

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030214

探討速率及添加鹽類對 Antibubble 的影響

學校名稱：桃園市立大成國民中學

作者： 國二 張庭溱 國二 張哲銘 國二 鄭苡佳	指導老師： 王思琪 顏思恬
---	-----------------------------

關鍵詞：反泡泡、鹽類、速率

摘要

本次研究探討速率及添加鹽類對反泡泡成功次數與生存時間的影響，我們發現：

- 一、成功次數最高的基礎變因為：水與洗碗精重量比 100：1，吸管外口徑寬度 0.6cm，入水角度垂直水面 50 度，吸取水量高度離管口 2.5cm，吸管距承接液面高度 0.5cm。
- 二、吸管滴下液體速率在 12.2~14.8cm/s 之間，可成功產生反泡泡。
- 三、滴入的間隔時間及加入食用色素，對反泡泡成功次數與生存時間的影響並無影響。
- 四、隨著鹽類的莫耳數增加，成功次數及存活時間都明顯下滑。
- 五、最佳成功次數取決於陰陽離子價數，一價優於二價；最佳存活時間長短取決於離子價數與適當的離子半徑。
- 六、添加鹽類後，黏滯性並非影響存活時間的主要原因。

壹、前言

一、研究動機

我們看到國八下學期的課本，第五章清潔原理有提到洗碗精的親油端與親水端，大家討論到洗碗精可以用來製作泡泡水，我們不禁就想到，既然有外面是水膜的泡泡，那有沒有外面是空氣膜的泡泡呢？一查之下竟然真的有！那就是反泡泡！好奇心驅使之下，我們想藉著這個機會了解反泡泡的奧妙，於是我們設計了這個實驗。

二、研究目的

- (一)、找出反泡泡成功次數最高的基礎變因
- (二)、探討速率對反泡泡的影響
 1. 探討針筒活塞速率對反泡泡的影響
 2. 探討吸管流下液體速率對反泡泡的影響
- (三)、探討滴入的間隔時間對反泡泡的影響
- (四)、探討食用色素對反泡泡生成的影響
- (五)、探討鹽類對反泡泡成功次數與生存時間的影響
 1. 較低濃度時，不同陽離子在不同莫耳數下對反泡泡的影響
 2. 較低濃度時，不同陰離子在不同莫耳數下對反泡泡的影響
 3. 較高濃度時，不同陽離子在不同莫耳數下對反泡泡的影響
 - (1) 氯化鹽類
 - (2) 硝酸鹽類
 4. 較高濃度時，不同陰離子原子團在不同莫耳數下對反泡泡的影響
- (六)、探討添加不同鹽類的泡泡水黏滯性對存活時間的影響

三、文獻探討

(一)、「第 46 屆-泡泡造反了」文獻中提到：反泡泡存活時間大多在 70 秒之內，僅有少數超過 100 秒；且洗碗精濃度越稀薄，反泡泡的成功越低。

(二)、「第 37 屆科展—水中的魔法泡泡」：

1. 此文獻各項變因的最佳條件如下表(一)。

表(一) 參考文獻中，各項變因的最佳條件

	水與洗碗精重量比	吸管外口徑 寬度(cm)	入水角度 (度)	吸取水量 高度	吸管距承接液 面高度(cm)
操縱 變因	100 : 1、100 : 2 100 : 3、100 : 4 100 : 5	0.35、0.5、 0.6、1.0、 1.25	30°、40°、 50°、60°、 70°、80°、 90°	*無提到	0.5、1.0、 1.5、2.0、 2.5
最佳 條件	100 : 1	0.35、0.5、 0.6	50° (90°次之)	*無提到	0.5、1.0

2. 溫度越高，反泡泡產生的成功次數越低。為了控制變因，同一組操縱變因的實驗會盡量在同一時間盡快完成。

3. 比照這個實驗，我們利用「每滴十次，成功製作出反泡泡的次數」來作為測量結果。

4. 文獻中提到速率可能會影響成功次數，但未有實驗佐證。

(三)、由於前兩篇文獻中，洗碗精濃度與反泡泡成功次數結果不同，且為了確保其他變因的再現性，並找出適合我們實驗操作的方式，所以設計了【實驗一】來設定後面實驗的基礎變因。此外，兩篇文獻都未針對流速對反泡泡生成的影響，因此我們設計【實驗二】與【實驗三】

(四)、我們參考自 Physics Girl 影片：What are antibubbles? 的影片，影片中有添加色素，不知色素可否幫助我們觀察反泡泡，所以我們設計了【實驗五】。

(五)、我們參考自 The Action Lab 影片：What Happens to an Anti-bubble in a Vacuum Chamber? 的影片，影片中有觀察反泡泡存活的時間，而文獻一也提到，存活時間僅少數超過 100 秒。因此我們增加討論有哪些因素會影響反泡泡存活的時間。

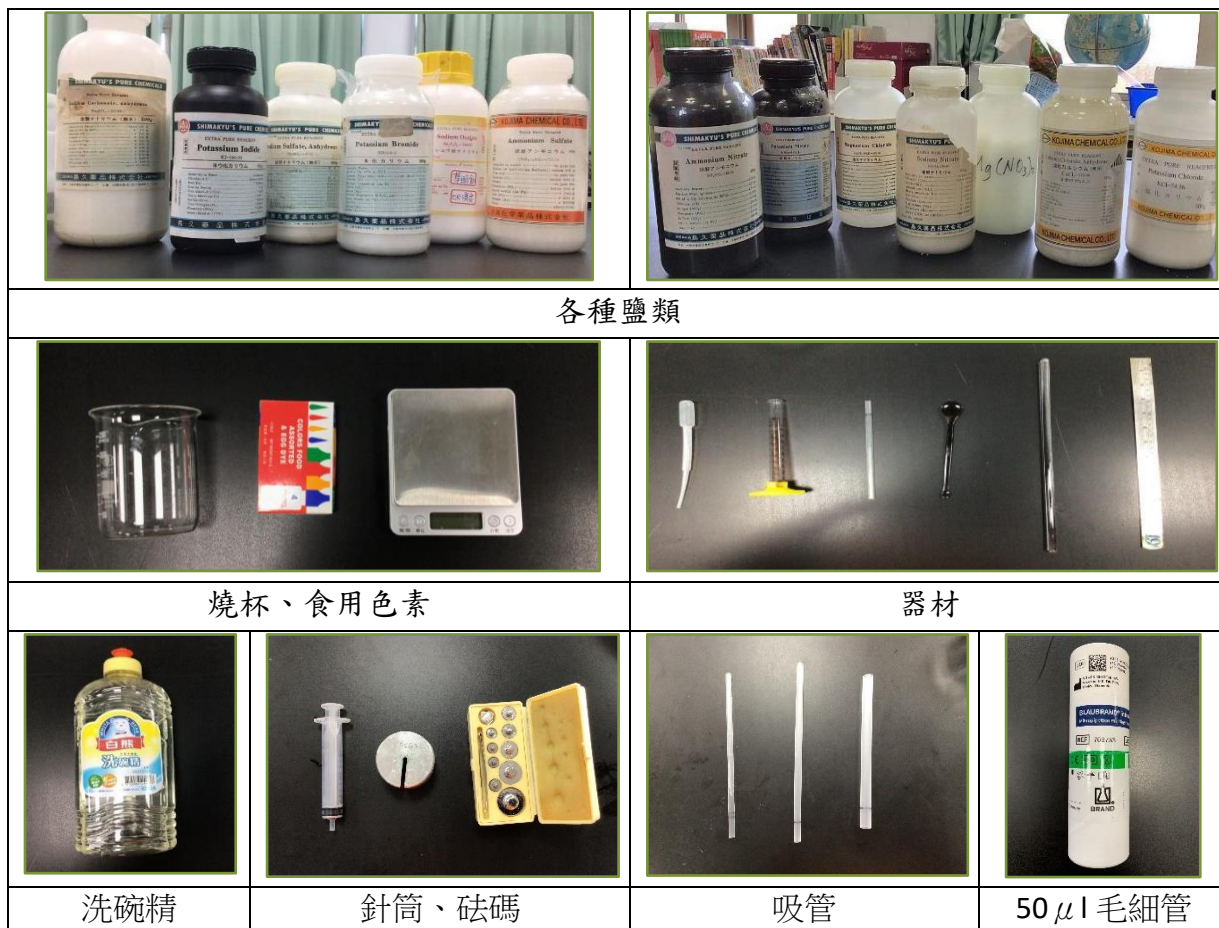
(六)、一篇國際文獻 Advances in antibubble formation and potential applications 當中，提到了產生反泡泡的形式有兩類，包括以「噴射(jet)」的方式及「點滴(drop)」的方式，並從物理的角度解釋反泡泡的形成。(我們用吸管吸取液體流下屬於噴射方式。)

(七)、另一篇國際文獻 Antibubble lifetime: Influence of the bulk viscosity and of the surface modulus of the mixture 有提到黏滯性會影響反泡泡的形成，因此我們也設計了【實驗十一】。

(八)、以上所有文獻都未曾從添加各種鹽類來進行對反泡泡生成及存活時間的影響，因此我們設計【實驗六】~【實驗十】來討論添加鹽類對反泡泡生成及存活時間的影響。

貳、研究器材和藥品

- 一、藥品：氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣、氯化銨、氟化鉀、溴化鉀、碘化鉀、硝酸鎂、硝酸鈉、硝酸鉀、硫酸鈉、碳酸鈉。
- 二、器材：白熊洗碗精、水、食用色素、各口徑的吸管、10ml 的針筒、電子秤、滴管、燒杯、量筒、吸管、括勺、玻棒、鐵尺、平板，如下圖(一)。
- 三、app 軟體：Video Physics

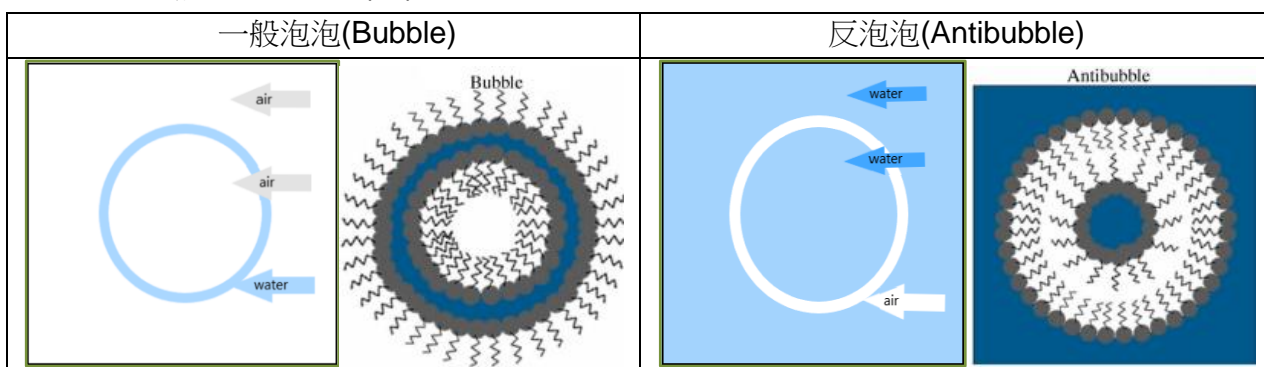


圖(一)各種器材與藥品

參、研究過程或方法

一、何謂反泡泡

- (一)、反泡泡結構為內部是水，接著包裹一層薄空氣殼，而外部則同為水，與一般泡泡結構相反，如圖(二)。

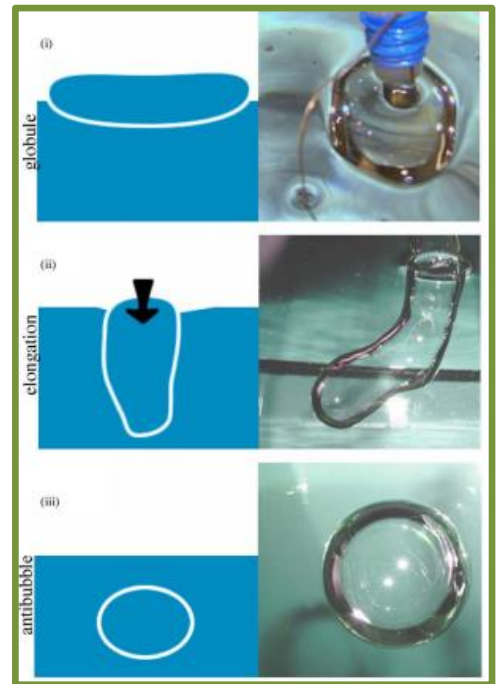


圖(二)一般泡泡(Bubble, 左)與反泡泡(Anti-Bubble, 右)示意圖

(二)、反泡泡與一般泡泡折射光線的方式不同。因為它們是水滴，所以進入它們的光線折射回光源的方式與彩虹相同。也因為這種折射，反泡泡具有明亮的外觀。

(三)、參考文獻 **Antibubbles: Factors that affect their stability**，如圖(三)

1. 當水柱流下時，會在承接液體表面先形成一個小球，並夾著一層空氣層，如圖(三- i)。
2. 當水柱持續流下時，而空氣層面積加大，層成殼狀，如圖(三- ii)。
3. 當水柱停止流下後，表面張力把空氣殼中的水拉成球形，形成成功的反泡泡，如圖(三- iii)。

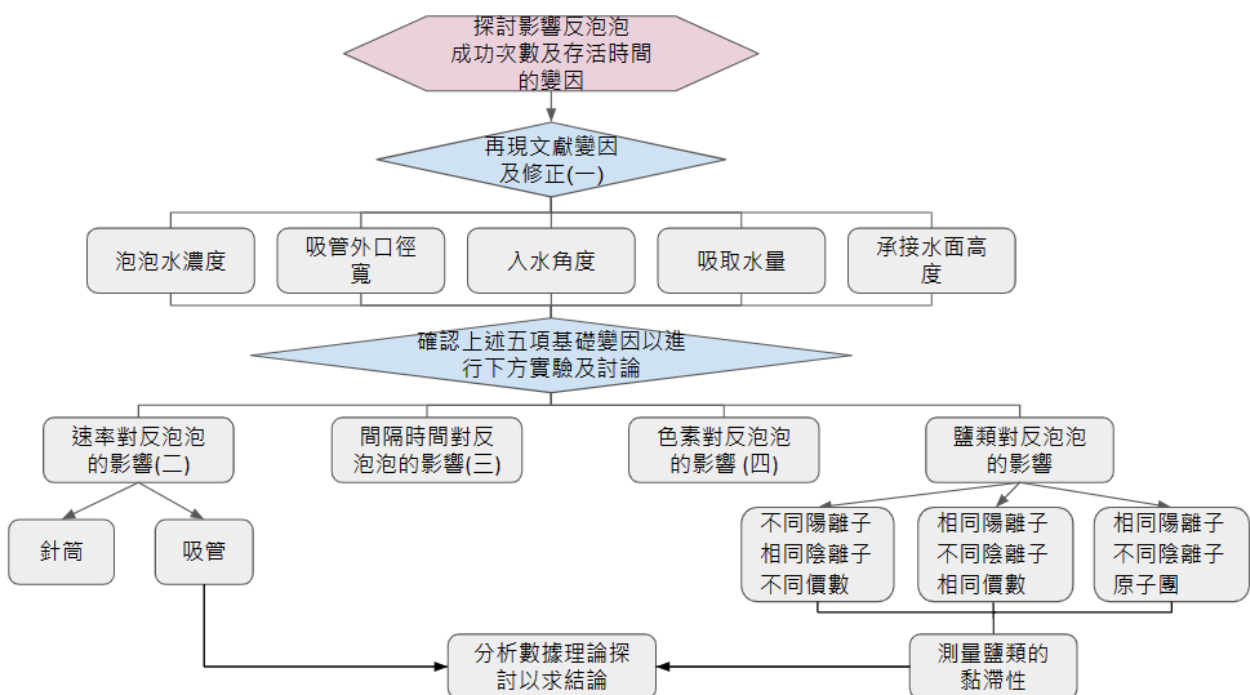


圖(三) 水柱流下產生反泡泡示意圖

(四)、反泡泡的應用

1. 反泡泡的潛在用途，可用作潤滑劑，它的空氣薄膜也可用來過濾空氣或其他氣體；而在化學相關工業，則可從煙囪中去除污染物。
2. 反泡泡也可用於藥物運輸，例如包裹益生菌（即乾酪乳桿菌）以保護它們免受外部環境的影響，或利用紫外線固化聚合物可將產生藥物填充在膠囊中。
3. 在醫學成像中，微泡(micro cell)已被用作超聲造影劑(UCA) 來定位病理組織，同時可將治療成分輸送到體內的特定區域。

二、實驗流程圖



圖(四) 實驗設計流程圖

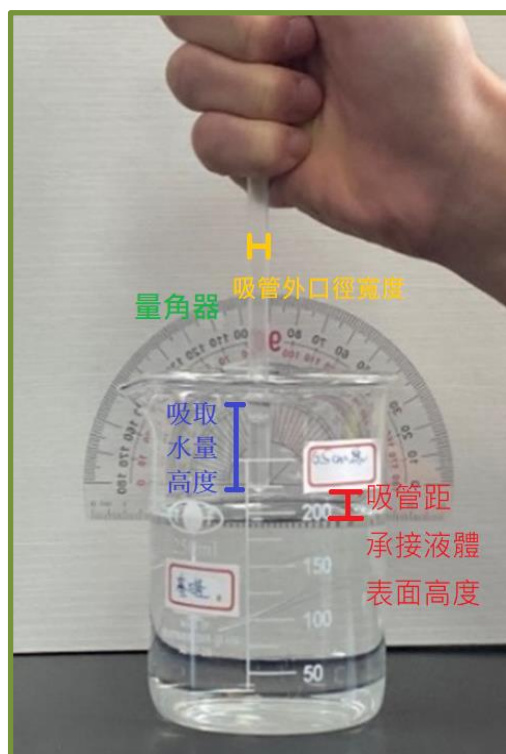
三、【實驗一】確認製作反泡泡的各項基礎變因

為了確保實驗的再現性，並找出適合我們實驗操作的方式，所以設計了【實驗一】來設定後面實驗的基礎變因，實驗裝置如右圖(五)。

(一)、實驗一之一：水與洗碗精重量比

【實驗步驟】

1. 取 200g 的水，再加入 2g 的洗碗精後，均勻攪拌。
2. 在離吸管管口 2.5cm 處畫上一條線，固定吸取水量的高度。
3. 將吸管插入泡泡水中至指定刻度，保持吸管垂直液面 90 度，並距離承接液面 0.5cm，按住吸管上方開口，提起後再將泡泡水滴入水中。
4. 觀察並記錄每滴 10 次成功製作出反泡泡的次數，且相同條件重複三遍。
5. 改變溶液比例分別為 50：1、200：1，重複步驟 1~4。



圖(五) 基礎實驗裝置

(二)、實驗一之二：吸管外口徑寬度

【實驗步驟】

1. 改變操縱變因，更換吸管外口徑寬度分別為 0.6、0.8、1.15 cm。
2. 重複實驗一之一中的步驟 1~4。

(三)、實驗一之三：入水角度

【實驗步驟】：

1. 將量角器黏在燒杯上，且量角器的底線對齊液面高度之上 0.5cm 處，操縱吸管滴下泡泡水的入水角度分別為 50°、75°、90°。
2. 重複實驗一之一中的步驟 1~4。

