

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030209

翻牆逃逸的酒滴-馬拉哥尼效應在直筒玻璃牆上的翻牆現象

學校名稱：新竹縣立仁愛國民中學

作者： 國二 陳晏萱	指導老師： 梁炫禧 宋美紅
-------------------	-----------------------------

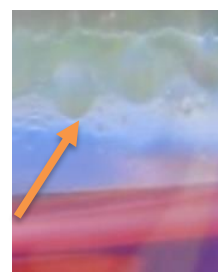
關鍵詞： Marangoni effect、表面張力、酒淚掛杯

摘要

本研究主要探討垂直的馬拉哥尼效應(Marangoni effect)，應用於酒精溶液的翻牆逃逸現象。酒精裝入玻璃杯中，因杯內酒精溶液會沿著玻璃杯爬升產生「腳」，且杯壁上的酒精有著較大的蒸發量使表面張力變大，進而產生表面張力差，杯內表面張力較小的酒精會持續藉由「腳」往表面張力較大的杯壁酒精累積與上升，如同脫離地心引力般的向玻璃杯壁上移動。當杯中酒精溶液的液面較接近杯口時，液滴將逐間累積至杯口處，持續在杯口處藉由「腳」拉引並與杯口上的液滴相互結合，逐漸向杯口外圍累積，最後成功翻牆逃逸。後續實驗嘗試使用市售食用酒品、丙二醇和丙酮等各種不同溶液探討翻牆逃逸情形。在延伸研究中，從廣口瓶的瓶頸發現「腳」蒸散與拉聚會產生脹縮的呼吸現象。

壹、研究動機

在臉書的科學 Maker 中，有人提到 25%的白酒搖晃後，會形成酒淚掛杯現象，上網搜尋相關資料(資料一)後，得到酒淚與馬拉哥尼效應的介紹，得知酒淚是透過蒸發量不同產生表面張力差，杯中表面張力較小的酒精往表面張力較大的杯壁酒精累積而產生酒淚循環現象，因此腦海中萌生出了一個想法「酒淚是否能透過表面張力差累積至杯口並爬出杯壁外呢?」，在查閱相關文獻資料與歷屆科展(資料二、資料三)的相關作品後，嘗試在玻璃杯內裝滿酒精，發現酒精溶液可以成功爬出杯外，證實了猜想，於是展開更深入的探討。



圖一、酒淚液滴

貳、研究目的與架構

一、探討酒精的向上爬升情形

實驗一：100%酒精在不同液膜時的向上爬升情形

實驗二：不同%酒精在 5mm 液膜時的向上爬升情形

二、探討 100%酒精的翻牆逃逸情形

實驗三：杯口無液膜時，100%酒精短時間內在不同液面及液膜高度的翻牆逃逸情形

實驗四：杯口有液膜時，100%酒精短時間內在不同液面及液膜高度的翻牆逃逸情形

實驗五：杯口無液膜或有液膜時，100%酒精長時間的翻牆逃逸情形

實驗六：100%酒精在不同傾斜角度玻璃杯的翻牆逃逸情形

三、探討 40%酒精的翻牆逃逸情形

實驗七：杯口無液膜時，40%酒精短時間內在不同液面及液膜高度的翻牆逃逸情形

實驗八：杯口有液膜時，40%酒精短時間內在不同液面及液膜高度的翻牆逃逸情形

實驗九：杯口無液膜或有液膜時，40%酒精長時間的翻牆逃逸情形

實驗十：40%酒精在不同傾斜角度玻璃杯的翻牆逃逸情形

四、探討電弧電擊玻璃表面結構對酒精翻牆逃逸的影響

實驗十一：電弧電擊玻璃杯表面後，100%酒精在杯口無液膜或有液膜時的翻牆逃逸情形

實驗十二：電弧電擊玻璃杯表面後，40%酒精在杯口無液膜或有液膜時的翻牆逃逸情形

五、探討市售酒品的向上爬升及翻牆逃逸情形

實驗十三：不同市售酒品在 5mm 液膜時的向上爬升情形

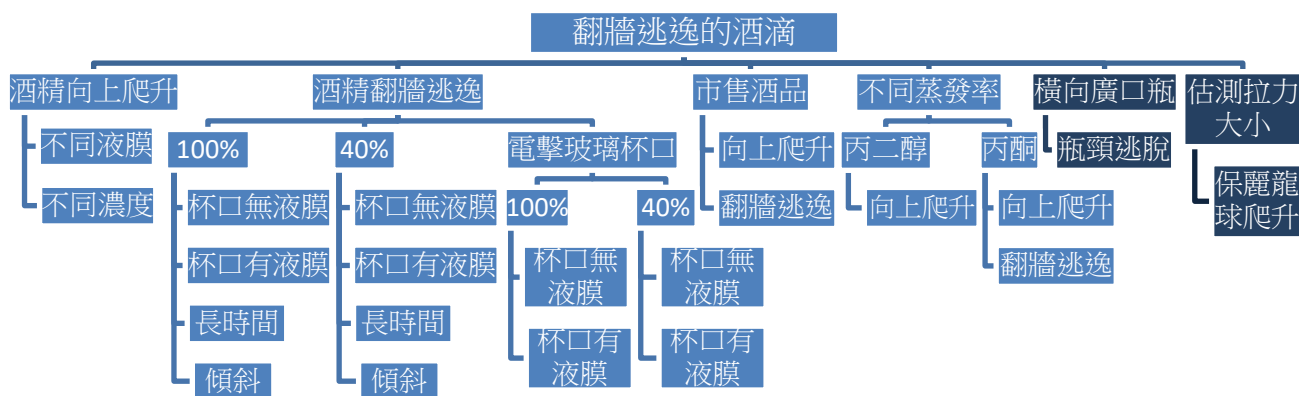
實驗十四：茅臺酒在杯口無液膜或有液膜時的翻牆逃逸情形

六、探討不同蒸發率溶液的向上爬升及翻牆逃逸情形

實驗十五：不同%丙二醇在 5mm 液膜時的向上爬升情形

實驗十六：不同%丙酮在 5mm 液膜時的向上爬升情形

實驗十七：85%丙酮在杯口無液膜或有液膜時的翻牆逃逸情形



圖二、研究架構圖

參、研究設備及器材

表一、研究設備及器材

1. 玻璃酒杯、量尺	2. 滴管	3. 計時器	4. 直徑 1mm 保麗龍球	5. 長頸廣口瓶
6. 99.8%絕對酒精	7. 蒸餾水	8. 97%丙二醇	9. 54%玉山茅臺酒	10. 40%威士忌
11. 99.87%丙酮	12. 紅色水性麥克筆補充液 (雄獅)	13. 紅色打印水 (利百代)	14. 簡易高壓電弧產生器 (約 8000 伏特)	15. 撲克牌

肆、研究原理與方法

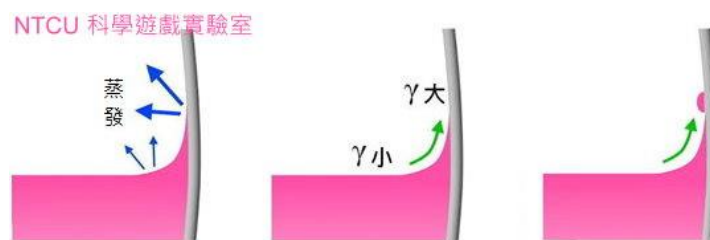
一、研究原理

(一) 馬拉哥尼效應

在流體界面，因為表面張力梯度而造成的傳質現象。當兩種液體相接觸時，表面張力強的液體會將表面張力弱的液體拉過來，因此會出現表面張力弱的液體向強的方面滲透，同一種溶液會因為濃度低而增強表面張力，所以濃溶液也會滲透到稀溶液中。(維基百科)

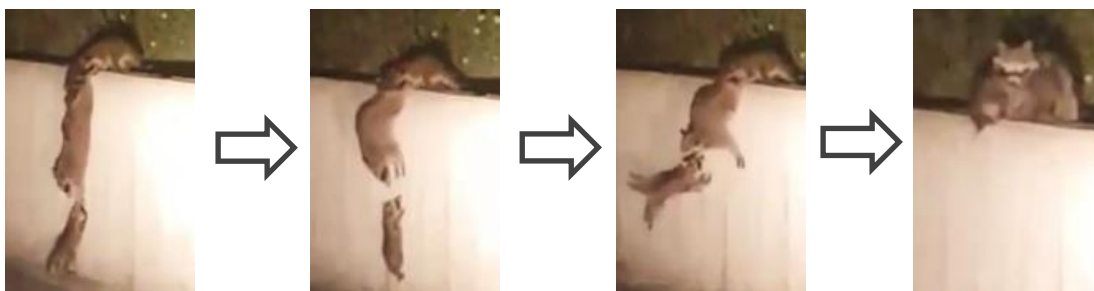
(二) 酒淚爬升

酒倒入杯子中時，酒精水溶液會沿著杯壁往上爬升成為「 \cup 」形，此現象的原因是玻璃分子與水分子之間的吸引力（附著力）大於水分子之間的吸引力（內聚力）。其次，沿者杯壁上升的酒精水溶液的體積很小，相對於杯中的水平液面，有相對較高的表面積，因此酒精（乙醇）的蒸發速度更快，由於酒精的蒸氣壓大於水，更容易蒸發，因此杯壁上緣的酒精濃度，低於水平液面的酒精濃度。此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的拉往表面張力大的方向流動，因此酒精水溶液會一直往杯壁上方累積，形成淚滴狀，淚滴累積到某個程度，就會因為重力而流下來了。(參考資料一)



圖三、酒淚爬升示意圖

(三) 酒類翻牆逃逸示意圖



圖四、酒淚翻牆逃逸示意圖

1. 酒精裝入玻璃杯後，杯內酒精溶液會沿著玻璃杯爬升產生「腳」
2. 杯壁上的酒精有著較大的蒸發量使表面張力變大，產生表面張力差，所以「腳」持續拉引杯內酒精累積於杯口處。
3. 杯口液滴持續累積變多，向杯壁逸出外流，產生類似超流體溢出的現象。



圖五、馬拉哥尼現象使液滴爬出杯外

二、研究方法

(一) 討液滴爬升 / 翻牆逃逸(圖六)

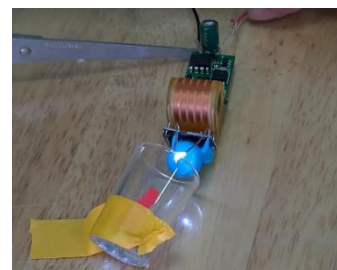
1. 將冷氣調成 25°C；在桌上放一杯水，將除濕機的溼度調為 50%，直到杯中水位維持不變後開始實驗。
2. 準備 10c.c.的玻璃酒杯用錫箔紙擦拭玻璃杯避免靜電，並將量尺的 0cm 處對準杯底黏在杯壁上。
3. 在藍色珍珠板前放置玻璃杯與計時器。
4. 將檯燈燈光架設距離玻璃杯約 30 公分。
5. 將兩台手機架設於前方與正上方錄影紀錄。



圖六、液滴爬升 / 翻牆逃逸-實驗方法

(二) 電弧電擊玻璃杯表面重組玻璃表面結構(圖七)

1. 將玻璃杯用絕緣膠帶固定於桌面。
2. 使用約 8000 伏特的簡易高壓電弧產生器電擊玻璃杯口約一分鐘。
3. 依參考資料(二)觀察表面張力現象結果是否有變化。



圖七、電弧電擊玻璃-實驗方法

伍、研究結果

一、探討酒精的向上爬升情形

實驗一：100%酒精在不同液膜時的向上爬升情形

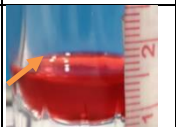


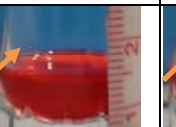


*向上爬升情形：扣除液膜高度後，液滴累積的高度位置

實驗日期：2/14	濕度：50%	溫度：25°C
-----------	--------	---------

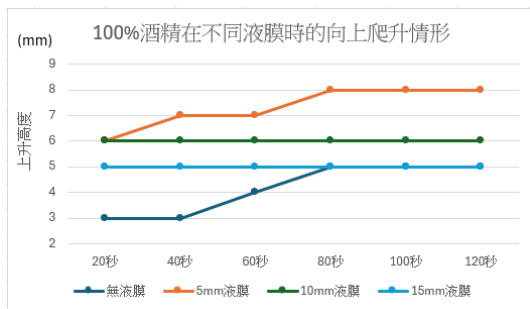
(一) 實驗步驟

將 10c.c.的 100%酒精與 3 滴紅色打印水混合，使用滴管吸取紅色酒精，在玻璃酒杯內製造不同液膜變因無液膜 / 5mm 液膜 / 10mm 液膜 / 15mm 液膜。

(二) 實驗結果

	時間	20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒	120 秒
無液膜	上升高度	3 mm	3 mm	4 mm	5 mm	5 mm	5 mm
	側視圖						
	上升高度	6 mm	7 mm	7 mm	8 mm	8 mm	8 mm

5mm 液膜	側視圖						
10 mm 液膜	上升高度	6 mm	6 mm	6 mm	6 mm	6 mm	6 mm
	側視圖						
15 mm 液膜	上升高度	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm
	側視圖						



圖八、100%酒精在不同液膜時的向上爬升情形

(三) 實驗一分析討論

1. 無液膜：液滴在兩分鐘內極為細小不易觀察，但仍會因為酒精注入杯中時，立即產生細小液滴向玻璃杯上快速爬升，並隨時間持續累積
2. 5 毫米液膜：上升速度最快且最高，從 20 秒到 2 分鐘液滴從不易觀察的大小累積至大約 5 倍大，上升高度為四種變因中最高，因此實驗(二)和實驗(三)皆會選用 5 毫米液膜進行實驗。
3. 10 毫米液膜：一開始累積的液滴較其餘液膜變因的液滴明顯，在兩分鐘內較小的液滴逐漸累積至與原先較大的液滴大小相似。
4. 15 毫米液膜：推論為液膜過高，因此較不容易拉引液面酒精上升，故液滴無明顯變化，且不易觀察。
5. 液滴大小：10 毫米液膜液滴 > 5 毫米液膜液滴 > 15 毫米液膜液滴 > 無液膜液滴
6. 上升高度：5 毫米液膜液滴 > 10 毫米液膜液滴 > 15 毫米液膜液滴 = 無液膜液滴




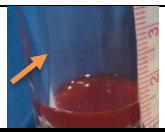
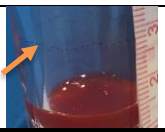
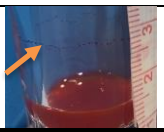










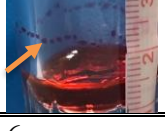

























實驗二：不同%酒精在 5mm 液膜時的向上爬升情形

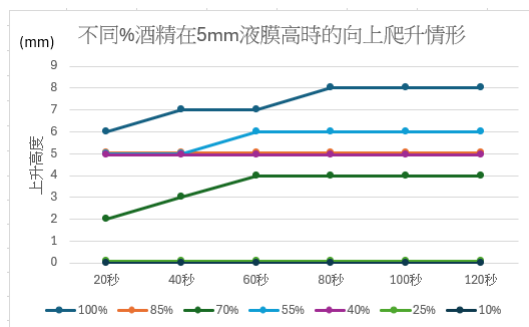
實驗日期：2/14	濕度：50%	溫度：25°C
-----------	--------	---------

(一) 實驗步驟

分別將 10c.c.的 100% / 85% / 70% / 55% / 40% / 25% / 10%酒精與 3 滴紅墨水混合，使用滴管吸取紅色酒精，裝到玻璃酒杯 20mm 處吸取回 15mm(由實驗一得出的最佳液膜高)。

(二) 實驗結果

	時間	20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒	120 秒
100% 酒精	上升高度	6 mm	7 mm	7 mm	8 mm	8 mm	8 mm
	側視圖						
85% 酒精	上升高度	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm
	側視圖						
70% 酒精	上升高度	2 mm	3 mm	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm
	側視圖						
55% 酒精	上升高度	5 mm	5 mm	6 mm	6 mm	6 mm	6 mm
	側視圖						
40% 酒精	上升高度	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm
	側視圖						
25% 酒精	上升高度	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
	側視圖						
10% 酒精	上升高度	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
	側視圖						



圖九、不同%酒精在 5mm 液膜時的向上爬升情形

(三) 實驗二分析討論

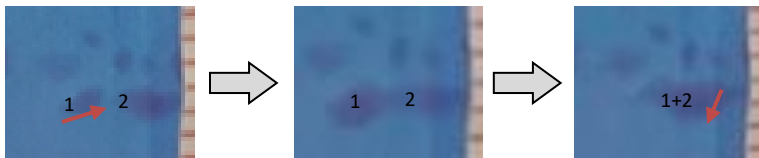
- 100%酒精：液滴大小為七種變應中最小，但上升高度最高，液滴密集排列；液滴上升時會產生軌跡，上升軌跡隨時間蒸發逐漸消失。
- 85%酒精、70%酒精：液滴大小在兩分鐘內累積至大約 5 倍大，排列較為不整齊，且

