

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

第三名

030202

居家安"醛"

學校名稱：臺中市立居仁國民中學

| | |
|---|-----------------------------|
| 作者： 國二 江樟棠 國二 胡嘉軒 國二 賴奕辰 | 指導老師： 施佩汝 紀正良 |
|---|-----------------------------|

關鍵詞：游離甲醛、自製光度計、手機色彩 APP

居家安”醛”

摘要

自製光度計作為溶液濃度大小檢量的工具效果媲美分光光度計。手機色彩 APP 以色碼值換算出歐式距離，找出其與濃度的關係，可作為簡易判斷濃度範圍的工具。

找出室內空汙游離甲醛的源頭，建議祭祀減香，非水性指甲油減少使用，水性乳膠漆使用較油性漆好。

將蝦殼再製成幾丁聚醣，將菜葉果皮製成環保酵素，兩者皆證實可捕捉游離甲醛，一次達成廢棄物回收再利用和捕捉甲醛二大目的。

小蘇打、幾丁聚醣、茶渣及蘋果酵素等可消除溶液中甲醛。

幾丁聚醣、蘋果酵素、蔬菜酵素、橘子酵素分別與乳膠漆混合，塗抹在牆面上，可捕捉游離甲醛；或將上述物質與輕質土混合可捕捉游離甲醛兼當裝飾品。幾丁聚醣凝膠製成濾網搭配自製空氣濾清箱可有效使室內游離甲醛濃度降低。

壹、前言

一、研究動機

近幾年來，空汙的問題與防治研究，開始被國人重視，2013年世界衛生組織國際癌症研究機構指出，室外空氣污染是癌症死亡的首要環境因素，屬於第一級致癌物質(蘇大成，2020)^[1]。當戶外空氣品質不佳時，多數人會選擇待在室內，然而，卻鮮少有人注意到室內的空氣汙染問題！美國環保署指出室內空氣污染可能是室外污染濃度的2-5倍，有時甚至到百倍。因此，室內空汙成為我們研究的動機。

室內空氣污染源中的 VOCs（揮發性有機化合物）包含多種的危害空氣污染物，其中的一項化學物質—甲醛為我們研究室內空汙的主要焦點。依據國際癌症研究署（IARC），甲醛歸類為第1級致癌物。世界各國皆有規定空氣中甲醛的濃度。以一天八小時工作量的勞工標準來看，歐盟為不得超過0.3ppm，美國為0.75ppm，我國訂出最高容許濃度值為1ppm。(孫惠鈺、賴昆暉及黃敬淳，2022)^[2]。

在我們居家環境中，除了傳統已知的建築隔板、木質家具及黏著劑中含有甲醛外，我們想要進一步找出生活中造成甲醛汙染的源頭，及將廢棄物-蝦殼轉製成幾丁聚醣，將果皮菜葉轉製成環保酵素及其他家庭常見物品，研究了解其捕捉（消除）甲醛的能力。並利用自製簡易光度計及使用手機色彩 APP，來進行科學驗證。研究出簡易有效的方法，來捕捉游離甲醛，以達到淨化室內空氣的效果。

二、目的:

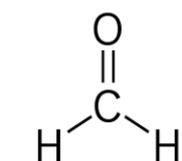
- (一) 找出造成居家空氣甲醛污染的源頭，避免增加室內空汙及危害自身健康。
- (二) 解決廚餘廢棄物，將蝦殼製成幾丁聚糖；將菜葉果皮製成環保酵素，並探討其去除溶液中甲醛及氣態游離甲醛的能力，以達到解決廚餘廢棄物和捕捉甲醛二項目標。
- (三) 討論幾丁聚醣、環保酵素、小蘇打、咖啡渣及茶渣粉，其去除溶液中甲醛及捕捉氣態游離甲醛的能力。
- (四) 利用自製工具—自製簡易光度計、手機色彩 APP 與分光光度計作比較，討論計量工具的優缺點。並將之應用在上述第(三)點的計量討論。
- (五) 利用自製器材設計具效能的濾網，並結合實驗結果，自製空氣濾清機，達到居家就可簡易去除甲醛的目的。

三、文獻回顧:

(一) 甲醛^{[3][4]}

1. 物理性質:

- (1) 又稱蟻醛，化學式 HCHO ，是天然存在的有機化合物。無色的刺激性氣體，易溶於水，易溶於醇、醚、丙酮及苯等溶液。對人眼、鼻、皮膚等有刺激作用。



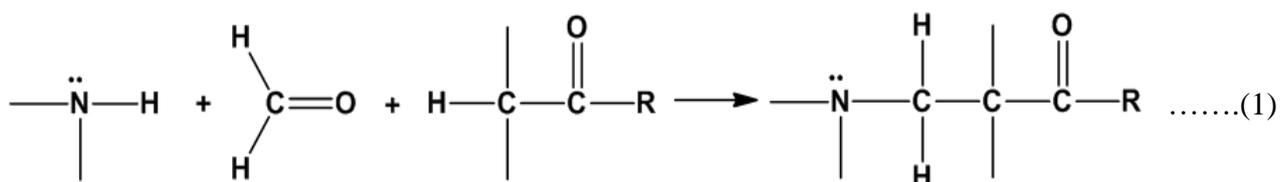
圖(一) 甲醛結構式
(取自資料[3])

- (2) 純甲醛為無色透明氣體，具強烈刺激性，沸點 -19.5°C 。40%的水溶液通稱福馬林。

2. 化學反應:

- (1) 甲醛的還原性很強，很容易被氧氣、過錳酸鉀等氧化劑氧化為甲酸(HCOOH)。
- (2) 甲醛是曼尼希 (Mannich) 反應中常用的醛。

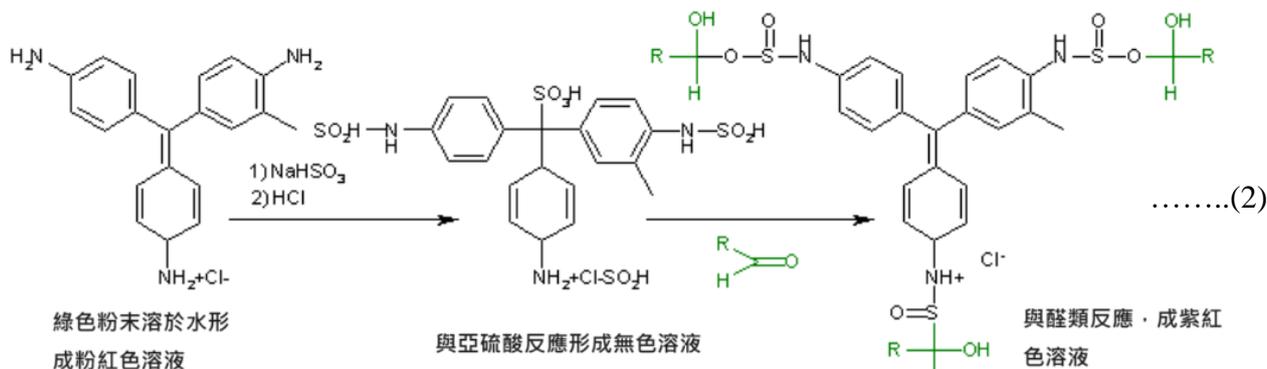
[Mannich reaction] 甲醛、胺類（通常二級胺）與羰基化合物三者反應形成 β -胺基化合物的有機反應，反應式(1)如下：



3. 本實驗所用甲醛的檢測反應^[5]:

- (1) 醛類與席夫(晶紅酸)試劑的反應：晶紅酸指示劑(fuchsin) (又名席夫試劑，Schiff's reagent)是一個綠色粉末，它會與亞硫酸作用得到無色的晶紅酸指示劑，反應式(2)如下。指示劑不穩定，當加入醛類化合物時很容易反應脫去一分子亞硫酸並得到一紫紅色的顏料。

本實驗利用醛類與席夫(晶紅酸)試劑的反應會形成紫紅色溶液的特性，再以比色法來作為反應計量的依據。



圖(二) 晶紅酸試劑與醛類反應(取自 <http://www.chem.umass.edu/~samal/269/lecture/aak/aak6.pdf>[19])

4. 安全資料(資料來源-環境部化學物質管理署資料及 SDS 資料表)：

- (1) 甲醛水溶液的濃度在15%以下。
- (2) 短時間空氣中的游離甲醛濃度為2ppm。

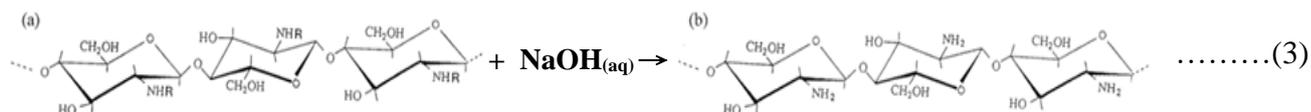
(二) 幾丁質與幾丁聚醣^{[6][7]}

一、幾丁質：

1. 廣泛存在於植物中的低等藻類、菇類和真菌的細胞壁，以及動物的上皮角質層、海洋無脊椎動物、昆蟲外殼。其中以蝦蟹外殼為幾丁質最常見的來源。
2. 幾丁質分子鏈間有許多氫鍵，結構很緊密，幾丁質為高度乙醯化的聚葡萄糖胺，結構為下圖(三)-(a)。

二、幾丁聚醣：

1. 為幾丁質衍生物之一，一般採用幾丁質經高溫強鹼脫乙醯處理後可得幾丁聚醣，幾丁聚醣結構為下圖(三)-(b)。
2. 幾丁質與幾丁聚醣的差別在於脫乙醯的程度，幾丁聚醣為高度脫乙醯化的聚葡萄糖胺，反應式(3)如下。



圖(三) (a) 幾丁質結構 (b) 幾丁聚醣結構 幾丁質加鹼去乙醯化反應形成幾丁聚醣
(取自資料[7]，後經指導老師再製)

3. 幾丁聚醣中所含之胺基(R-NH₂)，會與甲醛之羰基(-C=O) 結合成為亞胺，為 Schiff base 反應。反應式(4)如下：



本實驗利用家中廚餘廢棄物—蝦殼中純化出幾丁質，再進一步以強鹼脫乙醯處理得到幾丁聚醣，以幾丁聚醣的胺基會與甲醛的羰基反應的概念，來進行家中甲醛空氣淨化反應。

(三) 環保酵素^[8]

- 一、基本介紹：果皮酵素也稱為環保酵素，環保酵素是混合了糖、水、和鮮果皮蔬菜垃圾，經過三個月發酵，便可立即使用。
- 二、製作方法：黑糖／菜渣或果皮／水，以1：3：10的比例混合。

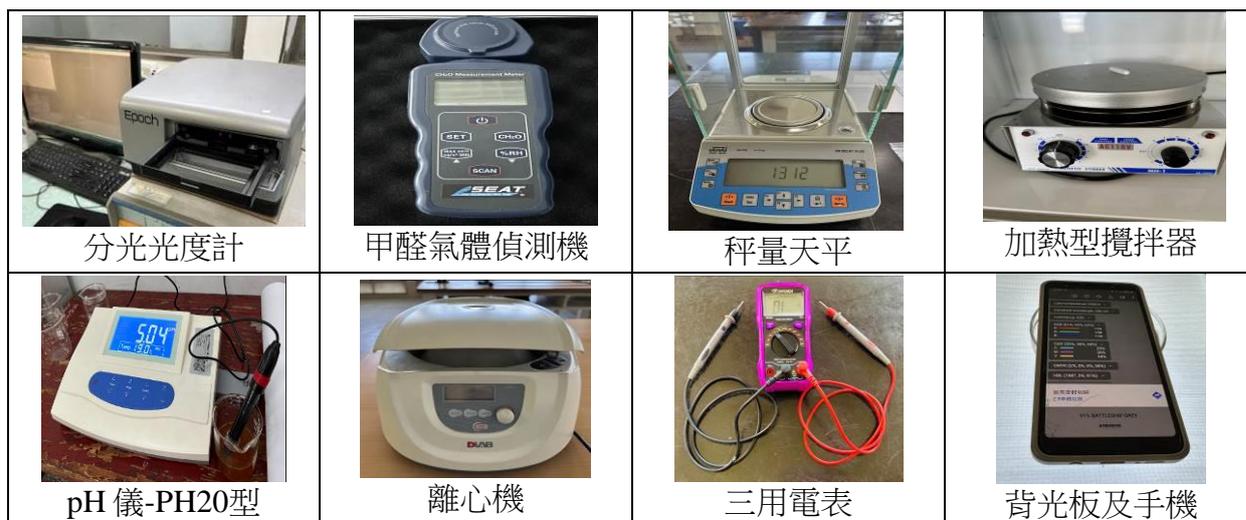
本實驗利用家中廚餘廢棄物—菜葉、橘皮、蘋果皮及鳳梨皮，合成環保酵素，來進行捕捉游離甲醛反應，並進一步比較不同種類的環保酵素，結果是否不同。

(四) 比爾定律 (Beer-Lambert Law)^{[14][15]}

- 一、基本介紹：當光穿透樣品溶液時，光的吸收度 (A) 與吸收係數 (α)、光徑長 (b，單位公分)、莫耳濃度 (c，單位 M) 三者均呈正比： $A = \epsilon bc$ ，其中 ϵ 為莫耳吸收係數吸收係數。
- 二、吸收度：當一束光線照射到樣品溶液時，部份的光線會被樣品溶液吸收，剩下的光線則穿透樣品溶液，即原本光入射線強度 I_0 ，穿透光線強度變為 I_1 ，此時光的穿透度 T，即光穿透的比例為 $A = -\log T = -\log(I_1/I_0)$ ，吸收度 A 為一個大於等於零的實數；一般而言落在0至2之間，其中0所代表的意義即為完全無吸收，2則代表有百分之九十九的光通過時被吸收。

貳、 研究設備及器材

一、 設備



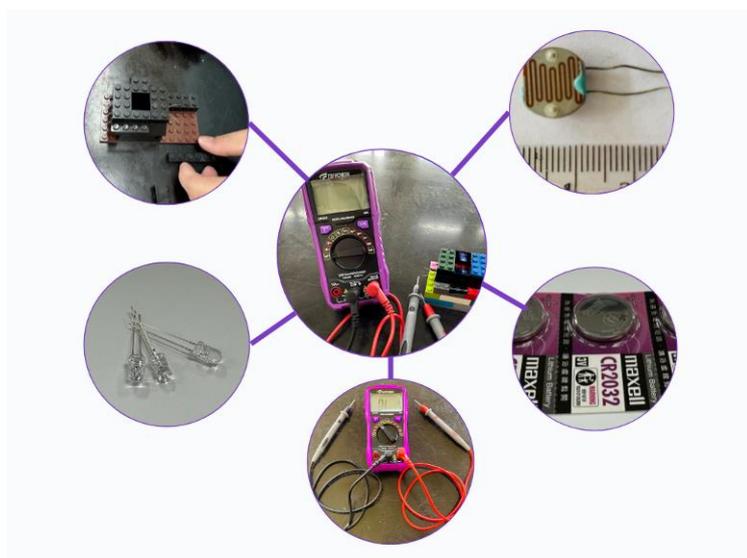
[規格說明] 甲醛氣體偵測機為工業級甲醛氣體偵測器，機型 MET-CH20-207，測量範圍為0~4.00ppm，分辨率為0.01ppm，準確度 $\pm 5\%$ 。

[圖片說明]相片資料來源為指導老師拍攝

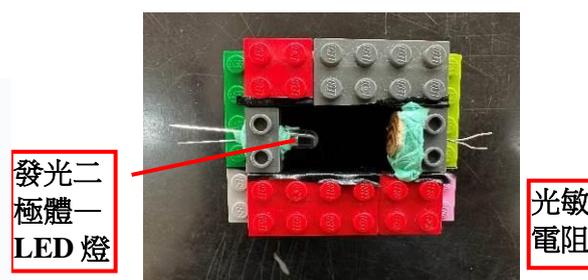
二、 研究器材及藥品

| | | | | |
|--------|-----------|----------|------|-------|
| 線香 | 紅包袋 | 金紙(二款不同) | 濾紙 | 指甲油 |
| 咖啡渣 | 油漆 | 蝦殼 | 光敏電阻 | 石英管 |
| 果皮蔬菜殘渣 | 燒杯 | 茶粉 | 廣用試紙 | 冰醋酸 |
| 黑糖 | 丙酮 | 氫氧化鈉 | 樂高積木 | 滴管 |
| 鹽酸 | 亞硫酸氫鈉 | 碳酸氫鈉 | 樣品瓶 | 電扇 |
| 晶紅酸 | 甲醛(濃度14%) | 秤量瓶 | 微量吸管 | 食物攪拌機 |

[規格說明] 本研究使用的甲醛溶液濃度為14%，遵守 SDS 安全要求，不超過15%。



圖(四)自製光度計組成及測量圖
(指導老師拍攝)



圖(五)樂高組裝光度計模型
(指導老師拍攝製作)



圖(六)自製光度計示意圖
(第一作者製作)

三、 自製光度計

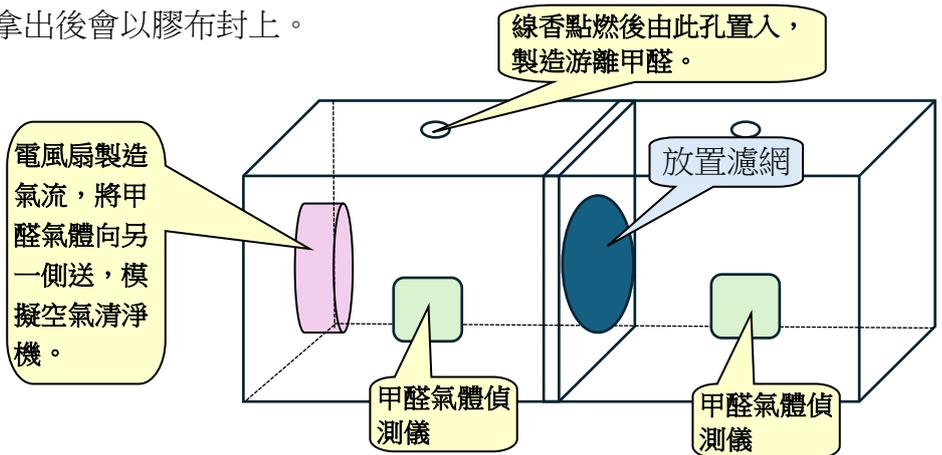
1. 樂高積木組成一立體模型，材料為上頁圖(四)所示，成品如上頁圖(五)，以黑色樂高為主或在內側貼黑色膠布以避免實驗干擾。檢查是否有不密合處，需加貼黑色膠布。
2. 立體模型的兩側分別裝入發光二極體(LED 燈)及光敏電阻，確保不會有光透出來。
3. 光敏電阻和 LED 燈分別用鱷魚夾接三用電表及直流電源。接法如上頁圖(六)示意圖。

