

實驗設計與統計績效改善 期末報告

水往高處爬 水往高處爬 ~毛細現象



B87701247 工管四 李慧茹

B88701214 工管三 陳亭維

B88701243 工管三 許藝文

目錄

一、	研究前言	3
二、	實驗目標	3
三、	實驗設計	3
四、	實驗過程	4
五、	統計分析	6
六、	結論	12
七、	實驗改進	12

一、【研究前言】

在下雨天時，褲管有時會因為過長而碰到地上一溼溼的積水，但奇怪的是----明明就只有褲腳的一小部分浸到積水，為何發現時，往往是 1/4 個褲管都濕了；和此現象相近的另一個例子是，當你將水性筆的筆尖固定在紙上一點不移動時，一段時間後便會發現----原先的點已經慢慢擴散暈開變成一個小圓。上述兩個例子的發生就是利用毛細現象(或稱為毛細管現象)而形成的

水利用兩端有開口的細管或細縫移動，包括上升或下降的情形發生，我們稱之為毛細現象。因此，在日常生活中，如果水是倒在地板、桌墊等表面光滑的地方時，因為這些地方沒有細縫，水便不會向外擴散讓濕的區域加大；但是水如果是倒在衛生紙、手帕、毛巾、報紙等等表面有許多細縫的物體上，則水便會沿著細縫上升或擴散。

二、【實驗目標】

並不是每一種物體放進任何一種液體中，其毛細現象都是一樣的；因此，在一定的時間內，哪些因子於哪些 level 的共同作用下，能讓毛細現象最為顯著(在本組實驗中，即 response----液體沿紙面爬升的高度最高)，為本實驗的研究目標。

三、【實驗設計】

推測變因與決定 level

→紙張的材質：採用不同用途的宣紙

從日常生活中可發覺，平常的考試用紙和衛生紙同時碰到水時，其擴散速率會很明顯的不同，最主要的影響因素在於----不同的紙質，紙張的細縫大小、數目並不相同(統稱為紙張的吸水力)，在一定範圍內，通常是空隙數目多、孔隙較大的紙質，毛細現象會較為顯著。

→紙張的寬度：控制入水的深度相同

除了上段所說，紙本身吸水力的強弱會影響到毛細現象的進行外，紙的大小、形狀皆會影響到毛細現象的進行，而產生不同的結果。在此實驗中，我們利用紙張的長度相同、寬度不同來改變紙張大小，探討此變因對毛細現象的影響程度。但依我們的推估，此因子相較於其他因子對 response 的影響，顯著性應該不高。

→空氣的溫度

→液體的溫度

上述兩個因子的選擇是因為本組認為--- 自然界中，液體和固體在相互接觸時，因為液體和固體間相互吸引的力量大於液體分子間相互的吸引力，才有了毛細現象中的上升或是擴散的情形發生；而高溫相較於低溫，液體分子間相互的吸引力會較小、具有的動能較大，因此，毛細現象應該會較為低溫時顯著。且此因子的影響應該甚顯著。

→液體的濃度

水分子間的吸引力除了會水溫的高低影響外(越低---分子間的吸引力越強)，水的性質越純，則分子間的相互吸引力也會越強，因此我們選擇不同的濃度來測試水的純度對毛細現象所造成的影響，本組推估低濃度的液體，其毛細現象應該較顯著。

因此，我們選了上述五個實驗因子，並且重複兩次以估計殘差，但因為時間和外界天氣溫度不易控制的情況下，我們採用 2^{5-1} (I = abcde) 的設計進行我們的實驗。

實驗因子	(A)空氣溫度	(B)液體溫度	(C)液體濃度	(D)紙張材質	(E)紙張寬度
high level(+1)	室外溫度 (平均 35 度)	100 度 C	6g 糖 / 250ml 水 =2.34%	D1 國畫用紙	6cm
low level(-1)	冷氣房 (平均 20 度)	28 度 C	30g 糖 / 250ml 水 = 10.71%	D2 書法用紙	3cm

