

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

082913

兔紙顯維纏繞術

學校名稱：臺南市關廟區五甲國民小學

作者： 小五 楊巧筠 小五 黃歆嵐 小五 林建丞	指導老師： 張真嫻 郭湏詠
---	-----------------------------

關鍵詞：造紙、紙纖維、兔子便便紙

兔紙顯維纏繞術

摘要

本研究挑戰以草食性動物的便便短纖維混合影印紙的絲狀纖維，製作永續綠色經濟紙張。首先向 FaceBook 兔子社群的社員請益兔子的習性、飲食習慣、生理狀態，驗證與修正自己飼養兔子的經驗，並以酸鹼中和法、吸附法和煮沸法處理兔子便便，從牠的便便中發現短纖維與回收影印紙絲狀纖維的差異，於是以紙纖維的特性補足便便短纖維的功能，分別以成分比例、打漿時間與方式、著紙¹工具、壓製方式和乾紙溫度等五個實驗，製作便便紙。以拉伸測試與吸水速度探究便便短纖維和紙纖維纏繞模式，據以驗證製紙變因對纖維纏繞的影響，進而提出影響便便紙製成的因素，提出兔紙的應用與改良建議。

壹、前言

我們很喜愛小動物，也喜愛探究各種物品，這次我們將運用兔子的糞球製作紙張，並探究短纖維和絲狀纖維纏繞的變因，以下針對本研究之研究動機、自然領域學習之相關性、研究目的、參考相關研究分別說明。

一、研究動機

SDGs 目標 12 是「促進綠色經濟，確保永續消費及生產模式」，我們的地球面臨許多危機，兇手是人類，過度使用能源、丟棄大量廢物以及捕殺瀕臨絕種的生物，工業化產生的二氧化碳和甲烷讓地球面臨許多危機。人類過度砍伐樹木危害生物的棲息地，我們認為需要使用其他材料替代樹木，所以選擇用兔子大便製紙的原因是：1. 兔子可以居家照顧，很方便。2. 兔子大便有植物纖維，且不易發臭。3. 提供永續生產模式的另一種可能。

但是用便便造紙，聽起來是多麼可怕的一個主題，一想到便便的樣子大家就好似聞到那種令人作嘔的味道，疫情後的病毒恐懼症仍在大家心中，於是有些隊員聽到大便紙，害怕的改研究其他主題，但是有隊員提供國外運用大象便便製作紙張的影片，影片的說服力很強，讓我們親眼目睹在現場製作便便紙的觀光客都沒有恐懼的表情，剛好隊員家中飼養一隻兔子「麻糬」，牠會在尿盆尿尿，並且大便大部分是掉在尿盆外，每當要清理便盆時，只有尿盆內有臭味，而掉入籠子下方風乾便便幾乎沒甚麼味道，於是大家的研究目光馬上轉向隊員家的兔子便便。²



¹ 本研究的著紙是指將紙漿纖維在篩網抄紙後，附著在篩網或布料上晾乾。

² 本研究的實體照片全部由作者 3 拍攝，若有引用他人的圖片，會於文後再特別標註。

二、自然領域學習之相關性

自然領域有關動物主題課程，提到動物的生存與繁殖，也談到肉食性與草食性動物的覓食來源、牙齒類型以及消化系統差異，並且提到動物與人類的關係，包括動物是人類的食物、動物可以製造出人類生活需要的材料。

許多人類的發明靈感來自動物，例如翰林版五年級提到鯊魚皮泳衣，模仿鯊魚皮膚的鱗片構造。動物與人的關係密切，人類應該以尊重與永續經營的態度與動物相處。我們進行這個主題也是探求另一樣資源～兔子便便的再生再利用，並且從瞭解兔糞的飲食習性、消化排泄方式，培養我們愛護兔糞的態度、感恩兔糞的心，在我們認真的研究下，希望可以讓兔糞為地球盡一份心力。

自然課程常使用放大鏡觀察，但在五年級課程有補充複式顯微鏡構造和使用方法。這個研究專題我們善用顯微鏡設備，讓許多的研究發現現形，除了學會使用顯微鏡之外，也可以觀察研究纖維組織，讓自己的研究能力更上一層樓。

三、研究目的

- (一) 研究居家草食性動物可以增加一般人製作大便製紙的便利性。
- (二) 選用兔子大便製紙可以突破舊思維，友善環境，也可以達到永續環保和創新改變。
- (三) 研究草食性動物短纖維與回收紙絲狀纖維纏繞結合之製紙變因。
- (四) 探究植物短纖維造紙可行性，測試兔紙的拉伸度、吸水性，提出製紙可行性和應用性。

四、參考全國科展之相關研究

屆次	主 題	值得借鏡之處
45	欲研又紙	本研究參考這篇研究有兩項，第一是對紙張的強度測試、第二是最佳的乾製方式是以加溫的熨斗。製作便便紙的最後階段，為了讓便便紙更加完美，我們採用熨斗熨製，並和一般的壓製方式進行比較，提出便便纖維是否適用熨斗壓製。
55	黏液大討讚	短纖維造紙之難處在於紙張容易碎裂，此研究探討榕樹葉短纖維運用天然易取得的黏膠製紙，包括海帶、蓮藕、馬鈴薯...等，以噴膠方式加上熨燙，所造出的紙張效果最佳。雖然本研究沒有運用黏著劑，但其短纖維製紙歷程的困難處給了我們很多啟發。
58	千金難買藻紙道-絲藻再生紙的製作與性質分析探討	使用魚塢裡的絲藻製造再生紙，引用此研究的紙張測試項目，包括吸水性、吸油性、可抗張力，探討其成分及其攪拌時間，讓本研究思考兔子便便短纖維與回收紙漿和鳳梨纖維成分比例，思考如何運用絲狀纖維如何圈緊這些短纖維，增強紙張的耐力。

貳、 研究設備及器材



篩網



電子秤



量筒



壓製工具



布料



量杯



攪碎棒



打蛋器(環、螺旋棒)



整理箱(大)



塑膠尺



紙張厚薄計



溫度溼度計



實體顯微鏡



複式顯微鏡



手機



熨斗



腳架



滴管



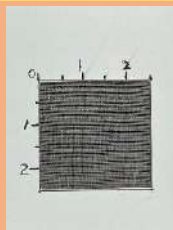
水族箱



瓦斯爐和鍋子



紙張拉伸器



網目計算板



紙漿水流器



梳漿器



抄紙架

參、 研究架構

兔糞食物~網路社群力量大
兔子食物與便便

拉伸力測試
吸水測試
成品應用



製作紙張
STEP 3

便便纖維
加多少



- 便便纖維25%回收紙漿75%
- 便便纖維50%回收紙漿50%
- 便便纖維75%回收紙漿25%
- 便便纖維75%回收紙漿15%
鳳梨纖維10%

絲與塊纖維
共拌



- 時間
打漿一分鐘
打漿五分鐘
- 方式
無攪拌,環狀攪拌,
螺旋攪拌

著紙工具



- 篩網(網目26目)
- 棉布(網目65目)
- 花布(網目98目)
- 篩網(網目120目)

壓製方式



- 無壓製~篩網紙
- 單面壓製~布面紙
- 雙面壓製~雙面壓製紙

乾紙溫度



- 自然風乾
- 高溫壓製

註:圖片取自 Slidemodel、實體照片及文字內容由作者整理

肆、 研究結果與討論

運用 Facebook 臉書社群的意見回饋，統計和分析家兔的食物，據以了解牠的排泄物。首先研究兔子便便的除臭與殺菌方式，製作安全的便便纖維。隨後設計六個製紙實驗，探究篩網製紙的最佳模式，並運用拉伸力和吸水兩大測試，分析免紙成品的纖維纏繞效果。

一、 兔寶食物

兔子「麻糬」是透過兔子 FB 社群領養而來，社群裡總有一群熱愛兔子的人士，他們熱愛兔子的情意很不一樣，常站在兔子的立場思考牠們的動物權，他們曾經分享自家兔子的便便很香，有社員用在菜園施肥或盆栽施肥，但這樣的用途似乎還覺得不滿足，於是還有人詢問這些天然的便便可以再做甚麼？

我們知道兔子是草食性動物，就和泰國的大象一樣，不過牠們因為體型與牙齒構造不同，吃的植物種類與型態不同，大象會吃的多樣性植物，從小的野草到粗大的枝葉與硬樹皮，與牠的棲息地息息相關，美國布朗大學環境及生態教授卡切辛諾 (Tyler Kartzinel) 研究大象大便與棲息地和飲食習慣，他們發現大象大便裡含有 300 多種植物，並且每日追求食用各式各樣新式的植物，與棲息地生態高度相關，專家提醒人們要維護生態多樣性的重要 (拾方視角，2023)。家兔所食用的大多是細嫩的草枝草葉，並且和飼養者有高度相關。

「麻糬」吃的食物大多為草料 (飼料) 和二割的提摩西草 (葉子量較多)，偶爾給牠家中切削蘋果的頭尾或果肉、芭樂、菜葉、地瓜或地瓜葉，牠大出的便便就稍有不同，吃牧草和地瓜葉的便便大顆深綠色、飼料加牧草的便便較小顆顏色淺綠，引發我們思考，若是不同便便是否會製造出不同的再生紙？

這是麻糬的飲食習慣，也因為牠生長年齡是三年，咀嚼與健康程度都屬於成兔階段，介於幼兔和老兔中間。兔子的飲食習慣和飼養者家庭息息相關，所以為了瞭解大家提供兔子的食物內容，和麻糬吃的是否有差異？作為本研究的參考資料，所以我們在三個兔子社群徵詢愛兔的阿姨叔叔「大家都讓兔子吃什麼食物」，結果雪片飛來的答覆 (詳見附件一) 讓我們都嚇一跳，大家對我們的問題不僅提供自己的見解，並且給我們許多專業的飼養經驗與答案，尤其給我們的支持與鼓勵是讓我們最感動的。整理大家留言的內容，分成主食、副食和點心三大類，統計食物出現的次數來了解大家提供免寶的食物內容，整理如下：

(一) 主食

主食 (草)	提摩西	果園草	甜燕麥	苜蓿	百慕達	其他	總計
數量	30	4	14	8	2	3	61
百分比	49%	7%	23%	13%	3%	5%	100%

兔子的主食以乾草為主，有些愛啃枝桿有些愛吃草葉，所以寵物店賣有許多不同種類的牧草，還分一割二割三割，麻糬愛吃提摩西的二割草，其他種類草種牠都稍加淺嚐，從三個

兔子社群的會員分享，每日份量大約為兔兔身體大小 (簡紫婷，2023)，並整理四十八筆留言，統計大家給自己兔寶的主食，其中提摩西草比例 49%，將近是全部的一半，和麻糬一樣，所以我們思考若是採用麻糬的便便來實驗造紙，應該也可以回應許多養兔阿姨叔叔的需求。

(二) 副食

溫沛欣 (2023) 提醒我們提供兔寶飼料是兔寶體重的 3-5%，飼料只是輔助 並不是主食。市面上賣有許多種飼料，包括草料和草塊，成分都有標榜添加莓果、香蕉、蘋果、蔬菜、益生菌.....，草料草塊牽涉品牌和內容物的複雜度，無法歸類探討，兔子社群社員也都只提到「飼料」，但都沒有明確指出內容物，並且許多人都指出品牌，包括 OXBOW (美國)、凡賽爾 (比利時)、彩食健美(日本)。麻糬也很愛飼料，牠食用的不是上面的大品牌而是台灣飼料廠商製作的，通常內含蔬果，牠愛草料甚至勝過牧草，看了兔子社群阿姨叔叔的建議，讓我們思考是否要好好調整牠的飲食習慣，多吃牧草比較好。

(三) 點心

點心	芭樂	香蕉	蘋果	玉米筍	其他
數量	5	5	6	5	繁雜

安排兔寶的點心要細心，不然會造成拉肚子或者挑食，社群裡提出的點心類別很多，很多都跟飼主的習慣或者生活環境有關，也有人摘自己種植的蔬果給兔寶吃，也有人提供家庭常吃的蔬果種類讓兔寶淺嚐，我們將大家提到的點心整理，其中芭樂香蕉蘋果和玉米筍最常見，有趣的是這四種出現的次數不相上下，其他種類出現次數幾乎單一次，有些是木瓜酵素鳳梨酵素的保健食品，有些是小白菜、萵苣等葉菜類。麻糬很愛蘋果、芭樂，牠的點心常有這兩種，其餘的是地瓜、地瓜葉、磨牙棒點心。

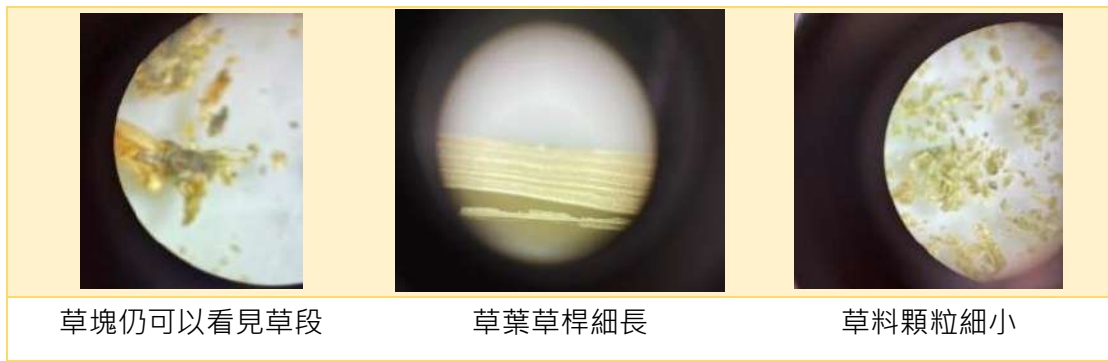
(四) 兔寶食物現形

我們統計整理網路社群的回饋，並且比對實驗採樣對象「麻糬」的食物，先觀察牠的原食物，再觀察牠的便便，最後處理牠的便便再採樣觀察。

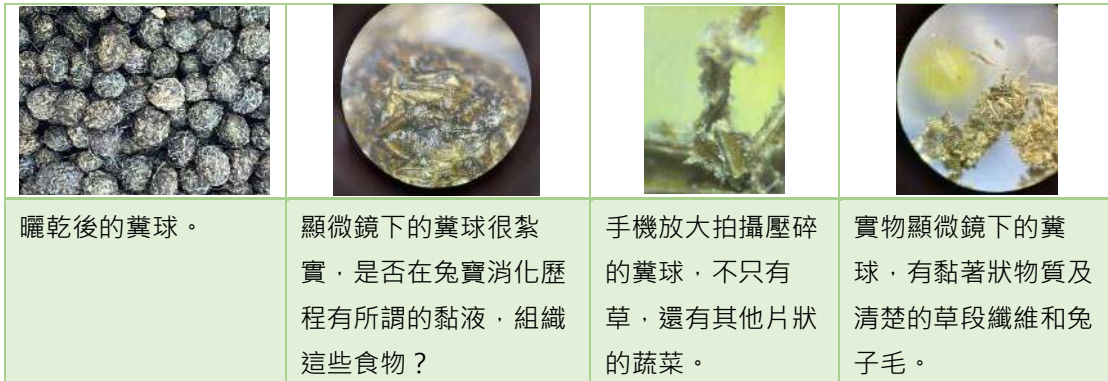
1. 原食物

我們針對麻糬的食物，選了提摩西草、草料和草塊，將其磨碎採樣並用實物顯微鏡放大，也觀察麻糬磨碎的便便，結果如下：





2. 糞球原型



3. 便便纖維

取 5g 兔子便便放入 50c.c 水，加熱到沸點後再煮沸 10 分鐘後再熄火，倒入盆中以水清洗再壓碎後撈出，瀘乾後採樣觀察，清楚看出細小短塊的草纖維、毛、片狀物質。



4. 發現與討論

- (1) 兔寶的食物以草為主食，桿枝狀的草條草葉經過牠的牙齒絞碎與消化後，變得細小絲狀並混雜著牠的毛，煮沸後的糞球仍是顆粒狀，應該要不斷地攪拌並且再煮久一些。
- (2) 兔寶已經將草絞碎，將過消化道後再次組織纖維成為圓圓的糞球，這段歷程不只提供自己養分和



能量，也讓植物纖維再加工成為短塊狀，而這樣的短塊狀纖維對於人們來說是否也是一種節省能源，可以再利用來製紙？是否適宜？又是否製出的紙張有其他的特質用途？

- (3) 曬乾後的便便草纖維既蓬鬆呈現密集纖維狀，並且透出香香的草味，曬乾後的纖維很容易保存，也容易存放，不過還是墨綠色，運用這樣的纖維造出的紙張應該也是偏綠的吧！不像影片中大象便便紙那種是白色，那應該還有經過其他處理。

二、糞球脫臭與除菌

兔糞糞球放置在空氣中沒甚麼味道，若是靠近仔細聞，就有一種狗毛的味道，我們觀看兔糞上廁所的模式，牠會回到自己熟悉的尿盆，蹲在盆上尿尿和大便，但是糞球無法完全落在尿盆裡，是散落在牠活動的範圍。我們運用動物糞便製作紙張，首先要解決的問題當然是糞便的除臭與抑菌工作，於是搜尋「科技大觀園」網站有關草食性動物排泄物的臭味處理資料，使用下列的方法。

