

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 生活與應用科學科

最佳團隊合作獎

080816

欲研又紙

臺中縣太平市東平國民小學

作者姓名：

小六 林慶汶 小六 林泰源 小五 沈之謙

小五 陳妤函

指導老師：

林淑芳 林憶汝

## 壹、摘要

研究目的在探討如何製造不同功能性的再生紙。研究先研發一套基本製紙法，再找出較佳的處理紙模型方式，配合添加物，產生各類再生紙；並以自行研發的工具測試比較各功能性。

研究發現：去水至近乾程度且加壓的紙模型乾製後紙面效果較好；各乾製法的比較在速率及紙面平滑度是熨燙法最佳；紙感則以冷凍製紙較柔順。無添加物的冷凍紙較易吸水；添加玉米粉與太白粉的熨燙紙最強韌；添加洋菜粉的熨燙紙最光滑；而添加玉米粉及吉利丁冷凍紙最柔軟。建議未來研究可繼續拓展此研究空間，探討更多不同特性的添加物製成的再生紙。

## 貳、研究動機

『紙』是生活常見的材料，很多用品就是由紙原料製成（光復版，自然與生活科技四下；主題三，生活中的材料）。目前，隨著環保意識的抬頭，「再生紙」變得重要；只是「再生紙」真符合生活的實用性嗎？是否能因「製作方式」產生不同的實用功能？為解決此疑惑，我們以課堂製作「再生紙」的經驗，研究不同功能性的再生紙。

## 參、研究問題

- 一、 研究一套基本的再生紙製作方法
- 二、 探討不同處理紙模型方式製成的再生紙
- 三、 探討不同的紙漿成分製成的再生紙
- 四、 比較不同方式產生的再生紙之功能性

## 肆、研究設備與器材

電子秤、測驗紙、碎紙機、抄紙網、抹布、計時器、果汁機、水盆、電暖爐、除濕機、熨斗、冰箱、玉米粉、太白粉、吉利丁、洋菜粉。

## 伍、研究設計

### 一、研究前相關資料

- (一)、前人多研究在改變「紙纖維」，例如取不同製紙原料、原料泡水、打漿程度...。關於抄成紙模型的後續成紙階段少有探討。因此我們想將研究重點擺在調漿與紙模型處理方式。

(二)、結合自然課程與廣興紙廠的造紙介紹，整理出一般的造紙程序：處理原料—打漿—調漿—抄紙（紙模型）—乾製成紙。此外，在紙模型乾製過程中，另有壓製與烘乾的加工處理紀錄。

