

屏東縣第 65 屆國中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：化學科

組 別：國小組

作品名稱：無字天書—檸檬篇

關鍵詞：無字天書、檸檬汁、檸檬酸（最多三個）

編號：A3011

目錄

摘要.....	01
壹、前言.....	01
一、研究動機.....	01
二、研究目的.....	01
三、研究架構圖.....	02
四、文獻探討.....	02
貳、研究設備及器材.....	03
參、研究方法、過程與結果討論.....	04
一、前置作業.....	04
二、研究方法、過程與結果討論.....	08
研究一、探討檸檬汁的影響.....	08
研究二、探討濃度的影響.....	17
研究三、探討紙張的影響.....	23
研究四、找出隱形效果好的隱形墨水.....	25
肆、討論.....	27
伍、研究結論.....	29
陸、參考資料及其他.....	30

摘要

我們想要寫一封無字天書，不但要有好的隱形效果，而且也要有好的浮現效果，我們發現檸檬酸的飽和溶液最適合當作無字天書的隱形墨水，其次是萊姆檸檬汁；而最適合當作隱形墨水的書寫材料是壁報紙，其次是白色西卡紙，我們也發現越軟的紙張也很適合當作隱形墨水書寫的材料；紙張的顏色也會影響無字天書隱形墨水記號浮現的效果，淺綠色紙在浮現效果最好，其次是粉紅色，而紅色、紫色等顏色較深的紙張在無字天書隱形墨水記號浮現的效果是最差的。

壹、前言

一、研究動機

以前四年級上自然課時，老師曾介紹過用硝酸鉀水溶液來當作隱形墨水寫無字天書，但是我們看到用硝酸鉀水溶液寫完字並烘乾後，紙上還是會有一些「書寫過」的痕跡，完全沒有「隱形」效果，因「隱形墨水」是一種可以用來寫字，且不會出現在紙上的特殊墨水，只有經過特殊處理，「所寫的字」才能再次神奇地出現，並且可以讀取該訊息，所以我們想改用檸檬汁來探討書寫後的隱形效果，以及特殊處理後的浮現效果。

作品與教材相關性（教學單元）：南一版自然科學 六上 第七冊 第二單元 熱對物質的影響

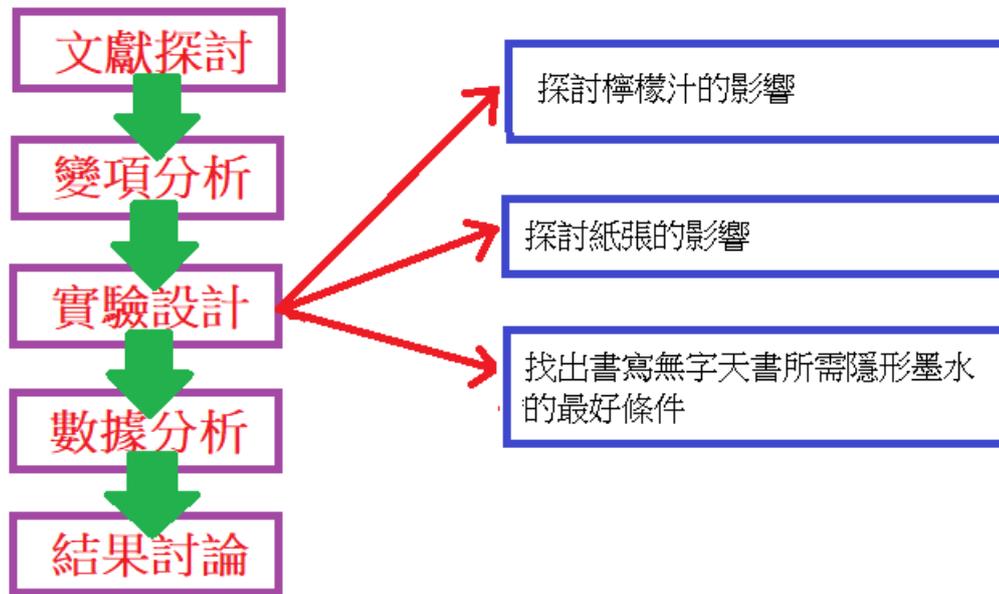
二、研究目的

- （一）探討檸檬汁的影響。
- （二）探討紙張的影響。
- （三）探討環境因素的影響。
- （四）找出書寫無字天書所需隱形墨水的最好條件。



三、研究架構圖

• 無字天書—檸檬篇



四、文獻探討

(一) 如何調配檸檬酸飽和溶液

- 1、什麼是飽和溶液？飽和溶液是指在一定的溫度和一定的壓力下，一固定量的溶劑所能溶解溶質的量達到最大時，此時的溶液稱為飽和溶液。例如：在 22°C，100 公克的水最多可溶解檸檬酸 133 公克；在 100°C，100 公克的水最多可溶解檸檬酸 525 公克。
- 2、如何調配檸檬酸飽和溶液：
 - (1)將檸檬酸粉末加進水中並立即攪拌，一直到不再溶解為止，此時的溶液就是檸檬酸的飽和溶液。
 - (2)取飲水機 90°C 的熱水，將檸檬酸粉末加進熱水中並立即且持續攪拌，一直到檸檬酸不再溶解為止，等到溶液的溫度下降，就可以看到沉澱的檸檬酸，此時的溶液就是檸檬酸飽和溶液。
 - (3)經討論，我們決定使用步驟(1)的方法製作檸檬酸飽和溶液。

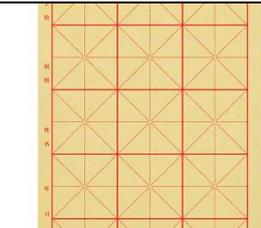
(二) 利用檸檬汁當作隱形墨水製作無字天書的方法如下：

- 1、用棉花棒沾檸檬汁在紙上寫字。
- 2、等紙張風乾後，將紙張用火烘烤然後就會看到紙張上的字跡慢慢顯現。
- 3、烘烤時白紙要前後左右來回移動，避免固定烘烤同一個地方，以免紙張燃燒。

(三) 原理說明：

用檸檬汁在紙上寫字，再用火烤一下，會使檸檬汁的碳產生化學變化，進而變色，寫字的地方顏色會慢慢的變深，白紙上就能出現褐色的字跡。因為檸檬汁含有碳化合物，這些化合物溶解在水中後，幾乎是透明沒有顏色的，把檸檬汁塗在紙上後會被紙張的纖維吸收，只要寫在白紙上加熱後，檸檬汁裡的碳會出現碳化反應，就是產生碳水化合物化合物的分解，釋放出黑色的碳，因此白紙上就能出現褐色的字跡。

貳、研究設備及器材

			
檸檬	濃縮檸檬汁	檸檬榨汁器	檸檬酸
			
鐵盤	酒精燈與甲醇	紅外線測溫器	裁紙刀
			
宣紙	廚房餐巾紙	報紙	圖畫紙
			
A4 影印紙	計時器	100ml 燒杯	電子秤



參、研究方法、過程與結果討論

一、前置作業

(一) 隱形墨水原料的選擇

1. 我們選擇檸檬、金桔和台灣香檬當這次我們研究隱形墨水的原料，根據資料，檸檬種類很多，至少超過 200 種以上，我們台灣常見的檸檬有四種：四季檸檬、萊姆、香水檸檬和黃金檸檬，其中萊姆又稱為無子檸檬，這四種檸檬以四季檸檬和萊姆較常見，香水檸檬和黃金檸檬數量就少很多，而且還有生產季節的限制；為了方便準備，我們實驗決定採用四季檸檬和萊姆一起做實驗原料。我們也選擇金桔和台灣香檬當隱形墨水的原料，台灣香檬又稱扁實檸檬和扁圓形檸檬，果肉和果汁的顏色都和檸檬一樣，只是顆粒比檸檬小，果汁一樣很酸，食用方法和檸檬一樣。

(二) 利用檸檬汁來製作隱形墨水，方法如下：

- 1、用棉花棒沾檸檬汁在紙上寫字。
- 2、等紙張風乾後，將紙張用火烘烤然後就會看到紙張上的字跡慢慢顯現。
- 3、烘烤時白紙要前後左右來回移動，避免固定烘烤同一個地方，以免紙張燃燒。

(三) 尋找合適的加熱方式：

- 1.這是最困難的也是最讓我們討論最久的難題。
- 2.利用檸檬汁當作隱形墨水來製作無字天書，當書寫好並等紙張風乾後，將紙張用火烘烤然後就會看到紙張上的字跡慢慢顯現，為了避免燒掉，烘烤時白紙要前後左右來回移動，避免固定烘烤同一個地方，以免紙張燃燒。因用火直接烘烤會有「失火」的考量，為安全起見，我們搜尋各種加熱的方法：

(1)用火烘烤：把已經用檸檬汁書寫好的紙張放置乾燥，再將已經乾燥好的紙張放在蠟燭或酒精燈上方烘烤，直至書寫內容出現為止，烘烤時白紙要前後左右來回移動，避免固定烘烤同一個地方，以免紙張燃燒。

- (2)用烤箱：把溫度調到 200°C 烤 1-2 分鐘，注意溫度過高紙張容易著火。
- (3)用電熨斗加熱：直接用電熨斗加熱去燙，效果還好，不僅耗電又有容易被電熨斗燙到的危險。
- (4)用吹風機吹：用吹風機開熱風吹，吹到文字內容出現為止。
- (5)用卡式瓦斯爐小火烘烤：將已經乾燥好的紙張放在卡式瓦斯爐上方用小火烘烤，直至書寫內容出現為止，烘烤時白紙要前後左右來回移動，避免固定烘烤同一個地方，以免紙張燃燒。
- 3.經實際操作，我們發現用火烤的效果好也最快，但是手拿久了手會酸，而且紙張高度不好控制；用卡式瓦斯爐小火烘烤效果很棒，紙面受熱均勻而且速度快，但是紙張高度同樣不好控制；用烤箱烘烤需有大人陪伴，還是有一定易著火的危險性；用吹風機吹速度很慢，但安全性高；但是這些方法都不適合用來做「研究」隱形墨水，因無法得到可以做研究的數據，以上的方法都只能做科學遊戲和實驗的方法，不適合做「研究」；為考量效果和加熱時間，我們決定還是直接用火去烘烤。
- 4.我們仔細觀察直接用火烘烤用檸檬汁寫字並烘乾的紙張，我們發現紙張如沒有前後左右來回移動，固定烘烤同一個地方，則被烘烤的那個點很快就會燃燒起來，紙張也有捲曲的現象；如果紙張一直前後左右來回移動，避免固定烘烤同一個地方，則烘烤效果雖然好一點，但如果紙張前後左右往返移動的速度稍微慢一點，還是很容易燒起來；就算紙張一直前後左右來回移動，且速度快一點，只要稍微不注意或是稍微分心，紙張還是很容易起火燃燒。
- 5.用哪一種熱源做實驗比較好呢？我們先用蠟燭做火源來烘烤紙張，我們發現紙張一下子就燻黑了，經再三實驗並仔細研究，我們很確認「紙張被燻黑是蠟燭的煙導致的，不是被烘烤變黑的」，所以很明顯「蠟燭的燭火不適合做以檸檬汁當作隱形墨水製作無字天書烘烤的火源」；我們改用用卡式瓦斯爐小火烘烤，紙面受熱均勻而且速度快，這個方法效果很棒，但是加熱速度快，容易燃燒，更重要的是紙張高度不好控制。我們改用酒精燈作為火源，加熱速度比卡式瓦斯爐的小火慢很多，方便我們觀察，經過幾次的操作，我們很確定「如用酒精燈當作火源，紙張不會被燻黑，而是被烘烤變色，甚至燃燒」，經由上述的實驗操作與討論，我們決定以「酒精燈當作火源」。

