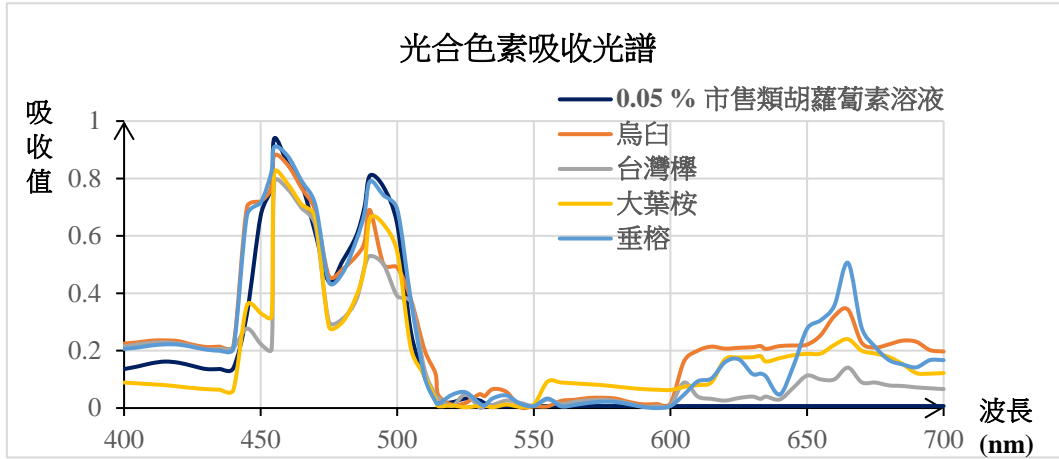
(二) 步驟：

1. 0.1% 類胡蘿蔔素溶液配製：市售 β -胡蘿蔔素溶液 (100 $\mu\text{g}/\text{mL}$) 0.1 mL，再加丙酮溶液定量至 100 mL，接著配製成濃度 0.05、0.04、0.02、0.01、0.005 (mL/100 mL) 的類胡蘿蔔素溶液，如【圖 2】。
2. 以針筒分別取不同濃度 3.5 mL 類胡蘿蔔素溶液放入比色管中。
3. 將比色管放入分光光度計，測量在 400-700 nm 之間吸收光譜，若吸收值超過 1，以丙酮進行稀釋，並記錄稀釋倍數，每種濃度類胡蘿蔔素溶液進行三次吸收值測量。
4. 以標準濃度之類胡蘿蔔素與吸收值製作之檢量線，以利後續樣品之類胡蘿蔔素濃度計算。



【圖 2】類胡蘿蔔素溶液配製流程圖

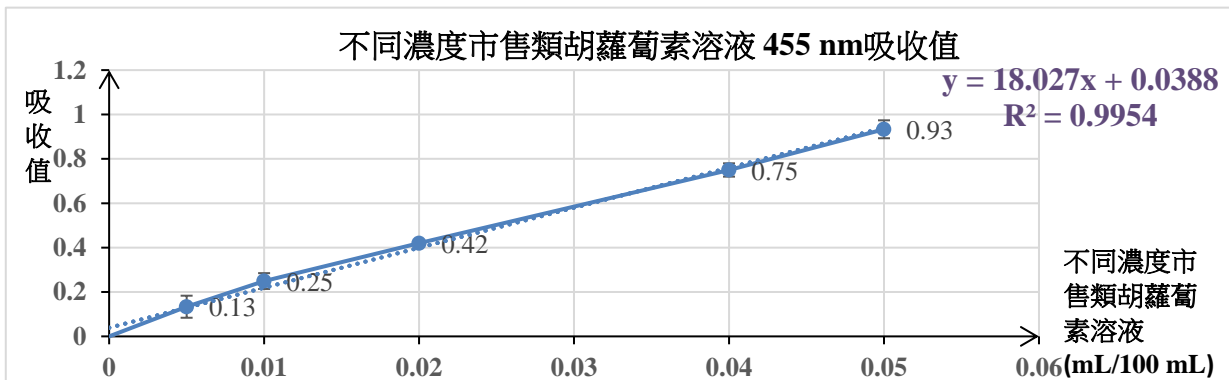
(三) 類胡蘿蔔素濃度測量結果：



【圖 3】測量市售類胡蘿蔔素的吸收光譜，與校園裡不同樹種的光合色素進行比對

(四) 類胡蘿蔔素濃度測量結果分析：

1. 校園裡四種樹種與市售類胡蘿蔔素溶液在 400- 500 nm 時，455、490 nm 處呈現 2 個吸收峰，我們取最高吸收峰的 455 nm 作為測定波長。
2. 將市售類胡蘿蔔素與丙酮配製成濃度 0.05、0.04、0.02、0.01、0.005 (mL/100 mL) 的類胡蘿蔔素溶液，在 455 nm 下的吸收值作圖，得【圖 4】。



【圖 4】不同濃度市售類胡蘿蔔素溶液檢量線

3. 由【圖 4】我們整理公式後可得：

$$\text{類胡蘿蔔素濃度} = \frac{\text{吸收值} - 0.0388}{18.027} * \text{稀釋倍數 (mL/100 mL)}$$

4. 葉片中類胡蘿蔔素含量 = $\frac{\text{類胡蘿蔔素濃度} \times \text{丙酮上清液體積}}{\text{葉子重量} \times 100} \times 100$ (mL/100g)

5. 校園裡四種樹種在 600- 700 nm 時，665 nm 處呈現吸收峰，我們搜尋文獻後得知，此化合物是葉綠素。

二、葉綠素濃度測量

- (一) 原理：在植物生理過程葉綠體扮演重要的角色，能吸收光能以供光合成反應利用，

我們以丙酮為溶劑，測定 665 nm 之吸收值，經類胡蘿蔔素濃度測量結果分析得知吸收值越高即萃取液中化合物濃度越高，我們以吸收值乘稀釋倍數，比較葉綠素濃度。

(二) 步驟：

1. 葉綠素濃度測量步驟：

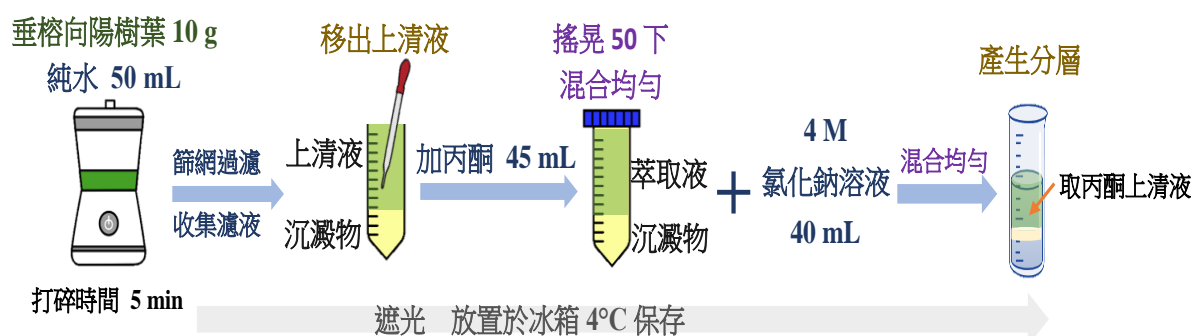
同類胡蘿蔔素濃度測量步驟 2-3，測量三次 665 nm 之吸收值。

2. 葉綠素濃度比較： $\text{葉綠素濃度} \propto [665\text{nm 之吸收值} \times \text{稀釋倍數}]$

三、類胡蘿蔔素的萃取及定性分析

(一) 原理：我們想利用類胡蘿蔔素親脂的特性，自製光合色素天然洗髮精，於是我們將校園垂榕的向陽葉經實驗四步驟處理後，再以烘箱去除丙酮，並進行成分分析。

(二) 類胡蘿蔔素的萃取步驟：以實驗一～四最佳結果，過程如【圖 5】，萃取出類胡蘿蔔素經烘箱 60°C 乾燥 48 小時。






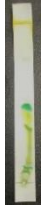


【圖 5】類胡蘿蔔素萃取示意圖

(三) 類胡蘿蔔素定性分析的步驟：

1. 製作展開劑；取 10 mL 丙酮加入 30 mL 石油醚。
2. 加入高度 0.2 公分的展開劑於玻璃罐中。
3. 分別以內徑 1 mm 的毛細管取烘乾 4 小時、24 小時、48 小時的類胡蘿蔔素點 30 滴在層析片起點線上，再以鑷子夾住層析片，斜立於步驟 2 之玻璃罐中，並蓋上蓋子。
4. 溶液到達層析片終點線時，以鑷子夾起層析片，拍照及記錄。

(四) 類胡蘿蔔素定性分析結果

【表 3】類胡蘿蔔素定性分析結果

類胡蘿蔔素烘乾過程	4 小時	24 小時	48 小時
外觀記錄			
	顏色開始變化	葉綠素減少類胡蘿蔔素顯現	類胡蘿蔔素顏色變深
薄層色層分析圖	 <p>胡蘿蔔素 脫鎂葉綠素 a 葉黃素 葉綠素 a 葉綠素 b</p>	 <p>胡蘿蔔素 脫鎂葉綠素 a 葉黃素 葉綠素 a 葉綠素 b</p>	 <p>胡蘿蔔素 葉黃素</p>

(五) 類胡蘿蔔素定性分析發現：經烘箱 60°C 乾燥 48 小時後，燒杯內剩類胡蘿蔔素。

四、人工溫室植物

(一) 原理：在實驗一、二的結果發現植物的光合色素含量會因物種、季節、葉齡而變化，但環境的因素也很重要，在校園中的我們無法對植物進行有效的控制變因，因此我們採溫室栽培方法，利用 LED 燈具有光量及光波長組成份均可調整的優點，將垂葉榕盆栽種植在教室裡，進行光照實驗。

(二) 步驟：

1. 選擇同一區種植、高度差異小的 5 株垂榕盆栽，如【圖 6】。
2. 建立 5 株垂榕盆栽的原始資料：記錄盆栽植株高度後，從植株最高葉片開始剪下 10 g 的葉片，如【圖 6】。
3. 同實驗四步驟 1-4，但氯化鈉溶液濃度改為 4 M。
4. 分別取步驟 3 五種丙酮層溶液 3.5 mL 加入比色管，進行類胡蘿蔔素含量、葉綠素濃度測量，三重複並計算平均值。



【圖 6】人工溫室植物照光過程

(三) 5 株垂榕盆栽測量結果：

【表 4】5 株垂榕盆栽原始資料

垂榕	1	2	3	4	5
盆栽植株高度 (cm)	137	130	132	132	135
丙酮上清液體積 (mL)	44	41	42	44	45
稀釋倍數 (倍)	4	4	4	5	4
455 nm 平均吸收值	0.69	0.54	0.71	0.47	0.73
665 nm 平均吸收值	0.48	0.31	0.46	0.37	0.52
類胡蘿蔔素濃度 (mL/100 mL)	0.14	0.11	0.15	0.12	0.15
葉片中類胡蘿蔔素含量 (mL/100g)	0.64	0.45	0.63	0.52	0.69
葉綠素平均濃度	1.91	1.24	1.84	1.86	2.07

(四) 5 株垂榕盆栽測量結果分析：

發現不同株垂榕盆栽，葉綠素濃度與類胡蘿蔔素含量都不同，於是我們試著建立光照前後的色素變化率公式，以利後續不同光照實驗比較。

$$\text{類胡蘿蔔素含量變化率} = \frac{\text{照光後類胡蘿蔔素含量} - \text{照光前類胡蘿蔔素含量}}{\text{照光前類胡蘿蔔素含量}} \times 100\%$$

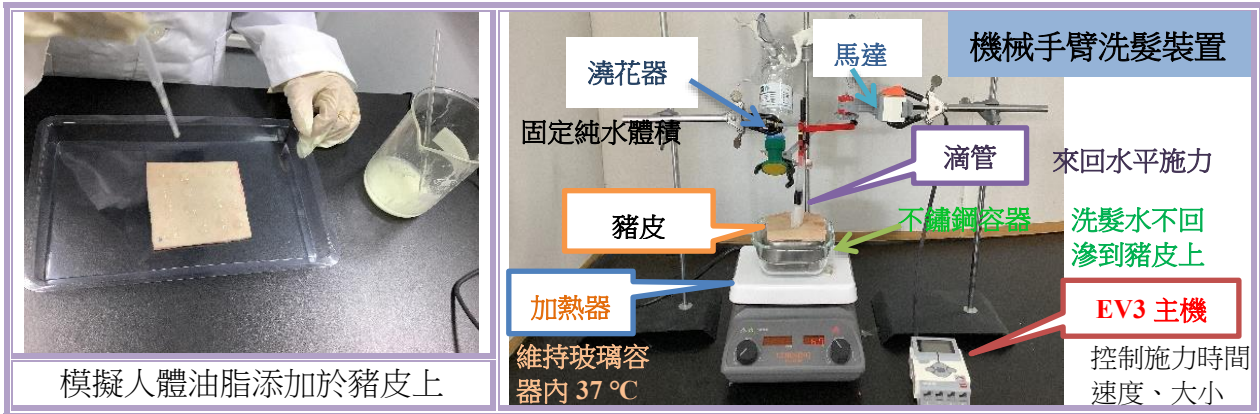
$$\text{葉綠素濃度變化率} = \frac{\text{照光後葉綠素吸收值} * \text{稀釋倍數} - \text{照光前葉綠素吸收值} * \text{稀釋倍數}}{\text{照光前葉綠素吸收值} * \text{稀釋倍數}} \times 100\%$$

