

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

佳作

040115

液體中的降雨現象

學校名稱：高雄縣立路竹高級中學

作者： 高一 洪崇育 高一 陳冠勳 高一 蘇聖翔 高一 孫上原	指導老師： 鍾志輝 曾意真
---	---------------------

關鍵詞：鹽手指 溫度 下降速度

摘 要

由於鹽水濃度擴散速率遠小於溫度擴散速率，導致了濃度極不均勻的現象，稱之為鹽手指（salt-finger）。本研究首要在設計出觀測及量測鹽手指現象的實驗裝置且分析鹽手指下降的現象，進而探討在系統不同溫度、不同溫差及不同濃度下，鹽手指下降速率的關係。結果我們在經過不斷的改良及克服困難下，終於設計出實驗裝置而可看到及量測鹽手指的現象，並經由拍攝整個鹽手指形成過程，分析出鹽手指的下降過程的現象，進而探討鹽手指在沒有溫差、有溫差及不同濃度變因下與下降平均速率的關係，此處沒有溫差、有溫差指得是產生鹽手指的液滴與容器內裝有的溶液同溫與有溫差的意思。我們的結果如下：

- （一） 發現鹽手指在沒有溫差時，系統中溫度對下降平均速率關係為溫度越高下降平均速率越快。
- （二） 發現鹽手指在有溫差時，系統中溫差對下降平均速率關係為溫度越高下降平均速率越快。
- （三） 發現鹽手指的下降平均速率與濃度四次方有關係。

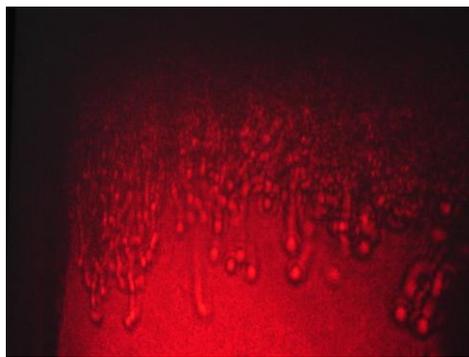
本研究可應用在晶體結晶時的均勻析出。

壹、研究動機

由於溫度梯度與濃度梯度所形成的密度變化在重力作用下所形成的浮力，引起的自然對流，一般稱為『熱質對流』或是『雙擴散對流』。

熱質自然對流研究方面，早期在海洋學頗受重視，Stommel (1956) [1] 指出海洋受日照影響在海洋上層造成熱且濃的流體，由於鹽水濃度擴散速率遠小於溫度擴散速率，導致了濃度極不均勻的現象，稱之為鹽手指 (salt-finger) 【如圖一】。Turner [2] 用鹽水及糖水加熱做實驗，由於鹽水或糖水的濃度梯度其邊界條件不易控制及保持，而且濃度梯度只能平行於重力，很難長時間和重力互相垂直，所以只能做暫態觀察。L. W. Wang [3] 和 S. Ostrach [4] 探討在矩形封閉的垂直壁施予不同溫度梯度及濃度梯度來說明一些海洋中不穩定的現象。從先前文獻的研究中我們發現鹽手指下降速率的影響因素欠缺，所以本研究是擬探討在溫度、溫度差與濃度與鹽手指下降速率的關係。

本研究是與高中物理的熱學有相關。



圖一 如下雨般的鹽手指現象

貳、研究目的：

1. 設計觀察及量測鹽手指現象的實驗裝置。
2. 分析鹽手指下降的現象。
3. 探討鹽手指在沒有溫差時，系統中溫度對下降平均速率的關係。
4. 探討鹽手指在有溫差時，系統中溫差對下降平均速率的關係。
5. 探討鹽手指在不同濃度時，濃度對下降平均速率的關係。

參、研究器材與藥品

器材：攝影機、凹透鏡兩個（尺寸：長 115 x 寬 52 x 厚 13 mm，直徑 50mm 倍率 -3X, ）、狹長型方型容器、紅光氦-氖雷射發射器、腳架四座、鐵環、方格紙、水平儀、壓克力容器(14cm×4cm×12.5cm)、壓克力板、1000ml 燒杯兩個、250ml 燒杯兩個、滴管、平面鏡架、平面鏡、捲尺、電子秤、計時器。

藥品：葡萄糖、氫氧化鈉、食鹽、蒸餾水。

肆、研究原理：

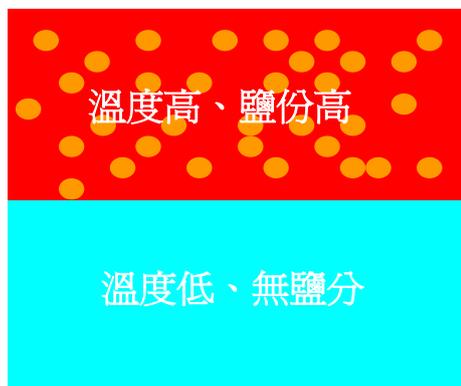
海洋中的混合層上層的海水因受陽光的照射，使得水溫、鹽分相對於下層較高。很顯然地，在未進行熱或鹽度的擴散時，混合層分成上下兩層：上層溫度、鹽度較高；下層則溫度、鹽度均較低，溶液密度來至於溫度與鹽度，溶液溫增高密度則變小；鹽度增高密度變大。上層溶液鹽度雖高，可是溫度較高，所以上層溶液的密度依然可以小於下層的密度，使海洋內的混合層分上下兩層。

當上下兩層開始進行擴散時會有怎樣的情況呢？為了方便解釋我們考慮了一個比較特殊的情況：上層溫度高、鹽度高；下層溫度低、鹽度為零，如圖二(a)。因為熱的擴散速度比鹽類的擴散速率快很多，

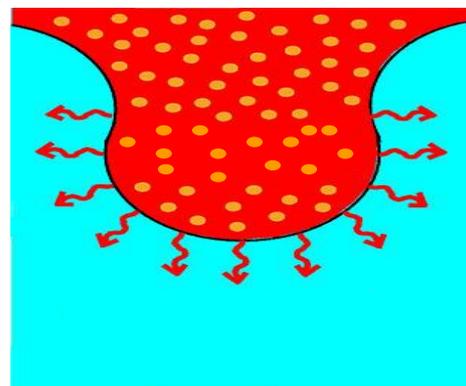
因此當熱進行擴散時(把熱傳到下層，且鹽類幾乎未擴散)，因而上層溫度變低、下層溫度變高，所以上層溶液的密度變大、下層溶液變小。故上層溶液開始往下沉，下層的溶液則開始往上升。學術界把下沉的溶液稱為「鹽手指」。

鹽手指形成時，在兩種液體界面處形成凹凸不平的界面，如圖二(b)，凹凸不平的界面會比平整的界面之接觸面積大很多，將可以增加分子間碰撞的機會，讓擴散的速率更快。圖三中呈現出溶液上升與下降的情況。

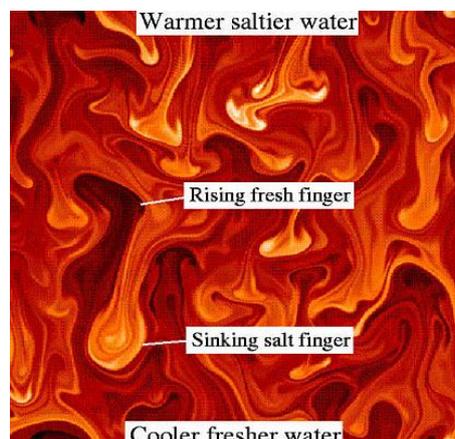
將密度較小的糖水溶液置於密度較大的鹽水溶液上面，因為鹽的擴散速率比糖快，所以下層的鹽水溶液密度會變小，上層的糖水溶液會變大，最後形成向上移動的鹽手指與向下移動的糖手指。



圖二(a)



圖二(b)



