

# 自然科探究與實作

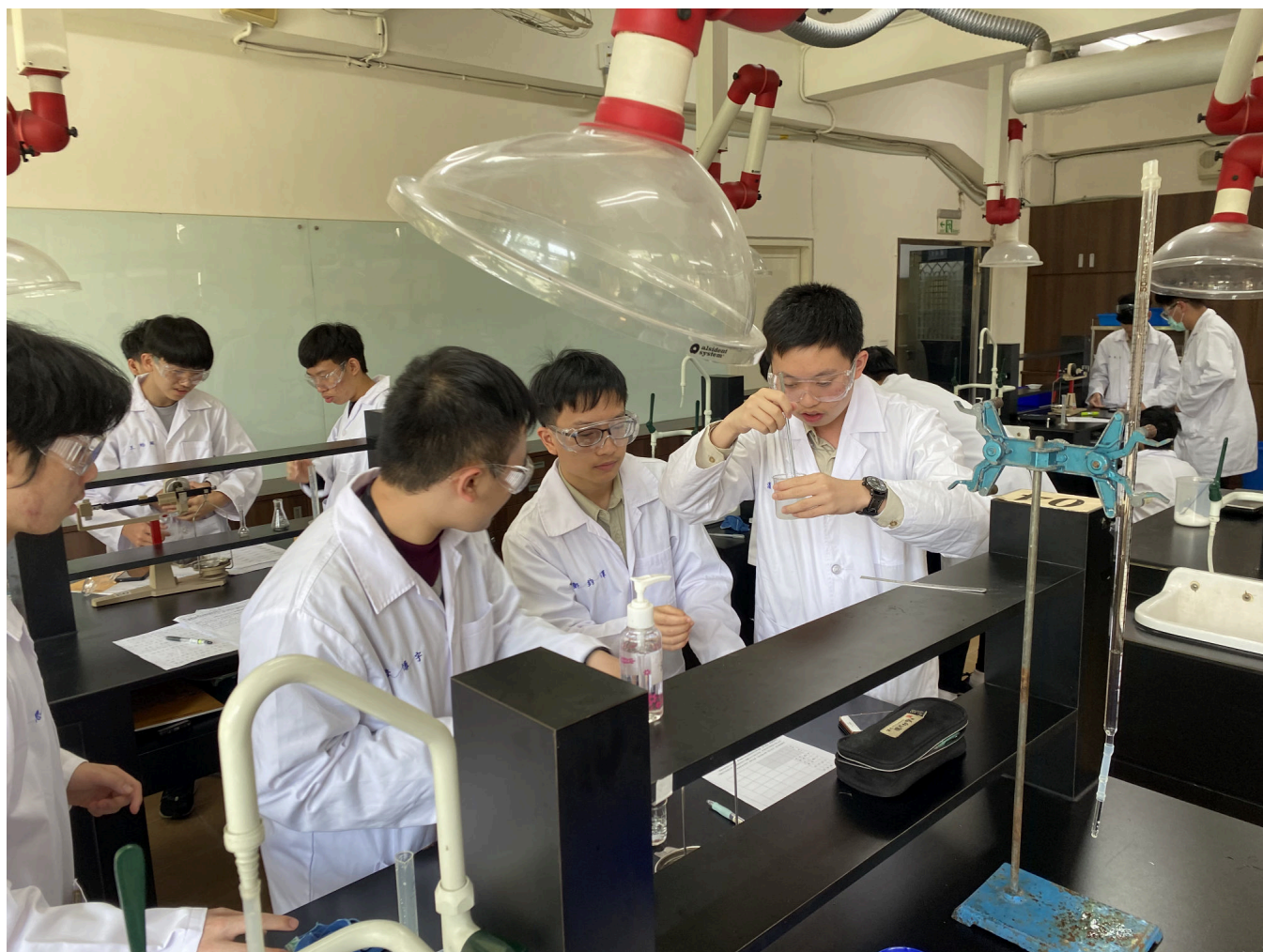
建國中學 124 29 潘仰祐

同組組員

07 李博宇

14 康恩杰

30 鄭鈞澤



指導老師：王慶豪、朱信翰

# 目次

實作主題：液體體積與質量的量測.....	3
【情境】.....	3
【藥品與器材清單】.....	3
【探究與實作】.....	3
【注意事項】.....	4
【實驗數據與作圖分析】.....	5
【實作結果與討論】.....	11
【結論】.....	12
實作主題：食鹽水的密度測量與濃度分析.....	13
【情境】.....	13
【藥品與器材清單】.....	13
【探究與實作】.....	14
【注意事項】.....	14
【實驗數據與作圖分析】.....	15
【實作結果與討論】.....	19
【結論】.....	21
課程 2-2 濁度與光度之測量與意義.....	22
一、 實驗目的.....	22
二、 實驗器材與藥品.....	22
三、 光度測量儀之製作.....	23
四、 實驗步驟.....	25
五、 實驗數據整理.....	26
六、 結果與討論.....	30

## 實作主題：液體體積與質量的量測

## 【情境】

常溫時，水的密度固定，以容器量取水的體積，常出現在飲食、飲水、配藥等日常生活中，要精準量取水的體積，是用試管、滴管、定量吸管、燒杯、錐形瓶、量筒、定量瓶、滴定管，還是廚房中塑膠製的大量杯呢？為什麼？要如何證明呢？

## 【藥品與器材清單】

藥品名稱	數 量	藥品名稱	數 量
自來水	各組水龍頭		

盆中器材名稱	數 量	盆中器材名稱	數 量
燒杯 ( 50 mL )	1 個/組	塑膠滴管 ( 3 mL、帶刻度 )	1 支/組
燒杯 ( 100 mL )	1 個/組	量筒 ( 25 mL )	
錐形瓶 ( 50 mL )	1 個/組	刷子	1 支/組
容量瓶 ( 10 mL )	1 支/組	抹布	1 塊/組

額外待發器材名稱	數 量	額外待發器材名稱	數 量
天平 (含鈕三樑,實驗桌上)	1 台/組	滴定管架 ( 實驗桌下 )	1 支/組
吸量管 ( 25 mL )	1 支/組	滴定管夾	1 個/組
吸球	1 個/組	鹼式滴定管 ( 50 mL )	1 支/組
溫度計	1 支/組		

## 【探究與實作】

以容器量取同一體積的水數次，記錄其質量以討論哪一種容器量取液體體積之精準度最高，亦可同時熟悉實作器材的操作方式。

1. 取 A 燒杯 ( 100 mL )，置於天平的秤盤上，量測空燒杯質量。
2. 取 B 燒杯 ( 50 mL )，利用燒杯上之刻度精確量取 10 mL 水，倒入天平秤盤上之 A 燒杯中，待天平讀數穩定後，記錄其讀數。
3. 重複步驟 2. 四次，共以 B 燒杯 ( 50 mL ) 量測水 10 mL 的體積五次，A 燒杯中累積了五次的水量 ( 約 10.0 mL → 20.0 mL → 30.0 mL → 40.0 mL → 50.0 mL )。
4. 將步驟 2.~3. 中之 B 燒杯 ( 50 mL )，依序改為下列五器材，各重複步驟 1.~3.：錐形瓶 ( 50 mL )、吸量管 ( 25 mL )、容量瓶 ( 10 mL )、量筒 ( 25 mL )、

滴定管 ( 50 mL )。

**【注意事項】**

- 1 務必記錄當天的氣溫、實驗的水溫及盛裝溶液秤重的容器重。
- 2 請以天平讀數 ( g ) 為 Y 軸、累積的水總體積 ( mL ) 為 X 軸，以試算表軟體作圖並顯示校準曲線 ( calibration curve ) 公式及  $R^2$  值並分析討論其意義。