四、 實驗用密閉箱

1. 固定空間下測試甲醛濃度；前方開口方便放儀器，外加阻擋片，實驗時密閉。而上方小孔為香置入處，線香拿出後會以膠布封上。



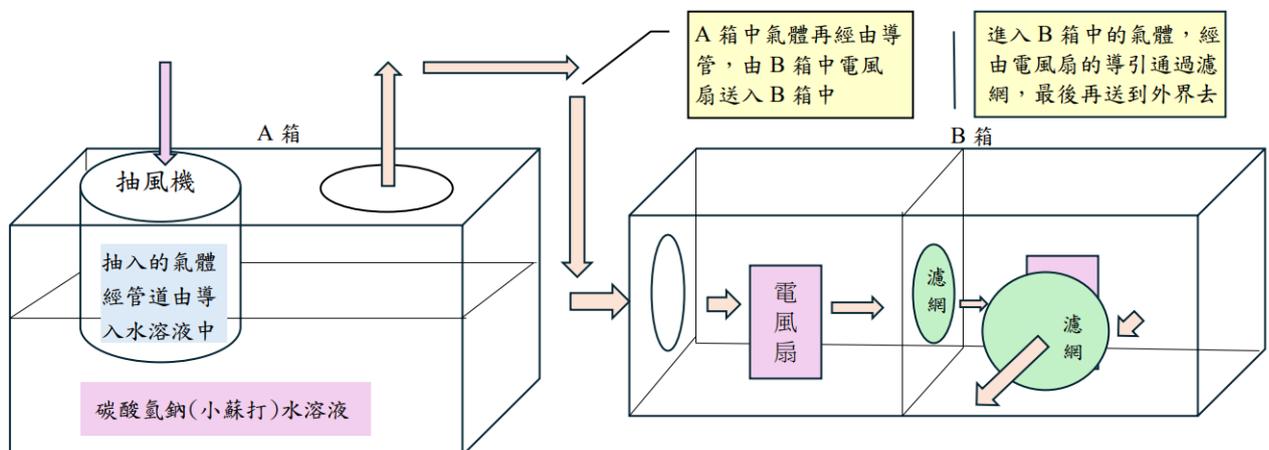
圖(七)實驗用密閉箱
(指導老師拍攝)



圖(八) 模擬箱—模擬空氣清淨機 B 箱濾網部份(指導老師製作)

五、 自製空氣濾清機

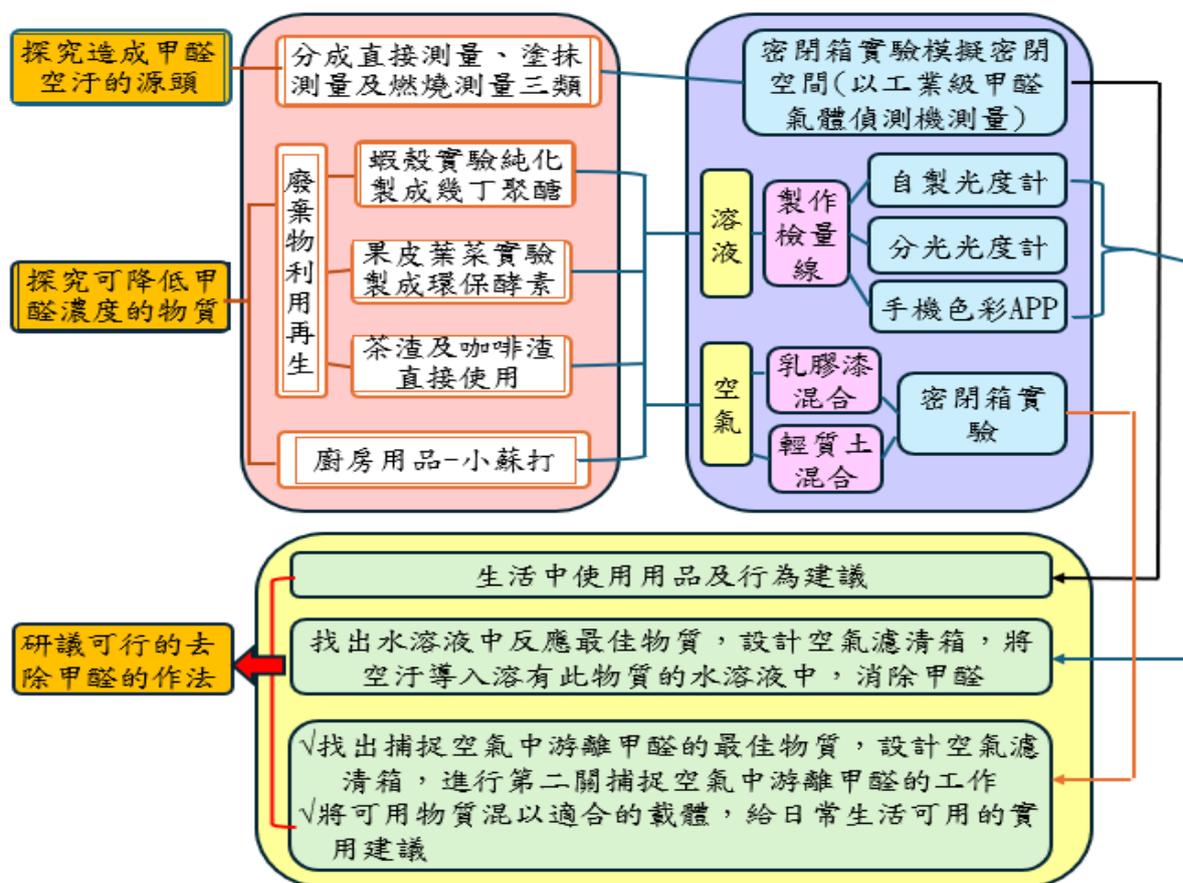
1. 當濾網功能用：圖示為（圖八），以電扇製造向右的氣流，幫助氣流流動，模擬空氣清淨機抽送風功能。在左右測各測一次游離甲醛濃度，比較濾網捕捉游離甲醛的效能。
2. 當空清機用 A 箱及 B 箱組合（圖九）：內放入溶有有效去除甲醛的水溶液，並由抽風機及風管將外界空氣引入水溶液中。另以另一風管與 B 箱連接，將 A 箱反應完後的氣體導入 B 箱中。以濾網進行第二次濾清。



圖(九) 自製空氣濾清機 繪製示意圖(指導老師繪製)

參、 研究過程或方法

一、 研究主軸及概念



圖(十) 實驗主軸概念圖(小組共同繪製)

二、 研究想法及步驟

(一) 找出造成居家空氣造成甲醛汙染的源頭

1. **實驗想法**：為了驗證找出造成空氣甲醛汙染的日常生活物品，及考量到取得方便性，經小組討論後決定項目，分如下三大類別：

(1) 直接測量類：

- A. 紅包（有市售及購物贈送二大類）共收集到八款。
- B. 市售參考書籍
- C. 桌椅（學校暑期剛換發七年級新桌椅）

(2) 塗抹測量類：

- A. 指甲油
- B. 油漆—分油性漆及水性乳膠漆二大類。

(3) 燃燒測量類：A. 線香—為香舖購買（有特製及一般版）及小北百貨購買。B. 金紙—為香舖購買。



圖(十一)實驗箱中測試甲醛濃度(指導老師拍攝)

2. **直接測量類**

- (1) 甲醛氣體偵測機在測量氣體甲醛濃度前，皆需在流通的空氣中先測背景值歸零。
- (2) 紅包及參考書一測試流程為分別將待測物品放置密閉箱中5分鐘後，以甲醛氣體偵測機測量待測物釋放的甲醛數值，步驟重複三次。
- (3) 桌椅一測試流程為隨機抽檢三間剛換新桌椅的閉密教室，將甲醛氣體偵測機置於教室中間桌子抽屜內及桌上各測量釋放的甲醛數值。

3. 塗抹測量類

- (1) 指甲油分別塗抹在5 cm×5 cm 檢測片上，將測試片放置密閉箱5分鐘後，以甲醛氣體偵測機測量物體釋放到空氣中的甲醛濃度值，之後將開口打開，每30秒測量甲醛數值，直到甲醛消散為止。步驟重複三次。
- (2) 油漆分別塗抹在12 cm×8 cm測試片，將測試片放置密閉箱5分鐘後，以甲醛氣體偵測機測量物體是否有游離甲醛釋放，過程重複三次。



圖(十二) 塗抹用檢測片(指導老師拍攝)

4. 燃燒測量類

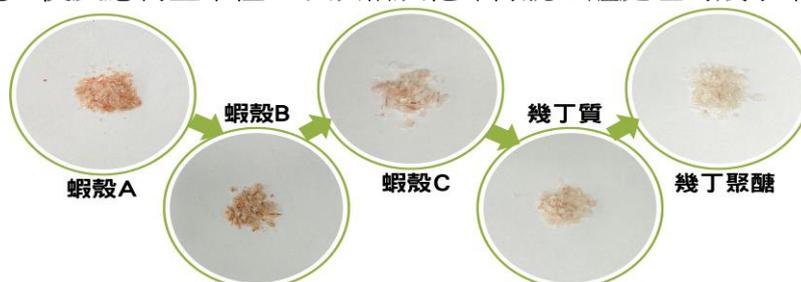
- (1) 線香分別以燃燒時當操作變因，測量在密閉箱中甲醛的濃度。
- (2) 金紙燃燒，於開放系中直接測量燃燒釋放甲醛量。

(二) 解決廢棄物問題，將蝦殼製成幾丁聚醣

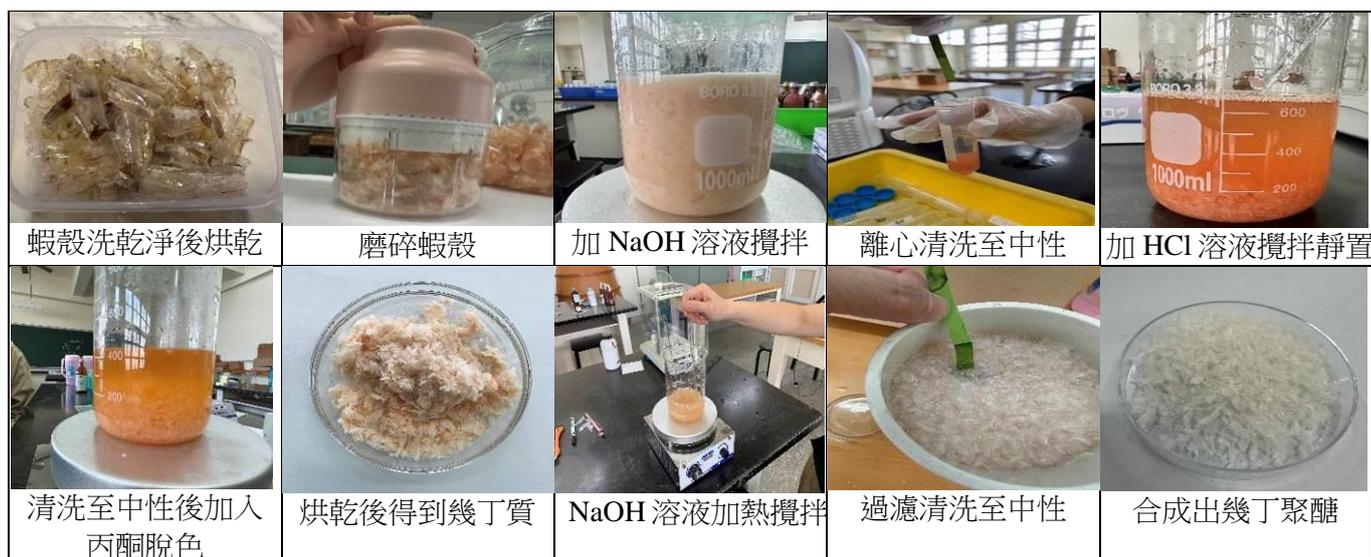
1. **實驗想法**：小組成員偶然發現一則消除甲醛的廣告，廣告中聲稱其塗料中添加了幾丁聚醣可以吸收空氣中的游離甲醛，是以想由廢棄蝦殼開始進行討論此一議題。

2. 實驗步驟：

- (3) 收集家庭丟棄之蝦殼，洗淨、烘乾，並以小型食物攪拌機磨碎，先留在一小部份，標記為蝦殼A。
- (4) 每克蝦殼加入約9毫升的 2M 鹽酸，攪拌浸泡12 小時。離心過濾取得反應後的蝦殼，經多次清洗，使蝦殼呈中性。留下小部份的蝦殼，標記為蝦殼B。
- (5) 將步驟(2)的蝦殼，以每克加入約5毫升的2.5M的NaOH溶液的比例，加熱攪拌約12小時，去除蛋白質。離心過濾取得反應後的蝦殼，經多次清洗，使蝦殼呈中性。留下小部份的蝦殼，標記為蝦殼C。其餘蝦殼進行下列步驟。
- (6) 蝦殼加入丙酮溶液去除色素，攪拌2小時後，離心過濾取得反應後的蝦殼，經多次清洗，以烘箱烘後製得幾丁質，送驗元素分析作定量分析，確定純度。
- (7) 將幾丁質以濃度40%的氫氧化鈉溶液加熱攪拌3小時，之後浸泡12小時。離心過濾，經多次清洗，使反應物呈中性。以烘箱烘乾即得脫乙酰處理的幾丁聚醣。



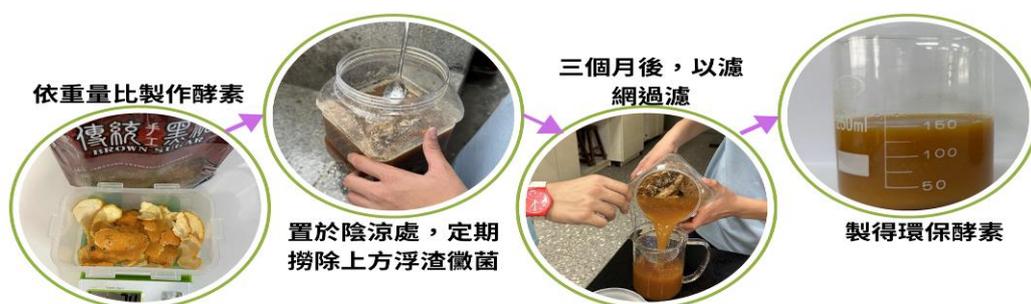
圖(十三) 蝦殼處理流程中的變化(由指導老師拍攝)



[補充說明] 上列相片皆由指導教師拍攝

(三) 解決廢棄物問題，菜葉果皮製成環保酵素

- 實驗想法**：環保酵素一直存在著神秘的色彩，引起了我們想了解其在消除甲醛上是否有效的研究動機。為了純化變因，我們將果皮菜渣分類製得四類環保酵素。
- 實驗步驟**：
 - (1)黑糖：菜渣果皮：水以比例 1 : 3 : 10混合倒入空瓶中，分別製成四類環保酵素。
 - (2)將瓶子放於陰涼處（瓶子不可轉緊，避免產生氣體使瓶子破裂），靜置三個月，製得四種種類環保酵素。在靜置過程中若上有浮黴渣，要撈除。
 - (3)三個月後，將(1)置入的果皮菜渣，以濾網過濾，取得較澄清的環保酵素



圖(十四) 環保酵素流程相片(由指導教師拍攝製作)

(四) 設計三種方法測量定量溶液中甲醛濃度且進行比較，並以這三種工具來測量計算不同物質與甲醛在溶液中的反應計量。

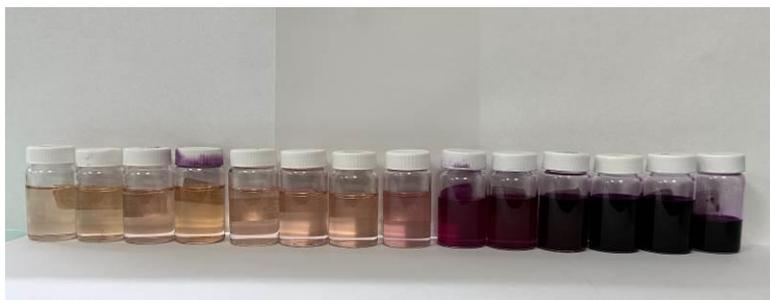
- 實驗想法**：先由溶液中了解各類物質與甲醛反應的情形來了解各類物質的效用，再進行氣相捕捉反應。

水溶液實際進行各類物質與甲醛反應效果測試前，先進行檢量線製作，以利後續進行溶液中反應的定量討論。

本實驗是在固定濃度的晶紅酸試劑(控制變因)和不同濃度的甲醛反應顯色，在此甲醛濃度為操縱變因，由於甲醛為限量試劑，故紫紅色產物生成量會因甲醛濃度大小而有固定比例關係。本研究利用反應顯色的特性，以比色法原理，使用三種工具—自製光度計、分光光度計及手機色彩App來進行檢量線製作及討論。

