

# 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 化學科

030206

天使的眼淚—探討不同情況下酒淚掛杯表現之  
差異

學校名稱：高雄市立福山國民中學

作者：  國二 許幼昕  國二 吳科寬  國二 許耘睿	指導老師：  鄭士鴻
---	------------------

關鍵詞：馬倫哥尼效應、酒精、表面張力

## 摘要

我們很好奇什麼是酒淚？為什麼會有這個現象？是否可以從酒淚來判斷酒的品質好壞？故我們設計本實驗來找出不同酒淚表現背後的影响主因到底是什麼。

我們發現並非所有酒精水溶液皆能形成酒淚；搖杯會生酒淚的主因之一為產生液體膜，不同高度液體膜對酒淚的影响皆不同；不同溶質與濃度會造成酒淚表現的差異，如乙醇濃度越高酒淚密度越大；含甘油越多，初始淚低出現時間越晚、酒淚掛杯流速越慢、淚滴寬度越大；乙酸乙酯越多，初始淚滴累積至落下所需時間較短、體積小而流速快；甲醇的趨勢雖與乙醇相同，但其表現又有差異。液體溫度較高時產生的酒淚寬度較大、數量較少但流速快。最後觀察不同種類酒杯的酒淚差異，發現威士忌杯的酒淚表現最明顯好觀察。

## 壹、研究動機

在一次和同學一起看到了網路上「搖晃葡萄酒、醒酒的過程中會有酒淚出現」的影片，我們很好奇什麼是酒淚？為什麼會有這個現象？另外我們也發現有許多人認為可以從酒淚來判斷酒的品質好壞，他們覺得酒淚滑落的較慢或酒淚較多者是判斷高品質酒類的標準，不過真的是這樣嗎？我們想瞭解酒淚形成的原因以及相關影响因素，經詢問師長以及搜尋一些相關的資訊後，發現對這種現象的解釋眾說紛紛。因此，我們希望能藉由科學方法，**找出不同酒淚表現背後的影响主因到底是什麼。**

## 貳、研究目的

- 一、觀察不同酒精飲料形成酒淚的狀態和差異。
- 二、找出便於觀測酒淚的搖杯方法與表現差異
- 三、探討溶液中酒淚形成的影响因素：
  - (一)不同溶質添加物以及不同溶液濃度差異
  - (二)不同溶液溫度
  - (三)不同形狀容器所造成的影响

## 參、研究設備及器材

- 一、實驗器材：不同種類酒杯、溫度計、橡皮塞、恆溫槽、白色紙板、燒杯、鐵架、鐵夾
- 二、實驗藥品：各種酒精飲料、各種水溶液飲料、藍色色素、甘油( $C_3H_8O_3$ )、甲醇( $CH_3OH$ )、乙醇( $C_2H_5OH$ )、乙酸乙酯( $CH_3COOCH_2CH_3$ )

三、實驗設備：攝影機、手機、冰箱、LED 手電筒

## 肆、文獻探討與實驗流程

### 一、文獻探討

#### (一)掛杯現象

坊間飲酒者為了促進葡萄酒香氣的釋放，在品酒過程中以杯柱為軸心，有節奏地旋轉酒杯，讓酒液在杯中旋轉起來，擴大與空氣的接觸面，進而加快揮發性香氣的釋放，稱為"醒酒"；當停止旋轉酒杯後可以看到杯壁上出現了一條條透明的柱狀液體，就像一行行汨汨流下的「眼淚」一樣，即為「酒淚」、「天使的眼淚」，後文稱為「酒淚掛杯現象」。(參考資料 1、5)

#### (二)掛杯原理

如示意圖，當酒被倒入杯中並搖晃時，杯壁上的酒精水溶液相對於杯中的液面，有相對較大的表面積，故乙醇蒸發速度較快，因此杯壁上的酒精濃度低於液面的酒精濃度，造成杯壁上緣的表面張力大於水平液面的表面張力(酒精濃度越高，表面張力越小)。當表面張力的差異產生後，流體會由表面張力小處往表面張力大處流動，因此酒精水溶液會一直往杯壁上方累積，形成淚滴狀，累積到某個程度，就會因重力流下來了(如圖 1)，液體的這種因為表面張力差而造成的傳質現象就是著名的「馬倫哥尼效應」(Marangoni Effect)(參考資料 2)



▲圖 1 酒淚產生示意圖

#### (三)掛杯的對象－酒的成分與釀造法

##### 1.釀造酒

(1)坊間最常拿來觀察酒淚的對象"葡萄酒"即屬於釀造酒的一種，釀造酒是以穀類、水果類或其他含醣類之原料，經微生物發酵後而製成的含酒精飲料；大多會經過過濾，酒精濃度較低(多在 20 度以下)、原料溶出物濃度較高。(參考資料 3)

(2)葡萄酒有許多分類方式，依成品顏色可分為紅葡萄酒、白葡萄酒及粉紅葡萄酒；不同糖度可分為乾型、半乾、半甜及甜型(參考資料 6)，一般葡萄酒的酒精含量約為 8~15%。

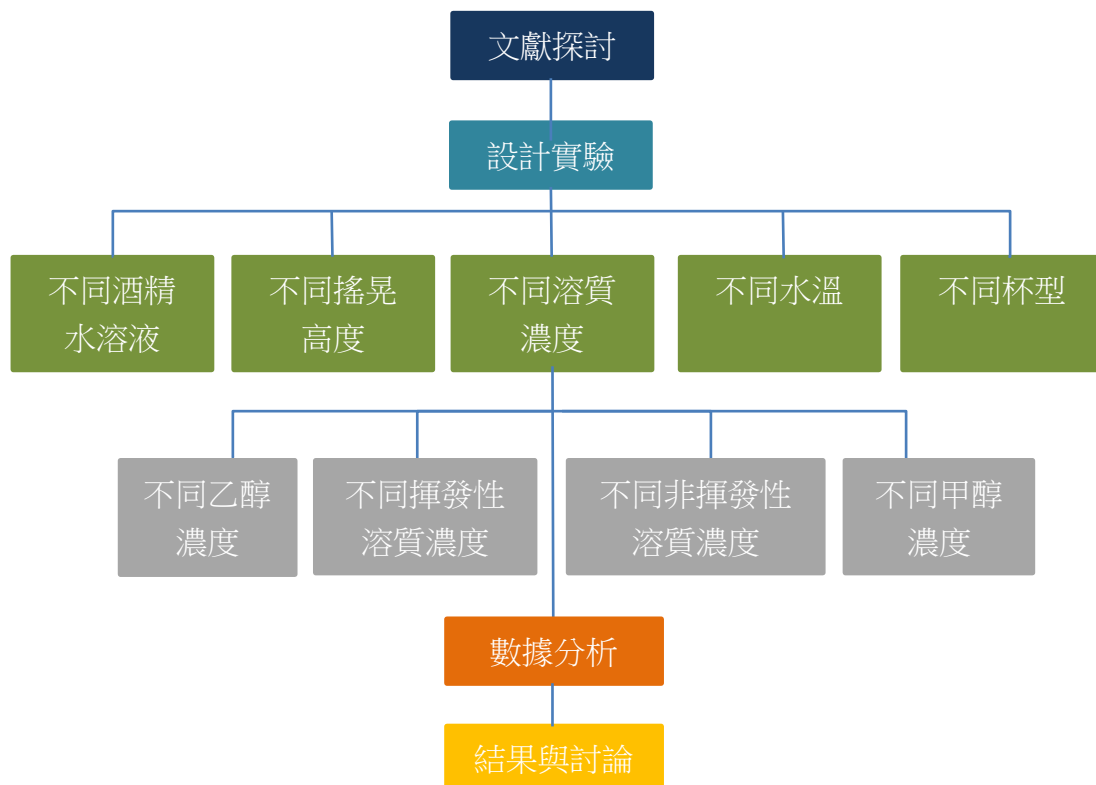
2.將釀造酒蒸餾製成的為"蒸餾酒"，因酒精的沸點較低(約攝氏 78 度)，在蒸餾過程中，可使初次釀造出的酒品中酒精先蒸餾出來，進而提高酒中的酒精含量，蒸餾越多次，酒品的酒精度數越高，通常都在 30、40%以上，酒性醇厚猛烈、後勁十足。白蘭地、威士忌、伏特加、龍舌蘭酒、蘭姆酒、高粱等都是常見的蒸餾酒。(參考資料 3)

3.以蒸餾酒摻配植物性、動物性藥材等物質，經過調味配製而成的酒稱再製酒(俗稱藥酒)，如參茸酒、鹿茸酒、龍鳳酒、竹葉青酒、雙鹿五加皮酒等。(參考資料 3)

#### (四)品酒指標－酒體

坊間在描述酒的口感時，有個專門指標術語－酒體(Body)，它是指酒在口中的“重量”和“質感”，主要是由舌頭的感覺來評定，而非酒本身的物理重量。它是一種比較主觀性的概念，跟實際性的重量或質量並沒有關連，反而是跟酒精度、剩餘醣類、酸度、甘油和干浸出物等有關，這些物質結合起來在口中的分量、密度、濃稠度與飽滿度的綜合感知，造成酒體渾厚的酒大多口味濃重強大，接近於牛奶給人的感覺；酒體輕盈的酒則清瘦柔和，接近於水給人的感覺(參考資料 4)

#### (二)實驗流程



## 伍、研究過程、結果與討論

### 一、【實驗 1】探討不同種類酒精飲料形成酒淚的狀況和差異

(一)研究目的：我們在網路上看見有人將葡萄酒倒入酒杯中搖晃醒酒時，觀測到酒液會在杯壁留下一條條痕跡，就像酒在流淚一般，稱為酒淚掛杯現象，但卻未說明其他酒精飲料是否會產生此現象，因此我們取市面上常見的幾種酒精水溶液飲料，分別到入相同酒杯中，觀察是否形成酒淚以及其差異。

(二)變因：

控制變因	操縱變因	應變變因
1.容器：350ml 威士忌杯 2.溶液體積：30ml 3.醒酒搖杯高度：3cm 4.光源、紀錄紙與攝影機位置	不同種類酒精飲料 	不同種類酒精飲料搖杯後是否會出現酒淚以及其差異

#### 1.控制變因

(1)容器：我們使用了常見的威士忌杯做為實驗的標準容器。(其他不同杯型的淚滴形成情形請見實驗五)

(2)溶液體積：我們取一口量(約 30ml)取來做為實驗的標準溶液體積以便觀察。

(3)醒酒搖杯高度：我們將溶液在杯中的搖晃高度固定為常見的醒酒高度 3cm，故我們將 30ml 水溶液倒入酒杯中並在液面以上 3cm 的杯壁高度處作上記號以控制每次實驗的搖杯後的液面最高高度。

2.操縱變因：酒精飲料→我們使用了五種一般超市常見的酒液飲料(分別為啤酒、葡萄酒、藥酒、威士忌、高粱)以觀察酒淚形成的狀況與差異。

(三)研究方法：

#### 1.裝置目的：

由於杯壁上的酒淚為顏色透明且體積較小的"顆粒"或"小水流"(如圖 2)很難以肉眼或相機直接拍攝與量化其差異，故我們設計自製觀測裝置來記錄杯壁上的酒淚形狀。



▲圖 2 杯壁上的酒淚

2.裝置原理：我們使用 LED 的光折射杯壁上的透明淚滴來使酒淚的影像放大並投射在紙屏上以便觀察與紀錄。



▲圖 3 光源與紙

#### 3.裝置圖：

(1)先將手電筒下端以鐵夾與鐵架固定至切齊威士忌杯口位置，

使光源固定由杯口方向向下投射出去(如圖 3)

(2)將白色 A3 紙放在酒杯下方當紙屏，並在紙上畫出固定放置杯底位置

以控制變因

(3)最後將攝影機固定在酒杯正上方 40 公分處，拍攝出以杯底為圓心的

酒淚投影分布圖(如圖 4)



▲圖 4 投影圖

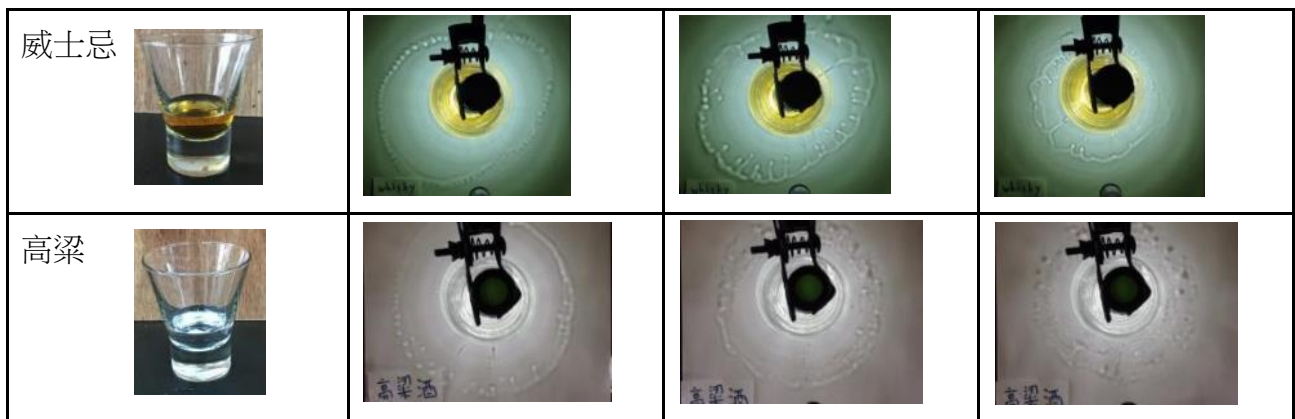
(四)實驗步驟：

<p>1.取葡萄酒 30ml 倒入威士忌杯中</p>	<p>2.把杯子放到紙屏上固定位置，並將 LED 手電筒以鐵架與鐵夾固定至切齊威士忌杯口位置</p>	<p>3.模仿坊間醒酒方法：搖晃酒杯使酒液上升至離初始液面約三公分處</p>	<p>4.將攝影機固定在酒杯正上方 40 公分處，觀察並記錄是否出現酒淚投影</p>
<p>5.量取下一種酒精水溶液飲料 30ml，重複步驟 1~4 並記錄其酒淚出現狀況與差異</p>			

(五)實驗結果：

液體膜/酒淚掛杯情形	前期	中期	後期
<p>啤酒</p>			
<p>葡萄酒</p>			
<p>藥酒</p>			





#### (六)實驗討論：

由實驗結果發現酒精飲料搖杯後只有葡萄酒、藥酒和威士忌會出現酒淚掛杯，濃度最低的啤酒和濃度最高的高粱則沒有，因此我們將五種酒液依酒淚前期、中期、後期的表現差異大致分成了三類：

##### 1.啤酒：

實驗發現啤酒(乙醇濃度 5%、飽和二氧化碳氣泡酒類)搖杯完無論是前、中、後期在杯壁上皆只有殘餘的啤酒泡慢慢滑落，而最終沒有酒淚掛杯的現象產生，也沒有形成液體膜，故我們得知並非任何酒精飲料搖杯後都會出現酒淚掛杯現象。

##### 2.葡萄酒、藥酒、威士忌：

(1)實驗發現葡萄酒(乙醇濃度 14%、釀造酒)、藥酒(乙醇濃度 25%、再製酒)以及威士忌(乙醇濃度 40%、蒸餾酒)搖杯完都有酒淚出現，故我們得知酒的種類(釀造、蒸餾或再製酒)並非酒淚出現與否的絕對因素。

(2)另外我們發現此三種酒搖杯完的前期、中期與後期的酒淚呈現狀況不盡相同：葡萄酒前期液體膜雖然很完整，但沒有明顯的淚滴出現，而是呈現圓形一起慢慢向杯底滑落，中期才有淚痕出現；相反的威士忌在初期便開始有"初始淚滴"出現如上表，然後隨著時間而逐漸變大顆，累積到某種程度後開始一條條向下滑落成非常密集的淚痕；藥酒的酒淚表現則居於兩者之間。

##### 3.高粱：

(1)實驗發現高粱(乙醇濃度 58%、蒸餾酒)搖杯後的前期和威士忌一樣有"初始淚滴"出現，但維持一陣子之後會逐漸消失，接著液體膜慢慢的從上至下破碎，液滴也跟著滑落，最終杯壁呈現散亂無章的殘酒液滴，沒有酒淚掛杯的現象。

(2)我們很好奇啤酒沒有酒淚產生會是因為所含乙醇濃度太低所造成的嗎?那為什麼含有高濃度乙醇的高粱也沒有酒淚產生呢?亦或是他們所含溶質添加物在搖杯的

過程中扮演了什麼神秘的角色?另外葡萄酒、藥酒、威士忌都一樣可以產生酒淚，為何這三者表現不相同，但他們並非相同種類的溶質所組成，所以我們無法直接控制變因來探究到底是什麼因素造成這些差異?

