

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

080111

春暖花開－探究紙花的開花現象

學校名稱：桃園縣觀音鄉草漯國民小學

作者： 小五 蕭韻雯 小五 莊于萱 小五 黃惠嫻	指導老師： 陳亭昀 簡佑庭
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：紙花、孔隙大小、氣溫

摘要

本研究以紙花的開花現象快慢為主，利用生活中常見的紙張，結合課堂中學到的紙花，將各種不同材質的紙摺成紙花，比較紙張材質之延展性下，給予不同能量的控制，如：紙張材質(孔隙數多寡)、紙張面積大小、紙花底部吸水面積、紙花底部摺線。除此之外，亦比擬氣溫，由相同流體性質的水來進行實驗，透過實驗結果推測紙花克服摺疊後所產生的力矩在水中開花與何者關係較密切。研究結果顯示對於紙張質料本身最直接造成紙花開花現象的快慢差異，採用教學常用之蠟光色紙為實驗器材。另外，透過溫度比擬實驗得知，當平均溫度到達 30 至 40 度之間，將會造成紙花開花現象速度加快，可推知在溫室效應下，當氣溫上升，此時紙花開花現象也會隨之增快。

研究動機

科學的學習探究精神，在於時時留心並仔細觀察，在小現象中發現大道理，進而延伸出對科學遊戲的觀察與體驗。

三年級下學期的自然課第二單元「百變的水」自然老師介紹「好玩的水」在生活中的各種運用；四年級藝術與人文課時，老師帶這我們利用衛生紙吸水的毛細現象完成美麗的對稱暈染畫；這學期陳老師不約而同的在綜合活動課時，利用蠟光色紙摺成紙花，放於水盆中的觀察開花現象，介紹水的毛細現象。

然而，一朵紙花放到水中開花就結束了嗎？

不，這只是一個開始，老師讓我們腦力激盪「紙花」還能有什麼樣的變化呢？

於是，我們便開始天馬行空的發想，如果改變紙的材質，開花的時間是否會改變？

如果改變紙花的大小，是否會影響紙花的開花時間呢？

開始這次的研究，簡單又有趣「紙花」激起我們研究的熱情，希望對於課程教學所用的不同紙張，進行更深入的觀察紀錄。

相關教材：三上(百變的水)、四下(水的移動)、五上(植物世界面面觀)

壹、研究目的










- 一、 探討紙的材質對紙花開花快慢之影響
- 二、 探討紙張大小對紙花開花快慢之影響
- 三、 探討紙的吸水面摺線多寡對紙花開花快慢之影響
- 四、 探討紙花底部接觸水面積對紙花開花快慢之影響
- 五、 探討水溫變化對紙花開花快慢之影響

貳、研究設備及器材

一、研究設備

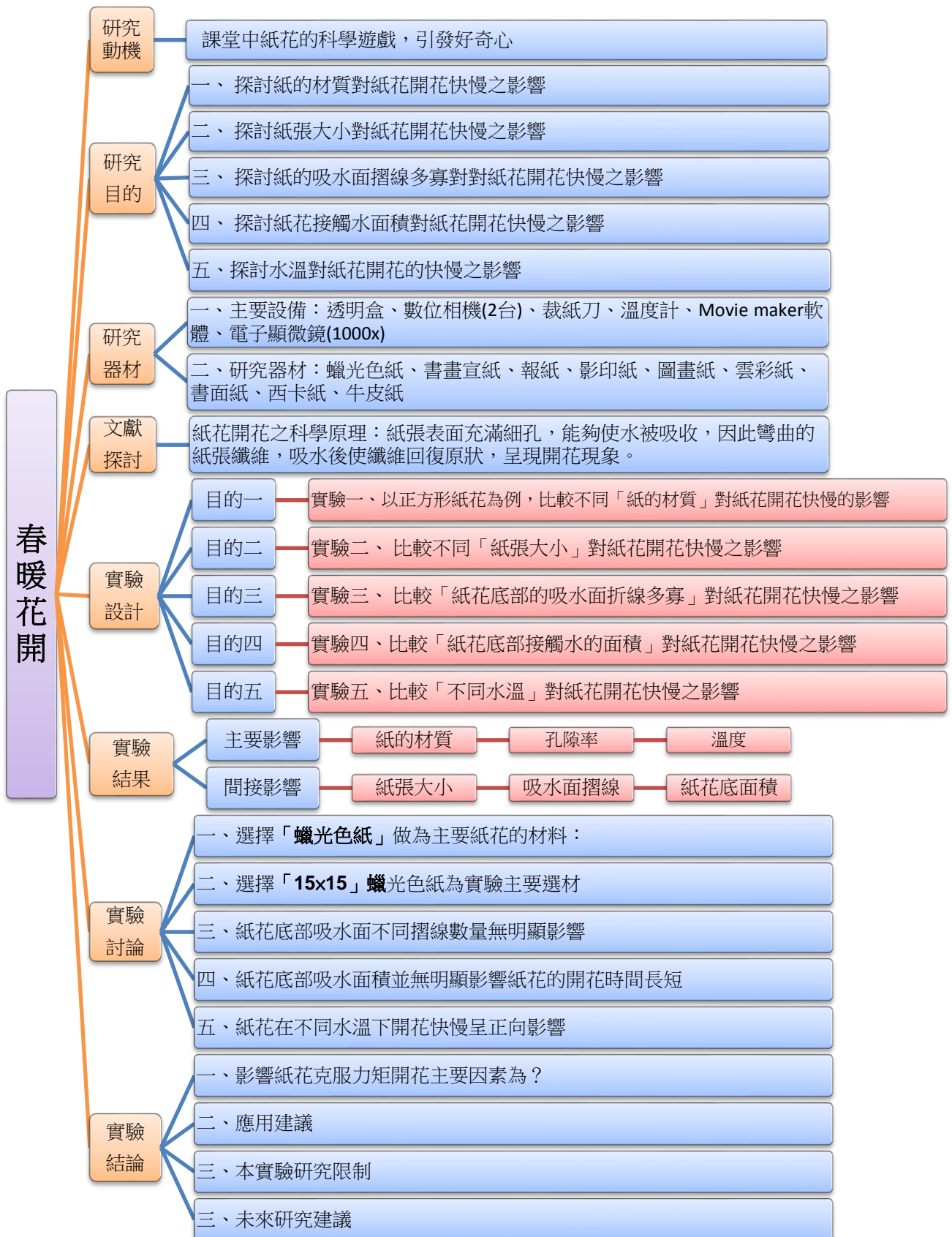
		
透明盒	數位相機(2 台)	裁紙刀
		
溫度計	Movie maker 軟體	電子顯微鏡(1000x)

二、研究器材

				
一、蠟光色紙	二、書畫宣紙	三、報紙	四、影印紙(70 磅)	五、圖畫紙
				
六、雲彩紙	七、書面紙	八、西卡紙	九、牛皮紙	十、教學用色紙(無蠟光)

參、研究過程或方法

一、研究架構



二、相關文獻探討

(一)歷屆全國科展文獻探討

參展屆數	科別	主題	與本實驗相關內容	差異性	可行性
50	物理科	節節高升- 探討甘蔗的毛細現象	毛細現象	不同溶液對毛細現象影響	孔隙率之影響
48	自然科	力爭上游的水溶液— 毛細現象的探索	毛細現象	水溫高的水，毛細現象效果佳	溫度上升帶來之能量變動

(二)紙花開花現象之科學原理

紙張的纖維被彎折後，因為紙張吸附水產生紙張纖維伸張，促使纖維回復原狀，被彎折的紙花就呈現打開的現象。因此吸水情形會影響紙花開放的快慢。

(三)紙張的結構和特點

紙張是一種非勻質材料，結構複雜，其結構特點可歸納為幾方面：

- 1.具多種元素：纖維(紙張結構最基本的元素)、填料、膠料和色料等，因纖維原料的種類和加工方法不同，紙張的結構和性質也各不相同。
- 2.大多數紙張具有兩面性，即紙張兩面的性質不同。
- 3.**紙張具有孔隙結構**，紙張的**多孔結構(孔隙率)**決定了紙張具有**透氣性**、**吸濕性**、**吸收性**和**可壓縮性**，這是紙張能吸收水、油墨等液體物質的基礎。

(四)實測「紙張材質單位面積孔隙數」

1.實驗過程與操作定義

(1)量測器材：

- a.共軛焦電子顯微鏡進行實測(物鏡 20 倍，目鏡 50 倍，可放大至 1000 倍)，螢幕上的長度 1 公分等於實際上的 10 微米。
- b.觀測螢幕：長 27 寬 22 公分，面積為 594 平方公分。