## 二、 研究過程

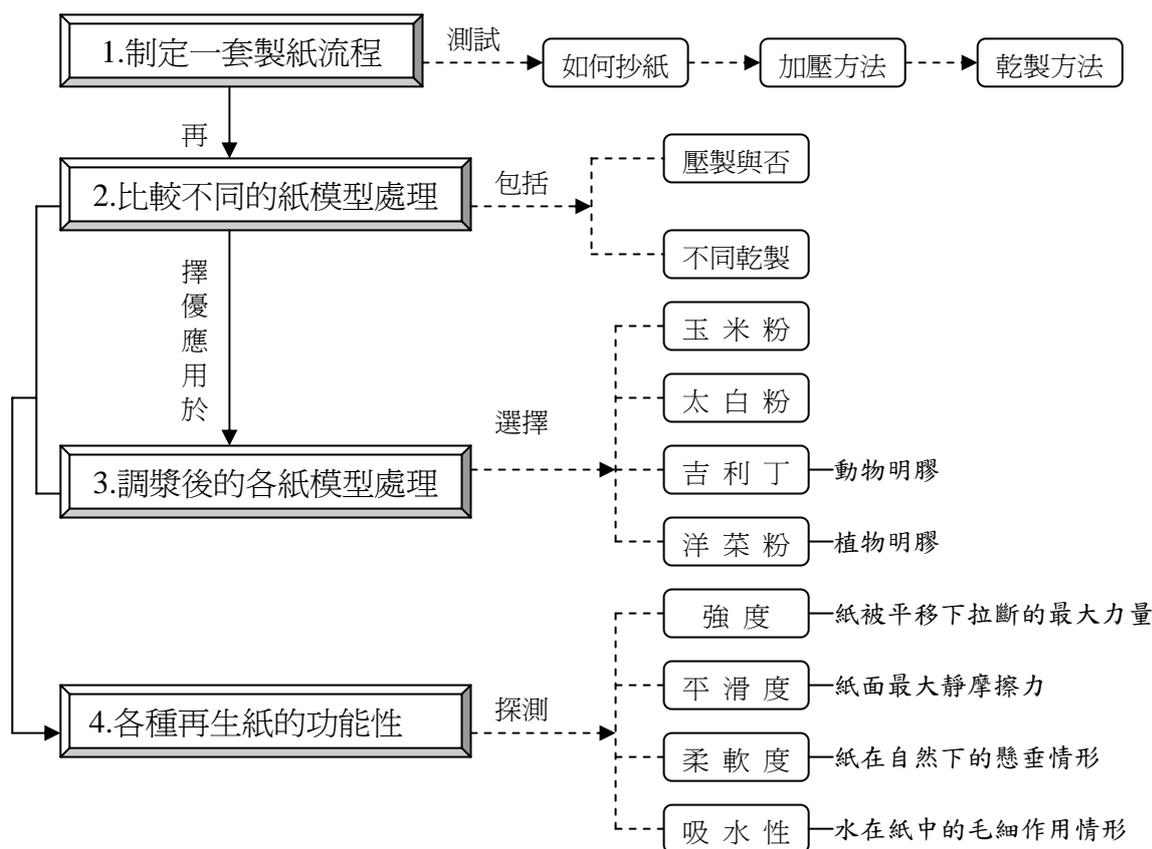


圖 5-1

## 三、 研究方法

### (一)、原料與打漿

「紙纖維大小」為研究控制變因；研究中各實驗均取用「測驗紙」作原料與固定打漿方式。

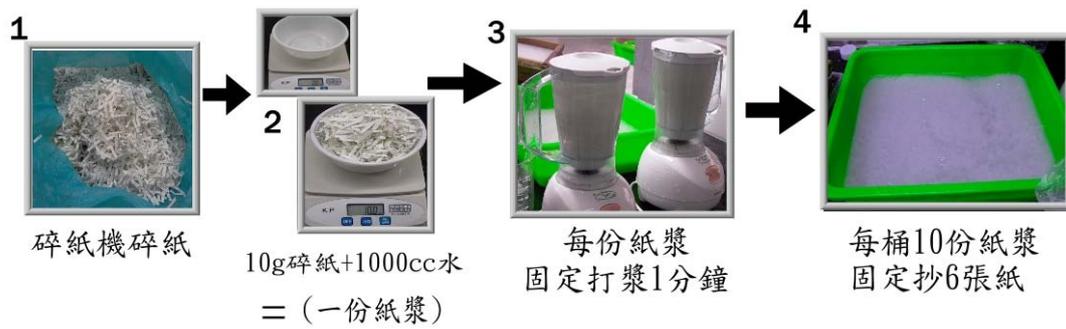


圖 5-2

(二)、各自製測試紙功能性的工具

1. 測平滑度工具：

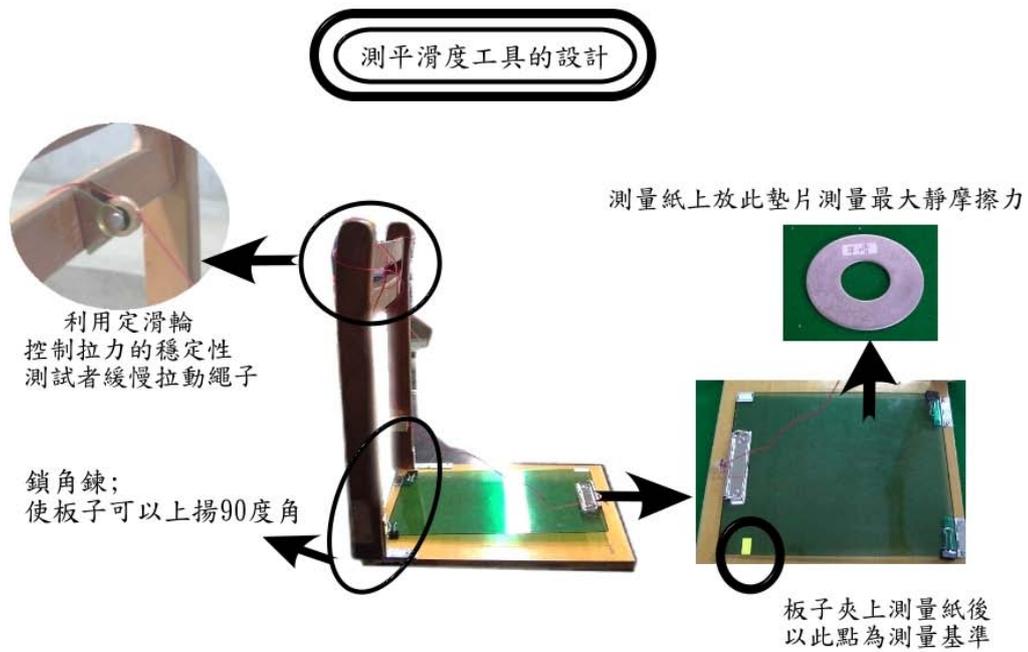


圖 5-3

2. 測柔軟度工具：

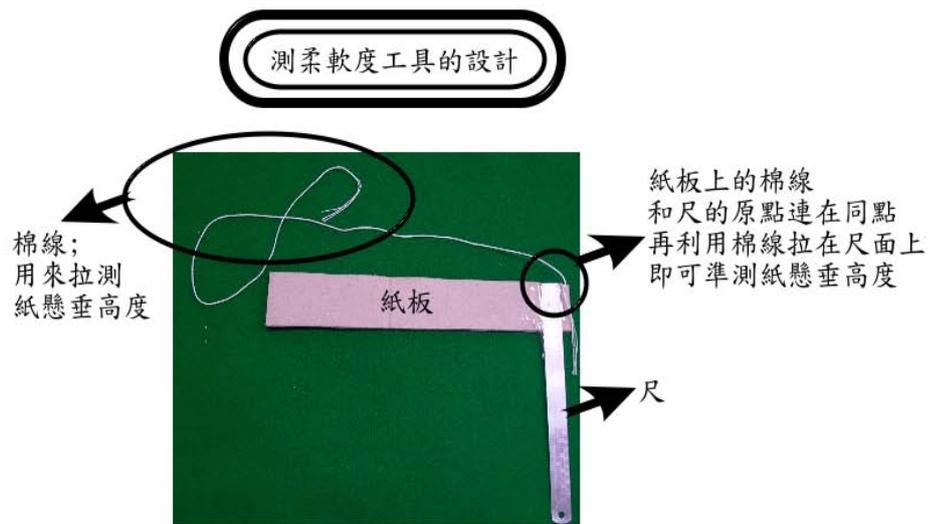


圖 5-4

3. 測強度工具：

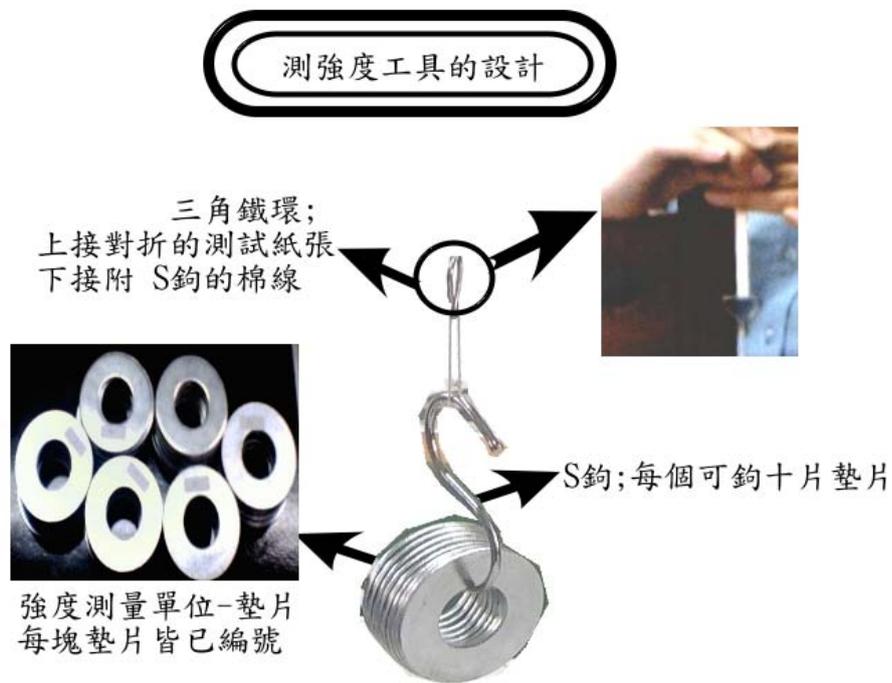


圖 5-5

4. 測吸水性工具：

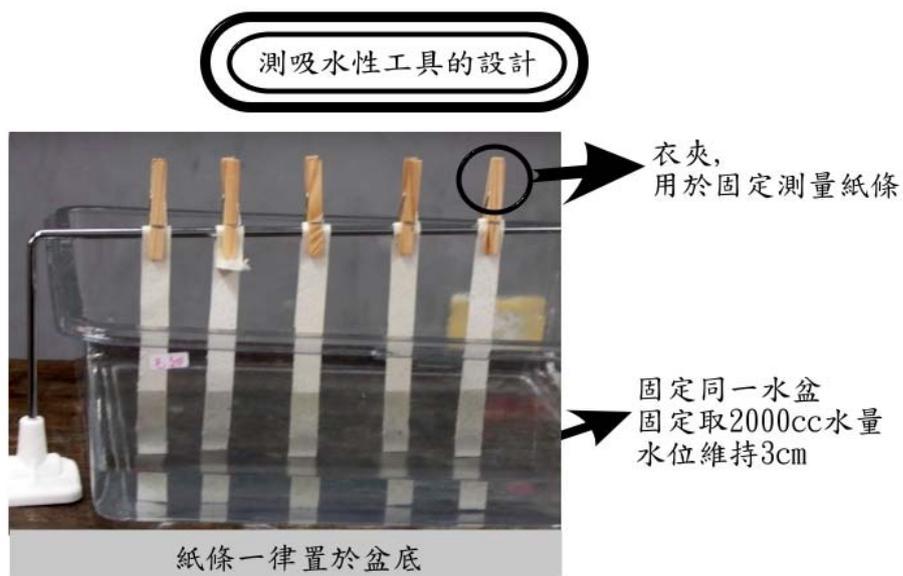


圖 5-6

5. 各工具之穩定性：利用研究製紙原料「測驗紙」測試各工具的穩定性；結果發現各功能性測出的五次數值皆相當接近，代表自製工具已達具參考之穩定性，可用於研究中測試（圖 5-7）。