4.經過討論以及多番查詢相關資料後我們發現，大多數關於酒淚掛杯這個現象的討論都是針對物理性的解釋其力學因果，或是更表淺的依此判定酒品的好壞，鮮少有系統性的探究到底搖杯時哪些條件可以讓酒淚更明顯?酒精飲料的內含溶質種類與濃度會如何影響酒淚掛杯的現象呈現?什麼狀況會讓酒淚變多?變寬?流速變快等，是否會有酒商依照以上特性去給予商品額外的添加物來提升酒淚的表現換得較高的售價?我們希望能藉由科學方法，找出不同酒淚表現背後的影响主因到底是什麼，因此我們後續設計了實驗三來了解各溶質濃度和添加物對酒淚掛杯表現的影響。

## 二、【實驗 2】探討搖杯到不同液面高度對酒淚形成的影響

### (一)研究目的：

坊間討論酒淚的產生時皆以搖晃酒杯來產生酒淚掛杯現象，但卻沒有提到到底要將酒液晃到多高才會有酒淚掛杯現象?以及搖晃高度對相同狀況的酒產生酒淚掛杯現象會有什麼影響?於是我們取實驗一中酒淚掛杯現象最明顯的威士忌為對象來觀察搖杯後的不同液面高度對酒淚掛杯產生的影響

### (二)變因：

控制變因		操縱變因	應變變因
1.容器：350ml 威士忌杯 2.溶液：威士忌	3.溶液體積：30ml 4.光源、紀錄紙與攝影機位置	搖杯成不同液體膜高度	搖杯到不同液面高度酒淚掛杯狀況差異

1.控制變因：標準酒精飲料→我們取用實驗 1-2 中酒淚較為明顯好觀察的威士忌(三得利威士忌，酒精濃度 40%)作為標準液來觀測其在不同狀況下的酒淚表現差異。

### 2.操縱變因

搖杯成不同液面高度：

(1)我們在本實驗想觀察搖杯後的不同液面高度對酒淚產生的影響，首先我們先在威士忌杯中裝入 30 毫升的威士忌，並在此時的液面畫上記號作為基準線，接著沿著杯壁往上每一公分再畫一條記號以代表搖杯後的不同液面高度(如圖 5)

(2)我們在實驗一發現，當我們模仿坊間搖杯時，酒液不一定可以各個部分皆到達同一高度，此誤差會影響我們後續的測量結果，經過多次觀察與討論後我們發



現用手搖杯至不同液面高度其實會在杯壁上產生不同高度的液體膜，此層液體膜是產生酒淚的主要載體，因此我們將此方法改良成"針筒抽取法"來產生一個穩定的液體膜來幫助我們探討不同液面高度對酒淚形成的影響。

(3)我們在查詢資料時發現大部分文章在討論酒淚的產生必要條件之一就是**要搖晃杯子來產生液體膜**，這使我們很好奇，如果將酒小心置入酒杯而完全不搖晃，是否仍會有酒淚掛杯?故我們先以針筒抽取標準液(威士忌)30ml 至威士忌杯中，不搖晃(如圖 6)直接觀察其產生酒淚的狀況來代表 0cm 高液體膜的結果；接著觀察將威士忌先以針筒加到威士忌杯中的第 2 條線(比初始 30ml 高 1cm 處)(如圖 7)再回抽至初始線(30ml 處)以產生 1cm 高液體膜(如圖 8)觀察、紀錄其酒淚的狀況，最後再以此方法分別觀測 3cm 與 4cm 的液體膜所產的酒淚有什麼不同。



▲圖 5 杯壁刻度



▲圖 6 不搖晃



▲圖 7 以針筒注入威士忌



▲圖 8 1 公分液體膜



▲圖 9 加寬 X 軸

### (三)研究方法：

1.我們發現**不同液體膜高度所形成酒淚的寬度與流速不盡相同**，為了幫助我們數據分析其差異，我們延續實驗 1 的研究方法：LED 光折射杯壁上的酒淚投影在紙屏上並另外加上參照座標幫助我們反推淚滴的大小與移動距離。

2.我們實驗前先在透明的杯子上畫上固定的座標(Y 軸每高 1 公分作一個記號，X 軸則是將前者的記號加寬，寬多 1 公分標計 1 次，共標 2cm 橫軸(如圖 9)

3.實驗時將不同狀況的酒淚以及 **XY 軸座標以光影法一起投影到紙屏上**(如圖 10)，並以攝影機以固定位置紀錄其相對位置，事後透過軟體 Measure 來計算投影圖中酒淚與 XY 軸座標的相對比例大小與移動距離反推其寬度與流速



▲圖 10 投影法

(1) 寬度：我們使用軟體 Measure 來測量液滴在顯示器上的像素數，再將液滴像素數除以水平高度上 1 公分的像素數，重複此步驟，再將五次結果取平均。

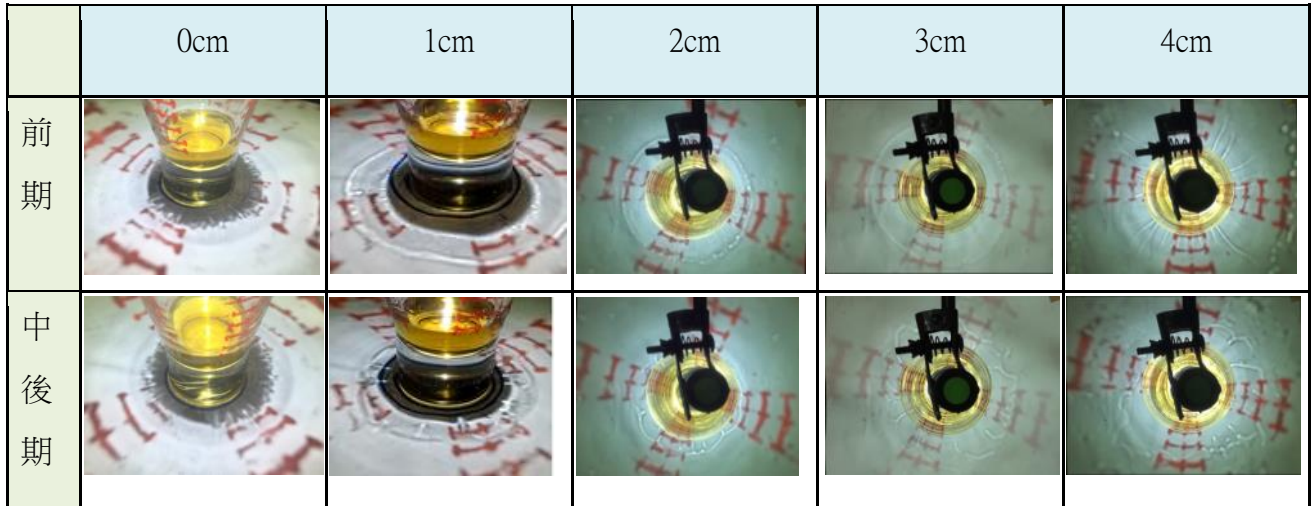
(2) 流速：將實驗時的錄影結果用威力導演紀錄淚滴移動 1 公分的時間，再用 1(公分)除以時間(秒數)，算出該顆粒的流速，重複此步驟，再將五次結果取平均。

最後以影片編輯軟體"威力導演"計算初始淚滴累積至落下所需時間長短。

### (四)實驗結果

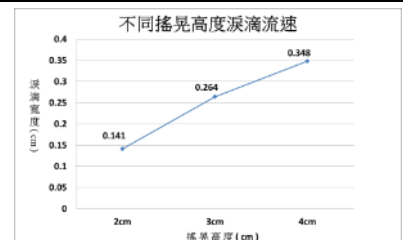
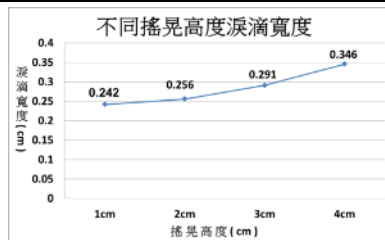
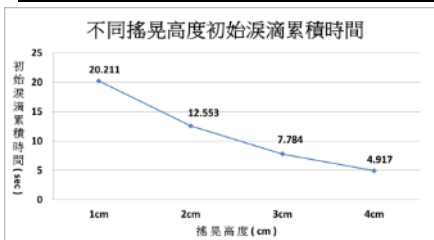
1.不同搖晃高度淚滴情形：**(因為從上方錄影 1cm 以下會被杯口擋到，故 0cm、1cm**

用側拍圖像說明比較)



2.不同搖晃高度淚滴情形：

液體膜高度	0cm	1cm	2cm	3cm	4cm
酒淚掛杯	無	無	有	有	有
初始淚滴累積時間(sec)	無	20.211	12.553	7.784	4.917
平均酒淚寬度(cm)	無	0.242	0.256	0.291	0.346
平均流速(cm/s)	無	無	0.141	0.264	0.348



(五)實驗討論

1.實驗結果顯示必須要搖杯使杯壁上附著額外的液體膜才会有酒淚的現象產生，且不同高度的液體膜，其酒淚掛杯的表現也不盡相同：

(1)液體膜高度 0cm(代表無液體膜)：由實驗結果我們得知沒有額外搖杯來產生杯壁上的液體膜時無法觀察到酒淚掛杯的產生。

(2)液體膜高度 1cm、2cm(後文稱為短膜)：

我們發現當搖杯使杯壁上產生的液體膜很短，初始圓形液體膜可以維持在原本的高度不滑落，接著在液體膜的最高處慢慢累積成一圈環狀水管，我們在後文將之稱為"淚環"(如圖 11)，最後淚環上開始出現淚滴並逐漸累積變重而開始下

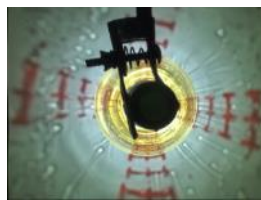
滑、此時 1cm 高液體膜的淚滴會貫穿上下直接形成一個穩定的"淚水道"(如圖 12) 將液體膜頂累積的淚環穩定的輸送到液面處而非呈現正規的淚痕；另外 2cm 高液體膜則是淚滴累積到一定重量開始下降，但是淚滴移動速度極慢、到約 1cm 處會停止下滑，似乎遇到極大的阻礙而在原地震盪，甚而破碎消失或是被往回推至淚圈處重新累積，最後新舊淚滴融合在一起累積至更大的重量再緩慢的滑落。



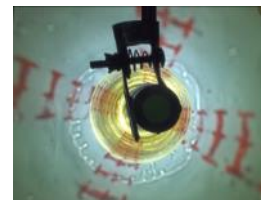
▲圖 11 淚環



▲圖 12 淚水道



▲圖 13 長膜



▲圖 14 短膜

(3)液體膜高度 3cm、4cm(後文稱為長膜)：

液體膜高度 3cm 在初期膜頂會稍微略降一些後逐漸形成一圈淚環，接著淚環會一邊緩慢滑落一邊累積一顆顆淚滴，最後開始出現所謂的酒淚向下滑落，且酒淚分布的密度明顯高於短膜組(如圖 13、14)；4cm 液體膜初期膜頂會快速下降，沒有產生如其他組的淚環而是降到某高度後直接累積成一顆顆淚滴並快速滑落成酒淚掛杯，此過程液體膜頂無法維持初始的圓形而顯得較雜亂且淚滴明顯較大顆、密度也明顯大於短膜組。

2.經過多次觀察與討論我們發現不同高度液體膜所表現出來的酒淚差異可分成三類

(1)無膜(0cm)：

沒有搖杯使杯壁額外產生液體膜時，沒有地方形成濃度差來產生表面張力差(馬倫哥尼效應)去推擠酒液攀上杯壁，因此沒有酒淚掛杯的現象。

(2)短膜(1cm、2cm)：

[初期]：杯壁上液體膜的乙醇開始慢慢揮發使兩端液面開始出現些微的張力差，故初始上升力較弱，但短膜整體重量較輕，故此時仍可撐住短膜使其不會向杯底滑落；微弱的上升力單位時間內能向上累積的液體也較少，故會緩慢的累積成一圈淚環，但前期累積速度較慢，無法形成夠重的淚滴而滑落

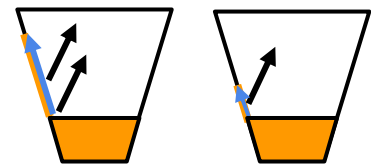
[中後期]：杯壁上液體膜的乙醇隨時間蒸發量變多、兩端濃度差變大使表面張力差變大、上升力變強，單位時間內向上推擠的溶液變多使淚滴開始落下，但 1cm 實驗組由於液體膜太短，淚滴很快就達到杯底的液面且此時上升力比初期強，給予淚環的供水強而穩定，導致淚滴沒有一顆顆滑落而是直接形成一穩定淚水道連接至液面；另外 2cm 液體膜組淚滴能滑落的距離較長，累積的淚滴向

下滑落到一半即遇到更強的上升流(兩端濃度差隨時間增加使上升流逐漸增大)阻礙其下降、使流速變慢甚而反將其推回淚環與新的淚滴結合成更大的顆粒使能克服當下的上升力而滑落。

(3)長膜(3cm、4cm)：

[初期]：初期兩端液體濃度差異小、上升力較弱，微弱的上升力主要由杯壁上的液體膜與杯底液面交界處往上推擠，但長膜整體較重，故長膜最上端會因整體重量大於初始微弱的上升力而向下滑落，而無法像短膜般停在原地、形成淚環並開始累積淚滴，且液體表面濃度不一定完全相同，導致相同時間的微弱上升流強度出現些微差異使各部位長膜滑落速度不一，液體膜越高越會凸顯這個現象，故 4cm 液體膜無法維持初始的圓形而顯得較雜亂。

[中後期]：如示意圖，兩端液體濃度差變大，上升力變強而能撐住滑落的液體膜開始累積淚滴，但由於越靠近杯口液體膜表面積越大、空氣流通性越佳使乙醇越容易揮發，導致相對於短膜，長膜產生的張力差較大、上升力較強，故液滴要滑落將需要更多量，導致酒淚寬度較寬；且上升力較強，單位時間供給的溶液量較多，淚滴累積重量較快，故淚環上累積落下的酒淚密度也較高。



▲圖 15 示意圖

### 3.總結

- (1)由實驗結果我們發現，同一杯狀況相同的酒液，可以藉由控制搖杯高度來產生不同高度的液體膜使他們產生流速快、淚滴寬且長、數量較密的酒淚(長液體膜)或是流速慢、淚滴細且短、數量較疏的酒淚(短液體膜)，因此我們建議坊間品酒師觀察酒淚時，應該要固定搖杯高度來產生一樣高度的液體膜來檢驗不同狀況的酒飲淚滴差異以減少誤判。
- (2)由實驗結果發現當液體膜太短只會產生淚環且淚滴不明顯；液體膜太高的話淚環會很不穩定且酒淚流速太快不易觀測，故我們在後續實驗統一使用中等高度「3cm 高的液體膜」來產生較穩定的淚環與流速適當的酒淚掛杯以方便觀測。

### 三、【實驗 3-1】探討乙醇濃度對酒液形成的影響

(一)研究目的：

實驗 1-2 我們發現不同種類的酒液，酒淚掛杯的表現不盡相同，但各種酒的酒精濃度、內含溶質比例皆不同，無法直接比較，我們很好奇酒液中不同添加物及其濃度的改變會對酒淚的表現造成什麼影響?故我們開始設計此實驗來探討酒液中不同成分



比例所形成的酒淚掛杯差異；首先實驗 3-1 我們先探討酒精飲料的主體－乙醇濃度高低對酒淚的影響，我們發現網路上流傳著「酒的濃度越高，掛杯越明顯。」何謂明顯？是酒淚變寬？變長？變快還是變多？故我們設計此實驗探討不同乙醇濃度的酒淚掛杯表現差異是體現在什麼部分。

(二)變因：

控制變因		操縱變因	應變變因
1.容器：350ml 威士忌杯 2.溶液：自製酒精水溶液 3.自製酒精水溶液各溶質濃度 (1)甘油：0.5g/30ml	(2)乙酸乙酯：0.5g/30ml 4.溶液體積：30ml 5.液體膜高度：3cm 6.光源、紀錄紙與攝影機位置	酒精水溶液中的乙醇濃度	不同乙醇濃度的水溶液所形成的酒淚差異

1.控制變因

(1)自製酒精水溶液：本實驗我們想知道不同乙醇濃度的酒飲所形成的酒淚掛杯現象差異，由於坊間不同酒精濃度的酒飲其內容溶質、添加物等都不同，無法有效控制變因來探討不同乙醇濃度所造成的酒淚掛杯影響，因此我們參照酒淚掛杯最原始的對象酒-葡萄酒當標準，仿製其主要溶質比例來製作標準自製酒精水溶液，我們主要添加的額外溶質有：

(甲)非揮發性溶質代表－甘油：根據葡萄酒的種類不同，每升葡萄酒中含有 5-14 克不等的甘油

(乙)揮發性溶質代表－酯類：我們查詢發現不同酒所含酯類濃度不同，我們以酯類含量較高的高粱酒為參照對象，其酯類物質(主體為乙酸乙酯)占整體酒液的比例約 1.5%，經過計算得知乙酸乙酯在我們的自製酒精水溶液中的含量約 0.45g/30ml；故我們換算比例後以甘油 0.5g/30ml 與乙酸乙酯 0.5g/30ml 製成我們的標準自製酒精水溶液基底來探討不同乙醇濃度的酒淚表現差異

(丙)為了方便觀察透明乙醇水溶液在杯壁上淚滴的分布，我們每 30ml 水溶液中會加入固定濃度藍墨水 0.6cc 以加深淚滴在紙屏上的投影來方便觀察。

(2)液體膜高度：3cm

我們取在實驗二中最好觀測的 3 公分液體膜來操作後續的實驗，先將自製酒精水溶液倒入容量 350ml 的威士忌杯中，直到高度達到液體膜 3 公分高的刻度線，再以針筒抽取杯中水溶液使其液面降至 0cm(體積 30ml)的基準刻度線來使杯壁上殘留 3cm 高的液體膜，並在後續實驗皆如此控制此變因。



