

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高級中等學校組 化學科

## 最佳團隊合作獎

050202

利用毛細管型可攜式液晶免疫分析法檢測水溶液中的牛抗體

學校名稱：國立臺灣師範大學附屬高級中學

作者：  高二 黃淵濤  高二 李柏韋  高二 沈均賢	指導老師：  江青釗  陳昭錦
---	-----------------------------

關鍵詞：液晶、感測器、抗體

## 摘要：

本研究是利用液晶的光學紋理圖像，測量水溶液中牛抗體的存在。我們先以 HSA 做為實驗的基礎，來了解此液晶感測系統的特性，以及測量一些基本數據之後，再將此系統進行檢測牛抗體的研究，由於液晶容易受到周圍環境的變化而改變其排列方式，而其光學訊號也會隨之改變，若溶液中的牛抗體濃度達一定程度，即會產生特定的光學訊號，我們在本研究中使用毛細管作為觀察的基板，藉此成為便於觀察的感測系統。

## 壹、研究動機

免疫分析是近年來備受重視的一種快速篩檢機制，舉凡疾病的快速篩檢到日常食品的檢測，均與免疫分析有密不可分的關係，近年來，食安問題日趨嚴重，根據新聞我們得知，由於羊奶價格普遍較牛奶為高，有不肖商人將其混入牛奶充當羊奶賣給消費者，消費者的利益明顯受到侵害。羊奶為市面上常見的飲品之一，民眾購買羊奶作為營養的補充來源，為了提供一個更容易檢測羊奶裡是否有參入牛奶的方法，我們透過液晶感測系統製作感測器並改良使用上的便利性，以讓消費者能輕易地檢測出自己購買的羊奶產品裡是否有參入牛奶。

## 貳、研究目的

- 一、改變毛細管的粗細測量其對液晶排列的影響。
- 二、改變人血清白蛋白的濃度，找出液晶感測系統能偵測到的最低濃度。
- 三、確認抗原與抗體間的特異結合，排除其他物質對感測系統的影響。
- 四、改變人血清白蛋白抗體濃度，找出已修飾抗原（人血清白蛋白）的液晶感測系統能偵測到的抗體最低濃度。
- 五、利用先前結果，改變原抗原（人血清白蛋白）為牛抗原，找出液晶感測系統能偵測牛抗原的最低濃度。
- 六、改變牛抗體的濃度，找出已修飾牛抗原的液晶感測系統能偵測到的牛抗體最低濃度。
- 七、透過此感測系統，改良方法使其能量化濃度。
- 八、改良攜帶式顯微鏡，使其成為輔助觀察的工具。
- 九、將已使用的毛細管回收並進行實驗，檢測其是否有再次利用的可能。

## 參、研究設備及器材

### 一、藥品

- (一) DMOAP(N,N-dimethyl-N-octadecyl-3 -aminopropyltrimethoxysilyl chloride)
- (二) 5CB
- (三) 人血清白蛋白(HSA)
- (四) 人血清白蛋白抗體(anti-HSA)
- (五) 牛抗原(Bovine IgG)
- (六) 牛抗體(anti-Bovine IgG)
- (七) Decon-90
- (八) Tween-20
- (九) 磷酸鹽緩衝生理食鹽水 ( P B S )
- (十) 乙醇
- (十一) 丙酮
- (十二) 王水

### 二、儀器

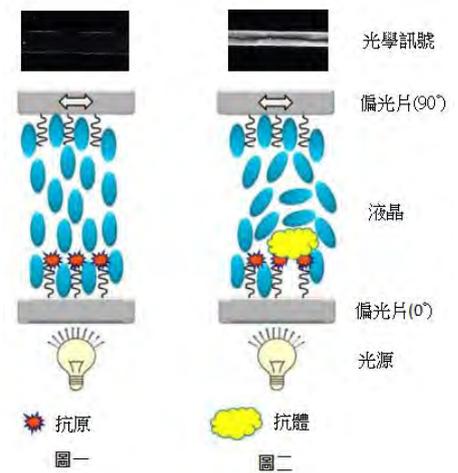
- (一) 毛細管(含厚度為 0.2 mm 以及 0.1 mm、寬度為 2.0 mm 以及 1.0 mm)
- (二) 針筒
- (三) 橡皮管
- (四) 鋁箔
- (六) 微量滴管
- (七) 偏光顯微鏡
- (八) 偏光片
- (九) 玻璃罐
- (十) 烘乾箱
- (十一) 保麗龍盒
- (十二) 微量離心管
- (十三) 震盪器
- (十四) 攜帶式顯微鏡
- (十五) 紙板
- (十六) 針線

- (十七) 恆溫水槽
- (十八) 計時器
- (十九) 薄膜

## 肆、研究過程及方法

首先，在用超音波以及 Decon-90 將毛細管洗淨之後，在毛細管的內側玻璃表面上修飾長碳鏈分子(N,N-dimethyl-N-octadecyl-3-aminopropyltrimethoxysilyl chloride,DMOAP)，再將其浸於合適濃度的抗原水溶液以修飾抗原在毛細管內部做為探針分子，而後將其浸於水溶液樣本(含有不同濃度的抗體)之中，待 20 分鐘之後洗淨並填入液晶(5CB)，此時原先修飾於毛細管內的長碳鏈分子會使液晶垂直排列於毛細管中，當經過 0 度的偏振光通過垂直的液晶後，其偏振方向不會改變，此

光線隨後再經過另一個 90 度的偏光片之後光線會完全被擋住，得到的液晶圖像會是暗的訊號(如圖一)，但若水溶液樣本中抗體達一定濃度時，會覆蓋原本修飾於玻璃表面上的長碳鏈，進而改變液晶的排列方式，故當 0 度的偏振光通過該液晶之後，其偏振方向會產生改變，隨後在通過另一片 90 度的偏光片後會有光線通過，所觀察到的液晶圖像則會是亮的訊號(如圖二)。



### 一、改變毛細管的粗細測量其對液晶排列的影響。

本實驗目的是為了測量不同粗細的毛細管 (2.0 mm x 0.2 mm 以及 2.0 mm x 0.1 mm) 對於液晶的排列控制能力。我們在不同粗細的毛細管上分別修飾長碳鏈分子，並利用磷酸鹽緩衝生理食鹽水配製多種濃度的人血清白蛋白水溶液，依次改變的濃度為 10  $\mu\text{g/ml}$ 、20  $\mu\text{g/ml}$ 、30  $\mu\text{g/ml}$  進行實驗。利用微量滴管配製好不同溶液之後，將已修飾好長碳鏈分子的毛細管吸滿該溶液，並浸於其中 20 分鐘，而後再用去離子水洗淨，並填入液晶放於偏光顯微鏡下觀察結果。

## 二、改變人血清白蛋白的濃度，找出液晶感測系統能偵測到的最低濃度。

本實驗是為了測量液晶感測系統能偵測到抗原的最低濃度，以便之後知道應修飾多少濃度的抗原於玻璃表面，進行後續檢測抗體的實驗。

利用微量滴管以及磷酸鹽緩衝生理食鹽水配製好不同的抗原濃度溶液之後，將已修飾好長碳鏈的毛細管吸滿該溶液，並浸於其中 20 分鐘，而後再用去離子水洗淨，並填入液晶放於偏光顯微鏡下觀察結果。

## 三、確認抗原與抗體間的特異結合，排除其他物質對感測系統的影響。

本實驗目的是為了確定抗原與抗體間有特異結合，使感測系統較不會受溶液中其他物質的影響。

承接上一個實驗，在得知感測系統能偵測到抗原的最低濃度之後，用此濃度減少 10  $\mu\text{g/ml}$  的抗原濃度修飾於已修飾長碳鏈分子的毛細管玻璃表面上，再將此毛細管浸於各種濃度的對應抗體以及其他抗體之中，並用去極水將其洗淨，填入液晶之後，置於偏光顯微鏡下觀察其結果。

## 四、改變人血清白蛋白抗體濃度，找出已修飾抗原（人血清白蛋白）的液晶感測系統能偵測到的抗體最低濃度。

本實驗是為了檢測水溶液中的人血清白蛋白抗體（anti-HSA），並且得知能檢測到人血清白蛋白抗體濃度的最低極限為何。

承接上一個實驗，用磷酸鹽緩衝生理食鹽水配製不同濃度的人血清白蛋白抗體（anti-HSA）水溶液後，將已修飾長碳鏈分子以及抗原的毛細管浸於其中，待 20 分鐘之後，用 Tween-20 將其洗淨，以洗掉毛細管內部物理吸附的其他物質，而後再填入液晶，並置於偏光顯微鏡下觀察結果。

## 五、利用先前結果，改變原抗原（人血清白蛋白）為牛抗原，找出液晶感測系統能偵測牛抗原的最低濃度。

本實驗是為了測量液晶感測系統能偵測到牛抗原的最低濃度，進而得知應修飾多少濃度的牛抗原於玻璃表面上，以進行後續檢測牛抗體的實驗。利用微量滴管以及磷酸鹽緩衝生理食鹽水配製好不同的牛抗原濃度溶液之後，將已修飾好長碳鏈分子的毛細管吸滿該溶液，並浸於其中 20 分鐘，而後再用去離子水洗淨，並填入液晶放於偏光顯微鏡下觀察結果。

## 六、改變牛抗體的濃度，找出已修飾牛抗原的液晶感測系統能偵測到的牛抗體最低濃度。

本實驗是為了檢測水溶液中的抗體，並且得知能檢測到抗體濃度的最低極限為何。承接上一個實驗，用磷酸鹽緩衝生理食鹽水配製不同濃度的牛抗體(anti-IgG)水溶液後，將已修飾長碳鏈以及抗原的毛細管浸於不同濃度的牛抗體之中，待 20 分鐘之後，用 Tween-20 將其洗淨，以洗掉毛細管內部物理吸附的其他物質，而後再填入液晶，並置於顯微鏡下觀察結果。