(2)孔隙數：三條紙張纖維交錯所形成的空隙，稱為紙張的孔隙。

(3)估計方法：以多人多次實驗為原則，於相同倍數下，進行孔隙數的估計。

- a.取樣：每種紙張材質，隨機取樣紙張中的五個部分。
- b.重複估計：每個取樣部分，由不同實驗者重複估算兩次，共十次實測估算，以求得平均孔隙數。

2.孔隙數之觀察分析


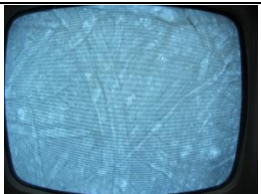



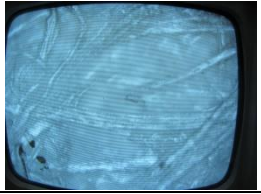


經估算後，單位面積孔隙數排序為(由少至多)：

宣紙<報紙<蠟光色紙<書面紙<教學色紙<圖畫紙<影印紙<雲彩紙<西卡紙<牛皮紙


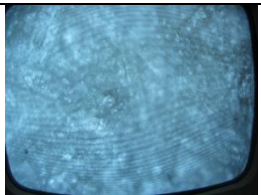


表一、單位面積孔隙數

紙張材質	平均孔隙數 (個數)	螢幕上的單位面積孔隙數 (個數/平方公分)	實際上的單位面積孔隙數 (個數/平方微米)	單位面積孔隙數排序
牛皮紙	40.2	0.06768	6.77	10
西卡紙	32.2	0.05421	5.42	9
雲彩紙	30.6	0.05152	5.15	8
影印紙	29.6	0.04983	4.98	7
圖畫紙	28.6	0.04815	4.81	6
教學色紙	27.2	0.04579	4.58	5
書面紙	25.8	0.04343	4.34	4
蠟光色紙	18.1	0.03047	3.05	3
報紙	18.1	0.03047	3.05	2
宣紙	16.0	0.02694	2.69	1

3.共軛焦電子顯微鏡實測照片

			
牛皮紙	西卡紙	書面紙	報紙(有明顯油墨)
			
雲彩紙	圖畫紙	影印紙(有明顯油墨)	宣紙

4.蠟光色紙與教學用色紙之實測照片比較

			
蠟光色紙(正面) 有清楚油墨痕跡	蠟光色紙(背面) 紙張纖維清楚	教學色紙(正面) 油墨特徵不明顯	教學色紙(背面) 紙張纖維清楚


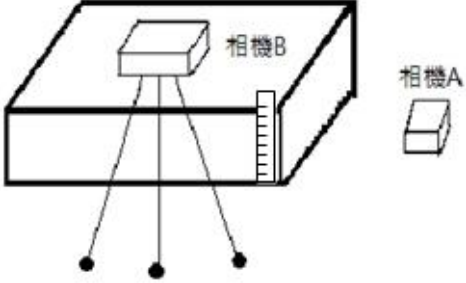
(五)本實驗以環境、材質、孔隙為主要的研究，不著重在毛細現象。以各種不同材質紙花的延展性下改變影響開花的能量，如：材質、大小、吸水面積、摺線。除紙的因素外，再由相同流體性的水來比擬氣溫，推測紙花在生活現象中克服力矩開花與何者關係較密切。

三、研究方法：

(一)實驗裝置

以「錄影機」側拍、空拍，精確紀錄紙花完全展開的過程，降低人為操作誤差。










- 1.相機 A 側拍：確認紙花開花全展開至貼齊水面。
- 2.相機 B 空拍：紀錄紙花開花過程。

	
<p>實驗裝置實測圖</p>	<p>實驗裝置示意圖</p>

(二)標準化實驗過程

1.紙花製作過程：

由蠟光色紙的不同顏色對紙花開花影響之前置實驗，發現紙張的顏色並無明顯影響，但仍有些微差異。故統一選用純藍色蠟光色紙與其同色之系列材質紙張。紙花製作過程中，皆以直尺刮平摺線兩次統一施力，固定同一實驗由同一學生製作紙花，降低實驗內人為摺紙花所產生的變因，且以**多人多次多實驗**進行紙花、施測與記錄。

		
<p>步驟一、15×15 蠟光色紙一張</p>	<p>步驟二、由左向右，對折一次</p>	<p>步驟三、並以直尺壓平摺線</p>
		
<p>步驟四、旋轉 90 度，再對折一次</p>	<p>步驟五、確認兩條摺線互相垂直</p>	<p>步驟六、任取一片花瓣，往中心摺</p>
		
<p>步驟七、依序整齊往紙張中心點摺，並確認邊線是否壓平</p>	<p>步驟八、依序整齊往紙張中心點摺，並確認邊線是否壓平</p>	<p>步驟九、正方形紙花完成</p>

2.紙花完全展開的操作型定義

紙花在水面中展開到水平面貼齊，並且用攝影機在旁邊一同觀察計時，以降低人為操作與判斷的誤差。

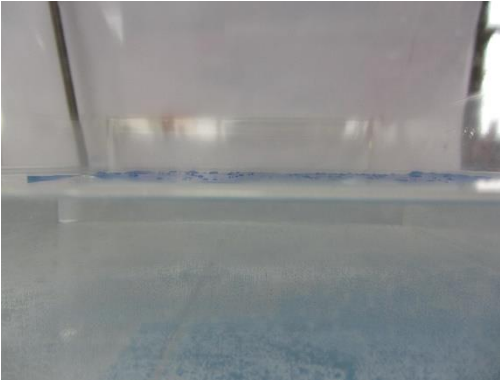
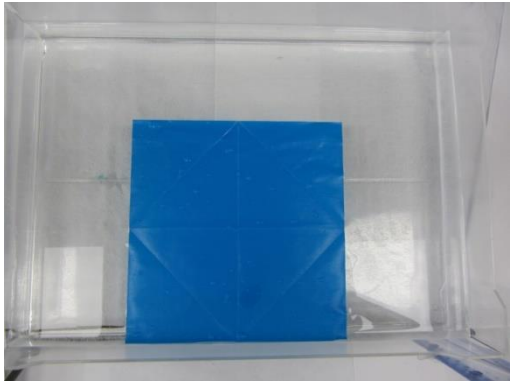
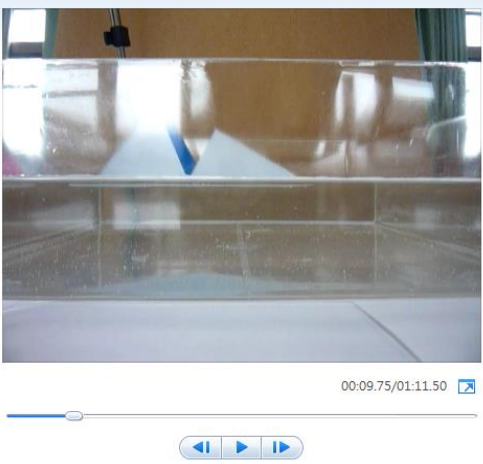

3.實驗數據紀錄

每次實驗中由錄影紀錄過程，再利用 Movie maker 軟體回顧影片觀察開花起落時間，藉此將觀察秒數增加至小數點後第二位。

(1)起始時間：紙花放入後接觸水面，開始計算。

(2)結束時間：紙花花瓣完全貼齊水面，結束時間計算。

(3)計算開花時間：結束時間減起始時間。每項實驗重複施測十次求取平均值，有效數字即可增加一位，以增進實驗數據的精準度。

	
相機 A 實測照片(側拍)	相機 B 實測照片(空拍)
	
Movie maker 側拍讀取數據	Movie maker 空拍讀取數據

四、實驗過程

研究一：探討紙的材質對紙花開花快慢之影響

實驗一、比較不同「紙的材質」對紙花開花快慢的影響

一、實驗假設：紙的材質會影響紙花開花的快慢。

二、假設推論：

由於前置單位面積之孔隙數實驗，而有以下假設推論

(一)相同大小的紙，材質所具的孔隙越少，紙花開花速度越快。

(二)紙的表面具有明顯花紋或塗料，紙花開花速度會越慢。

三、變因控制：

(一)操縱變因：紙花的製作材質。

(二)不變變因：

1.器材：

(1)透明盒(水深 2cm)，固定儀器觀察所造成的視差變因。

(2)攝影器材(兩台數位相機)，固定實驗儀器所造成的儀器誤差變因。

(3)紙花大小相同(邊長 15×15 的正方形紙花)

2.環境：測量地點(全面關窗進行實驗)，

降低風速的影響因素，與環境的照明度影響攝影器材拍攝變因。

3.操作：

(1)水盆靜置 10 分鐘，以降低水面波動之影響。

(2)裁切紙張時，一次只裁切一張，以降低紙張厚度可能造成的誤差。

(3)每種紙質，實驗次數為十次。

以降低實驗誤差，求平均值時能增加一位有效位數，增加實驗的準確性。

(4)攝影器材以空拍與側拍方式架設，並啟動錄影後再放置紙花，完整記錄紙花開花過程。

(5)紙花擺放方式、操作方式均相同。

(同一個實驗，由同一位實驗者進行擺放，降低人為操作誤差)