(一) 酸鹼中和及消毒

因為便便實驗就讓我們想起在學校廁所聞過的臭味，我們知道那是氨氣，打掃廁所時會添加肥皂水或者清潔劑以及漂白水消毒，而且氨溶於水之後就成了鹼性，於是我們決定添加酸鹼水溶液。

1. 實驗設計及操作

以食用醋和小蘇打調配成酸鹼溶液，以平日洗手的肥皂調成肥皂水和消毒用的漂白水稀釋成水溶液，各取 2.5g 放入 50g 的水和 5g 兔子便便，攪拌後放置在陰涼處。

2. 發現與討論

當天觀察這幾組都沒甚麼味道，但靜置後一週卻發現添加醋那杯只有醋酸味卻沒有便便臭味，漂白水、肥皂水和小蘇打水這三組都有臭味，而醋水溶液上浮了一層黴菌，我們推論是採用有甜味的食用醋及便便養份才滋生黴菌，我們可以採用醋酸或檸檬酸除臭。

添加物 水+便便 (50g+5g)	醋	肥皂水	漂白水	小蘇打 2.5g
一週後	酸味但沒臭味，且有一層黴菌	陣陣臭味	陣陣臭味	酸菜的臭味





一週後沒有發霉只有醋酸味

3. 產生新問題：添加醋酸可以消除臭味，但是這種方法會不會影響製紙？

(二) 吸附法

我們的第一個實驗採用實驗組與對照組的方式，搜尋除臭材料，目的是要消除兔子便便溶入水中的臭味。因此，我們以「除臭材質」為操控變因。

1. 放入水中吸附

分別使用濾芯的活性碳、咖啡粉、木炭、茶葉等材質，將其放入「便便」與水裡，攪拌靜置一天後，以搗聞方式觀察便便水溶液的味道與色澤變化。

結果 \ 組別	實驗組 (水 100g、兔子便便 5g、除臭材質 2.5g)				對照組
實驗材料	水+便便+木炭	水+便便+咖啡粉	水+便便+茶	水+便便+活性碳	水+便便
顏色	黑色	咖啡色	深綠色	淡綠色	淡綠色
1 天後的味道	沒味道	咖啡味	茶香味	沒味道	臭氣味
12 天後	表面一層黴菌，發出惡臭	表面一層黴菌，發出惡臭	表面一層黴菌，沒臭味反而有茶葉香	表面一層黴菌，發出惡臭	表面一層黴菌，發出惡臭

放置一天幾乎沒有臭味，但隨著時間越久就會發出廁所的味道。上網查詢相關資料得知糞便溶於水後會有揮發性氣體，包括氨氣、硫化氫、甲烷、揮發性的有機化合物...等等，其中氨氣的特性是可溶於水，並且隨著溫度升高而逐漸蒸散到大氣，周明顯 (2019) 指出要去除這些臭味可以透過酸鹼中和法 (採用 $\text{PH} < 3$ 溶液) 及漂白水 (次氯酸鈉)，將氨水氧化為氮氣或氮氧化物，而硫化氫也可以透過漂白水氧化為硫化物。



所以我們添加各種吸附臭味的材質，包括木炭、咖啡粉、茶葉和活性碳放入便便水中，12 天後觀察結果，以搗聞方式仍是陣陣臭味，只有茶葉沒甚麼異味。

2. 空氣中吸附

將活性碳、咖啡粉、木炭、茶葉等材質直接放入杯中的便便，放置數天後再搗聞。

	實驗組 (兔子便便 5g、除臭材質 2.5g)				對照組
實驗材料	便便+木炭	便便+咖啡粉	便便+茶	便便+活性炭	便便
味道	無味	無味	無味	無味	有

(三) 煮沸法

參考泰國處理大象便便的方式，第一關曬乾、第二關煮沸，所以這次採用煮沸法。將 100g 的便便放入鍋中加水煮，沸騰後繼續滾 10 分鐘，瀝出水份並擠壓出多餘水份，套入網子放在太陽底下曬乾，曬乾後的乾料有陣陣草香味。煮沸法可以將便便除臭和殺菌 (大腸桿菌和一些微生物)，並且煮沸後透過太陽曝曬，乾燥纖維也較容易保存。我們採樣使用顯微鏡觀察，發現沒有任何微生物，但仍可以看見有些纖維還是黏著在一起。

			
煮沸及攪拌	瀝乾	再瀝乾	實體顯微鏡下
歷程發出陣陣草味及怪味	瀝出的水降溫後用來澆灌植物	仍有許多結球的便便纖維再壓扁再瀝乾，完成後揉鬆放在網袋內再曬乾	短塊的草纖維還夾雜兔毛

(四) 發現與討論

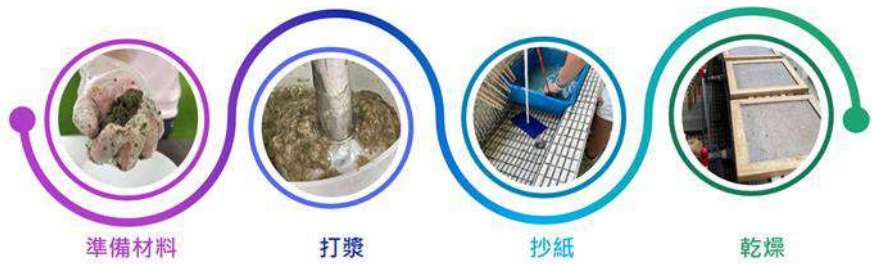
1. 酸鹼中和法以醋酸效果最佳，但留下酸味及其他添加物，需要清洗殘餘物質，而以這種方法殺菌法是不足，仍可以讓許多微生物存活，例如黴菌。
2. 吸附臭味的四種材質，以茶葉效果最佳。本實驗是製成水溶液，這讓我們思考吸附臭味是在哪一個階段？糞球乾燥放在室溫下聞不到臭味，搨聞也聞不到，只是接近鼻子時會聞到如狗毛味道。若是要使用吸附臭味的階段應該是在乾燥階段，包括未處理的糞球存放，以及用在煮沸乾燥後的便便纖維的保存。
3. 煮沸法的效果是最傳統但效果也最好，運用升溫方式可以殺除各種微生物和菌種，並且讓便便中的氨氣和微量的硫化氫加速揮發到空氣中。

三、 製作便便紙

製作紙張的原料有很多，不過本研究是以草食性動物～兔子為主題，僅限討論以**兔子糞球**為主，

輔以添加**校園回收紙漿**和**當地盛產的鳳梨葉纖維**，其餘就不再探討，用以凸顯兔子便便纖維的特質，研究其造紙效益，並探究優缺點。

然而造紙有既定流程且方法多樣，從網路影片⁴參酌多位造紙達人的造紙方式，我們自製模擬工具試驗再試驗，從不同抄紙方法，包括流漿入篩網、倒漿入篩網、雙面篩網水中篩漿與纖維懸浮水中篩漿。



流倒漿入篩網

將寶特瓶中段切割成8道1公分的可以掀開的孔洞，先用清水測試，預計裝漿270c.c. 混合水540c.c.

轉動瓶身讓紙漿水瞬間成為垂直落下的水柱流漿，預估可以流漿11-14秒

寶特瓶裝入漿液270c.c.混合540c.c.水的混合液

將篩網前後搖晃，但纖維仍只落在篩網某一區塊。

倒漿入篩網

漿液直接倒入篩網

上方加水讓漿液纖維均勻分布在篩網，但十分困難

雙面篩網水中篩漿

漿液直接倒入篩網

再覆蓋布，再加一面篩網

放入水中前後左右晃動各10次，打開後發現纖維仍是聚集且不均勻

依研究團隊可以達成的方式，最後我們以兔糞球纖維，加入現有回收紙、以攪拌棒打漿、並採用教室內的槓桿支架，綁上一致長度的橡皮筋當作抄紙盪漿繩，將**木製篩網垂入稀釋後的紙漿水**，多次的抄紙練習，我們體會這種抄紙方法就是運用梳子（自製）**水梳纖維**，讓纖維**均勻懸浮**後，採用一致速度與深度，握好篩網在水中上下左右搖擺各10次，最後運用橡皮筋的輕微彈力慢慢垂直浮出，讓**纖維落網**，形成一幅**交叉牽絆纏繞**畫，也就是一張張的紙，我們將脆弱的紙放在太陽下晾乾。



水梳纖維

定量取漿
(每一杯270c.c.)

紙漿再稀釋再梳理

篩網套橡皮筋立直垂落

水中上下左右搖動

纖維落網牽絆纏繞

我們以這樣方式製紙，但縝密思考製紙歷程，還有許多不同的製紙變因影響纖維纏

³ 圖片取自 Slidemodel、實體照片及文字內容由作者整理

⁴ 廣興紙寮、美濃手漉き和紙工房 Corsoyard の紙

繞，如何像魔法師一樣，讓兔寶便便纖維與回收紙纖維纏繞有何不同的效果，以下提出六個實驗，揭露製作兔紙問題。

(一) 便便纖維加多少




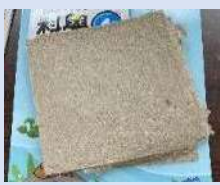


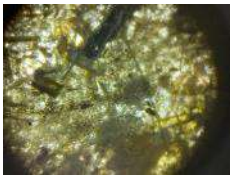
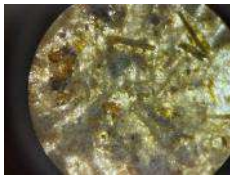
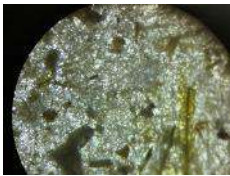
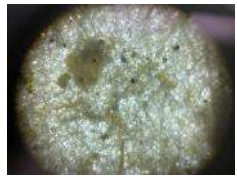
究竟兔子的便便纖維和回收紙紙漿各要加多少才可以製作出一張可用的便便紙？我們先從便便和回收紙的比例差異設計實驗。為了分析和比較各項變因的差異，以下研究我們都採用等量與相同濃度的打漿水。

1. 實驗設計及操作

首先從造紙原料的成分與比例差異來造紙。將三種造紙原料分別秤重、泡軟，依照不同的重量加入 800c.c 水，以攪拌棒打製 1 分鐘，將混合液加入 4500c.c 水，放入大桶中以梳漿器梳漿 100 次後，再用篩網抄紙，紙漿附著在篩網後放在通風處及半日照環境曬乾風乾。

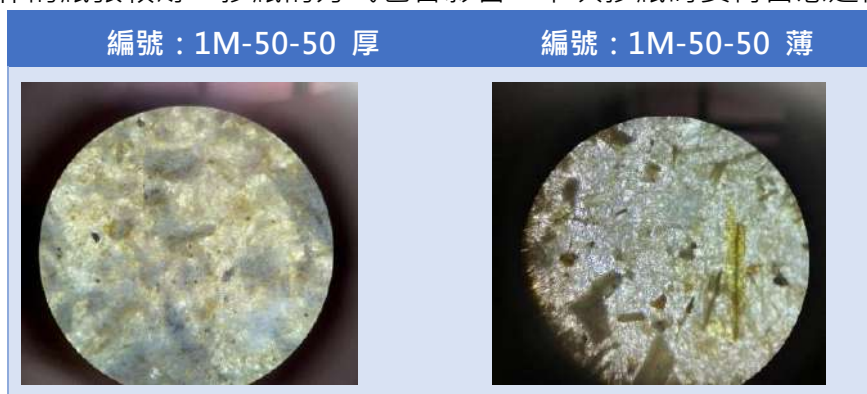
2. 實驗結果

風乾曬乾後從篩網脫下的紙張呈現不同的顏色，依便便成分比例高到低，顏色從墨綠到乳白。

一般紙漿	15g	25g	50g	75g
便便纖維	75g	75g	50g	25g
鳳梨葉纖維	10g	0g	0g	0g
完成品				
實體顯微鏡下				

3. 發現與討論

(1) 第一次比第二次厚度厚，第一次打出的紙張透光性不佳。紙張的厚薄與溶在水中的紙漿材料量有關，第一次抄紙時水中的紙漿量較高，所以製作的紙較厚，多次抄紙後製作的紙張較薄，抄紙的方式也會影響，下次抄紙時要再留意這個問題。



- (2) 紙的顏色偏綠，與兔糞便便顏色有高度相關，然而從已觀看的大象便便影片裡可以察覺，大象便便都偏墨綠色，草食性動物的便便應該都相似，影片中紙張顏色是白色，那麼他們製紙流程有漂白這個程序嗎？便便纖維含量越高，紙張易破裂。
- (3) 看見便便紙上有短短的草纖維，手輕輕觸摸其中一面，掉落一些粉屑，長短 0.5mm 到 2mm，十分細緻，也參雜許多其他不規則形狀的物體，兔糞吃草時已將草磨碎，透過牠的消化器官蠕動後生產「糞球」。

4. 產生新問題

疑問一：我們開始思考染劑以及漂白這個可能性，考量是否要將這個變因納入實驗。

疑問二：兔糞吃下草獲取養分同時也攪碎，運用便便纖維對造紙的效益性究竟有怎樣的貢獻？我們要如何計算出客觀的數據以及讓人信服的答案，這的確可以好好思考。

疑問三：挑選孔隙大小不同的布料，將打完的濕紙漿反扣在這些布料壓乾，測試製出的紙張精緻度。

疑問四：從網版或布料拆下風乾的紙張，發現一面是平整完好，另一面是粗糙且兔子便便的短纖維從紙上剝落，是否因為風乾時，紙張兩面需要有附著面？若是如此，如何讓每一條纖維可以著實的附著在面上？這樣的方式是否可以強化紙張表面的平整度？

(二) 絲與塊纖維共舞



使用複式顯微鏡觀察纖維特徵，發現回收紙漿的纖維細長且呈現絲狀，兔子便便纖維是短片段狀，若要巴住這個短纖維，是否要運用細絲纖維的纏繞？那是否和攪碎時間以及攪拌方式有關？所以我們設計不同的打漿時間和打漿方式，再觀察纖維的排列狀況，並運用攪拌後的紙漿來抄紙，進行評估和測試。

1. 觀察纖維



回收紙漿的纖維呈現絲狀並且含有點狀的油墨，絲與絲之間交錯交疊，這樣的纖維組織較強韌，然而便便纖維呈現塊狀段狀，若是段塊層疊在一起，或許可以成為一塊纖維組織，但卻容易斷裂分離（如前一個實驗中的便便纖維 75% 紙漿 25%）。我們想將便便短纖維加回收紙漿絲狀纖維，運用絲狀結構圈住短塊狀的便便纖維，並以打製時間與打製方式探

究絲塊纖維，是否可以強化纖維結構穩固紮實？

2. 打製時間

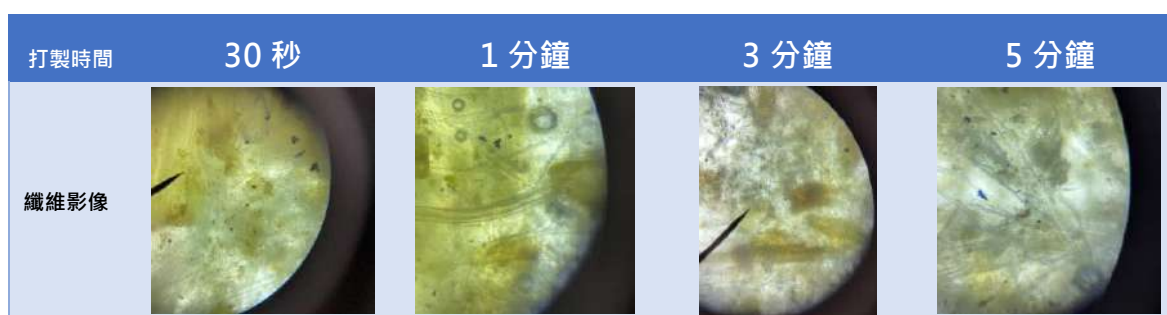
(1) 實驗設計與操作

運用攪碎棒依不同時間打製等量的便便纖維與紙漿，探討纖維的纏繞與纖維的長短。將煮過曬乾的 50g 便便纖維、50g 回收紙，放入量杯 (1000 c.c.) 再加 800 c.c. 水，分別使用攪拌棒打製 30 秒、1 分鐘、3 分鐘、5 分鐘。

(2) 實驗結果

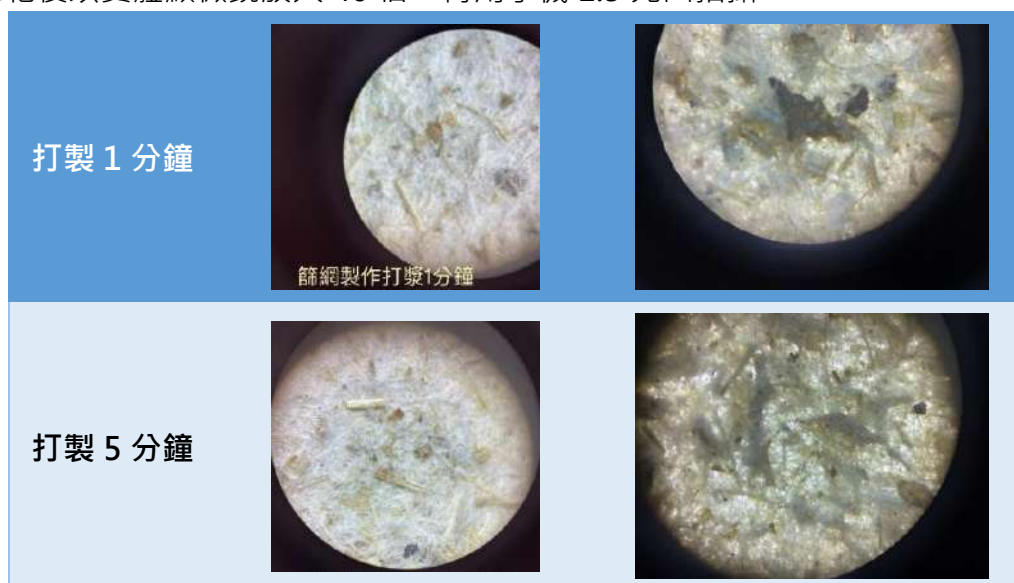
依照四種打製時間的紙漿分別取樣，以複式顯微鏡放大 150 倍，再以手機光圈 1.6 拍攝，獲得以下的結果。

