

# 中華民國第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

080109

流沙箋的表面張力因子探討

學校名稱：財團法人東海大學附屬高級中等學校小學  
部

作者：  小四 吳愷愷  小四 白語霏  小四 許舒喻  小四 何楷傑  小四 何楷翔  小四 杜品萱	指導老師：  初永韻
---	------------------

關鍵詞：浮水畫、表面張力、顏料擴展

## 摘要

流沙箋為調製顏料灑在水或黏稠性介質表面，經由各種工具及技法製作各種紋樣，再將紙覆於其上轉印而成。製作流沙箋以水作為載體所得的紋樣自由流動，不易固定，近代發展常以海藻酸鈉為載體。

毛細管檢測表面張力海藻酸鈉及羧甲基纖維素皆為 11.1mm，甲基纖維素 11.6mm 這三種膠體表面張力較為相似，載體除可用純水配置 0.45%海藻酸鈉外，也可嘗試其他。水膠液液滴直徑觀察中海藻酸鈉液滴直徑最小 4.03mm(倒數為 0.25)，水則為 4.67mm(倒數 0.21)，海藻酸鈉倒數最大表面張力最小，有較穩定的顏料擴展；顏料液滴直徑以黃色表面張力最小，紅色及藍色則沒有差異。

流沙箋製作過程中影響因子太多，溫度較低的環境或溶液較能保持製圖時的液體表面擴展，未來也可再探討不同顏料與載體互動差異。

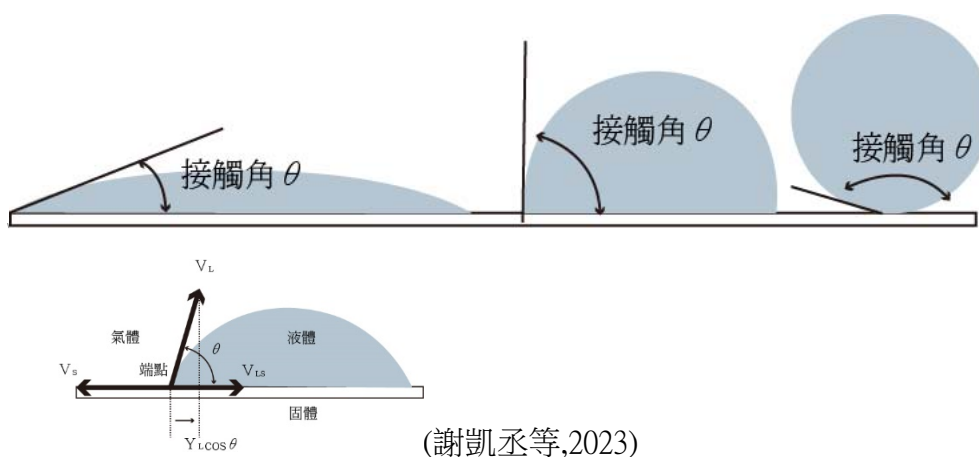
## 壹、前言

流沙箋也稱斑石紋紙，為歷史上著名的加工紙。經過特別調製之顏料灑布於水或黏稠性介質表面，再藉由各種工具及技法，製作出各種紋樣，再將紙張輕覆於其上轉印而成，色彩圖案多樣繽紛(黃祺惠,2017)。在造紙術由中國經高麗傳入日本後，日本也同樣學習了此項紙加工技術，並加以發揚光大，稱之為墨流(suminagashi)。另一種被稱為「Ebru」之斑石紋紙，在十五世紀時波斯及土耳其已有之，所為不同者，波斯人使用黏稠的液體取代水做為介質，如此一來，製作者易於控制色彩之流動且便於創作各種型樣，這也是西方斑石紋紙製作者所習知之方式(謝靜敏,2013;王國財與林柏亨,2018)，當時所製作的流沙箋在工藝上的用途多應用在書籍封面、精裝內頁裝飾或高級壁紙上的裝飾邊帶用紙，有的書籍還會把書口也染上流沙箋的紋樣，除了可以當作裝飾外，也可以應用流沙箋的圖紋獨特性，避免被抽換或變造，因此具有防止偽造與變更的重要功能，與現代電腦文件上應用「浮水印」的概念相似。

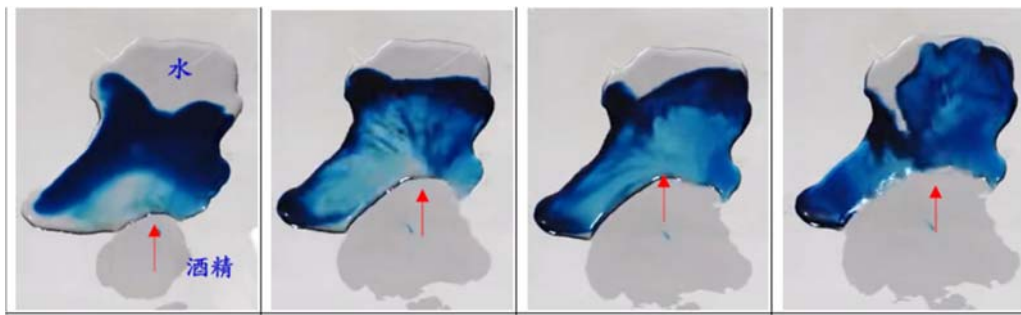
流沙箋的技法非常多樣，應用也非常廣泛，藉由不同的技法來形成風格迥異的懸浮色膜，再敷蓋上紙張或其他被染物，當纖維吸收充分的顏料或染料後，將紙張的一端快速地從液面揭起後，之前在液面上飄浮的圖案紋飾就能完整的保存記錄下來(謝靜敏,2013)。而經前人研究

之結果，其可轉印的材質不僅限於紙，還可為布、為木材，甚至為陶瓷。這項技術除了可用於紙張上外，只要選對適當的顏料，任何物體表面皆可將圖案轉印上去，我們覺得非常好奇轉而利用家中顏料想做出一樣的效果，卻發現顏料無法浮在水面上。顏料密度如果小於液體密度，顏料就會浮在液體上，一般知道浮力是跟液體的表面張力有關，液體具有一種使表面積收縮的力量，這種力量稱做表面張力。表面張力是使液體表面像一張薄板的特性，因此昆蟲可以在水面上行走，也使得小物體，甚至金屬如針、刀片或錫箔碎片，可以漂浮於水面上。不同的液體之間的表面張力也各不相同，就是水分子之間的內聚力，若無內聚力，水分子便不易集中而散開，無法撐起物體的重量。生活中常見的表面張力現象，例如：水滴在荷葉上形成水珠、水龍頭滴下的水滴會呈圓形(林禹綸等,2019)。

表面張力決定了液體與物體之間的接觸角 (contact angle)，接觸角是意指在液體/氣體界面接觸固體表面而形成的夾角。接觸角是由三個不同界面相互作用的一個系統。當液滴滴在固體表面時，會將其弄濕，液體與物體表面弄濕的難易程度（液體附著的難易程度）稱為“濕潤性”，也可以說液體在一種固體表面鋪展的能力或傾向性。



在表面張力的實驗中提到馬拉高尼效應則是指由表面張力梯度引起的流體流動。當具有不同表面張力的兩種流體接觸時，由於具有高表面張力的液體比具有低表面張力的液體對周圍液體的拉力更強，因此表面張力梯度的存在自然會導致液體從低表面張力區域流走。馬拉高尼效應可以發生在液體表面或兩種不相容流體的界面上 (謝凱丞等,2023)。



(謝凱丞等,2023)





我們的實驗會選擇市售常見顏料或染料作為流沙箋中顏料的控制因子，探討流沙箋中的水膠體溶液成分、溫度與顏料間的表面張力關係以及各膠體間表面張力，進而進行的一連串實驗。此實驗與三上單元二的浮力、三下單元二溫度變化對物質影響、單元四廚房裡的科學以及康軒版五上「力與運動」相關為依據。

## 貳、研究設備與器材

一、實驗器材：錄影設備（iphone 手機、翻拍架）、電子秤、量筒、曬衣夾、攪拌棒、加熱器、塑膠水盤、滴管、直尺、奇異筆、溫度計、A4 紙、電腦設備、顯微鏡、微量吸管、

	
錄影設備記錄實驗(作者 1 拍攝)	實驗操作過程等待(作者 2 拍攝)
	
實驗成品晾曬乾燥(作者 1 拍攝)	數據記錄及分析(作者 2 拍攝)

二、實驗材料：純水、海藻酸鈉、顏料、自來水、三仙膠、甲基纖維素、羧甲基纖維素、鹿角菜膠、不同水質(RO 水、井水、竹炭水、自來水、台中台中地下水、悅氏礦泉水、海洋深層水、高雄地下水、麥飯石水、瑞穗溫泉水、磁化石水、礁溪溫泉水、蘇澳冷泉水、鹼性離子水)

			
純水(作者 2 拍攝)	海藻酸鈉(作者 2 拍攝)	顏料(作者 2 拍攝)	市售瓶裝水(作者 2 拍攝)
			
微量吸管與吸頭 (作者 4 拍攝)	顯微鏡 (作者 4 拍攝)	鹿角菜膠 (作者 2 拍攝)	三仙膠 (作者 2 拍攝)
			
羧甲基纖維素 (作者 2 拍攝)	甲基纖維 (作者 2 拍攝)	麥飯石水 (作者 1 拍攝)	磁化石水 (作者 1 拍攝)
			
RO 水 (作者 1 拍攝)	彰化紅毛井水 (作者 5 拍攝)	台中地下水 (作者 5 拍攝)	高雄地下水 (作者 1 拍攝)

## 參、研究過程或方法

### 一、實驗一、流沙箋形成現象觀察

#### (一)實驗步驟：

- 1.使用商品建議的 0.3%海藻酸鈉水溶液進行觀察，以 iphone 手機慢動作 720p/240fps 錄影後經 FreeVideoToJPGConverter\_5.2.3.112\_軟體將影片每幀分離。
- 2.以 pipette 吸取 10ul 顏料滴到顯微鏡下觀察互動變化，並以 DLscope app 軟體 600\*800 規格拍照以手機拍照。
- 3.以 iphone15 拍攝透明容器內流沙箋側視及俯視。

### 二、實驗二、不同溶劑種類水膠液對顏料展開影響

#### (一)實驗變因：

- 1.操縱變因：純水、RO 水、井水、竹炭水、自來水、台中地下水、悅氏礦泉水、海洋深層水、高雄地下水、麥飯石水、瑞穗溫泉水、磁化石水、礁溪溫泉水、蘇澳冷泉水、鹼性離子水
- 2.控制變因：載體溶質種類及濃度比【比例為 3g 海藻酸鈉/1000g 溶液】、顏料

#### (二)實驗步驟：

- 1.分別以 15 種不同水源水質調配重量百分比濃度 0.3%的海藻酸鈉載體溶液。
- 2.將配置載體溶液倒入水盤，並開啟攝影開始記錄過程。
- 3.對準水盤中心將 3 種顏料，依序滴入水盤。
- 4.拿 A4 紙將顏料印起來並晾乾後壓平測量顏料擴展後直徑。
- 5.分別進行 15 種溶劑處理實驗各五重複。
- 6.紀錄並測量 15 種溶劑處理對顏料展開的結果。

### 三、實驗三、海藻酸鈉濃度對顏料展開影響

#### (一)實驗變因：

- 1.操縱變因：載體海藻酸鈉濃度（0%、0.15%、0.30%、0.45%）

2.控制變因：以純水為溶劑、顏料

(二)實驗步驟：

- 1.使用純水配置 0%、0.15%、0.30%、0.45%的海藻酸鈉溶液當作載體溶液。
- 2.將不同濃度海藻酸鈉載體溶液倒入水盤，並開啟攝影開始記錄過程。
- 3.對準水盤中心將 3 種顏料，依序滴入水盤。
- 4.拿 A4 紙將顏料印起來並晾乾後壓平測量顏料擴展後直徑。
- 5.分別進行四種不同濃度載體溶液處理實驗，每實驗各五重複。
- 6.紀錄並測量海藻酸鈉濃度對顏料展開的結果。

#### 四、實驗四、水膠液溫度對顏料展開影響

(一)實驗變因：

- 1.操縱變因：溫度 (0°C、35°C)
- 2.控制變因：相同濃度載體溶液

(二)實驗步驟：

- 1.將裝有 0.3%海藻酸鈉載體溶液的水盤先放入調整不同處理的水浴中十分鐘後開始進行實驗，並開啟攝影開始記錄過程。
- 2.對準水盤中心將 3 種顏料，依序滴入水盤。
- 3.拿 A4 紙將顏料印起來並晾乾後壓平測量顏料擴展後直徑。
- 4.分別進行兩種不同溫度載體溶液處理實驗，每實驗各五重複。
- 5.紀錄並測量載體溶液溫度對顏料展開的結果。

#### 五、實驗五、水膠液膠體種類對顏料展開之影響

(一)實驗變因：

- 1.操縱變因：水膠液（三仙膠、甲基纖維素、羧甲基纖維素、阿拉伯膠、鹿角菜膠與海藻酸鈉對照組）
- 2.控制變因：顏料及載體重量百分濃度(0.3%)



(二)實驗步驟：

- 1.配置不同載體（三仙膠、甲基纖維素、羧甲基纖維素、阿拉伯膠、鹿角菜膠與海藻酸鈉）水溶液。
- 2.將不同溶質膠體溶液倒入塑膠水盤，對準水盤中心將3種顏色顏料分別滴入。
- 3.拿A4紙將顏料印起來並晾乾。
- 4.分別進行6種載體溶質處理實驗，每實驗各五重複。
- 5.測量晾乾A4紙上的顏料寬度，紀錄6種溶質載體（清膠、調和液、稀釋液、牛膽汁與對照組）溶液對顏料展開的結果。

六、實驗六、各種水、水膠液、顏料之表面張力探討

(一)實驗變因：

- 1.操縱變因：膠體種類(三仙膠、甲基纖維素、羧甲基纖維素、鹿角菜膠、海藻酸鈉與純水對照組)、不同顏色顏料
- 2.控制變因：25°C實驗室溫度、10uL液滴、接觸表面、毛細管規格

(二)實驗步驟：

- 1.將直徑1.0~1.2mm管壁 $0.2\pm 0.02$ mm長度75mm毛細管插入20ml純水和不同水膠溶液中，將毛細管與藍色刻度線處對齊，放置到顯微鏡下觀察並以Dlscope app軟體拍照。
- 2.以微量吸管吸取10ul水膠液及顏料滴到載玻片上以數位顯微鏡觀察液滴寬度並以Dlscope app軟體拍照。

七、實驗七、三種顏料擴展速率探討

(一)實驗步驟：

- 1.調配重量百分比濃度0.3%的海藻酸鈉載體溶液。
- 2.將配置載體溶液倒入水盤，並開啟攝影開始記錄過程。以iphone手機慢動作720p/240fps錄影後經FreeVideoToJPGConverter\_5.2.3.112軟體將影片每幀分離。
- 3.紀錄顏料擴展達到不同寬度所需時間並以所需時間倒數表示。

