

新北市土城區廣福國小第 12 屆資優班獨立研究

從課本到發芽

自製再生種子紙之物理性質與穿透力探究



研究者：謝任凱

指導老師：呂佩樺老師

摘要

本研究利用學校常見的廢棄紙張，製作可以發芽的種子紙，並探討紙漿濃度、乾燥速度和紙張厚度，對種子紙性質的影響。為了了解這些因素，我設計了三個實驗來進行分析。

實驗一發現，紙漿濃度越高，紙張會比較緊密、強度也比較好，但乾燥速度較慢；相反地，濃度較低時，紙張比較容易乾，但強度較差。實驗二發現，纖維較粗、沒有塗層的紙，吸水性和保水能力比較好，而表面較光滑或有塗層的紙，吸水效果較差。實驗三則發現，紙張厚度會影響種子發芽：太薄會不夠保水，太厚會讓幼苗不容易穿透，中等厚度的效果最好。

整體來看，製作種子紙時，需要同時考慮紙漿比例、材料特性和紙張厚度，在強度、吸水性和發芽條件之間取得平衡，才能做出既環保又實用的種子紙。本研究也證明，回收紙張不只能再利用，還可以變成能發芽的新資源，達到環保的目的。

第壹章、緒論

一、研究動機

那年暑假，我在爸爸任教的學校裡，陪著剛升國一的姊姊進行獨立研究。看著她探討「校園廁所天花板上為何總黏著衛生紙」的有趣現象，我也開始對生活中平凡的「紙」產生了好奇。起初，我曾想挑戰「自製衛生紙」，但深入評估後發現，衛生紙涉及的殺菌與衛生製程，對小學生而言難以克服。這個挫折卻讓我轉個彎思考：如果不能做擦拭用的紙，是否能做出一種具備環保價值、甚至賦予新生命的紙？

在資料查閱中，我遇見了「種子紙」。這是一種令人驚豔的概念——紙張在使用後不只能自然分解，更能成為紙內種子發芽初期的介質與養分，達成真正的「零廢棄」。因此，我決定拒絕使用原生紙漿，堅持利用生活中回收的紙箱、信封紙、紙盒等廢棄材料，親手實驗。

這項研究想找出哪一種回收素材最適合製作種子紙，既能保有良好的吸水性，也能順利歸還給大自然。看著廢紙經過浸泡、攪打、加入種子、晾乾，重新變成一張張蘊含生機的紙，我明白了環保不只是口號。這份研究不只是為了解答問題，更是一個行動——我想用這雙小手，透過回收的力量，為地球多盡一分心力。

二、研究目的與問題

1. 探討紙漿濃度與不同材質對紙張成型品質（強度、乾燥速度）之影響。
2. 探討不同紙漿材質之吸水性與保水能力差異。
3. 探討種子紙厚度及材質對種子發芽率及穿透力的影響。

第貳章、文獻探討

一、相關研究

編號	作者(年代)	題目	我的發現
1	陳恩婧、梁彧華、張涵、梁貴森、吳哲宇 (國小組 生活與應用科學科 佳作 國立臺東大學附屬實驗國民小學)	紙上玄機－衛生紙的秘密	不同的圖案、花紋的排列情況，可能會影響拉力、承載重量或吸水力。
2	中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 陳玟諺、陳秉宏、官靖恩、林承萱	紙復回春~再生紙	紙箱的吸水性是最好的、吸油性最好的是牛奶盒。
3	嘉義縣第 53 屆國民中小學科學展覽會 (國小組)	吸吸看	較粗糙的紙類（如報紙、衛生紙）吸水性較佳，光滑的廣告紙，吸水性較差。
4	林子晴 夏家萱 李哲宇 范治晴 (2024)	再生紙春聯之研發	做出來的再生紙可以有其他用途，可能可以拿來應用，讓牠不只是再生紙。

二、名詞定義

1. 再生紙：利用可回收的廢物做成紙漿，再烘乾做成紙。做再生紙常見的材
料有廢報紙、考卷、廣告 DM 等。
2. 種子紙：本研究將種子紙定義為，以廢棄回收紙為原料製成紙漿，添加適

量水分與特定植物種子，經抄紙與乾燥步驟後，具備書寫、擦拭功能且在特定濕度條件下能發芽生長的環保再生紙。

三、不同紙張的吸水性與製造影響因素分析

1. 光滑紙與粗糙紙的吸水性差異

原理：紙的吸水性，主要取決於紙張纖維之間的孔隙大小與纖維表面的親水性。

- 光滑紙（例如銅版紙、相片紙）在製造時會經過壓光或塗布處理，使表面平滑、孔隙減少，因而水分不易滲入。
- 粗糙紙（如報紙、衛生紙、廚房用紙）纖維間空隙多、表面未塗層，水能迅速滲入並擴散。

結論：粗糙紙吸水性較佳。

2. 衛生紙上的花紋與排列對性能的影響

原理：花紋（壓紋）會影響紙張的結構與力學特性。

- 壓紋可增加紙張的立體感與空氣層，改善吸水與柔軟度。
- 不同壓紋排列會改變紙張的「張力分佈」與「纖維支撐方向」，進而影響紙張在濕潤或拉扯時的強度與承重性。

結論：花紋設計會影響吸水性、張力與承重能力。

3. 以回收舊報紙抄造成衛生紙的可行性

技術上可行，但品質與衛生需注意：舊報紙可經過打漿再造，但報紙用紙通常含有油墨、填料與短纖維。

若直接回收報紙製成衛生紙，紙質會偏灰、粗糙，且可能含有化學殘留物（油墨中的重金屬或有機化合物）。

結論： 直接用報紙可以成功，但衛生與品質難達標準。

小結：綜合上述文獻，雖然結果不一，但似乎與『纖維粗細』及『表面塗層』有關，因此本研究將針對這點進行驗證。

四、如何製作再生紙-相同與不同處比較

來源(名稱)	相同處(步驟)	不同處(步驟)
再生紙 DIY(做法) 主婦聯盟環境保護基金會	1. 都有使用廢紙 2. 紙漿全數倒出後分離水分 3. 放乾後撕離網子	用果汁機按比例(紙 3 水 1)加水打碎廢紙。 用陰乾的方式進行
國家環境研究院 環保訓練管理系統 愛護地球-簡易再生紙製作		廢紙放置水中泡軟或大火煮沸。 未寫清楚水和廢紙的比例 用吹風機吹乾而非陰乾
“紙”要你動手做		不同材料撕碎的方式不一樣，比較特別是使用稻稈做出的再生紙。其他再生紙做法和第一篇差不多。 攪拌時間略有差異。 加入的水的量不一樣，和第一篇有很大差異。(兩張紙+800ml 水、一個牛奶盒+800ml 水)
起『紙』回生		和第一篇的做法大致相同
紙復回春~再生紙		紙 15g 水 1000ml 其他和第一篇大致相同
再生紙春聯之研發		先將紙箱泡水中泡軟，並以 0.5g 和 600ml 為比例進行製作。其他材料也是一樣的，但直接用果汁機打碎。

