

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 物理科

030107

蒸發吧!液滴

學校名稱：臺東縣立寶桑國民中學

作者：  國二 林寶婕  國一 張芳瑜  國一 羅翊辰	指導老師：  楊惠如  陳惠菁
---	-----------------------------

關鍵詞：液滴、內聚力、附著力

## 摘要

本研究在探討「不同液體的液滴」在「不同的固體表面」上的蒸發行為。研究的目的有三：

1. 觀察不同溫度及體積的水在固體材質上的蒸發情形；
2. 觀察不同液體在不同固體表面上的蒸發情形；
3. 探討液滴蒸發過程的接觸角、高度及直徑的變化。

本研究統整不同液體於不同固體表面上的蒸發狀況可得到以下結論：液體的內聚力及與固體表面的附著力，會影響接觸角的大小，液滴的接觸角與蒸發的速率有關，接觸角角度越大，內聚力相對附著力越大，而蒸發時間越長；接觸角角度越小，內聚力相對附著力越小，而蒸發時間越短。

## 壹、研究動機

我們觀察飲料杯上的水珠時發現：有些水珠會停留在杯子上，有些卻順勢流到桌面，引發我們的好奇。查詢資料時，2002 年國際科展劉承華在〈液滴在我眼前蒸發〉報告中對液滴的蒸發有許多觀察。隨著新型冠狀病毒(COVID-19)肆虐著全球，德國格來斯瓦德大學環境衛生醫學研究所教授 Günter Kampf 的團隊，針對冠狀病毒在物體表面存活的持久性以及消滅病毒的方法進行研究，其結果發現冠狀病毒，能存活於物體表面，2 小時到 9 天不等。由此結果，我們開始思考病毒的存活時間是否受到飛沫在固體表面停留時間的影響；故針對液滴在固體表面的蒸發行為進行研究。

## 貳、研究目的

- 一、觀察不同溫度及體積的水在固體材質上的蒸發情形
- 二、觀察不同液體在不同材質及粗糙度的固體上的蒸發情形
- 三、探討液滴蒸發過程的接觸角、高度及直徑的變化

## 參、研究器材及設備

- 一、主要器材：攝影機、恆溫加熱板、微量滴管、尺、溫度計、自製散光板、電子秤、手機水平儀程式、PicPick 軟體。

- 二、實驗材料

- (一)材質：玻璃、毛玻璃、銅片、鐵片、鎳片、鋅片、鋁片、鉛片、P80 砂紙、P180 砂紙、P240 砂紙、P400 砂紙、P1500 砂紙、P3000 砂紙、塑膠、紙盒、鋁箔、蠟紙、矽膠、奈米(奈米材質汽車噴霧)

(二)液體：水、鹽水 20%、糖水 20%、咖啡、茶、牛奶、酒精 75%

### 三、實驗架設



(一) 手電筒置於描圖紙後方，打背光，錄影時液滴較為明顯，方便觀察。

(二) 液滴以微量滴管滴於材質上方恆溫加熱板上。

(三) 攝影機則架設在恆溫加熱板前方，從對向打光，以利於拍攝。

(四) 我們的實驗皆在恆溫加熱板上操作，控制溫度。

## 肆、研究過程及結果

### 一、實驗設計



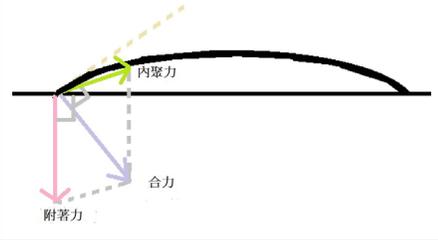
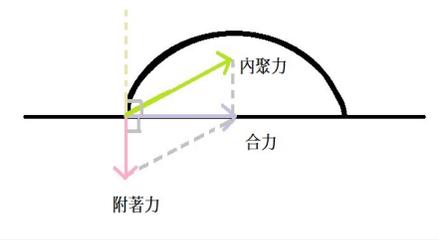
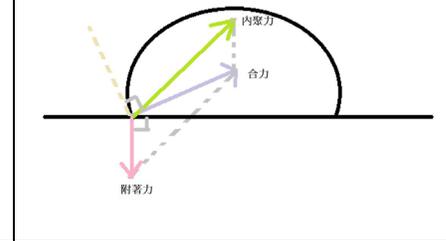
### 二、實驗方法

#### (一)名詞解釋

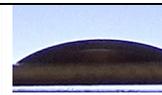
1.內聚力：同一種物質→內部分子間相互吸引的力。

2.附著力：兩種不同的物質接觸時，表面分子間的相互吸引力，稱為「附著力」。

(二)接觸角的定義；液滴與接觸固體表面會有個接觸點，該點切線與固體平面所夾的角即為接觸角。

		
當接觸角小於 $90^\circ$ (銳角)時， 附著力大於內聚力	當接觸角等於 $90^\circ$ (直角)時，內 聚力大於附著力	當接觸角大於 $90^\circ$ (鈍角)時， 內聚力大於附著力

(三)液體蒸發過程的影像示例

初始接觸角 大於 $90^\circ$ 度						
	0'00"	4'00"	8'00"	12'00"	16'00"	20'00"
初始接觸角 等於 $90^\circ$ 度						
	0'00"	3'30"	7'00"	10'30"	14'00"	17'30"
初始接觸角 小於 $90^\circ$ 度						
	0'00"	3'30"	7'00"	10'30"	14'00"	17'30"

(四)液滴蒸發觀察:我們將一定體積的液體滴於不同材質上，且置於恆溫加熱板上方，因為液滴體積太小，肉眼不易觀察蒸發的情形，因此利用攝影機拍攝，以便觀察及測量液滴的蒸發情形。

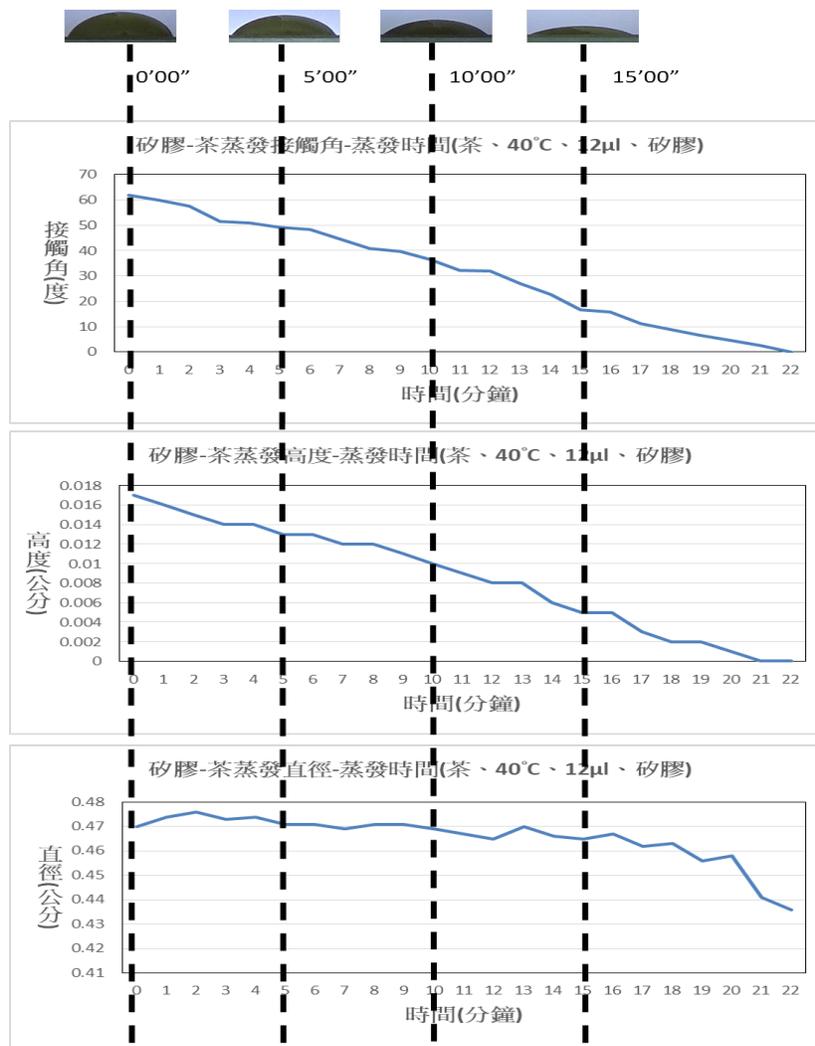
(五) 實驗步驟

- 1.利用手機水平儀校正腳架為水平狀態
- 2.架設攝影機、恆溫加熱板、尺、光源及自製散光板
- 3.調整恆溫加熱板溫度並用紅外線測溫儀確認溫度

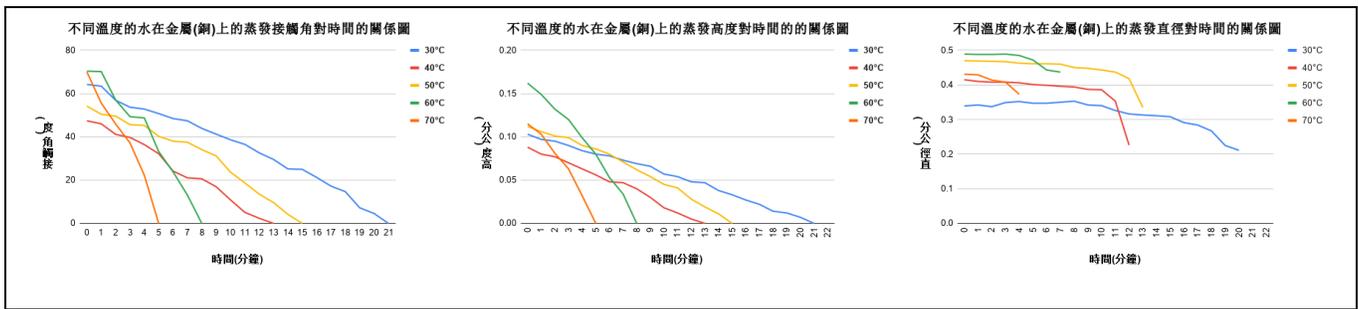
- 4.將該組實驗所需的材質放於恆溫加熱板上
- 5.以微量滴管將液滴滴於材質上方
- 6.以攝影機拍攝液滴的蒸發過程
- 7.使用 PicPick 軟體測量液滴的接觸角、高度及直徑

### 三、結果處理模式

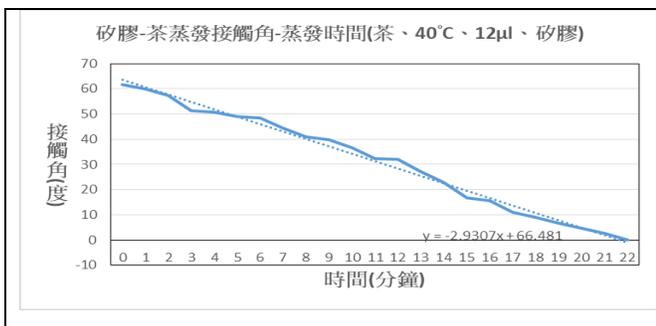
#### (一)觀察及測量液滴變化的接觸角、高度、直徑



(二)由接觸角、高度及直徑對時間的關係圖中發現，因直徑在蒸發過程的變化不明顯，因此接下來的數據分析皆只將蒸發過程的接觸角及高度變化做進一步的分析及討論。



(三)由接觸角-時間及液滴高度-時間的關係圖中可發現，兩者幾乎皆隨著時間呈線性遞減，而為了方便後續不同組別實驗比較，我們進而求取各直線之斜率，而得到各液滴的接觸角變化率及高度變化率。



將蒸發接觸角(高度)對時間的數據做折線圖。拉出趨勢線，從趨勢線式方程式中求出斜率，並以斜率的絕對值做為變化率。

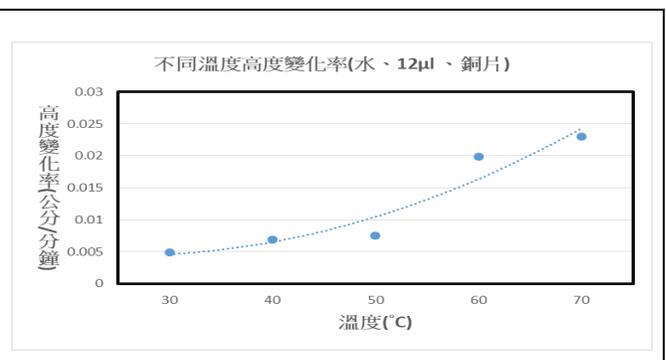
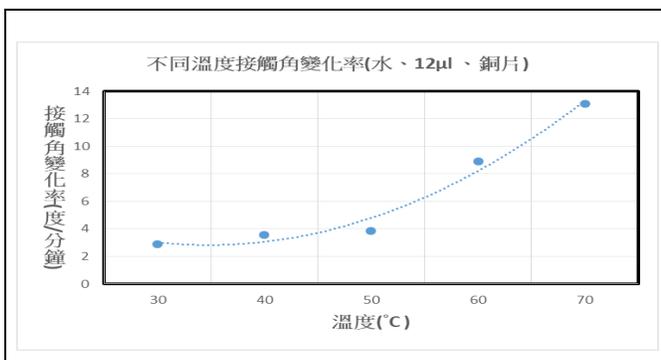
#### 四、實驗過程及結果

##### (一) 實驗一：不同溫度的水在銅片上的蒸發

###### 1. 實驗設計

不同溫度的水在銅片上(12μl；銅片)					
操作變因	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C

###### 2. 實驗結果



(1)在銅片上，30-40 度溫度升高初始接觸角變小，接觸角變化率及高度變化率增加，50-70 度溫度升高初始接觸角變大，接觸角變化率及高度變化率增加。

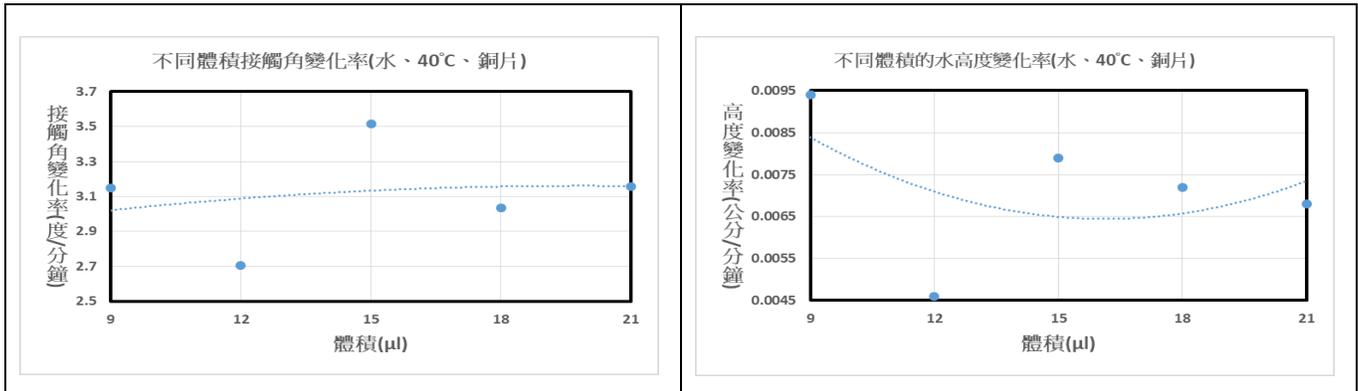
(2)整體而言，初始接觸角大約小於 65 度時，初始接觸角越大兩項變化率略降，大約大於 65 度後，初始接觸角越大兩項變化率變大。

