

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 化學科

080205

蜂蜜結構紋路之探討

學校名稱：臺北市南港區南港國民小學

作者： 小六 張天宇 小四 張天奇	指導老師： 蔡秀錦 蔡淑瑛
-------------------------	---------------------

關鍵詞：蜂蜜、結構紋路、表面張力

## 摘要

以自製顯微鏡搭配行動載具進行實驗，探討蜂蜜結構紋路之成因。實驗結果：1. 將蜂蜜加入不同溫度的水搖晃，發現溫度越低，結構紋路存在的時間越長；2. 結構紋路的維持時間與「黏度」及「糖度」為正相關；3. 以不同溶劑進行實驗，發現加入濃度 75 % 的酒精，結構紋路存在的時間最久，約為水的三倍；4. 利用界面活性劑破壞水的表面張力，觀察到表面張力變小，結構紋路存在的時間也變長。因此推論「表面張力」與「溶解速度」是影響蜂蜜結構紋路維持時間的兩大主因。另外，單一成分的飽和糖水溶液，所形成的結構紋路形狀較一致，呈現五邊形和六邊形，兩邊夾角都接近 120 度；而成分複雜的蜂蜜及鬆餅糖漿所形成的結構紋路則呈現不規則形狀。

## 壹、研究動機



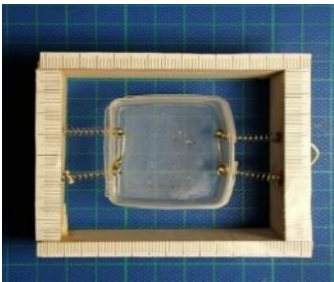



我們將蜂蜜加入水中，搖晃後發現蜂蜜竟然呈現出六角形的蜂巢結構紋路，讓我們大感驚訝，查詢資料後，發現蜂蜜的成分非常複雜，除了主要有單糖分子（葡萄糖與果糖），也含有雙糖分子（蔗糖及麥芽糖）、維生素、礦物質和胺基酸等化合物，然而不同來源的蜂蜜是否會形成不同的結構紋路？使用不同溶劑會不會對結構紋路的大小與維持時間產生影響？到底是哪一種成分或何種原因造成這個結構紋路？能否利用這個方式快速檢測蜂蜜的含糖量或其中的特定物質？我們曾在自然課中學過「廚房裡的科學」，因此嘗試設計了一系列的實驗，希望透過使用科學的方法，了解蜂蜜形成結構紋路的基礎科學原理，並進一步找出應用的價值。

## 貳、研究目的

- 一、比較不同來源之蜂蜜及糖漿的結構紋路；
- 二、測量各式樣品之黏度與結構紋路的關係；
- 三、測量接觸角與蜂蜜結構紋路的關係；
- 四、測量不同水溫與蜂蜜結構紋路的關係；
- 五、測量不同溶劑與蜂蜜結構紋路的關係；
- 六、測量不同濃度酒精與蜂蜜結構紋路的關係；
- 七、測量溶劑表面張力與蜂蜜結構紋路的關係。

## 參、研究設備及器材

### 一、 實驗器具

編號	內 容	照 片
1	平板電腦：用於測量與記錄（拍照或攝影）結構紋路。	
2	自製顯微鏡：用於拍照或錄影記錄結構紋路。	
3	自製振動台：實驗中搖晃溶液。利用4支原子筆拆出的彈簧、木板四片、透明盒與白膠，組合完成如圖。	
4	手持式糖度計：ATC 糖度計，測量範圍：Brix 58 ~ 90 %；解析度為 0.2 %，測量蜂蜜與糖漿的糖度、波美度及含水量。	
5	溫度計：利用數位溫度計，準確即時量測溫度。可記錄至小數點下第1位。	
6	塑膠滴管（材質 PE）：用於滴加蜂蜜與糖漿。	

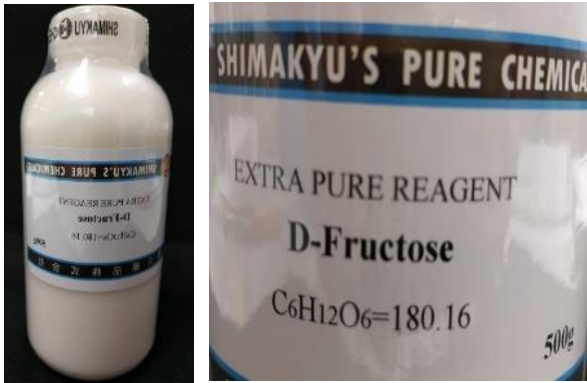
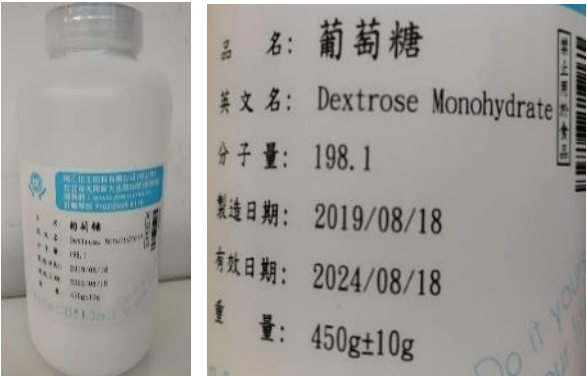

7	塑膠透明杯 (材質 PE)：用於裝盛溶液。	
8	塑膠點水瓶 (材質 PE)：用於裝蜂蜜與飽和糖水溶液，以便於實驗時將溶液滴入振動台。	

## 二、實驗材料

### (一) 各種蜂蜜與糖類

編號	內容	說明	照片																																				
1	阿根廷蜂蜜	產地阿根廷，花源為紅花苜蓿（又稱紅三葉草，中藥名紅車軸草）。蜂蜜的蜜色呈現酒紅色。口味帶點酸。	 <table border="1" data-bbox="1023 1182 1406 1563"> <thead> <tr> <th colspan="3">營養標示</th> </tr> <tr> <td colspan="3">每一份量 20 公克</td> </tr> <tr> <td colspan="3">本包裝含 113 份</td> </tr> <tr> <th></th> <th>每份</th> <th>100 公克</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>熱量</td> <td>67.4 大卡</td> <td>337.2 大卡</td> </tr> <tr> <td>蛋白質</td> <td>0.1 公克</td> <td>0.4 公克</td> </tr> <tr> <td>脂肪</td> <td>0 公克</td> <td>0 公克</td> </tr> <tr> <td>飽和脂肪</td> <td>0 公克</td> <td>0 公克</td> </tr> <tr> <td>反式脂肪</td> <td>0 公克</td> <td>0 公克</td> </tr> <tr> <td>碳水化合物</td> <td>16.8 公克</td> <td>83.9 公克</td> </tr> <tr> <td>糖</td> <td>14.9 公克</td> <td>74.4 公克</td> </tr> <tr> <td>鈉</td> <td>1 毫克</td> <td>3 毫克</td> </tr> </tbody> </table>	營養標示			每一份量 20 公克			本包裝含 113 份				每份	100 公克	熱量	67.4 大卡	337.2 大卡	蛋白質	0.1 公克	0.4 公克	脂肪	0 公克	0 公克	飽和脂肪	0 公克	0 公克	反式脂肪	0 公克	0 公克	碳水化合物	16.8 公克	83.9 公克	糖	14.9 公克	74.4 公克	鈉	1 毫克	3 毫克
營養標示																																							
每一份量 20 公克																																							
本包裝含 113 份																																							
	每份	100 公克																																					
熱量	67.4 大卡	337.2 大卡																																					
蛋白質	0.1 公克	0.4 公克																																					
脂肪	0 公克	0 公克																																					
飽和脂肪	0 公克	0 公克																																					
反式脂肪	0 公克	0 公克																																					
碳水化合物	16.8 公克	83.9 公克																																					
糖	14.9 公克	74.4 公克																																					
鈉	1 毫克	3 毫克																																					
2	台東龍眼蜜	產地台東，花源為龍眼花。蜂蜜的蜜色呈現琥珀色，香氣甜美芳香。	 <table border="1" data-bbox="1023 1630 1406 2011"> <thead> <tr> <th colspan="3">龍眼花蜂蜜 - 營養標示</th> </tr> <tr> <td colspan="3">每一份量 10 公克</td> </tr> <tr> <td colspan="3">本包裝含 32 份</td> </tr> <tr> <th></th> <th>每份</th> <th>每100公克</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>熱量</td> <td>32.9 大卡</td> <td>329 大卡</td> </tr> <tr> <td>蛋白質</td> <td>0.01 公克</td> <td>0.1 公克</td> </tr> <tr> <td>脂肪</td> <td>0 公克</td> <td>0 公克</td> </tr> <tr> <td>飽和脂肪</td> <td>0 公克</td> <td>0 公克</td> </tr> <tr> <td>反式脂肪</td> <td>0 公克</td> <td>0 公克</td> </tr> <tr> <td>碳水化合物</td> <td>7.8 公克</td> <td>78.1 公克</td> </tr> <tr> <td>糖</td> <td>7.7 公克</td> <td>77 公克</td> </tr> <tr> <td>鈉</td> <td>0 毫克</td> <td>1 毫克</td> </tr> </tbody> </table>	龍眼花蜂蜜 - 營養標示			每一份量 10 公克			本包裝含 32 份				每份	每100公克	熱量	32.9 大卡	329 大卡	蛋白質	0.01 公克	0.1 公克	脂肪	0 公克	0 公克	飽和脂肪	0 公克	0 公克	反式脂肪	0 公克	0 公克	碳水化合物	7.8 公克	78.1 公克	糖	7.7 公克	77 公克	鈉	0 毫克	1 毫克
龍眼花蜂蜜 - 營養標示																																							
每一份量 10 公克																																							
本包裝含 32 份																																							
	每份	每100公克																																					
熱量	32.9 大卡	329 大卡																																					
蛋白質	0.01 公克	0.1 公克																																					
脂肪	0 公克	0 公克																																					
飽和脂肪	0 公克	0 公克																																					
反式脂肪	0 公克	0 公克																																					
碳水化合物	7.8 公克	78.1 公克																																					
糖	7.7 公克	77 公克																																					
鈉	0 毫克	1 毫克																																					

3	西班牙野花 蜂蜜	產地西班牙中南部花種繁多的地區。蜂蜜的蜜色呈現金黃色，是一種結晶蜜。需先加水溶解成濃稠狀，才能使之加水搖晃後產生結構紋路。	 <table border="1" data-bbox="1029 181 1406 555"> <thead> <tr> <th colspan="3">營養標示</th> </tr> <tr> <td colspan="3">每一份量3.5公克</td> </tr> <tr> <td colspan="3">本包裝含100份</td> </tr> <tr> <th></th> <th>每份</th> <th>每100公克</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>熱量</td> <td>12大卡</td> <td>330大卡</td> </tr> <tr> <td>蛋白質</td> <td>0公克</td> <td>0.6公克</td> </tr> <tr> <td>脂肪</td> <td>0公克</td> <td>0公克</td> </tr> <tr> <td>飽和脂肪</td> <td>0公克</td> <td>0公克</td> </tr> <tr> <td>反式脂肪</td> <td>0公克</td> <td>0公克</td> </tr> <tr> <td>碳水化合物</td> <td>2.9公克</td> <td>82公克</td> </tr> <tr> <td>糖</td> <td>2.5公克</td> <td>71.8公克</td> </tr> <tr> <td>鈉</td> <td>0毫克</td> <td>7毫克</td> </tr> </tbody> </table>	營養標示			每一份量3.5公克			本包裝含100份				每份	每100公克	熱量	12大卡	330大卡	蛋白質	0公克	0.6公克	脂肪	0公克	0公克	飽和脂肪	0公克	0公克	反式脂肪	0公克	0公克	碳水化合物	2.9公克	82公克	糖	2.5公克	71.8公克	鈉	0毫克	7毫克
營養標示																																							
每一份量3.5公克																																							
本包裝含100份																																							
	每份	每100公克																																					
熱量	12大卡	330大卡																																					
蛋白質	0公克	0.6公克																																					
脂肪	0公克	0公克																																					
飽和脂肪	0公克	0公克																																					
反式脂肪	0公克	0公克																																					
碳水化合物	2.9公克	82公克																																					
糖	2.5公克	71.8公克																																					
鈉	0毫克	7毫克																																					
4	野生蜂蜜	苗栗山上天然採集，無成分表。蜂蜜的蜜色呈現深咖啡色。																																					
5	鬆餅糖漿	成分為玉米糖漿、糖、水、天然楓糖香料（水、糖、乙醇、香料、葫蘆巴萃取物）、糖漿（焦糖糖漿、葡萄糖、果糖）及檸檬酸。	 <table border="1" data-bbox="1024 994 1407 1370"> <thead> <tr> <th colspan="3">營養標示</th> </tr> <tr> <td colspan="3">每一份量 29 毫升</td> </tr> <tr> <td colspan="3">本包裝含 1份</td> </tr> <tr> <th></th> <th>每份</th> <th>每100毫升</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>熱量</td> <td>126.8大卡</td> <td>437大卡</td> </tr> <tr> <td>蛋白質</td> <td>0公克</td> <td>0公克</td> </tr> <tr> <td>脂肪</td> <td>0公克</td> <td>0公克</td> </tr> <tr> <td>飽和脂肪</td> <td>0公克</td> <td>0公克</td> </tr> <tr> <td>反式脂肪</td> <td>0公克</td> <td>0公克</td> </tr> <tr> <td>碳水化合物</td> <td>31.7公克</td> <td>109.3公克</td> </tr> <tr> <td>糖</td> <td>23.3公克</td> <td>80.3公克</td> </tr> <tr> <td>鈉</td> <td>0毫克</td> <td>0毫克</td> </tr> </tbody> </table>	營養標示			每一份量 29 毫升			本包裝含 1份				每份	每100毫升	熱量	126.8大卡	437大卡	蛋白質	0公克	0公克	脂肪	0公克	0公克	飽和脂肪	0公克	0公克	反式脂肪	0公克	0公克	碳水化合物	31.7公克	109.3公克	糖	23.3公克	80.3公克	鈉	0毫克	0毫克
營養標示																																							
每一份量 29 毫升																																							
本包裝含 1份																																							
	每份	每100毫升																																					
熱量	126.8大卡	437大卡																																					
蛋白質	0公克	0公克																																					
脂肪	0公克	0公克																																					
飽和脂肪	0公克	0公克																																					
反式脂肪	0公克	0公克																																					
碳水化合物	31.7公克	109.3公克																																					
糖	23.3公克	80.3公克																																					
鈉	0毫克	0毫克																																					
6	黑糖蜜	成分為蔗糖、麥芽糖及沖繩黑糖。	 <table border="1" data-bbox="1024 1415 1407 1796"> <thead> <tr> <th colspan="3">營養標示 Nutrition Facts</th> </tr> <tr> <td colspan="3">每一份量 10 毫升</td> </tr> <tr> <td colspan="3">本包裝含 35份</td> </tr> <tr> <th></th> <th>每份</th> <th>每100毫升</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>熱量/Calories</td> <td>40大卡</td> <td>400大卡</td> </tr> <tr> <td>蛋白質/Protein</td> <td>0公克</td> <td>0.3公克</td> </tr> <tr> <td>脂肪/Fat</td> <td>0公克</td> <td>0公克</td> </tr> <tr> <td>飽和脂肪/Saturated Fat</td> <td>0公克</td> <td>0公克</td> </tr> <tr> <td>反式脂肪/Trans Fat</td> <td>0公克</td> <td>0公克</td> </tr> <tr> <td>碳水化合物/Carbohydrate</td> <td>10公克</td> <td>99.6公克</td> </tr> <tr> <td>糖/Sugar</td> <td>8.8公克</td> <td>87.7公克</td> </tr> <tr> <td>鈉/Sodium</td> <td>1毫克</td> <td>7毫克</td> </tr> </tbody> </table>	營養標示 Nutrition Facts			每一份量 10 毫升			本包裝含 35份				每份	每100毫升	熱量/Calories	40大卡	400大卡	蛋白質/Protein	0公克	0.3公克	脂肪/Fat	0公克	0公克	飽和脂肪/Saturated Fat	0公克	0公克	反式脂肪/Trans Fat	0公克	0公克	碳水化合物/Carbohydrate	10公克	99.6公克	糖/Sugar	8.8公克	87.7公克	鈉/Sodium	1毫克	7毫克
營養標示 Nutrition Facts																																							
每一份量 10 毫升																																							
本包裝含 35份																																							
	每份	每100毫升																																					
熱量/Calories	40大卡	400大卡																																					
蛋白質/Protein	0公克	0.3公克																																					
脂肪/Fat	0公克	0公克																																					
飽和脂肪/Saturated Fat	0公克	0公克																																					
反式脂肪/Trans Fat	0公克	0公克																																					
碳水化合物/Carbohydrate	10公克	99.6公克																																					
糖/Sugar	8.8公克	87.7公克																																					
鈉/Sodium	1毫克	7毫克																																					

