

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 化學科

080217

「廢」盡其用-運用廢棄物特性製作環保板材之研究

學校名稱： 新竹縣竹北市興隆國民小學

作者：	指導老師：
小六 廖宸侑	徐志宇
小六 李允翔	楊淑鈞
小六 劉妍樂	
小五 李宥霆	
小五 林品鈞	
小四 陳以諾	

關鍵詞： 咖啡渣、暖暖包、碎紙

摘要

探討利用咖啡渣、暖暖包內容物及碎紙等廢棄物，以不同黏著劑與處理方式製作環保板材。先以鹼液去除咖啡渣內含油脂，提高咖啡渣與黏著劑的結合力，並額外獲得咖啡肥皂。研究不同種類澱粉與非澱粉黏著劑（如糯米粉、吉利丁、印尼馬信等）對板材強度的影響，發現糯米糊與吉利丁的黏結效果最佳，且比例越高板材強度越好。

進一步探討不同顆粒大小、去油程度的咖啡渣、不同生鏽程度的暖暖包內容物及不同大小碎紙對板材強度的影響，找出能製作較高強度板材的處理方式。透過適當材料與加工，可將生活廢棄物轉化為可用於環保建材的再生板材，能減少廢棄物對環境的影響，也提供一種可行的資源回收與再利用策略。

壹、前言

一、研究動機

我們每天打掃時間是整理辦公室，總會注意到碎紙機裡有許多的碎紙。這些細碎的紙條看似無用，但我不禁思考：除了回收之外，是否還有更直接、更具創意的再利用方式？每天，大量的文件被送進碎紙機，化為細小的紙屑。雖然碎紙的應用多半局限於傳統回收，較少有創新的再利用方式，但這過程需要消耗大量的水資源與能源，而且若紙張混合了塑膠膜或特殊油墨，回收效率便會大打折扣。我開始思考，想突破傳統回收思維，是否有方法能讓這些碎紙變得更有價值，而不是單純等待回收呢？

二、研究目的

（一）研究如何以氫氧化鈉皂化咖啡渣裡的油脂並製作肥皂

實驗一：咖啡渣經過不同次數氫氧化鈉反應、水洗對去油程度的影響

（二）研究黏著劑膠結板材的效果

實驗二：不同澱粉、煮糊時間對膠結板材強度的影響

（糯米粉、高筋麵粉、低筋麵粉、玉米粉、在來米粉）

實驗三：不同非澱粉黏著劑膠結板材對板材強度的影響

（洋菜、吉利丁、印尼馬信、廣西水麻皮、印尼楠木、台灣楠木）

實驗四：不同黏著劑比例對板材強度的影響

（三）研究在水中浸泡對暖暖包廢料中氧化鐵的影響

實驗五：暖暖包內容物中氧化鐵粉在水中浸泡不同時間對重量的影響

（四）研究以不同骨材製作板材的效果

實驗六：不同去油程度咖啡渣製作板材對強度的影響

實驗七：不同顆粒大小咖啡渣製作板材對強度的影響

實驗八：不同生鏽程度暖暖包內容物製作板材對強度的影響

實驗九：不同碎片大小廢紙製作板材對強度的影響

（五）研究不同板材的雷射加工特性

實驗十：不同再生板材的抗雷射穿透性

三、文獻回顧

(一) 科展相關研究

表 1-3-1 科展相關研究搜尋結果 (臺灣網路科教館-科展作品檢索)

搜尋關鍵字	搜尋結果	研究探討內容
咖啡渣	不可能的暖咖效應-第 57 屆全國科展	用咖啡渣來取代暖暖包內容物-蛭石 比較不同咖啡渣來源、添加量及研磨大小等因素進行暖暖包放熱溫度曲線分析
	咖啡王子一號店～研製咖啡渣活性碳-第 52 屆全國科展	運用乾餾法研發出「咖啡渣活性碳的製作方法」，驗證自製「咖啡碳」和活性碳一樣，具有吸附雜質以達到淨水和脫色的功能
	「啡」咖文創產品-第 56 屆全國科展	以廢棄咖啡渣添加於聚乳酸(PLA)材料製成 PLA 咖啡渣複合材料及製造 PLA 咖啡渣 3D 列印拉條的可行性
	“啡”比尋常～研究咖啡渣紙容器之環保實用表現-第 61 屆全國科展	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」，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
	我不是廢渣—咖啡渣的再利用-第 61 屆全國科展	探討以不同的賦形劑及不同的粉渣比例壓製成咖啡渣小花盆，透過撞擊、土埋分解等實驗來測試咖啡渣小花盆，找出最理想的賦形劑及粉渣比例。
暖暖包	無相關作品	
碎紙	無相關作品	

學習心得：在科群傑廳搜尋全國科展作品，以關鍵字「咖啡渣」找到相關研究，探討內容如表 1-3-1，與我們預計研究方向（以廢棄碎紙、咖啡渣、暖暖包內容物製作板材）略有差異。

(二) 咖啡豆的成分

咖啡內含的脂肪約佔 13.2%，在風味上佔極為重要的角色，最主要的是酸性脂肪和揮發性脂肪

咖啡主要的熱量來源是蛋白質約佔 12.8%，而滴落式沖泡出來的咖啡，蛋白質多半不會溶出來，所以咖啡喝再多攝取到的營養也是有限，那也就是咖啡會成為減肥者聖品的緣故。

烘焙過的咖啡粗纖維約佔 29.6%，生豆的纖維質烘焙後會炭化，這種碳質和糖分的焦糖化互相結合，形成咖啡的色調。

咖啡豆中所含的碳水化合物可以分成多醣類及低分子量糖類，後者包含單、雙及三糖類等碳水化合物。

低分子量糖類部分，蔗糖是生咖啡豆中最主要的遊離態糖類。咖啡豆在焙炒以後，低分子量糖類的變化依焙炒程度之不同而有所差異，以蔗糖的損失最為快速，其輕度焙炒之損失率為 97%，中度為 99%，重度焙炒為 100%。其他如葡萄糖、果糖及阿拉伯糖等，也都有相當程度的損失。

多醣類是生咖啡豆中很重要的組成分，約占乾物量的 40%～50%。依種類來分，則有聚合半乳糖、聚合甘露糖、聚合阿拉伯糖及纖維素，這些都是構成咖啡豆質體的物質，且與咖啡豆的硬度有關。多醣類在經過焙炒後，仍會有相當量的保存，不同焙炒程度間之差異不大，保留率在 70%~ 75%間，其中又以纖維素的保留率最高，聚合阿拉伯糖最低。

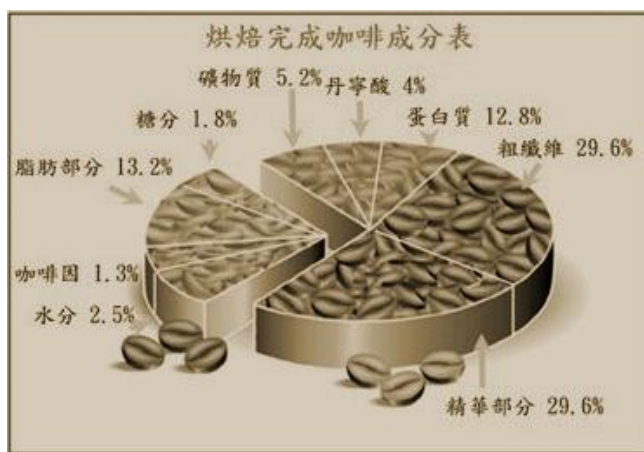


圖 1-3-1 烘焙完咖啡成分表

本圖引自「knews.cc-每日頭條」網站

咖啡的成份(100g中)

成份	焙煎豆	萃取液
水分	2.2g	98.6g
蛋白質	12.6g	0.2g
脂肪	16.0g	微量
碳水化合物	46.7g	0.7g
灰分	4.2g	0.2g
鈣	120mg	2mg
磷	170mg	7mg
鐵	4.2mg	微量
鈉	3.0g	1.0mg
鉀	2000mg	65mg
維生素B2	0.12mg	0.01mg
菸鹼酸	3.5mg	0.8mg

參考文獻 五訂日本食品標準成分表

圖 1-3-2 咖啡的成份

本圖引自「UCC Good Coffee Smile」網站

表 1-3-2 咖啡成分及作用表 (資料來源「CAFFESME 咖啡師&我」網站)

名稱	作用
咖啡因	有特別強烈的苦味，刺激中樞神經系統、心臟和呼吸系統。適量的咖啡因亦可減輕肌肉疲勞，促進消化液分泌。由於它會促進腎臟機能，有利尿作用，幫助體內將多餘的鈉離子排出體外。但攝取過多會導致咖啡因中毒。
丹寧酸	煮沸後的丹寧酸會分解成焦梧酸，所以沖泡過久冷卻後的咖啡味道會變差。
脂肪	其中最主要的是酸性脂肪及揮發性脂肪。
酸性脂肪	即脂肪中含有酸，其強弱會因咖啡種類不同而異。
揮發性脂肪	是咖啡香氣主要來源，它是一種會散發出約四十種芳香的物質。
蛋白質	卡路里的主要來源，所佔比例並不高。咖啡末的蛋白質在煮咖啡時，多半不會溶出來，所以攝取到的有限。
糖	咖啡生豆所含的糖分約 8%，經過烘焙後大部分糖分会轉化成焦糖，使咖啡形成褐色，並與丹寧酸互相結合產生甜味。
纖維	生豆的纖維烘焙後會炭化，與焦糖互相結合便形成咖啡的色調。
礦物質	含有少量石灰、鐵質、磷、碳酸鈉等。

學習心得：咖啡渣是咖啡豆經過水萃取後剩下的物質，基本就是咖啡豆成分中不溶於水的部分，主要是纖維素和油脂，其中油脂可以先以氫氧化鈉皂化後洗出，製成肥皂，剩的纖維素與其他成分可以在製板時當作骨材，能完全利用。

(三) 漿糊：

漿糊主要原料為小麥澱粉(即無筋之麵粉)。常見漿糊製作方法沖煮法及鍋煮法。沖煮法亦稱水沖法，係將澱粉加少許冷水調勻後以沸水沖製，邊攪邊沖至糊成半透明狀即完成。鍋煮法係將澱粉與冷水攪拌均勻，置於熱源上邊攪拌邊加熱，至糊成半透明狀即可。漿糊可置於陶盆中加水存放(謂之養糊)。



圖 1-3-3 水沖法製糊

本圖引自「農業主題館-手工紙與書畫裱」網站



圖 1-3-4 製成漿糊可置於陶盆中加水存放

本圖引自「農業主題館-手工紙與書畫裱」網站

學習心得：漿糊是天然無毒的黏著材料，原料容易取得且方便作製，所以我們挑選幾種常見澱粉製成漿糊，測試製板效果。

(四) 暖暖包

暖包，又稱暖暖包，暖手器或暖寶寶是置於手中或懷中用以取暖的小型日用品，通常是一次性及小包裝的。在世界各地以各種方式使用，包括戶外休閒、體力勞動和露宿時取暖。

拋棄式暖包，又稱為暖貼，拋棄式暖包利用氧化原理進行發熱取暖的工具。通過在材料中形成微小原電池來加快氧化還原反應的速率，將化學能轉化為內能。

原理通常是利用鐵（化學式：Fe）為負極，碳（化學式：C）為正極材料，氯化鈉（化學式：NaCl）和一些含鎂和鋁元素的鹽類作為電解質構成原電池進行氧化還原放熱，利用蛭石作為反應的保溫材料。

整體由原料層、明膠層、無紡布袋及一個透氣的外袋組成，其中無紡布袋採用微孔透氣膜製作。使用時去除外袋，空氣中的氧氣透過無紡布袋上的小孔進入原料層與發生反應。

規格及原料

最高溫度：63°C

平均溫度：53°C

尺寸：13cm x 9.5cm (1片)

持續時間：14小時

原料名稱：鐵粉、水、活性碳、蛭石、吸水性樹脂、鹽類

圖 1-3-5 暖暖包原料

本圖引自「小林製藥 kobayashi-tw」網站



圖 1-3-6 收集來的暖暖包

本圖由作者拍攝

(五) 鐵鏽 (Saponification)：

鐵鏽為鐵氧化物的統稱，通常為紅色，由鐵和氧氣境下進行氧化還原反應而生成。不同情況下會生成不同形式的鐵鏽。鐵鏽主要由三氧化二鐵水合物 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) 和氫氧化鐵 ($\text{FeO}(\text{OH})$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$) 組成。足夠的時間後，在氧氣和水充足的情況下，鐵會完全氧化成鏽。

學習心得：暖暖包內容物要洗去鹽分加水時，氧化鐵就會與水形成鏽，不知道生成鐵鏽會不會影響板材的強度，可以設計實驗探討二者之間的關係。

(六) 皂化反應 (Saponification)：

三酸甘油酯與強鹼發生化學反應，而產生皂鹽和甘油，這一過程稱為皂化反應。

「皂化價」這三個字可以看成「皂化的價值」= 這個油需要付多少鹼才能變成皂？油脂的皂化價不是一個定值，而是一個區間。大部分我們使用皂化價的時候都是取這個區間的平均值，舉例來說：橄欖油的皂化價落在 186~194，平均值是 190。

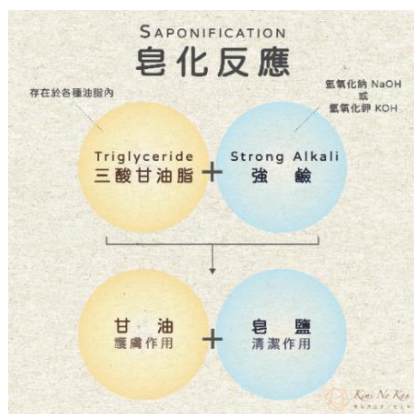


圖 1-3-7 皂化反應

本圖引自「木見館」網站

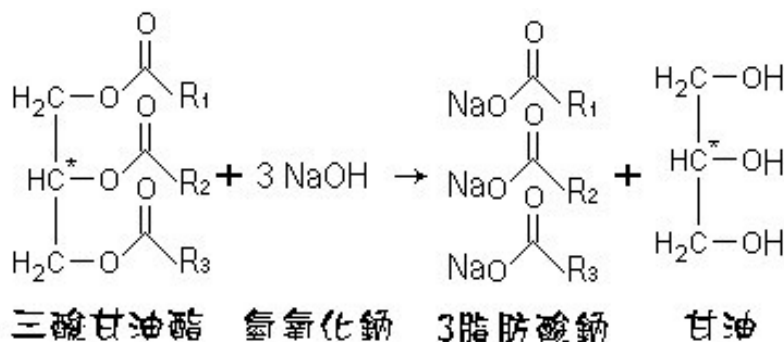


圖 1-3-8 皂化反應的反應物和生成物

本圖引自「痞客邦-PIXNET」網站

圖 1-3-3 皂化價表（下表資料引自「皂化價-芳香療法師」網站）

油脂名稱	氫氧化鈉	油脂名稱	氫氧化鈉	油脂名稱	氫氧化鈉	油脂名稱	氫氧化鈉
摩洛哥堅果油	0.136	豬油	0.141	雞油	0.139	紫蘇籽油	0.135
甜杏仁油	0.136	澳洲胡桃油	0.139	可可脂	0.137	開心果油	0.133
蘆薈油	0.139	芒果脂	0.1371	椰子油	0.190	開心果黃油	0.142
蘆薈脂	0.179	芒果油	0.128	咖啡豆油	0.128	罌粟籽油	0.138
杏桃仁油	0.135	貂油	0.140	玉米油	0.136	南瓜籽油	0.139
酪梨油 鱷梨油	0.133	羅勒籽脂	0.138	棉油籽	0.137	紅棕櫚油	0.141
酪梨黃油	0.133	印度棟油	0.139	鴨油	0.138	米糠油	0.128
巴巴蘇油	0.175	橄欖油	0.134	月見草油	0.135	玫瑰果油	0.133
蜂蠟	0.069	橄欖果渣油	0.135	亞麻仁油	0.1357	松香	0.130
琉璃苣油	0.135	橄欖奶油	0.134	鵝油	0.137	婆羅雙樹油	0.132
苦茶油	0.139	駝鳥油	0.139	葡萄籽油	0.1265	紅花油	0.137
山茶花油	0.1362	純棕櫚油	0.141	榛果油	0.1356	葵花籽油	0.134
菜籽油	0.1324	棕櫚油	0.156	大麻籽油	0.138	芝麻油	0.133
菜籽油	0.133	棕櫚仁油	0.156	大麻籽脂	0.136	乳木果油	0.128
堪地里拉蠟	0.038	百香果種子油	0.130	荷荷巴油	0.069	硬脂酸	0.141
蓖麻油	0.1286	桃仁油	0.136	金黃乳果木油	0.136	大豆油	0.135
櫻桃核仁油	0.135	花生油	0.137	夏威夷果油	0.135	小麥胚芽油	0.131

學習心得：咖啡渣裡的油脂很難分離，尤其是咖啡渣縫隙內的油脂不易被鹼液接觸，所以用加入氫氧化鈉的方式皂化油脂後，再水洗出來，重覆「皂化-水洗」的步驟，才能增加油脂皂化的比例，也增加肥皂的產量。

