
初探自製「桂竹紙」的研究

張瀚中¹ 陳均伊^{2*}

¹ 苗栗縣立田美國民小學

² 國立嘉義大學 科學教育研究所

前言

紙的應用在日常生活中非常廣泛，舉凡課本、衛生紙、紙箱，和紙袋等等，都離不開此範疇。對多數人而言，隨手將紙張丟掉，是多麼容易的一件事。然而，紙的用量愈多，代表我們砍伐樹木的數量也愈多，對環境衝擊無疑是沈重的負擔，況且地球正面臨著溫室效應的衝擊，保護環境應是刻不容緩的事宜。

本研究以學生生活中常接觸的植物為範圍，探討什麼樣的植物適合成為製紙原料。在校園中，常見的植物有銀樺、桃花樹與鳳凰木，南庄地區常見的植物有桂花樹與桂竹。南庄鄉的特產「桂竹」具有生長期短與易於繁殖的特點，應可取代樹木成為製紙原料。希冀學生在尋找製紙原料與製紙的過程中，能逐步克服接踵而來的問題，其次，並從中瞭解製紙是一件非常不簡單的工作，正視愛惜資源與保護生態的重要性，並能將知識轉化為行動，節約紙與降低紙製品的使用量。

壹、研究動機

製紙最重要的原料是樹木（樹皮纖維）

），減少樹木的砍伐與尋找替代原料，是保護環境不容忽視的要務。在國小六年級的自然生活科技課本中，亦提到永續家園的重要性，並倡導生態環境發展的永久性，所以，教導學生愛惜森林資產，深植保護生態觀念，顯得特別重要。

本研究從分析什麼樣的植物適合成為製紙原料，設計一個探究過程，找出學生生活中可以成為製紙替代原料的植物，在一系列的實驗活動中，研製自行製紙的可行性，並藉由製紙的過程，提醒學生重視「紙」，不要輕易浪費紙張。

貳、研究目的

- 一、藉由學童平時接觸的家鄉特產「桂竹」，厚植珍惜資源和保護環境的觀念。
- 二、學習經由資料收集和實驗操作，探討紙的本質和製紙的流程。
- 三、培養實驗操作、記錄數據與問題解決的能力。
- 四、訓練有組織、有系統的科學思能力。

參、實驗器材

- 一、材料：桂竹片、桂竹內膜、桂竹葉、桂竹根；桃花樹皮、桃花樹葉、桃花

* 為本文通訊作者

樹根；桂花樹皮、桂花樹葉、桂花樹根；銀樺樹皮、銀化樹根、銀化樹葉；鳳凰木樹皮、鳳凰木樹葉、鳳凰木樹根；榕樹葉、榕樹根、榕樹樹皮、油桐花。

二、化學藥劑：碳酸鈉、碳酸氫鈉、氨水、醋酸。

三、溶液：檸檬汁、肥皂水。

四、器材：試管、試管架、燒杯、酒精燈、天枰、鑷子、石棉心網、鐵三角架、載玻片、蓋玻片、顯微鏡、滴管。

五、其他：膠帶、水桶、數位相機、實驗紀錄紙、電腦、果汁機、篩子、熨斗。

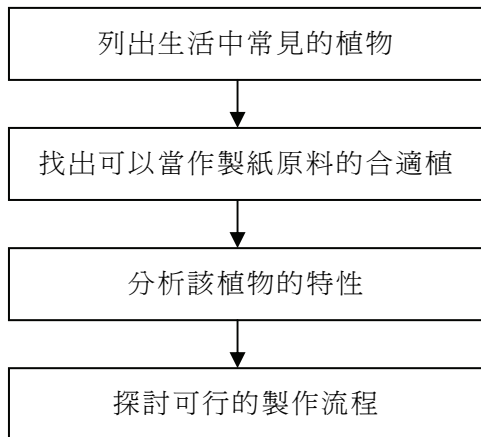
刮取樣本，製成樣本，以利觀察，如圖二、圖三。



圖二、桂花和銀化樹皮標本

肆、研究過程及方法

一、研究架構



圖一、研究架構圖



圖三、鳳凰木和榕樹標本

二、實驗步驟

實驗一：觀察加箱內與校園中不同植物的纖維組織和紙纖維的比較，並

實驗二：探討溶液的酸鹼性和溫度對纖維組織分離的影響力。

(一) 探討酸鹼性(表一)對於植物纖維組織的影響力。

(二) 探討溫度對於植物纖維組織分離的影響力。

表一、各式水溶液的酸（鹼）性

| 待檢定的溶液 | 酸(鹼)性 |
|--------|-------|
| 碳酸鈉 | 鹼性 |
| 碳酸氫鈉 | 鹼性 |
| 氨水 | 鹼性 |
| 肥皂水 | 中性 |
| 檸檬汁 | 酸性 |
| 醋酸 | 酸性 |