2. 自製光度計的實驗步驟

- (1) 以樂高積木組裝成光度計模型(詳細作法參見貳一三)。
- (2) 配置甲醛溶液1000ppm、500ppm、200ppm、100ppm、50ppm、25ppm。配置時，在通風良好及有抽氣設備實驗室進行。
- (3) 取晶紅酸 0.5 克，加入溫水 300 毫升攪拌溶解後冷卻，再秤取無水亞硫酸鈉 5 克，以水 50 毫升溶解，加入晶紅酸溶液 300 毫升，再加入濃鹽酸 5 毫升，最後加水到 500 毫升，儲存於冰箱，靜待 5 小時。
- (4) 分別取6毫升的步驟(3)中的溶液加入步驟(2)中不同濃度的甲醛溶液，靜置6小時。
- (5) 將步驟(4)中的溶液放入石英管中，以自製光度計測電阻值。
- (6) 改變光度計的LED燈種類(白光、藍光、紅光、黃光及綠光)，重複步驟(5)，找出最佳光源。
- (7) 配置甲醛溶液1000ppm、500ppm、200ppm、100ppm、50ppm、20ppm、10ppm、5ppm、2ppm、1ppm、0.5ppm、0.2ppm、0.1ppm。並重覆步驟(4)。以選定的最佳光源進行檢量線製作。(以純水+指示劑的空白組作為歸零的背景值設定)。
- (8) 將100ppm 10mL甲醛與不同反應物進行反應，組別如下，共得 24 瓶反應瓶，靜置4小時以上。
 - ① 定量甲醛溶液中分別加入四類酵素(蔬菜、橘子皮、蘋果皮及鳳梨皮)各0.02mL及 0.04 mL，得到 8 組反應瓶。
 - ② 定量甲醛溶液中分別加入茶葉渣、咖啡渣、蝦殼A、蝦殼B、蝦殼C、幾丁質及幾丁聚醣各0.02克及0.04克，得到 14 組反應瓶。
 - ③ 定量甲醛溶液中分別加入碳酸氫鈉各0.00126克(即 1.5×10^{-5} 莫耳)及0.00252克(即 3×10^{-5} 莫耳)，得到 2 組反應瓶。
- (9) 分別取6毫升的步驟(3)中的溶液加入步驟(7)中 24 瓶反應瓶，靜置4小時。
- (10) 將步驟(8)中的溶液放入石英管中，以自製光度計測電阻值。
- (11) 配合檢量線推估反應狀況。



圖(十五)不同濃度的甲醛溶液與晶紅酸反應呈色情形(由第二作者拍攝)



圖(十六)自製光度計實作 (由指導老師拍攝)

3. 分光光度計的實驗步驟

- (1) 作法同自製光度計配製溶液方法，配製不同濃度的甲醛溶液，進行分光光度計的檢量線製作。(以純水+指示劑的空白組作為歸零的背景值設定)。
- (2) 將100ppm定量10mL甲醛與不同反應物進行反應，共得24瓶反應瓶，組別分法同自

製光度計作法。

(3)將步驟(2)的溶液以分光光度計測吸收度，配合檢量線推估反應狀況。



圖(十七) 分光光度計的測量流程圖(由指導老師拍攝製作)

4. 搭配手機色彩App的實驗步驟

(1)作法同自製光度計配製溶液方法，配製不同濃度的甲醛溶液及與晶紅酸指示劑進行顯色反應。

(2)手機預先安裝好ColorPicker APP，將步驟(1)的溶液取固定毫升數加入培養皿中，培養皿放於透光板，手機擺放固定位置，讀取溶液的RGB色碼值。將色碼值代入歐式距離公式：

$$\Delta_{\text{RGB}} = \sqrt{(R_2 - R_1)^2 + (G_2 - G_1)^2 + (B_2 - B_1)^2}$$

(其中 R_1 、 G_1 、 B_1 為蒸餾水+指示劑的RGB值；而 R_2 、 G_2 、 B_2 為測量溶液的RGB值)。將此數值與甲醛濃度的數值製作檢量線。

(3)將100ppm定量10mL甲醛與不同反應物進行反應，共得24瓶反應瓶，組別分法同自製光度計作法。

(4) 將步驟(3)的溶液以手機測量RGB值，以色碼推估反應狀況。



圖(十八) 使用手機色彩APP讀取RGB值(由指導老師拍攝)

(五) 測量物質在密閉箱中捕捉游離甲醛的能力研究。

1. **實驗想法**：以溶液中可與甲醛反應的物質來進行在空氣中捕捉游離甲醛的研究。搭配不同的載體，進行捕捉空氣中游離甲醛的能力測試。

2. 密閉箱中捕捉(吸附)游離甲醛實驗的實驗步驟

A. 輕質土

(1) 在25cmx25cmx25cm的封閉箱中置入空氣甲醛偵測機及20克壓扁的輕質土，測量箱底中甲醛濃度。(空白實驗，對照組)

(2) 以香燃燒固定30秒鐘製造封閉箱中的甲醛污染，測量箱中甲醛濃度(起始值)。

(3) 將幾丁聚醣、環保酵素、咖啡渣、茶粉及碳酸氫鈉，分別與輕質土以1克(或毫升)：20克輕質土的比例混合壓扁成直徑10公分的圓形後，放入步驟(2)的閉密箱中，隔48小時記錄一次箱中的甲醛濃度。

(4) 計算消除率 = ((起始值 - 測量值) / 起始值) × 100% 及分析結果。

B. 乳膠漆載體

- (1) 將幾丁聚醣、環保酵素、咖啡渣、茶粉及碳酸氫鈉，分別與乳膠漆以1克(或毫升)對上50毫升乳膠漆的比例混合後靜置半小時後，將乳膠漆塗在二片測試片上。
- (2) 測試片待乾過程中測量甲醛值，直到混合後的乳膠漆測試片測不出甲醛值。
- (3) 以線香燃燒固定30秒鐘製造封閉箱中的甲醛污染，測量箱氣態甲醛的起始濃度。(起始值)
- (4) 將步驟(2)的測試片上，放入(3)的封閉箱中，放置2天，測量箱中的濃度(測量值)。
- (5) 計算消除率% = ((起始值 - 測量值) / 起始值) × 100%



(A) 不同物質以1:20與輕質土混合



(B) 輕質土混合物質後置入閉密箱測量



(C) 乳膠漆混合塗抹後置入閉密箱測量

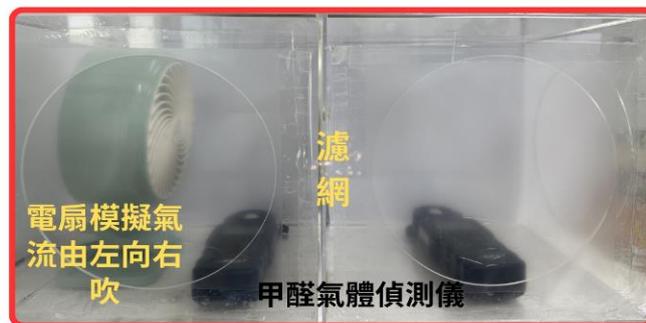
圖(十九) 密閉箱捕捉甲醛實驗(指導老師拍攝)

(六) 設計可用濾網，討論實用能力

1. **實驗想法**：以(五)研究對捕捉游離甲醛能力較佳的物質，來作為空氣濾清箱濾網的材料選擇。



不同的濾網處理方式
左為濾紙模擬濾網
右為鐵絲篩網模擬濾網



模擬簡易空氣清淨內部及密閉箱環境
測試甲醛空汙在通過濾網前後的數值變化

圖(二十) 濾網模擬方式及測試濾網功能裝置(指導教師拍攝)

2. 實驗步驟一濾網上鋪幾丁聚醣凝膠

- (1) 幾丁聚醣加入冰醋酸及水(混合比例克數為3:1:100)，混合形成幾丁聚醣凝膠，將製得的幾丁聚醣凝膠等分四等份，均勻分在濾紙及細孔目鐵絲濾網上。
- (2) 實驗箱設計如圖(十六)(B)所示，濾網以細孔目鐵絲網(圖(十六)(A))或濾紙使用。
- (3) 以香燃燒固定30秒鐘製造封閉箱中的甲醛污染，打開箱內電扇，使氣流流動，待20分鐘後，使空氣混合均勻。

(4) 測量箱中甲醛在通過濾網前及通過濾網後的甲醛濃度值。

(5) 計算消除率% = ((通過濾網前濃度 - 通過濾網後濃度) / 通過濾網前濃度) × 100%

3. 實驗步驟—濾網上滴酵素

(1) 以酵素滴在濾紙上，將濾紙貼附在濾網。

(2) 以香燃燒固定30秒鐘製造封閉箱中的甲醛汙染，打開箱內電扇，使氣流流動，待5分鐘後，使空氣混合均勻。

(3) 測量箱中甲醛在通過濾網前及通過濾網後的甲醛濃度值。

(4) 計算消除率% = ((通過濾網前濃度 - 通過濾網後濃度) / 通過濾網前濃度) × 100%

(七) 設計空氣清淨機

1. 實驗想法：將實驗結果想法實踐，試完成簡易空氣清淨機。

2. 實驗步驟

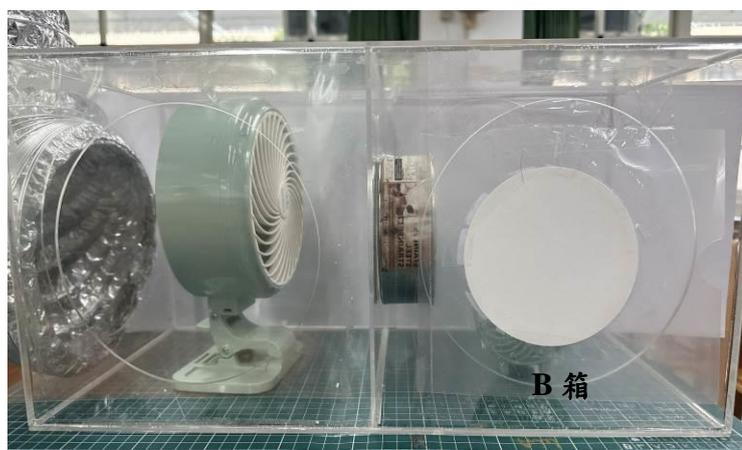
(1) 將水溶液消除甲醛實驗中最有效的物質配成水溶液，置入自製空氣清淨機的 A 箱。

(2) 配置幾丁聚醣凝膠，均勻舖在自製濾網上，裝置於 B 箱中。

(3) 選擇空教室，進行實驗，實驗前，先在室內焚香，以使甲醛濃度超標，記錄起始值。

(4) 對照組：教室不放清淨機，關閉門窗後，靜置2小時後測量甲醛數值變化。

(5) 實驗組：關閉門窗後，記錄起始值後，打開自製的簡易空氣清淨機運作2小時後，再測量甲醛值變化。



圖(二十一) 實際操作下的 A 箱及 B 箱實體(指導老師拍攝)

肆、 研究結果與討論

一、 找出造成居家空氣造成甲醛污染的源頭

(一) 直接測量類

1. 紅包測量結果

表(一) 不同種類紅包所測得釋放(游離)甲醛濃度表

| | 紅包 A | 紅包 B | 紅包 C | 紅包 D | 紅包 E | 紅包 F | 紅包 G | 紅包 H |
|------------------|---|---|---|---|--|---|---|---|
| 外表 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 三次測量 平均值(ppm) | 0 | 0 | 0.02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

2. 測驗卷、講義及課桌椅測量結果

表(二) 不同種類講義、測驗卷及新課桌椅所測得釋放(游離)甲醛濃度表

| | 講義或測驗卷 | | | 教室新課桌椅 | | |
|--------------|--------|------|------|--------|------|------|
| | 測驗卷 | 講義 A | 講義 B | 教室 A | 教室 B | 教室 C |
| 三次測量平均值(ppm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

(二) 塗抹測量類

表(三) 不同品牌指甲油及水性漆、油性漆所測得釋放(游離)甲醛濃度及揮散消失所需時間表

| 類別 | 指甲油類 | | | | | | | | | | 漆類 | |
|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|
| | pa | M.N.B.B | Ducato | MEKO | MEKO | MEKO | Nail | e-nail 水指甲 | e-nail 水指甲 | e-nail 定色成膜 | 乳膠漆 | 油性漆 |
| 相片 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 測量三次 平均濃度 ppm | 4.01* | 3.86 | 4.03* | 4.03* | 4.03* | 4.03* | 4.03* | 0 | 0 | 4.12* | 0.67 | 4.41* |
| 甲醛濃度到 零的秒數 | 450 | 570 | 960 | 450 | 510 | 510 | 480 | 0 | 0 | 510 | 1230 | >3300 |

註：測量值已達機器測量的上限，即 $> 4 \text{ ppm}$ 。

結果討論

1. 由表(一)的結果發現市面上多數的紅包袋，無論是廠商贈送或自外面購得，大都是甲醛零檢出。本研究中唯一一個有測出甲醛的紅包的材質為書面紙的特殊造型紅包，但由於數值為0.02ppm 屬於安全的範圍內，是以我們可以說**市面上的紅包袋大多為安全的**。
2. 由表(二) 的結果發現隨機驗市面上測驗卷及參考書，都是甲醛零檢出。而教室新換的課桌椅，經過隨機抽檢結果，也是零檢出。是以我們可判斷**市面上的參考書及學校新換的課桌椅，多數是安全的**。此部份歸功於政府相關部門稽查單位的用心及法規周全，使木材的甲醛標示及核實工作已日趨完善。
3. 由表(三) 的結果發現市售的指甲油，只要不是水溶性的，可形成非水溶性膜的指甲油，不管顏色為何，有無添加亮粉，是否強調快乾或護甲等功能，皆可檢測出甲醛，且甲醛測量值已達機器測量的上限(上限為 4 ppm)！且在等待甲醛氣體自然消散到零的時間高達8分鐘甚至更久！是以若要塗抹指甲油，建議選擇水溶性指甲油。若要塗抹非水溶性的指甲油，要注意通風狀況。
4. 由於政府已公告禁止直接使用甲醛，小組經討論後及查詢相關資料(鄭淑晶,2020)^[9]，我們覺得**甲醛的來源，應和甲醛供體防腐劑（又稱甲醛釋放防腐劑，為一緩慢釋放甲醛的化合物）及甲醛樹脂有關**(賴國誌,2015)^[10]！然而小組查核指甲油的標示成份，如圖(二十二)所示，竟然找不到甲醛樹脂及甲醛釋放防腐劑的成份標示！我們查詢政府法規，其法規規定甲醛樹脂其最終製品之使用含量不得超過25%^[11]。而化粧品中使用甲醛釋放防腐等成分作為防腐劑時，其總釋出游離甲醛量，不得超過1000 ppm^[12]。推測應該是成份含量沒有超出容許範圍，故選擇不標示出來之緣故。
5. 在表(三)中**零檢出的指甲油，為兒童用水溶性指甲油**，可用溫水直接卸除。推測此款兒童用水溶性指甲油中應該沒有添加甲醛樹脂等使指甲油成膜良好的化學成份，因為其使用起來成膜效果差，易脆且容易脫落。然而，若想要改善此款指甲油的成膜定色性，使成膜狀況變好而購買同品牌的定色指甲油，則發現檢驗出的游離甲醛濃度並不低於市售非水性的成人指甲油。由此可知，使**指甲油成膜良好的成份應該會緩慢釋出游離甲醛**。
6. 比較表(三)中水性乳膠漆及油性漆發現，**油性漆所釋放出的游離甲醛量為水性漆的七倍**，其甲醛揮散至零所花費的時間為水性乳膠漆的三倍以上。油性漆成膜效果好且溶劑為非水溶劑，我們覺得油性漆其釋出游離甲醛量遠大於水性乳膠漆的原因，應該和市售指甲油釋出游離甲醛量遠大於水性指甲油的成因相似。



圖(二十二)指甲油成份(指導老師拍攝)

(三) 燃燒測量類

表(四) 不同廠牌的線香所測得釋放(游離)甲醛濃度及揮散消失所需時間表

| | 特製一 | 特製二 | A 牌 | B 牌 | C 牌 |
|---------------------|---|---|--|---|---|
| 相片 |  |  |  |  |  |
| 未燃燒前在密閉箱中濃度(ppm) | 0.43 | 0.44 | 0.54 | 0.58 | 0.61 |
| 密閉箱中燃燒 30 秒後甲醛濃度 | 3.28 | 3.20 | 3.48 | 3.57 | 3.68 |
| 打開密閉箱後甲醛完全消散時間(秒) * | 690 | 323 | 1080 | 870 | 960 |

*：此實驗在室外，進行”特製二”的開箱測量當下，室外風強。

註：相片部份由指導老師拍攝

表(五) 相同廠牌的線香燃燒不同時間所測得釋放(游離)甲醛濃度及揮散消失所需時間表

| 燃燒秒數 | 10 秒 | 30 秒 | 60 秒 | 180 秒 |
|-------------------|------|------|------|-------|
| 密閉箱中燃燒後甲醛濃度(ppm) | 3.29 | 3.28 | 3.60 | 3.61 |
| 打開密閉箱後甲醛完全消散時間(秒) | 630 | 630 | 1240 | >1410 |

表(六) 不同廠牌的香拆解不同部位所測得釋放(游離)甲醛濃度(ppm)

| 品項 次數 | 特製一 | | | A 香 | | | B 香 | | |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 線香 | 香腳(木) | 香粉 | 線香 | 香腳(木) | 香粉 | 線香 | 香腳(木) | 香粉 |
| 三次平均值 ppm | 3.28±0.01 | 3.13±0.01 | 3.75±0.11 | 3.48±0.07 | 3.52±0.16 | 3.42±0.04 | 3.57±0.04 | 3.08±0.15 | 3.97±0.08 |

註：香粉為線香上方的粉，固定0.1克燃燒。香腳(木)為刮完粉的枝條。燃燒時間皆固定30秒。

表(七) 開放環境下燃燒不同物質所釋放的甲醛濃度表(ppm)

| | 餐巾紙 | 半張 A4 紙 | 金紙 A | 金紙 B |
|--------------|-----------|------------|------------|-----------|
| 釋放甲醛平均值(ppm) | 3.97±0.01 | 4.06±0.11* | 3.99±0.09* | 4.24±0.1* |

註：測量值已達機器測量的上限

結果討論

1. 表(四)資料發現，不管是自己找香舖特製的線香或是市面上買來的線香，在未開始燃燒使用前，線香本身都被檢測出來有游離甲醛釋放。然而由 CNS 15047 「香品」國家標準規定為：游離甲醛含量需在0.3 mg/L(0.3ppm) 以下，由此發現本研究由市面上收集而來的線香皆不符合其標準，此結果應建議政府加強稽查此部份。
2. 線香未燃燒前的甲醛來源，我們推測是因為線香的組成是由香腳(木)、粘粉及香粉組成，然而香粉售價不斐，但是我們研究買來的線香價格卻落在10元~50元(品牌 A、B、C)，所以推測廠商應該會為了節省成本，故使用添加物來使香味持久或產生人工香味，再加上氣候因素為了防腐避霉，而加入甲醛釋放防腐劑，以上二個原因應該是線香本身在未使用前就被檢測出有游離甲醛釋放出來的原因。

