

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 環境學科

第三名

052608

探討植物葉片的清潔功效與環境友善效益

學校名稱：國立花蓮高級中學

作者： 高一 徐敬倫 高一 王胤之 高一 陳培允	指導老師： 吳曙序 胡育豪
---	-----------------------------

關鍵詞：多毛植物葉片、除油、環境效應

摘要

本研究想藉由探討野外常見多毛植物葉片：大花咸豐草、構樹與血桐，是否具有去除食用油汙之功效，期望能找到對環境更友善的清潔方式。透過多套自創物理裝置與常見化學檢測的試驗，我們發現受測植材普遍對於油汙的物理性吸附效力與速率都比一般清潔用品還要更好，且葉毛越長越密的植材、物理性除油力越強；所檢測的植材中也都具備乳化油汙的化學性除油功效，雖然乳化力不若清潔劑佳，但在環境影響評估實驗中，植材清潔後所產生的汙水對指標生物『水蚤』的生存影響性遠小於清潔劑或茶籽粉所造成的傷害。這顯示野外隨手可得的的多毛植物葉片，不僅能達到有意義的去油汙功效，對於環境的友善程度亦有較佳的效益。

壹、研究動機

近年來戶外活動（例如：登山、露營等）日漸興盛，個人清潔所造成的汙水也因此從原來的家庭生活排放，擴及至大自然的直接暴露問題。這其中清潔劑的影響甚巨，因為當清潔劑流入河川後，清潔劑的成分中的磷酸鹽，容易使藻類大量繁衍進而產生優養化的現象^[1]。所幸隨著環保意識提升，近幾年便開始有不少替代方案來取代合成清潔劑的使用，例如：黃豆粉、茶籽粉、無患子等，然而這些替代方案雖然天然且去油效果佳，但他們依舊存在一些缺陷（如下表所示）。

	優點	缺點
黃豆粉、茶籽粉...等	01. 吸油力強 02. 茶籽粉富含天然茶皂素 03. 可利用表面積吸附油脂並隨水溶液沖洗帶走油汙 ^[4]	01. 保存不易，容易潮解發霉 02. 吸油後粉易結塊產生黏性並集結成大顆粒，易阻塞水管，甚至引來蟑螂螞蟻滋生 ^[3]
無患子及其加工產品	01. 果肉含有大量皂素，為天然的界面活性劑，流入河川、土地中被微生物分解快速 ^[2]	01. 果實採收有季節限制 ^[5] 02. 開發成加工產品，經濟成本較高

在一次上課的過程中，我們意外地發現大花咸豐草可以去除吃完泡麵碗內的油漬，因此利用大花咸豐草這個在生活中十分常見的植物做了初步的探究，發現大花咸豐草在刮除食用油脂的能力上，相較其他四種植物有較良好的效果，經由顯微鏡觀察發現大花與其他植物比

表面多了毛的構造，這讓我們產生疑問：「是否有毛的植物葉去油效力比較好，野外常見有毛植物是否片也能具有較好的清潔效力？」，因此想藉由這次科展來探討野外常見有毛植物是否有良好的清油功效，以及探討他們對環境是否比較友善。

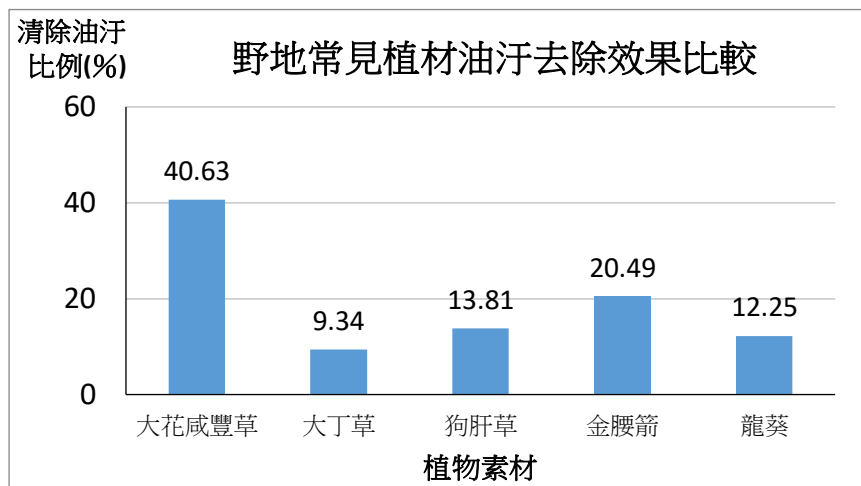


圖 1-2：大花咸豐草葉下表皮(LM,40x)。箭頭處表示葉毛。

圖 1-1：野地常見植材對油脂的刮除效力。實驗以各種植材葉片刮除食用奶油後計算清除比例，發現大花咸豐草的刮除效果最佳。

貳、 研究目的

- 一、 探討常見有毛植物葉片對於食用油脂的物理性除油效力，並與日常清潔用品作比較。
- 二、 探討常見有毛植物葉片對於食用油脂的化學性除油效力，並與日常清潔用品作比較。
- 三、 評估常見有毛植物與各種清潔用品去除食用油脂所產生的廢水對環境的影響。

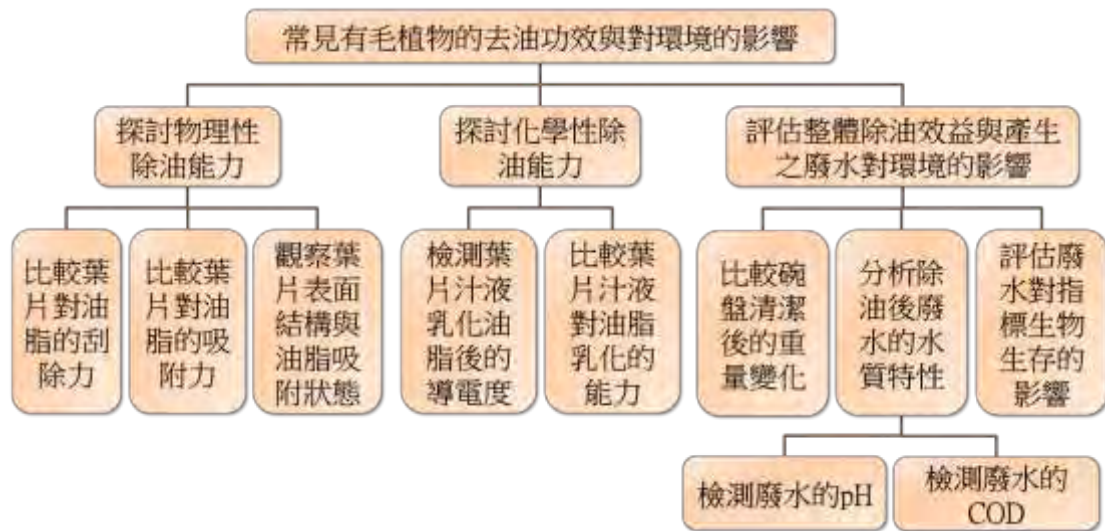
參、 研究設備及器材

一、 實驗儀器

儀器	光學顯微鏡、電子顯微鏡(Hitachi S3400N)、電子秤、 pH 儀、磁石攪拌機、離心機、果汁機、導電度感應器(PASCO)、直讀式分光光度計(Hach DR2000)
材料與工具	定滑輪、珍珠板、砝碼、棉繩、載玻片、試管、滴管、大頭針、照明燈、COD 試劑(Hach #2125825)
素材	大花咸豐草、構樹、血桐、水蚤、菜瓜布、海綿、絲瓜布、洗碗精、茶籽粉

肆、 研究過程與方法

一、 研究架構



二、 實驗方法

(一) 物理性除油實驗

1. 實驗原理

(1) 由於一般物理性除油原理通常為摩擦力和吸附力，故本研究設計了刮除油汙及吸附油汙的實驗。

(2) 葉片吸附油原理：植物葉面的角質層是一種特殊的保水物質，因含有蠟質，可形成對水氣滲透的障礙，也因為蠟質為疏水親油性，所以能吸附同為脂質的油汙。^[4]

2. 實驗方法

實驗 1-1、探討植物葉片與清潔對食用油脂的刮除效力

裝置：

如圖 4-1 所示，將實驗素材固定在珍珠板底面，珍珠板上方放置砝碼施予一正向力，此為實驗中的滑車，以一固定重物通過滑輪帶動滑車滑行，在滑車前方放置載玻片使實驗素材刷過載玻片。

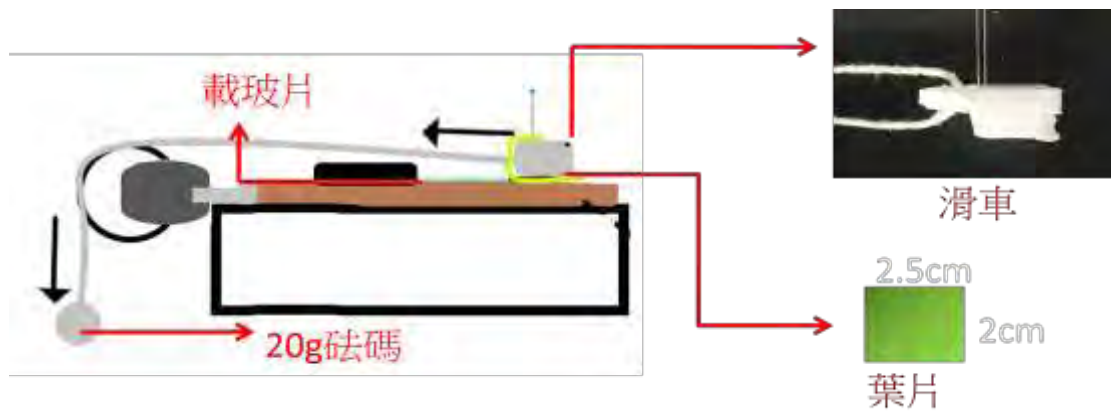


圖 4-1：刮除力實驗裝置示意圖。我們設計的此實驗器材，可以將葉片以定力滑過沾滿油的載玻片。

3. 實驗步驟

- (1) 將所有實驗素材裁成相同面積大小 $2.5 \times 2 \text{cm}^2$
- (2) 在載玻片上塗抹一層奶油並秤重（定為 W_1 ）
- (3) 使滑車滑過有油汙的載玻片
- (4) 用電子秤測量葉片滑過後殘餘的奶油重量（定為 W_2 ），並計算素材所能刮除掉的油汙量 $W_3 = W_1 - W_2$ 。
- (5) 更換不同實驗素材並重複以上步驟

實驗 1-2、探討植物葉片與清潔用品吸油效率比較

3. 實驗步驟

- (1) 將各植物裁切成 $2 \times 2 \text{cm}^2$ 大小，菜瓜布、吸油面紙、海綿、絲瓜布則裁成 $2 \times 2 \text{cm}^2$ 、厚度 0.1cm ，量取每個物品重量並訂為重量 W_4
- (2) 在解剖盤上滴入油滴，將上述裁切後之素材以一角去觸碰油滴，並計時吸油時間 30 秒。
- (3) 將吸完油後之素材吊起來晾乾五分鐘後，測量植物重量並定為重量 W_5
- (4) 晾乾完後測量植物重量定為重量 W_5
- (5) 計算各素材對油汙的單位面積承載力 $W_6 = (W_4 - W_5) / 4$ （吸附表面積）
- (6) 將油滴改為 10% 油水混合液並重複上述步驟

實驗 1-3、探討植物葉片與清潔用品對食用油脂的吸附速率

裝置：

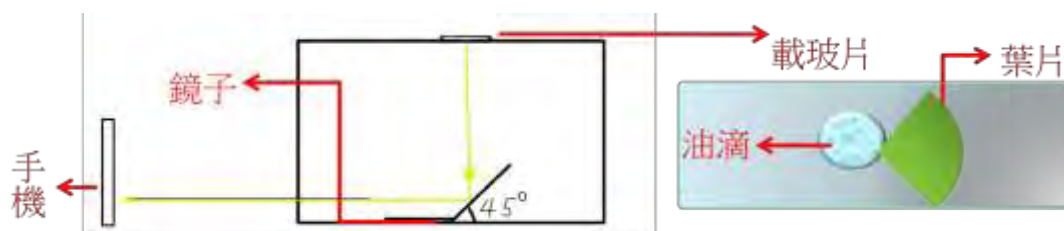


圖 4-2：油脂吸附速率實驗裝置示意圖

3. 實驗步驟：

- (1) 將植物和所有清潔用品裁切成半徑 1.5cm 的四分之一扇型圓樣本。
- (2) 在載玻片上滴一滴油，並以樣本圓心觸碰油的瞬間開始計時 1 分鐘，同步錄影，記錄樣本吸附油汙的狀況。
- (3) 以 ImageJ 軟體分析影片，並固定間隔時間點取樣，分析素材對油汙的吸附面積。
- (4) 將數據整理，並以時間為橫軸、吸附面積為縱軸作出關係圖。

實驗 1-4、觀察植材葉片的表面微觀結構以及和油吸附時的顯微關係

3. 實驗步驟：

- (1) 將三種植物葉片裁成適當大小，置於光學顯微鏡及掃描式電子顯微鏡下，進行葉片上表皮及下表皮的觀察，拍照記錄毛長度與寬度。
- (2) 將三種植物葉片進行徒手切片並製成水埋玻片，置於光學顯微鏡下，以適當倍率觀察葉橫切面之構造。
- (3) 將三種植物葉片裁成適當大小後，於培養皿中沾附油品並晾乾以去除過多油量後，直接置於光學顯微鏡下觀察葉表面吸附油品後的狀態。
- (4) 計算葉片表面的葉毛密度（毛數量／單位面積）：直接於植物葉片上以黑色簽字筆標記數個 $0.2 \times 0.2 \text{cm}^2$ 的小方塊作為計數樣區，並置於光學顯微鏡下直接計數每個樣區中的毛數量，並取平均紀錄之。