(二) 實驗二：不同體積的水在銅片上的蒸發

1. 實驗設計

不同體積的水在銅片上(40°C；銅片)					
操作變因	9 $\mu$ l	12 $\mu$ l	15 $\mu$ l	18 $\mu$ l	21 $\mu$ l

2. 實驗結果



- (1)整體而言，40°C 時，水滴在銅片上蒸發，初始接觸角越大，接觸角變化率及高度變化率越大。
- (2)12 $\mu$ l 的初始接觸角最小，接觸角變化率及高度變化率均為最小。

(三) 實驗三：水在不同粗糙表面上的蒸發

1. 實驗設計

(1)玻璃

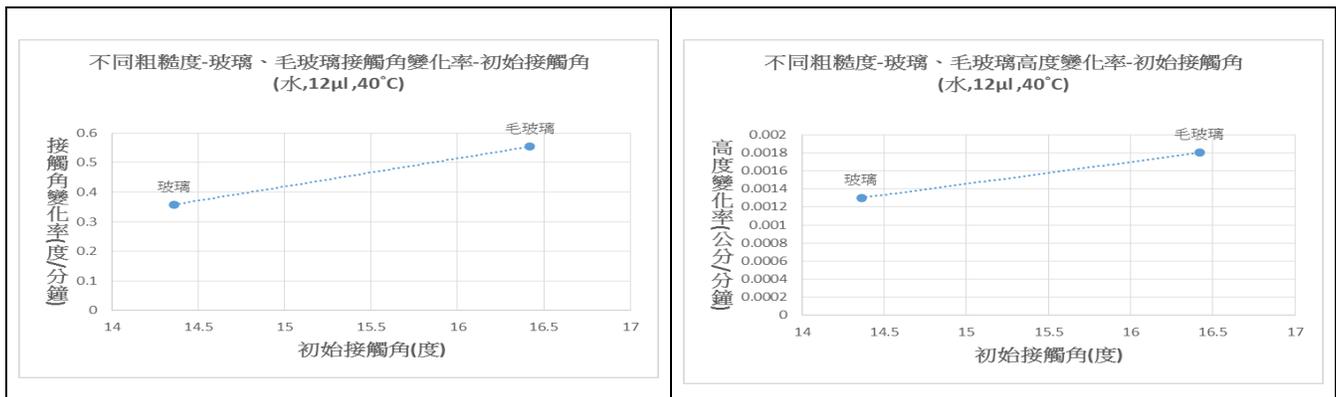
水在不同粗糙表面上(40°C；12 $\mu$ l)		
操作變因	玻璃	毛玻璃

(2)砂紙

水在不同粗糙表面上(40°C；12 $\mu$ l)						
操作變因	P80 砂紙(粗)	P180 砂紙	P240 砂紙	P400 砂紙	P1500 砂紙	P3000 砂紙(細)

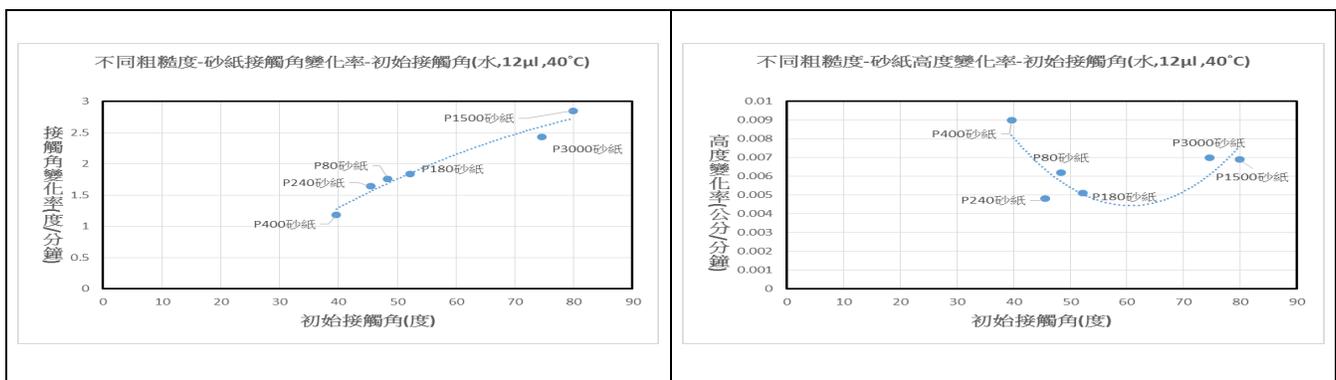
## 2. 實驗結果

### (1) 玻璃



40°C 時，水滴在毛玻璃的初始接觸角大於玻璃，接觸角變化率和高度變化率都高於玻璃。

### (2) 砂紙



(1) 40°C 時，水滴在砂紙上，初始接觸角越大，接觸角變化率越大。

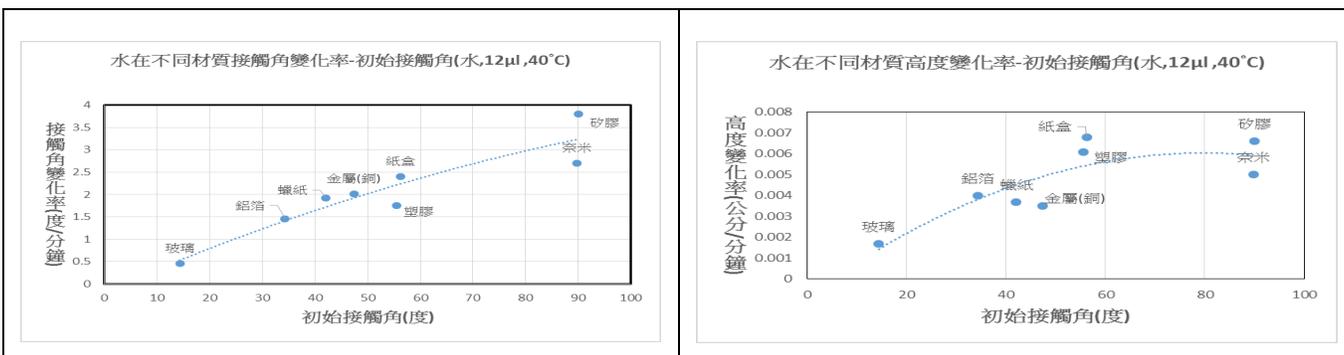
(2) 初始接觸角大約小於 52 度時，初始接觸角越大，高度變化率越小。P400 呈現的高度變化率最高； P3000 與 P1500 的初始接觸角大於 70 度以上，其高度變化卻是次高。

## (四) 實驗四: 水在不同材質上的蒸發

### 1. 實驗設計

水在不同材質上(40°C ; 12 $\mu$ l)								
操作變因	玻璃	銅片	塑膠	紙盒	鋁箔	蠟紙	矽膠	奈米

### 2. 實驗結果



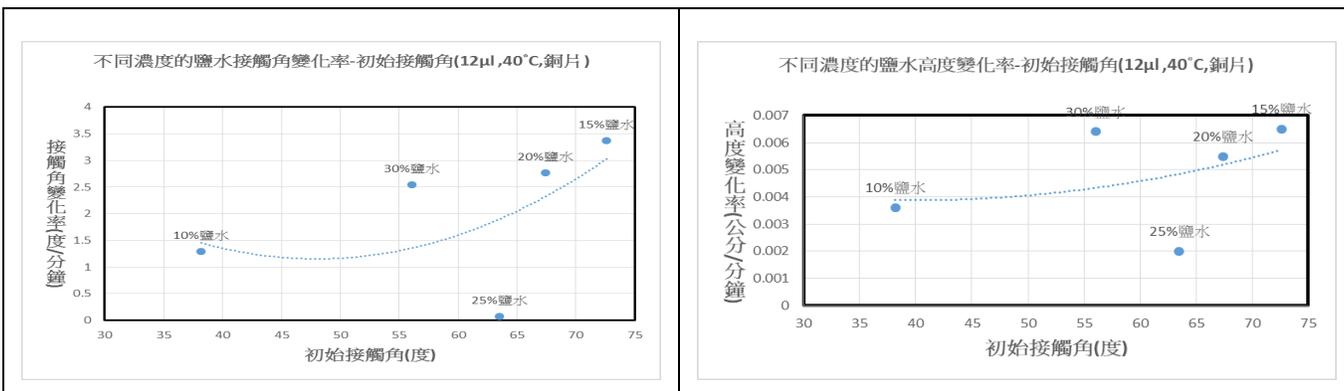
- (1) 矽膠接觸角變化率及高度變化率皆為最大；玻璃接觸角變化率及高度變化率皆小。整體而言，初始接觸角越大，接觸角變化率越大，高度變化率也越大。
- (2) 紙盒的高度變化率和矽膠略為相同，接觸角變化率卻明顯小於矽膠。

(五) 實驗五: 不同濃度的鹽水在銅片上的蒸發

1. 實驗設計

不同濃度的鹽水在銅片上(40°C ; 12μl ; 銅片)					
操作變因	10%鹽水	15%鹽水	20%鹽水	25%鹽水	30%鹽水

2. 實驗結果



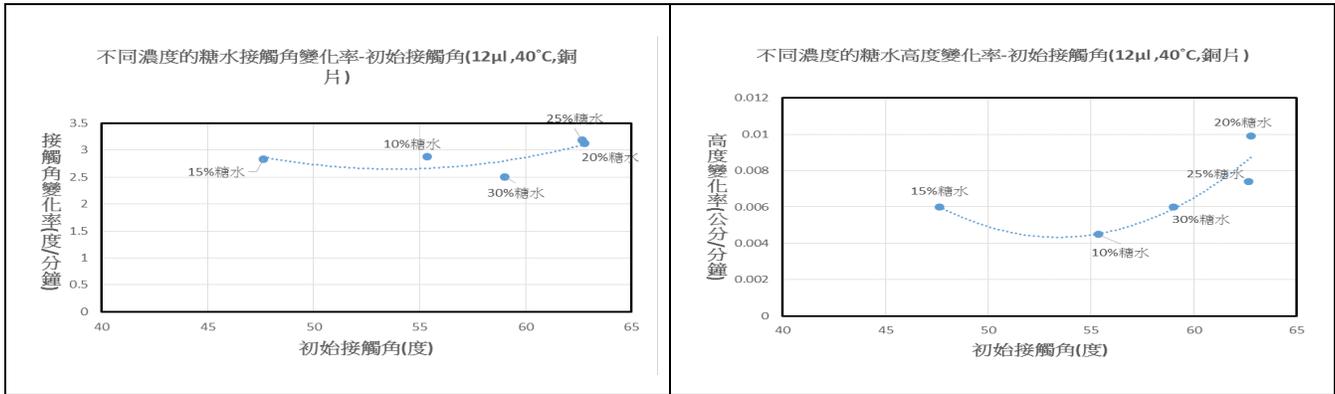
- (1) 除 25% 鹽水以外，初始接觸角越大，接觸角變化率及高度變化率越大。接觸角變化率及高度變化率最大皆為 15% 鹽水。
- (2) 30% 鹽水高度變化率和 15% 鹽水略同，其初始接觸角較小，接觸角變化率也明顯小於 15% 鹽水。

(六) 實驗六: 不同濃度的糖水在銅片上的蒸發

1. 實驗設計

不同濃度的糖水在銅片上(40°C ; 12μl ; 銅片)					
操作變因	10%糖水	15%糖水	20%糖水	25%糖水	30%糖水

2. 實驗結果



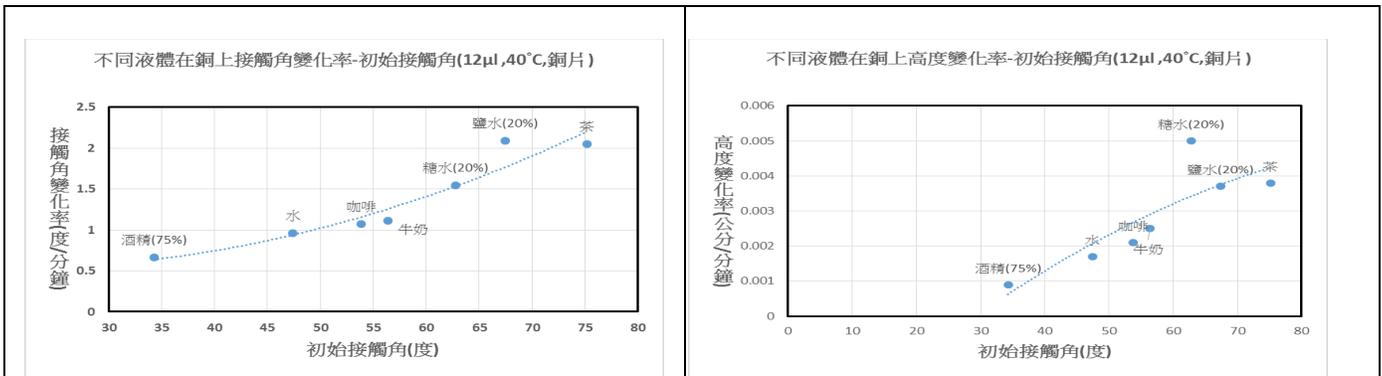
不同濃度的糖水，初始接觸角越大，接觸角變化率越大；高度變化率除 15%外，初始接觸角越大，高度變化率越大。

