

屏東縣第 66 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：生活與應用科學科(二)

組 別：國小組

作品名稱：天然「可」隔熱，「檳」出新火花
-可可檳榔葉環保再生板

關 鍵 詞：可可果殼、檳榔葉、環保再生板

編號：A7027

天然「可」隔熱，「檳」出新火花-可可檳榔葉環保再生板

摘要

本研究主要探討影響可可果殼與檳榔葉再生板材強度與隔熱強度的因素，以打碎的可可果殼為板材主體，使用不同澱粉黏著劑和非澱粉黏著劑，並紀錄澱粉煮糊時間和不同比例之黏著劑影響的實驗數據。並加入檳榔葉，紀錄不同比例檳榔葉對於可可果殼板材的影響。

澱粉黏著劑以糯米粉製作的板材強度最高，以低筋麵粉隔熱效果最好，澱粉糊煮糊時間則以3分鐘效果最佳；非澱粉黏著劑以吉利丁製作的板材強度較高，隔熱效果以洋菜粉較佳。此外，可可果殼與黏著劑比例為7:3，強度最高，但隔熱效果和黏著劑比例呈現反比，黏著劑比例越高，隔熱效果越差。檳榔葉的比例也會影響板材效果，提高板材中檳榔葉的比例，抗彎折強度上升、隔熱效果亦上升。

壹、前言

一、研究動機:

今年的寒假，我們走訪了在地的可可農場。在解說員生動的導覽下，才驚訝地發現，原來潮濕炎熱的氣候，非常適合可可樹生長。然而，嬌貴的可可樹無法承受南臺灣烈日的直接曝曬，充滿智慧的在地農民於是發展出「林下經濟」的共生栽培模式，將可可樹種植在高大挺拔的檳榔樹下，利用檳榔樹的樹冠為可可樹遮蔭。這幅獨特的農業共生風景，深深吸引了我們的眼光。解說員提到，隱藏在果肉中的「可可豆」是製作巧克力不可或缺的核心原料，具有極高的經濟價值，可是又硬又重的果殼在取豆之後，瞬間淪為堆積如山的農業垃圾。它們不僅佔用農地空間、容易腐爛孳生蚊蠅，後續的清運與掩埋更是造成農友們極大的經濟與環境負擔。

看著這些被隨意棄置的可可果殼，我們不禁陷入沉思：這些富含天然纖維的材料，難道就沒有再利用的價值嗎？我們腦海中閃過一個靈感：是否能賦予它們第二生命，例如取代現代化學合成木板？或是效法古人建造夯實牆壁的建築智慧，將這些果殼轉化為兼具強度與實用性的綠色建材呢？

打造純天然的在地永續板材 這個念頭成為了我們著手進行本專題研究的契機。為了響應全球減碳與環保趨勢，我們決定以「去農廢」為出發點，將打碎的可可果殼作為板材主體；更巧妙的是，我們結合了農場裡為可可遮蔭的「檳榔樹」，提取掉落的檳榔葉作為強化結構的纖維。在黏合劑的選擇上，我們摒棄了傳統的化學樹脂，改採洋菜粉、吉利丁、糯米糊等純天然的材料進行凝固與膠結。我們期望透過這項「100% 生物可降解」的再生板材研究，不僅能為農民堆積如山的可可殼與檳榔葉找到一條高價值的再生之路，更能落實「取之於在地，還之於大地」的永續循環理念。

二、研究目的:

- (一)、探討可可果殼**去除內膜與不去除內膜**對板材的影響。
- (二)、探討糯米粉、高筋麵粉、低筋麵粉**不同煮糊時間**對板材的影響。
- (三)、探討不同**黏著劑(澱粉黏著劑、非澱粉黏著劑)**對板材的影響。
- (四)、探討不同**比例黏著劑**對板材的影響。
- (五)、探討不同**比例檳榔葉**對板材的影響。

三、文獻回顧

(一)、可可果的成分

可可果莢 (Pod) 是含有可可豆的硬殼果實，主成分包含木質化的外殼、白色黏稠果肉以及內部的種子 (可可豆)，果莢外殼富含多酚、黃酮類及三萜類等活性物質。成熟果莢由厚硬的果皮包裹，內部含有 20~50 粒被白色酸甜果肉包覆的種子。

果莢外殼 (Pod Husk)：佔整體果實重量的 80%。此部分含有豐富的總酚 (total phenol)、總黃酮 (total flavonoids) 及總三萜 (total triterpenes) 等抗氧化成分，具有潛在的生物活性，目前常被研發為加值化產品，如生物質原料。

白色果肉 (Pulp)：包覆在種子外圍，嘗起來甜而微酸，類似山竹風味，含有糖分，是發酵過程中微生物的主要養分。

可可豆 (Cocoa Butter)：可可豆油脂豐富，油脂成分佔 50% 至 60%，稱為可可脂，主要成分包括棕櫚酸、油酸、硬脂酸及少量亞麻油酸。

生物鹼：含有可可鹼 (Theobromine) 和咖啡因 (Caffeine)，是可可的風味及提神物質來源。

其他營養素：類黃酮多酚、膳食纖維等。

可可果莢在成熟時會由綠/紅色轉為黃色或橘紅色。果莢的厚殼在加工過程中通常會被去除，剩下內部的果肉與種子進行發酵、乾燥、烘焙等步驟來製作巧克力。可可果實 (Cocoa Pod) 採收後，最主要的經濟來源是裡面的可可種子 (即可可豆)。

經過發酵、乾燥、烘焙等複雜工序後，可可豆會被加工成可可膏、可可脂與可可粉，這些是製作巧克力及各類甜點不可或缺的原料。因為全球對巧克力的龐大需求，可可豆一直具有很高的商業價值。

