

中華民國第 53 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

最佳(鄉土)教材獎

030827

「纖」入為「紙」

—多種纖維質廢棄物之造紙效能與品質研究

學校名稱：臺中市立長億高級中學(附設國中)

作者： 國二 黃潛峰 國二 許育維 國二 邱亭瑜	指導老師： 蘇毓智 吳沛穎
---	-----------------------------

關鍵詞：纖維素、纖維紙漿化、糊化

摘要

本研究以多種纖維質廢棄物作為造紙原料，造出媲美市售的紙張。我們發現：玉米皮適合造紙且品質穩定；木屑、玉米梗造紙張力低且易碎；低濃度鹼液解纖的甘蔗渣膠質多，紙張透明易皺縮，但高濃度鹼液解纖，紙張平整白皙；柚子皮膠質太多，不易造紙；雜草可造紙但纖維明顯；竹筴纖維粗硬，紙張厚且張力低；稻草造紙品質佳且原料充足，是造紙界新星。改變變因上，果汁機打 1 分鐘可使張力提升；添加膠水或澱粉液能提升張力及降低吸水量；200 目絹框抄紙張力較好；加熱浸泡 50% 雙氧水可漂白。校園落葉單子葉比雙子葉植物適合造紙。複合材料造紙時，添加少量甘蔗渣或柚子皮纖維可提升張力，少量竹筴纖維能使紙張硬挺。最後本研究推薦數種造紙方法供大眾參考。

壹、研究動機

我們生活周遭充滿各種纖維質廢棄物，如：甘蔗渣、玉米皮、玉米梗、太空包木屑、竹筴、稻草、花生殼……等。以太空包來說，台灣每年為了養菇製造約 1 億個廢棄太空包，這些廢棄太空包通常被焚燒、掩埋，甚至隨意棄置。而國人竹筴使用量也高達 10 億雙，數目驚人。此外，台灣的主食是稻米，每年產生 146 萬噸的稻草，被大量焚燒，汙染空氣，製作堆肥也許是對這些廢棄物較好的處理方式，但除了甘蔗渣外，其他廢棄物殘存的養分都太少，需要添加營養物質才能發酵，經濟效率不佳。如何將這些廢棄物化腐朽為神奇？「造紙」是我們認為可行的途徑。



圖一、左為焚燒稻草，右為廢棄太空包（網路圖片）

我們設法取得一些太空包，並在夜市取得被丟棄的甘蔗渣、玉米皮等，亦趁中秋節時大量收集柚子皮，還利用打掃校園時收集雜草、落葉，並至農田收集稻草。再將這些材料加以纖維紙漿化、手抄，製作品質穩定的紙張。期望本實驗的成果能提供造紙業者參考，降低木材砍伐量，為地球永續發展盡一份心力。

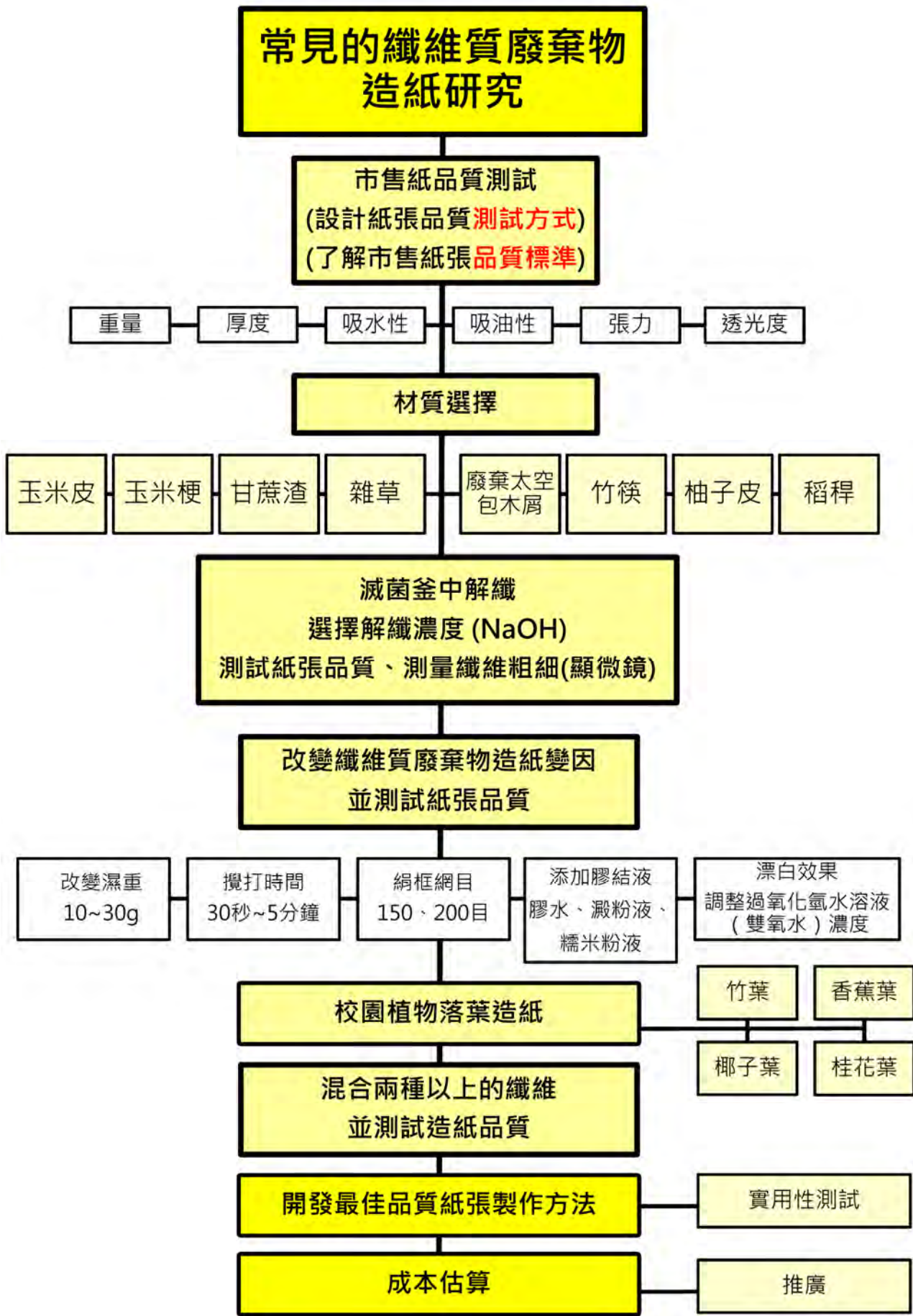
我們閱讀各種造紙的相關科展文獻，曾有菱角殼造紙研究的內容顯示，菱角殼手抄的紙張易破碎，芒草造紙的研究顯示可行，因此促使我們收集更多各式各樣纖維質廢棄物，以不添加額外紙漿的方式，以更標準、嚴謹的方式，在實驗室中做出品質佳、媲美市售的紙張。

➤ 教材相關：

為了完成本研究，我們結合了國一生物所學到的**纖維素、維管束、植物分類、葉脈**等知識，和國二所學的**濃度、化學反應、氧化還原、有機化學**等章節。期望本研究不只能利益大眾，也能作為國中自然科老師教學的題材。

貳、研究目的

- 一、市售紙張的品質測試：濾紙、宣紙、70 磅影印紙、80 磅影印紙、報紙、圖畫紙、粉彩紙、雲彩紙、描圖紙、衛生紙
 - (一) 重量
 - (二) 厚度
 - (三) 吸水量
 - (四) 吸油量
 - (五) 張力（張力強度）
 - (六) 透光度
- 二、測試各種纖維質廢棄物的解纖濃度及紙張品質，設計出標準化紙張製作流程
 - (一) 材質：玉米皮、玉米梗、甘蔗渣、雜草（五節芒）、廢棄太空包木屑、竹筴、柚子皮、稻草、桂花葉、竹葉、香蕉葉、椰子葉
 - (二) 鹼液濃度：清水、飽和小蘇打水溶液、0.1M、0.5M、1M、2M、5M 氫氧化鈉溶液；滅菌 1 小時
- 三、改變濕重對紙張品質的影響
 - (一) 10g
 - (二) 20g
 - (三) 30g
- 四、改變攪打時間對紙張品質的影響
 - (一) 30 秒
 - (二) 1 分鐘
 - (三) 5 分鐘
- 五、探討絹框網目對紙張品質的影響
 - (一) 150 目
 - (二) 200 目
- 六、探討膠結液的添加對紙張品質的影響
 - (一) 不添加
 - (二) 加膠水：10、20 c.c.
 - (三) 加澱粉液：1%、3% 10 c.c.
 - (四) 加糯米粉液：1%、3% 10 c.c.
- 七、探討漂白效果
 - (一) 不添加
 - (二) 雙氧水（35%過氧化氫水溶液）
- 八、校園落葉之造紙研究
 - (一) 竹葉（單子葉禾本科）
 - (二) 椰子葉（單子葉棕櫚科）
 - (三) 香蕉葉（單子葉芭蕉科）
 - (四) 桂花葉（雙子葉木樨科）
- 九、混合不同材質的造紙效果測試（兩種材質混合）
 - (一) 以不同材質用 1：1 的比例（共 20 克）
 - (二) 以不同材質用 1：3 的比例（共 20 克）
- 十、開發最佳品質紙張
- 十一、最佳品質紙張實用性測試
 - (一) 書寫
 - (二) 列印
 - (三) 摺疊
- 十二、成本估算
 - (一) 滅菌成本估算
 - (二) 最佳品質成本估算

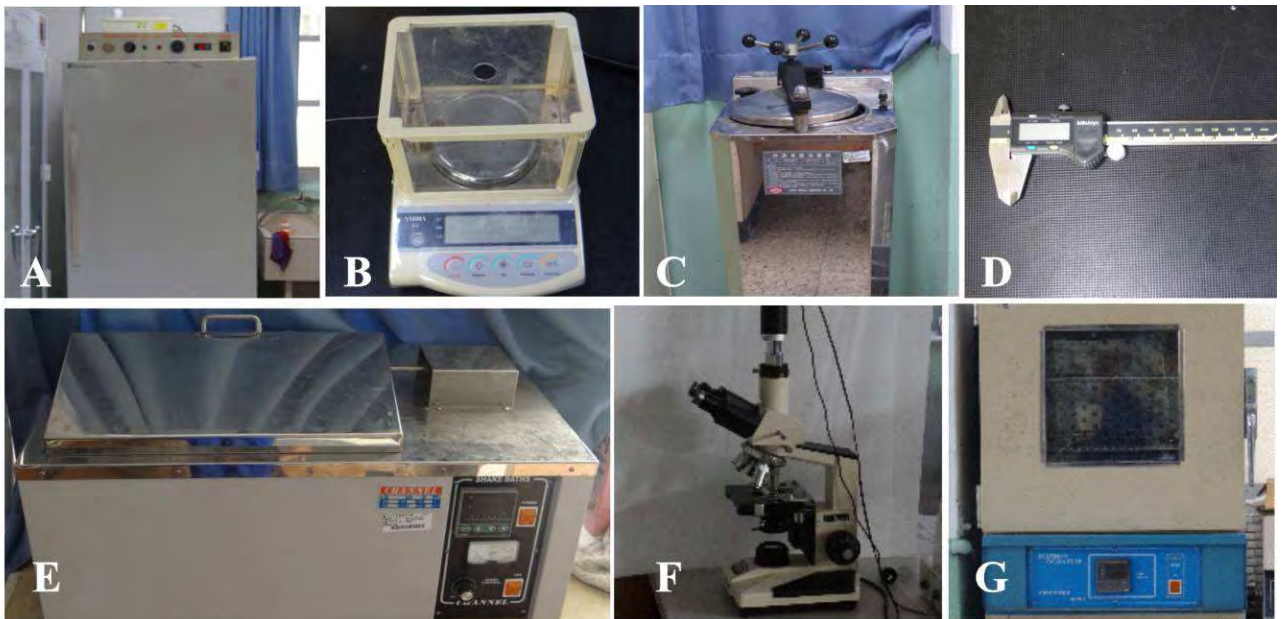


圖二、研究架構圖

參、研究設備及器材

器材及儀器			藥品、耗材		
烘箱	30 公分直尺	陶瓷纖維網	NaHCO ₃ (小蘇打粉)	竹葉	鋁箔紙
數位相機	烘箱	絹框 (150 目)	NaOH (氫氧化鈉)	柚子皮	保鮮膜
果汁機	噴墨印表機	絹框 (200 目)	H ₂ O ₂ 雙氧水	稻草	標籤紙
高壓滅菌釜	雷射印表機	酒精燈	可溶性澱粉	桂花葉	沙拉油
三目顯微鏡	棉布	三腳架	糯米粉	70 磅影印紙	報紙 (人間福報)
電子游標測微尺	刮勺	滴管	玉米梗	80 磅影印紙	香蕉葉
精密電子秤	美工刀	燒杯	甘蔗渣	圖畫紙	衛生紙
掃描器	塑膠盆	玻棒	廢棄太空包木屑	宣紙	濾紙
植物生長箱	裁紙刀		玉米皮	雲彩紙	椰子葉
LED 檯燈	濾網		竹筴	粉彩紙	芒草
恆溫震盪水槽	量筒		花生殼	描圖紙	硬幣 (一元)
本實驗使用的各種電器型號					
◎烘箱 (CHEL BCM45)			◎數位相機 (SONY DSC-HX100V)		
◎果汁機 (PHILIPS HR2000)			◎高壓滅菌釜 (TOMIN TM-328)		
◎精密電子秤 (ViBRA RS232C)			◎電子游標測微尺 (Mitutoyo 500-196-20)		
◎掃描器 (Epson Perfection V33)			◎恆溫震盪水槽 (CHNNEL Skw-12)		
◎植物生長箱 (KTS SCIENTIFIC)			◎LED 檯燈 (PHILIPS FDS710)		
◎三目顯微鏡 (HOMAL1100B)			◎雷射印表機 (HP LaserJet 5200)		
◎噴墨印表機 (Epson Stylus T21)					