實驗三：探討再生紙、再生桂竹紙（探討桂竹纖維和紙纖維是否相似），和桂竹紙的製作流程。

- (一) 探討再生紙製作步驟（表二）。
從製作再生紙的經驗中，獲取經驗，以利完成「桂竹紙」。

表二、再生紙自製步驟

| 步驟說明 |
|----------------------|
| 步驟一、先利用碎紙機將廢紙絞碎（圖四）。 |



圖四、將廢紙絞碎

步驟二、將碎紙張浸泡於水桶中靜置兩週（圖五）。



圖五、泡水

步驟三、以水與廢紙為 1:2 比例製成紙漿（圖六）。



圖六、製成廢紙漿

步驟四、使用抄紙器將製好的紙漿紙（圖七）。



圖七、再生紙

(二) 再生桂竹紙製作步驟(表三)將處理過的桂竹纖維與再生紙漿合併，檢視「桂竹」能否成爲製紙的原料。

表三、檢視桂竹纖維

| 步驟說明 |
|---|
| 步驟一、使用果汁機將廢紙絞成糊狀，添加桂竹纖維，水與廢紙和桂竹纖維的比例爲 1:2:1 (圖八)。 |



圖八、攪拌纖維

步驟二、使用抄紙器將製好的紙漿抄紙出來，再以熨斗將紙張熨平，完成再生的桂竹紙(圖九)。



圖九、半成品

步驟三、再生桂竹紙與再生紙比較(圖十)。



圖十、半成品比較

(三) 桂竹紙製作步驟(表四)將處理過的桂竹纖維添加樹糊製成紙漿，完成自製桂竹紙。

表四、實際操作自製桂竹紙

| 步驟說明 |
|---------------------------------|
| 步驟一、將預先準備好的桂竹纖維加入樹糊，調和成紙漿(圖十一)。 |



圖十一、攪拌纖維

步驟二、使用抄紙器將製好的紙漿抄紙出來，完成桂竹紙（圖十二）。



圖十二、半成品

三、分析方法

實驗的進行分對照組和實驗組，對照組僅將纖維組織放入水中，不添加任何的液體，實驗組則將纖維組織放入碳酸鈉、碳酸氫鈉、肥皂水、氨水、檸檬汁、和醋酸等溶液中。將兩組結果做交叉比對，訂出觀察的量化依據，共分為六級，分級的項目如表五。

表五、纖維組織分離量化的說明

| 分離百分比 | 量化依據說明 |
|-------|---|
| 0% | 纖維組織完全沒有分離，仍呈現緊密的狀態 |
| 10% | 纖維組織已有分離，纖維組織分離部分或纖維組織間空隙變大占樣本的 1/10 以下 |
| 20% | 纖維組織已有分離，纖維組織分離部分或纖維組織間空隙變大占樣本的 2/10 以下 |

分離百分比 量化依據說明

| | |
|-----|---|
| 30% | 纖維組織已有分離，纖維組織分離部分或纖維組織間空隙變大占樣本的 3/10 以下 |
| 40% | 纖維組織已有分離，纖維組織分離部分或纖維組織間空隙變大占樣本的 4/10 以下 |
| 50% | 纖維組織完全分離，纖維組織分離部分或纖維組織間空隙變大占樣本的 5/10 以下 |

實驗週期

因纖維組織的分離不易量化，因此以三天為一個週期，連續觀察七週期，共計二十一天的實驗，量化的標準如表六：

表六、實驗週期的界定

| 實驗階段（第幾日～第幾日） | 資料代號 |
|--------------------|------|
| 週期一（第 1 日～第 3 日） | A |
| 週期二（第 4 日～第 6 日） | B |
| 週期三（第 7 日～第 9 日） | C |
| 週期四（第 10 日～第 12 日） | D |
| 週期五（第 13 日～第 15 日） | E |
| 週期六（第 16 日～第 18 日） | F |
| 週期七（第 19 日～第 21 日） | G |
| 週期八（第 22 日～第 24 日） | H |
| 週期九（第 25 日～第 27 日） | I |

伍、研究結果

一、研究架構

(一) 研究一：比較家鄉中各種植物的特徵（表七）

在生活中，桂竹的成長期短與繁殖力強特性，容易產生大量的族群，且經濟價值高，除了可生產桂竹筍（每年四、五月）之外，亦是編織物品所需的原料。桃花樹、桂花樹、銀樺，和榕樹雖屬常見植物，但生長期較長，繁殖不易，較適合觀賞或造