## 2.操縱變因

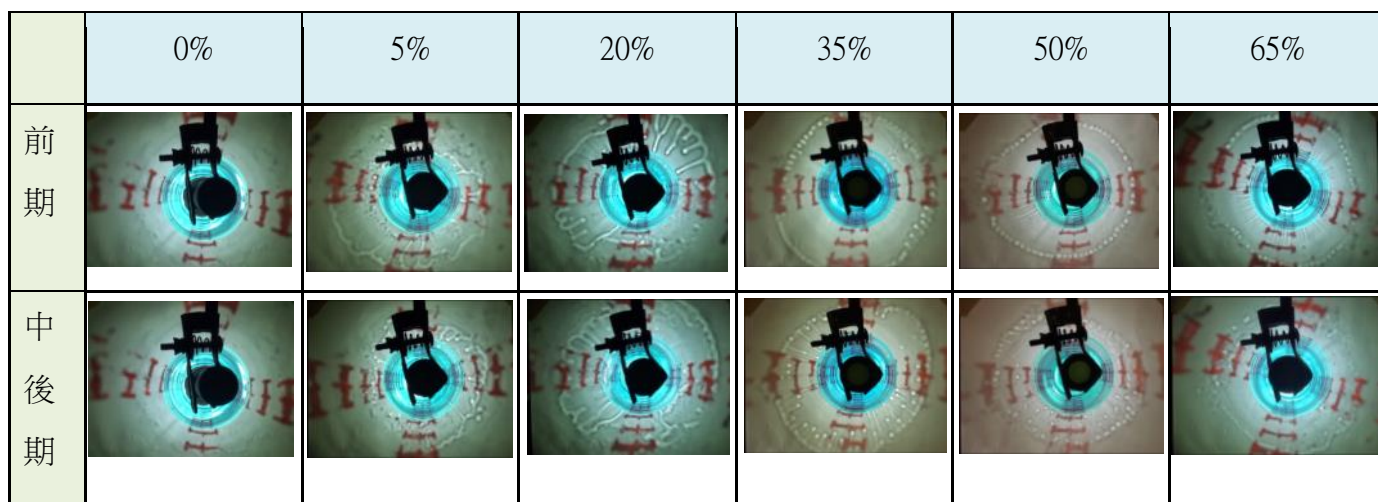
乙醇濃度：我們取國產酒酒精含量最低的台灣啤酒 3.5%，和最高的大麴酒 65%之間以 15%為梯度差，共取五個梯度並以 0%作為對照組以觀察酒淚形成的狀況

### (三)實驗步驟：

- 1.調製甘油與乙酸乙酯濃度皆為 0.5g/30ml、乙醇濃度 0%的自製酒精水溶液，倒入容量 350ml 的威士忌杯中，直到高度達到液體膜 3 公分高的刻度線
- 2.杯子放到紙屏上的固定位置，將手電筒以鐵架與鐵夾固定切齊威士忌杯口位置
- 3.以針筒抽取杯中威士忌使其液面由 3cm 高的刻度線降至 0cm(體積 30ml)的基準刻度線來使杯壁上殘留 3cm 高的液體膜
- 4.將攝影機固定在酒杯正上方 40 公分處，觀察並記錄酒淚投影
- 5.分別改變乙醇水溶液濃度(5、20、35、50、65%)，重複步驟 1~4 並記錄其酒淚出現狀況與差異

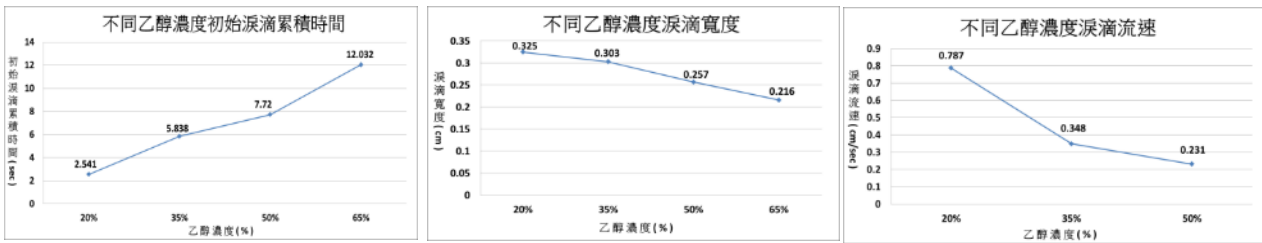
### (四)實驗結果：

#### 1.不同乙醇濃度淚滴情形：



#### 2.不同乙醇濃度淚滴特性：

乙醇濃度	0%	5%	20%	35%	50%	65%
酒淚掛杯	無	無，是殘液	有	有	有	無(液滴不滑落)
初始淚滴累積時間(sec.)	無	無	2.541	5.838	7.720	12.032
平均寬度(cm)	無	無	0.325	0.303	0.257	0.216
平均流速(cm/s)	無	無	0.787	0.348	0.231	無

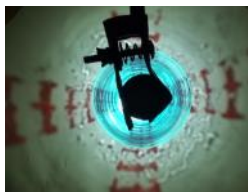


### (五)實驗討論：

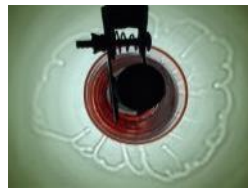
實驗結果發現並非所有濃度的乙醇溶液都有酒淚掛杯現象，且不同濃度乙醇所形成的淚滴和酒淚掛杯情形也不盡相同：

1. 實驗結果發現乙醇濃度 5% 因為乙醇濃度太低，就算液體膜所有的乙醇都揮發完，也只能和液面產生 5% 的濃度差，濃度差和表面張力差非常小導致上升力太微弱，撐不住含水量高的液體膜，故液體膜會快速崩落而無法形成明顯的酒淚掛杯。
2. 乙醇濃度 20%、35%、50% 開始有不同程度的淚滴和酒淚掛杯出現：

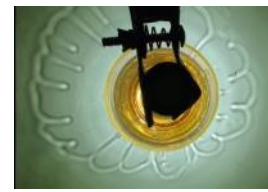
(1) 乙醇濃度 20% 時開始出現較明顯的酒淚掛杯，但液體膜仍會崩落(如圖 16)，此液體膜結果略不同於實驗 1-2 濃度類似的葡萄酒與藥酒(如圖 17、18)，經查詢資料與討論後我們發現雖然我們仿製葡萄酒成分製作標準酒精水溶液，但其所含溶質種類與數目遠遠低於實際值，這也讓我們很好奇這些揮發/非揮發性溶質的量或濃度對酒淚掛杯到底會有什麼影響? 因此我們在後續實驗 3-2、3-3 分別探討酒中最常見的揮發性/非揮發性溶質含量對酒淚掛杯的影響。



▲圖 16 液體膜崩落



▲圖 17 葡萄酒掛杯狀



▲圖 18 藥酒掛杯狀況

(2) 由乙醇濃度 20%、35% 到 50% 的實驗結果我們發現隨著乙醇濃度上升，酒液所產生的液體膜較完整、淚環上淚滴累積速度變慢但密度變高，淚滴顆粒較小且流速較慢，這是因為雖然乙醇濃度較高時在初期就能形成較強的上升流而撐住液體膜不滑落並開始累積淚滴，但越高濃度乙醇液體膜在中後期與杯底液面濃度差異更大、進而產生一個隨時間變強的上升流，但酒精濃度越高液體膜含水率越低，且越靠近杯口蒸發速率越快，導致淚環上淚滴在單位時間內有效累積率的重量較慢，須累積較多時間才能克服上升流而落下，但也帶來了較穩定的"養晶"過程，故淚環上的淚滴體積與分布都很均勻，較不會像低濃度組易出現集中某些地方快速累積出顆粒較大、分布較不均勻、數量較少的淚滴。

3.乙醇濃度 65%，雖然乙醇濃度很高，在初期就能形成較強的上升流而撐住液體膜不滑落並很快的在淚環處形成許多顆粒小、密集度高的初始淚滴，但較高濃度乙醇液體膜在中後期與杯底液面濃度差異更大、進而產生一個更強的上升流，由於此時液體膜的含水率太低(酒精濃度過高)，而因液體膜較液面靠近杯口，揮發速率快，導致淚環上淚滴的重量在單位時間內有效累積率遠低於上升流增強率，故 65% 乙醇溶液的淚滴只能在原地震盪而無法落下。

#### 4.結論：

坊間流傳的說法：酒精濃度越高，酒淚掛杯會越明顯的說法明顯有誤，我們建議品酒師應當標記"在有限範圍內"，乙醇濃度越高的酒飲其產生的酒淚會越小越細、流速較慢掛杯較久但相對密度也較高來幫助他們快速判斷酒品的特性，但要小心乙醇濃度過高會無法產生酒淚掛杯，而只剩淚滴原地震盪的現象。

### 四、【實驗 3-2】探討甘油濃度對酒液形成的影響

#### (一) 研究目的：

一直以來，有許多人認為可以從酒淚看出酒的品質，覺得滑落的越慢、酒淚越多、越明顯的是高品質的酒，不過真的是這樣嗎？我們發現有另一種常被拿來評比酒液在口中帶來的感受指標—"酒體"，影響酒體的因素有很多，最常被提及的為甘油與殘糖等溶質，它們都與酒體呈正比，含量越高，酒體就越渾厚(文獻探討四)。其中甘油是發酵過程的副產品，它是一種帶有甜度及黏度的物質，讓酒液比水還要厚濁，有助於提升葡萄酒的質地與口感，使葡萄酒帶有甜美圓潤的風味，不同濃度的甘油會給予酒液不同的口感體驗，故我們想知道此溶質對酒淚的形成會有什麼影響。

#### (二)變因

控制變因		操縱變因	應變變因
1.容器：350ml 威士忌杯 2.溶液：自製 35%酒精水溶液 3.自製酒精水溶液各溶質 (1)乙醇：35%	(2)乙酸乙酯：0.5g/30ml 4.溶液體積：30ml 5.液體膜高度：3cm 6.光源、紀錄紙與攝影機位置	甘油濃度	不同甘油濃度的水溶液所形成的酒淚掛杯差異

1.控制變因：我們以實驗 3-1 中酒淚表現較穩定好觀察的 35%乙醇濃度來調配我們的標準自製酒精水溶液。

#### 2.操縱變因

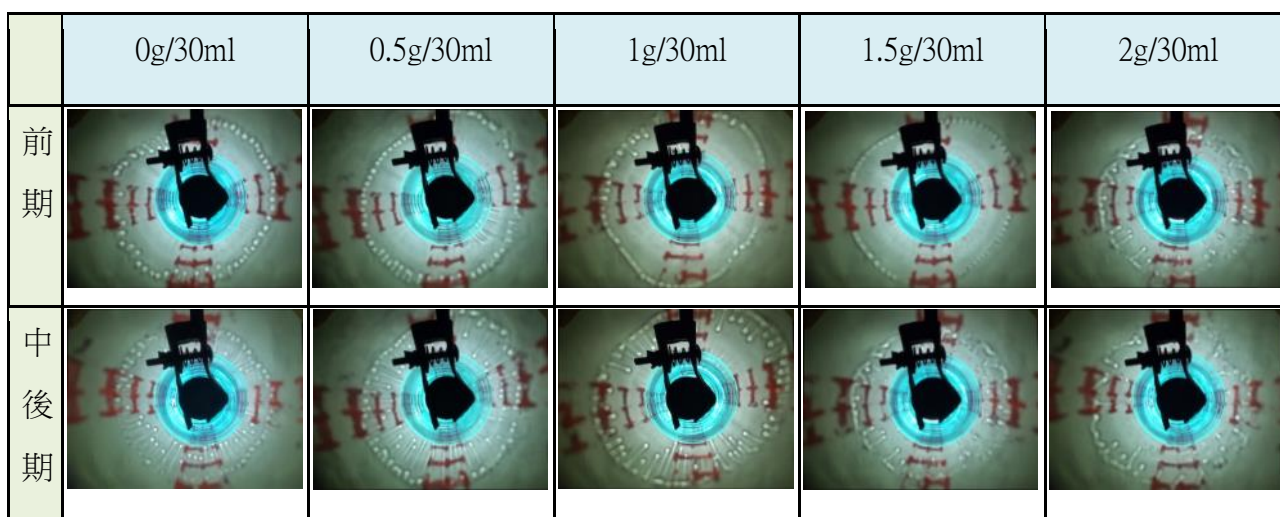
甘油濃度：我們上網查詢了有關甘油在葡萄酒中的含量，發現葡萄酒中的甘油占的比例在 6-10%之間(參考資料 10)，經過計算，得知我們自製的酒精水溶液的含量應在 0.5 至 0.9g/30ml 之間，因此我們將梯度差訂為 0.5g，總共取四個梯度(0.5、1、1.5、2g/30ml，並以 0g 作為對照組，以觀察其酒淚出現狀況與差異。

### (三)實驗步驟

- 1 調製甘油 0g/30ml、乙酸乙酯濃度為 0.5g/30ml、乙醇濃度 35%的自製酒精水溶液，倒入容量 350ml 的威士忌杯中，直到高度達到液體膜 3 公分高的刻度線
2. 杯子放到紙屏上的固定位置，並將手電筒以鐵架與鐵夾固定切齊威士忌杯口位置
3. 以針筒抽取杯中威士忌使其液面由 3cm 高的刻度線降至 0cm(體積 30ml)的基準刻度線來使杯壁上殘留 3cm 高的液體膜
4. 將攝影機固定在酒杯正上方 40 公分處，觀察並記錄酒淚投影
5. 分別改變甘油濃度(0.5、1、1.5、2g/30ml)，重複步驟 1~4 並記錄其酒淚出現狀況與差異

### (四)實驗結果

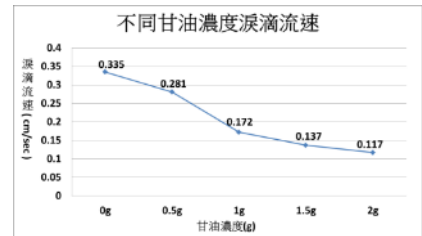
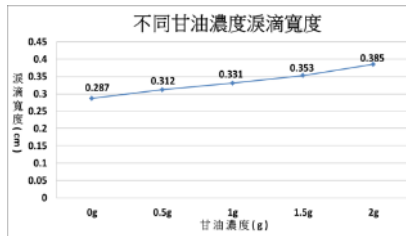
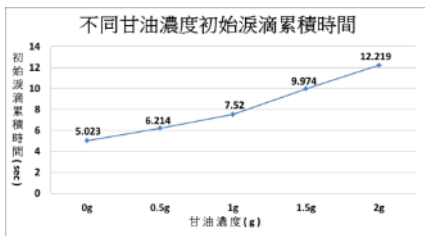
#### 1. 不同甘油濃度淚滴情形：



#### 2. 不同甘油濃度淚滴特性：

不同甘油濃度	0g/30ml	0.5g/30ml	1g/30ml	1.5g/30ml	2g/30ml
初始淚滴累積時間(sec.)	5.023	6.214	7.520	9.974	12.219
平均寬度(cm)	0.287	0.312	0.331	0.353	0.385
平均流速(cm/s)	0.335	0.281	0.172	0.137	0.117





## (五)實驗討論

- 實驗發現不同甘油濃度的酒精溶液都有酒淚掛杯但特性不同，甘油濃度低時，上升流很快就把水溶液推上去，初始淚滴累積至落下所需時間較短、體積較小而流速較快，液體膜可提供酒淚掛杯的時間較短。相反的當甘油濃度越高，初始淚滴累積時間越長、體積較大而流速慢，液體膜可提供酒淚掛杯的時間也較長。
- 經過多次觀察與討論，我們發現甘油含量多寡會影響酒淚特性是因為甘油為非揮發性溶質，根據拉午耳定律得知當液體中加入甘油此種非揮發溶質時，會因甘油分子佔據了液體表面的一些位置阻擋了溶劑分子蒸發到氣相，因而使溶液的蒸氣壓下降(參考資料 7)；且當甘油濃度越高，整體溶液的蒸氣壓會因依數性質而下降越多，故甘油濃度越高會造成液體膜蒸發越困難而使上升流變小、需較久的時間才能累積足夠的重量讓初始淚滴落下；此外，甘油保水性極佳使淚滴中的水分不易蒸發，加上豐富的氫鍵使甘油的黏稠度高造成淚體整體黏稠度較大，容易與鄰近淚滴結合成較寬的酒淚以及較慢流速的現象。
- 實驗後我們發現可以由甘油的濃度來改變酒淚的黏稠度、保水性與流速等等，因此坊間才有新聞提到曾有不肖業者為增加酒淚的特性而在成酒中額外多添了甘油使淚滴寬度加大、掛杯流速變慢來讓酒淚更容易被消費者察覺而有高品質酒的錯覺，甚至藉以提高酒品的售價以謀取不義之財。

## 五、【實驗 3-3】探討酯類濃度對酒液形成的影響

### (一)研究目的：

我們在查詢酒精飲料主要成分時，發現酒中酯類物質的多寡與比例的關係，對酒液的香型與品質有著舉足輕重的作用、是讓酒液帶有特殊香氣的關鍵所在。因此我們想了解酯類的作用除了使酒液的香氣有醇厚感之外，其不同的含量濃度在酒淚的表現上會出現什麼差異。



## (二)變因

控制變因		操縱變因	應變變因
1.容器：350ml 威士忌杯 2.溶液：自製酒精水溶液 3.自製酒精水溶液各溶質濃度 (1)乙醇：35%	(2)甘油：0.5g/30ml 4.溶液體積：30ml 5.液體膜高度：3cm 6.光源、紀錄紙與攝影機位置	乙酸乙酯濃度	不同乙酸乙酯濃度的水溶液所形成的酒淚掛杯差異