（七）酸鹼中和滴定(Acid-Base Titration)：

酸鹼中和滴定是一種化學測量方法，是以強酸或強鹼滴定鹼或酸溶液，由儀器測定的滴定曲線圖或指示劑（非反應物質）顏色變化判定滴定終點，可以粗略地測定出未知溶液濃度的方法。

酸鹼滴定时，當酸所消耗氫離子莫耳數等於鹼所消耗氫氧根離子莫耳數，此時稱為當量點(equivalent point)。而在滴定過程中，指示劑變色時稱為滴定終點(endpoint)。因為指示劑的變色為一漸進過程，有一定的 pH 範圍，故滴定終點和當量點不一定相同，但只要選擇合適的指示劑，通常可將滴定終點視為當量點。

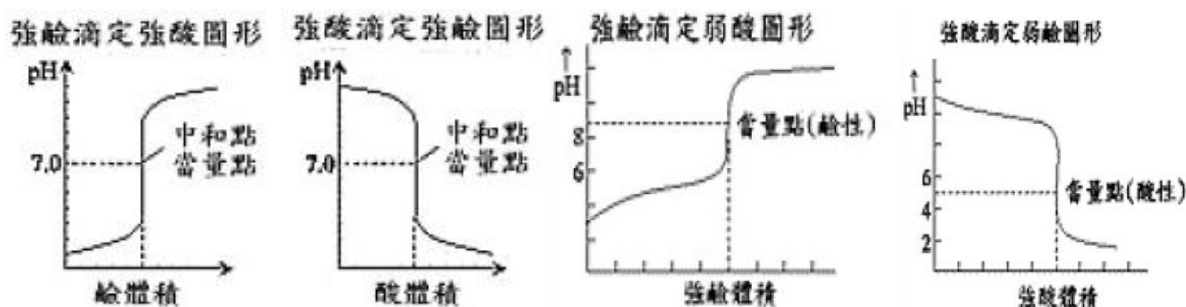


圖 1-3-9 強酸強鹼滴定曲線圖 強酸弱鹼滴定曲線圖

圖 1-3-10 弱酸強鹼滴定曲線圖

本圖引自「科學Online 高瞻自然科學教學資源平台」網站 本圖引自「科學Online 高瞻自然科學教學資源平台」網站

學習心得：去除咖啡渣中油脂是用氫氧化鈉皂化油脂，反應後剩餘多少氫氧化鈉可以利用滴定法測量，因為濾出溶液是深咖啡色，所以直接利用 pH 計觀察酸鹼值變化。

（八）洋菜：

洋菜，亦稱寒天、菜燕、洋菜膠、海菜膠、海燕窩、藻膠、石花菜、牛毛菜、燕菜、洋菜、葉花等，是從海藻植物中提煉的膠質。可作為明膠的代用品，常用於沙拉、洋菜糕或果凍等甜品。



圖 1-3-11 洋菜粉
本圖引自「維基百科」網站



圖 1-3-12 明膠外殼膠囊藥丸
本圖引自「維基百科」網站



圖 1-3-13 煮食用的明膠片
本圖引自「維基百科」網站

(九) 明膠 (Gelatin)：

明膠（音譯作吉利丁），是以動物皮、骨內的蛋白質，亦即膠原蛋白製成。明膠的主要成分為蛋白質，帶淺黃色透明，是一種無味的膠質。明膠通常用於食物、藥物或化妝品的膠凝劑。一般用於食品的形式是片狀，顆粒劑或粉末，有時使用時需在水中預溶。明膠是胜肽與膠原蛋白質部分水解的混合物，膠原蛋白通常自牛、豬和魚的皮、骨骼、結締組織中提取。因此明膠又稱「動物膠」（Animal glue）。

學習心得：洋菜和明膠也是常用的天然膠凝劑，可以測試製板效果和澱粉類膠凝劑比較。

貳、研究設備及器材

一、研究設備與器材：

(一) 設備與器材：燒杯、攪拌棒、定溫烘箱、溫度計、電子行李秤、電子秤、pH 計、撈勺、不鏽鋼鍋、棉紗濾袋、篩網、電磁爐、塑膠模具、橡膠錘、矽膠肥皂模、擀麵棍、雷雕機。

(二) 材料耗材：氫氧化鈉、糯米粉、醋酸、椰子油、膠帶、保鮮膜、PVC 手套。

1. 骨材：咖啡渣、廢棄暖暖包、各種碎紙機碎紙
2. 澱粉類黏著劑：糯米粉、高筋麵粉、低筋麵粉、玉米粉、在來米粉
3. 非澱粉類黏著劑：吉利丁片、洋菜粉、印尼馬信、廣西水麻皮、印尼楠木、台灣楠木

參、研究過程及方法

一、研究架構與流程

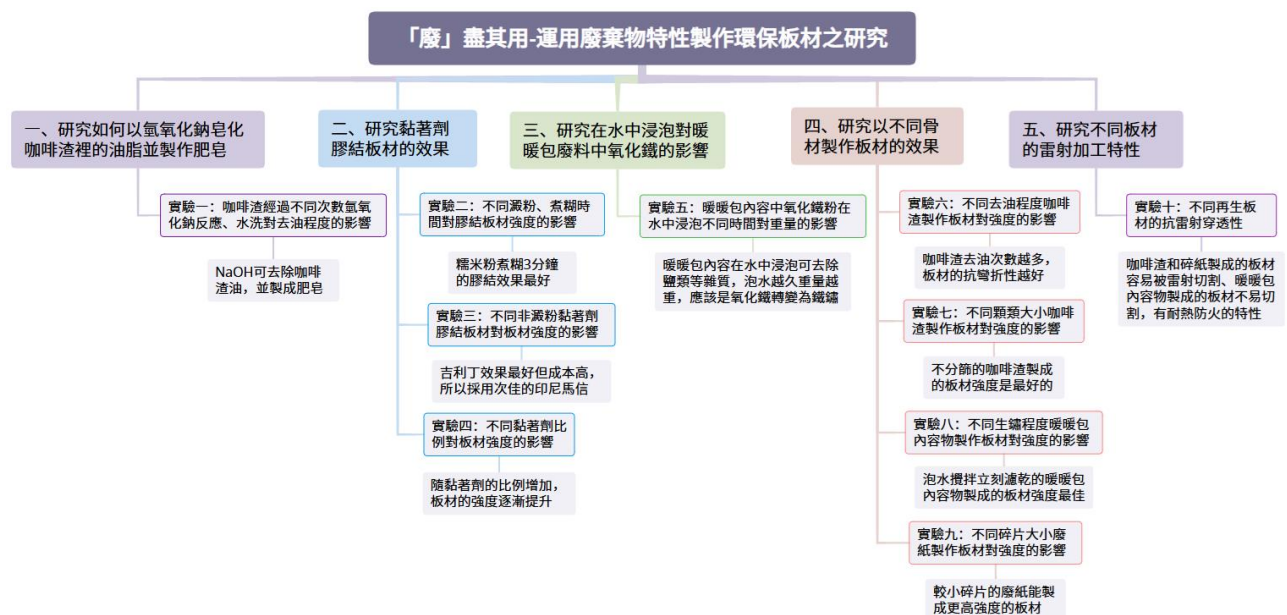


圖 3-1-1 研究架構圖（本圖由作者以 GitMind 軟體繪製）

二、實驗設計（以下「實驗設計」照片由作者及指導教師親自拍攝、擷取、裁切）

（一）實驗一：咖啡渣經過不同次數氫氧化鈉反應、水洗對去油程度的影響

1. 實驗說明：油脂和氫氧化鈉混合進行皂化反應會產生可溶於水的肥皂，咖啡渣含有的油脂很難分離出來，利用皂化反應使油脂形成肥皂就能去除油脂，又能獲得肥皂，一舉兩得。

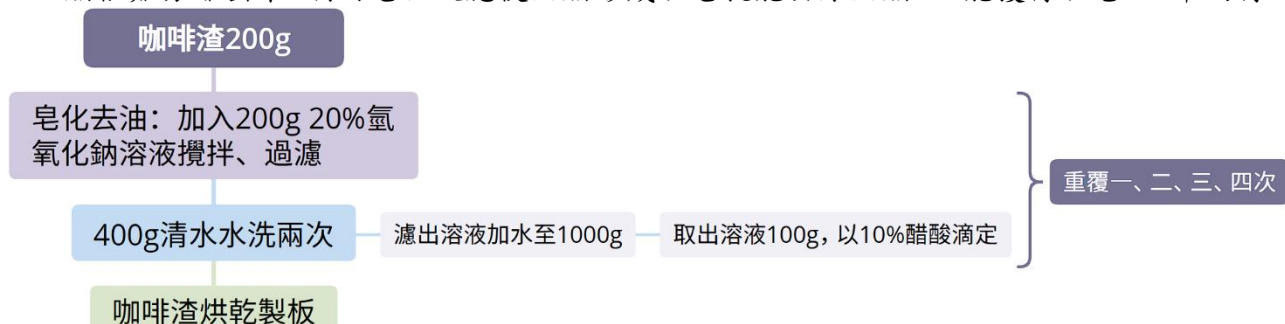


圖 3-2-1 實驗操作流程（本圖由作者以 GitMind 軟體繪製）

2. 器材準備及設定：

- (1) 準備反應容器：1000ml 燒杯。
- (2) 調配氫氧化鈉溶液：20%氫氧化鈉溶液 200g 共 10 份。

3. 實驗操作：

- (1) 皂化去油部分：200g 咖啡渣以 1000ml 燒杯盛裝，加入 20%氫氧化鈉溶液 200g 充份攪拌，靜置 1 小時期間每 5 分鐘攪拌一次，以棉布袋擠出溶液後，連同咖啡渣棉布袋放入 400g 清水中水洗再擠出溶液，水洗重覆兩次，各組分別依設定完成重覆次數，共得十份近 800g 濾出溶液，四份咖啡渣充份水洗後烘乾。
- (2) 酸鹼滴定部分：十份近 900g 濾出溶液，以純水補充至 1000g，取 100g 以 10%醋酸滴定，以 pH 計取代指示劑，以普通肥皂水的 pH 值（9.4）作為滴定終點，計算量量氫氧化鈉。

4. 讀取數據及處理：數據輸入 excel 製表，繪成長條圖。



將咖啡渣自濾袋取出
（上圖由作者自行拍攝）



水洗咖啡渣
（上圖由作者自行拍攝）



酸鹼滴定
（上圖由作者自行拍攝）



加入椰子油製成肥皂
（上圖由作者自行拍攝）

（二）實驗二：不同澱粉、煮糊時間對膠結板材強度的影響

1. 實驗說明：要將幾種生活廢棄物做成板材先要有膠結材料，澱粉糊是常見且廉價的凝結劑，但澱粉種類多，且有煮糊方式的因素影響，所以我們挑了幾種澱粉以 100℃ 沸水不同時間煮糊看看何者會有最好的膠結效果。

2. 器材準備及設定：

- (1) 煮澱粉糊：如下表。每類種澱粉 10g 加水 20g 攪拌成糊狀，放入沸水中烹煮設定時間後撈起。

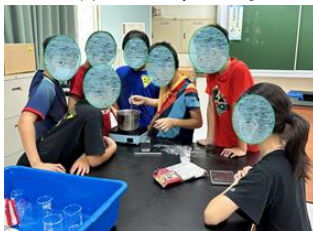
表 3-2-1 澱粉種類與煮糊時間明細表

澱粉種類	煮糊時間（分鐘）				
	1	2	3	4	5
糯米粉	1	2	3	4	5
高筋麵粉	1	2	3	4	5
低筋麵粉	1	2	3	4	5
玉米粉	1	2	3	4	5
在來米粉	1	2	3	4	5

(2)製板：將個種澱粉糊與 40g 咖啡渣（澱粉：咖啡渣=1：4）混合搓揉均勻加入模具（110mm × 60mm × 8mm），脫模後置於篩網上以定溫烘箱（40℃）烘乾。

3. 實驗操作：製成板材夾在木板間，在木板邊緣 4cm 處以行李秤上拉（緩慢增加力道），記錄斷裂前最大讀數。

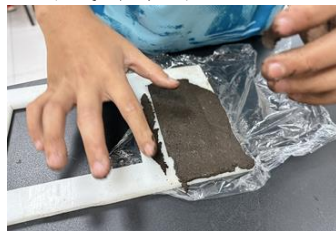
4. 讀取數據及處理：數據輸入 excel 製表，繪成折線圖。



煮澱粉糊
（上圖由作者自行拍攝）



煮澱粉糊
（上圖由作者自行拍攝）



製板材料放入在模具
（上圖由作者自行拍攝）



在模具裡將材料擀平
（上圖由作者自行拍攝）



用橡膠錘加壓
（上圖由作者自行拍攝）



用重力測試板材耐折程度
（上圖由作者自行拍攝）



用重力測試板材耐折程度
（上圖由作者自行拍攝）



改用行李秤測量耐折度
（上圖由作者自行拍攝）

（三）實驗三：不同非澱粉黏著劑膠結板材對板材強度的影響

1. 實驗說明：除了澱粉類之外還有其他材料能作為黏著劑，我們找了幾種非澱粉類的黏著劑，用來膠結咖啡渣製成板材，看看板材的強度如何。

2. 器材準備及設定：

(1)調配黏著劑：吉利丁片 10g（二片）先用 20g 冰水泡軟（約 10 分鐘）再加熱到 60℃ 至完全融化；洋菜粉秤重 10g 加水 20g 加熱至 90℃ 完全融化。

印尼馬信、廣西水麻皮、印尼楠木、台灣楠木各 10g 分別加 20g 水攪拌均勻。

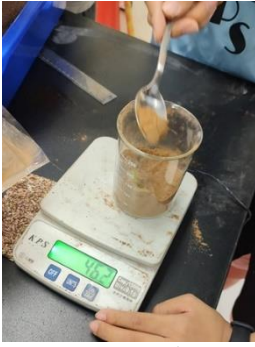
(2)製板：將調好的黏著劑與 40g 咖啡渣（黏著劑：咖啡渣=1：4）混合搓揉均勻加入模具（110mm × 60mm × 8mm），脫模後置於篩網上以定溫烘箱（40℃）烘乾。

表 3-2-2 非澱粉黏著劑調配方式

黏著劑	吉利丁片	洋菜粉	印尼馬信	廣西水麻皮	印尼楠木	台灣楠木
黏著劑(g)	10	10	10	10	10	10
加水(g)	20	20	20	20	20	20
加熱溫度(℃)	60	90	-	-	-	-
咖啡渣(g)	40	40	40	40	40	40

3. 實驗操作：同實驗二。

4. 讀取數據及處理：數據輸入 excel 製表，繪成長條圖。



材料秤重
(上圖由作者自行拍攝)



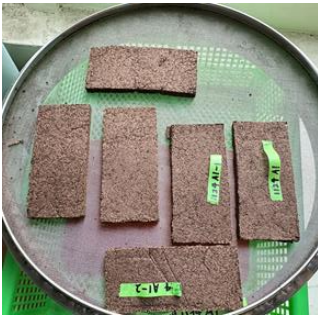
馬信粉加水混合
(上圖由作者自行拍攝)



黏著劑與咖啡渣混合搓勻
(上圖由作者自行拍攝)



標記黏著劑烘乾
(上圖由作者自行拍攝)



標記黏著劑烘乾
(上圖由作者自行拍攝)



洋菜粉加水混合
(上圖由作者自行拍攝)



吉利丁粉加水混合
(上圖由作者自行拍攝)



吉利丁片隔水加熱
(上圖由作者自行拍攝)



用行李秤測量耐折度-板材 4cm 處施力
(上圖由作者自行拍攝)



用行李秤測量耐折度
(上圖由作者自行拍攝)

(四) 實驗四：不同黏著劑比例對板材強度的影響

1. 實驗說明：在實驗二、三發現糯米粉和印尼馬信分別是澱粉類和非澱粉類最好的黏著劑，所以用這兩種黏著劑測試「黏著劑與咖啡渣不同比例」對板材強度的影響。
2. 器材準備及設定：
 - (1)煮糊：糯米糊煮糊時間採用效果最佳的 3 分鐘。
 - (2)製板：同實驗二。
3. 實驗操作：同實驗二。
4. 讀取數據及處理：數據輸入 excel 製表，繪成折線圖。



隔水加熱的吉利丁
(上圖由作者自行拍攝)



洋菜溶液加入咖啡渣
(上圖由作者自行拍攝)



洋菜膠結成的咖啡渣板
(上圖由作者自行拍攝)