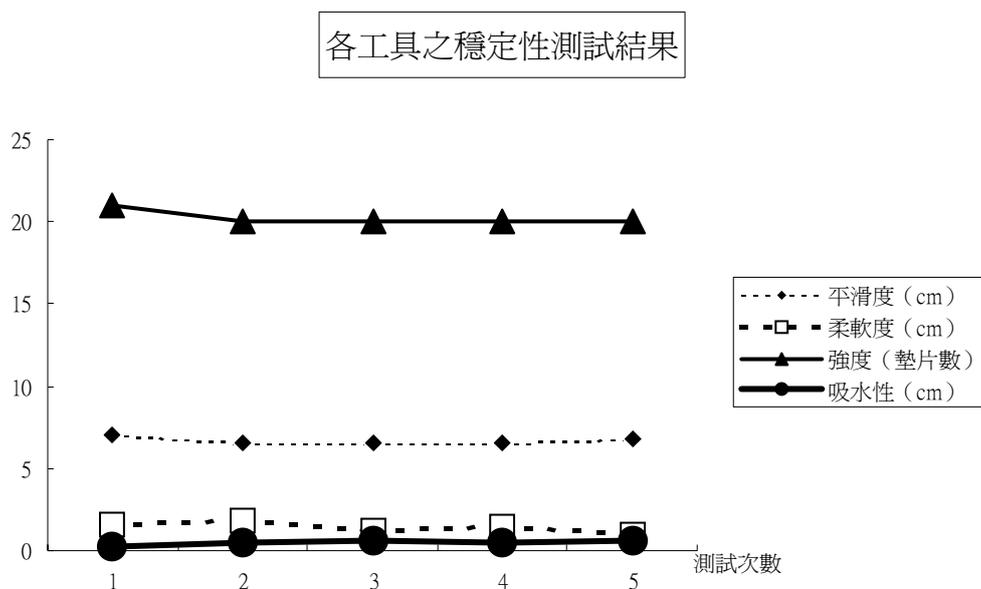


圖 5-7

## 陸、研究結果與討論

### 一、研究一：再生紙的基本製法

#### 【活動 1-1】研究如何成功抄紙

(一) 概念：測試實驗的抄紙經驗不理想，參考資料也未詳細介紹。我們不斷討論與研發抄紙技巧，目的在使抄紙順利，且讓每次抄紙能厚薄與兩面質感皆相當，方能客觀測試。

(二) 結果：研發的抄紙方法於下說明。

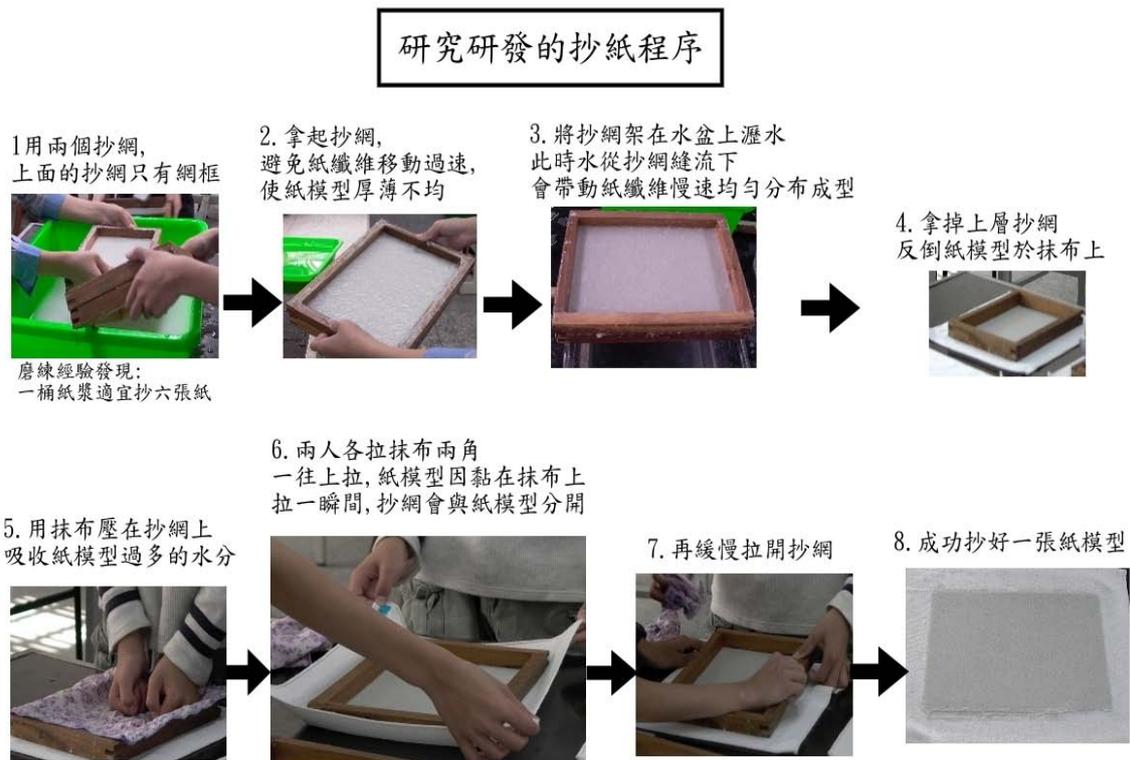


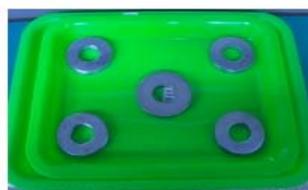
圖 6-1-1

#### 【活動 1-2】研發如何加壓紙模型

(一) 概念：紙模型的纖維尚未完全定型，因此我們認為可以透過加壓處理改變紙纖維的密合。

(二) 過程：

1.原取用墊片分置紙模型上再乾製。結果不論放幾片墊片，效果皆不佳，紙面無法平坦。



效果不佳的加壓方式

再生紙表面仍是不平坦  
可見加壓力道不均

2.我們檢討認為是此重壓方式無法使壓力均勻。

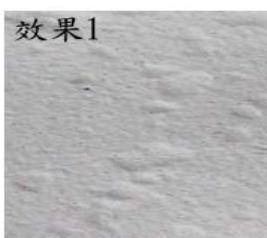


圖 6-1-2

(三) 結果：我們改利用重力均勻，且好操作的「水」。改良後的加壓法如下（後續研究皆以此加壓法）：

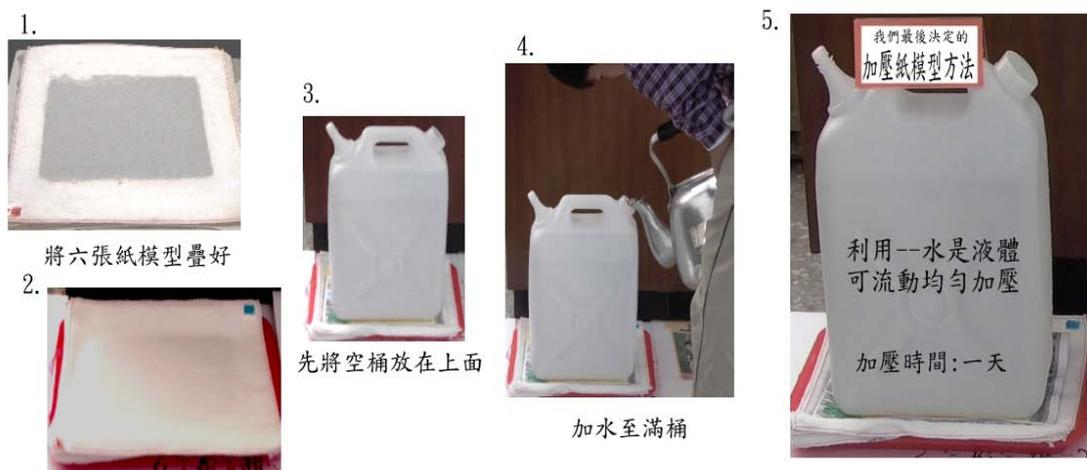


圖 6-1-3

### 【活動 1-3】研發乾製紙模型的方法

(一) 概念：如何讓濕的紙模型變乾，就是研究指的乾製方法。我們想出五種方法去掉紙模型的水分：除濕、烘烤、熨燙、冷凍及自然陰乾。

(二) 過程：各乾製方法的使用：



圖 6-1-4

(三) 結果：

- 1.發現「除濕」及「烘烤」乾製方法都可規律等速去掉紙模型的水分；但是乾製後的再生紙卻效果不佳，表面波折不平、紙緣捲翹乾焦。



圖 6-1-5

- 2.「熨燙」乾製紙最平滑，較硬，耗時需 45-90 分鐘。
- 3.「冷凍」乾製的紙面柔軟；耗時近兩週才能全乾。
- 4.「自然陰乾」的紙面雖不及「冷凍」及「熨燙」效果，但比「除濕」和「烘烤」佳；需耗時 1-2 天使紙全乾。
- 5.比較這五種方法，後續研究採用「熨燙」、「冷凍」及「自然陰乾」乾製方法。但「除濕」與「烘烤」的等速去水可助於處理紙模型的乾濕程度（見研究二）。

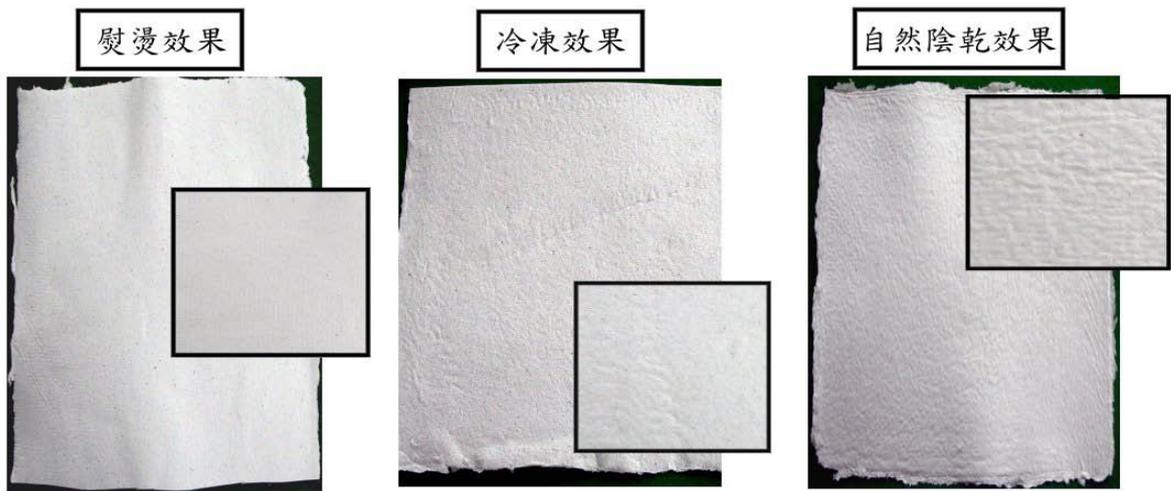
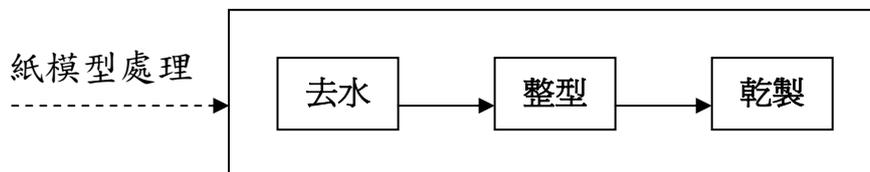


圖 6-1-6

## 二、 研究二：比較不同紙模型處理方式

### 【活動 2-1】討論各種紙模型處理方式

(一) 概念：根據研究一的經驗，我們認為在「紙模型」處理中可分三個階段探討：



濕紙模型要直接乾製比較困難，應先「去水」處理。利用除濕機與電暖爐等速去水的優點掌握紙模型的乾濕程度。而紙模型是否「加壓」應會影響紙纖維的「整型」；再加上不同的「乾製」法應會影響形成的再生紙。

(二) 結果：以上三階段設計變因，如下圖：

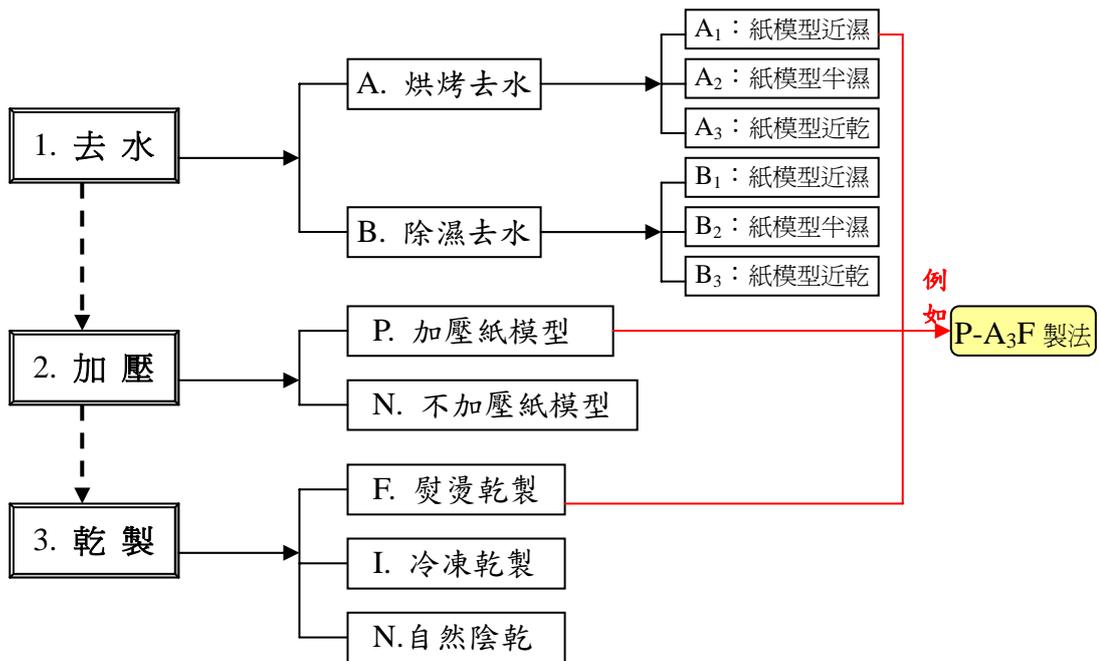


圖 6-2-1

1. 去水：利用烘烤與除濕等速去水方式（表 6-1-1），將紙模型各分成「近濕」，「半濕」與「近乾」三種程度。
2. 加壓：分成不加壓與加壓兩群；加壓法如圖 6-1-3 所示。
3. 乾製：應用研究一的結果，分成「熨燙」、「冷凍」及「自然陰乾」三種方式；如圖 6-1-4 所示。

綜合以上所述，我們共研發 36 種紙模型處理方式（見下表）。

表 6-2-1 研發的 36 種紙模型處理法（製法編碼）

|       |      |                          | 乾製處理               |                    |                    |
|-------|------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|       |      |                          | 熨燙 F               | 冷凍 I               | 自然陰乾 N             |
| 加壓 P  | 烘烤 A | 烤 15 分—近濕 A <sub>1</sub> | P-A <sub>1</sub> F | P-A <sub>1</sub> I | P-A <sub>1</sub> N |
|       |      | 烤 30 分—半濕 A <sub>2</sub> | P-A <sub>2</sub> F | P-A <sub>2</sub> I | P-A <sub>2</sub> N |
|       |      | 烤 45 分—近乾 A <sub>3</sub> | P-A <sub>3</sub> F | P-A <sub>3</sub> I | P-A <sub>3</sub> N |
|       | 除濕 B | 除濕 1 時—近濕 B <sub>1</sub> | P-B <sub>1</sub> F | P-B <sub>1</sub> I | P-B <sub>1</sub> N |
|       |      | 除濕 2 時—半濕 B <sub>2</sub> | P-B <sub>2</sub> F | P-B <sub>2</sub> I | P-B <sub>2</sub> N |
|       |      | 除濕 3 時—近乾 B <sub>3</sub> | P-B <sub>3</sub> F | P-B <sub>3</sub> I | P-B <sub>3</sub> N |
| 不加壓 N | 烘烤 A | 烤 15 分—近濕 A <sub>1</sub> | N-A <sub>1</sub> F | N-A <sub>1</sub> I | N-A <sub>1</sub> N |
|       |      | 烤 30 分—半濕 A <sub>2</sub> | N-A <sub>2</sub> F | N-A <sub>2</sub> I | N-A <sub>2</sub> N |
|       |      | 烤 45 分—近乾 A <sub>3</sub> | N-A <sub>3</sub> F | N-A <sub>3</sub> I | N-A <sub>3</sub> N |
|       | 除濕 B | 除濕 1 時—近濕 B <sub>1</sub> | N-B <sub>1</sub> F | N-B <sub>1</sub> I | N-B <sub>1</sub> N |
|       |      | 除濕 2 時—半濕 B <sub>2</sub> | N-B <sub>2</sub> F | N-B <sub>2</sub> I | N-B <sub>2</sub> N |
|       |      | 除濕 3 時—近乾 B <sub>3</sub> | N-B <sub>3</sub> F | N-B <sub>3</sub> I | N-B <sub>3</sub> N |

【活動 2-2】比較不同紙模型處理方式產生的再生紙

(一) 方法：如表 6-2-1 所示，再比較各方法製成的紙。

(二) 結果：

1. 去水效果比較：

(1) 去水程度的比較：

①越濕的紙模型，乾製越慢且較不平坦。如圖 6-2-2 範例。

②要拿取紙模型加壓時，越濕的紙模型越不易處理。如果處理不妥，會使加壓後的紙模型變形更明顯。推論應與紙纖維的密實有關；較濕的紙纖維容易鬆散不定，人為操作或因乾製過程中水分逐漸散失而拉動鬆散的紙纖維，皆易造成其分佈不均，使紙面不平坦。

