

中華民國第42屆中小學科學展覽會

∴ 作品說明書 ∴

國中-應用科學科

科 別：生活與應用科學

組 別：國 中 組

作品名稱：The Colors - 光與顏色的關係與其在噴墨印表機上的應用

關 鍵 詞：色 彩、可見光、吸收度

編 號：030809

學校名稱：

高雄市立五福國民中學

作者姓名：

陳思穎、莊宏一、陳震宇、林昭汝

指導老師：

許峰銘、廖西鎮



The Colors

- 光與顏色的關係

與其在噴墨印表機上的應用 -

壹、摘要

在國中理化中提到，紅、藍、綠三原色光，吸收、混合後可以合成其他顏色的光。但實際上，單波長光的顏色；以及課本實驗中，藍光照在綠色片上所呈現的顏色偏差（藍綠色，非黑色），便無法以此理論解釋。因此本研究計畫藉由 SP20 分光光度計能在可見光範圍偵測樣品對各波長光線吸收度的功能。捨棄光的三原色過於簡化的說法，以實際測量各有色樣品（濾光片、化學藥品、噴墨印表機墨水、實際列印投影片）所得吸收度曲線圖，重新解釋顏色的呈現。了解顏色是人類對光的感覺，而不是光本身的性質。並在完成對彩色噴墨列印樣品吸收度的基本測試後，設計以印表機、軟體、墨水顏色、濃度深淺為變因、交互搭配的 334 組實驗，比較印出成品的最大吸收度比例與原先在電腦中設定顏色濃淡比例的偏差值，找出最能真實列印出顏色濃淡的組合，實驗結果顯示：印表機方面：HP 670C、Epson Photo EX 表現最佳。軟體方面：CorelDRAW、Photoshop、PhotoImpact 表現平分秋色。

貳、研究動機

在國二上學期的理化課程中，我們開始接觸到有關光與顏色的觀念，正當大家開始高興對大自然的奧秘能有更進一步認識的同時，卻發現在實驗 4-2 光與顏色中，實驗結果和課本給的答案，有著極大的不同。沒錯，紅色光打在藍色色紙上的確是黑色，但藍色光打在綠色色紙上或紅色光打在綠色色紙上，卻不是課本所說的黑色，老師說這個實驗課本改了幾次，但效果還是不好，難道是課本的理論有錯嗎？於是在強烈求知慾的驅使下，我們試著找出光與顏色的真正關係。在這個彩色世界裡，只要張著眼睛，細胞們就一直在接收著各種顏色的光線，然而顏色是什麼？它的組合給了人類藝術的美感與情緒的撼動，但從科學的角度來看？在每個人的眼裡，顏色的感覺都是一樣的嗎？自然與人為的色彩，又是如何組合的如此多采多姿？我們遇到了一個巨大的研究課題，但正如老師所說的，研究過程與結果本身，就是一種收穫，不管我們做了多少，我們已經學了很多，也希望我們的努力，能提供給其他老師與同學們參考。

參、研究目的

- （一）搜尋網路並查閱書籍，找出彩色視覺、噴墨印表機、分光光度計與可見光波長，顏色相關聯之資料，了解基本知識，並作為實驗設計與操作的參考。
- （二）以二十位國二學生(男女各十位，民國 76 年 11 月至 77 年 8 月生)為樣本，藉由人眼直接觀察分光光度計（SP20）投射在白紙上產生的亮點，探討人眼可感覺到的顏色和可見光波長之間的關係。

- (三) 以課本實驗 4-2 光與顏色實驗裝置的濾光片為樣本，以分光光度計測量各種顏色濾光片的可見光波長吸收度變化情形。
- (四) 探討幾種有色藥品水溶液，在各可見光波長吸收度的變化情形，並在陰、陽離子種類、濃度、酸鹼值為變因的不同條件下，探討這些變因對各波長吸收度的影響。
- (五) 以不同廠牌的噴墨印表機，製作各色濾光片，探討在不同廠牌的墨水，不同繪圖軟體與不同廠牌投影片的變因下，濾光片最大吸收波長位置與各波長吸收度的變化情形。
- (六) 利用電腦軟體控制洋紅、青、黃三色的輸出比例，並以印表機印出，探討在不同廠牌墨水，不同解析度，不同繪圖軟體的變因下，自行製作的濾光片在各最大吸收波長與吸收度的變化情形，找出電腦對色彩輸出比例和顏色實際濃淡的關係。
- (七) 使用以上實驗所得的資料，歸納整理顏色、光與視覺的真正關係，並嘗試提出改進課本實驗之方法。

肆、研究設備、藥品、器材

(一) 儀器設備：

顯微鏡頭相機、電子天秤、分光光度計(SP20)、光與顏色實驗器材組、酸鹼度計、噴墨印表機 4 台(HP670C、EPSON Stylus 660、EPSON PhotoEX、Canon BJC-80)。

(二) 藥品：

硫酸銅、醋酸銅、氯化銅、硝酸銅、氯化亞鈷、硝酸亞鈷、硫酸亞鈷、硫酸銨亞錳、硫酸亞錳、氯化亞錳、過錳酸鉀、鉻酸鉀、重鉻酸鉀、甲基紅(粉末)、鹽酸(aq)、乙醇、氫氧化鉀、氫氧化鈉，各廠牌彩色墨水 (HP51649a、EPSON-S020191 三色、EPSON-S020110 五色、CANON-BCI-11)，各廠牌噴墨印表機專用投影片 (Folex、Inktec、Starlit)

(三) 器材：

燒杯 250ml、100ml、50ml、量筒 100ml、10ml、玻璃棒、滴管、溫度計、塑膠瓶、量瓶 250ml、玻璃瓶 50ml、刮勺、試管架、洗瓶、濾光片八片(紅、洋紅、橙、黃、青、綠、藍、紫)。