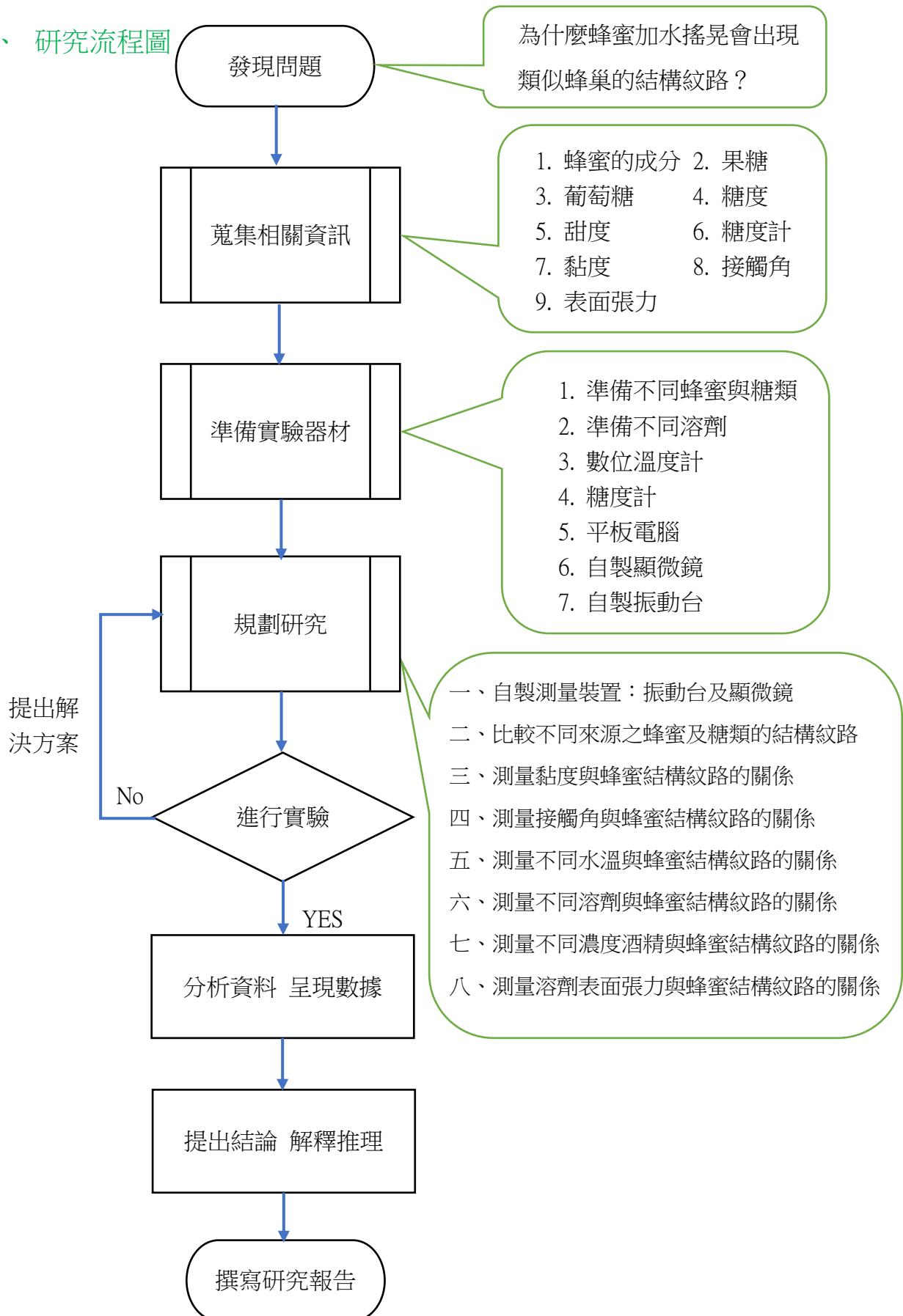
7	果糖	由化工材料行購得的純果糖，原為粉狀，加入水後，隔水加熱煮至濃稠，形成果糖飽和水溶液。																																		
8	葡萄糖	由化工材料行購得的純葡萄糖，原為粉狀，加入水後，隔水加熱煮至濃稠，形成葡萄糖飽和水溶液。																																		
9	自製糖漿 (蔗糖)	用台糖貳號砂糖加水，直火煮至濃稠，形成蔗糖飽和水溶液。	 <table border="1" data-bbox="1029 1041 1396 1377"> <thead> <tr> <th colspan="3">營養標示</th> </tr> <tr> <th colspan="3">每一份量10公克 本包裝含100份</th> </tr> <tr> <th></th> <th>每份</th> <th>每100公克</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>熱量</td> <td>39.8 大卡</td> <td>398.4 大卡</td> </tr> <tr> <td>蛋白質</td> <td>0 公克</td> <td>0 公克</td> </tr> <tr> <td>脂肪</td> <td>0 公克</td> <td>0 公克</td> </tr> <tr> <td>飽和脂肪</td> <td>0 公克</td> <td>0 公克</td> </tr> <tr> <td>反式脂肪</td> <td>0 公克</td> <td>0 公克</td> </tr> <tr> <td>碳水化合物</td> <td>9.9 公克</td> <td>99.2 公克</td> </tr> <tr> <td>糖</td> <td>9.9 公克</td> <td>99 公克</td> </tr> <tr> <td>鈉</td> <td>0 毫克</td> <td>3 毫克</td> </tr> </tbody> </table>	營養標示			每一份量10公克 本包裝含100份				每份	每100公克	熱量	39.8 大卡	398.4 大卡	蛋白質	0 公克	0 公克	脂肪	0 公克	0 公克	飽和脂肪	0 公克	0 公克	反式脂肪	0 公克	0 公克	碳水化合物	9.9 公克	99.2 公克	糖	9.9 公克	99 公克	鈉	0 毫克	3 毫克
營養標示																																				
每一份量10公克 本包裝含100份																																				
	每份	每100公克																																		
熱量	39.8 大卡	398.4 大卡																																		
蛋白質	0 公克	0 公克																																		
脂肪	0 公克	0 公克																																		
飽和脂肪	0 公克	0 公克																																		
反式脂肪	0 公克	0 公克																																		
碳水化合物	9.9 公克	99.2 公克																																		
糖	9.9 公克	99 公克																																		
鈉	0 毫克	3 毫克																																		

(二) 不同溶劑及物品

酒精、漂白水、洗潔精、洗衣粉、牙膏。	
--------------------	--

## 肆、研究方法

### 一、研究流程圖



## 二、研究過程

### (一) 資料蒐集

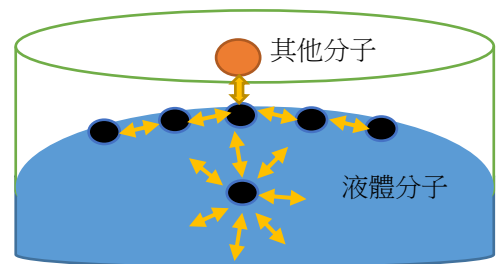
1. 蜂蜜的成分<sup>[1]</sup>：蜂蜜中主要成分是葡萄糖和果糖，約占蜂蜜總量的 65 % ~ 80 %；其次是水分，占 16 % ~ 25 %；蔗糖位居第三，不超過 5 %。此外，含有少量的麥芽糖、多糖、粗蛋白、礦物質、維生素、酸類、酶類、色素和芳香物質，以及在蜜蜂採集或人工取蜜時混入的花粉、蠟屑等。
2. 果糖 (Fructose,  $C_6H_{12}O_6$ )<sup>[2]</sup>：是一種簡單的糖 (單糖)，極易溶於水，在許多食品中存在，可在如蜂蜜、樹上的水果、瓜類以及一些根類蔬菜，如甜菜、地瓜、歐洲蘿蔔、洋蔥...中找到。果糖也是蔗糖 (雙糖) 分解的產物，在消化過程中，藉由酶的催化特性，蔗糖可分解出一個葡萄糖分子與一個果糖分子。
3. 葡萄糖 (glucose,  $C_6H_{12}O_6$ )<sup>[3]</sup>：又稱血糖、玉米葡糖、玉蜀黍糖，是自然界分布最廣、且最為重要的一種單醣。因為擁有 6 個碳原子，被歸為己糖或六碳糖。葡萄糖是一種多羥基醛。其水溶液旋光向右，故亦稱「右旋糖」。葡萄糖在生物學領域具有重要地位，是活細胞的能量來源和新陳代謝的中間產物。植物可通過行光合作用產生葡萄糖。
4. 糖度<sup>[4]</sup>：糖度是表示糖液中固形物濃度的單位，工業上一般用白利度 (Brix) 表示糖度，指的是 100 克糖溶液中，所含固體物質的溶解克數。通常利用糖液的折光性質，用帶有蔗糖百分含量刻度的折光儀類的測糖計來測量糖度。
5. 甜度<sup>[5]</sup>：甜度指的是糖溶液呈現出的甜味程度，屬於主觀的味覺感受，目前並沒有夠客觀的物理及化學方法可以測定，主要是利用主觀的人工品評來加以比較，所以甜度是相對而不是絕對的。以蔗糖的甜度 100 為計，各種糖的甜度比為：

種 類	甜 度	種 類	甜 度
90 %果糖糖漿	160~173	42 %果糖糖漿	100
蔗糖	100	葡萄糖	64
蜂蜜	97	麥芽糖	46
蔗糖蜜	74	乳糖	30
楓糖漿	64	玉米糖漿	30



6. 糖度計<sup>[6]</sup>：糖類溶在水中時具有旋光性，能使穿透糖水的光線偏折，糖的濃度與光線偏折的程度有關。糖度計就是利用光線偏折的程度，與不同濃度的蔗糖水溶液的數值進行比較，推估出大概的含糖量，測定單位為 $^{\circ}\text{Bx}$ 。然而，食品通常由許多不同成分共同組成，這些成分也可能會使光線折射，因此，糖度計測得的數據，只能作為一個推測糖含量的參考，不能代表實際的糖含量。
7. 黏度（Viscosity）<sup>[7]</sup>：表示黏性的程度，又稱為黏(滯)性係數。不同物質的黏度不同，例如：在 $20^{\circ}\text{C}$ 與常壓下，水的黏度為 $1\text{ mPa}\cdot\text{s}$ ，蜂蜜則為 $10^4\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。黏度主要來自於分子間作用力，黏度較高的物質，分子間作用力較強，因此較不容易流動。
8. 接觸角<sup>[8]</sup>：在固體表面上的液滴，若此液體受到固體表面之作用力甚強，液滴將會完全貼附在固體表面上，使液滴與固體表面的接觸角接近 $0^{\circ}$ 。非強親水性之固體，接觸角則會大到約 $90^{\circ}$ 。在許多高親水性的表面上，水滴所呈現的接觸角約 $0^{\circ}$ 到 $30^{\circ}$ 。若是固體表面為疏水，則接觸角將大於 $90^{\circ}$ 。對於高疏水性的表面，其對水的接觸角可高達 $150^{\circ}$ 或甚至近 $180^{\circ}$ 。在這種的表面上，水滴僅是停留在其上，而非真正對其表面浸潤，可稱之為超疏水。
9. 表面張力<sup>[9]</sup>：液體分子等物質之間存在的吸引力，例如凡得瓦力與氫鍵等；液體內部的分子會受到鄰近分子的吸引力，且合力為零，然而液體表面的分子，會因為受到部分液體分子與所接觸的其它物質(可能為空氣、其他液體或固體)之間的吸引力差異，導致在各個方向受到的分子間吸引力是不均衡的，如圖一所示，當所接觸的其它物質吸引力較小時，液體分子間形成的合力會將表面分子向內拉，且液體會因此達到最小的表面積，就如同水裝於杯中會有凸面一樣。

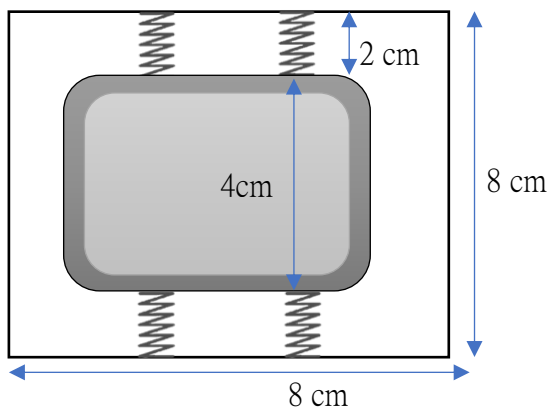
表面張力下降的原因：實驗中使用到乙醇（酒精）與水在 $20^{\circ}\text{C}$ 時的表面張力分別為 $22.55\text{ mN/m}$ 與 $72.75\text{ mN/m}$ ，兩者相對之下，水的表面張力相當高；一般而言，當液體的溫度上升時，其表面張力會下降，另外，添加界面活性劑也可以降低液體的表面張力。



圖一：表面張力示意圖

## (二) 自製測量裝置

1. 振動裝置：實驗中需要搖晃液體，才能使蜂蜜表面產生結構紋路，但用手搖晃裝盛液體的容器無法有效固定振動的幅度與時間，因此，我們設計標準化的搖晃裝置，讓實驗能有較佳的一致性。如圖二所示的振動台設計圖，我們使用塑膠盒作為裝盛待測液體的容器，並連接由原子筆內拆出的彈簧組裝「振動台」，作為外框的木板（尺寸為 8 cm（長）x 8 cm（寬）；厚度為 0.6 cm）以釘子與白膠固定，且於木板上標示尺規以便進行標準化的搖晃，並於振動台底部貼上方格紙（1 mm x 1 mm）以方便測量結構紋路的大小，完成組裝的振動台照片如圖三所示。

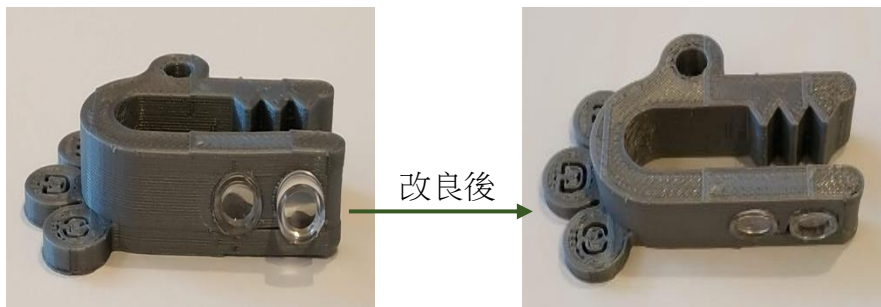


圖二：自製實驗振動台設計圖（俯視）

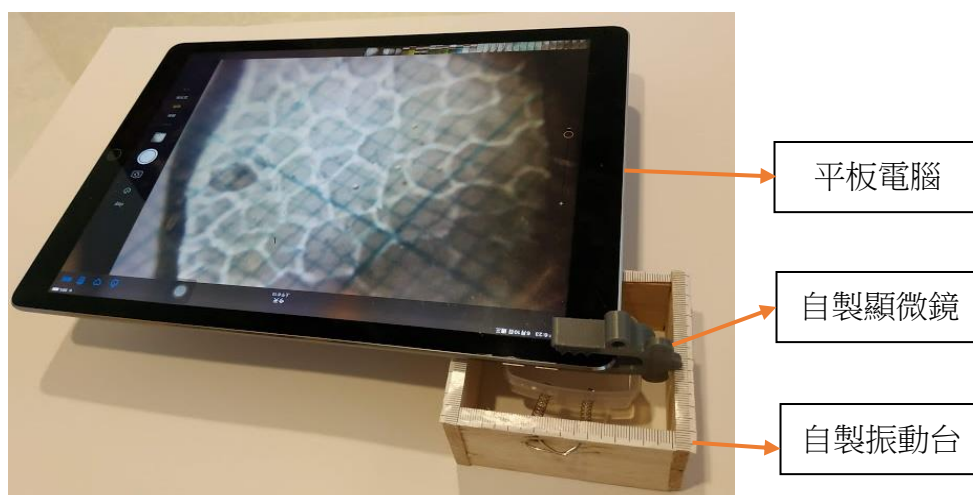
圖三：自製實驗振動台實體照

### 2. 測量工具：

- (1) 自製顯微鏡：一開始我們使用內建於平板電腦的相機鏡頭，但發現其解析度不足，無法記錄蜂蜜結構紋路的大小與變化，於是自製顯微鏡以調整拍攝的範圍；初步是以原有的相機搭配雙放大鏡頭做出複式顯微鏡，然而實測後發現放大倍率過高（約 100 倍），因此最終改為接合單一放大鏡頭（放大倍率約 10 倍）於平板上作為測量工具。

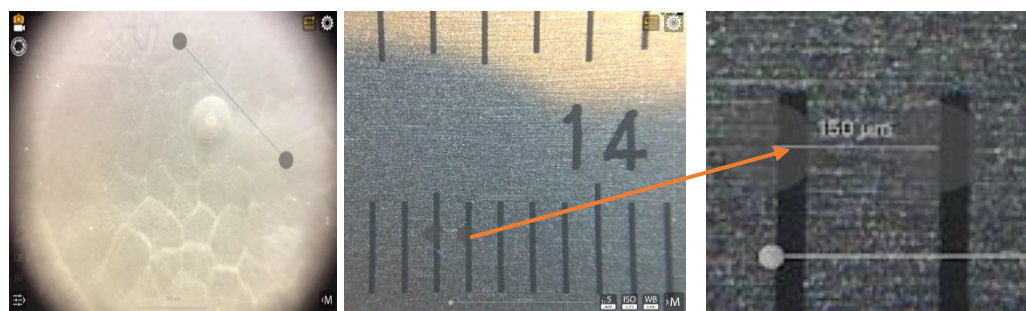


圖四：自製顯微鏡實體照

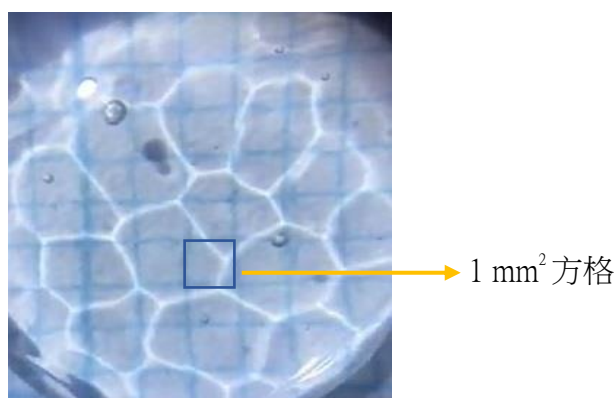


圖五：實驗裝置組合實體照

(2) 測量尺規：為能精確記錄測得的結構紋路大小，我們搭配使用 APP 「microPeek」<sup>[10]</sup> 進行實驗，如圖六所示，此 APP 可顯示比例尺以輔助評估長度。我們再利用已知長度的游標尺與 APP 顯示的比例尺進行比對式校正，以便能更準確地測量記錄蜂蜜的結構紋路大小。APP 顯示的比例尺需要除以 150 以轉換為實際長度（例如 APP 顯示 203  $\mu\text{m}$  相當於實際長度為 1.35 mm）。另外振動台底部有貼方格紙（1 mm x 1 mm）也可用來量測結構紋路的面積大小。除拍照外，也透過錄影功能記錄結構紋路的大小變化與時間。



圖六：「microPeek」顯示之比例尺與游標尺的比對式校正，150  $\mu\text{m}$  = 1 mm。



圖七：1 mm<sup>2</sup> 方格紙用來量測結構紋路的面積大小

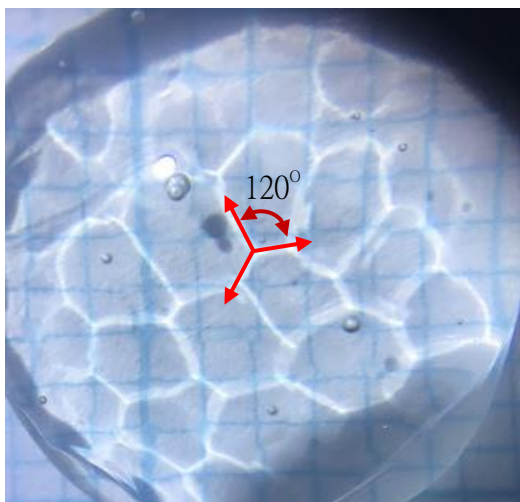
## 伍、研究結果與討論

### 一、比較不同來源之蜂蜜及糖漿的結構紋路

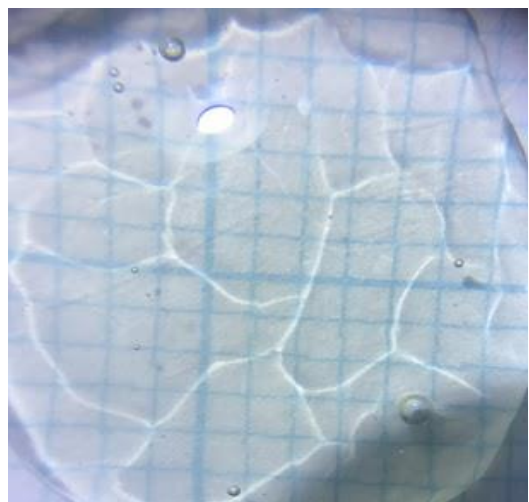
1. 方法與目的：在室溫（20°C）下，分別將不同蜂蜜或糖漿（體積均為 3 mL）加入等量且同溫的水中，利用相機拍攝搖晃溶液後是否產生結構紋路，以初步比較不同來源之蜂蜜及糖漿的差異。
2. 結果與討論：我們一共測試了 4 瓶蜂蜜與 5 種糖漿（飽和水溶液），加水搖晃後可產生結構紋路的樣品統整於下方表格。其中「西班牙野花蜂蜜」及「黑糖蜜」的結構紋路存在時間太短（約 2 秒），無法拍出照片做量測。