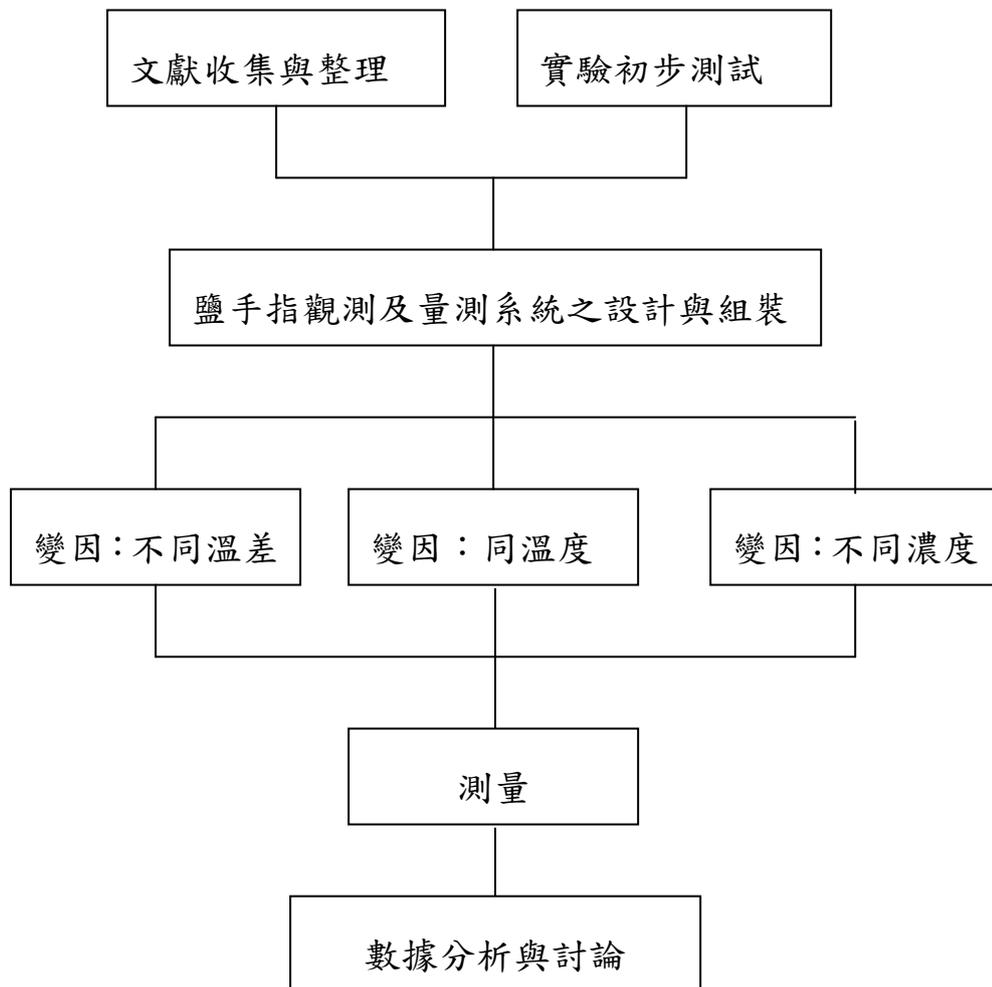
圖三

亮區是下降的手指，暗區是上升的手指 [6]

綜合以上本研究初步將聚焦於鹽手指下降過程，當熱進行擴散時，因上層溶液的密度變大、下層溶液的密度變小，導致上層溶液開始往下沉時的平均速率研究，以為未來進一步探討鹽手指結晶時的先期機制研究。

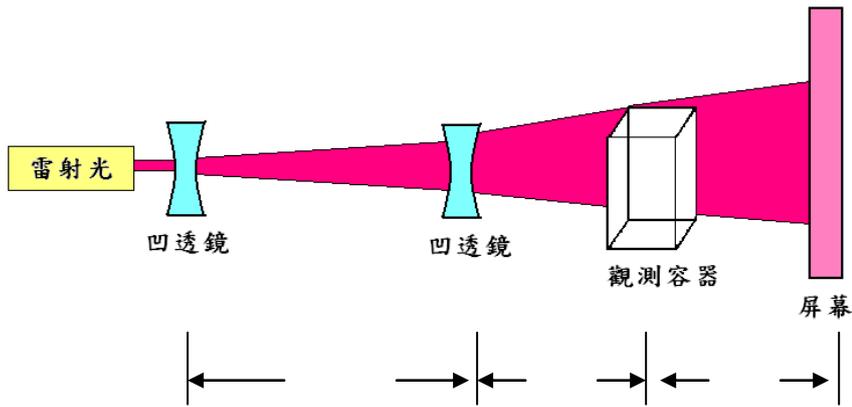
伍、研究過程：

【流程圖】

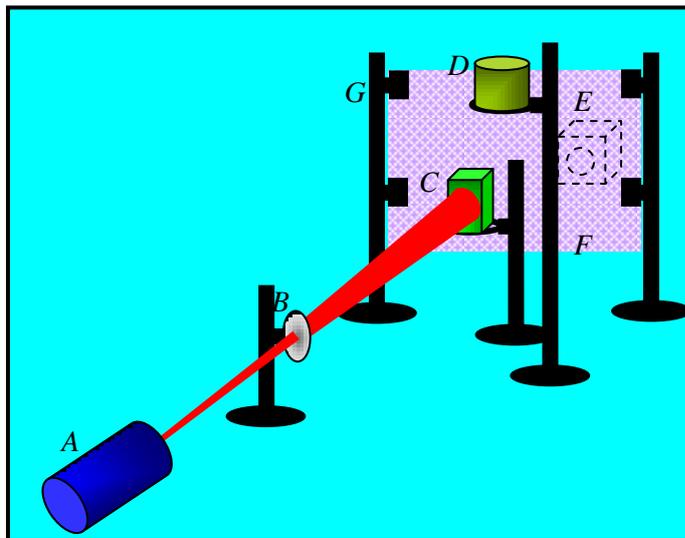


圖四 研究流程圖

【研究過程一】設計觀測及量測鹽手指現象的實驗裝置



圖五 實驗裝置側面示意圖



A: 氦-氖雷射發射器 B: 凹透鏡 C: 壓克力容器
 D: 裝食鹽水溶液的 250mL 燒杯 E: 攝影機
 F: 屏幕 G: 鐵架

圖六 實驗裝置



照片一 實驗裝置：分別為雷射光與第一片凹透鏡、第二片凹透鏡、方型容器、紅色銀幕。

【設計過程及困難解決】：

1. **容器的選擇**：原本我們選擇的容器是利用四個載玻片和一個較大玻片的自製容器(2.40cm*2.45cm*7.65cm)，並考慮由正中央滴入葡萄糖溶液；但是如果只從正中央滴入滴液，則對整個液面來說濃度分佈會相當不均勻。因此，我們考慮換個較大的容器。在此，我們又思考：如果同時把容器長跟寬加大，則橫向的擴散因素就變的比較複雜一點，而且容器口變大，則溶液溫度受外界環境的影響也就越明顯。

解決方法：把長度加長，也就是要使用一個狹長型的容器，並且想辦法讓滴液能夠佈滿整個液面然後整片滴下，以減少鹽手指的橫向位移。



照片二 原本的容器



照片三 後來的容器

2. **溶液滴入方法**：若只在容器中央滴入葡萄糖溶液，則可觀測的範圍很小，而且對整個容器而言分布較不均勻，因此，我們希望能夠找到方法讓溶液整片滴下。

解決方法：

- a. 在器壁黏上海綿，再從上方滴入。
→滴液仍會從空隙較大的地方滴下，而無法整片滴下。(x)
- b. 放置斜板，並使斜版和器壁保留一點空隙，使滴液從空隙整

片滴下。

→空隙不好拿捏，如果空隙太小，則滴液無法滴下；若空隙太大，則滴液仍呈柱狀落下，且衝力太大。(x)

c. 將吸管穿孔(約每隔一公分鑽一個孔)，吸滿滴液後水平放入容器內，將從一個點滴入改成多個點滴入。

→有時候在放入吸管時，會有所擠壓(力道較不好控制)，造成滴液外露，衝力過大。(x)



照片四 穿孔的吸管

照片五 加入滴液後的情形

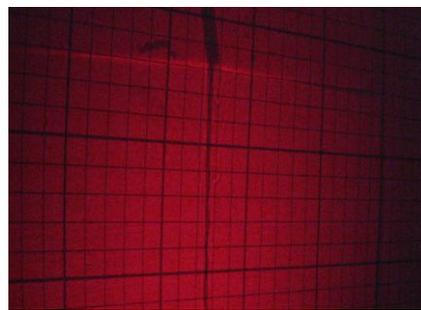
照片六 將吸管放入容器中

d. 希望能夠控制滴入的量，利用針筒滴入。

→因為針頭的孔過小，造成溶液滴入的衝力很大，溶液會快速混合而看不到鹽手指現象。(x)



照片七 針筒的裝置



照片八 使用針筒時，滴液會直接落下

e. 使用滴管延著液面小心的滴入滴液。

→雖然此種方法需要實驗者小心的操作，滴入的量也比較難

以控制，但是卻是效果最為顯著、成功率最高的方法。另外，由於滴液誤差的量不超過 5ml，所以在滴入的量的部分我們視為相同。(○)

3. 溫度的控制：溶解氫氧化鈉時，溫度會上升，且上升的幅度比溶解葡萄糖來的大；因此，如果先量好水的溫度再調配溶液，則氫氧化鈉溶液和葡萄糖溶液的溫度會不同。

解決方法：調配好溶液之後，再把裝有氫氧化鈉溶液的燒杯以及裝有葡萄糖溶液的燒杯一起放到水槽中，使兩者同時和水槽水溫達熱平衡，即可使兩者溫度相同。



照片九 放入冰水中降溫



照片十 放在溫水中升溫

4. 光源選擇與設計：在觀測鹽手指的現象時，剛開始我們使用白光照射，但一直無法觀察到鹽手指的現象，請教專家後才了解要使用雷射光照射。但是雷射光的光點很小，沒辦法看到整個液面的情形。

