

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

佳作

082931

”啡”比尋常～研究咖啡渣紙容器之環保實用
表現

學校名稱：新北市永和區永和國民小學

作者： 小五 簡浩原 小五 蔡元睿 小五 梁軒章 小五 魯天辰 小五 何奕菲	指導老師： 賴姿璇 羅琪季
---	-------------------------

關鍵詞：咖啡渣、回收紙漿、生物降解

摘要

2020 年受新冠狀肺炎疫情影響，許多店家改用一次性紙容器，用完即丟，與環境保護背道而馳。因此，我們將廢棄的咖啡渣與回收紙結合，製作可重複使用的「咖啡渣紙容器」，並將用過的紙容器再次利用，作為可自行降解在土壤裡的環保花盆，甚至延伸應用到餐墊、紡織品、防撞墊、透水磚…等產品。

本研究將咖啡渣紙團以一體成型方式塑型，過程中添加糯米膠強化塑型的穩定度，並在紙容器外層刷上蜂蠟，結果發現咖啡渣紙容器在塑型、防水、耐溫、強韌、耐酸鹼與滿意度調查各方面表現均佳且穩定。

本研究之咖啡渣紙容器不僅可取代一次性紙容器，更可重複使用，甚至用後埋入土壤，有助於菜苗生長，有效達到「藍色經濟」之零廢棄、零排放的環保理念。

壹、研究動機

臺灣咖啡市場近年來炙手可熱，根據財政部統計，從 2008 年至 2018 年，10 年間咖啡豆進口數量增加 2.1 倍、攀升至 3.6 萬公噸。但廢棄的咖啡渣和盛裝咖啡的紙容器流向何方？根據環保署統計，臺灣每年紙容器丟棄量高達 10.7 億個，紙容器回收率卻不到 10%。我們從「咖啡紙容器的真相」報導中得知，咖啡紙容器為了防水，製造商會在內層漆上聚乙烯 (polyethylene, PE)，普通的回收場並沒有這樣的處理技術，且因紙容器內常有食物及飲料的殘渣，一般回收場只能將其送到焚化爐處理，而非回收後再利用。

咖啡渣是咖啡提取中的「廢渣」嗎？事實上，咖啡豆富含多種微量元素。然而，只有少部分咖啡渣被當成除臭劑或是堆肥使用，大部分則被直接當成廢棄物處理。既然，咖啡渣屬於無毒無害的廢棄物，我們為什麼不能自製「咖啡渣」環保紙容器再利用呢？












我們展開有趣的咖啡渣紙容器實驗！並將使用過的咖啡渣紙容器作為環保花盆，利用咖啡渣內大量的氮化物，來種植喜歡偏弱酸性土壤的植物。甚至將此理念延伸應用至食衣住行各方面，讓大家在享用飲品後，能對地球更友善，達到零廢棄、零排放的環保理念。

★與課程相關單元：自然與生活科技領域 康軒版六下第三單元「生物與環境」

貳、 研究目的

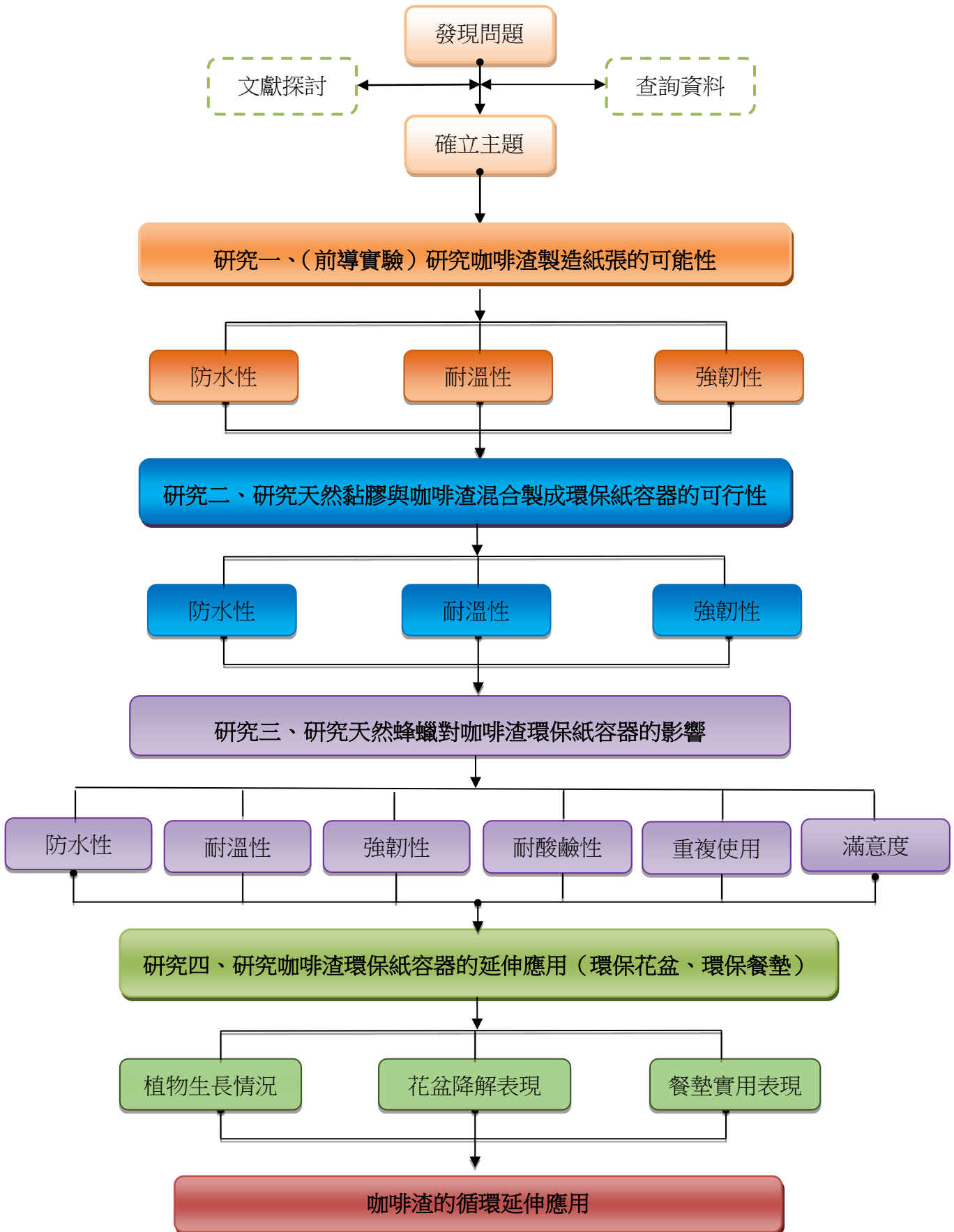
- 一、研究咖啡渣製造紙張的可能性
- 二、研究天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的可行性
- 三、研究天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器的影響
- 四、研究咖啡渣環保紙容器的延伸應用（環保花盆、環保餐墊）

參、 研究設備及器材

果汁機	回收紙	咖啡渣	絹框 (25 cm×35 cm)		
					
絹網 (21 cm ×29.7)	電子秤	數位溫度計	TDS 檢測筆		
					
PH 測量器	土壤 PH/濕度測量器	電熨斗	蜂蠟		
					
其他材料					
燒杯	酒精燈	鐵尺	長尾夾	砝碼	糯米粉

肆、研究過程及方法

一、研究架構圖



二、文獻探討

(一) 紙容器：

環保署公告，紙類回收大致分為白紙類、混合紙類、報紙類以及牛皮紙類，而所謂的紙容器則為單獨一類，包括鋁箔包、紙容器、紙餐盒等等。紙容器的組成成分和紙類有些差別，一般的紙類都是由純紙漿組成，但紙容器在製造過程中，通常為了隔絕氧氣、水分、細菌、光線等等的侵襲，會添加塑膠材質像是 PE 淋膜（聚乙烯）、PP 淋膜（聚丙烯），甚至很多會經過浸臘處理，增加防水功能。

(二) 咖啡成分：

泡完咖啡後，剩下的咖啡渣成分及特性如下表所示：

成分及含量	特性
咖啡因 1.3%	適量的咖啡因會刺激大腦皮質，血管擴張血液循環增強，並提高新陳代謝功能，喝咖啡所嘗到的苦味，就是咖啡因所造成的。
單寧酸 6.0%	很容易融入水中，一經煮沸，它會分解而產生焦梧酸，若沖泡過久會使咖啡的味道變差。
脂肪 11.7%	脂肪在咖啡風味上，主要分為兩大類，一類為酸性脂肪，其強弱會因咖啡種類不同而異，另一類揮發性脂肪，是咖啡香氣主要來源。
蛋白質 11.8%	卡洛里主要來源，它佔的比例並不高。
糖分 8.0%	咖啡生豆所含的糖分約 8%，會使咖啡形成褐色的焦糖作用，會和單寧酸互相結合，產生稍苦的甜味。
礦物質 4.5%	有石灰、鐵質、磷、碳酸鈉...等，但因所佔的比率極少，影響咖啡的品質以及咖啡的風味並不大。

(三) 蜂蠟：

蜂蠟是工蜂腹部腹面四對蠟腺分泌的一種脂肪性物質，主要成分是高級脂肪酸和高級一元醇所形成的酯，蜂蠟熔點約在 62~64℃，因為蜂蠟有很好的抗菌性、防潮耐水性、防氧化變質性及粘著性，廣泛應用於醫藥工業、食品工業及化妝品工業。

臺灣近年來紙容器的年用量將近 80 億個，然而回收量只有 8 億個左右，大約只佔了 10%。甚至因添加了塑膠材質，回收後也只能當成廢棄物處理。因此，我們自製「咖啡渣」環保紙容器再利用，考量紙容器及咖啡渣的特性，設計了四項研究，共十五項實驗，期能取代一般紙容器，甚至延伸應用至環保花盆及其他產品，以建立高品質的綠色環保生活。

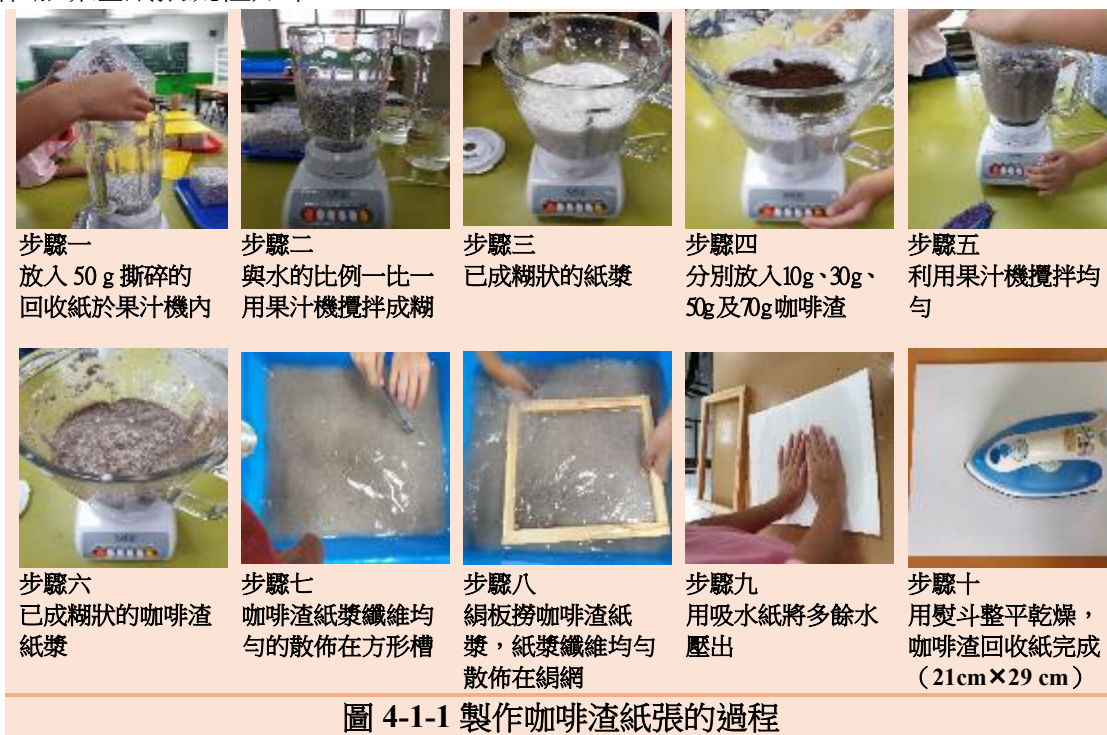
三、研究方法

(一) 研究一（前導實驗）：研究咖啡渣製造紙張的可能性

1. 製作咖啡渣紙張

(1) 分別準備 10 g、30 g、50 g、70g 的咖啡渣及 50g 的回收紙。

(2) 製作咖啡渣紙張流程如下：



* 關於「回收紙漿比例」，經參觀紙博館後詢問專家，利用果汁機打紙漿體積比例為～回收紙：水為 1：2。

2. 實驗一：研究咖啡渣紙張的防水性

(1) 準備咖啡渣紙張進行本實驗（咖啡渣與回收紙重量比為 1:5、3:5、5:5 及 7:5）。

(2) 將自製咖啡渣紙張裁切成 3cm×21cm，垂掛放入 100 ml 的量筒內（水量 80 ml）。

(3) 用 TDS 檢測筆，在常溫下，每隔 10mins、30mins、60 mins 及 90mins 記錄測量總溶解固體（英語：Total dissolved solids，縮寫 TDS）值，TDS 值(ppm)越高，表示水中含有的雜質越多，也就是咖啡渣紙張溶出的物質越多，防水性差；反之，TDS 值越低，表示咖啡渣紙張的防水性佳。

3. 實驗二：研究咖啡渣紙張的耐溫性

(1) 同實驗一，將 3cm×21cm 咖啡渣紙張，垂直放入 100 ml 的量筒內，倒入低溫（10℃）、常溫（25℃）及高溫（80℃）的水（水量 80ml）。



圖 4-1-2 咖啡渣紙張的防水性



圖 4-1-3 咖啡渣紙張的耐溫性

(2)每隔 10mins 及 30mins 記錄測量總溶解固體(TDS 值)，記錄不同溫度下，靜置一段時間對咖啡渣紙張的影響，觀察紙張的耐溫性。

4. **實驗三**：研究咖啡渣紙張的強韌性

(1)同實驗一，將自製咖啡渣紙張裁切成 3cm×21cm，上端利用長尾夾固定於支架上，下端利用長尾夾固定放置砝碼。

(2)每 10 秒鐘，在咖啡渣紙張下端增加砝碼克數，記錄紙張斷裂時下端砝碼總重量，觀察咖啡渣紙張的強韌性。



圖 4-1-4 咖啡渣紙張的強韌性

(二) 研究二：研究天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的可行性

加入「天然黏膠」製作咖啡渣環保紙容器：

(1)依研究一所得結果，選擇咖啡渣與回收紙最適重量比 3：5 進行塑型實驗。

為了強化咖啡渣紙容器塑型的穩定性，本實驗根據中華民國第 59 屆全國科展國小組生活與應用科學科作品《「麥」出減塑新「吸」望》的研究結果，選擇了黏性佳的天然黏膠，糯米粉（澱粉類膠代表）及酪蛋白粉（蛋白質類黏著劑）進行初步實驗，依實驗結果，最後採用糯米粉進行後續研究實驗。



圖 4-2-1 加入天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的過程

2. **實驗四**：研究天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的防水性

(1)以總重量 100g 咖啡渣紙團，添加 20g 糯米膠進行咖啡渣環保紙容器的塑型實驗。

(2)以**實驗組**-天然黏膠咖啡渣環保紙容器及**對照組**-純咖啡渣環保紙容器（未添加天然黏膠），分別倒入 30 ml 的水，觀察兩者的毛細現象，並記錄吸水（濕透）所花時間及前後重量差異。

(3)比較實驗組及對照組的實驗結果，觀察天然黏膠咖啡渣環保紙容器的防水性。

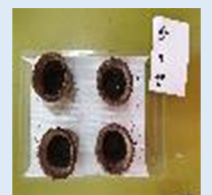


圖 4-2-2 天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的防水性

3. **實驗五**：研究天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的耐溫性

- (1)同實驗四，以**實驗組**-天然黏膠咖啡渣環保紙容器及**對照組**-純咖啡渣環保紙容器進行實驗。
- (2)在兩組咖啡渣環保紙容器內，分別倒入低溫（10℃）、常溫（25℃）及高溫（80℃）的水（水量 50ml），每隔 10 mins 及 30mins 記錄測量 TDS 值。
- (3)比較不同水溫對兩組咖啡渣環保紙容器之影響，觀察天然黏膠咖啡渣環保紙容器的耐溫性。



圖 4-2-3 天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的耐溫性

4. **實驗六**：研究天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的強韌性

- (1)同實驗四，以**實驗組**-天然黏膠咖啡渣環保紙容器及**對照組**-純咖啡渣環保紙容器進行實驗。
- (2)將兩組咖啡渣環保紙容器，以不同方向施力，分別測量載重、兩側對拉及上下施壓的砝碼總重量(g)，比較兩組咖啡渣環保紙容器承受不同方向力量的影響，觀察天然黏膠咖啡渣環保紙容器的強韌性。