另外，為求了解不同蜂蜜與糖漿中的”糖”是否為影響其結構紋路大小與存在的時間的主要原因，我們分別用鍋具煮「蔗糖」、「葡萄糖」和「果糖」形成三種不同的飽和水溶液，冷卻後進行實驗，發現一樣會產生結構紋路，雖然結構紋路不盡相同，但可以推論結構紋路的產生應與糖有關。且重複進行 10 次實驗後，我們也確定結構紋路大小與維持的時間都具有再現性。

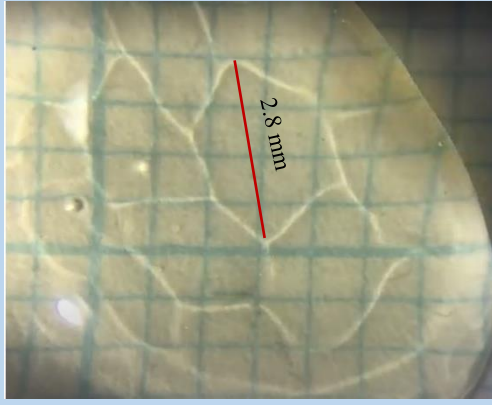
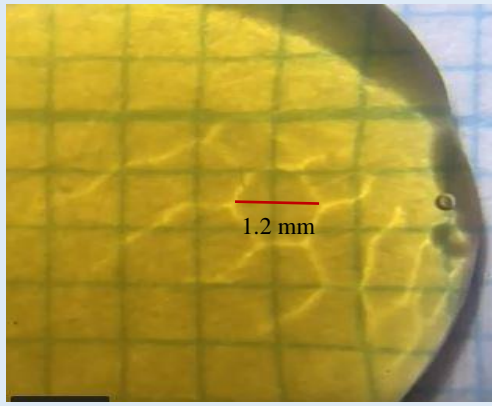
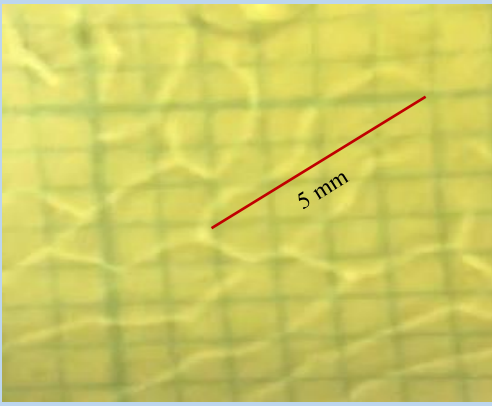
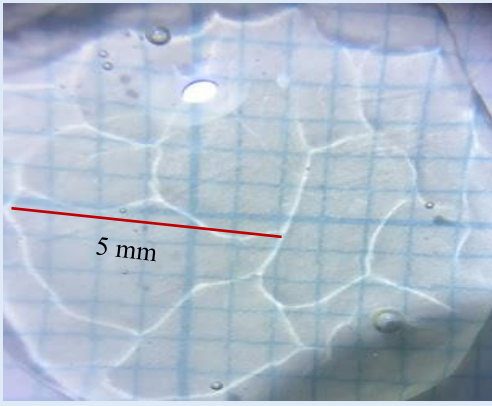
比較不同來源之蜂蜜及糖漿的結構紋路後，發現單一成分的飽和糖水溶液（葡萄糖及果糖），所形成的結構紋路形狀較一致，呈現五邊形和六邊形，兩邊夾角都接近 120 度（如下圖所示），此現象與力的分散/平衡有關。而成分複雜的蜂蜜及鬆餅糖漿所形成的結構紋路則呈現不規則形狀。

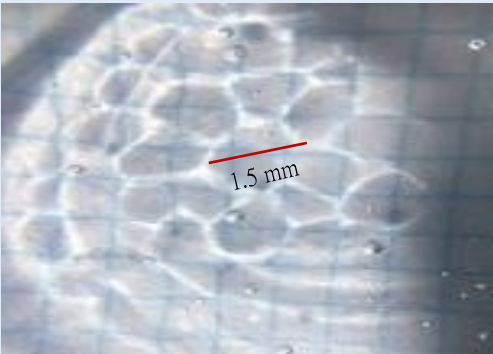
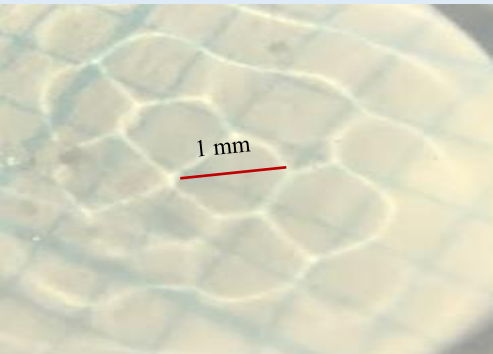
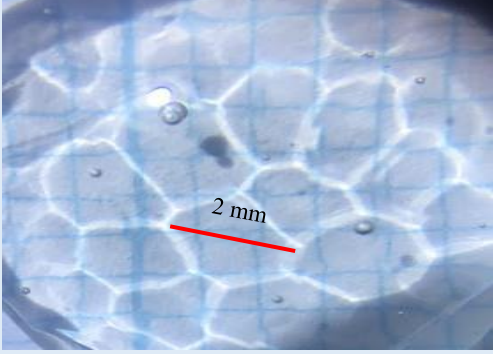
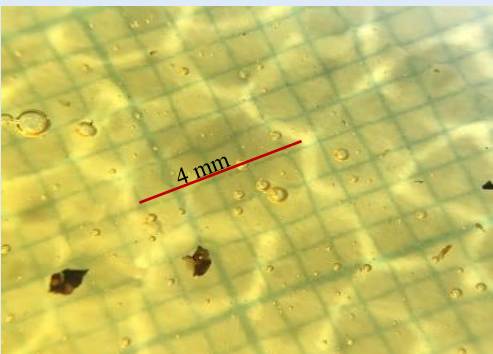
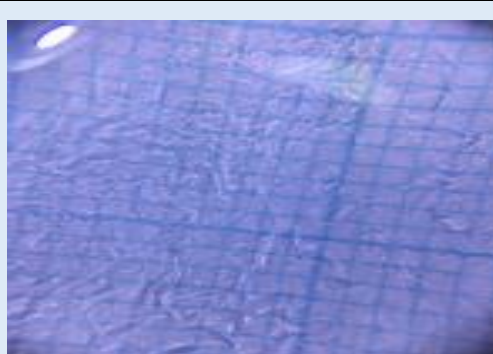


圖八：果糖結構紋路內角角度測量圖



圖九：鬆餅糖漿結構紋路實照

種類	使用糖度計測量結果	結構紋路照片	使用 microPeek 測量結構紋路
(1) 阿根廷 蜂蜜	◎糖度：79.0 % Brix ◎波美度：42 °Bé ◎含水量：19.0 %		◎最長直徑： 420 $\mu$ m = 2.8 mm ◎面積大小約： 4-7 mm <sup>2</sup> ◎維持時間：40 s
(2) 台東龍 眼花蜜	◎糖度：77.0 % Brix ◎波美度：41 °Bé ◎含水量：21.2 %		◎最長直徑： 180 $\mu$ m = 1.2 mm ◎面積大小約： 2-3 mm <sup>2</sup> ◎維持時間：39 s
(3) 野生山 蜂蜜	◎糖度：76.0 % Brix ◎波美度：40 °Bé ◎含水量：22.0 %		◎最長直徑： 750 $\mu$ m = 5 mm ◎面積大小約： 4-7 mm <sup>2</sup> ◎維持時間：17 s
(4) 鬆餅 糖漿	◎糖度：74.2 % Brix ◎波美度：39.5 °Bé ◎含水量：24.0 %		◎最長直徑： 750 $\mu$ m = 5 mm ◎面積大小約： 5-13 mm <sup>2</sup> ◎維持時間：25 s

<p>(5) 蔗糖 糖漿</p>	<p>◎糖度：81.0 % Brix ◎波美度：43 °Bé ◎含水量：17.5 %</p>		<p>◎最長直徑： 225 <math>\mu\text{m}</math> = 1.5 mm ◎面積大小約： 1-2 <math>\text{mm}^2</math> ◎維持時間：44 s</p>
<p>(6) 葡萄糖</p>	<p>◎糖度：80.5 % Brix ◎波美度：39 °Bé ◎含水量：17.8 %</p>		<p>◎最長直徑： 150 <math>\mu\text{m}</math> = 1 mm ◎面積大小約： 1-2 <math>\text{mm}^2</math> ◎維持時間：37 s</p>
<p>(7) 果糖</p>	<p>◎糖度：83.0 % Brix ◎波美度：&gt; 43 °Bé ◎含水量：15.5 %</p>		<p>◎最長直徑： 300 <math>\mu\text{m}</math> = 2 mm ◎面積大小約： 2-3 <math>\text{mm}^2</math> ◎維持時間：89 s</p>
<p>(8) 葡萄糖 +果糖</p>	<p>◎糖度：82.5 % Brix ◎波美度：&gt; 43 °Bé ◎含水量：16.0 %</p>		<p>◎最長直徑： 675 <math>\mu\text{m}</math> = 4 mm ◎面積大小約： 4-10 <math>\text{mm}^2</math> ◎維持時間：47 s</p>
<p>(9) 甘油</p>	<p>◎糖度：71.5 % Brix ◎波美度：38.5 °Bé ◎含水量：26.5 %</p>		<p>◎最長直徑、 面積大小： 無法量測 ◎維持時間：15 s</p>

由實驗結果(照片)得知結構紋路大小排序是蔗糖 > 果糖 > 葡萄糖，而三種糖類在水中（100 g）的溶解度依序是：果糖（375 g）> 蔗糖（204 g）> 葡萄糖（69 g）<sup>[13]</sup>，實驗使用“飽和水溶液”排序均等同上述溶解度，換言之結構紋路的大小與糖的濃度無明確關係。但蜂蜜結構紋路的形狀與糖的分子結構似乎有一些關聯性，在許多實驗中發現容易出現結構的是「果糖」，相較之下，葡萄糖不但不容易出現(需要搖晃更久的時間)，維持時間也較短。

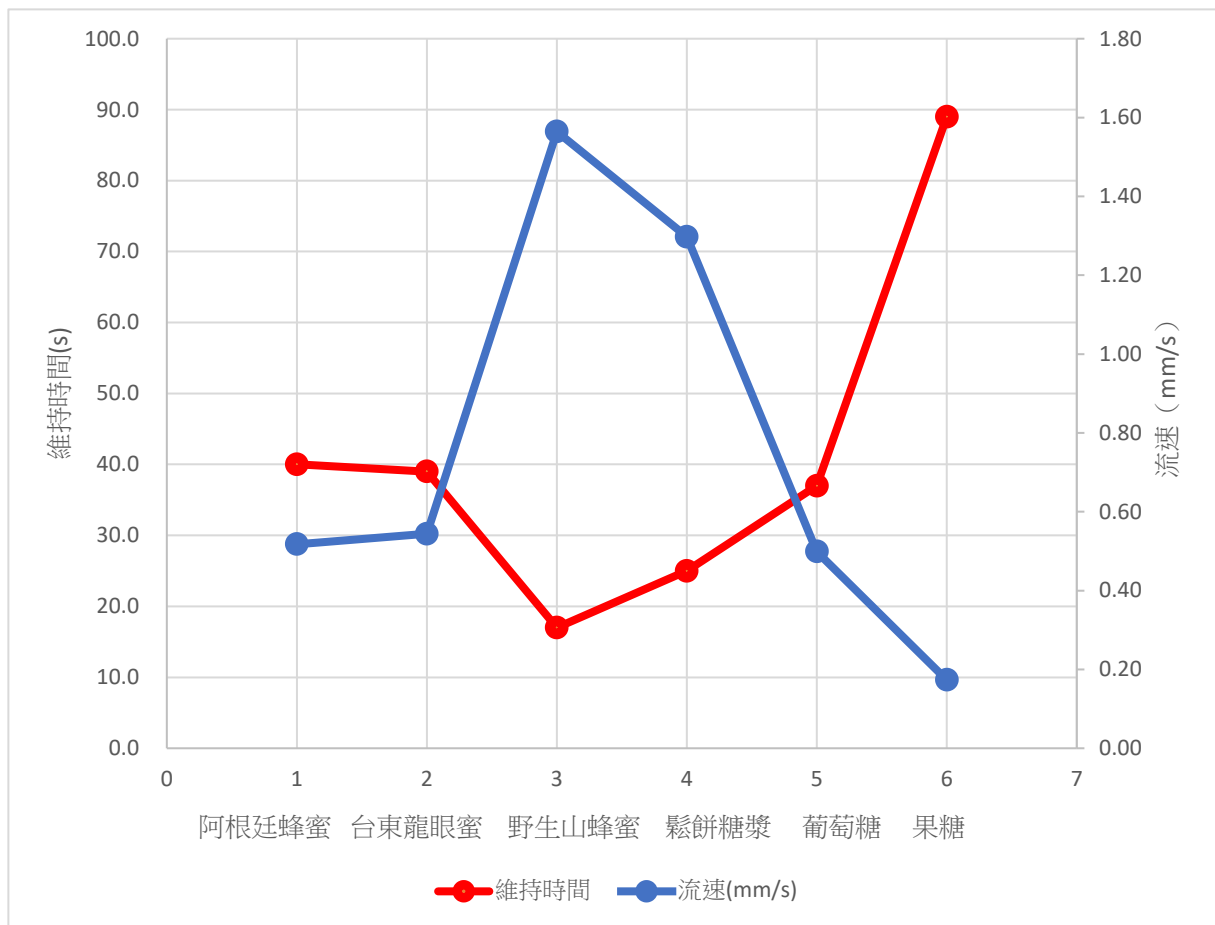
我們從蔗糖、果糖和葡萄糖的分子結構中，發現它們都有 OH 官能基（羥基），於是我們也同樣嘗試使用含有 OH 官能基的丙三醇（甘油）進行相同的實驗，以了解 OH 官能基的數目是否為影響結構紋路的關鍵，結果發現丙三醇形成的結構紋路與其維持時間，相較於上述三種糖類的飽和水溶液有非常顯著的差異（由上述實驗照片觀察到其結構紋路混亂不一，且維持時間僅約 15 秒）。由分子結構來看，雖然丙三醇（甘油）所擁有的 OH 官能基數目（三個）比葡萄糖、果糖、蔗糖少（五個），但丙三醇的分子量也比三種糖類小（大約只有葡萄糖、果糖分子的一半），而且該分子非常吸水(與水的互溶性極高)，所以加水進去時，丙三醇的結構紋路不明顯且維持時間短，應該是因為分子量小導致分子擴散速度快，換句話說，分子結構上 OH 官能基的數目與結構紋路無絕對關係。

實驗中結構紋路的出現是在加水與額外振盪後才產生，也就是說，有額外施力去影響葡萄糖/果糖分子從原先高濃度（飽和水溶液）移動到低濃度（濃度為零的純水）的擴散行為，因此可推論不同的分子擴散速度應是造成結構紋路形狀與維持時間不同的主因。

另外，實驗發現當蔗糖濃度降低，結構紋路也會變為混亂（如同甘油），這現象是否蔗糖分子在水中的擴散速度有關呢？當蔗糖溶液的濃度變低時，溶液中的蔗糖分子數目當然是變少的，此時蔗糖分子由高濃度往低濃度移動的程度（濃度差所產生的分子移動驅動力）就變低，即使有施加外力，也較不容易觀察到分子的擴散行為，這情況就好像公園裡若是只有稀疏的幾朵花，風一來，花朵擺動的情況較不明顯；若是有一大片花海，那風一吹，就很容易觀察到花朵隨著風搖曳的情形。上述稀釋蔗糖水溶液濃度的實驗結果可證實分子擴散速度是影響結構紋路形狀與維持時間的關鍵。

## 二、測量各式樣品之黏度與結構紋路的關係

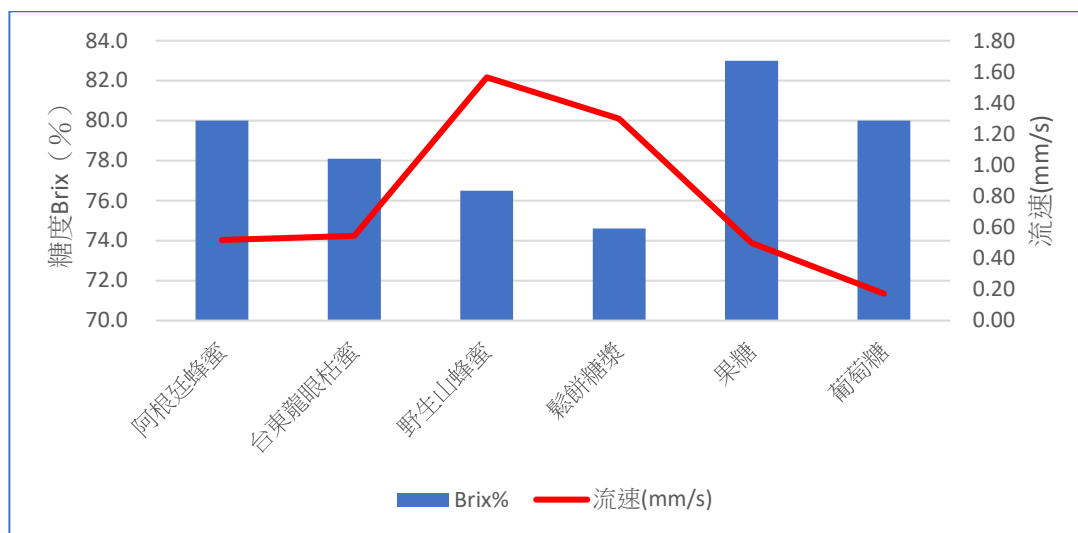
1. 方法與目的：在室溫（20 °C）下，用滴管吸取可以形成結構紋路的蜂蜜與糖漿（1 mL），隨後滴在斜度 67° 的玻璃上，以錶記錄其流動 150 mm 所需時間，流速是以等量的實驗樣品在相同距離與傾斜角記錄時間換算出流速，藉此評估黏度差異是否與結構紋路的大小和維持時間有關。
2. 結果與討論：如圖十所示，觀察到野生山蜂蜜的流速最快（表示黏度最低），其結構紋路的維持時間也最短，此部分結果顯示液體的黏度與結構紋路維持時間有關。