(6)完整十次施測以 Movie maker 回顧，計算開花時間至小數點後第二位。

四、實驗步驟

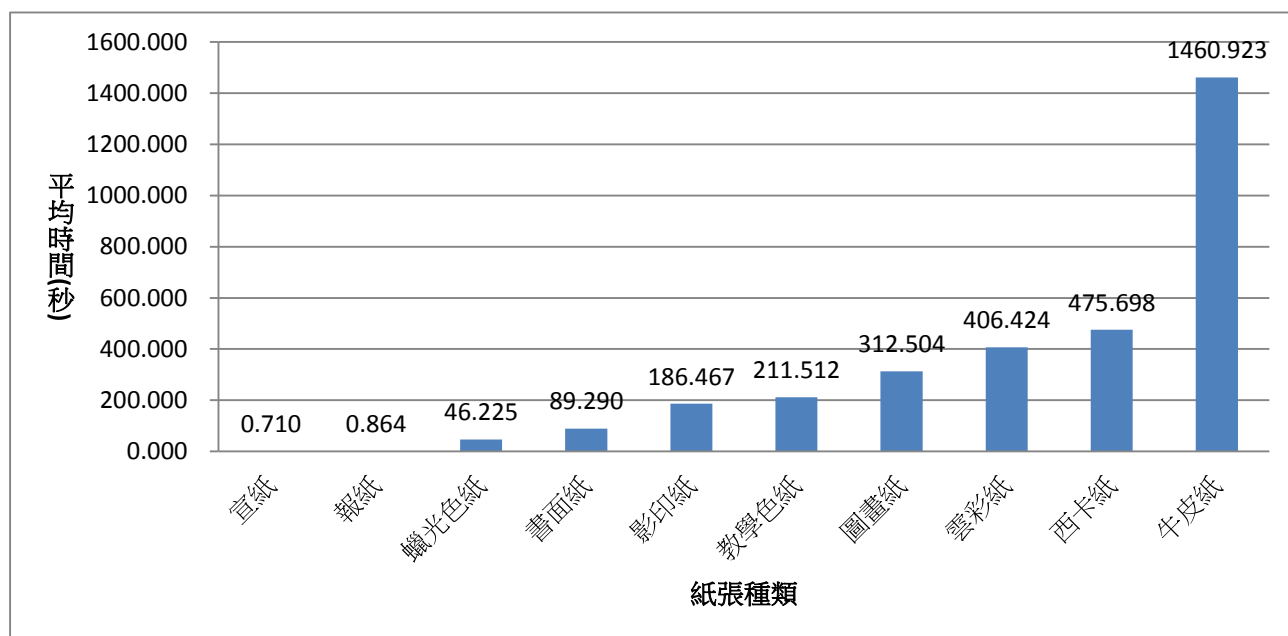
(一)裁紙刀裁切邊長為 15×15 的各種紙材。

(二)標準過程製作正方形紙花。

(三)紙花中心標明紙材名稱，進行觀察錄影(重複十次)、記錄數據實驗記錄。

表二 正方形紙花之材質施測表

實驗次數 (單位：秒)	(一)	(二)	(三)	(四)	(五)	(六)	(七)	(八)	(九)	(十)	平均時間 (單位：秒)
宣紙	0.56	0.41	0.51	1.76	0.41	1.09	0.54	0.56	0.56	0.70	0.710
報紙	0.76	1.66	1.37	0.46	1.10	0.55	0.45	0.54	1.14	0.61	0.864
蠟光色紙	40.56	32.34	78.65	23.54	43.77	61.32	21.67	49.79	86.10	24.51	46.225
書面紙	82.10	75.96	103.24	62.23	87.72	97.45	123.53	92.48	88.54	79.65	89.290
影印紙	223.73	233.70	111.23	148.98	121.66	128.40	330.70	210.76	156.97	198.54	186.467
教學色紙	235.75	258.45	334.39	154.84	138.21	131.40	263.51	196.87	128.43	273.27	211.512
圖畫紙	290.08	443.06	319.61	271.60	453.70	212.01	221.01	303.33	306.94	303.70	312.504
雲彩紙	332.00	345.39	357.35	475.38	425.80	389.83	417.20	450.18	463.70	407.41	406.424
西卡紙	219.60	774.00	418.80	517.56	752.20	343.10	482.60	709.50	246.60	293.02	475.698
牛皮紙	2323.60	1469.74	1635.08	1590.04	1473.20	1607.40	1359.50	1147.29	1015.80	987.58	1460.923



圖一 正方形紙花之材質

五、實驗結果：

(一)不同紙張材質的單位面積的孔隙數，確實會影響紙花的開花快慢。

(二)紙花開花快慢結果如下：

宣紙<報紙<蠟光色紙<書面紙<影印紙<教學色紙<圖畫紙<雲彩紙<西卡紙<牛皮紙

六、實驗討論：

(一)實驗結果分析

- 1.支持我們的假設，單位面積紙張的孔隙數越少，可推得紙張的孔隙較大，紙的吸水性較為明顯，紙花的開花速度也比較快。
- 2.單位面積孔隙數排序與實驗一排序略有不同，單位面積孔隙數排序為(由少至多)：宣紙<報紙<蠟光色紙<書面紙<教學色紙<圖畫紙<影印紙<雲彩紙<西卡紙<牛皮紙，推測原因：實驗操作上的環境因素與人為判定因素影響。
- 3.依實驗結果，觀察到紙的材質確實影響紙花開花的快慢，並以「蠟光色紙」作為後續實驗的紙花材質，原因為：
 - (1)宣紙孔隙數少，表紙張孔隙較大且吸水力強，開花速度過快，難以觀察。
 - (2)報紙具有良好的吸墨性與吸水性，吸水力僅次於宣紙，但文獻探討之孔隙實測圖片可知報紙有各式塗料與油墨，恐有實驗誤差產生，且實驗的摺痕與畫記不易觀察，因此不選用報紙。
 - (3)蠟光色紙吸水作用明顯，開花速度適中，且前置實驗推知顏色無明顯影響，但為排除因塗料造成紙張表面具排水性，皆採用白色面朝下放置於水面，進行實驗觀察。
 - (4)紙張厚度影響裁切成品，恐有誤差。故選市售蠟光色紙。
- 4.蠟光色紙與教學色紙(無蠟光色紙)，為實驗中最有趣的對照組。
 - (1)孔隙觀察結果知「蠟光色紙」從正面圖上無法看到紙張纖維，油墨十分不均勻；反之，「教學用色紙」，雙面皆呈現清楚的紙張纖維，唯有正面顏色較深。
 - (2)亮麗的蠟光色紙在紙花摺疊後彩色油墨剝落性高，呈現白色的摺痕，將紙張纖維暴露在外，無法透過油墨去保護蠟光色紙；教學色紙經摺疊彩色油墨剝落性低、無明顯的白色摺痕，確實保護內部纖維，不直接接觸水面，造成蠟光色紙比教學用色紙的紙花開花現象快。

(二)實驗發現

- 1.方形紙花有別於其他紙花，花瓣幾乎同時開啟，排除紙花花瓣重疊的實驗誤差。
- 2.結果得知，生活中常見大型信封袋是由牛皮紙製成，因牛皮紙張纖維又細又長且多層緊實重疊，造成單位面積孔隙數多且密，使牛皮紙較牢固，相較於其他紙張較不易吸水，使得外包材料不易受潮，避免信封內重要文件毀壞。