### 1.控制變因：

自製乙醇濃度 35%酒精水溶液：本實驗想探討不同濃度乙酸乙酯對酒淚掛杯表現的影響，故我們自製酒精水溶液採取實驗 3-1 中酒淚表現較穩定好觀察的 35%乙醇濃度和 3-2 狀況較穩定的 0.5g 甘油濃度來調配我們的標準液。

### 2.操縱變因

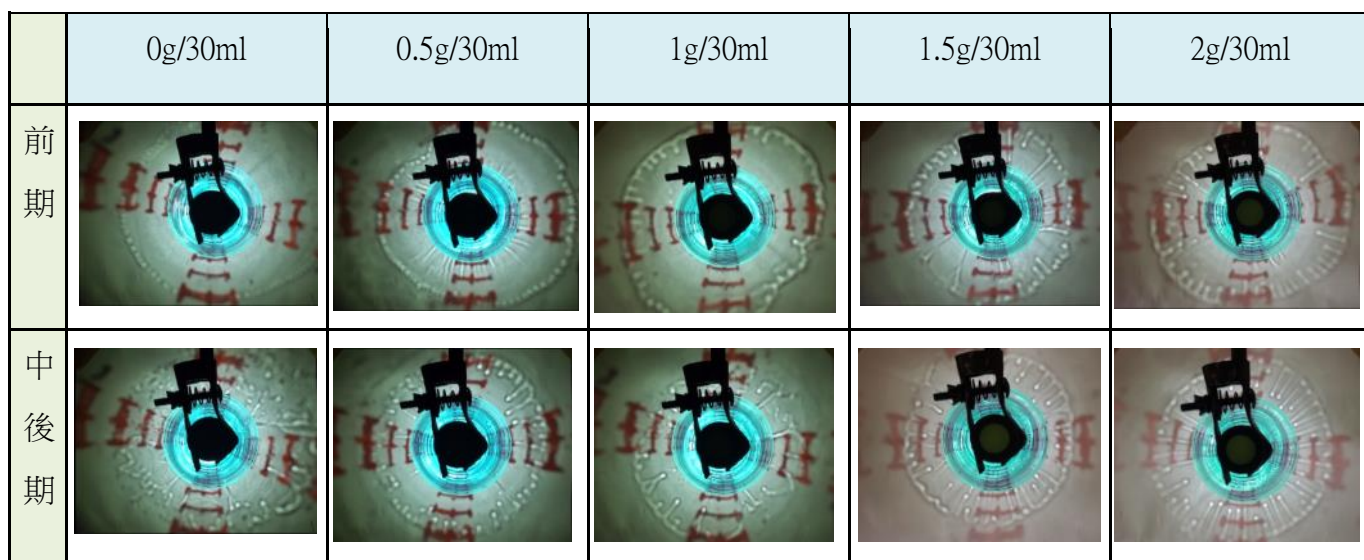
乙酸乙酯濃度：我們查詢了酯類在酒淚中的含量，發現(濃香型)高粱酒中酯類物質(主體為乙酸乙酯)占整體酒液的比例最少 1.5%，經過計算得知乙酸乙酯在我們的自製酒精水溶液中的含量最少應為為 0.45g/30ml，故我們將梯度差訂為 0.5g/30ml、取四個梯度(0.5、1、1.5、2g/30ml)，並以 0g 作為對照組，以觀察其酒淚出現狀況與差異。

## (三)實驗步驟

- 1.調製乙酸乙酯 0g/30ml、甘油濃度為 0.5g/30ml、乙醇濃度 35%的自製酒精水溶液，倒入容量 350ml 的威士忌杯中，直到高度達到液體膜 3 公分高的刻度線
- 2.杯子放到紙屏上的固定位置，將手電筒以鐵架與鐵夾固定切齊威士忌杯口位置
- 3.以針筒抽取杯中威士忌使其液面由 3cm 高的刻度線降至 0cm(體積 30ml)的基準刻度線來使杯壁上殘留 3cm 高的液體膜
- 4.將攝影機固定在酒杯正上方 40 公分處，觀察並記錄酒淚投影
- 5.分別改變乙酸乙酯濃度(0.5、1、1.5、2g/30ml)，重複步驟 1~4 並記錄其酒淚出現狀況與差異

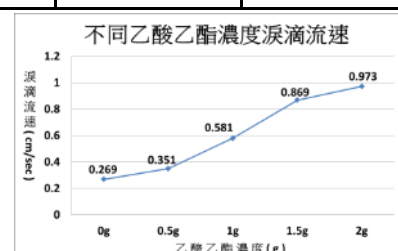
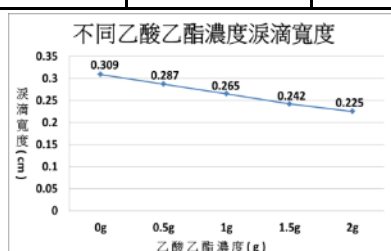
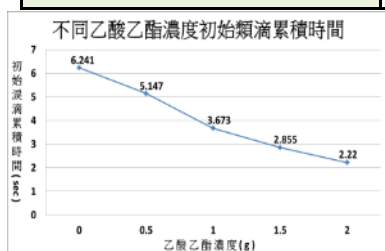
#### (四)實驗結果

##### 1.不同乙酸乙酯濃度淚滴情形：



##### 2.不同乙酸乙酯濃度淚滴特性：

乙酸乙酯濃度	0g/30ml	0.5/30ml	1/30ml	1.5/30ml	2/30ml
初始淚滴累積時間(sec.)	6.241	5.147	3.673	2.855	2.220
平均寬度(cm)	0.309	0.287	0.265	0.242	0.225
平均流速(cm/s)	0.269	0.351	0.581	0.830	0.939



#### (五)實驗討論

由實驗結果發現葡萄酒中的添加物確實會影響酒淚表現，實驗 3-3 中**乙酸乙酯在酒精水溶液中含量越多**，**初始淚滴累積所需時間較短、淚滴較小而流速快**，相反的實驗 3-2 中甘油含量越多，初始淚滴累積至落下所需時間較長、淚滴體積較大而流速慢，這是因為**乙酸乙酯為蒸氣壓較酒精大的"揮發性溶質"**，由**拉午耳定律**(溶液的蒸氣壓等於每一揮發性溶質的蒸氣壓乘以它在溶液中的莫耳分率， $P=P^*AXA+P^*BXB\cdots$ )得知乙酸乙酯的濃度越高，整體溶液的蒸氣壓越高，單位時間內液體膜氣化的溶液量越多，使上升流越強，故初始淚滴累積至落下所需時間會較短；另外**乙酸乙酯的黏度為  $0.426 \mu$  (25 °C) 比乙醇與水低**(參考資料 9)，故較高濃

度的乙酸乙酯會使液滴整體黏度降低不易與鄰近淚滴結合成較寬的淚滴且最終呈現較快流速的現象。

## 六、【實驗 3-4】探討甲醇濃度對酒液形成的影響

### (一)研究目的：

我們發現坊間有些不肖業者在酒類中加入和乙醇相似、卻較容易取得且便宜的甲醇，以降低成本，然而喝下假酒的民眾會出現包含了嗜睡、噁心、嘔吐腹瀉等症狀，嚴重者甚至會死亡。因此我們想知道加入甲醇的酒品掛杯表現如何？甲醇的酒淚掛杯和乙醇的表現有何差異呢？又是否能透過甲醇的酒類掛杯表現來分辨假酒和真酒呢？故我們設計實驗 3-4 來探討不同甲醇濃度的酒淚掛杯表現差異是體現在什麼部分。

### (二)變因：

控制變因		操縱變因	應變變因
1.容器：350ml 威士忌杯 2.溶液：自製醇類水溶液 3.自製水溶液各溶質濃度 (1)甘油：0.5g/30ml (2)乙酸乙酯：0.5g/30ml	4.溶液體積：30ml 5.液體膜高度：3cm 6.光源、紀錄紙與攝影機位置	自製水溶液中的甲醇濃度	不同甲醇濃度的水溶液所形成的酒淚差異

#### 1.操縱變因：

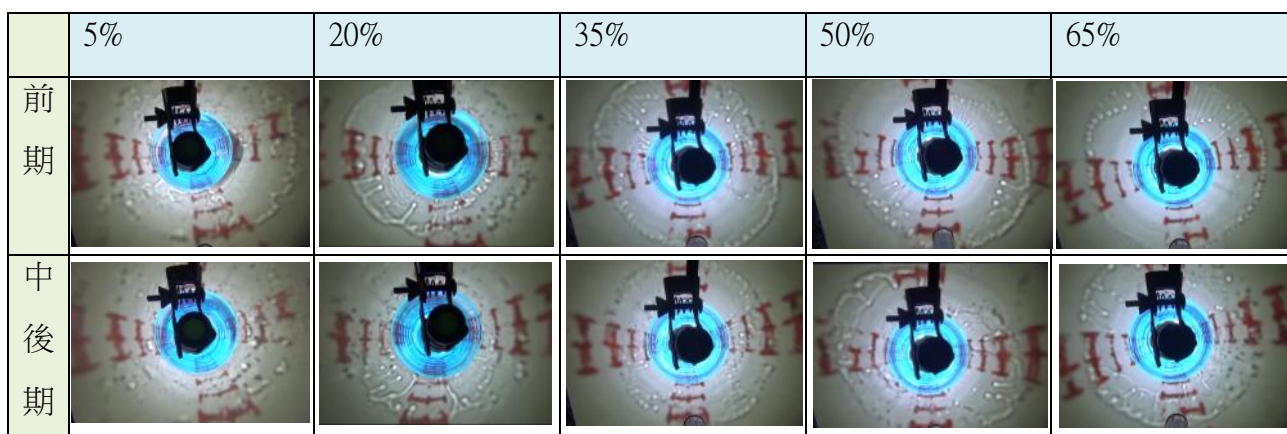
甲醇濃度：我們比照實驗 3-1 乙醇的五個濃度梯度(5、20、35、50、65%)以比較乙醇和甲醇的酒類掛杯表現差異。

### (三)實驗步驟：

- 1.調製甘油與乙酸乙酯濃度皆為 0.5g/30ml、甲醇濃度 5%的自製甲醇水溶液，倒入容量 350ml 的威士忌杯中，直到高度達到液體膜 3 公分高的刻度線
- 2.杯子放到紙屏上的固定位置，將手電筒以鐵架與鐵夾固定切齊威士忌杯口位置
- 3.以針筒抽取杯中甲醇水溶液使其液面由 3cm 高的刻度線降至 0cm(體積 30ml)的基準刻度線來使杯壁上殘留 3cm 高的液體膜
- 4.將攝影機固定在酒杯正上方 40 公分處，觀察並記錄酒淚投影
- 5.分別改變甲醇水溶液濃度(20、35、50、65%)，重複步驟 1~4 並記錄其酒淚出現狀況與差異

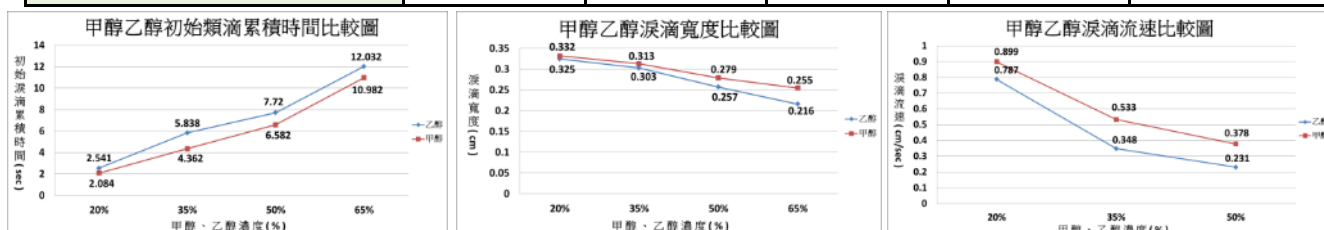
(四)實驗結果：

1.不同甲醇濃度淚滴情形：



2.不同甲醇濃度淚滴特性：

甲醇濃度	5%	20%	35%	50%	65%
初始淚滴累積時間(sec.)	無	2.084	4.362	6.582	10.982
平均寬度(cm)	無	0.332	0.302	0.278	0.254
平均流速(cm/s)	無	0.898	0.532	0.377	無



(五)實驗討論：

從實驗結果我們發現甲醇濃度越高，酒淚寬度越小，流速越慢，而這個趨勢大致跟乙醇相同，但甲醇和乙醇的酒淚掛杯現象仍然有所差異:

- (1)我們發現相同濃度的甲醇液滴比乙醇寬，這是因為甲醇的蒸氣壓(13.02 千帕) 比乙醇(5.95 千帕)大，較容易揮發，造成的上升力較強，因此初始淚滴須累積時間也相對較長。
- (2)甲醇的黏稠度(0.550 Pa · s)較乙醇(1.074Pa · s)低，故會造成整體流速比乙醇快，但也使液體膜較容易破碎。

因此我們發現如果有不肖廠商以甲醇代替乙醇添加到酒液中，相同控制變因下，添加越多甲醇會造成酒淚越寬、流速越快、液體膜也較易下滑而使整體酒淚表現不同於乙醇水溶液。

## 七、【實驗 4】探討水溫對酒液形成的影響

### (一) 研究目的：

在查詢資料時發現商家建議消費者可以在不同的溫度下飲用同一款酒，會發現他們散發出來的香氣表現會有差異，另外不同的酒類有不同的適飲溫度，如：氣泡甜酒適合在攝氏 7~8 度飲用，葡萄酒則約 14~18 度。(參考資料 13)因此我們想知道酒液溫度的不同是否會對酒淚掛杯表現造成什麼影響。

### (二)變因

控制變因		操縱變因	應變變因
1.容器：350ml 威士忌杯 2.溶液：威士忌 3.溶液體積：30ml	4.液體膜高度：3cm 5.光源、紀錄紙與攝影機位置	酒精水溶液溫度	不同酒精水溶液溫度所形成的酒淚差異

#### 1.控制變因

標準酒精飲料：我們取用實驗 1-2 中酒淚呈現較為明顯好觀察的威士忌(三得利威士忌，酒精濃度 40%)作為標準液來觀測其在不同狀況下的酒淚表現差異。

#### 2.操縱變因

酒精水溶液溫度：在查詢葡萄酒的資料時，我們看到了適飲溫度一詞，我們進一步的查詢資料發現適飲溫度指的是每一種酒適合飲用的溫度，氣泡酒適飲溫度是 7°C 至 8°C，而白酒則是 10°C 至 14°C，葡萄酒的約是 14°C 至 18°C，而葡萄酒的適飲溫度最高不超過 20°C，因此我們取用了最低的適飲溫度(5°C)，和最高的 20°C，並以 15°C 為梯度差，共取五梯次(5、20、35、50、65°C)，以觀察水溫對酒液形成的影響。

### (三)實驗步驟

- 1.將室溫(20°C)威士忌倒入容量 350ml 的威士忌杯直到達液體膜 3 公分的刻度線。
- 2.杯子放到紙屏上的固定位置，將手電筒以鐵架與鐵夾固定切齊威士忌杯口位置
- 3.以針筒抽取杯中威士忌使其液面降至體積 30ml 的基準刻度線來形成 3cm 的液體膜



- 將攝影機固定在酒杯正上方 40 公分處，觀察並記錄酒淚投影
- 分別使用冰箱(5°C)與恆溫槽(如圖 19)調整威士忌溫度(5、35、50、65°C)，重複步驟 1~4 並記錄其酒淚出現狀況與差異



▲圖 19 加熱酒液

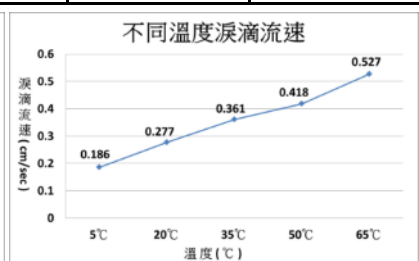
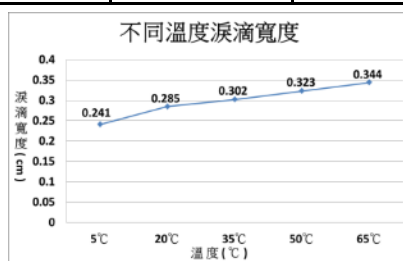
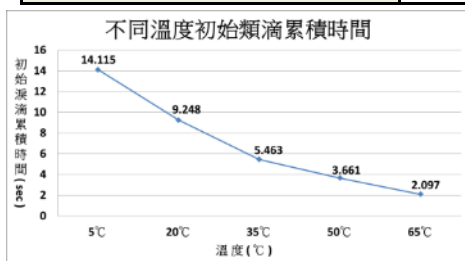
#### (四)實驗結果

##### 1.不同水溫淚滴情形：

	5°C	20°C	35°C	50°C	65°C
前期					
中後期					

##### 2.不同溶液溫度淚滴特性：

不同溶液溫度	5°C	20°C	35°C	50°C	65°C
初始淚滴累積時間(sec.)	14.115	9.248	5.463	3.661	2.097
平均寬度(cm)	0.241	0.285	0.302	0.323	0.344
平均流速(cm/s)	0.186	0.277	0.361	0.418	0.527



#### (五)實驗討論

1.實驗結果顯示不同酒精水溶液溫度皆有形成酒淚掛杯，但其酒淚的表現不盡相同

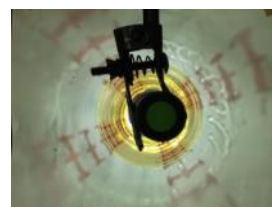
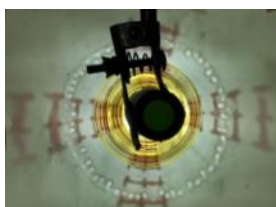
##### (1)溶液相對低溫組：