## 肆、研究結果

### 一、實驗一、流沙箋形成現象觀察






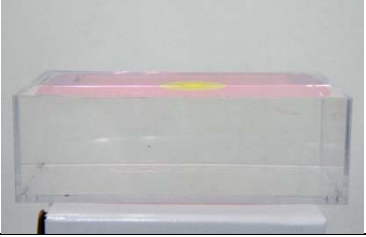
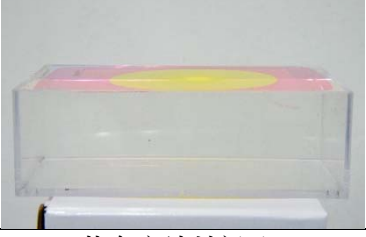

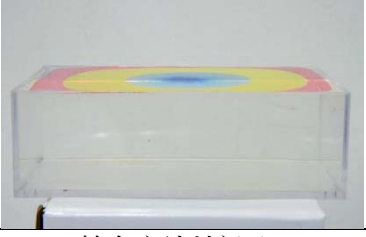


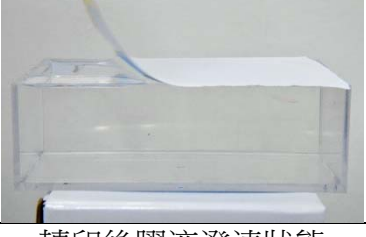
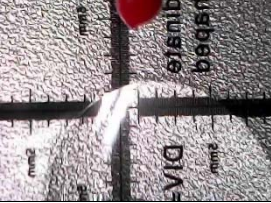

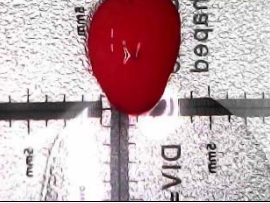
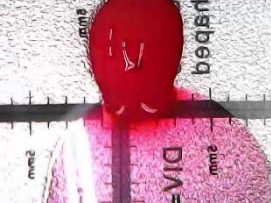


		
盛裝 0.3%海藻酸鈉水膠液	滴入紅色顏料	紅色顏料由中心擴展開
		
紅色顏料停止擴展	滴入黃色顏料	黃色顏料擴展 1
		
黃色顏料擴展 2	滴入藍色顏料	藍色顏料擴展 1
		
藍色顏料擴展 2	以紙張覆蓋轉印	轉印後膠液澄清狀態
		
顯微鏡下滴入顏料	顯微鏡下滴入顏料	顏料與膠液接觸
		
顏料受張力拉開 1	顏料受張力拉開 2	膠液上顏料停止擴展狀態

圖 1、流沙箋形成現象觀察圖(作者 5 拍攝作者 2 繪)

根據市售浮水畫操作流程，調配 0.3%海藻酸鈉水膠液，再將顏料依序滴在水膠液面上進行觀察流沙箋形成現象，可以發現顏料受表面張力影響，會漂浮於水膠液面上不會沉入。進一步使用顯微鏡下觀察，則會看見顏料會被水膠液拉展開來。

## 二、實驗二、不同溶劑種類水膠液對顏料展開影響

分別以自來水、純水、RO 水、磁化石水、竹炭水、鹼性離子水、麥飯石水、海洋深層水、悅氏礦泉水、台中地下水、井水、蘇澳冷泉水、瑞穗溫泉水、礁溪溫泉水、高雄地下水等十五種水源調配濃度重量百分比 0.3%載體溶液進行試驗。

顏料展開分別以高雄地下水第一滴展開 29.1 公分為最大直徑，井水第三滴展開 13.74 公分為最小直徑(表 1)，各水質溶劑間無明顯差異(圖 2)，進一步區分為市售經人工處理水(自來水、純水、RO 水、竹炭水、悅氏礦泉水、海洋深層水、麥飯石水、磁化石水、鹼性離子水)及其他未經人工處理水源(台中地下水、井水、蘇澳冷泉水、瑞穗溫泉水、礁溪溫泉水、高雄地下水) 兩類間亦無顯著差異。但在顏料展開的現象上以井水的圖面較不規則(圖 3)，推測為井水中含有較多干擾物質所致，為使之後實驗無其他因素干擾及考量方便取得之水源，皆以市售純水為溶劑。

表 1.不同溶劑種類水膠液對顏料展開影響 (單位:cm)

水體種類	第 1 滴	第 2 滴	第 3 滴
自來水	27.90	22.94	15.08
純水	28.60	23.64	16.62
RO 水	27.96	22.18	13.88
磁化石水	28.68	25.14	14.98
竹炭水	28.38	23.08	15.30
鹼性離子水	28.58	23.30	17.62
麥飯石水	28.90	25.08	15.42
海洋深層水	28.46	22.58	15.24
悅氏礦泉水	28.66	22.94	15.94
台中地下水	28.72	23.44	14.68
彰化井水	27.20	22.20	13.74
蘇澳冷泉水	29.06	21.36	15.08
瑞穗溫泉水	28.34	21.34	15.70
礁溪溫泉	29.00	24.18	17.68
高雄地下水	29.10	22.42	17.44

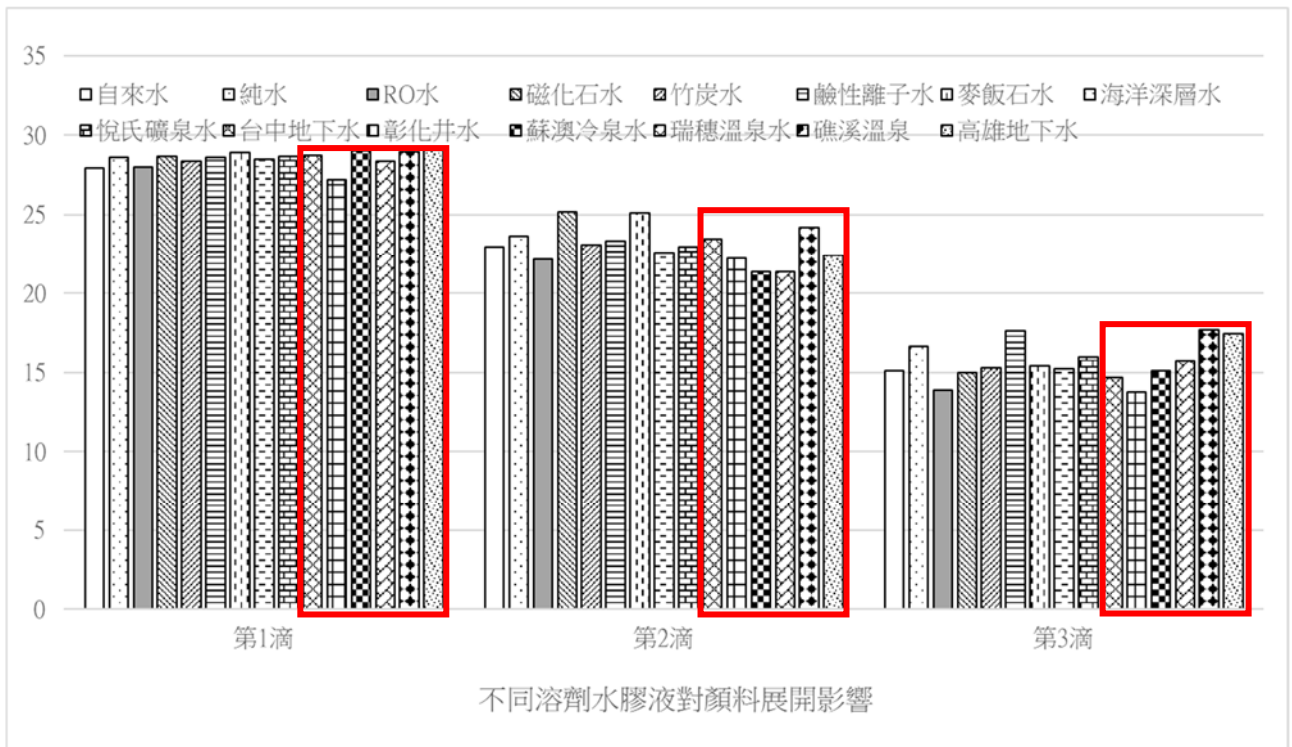






圖 2.不同溶劑種類水膠液對顏料展開影響(作者 2 繪)

自來水 1	自來水 2	自來水 3	自來水 4	自來水 5
純水 1	純水 2	純水 3	純水 4	純水 5
RO 水 1	RO 水 2	RO 水 3	RO 水 4	RO 水 5
磁化石水 1	磁化石水 2	磁化石水 3	磁化石水 4	磁化石水 5

				
竹炭水 1	竹炭水 2	竹炭水 3	竹炭水 4	竹炭水 5
				
鹼性離子水 1	鹼性離子水 2	鹼性離子水 3	鹼性離子水 4	鹼性離子水 5
				
麥飯石水 1	麥飯石水 2	麥飯石水 3	麥飯石水 4	麥飯石水 5
				
海洋深層水 1	海洋深層水 2	海洋深層水 3	海洋深層水 4	海洋深層水 5
				
悅氏礦泉水 1	悅氏礦泉水 2	悅氏礦泉水 3	悅氏礦泉水 4	悅氏礦泉水 5
				
地下水 1	台中地下水 2	台中地下水 3	台中地下水 4	台中地下水 5
				
彰化井水 1	彰化井水 2	彰化井水 3	彰化井水 4	彰化井水 5









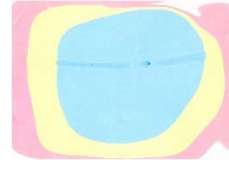






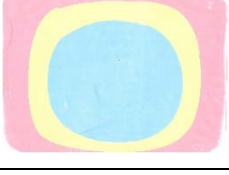




				
蘇澳冷泉水 1	蘇澳冷泉水 2	蘇澳冷泉水 3	蘇澳冷泉水 4	蘇澳冷泉水 5
				
瑞穗溫泉水 1	瑞穗溫泉水 2	瑞穗溫泉水 3	瑞穗溫泉水 4	瑞穗溫泉水 5
				
礁溪溫泉水 1	礁溪溫泉水 2	礁溪溫泉水 3	礁溪溫泉水 4	礁溪溫泉水 5
				
高雄地下水 1	高雄地下水 2	高雄地下水 3	高雄地下水 4	高雄地下水 5

圖 3.不同溶劑種類水膠液對顏料展開現象(作者 3 影像掃描)

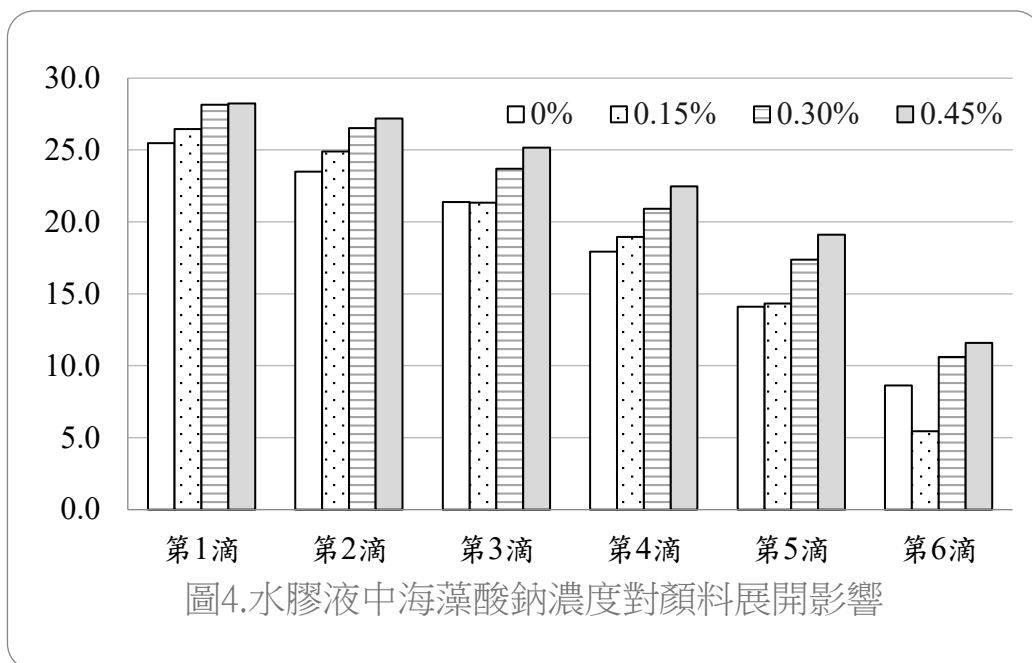
### 三、實驗三、海藻酸鈉濃度對顏料展開影響

使用純水配置 0%、0.15%、0.30%、0.45% 的海藻酸鈉溶液當作載體溶液，顏料展開以 0.45% 海藻酸鈉第一滴展開的 28.2 公分為最大直徑(表 2)，0.45% 海藻酸鈉濃度組中顏料展開直徑優於其他處理組，但處理組與對照組間無明顯差異(圖 4)。

表 2. 海藻酸鈉濃度對顏料展開影響

(單位:cm)

海藻酸鈉濃度	第 1 滴	第 2 滴	第 3 滴	第 4 滴	第 5 滴	第 6 滴
0%	25.5	23.5	21.4	17.9	14.1	8.6
0.15%	26.5	24.9	21.3	18.9	14.3	5.4
0.30%	28.1	26.5	23.7	20.9	17.4	10.6
0.45%	28.2	27.2	25.2	22.5	19.1	11.6



#### 四、實驗四、水膠液溫度對顏料展開影響

將裝有載體溶液的水盤先放入調整不同處理的水浴中十分鐘後開始進行實驗，分別溫度為 0°C 及 35°C，顏料展開以 35°C 組第一滴展開的 28.4 公分為最大直徑(表 3)，35°C 組的展開大於 0°C 組，但兩種溫度間無明顯差異(圖 5、圖 6)。

表 3. 水膠液溫度對顏料展開影響

(單位:cm)

