

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

080108

「紙」碎「精」迷~跳躍在紙間的精靈

學校名稱：臺北市私立復興實驗高級中學(附設國小)

作者： 小四 李悅慈 小四 蘇庭誼 小四 張德怡	指導老師： 王俊貴 張 慎
---	-----------------------------

關鍵詞：手抄紙、毛細現象、擴散作用

摘 要

本實驗依據自然課程：「再生紙製作」、「毛細現象」、「氣體擴散作用」等教學單元作為相關背景知識的依據，並運用生活被丟棄的材料回收再利用，例如：各種回收紙、吸管、空瓶，設計出在校園內容易 DIY 製作的精油擴香器，以取代市面上需要插電、燃燒或以非環保原料製作的商品。實驗中分析了不同材質、平整度的手抄紙之毛細現象結果，並進一步分析粗細不同的擴香器對精油的擴散效率。最後證明本實驗設計出的牛奶盒手抄紙擴香器其效果與實用性優於市面上的擴香竹，不同粗細的形狀也可滿足對擴香效率快慢不同的需求。不但可以應用在室內芳香，更可搭配天然驅蚊精油方便使用於學校各個角落，以天然環保的方式來應用。

壹、研究動機

我們閱讀了優良讀物「香草魔女」後發現香草可以幫助人，後來在商店中看到用竹子做成的擴香竹，引發了我們的研究興趣。由於香精油要靠這些擴香器才能把精油吸收然後讓香味揮發擴散到空氣中，因此我們想運用學校教過的方法來製作手抄紙，並設計出環保且有良好擴散作用的擴香器。除了香氛應用之外，也希望將此擴香器原理及原型物提供給學校為環保的驅蚊利器，協助防範臺灣地區的登革熱和目前威脅巴西奧林匹克運動會之茲卡病毒，盡到做為小學生的我們之責任，期望能在科學展覽中展現成果。

貳、研究目的

- 一、探討利用不同廢紙原料和製作不同形狀的擴香器之擴散效率的比較。
- 二、探討手抄紙不同濃度和不同平整度之毛細現象的比較。
- 三、探討手抄紙擴香器不同粗細之擴散效率的比較。
- 四、探討手抄紙擴香器在不同濃度，例如：精油、驅蚊液等之擴散效率的比較。
- 五、探討手抄紙擴香器在不同壓力、不同溫度的環境下之擴散效率的比較。
- 六、利用擴散作用之自製環保擴香器的廣泛應用及推廣。

參、研究設備及器材

一、研究設備及儀器

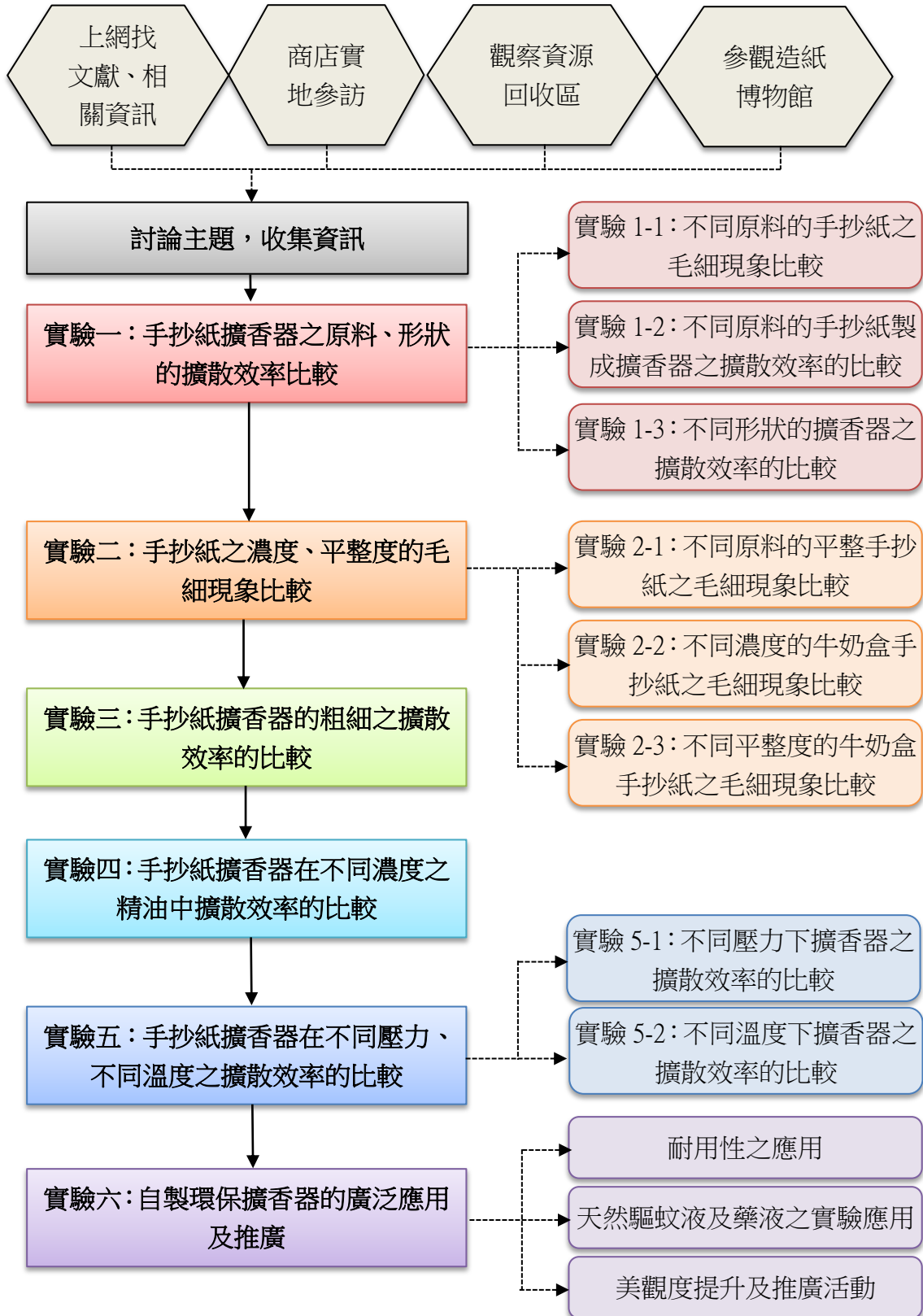
					
紙漿槽	抄紙網	電動攪拌器	吸水紙	果汁機	量杯
					
毛細現象組	口罩、手套	粗細吸管	乾抹布	藥水瓶	量筒
					
竹捲	菱形烤肉架	方形烤肉架	尼龍網	木板	塑膠桶
					
電暖器	電子秤	計時器	溫度、溼度計	真空罐	測溫槍

二、實驗材料

			
廢棄的影印紙	廢棄的瓦楞紙箱	舊報紙	餐巾紙
			
回收的牛奶盒	舊書法簿	精油、基劑	擴香竹

肆、研究過程或方法

一、實驗流程圖



二、各研究實驗步驟

(一)實驗一：手抄紙擴香器之原料、形狀的擴散效率比較

實驗 1-1：不同原料的手抄紙之毛細現象比較

1.抄紙流程：

- (1)將紙處理成碎片後，秤重 10g 為一份，泡水十二小時讓紙容易打碎。加水至一公升後放入果汁機攪打一分鐘，成為一份紙漿。
- (2)紙漿槽中放入四公升的水，依所需濃度加入紙漿後攪拌均勻。
- (3)抄網以傾斜角度入水，在水底下繞三圈，平穩的拿出水面並瀝乾多餘的水。
- (4)將框拆下後蓋上舊報紙吸水，再蓋上瓦楞紙板並倒扣抄網，用乾抹布擦乾。
- (5)放在通風處壓平晾乾，將乾燥的紙取下後完成。

2. 調配紙漿原料：我們利用資源回收場取得的報紙、瓦楞紙、影印紙以及家中擺放已久沒有用的餐巾紙來做為原料。首先，測試一份紙漿加入四份水(共計 10g 紙原料及 5L 的水)，結果紙非常薄，附在抄網上取下時破裂，抄紙失敗。再加入第二份紙漿(共計 20g 紙原料及 6L 的水)以提高濃度後，抄紙成功，將四種原料以此濃度各抄兩張紙。

表 1-1-1：兩份紙漿加入四份水抄紙張數及重量

材質 次數	報紙	瓦楞紙	影印紙	餐巾紙
第一次	4.1	4.5	4.3	5.2
第二次	3.2	3.9	1.8	4.4
第三次	2.6	2.6	1.2 (易破)	2.6
第四次	1.9	不成形	不成形	2.3

(單位：g)



圖 1-1-1:抄第四次不成形

3. 實驗介質：我們選擇了居家薰香普遍使用的玫瑰精油，以及有驅蚊效果的香茅精油和茶樹精油。由於精油不溶於水，所以會利用基劑(Isododecan，異十二烷)與精油混合，精油：基劑比例最高是 20：80。除了精油之外，還準備了純水作為對照。精油配方如下：

(1)玫瑰精油濃度 1/5 -- 玫瑰精油：基劑=20：80

(2)驅蚊精油濃度 1/5 -- 香茅精油：茶樹精油：基劑=10：10：80

4. 測量方法：我們採用毛細現象測量的方法。將四種紙(報紙、瓦楞紙、影印紙、餐巾紙)剪成一樣的長、寬(長 28 cm，寬 1cm)分別固定在架上，實驗介質(純水、1/5 濃度的玫瑰精油及驅蚊精油)加入容器中到 2cm 的高度後，同時將紙放入介質中，開始計時並測量上升高度。在使用精油時要戴上口罩、手套，接觸精油後要用肥皂洗手。

