

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高中組 物理科

040113

我的課本合不密

學校名稱：新北市立永平高級中學

作者：  高二 林孟睿  高二 劉家維  高二 吳尚庭	指導老師：  石明峰  沈文俊
---	-----------------------------

關鍵詞：表面張力、紙的形變

## 摘要

利用自製的等臂天平進行各液體表面張力的測定，再使用固定大小的紙張浸泡在以測定之液體中，用強光、陰乾、曬乾、書本吸乾…，使液體蒸發，再使用複式顯微鏡利用焦距的變化，來測定固定長度單位中紙張的形變程度大小，並且比較表面張力與紙張形變程度的相關性。

## 壹、研究動機：

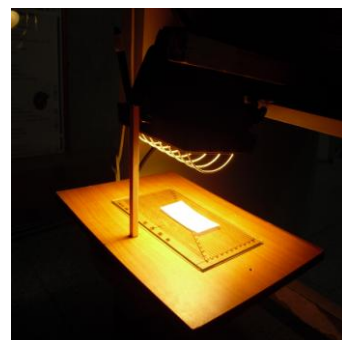
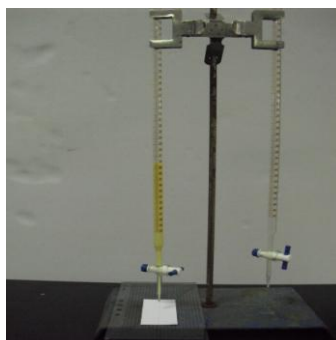
苦悶的高中生活，我們一天到晚不停唸書，唸到頭好暈，有一天我一邊喝著水一邊看書，不小心就把水打翻在書上，我趕緊擦拭並且用吹風機吹乾之後，書仍然是凹凸不平的，我就開始想，為什麼會皺皺的？假如這是的話油也會這樣嗎？這是什麼原因造成的？便與我們的物理老師討論，得知這可能與表面張力有關，於是開始了這次的實驗。

## 貳、研究目的：

- 實驗一、定溫下，探討不同溶液的**表面張力**
- 實驗二、不同吸水時間，相同溶液是否會影**紙張的形變程度**
- 實驗三、不同溶液的**表面張力**是否會影響**紙張的形變程度**
- 實驗四、不同方式**蒸發**，相同溶液是否會影**紙張的形變程度**
- 實驗五、**定量**的不同液體、所造成的形變程度

## 參、研究設備及器材

- 一、液體：自來水、紅茶、蜜豆奶、可樂、牛奶、醬油、酒精 95%、無糖綠茶、運動飲料、甘油
- 二、天平器材：塑膠呎、軸承、塑膠呎、鐵棒、黏土、圓環、塑膠杯、滴管
- 三、其他器材：滴定管、皮尺、複式顯微鏡、A4 影印用紙、照明燈(功率 500J)



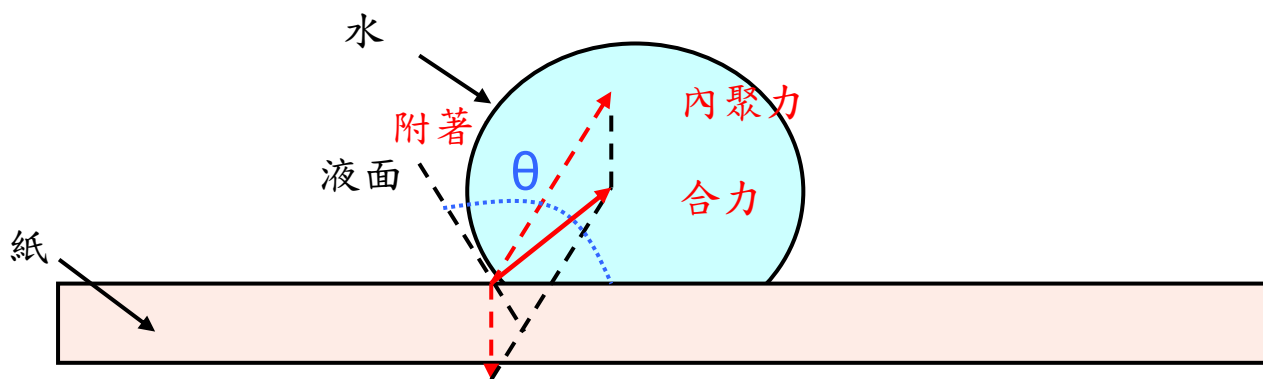
## 肆、研究方法或過程

### 一、實驗一原理與說明

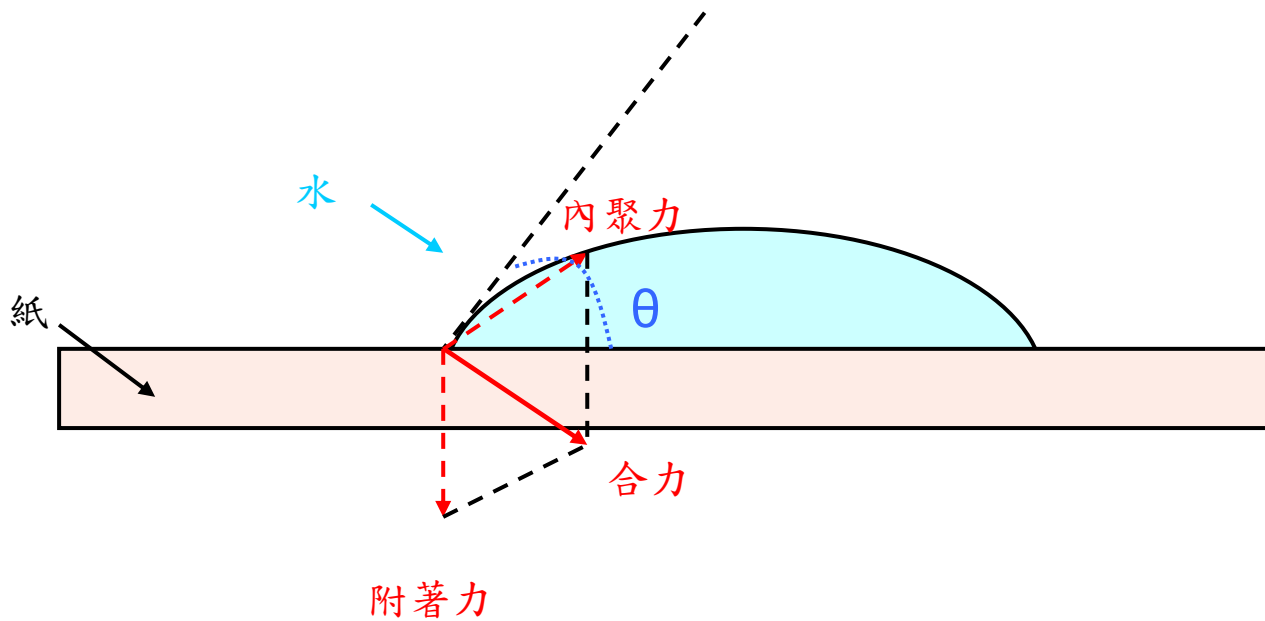
#### (一)內聚力與附著力

1、每個分子之間都具有引力，而相同分子之間的引力稱為內聚力，相異分子之間的引力則稱為附著力。

內聚力 > 附著力



附著力 > 內聚力



2、在液體中任一分子皆為分佈於其周圍(大致對稱)的分子所吸，然而在液體表面上的分子僅部份被其他分子所圍繞，因此其僅承受向液體內部的吸引力，此吸引力將表面上的分子往外拉稱為“表面張力”。