(五) 實驗五：暖暖包內容物中氧化鐵粉在水中浸泡不同時間對重量的影響

1. 實驗說明：暖暖包的成分是鐵粉、水、活性碳、蛭石、吸水性樹脂、鹽類，使用後鐵粉會變成氧化鐵，繼續吸收水份氧化鐵就會變成鐵鏽，想知道鹽類會不會影響製成板材的強度，也想知道氧化鐵變成鐵鏽會不會影響製成板材的強度，就要先處理剛使用過的暖暖包成份，利用清水浸泡可以去除鹽類，氧化鐵在水中也會形成鐵鏽。
2. 器材準備及設定：
 - (1)材料準備：收集當日剛使用過的暖暖包拆開混合攪拌。
 - (2)暖暖包內容物秤重：200g，七份，以 1000g 燒杯盛裝。
3. 實驗操作：將 200g 暖暖包內容物放水 500g 清水中，充份攪拌後，浸泡至設定時間後濾乾，以定溫烘箱設定 40°C 完全烘乾後秤重。
4. 讀取數據及處理：數據輸入 excel 製表，繪成長條圖。



拆開用過的暖暖包收集內容物
(上圖由作者自行拍攝)



暖暖包內容物秤重
(上圖由作者自行拍攝)



放置太久結塊的暖暖包內容物
(上圖由作者自行拍攝)



暖暖包內容物泡水
(上圖由作者自行拍攝)



暖暖包內容物依設定時間泡水
(上圖由作者自行拍攝)



暖暖包內容物泡水後濾乾
(上圖由作者自行拍攝)

(六) 實驗六：不同去油程度咖啡渣製作板材對強度的影響

1. 實驗說明：由實驗一可獲得不同去油程度的咖啡渣，想知道不同去油程度的咖啡渣製成板材對強度的影響。
2. 器材準備及設定：
 - (1)煮糊：糯米糊煮糊時間採用效果最佳的 3 分鐘。
 - (2)製板：同實驗二（糯米粉：咖啡渣=1：2）。
3. 實驗操作：同實驗二。
4. 讀取數據及處理：數據輸入 excel 製表，繪成折線圖



不同去油程度的咖啡渣
(上圖由作者自行拍攝)



咖啡渣秤重
(上圖由作者自行拍攝)



製作咖啡渣板
(上圖由作者自行拍攝)

(七) 實驗七：不同顆粒大小咖啡渣製作板材對強度的影響。

- 實驗說明：手磨咖啡可設定不同顆粒粗細，不同來源收集來的咖啡渣的粗細也略有不同，我們想瞭解不同顆粒大小咖啡渣製作板材對強度的影響。
- 器材準備及設定：
 - (1)咖啡渣過篩：取 30 目、40 目兩種孔目篩網，將咖啡渣過篩，分成三種粗細程度。
 - (2)煮糊：糯米糊煮糊時間採用效果最佳的 3 分鐘。
 - (3)製板：同實驗二（糯米粉：咖啡渣=1：2）。
- 實驗操作：同實驗二
- 讀取數據及處理：數據輸入 excel 製表，繪成長條圖。



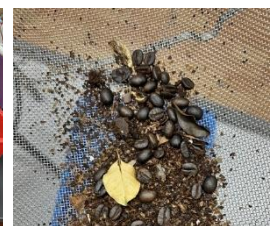
分組過濾咖啡渣
(上圖由作者自行拍攝)



分組過濾咖啡渣
(上圖由作者自行拍攝)



過濾完成的咖啡渣
(上圖由作者自行拍攝)



濾出未研磨的咖啡豆
(上圖由作者自行拍攝)

(八) 實驗八：不同生鏽程度暖暖包內容物製作板材對強度的影響

- 實驗說明：暖暖包也是生活中常見的廢棄物，嘗試用暖暖包內容物加上黏著劑製成板材，並測試特性，看看是否利用價值。
- 材料準備及設定：
 - (1)準備暖暖包內容物：暖暖包內容物泡水攪拌後立刻濾乾。
 - (2)準備黏著劑：以糯米糊和印尼馬信作為黏著劑秤重備用。
 - (3)同實驗二將材料依比例製作板材（糯米粉：暖暖包內容物=1：2，印尼馬信：暖暖包內容物=1：2）
- 實驗操作：同實驗二。
- 讀取數據及處理：數據輸入 excel 製表，繪成長條圖。



印尼馬信膠結製板
(上圖由作者自行拍攝)



印尼馬信膠結製板
(上圖由作者自行拍攝)



成型待烘的板材
(上圖由作者自行拍攝)



烘乾後的成品
(上圖由作者自行拍攝)



操作耐折實驗

(上圖由作者自行拍攝)

(九) 實驗九：不同碎片大小廢紙製作板材對強度的影響。

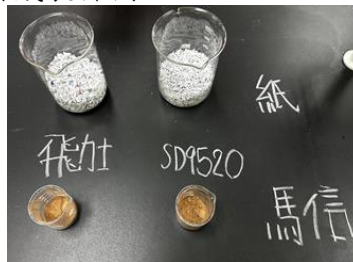
1. 實驗說明：學校文件常因保密需求要經過碎紙機處理，這樣紙纖維打斷變短就會影響回收紙的強度，我們也想知道經碎紙機處理不同碎片大小的廢紙以黏著劑製成板板對強度的影響。
2. 材料準備及設定：
 - (1) 收集不同碎紙機處理不同碎片大小的廢紙。
 - (2) 準備黏著劑：以糯米糊和印尼馬信作為黏著劑秤重備用。
 - (3) 製作板材：同實驗二將材料依比例製作板材（糯米粉：暖暖包內容物=1：2，印尼馬信：暖暖包內容物=1：2）
3. 實驗操作：同實驗二
4. 讀取數據及處理：數據輸入 excel 製表，繪成長條圖。



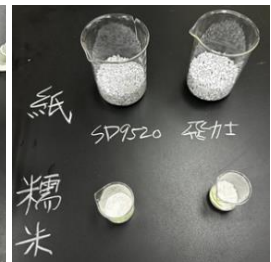
飛力士碎紙機碎紙
(上圖由作者自行拍攝)



SD9520 碎紙機碎紙
(上圖由作者自行拍攝)



印尼馬信與碎紙
(上圖由作者自行拍攝)



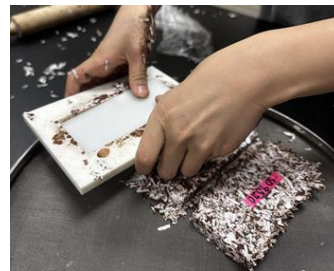
糯米粉與碎紙
(上圖由作者自行拍攝)



碎紙加入糯米糊
(上圖由作者自行拍攝)



材料入模擀平
(上圖由作者自行拍攝)



脫模
(上圖由作者自行拍攝)



成形後等待烘乾
(上圖由作者自行拍攝)



印尼馬信碎紙板
(上圖由作者自行拍攝)



糯米糊碎紙板
(上圖由作者自行拍攝)



操作耐折實驗
(上圖由作者自行拍攝)



操作耐折實驗
(上圖由作者自行拍攝)



操作耐折實驗
(上圖由作者自行拍攝)



折斷的糯米糊碎紙板
(上圖由作者自行拍攝)

(十) 實驗十：不同再生板材的抗雷射穿透性

1. 實驗說明：我們製成的板子目的就是要能再生利用，可加工的特性很重要，板材強度不能和傳統木板、塑料板相比，我們也沒學過木工，所以試試這些板材能不能利用雷射加工。
2. 材料準備及設定：
 - (1) 製作板材：依先前實驗得知製作抗彎折性最好的板材（沸水煮 3 分鐘的糯米糊、印尼馬信、黏著劑與骨材比例 1：2、去油四次不分篩的咖啡渣、泡水直接濾乾的廢暖暖包內容物）。
3. 實驗操作：取糯米糊膠結碎紙、去油咖啡渣、水洗烘乾暖暖包內容物，與印尼馬信膠結碎紙、去油咖啡渣、水洗烘乾暖暖包內容物製成板材，在雷射機以雷射功率 100%、80%、60%，10cm / sec 切割（請老師設定並操作切割）。
4. 讀取數據及處理：讀取板材被切割深度，輸入 excel 製表，繪成長條圖。



製成待測的板材
(上圖由作者自行拍攝)

磨去邊緣多餘材料
(上圖由作者自行拍攝)

六種黏著劑與骨材組合
(上圖由作者自行拍攝)

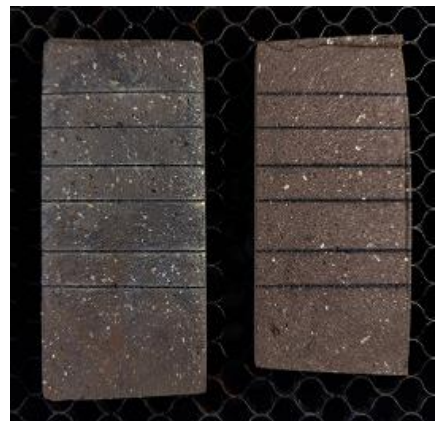
以不同功率雷射切割
(上圖由作者自行拍攝)



經過雷射切割的碎紙板材
(上圖由作者自行拍攝)



經過雷射切割的咖啡渣板材
(上圖由作者自行拍攝)



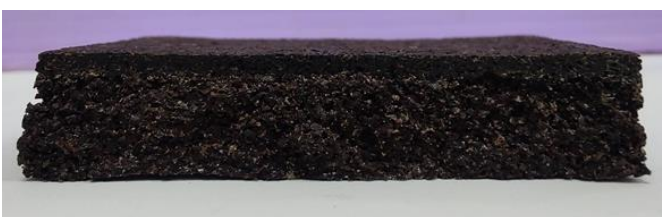
經過雷射切割的暖暖包內容物板材
(上圖由作者自行拍攝)



雷射切割的板材斷面
(上圖由作者自行拍攝)



雷射切割的板材斷面
(上圖由作者自行拍攝)



雷射切割的板材斷面
(上圖由作者自行拍攝)



雷射切割的板材斷面
(上圖由作者自行拍攝)

肆、研究結果

(以下「研究結果」圖、表由作者及指導教師親自拍攝、擷取、製作、裁切)

一、實驗一：咖啡渣經過不同次數氫氧化鈉反應、水洗對去油程度的影響

表 4-1-1 咖啡渣經過不同次數氫氧化鈉反應、水洗的去油程度 (消耗氫氧化鈉重量, g) (資料由作者自行整理)

流程項目	共一次- 第一次	共兩次- 第一次	共三次- 第一次	共四次- 第一次	共兩次- 第二次	共三次- 第二次	共四次- 第二次	共三次- 第三次	共四次- 第三次	共四次- 第四次
A. 加入 20% NaOH _(aq) (g)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
B. 取 100g 溶液以 10% 醋酸 滴定(g)	16.2	15.1	15.7	15.5	33.7	34.8	34.2	45.4	45	49
C. NaOH 當量(g) ($B \times 0.1 / 60 \times 40$)	1.08	1.01	1.05	1.03	2.25	2.32	2.28	3.03	3.00	3.27
D. 剩餘 NaOH(g) ($C \times 10$)	10.80	10.07	10.47	10.33	22.47	23.20	22.80	30.27	30.00	32.67
E. 本次消耗 NaOH(g) ($A \times 0.2 - C \times 10$)	29.20	29.93	29.53	29.67	17.53	16.80	17.20	9.73	10.00	7.33
F. 製皂需加椰子油(g) ($C \times 9 \div 0.19$)	51.16	47.68	49.58	48.95	106.42	109.89	108.00	143.37	142.11	154.74
消耗氫氧化鈉平均(g)	29.58				17.18			9.87		7.33

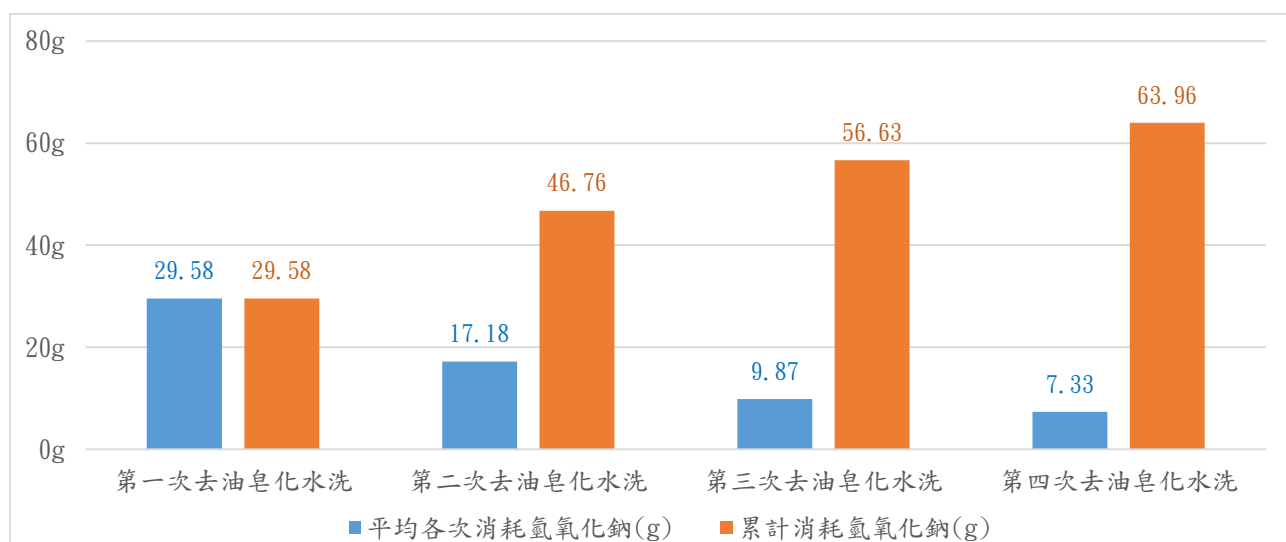


圖 4-1-1 咖啡渣經過不同次數氫氧化鈉反應、水洗的去油程度 (上圖由作者自行製作)

實驗發現：將氫氧化鈉加入咖啡渣裡利用皂化反應去油，以 20% 氫氧化鈉溶液（一般製作手工皂的氫氧化鈉濃度）分次皂化水洗後，滴定濾出的溶液，檢驗過量的氫氧化鈉，發現各次消耗的氫氧化鈉量逐漸變少，可能因為殘留油脂的量越來越少，也表示去除油量也逐漸減少，導致後續的皂化反應變得不顯著。

如表 4-1-1，濾出的溶液經過蒸發去除過多水份，加入適量的椰子油，充分攪拌就能得到咖啡-椰子油皂。

二、實驗二：不同澱粉、煮糊時間對膠結板材強度的影響

表 4-2-1 不同澱粉、煮糊時間對膠結板材強度的影響（施力 4cm 處斷裂時受力，kgw）（資料由作者自行整理）

黏著劑 \ 煮糊時間	1 分鐘	2 分鐘	3 分鐘	4 分鐘	5 分鐘
糯米粉-1	3.03	5.36	7.64	7.15	5.73
糯米粉-2	3.27	5.52	7.31	7.42	5.92
平均拉力	3.150	5.440	7.475	7.285	5.825
高筋麵粉-1	2.46	4.13	5.22	5.76	5.07
高筋麵粉-2	2.49	4.30	5.43	5.67	4.89
平均拉力	2.350	4.200	5.350	5.700	4.850
低筋麵粉-1	1.83	2.76	3.65	4.08	3.84
低筋麵粉-2	1.71	2.92	3.54	3.77	3.63
平均拉力	1.770	2.840	3.595	3.925	3.735
玉米粉-1	2.05	4.33	5.93	6.35	6.21
玉米粉-2	1.81	4.51	5.54	6.61	5.77
平均拉力	1.930	4.420	5.735	6.480	5.990
在來米粉-1	2.31	3.93	5.03	4.98	4.42
在來米粉-2	2.55	3.86	5.15	5.07	4.54
平均拉力	2.430	3.895	5.090	5.025	4.480

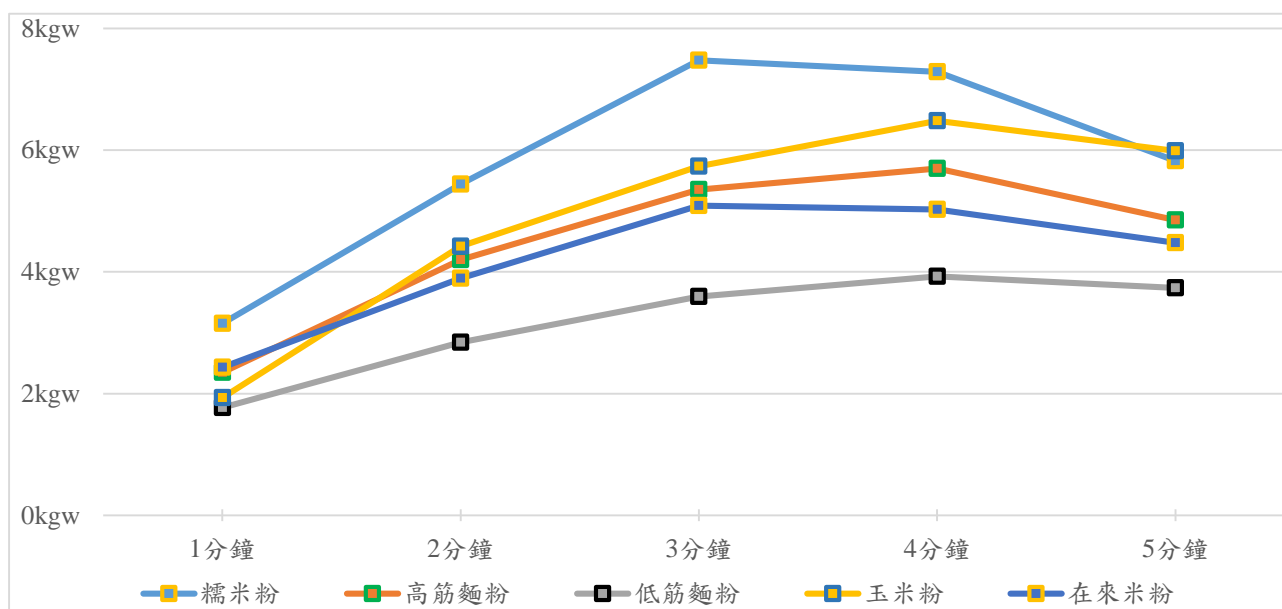


圖 4-2-1 不同澱粉、煮糊時間對膠結板材強度的影響（施力 4cm 處斷裂時受力，kgw）（上圖由作者自行製作）

實驗發現：不同澱粉種類與煮糊時間對板材的強度有明顯影響。結果顯示，糯米粉煮糊 3 分鐘能提供最佳的膠結強度，高於其他澱粉種類。另外過長或過短的煮糊時間可能會影響澱粉的黏著能力。因此，選擇適當的澱粉種類與煮糊時間對於提升板材強度至關重要。

