

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生活與應用科學科(三)

第一名

033010

豬血灰生物膠黏劑在廟宇壁畫修復中的性能探討

學校名稱：臺北市立金華國民中學

作者： 國三 張瀚心 國三 薛如庭	指導老師： 洪佳麟
---------------------------------	------------------

關鍵詞：豬血灰、熟桐油、酸鹼滴定

得獎感言

逐夢踏實的科展之旅

很榮幸我們能在全國科展這場科學教育的指標活動中脫穎而出，獲得生應（三）第一名的殊榮。

當初選擇研究題目，是為了傳承傳統豬血灰的工法並量化配方，及探索創新方法和材料。研究的過程遠遠比我們想像的要複雜和曲折，除了很花時間翻閱文獻並進行田野訪查之外，豬血灰及熬製熟桐油的配方屢屢不佳，實驗數據反覆出錯，這段時間曾讓我們失落的想放棄！但媽媽和洪佳麟老師從旁指導我們，從錯誤中分析，反覆嘗試修改實驗設計，一步步提升成品的穩定度！每一次小小的突破，堅定我們繼續探索的決心！直到最後整理篇章、準備模擬問答，始終耐心的指引方向，鼓勵我們堅持下去！在國賽階段，更幸得吳明雄教授及劉睿荷老師的指導，悉心的給予我們專業評論，讓我們的作品更精彩豐富！

也要感謝我們的母校金華國中，在同時面臨九年級繁重課業和會考的壓力下，校長和老師們仍支持我們參加科展，並全力支援我們追求科學的夢想！是我們國中畢業邁向下一階段學習的最棒禮物！我們要將這份榮耀獻給一路陪伴引領我們的師長和家人！

參加國賽的過程中，最讓我們印象深刻的花絮是國賽前一天，我們展示的地仗層樣片和彩繪層樣片不小心被重物壓到出現裂痕，還好我們趕緊用帶來的豬血灰材料修補，最後在開展前一刻完成，那種從驚慌到成功的轉變，至今仍讓我們難忘。

這段科展旅程教會我們以更嚴謹的態度設計實驗，為了實驗成功，我們還曾連續幾晚熬夜製作實驗樣片，就算我們沒辦法使用高科技儀器，但我們仍用力所能及的實驗器材和探究能力完成研究！我們體會到團隊合作的力量，以及在挫折

時依舊堅持的可貴，我們也提升了表達與溝通能力，能更自信地傳遞研究成果。這些珍貴的經驗，將成為我們終身受用的寶藏。

榮獲全國第一，只是新的起點，科學的道路從不止息，我們希望透過這項研究，讓世界看見臺灣的傳統藝術如何融合科學思維，展現文化創新的力量。讓豬血灰這項祖先留下的智慧，透過科學繼續發光發熱，也為我們所珍視的文化資產注入新生命。

對於未來想參加科展的學弟妹，我們想說：不要害怕嘗試，不完美的開始，往往才是最真實的起點。即使中途遇到挫折，也不要輕易放棄。找對夥伴、學會求助、多觀察、多實驗，就會發現每一步努力都會累積成果。

科展對我們的影響非常深遠。除了提升了解決問題的能力，更讓我們學會了如何把一個想法一步步實現；我們會謙卑地學習、堅定地前進，期許未來能以所學回饋社會，為臺灣的文化、教育與科學盡一份小小的心力。



臺北市賽前和指導老師洪老師從學校出發，正式帶著作品踏上戰場



臺北市特優之後，又重做及新增了部份實驗，才完成的心血結晶



經過好多次的練習與修正，才能在國展時勇敢報告和接受採訪

摘要

本研究探討傳統廟宇彩繪用之「豬血灰」膠黏劑之性能，透過調製不同配比的豬血、石灰/蚵灰、熟桐油，分析其力學、黏度、透水性與老化色差等性能。創新之處為加入豆腐、蚵灰、立德粉與石膏粉製成可保存之粉狀豬血灰，並應用於實地廟宇壁畫修復。結果顯示，豬血與石灰體積比1:1、豬血灰與熟桐油比3:1最具黏著力與抗龜裂性，且環保配方具實用性與儲存性，可作為文化修復之綠色材料。

壹、前言

同組的組員曾參加廟宇建築彩繪的體驗活動，討論科展主題時提到建築彩繪的傳統技藝傳承已瀕臨斷層或失傳，於是我們到廟宇實地參訪，發現廟宇壁畫與廟門長期經鹽害風化及香火煙薰覆蓋破壞，出現褪色裂化、龜裂、起甲，甚至局部佚失，這不禁引發我們對廟宇建築彩繪的好奇，於是我們對廟宇建築彩繪結構做進一步探究，進而查詢相關科學知識，探訪耆老、匠師(油漆師與彩繪師)並針對文獻資料向他們提問；我們設計了模擬實驗，利用農漁廢料並透過實驗，除了調配出建築彩繪灰料與膠黏劑的原配比，並自製可隨調隨用的豬血灰，成功製作、復舊具實用性與環保概念的「地仗層」及「顏料層」，為文化保存、延續傳統盡一份心力。因此，為了更加了解如何調配建築彩繪灰料的最佳配比，我們提出以下研究目的：

- 一、探究廟宇建築彩繪的材料成分與工法。
- 二、「地仗層」及「顏料層」的復舊，探究灰料與膠黏劑的最佳配比。
- 三、進行樣片的力學性質測試，得到地仗層灰漿的最適配比。
- 四、自製調配出可隨調隨用且易儲運的粉狀豬血灰，並與某興建中的宮廟合作試用。

貳、研究設備及器材

為達成上述目的，我們設計了以下實驗以供進行，各項實驗器材及材料如下：

一、材料

傳統豬血灰	亞麻仁油	絲瓜瓢	珍珠板	石灰粉	明膠	豬血
自製豬血灰	亞甲藍	松香水	滑石粉	桐油	豆腐	木片
自製桐油	立德粉	海菜粉	洗手乳	醋酸	蚵灰	濾紙
汽車補土	石膏粉	離子水	鋁箔紙	酚酞	竹筷	牛皮膠
雙氧水(6%)	礦物顏料/色粉(紅、黃、藍)		蒸餾水	酒精	色票	

二、器材

電動攪拌機	長柄羊毛刷	美術刮刀	電子秤	酸鹼計	量杯
光學顯微鏡	不鏽鋼盤	廣用試紙	溫度計	拉力計	濾網
奧氏黏度計	紫外線機	酒精燈	加熱架	燒杯	砝碼
不鏽鋼篩網	不銹鋼鍋	攪拌器	石棉網	滴管	鐵鍋
刻度滴定管	塑膠手套	攪拌棒	長尾夾	剪刀	玻片

參、研究過程或方法

1、研究廟宇建築彩繪的材料、成份分析與探究施作工法

(一)研究廟宇建築彩繪的材料及成分分析

由於建築彩繪施作派別多，施作方式亦不同，且各派別的調配比例大都以獨家秘方或經驗酌量去調配…會造成實驗變因及樣本數過多，故我們將地仗層灰料研究範圍限制在**以舊復舊**的方式來進行探討，我們實驗除了探究自製的豬血灰以**豆腐、新鮮豬血**為主要材料再加上**石膏粉、立德粉**等材料做成可隨調隨用的豬血灰，更以油漆師的**新鮮豬血、熟石灰、熟桐油**以**體積比**調配出豬血灰**進行研究限制**，樣片各層的灰料皆以此為配比，**厚度為0.4cm(含麻布厚度)**；實驗中調製傳統豬血灰中的膠黏劑以熟桐油為主，豬血為輔，**摻合熟石灰製得粗灰、摻合滑石粉製得細灰**，以**粗灰、細灰的填補施做**進行實驗。

顏料層結構彩繪媒材屬於油性材質，因熬製爐底油的紅丹粉業者皆以批發販售，無法零售購得，因此，經彩繪師的建議：實驗以**熟桐油-明油加上礦物色粉調製成桐油彩**，再用毛筆描繪圖案，顏料層乾燥後再薄刷上一層熟桐油作為保護層製成實驗樣片。在查詢資料時發現到水性材質的顏料，因而選擇日常生活中易購得且與彩繪原始固色相近的**明膠、牛皮膠**為對象，與礦物顏料進行調膠工序製作實驗樣片。

(二)探究廟宇建築彩繪的施作工法

我們利用課餘時間到廟宇參訪並探訪耆老、匠師，針對文獻的資料向耆老、匠師提問；向匠師討教的過程中，我們發現彩繪施作流程中有許多細節必須注意與修正。

首先我們破解建築彩繪中地仗層「披麻捉灰」以豬血灰工法的秘密，樣本的地仗層是屬複合性材料，施作程序包含膠黏劑及灰料等濕性複合性材料的施作；麻布黏附於木基層後，須完全乾燥後才能進行灰料黏補。

地基層處理-披麻捉灰：傳統彩繪施作時，通常會先將麻布裱覆在門板、柱子及大面積的板壁上，作為彩繪施作之底，待裱覆完成後再塗敷數層的豬血灰，其作用主要是避免因天候變化產生的熱脹冷縮造成表面的彩繪龜裂。建築彩繪的施作工法：地仗層分為加入布料施作的「麻布地仗」及不加布料施作的「單皮灰」，作業中的研磨工序能提高塗膜間的密著性及擴大附著面積，一個構件需進行數次的灰料填補與研磨，研磨作業會影響灰料填補的品質；台灣當代作法：粗灰、細灰工序，依照不同工法進行不同調配，除了黏著布料需用膠黏劑，灰料也需摻入膠黏劑才能使其黏著在布料及木基底層上。以上為我們的研究，討教的經過，如圖1所示。

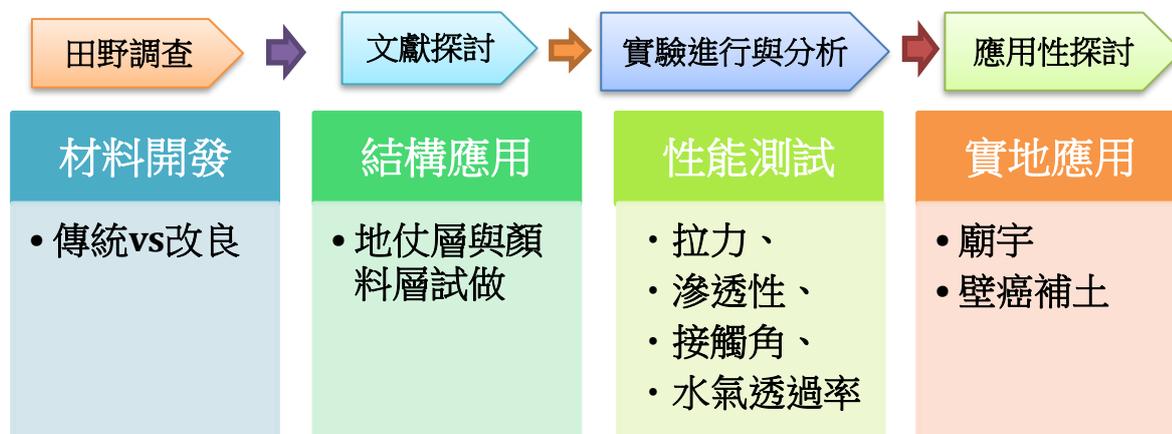


圖1 研究及探訪圖 (照片來源：自行拍攝)

2、設計實驗調配更佳的豬血灰料與熟桐油配比，並改良出較環保的製作工序

(一)我們設計了以下各項實驗步驟，希望能了解如何有效運用手邊材料及農漁廢料並做出具實用性與環保概念的「地仗層」和「顏料層」樣片，以及調配出建築彩繪地仗層豬血灰與熟桐油的原配比，研究整體流程圖如表1：

表1 研究流程圖(圖表來源：作者繪製)



(二)我們想找出能更環保及不破壞環境的工序製程，來製作建築彩繪的「地仗層」及「顏料

層」，本實驗以廢棄的農漁廢料及膠黏劑，進行本階段的實驗。

三、實驗過程與方法

(一)調製各種灰料與膠黏劑的最佳配比

實驗1-1探究廟宇建築彩繪地仗層灰作材料

實驗步驟如下列4表：

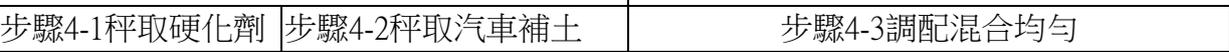
1.灰料調製：**傳統地仗層**豬血灰調配工序為取血→篩濾→點灰、攪拌→靜置發酵。

傳統豬血灰vs. 自製隨調隨用豬血灰 vs. 現代材料-汽車補土對照；並找出配方優化。

材料	新鮮豬血、熟石灰；用量以 體積比 ，比例為1：0.75、1：1、1：1.25				
工序	1-1.取血：取得未添加鹽巴的溫體豬血				
	1-2.篩濾：利用泡水後的乾草或絲瓜瓢攪散豬血，進行篩濾，去除血液的血筋與雜質				
	1-3.點灰攪拌，將熟石灰過篩倒入豬血中攪拌均勻，密封靜置發酵，開封				
圖例說明					
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 步驟1-1取血 步驟1-2篩濾 步驟1-3點灰攪拌 步驟1-4發泡狀態 步驟1-3密封 </div>				
狀態	豬血灰料為豆沙色，乾燥後呈現 抹茶綠 (照片來源：自行拍攝)				