研究二：探討紙張大小對紙花開花快慢之影響

實驗二、比較不同「紙張大小」對紙花開花快慢之影響

一、實驗假設：紙張大小會影響紙花的開花快慢。

二、假設推論：

紙張越小，開花現象越快；紙張越大，開花現象越慢，呈現趨勢性的變化。

三、變因控制

(一)操縱變因：製作紙花的紙張面積大小不同。

(二)不變變因：

1.器材、環境與實驗一相同。

2.操作：(1)紙花皆以白色面朝下，置於水面上進行觀察。

降低色紙表面塗料性質可能對於紙花開花現象的影響。

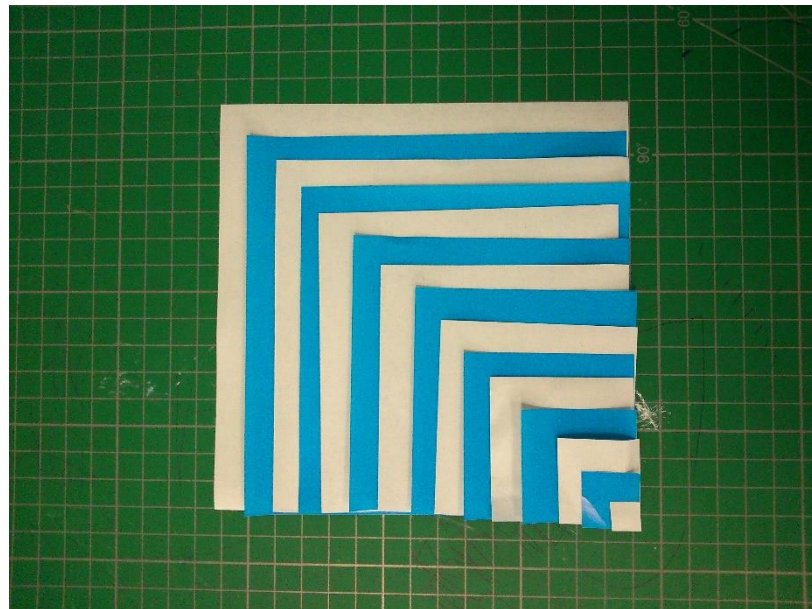
(2)其餘與實驗一相同。

四、實驗步驟

(一)裁紙機裁切各種大小之正方形的藍色蠟光色紙。

(二)標準過程製作正方形紙花。

(三)紙花中心標明邊長長度，進行觀察錄影、記錄數據。

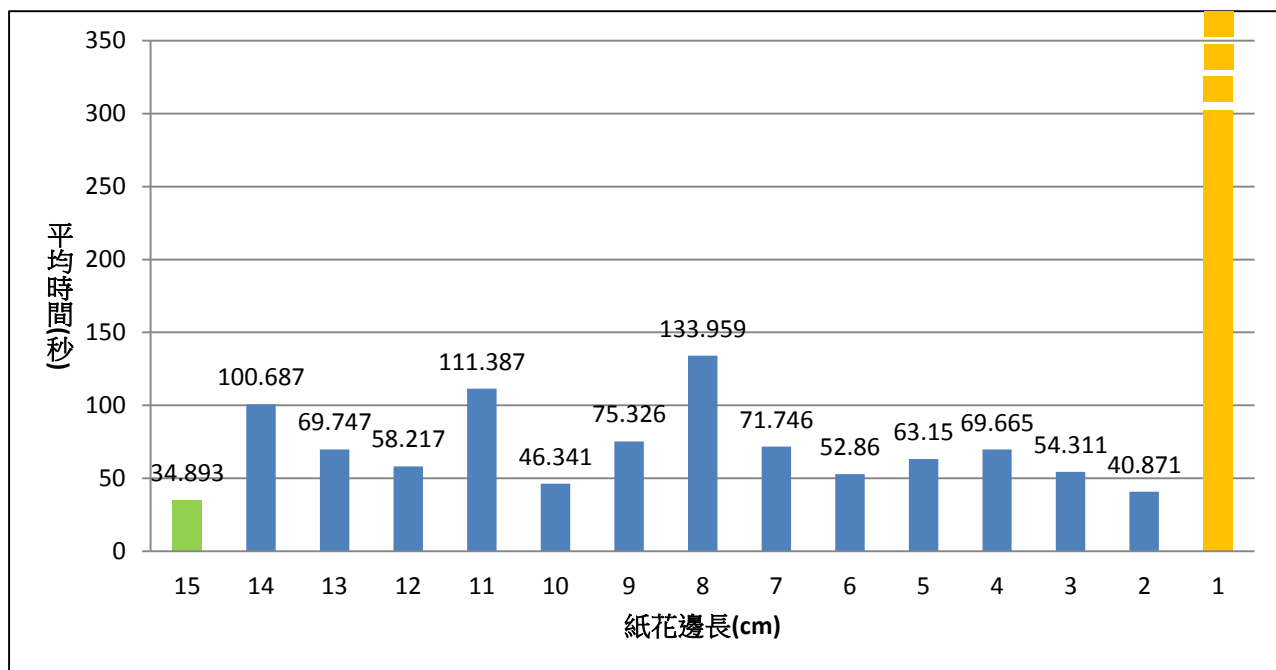


不同大小的正方形紙花

五、實驗記錄

表三 不同大小紙花施測表

實驗次數 (單位：秒) 邊長(cm)	(一)	(二)	(三)	(四)	(五)	(六)	(七)	(八)	(九)	(十)	平均時間 (單位：秒)
15×15	28.00	32.26	41.11	43.41	35.50	48.89	33.23	28.91	28.24	29.38	34.893
14×14	72.56	89.90	127.63	85.23	99.50	81.50	116.68	143.73	84.74	105.40	100.687
13×13	40.81	90.97	104.68	101.25	54.43	41.74	58.04	81.83	49.76	73.96	69.747
12×12	51.67	59.07	62.37	54.70	71.87	62.91	50.81	54.85	61.94	51.98	58.217
11×11	82.58	99.64	105.27	102.66	83.87	129.10	128.99	114.90	114.67	152.19	111.387
10×10	43.01	43.92	56.12	43.41	41.11	45.08	57.93	49.41	40.56	42.86	46.341
9×9	111.58	92.89	85.08	73.33	67.05	42.21	68.55	91.78	61.65	59.14	75.326
8×8	116.30	102.31	136.40	130.88	131.80	192.14	135.18	133.70	131.30	129.58	133.959
7×7	94.36	86.67	49.54	57.19	62.11	75.47	91.74	65.87	93.06	41.45	71.746
6×6	56.49	59.40	36.96	62.64	59.66	58.19	42.90	53.18	63.18	36.00	52.860
5×5	61.71	63.12	60.26	61.47	65.28	62.59	68.53	62.80	61.07	64.67	63.150
4×4	45.14	67.11	60.10	71.18	81.23	87.00	57.77	78.41	75.85	72.86	69.665
3×3	79.40	50.18	49.72	65.66	34.70	54.44	47.63	59.75	37.29	64.34	54.311
2×2	14.08	39.39	41.16	59.29	35.12	46.39	47.54	48.23	43.50	34.01	40.871
1×1	211.81	334.55	246.53	337.60	336.47	423.50	338.31	230.65	232.11	335.67	302.720



圖二 不同大小紙花

六、實驗結果：

- (一)不同紙張大小，對紙花的開花快慢有部分呈現規律且周期性的變化。
- (二)1×1 大小的紙花開花現象無法完全貼平水面，其開花時間屬於無限長(無法完整開啟紙花)。



七、實驗討論：

(一)實驗結果分析

- 1.未完全支持假設，改變紙花大小對紙花開花快慢並無明顯趨勢性的變化。推測原因：紙花大小改變，相對花瓣大小與吸水底面積，也等比例改變，造成紙花開花現象並無呈現趨勢性變化。
- 2.實驗二結果中意外發現，雖然數據無呈現單方向的趨勢性改變。但有週期性的變化，當紙花大小為 14×14、11×11、8×8，開花時間皆為前後兩組實驗中，開花時間最長的。
3. 本實驗決定以 15×15 蠟光色紙為後續實驗的材料。原因為：
 - (1)實驗中的表現最易於觀察。
 - (2) 15×15 的大小，可不須人為裁切，降低誤差。
- 4.實驗可瞭解 1×1 方形製成的紙花開花最快，但水的表面張力影響，無法完全張開在水面上。實質上，本實驗對於紙花完全開啟的定義需「紙花完全展開至貼齊水平面」而言，1×1 屬於開花時間「無限長」。

(二)實驗發現：

- 1.影響紙花開花現象非單純為紙花大小而造成改變，數據並無呈現單方向的趨勢性走向，需綜合整個環境的能量，與紙張材料吸附水份後的改變，呈現週期性的變化。
- 2.無論何種大小的紙花，完全開花後，紙花摺線吸水現象特別明顯，引起思考，是否底面摺線會影響紙花開花現象的快慢呢？