三、實驗三：不同非澱粉黏著劑膠結板材對板材強度的影響

表 4-3-1 不同非澱粉黏著劑膠結板材對板材強度的影響（施力 4cm 處斷裂時受力, kgw）（資料由作者自行整理）

黏著劑	吉利丁	洋菜	印尼馬信	廣西水麻皮	印尼楠木	台灣楠木
第一次(kgw)	6.84	1.88	4.97	4.42	4.33	5.05
第二次(kgw)	7.13	1.69	5.30	4.75	4.61	4.63
平均拉力(kgw)	6.985	1.785	5.135	4.585	4.470	4.840

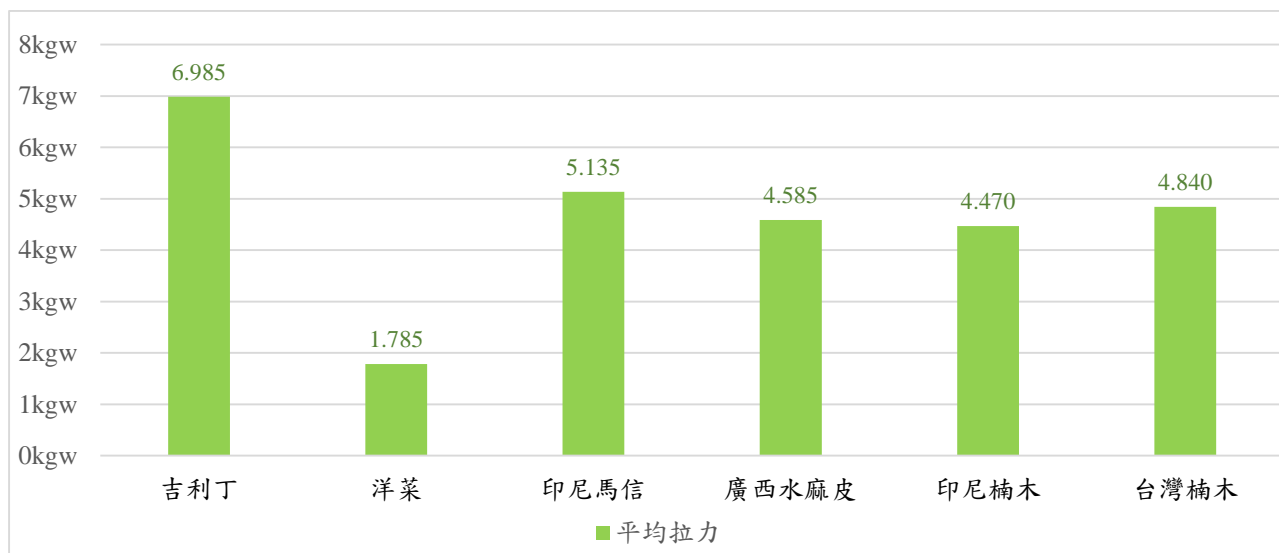


圖 4-3-1 同非澱粉黏著劑膠結板材對板材強度的影響（施力 4cm 處斷裂時受力, kgw）（上圖由作者自行製作）

實驗討論：實驗比較幾種非澱粉類黏著劑的膠結效果，結果顯示吉利丁的黏著效果最佳，其次為印尼馬信，而洋菜的黏結強度最低。但吉利丁的價格較高（一片 5g，每片 10 元），所以製板成本也較高，且須要以熱水泡開工續序多，印尼馬信為植物性膠質，在常溫下即具膠結能力，製程簡便且來源穩定，雖強度略低於吉利丁，但綜合成本、操作便利性與環保性，為更適合的選擇。 所以非澱粉類黏著劑後續採用次佳的印尼馬信。

四、實驗四：不同黏著劑比例對板材強度的影響。

表 4-4-1 不同黏著劑比例對板材強度的影響（施力 4cm 處斷裂時受力, kgw）（資料由作者自行整理）

黏著劑：咖啡渣 黏著劑	1 : 2	1 : 3	1 : 4	1 : 5	1 : 6
印尼馬信-1 (kgw)	5.35	4.78	4.13	3.34	2.38
印尼馬信-2 (kgw)	5.11	4.91	4.50	2.85	2.14
印尼馬信-平均拉力(kgw)	5.230	4.845	4.315	3.095	2.260
糯米糊-1(kgw)	8.09	7.20	6.60	5.23	5.52
糯米糊-2(kgw)	7.85	7.56	5.77	4.80	4.04
糯米糊-平均拉力(kgw)	7.970	7.380	6.185	5.015	4.780

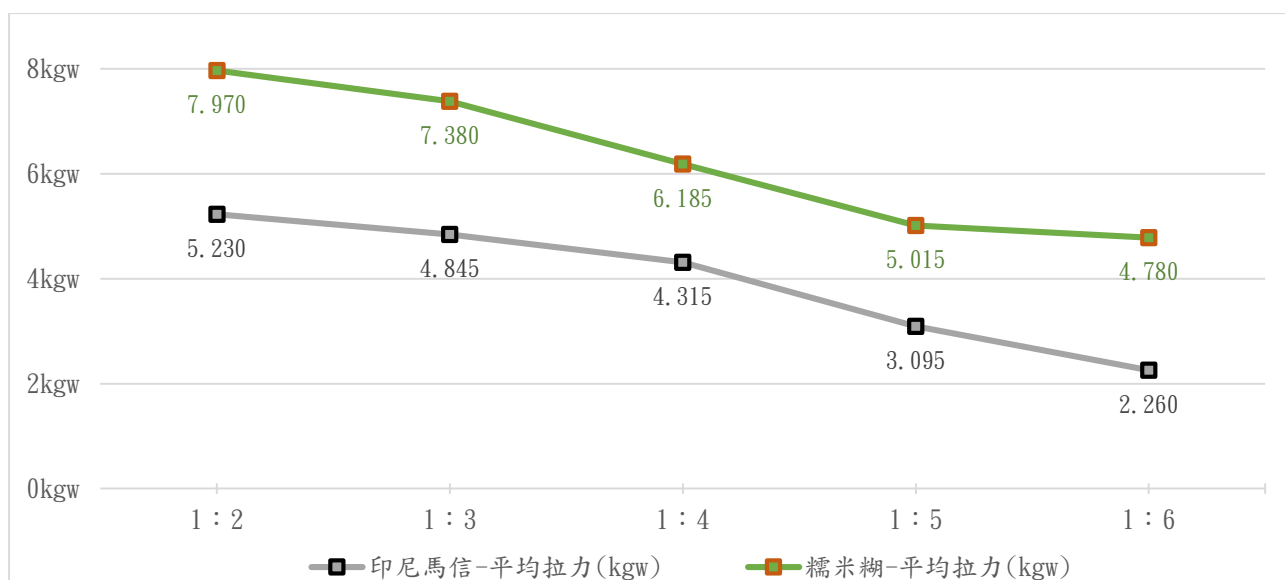


圖 4-4-1 不同黏著劑比例對板材強度的影響（施力 4cm 處斷裂時受力，kgw）（上圖由作者自行製作）

實驗發現：糯米糊和印尼馬信，在不同比例下對板材強度的影響顯示，隨著黏著劑的比例增加（從 1:6 到 1:2），板材的強度逐漸提升，顯示較高比例的黏著劑能提供更好的膠結能力。然而，當黏著劑超過一定比例後，強度提升幅度趨緩，因此，實際應用時為了追求極高的膠結能力使用較高比例的黏著劑是不符效益的。

五、實驗五：暖暖包內容中氧化鐵粉在水中浸泡不同時間對重量的影響

表 4-5-1 暖暖包內容中氧化鐵粉在水中浸泡不同時間對重量的影響（資料由作者自行整理）

泡水時間(分)	不浸泡	泡水立刻濾乾	泡水 15 分鐘	泡水 30 分鐘	泡水 60 分鐘	泡水 120 分鐘	泡水 240 分鐘
原始重量(g)	200	200	200	200	200	200	200
烘乾後重量(g)	189.6	177.2	183.4	192.7	202.6	207.8	213.8
重量增減(g)	-10.4	-22.8	-16.6	-7.3	2.6	7.8	13.8

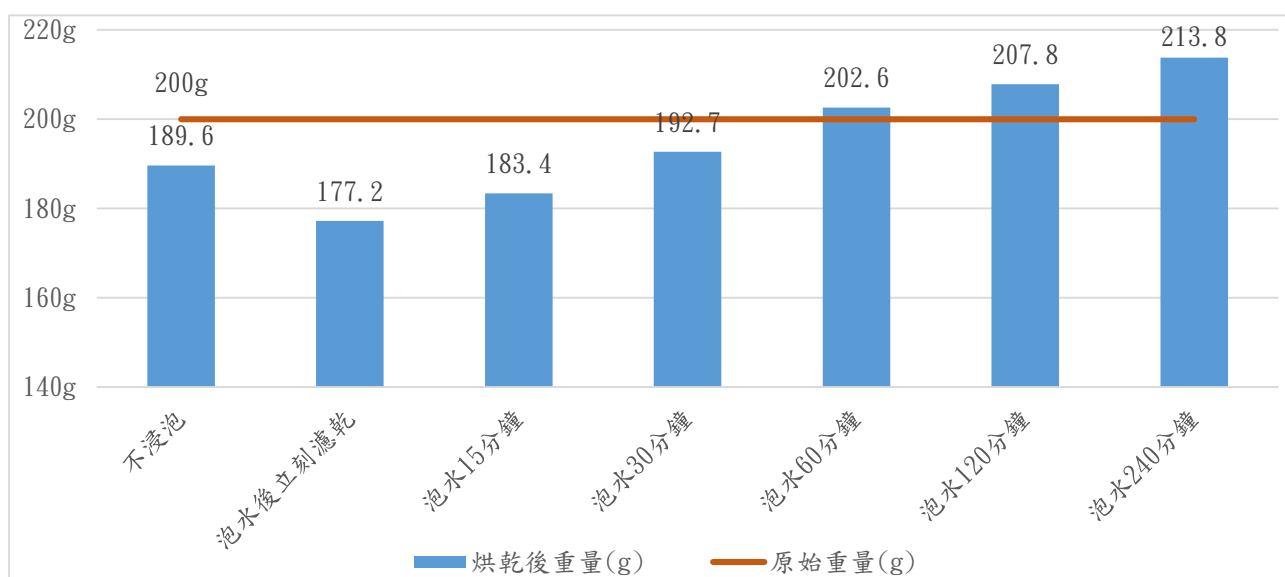


圖 4-5-1 暖暖包內容中氧化鐵粉在水中浸泡不同時間對重量的影響（g）（上圖由作者自行製作）

實驗發現：實驗探討了暖暖包內容在水中浸泡不同時間後的重量變化。結果顯示，短時間內浸泡減少的重量應該是因為去除了鹽類，但隨著浸泡時間增加內容物重量也會增加，應該是氧化鐵與水反應轉變為鐵鏽，導致重量增加。

六、實驗六：不同去油程度咖啡渣製作板材對強度的影響

表 4-6-1 不同去油程度咖啡渣製作板材對強度的影響（施力 4cm 處斷裂時受力, kgw）（資料由作者自行整理）

咖啡渣處理方式 黏著劑	無處理	一次水洗	一次去油皂化水洗	二次去油皂化水洗	三次去油皂化水洗	四次去油皂化水洗
印尼馬信-1(kgw)	2.11	2.43	3.48	4.26	4.66	5.37
印尼馬信-2(kgw)	1.85	2.68	3.54	4.13	4.93	5.41
印尼馬信-平均拉力(kgw)	1.980	2.555	3.510	4.195	4.795	5.390
糯米糊-1(kgw)	2.41	2.73	5.41	6.64	7.93	8.36
糯米糊-2(kgw)	2.27	3.02	5.20	6.83	7.74	8.15
糯米糊-平均拉力(kgw)	2.340	2.875	5.305	6.735	7.835	8.255

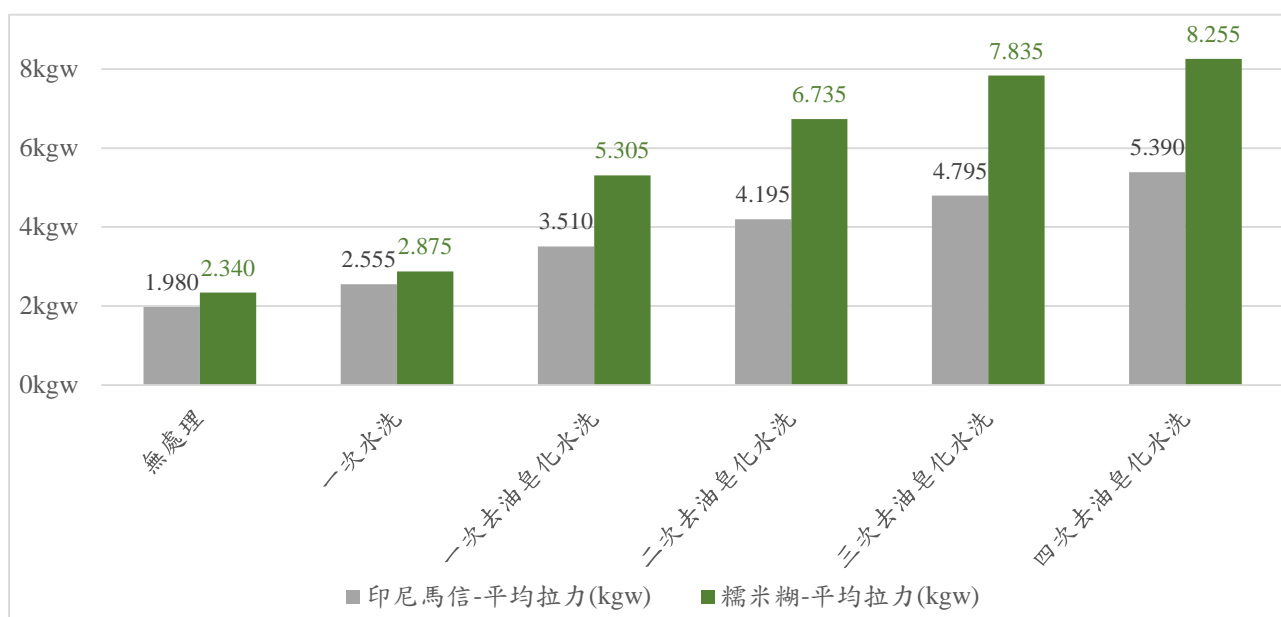


圖 4-6-1 不同去油程度咖啡渣製作板材對強度的影響（施力 4cm 處斷裂時受力, kgw）（上圖由作者自行製作）

實驗發現：實驗驗證了去油處理對咖啡渣板材強度的影響。結果顯示，經過皂化與水洗去油的咖啡渣能顯著提升板材的強度，去油次數越多，板材的抗彎折性越好。油脂為疏水性物質，可能阻礙黏著劑與纖維素之間的接觸與固化，降低黏著效力，因此去油處理能提升結合緊密度與整體結構強度。若要提升板材強度，建議對咖啡渣進行適當的去油處理，以改善其與黏著劑的結合能力。

七、實驗七：不同顆粒大小咖啡渣製作板材對強度的影響

表 4-7-1 不同顆粒大小咖啡渣製作板材對強度的影響（施力 4cm 處斷裂時受力，kgw）（資料由作者自行整理）

處理方式 黏著劑	咖啡渣不分篩	咖啡渣-大	咖啡渣-中	咖啡渣-小
印尼馬信-1(kgw)	5.53	4.83	5.18	5.59
印尼馬信-2(kgw)	5.15	4.98	5.31	5.82
印尼馬信- 平均拉力(kgw)	5.340	4.905	5.245	5.705
糯米糊-1(kgw)	7.96	7.39	6.87	5.88
糯米糊-2(kgw)	8.23	7.63	7.11	6.16
糯米糊- 平均拉力(kgw)	8.095	7.510	6.990	6.020