材料	新鮮豬血、熟石灰；用量以 體積比 ，比例為1：0.75、1：1、1：1.25				
	豬血灰、熟桐油-明油；用量以 體積比 ，比例為1：1、2：1、3：1、4：1四種				
工序	2-1.取血：取得未添加鹽巴的溫體豬血				
	2-2.篩濾：利用泡水後的乾草或絲瓜瓢攪散豬血，進行篩濾，去除血液的血筋與雜質				
	2-3. 點灰攪拌將熟石灰過篩倒入豬血中攪拌均勻，攪拌均勻靜置發酵				
	2-4.加入油料攪拌：開封後，加入 熟桐油-大黏油 攪拌均勻				
圖例說明					
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 步驟2-1取血 步驟2-2篩濾 步驟2-3點灰攪拌 步驟2-4密封 步驟2-5加熟桐油 </div>				
狀態	豬血灰料為豆沙色，加入明油後呈現油亮感，乾燥後呈現 墨綠色 (照片來源：自行拍攝)				

表4 本組自製 傳統豬血灰與創新的結合 ：隨調隨用(水性/油性)粉狀豬血灰				
材料	新鮮豬血、蚵灰；用量以 體積比 ，比例為1：0.75、1：1、1：1.25			
	10g豬血灰、5g豆腐、0.2g煨燒蚵殼粉(防腐劑)、1g立德粉、1g石膏粉			
工序	熟桐油-大黏油 (可加可不加)；用量以 體積比 ，比例為1：1、2：1、3：1、4：1四種			
	3-1.取血：取得未添加鹽巴的溫體豬血			
	3-2.篩濾：利用篩網進行篩濾，去除血液的血筋與雜質			
	3-3.將蚵灰、石膏粉過篩，豬血中加入蚵灰後攪拌均勻，靜置發酵，開封			
	3-4.開封後按比例加入5g碎豆腐混合後加入0.2g煨燒蚵殼粉(具備防腐劑的效果)			
	3-5.再加入1g石膏粉拌勻，最後添加1g立德粉攪拌成稠糊狀、立德粉並攪拌均勻			
	3-6.平舖在保鮮膜上，厚度約0.1cm，置放於陰涼處自然風乾			
3-7.用研磨機研磨成細粉，即製成粉狀豬血灰，使用時 添加熟桐油-大黏油則為油性，不添加則為水性 。				
圖例說明				
				
				
				
				
步驟3-1取血	步驟3-2篩濾	步驟3-3點灰攪拌	步驟3-4逐次添加石膏粉	步驟3-5逐次添加立德粉
狀態	豬血灰料為豆沙色，加入明油後呈現油亮感，乾燥後呈現墨綠色 (圖表來源：作者繪製)(照片來源：自行拍攝)			

表5 現代材料-汽車補土(對照組)		
材料	水性補土：汽車補土、硬化劑	
步驟	1.秤取600g汽車補土	
	2.秤取6g硬化劑	
	3.將汽車補土與硬化劑混合均勻	
工序	1.調製：取汽車補土及硬化劑充分混合均勻	
	2.養護：養護數小時即可	
圖例說明		
		
		
步驟4-1秤取硬化劑	步驟4-2秤取汽車補土	步驟4-3調配混合均勻
狀態	汽車補土為淡黃色，乾燥後呈現亦為淡黃色 (圖表來源：作者繪製)(照片來源：自行拍攝)	

2.煉製熟桐油-大黏油調煮：熟桐油煉製工序為生火熱鍋→倒入生桐油→製得大黏油。

煉製桐油，油量為鍋子的總容量1/3~1/4，過程中須不斷攪拌，觀察油料顏色變化，溫度加熱至270~300℃間即製得大黏油，如表6所示。

表6 熟桐油熬煮時間與狀態變化表

(圖表來源：作者繪製)(照片來源：自行拍攝)

熬製時間	12分鐘	18分鐘	21分鐘
桐油油溫	60℃	100℃	130℃
圖示			
桐油變化	尚無法拉絲	尚無法拉絲	尚無法拉絲
熬製時間	25分鐘	30分鐘	33分鐘
桐油油溫	160℃	210℃	220℃
圖示			
桐油變化	拉絲3cm，桐油滴入水中散開	拉絲9cm，滴入水中稍結片狀，開始冒白煙	拉絲9-12cm以上，滴入水中結實不散，開始膠化

熬製時間	40分鐘	43-44分鐘	45-46分鐘
桐油油溫	260°C	260-270°C	270-300°C
圖示			
桐油變化	拉絲9-12cm，滴入水中呈現實珠狀，此階段的油可作為調色用	拉絲12-30cm，滴入水中呈現實珠狀，有聚光效果	拉絲30cm以上滴入水中呈現實珠狀，有聚光效果，此階段的油為大黏油

3.

發現與突破

在歷經熬製熟桐油的接連挫敗與不斷嘗試錯誤之後，我們不斷進行小組討論和檢視熬製流程，但是因為實驗設備與時間的限制，讓我們的研究出現了許多待解決的問題。科技來自人性，在一次偶然的偷懶下，我們突發奇想將生桐油用微波加熱，家用微波爐的輸出功率700W，微波爐設定為火力：中、定時3分鐘，微波加熱後的生桐油放置室溫下冷卻製成熟桐油，如表7所示。



圖2 微波爐加熱圖
(照片來源：自行拍攝)

(圖表來源：作者繪製)

表7 桐油微波時間溫度表

(照片來源：自行拍攝)

微波時間	1分鐘	2分鐘	3分鐘
桐油油溫	210°C	260°C	300°C
室溫下冷卻	室溫25°C-26°C	室溫25°C-26°C	室溫25°C-26°C
	相對濕度小於50%以下	相對濕度小於50%以下	相對濕度小於50%以下

圖 示			
桐油變化	拉絲9cm，滴入水中稍結片狀，開始冒白煙	拉絲9-12cm，滴入水中呈現圓珠狀，此階段的油可作為調色用	拉絲30cm以上滴入水中呈現圓珠狀，有聚光效果，此階段的油為 大黏油

4.煉製熟桐油-明油的調煮：熟桐油煉製成大黏油→隔水冷卻並攪拌→過濾→製得明油，如圖3所示。大黏油繼續熬煮並隔水冷卻，冷卻時需不斷攪拌，並過濾油料，即製得明油。

			
熟桐油-大黏油	隔水冷卻並攪拌	過濾油料	熟桐油-明油

圖3 熟桐油-明油製作圖

(照片來源：自行拍攝)

5.調製(油性)礦物顏料：

- (1) 傳統彩繪顏料仍是以**熟桐油-明油**來**調配色粉**，先將礦物性色粉20g用研鉢研磨極細。
- (2) 用300ml熟桐油及200ml亞麻仁油調製，如果需要稀釋再加入約20ml松香水，如圖4所示。

		
研磨礦物性色粉	調配熟桐油與亞麻仁油	加入松香水稀釋調配

圖4 調配油性顏料

(照片來源：自行拍攝)

6.調製(水性)礦物顏料：

- (1) 將日常生活易購得的膠黏劑：明膠、牛皮膠各秤取2g，加入冷水直至沒過膠粒，直至膠粒吸水膨脹後，以隔水加熱的方式調煮配製5%約40ml液態膠黏劑。

- (2) 將礦物顏料放置研鉢中，充分研磨，再取出置於調色碟內，並分別加入少量的明膠液、牛皮膠液，其份量為顏料質量的1.5~2倍。
- (3) 加入膠黏劑的多寡會影響顏色的呈現，以手指由外向內畫圓混和，需少量多次混合均勻，如圖5所示。



圖5 調配水性顏料 (照片來源：自行拍攝)

實驗1-1小結：

- (1) 過濾後的豬血加入熟石灰或蚵灰攪拌，過程中會發泡且顏色慢慢變深，轉成暗紅色表示已發酵，製作細灰時添加滑石粉，豬血顏色會變成磚紅色。
- (2) 攪拌好的豬血灰進行批土工序時，會慢慢變成墨綠色；未使用完的豬血灰上方可鋪濕報紙或蓋一層牛皮紙再加水，可避免豬血灰乾掉。
- (3) 熬製熟桐油全程需以文火慢煮，熬煮中會出現泡沫，當鍋邊開始冒出白煙表示水分在蒸發，泡沫會逐漸變少。

(二)以「地仗層」及「顏料層」，實際進行壁畫的復舊。

實驗2-1地仗層樣片施作

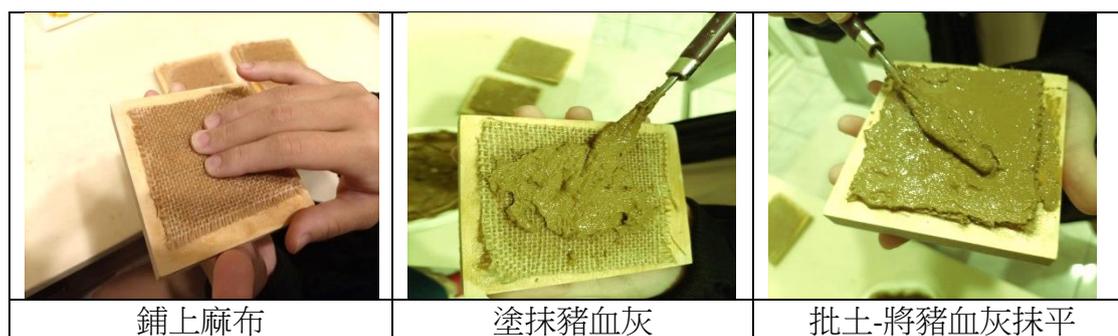
- 1.實驗方法：本研究以地仗層為實驗主體製作實驗樣片；施作方式以粗灰、細灰的填補進行實驗，施作結構如圖6所示。



圖6 地仗層結構分層示意圖 (作者自行設計)

- 2.施作程序：塗抹發酵豬血→麻布披覆→豬血灰料填補(粗灰)→裁切麻布→靜置乾燥→研磨→豬血灰料填補(細灰)→靜置乾燥→研磨

- (1)披麻前先將木板以 # 180細砂紙磨過使之平滑，再均勻塗刷上發酵豬血後，即可批上麻布。披麻時，需與木板緊密接合避免空隙，四周要保留1~2公分的空間，讓發酵豬血可直接塗敷在木板邊緣上。
- (2)麻布上再均勻塗刷上一層豬血灰(粗灰)，均勻塗抹後靜置乾燥。
- (3)將翹起的麻布用美工刀進行裁切，披麻乾燥後再用 # 80粗砂紙研磨。
- (4)於乾燥的麻布上均勻抹上豬血灰(細灰)，乾燥後再用 # 180細砂紙研磨。如圖7所示。



鋪上麻布

塗抹豬血灰

批土-將豬血灰抹平

圖7 地仗層施作圖

(照片來源：自行拍攝)

實驗2-1小結：

- (1)灰料填補-木板：豬血灰只要在木板上薄薄一層即可，若木板不平整或開裂，可將其填入孔隙或裂縫中，並用刮刀將表面刮平整。
- (2)灰料填補-麻布：若使用的麻布面積較大(通常是寬30公分)，灰料填補就需從布料邊緣及間隙開始填補，以避免厚薄不均造成的施作缺失。
- (3)若不研磨直接填補灰料，會影響下一次灰料填補的品質；需仔細研磨就能增加附著面積並提高密著度。

實驗2-2顏料層樣片施作

- 1、實驗方法：本研究以地仗層施作後再施作顏料層作為實驗主體製作實驗樣片。如圖8所示。



圖8 顏料層結構分層示意圖 (作者自行設計)

- 2、施作程序：塗抹底色層→靜置乾燥→塗抹顏料層→靜置乾燥。
- (1) 地仗層施作後進行養護，完成後即進行顏料層施作。

(2) 礦物顏料與黏著劑混合後分別塗刷底色層和顏料層，顏料塗抹於表面後以井字來回塗刷10次，自然晾乾後製得顏料層模擬樣片，完全乾燥的樣片即能進行實驗。如圖9所示。

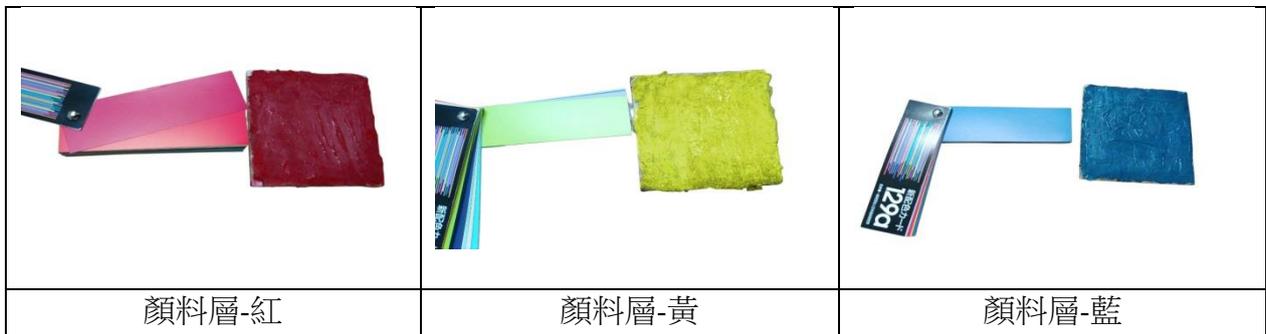


圖9 顏料層樣片圖

(照片來源：自行拍攝)

實驗2-3地仗層血料分析試驗

根據此次訪談的資料顯示：因廟宇會定期翻修，有些廟宇的地仗層材料已不再使用豬血灰，為了解廟宇建築彩繪地仗層材料為何種複合性材料，以避免後續修復時使用錯材料造成毀壞，故實驗設計依文獻資料調配0.05%亞甲藍溶液，其實驗步驟如下：

