

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

最佳團隊合作獎

031627

散光彈--探討溶液性質對擴散行為的影響

學校名稱：彰化縣立陽明國民中學

作者： 國一 謝宓庭 國一 呂宛霖 國一 王羿文 國一 周宜貞	指導老師： 蔡名峯 韓顏吉
---	---------------------

關鍵詞：擴散作用 透光 光度計

摘要

擴散作用的發生，是因分子的運動，使其均勻擴散開來。當物質在兩相鄰區域不能均勻地分散開時，就會產生濃度差，而當此濃度差不存在時，表示已達擴散平衡。本文除了探討上述之性質外，更深入去研究溶質與溶劑的性質是否會對擴散行為產生一致的影響。此外為了能夠精確的量測溶液的擴散行為，特別設計了由：(A)綜合光學組、(B)光度計、(C)輸液器三者組裝而成的一套量測系統，以此來量測溶液的擴散行為。

本實驗採用了墨汁、過錳酸鉀、酚紅及亞甲藍等四種溶液，並分別滴到清水、食鹽水及糖水等溶液中，而得到以下的結論：欲滴溶液與被滴溶液的溶液性質相似(同為分子化合物或同為離子化合物)時，擴散速率較快；此外在實驗中更發現到墨汁在高溫的食鹽水中會產生鹽析的現象，因而無法觀察到擴散行為。

壹、研究動機

國小時常常到文化局去欣賞水墨畫展，後來對水墨畫產生莫名的興趣，要求媽媽帶我去學水墨畫。在學習過程中，發現把毛筆放入洗筆壺中，原本清澈見底的水，漸漸變成筆上原本的顏色，我對這個現象感到十分好奇，於是查了資料，才知道這個現象叫「擴散作用」。基於對擴散作用的好奇心，便邀集了同學著手從事研究。本實驗中，使用了混合物、離子化合物、分子化合物等各式不同的溶液，分別來探討會影響各種溶液擴散現象的因素。

貳、研究目的

- 一、設計儀器來測量溶液的擴散速率。
- 二、探討溫度對液體擴散行為的影響。
- 三、探討墨汁(混合物)在清水、食鹽水及糖水等不同溶液的擴散行為。
- 四、探討過錳酸鉀(離子化合物)在清水、食鹽水及糖水等不同溶液的擴散行為。
- 五、探討酚紅、亞甲藍(分子化合物)在清水、食鹽水及糖水等不同溶液的擴散行為。

參、實驗器材與設備

實驗器材：

- 一、綜合光學實驗器 (如圖 1)
- 二、墨汁一罐
- 三、試管 60ml 數支
- 四、鐵架一組
- 五、電子溫度計 (如圖 10)
- 六、輸液器數個 (如圖 3)
- 七、量筒 100ml 一只
- 八、光度計 (如圖 12)
- 九、保麗龍
- 十、精密電子秤 (如圖 11)
- 十一、燒杯
- 十二、玻棒二支
- 十三、刮勺二支
- 十四、糖
- 十五、透鏡成像組

化學藥品：

	化學式	分子量
過錳酸鉀	$KMnO_4$	158
亞甲藍 (methylene)	$C_{37}H_{27}N_3O_3S$	593
酚紅 (Phenolsulfonphthalein)	$C_{19}H_{14}O_5S$	354
氯化鉀	KCl	74.5
氫氧化鈉	$NaOH$	40
氯化鈉	$NaCl$	58.5



圖 1 綜合光學實驗器+光度計 (以下將之簡稱為光學擴散檢測組)

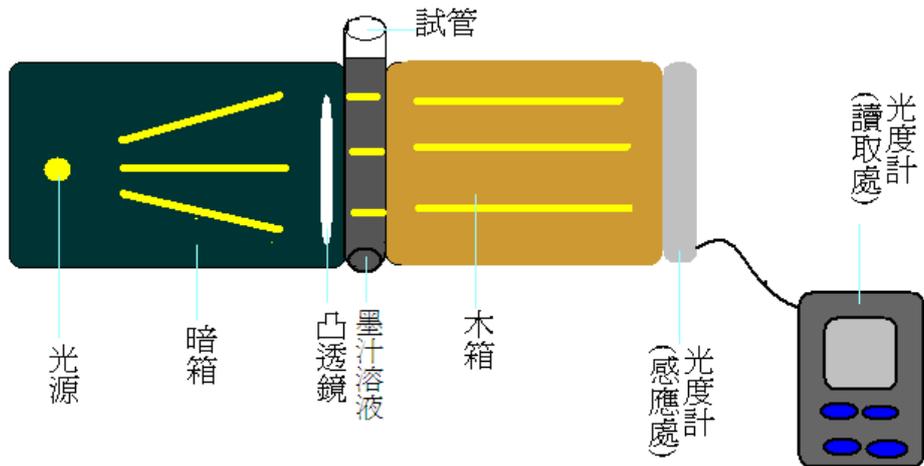


圖 2 光學擴散檢測組之示意圖



圖 3 輸液器 (隨著使用的液體來更替)



圖 4 各式藥品

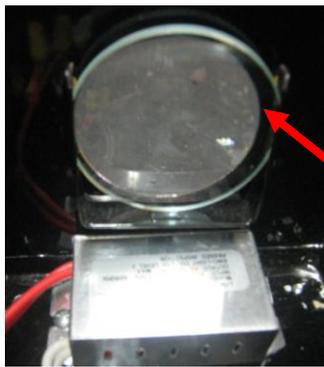


圖 7 透鏡

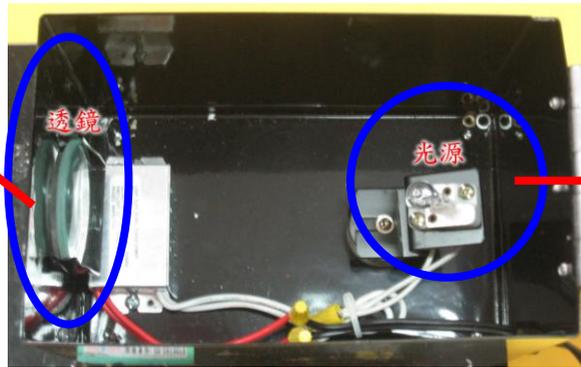


圖 5 綜合光學組的內部構造



圖 6 光源



圖 8 保特瓶一只



圖 9 輸液器一組



圖 10 電子溫度計



圖 11 精密電子秤



圖 12 光度計

肆、研究方法與步驟

一、儀器設計與原理

原理：

- (一) **光學擴散檢測組**：由**文獻[2]**得知溶液的透光性會受到其濃度的影響，尤其是有色溶液其影響就更為明顯，本實驗利用凸透鏡來形成**平行光**而通過整根試管，並藉由光度計來偵測擴散是否均勻之判斷。

組裝過程一：

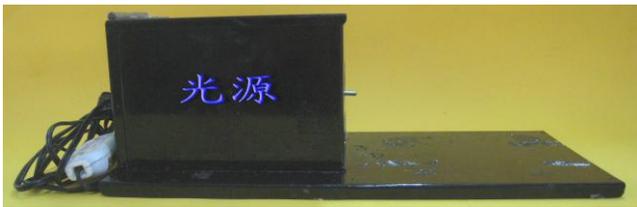


圖 13 取自綜合光學組之光源(側視圖)

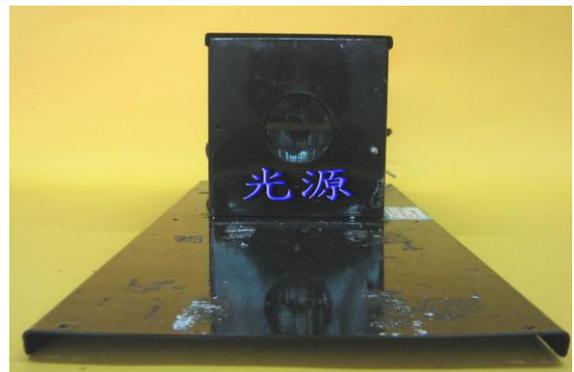


圖 14 取自綜合光學組之光源(正視圖)



圖 15 木箱底黏上保麗龍，
以調整對應之光源高度



圖 16 光源箱外側黏上保麗龍，
用以組合試管及木箱。

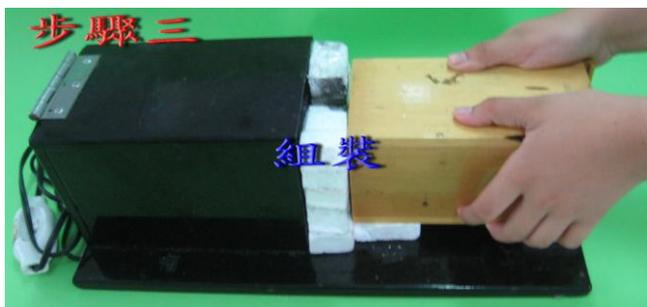


圖 17 將步驟一及二的設備組裝起來



圖 18 將透光處以黑紙密封起來

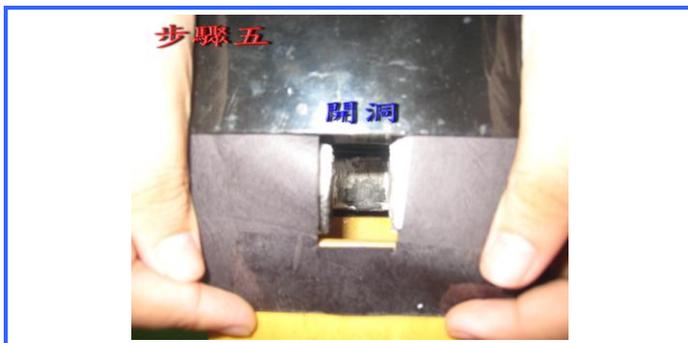


圖 19 開洞，使試管可插入其中



圖 20 裝上光度計，光學擴散檢測組的全圖

(二) **輸液器**：本實驗原先採用滴管將高濃度的溶液滴入試管中，但是發現到不易控制滴入的液體體積，因此改用點滴的輸液器來控制。而因為針頭極細，因此可以控制每一滴的體積大約為 0.0075ml(使用電子天秤測量滴 10 滴水的重量再取平均)。

表 1 估計輸液器每滴溶液之體積

滴數	重量	平均重量(一滴水)
1 滴	0.0077 克	0.0077 克
5 滴	0.0373 克	0.00746 克
10 滴	0.0749 克	0.00749 克

註：採用水來當溶液，並測量滴 1、5 及 10 滴水的重量，因為水的密度為(1 gw/cm³)，因此利用精密電子秤來量測水滴重量，並換算成水滴體積。由此表可以看出每滴溶液體積約為 0.0075 ml

組裝過程二：



圖 21 保特瓶



圖 22 裁切保特瓶



圖 23 利用加熱鐵釘在瓶蓋上打洞



圖 24 將輸液器接上瓶蓋



圖 25 組裝完成的輸液器和保特瓶

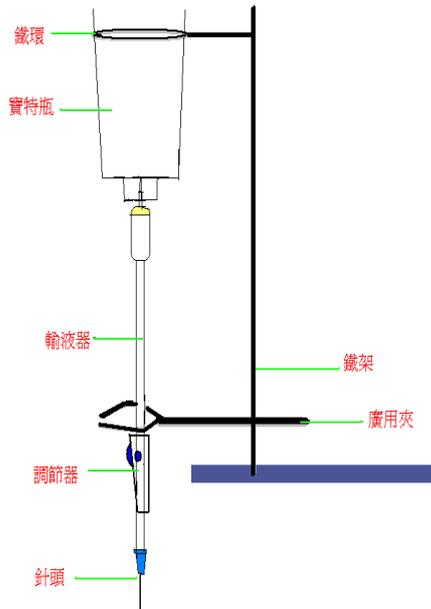


圖 26 輸液器組裝示意圖



圖 27 將光學擴散檢驗組及輸液器組裝之完成圖

二、實驗步驟

實驗一：探討墨汁(混合物)在清水、食鹽水及糖水等不同溶液的擴散行爲

- (一) 架設儀器。
- (二) 調配試管中溶液(清水)，並控制溫度在 20°C，以水溶液對試管內之液體加熱(用水浴法控溫)，並以電子溫度計測量。
- (三) 將墨汁倒入輸液器上方的寶特瓶容器裡(如右圖所示)，並將試管放到實驗位置，然後記錄光度計有光及無光的數值。
- (四) 用輸液器的調節器控制墨汁的滴數和大小，並且從試管口滴入墨汁。(往後的實驗高度將被固定，以控制重力加速度對每滴滴入液之影響)
- (五) 滴下墨汁，並紀錄下光度計的讀值，每十秒記錄一次數值，直到讀數不再變化。(約 10 分鐘)
- (六) 改變清水溫度分別為 30°C、40°C、50°C、60°C 及 70°C，並重複上述步驟(三)~(五)。
- (七) 更改試管中的溶液分別為食鹽水(離子化合物)及糖水(分子化合物)，並重複上述步驟(二)~(六)。