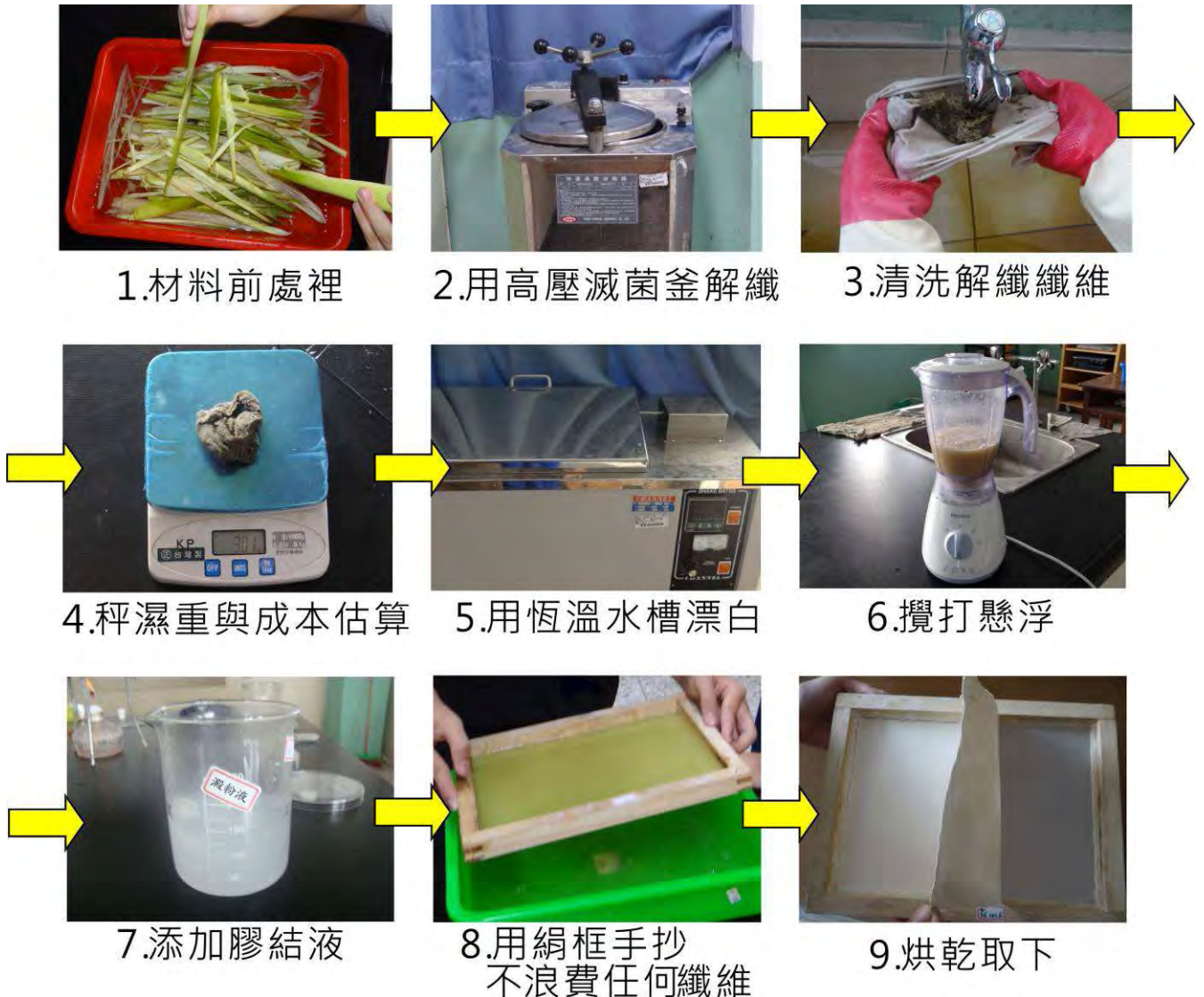
表一、本實驗使用的各種器材



圖三、A、植物生長箱 B、精密電子秤 C、高壓滅菌釜 D、電子游標測微尺 E、恆溫震盪水槽 F、三目顯微鏡 G、烘箱

肆、研究過程或方法

一、造紙流程



圖四、造紙流程

(一)材料前處理

1. 玉米皮 (學名: *Zea mays*): 將夜市取得的玉米皮洗乾淨, 撕成約 1 公分的寬度, 將水倒出後, 烘乾備用。
2. 玉米梗: 將吃完留下的玉米梗洗乾淨後切碎, 烘乾備用。
3. 甘蔗渣 (學名: *Saccharum sinense*): 將夜市裡取得的甘蔗渣洗淨後, 烘乾備用。
4. 雜草: 向打掃人員, 取得一些雜草。剪成小段, 烘乾備用。
5. 廢棄太空包木屑: 我們與新社菇農取得一些廢棄太空包木屑, 搗碎放入烘箱, 烘乾備用。
6. 竹筴 (學名: *Bambusa sp.*): 將市售竹筴以木槌打碎備用。
7. 柚子皮 (學名: *Citrus grandis* (L.) Osbeck): 將中秋節剝下的柚子皮烘乾備用。
8. 稻草 (學名: *Oryza sativa*): 向農民取得一些稻草烘乾備用。

9. 校園植物：

- (1) 桂花葉（學名：*Osmanthus fragrans*）：摘取一些桂花葉烘乾備用。
- (2) 香蕉葉（學名：*Musa sapientum*）：取香蕉落葉（只取橫出平行脈的葉子），撕成條狀備用
- (3) 竹葉（學名：*Bambusa sp.*）：拾取一些乾掉的竹葉備用。
- (4) 椰子葉（大王椰子：*Roystonea regia*）：撿取掉落的椰子葉（只取橫出平行脈的葉子）備用。



圖五、纖維質廢棄物材料：A.玉米皮、B.玉米梗、C.甘蔗渣、D.雜草、E.廢棄太空包木屑、F.竹筷、G.柚子皮、H.稻草、I.桂花葉、J.香蕉葉、K.竹葉、L.椰子葉

(二) 纖維紙漿化（此後簡稱「解纖」）

1. 取適量廢棄纖維質材料，加入適當濃度的鹼液，以鋁箔紙密封，放入高壓滅菌釜中，設定滅菌條件為 121°C，1.5 大氣壓，時間 60 分鐘。
2. 將滅菌後的纖維質裝入棉布中，用力擠壓並不斷沖水，等纖維質摸起來無滑膩感後將水擠乾冷藏備用（此處的重量為濕重）。

(三) 攪打懸浮

1. 取滅菌後的纖維質材料濕重 20 克。
2. 將纖維質材料及 500 c.c.的水放入果汁機中。
3. 設定果汁機攪打段數為第二段，並設定各種攪打時間。
4. 攪打完畢後不過濾直接倒出。

(四) 膠結液添加

1. 在懸浮液中加入膠結用的液體，例如膠水、澱粉液（可溶性澱粉；主要是直鏈澱粉）、糯米粉液（主要是支鏈澱粉）等。
2. 使用玻璃棒攪拌均勻

(五)手抄

1. 在 A4 大小水盆中裝入約 1 公升的水，放入絹框。
2. 將懸浮液倒入絹框中，盡量平鋪且不溢出（完全利用纖維）。

(六)漂白（在攪打前進行）

1. 將水放入恆溫水槽，以 80 度預熱。
2. 將雙氧水及纖維放入，同時計時。
3. 將纖維從燒杯中取出，進行攪打及手抄。

(七)烘乾、取下

1. 手抄完畢後，將絹框放入烘箱中，設定溫度為 50°C，烘烤 30-60 分鐘。
2. 天氣晴朗時，我們會將絹框放在空氣流通處自行風乾，做出的紙比較不會皺縮。
3. 將紙張小心取下。

(八)標準製作流程

材質	鹼液	滅菌 次數	取溼 重	果汁機 加水	果汁機 攪打	絹框	水盆 加水	懸浮液	漂白	烘乾 溫度
甘蔗渣 玉米皮* 雜草 太空包木屑 竹筴 柚子皮 稻草	清水 NaOH 0.1M NaOH 0.5M NaOH 1 M NaOH 2 M NaOH 5M	1*	10 g 20 g* 30 g	500 c.c. (竹筴加 1400 c.c.)	30 秒* 1 分鐘 5 分鐘	150 目* 200 目	1000 c.c.	不加* 膠水 5 c.c. 10 c.c. 20 c.c. 澱粉液 1% 3% 10 c.c.	不加* 雙氧水稀釋 成 50%	50 °C
校園植物落葉： 竹葉 桂花葉 椰子葉 香蕉葉	飽和 NaHCO ₃									

表二、造紙標準製作流程表（有*註記為對照組，用來測試各種變因）

二、溶液配製

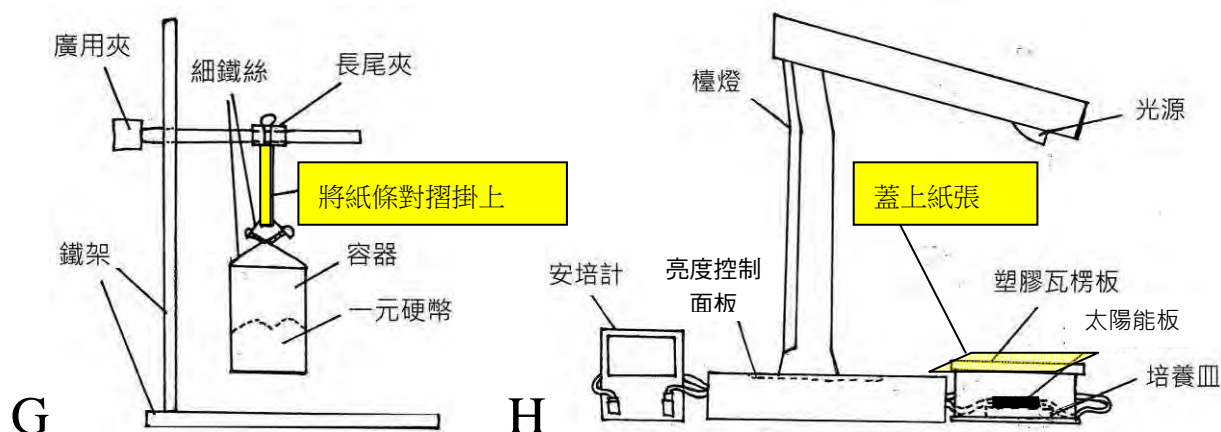
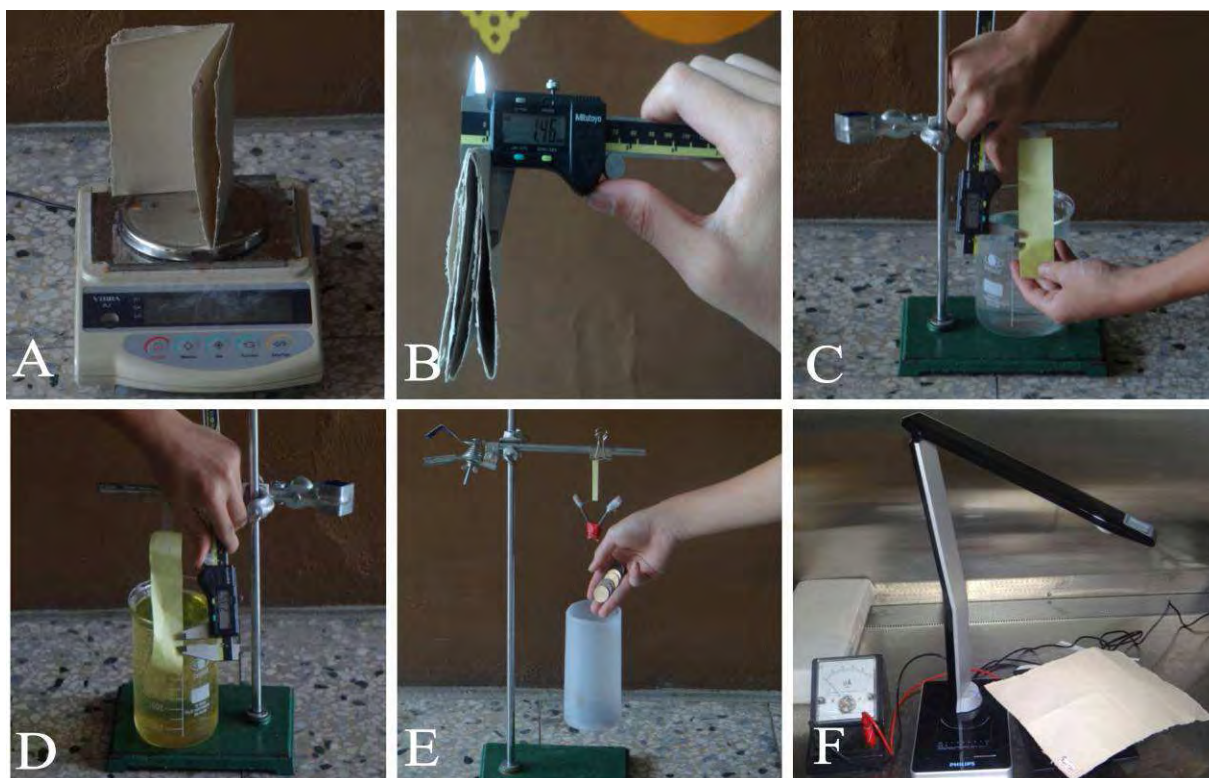
- (一)飽和小蘇打水溶液：小蘇打粉的溶解度是 7.8g / 100 mL (18°C)，因此我們在 500 mL 的水裡放入約 50 g 的小蘇打粉，再把沉澱物濾掉。
- (二)氫氧化鈉水溶液：配置 0.1、0.5、1、2、5M NaOH 水溶液
- (三)澱粉液、糯米粉液（勾芡的方式）

1. 1%的澱粉液：取 1 g 可溶性澱粉，加入 10 c.c.的冷水中混合，再加入 89 c.c.沸水中，使其糊化。
2. 3%的澱粉液：取 3 g 可溶性澱粉，加入 10 c.c.的冷水中混合，再加入 87 c.c.沸水中，使其糊化。

三、紙張品質測試方法

- (一)重量：我們的絹框大小是 A4 大小，造出來的紙約 B5 大小，因此在測試各種紙張重量時，都是以這個大小測試。（濾紙面積較小，所以我們是依面積等比例放大）我們使用精密電子秤，準確度達 0.001 g（最後一位是估計值）。

- (二)厚度：為準確測量厚度，我們將紙摺三折（8層），以電子游標測微尺測量厚度，將數值除以8，取平均值。
- (三)顏色：我們用掃描器對每一張造好的紙張進行掃描，不做任何色彩調整。
- (四)吸水量：將寬3公分的紙張浸入水中3公分，計時60秒，觀察紙張吸水高度。
- (五)吸油量：將寬3公分的紙張浸入沙拉油中3公分，計時60秒，觀察紙張吸油高度。
- (六)張力：將寬0.5公分的小紙條對摺，下面吊著圓筒狀的容器，裡面放入硬幣，等紙張斷裂後測重量。
- (七)透光度：我們使用LED檯燈，讓光照到3.5 × 3.5 cm 太陽能板產生電流，校正後（設濾紙=19 μ A），將紙放上測試。