(四)、實驗一之四：吸取水量高度

【實驗步驟】：

1. 改變操縱變因，吸取水量高度分別為吸管上刻度 2.0、2.5、3.0cm 線。
2. 重複實驗一之一中的步驟 1~4。

(五)、實驗一之五：吸管距承接液體表面高度

【實驗步驟】：

1. 改變操縱變因，吸管距承接液體表面高度分別為 0.5、1.0cm。
2. 重複實驗一之一中的步驟 1~4。

四、探討速率對反泡泡的影響

(一)、【實驗二】探討針筒活塞速率對反泡泡的影響

在操作實驗一時，我們常常在思考，為什麼用同樣的條件來製作反泡泡，有時會成功，有時卻失敗呢？我們推測，是否因為手放開吸管的速率不同，導致流速不同？所以設計了這個實驗。

1. 實驗二之一：

- (1) 實驗裝置：如右圖(六)，利用鐵架及鐵夾固定針筒離承接液面的高度，利用重量不同的砝碼置於針筒上方。
- (2) 使用針筒的理由：一方面來固定流出的溶液量，二方面藉由定位活塞端點，來測量活塞的移動速率對反泡泡的影響。
- (3) 使用砝碼的理由：根據牛頓第二定律 $F=ma$ ，我們想要藉由力道不同，來改變速率的大小。
- (4) 實驗步驟：
 - A. 取 400g 的水，再加入 2g 的洗碗精後，均勻攪拌。
 - B. 依照裝置圖依序放上不同重量的砝碼分別為 200g、250g、300g、400g，並改變針筒吸取水量分別為 2ml、3ml、5ml。
 - C. 觀察並紀錄各操縱變因下反泡泡能否成功。



圖(六)
針筒活塞裝置圖

2. 實驗二之二：我們改用手推動活塞，重複實驗二之一步驟，拍出影片，再利用軟體 Video Physics 計算出針筒移動速率，取得產生反泡泡的速率並製成圖表。

(1) 實驗步驟：

- A. 依基礎變因調配一杯泡泡水。
- B. 使用針筒及鐵架裝置進行實驗，並拍出成功生成反泡泡的影片及無法生成反泡泡的影片。
- C. 使用軟體 Video Physics 開啟影片，並每隔 0.03 秒點一次針筒活塞的最下方端點(即形成圖表上的一個點)，追蹤針筒活塞移動速率，製成圖表。
- D. 重複步驟 2、3，將影片皆製成圖表，並比較各圖表所得數據。

(二)、【實驗三】探討吸管滴下液體速率對反泡泡的影響

在觀察實驗二製成的圖表時，發現並無明顯的規律性，也因操作針筒較難控制變因、成功次數較低，從【實驗四】開始的實驗皆使用吸管測量，於是我們想探討吸管滴下液體速率對反泡泡的影響。

【實驗步驟】

1. 依基礎變因調配一杯泡泡水。
2. 使用吸管進行實驗，並拍出成功生成一顆反泡泡的影片十次及無法生成一顆反泡泡的影片十次。
3. 使用軟體 Video Physics 開啟影片，並每隔 0.03 秒點一次吸管中的液體最下方端點(即形成圖表上的一個點)，追蹤吸管滴下液體移動速率，製成圖表並找出每張圖表的速率最大值。
4. 重複步驟 2、3，將共二十個影片皆製成圖表，並比較各圖表所得數據。
5. 任意選十次成功製造反泡泡，但存活時間秒數不同的影片，重複步驟 3，再比較各圖表所得數據。

五、【實驗四】探討滴入的**間隔時間**對反泡泡的影響

我們在實驗中觀察到，滴下的反泡泡會失敗可能是因為前一次滴下後的液體還在流動，於是想探討時間間隔是否影響反泡泡的生成。

【實驗步驟】：

1. 依基礎變因調配一杯泡泡水。
2. 滴下第一次泡泡水時按下碼表，第 2 秒時再滴下一滴，依序增加兩秒直到滴完十滴。
3. 觀察並記錄滴 10 次中成功製作出反泡泡的次數，且相同條件重複三遍。
4. 改變時間間隔，分別為每 4、6、8、10 秒，重複步驟 1~3。

六、【實驗五】探討加入**食用色素**對反泡泡生成的影響

我們配製濃度較高的泡泡水時，為了方便觀察，便加入食用色素觀察其變化，並比較加入食用色素是否會影響反泡泡成功次數及存活時間。

【實驗步驟】：

1. 依基礎變因調配一杯泡泡水。
2. 加入 3 滴紅色食用色素，並依最成功變因製作反泡泡。
3. 共重複做 10 回實驗，每回 10 次。
4. 記錄並觀察每回 10 次中共成功幾次。
5. 改變食用色素顏色共 4 種：紅、黃、藍、綠，並重複步驟 1~4。

七、探討加入**不同鹽類**對反泡泡生成的影響

在參考文獻中，都不曾討論添加各種鹽類對反泡泡的影響，因此我們設計了以下實驗。

(一)、【實驗六】較**低濃度**時，**不同陽離子**在不同莫耳數下對反泡泡成功次數與生存時間的影響

【實驗步驟】：

1. 依基礎變因調配一杯泡泡水。
2. 加入 0.02mol 氯化鈉，並依最成功變因製作反泡泡。
3. 共重複做 5 回實驗，每回 10 次。
4. 再加入 0.02mol 氯化鈉，共調製加入 0.04、0.06、0.08、0.10 mol 氯化鈉的泡泡水，並重複步驟 3。
5. 記錄並觀察每回 10 次中共成功幾次。
6. 改變鹽類種類共 4 種，包括**氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣**。
7. 將陽離子的分子量及大小製成表格，並進行討論及比較。
8. 使用 Avogadro 軟體，繪製出陽離子原子團。
9. 依參考文獻得到離子半徑數據，再計算出原子團直徑。

(二)、【實驗七】較**低濃度**時，**不同陰離子**在不同莫耳數下對反泡泡成功次數與生存時間的影響

1. 鹽類改用溴化鉀，重複【實驗六】中的步驟 1~5。
2. 改變鹽類種類共 4 種：**氟化鉀、氯化鉀、溴化鉀、碘化鉀**。
3. 將陰離子的分子量及大小製成表格，並進行討論及比較。

(三)、【實驗八】較高濃度時，氯化鹽類在不同莫耳數下對反泡泡的影響成功次數與生存時間的影響

【實驗步驟】：

1. 依基礎變因調配一杯泡泡水。
2. 加入 0.1mol 氯化鈉，並依最成功變因製作反泡泡。
3. 共重複做 5 回實驗，每回 10 次。
4. 再加入 0.05mol 氯化鈉，共調製加入 0.15、0.20、0.25、0.30 mol 氯化鈉的泡泡水，並重複步驟 3。
5. 記錄並觀察每回 10 次中共成功幾次。
6. 改變鹽類種類共 5 種：氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣與氯化銨。

(四)、【實驗九】較高濃度時，硝酸鹽類在不同莫耳數下對反泡泡的影響成功次數與生存時間的影響

1. 鹽類改用硝酸鈉，重複【實驗八】中的步驟 1~5。
2. 改變鹽類種類共 3 種：硝酸鈉、硝酸鉀、硝酸鎂。

(五)、【實驗十】探討加入不同陰離子原子團的鹽類及其莫耳數對反泡泡生成的影響

【實驗步驟】：

1. 鹽類改用硫酸鈉，重複【實驗八】中的步驟 1~5。
2. 改變鹽類種類共 3 種：硝酸鈉、硫酸鈉、碳酸鈉。
3. 將陰離子原子團的分子量及大小製成表格，並進行討論及比較。
4. 使用 Avogadro 軟體，繪製出陰離子原子團。

八、【實驗十一】探討添加不同鹽類的泡泡水黏滯性對存活時間的影響

由於國外文獻中有提到黏滯性會影響反泡泡存活時間，因此我們利用毛細管來測量添加不同鹽類的泡泡水黏滯性的大小。

【實驗步驟】：

1. 取 0.025mol 的氯化鈉，加水至 50mL，再加入 0.5g 的清潔劑，攪拌均勻。
2. 將配好的溶液倒入試管中，並取一隻 50 μ l 毛細管沒入溶液中至右圖綠色刻度下方，並用大拇指按住上方管口處。
3. 將毛細管移離溶液表面，再將上述大拇指放開，至溶液不再從毛細管滴下後，測量殘餘在毛細管中的溶液長度，並記錄下來。
4. 取其他 12 種鹽類，並重複步驟 1~3，如下方照片。



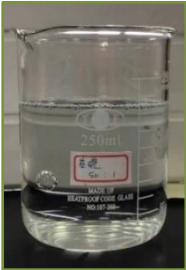

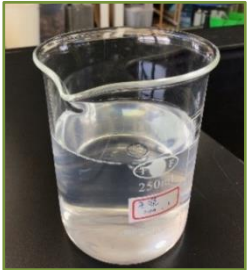
肆、實驗結果

一、【實驗一】找出製作反泡泡成功次數最高的各項基礎變因

(一)、實驗一之一：水與洗碗精重量比

1. 操縱變因：50:1 / 100 : 1 / 200:1。
2. 應變變因：每滴 10 次成功製作出反泡泡的次數，重複 10 遍並求平均值如下表，所拍的照片如下圖。

重量比 \ 次序	1	2	3	4	5	平均
50:1	6	7	6	8	8	7
100:1	7	7	8	9	8	7.8
200:1	6	7	7	8	8	7.2

照片			
水與洗碗精重量比	50:1	100 : 1	200:1

3. 結果說明：

- (1) 洗碗精濃度於 100:1 下平均數最高，因此之後的基礎變因選擇 100:1。

(二)、實驗一之二：不同吸管口徑

1. 操縱變因：吸管口徑 0.6cm/0.8cm/1.15cm

口徑 \ 次序	1	2	3	4	5	平均
0.6	7	7	8	9	8	7.8
0.8	7	6	6	8	7	6.8
1.15	0	0	0	0	0	0

2. 結果說明：吸管口徑 0.6cm，製作反泡泡效果最好

(三)、實驗一之三：入水角度

1. 操縱變因：50 度 / 70 度 / 90 度

入水角度 \ 次序	1	2	3	4	5	平均
50 度	7	8	7	8	8	7.6
70 度	6	5	6	5	6	5.6
90 度	6	7	6	8	7	6.8

2. 結果說明：入水角度 50 度，製作反泡泡效果最好，但為了方便操作實驗，我們基礎變因使用 90 度入水。

(四)、實驗一之四：吸取水量高度

1. 操縱變因：吸水量 吸管上刻度線 2.0cm / 2.5cm / 3.0cm

序 cm	1	2	3	4	5	平均
2	2	4	3	5	5	3.8
2.5	7	7	8	9	8	7.8
3	6	6	6	7	6	6.2

2. 結果說明:

(1) 吸管上刻度線 2.5cm 製作反泡泡效果最好。

(五)、實驗一之五：吸管距承接液體表面高度(cm)

1. 操縱變因：0.5cm/1.0cm

序 cm	1	2	3	4	5	平均
0.5	7	7	8	9	8	7.8
1	7	6	8	6	6	6.6

2. 結果說明:

(1) 吸管距離水面 0.5cm 製作反泡泡效果最好。

二、【實驗二】探討針筒活塞速率對反泡泡的影響

(一)、實驗二之一：使用砝碼推壓活塞，不同重量的砝碼對生成反泡泡成功的影響，實驗結果如下表。

吸水量(ml) 砝碼重量(g)	2 mL	3 mL	5 mL
200	砝碼太輕， 推不動活塞		
250			
300	砝碼太重，活塞移動過快 導致水流流速過快		
400			

結果說明：

1. 吸水量多寡，不影響活塞推不推得動以及移動速度。
2. 砝碼太少，推不動活塞；但一旦砝碼超過 300 g，活塞又動得太快，無法產生反泡泡。

(二)、實驗二之二：手推活塞，使用軟體 Video Physics 計算出針筒活塞移動速率，結果如下。

成功產生 反泡泡的 y-t 圖 Vy-t 圖			
V_M	9 cm/s	0.55 cm/s	17.5cm/s

成功產生反泡泡的 y-t 圖 Vy-t 圖			
V_M	11.5 cm/s	0.675 cm/s	0.5cm/s
無法產生反泡泡的 y-t 圖 Vy-t 圖			
V_M	3.1 cm/s	0.7 cm/s	1.4cm/s

結果分析：

1. 成功產生反泡泡的速率與時間的作圖很凌亂，沒有規律性，且速率的最大值與反泡泡的成功無法觀察到相關性。
2. 無法產生反泡泡的最大速率都偏低。

三、【實驗三】探討吸管流下液體速率對反泡泡的影響

(一)、成功生成一顆反泡泡的作圖十次，並記錄速率最大值(V_M)如下。

y-t 圖 Vy-t 圖					
V_M	14.6	14.4	14.4	12.2	12.8
y-t 圖 Vy-t 圖					
V_M	12.8	14.8	18.2	13.8	14.8

(二)、無法生成一顆反泡泡的作圖十次，並記錄速率最大值(V_M)如下。

y-t 圖 Vy-t 圖					
V_M	9.8	20.8	15.8	19.8	20.0

y-t 圖 Vy-t 圖					
V_M	13.8	11.2	15.8	11.6	11.8

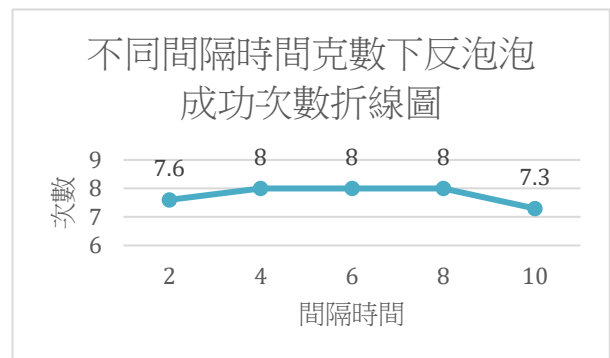
(三)、結果分析：

1. 跟針筒活塞的作圖相比，速率明顯不斷增加，直到最大值。
2. 成功產生反泡泡的最大速率落在 **12.2~14.8 cm/s** 之間，速率過小或過大都會導致無法產生反泡泡。

四、【實驗四】探討滴入的**間隔時間**對反泡泡的影響

(一)、改變滴入的間隔時間，測量反泡泡的成功次數如下表，並將間隔時間與成功次數作圖，如右圖。

滴下反泡泡間隔時間(s)	1	2	3	平均
2	7	9	7	7.6
4	8	8	8	8
6	8	9	7	8
8	7	8	9	8
10	7	8	7	7.3



(二)、結果分析：

間隔時間過短(2s)或過長(10s)，皆會些微影響成功次數，但差異不大。

五、【實驗五】探討加入食用色素對反泡泡生成的影響

紅色食用色素	黃色食用色素	藍色食用色素	綠色食用色素

(一)、操作變因：對照組/紅色色素/黃色色素/藍色色素/綠色色素。

(二)、將成功次數紀錄如下，並求得平均值。

次數 mol 數	1	2	3	4	5	平均
對照	7	7	7	8	8	7.4
紅	8	7	7	8	7	7.4
黃	7	8	7	7	7	7.2
藍	7	8	8	7	8	7.6
綠	7	8	8	7	7	7.4

(三)、將存活秒數紀錄如下，並求得平均值。

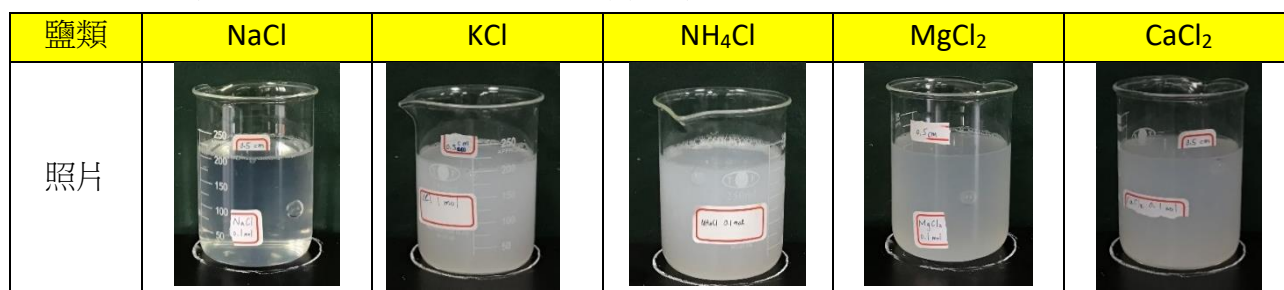
mol 數 \ 次數	1	2	3	4	5	平均
對照	32	17	13	24	43	25.8
紅	10	15	10	39	11	17
黃	15	20	13	17	20	17
藍	11	30	31	9	18	19.8
綠	29	28	26	13	16	22.4

(四)、結果說明：成功次數與對照組無明顯差異，且添加色素後，存活時間明顯較低，且色素不助於觀察。

六、探討鹽類對反泡泡生成的影響

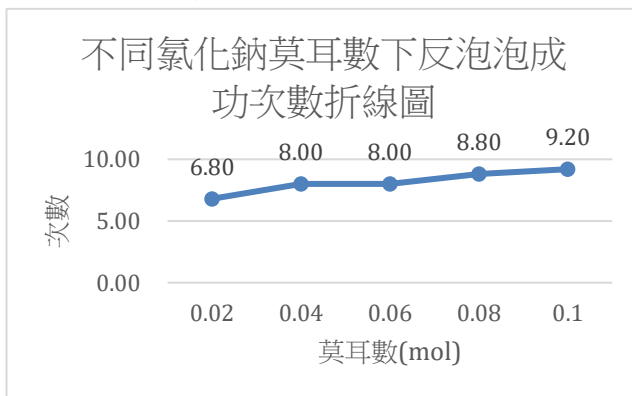
(一)、【實驗六】較低濃度時，不同陽離子在不同莫耳數下對反泡泡成功次數與生存時間的影響

1. 五種鹽類的溶液產生反泡泡的照片如下。



2. 不同氯化鈉莫耳數下，反泡泡成功次數之圖表如下。

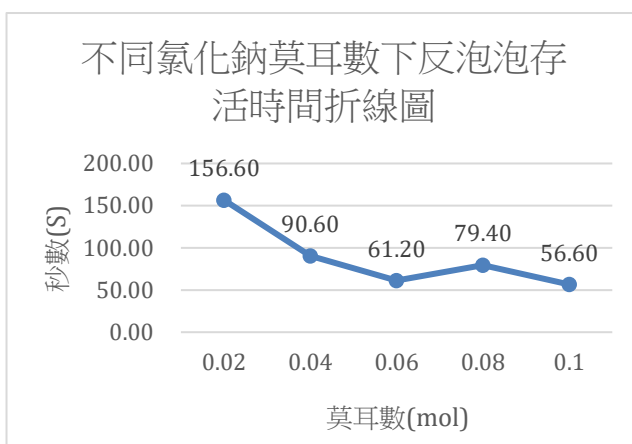
序 mol \	1	2	3	4	5	平均
0.02	7	6	7	6	8	6.80
0.04	8	9	8	8	7	8.00
0.06	9	8	7	8	8	8.00
0.08	9	8	10	9	8	8.80
0.1	8	9	10	9	10	9.20



結果說明：隨著莫耳數增加，成功次數增加。

3. 不同氯化鈉莫耳數下，反泡泡存活時間之圖表如下。

序 mol \	1	2	3	4	5	平均
0.02	189	179	159	226	30	156.60
0.04	89	29	200	56	79	90.60
0.06	124	34	30	70	48	61.20
0.08	210	44	38	35	70	79.40
0.1	54	31	30	28	140	56.60