		
用蠟燭做火源來烘烤紙張 紙張容易被蠟燭的煙熏黑。(本張紙沒有做記號)	從紅色圈圈處可以清楚看到：用蠟燭做火源來烘烤紙張，雖可看到記號，但記號四周熏黑的部分，還是會影響判斷。	從紅色圈圈處可以清楚看到：用酒精燈做火源來烘烤紙張，記號清楚呈現且清晰，容易判斷。

		
用蠟燭做火源來烘烤紙張 紙張容易熏黑。	用酒精燈當作火源，紙張被烘烤變色，甚至燃燒。	操作不當，紙張燃燒。

6.我們發現紙張在燃燒前常有捲曲的現象，然後很快地就變黑接著馬上燒起來，因此紙張和火苗之間的距離要如何拿捏也是一大難題，我們以目視估算距離的方式，從距火苗 1 cm、2 cm、3 cm……一直到 12 cm，越接近火苗則紙張越容易燃燒，越遠離則紙張越不容易燃燒，但相對拿紙的那隻手因手肘會很容易痠痛，所以這種方法也不適合。

7.針對前面 1 至 6 點，我們很清楚這次實驗絕對要用酒精燈當作火源，但是要如何解決紙張與火苗間的距離，讓紙不但不容易燒起來，而且還方便觀察呢？不能太近火源也不能離太遠，紙張受熱也要均勻，紙張也需重物壓住以免捲曲，我們上網搜尋資料，最後決定用間接加熱的方式，用三角架和陶瓷纖維網搭配酒精燈來做實驗，實驗方法如下：

- (1)把酒精燈放在三腳架的下面。
- (2)把陶瓷纖維網放在三腳架上。
- (3)把用檸檬汁書寫並晾乾的紙張放在陶瓷纖維網上。
- (4)用另一個三角架以倒立的方式壓住紙張，以免因紙面不平而受熱不均勻。



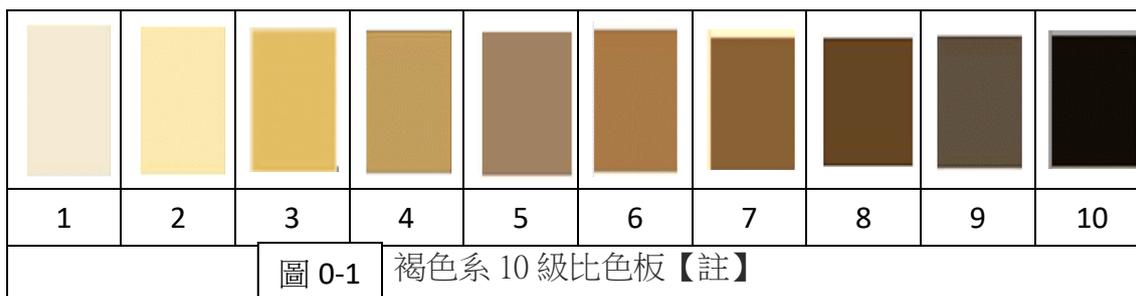
(5) 點燃酒精燈。

(6) 採間接加熱，然後就會看到紙張上的字跡慢慢顯現。



(四) 製作比色板：

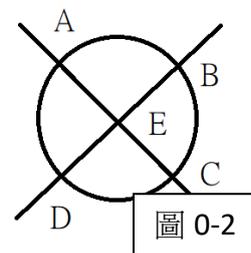
褐色是一種黃黑而少光澤的顏色，又稱咖啡色、棕色或茶色，是由少量的紅色+綠色，橙色+藍色，或是黃色+紫色顏料混和構成的顏色，為方便比對，我們根據網路搜尋到的「褐色系相關演色表」，將原表中的 20 個等級減少為 10 個等級，自製一個「褐色系 10 級比色板」做為比對褐色深淺等級用，如下圖 0-1：



(五) 決定隱形墨水要做記的符號

我們原本決定以火焰中心點正上方的紙面當作測量溫度的點

(如圖 0-2 的 E 點)，經過幾次的測試後發現：火焰中心點正上方的紙面溫度過高，而且如果只以一個點做記號，容易因過度加熱，不但做記號處的紙面變色速度超快，甚至常常起火燃燒；後來有同學想用做「X」的記號，但也發現「X」



中間交叉處(圖 0-2 的 E 點)因重複書寫兩次，其他地方僅書寫一次，這樣會不會造成交叉中心點的隱形墨水量較多而讓所得實驗成果失真？而且單單僅靠「X」做微燻黑效果的判斷，「X」旁很大的空間範圍大，在烘烤過程中容易因操作不當導致有些地方被遺漏而烘烤不平均，最後我們決定在「X」的外圍再加上一個圓圈，這樣圓圈和 X 就有四個重複點，如果再加上 X 的中心點，這樣就會有五個點(圖 0-2 的 A、B、C、D 點)會重複書寫兩次，而且我們也可以就這圓圈的範圍內做烘烤，

比較容易掌握，也可以順便測量這五個點的溫度。

(六) 以裁紙器準備實驗所需要的紙條：

- 1、我們先準備好 A4 影印紙、宣紙、圖畫紙、壁報紙、廚房餐巾紙、面紙、報紙、十行紙，250 磅西卡紙。
- 2、事先以裁紙器裁成 10 cm×10 cm 同樣大小的紙條各 50 張，並用鉛筆標示記號。
- 3、測每張實驗紙的平均重量，所得數值如下：

紙張種類	A4 紙	白色壁報紙	面紙	圖畫紙	十行紙	宣紙	廚房餐巾紙	報紙	白色西卡紙
10 張紙的重量 (g) 10cm*10cm	8.31	34.95	0.83	13.98	12.43	2.97	3.90	4.29	24.95
每張紙的平均重量 (g)	0.831	3.495	0.083	1.398	1.243	0.297	0.39	0.429	2.495

二、研究方法、過程與結果討論

研究一、探討檸檬汁的影響

問題一、不同種類檸檬原汁當隱形墨水對無字天書的浮現效果都一樣嗎？

實驗 1-1、不同種類檸檬原汁對呈字無字天書的浮現效果有什麼影響？

(研究方法)

(一)實驗說明：這個實驗我們要探討用不同種類的檸檬原汁當作隱形墨水書寫在紙上作成無字天書的浮現效果都一樣嗎？

(二)實驗步驟：

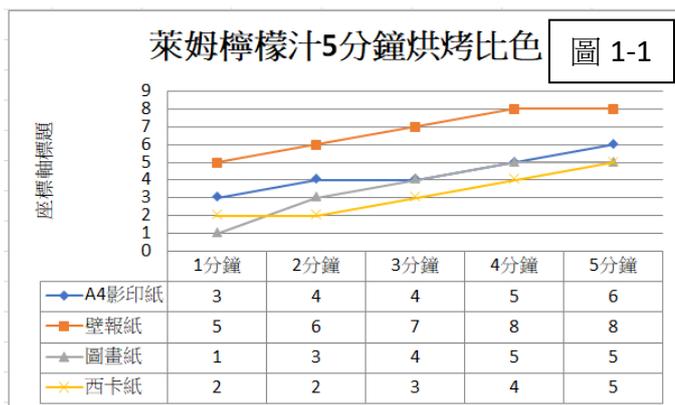
- 1.以榨汁器分別將四季檸檬和萊姆壓出汁來。
- 2.用棉花棒沾檸檬汁分別寫在圖畫紙、壁報紙、白色西卡紙和 70 磅的 A4 紙上，每一種紙都要寫 5 張以上，並至少放置 1 個晚上陰乾。
- 3.取陰乾後的紙張平鋪放在鐵盤上，並以另一個三角架倒置壓住。
- 4.用點燃的酒精燈烘烤 5 分鐘。
- 5.利用成色表比較浮現效果，每 1 分鐘記錄一次，一直記錄 5 分鐘。
- 6.測量紙面溫度，測量記號四角與中心點溫度，每 1 分鐘記錄一次一直記錄 5 分鐘。

(研究過程與結果)

小結：

1.從下一頁圖 1-1「萊姆檸檬汁 5 分鐘烘烤比色」可以發現：

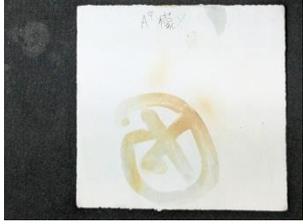
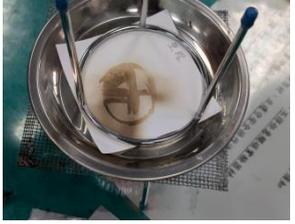
(1)以萊姆檸檬汁當做隱形墨水的 A4 紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號已經變色，但顏色還不深，比較比色表僅達到 3 的程度；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色逐漸加深，五分鐘後比對比色表後，數值僅到 6。



(2)以萊姆檸檬汁當做隱形墨水的壁報紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號已經變色，比較比色表達到 5；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色逐漸加深，五分鐘後比對比色表後，數值已到 8 的程度。

(3)以萊姆檸檬汁當做隱形墨水的圖畫紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號已經變色，但顏色不深，比較比色表僅達到 1 稍微變色的程度；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色逐漸加深，五分鐘後比對比色表後，數值已到 6。

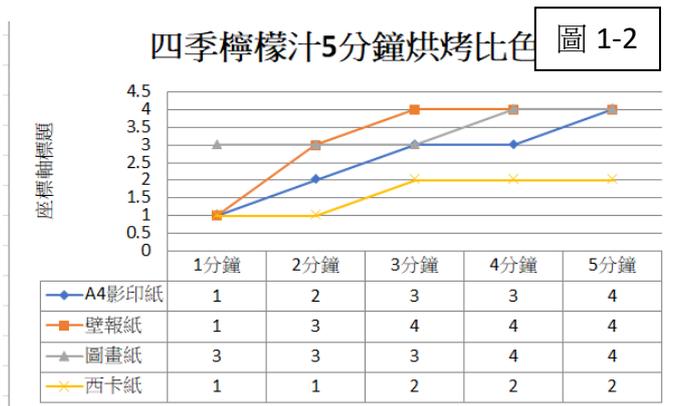
(4)以萊姆檸檬汁當做隱形墨水的西卡紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號已經變色，但顏色還不深，比較比色表僅達到 2 的程度；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色逐漸加深，五分鐘後比對比色表，數值僅到 5。