圖 4-2-4 天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的強韌性

(三) 研究三：研究天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器的影響

1. **實驗七**：研究天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器防水性的影響

- (1)根據研究二的實驗結果，選擇摻入**糯米膠**之咖啡渣環保紙容器，於表層刷上蜂蠟進行後續實驗。
- (2)以**實驗組**-天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器及**對照組**-不刷蜂蠟咖啡渣環保紙容器進行實驗。
- (3)在兩組咖啡渣紙容器內，倒入 30 ml 的水，觀察兩者的毛細現象，並記錄**吸水（濕透）所花時間及前後重量差異**，觀察天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器防水性的影響。



圖 4-3-1 天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器防水性的影響

2. **實驗八**：研究天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器耐溫性的影響

- (1)同實驗七，以**實驗組**-天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器及**對照組**-不刷蜂蠟咖啡渣環保紙容器進行實驗。
- (2)在兩組咖啡渣紙容器內，分別倒入低溫（10℃）、常溫（25℃）及高溫（80℃）的水（水量 50ml），記錄測量 TDS 值，觀察天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器耐溫性的影響。



圖 4-3-2 天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器耐溫性的影響

3. **實驗九**：研究天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器強韌性的影響

- (1)同實驗七，以**實驗組**-天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器及**對照組**-不刷蜂蠟咖啡渣環保紙容器進行實驗。
- (2)以兩組咖啡渣環保紙容器，分別測量載重、兩側對拉及上下施壓的砝碼總重量(g)，觀察天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器強韌性的影響。

4. **實驗十**：研究天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器耐酸鹼性的影響

我們調查市售飲料酸鹼值如下，以探究咖啡渣環保紙容器耐酸鹼的程度。

表 4-3-1 市售飲料酸鹼值

市售飲料	碳酸飲料	運動飲料	果汁	黑咖啡	茶	牛奶	純水	鹼性離子水
PH 值	2.0~3.0	2.5~3.8	2.0~4.0	5.0	4.9~6.5	6.4~6.8	7.0	8.0~9.5

- (1)同實驗七，以**實驗組**-天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器及**對照組**-不刷蜂蠟咖啡渣環保紙容器進行實驗。
- (2)依表 4-3-1，在常溫下，我們選用檸檬酸水(PH=2.3)及小蘇打水(PH=8.7)各 50ml 做為實驗的溶液基礎，每 10mins、30mins、1hrs、2hrs 及 3hrs，用 TDS 檢測筆，記錄測量 TDS 值，觀察天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器耐酸鹼性的影響。

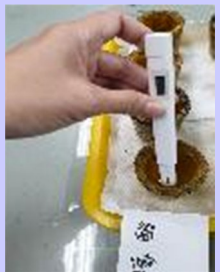
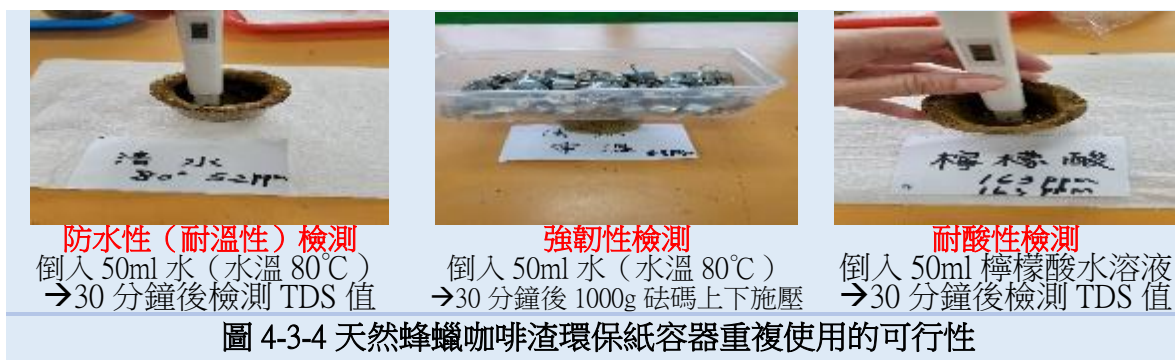


圖 4-3-3 天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器酸鹼性的影響

5. **實驗十一**：研究天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器重複使用的可行性

- (1)為避免市售一次性紙容器用完即丟的問題，我們將天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器重複使用後進行實驗。
- (2)在咖啡渣環保紙容器內倒入 50ml 的水，靜置 30 分鐘後，進行防水性（耐溫性）、強韌性（上下施壓）、耐酸性三項檢測。
- (3)檢測完成後，重新倒水，重複第(2)項的實驗步驟，持續進行三次檢測，觀察檢測數值的變化，以了解天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器重複使用的可行性。



6. **實驗十二**：研究天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器的使用滿意度調查

- (1) 為瞭解在實際使用過程中，一般使用者對天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器的滿意度，我們依「李克特五點量表」設計滿意度問卷。
- (2) 準備市售紙容器和天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器，並倒入相同的飲水，讓每位受試者實際飲用後回答問卷。
- (3) 統計分析調查結果。

(四) 研究四：研究咖啡渣環保紙容器的延伸應用（環保花盆、環保餐墊）

* **咖啡渣環保紙容器延伸應用於環保花盆**：

我們將使用後的咖啡渣環保紙容器再次利用，作為咖啡渣環保花盆，咖啡渣含有大量氮化物，可作為菜肥，期達到物理學中「能量不減」循環利用資源及零廢棄的理念。

1. **實驗十三**：研究咖啡渣環保花盆對植物生長情況之影響

- (1) 依研究一至三的實驗結果，先以實驗組-天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器及對照組-一般市售花盆種植蘿蔓萵苣、芥菜苗及小白菜半個月進行觀察。



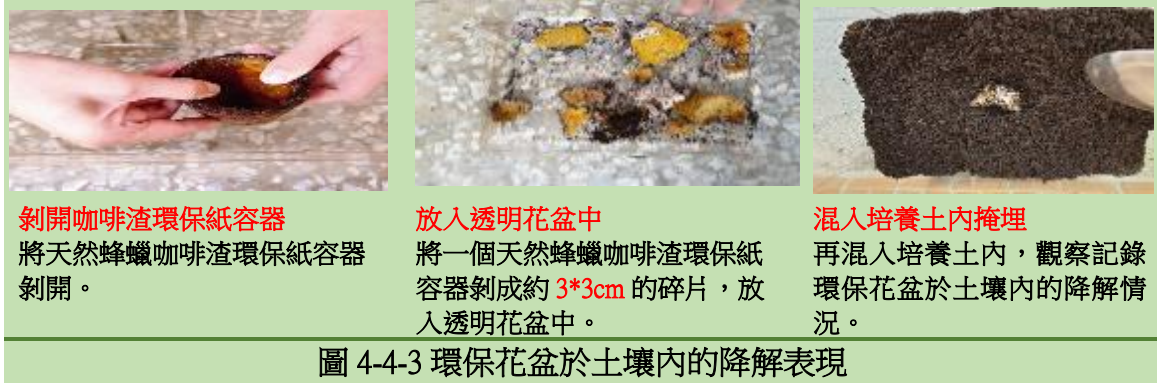
- (2) 再將對照組-一般花盆菜苗移植透明花盆，並將實驗組-天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器剝開，連同蘿蔓萵苣、芥菜苗及小白菜一同移植在透明花盆中，固定時間觀察記錄植物於環保花盆的生長情況。



2. **實驗十四**：研究咖啡渣環保花盆於土壤內的降解表現

(1)將天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器（重量 20g）剝開，放入透明花盆中，再混入培養土（重量 2000g）內進行降解觀察實驗。

(2)每週固定時間觀察記錄環保花盆於土壤內的降解表現。



*咖啡渣環保紙容器延伸應用於**環保餐墊**：

依研究一至三的實驗結果，咖啡渣與回收紙的結合，除可應用於紙容器之外，其在防水性、耐溫性、強韌性各方面表現均佳，若能延伸應用於其他產品，更能達到資源再利用、零廢棄的環保理念，本研究即以**咖啡渣環保餐墊**進行以下實驗。

實驗十五：研究咖啡渣環保餐墊的實用表現

(1)參照研究二及三，於 50g 咖啡渣紙團中加入 10g 糯米膠，製成直徑 7cm、厚度 0.8cm 的環保餐墊。

(2)以**刷蜂蠟**及**不刷蜂蠟**兩組咖啡渣環保餐墊進行實驗。

(3)於加蓋鋼杯中倒入 300ml 的熱水（水溫 80°C），分別放在兩組環保餐墊上，30 分鐘後，進行防水性、強韌性（上下施壓）檢測，比較環保餐墊使用前後數值的變化，並觀察表面是否有龜裂現象，以了解咖啡渣環保餐墊的實用表現。



伍、 研究結果及討論

研究一 (前導實驗)：研究咖啡渣製造紙張的可能性

【製作咖啡渣紙張】

一、 實驗結果：

將 10 g、50 g 咖啡渣均勻混入回收紙漿，製作咖啡渣回收紙，結果如圖 5-1-1 所示：

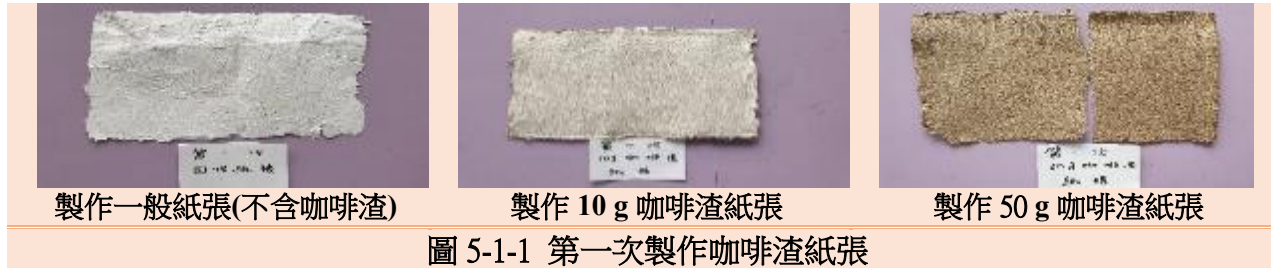


圖 5-1-1 第一次製作咖啡渣紙張

第一次製作咖啡渣紙張，因紙水的比例不對，回收紙漿無法成糊狀，咖啡渣無法均勻分布，導致咖啡渣紙張不易成型，易斷裂。請教紙博館後，改進製作方式，進行第二次製作咖啡渣紙張，結果如表 5-1-1 及圖 5-1-2、圖 5-1-3 所示：

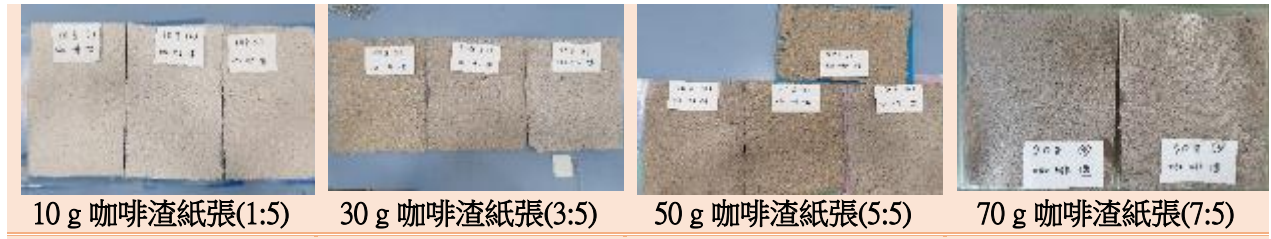


圖 5-1-2 第二次製作咖啡渣紙張

註：回收紙重量固定為 50 g，咖啡渣與回收紙重量比分別為 1:5、3:5、5:5 及 7:5

表 5-1-1 咖啡渣紙張的品質分析表

咖啡渣克數	10	30	50	70
/品質評分法	克	克	克	克
1-4 分				
顏色(深淺)	1.0	2.3	3.4	3.8
外觀(顆粒大小)	1.4	1.8	2.8	3.3
觸感(粗細)	1.0	1.7	3.1	3.7
味道(濃淡)	1.0	1.7	3.0	3.8
厚度(薄厚)	1.1	1.8	2.5	3.7

註：深 4 淺 1；大 4 小 1；粗 4 細 1；濃 4 淡 1；厚 4 薄 1

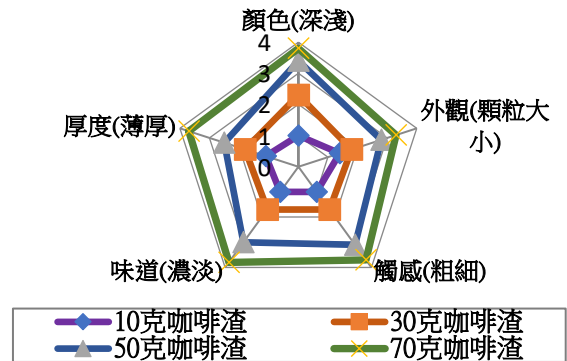


圖 5-1-3 咖啡渣紙張的品質分析圖

二、 實驗討論：

由表 5-1-1、圖 5-1-1、5-1-2、5-1-3 的實驗結果，我們發現咖啡渣克數越多，紙張顏色、顆粒、觸感、味道及厚度評分都是較高的，反之則相反。

【實驗一】研究咖啡渣紙張的防水性

一、 實驗結果：

我們將 1:5、3:5、5:5 及 7:5 的咖啡渣紙張，裁切成 3cm×21cm 放入 100ml 的量筒內 (水量 80ml)，用 TDS 檢測筆，在常溫下，每隔 10、30、60 及 90 分記錄測量總溶

解固體 (TDS) 值，再根據實驗數據平均值分析，結果如圖 5-1-4、圖 5-1-5 所示：

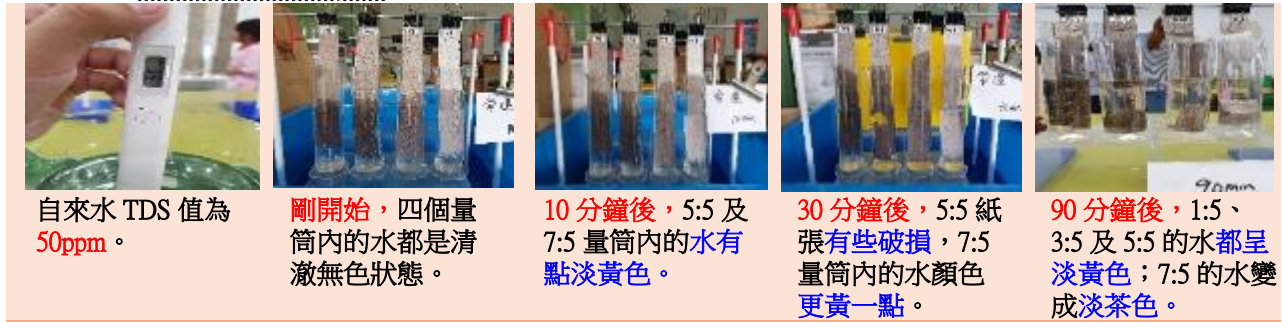


圖 5-1-4 咖啡渣紙張的防水性表現

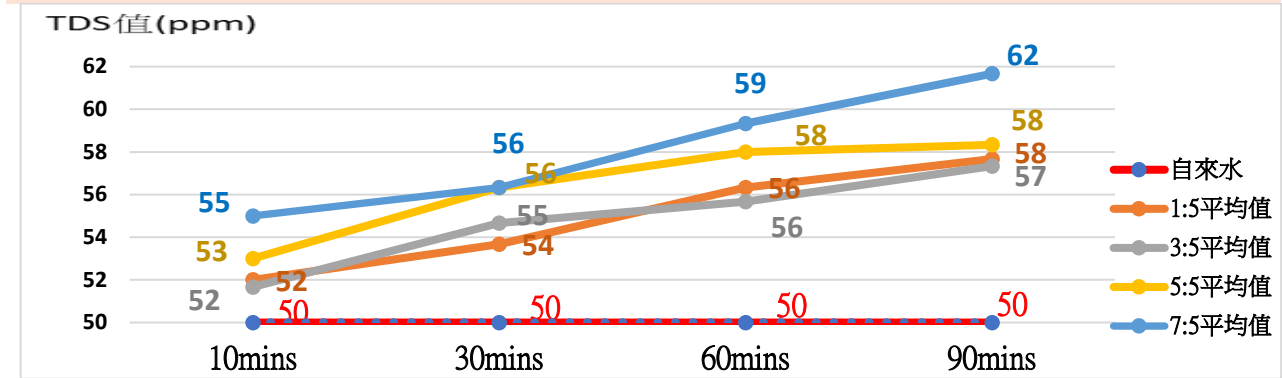


圖 5-1-5 咖啡渣紙張的防水性表現

二、實驗討論：

由圖 5-1-4、圖 5-1-5 的實驗結果，我們發現下列事項：

- (一) 10 分鐘後，1:5、3:5 及 5:5 的咖啡渣紙張，TDS 值和自來水僅相差 2~3ppm，並無顯著差異，但 7:5 的咖啡渣紙張 TDS 值高於自來水 5ppm。
- (二) 60 分鐘後，1:5、3:5 的咖啡渣紙張，TDS 值均為 56ppm；但 5:5 及 7:5 已高於自來水 8~9ppm，且 5:5 已有些破損，表示咖啡渣含量較高的紙張防水性較不穩定。
- (三) 90 分鐘後，1:5、3:5 及 5:5 的咖啡渣紙張，TDS 值和自來水值相差 7~8ppm，但增加幅度趨緩，且三種紙張的 TDS 值差異不大，顯示三者的防水性表現大致一樣，但 7:5 的咖啡渣紙張，TDS 值已高於自來水 12ppm，防水性表現較不佳。
- (四) 隨著浸漬時間越久，所有比例的咖啡渣紙張 TDS 值都增加，量筒內的水都呈淡黃色。90 分鐘後，7:5 咖啡渣紙張的水變成淡茶色，綜上所述，7:5 咖啡渣回收紙張的防水性最差。