3. 表(四)中研究發現，不管線香來源為何，價格高低，我們發現線香燃燒都會產生游離甲醛。而特製線香釋放游離甲醛略小於一般買來的線香，差異部份推測應和香粉有關。
4. 實驗模擬室內開窗通風模式，發現即使只有燃燒30秒，都要花上10分鐘以上時間通風，甲醛才能消散。結合表(五)的不同燃燒時間測試，發現當燃燒時間達到1分鐘以上時，在密閉環境下，空氣中的甲醛濃度趨向飽和，因此會有液態甲醛析出附著在密閉箱的內壁上，所以待甲醛完全逸散所需的時間就愈長。然本實驗只是燃燒短短3分鐘，開窗消散的時間就長達20分鐘以上！一般家庭的祭祀習慣都是將一柱香燒完，在家中門窗無法長時間開啟的情況下，為了身體健康及空氣品質著想，祭祀減香有其實踐的必要。
5. 進一步分析線香燃燒產生甲醛的來源是香木還是香粉，我們線香拆解，分別進行燃燒實驗。由表(六)結果看出，香粉及香木在燃燒時都有甲醛產生，而**香粉對線香產生游離甲醛的濃度多寡影響比較大**。
6. 再進一步了解金紙燃燒是否也會產生甲醛，實驗發現，燃燒也會產生大量的甲醛氣體！然而，只有金紙及線香燃燒後會產生甲醛還是紙類（木漿製成）燃燒都有可能產生？！結論是，**木頭類製成的產物其燃燒的氣體中皆含有甲醛**！查資料後發現甲醛是在甲烷以及其它碳化合物氧化（或燃燒）的中間體^[3]。由原子說的概念來推，此論點應該成立。

二、幾丁聚醣與環保酵素的合成

(一) 幾丁質的元素分析結果(送驗單位-中興大學學研發處貴重儀器使用中心)

表(八)實驗純化的幾丁質元素分析結果

| 次數 | 總重(mg) | N% | C% | H% | N/C | N/C 理論值 ^[7] |
|-----|--------|------|-------|------|-------|------------------------|
| 1 | 4.547 | 6.19 | 42.19 | 6.63 | 0.147 | 0.146 |
| 2 | 4.683 | 6.22 | 42.13 | 6.61 | 0.148 | |
| 平均值 | 4.615 | 6.20 | 42.16 | 6.62 | 0.147 | |

(二) 環保酵素

表(九)四種酵素外觀及 pH 值表

| | 蔬菜環保酵素 | 鳳梨皮環保酵素 | 蘋果皮環保酵素 | 橘子皮環保酵素 |
|-------|--------|----------------|-------------|---------|
| 觀察及特性 | 淡淡的酸味 | 淡淡酸味且顏色慢慢轉為黑褐色 | 淡淡酸味中含有蘋果香味 | 淡淡酸味 |
| pH 值 | 3.50 | 4.84 | 3.36 | 3.52 |

結果討論

1. 由表(八)的結果得知，本研究成功的將蝦殼純化出幾丁質，且由**元素分析的結果**，發現**純度頗高**。確認幾丁質純度後，我們也成功製成幾丁聚醣。
2. 由表(九)的結果得知，本研究成功的合成出四類環保酵素，不過在保存過程中，發現鳳梨環保酵素有**逐漸轉黑褐色的現象**，表示鳳梨酵素保存較不易。而四類環保酵素都偏酸，其中又以蘋果酵素的 pH 值最低。

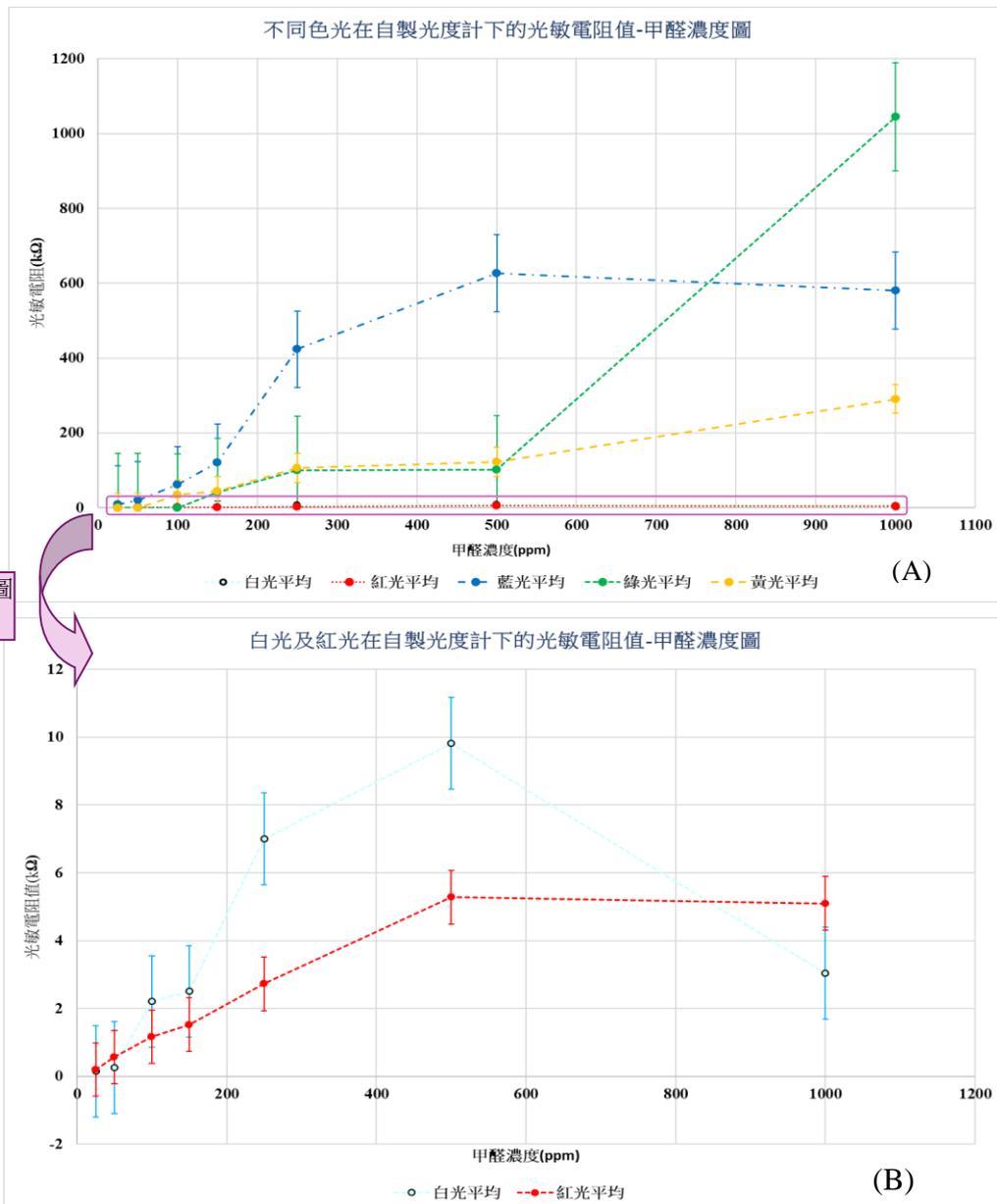
三、不同方法測量及製作甲醛濃度檢量線

(一) 自製光度計以不同光源，測得不同濃度的電阻值，以標準差分析穩定度及繪製檢量線

表(十) 自製光度計在不同光源下對應甲醛濃度的原始電阻值

| 甲醛濃度(ppm) | 背景值 | 25 | 50 | 100 | 150 | 250 | 500 | 1000 | |
|-----------|----------|---------------|--------------|---------------|-------------|--------------|---------------|---------------|-----------------|
| 白光 | 光敏電阻值 kΩ | 0.207±0.071 | 0.357±0.008 | 0.472±0.033 | 2.467±0.050 | 2.720±0.008 | 7.217±0.201 | 10.033±0.120 | 3.180±0.079 |
| | 光敏電阻值 kΩ | 0.655±0.006 | 0.862±0.010 | 1.239±0.016 | 1.826±0.098 | 2.187±0.005 | 3.387±0.029 | 5.970±0.083 | 5.860±0.086 |
| 紅光 | 光敏電阻值 kΩ | 2.250±0.043 | 10.897±0.135 | 23.133±0.287 | 63.30±0.51 | 123.53±1.066 | 425.67±4.922 | 629.00±25.729 | 582.33±61.646 |
| | 光敏電阻值 kΩ | 0.402±0.011 | 0.417±0.002 | 0.342±0.010 | 0.280±0.055 | 40.83±3.679 | 99.97±15.922 | 102.17±40.404 | 1045.33±254.821 |
| 藍光 | 光敏電阻值 kΩ | 0.002±0.00008 | 0.004±0.0005 | 0.004±0.00026 | 35.27±0.368 | 44.37±1.482 | 106.20±21.159 | 122.37±17.037 | 290.67±2.494 |
| | 光敏電阻值 kΩ | | | | | | | | |

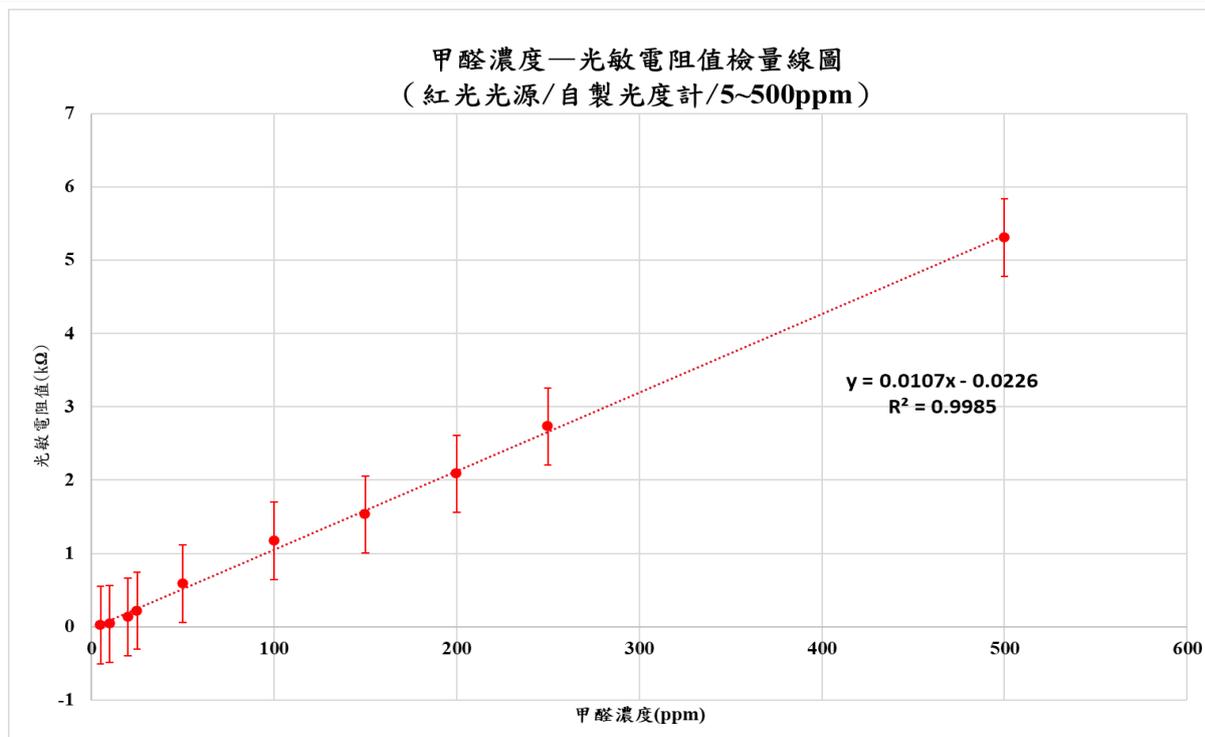
註：背景值為蒸餾水+指示劑所測得的電阻值



圖(二十三)不同色光在自製光度計下的光敏電阻值-甲醛濃度作圖(作者群製作)

表(十一) 自製光度計在紅光光源下對應甲醛濃度的電阻值(已扣去背景值)

| 甲醛濃度 ppm | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 500 | 1000 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 平均電阻值 kΩ | 0.317 | 0.270 | 0.226 | 0.110 | 0.024 | 0.038 | 0.132 | 0.217 | 0.584 | 1.172 | 1.532 | 2.086 | 2.732 | 5.309 | 5.205 |
| ± kΩ | 0.005 | 0.005 | 0.027 | 0.007 | 0.007 | 0.011 | 0.004 | 0.004 | 0.01 | 0.098 | 0.005 | 0.09 | 0.029 | 0.068 | 0.086 |



圖(二十四) 紅光光源下自製光度計的甲醛濃度—電阻值檢量線(小組製作)

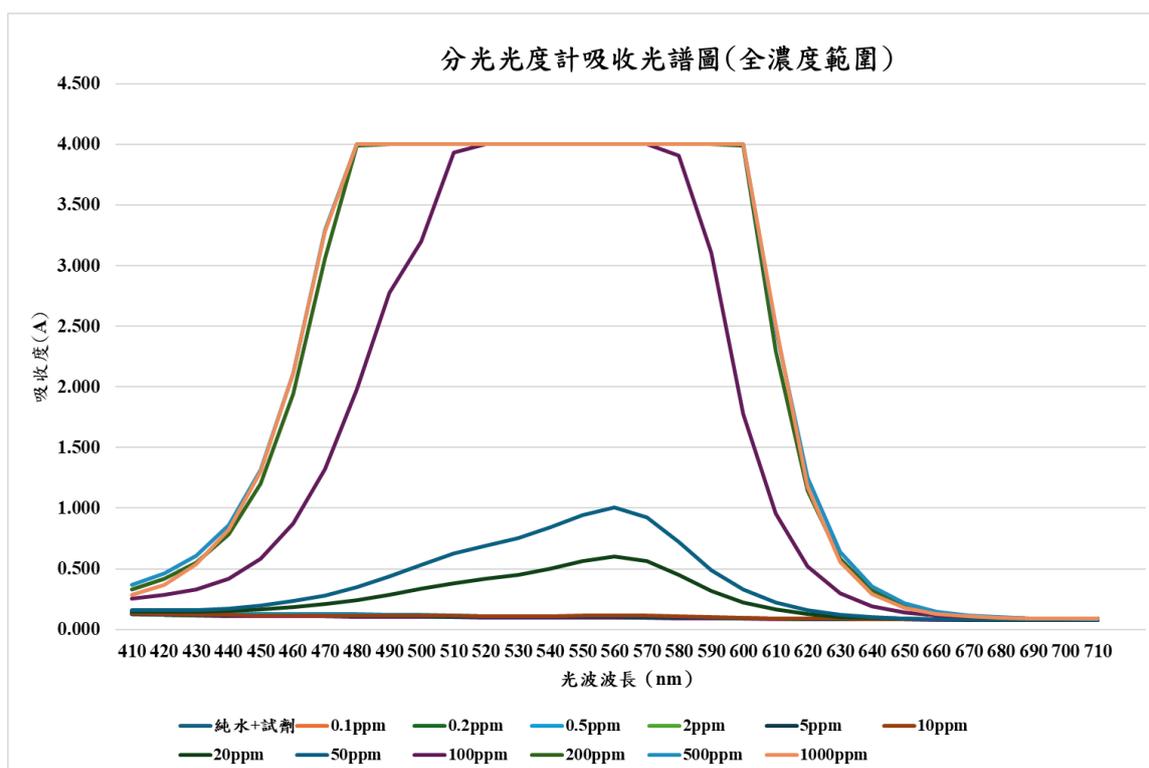
結果討論

1. 表(十)是利用定量的晶紅酸試劑和不同濃度的甲醛顯色反應，在此甲醛為限量試劑，故溶液顏色深淺變化會與甲醛濃度成正相關關係，而顏色深淺會影響光敏電阻因感受到的光強度不同而影響測得的電阻大小，光強度大則電阻值小。
2. 表(十)可看出在相同濃度下的溶液，因色光不同，比色計的光敏電阻所測得的電阻數值大小也不同，就穩定度及數據再現性來看，以標準差作為輔助判斷，穩定度大小為：紅光>白光>黃光、藍光>綠光。
3. 影響色光的差異原因，除了因為溶液本身為紫紅色系，再加上紅光為長波長光，穿透力較高，且光敏電阻本身對於長波長的光感受也較靈敏，於上種種原因，故在紅光下數值穩定度最好。藍光屬於較短波長光，在濃度達到500ppm時，誤差值大，在低濃度時，表現較穩定。本實驗所用的黃光偏橘紅色，故和紅光為同色系光，穩定度尚可，不過在測量背景值、25ppm及50ppm時，電阻值已達光敏電阻的下限10Ω，列為無效值，是以

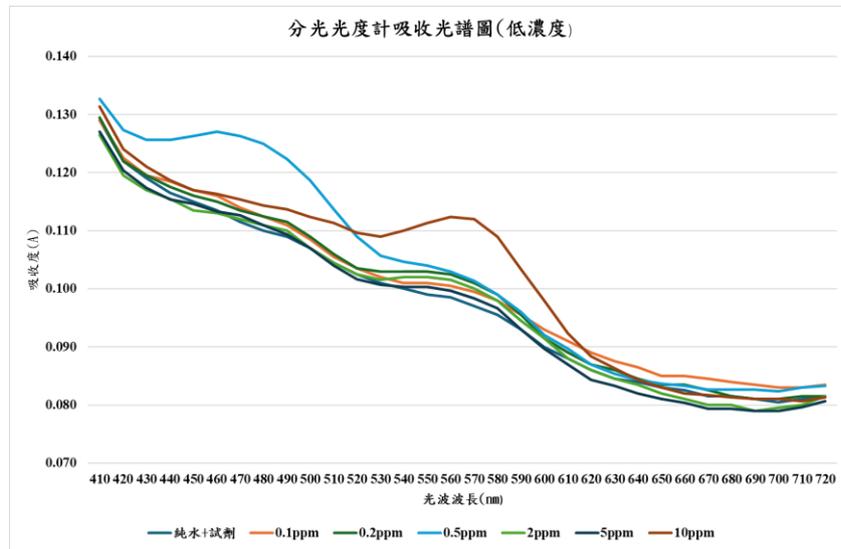
可作為檢量範圍十分窄。翰林自然課本中有介紹白色 LED 大多都是以藍光與其補色之黃色螢光體得到白光^[13]，屬混色光故穩定度較佳。綠光和實驗溶液屬不同色系，故穩定度最差。