【實驗數據與作圖分析】

今日氣溫(°C)：20.5

實驗用水溫(°C)：19.5

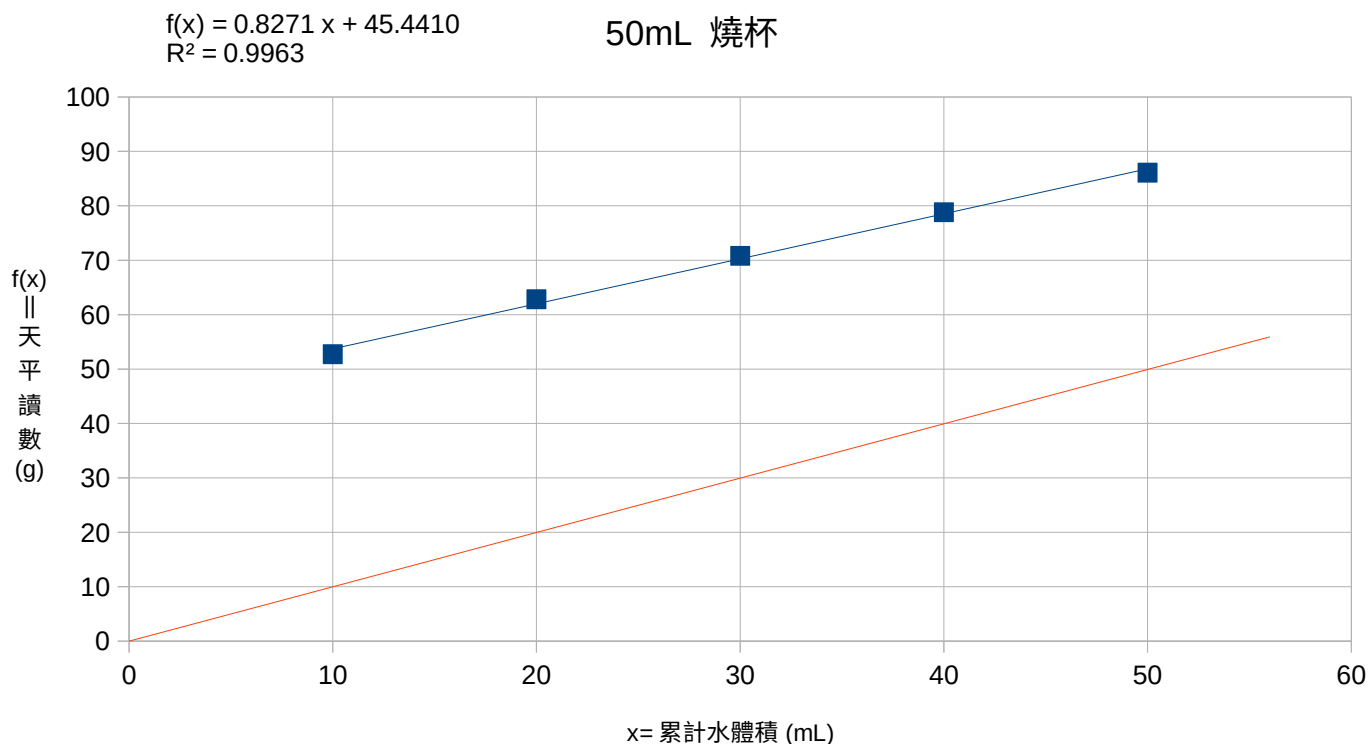
以下做圖分析之橘色線為理論的「體積對質量」

( 密度=0.998305g/mL )<sup>1</sup>，可看趨勢線是否與其平行，大致推估準確度。

量測器材：50mL 燒杯

空燒杯重(g)：38.10

次數	累積水體積(mL)	天平讀數(g)
1	10	52.73
2	20	62.83
3	30	70.80
4	40	78.82
5	50	86.09

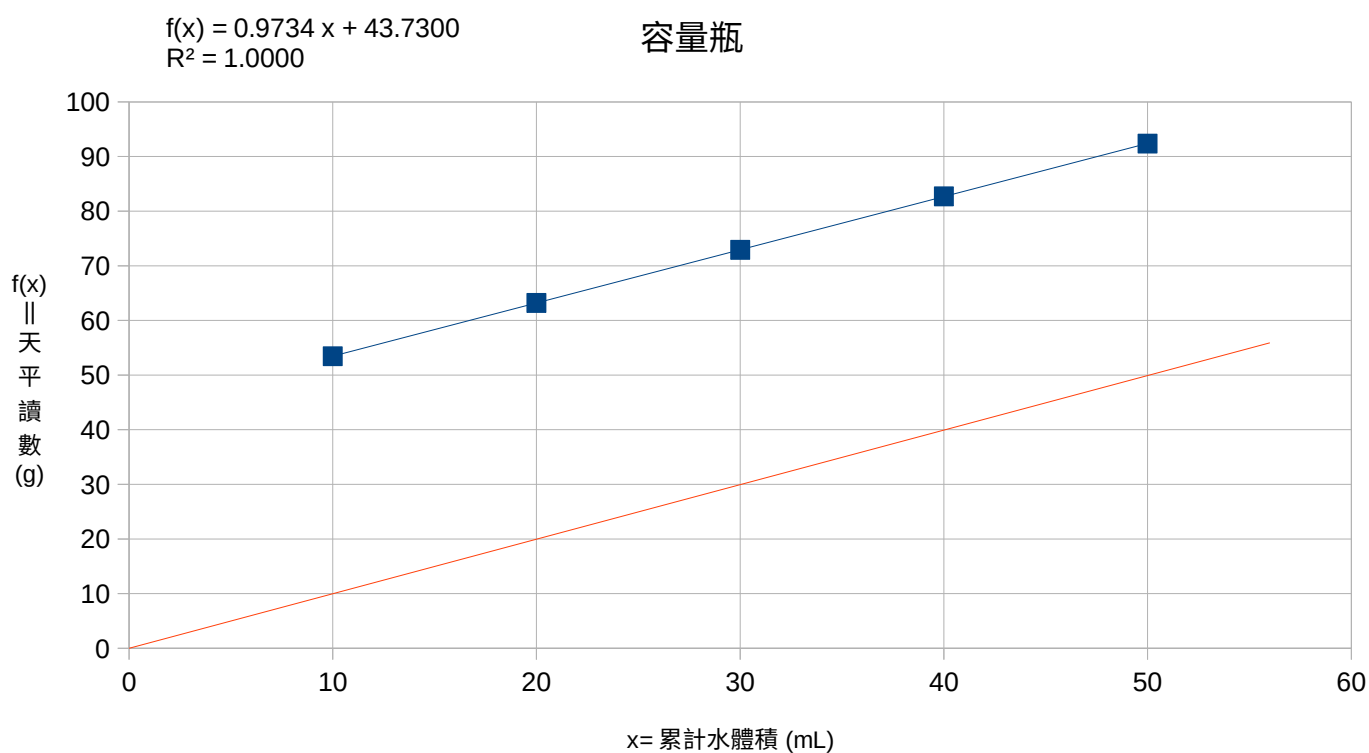


1 資料來自 **Handbook of Chemistry and Physics**, 53rd Edition, p. F4 °

量測器材：容量瓶

空燒杯重(g)：38.14

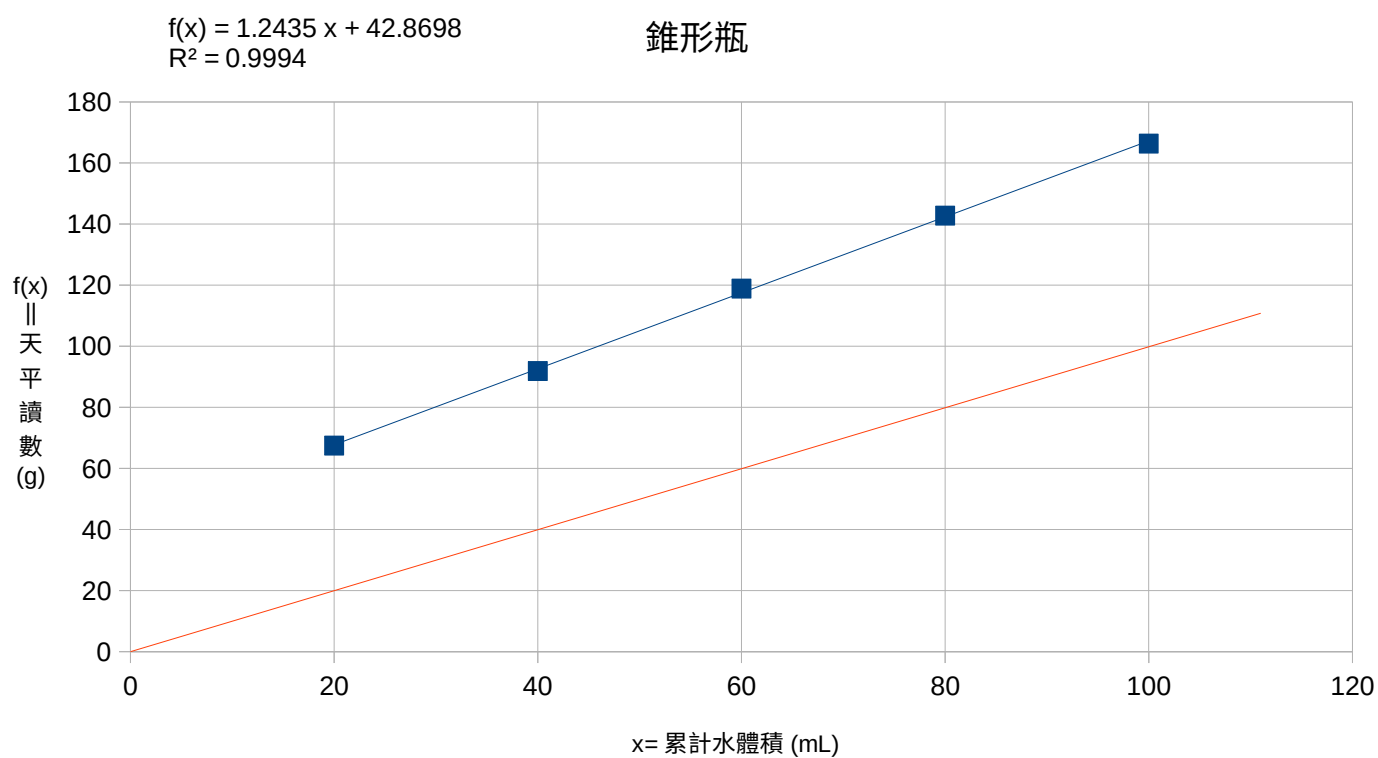
次數	累積水體積(mL)	天平讀數(g)
1	10.0	53.45
2	20.0	63.21
3	30.0	72.92
4	40.0	82.71
5	50.0	92.37