再生紙的實驗步驟：我查到的文獻資料中有詳細描述如何製作再生紙和其相

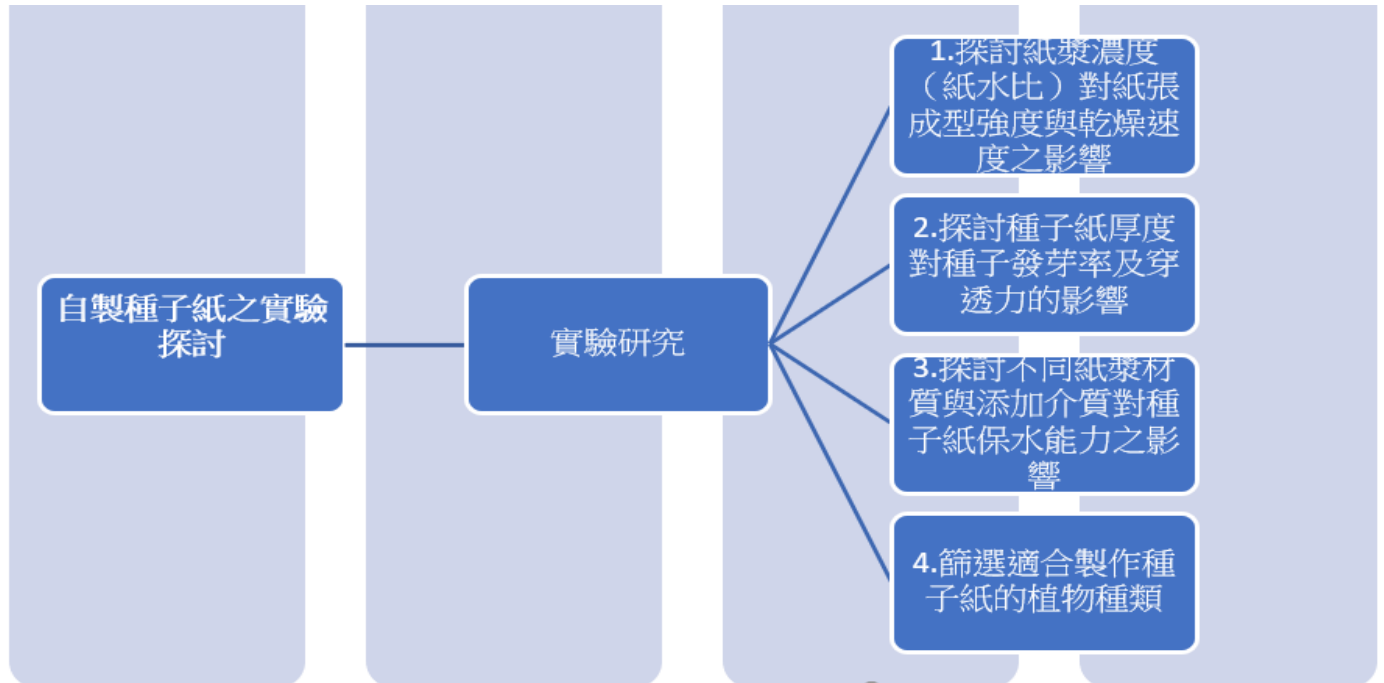
關實驗，扣除掉不同的部分，他們的實驗步驟大致如下：

1. 將廢紙張撕碎浸泡水中，並以特定的比例加入水，以果汁機打勻。
2. 雙手輕輕地用抄紙網以水平姿勢撈起紙漿
3. 在網上滴乾或擦乾多餘水分，放置模具上塑形。
4. 至於通風陰乾處數天後乾了再撕起來(脫模)。

比較了過去的研究，我發現最常見不同點是在比例上的差異，這可能導致做出的再生紙吸水性的狀況不會完全相同，此外我還發現了再生紙製作乾燥方式上的差異。我認為我要做的種子紙，若使用傳統的陰乾方式，和其他的乾燥方式做出來，應該會有很大的差異。