			
以萊姆檸檬汁當做隱形墨水的 A4 紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 6。	以萊姆檸檬汁當做隱形墨水的壁報紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 8。	以萊姆檸檬汁當做隱形墨水的圖畫紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 6。	以萊姆檸檬汁當做隱形墨水的西卡紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 5。

3. 從下一頁圖 1-2「四季檸檬汁 5 分鐘烘烤比色」的可以發現：

(1)以四季檸檬汁當做隱形墨水的 A4 紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號有稍微變色，顏色不深，比較比色表僅達到 1 的程度；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色逐漸加深，五分鐘後比對比色表後，數值僅到 4。

(2)以四季檸檬汁當做隱形墨水的壁報紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號已有稍微變色，比較比色表達到 1；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色同樣逐漸加深，五分鐘後比對比色表後，數值僅到 4 的程度。



(3)以四季檸檬汁當做隱形墨水的圖畫紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號已經變色，但顏色不

深，比較比色表僅達到 3 的程度；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色逐漸加深，五分鐘後比對比色表後，數值已到 4。

(4)以四季檸檬汁當做隱形墨水的西卡紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號同樣有輕微變色，顏色還不深，比較比色表僅達到 1 的程度；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色有稍微加深，五分鐘後比對比色表，數值僅到 2。

以四季檸檬汁當做隱形墨水的 A4 紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 4。	以四季檸檬汁當做隱形墨水的壁報紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 4。	以四季檸檬汁當做隱形墨水的圖畫紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 4。	以四季檸檬汁當做隱形墨水的西卡紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 2。

實驗 1-2、市售的檸檬原汁的浮現效果和現榨的檸檬原汁有一樣嗎？

(研究方法)

(一)實驗說明：這個實驗我們要比較市售濃縮檸檬汁當作隱形墨水書寫在紙上作成無字天書的浮現效果都一樣嗎？

(二)實驗步驟：

- 1.以吸管吸取濃縮檸檬汁，並放置在燒杯內。
- 2.用棉花棒沾濃縮檸檬汁分別寫在圖畫紙、壁報紙、白色西卡紙和 70 磅的 A4 紙上，每種紙都至少寫 5 張以上，並至少放置 1 個晚上陰乾。
- 3.取陰乾後的紙張平鋪放在鐵盤上，並以另一個三角架倒置壓住。

4.用點燃的酒精燈烘烤 5 分鐘。

5.利用成色表比較浮現效果，每 1 分鐘記錄一次，一直記錄 5 分鐘。

6.測量紙面的溫度，測量記號四角與中心點溫度，每 1 分鐘記錄一次一直記錄 5 分鐘。

(研究過程與結果)

小結：

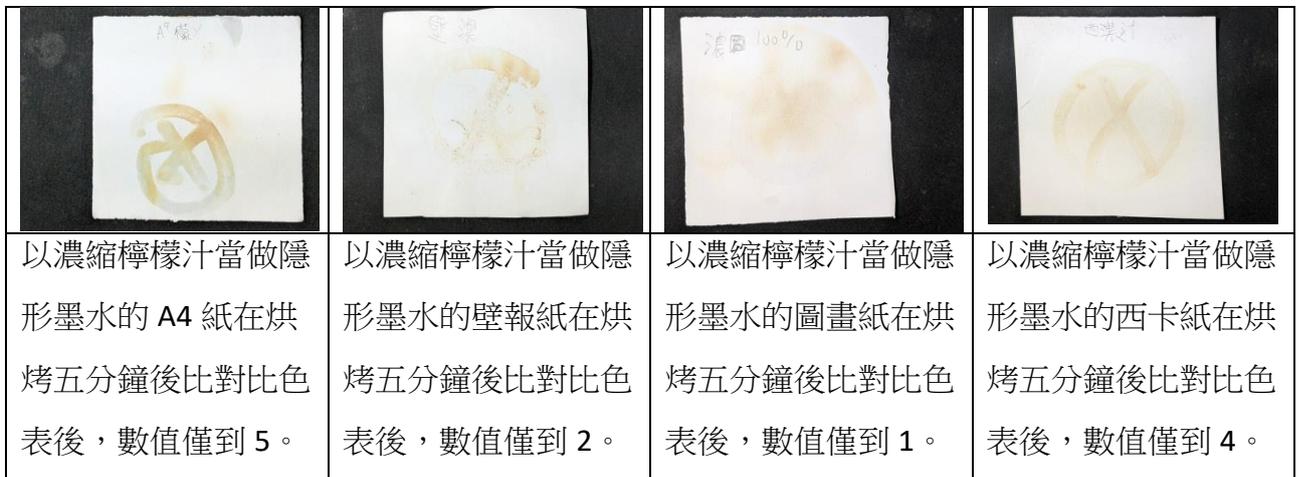
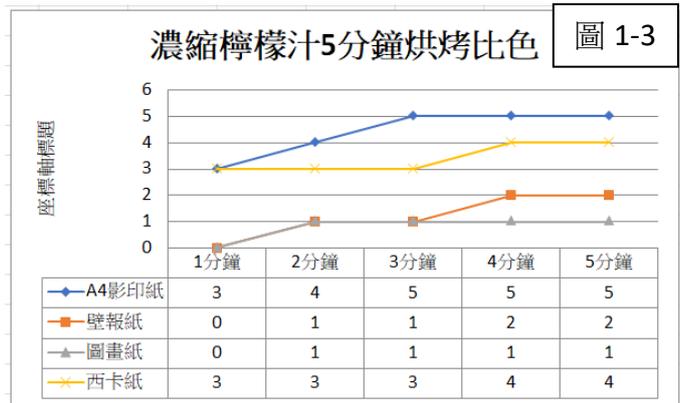
從圖 1-3 「濃縮檸檬汁 5 分鐘烘烤比色」可以發現：

(1)以濃縮檸檬汁當做隱形墨水的 A4 紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號有明顯變色，比較比色表已達到 3 的程度；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色逐漸加深，五分鐘後比對比色表後，數值也達到 5。

(2)以濃縮檸檬汁當做隱形墨水的壁報紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號沒有明顯的變色，比較比色表為 0；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色同樣逐漸加深，五分鐘後比對比色表後，數值也僅達 2 的程度。

(3)以濃縮檸檬汁當做隱形墨水的圖畫紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號沒有變色，比較比色表僅 0 的程度；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色逐漸加深，五分鐘後比對比色表後，數值已到 1。

(4)以濃縮檸檬汁當做隱形墨水的西卡紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號也有輕微的變色顏色很淺，比較比色表僅達到 3 的程度；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色同樣加深，五分鐘後比對比色表，數值也僅有達到 4。



研究結果與討論：

- 1.不管是 A4 影印紙、壁報紙、圖畫紙還是西卡紙，分別以萊姆檸檬汁或是四季檸檬汁當隱形墨水做記號經酒精燈間接加熱後，塗上檸檬汁的地方會慢慢變色，先變成淺褐色，然後慢慢變深，最後白紙上就會出現深淺不一的褐色字跡。
- 2.從實驗 1-1 中我們發現：不管是 A4 影印紙、壁報紙、圖畫紙還是西卡紙，以萊姆檸檬汁當隱形墨水做記號經酒精燈間接加熱後，加熱烘烤 5 分鐘後字跡變色的顏色深淺浮現效果，以壁報紙上字跡變色的顏色最深效果最好。
- 3.從實驗 1-1 中我們發現：不管是 A4 影印紙、壁報紙、圖畫紙還是西卡紙，以四季檸檬汁當隱形墨水做記號經酒精燈間接加熱後，加熱烘烤 5 分鐘後字跡變色的顏色深淺效果，以 A4 影印紙、壁報紙和圖畫紙上字跡變色的顏色最深效果最好；西卡紙的字跡變色的顏色最淺，效果差。
- 4.我們進一步比較實驗 1-1 的數據，我們發現到以萊姆檸檬汁當作隱形墨水的浮現效果，比以四季檸檬當作隱形墨水的浮現效果好許多，變色明顯清楚好判斷。
- 5.我們進一步比較實驗 1-1 的數據，我們也發現以四季檸檬汁當作隱形墨水並在西卡紙上書寫，則紙張上隱形墨水書寫處的浮現效果很差，褐色很淡，不好判斷；我們嘗試再將這張西卡紙繼續間接加熱，發現字跡的顏色並沒有很大的改變，因此我們可以判斷：萊姆檸檬汁比四季檸檬汁更適合當作隱形墨水的材料，因為加熱後浮現效果比四季檸檬汁的浮現效果好，字跡變色顏色較深。
- 6.我們以市售濃縮檸檬汁當作隱形墨水書寫在 A4 影印紙、壁報紙、圖畫紙還是西卡紙上作成無字天書，經酒精燈間接加熱後，加熱烘烤 5 分鐘後字跡變色的顏色深淺效果，以 A4 影印紙上字跡變色的顏色最深效果最好。
- 7.我們進一步比較實驗 1-2 的數據，我們也發現以濃縮檸檬汁當作隱形墨水並在壁報紙和圖畫紙上書寫，則紙張上隱形墨水書寫處的變色效果很差，褐色很淡，不好判斷；我們嘗試再將這兩張壁報紙和圖畫紙繼續間接加熱，發現字跡的顏色並沒有很大的改變，還是不深，因此我們可以判斷：以市售的濃縮檸檬汁當作隱形墨水的材料，加熱後浮現效果比較差，字跡變色顏色較淺。
- 8.我們進一步比較哪一種檸檬汁適合當作隱形墨水，如果單單以加熱烘烤 5 分鐘後字跡變色的顏色深淺浮現效果來判斷，則萊姆檸檬汁是最適合當作隱形墨水，其次是市售的濃縮檸檬汁，而最後才是四季檸檬汁。
- 9.我們進一步比較 A4 影印紙、壁報紙、圖畫紙與西卡紙哪一種紙張適合當作隱形墨水書

寫用，從實驗 1-1 和 1-2，以壁報紙的效果最好，其次是 A4 影印紙。

問題二、有沒有可以取代檸檬汁但浮現效果不錯的

實驗 1-3、金桔和香檬的現榨原汁對浮現效果和檸檬原汁一樣嗎？

(研究方法)

(一)實驗說明：這個實驗我們要比較用常見的金桔以及又稱扁實檸檬的台灣香檬來做研究，用金桔和台灣香檬所榨出的果汁當作隱形墨水，書寫在紙上作成無字天書的效果，和檸檬汁比較，無字天書的浮現效果都一樣嗎？