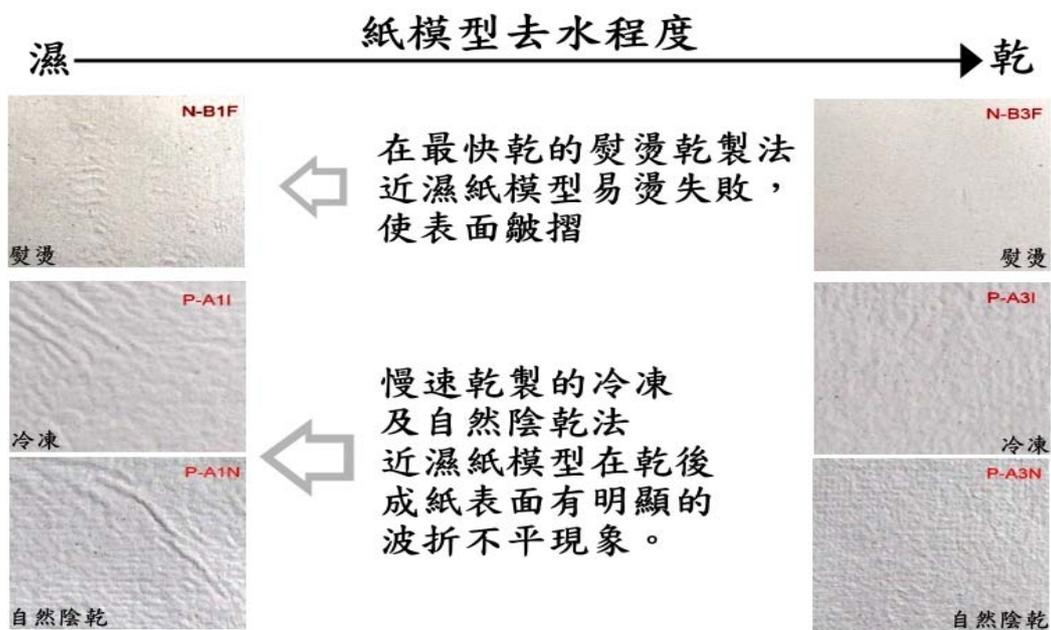


圖 6-2-2

(2) 去水方式的比較：熨燙、冷凍或是自然陰乾法，都是烘烤後比除濕後的紙模型易乾。但乾製後，無法以肉眼分辨出紙的差異。

(3) 綜上所述，後續研究製紙在「去水」階段，是採用烘烤及除濕至近乾紙模型的兩種方式。

2. **加壓效果比較**：

(1) 有加壓的紙模型於冷凍及自然陰乾法製成的紙會較平坦。

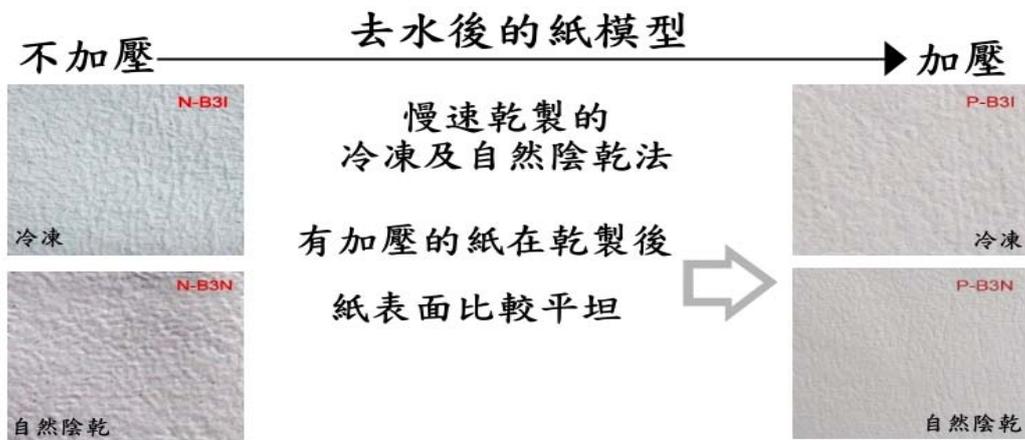


圖 6-2-3

(2) 肉眼觀察加壓與不加壓的紙模型，以熨燙乾製後的紙皆頗為平坦；推論是因為熨燙時有加「熱壓」過程，所以兩者成果相似。但若以切面觀察仍可發現其差異，見圖 6-2-4。

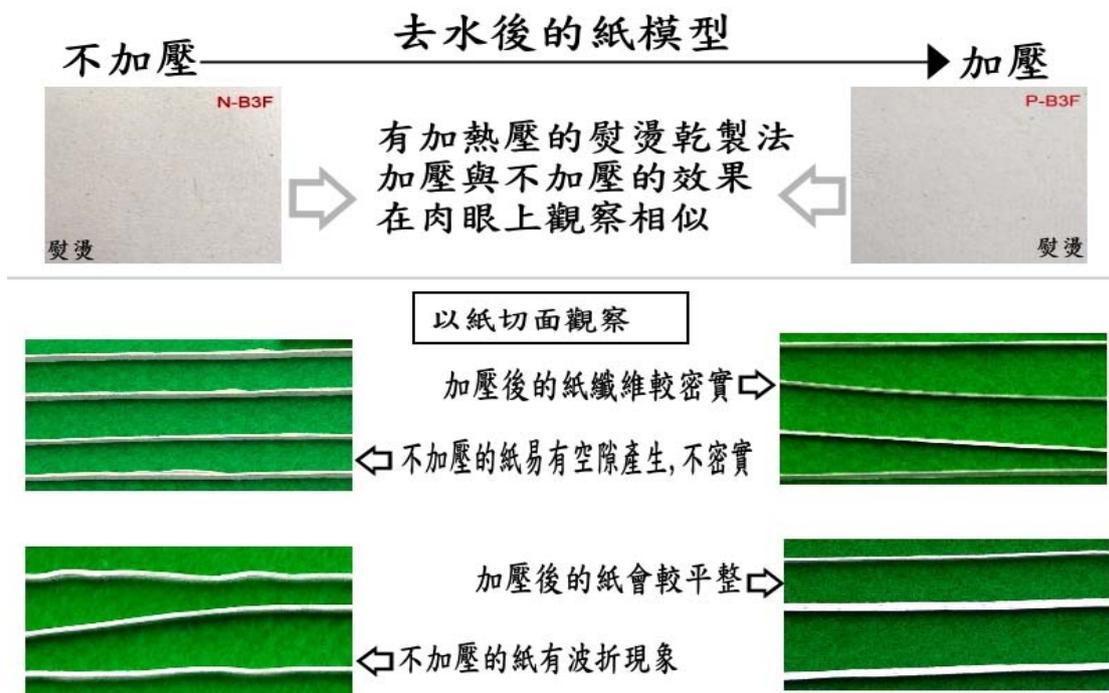


圖 6-2-4

(3) 推論「加壓」可使紙纖維更密實且分布均勻，故考量紙面平坦效果，後續研究選擇以「加壓」紙模型後再乾製。

3. **乾製效果比較**：就紙乾製速率，熨燙>自然陰乾>冷凍。肉眼觀察紙面平坦：熨燙>冷凍 ≥ 自然陰乾；然其功能各異，例如冷凍紙摸起來柔軟，熨燙紙摸起來較強硬。三種乾製在後續研究皆有再深入探討的需要。

4. 綜上結果討論，我們保留以下 6 種製法於後續研究。

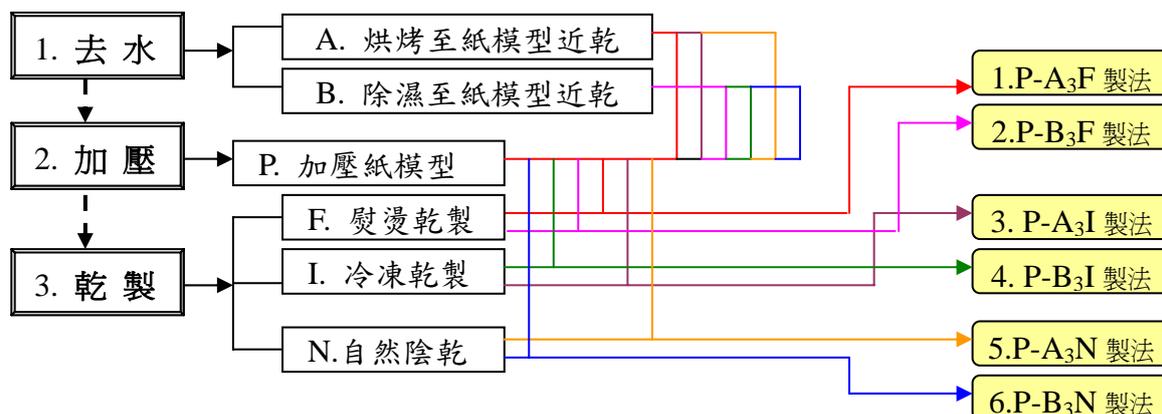


圖 6-2-5

### 三、 研究三：探討不同紙漿成分製成的再生紙

(一) 概念：使用不同添加物改變紙漿成分，再配合研究二製紙法，應可利用添加物的特性與製法的差異，使再生紙具有不同的功能性。

(二) 方法：取四種廚房常用、不同特性的粉類，添加於既定紙漿（圖 5-2）中，再以研究二的 6 種製法製作再生紙。添加方式為：

1. 玉米粉 (U)：每一份紙漿添加 10 克玉米粉後，再打漿製紙。
2. 太白粉 (T)：每一份紙漿添加 10 克太白粉後，再打漿製紙。
3. 洋菜粉 (Y)：以 1000cc 熱水添加 10 克洋菜粉，再倒入一桶打過的紙漿後製紙。
4. 吉利丁 (J)：先以 500cc 冷水泡 100 克吉利丁（待充分吸水），再加 500cc 熱水攪拌；倒入一桶打過的紙漿後製紙。