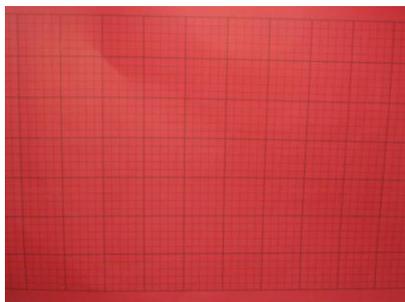
解決方法：使用凹透鏡來放大雷射光源，並把距離拉長，讓鹽手指的現象比較容易觀察。

5. 投影銀幕：當我們將雷射光透過凹透鏡放大、容器跟溶液的折射之後，光的強度變弱，投射在白色屏幕上，拍攝的效果不明顯。

解決方法：改成使用紅色屏幕，因為雷射光是也是紅色的，紅色色紙只會反射紅色的光線，所以可以減少其他光線的干擾。

6. 量測長度的銀幕：用 DV 拍攝後如何測量？

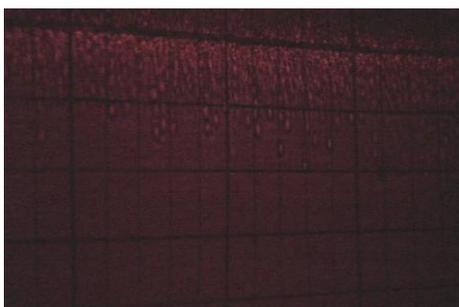
解決方法：印製一張紅色方格海報，便可從格線清楚的看出鹽手指下降的距離。



照片十一 屏幕--紅色方格海報

7. 產生鹽手指溶液的選擇：在尋找不同溶液的過程中，我們嘗試過很多藥品，例如：酒精、硫酸銅、醋酸、硫酸鐵……等等，用我們設計的器材來觀察，結果發現上面的滴液如果不是直接流入，就是只浮在上層。因為鹽手指的產生與擴散速率有關。

解決方法：我們開始從擴散速率不同來著手，而擴散速率會跟分子量的大小相關。文獻中的溶液是採用糖水與鹽水，蔗糖的分子量是 344，食鹽的分子量是 58.5，蔗糖分子量大約是食鹽的 5~6 倍。因此，我們考慮使用一個分子量較大，一個分子量較小的溶質，而我們所選擇的就是葡萄糖與氫氧化鈉，葡萄糖的分子量是 180，氫氧化鈉的分子量是 40，葡萄糖分子量大約是氫氧化鈉的 4~5 倍。經過實驗觀察後，我們的確得到葡萄糖溶液與氫氧化鈉溶液的鹽手指現象。



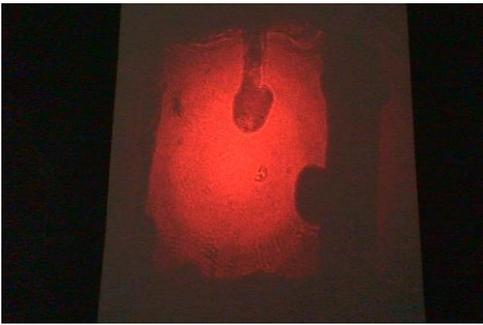
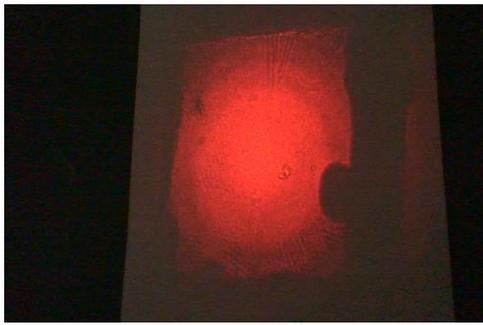
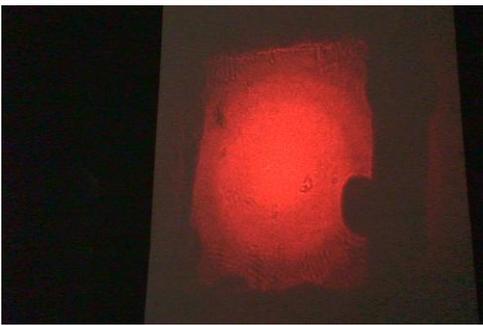
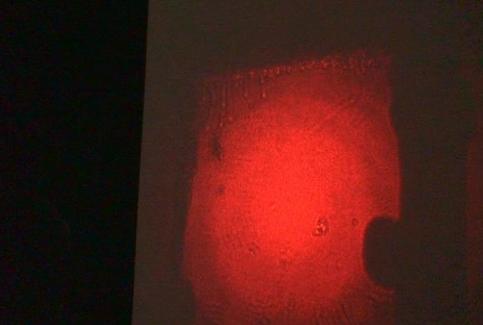
照片十二 葡萄糖溶液與 NaOH 溶液所產生的鹽手指現象

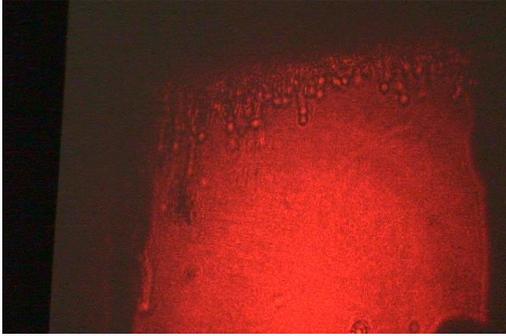
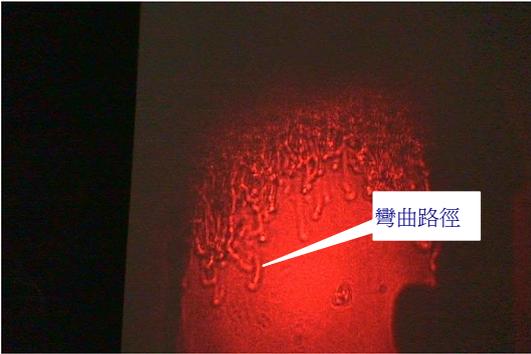
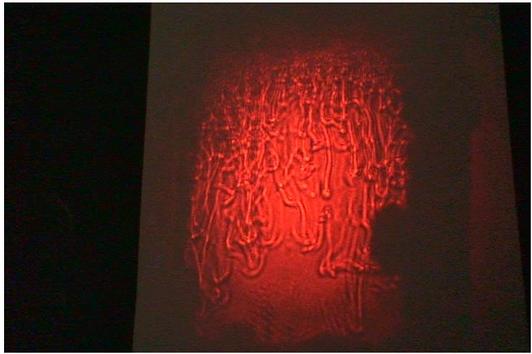
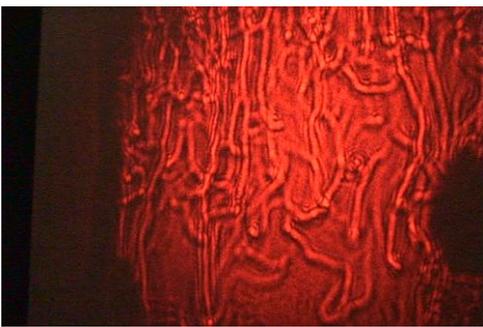
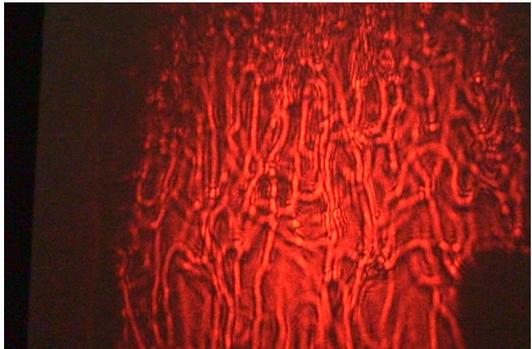
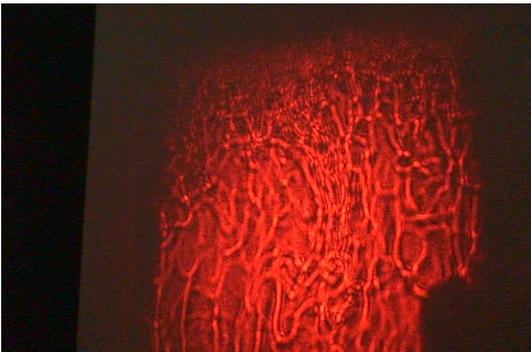
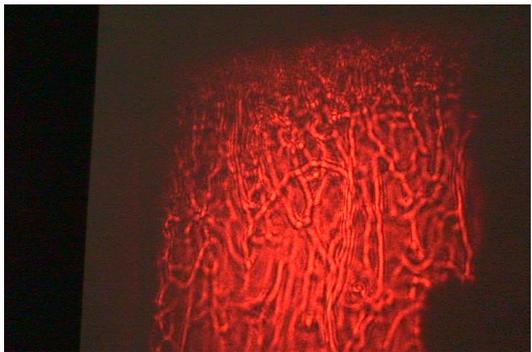
【研究過程二】分析鹽手指下降的現象。