	
紙花開花後，底部亦有摺線吸水痕	1×1 的正方形紙花，無法完全張開在水面上

研究三：探討紙的吸水面摺線多寡對紙花開花快慢之影響

實驗三、比較「紙花底部的吸水面摺線多寡」對紙花開花快慢之影響

一、實驗緣由：從實驗二中發現，紙花開花吸水摺線明顯，透過改變紙花底部吸水面的摺線多寡，觀察開花快慢之影響。

二、實驗假設：紙花底部的吸水面摺線多寡會影響紙花開花快慢。

三、假設推論：

(一)底部吸水面摺線越多，紙花的開花現象越快。

(二)底部吸水面摺線越少，紙花的開花現象越慢。

四、變因控制

(一)操縱變因：紙花底部吸水面摺線數量。

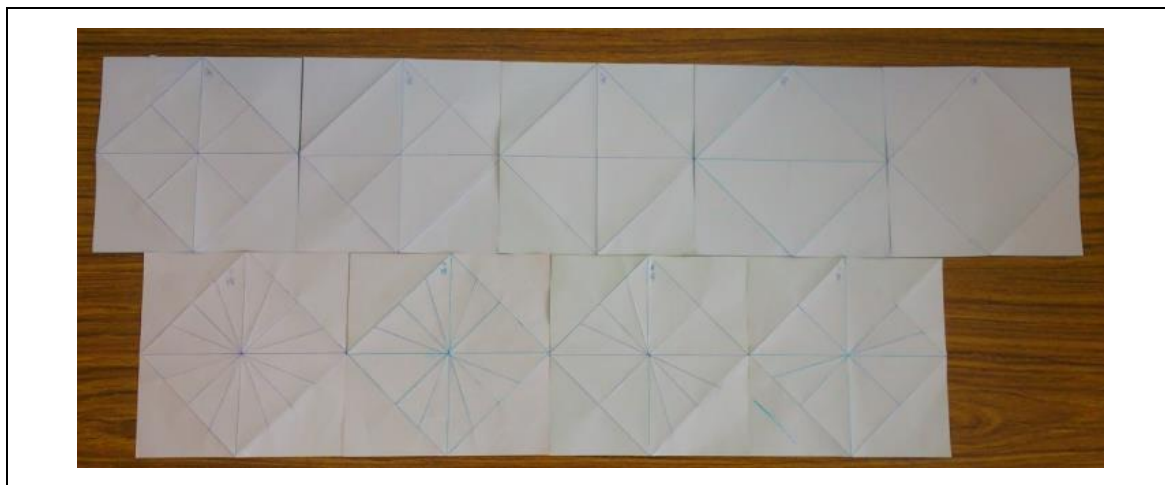
(二)不變變因：與實驗一相同。

五、實驗步驟

(一)標準過程製作 15×15 方形之蠟光色紙紙花。

(二)依序增減底部摺線數量。

(三)紙花中心標明摺線數量，進行觀察錄影、記錄數據。



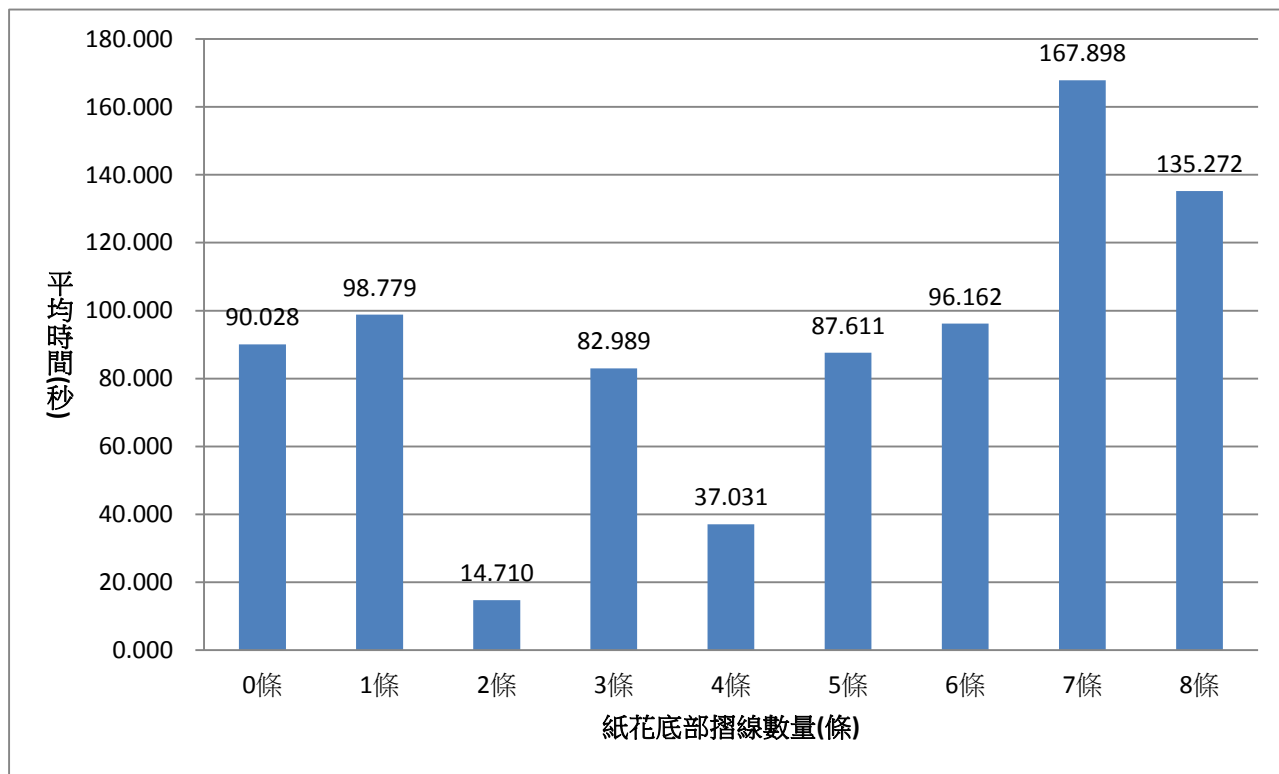
製作不同底部的吸水面摺線之紙花

0 條	1 條	2 條	3 條	4 條	5 條	6 條	7 條	8 條

六、實驗記錄

表四 紙花底部的吸水面摺線施測表

實驗次數 (單位：秒) 摺線數量	(一)	(二)	(三)	(四)	(五)	(六)	(七)	(八)	(九)	(十)	平均時間 (單位：秒)
0 條 □	146.13	62.24	50.47	34.86	46.67	183.14	81.46	75.08	35.25	184.98	90.028
1 條 ▤	117.19	86.46	93.56	62.00	91.79	102.54	85.82	121.91	124.81	101.71	98.779
2 條 ☒	17.88	10.89	14.41	14.69	10.61	12.97	19.01	18.09	18.36	10.19	14.710
3 條 ☓	81.72	121.61	117.11	54.18	95.34	61.35	98.32	61.37	84.00	54.89	82.989
4 條 ☔	29.96	42.67	37.66	23.29	45.31	43.11	16.79	38.67	38.16	54.69	37.031
5 條 ☕	71.92	46.53	81.55	68.21	35.85	66.04	112.85	163.62	133.57	95.97	87.611
6 條 ☖	132.04	95.68	126.99	146.70	66.72	77.66	96.50	75.57	56.20	87.56	96.162
7 條 ☗	238.00	120.00	80.00	150.00	193.80	174.13	254.19	132.31	165.11	171.44	167.898
8 條 ☘	155.69	142.70	157.84	89.35	161.48	159.23	121.40	165.47	81.40	118.16	135.272



圖三 紙花底部的吸水面摺線

七、實驗結果

(一)未完全支持假設，紙花底部吸水面不同摺線數量，對開花快慢確實有影響。摺線數量 2 條開花時間最快；摺線數量 7 條、8 條，開花時間較慢；其餘則無明顯的差異。

(二)初步排除紙花底部摺線數量對紙花開花現象的影響，後續採標準製作過程之「底部為 2 條線的正方形紙花」進行施測。

八、實驗討論

(一)實驗結果分析

1.除摺線數量 2 條與 7 條、8 條外，其餘底部摺線數量對紙花開花具有影響，但無明顯差別。可知紙花底部摺線並非影響開花的重要因素。

2.摺線數量 2 條最快，可能原因為：

(1)製作紙花的人為誤差因素。

(2)因底部摺線 2 條時，紙花底部吸水受力平均，使紙花的開花時間較快。

3.摺線數量 7 條、8 條特別慢，可能原因為：

(1)製作紙花的人為誤差因素。

(2)底部摺線為 7 條、8 條，紙花底部的吸水作用，受到許多人為破壞底部的摺線，露出的紙張纖維，干擾紙花的開花現象，使開花時間較慢。

(3)由於紙花開花現象係因紙與水間的毛細現象，底部摺線增加可能增加紙花吸水邊線的阻力，摺線過多的情況下，紙張纖維同時吸水膨脹，無助於使紙花開花現象，對於紙花吸水邊線並無增加其毛細作用速度。

(二)實驗發現

1.紙花底部吸水面 0 條摺線時，相較於實驗數據沒有太大差別，不過缺少底部吸水面的摺線，因此花瓣末端會明顯的往內捲曲。

2.實驗中引發好奇:如果紙張大小與紙花底部摺線皆非影響紙花開花的主要因素，是否跟紙花本身與接觸水關係最密切的「底面面積」有關係呢?