## 七、透過此感測系統，改良方法使其能量化濃度。

承接研究目的六，我們希望在檢測之餘，能夠透過毛細管型液晶感測系統直接測量出水溶液裡牛抗體的濃度大約為多少，因此我們利用玻璃罐以及薄膜，改良、組裝出可以固定毛細管的便利裝置。將已經修飾好牛抗原的毛細管，浸泡於固定液面高度、濃度不同的牛抗體水溶液中，觀察毛細管內液面攀升的高度，以得知水溶液中牛抗體的大約濃度。我們將相同的玻璃罐瓶內注入 0.4 毫升的抗體溶液，而後在瓶口覆蓋上一層薄膜，然後在薄膜上裁剪出一個適合毛細管放入的孔洞，以便將毛細管置入，靜置 30 分鐘後確認液面沒有再攀升，記錄下結果。

## 八、改良攜帶式顯微鏡，使其成為輔助觀察的工具。

本實驗是為了避免觀察液晶感測系統結果上的不便利性，透過改良市面上的攜帶式顯微鏡，在觀察此液晶感測系統上能較不受場地限制，相較之下較為便利。我們將攜帶式顯微鏡貼上偏光片以模擬偏光顯微鏡，而後用黑紙隔離外在光線，並改良其他使用上的缺陷，使其成為輔助觀察結果的儀器。

## 九、將已使用的毛細管回收並進行實驗，檢測其是否有再次利用的可能。

將前述六個實驗所使用之毛細管回收，以乙醇用毛細現象將毛細管洗一次，再用丙酮以毛細現象洗一次，待洗完之後，將毛細管吸滿王水，並泡於王水之中 48 小時，再用清水洗淨後重複前述實驗。

## 伍、研究結果與討論

### 一、改變毛細管的粗細測量其對液晶排列的影響。

首先我們在已修飾好長碳鏈分子(DMOAP)的毛細管(厚度分別為0.1 mm 以及0.2 mm)填入液晶，觀察結果，以及在已修飾好長碳鏈分子的毛細管(厚度分別為0.1 mm 以及0.2 mm)填入 10  $\mu\text{g/ml}$  的 HSA，靜置 20 分鐘後以去離子水洗淨，填入液晶並置於偏光顯微鏡下觀察其結果。

結果如下：

HSA 濃度	粗毛細管 (2.0 mm x 0.2 mm)	細毛細管 (2.0 mm x 0.1 mm)
0 (圖三)	暗	暗
10 $\mu\text{g/ml}$ (圖四)	亮	暗

未添加 HSA

添加 HSA 10  $\mu\text{g/ml}$

上：2.0 mm x 0.1 mm(結果為暗)

2.0 mm x 0.1 mm (結果為暗)

下：2.0 mm x 0.2 mm(結果為暗)

2.0 mm x 0.2 mm (結果為亮)

## 二、改變人血清白蛋白的濃度，找出液晶感測系統能偵測到的最低濃度。

在利用微量滴管以及磷酸鹽緩衝生理食鹽水配製好不同抗原濃度的水溶液（濃度分別為：30  $\mu\text{g/ml}$ 、40  $\mu\text{g/ml}$ ）之後，將已修飾好長碳鏈分子的毛細管吸滿該溶液，並浸於其中 20 分鐘，而後再用去離子水洗淨並填入液晶，觀察結果如圖五：

	HSA 濃度 30 $\mu\text{g/ml}$	HSA 濃度 40 $\mu\text{g/ml}$
毛細管規格	2.0 mm x 0.1 mm	
結果	暗	亮



(圖五)

上：HSA 濃度 40  $\mu\text{g/ml}$  結果為亮

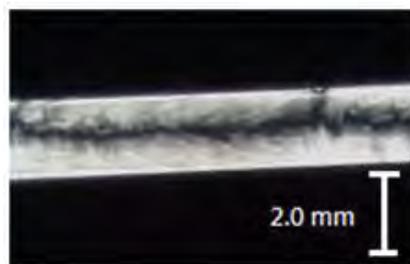
下：HSA 濃度 30  $\mu\text{g/ml}$  結果為暗

### 三、 確認抗原與抗體間的特異結合，排除其他物質對感測系統的影響。

承接上一個實驗，我們得知當人血清白蛋白（抗原）濃度達 40  $\mu\text{g/ml}$  的時候，才會影響液晶排列，故當濃度為 30  $\mu\text{g/ml}$  以下的時候，不會擾亂液晶排列，可作為背景訊號。因此，我們將已修飾長碳鏈分子之毛細管(規格為 2.0 mm x 0.1 mm)吸滿濃度為 20  $\mu\text{g/ml}$  的抗原溶液並靜置於其中二十分鐘之後，再將此毛細管浸於各種濃度的對應抗體以及其他抗體之中，並用去離子水將其洗淨，填入液晶之後，置於偏光顯微鏡下觀察其結果，藉此討論抗體與抗原間的特異結合是否發生。

觀察結果如下：

	anti-HSA 濃度 10 $\mu\text{g/ml}$	anti-IgG 濃度 10 $\mu\text{g/ml}$
毛細管規格	2.0 mm x 0.1 mm	
20 $\mu\text{g/ml}$ HSA	亮	暗



(圖六)



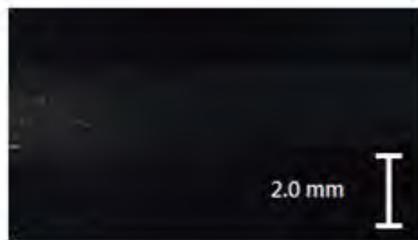
(圖七)

#### 四、改變人血清白蛋白抗體濃度，找出已修飾抗原（人血清白蛋白）的液晶感測系統能偵測到的抗體最低濃度。

承接上一個實驗，將已修飾長碳鏈分子以及抗原的毛細管吸滿不同濃度的人血清白蛋白抗體溶液，待浸於其中 20 分鐘之後，用 Tween-20 將其洗淨，以洗掉毛細管內物理吸附的其他物質，而後再填入液晶，在偏光顯微鏡下觀察結果。

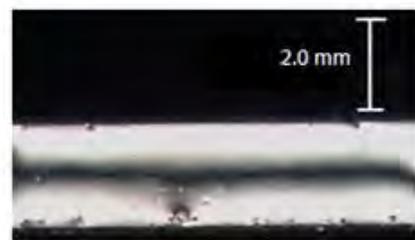
結果如下：

	HSA 30 $\mu\text{g/ml}$	HSA 20 $\mu\text{g/ml}$ anti-HSA 10 $\mu\text{g/ml}$	HSA 20 $\mu\text{g/ml}$ anti-HSA 5 $\mu\text{g/ml}$	HSA 20 $\mu\text{g/ml}$ anti-HSA 2.5 $\mu\text{g/ml}$
毛細管規格	2.0 mm x 0.1 mm			
結果	暗	亮	亮	暗



(圖八)

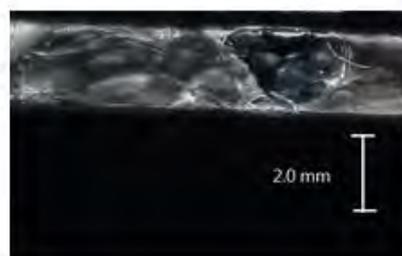
HSA 濃度 30  $\mu\text{g/ml}$  (結果為暗)



(圖九)<sup>+</sup>

HSA 濃度 20  $\mu\text{g/ml}$  <sup>+</sup>

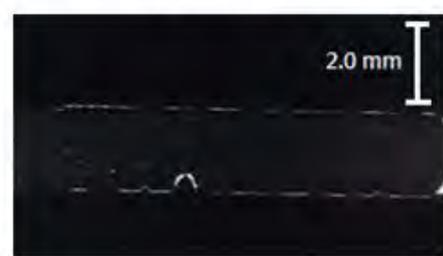
anti-HSA 濃度 10  $\mu\text{g/ml}$  (結果為亮)<sup>+</sup>



(圖十)

HSA 濃度 20  $\mu\text{g/ml}$

anti-HSA 濃度 5  $\mu\text{g/ml}$  (結果為亮)



(圖十一)<sup>+</sup>

HSA 濃度 20  $\mu\text{g/ml}$ <sup>+</sup>

anti-HSA 濃度 2.5  $\mu\text{g/ml}$  (結果為暗)

## 五、利用先前結果，改變原抗原（人血清白蛋白）為牛抗原，找出液晶感測系統能偵測牛抗原的最低濃度。

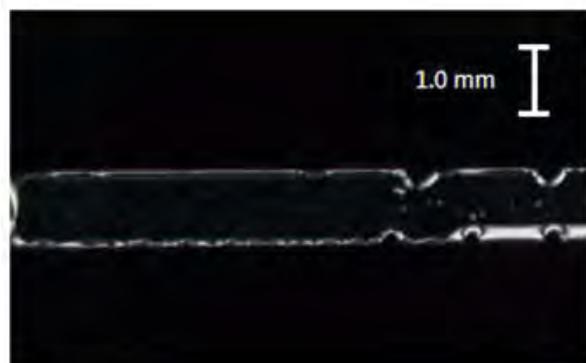
利用微量滴管以及磷酸鹽緩衝生理食鹽水配製好不同濃度的抗原溶液之後，將已修飾好長碳鏈分子的毛細管吸滿該溶液，並浸於其中 20 分鐘，而後再用去離子水洗淨，並填入液晶放於偏光顯微鏡下觀察。