景用途。所以，紙漿原料取得方面以桂竹較佳。

(二) 研究二：研究樣本植物根莖葉纖維組織的差異性？

觀察記錄表如表八，整理後的植物纖維比較如圖十三，由內容可知，桂竹纖維組織較為鬆散，且組織纖維間的空隙較大，對製作紙張應是良好的條件，能減少處理的時間，更可以簡化製紙的流程。

表七、家鄉植物特性的比較

| 名稱 | 分類 | 分佈區 | 生長期 | 繁殖方式 | 用途 |
|-----|------|--------|-----|-------|----------|
| 桂竹 | 禾本科 | 低海拔、山區 | 半年 | 地下莖繁殖 | 農具、編織、建築 |
| 桃花樹 | 薔薇科 | 分佈區廣 | 數年 | 種子 | 經濟用途、觀賞 |
| 桂花樹 | 木犀科 | 分佈區廣 | 數年 | 扦插法 | 經濟用途、觀賞 |
| 鳳凰木 | 豆科 | 分佈區廣 | 數年 | 種子 | 造景 |
| 銀樺 | 山龍眼科 | 分佈區廣 | 數年 | 種子 | 造景 |
| 榕樹 | 桑科 | 分佈區廣 | 數年 | 種子 | 造景 |

表八、生活中常見各類植物纖維比較

| 名稱 | 表皮 | 葉子 | 根 | 內膜 |
|-----|--------------|--------------|--------------|--------|
| 桂竹 | 內部纖維排列整齊，空隙大 | 細胞小且排列鬆散 | 內部纖維紊亂而鬆散 | 多空隙且鬆散 |
| 桃花樹 | 內部空隙小 | 排列較為不規則 | 內部排列緊密 | 無 |
| 桂花樹 | 內部排列稍密 | 內部排列緊密 | 內部排列緊密 | 無 |
| 鳳凰木 | 內部組織排列緊密 | 細胞形狀明顯，氣孔易察覺 | 內部組織排列緊密，無空隙 | 無 |
| 銀樺 | 內部組織排列緊密 | 內部組織排列緊密 | 內部組織排列緊密 | 無 |
| 榕樹 | 內部組織排列稍鬆 | 內部組織排列稍鬆 | 內部組織排列緊密 | 無 |

植物纖維觀察紀錄表

觀察日期： 96.3.14 ~ 96.3.28 紀錄者： _____

| 編號 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ |
|-----|----|------|-----|-----|----|----|
| 名稱 | 桂竹 | 桃花樹 | 桂花樹 | 鳳凰木 | 銀樺 | 榕樹 |
| 莖表皮 | | 呈現圓形 | | | | |
| 葉子 | | | 不規則 | | | |
| 根 | 鬆 | 有細纖維 | 不規則 | 孔洞 | | 交錯 |
| 內膜 | | | | 有孔洞 | | |

圖十三、植物纖維觀察比較

表九、透光性的比較

| 編號 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ |
|-------|-----|-----|-----|-------|-------|----------|
| 桂竹片厚度 | 3cm | 2cm | 1cm | 0.5cm | 0.1cm | 小於 0.1cm |
| 透光性 | 無 | 無 | 無 | 差 | 良好 | 優 |

二、探討桂竹片在不同溶液裡，以及溶液在加熱過程中，其纖維組織的改變。

(一) 研究三：先裁取不同厚度的桂竹片，加以觀察比較。

桂竹片的軟化不易採用量化的方式呈現，為克服此問題，改以桂竹片的厚薄為依據，便於以顯微鏡觀察組織纖維分離的情形，因而，先行找出合適的桂竹片厚度觀察。觀察結果如表九，透光性以 0.1cm 以下(包含 0.1cm)

為佳，而厚度小於 0.1cm 的桂竹片最適合觀察，但厚度小於 0.1cm 的桂竹片不易裁切，故以厚度 0.1cm 的桂竹片作為實驗觀察的樣本，編號○1~○4 者皆不適合觀察。