4. 本研究採用的光敏電阻為11mm 規格，電阻在高電阻範圍為10Ω~20kΩ，在暗電阻最大測量值為2MΩ。在藍光光源下，濃度到50ppm 以上，就屬於透光度較不佳的情況了。此可與分光光度計測量的結果(圖二十五)可得到雙重驗證。
5. 由所繪成的圖(二十三)發現，在白光、紅光、藍光及綠光的光源下，當甲醛濃度達到500ppm 時，走勢會有轉折或不成正相關的變化，是以在自製光度計測量時，濃度以不超過500ppm，會有較佳的線性關係。
6. 以穩定度及檢測範圍雙重考量下，小組決定以紅光作為自製光度計檢量的光源。
7. 為求較詳實的檢量範圍，小組甲醛濃度更詳細配置測量，結果如表(十一)所示。由表中發現，在紅光光源下，當濃度在5ppm 以下時，光敏電阻值不減反升，此結果在我們交叉比對分光光度計的吸收度圖譜時，也得到相似的結果。總結：在紅光光源下，甲醛溶液適合檢量的濃度範圍為5ppm~500ppm。
8. 圖(二十四)的檢量線，得到 R^2 值為0.9985，總結：自製光度計可作為良好的溶液濃度檢量工具。

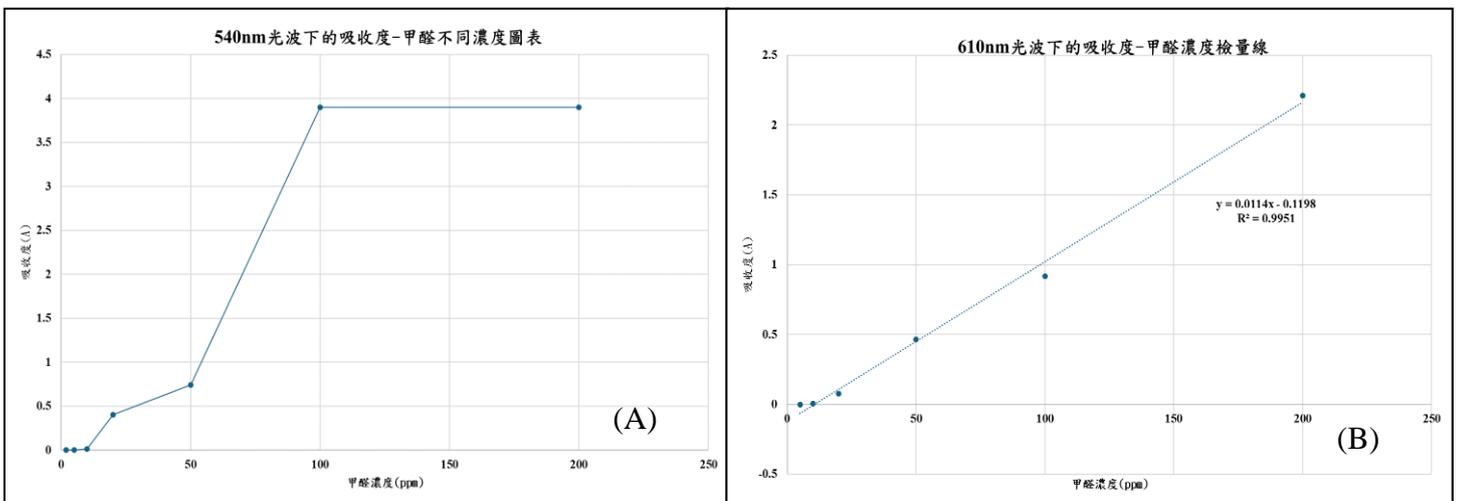
(二) 分光光度計在不同波長下，測得不同濃度反應下的吸光度，並繪製檢量線



圖(二十五) 不同濃度甲醛的吸收光譜(小組共同製作)



圖(二十六) 低濃度甲醛的吸收光譜(小組共同製作)



圖(二十七) (A)540nm 光波下的吸收度圖(B)610nm 光波下的甲醛濃度-吸收度檢量線(小組共同製作)

結果討論

1. 由圖(二十五)的分光光度計的吸收圖譜發現，主吸收峰在560nm 附近，但是因為吸收度已超過機器上限，若選取540nm 作檢量判斷，發現有圖譜在不同濃度範圍有二種不同線性關係(圖二十七-(A))，此部份值得我們日後再進行更精密細緻的濃度配製測量，以得到較精確的檢量分析。
2. 配合自製光度計的紅光及分光光度計的圖譜分析，小組最後採用610nm 當作固定波長作檢量分析，由圖(二十七)-(B)可看出在610nm 紅光光源下，範圍5ppm~200ppm， R^2 值為0.9951，在誤差範圍內。且由圖(二十六)可看出在濃度小於5ppm 時，吸收峰有改變的狀況，是以範圍下限只取到5ppm，此結果也可和自製光度計的結果相呼應。
3. 對應自製光度計的測量結果(見圖(二十四))，發現與分光光度計的結果十分吻合。總結：自製光度計降低了儀器的成本及增加實用普遍性，可用來於中小學科學實驗去取代昂貴的分光光度計。分光光度計可得到較整體詳細的吸收峰圖譜，可作為深入研究工具。

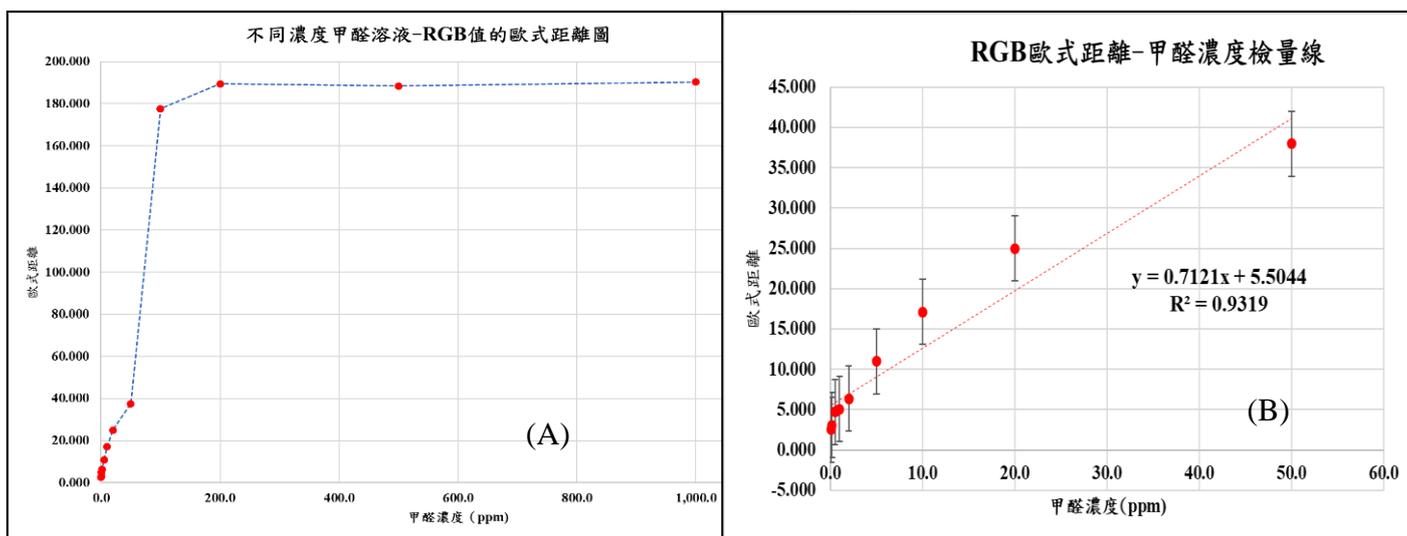
(三) 使用手機色彩 APP 分析色碼值，測得不同濃度反應的色碼值分析，並繪製檢量線

表(十二) 手機色彩 APP 測得不同濃度的色碼值計算歐式距離對應表

| ppm | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 |
|------|-----|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 歐氏距離 | 2.5 | 3.082 | 4.717 | 5.050 | 6.364 | 10.977 | 17.095 | 24.985 | 38.000 | 177.627 | 189.408 | 188.412 | 190.343 |

註：歐式距離公式 $\Delta_{RGB} = \sqrt{(R_2 - R_1)^2 + (G_2 - G_1)^2 + (B_2 - B_1)^2}$

其中 R_1 、 G_1 、 B_1 為蒸餾水+指示劑的 RGB 值；而 R_2 、 G_2 、 B_2 為測量溶液的 RGB 值。



圖(二十八)(A)甲醛濃度-歐式距離 關係圖 (B)歐式距離-甲醛濃度 檢量線 (小組共同製作)

結果討論

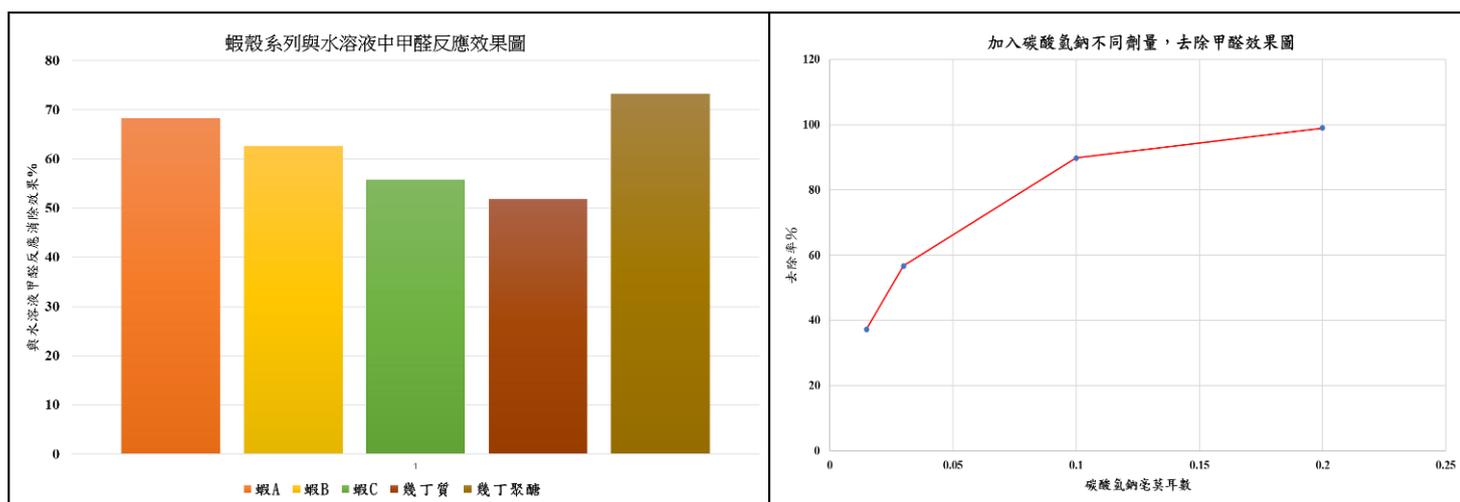
1. 研究與生活中的手機做結合，利用手機 APP (ColorPicker APP) 來測量溶液的 RGB 色碼值。因色碼個別狀況看不出明顯差異，故我們將色碼值以歐式距離公式 $[(R_2 - R_1)^2 + (G_2 - G_1)^2 + (B_2 - B_1)^2]^{0.5}$ 來進行計計算。此公式設計為把顏色差異以距離表示，差異愈大，距離愈大，濃度差愈大(即濃度愈大)。計算得到濃度對應歐式距離值如表(十二)所示，詳細作圖為圖(二十八)-(A)，其走勢與自製光度計及分光光度計都有相似的結果。
2. 由結果發現，當甲醛溶液濃度到200ppm 以上後，距離與濃度看不出明顯差異性，此結果和自製光度計及分光光度計亦同。未來可將濃度再進一步細分，可得到更詳細的對應範圍表。
3. 取50ppm~0.1ppm 作檢量線，由圖(二十八)-(B)看出， R^2 值在0.9319。是以我們可以說，手機色彩 APP 比較適合作為初步濃度探測的工具使用，且可用歐式距離定出濃度區間，類似試紙的顏色辨試，可初步確定大致的濃度範圍，且若要進一步精算，可將濃度再精密詳細配置，或再配合分光光度計或自製光度計共同使用。

四、 溶液進行一清除甲醛物質檢測

表(十三) 不同物質與甲醛溶液反應，以儀器偵測反應情況一覽表

| 使用的工具 | | | 手機色彩 APP (color picker) | | 自製光度計 | | 分光光度計 (610nm) | | 綜合三項 的總結或 平均值 | 加入此類 物質的觀 察狀況 |
|----------|------------|--------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------|------------|---------------------------------|-----------|-----------------------------|--|
| 品項 | | | 歐式距離 *100ppm 標準液的 數值為 177 | 是否有反 應 | 檢量線 公式計 算反應 後濃度 ppm | 消除比 率% | 檢量線 公式計 算反應 後濃度 ppm | 消除比 率% | | |
| 酵素類 | 鳳梨 酵素 | 0.02ml | 174.28 | 無法準確 判斷 | 176.4 | 無法準 確判斷 | 51.95 | 48.0% | 蘋果酵素 確定有反 應，其餘 不確定 | 黃褐色混 入溶液 中，且溶 液微混濁 |
| | | 0.04ml | 179.76 | | 174.5 | | 50.00 | 50.0% | | |
| | 蔬菜 酵素 | 0.02ml | 220.98 | | 184.8 | | 50.57 | 49.4% | | |
| | | 0.04ml | 223.18 | | 132.0 | | 50.34 | 49.7% | | |
| | 橘子 酵素 | 0.02ml | 224.86 | | 182.0 | | 50.95 | 49.1% | | |
| | | 0.04ml | 226.24 | | 198.4 | | 46.16 | 53.8% | | |
| | 蘋果 酵素 | 0.02ml | 184.56 | | 144.6 | | 51.45 | 48.6% | | |
| | | 0.04ml | 172.49 | | 101.2 | | 47.78 | 52.2% | | |
| 渣渣類 | 茶葉 渣 | 0.02g | 170.39 | 無法準確 判斷 | 49.4 | 50.6% | 39.70 | 60.3% | 55.5% | 出現微沉 澱 |
| | | 0.04g | 190.90 | | 59.4 | 40.65% | 26.65 | 73.4% | 57.0% | |
| | 咖啡 渣 | 0.02g | 180.08 | | 109.6 | 無法準 確判斷 | 49.6 | 50.4% | 無法確定 | 咖啡色混 入溶液中 |
| | | 0.04g | 187.76 | | 125.4 | 49.7 | 50.3% | | | |
| 蝦殼系列 | 蝦殼 A | 0.02g | 159.53 | 有 | 43.8 | 56.2% | 32.9 | 67.1% | 61.7% | 溶液無沉 澱及異色 混入 |
| | | 0.04g | 141.31 | 有 | 39.8 | 60.2% | 23.5 | 76.5% | 68.4% | |
| | 蝦殼 B | 0.02g | 126.65 | 有 | 47.2 | 52.8% | 33.5 | 66.5% | 59.7% | |
| | | 0.04g | 94.78 | 有 | 43.7 | 56.4% | 31.0 | 69.0% | 62.7% | |
| | 蝦殼 C | 0.02g | 185.16 | 有 | 51.5 | 48.5% | 44.6 | 55.4% | 52.0% | |
| | | 0.04g | 99.52 | 有 | 51.7 | 48.3% | 36.8 | 63.2% | 55.7% | |
| | 幾丁 質 | 0.02g | 160.32 | 有 | 58.8 | 41.2% | 41.8 | 58.2% | 49.7% | |
| | | 0.04g | 152.52 | 有 | 51.3 | 48.7% | 45.1 | 54.9% | 51.8% | |
| 幾丁 聚醣 | 0.02g | 64.52 | 有 | 35.3 | 64.7% | 23.7 | 76.3% | 70.5% | | |
| | 0.04g | 55.90 | 有 | 32.9 | 67.1% | 20.4 | 79.6% | 73.3% | | |
| 小蘇打系列 | 0.015mmole | | 170.62 | 有 | 57.6 | 42.4% | 67.8 | 32.2% | 37.3% | 加入晶紅 酸指示劑 靜置後， 小蘇打高 濃度時有 懸浮物及 產生沉澱 |
| | 0.03mmole | | 149.71 | 有 | 42.7 | 57.3% | 43.8 | 56.2% | 56.7% | |
| | 0.1mmole | | 18.71 | 有，接近 90%反應 | 11.2 | 88.8% | 9.2 | 90.8% | 89.8% | |
| | 0.2mmole | | 1.87 | 有，接近 100%反應 | 超出檢 量範圍 | >95% | 超出檢 量範圍 | >95% | 95%以 上，接近 100% | |

表(十四) 甲醛溶液與不同物質反應後的溶液外觀比較



圖(二十九) (A) 蝦殼系列去除甲醛率比較圖 (B)碳酸氫鈉不同劑量下，去除甲醛率折線圖 (小組共同製作)

結果討論

- 本研究進行實際在溶液環境中，進行甲醛與不同物質的反應實驗，藉由肉眼觀察顏色變化，或有無沉澱初步判斷有無反應後，再以自製光度計、分光光度計及手機 APP (ColorPicker APP) 進行測量，分別將測量的數值代入檢量線公式，進行結果推斷。而發現不管使用工具為何，實驗結果的相似度很高。
- 表(十三)為100ppm 甲醛溶液和不同物質反應，其反應後的溶液再分別以自製光度計及分光光度計進行比對，由比對結果發現：
 - 酵素類因酵素本身略帶黃褐色，加入溶液後會使溶液顏色改變，且微帶混濁，此也導致自製光度計及手機色彩 APP 測量出來的值失真且偏大。而分光光度計雖然計算出來有快五成的清除率，但我們覺得，不能排除因顏色改變使吸收峰產生位移的可能。是以酵素類無法準確地推估甲醛清除率。但我們由數據發現，蘋果酵素可能與甲醛有反應發生！因為在比對加入酵素0.02ml 及0.04ml 的實驗結果，我們發現除了蘋果酵素外，其他的酵素在加入有顏色酵素的量增多後，都會造成數值明顯變高，然而蘋果酵素數值反而在加入0.04ml 毫升反應後的量測數值較加入0.02ml 毫升反應後的量測數值