A. 纖維纏繞狀況



B. 打漿時間與紙張成品

以打製 1 分鐘和 5 分鐘的紙漿分別來抄紙，將這杯 900c.c.漿液倒入大桶中加入 4500 c.c.水，使用竹製攪拌器梳拌 100 下，讓纖維於水中均勻分布，使用篩網抄紙，以第一張紙為主，晾乾後以實體顯微鏡放大 40 倍，再用手機 1.5 光圈拍攝。



(3) 發現與討論

A. 打製時間的長短將會影響便便纖維的細緻度，時間過短，便便纖維仍是塊狀，打製時間長將可以使絲狀紙漿纖維纏繞便便纖維。

B. 打製 5 分鐘的纖維纏繞密集度比 1 分鐘纖維更加密集，這應該可以強化紙張的韌性。

(4) 提出問題

疑問一：打製時間可以增加纖維纏繞的密集度，那麼如何檢測出這兩種紙張韌性度的差異？要如何使用科學方法測量紙張的拉伸強度？

疑問二：我們學過毛細現象，水可以在隙縫中移動，縫隙越小可以讓水上升越高，但要如何設計實驗來檢測？如何具體呈現紙張的吸水性和便便紙的孔隙大小？

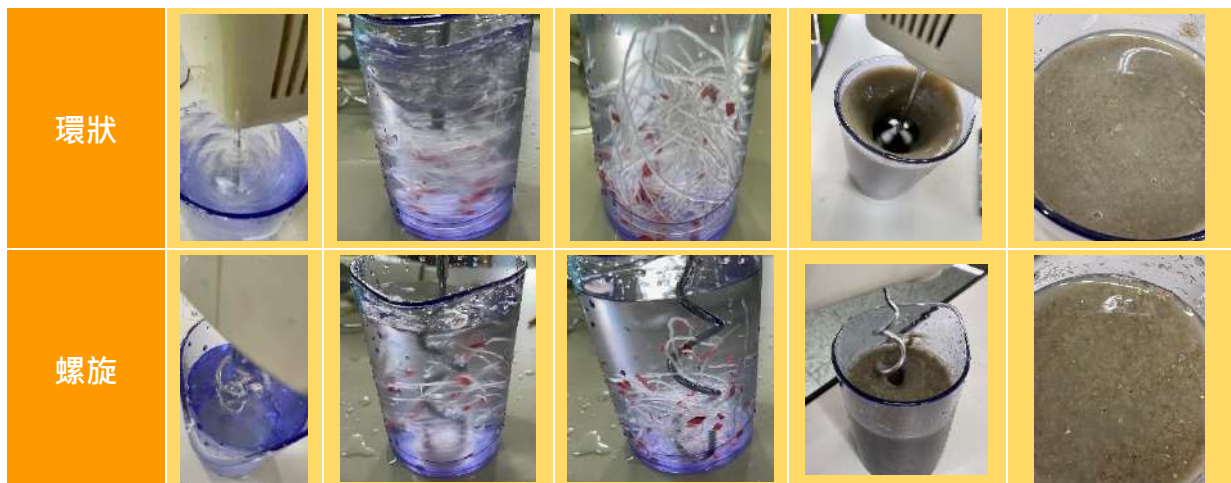
3. 打漿方式

攪碎棒具有刀片及小遮罩，主要用來攪碎物質。使用攪碎棒攪碎紙漿後，再操作不同的攪拌方法，讓絲與塊纖維產生不同方式的纏繞，分析比較纏繞方式的差異對紙張成品的影響，揭露便便短纖維在製紙歷程的特殊性。






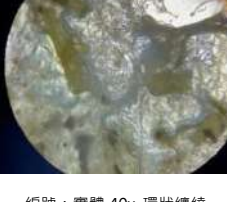
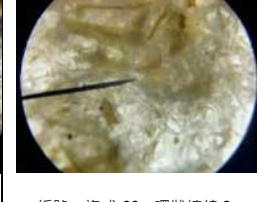


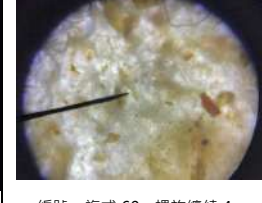

(1) 實驗設計與操作

為了瞭解這兩種攪拌棒的纏繞功效，在正式實驗前先進行實物模擬測試。以浸濕軟化的冬粉和有顏色的短塊狀紙片混合水中，觀察機具攪拌的效果，發現環狀攪拌器讓水流產稱漩渦，並讓絲與塊成了廣闊式環狀的組織纏繞；螺旋狀攪拌器讓水流產生螺旋，並且使絲與塊物質成了螺旋往上發展的螺旋狀纏繞。



使用打蛋器環狀與螺旋造型的攪拌棒，採同樣轉速 1 將絞碎 5 分鐘的 450c.c.紙漿 (50 %便便纖維 50%紙纖維) 放入 500c.c.的攪拌杯製作環狀和螺旋狀纏繞效果的紙漿，各打製 5 分鐘，再將其倒入 2250 c.c.水中，使用梳漿器慢速梳漿 30 下，以篩網抄紙後晾乾。

(2) 實驗結果

沒有攪拌	 編號：實體 40x-未纏繞 1	 編號：複式 60x-未纏繞 2		纖維較為分散，彼此之間交疊纏繞。
環狀攪拌	 編號：實體 40x-環狀纏繞	 編號：複式 60x-環狀纏繞 3		有明顯的環形結構，纖維圍繞成一圈
螺旋攪拌	 編號：實體 40x-螺旋纏繞	 編號：複式 60x-螺旋纏繞 4		纖維呈現出螺旋狀的纏繞形態，彼此交織形成螺旋結構。

(3) 發現與討論

- 紙纖維經過環狀與螺旋攪拌後，顯現出捲曲的圈狀或 S 狀纖維，未經過環狀與螺旋攪拌的多為弧狀。
- 米褐色的便便短纖維被捲曲狀的纖維明顯的纏繞，反觀沒有攪拌的米褐色便便短纖維較環狀與螺旋狀的深，代表沒有攪拌的絲與塊纖維纏繞的程度較低。

- 提出問題：這三項不同的打漿方式，都以雙面壓製和自然風乾後的紙張，是否會因為纏繞方式差異而在紙張的拉伸力有差異？

(三) 著紙、壓製與乾紙



便便纖維和紙漿絲狀纖維混合的漿液著落篩網，是否會因篩網孔隙大小，抄出的紙有差異？纖維著落在網目大小不同的平面，紙面細緻度是否有差異？



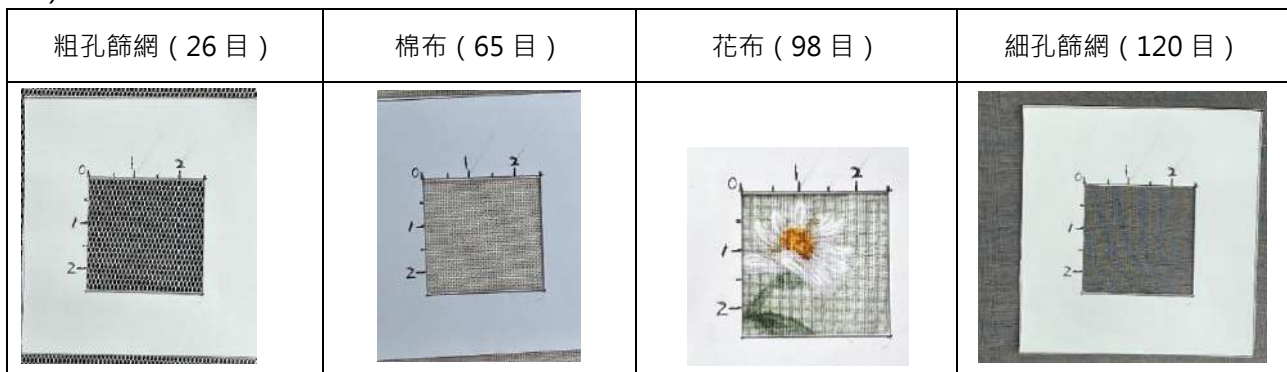
使用篩網製作紙張，晾乾後會發現靠網子那面的紙張是平整光滑，而另一面是自然風乾但卻容易掉落紙纖維，而且表面是粗糙，這讓我們思考若是篩網的兩面都有布料覆蓋風乾，是否會影響紙纖維的組織結構？另外有壓製和沒壓製，所製成的紙面是否有差異？最後自然風乾法和使用高溫壓製法所製成的便便紙，是否有差別？以下我們進行抄紙後的著紙、壓製和乾紙溫度三項實驗。

1. 著紙工具

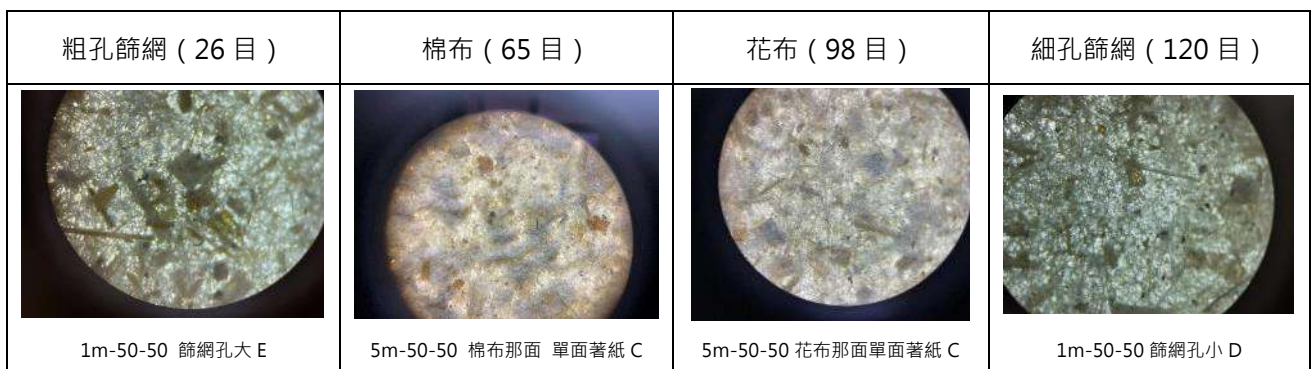
(1) 實驗設計及操作

運用實體顯微鏡觀察紙張的纖維排列構造，用手摸時會發現平整面和粗糙面的纖維排列不同，粗糙面的草塊草料翹起，甚至白色紙漿絲或塊凸出。首先以抄紙時「紙漿附著面」作

為操作變因，分別是細孔篩網 (120 目)、粗孔篩網 (26 目)、棉布 (65 目)、花布 (98 目)，製紙後觀察紙張表面。



(2) 實驗結果



(3) 發現與討論

- 以同樣成份的紙漿 (50% 便便纖維 50% 紙漿) 與相同打製時間 (1 分鐘)，篩網孔小的紙張比篩網孔大的紙張細緻光滑。
- 以同樣成份的紙漿 (50% 便便纖維 50% 紙漿) 與相同打製時間 (5 分鐘)，不同布料附著紙漿，網目多的花布所製出的紙張比網目少的棉布還要細緻。
- 所以附著紙漿工具對於製紙的細緻是具有影響，紙張表面細緻度從細到粗分別是細孔篩網、花布、棉布、粗孔篩網。

(4) 發現新問題

疑問一：篩網製成的紙張脫模時不會捲翹，但是將篩紙後的紙漿倒扣在棉布與花布，風乾後的紙張邊界容易捲翹，將它從布脫模時需要再用重物壓平才可以平整，如何不會使紙張捲翹？

疑問二：從前人的研究與實作中，高溫度壓製紙漿，都有明顯的效果，那麼高溫對於便便纖維在製紙會有甚麼不同的效果？

2. 壓製方式

壓製方式分成三類，第一是無壓製的**篩網紙**、第二是壓製脫模在**布面紙**、第三是篩網抄紙倒扣在棉布後再覆蓋布的**雙面壓製紙**，以下將這三種方式所製成的紙張，肉眼觀察成品，並使用顯微鏡觀察纖維的狀況。

(1) 實驗設計與操作

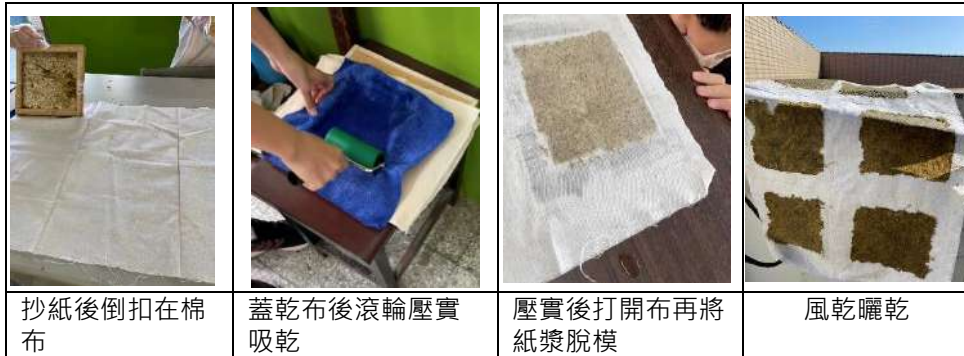
操作壓紙的方式，比較壓製方式的紙張效果。操作壓紙覆蓋的布料，使用粗孔篩網 (26目)、棉布 (65目)。

A. 無壓製~**篩網紙**



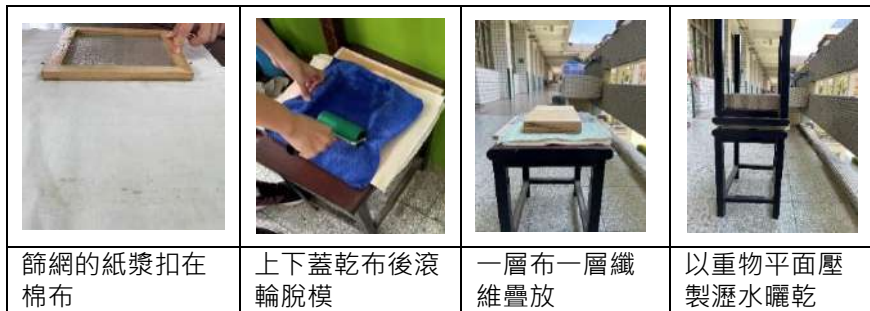
B. 壓製脫模的**布面紙**曬乾

使用篩網抄紙後倒扣在棉布，並且使用乾布擠壓及脫模在棉布上，風乾後觀察。

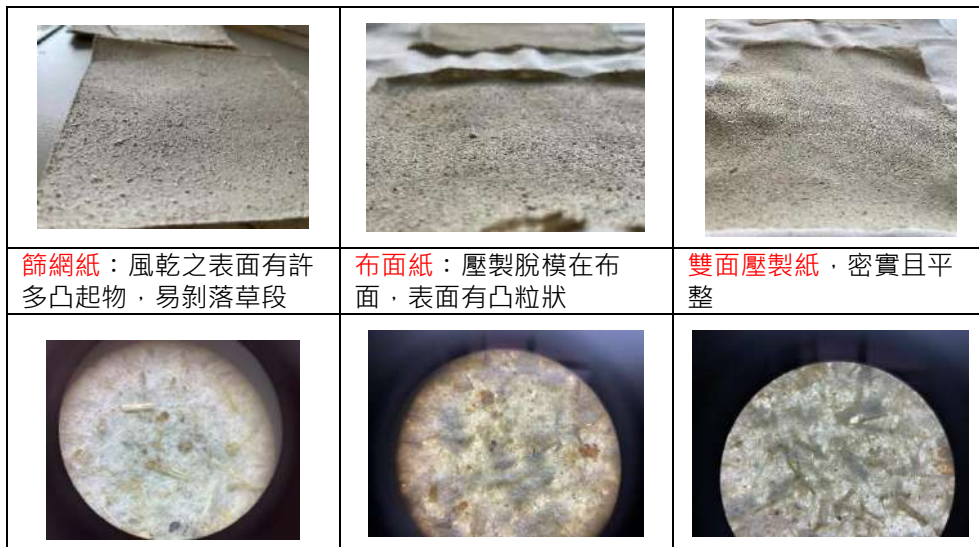


C. 壓製脫模再覆蓋布壓製的**雙面壓製紙**

運用上下層布夾著剛抄紙的紙漿，上層蓋上布，再壓實，風乾後觀察紙張纖維。



(2) 研究成果



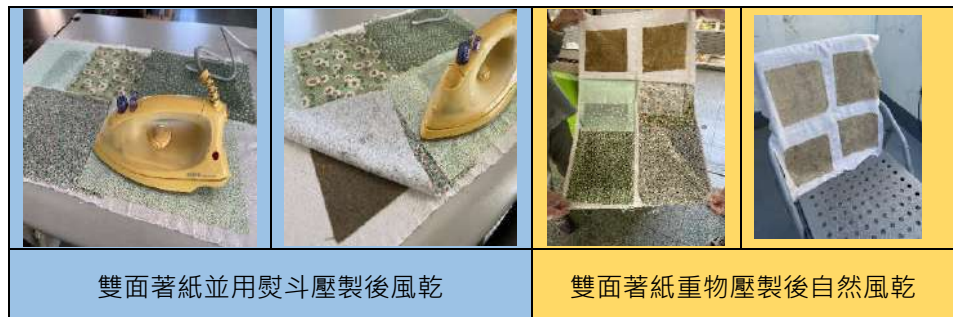
(3) 觀察與討論

- A. 將抄紙後的紙漿以上下層布料夾壓的**雙面壓製紙**效果最佳，表面細緻且兔子的便便纖維緊緊的被紙漿纖維纏繞包覆，反觀無壓製的**篩網紙**，表面顆粒粗大，草段顆粒可以使用手撥下
- B. 覆蓋布料壓製晾乾的**雙面壓製紙**比沒有覆蓋布料壓製的**布面紙**，更能緊緊的著附在棉布上，從晾乾的紙張邊緣最明顯。
- C. 附著在棉布上晾乾的**雙面壓製紙和布面紙**會隨著布的捲曲不平，從布撕下後需要再以書本和重物壓平，**篩網紙**纖維因著在木框架，紙張邊緣不捲翹。
- D. 打漿 5 分鐘的雙面壓製紙，製出的紙張細緻，從顯微鏡下觀看纖維，孔隙細密布均勻，便便短纖維被絲狀的紙漿交疊纏繞，這樣的紙張才是平滑且透氣。相較單面著的布面紙和篩網紙，顯微鏡下仍可看見塊狀的絲狀紙漿，雖然是細細的絲狀，在未壓製的狀況仍是會有蓬鬆突出，孔隙分布不均勻。