(二) 研究四：將桂竹片放在不同水溶液中，觀察其纖維組織的變化。

厚度約 0.1cm 的桂竹片分別放入碳酸鈉、碳酸氫鈉、氨水、醋酸、檸檬汁、肥皂水等六種水溶液中。觀察發現，桂竹片纖維在碳酸鈉水溶液和氨水

水溶液中，纖維組織分離的情形較佳，碳酸氫鈉和醋酸次之，檸檬汁和肥皂水完全沒有變化，據此，推測纖維組織在鹼性溶液下易於分離。

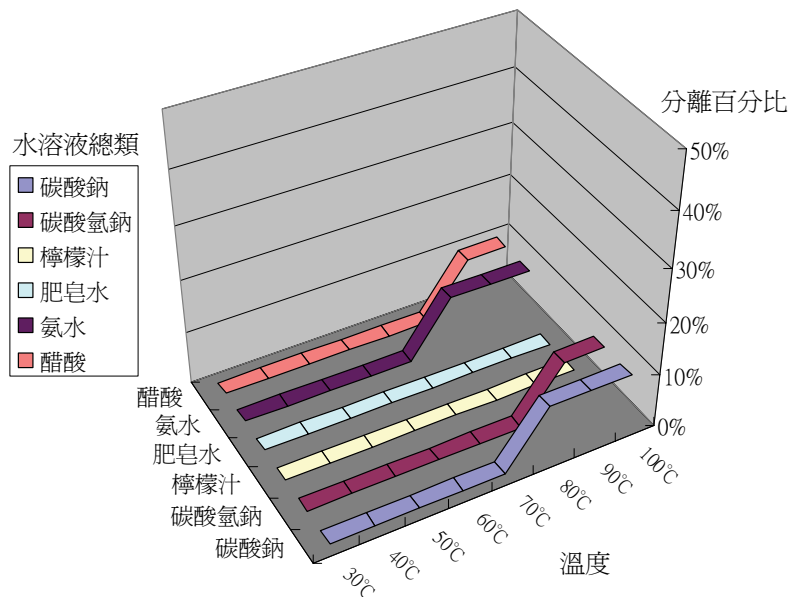
(三) 研究五：將桂竹片放在不同溶液中，加熱並觀察纖維組織的改變。

厚度約 0.1cm 的桂竹片分別浸泡在碳酸鈉、碳酸氫鈉、氨水、醋酸、檸檬汁、肥皂水等六種水溶液中，經 24 小時後，再做溫度的實驗，實驗結果如圖十四。從中可知，溫度愈高，纖維組織分離的情形愈明顯，當隔水加熱至 80°C 以上，纖維組織分離的狀況愈理想，其中以碳酸鈉和氨水表現較佳，碳酸氫鈉和醋酸次之，肥皂水和檸檬汁則無變化。所以，可以推論溫度的變化對纖維組織的分離有一定的影響力。

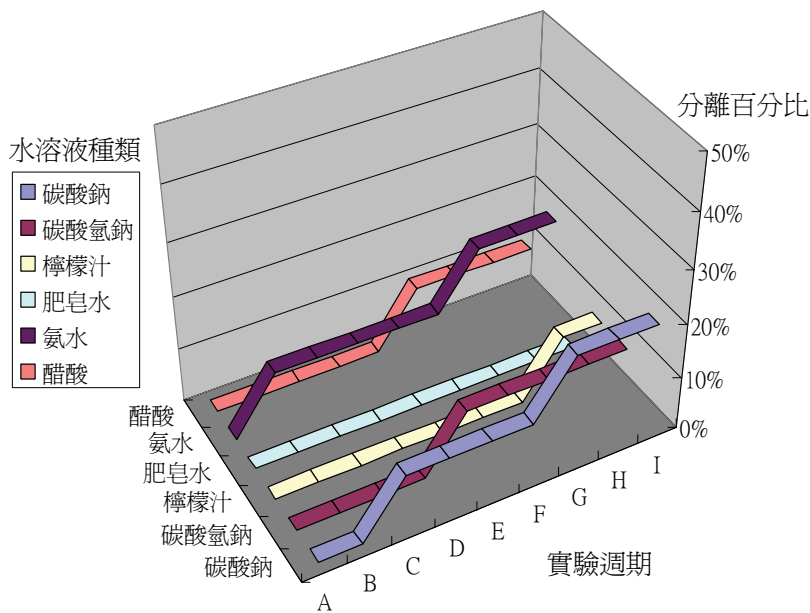
三、探討桂竹葉在不同溶液裡，以及溶液在加熱過程中，其纖維組織的改變。

(一) 研究六：桂竹葉片分別放入碳酸鈉、碳酸氫鈉、氨水、醋酸、檸檬汁、肥皂水等六種水溶液中，觀察纖維組織分離的情形。

由實驗的觀察（圖十五）可以發現，桂竹葉纖維在碳酸鈉水溶液和氨水水溶液下，纖維組織分離的情形較佳，碳酸氫鈉和醋酸次之，檸檬汁和肥皂水完全沒有變化。所以，桂竹葉纖維組織在鹼性溶液下應較容易分離。再將桂竹片纖維組織和桂竹葉纖維組織進行比較，鹼性容易對桂竹葉纖維的影響較大。