研究四：探討紙花接觸水面積對紙花開花快慢之影響

實驗四、比較「紙花底部接觸水的面積」對紙花開花快慢之影響

一、實驗假設：紙花底部接觸水的面積會影響紙花開花快慢。

二、假設推論：

(一)底部接觸水面積越多，紙花的開花現象越快；

(二)底部接觸水面積越少，紙花的開花現象越慢。

三、變因控制：

(一)操縱變因：紙花底部接觸水面積大小。

(二)不變變因：

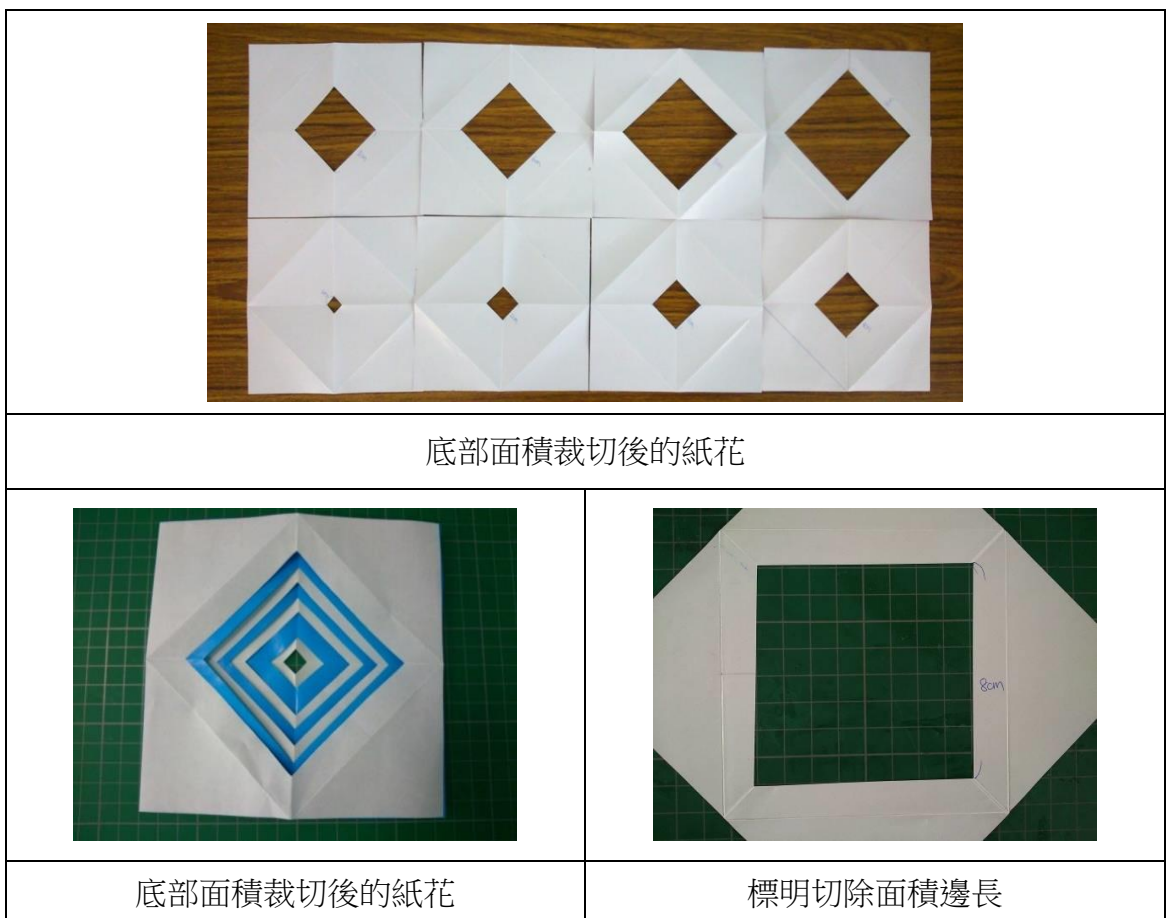
器材、環境、操作皆與實驗一相同。

四、實驗步驟

(一)標準製作 15×15 方形蠟光色紙紙花。

(二)依序以裁紙刀切除面積。

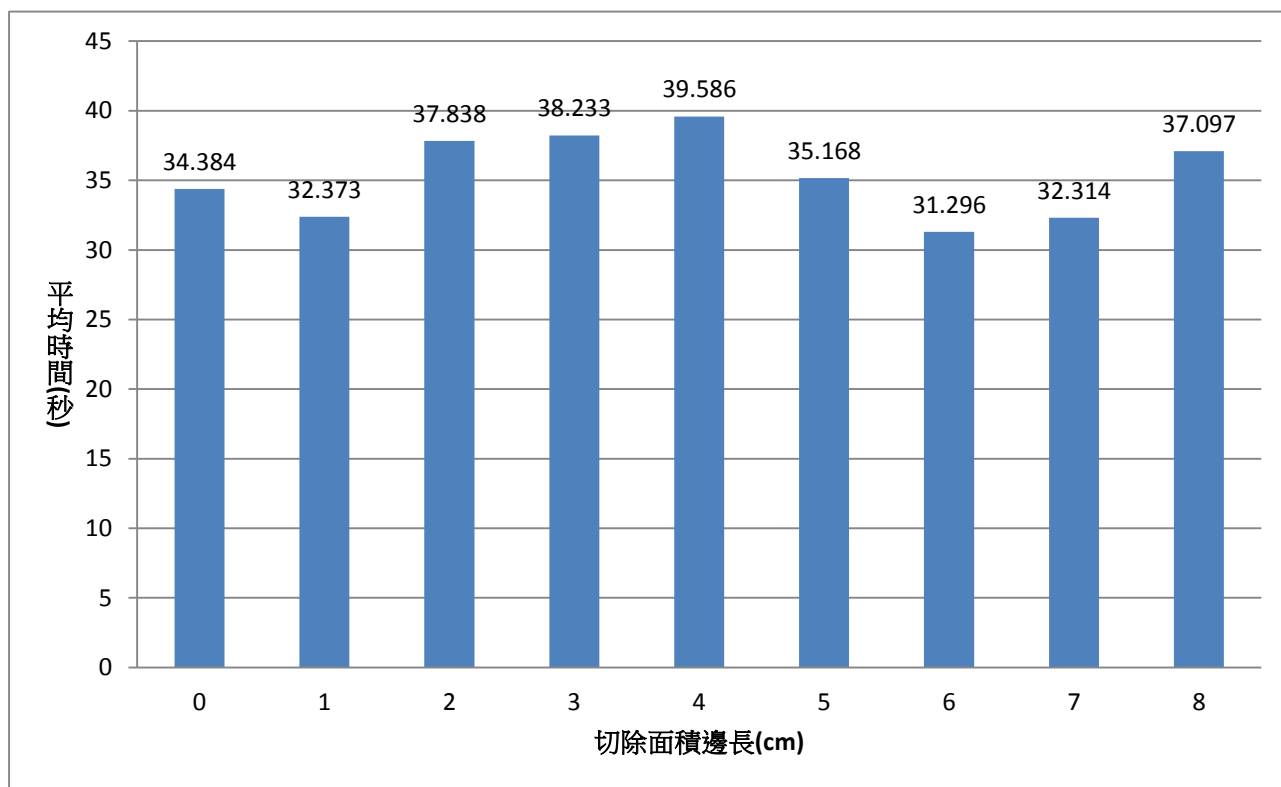
(三)紙花中心標明切除面積邊長，進行觀察錄影、記錄數據。



五、實驗記錄

表五 紙花底部接觸水的面積施測表

實驗次數 (單位：秒)	(一)	(二)	(三)	(四)	(五)	(六)	(七)	(八)	(九)	(十)	平均時間 (單位：秒)
0×0	20.14	23.46	27.14	12.59	59.41	28.11	38.11	38.14	41.59	55.15	34.384
1×1	21.50	23.60	23.40	51.40	48.90	23.20	32.20	38.90	28.93	31.70	32.373
2×2	29.70	46.02	31.20	53.21	33.62	28.10	36.50	41.00	43.33	35.70	37.838
3×3	53.14	26.21	19.90	28.60	41.16	62.30	60.37	31.15	36.60	22.90	38.233
4×4	28.76	36.90	36.00	55.64	24.90	37.76	29.20	60.56	38.18	47.96	39.586
5×5	29.62	38.72	32.18	42.14	26.82	38.04	31.00	24.73	54.03	34.40	35.168
6×6	21.94	27.86	29.87	39.65	38.01	30.96	34.86	29.92	26.87	33.02	31.296
7×7	39.23	29.37	24.74	52.44	39.21	24.46	28.33	37.19	20.09	28.08	32.314
8×8	22.55	31.02	34.57	29.26	59.45	43.80	46.87	44.13	21.47	37.85	37.097



圖四 紙花底部接觸水的面積

六、實驗結果：

(一)當紙花底部接觸水面切除的面積邊長為 6 公分時，開花平均時間為 31.269 秒；切除的面積邊長為 4 公分時，開花平均時間為 39.568 秒，兩者之間的差距僅 8.299 秒，無法看出顯著影響紙花的開花快慢。

(二) 未完全支持假設，紙花底部吸水面積，對影響紙花的開花快慢無明顯差別。

七、實驗討論：

(一)實驗結果分析

1.從實驗一至四，影響紙花開花現象的直接影響因素為：

(1)紙花的摺法(花瓣間重疊性)：方形紙花花瓣可同時開啟，其花瓣間並無重疊。

(2)製作紙花材質，紙張材質的纖維的長短、孔隙與吸水性，亦是主要因素之一。

2.從實驗一至四，影響開花現象，間接影響因素為：

(1)製作紙花的紙張大小

(2)紙花底部的摺線數量

(3)紙花底部吸水面積大小

(二)實驗發現

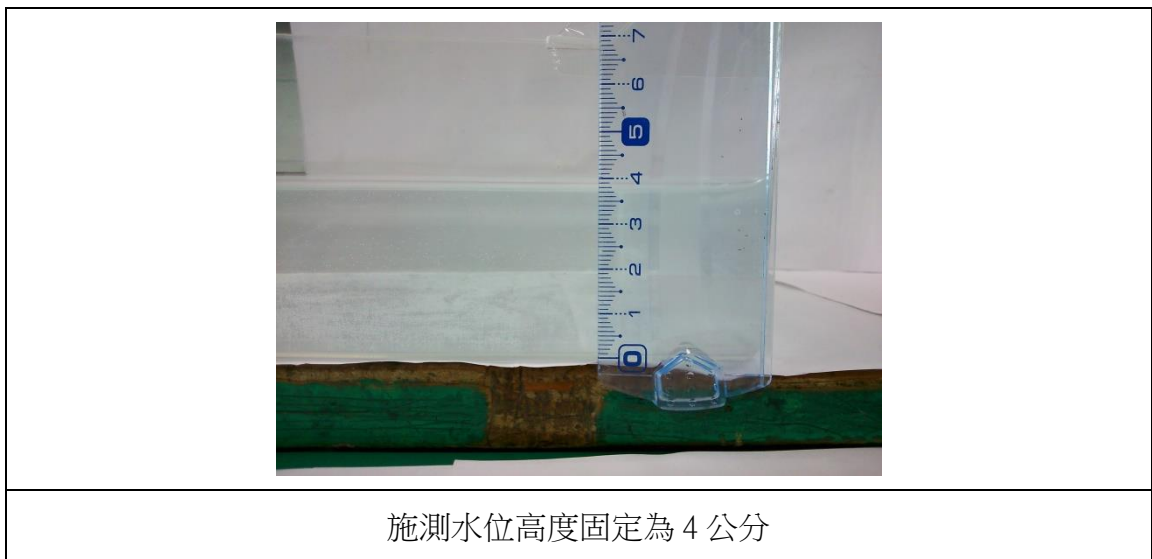
1.透過實驗一至四，瞭解開花現象與毛細現象的密切關係，同時發現紙張的材質纖維的長短、孔隙數的多寡與紙張的吸水性，是影響開花毛細現象作用的最直接影響因素，固定紙張材質的變因後，對紙張的變因調整都是影響效果有限的間接影響。