延伸實驗：

- (一) 確認墨汁在高溫的含鈉離子的溶液中會發生鹽析的現象，將墨汁滴入氫氧化鈉及食鹽水中觀察。
- (二) 將實驗一中的食鹽水改成氯化鉀水溶液，再重複實驗並記錄之。

實驗二：探討過錳酸鉀溶液(離子化合物)在清水、食鹽水及糖水等不同溶液的擴散行為

- (一) 架設儀器。
- (二) 調配試管中溶液(清水)，並控制溫度在 20°C。
- (三) 將過錳酸鉀溶液倒入輸液器上方的寶特瓶容器裡，並將試管放到實驗位置，然後記錄光度計有光及無光的數值。
- (四) 用輸液器的調節器控制墨汁的滴數和大小。
- (五) 滴下過錳酸鉀溶液，並紀錄下光度計的讀值，每十秒記錄一次數值，直到讀數不再變化。(約 10 分鐘)
- (六) 改變清水溫度分別為 30°C、40°C、50°C、60°C 及 70°C，並重複上述步驟(三)~(五)。
- (七) 更改試管中的溶液分別為食鹽水(離子化合物)及糖水(分子化合物)，並重複上述步驟(二)~(六)。

實驗三：探討酚紅及亞甲藍(分子化合物)在清水、食鹽水及糖水等不同溶液的擴散行為

- (一)、架設儀器。
- (二)、調配試管中溶液(清水)，並控制溫度在 20°C。
- (三)、將酚紅倒入輸液器上方的寶特瓶容器裡，並將試管放到實驗位置，然後記錄光度計有光及無光的數值。
- (四)、用輸液器的調節器控制墨汁的滴數和大小。
- (五)、滴下酚紅，並紀錄下光度計的讀值，每十秒記錄一次數值，直到讀數不再變化。
- (六)、改變清水溫度分別為 30°C、40°C、50°C、60°C 及 70°C，並重複上述步驟三~五。
- (七)、更改試管中的溶液分別為食鹽水及糖水，並重複上述步驟二~六。
- (八)、改用亞甲藍，然後重複上述步驟(一)~(六)。

延伸實驗：

因為酚紅及亞甲藍溶液顏色太淡，從事本擴散實驗時，不易觀察光度之變化情形，因此為了加深其顏色，本組會將此兩種溶液先做濃縮後，再加以使用。

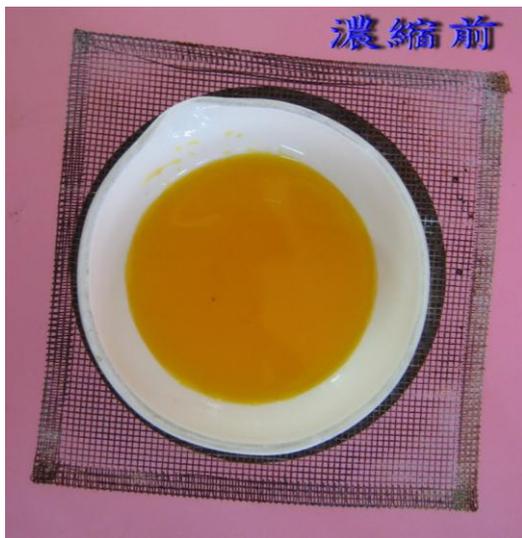


圖 28 酚紅濃縮前



圖 29 酚紅濃縮後

另外考慮在無法有效控溫的情況下，我們必須測量溫度散失的情形，並還要監控清水的吸收率（光被吸收的情形）是否會隨溫度的升降而有所變化。

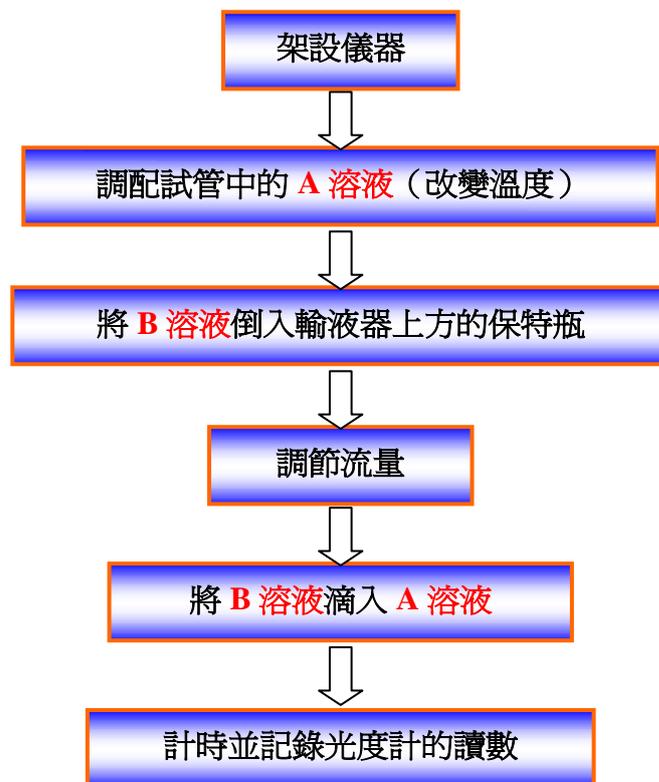


圖 30 實驗簡易流程圖

註：試管中之被滴溶液，均簡稱為 A 溶液；輸液器上方寶特瓶內之滴入溶液，總稱為 B 溶液。

伍、實驗結果及分析

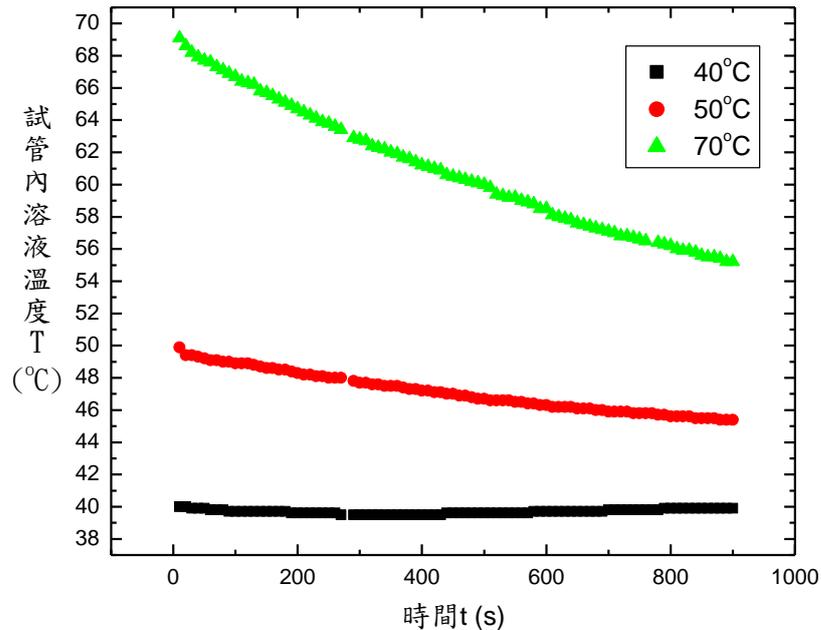


圖 31 試管內部溫度號散之情形

說明：由上圖可以得知試管的溫度的變化情形，其中發現到若初始溫度為 40°C 時，溫度較容易保持在恆溫，因此要比較擴散情形最好採用 40°C 的初始溫度。

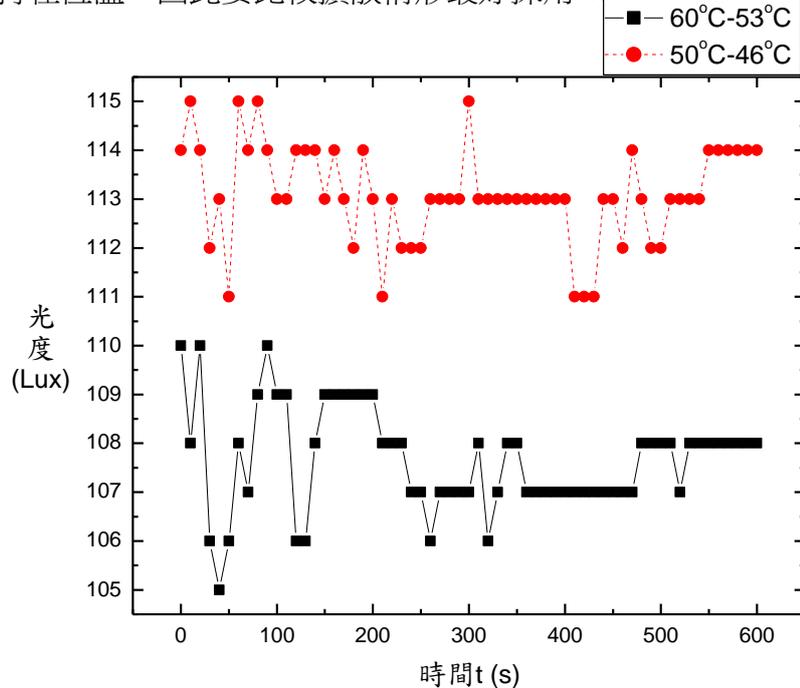


圖 32 溫度對溶液的吸光程度影

說明：任何溶液都有一定程度的吸光率，此圖可以說明溫度對溶液的吸光度影響不大(光度值差值大約為 ± 2 Lux，可視為光度計本身的誤差)，因此實驗中雖然無法有效控溫，但對所測量到的光度部會產生偏差。

實驗一：探討墨汁(混合物)在清水、食鹽水、糖水及氯化鉀溶液等不同溶液的擴散行為

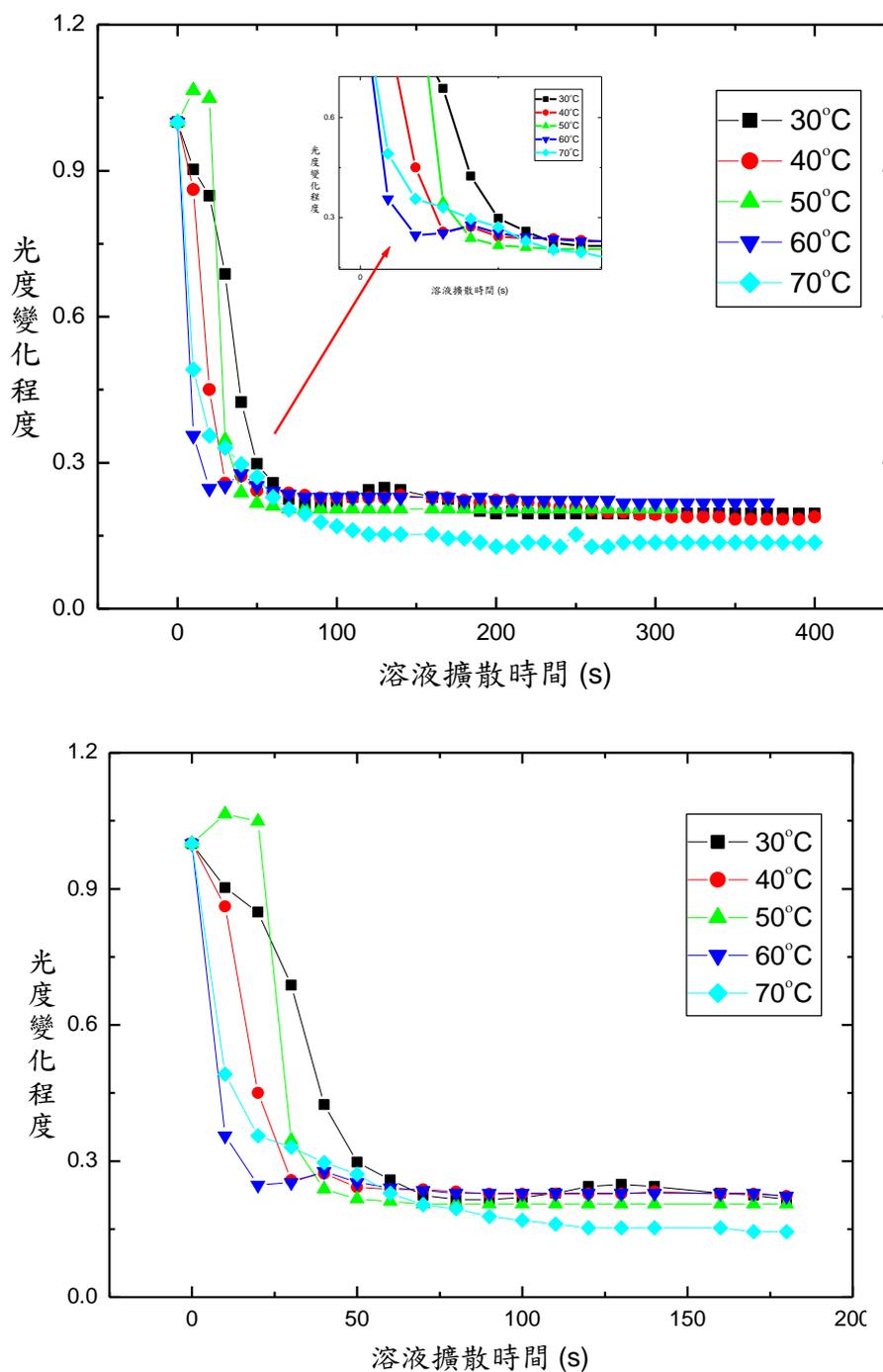


圖 33 墨汁在清水中擴散的情形。由圖中可以發現到擴散的速率會隨溫度的增加而變快，且大約在 50 秒左右就可達平衡。

分析技巧：把所量測到的光度值除以初始的光度值(時間 t=0 秒時)，再對時間 t 作圖，這樣可以消去因初始條件的影響。且利用已知 **Beer's law**(在低濃度範圍內吸光度與物質濃度成正比)，可利用吸光度的變化來得知溶液濃度的變化情形。