載體溫度	第 1 滴	第 2 滴	第 3 滴
0°C	26.9	22.4	13.3
35°C	28.4	24.8	15.5

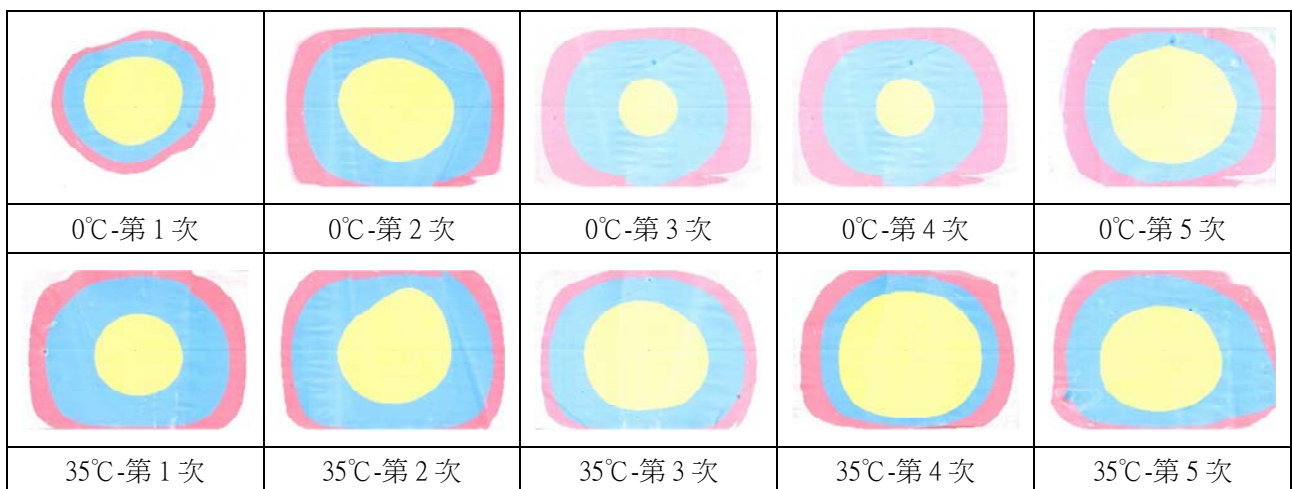
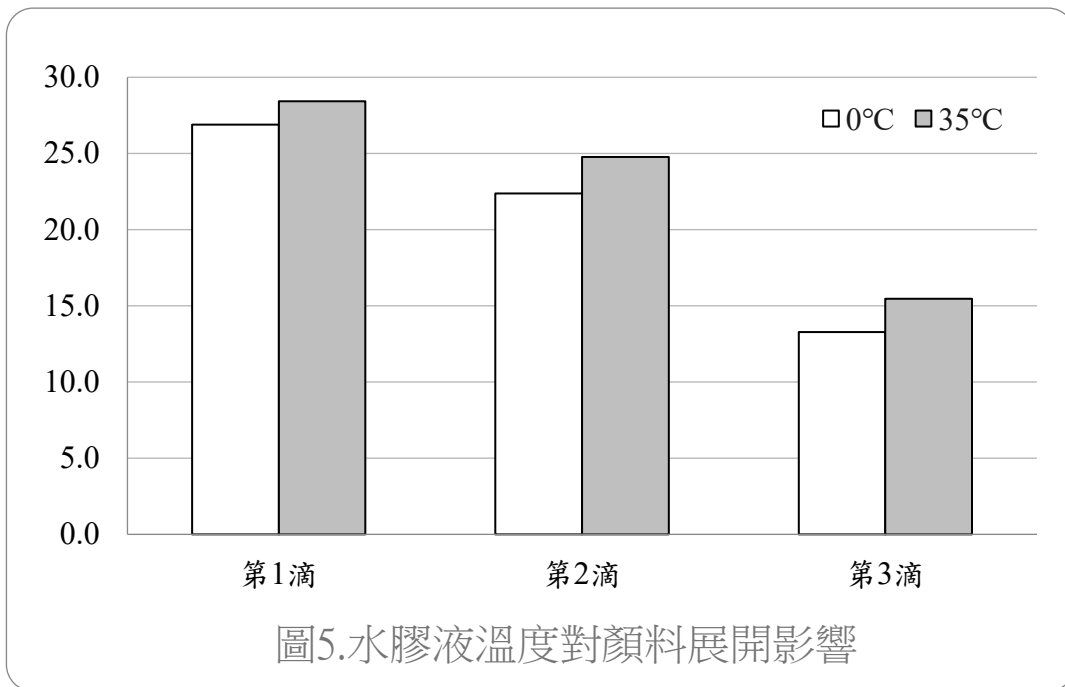


圖 6. 水膠液溫度對顏料展開現象 (作者 1 影像掃描)



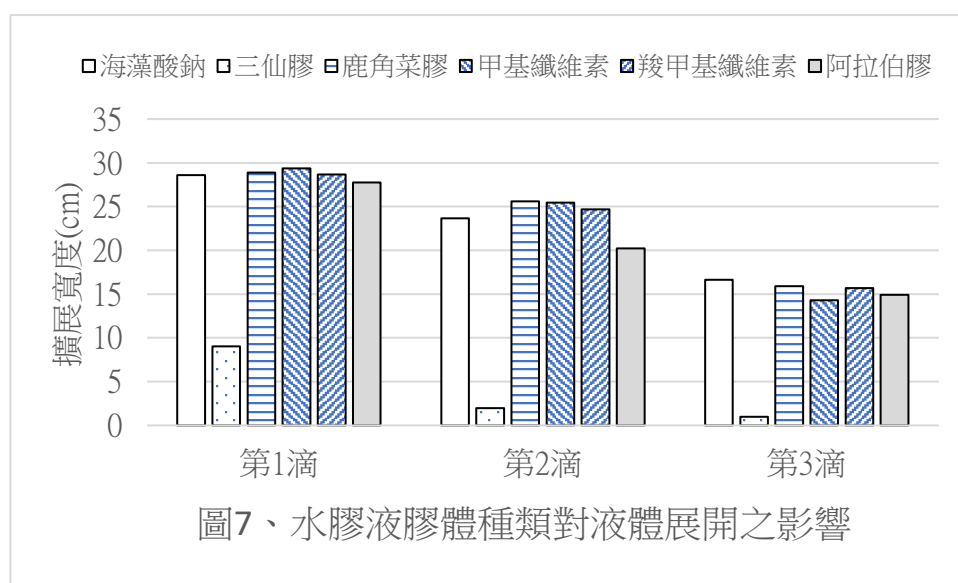
## 五、實驗五、水膠液膠體種類對顏料展開影響

將不同溶質（三仙膠、甲基纖維素、羧甲基纖維素、阿拉伯膠、鹿角菜膠、與海藻酸鈉）製作 0.30% 膠體水溶液進行實驗，以海藻酸鈉為對照組，明顯以三仙膠的展開為最小直徑 0.98cm~9.02cm(表 4)。其他水膠液則與對照組間顏料展開直徑無顯著差異(圖 7)，從展開的圖片上則能看出阿拉伯膠組的顏料圖形較不規則，三仙膠組顏料擴展最差，幾乎不會擴展(圖 8)。

表 4. 水膠液膠體種類對顏料展開之影響

(單位:cm)

	第 1 滴	第 2 滴	第 3 滴
海藻酸鈉	28.60	23.64	16.62
三仙膠	9.02	1.98	0.98
阿拉伯膠	27.74	20.22	14.92
鹿角菜膠	28.90	25.60	15.90
甲基纖維素	29.36	25.46	14.28
羧甲基纖維素	28.68	24.68	15.68








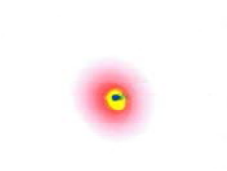


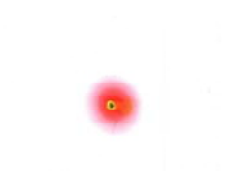












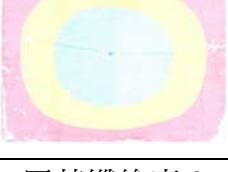
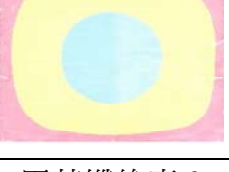







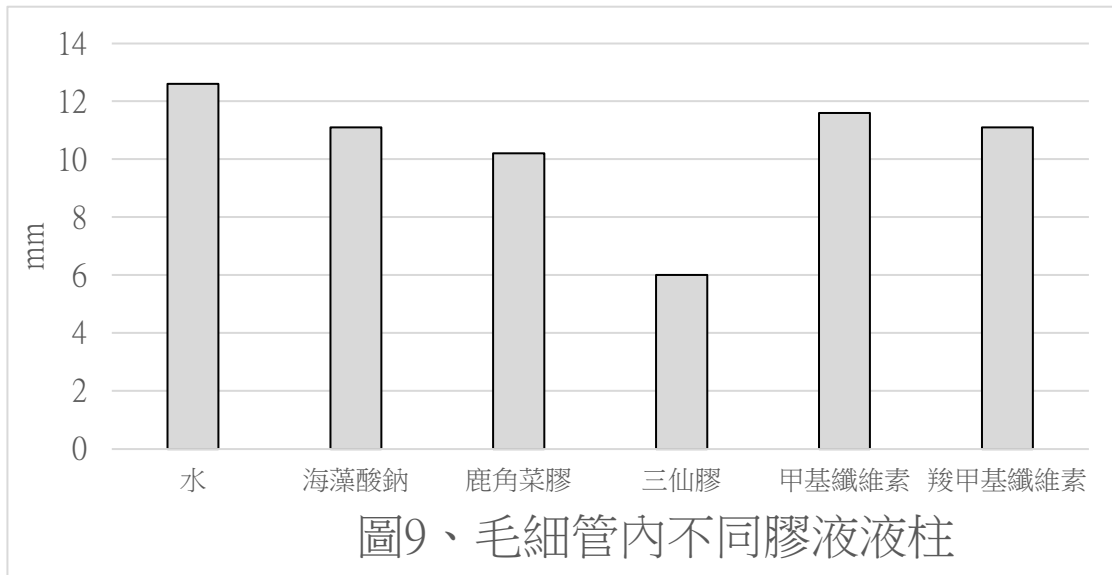
				
海藻酸鈉 1	海藻酸鈉 2	海藻酸鈉 3	海藻酸鈉 4	海藻酸鈉 5
				
三仙膠 1	三仙膠 2	三仙膠 3	三仙膠 4	三仙膠 5
				
阿拉伯膠 1	阿拉伯膠 2	阿拉伯膠 3	阿拉伯膠 4	阿拉伯膠 5
				
鹿角菜膠 1	鹿角菜膠 2	鹿角菜膠 3	鹿角菜膠 4	鹿角菜膠 5
				
甲基纖維素 1	甲基纖維素 2	甲基纖維素 3	甲基纖維素 4	甲基纖維素 5
				
羧甲基纖維素 1	羧甲基纖維素 2	羧甲基纖維素 3	羧甲基纖維素 4	羧甲基纖維素 5

圖 8.不同水膠液膠體對顏料展開現象(作者 2 影像掃描)

## 六、實驗六、純水、水膠液、顏料之表面張力探討

將毛細管分別插入純水和不同水膠液中，在顯微鏡下觀察可以發現三仙膠液柱上升高度最低(6.0mm)，其他組則皆低於純水(12.6mm)，表示純水表面張力最大外，依序為甲基纖維素(11.6mm)、羧甲基纖維素(11.1mm)、海藻酸鈉(11.1mm)、鹿角菜膠(10.2mm)。



(作者3繪)

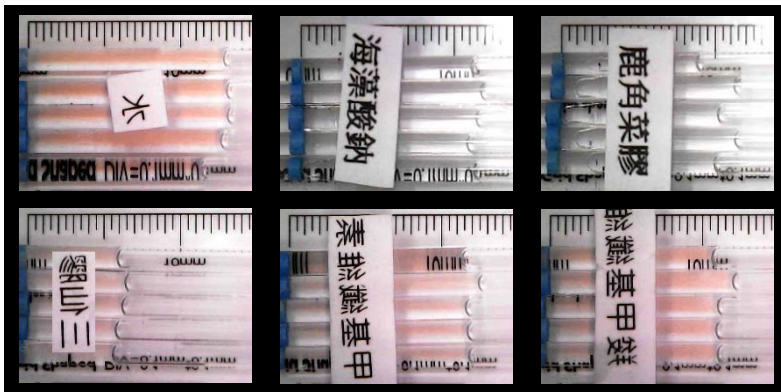
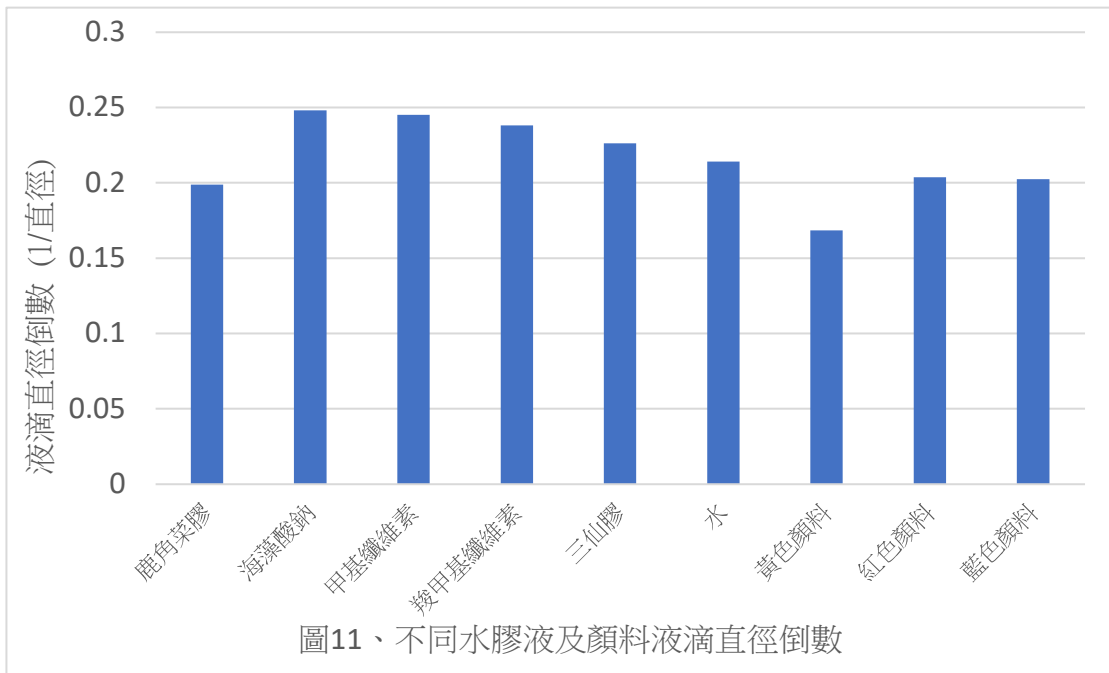


圖 10、不同膠體液柱觀察(作者3拍攝)

分別取各種液體以微量吸管吸取 10ul 在顯微鏡下觀察，發現海藻酸鈉液滴直徑最小(4.03mm，倒數為 0.25)，水則為 4.67mm(倒數 0.21)，鹿角菜膠為 5.03mm(倒數 0.20)最大。三種顏料中以黃色 5.94mm(倒數 0.17)最小，紅色 4.91mm(倒數 0.20)及藍色 4.91(倒數 0.20)則沒有差異。



(作者 1 繪)

水 1	水 2	水 3	水 4	水 5
海藻酸鈉 1	海藻酸鈉 2	海藻酸鈉 3	海藻酸鈉 4	海藻酸鈉 5
三仙膠 1	三仙膠 2	三仙膠 3	三仙膠 4	三仙膠 5
甲基纖維素 1	甲基纖維素 2	甲基纖維素 3	甲基纖維素 4	甲基纖維素 5