(二) 化學性除油實驗

1. 實驗原理

- (1) 一般生活上常見化學性清除油汙方式多為使用含界面活性劑的清潔劑。根據高中基礎化學(二)對「界面活性劑」的定義，這是一群同時含有長鏈烷基(如脂肪酸等)之親油基、和足以使油性部份在水中分散或溶解之親水基的化學物質，且具備下列四種基本特性：(1)表面吸附性、(2)表面面膜形成性及排列性、(3)表面張力降低性、(4)微胞(micell)形成性。這種特性可讓本來無法相容的油和水，得以混合，此即「乳化作用」。因此可藉由將清潔劑與油汙混勻產生乳化作用後，取混合液於顯微鏡下作鏡檢，觀察微胞的形成性。^[4]
- (2) 界面活性劑依其親水端的離子特性可分為陰離子型、非陰離子型、陽離子型、兩性離子型…等，家庭清潔用品(例如：洗碗精、洗衣精)的成分則多為混合陰離子型和非陰離子型兩種。這些親水端離子溶於水後可解離，但與油汙混和後，因為有一部份的親水端分子去與油汙結合、可解離的部分變少，導致解離度因而下降、導電度提升，因此可藉測量導電度之方式來探討界面活性劑參與清潔效果之相關性。^[4]

2. 素材汁液的製備與濃度配置

實驗步驟：

植物汁液洗劑製備

1. 收集植物葉片，以果汁機攪拌至細碎再以紗布過濾
2. 取過濾液離心 5min(轉速 3500rpm)，而後取上層汁液 2g 加蒸餾水 18g 混勻

洗劑油脂混合液製備

將植物汁液洗劑放入 2g 沙拉油，使用磁石攪拌器均勻攪拌 3min (轉速 500rpm) 使洗劑與油脂混勻。

實驗 2-1、測量植物葉片汁液及清潔劑乳化油脂後的微胞形成狀態

實驗步驟：

將洗劑油脂混合液靜置 1.5min 後，取液面下 0.5cm 處的溶液，以光學顯微鏡放大倍率 40x 進行觀察。

(三) 評估各實驗素材產生的清潔汗水對水質的影響

1. 實驗原理：

生物毒性試驗原理：當生物受毒害時，因其生理代謝會被抑制甚至導致死亡，故以抑制率或死亡率作為判斷生物毒性之依據。而理想之試驗生物則須為容易繁殖且全年均可供應之敏感生物，且其毒性反應須呈現穩定及具有再現性之特性。依據環保署於民國 86 年公告的「生物及毒性檢測方法—水蚤靜水式法」^[11] 本次實驗選用水蚤（*Daphnia magna*）作為指標生物。

2. 製備汗水

洗碗模擬器：



培養皿(盛載油脂) 離心機(控制轉速)

圖 4-3：使用珍珠板固定玻璃培養皿，以離心機作為動力來源，透過齒輪組改變轉速及方向，並將實驗素材固定在圓盤上刷洗下方的玻璃培養皿。

實驗步驟：

- (1) 配置重量百分比的 5% 油水混合液。
- (2) 將 20ml 油水混合液倒入培養皿中，均勻沾附後倒掉。
- (3) 再秤量 3g 重的植物葉片，以自創洗碗器模擬日常洗碗動作進行刷洗。
- (4) 最後以 20ml 蒸餾水將培養皿進行沖洗並收集，即完成廢水製備。

實驗 3.1 評估植物葉片整體的除油力

- (1) 於上述製備清潔廢水的過程中，量測清潔前後培養皿的重量變化。
- (2) 並與菜瓜布、清潔劑、茶籽粉的實驗結果作比較。

實驗 3.2 檢測清潔廢水的水質

- (1) 以 pH 儀直接量測廢水的酸鹼值後。
- (2) 以 COD 檢測儀與試劑進行廢水的化學需氧量 (COD) 測量。
- (3) 並與清潔劑、茶籽粉的結果作比較。

實驗 3.3、觀察以不同實驗對象清洗後的廢水對指標生物生存的影響

裝置：



圖 4-5



圖 4-6

指標生物培養裝置：用打氣機幫水蚤及其食物綠藻水打氣，並以日光燈管控制每天照光 8 小時。

污水毒性試驗裝置：用透明玻璃試管作為實驗容器

實驗步驟：

- (1) 將清潔廢水以飼養水蚤的水體配置成 1%、2%、3%、4%、5% 的測試溶液共 100ml。
- (2) 分成 4 管 (25ml/管)，每管加入五隻水蚤。
- (3) 間隔 12 小時記錄一次，共紀錄 72 小時，記錄水蚤於每個記錄時間點的殘存隻數。
- (4) 計算造成水蚤半數致死的清潔廢水濃度 (48hr, LC50)。

伍、 研究結果

一、 物理性去油效果之探討

(一) 實驗 1-1 刮除力比較

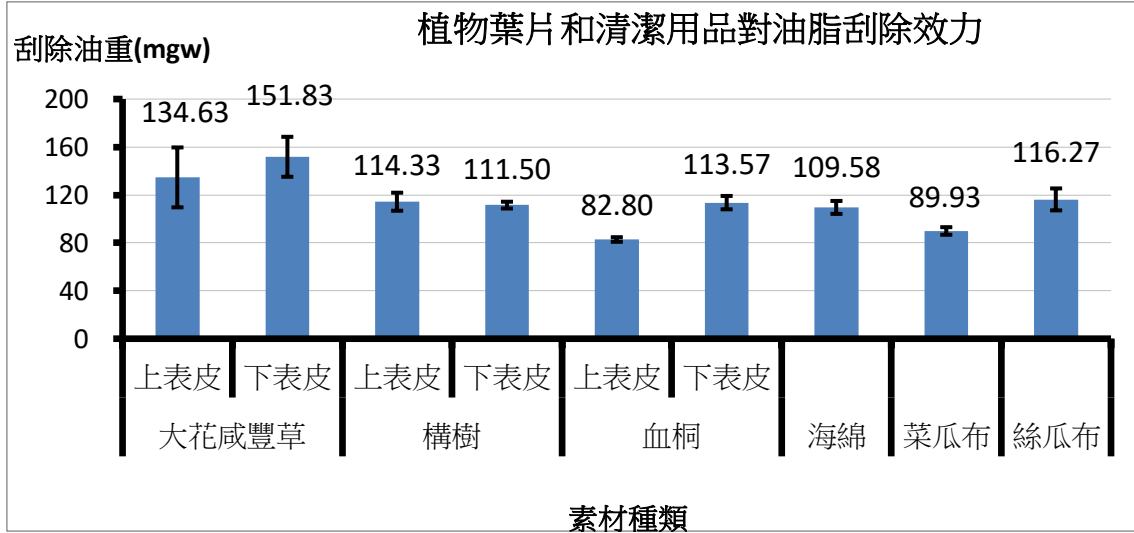


圖 5-1：三種植物中對油脂刮除力最佳的為大花咸豐草葉片，但效果與一般常用清潔用品相當。

(二) 實驗 1-2 吸附力比較

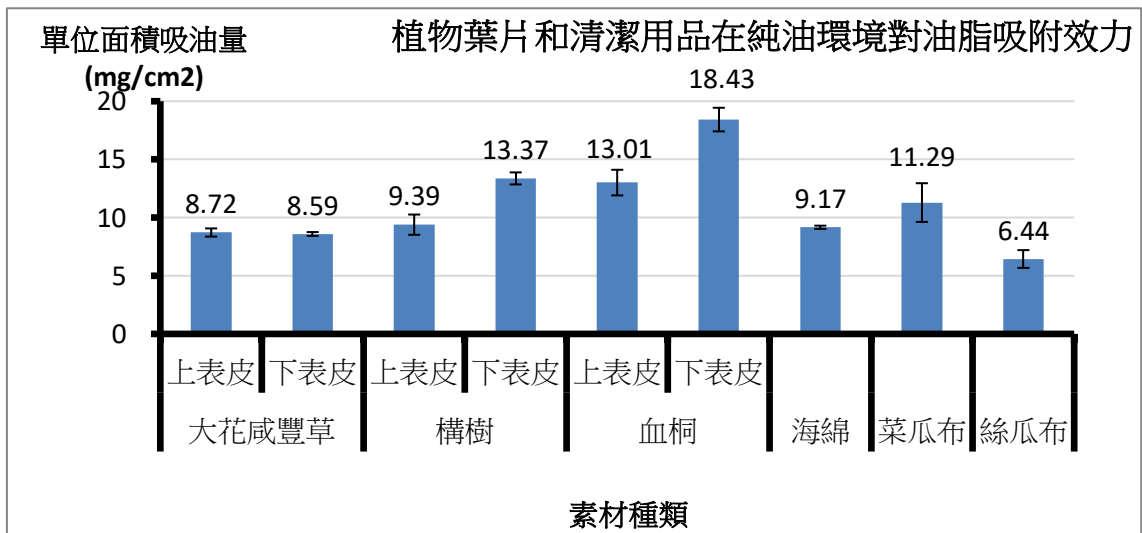


圖5-2:植物葉片和清潔用品在純油環境對油脂吸附效力。

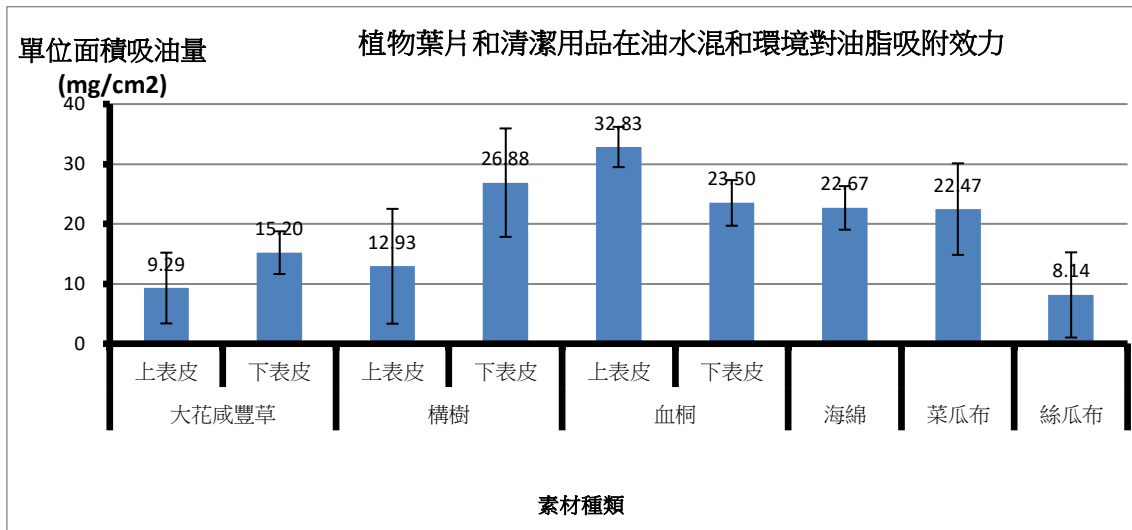


圖 5-3：植物葉片和清潔用品在油水混和環境對油脂吸附效力。

- 1.在純油環境下，植物葉片對吸附油脂後的單位面積承載量多較清潔用品高，且下表皮的吸附力普遍優於上表皮。
- 2.在油水混合環境下，植物葉片對油脂的吸附效力普遍仍較清潔用品佳(除大花咸豐草例外)，且吸附效力更甚於純油環境。其中，血桐上／下表皮與構樹下表皮於油水混合環境中的吸附效力甚至比純油環境多一倍。
- 3.然而因為油水混合液的均勻度容易受測量時間差異而有分布不均勻的問題，連帶影響植物葉片可能的吸附油量，導致目前實驗結果中同素材的個別量測數據間有較大的落差，未來將改善此油水均勻度的控制變因穩定性、增加操作次數以確認個素材的吸附效力。

(三) 實驗 1-3: 吸附油量比較

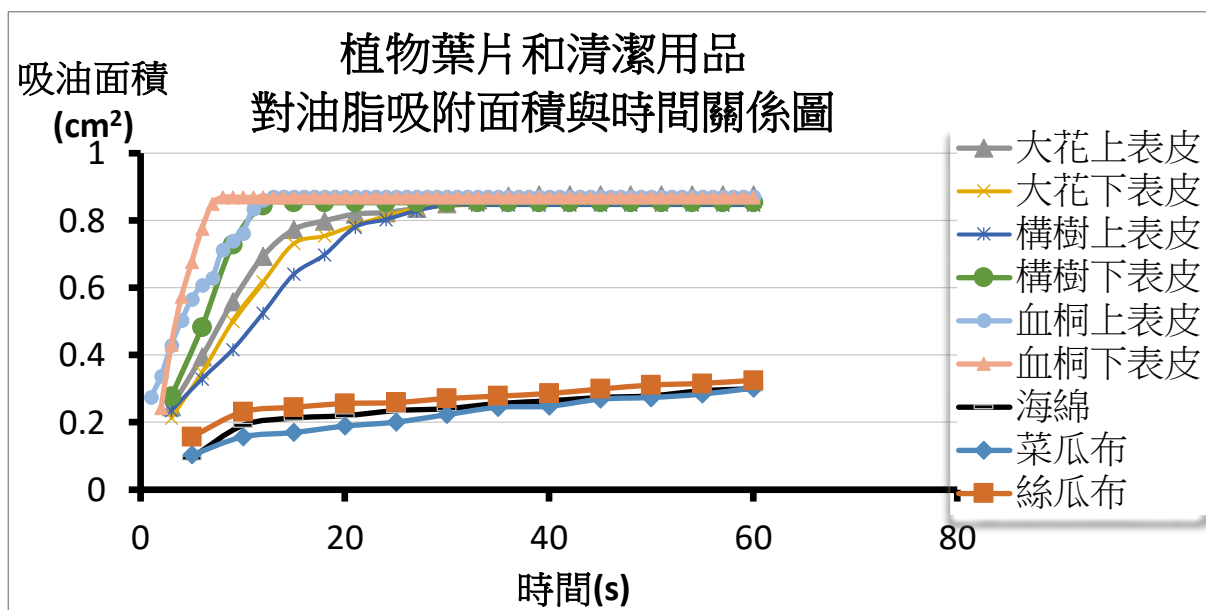


圖5-4：植物葉片和清潔用品對油脂吸附面積與時間關係圖

三種植物葉片吸附油脂的速率皆遠大於清潔用品，而且普遍下表皮的吸附速率會較上表皮還要快。其中血桐下表皮對純油的吸附速率是三種植物中最快的，大約 10 秒內就能吸附完測試油量，導致曲線後半面積不再發生變化。其他植物有類似結果。