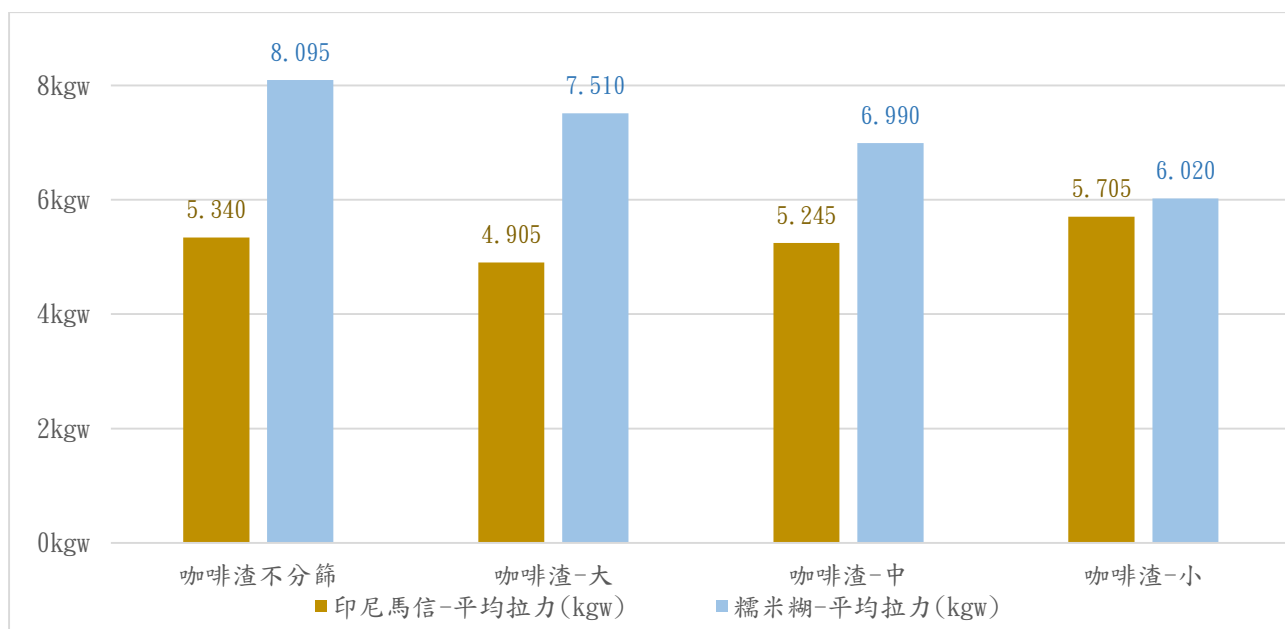


圖 4-7-1 不同顆粒大小咖啡渣製作板材對強度的影響（施力 4cm 處斷裂時受力，kgw）（上圖由作者自行製作）

實驗發現：實驗探討不同顆粒大小的咖啡渣對板材強度的影響。結果顯示，以顆粒大小來為操作變因，咖啡渣顆粒越大製成的板材強度越好，越細的咖啡渣製成的板材強度越差。但不分篩的咖啡渣中有大小不同的顆粒製成的板材強度卻是最好的，在壓模過程中達成顆粒間的互補排列，小顆粒填補大顆粒間縫隙，提升材料密度與結構均勻性增加板材強度。

八、實驗八：不同生鏽程度暖暖包內容物製作板材對強度的影響

表 4-8-1 同生鏽程度暖暖包內容物製作板材對強度的影響（斷裂 4cm 處斷裂時受力, kgw）（資料由作者自行整理）

處理方式 黏著劑	不浸泡	泡水立刻濾乾	泡水 15 分鐘	泡水 30 分鐘	泡水 60 分鐘	泡水 120 分鐘	泡水 240 分鐘
印尼馬信-1(kgw)	2.66	4.35	4.05	4.22	3.88	3.42	2.97
印尼馬信-2(kgw)	2.92	3.94	4.24	4.33	3.67	3.58	3.24
印尼馬信- 平均拉力(kgw)	2.790	4.145	4.145	4.275	3.775	3.500	3.105
糯米糊-1(kgw)	4.04	4.87	4.53	4.11	4.07	3.17	2.43
糯米糊-2(kgw)	4.27	5.29	4.37	4.27	3.96	3.36	2.58
糯米糊- 平均拉力(kgw)	4.155	5.080	4.450	4.190	4.015	3.265	2.505

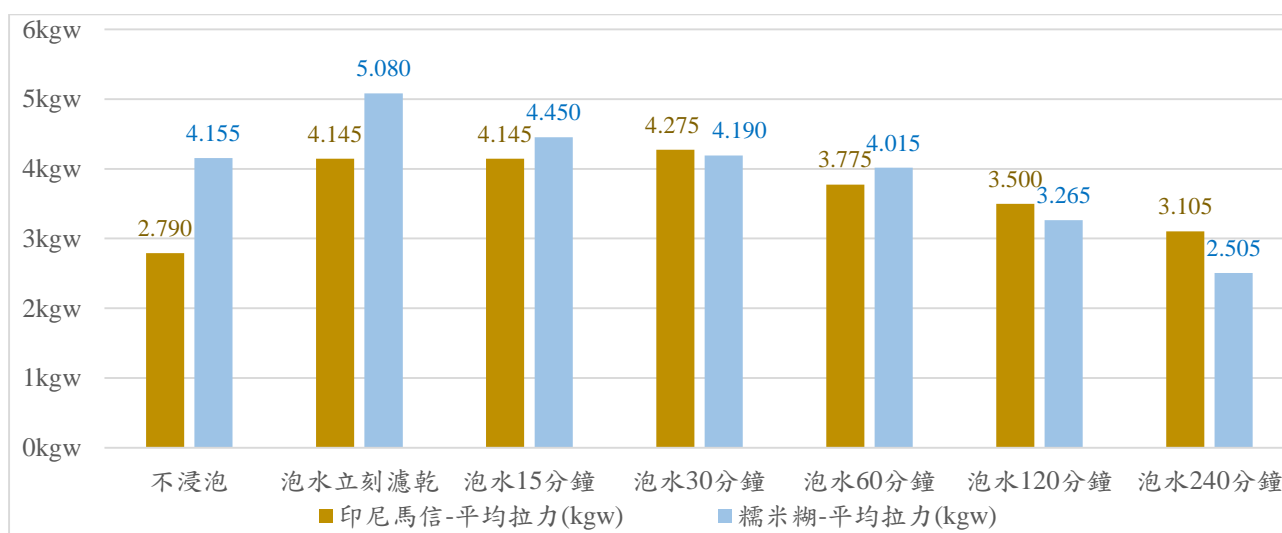


圖 4-8-1 同生鏽程度暖暖包內容物製作板材對強度的影響（施力 4cm 處斷裂時受力, kgw）（上圖由作者自行製作）

實驗發現：結果顯示，未經浸泡的暖暖包內容物製成的板材強度最低，而泡水攪拌立刻濾乾的暖暖包內容物製成的板材強度最佳。然且，當浸泡時間越長，板材強度越差，可能是因為氧化鐵轉變為鐵鏽變得疏鬆。因此，以暖暖包內容物製作板材可以先泡水去除鹽類和其他雜質。

九、實驗九：不同碎片大小廢紙製作板材對強度的影響

表 4-9-1 不同碎片大小廢紙製作板材對強度的影響（施力 4cm 處斷裂時受力, kgw）（資料由作者自行整理）

製板骨材 黏著劑	飛力士（碎片較大）	SD9520（碎片較小）
印尼馬信-1	3.88	4.11
印尼馬信-2	4.02	4.24
平均拉力	3.95	4.18
糯米糊-1	4.35	4.81
糯米糊-2	4.51	5.16
平均拉力	4.43	4.99

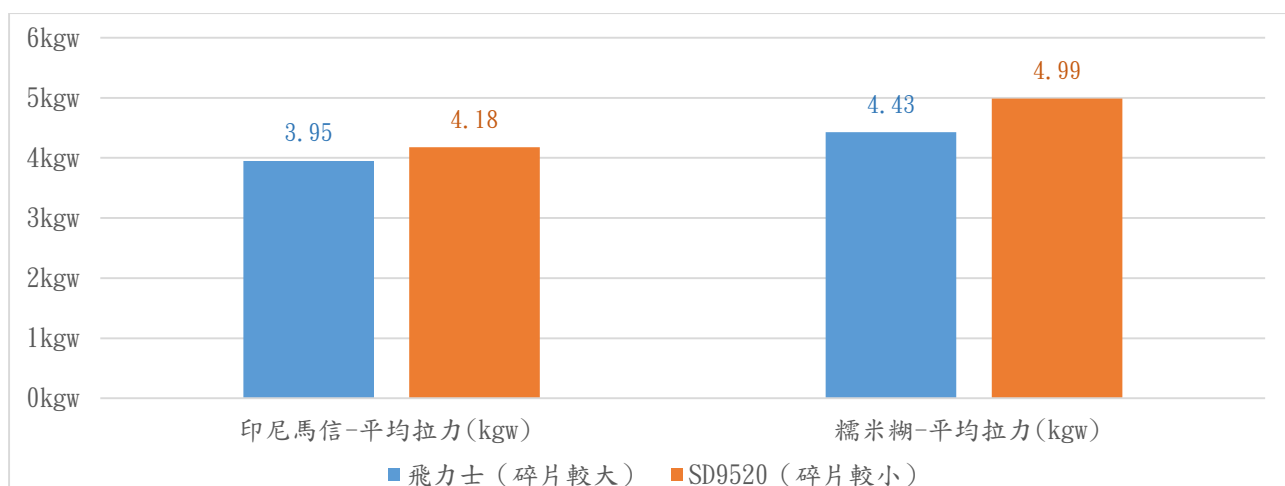


圖 4-9-1 不同碎片大小廢紙製作板材對強度的影響（施力 4cm 處斷裂時受力，kgw）（上圖由作者自行製作）

實驗發現：實驗探討不同碎紙機處理的廢紙對板材強度的影響。結果顯示，較小碎片的廢紙能製成更高強度的板材，而較大碎片的廢紙則導致強度下降。這可能是因為較小的紙纖維能夠更均勻地分佈於板材內，增加黏著劑與紙纖維的接觸面積，提升整體結構的緊密性。

十、實驗十：不同再生板材的抗雷射穿透性

表 4-10-1 不同再生板材的抗雷射穿透性（切割深度, mm）（資料由作者自行整理）

切割深度(mm)		骨材		
		SD9520 碎紙	去油咖啡渣	暖暖包內容物(水洗烘乾)
黏著劑-雷射功率	糯米糊-雷射功率 100%	4.7	3.2	0.9
	糯米糊-雷射功率 80%	3.4	3.0	0.9
	糯米糊-雷射功率 60%	2.8	2.5	0.7
	印尼馬信-雷射功率 100%	2.6	2.3	1.3
	印尼馬信-雷射功率 80%	1.9	1.7	1.1
	印尼馬信-雷射功率 60%	1.6	1.4	0.8

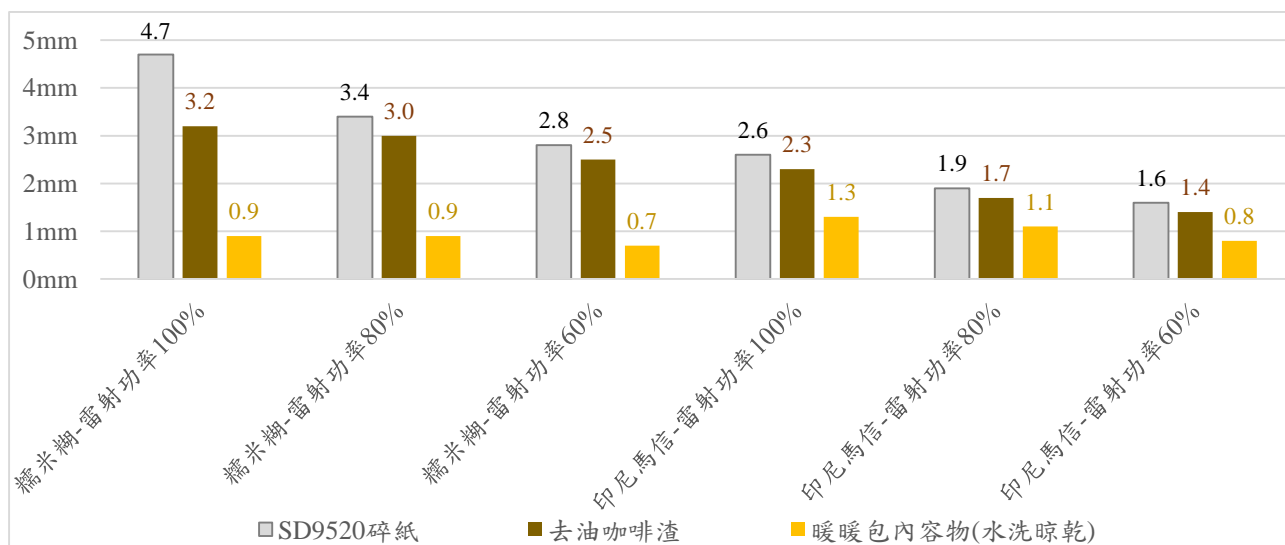


圖 4-10-1 不同再生板材的抗雷射穿透性（切割深度, mm）（上圖由作者自行製作）

實驗發現：

以不同骨材來看，碎紙製成的再生板材最容易被雷射切割；暖暖包內容物切割深度最淺。以相同黏著劑來看，糯米糊與碎紙和去油咖啡渣製成的板材較易切割，但與暖暖包內容物製成的板材卻較不易切割，有耐熱防火的特性；以印尼馬信製成的板材中，與暖暖包內容物製成的板材卻較易切深，剛好與以糯米糊製成板材相反。

伍、討論

利用咖啡渣、碎紙及暖暖包內容物等廢棄物，搭配不同黏著劑與處理方式，製作環保板材，探討影響板材強度與雷射加工特性。透過實驗，獲得以下幾點發現：

- 一、咖啡渣的去油處理對板材強度的影響：透過氫氧化鈉皂化反應與水洗去除油脂，可提升咖啡渣與黏著劑的結合力，進而提高板材強度。實驗結果顯示，隨著去油次數增加，板材的抗拉強度亦逐步上升。
- 二、黏著劑種類對板材強度的影響：在各種澱粉與非澱粉黏著劑中，糯米糊與吉利丁的膠結效果最佳，能製作較高強度的板材。
- 三、黏著劑比例對板材強度的影響：當黏著劑比例由 1:6 增加至 1:2 時，板材的抗彎折強度顯著提升。但黏著劑比例越高代表成本也越高，可以衡量板材強度與成本使用合宜的比例製作。
- 四、不同顆粒大小的咖啡渣對板材強度的影響：採用不分篩的咖啡渣可提升板材強度，可能是因為大小顆粒混合後填充性較佳，使板材結構更為緊密。
- 五、暖暖包內容物的氧化程度對板材強度的影響：暖暖包內容物經水洗後能有效去除鹽類與雜質，提升板材強度。但若浸泡時間過長，氧化鐵轉變為鐵鏽，反而會降低板材強度。
- 六、廢紙碎片大小對板材強度的影響：實驗發現使用較細碎的碎紙製作的板材強度稍強，較大碎紙片的廢紙板材強度較低，但實驗只使用兩種尺寸的碎紙，有機會應增加不同尺寸碎紙的實驗。
- 七、板材的雷射加工特性：咖啡渣與碎紙製成的板材較易被雷射切割，暖暖包內容物製成的板材抗雷射穿透性較佳。不同黏著劑也影響板材的雷射加工效果，以糯米糊膠結碎紙與咖啡渣製板較易切割，而印尼馬信膠結暖暖包內容物較易切割。

陸、結論

透過實驗成功驗證了利用咖啡渣、碎紙和暖暖包內容物製作環保板材的可行性。結果顯示，適當的材料選擇與前處理方式，可有效提升板材的強度與穩定性，並提供可行的資源再利用建議。

- 一、咖啡渣經皂化去油處理可提升板材強度，處理過程洗出的氫氧化鈉與肥皂溶液可以作為製作肥皂的原料，經滴定測量出過量氫氧化鈉，再加入適量油脂就能得到另一個副產品（肥皂）。
 - 二、糯米糊與吉利丁為最佳黏著劑，但吉利丁成本較高、工序較多，所以非澱粉類黏著劑改採印尼馬信。
 - 三、不同黏著劑比例影響板材強度，比例 1:2 至 1:6 間，黏著劑比例越高板材強度越好，可以需求以不同比例製作符合要求的板材以降低成本。
 - 四、混合大小顆粒的咖啡渣可增加板材強度，建議不分篩使用。
 - 五、暖暖包內容物經適當水洗後可有效提升板材性能，但泡水過久產生鐵鏽會降低板材強度。
 - 六、以碎紙及咖啡渣製作的環保板材具備良好的雷射加工特性，以暖暖包內容物製作的環保板材具有耐熱防火的特性。
- 綜合來看，透過使用不同黏著劑將三種廢棄物回收、重製再利用的方式，能減少環境負擔並提升資源利用效率，可為的環保建材開發提供參考。