## (二)液體的表面張力

1、液體表面有表面張力，所以當我們用圓環在液體中，再提到表面以上時，液體表面積將增加，即需要作功，此功等於增加的表面積乘以表面張力，也就是需要用力去提起圓環

## (三)公式

1、設環周長為 $L$ ，液面至圓環提上到液膜破裂的距離為 $h$ ，而且因為薄液膜有兩面，所以實際上表面積的增加，即 $2Lh$ ，故所作的功為 $W$   $W = F \times h = 2Lh \times T$ ， $T = F \div 2L$  其中 $T$ 是表面張力， $F$ 表拉力

假設已知純水的表面張力 $T_1$ ，那麼只要測定純水與待測液體相對應的拉力 $F_1$ 與

$F_2$ ，則待測液體的表面張力 $T_2$ 為  $\frac{T_2}{T_1} = \frac{F_2}{2L} / \frac{F_1}{2L}$  所以  $T_2 = T_1 \times \frac{F_2}{F_1}$   $T = \frac{F}{L} = \frac{F}{2\pi R}$

## 二、實驗二、三、四原理與說明

### (一)

1、將紙張浸入下列各液當中：

自來水、紅茶、蜜豆奶、可樂、牛奶、醬油、酒精 95%、無糖綠茶、運動飲料、甘油

(二)使用下列不同的蒸發方式讓紙中的水分子蒸發

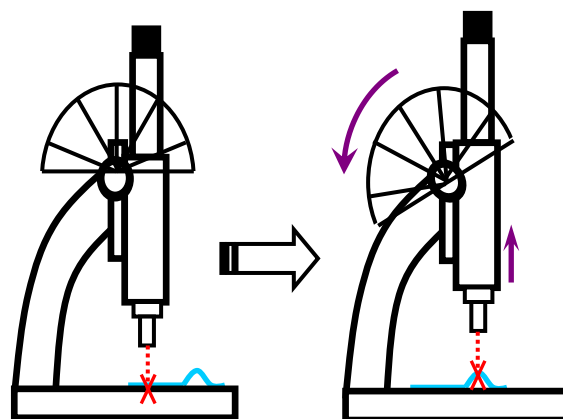
- (1)、照明燈的強光照乾
- (2)、放置室內的陰涼處自然陰乾
- (3)、夾入書本中並加壓吸乾
- (4)、放置太陽下晒乾
- (5)、用吹風機吹乾

(三)使用顯微鏡利用焦距測定形變量

1、找出粗細調節輪的比例關係：利用固定高度差，測出粗細調節輪需旋轉多少度，才可使影像清晰

2、將角度換算成高度變化量：1度=0.05mm

3、測量定點紙張的形變量



## 實驗一的步驟

### 一、變因：

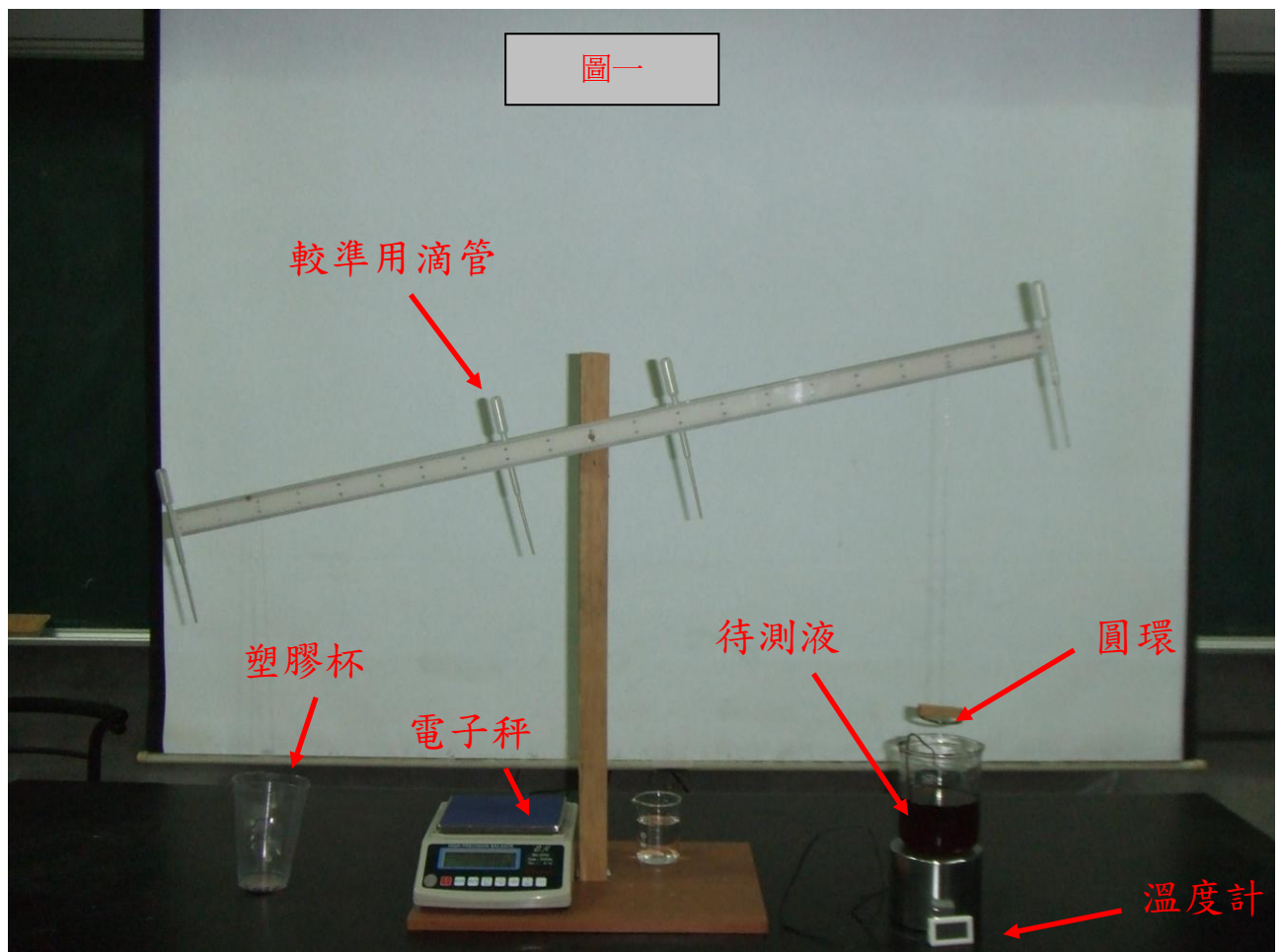
- 1、操縱變因：相同溫度
- 2、控制變因：不同的液體

### 二、研究步驟：

- 1、將裝好待測液的燒杯置於電子秤上，並將電子秤歸零。
- 2、將圓環放入待測液中
- 3、再另一端緩緩滴入水，使此端變重產生力矩拉動另一端
- 4、觀察電子秤的讀數，所觀測到的數值及為表面張力。