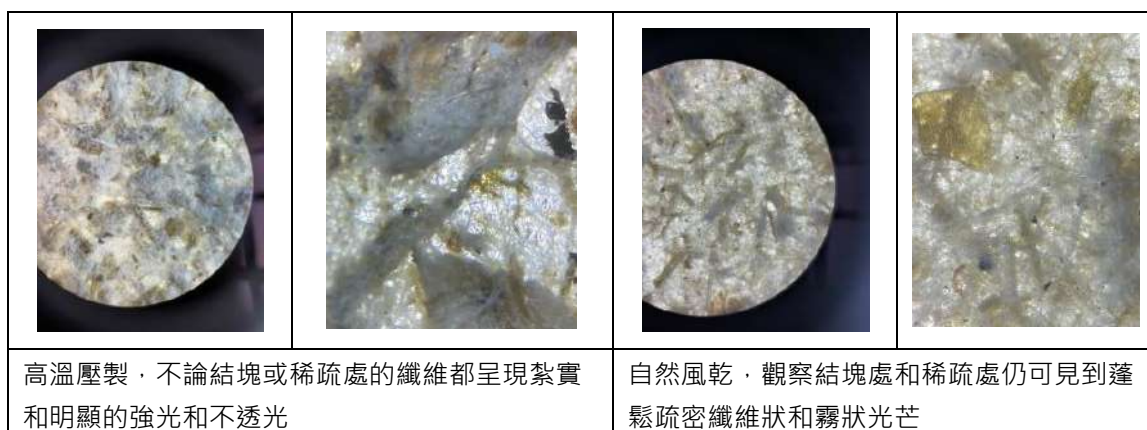
3. 乾紙溫度



- (1) 實驗設計與操作：抄紙後使用花布著紙漿，並以雙面壓製方法製紙，將紙張以自然晾乾和以熨斗高溫乾燥兩種方法壓製紙張。



(2) 實驗結果



(3) 觀察與發現

- A. 高溫壓製可以讓纖維組織呈現穩定狀態，紙張表面的顆粒呈現粗硬狀，紙張邊緣如同篩網風乾的紙張不捲翹。
- B. 高溫壓製讓草纖維和紙纖維更加緊密結合，高溫壓製紙張較自然風乾的硬。

四、 成品測試及應用


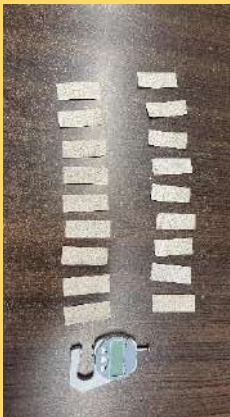


本研究以纖維的纏繞組織為主，故以纖維的拉伸度和縫隙的吸水速度這兩項測試為主，最後以紙筆畫記的使用效果提出應用的建議。

(一) 拉伸測試

參考網站「電子製造網路區」及第 45 屆科展作品「欲研又紙」、第 58 屆科展作品「千金難買藻紙道」有關紙張的張力測試器，我們以教室現有的設備、材料、砝碼以及隨手可得的錢幣，於是設計出下圖的紙張拉伸儀器。



為了掌控精準測試，我們在穩定的氣溫空調 27°C 和相關對濕度約 50-60 % 空間測試 (空間溫度濕度控制已經維持半天以上)，測試樣條平鋪桌上，讓紙纖維在恆定的溫度與濕度中。

			
紙張拉伸力儀器全圖	測試紙條平鋪桌面	進行前測	紙張瞬間斷裂時的拉力

1. 成份不同的拉伸測試

(1) 實驗設計與操作

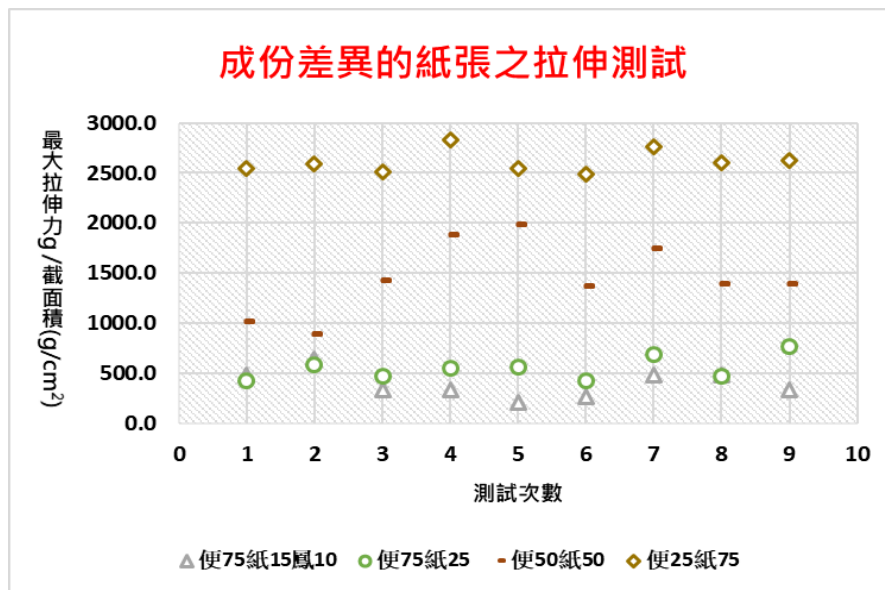
參考網路資源和歷屆科展作品，依照現有的材料與設備，自行改良設計紙張拉伸器，將四種成份不同的紙張裁減成寬 2 公分長 5 公分的長條 10 張，以厚薄計測量紙張的厚薄。兩端以長尾夾繞過支架及厚細吸管夾緊，下方懸掛一個有掛鉤的 20g 砝碼，並吊掛可以放置錢幣的吊籃。



進行實驗前先試作，發現紙張的拉伸韌度比我們想像的還強，於是會先擺入一些重物後再逐個加入 10 元錢幣 (每個 7.7g)，慢慢拉伸紙張，直到紙張斷裂，再將整個吊籃和上面的掛鉤砝碼一起秤重並記錄，如下表，將拉力除以紙張截面積，每一種紙張拉伸測試 9 次。

(2) 測試結果

成份 \ 測驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
便便纖維 75% 回收紙漿 15% 鳳梨纖維 10%	484.5	639.1	328.0	330.0	204.4	265.9	483.6	483.9	329.7	394.3
便便纖維 75% 回收紙漿 25%	418.5	579.1	472.0	552.2	554.3	418.6	687.7	472.7	768.0	547.0
便便纖維 50% 回收紙漿 50%	1019.7	887.0	1429.1	1884.2	1992.0	1371.6	1748.8	1396.4	1389.4	1457.6
便便纖維 25% 回收紙漿 75%	2542.6	2589.6	2513.7	2826.7	2547.4	2492.4	2764.1	2604.8	2620.2	2611.3



(3) 討論

- A. 紙張因成份差異而有明顯的拉伸力差異，從便便纖維含量來看，含量越高的拉伸力越低，如上圖的△便 75 紙 15 鳳 10；便便纖維含量越低而回收紙漿纖維含量越高，紙張的拉伸力越高，如上圖的◇便 25 紙 75，顯現出兔子的便便纖維用來製作紙張適宜製作拉伸力低的紙。
- B. 本研究採用具有環保標章的 Copy Mate A4 環保再生影印紙回收紙所攪成的紙漿，可以適切的將短纖維的兔子便便纏繞，而且便便纖維和回收紙漿各一半製成的紙張-便 50 紙 50，拉伸力就有不錯的效果，有些測試數據甚至逼近◇便 25 紙 75。

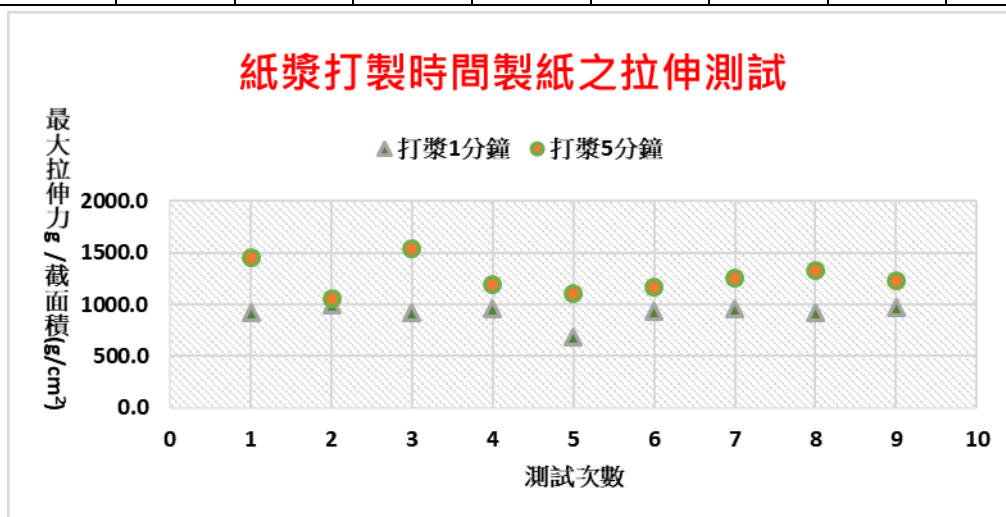
2. 打漿時間不同的拉伸測試

(1) 實驗設計與操作

使用便便纖維 50%回收紙漿 50%打漿 1 分鐘和 5 分鐘，以篩網製成並且自然風乾的紙張，進行拉伸力測試。

(2) 測試結果

打漿時間 \ 試驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
1 分鐘	923.3	995.7	923.1	953.6	680.6	937.6	953.6	924.6	975.0	918.6
5 分鐘	1448.3	1061.5	1545.3	1195.6	1103.8	1168.6	1253.1	1325.3	1235.0	1259.6



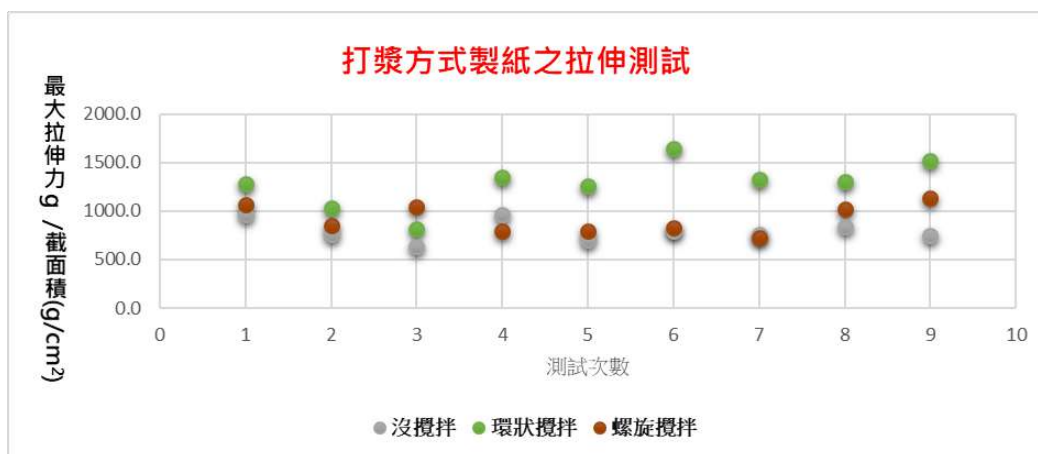
(3) 討論

- A. 便便纖維加上回收紙打製成紙漿，打漿 5 分鐘比打漿 1 分鐘的紙張，具有較高的拉伸力。打製時間的長短對於紙張成品的拉伸力有明顯的差異。
- B. 增加打漿時間可以增強絲狀纖維纏繞便便短纖維的功效，讓紙張更有拉伸力。

3. 打漿方式不同的拉伸測試

(1) 測試結果

打漿方式 \ 試驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
沒攪拌	959.5	759.9	630.6	968.0	697.7	791.3	765.1	835.8	747.7	795.1
環狀攪拌	1276.6	1035.4	814.5	1348.2	1258.9	1642.9	1321.4	1299.1	1518.2	1279.5
螺旋攪拌	1066.3	850.9	1046.7	793.0	792.6	831.7	724.4	1015.7	1128.0	916.6



(2) 討論

- A. 打漿方式的差異所製成的紙張，其纖維纏繞拉伸力從高到低分別是環狀攪拌、螺旋攪拌、沒攪拌。
- B. 多了環狀攪拌與螺旋攪拌紙漿程序，明顯增強紙張的拉伸力，絲纖維與段塊纖維纏繞製成的紙張，環狀比螺旋纏繞更能增強紙張的拉伸力，9 次的環狀試驗都優於螺旋試驗。

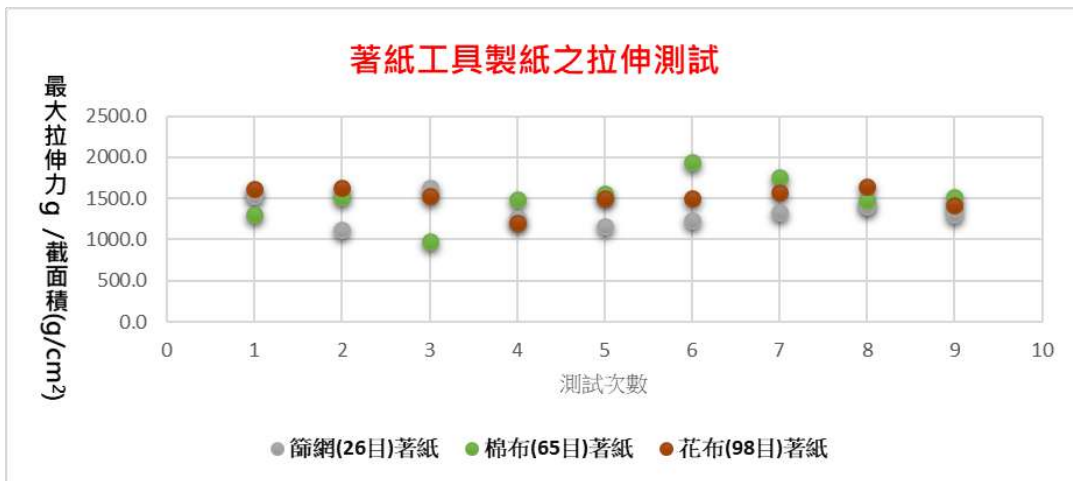
4. 著紙工具不同的拉伸測試

(1) 實驗設計與操作

使用便便纖維 50%回收紙漿 50%打漿 5 分鐘，以單面著紙且著紙工具分別為粗篩網(26 目)、棉布(65 目)及花布(98 目)所製成的紙張，三者皆無壓製，採自然風乾的方式，這三種紙張進行拉伸力測試。

(2) 實驗結果

試驗次數 最大拉伸力 /截面積(g/cm ²) 著紙方式	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
篩網著紙	1533.5	1124.0	1636.2	1265.9	1168.7	1237.4	1326.8	1403.2	1307.6	1333.7
棉布著紙	1302.5	1513.7	982.3	1489.2	1563.0	1939.3	1752.3	1476.2	1517.0	1503.9
花布著紙	1621.5	1634.3	1534.5	1210.3	1501.0	1497.8	1568.7	1636.7	1410.8	1512.9



(3) 討論

- A. 篩網著紙、棉布著紙和花布著紙這三種方式，對於紙張成品的拉伸力沒有明顯差異。若從平均數判斷，網目多的拉伸力越強韌。
- B. 這三項著紙方式都是單面著紙，而篩網著紙晾乾後的紙張不捲曲，另外兩者著紙會附著軟布料晾紙，脫模後呈現彎曲狀，只會影響平整度但不會影響紙張的拉伸力。