(四) 分光光度計 (sp20) 裝置規格

伍、研究過程與方法

(一) 研究過程：略

(二) 研究方法：

1. 利用分光光度計 (SP20) 中光柵單色光器產生的單色光，照射物質，物質 (原子) 內部結構中的電子會吸收特定波長單色光的能量，而將電子提升到離原子核較遠的軌域，而完成吸光現象，其他波長中不被吸收的光就反射或透射到達我們的眼睛，藉由測量此種光吸收的現象我們可以得知物質 (溶液)，所含的有色物質在光譜中的吸收特徵 (最大吸收波長與吸收度)，進而找出物質實際顏色和曲線圖之間的關係。
2. 在實際做法上：
每次用一種波長的光歸零後，照射待測的樣品，測量其吸收度，將不同波長的吸收度值，利用電腦繪成吸收度曲線圖，設計實驗改變樣品特性，找出被吸收的光波長

與吸收度和實際上眼睛所觀察到的顏色之間的關係。

(三) 研究步驟：

1. 人眼顏色感覺與實際光波長實驗部分：

- (1) 任意選出男女各十人的本校國二學生。
- (2) 將分光光度計開機(暖機約三十分鐘)，把白紙放入試樣槽內。
- (3) 以黑布遮住試樣槽使內保持黑暗避免有外光源進入影響觀察。
- (4) 用眼睛看放在試樣槽內白紙上投射的亮點。
- (5) 由另一位同學調整波長(從 325nm 到 800nm)。
- (6) 觀察者憑自己的感覺說出顏色的變化(無色~紫色,紫色~藍色,藍色~綠色,綠色~黃色,黃色~橙色,橙色~紅色,紅色~無色)。
- (7) 調整波長的同學紀錄觀察者感覺當顏色有變化時的波長。
- (8) 不讓其他待測同學知道前一位同學測量的數據,以免產生變色波長的刻板印象。
- (9) 用同樣的方法測量其他十九位學生，並記錄其結果。

2. 有色樣品吸收度曲線測量部分

- (1) 將分光光度計(SP20),先開機暖機三十分鐘以上
- (2) 選擇一樣品，按鈕固定實驗波長，並以空白樣品放入待測區歸零。
- (3) 放入實驗樣品，測量吸收度，重覆歸零測量步驟，量取三次數據平均。
- (4) 由低到高，依次增加波長，測量不同波長時樣品的吸收度，將波長與吸收度鍵入電腦繪出吸收度曲線圖，觀察圖表內吸收度的高低變化
- (5) 由圖形中判斷出最大吸收度高峰的波長與吸收度。
- (6) 計算特定波長區域的平均吸收度，並紀錄成表。

3. 在待測試樣的準備上：

- (1) 以水為溶劑，配置所需濃度的有色藥品水溶液，取 5ml 放入試管中，作為待測樣本（以裝有蒸餾水的試管為背景校正）。
- (2) 以酒精為溶劑，稀釋由各印表機墨水盒抽出的原始墨水，直到可供分光光度計量測到明顯吸光度的濃度，取 5ml 放入試管中，以封口膜封閉試管口，待測。
- (3) 以電腦中 Photoshop、PhotoImpact、CorelDRAW 軟體中色彩調整的 CMYK 模型設定青、洋紅、黃色色彩濃度（0 %、12 %、25 %、38 %、50 %、62 %、75 %、88 %、100 %），製作圖檔（每種色塊長 5cm，寬 1cm），將圖形檔案由不同印表機（HP670C、Epson photoEX、Epson stylus 660、Canon BJC-80）印出，整理作為樣品，以同一廠牌的空白投影片作為背景校正，測量這彩色透明片在最大吸收波長時的吸收度。
- (4) 以 Epson photo EX 列印設定視窗中，列印選項的選擇，設定列印解析度（180 dpi、360 dpi、720 dpi、1440dpi，其中 720dpi 分為一般紙列印與相片紙列印品質兩種），由 Epson photoEX 印出青、洋紅、黃色色彩濃度分別為 0 %、12 %、25 %、38 %、50 %、62 %、75 %、88 %、100 % 的有色投影片，整理作為樣品，以同一廠牌的空白投影片作為背景校正，測量這彩色透明片在最大吸收波長時的吸收度。

陸、研究結果

(-)以二十位國二學生(男女各十位，民國 76 年 11 月至 77 年 8 月生)為樣本，藉由分光光度計 (SP20) 投射在白紙上產生的各色亮點，探討人眼可感覺到的可見光顏色和波長之間的關係。實驗結果如表一、二，圖十三。