圖十四、桂竹片在不同水溶液中溫度改變對纖維組織分離的數值資料圖



圖十五、桂竹葉在不同水溶液中纖維組織分離的數值資料圖

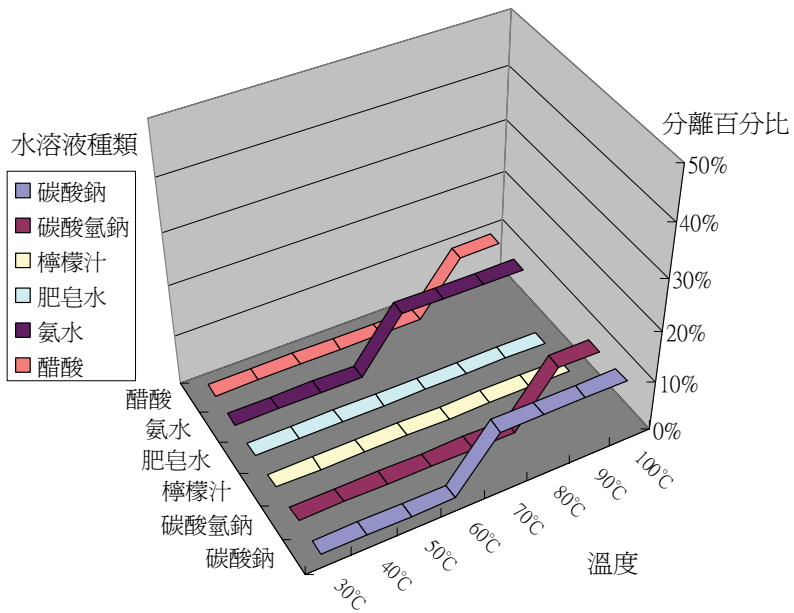
(二) 研究七：將桂竹葉置於不同水溶液中，加熱並觀察。

桂竹葉分別浸泡在碳酸鈉、碳酸氫鈉、氨水、醋酸、檸檬汁、肥皂水等六種水溶液裡，經 24 小時後，再進行溫度變化的實驗，實驗觀察紀錄如圖十六。推知溫度愈高纖維組織分離的情形愈明顯，當隔水加熱至 70℃ 以上，纖維組織分離的狀況愈理想，其中以碳酸鈉和氨水表現較佳，碳酸氫鈉和醋酸次之，肥皂水和檸檬汁則無變化。所以，溫度的變化對纖維組織的分離有一定的影響力，再將桂竹片纖維和桂竹葉纖維兩者做比較的話，溫度對桂竹葉纖維影響更大。

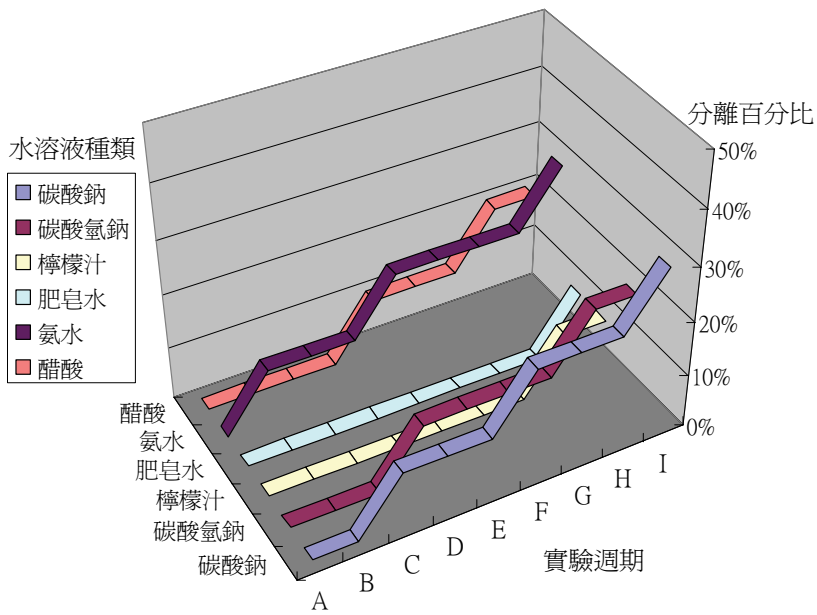
四、探討桂竹內膜在不同溶液裡，以及溶液在加熱過程中，其纖維組織的改變。

(一) 研究八：將桂竹內膜放在不同溶液中，觀察其纖維組織的改變。

桂竹剖開之後，取出桂竹內膜(俗稱竹筴)，作為研究觀察的樣本，取材的樣本皆以桂竹兩節之間的內膜，以期降低誤差值。將桂竹內膜分別放入碳酸鈉、碳酸氫鈉、氨水、醋酸、檸檬汁、肥皂水等六種水溶液裡，觀察纖維組織分離的情形。實驗結果如圖十七顯示，桂竹內膜纖維在碳酸鈉水溶液和氨水水溶液下，纖維組織分離的情形較佳，碳酸氫鈉和醋酸次之，檸檬汁略有組織分離，但肥皂水完全沒有變化，故桂竹內膜纖維組織在鹼性溶液下易於分離。若將桂竹纖維、桂竹葉纖維和桂竹內膜纖維三者做比較，纖維組織分離的情況以桂竹內膜纖維最佳，桂竹葉纖維次之，最後才是桂竹纖維。