5. 壓製方式不同的拉伸測試

(1) 實驗設計與操作

使用便便纖維 50%回收紙漿 50%打漿 5 分鐘，以無壓製的篩網紙、單層壓製脫模在布面紙、篩網抄紙倒扣在棉布後再覆蓋布雙層壓製紙，採自然風乾的方式所製成的紙張，以這三種紙張進行拉伸力測試。

(2) 實驗結果

壓製方式 \ 試驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
篩網紙	1580.0	1158.0	1685.8	1304.2	1204.1	1274.8	1367.0	1445.8	1347.3	1374.1
布面紙	1163.0	921.1	859.8	1320.0	951.4	1079.1	1043.3	1139.7	1019.5	1055.2
雙層壓製紙	1518.1	1565.3	1662.8	1443.6	1401.9	1602.2	1567.2	1803.5	1606.1	1574.5

(3) 討論

A. 雙層壓製紙張的拉伸力比單層壓製和無壓製的篩網紙都強。

B. 無壓製的篩網紙竟然比附著在軟棉布且單層壓製的紙張拉伸力強，這讓我們

思考到紙纖維纏繞短的草纖維，若在晾乾時能以篩網固定拉撐開來的張力會比單層壓製堅韌。

C. 雙層壓製在製紙歷程是必要的，將讓纖維雙面施壓雙層覆蓋，且在晾乾紙張時也能纖維不會凸起扶飄，呈現穩定結構。

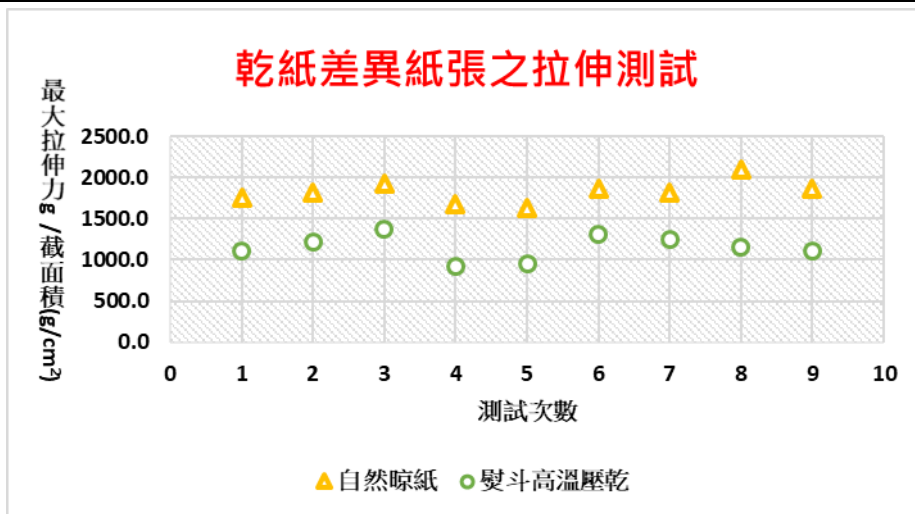
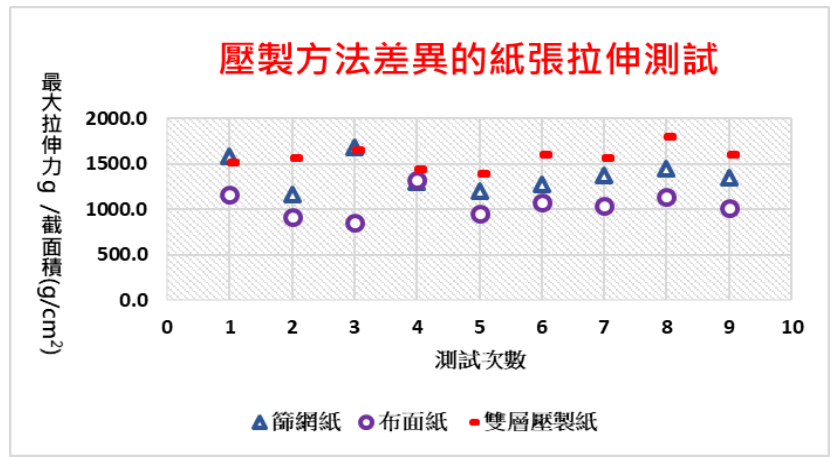
6. 乾紙方式不同的拉伸測試

(1) 實驗設計與操作

使用便便纖維 50%回收紙漿 50%打漿 5 分鐘，使用棉布著紙漿，並以雙面壓製方法製紙，將紙張以自然晾乾和以熨斗高溫壓乾兩種方法製紙，以這兩種紙張進行拉伸力測試。

(2) 實驗結果

乾紙方式 \ 試驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
自然晾乾	1762.9	1817.7	1931.0	1676.5	1628.1	1860.6	1820.0	2094.4	1865.2	1828.5
熨斗高溫壓乾	1103.5	1213.4	1375.5	917.7	951.0	1315.3	1247.6	1149.5	1114.8	1154.3



(3) 討論

- A. 雙面壓製的**自然晾乾紙張的拉伸力竟然高於熨斗高溫壓乾紙張**，高溫壓乾的紙張顯露出壓製壓實的塊狀絲狀纖維，這樣高溫壓成的纖維結構比自然晾乾的纖維結構韌性低。
- B. 使用高溫壓製的纖維需要耗損能源，而自然**風乾的纖維**雖以人工壓製，可節能又可以維持完整的纖維結構，**讓紙張保持應有的拉伸性**。

(二) 孔隙大小與吸水性

以顯微鏡可以看見便便紙唯美的纖維分布與孔隙，但很難定量，在自然課老師曾經指導我們孔隙越小，水上升越快，而便便紙張的纖維會不會因成份差異、打漿時間、著紙和壓制方法以及乾紙方式不同，吸水性也會不同？以下我們針對這幾項變因所製成的紙張，進行吸水性測試，並推論紙張的孔隙大小。

為求等量以及少量的水滴，我們先嘗試使用滴管、針筒和吸管進行滴量測試，多次後發現，滴水的水量都過多，造成紙張過濕且不易計時，最後發現要以小吸管且要按緊一頭，讓吸管的水滴因重力因素自然滑落，而且這樣的量也不會讓試驗紙張負擔過重而濕爛。

			
吸管按壓上方讓水滴依重力而落下	多次嘗試按管滴水	取出等量的水滴	每滴水皆為等量

我們預計進行水平擴散式以及垂直式吸水測試，以驗證紙纖維纏繞孔隙是否有差異。將紙張裁減成 2CM*2CM 大小作擴散式吸水；以及裁剪成 2CM*5CM 長條作垂直式吸水速度測試，水平擴散式是以細吸管按壓住上方，讓等量的水滴因重力因素往下滴在紙片中間，從滴在紙上開始計時，直到水滴被紙張吸入消失後停止計時。垂直式是將紙條放入水開始計時 30 秒並測量水上升高度。

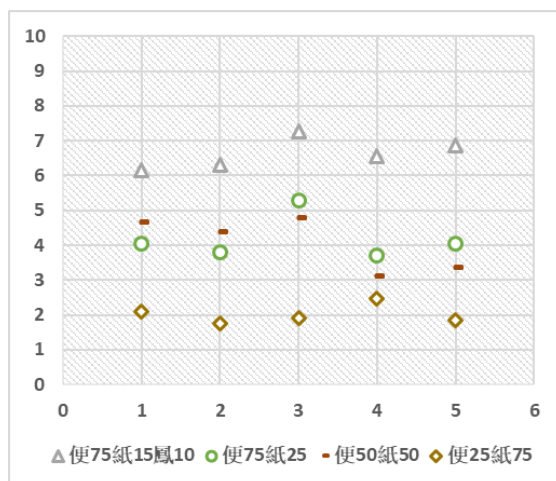
1. 成份不同的吸水速度

(1) 實驗結果

便便紙漿成份	測驗次數						垂直 (30s 爬升)		
	水珠擴散秒數(S)	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4	水平 5	水平平均		
便便纖維 75%回收紙漿 15%鳳梨纖維 10%		6.15	6.31	7.28	6.55	6.85	6.63	1.6cm	1.2cm
便便纖維 75% 回收紙漿 25%		4.06	3.8	5.30	3.70	4.05	4.18	2.4cm	2.6cm
便便纖維 50%回收紙漿 50%		4.66	4.38	4.80	3.13	3.36	4.07	3.4cm	3.8cm
便便纖維 25% 回收紙漿 75%		2.11	1.76	1.91	2.46	1.86	2.02	2.9cm	2.4cm

(2) 討論

- A. 這項成分的差異充分顯現紙張吸水性的差異，具有高比例的便便短纖維遇上低比例的絲狀紙纖維，吸水速度擴散慢且垂直爬升也低；而低比例便便纖維配入高比例的絲狀紙纖維，交錯複雜的絲狀結構和孔隙，水的平面擴散快且垂直爬升也快。
- B. 短纖維的紙張吸水速度傳導慢，且會因為水來不及擴散而在同一點上積水破裂。



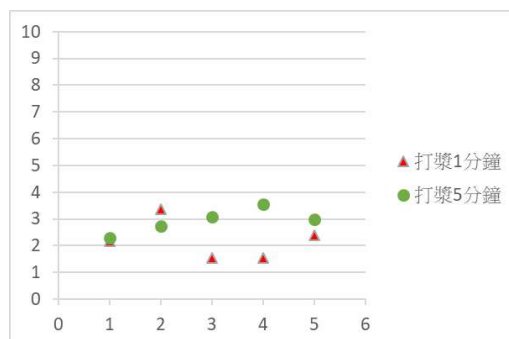
2. 打漿時間不同的吸水速度

(1) 實驗結果

打漿時間	測驗次數						垂直 (30s 爬升)	
	水珠 1	水珠 2	水珠 3	水珠 4	水珠 5	水平平均	水珠 1	水珠 2
1 分鐘	2.18	3.38	1.55	1.55	2.38	2.21	3.5cm	3.3cm
5 分鐘	2.30	2.75	3.08	3.55	3.0	2.94	2.2cm	2.4cm

(2) 討論

- A. 短纖維和絲狀纖維混合打製紙漿時，打製時間的長短對於吸水速度有明顯的不同，打漿 1 分鐘紙張不論擴散和垂直爬升都比 5 分鐘快。
- B. 這個結果讓我們產生疑惑，打製時間越長應可以充分攪拌並且更讓便便纖維更細緻，照理應該會有更複雜的纖維組織，從前面的顯微圖片也都可以看見。



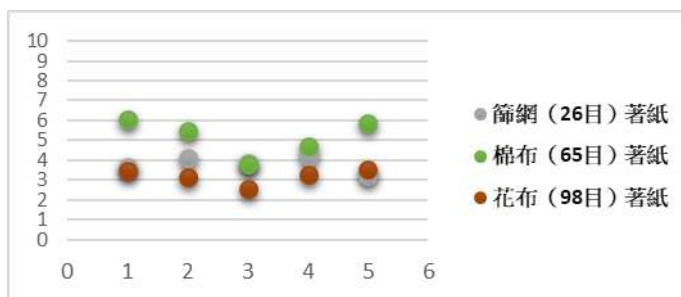
3. 著紙工具不同的吸水速度

(1) 實驗結果

著紙工具	測驗次數						垂直 (30s 爬升)	
	水珠 1	水珠 2	水珠 3	水珠 4	水珠 5	水平平均	水珠 1	水珠 2
篩網 (26 目) 著紙	3.66	4.15	3.86	4.18	3.20	3.81	1.8cm	1.9 cm
棉布 (65 目) 著紙	6.09	5.48	3.78	4.71	5.89	5.19	1.9cm	1.9 cm
花布 (98 目) 著紙	3.48	3.14	2.54	3.26	3.54	3.19	1.9cm	1.9 cm

(2) 討論

- A. 三樣著紙工具所製成的紙張，平面擴散吸水結果以棉布（65目）最慢，細網孔花布和粗網孔篩網無明顯差異，三者垂直吸水速度無明顯差異。
- B. 著紙差異變因對於紙張的纖維孔隙組織影響不大。



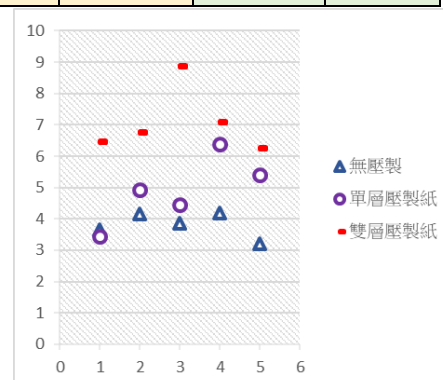
4. 壓製方式不同的吸水速度

(1) 實驗結果

壓製方式	測驗次數						水平平均	垂直 (30s 爬升)	
	水珠擴散秒數(S)	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4	水平 5			
篩網紙(無壓製)		3.66	4.15	3.86	4.18	3.20	3.81	1.8cm	1.8cm
布面紙(單面壓製)		3.43	4.94	4.45	6.39	5.39	4.92	1.7cm	1.5cm
雙層壓製紙(雙面壓製)		6.48	6.78	8.89	7.095	6.28	7.11	1.8cm	1.8cm

(2) 討論

- A. 水平吸水速度以雙層壓製的紙張最慢，而無壓製的篩網紙擴散最快，這是代表無壓製的篩網紙纖維組織比壓製的較自然蓬鬆。三者垂直吸水速度沒有明顯差異。
- B. 壓製方式以無壓製的篩網紙纖維隙縫較佳但差異不大。



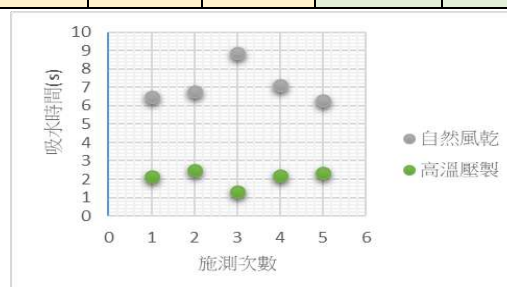
5. 乾紙方式不同的吸水速度

(1) 實驗結果

乾紙方式	測驗次數						水平平均	垂直 (30s 爬升)	
	水珠擴散秒數(S)	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4	水平 5			
自然風乾雙層壓製		6.48	6.78	8.89	7.095	6.28	7.11	1.8cm	1.2cm
高溫壓製雙層壓製		2.16	2.5	1.33	2.20	2.33	2.10	2.3cm	2.5cm

(2) 討論

- A. 高溫壓製紙張水平與垂直的吸水速度比自然風乾吸水速度快。
- B. 熨燙壓會使紙張的纖維更加緊密排列也讓水的吸收更快速。



(三) 成品應用

1. 便便紙的便便纖維 50% 以下的拉伸力已經不錯，若是加長打漿時間並運用環狀纏繞纖維方式、雙層壓製以及自然風乾，將可以強化紙張的拉伸力。
2. 兔紙比較柔軟好撕開，邊邊會有自然的毛邊感，顏色很復古，加上篩網和著布抄紙的關係，紙張的四周會呈現自然的破裂感。
3. 兔紙吸水力強但是易破，便便纖維含量愈高紙漿量愈低，將可以讓紙張吸水速度慢，可用水彩畫、毛邊紙，但筆沾水量仍要少，以免破裂。
4. 兔紙遇水變得更軟更容易塑形，不像一般的紙張有些不易吸水，使用蝶古巴特著上一層膠，淡淡的墨綠色，有種復古藝術感，可以彌補兔紙未加膠的脆弱，又可以創作成藝術品。如果用在書寫上，必須用筆頭較軟的筆，比如：金屬筆、毛筆書寫（但水份也不能太多，容易造成紙張太軟破掉）或者筆頭大一點硬一點的筆，例如：奇異筆應該也可以，代針筆太硬又細要畫出精細的線條會有點辛苦，所以必須以打漿細緻、雙層壓製、自然風乾製作兔紙，讓纖維平滑才容易硬筆書寫。
5. 本研究運用打漿方式時間、有無壓製、兔子便便纖維與紙漿絲纖維的成分比例特性，顯現兔紙光滑、粗糙、復古色彩的質感，因無加上任何膠合劑，在塑形上較容易。

伍、結 論

- 一、運用兔子便便短纖維幾乎是來自草類，製作紙張是容易脆裂，尤其比例高達 75% 時更加明顯，而藉由回收紙紙漿絲狀纖維的纏繞，將可以更穩固纖維組織，我們試驗 50% 便便短纖維和 50% 回收紙紙纖維的紙張，拉伸測試有已有不錯的效果，倘若要再提升綠資源~便便的比率，應該可以再試驗 50-75% 之間的比例。
- 二、製作紙張的過程，首先是除臭除菌部分，傳統方法的煮沸法~高溫滅菌仍是最經濟效益的方式，尤其植物纖維在經過煮過後會去除雜質與鬆軟，若是以其他酸鹼劑進行除臭，這樣的變因在製紙過程是必須納入考量，會產生不同的結果。
- 三、打漿時間的長短是製作便便紙過程是重要的因素，本實驗的設備較簡便，在打製開始時仍可以發現許多顆粒狀的便便，必須使用許多人工方式再處理，因為打漿時間影響成品的細緻度、絲塊纖維纏繞的拉伸品質，而增加纏繞的打漿方法（環狀與螺旋）可以強化紙纖維的結構，增進絲狀纖維與段塊狀纖維緊密結合，提升紙張拉伸力。
- 四、兔紙紙漿成份、打漿時間、壓製方式以及乾紙方式對於便便紙的拉伸力都有明顯的影響，對短纖維與絲纖維纏繞組織歷程扮演重要的因素，其中原本以為乾紙階段，若有高溫製裝置可以讓短纖維和長纖維穩定纏繞結合，但是經過測試後竟然比自然風乾