【實驗二】研究咖啡渣紙張的耐溫性

一、實驗結果：

我們將 1:5、3:5、5:5 及 7:5 的咖啡渣紙張，裁切成 3cm×21cm 放入 100ml 的量筒內，倒入低溫 (10°C)、常溫 (25°C) 及高溫 (80°C) 的水 (水量 80ml)，利用 TDS 檢測筆，每隔 10 mins 及 30 mins 記錄 TDS 值，再根據實驗數據平均值分析，結果如圖 5-1-6、圖 5-1-7 及圖 5-1-8 所示：



低溫 (10°C) 10 分鐘後，四個量筒內的水都是透明無色。
低溫 (10°C) 30 分鐘後，四個量筒的水一樣是無色，變化不大。
常溫 (25°C) 10 分鐘後，四個量筒內的水都是透明無色。
常溫 (25°C) 30 分鐘後，5:5 及 7:5 量筒內的水有點淡黃色，且 5:5 及 7:5 紙張有破裂。
高溫 (80°C) 10 分鐘後，5:5 及 7:5 量筒內的水有點淡黃色出現。
高溫 (80°C) 30 分鐘後，3:5 量筒內的水有點淡黃色，5:5 及 7:5 量筒內的水變成淡茶色。

圖 5-1-6 咖啡渣紙張的耐溫性表現

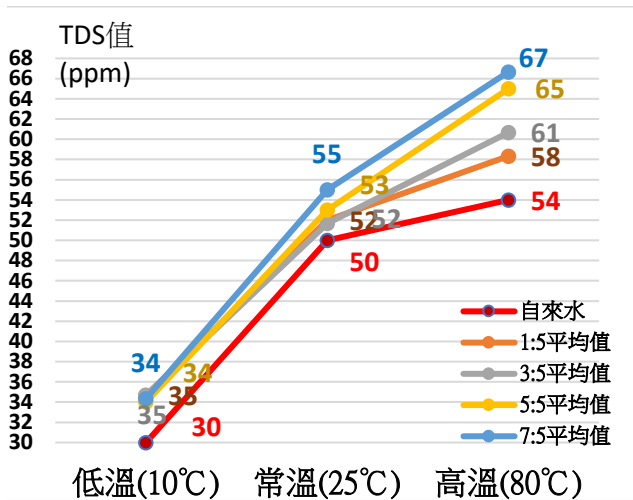


圖 5-1-7 咖啡渣紙張的耐溫性表現(10 分鐘)

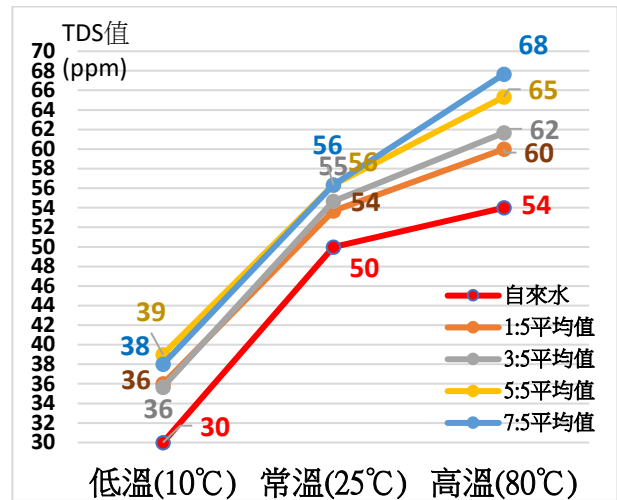


圖 5-1-8 咖啡渣紙張的耐溫性表現(30 分鐘)

二、實驗討論：

由圖 5-1-6、圖 5-1-7、圖 5-1-8 的實驗結果，我們發現下列事項：

- (一) 1:5、3:5、5:5 及 7:5 的咖啡渣紙張 TDS 值都隨水溫升高而增加，水溫越高，咖啡渣紙張的 TDS 值越高。
- (二) 低溫(10°C)時，10 分鐘內，1:5、3:5、5:5 及 7:5 的咖啡渣紙張 TDS 值差異不大，但 30 分鐘後，5:5 及 7:5 的 TDS 值突然增加，推測是水溫已逐漸回升接近常溫，顯示咖啡渣含量較多的紙張，TDS 值會隨時間和水溫升高而明顯增加。
- (三) 高溫(80°C)時，不論紙張浸漬時間為 10 或 30 分鐘，四種咖啡渣紙張的 TDS 值排序皆為 1:5 < 3:5 < 5:5 < 7:5，也就是咖啡渣含量越多的紙張，TDS 值越高。此外，歷經 30 分鐘後，四種咖啡渣紙張的 TDS 值僅略增 0~2ppm，並沒有顯著變化，推測是水溫已逐漸下降所致。
- (四) 且高溫(80°C)時，10 分鐘內，3:5、5:5 及 7:5 的咖啡渣紙張已較自來水的 TDS 值高出 7~13ppm，7:5 的咖啡渣紙張 TDS 值甚至較自來水高出 14ppm，量筒內的水最後變成淡茶色，表示 7:5 的咖啡渣紙張耐溫性最差。
- (五) 不同溫度之下，隨著浸漬時間越久，所有比例的咖啡渣紙張 TDS 值都增加，但增加幅度並不大。

【實驗三】研究咖啡渣紙張的強韌性

一、實驗結果：

我們將 1:5、3:5、5:5 及 7:5 的咖啡渣紙張，裁切成 3cm×21cm 上端利用長尾夾固定於支架上，下端利用長尾夾固定放置砝碼。每 10 秒鐘在咖啡渣回收紙張下端增加砝碼，記錄咖啡渣紙張斷裂時下端砝碼總重量，再根據實驗數據平均值分析，結果如表 5-1-2 及圖 5-1-9 所示：

表 5-1-2 咖啡渣紙張的強韌性表現

斷裂砝碼(克)	第一次	第二次	第三次	平均
咖啡渣紙張/ 每十秒加克				
1:5 平均值	300	540	740	527
3:5 平均值	380	340	450	390
5:5 平均值	140	160	130	143
7:5 平均值	175	210	330	238

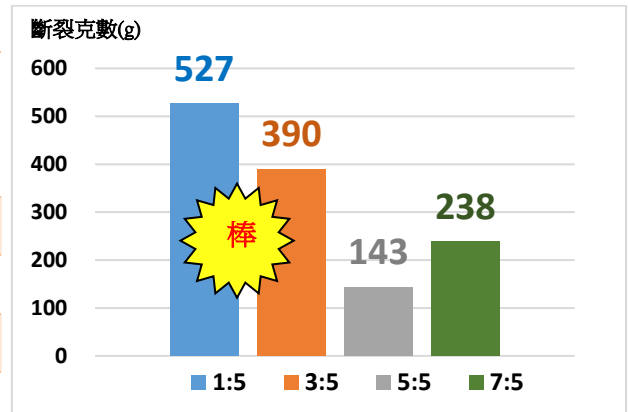


圖 5-1-9 咖啡渣紙張的強韌性表現

二、實驗討論：

由表 5-1-2 及圖 5-1-9 的實驗結果，我們發現下列事項：

- (一) 5:5 的咖啡渣紙張平均只能承受 143 克重，7:5 的咖啡渣紙張平均能承受 238 克重，表示當咖啡渣比例在一半以上時，咖啡渣紙張的強韌性表現並不佳。
- (二) 3:5 的咖啡渣紙張平均能承受 390 克重，1:5 的咖啡渣紙張平均能承受 527 克重，表示當咖啡渣比例在一半以下時，咖啡渣紙張的強韌性表現較佳。
- (三) 綜合上述，當咖啡渣比例越少時，咖啡渣紙張保有原來紙張的特性，強韌性表現越佳，咖啡渣比例越多時，強韌性表現較差。
- (四) 整體而言，1:5 及 3:5 的咖啡渣紙張強韌性表現佳，5:5 及 7:5 的咖啡渣紙張強韌性表現不佳。

小結

1. **紙張品質分析**：咖啡渣所佔比例越多，紙張顏色、顆粒、觸感、味道及厚度評分都是較高的，因此，3:5 及 5:5 的咖啡渣紙張評分適中。
2. **防水性**：隨浸漬時間越久，1:5、3:5 及 5:5 咖啡渣紙張 TDS 值差異不大，顯示三者的防水性表現大致一樣，但 5:5 在 60mins 已破損，7:5 TDS 值明顯偏高，防水性不佳。
3. **耐溫性**：低溫(10°C)時，1:5、3:5、5:5 及 7:5 的咖啡渣紙張耐溫性表現差異不大，但高溫(80°C)時，5:5 及 7:5 的咖啡渣紙張 TDS 值變化大，耐溫性表現不佳。
4. **強韌性**：咖啡渣比例越少，咖啡渣紙張保有紙張原來的特性，強韌性表現越佳；咖啡渣比例越多，咖啡渣紙張的強韌性表現越差。
5. **綜觀研究一的各项實驗結果數據分析**，我們發現 3:5 的咖啡渣紙張最符合製作咖啡渣環保紙容器的比例，且表現較為穩定，適合作為後續研究二至研究四的實驗基礎。

研究二：研究天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的可行性

【加入「天然黏膠」製作咖啡渣環保紙容器】

一、實驗結果：

依研究一所得結果，以咖啡渣與回收紙最適重量比 3:5 進行塑型，為強化塑型之穩定性，選擇黏性佳的天然黏膠-酪蛋白粉（蛋白質類膠）及糯米粉（澱粉類膠），分別進行塑型及防水性測試（裝入 30ml 水測試滲水時間），並調整烘乾及塑型方法，天然黏膠咖啡渣紙容器的演進結果如圖 5-2-1 所示：

第一代天然黏膠咖啡渣紙容器



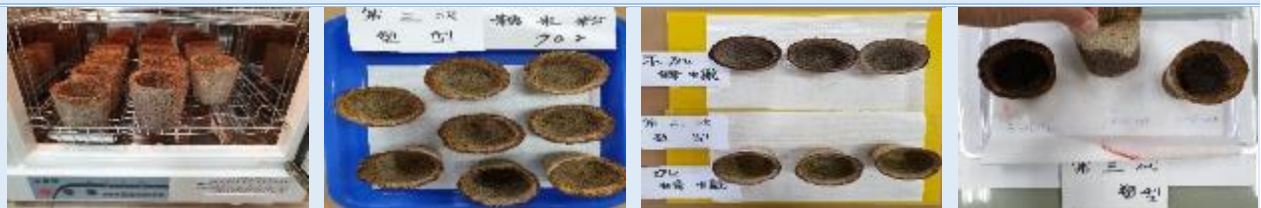
酪蛋白粉 10g 顏色較淡，酪蛋白味道淡，防水性差。	酪蛋白粉 30g 已有腐敗的臭味，經烘烤質地變為深咖啡色，但防水性佳。	酪蛋白粉 50g 酪蛋白腐敗臭味很濃，有發霉狀況，引來很多的蠅蚊。	糯米粉 10g 咖啡味道濃，顆粒粗糙，防水性差。	糯米粉 30g 有淡淡咖啡味道，顆粒較 10g 細，防水性不佳。	糯米粉 50g 有淡淡咖啡味道和 30g 差不多，顆粒也和 30g 差不多，防水性不佳。	糯米粉 70g 有淡淡的咖啡及糯米香，顆粒較細緻，防水性較好一點。	糯米粉 100g 很少咖啡味道，糯米味道較重，塑型較難，保有糯米粉 Q 彈的特性。
--------------------------------------	---	---	------------------------------------	--	--	---	---

第二代天然黏膠咖啡渣紙容器(加糯米粉 70g 及自然風乾法)



以第一代添加糯米粉 70g 為基礎，自然風乾進行塑型，乾燥時間需要一星期以上。	咖啡渣紙杯顏色很淡，顆粒粗糙，質地較軟，有淡淡的咖啡渣味道。	刷上蜂蠟後呈淡黃色，有淡淡的咖啡渣味道及蜂蠟的香味，觸感較沒刷蜂蠟細緻。	倒入 30ml 水，即使刷蜂蠟的容器，都在 3 分鐘內漏光，防水性不佳，需改進。
---	--------------------------------	--------------------------------------	--

第三代天然黏膠咖啡渣紙容器(加糯米粉 70g 及中高溫烘乾法)



以第二代添加糯米粉 70g 為基礎，改變烘乾方法，用中低溫(60°C)先烘乾及光觸媒殺菌 120 分鐘，再用高溫(100°C)烘乾完全乾燥定型。	咖啡渣紙杯顏色較第二代咖啡渣紙杯深，且咖啡渣的香味較濃，顆粒粗造，質地較硬。	刷上蜂蠟後，顏色為淡黃咖啡色，有淡淡的咖啡渣味道及蜂蠟的香味，	倒入 30ml 水，沒有刷蜂蠟，平均在 6 分鐘內完全漏光，墊在咖啡渣杯下方的吸水紙全部溼透暈開，完全變軟，但有刷上蜂蠟，平均可維持 90 分鐘以上，但品質需再改進。
--	--	---------------------------------	---



第四代天然黏膠咖啡渣紙容器(加糯米膠 20g 及中高溫烘乾法)



將第三代咖啡渣紙杯添加的糯米粉 70g 改為調配好的糯米膠(粉：水=1：1)，以咖啡渣紙團 100g 加入 20g 糯米膠，均勻混合，中低溫烘乾(60℃)及光觸媒殺菌 120 分鐘，再以高溫(100℃)定型。



咖啡渣杯顏色深，且咖啡渣的香味濃，外觀顆粒較第三代咖啡渣紙容器細緻，縫隙較小，質地堅硬。



倒入 30ml 水，在 6 分鐘內開始有點滲水，墊在咖啡渣杯下方的吸水紙只有一點點滲水痕跡，並非像第三代咖啡渣容器是完全溼透的狀態。



倒入 30ml 水，刷上蜂蠟的咖啡渣容器，可維持 8 小時以上，完全沒有滲水，以此，確定後續實驗的咖啡渣紙杯。

圖 5-2-1 天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的演進

二、實驗討論：

由圖 5-2-1 的實驗結果，我們發現，第一代天然黏膠咖啡渣紙容器，在自然風乾之下，酪蛋白黏膠咖啡渣紙容器會變質腐敗發臭，雖然增加烘乾方式，但品質仍然不穩定易發臭，且無法保存很久，雖防水性佳，仍無法作為本實驗天然黏膠的基礎。綜合上述，考量塑型及防水性，第四代天然黏膠咖啡渣紙容器塑型後穩定度較佳，因此，後續以此進行實驗(咖啡渣紙團 100g、糯米膠 20g、不刷蜂蠟)。

【實驗四】研究天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的防水性

一、實驗結果：

根據天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的演進，我們以總量 100g 咖啡渣紙團，再加 20g 糯米膠進行塑型，具有明顯穩定的特性。因此，**實驗組-天然黏膠咖啡渣環保紙容器**及**對照組-純咖啡渣環保紙容器**(不添加天然黏膠)，分別倒入 30 ml 的水，觀察毛細現象，並記錄吸水(濕透)所花時間及前後重量差異，再根據實驗數據分析，結果如表 5-2-1 及圖 5-2-2、圖 5-2-3 所示：

對照組：純咖啡渣(不添加天然黏膠)



一開始倒入 30ml 的水。



30ml 的水平均 25 秒全部滲出來。

實驗組：添加天然黏膠(糯米膠 20g)



一開始倒入 30ml 水。



30ml 的水平均 303 秒只有滲出來一些些。

圖 5-2-2 咖啡渣環保紙容器的防水性表現

表 5-2-1 咖啡渣環保紙容器的防水性表現

咖啡渣:回收紙=3:5 (咖啡渣：30g、回收紙：50g、糯米膠：20g)

咖啡渣容器類型	對照組：純咖啡渣(不添加天然黏膠)				實驗組：添加天然黏膠(糯米膠 20g)			
	滲水時間(sec)	重量(g)裝水前	重量(g)裝水後	相差容器吸水量(g)	滲水時間(sec)	重量(g)裝水前	重量(g)裝水後	相差容器吸水量(g)
容器裝水後變化實驗次數								
平均	25	20	47	27	303	41	71	30



圖 5-2-3 咖啡渣環保紙容器的防水性表現

二、實驗討論：

由表 5-2-1、圖 5-2-2 及圖 5-2-3 的實驗結果，我們發現下列事項：

(一) 以滲水時間而言：

「純咖啡渣紙容器」在 25 秒即開始滲水，明顯較添加「天然黏膠(糯米膠)咖啡渣紙容器」的 303 秒（約五分鐘）快很多，證明**糯米膠對咖啡渣和紙漿之黏著塑型確實有幫助**，但從數據分析發現「糯米膠咖啡渣紙容器」的滲水速度仍然太快。