柒、參考文獻資料

一、參考文獻

- 想入「啡啡」，「皂」「板」有理！。臺灣網路科教館科展作品檢索。取自：
<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=21278&sid=21645>
- 我不是廢渣—咖啡渣的再利用。臺灣網路科教館科展作品檢索。取自：
<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=17228&sid=19159>
- ”啡”比尋常～研究咖啡渣紙容器之環保實用表現。臺灣網路科教館科展作品檢索。取自：
<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=17228&sid=19164>
- 「啡」咖文創產品。臺灣網路科教館科展作品檢索。取自：
<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=12947&sid=13186>
- 不可能的暖咖效應。臺灣網路科教館科展作品檢索。取自：
<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=13521&sid=13776>
- 咖啡王子一號店～研製咖啡渣活性碳。臺灣網路科教館科展作品檢索。取自：
<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=9479&sid=9780>
- 咖啡的成份分析。UCC Good Coffee Smile。<https://www.ucc-coffee.com.tw/ingredient.html>
- 咖啡主要有哪些成分組成。kknews.cc-每日頭條。<https://kknews.cc/zh-my/health/qrvyng.html>
- 咖啡成分與功效。CAFFESME 咖啡師&我。<https://caffes.me/2017/01/25/咖啡成分與功效/>
- 咖啡的主要成分。Coffee Center 咖啡中心 心中咖啡。
https://www.coffeecenter.com.tw/about_coffee_003.asp
- 漿糊。農業主題館-手工紙與書畫裱。<https://kmweb.moa.gov.tw/subject/subject.php?id=47186>

暖包的原理 | 拆解發熱基本條件 Fever 科學。Fever Creation Company-批發。

<https://www.fevercreation.club/article/a2>

小白兔暖暖包(手握式)。小林製藥 kobayashi-tw。 <https://kobayashi-tw.com/product/kairo/>
手工皂製成的過程：什麼是皂化反應？。木見館-www.kiminokan.com。

<https://www.kiminokan.com/tc/blog-detail.php?id=459>

皂化價表。皂化價-芳香療法師。 <https://byaroma.com/pages/皂化價>

皂化價。Bodyrose Handmade Soap。

<https://www.bodyrose.com.tw/blog/posts/sap?srsId=AfmB0oqmr2yvgx9hrK5SWY00UvrNwyZic-u49g8-Yhx84J1YPdyJvnZY>

皂化反應.jpg。痞客邦-PIXNET。 <https://mandafreesia.pixnet.net/album/photo/95151682>

酸鹼中和滴定。維基百科-自由的百科全書。 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/酸鹼中和滴定>

酸鹼滴定。科學 Online 高瞻自然科學教學資源平台。

<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=18914>

洋菜。維基百科-自由的百科全書。 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/洋菜>

明膠。維基百科-自由的百科全書。 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/明膠>

鐵鏽。維基百科-自由的百科全書。 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/鐵鏽>

【評語】 080217

1. 本研究以環保回收為出發點，運用咖啡渣、暖暖包內容物及碎紙等生活廢棄物混合膠水轉化為可再利用的「綠色板材」的可能性，結合環保議題與材料實驗設計，研究內容具應用潛力與教育啟發性。若能進一步補強成分分析、數據呈現與統計檢定，則作品將更具臻完善，未來亦可發展為跨領域環境教育教材。
2. 建議標註實驗吸水率與壓縮強度測試次數，並納入誤差分析或基本統計處理，提升數據說服力。同時可補充彎曲強度、抗剪力等力學性質以拓展應用價值。
3. 不同廢棄物含纖維、脂質、蛋白質等成分差異明顯，未來若能加以比對說明將有助於理解其對板材品質的影響。
4. 使用膠水（疑似白膠 PVA）應補充毒性、安全與可分解性說明，提升綠色環保材料定位。同時應檢附個人防護措施與廢棄化學藥品處理流程，以符合校園實驗室安全規範。
5. 希望學生在從事科學研究的同時也同時學習正確的實驗紀錄（日誌）書寫方式，例如：每次記錄須標明日期與時間、避免使用鉛筆或電腦列印的方式、數據須標示單位，並注意實驗條件（如溫度、時間、使用的材料等）應詳實記錄、實驗步驟要明確，以方便後續比對與分析。這些習慣將有助於建立科學紀律，也讓成果更具可信度與可重現性。

作品海報

「廢」盡其用—運用廢棄物特性

製作環保板材之研究

摘要

研究探討利用咖啡渣、暖暖包內容物及碎紙等廢棄物，以不同黏著劑與處理方式製作環保板材。先以氫氧化鈉去除咖啡渣的油脂，增加皂化與水洗次數能去除油脂，提高咖啡渣與黏著劑的結合力，並額外獲得咖啡肥皂。研究不同種類澱粉與非澱粉黏著劑（如糯米粉、吉利丁、印尼馬信等）對板材強度的影響，發現糯米糊與吉利丁的黏結效果最佳，且比例越高板材強度越好。

進一步探討不同顆粒大小、去油程度的咖啡渣、不同生鏽程度的暖暖包內容物及不同大小碎紙對板材強度的影響，找出能製作較高強度板材的處理方式。透過適當材料與加工，可將生活廢棄物轉化為可用於環保建材的再生板材，能減少廢棄物對環境的影響，也提供一種可行的資源回收與再利用策略。

壹、前言

一、研究動機

我們每天打掃時間是整理辦公室，總會注意到碎紙機裡有許多的碎紙。這些細碎的紙條看似無用，但我不禁思考：除了回收之外，是否還有更直接、更具創意的再利用方式？每天，大量的文件被送進碎紙機，化為細小的紙屑。雖然碎紙的應用多半局限於傳統回收，較少有創新的再利用方式，但這過程需要消耗大量的水資源與能源，而且若紙張混合了塑膠膜或特殊油墨，回收效率便會大打折扣。我開始思考，想突破傳統回收思維，是否有方法能讓這些碎紙變得更有價值，而不是單純等待回收呢？

二、研究目的

（一）研究如何以氫氧化鈉皂化咖啡渣裡的油脂並製作肥皂

實驗一：咖啡渣經過不同次數氫氧化鈉反應、水洗對去油程度的影響

（二）研究黏著劑膠結板材的效果

實驗二：不同澱粉、煮糊時間對膠結板材強度的影響

（糯米粉、高筋麵粉、低筋麵粉、玉米粉、在來米粉）

實驗三：不同非澱粉黏著劑膠結板材對板材強度的影響

（洋菜、吉利丁、印尼馬信、廣西水麻皮、印尼楠木、台灣楠木）

實驗四：不同黏著劑比例對板材強度的影響

（三）研究在水中浸泡對暖暖包廢料中氧化鐵的影響

實驗五：暖暖包內容中氧化鐵粉在水中浸泡不同時間對重量的影響

（四）研究以不同骨材製作板材的效果

實驗六：不同去油程度咖啡渣製作板材對強度的影響

實驗七：不同顆粒大小咖啡渣製作板材對強度的影響

實驗八：不同生鏽程度暖暖包內容物製作板材對強度的影響

實驗九：不同碎片大小廢紙製作板材對強度的影響

（五）研究不同板材的雷射加工特性

實驗十：不同再生板材的抗雷射穿透性

三、文獻回顧

（一）科展相關研究

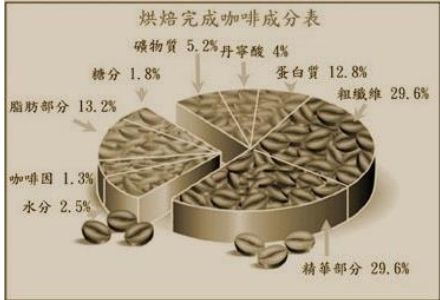
表 1-3-1 科展相關研究搜尋結果（臺灣網路科教館-科展作品檢索）

關鍵字	搜尋結果	研究探討內容
咖啡渣	不可能的暖咖效應-第 57 屆全國科展	用咖啡渣來取代暖暖包內容物-蛭石比較不同咖啡渣來源、添加量及研磨大小等因素進行暖暖包放熱溫度曲線分析
	咖啡王子一號店～研製咖啡渣活性碳-第 52 屆全國科展	運用乾餾法研發出「咖啡渣活性碳的製作方法」，驗證自製「咖啡碳」和活性碳一樣，具有吸附雜質以達到淨水和脫色的功能
	「啡」咖文創產品-第 56 屆全國科展	以廢棄咖啡渣添加於聚乳酸(PLA)材料製成 PLA 咖啡渣複合材料及製造 PLA 咖啡渣 3D 列印拉條的可行性
	“啡”比尋常～研究咖啡渣紙容器之環保實用表現-第 61 屆全國科展	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」，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
	我不是廢渣—咖啡渣的再利用-第 61 屆全國科展	探討以不同的賦形劑及不同的粉渣比例壓製成咖啡渣小花盆，透過撞擊、土埋分解等實驗來測試咖啡渣小花盆，找出最理想的賦形劑及粉渣比例。
暖暖包	無相關作品	
碎紙	無相關作品	

學習心得：在科群傑廳搜尋全國科展作品，以關鍵字「咖啡渣」找到相關研究，探討內容如表 1-3-1，與我們預計研究方向（以廢棄碎紙、咖啡渣、暖暖包內容物製作板材）不同。

（二）咖啡豆的成分

學習心得：咖啡渣是咖啡豆經過水萃取後剩下的物質，基本就是咖啡豆成分中不溶於水的部分，主要是纖維素和油脂，其中油脂可以先以氫氧化鈉皂化後洗出，製成肥皂，剩的纖維素與其他成分可以在製板時當作骨材，能完全利用。



烘焙完咖啡成分表



水沖法製糊

（三）漿糊：

學習心得：漿糊是天然無毒的黏著材料，原料容易取得且方便作製，所以我們挑選幾種常見澱粉製成漿糊，測試製板效果。

（四）暖暖包

規格及原料
最高溫度：63℃ 平均溫度：53℃ 尺寸：13cm x 9.5cm (1片) 持續時間：14小時 原料名稱：鐵粉、水、活性碳、蛭石、吸水性樹脂、鹽類

暖暖包原料



收集來的暖暖包

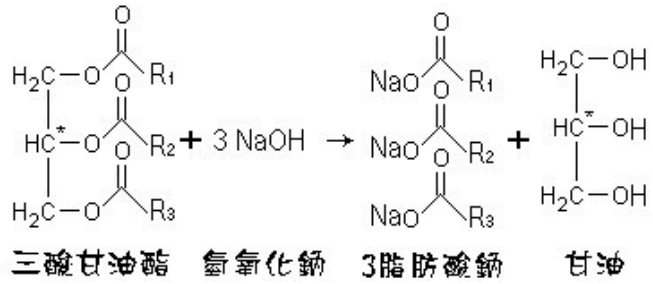
（五）鐵鏽（Saponification）：

學習心得：暖暖包內容物要洗去鹽分加水時，氧化鐵就會與水形成鏽，不知道生成鐵鏽會不會影響板材的強度，可以設計實驗探討二者之間的關係。

（六）皂化反應（Saponification）：



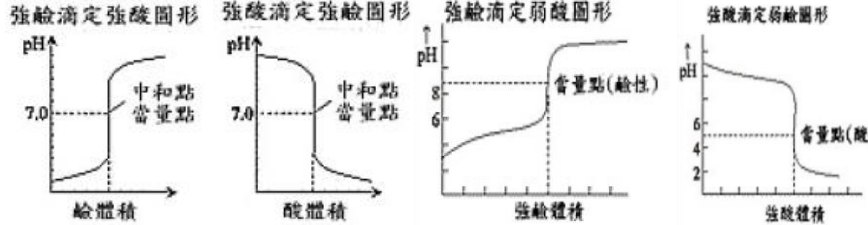
皂化反應



皂化反應的反應物和生成物

學習心得：咖啡渣裡的油脂很難分離，用加入氫氧化鈉的方式皂化油脂後，再水洗出來，肥皂在氫氧化鈉溶液中不易溶解，要重覆「皂化-水洗」，才能增加油脂皂化的比例，也增加肥皂的產量。

（七）酸鹼中和滴定(Acid-Base Titration)：



強酸強鹼滴定曲線圖 強酸弱鹼滴定曲線圖 弱酸強鹼滴定曲線圖 弱酸弱鹼滴定曲線圖

學習心得：是用氫氧化鈉皂化去除咖啡渣中的油脂，要測量過量的氫氧化鈉可以利用酸鹼滴定，我們直接利用 pH 計觀察酸鹼值變化，以常用肥皂酸鹼值作為滴定終點。

（八）洋菜：



洋菜粉

明膠外殼膠囊藥丸



煮食用的明膠片

（九）明膠（Gelatin）：

學習心得：洋菜和明膠也是常用的天然膠凝劑，可以測試製板效果和澱粉類膠凝劑比較。

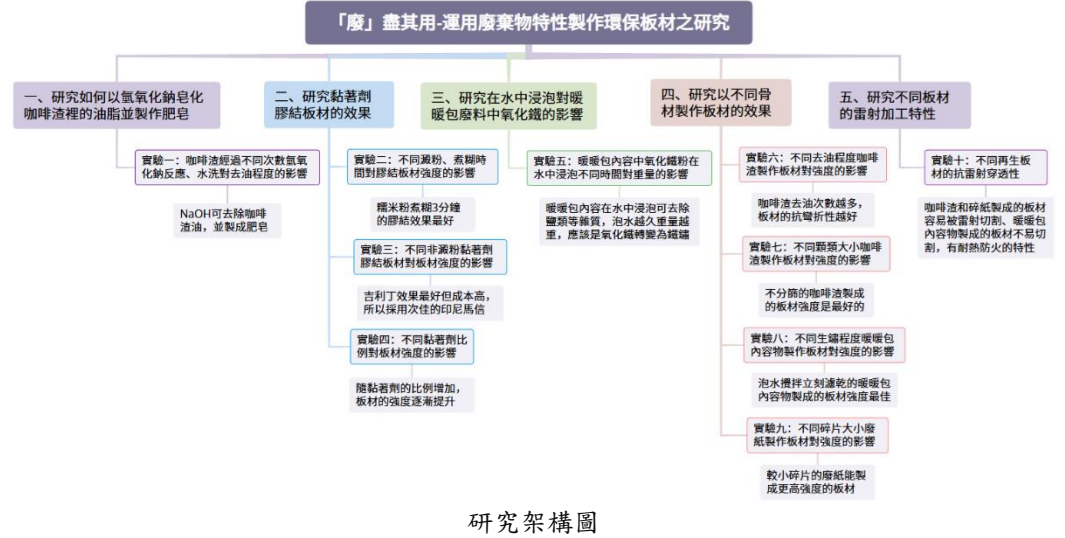
貳、研究設備及器材

一、研究設備與器材：

- 設備與器材：燒杯、滴管、玻璃棒、定溫烘箱、酒精溫度計、電子行李秤、電子秤、pH 計、撈勺、不鏽鋼鍋、棉紗濾袋、篩網、電磁爐、溫控電熱壺、白色 PP 塑板枱、塑膠桶、橡膠錘、鉗鍋夾、肥皂模、擀麵棍。
- 材料耗材：咖啡渣、氫氧化鈉、糯米粉、冰醋酸、椰子油、標籤膠帶、保鮮膜、洋菜粉、吉利丁片、印尼馬信、廣西水麻皮、印尼楠木、台灣楠木、廢棄暖暖包、碎紙。

參、研究過程及方法

一、研究架構與流程



研究架構圖

二、實驗設計：

（一）實驗一：咖啡渣經過不同次數氫氧化鈉反應、水洗對去油程度的影響

實驗說明：油脂和氫氧化鈉混合進行皂化反應會產生可溶於水的肥皂，咖啡渣含有的油脂很難分離出來，利用皂化反應使油脂形成肥皂就能去除油脂，又能獲得肥皂，一舉兩得。



實驗操作流程



（二）實驗二：不同澱粉、煮糊時間對膠結板材強度的影響

實驗說明：要將幾種生活廢棄物做成板材要先要膠結材料，澱粉糊是常見且廉價的凝結劑，但澱粉種類多，且有煮糊方式的因素影響，所以我們挑了幾種澱粉以 100℃ 沸水不同時間煮糊看看何者會有最好的膠結效果。



（三）實驗三：不同非澱粉黏著劑膠結板材對板材強度的影響

實驗說明：除了澱粉類之外還有其他材料能作為黏著劑，我們找了幾種非澱粉類的黏著劑，用來膠結咖啡渣製成板材，看看板材的強度如何。

表 3-2-2 非澱粉黏著劑調配方式

黏著劑	吉利丁片	洋菜粉	印尼馬信	廣西水麻皮	印尼楠木	台灣楠木
黏著劑(g)	10	10	10	10	10	10
加水(g)	20	20	20	20	20	20
加熱溫度(℃)	60	90	-	-	-	-
咖啡渣(g)	40	40	40	40	40	40