- 1、以亞甲藍粉末加上酒精與水，最後調配製成0.05%亞甲藍溶液100g。
- 2、取30%雙氧水20g加入80g的水，充分混合均勻，調製成6%濃度的雙氧水。
- 3、調配檢驗溶液比例：0.05%亞甲藍溶液：6%雙氧水= 1：4，再刷上不同的地仗層樣片，如圖10所示。



圖10 血料檢驗分析圖

(照片來源：自行拍攝)

實驗2-3小結：

- (1) 樣本試劑呈現陽性透明無色反應為「+」，樣本試劑呈現陰性淺藍色反應為「-」。
- (2) 汽車補土為陰性淺藍色反應，豬血灰為陽性透明無色反應。

(三)性能初篩

實驗3-1酸鹼滴定推定主要官能基

原理：蛋白質膠黏劑（如豬血灰膠）中含有（-OH）、（-NH₂）等官能基，其酸鹼性可分別以不同指示劑的顏色轉變範圍來粗略辨識。

實驗方法：

1. 取 0.5 mL 膠黏劑溶液，加水至 10 mL（約 0.05ml/L），置於量杯A中並加入 2 滴酚酞。
2. 進行滴定，記錄溶液由無色轉粉紅的體積 V₁（mL），如圖11所示。

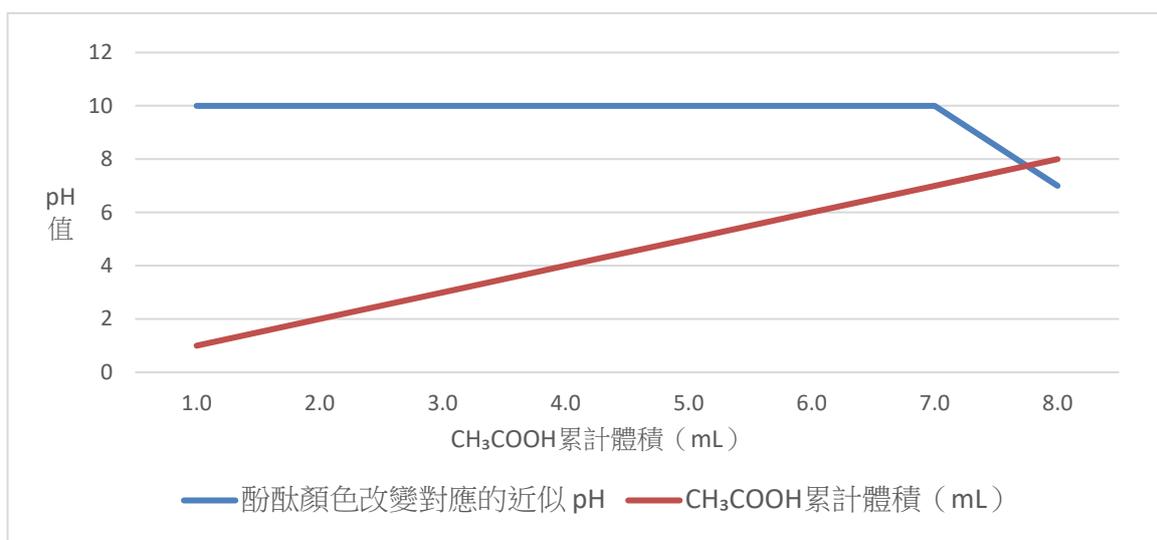


圖11 酸鹼滴定折線圖(圖表來源：作者繪製)

3. 繪製滴定曲線：x軸為CH₃COOH累計體積（mL），y軸為酚酞顏色改變對應的近似 pH（利用 pH 試紙對照色卡），如圖12所示。



圖12 酸鹼滴定及試紙顏色對照圖 (照片來源：自行拍攝)

4. 若酚酞終點（V₁）在約 8 - 9 mL，暗示（-NH₂）／（-OH）類官能基存在。

實驗3-1小結：

1. 經測試，當本實驗中酚酞pH值為約8.4-10.0時，溶液會從無色轉變為紅色。
2. 最終酚酞終點（V₁）在8ml（V₁）時，溶液由無色轉變為紅色，即推論出豬血灰中含有（-NH₂）／（-OH）類官能基。

實驗3-2地仗層樣片拉力試驗

實驗方法：

1. 配製明膠溶液、牛皮膠溶液、熟桐油-明油，對照組為汽車補土，並在地仗層樣片上刷塗兩遍，待溶液被吸收到一定程度，靜置晾乾。
2. 放置一週，乾燥後用簡易拉力計對各組地仗層樣片進行拉拔測試，因不穩定因素較多，每個濃度的樣片為5組，並取其平均值比較並記錄，如圖13所示。
3. 畫誤差條。

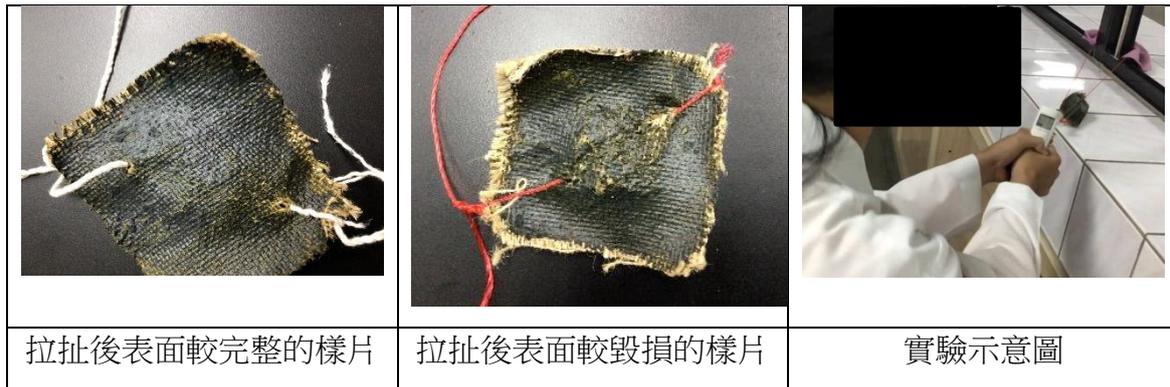


圖13 拉力實驗圖

(照片來源：自行拍攝)

實驗3-3熟桐油黏度試驗

奧氏黏度計的原理是利用液體在毛細管中流動的時間，來測量判斷液體的黏度。

實驗方法：

1. 確保奧氏黏度計乾淨，將其烘乾備用。
2. 溫度控制：將奧氏黏度計放置在恆溫環境中，並控制溫度在 $(25.0 \pm 0.1) ^\circ\text{C}$ 。
3. 使用移液管將不同溫度下熬製的熟桐油依次加入奧氏黏度計中。
4. 將黏度計在恆溫下垂直固定，保持5-10分鐘，讓各組受測的熟桐油溫度達到平衡。
5. 使用洗耳球吸入試樣，使液面上升到標尺A之上1cm處，然後拔出洗耳球。
6. 使用手機秒表測量液體從A到B刻度流動所需的時間。重複測量：重複步驟5和6五次，每次的時間差異不超過0.3秒，取平均值作為最終結果。
7. 將各組受測的熟桐油倒出，用熱風吹乾黏度計，並用蒸餾水清洗。
8. 標準測量：將蒸餾水加入黏度計，按照上述步驟重複測量，並記錄蒸餾水流動時間，作為標準值，如圖14所示。

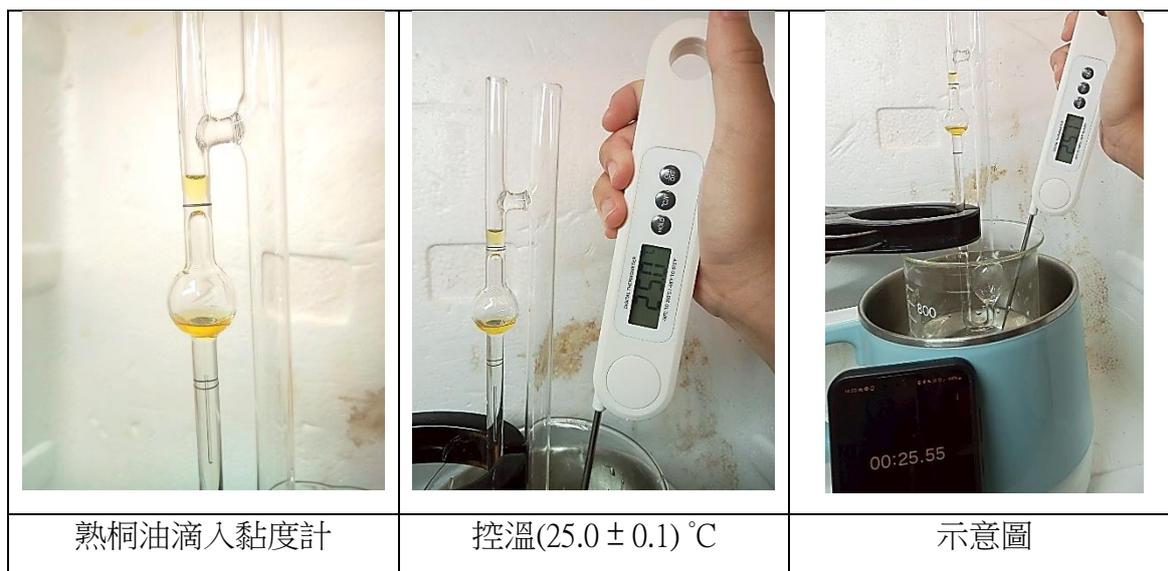


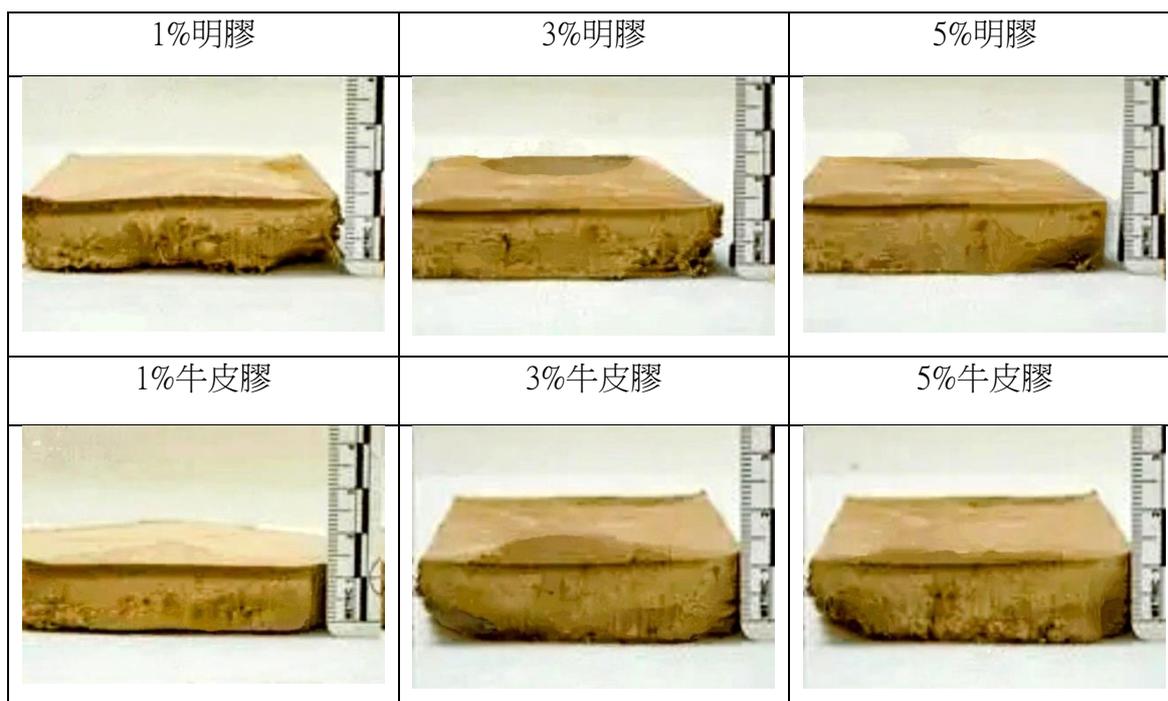
圖14 黏度試驗圖

(照片來源：自行拍攝)

實驗3-4 地仗層樣片滲透性試驗。

實驗方法：

1. 地仗層主要作用為減緩木基底層劣化，防腐防潮與維持顏料層美觀，選擇地仗層樣片作為實驗對象，配製1%、3%、5%的明膠溶液、桃膠溶液、牛皮膠溶液、魚膘膠溶液，用滴管吸取1ml膠液，分別在地仗層樣片進行滴滲直至完全滲透。
2. 將地仗層樣片切開，測量膠液浸潤的平均深度(滲透性)，觀察並記錄，如圖15所示。