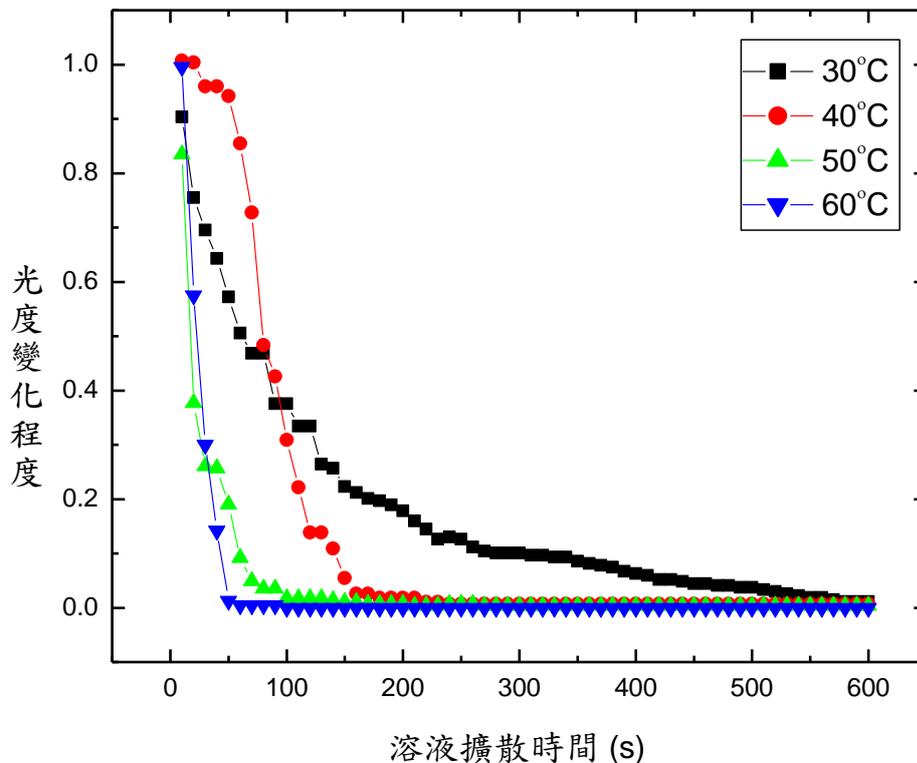
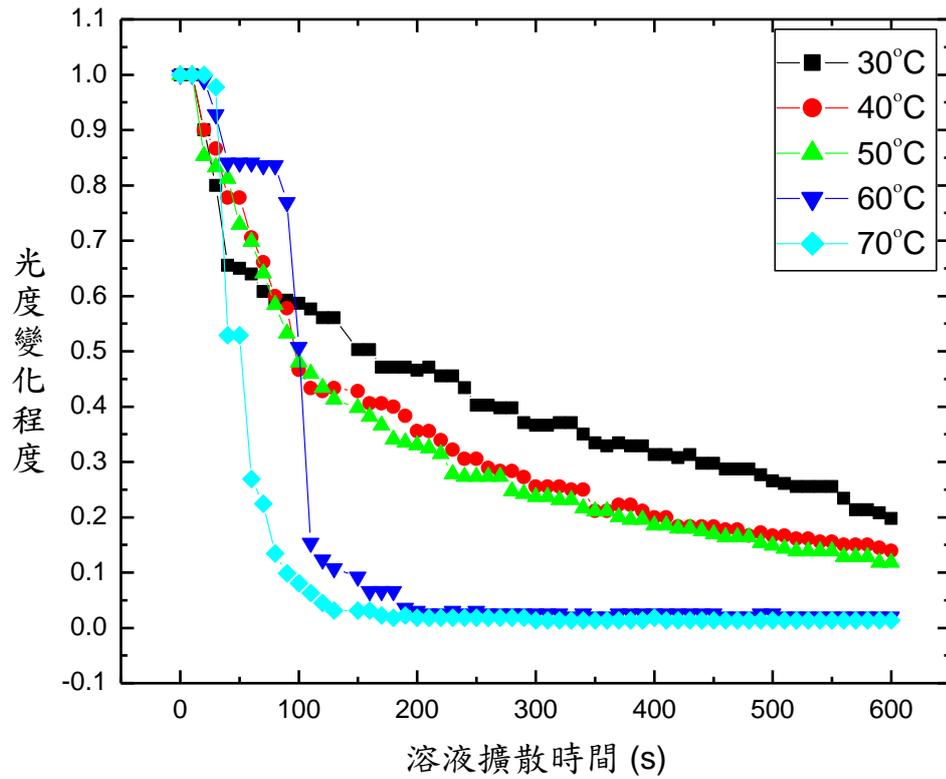


圖 34 墨汁在糖水中擴散的情形，由圖中可以發現到擴散的速率仍舊會隨溫度的增加而變快，且在高溫部分大約在 1~2 分鐘左右就可達平衡，而在低溫部分則大約在 3~10 分鐘。此外從上面兩張圖可以看出在低溫時擴散情形真的很緩慢。

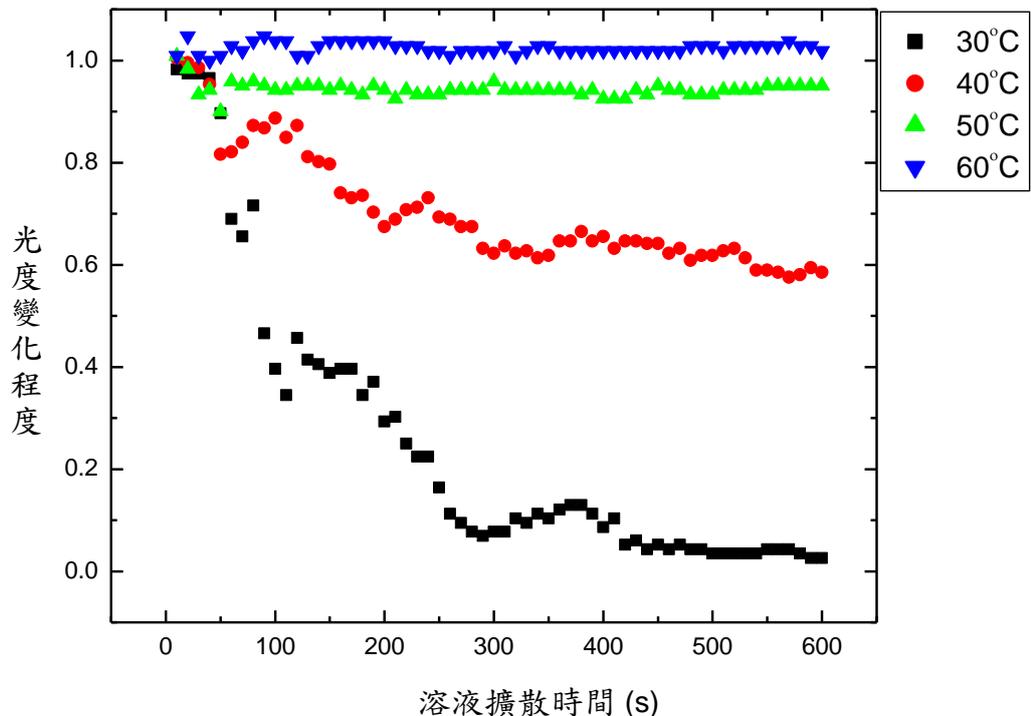
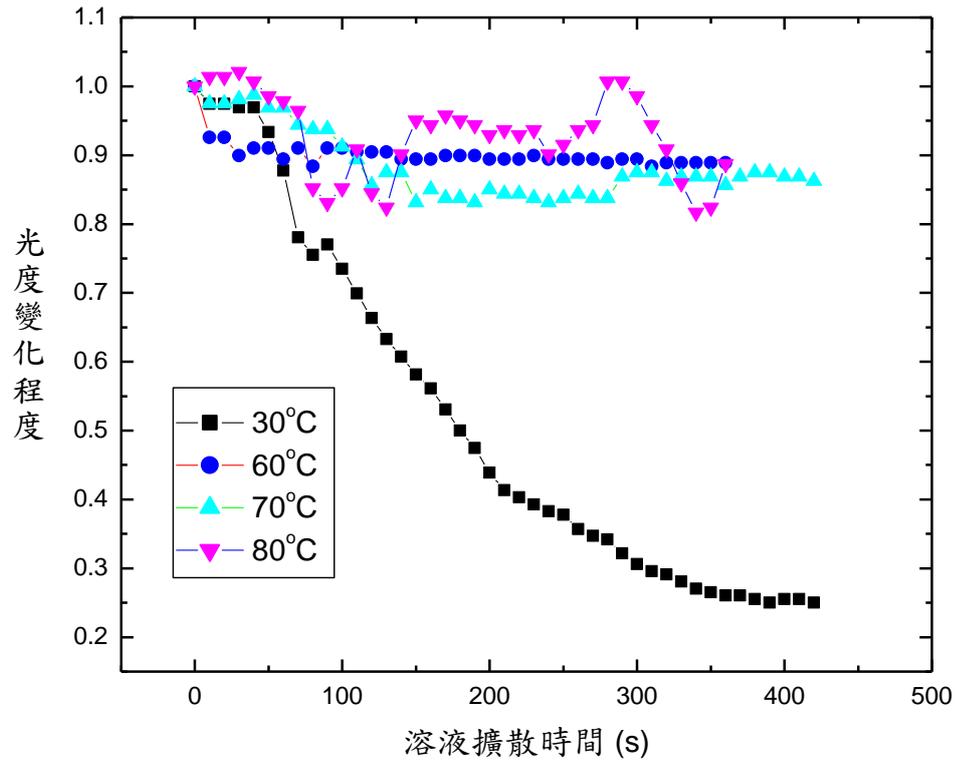


圖 35 墨汁在食鹽水中擴散的情形，由圖中可以發現到擴散的速率已不再隨溫度的增加而變快，在高溫部分幾乎不會發生擴散的情形，而在低溫部分(30°C)則大約 7 分鐘才達平衡。而在右邊的圖可看到 40°C 有稍微擴散的情形，因此我們認為是因為溫度有些微下降所致，或者是因所量測的區塊有較多鹽析的墨汁懸浮。而且經由重複實驗，可以確定墨汁在食鹽中確實不會發生擴散現象，至於原因將置於後章探討。