### (一)將液體的表面張力測定：

- 1、自製表面張力測定儀器(如圖一)：利用等臂天平的槓桿原理，將鐵環和紙杯懸掛於兩側，並利用自製較準用低管使左右平衡，利用紙杯內盛裝的水溶重量造成對圓環的拉力，恰將圓環拉起。



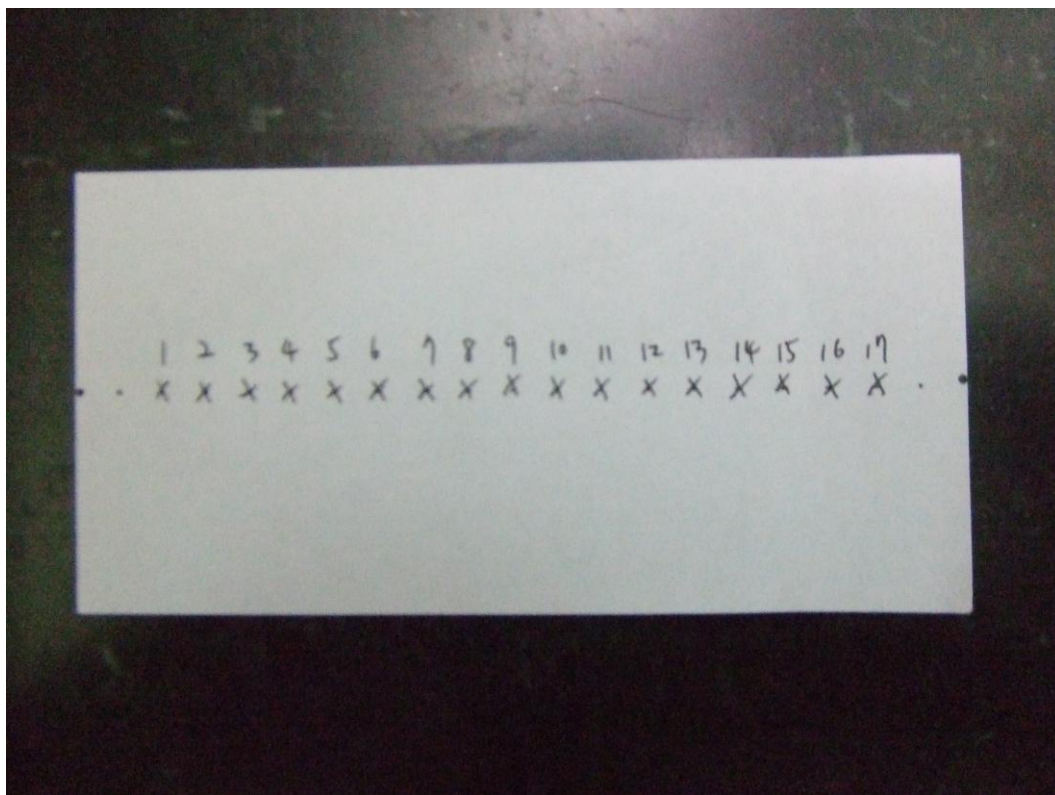
## 實驗二的步驟

### 一、變因：

- 1、操縱變因：吸收液體的時間 10s、1min、5min、10min、30min
- 2、控制變因：溫度 20°C、相同液體、相同的蒸發方式

### 二、研究步驟：

- 1、將裁好的紙張放在液體表面，並開始計時
- 2、將浸泡好的紙張利用照明燈照乾
- 3、置於載物臺上用顯微鏡測量
- 4、測量定點紙張的形變量



## 實驗三的步驟

### 一、變因：

- 1、操縱變因：不同的液體
- 2、控制變因：溫度 20°C、相同的蒸發方式、相同的吸收時間 1min

### 二、研究步驟：

- 1、將裁好的紙張放在不同液體表面，並開始計時 1min
- 2、將浸泡好的紙張利用照明燈照乾
- 3、置於載物臺上用顯微鏡測量

## 實驗四的步驟

### 一、變因：

- 1、操縱變因：不同的蒸發方式
- 2、控制變因：溫度 20°C、相同的液體(水)、相同的吸收時間 1min

### 二、研究步驟：

- 1、將裁好的紙張放在不同液體表面，並開始計時 1min
- 2、將浸泡好的紙張利用照明燈照乾
- 3、置於載物臺上用顯微鏡測量