結果如下：

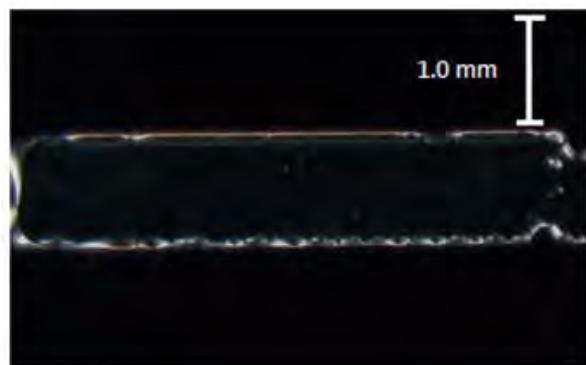
牛抗原濃度	30 $\mu\text{g/ml}$	25 $\mu\text{g/ml}$	20 $\mu\text{g/ml}$
結果	亮(圖十二)	暗(圖十三)	暗(圖十四)



(圖十二)牛抗原濃度 30  $\mu\text{g/ml}$  (結果為亮)



(圖十三)牛抗原濃度 25  $\mu\text{g/ml}$  (結果為暗)



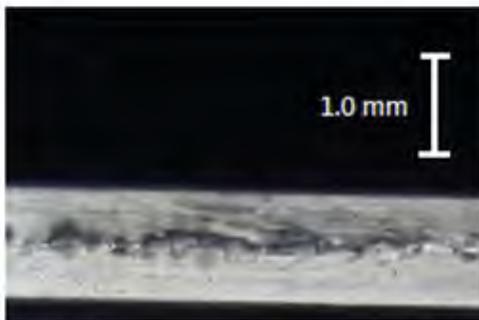
(圖十四)牛抗原濃度 20  $\mu\text{g/ml}$  (結果為暗)

## 六、改變牛抗體的濃度，找出已修飾牛抗原的液晶感測系統能偵測到的牛抗體最低濃度。

承接上一個實驗，將已修飾長碳鏈分子以及牛抗原（濃度：20  $\mu\text{g/ml}$ ）的毛細管浸於不同濃度的牛抗體之中，待 20 分鐘之後，用 T-20 將其洗淨，以洗掉物理吸附，而後再填入液晶，並置於顯微鏡下觀察結果。

結果如下：

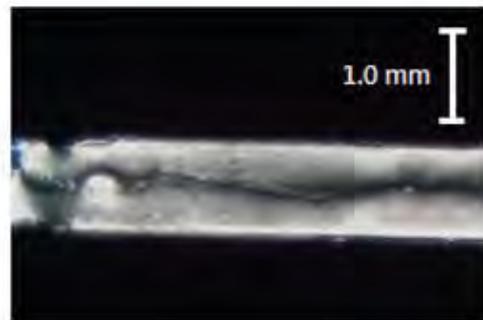
牛抗體濃度		10 $\mu\text{g/ml}$	5 $\mu\text{g/ml}$	2.5 $\mu\text{g/ml}$	1.25 $\mu\text{g/ml}$
結果	亮	亮	暗	暗	



(圖十五)

牛抗原濃度 20  $\mu\text{g/ml}$

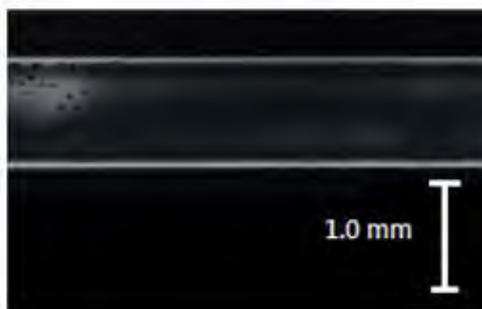
牛抗體濃度 10  $\mu\text{g/ml}$  (結果為亮)



(圖十六) <sup>+</sup>

牛抗原濃度 20  $\mu\text{g/ml}$  <sup>+</sup>

牛抗體濃度 5  $\mu\text{g/ml}$  (結果為亮) <sup>+</sup>



(圖十七)

牛抗原濃度 20  $\mu\text{g/ml}$

牛抗體濃度 2.5  $\mu\text{g/ml}$  (結果為暗)

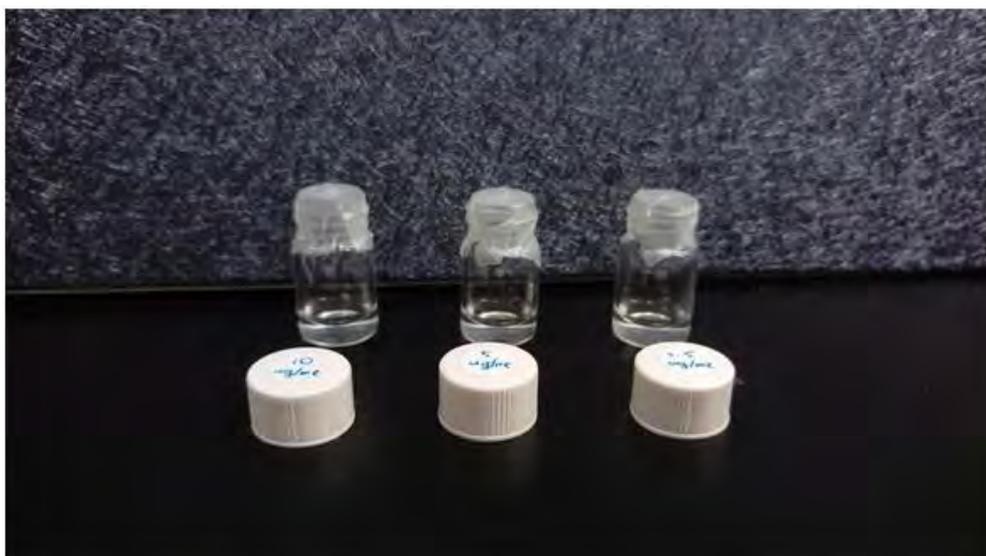


(圖十八) <sup>+</sup>

牛抗原濃度 20  $\mu\text{g/ml}$  <sup>+</sup>

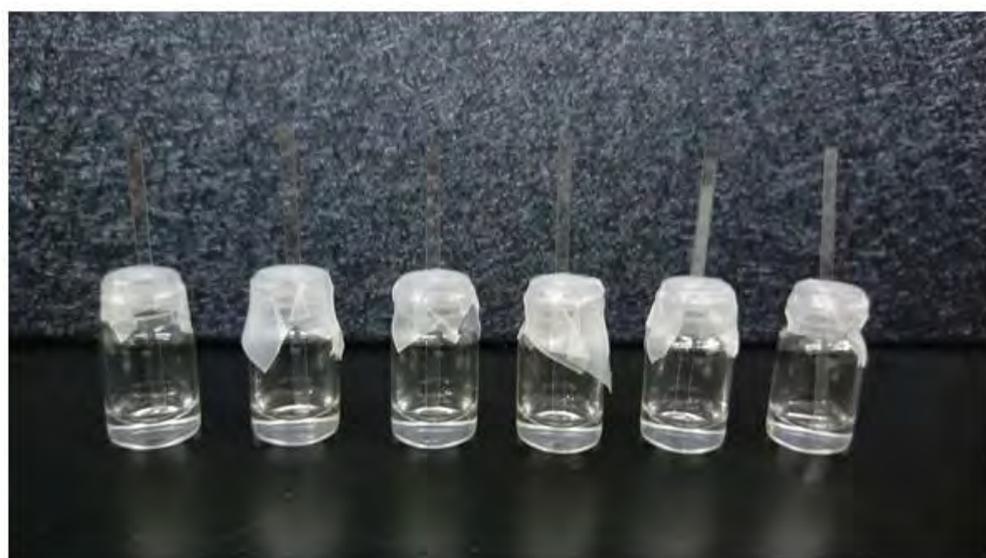
牛抗體濃度 1.25  $\mu\text{g/ml}$  (結果為暗) <sup>+</sup>

七、透過此感測系統，改良方法使其能量化濃度。



(圖十九)

圖十九為我們製作的簡易器材，瓶內分別含有 10  $\mu\text{g/ml}$ 、5  $\mu\text{g/ml}$  以及 2.5  $\mu\text{g/ml}$  的牛抗體溶液。

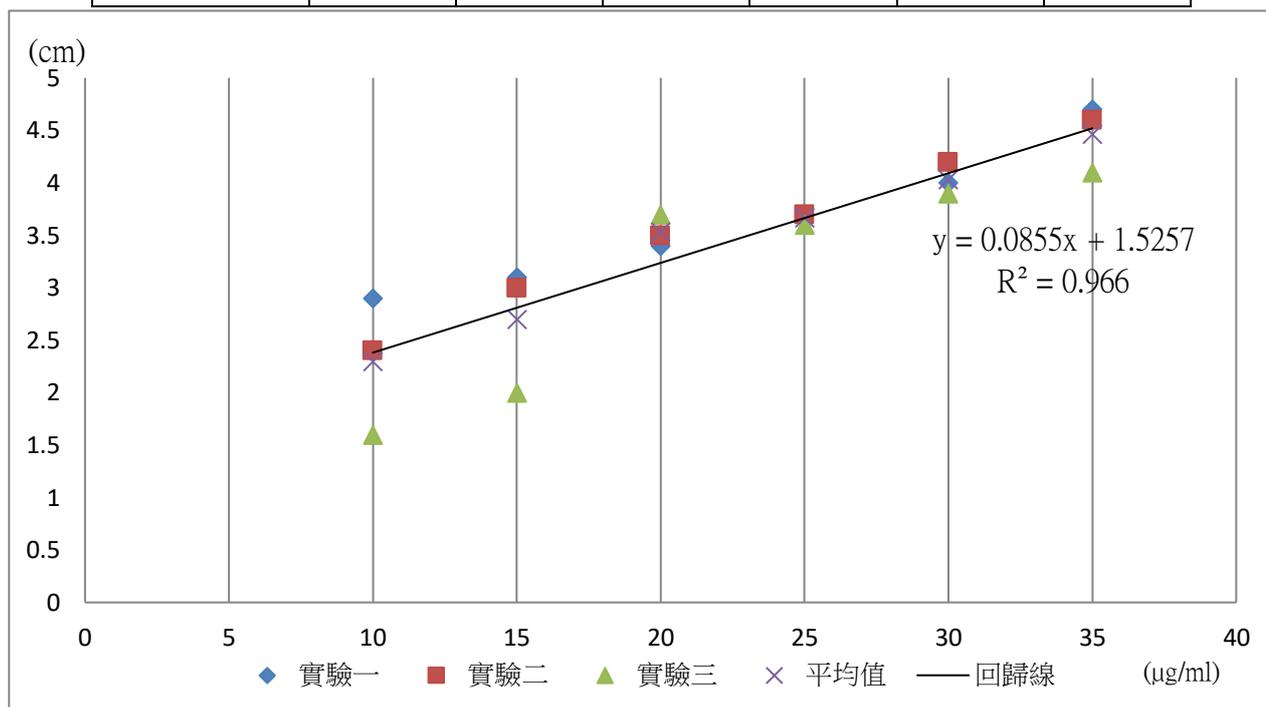


(圖二十)