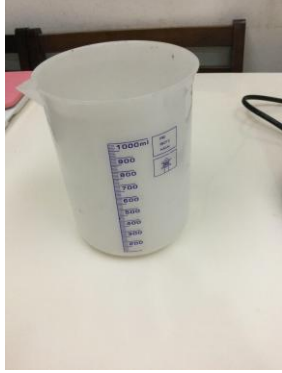
第參章、研究方法與設計

一、研究架構圖



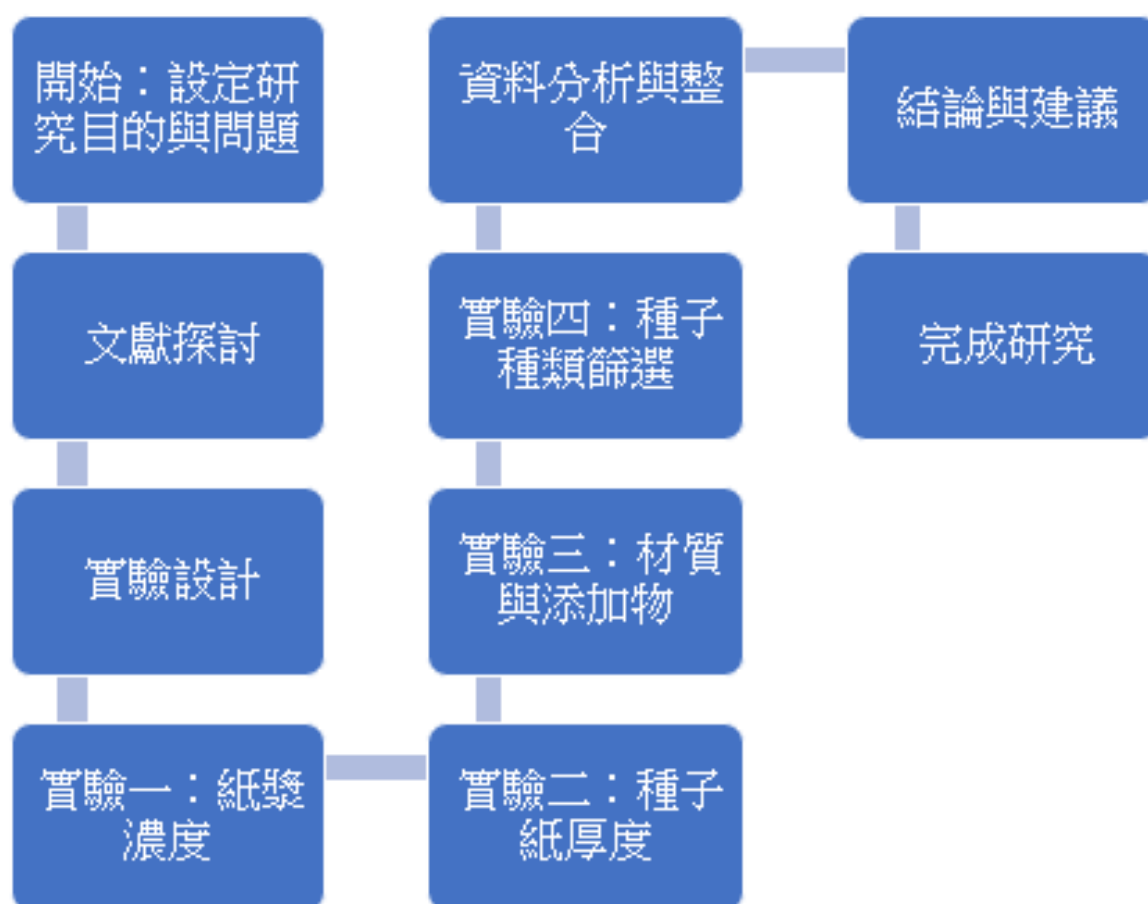
二、研究工具

以下是我們以下是我們實驗時，會用到的材料。

1. 電子秤	2. 抹布	3. 量杯	4. 果汁機
			
5. 碼表	6. 筆電	7. 紙箱	8. 紙袋
			
9. 帳單信封	10. 吸水實驗支架 (尚未測試)	11. 游標卡尺	12. 張力實驗支架
			

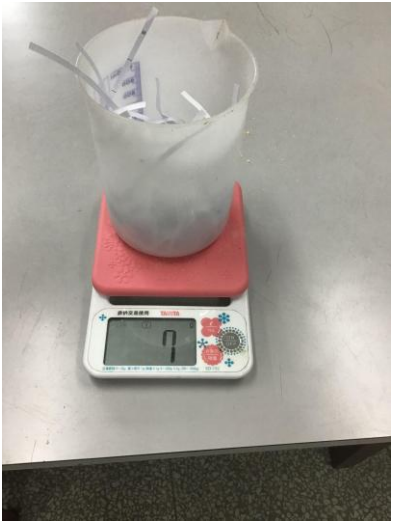
三、研究設計與流程

(一)研究流程圖



(二)研究設計

- 前導實驗步驟：我預計先製作三種紙類做出來的再生紙，測試三種紙的材質和狀態差異，並比較吸水性後，再選出最合適種子紙的材質。

1. 碎紙 	2. 秤重 	3. 泡水 
4. 打漿 	5. 瀝水 	6. 倒至模具上面 
7. 塑形 	8. 自然乾 	9. 脫模 

如果要做種子紙，會在步驟 7 塑形時將種子放進去。

(備註:步驟 7 和步驟 8 前幾次是用手

鋪紙，但無法鋪薄，且均勻度不佳，所以到後來改成放在盆子裡抄紙。)

- 前導實驗初步結果：

結果圖片	重點說明
A 紙箱  B 紙袋  C 帳單信封 	比較三者的結果以後，用紙箱做的紙顏色偏向深咖啡色(A)；用紙袋做的紙顏色偏向白色(B)；用帳單信封做的紙顏色偏向深藍色(C)。比較三者的乾燥速度以後，用紙箱做的紙(A)比用紙袋做的紙(B)、用帳單信封做的紙(C)還要快乾。 比較完之後，摸起來的感覺幾乎一樣，但是顏色有差異，所以如果以美觀為主的話，可選擇用紙袋做的紙，因為它的顏色比較白，做出來可能比較漂亮。

● 我將前導實驗做出的三種紙進行比較，整理表格如下：

	A	B	C
長度(cm)	13	13	13
寬度(cm)	2.2	2.2	2.3
厚度(cm)	0.5	0.6	1
顏色	咖啡色	白色	淺藍色
乾燥速度	快	中	中

小結：從前導實驗中，我發現做出來的紙太厚，而且厚度不一致，根據我查過資料發現種子紙不能太厚，可能會不利於後續發芽，厚度不均勻也可能會導致吸水性的誤差，因此我決定後續進行實驗時，要將厚度的變因考量進去，進一步才能測試種子的發芽率的狀況。

此外我發現，乾燥速度不太一樣，但因為沒有量化數據，很難證實乾燥速度的情況，因此我打算在接下來的實驗中，以重量法乾燥測試方式來測量乾燥速度。

我接下來的材料會是白色紙為主的考卷、課本還有加上一個學校常見，可以直接拿來做種子紙的落葉。選擇落葉的原因是因為每天在外掃區都會有一大片落葉，而這些落葉的數量非常可觀，因此如果拿來做種子紙，不但可以幫助學校減少一些落葉，還可以變成新的植物，一舉兩得。

經過前導實驗所發現，紙箱雖然乾得快但顏色較深，不利於觀察種子發芽與書寫；信封含有大量的背膠，攪拌時容易產生黏液影響品質。因此，正式實驗選擇校園裡期末時最多廢棄物的『課本』與『考卷』，以符合校園減廢的初衷。