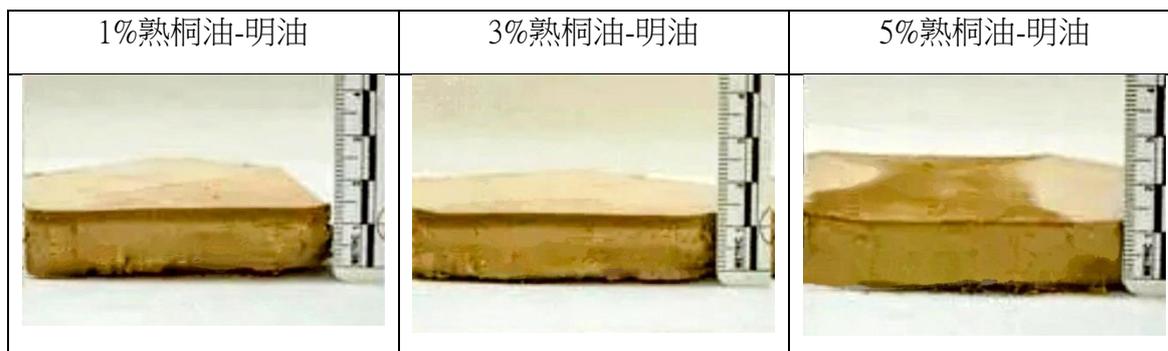


圖15 樣片滲透圖

(照片來源：自行拍攝)

(四)、耐候與環境適應試驗

實驗4-1建築彩繪樣片老化實驗前後色差

老化實驗是以紫外線燈模擬戶外太陽照射的環境，並加上溫濕度的控制模擬日夜溫差，所帶來的溫濕度變化，試驗建築彩繪樣片是否具有耐候性質。

實驗方法：

1. 配製1%、3%、5%的明膠、牛皮膠溶液、熟桐油-明油，在彩繪樣片上刷塗兩遍。
2. 將各建築彩繪樣片用鋁箔紙將樣片1/2包裹遮蔽起來，包裹處為老化前，包裹後為老化後，每三片一組。
3. 將各建築彩繪樣片放置在波長395nm、環境溫度30°C、相對溼度46%的紫外線機照射120小時進行老化實驗，8個小時為一循環，共執行15次。
4. 以色票對建築彩繪樣片滲透前後的色差，進行顏色差異分析比較，測試5次取平均值並記錄，如圖16所示。
5. 我們利用顏色 Delta E 在線計算機計算出 ΔE ，來衡量明膠溶液、牛皮膠溶液、熟桐油-明油作為保護材料施加前後對顏料層顏色改變的程度。若 ΔE 小於1.5，可視為保護材料顏色基本沒有變化。若 ΔE 大於3時，則物質顏色會產生明顯改變；以此做為顏料層試體色差深淺的判斷標準。

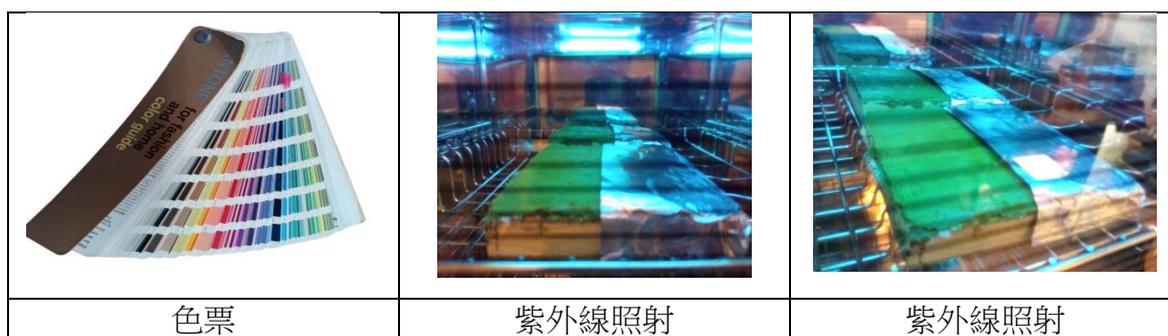


圖16 紫外線照射測試圖

(照片來源：自行拍攝)

實驗4-2建築彩繪樣片接觸角試驗

實驗方法：

1. 配製1%、3%、5%的明膠、牛皮膠溶液、熟桐油-明油，並在彩繪樣片上刷塗兩遍。
2. 彩繪樣片上的膠液乾燥後，將離子水垂直滴在樣片表面，用手機攝影計算接觸角，測試5次取平均值並記錄。
3. 為避免實驗數據誤差，我們使用PicPick 程式，PicPick具圖像編輯和標註功能的軟件，測量後即可求出接觸角，如圖17所示。



圖17 接觸角試驗圖

(照片來源：自行拍攝)

實驗4-3建築彩繪樣片水氣透過率。

實驗方法：

1. 配製1%、3%、5%的明膠溶液、牛皮膠溶液、熟桐油-明油，一組建築彩繪樣片未塗刷另一組則在建築彩繪樣片上刷塗兩遍。
2. 乾燥後，塗刷石蠟將建築彩繪樣片密封在裝有100ml蒸餾水的燒杯上，在恆溫恆濕的環境中放置一周，環境因素控制在溫度 $26\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、濕度 $80\pm 2\%$ 內。
3. 每天秤重，觀察並記錄，如圖18所示。

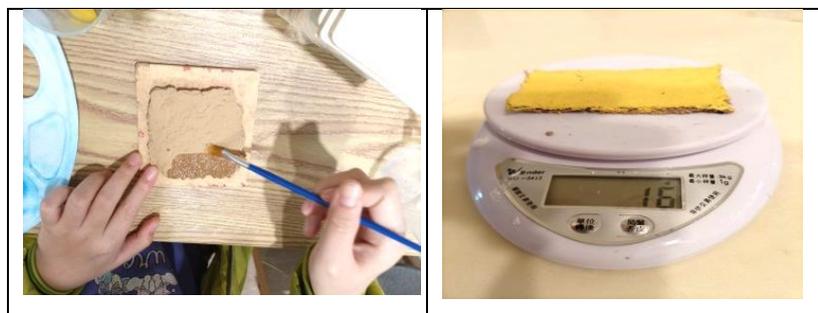


圖18 水氣透過率試驗圖

(照片來源：自行拍攝)

肆、研究結果

一、調製各種灰料與膠黏劑的最佳配比

(一)實驗1-1探究廟宇建築彩繪地仗層灰作材料

實驗結果：

1. 灰料調製實驗結果：

(1)是否製作成功需觀察靜置後的發酵反應，若是在夏季或是室內溫度較高，反應時間大概30~40分鐘；若是在冬季或是室內溫度較低，反應時間約為1~2 小時。檢視豬血灰若發現豬血仍具黏性且呈稠狀，則是成功；反之，若豬血不具黏性呈稀薄狀且帶有腥臭味，則是失敗。如圖19所示。

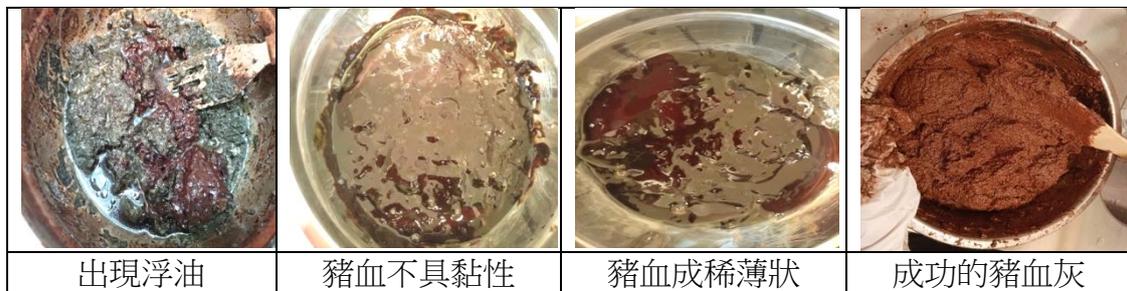


圖19 調製豬血灰圖

(照片來源：自行拍攝)

(2)豬血灰發酵一週後聞起來類似潮濕沼澤的腥味，加入熟桐油後腥味幾乎消失，僅有熟桐油的味道。

(3)豬血灰能附著於木棒上為最佳的稠度，本身易乾燥，無法一次就完成批土。添加熟桐油-大黏油能軟化豬血灰，批土時較為柔順。

(4)豬血灰其優點為：能有效減少漆料使用，而採用蚶灰製成的豬血灰乾燥後硬度較高，並能減少蚶殼造成的環境污染；缺點為：製程耗時且易失敗，會因豬血中的防凝劑過量影響原料的處理，或石灰用量過當、點灰時過快、攪拌速度過快或攪拌時間過多，皆會導致製作失敗，且新鮮豬血取得不易，石灰用量過當如圖20所示。

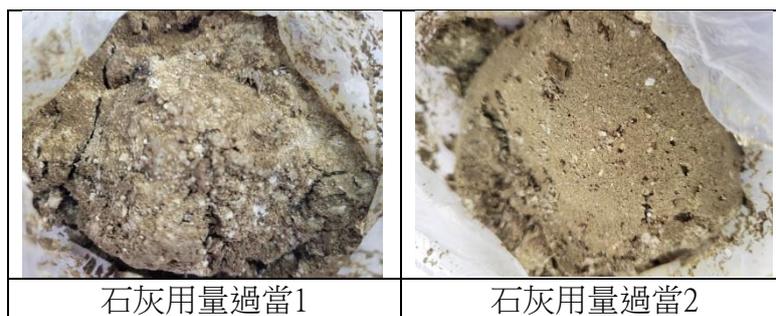


圖20 石灰用量過當圖

(照片來源：自行拍攝)

2. 煉製熟桐油結果：

- (1) 熬煮後的熟桐油需蓋上一層保鮮膜密封保存，因熟桐油與空氣接觸後會乾燥硬化，文火熬製相當費時費力，且稍一不慎便失敗，而用微波加熱的方式製得的熟桐油，省時省力且大大提高成功率。
- (2) 最佳豬血灰配方：豬血與熟石灰/蚵灰配比：**1：1黏度最高**、且經實驗試驗是三組比例中最晚出現龜裂；而**1：1.25乾燥時間最快**，推測原因為熟桐油具有快乾特性，因此乾燥時間最快。
- (3) 最佳豬血灰與熟桐油配比：實驗過程中發現：將調配好的豬血灰捏成雞蛋狀，靜置於通風陰涼處待其內外部皆乾燥，丟入水中，若是浮在水面上，表示桐油添加的量是足夠的。用這樣的方法測出來的豬血灰與熟桐油調配比例為**3：1**和**4：1**，而1：1和1：2則沉於水中，表示其油量是不夠的。

二、以「地仗層」及「顏料層」，實際進行壁畫的復舊結果

(1) 實驗2-1地仗層樣片施作發現與結果：

1. 因豬血灰具有韌性，若油質不夠，常常無法一次就完成批土，須來回數次；在來回多次的情況下，又容易把前一次批的土又再次刮起；這是工法上難以避免的。
2. 地仗層樣片完成豬血灰塗抹後，須放置於陰涼通風處乾燥，若置放於大太陽底下曝曬，地仗層樣片會鼓起且龜裂。

(2) 實驗2-2顏料層樣片施作發現與結果：

1. 顏料層樣片使用紅、黃、藍三原色天然礦物顏料，將顏料放置研鉢中，充分研磨後與膠黏劑調和後，再塗刷至樣片上，發現經研磨後的礦物顏料，更容易充填樣片表面的細小缺陷及表面的凹凸不平。
2. 顏料需研磨讓粒徑變小，可讓樣片顏色更均勻，提高一致性。

(3) 實驗2-3地仗層血料分析發現與結果：

1. 實驗過程中發現，水性豬血灰及油性豬血灰皆為陽性反應，汽車補土為陰性反應，透過地仗層血料分析可確認地仗層所使用的材料是否為豬血灰；地仗層為豬血灰在修復上則不可使用樹脂或汽車補土、白糊土等現代化地仗層材料，時間一久會造成地仗層起甲、空鼓等毀壞。
2. 豬血灰血料中的血液是何種物質會催化亞甲藍還原反應的原因尚須更進一步的探究。

三、性能初篩

(1) 實驗3-1酸鹼滴定推定主要官能基發現與結果：

1. 當本實驗酚酞pH值為約8.4-10.0時，溶液會從無色轉變為紅色。
2. 當CH₃COOH滴定豬血灰溶液的體積達約8ml (V₁) 時，溶液由無色轉變為紅色，即推論出豬血灰中含有 (- NH₂) / (- OH) 類官能基。
3. 胺基 (- NH₂) 可與甲醛類或酸性羧基反應，形成網狀結構，提高黏著力與防水性，且某些胺基多肽具有弱抗菌性，可延長表面保存壽命。而 (- OH) 類官能基可增強水溶液的黏稠度與薄膜彈性，幫助填補細微裂痕，也可調整豬血灰的接觸角與透氣性。

(2) 實驗3-2彩繪樣片拉力強度試驗發現與結果：

1. 樣片表面的平整度、不同濃度的膠液滲透性差異均會對拉力測試結果產生影響，當樣片達到無法承受的力量時，表面會裂開。
2. 牛皮膠膠液、明膠膠液濃度均為3%，拉力極限強度分別為27、21kg以上，熟桐油-明油、汽車補土拉力極限強度分別為35、18kg以上，資料如表8與圖21所示。
3. 各膠黏劑的黏結強度都隨膠液濃度的上升而增加，熟桐油-明油的黏結強度優於其他。

表8 四種膠液的樣片拉力實驗數據表(圖表來源：作者繪製)

膠液拉力 (kg)	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均	最大-平均	平均-最小
明膠溶液	20.76	20.38	20.45	20.08	21.02	20.538	0.482	0.458
熟桐油-明油	34.69	36.67	35.48	34.86	36.08	35.556	1.114	0.866
牛皮膠溶液	26.02	28.08	26.87	26.46	27.84	27.054	1.026	1.034
汽車補土	18.16	19.43	18.76	18.67	19.22	18.848	0.582	0.688