### (七)實驗七:不同液體在銅片上的蒸發

#### 1. 實驗設計

不同液體在銅片上(40 $^{\circ}$ C ; 12 $\mu$ l ; 銅片)							
操作變因	水	鹽水	糖水	咖啡	茶	牛奶	酒精

#### 2. 實驗結果



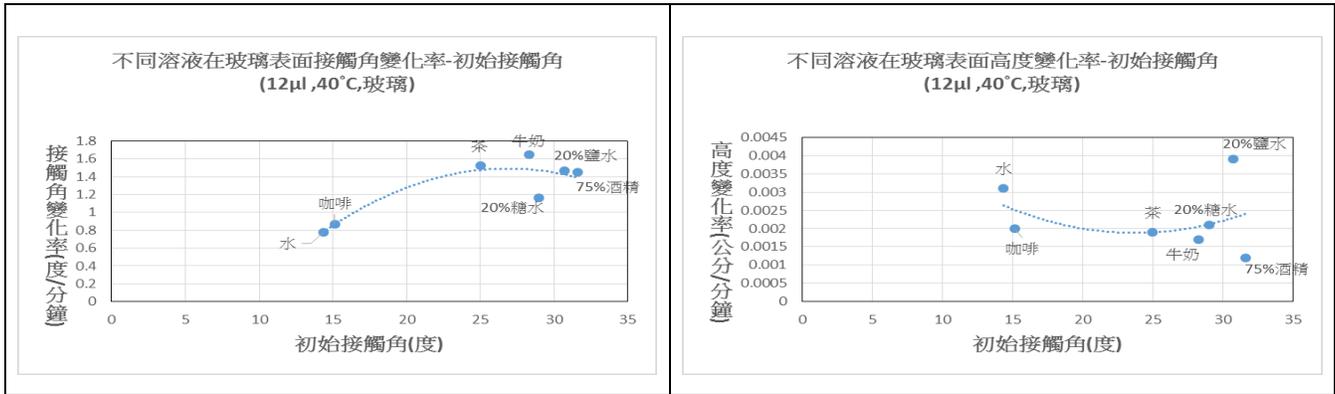
40 $^{\circ}$ C 時，不同液滴在銅片上蒸發，初始接觸角越大，接觸角變化率越大，高度變化也越大。

### (八)實驗八：不同液體在玻璃上的蒸發

#### 1. 實驗設計

不同液體在玻璃上(40 $^{\circ}$ C ; 12 $\mu$ l ; 玻璃)							
操作變因	水	鹽水	糖水	咖啡	茶	牛奶	酒精

#### 2. 實驗結果



(1) 40°C 時，不同液滴在玻璃上蒸發，初始接觸角越大，接觸角變化越大。

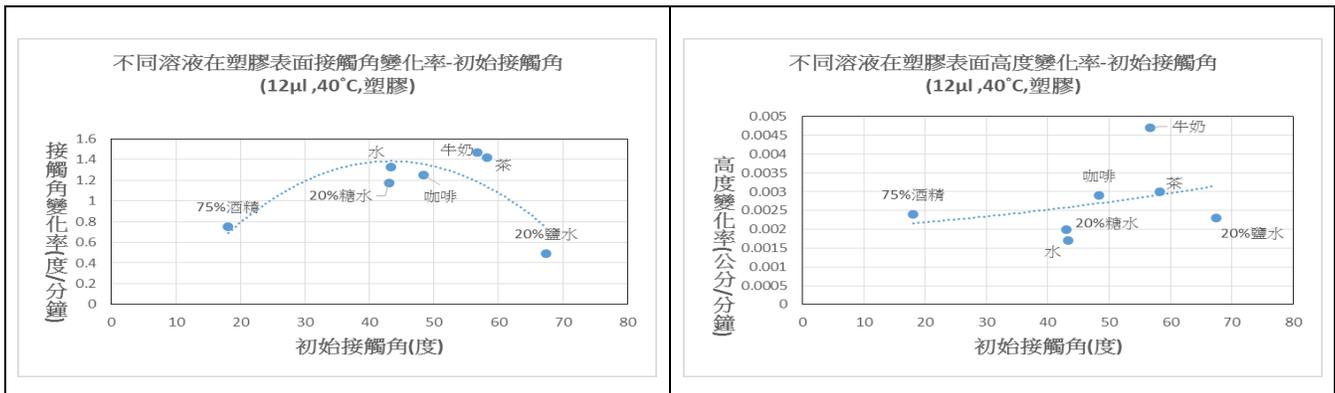
(2) 除 20%鹽水外，初始接觸角越大，高度變化率小。

(九) 實驗九：不同液體在塑膠上的蒸發

1. 實驗設計

不同液體在塑膠上(40°C ; 12μl ; 塑膠)							
操作變因	水	鹽水	糖水	咖啡	茶	牛奶	酒精

2. 實驗結果



(1) 40°C 時，不同液滴在在塑膠上蒸發，除 20%鹽水外(初始接觸角大於 65 度)，初始接觸角越大，接觸角變化率越大。

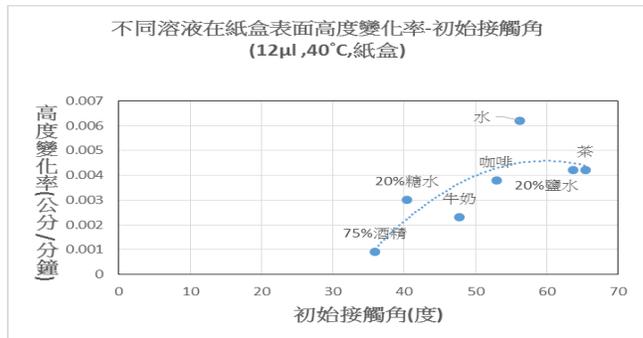
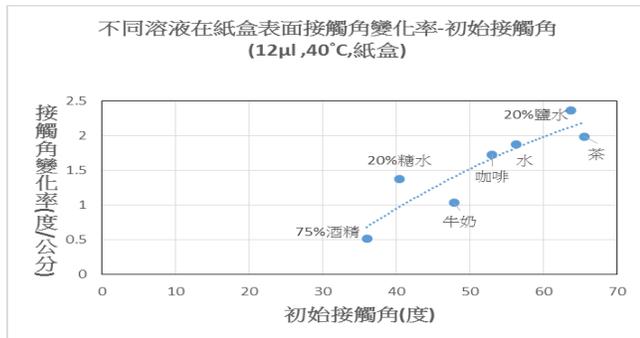
(2) 大致而言，初始接觸角較大，高度變化率較大。

(十) 實驗十：不同液體在紙盒上的蒸發

1. 實驗設計

不同液體在紙盒上(40°C ; 12μl ; 紙盒)							
操作變因	水	鹽水	糖水	咖啡	茶	牛奶	酒精

2. 實驗結果



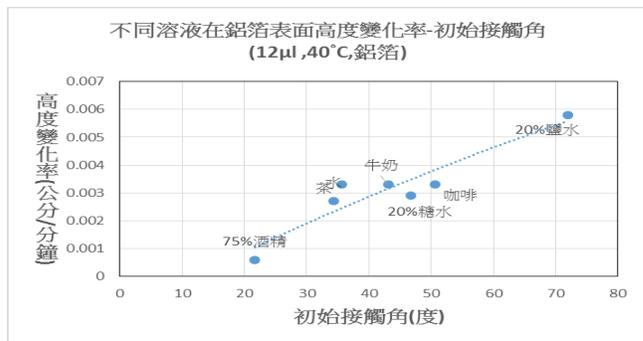
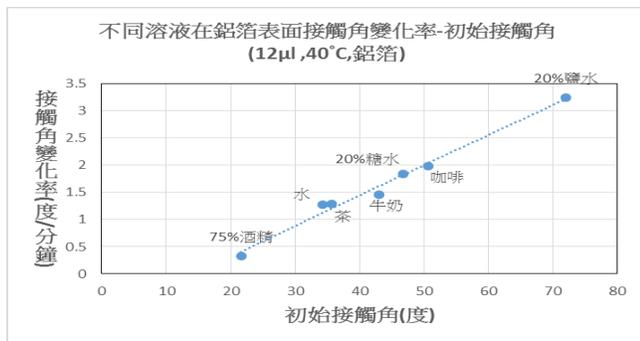
- (1) 40°C 時，不同液滴在紙盒上蒸發，初始接觸角越大，接觸角變化率越大。
- (2) 除茶和 20% 鹽水(初始接觸角大於 60 度)外，初始接觸角越大，高度變化率也越大。

(十一) 實驗十一: 不同液體在鋁箔上的蒸發

1. 實驗設計

不同液體在鋁箔上(40°C ; 12μl ; 鋁箔)							
操作變因	水	鹽水	糖水	咖啡	茶	牛奶	酒精

2. 實驗結果



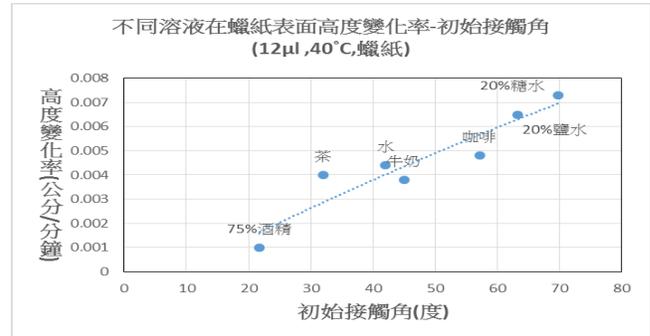
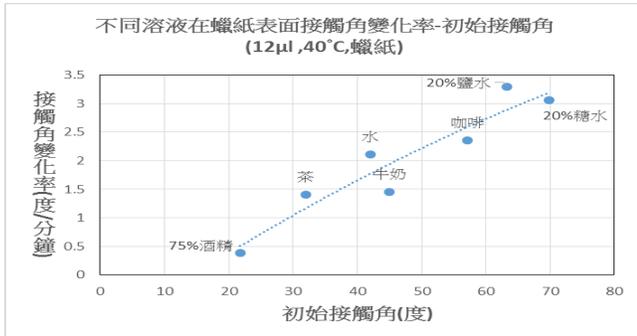
40°C 時，不同液滴在鋁箔上蒸發，初始接觸角越大，接觸角變化率和高度變化率皆越大。

(十二) 實驗十二: 不同液體在蠟紙上的蒸發

1. 實驗設計

不同液體在蠟紙上(40°C ; 12μl ; 蠟紙)							
操作變因	水	鹽水	糖水	咖啡	茶	牛奶	酒精

2. 實驗結果



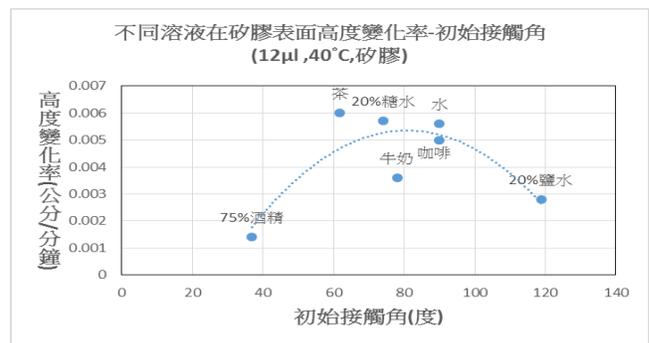
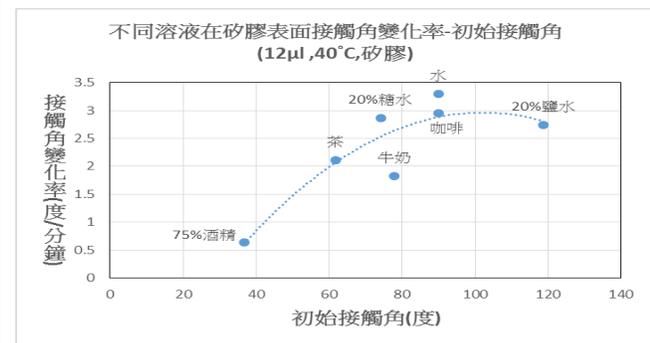
40°C 時，不同液滴在鋁箔上蒸發，初始接觸角越大，接觸角變化率和高度變化率皆越大。

### (十三)實驗十三: 不同液體在矽膠上的蒸發

#### 1. 實驗設計

不同液體在矽膠上(40°C ; 12 $\mu$ l ; 矽膠)							
操作變因	水	鹽水	糖水	咖啡	茶	牛奶	酒精

#### 2. 實驗結果



(1) 40°C 時，不同液滴在矽膠上蒸發，大致而言，初始接觸角越大，接觸角變化率越大。

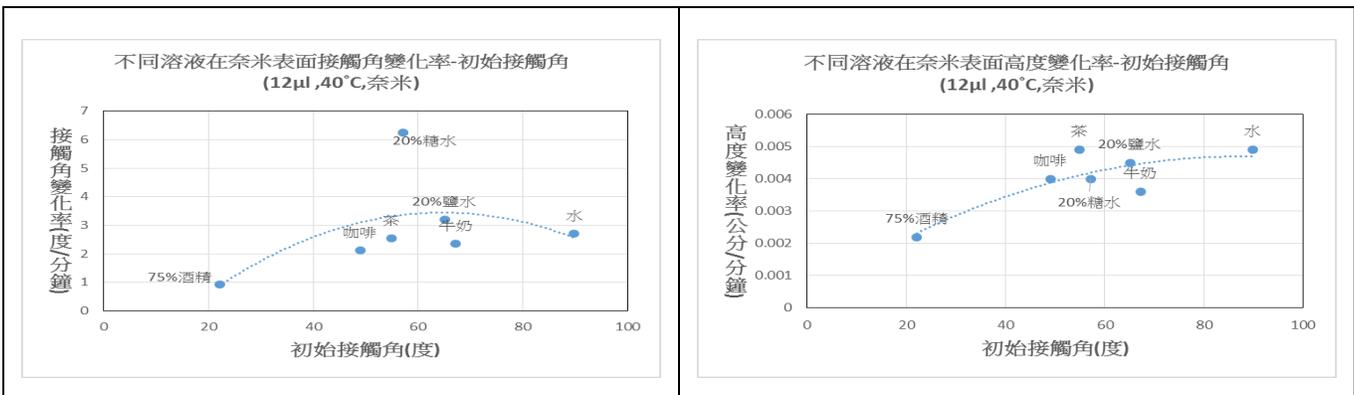
(2) 除 75%酒精外(初始接觸角小於 60 度)，大致而言，初始接觸角越大，高度變化率越小。