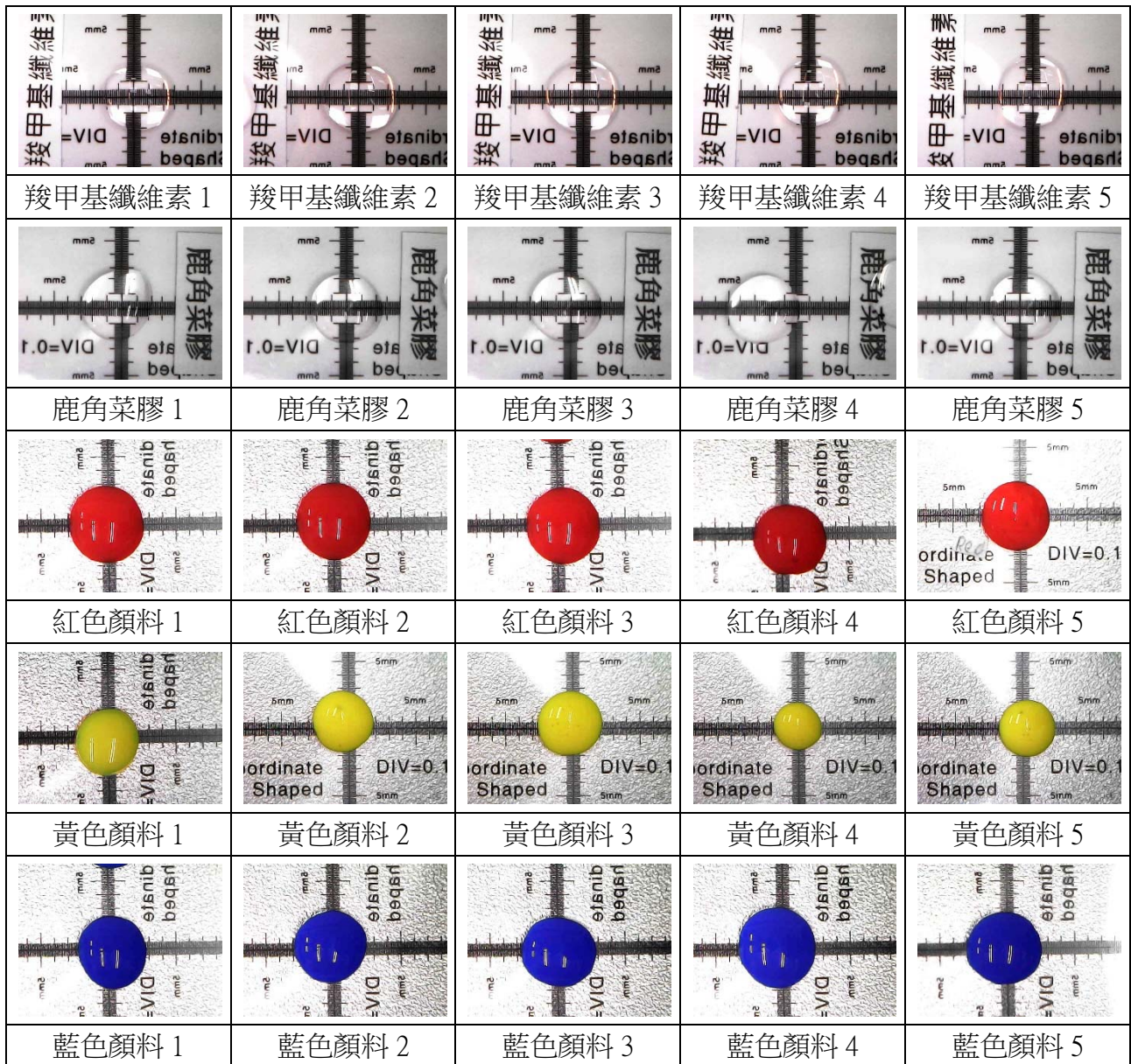
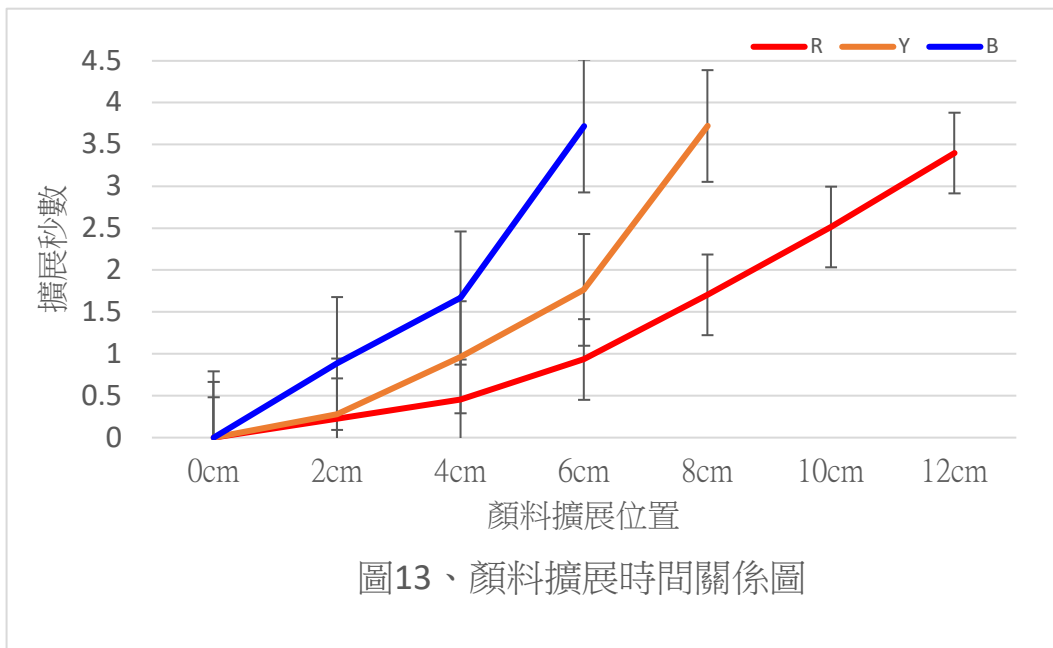


圖 12、不同水膠液及顏料液滴直徑的觀察(作者 1 繪、作者 4 影像拍攝)

### 七、實驗七、三種顏料擴展速率探討

聚丙烯顏料擴展達到不同寬度所需時間不同，黃色及藍色的顏料擴展速率較紅色慢。顏料擴展所需時間越來越長即張力差越來越小，擴展速率受顏料表面的黏滯力及液體表面間的表面張力差所影響。



## 伍、討論

以水作為載體所得的紋樣大多呈自由流動狀，不易固定某些型樣，所以方式簡單且少變化，而中國是最早使用敗麵糊取代水作為流沙箋顏料或染液的載體，後來還有發展利用澱粉、黃蓍膠、鹿角菜膠、蘭科植物根澱粉、刺梧桐樹膠、亞麻仁子、阿拉伯膠、玉米醣膠、刺槐豆膠及關華豆膠等天然植物膠，但是由於天然植物膠無法長期存放，所以近代則還有發展海藻酸鈉膠、甲基纖維素(MC)、羧甲基纖維素鈉(CMC)等化學合成膠(王國財等,2018)。我們實驗不同水膠液試驗時發現甲基纖維素最難溶解，其他溶解速度則差不多。故而本次實驗選擇上多以海藻酸鈉取得容易且相對穩定，唯不易溶解時可與少量的熱水混合，並持續攪拌使海藻酸鈉溶解，若是有些塊狀的海藻酸鈉較難溶解，也可以使用攪拌棒將塊狀的海藻酸鈉壓至杯子邊緣，促使海藻酸鈉較快溶解。

而在顏料添加物上與顏料的相互作用，例如顏料的擴展均勻性、懸浮性等，另外還要考慮膠液的成膜性是否對染液的組成份產生改變，因而形成不同的懸浮條件或特殊紋樣效果。例如在顏料中加入六偏磷酸鈉(SHMP)可以防止顏料中的陽離子與海藻酸鈉作用，也可以隱蔽海藻酸鈉上固有的鈣離子，最後在液面的色膜產生特殊的結晶紋理，豐富視覺上的紋理創作表現(謝靜敏,2013)。預備實驗中也發現添加膠體的載體溶液紋樣較純水容易控制有利於後續創作。

現代合成染料與各式載體(膠液)的取得便利，所創作出來的流沙箋圖案精美程度與前人作品相較也各具特色，唯操作現代流沙箋技法時，環境周遭的溫度與濕度差異也會產生部份圖案變化的結果，因此在操作環境條件的場域控制，也是在操作此實驗時應該考慮的條件之一。在實驗六中發現三仙膠毛細管中液柱高度最低，顏料擴展狀況也是實驗中最差的。其他膠體與海藻酸鈉則無明顯差異在擴展現象中寬度亦同，或許也有實驗六未使用的其他膠質可當作流沙箋載體，亦可嘗試使用羧甲基纖維素或甲基纖維素當水膠液，進而尋找出最適合的配方比例。透過實驗六、七可知三種顏料與海藻酸鈉膠體有表面張力差，具有不同表面張力的兩種流體接觸時，由於具有高表面張力的液體比具有低表面張力的液體對周圍液體的拉力更強，因此表面張力梯度的存在自然會導致液體從低表面張力區域流走(謝凱丞等,2023)。

## 陸、結論

在前人研究結果中逆滲透水的表面張力最大( $0.086\text{gw}/\text{cm}^2$ )，地下水的表面張力最小( $0.050\text{gw}/\text{cm}^2$ )，除了地下水比其他種類的水小很多之外，其他種類的水表面張力差距都不大(吳尹傑等,2004)。根據我們實驗二不同溶劑種類水膠液對顏料展開影響，處理組與對照組間亦無明顯差異。利用水或膠液(marbling size)形成可以承載顏料或染料的載體，主要的功能是讓滴在液面的色彩，有效提昇飄浮承載能力，並形成一個色彩薄膜，阻止染液沉入盤底；影響液體表面張力的因素有很多，例如：pH 值、溶液濃度、溫度…而為了避免操作時顏料快速擴展，在溫度較低的環境或溶液維持在低溫的狀態下，較能保持製圖時的液體表面擴展速率。pH 值越高，表面張力越小，pH 值越低，表面張力越大(吳尹傑等,2004)，根據實驗四水膠液溫度對顏料展開的試驗結果也可以得到證實， $35^\circ\text{C}$  組的展開直徑大於  $0^\circ\text{C}$  組。不同溫度的蒸餾水，表面張力不同，溫度越高，表面張力越小，溫度越低，表面張力越大(吳尹傑等,2004;呂鎮宇等,2011;金門金門地區第 54 屆中小學科學展覽會,2014;江奕佳等,2016;林禹綸等,2019)。

不同的界面活性劑或特殊試劑，讓顏料或染料懸浮在液面時，因為染液的組成份改變，因此形成不同的懸浮條件或特殊紋樣效果。在預備實驗中發現清潔劑組顏料直接發生下沉現象，應該是清潔劑破壞水面表面張力(吳尹傑等,2004 ;江奕佳等,2016;林禹綸等,2019)，清潔劑的原理是利用界面活性劑在界面會形成疏水端，進而破壞了表面水與水之間的內聚力(江奕佳

等,2016)，導致顏料直接落入水中；則可能是酸鹼性質的離子破壞了水的表面張力(林禹綸等,2019)，或是水中雜質變多表面張力被破壞所致(江奕佳等,2016)。在本實驗中海藻酸鈉、羧甲基纖維素、甲基纖維素在液滴實驗中發現比純水有較大液滴直徑，但圖形卻規則，推測很可能與膠體黏度特性有關。

土耳其浮水畫是使用貝殼粉加水使水溶液變濃稠，並在天然礦物顏料和植物性顏料中加入牛膽汁，調控顏料之擴展速率，並使顏料不會沉入水底及溶在水中(謝靜敏,2013)。

水盆大小也會影響顏料流動的速度與範圍，若希望畫面顏色變化較多，建議可用較大的盆子，但相對地，拓印的紙材尺寸也須跟著調整(黃祺惠,2017)；壓克力顏料表面的擴展行為最初為受慣性影響，但可藉由降低液滴落下高度來消除。擴展中期主要受到壓克力顏料的黏滯力及液體表面間的表面張力差影響。擴展後期，液滴半徑不再增加，反而有逐漸內縮之情形，隨著時間增加液滴逐漸向外堆積，造成外厚內薄的情形為馬拉高尼效應影響所致(謝凱丞等,2023)。馬拉高尼效應是指由表面張力梯度引起的流體流動。當具有不同表面張力的兩種流體接觸時，由於具有高表面張力的液體比具有低表面張力的液體對周圍液體的拉力更強，因此表面張力梯度的存在自然會導致液體從低表面張力區域流走。這或許能解釋為我們實驗五水膠液膠體各組(甲基纖維素、羧甲基纖維素、阿拉伯膠、鹿角菜膠、海藻酸鈉)的黏稠度相近而無顯著差異，惟三仙膠 0.3%膠液太黏稠導致顏料擴展太慢。而流沙箋載體可以為水或是其他黏稠液體，有時為了便於控制製作的圖案，載體可以稠一點(謝靜敏,2013)，這在實驗三海藻酸鈉濃度對顏料展開影響結果亦可以得到證實。未知的添加物及各種膠質不同比例下也會對其顏料展開有其影響，我們僅就實驗這些結果得知海藻酸鈉膠體有較為穩定的顏料擴展現象，此觀察亦符合多數商業浮水畫為何選擇海藻酸鈉為水膠液載體。為了便於控制製作的圖案，載體除可用純水配置 0.45%海藻酸鈉添加物，往後也可嘗試使用羧甲基纖維素或甲基纖維素當水膠液。另外實驗五和六中發現三仙膠表面張力最小，或許可再進一步調整三仙膠溶質比例進而找到最適合控制圖樣的配方。實驗六中透過液滴直徑觀察發現顏料之間也有表面張力差異，顏料皆為聚丙烯成分，未來也可再進一步探討不同顏色與載體溶液互動差異。



## 柒、參考文獻資料

- 1.陳昱如、蔡佩玉、歐宜璇、洪國烜 (1991) 奇妙的水上印花 中華民國第 31 屆中小學科學展覽會 取自：<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/31/pdf/31s/098.pdf>
- 2.吳尹傑、吳振華、洪鶴祐 (2004) 被忽略的神秘力量—表面張力 中華民國第 44 屆中小學科學展覽會 取自：<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/44/D/030111.pdf>
- 3.呂鎮宇 許子晉 曾御翔 陳姿伶 許慈文 洪建中 陳嫣然 (2011) 表面的秘密 澎湖縣七美鄉雙湖國民小學 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 取自：<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/index.htm>
- 4.陳立富、陸予庭、何子凡 (2011) 拍出液體的表面張力 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 取自：<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/030114.pdf>
- 5.謝靜敏、王益真 陳亮運(2013) 水上雲彩—流沙箋技法之介紹與應用 林業論壇 Vol.20 No.1 97-102pp
- 6.金門地區第 54 屆中小學科學展覽會 (2014) 是誰在支撐 取自：<https://science.km.edu.tw/>
- 7.江奕佳、葛芫君、劉律辰 (2016) 表面功夫—用自製儀器測量液體的表面張力 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 取自：<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/080101.pdf>
- 8.金門地區第 58 屆中小學科學展覽會 (2018) 浮理浮圖—簡單易上手的浮水畫 取自：  
<https://science.km.edu.tw/>
- 9.王國財、林柏亨 (2018) 淺談我國古代加工名紙—流沙箋 林業論壇 Vol.25 No.2 50-53pp.
- 10.林禹綸、李翊安、孫郁翔、蕭益丞、黃宥霆 (2019) 「浮」不起的阿「毚」—探討表面張力對漂浮水毚浮沉現象之研究 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 取自：  
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/59/pdf/NPHSF2019-080103.pdf>
- 11.林佩瑩 (2021) 國小自然「水溶液」單元延伸實驗—利用海藻酸鈉製作有色溶液的酸鹼指示晶球 臺灣化學教育 取自：<http://chemed.chemistry.org.tw/>
- 12.黃祺惠 (2017) 創意魔法浮水染紙袋設計課程 美育第 218 期 國立台灣藝術教育館 60-67pp
- 13.謝凱丞、謝侑家、洪君安(2023)支離破「碎」~探討兩互溶流體間形成碎形圖案之機制 中華民國第 63 屆中小學科學展覽會作品說明書