(四) 實驗 1-4：觀察植物葉表面的微觀構造

表 1-1.大花咸豐草葉片的葉毛特性與顯微構造

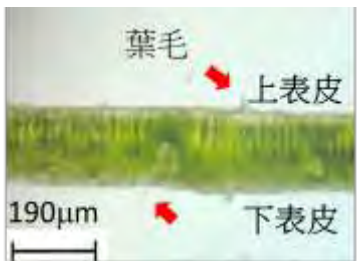



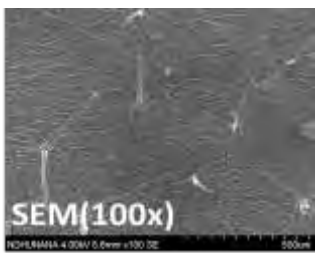
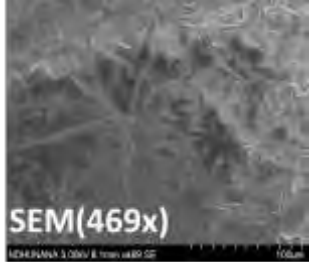
葉橫切面 (LM,100x)		葉上表皮	葉下表皮
			
			
葉毛	型態	粗針狀	粗針狀
	平均長度	74	95µm
	平均寬度	36µm	63µm
	平均密度	242.86 個/cm ²	217.86 個/cm ²

表 1-2.構樹葉片的葉毛特性與顯微構造

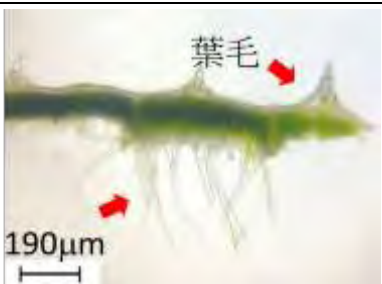



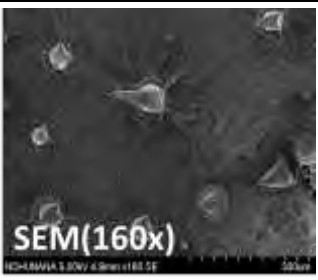
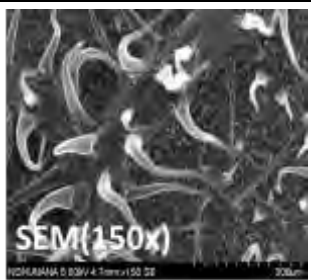
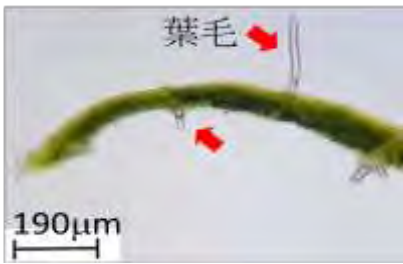

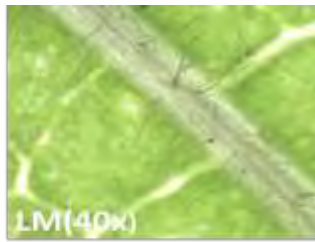

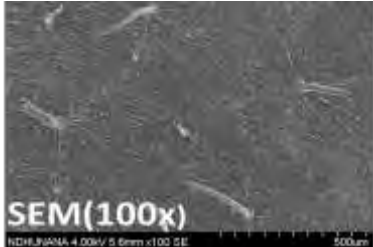
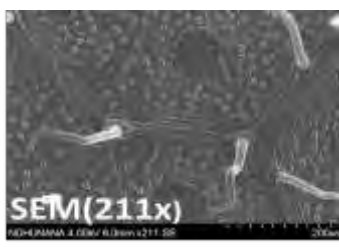
葉橫切面 (LM,100x)		葉上表皮	葉下表皮
			
			
葉毛	型態	短刺突起狀	細長型
	平均長度	95µm	190 µm
	平均寬度	93µm	25µm
	平均密度	267.86 個/cm ²	971.43 個/cm ²

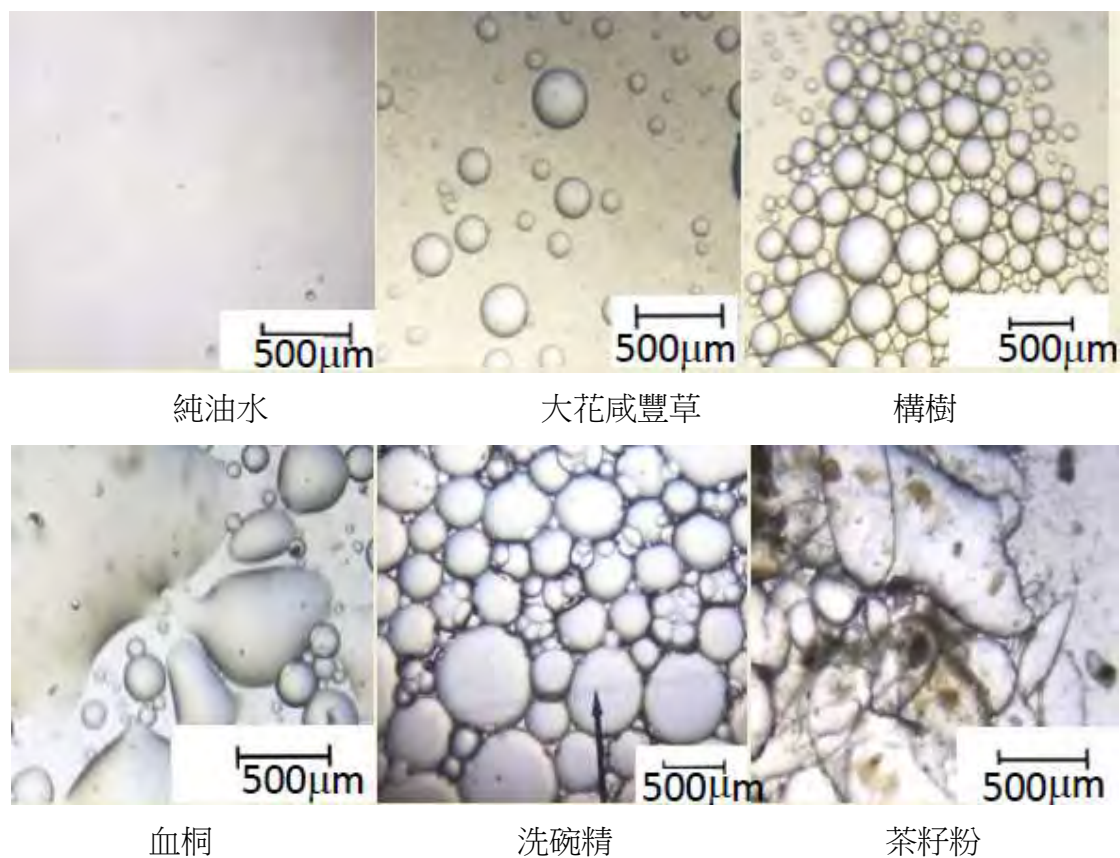
表 1-3.血桐葉片的葉毛特性與顯微構造

葉橫切面 (LM,100x)		葉上表皮	葉下表皮
			
			
葉毛	型態	細長型	細長型
	平均長度	200 μm	222 μm
	平均寬度	19μm	20μm
	平均密度	727.50 個/cm ²	1227.50 個/cm ²

1. 顯微結果顯示，本實驗所用的三種植物無論葉上、下表皮都有葉毛構造，且多分佈在葉脈上。
2. 根據切片結果顯示，三種植物的葉毛都是由表皮向外突出而成，表面均有披覆有豐厚角質層。其中大花咸豐草和構樹上表皮的葉毛較粗短，構樹下表皮與血桐葉毛則較細長。
3. 經量測，葉毛長度最長、密度最大的都是血桐下表皮，但我們在實驗過程中發現，葉毛長度和密度會隨著植物的年齡改變。
4. 經掃描式電子顯微鏡檢驗我們發現，葉片表面上越接近葉毛處的角質層聚合體會有沿著葉毛向上分布的變形，造成聚合體間隙構成類似「軌道」的效果。而當植物葉片沾附油脂時，於顯微鏡下可看出油脂和葉毛緊緊黏附、甚至有往葉毛長度方向延伸的現象。

二、化學性去油效果之探討

(一) 實驗 2-1：觀察各素材進行油汙乳化後微胞形成的狀態



1. 實驗以光學顯微鏡放大倍率100x作鏡檢，發現洗碗精能快速乳化油脂並形成相當多大小不一的微胞，這應與其內所含的人工合成界面活性成分有關，也與文獻相符合^[4]。
2. 市售茶籽粉均會提及茶皂素可乳化油脂的功效，但我們觀察到的乳化微胞形狀並不規則，疑似界面活性效果有些被茶籽粉顆粒破壞。
3. 比較三種植物汁液的功效，我們意外發現构樹能產生不亞於清潔劑的油滴微胞效果，不僅形狀完整、數量也最多。大花咸豐草則一樣可產生油滴微胞，但在測試時間內數量並不多、即作用可能比較需要時間。血桐則是在有限時間內較無法快速乳化油脂，因此鏡檢下無法看到完整的油滴微胞。

三、 環境檢測實驗

(一) 實驗3-1：評估植物葉片整體的除油效力(Δm 定義為培養皿被刮去的油水重)

素材	大花	構樹	血桐	菜瓜布+清潔劑	菜瓜布+茶籽粉
$\Delta m(\text{mg})$	25.16	44.52	33.71	-29.56	-28.8

1. 實驗結果發現，同重量植物葉片進行模擬洗碗除油時，構樹能夠刷去的油汙量最多，血桐次之，大花咸豐草最少。
2. 我們直接用菜瓜布或沾取清潔劑或茶籽粉去除油脂時，發現會因為培養皿內泡沫或顆粒殘留（特別是茶籽粉），而導致 Δm 呈現負值。

(二) 實驗 3-2：探討植物和清潔用品清潔完後所產生的廢水水質特性

素材	大花	構樹	血桐	菜瓜布+清潔劑	菜瓜布+茶籽粉	菜瓜布
Ph 值	7.19	7.06	7.27	7.06	6.31	7.01
COD(mg/L)	106	9	14.5	12533	X	104.1

1. 實驗結果顯示，大多數素材除油後所產生的廢水pH值範圍落在7.0~7.3之間，只有茶籽粉偏酸性，pH值落在6.3 左右。根據環保署公告的水質汙染指標^[+-]，這樣的酸鹼值尚落在生物可耐受範圍內。
2. 但分析除油廢水的化學需氧量時，我們在重鉻酸鉀試劑反應後發現試管顏色變化差異相當大，且洗碗精的COD值特別高，顯示洗碗精確實會使廢水中殘留相當高量的有機物，反觀植物除油廢水的COD值低很多，至於茶籽粉除油廢水則因顏色干擾分光光度計測量而無法讀取數值。

(三) 實驗 3-3、觀察清洗後的廢水對指標生物生存的影響

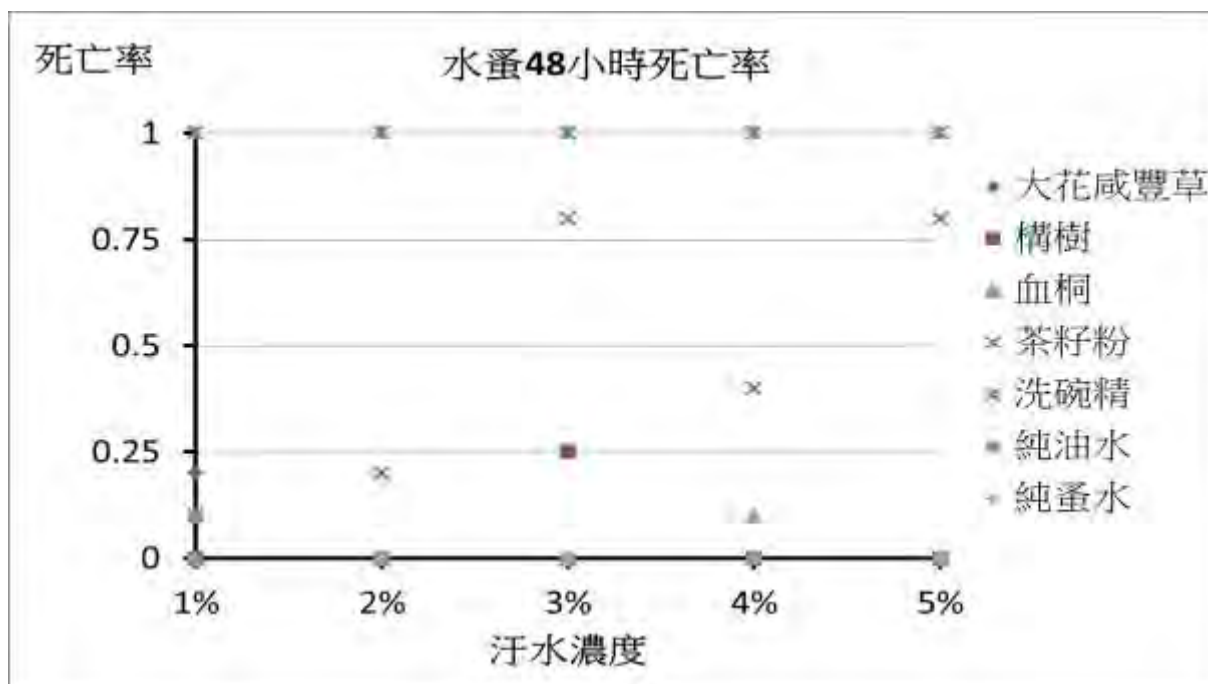


圖 5-6：水蚤 48 小時死亡率。

實驗結果發現，清潔劑造成水蚤的半致死濃度小於 1% 廢水濃度，另外茶籽粉雖號稱天然，但疑似界面活性物質濃度高或活性太強，2~3% 就會造成水蚤有半數死亡。但反觀植物葉片除油廢水，幾乎不會造成水蚤死亡，且實驗中發現水蚤還可在測試水樣中繁殖。

陸、 討論

一、 植物葉片的物理性除油功效：

1-1：本實驗利用多套自創裝置來檢驗物理性除油能力

物理性清除油脂方式一般來說可分成兩類型：第1類:利用材料直接刮除，第2類:利用材料對於油脂的吸附力將之帶走，因此我們自行設計幾套裝置，來檢驗植物葉片的刮除力與吸附力。