量測器材：錐形瓶

空燒杯重(g)：38.11

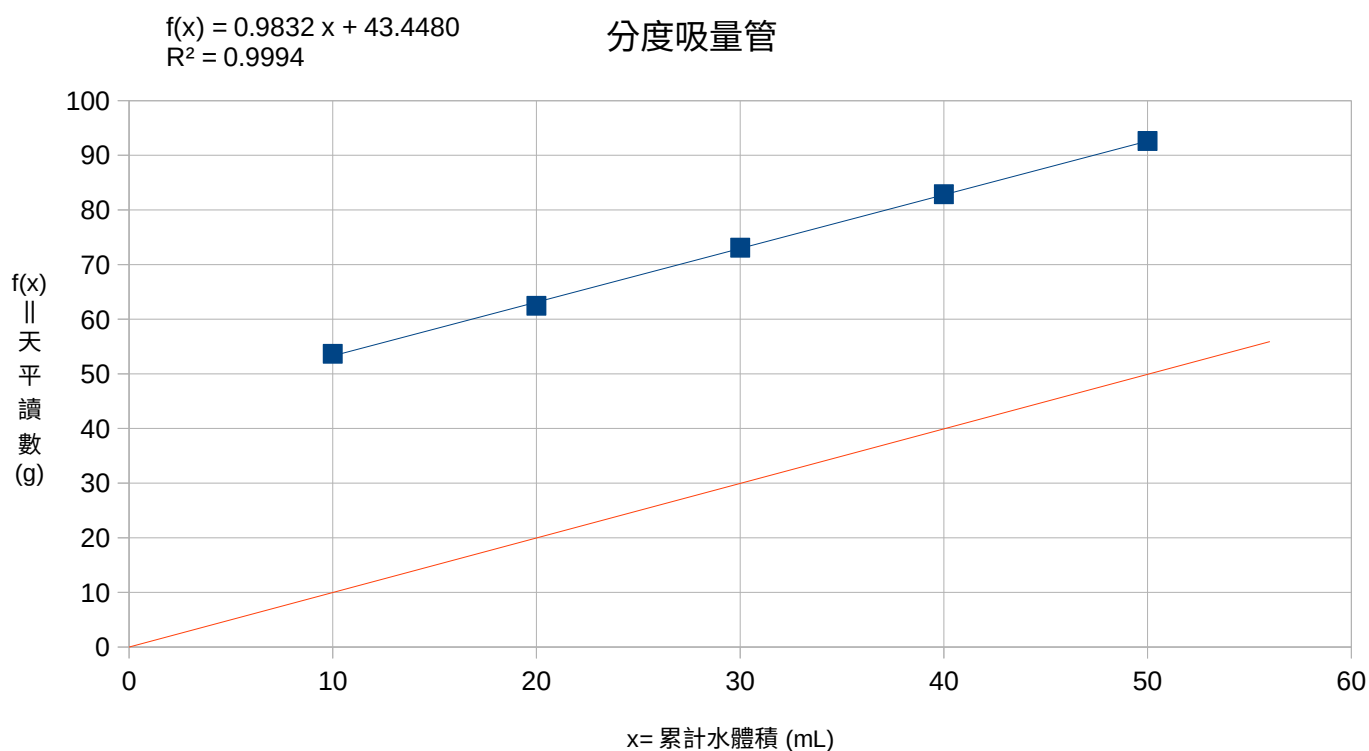
次數	累積水體積(mL)	天平讀數(g)
1	20	67.47
2	40	91.89
3	60	118.89
4	80	142.77
5	100	166.38



量測器材：分度吸量管

空燒杯重(g)：38.13

次數	累積水體積(mL)	天平讀數(g)
1	10.00	53.67
2	20.00	62.46
3	30.00	73.09
4	40.00	82.88
5	50.00	92.62

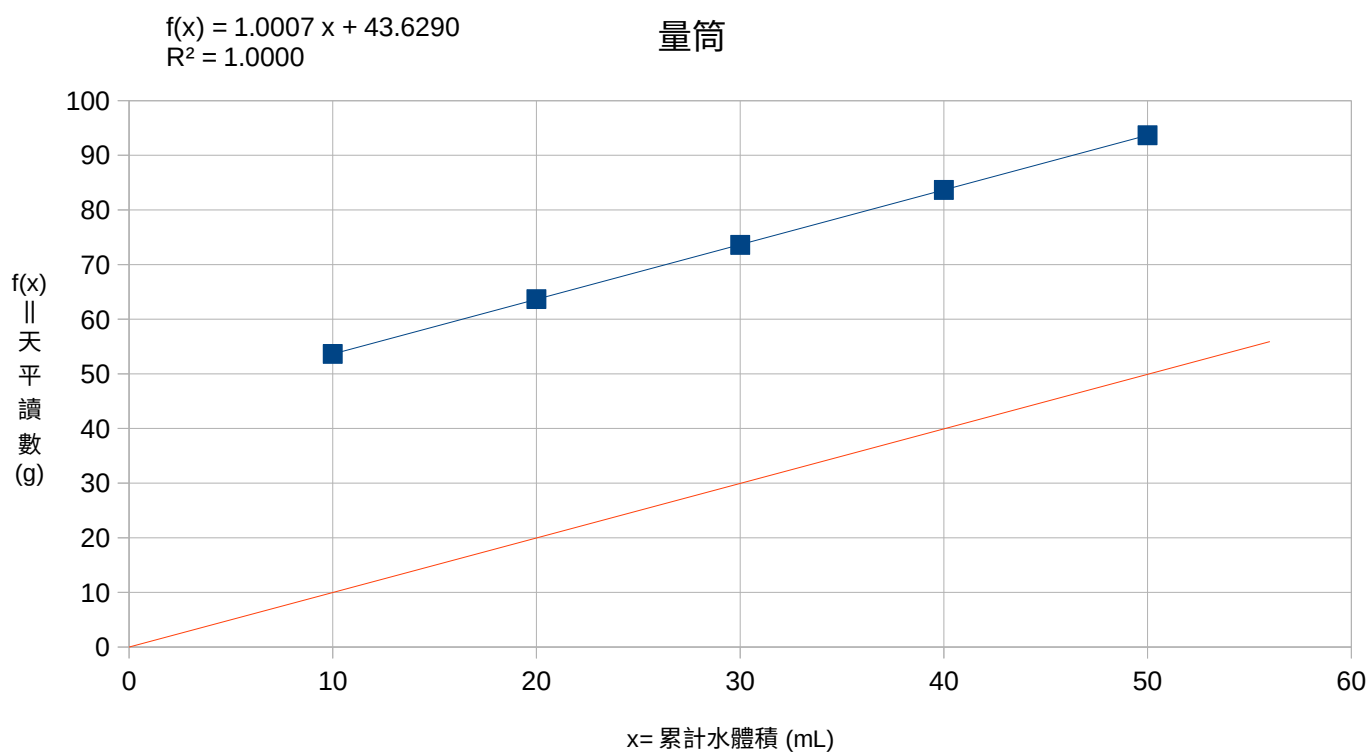




量測器材：量筒

空燒杯重(g)：38.11

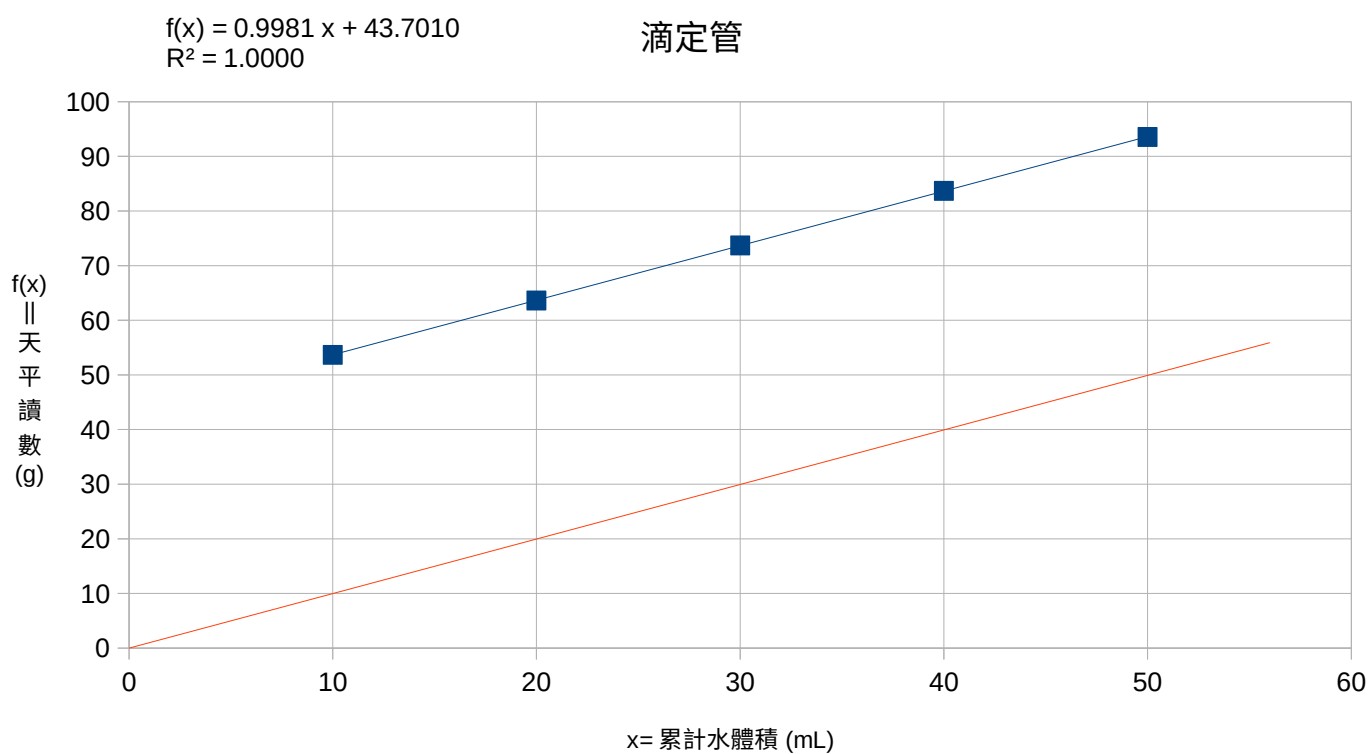
次數	累積水體積(mL)	天平讀數(g)
1	10.0	53.64
2	20.0	63.67
3	30.0	73.60
4	40.0	83.66
5	50.0	93.68



量測器材：滴定管

空燒杯重(g)：38.11

次數	累積水體積(mL)	天平讀數(g)
1	10.00	53.67
2	20.00	63.62
3	30.00	73.70
4	40.00	83.69
5	50.00	93.54