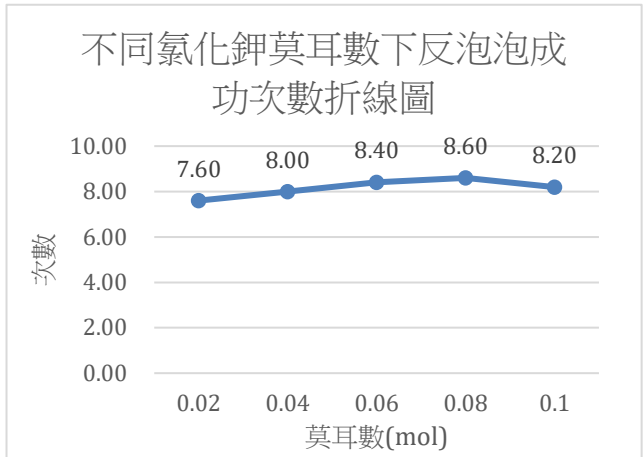
結果說明：

- (1) 隨著莫耳數增加，存活時間下降。
- (2) 最佳值為 226 秒。

4. 不同氯化鉀莫耳數下，反泡泡成功次數之圖表如下。

序 mol	1	2	3	4	5	平均
0.02	7	7	9	8	7	7.60
0.04	8	9	8	7	8	8.00
0.06	8	10	8	9	7	8.40
0.08	10	8	9	8	8	8.60
0.1	8	8	9	8	8	8.20

結果說明：隨著莫耳數增加，成功次數些微上升，當莫耳數 0.08mol 時最大，但差異不大。

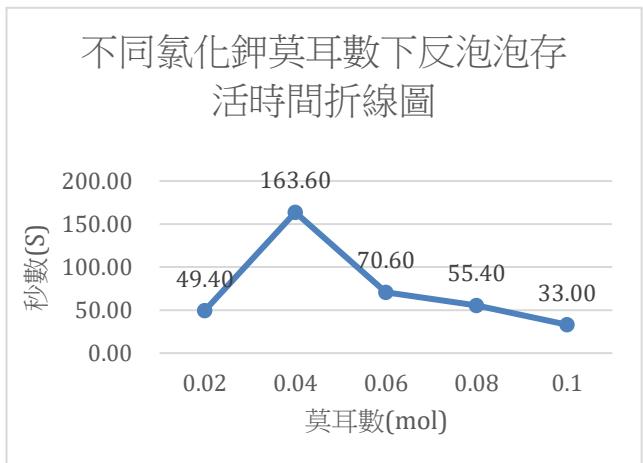


5. 不同氯化鉀莫耳數下，反泡泡存活時間之圖表如下。

序 mol	1	2	3	4	5	平均
0.02	28	40	36	50	93	49.40
0.04	93	77	280	205	163	163.60
0.06	120	101	61	32	39	70.60
0.08	28	43	89	32	85	55.40
0.1	42	27	24	47	25	33.00

結果說明：

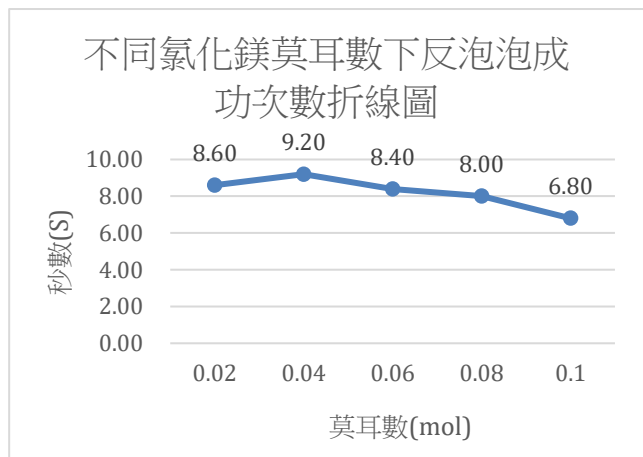
- (1) 0.04 mol 值最大，接下來隨著莫耳數增加，存活時間下降。
- (2) 最佳值為 280 秒。



6. 不同氯化鎂莫耳數下，反泡泡成功次數之圖表如下。

序 mol	1	2	3	4	5	平均
0.02	8	9	9	8	9	8.60
0.04	9	8	9	10	10	9.20
0.06	8	10	7	8	9	8.40
0.08	8	9	7	8	8	8.00
0.1	6	8	7	7	6	6.80

結果說明：莫耳數超過 0.04mol 後，隨著莫耳數增加，成功次數逐漸下降。

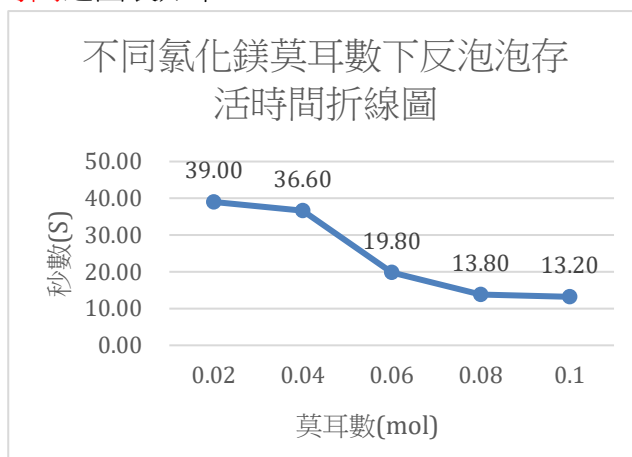


7. 不同氯化鎂莫耳數下，反泡泡存活時間之圖表如下。

序 mol	1	2	3	4	5	平均
0.02	93	20	39	21	22	39.00
0.04	53	44	45	21	20	36.60
0.06	19	14	21	19	26	19.80
0.08	10	14	17	10	18	13.80
0.1	13	8	12	13	20	13.20

結果說明:

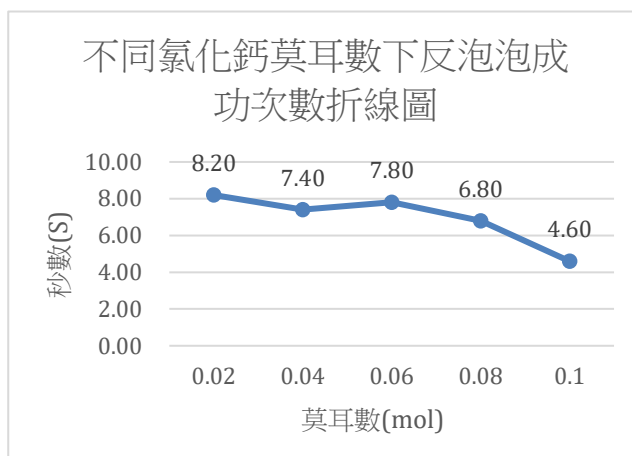
- (1) 隨著莫耳數增加，存活時間下降。
- (2) 最佳值為 93 秒。



8. 不同氯化鈣莫耳數下，反泡泡成功次數之圖表如下。

序 mol	1	2	3	4	5	平均
0.02	7	8	9	9	8	8.20
0.04	8	6	8	8	7	7.40
0.06	8	9	8	7	7	7.80
0.08	7	6	7	6	8	6.80
0.1	5	4	3	5	6	4.60

結果說明：隨著莫耳數增加，成功次數趨勢逐漸下降。

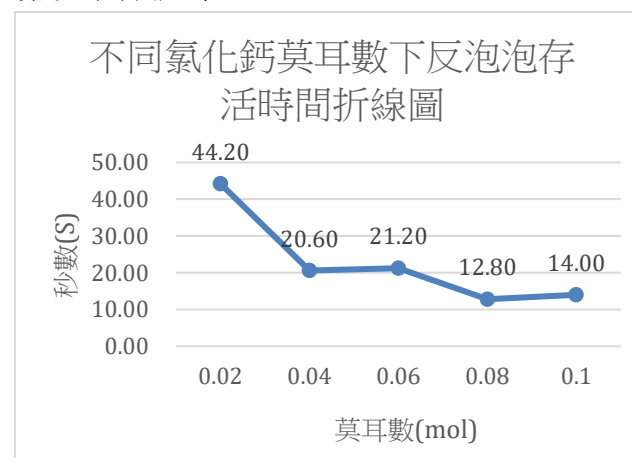


9. 不同氯化鈣莫耳數下，反泡泡存活時間之圖表如下。

序 mol	1	2	3	4	5	平均
0.02	41	29	107	22	22	44.20
0.04	15	30	14	18	26	20.60
0.06	10	36	16	25	19	21.20
0.08	15	11	7	14	17	12.80
0.1	11	10	13	20	16	14.00

結果說明:

- (1) 隨著莫耳數增加，存活時間下降。
- (2) 最佳值為 107 秒。



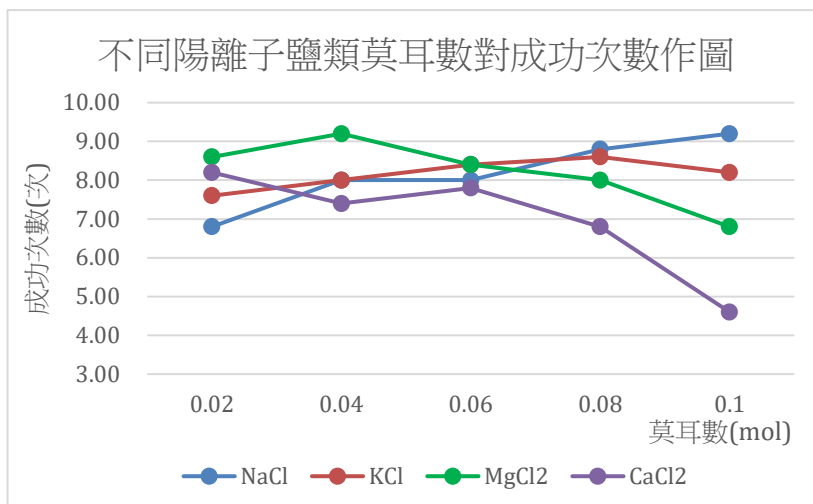
10. 綜合五種鹽類莫耳數對反泡泡成功次數的作圖如下圖表。

結果說明：

(1) 同為一價的氯化鈉和氯化鉀的數值與曲線較為接近，其中氯化鈉的曲線不斷上升，因此我們想再將濃度提高進行實驗。

(2) 同為二價的氯化鎂與氯化鈣，隨著加入的量越多，其成功次數逐漸下降，因此我們想再將濃度提高進行實驗。

(3) 綜合上述兩個結果，所以我們設計【實驗九】探討加入不同陽離子鹽類高濃度對反泡泡生成的影響。

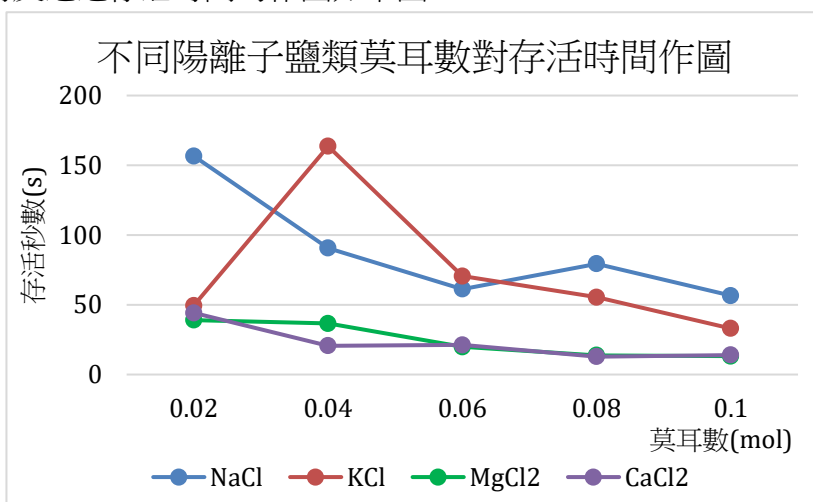


11. 綜合五種鹽類莫耳數對反泡泡存活時間的作圖如下圖。

結果說明：

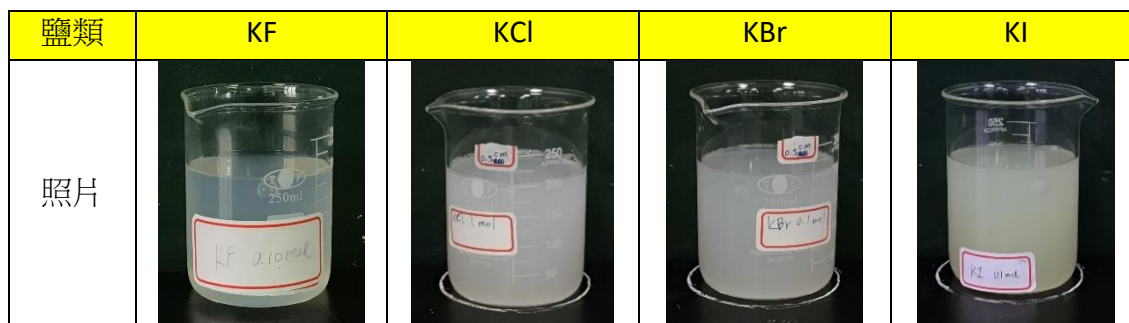
(1) 一價的氯化鈉和氯化鉀存活時間皆優於二價的氯化鎂與氯化鈣

(2) 除了氯化鉀在 0.04mol 時存活時間較高外，其他鹽類隨著加入的量越多，其存活時間逐漸下降。



(二)、【實驗七】較低濃度時，不同陰離子在不同莫耳數下對反泡泡成功次數與生存時間的影響

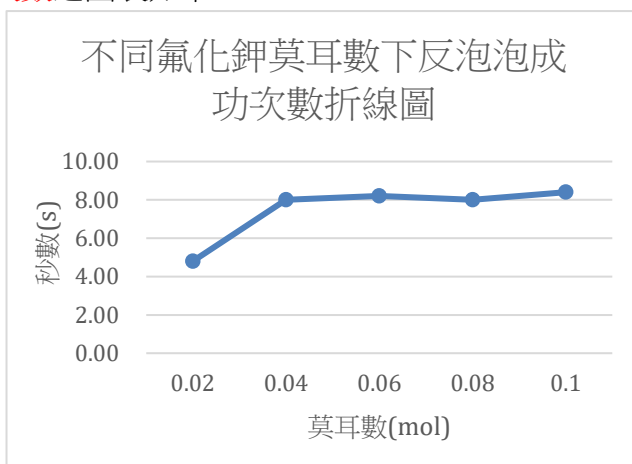
1. 四種鹽類的溶液產生反泡泡的照片如下。



2. 不同氟化鉀莫耳數下，反泡泡成功次數之圖表如下。

序 mol	1	2	3	4	5	平均
0.02	6	5	4	5	4	4.80
0.04	8	8	9	7	8	8.00
0.06	9	8	8	8	8	8.20
0.08	8	8	9	7	8	8.00
0.1	8	9	8	9	8	8.40

結果說明：隨著莫耳數增加，成功次數增加。

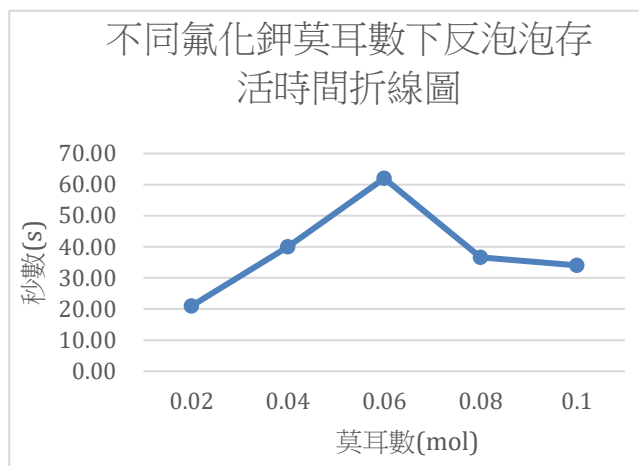


3. 不同氟化鉀莫耳數下，反泡泡存活時間之圖表如下。

序 mol	1	2	3	4	5	平均
0.02	16	29	35	12	13	21.00
0.04	43	40	33	37	47	40.00
0.06	53	28	59	27	143	62.00
0.08	40	37	33	40	33	36.60
0.1	29	24	41	49	27	34.00

結果說明：

- (1) 0.06 mol 值最大，接下來隨著莫耳數增加，存活時間下降。
- (2) 最佳值為 143 秒。

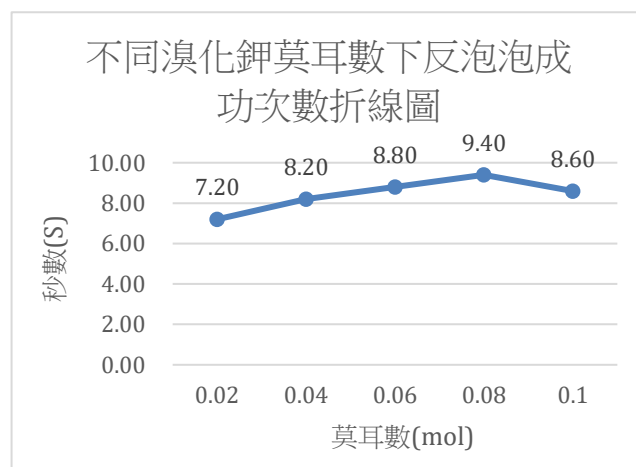


4. 不同溴化鉀莫耳數下，反泡泡成功次數之圖表如下。

序 mol	1	2	3	4	5	平均
0.02	7	7	8	7	7	7.20
0.04	8	8	7	10	8	8.20
0.06	9	8	10	8	9	8.80
0.08	10	9	10	9	9	9.40
0.1	8	8	9	8	10	8.60

結果說明：

- (1) 莫耳數小於 0.08mol 時，隨著莫耳數增加，成功次數逐漸上升。
- (2) 莫耳數大於 0.08mol 後，成功次數明顯下降。

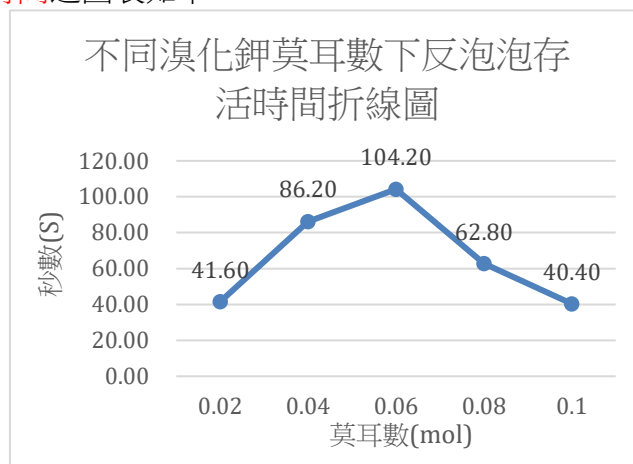


5. 不同溴化鉀莫耳數下，反泡泡存活時間之圖表如下。

序 mol	1	2	3	4	5	平均
0.02	43	46	35	40	44	41.60
0.04	66	112	100	91	62	86.20
0.06	84	120	128	118	71	104.20
0.08	24	60	39	163	28	62.80
0.1	45	29	27	74	27	40.40

結果說明:

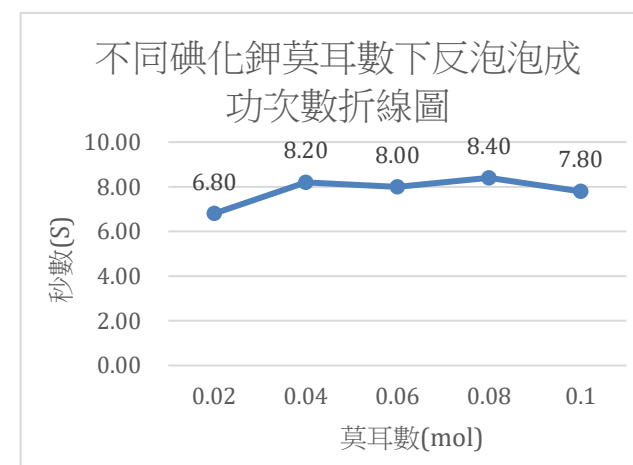
- (1) 0.06 mol 值最大，接下來隨著莫耳數增加，存活時間下降。
- (2) 最佳值為 128 秒。