### (十四)實驗十四: 不同液體在奈米材質上的蒸發

#### 1. 實驗設計

不同液體在奈米材質上(40°C ; 12 $\mu$ l ; 奈米)							
操作變因	水	鹽水	糖水	咖啡	茶	牛奶	酒精

#### 2. 實驗結果



(1)除 20%糖水外，初始接觸角越大，接觸角變化率越大。

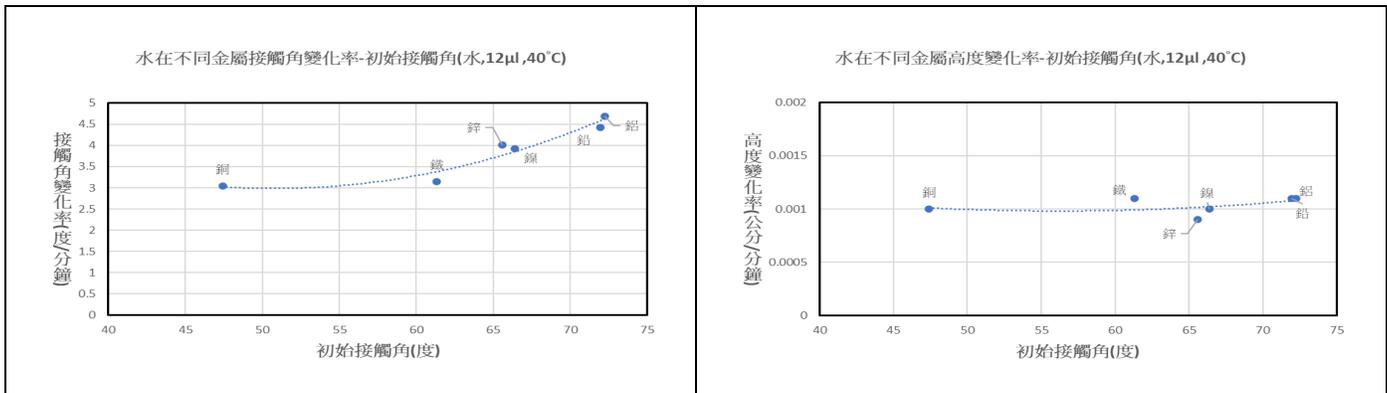
(2)大致而言，初始接觸角越大，高度變化率越大。

### (十五)實驗十五:水在不同金屬上的蒸發

#### 1. 實驗設計

水在不同金屬上(40°C ; 12μl)						
操作變因	銅	鐵	鎳	鋅	鋁	鉛

#### 2. 實驗結果



(1)水滴在不同金屬上蒸發，初始接觸角越大，接觸角變化率越大。

(2)高度變化率幾乎與初始接觸角無關。

五、觀察液體的直徑與面積，在不同材質上的直徑大部分皆呈現不變或內縮，其中比較的是：

(一) 玻璃-水的初始接觸角(14.36°)為最小，矽膠-鹽水的初始接觸角(118.8°)為最大。

(二) 玻璃-20%鹽水、塑膠-牛奶、蠟紙-咖啡、蠟紙-酒精、紙盒-20%鹽水、蠟紙-20%鹽水，直徑都呈現外擴，猜測真溶液比起膠體溶液直徑更容易外擴。

(三) 玻璃-咖啡、銅-20%鹽水、銅-咖啡、矽膠-20%鹽水、矽膠-牛奶、奈米-20%鹽水、奈米-咖啡、奈米-牛奶，直徑皆定住無變化。

(四) 在蠟紙上，20%鹽水、咖啡、75%酒精呈現外擴，比例最高。

(五) 鹽水在玻璃、紙盒、蠟紙上呈現外擴，比例最高。

		水	20%鹽水	20%糖水	咖啡	茶	牛奶	75%酒精
玻 璃	液體直徑變化	內縮	外擴	內縮	不變	內縮	內縮	內縮
	最初接觸角	14.36°	30.7°	28.99°	15.14°	24.99°	28.28°	31.58°
銅	液體直徑變化	內縮	不變	內縮	不變	內縮	內縮	內縮
	最初接觸角	47.41°	67.43°	62.79°	53.82°	75.2°	56.4°	34.29°
塑 膠	液體直徑變化	內縮	內縮	內縮	內縮	內縮	外擴	內縮
	最初接觸角	43.37°	67.44°	43.03°	48.38°	58.27°	56.74°	18.11°
紙 盒	液體直徑變化	內縮	外擴	內縮	內縮	內縮	內縮	內縮
	最初接觸角	56.19°	63.72°	40.43°	53°	65.46°	47.81°	35.95°
鋁 箔	液體直徑變化	內縮						
	最初接觸角	34.31°	72°	46.75°	50.66°	35.63°	43.1°	21.66°
蠟 紙	液體直徑變化	內縮	外擴	內縮	外擴	內縮	內縮	外擴
	最初接觸角	42.05°	63.3°	69.86°	57.14°	31.94°	44.98°	21.76°
矽 膠	液體直徑變化	內縮	不變	內縮	內縮	內縮	不變	內縮
	最初接觸角	90°	118.8°	74.15°	90°	61.72°	77.95°	36.79°
奈 米	液滴直徑變化	內縮	不變	內縮	不變	內縮	不變	內縮
	最初接觸角	89.81°	65.09°	57.14°	48.98°	54.89°	67.24°	22.12°

## 六、不同溶液蒸發後的殘漬

### 1. 真溶液

			
鹽水在銅片上的殘跡	鹽水在玻璃上的殘跡	糖水在銅片上的殘跡	糖水在玻璃上的殘跡
鹽水蒸發後呈現些微突起結晶狀，中心有些微的中空。		糖水蒸發後呈現糖漿狀。	

## 2. 膠體溶液

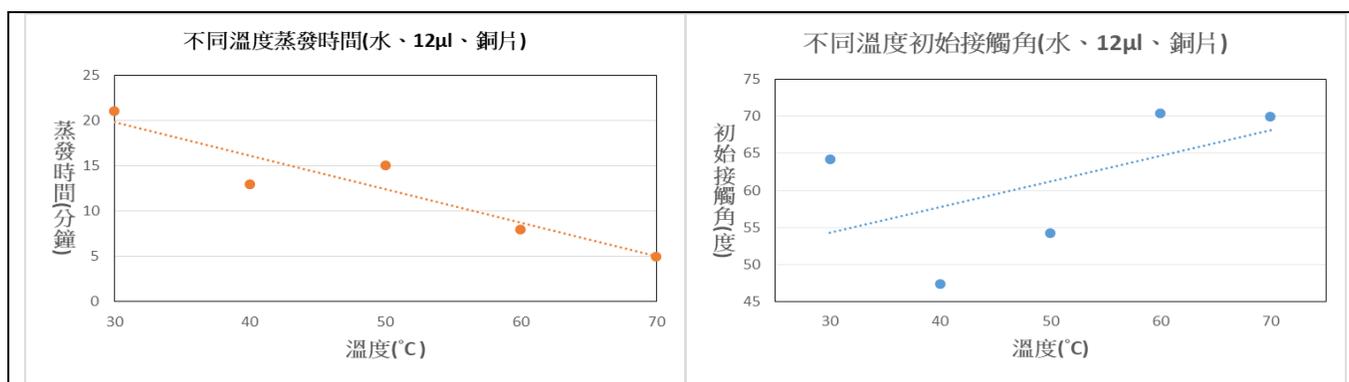
					
咖啡在銅片上	咖啡在玻璃上	茶在銅片上	茶在玻璃上	牛奶在銅片上	牛奶在玻璃上
咖啡蒸發後呈現中空的咖啡環圈。		茶蒸發後呈現類似咖啡環圈的中空殘漬，但不如咖啡明顯。		牛奶蒸發後呈現實心的殘漬，且中心有些微的突起。	

## 伍、討論

### 一、水的蒸發狀況探討

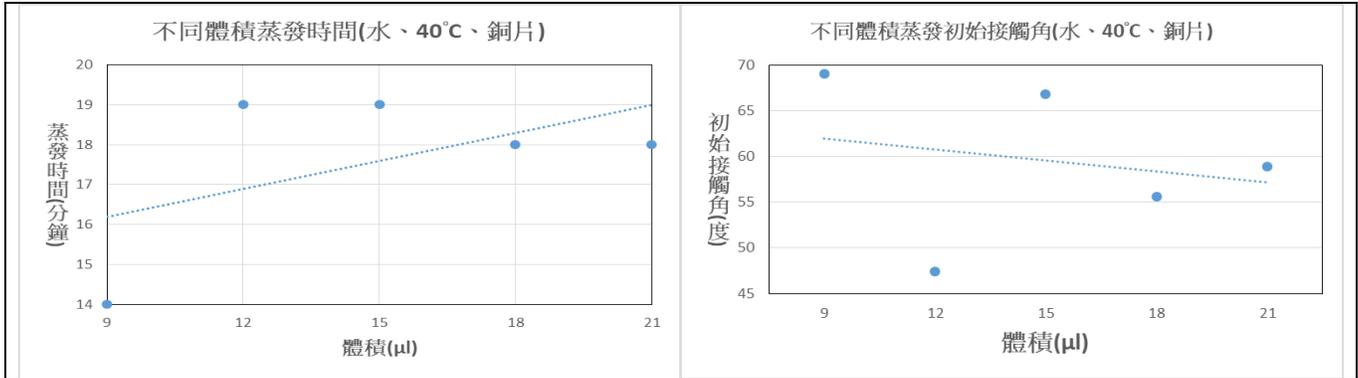
(一) 探討影響水蒸發速度的最主要因素：我們從分析這次實驗中水的各項變因，想要找出影響水蒸發速度的主要變因為何？我們從不同溫度和不同體積蒸發實驗中發現：

1. 溫度：在同一接觸面的水，蒸發時間會隨著溫度的增加而遞減。溫度對初始接觸角有著較大的影響，我們推測可能是因為不同的溫度給予了液滴和接觸面不同程度的能量，而影響了液滴的內聚力和附著力，而進一步讓兩者之間的合力產生變化，最後導致接觸角的不同。這跟在測試鍋子是否夠熱時所使用的原理相同，滴一滴水在鍋子上，並觀察水滴是否變得更渾圓，也就是接觸角是否變大，來判斷鍋子的溫度是否已經夠熱了



2. 體積：體積大，蒸發時間長；12 $\mu$ l 的蒸發時間雖明顯大於 9 $\mu$ l，但 12 $\mu$ l 以後的蒸發時間卻沒有隨著體積增加而上升，反而稍微下降。理論上體積越大，蒸發時間越長；但本實驗得知，體積增加時，初始接觸角並未跟著增加，而初始接觸角的變化和蒸發時

間也沒有太大的關連。

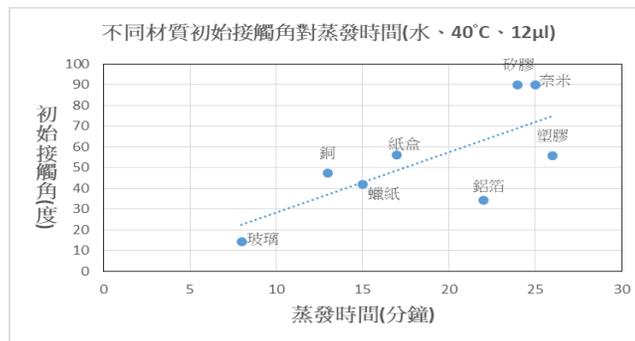


## (二)溫度及體積對初始接觸角的影響

在這些實驗中，我們發現跟蒸發時間最有關係的是溫度，而體積則沒有這麼有關。另外，初始接觸角和蒸發時間的相關係數也沒有那麼高，而在這兩組實驗中，初始接觸角和蒸發時間之間都沒有太大的相關，由此可以推論在不同溫度及不同體積的狀況下，能對水滴蒸發時間產生最大影響的應為溫度和體積本身。

## 二、不同材質的接觸面對液滴蒸發的影響

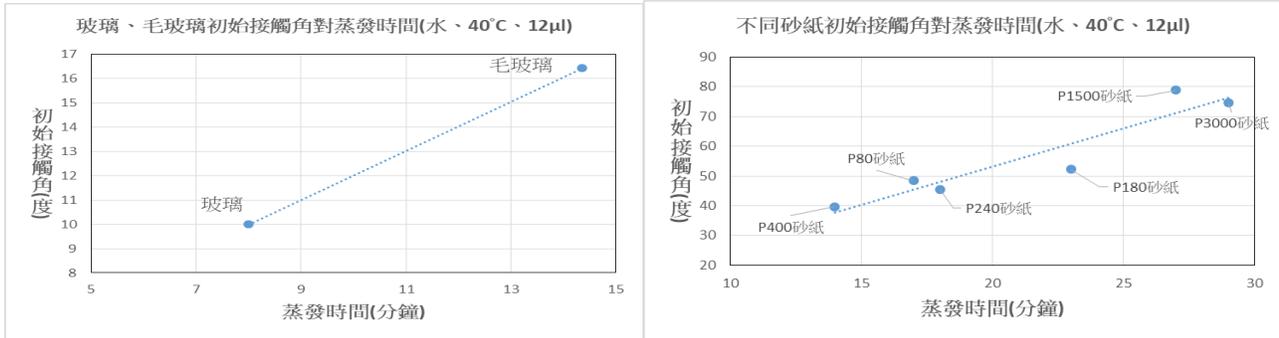
(一)如下圖所示，材質的種類與水的接觸角關係大。



- 1.不同材質會影響水的接觸時間，在不同材質的情況下水的接觸角是會和蒸發時間呈現高度正相關的。
- 2.水的蒸發時間和接觸角度會受不同材質、不同溫度、不同體積影響。接觸角度會影響蒸發時間嗎？我們只能說影響蒸發時間的因素有很多，接觸角有可能跟表面張力，也就是表面積有關，但在不同體積和不同溫度的情況下，很明顯主要影響蒸發時間的並不是表面積，而是溫度和體積，但在不同材質上時，就很有可能是因為不同材質

所造成的內聚力和接觸力不同，進一步影響其接觸角和表面積，導致蒸發時間的不同。

## (二)粗糙程度對液滴蒸發的影響



1. 初始接觸角的分布，與砂紙的密度沒有很大的相關，玻璃和毛玻璃也是。
2. 目前尚未找出接觸角度和砂紙密度的關係，不過就以目前現有的證據看來，有可能砂紙的在某一個密度，會剛好是初始接觸角最小的，而在某一個密度會是初始接觸角最大的，這就有待日後拿更多不同密度的砂紙來做實驗驗證。
3. 可以從圖看出，砂紙的初始接觸角和蒸發時間仍然有很大的相關，這也驗證了在材質和蒸發時間那一部分的討論，的確接觸面材質和接觸角會有很大關係，至於砂紙為何會造成這樣的關係並不清楚，不過可以肯定的是砂紙的確會影響接觸角，而進一步影響蒸發時間。

## (三)不同材質的接觸角為什麼會有所不同？推測可能有以下兩種可能：

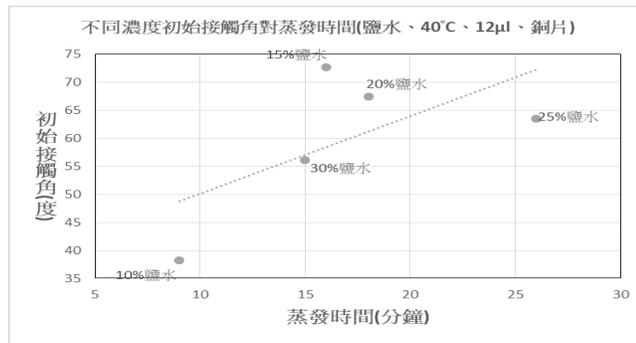
1. 因為這些材質本身的極性不同，就像水和油不互融一樣，水是一種極性分子，極性分子之間比較容易相融，因為本身帶有電。但或許有些材質表面的分子是不帶極性的，因此兩者的附著力就可能較小，導致接觸角較大。
2. 有另一種可能，就是材質表面的凹凸程度以及密度，在砂紙的實驗中，不同的密度會造成接觸角的不同，而蓮葉上的水珠也是因為上面的絨毛才會產生接觸角很大的現象，因此我們推測材質表面的凹凸程度會影響接觸角。