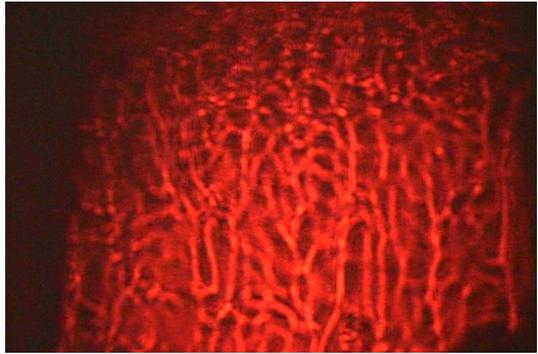
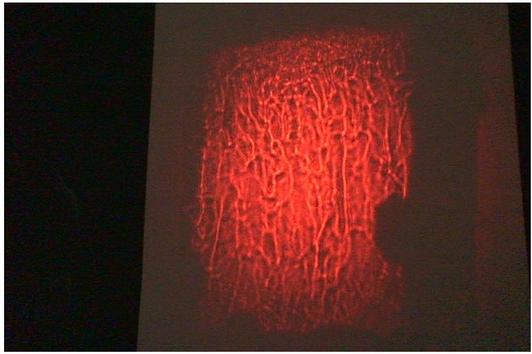
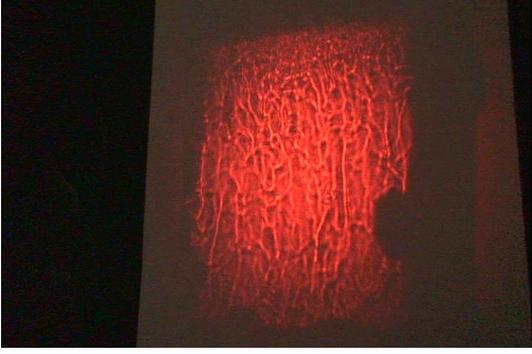
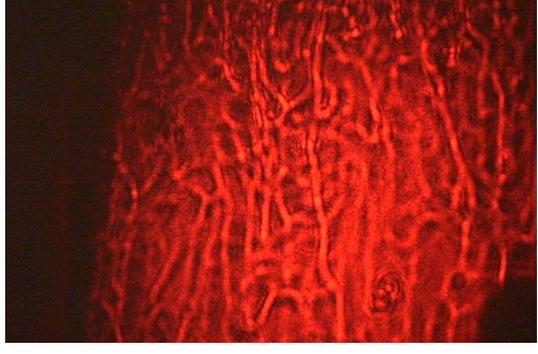
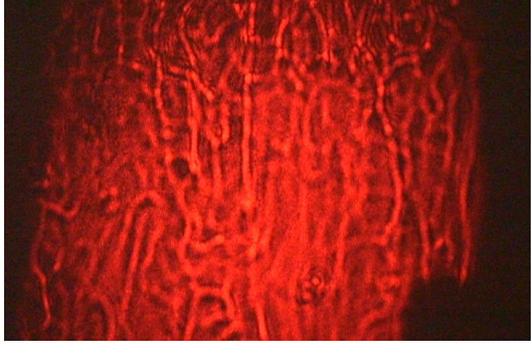
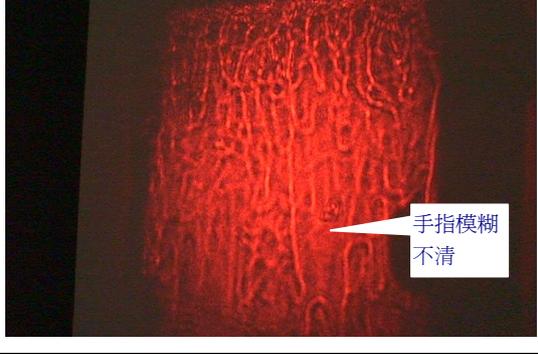
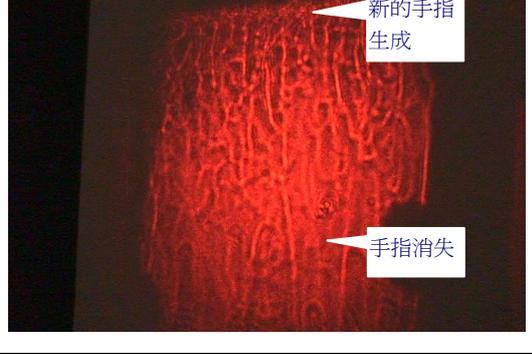
(一) 過程

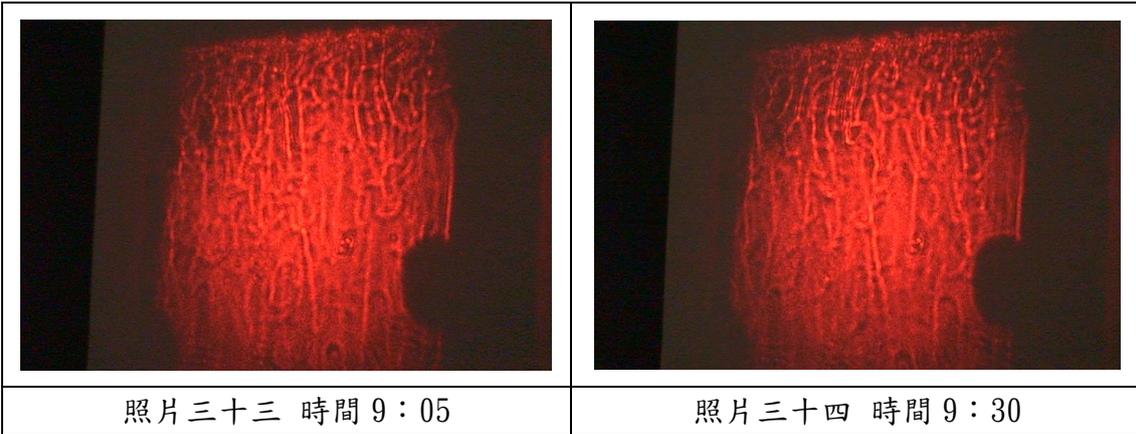
1. 將調配好的 12g/L 的糖水用滴管滴入 10g/L 的食鹽水。
2. 利用攝影機拍攝鹽手指下降過程。
3. 用播放軟體 Power Dvd 播放並於適當相片處用暫停鍵暫停。
4. 用照相鍵截取相片及計錄 Power Dvd 上顯現時間。
5. 將結取相片轉貼於 Word 檔如下圖。

(二) 結果：

	
照片十三 時間 0 秒 滴入液滴	照片十四 時間 0:21 秒 上方液面界面處凹凸不平開始有手指形成
	
照片十五 時間 0:37 秒上方液面界面處形成的手指開始下降，並陸續有新的手指形成	照片十六 時間 0:49 秒

	
<p>照片十七 時間 1 : 04 (1 分 04 秒) 大量手指形成及下降</p>	<p>照片十八 時間 1 : 22</p>
	
<p>照片十九 時間 2 : 27 先前下降手指開始有彎曲路徑</p>	<p>照片二十 時間 2 : 40 大量手指彎曲</p>
	
<p>照片二十一 時間 2 : 57</p>	<p>照片二十二 時間 3 : 37</p>
	
<p>照片二十三 時間 4 : 48</p>	<p>照片二十四 時間 5 : 10</p>

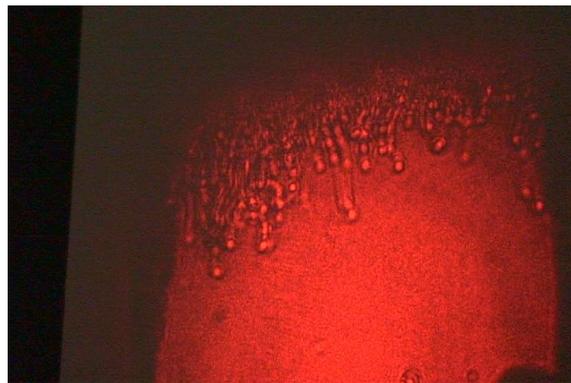
	
<p>照片二十五 時間 5 : 25</p>	<p>照片二十六 時間 6 : 03</p>
	
<p>照片二十七 時間 6 : 13</p>	<p>照片二十八 時間 6 : 40</p>
	
<p>照片二十九 時間 7 : 12</p>	<p>照片三十 時間 7 : 30</p>
	
<p>照片三十一 時間 8 : 15 終端減速呈現模糊不清</p>	<p>照片三十二 時間 8 : 40 至消失隨時有新的生成</p>



(三) 討論

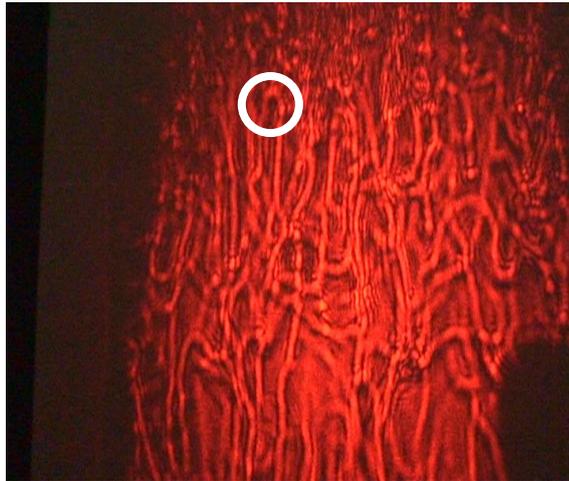
1. 由於食鹽的擴散速度大於糖，所以滴入的糖水溶液在糖還沒擴散到下層的食鹽水溶液，但下層溶液的食鹽已經擴散到糖水裡，導致糖水溶液密度變大，形成糖手指往下降，如照片三十五。