五、自製洗髮試驗裝置

(一) 原理：豬皮與人體皮膚在組織構造上有許多相似之處，在毛囊構造上也都有皮脂腺與毛囊結合在一起，並分泌油脂到皮膚表面，但由於死的豬皮角質層油脂與活的人體油脂成份及比例有差異，因此我們參考 (Sebacous gland lipids) 期刊裡的人體油脂組成份，配製模擬人體油脂，並添加於豬皮上，以機械手臂模擬手指洗髮，再以水質測試計測量兩次洗髮水的導電度、TDS、pH，最後進行比較。

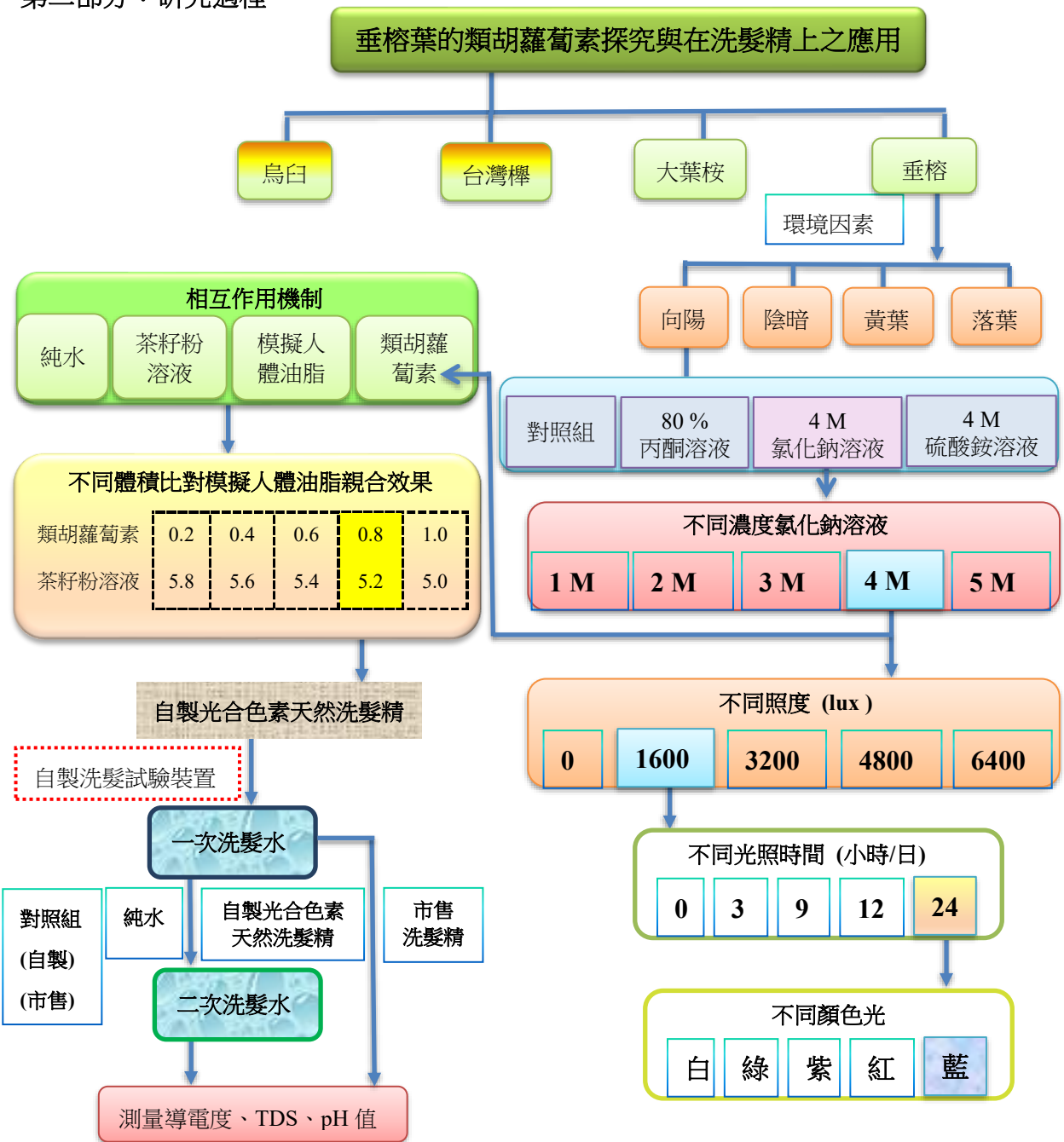
(二) 步驟：

1. 模擬人體油脂配製：：取 10 g 水性羊毛脂加純水 30 mL，以旋轉攪拌器攪拌均勻，再加入 40 mL 三酸甘油酯、12 mL 角鯊烯、12 mL 神經醯胺。
2. 取一大塊豬皮，用生理食鹽水將表皮沖乾淨，剪成每塊 10*10 cm 面積，放在底部朝上的不鏽鋼容器上，再放入玻璃容器，底下放置加熱器，使玻璃容器內溫度維持在 37 °C，以支架固定澆水器，如【圖 7】。



【圖 7】自製洗髮試驗過程

第二部分：研究過程



【圖 8】研究架構

一、實驗一 探討校園裡不同樹種的類胡蘿蔔素含量

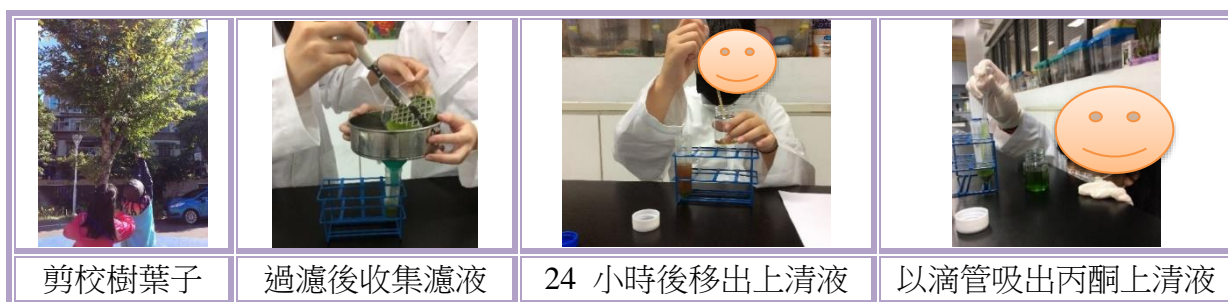
(一) 實驗目的：從資料得知葉子變黃主要是類胡蘿蔔素的影響，我們想知道校園裡樹木，哪一種樹種的類胡蘿蔔素含量最高？葉子會變黃的樹是否含有較高類胡蘿蔔素？

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：校園裡不同的樹種 (烏臼、台灣檫、大葉桉、垂榕)
2. 控制變因：校園操場植物 (溫度、日照時間、雨量、土質)、(烏臼、台灣檫、大葉桉、垂榕) 葉片重量、純水體積、果汁機打碎時間、放置時間溫度、丙酮體積

(三) 實驗步驟：

1. 剪下校園中四種樹種 (烏臼、台灣檫、大葉桉、垂榕) 的樹葉【圖 9】。
2. 秤取四種樹種的葉子各 10 g 剪成小塊，分別加入純水 50 mL，放入果汁機間歇性打碎，打碎 30 秒後暫停 10 秒，時間為 5 分鐘。
3. 打碎後以篩網過濾，漏斗流下的濾液收集在離心管內，以鋁箔紙進行遮光處理，放置於及冰箱 4 °C 保存，24 小時後以滴管移出上清液。
4. 將丙酮 45 mL 加入離心管，加蓋密封，搖晃 50 下與沉澱物混合均勻，遮光且放置於冰箱 4 °C 保存，24 小時後以滴管吸出丙酮上清液 (萃取液)，並記錄體積及進行薄層色層分析 (步驟同預備實驗:類胡蘿蔔素定性分析步驟)。
5. 取 3.5 mL 丙酮上清液加入比色管，進行類胡蘿蔔素濃度、葉綠素濃度測量，三重複並計算平均值。
6. 類胡蘿蔔素濃度、葉片中類胡蘿蔔素含量、葉綠素濃度計算同預備實驗一、二。



【圖 9】比較校園裡不同的樹種的的類胡蘿蔔素含量

二、實驗二 探討環境中影響類胡蘿蔔素含量的原因

(一) 實驗目的：實驗一得知垂榕的類胡蘿蔔素含量最高，我們想知道葉綠素濃度減少，是否會降低類胡蘿蔔素的含量？以及環境中的光照對類胡蘿蔔素含量的影響？

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：垂榕的樹葉 (向陽、陰暗、黃葉、落葉)
2. 控制變因：同株垂榕、葉片重量、純水體積、果汁機打碎時間、放置時間溫度、丙酮體積

(三) 實驗步驟：

1. 剪下垂榕的樹葉，取日照充分的樹葉為向陽葉，日照不到的樹葉為陰暗葉，樹上變黃的葉片為黃葉，掉落於泥土葉片為落葉，如【圖 10】。
2. 秤取四種垂榕的樹葉各 10 g 剪成小塊，其餘與實驗一步驟 2-6 相同。



【圖 10】探討照光及黃葉、落葉的類胡蘿蔔素含量

三、實驗三 探討二次萃取溶液對光合色素萃取液濃度的影響

(一) 實驗目的：為了進一步了解葉綠素濃度與類胡蘿蔔素含量的關係，我們想增加丙酮上清液中葉綠素與類胡蘿蔔素的濃度，來增加實驗結果的準確性，且達到增加類胡蘿蔔素萃取率的目的，於是進行二次萃取，我們參考 ("Salting-out" concentration of phytoplankton pigment extracts previous to their analysis by HPLC) 期刊，將鹽類改為 4 M 氯化鈉及硫酸銨，與常用來萃取葉綠素的 80 % 丙酮溶液進行比較，研究是否能增加光合色素萃取液的濃度？

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：不同萃取法 (對照組、丙酮溶液、氯化鈉溶液、硫酸銨溶液)
2. 控制變因：垂榕向陽樹葉、葉片重量、純水體積、果汁機打碎時間、放置時間

溫度、丙酮體積

(三) 實驗步驟：

1. 秤取垂榕向陽樹葉各 10 g 剪成小塊，其餘同實驗一步驟 2-4。
2. 配製不同種類之二次萃取溶液
 - (1) 80 % 丙酮溶液配製：取丙酮 80 g 加純水至溶液總質量 100 g，攪拌均勻。
 - (2) 4 M 氯化鈉溶液配製：取氯化鈉 23 g 加純水定量至 100 mL，攪拌均勻。
 - (3) 4 M 硫酸銨溶液配製：取硫酸銨 53 g 加純水一邊攪拌，定量至 100 mL。
3. 取不同二次萃取溶液 40 mL，分別加入放置於冰箱 4 °C 保存後的垂榕向陽樹葉萃取液及沉澱物，混合均勻後觀察分層情形，並記錄丙酮層溶液體積。
4. 分別取步驟 3 三種丙酮層溶液 3.5 mL 加入比色管，進行類胡蘿蔔素含量、葉綠素濃度測量，並與未經二次萃取之對照組進行比較。



【圖 11】以不同萃取溶液進行二次萃取

四、實驗四 探討氯化鈉溶液濃度對光合色素萃取液濃度的影響

(一) 實驗目的：實驗三得知以氯化鈉溶液對萃取液進行鹽析，可以增加萃取液的光合色素濃度，所以我們想知道如果以不同濃度的氯化鈉溶液進行鹽析，是否會影響萃取液的光合色素濃度？

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：不同濃度氯化鈉溶液 (1 M、2 M、3 M、4 M、5 M)
2. 控制變因：垂榕向陽樹葉、葉片重量、純水體積、果汁機打碎時間、室溫、放置時間、丙酮體積、氯化鈉溶液體積