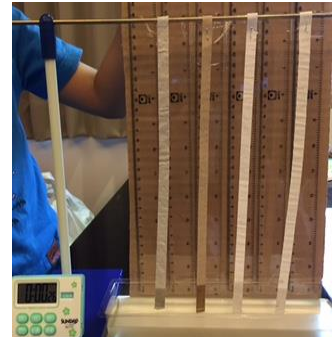


圖 1-1-2：毛細現象測量

實驗 1-2：不同原料的手抄紙製成擴香器之擴散效率的比較

- 1.擴香器形狀設計：參考市面上擴香竹的長條形狀，設計出紙捲狀結構，讓紙捲層與層之間的細縫幫助精油向上爬升。
- 2.細縫比較：純水和精油的玻璃夾紙實驗

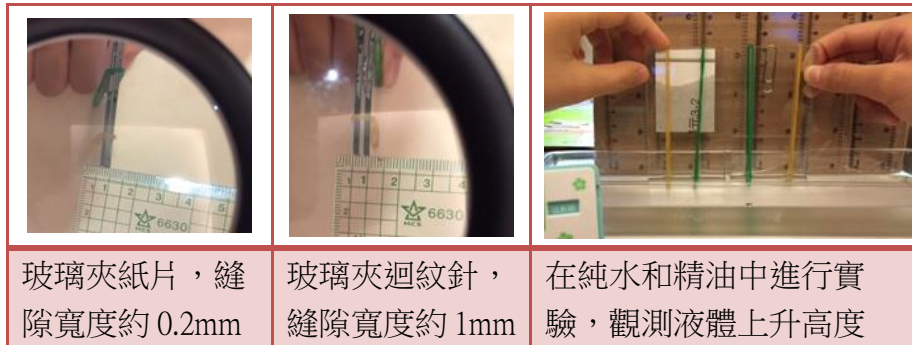


圖 1-2-1：細縫實驗

- 3.原料選擇：以實驗 1-1 中毛細現象結果較佳的兩種紙進行實驗，也就是餐巾紙手抄紙和影印紙手抄紙。
- 4.紙捲大小：採用粗細不同的吸管作為內徑標準化之工具，吸管的直徑分別為：1.2cm、0.8cm、0.4cm。在此實驗中先選擇中等口徑 0.8cm 的吸管來製作擴香紙捲。
- 5.擴香器製作

(1)實驗 1-1 中製作的手抄紙經過毛細現象實驗後剩下的部分，取約 1/4 大小(統一為長 16.8cm，寬 7cm)用直徑 0.8cm 的吸管捲成紙捲，用快乾膠固定邊緣。

- (2)將調配好的玫瑰精油濃度 1/5、驅蚊精油濃度 1/5 倒入大小相同的廢棄空藥瓶中，每瓶固定為 15ml。在藥瓶上註明精油種類及紙捲材質、濃度。
- (3)將紙捲放入藥瓶中秤重，做為起始重量值。
- (4)每隔一段時間秤重，紀錄重量減少量，以觀察精油揮發的速度。



圖 1-2-2：擴香器製作過程

實驗 1-3：不同形狀的擴香器之擴香效率的比較

- 1.原料選擇：參考實驗 1-2 的結果，我們選擇精油減少量最多的紙，也就是餐巾紙。
- 2.紙捲粗細：我們用實驗 1-2 提到的三種不同粗細的吸管來捲紙。吸管直徑依序為：粗 1.2cm，中 0.8cm，細 0.4cm。
- 3.紙捲長短：我們將一張手抄紙分成三等份，分別捲成粗、中、細三種紙捲。設計短捲、長捲兩種不同裁切方式如圖 1-3-1。一份短捲紙長 20.7cm、寬 9.8cm，一份長捲紙長 29.4cm、寬 6.9cm。
- 4.實驗方法：同實驗 1-2，將做好的紙捲放入 15ml 玫瑰精油濃度 1/5、驅蚊精油濃度 1/5 的藥瓶中，每隔一段時間觀察並秤重，紀錄重量減少量。



圖 1-3-1：擴香器製作過程

(二)實驗二：手抄紙之濃度、平整度的毛細現象比較

實驗 2-1：不同原料的平整手抄紙之毛細現象比較

在實驗一中用四種原料製作的手抄紙都會出現不規則的皺摺，根據觀察在製作過程中抄好的紙原本是平的，但倒扣在報紙上吸水後，報紙和手抄紙都產生一樣的皺摺。因此推測原因是報紙吸水後產生皺摺，而造成附著在上面的手抄紙同時產生變形。



圖 2-1-1：四種原料的手抄紙和報紙吸水後的皺摺

由於每一張紙的皺摺程度皆不相同，且同一張紙上每個區域的皺摺紋路也不一樣，因此用皺摺的紙進行實驗容易產生誤差。再加上我們想探討紙張的皺摺是否會影響毛細現象的結果，因此想製作出平的紙來對照。嘗試使用塑膠資料夾、塑膠瓦楞板、瓦楞紙板然後配合熨燙方式後，發現做出來的手抄紙都不夠平，仍然有皺摺產生。



圖 2-1-2：不同載板製作的手抄紙之皺摺

最後，我們想到在紙博物館上造紙課時有用到「吸水紙」這種材料，可用來吸水又不會皺，因此選擇用「吸水紙」來取代報紙，來製作平整的手抄紙進行實驗 2-1。

- 1.紙漿原料：和實驗 1-1 相同，使用報紙、瓦楞紙、影印紙、餐巾紙，以便於和實驗 1-1 中皺的紙比較。此外，由於在實驗 1-3 中發現長纖維的紙毛細現象結果較佳，我們另外尋找富含長纖維且容易取得的回收紙，最後決定再加入舊書法簿(剪去有寫毛筆字的部分)的宣紙和牛奶盒。牛奶盒的回收流程如下：

			
(1)回收牛奶盒	(2)清洗後拆開	(3)剪成一半	(4)用刀片輕刮表面
			
(5)水槽中泡水一週	(6)輕輕撕去膠膜	(7)兩面膠膜去除	(8)曬乾後秤重

圖 2-1-3：牛奶盒回收流程

2.實驗介質：玫瑰精油濃度 1/5

3.測量方法：毛細現象測量方法

實驗 2-2：不同濃度的牛奶盒手抄紙之毛細現象比較

1.紙漿原料：選擇實驗 2-1 中毛細現象結果最好的紙，即牛奶盒。

2.紙漿濃度：不同濃度的紙漿可抄出不同厚薄的紙，為了實驗不同厚薄的紙在毛細現象的表現，因此將紙漿的濃度設計為五種如下：

表 2-2-1：手抄紙的五種濃度設計

代號	濃度 A	濃度 B	濃度 C	濃度 D	濃度 E
配方	一份紙漿 4000cc 的水	兩份紙漿 4000cc 的水	四份紙漿 4000cc 的水	六份紙漿 4000cc 的水	八份紙漿 4000cc 的水
濃度	0.2%	0.33%	0.5%	0.6%	0.67%
濃度算法：溶質 / (溶質 + 溶劑)					

3.實驗介質：玫瑰精油濃度 1/5

4.測量方法：毛細現象測量方法

5.為了盡量減少手抄紙間的差異，我們設計以下標準化的抄紙流程：



圖 2-2-1：標準化的抄紙流程

在我們進行標準化流程抄紙的過程中，取各種濃度的宣紙和牛奶盒紙漿沉澱兩周後觀察，結果發現紙漿濃度越高的，紙纖維沉澱高度越高。紙纖維和水經過兩周後都沒有變色、變味、腐爛，表示耐久性高。

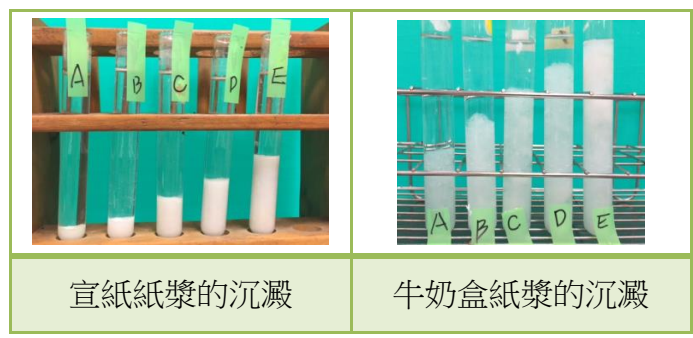


圖 2-2-2：不同濃度的紙漿沉澱

在抄紙時取各濃度抄起來的紙漿連同抄網架在一色彩鮮艷的底層圖案上，觀察發現濃度 A 的透視程度最高，隨著濃度的提高圖案漸漸看不見了，表示手抄紙越來越厚了。

	底層圖案	濃度 A	濃度 B	濃度 C	濃度 D	濃度 E
宣紙						
牛奶盒						

圖 2-2-3：不同濃度的紙漿透視程度

實驗 2-3：不同平整度的牛奶盒手抄紙之毛細現象比較

- 1.紙漿原料及濃度：選擇實驗 2-2 中毛細現象結果較佳的牛奶盒濃度 C 和濃度 D。
- 2.實驗介質：玫瑰精油濃度 1/5
- 3.測量方法：毛細現象測量方法
- 4.產生不同的平整度：實驗 1-1 有皺摺的手抄紙和實驗 2-1 平整的手抄紙比起來，實驗 1-1 皺摺的紙毛細現象爬升高度最高，但是因為報紙遇水產生的皺摺無法以標準化方法控制，我們想另外利用以下四種皺摺製造層來產生一致性的壓紋，與平整的紙做比較，觀察是否可以產生讓毛細現象結果更好的紋路。

代號	竹捲	烤肉網 A	烤肉網 B	尼龍網	無壓紋
照片					平整的紙

圖 2-3-1：五種平整度設計

(1)抄好的紙上面蓋上皺摺層	(2)在皺摺層上面蓋上四層舊報紙	(3)反扣在五公分厚的舊報紙上	(4)用十片木板共重 13.5kg 平均加壓五分鐘

圖 2-3-2：皺摺產生流程

(三)實驗三：手抄紙擴香器的粗細之擴散效率的比較

- 1.取牛奶盒濃度 C、D 各五種平整度的手抄紙各一張。
- 2.將每一張牛奶盒手抄紙以短捲的方式裁成三份，利用三種粗細的吸管將每份捲成紙捲，捲到底時用快乾膠將邊緣固定。
- 3.在藥瓶中加入 10ml 調配好的玫瑰精油濃度 1/5，並將紙捲插入藥瓶中秤重。
- 4.將塑膠桶(容量約 43.7 公升)上緣貼上積木，蓋子放上後可以有五公分高度的空隙讓桶內的空氣流通。
- 5.將紙捲、藥瓶放入鋼杯(用來避免藥瓶傾倒)後置於塑膠桶中間，將蓋子放上。
- 6.每隔半小時秤重，紀錄重量減少量。