圖二十為我們實驗的結果，從左至右，牛抗體的溶液濃度分別為 10  $\mu\text{g/ml}$ 、15  $\mu\text{g/ml}$ 、20  $\mu\text{g/ml}$ 、25  $\mu\text{g/ml}$ 、30  $\mu\text{g/ml}$ 、35  $\mu\text{g/ml}$ ，以下以表格呈現毛細管內溶液液面的高度。

下表呈現毛細管內的液面高度差，在不同濃度的抗體水溶液之間進行實驗的結果，其中第一列為水溶液樣本內的牛抗體濃度，而第二列到第四列依序為第一次實驗結果到第三次實驗結果，第五列則為每一次實驗結果的平均值。

濃度(μg/ml)	10	15	20	25	30	35
實驗一(cm)	2.9	3.1	3.4	3.7	4	4.7
實驗二(cm)	2.4	3	3.5	3.7	4.2	4.6
實驗三(cm)	1.6	2	3.7	3.6	3.9	4.1
平均值(cm)	2.3	2.7	3.53	3.67	4.03	4.47



我們將實驗結果以圖表呈現，並將平均值的回歸直線求出，我們發現了液面的高度差在濃度為 10 μg/ml 以上的時候，會與抗體濃度有正相關，我們可以利用這個性質，來估算我們測量的水溶液裡，牛抗體的含量多寡。

## 八、改良攜帶式顯微鏡，使其成為輔助觀察的工具。

便於攜帶為液晶感測系統的優點之一，但實驗中結果須由偏光顯微鏡使結果更容易觀察結果，且偏光顯微鏡體積較大且費用不低，故另找替代品可大幅增加此感測系統使用上的便利性，現今網路上許多購物平台均有販賣攜帶式顯微鏡，其價錢約介於四百至數千台幣之間，相較於實驗室使用的偏光顯微鏡，價格低了許多且便於攜帶，在研發、改良過程中，我們將顯微鏡的光源上方貼上一片 0 度的偏光片，而鏡頭上放置一 90 度的偏光片，以模擬偏光顯微鏡。我們以此器材取代體積較大不便攜帶的偏光顯微鏡，透過手機即可在任何地點觀察由毛細管製作的液晶感測系統結果。

改良步驟如下：

1. 在此顯微鏡之光源貼上一 0 度的偏光片。
2. 在鏡片上黏貼一片 90 度的偏光片。
3. 由於光線亮度不足，取出光源內部的霧面紙使其亮度上升。
4. 在觀察過程中，發現環境光線會穿過鏡片與光源間的夾層，使偏光片失去效果，故在周圍製作黑色紙板並固定，以避免外在光線的干擾。
5. 裁切外在紙板，使毛細管、玻片、鏡片等可以順利放入與取出。
6. 此顯微鏡可以藉由手機的輔助，使結果更容易觀察。

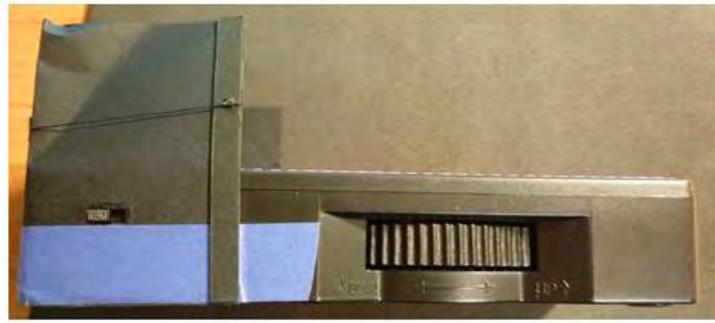
圖二十一與圖二十二為我們研發改良後的攜帶式顯微鏡照片



(圖二十一)

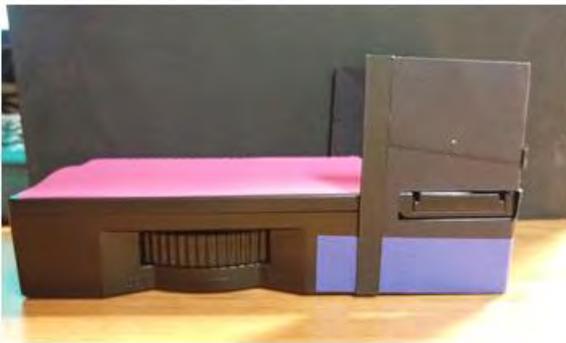


(圖二十二)

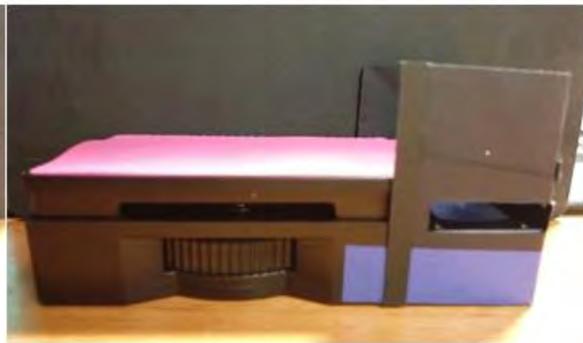


(圖二十三)

製作紙板之後，光源開關的孔需要避免讓環境的光源擾亂，所以我們在紙板上剪出的孔也盡可能縮小，旁邊的滾輪是可以調整顯微鏡的焦距，配合手機焦距調整，以利使用者觀察結果，成品如圖二十三所示。



(圖二十四)



(圖二十五)

為了避免外在環境燈光的影響，我們將放入鏡片與感測器的孔合併，減少光源進入的機會，成品如圖二十四與圖二十五所示。



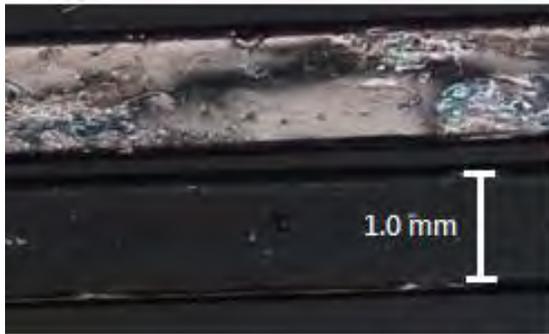
(圖二十六)



(圖二十七)

圖二十六與圖二十七中，我們在光源與鏡片上面貼上兩片互相垂直的偏光片，由圖二十六可看見光無法穿透，而圖二十七則是讓偏光片平行，光源就透到另一端，表示如果經過毛細管折射，光源的強度足以穿透，可以明顯將結果顯示在顯微鏡鏡頭的這端。

圖二十八為修飾過長碳鏈分子的毛細管（毛細管規格為 1.0 mm x 0.1 mm），手機螢幕圖中下方為浸泡過濃度為 40  $\mu\text{g/ml}$  的人血清白蛋白溶液，上方為直接填入液晶，填入液晶後將其置於攜帶式顯微鏡下觀察，其結果可看出下方毛細管顯示為暗，上方為亮。

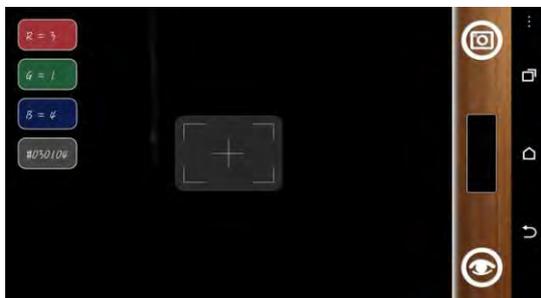


(圖二十九)

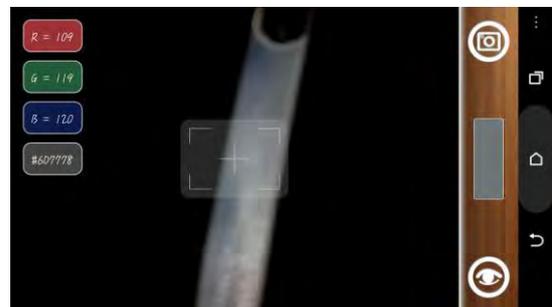


(圖二十八)

圖二十九為圖二十八的實驗結果置於偏光顯微鏡下的影像(下方為直接填入液晶的毛細管，上方為浸泡過 40  $\mu\text{g/ml}$  的人血清白蛋白水溶液後，再填入液晶)，下方為暗、上方為亮，其結果與改良後攜帶式顯微鏡所顯示的結果相符，故此攜帶式顯微鏡可做為偏光顯微鏡的替代品，以增加此液晶感測系統在使用上的便利性。



(圖三十)



(圖三十一)