● 後續實驗設計

(一)探討紙漿濃度（紙水比）對紙張成型強度與乾燥速度的影響

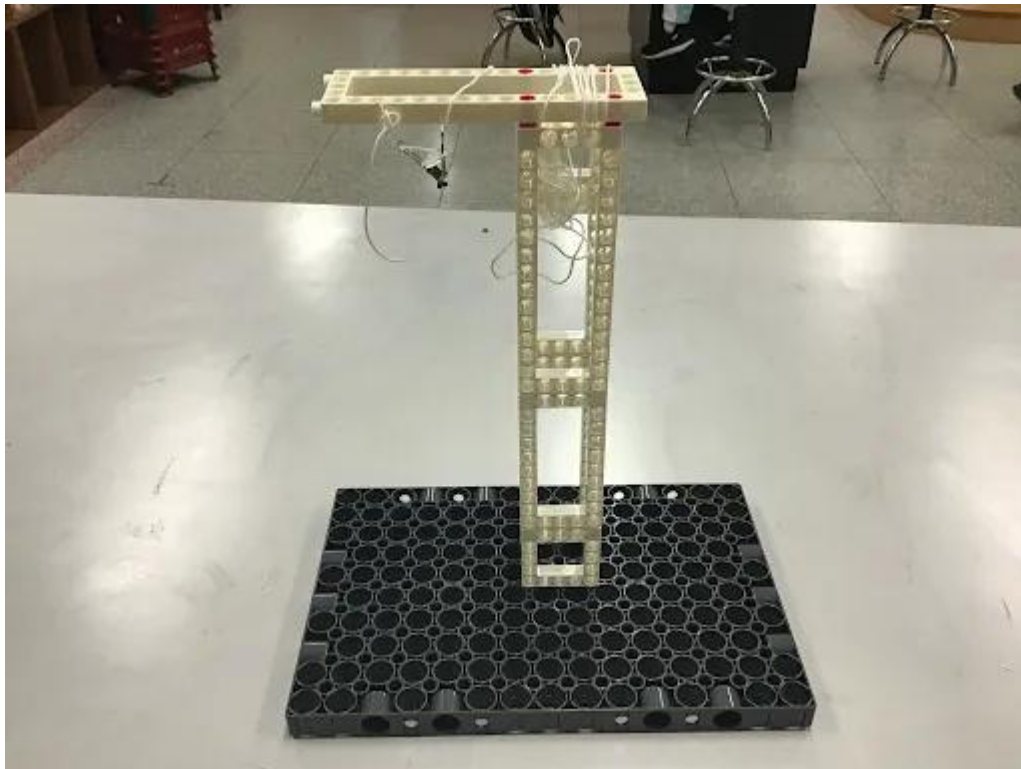
- 想法：推測紙漿濃度較高（紙多水少）的紙張成型結構較緊密、強度較強，但水分較難揮發，乾燥速度較慢；反之濃度低則強度弱、乾燥快。

操縱變因	紙漿濃度
控制變因	紙漿原料種類、抄紙框大小、脫水壓榨的力道與時間、乾燥環境（溫度、濕度、光照）、紙張厚度（盡量控制一致）。
應變變因	1. 可測量紙張能承受的重量（拉力測試或承重測試）。 2. 測量從濕潤狀態到完全乾燥所需的時間。

我的研究是預計透過定時測量紙張重量的方式，探討其乾燥速度。實驗進行期間，每隔一小時測量一次紙張重量，並記錄數據。當連續三次測得重量皆相同，判定紙張已達乾燥完成狀態，停止測量。最後，將所蒐集之重量與時間數據整理並繪製統計圖表，以分析與比較紙張的乾燥速率變化。

拉力和重量測試部分，用我自己設計的支架來測試紙張的最大張力承受度，預計在每張紙下方掛上杯子，並在杯子中放入砝碼，每次加入 10 克的砝碼，每加入一次砝碼就觀察紙張的狀況，如紙張沒有斷裂，就繼續加入砝碼；直至紙張斷裂為止。

實驗支架如下：



(二)探討紙漿材質對吸水性的影響

- 想法：查詢資料我發現不同材質的紙張會影響吸水性的不同，因此我假設三種材質吸水性最好到最不好是紙箱>帳單信封>紙袋。

操縱變因	紙漿材質
控制變因	紙張放置的高度、夾子品牌、水量、浸泡時間、水溫
應變變因	紙張吸水的體積或重量（可測量實驗前後紙張增加的重量或剩餘水量的減少量）、吸水上升的高度、吸水速度。

補充說明：吸水性的定義是紙張接觸水面出現的毛細現象。

(三)探討不同紙漿材質對種子紙保水能力的影響

- 想法：推測纖維較粗的材質（如牛皮紙）的組別，其保水能力會優於其他紙類。

操縱變因	紙漿材質
控制變因	紙張的大小與厚度、初始吸水量（浸泡時間）、乾燥環境（風速、溫度）、測量時間間隔。

應變變因	保水能力
------	------

補充說明：保水性是紙張吸飽水後，放在空氣中多久會乾掉。

(四)探討種子紙厚度對種子發芽率及穿透力的影響

- 想法：推測紙張太厚會阻礙幼苗突破（穿透力差），導致發芽率降低；紙張太薄則可能無法保存足夠水分供種子萌發。假設中等厚度效果最佳。

操縱變因	紙張的厚度
控制變因	紙漿濃度、種子種類與數量(會選擇十字花科的植物來測試，容易發芽也便宜)、澆水量、光照時間、溫度、種植容器。
應變變因	1. 發芽率：計算發芽種子數佔總數的百分比。 2. 穿透力觀察：觀察根系是否順利穿過紙張入土，或芽是否順利頂破紙張。

組別	薄	中	厚
紙漿量	7 g 紙 (500 ml 水)	14 g 紙 (500 ml 水)	21 g 紙 (500 ml 水)

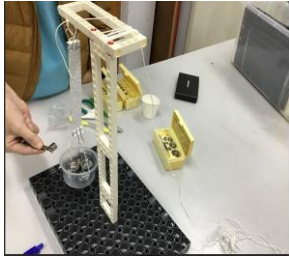
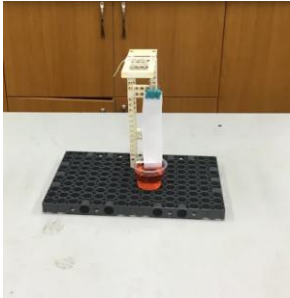
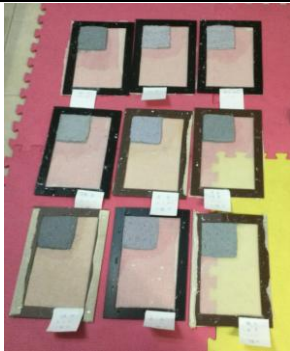
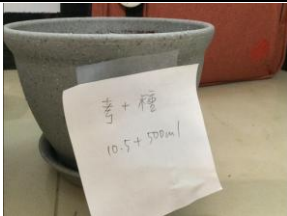
我的操縱變因是紙張的厚度，原本紙和水的比例是紙 7g+水 500ml，在這個實驗裡紙張厚度是薄的，紙水比紙 14g+水 500ml 紙張厚度是中等的，紙水比紙 21g+水 500ml 紙張厚度是厚的，不同的紙張厚度裡放種子觀察種子紙厚度對種子發芽率及穿透力的影響。