			
校外參訪，觀察可可樹上的可可果實	採收後的可可果。	認識可可與其加工產品。	享用可可加工之天然巧克力。

(以上照片皆為組員拍攝)

(二)、糯米橋:早期物資缺乏且水泥昂貴，所以使用糯米、紅糖、石灰做為黏著石材的媒介，故稱糯米橋，將這三種材料依特定比例混合搗拌後，會產生強烈的化學作用，形成堅硬且帶有些微韌性的灰漿。匠人使用這種灰漿來砌築大小不一的石塊，將它們緊緊黏合在一起。

(三)、澱粉糊: 澱粉糊的糊化作用是我們日常生活中非常常見的物理與化學現象。簡單來說，它就是澱粉顆粒在水中加熱後，吸水膨脹並破裂，形成的一種黏稠、半透明的膠狀物質。

		
北港溪糯米橋石橋	北埔墩仔糯米雙安橋	糯米糰糊
來源:南投旅遊網 https://travel.nantou.gov.tw/	來源:新竹故事館 https://hsinchustory.blog/2023/07/30	來源: https://shopee.tw/buyer

(四)、吉利丁: 吉利丁是從動物（通常是牛、豬或魚）的骨頭、皮膚和結締組織中提取的膠原蛋白。因為來源是動物，所以吉利丁屬於葷食，吉利丁是一種常見的凝固材料，主要用途是幫助液體或半流質食材定型，它在冷卻後會形成穩定的凝膠狀。

(五)、洋菜粉: 洋菜粉（Agar-Agar，又稱寒天、菜燕）是從龍鬚菜、石花菜等紅藻中提煉的天然植物性膠凝劑。

(六)、麵粉糊成筋：麵粉的糊化與成筋作用是我們日常生活中非常常見的物理與化學現象。它是麵粉加水加熱後，裡面的澱粉顆粒吸水膨脹並破裂，同時小麥蛋白（麩質）相互交聯，形成的一種具備強大黏性與延展性的天然膠狀物質。

(七)、黴菌適合生長溫度和水分:溫度對黴菌的繁殖影響甚大，大多數黴菌生長的是和溫度為 25~30 度，當環境的相對濕度（RH）達到 60% 以上時，黴菌就會開始活躍，若濕度超過 80%，那簡直是黴菌的熱帶雨林，生長速度會成倍增加。

四、學習心得:

當可可豆被取出後，剩下的厚實外殼（果莢）通常佔了整個果實重量的 70% ~80%，成為龐大的農業廢棄物，這些果殼大多被視為沒有價值的農業廢棄物，直接丟棄在果園中任其腐爛，大量廢棄果莢外殼不僅會產生難聞的氣味，還容易滋生蚊蟲、黴菌，甚至引發可可樹的病害（如黑腐病），對生態與環境造成負擔。

校外參訪後我們才知道，隨著生物科技與萃取技術的進步，研究人員發現這些被丟棄的果莢其實富含對人體皮膚非常有益的成分：膠質（果膠，Pectin）：可可果莢中含有豐富的植物性果膠。果膠在化妝品工業中是非常優良的天然增稠劑與保濕劑。它能在皮膚表面形成一層透氣的保水膜，有效鎖住肌膚水分。

將上述成分從果莢中萃取出來後，就可以取代部分化學合成的保養品原料，製成純天然的個人護理產品：利用果莢萃取出的膠質作為基底，搭配其天然的保濕與抗氧化特性，能製成質地清爽且保濕效果極佳的身體或臉部乳液，結成果莢中的保濕成分與微量脂質，能有效修護乾燥脫皮的雙唇，製成護唇膏，提供深層的滋潤。

過去我們知道可可果莢外殼只能當作堆肥或任其腐爛，而現代的木製夾板又大量依賴含有「甲醛」等有毒化學物質的合成樹脂作為黏合劑。這次的實作讓我看見了「雙贏」的解方：我們不僅去化了龐大的農業廢棄物，更利用純天然的澱粉糊取代了化學膠水。這意味著我們製作出來的板材是 100% 生物可降解（Biodegradable）的，未來即使丟棄，也能完全回歸自然，不對環境造成任何負擔。

我們發現打碎的果莢殼水分較多很容易發霉，尤其沒有去除內膜的可可果殼更是充滿膠質與水分，曬乾後還是很容易發霉。後來我們知道黴菌的弱點是「高溫」與「乾燥」，我們將這些原理應用在板材的製作與保存上，板材成型後，放進定溫烘箱中，避免發霉與龜裂，影響實驗結果。