。



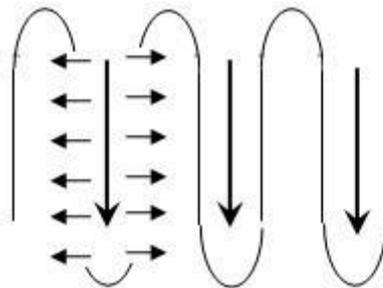
照片三十五

2. 下層的鹽水溶液因為鹽擴散到上層的糖水溶液，導致密度變小因此受到一浮力開始往上升, 如照片三十六中圓圈內。



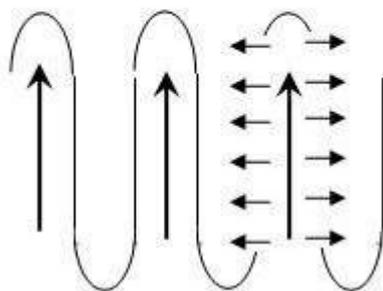
照片三十六
圓圈內黑影部分為上升的手指

3. 在上升與下降的手指的交界面擴散糖和鹽，如圖七與圖八。



圖七

下降的手指將糖擴散到旁邊上升的手指



圖八

上升的手指將鹽擴散到旁邊下降的手指

4. 經過擴散作用後，上升、下降手指內部的糖濃度與鹽濃度趨於相同，進而達到容器內部溶液各區域的糖與鹽濃度相同。因此在螢幕上的手指趨於模糊。〔文獻 4〕

【研究過程三】探討鹽手指在沒有溫差時，系統中溫度對下降平均速率的關係。

一、實驗步驟：

1. 取 3.00g 的 NaOH 粉末溶於 300ml 的水中(室溫)，並將 NaOH 溶液倒入觀測的容器中，並測量水溫。
2. 取 0.55g 的葡萄糖粉末溶於 40ml 的水中(室溫)。
3. 用滴管吸取葡萄糖溶液，並將其小心的滴在 NaOH 溶液液面。
(在滴入葡萄糖溶液時，不宜太過用力，避免葡萄糖溶液和 NaOH 溶液混合)
4. 觀察鹽手指產生的情形，並分別記錄鹽手指到達第一、三格的時間。(挑 5 個點，再取其平均值)
5. 利用等比例關係，算出屏幕上每格所代表實際的距離。
6. 計算鹽手指從第一格到第三格的平均速率。
7. 改變 NaOH 溶液與葡萄糖溶液的溫度，測量不同溫度下鹽手指的平均速率。
8. 做鹽手指平均速率與溫度的關係圖。

二、數據處理及分析：

(一) 六種不同溫度(33°C、29°C、28°C、26°C、21°C、16°C)下，鹽手指在固定兩點(5.0mm)間所到達的時間，並求其平均速率。

表一 33°C時平均速率

33°C			
編號	t1	t2	Δ t(秒)
1	1' 05"	1' 09"	4
2	1' 22"	1' 26"	4
3	1' 29"	1' 33"	4
4	1' 44"	1' 48"	4
5	2' 02"	2' 07"	5
6	2' 12"	2' 16"	4

平均 $\Delta t = 4.1 \text{ 秒} \pm 0.06$

平均速率 = 1.22mm/s

表二 29°C時平均速率

29°C			
編號	t1	t2	Δ t(秒)
1	1' 06"	1' 16"	10
2	1' 04"	1' 12"	8
3	1' 31"	1' 41"	10
4	1' 36"	1' 46"	10
5	1' 35"	1' 41"	6
6	1' 14"	1' 27"	13

平均 $\Delta t = 9.5 \text{ 秒} \pm 0$

平均速率 = 0.52mm/s

表三 28°C時平均速率

28°C			
編號	t1	t2	Δ t(秒)
1	0' 59"	1' 10"	11
2	2' 48"	2' 58"	10
3	1' 12"	1' 19"	7
4	1' 02"	1' 14"	12
5	1' 32"	1' 41"	9
6	2' 41"	2' 53"	12

平均 $\Delta t = 10.2 \text{ 秒} \pm 0.2$

表四 26°C時平均速率

26°C			
編號	t1	t2	Δ t(秒)
1	0' 50"	1' 05"	15
2	0' 36"	0' 52"	16
3	1' 03"	1' 19"	16
4	1' 12"	1' 29"	17
5	1' 28"	1' 44"	16
6	1' 10"	1' 27"	17

平均 $\Delta t = 16.2 \text{ 秒} \pm 0.03$

平均速率 = 0.49mm/s

平均速率 = 0.31mm/s

表五 21°C時平均速率

表六 16°C時平均速率

21°C			
編號	t1	t2	Δ t(秒)
1	1' 38"	2' 03"	25
2	1' 54"	2' 27"	33
3	1' 05"	1' 25"	20
4	1' 23"	1' 50"	27
5	1' 09"	1' 33"	24
6	1' 11"	1' 44"	33

平均 $\Delta t = 27.0$ 秒 ± 0

平均速率 = 0.19mm/s

16°C			
編號	t1	t2	Δ t(秒)
1	1' 42"	2' 06"	24
2	2' 00"	2' 32"	32
3	1' 57"	2' 32"	35
4	2' 04"	2' 38"	34
5	2' 01"	2' 33"	32
6	4' 15"	4' 45"	30

平均 $\Delta t = 31.2$ 秒 ± 0.06

平均速率 = 0.16mm/s

(二) 將鹽手指平均速率對溫度作關係圖。

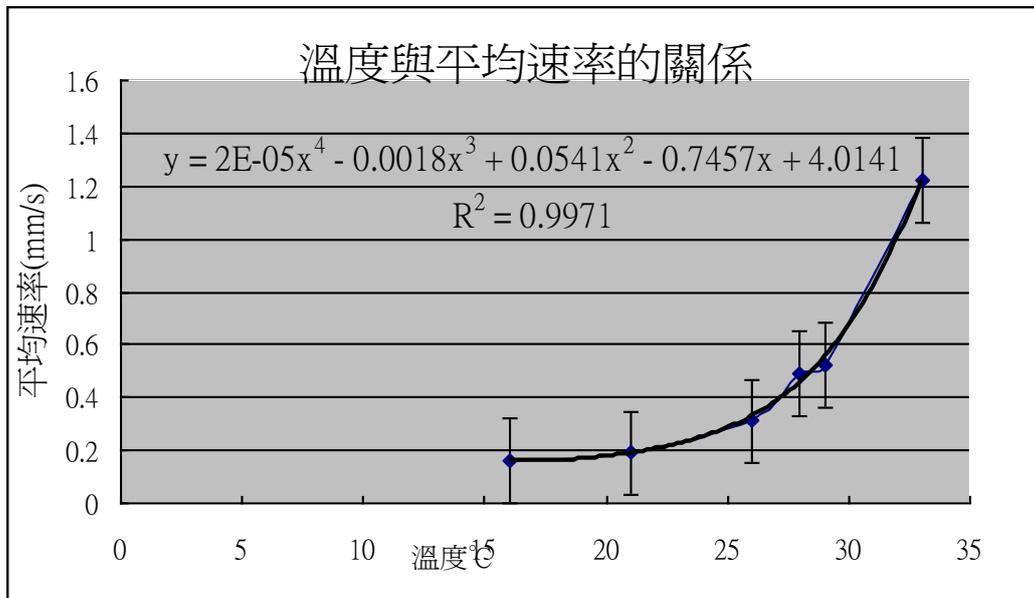
表八 不同溫度與平均速率的關係

溫度(°C)	平均速率(mm/s)
33	1.22 ± 0.06
29	0.52 ± 0.0
28	0.49 ± 0.2
26	0.31 ± 0.03
21	0.19 ± 0.0
16	0.16 ± 0.06

平均誤差最大值為 ± 0.2

下圖是經由 EXCEL 分析軟體繪圖，經由加上趨勢線，選擇各種不同類型及選項中的分析結果，得到以多項式四次方關係的相關係數最高 0.9971

式子為 $y = 0.00002x^4 - 0.0018x^3 + 0.0541x^2 - 0.7457x + 4.0141$



圖九 溫度與平均速率多項式四次方關係圖

用 EXCEL 軟體繪出其他函數結果如圖十至圖十五結果放置於附錄一。

(三) 討論與結果

1. 經由 EXCEL 分析軟體繪圖分析結果，得到以多項式四次方關係

$$y = 0.00002x^4 - 0.0018x^3 + 0.0541x^2 - 0.7457x + 4.0141$$

相關係數最高 0.9971

為本研究的溫度與下降平均速率關係式，由高相關係數及關係式中我們可以知到溫度越高下降平均速率越快，顯示如文獻探討所提及在兩種液體界面處形成凹凸不平的界面，而當我們實驗的葡萄糖高分子低入 NaOH 溶液形成鹽手指時，凹凸不平的界面會比平整的界面之接觸面積大很多，增加分子間碰撞的機會，讓擴散的速率更快。