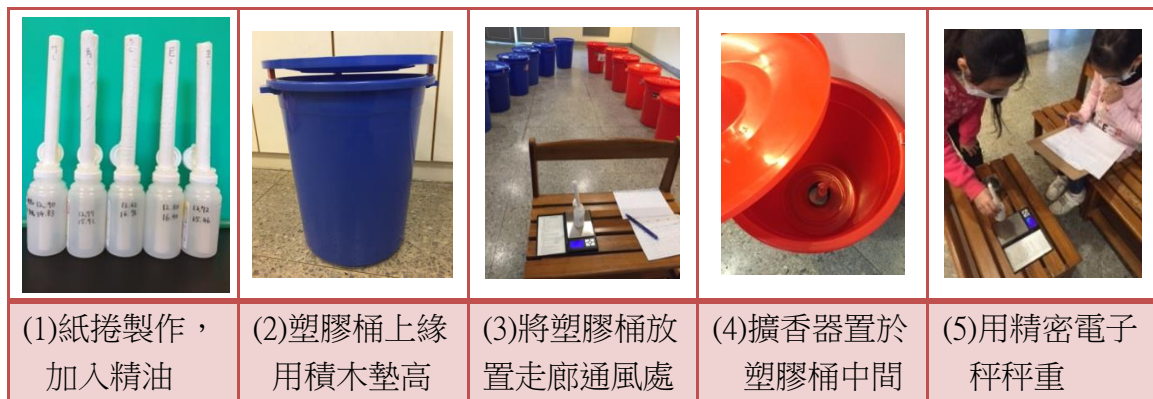


圖 3-1：手抄紙擴香器的粗細之比較的實驗流程

(四)實驗四：手抄紙擴香器在不同濃度之精油中擴散效率的比較

- 1.步驟同實驗三
- 2.為了將精油濃度降低，我們將基劑的量加倍，也就是精油：基劑 = 10：80，玫瑰精油濃度降為 1/9。

(五)實驗五：手抄紙擴香器在不同壓力、不同溫度之擴散效率的比較

由於環境的壓力及溫度會影響擴散的快慢，因此我們想探討精油擴散效率是否也受到這兩個因素影響。

實驗 5-1：不同壓力下擴香器之擴散效率的比較

1.利用自動真空罐抽出空氣以降低壓力

(1)取兩個相同的 5 公升自動真空罐，分別置入一組裝盛 10ml 濃度 1/9 玫瑰精油的牛奶盒濃度 C 擴香器。



(2)將其中一個真空罐抽真空，另一個不抽氣作為對照組。圖 5-1-1：真空罐實驗

(3)靜置二十四小時後將擴香器取出秤重，計算重量減少量。

2.改變高度位置以降低壓力

(1)將裝盛 10ml 濃度 1/9 玫瑰精油的牛奶盒濃度 C 擴香器放置於山上(海拔 739m)的涼亭附近不同位置。同一時間，將另一組擴香器放置於平地的學校走廊上。

(2)詢問氣象局並利用壓力計得知當天山上和平地的氣壓值。

(3)控制平地的溫度、濕度和山上一致，每隔半小時秤重，計算重量減少量。



圖 5-1-2：山上的擴香實驗

實驗 5-2：不同溫度下擴香器之擴散效率的比較

1.利用電暖器提高環境溫度

(1)取夾板搭建一個長 130 公分、寬 75 公分、高 120 公分的隔間作為暖房，其中放一台電暖器。

(2)在暖房內放兩個裝盛 10ml 濃度 1/9 玫瑰精油的牛奶盒濃度 C 擴香器。

(3)控制電暖器的強度和距離擴香器的遠近，分別設計出四種溫度範圍的環境：

26~28°C、28~30°C、30~33°C、37~40°C。每隔半小時用測溫槍測量擴香器的環境溫度，以控制在範圍內。

(4)靜置三小時後，將擴香器取出秤重，計算重量減少量。

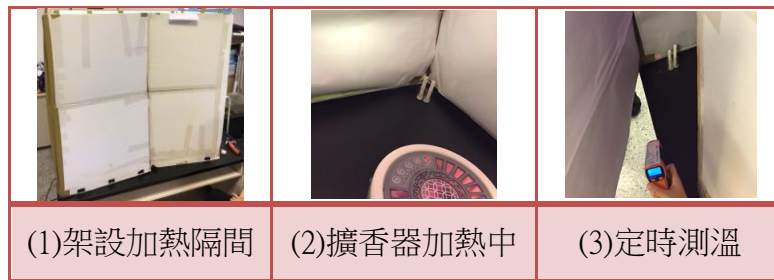


圖 5-2 以電暖器提高環境溫度之擴散效率的實驗操作流程

2.利用電冰箱降低環境溫度

(1)在冰箱的冷凍室和冷藏室各放一個裝盛 10ml 濃度 1/9 玫瑰精油的牛奶盒濃度 C 擴香器。同時在室溫環境下放一組對照組。

(2)由於冰箱內溼度很高的狀態下紙捲會受潮，且拿出來測量時遇到暖空氣水蒸氣會凝結，都會使得重量增加，因此在冷凍室和冷藏室各放入一個沒有精油的乾擴香器，以測量因受潮、水蒸氣凝結造成的重量增加量。

(3)靜置二十四小時後，將擴香器取出秤重，計算重量變化量，並測量記錄冷凍室和冷藏室的環境溫度。

(六)實驗六：自製環保擴香器的廣泛應用及推廣

1.將實驗三、四中實驗結束後的紙捲留下來風乾，取濃度 C、濃度 D 各一根紙捲，和市售擴香竹同時浸泡 10ml 玫瑰精油濃度 1/5 中，每日補充精油保持 10ml，觀察紙捲和擴香竹的變化，以了解其耐用性。

2.嘗試加入校園中各種不同的天然原料，以增加視覺上的色彩變化及應用上的驅蚊效果，並在校內推廣給同學一起製作。同時我們捕捉校園中的蚊子，以觀察我們製作的驅蚊擴香器之效果。

3.為了兼顧實際使用上的美觀，我們將製作紙捲剩餘的手抄紙剪成長條或花瓣的形狀，貼在紙捲上製作成各種紙花，以提高其美觀實用性。

伍、實驗結果

一、實驗一：手抄紙擴香器之原料、形狀的擴散效率比較

(一)實驗 1-1：不同原料的手抄紙之毛細現象比較

1.純水、玫瑰精油、驅蚊精油在五分鐘時毛細現象的結果一致：以餐巾紙手抄紙的爬升高度最高。原始的紙張中也是餐巾紙最高但是比手抄紙低。

2.純水的爬升高度比精油爬升的高，而兩種不同配方的精油的毛細現象上升高度也不完全相同。但是不同原料的紙之間的高低趨勢一致，都是餐巾紙最高，其次為影印紙、瓦楞紙，報紙最低。