6. 不同碘化鉀莫耳數下，反泡泡成功次數之圖表如下。

序 mol	1	2	3	4	5	平均
0.02	6	7	6	7	8	6.80
0.04	8	9	9	7	8	8.20
0.06	8	8	9	7	8	8.00
0.08	9	8	9	8	8	8.40
0.1	8	8	7	8	8	7.80

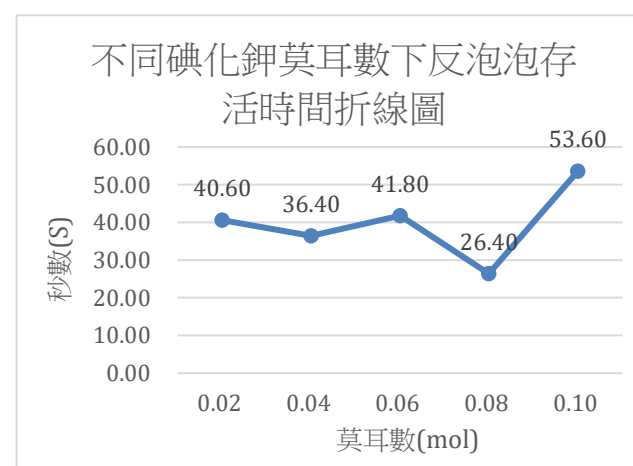
結果說明：除了 0.02 mol 成功次數較低之外，其他莫耳數沒有明顯差異。



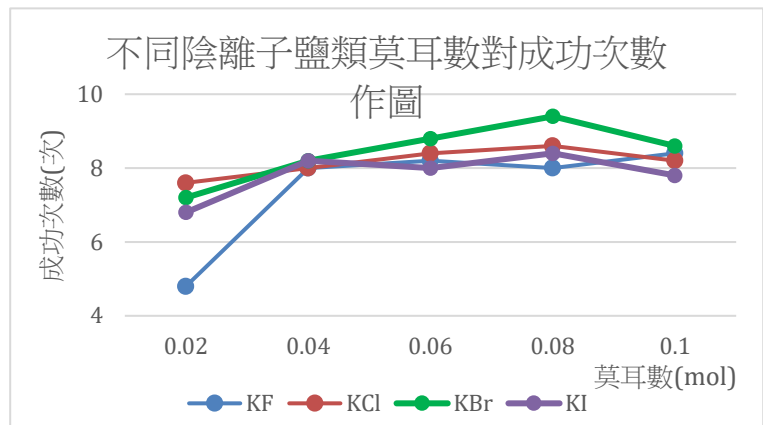
7. 不同碘化鉀莫耳數下，反泡泡存活時間之圖表如下。

序 mol	1	2	3	4	5	平均
0.02	45	32	38	29	59	40.60
0.04	34	38	35	37	38	36.40
0.06	54	56	34	38	27	41.80
0.08	24	32	17	26	33	26.40
0.10	45	41	53	51	78	53.60

結果說明：在 0.08 mol 以內有下降的趨勢，但 0.1mol 後又明顯上升。

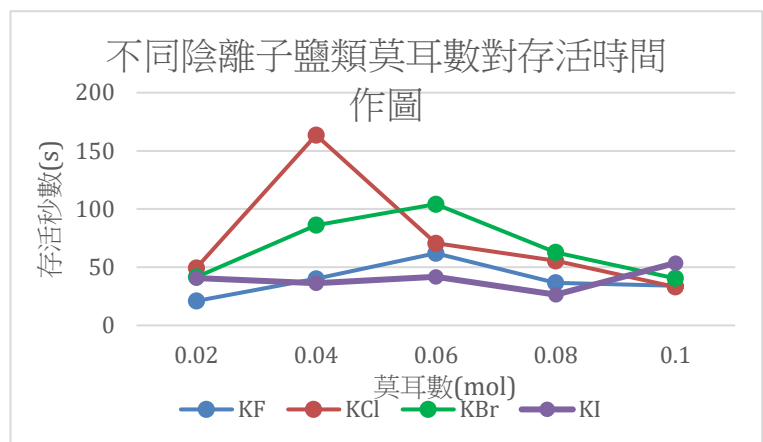


8. 綜合四種不同陰離子鹽類莫耳數對反泡泡成功次數的作圖如右圖。
結果說明：除了氟化鉀在 0.02 mol 時成功次數明顯較低之外，其他地方差異不大。



9. 綜合四種不同陰離子鹽類莫耳數對反泡泡存活時間的作圖如右圖。
結果說明：

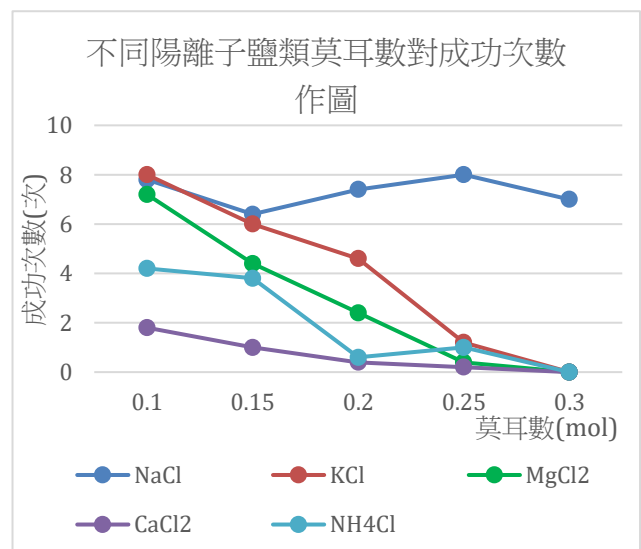
- 氯化鉀存活時間的高峰是在 0.04 mol，氟化鉀與溴化鉀是在 0.06 mol，碘化鉀則是在 0.1 mol 時達高峰。
- 碘化鉀與氟化鉀的存活時間相對較低。



(三)、【實驗八】較高濃度時，氯化鹽類在不同莫耳數下對反泡泡的影響成功次數與生存時間的影響

1. 五種鹽類(氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣、氯化銨)不同莫耳數下，反泡泡成功次數，以下為同樣步驟重複五次後所求得的平均值如下表，作圖如下圖。

種類 \ mol	NaCl	KCl	MgCl ₂	CaCl ₂	NH ₄ Cl
0.1	7.8	8	7.2	1.8	4.2
0.15	6.4	6	4.4	1	3.8
0.2	7.4	4.6	2.4	0.4	0.6
0.25	8	1.2	0.4	0.2	1
0.3	7	0	0	0	0

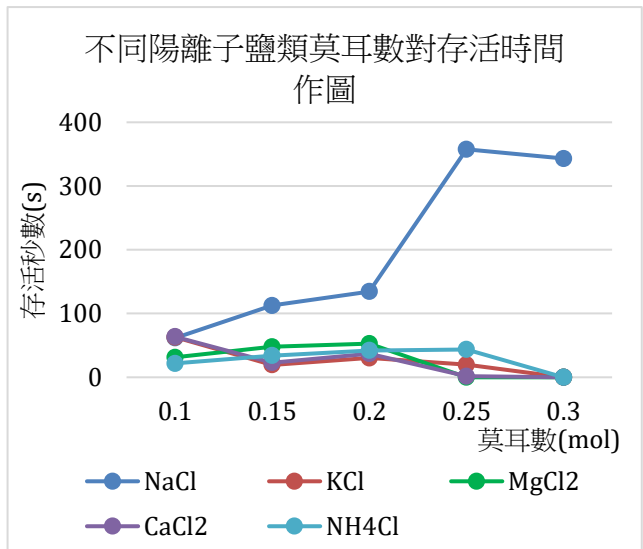


結果說明：

- 氯化鈉的成功次數不受莫耳數影響，其他四種鹽類隨著濃度上升，成功次數明顯下降。
- 同為一價，氯化鈉與氯化鉀成功次數優於氯化銨。
- 二價的氯化鈣及氯化鎂成功次數較一價低，且添加較多的氯化鈣或氯化鎂，家清潔劑後會產生部分沉澱，導致超過 0.25 mol 幾乎無法成功。

2. 五種鹽類(氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣、氯化銨)不同莫耳數下，反泡泡存活時間，以下為同樣步驟重複五次後所求得平均值如下表，作圖如下圖。

種類 mol	NaCl	KCl	MgCl ₂	CaCl ₂	NH ₄ Cl
0.1	61.6	63.0	31.4	63.6	21.8
0.15	112.6	19.6	48.0	23.0	34.0
0.2	134.4	30.4	52.8	37.0	42.0
0.25	357.6	19.8	0.0	1.7	43.6
0.3	343.2	0.0	0.0	0.0	0.0



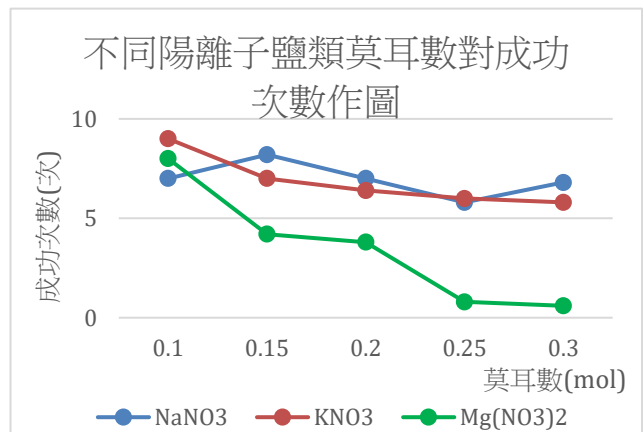
結果說明：

- (1) 氯化鈉的存活時間遙遙領先，且隨著莫耳數增加，存活時間不斷上升，甚至在 0.25mol 時出現 974 秒的高峰，但同為一價的氯化鉀，存活時間就明顯較低。
- (2) 其他鹽類相對氯化鈉，存活時間較低，且隨著莫耳數增加存活時間逐漸下降。

(四)、【實驗九】較高濃度時，硝酸鹽類在不同莫耳數下對反泡泡的影響成功次數與生存時間的影響

1. 三種鹽類(硝酸鈉、硝酸鉀、硝酸鎂)不同莫耳數下反泡泡成功次數，以下為同樣步驟重複五次後所求得平均值如下表，作圖如下圖。

種類 mol	NaNO ₃	KNO ₃	Mg(NO ₃) ₂
0.1	7	9	8
0.15	8.2	7	4.2
0.2	7	6.4	3.8
0.25	5.8	6	0.8
0.3	6.8	5.8	0.6

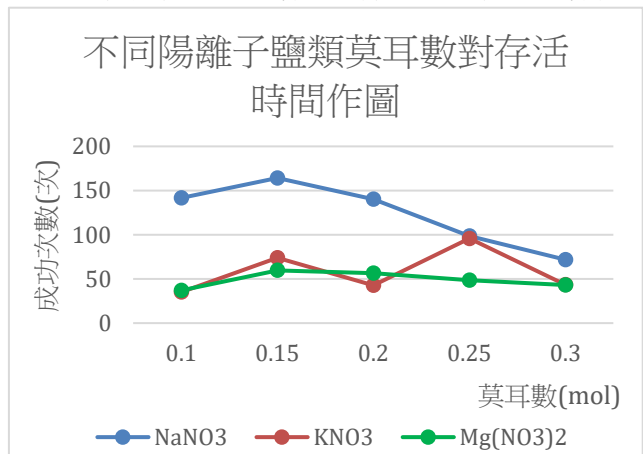


結果說明：

- (1) 硝酸鈉的成功次數較不受莫耳數影響，硝酸鉀些微下降，硝酸鎂則明顯下降。
- (2) 一價的硝酸鈉與硝酸鉀成功次數優於二價的硝酸鎂。

2. 三種鹽類(硝酸鈉、硝酸鉀、硝酸鎂)不同莫耳數下反泡泡存活時間，以下為同樣步驟重複五次後所求得平均值如下表，作圖如下圖。

種類 mol	NaNO ₃	KNO ₃	Mg(NO ₃) ₂
0.1	141.6	35	37
0.15	164.2	74	59.6
0.2	140.2	42.8	56.6
0.25	98.6	95.8	48.4
0.3	71.8	43.6	43.2

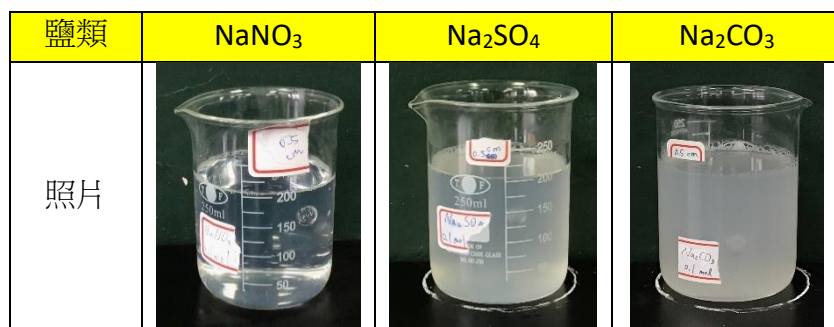


結果說明：

- (1) 硝酸鈉的存活時間，高於硝酸鉀或硝酸鎂，在 0.15mol 時出現 334 秒的高峰，但沒有氯化鈉高。
- (2) 但硝酸鎂在 0.3mol 時相較於氯化鎂則有較高的存活時間。

(五)、【實驗十】探討加入不同陰離子原子團的鹽類及其莫耳數對反泡泡生成的影響

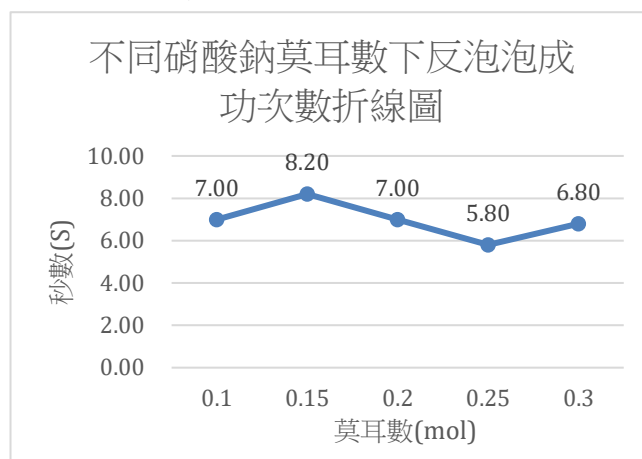
1. 五種鹽類的溶液產生反泡泡的照片如下。



2. 不同硝酸鈉莫耳數下，反泡泡成功次數之圖表如下。

序 mol	1	2	3	4	5	平均
0.1	5	7	8	8	7	7.00
0.15	8	7	8	8	10	8.20
0.2	6	7	9	7	6	7.00
0.25	6	6	4	7	6	5.80
0.3	7	6	6	9	6	6.80

結果說明：0.15 mol 時成功次數最高，其他差異不大也無明顯趨勢。

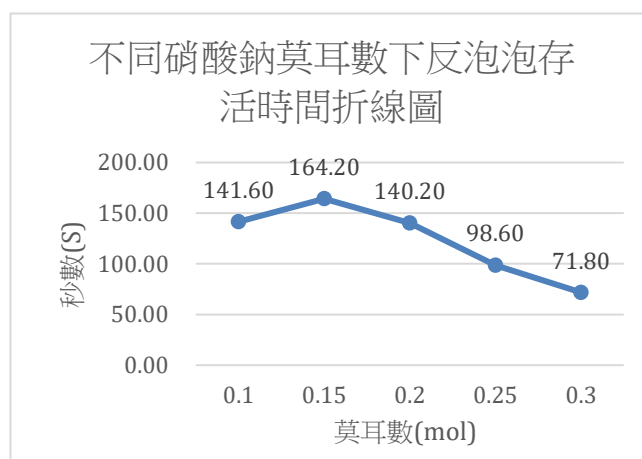


3. 不同硝酸鈉莫耳數下，反泡泡存活時間之圖表如下。

序 mol	1	2	3	4	5	平均
0.1	154	227	91	190	46	141.60
0.15	228	334	74	52	133	164.20
0.2	62	118	233	97	191	140.20
0.25	174	62	54	59	144	98.60
0.3	51	30	74	170	34	71.80

結果說明：

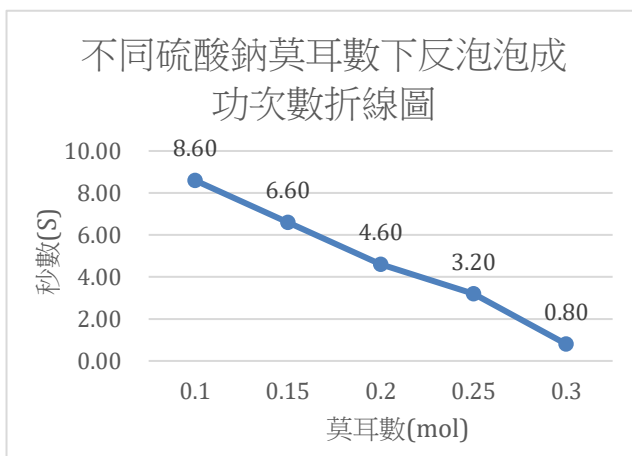
- (1) 0.15 mol 值最大，接下來隨著莫耳數增加，存活時間下降。
- (2) 最佳值為 334 秒。



4. 不同硫酸鈉莫耳數下，反泡泡成功次數之圖表如下。

序 mol	1	2	3	4	5	平均
0.1	9	9	8	8	9	8.60
0.15	8	6	8	6	5	6.60
0.2	6	4	4	4	5	4.60
0.25	3	2	2	4	5	3.20
0.3	1	1	0	0	2	0.80

結果說明：隨著莫耳數增加，成功次數明顯下降。

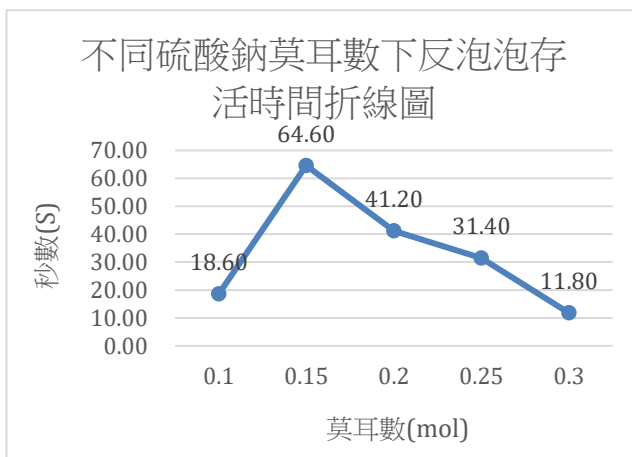


5. 不同硫酸鈉莫耳數下，反泡泡存活時間之圖表如下。

序 mol	1	2	3	4	5	平均
0.1	17	18	13	22	23	18.60
0.15	15	85	30	153	40	64.60
0.2	128	18	17	23	20	41.20
0.25	15	13	10	60	59	31.40
0.3	5	3	15	2	34	11.80

結果說明：

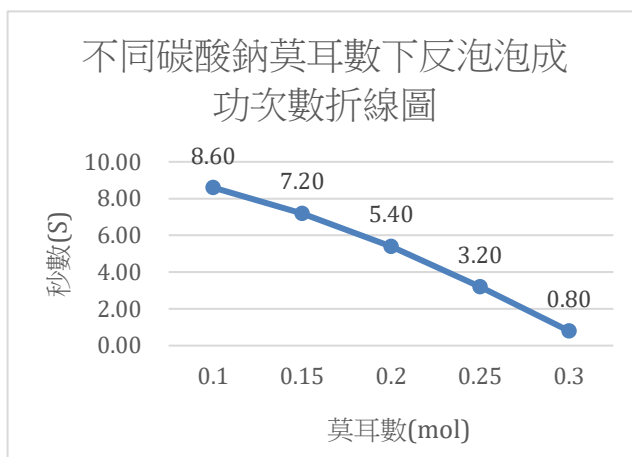
- (1) 0.15 mol 值最大，接下來隨著莫耳數增加，存活時間下降。
- (2) 最佳值為 153 秒。