四、【實驗過程】

- (1) 時間：6 月 9 日下午 12 點半到 3 點半(因為中午時分室外溫度最高，與室內的溫度差異較明顯)
- (2) 地點：分別在亭維家中的冷氣房及陽台上 (溫度大約為 20 度和 35 度)
- (3) 器材：(見照片一)
 - i. L 型鐵架 1 付
 - ii. 溫度計 3 支
(量空氣專用、量液體溫度專用)
 - iii. 國畫用紙 16 張
(30×3cm、30×6cm 各 8 張)
 - iv. 書法書寫用紙 16 張
(30×3cm、30×6cm 各 8 張)
 - v. 250ml 燒杯 4 個(高溫---高濃、低濃，低溫---高濃、低濃)

- vi. 鐵尺一支 (> 30 cm)
- vii. 馬錶一支 (固定量測時間為一分鐘)
- viii. 電磁爐一個
- ix. 燒水用大鍋子一個
- x. 100 熱水 (一次實驗更換一次, 以增加數據的精準性)
- xi. 糖一大包



(照片一)

(4) 步驟：

- A. 燒水至沸騰，並利用電磁爐維持其水溫。
- B. 把鐵尺固定在鐵架上，以 Design Expert 跑出來的隨機順序進行實驗。
- C. 調製 4 杯 250ml 水溶液，分別為 6g 糖 x 室溫水，6g 糖 x100 度水，30g 糖 x 室溫水，30g 糖 x100 度水，其中 100 度的水會隨室溫而不斷降低溫度，所以每次實驗前必須重新調製。
- D. 將宣紙一端夾在鐵架上，一端在開始計時時，浸入糖水溶液中，每次都控制浸入深度相同 (4 公分)。
- E. 1 分鐘後，測量水的爬升高度。
- F. 所有實驗計時者與觀測者都不變。