(二)實驗步驟：

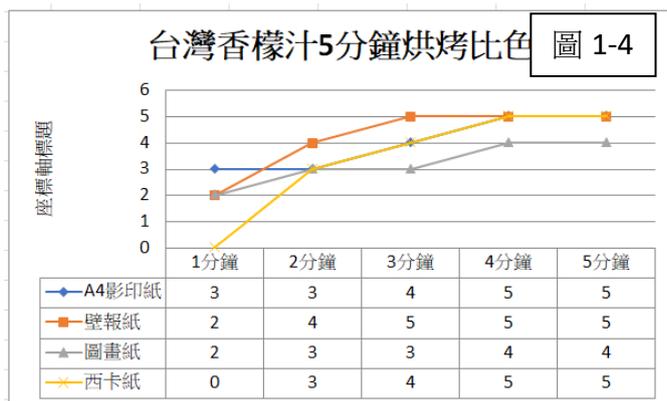
- 1.以榨汁器分別將金桔和台灣香檬壓出汁來。
- 2.將金桔和台灣香檬所壓榨出的果汁分別寫在圖畫紙、壁報紙、白色西卡紙和 70 磅的 A4 紙上，並至少放置 1 個晚上陰乾。
- 3.取陰乾後的紙張平鋪放在鐵盤上，並以另一個三角架倒置壓住。
- 4.用點燃的酒精燈烘烤 5 分鐘。
- 5.利用成色表比較浮現效果，每 1 分鐘記錄一次，一直記錄 5 分鐘。
- 6.測量紙面溫度，測量記號四角與中心點溫度，每 1 分鐘記錄一次一直記錄 5 分鐘。

(研究過程與結果)

小結：

1. 從圖 1-4 「台灣香檬汁 5 分鐘烘烤比色」可以發現：

(1)以台灣香檬汁當做隱形墨水的 A4 紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號有明顯變色，雖然顏色不深，但比較比色表已達到 3 的程度；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色逐漸加深，五分鐘後比對比色表後，數值也達到 5。



(2)以台灣香檬汁當做隱形墨水的壁報紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號也有變色，比較比色表達到 2；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色同樣逐漸加深，五分鐘後比對比色表後，數值也達到 5 的程度。

- (3)以台灣香檬汁當做隱形墨水的圖畫紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號同樣有變色，但顏色很淺，比較比色表僅達到 2 的程度；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色逐漸加深，五分鐘後比對比色表後，數值已到 4。
- (4)以台灣香檬汁當做隱形墨水的西卡紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號居然完全沒變色；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色同樣加深，五分鐘後比對比色表，數值達到 5。

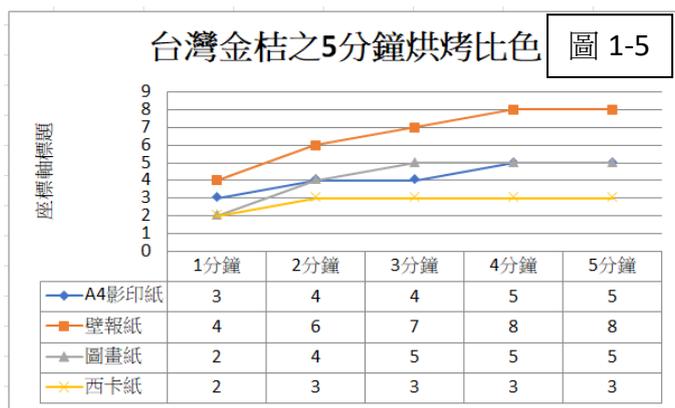
			
以台灣香檬汁當做隱形墨水的 A4 紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 5。	以台灣香檬汁當做隱形墨水的壁報紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 5。	以台灣香檬汁當做隱形墨水的圖畫紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 4。	以台灣香檬汁當做隱形墨水的西卡紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 5。

6.從圖 1-5「台灣金桔汁 5 分鐘烘烤比色」可以發現：

(1)以台灣金桔汁當做隱形墨水的 A4 紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號有明顯變色，比較比色表已達到 3 的程度；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色逐漸加深，五分鐘後比對比色表後，數值也達到 5。

(2)以台灣金桔汁當做隱形墨水的壁報紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號也有很明顯的變色，比較比色表達到 4；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色同樣逐漸加深，五分鐘後比對比色表後，數值也高達 8 的程度。

(3)以台灣金桔汁當做隱形墨水的圖畫紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號同樣有變色，但顏色很淺，比較比色表僅達到 2 的程度；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色逐漸加深，五分鐘後比對比色表後，數值已到 5。



(4)以台灣金桔汁當做隱形墨水的西卡紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號也有輕微的變色顏色很淺，比較比色表僅達到 2 的程度；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色同樣加深，五分鐘後比對比色表，數值也僅有達到 3。

			
以台灣金桔汁當做隱形墨水的 A4 紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 5。	以台灣金桔汁當做隱形墨水的壁報紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 8	以台灣金桔汁當做隱形墨水的圖畫紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 5。	以台灣金桔汁當做隱形墨水的西卡紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 3。

研究結果與討論：

- 1.不管是 A4 影印紙、壁報紙、圖畫紙還是西卡紙，分別以台灣香檬汁或是台灣金桔汁當隱形墨水做記號經酒精燈間接加熱後，塗上香檬汁或金桔汁的地方會慢慢變色，先變成淺褐色，然後慢慢變深，最後白紙上就會出現深淺不一的褐色字跡。
- 2.從實驗 1-3 中我們發現：不管是 A4 影印紙、壁報紙、圖畫紙還是西卡紙，分別以台灣香檬汁當隱形墨水做記號經酒精燈間接加熱後，加熱烘烤 5 分鐘後字跡變色的顏色深淺浮現效果，以 A4 影印紙、壁報紙、和西卡紙上字跡變色的浮現效果較好，但圖畫紙的浮現效果也和前三種紙也不會差距很多。
- 3.從實驗 1-3 中我們發現：不管是 A4 影印紙、壁報紙、圖畫紙還是西卡紙，分別以台灣金桔汁當隱形墨水做記號經酒精燈間接加熱後，加熱烘烤 5 分鐘後字跡變色的顏色深淺浮現效果，以壁報紙上字跡變色的顏色最深浮現效果最好；西卡紙字跡變色的顏色最淺浮現效果差。
- 4.我們進一步比較實驗 1-3 的數據，我們發現到以台灣金桔汁當作隱形墨水的浮現效果，比以台灣香檬汁當作隱形墨水的浮現效果好一點，但浮現效果差異不大。
- 5.我們進一步比較實驗 1-3 的數據，我們發現以台灣金桔汁當作隱形墨水並在西卡紙上書寫，則紙張上隱形墨水書寫處的浮現效果較差，褐色較淡；我們嘗試再將這張西卡紙繼續間接加熱，發現字跡的顏色並沒有很大的改變，我們推測應該是和紙質有關。
- 6.我們進一步比較以台灣香檬汁和台灣金桔汁當作隱形墨水書寫在 A4 影印紙、壁報紙、圖畫紙還是西卡紙上作成無字天書，經酒精燈間接加熱後，加熱烘烤 5 分鐘後字跡變色的顏

色深淺浮現效果，以壁報紙上字跡變色的顏色最深效果最好。

問題三、可以用檸檬酸水溶液取代檸檬汁做隱形墨水嗎？

實驗 1-4、飽和檸檬酸水溶液對呈字的浮現效果和檸檬原汁一樣嗎？

(研究方法)

(一)實驗說明：這個實驗我們要探討可否用飽和檸檬酸水溶液取代檸檬汁當作隱形墨水，書寫在紙上作成無字天書的效果，和檸檬汁比較，無字天書的浮現效果都一樣嗎？

(二)實驗步驟：

- 1.以檸檬酸加水調配出飽和檸檬酸水溶液 100ml。
- 2.將檸檬酸飽和溶液分別寫在圖畫紙、壁報紙、白色西卡紙和 A4 紙上，並至少放置 1 個晚上陰乾。
- 3.取陰乾後的紙張平鋪放在鐵盤上，並以另一個三角架倒置壓住。
- 4.用點燃的酒精燈烘烤 5 分鐘。
- 5.利用成色表比較浮現效果，每 1 分鐘記錄一次，一直紀錄 5 分鐘。
- 6.測量紙面溫度，測量記號四角與中心點溫度，每 1 分鐘記錄一次一直紀錄 5 分鐘。

(研究過程與結果)

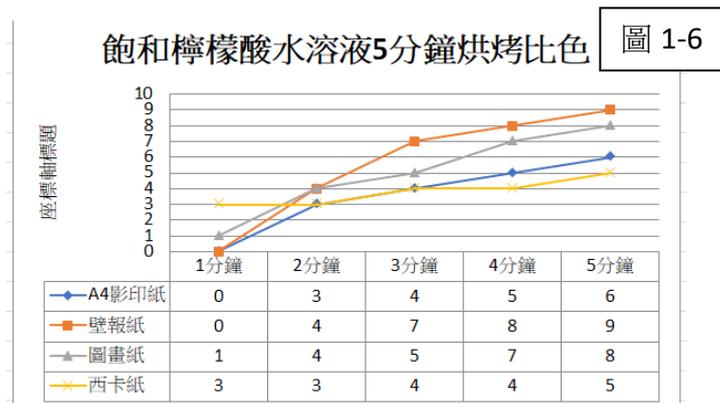
小結：

從圖 1-6「飽和檸檬酸水溶液 5 分鐘烘烤比色」的可以發現：

(1)以飽和檸檬酸水溶液當做隱形墨水的 A4 紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號沒有明顯變色，比色表 0 的程度；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色逐漸加深，五分鐘後比對比色表後，數值也達到 6。

(2)以飽和檸檬酸水溶液當做隱形墨水的壁報紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號也有很明顯沒有變色，比色表 0；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色同樣逐漸加深，五分鐘後比對比色表後，數值也高達 9 的程度。

(3)以飽和檸檬酸水溶液當做隱形墨水的圖畫紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號同樣有變色，但顏色很淺，比較比色表僅達到 1 的程度；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色逐漸加深，五分鐘後比對比色表後，數值已到 8。



(4)以飽和檸檬酸水溶液當做隱形墨水的西卡紙在烘烤第 1 分鐘時，紙面隱形墨水書寫過的記號也有輕微的變色顏色很淺，比較比色表僅達到 3 的程度；隨著時間的增加，隱形墨水塗過的記號顏色同樣加深，五分鐘後比對比色表，數值也僅有達到 5。

			
以飽和檸檬酸水溶液當做隱形墨水的 A4 影印紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 6。	以飽和檸檬酸水溶液當做隱形墨水的壁報紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 9。	以飽和檸檬酸水溶液當做隱形墨水的圖畫紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 8。	以飽和檸檬酸水溶液當做隱形墨水的西卡紙在烘烤五分鐘後比對比色表後，數值僅到 5。