我們發現當酒精溶液溫度較低時，初始圓形液體膜可以維持在原本的高度不滑落，並在淚環處直接出現密集度高、顆粒小的淚滴(如圖 20)，這些淚滴體積增長的速率很慢，重量需累積較長的時間後才能克服上升力並緩慢向下滑落(如圖

21)，整體出現的酒淚掛杯現象可以持續很久(5°C 約 4 分鐘)且過程中液體膜較能保持形狀均勻的圓型來形成淚滴。

(2)溶液相對高溫組：

當酒精溶液溫度較高時，淚環上容易直接形成寬度大的、分布雜亂不均勻、數量較少的淚滴快速滑落(65°C 約 1 分鐘)(如圖 22)，且液體膜整體容易變形而呈現不規則狀滑落(如圖 23)



▲圖 20 低溫組初始淚滴 ▲圖 21 低溫組淚滴滑落 ▲圖 22 高溫組初始淚滴 ▲圖 23 高溫組淚滴滑落  
2.經過多次觀察與討論我們發現高、低溫度液體膜所產生的酒淚差異如下：

	低溫組	高溫組
前期	<p>(1)溫度越低，酒精水溶液的蒸氣壓越小，導致液體膜的酒精揮發速率慢、與液面的濃度差小，只能形成微弱的初始上升力，慢慢的在淚環累積密集度高、顆粒小的淚滴</p> <p>(2)溫度越低，液體膜中水的黏性越大(參考資料 9、12)，故雖初始上升力微弱仍能撐住緩慢滑落的液體膜而不變形</p>	<p>高溫時溶液整體蒸氣壓大，液體膜蒸發速率快，很快就與液面達大濃度差，並生成極強的初始上升力，故淚滴分布不均，容易集中某些地方快速累積出顆粒較大(足以克服較大的上升力)、分布較不均勻、數量較少的淚滴滑落</p>
中後期	<p>(1)由於低溫酒精水溶液蒸氣壓小而只能形成微弱上升力，淚滴相對較小顆</p> <p>(2)低溫時黏度較大，故流速緩慢；液體膜滑落的速率也較慢，中後期的蒸發速率慢，使酒淚滑落時仍有新的淚滴持續在液體膜上累積並重複掛杯現象達 4 分鐘。</p>	<p>水在高溫時黏度較小，故高溫組酒淚的流速明顯較快；另外液體膜黏度也極低容易呈現不規則快速滑落，故整體掛杯持續的時間也較短。</p>

3.由實驗結果我們發現，同一杯狀況相同的酒液在不同溫度下酒淚掛杯表現完全不同，當酒液溫度較高時，酒淚寬度較寬、數量較少但流速較快，且液體膜滑落速度較快、酒淚掛杯持續時間也較短，因此我們建議坊間品酒師觀察酒淚時應要注意當下的溫度影響以減少對酒品本身的誤判。

## 八、【實驗 5】探討杯子種類對酒液形成的影響

### (一)研究目的：

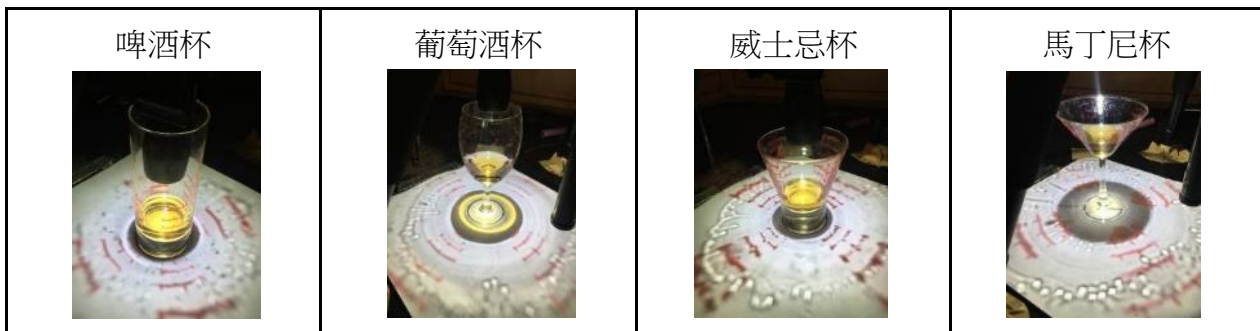
大部分文章描述酒淚掛杯現象時都是將葡萄酒倒入葡萄酒杯裡搖晃並觀察，可是卻沒有文章指出哪種杯子形成的酒淚最為明顯？不同種類酒杯對於酒淚的形成與表現有什麼影響？因此我們挑選了幾款常見的酒杯，觀察酒淚掛杯現象差異。

### (二)變因

控制變因		操縱變因	應變變因
1.容器：350ml 威士忌杯 2.溶液：威士忌 3.溶液體積：30ml	4.液體膜高度：3cm 5.光源、紀錄紙與攝影機位置	杯子種類	不同杯子種類所形成的酒淚掛杯差異

#### 1.操縱變因

杯子種類：我們取四種體積相近約 300ml 的不同款酒杯(馬丁尼杯、威士忌杯、葡萄酒杯和啤酒杯)並分別坐上 XY 軸長度標記如下圖以觀察酒淚形成的狀況與差異。

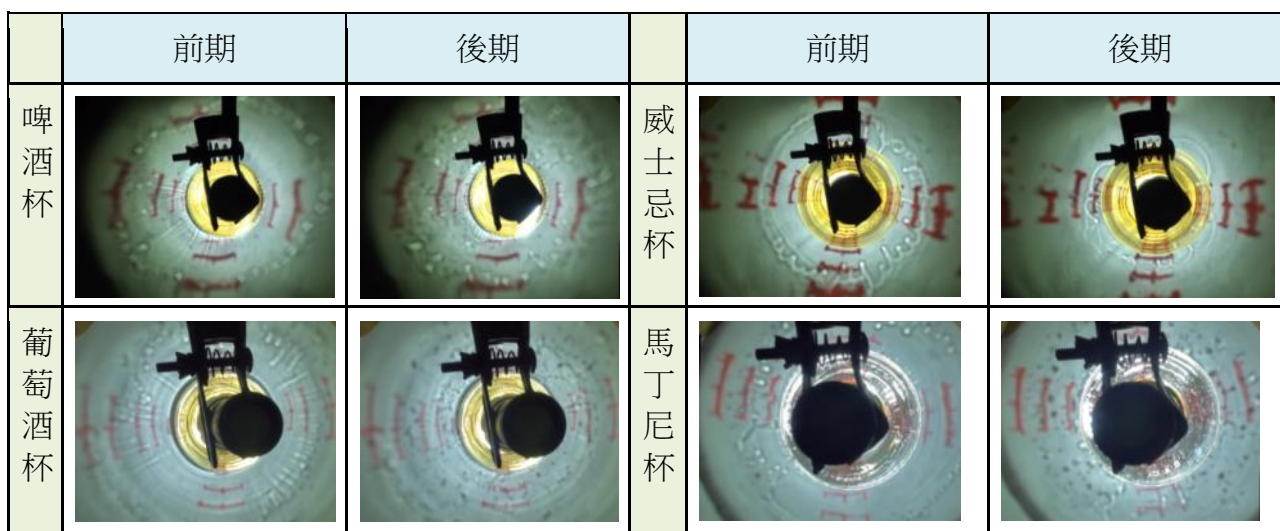


### (三)實驗步驟

- 1.將威士忌倒入容量 350ml 的威士忌杯中，直到高度達到液體膜 3 公分高的刻度線
- 2.把杯子放到紙屏上固定位置，並將手電筒以鐵架與鐵夾固定切齊威士忌杯口位置
- 3.以針筒抽取杯中威士忌使其液面由杯壁上 3cm 高的刻度線降至 0cm(體積 30ml)的基準刻度線來使杯壁上殘留 3cm 高的液體膜
- 4.將攝影機固定在酒杯正上方 40 公分處，觀察並記錄酒淚投影
- 5.分別使用不同種類酒杯(馬丁尼杯、葡萄酒杯、啤酒杯)，重複步驟 1~4 並記錄其酒淚出現狀況與差異

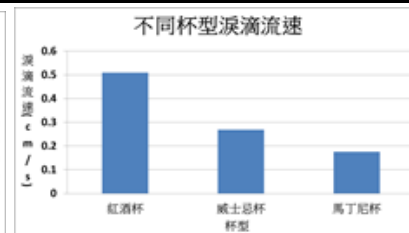
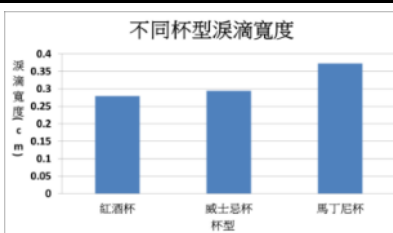
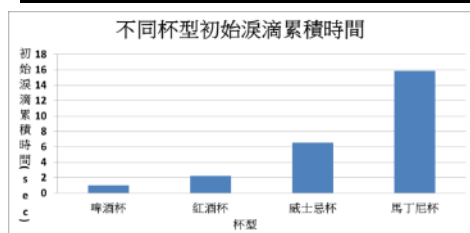
#### (四)實驗結果

##### 1.不同杯子種類淚滴情形：



##### 2.不同杯子種類淚滴情形：

杯子種類	啤酒杯	葡萄酒杯	威士忌杯	馬丁尼杯
液體膜	破碎	破碎	有，完整	破碎
初始淚滴累積時間(sec.)	1.502	2.189	6.401	15.989
平均寬度(cm)	無	0.279	0.294	0.373
平均流速(cm/s)	無	0.510	0.269	0.175



#### (五)實驗討論

1.實驗後我們發現不同酒杯時會有不同的酒淚掛杯表現，並將四款酒杯依照其酒淚形成的特徵大致分成：

(1)杯壁斜度較大(葡萄酒杯、啤酒杯)

因為此兩款酒杯杯型較封閉，空氣不易流通，酒精揮發速度慢，單位時間內形成的濃度差小，上升流較弱，液滴不需要很多重量即可滑落，加上這兩款酒杯杯壁斜度太大(接近垂直)導致初始淚滴累積至落下所需時間極短、淚滴體積較小



而流速較快，但也導致整體液體膜滑落速度太快容易變形崩碎，可提供酒淚掛杯的時間較短

## (2)杯壁斜度較小(威士忌杯、馬丁尼杯)

因為這兩款杯型的杯體開放性較高可使氣體對流較好，酒精較易蒸發，造成較強初始上升流，故初始淚滴需累積較長時間才能克服上升力，並以寬度較寬的狀態滑落，因為杯壁斜度較緩，流速較慢，掛杯的持續時間也較長；另外馬丁尼杯因為表面積與杯口極大且液體膜較靠近杯口使酒精極易蒸發，雖然能帶來更強的上升流，但液體膜本身蒸發速率太快使厚度較薄，容易在掛杯的過程破碎而停止提供酒液。

## 2.總結

網路上文章中的照片多是以葡萄酒杯搖杯來說明掛杯的現象，經過實驗證明，其實其他種類的杯子也是可以形成酒淚掛杯的，但由於每種酒都有專用的酒杯，不同的設計能突顯不同酒類的特色，然而這些設計不一定能產生明顯的酒淚，如：葡萄酒酒杯有縮口設計，能使酒杯易於旋轉而不會溢出，較小的杯口是為了減緩酒精揮發並把香氣保留在杯子內，以便聞香；啤酒杯杯身較直、較長是為了在倒酒時能產生較多泡沫；而香檳杯細長的杯身是為了氣泡慢慢上升時的線條美感，威士忌杯的杯型較利於酒精揮發，上升流和淚痕會較明顯，產生的酒淚較其他杯型明顯好觀察，若要單純觀察酒淚現象，我們建議使用杯口較寬、杯壁斜度較緩的杯型。

## 陸、結論

### 一、【實驗 1】探討不同種類酒精飲料形成酒淚的狀況和差異

由實驗結果發現酒精飲料搖杯後只有葡萄酒、藥酒和威士忌會出現酒淚掛杯，濃度最低的啤酒和濃度最高的高粱則沒有。

- 1.葡萄酒：前期液體膜雖然很完整，但沒有明顯的淚滴出現，而是呈現偏圓的形狀一起慢慢向杯底滑落，直到中期才有一條條的淚痕開始出現。
- 2.威士忌：初始淚滴隨時間變大，累積到某個程度後開始一條條向下滑落成密集的淚痕。
- 3.藥酒：酒淚掛杯表現居於上述兩者之間。

### 二、【實驗 2】探討搖杯到不同液面高度對酒淚形成的影響

(一)結果顯示必須要搖杯使杯壁上附著液體膜才會有酒淚，且不同高度的液體膜，酒淚形成的表現也不盡相同：



1.短膜(1、2cm)：1cm 液體膜太短，淚滴很快就達到液面，導致酒淚不是呈現一顆顆滑落而是直接形成一穩定淚水道連接液面；2cm 液體膜組淚滴能走的路較長，累積的淚滴向下滑落到一半即遇到更強的上升流阻礙其下降、使流速變慢甚至在原地震盪不滑落。

2.長膜(3、4cm)：越靠近杯口液體膜表面積越大、空氣流通性越佳使乙醇越容易揮發，張力差較大、上升力較強，故淚痕寬度較寬，且上升力較強單位時間供給的溶劑量較多累積的較快，故酒淚密度較高。

(二)當液體膜太短只會產生淚環且淚痕不明顯；液體膜太高的話淚圈不穩定且酒淚流速太快不易觀測，故我們在後續實驗使用「3cm 的液體膜」

### 三、【實驗 3-1】探討乙醇濃度對酒液形成的影響

實驗結果發現並非所有濃度的乙醇溶液都有掛杯現象，且不同濃度乙醇所形成的淚滴和酒淚掛杯情形也不盡相同

1.濃度 5%：濃度差和表面張力差非常小的情況下導致上升力太微弱，撐不住含水量高的液體膜，因此液體膜呈現快速不規則破碎狀崩落而無法形成明顯的酒淚掛杯。

2.濃度 20%、35%、50%：乙醇濃度越高，液體膜越完整，密度越高，淚滴顆粒較小且流速較慢。淚環上淚滴累積速度變慢但密度變高，淚滴顆粒較小流速較慢，這是因為越高濃度乙醇液體膜濃度差異更大、進而產生一個隨時間變強的上升流，但酒精濃度越高液體膜含水率越低，導致淚環上淚滴須累積較多時間才能落下，故淚環上的淚滴顆粒體積與分布都很均勻。

3.濃度 65%：有許多顆粒小且密度大的淚滴，但其體積增長率低，呈現原地震盪而無法落下。初期形成較強的上升流而很快的形成初始淚滴，但高濃度乙醇中後期濃度差異更大、而產生增強上升流，由於此時液體膜的含水率太低，導致淚環上淚滴重量累積率遠低於上升流增強率而無法落下。

### 四、【實驗 3-2】探討甘油濃度對酒液形成的影響

甘油濃度較越高，初始淚滴累積至落下所需時間較長、體積較大而流速較慢，液體膜可提供酒淚掛杯的時間較長，這是因為甘油為非揮發性溶質，根據拉午耳定律和依數性質而使整體蒸氣壓下降，故造成液體膜蒸發困難而使上升流變小、需累積較久的時間才能落下；此外，甘油保水性極佳，加上豐富的氫鍵使甘油的黏稠度高造成淚體整體黏稠度較大，結合成較寬酒淚以及較慢流速。

## 五、【實驗 3-3】探討酯類濃度對酒液形成的影響

實驗結果發現乙酸乙酯越多，初始淚滴累積至落下所需時間較短、淚滴體積較小而流速快，這是因為乙酸乙酯為蒸氣壓比乙醇更大的揮發性溶質，其濃度越高會使整體溶液的蒸氣壓越高、越易蒸發、上升流越強，故初始淚滴累積至落下所需時間會較短；另外乙酸乙酯的黏度較低，故較高濃度的乙酸乙酯會使液滴整體黏度降低，酒淚較窄，且較快流下。

## 六、【實驗 3-4】探討甲醇濃度對酒液形成的影響

實驗結果發現甲醇濃度越高，酒淚寬度越小，流速越慢，趨勢大致跟乙醇相同，但甲醇和乙醇的酒淚掛杯現象仍然有所差異：

- 1.因為甲醇的蒸氣壓比乙醇大，造成的上升力較強，所以相同濃度的甲醇淚滴比乙醇寬，初始淚滴須累積時間也較長。
- 2.甲醇的黏稠度較乙醇低，整體流速比乙醇快，但液體膜較容易下滑破碎。

## 七、【實驗 4】探討水溫對酒液形成的影響

實驗結果顯示不同酒精水溶液溫度皆會有酒淚掛杯的現象產生，但不同溫度的液體膜其酒淚掛杯的表現不盡相同：

### 1.溶液相對低溫組(5、20°C)：

溫度越低，酒精水溶液的蒸氣壓越小，導致杯壁上液體膜的酒精蒸發速率極慢、濃度差極小。低溫時黏度也較大，故低溫組酒淚的流速相當緩慢，另外液體膜滑落的速率也極為緩慢。密集度很高、顆粒很小且速率慢，整體出現酒淚的過程可以持續很久，且保持形狀均勻的圓淚環。

### 2.溶液相對高溫組(35、50、65°C)：

蒸氣壓極大，初始液體膜蒸發速率極快，很快就與杯底液面達極大的濃度差來產生很強的初始上升力，故淚環上直接形成寬度大、數量較少且分布雜亂不均的淚滴，且高溫時黏度較小呈不規則狀快速滑落。