五、【統計分析】

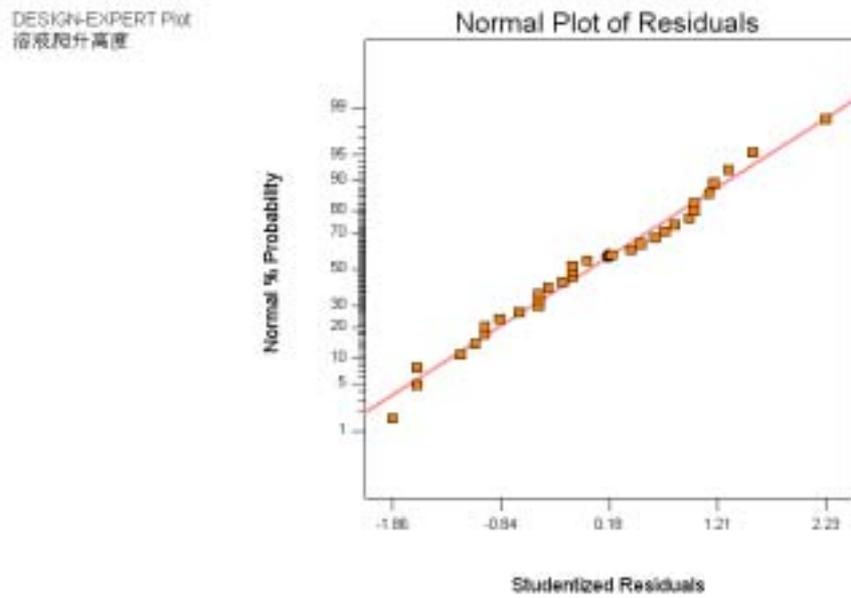
(1) 實驗結果：

Std	Run	Block	Factor 1 A.空氣溫度 ℃	Factor 2 B.液體溫度 ℃	Factor 3 C.液體濃度	Factor 4 D.宣紙材質	Factor 5 E.宣紙寬度 cm	Response 1 液體爬升高度 cm
1	26	Block 1	-1.00	-1.00	-1.00	D1	1.00	2
2	15	Block 1	-1.00	-1.00	-1.00	D1	1.00	2.1
3	7	Block 1	1.00	-1.00	-1.00	D1	-1.00	2.9
4	4	Block 1	1.00	-1.00	-1.00	D1	-1.00	3.1
5	10	Block 1	-1.00	1.00	-1.00	D1	-1.00	2.3
6	21	Block 1	-1.00	1.00	-1.00	D1	-1.00	2.3
7	32	Block 1	1.00	1.00	-1.00	D1	1.00	3.5
8	20	Block 1	1.00	1.00	-1.00	D1	1.00	3.3
9	22	Block 1	-1.00	-1.00	1.00	D1	-1.00	1.6
10	11	Block 1	-1.00	-1.00	1.00	D1	-1.00	2.3
11	13	Block 1	1.00	-1.00	1.00	D1	1.00	2.4
12	14	Block 1	1.00	-1.00	1.00	D1	1.00	2.8
13	2	Block 1	-1.00	1.00	1.00	D1	1.00	1.9
14	6	Block 1	-1.00	1.00	1.00	D1	1.00	2.7
15	25	Block 1	1.00	1.00	1.00	D1	-1.00	2.9
16	5	Block 1	1.00	1.00	1.00	D1	-1.00	3.4
17	29	Block 1	-1.00	-1.00	-1.00	D2	-1.00	1.6
18	23	Block 1	-1.00	-1.00	-1.00	D2	-1.00	2.1
19	12	Block 1	1.00	-1.00	-1.00	D2	1.00	2.1
20	24	Block 1	1.00	-1.00	-1.00	D2	1.00	2.1
21	30	Block 1	-1.00	1.00	-1.00	D2	1.00	2
22	3	Block 1	-1.00	1.00	-1.00	D2	1.00	1.4
23	31	Block 1	1.00	1.00	-1.00	D2	-1.00	2.6
24	8	Block 1	1.00	1.00	-1.00	D2	-1.00	2.4
25	18	Block 1	-1.00	-1.00	1.00	D2	1.00	1.2
26	19	Block 1	-1.00	-1.00	1.00	D2	1.00	1.8
27	1	Block 1	1.00	-1.00	1.00	D2	-1.00	2.1
28	9	Block 1	1.00	-1.00	1.00	D2	-1.00	2.5
29	27	Block 1	-1.00	1.00	1.00	D2	-1.00	1.5
30	17	Block 1	-1.00	1.00	1.00	D2	-1.00	1.9
31	28	Block 1	1.00	1.00	1.00	D2	1.00	2.2
32	16	Block 1	1.00	1.00	1.00	D2	1.00	2.2