圖六、各種品質測試的方式：A 重量、B 厚度、C 吸水量、D 吸油量、E 張力、F 透光度、
下圖為張力及透光度測試裝置示意圖

伍、研究結果

一、市售紙張的品質測試：濾紙、宣紙、70 磅影印紙、80 磅影印紙、報紙、圖畫紙、粉彩紙、雲彩紙、描圖紙、衛生紙

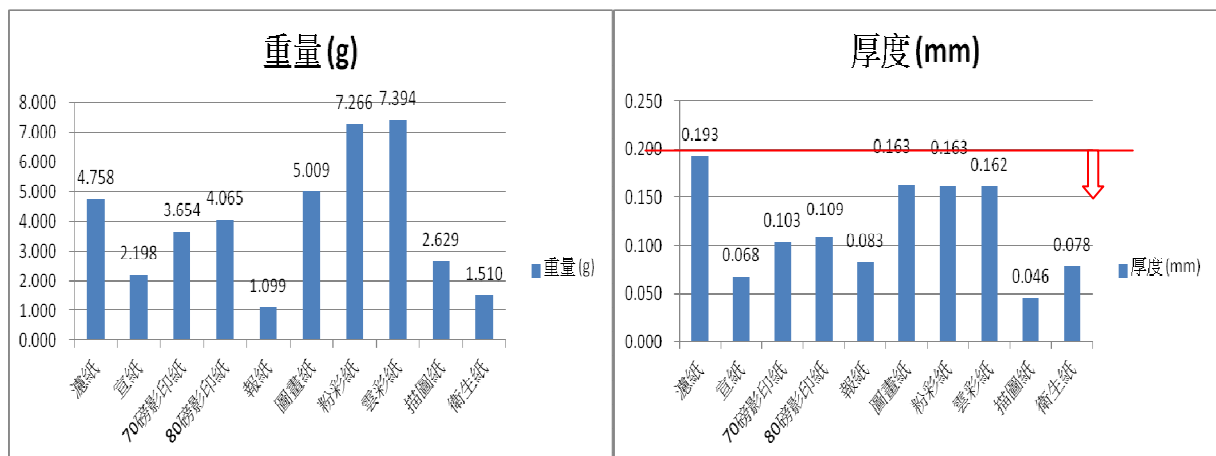
- | | |
|---------|---------|
| (一) 重量 | (四) 吸油量 |
| (二) 厚度 | (五) 張力 |
| (三) 吸水量 | (六) 透光度 |

根據實驗結果發現，在市售的 10 種紙張當中，厚度最厚的是粉彩紙和雲彩紙、衛生紙最薄；吸水量和吸油量都是衛生紙最好，描圖紙最差；張力為粉彩紙最佳，可能與重量

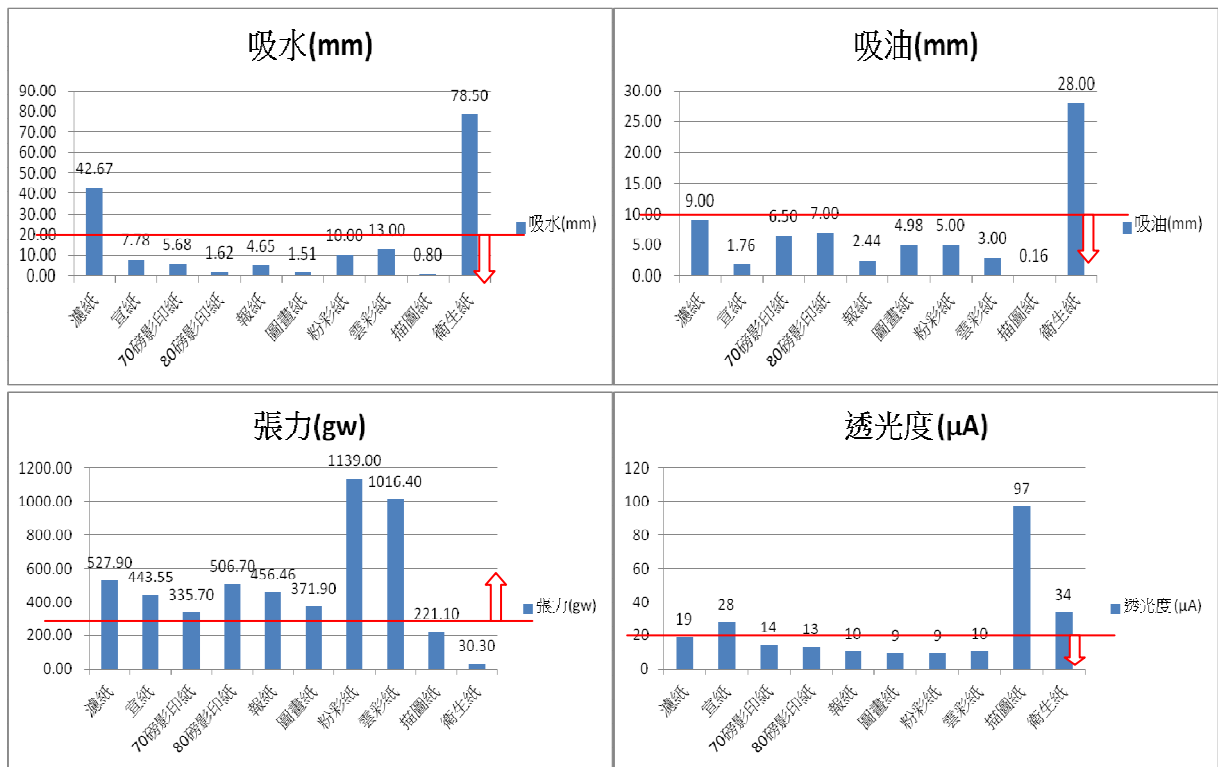
($R^2=0.6957$ ，高度正相關) 有關；透光度是描圖紙最好。我們認為，市售紙張的厚度大約要在 0.2 mm 以下，張力至少要 300 gw 以上(除了衛生紙、描圖紙)，透光度約在 $20 \mu A$ 以下(除了描圖紙)，吸水量 20 mm 以下(才不會碰水就爛掉，濾紙、衛生紙除外)，吸油量 10 mm 以下(衛生紙除外)，才符合市場需求及實用價值；其中，我們特別重視厚度及張力。

	重量 (g)	厚度 (mm)	吸水 (mm)	吸油 (mm)	張力 (gw)	透光度(μA)
濾紙	4.758	0.193	42.67	9.00	527.90	19
宣紙	2.198	0.068	7.78	1.76	443.55	28
70 磅影印紙	3.654	0.103	5.68	6.50	335.70	14
80 磅影印紙	4.065	0.109	1.62	7.00	506.70	13
報紙	1.099	0.083	4.65	2.44	456.46	10
圖畫紙	5.009	0.163	1.51	4.98	371.90	9
粉彩紙	7.266	0.163	10.00	5.00	1139.00	9
雲彩紙	7.394	0.162	13.00	3.00	1016.40	10
描圖紙	2.629	0.046	0.80	0.16	221.10	97
衛生紙	1.510	0.078	78.50	28.00	30.30	34

表三、市售紙張品質總表



圖七、市售紙張品質 (紅線代表品質要求) (續下頁)



圖七、市售紙張品質（紅線代表品質要求）（承上頁）

二、測試各種纖維質廢棄物的解纖濃度及紙張品質，設計出標準化紙張製作流程

(一)材質：玉米皮、玉米梗、甘蔗渣、雜草、廢棄太空包木屑、竹筴、柚子皮、稻草

※備註：校園植物落葉的造紙可行性將在「實驗八」深入探討

(二)鹼液濃度：清水、飽和小蘇打水溶液、0.1M、0.5M、1M、2M、5M 氫氧化鈉溶液；滅菌 1 小時，果汁機打 30 秒（木屑無法解纖，多增加一組打 5 分鐘）

1. 解纖濃度：

鹼液濃度越高，解纖效果越好，且不易產生粗纖維。飽和小蘇打水溶液解纖效果較氫氧化鈉差。玉米皮以 NaOH 1M 滅菌 1 小時可解纖造紙，玉米梗可用 NaOH 1M 解纖但造出的紙張易碎裂。甘蔗渣在 NaOH 1M 下可造出透明易皺縮的紙，而用 NaOH 5M 解纖可解決皺縮的問題。木屑要以 NaOH 5M 處理後，再用果汁機打 5 分鐘才能抄紙。竹筴以 NaOH 1M 可解纖但纖維粗較不易平鋪，柚子皮用清水即可解纖，但紙張易皺。稻草以 NaOH 0.5M 即可造紙，而且品質也很不錯。

材質	鹼液	清水	飽和 NaHCO ₃	NaOH 0.1M	NaOH 0.5M	NaOH 1M	NaOH 2M	NaOH 5M	NaOH 5M 打 5 分鐘
	玉米皮	※	※	※	◎	●	●	●	
玉米梗	※	※	※	※	※	●/△	●/△	●/△	
甘蔗渣	※	※	※	◎	◎	●	●	●	
雜草	※	※	※	※	◎	◎	◎	●	
廢棄太空包木屑	※	※	※	※	※	※	※	※	●
竹筴	※	※	※	※	※	●	●	●	
柚子皮	●	●	●	●	●	●	●	△	
稻草	※	※	※	※	◎	●	●	●	

表四、各種材質的解纖濃度：●完全解纖，無粗纖維；◎少量粗纖維；※未解纖；△碎裂；灰底可造紙；

藍底非常適合造紙。

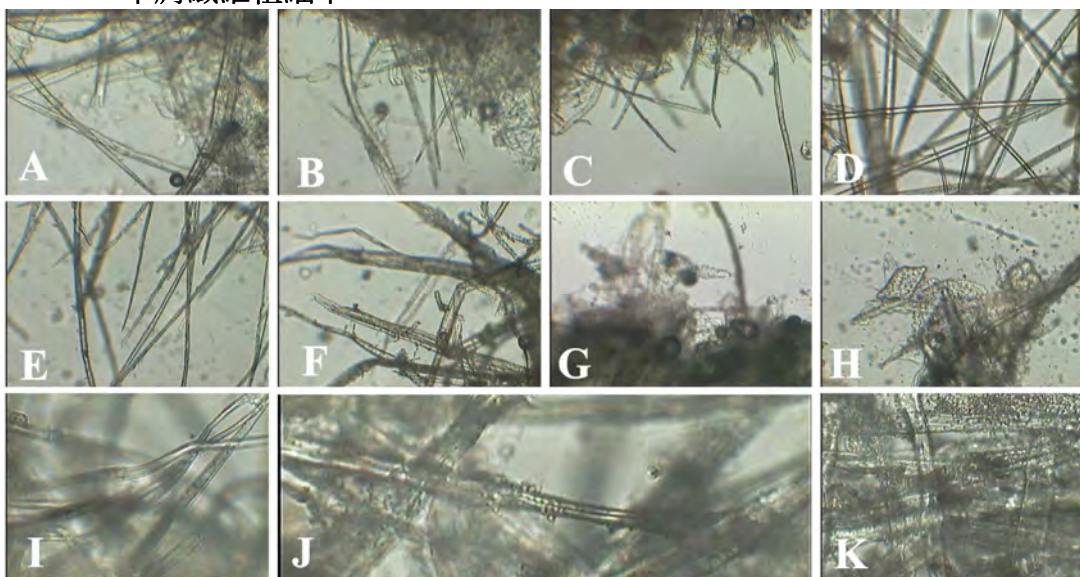


圖八、纖維質廢棄物的造紙成品（校園植物落葉造紙在實驗八探討）

2. 紙張纖維（顯微鏡下拍攝）

我們發現：

- 玉米皮、雜草、稻草纖維較細緻且長，是適合造紙的纖維
- 甘蔗纖維膠質多，但高濃度（5M NaOH）解纖可以去除膠質
- 竹筴纖維很直且較硬
- 木屑纖維粗細不一
- 玉米梗比較少細長的纖維，大多是一塊一塊的
- 柚子皮纖維有許多膠質。
- 影印紙纖維長，且似乎有加一些添加物（澱粉）



圖九、各種造紙纖維的顯微照片：A.玉米皮（1M NaOH）、B.甘蔗（1M NaOH）、C.甘蔗（5M NaOH）、D.竹筴（1M NaOH）、E.雜草（2M NaOH）、F.木屑（5M NaOH）、G.玉米梗（1M NaOH）、H.柚子（清水）、I.稻草（1M NaOH）、J.80 磅影印紙 K.70 磅影印紙

3. 紙張品質

材質：玉米皮、玉米梗、甘蔗渣、雜草、廢棄太空包木屑、竹筴、柚子皮、稻草
 鹼液濃度：以清水和 1M、2M、5M NaOH 溶液滅菌 1 小時，取濕重 20 g，果汁機打 30 秒（木屑則是打 5 分鐘）

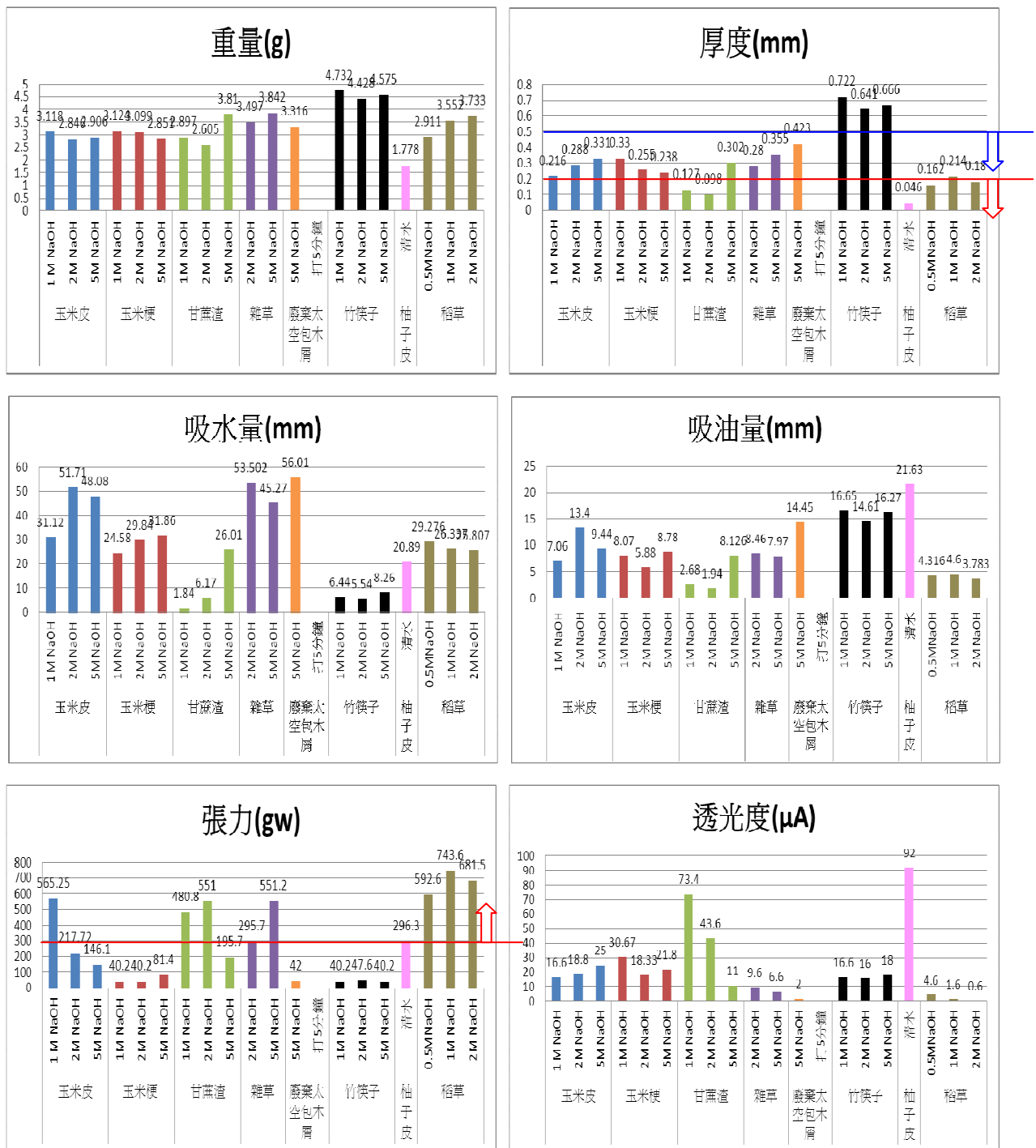
根據研究發現：

- 利用**玉米皮**造紙，解纖的鹼液濃度愈高，造出的紙厚度愈厚，但張力變差。
- 利用**玉米梗**造出的紙張，張力明顯不足。
- 將**甘蔗渣**以低濃度鹼液解纖時，造出的紙厚度薄、張力好，透光度高，很像描圖紙，易皺縮；若改用高濃度解纖，紙張較白皙、平整，所以我們使用高低兩種濃度做後續實驗。
- 利用**廢棄太空包木屑**造紙時，我們使用 5M 氫氧化鈉解纖並以果汁機打 5 分鐘，厚度仍然太厚，張力也很差。
- 利用**竹筴**纖維造出的紙張，厚度皆太厚，且張力不足。
- 利用**柚子皮**解纖造紙，紙張很薄，呈現深咖啡色，透光度高，會皺縮。
- 將**稻草**以 1M 氫氧化鈉解纖造紙，造出的紙張張力較 0.5M 氫氧化鈉好。
- 我們造的紙張，厚度普遍都高於市售紙張的 0.2 mm，可能是因為我們沒有做「加壓」的步驟，因此若厚度在 0.5mm 以下，也算是我們接受的範圍。