貳、研究設備與器材



烤箱



卡式爐及鍋子



食物調理機



電子秤



濾網



模具



可可殼



檳榔葉



糯米粉



高筋麵粉



低筋麵粉



吉利丁



洋菜粉



量杯

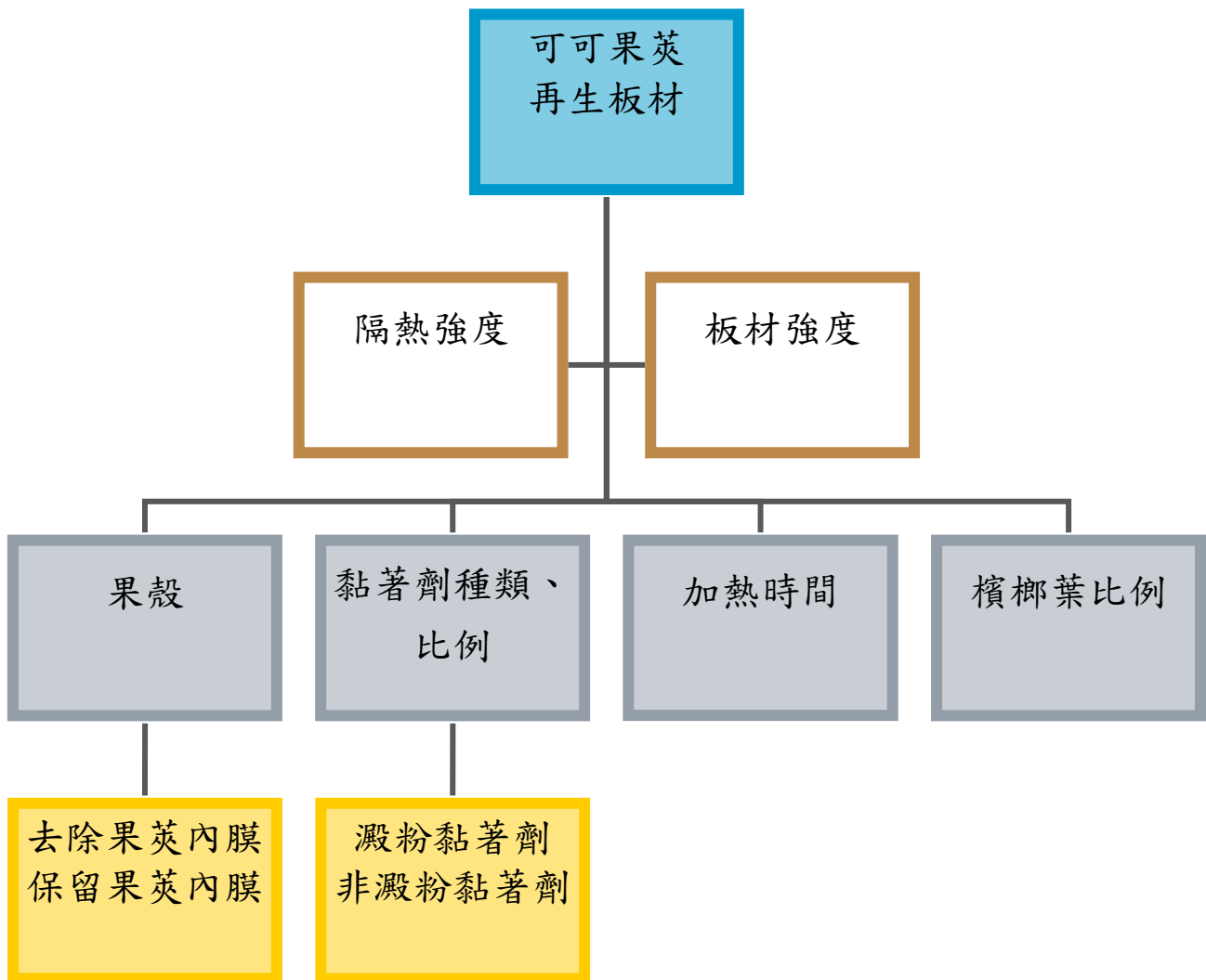


溫度計

(以上照片皆為組員拍攝)

參、研究過程與方法

一、研究架構與流程



本實驗將再生板材隔熱強度及板材強度的研究分為四個主要變項：「果殼是否去除內膜」、「黏著劑比例」、「澱粉糊加熱時間」及「檳榔葉比例」。首先，將果殼進行不同比例與黏著劑加熱混合後，製作再生板材進行隔熱及板材強度的比對。為了進一步對照果殼內膜的去留有無不同，我們混合糯米粉比對之間的不同。

接下來，我們比對不同的澱粉黏著劑種類及加熱時間，製作再生板材進行隔熱及板材強度的比對，運用「糯米粉」、「高筋麵粉」及「低筋麵粉」三種不同的澱粉類別，與可可果殼進行加熱混合。接著加入非澱粉類別的「吉利丁」及「洋菜粉」與可可果殼進行混合製作再生板材。

最後，我們加入了檳榔葉進行板材的製作與比較，比較不同比例的檳榔葉與非澱粉黏著劑「吉利丁」混合，透過不同比例的檳榔葉，分析再生板材的隔熱及強度是否有所不同。

二、 實驗設計：

(一)、實驗一：

1. 實驗說明:我們發現可可果莢中有較硬的果殼與較柔軟的果莢內膜，且內膜質地柔軟、富含膠質，內膜水分充足容易發霉，故嘗試作兩個對照，將可可果莢刮除內膜並洗淨、曬乾後打碎，另一組則不除去內膜，洗淨後曬乾打碎，分別以糯米粉漿為黏著劑製作再生環保板材，比較其強度與隔熱效果。

2. 器材準備與設定:準備去除內膜與不去除內膜之可可果殼，充分洗淨並曬乾，分別打碎，另準備糯米粉 10 克與 50cc 的水，充分調和後煮 1 分鐘，加進 100 克果殼內混合搓揉均勻加入模具，脫模後置於篩網上以定溫烘箱烘乾。製成長 12 公分、寬 7 公分的環保板材，並設定 45 度定溫烘乾。

3. 實驗流程:

 1.觀察農民採收後廢棄的可可果莢。	 2.以鐵鎚打碎。	 3.刮除內膜。	 4.洗淨。
 5.曬乾。	 6.調理機打碎	 7. 加入固定比例之糯米糊，比較去除內膜與不去內膜之可可果莢再生板之抗彎折與隔熱。	 8.定溫烘乾製成環保板材。
 9.平放於桌上，吊掛水瓶，慢慢增加水量施加重量，測試板材強度。	 10.以電湯匙煮沸水，隔著導熱板均勻導熱，記錄溫度，測試環保板材隔熱效果。	 11.反覆施作並紀錄實驗結果。	

(以上照片皆為組員拍攝)