我選擇的植物種子是小白菜

第肆章、研究內容與過程

一、研究過程：

用圖表整理研究過程/步驟如下：

			
自製再生紙	測量再生紙的重量	實驗 1:強度測試、 乾燥速度	實驗 2:吸水性
			
實驗 3:種子紙保水 能力	實驗 4:種子紙發芽 率		

二、實驗結果：

- 實驗名稱：(一)探討紙漿濃度（紙水比）對紙張成型強度與乾燥速度的影響

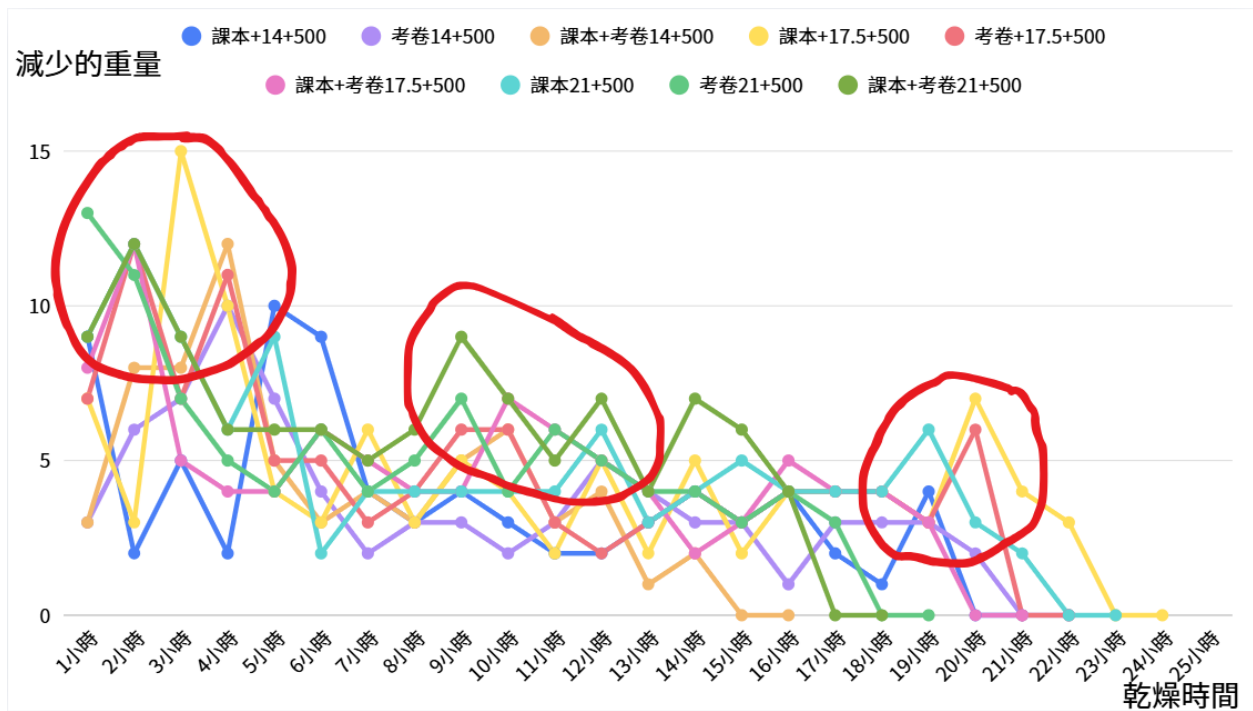
實驗中要探討紙水比對紙張成型強度與乾燥速度的影響，因此我在做完抄紙之後開始每隔 1 小時測量一次紙張重量，確認紙張的乾燥速度，直到連續三次重量一樣為止，就停止測量重量。並且把實驗結果製作成表格(如下圖)。

減少重量

Legend:

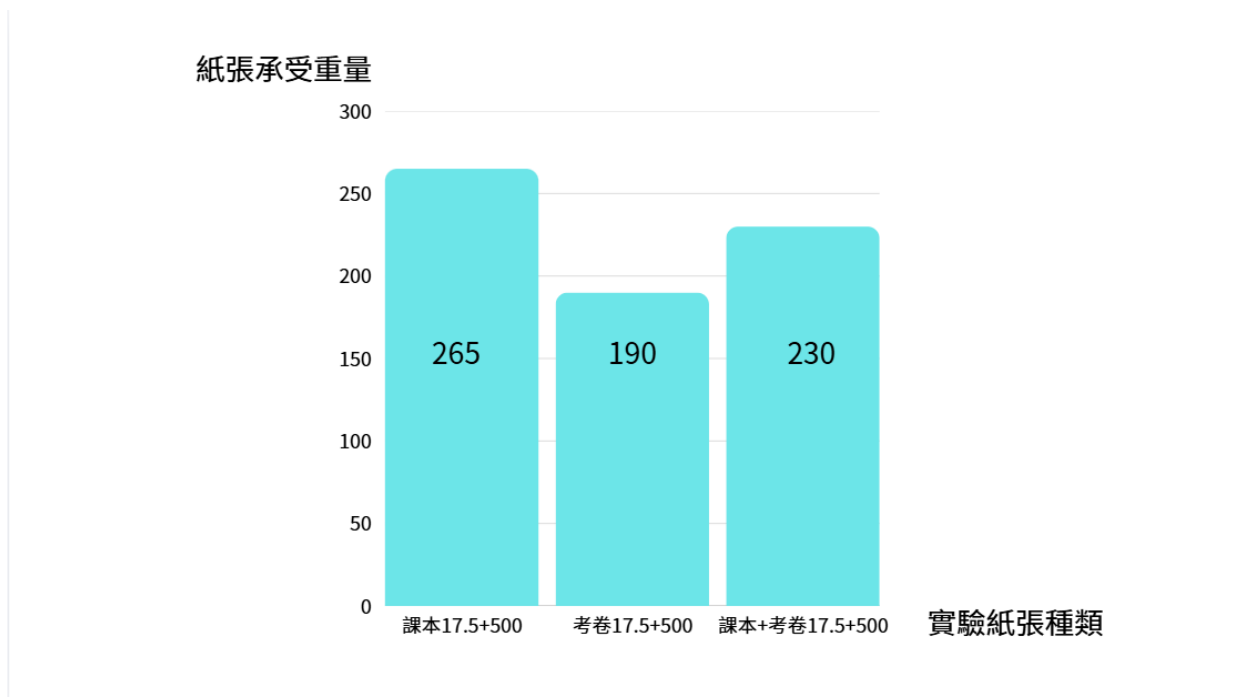
- 課本+14+500
- 考卷14+500
- 課本+考卷14+500
- 課本+17.5+500
- 考卷+17.5+500
- 課本+考卷17.5+500
- 課本21+500
- 考卷21+500
- 課本+考卷21+500