(三) 實驗步驟：

1. 同實驗三步驟 1。

2. 分別配製 1- 5 M 氯化鈉溶液。
3. 取不同濃度氯化鈉溶液 40 mL，分別加入放置於冰箱 4 °C 保存後的垂榕向陽樹葉萃取液及沉澱物，混合均勻後觀察分層情形，並記錄丙酮層溶液體積。
4. 分別取步驟 3 五種丙酮層溶液 3.5 mL 加入比色管，進行類胡蘿蔔素含量、葉綠素濃度測量，三重複取平均值。



【圖 12】不同濃度氯化鈉溶液鹽析過程

五、實驗五 探討不同照度對類胡蘿蔔素含量的影響

(一) 實驗目的：實驗四得知添加 4 M 氯化鈉溶液已達到最高類胡蘿蔔素萃取濃度，我們想進一步分析光照強度與葉綠素的濃度與類胡蘿蔔素含量的關係，於是採人工溫室的方法，為了引導植物有一致的向光性，我們採植物有最強向光性的藍光，對垂榕盆栽進行照光。

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：不同照度 (0、1600、3200、4800、6400 lux)
2. 控制變因：光照時間、光照顏色、LED 燈與垂榕盆栽距離、室溫、垂榕盆栽樹葉、葉片重量、純水體積、果汁機打碎時間、放置時間、丙酮體積、4 M 氯化鈉溶液體積

(三) 實驗步驟：

1. 5 株垂榕盆栽上方距離盆栽最高葉片 20 cm 處架設 LED 燈，如【圖 13】。
2. 以 450-460 nm 藍光每日光照 9 小時，光照持續一週，一週後從植栽最高葉片開始剪下 10 g 的葉片。
3. 同實驗四步驟 1-3，但氯化鈉溶液濃度改為 4 M。



【圖 13】藍光不同照度光照垂榕盆栽

4. 分別取步驟 3 五種丙酮層溶液 3.5 mL 加入比色管，進行類胡蘿蔔素含量、葉綠素濃度測量，三重複取平均值。
5. 類胡蘿蔔素含量變化率及葉綠素濃度變化率計算，同預備實驗人工溫室植物。

六、實驗六 探討不同光照時間對類胡蘿蔔素含量的影響

(一) 實驗目的：實驗五得知在低照度 (1600 lux) 時，能增加類胡蘿蔔素含量及葉綠素濃度，那如果以低照度連續照光，是否能增加類胡蘿蔔素含量及葉綠素濃度？

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：不同光照時間 (0、3、9、12、24 小時/日)
2. 控制變因：光照度、光照顏色、LED 燈與垂榕盆栽距離、室溫、垂榕盆栽樹葉、葉片重量、純水體積、果汁機打碎時間、放置時間、丙酮體積、4 M 氯化鈉溶液體積

(三) 實驗步驟：

1. 為了減少實驗五對植物的干擾，我們進行修枝，且間隔 2 週後再進行實驗六。



【圖 14】每日不同光照時間，持續一周照光

2. 同實驗五步驟 1，設定 5 座 LED 燈每日固定開啟的時間，分別以不同光照時間 (0、3、9、12、24 小時/日) 持續照光，照度 1600 lux，光照持續一週，一週後從植栽最高葉片開始剪下 10 g 的葉片，如【圖 14】。
3. 其餘同實驗五步驟 3-5。

七、實驗七 探討不同顏色光對類胡蘿蔔素含量的影響

(一) 實驗目的：實驗六得知在連續照光 24 (小時/日) 後可以達到最高光合色素變化率，我們還想找出其他會影響類胡蘿蔔素含量的光照因素。

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：不同顏色光 (白光、綠光、紫光、紅光、藍光)
2. 控制變因：光照度、光照時間、LED 燈與垂榕盆栽距離、室溫、垂榕盆栽樹葉、葉片重量、純水體積、果汁機打碎時間、放置時間、丙酮體積、4 M 氯

化鈉溶液體積

(三) 實驗步驟：

1. 同實驗六步驟 1，修枝後 2 週再進行實驗七。
2. 同實驗五步驟 1，以不同顏色光源 LED 燈，分別以照度 1600 lux 持續對垂榕盆栽照光一週，一週後從植栽最高葉片開始剪下 10 g 的葉片，如【圖 15】。
3. 其餘同實驗五步驟 3-5。



【圖 15】不同顏色光持續照光

八、實驗八 探討類胡蘿蔔素、模擬人體油脂、茶籽粉、純水之間相互作用的機制

(一) 實驗目的：在進行實驗一～七後，發現類胡蘿蔔素難以用純水洗乾淨，用茶籽粉加水卻可以洗掉，經由資料搜尋後，我們發現類胡蘿蔔素具有親油特性，決定用我們自己萃取的類胡蘿蔔素來探討與其他物質互溶的情形。

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：不同物質 (類胡蘿蔔素、模擬人體油脂、茶籽粉溶液、純水)
2. 控制變因：不同物質體積、滴管吸吐混合次數、滴管混合後靜置時間、超音波震盪時間

(三) 實驗步驟：

1. 類胡蘿蔔素萃取：同預備實驗三類胡蘿蔔素的萃取步驟。
2. 模擬人體油脂配製：同預備實驗五模擬人體油脂配製。
3. 茶籽粉溶液配製：取茶籽粉 30 g 加純水 420 mL，攪拌均勻。
4. 取 3 隻離心管，分別加入 2 mL 的純水、類胡蘿蔔素、茶籽粉溶液。
5. 分別將 2 mL 模擬人體油脂加入步驟 4 的離心管中。
6. 另取 1 離心管，加入 2 mL 類胡蘿蔔素及 2 mL 茶籽粉溶液。
7. 以滴管吸吐步驟 5、6 的 4 支離心管中兩溶液 5 次後，靜置 10 分鐘，觀察混合情形並記錄，如【圖 16】。
8. 將步驟 7 離心管，以超音波 40 KHz 震盪 1 分鐘，觀察混合情形並記錄。



【圖 16】靜置 10 分鐘後觀察

9. 靜置 10 分鐘後，再觀察一次步驟 8 離心管的實驗結果。
10. 另取 1 離心管，加入 1.3 mL 的茶籽粉溶液、類胡蘿蔔素、模擬人體油脂，其餘同步驟 7-9。

九、實驗九 探討模擬人體油脂在不同體積比的類胡蘿蔔素及茶籽粉溶液中的溶解效果

(一) 實驗目的：實驗八得知，將模擬人體油脂加入我們萃取的類胡蘿蔔素及茶籽粉溶液能產生乳化作用，我們想利用此特性製成自製光合色素天然洗髮精，於是我們取相同體積的自製光合色素天然洗髮精與模擬人體油脂，想找出與模擬人體油脂最高相溶性的類胡蘿蔔素及茶籽粉溶液比。

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：自製光合色素天然洗髮精的類胡蘿蔔素及茶籽粉溶液體積比
2. 控制變因：自製光合色素天然洗髮精體積、模擬人體油脂體積、滴管吸吐混合次數、滴管混合後靜置時間

(三) 實驗步驟：

1. 類胡蘿蔔素萃取、茶籽粉溶液配製同實驗八。
2. 分別於玻璃試管中加 0.2 mL、0.4 mL、0.6 mL、0.8 mL、1.0 mL 類胡蘿蔔素。
3. 依序加入 5.8 mL、5.6 mL、5.4 mL、5.2 mL、5.0 mL 茶籽粉溶液於步驟 1 玻璃試管，以滴管吸吐玻璃試管中兩溶液 5 次。
4. 將 4.0 mL 模擬人體油脂加入玻璃試管，觀察未混合前互溶情形並記錄油脂層、乳化層高度，如【圖 17】。
5. 以滴管吸吐步驟 4 玻璃試管中溶液 5 次，靜置 10 分鐘，觀察混合後互溶情形並記錄油脂層、乳化層高度。



【圖 17】將 4.0 mL 模擬人體油脂加入試管

十、實驗十 研究自製光合色素天然洗髮精的去油能力

(一) 實驗目的：實驗九得知我們自己萃取的類胡蘿蔔素 0.8 mL 添入茶籽粉溶液 5.2 mL，可將模擬人體油脂 4 mL 完全乳化，於是我們以此體積比配製自製光合色素天然洗髮精，以每 1 mL 模擬人體油脂採 1.5 mL 自製光合色素天然洗髮精的體積比，進行洗髮試驗，且為了減少實驗誤差，我們控制一定的攪拌及震盪條件，使油

滴分散及粒徑一致，測量二次洗髮水的導電度來檢視去油能力。

(二) 實驗變因：

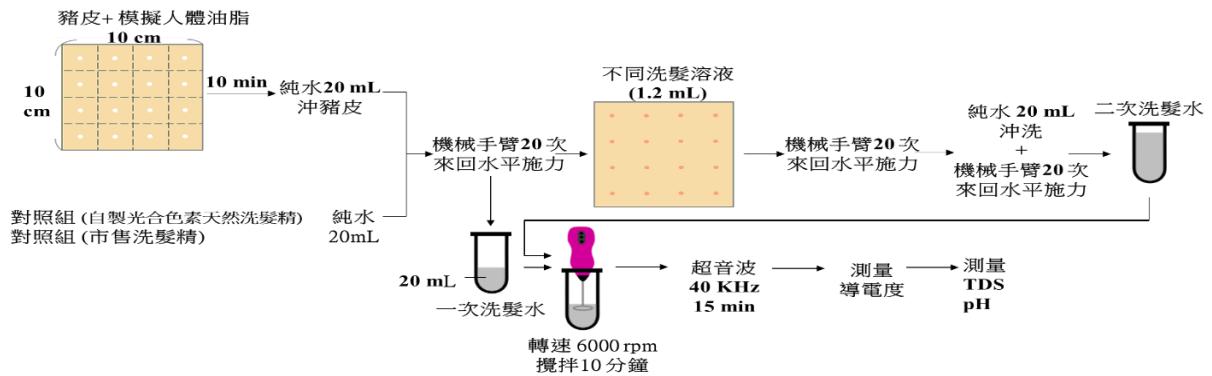
1. 操縱變因：對照組 (自製光合色素天然洗髮精、市售洗髮精)、不同洗髮溶液 (純水、自製光合色素天然洗髮精、市售洗髮精)
3. 控制變因：洗髮溶液體積、豬皮面積、豬皮溫度、純水體積、機械手臂施力次數及大小、攪拌器轉速及攪拌時間、超音波震盪時間



(三) 實驗步驟：

【圖 18】自製光合色素天然洗髮精

1. 自製光合色素天然洗髮精配製：8 mL 類胡蘿蔔素加茶籽粉溶液 52 mL。
2. 以自製洗髮試驗裝置洗髮，測量不同洗髮溶液的去油能力，如【圖 19】。



【圖 19】自製光合色素天然洗髮精去油能力示意圖

3. 如【圖 19】在豬皮上滴上 0.8 mL 模擬人體油脂，10 分鐘後豬皮吸入油脂，以澆水器裝純水 20 mL 沖洗豬皮，再以機械手臂進行施力，拿起豬皮及不鏽鋼容器，收集玻璃容器內液體 (一次洗髮水)，以轉速 6000 rpm 攪拌器攪拌 10 分鐘，再以超音波 40 KHz 震盪 15 分鐘，進行導電度測量，再測量 TDS、pH 並記錄。
4. 分別取不同洗髮溶液 1.2 mL 滴在步驟 3 的豬皮上如【圖 20】，再以機械手臂施力，20 mL 純水沖洗豬皮，同時以機械手臂施力，其餘二次洗髮水測量同步驟 3。【圖 20】洗髮溶液滴在豬皮上
5. 對照組的一次洗髮水同實驗步驟 3，但改為不鏽鋼容器上無豬皮及模擬人體油脂，二次洗髮水同實驗步驟 4，但改為 1.2 mL 自製光合色素天然洗髮精、市售洗髮精直接滴在不鏽鋼容器上。



肆、研究結果

一、實驗一 探討校園裡不同樹種的類胡蘿蔔素含量

(一) 實驗結果：

【表 5】校園裡不同樹種的類胡蘿蔔素含量

種類		烏白	台灣檫	大葉桉	垂榕
實驗結果	靜置 24 小時後丙酮溶液				
	丙酮上清液 薄層色層分析圖	 胡蘿蔔素 脫鎂葉綠素 a 葉黃素 葉綠素 a 葉綠素 b	 胡蘿蔔素 脫鎂葉綠素 a 葉黃素 葉綠素 a 葉綠素 b	 胡蘿蔔素 脫鎂葉綠素 a 葉黃素 葉綠素 a 葉綠素 b	 胡蘿蔔素 脫鎂葉綠素 a 葉黃素 葉綠素 a 葉綠素 b
	丙酮上清液體積 (mL)	43	43	43	43
	稀釋倍數 (倍)	1	5	5	5
	455 nm 吸收值一	0.90	0.74	0.79	0.90
	455 nm 吸收值二	0.88	0.79	0.82	0.91
	455 nm 吸收值三	0.91	0.72	0.88	0.93
	455 nm 平均吸收值	0.90	0.75	0.83	0.91
	665 nm 平均吸收值	0.34	0.14	0.24	0.51
數據分析	類胡蘿蔔素平均濃度 (mL/100 mL)	0.05	0.20	0.22	0.24
	葉片中類胡蘿蔔素含量 (mL/100g)	0.20	0.85	0.94	1.04
	葉綠素平均濃度	0.34	0.71	1.20	2.53