## 【實作結果與討論】

一、請解釋說明校準曲線公式中的斜率及截距之意義。

答：

$$\text{密度} = \frac{\text{質量}}{\text{體積}}$$

$$\rightarrow \text{質量} = \text{密度} \times \text{體積}$$

$$\rightarrow \text{天平讀數} = \text{密度} \times \text{體積} + (\text{校準值} + \text{容器重})$$

其中「校準值」指因為天平無法校準，故必須手動增減之值。

由上述，斜率即為密度，截距即為（校準值+容器重）

二、請解釋說明  $R^2$  值之意義。

答：其為相關係數(R)之平方。R 用於表示數據關聯度，由於有正負，故進行平方，以使其成為正數。由於  $-1 \leq R \leq 1$ ，故  $0 \leq R^2 \leq 1$ 。當  $R^2$  越接近 1，則實驗結果的精確度越大，人為造成之誤差越小。

三、何謂「準確度 (accuracy)」？何謂「精確度 (precision)」？請定義並詳細說明。

答：

\* 準確度：在每一次獨立的測量之間，其平均值與理論/已知可信的數據之間的接近程度。常由實驗器材影響，形成系統誤差，並且在部分情況下可以透過數據處理校正（例如：忘記校準天平，則在數據處理時共同增減數值）。

\* 精確度：各次獨立實驗數據分佈的相關程度。常由人為操作影響，形成人為誤差（諸如：溶液移轉之殘留、看液體體積時雙眼未與液面對齊……）。

四、請比較六種器材量測的準確度，並將之由高至低排列，並說明你的理由。

答：

理論密度：19.5°C 下，0.998305 g/mL。此處取 0.9983 g/mL。<sup>2</sup>

器 材：滴定管 量筒 分度吸量管 容量瓶 50mL 燒杯 錐形瓶

密 度：0.9981 1.0007 0.9832 0.9734 0.8271 1.2435

與理論差：0.0002 < 0.0024 < 0.0151 < 0.0249 < 0.1712 < 0.2452

準 確 度：高—————→低

五、請比較六種量測器材的精確度，並將之由高至低排列，並說明你的理由。

答：

器 材：滴定管 量筒 容量瓶 分度吸量管 錐形瓶 50mL 燒杯

$R^2$  值：1.0000 = 1.0000 = 1.0000 > 0.9994 = 0.9994 > 0.9963

精確度：高—————→低

## 【結論】

- 1 本針對本實作的結果，下一結論。

答：

由此實驗可知，使用不同容器取同體積液體，準確與精確度確實有差異。

若求準確度，則建議用滴定管、量筒、分度吸量管；

若求精確度，則建議用滴定管、量筒、容量瓶；

若二皆要求，則建議用滴定管；

再考慮方便，則建議用量筒。

- 2 請分享本探究與實作的活動的心得及所學會的能力。

答：這次實驗讓我深刻體會到，實作與空想有極大的區別：空想中，幾秒便結束；實驗時，費時耗精神。實驗後，我獲得了操作三樑天平的能力，並練習了如何使用試算表的線性回歸。

**實作主題：食鹽水的密度測量與濃度分析****【情境】**

食鹽是廚房中常見的調味料，亦是人體中不可或缺的電解質。不同濃度的食鹽水可用在不同的用途上，比方說：飽和食鹽水可用來醃漬鹹鴨蛋，但隱形眼鏡的人會需要點生理食鹽水以維持眼球表面的濕潤。不同濃度的食鹽水其濃度與密度是否有相關性呢？我們是否可利用密度的變化得知飽和食鹽水的濃度呢？我們是否可以利用量測密度的方式標定未知濃度食鹽水的濃度呢？

**【藥品與器材清單】**

藥品名稱	數 量	藥品名稱	數 量
自來水	各組水龍頭	氯化鈉晶體（食鹽）	全班共用

盆中器材名稱	數 量	盆中器材名稱	數 量
燒杯（50 mL）	1 個/組	容量瓶（10 mL）	1 個/組
燒杯（100 mL）	1 個/組	塑膠量筒（25mL）	1 支/組
錐形瓶（50 mL）	1 個/組	塑膠滴管（3 mL、帶刻度）	1 台/組
玻棒	1 支/組		

額外待發器材名稱	數 量	額外待發器材名稱	數 量
天平（三標）	1 台/組	滴定管架	1 支/組
滴定管夾	1 個/組	鹼式滴定管（50 mL）	1 支/組
吸量管（25 mL）	1 支/組	安全吸球	1 個/組
溫度計	1 支/組		

共用器材名稱	數 量	注意事項：
電子天平	5 台/實驗室	電子天平僅准使用於食鹽秤重使用，電子天平絕對不准秤量水溶液的重量

### 【探究與實作】

- 1 配製重量百分濃度分別為：0%(蒸餾水)、10%、15%、20%、25%、30%、35%之食鹽水溶液。(若有沉澱請小心傾析以取其澄清溶液，此澄清溶液依序稱為溶液甲、乙、丙、丁、戊、己、庚，且配製完成之澄清溶液至少要有 100 克)
- 2 以容器量取溶液體積並秤量其質量，將其體積與質量記錄下來。
- 3 重複 2. 步驟，測量不同濃度之溶液(建議由低濃度往高濃度操作)，記錄其質量並推算密度。
- 4 討論食鹽水的濃度(重量百分濃度)與食鹽水密度之關係。
- 5 向課堂教師領取少量未知濃度食鹽水 $\mathcal{X}$ ，請標定其濃度(重量百分濃度)

### 【注意事項】

- 1 務必記錄當天的氣溫、實驗水溶液的水溫及盛裝溶液秤重的容器重。
- 2 請以天平讀數( g )為Y軸、累積的水溶液總體積( mL )為X軸，以試算表軟體作圖並顯示校準曲線(calibration curve)公式及 $R^2$ 值並分析討論其意義。
- 3 請以試算表軟體作圖，並利用所做之圖形討論飽和食鹽水的濃度及未知濃度食鹽水 $\mathcal{X}$ 之濃度為多少。

## 【實驗數據與作圖分析】

## 一、最初數據：

儀器誤差（測得質量待扣校準值）：6.14

氣溫(°C)：23.9

代號	容器重				質量			
	目標濃度 (%)	建議用水 (g)	建議用鹽 (g)	(含儀器誤 差) (g)	實際用鹽 (g)	溶液溫度 (°C)	溶液體積 (mL)	(含儀器誤 差) (g)
甲	0	100	0	19.53	0.00	25	21	40.32
乙	10	90	10	58.80	10.00	24.1	93.1	158.84
丙	15	85	15	58.50	15.01	23.6	89.5	158.65
丁	20	80	20	58.51	20.00	22.8	85.6	158.34
戊	25	75	25	19.53	25.00	23.2	?	?
							6	26.9
							11	32.7
							23.4	47.59
己=>去除沉澱	30	70->77	30->33	19.53	?	?	10	32.01
							15.5	37.85
							20.6	44.35
X	???	X	X	19.53	X	24.8	10.4	30.2
							15.7	35.43
							20.3	40.22
							25.2	45.74

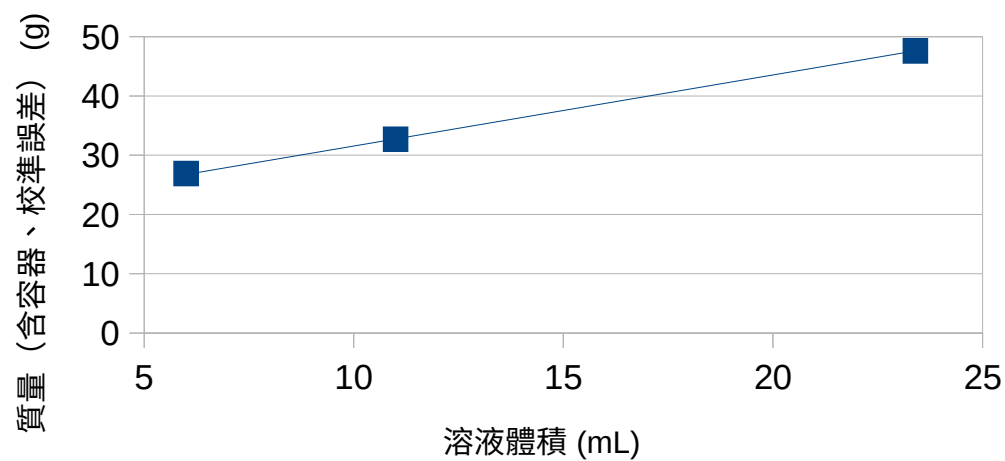
※黃底色表示應有數據而缺失。

※儀器誤差：三梁天秤秤盤產生 6.14g 誤差。因為秤盤放上去後天秤即往左傾，只能手動修正。

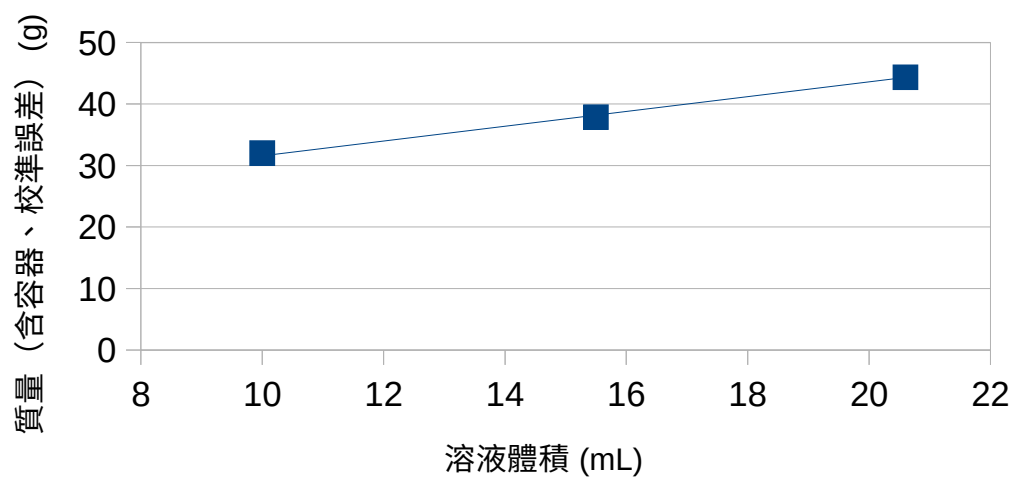
二、密度分析：

代號	目標濃度 (%)	容器淨重 (g)	溶液溫度 (°C)	溶液體積 (mL)	質量 (含容器) (含校準 誤差) (g)	濃度	密度 (g/mL)
戊	25	19.53	23.2	6	26.9	? 缺漏， 以目標濃 度代替 =>25%	1.2003
				11	32.7		
				23.4	47.59		
己=>去除沉澱	30	19.53	?	10	32.01	最大溶解量 (未知)	1.2032
				15.5	37.85		
				20.6	44.35		
X	???	19.53	24.8	10.4	30.2	所求	1.0280
				15.7	35.43		
				20.3	40.22		
				25.2	45.74		