各粉類的簡要介紹於下圖：

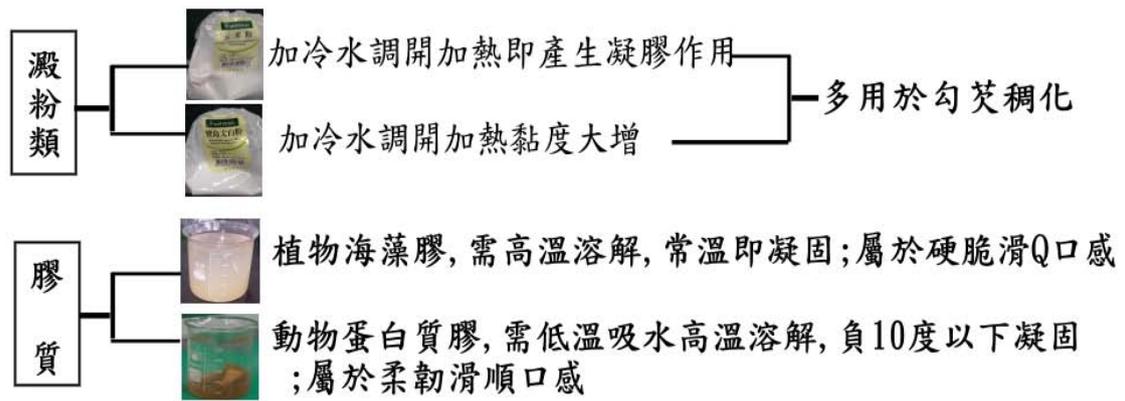


圖 6-3-1

(三) 結果：

共製得 24 種紙 (4 種添加物×6 種製法)，各發現於下分述：

1. 添加玉米粉

| 乾製法 |    | 加壓  |   |   |
|-----|----|---|---|---|
|     |    | 熨燙  | 冷凍  | 自然陰乾  |
| 結果  | 烘烤 |  |  |  |
|     | 除濕 |  |  |  |
| 發現  |    | 紙面變黏稠，不易熨燙；有焦黑狀。硬如墊板，有彈性。   | 紙面膨鬆。紙感柔軟。  | 紙面尚平坦，紙感柔順。乾後殘留粉末。  |

## 2. 添加太白粉

| 乾製法 |    | 加壓  |   |   |
|-----|----|---|---|---|
|     |    | 熨燙  | 冷凍  | 自然陰乾  |
| 結果  | 烘烤 |  |  |  |
|     | 除濕 |  |  |  |
| 發現  |    | 紙面黏稠，不易熨燙；有焦黑狀。硬如墊板，有彈性。  | 紙面皺摺多，紙感稍軟。   | 紙面不平坦，紙感稍硬。乾後殘留粉末。  |

## 3. 添加洋菜粉

| 乾製法 |    | 加壓  |   |   |
|-----|----|---|---|---|
|     |    | 熨燙  | 冷凍  | 自然陰乾  |
| 結果  | 烘烤 |  |  |  |
|     | 除濕 |  |  |  |
| 發現  |    | 易熨燙快乾，紙很白。稍有彈性，紙感硬脆滑順。  | 紙面稍有皺摺，紙感稍軟。  | 紙面小皺摺多、不平坦，紙感稍硬。  |

#### 4. 添加吉利丁

| 乾製法 |    | 加壓  |   |   |
|-----|----|---|---|---|
|     |    | 熨燙  | 冷凍  | 自然陰乾  |
| 結果  | 烘烤 |  |  |  |
|     | 除濕 |  |  |  |
| 發現  |    | 易熨燙快乾，紙白。很有塑性，紙感滑順柔軟。   | 紙面皺摺稍多、不平，紙感柔軟。   | 紙面小皺摺多、不平，紙感柔軟。   |