乾燥時間



我把每個小時的乾燥重量整理成圖表，並讓所有樣本在相同環境下用暖風吹乾，方便做比較。

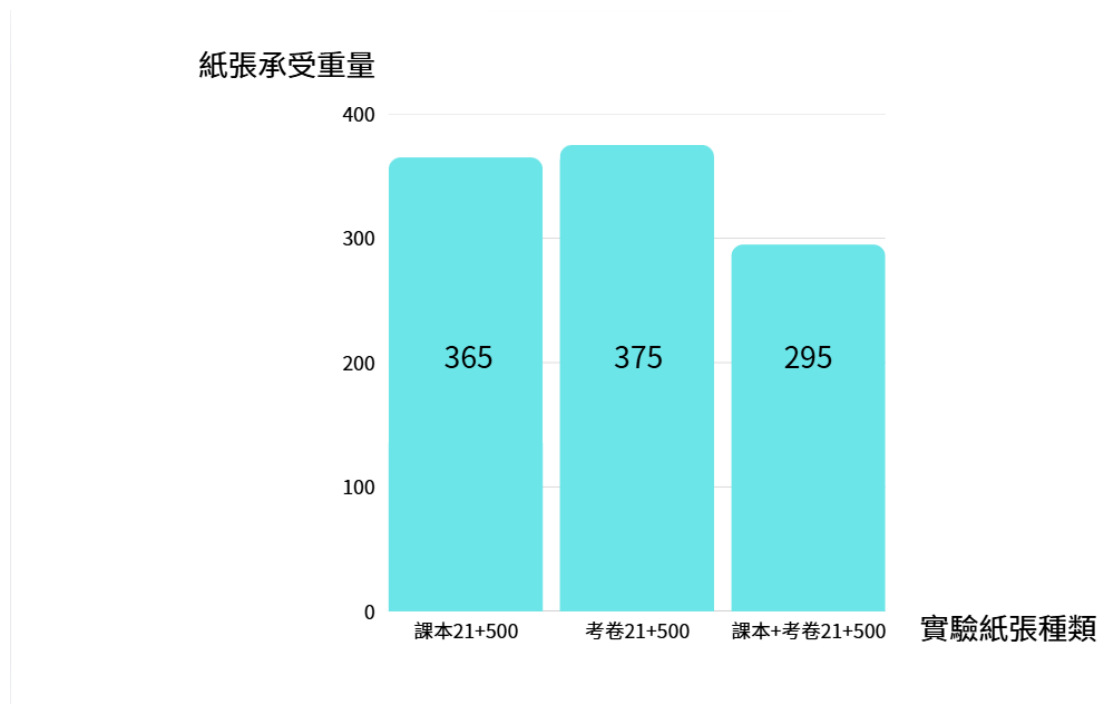
可以看到一開始重量都會明顯下降，而在中後期雖然整體變化變小，但還是會偶爾出現再次下降的情況。



(不同紙張種類以及不同紙漿濃度對於紙張承受能力的影響 實驗結果 1)

就紙張承受重量的實驗來看，課本做出來的再生紙張平均而言，能夠有最大

的承重效果；考卷的再生紙平均承重效果則是最低的。顯示不同材質的耐重程度不一樣。由於種子本身具有體積，若紙張基底過於脆弱（如考卷再生紙），在放入種子或後乾燥、使用的過程中較容易破裂。因此，若要做出耐用的種子紙，可以選擇承重效果最好、韌性較佳的課本再生紙，這樣的基底材質能確保種子紙在書寫或寄送時維持良好的結構完整性，但還需要確認後續發和厚度的效果。