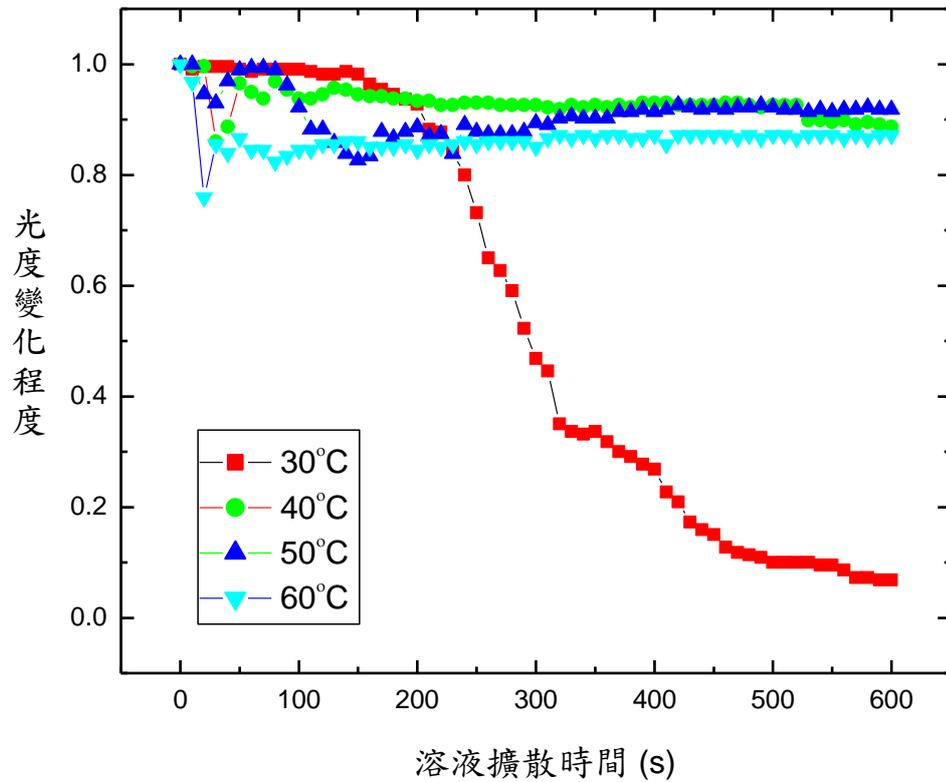
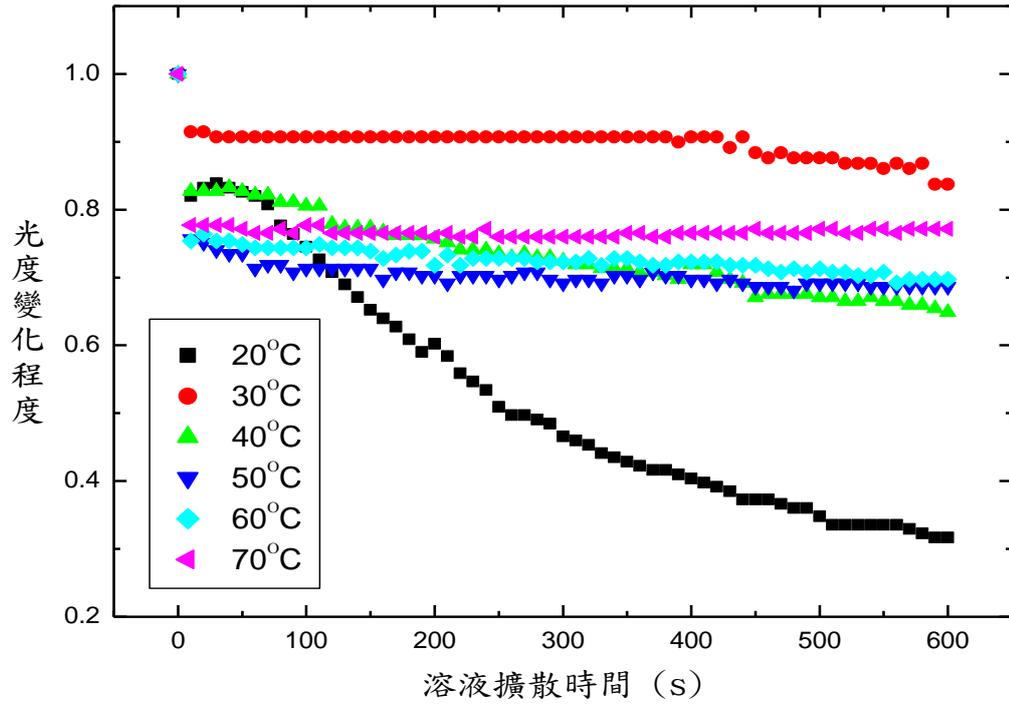


圖 36 墨汁在氯化鉀溶液中擴散的情形，高溫部份的光度變化程度幾乎沒有改變，而低溫部分 (20 及 30°C) 則有緩慢擴散的情形，我們推測必須在 20~30°C 下才会有擴散的發生。且藉由此實驗我們可有助於我們瞭解墨汁為何不會在食鹽水中擴散的背後原因。

實驗二：探討過錳酸鉀溶液(離子化合物)在清水、食鹽水及糖水等不同溶液的擴散行爲

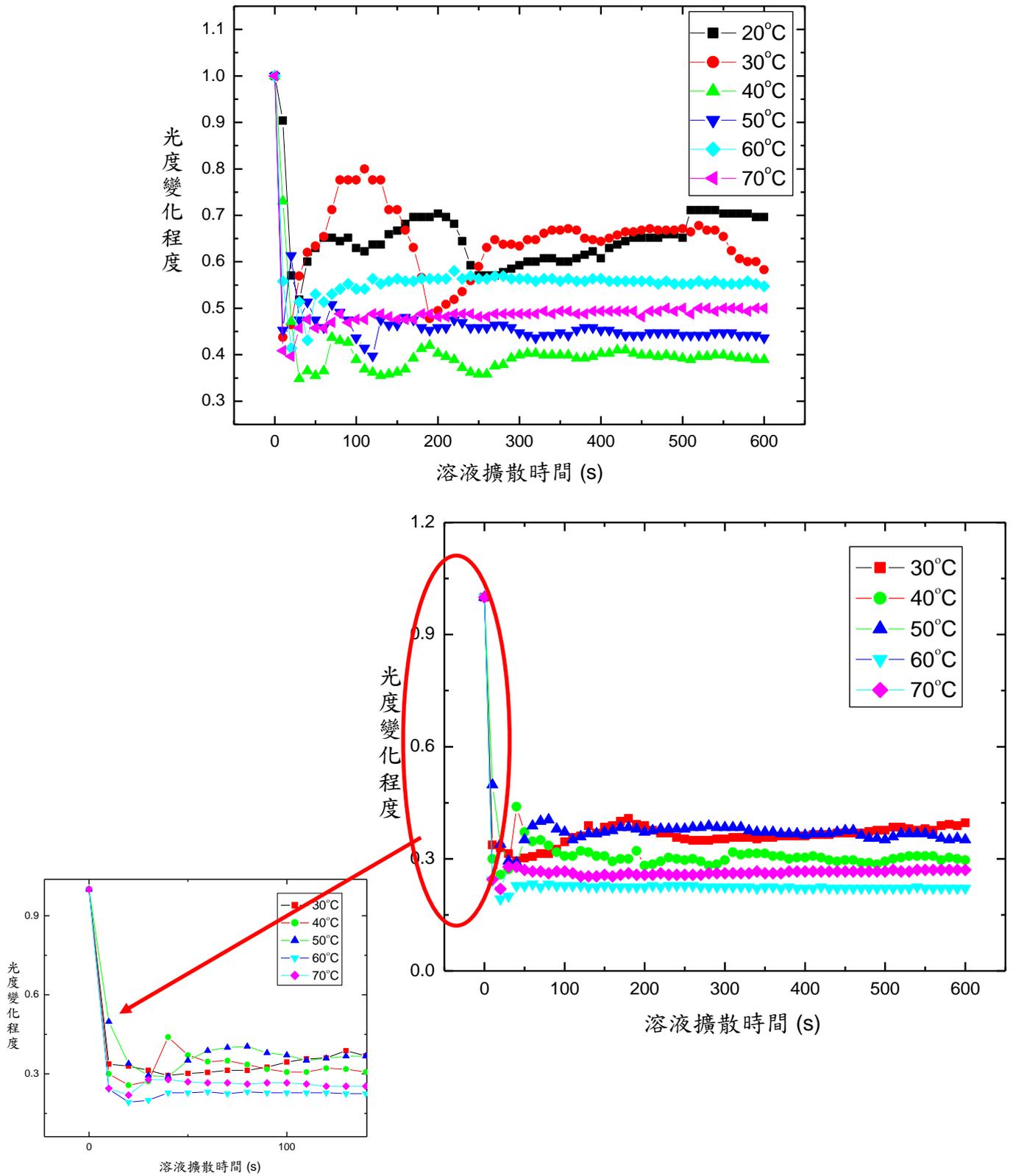


圖 37 過錳酸鉀水溶液在清水中擴散的情形，由圖中可以發現到擴散行爲仍舊受到溫度的影響，高溫部份大約 20 秒便達到平衡(非常迅速)，而低溫部分則會震盪一陣子才達到平衡。

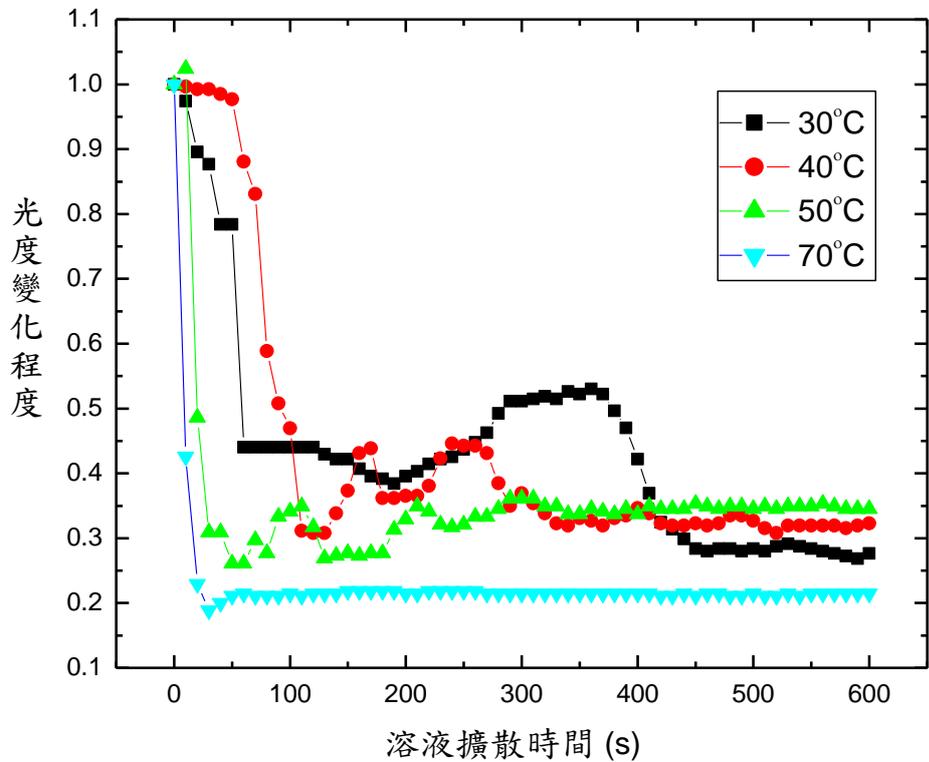
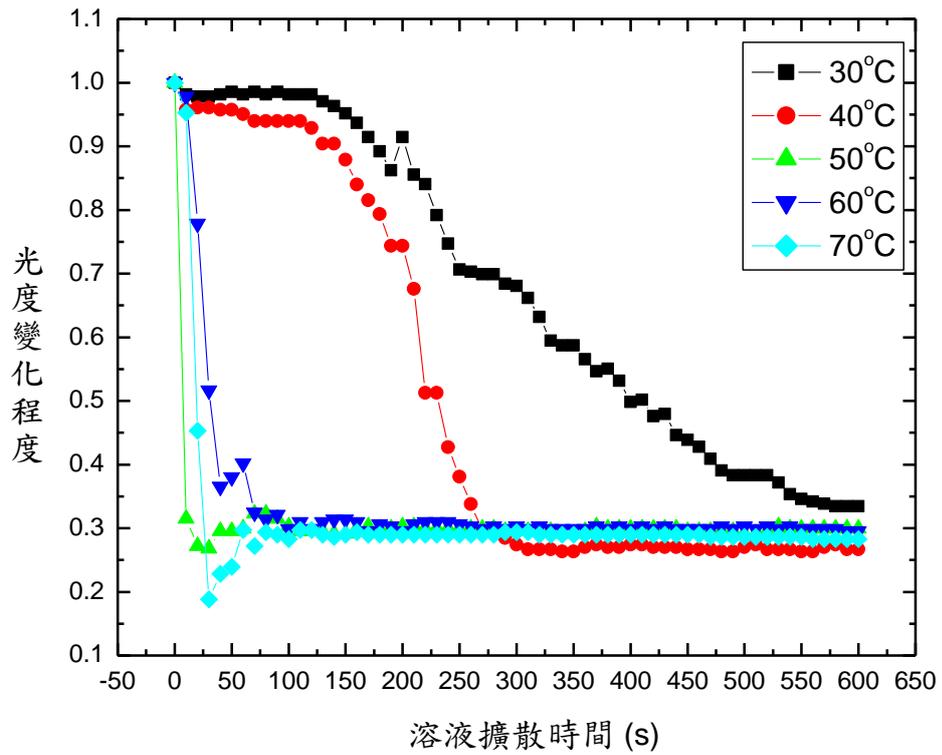


圖 38 過錳酸鉀水溶液在食鹽水中擴散的情形，在高溫食鹽水中的擴散情形極快，而且光度達到最低點時，會有些微回升的情形；而在低溫的食鹽水中則變化緩慢，並未像高溫部分變化得如此劇烈。