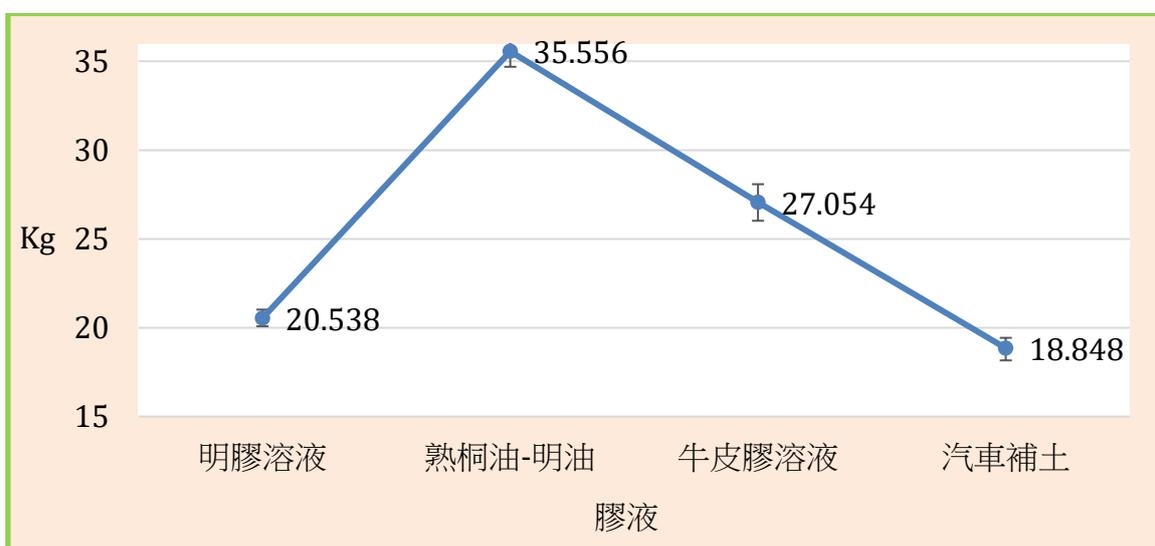


圖21 拉力強度vs.不同膠黏劑濃度(圖表來源：作者繪製)

(3) 實驗3-3熟桐油黏度試驗發現與結果：

1. 不同溫度下的熟桐油黏度，隨加熱時間增加而升高。
2. 熟桐油加熱12分鐘時溫度為60°C，18分鐘時溫度為100°C，21分鐘時溫度為130°C，25分鐘時溫度為160°C，30分鐘時溫度為210°C，33分鐘時溫度為220°C，40分鐘時溫度為260°C，43-44分鐘時溫度為260-270°C，45-46分鐘時溫度為270-300°C，46分鐘時溫度為300°C，各測量時間點的黏度值，如圖22所示。

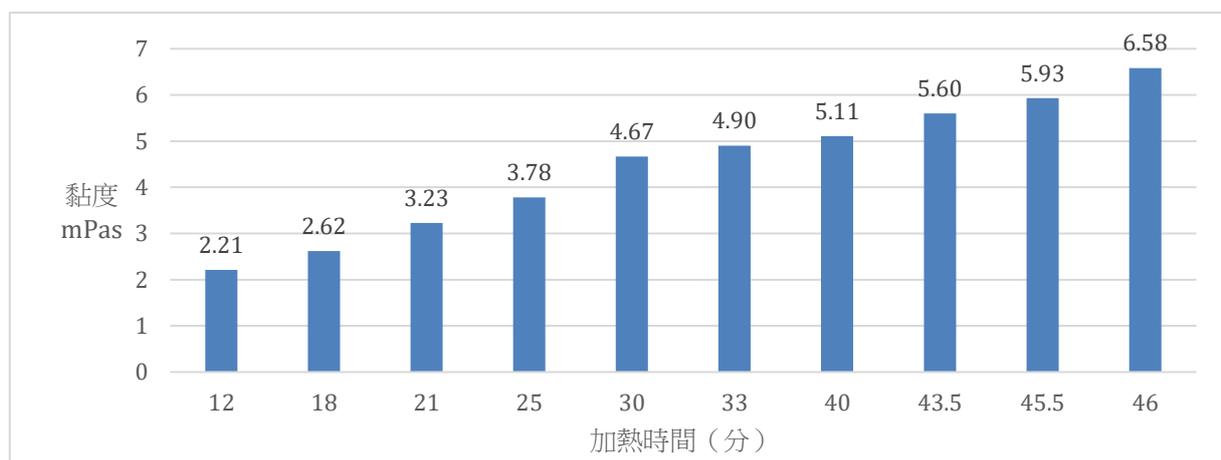


圖22 熟桐油隨加熱時間的黏度變化圖(圖表來源：作者繪製)

(4) 實驗3-4樣片滲透性試驗發現與結果：

1. 當牛皮膠液濃度為1%、3%、5%時，滲透深度平均值分別為3.1 mm、2.8 mm、1.9 mm；當明膠液濃度為1%、3%、5%時，滲透深度平均值分別為3.0、2.5、1.0 mm；當熟桐油-明油濃度為1%、3%、5%時，滲透深度平均值分別為1.9mm、1.3mm、0.3 mm。
2. 明膠溶液、熟桐油-明油及牛皮膠的滲透深度，隨著膠液濃度的增加而減小，牛皮膠的滲透深度優於明膠及熟桐油-明油，膠液濃度為5%時，差距較為明顯。
3. 對滲透加固後的乾燥樣片再次進行縱向切割，可在地仗層上層發現一層很薄、質地較脆的層位，且用美工刀即可與下層地仗分離開，如圖23所示。

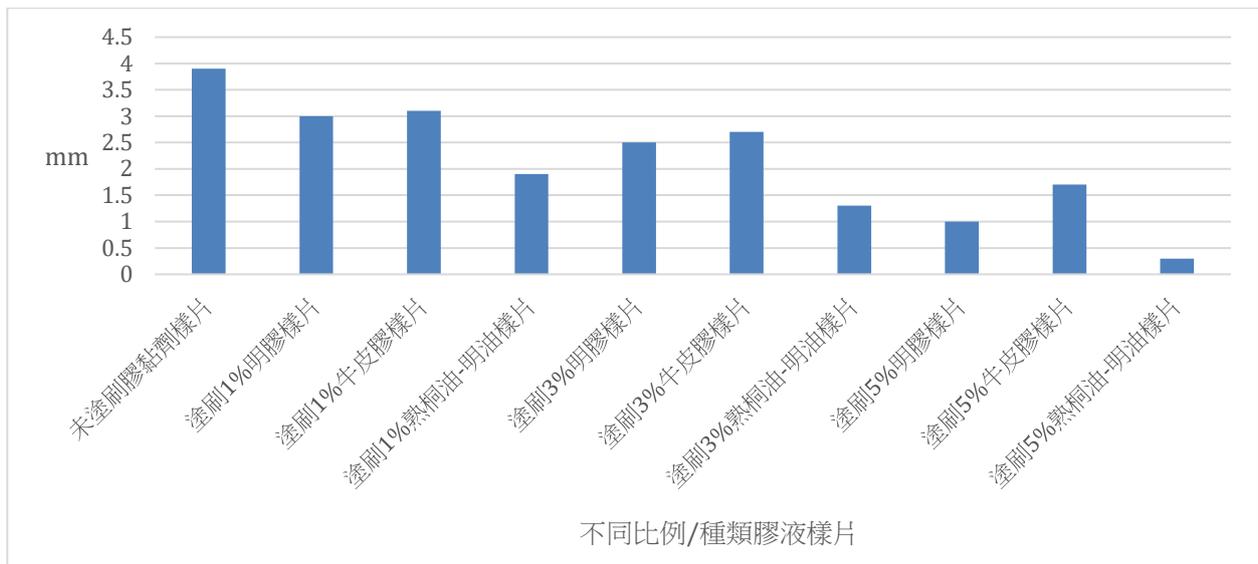


圖23 滲透深度vs.不同膠黏劑濃度(圖表來源：作者繪製)

四、耐候與環境適應試驗

(1) 實驗4-1建築彩繪樣片老化實驗前後色差發現與結果：

1. 透過色差儀L、a、b值的正負差，來評定試樣色與目標色的差異程度，從而計算出總色差 ΔE^* 。
2. 若 ΔL 為正，表示試樣比標樣淺，若 ΔL 為負數，表示試樣比標樣深。
3. 若 Δa 為正數，表示試樣比標樣紅（或綠色較少），若為負數，表示試樣綠（或紅色較少）。
4. 若 Δb 為正數，表示試樣比標樣黃（或藍色較少），若為負數，表示試樣藍（或黃色較少）。
5. 相同濃度的明膠、熟桐油-明油及牛皮膠溶液，經老化實驗後，三種膠溶液的顏色皆有差別。
6. 當明膠濃度為5%時，經老化實驗後， ΔL 、 Δa 及 Δb 值皆為正數，代表樣片表面顏色有偏紅、黃及變淺的情況。
7. 當熟桐油-明油濃度為5%時，經老化實驗後， Δb 值為正數， Δa 、 ΔL 值為負數，代表樣片表面顏色有偏綠、黃及變深的情況。
8. 當牛皮膠為5%時，經老化實驗後， ΔL 值為負數， Δa 、 Δb 值為正數，代表樣片表面顏色有偏紅、黃及變深的情況，如圖24~圖26所示。

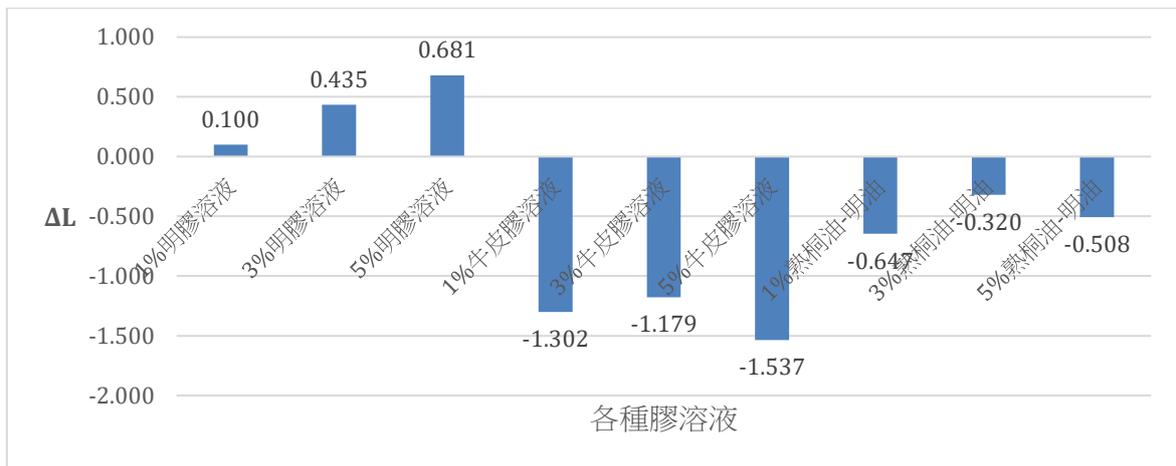


圖24 ΔL 平均值長條圖(圖表來源：作者繪製)

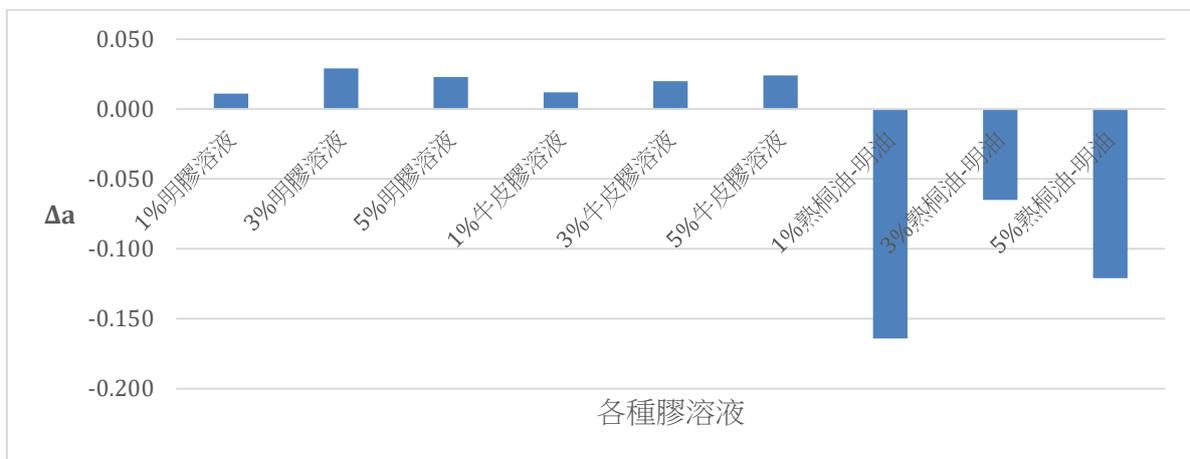


圖25 Δa 平均值長條圖(圖表來源：作者繪製)