(二) 結果分析：

1. 從類胡蘿蔔素含量顯示，不同樹種的類胡蘿蔔素含量：**垂榕 > 大葉桉 > 台灣檫 > 烏白**。
2. 我們發現常綠喬木 (垂榕、大葉桉)的類胡蘿蔔素含量 > 落葉喬木 (台灣檫、烏白)，也由實驗結果得知常綠喬木 (垂榕、大葉桉)的葉綠素平均濃度 > 落葉喬木 (台灣檫、烏白)，推測因我們是在秋季收集樹葉，落葉木會因光照時間

變短，導致葉綠素合成的速率變慢而降低濃度，為了了解葉綠素的濃度是否會影響類胡蘿蔔素的含量，我們進行後續實驗。

二、實驗二 探討環境中影響類胡蘿蔔素含量的原因

(一) 實驗結果：

【表 6】環境中不同條件下取樣的類胡蘿蔔素含量

種類		向陽	陰暗	黃葉	落葉
實驗結果	靜置 24 小時後丙酮溶液				
	丙酮上清液 薄層色層分析圖	 胡萝卜素 脫鎂葉綠素 a 葉黃素 葉綠素 a 葉綠素 b	 胡萝卜素 脫鎂葉綠素 a 葉黃素 葉綠素 a 葉綠素 b	 胡萝卜素 葉黃素 葉綠素 a	 葉黃素
	丙酮上清液體積 (mL)	43	43	42	40
	稀釋倍數 (倍)	5	5	3	1
	455 nm 吸收值一	0.90	0.78	0.47	0.20
	455 nm 吸收值二	0.84	0.73	0.42	0.31
	455 nm 吸收值三	0.92	0.69	0.39	0.21
	455 nm 平均吸收值	0.89	0.73	0.43	0.24
	665 nm 平均吸收值	0.52	0.40	0.18	0.12
數據分析	類胡蘿蔔素濃度(mL/100 mL)	0.24	0.19	0.06	0.01
	葉片中類胡蘿蔔素含量(mL/100g)	1.01	0.82	0.27	0.04
	葉綠素平均濃度	2.58	2.00	0.53	-

(二) 結果分析：

1. 從類胡蘿蔔素含量顯示，類胡蘿蔔素含量：**向陽 > 陰暗 > 黃葉 > 落葉**，推測光照越強，類胡蘿蔔素的含量會多。
2. 葉綠素平均濃度：向陽 > 陰暗 > 黃葉，落葉因濃度過低而無法檢測出來，且由實驗一、二結果發現，葉綠素濃度較高的葉片，類胡蘿蔔素的含量也較高，為了進一步了解葉綠素的濃度與類胡蘿蔔素含量的關係，我們進行後續實驗。

3. 從實驗一二靜置 24 小時後丙酮溶液圖中發現，最下層沉澱物是咖啡色的，我們推測還有一些類胡蘿蔔素沒有溶解。

三、實驗三 探討二次萃取溶液對光合色素萃取液濃度的影響

(一) 實驗結果：

【表 7】不同二次萃取溶液的光合色素萃取液濃度比較

種類		對照組	80 % 丙酮	4 M 氯化鈉	4 M 硫酸銨
實驗結果	不同二次萃取溶液與萃取液及沉澱物混合後分層情形				
	丙酮上清液 薄層色層分析圖	 <p>胡蘿蔔素 脫鎂葉綠素 a 葉黃素 葉綠素 a 葉綠素 b</p>	 <p>胡蘿蔔素 脫鎂葉綠素 a 葉黃素 葉綠素 a 葉綠素 b</p>	 <p>胡蘿蔔素 脫鎂葉綠素 a 葉黃素 葉綠素 a 葉綠素 b</p>	 <p>胡蘿蔔素 脫鎂葉綠素 a 葉黃素 葉綠素 a 葉綠素 b</p>
	丙酮層溶液體積 (mL)	43	80	41	38
	稀釋倍數 (倍)	5	7	10	5
	455 nm 吸收值一	0.9	0.52	0.67	0.88
	455 nm 吸收值二	0.84	0.49	0.65	0.86
	455 nm 吸收值三	0.92	0.43	0.64	0.88
	455 nm 平均吸收值	0.89	0.48	0.65	0.88
	665 nm 平均吸收值	0.52	0.45	0.44	0.35
數據分析	類胡蘿蔔素濃度 (mL/100 mL)	0.24	0.17	0.34	0.23
	葉片中類胡蘿蔔素含量 (mL/100g)	1.01	1.37	1.40	1.35
	葉綠素平均濃度	2.58	3.15	4.50	1.75

(二) 結果分析：

- 從類胡蘿蔔素含量顯示，不同光合色素萃取液的類胡蘿蔔素含量：**4 M 氯化鈉 > 80 % 丙酮 > 4M 硫酸銨 > 對照組**，發現二次萃取確實可以增加類胡蘿蔔素的含量，且我們發現經氯化鈉溶液鹽析處理後能比對照組增加 39 % 的類胡蘿蔔素含量。
- 從葉綠素平均濃度顯示，經 4 M 氯化鈉溶液鹽析後能增加萃取液的葉綠素濃

度，我們也發現以氯化鈉溶液鹽析處理能替代丙酮，減少有機溶劑的使用量。

四、實驗四 探討氯化鈉溶液濃度對光合色素萃取液濃度的影響

(一) 實驗結果：

【表 8】不同濃度的氯化鈉溶液二次萃取後對光合色素萃取液濃度的影響

種類		1 M	2 M	3 M	4 M	5 M
實驗結果	不同濃度氯化鈉溶液與萃取液及沉澱物混合後分層情形					
	丙酮上清液 薄層色層分析圖					
	丙酮層溶液體積 (mL)	4	41	42	41	39
	稀釋倍數 (倍)	8	8	9	10	9
	455 nm 吸收值一	0.91	0.53	0.77	0.67	0.79
	455 nm 吸收值二	0.92	0.58	0.73	0.65	0.78
	455 nm 吸收值三	0.91	0.69	0.64	0.64	0.69
	455 nm 平均吸收值	0.91	0.60	0.71	0.65	0.75
	665 nm 平均吸收值	0.29	0.33	0.43	0.45	0.69
數據分析	類胡蘿蔔素濃度 (mL/100 mL)	0.39	0.25	0.30	0.34	0.36
	葉片中類胡蘿蔔素含量 (mL/100g)	0.15	1.02	1.25	1.40	1.39
	葉綠素平均濃度	2.32	2.64	3.87	4.50	6.21




(二) 結果分析：

1. 從類胡蘿蔔素含量顯示，氯化鈉溶液濃度越高類胡蘿蔔素含量也越高，發現添加 4 M 氯化鈉溶液達到極限，可以得到最高的類胡蘿蔔素含量。
2. 由不同氯化鈉溶液濃度與萃取液混合後分層情形圖片發現：沉澱物已接近白色，推測添加 4 M 氯化鈉溶液已達到最高類胡蘿蔔素萃取濃度。

五、實驗五 探討不同照度對類胡蘿蔔素含量的影響

(一) 實驗結果：

【表 9】經不同照度後對類胡蘿蔔素含量的影響

不同照度 (lux)		0	1600	3200	4800	6400
實驗結果	丙酮層溶液					
	丙酮層溶液體積 (mL)	43	45	44	44	44
	稀釋倍數 (倍)	4	4	4	4	4
	455 nm 吸收值一	0.89	0.62	0.66	0.60	0.53
	455 nm 吸收值二	0.82	0.65	0.71	0.52	0.51
	455 nm 吸收值三	0.74	0.67	0.76	0.53	0.57
	455 nm 平均吸收值	0.82	0.65	0.71	0.55	0.54
	665 nm 平均吸收值	0.50	0.41	0.42	0.43	0.31
數據分析	類胡蘿蔔素濃度 (mL/100 mL)	0.17	0.13	0.15	0.11	0.11
	葉片中類胡蘿蔔素含量 (mL/100g)	0.74	0.61	0.66	0.50	0.49
	葉綠素平均濃度	1.99	1.63	1.66	1.71	1.22

不同照度後光合色素變化率

不同照度 (lux)	類胡蘿蔔素含量 (%)	葉綠素濃度 (%)
0	16.54	3.97
1600	34.31	31.61
3200	4.81	-9.76
4800	-5.03	-8.17
6400	-29.16	-40.81

不同照度後葉綠素濃度變化率與類胡蘿蔔素含量變化率之關係

葉綠素濃度變化率 (%)	類胡蘿蔔素含量變化率 (%)
-40.81	-29.16
-8.17	-5.03
31.61	34.31
16.54	16.54

(二) 結果分析：

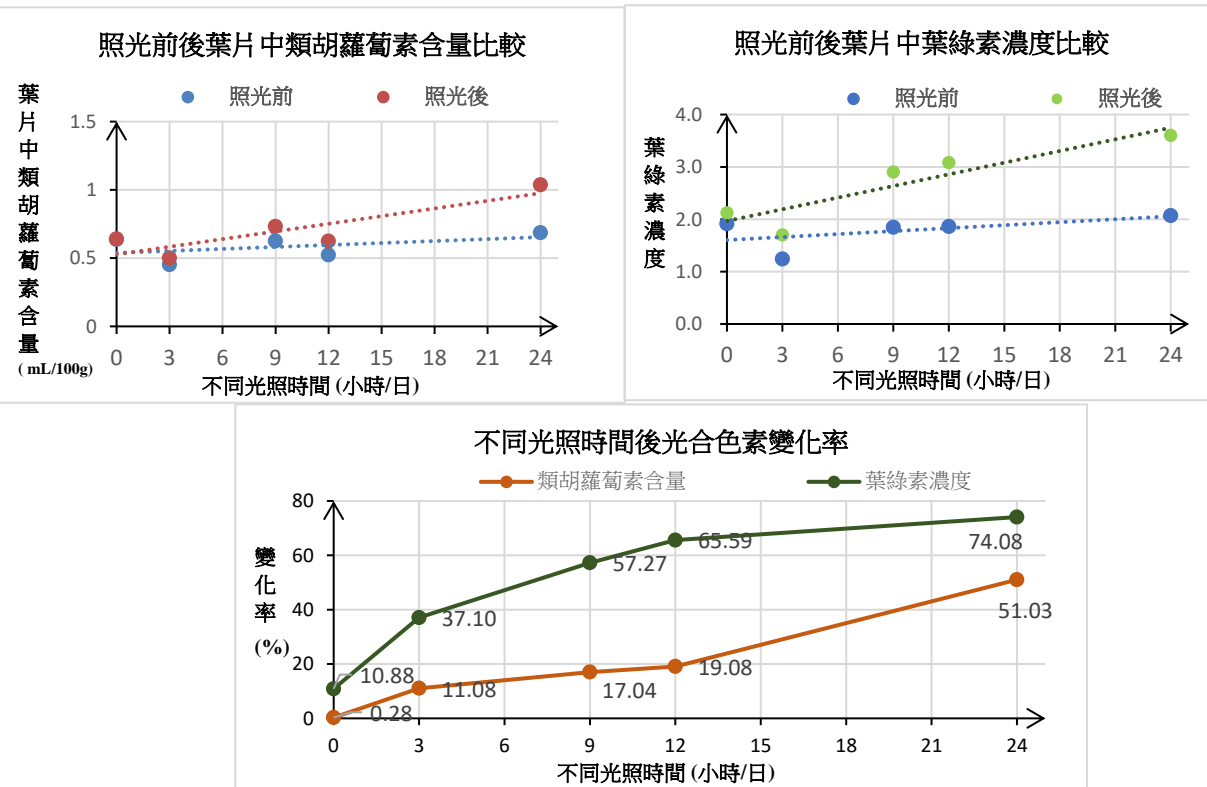
1. 從不同照度後光合色素變化率可以發現，在照度 0-1600 lux 時，類胡蘿蔔素含量變化率增加，隨著照度增加 (1600-6400 lux)，類胡蘿蔔素含量變化率降低，顯示在低照度時，能增加類胡蘿蔔素含量，在高照度時類胡蘿蔔素含量反而會降低，我們發現葉綠素濃度變化率也呈現一樣的趨勢。
2. 將光合色素變化率整理作圖，以葉綠素濃度變化率為橫坐標，類胡蘿蔔素含量變化率為縱坐標，發現在不同照度下，葉綠素濃度變化率與類胡蘿蔔素含量變化率有正相關的關係。