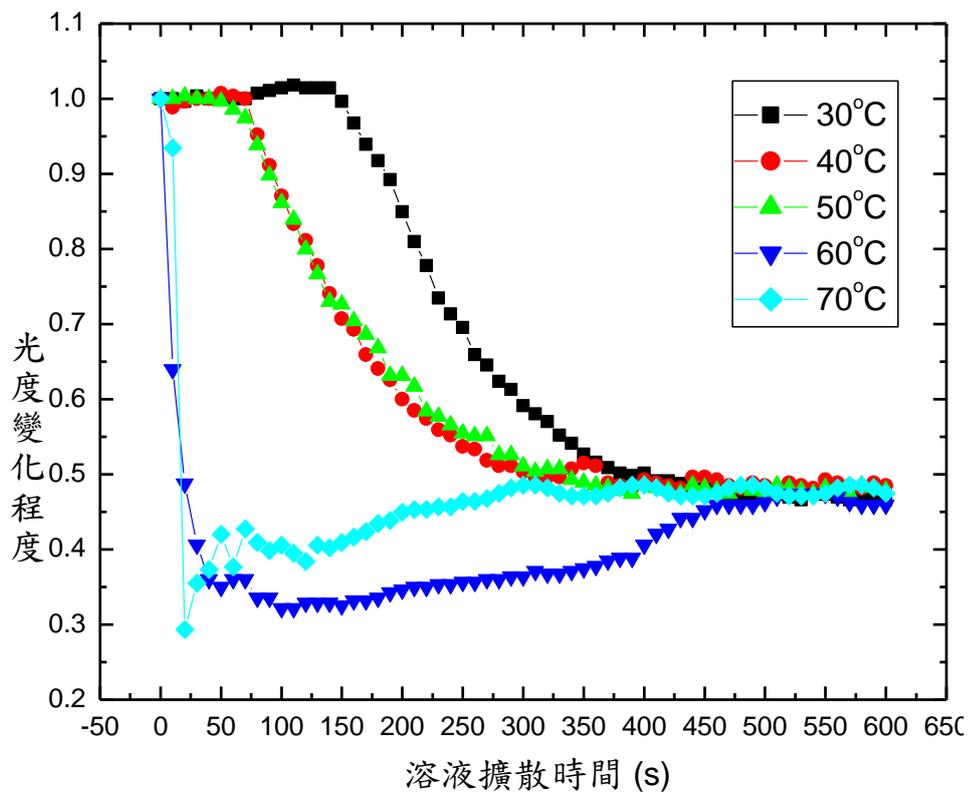
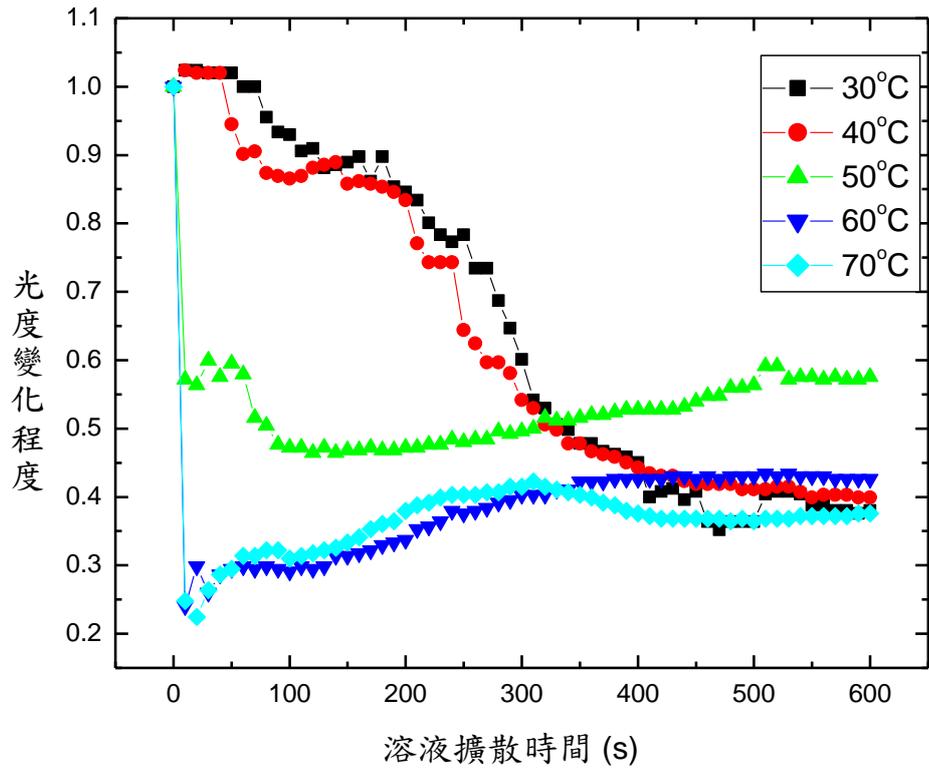


圖 39 過錳酸鉀水溶液在糖水中擴散的情形，在在高溫中的過錳酸鉀水溶液擴散情形極快，而且光度達到最低點時，會有慢慢微回升的情形，才達平衡；而在低溫的食鹽水中則變化緩慢，以平滑的曲線達到平衡。

實驗三：探討酚紅及亞甲藍(分子化合物)在清水、食鹽水及糖水等不同溶液的擴散行為

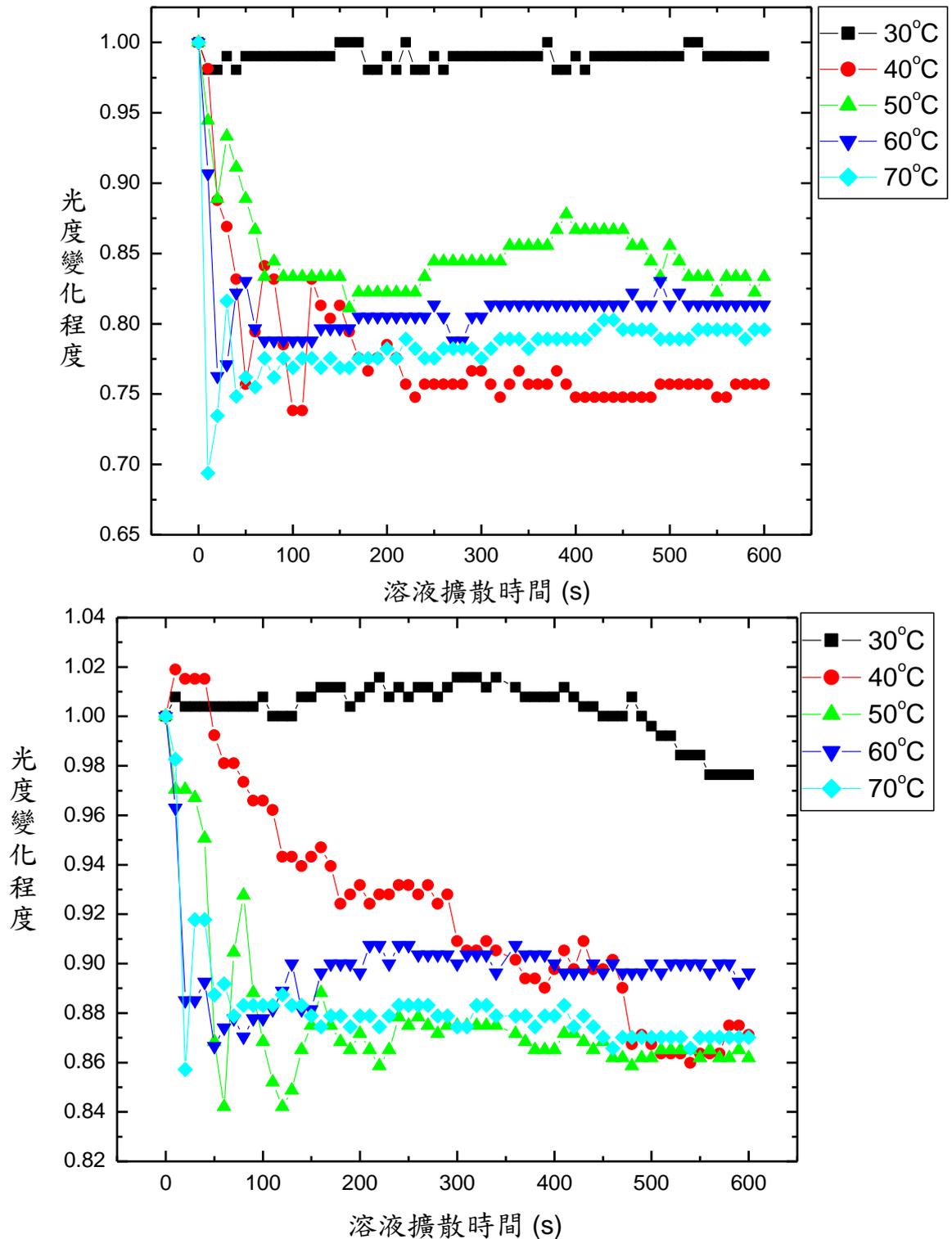


圖 40 酚紅在清水中擴散的情形，在高溫的清水中大約在 30 秒左右會有非常大的震動，然後才達到平衡；而低溫部分(30°C)則擴散情形並不明顯，或者說是需要更長的時間才能看出其擴散情形。

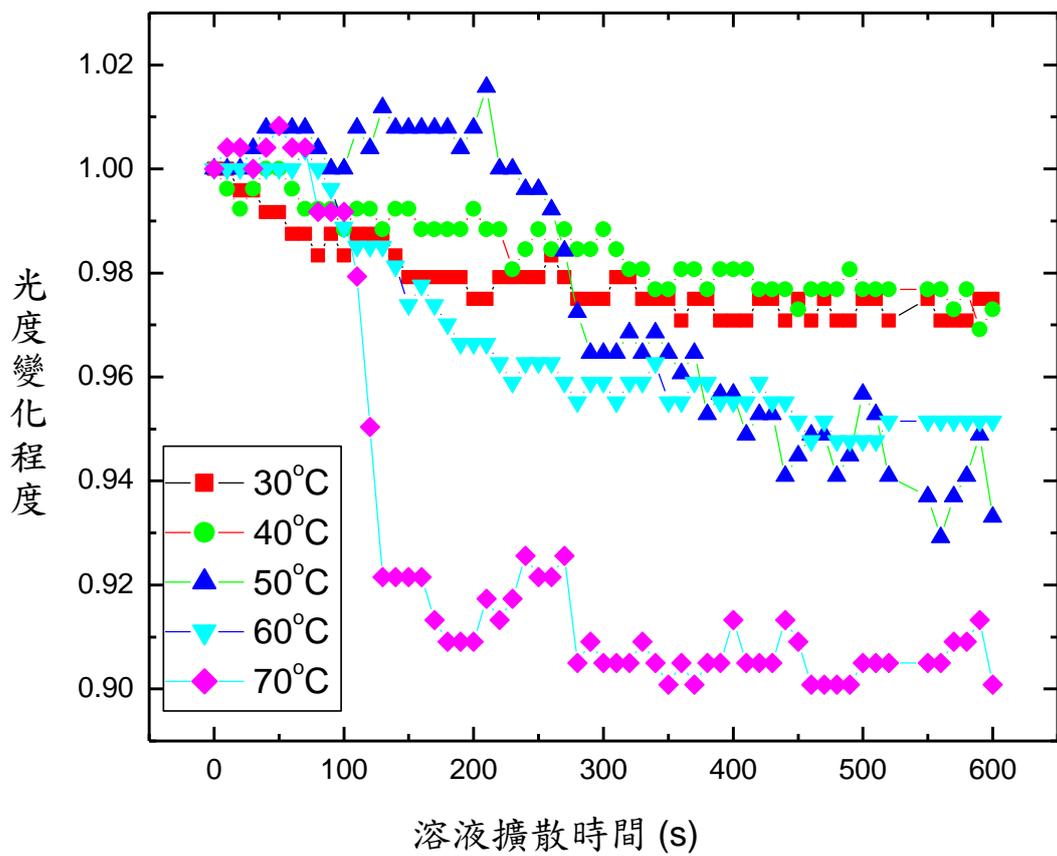
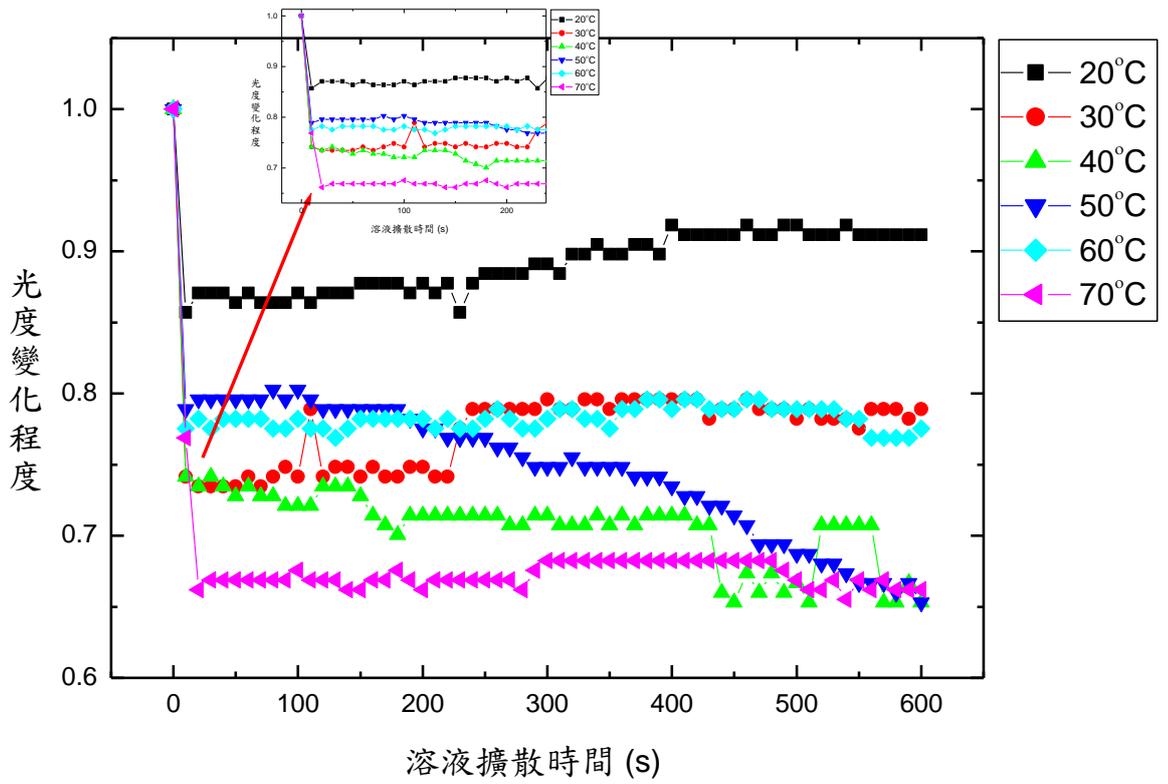