研究結果與討論：

- 1.不管是 A4 影印紙、壁報紙、圖畫紙還是西卡紙，分別以飽和檸檬酸水溶液當隱形墨水做記號經酒精燈間接加熱後，塗上檸檬酸的地方會慢慢變色，先變成淺褐色，然後慢慢變深，最後白紙上就會出現深淺不一的褐色字跡。
- 2.從實驗 1-4 中我們發現：分別再 A4 影印紙、壁報紙、圖畫紙和西卡紙，塗上飽和檸檬酸水溶液當隱形墨水做記號，經酒精燈間接加熱，加熱烘烤 5 分鐘後字跡變色的浮現效果，以壁報紙上字跡變色的顏色最深效果最好，其次是圖畫紙。
- 3.我們進一步比較 A4 影印紙、壁報紙、圖畫紙與西卡紙哪一種紙張適合當作隱形墨水書寫用，從實驗 1-4，以壁報紙的效果最好，其次圖畫紙。

研究二、探討濃度的影響

問題一、檸檬汁的濃度對浮現效果都一樣嗎

實驗 2-1、現榨檸檬汁的濃度對浮現效果的影響

(研究方法)

(一)實驗說明：因為在研究一的實驗中有發現「萊姆檸檬汁適合當做隱形墨水材料」時，所以這個實驗我們要進一步探討不同濃度的萊姆檸檬汁的隱形墨水的浮現效果。

(二)實驗步驟：

- 1.以壓榨出的萊姆檸檬原汁加入適量市售礦泉水(PH7.0)調配含量 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%和 90%萊姆檸檬原汁的檸檬汁各 50ml。

- 2.將已稀釋好的萊姆檸檬汁稀釋液寫在圖畫紙紙上，並至少放置 1 個晚上陰乾。
- 3.取陰乾後的紙張平鋪放在鐵盤上，並以另一個三角架倒置壓住。
- 4.用點燃的酒精燈烘烤 5 分鐘。
- 5.利用成色表比較浮現效果，每 1 分鐘記錄一次，一直紀錄 5 分鐘。
- 6.測量紙面溫度，測量記號四角與中心點溫度，每 1 分鐘記錄一次一直紀錄 5 分鐘。

(研究過程與結果)

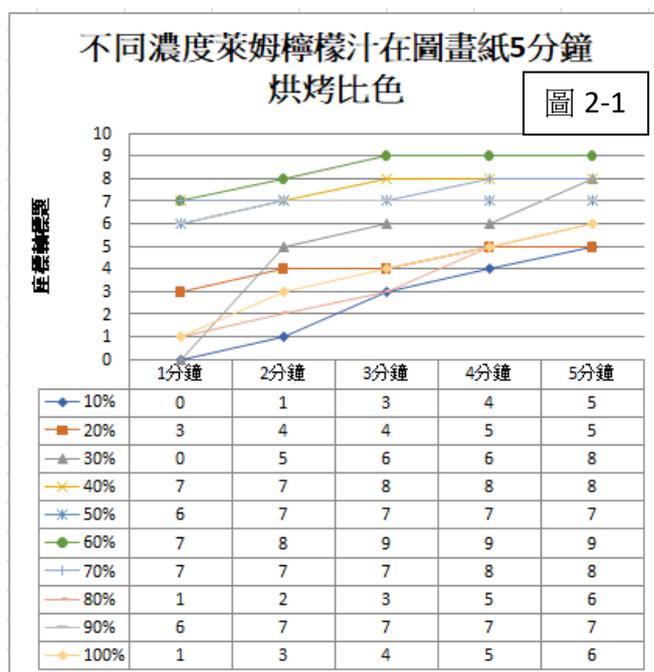
小結：

1. 從圖 2-1 「不同濃度萊姆檸檬汁在圖畫紙 5 分鐘烘烤比色」可知道：

(1)含量 40%、60%和 70%萊姆檸檬汁的稀釋檸檬汁在經 1 分鐘的烘烤後明顯變色，經比對成色表也有 7 以上；含量 50%和 90%萊姆檸檬汁的稀釋檸檬汁浮現效果其次。

(2)含量 10%、80%和 100%萊姆檸檬汁的稀釋檸檬汁在經 1 分鐘的烘烤後稍微變色，甚至根本沒變色，但 2 分鐘後都有變色，經比對成色表浮現效果差。

(3)一開始烘烤後就明顯變色的檸檬汁，在持續加熱烘烤的過程中，字跡的顏色會持續加深，如含量 40%至 70%萊姆檸檬汁的稀釋檸檬汁和含量 90%萊姆檸檬汁的稀釋檸檬汁在經 1 分鐘的烘烤後有明顯變色，但 2 分鐘後變色變色更明顯，經比對成色表也有 5 以上，5 分鐘後變色更深，經比對成色表也有 7 以上。



(4)在持續加熱烘烤 5 分鐘後，以含量 30%以上至 90%萊姆檸檬汁的稀釋檸檬汁當隱形墨水的，在持續加熱烘烤 5 分鐘後變色更深，經比對成色表也有 6 以上，就算是剛開始加熱一分鐘時幾乎都沒變色的含量 30%和 80%萊姆檸檬汁的稀釋檸檬汁都一樣，我們推測這應該和加熱時有沒有受到足夠的熱和加熱受熱的角度有關。

2.從下一頁圖 2-2 「不同濃度萊姆檸檬汁在 A4 紙 5 分鐘烘烤比色」可知道：

(1)含量 60%的萊姆檸檬汁的檸檬汁在經 1 分鐘的烘烤後變色，經比對成色表只有 4；其次是含量 100%的萊姆檸檬汁，經比對成色表也只有 3。

(2)含量 10%、20%、30%、40%、50、70%、80%和 90%萊姆檸檬汁的稀釋檸檬汁在經 1 分鐘的烘烤後幾乎沒有變色，而含量 70%和 80%萊姆檸檬汁的稀釋檸檬汁在加熱 2 分鐘後有很明顯的變色，經比對成色表至少有 5 以上。

(3)含量 10%、20%和 30%萊姆檸檬汁的稀釋檸檬汁在經 3 分鐘的烘烤後才有變色，經比對成色表後只有 1，在經 5 分鐘的烘烤後變色，經比對成色表後也只有 3 至 5；含量 40%和 70%萊姆檸檬汁的稀釋檸檬汁在經 2 分鐘的烘烤後開始變色，經比對成色表也有 1，在持續加熱烘烤 5 分鐘後經比對成色表 2 至 5 之間。

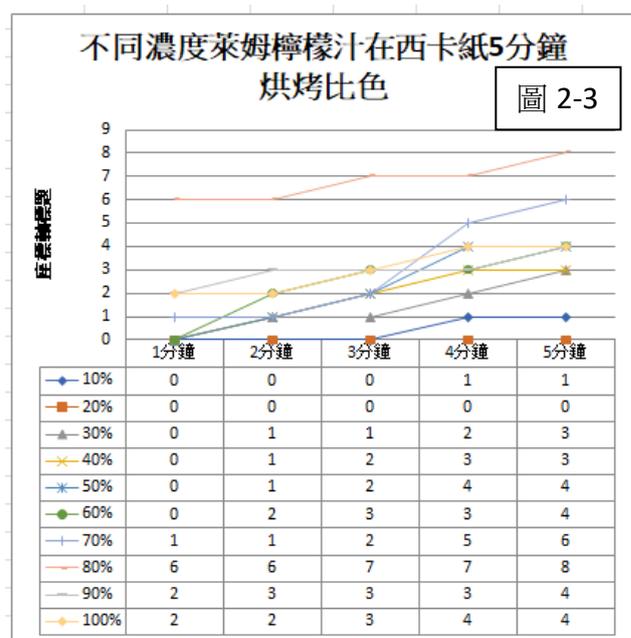
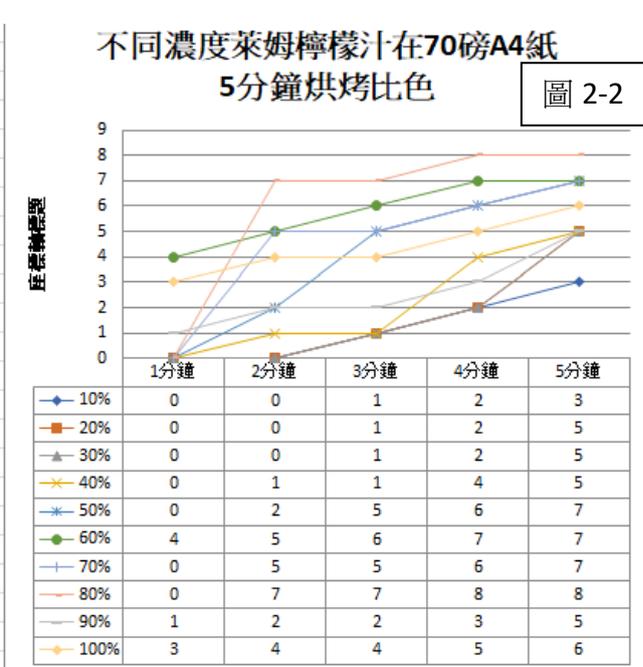
(4)一開始烘烤後就明顯變色的檸檬汁，在持續加熱烘烤的過程中，字跡的顏色會持續加深，如含量 60%萊姆檸檬汁的稀釋檸檬汁。

(5)在持續加熱烘烤 5 分鐘後，以含量 50%、60%和 80%萊姆檸檬汁的稀釋檸檬汁當隱形墨水的，在持續加熱烘烤 5 分鐘後變色更深，經比對成色表也有 7 以上，就算是剛開始加熱一分鐘時幾乎都沒變色的 50%、70%和 80%的萊姆檸檬汁都一樣，我們推測這應該和加熱時有沒有受到足夠的熱和加熱受熱的角度有關。

3.從圖 2-3「不同濃度萊姆檸檬汁在西卡紙 5 分鐘烘烤比色」可知道：

(1)含量 80%的萊姆檸檬汁的檸檬汁在經 1 分鐘的烘烤後變色，經比對成色表有 6。

(2)含量 10%、20%、30%、40%、50%、60%和 70%萊姆檸檬汁的稀釋檸檬汁在經 1 分鐘的烘烤後幾乎沒有變色，



經比對成色表有 0，只有含量 70%萊姆檸檬汁的稀釋檸檬汁在加熱 1 分鐘後有稍微的變色，經比對成色表也只有 1。

(3)含量 20% 萊姆檸檬汁的稀釋檸檬汁在經 5 分鐘的烘烤後一直沒變色；含量 10%萊姆檸檬汁的稀釋檸檬汁在經 3 分鐘的烘烤後開始變色，經比對成色表也有 1，在持續加熱烘烤 5 分鐘後經比對成色表還是 1。

(4)一開始烘烤後就明顯變色的檸檬汁，在持續加熱烘烤的過程中，字跡的顏色會持續加深，如含量 80%萊姆檸檬汁的稀釋檸檬汁。

(5)在持續加熱烘烤 5 分鐘後，以含量 70%和 80%萊姆檸檬汁的稀釋檸檬汁當隱形墨水的，在持續加熱烘烤 5 分鐘後變色更深，經比對成色表也有 6 以上，我們推測這應該和加熱時有沒有受到足夠的熱和加熱受熱的角度有關。