材質	鹼液濃度	品質	重量 (g)	厚度 (mm)	吸水量 (mm)	吸油量 (mm)	張力 (gw)	透光度 (μA)	皺縮情況	備註
玉米皮	1 M NaOH		3.118	0.216	31.120	7.060	565.25	16.6	O/X	
	2M NaOH		2.846	0.288	51.710	13.400	217.72	18.8	O/X	●
	5M NaOH		2.906	0.331	48.080	9.440	146.10	25.0	O/X	
玉米梗	1M NaOH		3.124	0.330	24.580	8.070	40.2	30.67	X	○
	2M NaOH		3.099	0.255	29.840	5.880	40.2	18.33	X	張力
	5M NaOH		2.851	0.238	31.860	8.780	81.4	21.8	X	太低
甘蔗渣	1M NaOH		2.897	0.127	1.840	2.680	480.8	73.4	O 些微	
	2M NaOH		2.605	0.098	6.170	1.940	551.0	43.6	O 些微	●
	5M NaOH		3.810	0.302	26.010	8.126	195.7	11.0	X	
雜草	2M NaOH		3.497	0.280	53.502	8.460	295.7	9.6	X	●
	5M NaOH		3.842	0.355	45.270	7.970	551.2	6.6	X	
廢棄太空包木屑	5M NaOH 打 5 分鐘		3.316	0.423	56.010	14.450	42.0	2.0	X	○ 張力太低
竹筴	1M NaOH		4.732	0.722	6.440	16.650	40.2	16.6	X	
	2M NaOH		4.428	0.641	5.540	14.610	47.6	16.0	X	○
	5M NaOH		4.575	0.666	8.260	16.270	40.2	18.0	X	太厚
柚子皮	清水		1.778	0.046	20.890	21.630	296.3	92.0	O	○ 皺縮
稻草	0.5MNaOH		2.911	0.162	29.276	4.316	592.6	4.6	X	
	1M NaOH		3.552	0.214	26.337	4.600	743.6	1.6	X	●
	2M NaOH		3.733	0.180	25.807	3.783	681.5	0.6	X	

皺縮情況：O 皺、X 不皺； 備註欄●為推薦造紙○為不太推薦造紙

表五、各種不同濃度下的紙張品質總表



圖十、各種不同濃度下測試紙張品質的結果

※ 為了方便描述，我們將以「玉米皮 1M」代表「以 1M 氫氧化鈉水溶液浸泡，並以高壓滅菌釜滅菌 1 小時使纖維紙漿化的玉米皮」，依此類推。

※ 「解纖濃度」指的是「解纖用的氫氧化鈉濃度」

※ 為使實驗標準，我們的標準造紙流程是：

- 取濕重 20g
- 不漂白
- 果汁機打 30 秒
- 無膠結液
- 以 150 目絹框手抄

三、改變濕重對紙張品質的影響

材質：玉米皮、甘蔗渣、雜草、竹筷、稻草

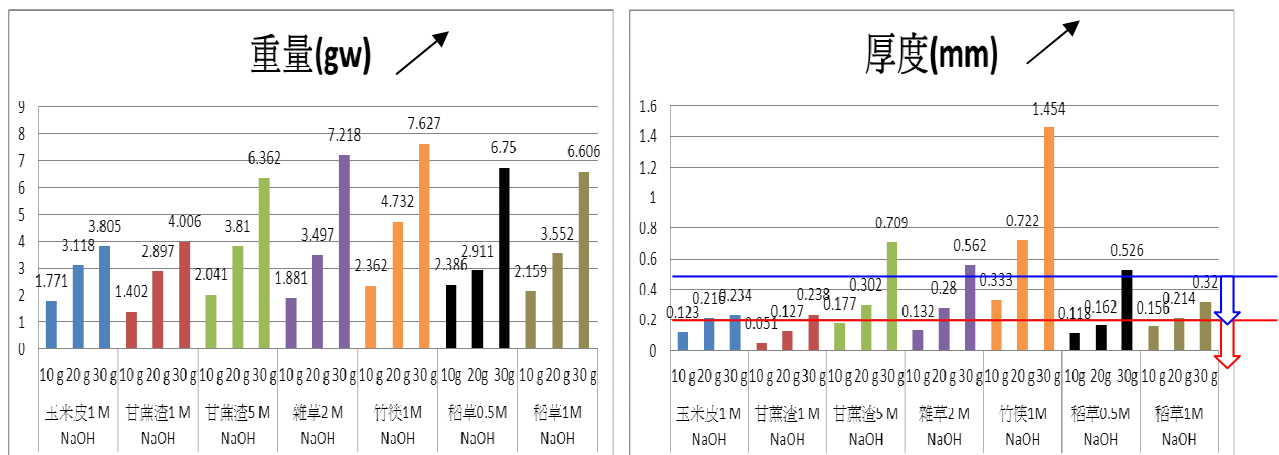
取濕重：10g、20g、30g

根據實驗發現：

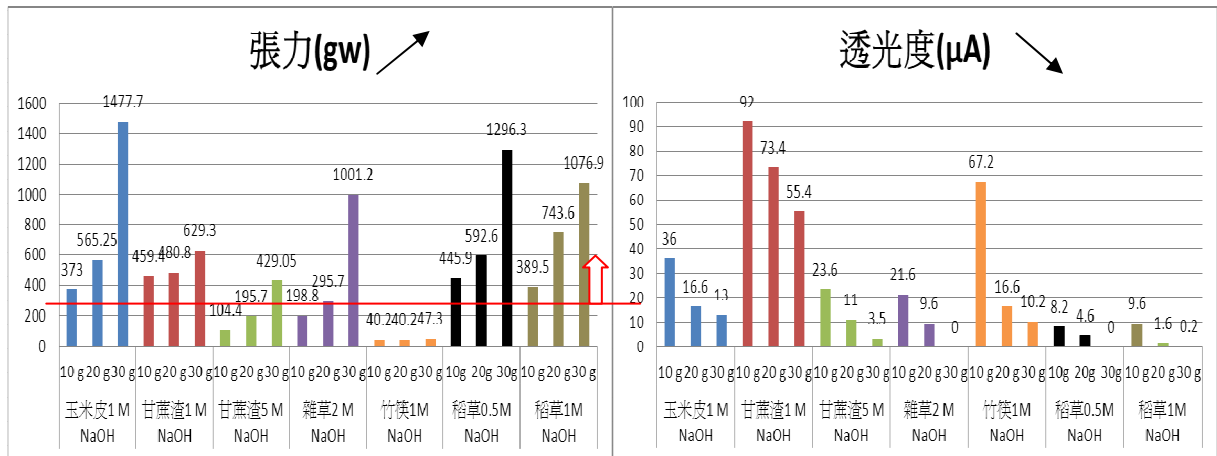
- 濕重取得愈重，重量、厚度、張力皆隨之提升，但透光度下降。
- 為了不讓紙張太厚，我們建議取濕重 10~20 克造紙。

材質	鹼液濃度	紙張品質		吸水量 (mm)	吸油量 (mm)	張力 (gw)	透光度 (μ A)	皺縮 情況	
		濕重	重量 (g)						厚度 (mm)
玉米皮 1 M	NaOH	10 g	1.771	0.123	31.330	7.063	373.00	36.0	O/X
		20 g	3.118	0.216	31.120	7.060	565.25	16.6	O/X
		30 g	3.805	0.234	25.670	6.480	1477.70	13.0	X
甘蔗渣 1 M	NaOH	10 g	1.402	0.051	5.320	2.110	459.4	92.0	O
		20 g	2.897	0.127	1.840	2.680	480.8	73.4	O
		30 g	4.006	0.238	0.153	0.126	629.3	55.4	O
甘蔗渣 5 M	NaOH	10 g	2.041	0.177	24.546	3.856	104.40	23.6	O/X
		20 g	3.810	0.302	26.010	8.126	195.70	11.0	X
		30 g	6.362	0.709	29.557	7.413	429.05	3.5	X
雜草 2 M	NaOH	10 g	1.881	0.132	28.523	5.747	198.8	21.6	X
		20 g	3.497	0.280	53.502	8.460	295.7	9.6	X
		30 g	7.218	0.562	28.773	7.536	1001.2	0.0	X
竹筷 1M	NaOH	10 g	2.362	0.333	35.114	11.266	40.2	67.2	X
		20 g	4.732	0.722	6.440	16.650	40.2	16.6	X
		30 g	7.627	1.454	6.603	11.443	47.3	10.2	X
稻草 0.5M	NaOH	10 g	2.386	0.118	29.930	4.713	445.9	8.2	X
		20 g	2.911	0.162	29.276	4.316	592.6	4.6	X
		30 g	6.75	0.526	27.913	5.63	1296.3	0	X
稻草 1M	NaOH	10 g	2.159	0.156	27.226	3.563	389.5	9.6	X
		20 g	3.552	0.214	26.337	4.600	743.6	1.6	X
		30 g	6.606	0.320	27.726	5.253	1076.9	0.2	X

表六、各種不同濕重的紙張品質總表



圖十一、各種不同濕重下測試紙張品質的結果 (續下頁)



圖十一、各種不同濕重下測試紙張品質的結果（承上頁）

四、改變攪打時間對紙張品質的影響

材質：玉米皮、甘蔗渣、雜草、竹筴、稻草，皆取濕重 20 g

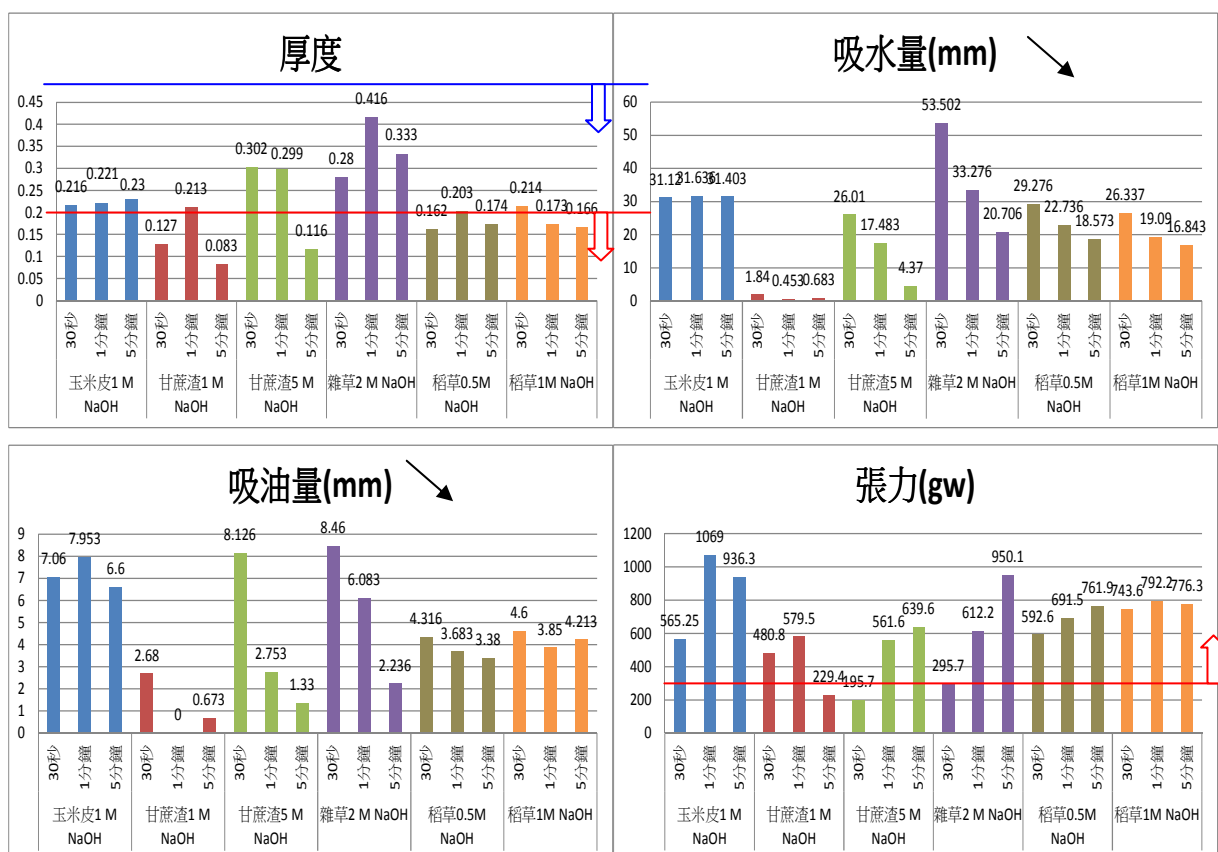
攪打時間：30 秒、1 分鐘、5 分鐘

根據實驗發現：

- 以果汁機攪打 1 分鐘造出的紙張，吸水、吸油量大多下降，張力普遍都比攪打 30 秒提升，但攪打 5 分鐘造出的紙張，有的比打 1 分鐘差。

材質	紙張品質 攪打時間	重量 (g)	厚度 (mm)	吸水量 (mm)	吸油量 (mm)	張力 (gw)	透光度 (μA)	皺縮 情況
玉米皮 1M	30 秒	3.118	0.216	31.120	7.060	565.25	16.6	O/X
	1 分鐘	3.851	0.221	31.636	7.953	1069.00	17.0	O/X
	5 分鐘	3.747	0.230	31.403	6.600	936.30	20.0	O/X
甘蔗渣 1M	30 秒	2.897	0.127	1.840	2.680	480.80	73.4	O
	1 分鐘	2.633	0.213	0.453	0	579.50	66.0	O
	5 分鐘	2.340	0.083	0.683	0.673	229.40	100.0	O
甘蔗渣 5M	30 秒	3.810	0.302	26.010	8.126	195.70	11.0	X
	1 分鐘	3.610	0.299	17.483	2.753	561.60	5.6	X
	5 分鐘	1.749	0.116	4.370	1.330	639.60	20.2	X
雜草 2M	30 秒	3.497	0.280	53.502	8.460	295.70	9.6	X
	1 分鐘	4.758	0.416	33.276	6.083	612.20	0.0	X
	5 分鐘	4.725	0.333	20.706	2.236	950.10	0.0	X
稻草 0.5M	30 秒	2.911	0.162	29.276	4.316	592.6	4.6	X
	1 分鐘	4.417	0.203	22.736	3.683	691.5	1.6	X
	5 分鐘	3.669	0.174	18.573	3.380	761.9	0.8	X
稻草 1M	30 秒	3.552	0.214	26.337	4.600	743.60	1.6	X
	1 分鐘	3.678	0.173	19.090	3.850	792.20	1.2	X
	5 分鐘	3.876	0.166	16.843	4.213	776.3	1.0	X