低，代表蘋果酵素應和甲醛有進行反應。

(2)茶渣經肉眼判斷很明顯地和甲醛有反應產生，如果取澄清液進行自製光度計及分光光度計的實驗，發現數值都有變低，所以茶渣應可清除溶液中的甲醛。但由於溶液顏色發生改變，因此無法準確推估正確反應率。

(3)咖啡渣本身咖啡的顏色會溶入溶液中，因而使量測出來的數值偏高。再加上外觀上，除了溶液變成咖啡色外，沒有其他變化，是以無法推估是否真有反應。

(4)在蝦殼反應系列中的蝦殼 A（純蝦殼烘乾磨碎）、蝦殼 B（泡鹽酸消除碳酸鹽後再水洗至中性）、蝦殼 C（蝦 B 泡鹼消除蛋白質，再水洗到中性）、幾丁質（蝦 C 泡丙酮去除色素）及幾丁聚醣（幾丁質與強鹼反應去乙醯）這五個物質，由圖(二十九)-(A)發現，蝦殼系列消除率大小為：幾丁聚醣 > 蝦殼 A > 蝦殼 B > 蝦殼 C > 幾丁質。

(5)由於反應的甲醛為100ppm 10毫升，計算莫耳數約0.033毫莫耳，小組根據甲醛毫莫耳數來決定碳酸氫鈉的劑量大小，以進行比較其反應消除率，結果發現：在甲醛和碳酸氫鈉莫耳數比約為1：1時，甲醛反應率只有約五成五左右而已。當提高碳酸氫鈉的比例到甲醛和碳酸氫鈉莫耳數比約1：30時，溶液中的甲醛約有九成左右被作用掉，碳酸氫鈉的比例放大到甲醛和碳酸氫鈉莫耳數比約1：60時，溶液中的甲醛幾乎100%反應。是以若要提高反應率，碳酸氫鈉的使用量可以比甲醛高一些。

3. 加入碳酸氫鈉的溶液，最後產生紫粉色沉澱，而溶液顏色變的十分淡，自製光度計量測結果，反應率為95%以上。而分光光度計甚至測得接近0的吸收度，已達檢量線的下限，代表幾乎反應完畢，推估應該連晶紅酸試劑也會與之酸鹼中和產生鹽類沉澱。因此才會使吸光度接近0。經查文獻^[16]後發現，**甲醛在鹼性環境下會進行反應。**

4. 生活中若新買的衣服擔心有甲醛汙染，可在拿到時，先將衣服時浸泡碳酸氫鈉，應可有效去除甲醛。

5. 使用手機色彩 APP（ColorPicker APP）測量溶液的色碼值，比對標準的100 ppm 甲醛溶液與晶紅酸試劑混合溶液的歐式距離值為基準，**若物質混合反應後的溶液歐式距離值小於基準值，應該為有進行反應**，因為溶液中的甲醛濃度變小，會使溶液顏色變淡，而使數值減小。並由計算出來的測量值，看是座落在哪一濃度區間，進而判斷其反應狀況。

6. 總結：溶液中可與甲醛反應的物質：

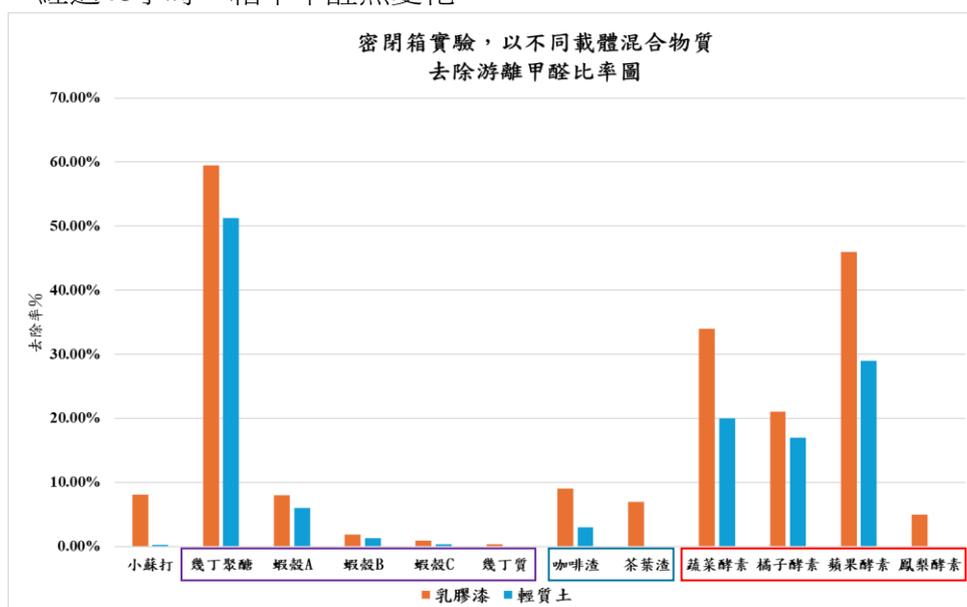
NaHCO₃(小蘇打)、幾丁聚醣、蝦殼 A、蝦殼 B、蝦殼 C、茶渣及蘋果酵素。

五、 密閉箱進行一捕捉游離甲醛物質檢測

表(十五) 閉密箱中不同物質搭配不同載體捕捉游離甲醛

| 物質 | | 小蘇打 | 幾丁聚醣 | 蝦殼 A | 蝦殼 B | 蝦殼 C | 幾丁質 | 咖啡渣 | 茶葉渣 | 蔬菜酵素 | 橘子酵素 | 蘋果酵素 | 鳳梨酵素 |
|-----|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 乳膠漆 | 游離甲醛去率 % | 8.11% | 59.5% | 8.02% | 1.86% | 0.93% | 0.31% | 9.00% | 7.00% | 34.0% | 21.0% | 46.0% | 5.00% |
| 輕質土 | 游離甲醛去率 % | 0.26% | 51.2% | 6.02% | 1.28% | 0.33% | 0.00% | 3.00% | 0.00% | 20.0% | 17.0% | 29.0% | 0.00% |

空白實驗下：經過48小時，箱中甲醛無變化。



圖(三十) 不同物質與乳膠漆/輕質土混合後，其去除游離甲醛效果(指導老師製作)

表(十六) 幾丁聚醣凝膠於密閉箱中捕捉游離甲醛效果

| | 起始值(ppm) | 48hr 後(ppm) | 消除% |
|----|----------|-------------|-----|
| 數值 | 3.71 | 0.84 | 77% |

結果討論

1. 此部份的去除率計算，為先在密閉箱中以線香製造起始甲醛數值，置入待測物後，讀取起始值 A_0 ，之後將密閉箱密封48小時，再測量一次箱中的甲醛數值 A_1 ，則去除率為 $[(A_0 - A_1) / A_0] \times 100\%$ 。在此，為確定箱中密閉狀況，有加做空白實驗，即純置入不加任何物質的輕質土及塗抹乳膠漆的測試片，密閉48小時，測試箱中甲醛濃度有無變化，以確定箱子的密閉性及空氣中甲醛數值的減少與輕質土或乳膠漆無關。
2. 在密閉箱中的測試結果—表(十五)我們發現，同一物質與乳膠漆混合後塗抹在測試片上捕捉游離的甲醛效果比與輕質土混合後捕捉游離甲醛效果好。
3. 承2，我們判斷可能原因有二：一為捕捉氣態甲醛反應，接觸面積愈大，愈有助於反應的

進行，乳膠漆塗抹片的接觸面積約為輕質土混合圓墊的二倍，故捕捉游離甲醛效果較好。二為乳膠漆塗抹片置入密閉箱時，乳膠漆尚未完全乾透，物質與甲醛的反應因有『水』當溶劑來幫忙反應，此推論由小蘇打粉及茶葉渣的去除率可看出。小蘇打粉在輕質土中，無法發揮鹼性的特性，因此對游離甲醛的消除效果為0%，而乳膠漆塗片上卻有約8%的消除效果，應該是未乾乳膠漆中的”水”幫助小蘇打粉發揮鹼性功用！同理，茶葉渣、蝦殼系列（蝦殼 A、蝦殼 B、蝦殼 C、幾丁質）的效果也是如此。

4. 由表(十五)發現，咖啡渣在輕質土混合中仍有些微捕捉游離甲醛的能力，不像茶葉渣完全消失，我們推測應是咖啡渣顆粒較粗，造成輕質土間有空隙存在，所以空隙會吸附少許的游離甲醛。而酵素類除了鳳梨酵素外，其餘皆有捕捉游離甲醛的功效，其中又以蘋果酵素最好，此現象在表(十三)溶液中反應也有相同結果，而蔬菜酵素又比橘子酵略好。鳳梨酵素因容易變色而失去反應力。蝦系列產物在捕捉游離甲醛方面，效果沒有水溶液中的亮眼，只有幾丁聚醣效果十分好，捕捉甲醛效果可達50%以上。當蝦殼沒有反應到最後的幾丁聚醣時，其捕捉空氣中游離甲醛的功用，比較像製造空隙來吸附甲醛氣體而已。效果比水溶液的效果差距太大，故推估此部份反應需要『水』當溶劑來幫忙反應。
5. 蝦系列在捕捉氣態游離甲醛能力的結果和水溶液反應的趨勢一樣，為：幾丁聚醣 > 蝦殼 A > 蝦殼 B > 蝦殼 C > 幾丁質。
6. 綜合水溶液的反應及密閉捕箱捉游離甲醛的反應，酵素類的效果比較為：蘋果酵素 > 蔬菜酵素 > 橘子酵素 > 鳳梨酵素。
7. 小組注意到”水”對反應的影響，而幾丁聚醣固體不溶於水及一般溶劑，但可溶解於酸性水溶液的特性^[17]，原本想將幾丁聚醣固體與加入醋酸水溶液以製成薄膜^[18]，但因幾丁聚醣乙醯化程度不同，不易成膜。因幾丁聚醣固體與加入醋酸水溶液形成凝膠狀態，故將形成凝膠狀的幾丁聚醣先測單獨捕捉游離甲醛能力，發現效果高達77%(表(十六))。
8. 綜合比較表(十五)的結果，捕捉游離甲醛的能力大小前六名依序為：幾丁聚醣凝膠 > 幾丁聚醣 > 蘋果酵素 > 蔬菜酵素 > 橘子酵素 > 咖啡渣。

六、設計可用濾網及自製空氣濾清箱

表(十七) 不同濾網效果比較表

| | 幾丁聚醣凝膠 +鐵絲網格濾網 | 幾丁聚醣凝膠 +濾紙濾網 | 蘋果酵素 +濾紙濾網 | 單純濾紙上滴水 |
|-------|-------------------|-----------------|---------------|---------|
| 平均下降% | 6% | 4% | -2% | -4% |

表(十八) 自製空清機實測效果表

| | 教室有放空清機 | 教室無放自製空清機 |
|------------------|---------|-----------|
| | 實驗組 | 對照組 |
| 起始教室甲醛濃度(ppm) | 1.05 | 1.08 |
| 2 小時後教室甲醛濃度(ppm) | 0.45 | 0.17 |
| 甲醛減少% | 57% | 84% |

結果討論

- 1.由實驗結果發現，幾丁聚醣凝膠捕捉游離甲醛效果最好，酵素類則以蘋果酵素效果最好。因此想將此材質與空氣濾清機的濾網結合。
- 2.但幾丁聚醣凝膠成膜的黃金比例尚需時間反覆測試，因此小組討論後，決定改變做成薄膜的想法，而是將幾丁聚醣分別鋪在鐵絲細網上及濾紙上，放在模擬空氣清淨機的壓克力箱內，測量捕捉游離甲醛效果(表(十七))。發現在單純只放濾紙加水的情況下(對照組)，通過濾紙端測得的甲醛值反而比較高，我們推論是因為氣流帶動的關係，會使濃度較集中在通過濾紙端。
- 3.比較表(十七)的不同濾網效果：
 - (1)濾網材質比較：效果方面，鐵絲細網>濾紙。可能原因為，濾紙濾網只有一單面的幾丁聚醣凝膠可以捕捉游離甲醛，另一單面為純濾紙。而以鐵絲細網當濾網，可雙面接觸，反應效果較好。又因氣流帶動的關係，濾網在短時間內可有6%的捕捉效果。
 - (2)濾網搭配捕捉游離甲醛物質比較：幾丁聚醣凝膠>蘋果酵素。由於氣態捕捉反應速率需要較長時間，因此只有短時間（20分鐘）的作用效果沒那麼好，而蘋果酵素在短時間內的反應速率不佳，再加上氣流的帶動，甚至使實驗結果出現負值。
- 4.表(十八)為在教室內實測自製空清機的效果實驗，實驗進行時先將空氣導入水溶液中，溶液中溶有碳酸氫鈉，碳酸氫鈉是依實驗數據總結為清除溶液中甲醛最好的物質。之後再將空氣導入空氣箱中，由凝膠濾網進行第二輪濾清，實測結果對照自然逸散組，效果比對自然逸散的效果高了快五成左右。

伍、 結論

- 一、成功以自製光度計作為溶液濃度大小檢量的工具，結果與分光光度計相差不遠。自製光度計大大地降低了儀器的成本及增加實用普遍性，可用來於中小學科學實驗去取代昂貴的分光光度計。
- 二、在本研究中，自製光度計使用紅光光源可量測濃度範圍為5ppm~500ppm。
- 三、成功以手機色彩 APP (ColorPicker APP) 色碼值可計算出歐式距離數值，找出濃度範圍與數值對應關係，作為初步判斷濃度範圍的工具。
- 四、成功地將幾丁聚醣由蝦殼中純化合成出來，並證實了幾丁聚醣和甲醛反應的能力及捕捉游離甲醛的能力，一次達成解決甲殼類廢棄物和捕捉（游離）甲醛二大目的。
- 五、成功地將菜葉果皮回收再利用製成環保酵素，並證實了環保酵素捕捉游離甲醛的能力，一次達成解決菜葉果皮廢棄物和捕捉游離甲醛二大目的。
- 六、日常生活中造成甲醛的源頭有一線香燃燒、紙漿類燃燒、非水溶性指甲油、油性漆及乳膠漆。建議行動減香，指甲油請減少使用，水性漆比油性漆好。
- 七、溶液中可與甲醛反應的物質：
NaHCO₃(小蘇打)、幾丁聚醣、蝦殼 A、蝦殼 B、蝦殼 C、茶渣及蘋果酵素。
- 八、捕捉游離甲醛的能力大小前六名依序為：
幾丁聚醣凝膠>幾丁聚醣>蘋果酵素>蔬菜酵素>橘子酵素>咖啡渣。
- 九、綜合水溶液的反應及密閉捕箱捉游離甲醛的反應，酵素類的效果比較為：
蘋果酵素>蔬菜酵素>橘子酵素>鳳梨酵素。鳳梨酵素容易變色而失去作用。
- 十、 捕捉游離甲醛，可將幾丁聚醣、蘋果酵素、蔬菜酵素、橘子酵素與乳膠漆混合，塗抹在牆面上，可以緩慢但持續地捕捉游離甲醛；或將上述物質與輕質土混合捏成造型，也可當成裝飾品兼作捕捉游離甲醛之用。製成幾丁聚醣凝膠直接置入捕捉效果可達七成以上。
- 十一、 幾丁聚醣凝膠濾網搭配自製空氣濾清箱可在短時間內使室內游離甲醛降低，實測結果對照自然逸散組，效果比對自然逸散的效果高了快五成左右。

陸、 參考文獻資料

- 一、蘇大成，癌症 E 學院網頁，室內空污是室外的2-5倍 清淨室內動起來，取自 <https://www.canceraway.org.tw/page.php?IDno=4011>
- 二、孫惠、賴昆暉、黃敬淳（2022）。職業暴露甲醛引起之中毒及癌症認定參考指引。勞動部職業安全衛生署。
- 三、維基百科，甲醛，取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B2%E9%86%9B>
- 四、科學人 Online 網頁，甲醛(Methanal)(2010-09-23)，取自 <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=8498>
- 五、黃鼎傑、黃宇豪、林佳良。”毒衣無惡！？—衣物中含微量甲醛的檢測”。第四十六屆中小學科展（高中化學科）。
- 六、葉文彬。幾丁聚醣之製備及其於農業之應用。
- 七、呂卦南(2006)。幾丁質與幾丁聚醣之製備與鑑定。康寧學報，8，p.157~160。
- 八、桃園市政府 環境保護局 資源回收教育網 網頁，
https://recycle.tyemid.gov.tw/F_DIY_Environmental_Enzyme.htm
- 九、鄭淑晶、黃守潔、王博譽、曾素香、王德原(2020)。市售指甲油中甲醛、甲醇、苯及鄰苯二甲酸酯類成分之品質監測。食品藥物研究年報，11，p.167-173。
- 十、賴國誌、鄭偉倫、黃守潔、陳玉盆、周秀冠、陳惠芳(2015)。市售指甲彩繪、含精油成分及唇膏等化粧品之品質監測。食品藥物研究年報，6，p.256-263。
- 十一、行政院衛生署。2009 年。化粧品中含芳烴 基磺醯胺-甲醛樹脂(arylsulfonamide-formaldehyde resin)成分之管理規定。98.07.15 衛 署藥字第 0980316608 號。
- 十二、衛生福利部。2014。化粧品中防腐劑成分 使用及限量規定基準表。103.05.15 部授食字第 1031600713 號令。
- 十三、李明芳、何黛青等(2023)。翰林自然科學課本，第三冊，p120-121。
- 十四、維基百科，比爾-朗伯定律，取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%AF%94%E5%B0%94-%E6%9C%97%E4%BC%AF%E5%AE%9A%E5%BE%8B>
- 十五、科學人 Online 網頁，比爾定律與吸收度(2011-11-18)，取自 <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=40839>
- 十六、維基百科，坎尼乍若反應，取自 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%9D%8E%E5%B0%BC%E6%89%8E%E7%BD%97%E5%8F%8D%E5%BA%94>
- 十七、李垣勳、李韶郁、李文昭(2016)。幾丁聚醣之溶解特性及溶解處理對其性質之影響。林業研究季刊，38(4)，p253-262。
- 十八、呂品葳、王沛星、洪佳妤。”蝦殼哇哇挖-幾丁聚醣薄膜之研究”。第五十六屆中小學科展（高中農業與食品學科）。
- 十九、席夫試劑與醛的反應機制圖取自 UmassAmherst Chemistry 課程。資料來源：
<http://www.chem.umass.edu/~samal/269/lecture/aak/aak6.pdf>
- 二十、邱秀玲、李妍禎。“設計、色計—自行設計微型比色計改良比色法實驗”。第四十六屆中小學科展（高中 化學科）。