## 【評語】 080109

本作品自流沙箋工藝得到靈感，探討異質介面因表面張力的差異產生擴展的現象。實驗利用不同的溶劑種類、海藻酸鈉濃度、液種類及溫度，分析顏料擴展速率、開展樣貌，並分析表面張力的影響關係。實驗最後能系統性的分析差異性，並總結實驗結果，作品還算完整，但稍缺深入原理歸納探討。可由此研究，窺得表面張力在此項工藝中，所扮演的關鍵角色。

## 作品簡報



# 流沙箋的表面張力因子探討

關鍵詞：浮水畫、表面張力、顏料擴展

# 摘要

流沙箋為調製顏料灑在水或黏稠性介質表面，經由各種工具及技法製作各種紋樣，再將紙覆於其上轉印而成。製作流沙箋以水做為載體所得的紋樣自由流動不易固定，近代發展常以海藻酸鈉為載體。毛細管檢測表面張力海藻酸鈉及羧甲基纖維素皆為 11.1mm、甲基纖維素 11.6mm，這三種膠體表面張力較為相似，其載體可用純水配置 0.45%海藻酸鈉。水膠液液滴直徑觀察中海藻酸鈉液滴直徑4.03mm(倒數為0.25)，水則為 4.67mm(倒數0.21)，海藻酸鈉倒數最大表面張力最小，有較穩定的顏料擴展；顏料液滴直徑以黃色表面張力最小，紅色及藍色則沒有差異。流沙箋製作過程中影響因子太多，溫度較低的環境或溶液較能保持製圖時的液體表面擴展，未來也可再探討不同顏料與載體互動差異。

## 壹、研究動機

流沙箋的技法非常多樣，應用也非常廣泛，藉由不同的技法來形成各種風格的懸浮色膜，再敷蓋上紙張或其他被染物，當纖維吸收顏料或染料後，將紙張的一端快速地從液面揭起後，之前在液面上飄浮的圖案紋飾就能完整的保存記錄下來(謝靜敏, 2013)。這項技術除了可用於紙張上外，只要選對適當的顏料，任何物體表面皆可將圖案轉印上去，我們覺得非常好奇轉而利用家中顏料想做出一樣的效果，卻發現顏料無法浮在水面上。顏料密度如果小於液體密度，顏料就會浮在液體上，一般知道浮力是跟液體的表面張力有關，進而進行的一連串實驗。此實驗與三上單元二的浮力、三下單元二溫度變化對物質影響以及單元四廚房裡的科學相關為依據。

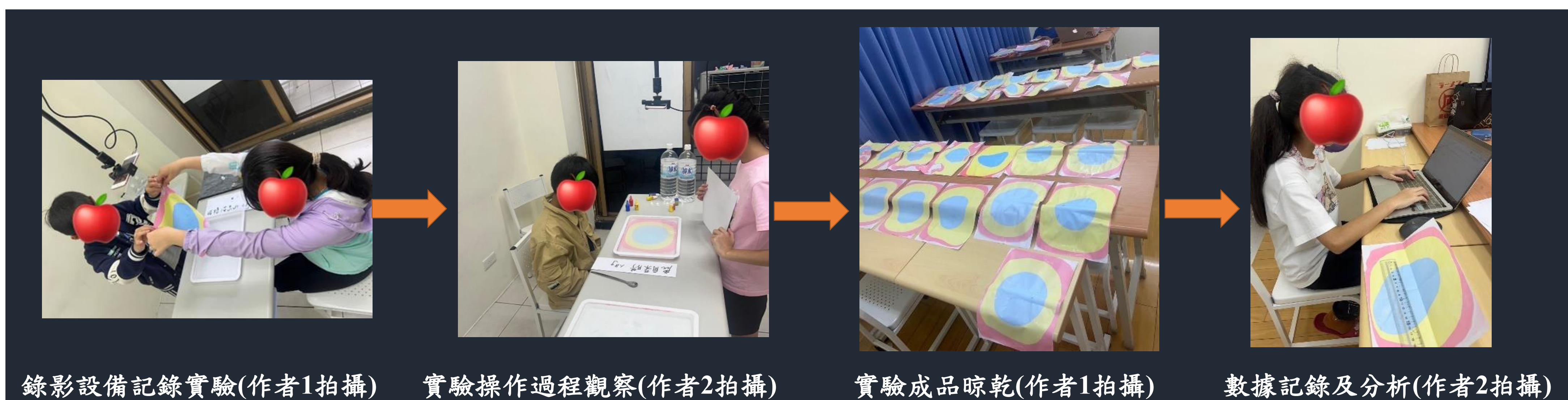
選擇市售常見顏料或染料作為流沙箋中顏料的控制因子，探討流沙箋中的水膠體溶液成分、溫度與顏料間的表面張力關係以及不同顏料添加物對顏料展開的影響。

## 貳、研究設備與器材

一、實驗器材：錄影設備（手機、翻拍架）、電子秤、量筒、曬衣夾、攪拌棒、加熱器、塑膠水盤、pipette、滴管、顯微鏡、直尺、奇異筆、溫度計、A4紙、電腦設備

二、實驗材料：純水、海藻酸鈉、顏料、石灰粉、牛膽汁、清水、酒精、檸檬酸、去光水、白糖、冰塊、地瓜粉、醋、明礬、食鹽、稀釋液、油、清膠、調和液、三仙膠、甲基纖維素、羧甲基纖維素、阿拉伯膠、鹿角菜膠、不同水質(自來水、RO水、磁化石水、竹炭水、鹼性離子水、麥飯石水、海洋深層水、悅氏礦泉水、台中地下水、彰化井水、蘇澳冷泉水、瑞穗溫泉水、礁溪溫泉水、高雄地下水)

## 參、研究過程或方法



### 實驗一、流沙箋形成現象觀察

- 實驗步驟
1. 使用商品建議的0.3%海藻酸鈉水溶液進行觀察，以iphone手機慢動作720p/240fps錄影後經FreeVideoToJPGConverter\_5.2.3.112軟體將影片每幀分離。
  2. 以pipette吸取10ul顏料滴到顯微鏡下觀察互動變化，並以DLscope app軟體600\*800規格以手機拍照。
  3. 以iphone15拍攝透明容器內流沙箋側視及俯視。

### 實驗二、不同溶劑種類水膠液對顏料展開影響

- 實驗變因
1. 操縱變因：純水、RO水、井水、竹炭水、自來水、台中地下水、悅氏礦泉水、海洋深層水、高雄地下水、麥飯石水、瑞穗溫泉水、磁化石水、礁溪溫泉水、蘇澳冷泉水、鹼性離子水
  2. 控制變因：載體溶質種類及濃度比【比例為3g海藻酸鈉/1000g溶液】、顏料



- 實驗步驟
1. 分別以15種不同水源水質調配重量百分比濃度0.3%的海藻酸鈉載體溶液。
  2. 將配置載體溶液倒入水盤，並開啟攝影開始記錄過程。
  3. 對準水盤中心將3種顏料，依序滴入水盤。
  4. 拿A4紙將顏料印起來並晾乾後壓平測量顏料擴展後直徑。
  5. 分別進行15種溶劑處理實驗各五重複。
  6. 紀錄並測量15種溶劑處理對顏料展開的結果。

### 實驗三、海藻酸鈉濃度對顏料展開影響

- 實驗變因
1. 操縱變因：載體海藻酸鈉濃度(0%、0.15%、0.30%、0.45%)
  2. 控制變因：以純水為溶劑、顏料



- 實驗步驟
1. 使用純水配置0%、0.15%、0.30%、0.45%的海藻酸鈉溶液當作載體溶液。
  2. 將不同濃度海藻酸鈉載體溶液倒入水盤，並開啟攝影開始記錄過程。
  3. 對準水盤中心將3種顏料，依序滴入水盤。
  4. 拿A4紙將顏料印起來並晾乾後壓平測量顏料擴展後直徑。
  5. 分別進行四種不同濃度載體溶液處理實驗，每實驗各五重複。
  6. 紀錄並測量海藻酸鈉濃度對顏料展開的結果。

### 實驗七、三種顏料擴展速率探討

- 實驗步驟
1. 調配重量百分比濃度0.3%的海藻酸鈉載體溶液。
  2. 將配置載體溶液倒入水盤，並開啟攝影開始記錄過程。以iphone手機慢動作720p/240fps錄影後經FreeVideoToJPGConverter\_5.2.3.112軟體將影片每幀分離。
  3. 紀錄顏料擴展達到不同寬度所需時間並以所需時間倒數表示。

### 實驗四、水膠液溫度對顏料展開影響

- 實驗變因
1. 操縱變因：溫度(0°C、35°C)
  2. 控制變因：相同濃度載體溶液



- 實驗步驟
1. 將裝有0.3%海藻酸鈉載體溶液的水盤先放入調整不同處理的水浴中十分鐘後開始進行實驗，並開啟攝影開始記錄過程。
  2. 對準水盤中心將3種顏料，依序滴入水盤。
  3. 拿A4紙將顏料印起來並晾乾後壓平測量顏料擴展後直徑。
  4. 分別進行兩種不同溫度載體溶液處理實驗，每實驗各五重複。
  5. 紀錄並測量載體溶液溫度對顏料展開的結果。

### 實驗五、水膠液膠體種類對顏料展開之影響

- 實驗變因
1. 操縱變因：水膠液(三仙膠、甲基纖維素、羧甲基纖維素、阿拉伯膠、鹿角菜膠與海藻酸鈉對照組)
  2. 控制變因：顏料及載體重量百分濃度(0.3%)

- 實驗步驟
1. 配置不同載體(三仙膠、甲基纖維素、羧甲基纖維素、阿拉伯膠、鹿角菜膠與海藻酸鈉)水溶液。
  2. 將不同溶質膠體溶液倒入塑膠水盤，對準水盤中心將3種顏色顏料分別滴入。
  3. 拿A4紙將顏料印起來並晾乾。
  4. 分別進行6種載體溶質處理實驗，每實驗各五重複。
  5. 測量晾乾A4紙上的顏料寬度，紀錄6種溶質載體(清膠、調和液、稀釋液、牛膽汁與對照組)溶液對顏料展開的結果。

### 實驗六、各種水膠液、顏料之表面張力探討

- 實驗變因
1. 操縱變因：膠體種類(三仙膠、甲基纖維素、羧甲基纖維素、鹿角菜膠、海藻酸鈉與純水對照組)、不同顏色顏料
  2. 控制變因：25°C實驗室溫度、10μl液滴、接觸表面、毛細管規格

- 實驗步驟
1. 將直徑1.0~1.2mm管壁0.2±0.02mm長度75mm毛細管插入20ml純水和不同水膠溶液中，將毛細管與藍色刻度線處對齊，放置到顯微鏡下觀察並以Dlscope app軟體拍照。
  2. 以微量吸管吸取10μl水膠液及顏料滴到載玻片上以數位顯微鏡觀察液滴寬度並Dlscope app軟體拍照。



# 肆、研究結果

## 實驗一、流沙筭形成現象觀察

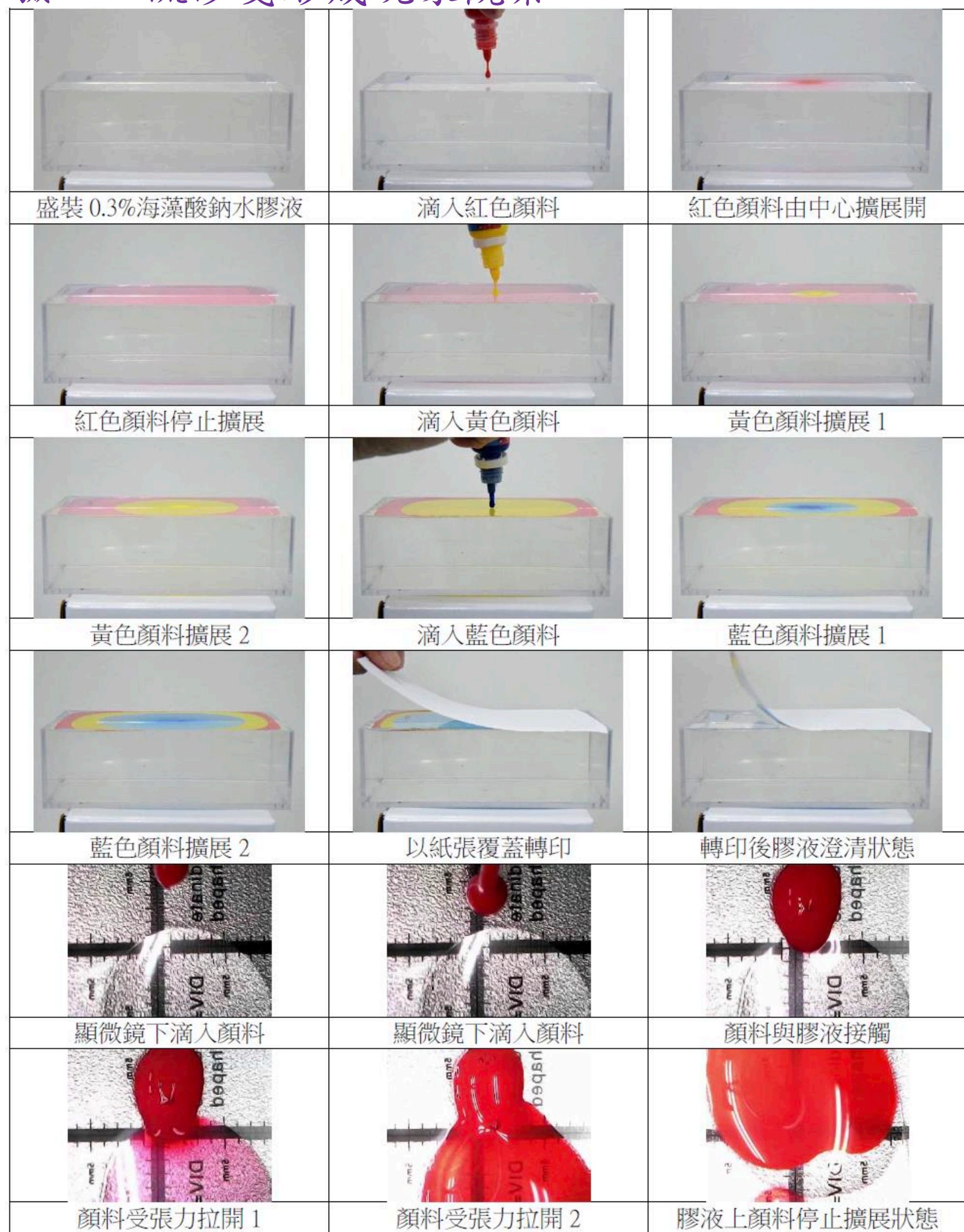


圖1、流沙筭形成現象觀察圖 (作者5拍攝、作者2繪)