## 八、【實驗 5】探討杯子種類對酒液形成的影響

實驗後我們發現不同杯子種類會有不同的酒淚掛杯表現，可大致分成：

### 1.杯壁斜度較大(葡萄酒杯、啤酒杯)

杯型較封閉，空氣不易流通，酒精揮發速度慢，上升流較弱，液滴不需要很多重量即可滑落，加上這兩款杯壁斜度太大，導致初始淚滴累積至落下所需時間極短、體積較

小而流速較快，但也導致整體液體膜滑落速度太快容易變形崩碎，可提供酒淚掛杯的時間較短。

## 2.杯壁斜度較小(威士忌杯、馬丁尼杯)

(1)杯型較開放可使氣體對流，酒精較易蒸發，造成較強初始上升流，累積較長的時間後才落下，加上這兩款杯壁斜度較小，導致落下時間較長、體積較大而流速較慢，液體膜可提供酒淚掛杯的時間也較長。

(2)馬丁尼杯容易在過程破碎，因為表面積與杯口極大且液體膜較靠近杯口，但液體膜蒸發速率太快。

## 柒、參考資料

- 1.漲知識 | 酒淚、可不是葡萄酒的眼淚。每日頭條 <https://kknews.cc/zh-tw/food/46p8ej2.html>
- 2.酒的眼淚。NTCU 科學遊戲實驗 <http://scigame.ntcu.edu.tw/water/water-026.html>
- 3.釀造酒、蒸餾酒有什麼不同？取自 food.ltn.com.tw/article/3596
- 4.認識葡萄酒的酒體(Body) 。品迷網 [https://www.winentaste.com/magazine/special\\_body](https://www.winentaste.com/magazine/special_body)
- 5.什麼是葡萄酒的「掛杯」，掛杯背後的科學原理！每日頭條  
取自：<https://kknews.cc/zh-tw/food/xnrz82o.html>
- 6.乾型、半乾、半甜和甜型葡萄酒有何區別？ 每日頭條  
取自：<https://kknews.cc/zh-tw/food/xa63k9.html>
- 7.拉午耳定律。科學 Online 。<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=4497>
- 8.選修化學(上) 第一章 溶液的狀態與性質 。陳義忠。  
[http://www.mingdao.edu.tw/physics/pdf/optional\\_01.pdf](http://www.mingdao.edu.tw/physics/pdf/optional_01.pdf)
- 9.水和乙醇不同溫度下的密度、黏度、表面張力。上海金相環境科技有限公司。  
取自：[http://chenceo.com/ArticleShow\\_42.html](http://chenceo.com/ArticleShow_42.html)
- 10.為何往葡萄酒中加甘油?果殼。取自 <https://www.guokr.com/article/60840/>
- 11 葡萄酒的主要成分是什麼?搜狐。取自 [www.sohu.com/a/291156369\\_312279](http://www.sohu.com/a/291156369_312279)
- 12.黏度（或稱黏滯性）。科學 Online 。<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=59367>
- 13.新手注意：6 個你在品嘗葡萄酒時可能會犯的錯誤—every little d 。<https://everylittled>
- 14.假酒中的甲醇中毒。取自：<https://www.greencross.org.tw/toxin/methanol.htm>
- 15.甲醇。取自：<https://baike.baidu.com/item/甲醇>

## 【評語】 030206

本實驗研究為市售酒類於酒杯中經馬倫哥尼效應所產的酒淚現象，實驗內容有得到初步成果。但針對實驗方法有以下幾點建議：

1. 利用手搖方式進行偵測，容易造成每次實驗的誤差。
2. 實驗偵測方法在酒杯上僅分成 1cm-4cm 刻度，並利用每段經過時間來偵測，數據說明略顯不足，無法說明酒淚現象的細部變化情形。

## 作品簡報





# 天使的眼淚

探討不同情況下酒淚掛杯表現之差異

國中化學組  
030206

# 研究動機



搖杯



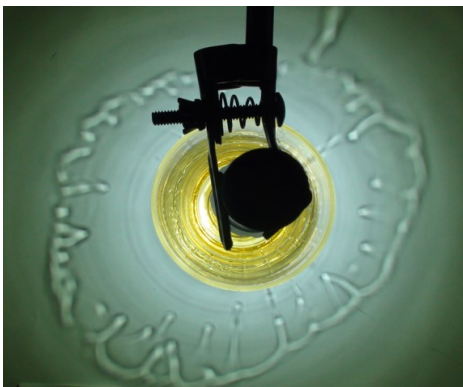
酒淚掛杯



馬倫哥尼  
效應

---

# 酒淚投影法



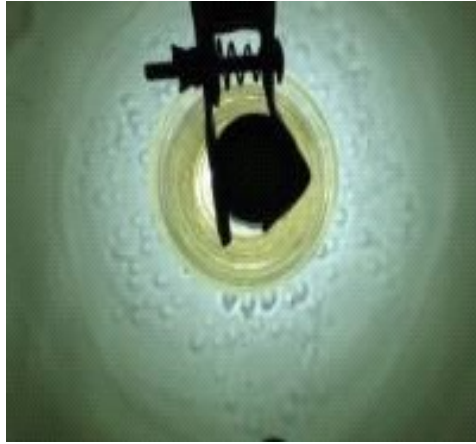
酒淚的顏色透明  
體積較小難觀察



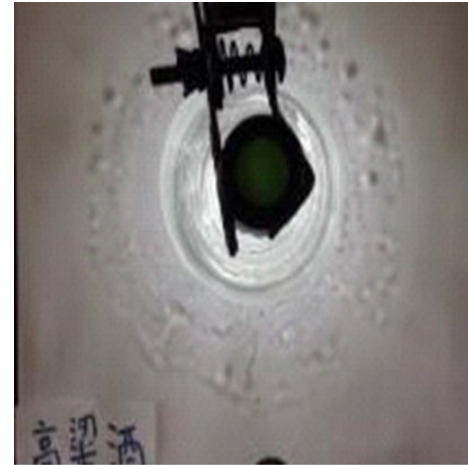
Y軸每高1公分作一記號  
X軸則是將前者記號加寬  
寬多1公分標計1次。

# 【實驗 1】探討不同酒精水溶液飲料酒淚產生情形

沒有掛杯



啤酒只有  
啤酒泡滑落



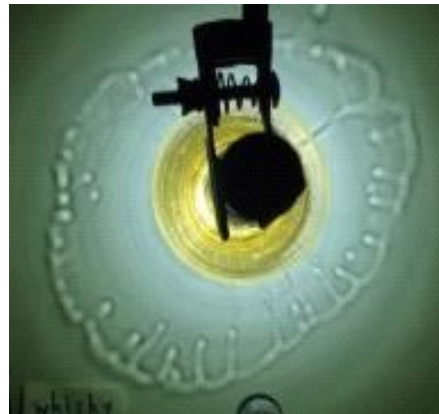
高粱呈現破碎狀



有掛杯



葡萄酒淚滴呈現  
偏圓的形狀向下滑落




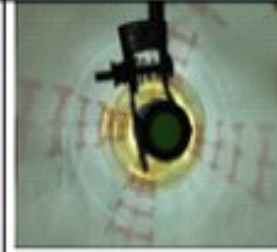
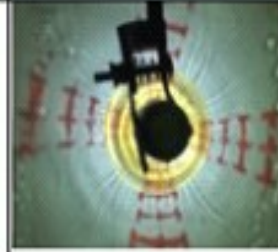


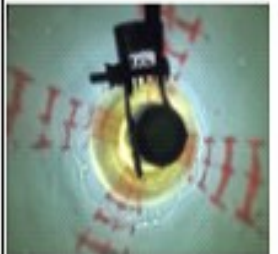
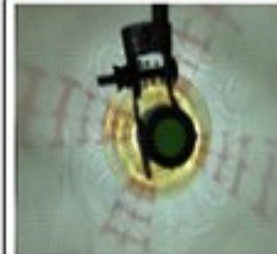



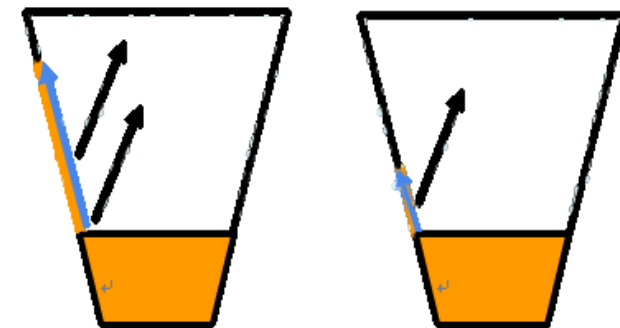
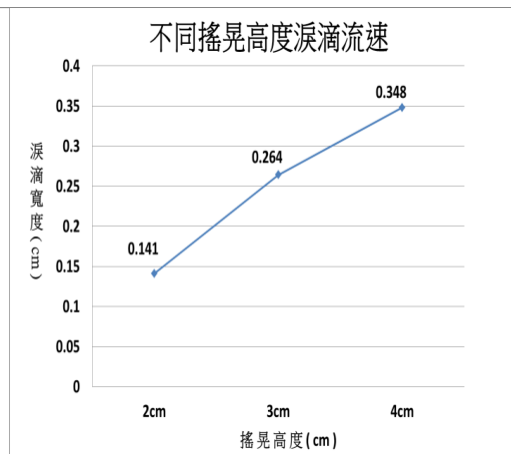
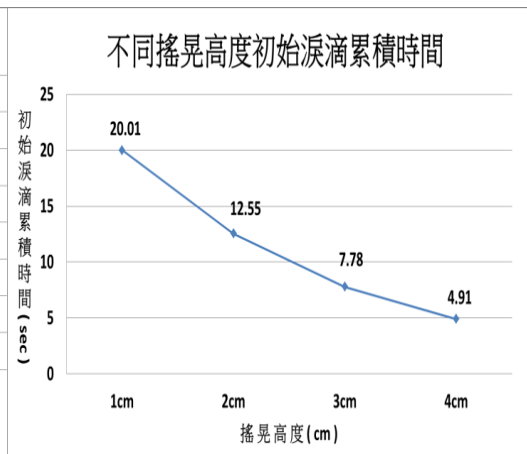
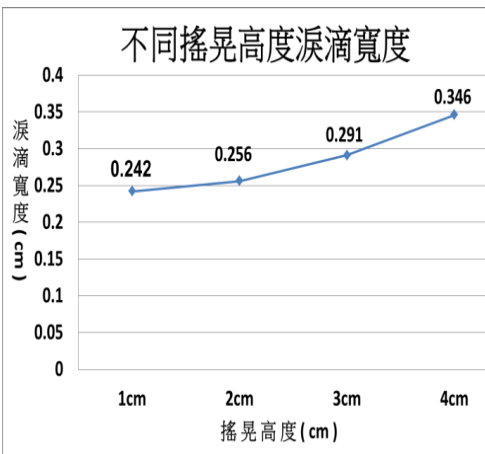
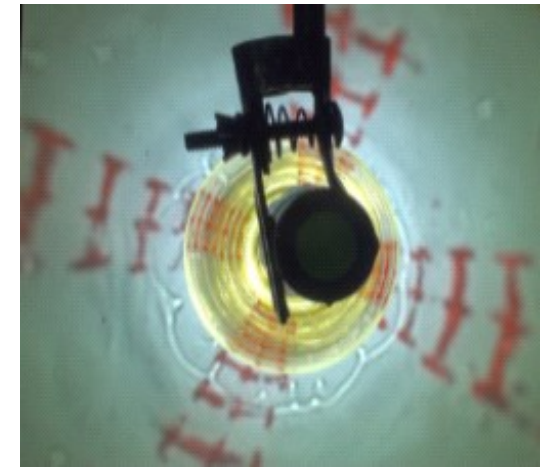
威士忌初始淚滴到達  
一定重量後開始落下



藥酒表現兩者之間

# 【實驗 2】探討不同高度液體膜酒淚產生情形

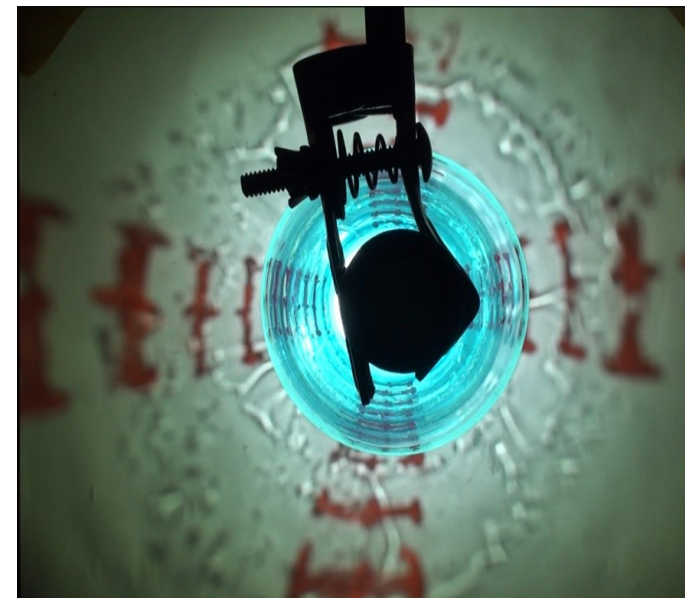
↻	0cm↻	1cm↻	2cm↻	3cm↻	4cm↻
前期↻					
中後期↻					



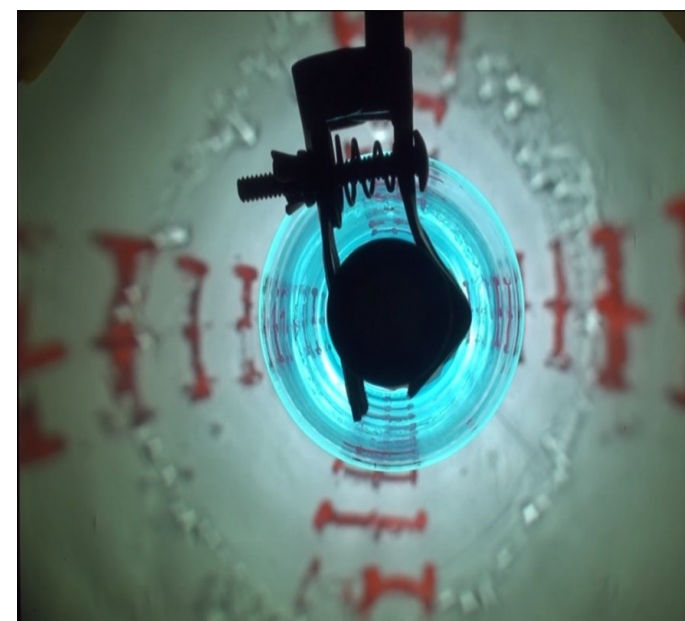


# 【實驗3-1】 探討乙醇濃度對酒液形成的影響

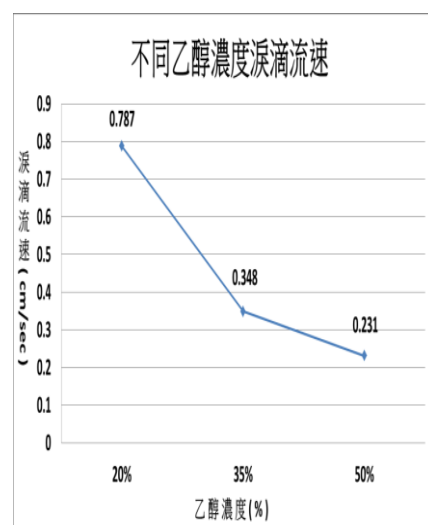
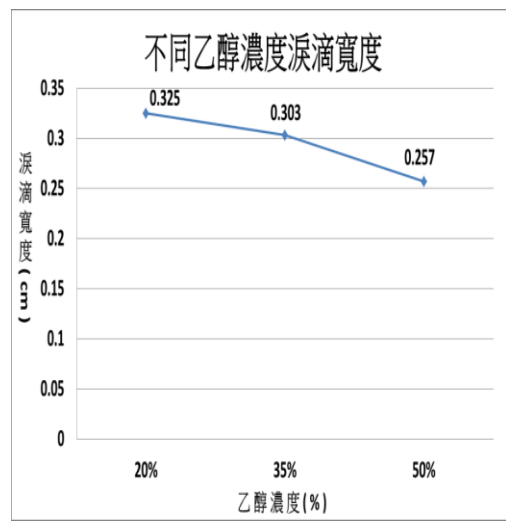
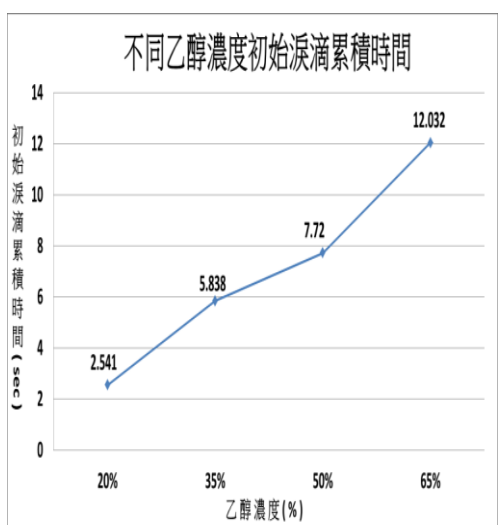
	0% <sub>v/v</sub>	5% <sub>v/v</sub>	20% <sub>v/v</sub>	35% <sub>v/v</sub>	50% <sub>v/v</sub>	65% <sub>v/v</sub>
前期 <sub>v</sub>						
中後期 <sub>v</sub>						