## 實驗五的步驟

### 一、變因：

- 1、操縱變因：不同的液體
- 2、控制變因：溫度 20°C、相同的蒸發方式、定量的液體體積

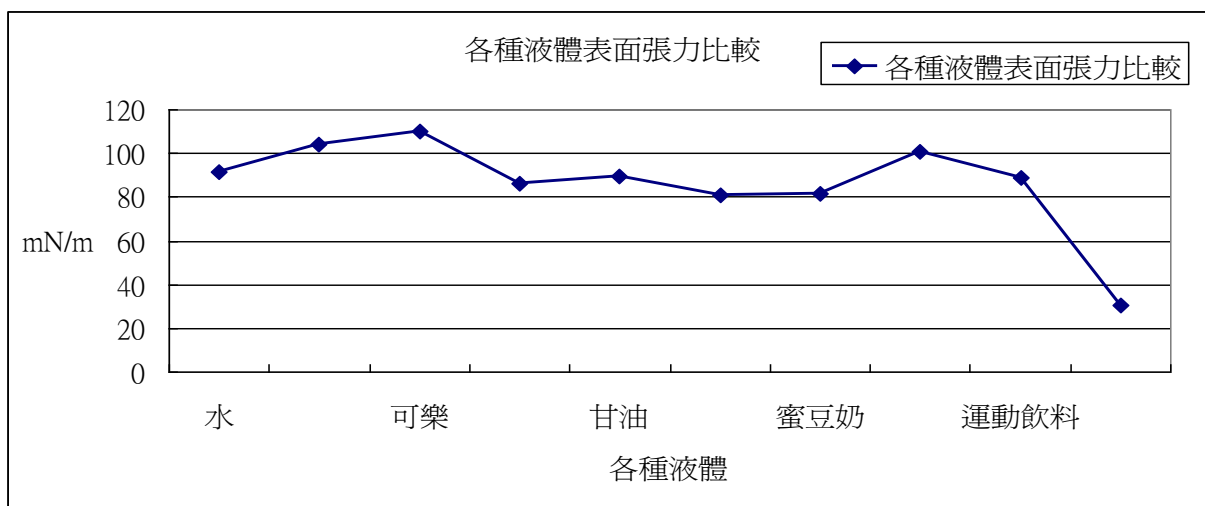
### 二、研究步驟：

- 1、將不同的液體裝入滴定管中
- 2、計算出每滴的體積
  - (1)、自來水=0.04ml
  - (2)、紅茶=0.04ml
  - (3)、蜜豆奶=0.033ml
  - (4)、可樂=0.04ml
  - (5)、牛奶=0.033ml
  - (6)、醬油=0.016ml
  - (7)、酒精 95%=0.02ml
  - (8)、無糖綠茶=0.04ml
  - (9)、運動飲料=0.05ml
  - (10)、甘油=0.03ml
- 3、將定量的液體滴於紙的定點上
- 4、將滴好的紙張利用照明燈照乾
- 5、置於載物臺上用顯微鏡測量

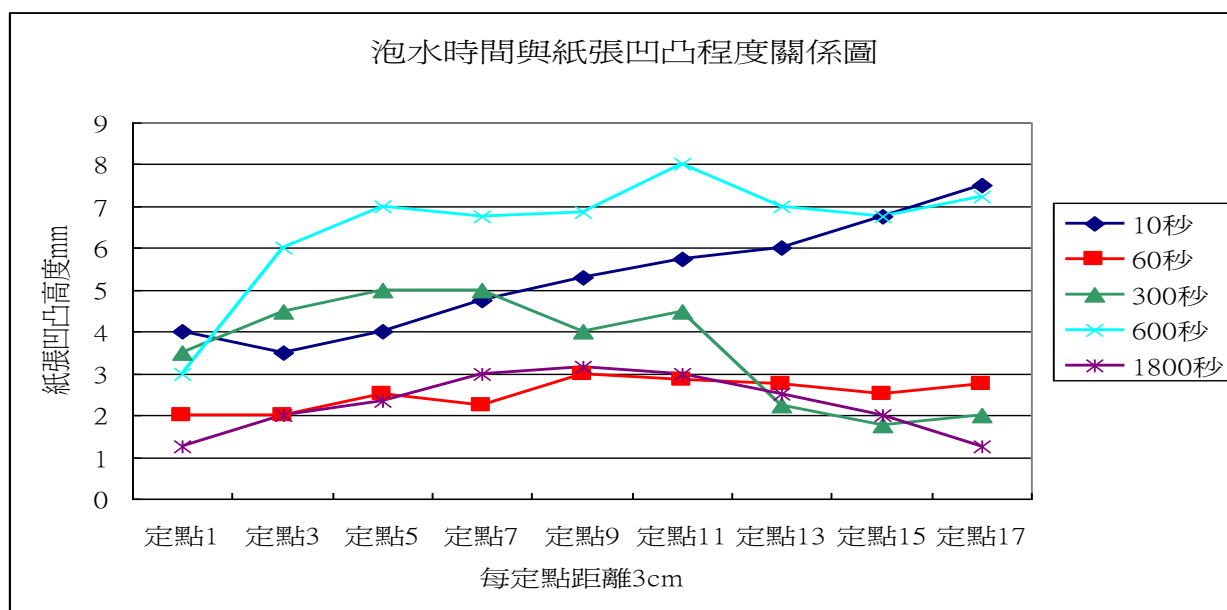
## 伍、研究結果

### 實驗一的研究結果 了解不同液體的表面張力

#### 一、不同液體再不同溫度下的表面張力



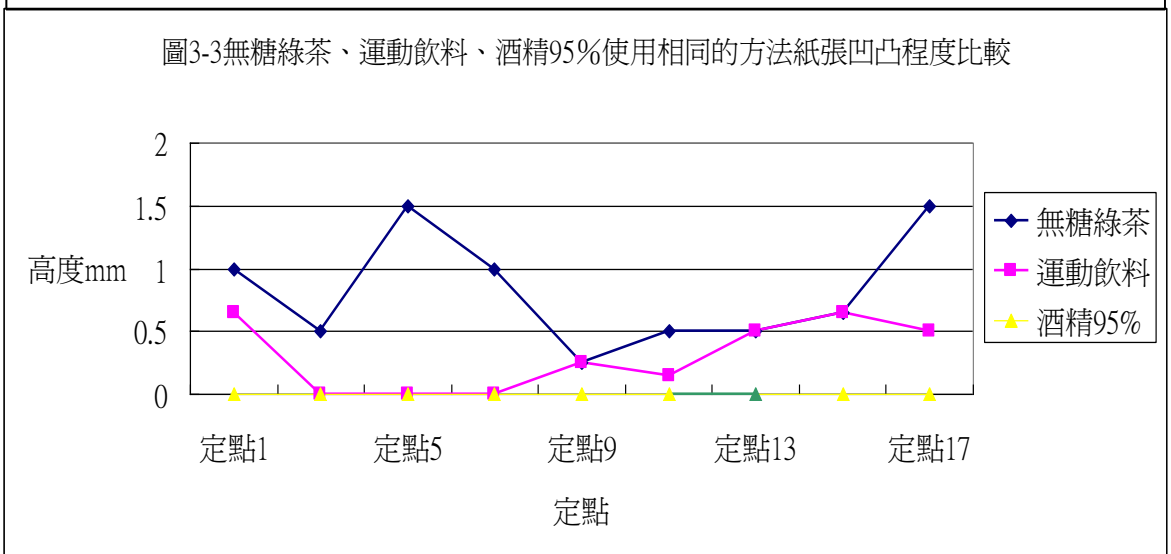
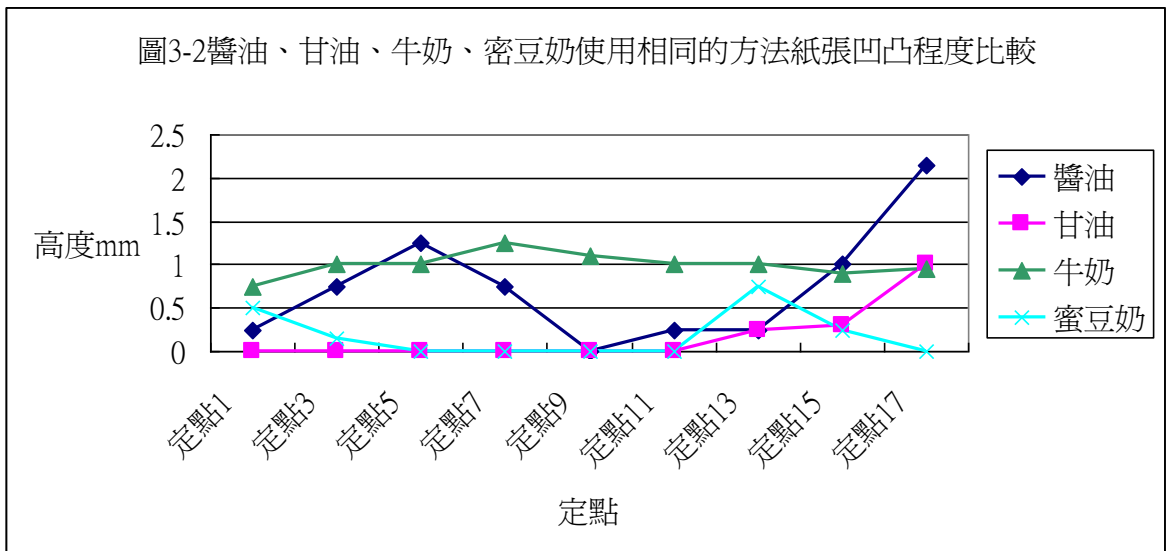
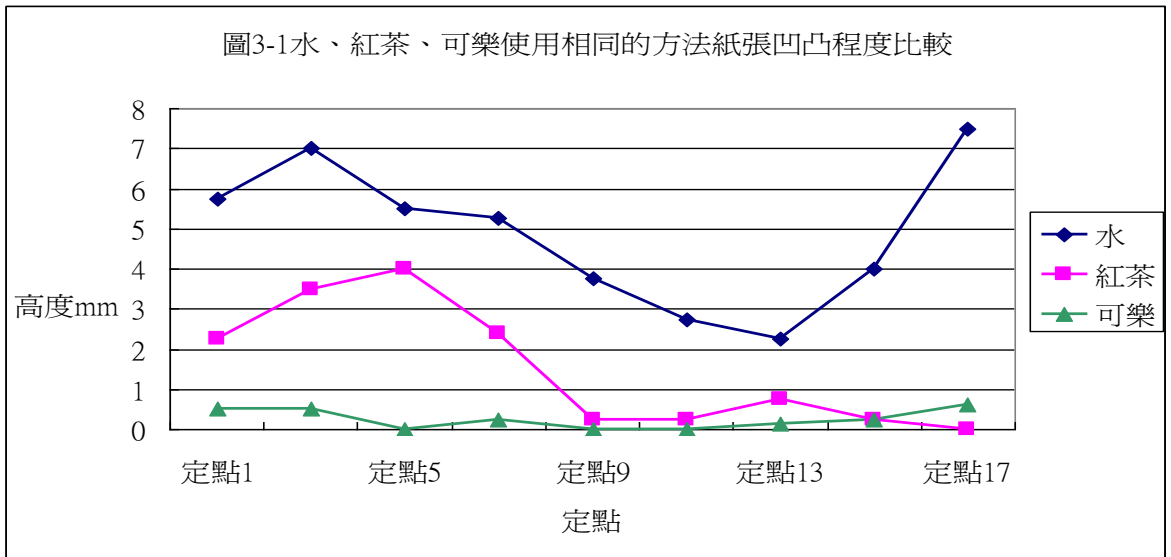
### 實驗二的研究結果 不同吸水時間對紙的凹凸影響