## 三、不同液滴的蒸發探討

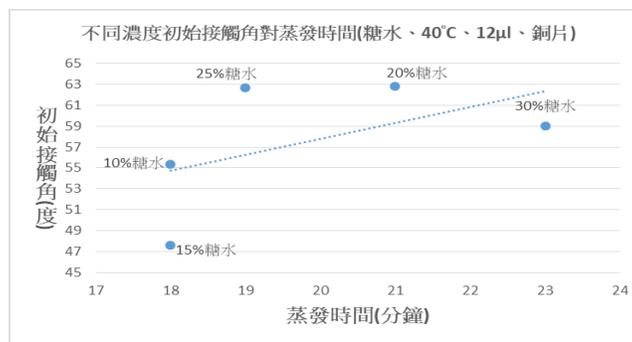
### (一)不同濃度液滴對蒸發的影響

1. 濃度是否影響接觸角

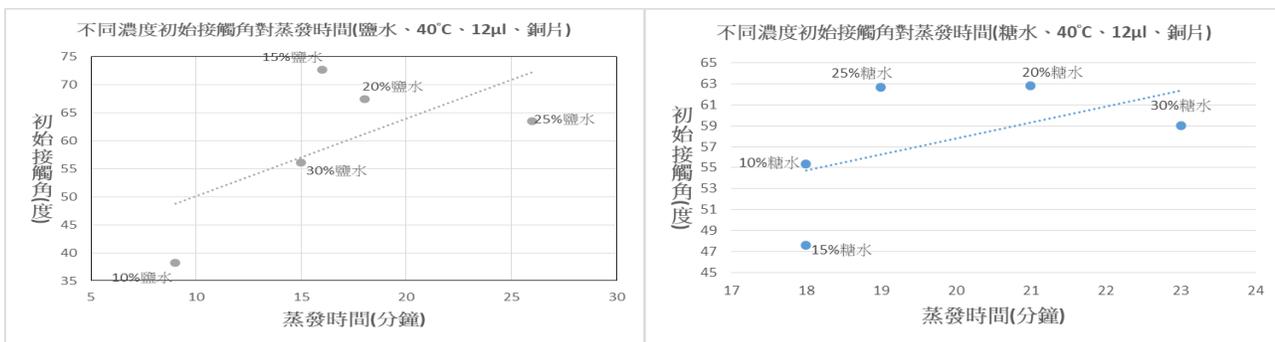
(1)鹽水：濃度和初始接觸角的關係不大，不過若剔除濃度 10%這筆資料，就會發現他們幾乎呈現一個正比的關係，這也讓我們感到很疑惑，需要更多證據來說明這件事。不過在 2002 年的研究就有提到，酒精的濃度越高接觸角越小是因為濃度高時表面張力較小，所以才會導致這樣的結果。



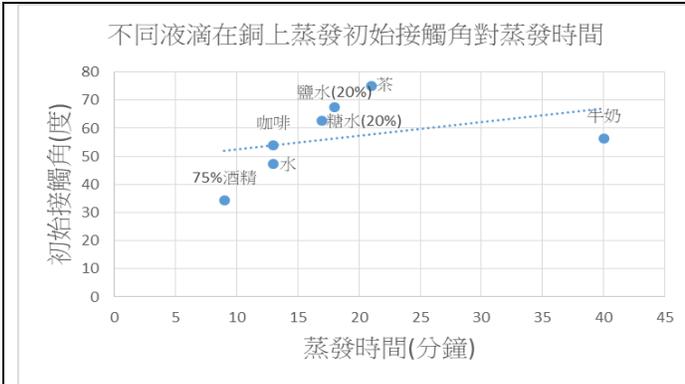
(2)糖水：在糖水上濃度和初始接觸角就沒有呈現那麼大的相關，因此我們目前對於濃度是否會影響接觸角這件事仍然抱持著存疑的態度，如果按照 2002 年的研究而言，應該像鹽水剔除 10%的部份一樣，呈現反相關，但糖水卻沒以那麼高的相關係數，而且鹽水也有一個很奇怪的離群值，因此在這一部分我們尚未做出一個定論。



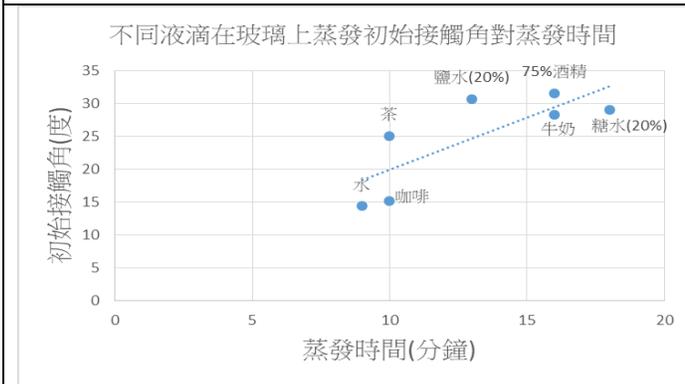
2.從這兩張圖可以看出，濃度對蒸發時間還是有一定程度的影響的。



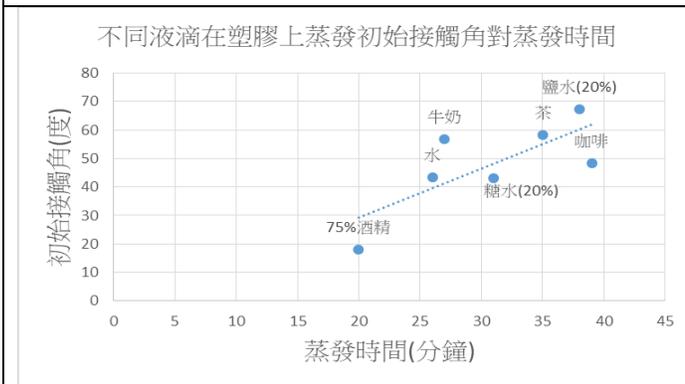
## (二)不同液體在不同材質表面



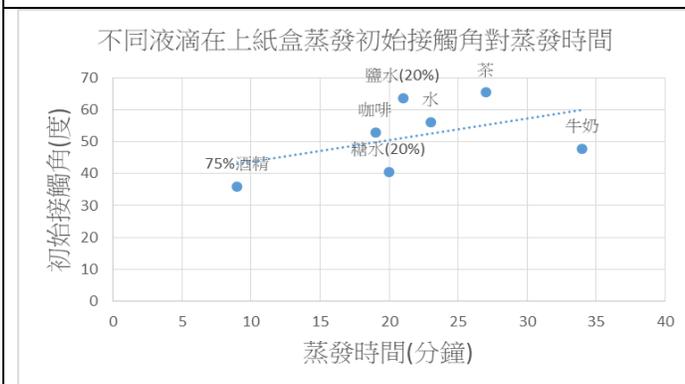
在銅上的牛奶和咖啡雖然初始接觸角約略相同，牛奶的蒸發時間卻明顯長了很多，至於初始接觸角最大的茶，蒸發時間則小於牛奶，牛奶方面值得探討。



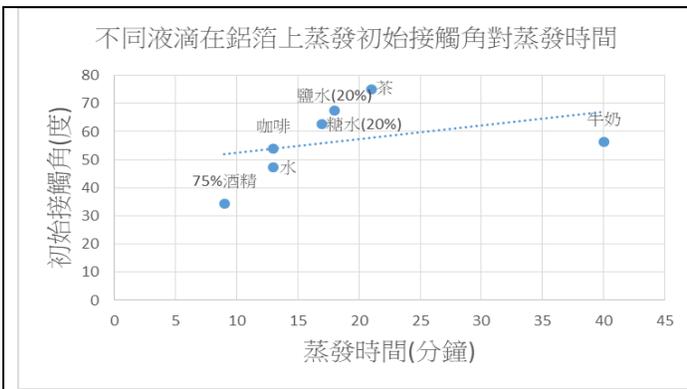
在玻璃上的 75%酒精和牛奶蒸發時間約略相同，但酒精的初始接觸角卻大於牛奶；牛奶和糖水的初始接觸角大致相等，糖水的蒸發時間卻比牛奶長，或許這和糖水濃度高而難蒸發有關。



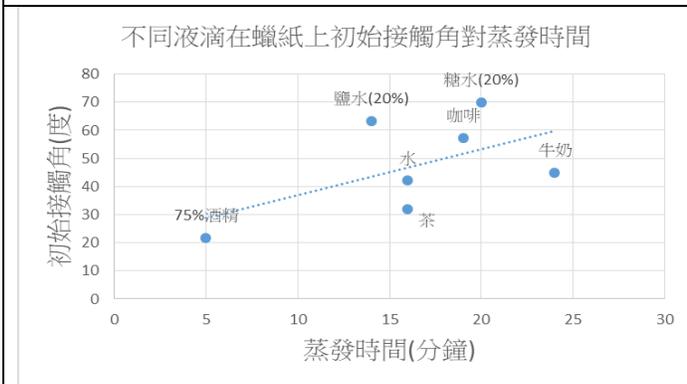
在塑膠上的鹽水初始接觸角為最大，蒸發時間則和咖啡差不多；初始接觸角相近的牛奶和茶蒸發時間上落差大。



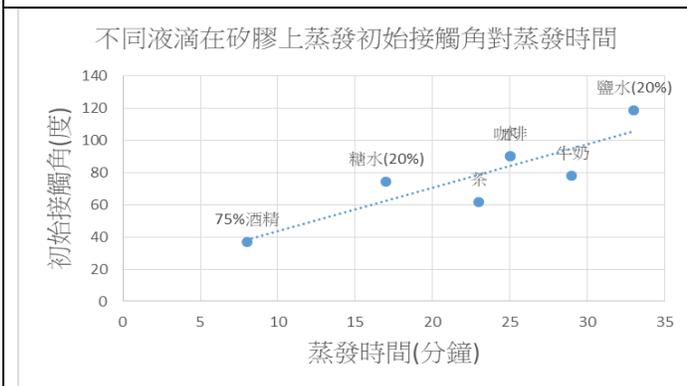
在紙盒上的牛奶初始接觸角明顯小於最大的茶但蒸發時間卻最長，或許這是由於紙餐盒上有一層塑膠膜隔絕的關係。



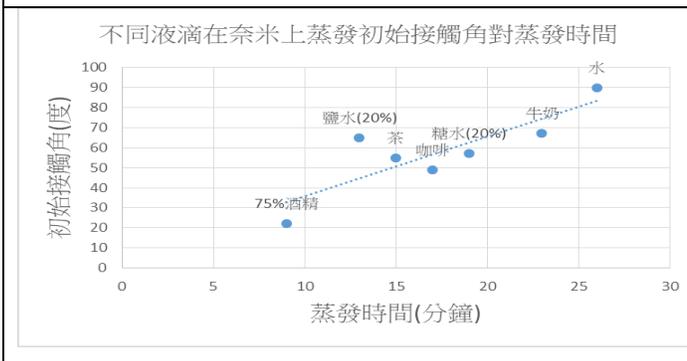
在鋁箔上的牛奶初始接觸角和咖啡差不多但蒸發時間卻比咖啡長了二十幾分鐘；和初始接觸角最大的茶也有大幅差距。



在蠟紙上的牛奶初始接觸角明顯小於糖水、汗水大致相等，但蒸發時間卻明顯長過糖水和水；鹽水的初始接觸角略大，蒸發時間卻小於除了酒精之外的其他液滴，推測這和蒸發後期的結晶現象有關。



在矽膠上的糖水初始接觸角大於茶蒸發時間卻比茶短，猜測這和糖水蒸發後期轉變為糖漿有關；咖啡的初始接觸角大於牛奶，蒸發時間卻比牛奶短。

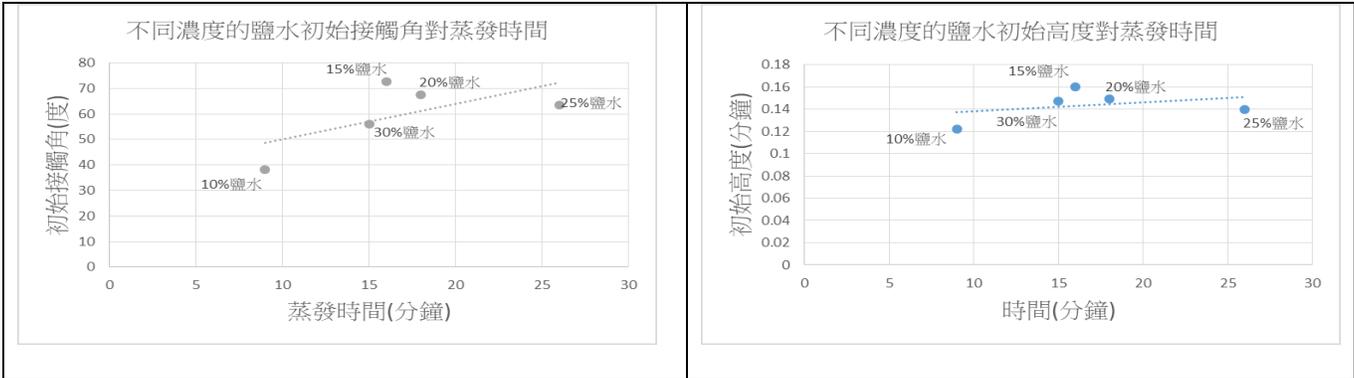


在奈米上的鹽水初始接觸角和牛奶約略相同，蒸發時間卻明顯小於牛奶。

#### 四、不同液滴的蒸發探討

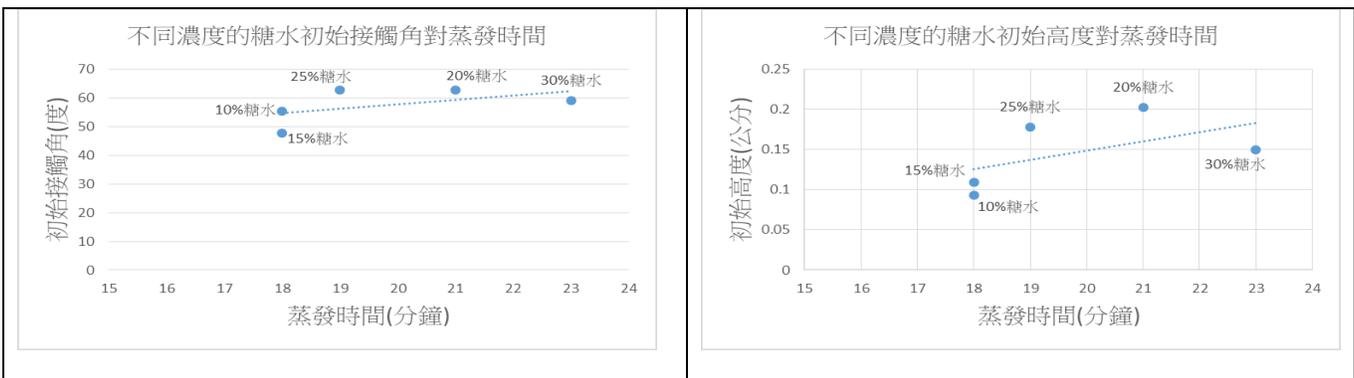
(一)糖、鹽溶質可溶解者，蒸發時間較長；茶、咖啡不可溶解者，初期接觸角變化快，後期溶質沈澱後，角度變化慢。