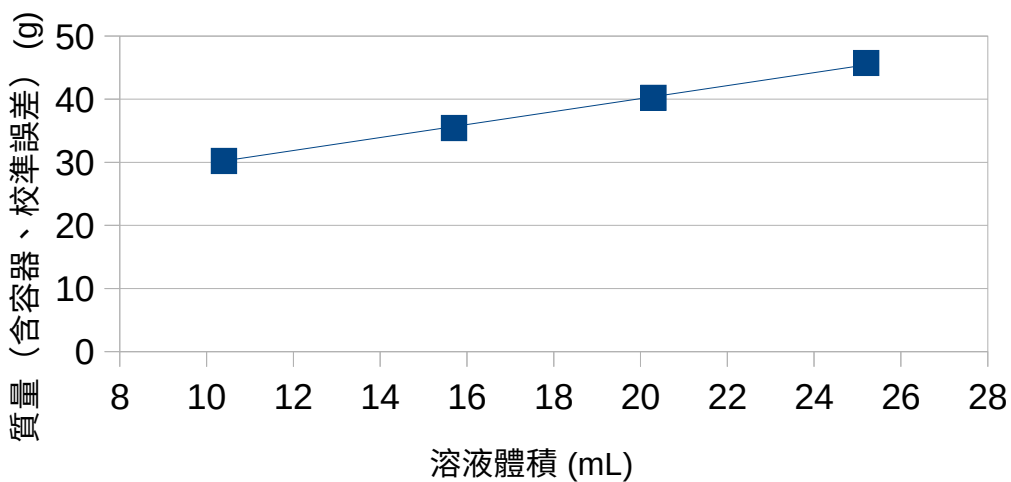




戊



己

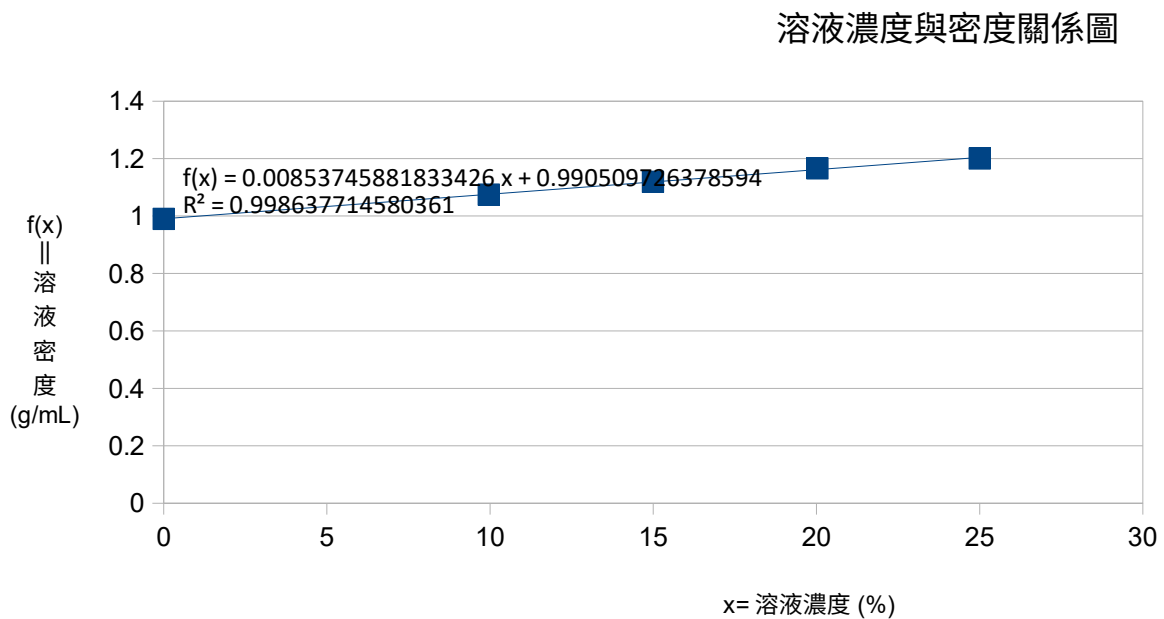


庚

### 三、密度與濃度關係

代號	溶液濃度 (%)	溶液密度 (g/mL)
甲	0	0.9900
乙	9.96	1.0745
丙	14.99	1.1190
丁	20.03	1.1662
戊	25	1.2003
己=>去除沉澱	A	1.2032
x	B	1.0280

由其中甲~戊做出散佈圖。



由  $R^2$  值可知其為食鹽水[濃度]&[密度]高度相關。

並且將 己(A, 1.2032), x(B, 1.0280) 分別代換入方程式運算，可得其中 A = 24.9063, B = 4.3852。

故得知：當時最大溶解度造成的濃度即是接近於 24.9063%。x 溶液之濃度接近 4.3852%。

至於為何 己濃度<戊濃度，推測是因為當時並未等到回溫即測量，實為疏失。

## 【實作結果與討論】

- 1 請詳細說明或列出算式演示你們求得溶液甲～庚及 $\rho$ 密度的方法。

答：

原本，我們使用三標天秤依序測量溶液連同燒杯，扣除燒杯質量與校準值（天平因為無法校準而須手動增減之值，減去 6.14）後，即為溶液本身質量(M)。再以量筒測量體積：量筒為 25mL。每次倒滿量筒後即把量筒內溶液倒掉，量筒裝滿的次數\*25+剩下的溶液體積=溶液總體積(V)。則：

$$\frac{\text{溶液本身質量 (M)}}{\text{溶液總體積 (V)}} = \text{溶液密度 (D)}$$

後來，我們發現這不是最正確也最精準的做法，但是為時已晚。於是從戊實驗開始，我們使用量筒，取隨意體積，數次精準量測體積(V)，測量溶液連量筒，扣除量筒質量與校準值後，即為溶液本身質量(M)。將數據輸入 LibreOffice Calc，繪製散佈圖，進行線性回歸。最後取出算式：

$$\text{密度} = \frac{\text{質量}}{\text{體積}}$$

$$\rightarrow \text{質量} = \text{密度} \times \text{體積}$$

$$\rightarrow \text{天平讀數} = \text{密度} \times \text{體積} + (\text{校準值} + \text{容器重})$$

由上式，斜率即是密度。

- 2 若需求得飽和食鹽水之濃度時，應以哪一個實驗值為 X 軸、哪一個實驗值為 Y 軸？請說明並解釋理由。

答：

由上述甲～戊所取得的濃度對密度，繪製散佈圖，進行線性回歸。獲得濃度(x)對密度 f(x)關係：

$$f(x) = 0.0085x + 0.9905$$

因為已知飽和食鹽水之密度，故以其為 y=f(x)軸，反求飽和食鹽水之未知濃度(x)軸。

- 3 試討論不同食鹽水的濃度與食鹽水的密度有何相關性？

答：食鹽水濃度越高，則其密度也會跟著升高。且兩者之相關係數平方(R<sup>2</sup>)高至 0.9986，故成高度正相關。

- 4 請推測食鹽溶於水中時，其飽和溶液之重量百分濃度為何？請詳細說明你的做法或理由

答：照道理，經過計算，由我們的燒杯戊與己可以得知，因為燒杯己為飽和食鹽水（有沉澱），得飽和食鹽水重量百分濃度必定小於 30g/100g 水，又得兩燒杯之密度只差了 0.02g/ml，己大於戊，可推算飽和食鹽水之重量百分濃度介於 25% 到 26% 之間。

然而，由實驗結果與討論[2.]，將(A, 1.2032)帶入換算，得出 A = 24.9063%，其值小於未飽和溶液戊（濃度=25%）。推測是由於當時混亂，未待其回溫便逕行測量，故使此（較低溫）飽和食鹽水之濃度低於其餘食鹽水。亦或是因為趨勢線方程式僅能表達推測，而非準確值，故所得之濃度並非完全正確。