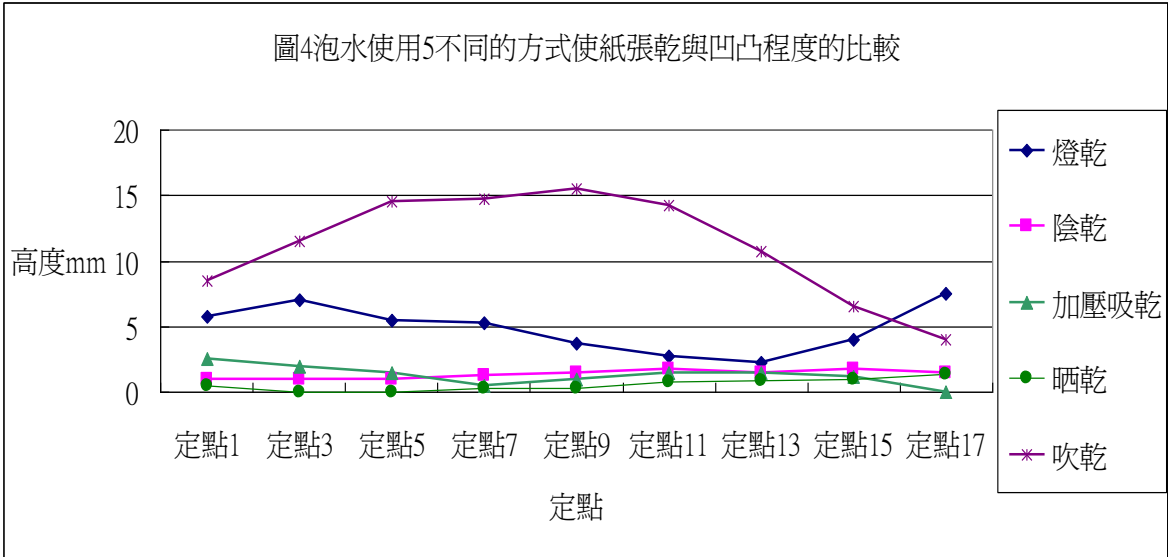
## 實驗三的研究結果

了解不同液體表面張力對紙凹凸的影響



## 實驗四的研究結果

### 了解不同蒸乾方式對紙凹凸的影響



將紙張放在水的表面使之吸水，使用 5 種較常見且較生活上的方式使紙張乾燥，以比較不同的方法是否影響凹凸程度的關係。

1. **燈乾**是使用鹵素燈距離紙張八公分使紙燈乾(其中距離是以方便測量又可完全罩住紙張為原則)。
2. **陰乾**是將所泡水紙張放在實驗室的抽屜內自然蒸發變乾。
3. **加壓吸乾**是指將紙張放進書本中，再將重物壓在書本上方使紙張完全變乾即可。
4. **曬乾**是將紙張擺在實驗室窗邊陽光透射處加以蒸發。
5. **吹乾**是以吹風機吹乾。