圖十：不同實驗樣品於斜度 67° 玻璃上的流速與結構紋路維持時間

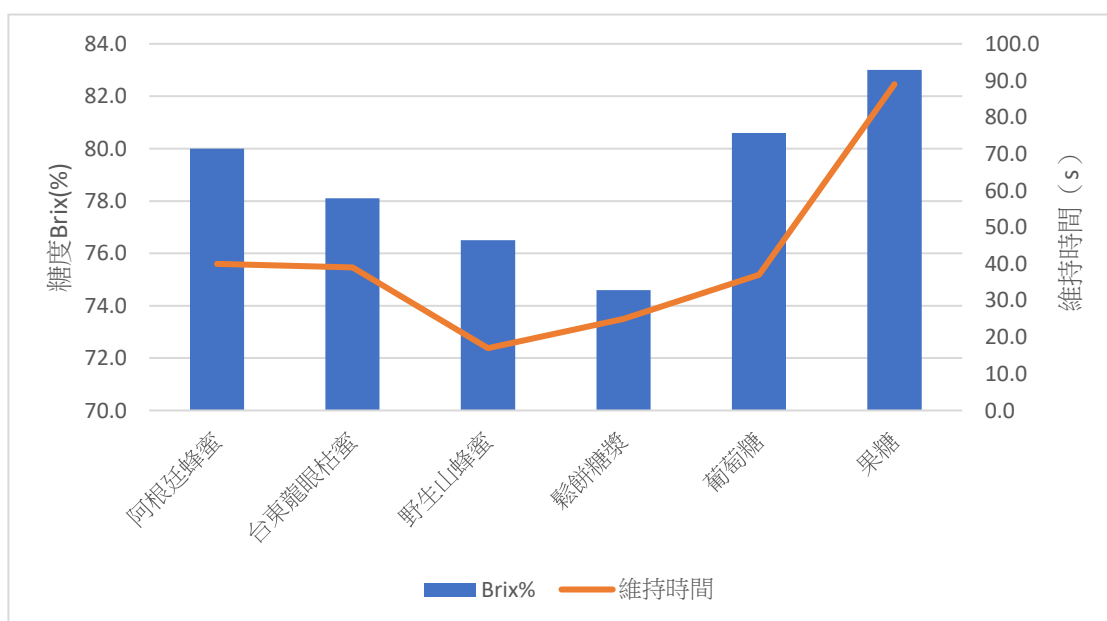


含水量決定了黏度，黏度較高的物質，比較不容易流動；而黏度較低的物質，比較容易流動。有鑑於不同蜂蜜的含水量不同，我們使用糖度計分別測量出糖度、波美度與含水量，一般認為三者有些關係(糖度較高的液體，波美度容易較高且含水量相對偏低)。我們比較了幾種蜂蜜與糖漿，希望能釐清糖度與流速的關係，如圖十一的統整比較結果，糖度較高者不見得流速是最慢的（黏度高），例如果糖的糖度最高但流速並非最慢。



圖十一：不同實驗樣品的糖度與流速的關係

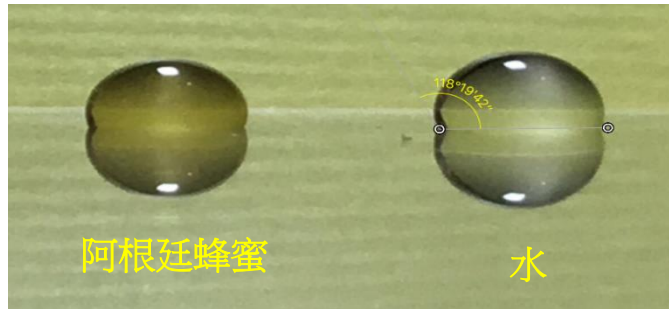
另外，維持時間是否與糖度或黏度有任何關聯性呢？由圖十二可以發現蜂蜜結構紋路與維持時間有高度的相關性：當糖度高時，蜂蜜和糖漿的結構紋路維持時間就會增加，此趨勢表示結構紋路維持時間有機會作為量化溶液中溶質多寡的依據。



圖十二：不同實驗樣品的糖度與流速的關係

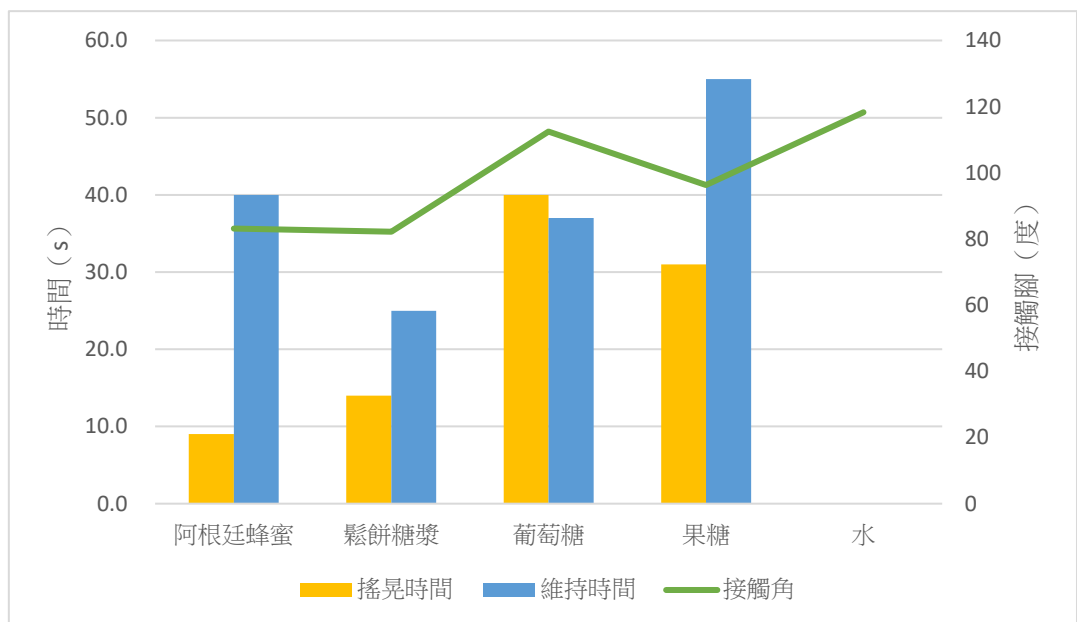
### 三、測量接觸角與蜂蜜結構紋路的關係

1. 方法與目的：在室溫（20℃）下，用滴管吸取定量 1mm 的實驗樣品（包含：水、各式蜂蜜、果糖及葡萄糖漿等），滴在玻璃上（ipad 表面）用相機拍攝，再利用 Angle meter APP 測量接觸角，如下圖左邊為阿根廷蜂蜜，右邊為水，其中水的接觸角為 118.2 度。透過液滴接觸角的比較，有機會了解溶液表面張力的差異。



圖十三：接觸角量測(實際照片)

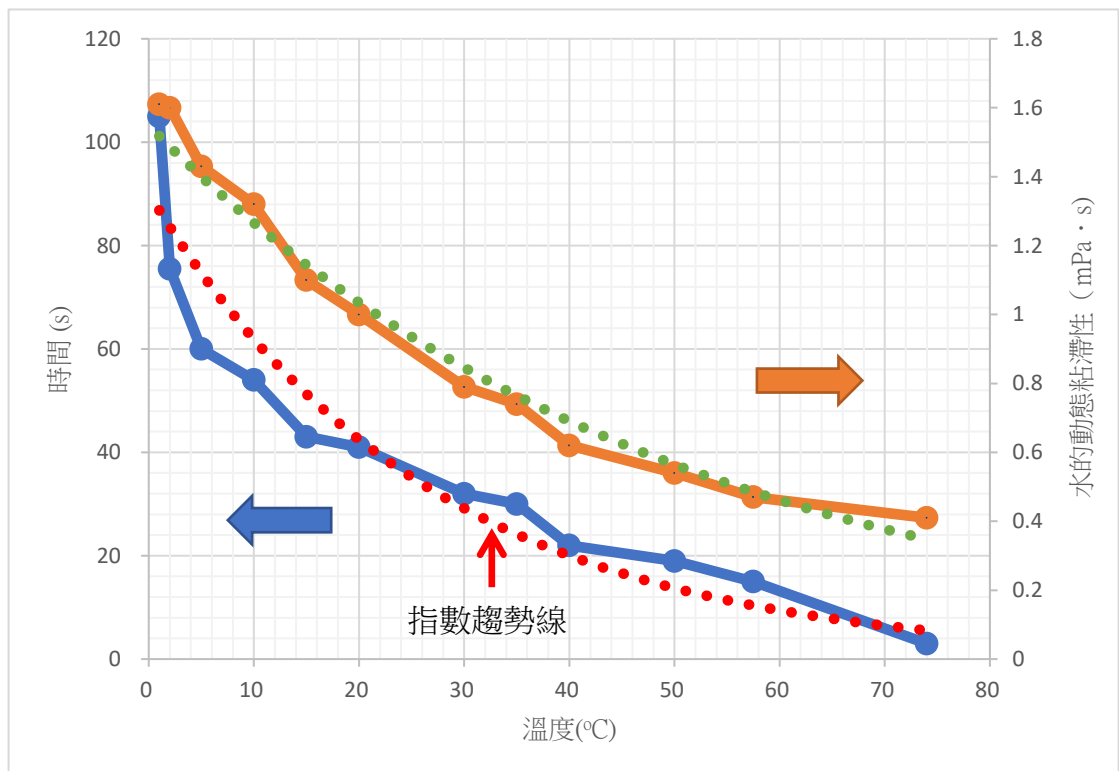
2. 結果與討論：如圖十四所示，飽和糖水溶液結構紋路是否容易形成與維持，和溶液在玻璃上的接觸角有關，接觸角較大的液體（如葡萄糖飽和水溶液）表示液體的表面張力較高（即分子間吸引力較高），此時如同葡萄糖飽和水溶液呈現的，額外加水與施力振盪所形成的結構紋路數量較有限，結構紋路的範圍也較小，此現象意謂著液體的「表面張力」是確實會影響到結構紋路的形成；在實驗過程中也發現葡萄糖飽和水溶液則需要較長的振盪時間，才有結構紋路的產生（不像果糖飽和水溶液非常容易出現明顯的結構紋路）。



圖十四：接觸角與結構紋路形成所需搖晃時間和維持時間的關係

#### 四、測量不同水溫與蜂蜜結構紋路的關係

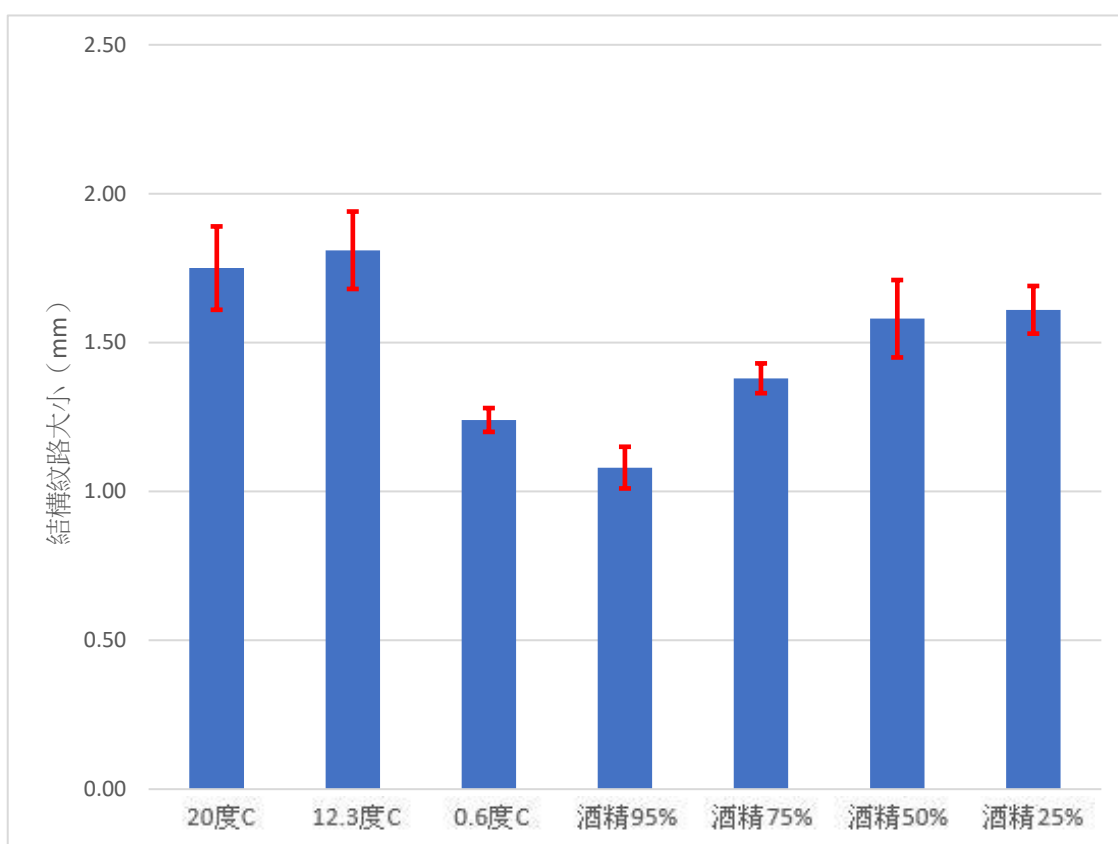
1. 方法與目的：在室溫（20°C）下，將 3 mL 阿根廷蜂蜜加入不同溫度（1°C ~ 75°C）的水，並利用搭載自製顯微鏡頭的平板電腦，錄影觀察搖晃溶液後結構紋路從成形至消失的過程，以了解不同水溫是否會影響蜂蜜結構紋路維持的時間。
2. 結果與討論：我們由圖十五的數據清楚地發現，阿根廷蜂蜜的結構紋路維持時間與水溫呈現類似指數型衰減的關聯性，在 1°C 水中，結構紋路維持時間最長（達 105 秒），然而在 75°C 水中，紋路維持時間大幅縮短至 3 秒；我們也觀察到，在水溫較低的情況下，需要延長搖晃溶液的時間才能順利產生結構紋路。另外將水的動態黏度數據利用 WebPlotDigitizer<sup>[12]</sup>軟體由圖形提取數值數據，並繪製於下列圖表中，並用指數函數做作趨勢線，進行比較，我們可由此部分結果推論，蜂蜜結構紋路的形成及維持時間是與溫度效應造成的分子間作用力差異有密切的關係。



圖十五：不同水溫對阿根廷蜂蜜結構紋路維持時間關係圖

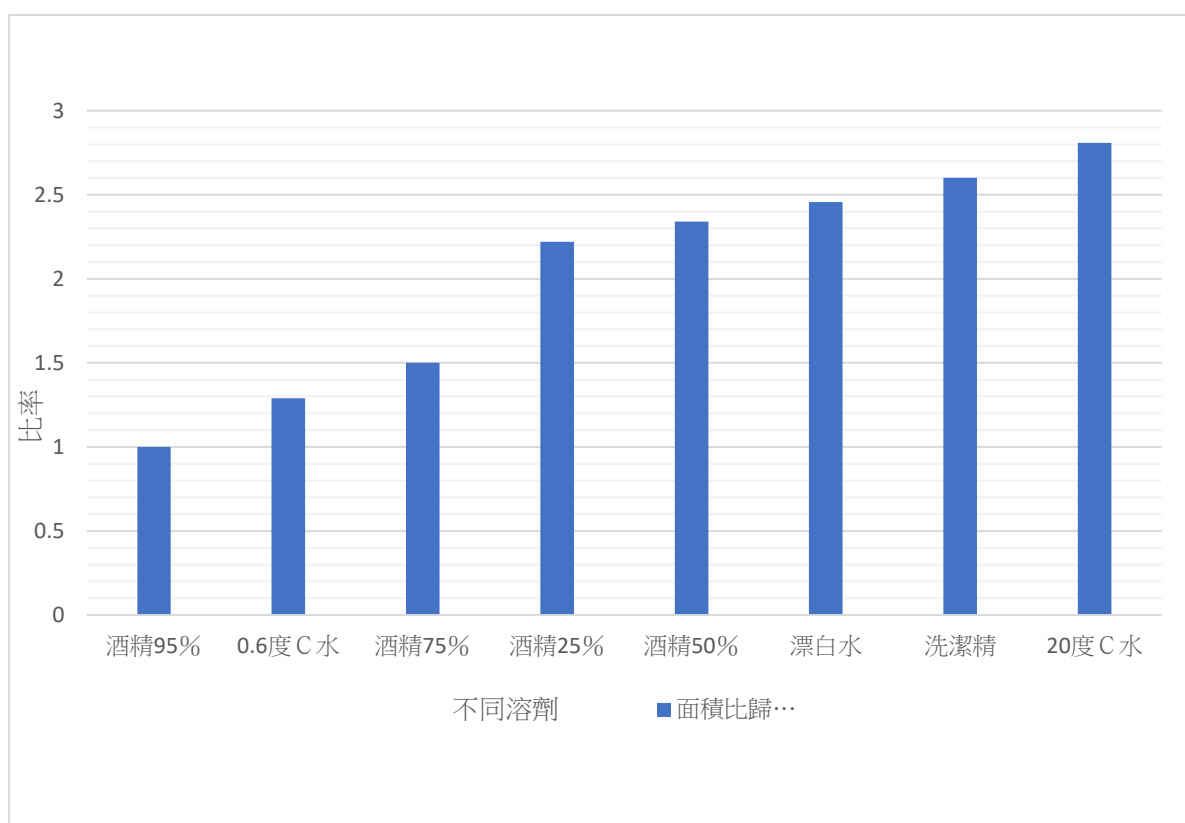
## 五、測量不同溶劑與蜂蜜結構紋路大小的關係

1. 方法與目的：在室溫（20°C）下，分別將 3 mL 阿根廷蜂蜜加入等量之不同溶劑（包含不同溫度的水、不同體積濃度的酒精、漂白水與洗潔精），並同樣使用搭載自製顯微鏡頭的平板電腦與 APP，拍照量測搖晃溶液後形成的結構紋路，並以測得之蜂蜜結構紋路的大小（最長直徑）來做比較。
2. 結果與討論：每種溶劑皆各做三次實驗，再透過 EXCEL 計算，我們可得知各組數據的標準差（約為 0.05 ~ 0.14）。如圖十六所示，此結果證實使用特別自製的振動台確實有助於提高實驗結果的再現性與可靠度。更重要的是，我們發現當水的溫度下降，阿根廷蜂蜜形成的結構紋路會隨之變小；另一方面，加入不同濃度的酒精時，結構紋路的大小也會因為濃度的提高而變小。這些結果與糖類分子在高濃度酒精與低溫水溶液條件下的溶解度較低有關，即再次驗證糖類分子的擴散速度確實是影響結構紋路大小的關鍵因素。