70%的液滴從 20 秒到 2 分鐘皆較 80%的液滴大。

3. 55%酒精：液滴變大許多，且形狀皆不規則，排列鬆散。

(1)由量尺旁的液滴結合，可發現累積於玻璃杯上的液滴仍會因為表面張力差結合 (左邊的液滴表面張力差較小，向右邊表面張力差較大液的液滴移動)。

(2)可由液滴方向判斷是會持續上升(紅色箭頭)。



圖十、杯壁上液滴相互結合

4. 40%酒精：鬆散的不規則液滴快速上升，40 秒開始就逐漸產生循環酒淚現象，但循環速度較 25%、10%酒精慢。

5. 25%酒精、10%酒精：液滴不會上升，直接在杯中產生循環酒淚的現象。

6. 上升高度：100% > 55% > 85% = 40% > 70% > 25% = 10%

二、探討 100%酒精的翻牆逃逸情形

實驗三：杯口無液膜時，100%酒精短時間內在不同液面及液膜高度的翻牆逃逸情形

實驗日期：2/15	濕度：50%	溫度：25°C
-----------	--------	---------

(一) 實驗步驟

將 10c.c.的 100%酒精與 3 滴紅墨水混合，使用滴管吸取紅色酒精，裝到玻璃酒杯 40mm / 40mm 吸回 38mm / 38mm / 40mm 吸回 35mm / 35mm / 35mm 吸回 30mm。













(二) 實驗結果

1. 液面 40mm/液膜 0mm





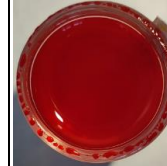
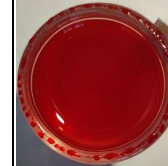






時間	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
杯口俯視圖						
結果說明	液滴少且淡	液滴逐漸變小		液滴集中於杯口外圍		
側視圖						
結果說明	杯緣有細小液滴		液滴變多且寬度較寬			

2. 液面 38mm/液膜 2mm






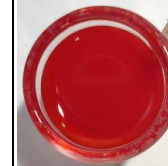
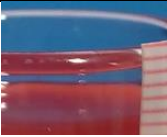

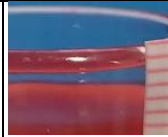

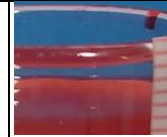

時間	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
----	------	------	------	-------	-------	-------

杯口 俯視圖						
結果說明	杯口液滴為片狀，集中於杯口外側					
側視圖						
結果說明	有液滴爬出		爬出的液滴變寬度變寬，且逐漸往下流			







3. 液面 38mm/液膜 0mm

時間	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
杯口 俯視圖						
結果說明	杯口液滴集中於杯口內側			杯口液滴向杯口外圍累積		
側視圖						
結果說明	無液滴爬出			有極為細小的液滴掛於杯壁外		液滴變寬，逐漸向下流

4. 液面 35mm/液膜 5mm

時間	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
杯口 俯視圖						
結果說明	杯口液滴為片狀，集中於杯口內側					
側視圖						
結果說明	無液滴爬出			液滴爬出，寬度逐漸變寬		

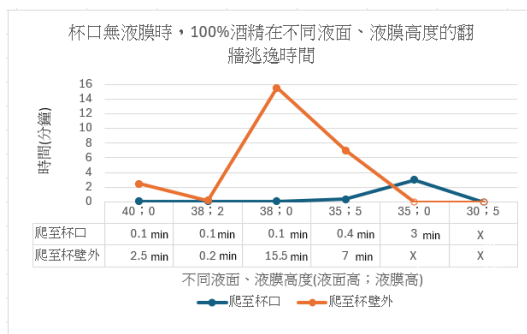
5. 液面 35mm/液膜 0mm

時間	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
杯口 俯視圖						
結果說明	杯口無液滴			杯口液滴集中於杯口內側，幾乎沒有爬上杯口		

側視圖	
結果說明	無液滴爬出

6. 液面 30mm/液膜 5mm

時間	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
杯口俯視圖						
結果說明	杯口無液滴					
側視圖						
結果說明	無液滴爬出					



*爬至「杯口」指玻璃杯口正上方

圖十一、杯口無液膜時，100%酒精短時間內在不同液面及液膜高度的翻牆逃逸時間

(三) 實驗三分析討論

1. 液面 40mm/液膜 0mm：將酒精裝到 40 毫米處時，酒精液滴立刻因為表面張力差累積於杯口，因此推論變因 2.和 4.的酒精至少都會累積至杯口。
2. 液面 38mm/液膜 2mm：杯口液滴皆為片狀而非液滴；杯外仍有液滴流出，並且隨時間增加，液滴寬度也增加。
3. 液面 38mm/液膜 0mm：一開始杯口液滴接集中於內側，但隨著時間的增加，杯口液滴逐漸向杯口外圍累積，直到 15 分鐘時，才有較明顯的液滴爬出。
4. 液面 35mm/液膜 5mm：液膜較高，杯口液滴不易累積，所以一開始液滴都靠近杯口內側，直到 7 分鐘時，才有液滴爬出杯外。
5. 液面 35mm/液膜 0mm：3 分鐘時，才有液滴爬到杯口內側，並且沒有液滴爬出杯外
6. 液面 30mm/液膜 5mm：沒有液滴爬至杯口，皆累積在杯口下方。

實驗四：杯口有液膜時，100%酒精短時間內在不同液面及液膜高度的翻牆逃逸情形



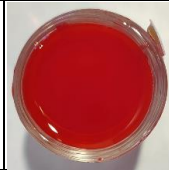

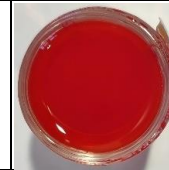
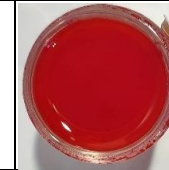






實驗日期：2/18	濕度：50%	溫度：25°C
-----------	--------	---------

(一) 實驗步驟





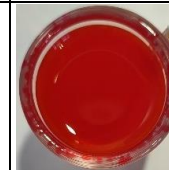



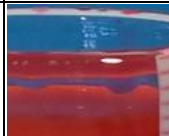
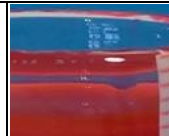

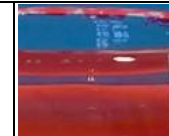
使用棉花棒沾取無色 100%酒精均勻塗抹於杯口，將 10c.c.的 100%酒精與 3 滴紅墨水混合，使用滴管吸取紅色酒精，裝到玻璃酒杯 40mm / 40mm 吸回 38mm / 40mm 吸回 35mm。

(二) 實驗結果











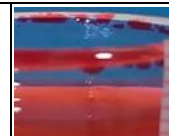
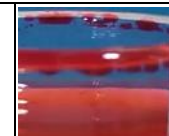
1. 液面 40mm/液膜 0mm

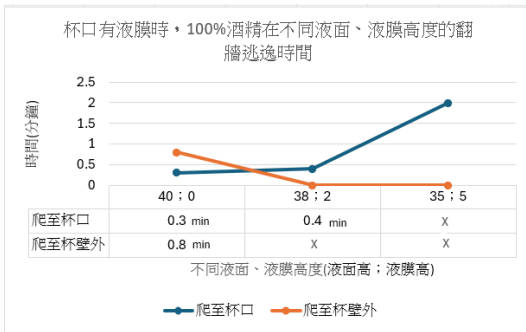
時間	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
杯口俯視圖						
結果說明	杯口外圍零散分布的淺色的液滴			杯口外圍的液滴接近片狀		
側視圖						
結果說明	液滴掛於杯緣，未爬出	液滴爬出	爬出的液滴逐漸增加			

2. 液面 38mm/液膜 2mm

時間	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
杯口俯視圖						
結果說明	杯口液滴極少		杯口液滴逐漸累積較大，散布於杯口			
側視圖						
結果說明	無液滴爬出杯外					

3. 液面 35mm/液膜 5mm

時間	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
杯口俯視圖						
結果說明	杯口無液滴	杯口液滴靠近杯口內側，幾乎沒有爬上杯口				
側視圖						
結果說明	無液滴爬出杯外					



圖十二、杯口有液膜時，100%酒精短時間內在不同液面及液膜高度的翻牆逃逸時間

(三) 實驗四分析討論

1. 液面 40mm/液膜 0mm：液滴累積於杯口外圍隨著時間流出杯外，流出的液滴寬度較寬。
2. 液面 38mm/液膜 2mm：無液滴爬出杯外
3. 液面 35mm/液膜 5mm：杯口液滴累積於杯口內側，只有極少數液滴爬至杯口，其餘液滴幾乎累積於杯口下方。

實驗五：杯口無液膜或有液膜時，100%酒精長時間的翻牆逃逸情形















實驗日期：3/2	濕度：50%	溫度：25°C
----------	--------	---------

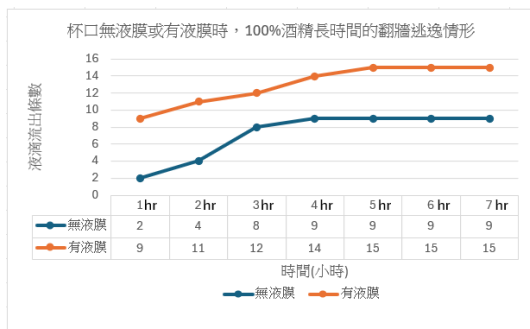
(一) 實驗步驟

用棉花棒沾取無色 100%酒精均勻塗抹於杯口 / 杯口不需塗抹，將 10c.c.的 100%酒精與 3 滴紅墨水混合，使用滴管吸取紅色酒精，裝到玻璃酒杯 40mm 處，每隔 1 小時拍照記錄並計算流出液滴條數。

(二) 實驗結果

	時間	1 小時	2 小時	3 小時	4 小時	5 小時	6 小時	7 小時	
無液膜	液面高度	39mm	38mm	37mm	36mm	35mm	34mm	34mm	
	液滴條數	2	4	8	9	9	9	9	
	杯口俯視圖								
	結果說明	液滴布滿杯口，有些為片狀			液滴向杯口外累積		杯口布滿液滴		
	側視圖								
結果說明	液滴持續向杯外流					沒有新液滴流出			
有液膜	液面高度	39 mm	38 mm	37 mm	36 mm	35 mm	35 mm	34 mm	

液膜	液滴條數	9	11	12	14	15	15	15	
	側視圖								
	結果說明	杯口有較小的液滴	杯口液滴大小較大		杯口液滴滑落，數量變少		杯口液滴不易觀察		
	側視圖								
	結果說明	持續有液滴流出					沒有新液滴流出		



圖十三、杯口無液膜或有液膜時，100%酒精長時間內在不同液面及液膜高度的翻牆逃逸情形

(三) 實驗五分析討論

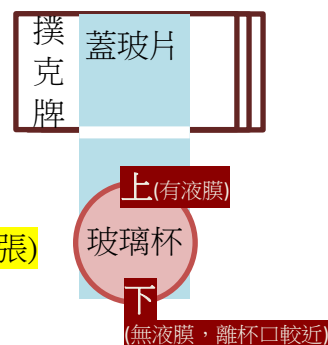
1. 無液膜：杯口上布滿液滴，隨時間的增加變多，1小時到4小時之間都持續有新的液滴流出杯外，其中2小時液面高度為38毫米時，流出的液滴最多；5個小時後，杯內酒精液面下降，不再有新的液滴流出。
2. 有液膜：一小時內，就流出9條液滴，液滴數量為無液膜的4.5倍。一開始杯口液滴為片狀，隨時間逐漸累積；4小時後，杯口不再累積液滴，杯口液滴開始減少。

實驗六：100%酒精在不同傾斜角度玻璃杯的翻牆逃逸情形

實驗日期：5/26	濕度：50%	溫度：25°C
-----------	--------	---------

(一) 實驗步驟

將玻璃杯固定於蓋玻片上(下方)，在蓋玻片下(上方)墊撲克牌使玻璃杯傾斜，再將10c.c.的100%酒精與3滴紅墨水混合，使用滴管吸取紅色酒精，裝到玻璃酒杯36mm處(離杯口4mm)，分別在蓋玻片下(上方)墊不同張數的撲克牌，使杯口上方有液膜，下方無液膜但距離杯口較近，液面與杯口的距離為上5mm下3mm(墊高13張) / 上6mm下2mm(墊高26張) / 上7mm下1mm(墊高39張)



(二) 實驗結果

	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
上 5mm 下 3mm (墊高 13 張)						
上 6mm 下 2mm (墊高 26 張)						
上 7mm 下 1mm (墊高 39 張)						

(三) 實驗六分析討論

1. 墊高 13 張：下方離杯口較近的酒精液滴爬至於杯口的速度與上方有液膜的酒精液滴相似；上方有液膜產生的液滴為片狀，與實驗四發現的結果相符；時間增加後，可觀察到下方酒精液滴累積於杯口較外側。
2. 墊高 26 張：上方酒精距液面距離杯口較遠，液滴累積於杯口的速度較慢也較少。
3. 墊高 39 張：杯口上方無液滴累積，下方液滴在一開始就累積於杯口外側與杯壁外。

三、探討 40%酒精的翻牆逃逸情形

實驗七：杯口無液膜時，40%酒精短時間內在不同液面及液膜高度的翻牆逃逸情形

實驗日期：2/19	濕度：50%	溫度：25°C
-----------	--------	---------

(一) 實驗步驟













將 10c.c.的 40%酒精與 3 滴紅墨水混合，使用滴管吸取紅色酒精，裝到玻璃酒杯 40mm / 40mm 吸回 38mm / 38mm / 40mm 吸回 35mm / 35mm / 35mm 吸回 30mm。

(二) 實驗結果







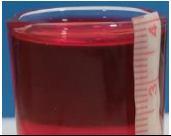

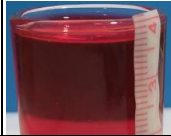


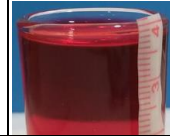
1. 液面 40 mm /液膜 0 mm

	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
杯口 俯視圖						
結果說明	杯口僅有 2 滴左右的明顯液滴，推測杯口有不明顯的「腳」					
側視圖						
結果說明	持續有液滴流出					













2. 液面 38 mm /液膜 02 mm

時間	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
杯口俯視圖						
結果說明	液滴累積於杯口外圍		杯口液滴向杯壁外圍流			
側視圖						
結果說明	杯口輪流有液滴流出		流出的液滴向杯底流		沒有新的液滴流出	


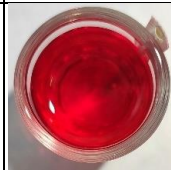
3. 液面 38 mm /液膜 0 mm

時間	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
杯口俯視圖						
結果說明	杯口無液滴					
側視圖						
結果說明	無液滴流出					

4. 液面 35 mm /液膜 5 mm

時間	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
杯口俯視圖						
結果說明	杯口無液滴					
側視圖						
結果說明	杯內產生循環的酒淚現象					

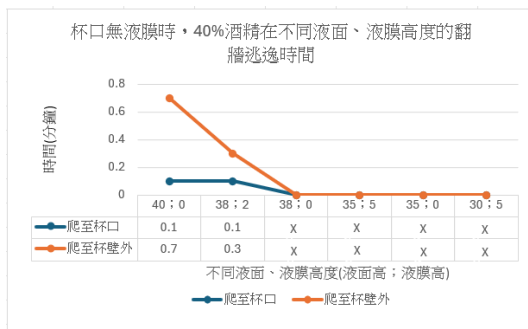
5. 液面 35 mm /液膜 0 mm

時間	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
杯口俯視圖						

結果說明	杯口無液滴					
側視圖						
結果說明	杯壁內有細小不易觀察的液滴					

6. 液面 30 mm /液膜 5 mm

時間	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
杯口俯視圖						
結果說明	杯口無液滴					
側視圖						
結果說明	在杯內產生循環的酒淚現象					



圖十四、杯口無液膜時，40%酒精短時間內在不同液面及液膜高度的翻牆逃逸時間

(三) 實驗七分析討論

1. 液面 40 mm /液膜 0 mm：能明顯觀察到大約 5 條液滴流出，液滴寬度約 0.3 公分，且一滴液滴從杯口到杯底所花時間約為 1 分 30 秒，2 分鐘時有拍到明顯的液滴。
2. 液面 38 mm /液膜 2 mm：20 分鐘時，能明顯觀察到大約 15 條液滴流出，與 30 秒時杯口上的液滴數量相似，且 30 秒後杯口無新的液滴累積，故也沒有新的液滴向外流出，僅有原本的液滴持續藉由「腳」向杯底流。
3. 液面 38 mm /液膜 0 mm：杯口無液滴，杯內也沒有酒淚循環。
4. 液面 35 mm /液膜 5 mm：杯口無液滴，在杯內產生酒淚循環現象
5. 液面 35 mm /液膜 0 mm：杯口無液滴，杯壁上只有細微液滴
6. 液面 30 mm /液膜 5 mm：無液滴流出，在杯內產生循環的酒淚現象

實驗八：杯口有液膜時，40%酒精短時間內在不同液面及液膜高度的翻牆逃逸情形













實驗日期：2/22	濕度：50%	溫度：25°C
-----------	--------	---------

(一) 實驗步驟







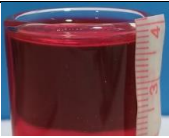




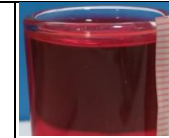
使用棉花棒沾取無色 40%酒精均勻塗抹於杯口，將 10c.c.的 40%酒精與 3 滴紅墨水混合，使用滴管吸取紅色酒精，裝到玻璃酒杯 40mm / 40mm 吸回 38mm / 40mm 吸回 35mm。

(二) 實驗結果







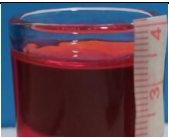
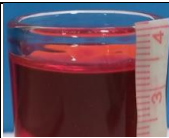
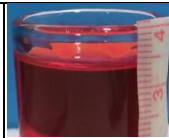