的纖維拉伸力低，且高溫熨燙需要再花額外的能源，這種乾紙方式應是一種固化紙纖維結構，讓紙張不捲翹，本研究結論是未能加強拉伸力。有關著紙（紙漿著附）方式對於短纖維和絲纖維結合時的拉伸測試沒有明顯差異，和紙張表面的細緻度有關，要讓絲塊纖維穩定結合，從絲潤纖維到乾燥穩定，雙層壓製扮演重要方法，並以自然風乾法讓它保有蓬鬆密集的天然纖維。

五、本研究製作的便便紙紙添加回收紙漿，並未添加其他黏著劑或香料、染劑，所以這些都不在我們的探討範圍，僅就草食性兔子的便便纖維特質如何和回收紙漿結合之探討，所以製成的便便紙張吸水力強但易破，適用在藝術創作的紙類，或者製作封面。我們也會將製作成品、製作經驗回饋給三個 FaceBook 兔子社群的兔寶迷，謝謝那群熱心支持我們的阿姨叔叔。

參考文獻

全國科展參考專題 第 45 屆欲研又紙、第 55 屆黏液大討讚、第 58 屆千金難買藻紙道-絲藻再生紙的製作與性質分析探討。

周明顯 (2019)。排氣異臭味的控制，科技大觀園，摘自

<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=1b921516-5ade-4c02-8015-6089df678eae> 2024.02.21。

金珏小編 (2021) 網目的目數，取自 <https://www.cn-screen.com/hangyenews/124.html> 20240525。

拾方視角 (2023)。科學家發現野生大象天天轉「餐單」 口味各有不同，<https://www.villagedoor.org/>。

溫沛欣 (2023) 兔子認養送養幸福樂園 FB 社群。

電子製造討論區 <https://reurl.cc/RqQbzz> 20240131

台灣真善美 (2020)。手抄紙轉型夾縫求生。取自 <https://youtu.be/w5gjvk6qHbw?si=leh6-ytkkB4mN5WO> 20231213。

美濃手漉き和紙工房 (2020)。Corsoyard の紙づくり「本美濃紙」。取自 <https://youtu.be/e9r2oBMgBfs?si=nhVFo1CX7eGb34j0> 20231213。

Slidemodel . (2024, June 7). *Free 4 Step Diagram Template for PowerPoint*. SlideModel. <https://reurl.cc/QRO6Xbnt/>

Slidemodel . (2024, June 7). *Free Go to Market Strategy PowerPoint Template*. SlideModel. <https://reurl.cc/LWZ74X>

Slidemodel . (2024, June 7). *FF0477-01-free-dmaic-powerpoint-template*. SlideModel. <https://reurl.cc/LWZ74X>

【評語】 082913

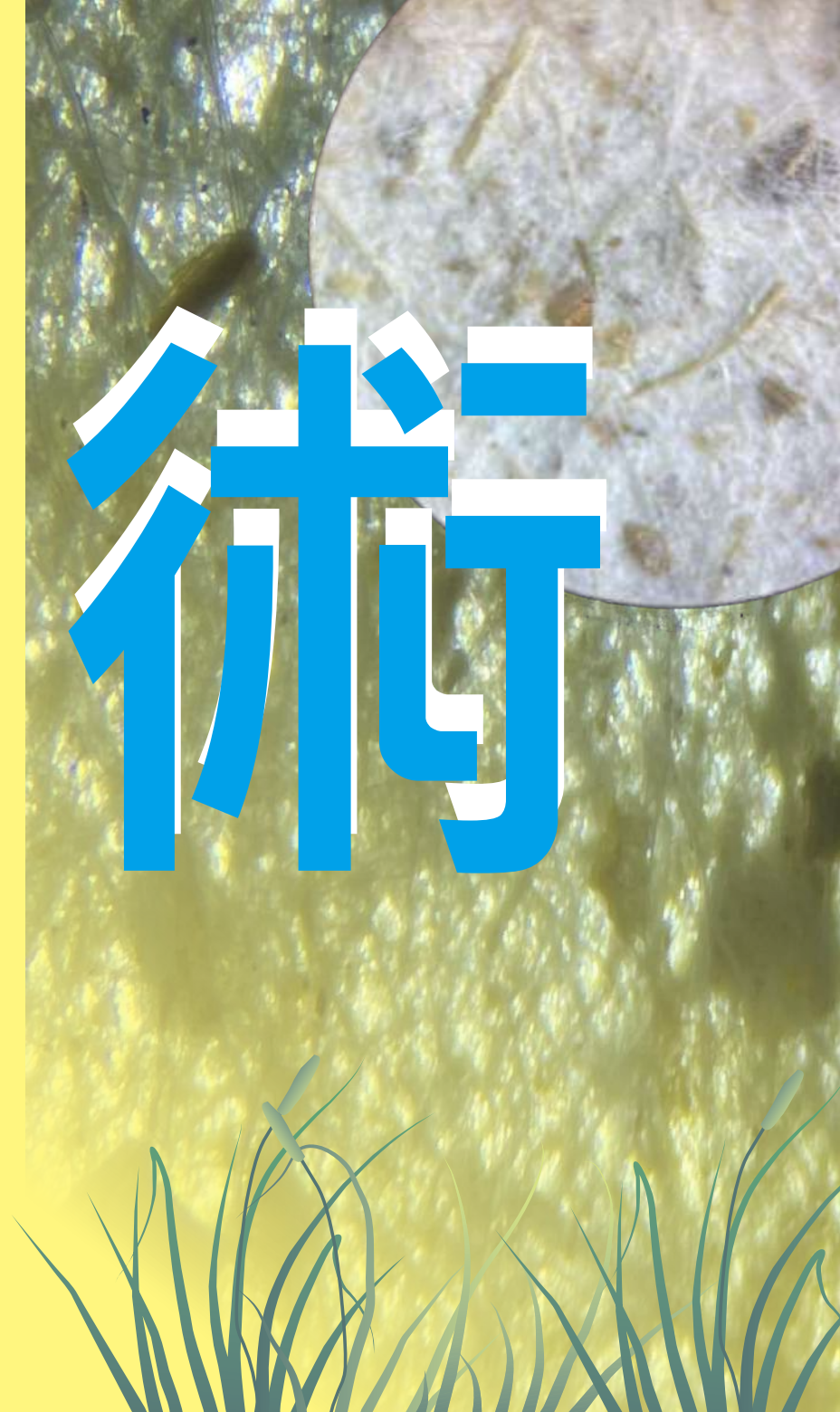
本研究探討以草食性動物兔子糞便中的短纖維與回收影印紙中的絲狀纖維結合，製作出具有一定強度和吸水性的綠色經濟紙張，為紙張製作提供了一種新穎的原材料來源，有助於減少樹木砍伐和資源浪費。幾項建議如下：

1. 本研究主題從小朋友有興趣的兔子便便著手開發為紙纖維，具有創意，符合環保永續精神；但是，以兔子糞便換成紙張的經濟效應可能還需要再思考；因為大象糞便 10kg 可轉換成 4kg 便紙，等於 120 張 B4，其經濟效益較差。
2. 兔子糞便為短纖維，已預期短纖維製成的紙張拉伸力不高時，建議可思考”如何利用短纖維製作更適合的產品”，例如：吸水速度較差的具耐水性應用紙張，或者改為探討透光性與其應用等。
3. 一般紙漿、便便纖維與鳳梨葉纖維實驗，操縱變因有兩項將不易探究變異因素。
4. 便便紙張是否有保存性問題？
5. 從結構看，兔子糞便為短纖維如何增進紙拉伸力？若要改用其他天然材料，哪種會是好的選擇？

作品簡報



兔紙顯維纏繞術



摘要

本研究挑戰以草食性動物的便便短纖維混合影印紙的絲狀纖維，製作永續綠色經濟紙張。首先向FaceBook兔子社群的社員請益兔子的習性、飲食習慣、生理狀態，驗證與修正自己飼養兔子的經驗，並以酸鹼中和法、吸附法和煮沸法處理兔子便便，從牠的便便中發現短纖維與回收影印紙絲狀纖維的差異，於是以紙纖維的特性補足便便短纖維的功能，分別以成份比例、打漿時間與方式、著紙工具、壓製方式和乾紙溫度六個實驗，製作便便紙。以拉伸測試與吸水速度探究便便短纖維和紙纖維纏繞模式，據以驗證製紙變因對纖維纏繞的影響，進而提出影響便便紙製成的因素，提出兔紙的應用與改良建議。

研究動機

SDGs 目標12是「促進綠色經濟，確保永續消費及生產模式」，我們的地球面臨許多危機，兇手是人類，過度使用能源、丟棄大量廢物以及捕殺瀕臨絕種的生物，工業化產生的二氧化碳和甲烷讓地球面臨許多危機。人類過度砍伐樹木危害生物的棲息地，我們認為需要使用其他材料替代樹木，所以選擇用兔子大便製紙的原因是：1.兔子可以居家照顧，很方便。2.兔子大便有植物纖維，且不易發臭。3.提供永續生產模式的另一種可能。

但是用便便造紙，聽起來是多麼可怕的一個主題，一想到便便的樣子大家就好似聞到那種令人作嘔的味道，疫情後的病毒恐懼症仍在大家心中，於是有些隊員聽到大便紙，害怕的改研究其他主題，但是有隊員提供國外運用大象便便製作紙張的影片，影片的說服力很強，讓我們親眼目睹在現場製作便便紙的觀光客都沒有恐懼的表情，又有隊員家中飼養一隻兔子「麻糬」，牠會在尿盆尿尿，並且大便大部分是掉在尿盆外，每當要清理便盆時，只有便盆內有臭味，而掉入籠子下方風乾便便幾乎沒甚麼味道，於是大家的研究目光馬上轉向隊員家的兔子便便。

研究目的

- 一、研究居家草食性動物可以增加一般人製作大便製紙的便利性。
- 二、選用兔子大便製紙可以突破舊思維，友善環境，也可以達到永續環保和創新改變。
- 三、研究草食性動物短纖維與回收紙絲狀纖維纏繞結合之製紙變因。
- 四、探究植物短纖維造紙可行性，測試兔紙的拉伸度、吸水性，提出製紙可行性和應用性。

與自然領域學習相關性

許多人類的發明靈感來自動物，例如翰林版五年級提到鯊魚皮泳衣，模仿鯊魚皮膚的鱗片構造。動物與人的關係密切，人類應該以尊重與永續經營的態度與動物相處。我們進行這個主題也是探求另一樣資源～兔子便便的再生再利用，並且從瞭解兔寶的飲食習性、消化排泄方式，培養我們愛護兔寶的態度、感恩兔寶的心，在我們認真的研究下，希望可以讓兔寶為地球盡一份心力。

研究歷程與架構



研究結果與討論

運用FaceBook臉書社群分析家兔的食物，進而了解牠的排泄物，再探討除臭與殺菌方式，製作安全的便便植物纖維，試探影響纖維纏繞的六個製紙變因製作出不同的紙張，除了使用顯微鏡紀錄纖維纏繞，再運用自製的拉伸力測試器測試紙張拉伸力，最後測試紙張的吸水速度，探討纖維的纏繞細縫。

研究一 兔寶食物

研究問題 人類飼養家兔的食物究竟為何?和這次研究主角兔子「麻糬」吃的是否有差異?

研究設計 為了瞭解大家提供兔子的食物內容，作為本研究的參考資料，所以我們在三個兔子社群徵詢愛兔的阿姨叔叔「大家都讓兔子吃什麼食物？」以FB三個兔子社群蒐集意見並統計分析。

實驗操作 將大家提供的兔子食物資料，以顏色標誌方式分類與統計。

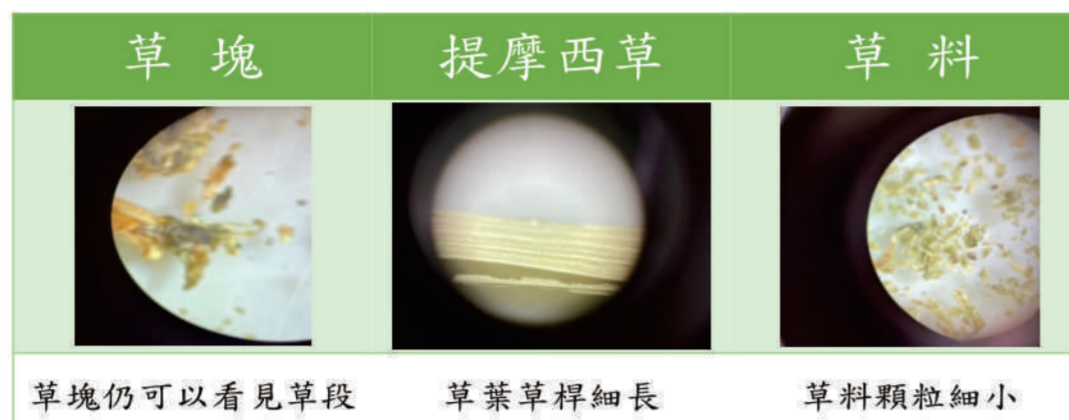
主食 整理四十八筆留言，提摩西草比例49%，將近是全部的一半，和麻糬一樣。

副食 兔子社群社員也都只提到「飼料」並且許多人都指出品牌。麻糬也很愛飼料，牠愛草料甚至勝過牧草，看了阿姨叔叔的建議，讓我們思考是否要好好調整牠的飲食習慣，多吃牧草比較好。

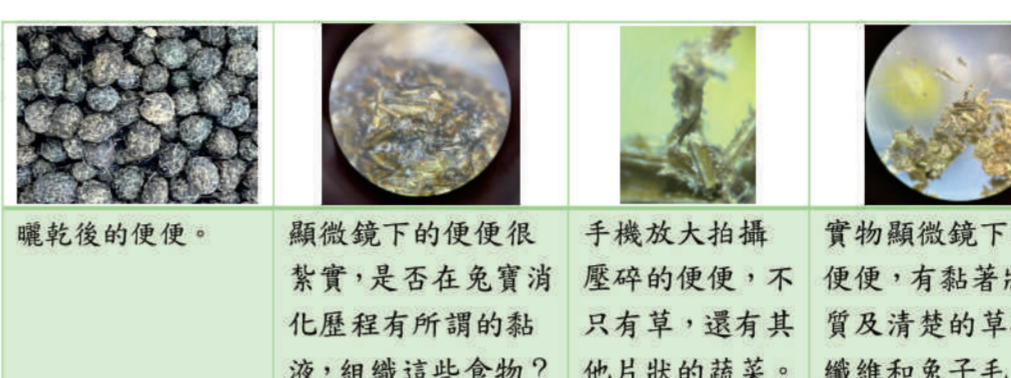
點心 芭樂香蕉蘋果和玉米筍最常見，有趣的是這四種出現的次數不相上下。麻糬很愛蘋果、芭樂。

兔寶食物與便便

原食物

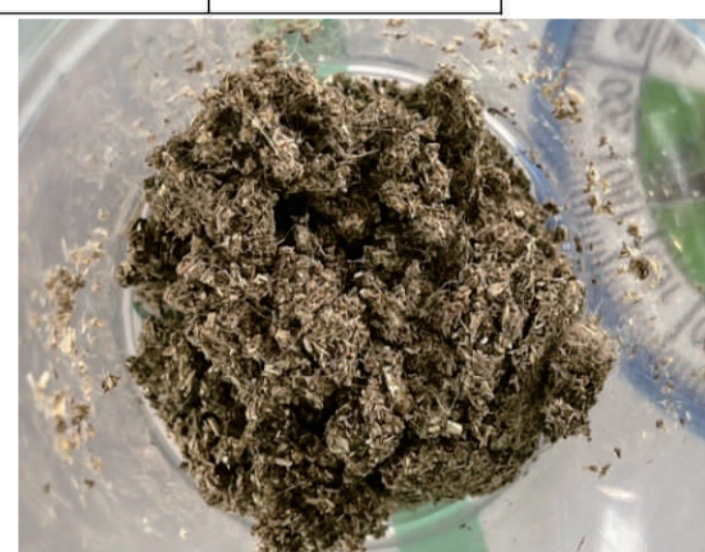
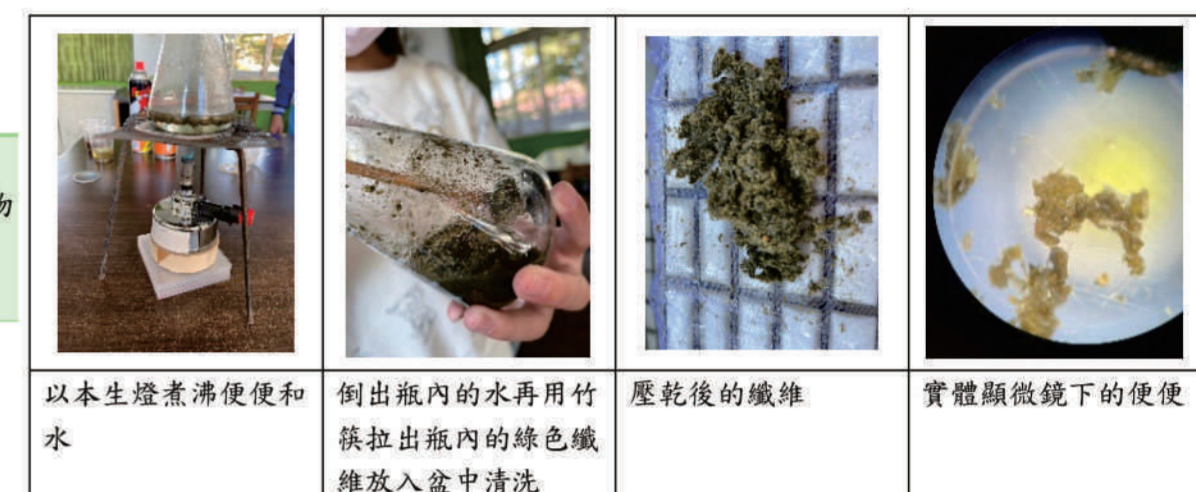