圖 41 酚紅在食鹽水中擴散的情形，可以發現到酚紅的擴散速度極快，很快就達到平衡的狀態。

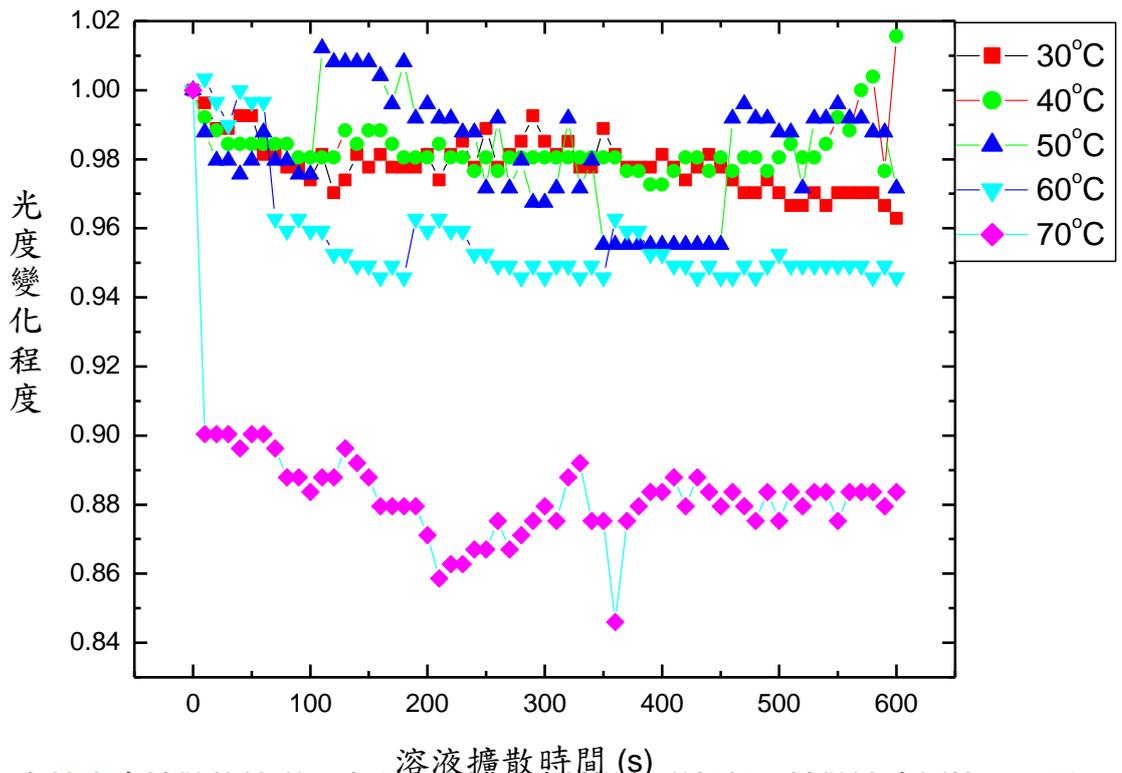
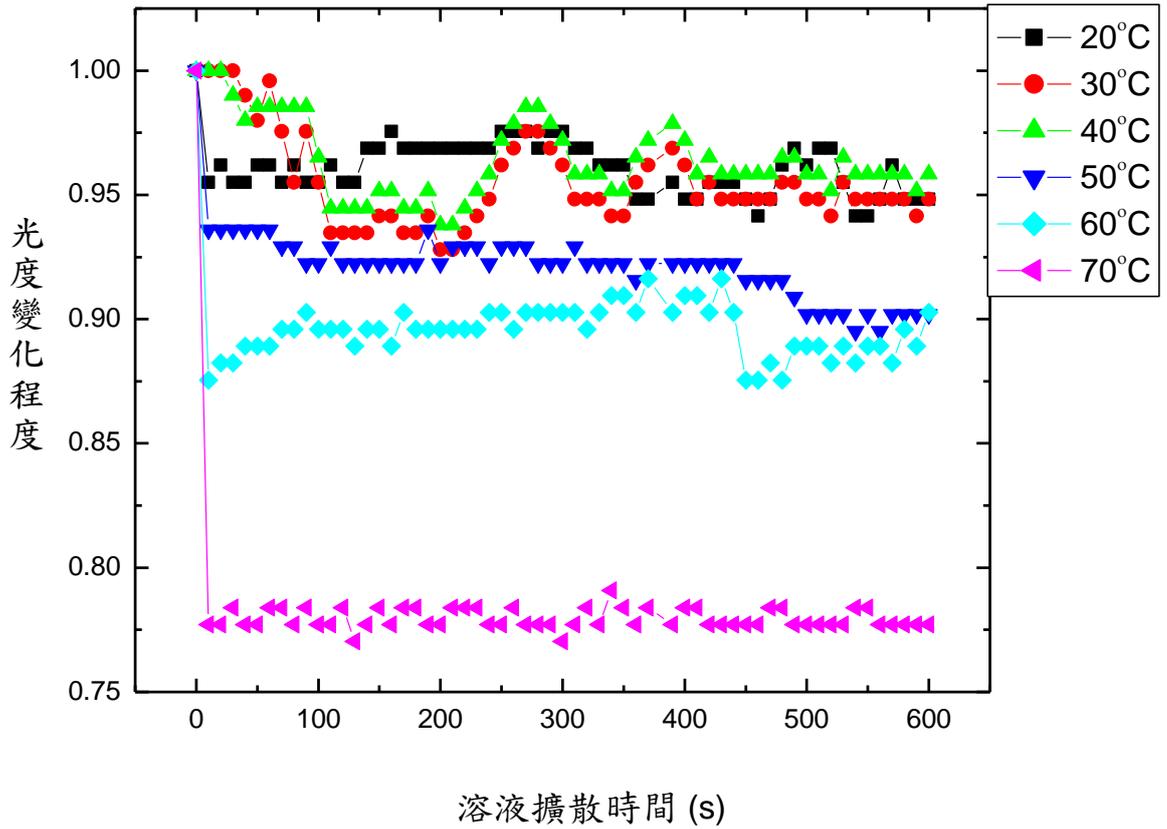


圖 42 酚紅在糖水中擴散的情形，也跟在食鹽水中擴散情形相似，擴散速度極快，一下子就達至最低點，且兩圖的震動幅度不大約±2%，因此可視為已達平衡。

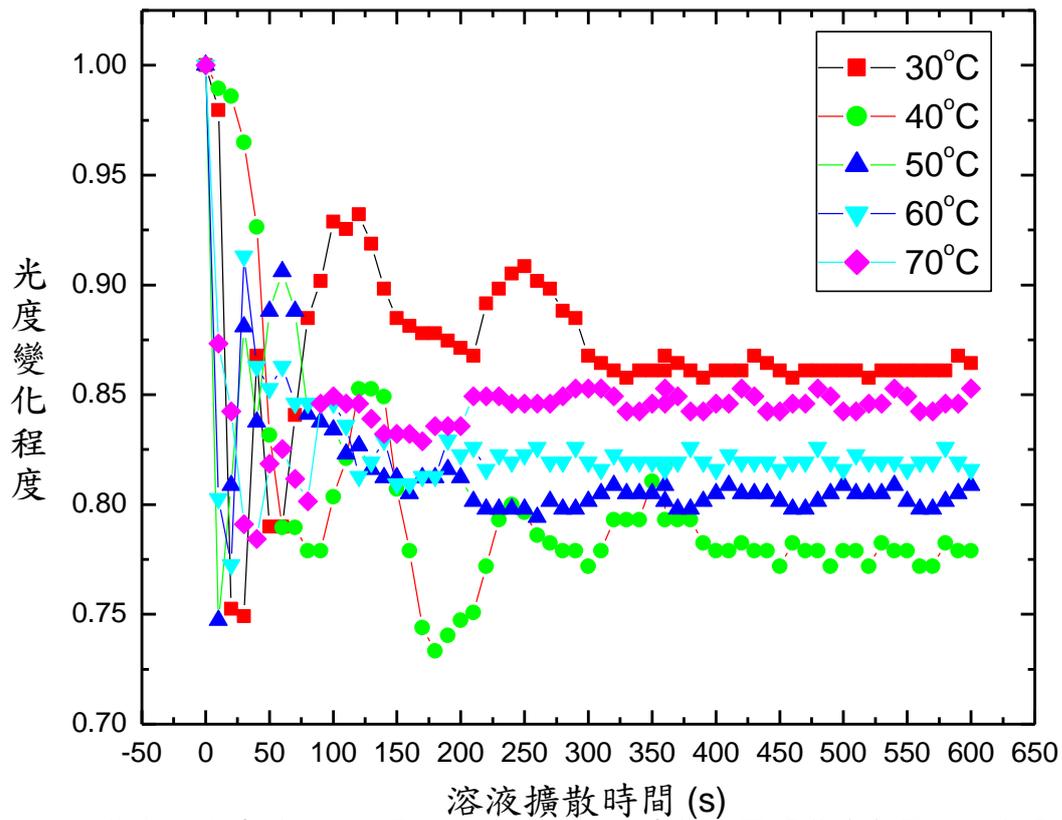
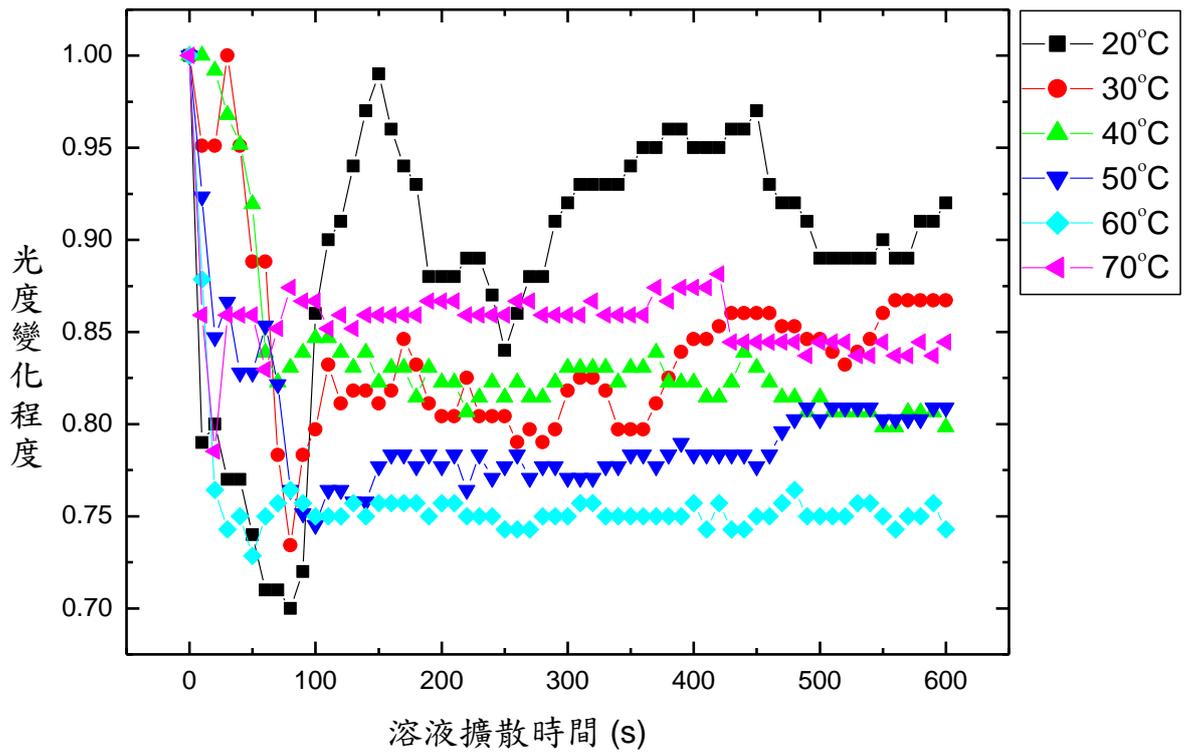