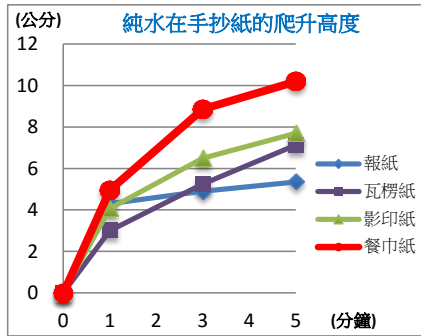


圖 1-1-3：純水在手抄紙的高度

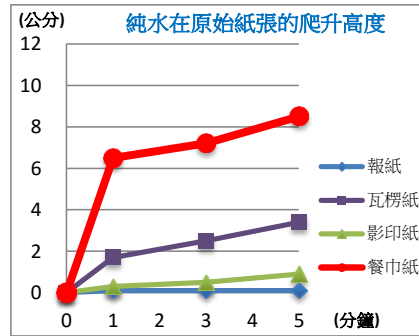


圖 1-1-4：純水在原紙張的高度

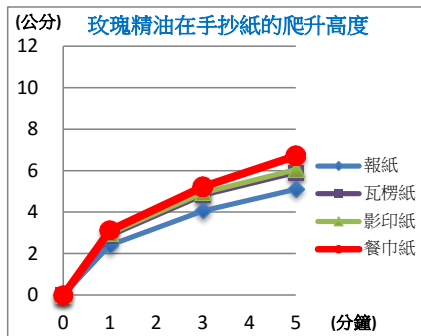


圖 1-1-5：玫瑰精油在手抄紙的高度

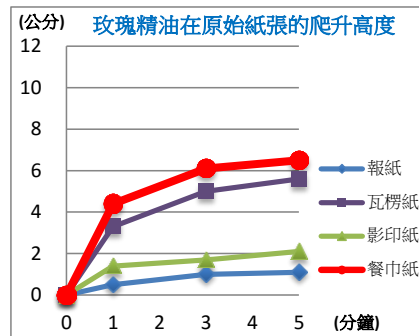


圖 1-1-6：玫瑰精油在原紙張的高度

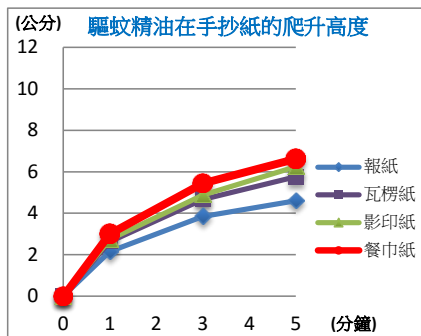


圖 1-1-7：驅蚊精油在手抄紙的高度

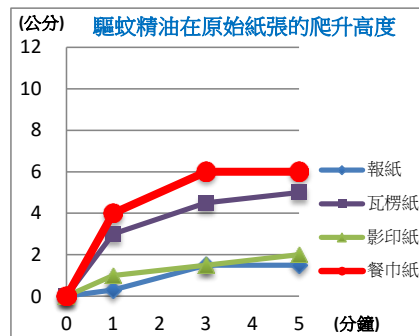


圖 1-1-8：驅蚊精油在原紙張的高度

(二)實驗 1-2：不同原料的手抄紙製成擴香器之擴散效率的比較

1. 細縫比較：玻璃夾紙實驗結果發現，夾紙片的細縫比迴紋針小，故純水和精油爬升的位置較高。因此在製作擴香器時應盡量捲緊，以免細縫太大。

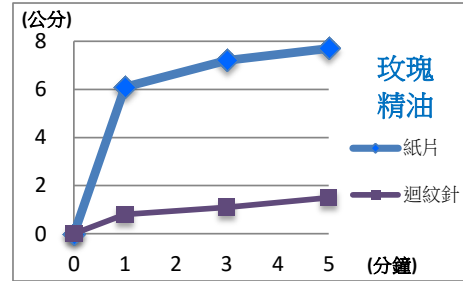
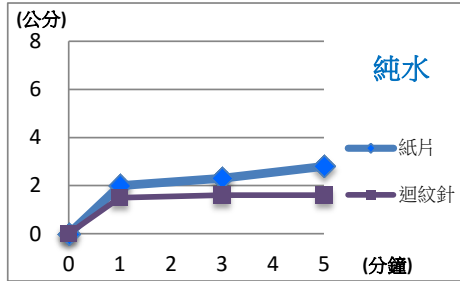


圖 1-2-3：純水在玻璃細縫的高度

圖 1-2-4 玫瑰精油在玻璃細縫的高度

2. 在觀測手抄紙擴香器五十二小時下，玫瑰精油中重量減少量最大的擴香器是餐巾紙手抄紙，驅蚊精油的結果也相同是餐巾紙手抄紙，和實驗 1-1 中毛細現象實驗結果一致。
3. 沒有放任何擴香器的精油揮發速度非常緩慢，有插一根擴香竹的揮發量很低，且比各種紙捲的揮發速度都慢很多。

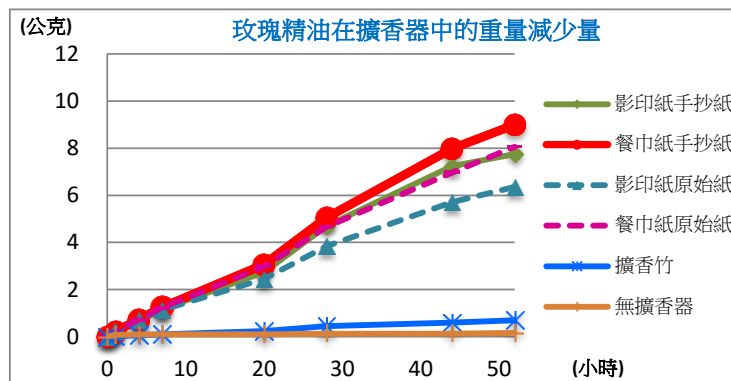


圖 1-2-5：玫瑰精油在不同的擴香器之重量減少量

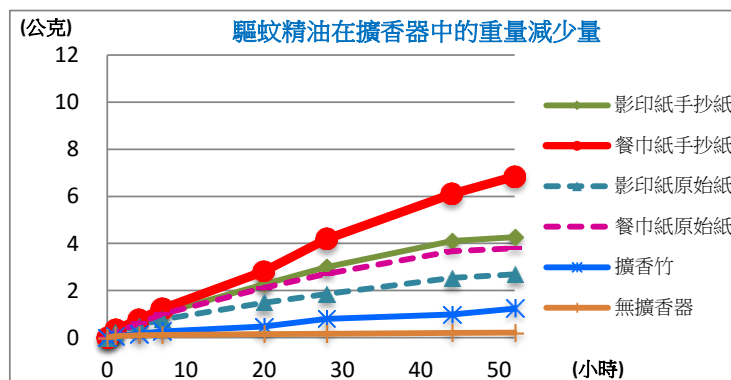


圖 1-2-6：驅蚊精油在不同的擴香器之重量減少量

(三)實驗 1-3：不同形狀的擴香器之擴散效率的比較

1. 觀測不同粗細長短的擴香器在十四小時的玫瑰精油減少量，結果是長捲-粗的精油揮發量最高，短捲-細的精油揮發量最低，在玫瑰精油和驅蚊精油的結果都是一致的。

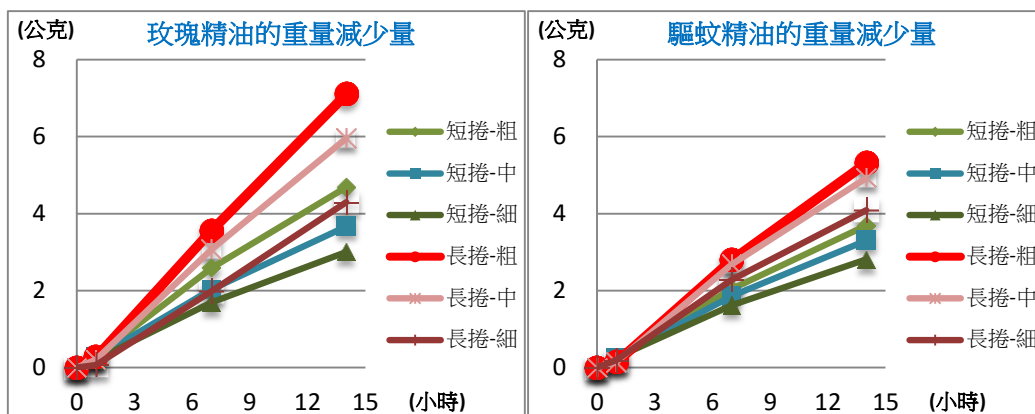


圖 1-3-2：玫瑰精油的重量減少量

圖 1-3-3：驅蚊精油的重量減少量

2. 實驗結果顯示，越粗越長的紙捲精油揮發速度越快。我們認為揮發速度和表面積的大小有關，因此測量每個紙捲的最外圈寬度，以及紙捲伸出藥瓶外的高度，相乘後算出紙捲可揮發精油的表面積於表 1-3-1。分別比較玫瑰精油、驅蚊精油紙捲表面積的大小和精油揮發量高低結果趨勢一致。因此可以證明，紙捲表面積越大，精油擴散效率越快。

表 1-3-1：紙捲的可揮發精油表面積

精油 面積 紙捲	玫瑰精油			驅蚊精油		
	紙捲最外 圈寬度 (公分)	紙捲高扣 除藥瓶高 度 (公分)	紙捲可揮 發精油的 表面積(平 方公分)	紙捲最外 圈寬度 (公分)	紙捲高扣 除藥瓶高 度 (公分)	紙捲可揮 發精油的 表面積(平 方公分)
短捲-粗	4.7	11.8	55.5	4.7	12.0	56.4
短捲-中	3.8	11.8	44.8	3.8	12.0	45.6
短捲-細	3.2	11.8	37.8	3.3	12.0	39.6
長捲-粗	4.5	20.4	91.8	4.5	20.2	90.9
長捲-中	3.5	20.4	71.4	3.4	20.2	68.7
長捲-細	2.7	20.4	55.1	2.9	20.2	58.6

3.用 200 倍的電子顯微鏡觀察紙的纖維結構，發現餐巾紙手抄紙的纖維特別長而綿密，推測是毛細現象爬升高度最高的原因。

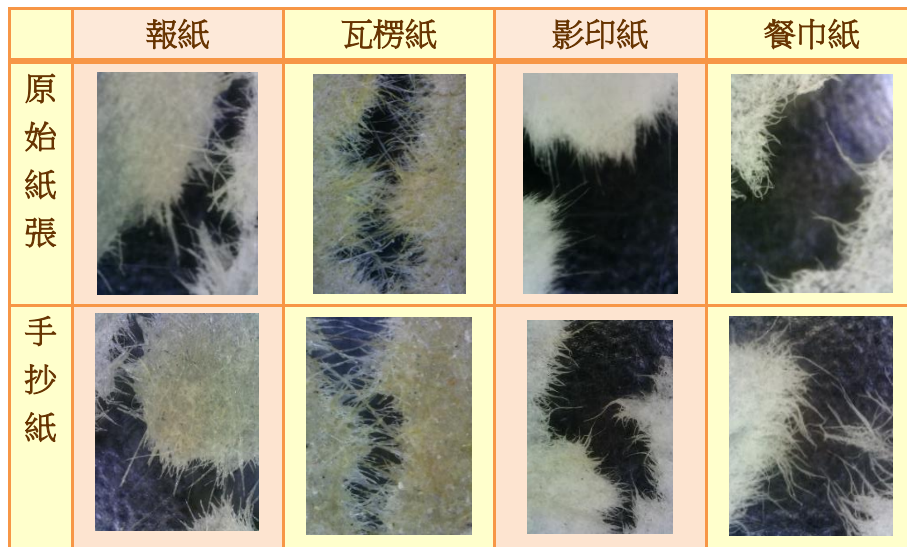


圖 1-3-4：電子顯微鏡觀察紙的纖維結構

二、實驗二：手抄紙之濃度、平整度的毛細現象比較

(一)實驗 2-1：不同原料的平整手抄紙之毛細現象比較

1. 完全平整的手抄紙中，玫瑰精油在五分鐘時以牛奶盒手抄紙的爬升高度最高，毛細現象結果比餐巾紙手抄紙還要更好。
2. 和實驗 1-1 的結果比較，玫瑰精油在報紙、瓦楞紙、影印紙、餐巾紙這四種手抄紙中的爬升高度結果都是皺摺的紙較高，平整的紙較低。因此我們推測實驗一中皺摺的紙可以造成毛細現象爬升高度較高。