圖十六：不同溶劑與蜂蜜結構紋路大小的關係圖

我們更進一步以 95 %酒精條件下所得的阿根廷蜂蜜結構紋路大小（最長直徑）當作分母（因為他最小），其它溶劑條件的實驗結果當分子，除完所得結果如圖十七所示，統整而言，不同的溶劑所造成的結構紋路大小差異，最大可達 2.8 倍（95 %酒精對比於 20°C 的水）；漂白水、洗潔精、濃度分別為 25 %與 50 %的酒精所得數據則與 20°C 的水相近，此意謂當溶液內其它溶質的量仍有限時，糖類分子仍可順利地在水中進行擴散。另外注意到 0.6 °C 的水與 95 %酒精的結果近似，由此推論低溫對於糖類分子的擴散行為有很大的影響，其程度相當於限縮約 95 %的擴散範圍。

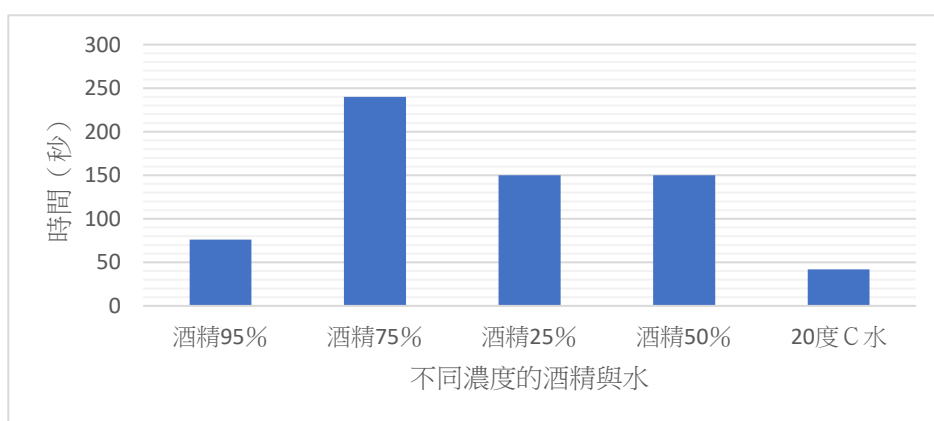


圖十七：不同溶劑中的蜂蜜結構紋路相對大小

## 六、測量不同濃度酒精與蜂蜜結構紋路維持時間的關係

1. 方法與目的：在室溫（20 °C）下，將 3 mL 阿根廷蜂蜜加入等量但不同體積濃度(95 %、75 %、50 %與 25 %)的酒精中，並利用搭載自製顯微鏡頭的平板電腦，錄影觀察搖晃溶液後，結構紋路從成形至消失的過程，並與 20 °C 的水進行比較，以了解不同濃度的酒精是否會影響蜂蜜結構紋路維持的時間。
2. 結果與討論：由圖十八，我們發現使用酒精當溶劑會使蜂蜜結構紋路維持的時間較 20 °C 的水長，且不同濃度的酒精亦會對結構紋路維持的時間造成顯著影響（在酒精濃度為 75 %的條件下，時間最長，達 240 秒，約為水的六倍）。實驗中亦觀察到，蜂蜜的多邊形結構紋路在酒精與水中有不同的消失過程，在酒精中是出現多邊形會逐步被併吞的方式（類似泡泡消失狀況），而水則是幾乎同時消失。

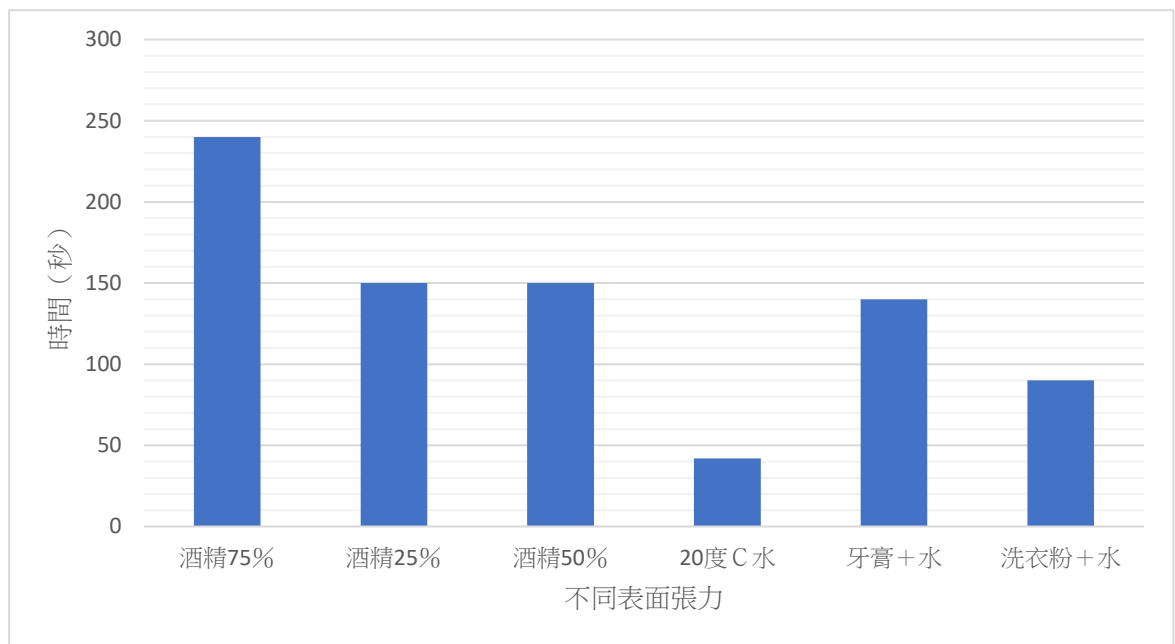
這些實驗結果令我們感到訝異，重複多次實驗，結構紋路消失的時間幾乎相近！為了解開此謎團，我們查詢到蜂蜜的兩大主要成分(葡萄糖與果糖)在 20 °C 水中的溶解度是不同的，前者是 83 g / 100 mL，果糖則是 375 g / 100 mL，另外，在含有酒精的水作為溶劑下，後者的溶解度較高(至少 2 倍以上)<sup>[11]</sup>，且隨著酒精濃度提高，兩者的溶解度皆會下降，這應是高濃度酒精導致蜂蜜結構紋路可維持較久的關鍵原因。另一方面，我們也注意到，在酒精濃度為 95 %的條件下，結構紋路僅能維持 76 秒，此表示除了上述的溶解度外，尚有其它因素會影響蜂蜜結構紋路的維持時間。



圖十八：不同濃度的酒精與水中結構紋路維持時間比較圖

## 七、測量溶劑表面張力與蜂蜜結構紋路的關係

1. 方法與目的：先於水中加入界面活性劑（牙膏或洗衣粉），以降低其表面張力，隨後以滴管取出 3 mL 的溶液，並同樣在 20 °C 下加入等量的阿根廷蜂蜜，以及使用搭載自製顯微鏡頭的平板電腦，錄影觀察搖晃溶液後結構紋路從成形至消失的過程，以了解不同表面張力的溶液是否會影響蜂蜜結構紋路維持的時間。
2. 結果與討論：由實驗數據（圖十九），可發現於水中加入牙膏與洗衣粉後，蜂蜜結構紋路維持的時間可增長兩倍以上；查詢資料發現，水的表面張力為酒精的 3.2 倍<sup>[9]</sup>，而實驗中發現蜂蜜結構紋路的維持時間也接近三倍，此結果表示溶劑的表面張力與結構紋路的維持時間確實有高度關聯性。



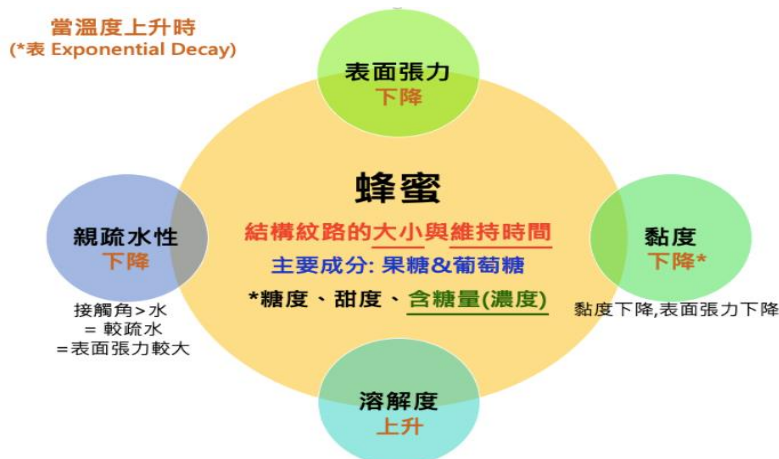
圖十九：蜂蜜結構紋路維持時間與表面張力關係圖

## 陸、結論

不同種類的飽和糖水溶液在額外加水與振盪後，糖水溶液形成的紋路不僅比甘油（丙三醇）清晰，也非常容易構造出六角形、五角形等多邊形。仔細比較三種不同飽和糖水溶液發現，所形成的多邊形結構紋路面積大小依序是蔗糖 > 果糖 > 葡萄糖，其中以果糖飽和水溶液產生的多邊形數量最多，此結果清楚顯示不同糖所形成的結構紋路具有特徵性。回歸阿根廷蜂蜜形成的結構紋路，對比上述三種不同飽和糖水溶液而言，阿根廷蜂蜜的紋路特徵與果糖較相近，此結果與該蜂蜜之主要成分（果糖）相符，換句話說，本研究觀察到的糖類分子結構紋路特徵將能作為資料庫，未來可藉此簡易又快速地檢測不同蜂蜜（甚至是不同糖水）中的主要糖分為何。

另外，實驗結果發現，多邊形結構紋路的清晰程度與數量多寡，與飽和糖水溶液在玻璃上的接觸角有關，接觸角較大的液體（如葡萄糖飽和水溶液）表示液體中的分子間吸引力較高（即表面張力較高），施力振盪所形成的多邊形結構數量較有限，結構紋路的範圍也較小，此現象意謂著液體的表面張力確實會影響到結構紋路的形成；在實驗過程中也發現葡萄糖飽和水溶液則需要較長的振盪時間才有結構紋路的產生，由這些結果統整推論蜂蜜及糖水溶液結構紋路的形成是由於糖類分子受到表面張力與額外施力（振盪），由高濃度往低濃度不均勻擴散的結果，而多邊形結構紋路的大小與結構紋路涵蓋範圍則是受到溶解度的影響。

維持時間與兩因素有關：分子擴散的速度與分子的數目，擴散速度快的話，維持時間就短（如甘油）；溶解度較高相當於分子數目多，如此一來，也就有機會維持較長的時間（如果糖）。未來將有機會透過相同的實驗方式進一步了解不同物質在不同溶液中的擴散行為，以逐步剖析複雜的分子間作用力。總結蜂蜜結構紋路之探討成因分析，如下圖：





## 柒、研究心得

在這一次的科展研究中，我們得到了許多珍貴的學習經驗。

首先，我們發現蜂蜜加水搖晃後會產生結構紋路，這是沒有人探索過的主題，這讓我們非常興奮，但也意味著一切都要靠我們自己做實驗來找出脈絡。整個研究過程是相當辛苦的，找尋材料、設計實驗、歸納實驗結果、推論及解釋。實驗過程常遇到瓶頸，找不出突破點，挫折感也隨之而來。但我們秉持著不放棄的精神，越挫越勇，歷經二年的努力，我們終於揭開蜂蜜結構紋路的神祕面紗，釐清影響蜂蜜結構紋路形成及維持時間的諸多變因。這樣的發現過程，給我們很大的成就感，也明白科學的真諦，發現問題、解決問題、探尋真相！

當市面上找不到合適的工具時，該怎麼辦？答案就是動手做！剛開始找尋實驗用的器具時，發現有一些現成的器具不好用，於是我們就動手做了振動台和顯微鏡。雖然剛開始所設計出來的產品不是那麼的合用，但經過我們一再改良就變成非常適用。像我們自製的顯微鏡，原先放大的倍率太大，經過減少透鏡數量後才能適用。這過程告訴我，任何的成功都不是一蹴可幾的，要有耐心多方的嘗試，才能找出最佳的解決辦法。

做為一個消費者，大家最想要知道的是「要如何分辨真蜜與假蜜」，當初我們試想著能否以結構紋路來分辨真、假蜜，然而本研究發現糖類也會產生結構紋路，因此不能以結構紋路來分辨真、假蜜，這樣的研究結果讓我們有些失望。因此我們建議未來的研究是否能以溶劑做檢測，可以找出真蜜與假蜜之間的差異，進而發展出「檢測試劑」，讓消費者的生活品質更有保障。

## 捌、參考資料

- 一、 蜂蜜成分：每日頭條（民 105 年 12 月 1 日）。蜂蜜主要成分有哪些？【新聞群組】。取自 <https://kknews.cc/health/18rr522.html>
- 二、 果糖：維基百科（民 108 年 11 月 4 日）。果糖【自由的百科全書】。取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%9E%9C%E7%B3%96>
- 三、 葡萄糖：維基百科（民 97 年 6 月 15 日）。葡萄糖【自由的百科全書】。取自 <https://www.wikiwand.com/zh-tw/%E8%91%A1%E8%90%84%E7%B3%96>
- 四、 糖度：百度百科（民 107 年 9 月 9 日）。糖度【自由的百科全書】。取自 <https://baike.baidu.com/item/%E7%B3%96%E5%BA%A6>
- 五、 甜度：謝明哲·劉珍芳·郭鈺安·施純光 食物學原理與實驗，91 年 9 月版，頁 63，台北醫學大學保健營養學系。
- 六、 糖度計：百度文庫（民 100 年 3 月 31 日）。糖度計的原理及使用方法【自由的百科全書】。取自 <https://wenku.baidu.com/view/a96461fc910ef12d2af9e7ed.html>
- 七、 黏度：維基百科（民 107 年 6 月 15 日）。黏度【自由的百科全書】。取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%BB%8F%E5%BA%A6>
- 八、 接觸角：維基百科（民 108 年 2 月 19 日）。接觸角【自由的百科全書】。取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%8E%A5%E8%A7%B8%E8%A7%92>
- 九、 表面張力：維基百科（民 106 年 2 月 4 日）。表面張力【自由的百科全書】。取自 [www.wikiwand.com/zh-tw/表面張力](http://www.wikiwand.com/zh-tw/表面張力)
- 十、 microPeek：Google Play（民 106 年 11 月 24 日）。取自 [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.scrona.micropeek&hl=zh\\_TW](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.scrona.micropeek&hl=zh_TW)
- 十一、 果糖結晶效能的研究：中文科技在線（民 109 年 11 月 9 日）  
<http://www.paper.edu.cn/scholar/showpdf/MUj2gN1INTT0MxeQh>
- 十二、 WebPlotDigitizer：免費軟體。取自：<https://automeris.io/WebPlotDigitizer/>
- 十三、 The properties of sugars。取自 <http://www.roadtopastry.com/blog/pastry-science/the-properties-of-sugars-part-1>

## 【評語】 080205

本研究探討蜂蜜結構的紋路，主題明確有趣，且自製簡易量測用的顯微鏡，值得嘉許，但此自製量測儀器應先經過驗證確定其可用性。蜂蜜為混合物，其物理性質與結構產生之關聯性非常複雜，要作成明確的結論相當困難，本作品探討表面張力對蜂蜜所產生之特定構型的影響是一個切入點，但是否是唯一重要的變因需要更多研究佐證，如溶劑的因素、蜂蜜的成分與在溶液中是否有特定依數性質(colligative properties)等等，都值得深入探討。

# 壹、研究動機

我們將蜂蜜加水搖晃後，發現蜂蜜竟然呈現出六角形的蜂巢結構紋路，讓我們大感驚訝！也很好奇不同來源的蜂蜜是否會有不同？使用不同溶劑會不會有差異？因此我們想運用一些科學的實驗方法，藉此了解蜂蜜的基礎科學原理，更進一步找出應用的價值。

# 貳、研究目的

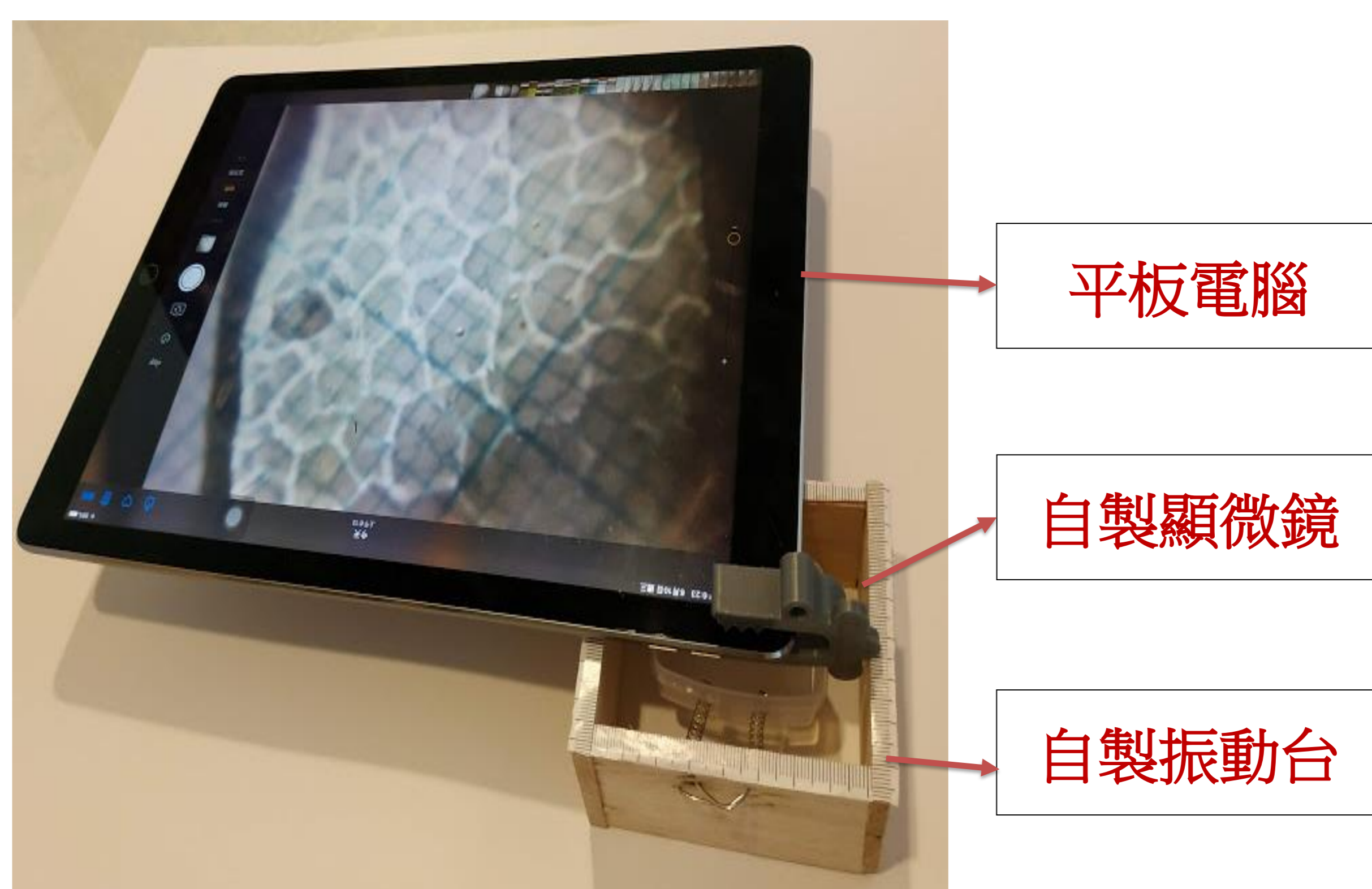
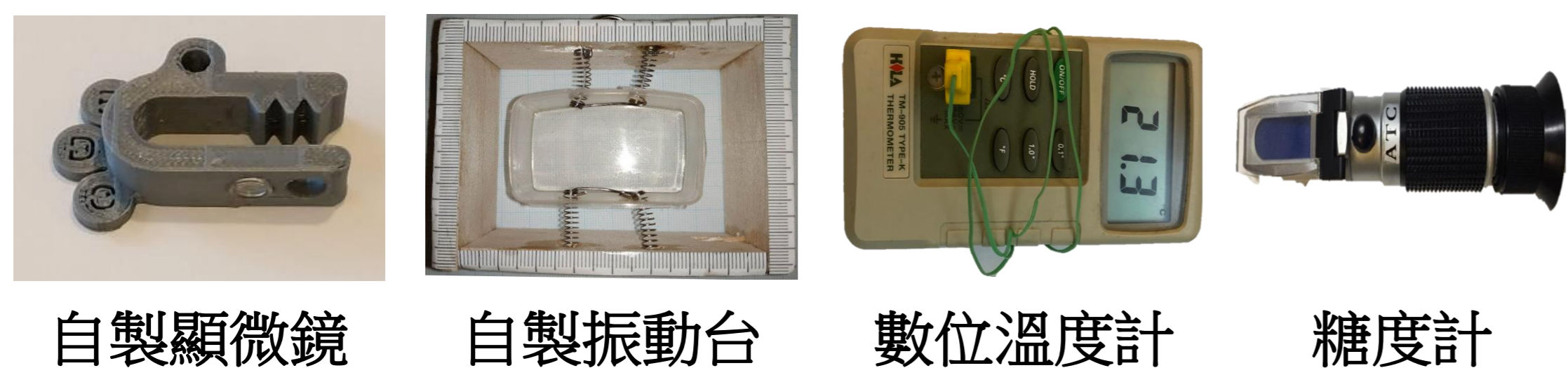
## 探究結構紋路的成因