1. 液面 4.0/液膜 0

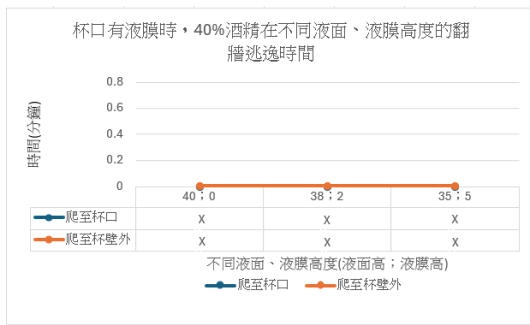
時間	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
杯口俯視圖						
結果說明	杯口無液滴					
側視圖						
結果說明	無液滴翻牆逃脫					

2. 液面 3.8/液膜 0.2

時間	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
杯口俯視圖						
結果說明	杯口無液滴					
側視圖						
結果說明	無液滴翻牆逃脫					

3. 液面 3.5/液膜 0.5

時間	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
杯口俯視圖						
結果說明	杯口無液滴					
側視圖						
結果說明	在杯內產生循環的酒淚現象					



圖十五、杯口有液膜時，40%酒精短時間內在不同液面及液膜高度的翻牆逃逸時間

(三) 實驗八分析討論

1. 液面 4.0/液膜 0；液面 3.8/液膜 0.2：無液滴流出，杯口有沒有液滴累積，但因液膜過低，因此無法產生循環的酒類現象。
2. 液面 3.5/液膜 0.5：無液滴流出，在杯內產生循環的酒淚現象。

實驗九：杯口無液膜或有液膜時，40%酒精長時間的翻牆逃逸情形

實驗日期：3/9	濕度 50%	溫度：25°C
----------	--------	---------

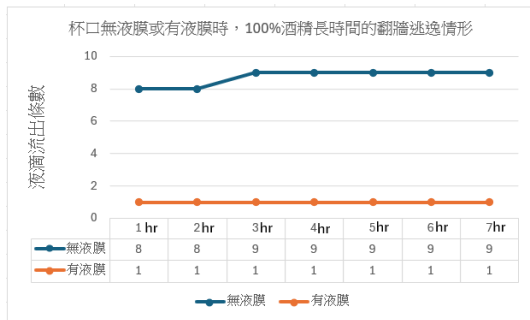
(一) 實驗步驟

用棉花棒沾取無色 40%酒精均勻塗抹於杯口 / 杯口不需塗抹，將 10c.c.的 40%酒精與 3 滴紅墨水混合，使用滴管吸取紅色酒精，裝到玻璃酒杯 40mm 處，每隔 1 小時拍照記錄並計算流出液滴條數。

(二) 實驗結果

	時間	1 小時	2 小時	3 小時	4 小時	5 小時	6 小時	7 小時
無液膜	液面高度	39 mm	38 mm	37 mm	36 mm	35 mm	34 mm	34 mm
	液滴條數	8	8	9	9	9	9	9
	杯口俯視圖							
	結果說明	液滴樣貌較接近液膜						
	側視圖							
	結果說明	液滴快速流至杯底		有新的液滴流出	在杯內產生循環的酒類現象			
有液	液面高度	39 mm	38 mm	37 mm	36 mm	35 mm	34 mm	34 mm
	液滴條數	1	1	1	1	1	1	1

膜	杯口俯視圖							
	結果說明	液滴較靠近杯口內側						
	側視圖							
	結果說明	僅有一條液滴流出，且持續拉引杯內酒精流出	在杯內產生循環的酒類現象					



圖十六、杯口無液膜或有液膜時，40%酒精長時間內在不同液面及液膜高度的翻牆逃逸時間

(三) 實驗九分析討論

1. 無液膜：1 小時內就流出多條液滴，且液滴流至杯底的速度快，但 1 小時後，就幾乎不再流出新的液滴；4 小時杯內開始產生循環的酒淚現象。
2. 有液膜：僅有一條液滴流出杯外，且杯口皆無新的液滴累積。

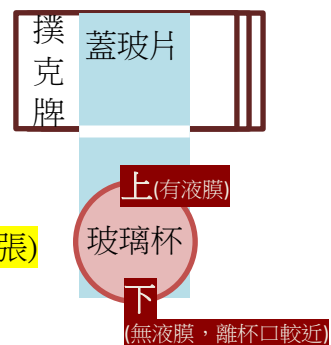
實驗十：40%酒精在不同傾斜角度玻璃杯的翻牆逃逸情形

實驗日期：5/26	濕度：50%	溫度：25°C
-----------	--------	---------

(一) 實驗步驟

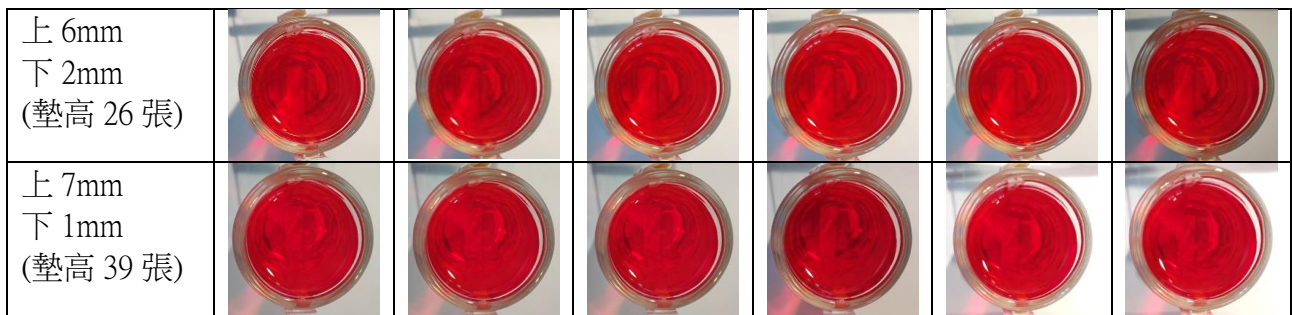
將玻璃杯固定於蓋玻片上(下方)，在蓋玻片下(上方)墊撲克牌使玻璃杯傾斜，再將 10c.c.的 40%酒精與 3 滴紅墨水混合，使用滴管吸取紅色酒精，裝到玻璃酒杯 36mm 處(離杯口 4mm)，分別在蓋玻片下(上方)墊不同張數的撲克牌，使杯口上方有液膜，下方無液膜但距離杯口較近，液面與杯口的距離為上

5mm 下 3mm(墊高 13 張) / 上 6mm 下 2mm (墊高 26 張) / 上 7mm 下 1mm (墊高 39 張)



(二) 實驗結果

	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
上 5mm 下 3mm (墊高 13 張)						



(三) 實驗十分析討論

以上三種變因皆無液滴累積於杯口。

四、探討電弧電擊玻璃表面結構對酒精翻牆逃逸的影響

實驗十一：電弧電擊玻璃杯表面後，100%酒精在杯口無液膜或有液膜時的翻牆逃逸情形

實驗日期：3/10	濕度：50%	溫度:25°C
-----------	--------	---------

(一) 實驗步驟

用棉花棒沾取無色 100%酒精均勻塗抹於杯口 / 杯口不需塗抹，將 10c.c.的 100%酒精與 3 滴紅墨水混合，使用滴管吸取紅色酒精，裝到玻璃酒杯 40mm 處。

(二) 實驗結果

	時間	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
無液膜	杯口俯視圖						
	側視圖						
有液膜	杯口俯視圖						
	側視圖						

(三) 實驗十一分析討論

1. 無液膜：電弧電擊處與無電擊處，沒有明顯差異。
2. 有液膜：電弧電擊處較先累積液滴。



















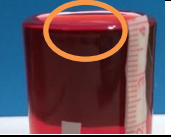


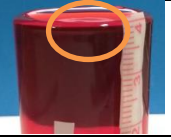


實驗十二：電弧電擊玻璃杯表面後，40%酒精在杯口無液膜或有液膜時的翻牆逃逸情形

實驗日期：3/10	濕度：50%	溫度:25°C
-----------	--------	---------

(一) 實驗步驟

用棉花棒沾取無色 40%酒精均勻塗抹於杯口 / 杯口不需塗抹，將 10c.c.的 40%酒精與 3 滴紅墨水混合，使用滴管吸取紅色酒精，裝到玻璃酒杯 40mm 處。

(二) 實驗結果

	時間	30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
無液膜	杯口俯視圖						
	側視圖						
有液膜	杯口俯視圖						
	側視圖						

(三) 實驗十二分析討論

1. 無液膜：電弧電擊處與無電擊處，沒有明顯差異。
2. 有液膜：電弧電擊處較先累積液滴。

五、探討市售酒品的向上爬升及翻牆逃逸情形

實驗十三：不同市售酒品在 5mm 液膜時的向上爬升情形

實驗日期：3/7	濕度：50%	溫度：25°C
----------	--------	---------

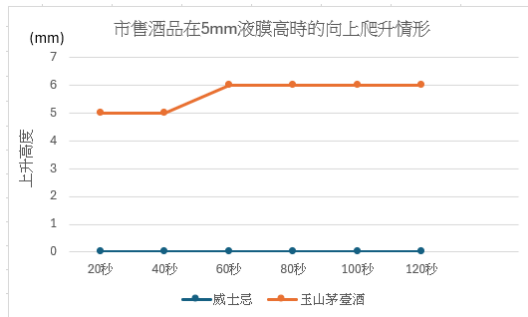
(一) 實驗步驟

將 10c.c.的玉山茅臺酒與 3 滴紅墨水混合，使用滴管吸取威士忌/玉山茅臺酒，裝到玻璃酒杯 20mm 吸取回 15mm。

(二) 實驗結果

	時間	20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒	120 秒
威	上升高度	0mm	0mm	0mm	0mm	0mm	0mm

士忌	側視圖						
	結果說明	液滴沒有上升，產生循環的酒淚					
玉山茅臺酒	上升高度	5mm	5mm	6mm	6mm	6mm	6mm
	側視圖						
結果說明	液滴形狀不規則		液滴持續累積		液滴方向朝杯底		



圖十七、市售酒品在 5mm 液膜時的向上爬升情形

(三) 實驗十一分析討論

1. 威士忌：沒有液滴上升，40 秒開始產生循環的酒淚現象。
2. 玉山茅臺酒：液滴上升情形與 55%酒精相似。

實驗十四：茅臺酒在杯口無液膜或有液膜時的翻牆逃逸情形













實驗日期：3/7	濕度：50%	溫度：25°C
----------	--------	---------

(一) 實驗步驟

用棉花棒沾取無色玉山茅臺酒均勻塗抹於杯口 / 杯口不需塗抹，將 10c.c.的玉山茅臺酒與 3 滴紅墨水混合，使用滴管吸取玉山茅臺酒，裝到玻璃酒杯 40mm。

(二) 實驗結果

		30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	
無液膜	杯口俯視圖							
	結果說明	杯口液滴較少		有新的液滴累積至杯口		杯口液滴持續累積變大		
	側視圖							
	結果說明	無液滴爬出		有一條液滴爬出(玻璃杯後方)				

有液膜	杯口俯視圖						
	結果說明	液滴位於杯口外側					
	側視圖						
	結果說明	持續有新的液滴流出			液滴往杯底流		

(三) 實驗十二分析討論

1. 無液膜：液滴在短時間內就累積於杯口，且能成功翻牆逃逸。
2. 有液膜：液滴一開始就累積於杯口外側，翻牆逃逸的速度較快。

六、探討不同蒸發率溶液的向上爬升及翻牆逃逸情形





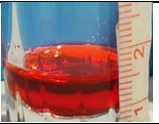
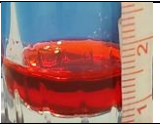



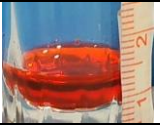

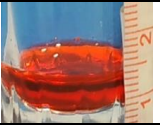





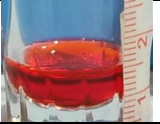






實驗十五：不同%丙二醇在 5mm 液膜時的向上爬升情形







實驗日期：2/14	濕度：50%	溫度：25°C
-----------	--------	---------

(一) 實驗步驟

分別將 10c.c.的 70% / 55% / 40% / 25% / 10% 丙二醇與 3 滴水性紅墨水混合，使用滴管吸取紅色丙二醇，裝到玻璃酒杯 20mm 處吸取回 15mm(由實驗一得出的最佳液膜高)。

(二) 實驗結果

		20 秒	40 秒	60 秒	80 秒	100 秒	120 秒
70% 丙二醇	上升高度	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
	側視圖						
55% 丙二醇	上升高度	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
	側視圖						
40% 丙二醇	上升高度	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
	側視圖						
25% 丙二醇	上升高度	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
	側視圖						
	上升高度	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm

10% 丙二醇	側視圖						
------------	-----	---	---	---	--	---	---

(三) 實驗十五分析討論

皆不會向上爬升；當濃度較高時，液膜交界處會有細小液滴。































實驗十六：不同%丙酮在 5mm 液膜時的向上爬升情形

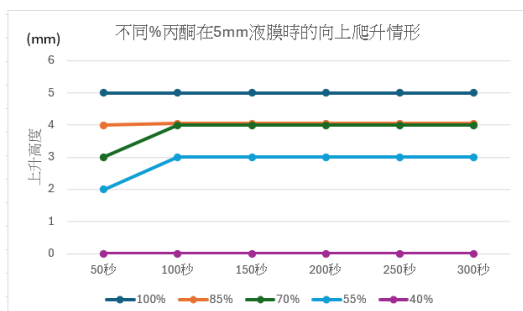
實驗日期：6/2	濕度：50%	溫度：25°C
----------	--------	---------

(一) 實驗步驟

分別將 10c.c.的 100% / 85% / 70% / 55% / 40% 丙酮與 3 水性麥克筆補充液混合，使用滴管吸取紅色酒精，裝到玻璃酒杯 20mm 處吸取回 15mm(由實驗一得出的最佳液膜高)。

(二) 實驗結果

		50 秒	100 秒	150 秒	200 秒	250 秒	300 秒
100% 丙酮	上升高度	5mm	5mm	5mm	5mm	5mm	5mm
	側視圖						
85% 丙酮	上升高度	4mm	4mm	4mm	4mm	4mm	4mm
	側視圖						
70% 丙酮	上升高度	3mm	4mm	4mm	4mm	4mm	4mm
	側視圖						
55% 丙酮	上升高度	2mm	3mm	3mm	3mm	3mm	3mm
	側視圖						
40% 丙酮	上升高度	0mm	0mm	0mm	0mm	0mm	0mm
	側視圖						



圖十八、不同%丙酮在 5mm 液膜時的向上爬升情形

(三) 實驗十六分析討論

- 100%丙酮：杯壁上會有兩層液滴，當裝到 20 毫米處時，會先有液滴向上爬升產生第一層液滴；當液面吸回 15 毫米處，製造 5 毫米液膜時，會再產生一層液滴。第一層液滴極為細小，不易觀察；第二層液滴則會隨時間累積(上升高度採用第一層液膜計算，但因第一層液膜較為細小，因此翻牆逃逸使用 85%丙酮)。
- 85%丙酮：液滴先爬升後，約一分鐘即產生循環的酒淚現象。
- 70%丙酮；55%丙酮：爬升後立即產生循環的酒淚現象。
- 40%丙酮：不會爬升，直接在杯內產生循環的酒淚現象。

實驗十七：85%丙酮在杯口無液膜或有液膜時的翻牆逃逸情形

實驗日期：6/5	濕度：50%	溫度：25°C
----------	--------	---------

(一) 實驗步驟

用棉花棒沾取無色 85%丙酮均勻塗抹於杯口 / 杯口不需塗抹，將 10c.c.的 40%丙酮與 3 滴水性麥克筆補充液混合，使用滴管吸取紅色丙酮，裝到玻璃酒杯 40mm 處。

(二) 實驗結果

		30 秒	2 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	
無液膜	杯口俯視圖							
	結果說明	液滴顏色較淡			杯口液滴與色素分離			
	側視圖							
	結果說明	杯口外壁有液滴掛杯			液滴成功翻牆逃逸			
有液膜	杯口俯視圖							
	結果說明	液滴顏色較淡			杯口液滴與色素分離			

側視圖	
結果說明	杯口外壁有液滴掛杯 液滴成功翻牆逃逸

(三) 實驗十六分析討論

1. 丙酮杯口在五分鐘後，可明顯觀察到色素與丙酮分離。
2. 丙酮的液面下降速度較酒精快許多(酒精約是在兩小時內下降 2 毫米，丙酮則是在二十分鐘內下降 2 毫米)。
3. 丙酮成功翻牆逃逸的液滴大小較 40%酒精大。
4. 實驗結束後，發現杯壁外附著許多小水滴(圖十九)，且杯子溫度較低。



圖十九、丙酮實驗後，附著於杯壁外的小水滴

陸、討論

一、探討酒精的向上爬升情形

- (一) 當酒精注入杯中時，會立即產生液滴爬升於玻璃杯壁上，並隨時間藉由「腳」透過表面張力差累積，因此即使沒有搖晃玻璃杯製造液膜，大於 40%的酒精皆會在裝入玻璃杯時向杯壁爬升與累積。
- (二) 液膜過高會使液滴累積速度變慢；無液膜產生的液滴較小；5 毫米液膜的液滴爬升高度最高，且液滴明顯。
- (三) 可把不同濃度的酒精爬升情形分成三種類型