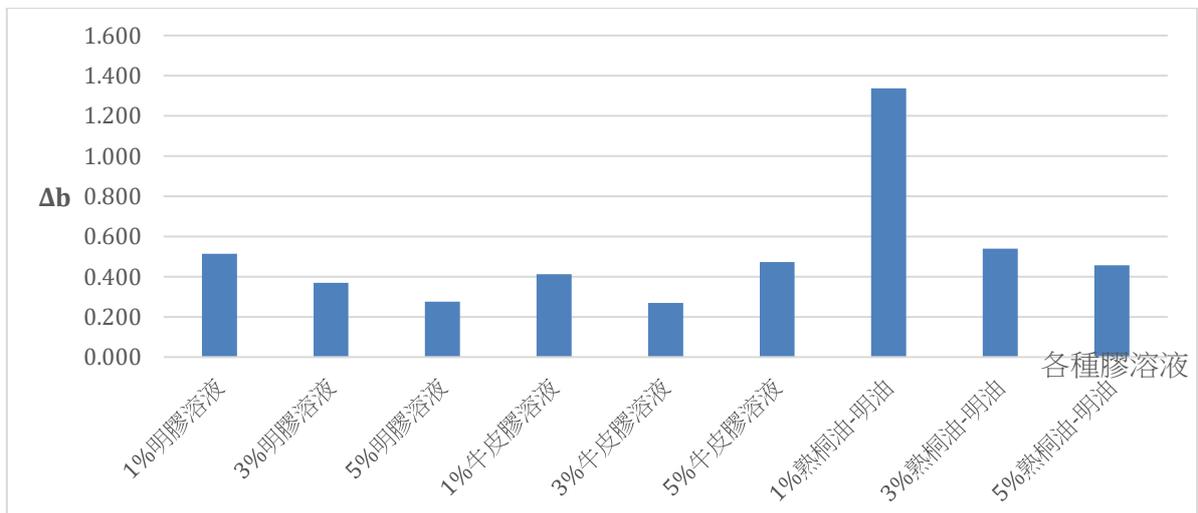


圖26 Δb 平均值長條圖(圖表來源：作者繪製)

(2) 實驗4-2建築彩繪樣片接觸角試驗發現與結果：

1. 經調製1%的明膠、桃膠、牛皮膠及魚膘膠溶液塗刷過的樣片，水滴會短暫停留，最終緩慢滲入地仗層內。
2. 經調製3%、5%的明膠、桃膠、牛皮膠及魚膘膠溶液塗刷過的樣片表面成膜較明顯，接觸角在80.62°~ 83.75°之間。
3. 明膠及牛皮膠溶液為1%~5%時，接觸角皆小於90°，說明膠液塗刷後的樣片表面是親水性的，熟桐油-明油為1%~5%時，接觸角多接近或超過90°，說明膠液塗刷後的樣片表面不是親水性的，可能為疏水性的，如表9及圖27所示。

表9 各種膠溶液與接觸角實驗數據表(圖表來源：作者繪製)

溶液\接觸角	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	最大-平均	平均-最小
1%明膠溶液	78.78	78.87	78.85	79.10	78.65	78.85	0.25	0.2
3%明膠溶液	80.65	80.74	80.56	80.43	80.72	80.62	0.12	0.19
5%明膠溶液	81.38	81.23	81.38	81.14	81.12	81.25	0.13	0.13
1%牛皮膠溶液	83.74	83.83	83.81	83.83	83.69	83.78	0.05	0.09
3%牛皮膠溶液	83.98	84.23	83.93	83.39	84.12	83.93	0.3	0.54
5%牛皮膠溶液	84.45	84.11	84.15	84.82	84.07	84.32	0.5	0.25
1%熟桐油-明油	90.23	89.84	90.05	90.26	89.97	90.07	0.19	0.23
3%熟桐油-明油	90.02	90.65	90.16	90.07	89.79	90.138	0.512	0.348
5%熟桐油-明油	90.25	89.89	89.78	90.21	90.26	90.078	0.182	0.298



圖27 接觸角vs.不同膠黏劑濃度(圖表來源：作者繪製)

(3) 實驗4-3建築彩繪樣片水氣透過率發現與結果：

1. 塗刷明膠溶液、牛皮膠溶液及熟桐油-明油的樣片和未塗刷的樣片，水氣透過率皆隨著天數的增加而降低、而隨溶液濃度增加而增加。。
2. 當溶液濃度為1%於第七天時，塗刷明膠、牛皮膠溶液及熟桐油-明油的樣片對於未塗刷的樣片水氣透過率分別為9.35%、9.17%、4.41%。
3. 當溶液濃度為3%於第七天時，塗刷明膠、牛皮膠溶液及熟桐油-明油的樣片水氣透過率分別為10.58%、10.76%、3.70%。
4. 當溶液濃度為5%於第七天時，塗刷明膠、牛皮膠溶液及熟桐油-明油的樣片水氣透過率分別為11.64%、11.29%、3.00%，如圖28所示。
5. 以塗刷七天後的情形我們得知，未塗刷樣片的水氣透過率為9.52%。塗刷濃度較高的明膠、牛皮膠溶液的樣片水氣透過率皆較未塗刷樣片高，而塗刷熟桐油-明油的樣片水氣透過率較未塗刷樣片低，推論熟桐油-明油較不易讓水氣滲透。

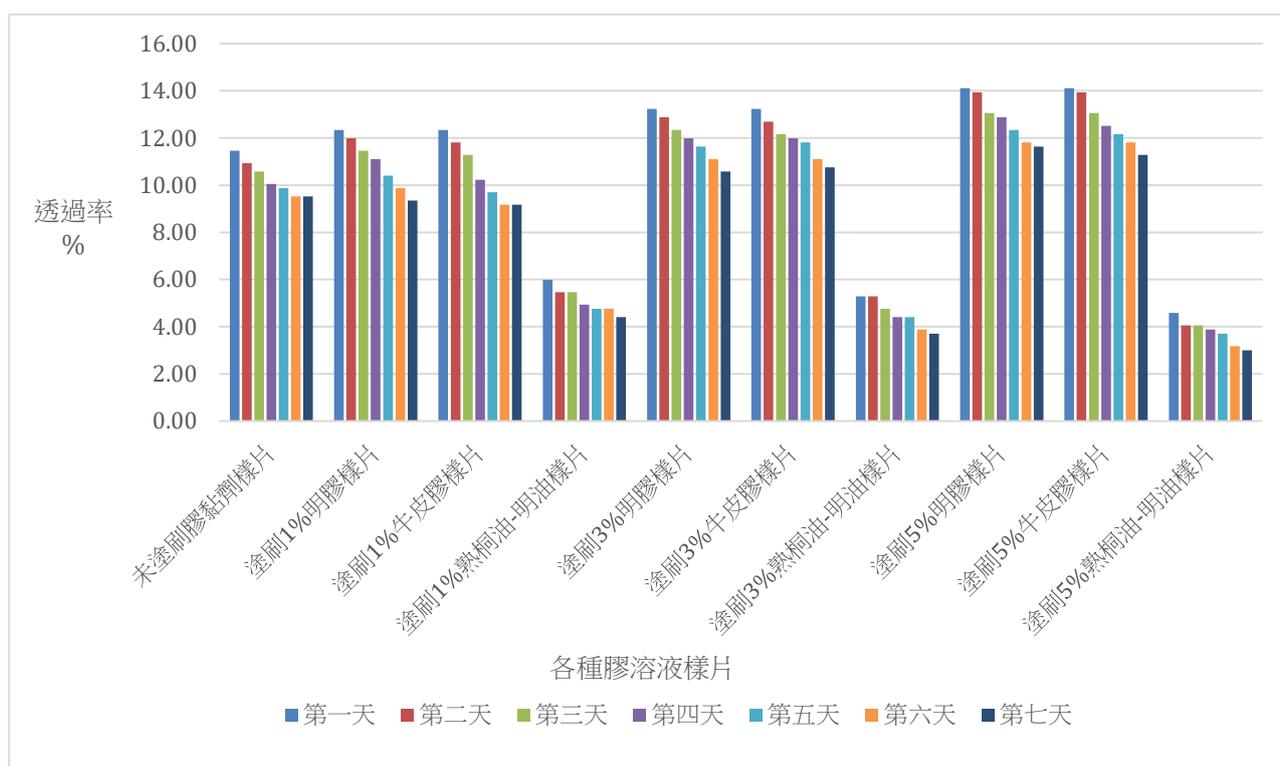


圖28 水氣透過率vs.不同膠黏劑濃度（七天）（圖表來源：作者繪製）

伍、討論

- 1、豬血篩濾後須立刻進行點灰攪拌，是豬血原料處理成功的關鍵，豬血結塊用乾草或絲瓜瓢搓開後，需再篩濾一次，若是省略此工序步驟，有一些材質無法跟熟石灰或蚵灰結

合，會降低豬血的黏性；豬血含有膠質，與過篩過的熟石灰發生作用，經查文獻後得知，具有防白蟻的功效。

- 2、篩濾過後的豬血需再仔細檢查血液中是否還有細碎血塊，若還有血塊則需撈起，以免影響塗刷與補土的工序。
- 3、添加石灰時，用手感受豬血發酵發熱，攪拌的過程需同一方向進行攪拌，目的在為打散豬血中的鍵結，使其與熟石灰或蚵灰進行作用。
- 4、調配好的豬血需靜置，靜置與發酵時間則會因氣候及溫度差異而有所增減；顏色會呈現咖啡色接近褐色，稠度則類似豆沙。
- 5、點灰完的豬血加入適量的水製成稀的豬血灰，水加至與油漆相同的稠度，可作為底漆用；而未加水的豬血呈現類似仙草凍的狀態。
- 6、豬血灰的乾燥時間與氣候和潮濕有關，一般大約3天左右可完全乾燥，若是冬天或下雨天或濕度較高的環境，乾燥天數需再晚幾天；若批土的位置較深則會呈現外面乾但裡面還是濕的狀況，這樣會影響施工品質，建議可分次少量施作。
- 7、熬製桐油時，桐油水氣蒸發時會有明顯的白煙，且表面泡沫消失很快，當沒煙時就要關火且不能自然冷卻，需邊翻攪桐油邊搨風使其冷卻；用瓦斯爐熬製速度快但火候不易控制，易失敗且影響品質，故熬製時需以文火或慢火去熬製。
- 8、將豬血灰捏成雞蛋狀，靜置於通風陰涼處，待其內外部皆乾燥，丟入水中若浮起就代表桐油添加的量足夠。
- 9、為克服傳統豬血灰調製後不易保存的缺點，本組以豆腐和豬血為主材料，將豆腐瀝乾並壓碎。且將石膏粉過篩，挑除硬塊和雜質，豬血與蚵灰攪拌成血膠漿，加入碎豆腐混合後加入煨燒蚵殼粉(作為防腐劑)後攪拌均勻，再加入石膏粉拌勻，最後添加立德粉攪拌成稠糊狀。平鋪在保鮮膜上，厚度約0.1cm，置放於陰涼處自然風乾，再用研磨機研磨成細粉，即製成粉狀豬血灰。如圖29所示。



圖29 自製豬血灰圖

(照片來源：自行拍攝)

- 10、樣本試劑呈現陽性透明無色反應，表示地仗層材料為豬血灰，在修復時則不能使用現代地仗層材料(樹脂、汽車補土、白糊土)，以免影響施作品質造成地仗層產生空隙剝落。

11、與某宮廟洽談試用本組自製粉狀豬血灰，匠師肯定我們的成品。如圖30所示。



圖30 宮廟建築豬血灰施作圖 (照片來源：自行拍攝)

12、各項實驗完成之後，我們發現家裡有一處壁癌，便想測試自製粉狀豬血灰在壁癌刮除後用於牆壁補土是否適用，沒想到居然可作為牆壁補土，使牆面又獲得重生，如圖31所示。



圖31 牆壁補土測試圖 (照片來源：自行拍攝)

陸、結論

1. 傳統豬血灰（油性、水性）、自製改良豬血灰、市售汽車補土比較圖如下：

三種材料比較表				
材料種類 物理特性	傳統豬血灰		自製改良豬血灰	市售汽車補土
	油性	水性		
硬度	佳		最佳	較差
防水性	防水	不防水	防水	防水
透氣性	不透氣	透氣	透氣	較不透氣
黏性	最佳	較差	佳	佳
便利性	不便利		佳	佳
保存長久	佳		最佳	較差

表10 三種補土特性比較表 (作者自行設計)

2. 豬血與熟石灰/蚵灰比例最佳為1：1。
3. 豬血灰與桐油(明油或大黏油)體積比比最佳為3：1或4：1。
4. 膠黏劑與水的調配為1：10；礦物顏料與膠黏劑配為1：1.5~2。
5. 本組自製隨用隨調的豬血灰最佳比例為豬血與蚵灰體積比比為1：1。配方比：10g豬血灰、5g碎豆腐、0.2g煨燒蚵殼粉、1g石膏粉、1g立德粉。優點為具儲運方便且價廉，除了可用於地仗層施作外，亦可作為黏著劑，用於固定修補用的木屑或木塊。
6. 發酵豬血灰加入桐油後並維持其濕度，可保存半年之久。
7. 豬血灰中含有 -NH₂ / -OH 類官能基，能提高黏著力、防水性及抗菌性，可延長保存壽命，增強水溶液的黏稠度與薄膜彈性，幫助填補細微裂痕。
8. 使用豬血灰能有效減少漆料使用，熟石灰則能除臭及防白蟻，而採用蚵灰製成的豬血灰乾燥後硬度較高，且能延長保存的時間，不僅將廢棄蚵殼轉換成環保素材，達到減廢再生成效並降低生產成本；且提高其附加價值，也解決漁業廢棄物處理的問題。
9. 未來展望：

由於本研究受限於經費、實驗設備有限及礙於課餘時間不充裕，無法使用較為嚴謹的檢測儀器進行實驗，未來升上高中認知程度提升後，還可以做更多精密儀器的研究，並且我們還想針對廟宇建築彩繪的修復、加固及煙燻清潔和礦物顏料粒徑對顏料層遮蓋強度的分析方向，更甚至家用補土的替代去做延伸的探討。