6. 不同碳酸鈉莫耳數下，反泡泡成功次數之圖表如下。

序 mol	1	2	3	4	5	平均
0.1	9	9	9	8	8	8.60
0.15	8	6	7	7	8	7.20
0.2	4	6	6	6	5	5.40
0.25	2	3	5	4	2	3.20
0.3	0	2	1	1	0	0.80

結果說明：隨著莫耳數增加，成功次數明顯下降。

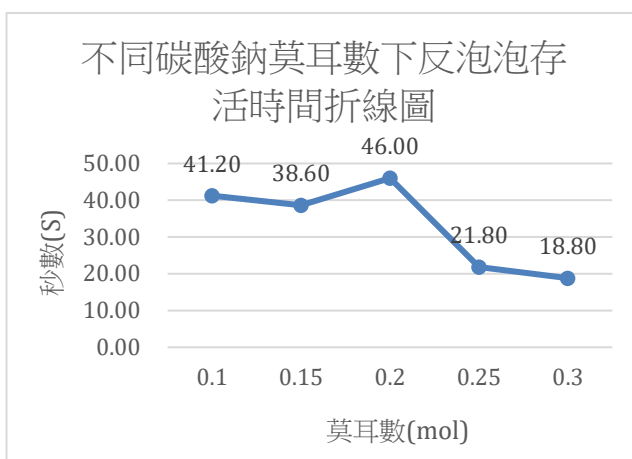


7. 不同碳酸鈉莫耳數下，反泡泡存活時間之圖表如下。

序 mol	1	2	3	4	5	平均
0.1	30	21	69	46	40	41.20
0.15	31	40	28	71	23	38.60
0.2	10	94	15	26	85	46.00
0.25	14	23	20	41	11	21.80
0.3	25	16	20	10	23	18.80

結果說明：

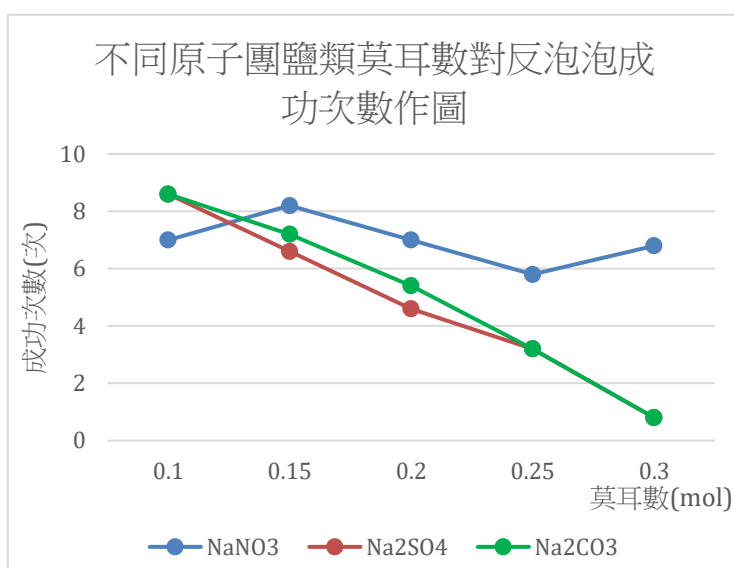
- (1) 0.20 mol 值最大，接下來隨著莫耳數增加，存活時間下降。
- (2) 最佳值為 94 秒。



8. 不同陰離子原子團之三種鹽類的莫耳數對反泡泡成功次數的作圖如右圖。

結果說明：

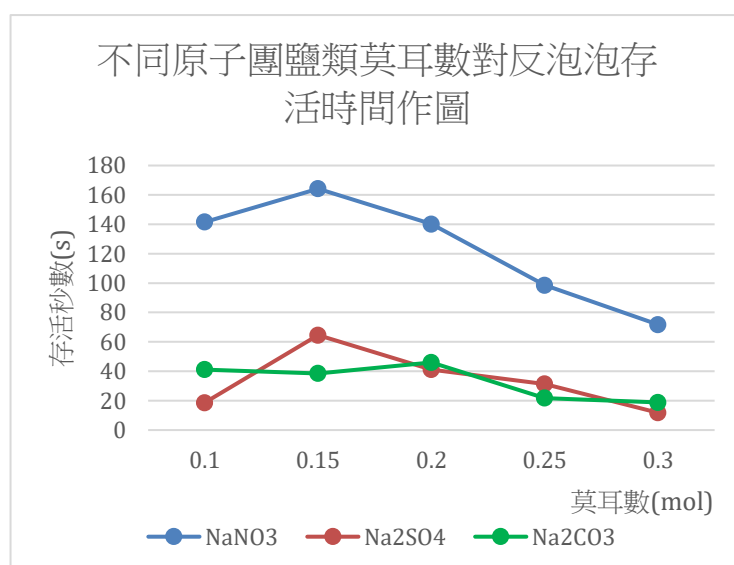
- (1) 莫耳數為 0.1 mol 時，成功次數差異不大。
- (2) 隨著莫耳數增加，一價的硝酸鈉差異不大，但二價的硫酸鈉與碳酸鈉成功次數明顯下降。



9. 不同陰離子原子團之三種鹽類的莫耳數對反泡泡存活時間的作圖如右圖。

結果說明：

- (1) 硝酸鈉與硫酸鈉的高峰值皆為 0.15mol，趨勢也很像。
- (2) 二價的硫酸鈉與碳酸鈉存活時間明顯低於一價的硝酸鈉。



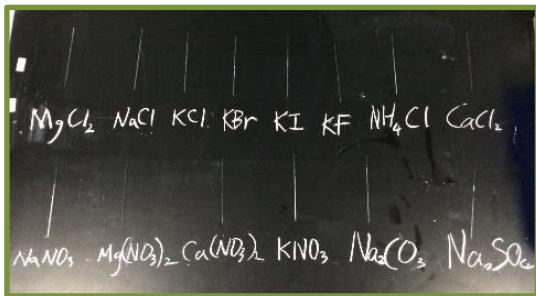
七、【實驗十一】探討添加不同鹽類的泡泡水黏滯性對存活時間的影響

(一)、13 種鹽類毛細管殘留液體的長度，照片如下左圖。

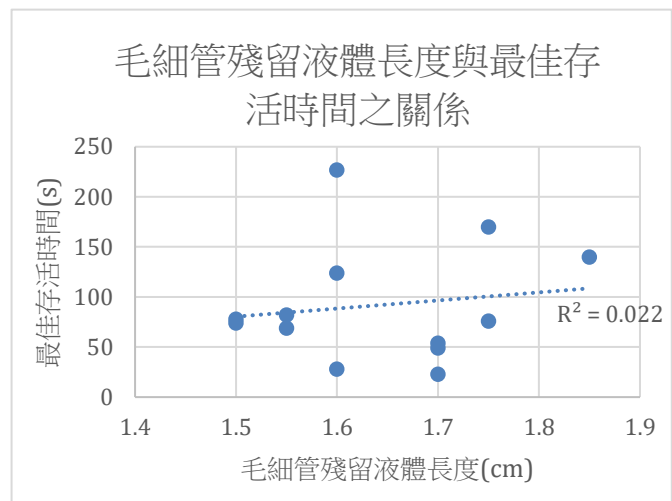
(二)、所測得殘留液體的長度結果如下表：

鹽類	NaCl	KCl	MgCl ₂	CaCl ₂	NH ₄ Cl	KF	KBr
殘留液體長度	1.85	1.75	1.75	1.7	1.6	1.7	1.5
最佳存活時間	140	170	76	54	28	49	74
鹽類	KI	NaNO ₃	KNO ₃	Mg(NO ₃) ₂	Na ₂ CO ₃	Na ₂ SO ₄	
殘留液體長度	1.5	1.6	1.6	1.55	1.55	1.7	
最佳存活時間	78	227	124	82	69	23	

(三)、將殘留液體長度與最佳存活時間作圖如下右圖



結果說明：殘留液體的長度，也就是黏滯性，再添加鹽類的情況之下，並無法決定存活時間的多寡。



伍、討論

一、【實驗一】找出製作反泡泡成功次數最高的各項基礎變因

根據實驗結果，我們的所測各項基礎變因的最佳條件如下

	水與洗碗精體積比	吸管外口徑寬度(cm)	入水角度(度)	吸取水量高度	吸管距承接液體表面高度(cm)
我們所測得的最佳條件	100 : 1	0.6	50° (90°次之)	2.5cm	0.5cm
文獻所得的最佳條件	100 : 1	0.35、0.5 0.6	50° (90°次之)	*無提到	0.5cm 1.0cm
實驗二之後的基礎變因	100:1	0.6	90°	2.5	0.5

幾項討論如下：

(一)、在進行入水角度實驗時，雖然最佳入水角度並非 90 度，但因為數據差異不大且 **90 度比較好操作**，所以後面的基礎入水角度訂為 90 度。

(二)、操作實驗的同時，我們常常在思考，為什麼用同樣的條件來製作反泡泡，有時會成功，有時卻失敗呢？根據觀察，我們推測，是否可能是因為手指放開吸管的速率不同，導致液體流下時的速率不同？因此我們設計了【實驗二】；此外，我們也思考，前一次滴下後的液體若還在流動，此時馬上進行下一滴是否會影響形成反泡泡的成功次數？因此我們設計了【實驗四】。

二、【實驗二】探討針筒活塞速率對反泡泡的影響

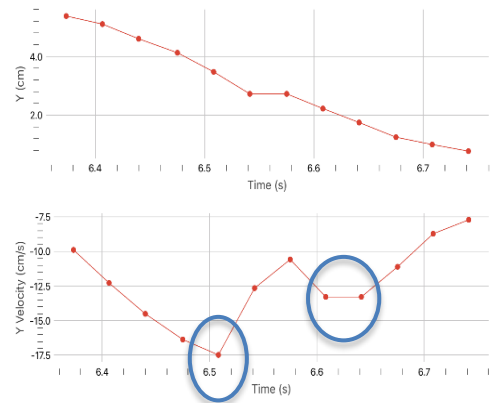
(一)、【實驗二之一】利用砝碼推動活塞來探討速率對反泡泡的影響

使用砝碼作為推力失敗的原因：因為活塞移動時有摩擦力，導致砝碼重量過小根本推不動；但是砝碼增加到 300gw，活塞總算動了，卻又因為推動的速度過快，無法成功製作反泡泡。所以我們改進行【實驗二之二】為用手推動活塞，並用軟體 Video Physics 來了解活塞移動速率。

(二)、【實驗二之二】利用手推動活塞來探討速率對反泡泡的影響

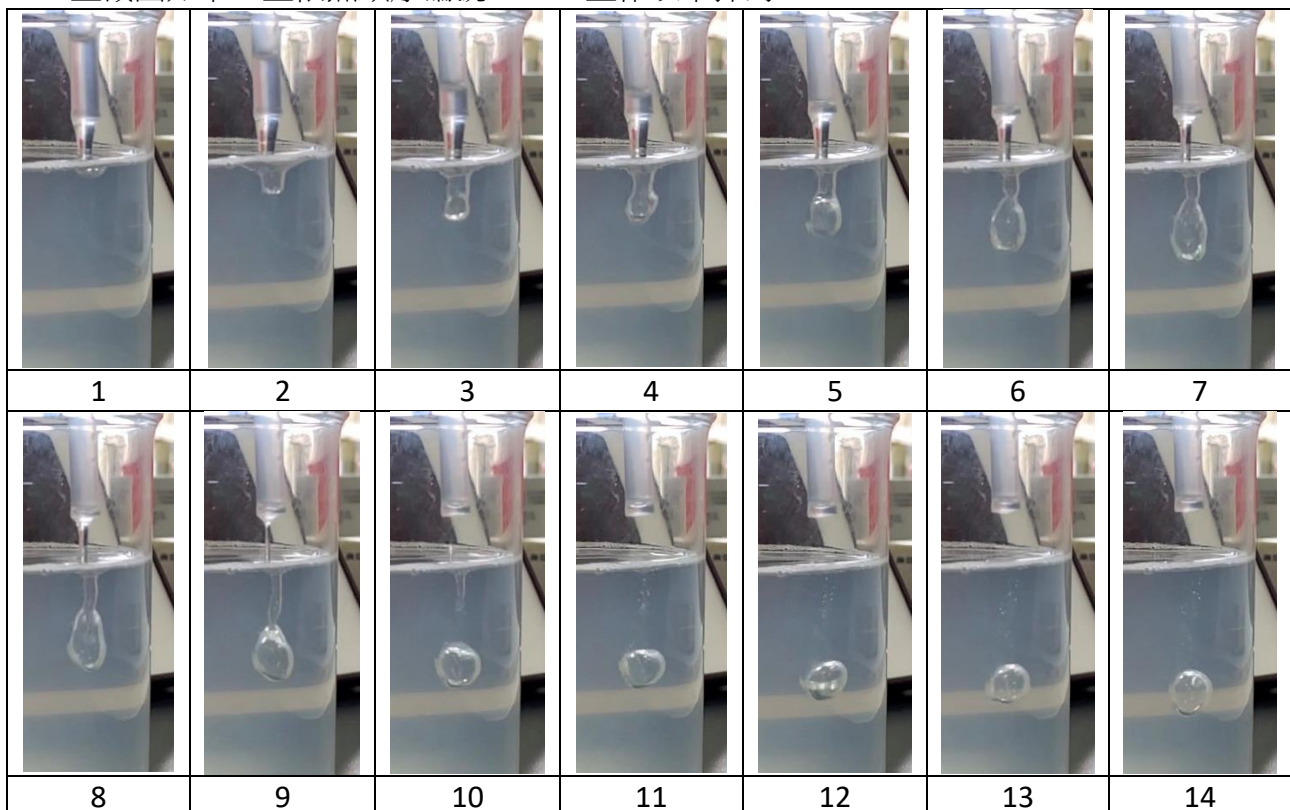
根據實驗結果，我們依然找不出速率對反泡泡成功的影響，我們認為理由如下：

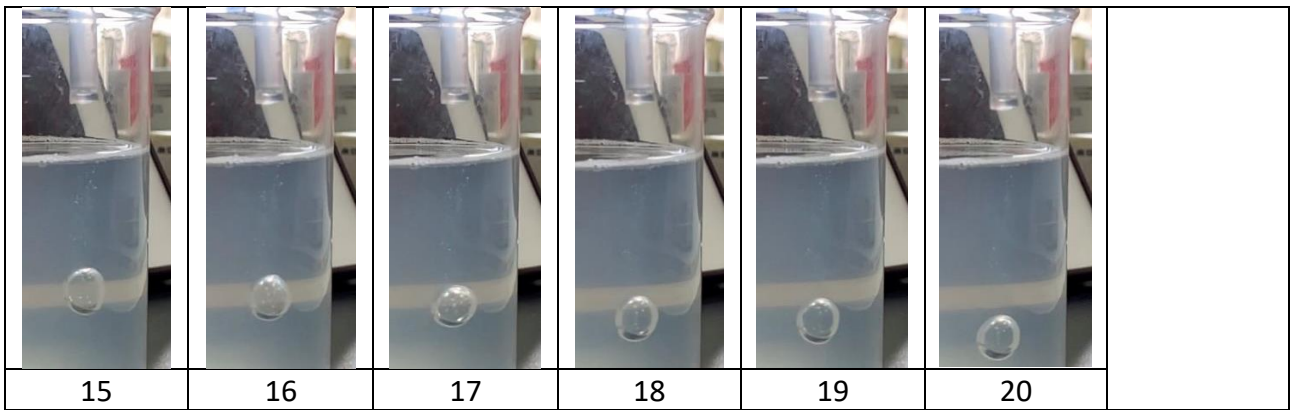
1. 如右圖為某一次成功製造反泡泡的圖例。一開始手的施力，會為了要**克服** **活塞摩擦力**而不自覺用力，導致一旦克服最大靜摩擦力之後，速度增加較快，導致手的速度未及時跟上推筒的速度而施力減緩，所以活塞速度也跟著減緩；當手跟上推筒後再度對推筒施力，但因此時只要克服較小的動摩擦力，導致手的施力不自覺也較小，使得右方的圈圈所產生的最大速度變得較小。
2. 我們很難預測是哪一個速度區間來產生反泡泡。
3. 每一張 V_y-t 圖形不盡相同，是因為手對推筒所施的力、推筒在不同位置所產生的摩擦力，對活塞產生的速度變化落差極大，所以很難進行討論。因此我們設計了【實驗三】利用吸管内液體的流速變化探討對反泡泡成功的影響。



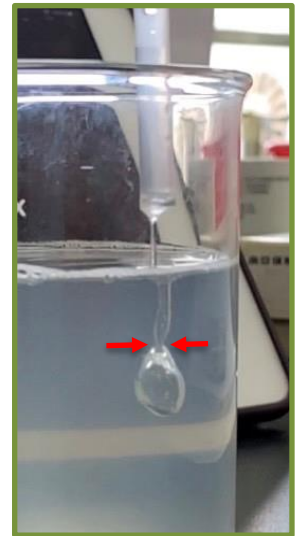
三、【實驗三】探討吸管滴下液體速率對反泡泡的影響

實驗結果發現，可成功產生反泡泡的速率落在 12.2~14.8 cm/s 之間，若速率過大過小都會失敗，為了更了解速率為何造成如此顯著的結果，我們將成功產生反泡泡的過程錄影並截圖如下，並依照順序編號 1-20，並作以下探討：





- (一)、從編號 1-7 照片中可發現，水柱流速若過快，衝擊力過大，易導致空氣膜破裂；流速若過慢，撞擊液面的衝擊力不夠大，無法擠壓空氣層進入水中，較難形成足夠大的囊狀的空氣殼層。
- (二)、從編號 8-10 照片中可發現，囊狀反泡泡要跟水柱脫離前穩定度要夠，且水柱兩側的溶液要有足夠的力道切斷，但切斷時又不可破壞空氣膜，如右圖；因此流速過快可能導致囊狀反泡泡還不穩定，切斷時容易造成破裂；流速過慢則可能導致水柱兩側的溶液無法切斷。



四、【實驗四】探討滴入的間隔時間對反泡泡的影響

根據實驗結果我們發現，間隔時間過短(2s)或過長(10s)，皆會些微影響成功次數；但時間間隔從 4~8 秒，對於成功次數並沒有明顯差異，我們認為理由如下：

- (一)、間隔兩秒，水流尚未完全平穩，導致數據稍微偏低。
- (二)、時間間隔過長，可能導致這次形成的反泡泡在水中碰到上次尚未破滅的反泡泡，進而一起破滅。
- (三)、但不論時間長短，對成功次數並沒有太明顯的差異，我們認為，不論有沒有滴入反泡泡，溶液中的液體依然在流動，所以數據差異不大。

但為了避免上述原因(二)影響實驗結果，在之後的實驗中，我們滴下下一滴泡泡水前，我們會先將上次尚未破滅的反泡泡輕輕戳破，再進行下一滴，避免影響形成反泡泡的成功次數。