表七、各種不同攪打時間的紙張品質總表



圖十二、各種攪打時間下測試紙張品質結果

五、探討絹框網目對紙張品質的影響

材質：玉米皮、甘蔗渣、雜草、竹筷、稻草，皆取濕重 20 g

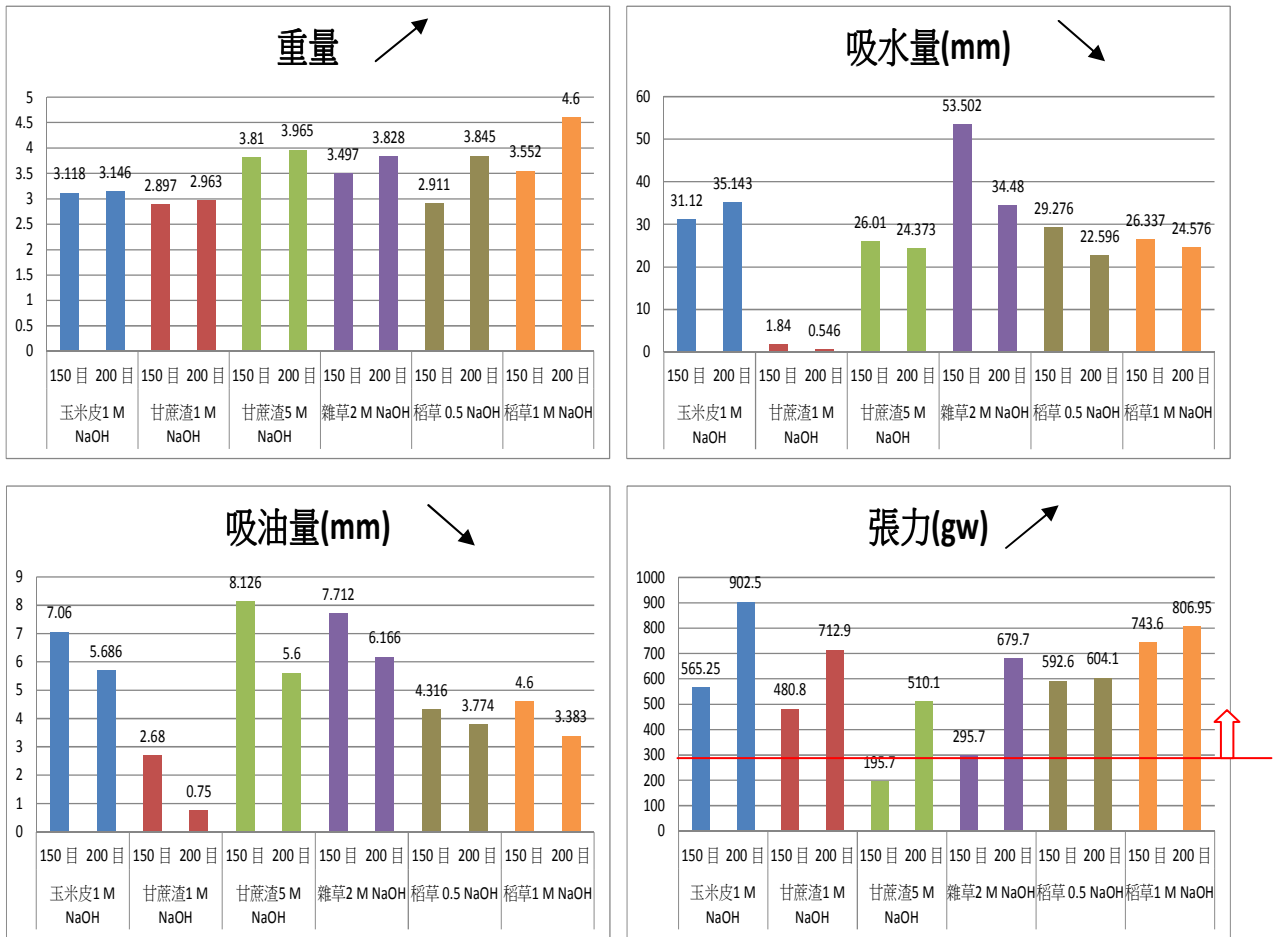
絹框網目：200 目、150 目

根據實驗發現：

- 使用 200 目絹框來造紙時，因網目更細緻，留在絹框上的纖維可能變多，所以造出的紙張重量增加、張力提升，而吸水、吸油量則是下降。

材質	紙張品質 絹框網目	重量 (g)	厚度 (mm)	吸水量 (mm)	吸油量 (mm)	張力 (gw)	透光度 (μA)	皺縮 情況
玉米皮	150 目	3.118	0.216	31.120	7.060	565.25	16.6	O/X
1 M	200 目	3.146	0.189	35.143	5.686	902.50	18.6	O/X
甘蔗渣	150 目	2.897	0.127	1.840	2.680	480.80	73.4	O
1 M	200 目	2.963	0.182	0.546	0.750	712.90	76.8	O
甘蔗渣	150 目	3.81	0.302	26.010	8.126	195.70	11.0	X
5 M	200 目	3.965	0.280	24.373	5.600	510.10	7.0	X
雜草	150 目	3.497	0.280	53.502	8.46	295.70	9.6	X
2 M	200 目	3.828	0.312	34.480	6.166	679.70	2.5	X
稻草	150 目	2.911	0.162	29.276	4.316	592.6	4.6	X
0.5M	200 目	3.845	0.168	22.596	3.774	604.1	1.6	X
稻草	150 目	3.552	0.214	26.337	4.600	743.60	1.6	X
1 M	200 目	4.600	0.233	24.576	3.383	806.95	0.4	X

表八、各種不同絹框的紙張品質總表



圖十三、各種不同網框下測試紙張品質結果

六、探討膠結液的添加對紙張品質的影響

(一) 加膠水：5、10、20 c.c.

材質：玉米皮、甘蔗渣、雜草、竹筴、稻草，皆取 20g

根據實驗發現：

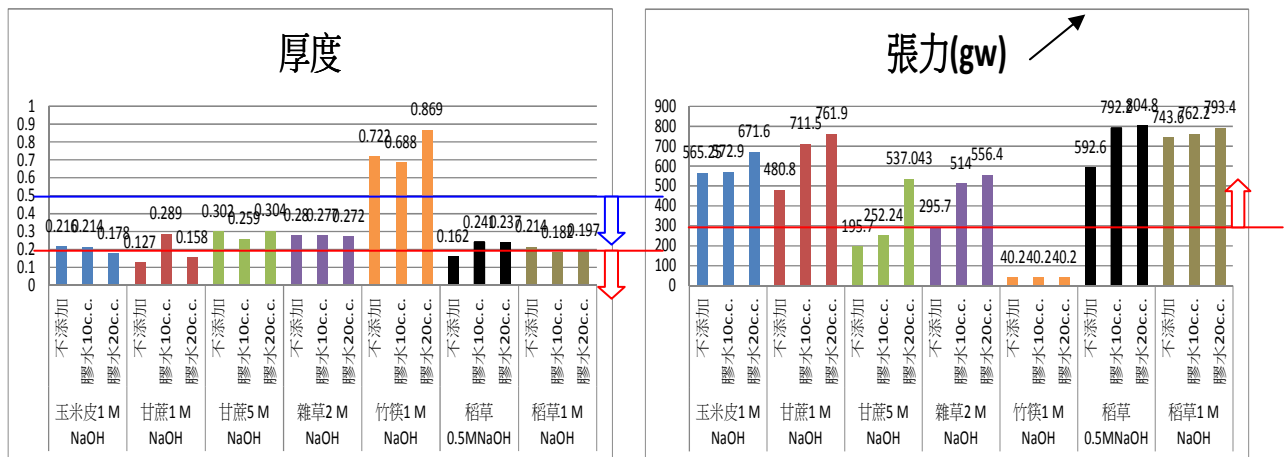
- 添加膠水後造出的紙張，張力普遍增加，但竹筴 1 M 並沒有提升，張力仍很差。

材質	膠結液	紙張品質	重量 (g)	厚度 (mm)	吸水量 (mm)	吸油量 (mm)	張力 (gw)	透光度 (μA)	皺縮情況
玉米皮 1 M	不添加		3.118	0.216	31.120	7.060	565.25	16.6	O/X
	膠水 10c.c.		3.227	0.214	36.543	4.597	572.90	26.0	O/X
	膠水 20c.c.		2.716	0.178	31.610	6.993	671.60	23.2	O/X
甘蔗 1 M	不添加		2.897	0.127	1.840	2.680	480.80	73.4	O
	膠水 10c.c.		2.320	0.289	4.890	0.363	711.50	24.8	O
	膠水 20c.c.		3.506	0.158	2.690	0.767	761.90	21.4	O
甘蔗 5 M	不添加		3.810	0.302	26.010	8.126	195.70	11.0	X
	膠水 10c.c.		3.571	0.259	29.682	6.850	252.24	8.2	X
	膠水 20c.c.		3.588	0.304	31.820	5.618	537.043	7.6	X

表九、添加膠水後造出的紙張品質測試總表 (續下頁)

材質	膠結液	紙張品質	重量 (g)	厚度 (mm)	吸水量 (mm)	吸油量 (mm)	張力 (gw)	透光度 (μA)	皺縮情況
雜草 2 M	不添加		3.497	0.280	53.502	8.460	295.7	9.6	X
	膠水 10c.c.		3.305	0.277	31.393	5.690	514.0	3.4	X
	膠水 20c.c.		3.369	0.272	30.840	5.543	556.4	2.6	X
竹筷 1 M	不添加		4.732	0.722	6.440	16.650	40.2	16.6	X
	膠水 10c.c.		4.791	0.688	63.656	9.70	40.2	16.0	X
	膠水 20c.c.		6.905	0.869	65.543	13.070	40.2	10.0	X
稻草 0.5M	不添加		2.911	0.162	29.276	4.316	592.6	4.6	X
	膠水 10c.c.		4.068	0.241	24.303	5.293	792.2	0.8	X
	膠水 20c.c.		3.879	0.237	20.656	4.306	804.8	2.4	X
稻草 1 M	不添加		3.552	0.214	26.337	4.600	743.6	1.6	X
	膠水 10c.c.		3.71	0.182	25.182	4.183	762.2	1.0	X
	膠水 20c.c.		3.738	0.197	22.976	4.463	793.4	0.6	X

表九、添加膠水後造出的紙張品質測試總表（承上頁）



圖十四、添加膠水後造出的紙張品質

本實驗發現，添加膠水普遍可使紙張張力提升，但由於膠水的成分是因為聚乙稀醇 ($(C_2H_4O)_x$; PVA)，算是種水溶性塑膠，我們覺得不環保，因此我們又做了添加糊化的水溶性澱粉液（直鏈澱粉比例較高）及糯米粉液（支鏈澱粉比例較高）的實驗，期望提升紙張張力，且是容易分解的材料。

(二) 加澱粉液：1%、3%、5% 10 c.c.

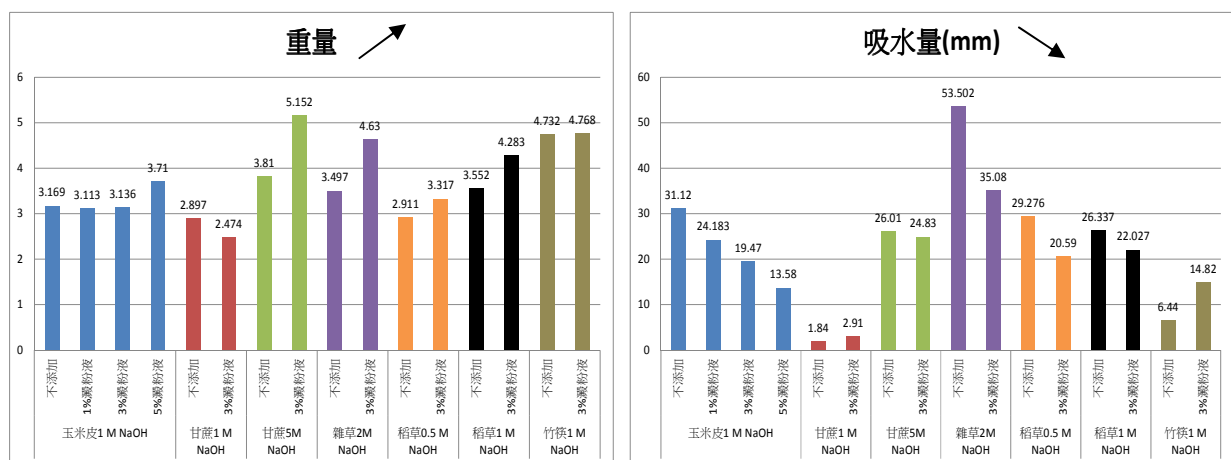
材質：玉米皮、甘蔗渣、雜草、稻草、竹篾，皆取 20g

根據實驗發現：

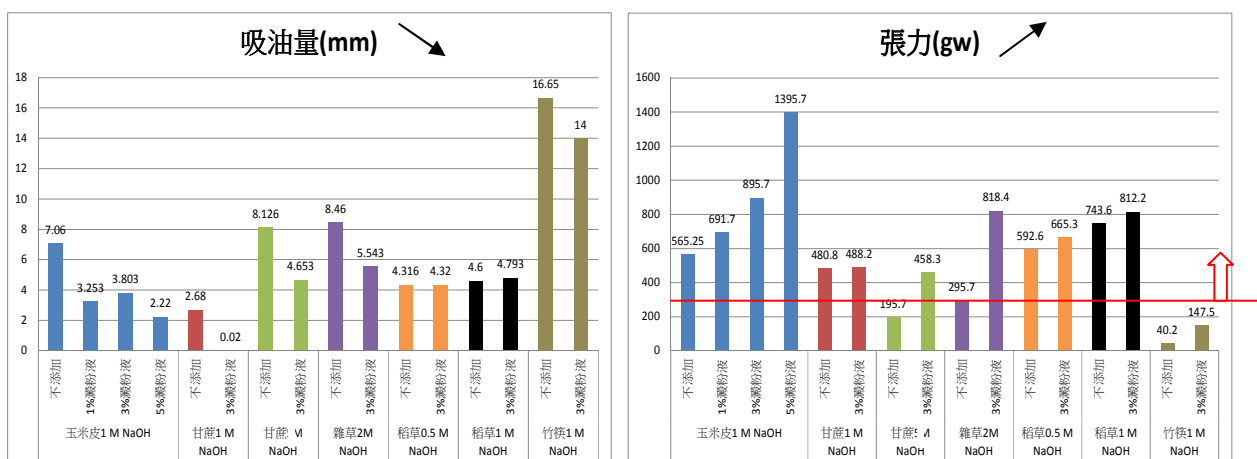
- 添加的澱粉液濃度越高，造出的紙張張力越好，但使用 5%澱粉液造紙，澱粉液很容易結塊不易散開，造出的紙較不美觀，故我們建議添加 3%澱粉液。
- 添加澱粉液普遍會使重量增加、且讓吸水量、吸油量下降。