(二)、實驗二：

1. 實驗說明: 不同澱粉、煮糊時間對可可果莢板材強度的影響，澱粉糊是常見好取得且相對便宜的黏著劑，且有煮糊時間的因素影響，所以我們挑了三種澱粉(高筋麵粉、低筋麵粉、糯米粉)以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：每種澱粉 10 克 加 50 克的水攪拌成糊狀，烹煮設定時間後撈起，將澱粉糊與 100 克去除內膜之可可果莢混合搓揉均勻加入模具，脫模後以定溫 45 度烘乾。

表 3-1-1 澱粉種類與煮糊時間明細表

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

3. 實驗流程：

 1.秤量可可果莢與澱粉重量。	 2.煮沸澱粉糊並記錄時間。	 3.以不同澱粉糊與不同煮沸時間製作板材。	 4.攪拌調和均勻。
 5.製板烘乾後測試板材強度。	 6.紀錄實驗結果。		

(以上照片皆為組員拍攝)

(三)、實驗三:

1. 說明: 不同黏著劑對可可果莢板材強度和隔熱程度的影響，
2. 器材準備及設定：高筋麵粉、低筋麵粉、糯米粉、洋菜粉、吉利丁 10g 加水 50g 攪拌，設定時間煮糊 3 分鐘後撈起，將黏著劑與 100 克可可果莢混合搓揉均勻加入模具，

脫模後以定溫 45 度烘乾。

3. 實驗流程：

			
1.準備相同比例，種類不同之黏著劑。	2.攪拌均勻和倒入模具，定溫烘乾。	3.測試環保板材強度。	4.隔著導熱板均勻導熱，記錄溫度，測試環保板材隔熱效果。

(以上照片皆為組員拍攝)

(四)、實驗四:

1. 實驗說明: 不同比例之黏著劑對可可果莢板材強度和隔熱程度的影響。

2. 器材準備及設定：將吉利丁粉均勻倒入水中攪拌並加熱，接著以不同克數比例之吉利丁與可可果殼混合搓揉均勻加入模具，打碎之果殼與黏著劑比例有 9:1、8:2、7:3、6:4，以定溫 45 度烘乾。

3. 實驗流程：

			
1.泡開吉利丁粉並加熱。	2.加進打碎之可可果莢攪拌均勻，倒入模具，定溫烘乾。	3.測試板材強度與隔熱效果。	4.反覆施作，紀錄實驗結果。

(以上照片皆為組員拍攝)

(五)、實驗伍:

1. 實驗說明: 不同比例之檳榔葉對可可果莢板材強度和隔熱程度的影響。
2. 器材準備及設定: 不同克數比例之檳榔葉與可可果莢以及 10 克吉利丁混合搓揉均勻加入模具，去除內膜打碎之可可果莢與檳榔葉之克數為 80 克 20 克、70 克 30 克、60 克 40 克、50 克 50 克，比例為 8:2、7:3、6:4、5:5，以定溫 45 度烘乾。
3. 實驗流程:



1.不同比例之檳榔葉與去內膜之可可果莢混合製成板材。



2.測試板材強度。



3.測試板材隔熱效果。



4.反覆施作，紀錄實驗結果。

(以上照片皆為組員拍攝)

肆、研究結果

一、實驗一:測試可可果殼去除內膜與不去除內膜對板材的影響。

表 5-1-1 板材強度

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均
不去除果莢內膜	3.5kg	2.8 kg	3.2 kg	3.17 kg
去除果莢內膜	4.5 kg	5.5 kg	4.8 kg	4.93 kg

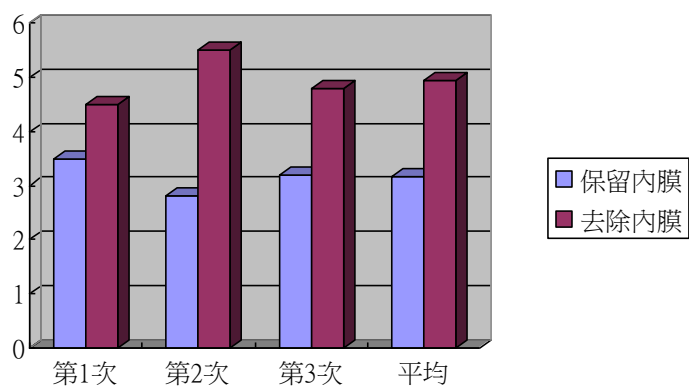
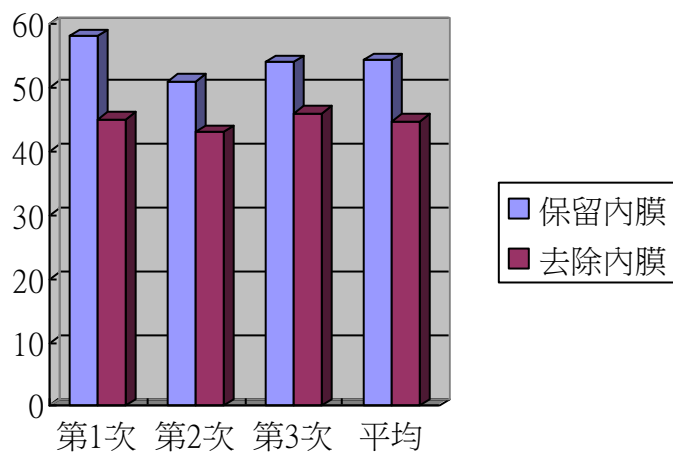


表 5-1-2 隔熱效果

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均
不去除果莢內膜	58 度	51 度	54 度	54.33 度
去除果莢內膜	45 度	43 度	46 度	44.65 度