六、實驗六 探討不同光照時間對類胡蘿蔔素含量的影響

(一) 實驗結果：

【表 10】經不同光照時間照射後的類胡蘿蔔素含量

不同光照時間 (小時/日)		0	3	9	12	24
實驗結果	丙酮層溶液					
	丙酮層溶液體積 (mL)	45	44	44	44	44
	稀釋倍數 (倍)	4	5	5	4	5
	455 nm 吸收值一	0.70	0.52	0.65	0.66	0.88
	455 nm 吸收值二	0.62	0.46	0.65	0.72	0.91
	455 nm 吸收值三	0.72	0.37	0.62	0.65	0.88
	455 nm 平均吸收值	0.68	0.45	0.64	0.68	0.89
	665 nm 平均吸收值	0.53	0.34	0.58	0.77	0.72
數據分析	類胡蘿蔔素濃度 (mL/100 mL)	0.14	0.11	0.17	0.14	0.24
	葉片中類胡蘿蔔素含量 (mL/100g)	0.64	0.50	0.73	0.62	1.04
	葉綠素平均濃度	2.12	1.70	2.90	3.08	3.60







(二) 結果分析：

1. 從照光前後比較圖中發現，隨著光照時間增加，葉片中類胡蘿蔔素含量及葉綠素濃度呈增加趨勢，顯示長日照可以增加垂榕葉的光合色素含量。
2. 從不同光照時間後光合色素變化率可以發現，在光照時間大於 12 小時/日後，類胡蘿蔔素含量變化率增加，但葉綠素濃度變化率趨於平穩，推論此時已接近葉綠素濃度變化飽和點。

七、實驗七 探討不同顏色光對類胡蘿蔔素含量的影響

(一) 實驗結果：

【表 11】經不同顏色光照後的類胡蘿蔔素含量

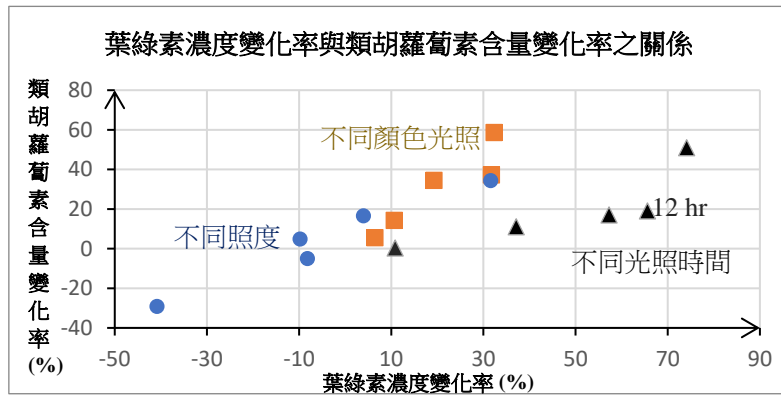
不同顏色光		白光	綠光	紫光	紅光	藍光
實驗結果	丙酮層溶液					
	丙酮層溶液體積 (mL)	43	45	44	44	44
	稀釋倍數 (倍)	5	4	4	5	6
	455 nm 吸收值一	0.76	0.55	0.80	0.66	0.81
	455 nm 吸收值二	0.73	0.52	0.77	0.59	0.74
	455 nm 吸收值三	0.79	0.48	0.74	0.63	0.79
	455 nm 平均吸收值	0.76	0.52	0.77	0.63	0.78
	665 nm 平均吸收值	0.46	0.33	0.51	0.49	0.46
數據分析	類胡蘿蔔素濃度(mL/100 mL)	0.20	0.11	0.16	0.16	0.25
	葉片中類胡蘿蔔素含量 (mL/100g)	0.86	0.48	0.72	0.72	1.09
	葉綠素平均濃度	2.28	1.32	2.04	2.45	2.74

不同顏色光照後光合色素變化率

光照顏色	類胡蘿蔔素含量 (%)	葉綠素濃度 (%)
白光	34.54	19.25
綠光	5.63	6.45
紫光	14.33	10.63
紅光	37.28	31.72
藍光	58.69	32.30

(二) 結果分析：

1. 不同顏色光照後類胡蘿蔔素含量變化率及葉綠素濃度變化率：**藍光 > 紅光 > 白光 > 紫光 > 綠光**。
2. 將實驗五至七結果整理作圖，以葉綠素濃度變化率為橫坐標，類胡蘿蔔素含量變化率為縱坐標，得【圖 21】。



【圖 21】不同條件下葉綠素濃度變化率與類胡蘿蔔素含量變化率之關係

3. 由【圖 21】我們發現在不同條件下，葉綠素濃度變化率與類胡蘿蔔素含量變化率有正相關的關係，但在不同光照時間時斜率較小，顯示類胡蘿蔔素含量在光照時間小於 12 小時/日時，類胡蘿蔔素含量增加會較少。

八、實驗八 探討類胡蘿蔔素、模擬人體油脂、茶籽粉、純水之間相互作用機制

(一) 實驗結果：



【表 12】各物質互溶情形

液體	模擬人體油脂 加入 純水		模擬人體油脂 加入 類胡蘿蔔素		模擬人體油脂 加入 茶籽粉溶液		類胡蘿蔔素 加入 茶籽粉溶液		模擬人體油脂 加入類胡蘿蔔素 加入茶籽粉溶液	
混合後 靜置 10 分鐘		不互 溶		部份 乳化		產生 乳化 作用		產生 乳化 作用		產生乳 化作用
超音波 震盪後		產生 乳化 作用		產生 乳化 作用		產生 乳化 作用		產生 乳化 作用		產生乳 化作用
超音波 震盪後 靜置 10 分鐘		不互 溶		部份 乳化		產生 乳化 作用		產生 乳化 作用		產生乳 化作用

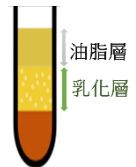
(二) 結果分析：

1. 與純水相比，混合後靜置 10 分鐘，模擬人體油脂在與類胡蘿蔔素的交界面呈現三層，中間層有懸浮小油滴，推論為乳化層，可知模擬人體油脂在類胡蘿蔔素中的溶解程度較好。
2. 與模擬人體油脂相比，類胡蘿蔔素加入茶籽粉溶液，能產生泡泡，此時兩溶液中水的表面張力較低，較容易混合均勻，我們利用此特性將模擬人體油脂加入類胡蘿蔔素及茶籽粉溶液，發現能形成穩定持久的結合體狀態。
3. 經超音波震盪後，發現各組液體經劇烈震動，都會產生小氣泡且混合均勻，但靜置 10 分鐘後，模擬人體油脂與類胡蘿蔔素間還是產生三層的分層，推論光讓分子間產生空隙無法有效使兩溶液持續均勻混合。

九、實驗九 探討模擬人體油脂在不同體積比的類胡蘿蔔素及茶籽粉溶液中的溶解效果

(一) 實驗結果：

【表 13】以不同體積比的類胡蘿蔔素及茶籽粉溶液與模擬人體油脂互溶情形



類胡蘿蔔素/茶籽粉溶液 (mL)	0.2/5.8		0.4/5.6		0.6/5.4		0.8/5.2		1.0/5.0	
未混合前互溶情形										
平均分層高度 (cm)	油脂	乳化	油脂	乳化	油脂	乳化	油脂	乳化	油脂	乳化
	0.90	1.00	1.30	0.95	0.85	1.40	1.30	0.90	1.00	1.20
混合後互溶情形										
平均分層高度 (cm)	油脂	乳化	油脂	乳化	油脂	乳化	油脂	乳化	油脂	乳化
	0.75	1.30	0.50	1.90	0.35	2.25	-	2.45	無明顯分層	

(二) 結果分析：

1. 與未混合前互溶情形相比，模擬人體油脂經混合後能增加乳化層的高度，且減少油脂層的高度。

- 類胡蘿蔔素添入量在 0.2 mL 至 1.0 mL 時，模擬油脂層高度漸減，至 1.0 mL 時，油脂、乳化、類胡蘿蔔素已無明顯分層；至 0.8 mL 時，已無明顯大油滴、油滴均勻分散，可知模擬人體油脂在 0.8 mL 完全乳化。

十、實驗十 研究自製光合色素天然洗髮精的去油能力

(一) 實驗結果：

【表 14】進行不同洗髮溶液試驗，比較一、二次洗髮水導電度、TDS、pH

一次洗髮水	對照組(自製光合色素天然洗髮精)	對照組(市售洗髮精)	純水	自製光合色素天然洗髮精	市售洗髮精
導電度一 (μS/cm)	134.1	124.5	119.5	124.8	118.5
導電度二 (μS/cm)	144.4	133.1	126.3	122.9	122.5
導電度三 (μS/cm)	135.7	138.4	125.6	119.3	120.3
平均導電度 (μS/cm)	138.1	132.0	123.8	122.3	120.4
平均 TDS (ppm)	59	58	225	220	222
平均 pH 值	6.89	6.87	6.55	6.3	6.34
二次洗髮水	對照組(自製光合色素天然洗髮精)	對照組(市售洗髮精)	純水	自製光合色素天然洗髮精	市售洗髮精
導電度一 (μS/cm)	295.9	333.2	113.3	227.7	325.2
導電度二 (μS/cm)	278.3	330.2	104.1	234.6	317.5
導電度三 (μS/cm)	288.5	327.7	109.6	255.4	304.4
平均導電度 (μS/cm)	287.6	330.4	109.0	239.2	315.7
平均 TDS (ppm)	197	448	235	279	686
平均 pH 值	6.25	6.45	6.33	5.96	6.25

(二) 結果分析：

- 發現與純水相比，加入洗髮溶液後會提高洗髮水的導電度，且兩對照組的二次洗髮水平均導電度不同，於是我們計算實驗組及對照組的差異，得到：自製光合色素天然洗髮精比對照組減少 17% 的平均導電度；市售洗髮精比對照組減少 4% 的平均導電度，根據文獻資料，溶液中油脂濃度愈高導電度愈小，顯示我們自製光合色素天然洗髮精去除模擬人體油脂的量大於市售洗髮精。
- 自製光合色素天然洗髮精的二次洗髮水平均 TDS 279 ppm，小於市售洗髮精，

接近一般自來水 TDS，不易產生環境汙染，天然且環保。

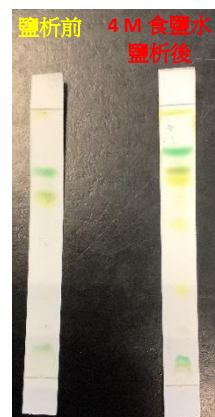
3. 經自製光合色素天然洗髮精試驗後的二次洗髮水 pH 5.96，經由資料搜尋，人體頭皮維持健康皮脂膜為 pH 5.5，我們自製光合色素天然洗髮精比市售洗髮精更可以維持頭皮健康。

伍、討 論

一、葉綠素和類胡蘿蔔素的吸收光譜差別，吸收光譜是反應吸收光能力強弱的譜圖，類胡蘿蔔素中的共軛鏈代表它們在可見區域吸收，因此是有色的，我們萃取的四種校園植物類胡蘿蔔素光譜在波長 455、490 nm 處有兩個相鄰的吸收峰，經由文獻搜尋後得知，這是光譜的綠、藍色部分會被吸收，而反射紅、黃色，所以類胡蘿蔔素會呈現橙色；文獻中得知葉綠素在 450 nm 和 650 nm 處各有兩個吸收峰，我們發現【圖 3】四種校園植物類胡蘿蔔素光譜在波長 445 nm 時有一個吸收峰，是葉綠素，我們以葉綠素較高吸收峰的 665 nm，作為測定波長，比較不同條件下葉綠素的濃度。

二、在實驗一結果發現，葉綠素平均濃度：常綠喬木 > 落葉喬木，文獻搜尋後得知，秋天後落葉樹種會在葉柄基部產生離層素，使葉子脫落，葉綠素在低溫發生分解，因此葉綠素含量逐漸降低，類胡蘿蔔素仍存於葉子中，導致葉片呈現黃色，又我們在實驗一結果發現，類胡蘿蔔素含量：常綠喬木 > 落葉喬木，從實驗一、二結果發現，葉綠素濃度較高的葉片，類胡蘿蔔素的含量也較高，從實驗五~七結果作圖【圖 21】，發現葉綠素濃度變化率與類胡蘿蔔素含量變化率有正相關的關係。