材質	膠結液	紙張品質	重量 (g)	厚度 (mm)	吸水量 (mm)	吸油量 (mm)	張力 (gw)	透光度 (μA)	皺縮情況
玉米皮 1 M		不添加	3.118	0.216	31.120	7.060	565.25	16.6	O/X
		1%澱粉液	3.113	0.180	24.183	3.253	691.70	21.8	X
		3%澱粉液	3.136	0.195	19.470	3.803	895.70	25.2	X
		5%澱粉液	3.710	0.180	13.580	2.220	1395.70	22.0	X
甘蔗 1 M		不添加	2.897	0.127	1.840	2.680	480.8	73.4	O
		3%澱粉液	2.474	0.065	2.910	0.020	488.2	100.0	O/X
甘蔗 5M		不添加	3.810	0.302	26.010	8.126	195.7	11.0	X
		3%澱粉液	5.152	0.304	24.830	4.653	458.3	7.8	X
雜草 2 M		不添加	3.497	0.280	53.502	8.460	295.7	9.6	X
		3%澱粉液	4.630	0.317	35.080	5.543	818.4	0.6	X
稻草 0.5M		不添加	2.911	0.162	29.276	4.316	592.6	4.6	X
		3%澱粉液	3.317	0.134	20.59	4.32	665.3	5.4	X
稻草 1 M		不添加	3.552	0.214	26.337	4.600	743.6	1.6	X
		3%澱粉液	4.283	0.214	22.027	4.793	812.2	1.2	X
竹篾 1 M		不添加	4.732	0.722	6.440	16.650	40.2	16.6	X
		3%澱粉液	4.768	0.793	14.820	14.00	147.5	11.2	X

表十、添加澱粉液後造出的紙張品質測試總表



圖十五、添加澱粉液後造出的紙張品質 (續下頁)



圖十五、添加澱粉液後造出的紙張品質（承上頁）

(三) 加糯米粉液：1%、3% 10 c.c.

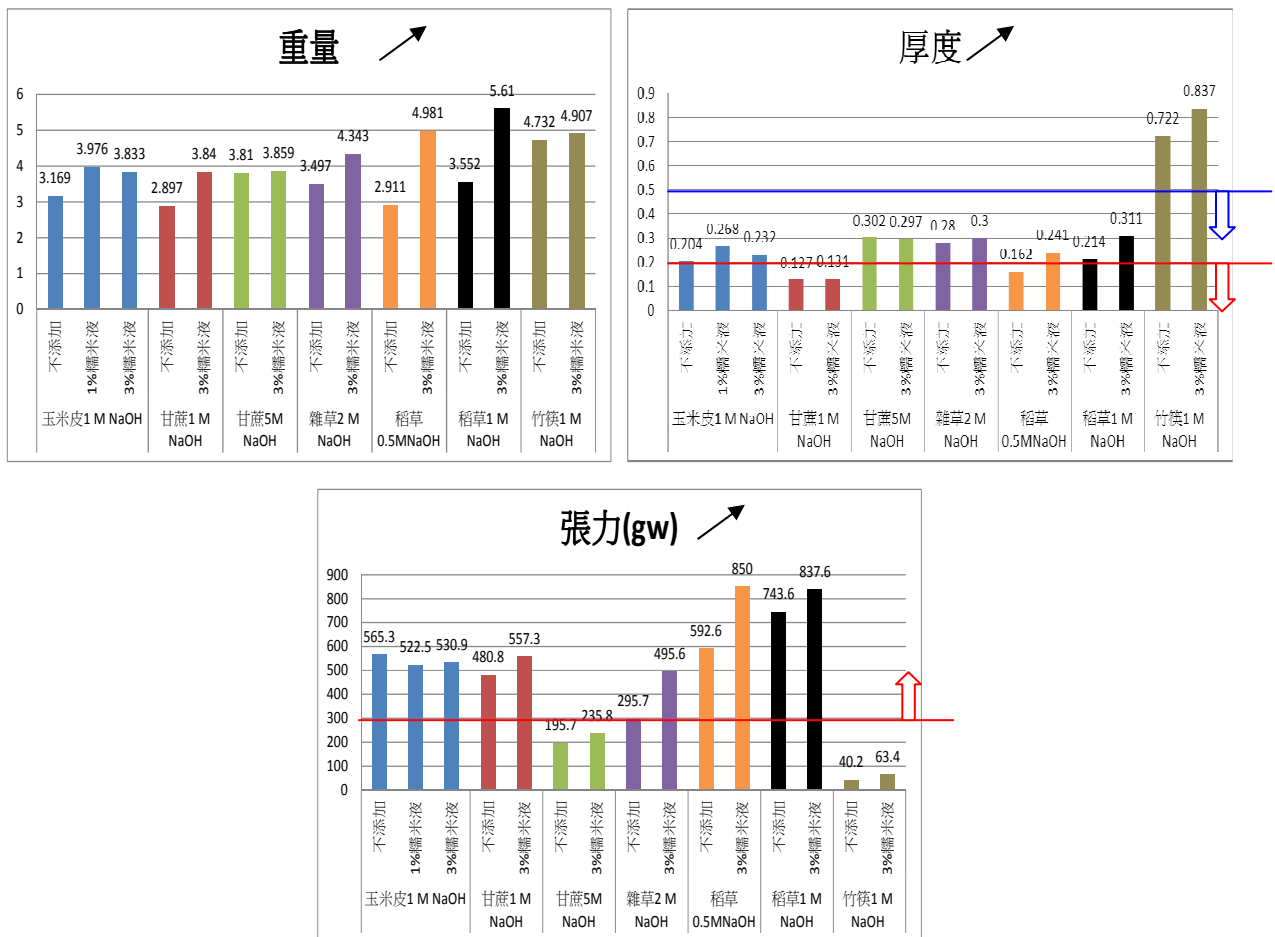
材質：玉米皮、甘蔗渣、雜草、稻草、竹篾，皆取 20g

根據實驗發現：

- 糯米粉支鏈澱粉的代表（相較於可溶性澱粉的直鏈澱粉比例較高），糯米粉液加熱後較不易糊化，因此添加糯米粉液的紙張張力也較弱，但造出的紙，張力還是提升，重量普遍變重，厚度也增加。
- 拿同樣是 3% 濃度的澱粉液和糯米粉液比較，添加澱粉液造出的紙張力大多較好。

材質	膠結液	紙張品質	重量 (g)	厚度 (mm)	吸水量 (mm)	吸油量 (mm)	張力 (gw)	透光度 (μA)	皺縮情況
玉米皮	1 M	不添加	3.118	0.216	31.120	7.060	565.3	16.6	O/X
	1 M	1%糯米粉液	3.976	0.268	38.397	8.587	522.5	17.8	O/X
	1 M	3%糯米粉液	3.833	0.232	29.050	8.640	530.9	18.8	X
甘蔗	1 M	不添加	2.897	0.127	1.840	2.680	480.8	73.4	O
	1 M	3%糯米粉液	3.840	0.131	2.116	0.200	557.3	75.6	O/X
甘蔗	5M	不添加	3.810	0.302	26.010	8.126	195.7	11.0	X
	5M	3%糯米粉液	3.859	0.297	29.52	8.383	235.8	9.2	X
雜草	2 M	不添加	3.497	0.280	53.502	8.460	295.7	9.6	X
	2 M	3%糯米粉液	4.343	0.300	33.223	8.060	495.6	1.4	X
稻草	0.5M	不添加	2.911	0.162	29.276	4.316	592.6	4.6	X
	0.5M	3%糯米粉液	4.981	0.241	22.623	4.69	850.0	1.4	X
稻草	1 M	不添加	3.552	0.214	26.337	4.600	743.6	1.6	X
	1 M	3%糯米粉液	5.610	0.311	29.410	5.880	837.6	1.8	X
竹篾	1 M	不添加	4.732	0.722	6.440	16.650	40.2	16.6	X
	1 M	3%糯米粉液	4.907	0.837	8.940	16.90	63.4	22.4	X

表十一、添加糯米粉液的紙張品質測試總表

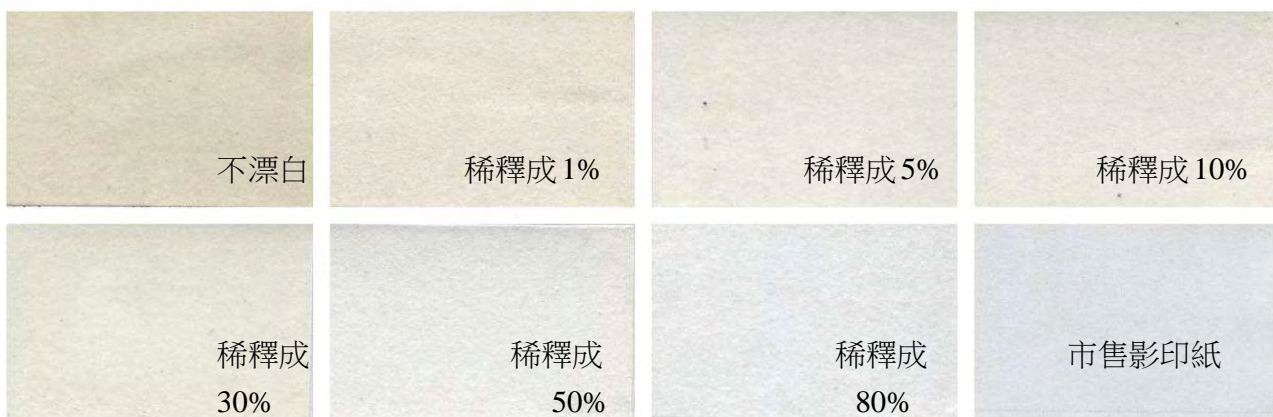


圖十六、添加不同糯米粉液品質結果

七、探討漂白效果

(一) 使用雙氧水漂白 (市售濃度為 35% 的過氧化氫水溶液)

我們先使用玉米皮測試漂白效果 (將雙氧水再稀釋成 1%、5%、10%、30%、50%、80%)，發現 50~80% 效果接近效果差不多，所以我們以 50% 做後續實驗。



圖十七、雙氧水漂白效果

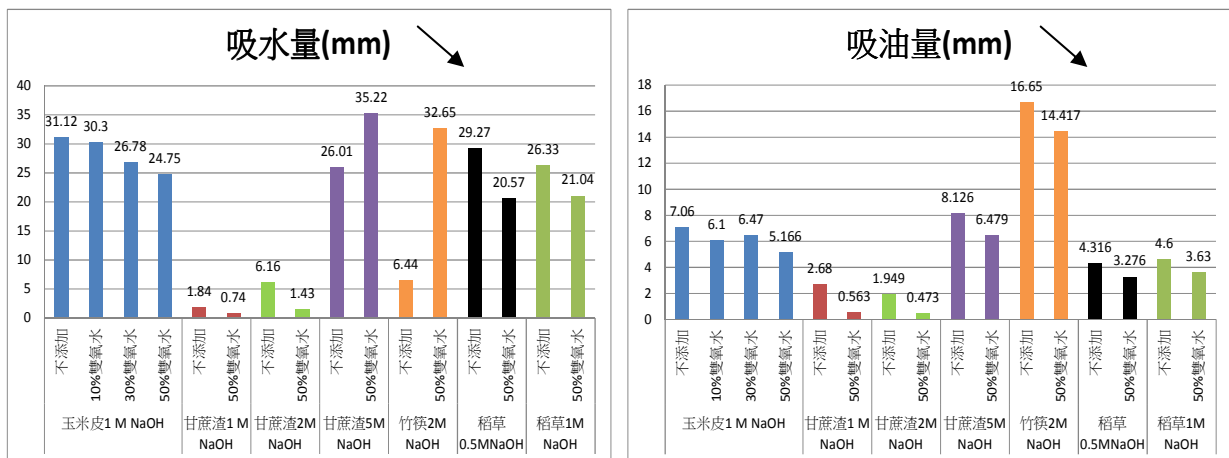
材質：玉米皮、甘蔗渣、竹筴、稻草

根據實驗發現：

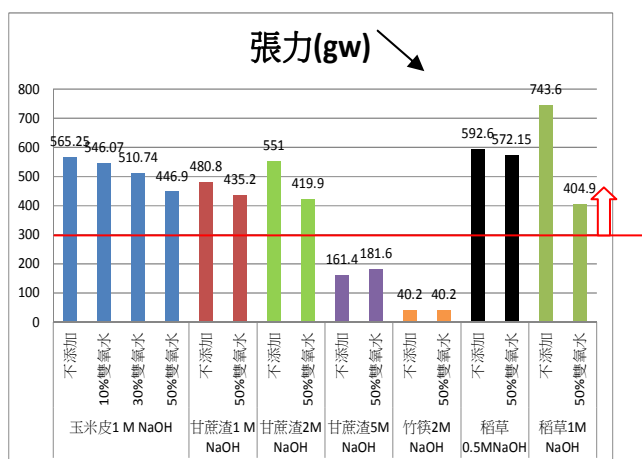
- 漂白後的紙張張力普遍下降，可能是因雙氧水將纖維中部分物質氧化了。
- 漂白後的吸水量、吸油量普遍下降，只有竹筴 2M、甘蔗 5M 是例外，特別是竹筴纖維，以雙氧水處理後造出的紙吸水量升高很多。

材質	雙氧水濃度	紙張品質	重量 (g)	厚度 (mm)	吸水量 (mm)	吸油量 (mm)	張力 (gw)	透光度 (μA)	皺縮情況
玉米皮	不添加		3.118	0.216	31.12	7.060	565.25	16.6	O/X
	10%雙氧水		3.108	0.192	30.30	6.100	546.07	25.4	O/X
	30%雙氧水	1 M	3.026	0.180	26.78	6.470	510.74	25.4	O/X
	50%雙氧水		3.316	0.194	24.75	5.166	446.9	23.4	O/X
甘蔗	不添加	1 M	2.897	0.127	1.84	2.680	480.80	65.4	O
	50%雙氧水		2.023	0.089	0.74	0.563	435.20	91.4	O
甘蔗	不添加	2M	2.650	0.098	6.16	1.949	551.00	43.6	O
	50%雙氧水		2.567	0.172	1.43	0.473	419.90	28.6	O
甘蔗	不添加	5M	3.810	0.302	26.01	8.126	161.40	11.0	X
	50%雙氧水		3.758	0.353	35.22	6.479	181.60	11.6	X
竹筴	不添加	2M	4.732	0.722	6.44	16.650	40.2	16.6	X
	50%雙氧水		3.783	0.547	32.65	14.417	40.2	40.4	X
稻草	不添加	0.5M	2.911	0.162	29.27	4.316	592.6	4.6	X
	50%雙氧水		3.458	0.182	20.57	3.276	572.15	11.2	X
稻草	不添加	1M	3.552	0.214	26.33	4.600	743.60	1.6	X
	50%雙氧水		3.584	0.187	21.04	3.630	404.90	11.2	X