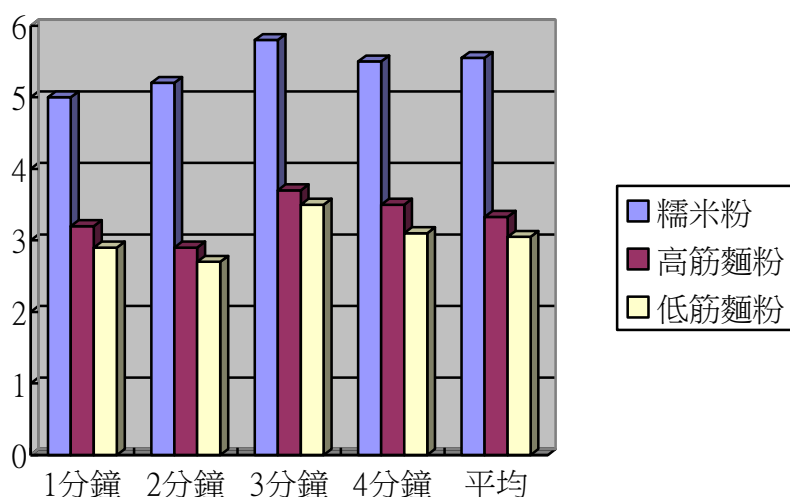


實驗討論與發現：可可果莢的內膜質地較為軟爛、富含水分或果膠。如果在製作板材時保留內膜，這些軟質組織會夾雜在堅硬的外殼纖維之間，可能會阻礙黏著劑與纖維的緊密結合。去除內膜後，留下的皆是質地較堅硬、均勻的果莢外殼纖維，能與黏著劑產生更好的交聯作用，因此大幅提升了強度與隔熱效果。

二、實驗二：探討糯米粉、高筋麵粉、低筋麵粉不同煮糊時間對板材強度的影響。

表 5-2-1 板材強度

	煮糊 1 分鐘	煮糊 2 分鐘	煮糊 3 分鐘	煮糊 4 分鐘	平均
糯米粉	5.0(kg)	5.2(kg)	5.8(kg)	5.5(kg)	5.55(kg)
高筋麵粉	3.2(kg)	2.9(kg)	3.7(kg)	3.5(kg)	3.33(kg)
低筋麵粉	2.9(kg)	2.7(kg)	3.5(kg)	3.1(kg)	3.05(kg)



實驗討論與發現：糯米粉組別的板材平均強度（5.55 kg）最高；其次為高筋麵粉（3.33 kg），最低為低筋麵粉（3.05 kg）。其中，糯米粉煮糊 3 分鐘的組別創下本實驗最高強度 5.8 kg。我們發現 3 分鐘煮糊時間可以讓澱粉糊適度的糊化，加熱時間過長會帶來反效果，過度煮糊可能會讓水分蒸發過多，導致膠體在乾燥後變得過於「脆硬」而失去韌性，反而容易斷裂，導致承受重量下降。

三、實驗三: 探討不同黏著劑(澱粉黏著劑、非澱粉黏著劑)對板材的影響。

表 5-3-1 板材強度

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	平均
糯米粉	5.4(kg)	4.9(kg)	5.7(kg)	5.8(kg)	5.45 (kg)
高筋麵粉	2.9(kg)	3.5(kg)	3.4(kg)	3.7(kg)	3.38(kg)
低筋麵粉	2.9(kg)	2.7(kg)	3.5(kg)	3.1(kg)	3.05(kg)
洋菜粉	2.7(kg)	2.5(kg)	2.7(kg)	2.9(kg)	2.70(kg)
吉利丁	5.9(kg)	5.6(kg)	5.7(kg)	6.1(kg)	5.82(kg)

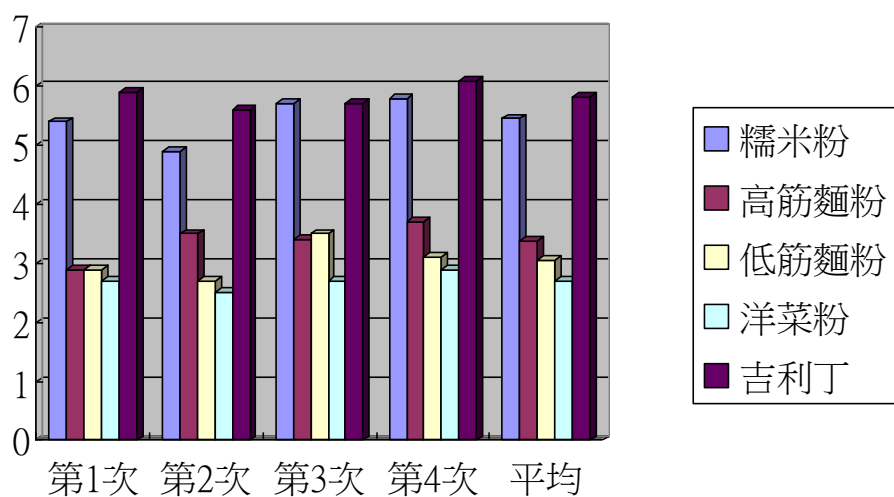
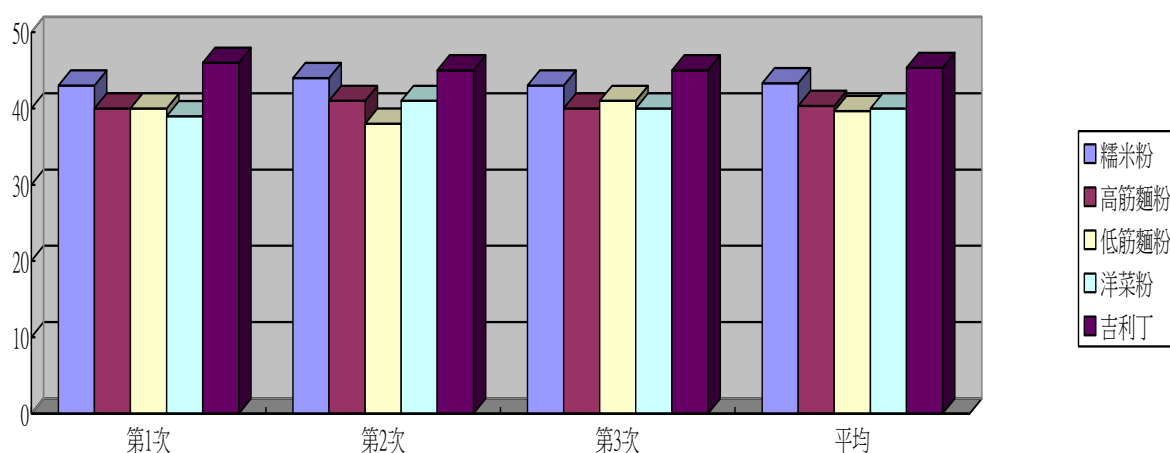