1-2：植物葉片對油脂的吸附力可能比刮除力更好

綜合本實驗結果（如圖 6-1 所示），葉片在刮除功效的表現上與清潔用品並無顯著落差，我們推測可能是因刮除力易受質材本身軟硬度及緻密度影響其和作用物接觸的程度。但在吸附功效上，葉片的油承載量與吸附速率遠比一般清潔用品還要好，特別是比對各別植物種類的葉毛特性，葉毛越長、密度越高者，油承載量越大，這與過去有文獻利用槐葉蘋葉毛的特殊構造吸附海洋油汙的仿生應用成效不謀而合^(六)，顯示植物葉毛的長度與密度可能透過增加吸收表面積而提升吸附力。

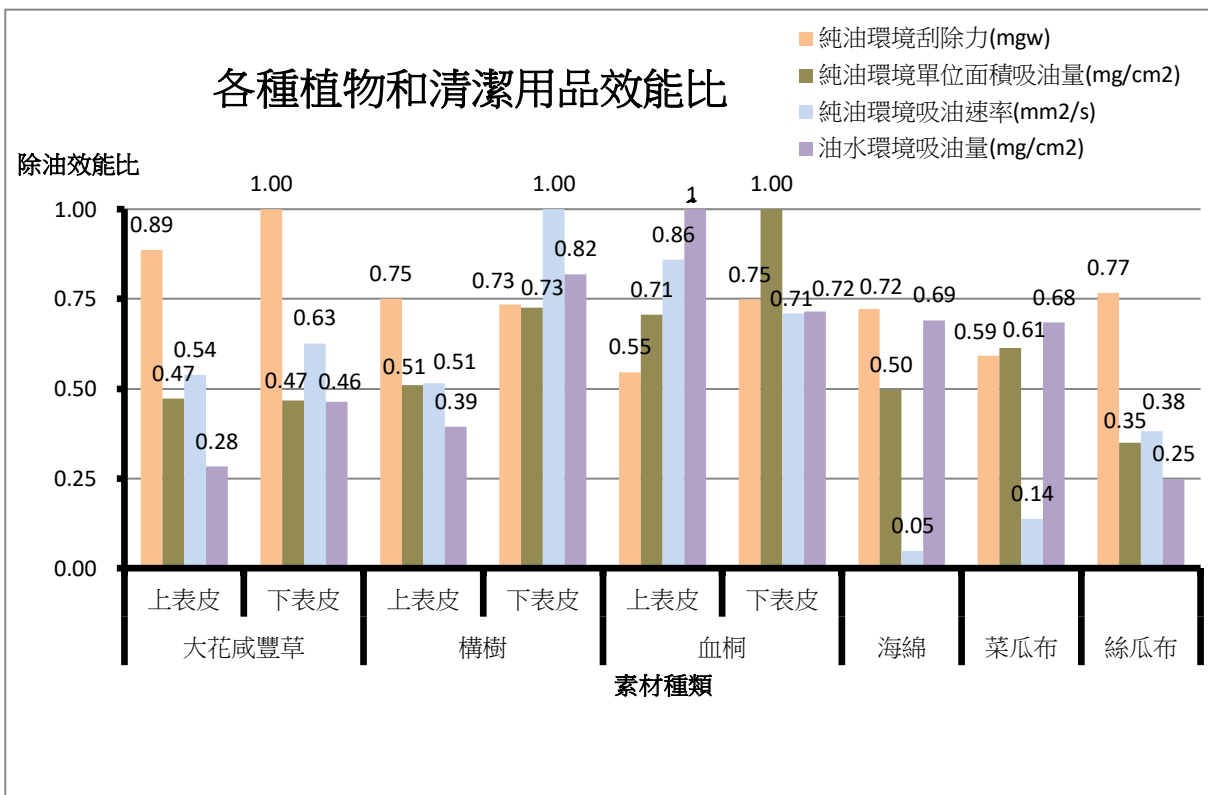


圖 6-1：各植物和清潔用品效能比。

1-3：植物葉片角質層的排列間隙可能是引導油脂吸附的關鍵

陸生植物體表多披覆角質層，其中含有多種疏水性成分^[4]，經聚合、結晶後常形成各式凹凸樣態，本為增加彎曲路徑以減少水分散失的機率，我們卻意外在本實驗的 SEM 圖像中看到因此提升油脂吸附效率的可能性。特別是葉毛附近的角質單元體，疑似形變需要而改變其排列狀態，製造出類似「導引軌道（如圖 6-2 中的黃色箭頭所示）」的間隙，推測這可能就是油脂被吸附後得以爬上葉毛的關鍵

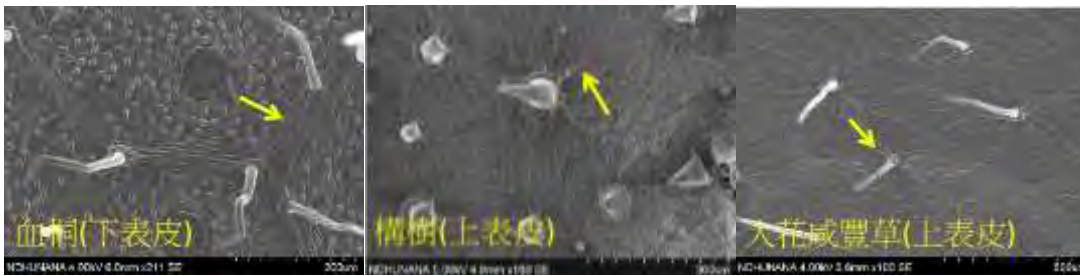


圖 6-2：各植物 SEM 表皮圖。

(二)植物葉片的化學性除油功效：

2-1 植物皂素可乳化油脂以達去除功效，但乳化力因植物而異

實驗中我們發現植物葉片汁液均有乳化油脂的功效，經文獻查找才知道原來植物體內普遍含有「皂素」成分^[4]，以本實驗結果來看，構樹汁液相對其他植物而言，能在短時間內產生最多量的乳化油滴微胞、型態也最完整，推測其所含皂素量可能也相對最豐富，希望未來有機會能進一步驗證。

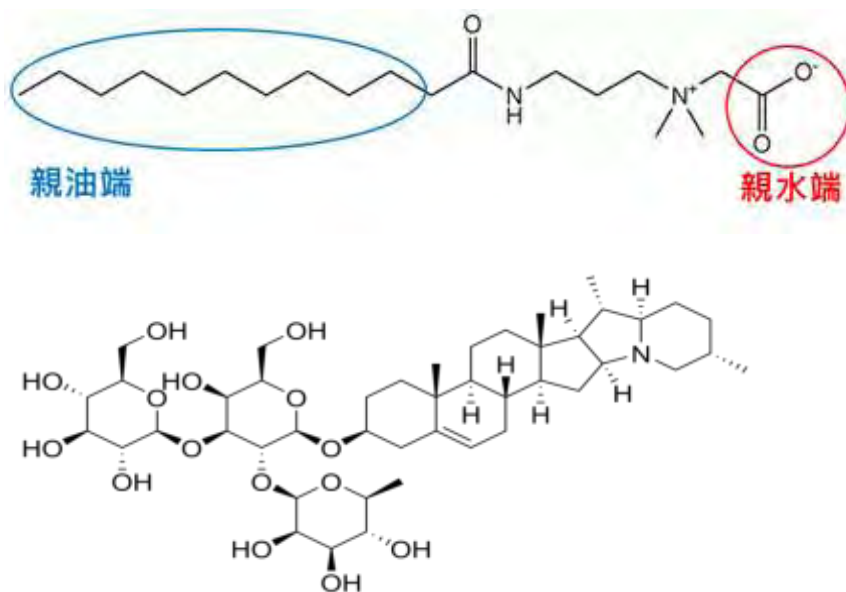


圖 6-3(上)和 6-4(下):皂素的化學結構，這種次級代謝物的化學構造基本上會由親油性的固醇類和親水性的配醣體結合而成，因此可達到與合成清潔劑類似的油脂乳化效力。

(三)植物葉片整體除油效益與除油廢水對環境的影響：

3.1 自製模擬洗碗器測試結果，顯示植物葉片的除油功效佳

裝置中我們模擬抓一把植物來清洗油漬碗盤時，發現真正與油脂碰觸的是葉表（無論上下表皮），葉汁量並不多，推測物理性除油可能是主要的貢獻。而根據實驗結果，以構樹葉片刷過油漬培養皿後能減少最多油量，確實與前述物理與化學性除油功效結果相當。因此顯示以我們的實驗方式作整體除油效果評估，構樹可能是效力最好的植物素材。

3.2 植物葉片除油後所產生的廢水，COD 值明顯較清潔劑低

根據環保署所發布檢測方法^[+-]所示，一般污水檢測常會探討酸鹼值(pH)與化學需氧量(COD)，前者目的是因 pH 值可反應水質中氨及重金屬的含量，COD 則可反應水質因汙染導致有機物含量增加的情形。本實驗結果中，各素材所產生的廢水樣本其 pH 除了茶籽粉偏酸，其餘並無顯著差異。但在 COD 方面，清潔劑除油廢水即使稀釋了 100 倍仍有相當高的數值，反觀植物葉片除油後，除大花咸豐草以外，COD 均明顯低很多，可見植物葉片除油後能大大降低廢水內的有機物含量，可能相對清潔用品而言對環境較為友善。

3.3 植物葉片除油後所產生的廢水，對環境生物可能更友善

清潔劑和茶籽粉的除油廢水在實驗中短時間內便造成水蚤全數死亡，反觀植物除油廢水卻在監測時間內，不僅維持水蚤生存率、還保有繁殖力（如圖 5-6），根據文獻^[+-]強烈界面活性成分會溶解生物細胞膜導致死亡，因此顯見我們所選擇的植物除油廢水對環境生物可能更友善。至於水蚤的生殖現象究竟是不受影響或是受廢水中營養鹽的刺激，我們尚無法斷定。

3.4 綜合討論

根據表格(如表一)所示，植物在物理和化學清除方面都有自己的優勢然而對於環境的友善效益是他們最為突出的地方。

		大花咸豐草	構樹	血桐
物理	刮除力	優	佳	可
	純油吸附效率	可	佳	優
	油水吸附效率	佳	優	可
	油吸附速率	可	佳	優
	碗盤油水去除量	優	可	佳
化學	乳化力	可	優	佳
環境	pH 值	優	優	優
	COD	可	優	優
	指標生物致死率	低	低	低

柒、 結論

- (一)本次研究所取樣的三種植材，確實可藉物理刮除與吸附機制來達到清潔油汙之效果，且規律的角質層聚合體間隙及細長茂密的葉毛構造，有助於提升植物對油汙的物理性吸附能力。
- (二)本次研究所取樣的三種植材，亦可藉乳化作用機制來達到清潔油汙之效果。
- (三)以自創裝置模擬洗碗流程時，植物的整體除油效能可以比一般清潔用品還佳，對環境的友善效益也較優。
- (四)比較市售除油用品與植物葉片除油法：

	清潔劑 (洗碗精、茶籽粉)	清潔品 (海綿、菜瓜布)	植物
物理除油 效能評比	-	佳	優
化學除油 效能評比	優	-	佳
環境友善 評估	劣	次之	優
優點	1.乳化油汙效果好	1.輕巧好攜帶 2.刮除油汙效果好	1.分布廣，野外易取得 2.兼具刮除與乳化油汙效果 3.清潔後產生的汙水對生物影響性小 4.使用後遺棄至大自然易被微生物分解
缺點	1.清潔劑人工合成的化學物質易造成水汙染 2.茶籽粉的茶皂素部份生物有毒性	1.油汙吸附力差 2.不具乳化效果 3.長期使用後須更替，造成環境二次汙染	1.乳化油滴速度較慢

捌、 未來展望

(一)以不同指標生物進行更多層次的環境友善效益檢驗：

在食物鏈中水蚤為一個初級消費者，未來增添生產者以及更高層次消費者，來檢驗完整的水域生態是否會受到植物除油廢水的影響。

(二)仿生：

本次實驗結果發現植物的除油效果並不比清潔物品差，未來能夠針對效果好的植物，例如：血桐下表皮的表面構造來進行仿生創新產品，以此提升人們清洗碗盤時的效率。

玖、 參考資料

[一]越洗乾淨地球就越髒？70%環境汙染來自家庭廢水(2018-05-25) 取自:<https://reurl.cc/NEe15>

[二] 阿嬤ㄟ寶貝-無患子-果實外殼得皂素，台南縣安定鄉南安國小 取自:<https://reurl.cc/NE7re>

[三]您還在用苦茶粉、黃豆粉清洗嗎？ (2012-07-23) 取自:<https://reurl.cc/gE51R>

[四]污染總在清潔後開始，邱美芳 (2014-01-03) 取自:<https://reurl.cc/QOvnb>

[五]阿嬤ㄟ寶貝-無患子無患子的四季，台南縣安定鄉南安國小 取自:<https://reurl.cc/Ea92v>

[六] 仿生槐葉蘋化身高效石油清道夫，歐陽盛芝 (2016-08-16)，取自(<https://reurl.cc/W0Vzy> (原文取自 Binspiration&Biomimetics))

[七]植物表皮角質層之防水生理，邱禮弘、楊耀祥，興大園藝 Vol.25 No.3 (2000-09)

[八]肥皂為什麼能產生泡沫？太陽電台 FM89.1 (2011-05-04)，取自：<https://reurl.cc/XA9Ng>

[九]從導電度看乳化，謝承原 (新竹實中)，國際科展 (2002)

[十]作物蟲害非農藥防治資材--植物皂素，王清玲，農試所特刊 NO.142 (2010)