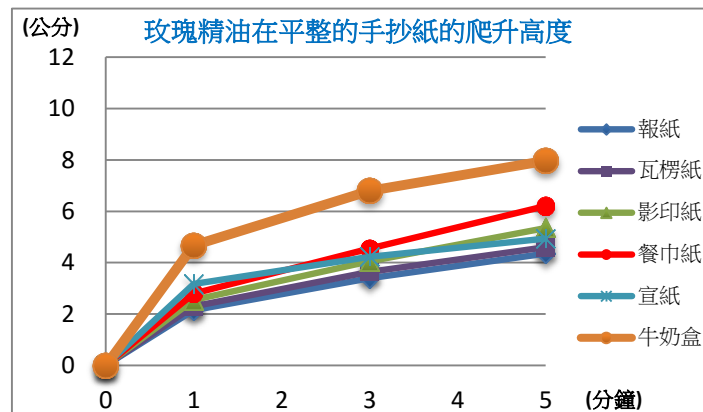


圖 2-1-4：玫瑰精油在不同原料的平整的手抄紙上升高度

(二)實驗 2-2：不同濃度的牛奶盒手抄紙之毛細現象比較

- 1.不同濃度 A、B、C、D、E 的牛奶盒手抄紙中，牛奶盒濃度 C、D 的毛細現象爬升高度最高。濃度 C 的牛奶盒，在五分鐘的爬升高度為 9 公分，其次為濃度 D 的牛奶盒，在五分鐘的爬升高度為 8.9 公分。

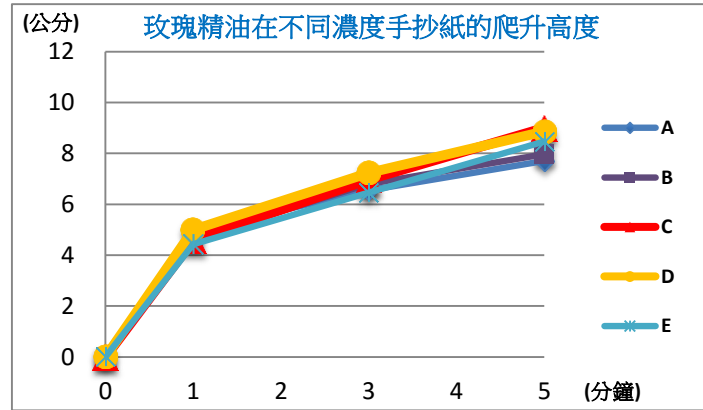


圖 2-2-4：玫瑰精油在不同濃度的牛奶盒手抄紙的上升高度

(三)實驗 2-3：不同平整度的牛奶盒手抄紙之毛細現象比較

- 1.選擇牛奶盒濃度 C、D 的紙製作出五種平整度，發現不同平整度之間的毛細現象爬升高度結果差異不大。
- 2.實驗一中皺摺的紙毛細現象優於平的紙，但我們製造的四種壓紋結果和平的紙結果沒有明顯差異，推測原因為實驗一中沒有加壓，是紙在乾燥過程中自然皺摺蓬鬆，產生了许多利於介質爬升的孔隙。

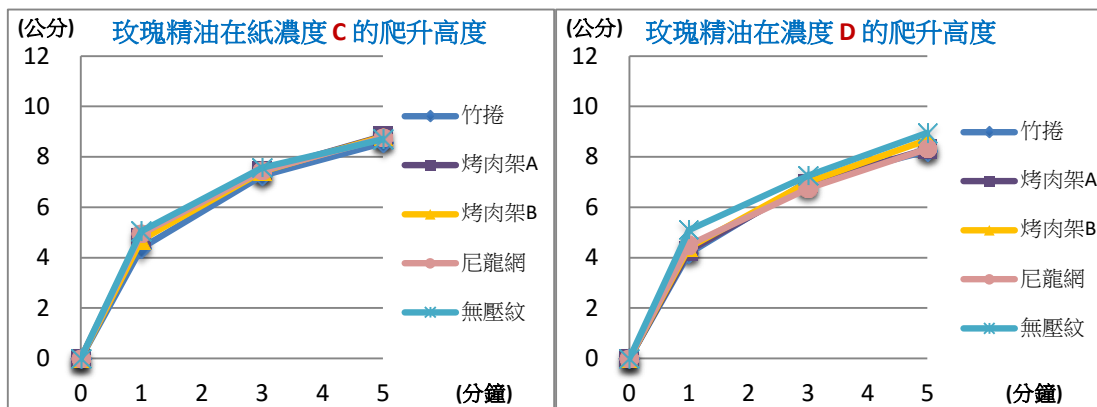


圖 2-3-3：不同平整度的濃度 C 手抄紙 圖 2-3-4：不同平整度的濃度 D 手抄紙

三、實驗三：手抄紙擴香器的粗細之擴散效率的比較

(一)由於實驗 2-3 中牛奶盒濃度 C、D 的紙製作出的五種紙毛細現象結果差異不大，我們將這兩種濃度、五種平整度的紙做成粗、中、細短捲的擴香器，觀測六十小時的重量變化量，發現這十種紙在短捲粗實驗的結果差異不大。而短捲中和短捲細的差異在後面三十小時就快慢不一。

1. 短捲粗：

(1) 短捲粗在前三十小時就揮發了大部分的精油，之後揮發速度就很緩慢。

在三十小時短捲粗牛奶盒紙濃度 C 中，烤肉架 A 壓紋揮發了 6.53 公克，是十種紙中揮發最快的。

(2) 我們放了兩個擴香器在密閉的塑膠桶中作為對照組，其揮發速度明顯較慢，大約 50 小時才能揮發大部分的精油。

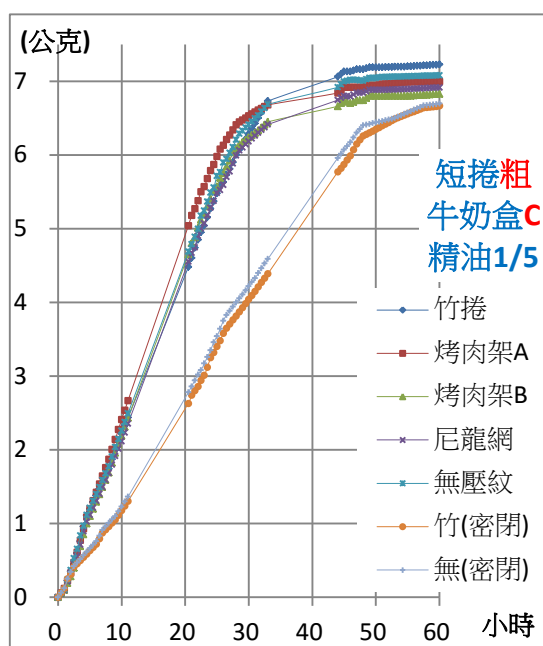


圖 3-1-1：短捲粗牛奶盒 C 重量減少量

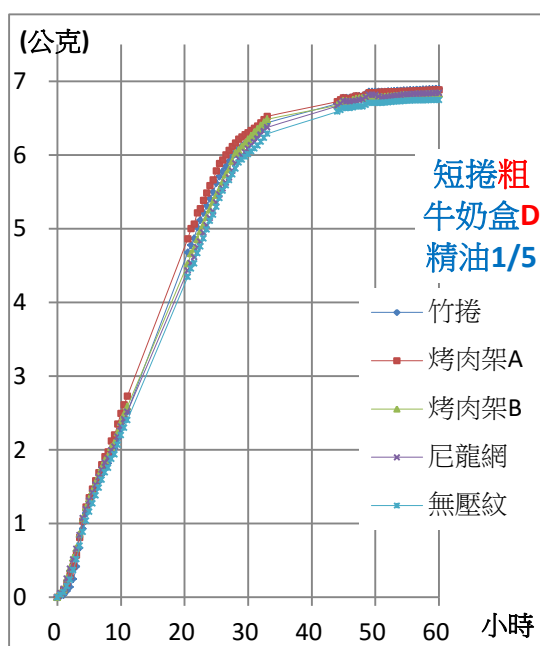


圖 3-1-2：短捲粗牛奶盒 D 重量減少量

2. 短捲中：在前三十五小時揮發了大部分的精油，之後揮發速度就很緩慢。

在三十小時短捲中牛奶盒紙濃度 C 中，竹捲壓紋揮發了 4.88 公克，是十種紙中揮發最快的，但是比短捲粗(6.53 公克)慢。

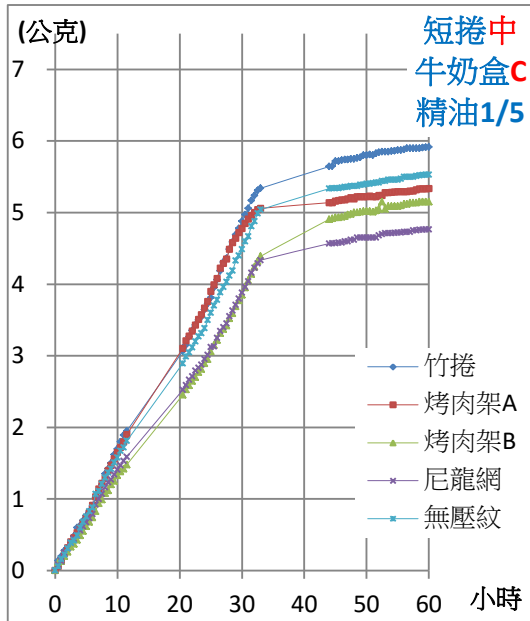


圖 3-2-1：短捲中牛奶盒 C 重量減少量

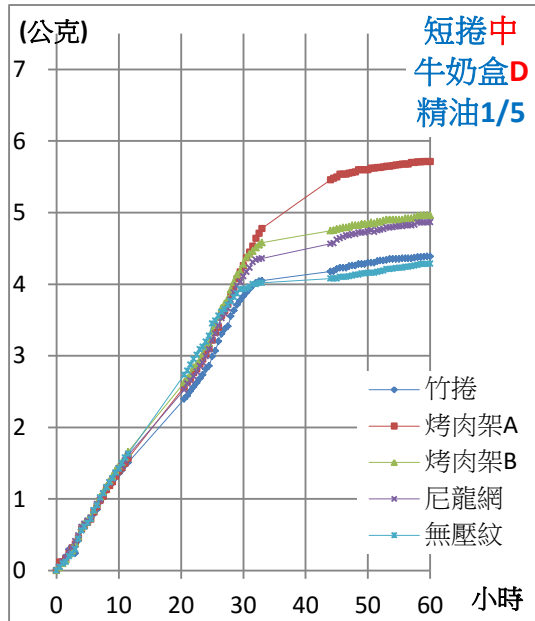


圖 3-2-2：短捲中牛奶盒 D 重量減少量

3. 短捲細：

- (1) 短捲細的揮發速度較為平均，在三十小時短捲細牛奶盒紙濃度 D 中，竹捲壓紋揮發了 3.35 公克，是十種紙中揮發最快的，但是比短捲中(4.88 公克)慢。
- (2) 我們另外用原始的影印紙製作一樣的短捲細和短捲粗作為對照，結果發現同樣粗細下，影印紙揮發速度比牛奶盒手抄紙慢很多。