柒、參考文獻

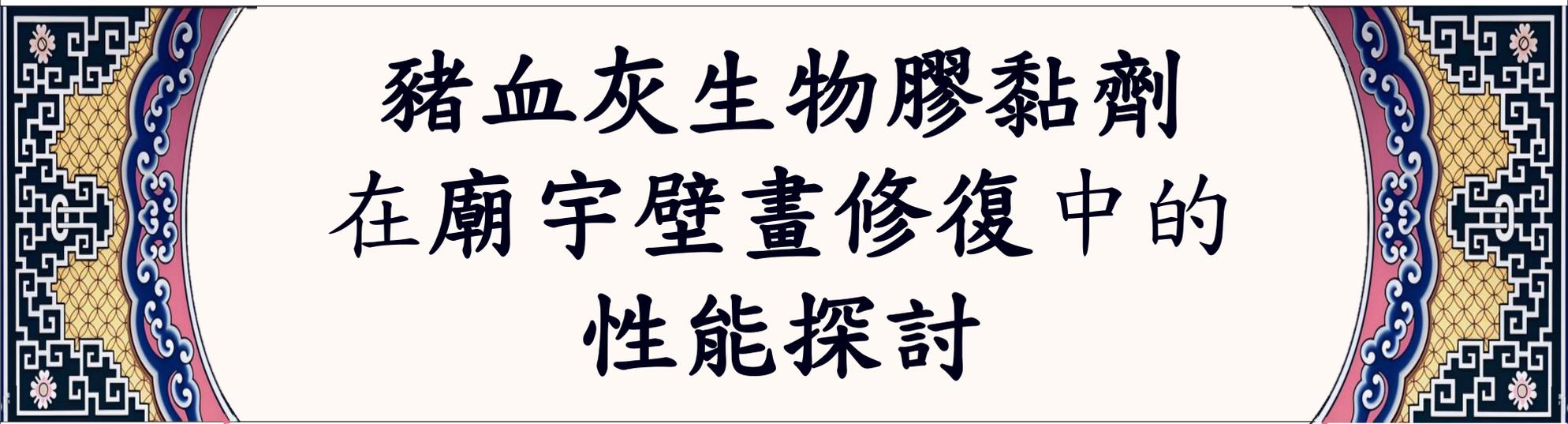
1. 張瀚心、鄭奕珊、謝舒安 (2024)。〈「膠」情匪淺-探討廢棄魚鱗及魚鰓製成膠黏劑的可行性〉。《臺北市第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書》。
2. 李乾朗 (1997)。〈大龍峒保安宮建築與裝飾藝術〉。《臺北保安宮發行》，1997 年 4 月。
3. 詹前裕 (1995)。《從丹青到膠彩》。東海大學美術系膠彩畫教育十年展，台中：美通印刷實業有限公司，1995年9月P.8。
4. 蔣勳(1995)。《一段往事——東海美術系設立膠彩畫課程源起》。東海大學美術系膠彩畫教育十年展，台中：美通印刷實業有限公司，1995年9月P.1。
5. 康紹榮(2010)。《臺南學》電子報第146期(學術文摘)寺廟彩繪-臺灣寺廟彩繪施作，2010年6月。<https://nanying.pixnet.net/blog/post/30523090>。

6. 趙鵬、李廣燕、張雲升(2013)。〈桐油 - 石灰傳統灰漿的性能與作用機制〉。《矽酸鹽學報》，第 41 卷第 8 期。
7. 潘璽 (2005)。建築彩繪地仗層之研究-以台灣當代作法為例。〔碩士論文。國立成功大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。 <https://hdl.handle.net/11296/4r9eg9>。
8. 佘怡濤 (2024)。臺灣彩繪門神地仗層之比較研究—以文化資產技術保存者當代材料為例。〔碩士論文。國立臺南藝術大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。 <https://hdl.handle.net/11296/46hk7u>。
9. 黃金城、林翰謙、黃俊傑、林栢成、黃炫源、徐婷郁 (2002)。桐油熟煉溫度與石灰漿比對地仗耐久性之影響。林產工業，21:4 2002.12[民91.12]，281-288。
10. 林建諭、張紘齊與詹柏呈(2012)。〈刑案現場大發現-那是血嗎?〉。《中華民國第 51 屆中小學科學展覽會作品說明書》。000000

【評語】 033010

1. 本研究致力於研究傳統廟宇彩繪工藝的保存與修復技術，目標是用科學方法開發和製作適用於豬血灰膠黏劑的材料。系統性地收集與分析傳統廟宇技師在彩繪中所使用的材料成分與工法，並透過科學方法，開發出一種兼具實用性與環保概念的廟宇壁畫修復方案。
2. 研究的實驗流程循序漸進的深入探討多種傳統技師配方的調製，以期獲得最佳成品。實驗製作的生物膠與塗料進行一系列性能測試，包含抗拉扯、抗日曬以及抗雨淋等關鍵指標，以確保其在實際應用中能夠承受各種環境挑戰，並展現出良好的耐久性。
3. 研究成果具有實際可應用於廟宇樑柱及壁畫修復工作的潛力及實用性，同時也有考量到材料的儲存性。其成果能可成為文化修復領域的天然材料，對傳統廟宇藝術技藝的永續保存有貢獻。

作品海報



豬血灰生物膠黏劑
在廟宇壁畫修復中的
性能探討

摘要

本研究探討「豬血灰」之性能，測試出廟宇壁畫會使用的傳統材料豬血灰最佳配比，用儀器驗證各種性能。並創新加入豆腐、蚵灰、立德粉與石膏粉材料，製成粉狀豬血灰並與廟宇合作試用。結果顯示，改良的材料配比具黏性、抗龜裂、實用性與儲存性，可作為文化古蹟修復之綠色環保材料。

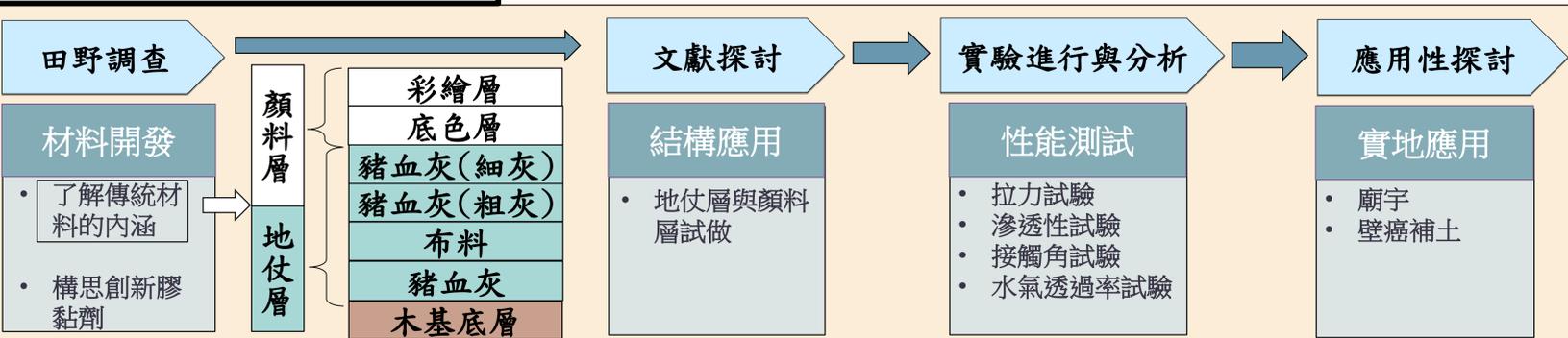
研究動機

因曾參加廟宇建築彩繪體驗活動，我們發現傳承百年的廟宇壁畫工藝—『豬血灰』工法正瀕臨失傳，所以想進行研究，將豬血灰的配比量化、最佳化。為了驗證地仗層豬血灰、顏料層各種膠液的性質，我們計畫進行各種實驗。為了解決傳統豬血灰難以保存的問題，故我們擬自製了粉狀豬血灰，並與廟宇合作試用。

研究目的

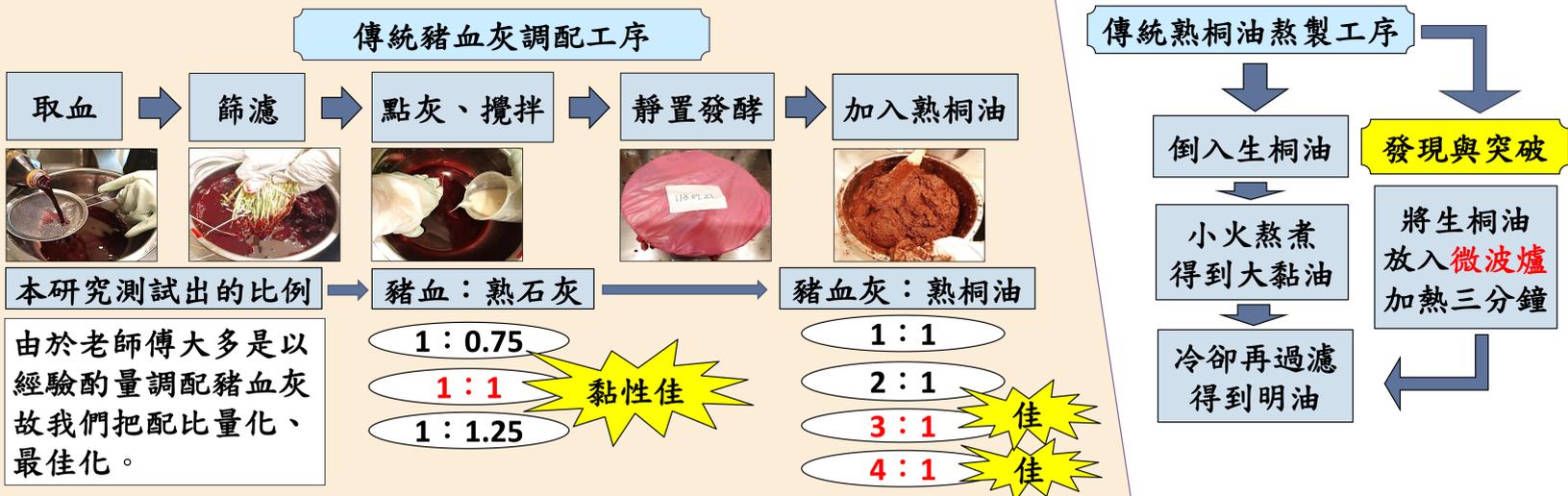
- 一、分析與優化配方：探究廟宇彩繪顏料層、地仗層的工法以及材料，並把配比量化與最佳化。
- 二、評估性能與耐候性：透過各項相關實驗來驗證材料的性質，篩選出最佳配方。
- 三、製備粉狀豬血灰並實地驗證：自製可隨調隨用的粉狀豬血灰，並與某宮廟合作試用。

研究流程



研究過程與結果

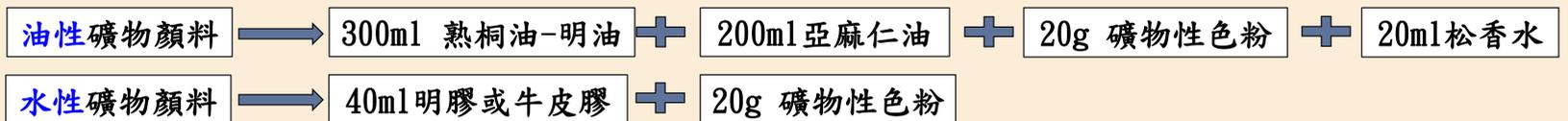
實驗1分析與優化豬血灰的配方



自製改良的粉狀豬血灰



調製傳統顏料層



實驗2-3地仗層血料分析試驗

辨識豬血材料正確性

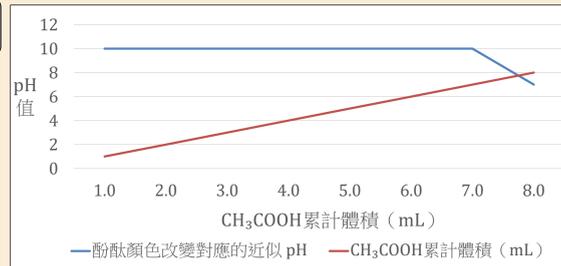
調配亞甲藍溶液來測試地仗層樣片的材料是否含有血液。樣本呈現陽性「+」為透明無色反應，陰性「-」為淺藍色反應。測試結果：汽車補土為陰性淺藍色反應，豬血灰為陽性透明無色反應。



實驗3-1 酸鹼滴定推定主要官能基

提升材料附著力與抗菌

在滴定醋酸的過程中，可以酚酞指示劑的顏色轉變範圍來辨識其酸鹼性，來判斷蛋白質膠黏劑（如豬血灰膠）中是否含有(-OH)、(-NH₂)等官能基存在，驗證材料的附著力與抗菌性質。最終醋酸的滴定量在8.0ml時，溶液由無色轉變為紅色，推測豬血灰中可能含有(-NH₂)/(-OH)等官能基。