由於使用肉眼觀察，可能會使得判斷顯得主觀，誤判也很有可能發生，因此我們結合手機的應用程式：ColorMeterFree 來觀察液晶感測系統的結果，結果如圖三十，圖為手機螢幕擷取畫面，上圖可看見 R、G、B 數值均小，表示穿過的光線少，即液晶感測系統內牛抗體濃度低於標準。而圖三十一中，R、G、B 數值就明顯偏大，我們可以知道，感測系統內牛抗體的濃度高於標準。

九、將已使用的毛細管回收並進行實驗，檢測其是否有再次利用的可能。

將前述六個實驗所使用之毛細管回收，以乙醇用毛細現象將毛細管洗一次，再用丙酮以毛細現象洗一次，待洗完之後，將毛細管吸滿王水，並泡於王水之中 48 小時，再用清水洗淨後重複前述實驗。

檢視結果如下：



(圖三十二)

圖三十二中的毛細管為泡過 HSA 濃度為 5  $\mu\text{g/ml}$  的回收毛細管(未再重新修飾長碳鏈)填入液晶後至於偏光顯微鏡底下觀察結果，可看出有部分區域液晶排列不整齊，部分整齊且不均勻。



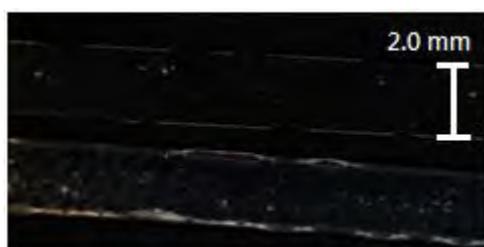
(圖三十三)

圖三十三為回收毛細管直接填入液晶並在偏光顯微鏡下顯示的結果，可看出液晶排列部分整齊，部分不整齊，毛細管右側部分為灰色，代表光線經過折射，液晶排列不整齊，而圖中中央彩色部分，表示液晶排列十分不整齊。

## 陸、討論

### 一、改變毛細管的粗細測量其對液晶排列的影響。

HSA 濃度	0 (圖三十四)	10 $\mu\text{g/ml}$ (圖三十五)
粗毛細管(2.0 mm x 0.2 mm)	暗	亮
細毛細管(2.0 mm x 0.1 mm)	暗	暗



(圖三十四)

未添加 HSA

上：2.0 mm x 0.1 mm (結果為暗)

下：2.0 mm x 0.2 mm (結果為暗)



(圖三十五)

添加 HSA 10  $\mu\text{g/ml}$

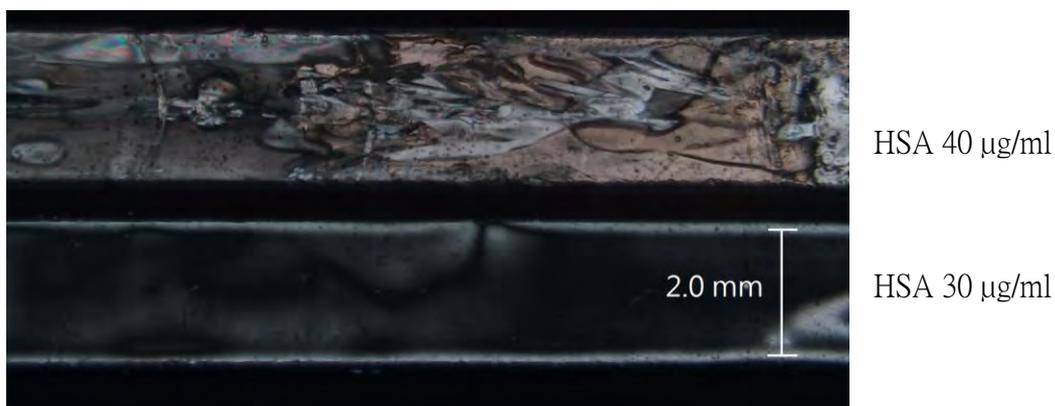
2.0 mm x 0.1 mm (結果為暗)

2.0 mm x 0.2 mm (結果為亮)

由實驗結果可以發現，當人血清白蛋白濃度達到 10  $\mu\text{g/ml}$  的時候，細毛細管(厚度 0.1 mm)內的液晶排列較粗毛細管(厚度 0.2 mm)內的液晶整齊，其原因是因為液晶若要排列整齊，需要藉由長碳鏈控制，然而若長碳鏈分子之間的距離因為毛細管的厚度增加而變遠，其控制液晶排列的能力將下降，所以在此實驗中，毛細管粗細會影響液晶排列的整齊度，由於粗毛細管控制液晶排列的能力較細毛細管差，為了避免之後感測溶液中目標物質時受其他物質干擾，故選用控制液晶排列的能力較佳的細毛細管作為實驗用毛細管。

二、改變人血清白蛋白的濃度，找出液晶感測系統能偵測到的最低濃度。

	HSA 30 $\mu\text{g/ml}$	HSA 40 $\mu\text{g/ml}$
毛細管規格	2.0 mm x 0.1 mm	
結果	暗	亮

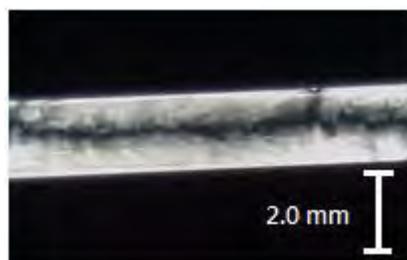


(圖三十六)

由實驗結果可以得知，由細毛細管製作的液晶感測系統能測得人血清白蛋白之最低濃度為 30  $\mu\text{g/ml}$ 。檢測抗體(抗體為目標分子)需要藉由抗原來做為探針分子，且此探針分子不可影響液晶排列，故要在毛細管內部鋪上一層抗原且不影響液晶排列，濃度不可高過於 30  $\mu\text{g/ml}$ ，因此我們在下一個實驗裡使用濃度為 20  $\mu\text{g/ml}$  的抗原水溶液在毛細管內部修飾抗原來做為檢測抗體的探針分子。

### 三、確認抗原與抗體間的特異結合，排除其他物質對感測系統的影響。

	10 $\mu\text{g/ml}$ anti-HSA	10 $\mu\text{g/ml}$ anti-IgG
20 $\mu\text{g/ml}$ HSA	亮 (圖三十七)	暗 (圖三十八)



(圖三十七)

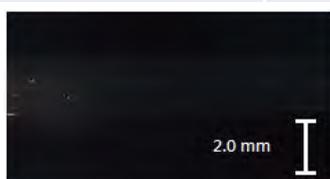


(圖三十八)

由實驗發現，當毛細管(已用長碳鏈分子修飾並且以濃度為 20  $\mu\text{g/ml}$  的人血清白蛋白浸泡 20 分鐘)浸泡於分別濃度為 10  $\mu\text{g/ml}$  的人血清白蛋白抗體以及同濃度的牛抗體 20 分鐘，並以毛細現象洗淨，且在浸泡完抗體溶液之後，有使用 Tween-20 洗去毛細管內部物理吸附的其他物質，可避免其他物質的干擾。填入液晶並置於偏光顯微鏡下觀察發現，填有人血清白蛋白抗體之毛細管較填有牛抗體亮，表示在浸泡抗體溶液時，抗原(人血清白蛋白，HSA)的對應抗體(人血清白蛋白抗體,anti-HSA)有與其結合，可知利用抗原與抗體的特異結合可以避免溶液中其他物質的干擾。

四、改變人血清白蛋白抗體濃度，找出已修飾抗原（人血清白蛋白）的液晶感測系統能偵測到的抗體最低濃度。

	HSA 30 $\mu$ g/ml	HSA 20 $\mu$ g/ml a-HSA10 $\mu$ g/ml	HSA 20 $\mu$ g/ml a-HSA 5 $\mu$ g/ml	HSA 20 $\mu$ g/ml a-HSA 2.5 $\mu$ g/ml
毛細管規格	2.0 mm x 0.1 mm			
結果	暗（圖三十九）	亮（圖四十）	亮（圖四十一）	暗（圖四十二）



（圖三十九）

HSA 濃度 30  $\mu$ g/ml

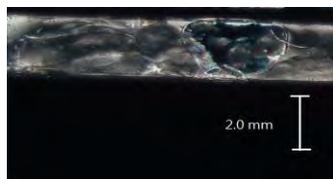
（結果為暗）



（圖四十）

HSA 濃度 20  $\mu$ g/ml

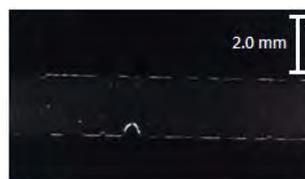
anti-HSA 濃度 10  $\mu$ g/ml（結果為亮）



（圖四十一）

HSA 濃度 20  $\mu$ g/ml

anti-HSA 濃度 5  $\mu$ g/ml（結果為亮）



（圖四十二）

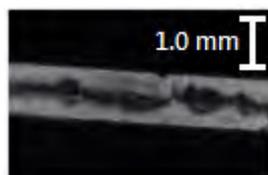
HSA 濃度 20  $\mu$ g/ml

anti-HSA 濃度 2.5  $\mu$ g/ml（結果為暗）

承接上一個實驗，其結果可知，可利用抗原與抗體的特異結合，使液晶感測系統更加準確，由本實驗得到我們能偵測到的人血清白蛋白抗體(anti-HSA)的最低濃度為 5  $\mu$ g/ml，當人血清白蛋白抗體(anti-HSA)濃度降低至 2.5  $\mu$ g/ml 時就無法擾亂液晶排列，故此液晶感測系統能測得最低之人血清白蛋白濃度為 5  $\mu$ g/ml。

五、利用先前結果，改變原抗原（人血清白蛋白）為牛抗原，找出液晶感測系統能偵測牛抗原的最低濃度。

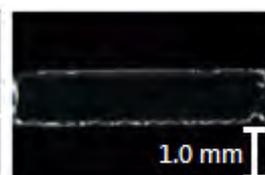
牛抗原濃度	30 $\mu\text{g/ml}$	25 $\mu\text{g/ml}$	20 $\mu\text{g/ml}$
結果	亮（圖四十三）	暗（圖四十四）	暗（圖四十五）