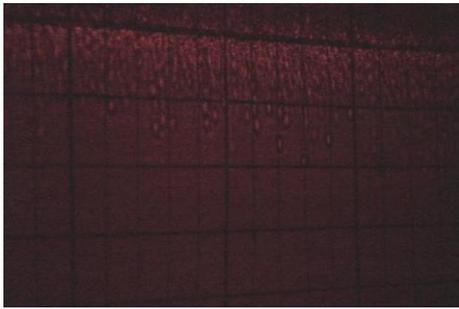
又因將密度較小的葡萄糖水溶液置於密度較大的 NaOH 水溶液上面，因為 NaOH 的擴散速率比葡萄糖快，加上溫度越高更增加擴散速率，所以下層的 NaOH 水溶液密度會變小，上層的的葡萄糖水溶液會

變大，造成向下驅動力越大，最後形成速度快向下移動的糖手指。

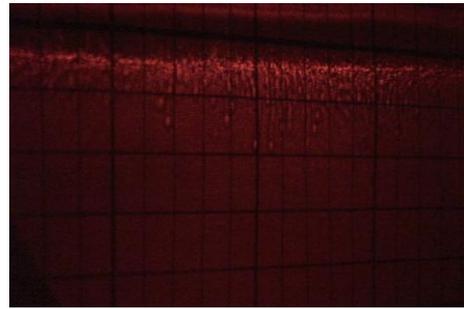
2. 溫度越高發現鹽手指現象越不明顯，因此時 NaOH 水溶液與葡萄糖水溶液的擴散速率相近，至 38°C 以後擴散速率就達平衡，此時不容易觀測，顯示鹽手指的現象產生有一定的溫度限制。如照片三十七到照片四十二所示。

3. 誤差來源：

- (1) 溫度的散失，在實驗過程中溫度會不斷的改變，當溶液溫度與室溫差距越大時，溫度的變化也就越明顯。
- (2) 計算光點落下的時間時，因為光點具有大小，所以測量會有所誤差。
- (3) 鹽手指的大小不同所受到的阻力也就不同，也會影響其平均速率。



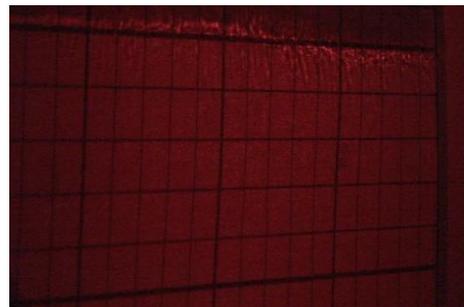
照片三十七 9°C



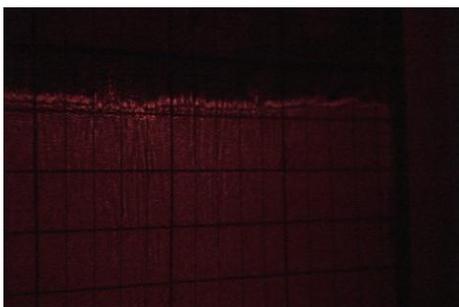
照片三十八 16°C



照片三十九 21°C



照片四十 28°C



照片四十一 33°C



照片四十二 38°C

【研究過程四】探討鹽手指在有溫差時，系統中溫差對下降平均速率的關係。

一、步驟：改變 NaOH 溫度，葡萄糖溫度為室溫（23°C）。

其於步驟同上：略

二、數據處理及分析：

（一）五種溫度(29°C、25°C、20°C、17°C、13°C)下，鹽手指在固定兩點(5.0mm)間所到達的時間，並求其平均速率。

表九 29°C時不同溫差平均速率

29°C			
編號	t1	t2	△t(秒)
1	39"	46"	7
2	1'19"	1'30"	11
3	1'39"	1'53"	14
4	1'47"	1'56"	9
5	2'05"	2'12"	7
6	2'08"	2'18"	10

平均 $\Delta t = 9.7 \text{ 秒} \pm 0.2$

平均速率 = 0.52mm/s

表十一 20°C時不同溫差平均速率

20°C			
編號	t1	t2	△t(秒)
1	1'36"	2'19"	43
2	1'45"	2'32"	47
3	1'53"	2'32"	39
4	2'07"	2'40"	34
5	2'09"	2'54"	46
6	2'00"	2'34"	34

平均 $\Delta t = 40.5 \text{ 秒} \pm 0.0$

平均速率 = 0.12mm/s

表十三 13°C時不同溫差平均速率

13°C			
------	--	--	--

表十 25°C時不同溫差平均速率

25°C			
編號	t1	t2	△t(秒)
1	55"	1'18"	23
2	1'02"	1'27"	25
3	1'05"	1'28"	23
4	1'21"	1'47"	26
5	1'01"	1'26"	25
6	1'17"	1'46"	29

平均 $\Delta t = 25.2 \text{ 秒} \pm 0.06$

平均速率 = 0.20mm/s

表十二 17°C時不同溫差平均速率

17°C			
編號	t1	t2	△t(秒)
1	1'48"	1'58"	10
2	1'22"	1'27"	5
3	1'29"	1'34"	5
4	1'44"	1'51"	7
5	1'32"	1'38"	6
6	1'12"	1'17"	5

平均 $\Delta t = 6.33 \text{ 秒} \pm 0.18$

平均速率 = 0.79mm/s

編號	t1	t2	△t(秒)
1	1'05"	1'09"	5
2	1'22"	1'26"	3
3	1'29"	1'33"	6
4	1'44"	1'48"	2
5	2'02"	2'07"	5
6	2'12"	2'16"	4

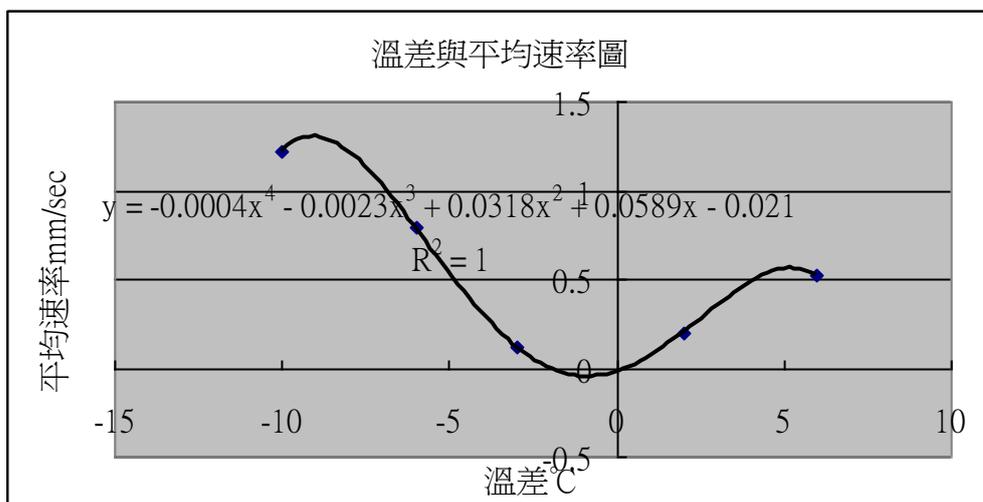
平均△t = 4.1 秒±0.07
平均速率 = 1.22mm/s

最大誤差值為±0.2

(二) 將鹽手指平均速率對溫度作關係圖。

表十四 不同溫度差與平均速率的關係

溫度(°C)	室溫(°C)	溫度差(°C)	平均速率 (mm/s)	平均速率決絕 對值(mm/s)
29	23	+6	+0.52	0.52
25	23	+2	+0.20	0.20
20	23	-3	-0.12	0.12
17	23	-6	-0.79	0.79
13	23	-10	-1.22	1.22



圖十六 不同溫度差與平均速率的關係

(三) 討論與結果

1. 經由 EXCEL 分析軟體繪圖分析結果，得到以多項式

$$y = -0.0004x^4 - 0.0023x^3 + 0.0318x^2 + 0.0589x - 0.021$$

$$R^2 = 1$$

為本研究的溫度差與下降平均速率關係式，由關係中我們知到溫度差由負值到正值，下降平均速率是由快至慢又回到快。顯示在溫度差越大鹽手指下降速率快的關係。其形成原因有如研究過程三討論一。