#### 四、 研究四：比較各再生紙之功能性

##### 【活動 4-1】比較各種製法的再生紙之「平滑度」

(一) 方法：利用墊片測試紙面最大靜摩擦力；當紙越粗糙，靜摩擦力大，則紙需升得高，墊片才會滑落。操作測量方式如下：

1. 放測量的紙



2. 紙上放墊片



3. 緩慢拉線使紙上升



4. 當墊片滑落時，測量基準點至底的垂直距離

圖 6-4-1

(二) 結果：

### 1. 熨燙乾製紙之平滑度

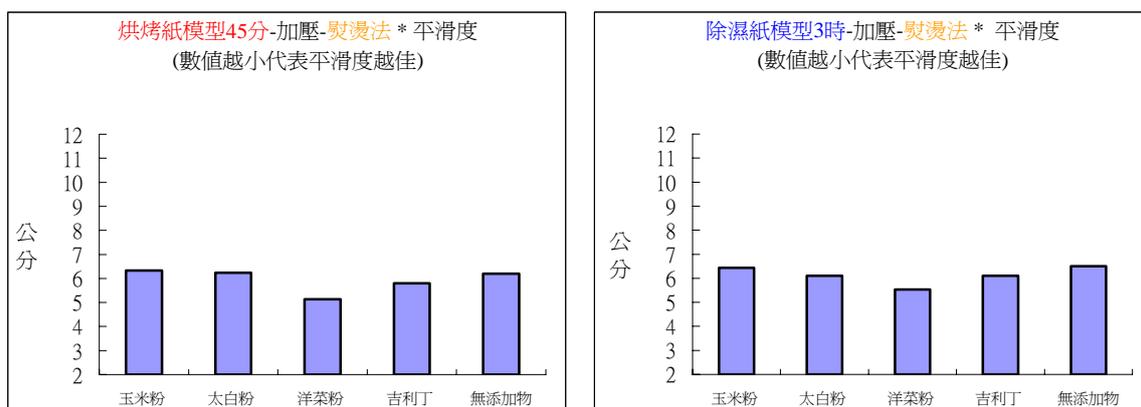


圖 6-4-2

- (1) 去水方式未明顯影響熨燙紙之平滑度。
- (2) 添加物與無添加物的熨燙紙平滑度相似。
- (3) 添加洋菜粉的熨燙紙最平滑。

### 2. 冷凍乾製紙之平滑度

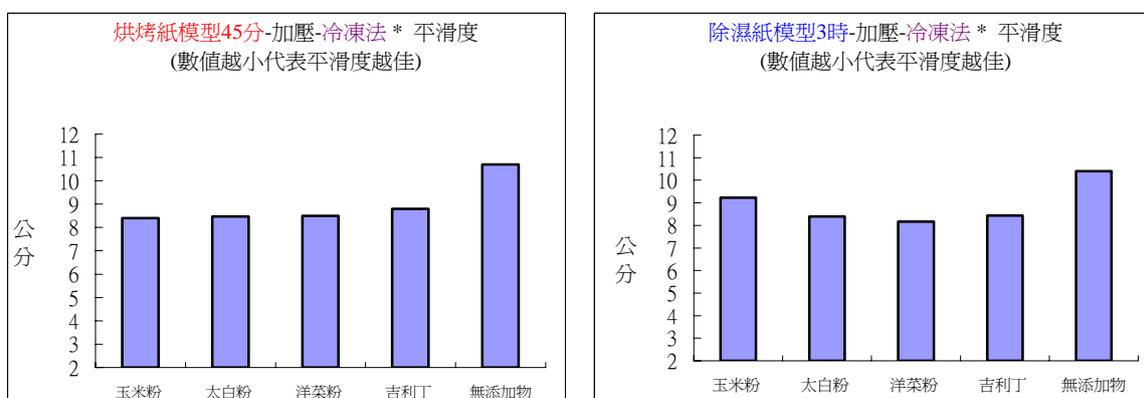


圖 6-4-3

- (1) 去水方式未明顯影響冷凍紙之平滑度。
- (2) 有添加物的冷凍乾製紙之平滑度較優。
- (3) 四種添加物的冷凍紙平滑程度相似。

### 3.自然陰乾製紙之平滑度

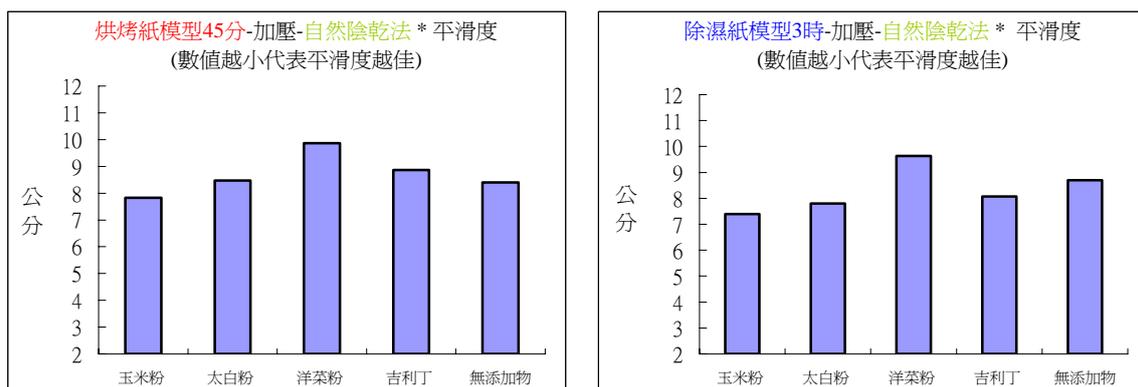


圖 6-4-4

- (1) 去水方式以除濕去水的冷凍乾製紙之平滑度較好。
- (2) 有無添加物未明顯影響自然陰乾紙之平滑度。
- (3) 添加洋菜粉的自然陰乾紙平滑度最差。

4. 要製成較平滑的紙以熨燙法最佳；冷凍和自然陰乾法的效果相似。
5. 不同添加物的各乾製情形，以洋菜粉的差異最大。添加洋菜粉在熨燙下製成的紙張最平滑。

#### 【活動 4-2】比較各種製法的再生紙之「柔軟度」

- (一) 方法：利用紙條自然懸垂現象代表柔軟度。以自製工具測試紙樣本懸垂時，紙上固定兩點間的差距。當差距值越小，表示紙條垂得較低，即較柔軟。操作測量方式如下：

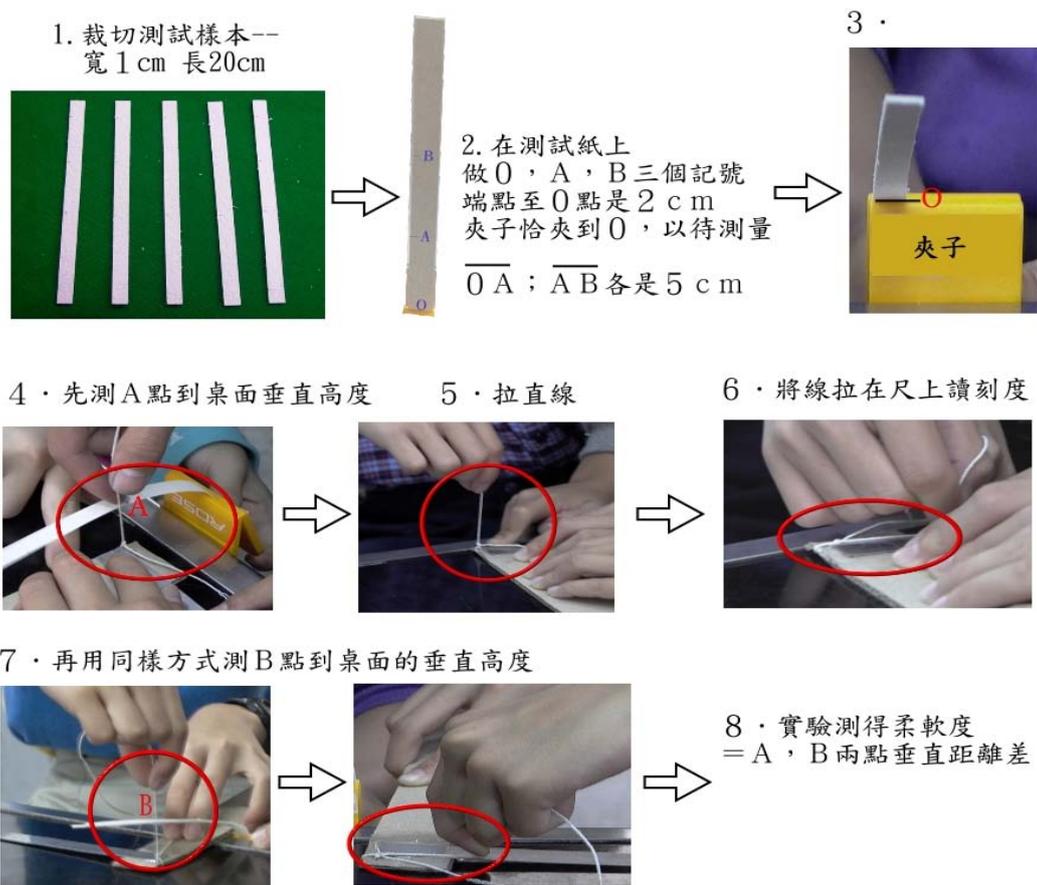


圖 6-4-5

(二) 結果：

1. 熨燙乾製紙之柔軟度

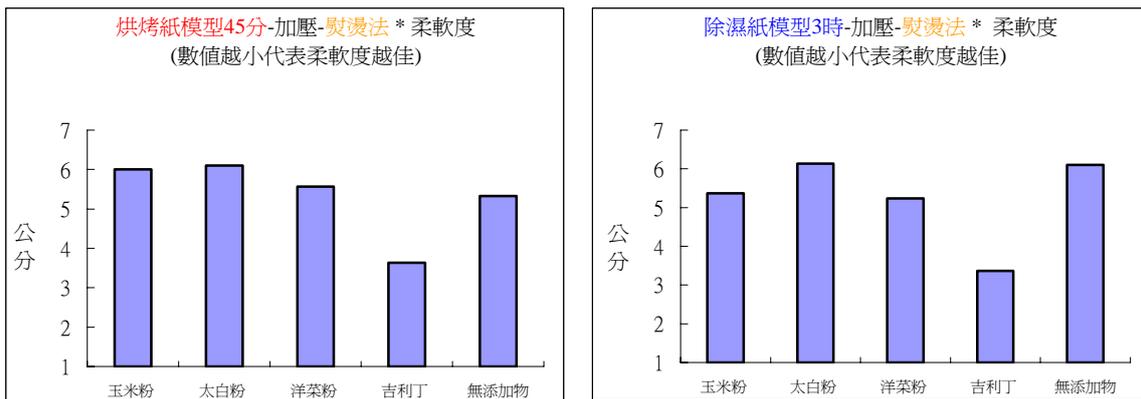


圖 6-4-6

- (1) 去水方式對添加玉米粉及無添加物的熨燙紙較有影響；前者是除濕方式較優，後者是烘烤方式較優。
- (2) 在烘烤去水下，無添加物的紙比有添加物的紙柔軟。
- (3) 添加吉利丁可增加熨燙紙的柔軟度。

## 2. 冷凍乾製紙之柔軟度

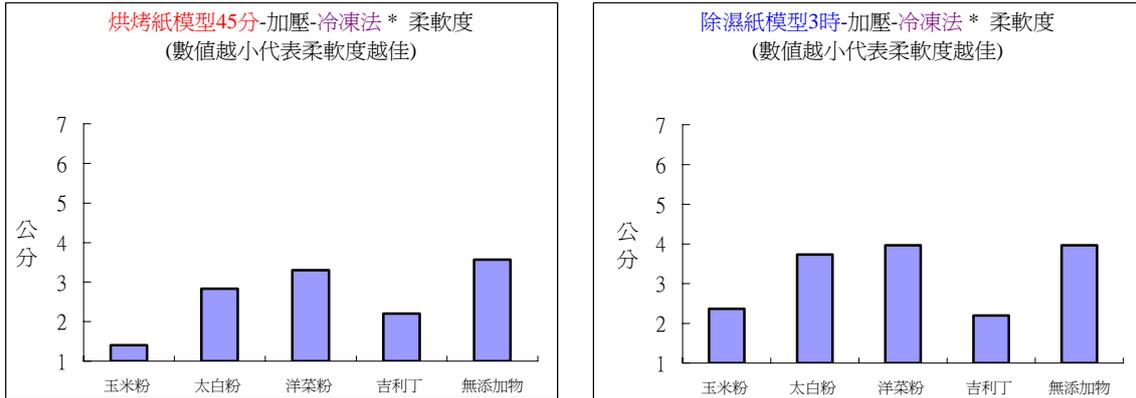


圖 6-4-7

- (1) 去水方式對添加物的冷凍紙較有影響；除了吉利丁，其他添加物皆是烘烤方式的柔軟度較優；以加玉米粉的效果最明顯。
- (2) 添加玉米粉或吉利丁的冷凍紙最柔軟。

## 3. 自然陰乾製紙之柔軟度

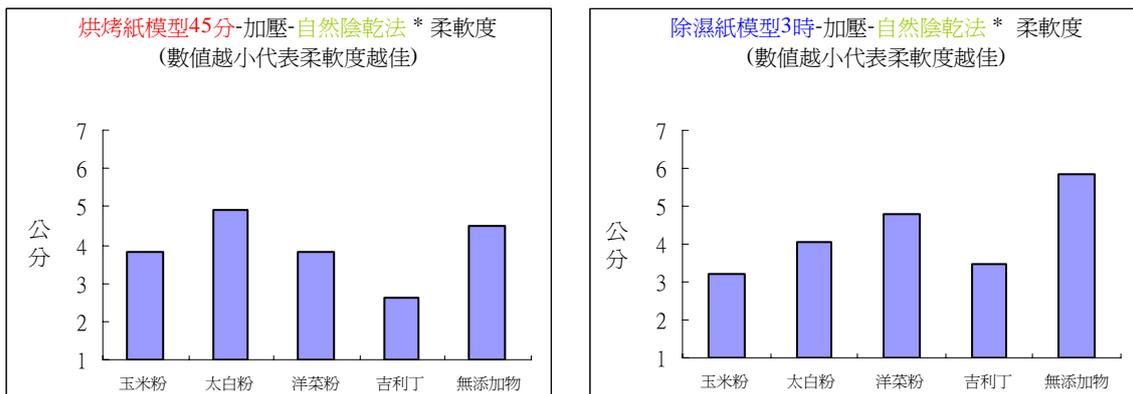


圖 6-4-8

- (1) 以除濕去水方式對添加玉米粉及太白粉的自然陰乾紙較柔軟；其他種類紙則以烘烤方式的柔軟度較優。
  - (2) 有添加物的自然陰乾紙較柔軟。
  - (3) 添加玉米粉（除濕去水）或吉利丁的自然陰乾紙最柔軟。
4. 要製得較柔軟的紙以冷凍法最佳；熨燙法最差。
  5. 各添加物的各乾製情形，以玉米粉的差異最大。玉米粉在低溫下能發揮最大功效幫助紙張的柔軟度。