## 實驗五的研究結果

### 定量的不同液體對紙凹凸的影響

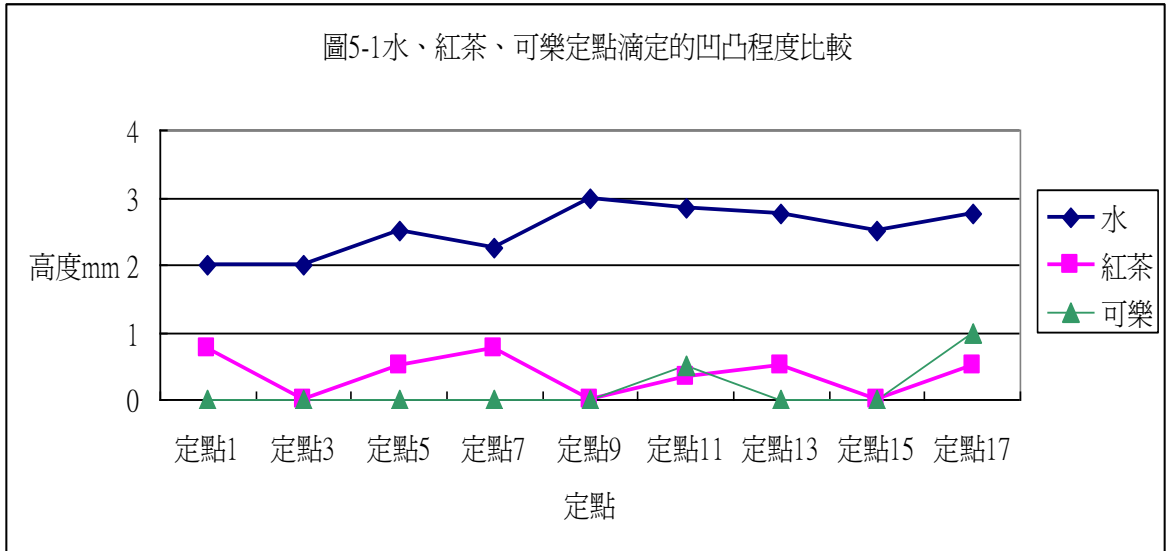


圖5-2醬油、甘油、牛奶、密豆奶定點滴定的凹凸程度比較

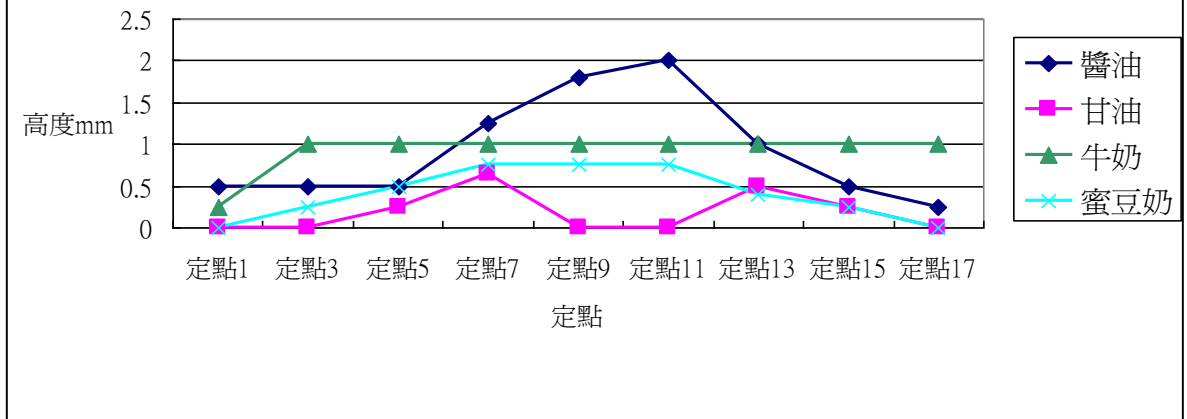
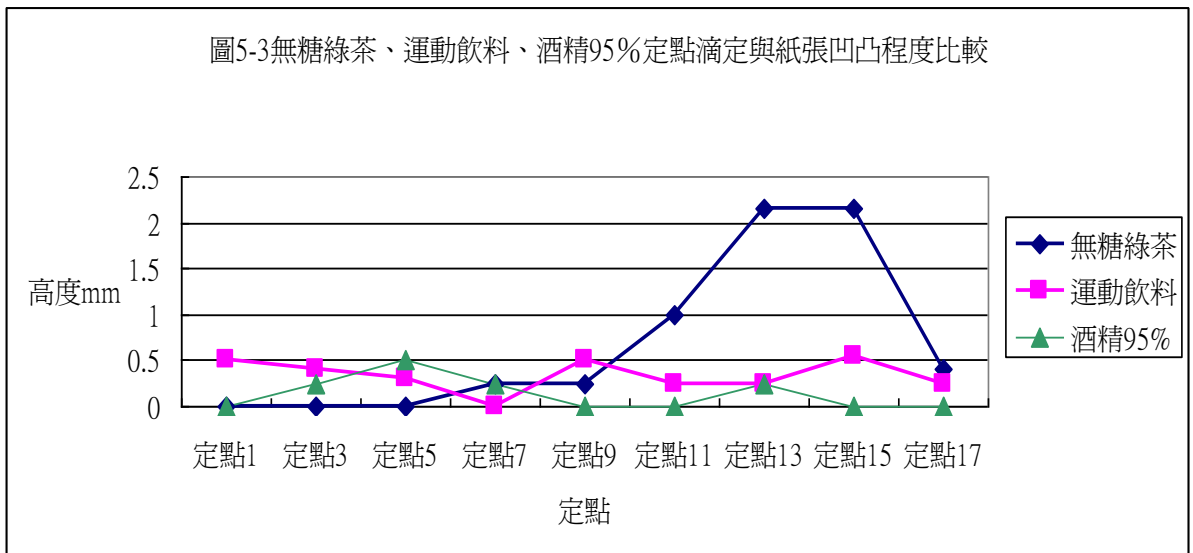