- 一、比較不同來源之蜂蜜及糖漿的結構紋路；
- 二、測量不同水溫與結構紋路的關係；
- 三、測量各式樣品之黏度與結構紋路的關係；
- 四、測量不同溶劑與結構紋路大小的關係；
- 五、測量不同濃度酒精與結構紋路維持間的關係；
- 六、測量測量不同溶劑之接觸角與結構紋路的關係；
- 七、測量溶劑表面張力與結構紋路的關係。

# 參、研究設備及器材

## 實驗裝置及設備

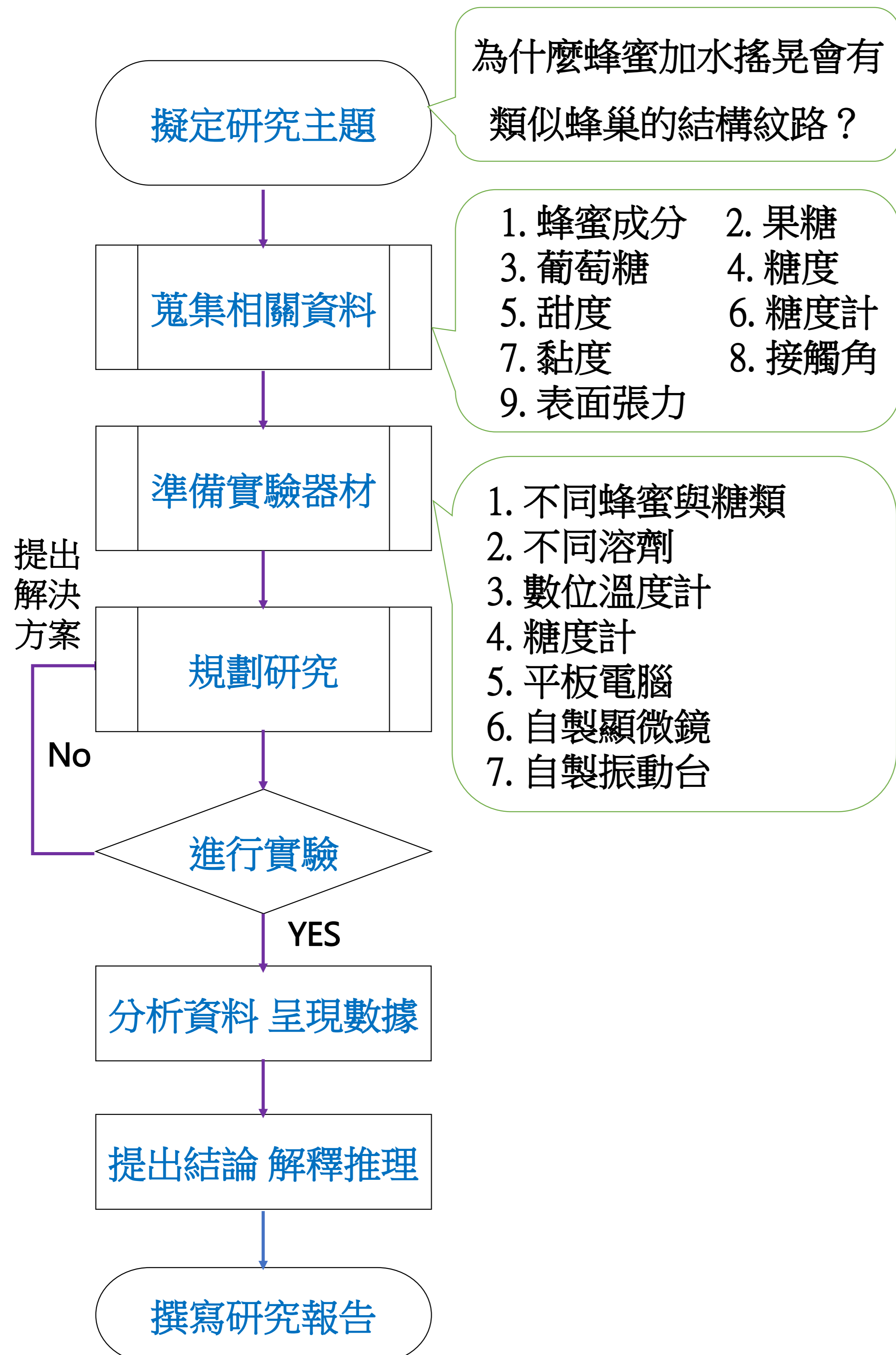
- 一、平板電腦：用於測量與記錄結構紋路。
- 二、自製顯微鏡：用於拍照或錄影記錄結構紋路。
- 三、自製振動台：實驗中搖晃溶液。
- 四、數位溫度計：準確即時量測溶液溫度。
- 五、手持式糖度計：測量蜂蜜與糖漿的糖度、波美度及含水量。



圖一：實驗裝置組合實體照片

# 肆、研究方法

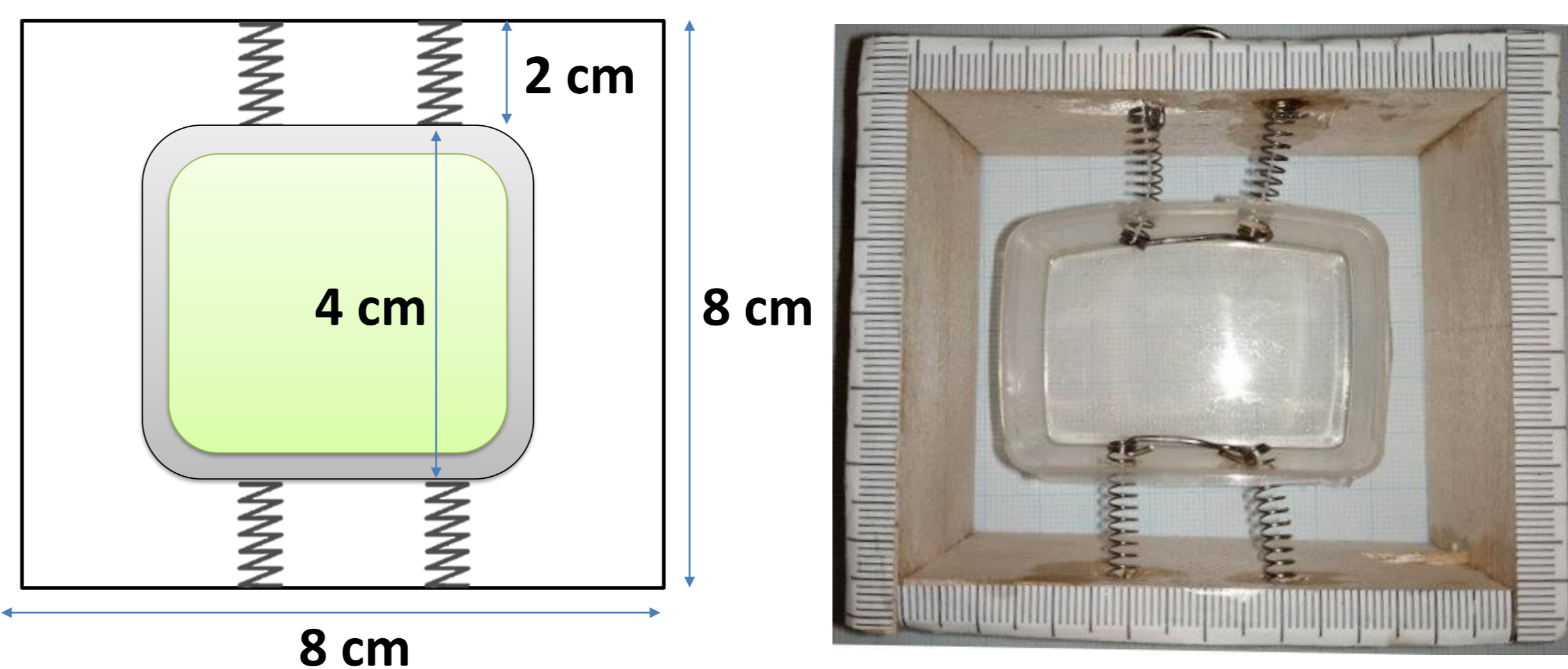
## 實驗流程



圖二：研究流程圖

## 實驗步驟與方法

### 一、振動裝置：自製振動台



圖三：自製實驗振動台設計及真實照片圖

### 二、測量工具：

利用自製顯微鏡搭配平板相機作為實驗的測量工具。拍照功能搭配確定大小，「microPeek」APP做測量。



圖四：microPeek顯示之比例尺與游標 圖五：1 mm<sup>2</sup>方格紙用來尺的比對式校正，150 μm → 1 mm。量測結構紋路的面積大小

### 三、實驗步驟



圖六：實驗步驟流程圖

# 伍、研究過程與結果

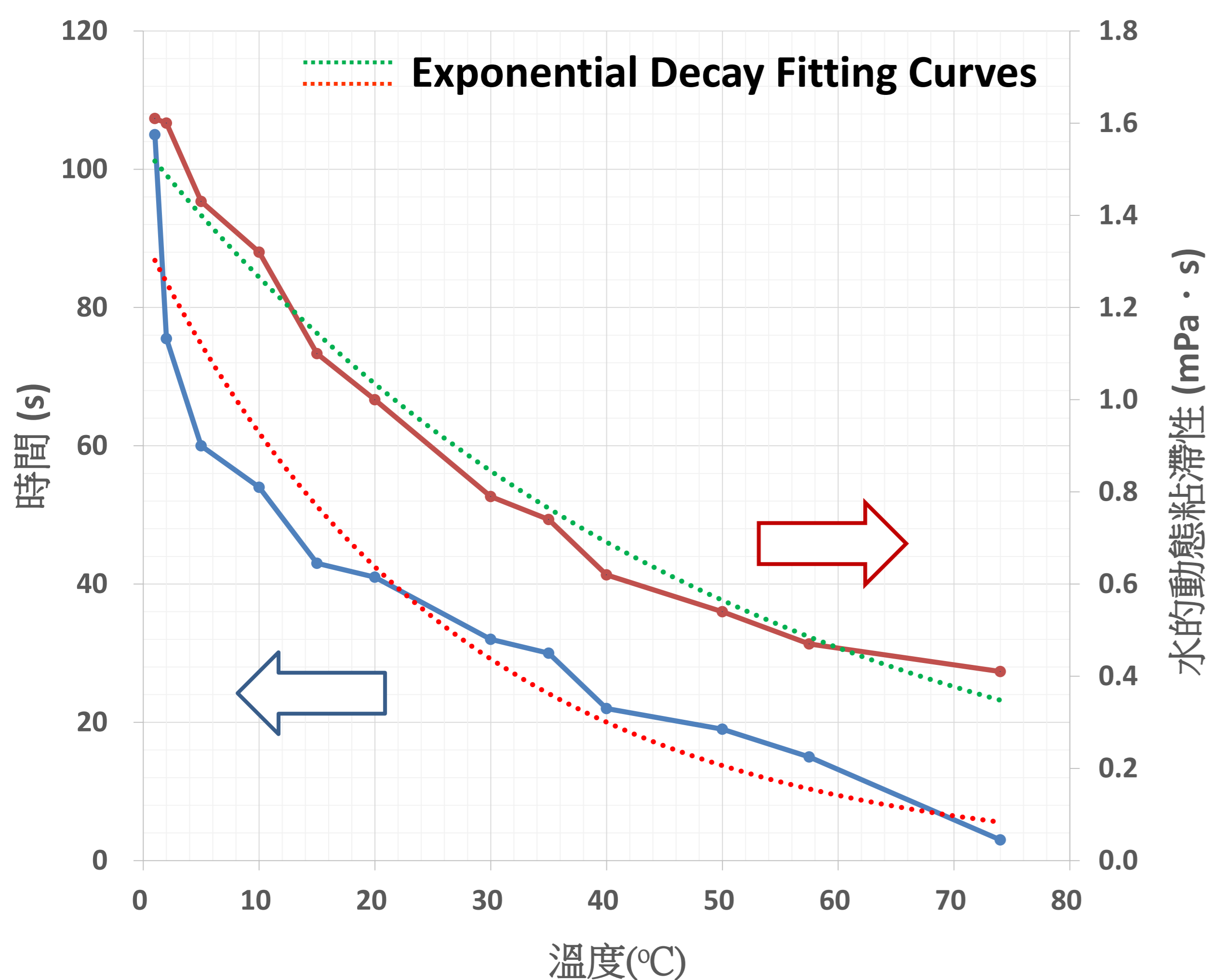
## 實驗一：比較不同來源之蜂蜜及糖漿的結構紋路

在室溫（20 °C）下，分別將不同蜂蜜或糖漿（體積均為3 mL）加入等量且同溫的水中，利用相機拍攝搖晃溶液，觀察是否產生結構紋路，以初步比較不同來源之蜂蜜及糖漿的差異。

種類	糖度計測量結果	結構紋路照片	結構紋路測量結果
阿根廷蜂蜜	◎糖度：79 % Brix ◎波美度：42°Be' ◎含水量：19 %		◎最長直徑：2.8 mm ◎面積大小約：4-7 mm <sup>2</sup> ◎維持時間：40 s
台東龍眼花蜜	◎糖度：77 % Brix ◎波美度：41°Be' ◎含水量：21.2 %		◎最長直徑：1.2 mm ◎面積大小約：2-3 mm <sup>2</sup> ◎維持時間：39 s
野生山蜂蜜	◎糖度：76 % Brix ◎波美度：40°Be' ◎含水量：22 %		◎最長直徑：5 mm ◎面積大小約：4-7 mm <sup>2</sup> ◎維持時間：17 s
鬆餅糖漿	◎糖度：74.2 % Brix ◎波美度：39.5°Be' ◎含水量：24 %		◎最長直徑：5 mm ◎面積大小約：5-13 mm <sup>2</sup> ◎維持時間：25 s
蔗糖糖漿	◎糖度：81 % Brix ◎波美度：43°Be' ◎含水量：17.5 %		◎最長直徑：1.5 mm ◎面積大小約：1-2 mm <sup>2</sup> ◎維持時間：44 s
葡萄糖	◎糖度：80.5 % Brix ◎波美度：39°Be' ◎含水量：17.8 %		◎最長直徑：1 mm ◎面積大小約：1-2 mm <sup>2</sup> ◎維持時間：37 s
果糖	◎糖度：83 % Brix ◎波美度：>43°Be' ◎含水量：15.5 %		◎最長直徑：2 mm ◎面積大小約：2-3 mm <sup>2</sup> ◎維持時間：89 s
葡萄糖 + 果糖	◎糖度：82.5 % Brix ◎波美度：>43°Be' ◎含水量：16 %		◎最長直徑：4 mm ◎面積大小約：4-10 mm <sup>2</sup> ◎維持時間：47 s
甘油	◎糖度：71.5 % Brix ◎波美度：38.5°Be' ◎含水量：26.5 %		◎最長直徑、面積大小：無法量測 ◎維持時間：15 s

## 實驗二：測量不同水溫與蜂蜜結構紋路的關係

在室溫（20 °C）下，將3 mL阿根廷蜂蜜加入不同溫度（1 °C ~ 75 °C）的水，並利用搭載自製顯微鏡頭的平板電腦，錄影觀察搖晃溶液後結構紋路從成形至消失的過程，以了解不同水溫是否會影響蜂蜜結構紋路維持的時間。