糞球



主食(草)	提摩西	果園草	甜燕麥	苜蓿	百慕達	其他	總計
數量	30	4	14	8	2	3	61
百分比	49%	7%	23%	13%	3%	5%	100%

點心	芭樂	香蕉	蘋果	玉米筍	其他
數量	5	5	6	5	繁雜



發現與討論

- 兔寶的食物**以草為主食**，桿枝狀的草條草葉經過牠的牙齒絞碎與消化後，變得細小絲狀並混雜著牠的毛，煮沸後的便便仍是顆粒狀，應該要不斷地攪拌並且再煮更久。
- 兔寶已經將草絞碎，將過消化道後再次組織纖維成為圓圓的糞球，這段歷程不只提供自己養分和能量，也讓植物纖維再加工為短塊狀，可以再利用來製紙？又是否製出的紙張有其他的特質用途？
- 曬乾後的便便草纖維蓬鬆又密集纖維狀，並且**透出香香的草味**，曬乾後的纖維很容易保存，也容易存放，不過還是**墨綠色**。

研究二 糞球脫臭與除菌

實驗一、酸鹼中和及消毒 便便味道讓我們想起在學校廁所聞過的臭味，我們知道那是氨氣，而且氨溶於水之後就成了鹼性

	漂白水 2.5g	肥皂水 2.5g	醋 2.5g	小蘇打 2.5g
水	50g	50g	50g	50g
便便	5g	5g	5g	5g
一週後觀察結果	陣陣臭味	陣陣臭味	酸味但沒臭味，且有一層菌	酸菜的臭味

實驗二、吸附法

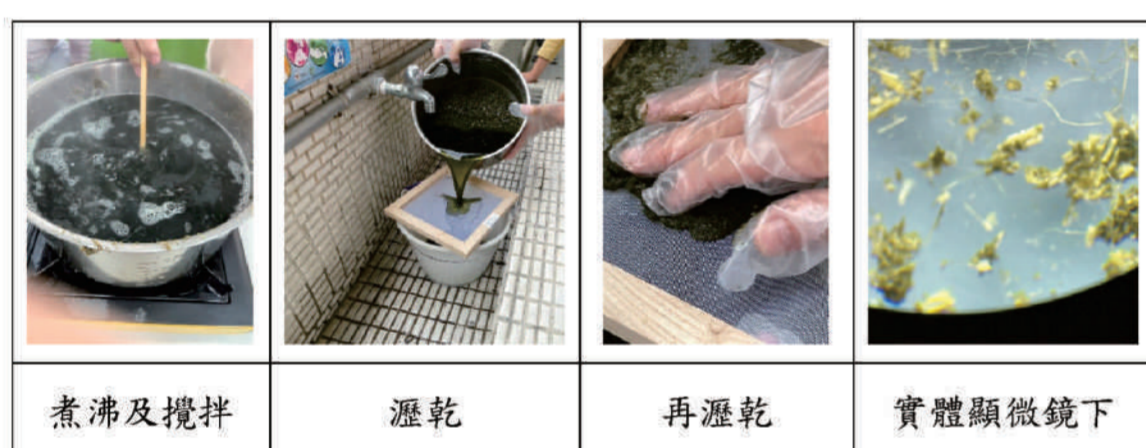
空氣中吸附

實驗組 (兔子便便 5g, 除臭材質 2.5g)	對照組				
實驗材料	便便+木炭	便便+咖啡粉	便便+茶	便便+活性炭	便便
味道	無味	無味	無味	無味	有

水中吸附

實驗組 (水 100g, 兔子便便 5g, 除臭材質 2.5g)	對照組				
實驗材料	水+便便+木炭	水+便便+咖啡粉	水+便便+茶	水+便便+活性炭	水+便便
顏色	黑色	咖啡色	深綠色	淡綠色	淡綠色
一天後聞味	沒味道	咖啡味	茶香味	沒味道	臭氣味
12天後	表面一層菌，發出臭味	表面一層菌，發出臭味	表面一層菌，發出臭味	表面一層菌，發出臭味	表面一層菌，發出臭味

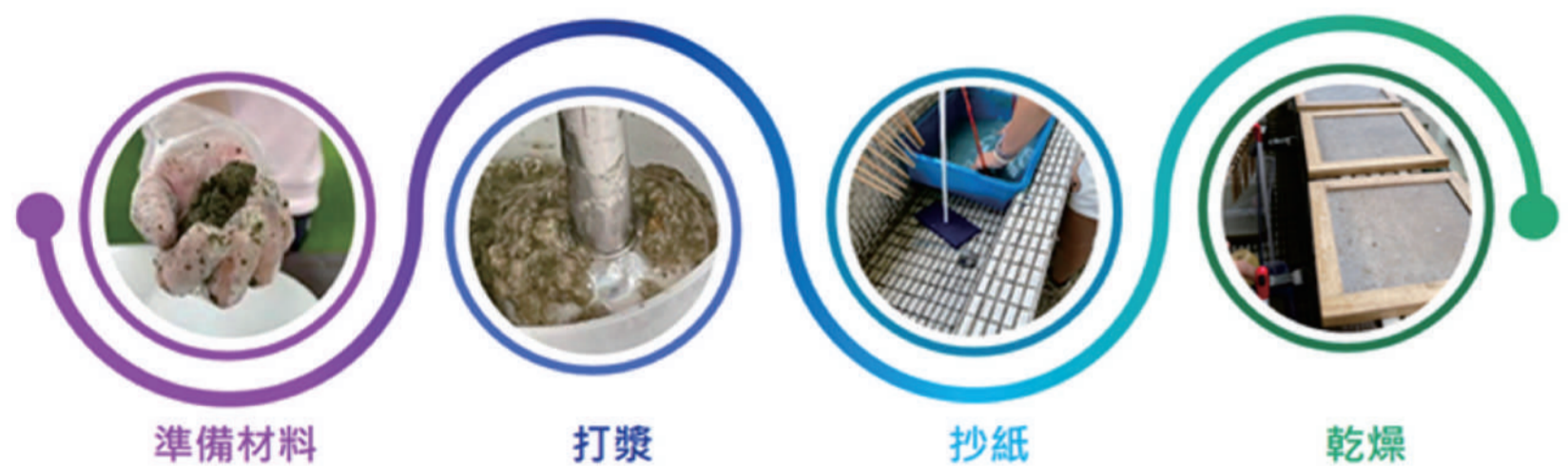
實驗三、煮沸法



發現與討論

- 酸鹼中和法以**醋酸效果最佳**，但會留下酸味及其他添加物，且殺菌效果不足，仍營造許多微生物生存條件，例如黴菌。
- 吸附臭味的四種材質，以茶葉效果最佳。若是要使用**吸附臭味的階段**應該可以用在**乾燥階段**。
- 煮沸法**最傳統但效果也最好，運用升溫方式可以**殺除各種微生物和菌種**，並且加速揮發便便中的**氨氣和微量的硫化氫**。

研究三 製作紙張



綁上一致長度的橡皮筋當作**抄紙盪漿繩**，將木製篩網垂入稀釋後的紙漿水，多次的抄紙練習，我們體會這種抄紙方法就是運用梳子(自製)**水梳纖維**，讓**纖維均勻懸浮**後，採用一致速度與深度，握好篩網在水中**上下左右搖擺各10次**，最後運用橡皮筋的輕微彈力**慢慢垂直浮出**，讓**纖維落網**，形成一幅**交叉牽絆纏繞畫**，也就是一張張的紙，我們將脆弱的紙放在太陽下晾乾。

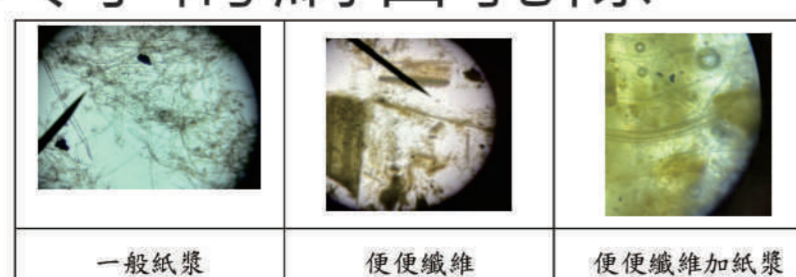
實驗一 便便纖維加多少

- 第一次比第二次厚度厚，第一次打出的紙張透光性不佳，紙張的厚薄與溶在水中的紙漿材料量有關。
- 紙的顏色**偏綠**，與兔寶便便顏色有高度相關，然而從大象便便影片裡可以察覺，大象便便都偏墨綠色，草食性動物的便便應該都相似，影片中有的染色有的是白色，那麼他們有將過漂白這個動作嗎？
- 便便紙上可以看見短短的**草纖維**，**長短約為0.5mm到2mm**，十分細緻，也參雜許多其他不規則形狀的物體。可見兔寶已將草磨碎甚至透過牠的消化器官蠕動後產生「糞球」。
- 紙張附著在網目的那一面較光滑，沒有任著力的一面粗糙，若是要製作出兩面都光滑的紙張，是否都要進行著力及壓製的施力？而且兩個不同大小的網目孔隙，一個約1mm*1mm另一個0.2mm*0.2mm，兩面打出紙的粗細度也不同。

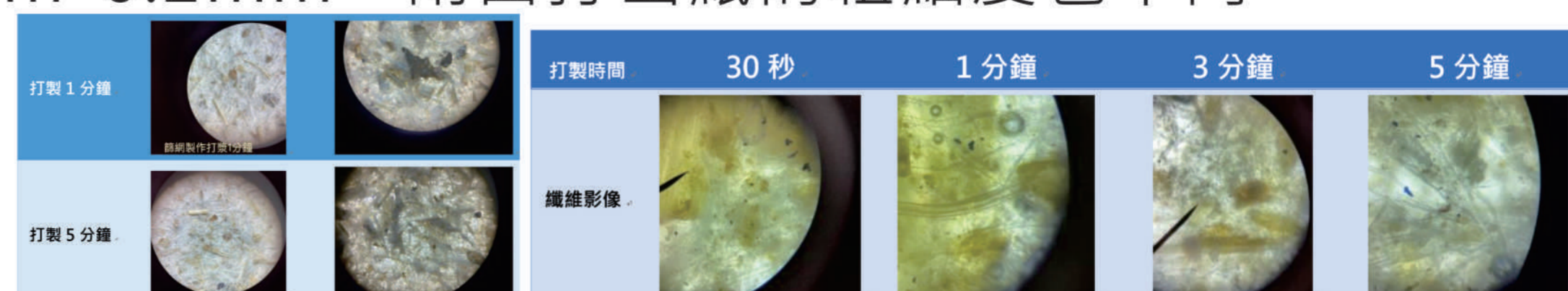
便便	75g	75g	50g	25g
一般紙漿	15g	25g	50g	75g
鳳梨葉	10g	0g	0g	0g
完成品				
實體顯微鏡下				

實驗二 絲與塊纖維共拌

時間



- 打製時間的長短影響便便纖維的細緻度，時間過短，便便纖維仍是塊狀，**打製時間長將可以使絲狀紙漿纖維纏繞便便纖維**。
- 打製5分鐘的纖維纏繞密集度比1分鐘纖維更加密集，可以**強化紙張韌性**。



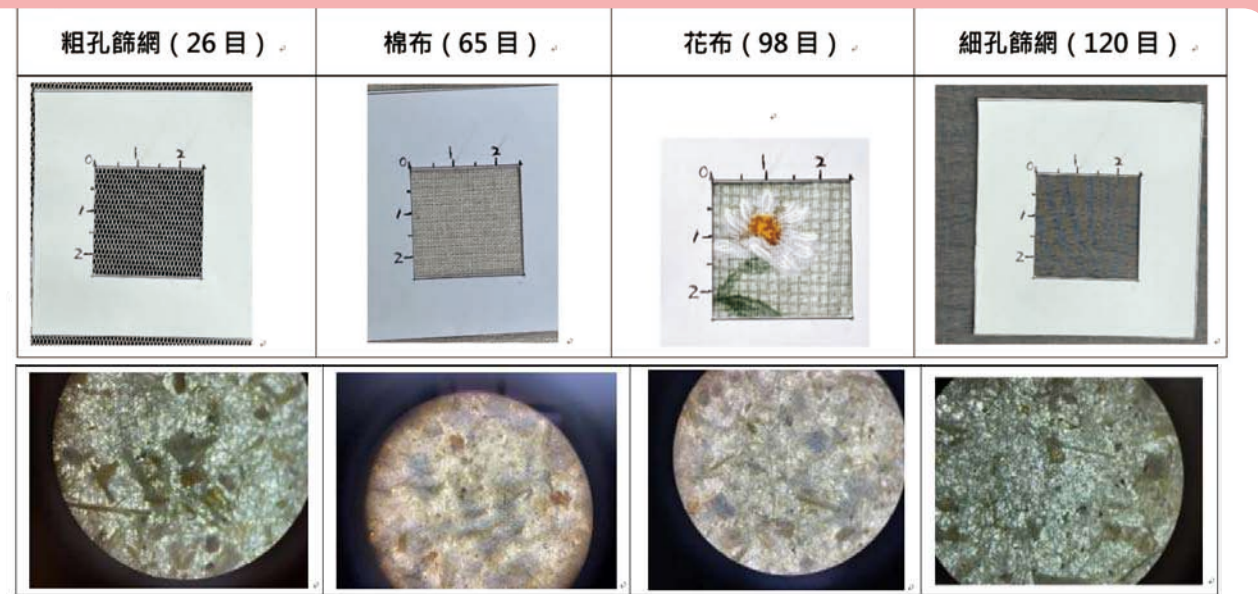
方式

- 紙纖維經過**環狀與螺旋攪拌**後，顯現出**捲曲的圈狀或S狀纖維**，**未經過環狀與螺旋攪拌的多為弧狀**。
- 米褐色**的便便短纖維被捲曲狀的纖維明顯的纏繞，反觀**沒有攪拌的米褐色**便便短纖維較**環狀與螺旋狀的深**，代表**沒有攪拌的絲與塊纖維纏繞的程度較低**。

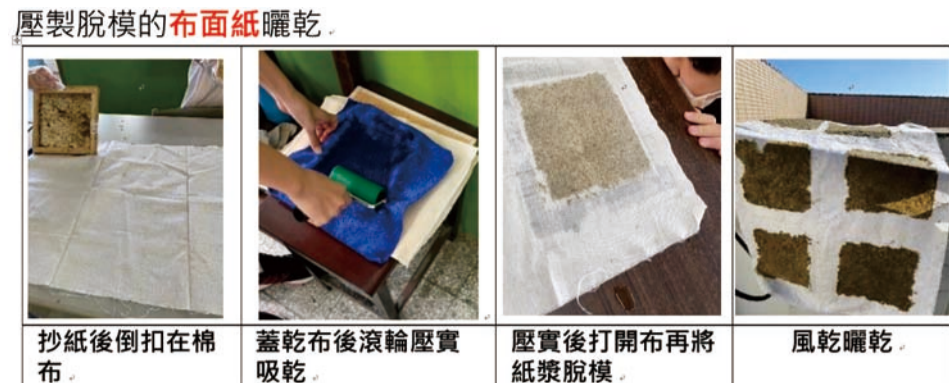


實驗三 著紙工具

以同樣成份的紙漿（50%便便纖維50%紙漿）與相同打製時間（1分鐘），篩網孔小的紙張比篩網孔大的紙張細緻光滑。以同樣成份的紙漿與相同打製時間（5分鐘），不同布料附著紙漿，網目多的花布所製出的紙張比網目少的棉布還要細緻。所以附著紙漿工具對於製紙的細緻是具有影響，**紙張表面細緻度從細到粗分別是細孔篩網、花布、棉布、粗孔篩網。**