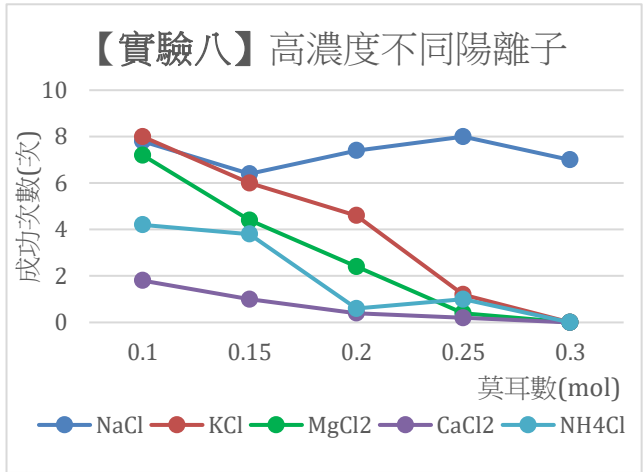
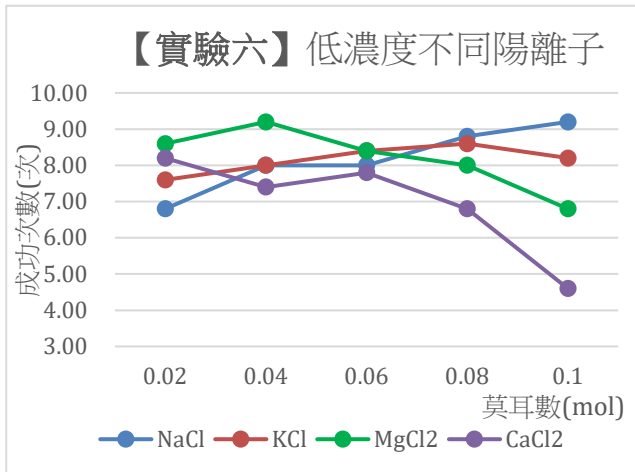
五、【實驗五】探討加入食用色素對反泡泡生成的影響

根據實驗結果我們發現，添加色素後，反泡泡成功的機率差異不大，但存活時間都比對照組還要短，此外，不論加入哪種顏色的色素，我們發現色素增加了液體的濁度，導致肉眼觀察起來並沒有比較明顯，所以更不容易觀察，因此之後的實驗都不會再額外添加色素。

六、【實驗六】~【實驗十】探討加入鹽類對反泡泡的影響

由於根據實驗結果發現成功次數與存活時間沒有絕對關係，所以我們分成兩部分討論。

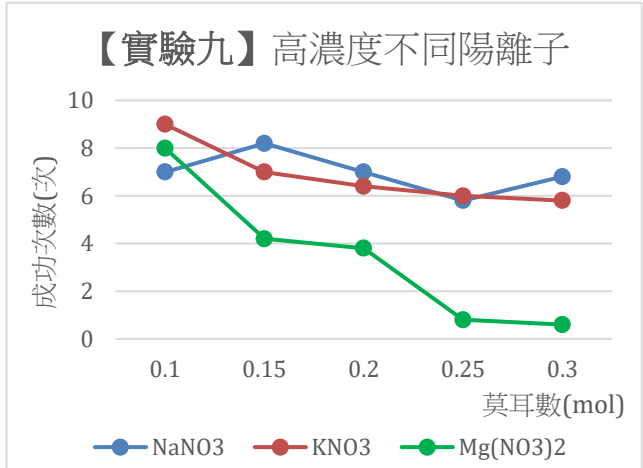
(一)、成功次數的探討：



1. 相同陰離子不同陽離子：

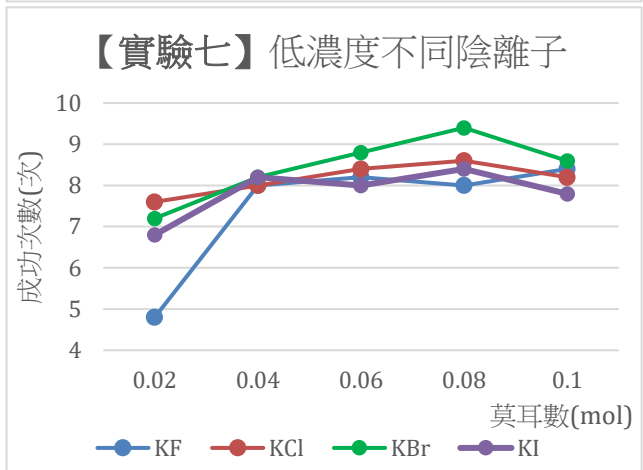
(1) **【實驗六】**所得結果：不同陽離子，在低濃度 0.02mol，二價離子成功次數略高於一價離子，但隨著莫耳數上升，二價離子的成功次數不斷下降，一價離子則逐漸上升。

(2) **【實驗八】**所得結果：接續實驗六，一價離子成功次數持續高於二價離子，且氯化鈉成功次數都沒有下降。因此我們認為影響成功次數的關鍵是價數，且一價大於二價，但氯化鉀隨著莫耳數上升，成功次數持續下降，因此我們設計**【實驗九】**；但在這個實驗中，同為一價的氯化銨成功次數並沒有較高，我們覺得會不會是因為原子團關係，所以我們設計了**【實驗十】**。

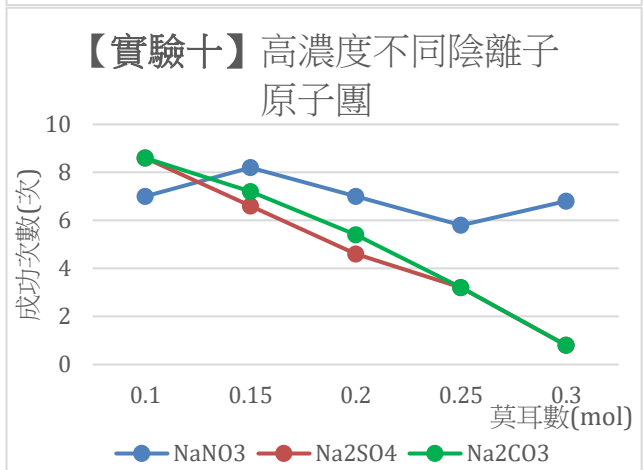


此外，氯化鈣及氯化鎂在高濃度(0.25mol 之後)時，幾乎無法產生反泡泡，我們發現，此兩種鹽類濃度過高會快速產生白色沉澱，如右圖，與添加氯化銨的現象相同，推測鹼金族會與此款清潔劑分子產生白色沉澱。

(3) **【實驗九】**所得結果：一價離子成功次數持續高於二價離子，再度證明我們的推測是正確的。

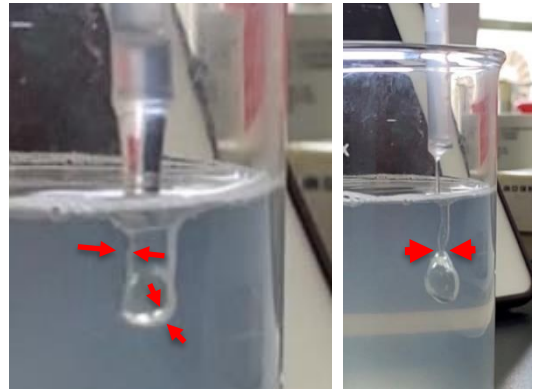


2. 相同陽離子不同陰離子：**【實驗七】**所得結果：除了氟化鉀在 0.02

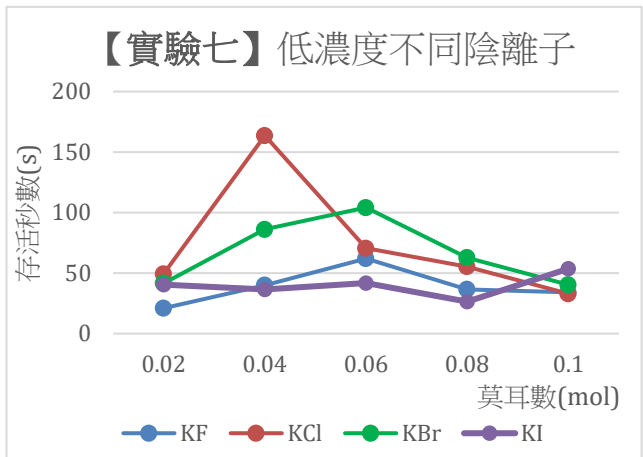
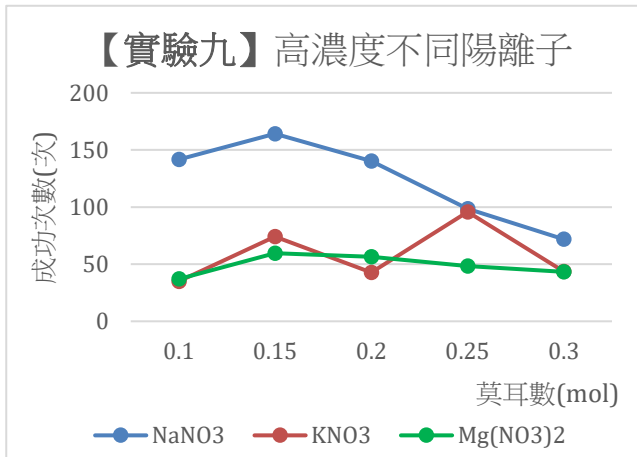
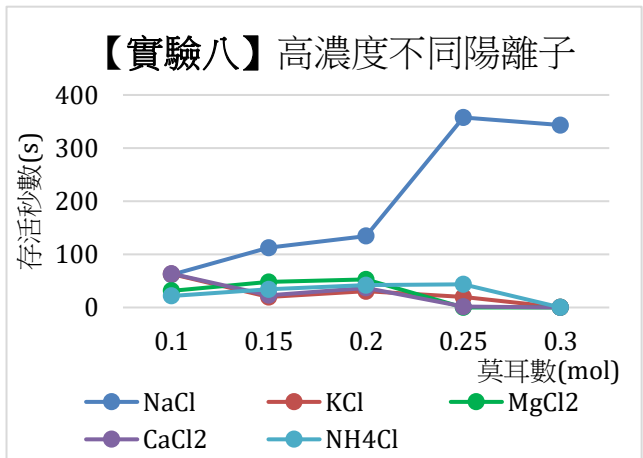
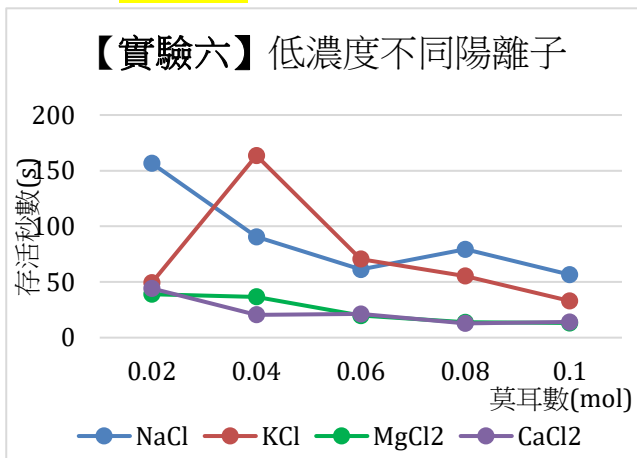


mol 時成功次數較低，其他情況四種鹽類差異不大，我們認為因為都是一價的關係。

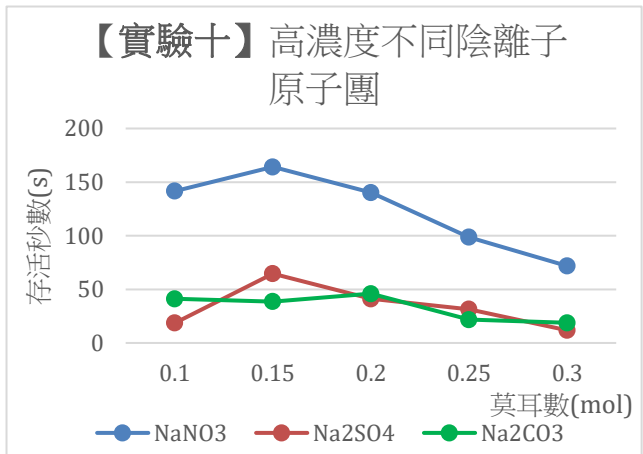
- 不同陰離子原子團：【實驗十】所得結果，一價的硝酸鈉成功次數高於二價，且二價的硫酸鈉與碳酸鈉成功次數明顯下降。
- 綜合上列結果，我們認為，當水柱落下卻還沒有形成囊泡時，若價數過大，會導致鹽類離子與水分子間的作用力過大，而衝破空氣層，如左圖，所以二價離子的成功次數較低。但我們也發現，兩價鹽類若只添加微量，依然對形成反泡泡有幫助，如同添加一價鹽類的情況一樣，適當的分子間作用力，可以在切斷水柱時產生幫助，如右圖。



(二)、存活時間的探討：



- 相同陰離子不同陽離子：綜合【實驗六】、【實驗八】與【實驗九】的結果：
 - 一價離子的存活時間大多優於二價。
 - 鈉離子優於鉀離子。
- 相同陽離子不同陰離子：【實驗七】所得結果，氯化鉀>溴化鉀>氟化鉀、碘化鉀。
- 不同陰離子原子團：【實驗十】所



得結果，一價的硝酸鈉存活時間明顯高於二價的硫酸鈉與碳酸鈉。

4. 綜上列結果，我們有以下推論：

(1) 一價離子相較於二價離子，較可以增長存活時間。右上圖取自於 Antibubble lifetime:

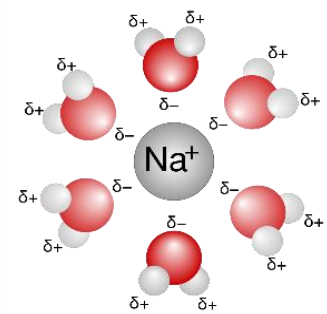
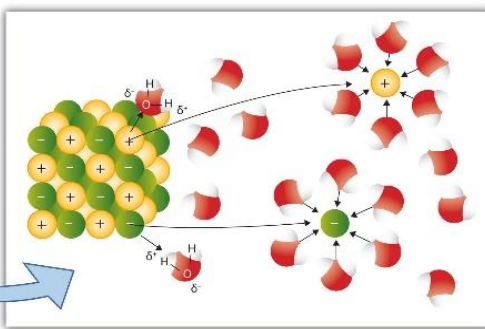
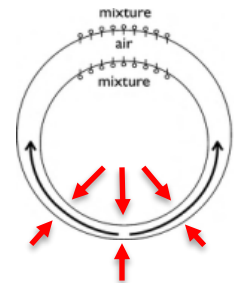
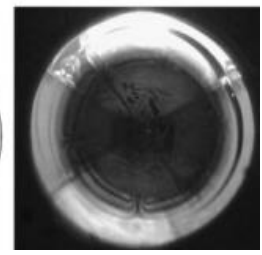
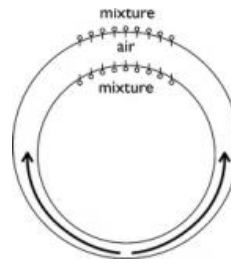
Influence of the bulk viscosity and of the surface modulus of the mixture 這篇參考文獻，

文獻中有提到，存活時間的關鍵在於空氣層被破壞，所以我們推測，二價離子產生的分子間作用力較大，可能會導致容易破壞空氣層，如右圖，進而使反泡泡破裂，這個道理跟前面討論成功次數的部分原因的道理相同。

(2) 但其中我們也發現存活時間，鈉離子>鉀離子，氯離子>溴離子>氟離子、碘離子。我們認為這可能跟離子半徑有關。

溶液的穩定性是最直接影響反泡泡的存活時間，若溶液受到擾動，反泡泡就容易破滅，這也是我們實驗誤差較大的原因，畢竟我們是用手來放開吸管使液體流下。

然而，右下圖是當鹽類溶於水後，解離時的狀態，其中正離子會吸引水分子中的氧原子，而負離子則會吸引水分子中的氫原子，如下示意圖；所以我們推測必須要有適當的離子大小及適量的鹽類，與水分子間產生較穩定的水合狀態，



過多的鹽類可能會干擾產生較穩定的水合狀態。

下方是我們將這些一價離子的半徑列出來，我們推測，正離子以鈉的大小最佳，鉀離子與氫根離子差異不大，所以存活時間接近；陰離子的順序則為：氯離子>溴離子>氟離子、碘離子，表以氯離子的大小最佳，溴離子的大小非常接近氯離子，所以次之，碘離子和氟離子則是過大或過小，所以穩定性較差。

陽離子種類	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	
半徑(pm)	102	138	146	
陰離子種類	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻
半徑(pm)	133	181	196	220

此外，原子團較不穩定的原因除了價數外，我們也推測二價的原子團存在較多的離子形式，導致溶液狀態可能較不穩定。

七、【實驗十一】探討不同液體黏滯係數對反泡泡成功次數的影響

因為 Antibubble lifetime: Influence of the bulk viscosity and of the surface modulus of the mixture 這篇文獻有提到黏滯性會影響反泡泡的形成，在我們探討影響存活時間時，也在思考會不會最直接的影響是黏滯性，而不是鹽類的種類？但根據我們的結果發現，添加鹽類後，存活時間的差異，與黏滯性沒有直接關係($R^2=0.022$)，表示添加鹽類後，顯著影響存活時間的因素並不是黏滯性。

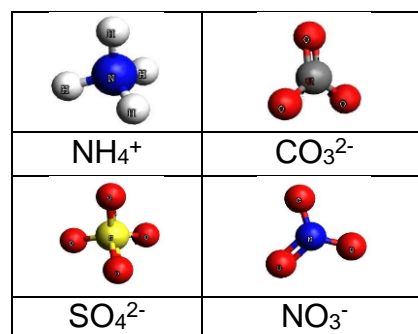
陸、結論

經過以上的實驗及討論,我們對反泡泡的實驗研究結論如下:

- 一、根據【實驗一】發現濃度 100:1，吸管口徑 0.6cm，50 度角，吸取水量高度 2.5cm，吸管距承接液體表面高度 0.5cm 的條件最佳。
- 二、根據【實驗二】發現由於使用針筒具摩擦力的影響，故無法得知生成反泡泡和速率的關係。
- 三、根據【實驗三】發現吸管滴下液體速率介於 12.2~14.8 cm/s 之間，最容易生成反泡泡，速率過大或過小都會失敗，決定反泡泡的成功原因為速率。
- 四、根據【實驗四】發現滴入的間隔時間對反泡泡生成無顯著影響。
- 五、根據【實驗五】發現添加食用色素並不會較方便觀察。
- 六、根據【實驗六】~【實驗十】發現：
 - (一)、過量的鹽類莫耳數都會導致成功次數及存活時間下降。
 - (二)、最佳成功次數取決於陰陽離子的價數，且一價優於二價。
 - (三)、最佳存活時間長短取決於離子價數與適當的離子半徑。
- 七、根據【實驗十一】添加鹽類後，黏滯性並非影響存活時間的主要原因。

柒、未來展望

由於原子團的離子存在的形式較為複雜，未來可嘗試做更多原子團鹽類的實驗，並藉由各種離子形狀來推測對反泡泡成功次數或存活時間的影響。



捌、參考文獻

- 一、反泡泡(2023年3月19日)。維基百科。檢自：
<https://reurl.cc/2L8Ze6>
- 二、水中的魔法泡泡。嘉義市第三十七屆中小學科學展覽會作品說明書。
檢自：<https://reurl.cc/GAXxyZ>
- 三、李夢筑、黃晴(2007)。泡泡造反了—反泡泡之形成、存活與破滅之物理特性探討。全國第46屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 四、科學遊戲實驗室-反泡泡。國立台中教育大學科學教育與應用學系 NTCU。
檢自：<http://scigame.ntcu.edu.tw/water/water-012.html>
- 五、Rabia Zia et.al.(2022). Advances in antibubble formation and potential applications
- 六、S. Dorbolo et.al.(2010). Antibubble lifetime: Influence of the bulk viscosity and of the surface modulus of the mixture
- 七、P. Geon Kim, Jerusha Vogel.(2006) Antibubbles: Factors that affect their stability
- 八、Physics Girl(2016) What are antibubbles?。檢自：<http://yt1.piee.pw/4t2hqb>
- 九、The Action Lab(2019) What Happens to an Anti-bubble in a Vacuum Chamber?
檢自：<http://yt1.piee.pw/4tjpc>
- 十、FlinnScientific(2012)Anti-Bubbles。檢自：<https://www.youtube.com/watch?v=cosjx9fGuPY>
- 十一、Theodore Gray 作、吳瑤玲譯(2010)。看得到的化學。台北市，大是文化