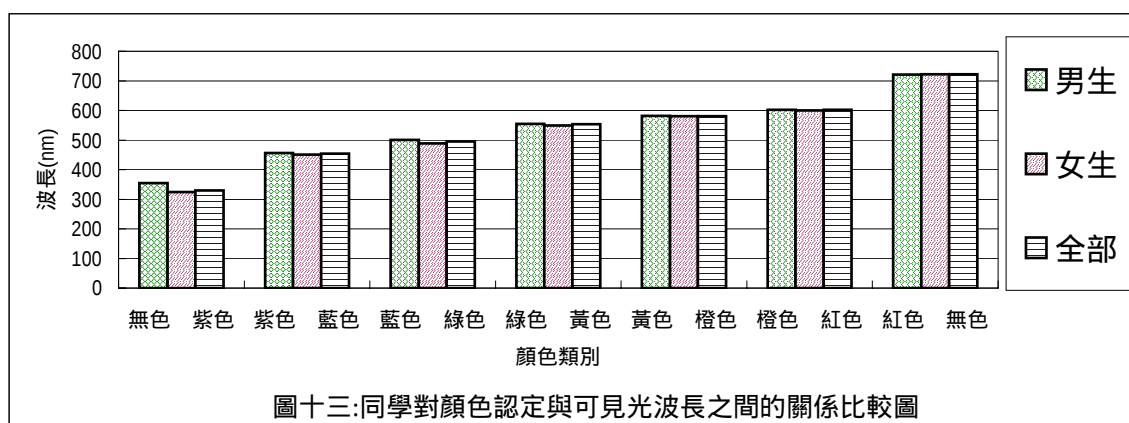
表一：本校二十位同學眼睛可感覺到的可見光顏色變化和波長之間的關係

顏色變化	二十位同學對顏色變化 感覺的平均波長值 (nm)			標準差		
	男生	女生	全部	男生	女生	全部
無色 紫色	355	325.2	330.1	12.2	0.6	9.8
紫色 藍色	455.6	451.2	453.4	13.8	23.5	18.9
藍色 綠色	501.6	489.1	495.4	21.3	12	18
綠色 黃色	555.5	549.4	552.5	26.2	25.6	25.4
黃色 橙色	581.1	579.4	580.3	13.9	13.6	13.4
橙色 紅色	602.5	600.7	601.6	9.5	7.9	8.6
紅色 無色	721.4	722.1	721.8	8.8	9.3	8.8

備註：分光光度計的波長範圍為 325~1100nm

表二：本校二十位同學眼睛可感覺到的可見光顏色和波長之間的關係 (平均值)

顏色 (光別)		紫外線	紫光	藍光	綠光	黃光	橙光	紅光	紅外線
波長範圍 (nm)	最大	330.1 以下	330.1	453.4	495.4	552.5	580.3	601.6	721.8 以上
	最小		453.4	495.4	552.5	580.3	601.6	721.8	
波長差 (nm)		無	123.3	42	57.1	27.8	21.3	120.2	無



結果分析

1.此二十位同學眼睛感覺的可見光的平均範圍由 330.1nm 到 721.8nm，各顏色平均波

長範圍如表二，在可見光區所佔的波長範圍大小依序是：

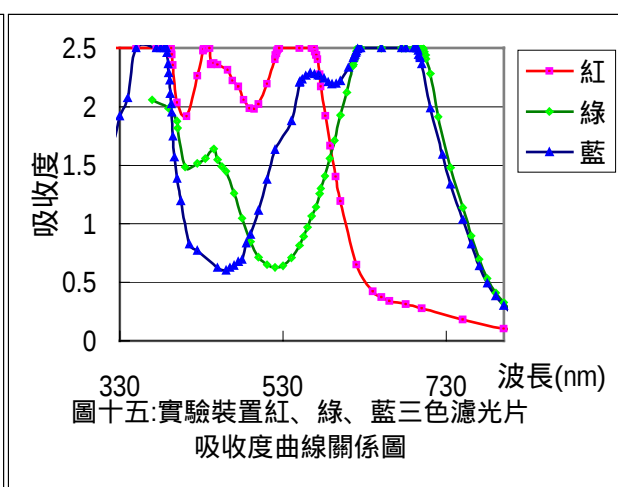
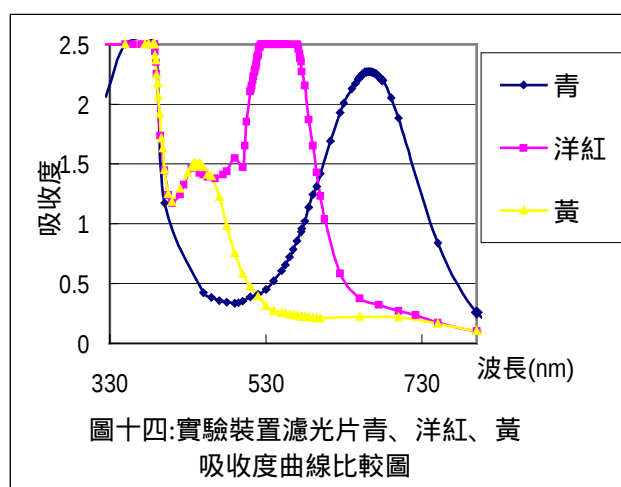
紫光 > 紅光 > 綠光 > 藍光 > 黃光 > 橙光