2.同時，懷疑是否還有影響紙花開花現象的關鍵因素尚未被察覺，針對探討紙花的開花現象，主要為紙與水間的毛細現象，使我們聯想到：是否有可能是「水」在搞鬼呢?實驗期間氣候變化大(一~五月)，時而晴朗如同夏天來臨，時而寒流來襲氣溫驟降，一路從冬天走進春天步入初夏時節，當在氣溫較低的狀況下，實驗整體的施測時間較長；反之，時間則會變快，因此加以驗證此現象。

研究五：探討水溫對紙花開花快慢之影響

實驗五、比較「不同水溫」對紙花開花快慢之影響

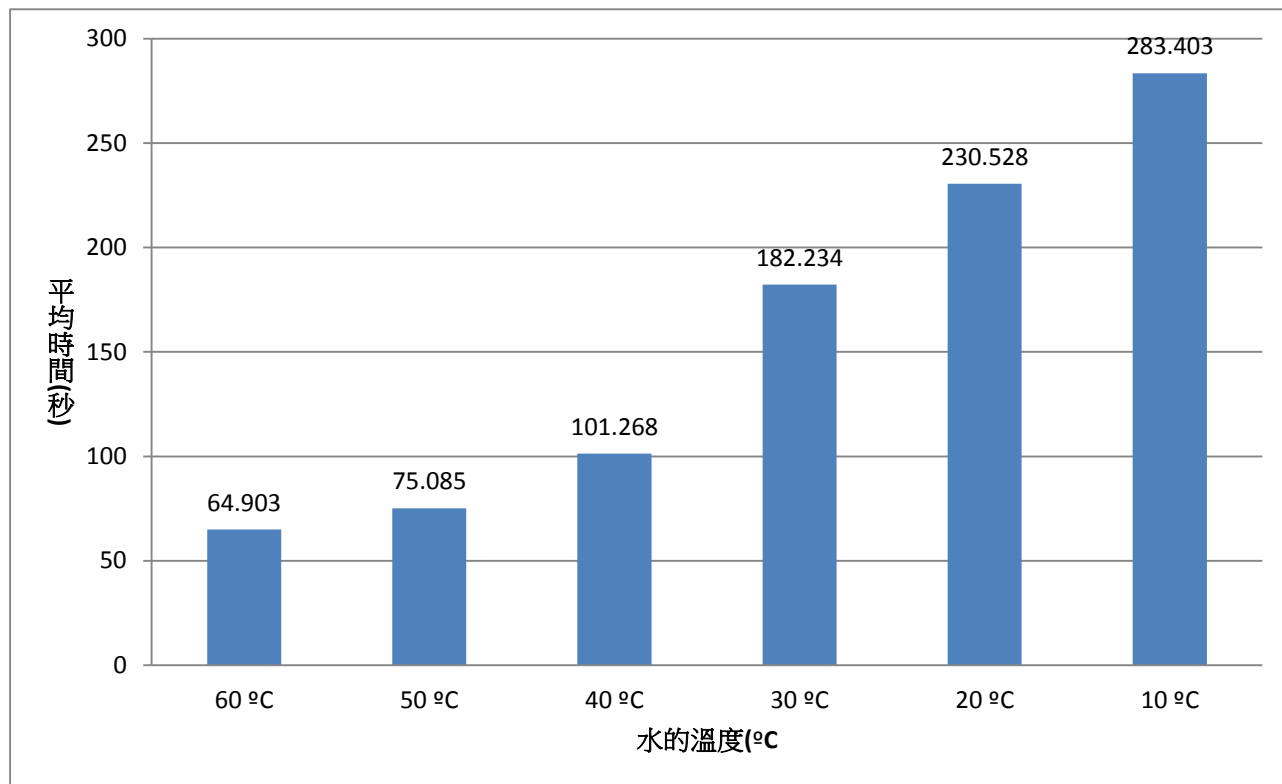
- 一、實驗緣由：發現當天氣溫度較溫暖，同一實驗紙花開花會同時變快，反之則變慢。
因此環境的溫度(即室溫、氣溫)，可能會影響紙花開花快慢。我們由相同流體性的水來比擬環境的大氣溫度，進行此實驗的量測。
- 二、實驗假設：不同的水溫下會影響紙花的開花快慢。
- 三、假設推論：
 - (一)水溫越高，紙花開花現象越快。
 - (二)水溫越低，紙花開花現象愈慢。
- 四、變因控制
 - (一)操縱變因：水的溫度。
 - (二)不變變因：
器材、環境、操作：與實驗一相同。
- 五、實驗步驟
 - (一)標準過程製作 15×15 方形之藍色蠟光色紙紙花。
 - (二)蠟光色紙白色面朝外。
 - (三)以溫度計測量水溫，進行觀察錄影、記錄數據。



六、實驗記錄

表六 不同水溫紙花施測表

實驗次數 (單位：秒) 水溫 (°C)	(一)	(二)	(三)	(四)	(五)	(六)	(七)	(八)	(九)	(十)	平均時間 (單位：秒)
60 °C	82.45	67.49	48.40	60.15	39.10	88.82	58.29	79.30	66.65	58.38	64.903
50 °C	52.02	135.30	94.04	54.04	58.10	124.89	42.90	48.20	76.50	64.86	75.085
40 °C	81.13	97.20	89.13	71.50	95.61	89.60	112.30	132.00	97.21	147.00	101.268
30 °C	165.13	132.26	168.82	198.29	160.14	190.15	161.15	195.61	134.08	316.71	182.234
20 °C	234.48	215.52	215.18	241.14	237.61	227.58	254.69	227.09	230.17	221.82	230.528
10 °C	259.48	258.85	256.33	278.83	281.66	283.10	299.54	311.41	321.69	283.14	283.403



圖五 不同水溫下紙花開花施測表

七、實驗結果

(一)假設得到支持，「溫度」確實對紙花的開花現象有規律性的影響。

(二)當水溫越高，紙花的開花現象越快；反之越慢，呈現規律性變化。

八、實驗討論

(一)實驗結果分析

1.開花現象科學原理為：紙與水的毛細現象，當水溫越高，紙花的開花現象會越快，導因於水溫越高，相同質量的水所蘊含的能量越高，水分子的流動性也隨之升高，因此紙對水的毛細作用更加明顯；反之，紙對水的毛細作用越不顯著。

2.經由相同流體性的水來比擬環境的大氣溫度，推測紙花在生活現象中克服力矩開花與大氣環境影響密切。

(二)實驗發現

1.實驗一至五中瞭解「紙張材質」對紙花的開花直接影響因素。其餘相同紙質做內部的變因調整，對開花現象影響效果皆有限，為間接影響因素。

2.實驗五發現「水」也是影響紙花的開花現象的重要變因之一，未來時間空間許可的情況下，期待能夠尋找其他變因。

肆、研究結果

經由此次研究設計得知以下內容：

一、不同紙張材質的單位面積孔隙數，確實會影響紙花的開花快慢。

孔隙數排列為(由少至多)：

宣紙<報紙<蠟光色紙<書面紙<教學色紙<圖畫紙<影印紙<雲彩紙<西卡紙<牛皮紙

二、紙之材質開花快慢實驗中開花速度依快到慢排列：

宣紙<報紙<蠟光色紙<書面紙<影印紙<教學色紙<圖畫紙<雲彩紙<西卡紙<牛皮紙

三、不同紙張大小，對於開花快慢有部分呈現規律且周期性的變化。當紙花大小為 14×14 、 11×11 、 8×8 ，開花時間皆為前後兩組實驗中，開花時間最長的。

四、 1×1 所紙做的紙花開花現象無法完全貼平水面，屬於無限長(無法完整開啟紙花)。

五、紙花底部吸水面不同摺線數量確實影響紙花的開花快慢。最快的是摺線數量 2 條；較慢的是摺線數量 7 條、8 條；其餘無明顯的差異，後續以「底部為 2 條線的正方形紙花」進行施測。

六、紙花底部接觸水面所切除的面積邊長為 6 公分時，紙花的開花平均時間為 31.269 秒；切除面積邊長為 4 公分時，平均時間為 39.568 秒，兩者之間的差距僅 8.299 秒，無法看出顯著影響紙花的開花快慢。推論紙花底部吸水面積，對於影響紙花的開花快慢有影響，但無明顯差別。