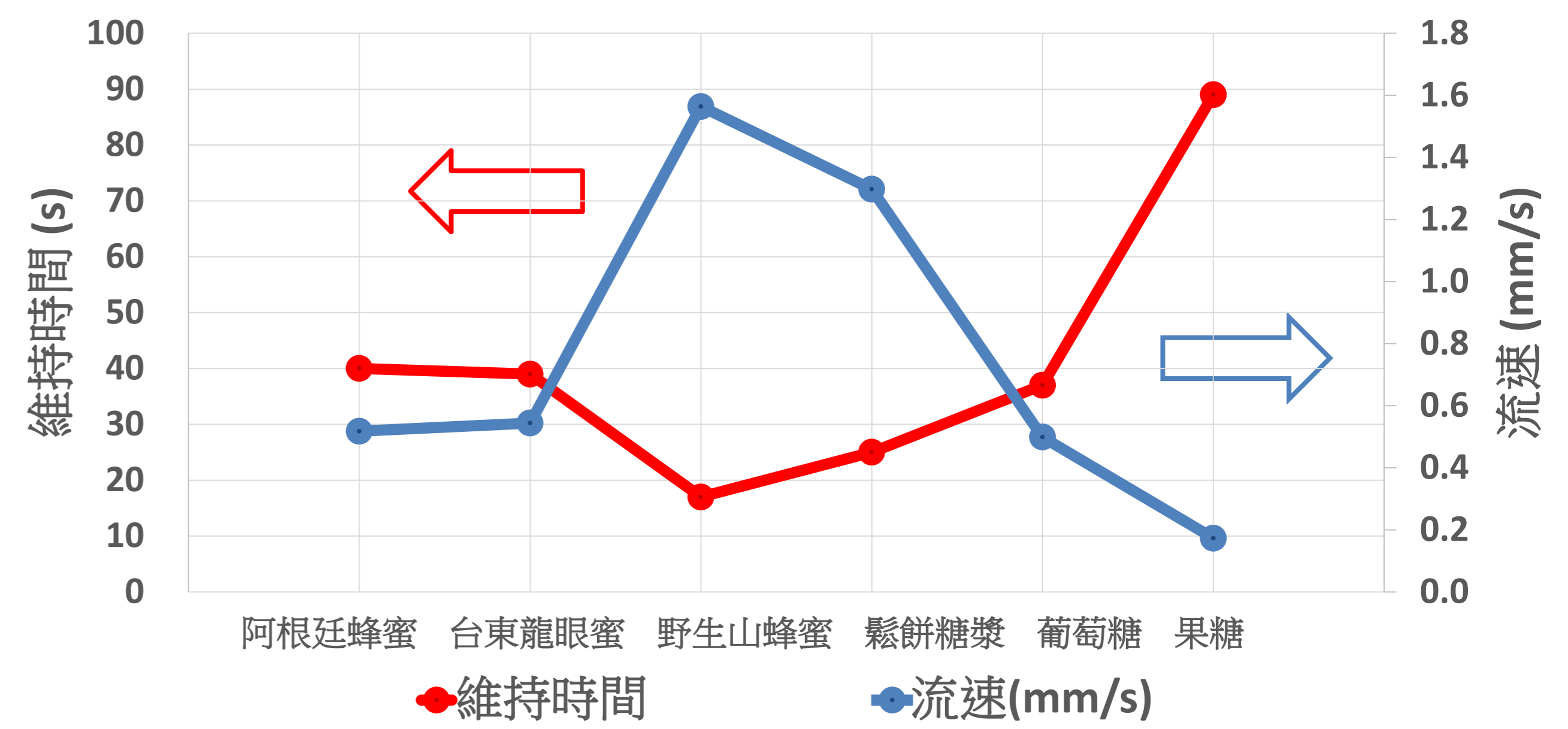


圖七：不同水溫對阿根廷蜂蜜結構紋路維持時間關係圖

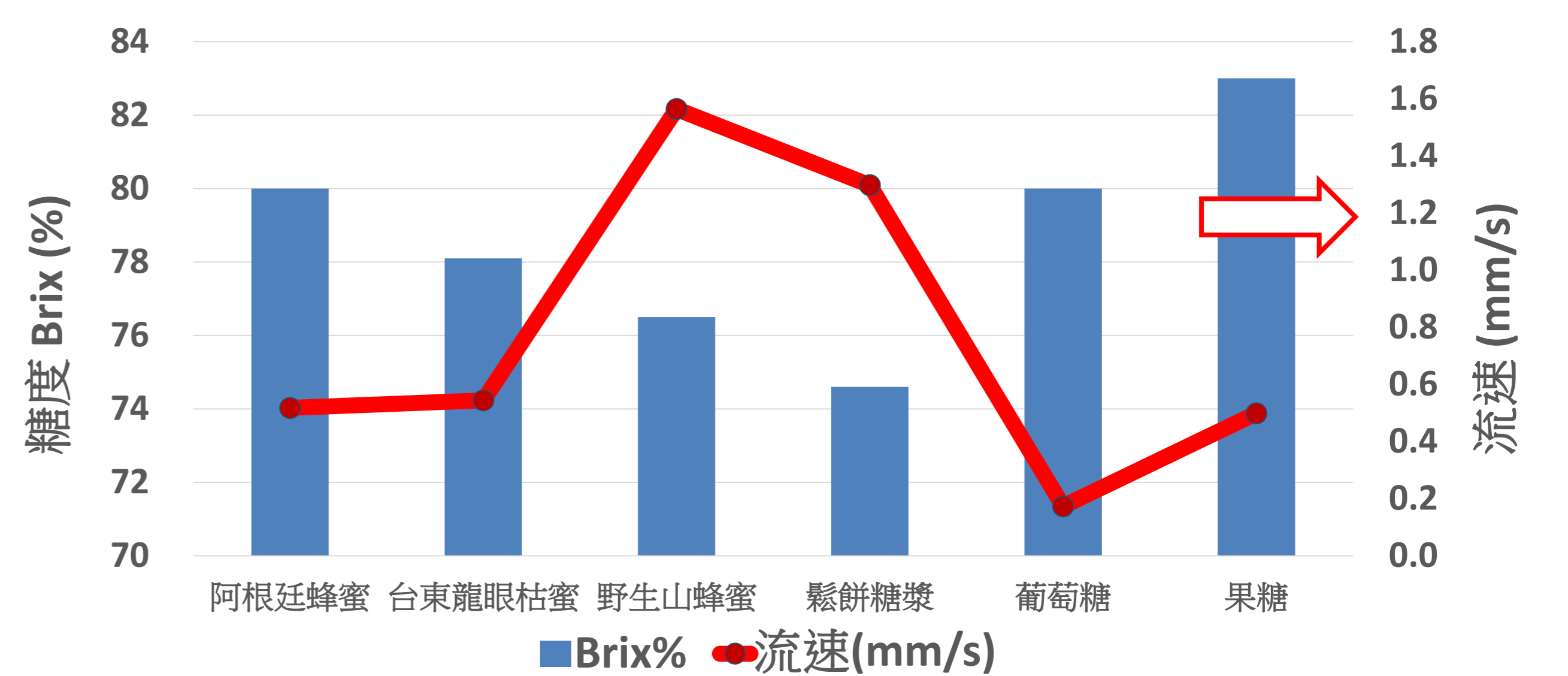
註：Dynamic Viscosity of Water is the experimental data taken from Dortmund Data Bank of Wikipedia (自行繪圖比較)。

## 實驗三：測量各式樣品之黏度與結構紋路的關係

在室溫（20 °C）下，用滴管吸取可以形成結構紋路的蜂蜜與糖漿（1 mL），隨後滴在斜度67°的玻璃上，以錶記錄其流動150 mm所需時間，流速是以等量的實驗樣品在相同距離與傾斜角記錄時間換算出流速，藉此評估黏度差異是否與結構紋路的大小和維持時間有關。



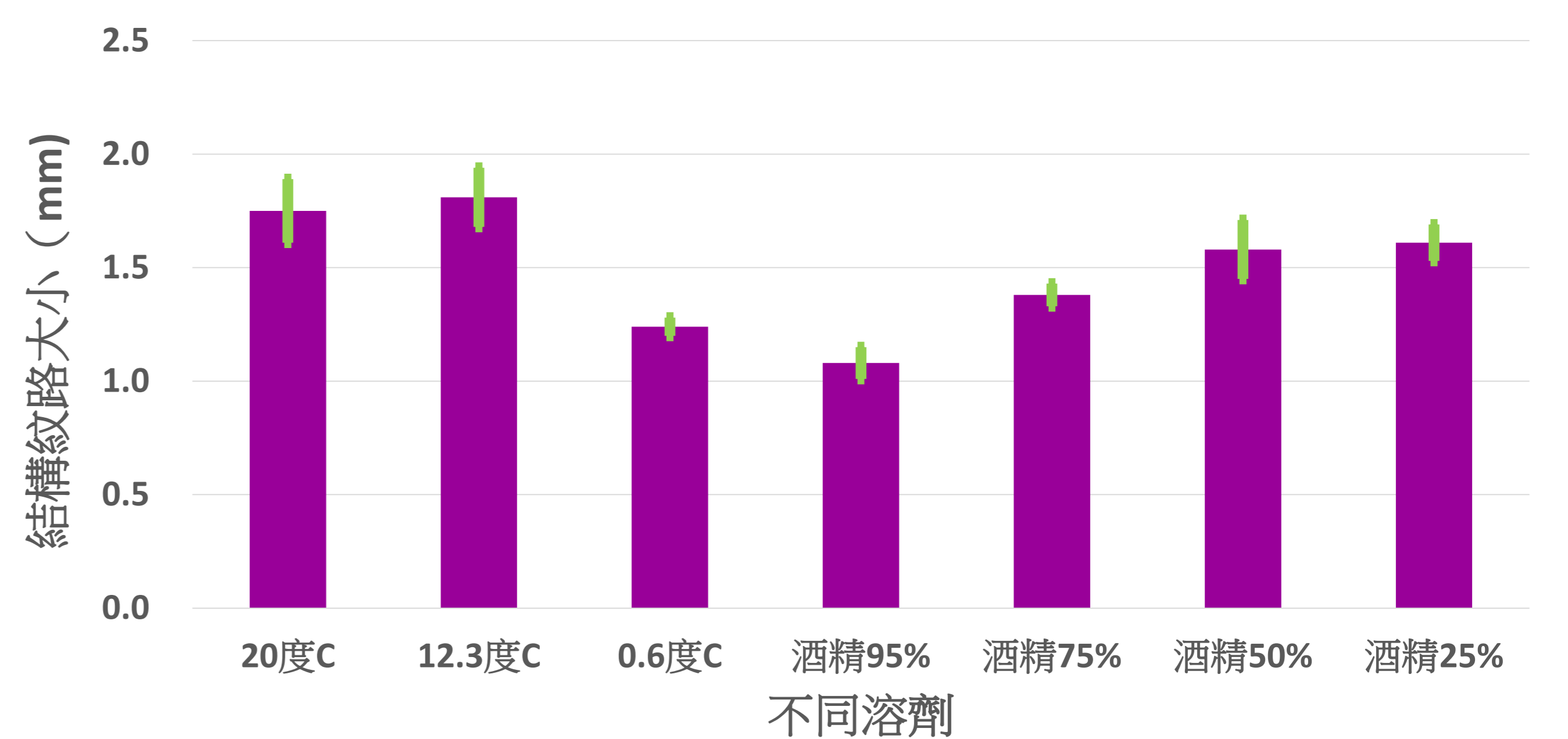
圖八：不同實驗樣品於斜度67°玻璃上的流速與結構紋路維持時間關係



圖九：不同實驗樣品的糖度與流速的關係

## 實驗四：測量不同溶劑與蜂蜜結構紋路大小的關係

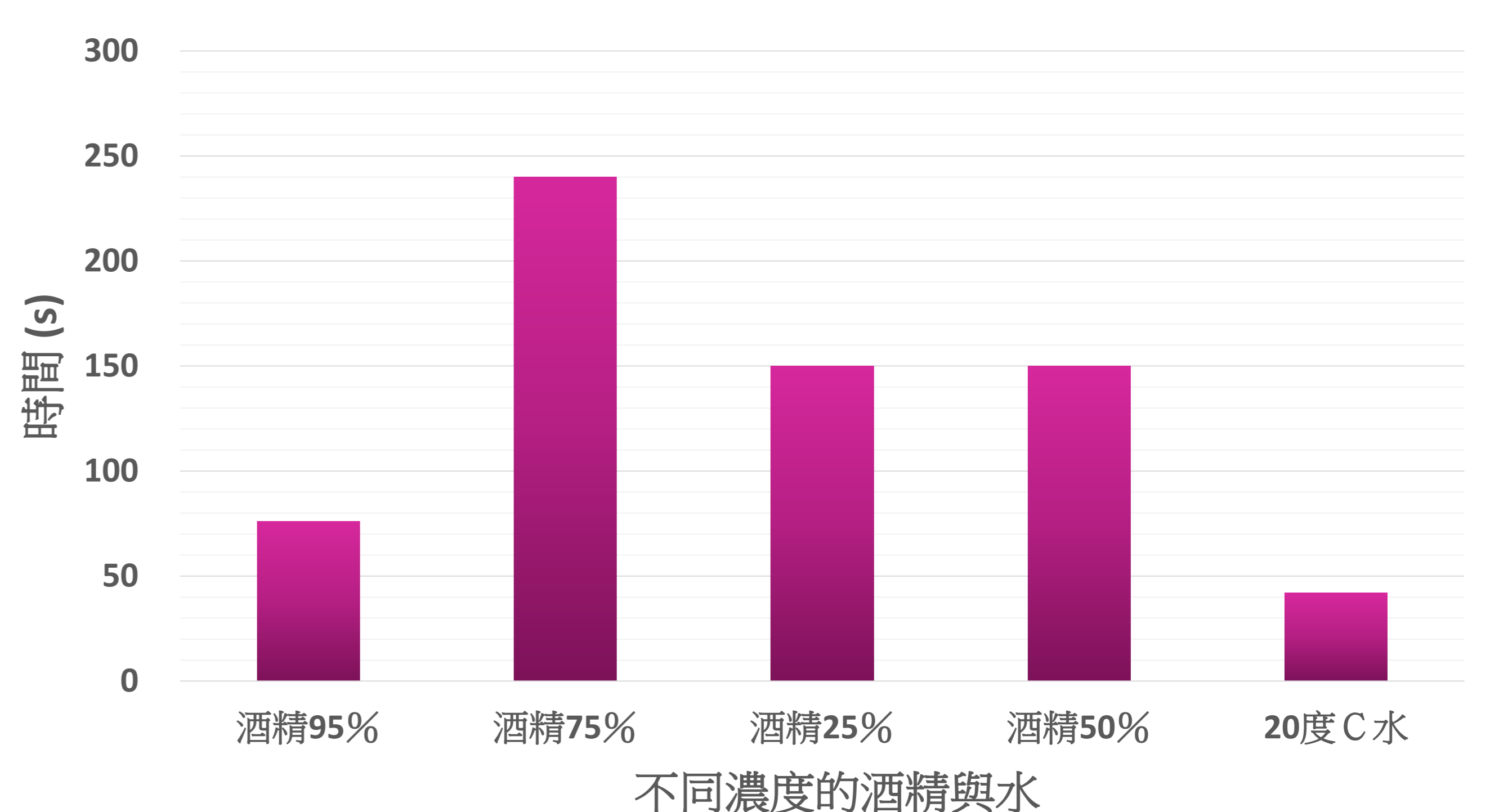
在室溫（20 °C）下，分別將3 mL阿根廷蜂蜜加入等量之不同溶劑（不同溫度的水、不同體積濃度的酒精），並同樣使用搭載自製顯微鏡頭的平板電腦與APP，拍照量測搖晃溶液後形成的結構紋路，並比較測得之蜂蜜結構紋路的大小（最長直徑）。



圖十：不同溶劑與蜂蜜結構紋路大小的關係圖

## 實驗五：不同濃度酒精與蜂蜜結構紋路維持時間的關係

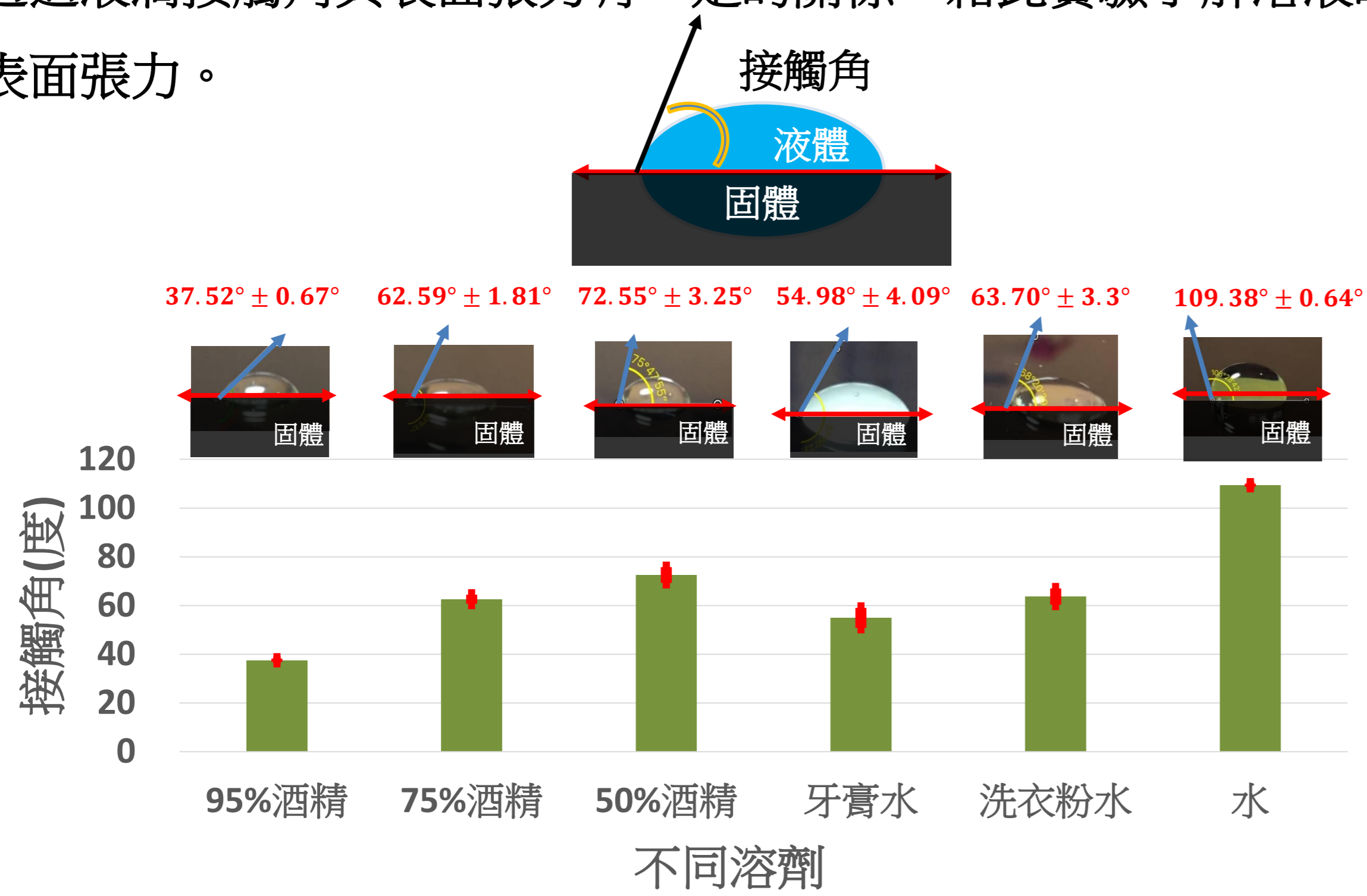
在室溫（20 °C）下，將3 mL阿根廷蜂蜜加入等量但不同體積濃度(95 %、75 %、50 %與25 %)的酒精中，並利用搭載自製顯微鏡頭的平板電腦，錄影觀察搖晃溶液後，結構紋路從成形至消失的過程，並與20 °C的水進行比較，以了解不同濃度的酒精是否會影響蜂蜜結構紋路維持的時間。