100%~70%的酒精

1. 酒精濃度較高所形成的「腳」較細。
2. 酒精蒸發量較大使表面張力差也較大。
3. 杯壁上液滴為細小圓形，排列緊密。

55%~40%的酒精

1. 酒精濃度較低所形成的「腳」較粗。
2. 杯壁上的液滴顏色較淺，排列較為鬆散。
3. 由液滴形狀可判斷是否會持續上升或將產生酒淚循環。

25%~10%的酒精

1. 液滴無法上升，在杯內產生循環的酒淚；濃度較低者液膜的界線下降速度較快。
2. 當液膜過矮(小於 4 毫米)時，不再產生酒淚的循環現象。

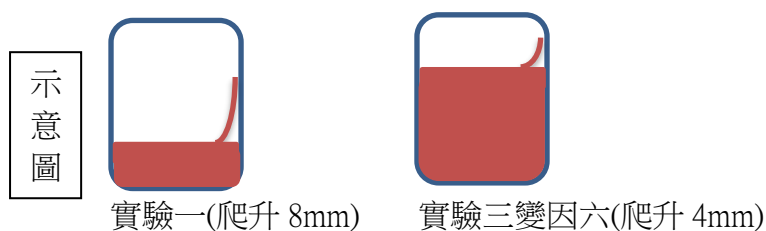
- (四) 在杯壁上的液滴會因表面張力差相互結合(表面張力較小的液滴向表面張力差較大的

液滴靠近)，從此現象可推論杯壁上的液滴濃度也不太一樣。

- (五) 探討一中，酒精在無液膜和有液膜的情況下皆可向上爬升，可推論出在杯中裝入酒精，可使液滴累積於杯口甚至爬出杯外，並透過實驗二選定了高濃度(100%)和低濃度(40%)酒精進行後續翻牆逃逸實驗。

二、探討 100%酒精的翻牆逃逸情形

- (一) 在實驗三的變因六中發現，同樣是 100%在 5 毫米液膜的爬升情形，實驗一的爬升高度卻較高，因此得出：當液面上方玻璃杯裸露端較長時，附著力較大，液面爬升高度較高；液面上方玻璃杯裸露端較短時，液滴爬升高度較矮。原因為液滴與玻璃間的附著力，而非酒精蒸氣壓的大小。



- (二) 當杯口無液膜時，僅在杯內製造液膜，則累積於杯口的液滴會因為液膜和玻璃之間的表面張力關係鋪展成片狀。
- (三) 當杯口有液膜時，產生的液滴會因為有液膜而較大，且流出杯外的液滴較寬、速度也較快。
- (四) 當杯口無液膜時，一開始產生的液滴較杯口有液膜的液滴小，且累積於杯口較內側。
- (五) 長時間實驗中，100%酒精在四到五小時左右，就不再有新的液滴流出，因此 100%酒精大概在四到五小時左右，酒精的蒸發量與空氣達成平衡，液滴幾乎不再累積與翻牆逃逸。
- (六) 傾斜實驗中，有液膜的上方玻璃杯口如同(二)產生片狀液滴，而下方無液膜的杯口液滴則為小滴液滴。

三、探討 40%酒精的翻牆逃逸情形

- (一) 低濃度的酒精容易發生酒淚循環現象，液膜達到 4 毫米高時，液滴會在杯內產生酒淚循環現象。
- (二) 40%酒精產生的「腳」較粗，累積於杯口的液滴較大，容易滑落到杯壁外，且從杯口流至杯底的速度較快。
- (三) 杯口有液膜的短時間和長時間實驗中，幾乎沒有任何液滴累積於杯口，推論因為液膜酒精蒸發量過大，濃度太低，所以幾乎沒有液滴流出杯外。

(四) 長時間實驗中，液滴在兩小時左右就不再累積與翻牆逃逸，因為低濃度酒精的蒸發量較快與空氣達成平衡。

四、探討電弧電擊玻璃表面結構對酒精翻牆逃逸的影響

- (一) 杯口無液膜時，電量過後的杯口與無電量處相似。
- (二) 杯口有液膜時，因為電弧電擊玻璃杯口後，重組表面玻璃表面結構，有助於酒精液滴較快累積於杯口並爬出杯壁外。

五、探討市售酒品的向上爬升及翻牆逃逸情形

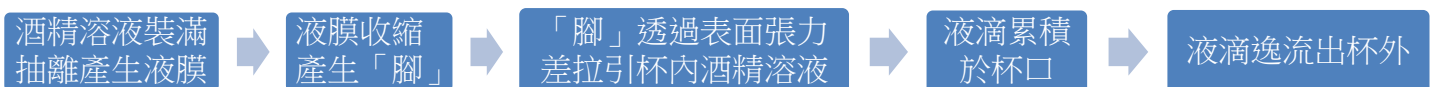
- (一) 40%的酒精會爬升，但 40%的威士忌酒品不會上升與累積在杯壁上。
- (二) 54%的玉山茅臺酒液滴會藉由表面張力差上升與累積，累積於杯壁上的液滴樣貌與 55%的酒精相似，兩分鐘時累積於杯壁上的液滴高度也相同；在杯口無液膜或有液膜時，液滴皆會流出杯壁外。杯口有液膜時，10 分鐘內，會持續有新的液滴翻牆逃逸。

六、探討不同蒸發率溶液的向上爬升及翻牆逃逸情形

- (一) 因為丙二醇的蒸發速度較水慢，是藉由水先蒸發使濃度變高產生表面張力差，故相較其它溶液丙二醇選擇從 10%開始進行實驗。
- (二) 丙酮加紅色打印水後，發現會有嚴重沉澱，因此丙酮實驗改用紅色的水性麥克筆補充液染色。
- (三) 丙二醇在任何濃度下皆無法成功爬升；丙酮因為蒸發量較酒精大更容易翻牆逃逸。
- (四) 丙酮的蒸發速度較酒精快，因此液滴累積的速度較快，85%以下(含)皆會在上升後，立刻產生循環的酒淚現象；40%以下(含)液滴不再上升。
- (五) 丙酮累積於杯口經過一段時間後，會因為丙酮蒸發速度較快而蒸發，溶解度下降，多出來的溶質色素會沉澱於杯口。
- (六) 丙酮蒸發會將熱量帶走，因此實驗結束後，杯壁外會有小水滴凝結，且玻璃杯溫度較低。

柒、結論

一、酒精溶液翻牆逃逸原理



- (一) 酒精裝入玻璃杯抽離產生液膜，液膜收縮產生「腳」。
- (二) 杯壁上的酒精有著較大的蒸發量使表面張力變大，與原來杯中酒精產生表面張力差。

(三)「腳」持續透過一張一縮的類呼吸現象(從延伸探究一中觀察到)拉引杯內酒精累積於杯口處。

(四)杯口液滴持續累積變多，向杯壁逸出外流。

二、酒精翻牆逃逸的要素

(一)酒精溶液能成功翻牆逃逸的濃度需介於 40%到 100%；40%以下酒精有液滴，但無法翻牆逃逸。(探討一)

(二)需在玻璃杯留適當的裸露端，有助於液滴翻牆逃逸。(探討二)

(三)100%酒精在杯口有液膜時，產生的液滴較大，翻牆逃逸的速度較快。(探討二)

(四)100%酒精在四到五小時後，酒精的蒸發量與空氣達成平衡狀態，幾乎不再有液滴流出。(探討二)

(五)40%酒精的「腳」因為蒸發較更高濃度酒精慢所以較寬，產生的液滴較大。流出杯外的速度快，流至杯底的速度也較快，但液面降低後，液滴難以翻牆逃逸，容易在杯中產生循環的酒淚現象。(探討三)

(六)40%酒精在杯口有液膜時，幾乎無液滴流出，因為液膜會使液滴濃度降低，不易累積於杯口。(探討三)

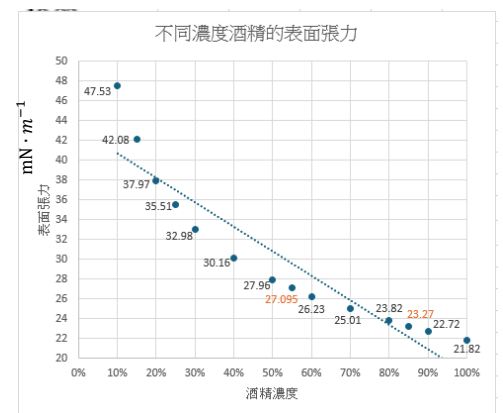
(七)100%酒精可在長時間內持續有液滴流出杯外，但速度較慢，推論高濃度酒精雖然蒸發量較大但表面張力差變化較小；40%酒精在短時間內有多條液滴流出杯外，推論為酒精濃度較低時，表面張力差變化越明顯(圖二十)，但低濃度酒精的濃度持續降低後，液滴難以爬升，僅會在內壁產生酒淚循環現象。(探討二、三)

(八)使用電弧電擊玻璃杯口使表面重新結晶，有助於液滴累積但效果較不明顯(參考資料二)。(探討四)

(九)選擇高濃度的市售酒品效果與酒精相似。(探討五)

(十)丙酮的蒸發速度較酒精快，故丙酮更容易達成實驗目的成功翻牆逃逸。(探討六)

(十一) 丙酮的蒸發速度較快，能成功翻牆逃逸的濃度區間較酒精狹窄；濃度過高(100%)液滴不容易觀察，濃度過低(40%)會在杯壁內產生循環的酒淚現象。(探討六)



圖二十、不同濃度酒精的表面張力

(參考資料五，其中 55%和 85%使用內插法計算)













三、延伸探討(一)：使用 54%的玉山茅臺酒探討逃逸距離更長的廣口瓶中逃脫情形「腳的呼吸現象」

(一) 實驗步驟

將長頸玻璃瓶橫放固定於桌面，使用滴管吸取市售酒滴入玻璃瓶，使市售酒液面位於杯頸下方，錄影觀察酒滴是否能從長頸玻璃瓶逃脫。

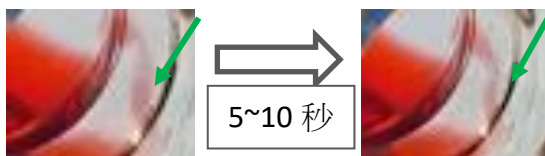
(二) 實驗結果

備註：綠色箭頭代表右方產生杯口液滴(橘色箭頭)的明顯「腳」；橘色箭頭代表累積於杯口的液滴

前期				
	00:00	00:02	00:30	5:00
	杯頸處有細小液滴		液滴逐漸變大	
中期				
	20:00	30:00	31:45	32:22
	杯頸酒精持續增加		箭頭處為杯口上產生液滴	
後期				
	33:17	42:37	60:00	85:00
	中期箭頭處的液滴向下流		液滴持續累積酒精	

(三) 分析討論

1. 當茅臺酒裝入瓶中後，液滴立刻沿著瓶身與瓶頸累積，瓶頸液滴會透過不同的表面張力差相互結合，結合後的液滴持續透過腳累積，最後則流出杯口，而瓶身內的液滴則會產生循環的酒淚現象。
2. 綠色箭頭處的腳持續拉引杯內液滴，最後在杯口產生液滴，並持續向杯口外圍累積。
3. 綠色箭頭處的腳會有一脹一縮的呼吸現象，週期約為 5 到 10 秒。




四、 延伸探討(二)：使用 100%酒精在液面交界處放置表保麗龍球，試圖估算馬拉哥尼拉力大小，馬拉哥尼力遠小於四分之一的直徑 1 毫米保麗龍球重，等待後續研究

(一) 實驗步驟





將 10c.c.的 100%酒精與 3 滴紅墨水混合，使用滴管吸取紅色酒精，裝到玻璃酒杯 40mm 吸回 38mm，在酒精溶液與杯口的交界處放入直徑 1mm 的保麗龍球，觀察保麗龍球是否能成功爬升，再透過爬升高度估算馬拉哥尼效應的拉力。

(二) 實驗結果

直徑 1mm 保麗龍球			
15 分鐘	30 分鐘	45 分鐘	60 分鐘
			

保麗龍球無法成功向上爬升，有些許保麗龍球不會隨液面下降，附著於杯壁上。

將保麗龍球裁切為四分之一和二分之一，觀察是否能上升

左半邊：四分之一直徑 1mm 保麗龍球 / 右半邊：二分之一直徑 1mm 保麗龍球			
15 分鐘	30 分鐘	45 分鐘	60 分鐘
			

保麗龍球還是不會隨液滴爬出上升，大部分會附著於杯壁上，不會隨液面下降。

捌、參考資料

註：本文中照片及圖片(除第三頁的圖三出自參考文獻一；圖四出自參考文獻六；圖五出自參考文獻七)其他照片和圖表皆為作者自行拍攝製作。

一、NTCU 科學遊戲實驗室: 酒的眼淚。檢自 <http://scigame.ntcu.edu.tw/water/water-026.html>

二、葉芳瑜、謝秉希、謝亞彤(2019)。「醇」「醇」欲動——探討丙二醇液滴的馬蘭哥尼效應(中華民國第 59 屆中小學科學展覽會)。

三、許幼昕、吳科寬、許耘睿(2021)。天使的眼淚—探討不同情況下酒淚掛杯表現之差異(中華民國第 61 屆中小學科學展覽會)。

四、馬倫哥尼效應。檢自 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%A6%AC%E5%80%AB%E5%93%A5%E5%B0%BC%E6%95%88%E6%87%89>

五、Gonzalo Vazquez, Estrella Alvarez, and Jose M. Navaza · (1995) · Surface Tension of Alcohol Water + Water from 20 to 50 .degree.C · Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jc00019a016>

六、一個不能少!浣熊 3 口連線築人牆一個拉一個完美翻牆。檢自 <https://pets.ettoday.net/news/886996>

七、超流體。檢自 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%B6%85%E6%B5%81%E4%BD%93>

【評語】 030209

在本研究中，作者利用馬拉哥尼效應 (Marangoni effect) 來探討酒精溶液的翻牆逃逸現象。建議列出影響表面張力的因素及其與分子作用力的關係，再以此探討實驗中的各項變因。

- (1) 由於酒淚掛杯實驗被多次探討過，本次研究中，那些為創新的構想，應強調。
- (2) 針對酒精與丙酮所觀察出之現象差異，非僅停留在現象觀察報導，應以物理化學原理說明。
- (3) 電弧電擊玻璃杯口後，觀察到重組表面玻璃表面結構，有助於酒精液滴較快累積於杯口並爬出杯壁外，此現象是否經過重複驗證？
- (4) 電弧電壓為 8000 伏，應有安全措施，為何？
- (5) 可進一步說明實際電擊杯壁的過程與施作過程(照片)。並提供玻璃表面結構重組的證據。

作品簡報

翻牆逃逸的酒滴-

馬拉哥尼效應在直筒玻璃牆上的翻牆現象

摘要

本研究主要探討垂直的馬拉哥尼效應(Marangoni effect)，應用於酒精溶液的翻牆逃逸現象。酒精裝入玻璃杯中，因杯內酒精溶液會沿著玻璃杯爬升產生「腳」，且杯壁上的酒精有著較大的蒸發量使表面張力變大，進而產生表面張力差，杯內表面張力較小的酒精會持續藉由「腳」往表面張力較大的杯壁酒精累積與上升，如同脫離地心引力般的向玻璃杯壁上移動。當杯中酒精溶液的液面較接近杯口時，液滴將逐間累積至杯口處，持續在杯口處藉由「腳」拉引並與杯口上的液滴相互結合，逐漸向杯口外圍累積，最後成功翻牆逃逸。後續實驗嘗試使用市售食品、丙二醇和丙酮等各種不同溶液探討翻牆逃逸情形。在延伸研究中，從廣口瓶的瓶頸發現「腳」蒸散與拉聚會產生脹縮的呼吸現象。

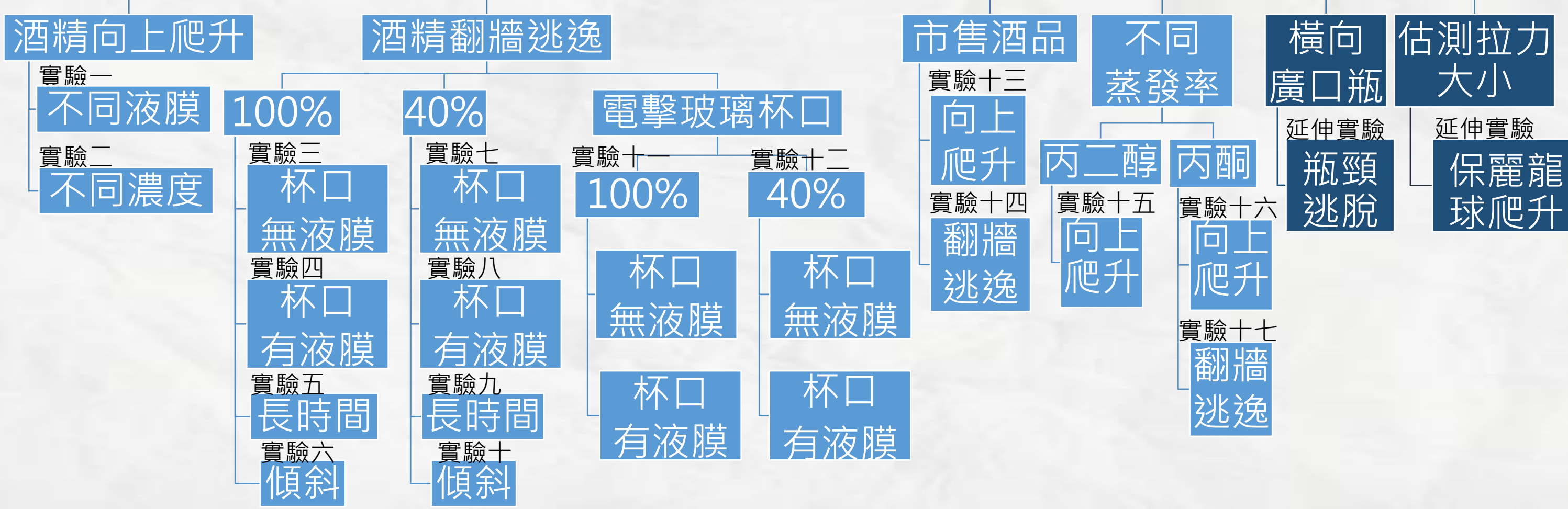
研究動機

在臉書的科學Maker中，有人提到25%的白酒搖晃後，會形成酒淚掛杯現象，上網搜尋相關資料(資料一)後，得到酒淚與馬拉哥尼效應的介紹，得知酒淚是透過蒸發量不同產生表面張力差，杯中表面張力較小的酒精往表面張力較大的杯壁酒精累積而產生酒淚循環現象，因此腦海中萌生出了一個想法「酒淚是否能透過表面張力差累積至杯口並爬出杯壁外呢?」，在查閱相關文獻資料與歷屆科展(資料二、資料三)的相關作品後，嘗試在玻璃杯內裝滿酒精，發現酒精溶液可以成功爬出杯外，證實了猜想，於是展開更深入的探討。