圖十六、桂竹葉在不同水溶液中溫度改變對纖維組織分離的數值資料圖



圖十七、桂竹內膜在不同水溶液中纖維組織分離的數值資料圖

(二) 研究九：將桂竹內膜放在不同溶液裡，加熱並觀察纖維組織的改變。

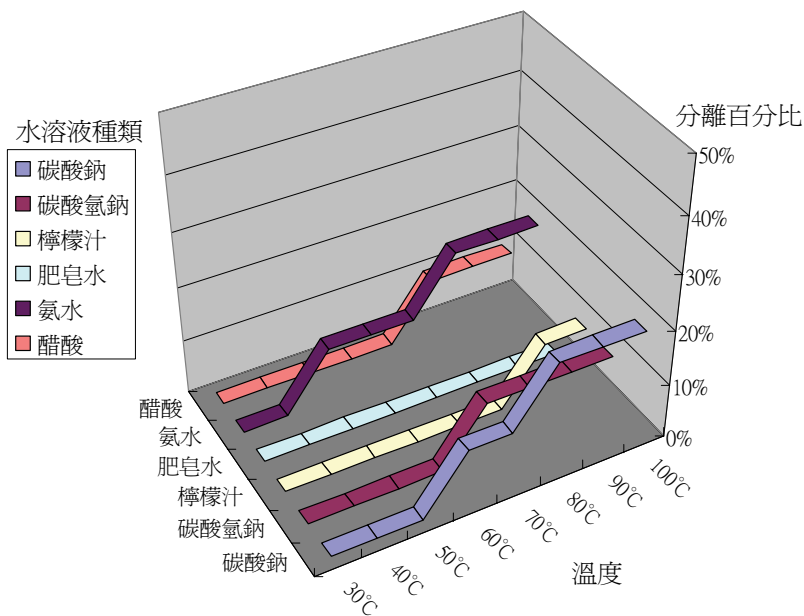
桂竹內膜分別浸泡在碳酸鈉、碳酸氫鈉、氨水、醋酸、檸檬汁、肥皂水等六種水溶液中，經 24 小時後，再做溫度的實驗。如圖十八，由實驗結果可知，溫度愈高，纖維組織分離的情形愈明顯，當隔水加熱至 50°C ~ 60°C 以上，纖維組織分離情況愈理想，其中以碳酸鈉和氨水表現較佳，碳酸氫鈉和醋酸次之，檸檬汁略有分離，肥皂水則無纖維分離。所以，溫度變化對纖維組織的分離有一定的影響力。將桂竹片纖維、桂竹葉纖維，和桂竹內膜纖維三者做比較，纖維組織分離的情況以桂竹內膜纖維最佳，桂竹葉纖維次之，最後才是桂竹片纖維。

五、探討桂竹內膜在不同濃度的碳酸鈉水溶液，以及溶液在加熱過程中，其纖維組織的改變。

(由研究四~研究九可知碳酸鈉水溶液對纖維組織的分離影響較大)

(一) 研究十：桂竹的內膜組織分別放在不同濃度的碳酸鈉水溶液中，並觀察纖維組織的改變。所以，先調製不同濃度的碳酸鈉水溶液(表十)

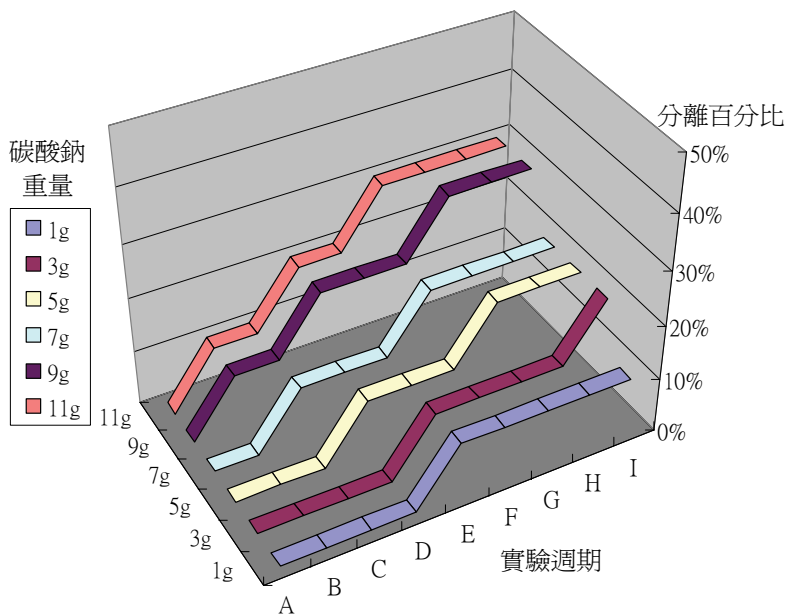
然後，將桂竹內膜纖維分別放入不同濃度的碳酸鈉水溶液中，實驗結果如圖十九所示，在碳酸鈉水溶液濃度為 9g/100ml 時，纖維組織分離的情形最理想，碳酸鈉水溶液濃度為 11g/100ml 時，為過飽和溶液，故不列入考慮。