【評語】 030214

符合研究論文的格式，缺目錄，圖表說明清晰，參考文獻 11 篇，共 31 頁。實驗設計為參考前次作品之進一步研究，偏重現象觀察與敘述，對於結果的說明能再深入，多考慮其內部的科學原理。控制變因可以挑選，不必太多，使問題更聚焦。

對研究之其他建議如下：

1. 成功次數與對照組的比較除平均值外應加入標準偏差及 t-test.
2. 尚未克服變因二的影響
3. 探討分子間作用力需考慮 surfactant 的價數差異
4. “存活時間，鈉離子>鉀離子，氯離子>溴離子>氟離子、碘離子。

我們認為這可能跟離子半徑有關” ，建議也應考慮水合半徑。

作品海報



探討速率及添加鹽類



對Antibubble的影響

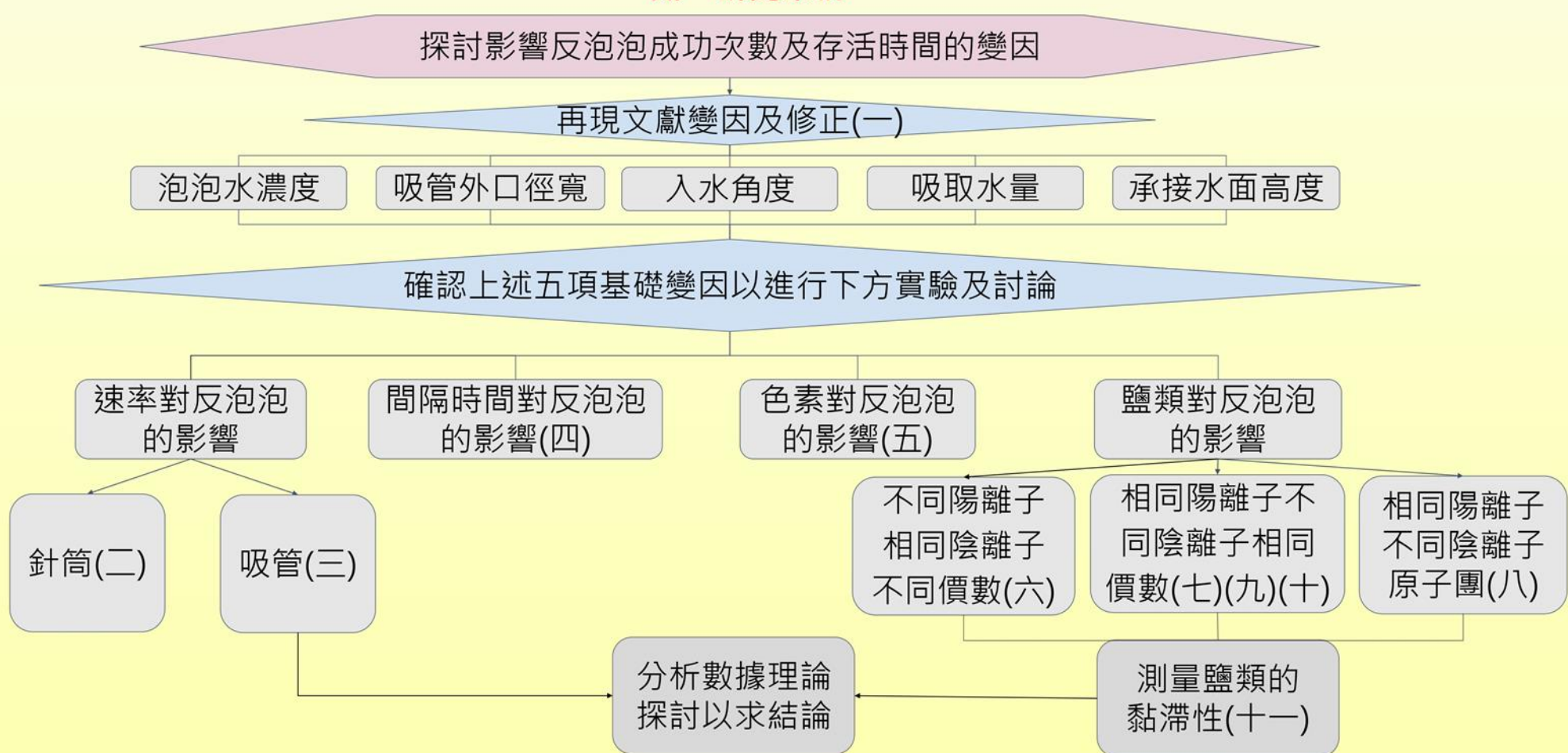
摘要

本次研究探討水柱流速及添加鹽類對反泡泡成功次數與生存時間的影響。一、成功次數最高的基礎變因為：水與洗碗精重量比100：1，吸管外口徑寬度0.6cm，入水角度垂直水面50度，吸取水量高度離管口2.5cm，吸管距承接液面高度0.5cm。二、吸管滴下液體速率在12.2~14.8 cm/s之間，可成功產生反泡泡。三、滴入的間隔時間及加入食用色素，對反泡泡成功次數與生存時間的影響並無影響。四、隨著鹽類的莫耳數增加，成功次數及存活時間都明顯下滑。五、最佳成功次數取決於陰陽離子價數，一價優於二價；最佳存活時間長短取決於離子價數與適當的離子大小。六、添加鹽類後，黏滯性並非影響存活時間的主要原因。

壹、動機

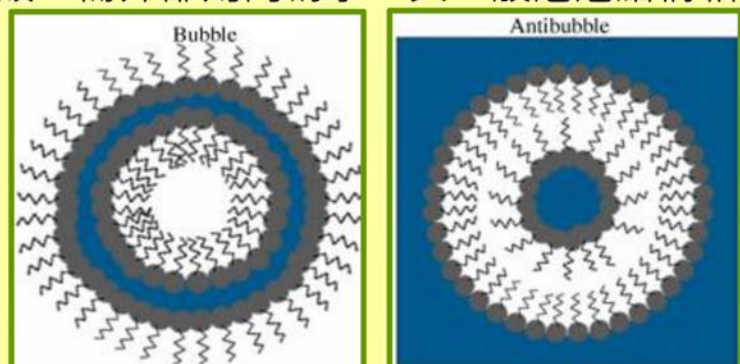
我們看到國八下學期的課本，第五章清潔原理有提到洗碗精的親油端與親水端，大家討論到洗碗精可以用來製作泡泡水，我們不禁就想到，既然有外面是水膜的泡泡，那有沒有外面是空氣膜的泡泡呢？一查之下竟然真的有！那就是反泡泡！好奇心驅使之下，我們想藉著這個機會了解反泡泡的奧妙，於是我們設計了這個實驗。

貳、研究架構



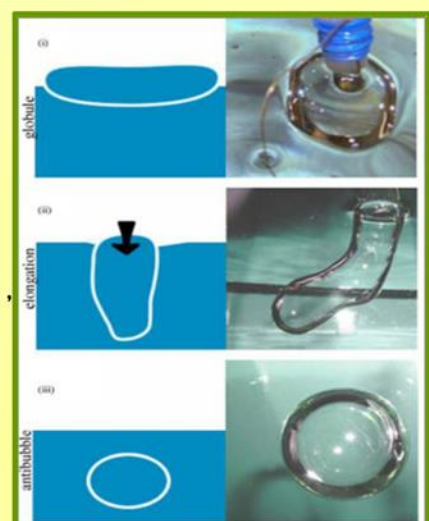
參、文獻探討

反泡泡結構為內部是水，接著包裹一層薄空氣殼，而外部則同為水，與一般泡泡結構相反。



參考文獻Antibubbles: Factors that affect their stability

1. 當水柱流下時，會在承接液體表面先形成一個小球，並夾著一層空氣層。
2. 當水柱持續流下時，而空氣層面積加大，形成殼狀。
3. 當水柱停止流下後，表面張力把空氣殼中的水拉成球形，形成成功的反泡泡。



肆、研究設備和器材

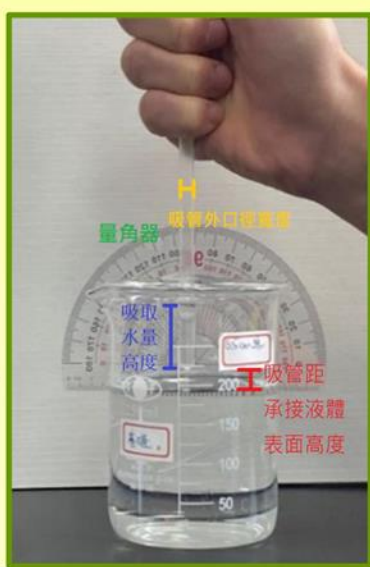


伍、實驗結果與分析討論

【實驗一】找出製作反泡泡成功率最高的各項基礎變因

實驗結果與討論

1. 進行入水角度實驗時，因90°較好操作，所以後面的基礎入水角度訂為90°。
2. 根據觀察我們推測，可能因為手指放開吸管的速率不同，導致液體流下時的速率不同，因此我們設計【實驗二】；此外，前一次滴下後的液體若還在流動，此時馬上進行下一滴可能會影響反泡泡的成功次數，因此我們設計了【實驗四】。



	水與洗碗精體積比	吸管外口徑寬度 (cm)	入水角度	吸取水量高度	吸管距承接液體表面高度 (cm)
我們測得的最佳條件	100 : 1	0.6	90° (與水面垂直)	2.5cm	0.5cm
文獻所得的最佳條件	100 : 1	0.35 0.5 0.6	50° (90°次之)	*無提到	0.5cm 1.0cm

【實驗二】探討針筒活塞速率對反泡泡的影響

實驗二之一-實驗結果與討論

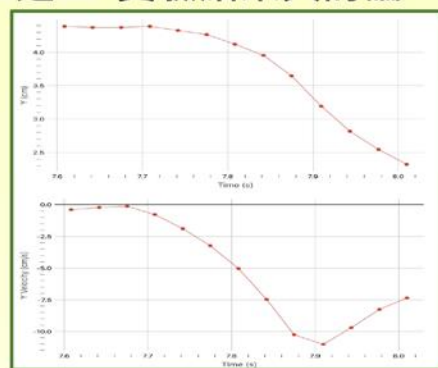
吸水量(ml)	2 mL	3 mL	5 mL
砝碼重量(g)			
200		砝碼太輕，推不動活塞	
250		推不動活塞	
300		砝碼太重，活塞移動過快	
400		導致水流流速過快	

因為活塞移動時有摩擦力，導致砝碼重量過小推不動；但是砝碼增加到300gw，卻又因為推動的速度過快，無法成功製作反泡泡。

1. 成功產生反泡泡的速率與時間的作圖沒有規律性，且速率的最大值與反泡泡的成功無法觀察到相關性。
2. 每一張Vy-t圖形不盡相同，是因為手對推筒所施的力、推筒在不同位置所產生的摩擦力，對活塞產生的速度變化落差極大，所以很難進行討論。

實驗二之二-實驗結果與討論

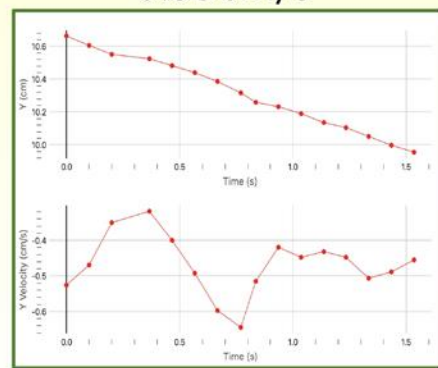
成功產生反泡泡的y-t圖 Vy-t圖



0.55cm/s

17.5cm/s

無法產生反泡泡的y-t圖 Vy-t圖



0.7cm/s

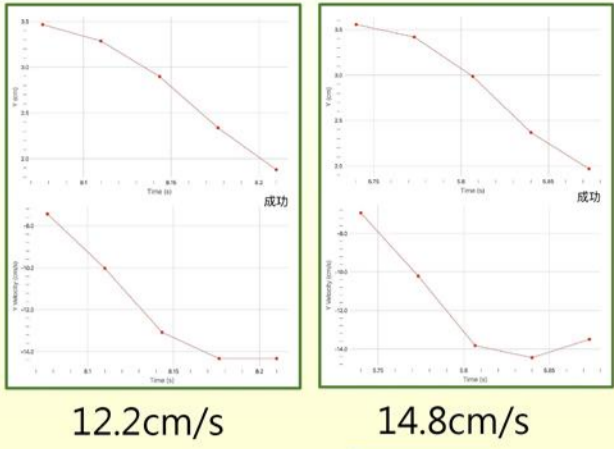
3.1cm/s

【實驗三】探討吸管滴下液體速率對反泡泡的影響

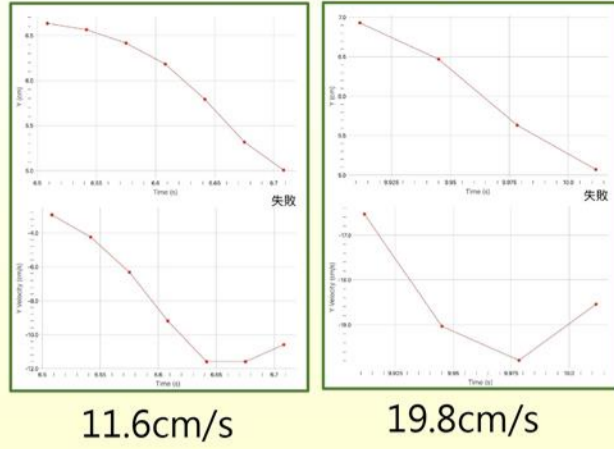
使用軟體 Video Physics 追蹤吸管滴下液體移動速率，製成圖表。

實驗結果與討論

成功產生反泡泡的y-t圖、Vy-t圖



無法產生反泡泡的y-t圖、Vy-t圖



1. 成功產生反泡泡的最大速率落在 **12.2~14.8cm/s** 之間，速率過小或過大都會導致無法產生反泡泡。我們認為：速度過大時，衝擊力過大會導致空氣膜破裂；速度過小時，衝擊力道不足，導致空氣無法壓進水裡。



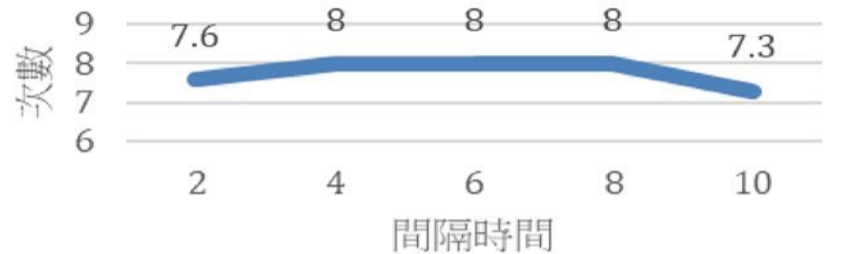
【實驗四】探討滴入的間隔時間對反泡泡的影響

操縱變因：滴入間隔時間-每2、4、6、8、10秒

實驗結果與討論

1. 時間間隔從4~8秒，對於成功次數並沒有明顯差異，我們認為理由如下：
- 1) 間隔兩秒，水流尚未完全平穩，導致數據偏低。
 - 2) 間隔過長，可能導致這次形成的反泡泡在水中碰到上次未破滅的反泡泡，進而破滅。但時間長短，對成功次數無明顯差異。在之後的實驗中，我們會先將上次尚未破滅的反泡泡戳破，再進行下一滴。

不同間隔時間克數下反泡泡成功次數折線圖



【實驗五】探討加入食用色素對反泡泡生成的影響

操縱變因：不同顏色的食用色素-紅、黃、藍、綠

次數	1	2	3	4	5	平均
對照	7	7	7	8	8	7.4
紅	8	7	7	8	7	7.4
黃	7	8	7	7	7	7.2
藍	7	8	8	7	8	7.6
綠	7	8	8	7	7	7.4

次數	1	2	3	4	5	平均
對照	32	17	13	24	43	25.8
紅	10	15	10	39	11	17
黃	15	20	13	17	20	17
藍	11	30	31	9	18	19.8
綠	29	28	26	13	16	22.4

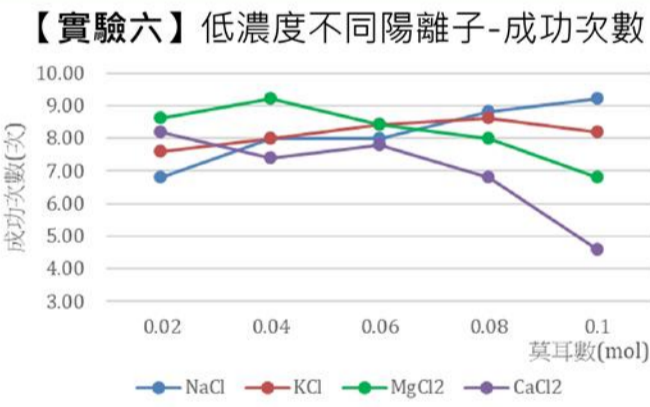
實驗結果與討論



添加色素後，反泡泡成功次數差異不大，但存活時間都比對照組短。不論加入哪種顏色的色素，皆增加了液體的濁度，因此之後的實驗都不會再額外添加色素。

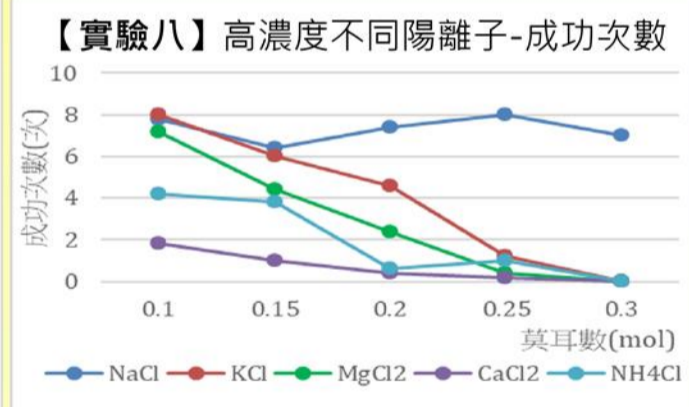
【實驗六】較低濃度下，不同莫耳數氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣對反泡泡成功次數與生存時間的影響

操縱變因：不同陽離子的鹽類-氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣
0.02、0.04、0.06、0.08、0.10 mol



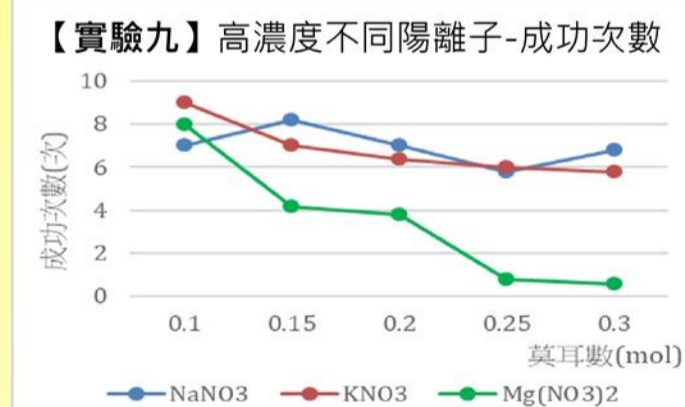
【實驗八】較高濃度，探討不同莫耳數氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣、氯化銨對反泡泡成功次數與生存時間的影響