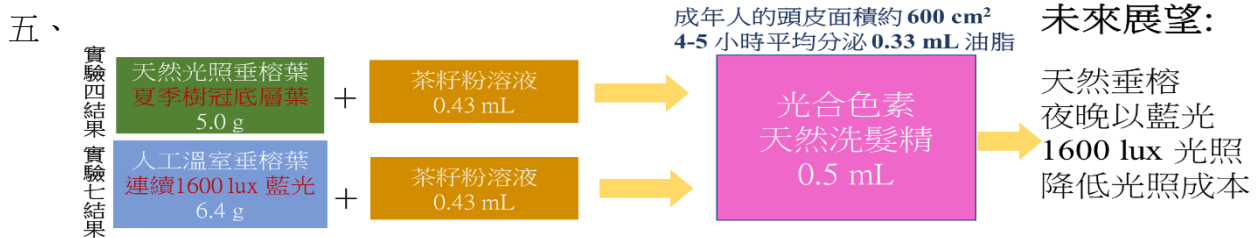
三、在實驗三、四結果，我們發現經 4 M 氯化鈉溶液鹽析後能比對照組增加 39 % 的類胡蘿蔔素含量，丙酮、氯仿、石油醚是非極性類胡蘿蔔素常用溶劑，具有高萃取率和穩定性，但對人類和環境有毒，也會形成過氧化物而導致類胡蘿蔔素降解或損失，本研究中以 4 M 食鹽水對垂榕葉丙酮萃取液進行鹽析，能替代二次萃取的丙酮，得到最高類胡蘿蔔素含量，以 5 M 食鹽水進行鹽析後能比對照組增加 141 % 的葉綠素濃度，萃取率高且環保。



【圖 22】鹽析前後薄層色層分析圖差異

四、探討類胡蘿蔔素的含量，因為有多種色素會吸收光而影響其生理反應，每種色素所受

影響的波段亦不同，我們發現若要得到含量最高的類胡蘿蔔素，便需以藍光、照度 1600 lux、24 小時/日連續照射垂榕，本研究中以人工溫室的方法，與其他相關研究相比，更可以有效控制光照條件、溫度、濕度，且易於比較實驗結果。

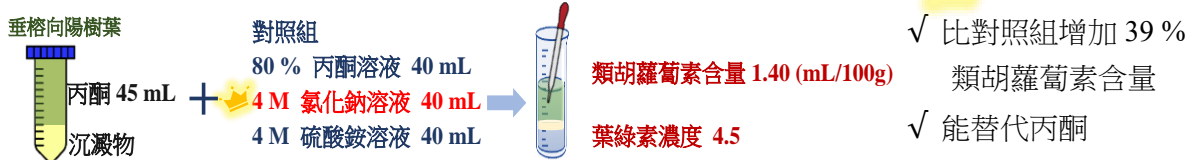


陸、結 論

一、探討校園裡四種樹種的類胡蘿蔔素含量，包括：烏臼、台灣檫、大葉桉、垂榕，取最高吸收峰的 455 nm 作為測定波長，發現垂榕的類胡蘿蔔素含量最高 1.04 (mL/100g)，發現常綠喬木 (垂榕、大葉桉) 的類胡蘿蔔素含量 > 落葉喬木 (台灣檫、烏臼)。

二、探討環境中影響類胡蘿蔔素含量的原因 (向陽、陰暗、黃葉、落葉)，發現向陽類胡蘿蔔素含量最高 1.01 (mL/100g)，是陰暗的 1.23 倍；黃葉的 3.74 倍；落葉的 25.25 倍。

三、探討二次萃取溶液對光合色素萃取液濃度的影響：



四、探討氯化鈉溶液濃度 (1 M、2 M、3 M、4 M、5 M) 對光合色素萃取液濃度的影響，發現氯化鈉溶液濃度越高類胡蘿蔔素含量也越高，添加 4 M 氯化鈉溶液可以得到最高的類胡蘿蔔素含量 1.40 (mL/100g)，以 5 M 氯化鈉溶液進行鹽析後能比對照組增加 141% 的葉綠素濃度，萃取率高且環保。

五、探討不同照度 (0、1600、3200、4800、6400 lux) 對類胡蘿蔔素含量的影響，發現在低照度 0-1600 lux 時，類胡蘿蔔素含量變化率增加，隨著照度增加 (1600-6400 lux)，類胡蘿蔔素含量變化率降低，將光合色素變化率整理作圖，發現葉綠素濃度變化率與類胡蘿蔔素含量變化率有正相關的關係。

六、探討不同光照時間 (0、3、9、12、24 小時/日) 對類胡蘿蔔素含量的影響，發現隨著光照時間增加，葉片中類胡蘿蔔素含量及葉綠素濃度呈增加趨勢，在連續照光 24 小時/日後可以達到最高光合色素變化率，類胡蘿蔔素含量變化率 51.03%。

- 七、探討不同顏色光對類胡蘿蔔素含量的影響，包括：白、綠、紫、紅、藍光，發現藍光可以達到最高光合色素變化率，類胡蘿蔔素含量變化率 58.69 %。
- 八、探討類胡蘿蔔素、模擬人體油脂、茶籽粉、純水之間相互作用機制，發現將模擬人體油脂加入類胡蘿蔔素及茶籽粉溶液，能產生乳化作用且形成穩定持久的結合體狀態。
- 九、探討模擬人體油脂在不同體積比的類胡蘿蔔素及茶籽粉溶液中的溶解效果，發現類胡蘿蔔素 0.8 mL 添入茶籽粉溶液 5.2 mL，可將模擬人體油脂 4 mL 完全乳化。
- 十、研究自製光合色素天然洗髮精的去油能力，發現自製光合色素天然洗髮精的二次洗髮水比對照組減少 17 % 的平均導電度，去除模擬人體油脂的量大於市售洗髮精，TDS 279 ppm，不會汙染環境，pH 5.96 呈弱酸，可以維持人體皮膚健康，天然環保且成本低、容易製備，未來可推廣至洗手乳的應用上。

柒、參考文獻資料

1. 李依儒、簡君芳、許喬婷、張育哲 (2007)。眼見不為憑：光合色素的濾紙層析分離。中華民國第 47 屆中小學科學展覽會。台灣國立科學教育館。
2. 郭孟思、許博行 (1996)。葉綠素的萃取及測定方法之比較。中興大學實驗林研究彙刊，18，Issue 2, 113-118。
3. 蔡尚恬、蔡振章 (2004)。天然色素的顏色化學。科學發展，381，55-59。
4. E.L. Ashenafi, M.C. Nyman, J.T. Shelley, N.S. Mattson. (2023). Spectral properties and stability of selected carotenoid and chlorophyll compounds in different solvent systems: Food Chemistry Advances, 2. 100178.
5. Gavalás-Olea, A., Sanz, N., Garrido, J.L. (2014). "Salting-out" concentration of phytoplankton pigment extracts previous to their analysis by HPLC: Frontiers in Marine Science 1, 10.3389.
6. Picardo, M., Ottaviani, M., Camera, E., Mastrofrancesco, A. (2009). Sebaceous gland lipids: Dermatoendocrinol, 1(2): 68–71.
7. T. Al-idee, H. Habbal, F. Karabt. (2020). Determination of the Optimum Extraction Conditions of Carotenoid Pigment from Orange Peel by Response Surface Methodology: Journal of Materials and Environmental Science, 11. 1141-1149.
8. Total carotenoids determination. (2016, September 21).University of British Columbia. Retrieved September 4, 2022, from <https://www.youtube.com/watch?v=YmE4Y4QMLBs>

【評語】 080214

1. 能夠應用萃取、層析分離、鹽析、吸收度等分析化學原理與技巧。
2. 能利用吸收光，測量植物葉子所含的胡蘿蔔素並搭配不同濃度市售 β -胡蘿蔔素溶液，就能比對出各植物的胡蘿蔔素濃度，值得讚許。
3. 改變並優化關鍵參數獲得最佳實驗條件，諸如在校園不同樹種中得知垂榕葉含有做多葉綠素與類胡蘿蔔素，照光時間、波長(光色)對此 2 種分析物濃度之影響等，實驗設計與層次感豐富。
4. 實驗十之實驗設計稍嫌複雜，機械手臂、第一二次洗液、對照組設計等等實驗步驟複雜，但描述與數據討論較不足，影響作品收尾的效果。

作品海報

垂榕葉的類胡蘿蔔素探究 與在洗髮精上之應用



摘要

研究校園樹種的類胡蘿蔔素含量及萃取方法製成的自製光合色素天然洗髮精。以分光光度計測量類胡蘿蔔素的濃度且計算含量，發現垂榕向陽葉的類胡蘿蔔素含量最高 1.01 (mL/100g)。經丙酮萃取再以 4 M 氯化鈉溶液鹽析後，可得最高類胡蘿蔔素含量 1.40 (mL/100g)，比對照組增加 39 % 的類胡蘿蔔素含量，能替代二次萃取的丙酮。以 LED 燈光照垂榕，發現以藍光 1600 lux 連續光照 24 小時/日後，可以達到最高類胡蘿蔔素含量變化率 58.69 %。以校樹萃取出的類胡蘿蔔素加茶籽粉製成的自製光合色素天然洗髮精，經自製洗髮試驗裝置洗髮後，測量出洗髮水的導電度，發現去除模擬人體油脂量大於市售洗髮精，TDS 279 ppm，pH 5.96 呈弱酸，可維持人體皮膚健康，天然環保且成本低、製備容易，未來可應用至洗手乳。

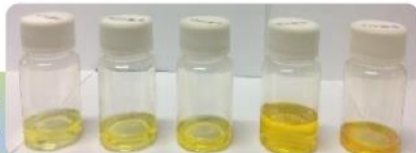
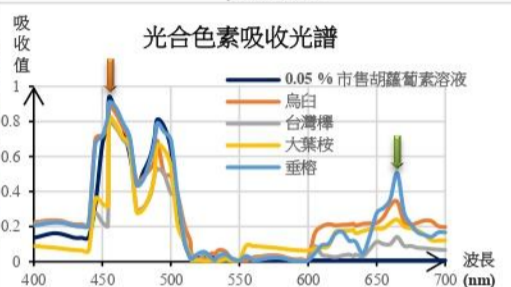
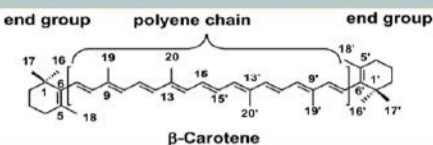
研究設備及器材

校園樹種

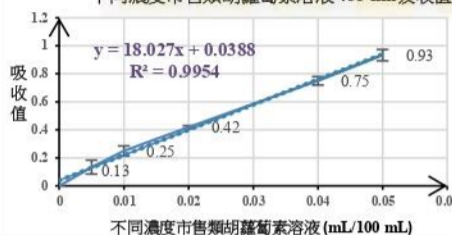


類胡蘿蔔素濃度、葉綠素濃度測量

目的：入射光經過均勻透明的溶液時，某些波長的光被物質吸收。類胡蘿蔔素中的共軛鏈代表它們在可見光的區域吸收，是有色的。



不同濃度市售類胡蘿蔔素溶液 455 nm 吸收值



$$\text{類胡蘿蔔素濃度} = \frac{\text{吸收值} - 0.0388}{18.027} \times \text{稀釋倍數 (mL/100 mL)}$$

$$\text{類胡蘿蔔素含量} = \frac{\text{類胡蘿蔔素濃度} \times \text{丙酮上清液體積}}{\text{葉子重量} \times 100} \times 100 \text{ (mL/100g)}$$

$$\text{葉綠素濃度} \propto [665\text{nm 之吸收值} \times \text{稀釋倍數}]$$

人工溫室植物

目的：利用 LED 燈具有光量及光波長組成均可調整的優點，對植物進行有效的控制變因。



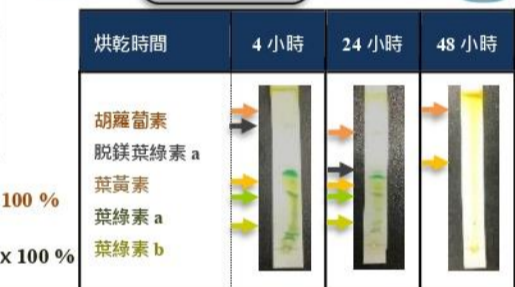
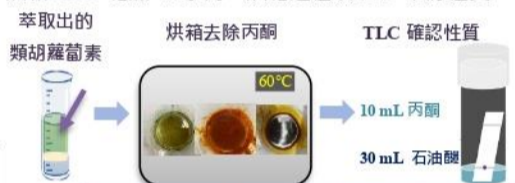
垂榕	1	2	3	4	5
葉片類胡蘿蔔素含量(mL/100g)	0.64	0.45	0.63	0.52	0.69
葉綠素平均濃度	1.91	1.24	1.84	1.86	2.07

$$\text{類胡蘿蔔素含量變化率} = \frac{\text{照光後類胡蘿蔔素含量} - \text{照光前類胡蘿蔔素含量}}{\text{照光前類胡蘿蔔素含量}} \times 100 \%$$

$$\text{葉綠素濃度變化率} = \frac{\text{照光後葉綠素吸收值} \times \text{稀釋倍數} - \text{照光前葉綠素吸收值} \times \text{稀釋倍數}}{\text{照光前葉綠素吸收值} \times \text{稀釋倍數}} \times 100 \%$$