5%



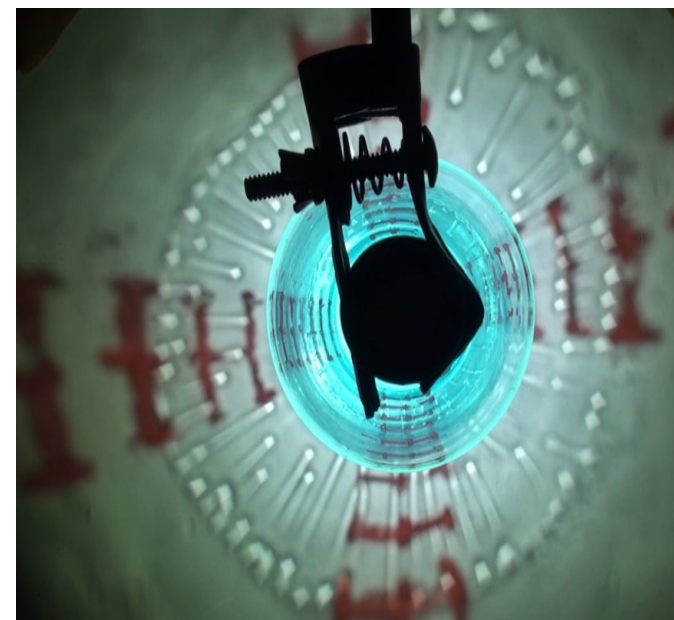
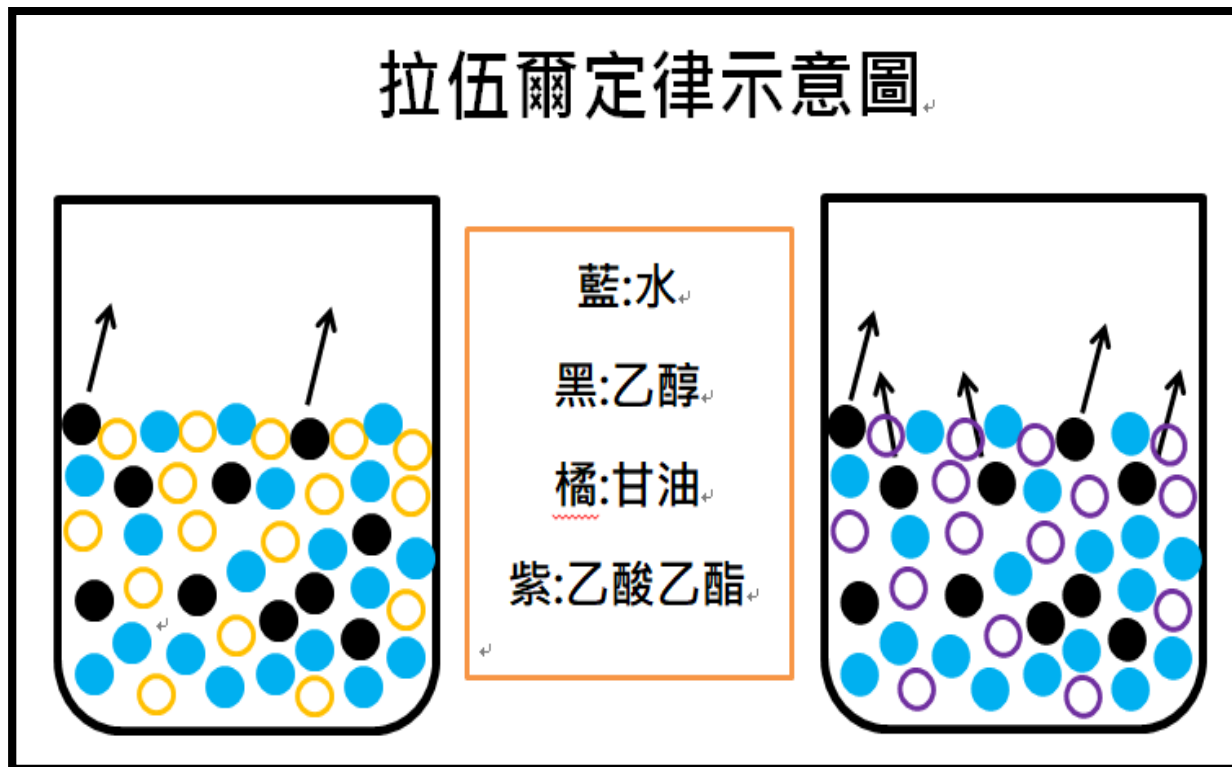
65%



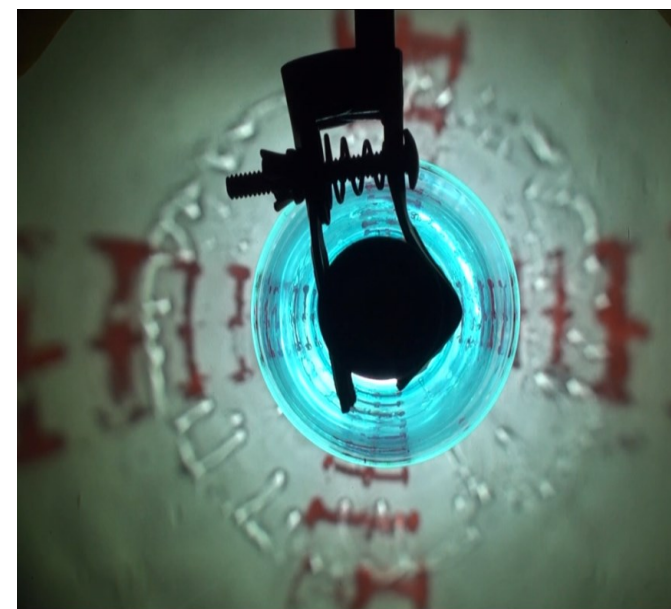


# 【實驗3-2】 探討甘油濃度對酒液形成的影響

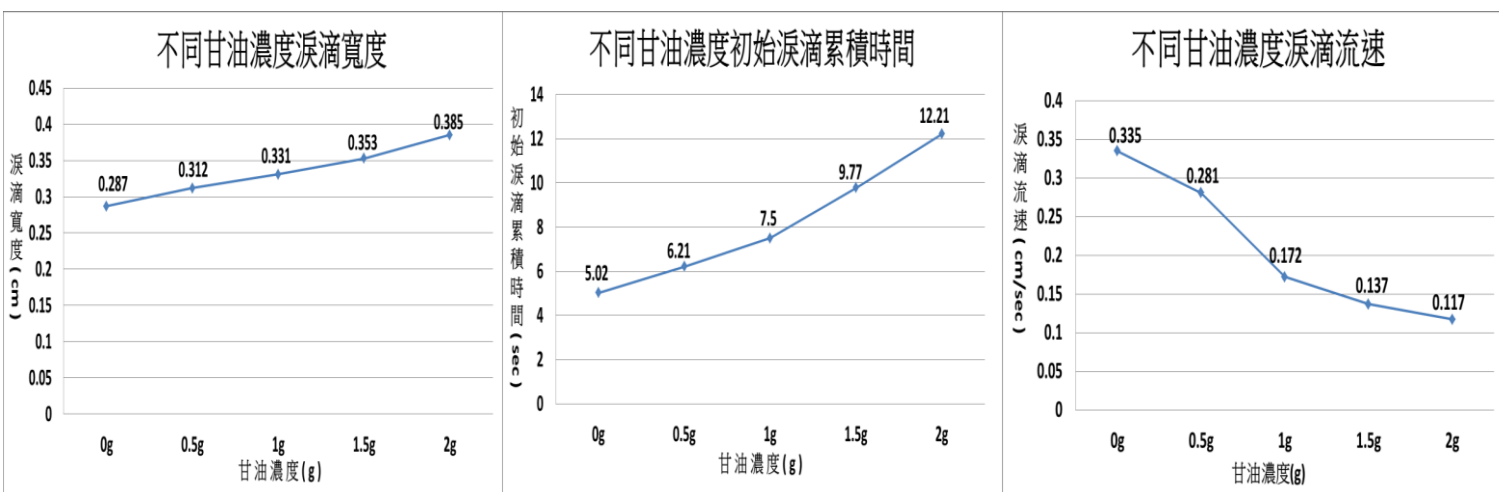
## 拉伍爾定律示意圖



0g

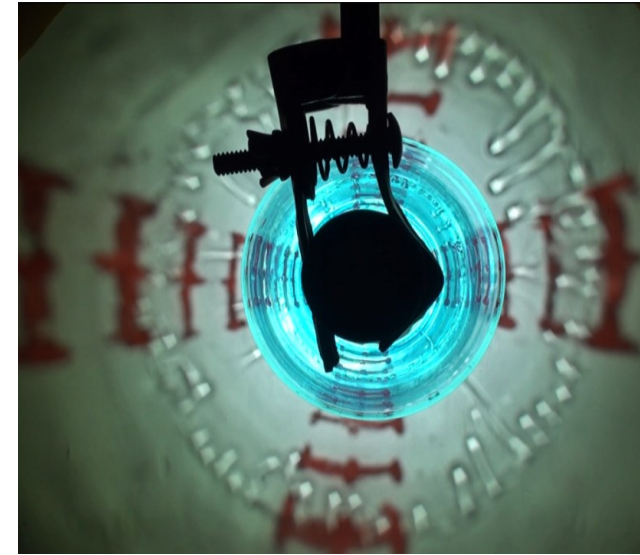


5g

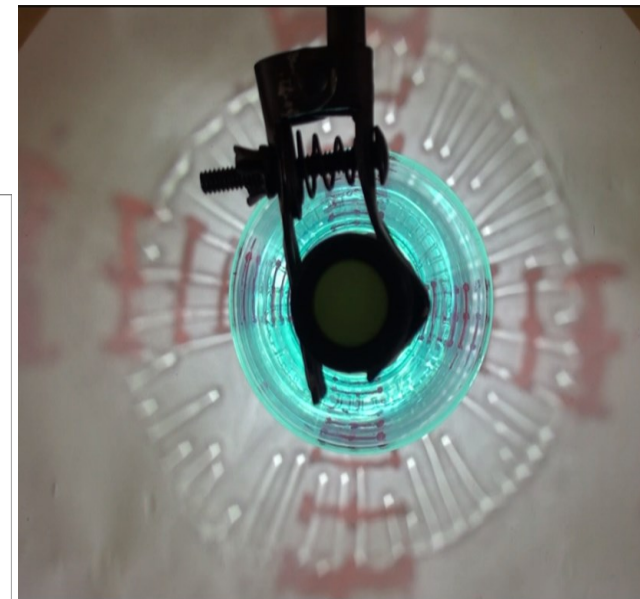


# 【實驗3-3】 探討酯類濃度對酒液形成的影響

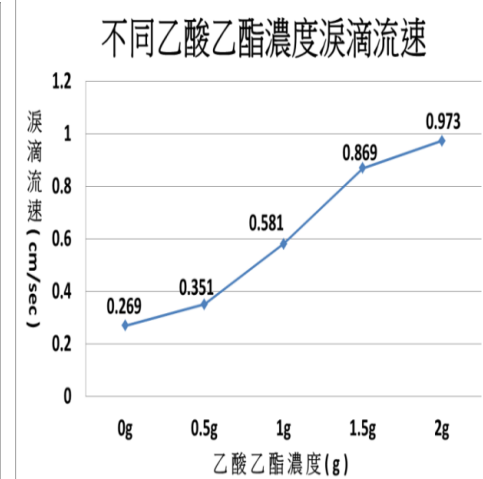
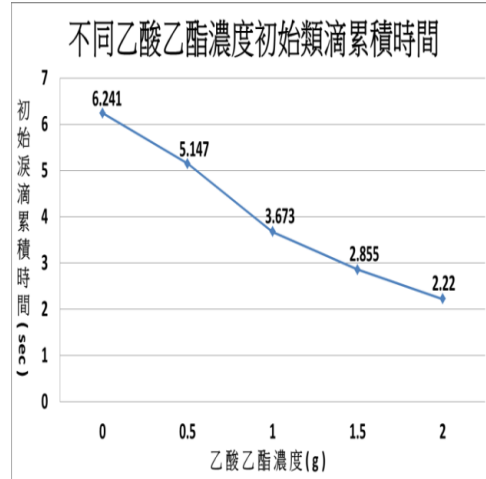
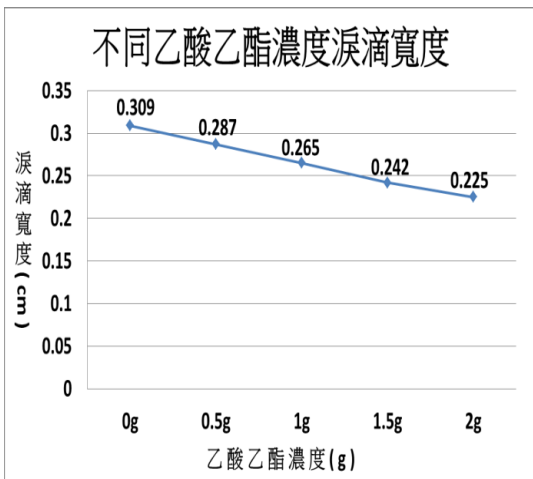
	0g/30ml	0.5g/30ml	1g/30ml	1.5g/30ml	2g/30ml
前期					
中後期					



0g

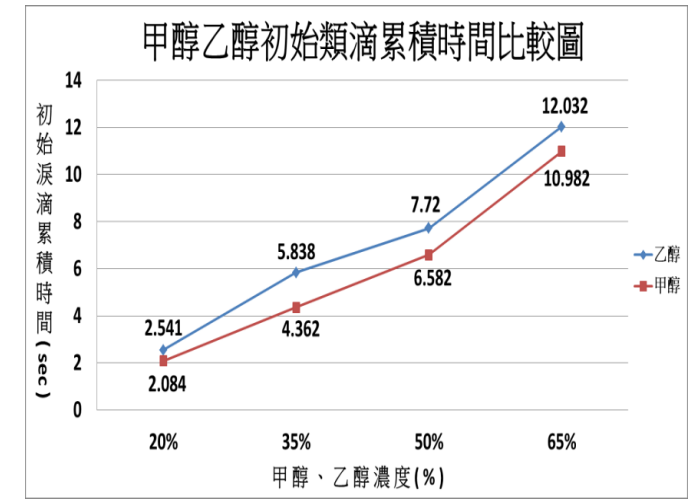
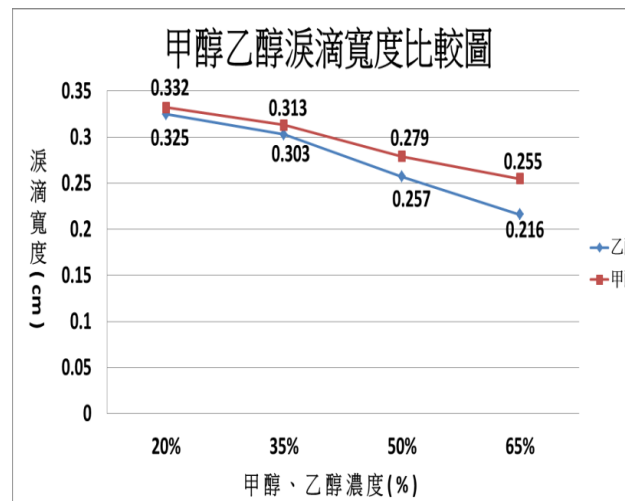
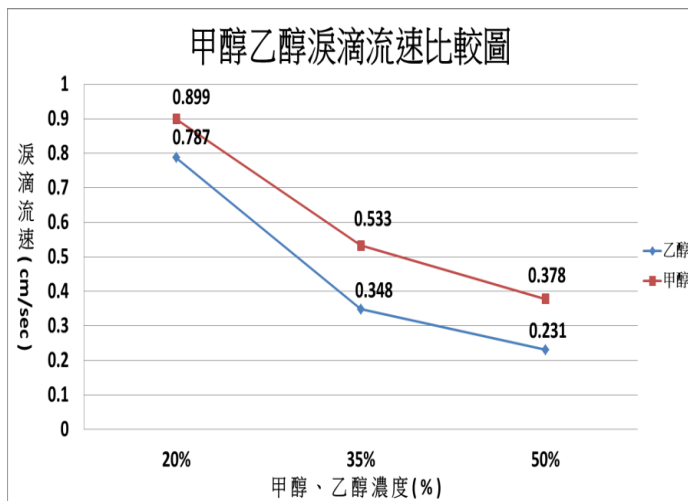
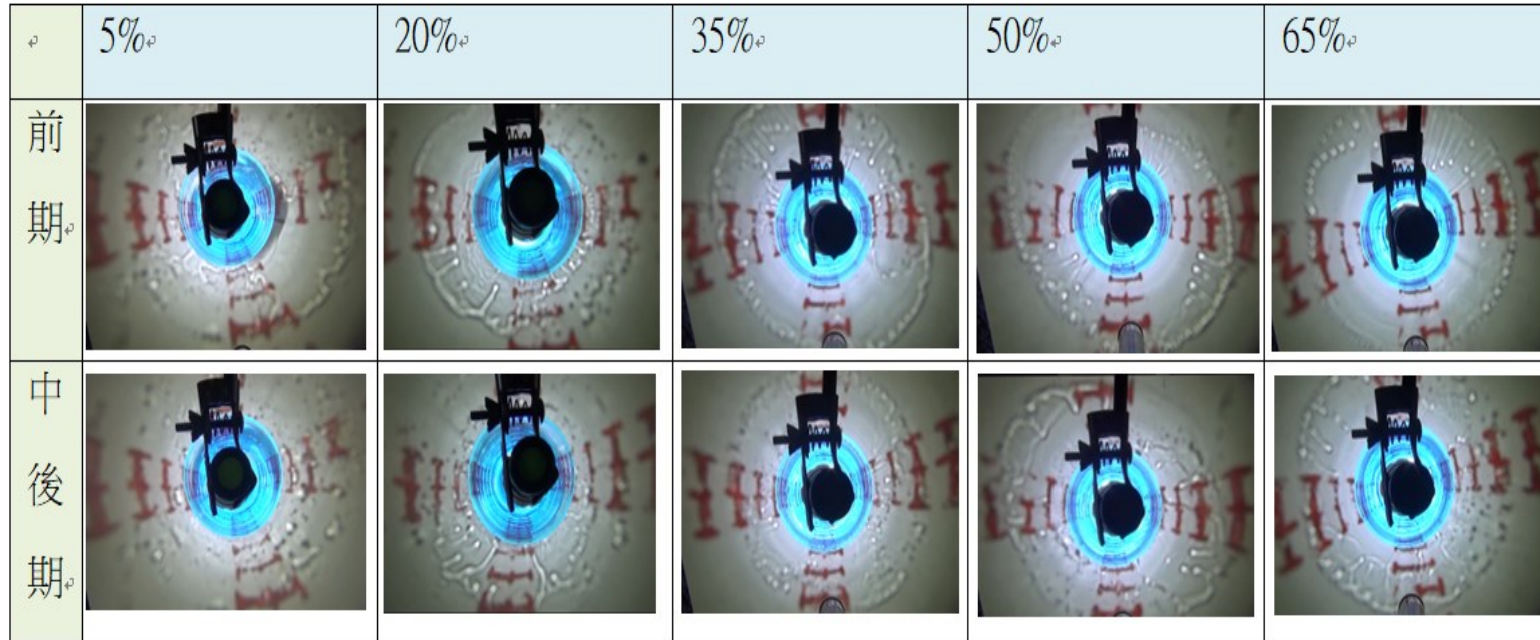