（四）實驗四：不同黏著劑比例對板材強度的影響

實驗說明：分別用糯米粉和印尼馬信這兩種黏著劑測試「黏著劑與咖啡渣不同比例」對板材強度的影響。



（五）實驗五：暖暖包內容中氧化鐵粉在水中浸泡不同時間對重量的影響

實驗說明：暖暖包的成分是鐵粉、水、活性碳、蛭石、吸水性樹脂、鹽類，使用後鐵粉會變成氧化鐵，繼續吸收水份會變成鐵鏽，想知道鹽類會不會影響製成板材的強度，氧化鐵變成鐵鏽會不會影響製成板材的強度，就要先處理剛使用過的暖暖包成份，利用清水浸泡可以去除鹽類，氧化鐵在水中也會形成鐵鏽。



（六）實驗六：不同去油程度咖啡渣製作板材對強度的影響

實驗說明：由實驗一可獲得不同去油程度的咖啡渣，想知道不同去油程度的咖啡渣製成板材對強度的影響。



（七）實驗七：不同顆粒大小咖啡渣製作板材對強度的影響。

實驗說明：手磨咖啡可設定不同顆粒粗細，不同來源收集來的咖啡渣的粗細也略有不同，我們想瞭解不同顆粒大小咖啡渣製作板材對強度的影響。



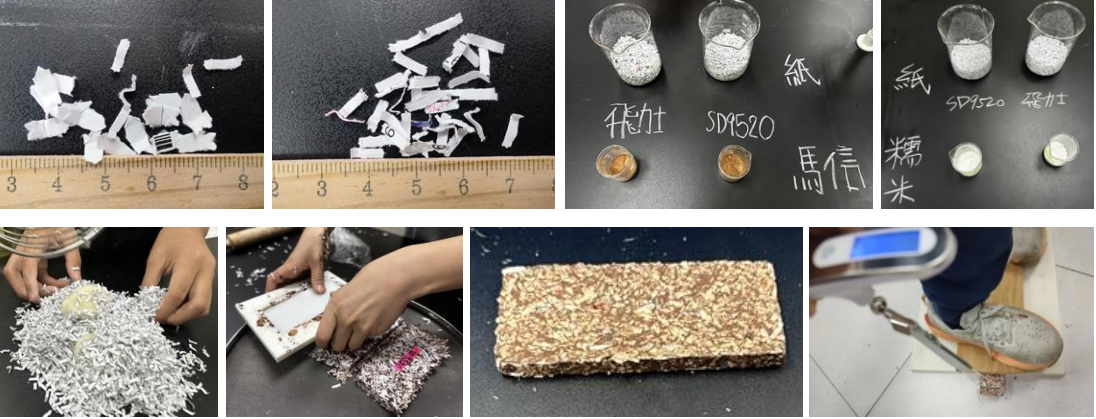
（八）實驗八：不同生鏽程度暖暖包內容物製作板材對強度的影響

實驗說明：暖暖包也是生活中常見的廢棄物，嘗試用暖暖包內容物加上黏著劑製成板材，並測試特性，看看是否用利用價值。



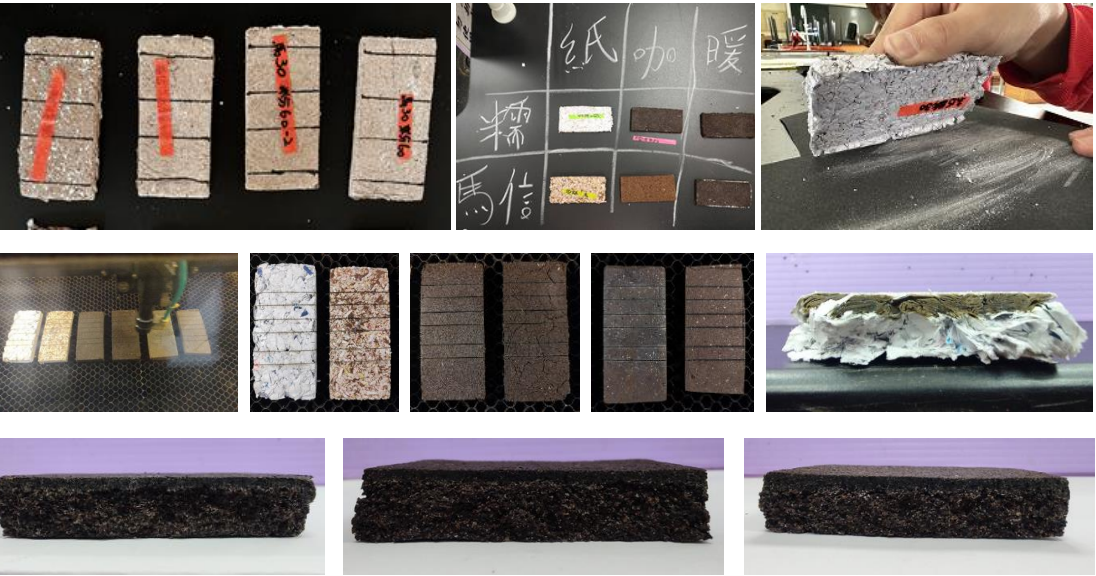
（九）實驗九：不同碎片大小廢紙製作板材對強度的影響。

實驗說明：學校文件常因保密需求要經過碎紙機處理，這樣紙纖維打斷變短就會影響回收紙的強度，我們也想知道經碎紙機處理不同碎片大小的廢紙以黏著劑製成板板對強度的影響。



（十）實驗十：不同再生板材的抗雷射穿透性

實驗說明：我們製成的板子目的就是要能再生利用，可加工的特性很重要，板材強度不能和傳統木板、塑料板相比，我們也沒學過木工，所以試試這些板材能不能利用雷射加工。

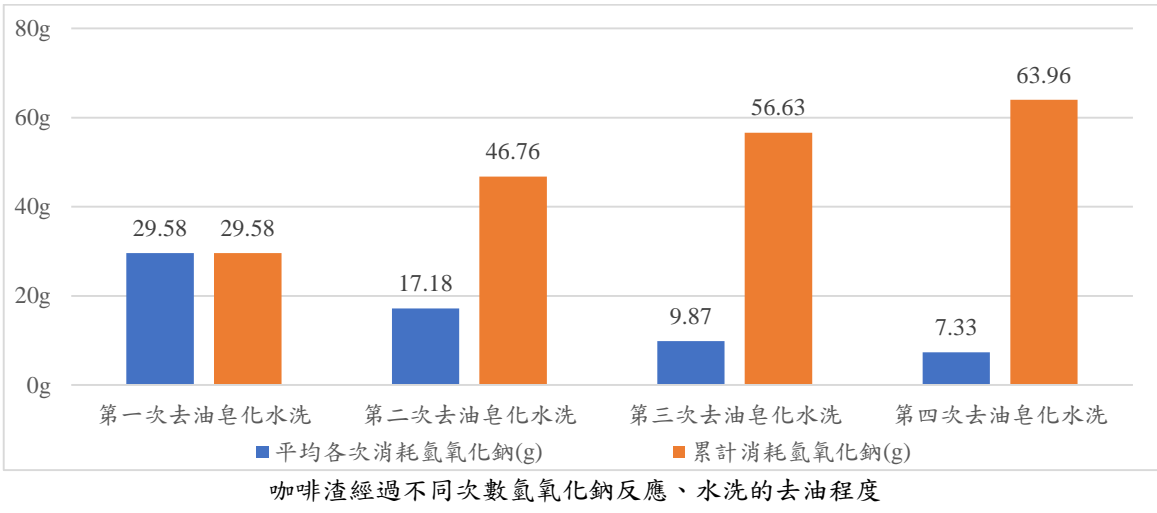


肆、研究結果

一、實驗一：咖啡渣經過不同次數氫氧化鈉反應、水洗對去油程度的影響

表 4-1-1 咖啡渣經過不同次數氫氧化鈉反應、水洗的去油程度（消耗氫氧化鈉重量，g）

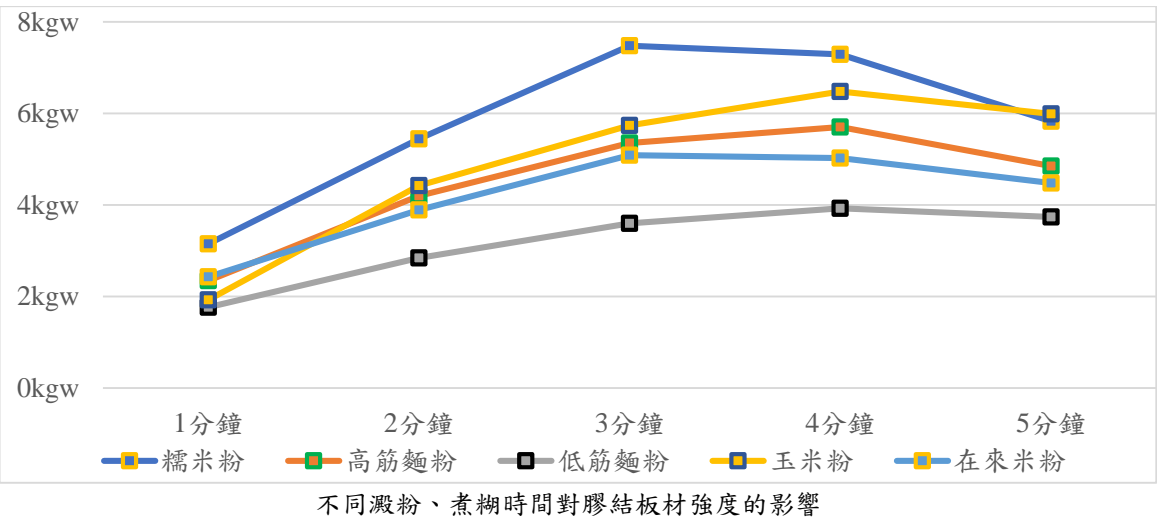
流程項目	共一次-第一次	共兩次-第一次	共三次-第一次	共四次-第一次	共兩次-第二次	共三次-第二次	共四次-第二次	共三次-第三次	共四次-第三次	共四次-第四次
A. 加入 20% NaOH(aq)(g)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
B. 取 100g 溶液以 10% 醋酸滴定(g)	16.2	15.1	15.7	15.5	33.7	34.8	34.2	45.4	45.0	49.0
C. NaOH 當量(g) (B × 0.1 / 60 × 40)	1.08	1.01	1.05	1.03	2.25	2.32	2.28	3.03	3.00	3.27
D. 剩餘 NaOH(g) (C × 10)	10.80	10.07	10.47	10.33	22.47	23.20	22.80	30.27	30.00	32.67
E. 本次消耗 NaOH(g) (A × 0.2 - C × 10)	29.20	29.93	29.53	29.67	17.53	16.80	17.20	9.73	10.00	7.33
F. 製皂需加椰子油(g) (C × 9 ÷ 0.19)	51.16	47.68	49.58	48.95	106.42	109.89	108.00	143.37	142.11	154.74
消耗氫氧化鈉平均(g)	29.58				17.18			9.87		7.33



實驗發現：將氫氧化鈉加入咖啡渣裡利用皂化反應去油，以 20% 氫氧化鈉溶液（一般製作手工皂的氫氧化鈉濃度）分次皂化水洗後，滴定濾出的溶液，檢驗過量的氫氧化鈉，發現各次消耗的氫氧化鈉量逐漸變少，可能因為殘留油脂的量越來越少，也表示去除油量也逐漸減少，導致後續的皂化反應變得不顯著。

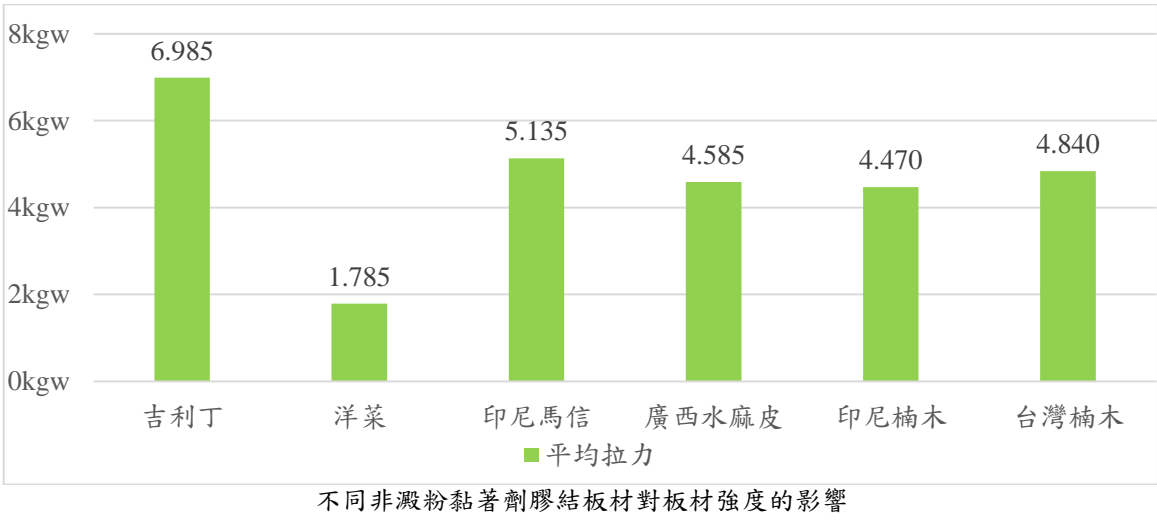
如表 4-1-1，濾出的溶液經過蒸發去除過多水份，加入適量的椰子油，充分攪拌就能得到咖啡-椰子肥皂。

二、實驗二：不同澱粉、煮糊時間對膠結板材強度的影響



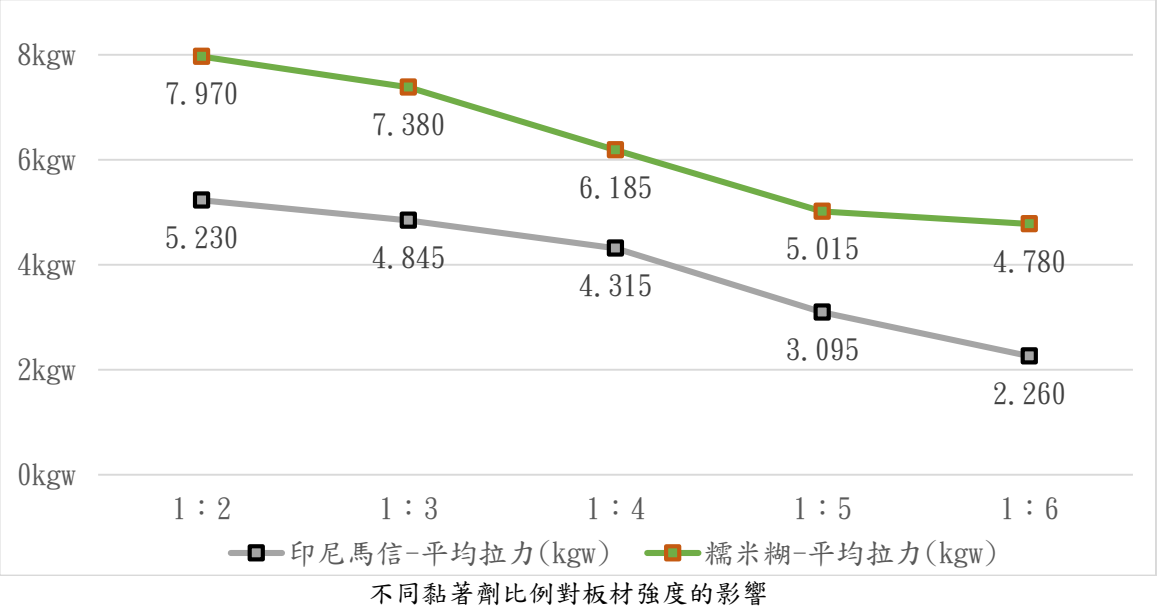
實驗發現：不同澱粉種類與煮糊時間對板材的強度有明顯影響。結果顯示，糯米粉煮糊 3 分鐘能提供最佳的膠結強度，高於其他澱粉種類。另外過長或過短的煮糊時間可能會影響澱粉的黏著能力。因此，選擇適當的澱粉種類與煮糊時間對於提升板材強度至關重要。