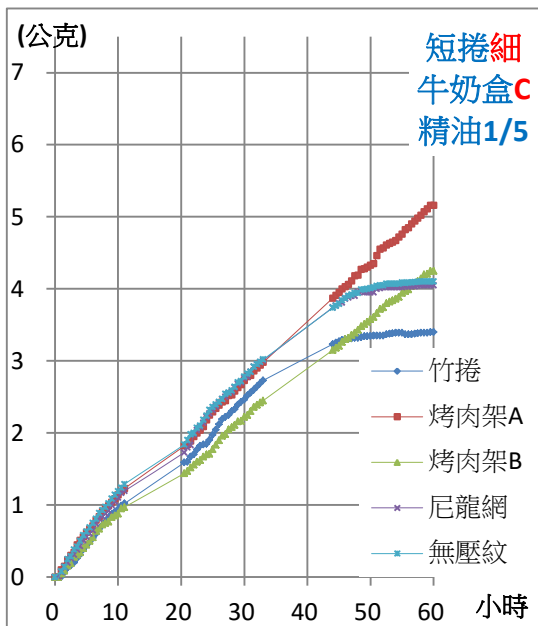


圖 3-3-1：短捲細牛奶盒 C 重量減少量

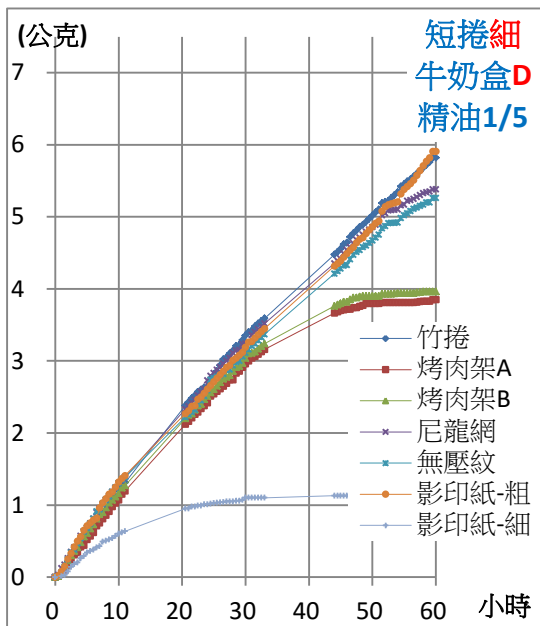


圖 3-3-2：短捲細牛奶盒 D 重量減少量

4. 由以上結果發現揮發效率為：短捲粗最快，其次為短捲中，短捲細最慢，和實驗 1-3 的結果一致，紙捲表面積越大，精油擴散效率越快。

四、實驗四：手抄紙擴香器在不同濃度之精油中擴散效率的比較

(一)和實驗三的結果趨勢類似，前三十小時十種紙之間的快慢結果並無明顯的差異，後面三十小時就快慢不一。

1. **短捲粗**：在前三十小時就揮發了大部分的精油，之後揮發速度就很緩慢。在三十小時短捲粗牛奶盒紙濃度 D 中，竹捲壓紋揮發了 5.26 公克，是十種紙中揮發最快的，但是比實驗三中濃度 1/5 精油下的短捲粗(6.53 公克)慢。

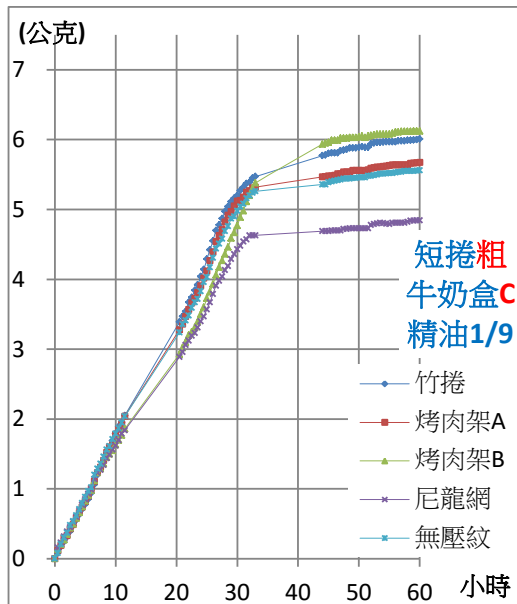


圖 4-1-1：短捲粗牛奶盒 C 重量減少量

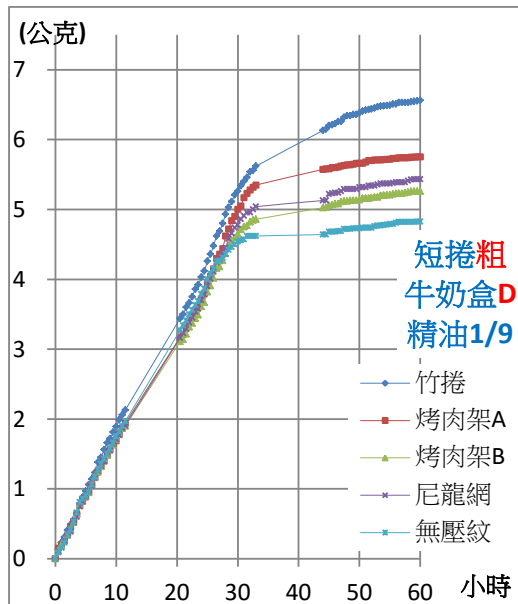


圖 4-1-2：短捲粗牛奶盒 D 重量減少量

2. **短捲中**：

(1) 在前三十五小時就揮發了大部分的精油，之後揮發速度就很緩慢。在三十小時短捲中牛奶盒紙濃度 D 中，無壓紋揮發了 4.97 公克，是十種紙中揮發最快的，但是比短捲粗(5.26 公克)慢。

(2) 實驗三和實驗四的短捲中結果比較，三十小時的最高精油揮發量在濃度 1/5 時為 4.88 公克，濃度 1/9 時為 4.97 公克，濃度 1/9 精油的擴散效率比較快。

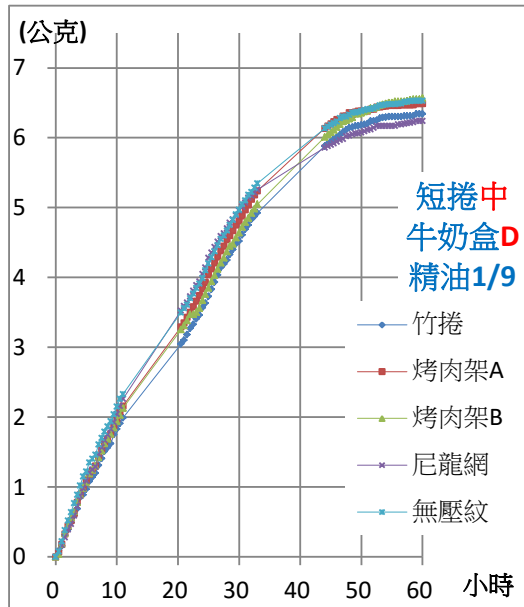
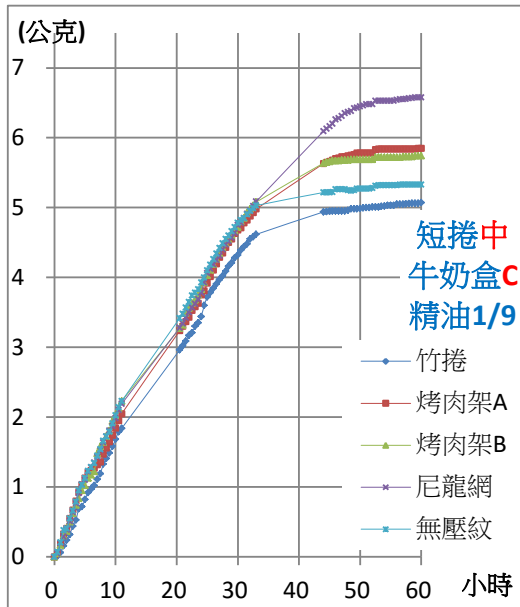


圖 4-2-1：短捲中牛奶盒 C 重量減少量

圖 4-2-2：短捲中牛奶盒 D 重量減少量

3. 短捲細：

(1) 短捲細在前三十五小時就揮發了大部分的精油，之後揮發速度就很緩慢。

在三十小時短捲細牛奶盒紙濃度 D 中，無壓紋揮發了 4.51 公克，是十種紙中揮發最快的，但是比短捲中(4.97 公克)慢。

(2) 實驗三和實驗四的短捲細比較，三十小時最高精油揮發量在濃度 1/5 時為 3.35 公克，濃度 1/9 時為 4.51 公克，濃度 1/9 精油的擴散效率比較快。