[十一]生物急毒性檢測方法—水蚤靜水式法，環保署 (2013-08-13)，取自：<https://reurl.cc/3KZp>

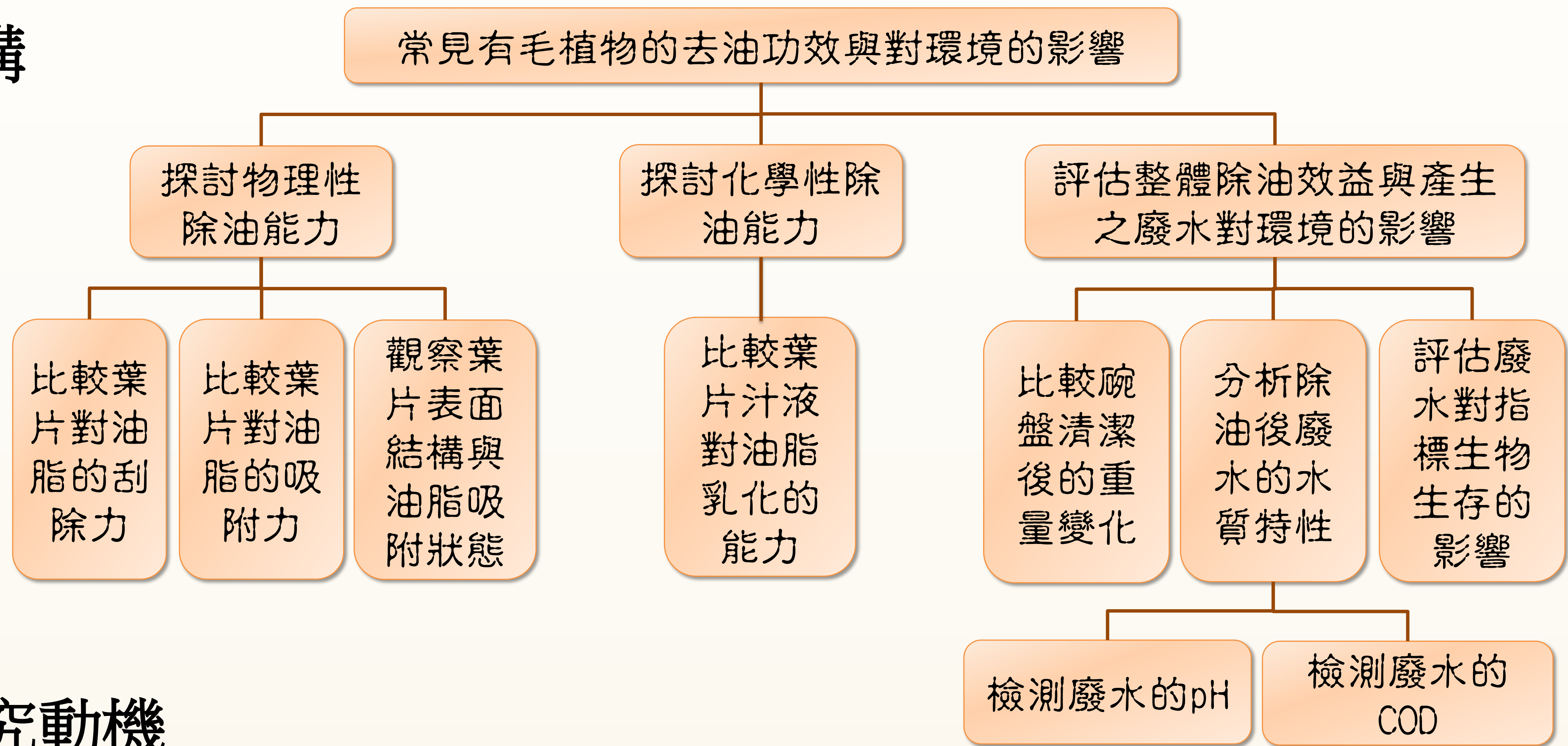
【評語】 052608

本研究探討多毛植物大花咸豐草、構樹與血桐等三種葉片，是否具有去除食用油污之物理及化學功效，期望能發現對環境更友善且具有可行性的油污清潔方式。本作品研究目標具體且具創新性，惟應說明三種植物的篩選依據與植物葉片表面結構面積量化原理，將有助於釐清植物葉片吸附油脂之物理性清潔功效評估。

摘要

本研究想藉由探討野外常見有毛植物『大花咸豐草』、『構樹』與『血桐』，其葉片是否具有去除食器殘餘油脂之功效，期望能找到對環境更友善的生活清潔方式。透過多套自創物理裝置與常見清潔力檢測試驗，我們發現受測植材普遍對於食用油脂的物理性吸附效力與速率都比一般清潔用品還要好，且葉毛越細、越長、越密的植材，吸附油脂的程度越明顯。此外，受測植材都具備乳化油脂的能力，雖乳化力不若清潔劑佳，但在環境影響評估實驗中，相較於清潔劑或茶籽粉，植材清潔食器後所產生的廢水不僅化學需氧量（COD）較低，也不會影響指標生物『水蚤』的生存率。因此本研究顯示，這三種野外普及率相當高的有毛植物葉片，確實能達到有效的去油效果，且對於環境的友善程度有較佳的效益。

研究架構



壹、研究動機

近年來野外活動興盛，活動中因為清潔食器需要所產生的汙水容易直接流入大自然裡造成汙染問題。所幸隨著環保意識抬頭，人們逐漸改利用無患子或茶籽粉等較為天然的素材來取代洗潔劑，但保存不易與加工成本仍是問題所在。

在一次上課的過程中，我們意外地發現大花咸豐草可以去除吃完泡麵碗內的油漬，且此效果與其葉片表面的葉毛構造可能有關係。因此，我們想藉由這次科展，探討大花咸豐草、構樹與血桐等三種野外常見有毛植物的葉片，是否能夠清潔食用油脂、以及它們清潔後所產生的廢水相較於洗碗精而言，對環境是否比較友善。

貳、研究目的

- (一) 探討常見有毛植物葉片對於食用油脂的**物理性**除油效力，並與日常清潔用品作比較。
- (二) 探討常見有毛植物葉片對於食用油脂的**化學性**除油效力，並與日常清潔用品作比較。
- (三) 評估常見有毛植物與各種清潔用品去除食用油脂後對於環境的影響。

參、研究設備與器材

儀器	光學顯微鏡、電子顯微鏡(Hitachi S3400N)、電子秤、pH儀、磁石攪拌機、離心機、果汁機、導電度感應器(PASCO)、直讀式分光光度計(Hach DR2000)
材料與工具	定滑輪、珍珠板、砝碼、棉繩、載玻片、試管、滴管、大頭針、照明燈、COD試劑(Hach #2125825)
素材	大花咸豐草、構樹、血桐、水蚤、菜瓜布、海綿、絲瓜布、洗碗精、茶籽粉

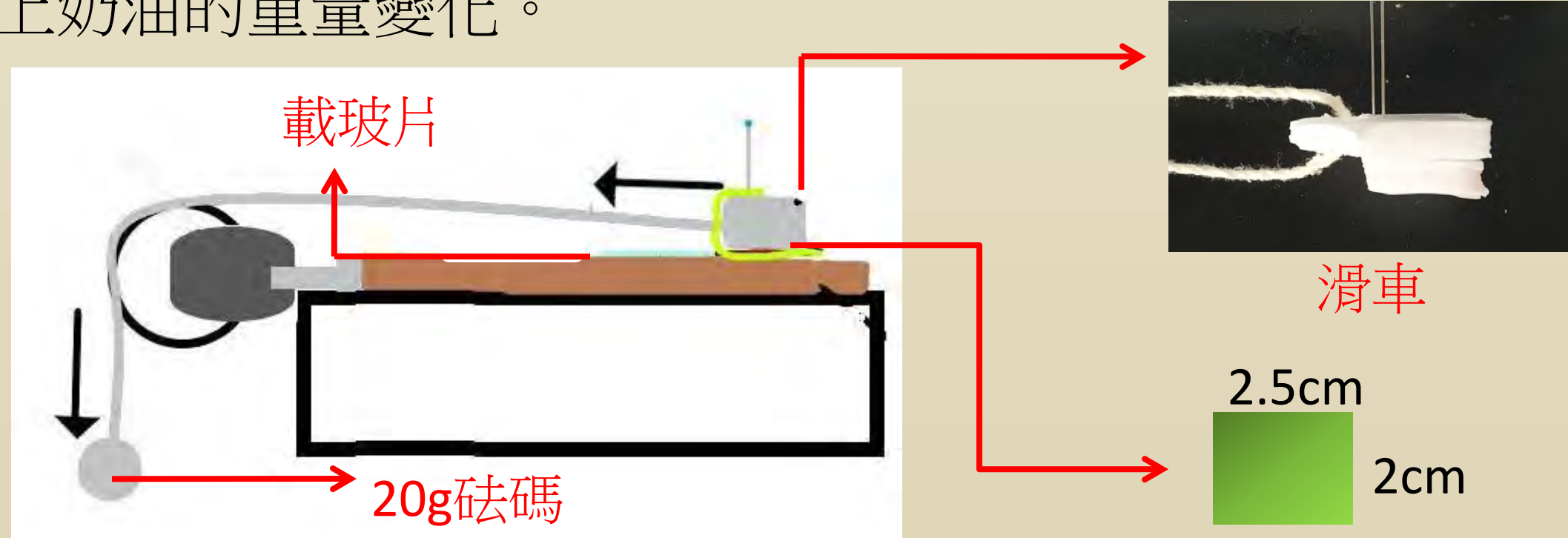


肆、研究過程與方法

(一) 物理性實驗：

1.1 探討植物葉片對食用油脂的刮除效力

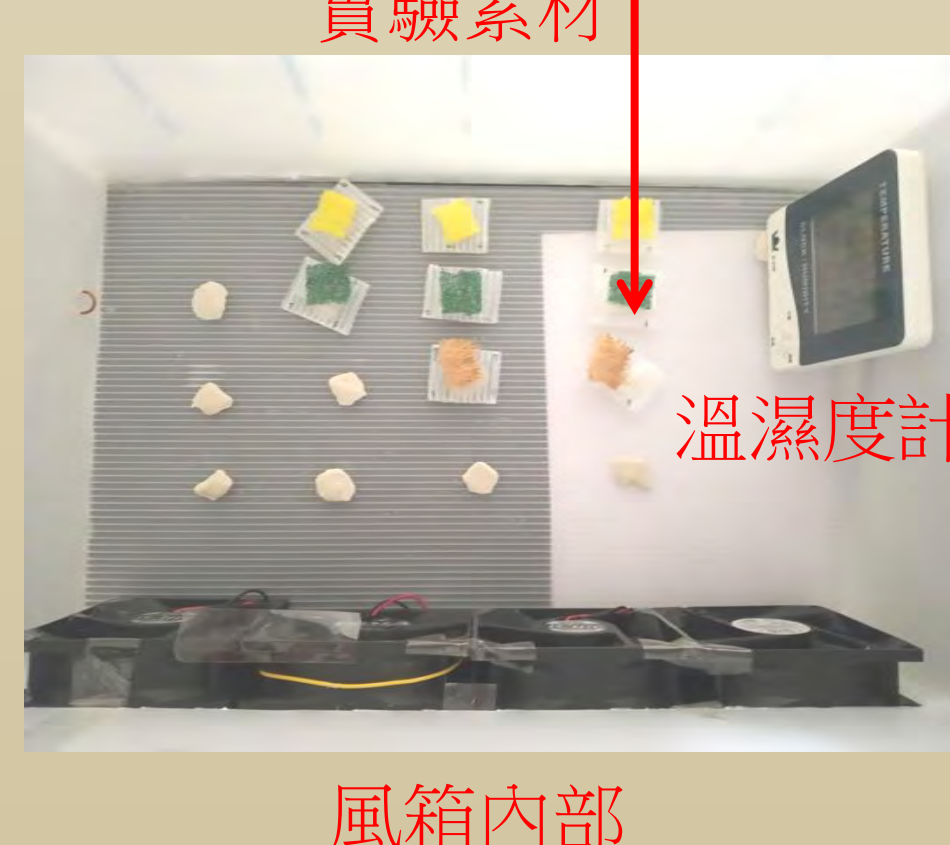
將植物葉片裁切成 2.5*2 cm²大小，於載玻片上抹上一層奶油，滑車帶動葉片滑過載玻片（如下圖所示之裝置），秤量載玻片上奶油的重量變化。



1.2 探討植物葉片對食用油脂的吸附力

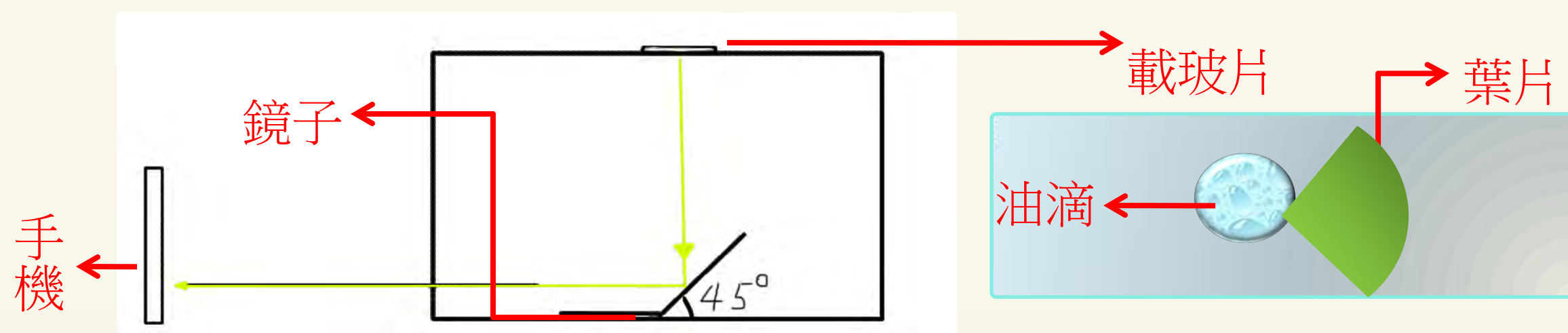
(1) 純油環境：將植物葉片裁切成 2*2 cm²大小，將其以一角觸碰沙拉油並同步計時30s，量秤樣本吸油前後的重量變化。

(2) 油水環境：將上述裁切之葉片放入10%油水混合液並計時30s，放入風箱蒸發30min，量秤樣本前後的重量變化。



1.3 探討植物葉片與清潔用品對油脂的吸附速率

步驟如實驗1.2，但將玻片置於下圖裝置，用手機錄影1min，而後將影片進行等時距切割以分析吸油面積變化量，並將其轉換成單位面積吸油速率表示。



1.4 觀察植物葉片表面微觀結構及和油吸附時的關係

將植物葉片直接或以徒手切片製作水埋玻片，放置於光學、電子顯微鏡下觀察其表皮構造，並量測葉毛長度、寬度並計算密度。而後再加葉片直接沾附油脂30秒後瀝乾5min，再次放置於光學顯微鏡下，觀察葉毛與油脂吸附的關係。