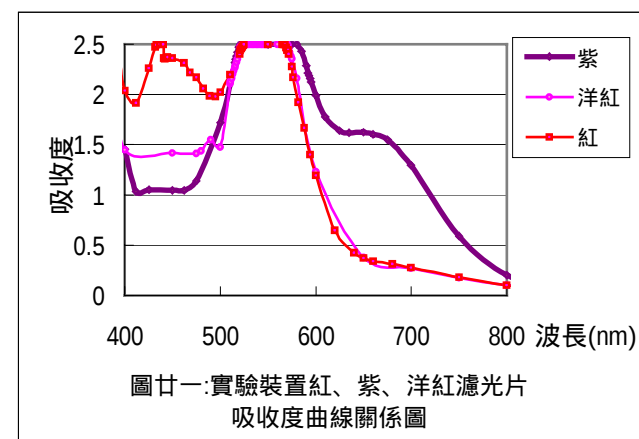
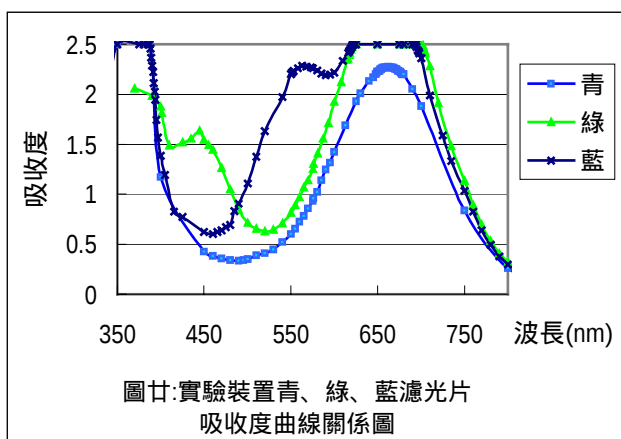
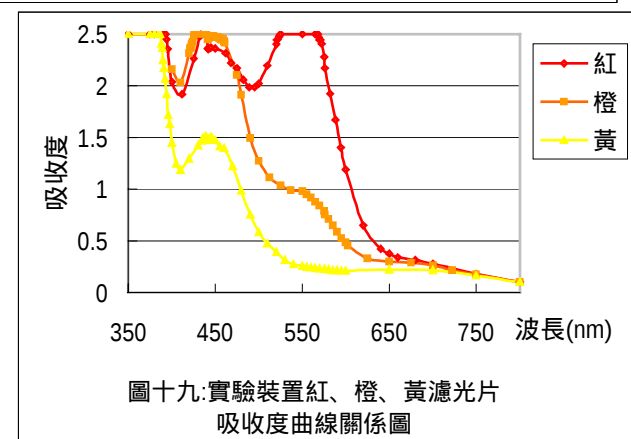
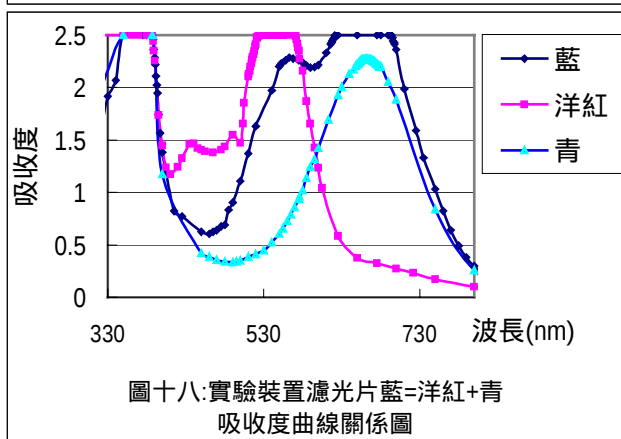
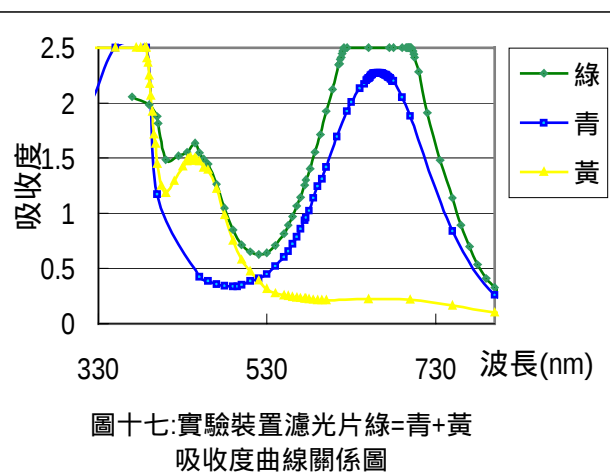
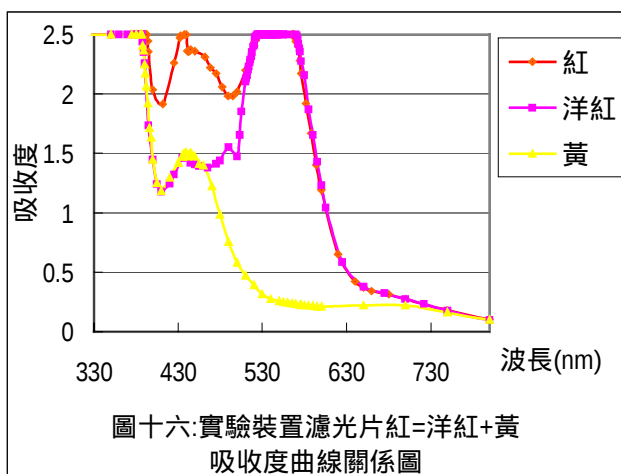
- 2.由以上結果可知：男、女生對各種顏色光的感覺，從波長的角度來看，差距不大。
- 3.十位男同學中，對黃色~綠色，綠色~藍色的區分有較大的差異；對另外十位女同學而言，黃色~綠色，藍色~紫色的區分上有較大歧異。
- 4.以本實驗所得的各顏色光的平均波長，用來作為以下測量各物質對各色可見光吸收度實驗時，判斷光源顏色的標準。

(二) 以課本實驗 4-2 光與顏色實驗裝置的濾光片為樣本，以分光光度計 SP20 測量各種顏色濾光片的可見光波長吸收度變化情形，探討透過濾光片的光是單色光還是由幾種顏色組合而成的。實驗結果如表三；圖十四~十八。

表三：各種顏色濾光片的可見光波長吸收峰數據資料

濾光片種類	完整吸收峰數	完整吸收峰		各分段波長區間平均吸收度					
		最大吸收度之波長 (nm)	最大吸收度	紫	藍	綠	黃	橙	紅
				330.1nm 至 453.4nm	453.4nm 至 495.4nm	495.4nm 至 552.5nm	552.5nm 至 580.3nm	580.3nm 至 601.6nm	601.6nm 至 721.8nm
紅	2	445	2.373	2.39	2.12	2.39	2.45	1.67	0.40
		525~567	> 2.5						
綠	2	445	1.638	1.72	1.21	0.69	1.07	1.58	2.46
		621~701	> 2.5						
藍	2	563	2.287	1.91	0.71	1.73	2.26	2.22	2.44
		622~693	> 2.5						
黃	1	445	1.503	1.76	1.15	0.38	0.23	0.22	0.22
洋紅	1	525~570	> 2.5	2.34	1.43	2.38	2.45	1.77	0.47
青	1	662	2.274	1.37	0.36	0.45	0.79	1.18	2.20
橙	1	425~440	> 2.5	2.43	2.37	1.08	0.87	0.62	0.31
紫	1	521~580	> 2.5	1.77	1.09	2.40	2.50	2.24	1.51