## (二)不同濃度的鹽水



整體來說，濃度越高蒸發時間越長，但有一個例外是 30%鹽水，30%鹽水的蒸發時間小於 15%鹽水，猜測這是因為 30%的鹽水接近飽和，所含的溶劑較少導致。

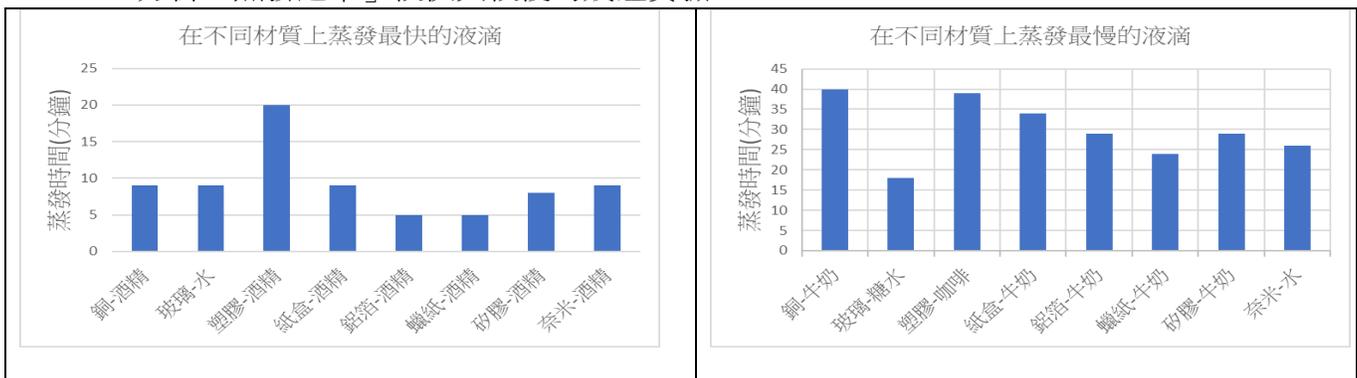
## (三)不同濃度的糖水



20%以上的糖水初始接觸角變化不大，蒸發時間卻有明顯差異，猜測這是因為濃度越高、糖水越濃稠，糖、水分離所需時間也就高一些。

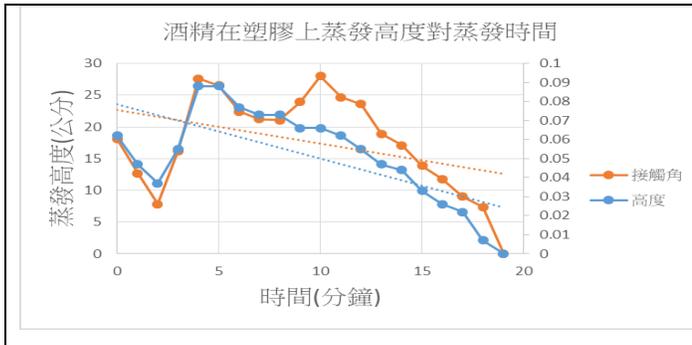
## (四)蒸發時間比較

### 1.分析「蒸發速率」較快與較慢的幾組實驗。



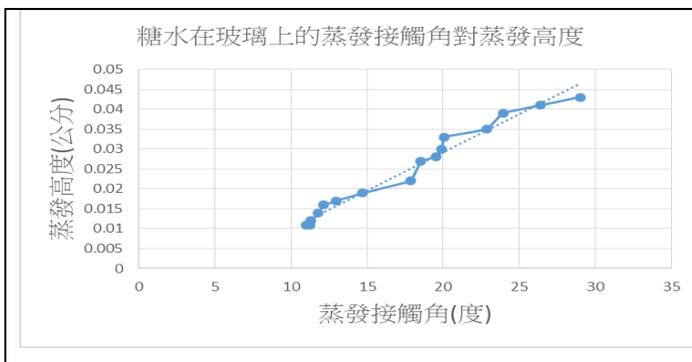
在不同材質表面蒸發最快的酒精佔大多數，蒸發最慢的則是牛奶佔大多數；猜測這可能和酒精本身為真溶液、牛奶本身為膠體溶液有相關聯；在塑膠上的酒精蒸發時間明顯大於其他材質；在玻璃上的糖水蒸發時間則明顯小於其他材質。

## 2.玻璃-糖水



酒精在塑膠上的蒸發並不穩定；蒸發接觸角和蒸發高度之間的變化無明顯趨勢，但大部分都呈現接觸角和高度同升同降的關係；造成蒸發時間較慢的原因猜測和塑膠本身難導熱的性質有關。

## 3.塑膠-酒精、玻璃-糖水



大致上，糖水在玻璃上的蒸發接觸角變化小時，高度的變化則大，猜測蒸發時間較短的原因可能和糖水蒸發接觸角及高度彼此之間交互的變化有關。

## 陸、結論

- 一、不同溫度，接觸角不同，蒸發速率不同，溫度越高蒸發速率越快。
- 二、接觸角越大時，內聚力相對越大，蒸發時間越長。接觸角越小時，附著力相對越大，蒸發時間短。
- 三、接觸角決定於附著力及內聚力，內聚力與附著力又受溫度影響。蒸發是液體表面分子離開液面，所以同體積時表面積大，離開分子可以較多，蒸發速率越大。溫度越高時，分子運動越快，離開表面機會越大，蒸發速率越大。接觸角越大，內聚力越大，分子越不容易離開，蒸發速率小。附著力越大，會把液滴拉扁，空氣表面接觸面積變大，會讓蒸發變快。
- 四、液體在不同材質的蒸發狀況，初始接觸角隨材質不同，會有不同結果，同體積的水在玻璃上的初始接觸角最小，蒸發時間最短；同體積的 20%鹽水在矽膠上的接觸角最大，蒸發時間最

常。

五、相同液體在不同材質上的蒸發，初始接觸角平均由大到小：矽膠>奈米>銅>紙盒>蠟紙>塑膠>鋁箔>玻璃，不同液體會有些微差異。

六、建議：根據研究指出，病毒在日常生活常見的物品中，附著於鋁最低存活時間為 2 小時，附著於塑膠最長存活時間是 9 天，附著在木頭、紙張、玻璃的生存時間，在特定條件下也都不低於 4 天。與本研究液滴在固體表面蒸發時間長短呈現相同趨勢。可待後續研究。

## 柒、參考資料

- 一、Kampf G, Todt D, Pfaender S, Steinmann E. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. J Hosp Infect 2020;104:246–51.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.01.022>.
- 二、劉承華(2002)；液滴在我眼前蒸發。2002 年台灣國際科展物理科。取自：<https://reurl.cc/rxVYOE>
- 三、翰林版教科書團隊編著 (2019)。國中自然與生活科技第三冊。翰林出版社

## 【評語】 030107

從液滴在物體表面的接觸角來探討液體的蒸發速度是相當有趣的  
研究方向。不僅測試了不同表面特性的關連，也涵蓋了不同的  
液體。當實驗數據不具有線性關係，並不須要拘泥於線性擬合。建  
議可以嘗試將接觸角、蒸氣壓與表面張力等的關連嘗試建立起來。  
那就會讓整個研究更加耀眼，也會有更堅實的物理基礎。

# 壹、研究動機

**觀察**  
觀察到飲料杯的水珠，發現有些水珠會停在杯壁上，有些卻順勢流到桌面

**查詢文獻**  
1. 2002年國際科展劉承華在〈液滴在我眼前蒸發〉報告中對液滴的蒸發有許多觀察。  
2. Günter Kampf教授的團隊，發現冠狀病毒，能存活於物體表面，2小時到9天不等。

**思考**  
病毒在液滴中較容易生存，思考病毒的存活時間是否受到飛沫在表面停留時間影響，所以針對液滴在固體表面的蒸發進行研究。

# 貳、研究目的

- 一、觀察不同溫度及體積的水在固體材質上的蒸發情形。
- 二、觀察不同液體在不同材質及粗糙度的固體上的蒸發情形。
- 三、探討液滴蒸發過程的接觸角、高度及直徑的變化。

# 參、研究設備及器材

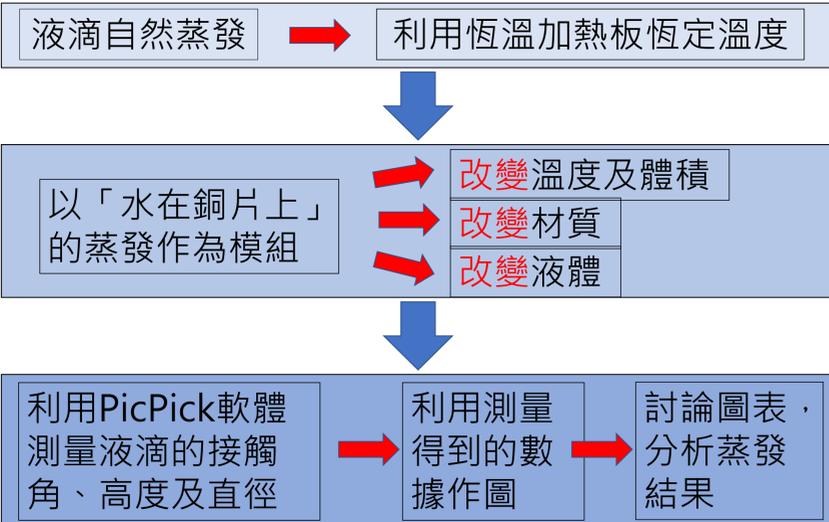
- 一、實驗器材：**  
攝影機、恆溫加熱板、微量滴管、尺、溫度計、自製散光板、電子秤、手機水平儀程式、PicPick軟體。
- 二、實驗材料：**  
材質：玻璃、毛玻璃、銅片、鐵片、鎳片、鋅片、鋁片、鉛片、P80砂紙、P180砂紙、P240砂紙、P400砂紙、P1500砂紙、P3000砂紙、塑膠、紙盒、鋁箔、蠟紙、矽膠、奈米（奈米材質汽車噴霧，以下簡稱奈米）  
液體：水、鹽水20%、糖水20%、咖啡、茶、牛奶、酒精75%
- 三、實驗架設：**



(一)光源置於描圖紙後方，打背光，錄影時液滴較為明顯，方便觀察。  
(二)液滴以微量滴管滴於材質上方並放至恆溫加熱板上。  
(三)架設攝影機拍攝液滴蒸發過程。

# 肆、研究過程

## 一、研究過程



## 二、實驗方法

### (一)名詞解釋

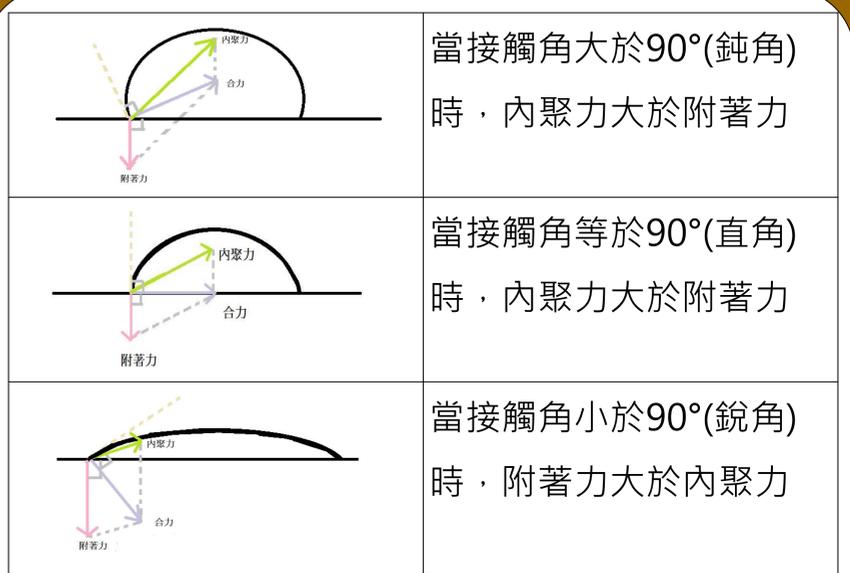
- 1.內聚力：同種物質內部分子間相互吸引的力。
- 2.附著力：兩種不同的物質接觸時，表面分子間的相互吸引力，稱為「附著力」。

### (二)接觸角的定義：

液滴與接觸固體表面會有個接觸點，該點切線與固體平面所夾的角即為接觸角。

### (三)液體蒸發過程的影像示例：

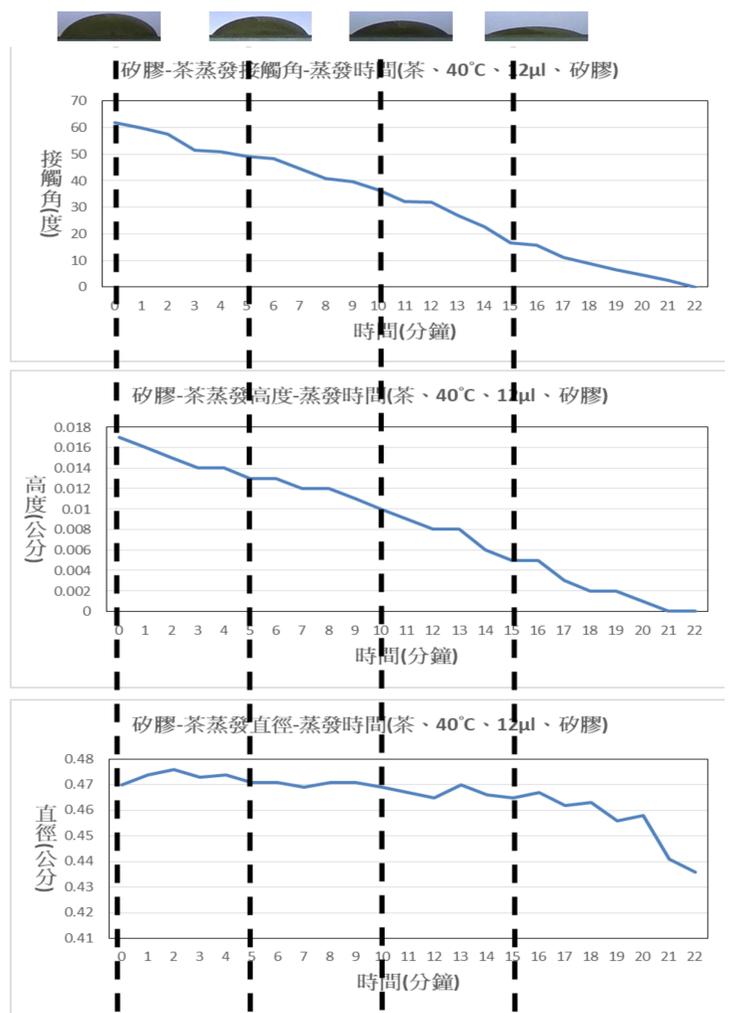
初始接觸角 大於 90°						
初始接觸角 等於 90°						
初始接觸角 小於 90°						