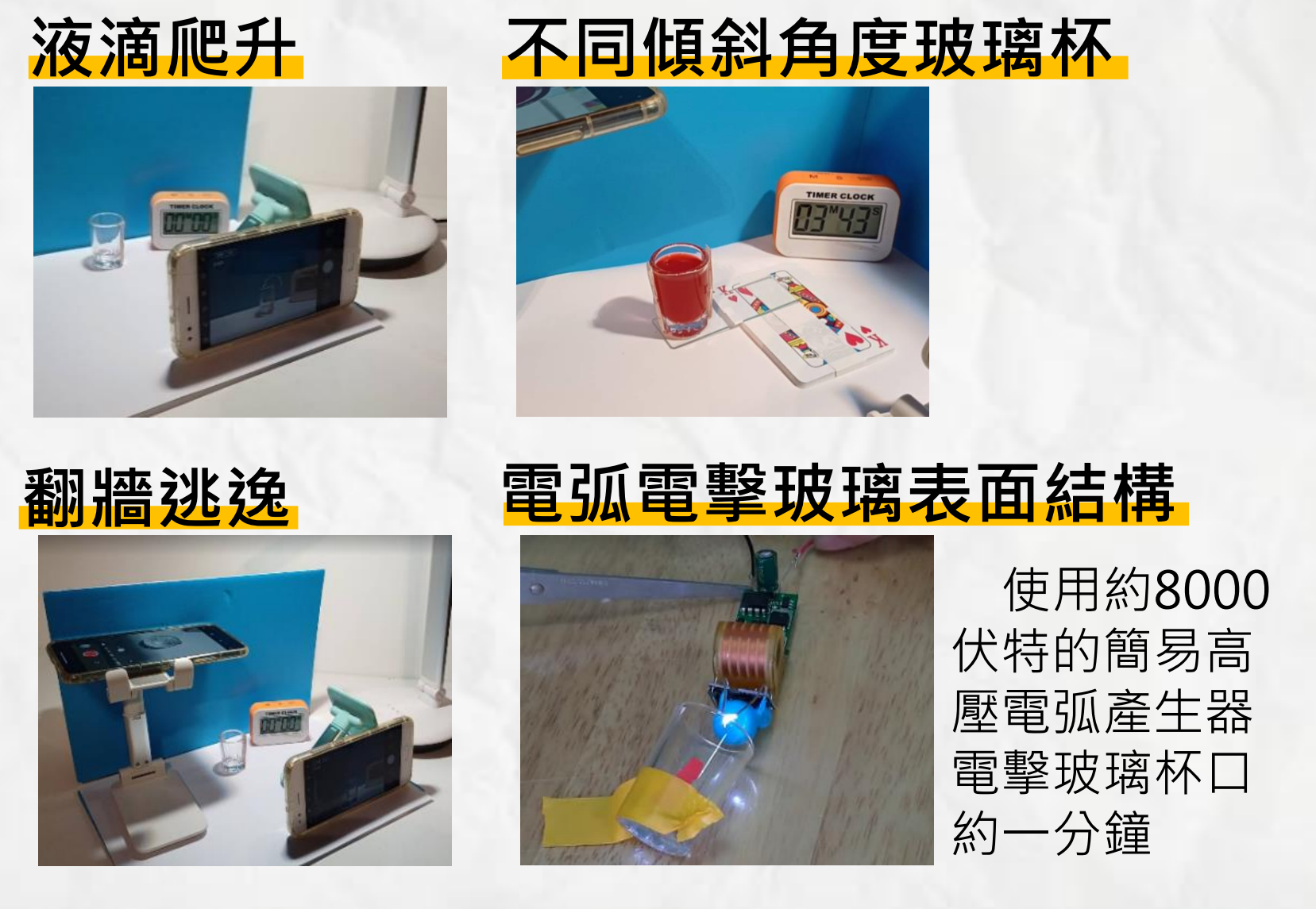


研究架構圖

翻牆逃逸的酒滴



研究方法



研究原理

酒淚翻牆逃逸示意圖(浣熊代表酒精溶液的「腳」及液滴)