圖5-3無糖綠茶、運動飲料、酒精95%定點滴定與紙張凹凸程度比較



## 陸、討論

### 【實驗一】測量各液體的表面張力

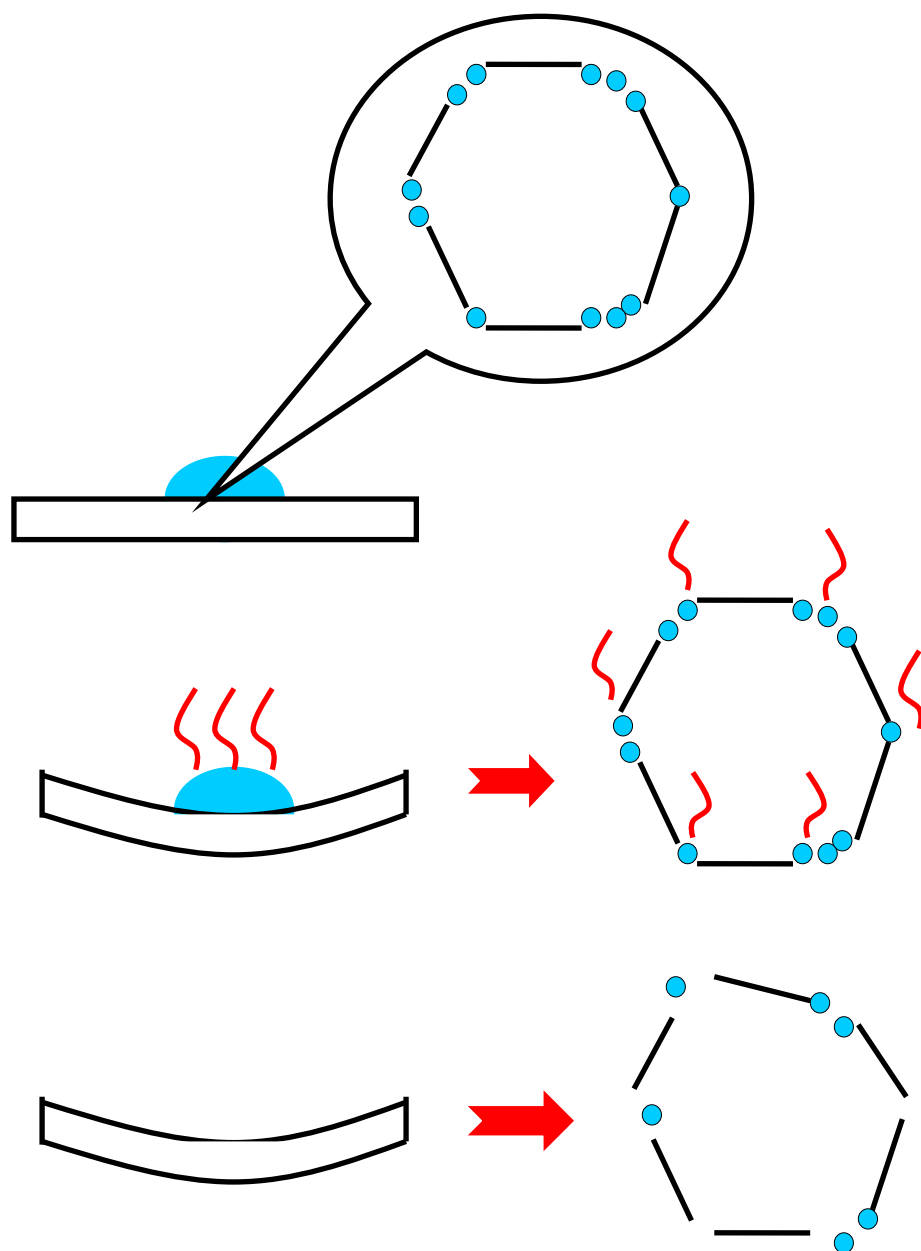
(一) 根據我們所查到的資料發現我們所測出來的表面張力值有很大的差異，原因來自我們的使用儀器有許多誤差，根據我們討論的結，果發生誤差的可能性如下：

1. 天秤中使用軸承來減少摩擦力，但仍有少許摩擦力存在，再加上在黏著時使用的熱熔膠也會造成摩擦力。
2. 我們主要是使用電子秤來拉圓環，但圓環是屬於雙層式，包含內層和外層且有一定的厚度，再加上我們使用線將圓環黏住但用久了之後，發現到有高低差的現象，圓環已經處在歪斜的情況，放在液體表面時因為圓環有厚度可能還會把一部分的水拉到上面的部位導致測量不精準。

### 【實驗二】泡水時間長短對紙張凹凸程度之間的關係

從圖表中我們發現，竟然是紙泡水 10 秒時凹凸程度最劇烈，根據觀察結果和資料佐證，一開始放下去時只有邊緣在吸水，因為在切割紙張時，將部份纖維切邊緣成爲斷裂處，因此較不緊密且空隙較大，纖維和纖維之間因空隙較大所以能快速容納水

分，紙張蒸乾之後的彎曲主要是因為，紙張纖維是鏈狀賽璐珞分子構成，賽璐珞分子是六角環狀糖分子串連而成，在纖維和纖維之間，賽璐珞分子可以藉糖分上的羥基形成氫鍵，這些鏈間的氫鍵部位可以再納入水分，如下圖



這也就增加了纖維和纖維之間的距離，水的侵入同時破壞了纖維間的氫鍵結合，使較多的纖維僅僅由凡得瓦力結合，使的纖維之間鍵解明顯下降，當烘乾後紙纖維已部分被水解仍有許多氫鍵無法回復，所以就造成紙張凹凸不平，而當只有邊緣吸水時，因其他部分明顯吸水較少，破壞也較少，所以紙張就朝乾燥面變形了。

(二) 從各種資料的顯示，破除了我們原本以為泡越久作用力越久彎曲應該會最嚴重，主要是因為紙張吸水的飽和度我們無法算出來，就算泡了 1 天我們也無法證明每一個纖維之間的空隙都被水給侵入，所以就算泡了 1800 秒纖維緊密處不一定會被破壞掉，而且我們的實驗用紙，每一張都是從一張大張的 A4 紙上所裁減下來的，所以可以說是每一張纖維分部都不盡相同，但是從圖表來看，的確時間並不是主因，而是紙張內纖維的材質才是影響的關鍵之一。

(三) 雖然說我們都是用同樣強光使紙張乾，但除了 10 秒鐘和 60 秒鐘花費的時間大致相同以外，泡 300 秒 600 秒 1800 秒花費照乾的時間卻沒有明顯的以比例成長，根據我們討論的結果，因為紙張飽和程度我們無法測量，而且紙張在強光照射下，每一張紙的水分部都不一，上層的水分應該會先被蒸發掉，但我們無法觀察出哪張紙，水大部分分部於上層或是分部於下層，所以如果要深入了解就必須直接觀察出紙張纖維與水的分布才能更精準的下結論。

### 【實驗三】使用相同的蒸發方式，不同得液體測量紙張凹凸程度的關係

- (一) 此實驗也使用強光使液體蒸發，我們一開始的推論是，表面張力大的物質因為內聚力較大，以水為例子，如果把水分子與水分子之間產生的氫鍵當成主要的拉力可以把他定義為內聚力，而水分子也會對纖維造成一個力[此時並不能完全把這股力視為附著力，因為當紙張吸入水分且還沒變乾時，水分子將纖維跟纖維之間的距離加大且將纖維膨脹，且水跟纖維之間野可以產生氫鍵，所以這些氫鍵就暫時支撐住原先纖維和纖維之間的氫鍵，但當水一沒有，水與纖維產生的氫鍵也因此消失]所以還沒蒸發時水和水的內聚力要和水對纖維的力和水分子和纖維產生的氫鍵合力相等[所以如果內聚力越強，反之液體與纖維產生的氫鍵和液體與纖維的作用力也越大]，當水要蒸發的時候上層的水分子先被蒸發掉，上層水和水之間的拉力[內聚力]和水分子和纖維產生的氫鍵也消失掉了，剩下纖維和纖維之間的吸引力但其他部分的水並未乾掉，纖維和纖維之間互相牽引著所以為乾掉的部分的纖維原先是一個力平衡，但因為不均勻的蒸發，導致先乾掉部分的纖維拖累著尚未乾掉的纖維使平衡被破壞。
- (二) 但從實驗數據顯示出來，水的表面張力不是最大的但卻是凹凸程度最為明顯且每個點的起伏程度也比其他液體來的明顯很多，除了紙張內部纖維的不同，主要原因經過我們分析，大部分的飲料中都含有很多雜質和不定性物質，這些是我們無法觀察到的，而且當成分越複雜，液體與纖維就越難形成鍵解，成分的複雜度也對紙張彎曲程度造成很大的影響，除非能將飲料中所以成分作分析在討論他與紙張纖維之間的互動，才能非常精準的測出實驗結果。
- (三) 所以如果單單比較水、甘油、酒精來看的話，這三樣比較純的物質來作比較，的確表面張力越大所造成的影響越大，但紙張不易與甘油產生互動，因為甘油的黏滯程度要比水來的大，當泡下去時吸收速度並沒有非常的快速，一方面是因為黏稠所以吸收的較緩慢，一方面是因為甘油分子比水分子來的大許多，當甘油還沒被纖維吸收時我們就已經開始照光蒸乾，所以造成的破壞也較少，至於酒精因為很容易揮發，所以還沒吸收完全一部分就揮發掉了，所以造成的變化也很小。