(二) 以吸水量而言：

「純咖啡渣紙容器」的吸水量為 27g，較「天然黏膠（糯米膠）咖啡渣紙容器」的 30g 稍低，我們發現，應是「純咖啡渣紙容器」內的水快速漏光，流出容器外，而「天然黏膠（糯米膠）咖啡渣紙容器」的滲水速度較慢，以致容器將部分水吸走，造成吸水量稍高。

(三) 綜合上述，「天然黏膠（糯米膠）咖啡渣紙容器」的防水性表現優於「純咖啡渣紙容器」。

【實驗五】研究天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的耐溫性

一、實驗結果：

同實驗四，以實驗組-天然黏膠咖啡渣環保紙容器及對照組-純咖啡渣環保紙容器，分別倒入低溫（10℃）、常溫（25℃）及高溫（80℃）的水（水量 50ml），每隔 10 min 及 30 min 記錄測量 TDS 值，再根據實驗數據分析，結果如圖 5-2-4、圖 5-2-5 及圖 5-2-6 所示：



圖 5-2-4 咖啡渣環保紙容器的耐溫性表現

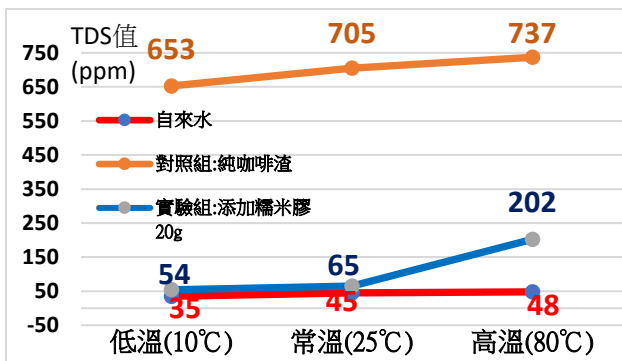


圖 5-2-5 咖啡渣環保紙容器的耐溫性表現 (10分鐘)

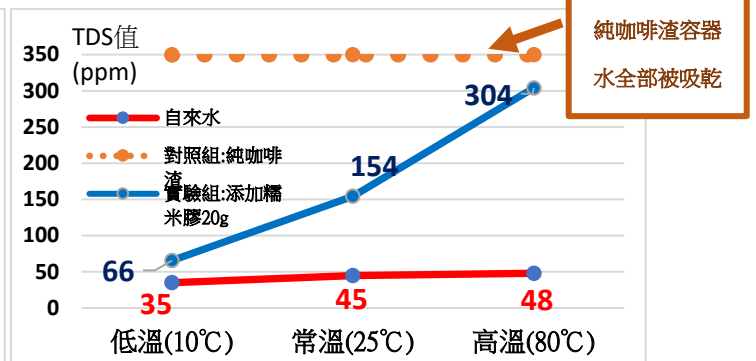


圖 5-2-6 咖啡渣環保紙容器的耐溫性表現 (30分鐘)

二、實驗討論：

由圖 5-2-4、圖 5-2-5 及圖 5-2-6 的實驗結果，我們發現下列事項：

(一) 以「純咖啡渣紙容器」而言：

不論水溫高低，「純咖啡渣紙容器」的 TDS 值皆最高，在 10 分鐘內已溶出大量的咖啡渣，TDS 值突然飆高很多，是「天然黏膠（糯米膠）咖啡渣紙容器」數倍之多，且盛水 30 分鐘，水完全被吸乾，無法再測 TDS 值，也再次驗證「純咖啡渣紙容器」的耐溫性及防水性都較差。

(二) 以「天然黏膠（糯米膠）咖啡渣紙容器」而言：

高溫(80°C)時，隨盛水時間越長，TDS 值增加了 102ppm，但低溫(10°C)時，隨盛水時間越長，TDS 值只增加了 12ppm，發現當水溫越高、盛水時間越長，TDS 值增加幅度越大。

(三) 綜合上述，兩種類型紙容器都是水溫遞增，TDS 值遞增，但「天然黏膠（糯米膠）咖啡渣紙容器」的耐溫性表現都遠優於「純咖啡渣紙容器」。

【實驗六】研究天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的強韌性

一、實驗結果：

同實驗四，以實驗組-天然黏膠咖啡渣環保紙容器及對照組-純咖啡渣環保紙容器，分別以不同方向施力，測量載重、兩側對拉及上下施壓的砝碼總重量(g)，再根據實驗數據分析，結果如表 5-2-2、圖 5-2-7 及圖 5-2-8 所示：

對照組：純咖啡渣（不添加天然黏膠）			實驗組：添加天然黏膠(糯米膠 20g)		
載重 以 50ml 的容器載重 500g 以上，不會破裂。	兩測對拉 只能承受各 310g 的重量。	上下施壓 純咖啡渣容器的其中一邊已破裂倒塌，只能承受 7872g 的重量。	載重 以 50ml 的容器載重 500g 以上，不會破裂。	兩測對拉 加糯米膠容器無破裂倒塌，能承受左右各 1000g 以上的重量。	上下施壓 加糯米膠容器並無破裂倒塌，能承受 10000g 以上的重量。

圖 5-2-7 咖啡渣環保紙容器的強韌性表現

表 5-2-2 咖啡渣環保紙容器的強韌性表現

施力的方向 /咖啡渣容器 類型	斷裂克數(g) / 施壓 30mins		
	載重	兩側對拉	上下施壓
對照組:純 咖啡渣	500 以上	310	7872
實驗組:加 糯米膠 20g	500 以上	1000 以上	10000 以上

咖啡渣:回收紙=3:5 (咖啡渣:30g、回收紙:50g、糯米膠:20g)

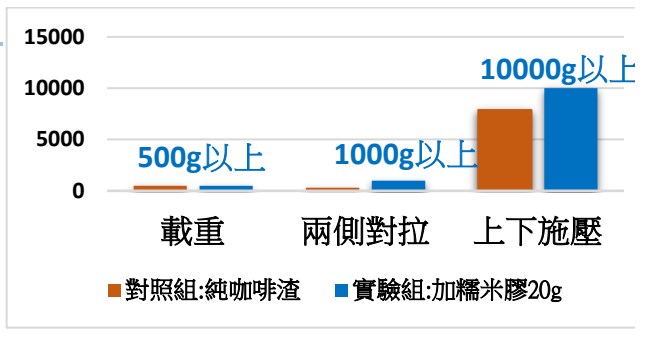


圖 5-2-8 咖啡渣環保紙容器的強韌性表現

二、實驗討論：

由表 5-2-2、圖 5-2-7 及圖 5-2-8 的實驗結果，我們發現下列事項：

(一) 以「純咖啡渣紙容器」而言：

載重達 500g 以上（以 50ml 容器盛裝），沒有破裂、兩側對拉各邊能承受 310g 拉力、上下施壓能承受 7872g 重量，顯示「純咖啡渣紙容器」的強韌性表現不錯。

(二) 以「天然黏膠（糯米膠）咖啡渣紙容器」而言：

載重可達 500g 以上（受限於容器的容量只有 50ml）、兩側對拉各邊能承受 1000g 以上的拉力、上下施壓能承受 10000g 以上的重量，沒有破裂，完好如初，證明「天然黏膠（糯米膠）咖啡渣紙容器」的強韌性表現非常好。

(三) 綜合上述，以不同方向施力，「天然黏膠（糯米膠）咖啡渣紙容器」的強韌性表現都優於「純咖啡渣紙容器」。

1. 依天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的演進，考慮塑型及防水性，第四代天然黏膠咖啡渣紙容器塑型後穩定度較佳，因此，後續以此進行實驗（咖啡渣紙團 100g、糯米膠 20g、不刷蜂蠟）。
2. 防水性：以滲水時間而言，「天然黏膠（糯米膠）紙容器」是「純咖啡渣紙容器」所花時間 12 倍以上，但以吸水量而言，兩者差異不大，顯示「天然黏膠（糯米膠）紙容器」防水性表現優於「純咖啡渣紙容器」。
3. 耐溫性：兩種類型紙容器都是水溫遞增，TDS 值遞增，但不論水溫高低，「純咖啡渣紙容器」的 TDS 值皆最高，且高出「天然黏膠（糯米膠）紙容器」數倍之多，甚至盛水 30 分鐘，水完全被吸乾，無法測量 TDS 值，也再次驗證其防水性較差，「天然黏膠（糯米膠）紙容器」的耐溫性表現優於「純咖啡渣紙容器」。
4. 強韌性：測量載重、兩側對拉上及上下施壓，「天然黏膠（糯米膠）紙容器」都沒有破裂，完好如初，證明強韌性表現非常好，強韌性表現優於「純咖啡渣紙容器」。
5. 綜觀研究二的所有實驗結果數據分析，「天然黏膠（糯米膠）咖啡渣紙容器」表現較為穩定，適合作為後續研究三及研究四的實驗基礎。

小結

研究三：研究天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器的影響

【實驗七】研究天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器防水性的影響

一、實驗結果：

根據研究二，我們以實驗組-天然蜂蠟咖啡渣紙容器及對照組-不刷蜂蠟咖啡渣紙容器，分別倒入 50 ml 的水，觀察兩者的毛細現象，並記錄吸水(濕透)所花時間及前後重量差異，再根據實驗數據分析，結果如表 5-3-1、圖 5-3-1 及圖 5-3-2 所示：

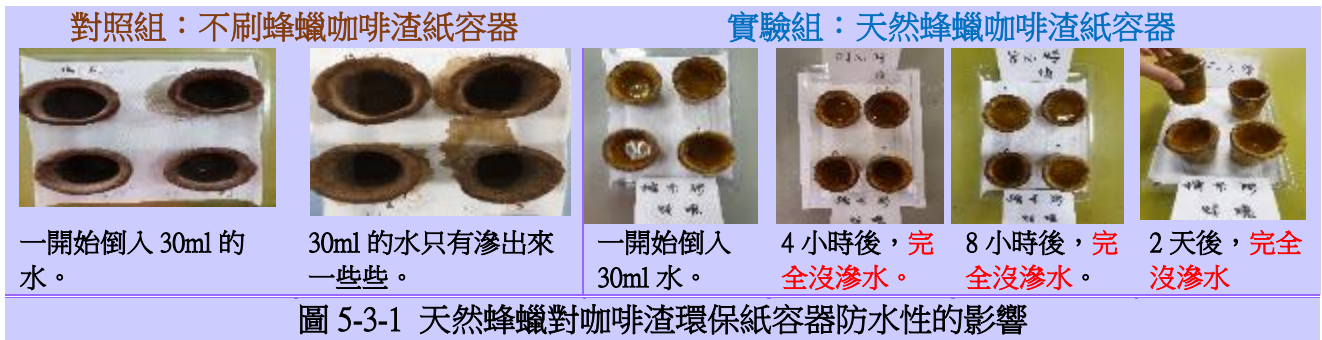


圖 5-3-1 天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器防水性的影響

表 5-3-1 天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器防水性的影響
咖啡渣:回收紙=3:5 (咖啡渣：30g、回收紙：50g、糯米膠：20g)

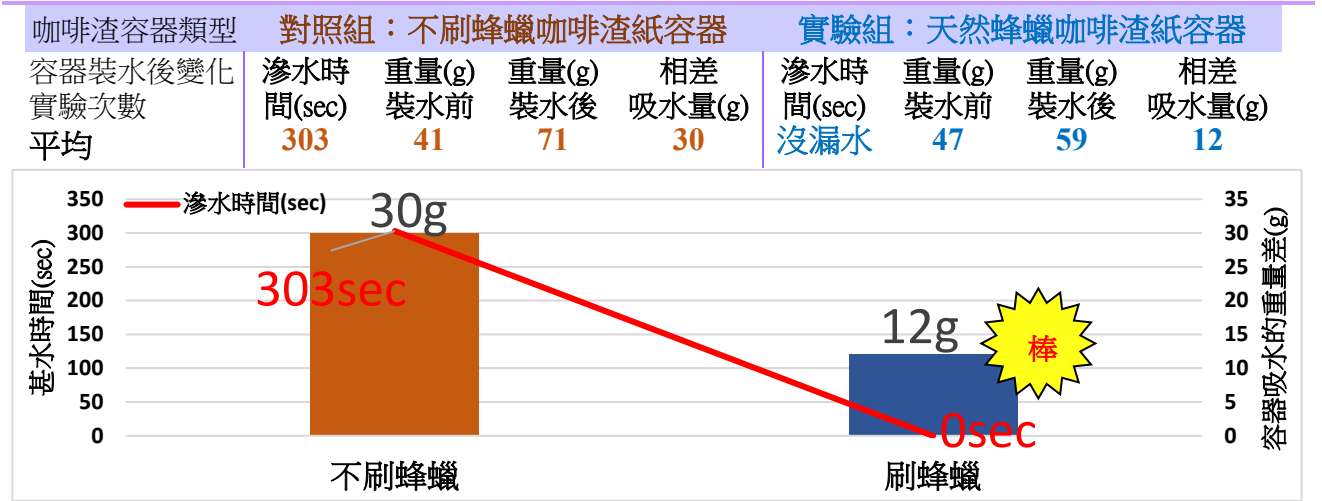


圖 5-3-2 天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器防水性的影響

二、實驗討論：

由表 5-3-1、圖 5-3-1 及圖 5-3-2 的實驗結果，我們發現下列事項：

(一) 以滲水時間而言：

從數據分析發現「不刷蜂蠟紙容器」的滲水速度仍然太快，刷蜂蠟之後，紙容器靜置數日仍未滲水，根據實驗四，「不刷蜂蠟紙容器」中的「糯米膠」填補了咖啡渣和紙漿之間的縫隙，而刷蜂蠟更進一步加強紙容器的防水性。

(二) 以吸水量而言：

「不刷蜂蠟紙容器」將部分水吸走，吸水後較重，但「刷蜂蠟紙容器」的吸水量只有 12g，甚至靜置數日後容器內仍有水，可見刷蜂蠟確實增加容器的防水性。

(三) 參照實驗四，綜合上述，「純咖啡渣紙容器」的防水性最差，「不刷蜂蠟咖啡渣紙容器（添加糯米膠）」次之，刷「天然蜂蠟咖啡渣紙容器」的防水性最佳。

【實驗八】研究天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器耐溫性的影響

一、實驗結果：

參照實驗七，分別倒入低溫（10℃）、常溫（25℃）及高溫（80℃）的水（水量 50ml），每隔一段時間記錄測量 TDS 值，再根據實驗數據分析，結果如圖 5-3-3、圖 5-3-4、圖 5-3-5 及圖 5-3-6 所示：

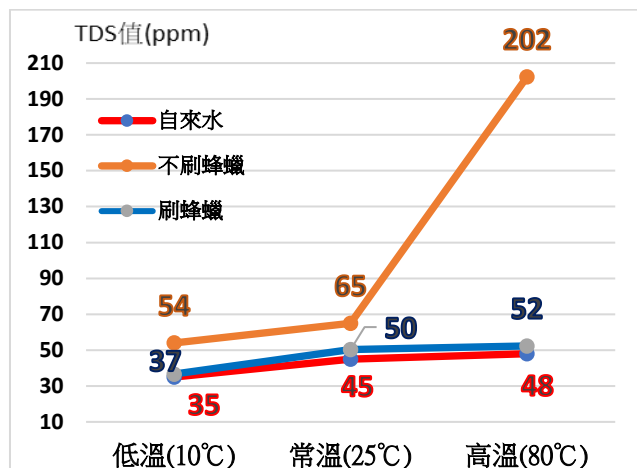
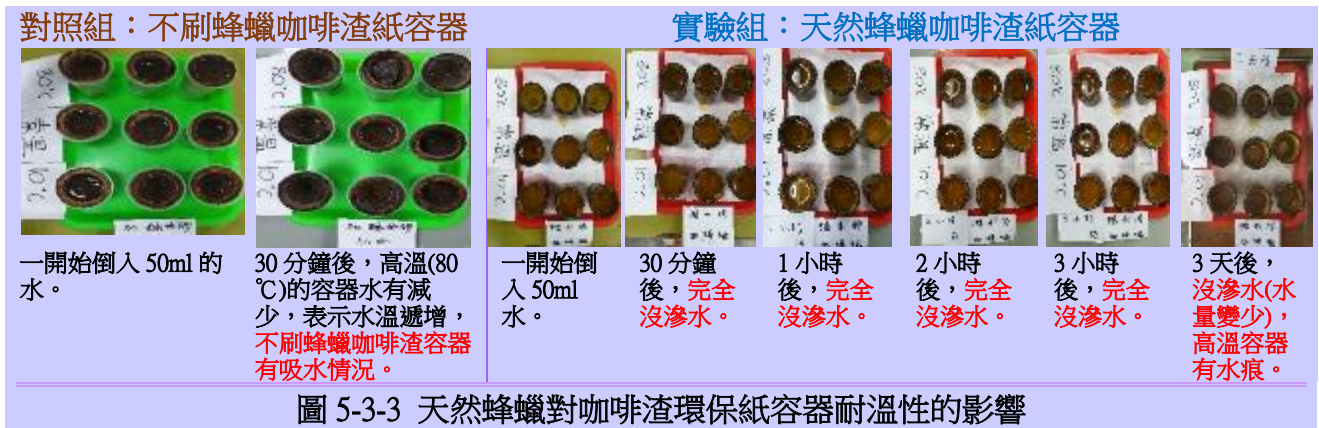