操縱變因：不同陽離子的鹽類-氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣、氯化銨
0.10、0.15、0.20、0.25、0.30 mol



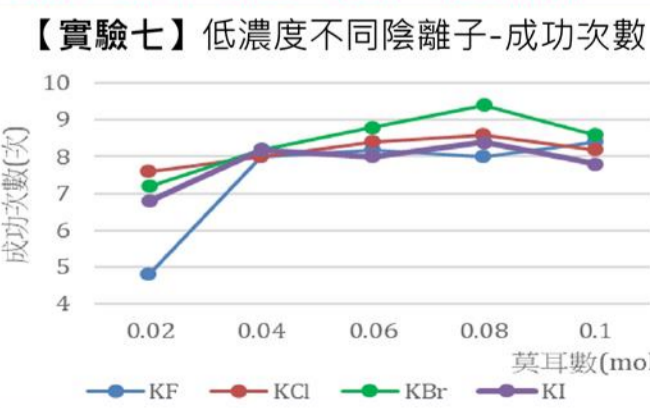
【實驗九】較高濃度，不同莫耳數硝酸鹽類對反泡泡成功次數與生存時間的影響

操縱變因：不同陽離子的硝酸鹽類-硝酸鈉、硝酸鉀、硝酸鎂
0.10、0.15、0.20、0.25、0.30 mol



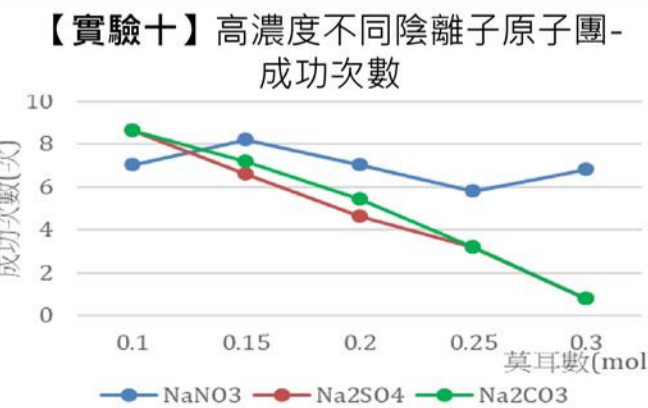
【實驗七】較低濃度下，不同莫耳數氯化鉀、氯化鉀、溴化鉀、碘化鉀對反泡泡成功次數與生存時間的影響

操縱變因：不同陰離子的鹽類-氯化鉀、氯化鉀、溴化鉀、碘化鉀
0.02、0.04、0.06、0.08、0.10 mol



【實驗十】探討加入不同陰離子原子團的鹽類及其莫耳數對反泡泡成功次數與生存時間的影響

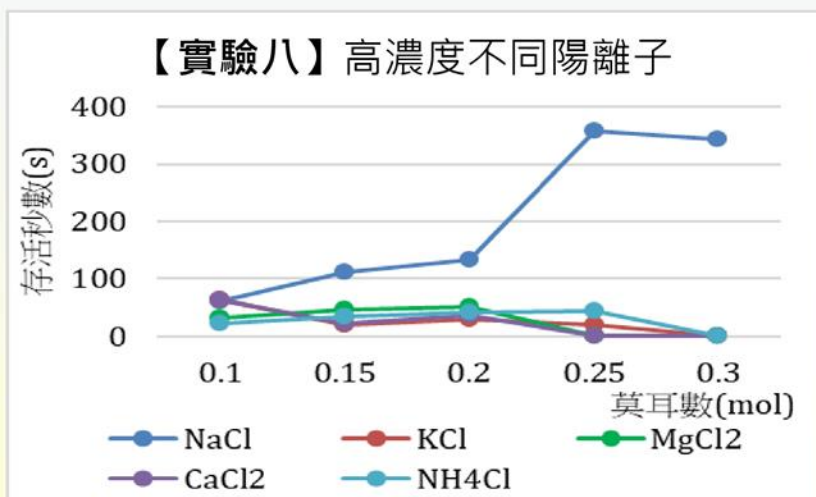
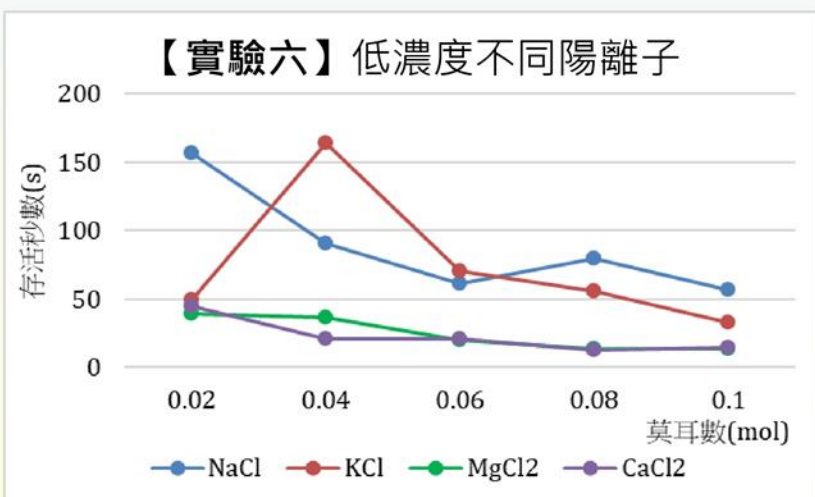
操縱變因：不同陰離子原子團的鹽類-硝酸鈉、硫酸鈉、碳酸鈉
0.10、0.15、0.20、0.25、0.30 mol



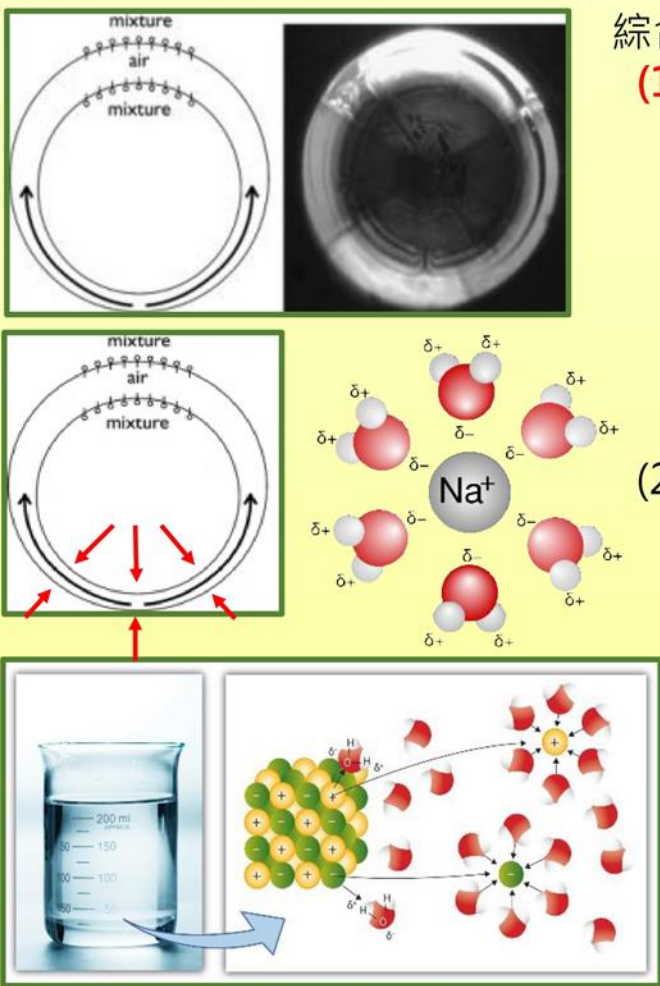
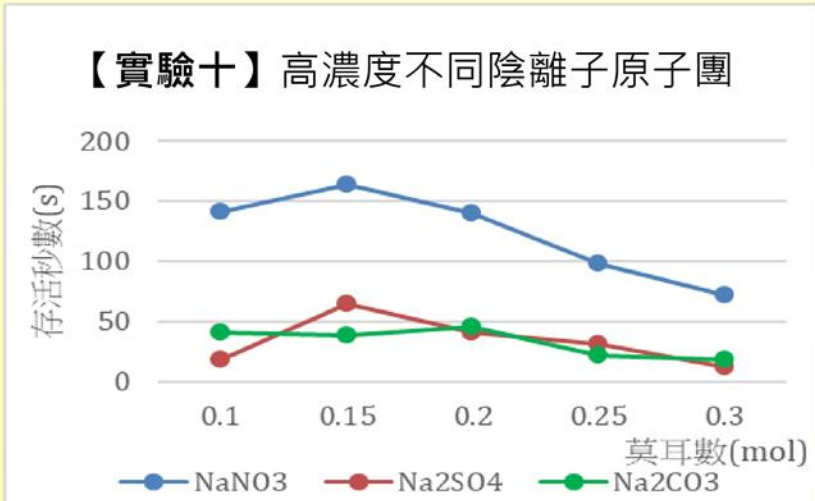
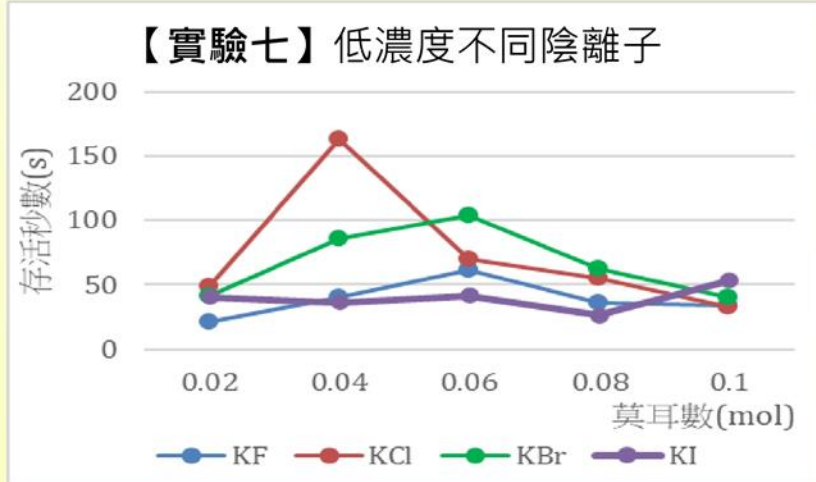
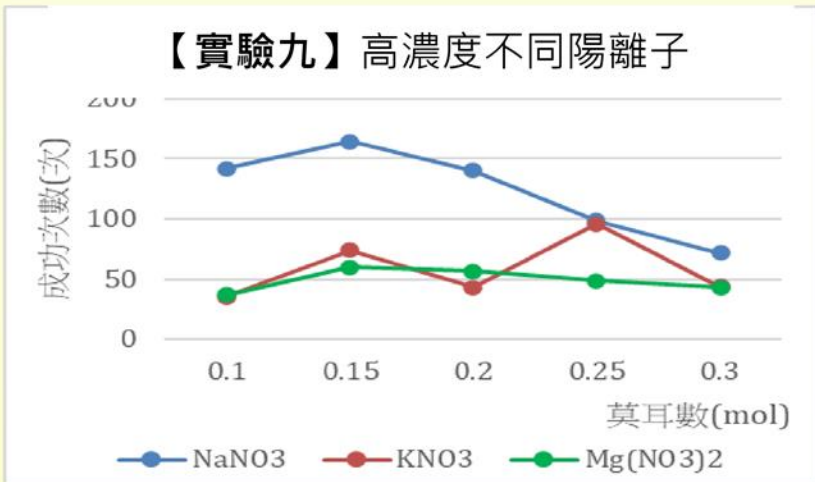
1. 相同陰離子不同陽離子：
 - 1) 【實驗六】：不同陽離子，在低濃度0.02mol，二價離子成功次數略高於一價離子，但隨著莫耳數上升，二價離子的成功次數不斷下降，一價離子則逐漸上升。
 - 2) 【實驗八】：接續實驗六，一價離子成功次數持續高於二價離子，且氯化鈉成功次數都沒有下降。因此我們認為影響成功次數的關鍵是價數，且一價大於二價。但氯化鉀隨著莫耳數上升，成功次數持續下降；而同為一價的氯化銨成功次數並沒有較高。此外，氯化鈣及氯化鎂在高濃度(0.25mol之後)時，幾乎無法產生反泡泡，此兩種鹽類濃度過高會快速產生白色沉澱，與添加氯化銨的現象相同，推測鹼金屬會與此款清潔劑分子產生白色沉澱。
 - 3) 【實驗九】：一價離子成功次數持續高於二價離子，再度證明我們的推測是正確的。

2. 相同陽離子不同陰離子：【實驗七】：除了氯化鉀在0.02 mol時成功次數較低，其他情況四種鹽類差異不大，我們認為因為都是一價的關係。
3. 不同陰離子原子團：【實驗十】：一價的硝酸鈉成功次數高於二價，且二價的硫酸鈉與碳酸鈉成功次數明顯下降。
4. 綜合上列結果，當水柱落下卻還沒有形成囊泡時，若價數過大，會導致鹽類離子與水分子間的作用力過大，而衝破空氣層。但我們也發現，二價鹽類若只添加微量，依然對形成反泡泡有幫助，如同添加一價鹽類的情況一樣，適當的分子間作用力，可以在切斷水柱時產生幫助。

實驗結果與討論-存活時間



1. 相同陰離子不同陽離子：綜合【實驗六】、【實驗八】與【實驗九】：一價離子的存活時間大多優於二價，且鈉離子優於鉀離子。
2. 相同陽離子不同陰離子：【實驗七】：氯化鉀>溴化鉀>氟化鉀、碘化鉀。
3. 不同陰離子原子團：【實驗十】：一價的硝酸鈉存活時間明顯高於二價的硫酸鈉與碳酸鈉。



綜合上列結果：

- (1) 一價離子相較於二價離子，較可以增長存活時間。外文文獻中有提到，存活時間的關鍵在於空氣層被破壞，推測二價離子產生的分子間作用力較大，可能導致破壞空氣層，使反泡泡破裂。
- (2) 存活時間長短：鈉離子>鉀離子，氯離子>溴離子>氟離子、碘離子，我們認為可能跟離子半徑有關。而溶液的穩定性是最直接影響反泡泡的存活時間的因素，當鹽類溶於水解離時，其中正離子會吸引水分子中的氧原子，而負離子則會吸引水分子中的氫原子(如左圖)

陽離子種類	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	
半徑(pm)	102	138	146	
陰離子種類	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻
半徑(pm)	133	181	196	220

所以推測要有**適當的離子大小及鹽類**，與水分子間產生較穩定的水合狀態。我們推測，正離子以鈉的大小最佳，鉀離子與氨根離子差異不大，所以存活時間接近；陰離子的順序則為：氯離子>溴離子>氟離子、碘離子，表以氯離子的大小最佳，溴離子的大小非常接近氯離子，所以次之，碘離子和氟離子則是過大或過小，所以穩定性較差。原子團較不穩定的原因除了價數外，我們也推測二價的原子團存在較多的離子形式，導致溶液狀態可能較不穩定。

【實驗十一】探討添加不同鹽類的泡泡水黏滯性對存活時間的影響

實驗結果與討論

根據我們的結果發現，存活時間的差異，與黏滯性沒有關係(R²=0.022)，表示添加鹽類後，顯著影響存活時間的因素並不是黏滯性。

陸、結論

根據【實驗一】發現濃度100:1，吸管口徑0.6cm，50度角，吸取水量高度2.5cm，吸管距承接液體表面高度0.5cm的條件最佳。

根據【實驗二】發現由於使用針筒具摩擦力的影響，故無法得知生成反泡泡和速率的關係。

根據【實驗三】發現吸管滴下液體速率介於12.2~14.8 cm/s之間，最容易生成反泡泡，速率過大或過小都會失敗，決定反泡泡的成功原因為速率。

根據【實驗四】發現滴入的間隔時間對反泡泡生成無顯著影響。

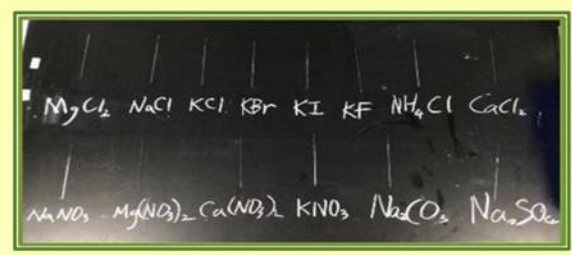
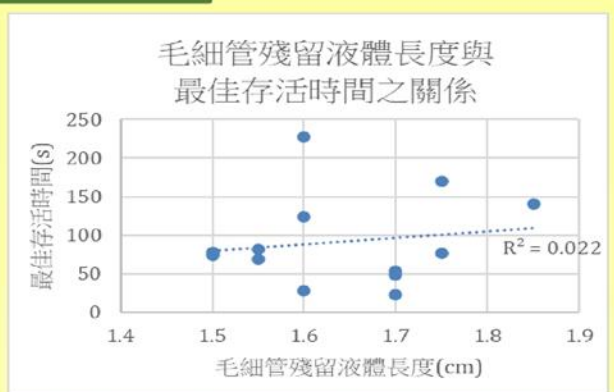
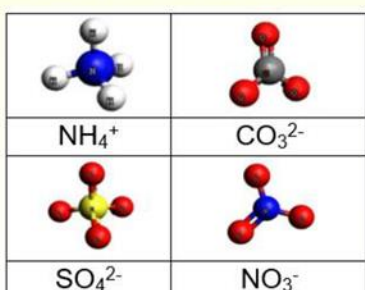
根據【實驗五】發現添加食用色素並不會較方便觀察。

根據【實驗六】~【實驗十】發現：

1. 過量的鹽類莫耳數都會導致成功次數及存活時間下降。
 2. 最佳成功次數取決於陰陽離子的價數，且一價優於二價。
 3. 最佳存活時間長短取決於離子價數與適當的離子大小。
- 根據【實驗十一】添加鹽類後，黏滯性並非影響存活時間的主要原因。

柒、未來展望

由於原子團的離子存在的形式較為複雜，未來可嘗試做更多原子團鹽類的實驗，並藉由各種離子形狀來推測對反泡泡成功次數或存活時間的影響。



捌、參考文獻資料

- 一反泡泡(2023年3月19日)。維基百科。檢自：<https://reurl.cc/2L8Ze6>
- 水中的魔法泡泡。嘉義市第三十七屆中小學科學展覽會作品說明書。檢自：<https://reurl.cc/GAXxyZ>
- 李夢筑、黃晴(2007)。泡泡造反了 - 反泡泡之形成、存活與破滅之物理特性探討。全國第46屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 科學遊戲實驗室-反泡泡。國立台中教育大學科學教育與應用學系 NTCU。檢自：<http://scigame.ntcu.edu.tw/water/water-012.html>
- Rabia Zia et.al.(2022). Advances in antibubble formation and potential applications
- S. Dorbolo et.al.(2010). Antibubble lifetime: Influence of the bulk viscosity and of the surface modulus of the mixture
- P. Geon Kim, Jerusha Vogel.(2006) Antibubbles: Factors that affect their stability
- Physics Girl(2016) What are antibubbles?. 檢自：<http://yt1.piee.pw/4t2hqb>
- The Action Lab(2019) What Happens to an Anti-bubble in a Vacuum Chamber? 檢自：<http://yt1.piee.pw/4tjppc>
- FlinnScientific(2012)Anti-Bubbles。檢自：<https://www.youtube.com/watch?v=cosjx9fGuPY>
- Theodore Gray作、吳瑤玲譯(2010)。看得到的化學。台北市，大是文化