- 5 請判斷並詳細說明標定未知濃度食鹽水 X 濃度的依據。

答：依實驗結果與討論[1.]，我們求出密度=1.0280。並將此數據代入實驗數據與做圖分析[三]所得之密度 f(x) 與濃度(x) 關係式：

$$f(x) = 0.0085x + 0.9905$$

依照最終結果，其濃度約為 4.3852%。

- 6 【探究與實作】步驟 3. 中所描述操作，為什麼量測食鹽水溶液質量時須先量測低濃度食鹽水溶液，再量測高濃度食鹽水溶液？請詳細說明理由。

答：其一、如果我們按照由低到高的方式去進行，遇到溶液達飽和（有沉澱）的情況，即可從前後的數據判斷出飽和食鹽水的濃度區間，知其達到飽和之時機。

其二、避免實驗中，容器未洗淨而不慎殘留造成之影響過大：低濃度殘留對高濃度之影響 < 高濃度殘留對低濃度之影響。

## 【結論】

請由本實驗活動的相關數據歸納出結論。

答：由趨勢線及  $R^2$  值可看出，其濃度與密度有高度相關。而濃度  $x[\%]$  與密度  $f(x)[g/mL]$  之關係為：

$$f(x) = 0.0085x + 0.9905$$

經過本探究與實作的活動，你學到了什麼？請與全班分享。

答：由於事先並未做好萬全的規劃（分配工作、依序順理所有的實驗步驟、與同學交流），因此使得我們手忙腳亂，也有遺漏數據之情事。並且因為事前並未思考、與同學交流更好的測量密度之方式，而使得我們的數據（甲～丁）是更不準確的。

請反思本次實驗中造成誤差的原因。哪些是儀器或器材所造成不可避免的誤差？哪些是人為操作所造成的誤差？請詳細說明。

答：儀器誤差：因為三樑天秤本身問題，無法校正至完全平衡，故只好於數據處理時，手動於測得質量扣除校準值 6.14，以提高準確度。

人為誤差：

- 1.1 重新測量時器材沒擦乾淨。器材上可能殘留有測量上一項目的溶液，導致測量輕微失準，精確度或降低。
- 1.2 已溶液並未等待至溶液回溫後測量，故飽和溶液之密度不準確，所反求之濃度也不準，精確度降低。
- 1.3 手忙腳亂之下或許有測量不精準之情事（例：測量體積時，雙眼未平視液面）而未發覺，精準度或降低。

## 課程 2-2 濁度與光度之測量與意義

### 實 驗 結 報

班級：124 姓名：潘仰祐 座號：29

#### 一、實驗目的

搭配手機上安裝的應用程式，使用其內置的光度感測器，以完成自行製作簡易光度測量儀。透過固定濁度，測量並記錄光度的方式，尋找出濁度與穿透光光度、散射光光度之關係，以便未來認識酵母菌、觀察酵母菌的繁殖使用。

#### 二、實驗器材與藥品

1. 10% 重量濃度之酵母菌懸濁液（即重量比 酵母:水=1:9）
2. 容量 5mL 注射器
3. 簡易微量吸管（容量 1mL 注射器尖端附有可量測 10 $\mu$ L 之微量吸管尖）
4. 手機：紅米 Note 6 Pro
5. 雙面膠一捆
6. 自製光度測量儀（詳見 三、光度測量儀之製作）



▲ 自製光度測量儀使用雙面膠安裝於手機上

### 三、光度測量儀之製作

#### 1. 耗材

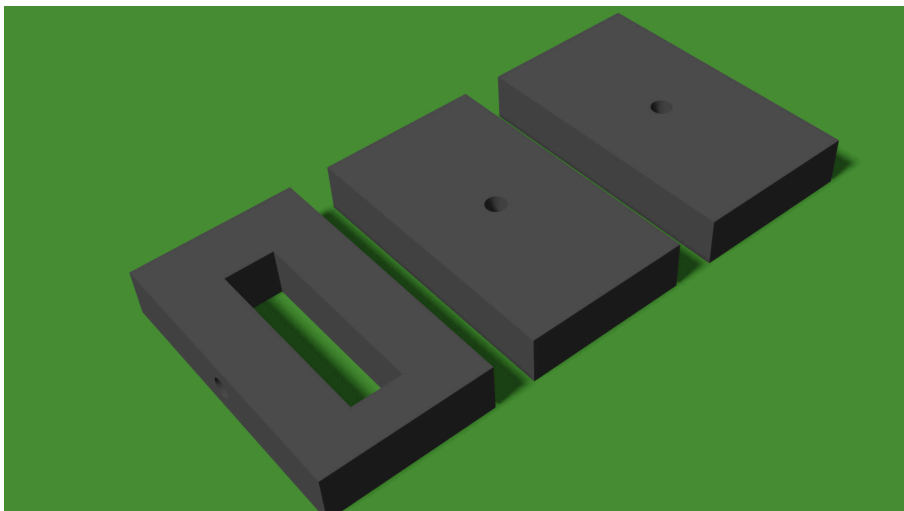
- |     |                      |       |
|-----|----------------------|-------|
| [1] | 厚度 1.2cm 之黑色 EVA 發泡板 | 1 塊/組 |
| [2] | LED 燈泡 (綠色)          | 1 顆/人 |
| [3] | 樣品槽                  | 1 支/人 |
| [4] | CR2032 電池            | 1 顆/人 |
| [5] | 黑色電工膠布               | 1 捆/組 |
| [6] | 保麗龍膠                 | 1 支/組 |

#### 2. 工具

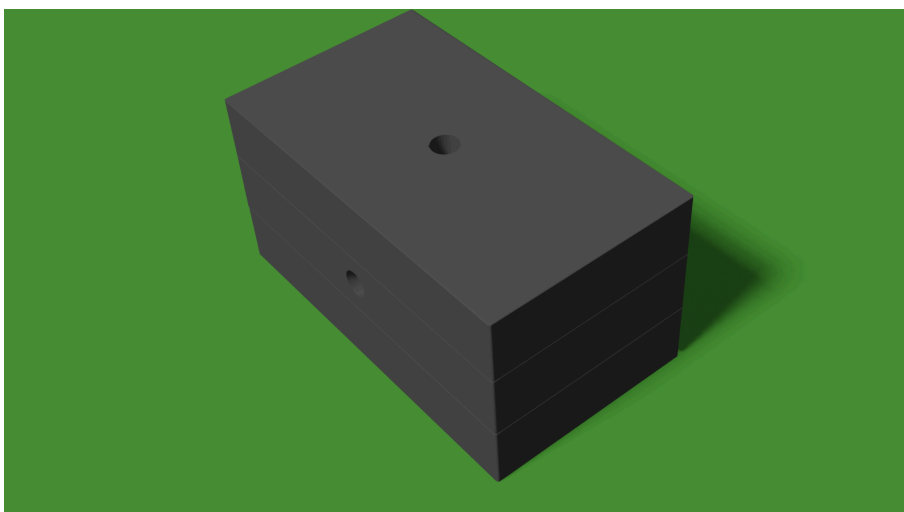
- |     |     |           |
|-----|-----|-----------|
| [1] | 電鑽  | 2 支/班     |
| [2] | 切割墊 | 2 片/組     |
| [3] | 模板  | 2 種×4 片/組 |
| [4] | 鉗子  | 2 把/組     |
| [5] | 牙刷  | 2 支/組     |
| [6] | 美工刀 | 1 支/人     |
| [7] | 橡皮筋 | 2 條/人     |

#### 3. 步驟

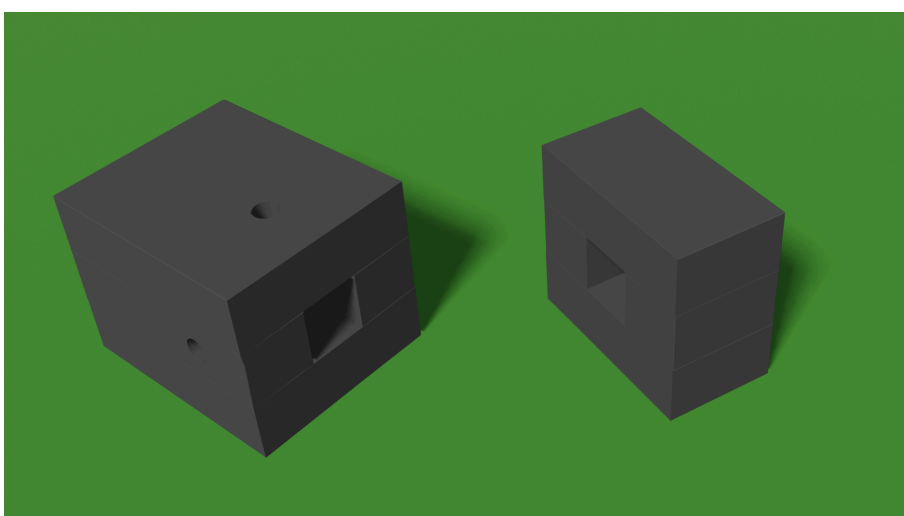
- [1] 輔以模板，用美工刀將 EVA 板切做 1.2cm × 4cm × 7cm 之長方形板 (每人 3 片)
- [2] 取步驟[1]之兩片，輔以模板，用電鑽於其中心位置磨出直徑 0.5cm 透光口
- [3] 取步驟[1]之一片，輔以模板，用美工刀於其中心位置切出 1.2cm × 1.2cm × 4.5cm 之槽，且選擇其中一個 4cm 之邊為頂端，此槽應距離頂端 1.2cm
- [4] 續上步，將槽填回以免塌陷，輔以模板，用電鑽於其側邊中心位置磨出直徑 0.5cm 之透光口
- [5] 取步驟[4]之一片夾於步驟[2]之兩片，用保麗龍膠黏著。可使用牙刷以幫助塗抹均勻
- [6] 續上步，綁上橡皮筋輔助固定，待乾
- [7] 續上步，取下橡皮筋，用美工刀於偏頂端之 1/3 處切下
- [8] 用鉗子將 LED 燈泡之腳彎折  
使用上可配合黑色電工膠布，固定電池於燈腳之間。並根據實驗，將 LED 燈插於適當洞口。也可使用電工膠布纏繞成品，使其美觀



▲ 組件示意圖：步驟[1]~[4]



▲ 組件示意圖：步驟[5]~[6]