【活動 4-3】比較各種製法的再生紙之「強度」

(一) 方法：利用墊片重量向下的拉力測試紙條樣本能承受的平行張力。當紙條懸掛越多墊片才斷裂，表示紙的強度越大。操作測量方式如下：

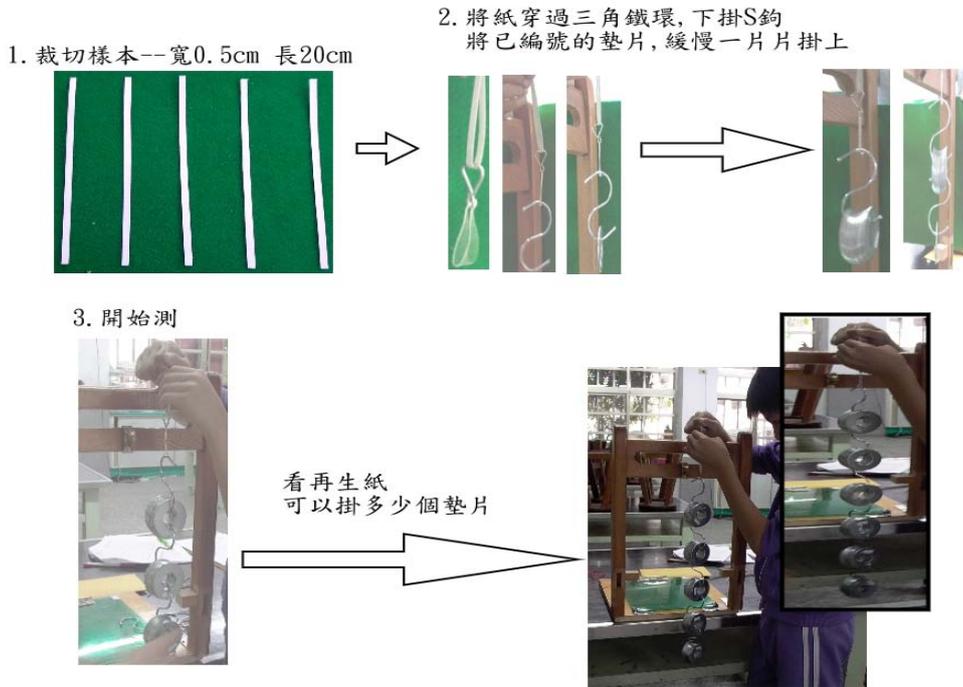


圖 6-4-9

(二) 結果：

1. 熨燙乾製紙之強度

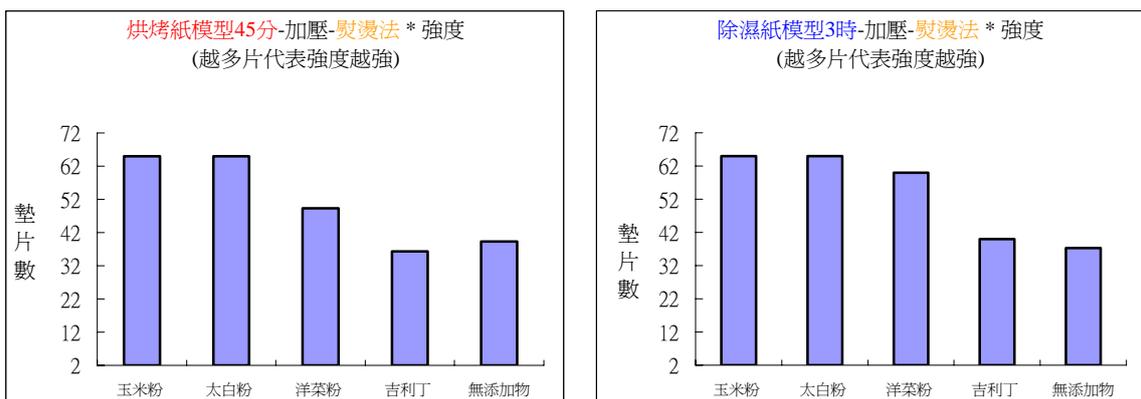


圖 6-4-10

(1) 以除濕去水方式對添加洋菜粉及吉利丁的熨燙紙強度較佳。

(2) 有添加物的熨燙紙強度較佳；添加玉米粉及太白粉的熨燙紙最強韌。

## 2. 冷凍乾製紙之強度

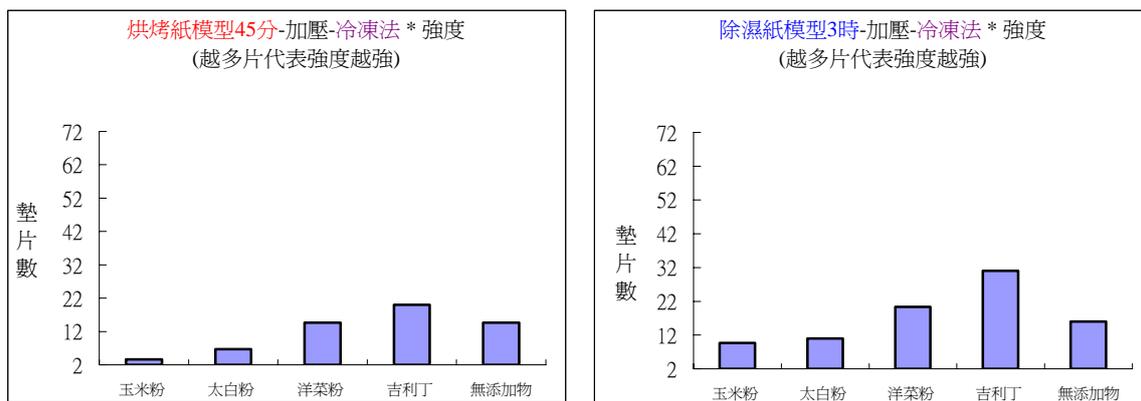


圖 6-4-11

- (1) 以除濕去水方式對有添加物的冷凍紙較強韌。
- (2) 添加洋菜粉及吉利丁的冷凍紙最強韌。

## 3. 自然陰乾製紙之強度

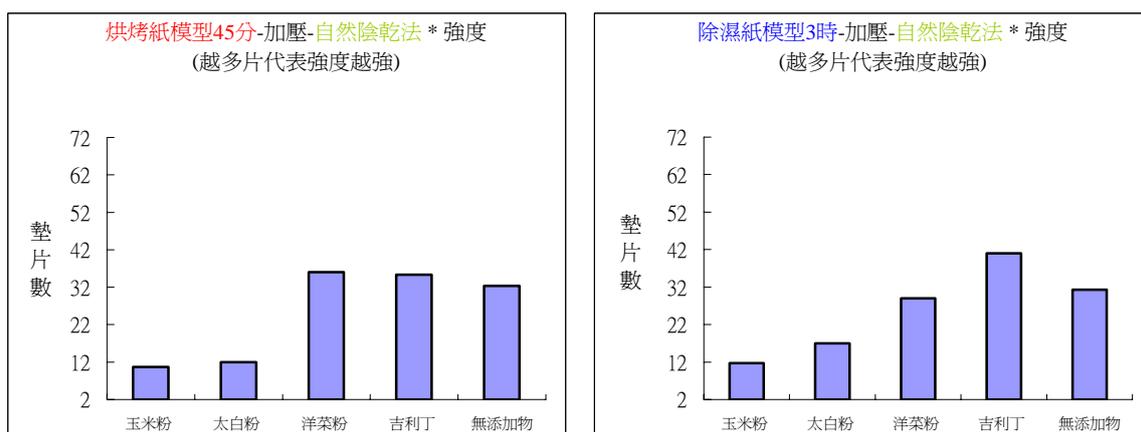


圖 6-4-12

- (1) 去水方式對有添加物的自然陰乾紙較有影響。
  - (2) 添加洋菜粉或吉利丁的自然陰乾紙強度最佳。
4. 要製得較強韌的紙以熨燙法最佳；冷凍法最差。
  5. 不同添加物在不同乾製情形下，以玉米粉和太白粉的熨燙紙強度最佳。

【活動 4-4】比較各種製法的再生紙之「吸水性」

(一) 方法：利用紙張樣本的毛細現象測試其吸水性；同段時間內，水上升越高，代表吸水性越佳。

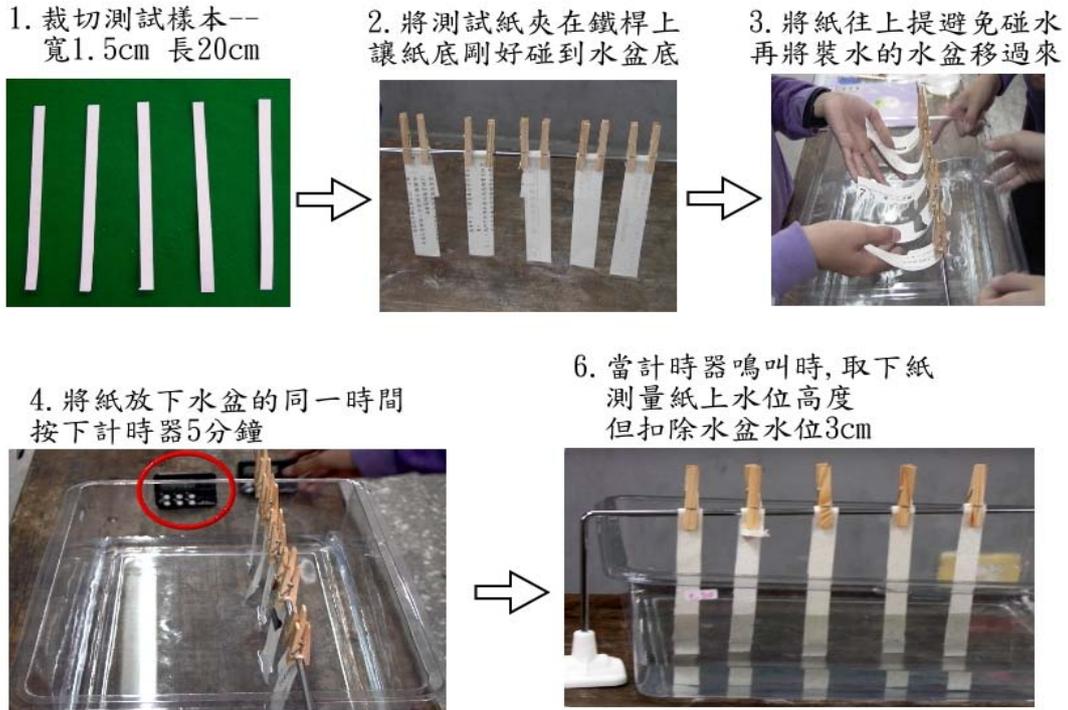


圖 6-4-13

(二) 結果：

1. 熨燙乾製紙之吸水性

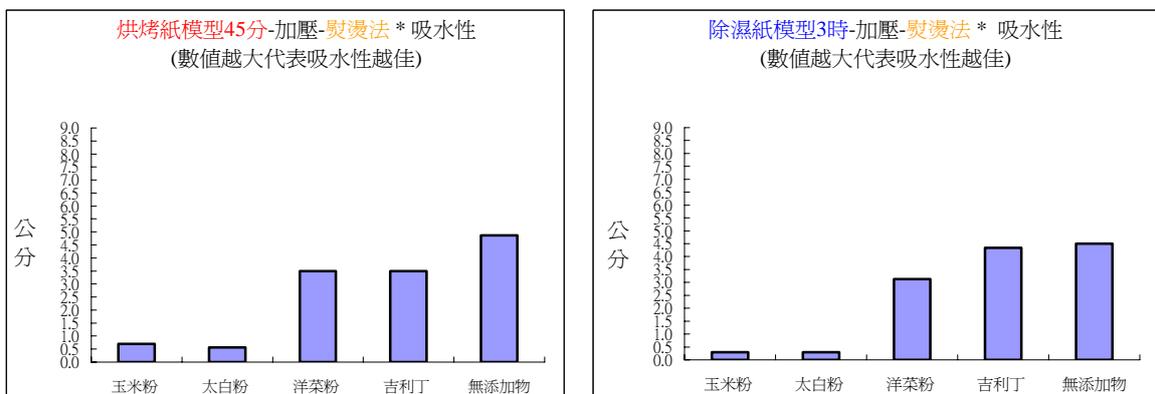


圖 6-4-14

(1) 去水方式對添加吉利丁的熨燙紙較有影響，以除濕方式較佳。

(2) 無添加物的熨燙紙吸水性較佳。添加玉米粉及太白粉的熨燙紙吸水性最差。

## 2. 冷凍乾製紙之吸水性

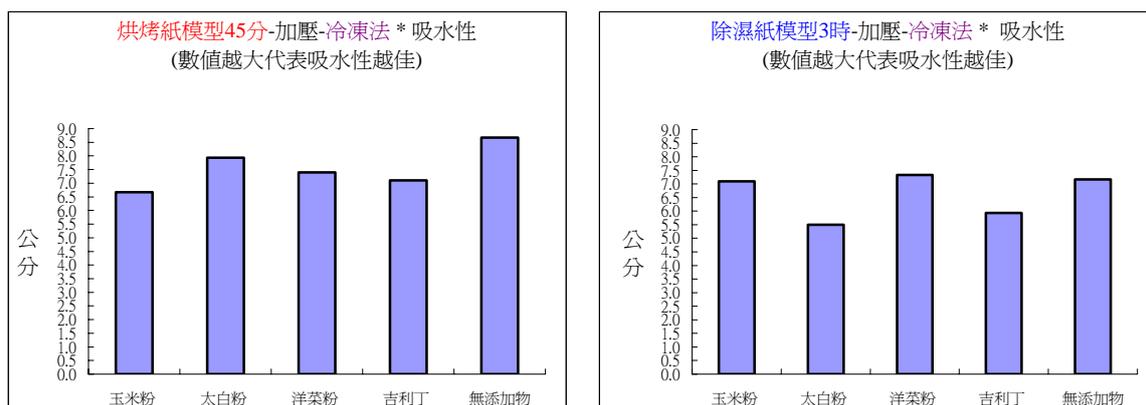


圖 6-4-15

- (1) 以烘烤去水方式的冷凍紙吸水性較佳。
- (2) 無添加物的冷凍紙吸水性優於有添加物紙。
- (3) 各添加物冷凍紙吸水性相差不大，以太白粉（烘烤）的吸水性最佳。