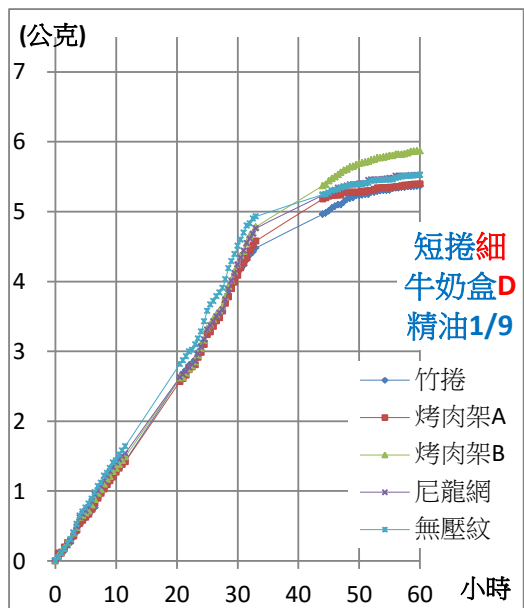
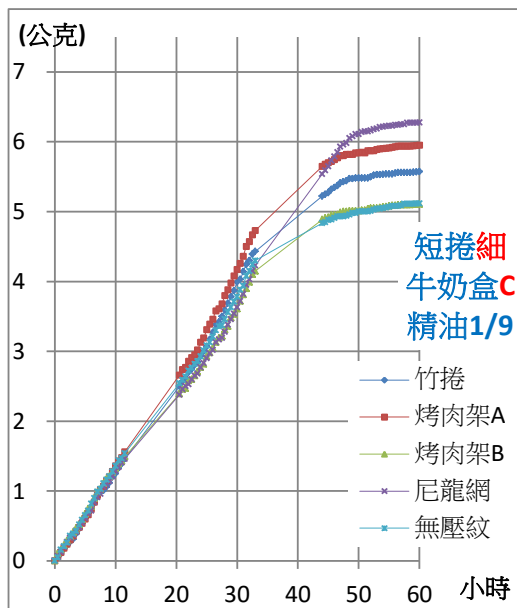


圖 4-3-1：短捲細牛奶盒 C 重量減少量

圖 4-3-2：短捲細牛奶盒 D 重量減少量

4.由以上結果發現擴散效率依序為：短捲粗最快，其次為短捲中，短捲細最慢，和實驗 1-3 的結果一致，紙捲表面積越大，精油擴散效率越快。

五、實驗五：手抄紙擴香器在不同壓力、不同溫度之擴散效率的比較

(一)實驗 5-1：不同壓力下擴香器之擴散效率的比較

1.利用自動真空罐抽出空氣以降低壓力：擴香器靜置二十四小時後，抽真空的擴香器重量減少量為 0.19 公克，未抽氣的對照組之重量減少量為 0.18 公克。由此實驗結果發現，壓力較小的密閉空間環境狀態下，精油擴散效率較快，壓力較大的擴散效率較慢，但差異很小並不顯著。

2.改變高度位置以降低壓力：山上的氣壓為 928 百帕比平地 1008 百帕低，在此氣壓較低的環境下，十組數據中有九組都比平地有較高的重量減少量。由此實驗結果發現，壓力較小的開放空間環境狀態下，精油擴散效率較快，壓力較大的擴散效率較慢。

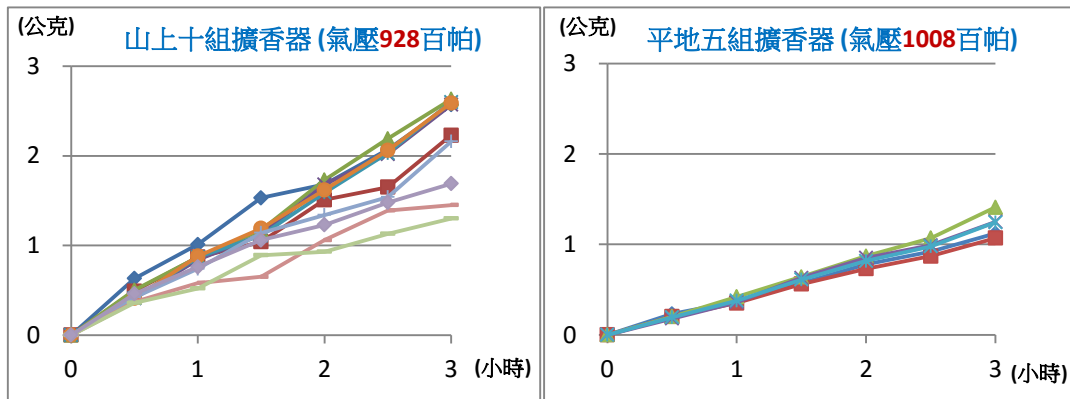


圖 5-1-1：山上的精油重量減少量

圖 5-1-2：平地的精油重量減少量

(二)實驗 5-2：不同溫度下擴香器之擴散效率的比較

1.利用電暖器提高環境溫度：將四個範圍的三小時環境溫度取平均值，並分別觀察精油的重量減少量。結果發現，溫度越高的環境狀態下，精油擴散效率越快。

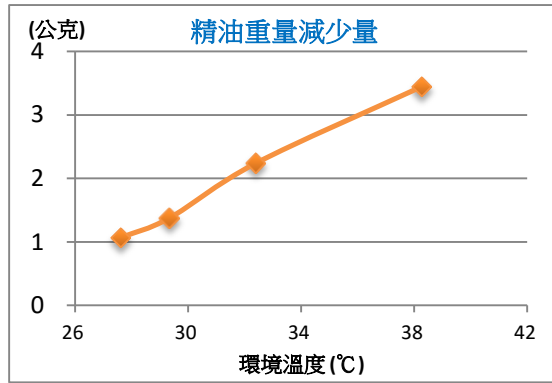


圖 5-2-1：不同環境高溫下的重量減少量

2. 利用電冰箱降低環境溫度：從平均的精油重量減少量結果發現，在低溫的環境下，精油擴散效率比室溫慢很多，溫度越低擴散效率越慢。

表 5-2：不同環境低溫下的重量減少量

	冷凍庫	冷藏室	室溫環境
溫度(°C)	-10	4	29
24 小時精油減少量(g)	0.18	0.20	1.6

六、實驗六：自製環保擴香器的廣泛應用及推廣

(一)耐用性證明：觀察牛奶盒手抄紙捲和擴香竹浸泡在精油中的耐用性狀況，發現在第十五日後擴香竹有明顯發黑的情形，第二十日開始有看到擴香竹表面有顆粒狀白屑，靠近聞會有異味，之後發黑和白屑的狀況越來越明顯。牛奶盒手抄紙捲則沒有明顯的變化，也沒有異味。

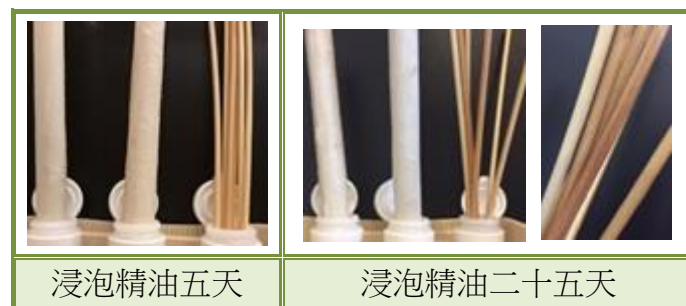


圖 6-1：牛奶盒手抄紙和擴香竹浸泡結果比較

(二)天然驅蚊應用：我們在校園中發現了幾種有驅蚊功效的香草植物，在老師的准許下我們剪下這些植物，沖洗乾淨、晾乾後將枝葉剪碎浸泡在食用橄欖油中，隔水加熱讓香味融入油中，再冷藏保存。用此天然香草驅蚊油搭配我

們的牛奶盒手抄紙擴香器，既環保又容易在校園中DIY。

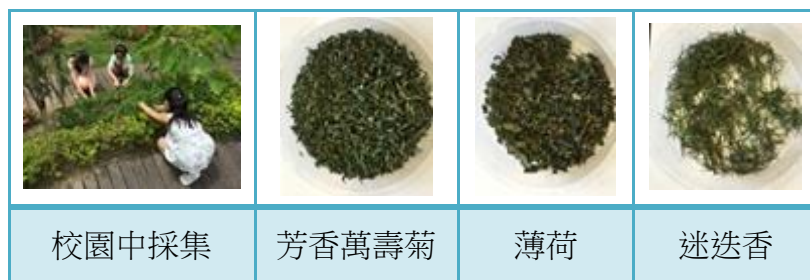


圖 6-2：校園中的香草驅蚊植物

為了讓手抄紙多一些視覺上的變化，我們想嘗試用天然的方式染色。我們想到用丟棄的火龍果皮放入果汁機打成汁，過濾出纖維後的紅色汁液作為染劑加入紙漿中，除此之外也嘗試了洛神湯。這些染劑直接加入紙漿中因為被稀釋了，所以乾燥後的顏色很淡不明顯。因此我們用另一種方法，將染劑放入噴霧瓶中，直接噴在完成乾燥後的手抄紙上，顏色就鮮豔亮麗多了。除此之外，我們想製作出本身就具備驅蚊的效果的紙，所以將各種驅蚊植物的枝葉放入果汁機中打碎，加入紙漿中一起抄紙。用此方法製作出來的紙不但散發著清爽的香味，紙面上還佈滿了天然的香草纖維顆粒，色香味俱全，同學們都愛不釋手！