圖 5-3-4 天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器耐溫性的影響 (10 分鐘)

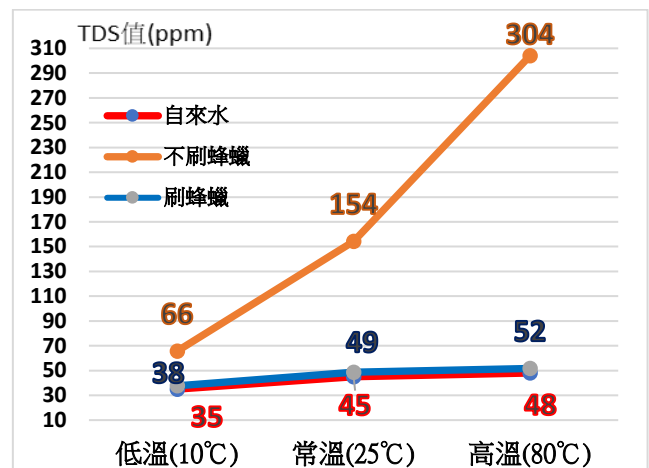


圖 5-3-5 天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器耐溫性的影響 (30 分鐘)

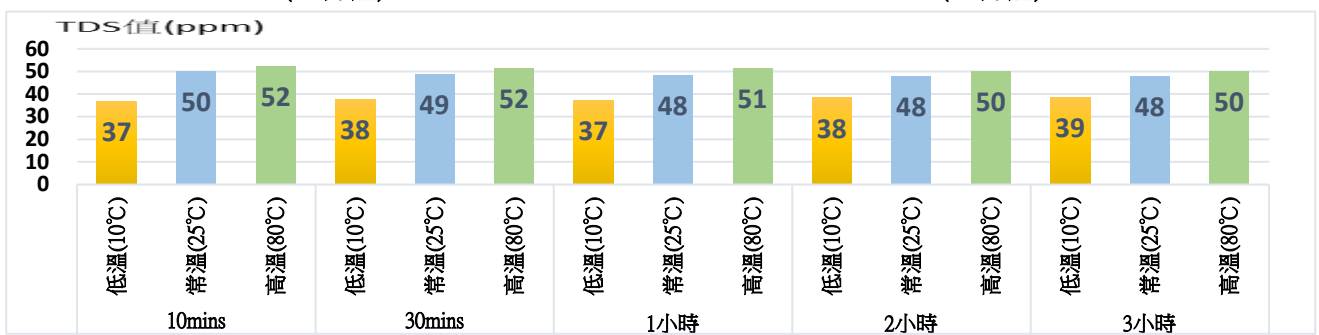


圖 5-3-6 刷天然蜂蠟紙容器耐溫性之表現

二、實驗討論：

由圖 5-3-3、5-3-4、5-3-5 及 5-3-6 的實驗結果，我們發現下列事項：

- (一) 當水溫越高、盛水時間越長，兩種咖啡渣紙容器的 TDS 值均遞增，而「不刷蜂蠟紙容器」的 TDS 值增幅更為明顯。
- (二) 不論水溫高低，「刷蜂蠟咖啡渣紙容器」的 TDS 值皆最低，且表現相當穩定，盛水 30 分鐘至 3 小時，TDS 值幾乎沒有太明顯變化。
- (三) 參照實驗五及實驗七，綜合上述，不論水溫高低，「純咖啡渣紙容器」的 TDS 值皆最高，「不刷蜂蠟咖啡渣紙容器」的 TDS 值居次，「刷天然蜂蠟咖啡渣紙容器」在不同水溫下，TDS 值都是最低的，且表現相當穩定，可見其耐溫性及防水性都是最佳的。

【實驗九】研究天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器強韌性的影響

一、實驗結果：

參照實驗七，分別以不同方向施力，測量載重、兩側對拉及上下施壓的砝碼總重量(g)，再根據實驗數據分析，結果如表 5-3-2、圖 5-3-7 及圖 5-3-8 所示：



表 5-3-2 天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器強韌性的影響

施力的方向/ 咖啡渣容器 類型	斷裂克數(g) / 施壓 30mins		
	載重	兩側對拉	上下施壓
對照組 不刷蜂蠟	500 以上	1000 以上	10000 以上
實驗組 刷蜂蠟	500 以上	1000 以上	10000 以上

咖啡渣:回收紙=3:5 (咖啡渣: 30g、回收紙: 50g、糯米膠: 20g)

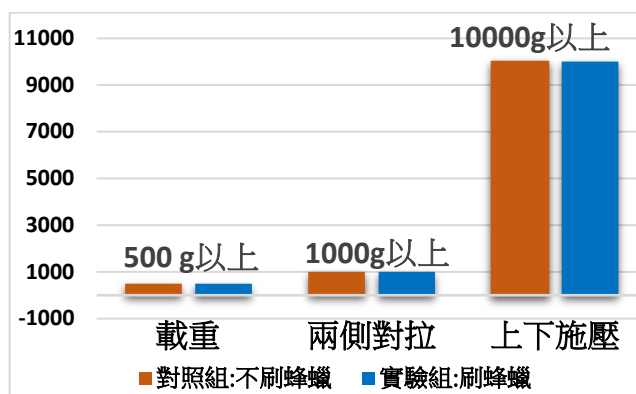


圖 5-3-8 天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器強韌性的影響

二、實驗討論：

由表 5-3-2、圖 5-3-7 及圖 5-3-8 的實驗結果，我們發現下列事項：

- (一) 兩類型紙容器，分別以不同方向施力，載重都可達 500g 以上（以 50ml 容器盛裝）、兩側對拉都能承受 1000g 以上拉力、上下施壓都能承受 10000g 以上重量，沒有破裂，完好如初，證明不論是否刷蜂蠟，兩種類型紙容器的強韌性表現都非常佳。
- (二) 參照實驗六，綜合上述，以不同方向施力，「刷天然蜂蠟咖啡渣紙容器」和「不刷蜂蠟咖啡渣紙容器（添加糯米膠）」的強韌性表現都優於「純咖啡渣紙容器」。

【實驗十】研究天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器耐酸鹼性的影響

一、實驗結果：

參照實驗七，分別調配檸檬酸溶液(PH=2.3)，小蘇打溶液(PH=8.7)，水量都是 50ml，倒入實驗組及對照組紙容器內，每隔一段時間測量紀錄 TDS 值的變化。檸檬酸水溶液受測前 TDS 值 146(*10)ppm；小蘇打水溶液受測前 TDS 值 105ppm；水受測前 TDS 值 45ppm，再根據實驗數據分析，結果如圖 5-3-9、5-3-10 及 5-3-11 所示：

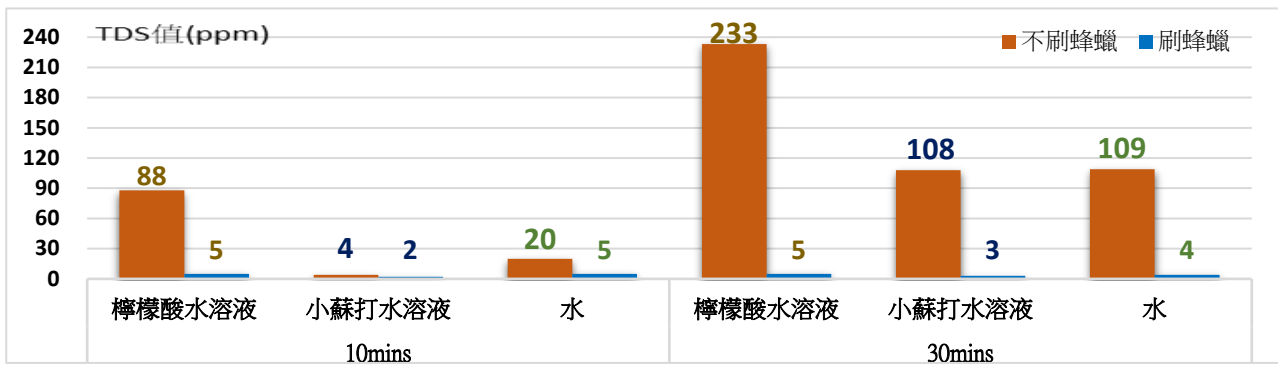
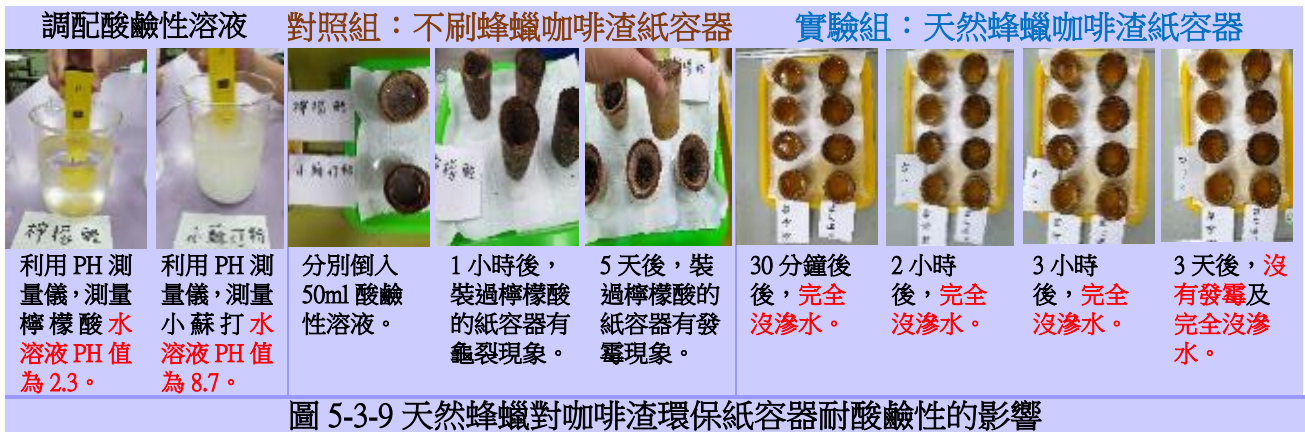


圖 5-3-10 天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器耐酸鹼性的影響

註：檸檬酸水溶液(PH=2.3)、小蘇打水溶液(PH=8.7)、水(PH=7)

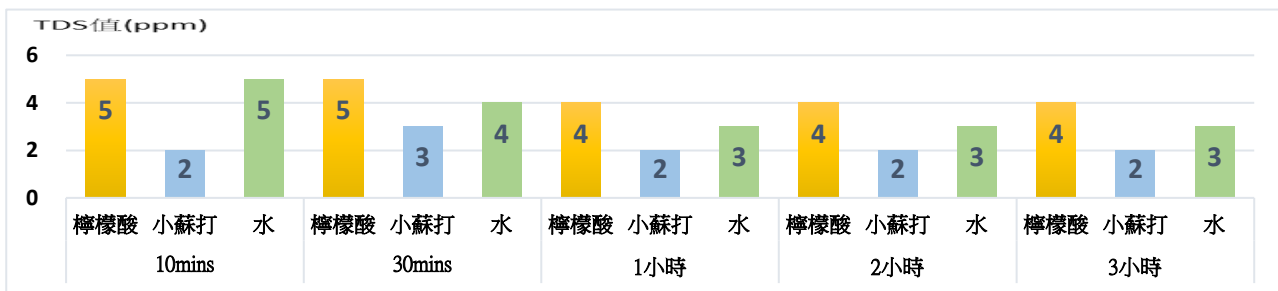


圖 5-3-11 刷天然蜂蠟咖啡渣紙容器耐酸鹼性之表現

二、實驗討論：

由圖 5-3-9、5-3-10 及 5-3-11 的實驗結果，我們發現下列事項：

(一) 不論水溶液的酸鹼性，當盛水溶液時間越長，「不刷蜂蠟紙容器」的 TDS 值增幅非常大，但「刷蜂蠟紙容器」的 TDS 值則沒有太明顯變化。

(二) 以「不刷蜂蠟咖啡渣紙容器」而言：

依圖 5-3-9 及圖 5-3-10，盛裝檸檬酸水溶液的容器 TDS 值最高，顯示檸檬酸水溶液較易溶解出咖啡渣物質，但小蘇打水溶液相對穩定。我們也發現放置 5 天後，盛裝檸檬酸水溶液的咖啡渣紙容器有發霉現象，經查文獻資料，得知大部分的黴菌最適合生長在 PH 值 4.0~5.8 的環境中，在此也證明酸性環境易加速發霉，中性及鹼性環境較不易發霉。

(三) 以「刷天然蜂蠟咖啡渣紙容器」而言：

依圖 5-3-11，不論水溶液的酸鹼性，TDS 值不會隨盛水溶液時間變長而明顯變化。

(四) 參照實驗七及實驗八，綜合上述，不論盛裝酸性或鹼性水溶液，「不刷蜂蠟咖啡渣紙容器」TDS 值皆最高，且 TDS 值隨盛水溶液時間變長而大幅增加；但「刷蜂蠟咖啡渣紙容器」在不同酸鹼性溶液下，TDS 值都偏低，且表現相當穩定，**再次證明「刷天然蜂蠟」對咖啡渣紙容器的防水性、耐溫性及耐酸鹼性都有明顯助益。**

【實驗十一】：研究天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器重複使用的可行性

一、實驗結果：

在咖啡渣環保紙容器內倒入 50ml 的水，靜置 30 分鐘後，進行防水性（耐溫性）、強韌性（上下施壓）、耐酸性三項檢測，檢測完成，重複上述實驗步驟，共檢測三次，結果如圖 5-3-12、5-3-13 及 5-3-14 所示：

調配檸檬酸水溶液	防水性(耐溫性)	強韌性(上下施壓)	耐酸性(檸檬酸水溶液)
			
利用 PH 測量儀，測量檸檬酸水溶液 PH 值為 2.3。受測前 TDS 值 161(*10)ppm	倒入 50ml 熱水（水溫 80℃）剛開始 TDS 值 52ppm。	靜置 30 分鐘後，TDS 值為 53ppm。	倒入 50ml 熱水（水溫 80℃），靜置 30 分鐘，將水倒掉，進行強韌性(上下施壓)的實驗。
		強韌性（上下施壓），可承受 1000gw，再倒入常溫水靜置 10 分鐘一樣完好如初。	30 分鐘後，檸檬酸水溶液 TDS 值維持 163(*10)ppm。

圖 5-3-12 天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器重複使用的可行性

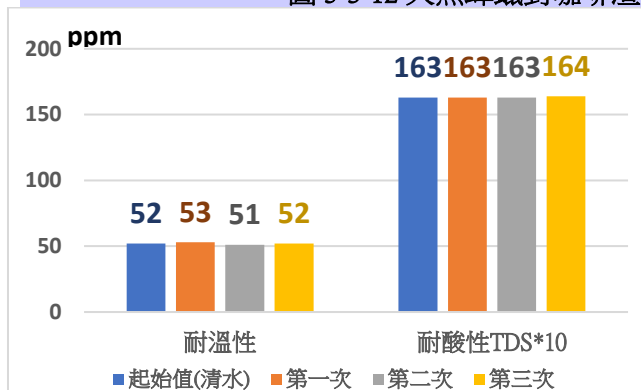


圖 5-3-13 天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器重複使用(耐溫性/防水性、耐酸性)

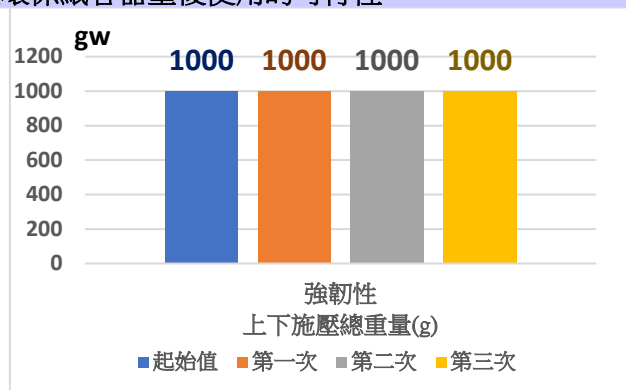


圖 5-3-14 天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器重複使用(強韌性)

二、實驗討論：

由圖 5-3-12、圖 5-3-12 及圖 5-3-14 的實驗結果，我們發現下列事項：

(一) 在耐溫性（防水性）及耐酸性方面：

「刷蜂蠟咖啡渣紙容器」內分別倒入 50ml 的熱水（水溫 80℃）及檸檬酸水溶液，靜置 30 分鐘後，反覆進行三次檢測，TDS 值沒有明顯變化，表示「刷蜂蠟咖啡渣紙容器」雖經重複使用，對其耐溫性（防水性）、耐酸性表現並無顯著影響。

(二) 在強韌性方面：

「刷蜂蠟咖啡渣紙容器」內倒入 50ml 的熱水（水溫 80℃），靜置 30 分鐘後，再進行上下施壓檢測，反覆進行三次檢測，都可承受 1000gw 的壓力。三次檢測後，再