研究結果與討論：

- 1.把不同濃度的萊姆檸檬汁當隱形墨水做記號經酒精燈間接加熱後，塗上萊姆檸檬汁的地方會慢慢變色，先變成淺褐色，然後慢慢變深，最後白紙上就會出現深淺不一的褐色字跡。
- 2.不同濃度的萊姆檸檬汁塗在圖畫紙當隱形墨水做記號經酒精燈間接加熱後，加熱烘烤 5 分鐘後字跡變色的顏色深淺浮現效果，以 30%、40%、50%、60%、70%、90%等不同濃度的萊姆檸檬水溶液在壁報紙上字跡變色的顏色最深浮現效果最好，其中又以 60%的萊姆檸檬汁浮現效果最好；其次是 30%、40%和 70%等濃度的萊姆檸檬汁的浮現效果。
- 3.不同濃度的萊姆檸檬汁塗在 70 磅 A4 影印紙當隱形墨水做記號經酒精燈間接加熱後，加熱烘烤 5 分鐘後字跡變色的顏色深淺浮現效果，以 50%、60%、70%、80%等不同濃度的萊姆檸檬水溶液在壁報紙上字跡變色的顏色最深效果最好，其中又以 80%的萊姆檸檬汁變色浮現效果最好；其次是 50%、60%和 70%等濃度的萊姆檸檬汁的浮現效果。
- 4.不同濃度的萊姆檸檬汁塗在西卡紙當隱形墨水做記號經酒精燈間接加熱後，加熱烘烤 5 分鐘後字跡變色的顏色深淺浮現效果，以 70%和 80%等不同濃度的萊姆檸檬水溶液在西卡紙上字跡變色的顏色最深浮現效果最好，其中又以 80%的萊姆檸檬汁浮現效果最好；其次是 70%等濃度的萊姆檸檬汁的浮現效果。
- 5.我們進一步比較實驗 2-1、實驗 2-2 和實驗 2-3 的數據後中我們發現到以含 70%和 80%萊姆檸檬汁的稀釋液當作隱形墨水的加熱變色浮現效果比較好，變色明顯清楚好判斷；其次是含 60%和 50%萊姆檸檬汁的稀釋液。
- 6.我們進一步比較哪一種濃度的萊姆檸檬汁適合當作隱形墨水，如果單單以加熱烘烤 5 分

鐘後字跡變色的顏色深淺浮現效果來判斷，則以含 70%和 80%萊姆檸檬汁的稀釋液當作隱形墨水的加熱變色浮現效果比較好，變色明顯清楚好判斷；其次是含 60%和 50%萊姆檸檬汁的稀釋液。

7.我們進一步比較實驗 2-1、實驗 2-2 和實驗 2-3 的數據後中我們發現到若比較在 A4 影印紙、圖畫紙還是西卡紙上塗上不同濃度萊姆檸檬汁當隱形墨水做記號經酒精燈間接加熱加熱烘烤 5 分鐘後字跡變色的顏色深淺浮現效果，以圖畫紙上字跡變色的顏色最深浮現效果較好；西卡紙的字跡變色的顏色最淺，浮現效果差。

8.我們進一步比較 A4 影印紙、圖畫紙與西卡紙哪一種紙張適合當作隱形墨水書寫用，從實驗 2-1，以圖畫紙的效果最好，其次是 A4 影印紙。

9.我們進一步比較實驗 2-1、實驗 2-2 和實驗 2-3 的數據，我們也發現以不同濃度萊姆檸檬汁在西卡紙上書寫，則紙張上隱形墨水書寫處的浮現效果很差，褐色普遍偏淡，我們推測這應該是和紙張的材質有關。

問題二、不同濃度的檸檬酸水溶液對浮現效果都一樣嗎？

實驗 2-1、不同濃度的檸檬酸水溶液度對浮現效果的影響

(研究方法)

(一)實驗說明：這個實驗我們要探討不同濃度的檸檬酸水溶液的隱形墨水的浮現效果。

(二)實驗步驟：

- 1.以適量市售礦泉水(PH7.0)調配 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%和 90%的檸檬酸水溶液各 50ml。
- 2.將已稀釋好的檸檬酸水溶液寫在圖畫紙紙上，並至少放置 1 個晚上陰乾。
- 3.取陰乾後的紙張平鋪放在鐵盤上，並以另一個三角架倒置壓住。
- 4.用點燃的酒精燈烘烤 5 分鐘。
- 5.利用成色表比較浮現效果，每 1 分鐘記錄一次，一直紀錄 5 分鐘。
- 6.測量紙面溫度，測量記號四角與中心點溫度，每 1 分鐘記錄一次一直記錄 5 分鐘。

(研究過程與結果)

小結：

1.從下一頁圖 2-4 可知道：

- (1)含量 50%檸檬酸的檸檬酸水溶液在經 1 分鐘的烘烤後變色，經比對成色表有 7，其次是含量 40%、60%和 70%檸檬酸的檸檬酸水溶液經 1 分鐘的烘烤後變色，經比對成色表有 5。

(2)含量 10%檸檬酸的檸檬酸水溶液在經 1 分鐘的烘烤後幾乎沒有變色，經比對成色表有 0，在持續加熱烘烤 5 分鐘後經比對成色表已達 6。

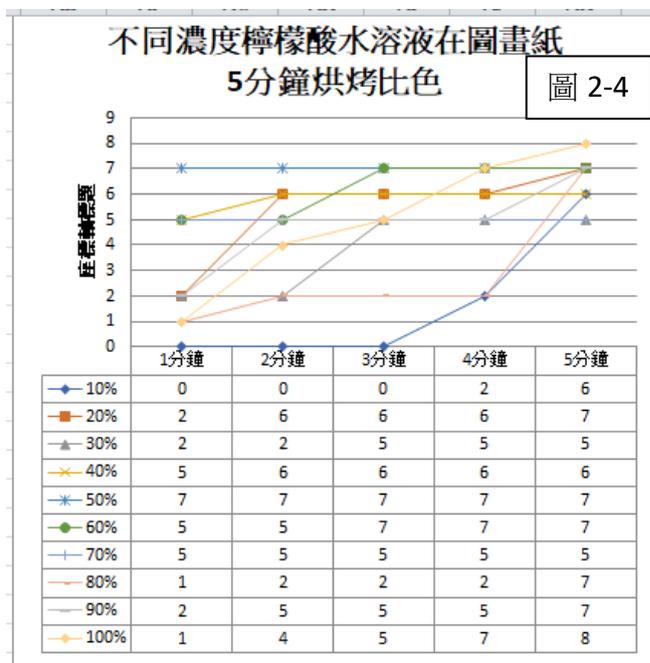
(3)含量 80%和 100%檸檬酸的檸檬酸水溶液在加熱 1 分鐘後有稍微的變色，經比對成色表也只有 1，在持續加熱烘烤 5 分鐘後經比對成色表已達 7 至 8。

(4)含量 20%、30%和 90%檸檬酸的檸檬酸水溶液在加熱 1 分鐘後有稍微的變色，經比對成色表也只有 2，但 2 分鐘後變色變色更明顯，在持續加熱烘烤 5 分鐘後經比對成色表已達 5 至 7。

(5)含量 40%、50%、60%和 70%檸檬酸的檸檬酸水溶液在經 1 分鐘的烘烤後明顯變色，5 分鐘後變色更深，經比對成色表也有 5 以上。

(6)以 100%檸檬酸溶液在持續加熱烘烤 5 分鐘後浮現效果最好，經比對成色表

有 8；其次是含量 20%、50%、60%、80%和 90%檸檬酸的檸檬酸水溶液。



研究結果與討論：

(1)把不同濃度的檸檬酸水溶液塗在圖畫紙上當隱形墨水做記號，經酒精燈間接加熱後，塗上檸檬汁的地方會慢慢變色，先變成淺褐色，然後慢慢變深，最後白紙上就會出現深淺不一的褐色字跡。

(2)把不同濃度的檸檬酸水溶液塗在圖畫紙上當隱形墨水做記號，經酒精燈間接加熱烘烤 5 分鐘後字跡變色的顏色深淺浮現效果，以 100%檸檬酸溶液變色的顏色最深效果最好，其次是含量 20%、50%、60%、80%和 90%檸檬酸的檸檬酸水溶液。

(3)我們進一步比較實驗的數據發現以 100%檸檬酸溶液當作隱形墨水塗寫在圖畫紙上經酒精燈間接加熱烘烤 5 分鐘後的變色效果最好，其次是含量 20%、50%、60%、80%和 90%檸檬酸的檸檬酸水溶液，變色明顯清楚好判斷。

4.我們進一步比較哪一種濃度的檸檬酸水溶液適合當作隱形墨水，如果單單以加熱烘烤 5 分鐘後字跡變色的顏色深淺效果來判斷，則以 100%檸檬酸溶液當作隱形墨水塗寫在圖畫紙上經酒精燈間接加熱烘烤 5 分鐘後的變色浮現效果最好，其次是含量 20%、50%、60%、80%和 90%檸檬酸的檸檬酸水溶液。

5.我們進一步比較實驗的數據，我們也發現以含 10%檸檬酸的檸檬酸水溶液當作隱形墨水並在圖畫紙上書寫，則紙張上隱形墨水書寫處的變色浮現效果很差，在前 3 分鐘幾乎都沒有變色，一直到的 4 分鐘才開始變色，在的 5 分鐘變色顏色急速加深；我們嘗試再將這張圖畫紙繼續間接加熱，發現字跡的顏色到了第 5 分鐘加熱後變色顏色急速加深，我們推測這應該和加熱時有沒有受到足夠的熱和加熱受熱的角度有關。

研究三、探討紙張的影響

問題一、不同材質的紙張對浮現效果都一樣嗎

實驗 2-1、不同材質的紙張對浮現效果的影響

(研究方法)

(一)實驗說明：這個實驗我們要探討不同材質的紙張對檸檬汁的隱形墨水的浮現效果，我們選用 A4 影印紙、壁報紙、衛生紙、圖畫紙、十行紙、宣紙、廚房餐廳紙、報紙、250 磅白色西卡紙。