(2) 資料分析：常態分配、Outlier、heteroscedasticity、獨立性

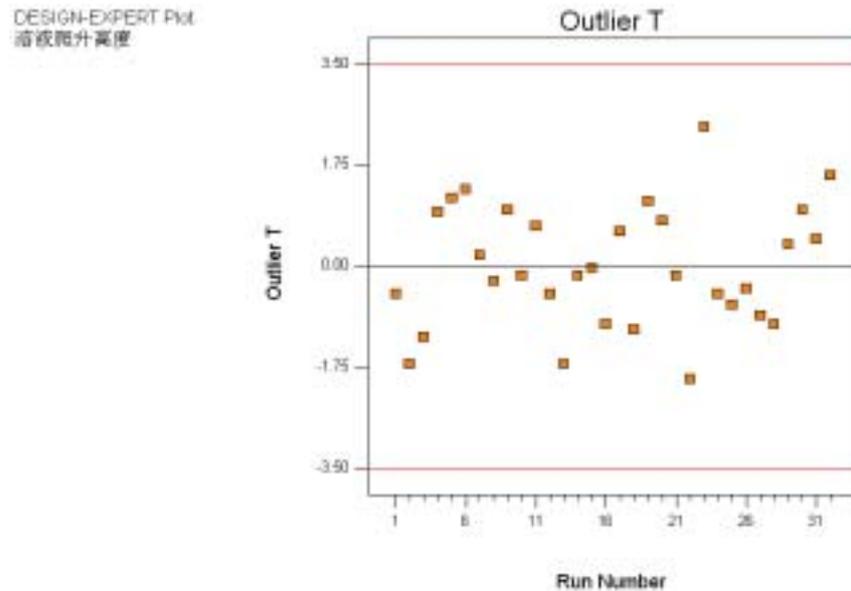
➤ 檢定一：常態分配檢定

Normal Probability Plot of Effects



由圖看來，沒有點太過偏離直線，實驗結果相當符合常態分配。

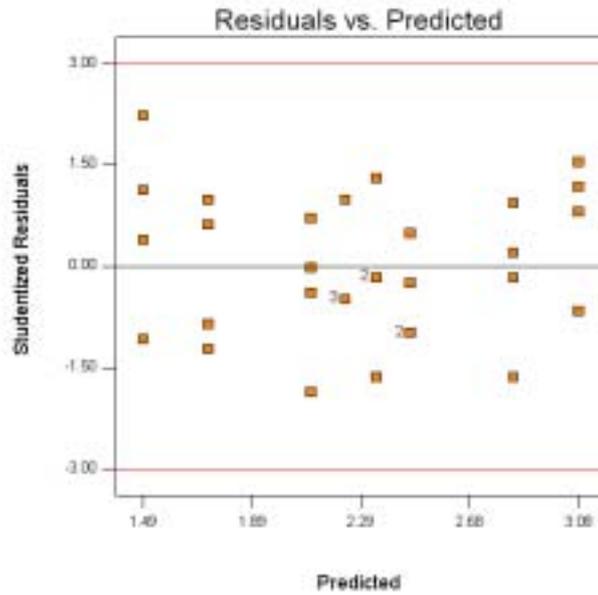
➤ 檢定二：Outlier 檢定



沒有殘差值大於 3.5 或小於-3.5，可知實驗數據都是合理的，沒有 Outlier。

➤ 檢定三：Heteroscedasticity 分析

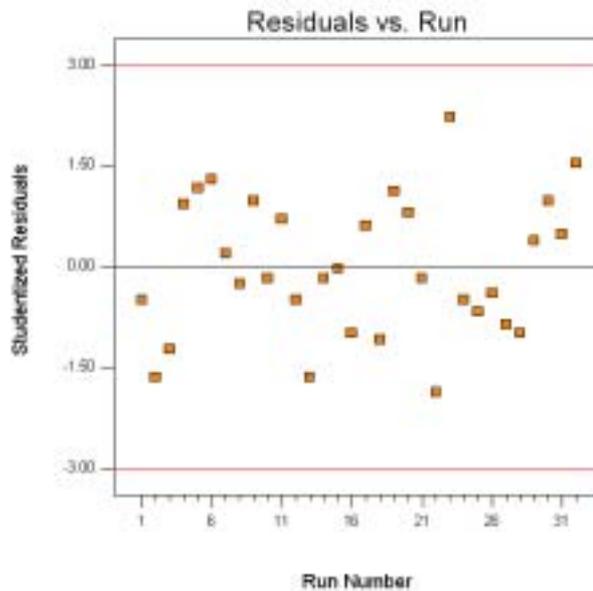
DESIGN-EXPERT PMT
溶液上升高度



分佈還算 Random，殘差值沒有隨預測 Y 的變化而變大或變小的現象，通過 Heteroscedasticity 檢測。

➤ 檢定四：獨立性分析

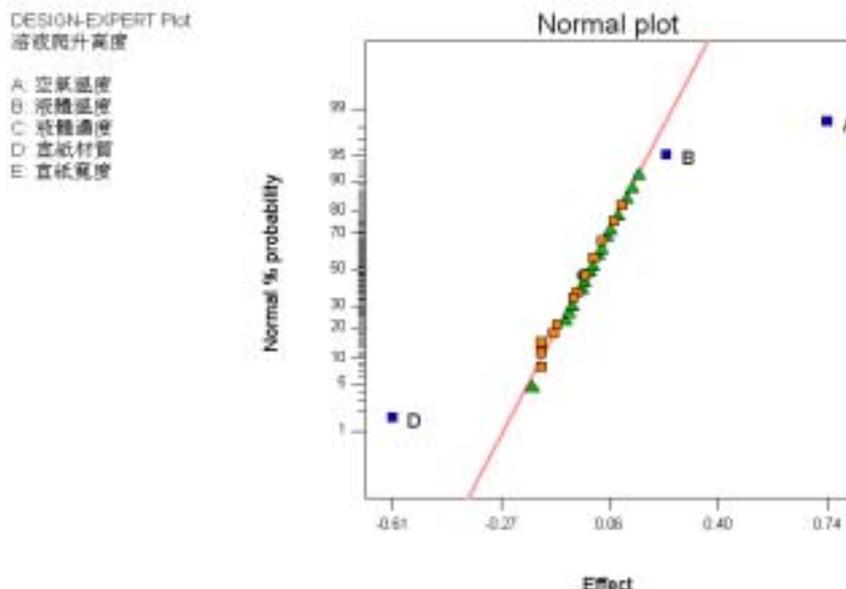