2g

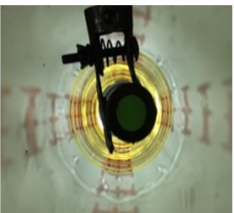
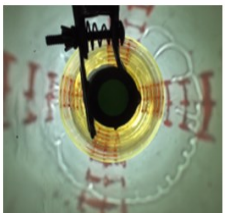
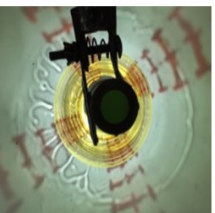
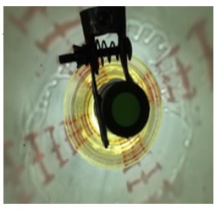
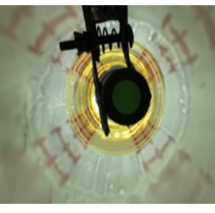

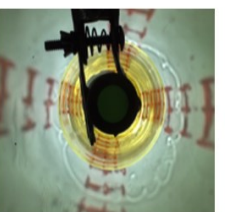
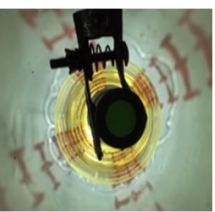
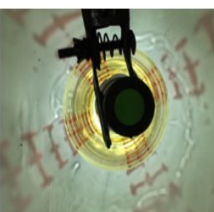





# 【實驗3-4】 探討甲醇濃度對酒液形成的影響

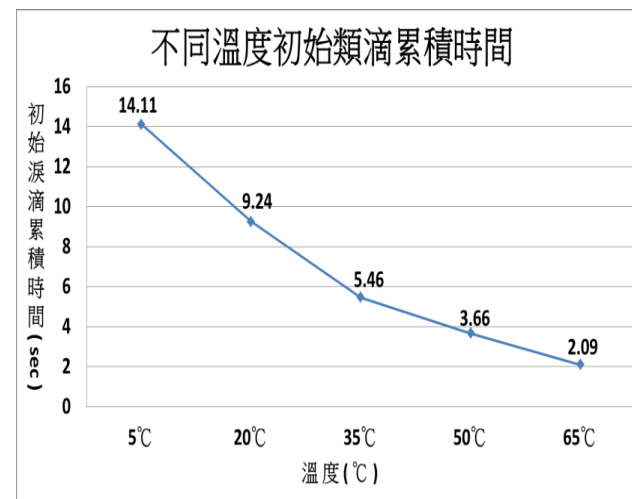
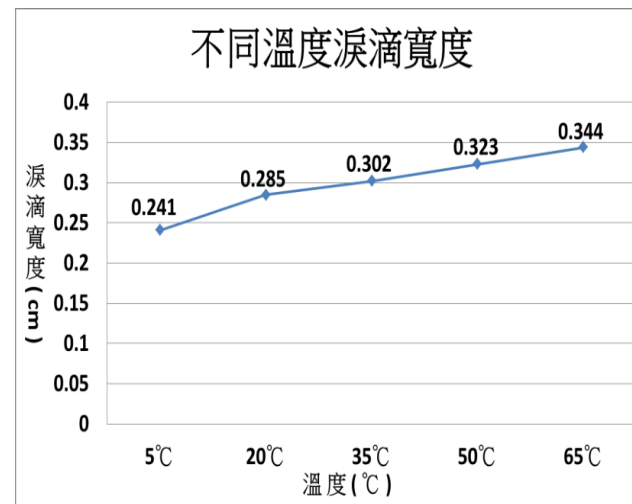
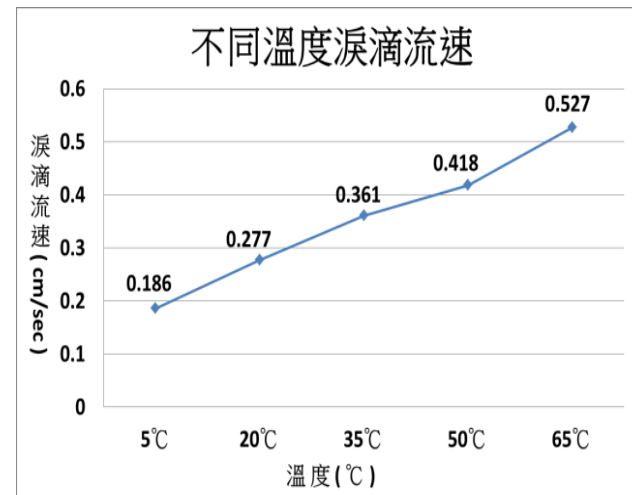
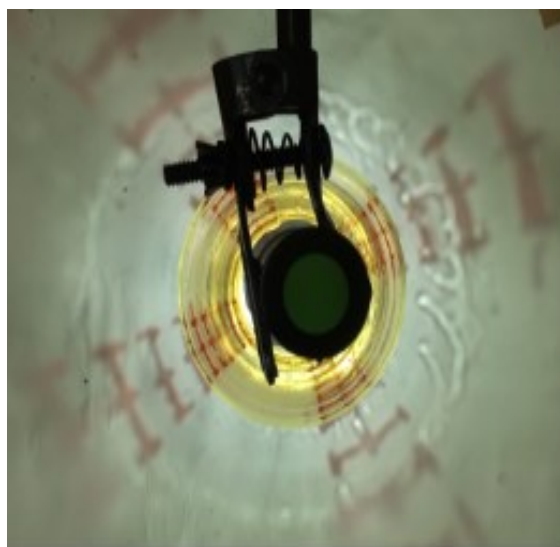
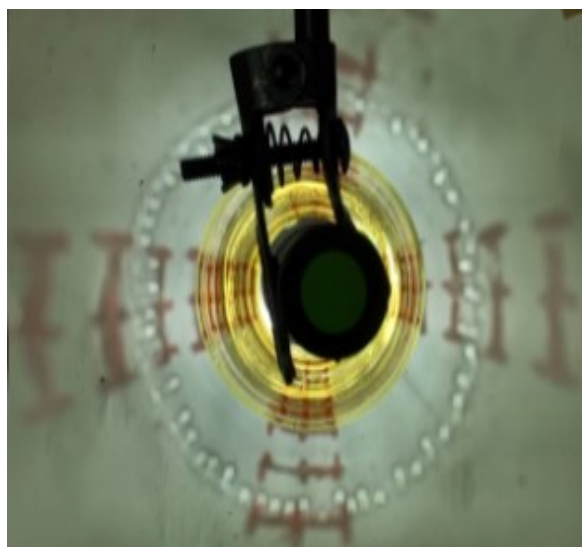


# 【實驗 4】探討水溫對酒液形成的影響

	5°C	20°C	35°C	50°C	65°C
前期					
中後期					

低溫組

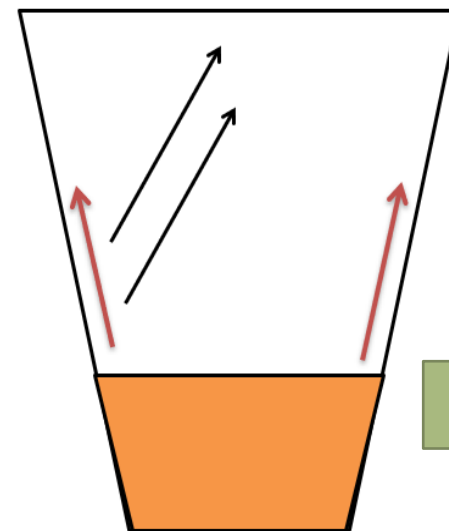
高溫組



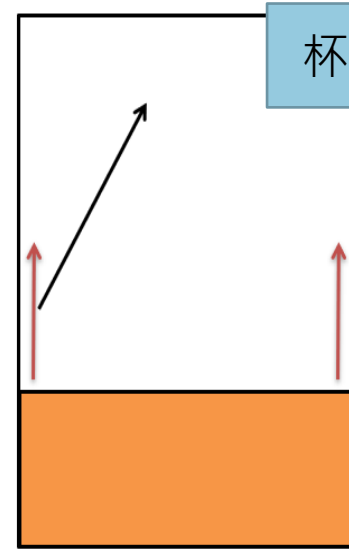
# 【實驗 5】探討杯子種類對酒液形成的影響

空氣流通性佳

	前期	後期		前期	後期
啤酒杯			威士忌杯		
葡萄酒杯			馬丁尼杯		

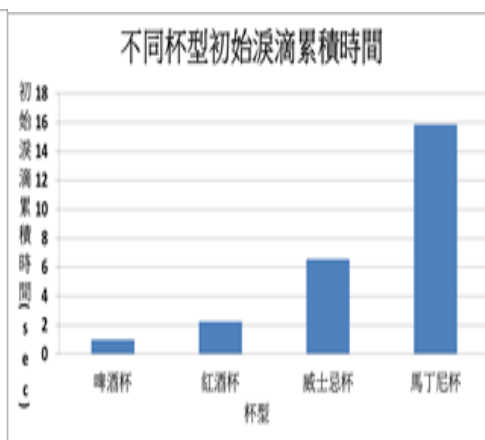
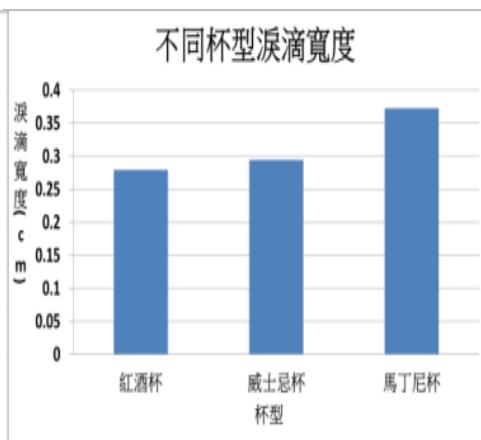
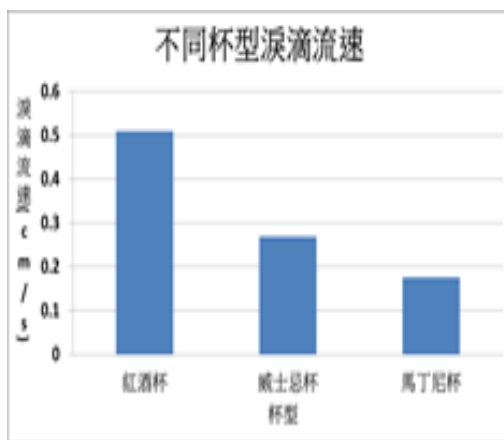


杯壁斜度小



杯型封閉

杯壁斜度大





# 結論

## 【實驗 1】



並非所有酒精水溶液都會掛杯

## 【實驗 4】

溫度高  
寬度大且速率快

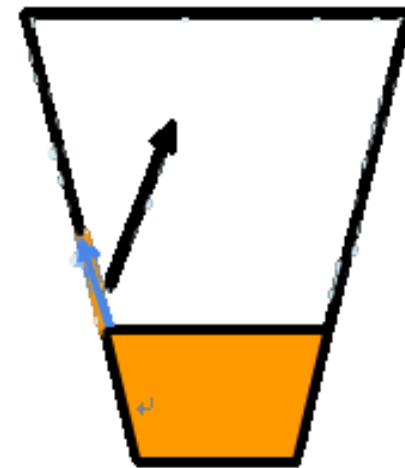
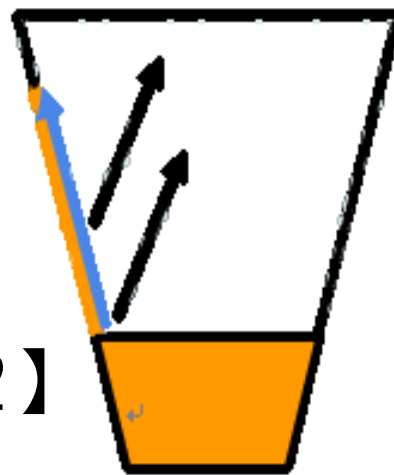


溫度低  
寬度小且速率慢

長膜空氣流通性越佳  
寬度大

短膜空氣流通性越差  
寬度小

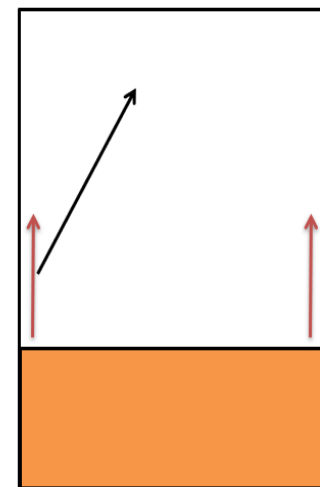
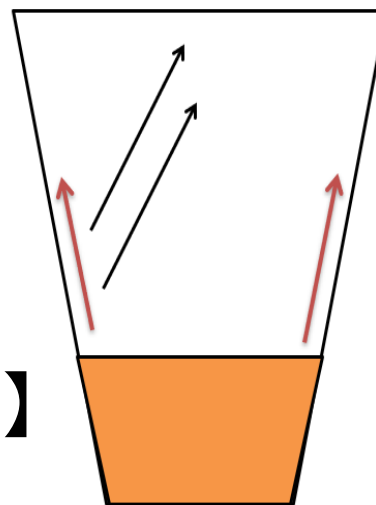
## 【實驗 2】



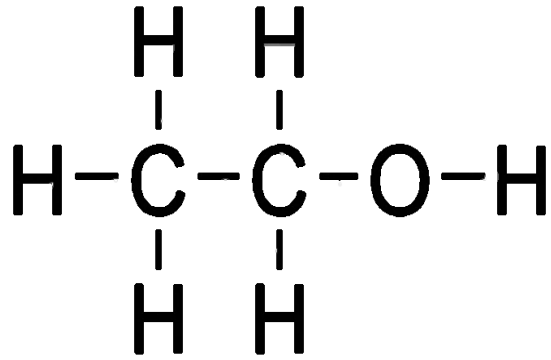
杯壁斜度小  
寬度較大而流速較慢

杯壁斜度大  
寬度較小而流速較快

## 【實驗 5】



# 【實驗3】



濃度越高，  
淚滴顆粒較小  
且流速較慢

趨勢  
相同

乙醇



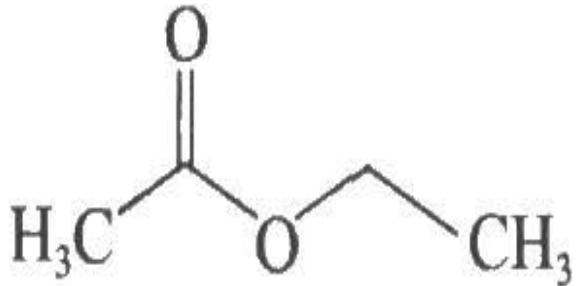
甲醇

甲醇和乙醇的差異

● 甲醇液滴比乙醇寬

● 初始淚滴累積時間甲醇較長

● 流速比乙醇快易破碎



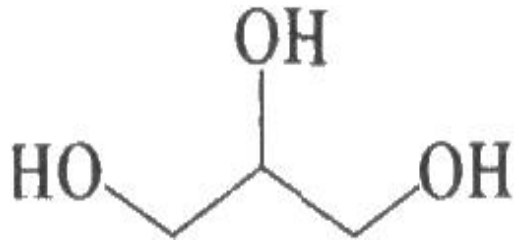
濃度越高，  
初始淚滴累積時間短、  
淚滴體積較小而流速快

乙酸乙酯



趨勢  
相反

甘油



濃度越高，  
初始淚滴累積時間長、  
體積較大而流速較慢