(二)實驗步驟：

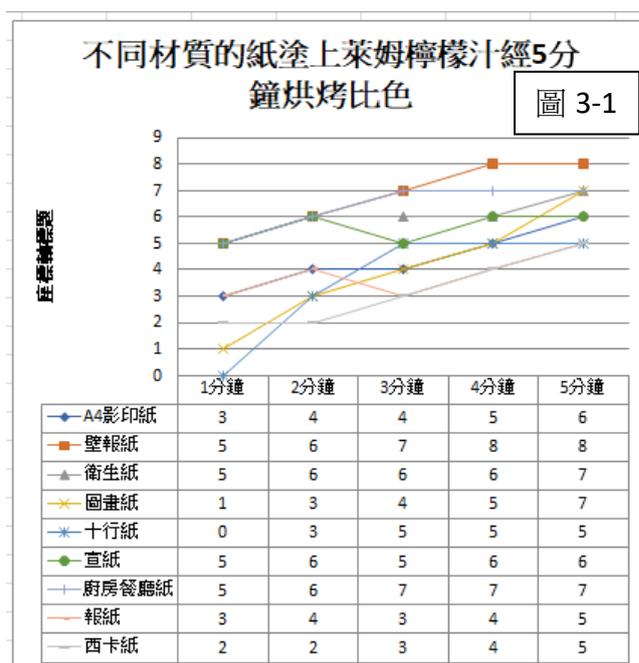
- 1.將壓榨出的萊姆檸檬汁以棉花棒分別塗寫在 A4 影印紙、壁報紙、衛生紙、圖畫紙、十行紙、宣紙、廚房餐廳紙、報紙、250 磅白色西卡紙，並放置 1 個晚上陰乾。
- 2.取陰乾後的紙張平鋪放在鐵盤上，並以另一個三角架倒置壓住。
- 3.用點燃的酒精燈烘烤 5 分鐘。
- 4.利用成色表比較浮現效果，每 1 分鐘記錄一次，一直紀錄 5 分鐘。
- 5.測量紙面溫度，測量記號四角與中心點溫度，每 1 分鐘記錄一次一直紀錄 5 分鐘。

(研究過程與結果)

小結：

1.從圖 3-1 可知道：

- (1)以萊姆檸檬汁當做隱形墨水的十行紙在經 1 分鐘的烘烤後並沒有變色，但 2 分鐘後就有變色，5 分鐘後經比對成色表也有 5。
- (2)以萊姆檸檬汁當做隱形墨水的圖畫紙在經 1 分鐘的烘烤後有輕微變色，但 2 分鐘後明顯變色，5 分鐘後經比對成色表只有 4。



(3)以萊姆檸檬汁當做隱形墨水的壁報紙、衛生紙、宣紙、廚房餐廳紙在經 1 分鐘的烘烤後變色明顯，5 分鐘後經比對成色表也有 7。

(4)不同材質的紙張對以萊姆檸檬汁當隱形墨水的浮現效果實驗中，以塗寫在壁報紙上經酒精燈間接加熱烘烤 5 分鐘後的變色浮現效果最好，其次是衛生紙和廚房餐巾紙。

問題二、不同顏色的紙張對浮現效果都一樣嗎？

實驗 2-1、同材質但不同顏色的紙張對浮現效果的影響

(研究方法)

(一)實驗說明：這個實驗我們要探討同材質但深淺不同顏色的粉彩紙對以萊姆檸檬汁微隱形墨水的浮現效果。

(二)實驗步驟：

1. 將壓榨出的萊姆檸檬汁以棉花棒分別塗寫紙張，並放置 1 個晚上陰乾。
2. 取陰乾後的紙張平鋪放在鐵盤上，並以另一個三角架倒置壓住。
3. 用點燃的酒精燈烘烤 5 分鐘。
4. 利用成色表比較浮現效果，每 1 分鐘記錄一次，一直紀錄 5 分鐘。
5. 測量紙面溫度，測量記號四角與中心點溫度，每 1 分鐘記錄一次一直紀錄 5 分鐘。

(研究過程與結果)

小結：

1. 從圖 3-2 可知道：

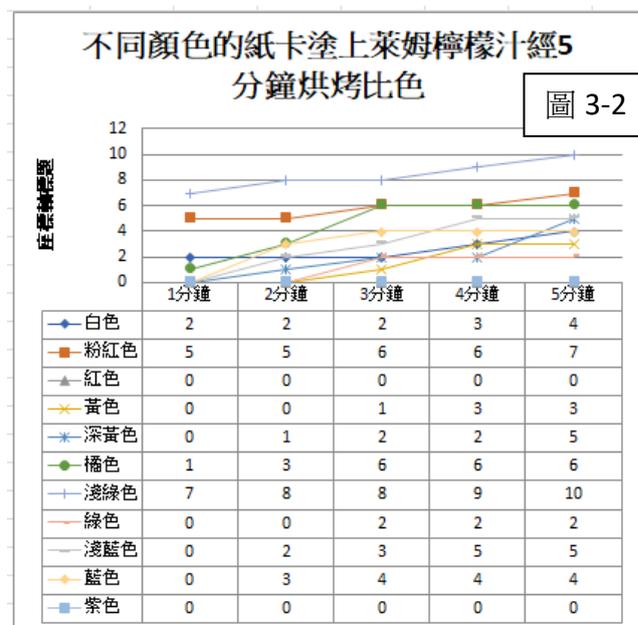
(1)以萊姆檸檬汁當做隱形墨水的紅色和紫

色的粉彩紙在經 1 分鐘的烘烤後完全沒有變色，5 分鐘後經比對成色表還是沒有變色。

(2)以萊姆檸檬汁當做隱形墨水的黃色和綠色的粉彩紙，在經 2 分鐘的烘烤後依舊沒有變色，5 分鐘後經比對成色表也只有 2 至 3。

(2)以萊姆檸檬汁當做隱形墨水的深黃色、淺藍色和藍色的粉彩紙，在經 2 分鐘的烘烤後有輕微變色，5 分鐘後經比對成色表也只有 4 至 5。

(3)以萊姆檸檬汁當做隱形墨水的淺綠色粉彩紙在經 1 分鐘的烘烤後並有明顯變色，5 分鐘後經比對成色表最高 10。



(4)以萊姆檸檬汁當做隱形墨水的粉紅色粉彩紙在經 1 分鐘的烘烤後有變色，5 分鐘後經比對成色表也有 7。

研究結果與討論：

- 1.將萊姆檸檬汁塗在不同顏色的粉彩紙當隱形墨水做記號，經酒精燈間接加熱後，加熱烘烤 5 分鐘後字跡變色的顏色深淺浮現效果，以淺綠色浮現效果最好，其次是粉紅色和橘色。
- 2.將萊姆檸檬汁塗在不同顏色粉彩紙當隱形墨水做記號，經酒精燈間接加熱後，加熱烘烤 5 分鐘後字跡變色的顏色深淺浮現效果，以紅色和紫色等不同顏色的粉彩紙字跡變色的顏色最深，浮現效果最差，幾乎看不到變色。
- 3.我們進一步比較實驗數據後我們發現到經酒精燈間接加熱，加熱烘烤 5 分鐘後字跡變色的顏色深淺浮現效果，顏色淺的和顏色較淡的不見得在浮現效果就會表現較佳，其實不是，從我們的實驗數據就發現白色、黃色和深黃色等不同顏色的粉彩紙字跡變色的浮現效果差。

研究四、找出隱形效果好的隱形墨水

問題一、不同材質的紙張對隱形效果都一樣嗎

實驗 4-1、不同材質的紙張對隱形效果的影響

(研究方法)

(一)實驗說明：這個實驗我們要探討不同材質的紙張對以萊姆檸檬汁和檸檬酸溶液當作隱形墨水的隱形效果。

(二)實驗步驟：

- 1.將壓榨出的萊姆檸檬汁和檸檬酸溶液分別以棉花棒分別塗寫在 A4 影印紙、壁報紙、圖畫紙和西卡紙，各塗抹 5 張，並放置 1 個晚上陰乾。
- 2.取陰乾後的紙張平鋪放在桌面上，觀察字隱形的效果（正上方看和斜斜逆向反光面看），判斷紙面是否看到記號，並按照隱形效果的好壞，從好到差依序記為 10 到 1。
- 3.所得結果再分別和實驗 1-1、實驗 1-4 的結果作比較，並記錄下來。

(研究過程與結果)

名稱	A4 紙+萊姆檸檬汁		壁報紙+萊姆檸檬汁		圖畫紙+萊姆檸檬汁		西卡紙+萊姆檸檬汁	
	隱形效果	浮現效果	隱形效果	浮現效果	隱形效果	浮現效果	隱形效果	浮現效果
相片								
評分	3	6	7	8	2	6	5	6

小結：

1. 從上面的實驗結果我們可以發現在以萊姆檸檬汁當作隱形墨水書寫時，就隱形效果來講，以壁報紙的隱形效果表現最好，字跡乾掉後也是看不太到所做的記號，只有在以斜斜逆向反光看食材很清楚看到檸檬汁乾掉殘留的輪廓，但從正面看檸檬汁乾掉後的輪廓是不清楚的；就浮現效果而言，經酒精燈間接加熱烘烤 5 分鐘後，壁報紙的浮現效果很清楚。
2. 從上面的實驗結果我們可以發現，在以萊姆檸檬汁當作隱形墨水書寫時，就隱形效果來講，以圖畫紙的隱形效果表現很差，字跡乾掉後從正面看就可以看到乾掉的字跡；就浮現效果而言，經酒精燈間接加熱烘烤 5 分鐘後，圖畫紙的浮現效果有點差，但還是可以正確判斷記號。
3. 從上面的實驗結果我們可以發現在以萊姆檸檬汁當作隱形墨水書寫時，就隱形效果來講，A4 影印紙的隱形效果表現很差，字跡乾掉後從正面就可以很清楚看到所做的記號；就浮現效果而言，經酒精燈間接加熱烘烤 5 分鐘後，A4 影印紙的浮現效果有點差，但還是可以正確判斷記號。
4. 從上面的實驗結果我們可以發現在以萊姆檸檬汁當作隱形墨水書寫時，就隱形效果來講，西卡紙的隱形效果表現還可以，字跡乾掉後從正面很勉強看到所做的記號，不特地去看是看不清楚；就浮現效果而言，經酒精燈間接加熱烘烤 5 分鐘後，西卡紙的浮現效果有點差，但還是可以正確判斷記號。

名稱	A4 紙+檸檬酸溶液		壁報紙+檸檬酸溶液		圖畫紙+檸檬酸溶液		西卡紙+檸檬酸溶液	
	隱形效果	浮現效果	隱形效果	浮現效果	隱形效果	浮現效果	隱形效果	浮現效果
無字天書								
相片								
評分	3	6	8	9	2	8	5	5

小結：

1. 從上面的實驗結果我們可以發現在以檸檬酸溶液當作隱形墨水書寫時，就隱形效果來講，以壁報紙的隱形效果表現最好，字跡乾掉後也是看不太到所做的記號，只有在以斜斜逆向反光看時才看到檸檬汁乾掉殘留的輪廓，但從正面看檸檬汁乾掉後的輪廓是不清楚的，需要稍微轉個角度才可以看到；就浮現效果而言，經酒精燈間接加熱烘烤 5 分鐘後，壁報紙的浮現效果很清楚。
2. 從上面的實驗結果我們可以發現，在以檸檬酸溶液當作隱形墨水書寫時，就隱形效果來講，圖畫紙的隱形效果表現很差，字跡乾掉後從正面看就可以看到乾掉的字跡；就