圖十八、桂竹內膜在不同水溶液中溫度改變對纖維組織分離的數值資料圖

表十、不同濃度碳酸鈉的調製。

| 碳酸鈉 | 1g | 3g | 5g | 7g | 9g | 11g |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 水溶液 | 100ml | 100ml | 100ml | 100ml | 100ml | 10ml |
| 碳酸鈉和水的比例 | 1:100 | 3:100 | 5:100 | 7:100 | 9:100 | 11:100 |
| 備註 | | | | | | 過飽和溶液 |



圖十九、桂竹內膜在濃度不同的碳酸鈉水溶液中纖維組織分離的數值資料圖

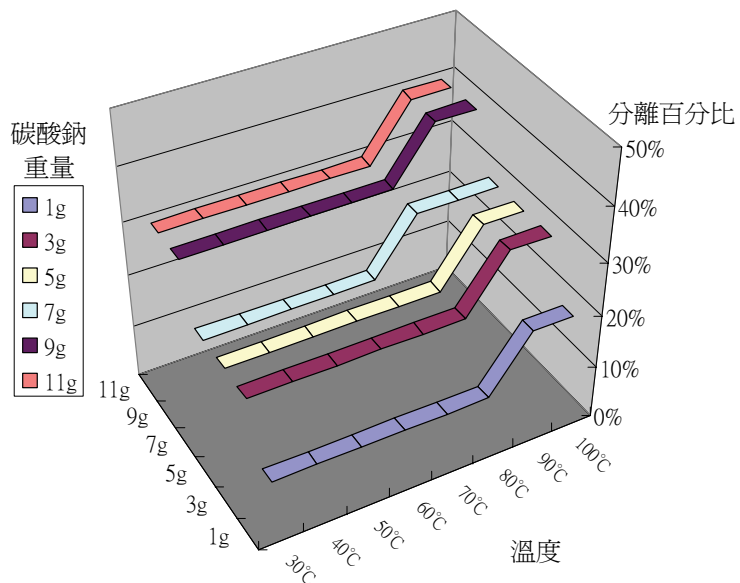
(二) 研究十一：將桂竹的內膜組織放在不同濃度的碳酸鈉中加熱，並觀察纖維組織的改變。

桂竹內膜纖維組織分別浸泡在不同碳酸鈉濃度的水溶液裡，經二十四小時後，再隔水加熱，並在不同的溫度下，取出觀察。由實驗結果（圖二十）可知，纖維組織在 90°C~100°C 之間產生較大的分