## 實驗二、不同溶劑種類水膠液對顏料展開影響

表1. 不同溶劑種類水膠液對顏料展開影響 (單位:cm)

水體種類	第1滴	第2滴	第3滴
自來水	27.90	22.94	15.08
純水	28.60	23.64	16.62
RO水	27.96	22.18	13.88
磁化石水	28.68	25.14	14.98
竹炭水	28.38	23.08	15.30
鹼性離子水	28.58	23.30	17.62
麥飯石水	28.90	25.08	15.42
海洋深層水	28.46	22.58	15.24
悅氏礦泉水	28.66	22.94	15.94
台中地下水	28.72	23.44	14.68
彰化井水	27.20	22.20	13.74
蘇澳冷泉水	29.06	21.36	15.08
瑞穗溫泉水	28.34	21.34	15.70
礁溪溫泉	29.00	24.18	17.68
高雄地下水	29.10	22.42	17.44

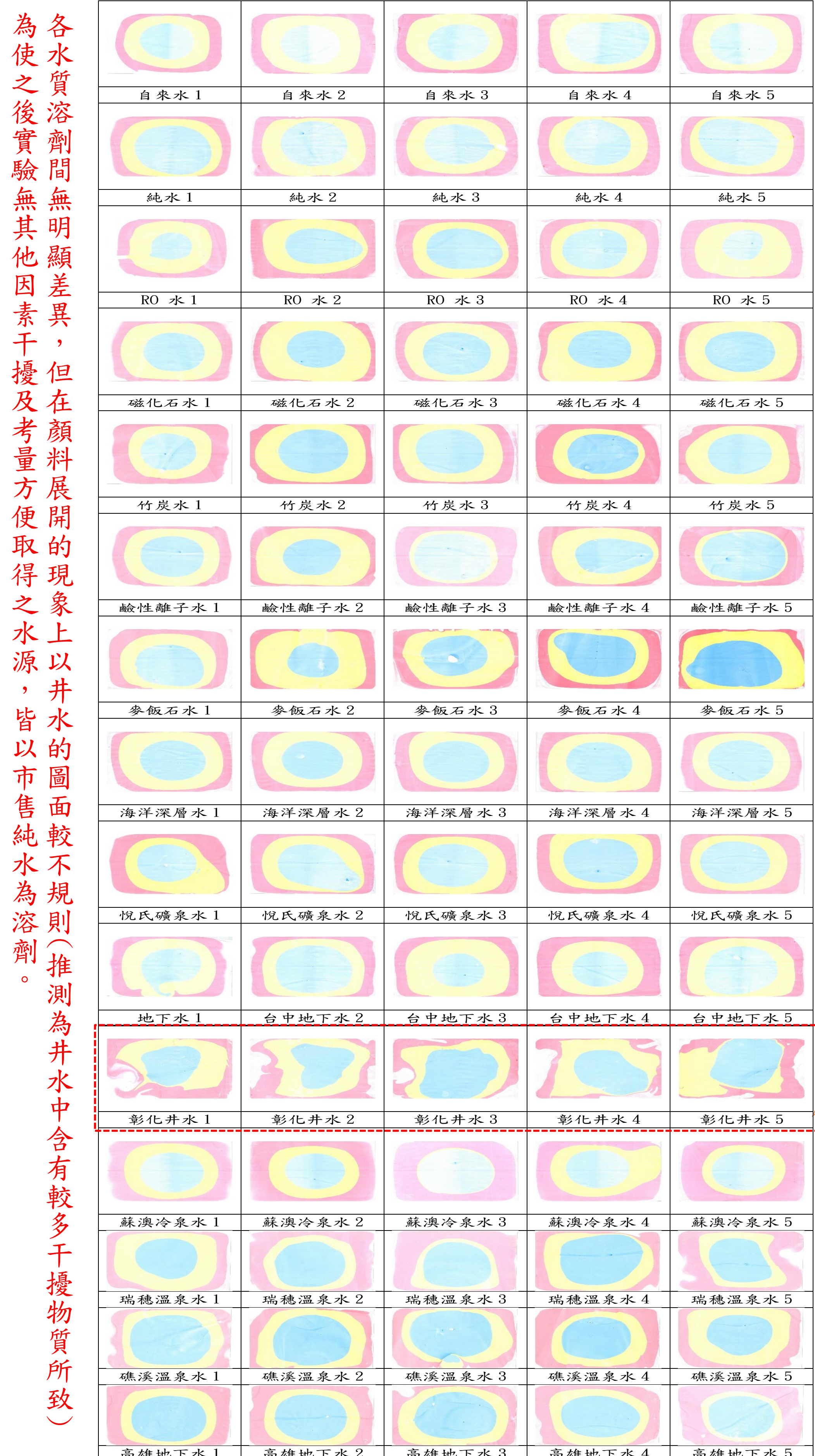


圖2. 不同溶劑種類水膠液對顏料展開現象 (作者3影像掃描)

各水質溶劑間無明顯差異，但在顏料展開的現象上以井水的圖面較不規則(推測為井水中含有較多干擾物質所致)為使之後實驗無其他因素干擾及考量方便取得之水源，皆以市售純水為溶劑。

井水最不規則

## 實驗三、海藻酸鈉濃度對顏料展開影響

表2. 海藻酸鈉濃度對顏料展開影響

(單位:cm)

海藻酸鈉濃度	第1滴	第2滴	第3滴	第4滴	第5滴	第6滴
0%	25.5	23.5	21.4	17.9	14.1	8.6
0.15%	26.5	24.9	21.3	18.9	14.3	5.4
0.30%	28.1	26.5	23.7	20.9	17.4	10.6
0.45%	28.2	27.2	25.2	22.5	19.1	11.6

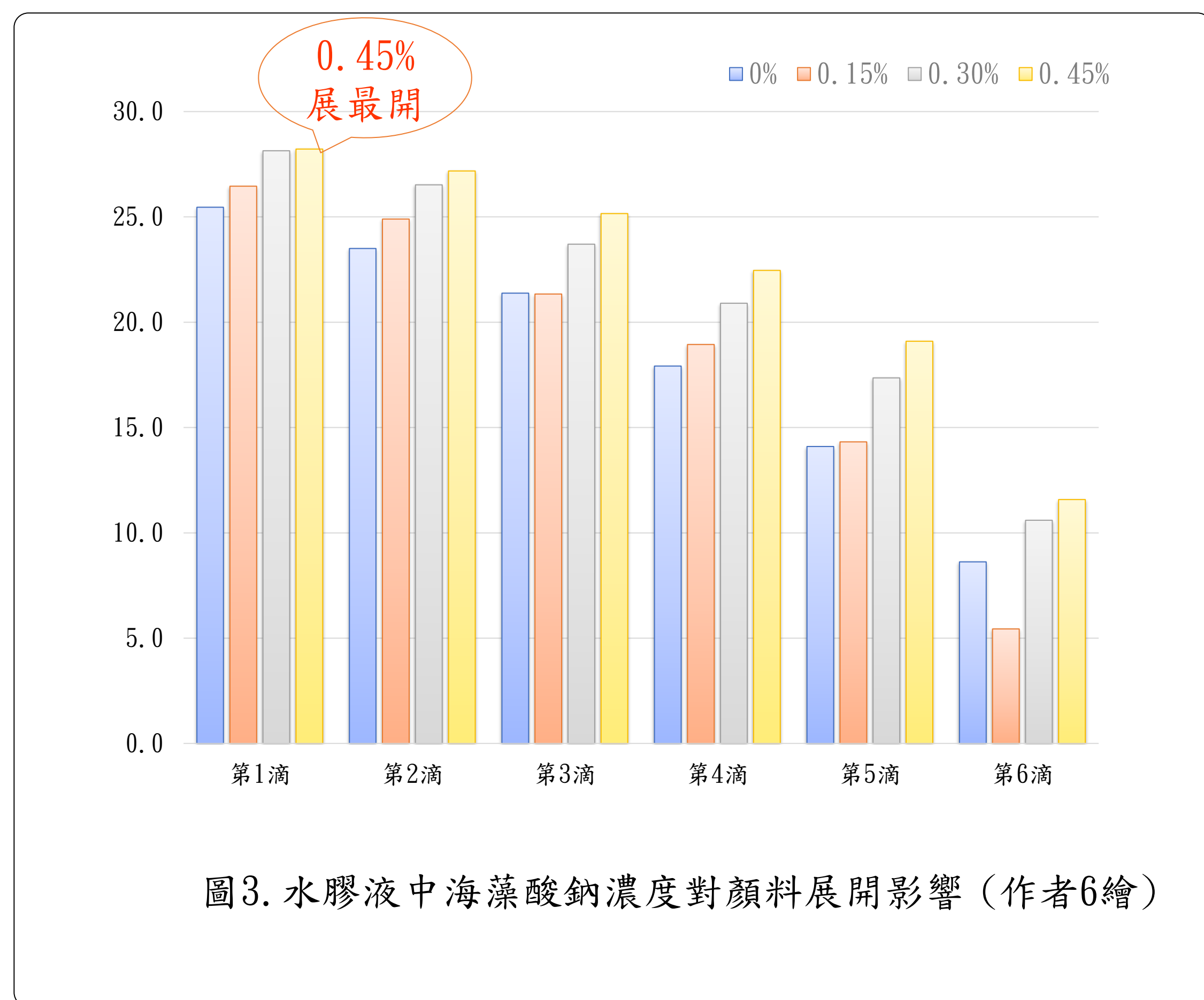


圖3. 水膠液中海藻酸鈉濃度對顏料展開影響 (作者6繪)

## 實驗四、水膠液溫度對顏料展開影響

表3. 水膠液溫度對顏料展開影響

(單位:cm)

載體溫度	第1滴	第2滴	第3滴
0°C	26.9	22.4	13.3
35°C	28.4	24.8	15.5

溫度高 展開大

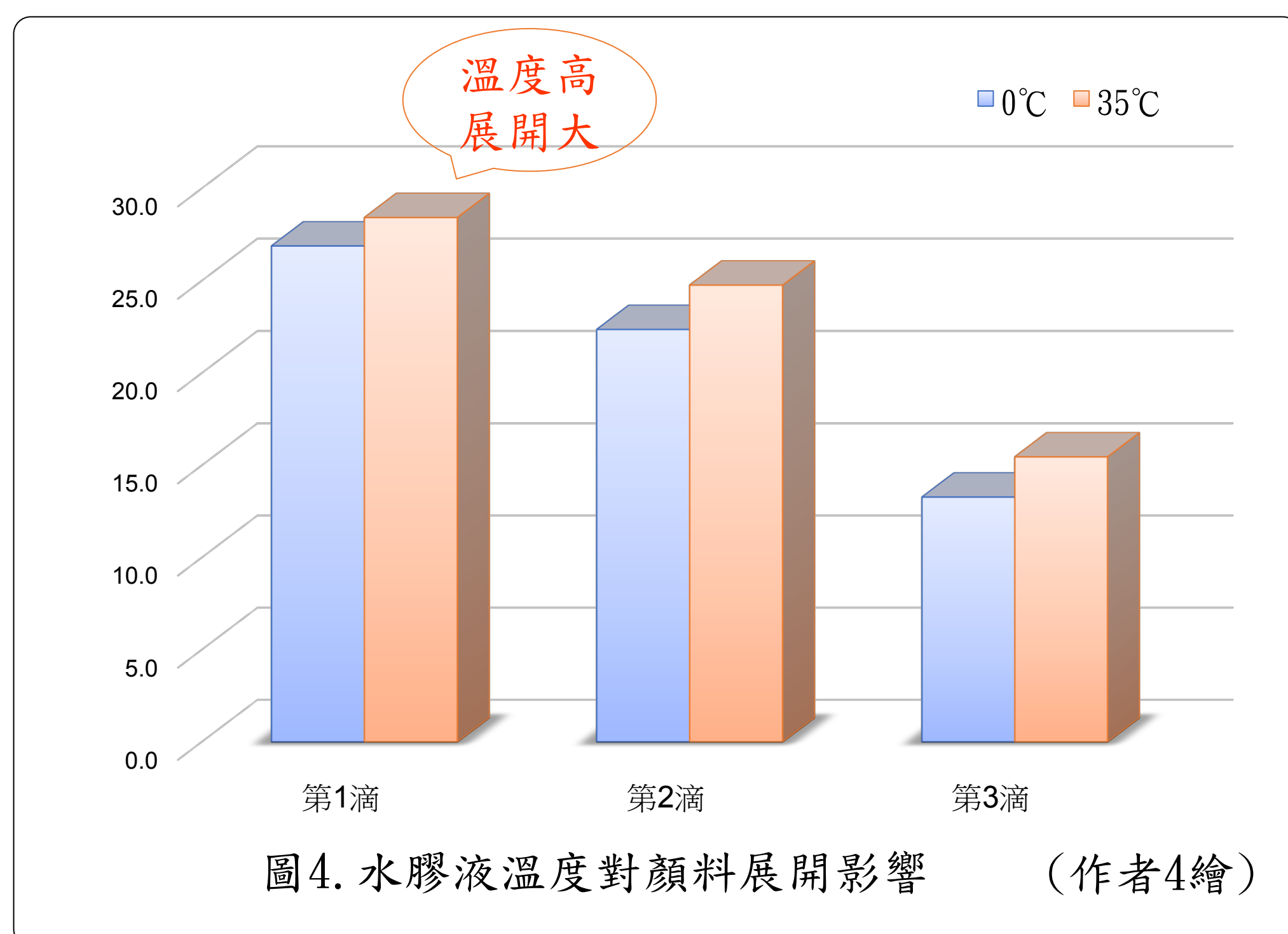


圖4. 水膠液溫度對顏料展開影響 (作者4繪)

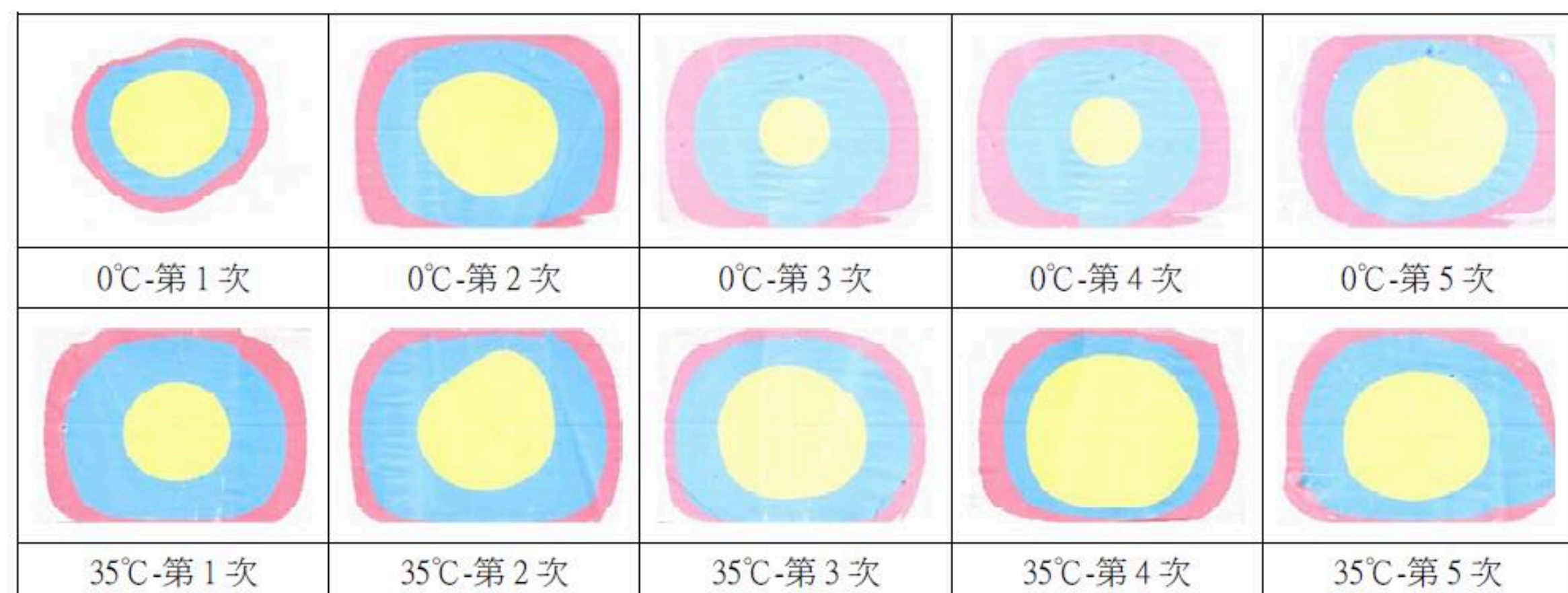


圖5. 水膠液溫度對顏料展開現象 (作者1影像掃描)