浮現效果而言，經酒精燈間接加熱烘烤 5 分鐘後，圖畫紙的浮現效果很清楚。

- 3.從上面的實驗結果我們可以發現在以檸檬酸溶液當作隱形墨水書寫時，就隱形效果來講，A4 影印紙的隱形效果表現很差，字跡乾掉後從正面就可以很清楚看到所做的記號；就浮現效果而言，經酒精燈間接加熱烘烤 5 分鐘後，A4 影印紙的浮現效果有點差，但還是可以正確判斷記號。
- 4.從上面的實驗結果我們可以發現在以檸檬酸溶液當作隱形墨水書寫時，就隱形效果來講，西卡紙的隱形效果表現算是不錯，字跡乾掉後從正面很勉強看到所做的記號，不特地去看是看不清楚，需要稍微轉個角度才可以看到；就浮現效果而言，經酒精燈間接加熱烘烤 5 分鐘後，西卡紙的浮現效果有點差，但還是可以正確判斷記號。

研究結果與討論：

- (1)就隱形效果來說，不論是以萊姆檸檬汁還是以檸檬酸溶液當作隱形墨水，以書寫在壁報紙的隱形效果最好，除非特地將壁報紙面對著陽光去看，單從正面由上往下看還真的看不太出來有記號；而經酒精燈間接加熱烘烤 5 分鐘後的浮現效果來說，也是以壁報紙的浮現效果最好。
- (2)就隱形效果來說，不論是以萊姆檸檬汁還是以檸檬酸溶液當作隱形墨水，以書寫在西卡紙的隱形效果表現其次，從正面由上往下看勉強可看出來有記號，如逆著光線看紙面的記號是可以清楚看到的；而經酒精燈間接加熱烘烤 5 分鐘後的浮現效果來說，西卡紙的浮現效果比較差，但還是可以判斷。

肆、討論

1.針對前面每個問題的研究結果與討論，我們再進一步針對哪一種紙張適合作為隱形墨水書寫的紙張做更深入的討論：

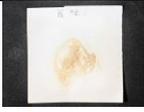
(1)就 A4 影印紙而言，我們發現 A4 影印紙在每個隱形墨水的實驗中（如以下六圖所示）的隱形效果很差，但是在浮現效果卻表現還好，因此我們認為 A4 影印紙不適合作為隱形墨水的書寫材料，因為隱形效果不佳，所作記號不需進一步處理就看的一清二楚。

無字天書	隱形效果	浮現效果	浮現效果	浮現效果	浮現效果	浮現效果	浮現效果
隱形墨水	萊姆檸檬汁	萊姆檸檬汁	四季檸檬汁	市售濃縮檸檬汁	台灣香檬汁	台灣金桔汁	飽和檸檬酸溶液
相片							
評分	3	6	4	5	5	5	6

(2)就壁報紙而言，我們發現壁報紙在每個隱形墨水的實驗中（如以下六圖所示）的隱形效果表現最好，在浮現效果的表現也是很好，因此我們認為壁報紙最適合作為隱形墨水的書寫材料。

無字天書	隱形效果	浮現效果	浮現效果	浮現效果	浮現效果	浮現效果	浮現效果
隱形墨水	萊姆檸檬汁	萊姆檸檬汁	四季檸檬汁	市售濃縮檸檬汁	台灣香檬汁	台灣金桔汁	飽和檸檬酸溶液
相片							
評分	8	8	4	2	5	8	9

(3)就圖畫紙而言，我們發現圖畫紙在每個隱形墨水的實驗中（如以下六圖所示）的隱形效果很差，但是在浮現效果卻表現還好，因此我們認為圖畫紙不適合作為隱形墨水的書寫材料，因為隱形效果不佳，所作記號不需進一步處理就看的一清二楚。

無字天書	隱形效果	浮現效果	浮現效果	浮現效果	浮現效果	浮現效果	浮現效果
隱形墨水	萊姆檸檬汁	萊姆檸檬汁	四季檸檬汁	市售濃縮檸檬汁	台灣香檬汁	台灣金桔汁	飽和檸檬酸溶液
相片							
評分	2	6	4	1	4	5	8

(4)就西卡紙而言，我們發現西卡紙在每個隱形墨水的實驗中（如以下六圖所示）的隱形效果雖然不錯，但是在浮現效果卻表現不佳，而且繼續加熱後所得到的浮現效果依舊不佳，因此我們認為西卡紙還是適合作為隱形墨水的書寫材料，因為雖然浮現效果不佳，但是還是可以判斷所做的記號。

無字天書	隱形效果	浮現效果	浮現效果	浮現效果	浮現效果	浮現效果	浮現效果
隱形墨水	萊姆檸檬汁	萊姆檸檬汁	四季檸檬汁	市售濃縮檸檬汁	台灣香檬汁	台灣金桔汁	飽和檸檬酸溶液
相片							
評分	5	5	2	4	5	3	5

2.從實驗 3-1、在不同材質的紙張對浮現效果的影響上，我們也發現到衛生紙和廚房餐巾紙等紙質相對比較柔軟的在浮現效果也比較好，所以從這次實驗中我們可以推論越是柔軟的紙浮現效果比紙質較硬的好。

伍、研究結論

- 1.實驗 1-1，不同種類檸檬原汁對呈字無字天書浮現效果的影響，第 1 分鐘萊姆檸檬汁在壁報紙、白色西卡紙和 A4 影印紙浮現效果比四季檸檬佳，四季檸檬只在圖畫紙表現比較好；但在 2 分鐘後至 5 分鐘都以萊姆檸檬汁在浮現效應的表現比四季檸檬佳，顏色比較深。
- 2.實驗 1-2，在市售的濃縮檸檬原汁的浮現效果和現榨的檸檬原汁有一樣嗎？第 1 分鐘濃縮檸檬汁和萊姆檸檬汁在 A4 影印紙浮現效果一樣，甚至比四季檸檬效果還要好，但在 4 分鐘後就改成萊姆檸檬汁浮現效果好許多，顏色比較深。在這個實驗中，四季檸檬的浮現效果差很多，顏色較淡。
- 3.實驗 1-3，金桔和香檬的現榨原汁對浮現的效果和檸檬原汁一樣嗎？在 A4 影印紙浮現效果上，台灣香檬汁的浮現效果和萊姆檸檬汁一樣不錯，台灣金桔汁的浮現效果也和萊姆檸檬汁一樣好；在壁報紙和西卡紙上萊姆檸檬汁和金桔汁的浮現效果比台灣香檬汁好。
- 4.實驗 1-4，檸檬酸水溶液對浮現的效果和檸檬原汁一樣嗎？飽和檸檬酸溶液在前 1 分鐘的浮現效果很差，到了的 4 分鐘後的浮現效果反而比萊姆檸檬汁好許多，顏色較深。
- 5.實驗 2-1、現榨檸檬汁的濃度對浮現效果的影響，以濃度 40%到 70%的檸檬汁在圖畫紙上的浮現效果較好，尤其是在 5 分鐘後的浮現效果差異更明顯，濃度 100%檸檬汁的浮現效果反而沒有最好，值得再去研究。
- 6.實驗 2-2、不同濃度的檸檬酸水溶液度對浮現效果的影響，一開始以含量 50%檸檬酸的檸檬酸水溶液的浮現效果最好，到 5 分鐘後以含量 100%的檸檬酸溶液效果最好。就不同濃度的現榨檸檬汁和檸檬酸水溶液在浮現效果做比較，以檸檬汁的浮現效果比較好。
- 7.實驗 3-1、在不同材質的紙張對浮現效果的影響上，將壓榨出的檸檬原汁以棉花棒分別塗寫在 A4 影印紙、壁報紙、衛生紙、圖畫紙、十行紙、宣紙、廚房餐廳紙、報紙、250 磅白色西卡紙並陰乾，結果第 1 分鐘以壁報紙、衛生紙、宣紙、廚房餐巾紙在浮現效果佳，5 分鐘後還是以壁報紙的浮現效果最好，衛生紙和廚房餐巾紙表現其次，圖畫紙浮現效果最差。而衛生紙和廚房餐巾紙的紙質相對比較柔軟，所以從這次實驗中我們可以發現越是柔軟的紙浮現效果比紙質較硬的好。
- 8.在實驗 3-2、同材質但不同顏色的紙張對浮現效果的影響，以紅色紙和紫色紙的浮現效果最差，完全看不到成色，這應該是顏色的干擾影響判斷所致；相反的，淺綠色紙在浮現效果最好，其次是粉紅色，比較讓我們訝異的是白色紙的浮現效果反而沒有最好。
- 9.隱形墨水的浮現效果，以飽和檸檬酸溶液的浮現效果最好，其次是萊姆檸檬汁；而最適合當作隱形墨水的書寫材料是壁報紙，其次是白色西卡紙。

陸、參考資料及其他

一、研究心得

實驗過程中，為了取得可靠的實驗結果，重複的動作我們不斷反覆操作，並需要耐心的等待不同材質的紙張烘乾，但是透過不同變因的觀察，而能找出寫無字天書最好的條件，而且在呈字的過程中，看著紙上的文字從無到有的過程，實在好吸引人的目光，讓我們好奇，哪種紙類適合在紙上寫著專屬於我們的無字天書，我們選擇了經常使用的紙類，不斷進行嘗試，而過程中，最考驗耐心的，無非就是在酒精燈上燒烤紙張，蒐集實驗數據的過程，也花不少時間，為調配完整比例的檸檬汁，都快可以去飲料店打工了，最終，才找到答案，此時，就會覺得動手做實驗實在好有成就感，但當燒出出乎我們的預料之外的圖案時，就有很大的失落感，心中會想：為什麼會這樣呢？為什麼會這樣呢？在整個的研究過程中，我們遇到了很多的困難，但我們還是堅持到最後把整個研究完成，未來我們會更努力的。

二、參考資料

- 1、你不可不知的顏色常識-褐色的色彩密碼·飛盟廣告·取自

<https://blog.udn.com/famous1993/13565784>

- 2、如何製造飽和溶液·EFerrit·取自

<https://zhtw.eferrit.com/%E5%A6%82%E4%BD%95%E8%A3%BD%E4%BD%9C%E9%A3%BD%E5%92%8C%E6%BA%B6%E6%B6%B2/>

- 3、陳冠松·一點就行·國立科學工藝博物館科學學習中心·取自

<https://slc.nstm.gov.tw/Teaching/Details.aspx?Parser=99,4,27,,,,182>

- 4、無字天書·國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系科學遊戲實驗室·取自·

<https://scigame.ntcu.edu.tw/chemistry/chemistry-006.html>

三、註 1.圖 0-1 中圖案引用來源：修改自飛盟廣告設計「您不可不知的顏色常識—褐色的色彩密碼」

網址：<https://www.famous1993.com.tw/tech/tech1049.html>

- 2.除上述圖片引用他處，其他照片與圖片均為作者親自製作、繪圖和拍攝。