圖 43 亞甲藍在清水中擴散的情形，在高溫的清水中起初震盪非常劇烈，而高溫部分比較快達到平衡，而低溫部分則要到大約 300 秒才會達平衡。

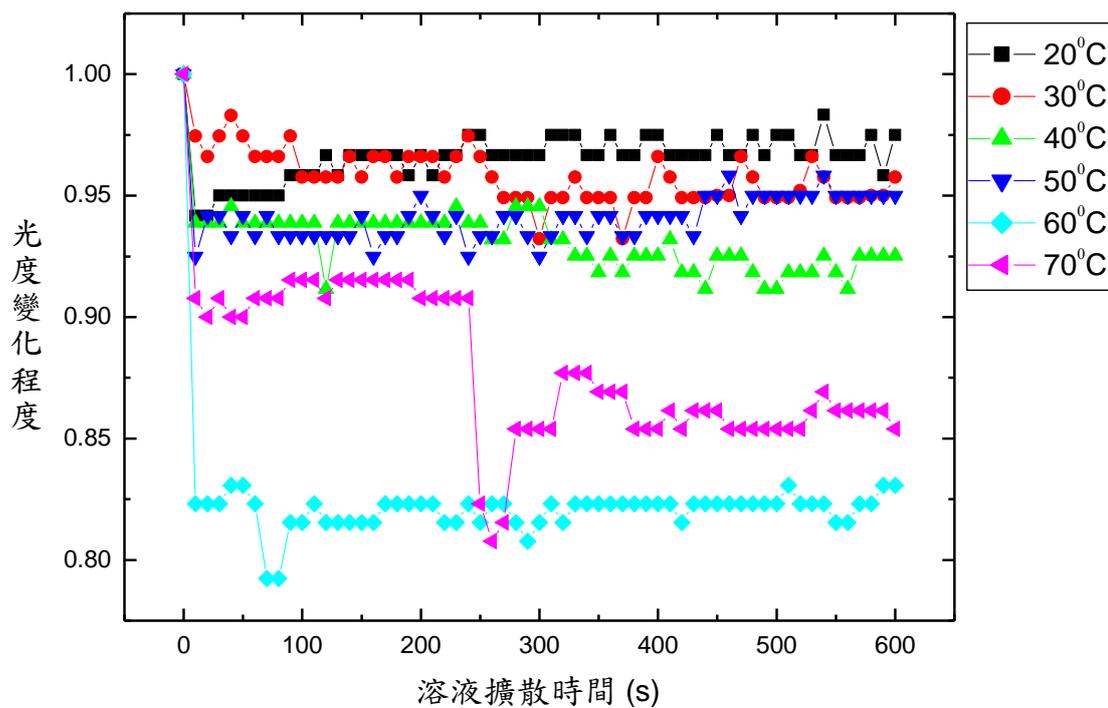
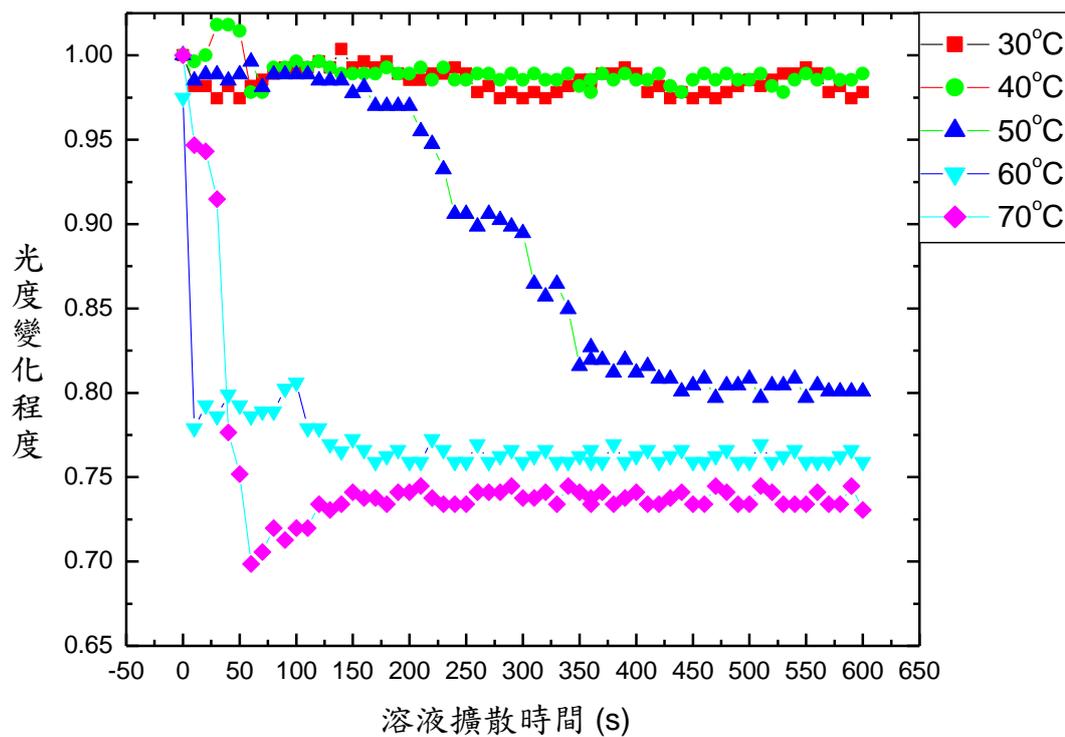


圖 44 亞甲藍在食鹽水中擴散的情形，在高溫部分較有擴散的情形發生，但在低溫部分 30°C 及 40°C 則不易觀察到擴散現象。

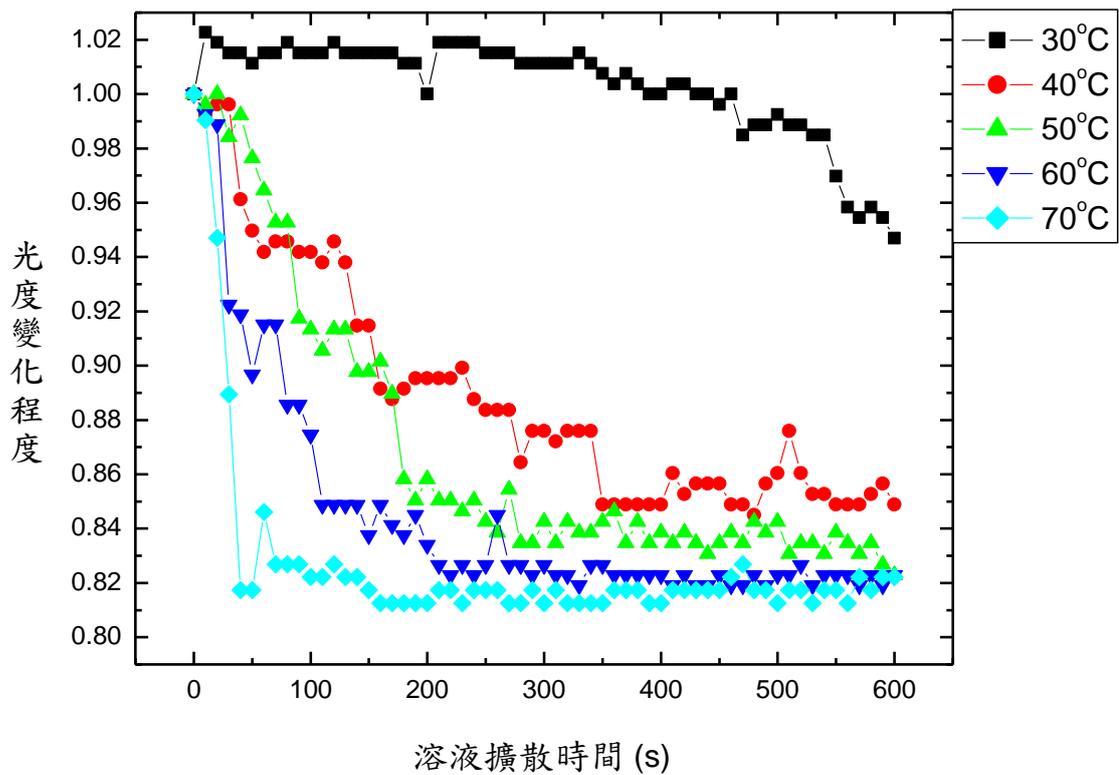
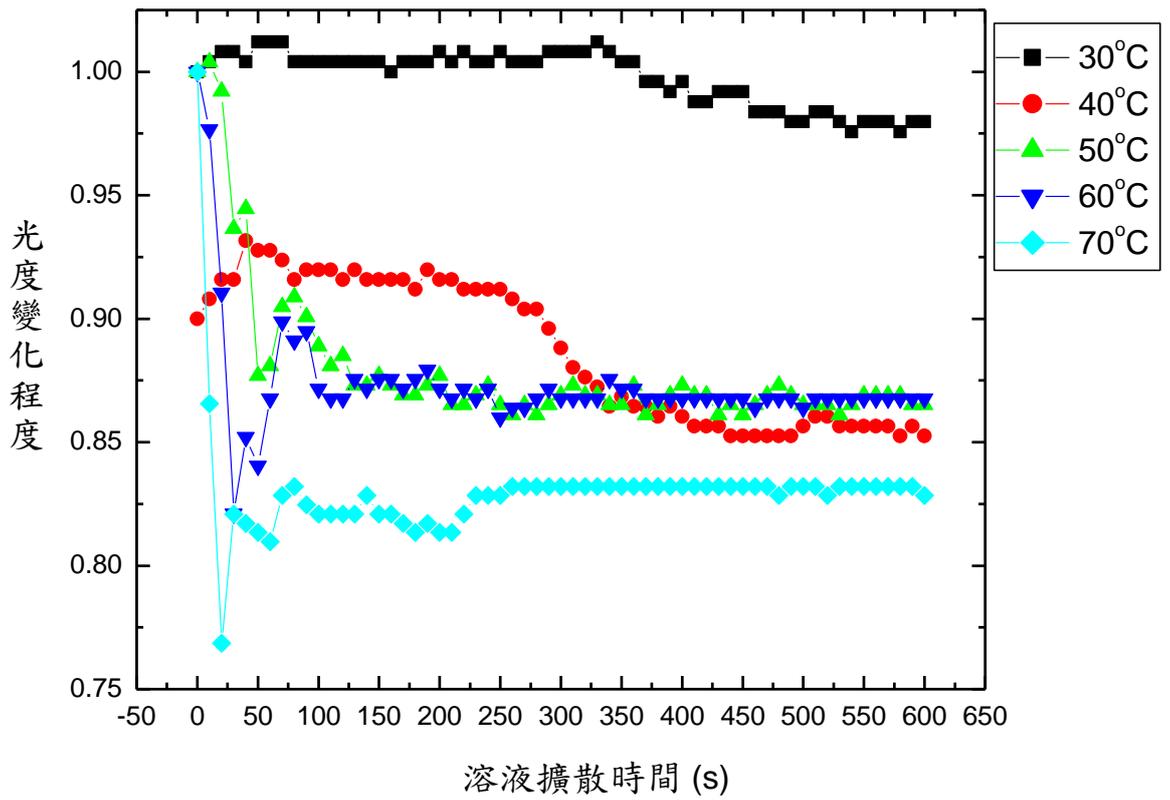


圖 45 亞甲藍在糖水中擴散的情形，在高溫部分較有擴散的情形發生，而且可以看出溫度對於擴散情形的影響，但在低溫部分 30°C 則不易觀察到擴散現象。

陸、討論

實驗一：探討墨汁(混合物)在清水、食鹽水及糖水等不同溶液的擴散行為

- 一、由圖 31 及圖 32 我們想要去釐清溫度的變化是否會影響溶液對光的吸收度。由實驗結果看來是影響不大，因此有幾種可能：(1)真的沒有影響、(2)光度計無法測出其變化、(3)其他誤差的影響遠大於溫度所造成的影響。
- 二、由圖 33 及圖 34 可以很明顯的看到擴散速率與溫度成正相關，而由文獻得知，當溫度越高時，粒子運動速率越快，因此可以合理的說明溫度越高擴散速率越快。
- 三、由圖 33 及圖 34 來看，墨汁在清水中的擴散速率明顯高於在糖水中的擴散速率，尤其在低溫部分更為明顯(排除溫度對擴散的影響)，因此本文嘗試利用所找到的瑞利—泰勒不穩定性理論[2]來加以說明。

瑞利—泰勒不穩定性(Rayleigh-Taylor instability)

墨水的密度比水大，當我們把密度較大的液體擺放在密度較小的液體上方時，任何一個小小的擾動，都很容易驅使上方的液體侵入下方的液體中(因為「頭重腳輕」)。可是因為這些液體都是不可壓縮的，所以受到「侵犯」的低密度液體會因被排擠的結果而往兩側流開。因為這個緣故而導致的對流也會順便把一部份入侵的高密度液體帶走。被帶到新環境的高密度液體並不會很安分，因為它仍會感到「頭重腳輕」。於是，同樣的「侵入→流開」的戲碼再度上演(參見圖 46)。這樣的過程反覆幾次之後就造成了我們所看到的墨水暈開來的現象。且可以說此機制會極易受到密度差異的影響，因此密度差異越大擴散越快。