類胡蘿蔔素萃取物定性分析

目的：以實驗一~四最佳結果，萃取出的類胡蘿蔔素經烘箱 60°C 乾燥 48 小時，烘乾過程以 TLC 確認性質。



自製洗髮試驗裝置

目的：配製模擬人體油脂，並添加於豬皮上，以機械手臂模擬手指洗髮，測量自製光合色素天然洗髮精的去油能力。



測量兩次洗髮水導電度、TDS、pH

研究方法及結果

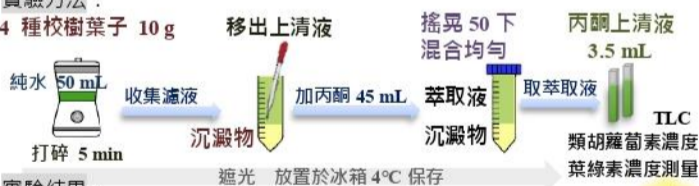
研究架構

垂榕葉的類胡蘿蔔素探究與在洗髮精上之應用



實驗一：探討校園裡不同樹種的類胡蘿蔔素含量

- 實驗目的：資料中得知葉子變黃是類胡蘿蔔素的影響，我們想知道校園中哪一種樹種的類胡蘿蔔素含量最高？葉子變黃的樹是否含有較高的類胡蘿蔔素？
- 實驗方法：4 種校樹葉子 10g



- 實驗結果：

種類	烏白	台灣檫	大葉桉	垂榕
丙酮上清液薄層色層分析圖				
丙酮上清液體積 (mL)	43	43	43	43
稀釋倍數 (倍)	1	5	5	5
455 nm 平均吸收值	0.90	0.75	0.83	0.91
665 nm 平均吸收值	0.34	0.14	0.24	0.51
類胡蘿蔔素平均濃度 (mL/100 mL)	0.05	0.20	0.22	0.24
葉片中類胡蘿蔔素含量 (mL/100g)	0.20	0.85	0.94	1.04
葉綠素平均濃度	0.34	0.71	1.20	2.53

- 結果分析：

- 類胡蘿蔔素含量：常綠喬木(垂榕、大葉桉) > 落葉喬木(台灣檫、烏白)。
- 葉綠素平均濃度：常綠喬木 > 落葉喬木，推測秋季時落葉木因光照時間變短，葉綠素合成的速率變慢而降低濃度。

實驗二：探討環境中影響類胡蘿蔔素含量的原因

- 實驗目的：實驗一得知垂榕的類胡蘿蔔素含量最高，我們想知道葉綠素濃度減少，是否會降低類胡蘿蔔素的含量？以及環境中的光照對類胡蘿蔔素含量的影響？
- 實驗方法：
- 實驗結果：

種類		向陽	陰暗	黃葉	落葉
實驗結果	丙酮上清液薄層色層分析圖				
	455 nm 平均吸收值	0.89	0.73	0.43	0.24
	665 nm 平均吸收值	0.52	0.40	0.18	0.12
數據分析	類胡蘿蔔素平均濃度 (mL/100 mL)	0.24	0.19	0.06	0.01
	葉片中類胡蘿蔔素含量 (mL/100g)	1.01	0.82	0.27	0.04
	葉綠素平均濃度	2.58	2.00	0.53	-

- 結果分析：
 - 類胡蘿蔔素含量：向陽 > 陰暗 > 黃葉 > 落葉，推測光照越強，含量越多。
 - 葉綠素平均濃度：向陽 > 陰暗 > 黃葉，落葉濃度過低無法檢測出來，由實驗一、二結果發現，葉綠素濃度較高的葉片，類胡蘿蔔素的含量也較高。

實驗三：探討二次萃取溶液對光合色素萃取液濃度的影響

- 實驗目的：為了解葉綠素濃度與類胡蘿蔔素含量的關係，我們想增加丙酮上清液中葉綠素與類胡蘿蔔素的濃度，來增加實驗結果的準確性，且增加類胡蘿蔔素的萃取率，我們以不同溶液進行二次萃取。
- 實驗方法：
- 實驗結果：

種類		對照組	80% 丙酮	4 M 氯化鈉	4 M 硫酸銨
實驗結果	不同二次萃取溶液與萃取液及沉澱物混合後分層情形				
	丙酮上清液薄層色層分析圖				
	葉片中類胡蘿蔔素含量 (mL/100g)	1.01	1.37	1.40	1.35
數據分析	葉綠素平均濃度	2.58	3.15	4.50	1.75

- 結果分析：
 - 類胡蘿蔔素含量：4 M 氯化鈉 > 80% 丙酮 > 4 M 硫酸銨 > 對照組，發現經氯化鈉溶液鹽析後能比對照組增加 39% 的類胡蘿蔔素含量。
 - 從葉綠素平均濃度顯示，經 4 M 氯化鈉溶液萃取後能增加萃取液的葉綠素濃度，也發現以氯化鈉溶液鹽析處理後能替代丙酮，減少有機溶劑的使用量。

實驗四：探討氯化鈉溶液濃度對光合色素萃取液濃度的影響

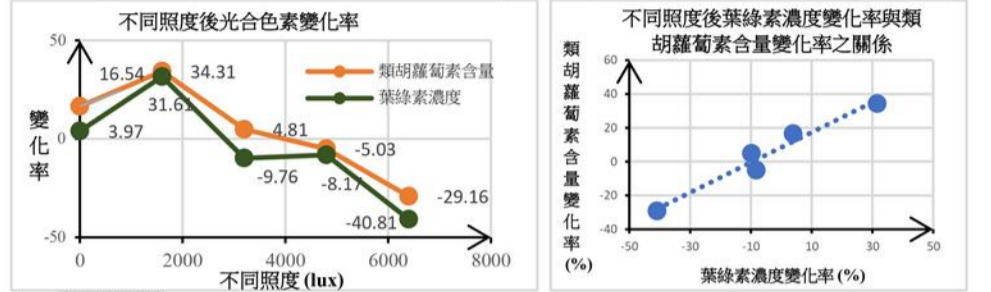
- 實驗目的：我們想知道如果以不同濃度的氯化鈉溶液進行鹽析，是否會影響萃取液的光合色素濃度？
- 實驗方法：
- 實驗結果：

種類		1 M	2 M	3 M	4 M	5 M
實驗結果	不同濃度氯化鈉溶液與萃取液及沉澱物混合後分層情形					
	丙酮上清液薄層色層分析圖					
	葉片中類胡蘿蔔素含量 (mL/100g)	0.15	1.02	1.25	1.40	1.39
數據分析	葉綠素平均濃度	2.32	2.64	3.87	4.50	6.21

- 結果分析：
 - 氯化鈉溶液濃度越高類胡蘿蔔素含量也越高，發現添加 4 M 氯化鈉溶液達到極限，可以得到最高的類胡蘿蔔素含量。
 - 沉澱物已近白色 → 添加 4 M 氯化鈉溶液已達最高類胡蘿蔔素萃取濃度。

實驗五：探討不同照度對類胡蘿蔔素含量的影響

- 實驗目的：實驗四得知添加 4 M 氯化鈉溶液已達到最高類胡蘿蔔素萃取濃度，我們想進一步分析光照強度與葉綠素的濃度與類胡蘿蔔素含量的關係？
- 實驗方法：
- 實驗結果：

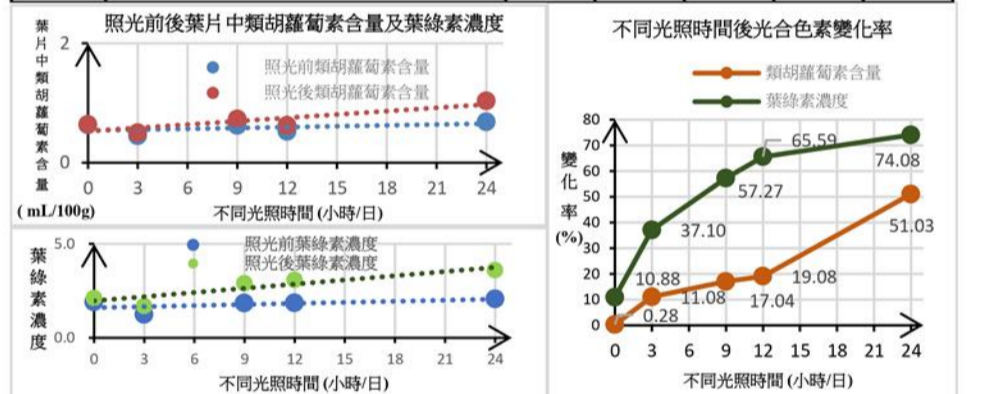


- 結果分析：
 - 在照度 0-1600 lux 時，類胡蘿蔔素含量變化率增加，隨著照度增加 1600-6400 lux，類胡蘿蔔素含量變化率降低，顯示在低照度時，能增加類胡蘿蔔素含量。
 - 發現在不同照度下，葉綠素濃度變化率與類胡蘿蔔素含量變化率呈正相關。

實驗六：探討不同光照時間對類胡蘿蔔素含量的影響

- 實驗目的：實驗五得知在低照度 (1600 lux) 時，能增加類胡蘿蔔素含量及葉綠素濃度，我們想知道如果以低照度連續光照，是否能增加類胡蘿蔔素含量及葉綠素濃度？
- 實驗方法：
- 實驗結果：

不同光照時間 (小時/日)	0	3	9	12	24	
實驗結果						
數據分析	葉片中類胡蘿蔔素含量 (mL/100g)	0.64	0.50	0.73	0.62	1.04
	葉綠素平均濃度	2.12	1.70	2.90	3.08	3.60



- 結果分析：
 - 隨著光照時間增加，葉片中類胡蘿蔔素含量及葉綠素濃度呈增加趨勢，顯示長日照可以增加垂榕葉的光合色素含量。
 - 在光照時間大於 12 小時/日後，類胡蘿蔔素含量變化率增加，但葉綠素濃度變化率趨於平穩，推論此時已接近葉綠素濃度變化飽和點。

實驗七：探討不同顏色光對類胡蘿蔔素含量的影響

- 實驗目的：實驗六得知在連續光照 24 小時/日後可以達到最高光合色素變化率，我們還想找出其他會影響類胡蘿蔔素含量的光照因素。
- 實驗方法：
- 實驗結果：

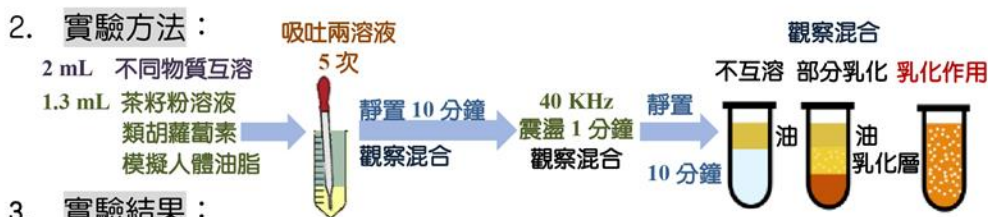
不同顏色光	白光	綠光	紫光	紅光	藍光	
實驗結果						
數據分析	葉片中類胡蘿蔔素含量 (mL/100g)	0.86	0.48	0.72	0.72	1.09
	葉綠素平均濃度	2.28	1.32	2.04	2.45	2.74



- 結果分析：
 - 不同顏色光照後類胡蘿蔔素含量變化率：藍光 > 紅光 > 白光 > 紫光 > 綠光。
 - 不同光照條件下，葉綠素濃度變化率與類胡蘿蔔素含量變化率呈正相關，但在不同光照時間時斜率較小，顯示類胡蘿蔔素含量在光照時間小於 12 小時/日時，類胡蘿蔔素含量增加會較少。