酒淚爬升
NTCU 科學遊戲實驗室

- 酒精溶液沿杯壁爬升成「 \cup 」形。
- 杯壁上的酒精溶液蒸發量較杯內大，使酒精濃度較低。
- 藉由酒精濃度差產生表面張力差，使杯內酒精溶液向上爬升。

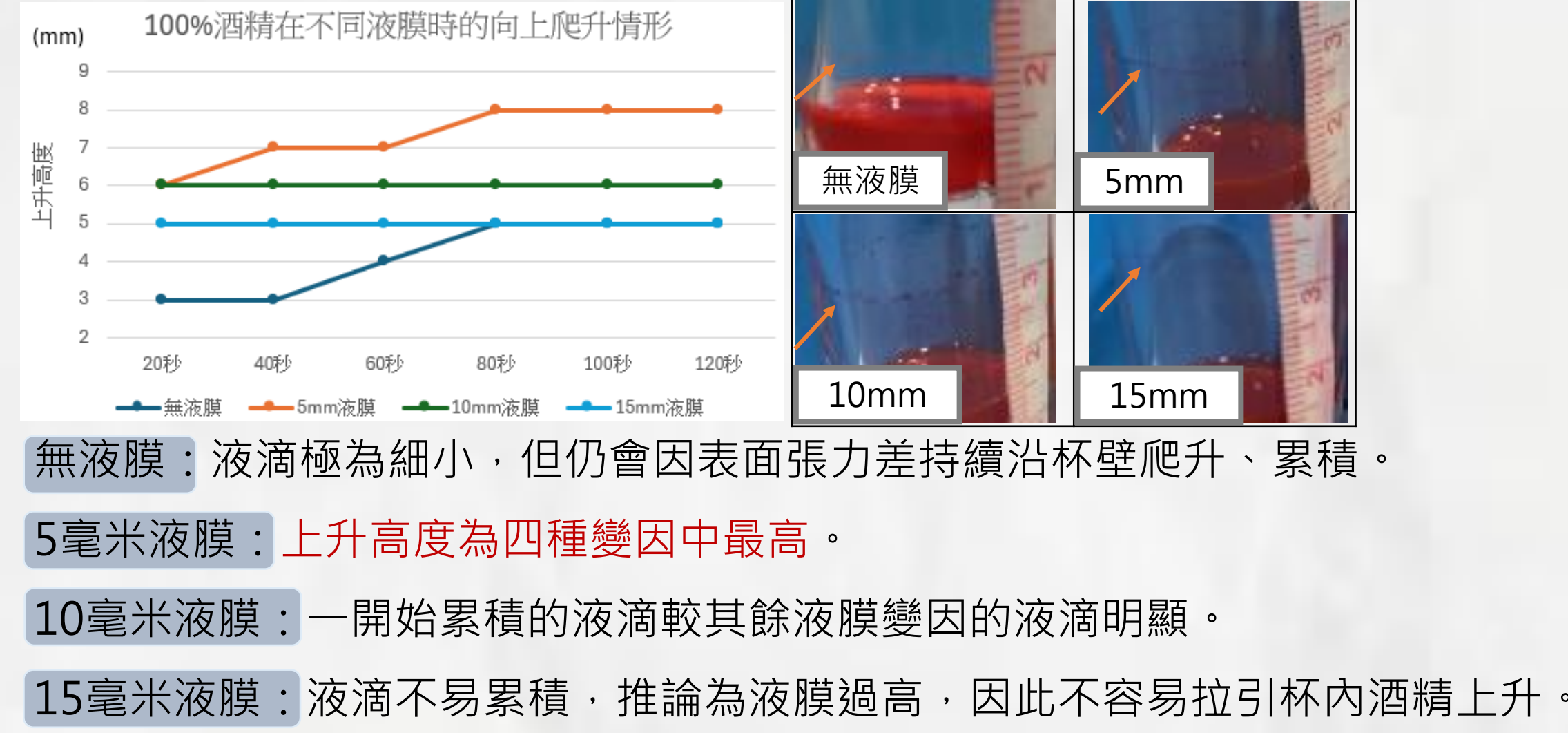


- 液滴持續透過「腳」拉引，累積至杯口。
- 杯口液滴持續累積且數量增加。
- 液滴成功翻牆逃逸。

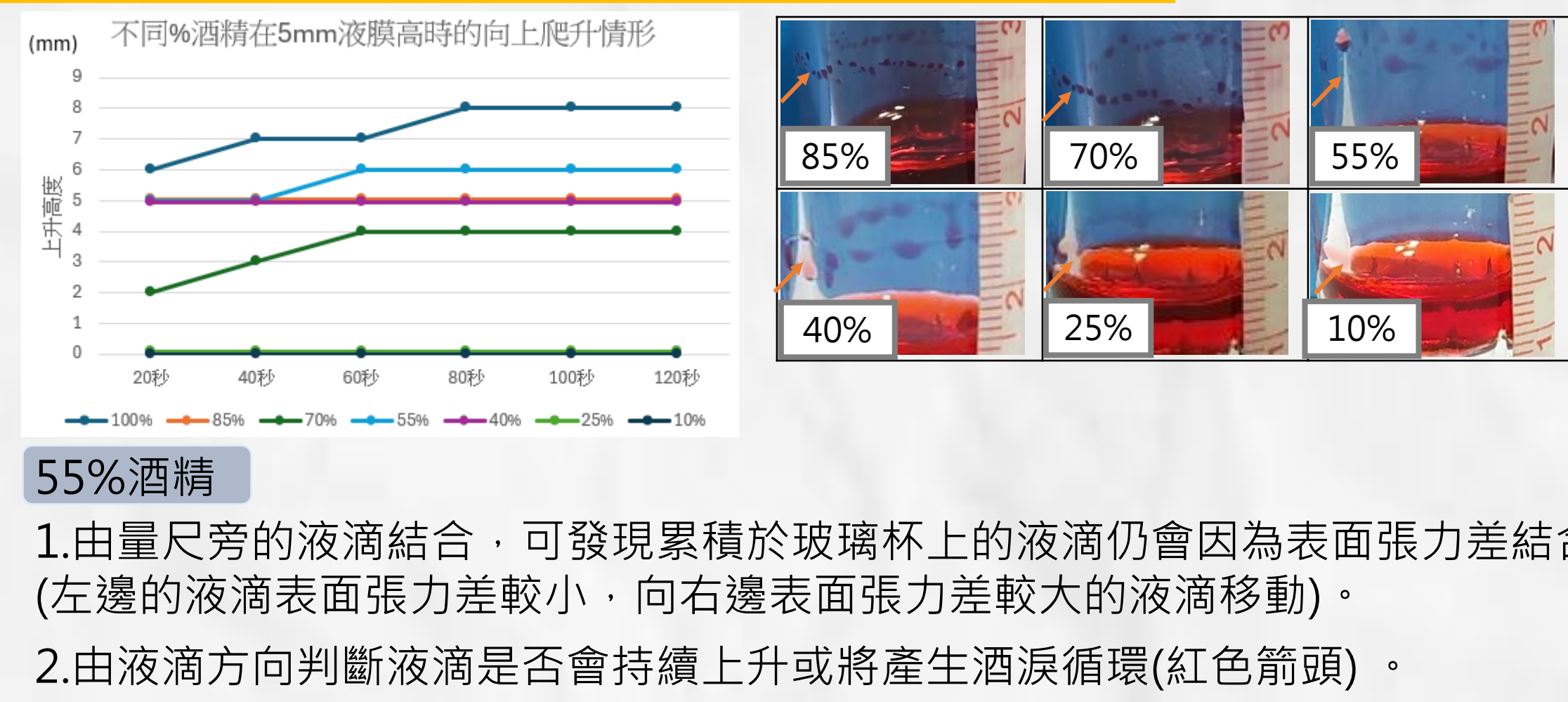
研究結果

一、探討酒精的向上爬升情形

實驗一：100%酒精在不同液膜時的向上爬升情形

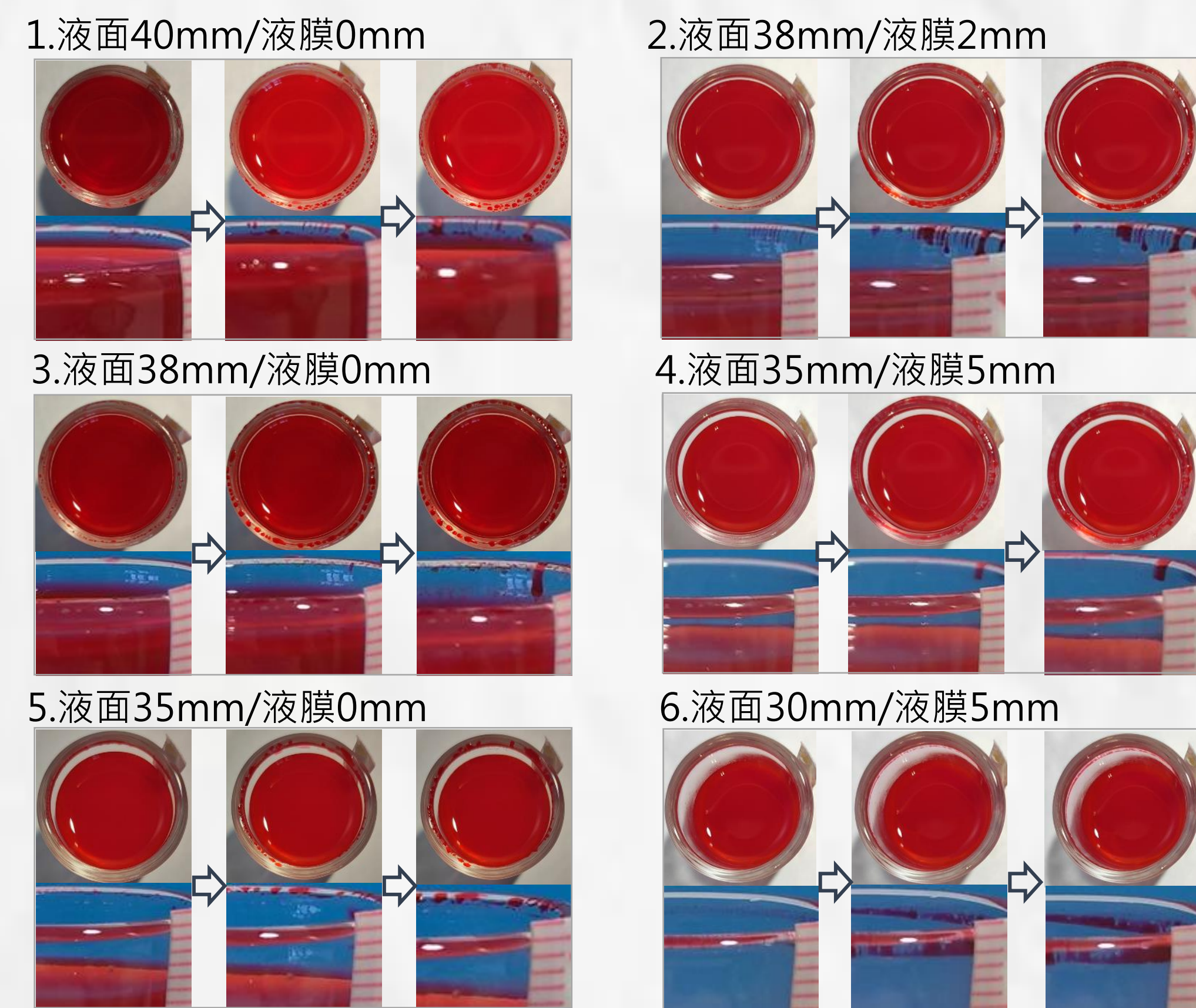


實驗二：不同%酒精在5mm液膜時的向上爬升情形

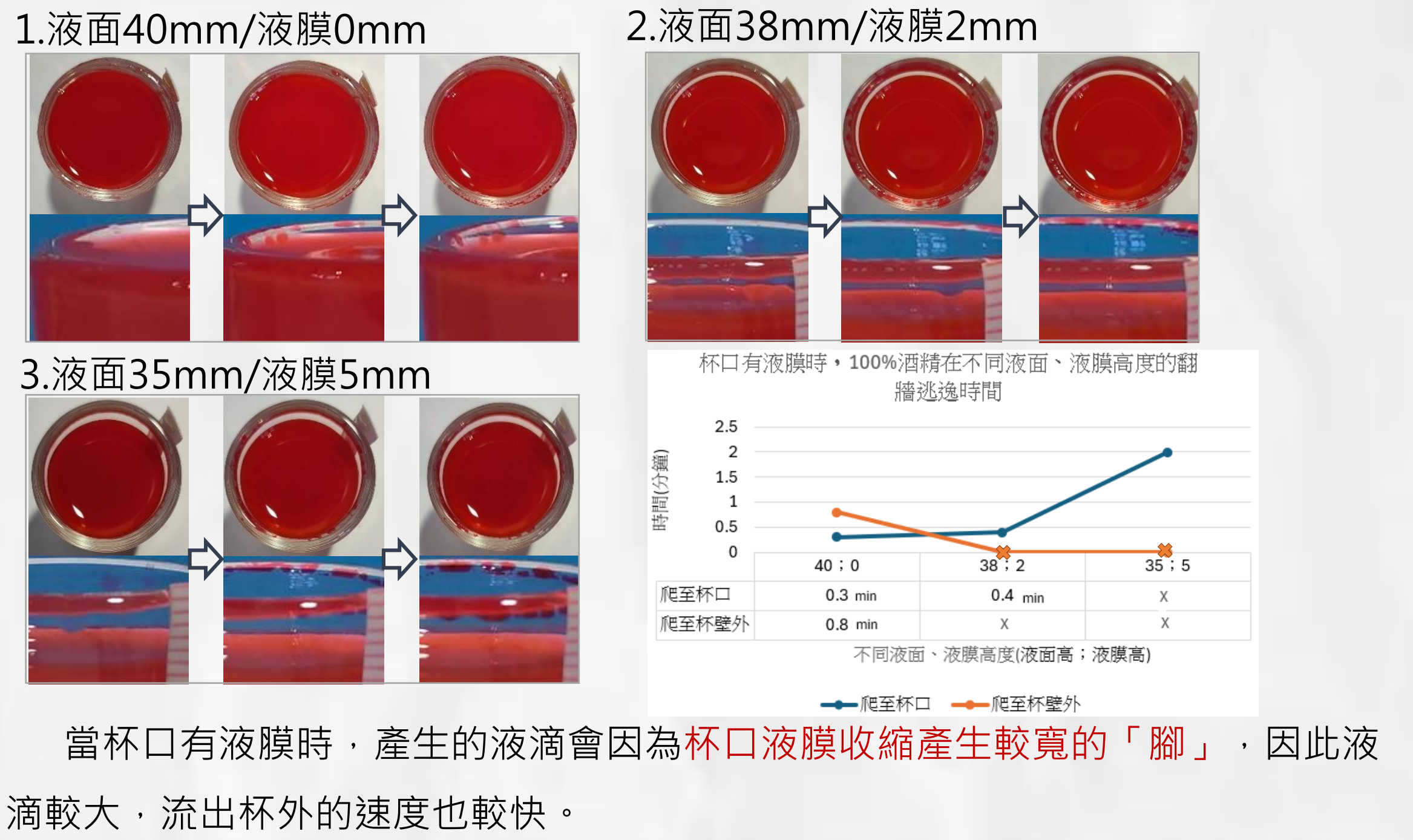


二、探討100%酒精的翻牆逃逸情形

實驗三：杯口無液膜時，100%酒精短時間的翻牆逃逸情形

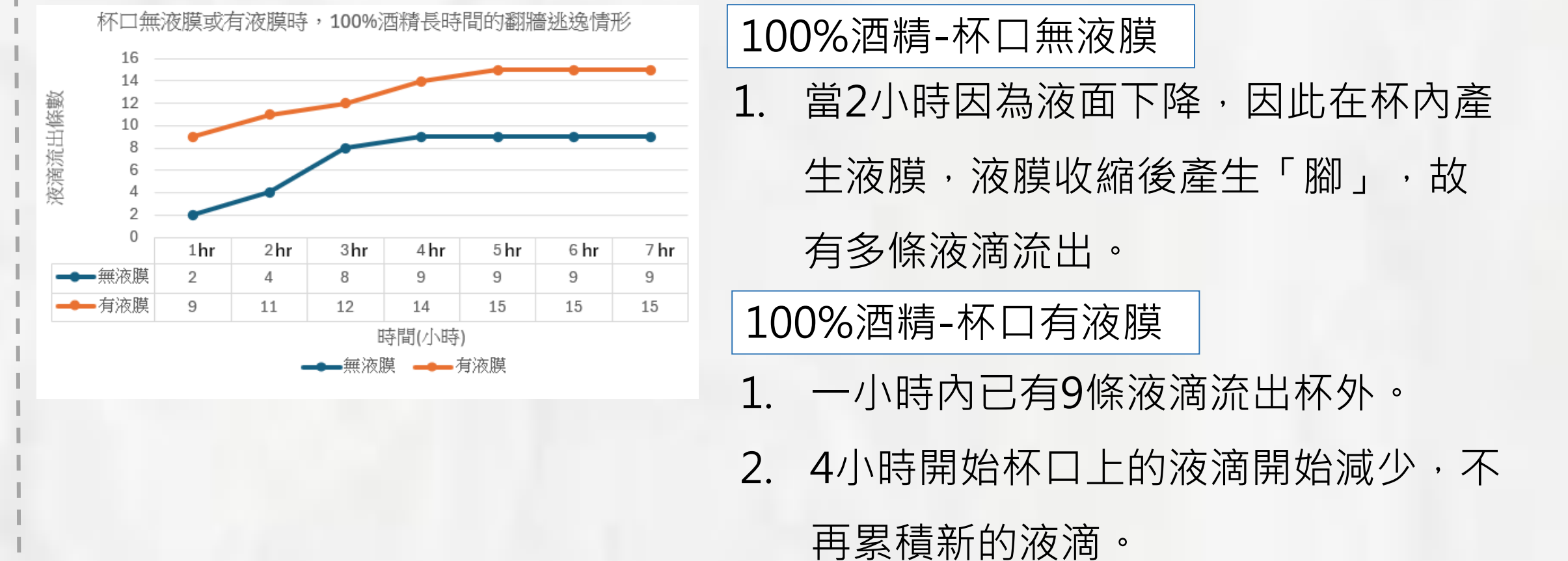


實驗四：杯口有液膜時，100%酒精短時間的翻牆逃逸情形



實驗五：杯口無液膜或有液膜時，100%酒精長時間的翻牆逃逸情形

	1hr	2hr	3hr	4hr	5hr	6hr	7hr
無液膜	液面高度 39mm 液滴條數 2	液面高度 38mm 液滴條數 4	液面高度 37mm 液滴條數 8	液面高度 36mm 液滴條數 9	液面高度 35mm 液滴條數 9	液面高度 34mm 液滴條數 9	液面高度 34mm 液滴條數 9
有液膜	液面高度 39mm 液滴條數 9	液面高度 38mm 液滴條數 11	液面高度 37mm 液滴條數 12	液面高度 36mm 液滴條數 14	液面高度 35mm 液滴條數 15	液面高度 35mm 液滴條數 15	液面高度 34mm 液滴條數 15



實驗六：100%酒精在不同傾斜角度玻璃杯的翻牆逃逸情形

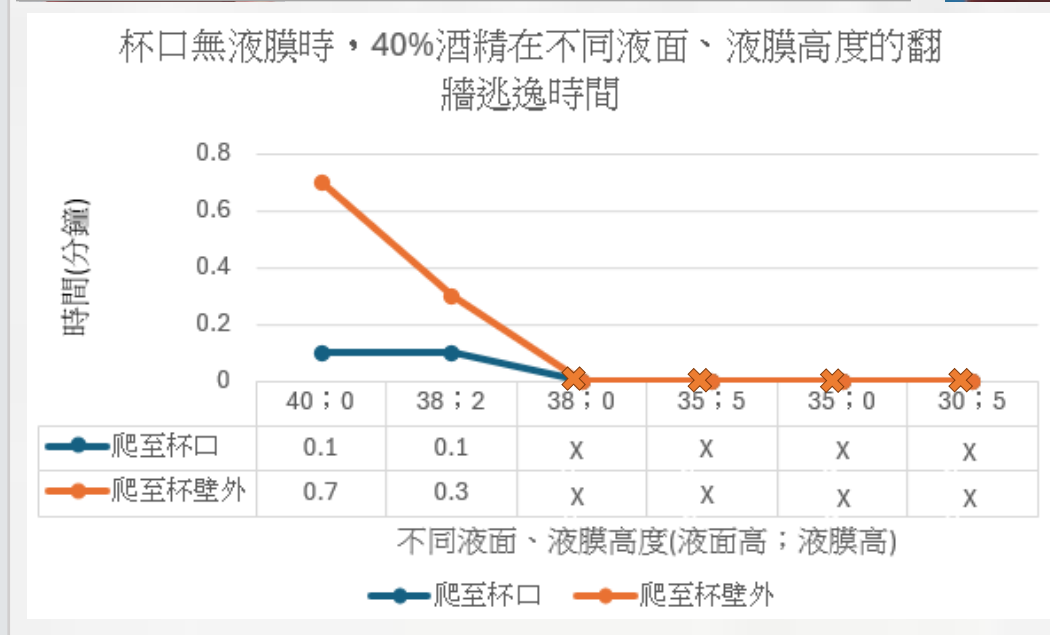
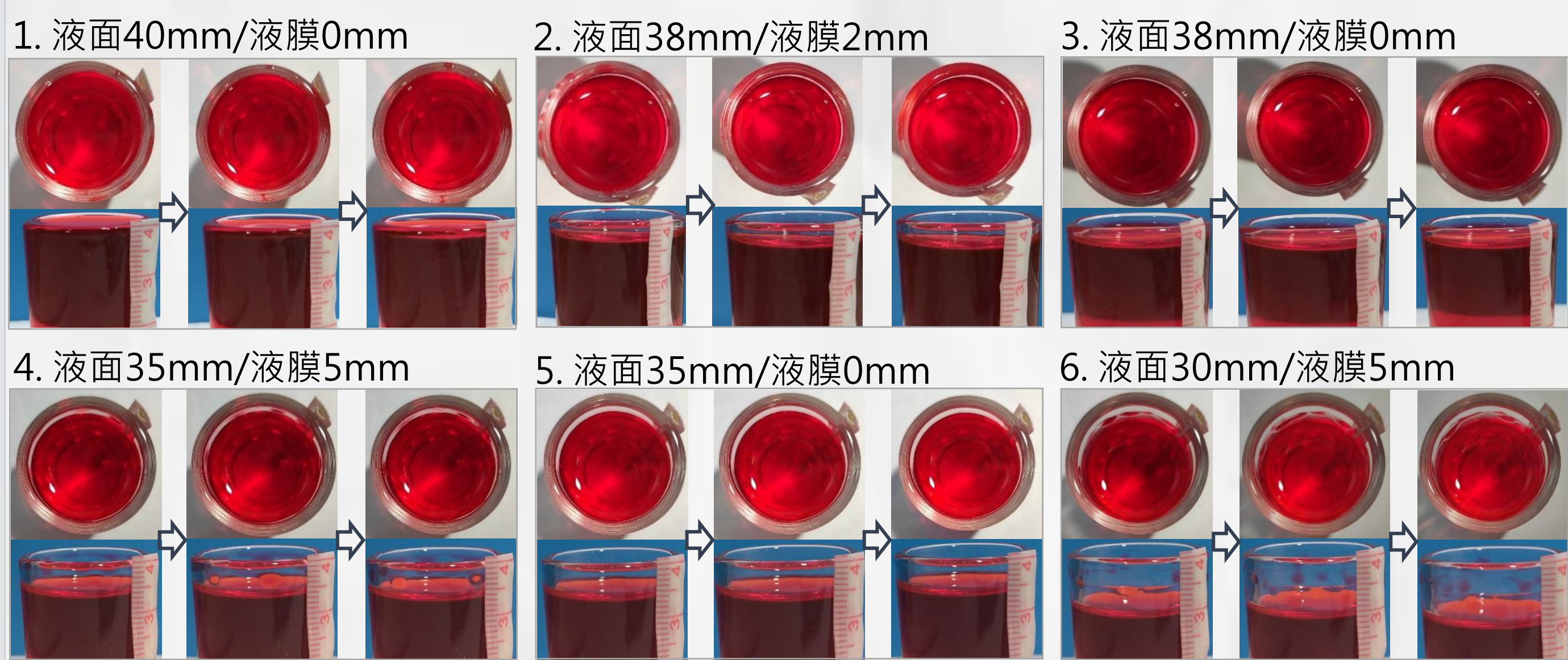
	30秒	10分鐘	20分鐘
上5mm下3mm (墊高13張)			
上6mm下2mm (墊高26張)			
上7mm下1mm (墊高39張)			

摺克牌 蓋玻片
上(杯內有液膜) 玻璃杯
下(杯內無液膜，液面離杯口較近)

墊高13張：液滴累積於杯口上方與下方的速度相似；杯口上方產生的液滴為片狀。
墊高26張：液滴累積於下(杯內無液膜，液面離杯口較近)杯口下方的速度較快。
墊高39張：液滴無法累積於杯口上方。

三、探討40%酒精的翻牆逃逸情形

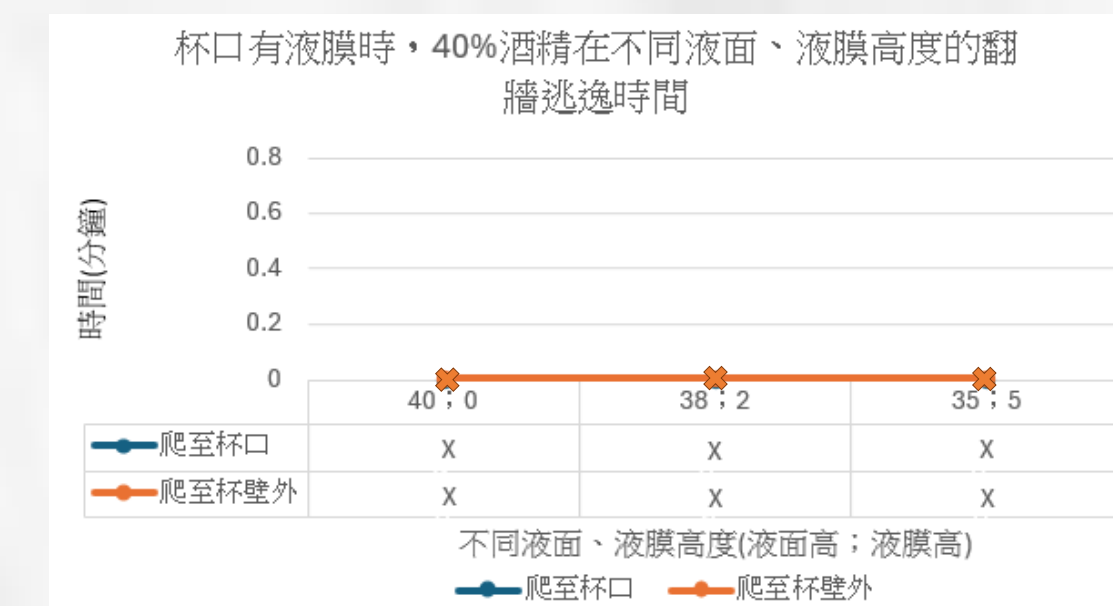
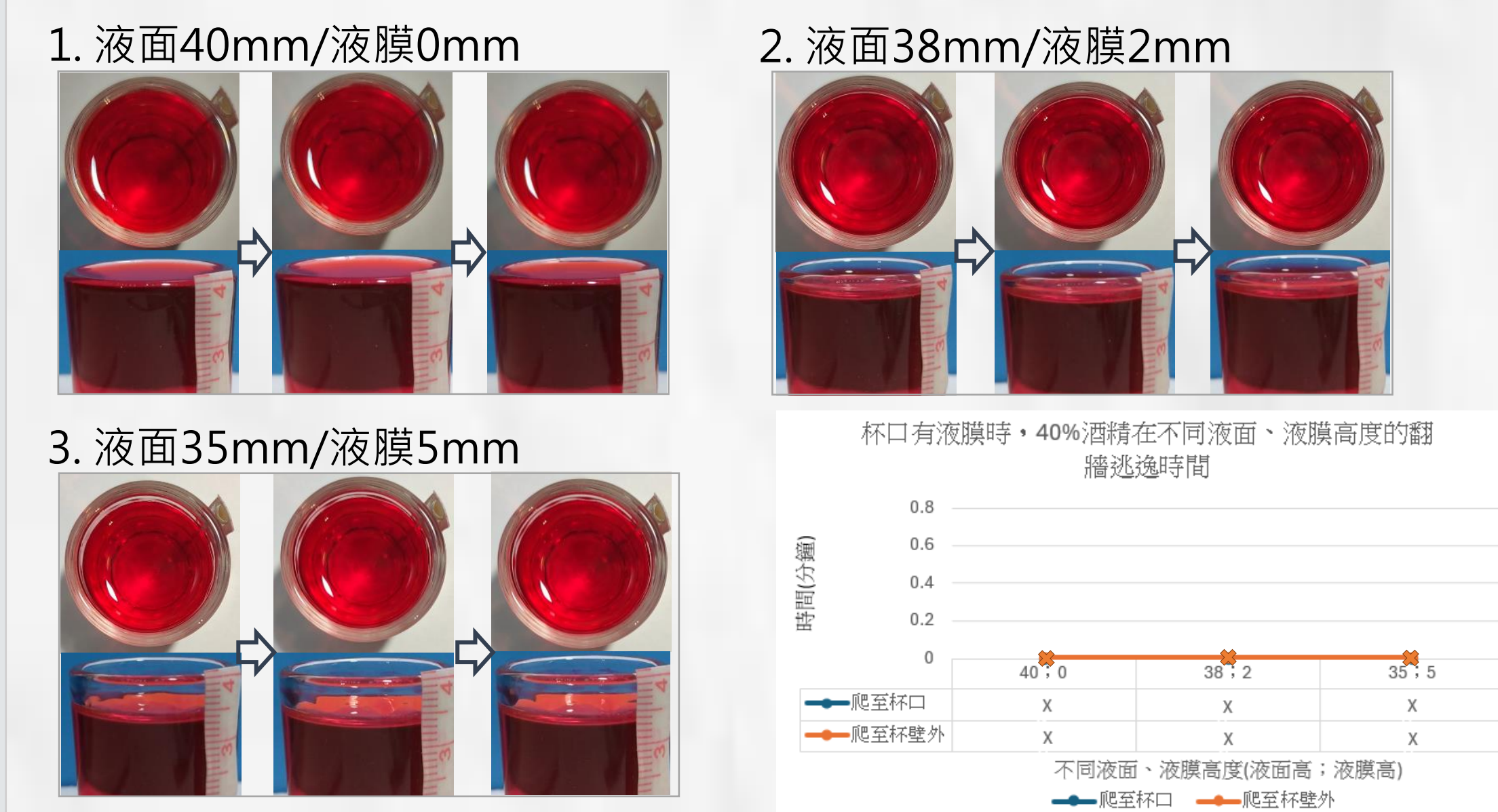
實驗七：杯口無液膜時，40%酒精短時間的翻牆逃逸情形