2. 溫度差越高也顯示趨動力大，則鹽手指下降速率快。

【研究過程五】5. 探討鹽手指在不同濃度時，濃度對下降平均速率的關係。

一、步驟：改變葡萄糖濃度，溫度為室溫（23℃）。

分別將 0.6 克、0.65 克、0.7 克、0.75 克、0.8 葡萄糖加入 40 克水中，其於步驟同上：略

二、數據處理及分析：

(一) 五種葡萄糖濃度(0.6 克、0.65 克、0.7 克、0.75 克、0.8 葡萄糖)下，鹽手指在固定兩點(5.0mm)間所到達的時間，並求其平均速率。

表十三 0.60g 葡萄糖時平均速率		表十四 0.65g 葡萄糖時平均速率	
編號	時間(S)	編號	時間(S)
1	21	1	12
2	24	2	15
3	20	3	14
4	15	4	12
5	17	5	15
平均	19.4	平均	13.6
表十五 0.70g 葡萄糖時平均速率		表十六 0.75g 葡萄糖時平均速率	

編號	時間(S)	編號	時間(S)
1	14	1	26
2	13	2	28
3	12	3	23
4	12	4	29
5	14	5	25
平均	13	平均	26.2

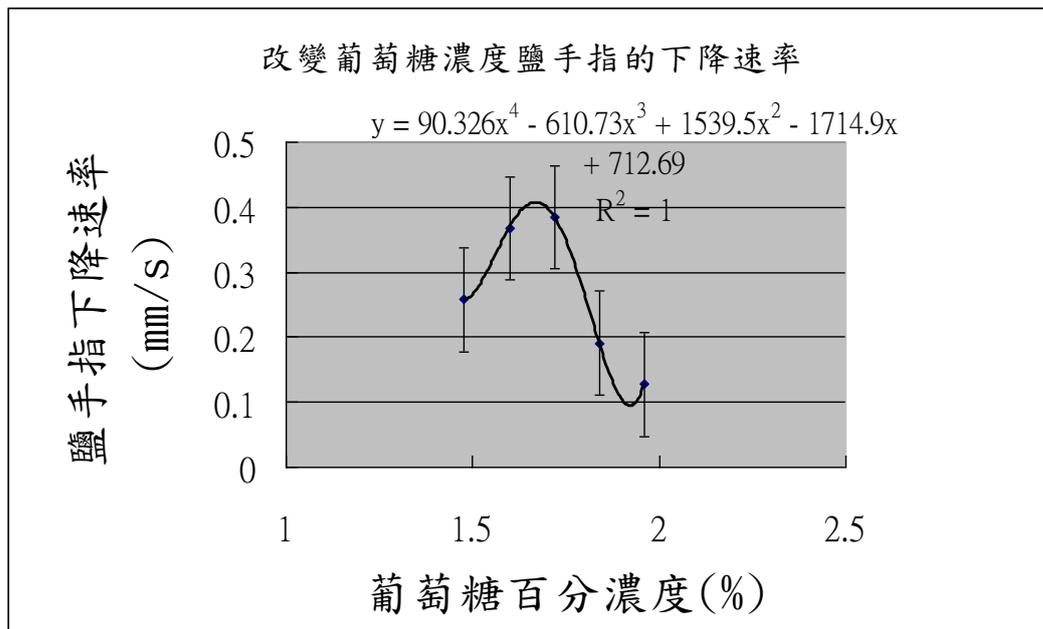
表十七 0.80g 葡萄糖時平均速率

編號	時間(S)
1	43
2	35
3	39
4	42
5	37
平均	39.2

(二) 表十八 在不同濃度時下降平均速率

葡萄糖重量(g)	重量百分濃度	平均時間 (s)	平均速率(mm/s)
0.60	1.48	19.4	0.26
0.65	1.60	13.6	0.37
0.70	1.72	13	0.38
0.75	1.84	26.2	0.19
0.80	1.96	39.2	0.13

最大誤差值為±0.1



圖十七 不同濃度與平均速率的關係

(三) 討論與結果

1. 經由 EXCEL 分析軟體繪圖分析結果，得到以多項式

$$y = 90.326x^4 - 610.73x^3 + 1539.5x^2 - 1714.9x + 712.69$$

時 $R^2 = 1$ ，為本研究的濃度與下降平均速率關係式。

2. 由關係中我們知到濃度由 1.48 到 1.72 時，下降平均速率是由慢至快，但是濃度由 1.72 到 1.96 時，下降平均速率是由快至慢。顯示在濃度 1.48 到 1.72 時密度差，造成向下驅動力，而增加鹽手指向下移動速率。但是當濃度由 1.72 到 1.96 時，因此時向上的鹽手指產生使鹽手指下降速率變慢，經由 EXCEL 軟體函數分析發現下降平均速率與濃度四次方的關係。

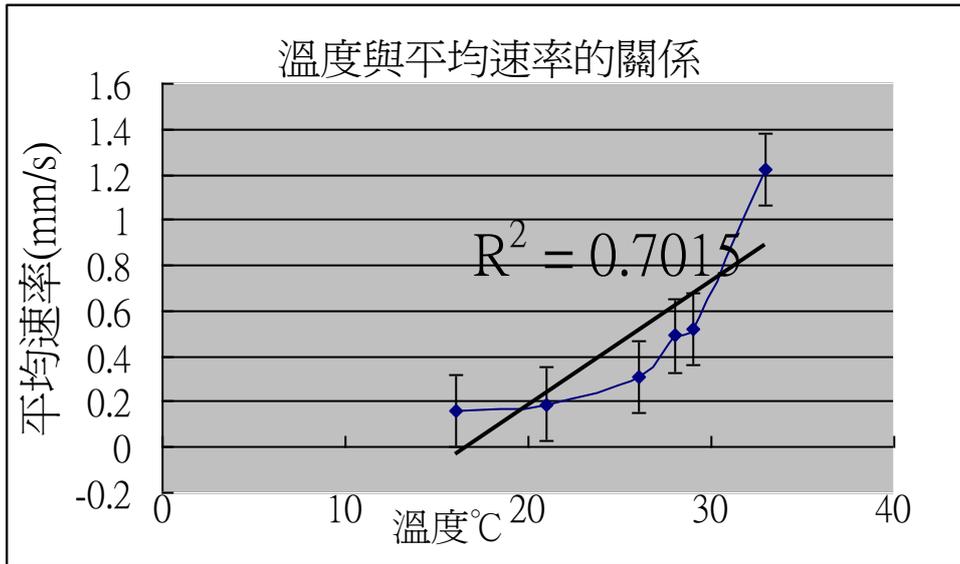
伍：結論

- (一) 在經過不斷的改良及克服困難，終於以簡單裝置就可看到鹽手指的現象。
- (二) 經由拍攝整個鹽手指形成至消失過程，觀察出鹽手指的下降過程及逆行上升的現象。
- (三) 發現鹽手指在沒有溫差時，系統中溫度對下降平均速率關係為溫度越高下降平均速率越快。
- (四) 發現鹽手指在有溫差時，系統中溫差對下降平均速率關係為溫度越高下降平均速率越快。
- (五) 發現鹽手指的下降平均速率與濃度四次方有關係。
- (六) 本研究可應用於晶體結晶過程，未來本研究將繼續於手指上升及晶體結晶的研究。

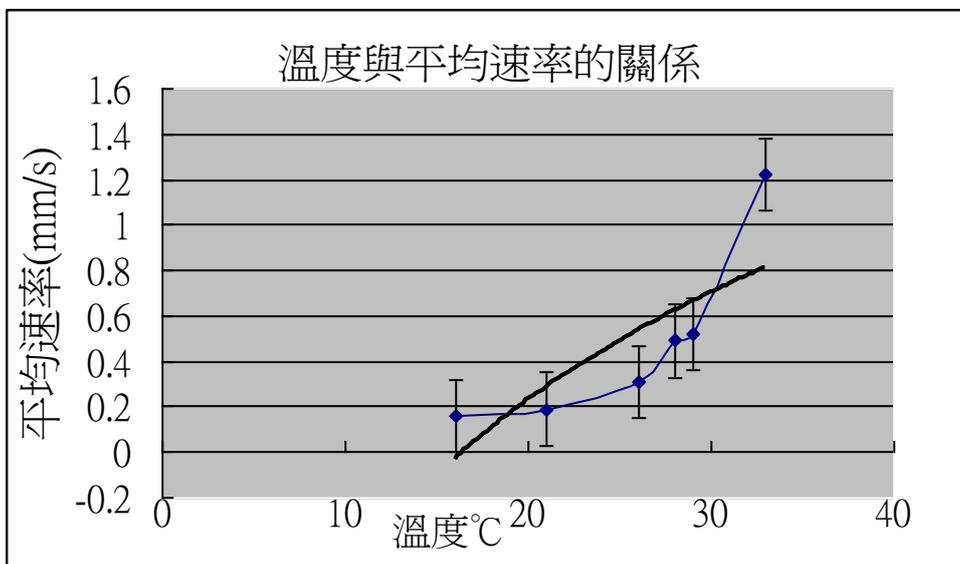
陸、參考文獻

- [1]. H. Stommel, A. B. Arons and D. Blanchard, "An Oceanographical Curiosity the Perpetual Salt Fountain", Deep. Sea Res. 15, 275-280, 1956.
- [2]. J. S. Turner, "The Behavior of a Stable Salinity Gradient Heated from Below", J. Fluid Mech. Vol. 33, pp. 183-200, 1968.
- [3]. L. W. Wang and D. J. Sun, "Convection Mass Transfer in Enclosures with Vertical Temperature and Concentration" J. of National Cheng-Kung University, Vol. 20, pp. 313-322, 1985.
- [4]. L. W. Wang, C. T. Chen and J. J. Chen, "Flow-patterns of Convection in Enclosure with Vertical Temperature and Concentration in Gradients. Presented at the joint ASME/JSME Thermal Engineering Conference, Mar, 1987.
- [5]. S. Ostrach, 1983, "Fluid Mechanics in Crystal Growth the 1982 Freeman Scholar Lecture", Journal of Fluids Engineering, Vol. 105, pp. 5-20, 1982.
- [6.] 王立文. 龔育諄. 鄭偉駿. 康明方: 密閉矩形盒中具溫差之雙圓柱之自然對流現象。中華民國第二十六屆全國力學會議. 2002
- [7.] <http://www.planetwater.ca/research/oceanmixing/saltfingers.html>
- [8.] <http://www.phys.ocean.dal.ca/programs/doubdiff/demos/Saltfingers.html>。