（圖四十三）



（圖四十四）



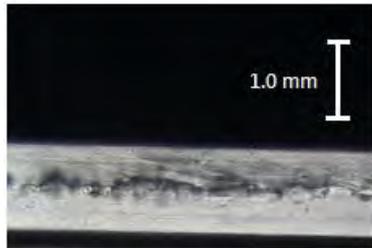
（圖四十五）

從第一個實驗到第五個實驗的結果，我們發現偏光顯微鏡下，毛細管的兩側較亮，中央有一條暗的線，此結果推測可能原因為在浸泡抗原或抗體水溶液時，抗原或抗體吸附在玻璃的兩側，故僅影響了毛細管內兩側的液晶排列，毛細管中間部分的液晶不受干擾，為了避免檢測過程中，中間暗的訊號造成感測器使用者判斷的誤差，所以在檢測牛抗原以及牛抗體的實驗中，改用另外一種規格的毛細管(規格為 1.0 mm x 0.1 mm)，此規格的毛細管寬度較之前窄一半，毛細管內可能吸附的抗原或抗體距離較近，故較可避免感測器中間暗的訊號的干擾。

由第二個實驗作為基礎，將原本的抗原(人血清白蛋白)改成牛抗原，與之前相同，抗原在之後的實驗將作為探針分子，其濃度不可影響液晶排列，從本實驗得知，由細毛細管製作的液晶感測系統，能測得牛抗原的最低濃度為 30  $\mu\text{g/ml}$ ，故如果要在毛細管內部鋪上一層牛抗原且不影響液晶排列，濃度不可高過於 30  $\mu\text{g/ml}$ ，因此我們在下一個實驗裡使用 20  $\mu\text{g/ml}$  的濃度在毛細管內部修飾牛抗原做為檢測牛抗體的探針分子。

六、改變牛抗體的濃度，找出已修飾牛抗原的液晶感測系統能偵測到的牛抗體最低濃度。

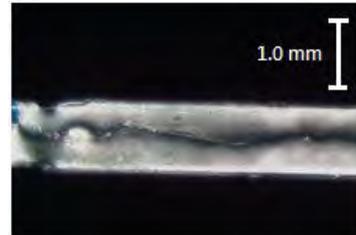
牛抗體濃度	10 $\mu\text{g/ml}$	5 $\mu\text{g/ml}$	2.5 $\mu\text{g/ml}$	1.25 $\mu\text{g/ml}$
結果	亮(圖四十六)	亮(圖四十七)	暗(圖四十八)	暗(圖四十九)



(圖四十六)

牛抗原濃度 20  $\mu\text{g/ml}$

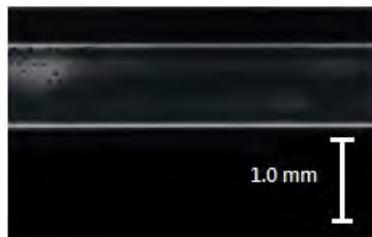
牛抗體濃度 10  $\mu\text{g/ml}$  (結果為亮)



(圖四十七)

牛抗原濃度 20  $\mu\text{g/ml}$

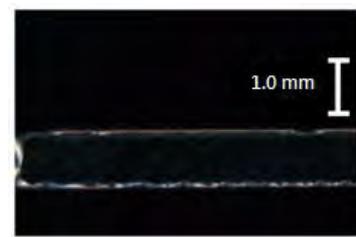
牛抗體濃度 5  $\mu\text{g/ml}$  (結果為亮)



(圖四十八)

牛抗原濃度 20  $\mu\text{g/ml}$

牛抗體濃度 2.5  $\mu\text{g/ml}$  (結果為暗)



(圖四十九)

牛抗原濃度 20  $\mu\text{g/ml}$

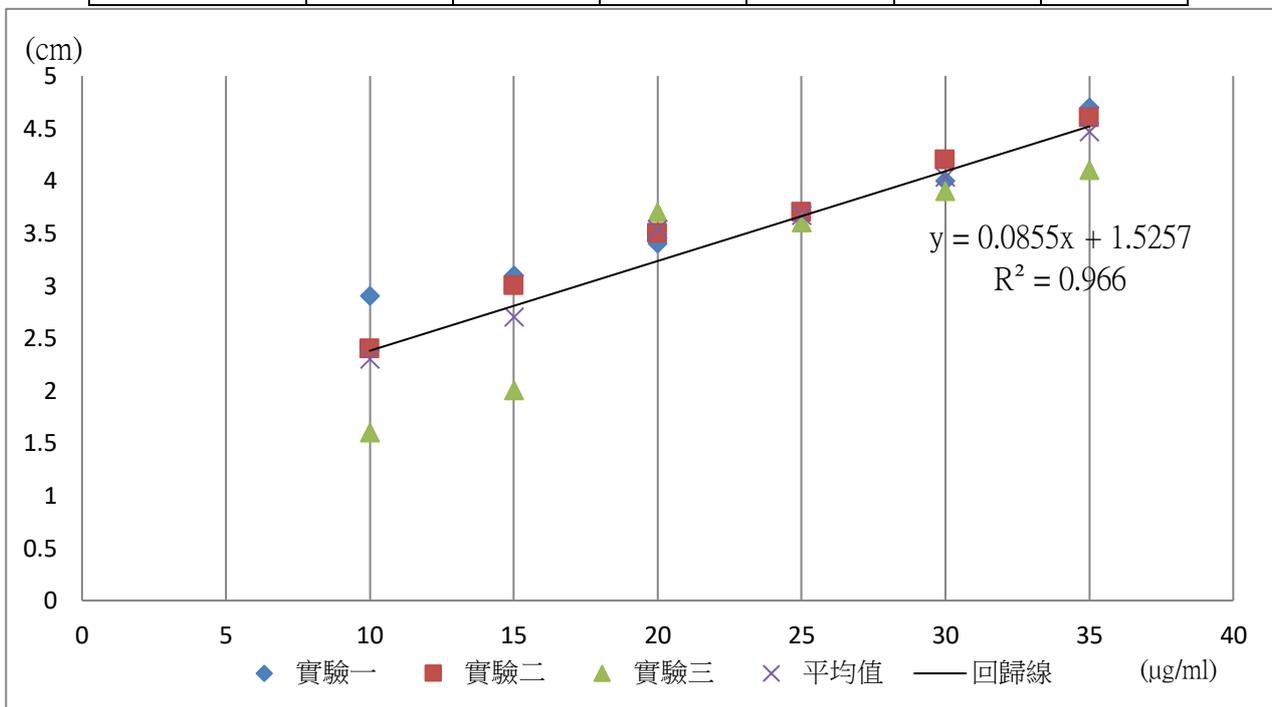
牛抗體濃度 1.25  $\mu\text{g/ml}$  (結果為暗)

由第四個實驗作為基礎，將原本的抗原(人血清白蛋白,HSA)改成牛抗原，將抗體改變成牛抗體，並承接第五個實驗，在毛細管內部修飾一層濃度無法影響毛細管內液晶排列的牛抗原作為探針分子。在本實驗中，我們能偵測到的牛抗體最低濃度為 5  $\mu\text{g/ml}$ ，當濃度降低至 2.5  $\mu\text{g/ml}$  就無法擾亂液晶排列，故此液晶感測系統能測得之牛抗體濃度為 5  $\mu\text{g/ml}$ 。

## 七、透過此感測系統，改良方法使其能量化濃度。

下表呈現毛細管內的液面高度差，在不同濃度的抗體水溶液之間進行實驗的結果，其中第一列為水溶液樣本內的牛抗體濃度，而第二列到第四列依序為第一次實驗結果到第三次實驗結果，第五列則為每一次實驗結果的平均值。

濃度(μg/ml)	10	15	20	25	30	35
實驗一(cm)	2.9	3.1	3.4	3.7	4	4.7
實驗二(cm)	2.4	3	3.5	3.7	4.2	4.6
實驗三(cm)	1.6	2	3.7	3.6	3.9	4.1
平均值(cm)	2.3	2.7	3.53	3.67	4.03	4.47



從實驗結果可以得知，濃度愈高，而其毛細管內的液面高度也愈高，然而，當濃度為 5 μg/ml 以下的時候，毛細管內的液面高度差則為 0 mm，我們推測其原因可能是抗體濃度過低，以致於無法覆蓋原本修飾於毛細管管壁內側的 DMOAP，因此毛細管內部仍保持較疏水的狀態，而當濃度突破 10 μg/ml 的時候，牛抗體與牛抗原結合，濃度就高到足以使毛細管內部達到較親水的狀態，因此毛細現象比較明顯，液面攀升的高度也自然較高。從實驗中，我們觀察到毛細管浸泡於濃度高於 10 μg/ml 的實驗裡，牛抗體濃度每上升 5 μg/ml，液面高度差約為 4mm，因此，我們可以透過觀察液面高度差來判斷水溶液中牛抗體的濃度。

## 八、改良攜帶式顯微鏡，使其成為輔助觀察的工具。



(圖五十一)

(圖五十)

圖五十為毛細管置於改良後的攜帶式顯微鏡下方觀察的結果，上方為浸泡過濃度為  $40 \mu\text{g/ml}$  的人血清白蛋白水溶液後再填入液晶，下方為直接填入液晶的毛細管（毛細管規格皆為  $1.0 \text{ mm} \times 0.1 \text{ mm}$ ），而圖五十一為同一組實驗結果置於實驗室內內的偏光顯微鏡下觀察得到的結果，上方為浸泡過濃度為  $40 \mu\text{g/ml}$  的人血清白蛋白水溶液後再填入液晶，下方為直接填入液晶的毛細管（毛細管規格皆為  $1.0 \text{ mm} \times 0.1 \text{ mm}$ ）。改良後的攜帶式顯微鏡所顯示的結果與偏光顯微鏡下顯示的結果相同，故此改良後的攜帶式顯微鏡可以做為偏光顯微鏡的替代品。