表 5-3-2 隔熱效果

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均
糯米粉	43(度)	44(度)	43(度)	43.33(度)
高筋麵粉	40(度)	41(度)	40(度)	40.33(度)
低筋麵粉	40(度)	38(度)	41(度)	39.67(度)
洋菜粉	39(度)	41(度)	40(度)	40.00(度)
吉利丁	46(度)	45(度)	45(度)	45.33(度)

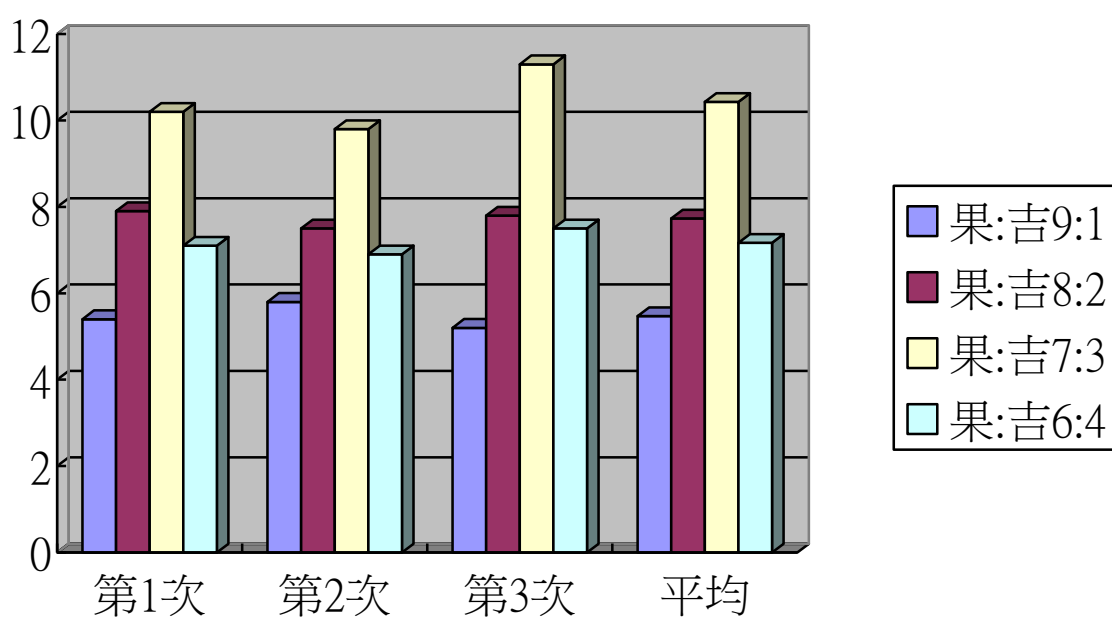


實驗討論與發現:環保板材之強度受黏著劑影響，澱粉類以糯米粉為黏著劑板材強度最高，低筋麵粉最低；非澱粉類以吉利丁強度較高，洋菜粉較低。隔熱效果以低筋麵粉為黏著劑製作的板材效果最好，吉利丁隔熱效果最差。討論後我們覺得緊密的結構比較容易傳導熱量。相反地，低筋麵粉和洋菜粉黏結力較弱，板材內部可能保留了較多的微小孔隙，而靜止的空氣是很好的隔熱層，所以會有較好的隔熱效果，但犧牲了強度。

四、實驗四:探討不同比例黏著劑對板材的影響。

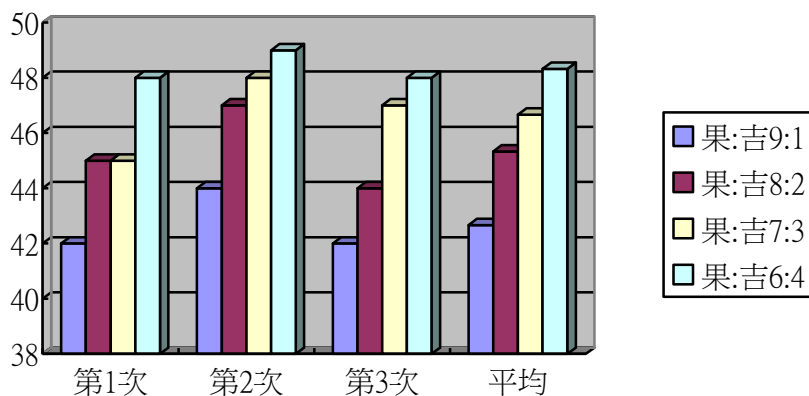
5-4-1 不同比例黏著劑對板材強度影響

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均
果莢:吉利丁 9:1	5.4(kg)	5.8(kg)	5.2(kg)	5.47(kg)
果莢:吉利丁 8:2	7.9(kg)	7.5(kg)	7.8(kg)	7.73(kg)
果莢:吉利丁 7:3	10.2(kg)	9.8(kg)	11.3(kg)	10.43(kg)
果莢:吉利丁 6:4	7.1(kg)	6.9(kg)	7.5(kg)	7.17(kg)