**圖案製作控制：**

- ◎ 海藻酸鈉建議使用 0.45% 作為載體。亦可嘗試羧甲基纖維素或甲基纖維素。
- ◎ 三仙膠表面張力最小，需再進一步調整比例。
- ◎ 不同顏色顏料的表面張力差異則需進一步探討。

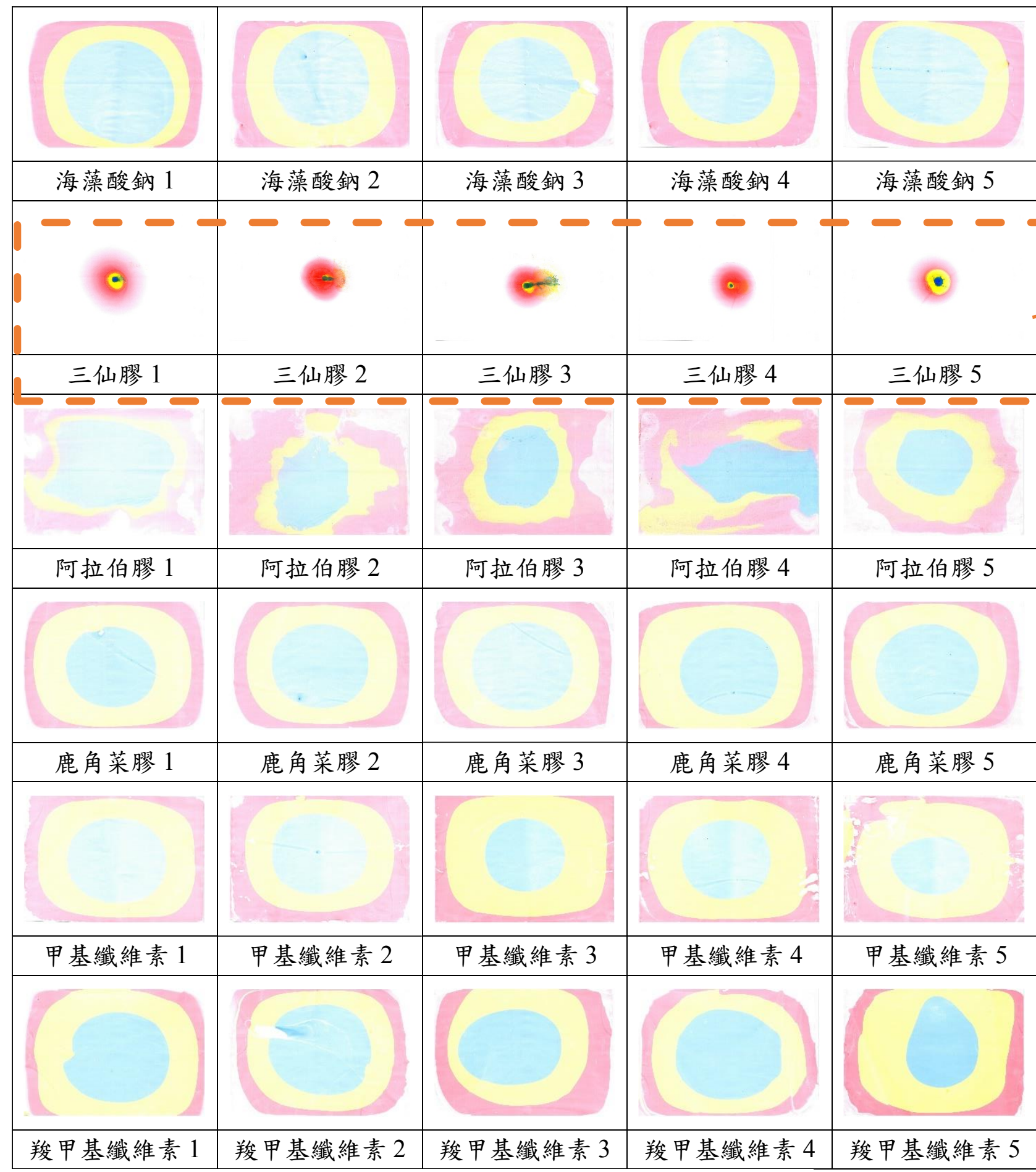
## 伍、討論與結論



### 實驗五、水膠液膠體種類對顏料展開之影響

表4. 水膠液膠體種類對顏料展開之影響 (單位:cm)

	第1滴	第2滴	第3滴
海藻酸鈉	28.60	23.64	16.62
三仙膠	9.02	1.98	0.98
阿拉伯膠	27.74	20.22	14.92
鹿角菜膠	28.90	25.60	15.90
甲基纖維素	29.36	25.46	14.28
羧甲基纖維素	28.68	24.68	15.68



明顯以三仙膠的展開最小

圖6. 不同水膠液膠體對顏料展開現象(作者2影像掃描)

### 實驗六、純水、水膠液、顏料之表面張力探討

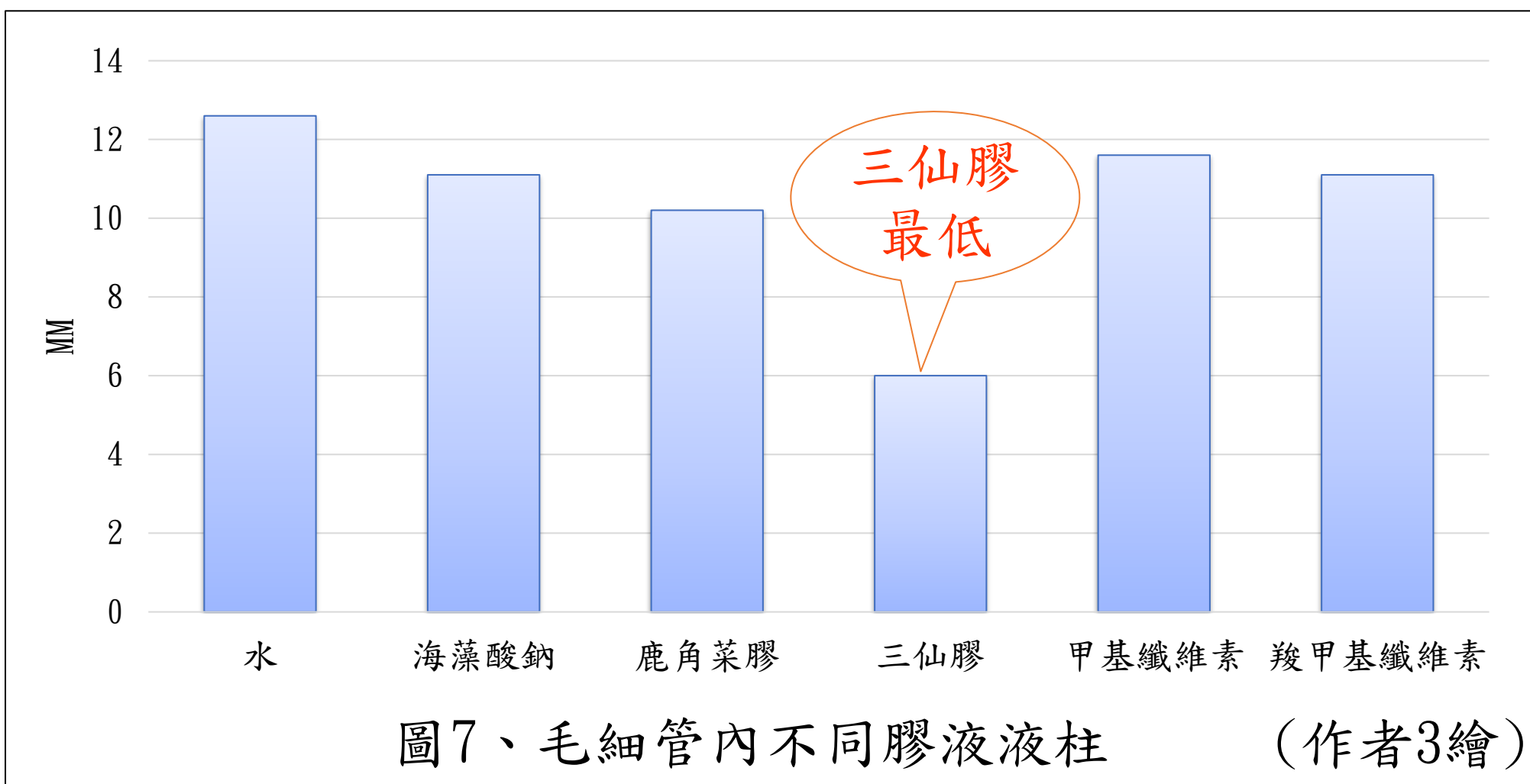


圖7、毛細管內不同膠液液柱 (作者3繪)

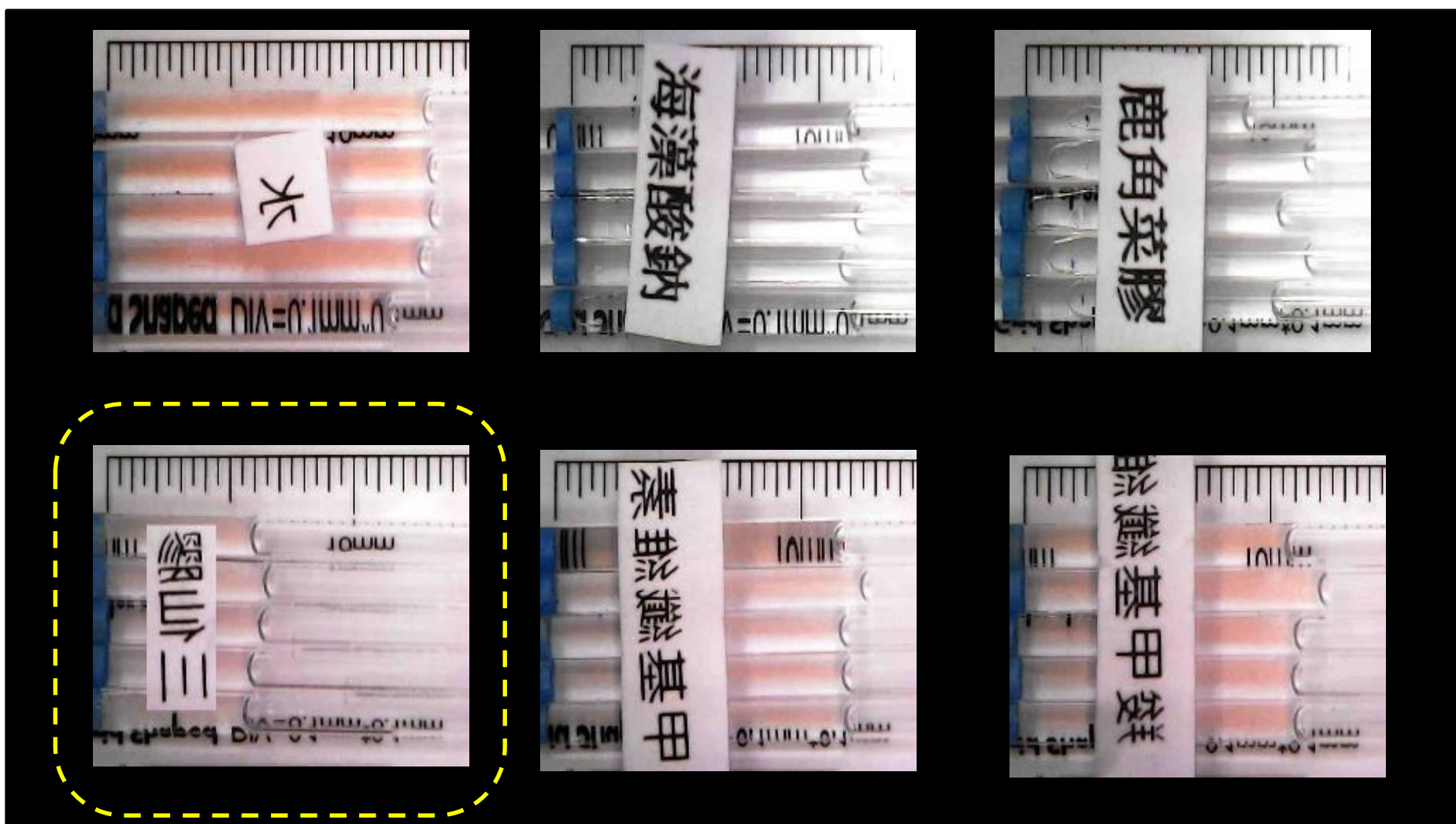


圖8、顯微鏡下不同膠液液柱觀察(作者3拍攝)