### 【實驗四】將泡水的紙張用不同的方式使之變乾，測量出不同方式與紙張凹凸程度關係

我們採用了 5 種不同的方式使紙張變乾，先泡過水 1 分鐘再拿來實驗，發現到用燈光照，看似快速但起伏程度卻非常大，我們以為燈乾一方面是均勻受熱一方面又能快速的蒸乾，但我們之前忘了考慮到紙張內部水的分部的狀況，所以這是一種快速但卻不均勻的方式，如同上述探討的因為一部分的水分快速被蒸乾，所以導致乾的纖維很快速的就牽連著還沒乾的纖維使纖維一下子就受到劇烈變化，產生比預期更大的

形變量。

- (二) 至於陰乾的方式，是一種緩慢但卻稍微均勻的方式，因為我們擺放在室內並不會有風的干擾，所以主要是慢慢的蒸發，且纖維中水分子的分部並不會有些地方很快速的就先乾掉，所以做出來的結果跟我們預期的差不多。
- (三) 加壓吸乾，我們將紙張夾在書本中，再用重物壓在書本上，一方面施與外力使纖維趨於緊密，一方面書本的紙張又能吸水，速度上也算快速而且凹凸程度也沒有非常劇烈，主要是因為當你將纖維壓緊密所以上層和下層之間距離減小所以較能視為均勻的吸水，所以形變量也沒有非常明顯。
- (四) 我們將紙張放在窗戶下利用陽光將紙張晒乾，同樣也是在室內，所以排除了風的影響，但因為陽光並沒有非常的強烈，所以蒸乾的速度沒有非常快，但是卻與我們預期的不大一樣，凹凸程度是最少的，可能測試的紙張內部的水分布不均勻，大部分分布在上層之外，但也可能陽光只造成溫度的升高，並沒有很明顯的使某一部份先乾掉。
- (五) 使用吹風機吹乾出來的結果是在預期之內，因為吹風機只離紙張約只有 2cm 的距離，所以只吹到一部分，當然那一部分就先乾掉，而風打到紙上向外擴散的風也使他很快的乾掉，但因為又快速又不均勻，從上述推論的確也是非常凹凸不平的一個實驗。

#### 【實驗五】將紙張用滴定管滴在定點處，測量出定點紙張凹凸的程度與不同液體的關係

我們使用滴定管裝不同的液體，滴定在定點上去測量發現到與實驗三並沒有明顯的差距，水還是起伏很大，甘油 酒精起伏還是很小，其他數據也都與實驗三用泡的所測量各液體的差異並沒有明顯不同，主要差別在於紅茶，根據推論，紅茶滴定的時候所測出的結果都偏小，主要因為每個定點相差 1cm 所以每個定點纖維的緊密程度都有所不同，與用泡水的從邊緣開始吸水是不一樣的方式，因為定點大多是屬於沒有切割過的部分，所以吸水量與速度明顯比較慢，此實驗的凹凸程度平均每個液體都比實驗三來的小，至於實驗三的红茶為什起伏如此龐大，可能就是紙張纖維水分部的影響了。

## 柒、結論

- 一：我們觀察的結果，泡水時間的長短並非主要因素，紙張的飽和需經過測定且紙張中纖維的分布是引響吸水的關鍵，進而影響纖維與水的關係，成為紙張彎曲的關鍵因素。
- 二：蒸乾的方法相同，但不同液體造成的彎曲程度也都不同，但除了水、甘油、酒精這三種較純的液體之外，影響到紙張彎曲的因素還有很多，但從上述三種液體可以證明出表面張力與紙張彎曲確實有相關，而其他液體因為組成成分過於複雜，我們現有的儀器無法精確的測量出其他成分對紙張彎區是否有相關，所以無法完全證實。
- 三：我們發現到使用吹風機使紙張變乾所造成的起伏程度較大的，而自然晒乾是起伏較小的所以起伏程度是吹乾 > 燈乾 > 加壓吸乾 > 陰乾 > 晒乾。
- 四：在實驗五的實驗中，發現與實驗三有相同的盲點與不確定性，大部分的數據的大小相對性都與實驗三是相符合的，而紅茶是比較不符合的，因為我們無法觀察到



每一張紙內部纖維的構造，所以無法很精準的做出判斷與推論，只能姑且評斷泡紅茶的幾張實驗用紙，相較於滴定時的實驗用紙纖維為內部構造較不穩定，纖維的斷裂面較多，而水分與纖維的分布也較不平均所造成的。

## 捌、參考文獻及其他

- 一、歐陽鐘仁(民 68)。肥皂泡的世界。臺初版。台北市：中正出版社
- 二、顏啓麟(民 84)。中華民國中小學科學展覽第二十一屆至三十屆優勝作品專輯。台北市：秉宜彩藝出版社
- 三、表面張力(無日期)。取自：[http://experiment.phys.nchu.edu.tw/EZphysics/ex\\_h/ex\\_h.pdf](http://experiment.phys.nchu.edu.tw/EZphysics/ex_h/ex_h.pdf)
- 四、力來擋面－自製天秤測表張。取自：  
<http://www.psjh.cy.edu.tw/~science/studauthor/97/phy05.doc>
- 五、水溶液的種類對表面張力增減的影響。  
取自：<http://www.chemedu.ch.ntu.edu.tw/~byjin/Bubble/science/surface1.htm>.
- 六、彭旭明 化學鍵 科學月刊 74－4 月號
- 七、J. C. Speakman, The Hydrogen Bond, The Chemical Society, 1975.
- 八、游創柔 水為何使玻璃較易裂開？ 科學月刊 71－7 月號科學新粹
- 九、.D. J. Shaw, Introduction to Colloid and Surface Chemistry, Butterworth & Co. Ltd., 1980.
- 十、開泰 液體表面張力和氣化熱的關係 科學月刊 74－8 月號

## 【評語】 040113

1. 本作品以生活周遭之經驗觸發，進一步探索表面張力與紙張結構之微觀圖像，動機與發想過程值得鼓勵。
2. 本作品之實驗設計與誤差考慮均有改善空間