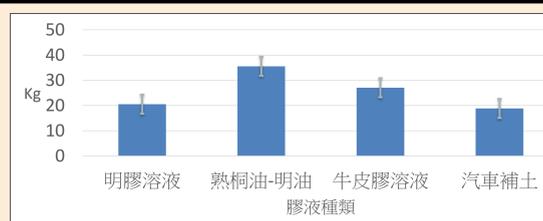


實驗3-2 地仗層樣片拉力試驗

確認能堅固接合且不易張裂

塗刷不同膠液的樣片乾燥後，用簡易拉力計進行拉拔測試，因測試過程不穩定因素較多，故取不同濃度樣片五組之平均值做比較。

經拉力測試後，我們發現熟桐油-明油能夠承受比較大的拉力，代表被施作在樣片上後，較不容易產生脫落及開裂的狀況。

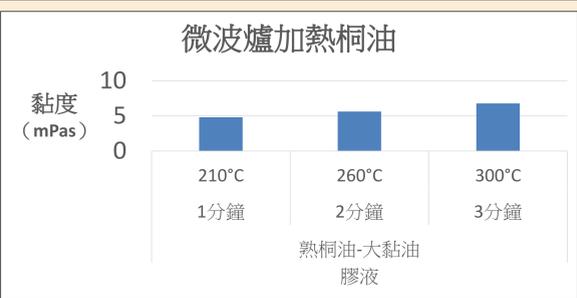


實驗3-3 黏度試驗

找出最佳黏度的膠液及比例

利用膠液在奧式黏度計中流動的時間，來測量液體的黏度，找出最佳黏度的溶液。

以**創新煉製方式（微波爐）**加熱桐油3分鐘時，溫度約300°C，黏度隨溫度升高而增加。

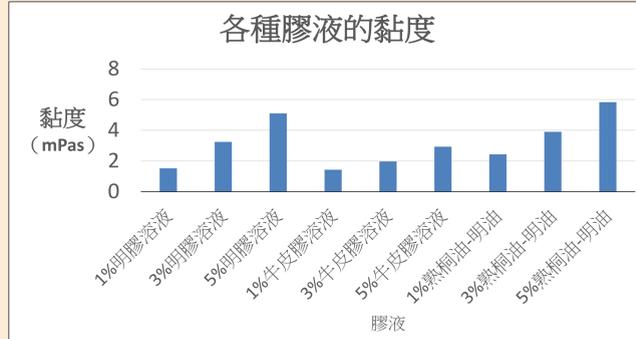


以**傳統煉製方式（文火）**加熱桐油46分鐘時溫度約300°C，黏度隨溫度升高而增加。



圖22 熟桐油隨加熱時間的黏度變化圖

不同濃度的膠黏劑溶液的黏度，以**5%明油黏度最高**。

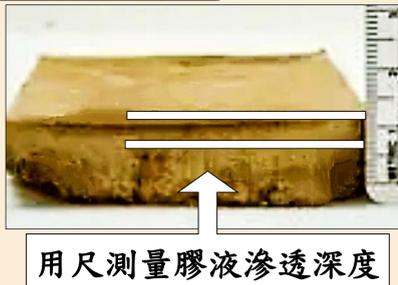


實驗3-4 地仗層樣片滲透性試驗

膠液能夠與地仗層緊密黏接

選擇地仗層樣片作為實驗對象，分別配製1%、3%、5%的明膠溶液、牛皮膠溶液、明油各九種，用滴管各自吸取1mL膠液後，分別在地仗層樣片進行滴滲。

5%明油溶液的滲透深度最淺，1%牛皮膠溶液最深，表示能和地仗層緊密黏接。



用尺測量膠液滲透深度

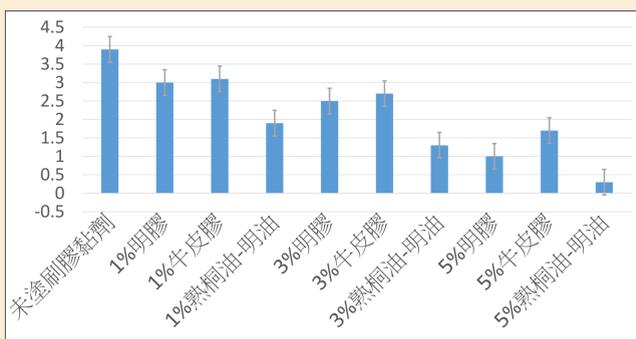


圖23 滲透深度 vs. 不同膠黏劑濃度

實驗4-1 彩繪樣片老化實驗

能承受氣候的變化與日曬的影響

以紫外線機模擬陽光照射的環境，也模擬日夜產生的溫濕度變化，經過120小時後，用色票比對樣片色差變化，判斷耐候程度。

樣片進行老化實驗前後的L值色差，色差為正則變亮，負則變暗，而**色差小則佳**。

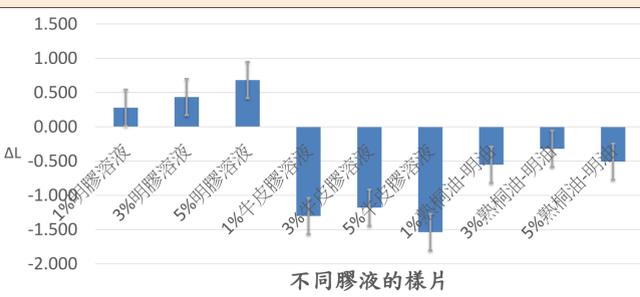


圖24 ΔL平均值長條圖

樣片進行老化實驗前後的a值色差，色差正則偏紅，負則偏綠，而**色差小則佳**。



圖25 Δa平均值長條圖

樣片進行老化實驗前後的b值色差，色差正則偏黃，負則變偏藍，而**色差小則佳**。



圖26 Δb平均值長條圖

實驗4-2 彩繪樣片接觸角試驗

具備防潑水的性質

將離子水垂直滴在樣片表面，手機攝影並利用程式Fiji測量接觸角，各5次取平均值如圖示。結果：明膠、牛皮膠小於90度為親水性，明油大於等於90度為疏水性，最能防水。

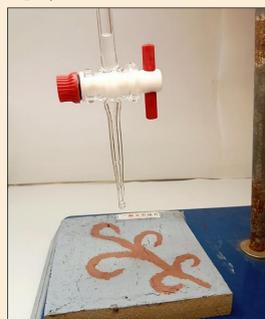


圖27 接觸角 vs. 不同膠黏劑濃度

實驗4-3 水氣透過率試驗

抵抗潮濕的廟宇環境

將樣片密封在水杯上，在控制環境溫度26±1°C、濕度80±2%內放置一周。結果：明油的水氣透過率最小，最能抵抗潮濕的環境。



圖28 水氣透過率 vs. 不同膠黏劑濃度 (七天)

討論

- 在修復古蹟、宮廟時不能使用現代地仗層材料（汽車補土），會造成地仗層產生空隙剝落。
- 豬血篩濾要檢查是否還有血塊並挑出後立刻進行點灰攪拌，是豬血原料成功的關鍵，若省略工序步驟會有一些材質無法跟熟石灰結合，導致比例失準、降低黏性；經查文獻得知，豬血含膠質與熟石灰發生作用，具防白蟻的功效（潘璽, 2005）。
- 豬血灰的乾燥時間與氣候有關，一般大約3天左右可完全乾燥，若是冬天或在濕度高的環境，乾燥天數會再晚幾天。
- 血料分析實驗得知，水性及油性豬血灰皆為陽性反應，汽車補土為陰性反應，透過此分析可確認地仗層使用的材料是否為豬血；地仗層在修復上不可使用樹脂或汽車補土、白糊土等現代化材料，因時間一久易造成地仗層起甲、空鼓等毀壞，而豬血灰血料中的是何種物質會催化亞甲藍還原反應的原因，尚須更進一步的探究。
- 各項實驗完成之後，我們發現家裡有一處壁癌，便想測試自製粉狀豬血灰在壁癌刮除後用於牆壁補土是否適用？沒想到居然可作為牆壁補土！使牆面獲得重生。
- 豬血灰中含有 $-NH_2$ / $-OH$ 類官能基，能提高黏著力、防水性及抗菌性，可延長保存壽命，增強水溶液的黏稠度與薄膜彈性，幫助填補細微裂痕。（黃名鴻、黃明雄, 2016; Martin E. Lyng 等人, 2011）
- 使用豬血灰能有效減少漆料使用，熟石灰則能除臭及防白蟻，而採用蚶灰製成的豬血灰乾燥後硬度較高，且能延長保存的時間，不僅將廢棄蚶殼轉換成環保素材，達到減廢再生成效並降低生產成本；且提高其附加價值，也解決漁業廢棄物處理的問題。
- 熬製桐油時，水氣蒸發時會有明顯的白煙，且表面泡沫消失很快，當沒煙時就要關火且不能自然冷卻，需邊翻攪桐油邊搨風使其冷卻；用瓦斯爐熬製速度快但火候不易控制，易失敗影響品質，故需以文火或慢火去熬製，直到使用微波爐加熱後才避免這些缺點，我們將火力設定為中，加熱3分鐘後放置室溫下冷卻過濾即製成。



施作約兩個月的成品暫無空鼓龜裂情形

九、為克服傳統豬血灰不易保存的缺點，本組以豆腐和豬血為主材料，將豆腐瀝乾壓碎、石膏粉過篩並挑除硬塊、豬血與蚵灰攪拌成血膠漿，加入碎豆腐、煨燒蚵灰粉(作為防腐劑)、石膏粉及立德粉攪拌成稠糊狀，再平舖在保鮮膜上，厚度約0.1cm，置放於陰涼處風乾，爾後用研磨機磨成細粉，即製成粉狀豬血灰。

結論

分析與優化配方：

- 一. 豬血與熟石灰/蚵灰比例最佳為 **1:1**。
- 二. 豬血灰與熟桐油(明油或大黏油)體積比比例最佳為 **3:1**或 **4:1**。
- 三. 膠黏劑與水的比例為 **1:10**；礦物顏料與膠黏劑比例為 **1:1.5 ~ 2**。
- 四. 因傳統熬製熟桐油的方法耗時費神，所以我們突發奇想將生桐油用**微波爐加熱**，結果成品的品質佳的同時還可省下許多時間且較傳統方法不易失敗。

評估性能與耐候性：

經實驗，**熟桐油-明油**的黏度、拉力強度較其餘膠黏劑佳，接觸角實驗和水氣透過率實驗驗證其防水性，適合被使用在潮濕的廟宇環境。

製備粉狀豬血灰實地驗證：

- 一. 本組**自製隨用隨調的豬血灰**最佳比例為豬血與蚵灰體積比比例為**1:1**；自製配方重量組合：10g 豬血灰、5g 碎豆腐、0.2g 煨燒蚵殼粉、1g 石膏粉、1g 立德粉。優點為具**儲運方便且價廉**，除了可用於地仗層施作外，亦可作為黏著劑，用於固定修補用的木屑或木塊。
- 二. 為克服傳統豬血灰不易保存的缺點，我們製出可隨調隨用的粉狀豬血灰並與某宮廟洽談試用，匠師肯定我們的成品：
 1. **容易儲存，便於運輸，且較不佔空間。**
 2. **批土方便、易乾且好研磨。**
 3. 可依照**實際需要的稀稠度來調製，隨調隨用提升便利性。**
- 三. 發現粉狀豬血灰可作為牆壁補土，使原本有壁癌的牆面獲得重生。



- 傳統豬血灰（油性、水性）、自製改良豬血灰、市售汽車補土比較表如下：

三種材料比較表				
材料種類	傳統豬血灰		自製改良豬血灰	市售汽車補土
	油性	水性		
物理特性				
防水性	防水	不防水	防水	防水
透氣性	不透氣	透氣	不透氣	不透氣
黏性	最佳	佳	佳	佳
便利性	不便利		佳	佳
保存長久	佳		佳	較差

亮點與貢獻

1. 實地採訪匠師並把豬血灰的配比量化，把豬血灰工法傳承下去。



2. 被丟棄在路旁的蚵殼會產生惡臭、孳生蚊蟲細菌，我們將農漁廢料蚵殼製成蚵殼粉（蚵灰），其可替代熟石灰來製作豬血灰，且其做出來的成品硬度更高。
3. 我們以豬血和豆腐作為主原料，製作出粉狀豬血灰，可以盡量避免豬血灰發霉，可解決傳統豬血灰保存不易的問題。
4. 發現熟桐油的煉製除了傳統文火或使用瓦斯爐，還可以使用微波爐，且可以減少時間成本、節約能源。
5. 發現自製粉狀豬血灰在壁癌刮除後可用於牆壁補土，使牆面又獲得重生。

未來展望

未來我們還想針對廟宇建築彩繪的修復、加固及煙燻清潔和礦物顏料粒徑對顏料層遮蓋強度的進階分析，更甚至對取代家用補土的做法做延伸的探討。

參考文獻

1. 張瀚心、鄭奕珊、謝舒安 (2024)。〈「膠」情匪淺-探討廢棄魚鱗及魚鰓製成膠黏劑的可行性〉。
2. 李乾朗 (1997)。〈大龍峒保安宮建築與裝飾藝術〉。《臺北保安宮發行》，1997 年 4 月。
3. 潘璽 (2005)。建築彩繪地仗層之研究-以台灣當代作法為例。〔碩士論文。國立成功大學〕。
4. 黃金城、林翰謙、黃俊傑、林栢成、黃炫源、徐婷郁 (2002)。桐油熟煉溫度與石灰漿比對地仗耐久性之影響。林產工業，21:4 2002. 12[民91.12]，281-288。
5. 趙鵬、李廣燕、張雲升(2013)。〈桐油-石灰傳統灰漿的性能與作用機制〉。《矽酸鹽學報》，第 41 卷第 8 期。其餘文獻略以，完整書目請參照作品說明書

海報所有圖、表、照皆為作者親自繪製及親自拍攝