## 3. 自然陰乾製紙之吸水性

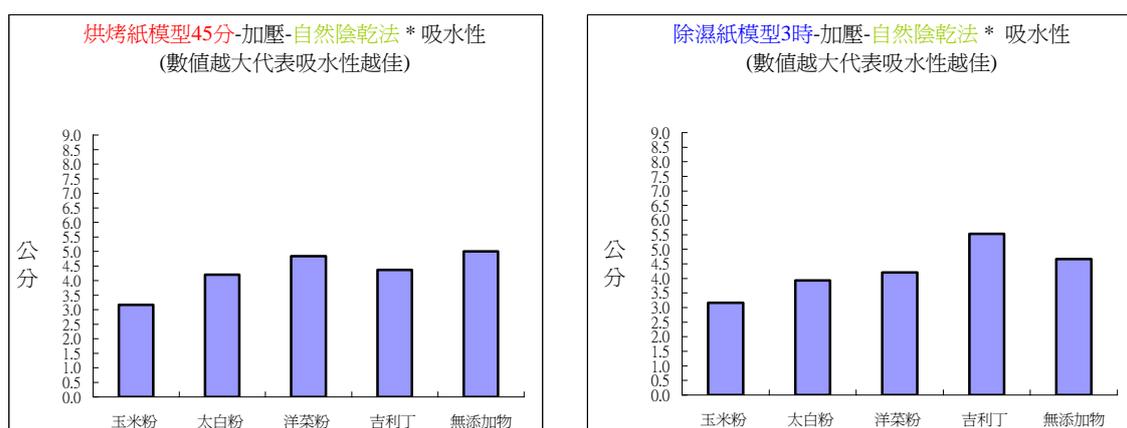


圖 6-4-16

- (1) 去水方式對添加洋菜粉及吉利丁的自然陰乾紙的吸水性有影響。
  - (2) 除了吉利丁，其他添加物的自然陰乾紙吸水性多比無添加物差。
  - (3) 添加洋菜粉或吉利丁的自然陰乾紙吸水性較佳。
4. 要製得易吸水的紙以冷凍法最佳；熨燙法最差。
  5. 不同添加物在不同乾製情形下，以玉米粉和太白粉的紙差異最大。

## 【研究四討論】

研究四在探討比較利用不同添加物配合各乾製法製成紙的特性。根據上述結果，分別以乾製法與添加物的特性討論：

### (一)、不同乾製法造就不同特性的紙張

1. 熨燙法：熨燙紙比較平滑且強韌。推論是因熨燙過程有「熱+壓」效果，使得紙纖維間更緊密，增加紙的強度；而壓紙動作更使得紙面較平滑。
2. 冷凍法：冷凍紙柔軟且吸水性佳。濕紙模型上水分嵌於紙纖維間；在「冷凍」過程中，水結成的冰，體積變大，使紙纖維的空隙變大。當冷凍除水後，纖維縫隙空鬆，使得紙張異常柔軟。而膨鬆的層層紙纖維相疊，形成更多縫隙而增加紙張的吸水性。
3. 自然陰乾法：本研究中自然陰乾紙實用性較差。自然狀態下，紙纖維中的水分慢慢蒸發，紙乾過程，水分流失造成紙纖維間的慢速游移而分布不均，故紙面波折多，最不平滑。

### (二)、不同添加物的特性影響紙的功能性

1. 添加洋菜粉的熨燙紙最平滑：洋菜粉多用於製作果凍，熱水煮開讓洋菜粉溶解，常溫凝固後，其具有滑 Q 特性；研究中再配合熨燙法的特性，其製成的紙相當平滑。
2. 添加玉米粉與太白粉的熨燙紙最強韌：此兩種粉類多用於羹湯的勾芡。勾芡時需冷水和粉再加入熱湯中。故實驗中可發現添加玉米粉與太白粉的紙再配合熨燙的「高溫」，會發揮其凝膠作用，讓紙纖維間的水分凝成似膠狀，故紙的強韌度大增。而且此凝膠情形使得纖維間幾乎無縫隙，故吸水性很差。
3. 添加玉米粉與吉利丁的冷凍紙最柔軟：玉米粉的另一用途是製作柔順口味的蛋糕；在冷凍低溫下，玉米粉不會產生凝膠作用，反而發揮其柔順特色。蛋糕上薄薄一層慕斯，口感柔嫩就是吉利丁的功用；配合冷凍法的特性，製成的紙當然柔軟。
4. 無添加物的冷凍紙最吸水：冷凍紙膨鬆易吸水，但有添加物反而使吸水性略差，推論「添加物」會嵌於紙纖維間，使縫隙變少影響紙的吸水性。

綜合上述討論配合研究結果，整理不同製法的紙功能性於下表：

表 6-4-1 欲研又「紙」－各製紙法的功能分析表

|             |          | 各項功能性 | 平滑度  | 柔軟度 | 強度 | 吸水性 |   |   |
|-------------|----------|-------|------|-----|----|-----|---|---|
| 研究研發的各種製紙方式 | 烘烤紙模型45分 | 熨燙乾製  | 無添加物 | ○   |    |     |   |   |
|             |          |       | 添加物  | 玉米粉 | ○  |     | ● |   |
|             |          |       |      | 太白粉 | ○  |     | ● |   |
|             |          |       |      | 洋菜粉 | ●  |     | ◎ |   |
|             |          |       |      | 吉利丁 | ◎  |     |   |   |
|             |          | 冷凍乾製  | 無添加物 |     |    |     | ● |   |
|             |          |       | 添加物  | 玉米粉 |    | ●   |   |   |
|             |          |       |      | 太白粉 |    | ○   |   | ● |
|             |          |       |      | 洋菜粉 |    | ○   |   | ◎ |
|             |          |       |      | 吉利丁 |    | ◎   |   | ○ |
|             |          | 自然陰乾  | 無添加物 |     |    |     |   |   |
|             |          |       | 添加物  | 玉米粉 |    |     |   |   |
|             | 太白粉      |       |      |     |    |     |   |   |
|             | 洋菜粉      |       |      |     |    |     |   |   |
|             | 吉利丁      |       |      |     | ○  |     |   |   |
|             | 除濕紙模型一小時 | 熨燙乾製  | 無添加物 | ○   |    |     |   |   |
|             |          |       | 添加物  | 玉米粉 | ○  |     | ● |   |
|             |          |       |      | 太白粉 | ◎  |     | ● |   |
|             |          |       |      | 洋菜粉 | ●  |     | ◎ |   |
|             |          |       |      | 吉利丁 | ◎  |     |   |   |
| 冷凍乾製        |          | 無添加物  |      |     |    | ○   |   |   |
|             |          | 添加物   | 玉米粉  |     | ◎  |     | ○ |   |
|             |          |       | 太白粉  |     |    |     |   |   |
|             |          |       | 洋菜粉  |     |    |     | ◎ |   |
|             |          |       | 吉利丁  |     | ◎  |     |   |   |
| 自然陰乾        |          | 無添加物  |      |     |    |     |   |   |
|             |          | 添加物   | 玉米粉  |     |    |     |   |   |
|             | 太白粉      |       |      |     |    |     |   |   |
|             | 洋菜粉      |       |      |     |    |     |   |   |
|             | 吉利丁      |       |      |     | ○  |     |   |   |

註：●代表最佳；◎代表佳；○代表尚可。

## 柒、結論與建議

如何讓「再生紙」富實用價值是我們的研究目的。研究先找出一套基本製紙法讓每張抄紙成功且厚薄相當。再找出較佳的處理紙模型方式，配合添加物，產生各類再生紙，並以自行研發的工具測試比較各功能性。結論是：

### 一、研究製紙方法：

研發一套基本製紙方法有助於抄紙效果，更能增進測試紙功能性的可信程度。「加壓」幫助密合紙纖維，但加壓若不均勻會使紙面波折不平。研究發現加壓紙模型可去除其少許水分，約半天後，紙模型上的水分則不再去除，保持一定溼度；因此本研究採「盛滿水的水桶均勻加壓於濕紙模型上持一天時間」。

### 二、處理紙模型方式：

- (一) 去水至近乾程度的紙模型不易變形也好乾製。觀察除濕或烘烤去水方式產生的紙雖無差異；但測得功能性有差異。
- (二) 加壓的紙使紙纖維較密實，所以乾製後較平坦。
- (三) 比較各乾製法：
  1. 製紙速率是熨燙>自然陰乾>冷凍。
  2. 紙面平坦是熨燙>冷凍>自然陰乾。
  3. 紙張柔軟是冷凍>自然陰乾>熨燙。

### 三、各製紙方式下的再生紙之功能性

- (一) 無添加物的冷凍紙吸水性好；其他功能都不如有添加物的紙。
- (二) 不同添加物需要不同乾製方式發揮其效果：
  1. 添加玉米粉與太白粉的熨燙紙，會發揮凝膠作用加大紙強度。
  2. 添加洋菜粉的熨燙紙，發揮其滑 Q 效果，讓紙面更光滑。
  3. 冷凍紙的紙纖維縫隙膨鬆，易吸水且柔軟；再添加玉米粉或吉利丁，紙會更柔軟。
- (三) 一般手抄紙多採自然陰乾法；但研究中，此方法製成的紙較不實用；因此建議「多付點心力」在「熨燙」或等待「冷凍」方法下，就可獲得較實用的紙；再費點心於添加物，其再生紙的實用性就更加倍了！

「手抄紙」雖常用且簡單，然而落實於生活所需，其「實用價值」尚有繼續研究的空間。我們在有限時間內僅以兩種澱粉類物質及兩種膠質探討研究研發的各製紙法。建議未來研究可繼續拓展此研究空間，探討更多不同特性或濃度的添加物製成的再生紙。

## 捌、參考資料

### 一、書籍

- (一) 光復 (民 92), 自然與生活科技四下。台北市：育成書局。60-61。
- (二) 李德全 (民 92), 廚房粉類大解惑。台北市：楊桃文化。7;46。

### 二、網路

- (一) 浴火鳳凰 (無日期)。台北市：北投國小。民 93 年 12 月 23 日，取自：  
<http://nature.ptes.tp.edu.tw/science/>
- (二) 藝術生活 DIY (無日期)。台北市：國立台灣藝術教育館。民 94 年 2 月 12 日，取自：  
<http://www.arte.gov.tw/artdiy/c/c23.htm>
- (三) 食品主原料 (無日期)。台北市：飛訊烘焙。民 94 年 3 月 8 日，取自：  
<http://www.cakediy.com.tw/sale201.htm>

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會  
評 語

---

國小組 生活與應用科學科

最佳團隊合作獎

080816

欲研又紙

臺中縣太平市東平國民小學

評語：

作者從上課中取材研究「再生紙」的製作方法，及功能性。

從「打漿」→「抄紙」→「去水」→「加壓」→「乾燥」→「成品」並利用玉米粉、太白粉、洋菜粉、吉利丁…讓再生紙更有強度、吸水性強、柔軟度…

每位小朋友發揮團隊精神真好！

建議：：利用抄紙中加入草木花片研發藝術再生紙