【評語】 030202

甲醛為有毒化學物質，於做實驗時需要注意。實驗有許多的不同面向，算是很有趣，但要注意重複實驗，才能得到統計學上有意義的圖表以及結論。

1. 自製分光光度計與手機軟體計算有一致的表現，表現出驗證的效果，若能和標準分光光度器比較，則結果會更有說服力。
2. 是否所有游離醛之偵測都是透過晶紅酸試劑？若是，需清楚標示甲醛測試之密閉箱裝置(圖八及九)中晶紅酸試劑之所在及呈色機制。
3. 甲醛與生物廢棄物反應多為吸附行為，也要考慮再釋放之可能。

作品簡報

居家安“醛”

摘要

自製光度計作為溶液濃度大小檢量的工具的實用性媲美分光光度計。手機色彩APP以色碼值計算歐式距離與濃度的關係，可作為簡易判斷濃度範圍的工具。

找出室內空汙游離甲醛的源頭。將蝦殼再製成幾丁聚醣，將菜葉果皮製成環保酵素，兩者皆證實可捕捉游離甲醛，一次達成廢棄物回收再利用和捕捉甲醛二大目的。小蘇打、幾丁聚醣、茶渣及蘋果酵素可在溶液中與甲醛作用。

幾丁聚醣、蘋果酵素、蔬菜酵素、橘子酵素分別與乳膠漆混合，塗抹在牆面上，可捕捉游離甲醛；或將上述物質與輕質土混合可捕捉游離甲醛兼當裝飾品。幾丁聚醣凝膠製成濾網及自製空氣濾清箱可有效使室內游離甲醛濃度降低。

研究動機

室內空氣污染源中的VOCs (揮發性有機化合物) 包含多種的危害空氣污染物，其中的一項化學物質—甲醛為我們研究室內空汙的主要焦點。

在居家環境中找出生活中造成甲醛汙染的源頭。並以居家用品為主軸，找出及將廢棄物再製出有用物質，來將甲醛反應或氣相捕捉，並研究了解其捕捉(消除)甲醛的能力大小。並利用自製簡易光度計比對分光光度計及使用手機色彩APP，來進行科學驗證。

以實驗結果來研究出居家可用的有效方法或自製設備，來捕捉游離甲醛，以達到淨化室內空氣的效果。

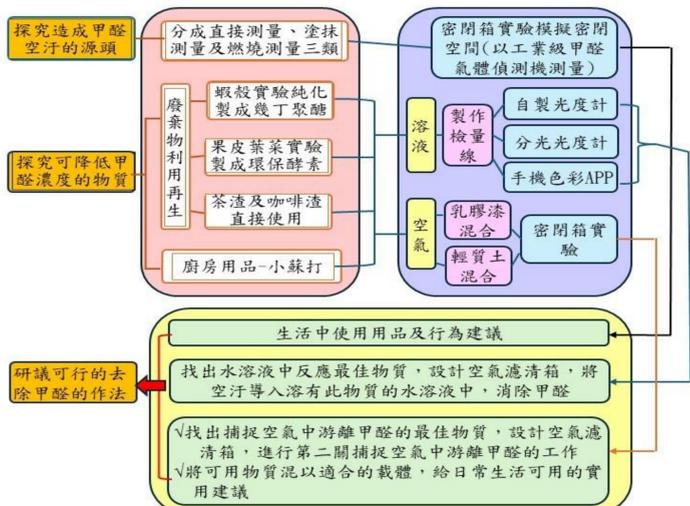
研究目的

- 一、找出造成居家空氣造成甲醛汙染的源頭。
- 二、解決廚餘廢棄物，將蝦殼製成幾丁聚醣；將菜葉果皮製成環保酵素，並探討其去除甲醛及游離甲醛的能力，以達到解決廚餘廢棄物和捕捉甲醛二項目標。
- 三、討論幾丁聚醣、環保酵素、小蘇打、咖啡渣及茶渣粉，其去除甲醛及捕捉游離甲醛的能力。
- 四、用自製工具—自製簡易光度計、手機色彩APP與分光光度計作比較，討論計量工具的優缺點。並將之應用在上述第(三)點的能力討論。
- 五、利用自製器材，進行不同物質捕捉游離甲醛的效能比較，並仿造空氣清淨機，且設計具效能的濾網。

研究設備與器材

分光光度計、甲醛氣體偵測機、秤量天平、加熱型攪拌機、pH儀、離心機、三用電表、背光板、手機、紅包袋、線香、金紙、指甲油、乳膠漆、油性漆、氫氧化鈉、甲醛溶液、黑糖、樂高積木、石英管、光敏電阻、冰醋酸、廣用試紙、碳酸氫鈉、亞硫酸氫鈉、晶紅酸、丙酮、微量吸管

實驗架構圖



圖(一)實驗主軸圖 (科展小組製作)

研究過程及方法

研究(一) 找出造成居家空氣造成甲醛汙染的源頭

1. 直接測量類
 - (1)紅包及參考書—測試流程為分別將待測物品放置密閉箱中5分鐘後，以甲醛氣體。
 - (2)桌椅—測試流程為隨機抽檢三間剛換新桌椅的閉密教室，將甲醛氣體偵測機置於教室中間桌子抽屜內測量。
2. 塗抹測量類
 - (1)指甲油分別塗抹在5 cm×5 cm 檢測片上，將測試片放置密閉箱5分鐘後，以甲醛氣體偵測機測量物體釋放到空氣中的甲醛濃度值，之後將開口打開，每30秒測量甲醛數值，直到甲醛消散為止。
 - (2)油漆分別塗抹在12 cm×8 cm測試片，將測試片放置密閉箱5分鐘後，以甲醛氣體偵測機測量物體是否釋放甲醛，過程重複三次。
3. 燃燒測量類
 - (1)線香分別以燃燒時當操作變因，測量在密閉箱中甲醛的濃度。
 - (2)金紙燃燒，於開放系中直接測量燃燒釋放甲醛量。



圖(二)實驗用密閉箱(由指導老師拍攝)

研究(二) 解決廢棄物問題，將蝦殼製成幾丁聚醣

1. 收集家庭丟棄之蝦殼，洗淨、烘乾，並以小型食物攪拌機磨碎。每克蝦殼加入約5毫升的2.5M的NaOH溶液，加熱攪拌約6小時，去除蛋白質。離心過濾取得反應後的蝦殼，經多次清洗，使蝦殼呈中性。
2. 每克蝦殼加入約9毫升的2M 鹽酸，攪拌浸泡24 小時。離心過濾取得反應後的蝦殼，經多次清洗，使蝦殼呈中性。
3. 蝦殼加入丙酮溶液去除色素，攪拌2小時後，離心過濾取得反應後的蝦殼，經多次清洗，以烘箱烘後製得幾丁質，送驗。
4. 將幾丁質以濃度40%的氫氧化鈉溶液加熱攪拌3小時。離心過濾，經多次清洗，使反應物呈中性。以烘箱烘乾即得脫乙酰處理的幾丁聚醣。



蝦殼剝下後洗淨烘乾(相片皆由指導老師拍攝)



以食物磨碎機磨碎蝦殼



強鹼去蛋白質強酸去碳酸鹽



離心抽濾清洗到中性



丙酮脫色



製得幾丁質



以強鹼處理後製得幾丁聚醣

研究(三) 解決廢棄物問題，菜葉果皮製成環保酵素

1. 黑糖：菜渣果皮：水以比例 1：3：10混合倒入空瓶中，分別製成四類環保酵素。
2. 將瓶子放於陰涼處(瓶子不可轉緊，避免產生氣體使瓶子破裂)，靜置三個月，製得四種種類環保酵素。
3. 在靜置過程中若上有浮黴渣，要撈除。三個月後，置入的果皮菜渣，以濾網過濾，取得較澄清的環保酵素

研究(四) 設計三種方法測量定量溶液中甲醛濃度並進行比較，運用三種工具進行不同物質與甲醛在溶液中的反應計量

自製光度計的實驗步驟

1. 以樂高積木組裝成光度計模型。配置不同濃度的甲醛溶液2000ppm~0.1ppm。
2. 取晶紅酸 0.5 克，加入溫水 300 毫升攪拌溶解後冷卻，再秤取無水亞硫酸鈉 5 克，以水 50 毫升溶解，加入晶紅酸溶液 300 毫升，再加入濃鹽酸 5 毫升，最後加水到 500 毫升，儲存於冰箱，靜待 5 小時。分別取6毫升的步驟3中的溶液加入步驟2中不同濃度的甲醛溶液，靜置4小時。將步驟3中的溶液放入石英管中，以自製光度計測電阻值。
3. 改變光度計的LED燈種類(白光、藍光、紅光、黃光及綠光)，重複步驟5，找出最佳光源並畫出檢量線。
4. 將定量10mL甲醛與不同反應物進行反應，靜置4小時以上。
5. 將步驟4中的溶液放入石英管中，以自製光度計測電阻值，並繪製檢量線。且比對出反應濃度變化。

分光光度計的實驗步驟

同自製光度計的步驟1及2。分光光度計測吸收度，配合檢量線推估狀況。

手機色彩APP的實驗步驟

手機先預先安裝好ColorPicker APP，將配好的溶液取固定毫升數加入培養皿中，培養皿放於透光板，手機擺放固定位置，讀取溶液的RGB色碼值。計算 $\Delta_{RGB} = \sqrt{(R_1 - R_2)^2 + (G_1 - G_2)^2 + (B_1 - B_2)^2}$ ，找出較適合作定量的判斷依據，並製檢量線。



圖(三)環保酵素流程相片(指導老師拍攝製作)



圖(四)分光光度計操作流程相片(指導老師拍攝製作)

研究(五) 測量物質在密閉箱中捕捉游離甲醛的能力研究

A. 輕質土在25cm×25cm×25cm的封閉箱中置入空氣甲醛偵測機及20克壓扁的輕質土，測量箱底中甲醛濃度。(空白實驗)以香燃燒固定30分鐘製造封閉箱中的甲醛污染，測量箱中甲醛濃度(起始值)。將待測物質與輕質土以1克(或毫升):20克輕質土的比例混合壓扁成直徑10公分的圓形後，放入閉密箱中，記錄一次箱中的甲醛濃度，並計算消除率。

B. 乳膠漆載體 將待測物質與乳膠漆以1克(或毫升)對上50毫升乳膠漆的比例混合後靜置半小時後，將乳膠漆塗在二片測試片上。測試片待乾過程中測量甲醛值，直到混合後的乳膠漆測試片測不出甲醛值。以香燃燒固定30分鐘製造封閉箱中的甲醛污染，測量箱氣態甲醛的起始濃度。(起始值)。將測試片放入的封閉箱中，放置2天，測量箱中的濃度(測量值)。

研究(六) 設計可用濾網，討論實用能力；設計空氣清淨機

設計可用濾網及討論實用能力

濾網上鋪幾丁聚醣凝膠

1. 幾丁聚醣加入冰醋酸及水(混合比例克數為3:1:100)，混合形成幾丁聚醣凝膠，將製得的幾丁聚醣凝膠等分四等份，均勻分在濾紙及細孔目鐵絲濾網上或濾紙上。以香燃燒固定30分鐘製造封閉箱中的甲醛污染，打開箱內電扇，使氣流流動，待20分鐘後，使空氣混合均勻。

2. 測量箱中甲醛在通過濾網前及通過濾網後的甲醛濃度值。計算消除率% = ((通過濾網前濃度 - 通過濾網後濃度) / 通過濾網前濃度) × 100%

實驗步驟—濾網上滴酵素

以酵素滴在濾紙上，將濾紙貼附在濾網。以香燃燒固定30分鐘製造封閉箱中的甲醛污染，打開箱內電扇，使氣流流動，待5分鐘後，使空氣混合均勻。測量箱中甲醛在通過濾網前及通過濾網後的甲醛濃度值，並計算消除率%。

設計空氣濾清機

1. 將水溶液消除甲醛實驗中最有效的物質配成水溶液，置入自製空氣清淨機的A箱。配置幾丁聚醣凝膠，均勻鋪在自製濾網上，裝置於B箱中。

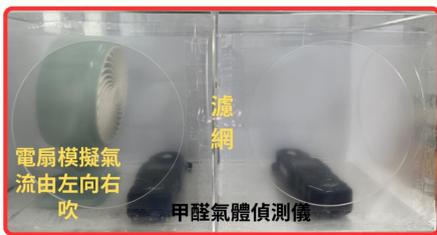
2. 選擇空教室，進行實驗，實驗前，先在室內焚香，以使甲醛濃度超標，記錄起始值。

3. 對照組：教室不放清淨機，關閉門窗後，靜置2小時後測量甲醛數值變化。

實驗組：關閉門窗後，記錄起始值後，打開自製的簡易空氣清淨機運作2小時後，再測量甲醛值變化。

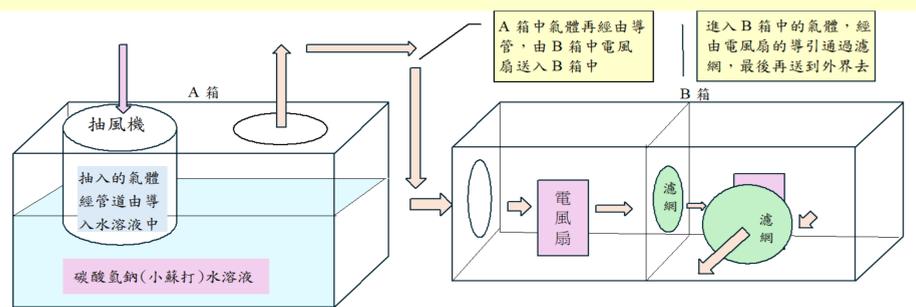


不同的濾網處理方式
左為濾紙模擬濾網
右為鐵絲網模擬濾網



模擬簡易空氣清淨內部及密閉箱環境
測試甲醛空汙在通過濾網前後的數值變化

圖(五)濾網模擬方式及測試濾網功能裝置(指導老師拍攝製作)



圖(六)自製空氣濾清機繪製示意圖(指導老師拍攝製作)

研究結果與討論

結果(一) 找出造成居家空氣造成甲醛污染的源頭

(一) 直接測量類

1. 紅包袋無論是廠商贈送或自外面購得及隨機驗市面上測驗卷及參考書，都是甲醛零檢出。而教室新換的課桌椅，隨機抽檢結果，也是零檢出。

(二) 塗抹測量類

表(一) 指甲油及漆類塗抹後測得游離甲醛濃度表

| 類別 | 指甲油類 | | | | | | | | | | 漆類 | |
|-------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|------------|------------|------|--------|
| | pa | M.N.B.B | Ducato | MEKO-A | MEKO-B | MEKO-C | Nail | e-nail水指甲A | e-nail水指甲B | e-nail定色成膜 | 乳膠漆 | 油性漆 |
| 濃度ppm | 4.01 * | 3.86 | 4.03 * | 4.03 * | 4.03 * | 4.03 * | 4.03 * | 0 | 0 | 4.12 * | 0.67 | 4.41 * |
| 揮發秒數 | 450 | 570 | 960 | 450 | 510 | 510 | 480 | 0 | 0 | 510 | 1230 | > 3300 |

* 表示已達機器偵測上限

1. 發現市售的指甲油，只要不是水溶性的，可形成非水溶性膜的指甲油，皆可檢測出甲醛，且甲醛測量值已達機器測量的上限。

2. 油性漆所釋放出的游離甲醛量為水性漆的七倍，其甲醛揮散至零所花費的時間為水性乳膠漆的三倍以上。油性漆其釋放游離甲醛量遠大於水性乳膠漆的原因，應該和市售指甲油釋放游離甲醛量遠大於水性指甲油的成因相似。

(三) 燃燒測量類

表(二) 不同廠牌的線香及紙類所測得釋放(游離)甲醛濃度

| | 密閉箱中燃燒測量 | | | | | 開放環境中燃燒測量 | | | |
|------------------|----------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|
| | 特製一 | 特製二 | A牌 | B牌 | C牌 | 餐巾紙 | A4紙 | 金紙A | 金紙B |
| 未燃燒前在密閉箱中濃度(ppm) | 0.43 | 0.44 | 0.54 | 0.58 | 0.61 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 燃燒30秒後甲醛濃度 | 3.28 | 3.20 | 3.48 | 3.57 | 3.68 | 3.97 | 4.06 | 3.99 | 4.24 |

表(三) 不同廠牌的香拆解不同部位所測得釋放(游離)甲醛濃度(ppm)

| 品項 | 特製一 | | | A香 | | | B香 | | |
|-----|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| | 線香 | 香腳(木) | 香粉 | 線香 | 香腳(木) | 香粉 | 線香 | 香腳(木) | 香粉 |
| 平均值 | 3.28 | 3.13 | 3.75 | 3.48 | 3.52 | 3.42 | 3.57 | 3.08 | 3.97 |

不管線香的來源為何，在未開始燃燒使用前，線香本身都被檢測出來有游離甲醛釋放。推測廠商應該會為了節省成本，故使用添加物及為了防腐避霉，而加入甲醛釋放防腐劑。而燃燒釋放甲醛的影響，以香粉影響較大。木頭類製成的產物其燃燒的氣體中皆含有甲醛！

結果(二) 幾丁聚醣與環保酵素的合成

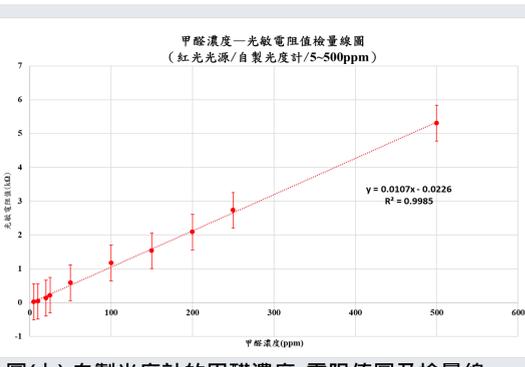
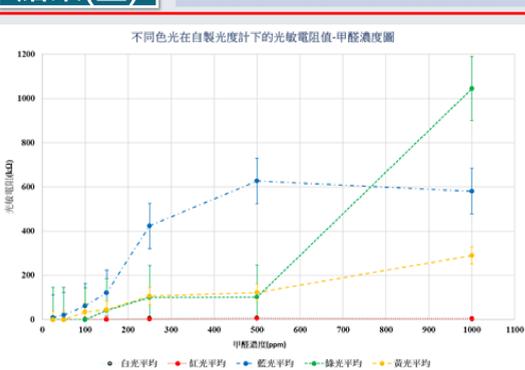
表(四) 實驗純化的幾丁質元素分析結果

| 次數 | 總重(mg) | N% | C% | H% | N/C | N/C理論值 |
|----|--------|------|-------|------|-------|--------|
| 1 | 4.547 | 6.19 | 42.19 | 6.63 | 0.147 | 0.146 |
| 2 | 4.683 | 6.22 | 42.13 | 6.61 | 0.148 | |