▲ 成品示意圖（不含 LED）



#### 四、實驗步驟

##### 1. 將光度測量儀安裝於手機上：

- [1] 在手機上安裝光度測量應用程式（本次使用 Light Meter，可於 Google Play 取得 [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.dask780.Light\\_Meter](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.dask780.Light_Meter)）
- [2] 取可使光直接穿透測量儀的兩孔之一，於該面黏上雙面膠
- [3] 將上步所取之孔對準手機的光度感測器（通常位於安卓手機之正面），此時可以開啟光度測量應用程式，以輔助對準
- [4] 輕壓以將光度測量儀黏在手機上

##### 2. 安裝 LED 燈

- [1] 如果要測量穿透光度，則將其插於相對的孔
- [2] 如果要測量散射光度，則將其插於側面的孔

##### 3. 樣品槽插入光度測量儀，用 5mL 注射器，注入 3mL 清水

##### 4. 記錄光度

##### 5. 為避免沉澱，先輕微搖晃 10% 濃度之酵母懸濁液

##### 6. 用簡易微量吸管，取 10 $\mu$ L 酵母懸濁液，滴入樣品槽

##### 7. 為幫助樣品槽內部混合均勻，可以使用簡易微量吸管吸取空氣，伸入樣品槽底部擠出

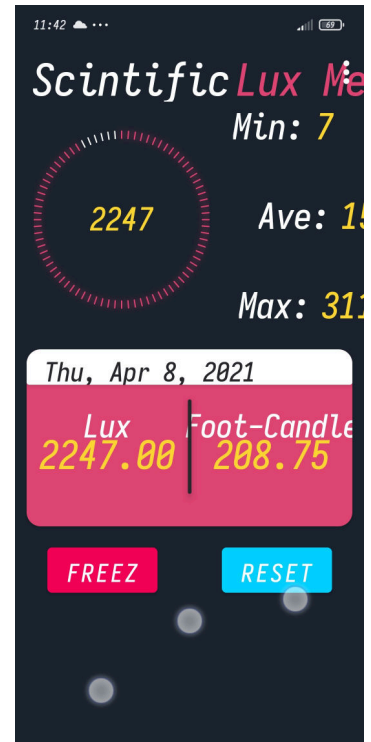
##### 8. 重複執行實驗步驟 4.~7. 多次

## 五、實驗數據整理

以下數據的記錄，皆是概略值：光度數據會有微幅變動，故取變動之中間值記錄。

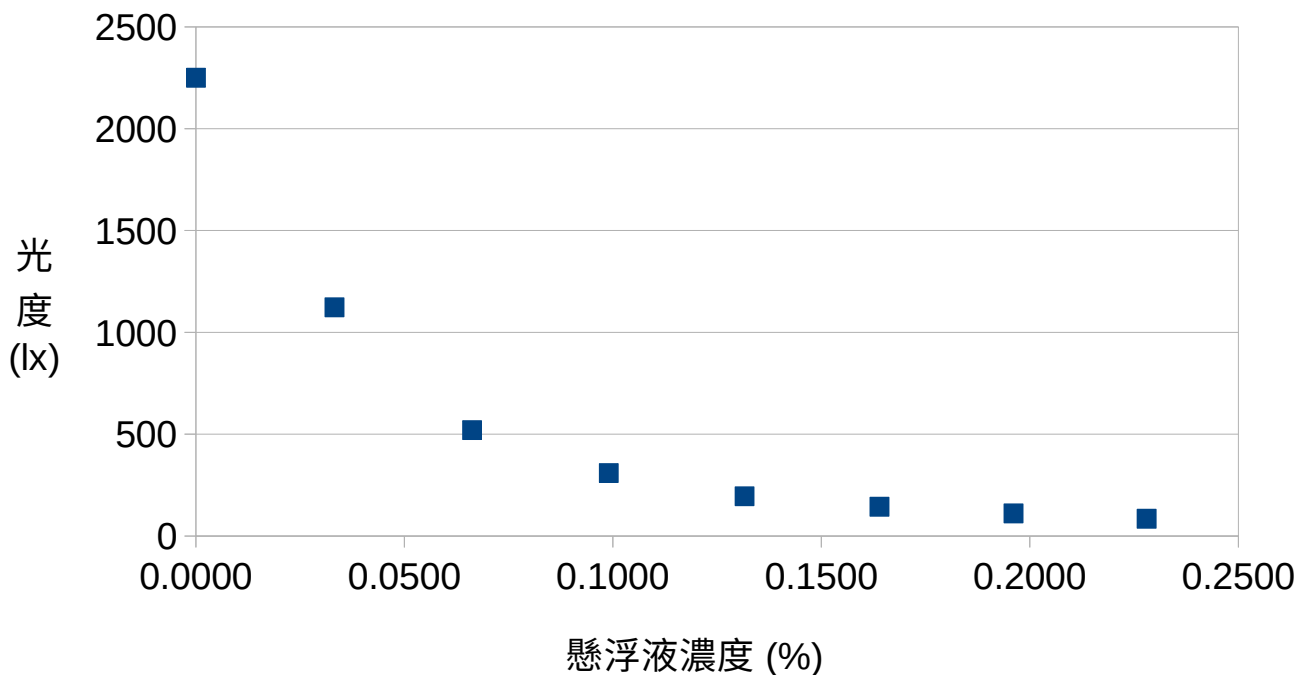
最大光度（入射光光度）：2440 lx

水 (mL)	10%酵母菌 懸浮液 (μL)	穿透光度 (lx)	散射光度 (lx)	酵母菌懸浮液 實際濃度(%)
3	0	2250	0	0.0000
3	10	1123	0	0.0332
3	20	520	0	0.0662
3	30	309	0	0.0990
3	40	195	0	0.1316
3	50	144	0	0.1639
3	60	111	0	0.1961
3	70	85	1	0.2280



由於散射光度的值差異性不足，因此僅針對穿透光度進行探討。  
先將數據（濃度——光度）繪製於圖表上：

穿透光度與懸浮液濃度

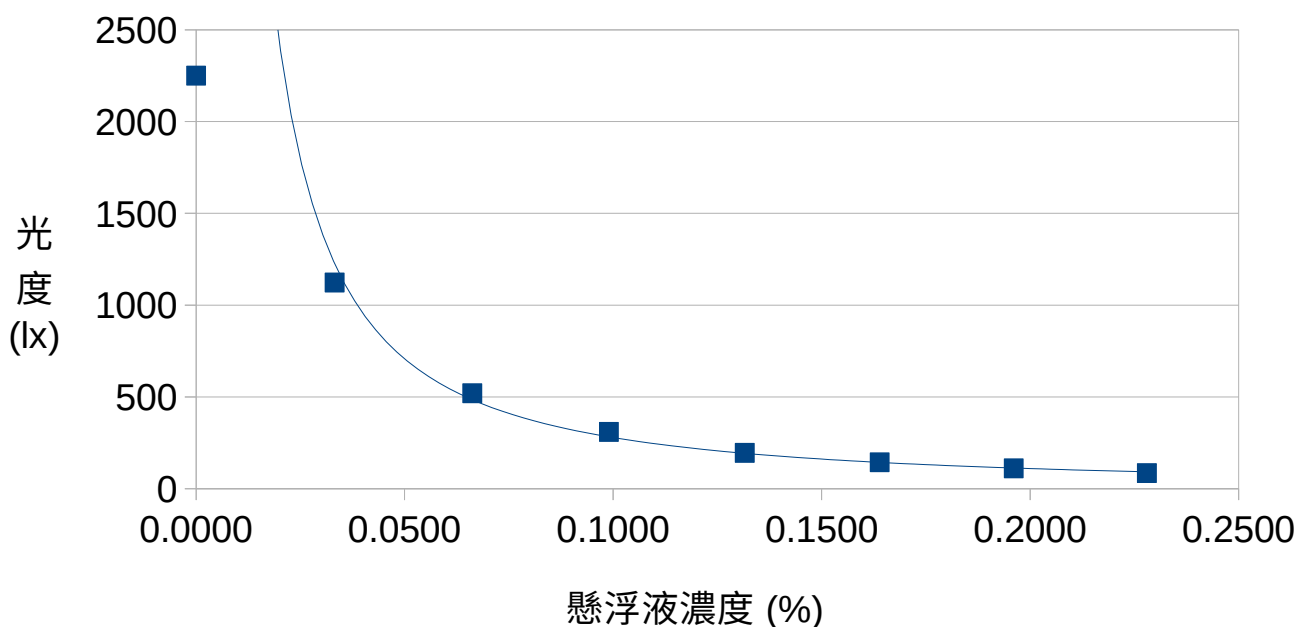


觀察數據，我們可以看見當濃度增高，穿透光度會隨之降低；數據點會看似彎曲的弧線。於是我們可以使用 LibreOffice Calc 等試算表軟體的趨勢線功能，推測他們應該屬於以下幾種關係之一：