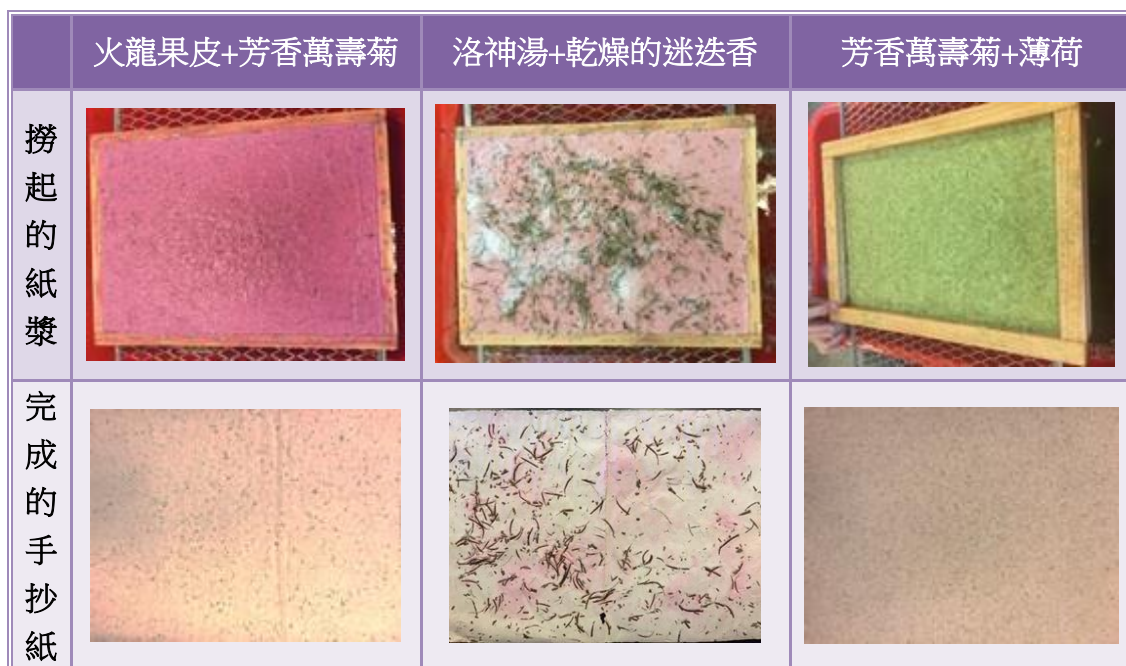


圖 6-3：以天然方式染色的驅蚊手抄紙

為了進行驅蚊效果應用的實驗，我們在校園內用捕蟲網並配合燈光及果皮引誘十幾隻蚊子放入自製中型昆蟲箱。一開始蚊子在箱內各處飛，接著我們拿一支手電筒照射昆蟲箱的角落，蚊子開始聚集在光源附近。最後我們快速的將半枝牛奶盒 C 的自製驅蚊精油擴香器輕輕的放入昆蟲箱的光源角落。經過五到十分鐘後發現，即使蚊子有趨光性，放入擴香器後蚊子逐漸飛往昆蟲箱中距離精油最遠的位置，因此可觀察出其驅蚊之效果。

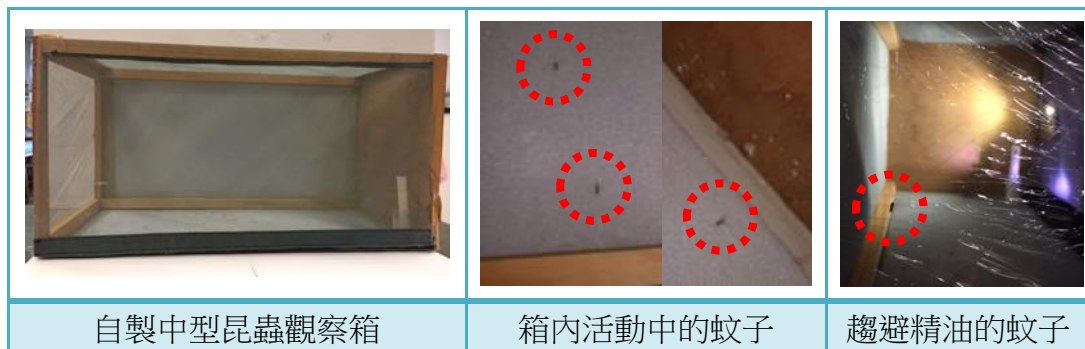


圖 6-4：擴香器驅蚊之實驗

(三)推廣應用活動：由於同學看到我們的擴香器，想要學著做做看放在教室驅蚊，因此老師安排活動，請我們三位小老師教大家製作天然環保的擴香器。



圖 6-5：校內自製環保擴香器推廣活動

陸、討論

- 一、**為什麼需要設計擴香器？**由實驗 1-2 可以看出，精油若是在沒有使用擴香器時揮發量非常少，很難達到室內完全香氛的功能。我們在市面上看到的擴香器不外乎是用竹子、石膏、燃燒或是插電加熱，都要花錢購買且不環保。而我們設計的手抄紙擴香器製作簡單且環保，隨時隨地皆可使用。
- 二、**為什麼需要設計驅蚊精油實驗？**市面上賣的蚊香無論是液體的或是燃燒的，都含有對人體有害的物質不適合長時間使用。因此在登革熱盛行的季節，學校、教室內外常常會噴灑驅蚊精油，但是效果維持時間不長且噴太多時會讓大家覺得很臭影響學習。我們設計的擴香器可以依照空間大小、及味道濃淡不同需求自行決定擴香器的使用量，而且可以由我們學生在學校自行製作。
- 三、**為什麼在實驗一中做出來皺的紙之後，還要在實驗二中製作出平的紙？**因為我們在做了實驗一的毛細現象實驗後，覺得紙的皺摺可能會讓液體的爬升速度變慢，所以想要做出平的紙讓毛細現象速度快一點。但是做完實驗二後卻發現結果跟我們想像的不同，實驗一中皺的紙毛細現象速度反而比實驗二平的紙快，可能是因為實驗二的紙又平又光滑，造成水分子較難附著攀爬，但實驗一的紙又鬆又粗糙，就類似餐巾紙衛生紙刻意製造出來的花紋一般，可幫助水向上爬升的附著力。
- 四、**為什麼會設計捲成紙捲狀的擴香器？**因為市面上的擴香產品中最普遍的是長條狀擴香竹，且配合毛細現象實驗中提到水在細縫中爬升的現象，想到可以捲成紙捲，讓紙捲層與層之間的細縫幫助精油向上爬升。同時運用日常生活中喝飲料用到的粗細吸管，不但方便取得也容易操作。
- 五、**實驗 1-3 的結果是長捲的擴香速度比短捲的快，為什麼實驗三、四採用短捲的方式製作而不是用長捲？**因為我們在做實驗 1-3 的過程中發現在捲長捲的紙捲時因為紙太長了很不容易捲，紙容易破且不易捲緊，再加上太長了容易造成藥瓶站不穩。參考市售擴香竹的長度，很接近短捲的長度，因此我們決

定採用短捲的方式較符合實用性。

六、**為什麼牛奶盒手抄紙不但毛細現象效果好又耐用？**因為牛奶盒所含的紙纖維係屬原生長纖，較一般廢紙之再生紙漿品質佳，須通過食品級測試及無菌包裝，而且牛奶盒從包裝到消費者喝完之間的時間需要十多天以上，因此纖維強韌耐用又不易變質。

七、**為什麼要設計擴香花？**蒸發現象的原理：「植物從根吸上來的水，經過細長的導管送至葉，然後蒸發到大氣中。而當葉面水分蒸發時，因水分彼此間有很強的聚集力量，所以能將下面的水分拉至高處。水分自葉面蒸發時的蒸發力就是吸水往上的原動力。葉片多表面積越大，水分蒸發越多。」製作成擴香花不但非常美觀，也可以增加表面積，讓精油的擴散更快。

柒、結論

一、不同原料材質做出的手抄紙在水和不同精油中毛細現象爬升快慢不同。在報紙、瓦楞紙、影印紙、餐巾紙四種材料中，製作成手抄紙擴香器後擴香效率最快的是餐巾紙。製作成粗的長捲形狀可達到較快的擴香效率。

二、長纖維手抄紙中，牛奶盒濃度 C、D 的紙毛細現象爬升最快，用這兩種紙製作出五種不同平整度的紙，發現不同平整度之間的毛細現象結果差異不大。

三、精油擴散效率依序為：短捲粗最快，其次為短捲中，最慢的是短捲細，也就是紙捲表面積越大，精油擴散效率越快。

四、兩種不同濃度的精油其六十小時的揮發量曲線趨勢一致，前三十到四十小時揮發速度較快，後半段時間因趨於穩定所以揮發速度減慢。不同形狀下的擴散效率都是依序為：短捲粗最快，其次為短捲中，最慢的是短捲細。

五、在其他環境條件相同的狀況下，壓力較小的環境中精油擴散效率較快。溫度較高的環境狀態下，精油擴散效率較快。

六、我們設計的牛奶盒手抄紙擴香器兼具美觀及實用性，可以連續使用一個月都

沒有腐爛。添加不同的天然染劑和驅蚊香草植物，可以搭配天然驅蚊精油，在校園中自行製作美觀又天然環保的驅蚊用品，以我們自己的能力來協助預防登革熱和茲卡病毒。

捌、未來展望

- 一、我們的擴香器已經取得經濟部智慧財產局專利新型第 M520901 號，新型名稱：擴香紙棒。希望未來能有機會將其應用在其他產品上。
- 二、由於抄紙時，不易控制紙的均勻度、重量，所以希望未來可以針對這部分研究如何利用輔助的機械或自製研發的設備，製作出一致性高的手抄紙。
- 三、國人一年大約消耗三億個牛奶盒，飲料杯也是約三億個。希望可以利用這些廢棄的材料創造出其他有貢獻的應用。
- 四、設計不同的形狀、材質的擴香器或觀察不同的環境變因，以找出其他可加速精油擴散效率的方法。
- 五、造紙過程中可再添加不同物質，以開創更多用途。

玖、參考資料

- 一、曾荷容、賴慈宜、王郁雯、黃亭瑜、張鐙蔚、陳思瑋(民 91) 毛細現象之另類研究 — 色彩饗宴。全國科展 42 屆作品集，國小組，化學科。
- 二、蔡孟珂、梁可擎、李欣怡、李佩怡(民 92)「朽木」可雕！化「廢紙」為神奇。全國科展 43 屆作品集，國小組，生活與應用科學科。
- 三、林慶汶、林泰源、沈之謙、陳妤函(民 94)欲研又紙。全國科展 45 屆作品集，國小組，生活與應用科學科。
- 四、ピポン=辻岡ピギー(2011) 牛奶盒做的唷！溫柔質感手抄紙雜貨，瑞昇文化事業股份有限公司。

【評語】 080108

觀察毛細現象、擴散現象與溫度、壓力等的關係，材料環保。

表達生動。未來若能討論較不具直觀性的變因，將是更好的科學主題。