七、「溫度」確實對紙花的開花現象有規律性的影響。紙花在不同水溫下開花快慢：當水溫越高，紙花的開花現象越快；反之，越慢。

伍、研究討論

一、選擇「蠟光色紙」做為主要紙花的材料：比較後選用蠟光色紙為後續選材。

(一)正方形紙花測量結果：(快到慢排列)

宣紙<報紙<蠟光色紙<書面紙<影印紙<教學色紙<圖畫紙<雲彩紙<西卡紙<牛皮紙

(二)單位面積孔隙數排序為(由少至多)：

宣紙<報紙<蠟光色紙<書面紙<教學色紙<圖畫紙<影印紙<雲彩紙<西卡紙<牛皮紙

(三)宣紙孔隙數少，表紙張孔隙較大且吸水力強，開花速度過快，難以觀察。

(四)報紙具有良好的吸墨性與吸水性，吸水力僅次於宣紙，但文獻探討之孔隙實測圖片可看出報紙有各式塗料與油墨，恐有誤差產生，且實驗的摺痕與畫記不易觀察，故不選用報紙。

(五)牛皮紙表面幾乎無任何吸水痕跡，原來生活中常見大型信封袋是由牛皮紙製成，是因牛皮紙張纖維又細又長且多層緊實重疊，造成單位面積孔隙數多且密集，使牛皮紙較牢固，相較其他紙張較不易吸水，所以外包裝不易受潮，可避免信封內重要文件毀壞。

(六)蠟光色紙與教學色紙(無蠟光色紙)之對照：

1.孔隙觀察結果得知「蠟光色紙」可能為外加表面塗料覆蓋白紙，油墨不均勻的現象，並且從正面圖上無法看到紙張纖維；反之，「教學用色紙」的顏色可能已經吸附至紙張纖維中，因此雙面皆可看到清楚的紙張纖維出現，唯有正面顏色較深。

2.蠟光色紙表面亮麗，但製作過程中，彩色油墨剝落性高，有白色的摺痕，將紙張原本的纖維暴露在外，無法透過油墨去保護蠟光色紙；教學色紙則彩色油墨剝落性低，不會出現明顯白色摺痕，能確實保護色紙內部纖維，不直接接觸水面，造成蠟光色紙比教學用色紙所製作的紙花開花現象。

二、選擇「15x15」蠟光色紙為實驗主要選材：

紙的材質確實影響紙花開花的快慢，本研究選「蠟光色紙」作為後續紙花材質，原因如下：

(一)為避免選用紙張材料極端值，選擇在實驗中開花速度適中、表面油墨與吸水性較報紙、宣紙慢且均衡，學校教學上最常見常用之蠟光色紙，為排除因塗料造成紙張表面具排水性，皆用白色面朝下放置於水面，進行實驗觀察。

(二) 紙張厚度影響裁切成品，易造成較大的誤差。針對材質實驗中，西卡紙與蠟光色紙皆為穩定且易觀察對象，考量西卡紙紙張厚度、裁切與測量誤差、教學上常用性等多個因素之下，取相對較穩定厚度之紙質的蠟光色紙為主要工具。

(三) 實驗二紙花大小的過程與數據，表現最佳為 15×15 方形紙花，正好市售色紙大多 15×15，故後續用 15×15 蠟光色紙。

三、紙花底部吸水面不同摺線數量無明顯影響，並非影響紙花開花的重要因素。

(一)摺線數量 2 條特別快，原因有：

1.製作紙花的人為誤差因素。

2.底部摺線 2 條時，紙花底部吸水受力平均，使紙花的開花時間較快。

(二)摺線數量 7 條、8 條特別慢，原因有：

1.製作紙花的人為誤差因素。

2.底部摺線為 7 條、8 條，紙花底部的吸水作用，受到人為破壞底部的摺線，而露出的紙張纖維，干擾開花現象，使時間較長。

(三)由於紙花開花現象係因紙與水間的毛細現象，底部摺線增加紙花吸水邊緣的阻力，摺線過多下，紙張纖維同時吸水膨脹，無助於使紙花開花現象變快。

四、紙花底部吸水面積並無明顯影響紙花的開花時間長短。

由此推測，紙花開花現象的關鍵因素為：花瓣與底部摺疊的邊緣之吸水毛細現象作用的快慢。

五、紙花在不同水溫下開花快慢呈正向影響。

(一)水溫越高，開花現象會越快，導因於水溫越高，相同質量的水本身所蘊含的能量越高，水分子的流動性也隨之升高，因此紙對水的毛細作用越加的明顯；反之水溫越低，紙對水的毛細作用則越不顯著。

(二)經由相同流體性的水來比擬環境的大氣溫度，結果推測紙花在生活現象中克服力矩，將紙張纖維伸張，促使纖維回復原狀，與大氣環境影響密切。且溫度達 30 至 40 度之間，開花速度明顯加快，因此推論在全球暖化下，將使紙張纖維伸張的時間更短。

(三)紙花的開花現象，主要科學原理為：紙與水之間的毛細現象。

陸、研究結論

一、影響紙花克服力矩開花主要因素為？

(一)直接影響因素：

- 1.紙花的摺法(花瓣間的重疊性)：圓形紙花的花瓣間須依序開啟造成開花現象變慢；方形紙花的花瓣其花瓣間並無重疊所以可同時開啟。
- 2.製作紙花之取用材質，孔隙數多寡、紙張吸水性。
纖維不能太緊密、單位面積孔隙數越少、無厚重塗料、厚薄程度、儘量選用最小磅數，吸水性會最佳，速度亦達最快，可避免實驗中因吸水性差、泡水過久，導致水穿透至紙花花瓣尖端，讓尖端吸水過重無法順利開花。
- 3.製作紙花過程之壓線緊實度，花瓣與底面連接之線條為花瓣開花的主要因素。
透過工具之平均施力可影響花瓣開花之一致性程度，若在紙花製作後再長時間重力加壓，將延長開花時間。
- 4.溫度提升造成毛細現象加快反應，溫度與開花快慢呈正向影響，30 至 40 度之間最劇烈反應。

(二)間接影響因素：

- 1.紙花平均邊長 15 公分的大小較快打開。
- 2.花瓣與底部摺疊的邊線之吸水毛細現象作用影響紙花開花成功與否，若破壞紙本身表面塗料，更易讓紙之纖維吸水，使開花速度最佳化。
- 3.紙花底部的摺線 2 條跟 4 條較易讓紙花開花。
- 4.紙花底部吸水面積大小在 1x1 與 6x6 使開花較快。
- 5.製作紙花後，長時間擺放暴露在空氣中，或梅雨季節，皆會延長紙花伸展時間。

二、應用建議：

(一)在教學上：

可選用價格較平易近人、容易購買、已裁切為 15x15 最適方形大小之蠟光色紙進行課程，或者環保再利用、單位面積孔隙較少的報紙。同時避免選在梅雨季節、寒流時進行教學，或製作後放置過長時間，常造成開花過程變慢，觀察與課程進行不易。

(二)在公開活動上：

選用厚牛皮紙為製作材料，延長紙花開花時間，因厚牛皮紙在紙張纖既細又多層緊密重疊之下，單位面積孔隙數多，使紙花表面防水性質，在氣候轉換成飄雨時，亦可繼續進行紙花開花活動。

三、本實驗研究限制：

- (一)紙花紙質材料依當時便利選用。
- (二)測量次數 10 次為單位，未繼續擴大。
- (三)紙花製作以人力徒手配合工具完成，施力與摺疊上有人為誤差。
- (四)溫度測量誤差值正負 0.5 度中完成實驗。
- (五)紙張孔隙數是人為判定，恐有誤差。

四、未來研究建議：

(一)紙的因素：

- 1.加入更多紙材比較。
- 2.多邊形重瓣紙花的開花研究。
- 3.紙花舉起花瓣時，力矩應用現象。
- 4.對於紙張孔隙數觀察增加樣本數。

(二)水的因素：

- 1.不同水溶液性質
- 2.水溶夜高度

(三)環境的因素：

- 1.環境溫度

柒、參考資料及其他

一、陳忠照(2010)。More than-磨練—親子科學遊戲。時兆出版社。

二、國立台中教育大學科學應用與推廣系-科學遊戲實驗室

http://scigame.ntcu.edu.tw/site1/Game_paper1.html

三、國科會自然科學教育平台—毛細現象

<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=1522>

四、教育 Wiki—毛細現象之日常生活小案例

<http://content.edu.tw/wiki/index.php/%E6%AF%9B%E7%B4%B0%E7%8F%BE%E8%B1%A1>

五、原紙及塗佈層結構對熱昇華轉印紙適性影響之探討

<http://www.cepp.gov.tw/TheFiles/publication/33fe3dfa-6c7b-4cc0-881e-14400d970966.pdf>

六、地下水學習教材--地下水之流動 - 地下水觀測網

<http://pc183.hy.ntu.edu.tw/gw-learning01.php>

【評語】 080111

紙花浸水開花是童趣經驗之一。本作品探究影響開花過程的數種變因。雖然細緻如以顯微鏡觀測纖維的細微結構與分佈，但對於開花過程影響的主要變因仍有待進一步釐清。