結果分析

- 由各單色濾光片所測得的吸收度分布曲線中，我們發現：濾光片實際的顏色與其所對應的波長範圍，有下列的關係：
 - 對紅、藍、綠三色而言，實際顏色均與圖中低吸收度（平均吸收度小於1）的區域所代表的顏色相符。
 - 黃色濾光片的低吸收度區域包含了紅、橙、黃、綠四個波長範圍區；橙色濾光片的低吸收度區域包含了紅、橙、黃三個波長範圍區，並非只在各自的黃色與橙色波長範圍有低吸收度。
 - 青色濾光片的低吸收度區域包含了黃、綠、藍三個波長範圍區。洋紅色濾光片的低吸收度區域，出現在紅色波長區，另外在橙、藍兩色波長區，吸收度稍弱

(吸收度在 1~2 之間)。

(4)紫色濾光片無平均在 1 以下的低吸收度區域，但在紅，藍，紫三色波長區，吸收度稍弱。

2. 由圖十四、十五可知：青色、黃色、洋紅在 400nm 以上吸收峰分布狀況較為單純，

均只有一個吸收峰，但紅色、藍色、綠色則複雜許多。

3. 由光與顏料的三原色混合圖中，找出相關連的顏色，進行吸收度曲線的合成，如圖十六、十七、十八，以吸收峰分布狀況分析，結果發現：

洋紅和黃色合成紅色，青色和黃色合成綠色，洋紅和青色合成藍色

4. 以吸收度曲線相似程度來分類，八種色彩略可分為三類，如圖十九、廿、廿一。

(1)紅、橙、黃的吸收峰，有吸收峰愈朝低波長移動，顏色愈黃的趨勢。

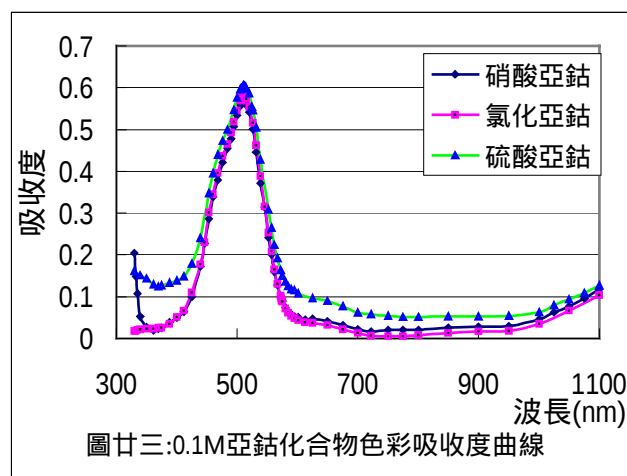
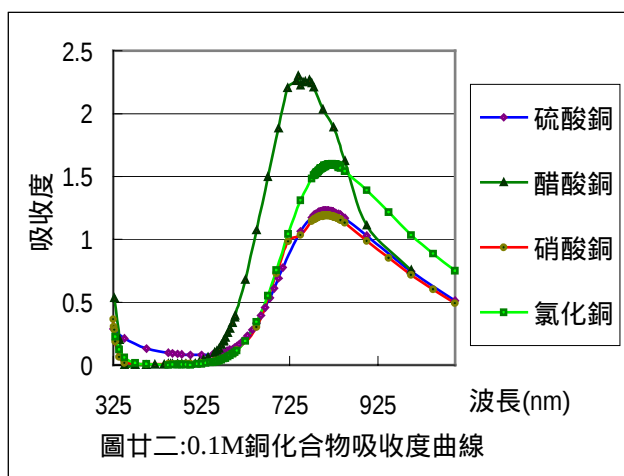
(2)青、綠、藍這三色最大吸收度波長位置相當接近。從波谷（低吸收度區）的角度來看，青色的波谷範圍最寬，綠色片的波谷則依靠在青色片波谷的長波長邊，藍色片的波谷則依靠在青色片波谷的短波長邊。

(3)最大吸收度波長位置類似的紅色、洋紅與紫色吸收度曲線圖中，紫色吸收峰寬度朝長波長變寬，洋紅則在最大吸收度波長以下的區域（低波長）有較大的吸收，紅色則在長、短波長兩側均都有較大的吸收。

5. 由以上結果可知：透過濾光片的光，並無法達到單波長光的程度。

(三) 探討幾種有色藥品水溶液，在各可見光波長吸收度的變化情形，看看在一般有色的化學藥品中，顏色是如何的呈現？顏色的深淺，是否與濃度有關（使用別種藥品，驗證理化課本實驗 1-2：濃度與顏色的關係），並在陰、陽離子種類、濃度、酸鹼值為變因的不同條件下，探討這些變因對顏色呈現與各波長吸收度的影響。