表十二、添加各種不同濃度雙氧水的紙張測試總表



圖十八、添加不同濃度的雙氧水漂白效果 (續下頁)



圖十八、添加不同濃度的雙氧水漂白效果（承上頁）

八、校園落葉解纖效果

我們發現：單子葉植物葉子具有平行脈，所以竹葉、香蕉葉、椰子葉都可以解纖造紙，而雙子葉植物的桂花葉，就算使用 5M 滅菌後，也只剩下葉脈，無法造紙。

鹼液 材質	NaOH 1M	NaOH 2M	NaOH 5M
竹葉	●	●	●
香蕉葉	※	●	●
椰子葉	※	◎	●
桂花葉	※	※	※

表十三、校園落葉的解纖濃度：●完全解纖，無粗纖維；◎解纖，有少量粗纖維；※未解纖；灰底可以造紙

我們發現：用椰子葉纖維造紙，糾結的情況類似竹筴造出的紙張，纖維較粗，張力較低。而香蕉葉和竹葉都能造紙，但若使用 5M 氫氧化鈉解纖，纖維可能會過短，導致張力降低。整體而言，最適合造紙的纖維是香蕉葉 2M，造出來的紙張張力最佳。

纖維	紙張品質	重量 (g)	厚度 (mm)	吸水量 (mm)	吸油量 (mm)	張力 (gw)	透光 (μA)	皺縮情況
香蕉葉	2M	3.574	0.219	29.610	6.230	579.3	4.4	X
	5M	3.143	0.221	18.460	8.556	211.8	15.0	X
椰子葉	2M	5.363	0.697	23.396	10.76	74	2.6	X
	5M	3.816	0.286	12.886	11.426	40.7	12.0	X
竹葉	1M	3.341	0.280	30.286	7.350	204.1	6.6	X
	2M	1.978	0.180	12.706	8.253	40.7	17.8	X

表十四、校園落葉紙張品質總表



香蕉葉紙 (2M)



椰子葉紙 (2M)



竹葉紙 (1M)

圖十九、校園落葉紙張圖片

九、混合不同材質的造紙效果測試（兩種材質混合）

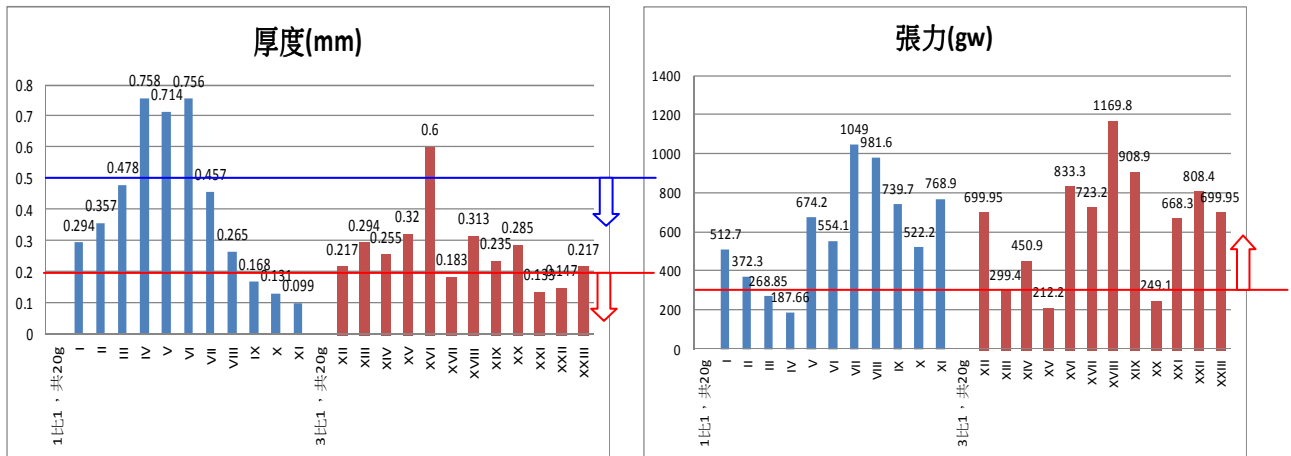
材質：玉米皮、玉米梗、甘蔗渣、雜草、廢棄太空包木屑、竹筴、柚子皮、稻草；接取總濕重 20g，以果汁機打 30 秒（木屑則是打 5 分鐘）

根據實驗發現：

- 添加竹筴可使紙的張力提升，但添加過多會太厚。
- 添加甘蔗 1M 可使紙的張力提升，但添加過多容易皺縮。
- 將竹筴纖維以 1：1 的比例混合容易皺縮的甘蔗 1M 後，紙張的張力優異，且也未皺縮，品質不錯但稍厚。
- 將柚子皮混合竹筴後，不僅厚度適中，張力也不錯，且也未皺縮，品質不錯。
- 紙張成分含有木屑及竹筴纖維會使紙張吸水、吸油數值提升最多，雜草其次。
 ✓ 我們的紙張品質上，若紙張皺縮、厚度 > 0.5mm、張力 < 300 gw，我們就不推薦。

編號	紙張品質		重量 (g)	厚度 (mm)	吸水量 (mm)	吸油量 (mm)	張力 (gw)	透光度 (μA)	皺縮 情況
	材質								
編號	材質一	材質二	1 比 1，共 20g						
I	雜草 2M	柚子清水	2.673	0.294	1.407	0.787	512.7	11.2	O
II	雜草 2M	玉米梗 1M	3.477	0.357	41.610	7.040	372.3	5.8	X
III	雜草 2M	甘蔗 5M	3.244	0.478	33.660	6.453	268.85	8.2	X
IV	雜草 2M	木屑 5M	4.160	0.758	55.403	8.693	187.66	10.2	X
V	雜草 2M	竹筴 1M	4.775	0.714	75.72	12.65	674.2	18	X
VI	甘蔗 5M	竹筴 1M	4.366	0.756	58.527	11.920	554.1	12.8	X
VII	甘蔗 1M	竹筴 1M	4.187	0.457	57.52	10.62	1049	0.6	X
VIII	玉米皮 1M	雜草 2M	4.070	0.265	28.573	5.420	981.6	5.2	X
IX	玉米皮 1M	甘蔗 1M	2.988	0.168	10.936	3.543	739.7	1	X
X	稻草 1M	柚子清水	3.117	0.131	5.97	3.733	522.2	19.8	O
XI	稻草 1M	甘蔗 1M	3.214	0.099	5.883	4.24	768.9	12.8	X
編號	材質一	材質二	3 比 1，共 20g						
XII	雜草 2M	柚子清水	3.98	0.217	7.895	1.59	699.95	2	O
XIII	雜草 2M	玉米梗 1M	3.68	0.294	32.035	5.615	299.4	1.2	X
XIV	雜草 2M	甘蔗 5M	3.927	0.255	30.305	7.445	450.9	0.6	X
XV	雜草 2M	木屑 5M	4.184	0.32	37.63	6.94	212.2	0.2	X
XVI	雜草 2M	竹筴 1M	6.095	0.600	59.47	12.40	833.3	1.8	X
XVII	玉米皮 1M	甘蔗 1M	2.917	0.183	5.860	3.207	723.2	24.0	X
XVIII	甘蔗 1M	竹筴 1M	3.194	0.313	22.513	4.983	1169.8	24.4	O
XX	甘蔗 5M	竹筴 1M	3.955	0.235	14.19	4.033	908.9	19.6	X
XX	甘蔗 5M	柚子清水	3.976	0.285	8.3	2.736	249.1	13.4	O
XXI	稻草 1M	柚子清水	3.035	0.133	7.47	2.216	668.3	12.4	X
XXII	稻草 1M	甘蔗 1M	3.574	0.147	10.96	3.746	808.4	7.2	X
XXIII	雜草 2M	柚子清水	3.98	0.217	7.895	1.59	699.95	2	O

表十五、混合纖維紙張品質測試（斜線劃掉的部分代表品質不佳，例如皺縮、厚度超過 0.5mm、張力不到 300gw；品質不佳的紙張我們將整行反白）



圖二十、混合紙張的厚度、張力品質效果

十、開發最佳品質紙張

最佳品質流程：將纖維浸泡 50% 的雙氧水，80°C 漂白 30 分鐘，果汁機打 1 分鐘，加入 3% 澱粉液 10c.c.，以 200 目絹框造紙

根據實驗發現：

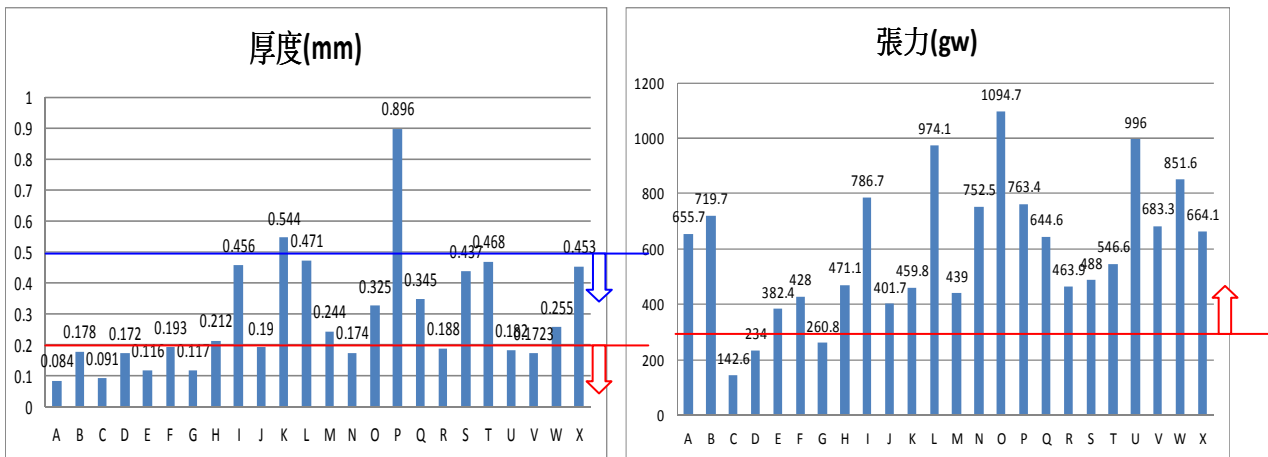
- 單一纖維造紙，建議用玉米皮 1M、雜草 2M 10~15 g 造紙；甘蔗渣 5M 造紙張力過低且成本太高，稻草若只取 10 g 張力太低，建議取 15 g 以上。
- 混合材質時，建議把握以下原則
 1. 竹筴纖維是可使紙張不皺縮且硬挺的添加劑，但添加愈多會愈厚。
 2. 柚子清水和甘蔗 1M 膠質很多，加多了紙張會皺縮，除非搭配竹筴纖維，可截長補短。

編號	紙張品質 各種變因	重量 (g)	厚度 (mm)	吸水量 (mm)	吸油量 (mm)	張力 (gw)	透光度 (μA)	皺縮 情況
單一材質								
A	玉米皮 1M 10g	1.465	0.084	9.513	1.083	655.7	23.4	X
B	玉米皮 1M 15g	2.941	0.178	16.507	3.680	719.7	26.2	X
C	甘蔗 5M 10g	1.830	0.091	17.100	2.017	142.6	40.0	X
D	甘蔗 5M 15g	2.815	0.172	21.643	4.733	234.0	20.2	X
E	雜草 2M 10g	1.978	0.116	24.157	4.407	382.4	28.6	X
F	雜草 2M 15g	3.252	0.193	32.413	5.057	428.0	18.0	X
G	稻草 1M 10g	2.328	0.117	17.105	4.54	260.8	22.4	X
H	稻草 1M 15g	3.771	0.212	22.7	4.57	471.1	13.6	X
1 比 1，共 20g								
I	稻草 1M 竹筴 1M	4.667	0.456	51.680	8.090	786.7	13.4	X
J	稻草 1M 甘蔗 1M	3.249	0.190	7.700	3.270	401.7	19.6	O
K	甘蔗 5M 竹筴 1M	4.971	0.544	54.98	10.84	459.8	15	X
L	甘蔗 1M 竹筴 1M	4.899	0.471	35.74	5.995	974.1	15	X
M	玉米皮 1M 雜草 2M	4.87	0.244	14.605	4.015	439	13.2	X
N	玉米皮 1M 甘蔗 1M	1.366	0.174	11.22	2.675	752.5	22.4	X
O	柚子清水 竹筴 1M	4.121	0.325	31.30	7.13	1094.7	24.4	X
P	雜草 2M 竹筴 1M	5.391	0.896	64.61	14.38	763.4	14	X

表十六、各種不同變因的紙張測試總表（灰色字、反白代表紙張品質不佳，不推薦）（續下頁）

編號	紙張品質 各種變因		重量 (g)	厚度 (mm)	吸水量 (mm)	吸油量 (mm)	張力 (gw)	透光度 (μA)	皺縮 情況
3 比 1，共 20g									
Q	稻草 1M	竹筷 1M	4.704	0.345	28.49	4.880	644.6	9.2	X
R	稻草 1M	甘蔗 1M	3.759	0.188	10.16	3.74	463.9	18.9	X
S	稻草 1M	柚子 清水	5.791	0.437	5.29	2.22	488.	22	X
T	甘蔗 5M	竹筷 1M	5.761	0.468	54.11	12.73	546.6	11.6	X
U	甘蔗 1M	竹筷 1M	3.779	0.182	8.10	2.48	996	32.8	X
V	甘蔗 5M	柚子清水	3.976	0.1723	6.09	3.68	683.3	17.8	○
W	玉米皮 1M	甘蔗 1M	4.18	0.255	17.52	3.83	851.6	19.2	○
X	雜草 2M	竹筷 1M	5.205	0.453	32.81	10.36	664.1	18	X

表十六、各種不同變因的紙張測試總表（灰色字、反白代表紙張品質不佳，不推薦）（承上頁）



圖二十一、最佳紙張的厚度、張力效果

十一、最佳品質紙張實用性測試

我們造出的最佳品質紙張，均可書寫、列印、摺疊。



圖二十二、紙張實用性測試結果

十二、成本估算

(一) 滅菌成本估算：

	玉米皮 1M	甘蔗渣 1M	甘蔗渣 5M	雜草 2M	竹筷 1M	稻草 0.5M	稻草 1M	椰子葉 2M	香蕉葉 2M
100 g 氫氧化鈉可造張數	10 張	9 張	2.5 張	5 張	24.7 張	19.3 張	7.5 張	2.5 張	4 張
總結 (一張，濕重 20g/元)	0.56	0.62	2.22	1.1	0.225	0.288	0.74	2.22	1.39

表十七、滅菌成本估算

(二) 最佳品質成本估算 (最佳品質紙張所用纖維)