5-4-2 不同比例黏著劑對板材隔熱程度影響

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均
果莢:吉利丁 9:1	42(度)	44(度)	42(度)	42.67(度)
果莢:吉利丁 8:2	45(度)	47(度)	44(度)	45.33(度)
果莢:吉利丁 7:3	45(度)	48(度)	47(度)	46.67(度)
果莢:吉利丁 6:4	48(度)	49(度)	48(度)	48.33(度)



實驗討論與發現: 實驗結果顯示，當可可果莢與吉利丁的混合比例為 7:3 時，板材的結構強度達到峰值；然而，黏著劑（吉利丁）的佔比與隔熱效能呈顯著反比，亦即吉利丁比例越高，板材隔熱效果越差。

可可果莢本身富含植物纖維，具有天然的孔隙；當吉利丁比例較低（9:1）時，板材內部保留了大量富含空氣的微小孔隙，這些靜止的空氣能有效阻擋熱能傳導（42.67 度）。隨著吉利丁比例提高（直到 6:4），液態的膠質填滿了果莢纖維之間的所有縫隙。板材變得非常緻密（實心），熱能可以輕易地透過高密度的固體結構傳導過去，導致隔熱效能顯著變差（上升至 48.33 度）。

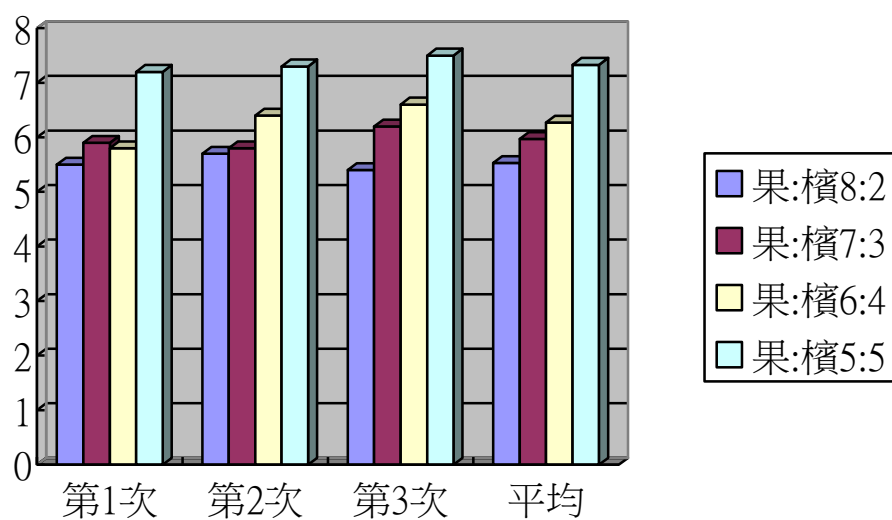
此外，吉利丁在熬煮時吸收了大量的水分。當吉利丁比例越高（6:4），板材內含的水分越多，在乾燥過程中，水分大量蒸發流失導致板材形狀扭曲捲翹，甚至龜裂，表面開始就會

出現如同乾旱泥地般的龜裂紋路，所以板材強度反而下降，所以我們發現，可可果莢與吉利的混合比例為 7:3 時，板材的強度最佳。

五、實驗五:探討不同比例檳榔葉對板材的影響。

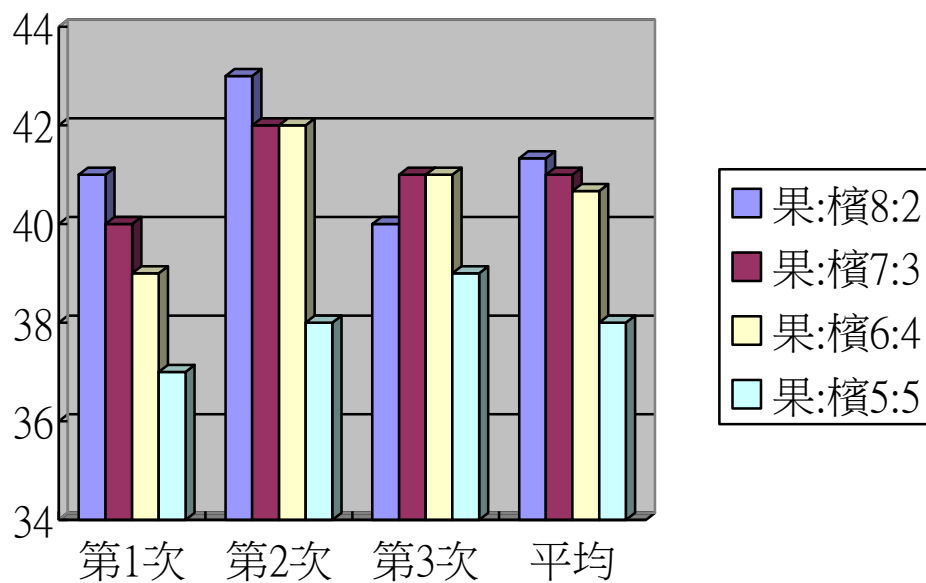
5-5-1 不同比例檳榔葉對板材強度影響

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均
果莢:檳榔葉 8:2	5.5(kg)	5.7(kg)	5.4(kg)	5.53(kg)
果莢:檳榔葉 7:3	5.9(kg)	5.8(kg)	6.2(kg)	5.97(kg)
果莢:檳榔葉 6:4	5.8(kg)	6.4(kg)	6.6(kg)	6.27(kg)
果莢:檳榔葉 5:5	7.2(kg)	7.3(kg)	7.5(kg)	7.33(kg)