裝入常溫水，10 分鐘後一樣毫無破損，表示「刷蜂蠟咖啡渣紙容器」雖經重複使用，對其強韌性表現並無影響。

(三) 綜合上述，「刷蜂蠟咖啡渣紙容器」雖經重複使用，在防水性、耐溫性、耐酸性及強韌性表現仍佳且穩定，相較於市售一次性紙容器，更能達到資源循環利用的理念。

【實驗十二】研究天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器的使用滿意度調查

一、實驗結果：

為了解使用者在實際使用過程中，對咖啡渣環保紙容器的滿意程度，依「李克特五點量表」設計滿意度問卷，請 22 位受試者填寫問卷，結果如圖 5-3-15 所示：

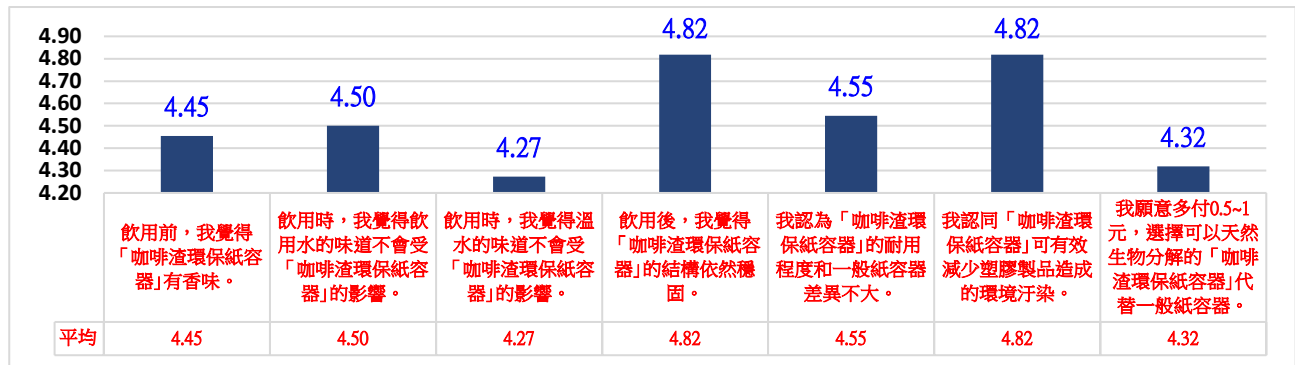


圖 5-3-15 咖啡渣環保紙容器的使用滿意度調查

二、實驗討論：

由圖 5-3-15 的實驗結果，我們發現下列事項：

- (一) 受試者普遍認為「咖啡渣環保紙容器有香味」，但這香味並不會影響飲水的味道。
- (二) 受試者認為「溫水的味道不會受咖啡渣環保紙容器影響」之平均值為 4.27，也就是只有少數受試者認為溫水的味道受容器影響了，但大部分受試者認為不受影響。此調查和實驗八互相呼應，測試耐溫性時，在 10 分鐘內，倒入高溫(80°C)的水，瞬間使 TDS 值多出 3ppm，但隨時間愈久，TDS 值則趨於穩定。
- (三) 受試者普遍認為「咖啡渣環保紙容器」非常穩固及有減塑效果，大多數人認為選擇天然可降解的容器，雖然要多付費用，但是願意接受的。

小結

1. 根據實驗四~實驗十，「天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器」在防水性、耐溫性、強韌性、耐酸鹼性各方面表現極佳，且相當穩定。
2. 根據實驗十一，「天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器」有別於一次性紙容器，雖經重複使用，在防水性、耐溫性、耐酸性及強韌性各方面表現仍佳，且相當穩定，能有效達到資源循環再利用的環保理念。
3. 依實驗十二，針對滿意度調查結果而言，受試者普遍認為「天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器」有香味，但不會影響飲用水味道，且認為容器結構非常穩固及有減塑效果，普遍願意再多花費用選擇此材質的容器。
4. 綜觀研究三的實驗結果分析，「天然蜂蠟」對咖啡渣環保紙容器在各個評量項目上都有正面影響，且表現相當穩定。

研究四：研究咖啡渣環保紙容器的延伸應用（環保花盆、環保餐墊）

* **咖啡渣環保紙容器延伸應用於環保花盆**：

【實驗十三】 研究咖啡渣環保花盆對植物生長情況之影響

一、實驗結果：

依研究一至三的實驗結果，先以**實驗組**-天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器及**對照組**-一般花盆分別種植蘿蔓萵苣、芥菜苗及小白菜半個月，兩者並無顯著差異，再將**對照組**的菜苗移植透明花盆，並將**實驗組**-天然蜂蠟咖啡渣紙容器剝開，連同蘿蔓萵苣、芥菜苗及小白菜一同移植在透明花盆中，固定時間觀察記錄植物於環保花盆的生長情況，結果如圖 5-4-1 及圖 5-4-2 所示：

種類						
移植一星期	咖啡渣花盆 蘿蔓萵苣 高度平均 9.8cm，葉片數 4 片。	一般花盆 蘿蔓萵苣 高度平均 9.5cm，葉片數 4 片。	咖啡渣花盆 芥菜 高度平均 9cm，葉片數為 3 片。	一般花盆 芥菜 高度平均 9cm，葉片數 3 片，第四株為 3cm。	咖啡渣花盆 小白菜 小白菜只有零星發芽，高度平均為 3cm。	一般花盆 小白菜 小白菜發芽數量較多，高度平均為 2.5cm。
種類						
兩個月後	咖啡渣花盆 蘿蔓萵苣 高度平均 15cm，葉片平均 9 片，顏色非常綠。	一般花盆 蘿蔓萵苣 高度平均 11cm，葉片平均 5 片， 第四株枯黃葉片多。	咖啡渣花盆 芥菜 高度平均 13cm，葉片平均 5 片， 第二株及第三株有枯黃葉片。	一般花盆 芥菜 高度平均 13cm，葉片平均 5 片， 第四株已死，有多株葉片有蟲咬痕跡及枯黃。	咖啡渣花盆 小白菜 數量茂密，平均高度 5.5cm。	一般花盆 小白菜 有些葉片有枯黃現象，平均高度 5.5cm。

圖 5-4-1 植物於環保花盆生長情況的表現（移植後）

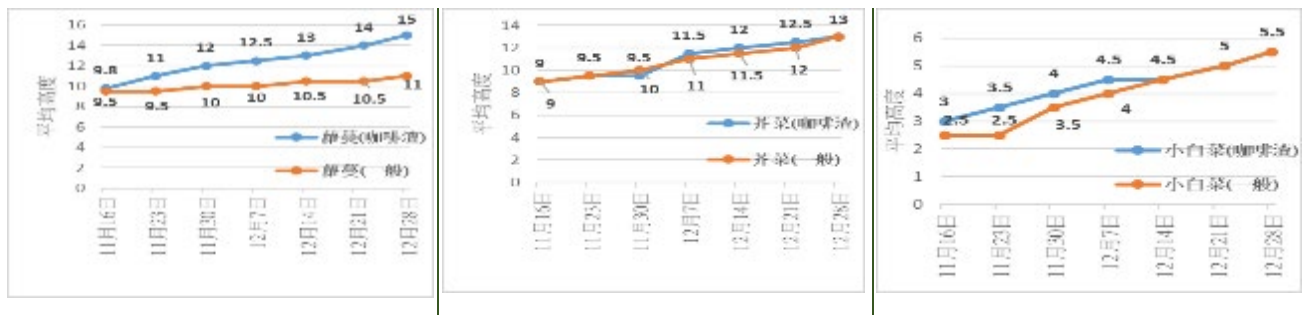


圖 5-4-2 植物於環保花盆生長高度(cm)的表現（移植後）

二、實驗討論：

由圖 5-4-1 及圖 5-4-2 所示，我們發現下列事項：

- (一) 種植二個月後，咖啡渣環保花盆已慢慢分解在土壤內，中和土壤酸鹼性，使用咖啡渣花盆種植的蘿蔓萵苣葉片較多、高度較高、顏色非常綠，可知咖啡渣環保花盆降解後對蘿蔓萵苣生長的確有幫助。
- (二) 以咖啡渣花盆種植芥菜及小白菜和一般土壤種植的菜苗高度並無顯著差異，但一般土壤種植的芥菜有蟲咬的痕跡及枯黃葉片數較多。
- (三) 綜合上述，咖啡渣環保花盆已慢慢分解在土壤內，中和土壤酸鹼性，尤其對蘿蔓萵苣菜苗的生長有明顯助益。

【實驗十四】研究咖啡渣環保花盆於土壤內的降解表現

一、實驗結果：

將天然蜂蠟咖啡渣環保花盆剝開放入透明花盆中，再混入培養土進行降解觀察，每週固定時間觀察環保花盆的降解表現，結果如圖 5-4-3 所示：

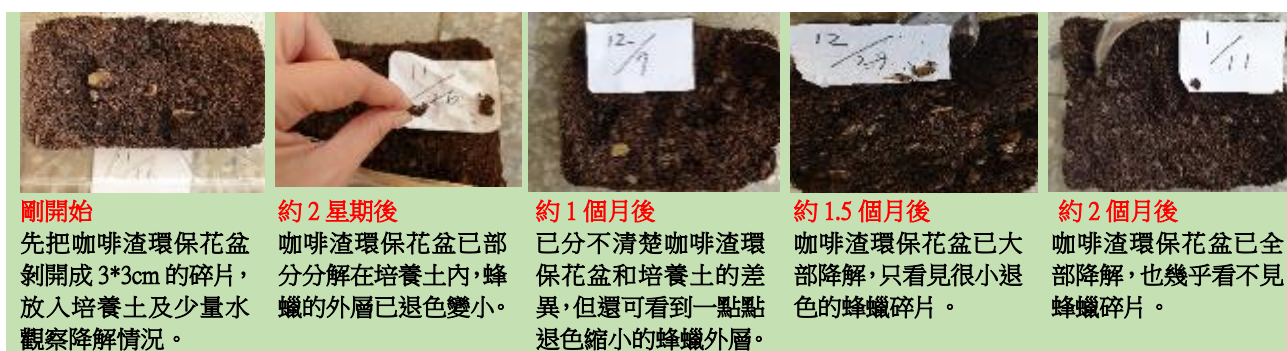


圖 5-4-3 環保花盆於土壤內的降解表現

二、實驗討論：

由圖 5-4-3 的實驗結果，我們發現下列事項：

- (一) 咖啡渣環保花盆約一個半月便可降解完畢，但外層蜂蠟約二~三個月才能完全降解完畢。
- (二) 咖啡渣環保花盆不需要特殊條件，只要埋在土壤裡，維持土壤溼潤（相對溼度 60% 以上），二~三個月便能完全降解，對大自然環境沒有任何負擔。

* 咖啡渣環保紙容器延伸應用於環保餐墊：

【實驗十五】研究咖啡渣環保餐墊的實用表現

一、實驗結果：

於加蓋鋼杯中加入 300ml 的熱水（水溫 80℃），分別放在刷蜂蠟及不刷蜂蠟兩組咖啡渣環保餐墊上，進行防水性（耐溫性）、強韌性（上下施壓）檢測，結果如圖 5-4-4、圖 5-4-5 及圖 5-4-6 所示：

(一) 咖啡渣環保餐墊的防水性（耐溫性）表現：



圖 5-4-4 咖啡渣環保餐墊的防水性（耐溫性）表現



圖 5-4-5 咖啡渣環保餐墊的防水性（耐溫性）表現

(二) 咖啡渣環保餐墊的強韌性表現：



圖 5-4-6 咖啡渣環保餐墊的強韌性（上下施壓）表現

二、實驗討論：

如圖 5-4-4、圖 5-4-5 及圖 5-4-6 實驗結果，我們發現下列事項：

(一) 咖啡渣環保餐墊的防水性（耐溫性）表現：

不論有無刷蜂蠟，兩種「咖啡渣環保餐墊」剛開始 TDS 值都一樣，但「不刷蜂蠟」餐墊在 10 分鐘內已溶出部分咖啡渣，TDS 值突然飆高很多，且浸漬 2 小時後，「不刷蜂蠟」餐墊完全吸飽水份，吸水性極佳（防水性差）；而「刷蜂蠟」餐墊 TDS 值則穩定沒有變化，防水性佳（吸水性差）。由此可知，不同種類的餐墊各有其特性，可視實際應用所需，選擇不同種類的餐墊做更廣泛的應用。

(二) 咖啡渣環保餐墊的強韌性表現：

兩種類型之「咖啡渣環保餐墊」都可承受 1000gw 的上下施壓，強韌性表現佳，也驗證實驗六及實驗九的研究結果。

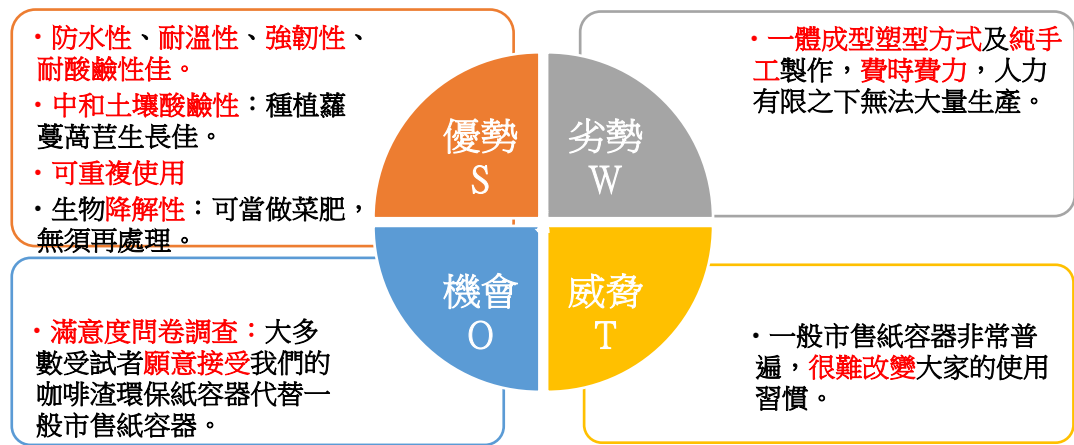
小結

1. **咖啡渣環保花盆**可降解在土壤內，中和土壤酸鹼性，尤其對**蘿蔓萵苣的生長有明顯助益，其葉片較多、葉片顏色非常綠、高度較高**，但種植其他菜苗則無顯著差異。
2. **咖啡渣環保花盆不需要特殊的條件，只要埋在土壤裡，土壤維持些許濕潤（相對溼度 60%以上），二~三個月便能完全降解，對大自然環境沒有任何負擔，達到物理學中「能量不減」循環利用資源及零廢棄的理念。**
3. **兩種「咖啡渣環保餐墊」的強韌性表現均佳，而在防水性（耐溫性）表現上各有其特色，可視實際需求，選擇不同種類的餐墊，也驗證其延伸應用的可行性。**

陸、 結論

一、在實驗中我們的發現及收穫：

- (一) **咖啡渣環保紙容器的演進**：第四代咖啡渣紙團以添加**天然黏膠(糯米膠 20g)**為基礎，**刷天然蜂蠟塑型後**，在**防水、耐溫、強韌、耐酸鹼**各方面表現極佳，且相當穩定。
- (二) **咖啡渣紙容器的環保實用表現**：「天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器」在**防水性、耐溫性、強韌性、耐酸鹼性**各方面，都有極佳表現，且相當穩定。
 1. **吸水量**只有 12g，靜置數日後的容器內仍有水。
 2. 不論**水溫高低**，TDS 值只增加 3~4ppm，表現相當穩定。
 3. 以不同方向施力，都沒有破裂，容器完好如初
 4. 不論**水溶液的酸鹼性**，隨盛水溶液時間越長，TDS 值變化並不大。
- (三) **重複使用**：「天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器」**雖經重複使用，防水、耐溫、強韌、耐酸鹼各方面表現仍佳**，有別於市售紙容器用完即丟，且無法回收再利用。「天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器」**在重複使用之後，還可作為環保花盆，完全降解於土壤中**，將資源循環充分利用，達到零廢棄的藍色經濟環保理念。
- (四) **植物生長及降解情況**：「天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器」埋入土壤種植菜苗，**咖啡渣會慢慢分解在土壤內**，中和土壤酸鹼性，約**二~三個月便能完全降解**，用咖啡渣種植的**蘿蔓萵苣表現最明顯，葉片數多、顏色非常綠、高度較高**。
- (五) **自製「天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器」的 SWOT 分析**：
根據 SWOT 分析，「天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器」為純手工製作耗時費力。但若企業化大量生產，利用**機械開模**，**則可解決此問題**，若能推廣取代市售紙容器，期能達到「藍色經濟」，兼顧環保、經濟、創新的一種零廢棄「循環經濟模式」。



二、展望與建議：

(一) 「咖啡渣環保紙容器」的延伸應用：

2020 年受新冠狀肺炎疫情影響，環保署公布 2020 年上半年紙容器回收量達 7 萬 3863 公噸，相較 2019 年同期僅 2.8 萬噸，多出近三倍，而市售所謂的紙容器為了防水會於內層再上一層 PE 淋膜（聚乙烯），常被當作一般垃圾來處理。在大自然環境下幾乎無法自然分解，反而造成更多的環境負擔。如果能將「咖啡渣紙容器」延伸應用到食衣住行各方面，不僅能夠減少塑化材料的使用，更能將大量廢棄的咖啡渣再利用，達到「藍色經濟」，兼顧環保、經濟、創新的零廢棄「循環經濟模式」。