最佳品質的造紙方法及成本：

1. 將纖維浸泡 50%稀釋雙氧水，80°C 漂白 30 分鐘
(雙氧水一罐 500 c.c，45 元，平均一次用掉 25 c.c.，約 2.25 元)
2. 果汁機攪打一分鐘
3. 加入糊化的 3%澱粉液
(食用級可溶性澱粉一公斤 85 元，一次用 0.3 克，約 0.0255 元)
4. 以 200 目絹框手抄造紙

纖維成本及總成本

	A	B	E	F	H	I	L	M	N
纖維成本	0.28	0.42	0.55	0.825	0.555	0.4825	0.4225	0.83	0.59
不漂白總成本	0.3055	0.4455	0.5755	0.8505	0.5805	0.508	0.448	0.8555	0.6155
漂白後總成本	2.5555	2.6955	2.8255	3.1005	2.8305	2.758	2.698	3.1055	2.8655

	O	Q	R	S	T	U	X
纖維成本	0.31	0.61125	0.71	0.555	1.72125	0.52125	0.88125
不漂白總成本	0.3355	0.63675	0.7355	0.5805	1.74675	0.54675	0.90675
漂白後總成本	2.5855	2.88675	2.9855	2.8305	3.99675	2.79675	3.15675

表十八、最佳品質紙張的成本估算

陸、討論

我們知道，大部分造紙用的原木產在熱帶雨林，而樹木砍伐又造成生態失衡，想到這就覺得，若我們將生活中不要的廢棄物都拿來造紙，應能兼顧環保與永續利用，且利益大眾。

為了瞭解造紙流程，我們參觀廣興紙寮，導覽員為我們一一介紹運用不同材質做的紙張（蒜皮、咖啡渣、鞭炮殼和牛糞）及造紙流程（泡料、煮料、造紙、烘乾、印刷），還介紹像是生產棉紙跟宣紙用的：美國土豆、雁樹，並且將樹的根部榨出膠質作為懸浮劑，最後將材料處理後產出木漿，攪打後開始將大量纖維沖至竹簾造紙，加壓、烤乾。對造紙有了基本概念後，我們便發展自己的造紙法。

	材料	解纖方法	打漿	添加劑	抄紙
廣興紙寮造紙法	「雁樹」、 「美國土豆」	蒸煮	打漿機	懸浮劑	用竹簾 大缸抄紙
我們的造紙法	玉米皮、稻草、甘蔗渣 等.....十二種纖維	高壓滅菌釜	果汁機	膠結液、雙氧水	絹框 不浪費纖維

表十九、本研究與「廣興紙寮」造紙方法異同

我們首先利用廢棄太空包木屑造紙，但木屑纖維粗硬，我們分別以：飽和小蘇打溶液、強酸（HCl）、強鹼（NaOH）等溶液浸泡木屑，發現強酸只能使色素溶出，而 5M 氫氧化鈉溶液搭配高壓滅菌釜高溫蒸煮 1 小時能讓纖維解纖軟化，此纖維再以果汁機攪打 5 分鐘即可成紙，但張力極低，品質差；因此我們加做了夜市裡拿回的玉米皮，我們發現玉米皮的纖維更適合造紙，且鹼液濃度不需太高，果汁機也不用打那麼久。接著為使我們的研究更豐富完整，陸續加入其他纖維質廢棄物如：甘蔗渣、竹筴、雜草、柚子皮、稻草等。結果顯示甘蔗、稻草、雜草皆適合造紙，特別是稻草造紙成本低，品質佳，是我們最推薦的。

用甘蔗渣造紙的實驗我們發現，低鹼液濃度解纖的甘蔗渣膠質多，紙張透明，脫水後易皺縮，而高濃度鹼液解纖可使膠質去除，讓紙張品質更好，但剩下纖維不多，造出的紙張力較差。我們閱讀文獻後得知，植物細胞壁由纖維素、果膠質及蛋白質構成，甘蔗渣纖維大部分是水分、蔗糖、果膠等，剩下的纖維才能造紙。

竹筴纖維堅韌而不够軟，解纖後造出的紙張像「布」而不像「紙」，且張力很低，增加克重雖然會使張力些微提升，但厚度已厚到不像紙張了，我們發現，若將竹筴加入糊化的可溶性澱粉可使張力提升，厚度降低，可能是糊化的澱粉很黏稠，使竹筴纖維糾結，但即使如此，竹筴造紙的品質仍不及稻草、玉米皮等。



我們紙張品質標準要件是張力夠、厚度薄，為求完美，我們決定添加膠結液促進纖維黏著。在參考《環保糯米膠》後發現，台灣有用糯米當黏著劑造橋的先例，因此我們考慮在紙漿中添加糊化的糯米粉液，而實驗室的可溶性澱粉（主要是直鏈澱粉）也加入我們的實驗。實驗後發現，可溶性澱粉可快速溶於熱水中，呈半透明膠體且具黏性，但糯米粉液（支鏈澱粉比例較高）較難溶於熱水中，造出的紙張增加的張力強度比可溶性澱粉液差。此外，我們也嘗試了日本太白粉（馬鈴薯澱粉），發現也能稍微提升張力。

我們希望使紙張美觀，所以將纖維加熱至 80 度並浸泡氧化型漂白劑—過氧化氫水溶液（雙氧水）30 分鐘，讓纖維色素氧化漂白，我們發現用 50% 以上的雙氧水濃度效果皆差不多，基於成本考量，我們建議用 50% 濃度的雙氧水漂白紙張，若要降低成本，則可用更低的濃度，或浸泡更久的時間。

在科展報告《點『殼』成紙 ~菱角殼製漿造紙可行性之研究~》中使用菱角殼手抄造紙，發現他們的菱角殼似乎與我們的木屑類似，紙同是易碎且較硬。另外，在《『渣』很大一殼殼渣渣站起來—探討椰子殼、茶渣、甘蔗渣等廢棄物再利用》這份科展作品指出：椰子殼可造紙，但成功率低。我們想到，除了椰子殼，椰子葉也許能成為造紙材料，剛好學校就有整排的大王椰子，於是我們將椰子葉解纖手抄造紙，結果發現，雖可成紙但張力不足；此外，我們又加入了其他校園植物落葉來造紙，包括雙子葉植物的桂花葉、單子葉植物的香蕉葉、竹葉，發現在校園植物落葉中最適合造紙的纖維是香蕉葉，而雙子葉植物的桂花葉，解纖之後只剩下一團粗硬的纖維，無法造紙。綜合以上的實驗我們發現，單子葉禾本科植物（稻、芒、玉米）的葉子用低濃度就能解纖造紙，是我們推薦的材料。

在《芒草·變裝·show！—芒草纖維作為造紙新原料的可行性研究》這份科展作品中，作者先用檳榔做紙，但需添加紙紙漿才能成紙，後來改用芒草纖維混闊葉樹纖維造紙，文中提到纖維交織情況會影響透水性，長短纖維混製的紙張，會使纖維堆疊情況差，導致張力降低、吸水量提高。而我們使用多達十二種纖維來造紙，當中有些不適合造紙的纖維我們也想物盡其用，因此我們嘗試混合不同纖維造紙，結果發現，添加柚子皮（清水解纖）、甘蔗（1M 氫氧化鈉解纖）的紙張，因膠質多，張力普遍提升。竹筴雖然單一纖維造紙品質不好，但少量添加在其他纖維可使紙張更硬挺不皺縮、張力提高，這也許可以解決台灣竹筴廢棄物的問題。

本研究特色：

- 一、不同於歷年科展造紙研究，我們的造紙過程**不添加任何紙漿，只用多種天然纖維造紙。**
- 二、用**高壓滅菌釜**定時定壓定溫，取代鍋子蒸煮的不標準性。
- 三、將纖維倒在絹框中使之均勻分布**不浪費任何纖維**，而非將在大缸中手抄
- 四、探討**添加糊化澱粉、漂白**等問題
- 五、**利用了12種纖維，混合並做出最佳紙張**，測試其實用性，並推薦給大家。

本實驗設計的造紙流程，希望能讓日後研究參考，也期望本研究成為一份承先啟後的作品。

柒、結論

- 一、市售紙張的厚度大約在 0.2 mm 以下，張力至少 300 gw 以上，透光度約在 $20 \mu A$ 以下，吸水量 20 mm 以下，吸油量 10 mm 以下，其中厚度及張力是我們最重視的。
- 二、在「測試各種纖維質廢棄物的解纖濃度」實驗中，我們發現，最容易解纖的是柚子皮，清水即可解纖造紙，最難解纖的是廢棄太空包木屑，要用 5M NaOH 解纖再用果汁機打五分鐘才能造紙，下表為列出各種纖維的解纖最低鹼液濃度。

清水	0.5M	1M	2M	5M
柚子皮	雜草、稻草	玉米皮、稻草、玉米梗、竹筴	甘蔗渣	廢棄太空包木屑
適合造紙的纖維：玉米皮、稻草、甘蔗渣、雜草				
較不適合造紙的纖維：柚子皮、玉米梗、竹筴、廢棄太空包木屑				
原因：柚子皮紙張會皺縮，玉米梗、竹筴及廢棄太空包木屑紙張，張力低易破裂。				

三、各種纖維質廢棄物的造紙特性

玉米皮	適合造紙，紙張較白、張力品質不錯，但偶有皺縮情形
玉米梗	纖維較短，用濃度(1M)解纖可造紙且完全解纖，但是會碎裂
甘蔗渣	低濃度（1M）解纖，無法去除所有膠質，因此紙張很透明且易皺縮
	高濃度（5M）解纖可以去除膠質，造出的紙張較白，但成本過高
雜草	纖維較長，用濃度(0.5M)解纖，可成紙但會有少許的粗纖維
木屑	果汁機打 30 秒成紙後易碎，以果汁機打 5 分鐘造出的紙較平滑，好取下
竹筴	用濃度(1M)解纖發現到成品上無粗纖維，但張力脆弱
柚子皮	膠質多，纖維較少，用各濃度的 NaOH 解纖都能解纖，但容易皺縮或碎裂
稻草	濃度(0.5M)解纖成品有少許粗纖維，濃度(1M)解纖非常適合造紙
整體而言，單一纖維的造紙效果以玉米皮、甘蔗渣、雜草、稻草較適合造紙	

- 四、在改變濕重的實驗中，我們發現所有的纖維濕重加的愈多，重量、厚度、張力提升，透光度下降。
- 五、在改變攪打時間實驗中，攪打 1 分鐘紙張張力品質都比 30 秒提升，但有些纖維攪打 5 分鐘造出的紙張，可能因過度攪打，張力反而變差。
- 六、使用 200 目絹框的紙張，重量增加，張力較 150 目絹框大幅提升，吸水吸油量則是下降。
- 七、我們的實驗並非用大缸抄紙，而是直接將纖維倒在絹框，因此我們不添加懸浮液，改用膠結液，我們使用的膠結液有膠水、糊化的可溶性澱粉液、糯米粉液三種。
 - (一) 添加膠水後，紙張張力普遍提升，但在竹筴上沒有提升張力的效果。
 - (二) 添加糊化的澱粉液使紙張力普遍提升。
 - (三) 添加糯米粉液也使紙張力提升，但效果大多不及澱粉液。
- 八、以雙氧水（35%過氧化氫水溶液）稀釋 50%，在 80°C 浸泡 30 分鐘可將紙張漂白，吸水、吸油、張力普遍下降。

九、校園落葉造紙效果：

單子葉			雙子葉	
竹葉 2M 濃度解纖	香蕉葉 2M 濃度解纖	椰子葉 2M 濃度解纖	桂花葉用 5M 濃度也無法完全解纖	
成紙較軟，品質居中	厚度及張力符合市售紙張需求	纖維較粗，品質最差	解纖後只剩葉脈	
校園植物造紙研究方面，我們發現雙子葉的桂花葉解纖後只剩葉脈，無法造紙。單子葉的竹葉、香蕉葉、椰子葉，都能以 2M 解纖，其中以香蕉葉紙張品質最好。				

十、混合兩種以上材質造紙：添加柚子皮、甘蔗的紙張力普遍提升，但添加過多則會皺縮；竹筴雖然單一纖維造紙品質不好，但添加在其他纖維可使紙張更加硬挺。

十一、我們綜合以上實驗，提出最佳紙張的造紙流程及纖維配方，供大眾參考。

(一) 配方

	A	B	E	F	H	I	L	M	N
纖維 1	玉米皮 1M 10g	玉米皮 1M 15g	雜草 2M 10g	雜草 2M 15g	稻草 1M 15g	稻草 1M 10g	甘蔗 1M 10g	玉米皮 1M 10g	玉米皮 1M 10g
纖維 2						竹筴 1M 10g	竹筴 1M 10g	雜草 2M 10g	甘蔗 1M 10g
	O	Q	R	S	T	U	X		
纖維 1	柚子清水 10g	稻草 1M 15g	稻草 1M 15g	稻草 1M 15g	甘蔗 5M 15g	甘蔗 1M 15g	雜草 2M 15g		
纖維 2	竹筴 1M 10g	竹筴 1M 5g	甘蔗 1M 5g	柚子 清水 5g	竹筴 1M 5g	竹筴 1M 5g	甘蔗 1M 5g		

(二) 流程：以 50%稀釋雙氧水，80°C 下浸泡 30 分鐘，以果汁機攪打 1 分鐘，加入糊化的 3%澱粉液 10c.c.，使用 200 目絹框手抄造紙。

捌、參考資料及其他

- 何雅琦，楊漢威，湯智強，馮宜璇（1990）。奇妙的造紙方法。第 30 屆全國中小學科展應用科學科。
- 郭怡岑，謝雨倫（1998）。點「殼」成紙~菱角殼製漿造紙可行性之研究~。第 48 屆全國中小學科展生活與應用科學科。
- 藍浩繁（2006）。第一章、非木纖維原料及性質。手工紙製造及其性質與紙品設計加工。屏東科技大學。P1~11。
- 劉育昇、林羿廷、張祖瑜、李宜珊、林書賢、陳貝旻（2007）。垃圾變黃金-大王椰子樹的風華再現。第 47 屆全國中小學科展生活與應用科學科。
- 王暉崧、邱耀慶、郭主歆（2007）。解開「澱粉~碘」的藍色密碼。第 47 屆全國中小學科展理化科。
- 劉冠好、鄭元皓、吳欣融、張嘉澤、莊凱歲、陳為京（2009）。『渣』很大一殼殼渣渣站起來—探討椰子殼、茶渣、甘蔗渣等廢棄物再利用。第 49 屆全國中小學科展生活與應用科學科。
- 王捷莓、謝岱芸（2009）。植物葉片纖維形態分析與物理性質之觀察。中央研究院高中生命科學資優生培育計畫專題研究報告。
- 李宜娟（2010）。稻草露天燃燒問題剖析。豐年半月刊 59：20。P44~47。
- 蘇承宏、林仲甫、林昱廷（2011）。環保糯米膠。第 51 屆全國中小學科展生活與應用科學科。
- 倪毓均，邱筱歲，邱榆尹（2012）。芒草·變裝·show！—芒草纖維作為造紙新原料的可行性研究。第 52 屆全國中小學科展生活與應用科學科。

【評語】 030827

1. 以日常生活中隨手可得之廢棄物或校園落葉作為造紙原料，製作過程中並以澱粉或糯米粉液取代膠水，是一個頗具環保概念的研究。
2. 為了測試所製紙張之張力及透光度，自行設計測試平台，具有創意。