在杯內製造液膜後，杯內液膜收縮產生的腳較「寬」(實驗三的結果)，加上液面較高較容易翻牆逃逸，因此將酒精裝至38mm並製造2mm液膜時，液滴流出杯壁外的數量最多且速度較快。

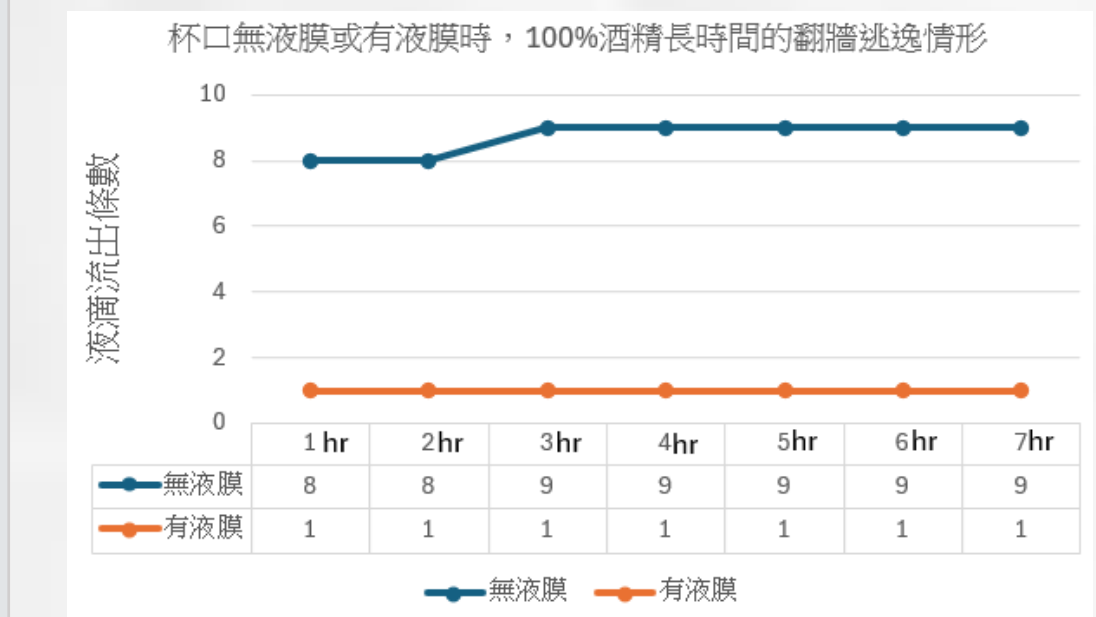
當40%酒精液面低於杯口2mm時，不再有液滴流出，因此40%酒精液面需離杯口較近才可成功翻牆逃逸。

實驗八：杯口有液膜時，40%酒精短時間的翻牆逃逸情形



實驗九：杯口無液膜或有液膜時，40%酒精長時間的翻牆逃逸情形

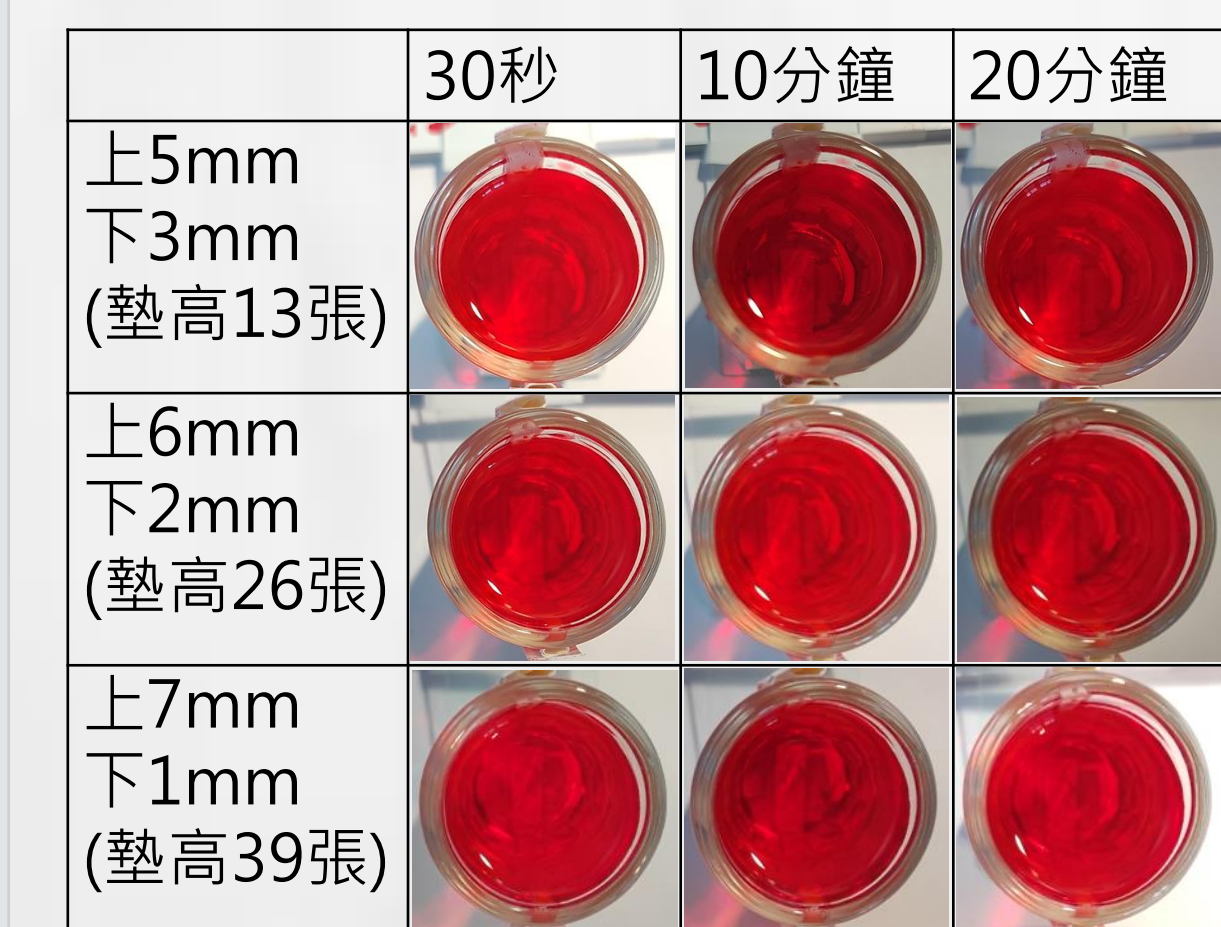
		1hr	2hr	3hr	4hr	5hr	6hr	7hr
無液膜	液面高度	39 mm	38 mm	37 mm	36 mm	35 mm	34 mm	34 mm
	液滴條數	8	8	9	9	9	9	9
有液膜	液面高度	39 mm	38 mm	37 mm	36 mm	35 mm	34 mm	34 mm
	液滴條數	1	1	1	1	1	1	1



40%酒精-杯口無液膜
短時間內有多條液滴翻牆逃逸，但液面下降後，就無液滴翻牆逃逸。

40%酒精-杯口有液膜
幾乎無液滴翻牆逃逸。

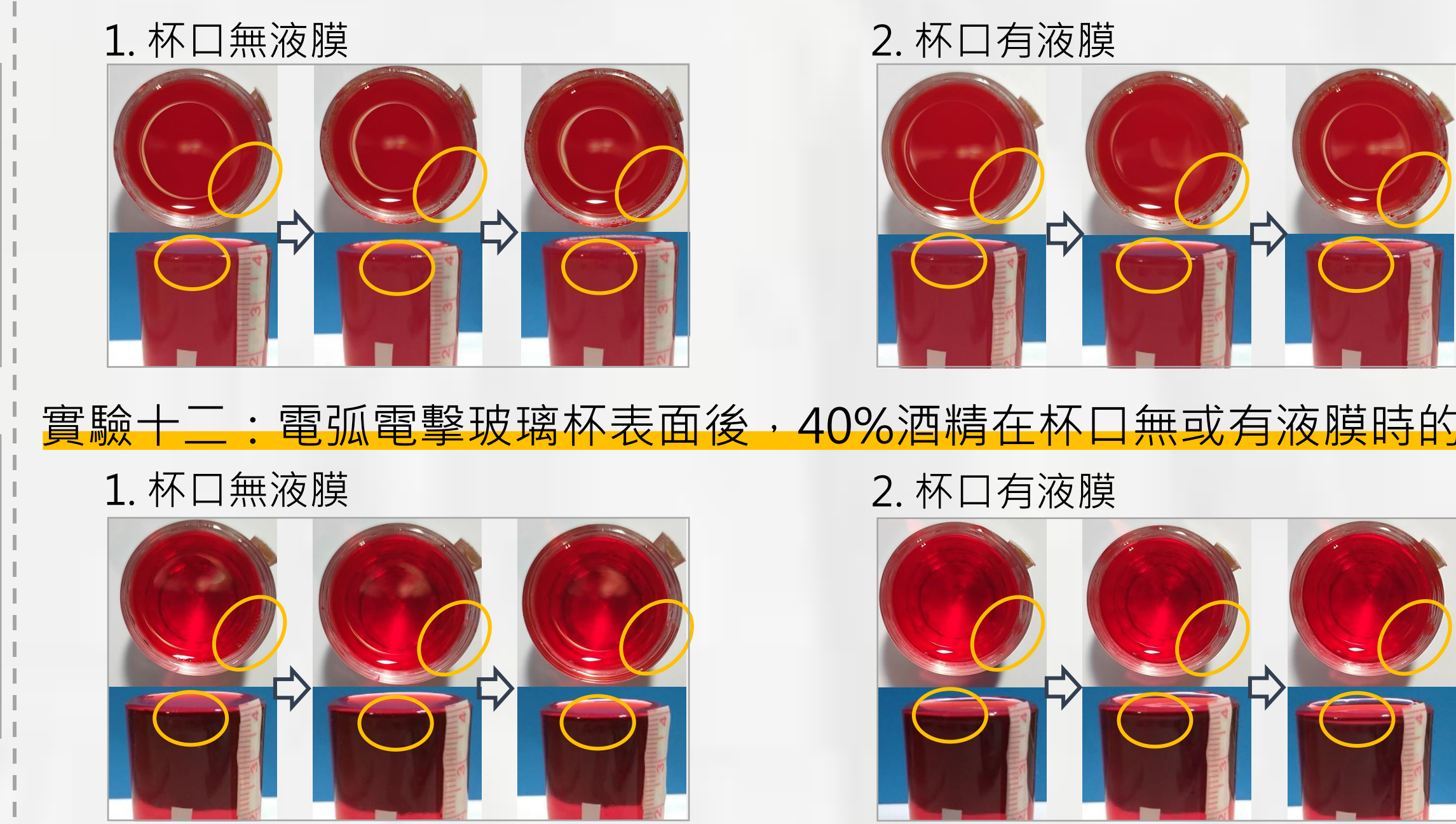
實驗十：40%酒精在不同傾斜角度玻璃杯的翻牆逃逸情形



以上三種變因皆無液滴累積於杯口。

四、探討電弧電擊玻璃表面結構對酒精翻牆逃逸的影響

實驗十一：電弧電擊玻璃杯表面後，100%酒精在杯口無或有液膜時的翻牆逃逸情形



100%和40%的酒精在杯口有液膜時，電弧電擊重新結晶的玻璃表面，可使液滴較快累積於杯口，翻牆逃逸的速度也較快。

五、探討市售酒品的向上爬升及翻牆逃逸情形

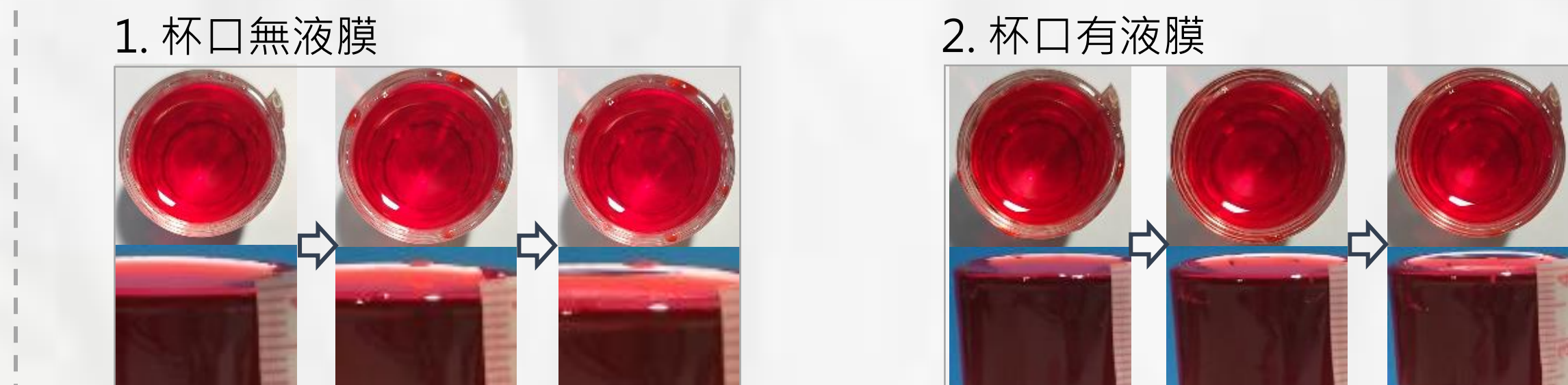
實驗十三：不同市售酒品在5mm液膜時的向上爬升情形



40%的威士忌液滴僅在杯內產生循環的酒淚現象。

54%玉山茅臺酒的液滴可向上爬升與累積，爬升高度和液滴類型皆與5%酒精液滴相似。

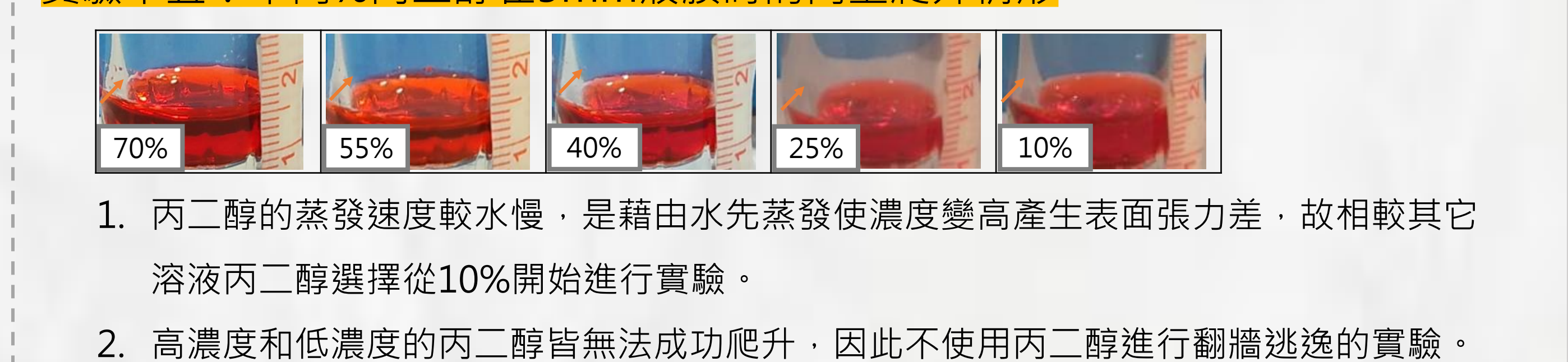
實驗十四：茅臺酒在杯口無液膜或有液膜時的翻牆逃逸情形



54%茅臺酒在有、無液膜時，皆可以成功翻牆逃逸；杯口有液膜時，成功翻牆逃逸的液滴較多(在20分鐘內大約流出6條)。

六、探討不同蒸發率溶液的向上爬升及翻牆逃逸情形

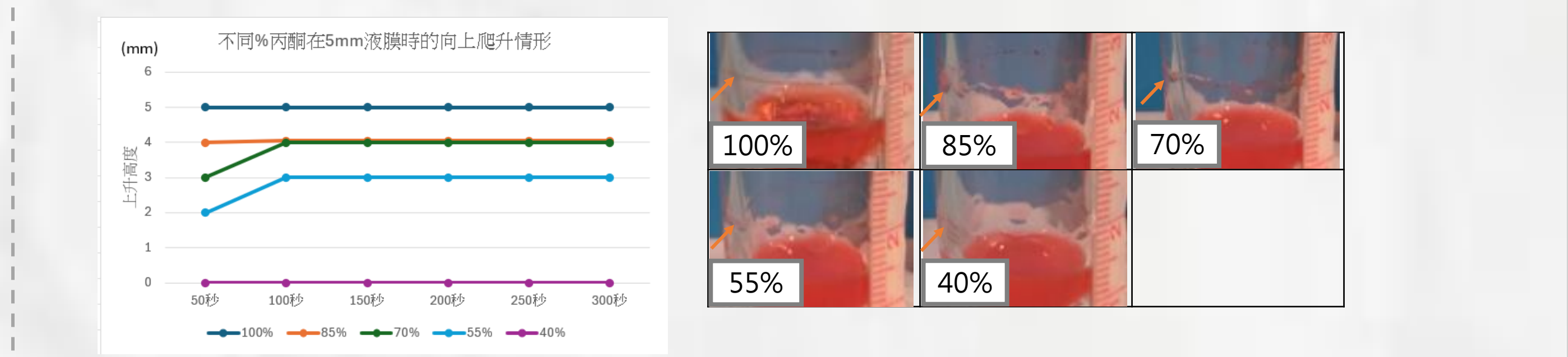
實驗十五：不同%丙二醇在5mm液膜時的向上爬升情形



1. 丙二醇的蒸發速度較水慢，是藉由水先蒸發使濃度變高產生表面張力差，故相較其它溶液丙二醇選擇從10%開始進行實驗。

2. 高濃度和低濃度的丙二醇皆無法成功爬升，因此不使用丙二醇進行翻牆逃逸的實驗。

實驗十六：不同%丙酮在5mm液膜時的向上爬升情形



100%丙酮在杯壁上會有兩層液滴。第一層液滴極為細小，不易觀察；第二層液滴則會隨時間累積(上升高度採用第一層液膜計算，但因第一層液膜較為細小，因此翻牆逃逸使用85%丙酮進行實驗)。