- 食：咖啡渣紙筷、咖啡渣紙吸管、環保餐具、杯墊及餐墊；
- 衣：咖啡渣紙紡織品；
- 住：防撞條、運動遊樂場地的防撞墊、工廠機器的減震墊；
- 行：車道及步道的透水磚、殘障坡道的斜面材質等。

(二) 「咖啡渣環保紙容器」的天然黏膠及容量限制：

礙於研究設備經費和製作能力，只能以「一體成型」純手工方式，無法測試多種天然黏膠及大量生產，且無法增加紙容器之容量，只能在能力範疇內做較嚴謹的探究。

柒、參考文獻資料

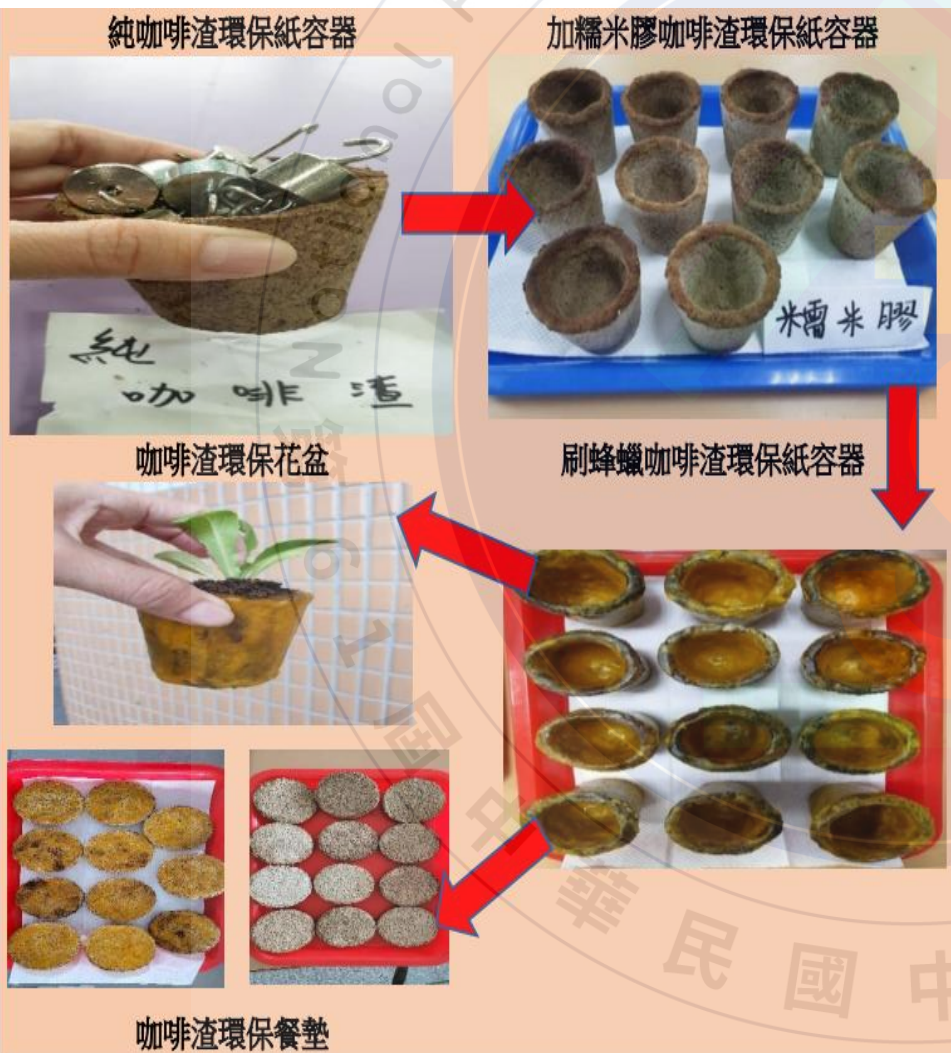
- 一、<獨家直擊：你辛苦做的分類回收，是一場騙局？>天下雜誌 657 期。2018 年九月號。
- 二、咖啡渣回收做杯子，減汙實現藍色經濟，2018 年 11 月 28 日，取自：
<https://www.businesstoday.com.tw/article/category/80392/post/201811280017/%E5%92%96%E5%95%A1%E6%B8%A3%E5%9B%9E%E6%94%B6%E5%81%9A%E6%9D%AF%E5%AD%90%20%20%E6%B8%9B%E6%B1%99%E5%AF%A6%E7%8F%BE%E8%97%8D%E8%89%B2%E7%B6%93%E6%BF%9F>
- 三、<經濟與環保的互利共生—藍色經濟>。科學月刊 574 期。2017 年 9 月 27 日，取自：
http://scimonth.blogspot.com/2017/09/blog-post_33.html
- 四、陳品璇、王安、黃恩宇、蕭季夫、潘為歆、范書維。「麥」出減塑新「吸」望。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書（編號：082916）。
- 五、邱宇豪、蔡秉學、吳定慧、陳盈蓁。會呼吸的複合式環保蛋殼植栽容器。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書（編號：082922）。

【評語】 082931

本件作品是探討廢棄物再利用，實驗測試項目多，改善的產品已經具有初步實務及商品化運用的雛型，且符合環保主題，有實用參考價值。但部分實驗結果之評斷以及測量，可再力求客觀，亦可針對實施的成本面探討各種環保材質與咖啡渣混和的效果，延伸探討應用的可行性。過去已有咖啡渣再利用的專題作品，也有市售商品有類似的構想，可多做文獻探討。

作品簡報

“啡”比尋常



~研究
咖啡渣紙容器
之環保實用表現

組別：國小組
科別：生活與應用
科學(二)
編號：082931

研究動機、目的、方法

●研究動機：

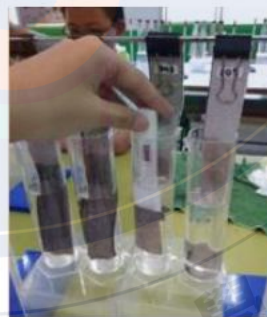
- ~ 紙容器回收率不到10%
- ~ 紙容器為了防水，內層漆上**聚乙烯**(polyethylene, PE)
- ~ 咖啡渣內含有大量**微量元素**(含氮化物)
- ~ 達到「**藍色經濟**」之零廢棄、零排放的環保理念

●研究目的、方法：

一、研究咖啡渣製造紙張的可能性



製作咖啡渣紙張



實驗一：防水性



實驗二：耐溫性



實驗三：強韌性

二、研究天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的可行性

3



製作咖啡渣紙容器

實驗四：防水性

實驗五：耐溫性

實驗六：強韌性

三、研究天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器的影響



李克特
五點量表

實驗七：
防水性

實驗八：
耐溫性

實驗九：
強韌性

實驗十：
耐酸鹼性

實驗十一：重複使用

實驗十二：
滿意度調查

四、研究咖啡渣環保紙容器的延伸應用



環保花盆

環保餐墊

實驗十三：
植物生長情況

實驗十四：
土壤內降解表現

實驗十五：
製作餐墊

加蓋鋼杯內
有 80°C 熱水

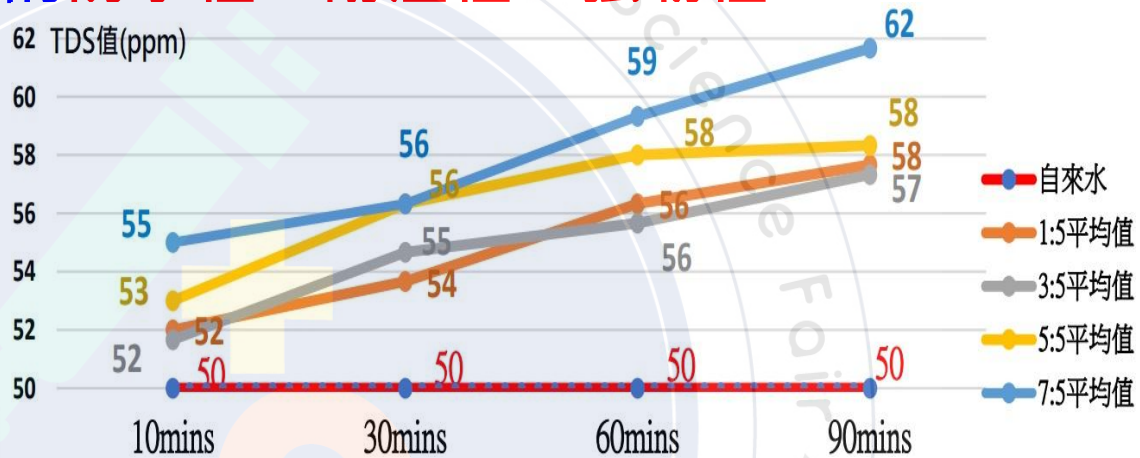
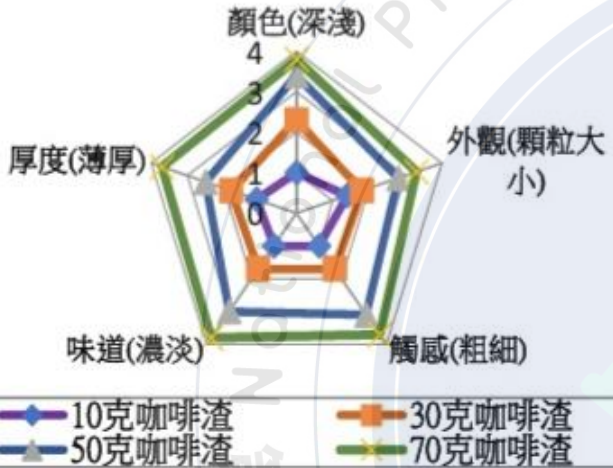
防水性檢測

強韌性檢測

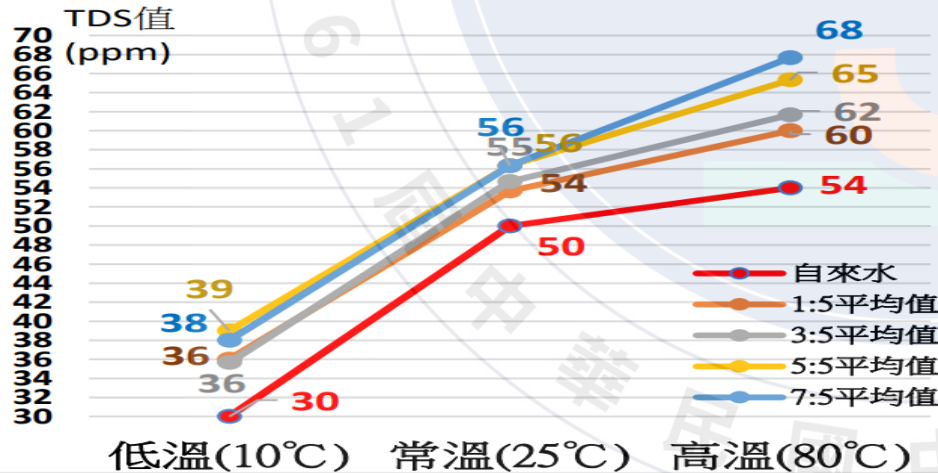
研究結果及討論--研究一

研究一（前導實驗） 研究咖啡渣製造紙張的可能性

實驗一~三：咖啡渣紙張的防水性、耐溫性、強韌性



咖啡渣紙張防水性表現



咖啡渣紙張耐溫性表現(30分鐘)



咖啡渣紙張強韌性表現

「研究一」結論

3:5咖啡渣紙張

最符合製作咖啡渣環保紙容器的比例

研究結果及討論--研究二

研究二 研究天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的可行性

一代

- 加入不同克數之「酪蛋白粉」或「糯米粉」

二代

- 加入70g糯米粉及自然風乾法

三代

- 加入70g糯米粉及中高溫烘乾法

第四代

- 加入20g糯米膠及中高溫烘乾法

棒



*100g 咖啡渣紙團+20g 糯米膠(粉:水=1:1)

*中低溫烘乾→光觸媒殺菌 120 分鐘→高溫(100°C)定型

*顆粒細緻，縫隙較小，質地堅硬

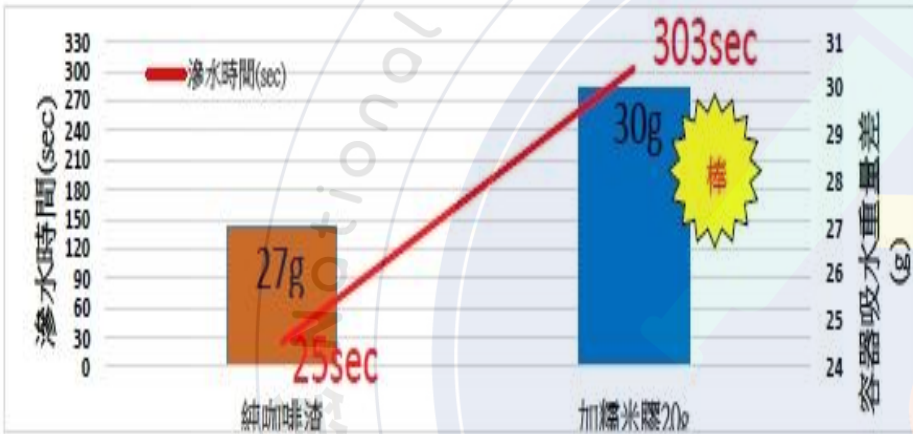
*滲水痕跡較第三代小很多，刷上蜂蠟後，經 8 小時以上仍不滲水

考慮塑型及防水性，**第四代**塑型後穩定度較佳，後續以此進行實驗。
(咖啡渣紙團100g、糯米膠20g、不刷蜂蠟)

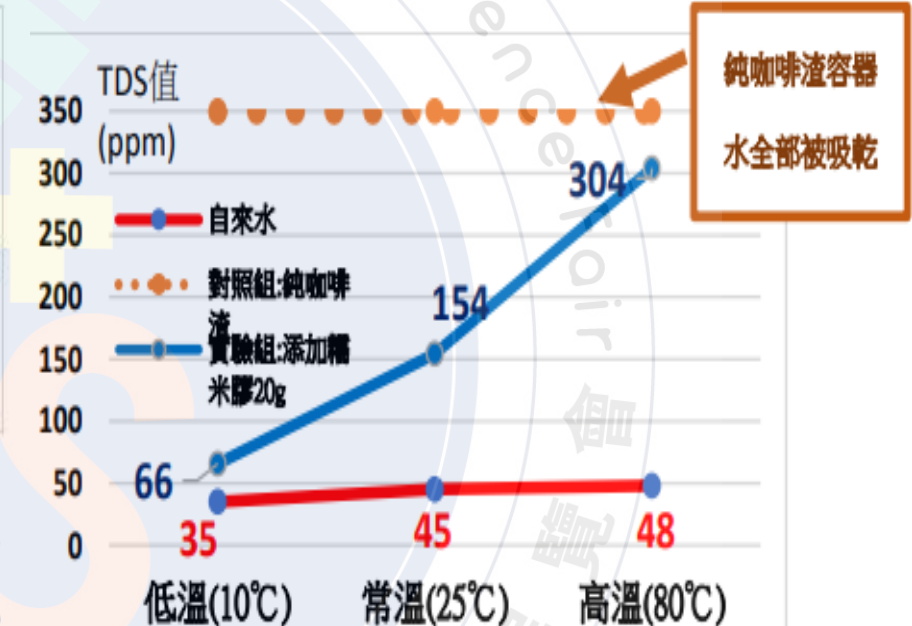
研究結果及討論--研究二

研究二 研究天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的可行性

實驗四~六：天然黏膠與咖啡渣混合製成環保紙容器的防水性、耐溫性、強韌性



咖啡渣環保紙容器防水性表現



純咖啡渣容器
水全部被吸乾

咖啡渣環保紙容器耐溫性表現(30分鐘)