DESIGN-EXPERT PMT
溶液上升高度



沒有固定趨勢，資料可視為獨立。

(3) 統計分析：

➤ Normal Plot



由圖看來，偏離直線的 A、B、D 是顯著因子。

➤ ANOVA

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F
Model	7.80	3	2.60	30.72	< 0.0001
A	4.35	1	4.35	51.38	< 0.0001
B	0.45	1	0.45	5.33	0.0286
D	3.00	1	3.00	35.44	< 0.0001
Residual	2.37	28	0.085		
Lack of Fit	0.89	12	0.074	0.80	0.6446
Pure Error	1.48	16	0.093		
Cor Total	10.17	31			

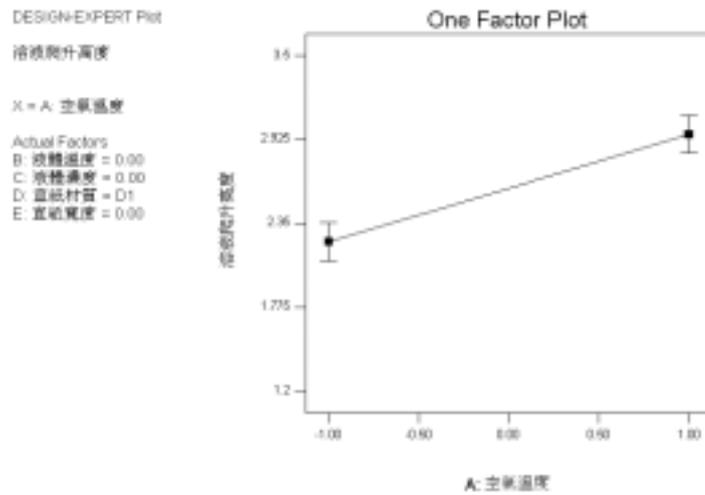
A、B、D 的(Prob >F)值都很小(小於 0.05)，所以為顯著因子，和圖的結論一樣。