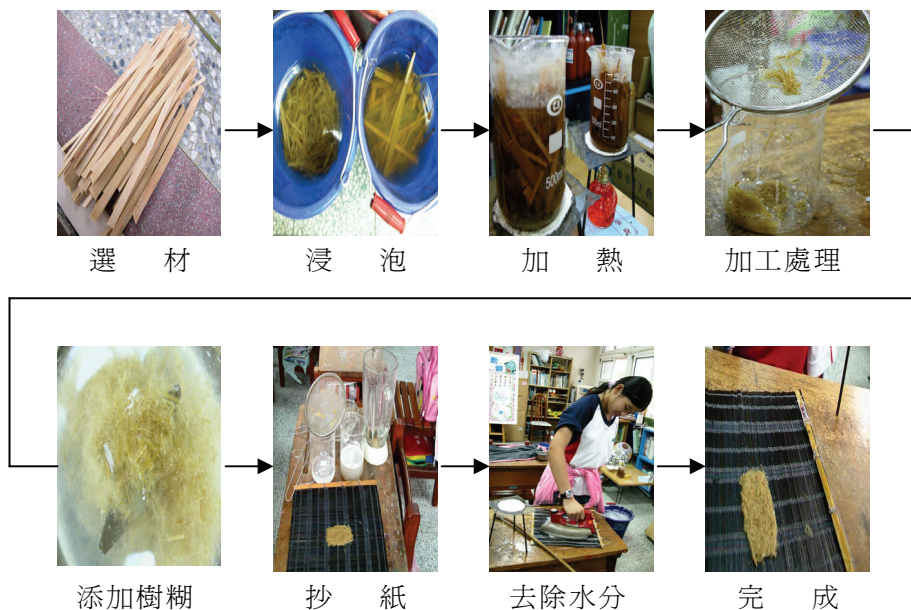
離，由此驗證溫度的變化會深深地影響到纖維組織的分離。

六、製作桂竹紙。

綜合前述研究發現，將其整理如表十一，得到製作桂竹紙的條件，再依各研究發現形成桂竹紙製作的流程之步驟順序如圖二十一。



圖二十、桂竹內膜在不同濃度的碳酸鈉水溶液中溫度改變對纖維組織分離的數值資料圖



圖二十一、製作桂竹紙流程圖

表十一、各研究發現彙整表

| 研究過程 | 研究成果 | 製紙流程 | 研究應用 | 自製桂竹紙的實際應用 |
|-------------|---------------------|------------|----------|----------------------|
| 研究一 研究二 | 驗證桂竹在製紙應用上的價值性和可行性 | 選材 | 可作為製紙的材料 | 厚度 0.1cm 的桂竹片 |
| 研究三 | 取得最佳的觀察樣本 | 選材 | 製紙的過程 | |
| 研究四 研究五 | 鹼性溶液和溫度對桂竹有一定的影響力 | 浸泡、加熱 | 製紙的材料 | 調製碳酸鈉水溶液比例為 9g/100ml |
| 研究六 研究七 | 鹼性溶液和溫度對桂竹葉有一定的影響力 | 浸泡、加熱 | 可為製紙的材料 | |
| 研究八 研究九 | 鹼性溶液和溫度對桂竹內膜有一定的影響力 | 浸泡、加熱 | 製紙的材料(優) | |
| 研究十 研究十一 | 驗證不同濃度的鹼性溶液和溫度的影響力 | 浸泡、加熱 | 製紙的過程 | 加熱過程需超過 80°C |
| 研究十二 | 驗證桂竹纖維分離後應用的可行性 | 抄紙 加工處理 | 製紙的過程 | |

陸、討論

- 一、纖維分離的界定不易，採對照組方式，獲取較客觀的判斷數據，但仍有誤差。
- 二、鹼性容易和溫度變化會影響纖維分離的多寡，但酸鹼濃度是否會影響仍須更準確的測量，且持續加熱對纖維的分離是否有影響，值得再深入探討。
- 三、桂竹內膜因纖維較細易分離，適合當成製紙的原料，惟原料來源較少，甚為可惜。
- 四、長時間浸泡在碳酸鈉溶液裡的桂竹，製作出來的再生桂竹紙和桂竹紙呈

現弱鹼性，需要酸鹼中和的步驟，使紙質更溫和。

- 五、實驗三製紙的過程中，桂竹纖維軟化及絞碎不易，倘能克服技術問題，對桂竹紙的品質將大幅提昇。
- 六、樹糊的功用是凝聚紙漿，讓紙漿凝固成形，而樹糊是由馬拉巴利樹樹根所提煉的，至於是否可添加其他物質讓紙漿凝固，則需進一步的研究探討。
- 七、初步觀察證明桂竹在紙漿原料的來源提供多一項選擇，然而，是否可採用其他品種的竹子製作紙張時，仍須進一步的驗證。

柒、結論

- 一、桂竹的生長期較短，易於栽植，適合做為紙原料的來源之一，可以減輕對樹木的依賴。
- 二、成品的桂竹紙缺乏彈性、透光性、和著墨性，因此仍有很大的改進空間，不過若以今日的造紙工藝技術而言，應有解決的方法。
- 三、酸性溶液和鹼性溶液對纖維的分離有一定的影響力，其中以碳酸鈉和氨水的效果較佳，但碳酸鈉和氨水是化學物質，若隨意廢棄對環境會有很大的影響，需要謹慎的處理。
- 四、製紙的手續繁複，愛惜紙張、珍惜紙

張就是等同於對環境的愛護，地球的環境保護需要我們更用心的去經營。

五、桂竹紙的製作流程圖：

選材→浸泡→加熱→加工處理→
加入樹糊→抄→去除水分→完成

捌、參考資料

- 三上自然與生活科技課本（2006）。台南市：南一書局企業股份有限公司
- 五上自然與生活科技課本（2006）。台南市：南一書局企業股份有限公司
- 五下自然與生活科技課本（2007）。台南市：南一書局企業股份有限公司
- 六上自然與生活科技課本（2006）。台南市：南一書局企業股份有限公司