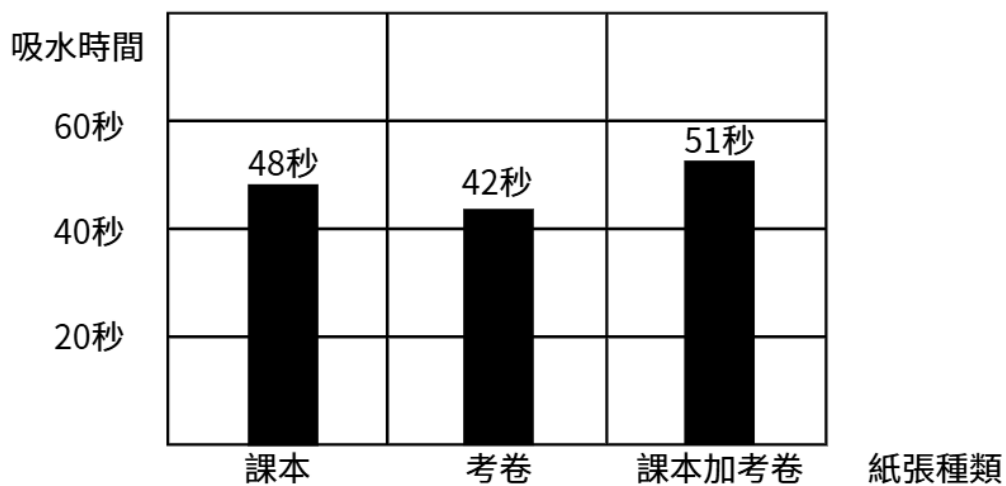
（不同紙張種類以及不同紙漿濃度對於紙張承受能力的影響 實驗結果 2）

備註:一開始用 14 的紙+500 毫升的水，但在乾燥後發現在乾燥後發現有些地方沒有抄到紙，所以張力實驗中沒有 14 克的紙+500 毫升的水做出來的紙。

小結:不同的紙漿濃度會影響紙張乾燥速度，而 14 克的紙+500 毫升的水做的紙乾燥速度最快，而紙漿濃度越濃，紙張承受力越強。

● 實驗名稱：(二)探討紙漿材質對吸水性的影響

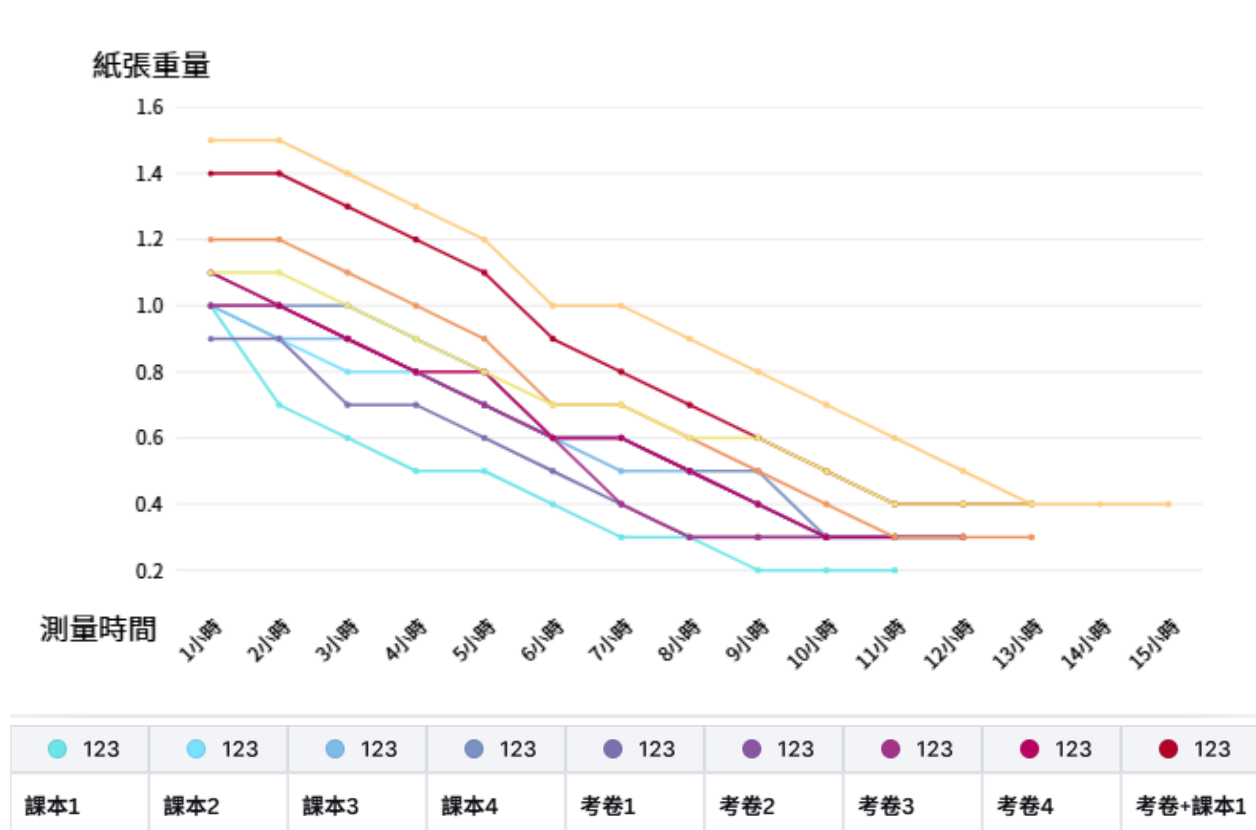
實驗二是要研究不同材質做出的再生紙吸水效果如何，因為種子紙的吸水效果如果比較好，我認為對於種子的發芽可能會有比較好的幫助。因此本實驗會把再生紙泡入加了食用色素的水中，並測量紙張多久可以吸水到 3 公分的水位，一到 3 公分的水位就馬上剪掉，以確認不同材質再生紙吸水性的效果。



(不同紙張種類對於紙張吸水性的影響 實驗結果)

小結:經過此實驗後,我發現課本加考卷做出來的紙吸水性最不好,吸到三公分需要花最久的時間;考卷的吸水性最好,吸到三公分花最少的時間。

- 實驗名稱：(三)探討不同紙漿材質對種子紙保水能力的影響

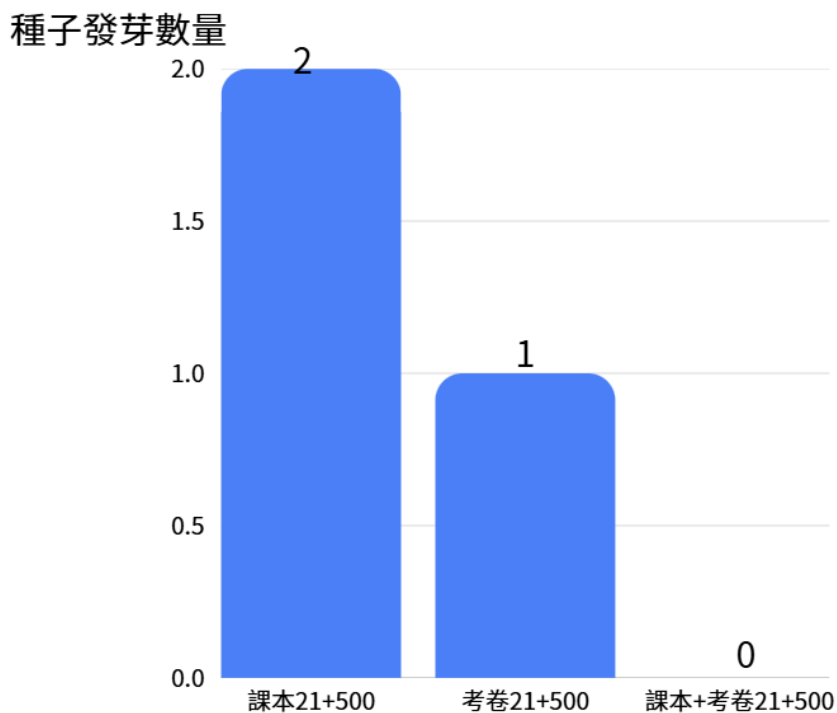


● 123	● 123	● 123
考卷+課本2	考卷+課本3	考卷+課本4

小結:經過此實驗後，我發現課本做的紙吸完水後，紙張重量較輕，乾燥速度比較快。而課本加考卷做的紙吸完水後的重量較重，乾燥速度比較慢。所以保水能力最好的紙張種類是課本+考卷做出來的紙，保水能力最不好的紙張種類是課本做出來的紙。

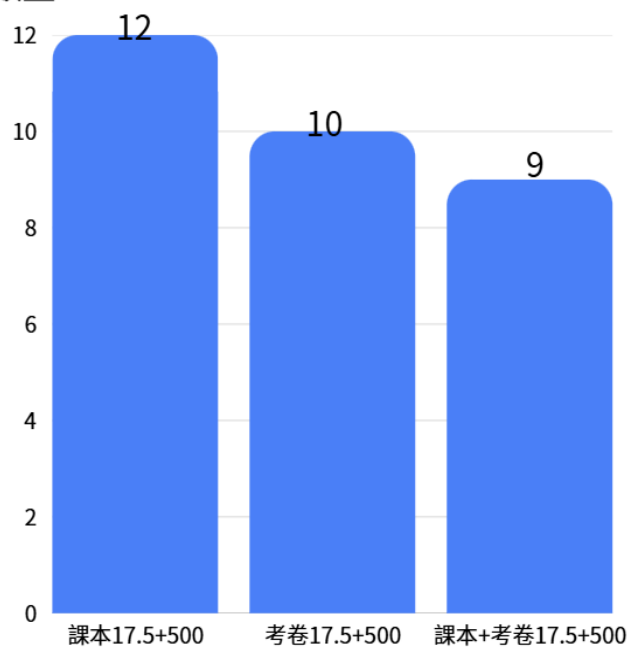
(備註:此實驗是用實驗二吸水後的紙來量每個小時的重量)