➤ 模式的解釋度

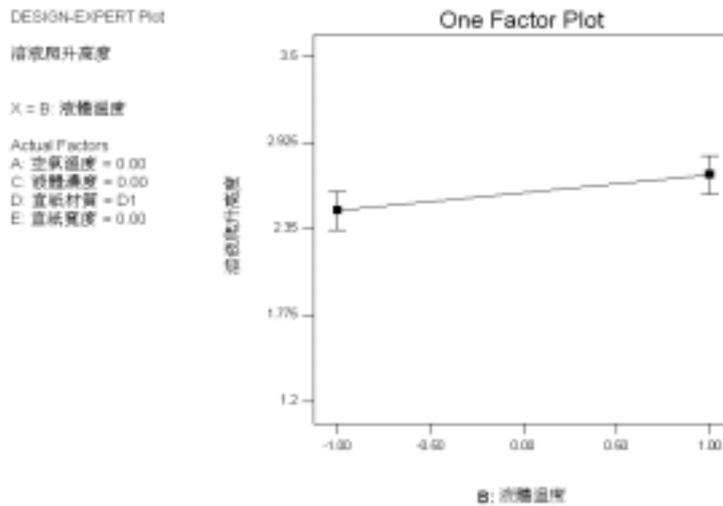
Std. Dev.	0.29	R-Squared	0.7670
Mean	2.29	Adj R-Squared	0.7420
C.V.	12.72	Pred R-Squared	0.6956
PRESS	3.10	Adeq Precision	15.429

- a. Adj R-Squared 很不錯，表示此模式相當顯著。
- b. Adeq Precision 很大，表示 signal/noise 很大，因子不容易受雜訊影響。