實驗八：探討類胡蘿蔔素、模擬人體油脂、茶籽粉、純水之間相互作用的機制

1. 實驗目的：我們發現類胡蘿蔔素難用純水洗淨，決定利用親油性，將我們自己萃取的類胡蘿蔔素加入天然茶籽粉，來探討互溶情形。



3. 實驗結果：

液體	模擬人體油脂 純水	模擬人體油脂 類胡蘿蔔素	模擬人體油脂 茶籽粉溶液	類胡蘿蔔素 茶籽粉溶液	模擬人體油脂 類胡蘿蔔素 茶籽粉溶液
混合後 靜置 10分鐘	不互溶	部份 乳化	乳化 作用	乳化 作用	產生 乳化 作用
超音波 震盪後	乳化 作用	乳化 作用	乳化 作用	乳化 作用	產生 乳化 作用
超音波 後靜置 10分鐘	不互溶	部份 乳化	乳化 作用	乳化 作用	產生 乳化 作用

4. 結果分析：

- 與純水相比，模擬人體油脂與類胡蘿蔔素呈三層，中間懸浮小油滴推論為乳化層 → 模擬人體油脂在類胡蘿蔔素中的溶解程度較好。
- 類胡蘿蔔素與茶籽粉溶液能產生乳化作用；取模擬人體油脂加入茶籽粉溶液會產生泡泡，水的表面張力較低、較易混合均勻的特性，將模擬人體油脂加入類胡蘿蔔素及茶籽粉溶液 → 能形成穩定持久的結合體狀態。

實驗九：探討模擬人體油脂在不同體積比的類胡蘿蔔素及茶籽粉溶液中的溶解效果

1. 實驗目的：我們取 6.0 mL (類胡蘿蔔素及茶籽粉溶液) 與 4.0 mL 模擬人體油脂，想找出與模擬人體油脂最高相溶性的自製光合色素天然洗髮精配方比。



3. 實驗結果：

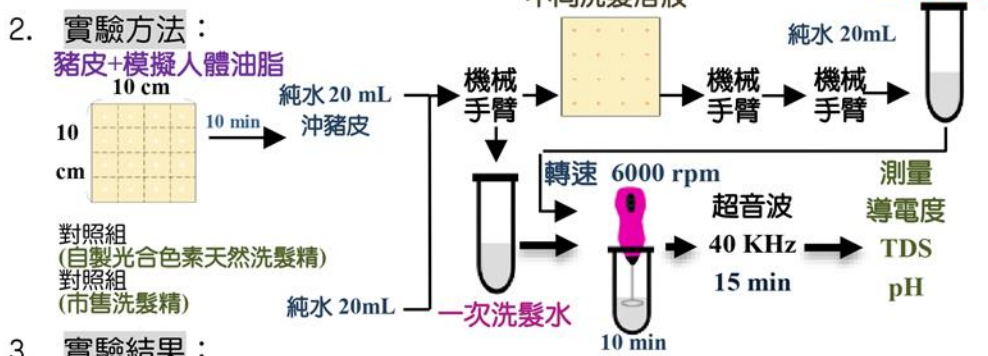
類胡蘿蔔素/ 茶籽粉溶液	0.2/ 5.8(mL)	0.4/ 5.6(mL)	0.6/ 5.4(mL)	0.8/ 5.2(mL)	1.0/ 5.0(mL)
未混合前 互溶情形					
平均分層高度 (cm)	油脂 0.90 乳化 1.00	油脂 1.30 乳化 0.95	油脂 0.85 乳化 1.40	油脂 1.30 乳化 0.90	油脂 1.00 乳化 1.20
混合後 互溶情形					
平均分層高度 (cm)	油脂 0.75 乳化 1.30	油脂 0.50 乳化 1.90	油脂 0.35 乳化 2.25	油脂 - 乳化 2.45	無明顯分層

4. 結果分析：

- 與未混合前相比模擬人體油脂經混合後能增加乳化層減少油脂層。
- 類胡蘿蔔素添加量至 1.0 mL 時已無明顯分層；至 0.8 mL 時，已無明顯大油滴、油滴均勻分散 → 模擬人體油脂在 0.8 mL 完全乳化。

實驗十：研究自製光合色素天然洗髮精的去油能力

1. 實驗目的：我們配製自製光合色素天然洗髮精，以每 1 mL 模擬人體油脂 1.5 mL 自製光合色素天然洗髮精的比例，進行洗髮試驗，觀察去油能力。



3. 實驗結果：

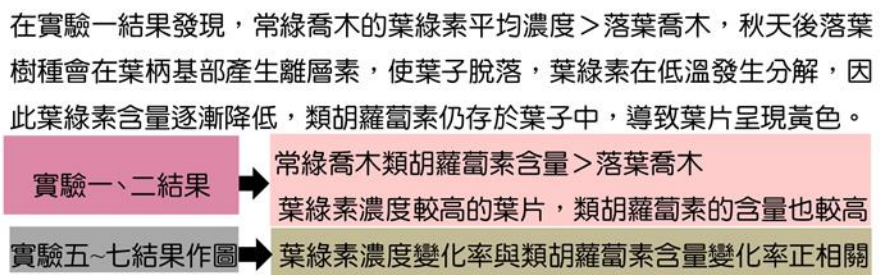
一次洗髮水	對照組(自製)	對照組(市售)	純水	自製洗髮精	市售洗髮精
平均導電度 (μS/cm)	138.1	132.0	123.8	122.3	120.4
平均 TDS (ppm)	59	58	225	220	222
平均 pH 值	6.89	6.87	6.55	6.3	6.34
二次洗髮水	對照組(自製)	對照組(市售)	純水	自製洗髮精	市售洗髮精
平均導電度 (μS/cm)	287.6	330.4	109.0	239.2	315.7
平均 TDS (ppm)	197	448	235	279	686
平均 pH 值	6.25	6.45	6.33	5.96	6.25

4. 結果分析：

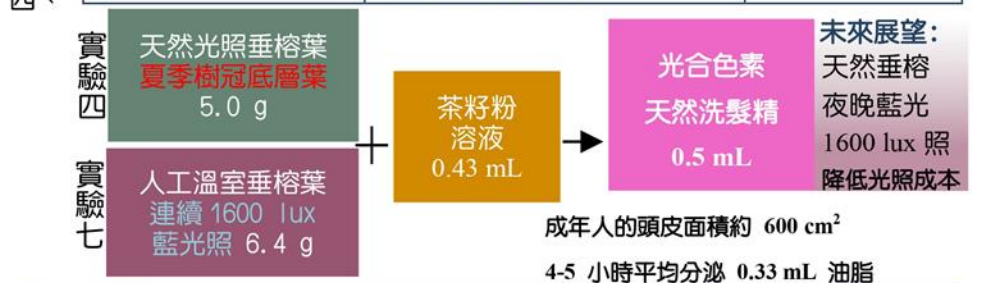
- 計算實驗組及對照組的差異 → 自製光合色素天然洗髮精比對照組減少 17% 的平均導電度；市售洗髮精比對照組減少 4% 的平均導電度，根據文獻，溶液中油脂濃度愈高導電度愈小，顯示我們自製光合色素天然洗髮精去除模擬人體油脂的量 > 市售洗髮精。
- 自製光合色素天然洗髮精二次洗髮水平均 TDS 279 ppm < 市售。
- 自製光合色素天然洗髮精試驗後的二次洗髮水 pH 5.96，經資料搜尋，發現比市售洗髮精更可維持人體頭皮健康皮脂膜。

討論

- 我們萃取的四種校園植物類胡蘿蔔素光譜在波長 455、490 nm 處有兩個相鄰的吸收峰，文獻搜尋後得知，這是光譜的綠、藍色部分會被吸收，而反射紅、黃色，所以類胡蘿蔔素會呈現橙色；文獻中得知葉綠素在 450 nm 和 650 nm 處各有兩個吸收峰，我們發現四種校園植物類胡蘿蔔素光譜在波長 445 nm 時有一個吸收峰，是葉綠素，我們以葉綠素較高吸收峰的 665 nm，作為測定波長，比較不同條件下葉綠素的濃度。
- 在實驗一結果發現，常綠喬木的葉綠素平均濃度 > 落葉喬木，秋天後落葉樹種會在葉柄基部產生離層素，使葉子脫落，葉綠素在低溫發生分解，因此葉綠素含量逐漸降低，類胡蘿蔔素仍存於葉子中，導致葉片呈現黃色。

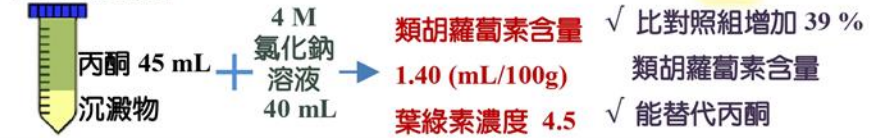


其他研究	本研究	TLC 圖
■丙酮、氯仿、石油醚萃取類胡蘿蔔素	V 丙酮 - 4 M 氯化鈉溶液鹽析	
■DMF、DMSO 萃取葉綠素	V 比對照組增加 39% 的類胡蘿蔔素含量	
■高萃取率和穩定性	V 5 M 食鹽水鹽析後比對照組增加 141% 的葉綠素濃度	
■形成過氧化物而導致類胡蘿蔔素降解或損失	V 能替代二次萃取的丙酮 V 進行遮光處理葉綠素穩定	
■對人類和環境有毒	V 萃取率高且環保	



結論

- 探討校園裡四種樹種的類胡蘿蔔素含量，包括：烏臼、台灣榿、大葉校、垂榕，取最高吸收峰的 455 nm 作為測定波長，發現垂榕的類胡蘿蔔素含量最高 1.04 (mL/100g)，發現常綠喬木 (垂榕、大葉校) 的類胡蘿蔔素含量 > 落葉喬木 (台灣榿、烏臼)。
- 探討環境中影響類胡蘿蔔素含量的原因 (向陽、陰暗、黃葉、落葉)，發現向陽類胡蘿蔔素含量最高 1.01 (mL/100g)，是陰暗的 1.23 倍；黃葉的 3.74 倍；落葉的 25.25 倍。
- 探討二次萃取溶液對光合色素萃取液濃度的影響：垂榕向陽樹葉



探討	發現
氯化鈉溶液濃度 (1 M、2 M、3 M、4 M、5 M) 對光合色素萃取液濃度的影響	氯化鈉溶液濃度越高類胡蘿蔔素含量也越高。添加 4 M 氯化鈉溶液可以得到最高的類胡蘿蔔素含量 1.40 (mL/100g)。以 5 M 氯化鈉溶液進行鹽析後能比對照組增加 141% 的葉綠素濃度，萃取率高且環保。
不同照度 (0、1600、3200、4800、6400 lux) 對類胡蘿蔔素含量的影響	在低照度 0-1600 lux 時，類胡蘿蔔素含量變化率增加，隨著照度增加 (1600-6400 lux)，類胡蘿蔔素含量變化率降低。將光合色素變化率整理作圖，發現葉綠素濃度變化率與類胡蘿蔔素含量變化率呈正相關。
不同光照時間 (0、3、9、12、24 小時/日) 對類胡蘿蔔素含量的影響	隨著光照時間增加，葉片中類胡蘿蔔素含量及葉綠素濃度呈增加趨勢。在連續光照 24 小時/日後可以達到最高光合色素變化率，類胡蘿蔔素含量變化率 51.03%。
不同顏色光對類胡蘿蔔素含量的影響：白、綠、紫、紅、藍光	藍光可以達到最高光合色素變化率，類胡蘿蔔素含量變化率 58.69%。
類胡蘿蔔素、模擬人體油脂、茶籽粉、純水之間相互作用機制	將模擬人體油脂加入類胡蘿蔔素及茶籽粉溶液，能產生乳化作用且形成穩定持久的結合體狀態。
模擬人體油脂在不同體積比的類胡蘿蔔素及茶籽粉溶液中的溶解效果	類胡蘿蔔素 0.8 mL 添入茶籽粉溶液 5.2 mL，可將模擬人體油脂 4 mL 完全乳化。

- 研究自製光合色素天然洗髮精的去油能力，發現自製光合色素天然洗髮精的二次洗髮水比對照組減少 17% 的平均導電度，去除模擬人體油脂的量大於市售洗髮精，TDS 279 ppm，不會汙染環境，pH 5.96 呈弱酸，可以維持人體皮膚健康，天然環保且成本低、容易製備，未來可推廣至洗手乳的應用上。

參考文獻資料

- 蔡尚恬、蔡振章 (2004)。天然色素的顏色化學。科學發展，381，55-59。
- Gavalás-Olea, A., Sanz, N., Garrido, J.L. (2014). "Salting-out" concentration of phytoplankton pigment extracts previous to their analysis by HPLC: Frontiers in Marine Science 1, 10.3389.
- Picardo, M., Ottaviani, M., Camera, E., Mastrofrancesco, A. (2009). Sebaceous gland lipids: Dermatocendocrinol, 1(2): 68-71. Retrieved September 20, 2022,.
- Total carotenoids determination. (2016, September 21). University of British Columbia. Retrieved September 4, 2022, from <https://www.youtube.com/watch?v=YmE4Y4QMLBs>