當接觸角大於90°(鈍角)時，內聚力大於附著力  
當接觸角等於90°(直角)時，內聚力大於附著力  
當接觸角小於90°(銳角)時，附著力大於內聚力

## 三、結果處理模式

### (一)觀察及測量液滴變化的接觸角、高度、直徑



### 液滴蒸發觀察：

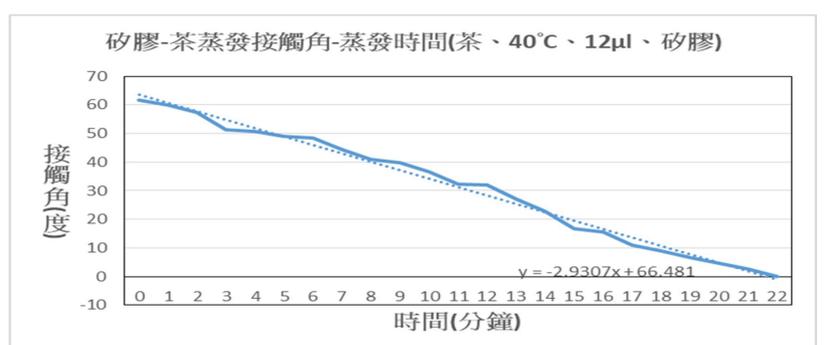
我們將一定體積 ( 12 $\mu$ l ) 的液體滴於不同材質，置於恆溫加熱板 ( 40°C ) 上，因液滴體積太小，肉眼不易觀察，於是利用攝影機拍攝、觀察及測量液滴的蒸發情形。

### (二)研究過程

#### 實驗步驟：

1. 利用手機水平儀校正腳架為水平狀態。
2. 架攝影機、恆溫加熱板、尺、光源及自製散光板。
3. 調整恆溫加熱板溫度並用紅外線測溫儀確認溫度。
4. 將該組實驗所需的材質放於恆溫加熱板上。
5. 以微量滴管將液滴滴於材質上方。
6. 以攝影機拍攝液滴的蒸發過程。
7. 利用PicPick軟體測量液滴的接觸角、高度及直徑。

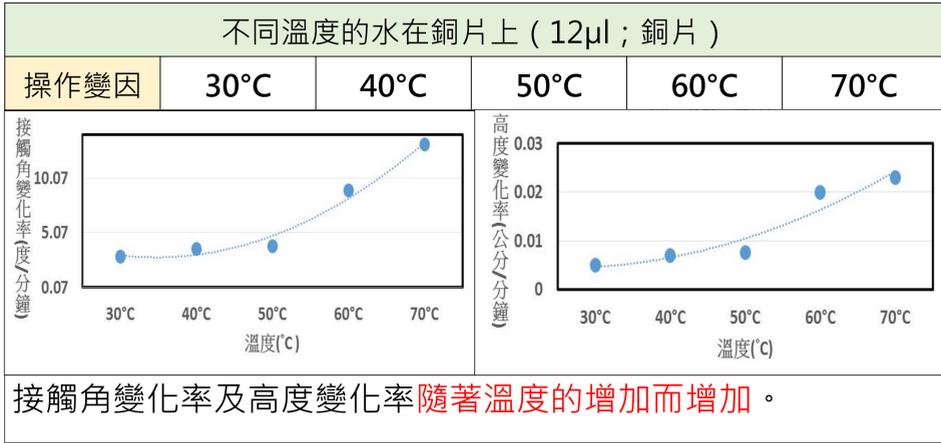
### (三)由接觸角對時間及高度對時間的關係圖中可發現，兩者幾乎呈線性遞減。



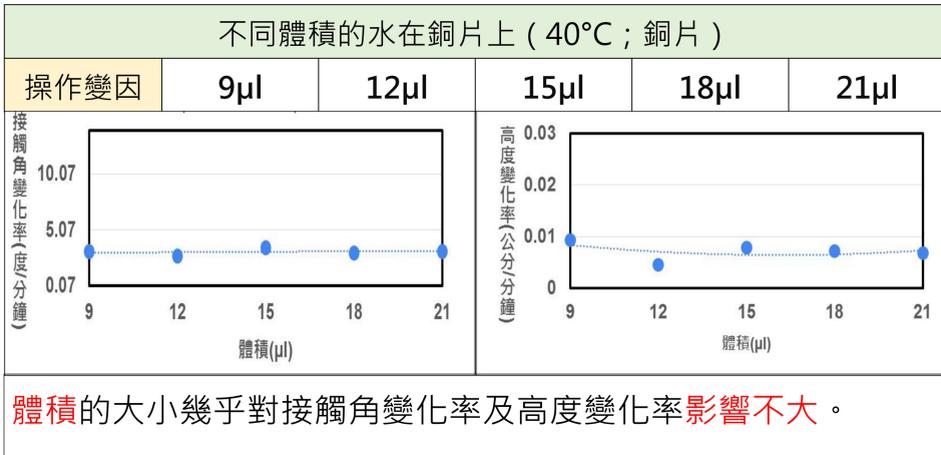
1. 將蒸發接觸角對時間及高度對時間的折線圖拉趨勢線。
2. 從趨勢線方程式求斜率，以斜率的絕對值做為變化率。

## 伍、實驗結果

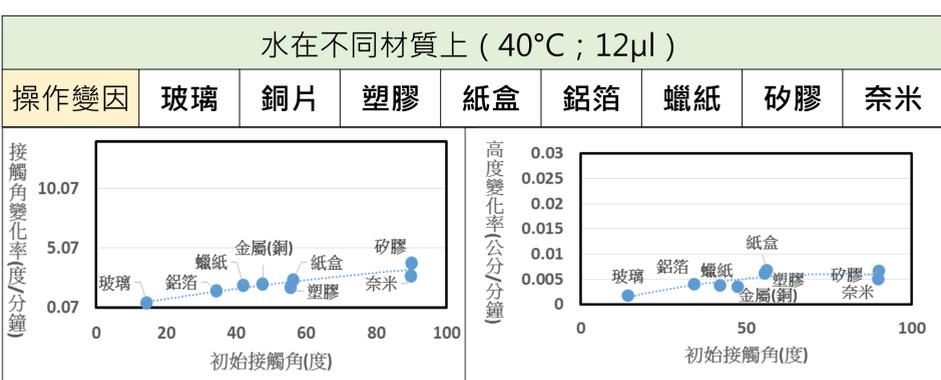
### 一、不同溫度的水在銅片上的蒸發



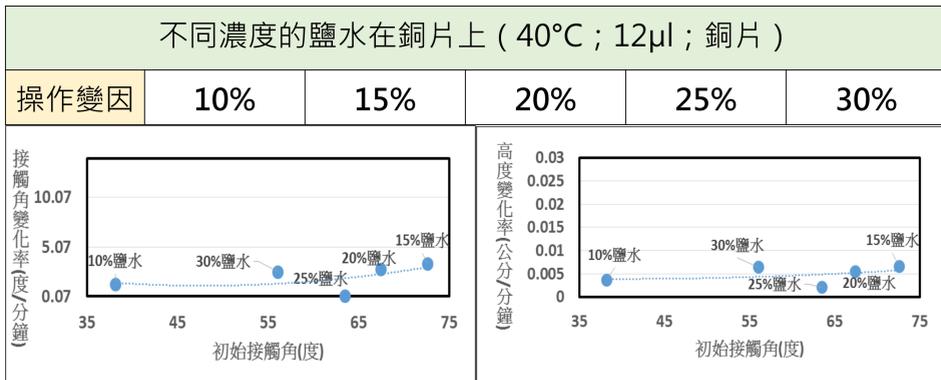
### 二、不同體積的水在銅片上的蒸發



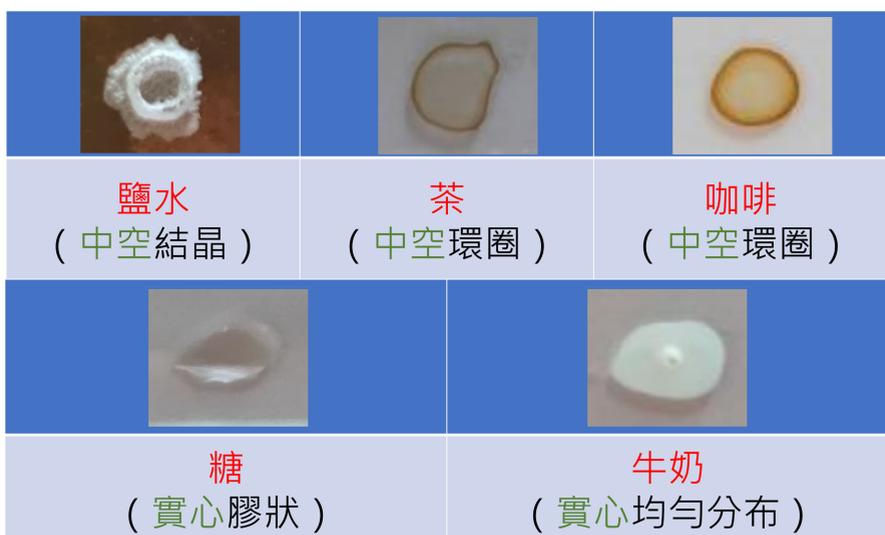
### 三、不同材質的水在銅片上的蒸發



### 四、不同濃度的鹽水在銅片上的蒸發



### 五、蒸發完殘漬

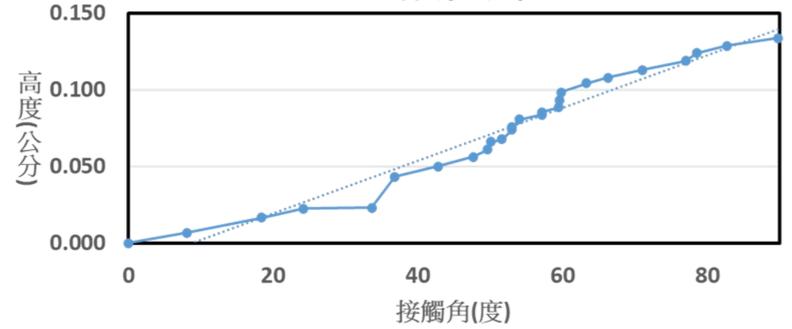
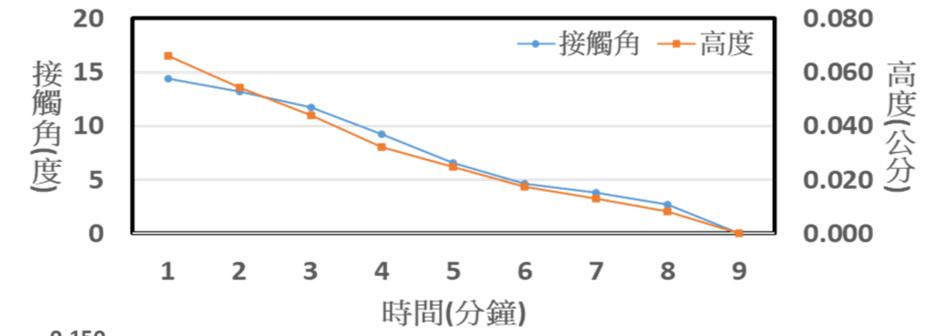


說明：  
 茶與咖啡的殘漬，在外圍形成環圈；鹽水的結晶在外圍形成環圈突起；糖水呈現均勻實心膠狀；牛奶呈現實心均勻分布。

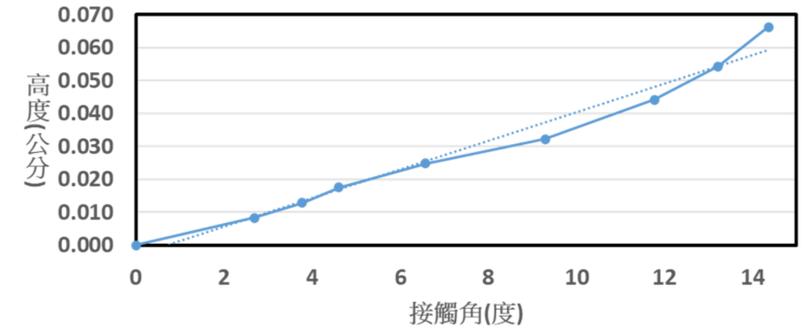
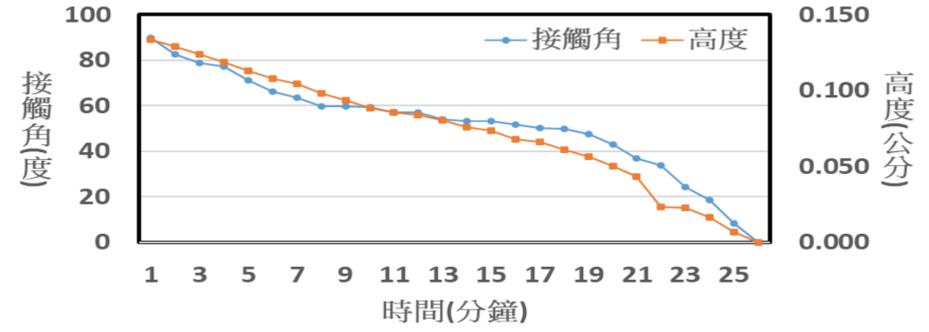
## 陸、討論

### 一、不同初始接觸角蒸發情形

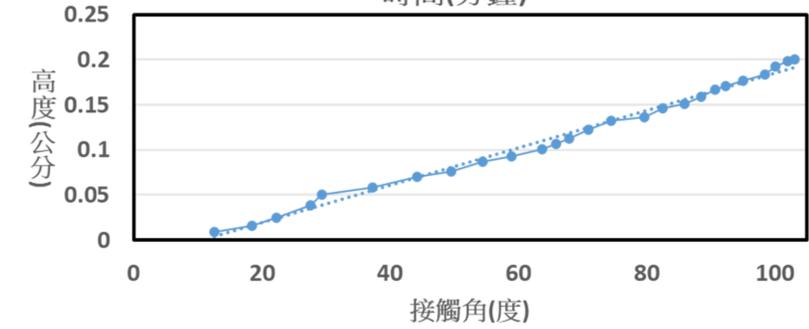
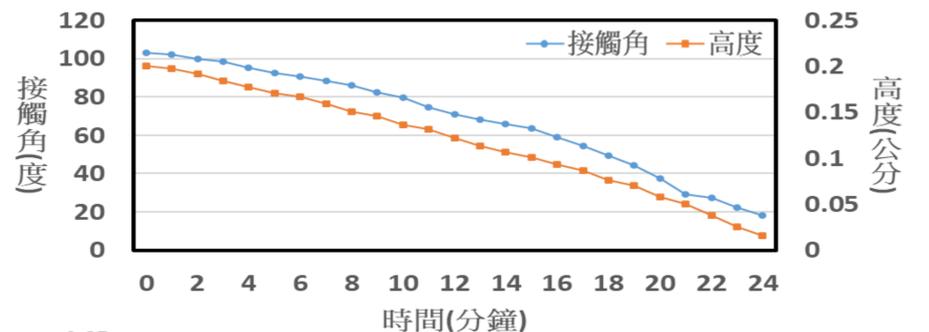
#### (一) 接觸角小於90°(水在玻璃上)