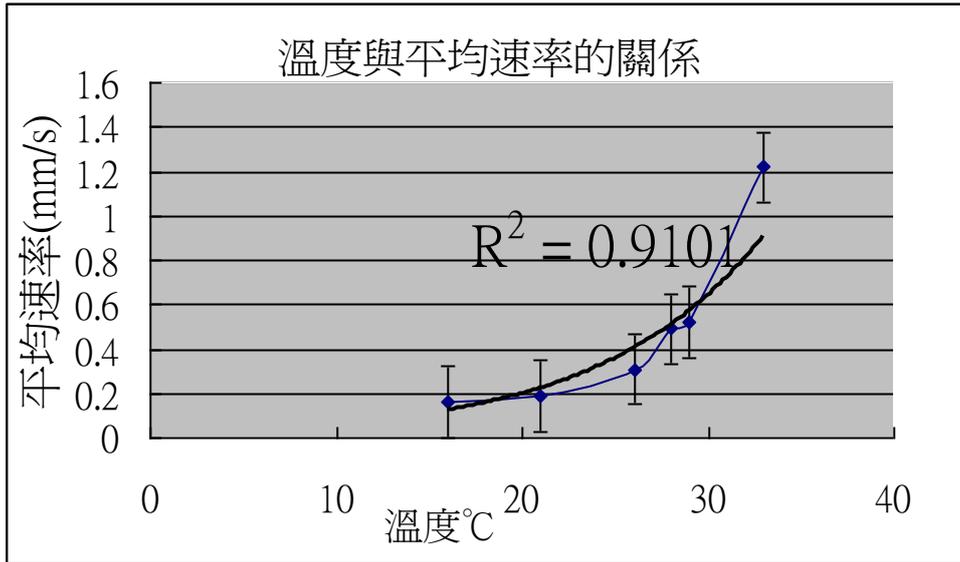
附錄一：用 EXCEL 軟體繪出其他函數結果



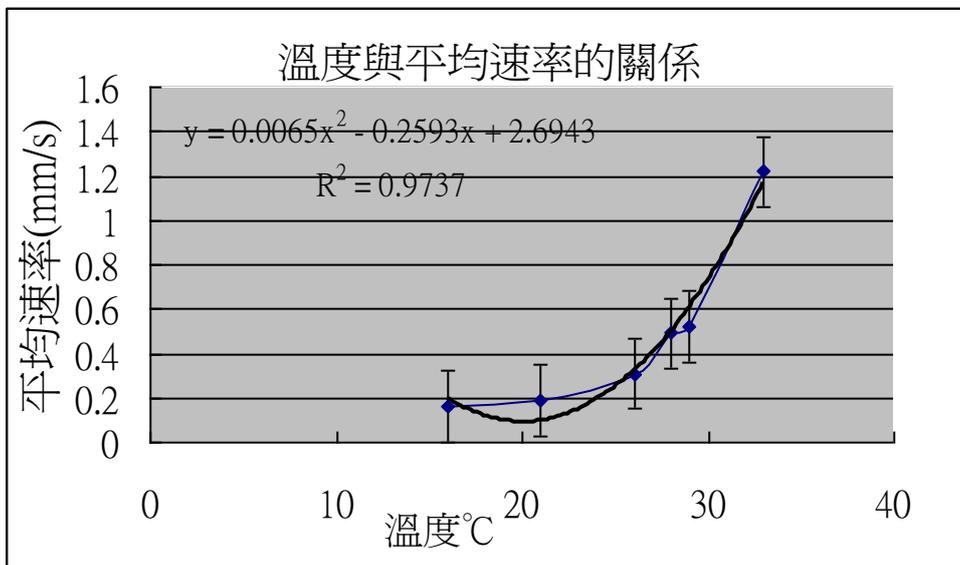
圖十 溫度與平均速率線性關係圖差距大



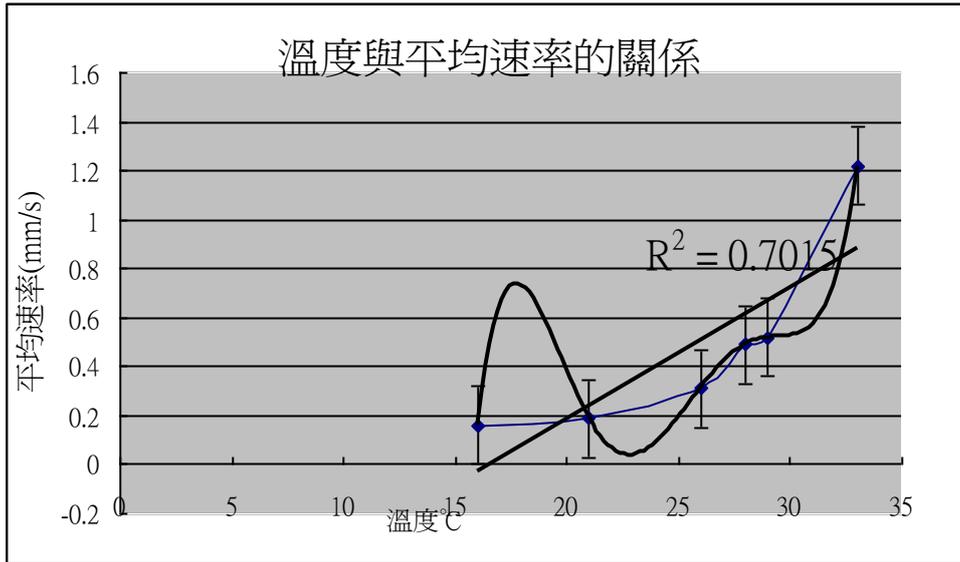
圖十一 溫度與平均速率對數關係圖差距大



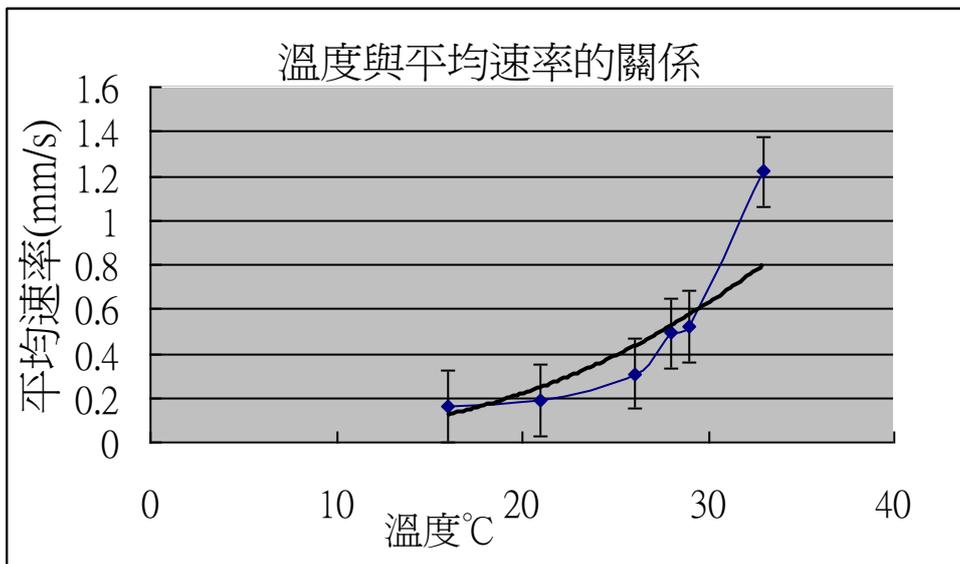
圖十二 溫度與平均速率乘冪關係圖差距大



圖十三 溫度與平均速率多項式二次方關係圖差距大



圖十四 溫度與平均速率多項式五次方關係圖差距大



圖十五 溫度與平均速率指數關係圖差距大

【評語】 040115 液體中的降雨現象

1. 用雷射光經透鏡發散後，照射溶液，清晰的呈現出液體的擴散現象，效果很好。
2. 濃度與下降速率的關係式為四次函數，由實驗結果看來，並不是如此吻合。