圖十一：不同濃度的酒精與水中結構紋路維持時間比較圖

## 實驗六：測量不同溶劑之接觸角

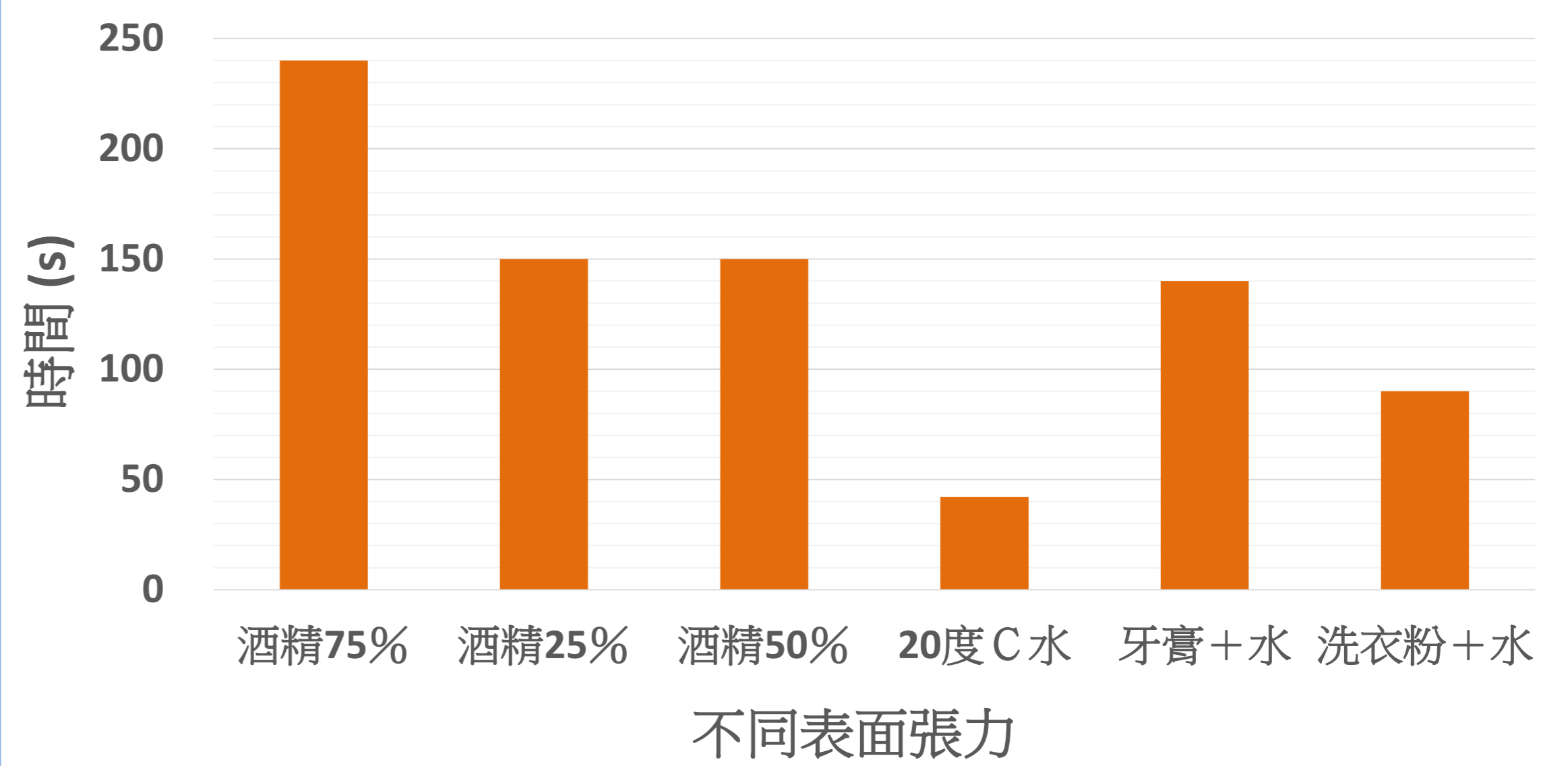
在室溫（20 °C）下，用滴管吸取定量1 mL的不同溶劑，滴在玻璃上（iPAD表面）用相機拍攝，再利用Angle Meter APP測量接觸角。透過液滴接觸角與表面張力有一定的關係，藉此實驗了解溶液的表面張力。



圖十二：不同溶劑之接觸角測量值

## 實驗七：溶劑表面張力與蜂蜜結構紋路的關係

先於水中加入界面活性劑（牙膏或洗衣粉），以降低其表面張力，隨後以滴管取出3 mL的溶液，並同樣在20 °C下加入等量的阿根廷蜂蜜，以及使用搭載自製顯微鏡頭的平板電腦，錄影記錄搖晃溶液後結構紋路從成形至消失的過程，以了解不同表面張力的溶液是否會影響蜂蜜結構紋路維持的時間。

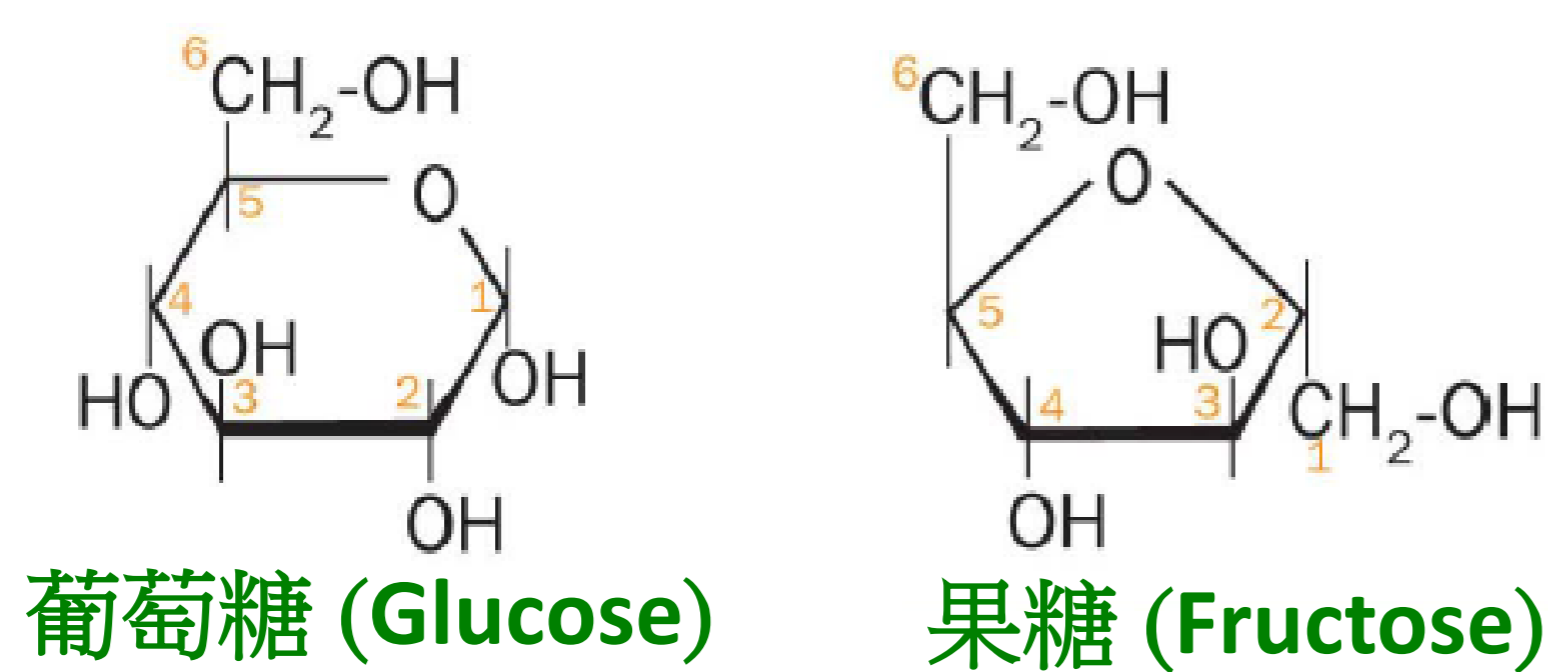


圖十三：蜂蜜結構紋路維持時間與表面張力關係圖

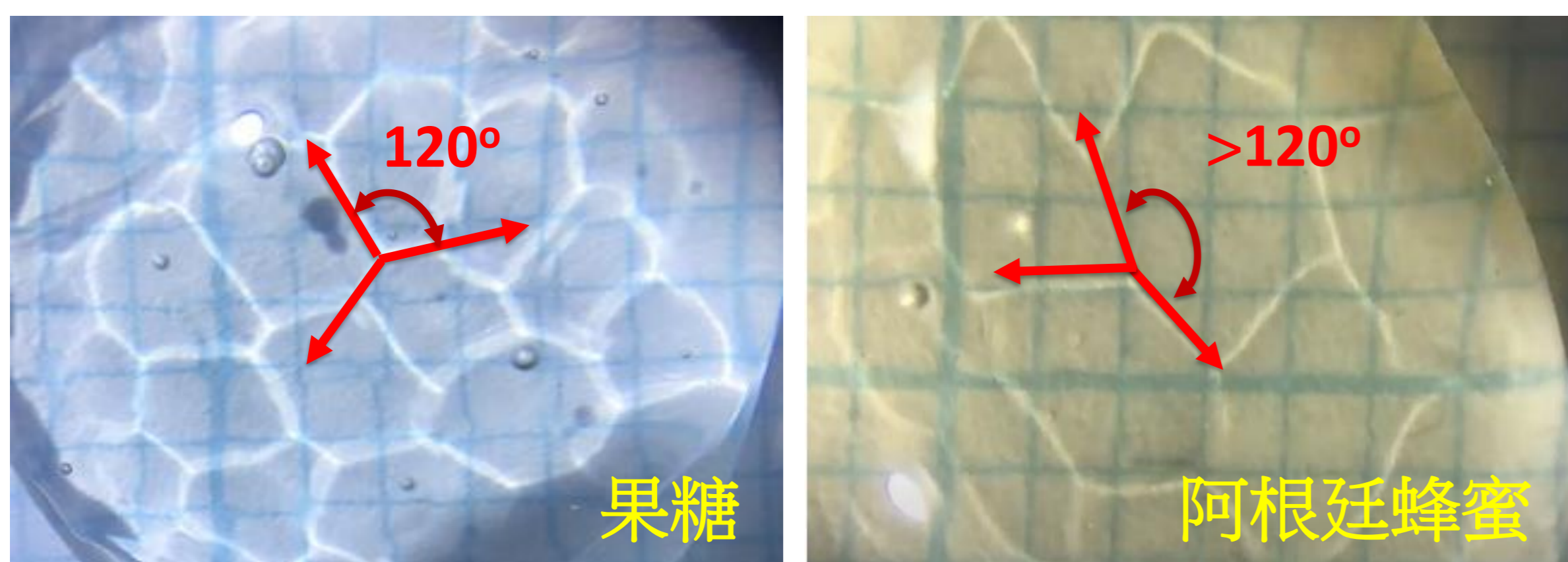
# 陸、研究結論

## 一、不同來源之蜂蜜及糖漿的結構紋路探討：

(一) 單糖的分子式均為  $C_6H_{12}O_6$ ，各單糖的差異在於分子立體結構的不同，因此「分子擴散的速度」和「溶解度」不同，所呈現的結構紋路也不同。



(二) 單一成分的飽和糖水（葡萄糖及果糖），所形成的結構紋路形狀較一致，呈現五邊形和六邊形，兩邊夾角都接近120度，此現象與力的分散平衡有關。而成分複雜的蜂蜜及鬆餅糖漿所形成的結構紋路則呈現不規則形狀。



圖十四：果糖與阿根廷蜂蜜結構紋路兩邊夾角測量圖

## 二、蜂蜜結構紋路之探究

### (一) 影響結構紋路大小的原因：

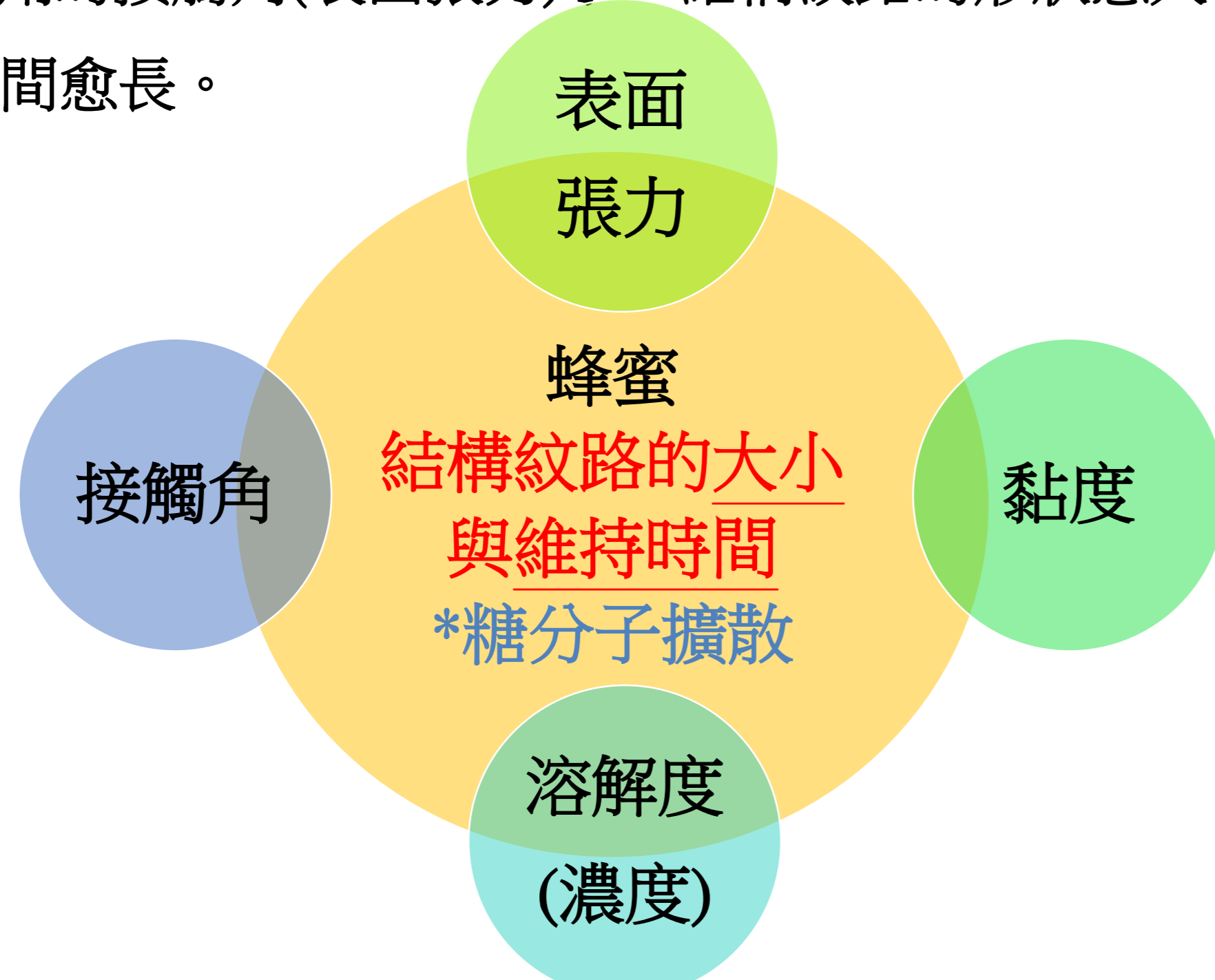
結構紋路的清晰程度與數量多寡，與溶劑在玻璃上的接觸角有關，接觸角較大的液體表示液體中的分子間吸引力較高（即表面張力較高），施力振盪所形成的結構紋路數量較有限，結構紋路的範圍也較小，此現象意謂著溶劑的表面張力確實會影響到結構紋路的形成；在實驗過程中也發現葡萄糖飽和水溶液需要較長的振盪時間才能形成結構紋路。由這些結果統整推論，蜂蜜及糖水溶液結構紋路的形成是由於糖類分子受到表面張力與額外施力（振盪），由高濃度往低濃度不均勻擴散的結果，而結構紋路的大小與涵蓋範圍則是受到「溶解度」的影響。

### (二) 影響結構紋路維持時間的原因：

維持時間與兩因素有關：「分子擴散速度」與「分子溶解度」，擴散速度快的話，維持時間就短（e.g. 甘油）；溶解度(濃度)較高，相當於分子數目多，如此一來，也就有機會維持較長的時間(e.g. 果糖)。未來將有機會透過相同的實驗，進一步了解不同分子在不同溶劑中的擴散行為，以逐步剖析複雜的分子間作用力。

## 總結：蜂蜜結構紋路之探討成因分析

- 一、越難溶解(高濃度)之蜂蜜，形成結構紋路所需時間較長。
- 二、蜂蜜及糖類的黏度高，結構紋路維持時間愈長。
- 三、溶劑的接觸角(表面張力)小，結構紋路的形狀愈大、維持時間愈長。



## 本研究的三點創新：

1.新發現：不同種類的飽和糖水在額外加水與振盪後，所形成的結構紋路，會呈現出六角形、五角形等多邊形。

2.新科技：為了清楚拍攝實驗，利用3D列表機，搭配雷射筆的透鏡，組合出自製顯微鏡。並搭配iPAD錄影與APP測量工具進行實驗。

3.新應用：結構紋路的形成，為糖分子在不同溶劑中的運動行為。實驗結果可用於開展新的「分子動力學」研究。

# 柒、參考資料

- 1.蜂蜜成分：【自由的百科全書】。取自：<https://en.wikipedia.org/wiki/Honey>
- 2.葡萄糖與果糖溶解度：【自由的百科全書】。取自：<https://www.semanticscholar.org/paper/19.1-Sugars%2C-Sugar-Alcohols-and-Sugar-Products/5cb7635e83bc5010ce6c6793e70fc5c127668e11>
- 3.糖度：百度百科（民107年9月9日）。糖度【自由的百科全書】。取自：<https://baike.baidu.com/item/%E7%B3%96%E5%BA%A6>
- 4.黏度：維基百科（民107年6月15日）。黏度【自由的百科全書】。取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%BB%8F%E5%BA%A6>
- 5.表面張力：維基百科（民106年2月4日）。表面張力【自由的百科全書】。取自：[www.wikiwand.com/zh-tw/表面張力](http://www.wikiwand.com/zh-tw/表面張力)
- 6.microPeek：Google Play（民106年11月24日）。取自：[https://play.google.com/store/apps/details?id=com.srona.micropeek&hl=zh\\_TW](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.srona.micropeek&hl=zh_TW)