三、實驗三：不同非澱粉黏著劑膠結板材對板材強度的影響



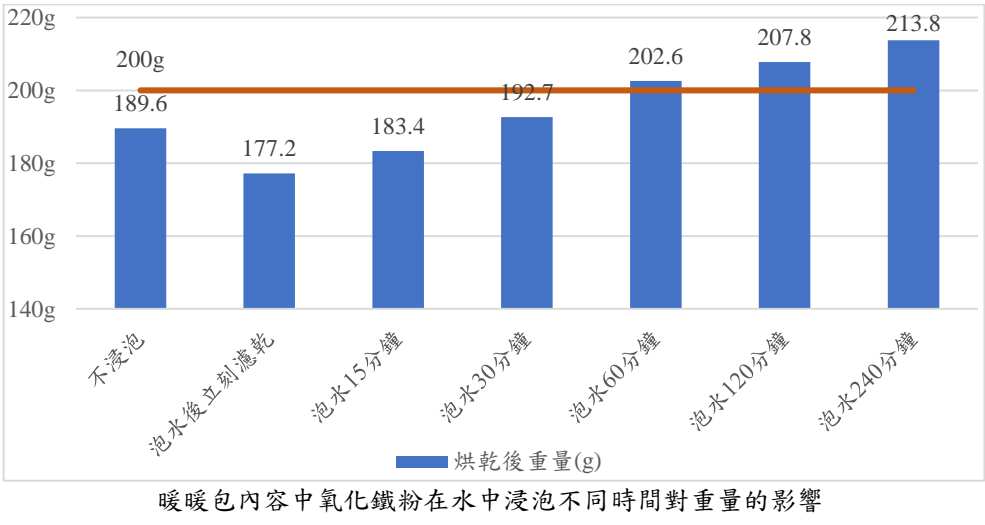
實驗討論：實驗比較幾種非澱粉類黏著劑的膠結效果，結果顯示吉利丁的黏著效果最佳，其次為印尼馬信，而洋菜的黏結強度最低。但吉利丁的價格較高，所以製板成本也較高，且須要以熱水泡開工續較多，所以非澱粉類黏著劑後續採用次佳的印尼馬信。

四、實驗四：不同黏著劑比例對板材強度的影響。



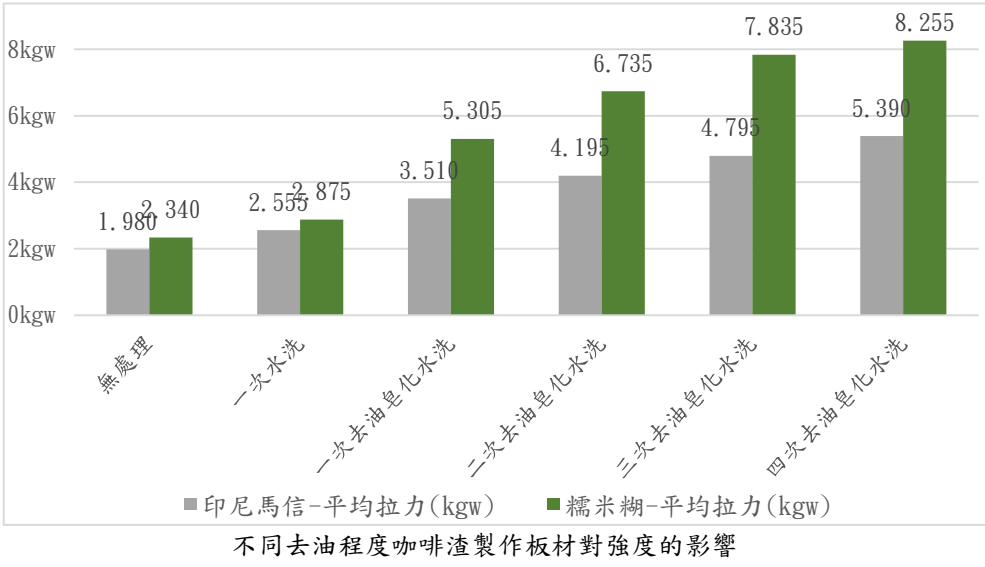
實驗發現：糯米糊和印尼馬信（吉利丁太貴了）是最佳澱粉與非澱粉黏著劑，在不同比例下對板材強度的影響顯示，隨著黏著劑的比例增加（從 1:6 到 1:2），板材的強度逐漸提升，顯示較高比例的黏著劑能提供更好的膠結能力。然而，當黏著劑超過一定比例後，強度提升幅度趨緩，因此，實際應用時為了追求極高的膠結能力使用較高比例的黏著劑是不符效益的。

五、實驗五：暖暖包內容中氧化鐵粉在水中浸泡不同時間對重量的影響



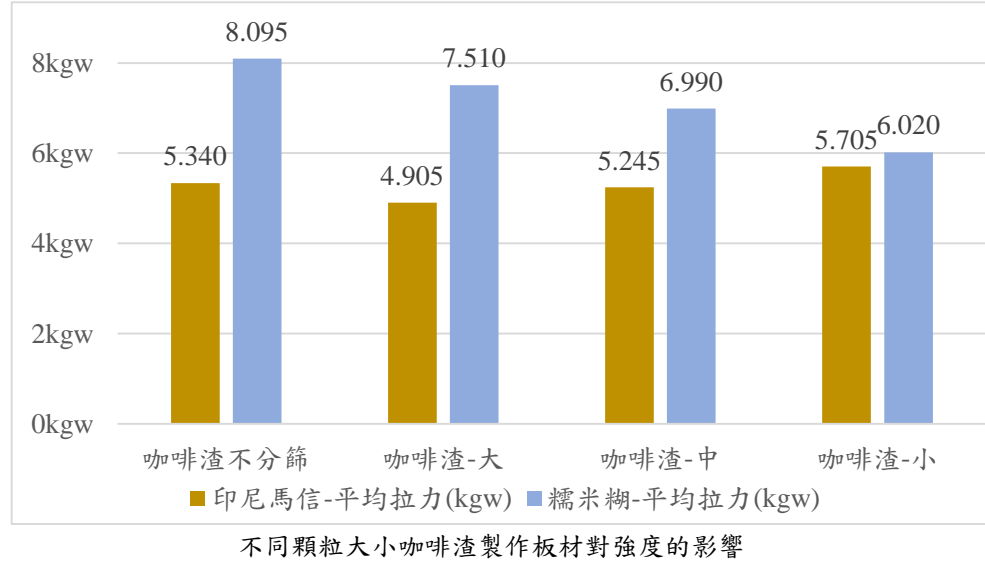
實驗發現：實驗探討了暖暖包內容在水中浸泡不同時間後的重量變化。結果顯示，短時間內浸泡減少的重量應該是因為去除了鹽類，但隨著浸泡時間增加內容物重量也會增加，應該是氧化鐵與水反應轉變為鐵鏽，導致重量增加。

六、實驗六：不同去油程度咖啡渣製作板材對強度的影響



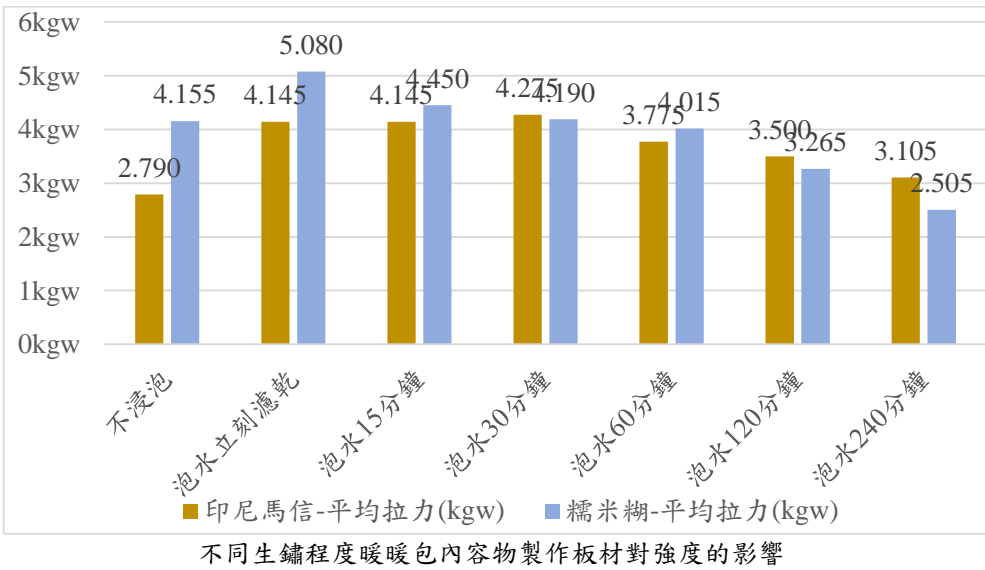
實驗發現：實驗驗證了去油處理對咖啡渣板材強度的影響。結果顯示，經過皂化與水洗去油的咖啡渣能顯著提升板材的強度，去油次數越多，板材的抗彎折性越好。這可能是因為殘留的油脂影響了黏著劑的吸附效果，使板材內部結構較鬆散。因此，若要提升板材強度，建議對咖啡渣進行適當的去油處理，以改善其與黏著劑的結合能力。

七、實驗七：不同顆粒大小咖啡渣製作板材對強度的影響



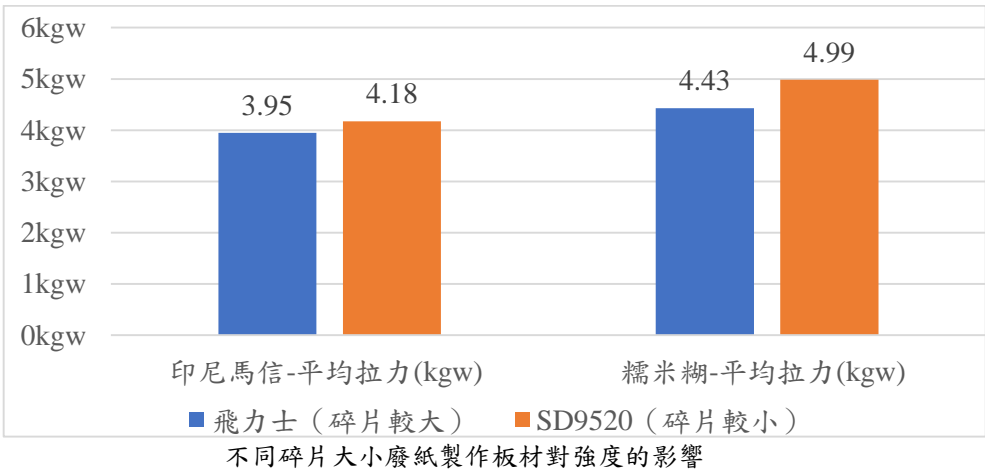
實驗發現：探討不同顆粒大小的咖啡渣對板材強度的影響。結果顯示，咖啡渣顆粒越大製成的板材強度越好，越細的咖啡渣製成的板材強度越差。但不分篩的咖啡渣中有大小不同的顆粒製成的板材強度卻是最好的，可能是不同的顆粒大小的咖啡渣能更緊密的填滿隙縫增加板材強度。

八、實驗八：不同生鏽程度暖暖包內容物製作板材對強度的影響



實驗發現：結果顯示，未經浸泡的暖暖包內容物製成的板材強度最低，而泡水攪拌立刻濾乾的暖暖包內容物製成的板材強度最佳。而且，當浸泡時間越長，板材強度越差，可能是因為氧化鐵轉變為鐵鏽變得疏鬆。因此，以暖暖包內容物製作板材可以先泡水去除鹽類和其他雜質。

九、實驗九：不同碎片大小廢紙製作板材對強度的影響



實驗發現：實驗探討不同碎紙機處理的廢紙對板材強度的影響。結果顯示，較小碎片的廢紙能製成更高強度的板材，而較大碎片的廢紙則導致強度下降。這可能是因為較小的紙纖維能夠更均勻地分佈於板材內，增加黏著劑與紙纖維的接觸面積，提升整體結構的緊密性。

十、實驗十：不同再生板材的抗雷射穿透性

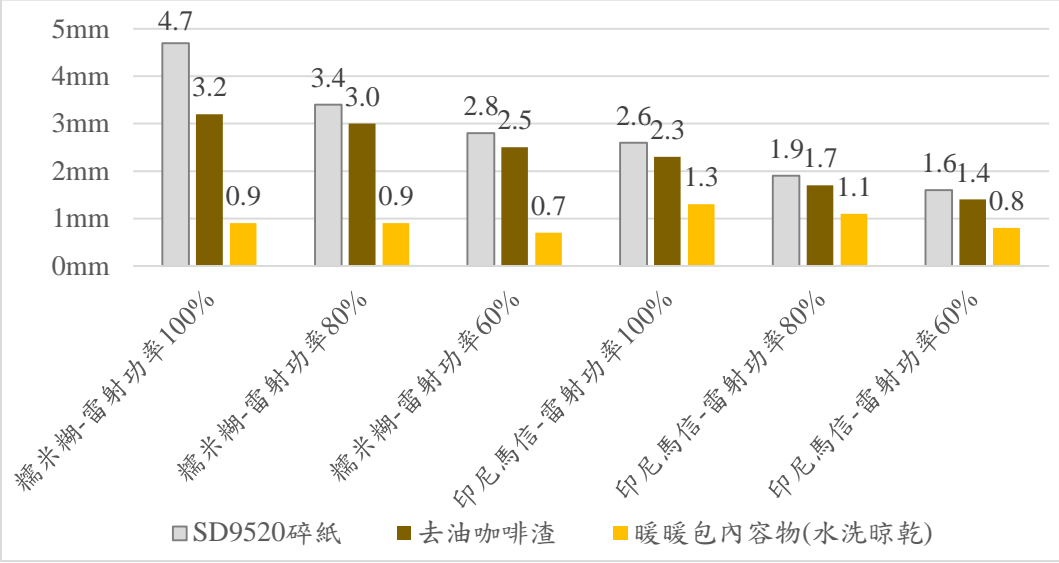


圖 4-10-1 不同再生板材的抗雷射穿透性

實驗發現：

以不同骨材來看，碎紙製成的再生板材最容易被雷射切割；暖暖包內容物切割深度最淺。以黏著劑來看糯米糊與碎紙和去油咖啡渣製成的板材較易切割，但與暖暖包內容物製成的板材卻較不易切割，有耐熱防火的特性；以印尼馬信製成的板材中，與暖暖包內容物製成的板材卻較易切深，剛好與以糯米糊製成板材相反。

伍、討論

利用咖啡渣、碎紙及暖暖包內容物等廢棄物，搭配不同黏著劑與處理方式，製作環保板材，探討影響板材強度與雷射加工特性。透過實驗，獲得以下幾點發現：

- 一、咖啡渣的去油處理對板材強度的影響：透過氫氧化鈉皂化反應與水洗去除油脂，可提升咖啡渣與黏著劑的結合力，進而提高板材強度。實驗結果顯示，隨著去油次數增加，板材的抗拉強度亦逐步上升。
- 二、黏著劑種類對板材強度的影響：在各種澱粉與非澱粉黏著劑中，糯米糊與吉利丁的膠結效果最佳，能製作較高強度的板材。
- 三、黏著劑比例對板材強度的影響：當黏著劑比例由 1:6 增加至 1:2 時，板材的抗彎折強度顯著提升。但黏著劑比例越高代表成本也越高，可依需求以不同比例製作符合要求的板材以降低成本。
- 四、不同顆粒大小的咖啡渣對板材強度的影響：採用不分篩的咖啡渣可提升板材強度，可能是因為大小顆粒混合後填充性較佳，使板材結構更為緊密。
- 五、暖暖包內容物的氧化程度對板材強度的影響：暖暖包內容物經水洗後能有效去除鹽類與雜質，提升板材強度。但若浸泡時間過長，氧化鐵轉變為鐵鏽，反而會降低板材強度。
- 六、廢紙碎片大小對板材強度的影響：實驗發現使用較細碎的碎紙製作的板材強度稍強，較大碎紙片的廢紙板材強度較低，但實驗只使用兩種尺寸的碎紙，有機會應增加不同尺寸碎紙的實驗。
- 七、板材的雷射加工特性：咖啡渣與碎紙製成的板材較易被雷射切割，暖暖包內容物製成的板材抗雷射穿透性較佳。不同黏著劑也影響板材的雷射加工效果，以糯米糊膠結碎紙與咖啡渣製板較易切割，而印尼馬信膠結暖暖包內容物較易切割。

陸、結論

透過實驗成功驗證了利用咖啡渣、碎紙和暖暖包內容物製作環保板材的可行性。結果顯示，適當的材料選擇與前處理方式，可有效提升板材的強度與穩定性，並提供可行的資源再利用建議。

- 一、咖啡渣經皂化去油處理可提升板材強度，處理過程洗出的氫氧化鈉與肥皂溶液可以作為製作肥皂的原料，經滴定測量出過量氫氧化鈉，再加入適量油脂就能得到另一個副產品（肥皂）。
- 二、糯米糊與吉利丁為最佳黏著劑，但吉利丁成本較高、工續較多，所以非澱粉類黏著劑改採印尼馬信。
- 三、不同黏著劑比例影響板材強度，比例 1:2 至 1:6 間，黏著劑比例越高板材強度越好，可以需求以不同比例製作符合要求的板材以降低成本。
- 四、混合大小顆粒的咖啡渣可增加板材強度，建議不分篩使用。
- 五、暖暖包內容物經適當水洗後可有效提升板材性能，但泡水過久產生鐵鏽會降低板材強度。
- 六、以碎紙及咖啡渣製作的環保板材具備良好的雷射加工特性，以暖暖包內容物製作的環保板材具有耐熱防火的特性。

綜合來看，透過使用不同黏著劑將三種廢棄物回收、重製再利用的方式，能減少環境負擔並提升資源利用效率，可為的環保建材開發提供參考。