< 實驗 3-1 > 在同一種陽離子鹽類（銅鹽，亞錳鹽，亞鈷鹽）的控制條件下，改變不同陰離子種類，觀察吸收度曲線如何變化，實驗結果如表四；圖廿二~廿四。

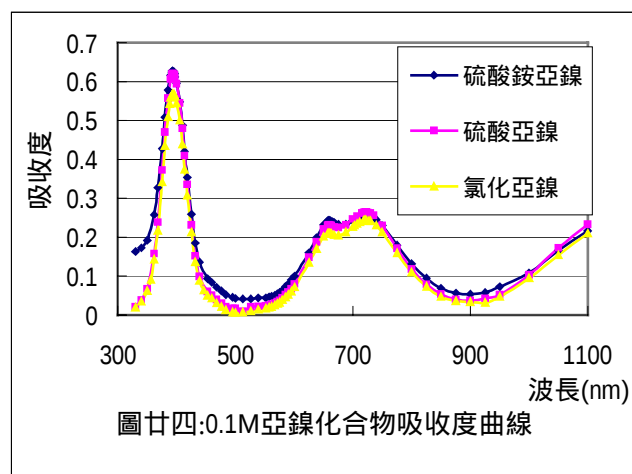


表四：銅鹽，亞鎳鹽，亞鈷鹽在不同陰離子種類下各波長區間吸收度變化情形

藥品種類	濃度	顏色	完整吸收峰數	完整吸收峰		各分段波長區間平均吸收度					
				最大吸收度之波長 (nm)	最大吸收度	紫	藍	綠	黃	橙	紅
						330.1nm至453.4nm	453.4nm至495.4nm	495.4nm至552.5nm	552.5nm至580.3nm	580.3nm至601.6nm	601.6nm至721.8nm
硫酸銅	0.1M	淡藍	1	802~813	1.228	0.147	0.089	0.082	0.095	0.121	0.459
硝酸銅	0.1M	淡藍	1	803~812	1.191	0.140	0.010	0.020	0.042	0.080	0.533
氯化銅	0.1M	淡藍	1	822	1.600	0.039	0.004	0.019	0.041	0.074	0.496
醋酸銅	0.1M	藍	1	745	2.301	0.032	0.074	0.031	0.131	0.278	1.466
硝酸亞鈷	0.1M	粉紅	1	511	0.566	0.096	0.43	0.497	0.136	0.06	0.034
氯化亞鈷	0.1M	粉紅	1	511	0.58	0.081	0.443	0.509	0.126	0.055	0.025
硫酸亞鈷	0.1M	粉紅	1	511	0.605	0.169	0.471	0.562	0.179	0.12	0.076
硫酸銨亞鎳	0.1M	淡綠	3	394	0.628	0.43	0.063	0.043	0.052	0.081	0.24
				659	0.244						
				722	0.258						
氯化亞鎳	0.1M	淡綠	3	394	0.568	0.347	0.023	0.011	0.025	0.053	0.215
				659	0.21						
				722	0.244						
硫酸亞鎳	0.1M	淡綠	3	394	0.621	0.396	0.032	0.018	0.03	0.06	0.234
				659	0.231						
				722~724	0.264						

結果分析(見照片展示)

- 各種不同陰離子的亞鈷鹽、亞鎳鹽，其吸收度曲線均各自呈現出相似的吸收峰（最大吸收度波長均相同），可見這些溶液的顏色是來自於陽離子在水中所呈現的顏色，而且不受不同陰離子的影響。但在統一濃度為0.1M的控制條件下，吸收度普遍偏低。相同濃度的亞鈷鹽水溶液，在可見光範圍內均只有一個吸收高峰（511nm）；相同濃度的鎳鹽水溶液，在可見光範圍內出現三個吸收高峰（394nm 最高，659nm，722nm）。



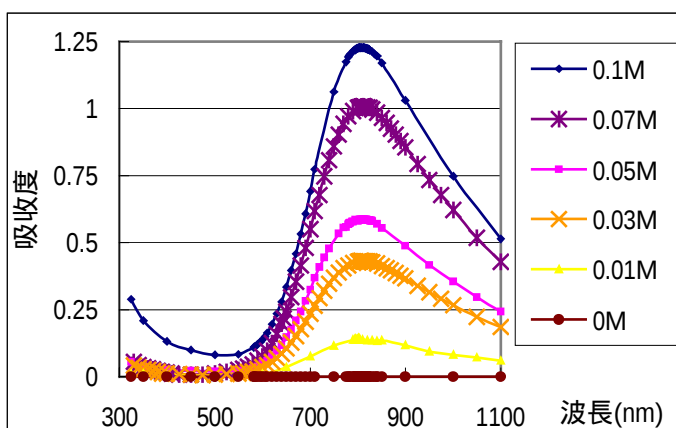
圖廿四:0.1M亞鎳化合物吸收度曲線

- 各種不同陰離子的銅鹽，在可見光範圍內均只有一個吸收高峰，其吸收度曲線則有不一樣的變化，硫酸銅與硝酸銅的最大吸收度波長相似（平滑頂部：802~813nm），氯化銅的最大吸收度波長偏長波長（822nm），醋酸銅的最大吸收度波長偏短波長（745nm），實際的顏色，均與圖中低吸收度的波長區域範圍相符，但醋酸銅因吸收度較高與最大吸收度波長偏移較大，藍色較深。氯化銅的顏色則和硫酸銅與硝酸銅極為相似。

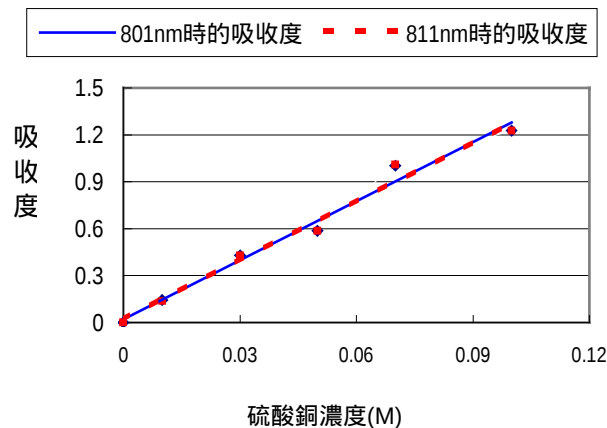
< 實驗 3-2 > 以硫酸銅水溶液為研究對象，探討在不同濃度下，顏色與吸收度曲線如何變化，兩者的關係為何，實驗結果如表五；圖廿五~廿六與照片展示。

表五：硫酸銅在不同濃度下，各波長區間吸收度變化情形

藥品種類	濃度	顏色	完整吸收峰數	完整吸收峰		各分段波長區間平均吸收度					
				最大吸收度之波長 (nm)	最大吸收度	紫	藍	綠	黃	橙	紅
						330.1nm至453.4nm	453.4nm至495.4nm	495.4nm至552.5nm	552.5nm至580.3nm	580.3nm至601.6nm	601.6nm至721.8nm
硫酸銅	0.1M	藍色逐漸變淡↓	1	802~813	1.228	0.147	0.089	0.082	0.095	0.121	0.459
	0.07M		1	811	1.008	0.025	0.005	0.018	0.028	0.058	0.341
	0.05M		1	810~818	0.587	0.028	0.008	0.012	0.024	0.043	0.209
	0.03M		1	807	0.432	0.021	0.002	0.004	0.010	0.025	0.152
	0.01M		1	801~804	0.141	0.007	0.006	0.001	0.002	0.007	0.066
	0M		無	無	無	0	0	0	0	0	0