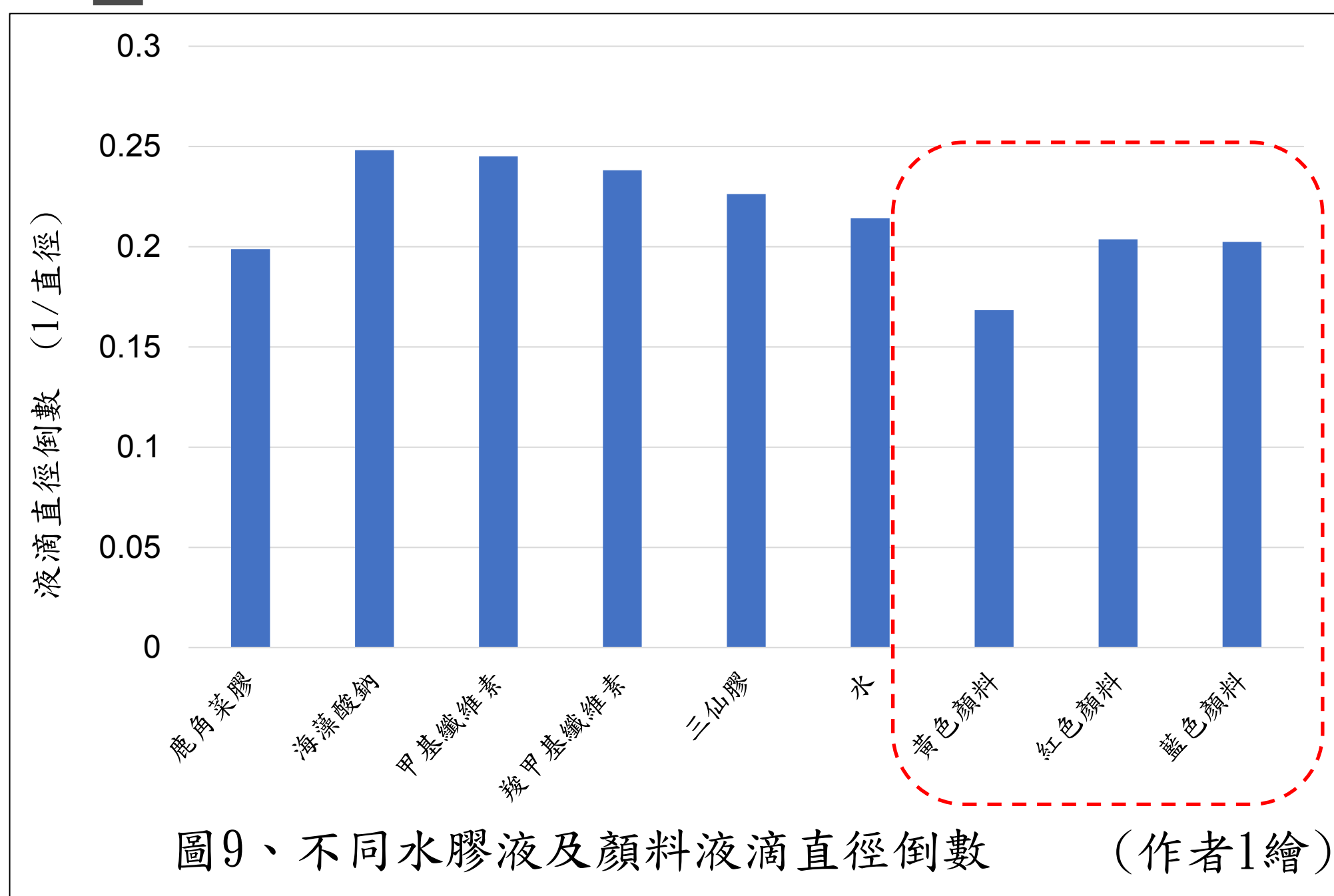


圖9、不同水膠液及顏料液滴直徑倒數 (作者1繪)

### 實驗七、三種顏料擴展速率探討

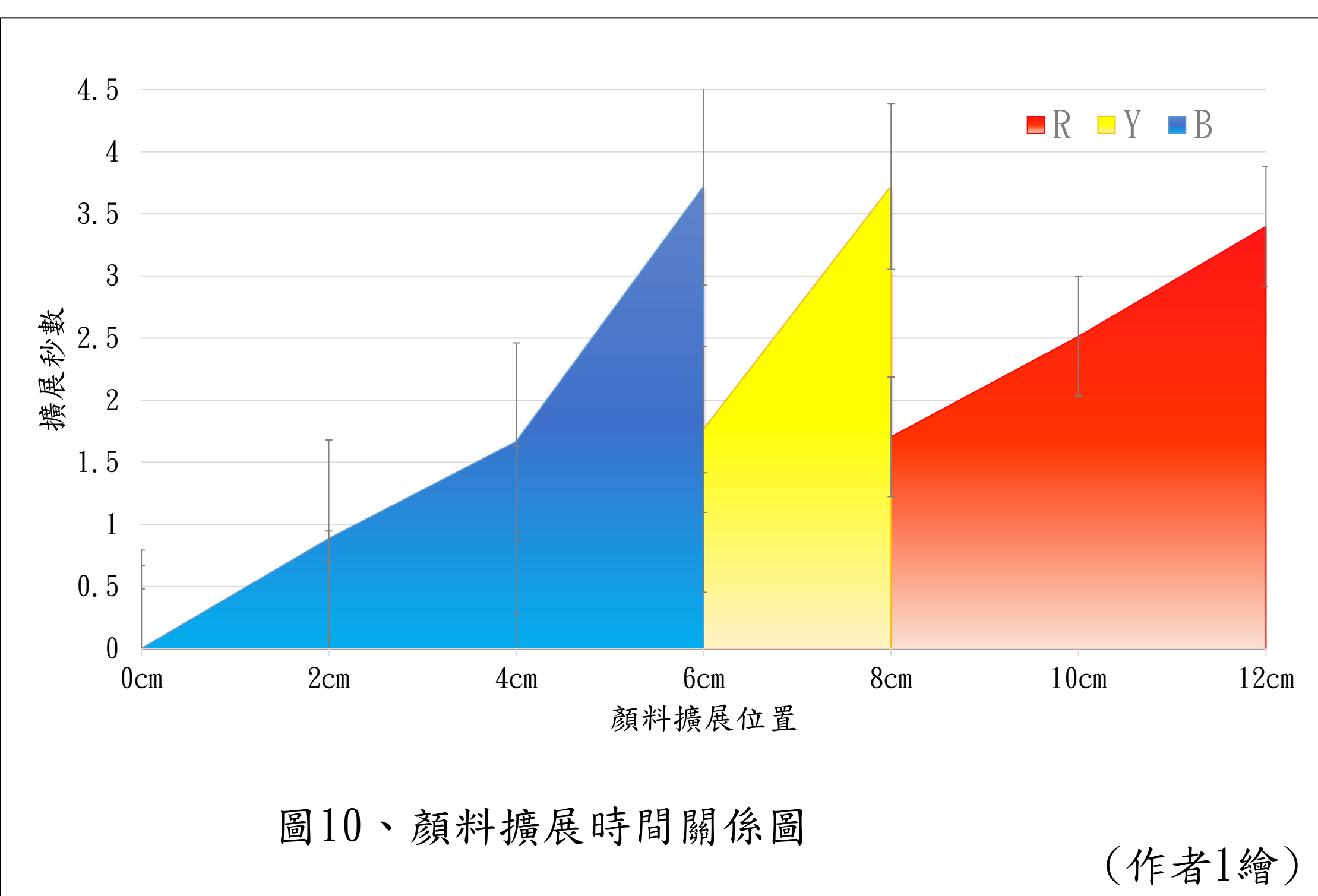


圖10、顏料擴展時間關係圖

(作者1繪)

聚丙烯顏料擴展達到不同寬度所需時間不同, 紅色較快。

表面張力：逆滲透水的表面張力最大(0.086gw/cm<sup>2</sup>)。地下水的表面張力最小(0.050gw/cm<sup>2</sup>)。其他水種類的表面張力差異不大(吳尹傑等, 2004)。水或膠液可作為顏料或染料的載體, 提升飄浮承載能力。液體表面張力受pH值、溶液濃度、溫度等因素影響。溫度低可保持液體表面擴展速率, 不同溫度的蒸餾水表面張力不同(吳尹傑等, 2004; 呂鎮宇等, 2011; 金門科學展覽會, 2014; 江奕佳等, 2016; 林禹綸等, 2019)。實驗證實, 35°C組的顏料展開直徑大於0°C組。

聚丙烯顏料擴展達到不同寬度所需時間不同, 黃色及藍色的顏料擴展速率較紅色慢。顏料擴展所需時間越來越長即張力差越來越小, 擴展速率受顏料表面的黏滯力及液體表面間的表面張力差所影響。



市售浮水畫載體為什麼會選擇海藻酸鈉?



• 增加黏度：

海藻酸鈉是一種天然多醣, 可以顯著增加水溶液的黏度。較高的黏度有助於減緩顏料在水面上的擴散速度, 使得顏料更容易控制和形成穩定的圖案。

• 穩定表面張力：

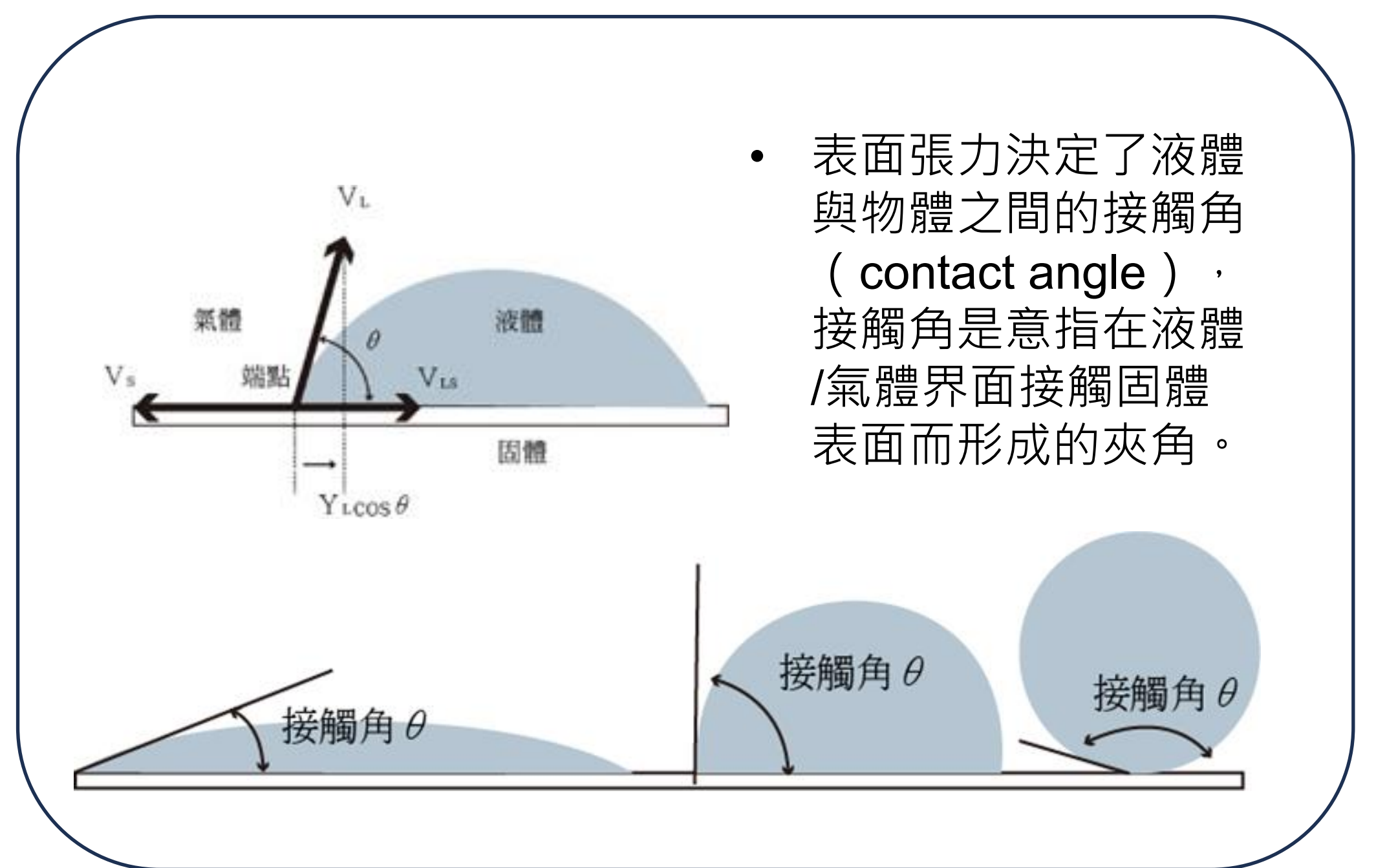
海藻酸鈉溶液的黏度特性可以幫助穩定水面的表面張力。穩定的表面張力有助於防止顏料沉入水中, 確保顏料能夠在水面上均勻擴散。

• 防止顏料沉降：

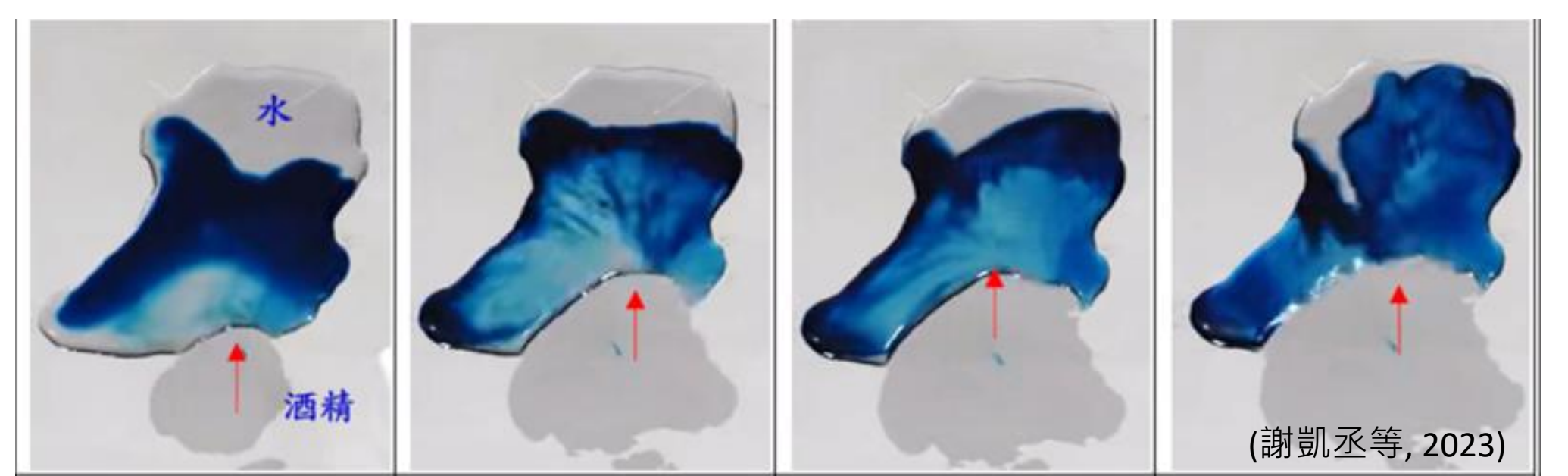
海藻酸鈉的膠體特性可以形成一個均勻的載體, 使顏料保持在水面, 而不會因為重力作用沉入底部。

• 馬拉高尼效應的應用：

海藻酸鈉的加入可以影響液體的表面張力梯度, 從而誘發馬拉高尼效應。顏料擴展後期液滴半徑內縮, 由馬拉高尼效應影響(謝凱丞等, 2023)。馬拉高尼效應可以使顏料在水面上形成特定的流動和圖案, 增加畫面的藝術效果。



• 表面張力決定了液體與物體之間的接觸角 (contact angle), 接觸角是意指在液體/氣體界面接觸固體表面而形成的夾角。



當具有不同表面張力的兩種流體接觸時, 由於具有高表面張力的液體比具有低表面張力的液體對周圍液體的拉力更強, 因此表面張力梯度的存在自然會導致液體從低表面張力區域流走。馬拉高尼效應可以發生在液體表面或兩種不相容流體的界面上(謝凱丞等, 2023)。