實驗十七：85%丙酮在杯口無液膜或有液膜時的翻牆逃逸情形



1. 翻牆逃逸的丙酮液滴大小較40%酒精液滴大。

2. 杯中丙酮液面下降速度約是酒精的6倍。

3. 丙酮蒸發會將熱量帶走，因此實驗結束後，杯壁外會有小水滴凝結，且玻璃杯溫度較低。

延伸探究

一、使用54%的玉山茅臺酒探討逃逸距離更長的廣口瓶中逃脫情形「腳的呼吸現象」

滴管吸取茅臺酒(液面低於瓶頸) → 液滴累積於瓶身與瓶頸 → 瓶頸液滴會透過不同的表面張力差相互結合 → 結合後的液滴持續透過「腳」累積 → 液滴成功逃脫至杯口

綠色箭頭處的腳會有一脹一縮的呼吸現象，週期約為5到10秒

「腳的呼吸現象」為延伸探究中的偶然發現，也為未來的研究目標

二、使用100%酒精在液面交界處放置表保麗龍球，試圖估算馬拉哥尼拉力大小

直徑1mm保麗龍球

時間	15分鐘	30分鐘	45分鐘	60分鐘
觀察				

將保麗龍球裁切為1/2和1/4，觀察是否能上升

時間	15分鐘	30分鐘	45分鐘	60分鐘
觀察				

保麗龍球無法成功向上爬升，有些許保麗龍球不會隨液面下降，附著於杯壁上。

左半邊：四分之一直徑1mm保麗龍球
右半邊：二分之一直徑1mm保麗龍球

保麗龍球還是不會隨液滴向上爬升，大部分會附著於杯壁上，不會隨液面下降。

馬拉哥尼力遠小於1/4的直徑1毫米保麗龍球重，等待後續研究

討論

一、探討酒精的向上爬升情形

(一)當酒精注入杯中時，會立即產生液滴爬升於玻璃杯壁上，並隨時間藉由「腳」透過表面張力差累積，因此即使沒有搖晃玻璃杯製造液膜，濃度大於40%的酒精皆會在裝入玻璃杯時向杯壁爬升與累積。

(二)液膜過高會使液滴累積速度變慢；無液膜產生的液滴較小；5毫米液膜的液滴爬升高度最高，且液滴明顯。

(三)可把不同濃度的酒精爬升情形分成三種類型

100%~70%的酒精

1. 酒精濃度較高所形成的「腳」較細。
2. 酒精蒸發量較大使表面張力差也較大。
3. 杯壁上液滴為細小圓形，排列緊密。



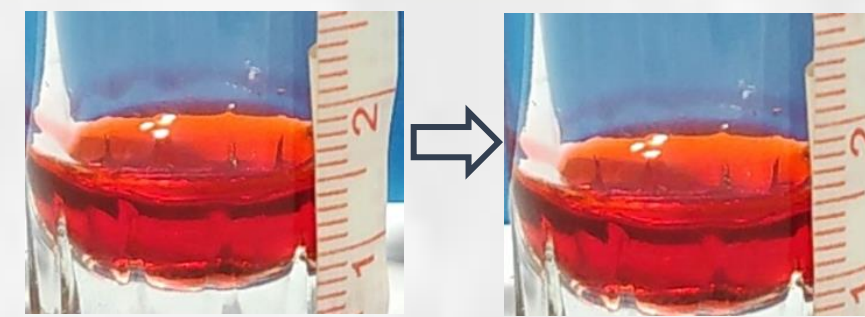
55%~40%的酒精

1. 酒精濃度較低所形成的「腳」較粗。
2. 杯壁上的液滴顏色較淺，排列較為鬆散。
3. 由液滴形狀可判斷是否會持續上升或將產生酒淚循環。



25%~10%的酒精

1. 液滴無法上升，在杯內產生循環的酒淚；濃度較低者液膜的界線下降速度較快。
2. 當液膜過矮(小於4毫米)時，不再產生酒淚的循環現象。



二、探討100%酒精的翻牆逃逸情形

(一)在實驗三的變因六中發現，同樣是100%酒精在5毫米液膜的爬升情形，實驗一的爬升高度卻較高，因此得出：當液面上方玻璃杯裸露端較長時，附著力較大，液面爬升高度較高；液面上方玻璃杯裸露端較短時，液滴爬升高度較矮。原因為液滴與玻璃間的附著力，而非酒精蒸氣壓的大小。

(二)長時間實驗中，100%酒精在四到五小時左右，酒精的蒸發量與空氣達成平衡，液滴幾乎不再累積與翻牆逃逸。

(三)傾斜實驗中，有液膜的上方玻璃杯口產生片狀液滴，而下方無液膜的杯口液滴則非片狀液滴。

三、探討40%酒精的翻牆逃逸情形

(一)低濃度的酒精容易發生酒淚循環現象，液膜達到4毫米高時，液滴會在杯內產生酒淚循環現象。

(二)長時間實驗中，液滴在兩小時左右就不再累積與翻牆逃逸，因為低濃度酒精的蒸發量較快與空氣達成平衡。

四、探討電弧電擊玻璃表面結構對酒精翻牆逃逸的影響

(一)杯口有液膜時，因為電弧電擊玻璃杯口後，重組表面玻璃表面結構，有助於酒精液滴較快累積於杯口和翻牆逃逸。

五、探討市售酒品的向上爬升及翻牆逃逸情形

(一)54%的玉山茅臺酒液滴會藉由表面張力差上升與累積，累積於杯壁上的液滴樣貌與55%的酒精相似，兩分鐘時累積於杯壁上的液滴高度也相同；在杯口無液膜或有液膜時，液滴皆會流出杯壁外。杯口有液膜時，10分鐘內持續有新的液滴翻牆逃逸。

六、探討不同蒸發率溶液的向上爬升及翻牆逃逸情形

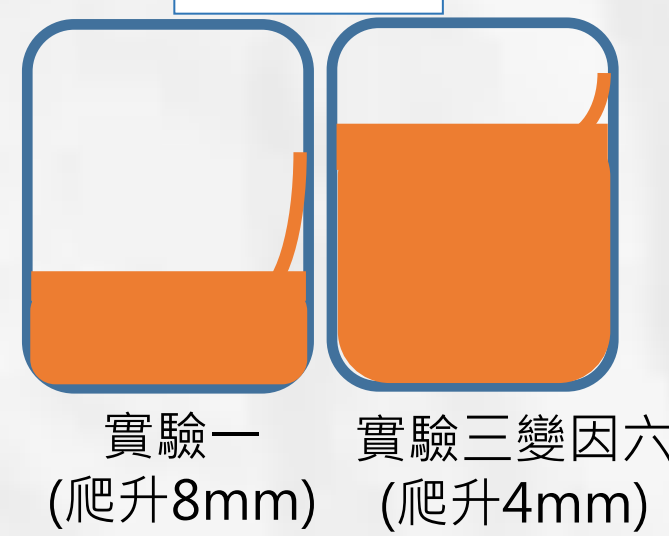
(一)丙酮加紅色打印水後，發現會有嚴重沉澱，因此丙酮實驗改用紅色的水性麥克筆補充液染色。

(二)丙二醇在任何濃度下皆無法成功爬升；丙酮因為蒸發量較酒精大更容易翻牆逃逸。

(三)丙酮的蒸發速度較酒精快，因此液滴累積的速度較快，85%以下(含)皆會在上升後，立刻產生循環的酒淚現象；40%以下(含)液滴不再上升。

(四)丙酮累積於杯口經過一段時間後，會因為丙酮蒸發速度較快而蒸發，溶解度下降，多出來的溶質色素會沉澱於杯口。

示意圖



100%酒精-杯口無液膜

「腳」的寬度：細
翻牆逃逸情形：
翻牆逃逸的液滴多集中於玻璃杯口下緣，流至杯底的速度緩慢
杯口上液滴情形：
液滴隨時間增加和累積

100%酒精-杯口有液膜

「腳」的寬度：寬
翻牆逃逸情形：
翻牆逃逸的液滴沿著玻璃杯持續向杯底流
杯口上液滴情形：
液滴先隨時間增加和累積，翻牆逃逸後杯口液滴減少

40%酒精-杯口無液膜

「腳」的寬度：最寬
翻牆逃逸情形：
翻牆逃逸的液滴在短時間內流至杯底
杯口上液滴情形：
隨時間增加不斷累積變多，直到液面下降

40%酒精-杯口有液膜

幾乎無液滴流出，推論為塗抹於杯口的40%酒精液膜會快速蒸發，使杯口液膜濃度低於40%，進而造成液滴不易翻牆逃逸

結論

一、酒精溶液翻牆逃逸原理

酒精溶液裝滿抽離產生液膜

液膜收縮產生「腳」

「腳」透過表面張力差拉引杯內酒精溶液

液滴累積於杯口

液滴逸流出杯外

(一)酒精裝入玻璃杯抽離產生液膜，液膜收縮產生「腳」。

(二)杯壁上的酒精有著較大的蒸發量使表面張力變大，與原來杯中酒精產生表面張力差。

(三)「腳」持續透過一張一縮的類呼吸現象(從延伸探究一中觀察到)拉引杯內酒精累積於杯口處。

(四)杯口液滴持續累積變多，向杯壁逸出外流。

二、酒精翻溶液牆逃逸要素

(一)酒精溶液能成功翻牆逃逸的濃度需介於40%到100%；40%以下酒精有液滴，但無法翻牆逃逸。(探討一)

(二)需在玻璃杯留適當的裸露端，有助於液滴翻牆逃逸。(探討二)

(三)100%酒精在杯口有液膜時，產生的液滴較大，翻牆逃逸的速度較快。(探討二)

(四)100%酒精在四到五小時後，酒精的蒸發量與空氣達成平衡狀態，幾乎不再有液滴流出。(探討二)

(五)40%酒精的「腳」因為蒸發較更高濃度酒精慢所以較寬，產生的液滴較大。流出杯外的速度快，流至杯底的速度也較快，但液面降低後，液滴難以翻牆逃逸，容易在杯中產生循環的酒淚現象。(探討三)

(六)40%酒精在杯口有液膜時，幾乎無液滴流出，因為液膜會使液滴濃度降低，不易累積於杯口。(探討三)

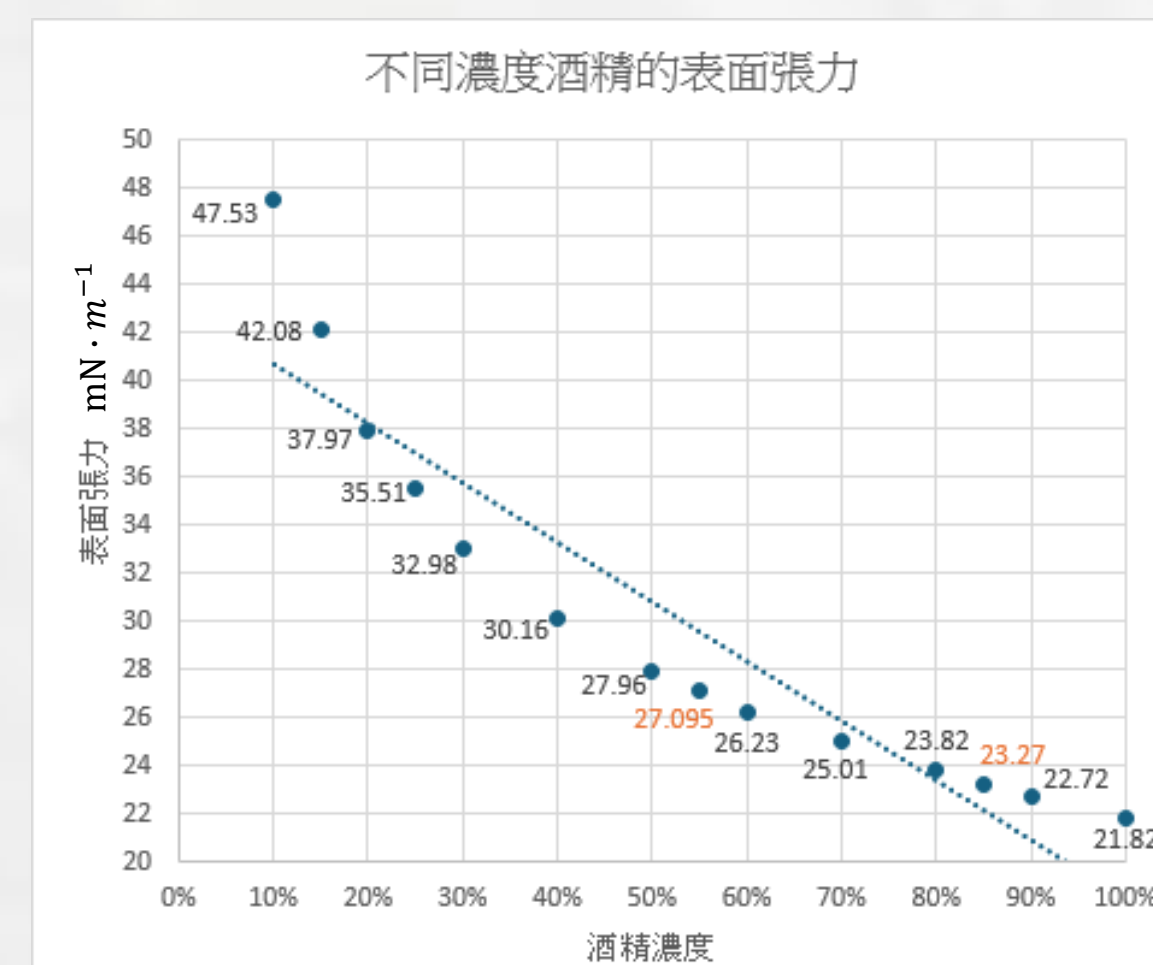
(七)100%酒精可在長時間內持續有液滴流出杯外，但速度較慢，推論高濃度酒精雖然蒸發量較大但表面張力差變化較小；40%酒精在短時間內有多條液滴流出杯外，推論為酒精濃度較低時，表面張力差變化越明顯，但低濃度酒精的濃度持續降低後，液滴難以爬升，僅會在內壁產生酒淚循環現象。(探討二、三)

(八)使用電弧電擊玻璃杯口使表面重新結晶，有助於液滴累積但效果較不明顯(參考資料二)。(探討四)

(九)選擇高濃度的市售酒品效果與酒精相似。(探討五)

(十)丙酮的蒸發速度較酒精快，故丙酮更容易達成實驗目的成功翻牆逃逸。(探討六)

(十一)丙酮的蒸發速度較快，能成功翻牆逃逸的濃度區間較酒精狹窄；濃度過高(100%)液滴不容易觀察，濃度過低(40%)會在杯壁內產生循環的酒淚現象。(探討六)



(參考資料五，其中55%和85%使用內插法計算)

參考資料

註：本文中照片及圖片(除第三頁的圖三出自參考文獻一；圖四出自參考文獻六；圖五出自參考文獻七)其他照片和圖表皆為作者自行拍攝製作。

一、NTCU科學遊戲實驗室：酒的眼淚。檢自<http://scigame.ntcu.edu.tw/water/water-026.html>

二、葉芳瑜、謝秉希、謝亞彤(2019)。「醇」「醇」欲動——探討丙二醇液滴的馬蘭哥尼效應(中華民國第59屆中小學科學展覽會)。

三、許幼昕、吳科寬、許耘睿(2021)。天使的眼淚——探討不同情況下酒淚掛杯表現之差異(中華民國第61屆中小學科學展覽會)。

四、馬蘭哥尼效應。檢自<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%A6%AC%E5%80%AB%E5%93%A5%E5%B0%BC%E6%95%88%E6%87%89>

五、Gonzalo Vazquez Estrella Alvarez, and Jose M. Navaza. (1995). Surface Tension of Alcohol Water + Water from 20 to 50. degree.C. Retrieved from<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/je00019a016>

六、一個不能少!洗熊 3口連線築人牆一個拉一個完美翻牆。檢自<https://pets.ettoday.net/news/886996>

七、超流體。檢自<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%B6%85%E6%B5%81%E4%BD%93>