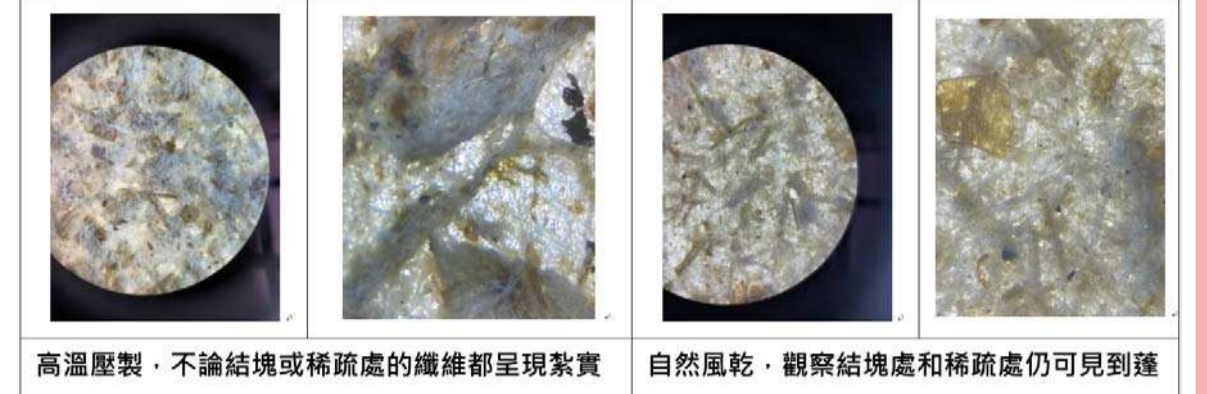
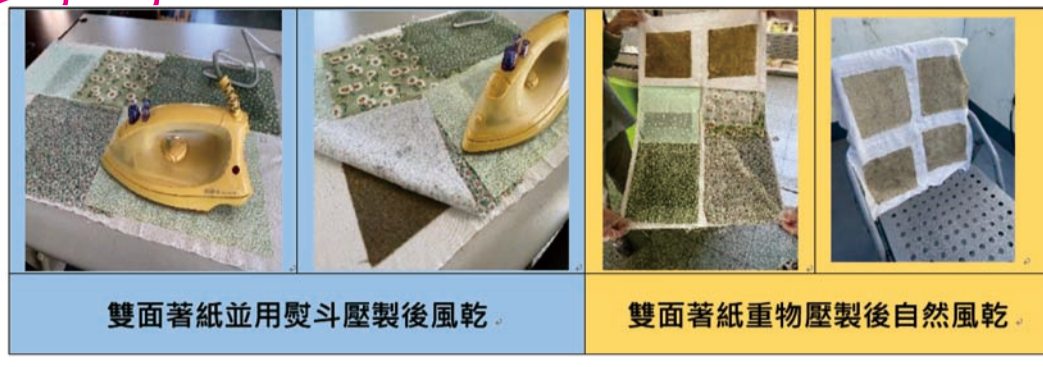
實驗四 壓製方式



打漿5分鐘的**雙面壓製紙**，製出的紙張細緻，從顯微鏡下觀看纖維，孔隙細密分布均勻，便便短纖維被絲狀的紙漿交疊纏繞，這樣的紙張才是平滑且透氣。相較單面著的布面紙和篩網紙，顯微鏡下仍可看見塊狀的絲狀紙漿，雖然是細細的絲狀，在未壓製的狀況仍是會有蓬鬆突出，孔隙分布不均勻。

實驗五 壓紙溫度

1. **高溫壓製可以讓纖維組織呈現穩定狀態**，紙張表面的顆粒呈現粗硬狀，紙張邊緣如同篩網陰乾的紙張不捲翹。
2. **高溫壓製讓草纖維和紙纖維更加緊密結合**，高溫壓製紙張較自然陰乾的硬。



實體照片:由作者3拍攝

研究四 成品測試及應用

拉伸力測試~我們在穩定的氣溫空調27°C和相關對濕度約50-60%空間測試（空間溫度濕度控制已經維持半天以上），紙張裁減成寬2公分*5公分的長條9-10張，以厚薄計測量紙張的厚薄。測試樣條平鋪桌上，讓紙纖維在恆定的溫度與濕度。使用自製拉伸器逐次加入10元錢幣（每個7.7g），慢慢拉伸紙張，直到紙張斷裂，再將整個吊籃和上面的掛鉤砝碼一起秤重並記錄，將拉力除以紙張截面積，每一種紙張拉伸測試9次。

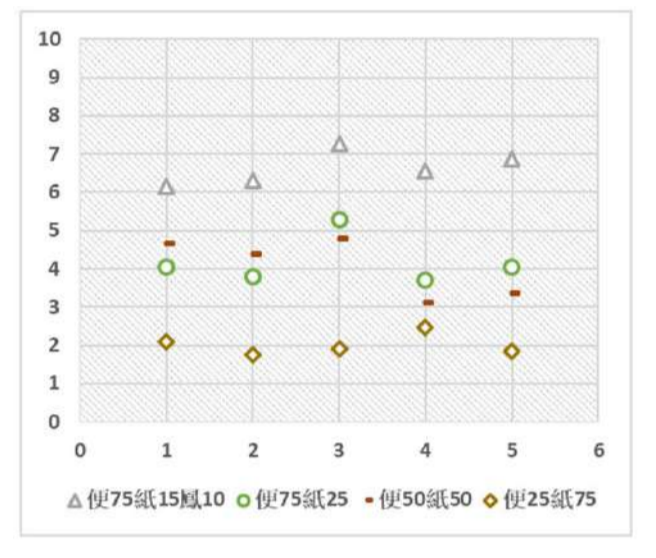
吸水速度測試~將紙張裁減成2公分*2公分大小作水平擴散式吸水；以及裁剪成2公分*5公分長條作垂直式吸水速度測試。

成份不同的便便紙

便便成份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
便便纖維 75% 回收紙漿 15% 濕度纖維 10%	4845.3	6390.6	3279.7	3300.0	2043.8	2659.4	4835.9	4839.1	3296.9	3943.4
便便纖維 75% 回收紙漿 25%	4185.1	5790.5	4720.3	5521.6	5543.2	4186.5	6877.0	4727.0	7679.7	5470.1
便便纖維 50% 回收紙漿 50%	10196.9	8870.3	14290.6	18842.2	19920.3	13715.6	17487.5	13964.1	13893.8	14575.7
便便纖維 25% 回收紙漿 75%	25426.1	25895.7	25137.0	28267.4	25473.9	24923.9	27641.3	26047.8	26202.2	26112.8



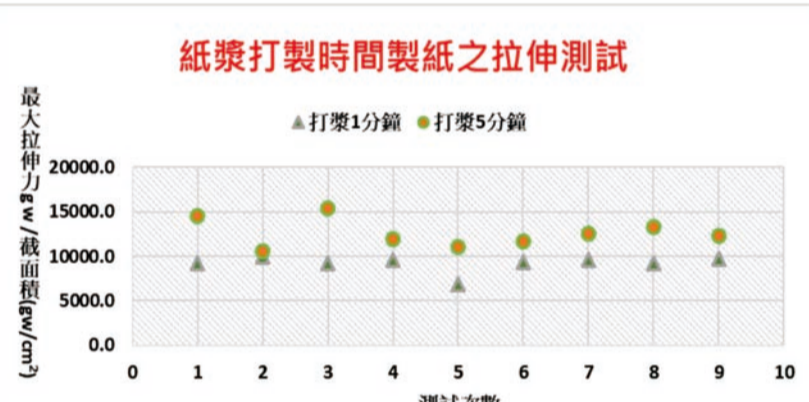
測試次數	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4	水平 5	水平平均	垂直 (30s 爬升)
便便纖維成份	6.15	6.31	7.28	6.55	6.85	6.63	1.6cm
便便纖維 75%回收紙漿 15%濕度纖維 10%	4.06	3.8	5.30	3.70	4.05	4.18	2.4cm
便便纖維 75%回收紙漿 25%	4.66	4.38	4.80	3.13	3.36	4.07	3.4cm
便便纖維 50%回收紙漿 50%	2.11	1.76	1.91	2.46	1.86	2.02	2.9cm
便便纖維 25%回收紙漿 75%							



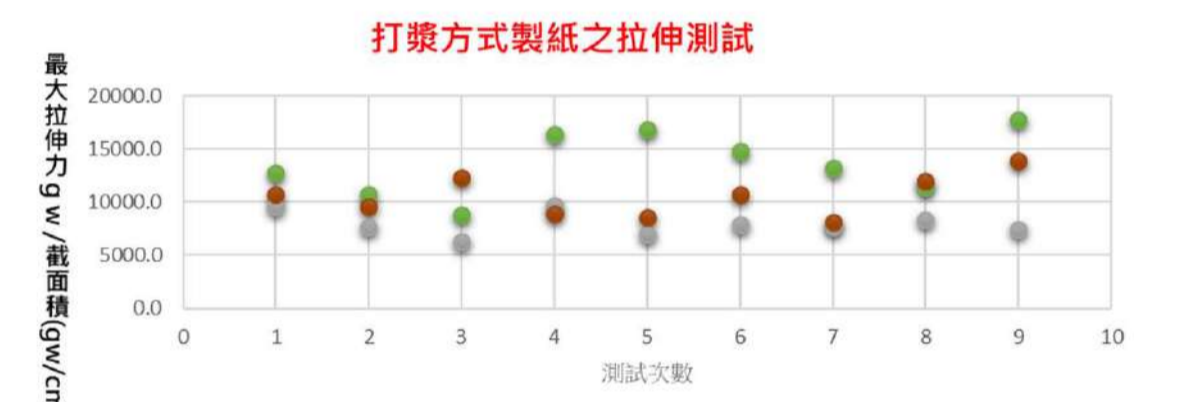
1. 紙張因成份差異而有明顯的拉伸力差異，從**便便纖維**含量來看，**含量越高的拉伸力越低**，如上圖的便75紙15鳳10；便便纖維含量越低而回收紙漿纖維含量越高，紙張的拉伸力越高，如上圖的便25紙75，顯現兔子的便便纖維適宜製作拉伸力低的紙。
2. 成分的差異充分顯現紙張吸水性的差異，具有**高比例的便便短纖維**遇上**低比例的絲狀紙纖維**，**吸水速度擴散慢且垂直爬升也低**；而低比例便便纖維配入**高比例的絲狀紙纖維**，**交錯複雜的絲狀結構和孔隙**，水的平面擴散快且垂直爬升也快。

絲與塊纖維共舞

纖維成份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
1分鐘	9233.3	9956.9	9230.6	9536.1	6805.6	9376.4	9536.1	9245.8	9750.0	9185.6
5分鐘	14483.3	10615.3	15452.8	11955.6	11037.5	11886.1	12530.6	13252.8	12350.0	12596.0



纖維成份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
波攪拌	9595.0	7598.8	6305.6	9680.0	6976.7	7913.3	7651.1	8357.8	7476.7	7950.5
環狀攪拌	12766.1	10737.0	8771.2	10413.0	16785.7	14838.7	13214.3	11367.2	17712.5	13622.9
螺旋攪拌	10668.0	9572.9	12287.0	8920.8	8560.0	10692.9	8150.0	11923.9	13848.2	10512.6



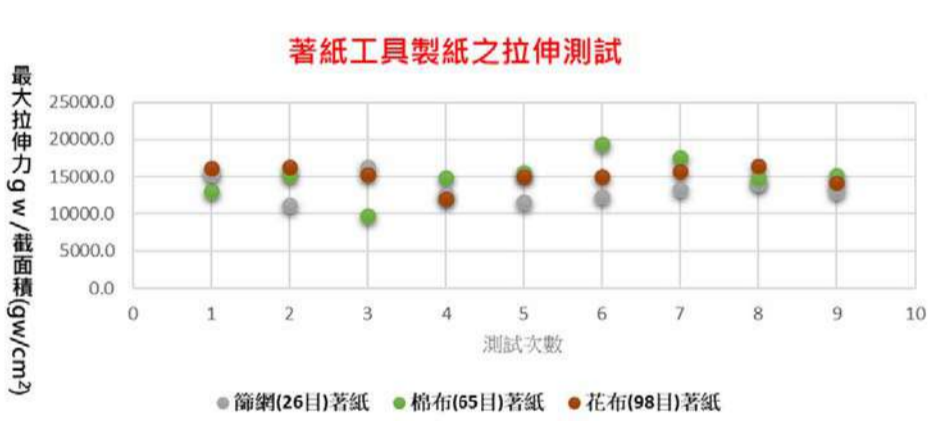
1. 增加打漿時間可以增強絲狀長纖維纏繞便便短纖維的功效，讓紙張更有拉伸力。**多了環狀攪拌與螺旋攪拌紙漿程序**，**明顯增強紙張的拉伸力**，絲纖維與段塊纖維纏繞製成的紙張，**環狀比螺旋纏繞更能增強紙張的拉伸力**。
2. 短纖維和絲狀纖維混合打製紙漿時，**打製時間長短對吸水速度有明顯的不同**，打漿1分鐘的紙張不論擴散和垂直爬升都比5分鐘快。



著紙工具

篩網著紙、棉布著紙和花布著紙這三種方式，**對紙張成品的拉伸力沒有明顯差異**。三樣著紙工具，平面擴散吸水速度以棉布（65目）最慢，細網孔花布和粗網孔篩網無明顯差異。

纖維成份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
篩網著紙	15335.3	11239.7	16361.8	12658.8	11686.8	12373.5	13267.6	14032.4	13076.5	13336.9
棉布著紙	13025.0	15136.7	9823.3	14891.7	15630.0	19393.3	17523.3	14761.7	15170.0	15039.4
花布著紙	16215.0	16343.3	15345.0	12103.3	15010.0	14978.3	15686.7	16366.7	14108.3	15128.5



纖維成份	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4	水平 5	水平平均	垂直 (30s 爬升)
篩網 (26目) 著紙	3.66	4.15	3.86	4.18	3.20	3.81	1.8cm
棉布 (65目) 著紙	6.09	5.48	3.78	4.71	5.89	5.19	1.9cm
花布 (98目) 著紙	3.48	3.14	2.54	3.26	3.54	3.19	1.9cm

壓製方式

雙層壓製紙張的拉伸力比單層壓製和無壓製的篩網紙都強。**雙層壓製在製紙歷程是必要的**，將雙面施壓纖維雙層覆蓋，且在晾乾紙張時也能讓纖維不會凸起浮飄，呈現穩定結構。水平吸水速度以雙層壓製的紙張最慢，無壓製的篩網紙擴散最快，代表無壓製的篩網紙纖維組織比壓製的較自然蓬鬆。

纖維成份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
篩網紙	15900.0	11580.3	16875.6	13042.4	12049.0	12748.5	13669.7	14457.6	13472.7	13741.1
布面紙	11690.3	9216.6	8986.5	13200.0	9511.6	10790.0	10493.3	11397.0	10595.5	10542.2
雙層壓製紙	13180.6	15622.8	16627.8	14493.1	14919.4	16022.2	15672.2	18934.7	16061.1	15745.2

纖維成份	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4	水平 5	水平平均	垂直 (30s 爬升)
篩網紙(無壓製)	3.66	4.15	3.86	4.18	3.20	3.81	1.8cm
布面紙(單層壓製)	3.43	4.94	4.45	6.39	5.39	4.92	1.7cm
雙層壓製紙(雙層壓製)	6.48	6.78	8.89	7.095	6.28	7.11	1.8cm

乾紙方式

雙面壓製的**自然晾乾紙張的拉伸力竟然高於熨斗高溫壓乾紙張**，高溫壓乾的紙張顯露出壓製壓實的塊狀絲狀纖維，這樣**高溫壓成的纖維結構比自然晾乾的纖維結構韌性低**。**高溫壓製紙張平與垂直的吸水速度比自然風乾吸水速度快**。

纖維成份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
自然風乾	17620.0	18177.4	19300.7	16764.5	16280.6	18066.5	18300.0	20945.3	18651.4	18284.8
熨斗高溫壓乾	11095.5	12333.9	13754.8	9177.4	9509.7	11513.2	12475.8	14895.2	11148.4	11542.7



結論

- 運用兔子便便短纖維製作紙張是**容易脆裂**，尤其比例高達75%時更加明顯，而藉由回收紙漿絲狀纖維的纏繞，將可以更穩固纖維組織，我們試驗50%便便短纖維和50%回收紙漿纖維的紙張，拉伸測試已有不錯的效果，倘若要再提升綠資源~便便的比率，應該可以再試驗50-75%之間的比例。
- 製作紙張的過程，首先是除臭除菌部分，傳統方法的**煮沸法~高溫滅菌**仍是最經濟效益，植物纖維經過煮沸後較柔軟，而以其他酸鹼劑進行消毒會產生不同的結果，這樣的改變在製紙過程是必須納入考量。
- 打製時間的長短是製作便便紙過程是重要的因素，打漿時間影響成品的**細緻度、絲塊纖維纏繞**的拉伸品質。增加纏繞的打漿方法（環狀與螺旋）可以強化紙纖維的結構，增進絲狀纖維與段塊狀纖維緊密結合，提升紙張拉伸力。
- 便便紙的成份、打漿、壓製方式以及乾紙方式對於便便紙的拉伸力都有明顯的影響，在短纖維加長纖維纏繞組織歷程，是重要的因素，其中原本以為乾紙階段，若有**高溫熨製裝置**可以讓短纖維和長纖維穩定纏繞結合，但是經過測試後竟然比自然風乾的纖維拉伸力低，且高溫熨製需要再花額外的能源，這種乾紙方式值得再檢討。有關著紙（紙漿著附）方式對於短纖維和長纖維結合時的拉伸測試沒有明顯差異，和紙張表面的**細緻度有關**，要讓長短纖維穩定結合，要雙層壓製是最主要因素，穩定纖維從濕潤到乾燥階段，並保有蓬鬆密集的結構。
- 本研究製作的便便紙紙添加回收紙漿，並未添加其他黏著劑或香料、染劑，這些都不在我們的探討範圍，僅就草食性兔子的便便纖維特質如何和回收紙漿結合之探討，所以製成的便便紙張吸水力強且易破，適用在藝術創作的紙類或者製作封面。我們也會將製作成品、製作經驗回饋給三個FaceBook兔子社群的兔寶迷，謝謝那群熱心支持我們的阿姨叔叔。