- 實驗名稱：(四)探討種子紙厚度對種子發芽率及穿透力的影響

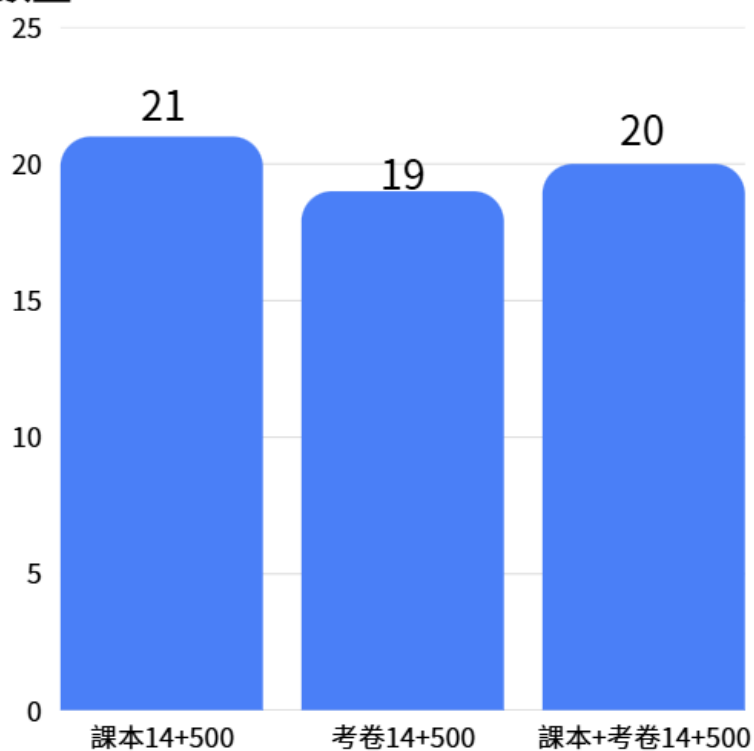


((四)探討種子紙厚度對種子發芽率及穿透力的影響 實驗結果 1)

種子發芽數量



種子發芽數量



((四)探討種子紙厚度對種子發芽率及穿透力的影響 實驗結果 2)

小結:我發現紙張越薄種子越容易穿破紙張，成功發芽的種子越多；而紙張

越後種子越不容易穿破紙張，成功發芽的種子越少。我還發現，課本做的種子紙在實驗中發芽的數量都比較多，課本+考卷做出來的紙比較少，所以如果以後要做種子紙的話，我會回收課本來做種子紙，因為他在我的實驗裡種子發芽數量最多。

三、討論：

發現的問題 1：為什麼課本做的紙承重力最強，但考卷做的紙吸水最快？

答 1：這可能與紙張原始的纖維長短有關係。課本用紙通常為了耐翻閱，纖維比較長且緊密，打漿之後重新結合的強度比較高；而考卷（通常為模造紙或輕量紙）纖維比較疏鬆，這使得它像海綿一樣有更多細微的孔隙，產生較強的毛細現象，因此吸水速度最快。

發現的問題 2：實驗中發現紙漿濃度 17.5g 比 21g 乾燥更久，這符合邏輯嗎？

答 2：雖然理論上水愈多乾的愈慢，但在抄紙過程中，21g 的紙漿厚度較厚，若脫水（壓榨）步驟或力道不一，厚紙內部可能包覆更多的水分。此外，環境濕度的微小變化也可能會影響。未來實驗應更精確的控制「壓榨脫水」的施力大小，以確保基準都相同。

發現的問題 3：為什麼保水性最好的「課本+考卷」組，發芽率反而不如「課本」組？

答 3：這顯示「水分」並不是影響發芽的唯一一個因素。可能原因有二種：

1. **穿透力阻礙：**混合紙漿可能在乾燥後形成了更緊密的結構，導致種子根系難以穿透紙張。
2. **化學物質：**考卷上的黑色油墨印刷面積通常比較大，回收打漿後釋放的化學成分可能微量抑制了小白菜種子的萌發。

第五章、結論與建議

一、結論

一、紙漿濃度會影響紙張強度與乾燥速度。

紙漿濃度越高，紙張越緊密、強度較佳，但乾燥速度慢；濃度較低則強度較弱，但乾燥速度快。

二、不同紙漿材質會影響吸水性與保水能力。

纖維較粗、未經塗層處理的紙類吸水性較佳，也較能保留水分；表面較光滑或含塗層的紙類吸水效果較差。

三、種子紙厚度會影響種子的發芽率與穿透力。

紙張太薄保水性不足，太厚則不易穿透；中等厚度在發芽率與穿透力上結果最佳。

以上結果可知，製作種子紙需考量紙漿比例、材料特性與紙張厚度，在強度、吸水性、發芽條件之間取得平衡，才能製作出具有環保與實用價值的種子紙。本研究證明，利用回收紙材可以製作具有發芽功能的種子紙，達到資源再利用和環境保護的目的。

二、建議

針對未來想做同樣研究的人或後續研究：

1. 種子預先處理：未來研究可嘗試將種子先泡在水裡催芽後再加入紙漿，觀察是否可以縮短種子紙在土裡的發芽時間。
2. 天然黏著劑：本研究發現再生紙乾燥後容易有邊緣起毛現象，未來可嘗試加入極少量的糯米漿或秋葵水作為天然膠料，增加紙張書寫的平滑度。
3. 落葉纖維挑戰：在研究動機中提到了落葉，但因為實驗中沒有深入的探討。建議後續可以嘗試看看「廢紙漿 + 碎落葉」的比例實驗，因為純落葉的纖維木質素高，難以成型，加入紙漿後混合後有可能是更好的做法。
4. 長期觀察：除了發芽率，未來還可以增加觀察「發芽後的生長速度」，確認紙漿分解後是否真的可以提供植物足夠的養分。

第陸章、參考資料

一、研究資料

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/080806.pdf>

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書 紙復回春~再生紙

<https://student.hlc.edu.tw/action/file/359/20220917114402275.pdf>

臺北市第 46 屆中小學科學展覽會 作品說明書 起『紙』回生

二、網路資料

<https://www.huf.org.tw/event/content/1550>

再生紙 DIY(做法) | 主婦聯盟環境保護基金會

<https://sciexplore2024.colife.org.tw/work/2024/A0189>

再生紙春聯之研發

<https://record.moenv.gov.tw/epaper/10047/3-1.html>

愛護地球-簡易再生紙製作