改良後的攜帶式顯微鏡仍有一些缺點，例如對焦上會較偏光顯微鏡模糊，且需要花較長的時間比較毛細管的亮暗，雖然在黑暗的環境下觀察效果更好，但此又增加的一項場地限制，不過相較於體積龐大、價格昂貴的偏光顯微鏡，此改良後的攜帶式顯微鏡仍較便利、價錢也低了許多，且觀察上面也不失其準確性，可以成為輔助觀察液晶感測系統結果的儀器。

九、將已使用的毛細管回收並進行實驗，檢測其是否有再次利用的可能。



(圖五十二)

將毛細管回收並用乙醇與丙酮洗過(以洗去毛細管內殘留的液晶等),浸泡於王水兩天之後,將其重新作為實驗用之毛細管,研究結果如圖五十二,我們發現毛細管內部部分的液晶排列不整齊,部分整齊且不均勻,可能原因為部分碳鏈被破壞而部分沒有,回收後的毛細管品質參差不齊,會使液晶感測系統能偵測到的目標分子濃度不同,所以目前方法並無法將毛細管回收。



(圖五十三)

若排除其他物質的干擾,僅填入液晶觀察的結果如圖五三,我們發現液晶排列部分整齊、部分不整齊,代表毛細管內部長碳鏈分子被破壞的程度有極大不同,若回收毛細管,可能造成下一次實驗上有更多變數,所以目前此方法無法將毛細管回收進行第二次實驗。

## 柒、結論

一、利用改變毛細管的粗細測量毛細管粗細對液晶排列的影響。

結果顯示細毛細管(規格為 2.0 mm x 0.1 mm)內的液晶排列較粗毛細管(規格為 2.0 mm x 0.2 mm)內的液晶整齊。

二、改變人血清白蛋白(抗原)的濃度，找出液晶感測系統能適用的抗原濃度。

由細毛細管製作的液晶感測系統能測得人血清白蛋白之最低濃度為 30  $\mu\text{g/ml}$ 。

三、抗原與抗體間有特異結合，可利用其排除其他物質對感測系統的影響。

毛細管在浸泡完人血清白蛋白抗體溶液之後，再使用 Tween-20 洗去毛細管內的物理吸附後，可避免其他物質的干擾。

四、利用改變人血清白蛋白抗體濃度，找出已修飾抗原(人血清白蛋白)的液晶感測系統能偵測到的人血清白蛋白抗體最低濃度。

由細毛細管所製作的液晶感測系統能測得最低之人血清白蛋白抗體濃度為 5  $\mu\text{g/ml}$ 。

五、利用先前結果，改變原抗原為牛抗原，找出液晶感測系統能偵測牛抗原的最低濃度。

從實驗得知，由細毛細管製作的液晶感測器，能測得牛抗原的最低濃度為 30  $\mu\text{g/ml}$ 。

六、利用改變牛抗體的濃度，找出已修飾牛抗原的液晶感測系統能偵測到的牛抗體最低濃度。

由細毛細管所製作的液晶感測系統能測得之牛抗體濃度為 5  $\mu\text{g/ml}$ 。

七、透過此感測系統，改良方法使其能檢測水溶液中牛抗體的濃度。

若水溶液中牛抗體濃度高於 10  $\mu\text{g/ml}$  時，我們可以透過液面高度差估算抗體濃度。

八、改良過後之攜帶式顯微鏡，由於可以利用手機便可以簡易地觀察出結果並作記錄，故其可成為輔助觀察液晶感測系統的工具。

九、將已使用後的毛細管重新回收進行實驗，檢測其是否有再次利用的可能。

由於長碳鏈無法被完全清除，所以目前方法並無法將毛細管回收重複實驗。

## 捌、參考資料

一、南一版基礎化學(二)p178~p180 液晶材料的相關應用

二、可攜式液晶感測系統的發展與應用(作者：陳志欣、黃致為、陳韋龍、楊儒翰)

三、即時檢測汞離子／胰蛋白酶的液晶感測系統(作者：林義程)

## 【評語】 050202

該作品利用毛細管作為載體，結合液晶現象與抗原抗體作用，展現出生活層面的應用價值與創意。

成功的改良攜帶式顯微鏡並利用手機 APP 作為一簡單有效的量測工具，值得嘉許。

雖然應用於真實奶品檢測時會因為基質擾嚴重，暫無法展現應用價值，但整體上仍不影響該作品在創意上的表現。

作品海報

## 摘要

本研究是利用液晶的光學紋理圖像，測量水溶液中牛抗體的存在。我們先以人類血清白蛋白（HSA）做為實驗的基礎，來了解此液晶感測系統的特性，以及測量一些基本數據之後，再將此系統進行檢測牛抗體的研究，由於液晶容易受到周圍環境的變化而改變其排列方式，而其光學訊號也會隨之改變，若溶液中的牛抗體濃度達一定程度，即會產生特定的光學訊號，我們在本研究中使用毛細管作為觀察的基板，藉此成為便於觀察的感測系統。

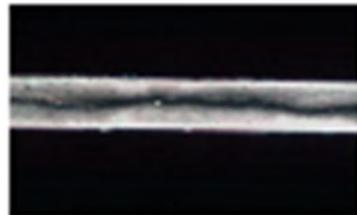
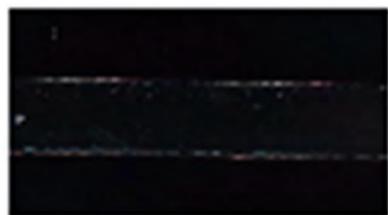
## 研究動機

免疫分析是近年來備受重視的一種快速篩檢機制，舉凡疾病的快速篩檢到日常食品的檢測，均與免疫分析有密不可分的關係，近年來，食安問題日趨嚴重，根據新聞我們得知，由於羊奶價格普遍較牛奶為高，有不肖商人將其混入牛奶充當羊奶賣給消費者，消費者的利益明顯受到損害。羊奶為市面上常見的飲品之一，民衆購買羊奶作為營養的補充來源，為了提供一個更容易檢測羊奶裡是否有參入牛奶的方法，我們透過液晶感測系統製作感測器並改良使用上的便利性，以讓消費者能輕易地檢測出自己購買的羊奶產品裡是否有參入牛奶。

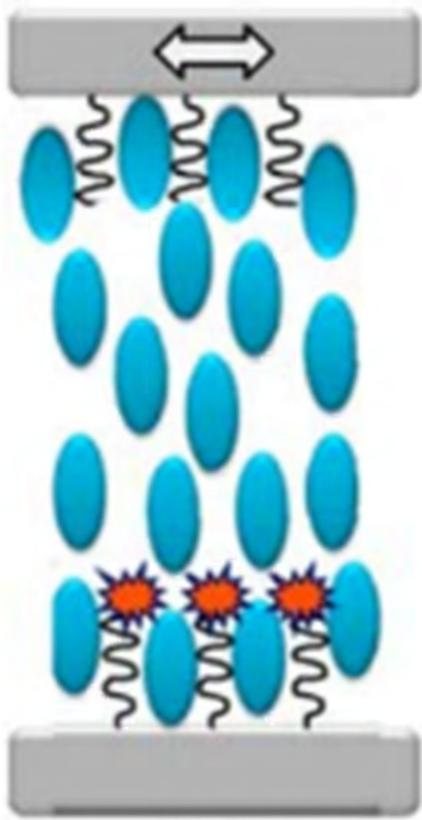
## 壹、研究目的

- 一、改變毛細管的粗細測量其對液晶排列的影響。
- 二、改變人血清白蛋白的濃度，找出液晶感測系統能偵測到的最低濃度。
- 三、確認抗原與抗體間的特異結合，排除其他物質對感測系統的影響。
- 四、改變人血清白蛋白抗體濃度，找出已修飾抗原（人血清白蛋白）的感測系統能偵測到的抗體最低濃度。
- 五、利用先前結果，改變原抗原（人血清白蛋白）為牛抗原，找出液晶感測系統能偵測牛抗原的最低濃度。
- 六、改變牛抗體的濃度，找出已修飾牛抗原的液晶感測系統能偵測到的牛抗體最低濃度。
- 七、透過此感測系統，改良方法使其能量化濃度。
- 八、改良攜帶式顯微鏡，使其成為輔助觀察的工具。
- 九、將已使用的毛細管回收並進行實驗，檢測其是否有再次利用的可能。

洗淨毛細管 → 修飾長碳鏈 → 修飾抗原 → 洗淨 → 浸泡抗體溶液 → 洗淨 → 填入液晶觀察



光學訊號



毛細管壁

液晶分子



光源



抗原



抗體

## 伍、研究結果與討論

一、改變毛細管的粗細測量其對液晶排列的影響。

HSA濃度	粗毛細管 (2.0 mm x 0.2 mm)	細毛細管 (2.0 mm x 0.1 mm)
0 ( $\mu\text{g/ml}$ )	暗	暗
10 ( $\mu\text{g/ml}$ )	亮	暗

二、改變人血清白蛋白的濃度，找出液晶感測系統能偵測到的最低濃度。

HSA濃度	10 $\mu\text{g/ml}$	20 $\mu\text{g/ml}$	30 $\mu\text{g/ml}$	40 $\mu\text{g/ml}$
毛細管規格	2.0 mm x 0.1 mm			
結果	暗	暗	暗	亮