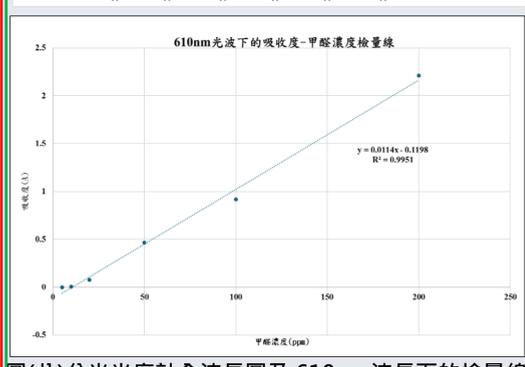
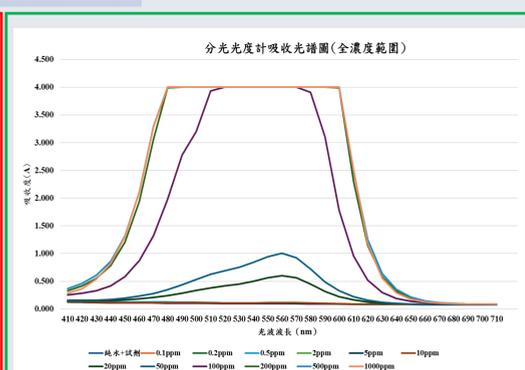
表(五) 環保酵素基本表

| 品項 | 蔬菜環保酵素 | 鳳梨皮環保酵素 | 蘋果皮環保酵素 | 橘子皮環保酵素 |
|-----|--------|---------------|-------------|---------|
| 觀察 | 淡淡酸味 | 淡淡酸味顏色慢慢轉為黑褐色 | 淡淡酸味中含有蘋果香味 | 淡淡酸味 |
| pH值 | 3.50 | 4.84 | 3.36 | 3.52 |

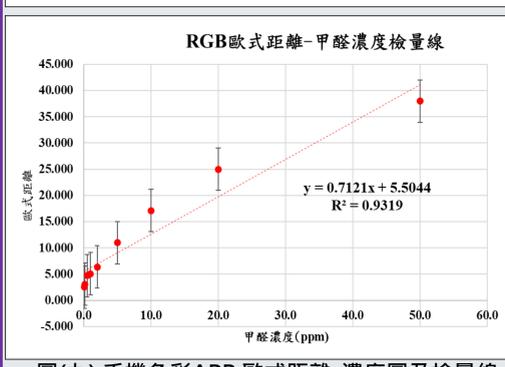
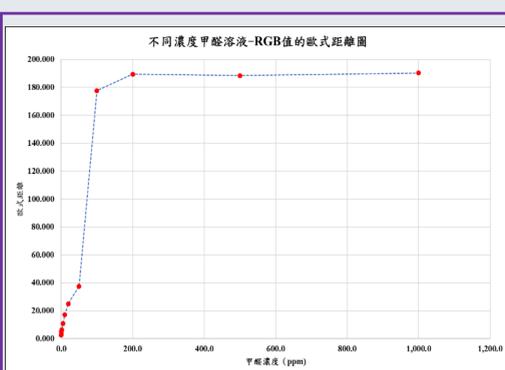
結果(三) 不同方法測量及製作甲醛濃度檢量線



圖(七) 自製光度計的甲醛濃度-電阻值圖及檢量線(小組製作共同)



圖(八) 分光光度計全波長圖及610nm波長下的檢量線(小組製作共同)



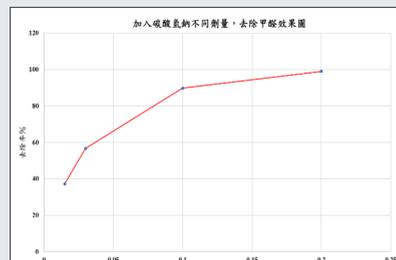
圖(九) 手機色彩APP 歐式距離-濃度圖及檢量線(小組製作共同)

- 就穩定度及數據再現性來看，穩定度大小以紅光最好。在紅光光源下，甲醛溶液適合檢量的濃度範圍為5ppm~500ppm。
- 主吸收峰在560nm附近，但是因為吸收度已超過機器上限，故分光光度計改以610nm的吸收數據作為檢量工具。
- 手機色彩APP比較適合作為初步濃度探測的工具使用，且可用歐式距離定出濃度區間，類似試紙的顏色辨試，可初步確定大致的濃度範圍。
- 分光光度計、手機色彩APP及自製光度計其皆有相似的表現趨勢。
- 檢量線的R²值皆在在0.9以上。其中自製光度計更高達0.995以上。可用來於中小學科學實驗去取代昂貴的分光光度計。

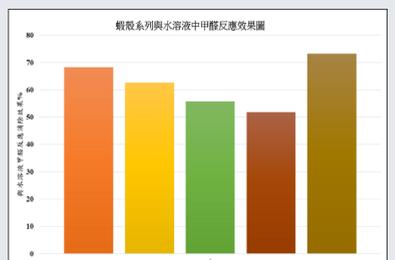
結果(四) 溶液進行—清除甲醛物質檢測。



圖(十) 溶液中不同物質反應情形(指導老師拍攝)



圖(十一)碳酸氫鈉不同劑量下，去除甲醛率折線圖(小組共同製作)



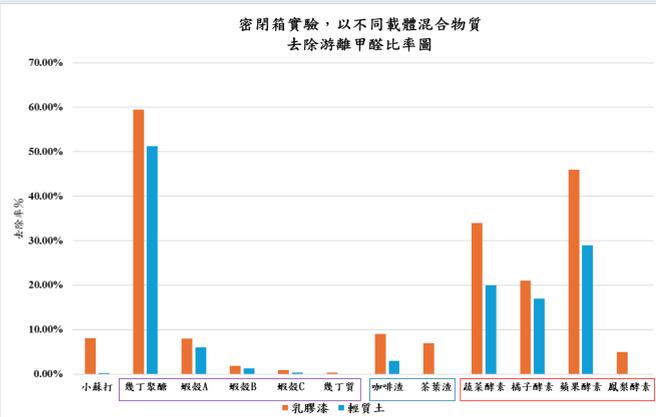
圖(十二) 蝦殼系列去除甲醛率比較圖(小組共同製作)

表(六) 不同物質與甲醛溶液反應，以儀器偵測反應情況一覽表

| 品項 | 酵素類 | | | | | | | | | | 蝦殼系列 | | | | | | | | | | 小蘇打系列 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|-------|-------|-------|-------|--------|--|--|--|--|--------------------------|--|--|--|
| | 鳳梨0.02 | 鳳梨0.04 | 鳳梨0.08 | 鳳梨0.12 | 鳳梨0.16 | 鳳梨0.20 | 鳳梨0.24 | 鳳梨0.28 | 鳳梨0.32 | 鳳梨0.36 | 鳳梨0.40 | 鳳梨0.02 | 鳳梨0.04 | 鳳梨0.06 | 鳳梨0.08 | 鳳梨0.10 | 鳳梨0.12 | 鳳梨0.14 | 鳳梨0.16 | 鳳梨0.18 | 鳳梨0.20 | 鳳梨0.02 | 鳳梨0.04 | 鳳梨0.06 | 鳳梨0.08 | 鳳梨0.10 | 鳳梨0.12 | 鳳梨0.14 | 鳳梨0.16 | 鳳梨0.18 | 鳳梨0.20 | | | | | | | | | | | | | |
| 手機APP判斷 | 174.3 | 179.8 | 220.98 | 223.18 | 224.86 | 226.24 | 184.56 | 172.49 | 170 | 190.9 | 180.1 | 187.8 | 159.53 | 141.31 | 126.65 | 94.78 | 185.16 | 99.52 | 160.32 | 152.52 | 64.52 | 55.90 | 170.62 | 149.71 | 18.71 | 1.87 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 自製光度計 | 176.4 | 174.5 | 184.82 | 131.97 | 182.02 | 198.37 | 144.64 | 101.22 | 49.4 | 59.40 | 109.6 | 125.4 | 43.79 | 39.78 | 47.16 | 43.65 | 51.46 | 51.74 | 58.84 | 51.32 | 35.34 | 32.95 | 57.58 | 42.72 | 11.22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 分光光度計 | 51.95 | 50.00 | 50.57 | 50.34 | 50.95 | 46.16 | 51.45 | 47.78 | 39.7 | 26.65 | 49.58 | 49.68 | 32.89 | 23.51 | 33.53 | 30.96 | 44.56 | 36.82 | 41.77 | 45.08 | 23.72 | 20.44 | 67.82 | 43.82 | 9.23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 平均值 | 有反應，但實際無法確定 | | | | | | | | | | 55.4 | 57.0 | 有反應 | | | | | | | | | | 61.66 | 68.36 | 59.65 | 62.69 | 51.99 | 55.72 | 49.69 | 51.80 | 70.47 | 73.30 | 37.30 | 56.73 | 89.77 | 95~100 | | | | | | | | |
| 觀察反應狀況 | 黃褐色混入溶液中，且溶液微混濁 | | | | | | | | | | 出現微混濁 | | | | | | | | | | 咖啡色混入溶液中 | | | | | | | | | | 溶液無混濁及異色混入 | | | | | | | | | | 加入晶紅指示劑靜置後，高濃度時有懸浮物及產生沉澱 | | | |

- 實驗結果的相似度很高。
- 酵素因溶液顏色改變，測量值失真且偏大。蘋果酵素應有反應發生！
- 茶渣經肉眼判斷明顯有反應。咖啡渣因顏色會溶入溶液中，無法推估。
- 幾丁聚醣A > 蝦殼B > 蝦殼C > 幾丁質。
- 提高碳酸氫鈉的比例，消除率高。甲醛在鹼性環境下會進行反應。
- NaHCO₃(小蘇打)、幾丁聚醣、蝦殼A、蝦殼B、蝦殼C、茶渣及蘋果酵素。

結果(五) 密閉箱進行—捕捉游離甲醛物質檢測



圖(十三) 不同物質與乳膠漆 / 輕質土 混合後，其去除游離甲醛效果(指導老師製作)

結果討論

- 為確定箱中密閉狀況，有做空白實驗，以確定箱子的密閉性及空氣中甲醛數值的減少與輕質土或乳膠漆無關。
- 同一物質與乳膠漆混合後塗抹在測試片上捕捉游離的甲醛效果比與輕質土混合後捕捉游離甲醛效果好。物質與甲醛的反應因有『水』當溶劑來幫忙反應。
- 咖啡渣在輕質土混合中仍有些微捕捉游離甲醛的能力，不像茶葉渣完全消失，我們推測應是咖啡渣顆粒較粗，造成輕質土間有空隙存在，因此會吸附少許的游離甲醛。
- 酵素類除了鳳梨酵素外，其餘皆有捕捉游離甲醛的功效，其中又以蘋果酵素最好。效果比較為：蘋果酵素 > 蔬菜酵素 > 橘子酵素 > 鳳梨酵素。
- 蝦殼系列產物在捕捉游離甲醛方面，效果沒有水溶液中的亮眼，只有幾丁聚醣效果十分好，捕捉甲醛效果可達50%以上。捕捉氣態游離甲醛能力的結果：幾丁聚醣 > 蝦殼A > 蝦殼B > 蝦殼C > 幾丁質。
- 酵素類的凝膠狀的幾丁聚醣單獨捕捉游離甲醛能力，發現效果高達77%。
- 捕捉游離甲醛的能力大小前六名依序為：幾丁聚醣凝膠 > 幾丁聚醣 > 蘋果酵素 > 蔬菜酵素 > 橘子酵素 > 咖啡渣。

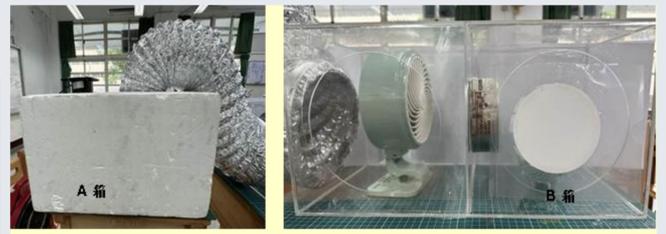
結果(六) 設計可用濾網，討論實用能力；設計空氣清淨機

表(七) 不同濾網效果比較表

| 幾丁聚醣凝膠 + 鐵絲網格濾網 | 幾丁聚醣凝膠 + 濾紙濾網 | 蘋果酵素 + 濾紙濾網 | 單純濾紙上滴水 |
|-----------------|---------------|-------------|---------|
| 6% | 4% | -2% | -4% |

表(八) 自製空氣清淨機實測效果表

| | 有放空氣清機 | 沒有空氣清機 |
|-----------------|--------|--------|
| | 實驗組 | 對照組 |
| 起始教室甲醛濃度(ppm) | 1.05 | 1.08 |
| 2小時後教室甲醛濃度(ppm) | 0.45 | 0.17 |
| 甲醛減少% | 57% | 84% |



圖(十四) 實際操作下的A箱及B箱實體(指導老師拍攝)

- 因為空氣捕捉游離甲醛效果以幾丁聚醣凝膠及蘋果酵素效果最好。因此將此材質與空氣濾清機的濾網結合。將幾丁聚醣分別鋪在鐵絲細網上及濾紙上，放在模擬空氣清淨機的壓克力箱內，測量捕捉游離甲醛效果。發現在單純只放濾紙加水的情況下(對照組)，通過濾紙端測得的甲醛值反而比較高，我們推論是因為氣流帶動的關係，會使濃度較集中在通過濾紙端。
- 濾網材質比較：效果方面，鐵絲細網 > 濾紙。濾網在短時間內可有6%的捕捉效果。
- 濾網搭配捕捉游離甲醛物質比較：幾丁聚醣凝膠 > 蘋果酵素。
- 表(八)為在教室內實測自製空氣清淨機的效果實驗，實測結果對照自然逸散組，效果比對自然逸散的效果高了快五成左右。

結論

- 成功以自製光度計作為溶液濃度大小檢量的工具，結果與分光光度計相差可不遠。自製光度計大大地降低了儀器的成本及增加實用普遍性，可用於中小學科學實驗去取代昂貴的分光光度計。
- 在本研究中，自製光度計使用紅光光源可量測濃度範圍為5ppm~500ppm。
- 成功以手機色彩APP (ColorPicker APP) 色碼值可計算出歐式距離數值，找出濃度範圍與數值對應關係，作為初步判斷濃度範圍的工具。
- 成功地將幾丁聚醣由蝦殼中純化合成出來，並證實了幾丁聚醣和甲醛反應的能力及捕捉游離甲醛的能力，一次達成解決甲殼類廢棄物和捕捉(游離)甲醛二大目的。
- 成功地將菜葉果皮回收再利用製成環保酵素，並證實了環保酵素捕捉游離甲醛的能力，一次達成解決菜葉果皮廢棄物和捕捉游離甲醛二大目的。
- 日常生活中造成甲醛的源頭有—線香燃燒、紙漿類燃燒、非水溶性指甲油、油性漆及乳膠漆。建議行動減香，指甲油請減少使用，水性漆比油性漆好。
- 溶液中可與甲醛反應的物質：NaHCO₃(小蘇打)、幾丁聚醣、蝦殼A、蝦殼B、蝦殼C、茶渣及蘋果酵素。
- 捕捉游離甲醛的能力大小前六名依序為：幾丁聚醣凝膠 > 幾丁聚醣 > 蘋果酵素 > 蔬菜酵素 > 橘子酵素 > 咖啡渣。
- 綜合水溶液的反應及密閉捕箱捕捉游離甲醛的反應，酵素類的效果比較為：蘋果酵素 > 蔬菜酵素 > 橘子酵素 > 鳳梨酵素。鳳梨酵素容易變色而失去作用。
- 捕捉游離甲醛，可將幾丁聚醣、蘋果酵素、蔬菜酵素、橘子酵素與乳膠漆混合，塗抹在牆面上，可以緩慢但持續地捕捉游離甲醛；或將上述物質與輕質土混合捏成造型，也可當成裝飾品兼作捕捉游離甲醛之用。製成幾丁聚醣凝膠直接置入捕捉效果可達七成以上。
- 幾丁聚醣凝膠濾網搭配自製空氣濾清箱可在短時間內使室內游離甲醛降低，實測結果對照自然逸散組，效果比對自然逸散的效果高了快五成左右。

文獻參考

- 維基百科，甲醛，取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B2%E9%86%9B>
- 科學人Online 網頁，甲醛(Methanal)(2010-09-23)，取自 <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=8498>
- 黃鼎傑、黃宇豪、林佳良。"毒衣無惡！？—衣物中含微量甲醛的檢測"。第四十六屆中小學科展(高中化學科)。
- 葉文彬。幾丁聚醣之製備及其於農業之應用。
- 呂卦南(2006)。幾丁質與幾丁聚醣之製備與鑑定。康寧學報，8，p.157~160。
- 桃園市政府 環境保護局 資源回收教育網 網頁， https://recycle.tyemid.gov.tw/F_DIY_Environmental_Enzyme.htm
- 鄭淑晶、黃守潔、王博譽、曾素香、王德原(2020)。市售指甲油中甲醛、甲醇、苯及鄰苯二甲酸酯類成分之品質監測。食品藥物研究年報，11，p.167-173。
- 衛生福利部。2014。化粧品中防腐劑成分使用及限量規定基準表。103.05.15部授食字第1031600713號令。
- 科學人Online 網頁，比爾定律與吸收度(2011-11-18)，取自 <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=40839>
- 呂品蕊、王沛星、洪佳好。"蝦殼哇哇挖-幾丁聚醣薄膜之研究"。第五十六屆中小學科展(高中農業與食品學科)。
- 邱秀玲、李妍禎。"設計、色計-自行設計微型比色計改良比色法實驗"。第四十六屆中小學科展(高中化學科)。