1.5 與常用清潔用品之比較

以海綿、菜瓜布、絲瓜布重複實驗1.1~1.3並與植物進行比較

(二) 化學性實驗：

植物汁液洗劑製備

收集植物葉片，以果汁機攪拌至細碎再以紗布過濾，取過濾液離心5min(轉速3500rpm)，而後取上層汁液2g加蒸餾水18g混勻，此即為『植物汁液洗劑』。

洗劑油脂混合液製備

將植物汁液洗劑放入2g沙拉油，使用磁石攪拌器均勻攪拌3min（轉速500rpm）使洗劑與油脂混勻。

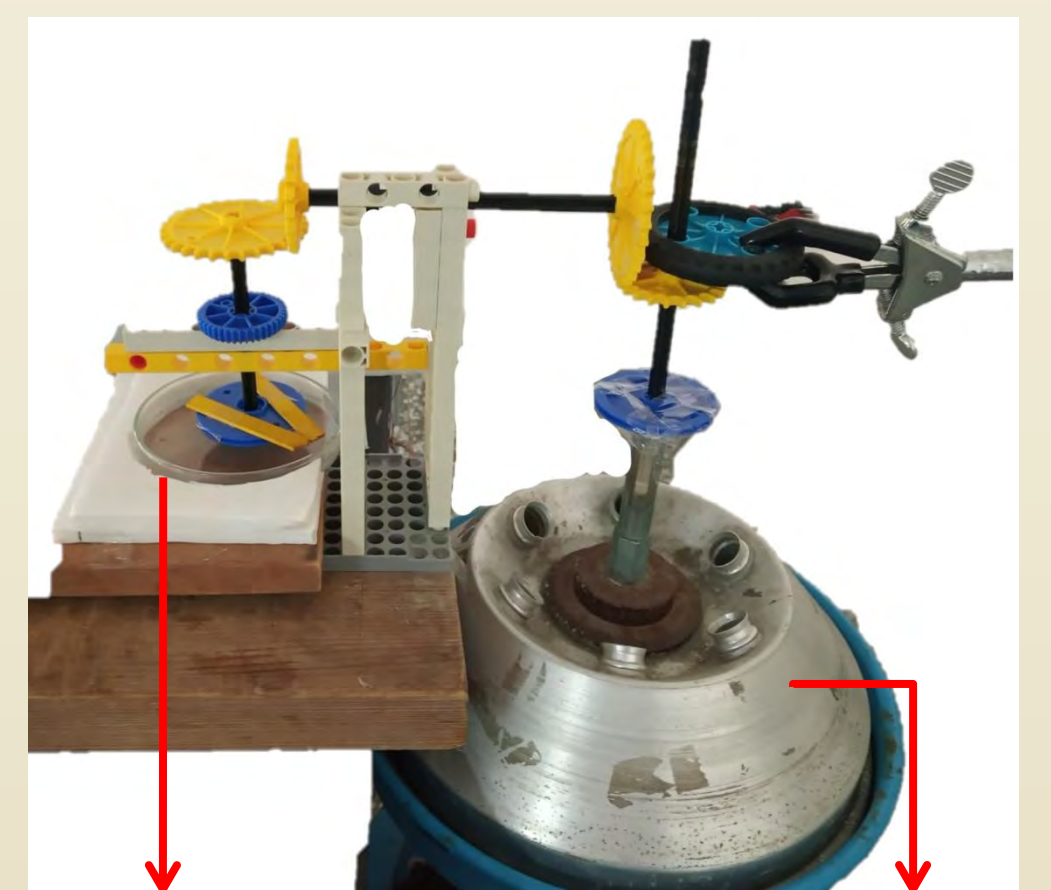
2.1 觀察植物葉片汁液乳化油脂後的微胞形成狀態

靜置1.5min後，取液面下0.5cm處的溶液，以光學顯微鏡放大倍率40x進行觀察。

(三) 環境檢測實驗：

清潔後的廢水製備

配置重量百分比的5%油水混合液，將20ml油水混合液倒入培養皿中，均勻沾附後倒掉，再秤量3g重的植物葉片，以自創洗碗器模擬日常洗碗動作進行刷洗，最後以20ml蒸餾水將培養皿進行沖洗並收集，即完成廢水製備。



3.1 評估植物葉片整體的除油力

於上述製備清潔廢水的過程中，量測清潔前後培養皿的重量變化，並與菜瓜布、清潔劑、茶籽粉的實驗結果作比較。

3.2 檢測清潔廢水的水質

以pH儀直接量測廢水的酸鹼值後，以COD檢測儀與試劑進行廢水的化學需氧量（COD）測量，並與清潔劑、茶籽粉的結果作比較。



3.3 評估清潔廢水對指標生物生存的影響性

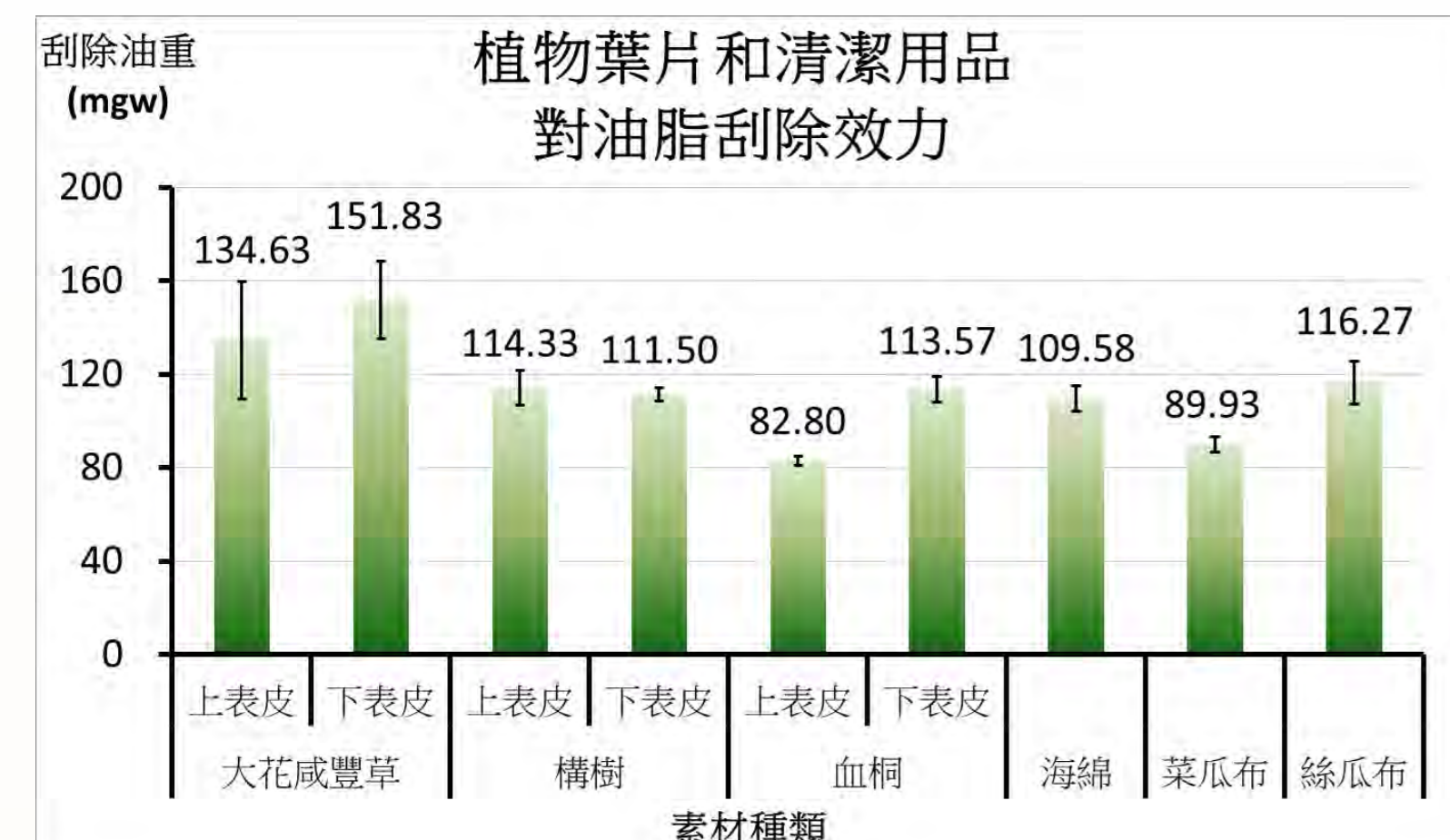
將清潔廢水以飼養水蚤的水體配置成1%、2%、3%、4%、5%的測試溶液共100ml，分成4管（25ml/管），每管加入五隻水蚤，間隔12小時記錄一次，共紀錄72小時，記錄水蚤於每個記錄時間點的殘存隻數，並計算造成水蚤半數致死的清潔廢水濃度（48hr，LC50）。



伍、研究結果

(一)物理性除油實驗

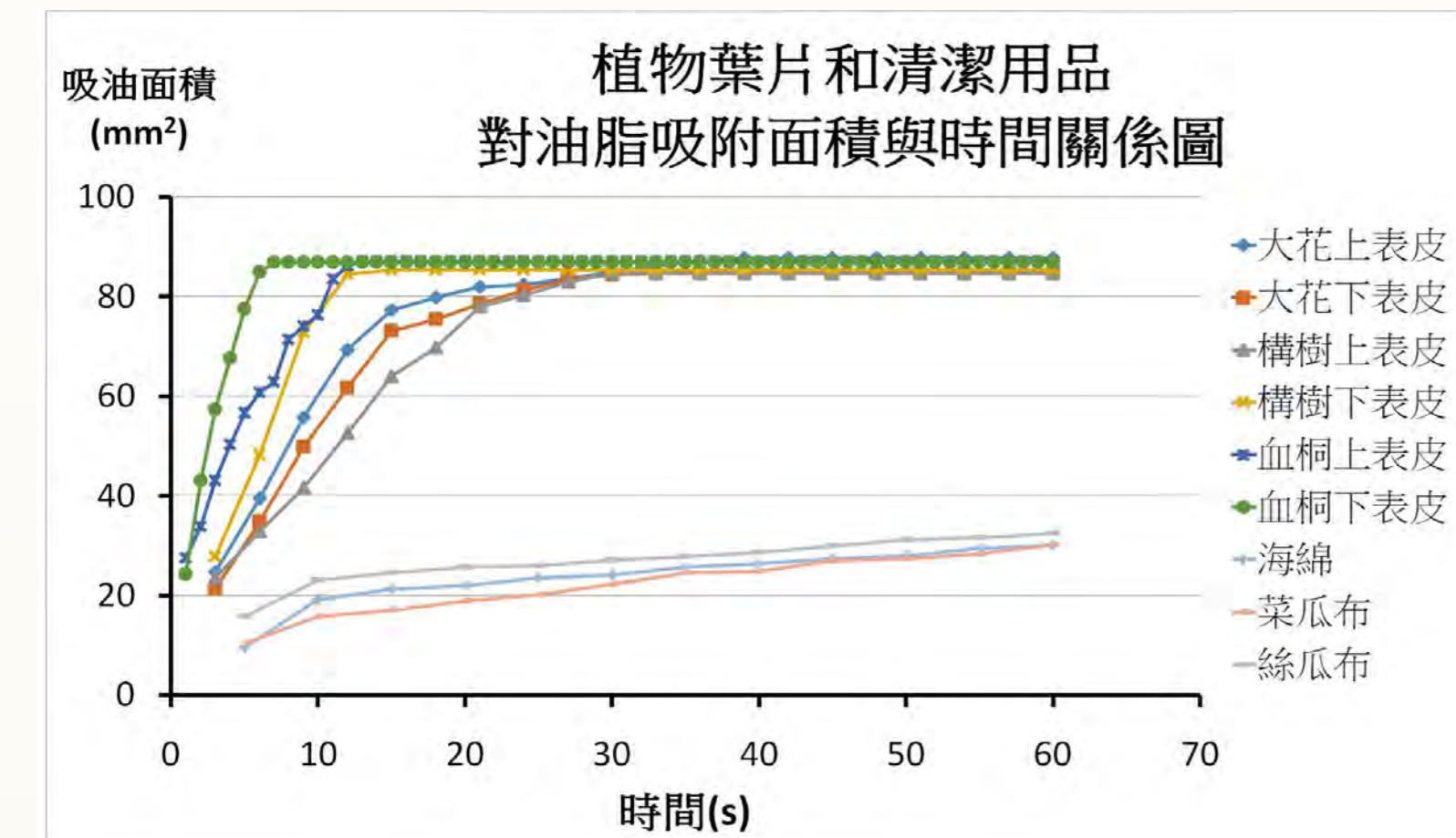
實驗1-1刮除力比較



實驗1-2吸附力比較



實驗1-3吸附面積(A)和吸附速率(B)比較



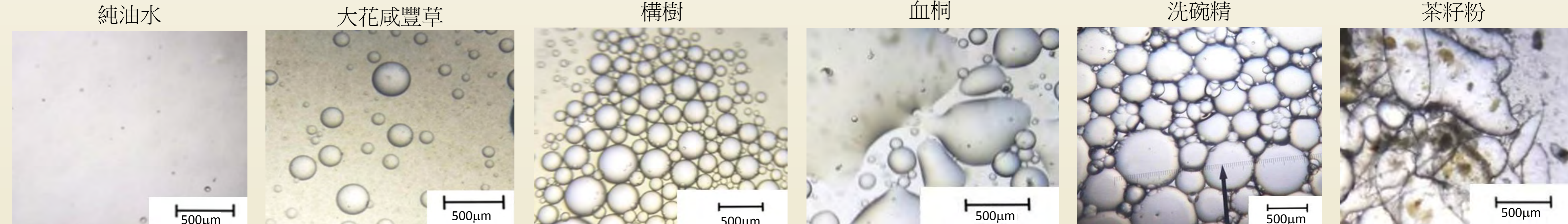
實驗1-4 觀察葉片的微觀構造

大花咸豐草			構樹			血桐		
葉橫切面(LM,100x)	葉上表皮	葉下表皮	葉橫切面(LM,100x)	葉上表皮	葉下表皮	葉橫切面(LM,100x)	葉上表皮	葉下表皮
葉毛	型態	粗針狀	粗針狀	型態	短刺突起狀	細長型	細長型	細長型
	平均長度	74µm	95µm		平均長度	95µm	190µm	222µm
	平均寬度	36µm	63µm		平均寬度	93µm	25µm	20µm
	平均密度	242.86個/cm²	217.86個/cm²		平均密度	267.86個/cm²	971.43個/cm²	1227.50個/cm²