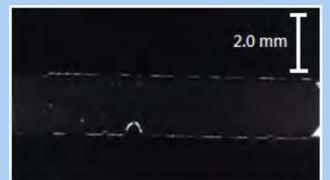
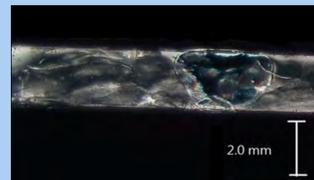
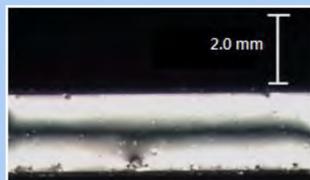
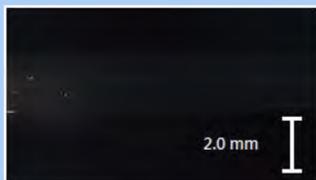
三、確認抗原與抗體間的特異結合，排除其他物質對感測系統的影響。

	anti-HSA濃度 10 $\mu\text{g/ml}$	anti-IgG濃度 10 $\mu\text{g/ml}$
毛細管規格	2.0 mm x 0.1 mm	
HSA 20 $\mu\text{g/ml}$	亮	暗

四、改變人血清白蛋白抗體濃度，找出已修飾抗原的感測系統能偵測到的抗體最低濃度。

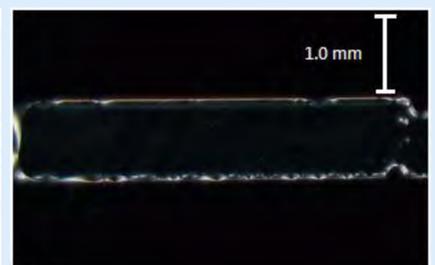
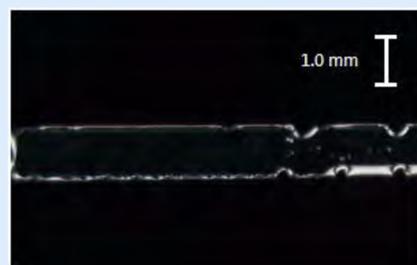
HSA修飾濃度：20  $\mu\text{g/ml}$

	HSA 20 $\mu\text{g/ml}$	anti-HSA 10 $\mu\text{g/ml}$	anti-HSA 5 $\mu\text{g/ml}$	anti-HSA 2.5 $\mu\text{g/ml}$
毛細管規格	2.0 mm x 0.1 mm			
結果	暗	亮	亮	暗



五、利用先前結果，改變原抗原為牛抗原，找出液晶感測系統能偵測牛抗原的最低濃度。

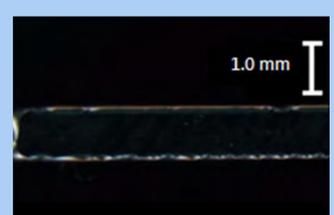
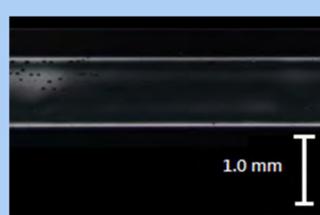
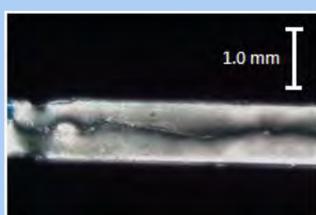
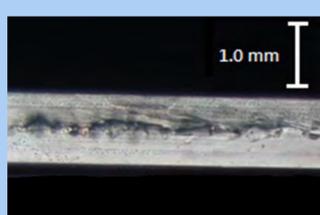
牛抗原濃度	30 $\mu\text{g/ml}$	25 $\mu\text{g/ml}$	20 $\mu\text{g/ml}$
結果	亮	暗	暗



六、改變牛抗體的濃度，找出已修飾牛抗原的液晶感測系統能偵測到的牛抗體最低濃度。

牛抗原修飾濃度：20  $\mu\text{g/ml}$

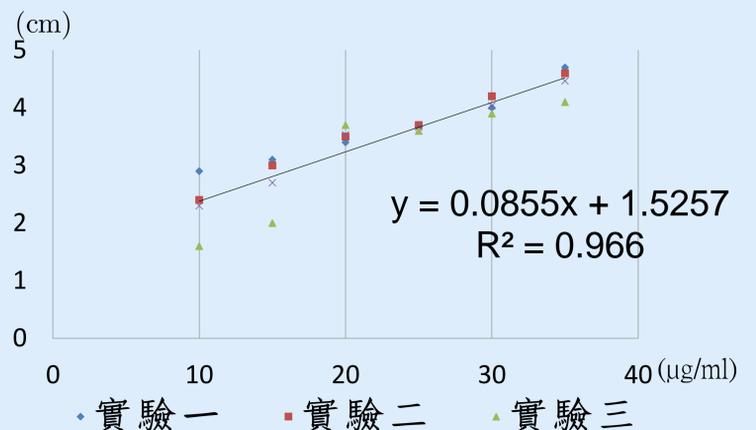
牛抗體濃度	10 $\mu\text{g/ml}$	5 $\mu\text{g/ml}$	2.5 $\mu\text{g/ml}$	1.25 $\mu\text{g/ml}$
結果	亮	亮	暗	暗



## 伍、研究結果與討論(接續上頁)

### 七、透過此感測系統，改良方法使其能量化濃度

濃度 ( $\mu\text{g/ml}$ )	10	15	20	25	30	35
實驗一 (cm)	2.9	3.1	3.4	3.7	4	4.7
實驗二 (cm)	2.4	3	3.5	3.7	4.2	4.6
實驗三 (cm)	1.6	2	3.7	3.6	3.9	4.1
平均值 (cm)	2.3	2.7	3.53	3.67	4.03	4.47



### 八、改良攜帶式顯微鏡，使其可成為輔助觀察液晶感測系統的工具。



手機螢幕圖中下方為浸泡過濃度 $40 \mu\text{g/ml}$ 的人血清白蛋白溶液，上方為直接填入液晶，填入液晶後將其置於攜帶式顯微鏡觀察，其結果可看出下方毛細管顯示為暗，上方為亮。

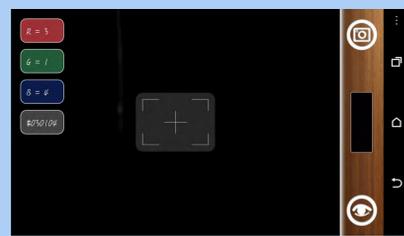


左圖為左方結果在偏光顯微鏡下的結果(右方為直接填入液晶的毛細管，左方為浸泡過 $40 \mu\text{g/ml}$ 的人血清白蛋白水溶液，再填入液晶)，右方為暗、左方為亮，其結果與改良後攜帶式顯微鏡所顯示的結果相符，故此攜帶式顯微鏡可做為偏光顯微鏡的替代品，以增加此液晶感測系統使用上的便利性。

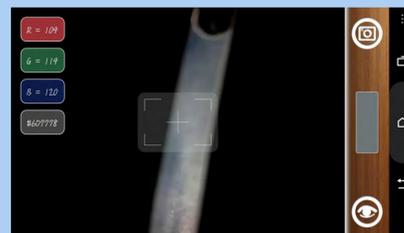
由於使用肉眼觀察，可能會使得判斷顯得主觀，誤判也很有可能發生，因此我們結合手機的應用程式：

ColorMeterFree 來觀察液晶感測系統的結果，結果如右，圖為手機螢幕擷取畫面，上圖可看見R、G、B數值均小，表示穿過的光線少，即液晶感測系統內牛抗體濃度低於標準。

而下圖R、G、B數值就明顯偏大，我們可以知道，感測系統內牛抗體的濃度高於標準。



牛抗原濃度： $20 \mu\text{g/ml}$   
牛抗體濃度： $1.25 \mu\text{g/ml}$   
R:3 G:1 B:4



牛抗原濃度： $20 \mu\text{g/ml}$   
牛抗體濃度： $5 \mu\text{g/ml}$   
R:109 G:119 B:120

### 九、將已使用後的毛細管重新回收進行實驗，檢測其是否有再次利用的可能。

將前述六個實驗所使用之毛細管回收，以乙醇用毛細現象將毛細管洗一次，再用丙酮以毛細現象洗一次，待洗完之後，將毛細管吸滿王水，並泡於王水之中48小時，再用清水洗淨後重複前述實驗。



此為泡過HSA濃度為 $5 \mu\text{g/ml}$ 的回收毛細管，可看出有部分區域液晶排列不整齊，部分整齊且不均勻。



此為回收毛細管直接填入液晶並在偏光顯微鏡下顯示的結果，可看出液晶排列部分整齊，部分不整齊。

## 陸、結論

- 一、抗原與抗體間有特異結合，可利用其排除其他物質對感測系統的影響。  
毛細管在浸泡完人血清白蛋白抗體溶液之後，再使用Tween-20洗去毛細管內的物理吸附後，可避免其他物質的干擾。
- 二、利用先前結果，改變原抗原為牛抗原，由細毛細管製作的液晶感測系統能偵測牛抗原的最低濃度為 $30 \mu\text{g/ml}$ 。
- 三、利用改變牛抗體的濃度，由已經修飾過牛抗原 $20 \mu\text{g/ml}$ 的細毛細管所製作的液晶感測系統能測得之牛抗體濃度為 $5 \mu\text{g/ml}$ 。
- 四、若水溶液中牛抗體高於 $10 \mu\text{g/ml}$ 時，我們可以透過液面高度差計算抗體濃度。
- 五、改良過後之攜帶式顯微鏡，由於可以利用手機的應用程式便可以簡易地觀察出結果並作記錄，故其可成為輔助觀察液晶感測系統的工具。

## 柒、參考資料

- 一、南一版基礎化學(二)p178~p180液晶材料的相關應用
- 二、可攜式液晶感測系統的發展與應用(作者：陳志欣、黃致為、陳韋龍、楊儒翰)
- 三、即時檢測汞離子/胰蛋白酶的液晶感測系統(作者：林義程)