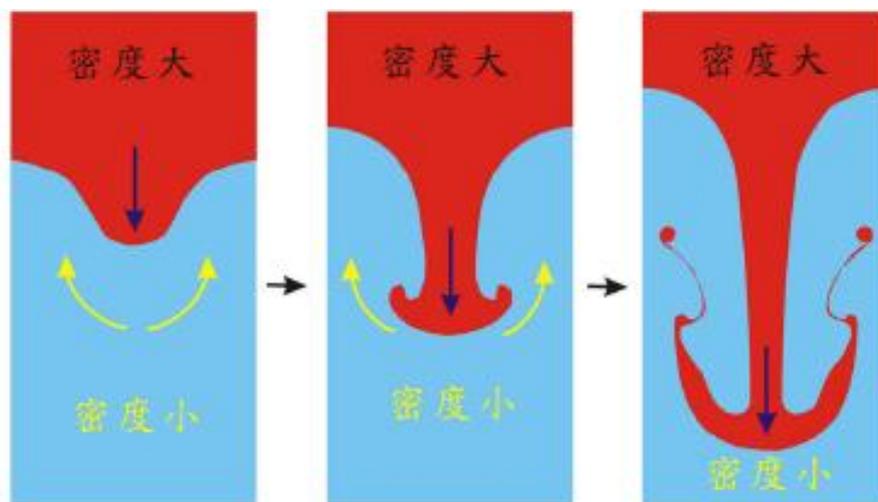


圖 46 把密度較大的液體擺在密度較小的液體上方時，任何一個小小的擾動，都很容易驅使上方的液體侵入下方的液體中。這個不穩定性會因液體的推擠與流動而很快的散佈開。

四、由圖 35、圖 47 及圖 48 來看，可以發現到墨汁在食鹽水中的擴散，很明顯的違背了前兩項規則(溫度及密度會影響擴散行為)，因此必有一套新規則的產生。我們找了許多相關文獻[3]，發現到墨汁會和食鹽水中的 Na^+ 產生鹽析作用，且我們也做實驗證實了含 Na^+ 的試劑，皆會使墨汁鹽析，並不因其陰離子不同而異。此外有一項論點說：在鈉離子電解質加入膠體溶液中，溫度升高時，鹽析現象更明顯[3]，此可以用來說明墨汁在高溫食鹽水中不會發生擴散，而在低溫食鹽水卻可發生擴散。

五、我們又找了氯化鉀 KCl 來做實驗證實墨汁與電解質混和會有鹽析的現象發生，如圖 36。

膠體粒子的帶電性質：

膠體粒子表面會吸附溶液中的離子 (H^+ 、 OH^-) 而帶有電荷，若同一膠體粒子帶有相同的電荷，則彼此產生靜電力而互相排斥，不能聚集而懸浮於溶液中，其所帶的電荷可能為正或負電，而大小則是與膠體粒子的本質有關。在膠體溶液中加入少量電解質或插入電極，使膠體粒子所帶的電荷中和，失去斥力互相聚集而產生沉澱，這種作用稱為凝聚。例如：豆漿加入鹽滷，便會凝聚成豆腐。



圖 47-1 墨汁滴到氫氧化鈉溶液



圖 47-2 墨汁滴到氫氧化鈉溶液

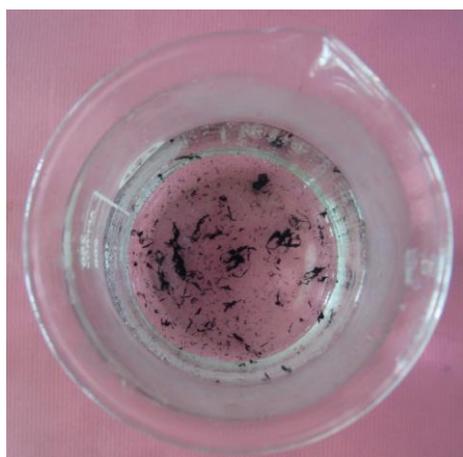


圖 48-1 墨汁滴到氯化鈉水溶液 1



圖 48-2 墨汁滴到氯化鈉水溶液 2



圖 48-3 墨汁滴到氯化鈉水溶液 3



圖 49 過錳酸鉀在糖水中擴散的情形(發生氧化還原反應)



圖 50 過錳酸鉀在清水中擴散的情形

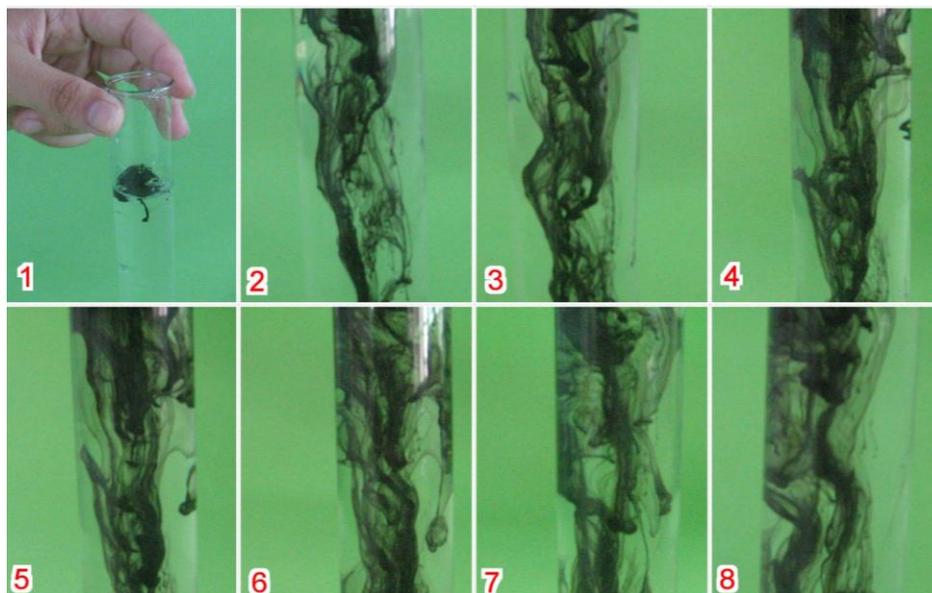


圖 51 墨汁於水中擴散的情形

實驗二：探討過錳酸鉀溶液(離子化合物)在清水，食鹽水，糖水等不同溶液的擴散行為

- 一、由圖 37 及圖 38 來看擴散行為仍舊受到溫度效應的影響。
- 二、由圖 37 及圖 38 來看，過錳酸鉀在高溫食鹽水中的擴散速度約與在清水中一樣快，但是在低溫食鹽水就比較沒有這種的情形。
- 三、由圖 39 來看，過錳酸鉀在糖水里的擴散行為是較為緩慢的，不像在清水及食鹽水中那樣迅速。

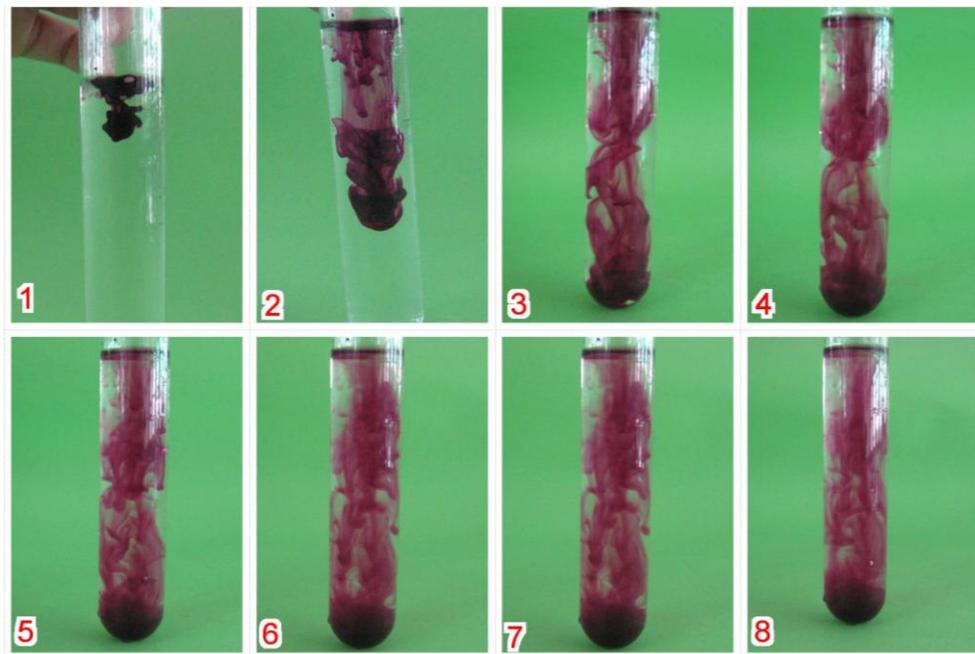


圖 52 過錳酸鉀於水中擴散的情形

實驗三：探討酚紅及亞甲藍(分子化合物)在清水，食鹽水，糖水等不同溶液的擴散行為

酚紅：

- 一、同樣地，擴散行為仍舊受到溫度效應的影響，高溫和低溫部分都會稍微震盪後才會達到平衡。
- 二、由圖 40、圖 41 及圖 42 來看，酚紅在食鹽水中擴散較不明顯；而在糖水里的高溫部分擴散行為則較為明顯，但是酚紅在食鹽水和糖水里兩者擴散速率的比較則較不明顯。

亞甲藍：

- 一、同樣地，擴散行為仍舊受到溫度效應的影響。
- 二、由圖 43、圖 44 及圖 45 來看，亞甲藍在食鹽水及糖水里的擴散速率大於在清水里的擴散速率，但是在高溫區亞甲藍在食鹽水和糖水里兩者擴散速率的差異較不明顯。若只比較低溫部分，則亞甲藍(分子化合物)在糖水(分子化合物)里的擴散速率大於在食鹽水(離子化合物)里的擴散速率。因為排除了溫度對擴散所造成的影響，這樣便能看出溶液性質對擴散行為的影響。

柒、結論

由前述之討論，可以很容易的得知，擴散行為極易受到溫度高低的影響，溫度越高擴散越快，反之則越慢。此外由瑞利—泰勒不穩定性理論得知，擴散也受到兩溶液密度的差異影響，由溶液密度大的滴入溶液密度小的則擴散較快，反之則較慢；因此本實驗認為重力會影響到擴散行為的發生。再者就墨汁滴入食鹽水的情形來探討，因為發生鹽析作用而使擴散行為不發生，而我們可以把此情形歸因為受到靜電力的影響。

本實驗中可以看到各式溶液(混合物、分子化合物、離子化合物)分別滴進清水、食鹽水(離子化合物)、糖水(分子化合物)等三種溶液中，可以發現到性質相近的溶液互相混合，其擴散速率較快，但是其影響程度遠不如前段所提到的溫度、重力、靜電力等外在的趨力。總而言之，擴散行為是一種非常複雜的行為，在一次的擴散行為中可能會受到許多因素的影響，因此就必須更深入了解各因素的影響力大小，才能使我們更加理解整個擴散過程所發生的行為。

如何改進實驗：

- (1) 必須採用更靈敏的光度測量儀器如：光度比色計，這樣才能準確測出光度的變化。
- (2) 擴散的方向必須由垂直的改為水平的，以排除重力的影響。
- (3) 必須選用合適的光源(對溶液吸收度最好的單頻光)，可採用分光儀等類的儀器來逕行實驗。
- (4) 必須有良好的控溫系統及恆溫裝置。
- (5) 能在低溫下進行實驗，以排除溫度對擴散的影響，如此才能單純的測出溶液的性質對擴散行為的影響。

捌、參考資料

一、[1] 擴散作用

取自：<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/?qid=1305091108505>

取自：http://content.edu.tw/junior/bio/tc_wc/textbook/ch03/supply3-10.htm

二、[2] 陳義裕 賭博、擴散與擴散實驗 物理雙月刊 27 卷 6 期。2005 年 12 月，取自：

<http://psroc.phys.ntu.edu.tw/bimonth/detail.php?year=2005&vol=27&no=6&cpid=147>

三、[3] 鹽析現象

取自：<http://juang.bst.ntu.edu.tw/Protein/Purification/P1.htm> 鹽析

四、史家瑩(民 95) 二上 自然與生活科技

章節：第二章第二節－水溶液(39~43 頁) 台南市 翰林

五、史家瑩(民 95) 二上 自然與生活科技

章節：第四章第三節－光的折射(90~92 頁) 台南市 翰林

【評語】 031627 散光彈--探討溶液性質對擴散行為的影響

自行設計及組裝測量實驗系統，並以光度計變化程度來瞭解不同溶液的擴散現象是創新的做法。若能對擴散現象及意義做更詳細與完整的分析將更好。