$$f(x) = 12.5726 x^{-1.3453}$$
$$R^2 = 0.9946$$

懸浮液濃度與穿透光度之關聯

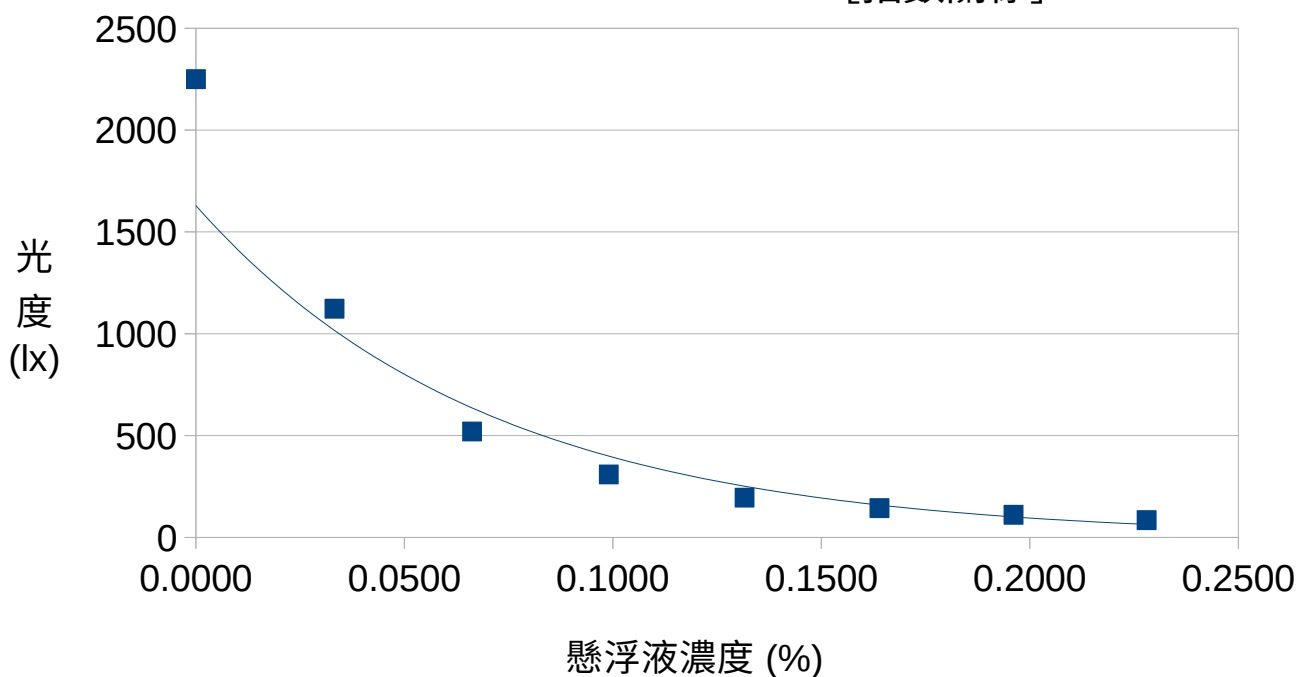
[次方 / 乘冪關係]



$$f(x) = 1629.1229 \exp(-14.2058 x)$$
$$R^2 = 0.9589$$

懸浮液濃度與穿透光度之關聯

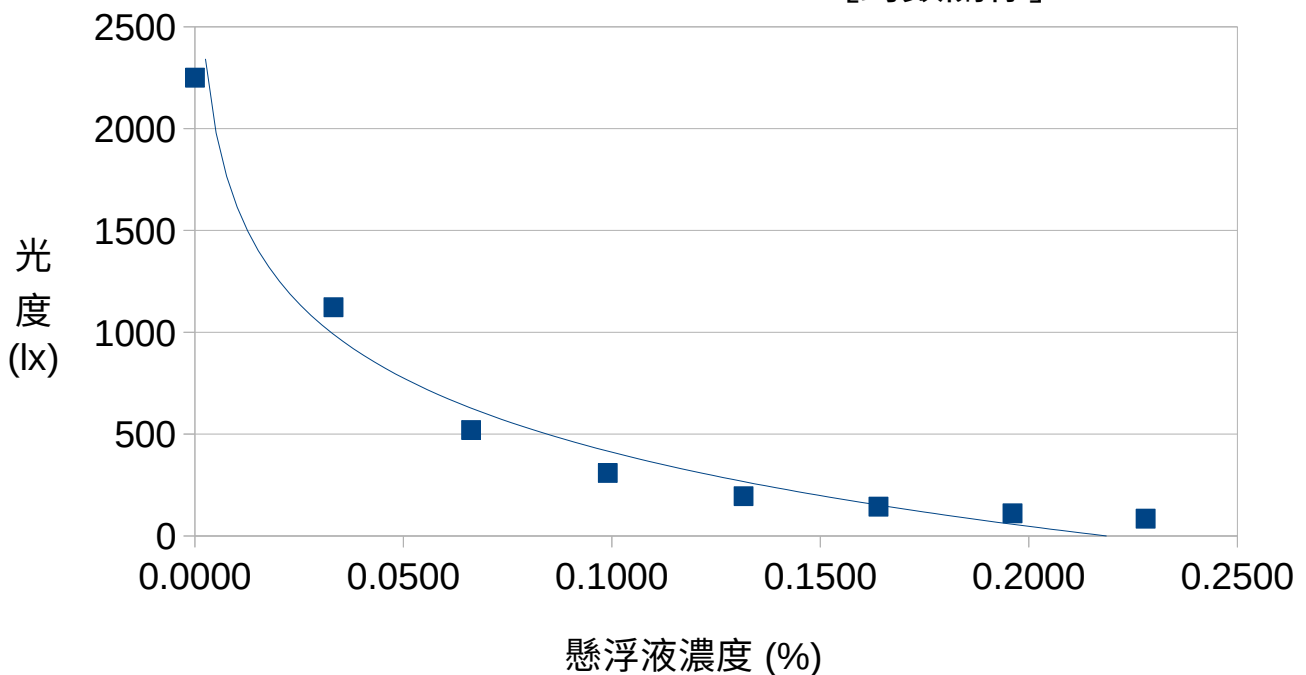
[指數關係]



$$f(x) = -525.4346 \ln(x) - 798.8528$$

$$R^2 = 0.9266$$

懸浮液濃度與穿透光度之關聯  
[對數關係]



其中「次方/乘冪關係」有著最高的  $R^2$ （相關度），因此我最初假定它或許是正確的關係。然而，若將 0 代入其趨勢線方程式，則會注意到算出的結果無意義（0 之負數次方相當於除某數以 0）。故我在網路上多方查詢，找到了比爾——朗伯定律（Beer-Lambert Law）：

本定律描述 光的吸收度（ $A$ ）與 吸收係數（ $\alpha$ ）、光徑長（ $l$ ，光於樣品溶液中行進的路徑長）、濃度（ $c$ ）三者均成正比。並且將其透過入射光強度（ $I_0$ ）、穿透光強度（ $I_1$ ）定義為：

$$A = \alpha lc = -\log \frac{I_1}{I_0}$$

（張育唐、陳藹然，2011）<sup>3</sup>

綜上所述，我們可以看出濃度（ $c$ ）與穿透光度（ $I_1$ ）所成的應該是指數關係。然而為何指數關係的相關度（ $R^2$ ） $0.9589 \leq$  次方/乘冪關係的相關度  $0.9946$  呢？也許是因為我們的懸浮液不符合理想溶液，也許是因為次方/乘冪關係跳過了一個數據：

3 參考資料：張育唐、陳藹然（2011）。比爾定律與吸收度。2021 年 4 月 15 日，取自科學 Online <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=40839>。

比爾定律並不適用各種狀況，只適用在某些前提與限制下：

1. 溶液必須是一個均質的溶液
2. 溶液分子不互相作用（例如稀薄溶液）
3. 溶質分子不因入射光的照射而反應
4. 溶液澄清，不產生散射現象
5. 僅考慮光的吸收，忽略光的散射、反射等行為
6. 光源使用單色的平行光。也就是每一束光是相同的波長，且通過相同長度的介質溶液，因為莫耳吸收係數會隨著波長而有所不同

（張育唐、陳藹然，2011）<sup>4</sup>

依上述看來，我們能夠發現本溶液與實驗不合之處，尤其是上述 1、4 點

1. 此次所作，為「酵母菌懸浮液」，即「非」溶液。
4. 本次實驗懸浮液有散射現象。

至於另外一個原因，便是我們可以發現次方/乘冪關係之趨勢線，直接地略過了濃度為 0 的數據，而用剩餘的數據作出了趨勢線：由於該趨勢線所要參考的數據更少，故其可以更好地符合餘下的數據，也造成了較高的  $R^2$  值。

---

4 參考資料：張育唐、陳藹然（2011）。比爾定律(Beer's Law)的限制。2021 年 4 月 15 日，取自科學 Online <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=40848>。

## 六、 結果與討論

1. 本次得到的趨勢線 ( $y = f(x)$  為光度(lx),  $x$  為濃度(%)) :

[1] 若要看總體 (即可能較為正確的) :

指數關係,  $y = f(x) = 1629.1229 \times e^{-14.2058x}$

[2] 若要以光度 (尤其是 1123 以下) 反推酵母菌懸浮液濃度 :

次方/乘冪關係 (因其  $R^2$  較高),  $y = f(x) = 12.5726x^{-1.3453}$   
=> 為了方便, 故化為  $x = (12.5726/y)^{0.7433}$

2. 誤差的來源: 可能有

[1] 光度計安裝不穩: 僅僅使用雙面膠暫時黏貼於手機上, 因此可能因為操作而輕微位移, 並且可能隨著時間過去變得越來越鬆。

[2] 量測的誤差: 因為人為操作, 致使取酵母懸濁液時, 所取量可能不精準。

[3] 光度感測器 (手機) 本身問題: 其最小單位並非 1 lx, 再加上可以猜想其所顯示之數據便包含了一定範圍的估計值, 故數據或許因此有更大誤差。

3. 每次使用自製光度計都要重新安裝, 一定有誤差, 未來如何沿用本次的結果?

[1] 每次先測量最大光度 (入射光光度), 並將

測得的數值  $\div$  該數  $\times$  (本次的最大光度 =) 2440 lx

即可將數據代入本次所得之趨勢線。

=> 建立在忽略空氣變化之前提上

[2] 每次先測量清水穿透光度, 並將

測得的數值  $\div$  該數  $\times$  (本次的清水穿透光度 =) 1123 lx

即可將數據代入本次所得之趨勢線。

=> 建立在忽略清水或有微小不同之前提上

4. 實驗結束後的反思

[1] 由於手機性能或者自製簡易光度計做工問題, 測量不到散射光度, 無法進行濁度探討, 稍與實驗離題, 實屬可惜。