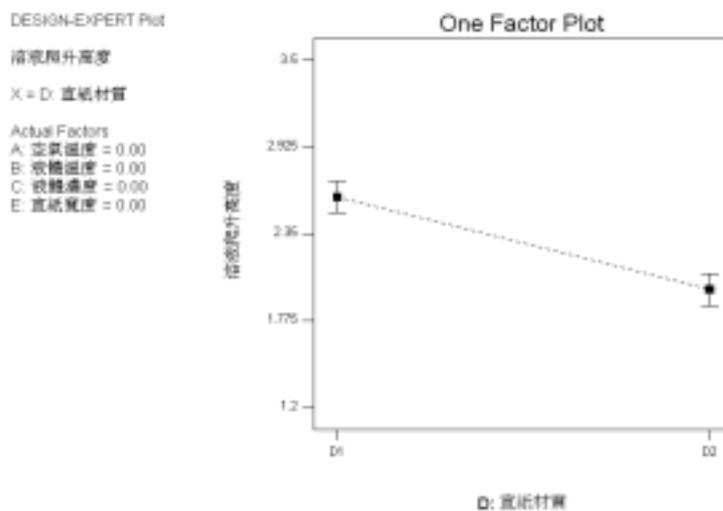
➤ Factor vs. Response



可見空氣溫度越高，實驗結果越好！



液體溫度較高，實驗結果較好！



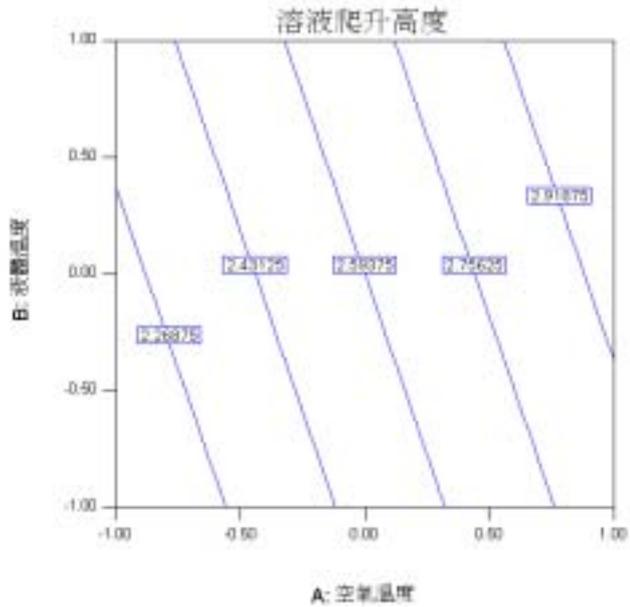
可見國畫用紙材質吸水性比書法用紙好！

➤ Contour & 3D 圖

DESIGN-EXPERT Plot

溶液爬升高度
X = A: 空氣溫度
Y = B: 液體溫度

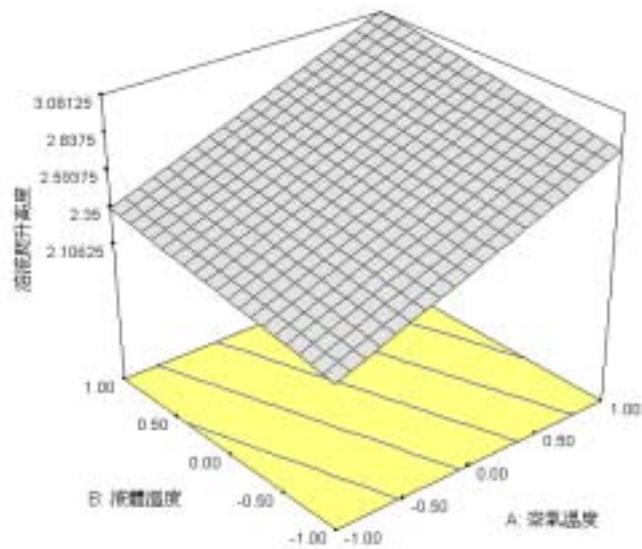
Actual Factors
C: 液體濃度 = 0.00
D: 宣紙材質 = D1
E: 宣紙寬度 = 0.00



DESIGN-EXPERT Plot

溶液爬升高度
X = A: 空氣溫度
Y = B: 液體溫度

Actual Factors
C: 液體濃度 = 0.00
D: 宣紙材質 = D1
E: 宣紙寬度 = 0.00



由圖看來，在 D1(國畫用紙)的條件下，「溶液爬升高度」隨著「空氣溫度」和「液體溫度」的增加而增加，且空氣溫度增加所帶來的變化較大。

六、【結論】

- (1) 空氣溫度、溶液溫度、紙張材質對毛細現象有顯著影響。
- (2) 空氣溫度越高、溶液溫度越高和使用國畫用紙的條件下，會得到較佳的實驗結果。
- (3) 由實驗過程中發現，要保持溶液溫度在 100 度，費時又費電，浪費實驗成本，且此因子並不是最顯著的($p\text{-value}=0.0286$)，所以可以縮小水溫的變化範圍。

七、【實驗改進】

- (1) 由於實驗時間不短，水溫容易受室溫的影響，一杯 100 度 C 的水在冷氣房中很快會降溫，影響因子的準確度，而使實驗結果有所誤差，我們建議實驗者應當準備周全，減少器材就位時間。
- (2) 我們曾經分別在兩天做實驗，原本是希望能 BLOCK「天」的影響來增加實驗的準確性，但是因為兩天的氣候差異頗大(氣溫分別是 32 與 38 度 C)，反而影響了實驗結果。所以我們決定重新在同一天做兩次重複實驗，由於天氣的因素很難控制，在實驗期間，溫度往往就會有 2 到 3 度的變化，因此我們建議以後的實驗者只考慮溶液與紙張的因素，不要企圖把難以控制的氣溫濕度等外界影響因子放進來，或者是能利用恆溫槽為輔助工具來穩定控制變因。
- (3) 由於水本身的純度對本實驗也有影響，所以我們建議實驗者水的取材要來自同一處，最好是使用礦泉水。
- (4) 我們曾進行一次實驗，計時時間為 30 秒，但發現毛細現象一開始都非常的明顯，30 秒內水爬升的高度都差不多，所以考慮增長計時時間，但又考慮到時間太長水溫容易變化，後來取一分鐘為單位，以後的實驗者也可以自行考慮適當的計時單位。
- (5) 水溶液的濃度從分析來看雖然並不顯著，也許是因為本小組的取樣濃度範圍太小(6g vs.30g 糖/250ml 水)，所以我們建議往後實驗者擴大範圍，甚至可以飽和溶液來做實驗。