5-5-2 不同比例檳榔葉對板材隔熱程度影響

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均
果莢:檳榔葉 8:2	41(度)	43(度)	40(度)	41.33(度)
果莢:檳榔葉 7:3	40(度)	42(度)	41(度)	41(度)
果莢:檳榔葉 6:4	39(度)	42(度)	41(度)	40.67(度)
果莢:檳榔葉 5:5	37(度)	38(度)	39(度)	38(度)



實驗討論與發現: 實驗結果顯示，當檳榔葉比例越高時，板材的強度越高；檳榔葉的佔比與隔熱效能亦呈正比，即檳榔葉比例越高，板材隔熱效果越好。可可果莢的纖維比較短碎、質地較鬆散；而檳榔葉擁有非常強韌、細長且密集的植物纖維。當檳榔葉比例增加時，這些長纖維在板材內部就像是交錯的鋼筋網。受到外力時，我們覺得長纖維可以幫助板材抓緊結構，防止板材斷裂，因此 5:5 的比例能承受高達 7.33 kg 的重量。加入乾燥的檳榔葉隔熱效果也極佳，我們猜想檳榔葉的纖維導熱係數較低，且讓板材內部充滿孔隙，空氣是極佳的隔熱體，因此檳榔葉加得越多，板材內部的阻熱層就越厚實，溫度自然降到了 38 度。

伍、結論

可可果莢外殼（約佔整體果實重量的 80%）中含有豐富的天然纖維，是極具利用價值的生質材料，妥善處理不僅能幫農民消耗掉龐大的農業廢棄物，更能創造加值應用。實驗過程中，我們突發奇想引入具有極佳纖維韌性的「檳榔葉」作為複合材料，希望可以提升結構強度。

參考文獻與過往經驗得知，傳統木材夾板多依賴含甲醛的化學合成樹脂作為膠結材料。為達到 100% 生物可降解的目標，我們挑選了吉利丁、糯米糊、洋菜糊等純天然材料進行測試，由實驗找出膠結效果與隔熱表現最佳的材料與比例；考量板材損壞後棄置的環境問題，我們堅持全天然配方，使板材遇水或掩埋時能受自然界微生物加速分解，不使用後可直接棄置堆肥，完全不會造成環境負擔。

綜合結論如下：

- 一、 果莢殼內膜的去除與否會決定板材品質。去除了質地較軟、含水率可能較高的內膜後，留下的純粹果莢殼硬質纖維能與天然黏著劑產生更緊密的結合；因此，去除內膜的板材不僅強度較高，亦表現出更優異的隔熱效果。
- 二、 不同的黏著劑會決定板材的特性:澱粉黏著劑中，糯米粉黏滯性強，能打造出強度較佳的板材，低筋麵粉為黏著劑時板材隔熱效果最佳；非澱粉黏著劑以動物性蛋白（吉利丁）製作的板材強度最高，隔熱效果以洋菜粉最佳。
- 三、 採用澱粉糊為黏著劑時，煮糊時間則以 3 分鐘效果最佳，可以讓澱粉糊適度的糊化，加熱時間過長會帶來反效果。
- 四、 隔熱效果和黏著劑比例呈現反比，黏著劑比例越高，隔熱效果越差。
- 五、 以吉利丁為例，果莢與黏著劑的添加比例為 7:3 時，板材強度最高；吉利丁比例與隔熱效能呈現反比關係，當吉利丁比例越高時，製成的板材質地較硬、脆，熱傳導速度快、隔熱效果越差；適度降低黏著劑比例時，則能有效提升隔熱效果。
- 六、 製作複合材料板材時，加入檳榔葉能夠提升板材的抗彎折能力，也能提升隔熱效果。當檳榔葉比例繼續增加時，板材強度與抗彎折能力上升，隔熱效果亦上升。

- 七、 若考量未來商業化應用，純天然板材易受潮發霉會是很大的物理限制。未來若能使用天然防水塗料進行表面處理，改善板材容易受潮、進而發霉、腐化的問題，將能大幅增加可可果莢板材的實用性。
- 八、 比起傳統添加化學膠水的木質夾板，我們的再生板材能更快速地被自然分解，堆肥時真正落實零廢棄的永續循環。

陸、未來研究方向

可將果殼檳榔葉板材與現行廣泛使用的環保建材甘蔗板、稻桿板進行量化比較，確切評估兩者在物理強度與熱傳導表現上的差異。

針對容易受潮的瓶頸，我們希望可以著手進行天然防水塗料測試，篩選如亞麻仁油、蜂蠟等環境友善塗料，探究在不影響生物降解性的前提下，做防水實驗，提升板材防水與防霉效果的最佳方案。

基於植物纖維豐富的孔隙結構，我們做了隔熱的實驗，未來也許可以導入隔音效能測試，量測其隔音效果。

透過上述研究的推進，希望可以完備果殼檳榔葉再生板材的應用，落實農業廢棄物再利用的永續願景。

柒、參考資料

一、全國中小學科展第 64 屆(2024)。想入啡啡，皂板有理・取自

<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=21279&sid=21645&print=1>

二、全國中小學科展第 65 屆(2025)。「廢」盡其用-運用廢棄物特性製作環保板材之 研究・取

自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/65/pdf/NPHSF2025-080217.pdf>

三、全國中小學科展第 62 屆(2022)・你以為紙板很弱?紙板承重與紙板家具製作・取自

<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=40&sid=975>。

四、食農教育知識整合平台・取自 ae.moa.gov.tw/map/food_item.php?type=AS01&id=314

五、關於糯米橋。糯米橋休閒農業區。取自 <http://www.xn--2dw500bvka.tw/about.asp>

六、黴菌。中文百科。取自 <https://www.newton.com.tw/wiki/黴菌>