圖廿五：硫酸銅水溶液濃度與吸收度曲線關係圖



圖廿六：硫酸銅溶液濃度與最大吸收度關係圖

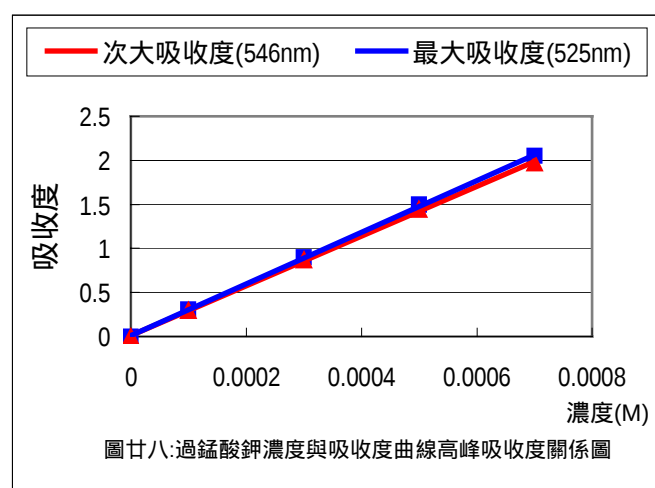
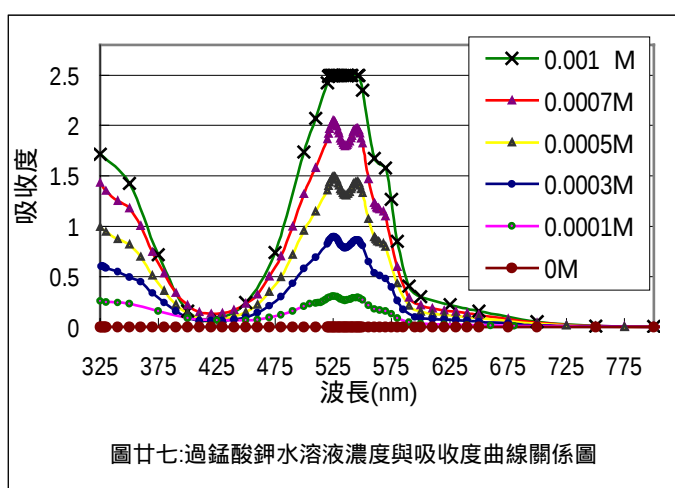
****結果分析**：**

- 1.不同濃度的硫酸銅水溶液，均會在 801nm~818nm 出現一個峰頂平緩的吸收峰，最大吸收度分布在數個波長範圍內，隨著濃度的降低，吸收峰的高度也隨著下降，溶液的顏色越來越淡。把最大吸收度和濃度作圖，兩者之間成正比關係，符合比爾定律(Beer's Law)。
- 2.更進一步來看，不同濃度的硫酸銅水溶液，隨著濃度的降低（水的增多），最大吸收度波長有緩慢往低波長方向移動的現象。
- 3.就各個硫酸銅的吸收峰來看，濃度高時(0.1M)，在藍、綠、黃光波長區域的吸收度均小於 0.1，到了 0.01M 濃度時，所有波長區域，吸收度均小於 0.1。顏色也由較深的藍色漸漸變成無色（極淡的藍色）。

< 實驗 3-3 > 以過錳酸鉀水溶液為研究對象，探討在不同濃度下，顏色與吸收度曲線如何變化，兩者的關係為何，實驗結果如表六；圖廿七~廿八。

表六：過錳酸鉀水溶液在不同濃度下，各波長區間吸收度變化情形

藥品 種類	濃 度	顏 色	完 整 吸 收 峰 數	完整吸收峰		各分段波長區間平均吸收度					
				最大 吸收度 之波長 (nm)	最大吸收 度	紫	藍	綠	黃	橙	紅
						330.1nm 至 453.4nm	453.4nm 至 495.4nm	495.4nm 至 552.5nm	552.5nm 至 580.3nm	580.3nm 至 601.6nm	601.6nm 至 721.8nm
過 錳 酸 鉀	0.001M	紫 紅 色 逐 漸 變 淡 ↓	1	524~547	>2.5	0.527	0.970	2.432	1.638	0.490	0.116
	0.0007M		2	525	2.051	0.507	0.735	1.886	1.207	0.282	0.126
				546	1.971						
	0.0005M		2	525	1.496	0.340	0.538	1.377	0.875	0.254	0.091
				546	1.441						
	0.0003M		2	525	0.900	0.223	0.337	0.828	0.516	0.156	0.055
				546	0.868						
	0.0001M		2	525	0.306	0.143	0.145	0.274	0.172	0.061	0.017
				546	0.294						



****結果分析**：**

- 1.不同濃度的過錳酸鉀水溶液均在 525nm 和 546nm 出現最大吸收度，整個吸收度曲線，像是個火山口。分別以這兩個波長最大吸收度和濃度作圖，可以發現這兩組數據，全部都呈現正比關係，符合比爾定律(Beer's Law)。最大吸收度波長位置不受濃度的影響。
- 2.過錳酸鉀的溶解度為 1.41M，因此只能做低濃度的吸收度曲線，但這種藥品卻在最大吸收波長上(綠色、藍色區域)有高強度的吸收 (0.001M 的最高吸收度超過儀器量測範圍 2.5)，在紅、橙、藍、紫等四個波長區域範圍，仍保持著低強度的吸收，而呈現紫紅色的外觀。