- 顯微結果顯示，本實驗所用的三種植物無論葉上、下表皮都有葉毛構造，且多分佈在葉脈上。
- 根據切片結果顯示，三種植物的葉毛都是由表皮向外突出而成，表面均有披覆有濃厚角質層。其中大花咸豐草和構樹上表皮的葉毛較粗短，構樹下表皮與血桐葉毛則較細長。
- 經量測，葉毛長度最長、密度最大的都是血桐下表皮，但我們在實驗過程中發現，葉毛長度和密度會隨著植物的年齡改變。
- 經掃描式電子顯微鏡檢驗我們發現，葉片表面上越接近葉毛處的角質層聚合體會有沿著葉毛向上分布的變形，造成聚合體間隙構成類似「軌道」的效果。而當植物葉片沾附油脂時，於顯微鏡下可看出油脂和葉毛緊緊黏附、甚至有往葉毛長度方向延伸的現象。

(二)化學性除油實驗

實驗2-1：觀察清潔汁液對於油汙進行乳化後的微胞產生情形



- 實驗以光學顯微鏡放大倍率100x作鏡檢，發現洗碗精能快速乳化油脂並形成相當多大小不一的微胞，這應與其內所含的人工合成界面活性成分有關，也與文獻相符合[4]。
- 市售茶籽粉均會提及茶皂素可乳化油脂的功效，但我們觀察到的乳化微胞形狀並不規則，疑似界面活性效果有些被茶籽粉顆粒破壞。
- 比較三種植物汁液的功效，發現構樹能產生不亞於清潔劑的油滴微胞效果，不僅形狀完整、數量也最多。大花咸豐草則一樣可產生油滴微胞，但在測試時間內數量並不多、可能表示作用效果比較需要時間。血桐則是在有限時間內較無法快速乳化油脂，因此鏡檢下無法看到完整的油滴微胞。

(三)環境檢測實驗

實驗3-1：評估植物葉片整體的除油效力 (Δm定義為培養皿被刮去的油水重)

素材	大花	構樹	血桐	菜瓜布+清潔劑	菜瓜布+茶籽粉	菜瓜布
Δm(mg)	25.16	44.52	33.71	-29.56	-28.8	-

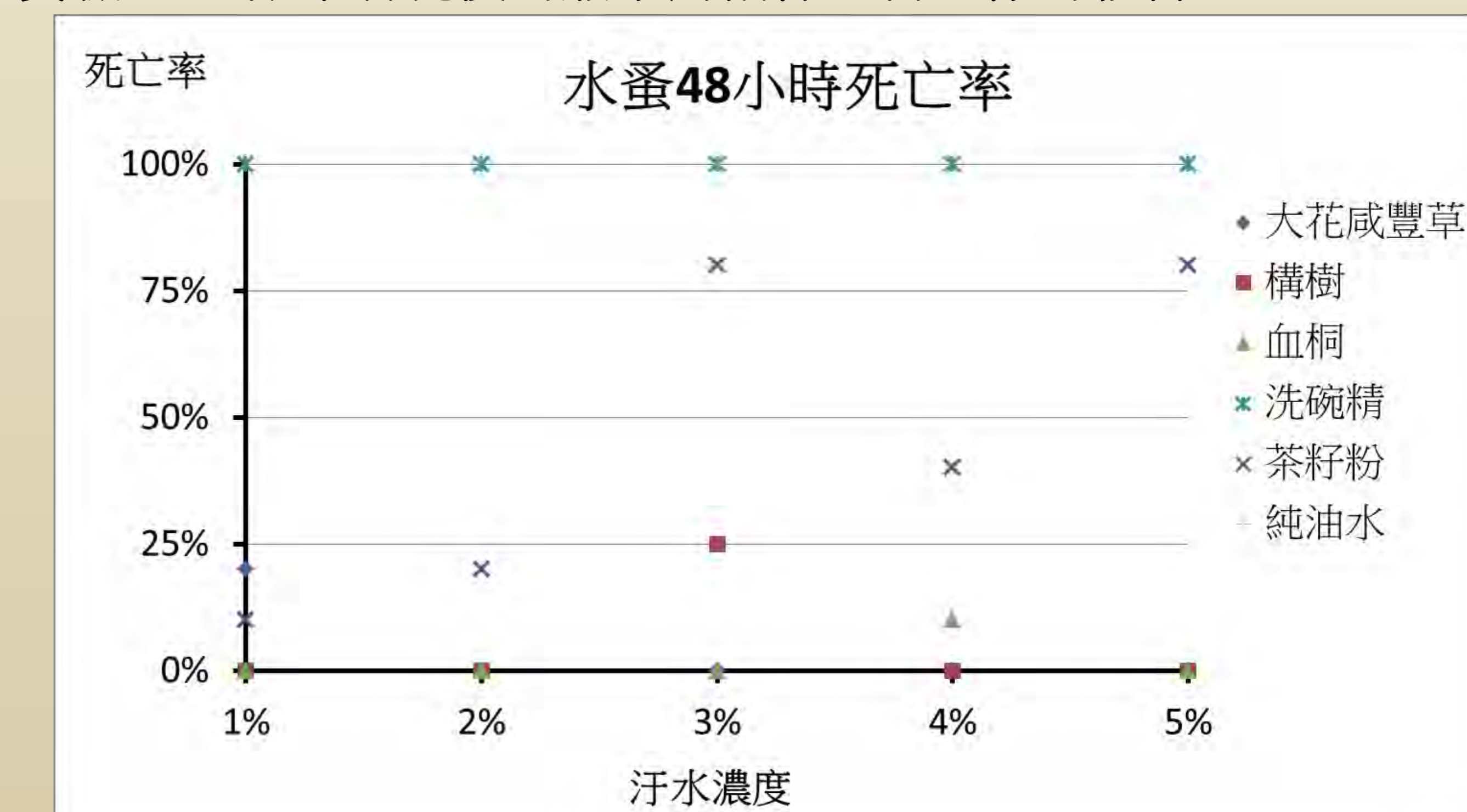
- 實驗結果發現，同重量植物葉片進行模擬洗碗除油時，構樹能夠刷去的油汙量最多，血桐次之，大花咸豐草最少。
- 我們直接用菜瓜布或沾取清潔劑或茶籽粉去除油脂時，發現會因為培養皿內泡沫或顆粒殘留（特別是茶籽粉），而導致Δm呈現負值。

實驗3-2：探討植物和清潔用品清潔完後所產生的廢水水質特性

素材	大花	構樹	血桐	菜瓜布+清潔劑	菜瓜布+茶籽粉	油水
pH值	7.19	7.06	7.27	7.06	6.31	7.01
COD(mg/L)	68.5	51	65.67	8483	25500	104.5

- 實驗結果顯示，大多數素材除油後所產生的廢水pH值範圍落在7.0~7.3之間，只有茶籽粉偏酸性，pH值落在6.3左右。根據環保署公告的水質汙染指標[6]，這樣的酸鹼值尚落在生物可耐受範圍內。
- 但分析除油廢水的化學需氧量時，我們在重鉻酸鉀試劑反應後發現試管顏色變化差異相當大，且洗碗精的COD值特別高，顯示洗碗精確實會使廢水中殘留相當高量的有機物，反觀植物除油廢水的COD值低很多，至於茶籽粉除油廢水則因顏色干擾分光光度計測量而無法讀取數值。

實驗3-3、觀察清洗後的廢水對指標生物生存的影響



- 實驗結果發現，清潔劑造成水蚤的半致死濃度小於1%廢水濃度。
- 茶籽粉雖號稱天然，但疑似界面活性物質濃度高或活性太強，2~3%就會造成水蚤有半數死亡。
- 反觀植物葉片除油廢水，幾乎不會造成水蚤死亡，且實驗中發現水蚤還可在測試水樣中繁殖。

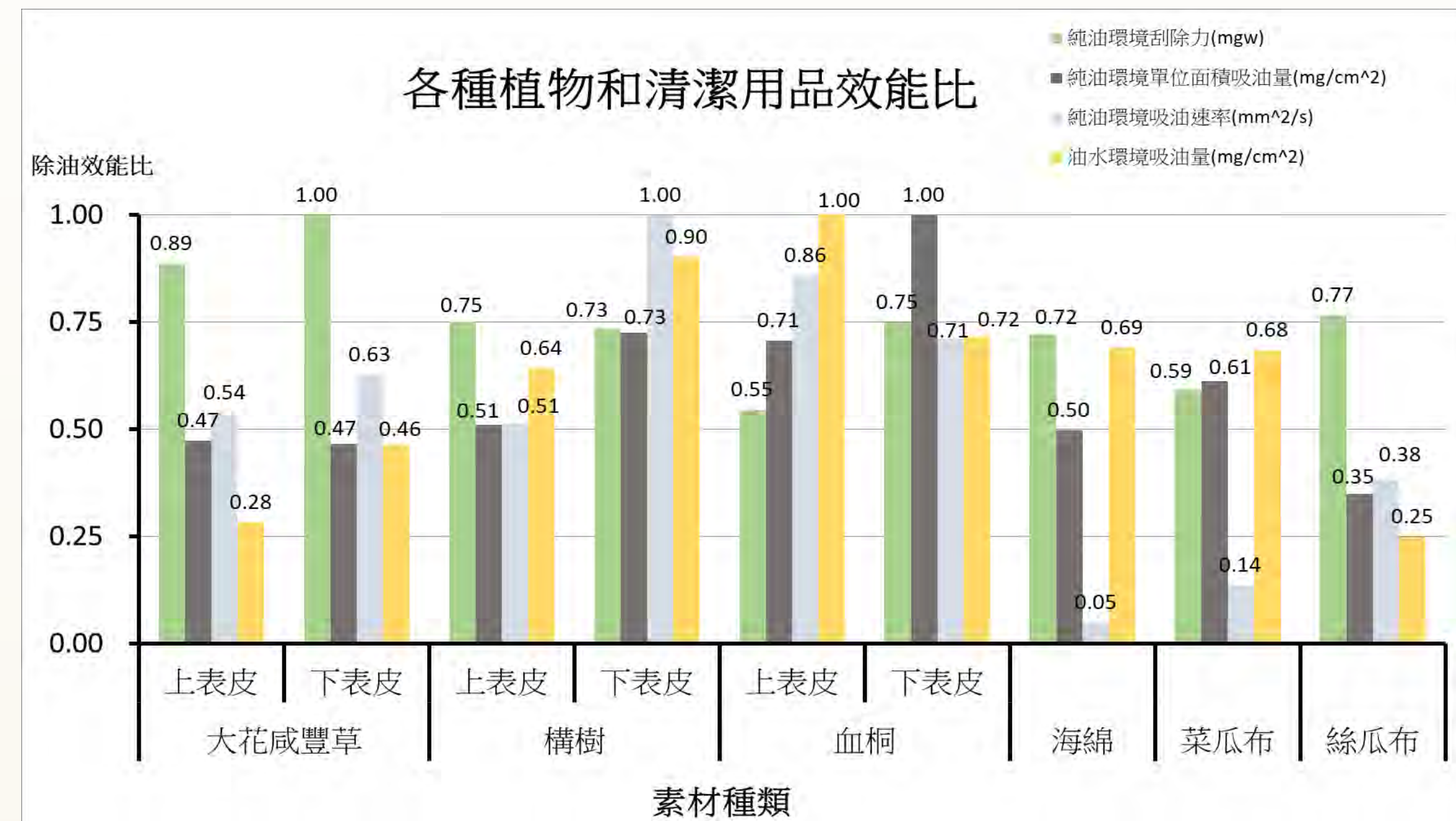
陸、討論

(一)植物葉片的物理性除油功效：

物理性清除油脂方式一般來說可分成兩類型：① 利用材料直接刮除、② 利用材料對於油脂的吸附力將帶其走，因此我們自行設計幾套裝置，來檢驗植物葉片對油脂的刮除力與吸附力。