#### (二) 接觸角等於90°(水在奈米上)



#### (三) 接觸角大於90°(水在矽膠上)



說明：當接觸角變化較大時，高度變化較小；接觸角變化較小時，高度變化較大。

#### (四) 接觸角、高度初、中、末期變化

	相對接觸角減少			相對高度減少		
	初期	中期	末期	初期	中期	末期
水在玻璃上	較慢	較快	較慢 (最後又變快)	較快	較慢	較快
水在奈米上	較快	較慢	較快	較快	稍慢	較快
水在矽膠上	持續	持續	較快	持續	持續	較快

#### 定義：

初期：蒸發時間前三分之一；中期：中間三分之一；末期：後三分之一。較快：相對減少量較大；較慢：相對減少量較小；持續：相對減少量幾乎不變。

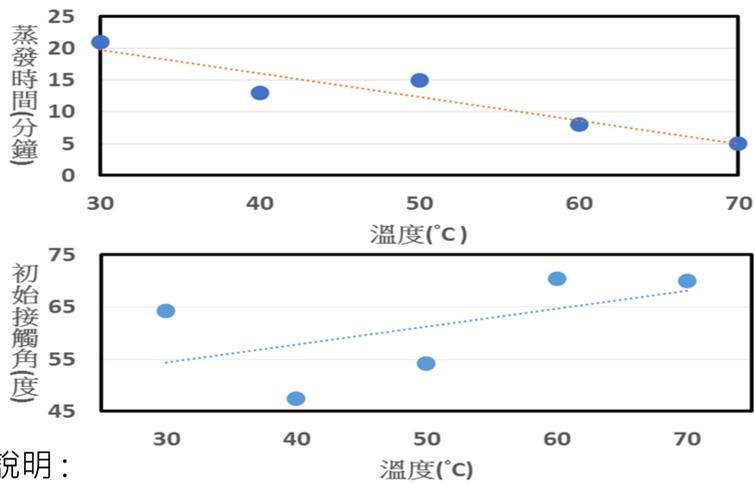
#### 說明：

接觸角及高度都不是線性減少，而是接觸角變化和高度變化快慢交互輪替，接觸角為銳角時較明顯，甚至有時高度不變接觸角變小；有時接觸角幾乎不變，只有高度下降。兩者到末期的變化都比前面快。

## 二、水的蒸發探討

### (一)探討影響水蒸發速度的最主要因素(12 $\mu$ l、銅)

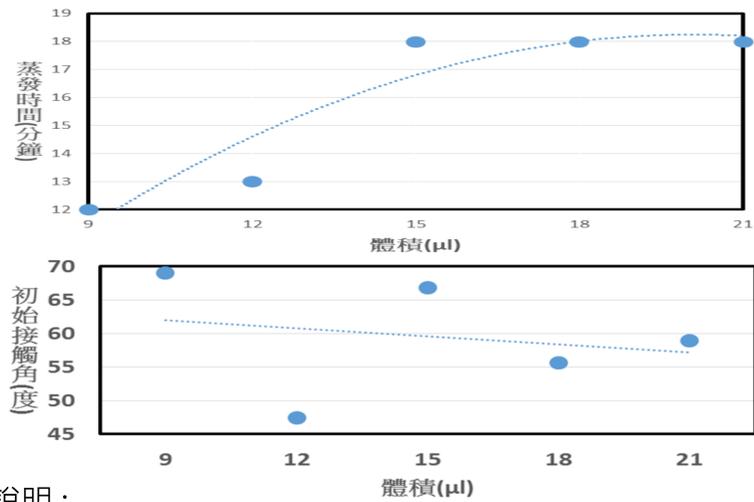
#### 1. 溫度



說明：

- 溫度越高蒸發時間越短。
- 溫度影響初始接觸角、內聚力和附著力，使合力產生變化，導致接觸角不同。

#### 2. 體積

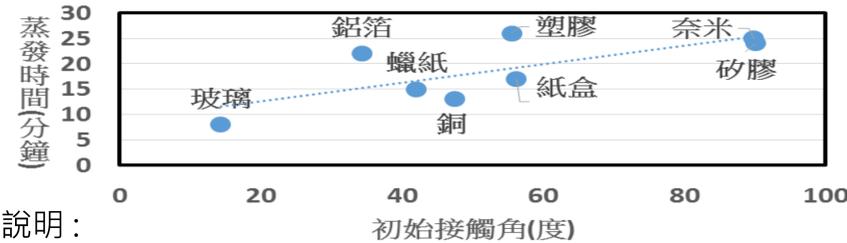


說明：

- 體積增加，初始接觸角稍微減少，猜測是因為重力造成的影響
- 體積增加，蒸發時間增長。

## 三、不同材質對液滴蒸發的影響

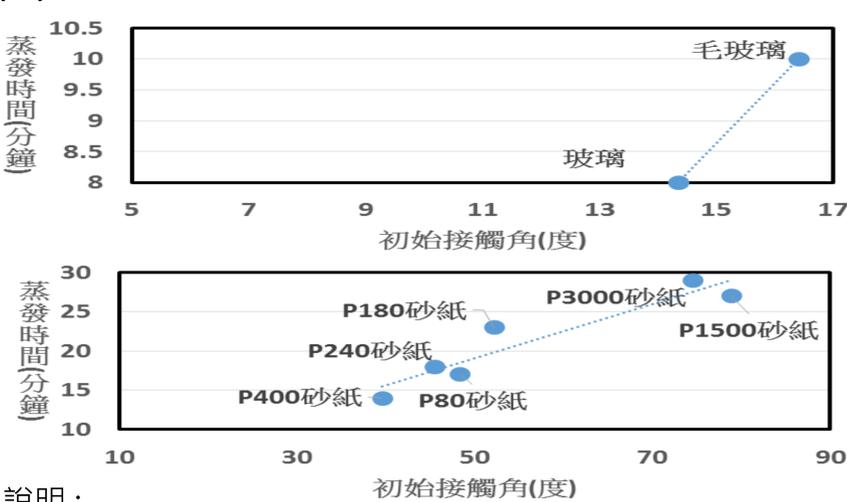
### (一)材質對蒸發時間的影響



說明：

- 材質對初始接觸角影響大。
- 不同材質附著力不同，初始接觸角大、蒸發時間長。

### (二)粗糙程度對液滴蒸發的影響



說明：

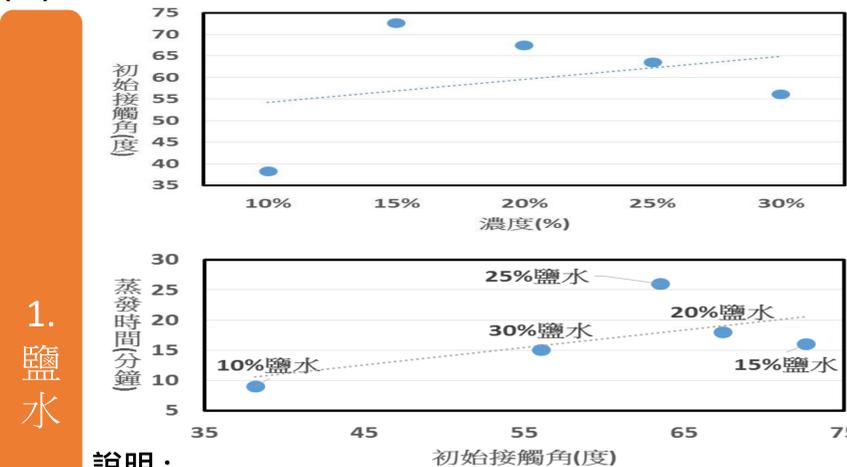
- 初始接觸角的分布，和砂紙粗細編號相關性低。
- 初始接觸角大、蒸發時間長。

### (三)為甚麼不同材質的接觸角會不同？

- 不同材質的附著力不同，當附著力相較於內聚力較大時，初始接觸角小、蒸發時間短。

## 四、不同液滴的蒸發探討

### (一)不同濃度對蒸發的影響

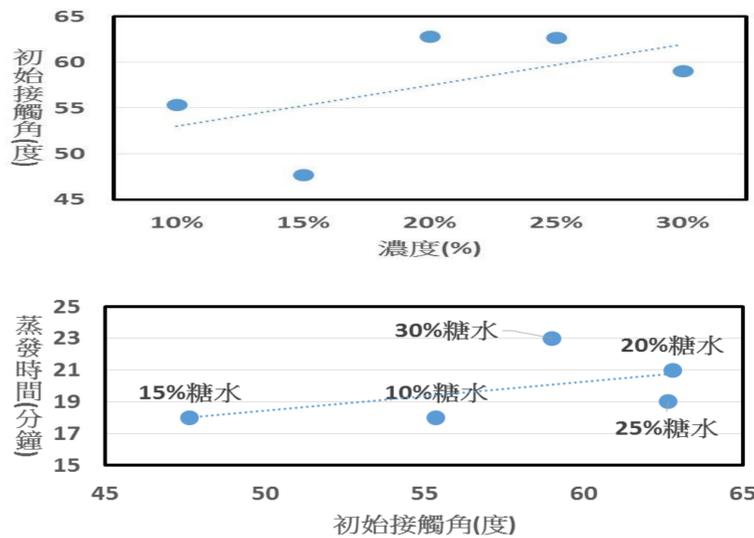


說明：

- 若剔除10%這筆資料，鹽水濃度小，初始接觸角大，會有例外，可能是鹽水內聚力和濃度並非性線性關係。
- 大致而言，初始接觸角越大，蒸發時間越長。但是鹽水蒸發時濃度改變，內聚力改變，達到飽和時鹽水析出氯化鈉結晶，這些原因可能導致初始接觸角與蒸發時間未能非常吻合線性。

#### 1. 鹽水

#### 2. 糖水

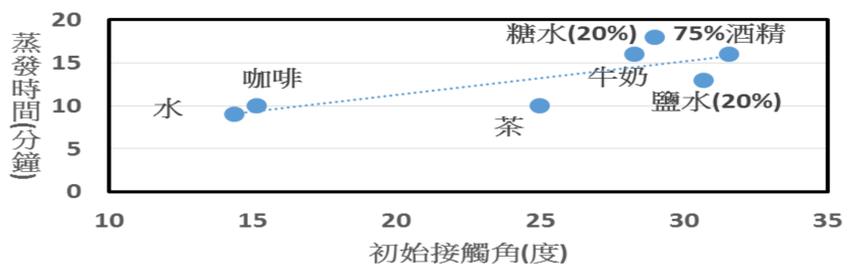


說明：

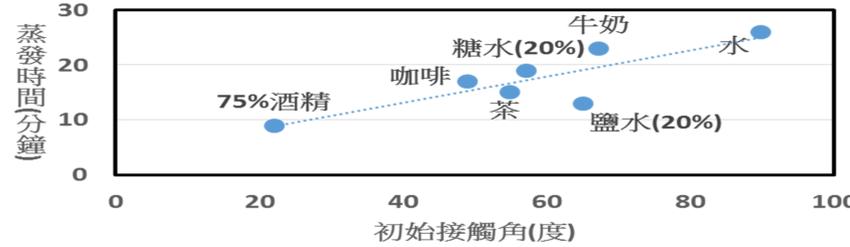
- 糖水濃度大、初始接觸角大、蒸發時間長。

## (二)不同液滴在同一材質上

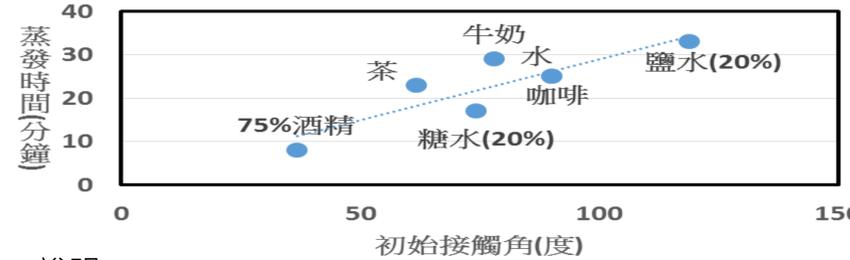
(40°C、12 $\mu$ l、玻璃)



(40°C、12 $\mu$ l、奈米)



(40°C、12 $\mu$ l、矽膠)



說明：

- 不同液體的液滴在各種材質上，其初始接觸角越大，蒸發時間越長。

## 柒、結論

- 不同溫度，接觸角不同，蒸發速率不同，溫度越高蒸發速率越快。
- 接觸角越大，內聚力相對越大，蒸發時間越長；接觸角越小，附著力相對越大，蒸發時間越短。
- 接觸角決定於附著力及內聚力。蒸發是液體表面分子離開液面，所以同體積時表面積大，離開分子較多，蒸發速率大。溫度越高，分子運動越快，離開表面機會越大，蒸發速率越大。接觸角越大，內聚力越大，分子越不容易離開，蒸發速率小、蒸發時間長。附著力越大，會把液滴拉扁，空氣表面接觸面積變大，會讓蒸發變快。
- 接觸角受溫度、體積、接觸面材質、不同濃度、不同液體影響；不論是在何種情形，溫度一定、體積相同的液滴，初始接觸角越大、蒸發時間越長。
- 牛奶及糖水，蒸發時其溶質可能受黏滯性影響，蒸發後呈現實心殘跡；鹽水、咖啡及茶在蒸發時，其溶質向外圈移動，形成空心環狀殘跡。
- 建議：根據研究指出，病毒在日常生活常見的物品中，附著於鋁最低存活時間為2小時，附著於塑膠最長存活時間是9天，附著在木頭、紙張、玻璃的生存時間，在特定條件下也都不低於4天。與本研究液滴在固體表面蒸發時間長短呈現相同趨勢。可待後續研究。

## 捌、參考資料

- Kampf G, Todt D, Pfaender S, Steinmann E. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. J Hosp Infect 2020;104:246–51. 取自: <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.01.022>.
- 劉承華(2002)；液滴在我眼前蒸發。2002年台灣國際科展物理科。 取自: <https://reurl.cc/rxVYOE>
- 翰林版教科書團隊編著 (2019)。國中自然與生活科技第三冊。翰林出版社