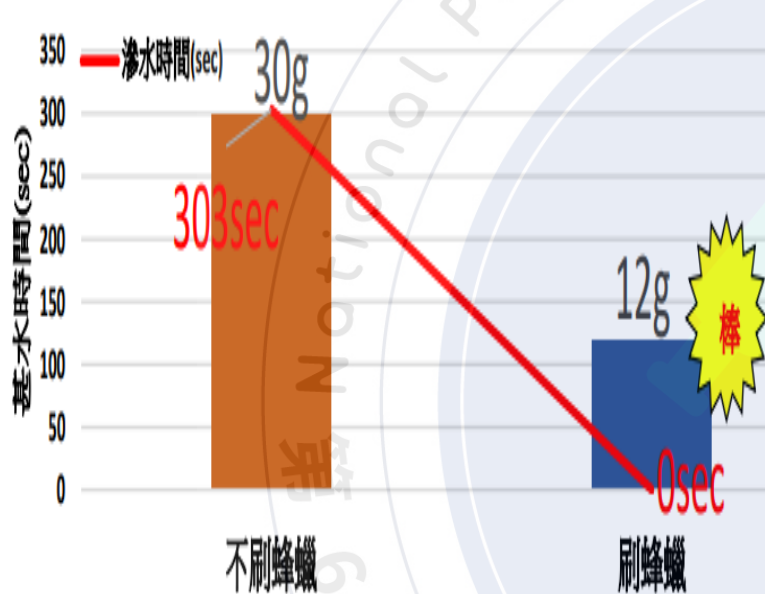
咖啡渣環保紙容器強韌性表現

「研究二」結論
「天然黏膠(糯米膠)咖啡渣紙容器」
 表現較佳且穩定，適合作為後續研究的基礎。

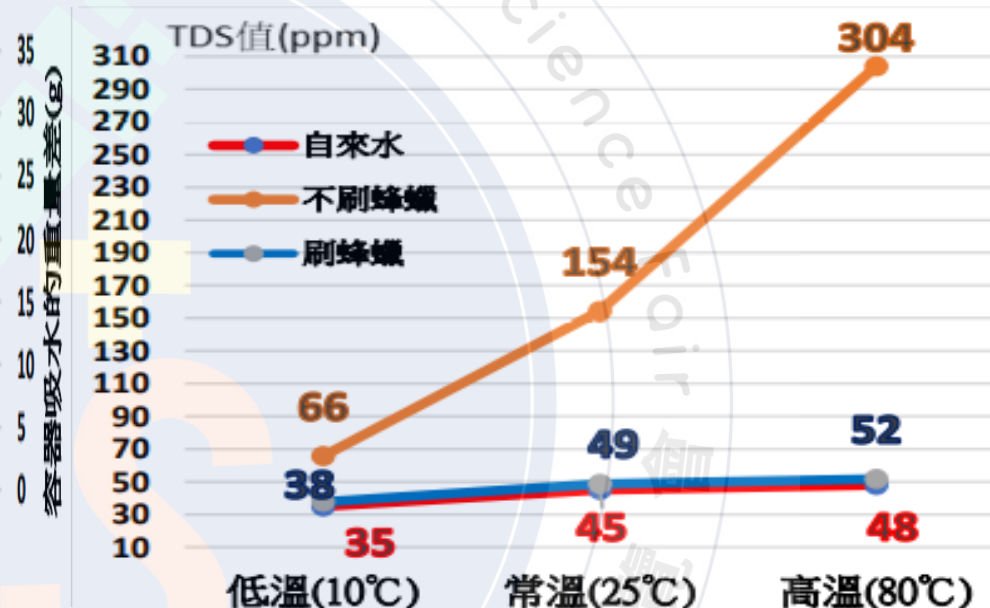
研究結果及討論--研究三

研究三 研究天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器的影響

實驗七~八：天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器防水性及耐溫性的影響

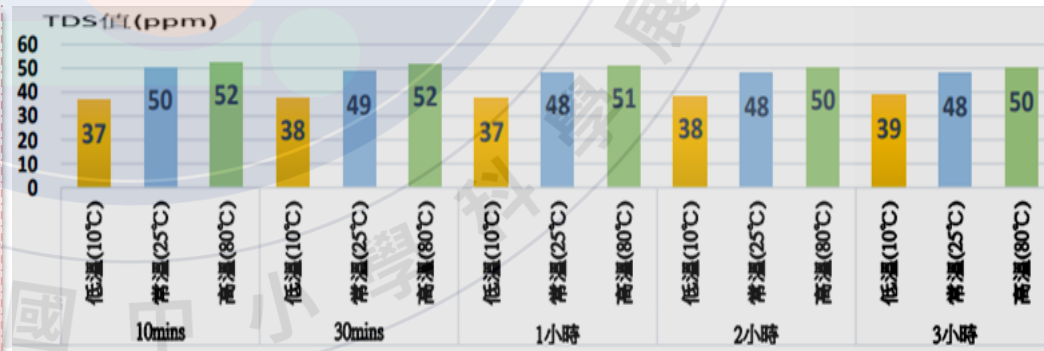


天然蜂蠟~防水性影響



天然蜂蠟~耐溫性影響(30分鐘)

「實驗七~八」小結
「天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器」
 防水性、耐溫性表現極佳，且相當穩定。

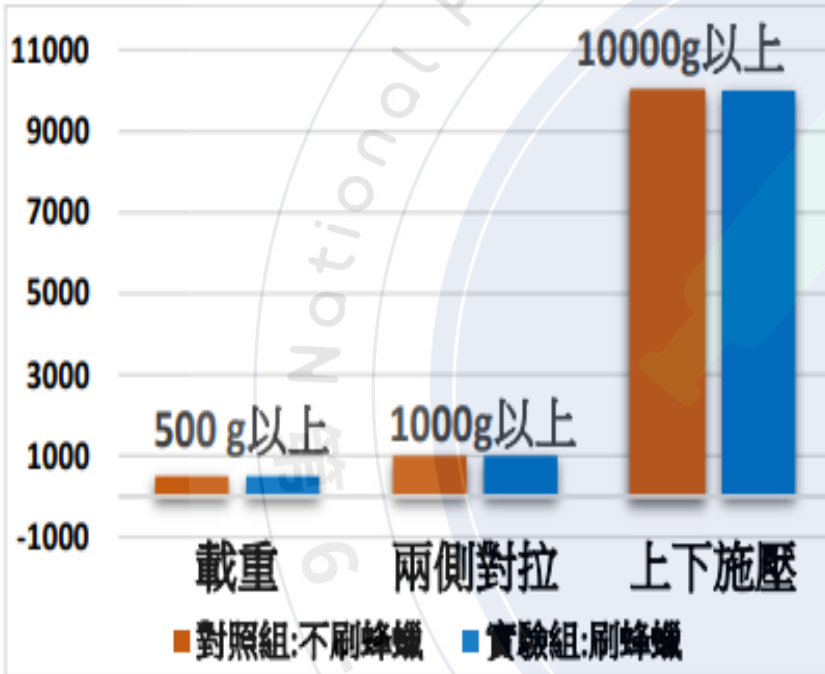


天然蜂蠟咖啡渣紙容器耐溫性表現

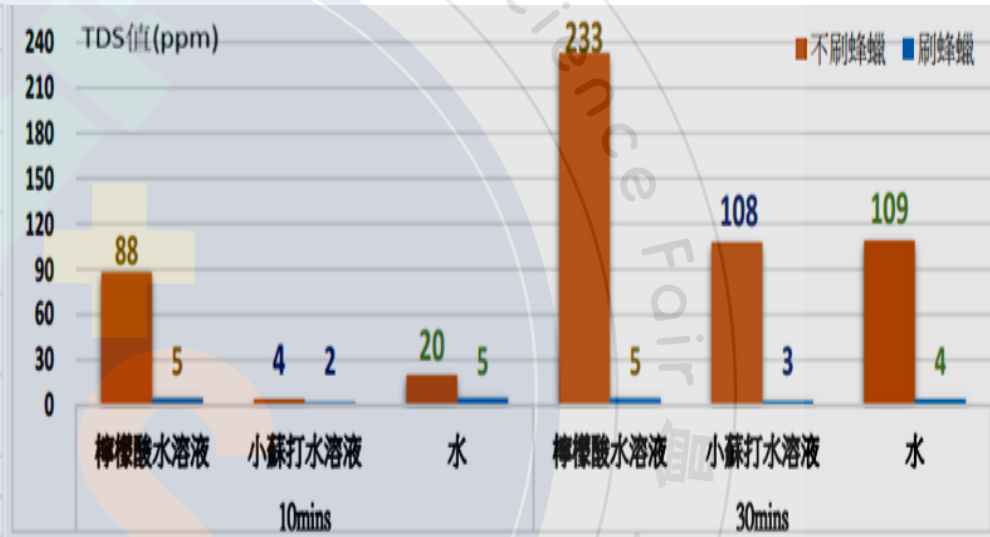
研究結果及討論--研究三

研究三 研究天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器的影響

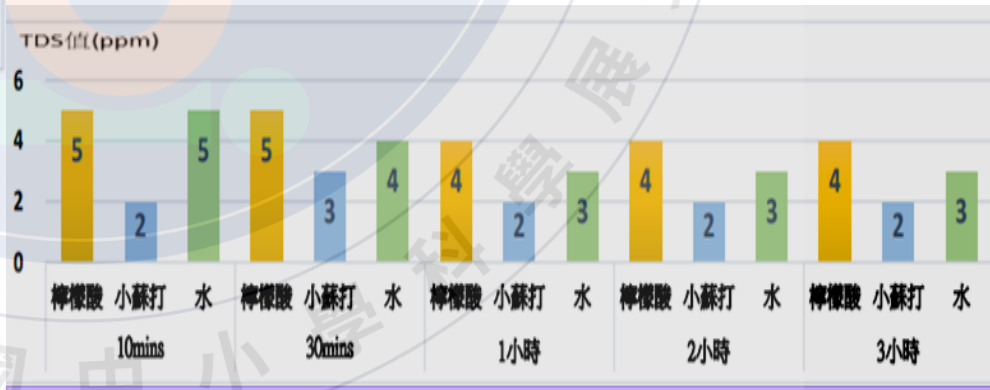
實驗九~十：天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器強韌性及耐酸鹼性的影響



天然蜂蠟~強韌性影響



天然蜂蠟~耐酸鹼性影響



天然蜂蠟咖啡渣紙容器耐酸鹼性表現

「實驗九~十」小結

「天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器」強韌性、耐酸鹼性表現極佳，且相當穩定。

研究結果及討論--研究三

研究三 研究天然蜂蠟對咖啡渣環保紙容器的影響

實驗十一~十二：天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器重複使用的可行性及滿意度調查



重複使用~耐溫/防水、耐酸

重複使用~強韌性



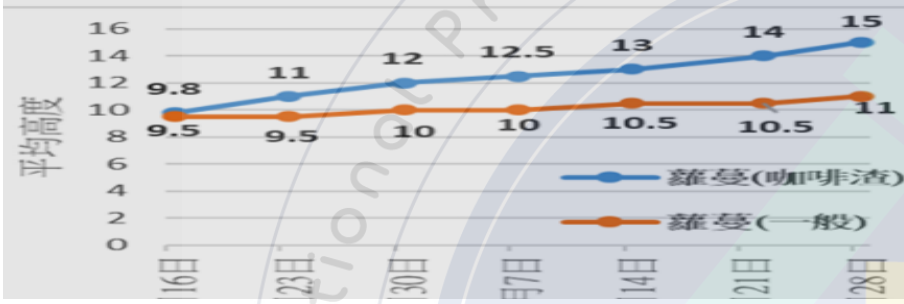
使用滿意度調查

- 「研究三」結論**
1. 「天然蜂蠟咖啡渣環保紙容器」，防水性、耐溫性、強韌性、耐酸鹼性表現均佳且穩定。
 2. 有別於一次性紙容器，可重複使用，
 3. 容器結構穩固及有減塑效果，普遍願意再多花費用選擇此材質的容器。

研究結果及討論--研究四

研究四 研究咖啡渣環保紙容器的延伸應用 (環保花盆、環保餐墊)

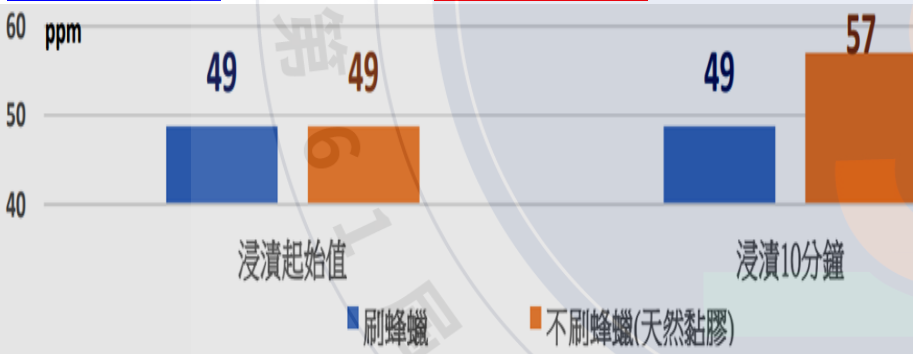
實驗十三~十四：咖啡渣環保花盆對植物生長情況的影響及土壤內的降解表現



植物(羅蔓)生長高度表現(移植後)

環保花盆於土壤內的降解表現

實驗十五：咖啡渣環保餐墊的實用表現



咖啡渣環保餐墊防水性/耐溫性表現

咖啡渣環保餐墊強韌性表現(上下施壓)

「研究四」結論

1. 咖啡渣環保花盆降解在土壤內，中和土壤酸鹼性，對羅蔓萵苣的生長有明顯助益。
2. 咖啡渣環保花盆二~三個月便能完全降解，對大自然環境沒有任何負擔。
3. 兩種「咖啡渣環保餐墊」防水表現各有特色，可視實際需求，選擇不同餐墊。

結論：咖啡渣環保紙容器SWOT分析

- 防水、耐溫、強韌、耐酸鹼
- 中和土壤酸鹼性
- 生物降解
- 可重複使用

優勢
S

- 一體成型塑型及純手工製作，耗時費力，無法大量生產

劣勢
W

- 滿意度問卷調查--

多數受試者願意接受咖啡渣環保紙容器取代一般市售紙容器

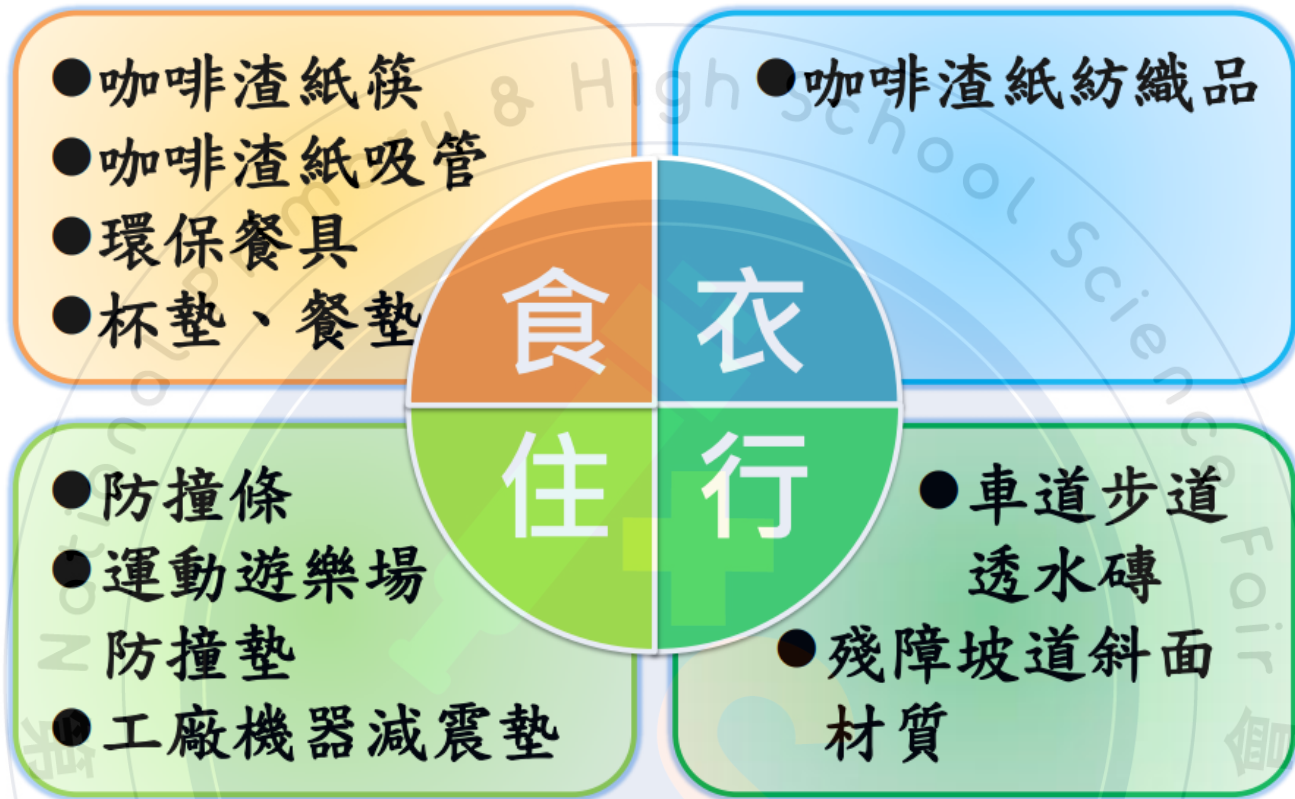
機會
O

- 一般市售紙容器非常普遍，不易改變大家的使用習慣

威脅
T

咖啡渣環保紙容器

◆ 延伸應用



◆ 參考文獻

- 一、<獨家直擊：你辛苦做的分類回收，是一場騙局？>天下雜誌 657 期。2018 年九月號。
- 二、咖啡渣回收做杯子，減汙實現藍色經濟，2018 年 11 月 28 日，取自：
<https://www.businesstoday.com.tw/article/category/80392/post/201811280017/%E5%92%96%E5%95%A1%E6%B8%A3%E5%9B%9E%E6%94%B6%E5%81%9A%E6%9D%AF%E5%AD%90%20%20%E6%B8%9B%E6%B1%99%E5%AF%A6%E7%8F%BE%E8%97%8D%E8%89%B2%E7%B6%93%E6%BF%9F>
- 三、<經濟與環保的互利共生—藍色經濟>。科學月刊 574 期。2017 年 9 月 27 日，取自：
http://scimonth.blogspot.com/2017/09/blog-post_33.html
- 四、陳品璇、王安、黃恩宇、蕭季夫、潘為歆、范書維。「麥」出減塑新「吸」望。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書（編號：082916）。
- 五、邱宇豪、蔡秉學、吳定慧、陳盈蓁。會呼吸的複合式環保蛋殼植栽容器。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書（編號：082922）。