1.1植物葉片對油脂的吸附力可能比刮除力更好

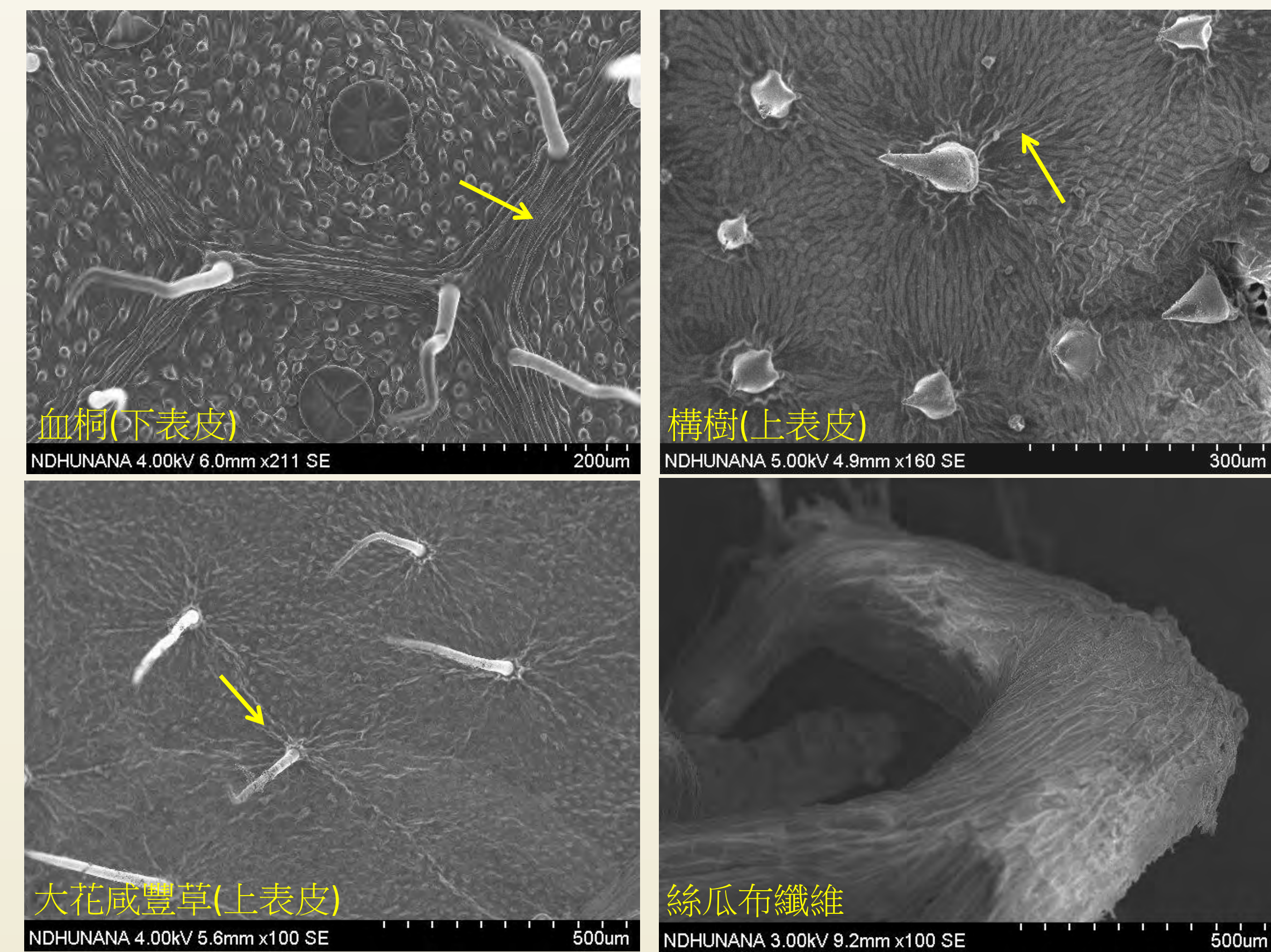
綜合本實驗結果（如圖一所示），葉片在刮除功效的表現上與清潔用品並無顯著落差，我們推測可能是因刮除力容易受到質材本身軟硬度及緻密度影響其和作用物接觸的程度。但在吸附功效上，葉片的油承載量與吸附速率遠比一般清潔用品還要好，特別是比對各別植物種類的葉毛特性，葉毛越長、密度越高者，普遍油承載量越大，這與過去有文獻利用槐葉蘋葉毛的特殊構造吸附海洋油汙的仿生應用成效不謀而合^[1]，顯示植物葉毛的長度與密度可能透過增加吸收表面積而提升吸附力。



(圖一) 各植物和清潔用品效能比

1.2植物葉片角質層的排列間隙可能是引導油脂吸附的關鍵

陸生植物體表多披覆角質層，其中含有多種疏水性成分^[2]，經過聚合、結晶後常形成各式凹凸樣態，本為增加彎曲路徑以減少水分散失的機率，我們卻意外在本實驗的SEM圖像中看到因此提升油脂吸附效力的可能性。特別是葉毛附近的角質單元體，疑似形變需要，而改變其排列狀態，製造出類似「導引軌道（如圖二中的黃色箭頭所示）」的間隙，推測這可能就是油脂被吸附後得以爬上葉毛的關鍵。

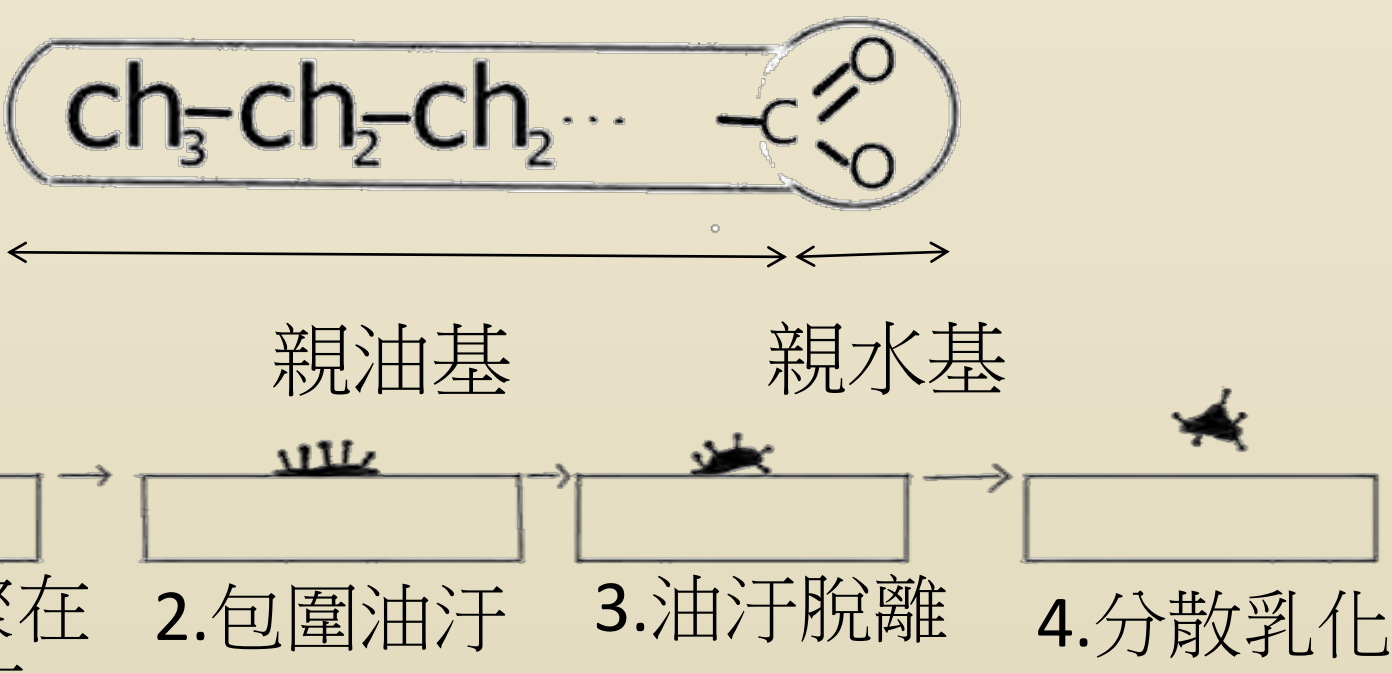


(圖二) 各植物SEM表皮圖

(二)植物葉片的化學性除油功效：

2.1界面活性成分的乳化作用為化學除油主要方式

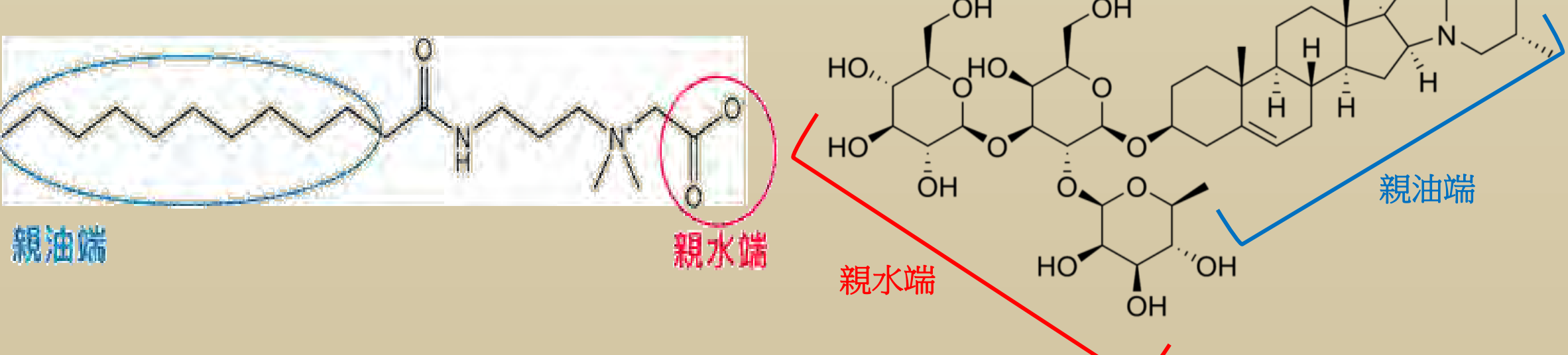
目前市面上常用的食器清潔劑多富含親水端具陰陽離子型態的界面活性劑，在接觸到油脂時會有油滴微胞產生^[3]，也因此造成游離性離子減少。因此本實驗採用鏡檢乳化微胞形成狀況，來檢驗植物葉片內是否具有化學除油的功效。



(圖三) 界面活性劑結構、去油流程

2.2植物皂素可乳化油脂以達去除功效，但乳化力因植物而異

實驗中我們發現植物葉片汁液均有乳化油脂的功效，經文獻查找才知道原來植物體內普遍含有「皂素」成分^[4]，這種次級代謝物的化學構造基本上會由親油性的固醇類和親水性的配醣體結合而成（如圖四所示），因此可達到與合成清潔劑類似的油脂乳化效力。但以本實驗結果來看，構樹汁液相對其他植物而言，能在短時間內產生最多量的乳化油滴微胞、型態也最完整，推測其所含皂素量可能也相對最豐富，希望未來有機會能進一步驗證。



(圖四) 植物皂素和界面活性劑構造

(三)植物葉片整體除油效益與除油廢水對環境的影響：

3.1自製模擬洗碗器測試結果，顯示植物葉片的除油功效佳

裝置中我們模擬抓一把植物來清洗油漬碗盤時，發現真正與油脂碰觸的是葉表（無論上下表皮），葉汁量並不多，推測物理性除油可能是主要的貢獻。而根據實驗結果，以構樹葉片刷過油漬培養皿後能減少最多油量，確實與前述物理與化學性除油功效結果相當。因此顯示以我們的實驗方式作整體除油效果評估，構樹可能是效力最好的植物素材。

3.2植物葉片除油後所產生的廢水，COD值明顯較清潔劑低

根據環保署所發布檢測方法^[6]所示，一般汙水檢測常會探討酸鹼值(pH)與化學需氧量(COD)，前者目的是因pH值可反應水質中氮及重金屬的含量，COD則可反應水質因汙染導致有機物含量增加的情形。本實驗結果中，各素材所產生的廢水樣本其pH除了茶籽粉偏酸，其餘並無顯著差異；但清潔劑除油廢水的COD值相當高，反觀植物葉片除油後COD值均明顯低很多，可見植物葉片除油後不僅能降低廢水內的有機物含量，相對清潔劑而言更對環境較為友善。

3.3植物葉片除油後所產生的廢水，對環境中的生物可能更友善

清潔劑和茶籽粉的除油廢水在實驗中短時間內便造成水蚤全數死亡，反觀植物除油廢水卻在監測時間內，不僅維持水蚤生存率、還保有繁殖力，根據文獻^[5]強烈界面活性成分會溶解生物細胞膜導致死亡，因此顯見我們所選擇的植物除油廢水對環境生物可能更友善。至於水蚤的生殖現象究竟是不受影響或是受廢水中營養鹽的刺激，我們尚無法斷定。

3.4綜合討論

根據表格(如表一)所示，植物在物理和化學清除方面都有自己的優勢然而對於環境的友善效益是他們最為突出的地方。

		大花咸豐草	構樹	血桐
物理	刮除力	優	佳	可
	純油吸附效率	可	佳	優
	油水吸附效率	可	佳	優
	油吸附速率	可	佳	優
	碗盤油汙去除量	可	優	佳
化學	乳化力	可	優	佳
	pH值	優	優	優
環境	COD	可	優	優
	指標生物存活率	優	優	優

(表一)所有植物素材比較

柒、結論

- (一)本研究所取樣之三種植材確實可藉物理刮除與吸附機制來達到清潔油汙之效果，且規律的角質層聚合體間隙及細長茂密的葉毛構造，有助於提升植物對油汙的物理性吸附能力。
- (二)本次研究所取樣的三種植材，亦可藉乳化作用機制來達到清潔油汙之效果。
- (三)以自創裝置模擬洗碗流程時，植物的整體除油效能可以比一般清潔用品還佳，對環境的友善效益也較優。
- (四)比較市售除油用品與植物葉片除油法：

	清潔劑 (洗碗精、茶籽粉)	清潔用品 (海綿、菜瓜布、絲瓜布)	植物
物理除油效能評比	—	佳	優
化學除油效能評比	優	—	佳
環境友善評估	劣	—	優
優點	1. 乳化油汙效果好	1. 輕巧好攜帶 2. 刮除油汙效果好	1. 分布廣，野外易取得 2. 兼具刮除與乳化油汙效果 3. 清潔後產生的汙水對生物影響性小 4. 使用後遺棄至大自然易被微生物分解
缺點	1. 清潔劑人工合成的化學物質易造成水汙染 2. 茶籽粉的茶皂素對部份生物有毒性	1. 油汙吸附力差 2. 不具乳化效果 3. 長期使用後須更替，造成環境二次汙染	1. 乳化油滴速度較慢

捌、未來展望

- (一)以不同指標生物進行更多層次的環境友善效益檢驗：
在食物鏈中水蚤為一個初級消費者，未來增添生產者以及更高層次消費者，來檢驗完整的水域生態是否會受到植物除油廢水的影響。
- (二)仿生：
本次實驗結果發現植物的除油效果並不比清潔物品差，未來能夠針對效果好的植物，例如：血桐下表皮的表面構造來進行仿生創新產品，以此提升人們清洗碗盤時的效率。

玖、參考資料

- (一)仿生槐葉蘋化身高效石油清道夫，歐陽盛芝（2016-08-16），取自<https://reurl.cc/W0Vzy>（原文取自Binspiration&Biomimetics）
- (二)植物表皮角質層之防水生理，邱禮弘、楊耀祥，興大園藝 Vol.25 No.3（2000-09）
- (三)肥皂為什麼能產生泡沫？太陽電台FM89.1（2011-05-04），取自：<https://reurl.cc/XA9Ng>
- (四)從導電度看乳化，謝承原（新竹實中），國際科展（2002）
- (五)作物蟲害非農藥防治資材--植物皂素，王清玲，農試所特刊 NO.142（2010）
- (六)生物急毒性檢測方法—水蚤靜水式法，環保署（2013-08-13），取自：<https://reurl.cc/3KZp>