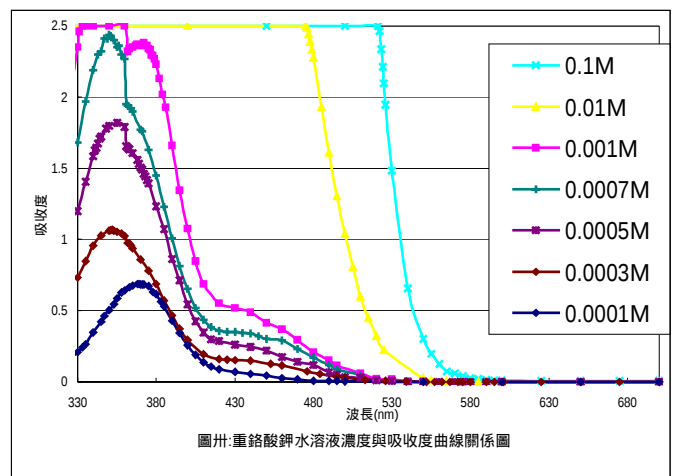
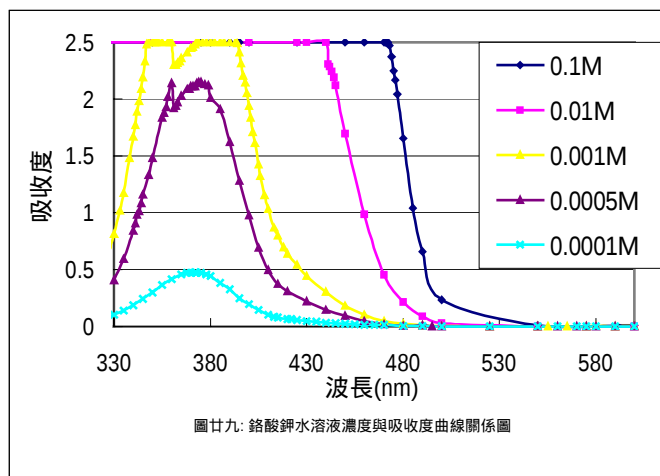
< 實驗 3-4 > 以重鉻酸鉀、鉻酸鉀水溶液為研究對象，探討在不同濃度下，顏色與吸收度曲線將如何變化，兩者的關係又為何，實驗結果如表七~八；圖廿九~卅。

表七：鉻酸鉀水溶液在不同濃度下，各波長區間吸收度變化情形

藥品 種類	濃 度	酸 鹼 度	顏 色	完 整 吸 收 峰 數	完整吸收峰		各分段波長區間平均吸收度					
					最大 吸收度 之波長 (nm)	最大 吸收 度	紫	藍	綠	黃	橙	紅
							330.1nm 至 453.4nm	453.4nm 至 495.4nm	495.4nm 至 552.5nm	552.5nm 至 580.3nm	580.3nm 至 601.6nm	601.6nm 至 721.8nm
鉻 酸 鉀	0.1M	9.64	深 黃 色 ↓ 淡 黃 色	1	325~472	>2.5	>2.5	2.055	0.055	0.018	0.012	0.009
	0.01M	8.86		1	325~440	>2.5	2.285	0.363	0.008	0	0	0
	0.001M	8.31		2	348~360	>2.5	1.953	0.046	0.001	0	0.002	0.003
					373~393	>2.5						
	0.0005M	7.32		2	360	2.14	1.460	0.016	0	0	0	0
					374-375	2.15						
0.0001M	7.25	1	372	0.476	0.243	0.013	0	0	0	0		

表八：重鉻酸鉀水溶液在不同濃度下，各波長區間吸收度變化情形

藥品 種類	濃 度	酸 鹼 度	顏 色	完整 吸收 峰 數	完整吸收峰		各分段波長區間平均吸收度					
					最大 吸收度 之波長 (nm)	最大 吸收 度	紫	藍	綠	黃	橙	紅
							330.1nm 至 453.4nm	453.4nm 至 495.4nm	495.4nm 至 552.5nm	552.5nm 至 580.3nm	580.3nm 至 601.6nm	601.6nm 至 721.8nm
重 鉻 酸 鉀	0.1M	4.18	深 橙 色 ↓ 淡 黃 色	1	325~521	>2.5	>2.5	>2.5	1.850	0.095	0.018	0.008
	0.01M	4.33		1	325~475	>2.5	>2.5	2.140	0.495	0.005	0	0
	0.001M	5.44		2	333~360	>2.5	1.940	0.230	0.021	0.006	0	0
					372	2.38						
	0.0007M	5.68		1	350	2.437	1.488	0.204	0.016	0	0	0
	0.0005M	5.72		1	351	1.823	1.240	0.112	0.014	0	0	0
	0.0003M	6.02		1	351	1.066	1.066	0.706	0.007	0	0	0
	0.0001M	6.33		1	371	0.687	0.442	0.013	0.001	0	0	0



結果分析

1. 鉻酸鉀部分

(1) 任何濃度的溶液都呈現黃色，在 0.1M 的濃度就足以在紫色和藍色（部分）的波長區域（472nm 以下）有超過 2.5 的吸收度，低吸收度區域（472nm 以上），包括

紅、橙、黃、綠、藍（部分）四個波長區域，隨著濃度的降低，吸收度大於 2.5 的區域愈來愈窄，吸收峰的寬度也向短波長的方向縮窄，黃色也愈來愈淡。

(2) 當鉻酸鉀的濃度降到 0.001M 與 0.0005M 時,吸收峰開始分裂成兩部 (348nm~360nm

, 373nm~393nm), 其中在 373nm~393nm(右側)的吸收峰寬度較大。

(3)當濃度再下降至 0.0001M 時，又只出現一個最大吸收度在 372nm 的吸收峰。

2.重鉻酸鉀部分

(1) 0.1M 的溶液呈現橙色，在紫、藍、綠色（部分）的波長區域（521nm 以下）有超過 2.5 的吸收度，低吸收度區域（521nm 以上），包括紅、橙、黃、綠色（部分）四個波長區域。

(2) 隨著濃度下降到 0.01M，橙色愈來愈淡，而漸轉變成黃色。在 0.01M 時，在紫、藍色（部分）區域（475nm 以下）有超過 2.5 的吸收度，低吸收度區域（475nm 以上），包括紅、橙、黃、綠、藍色（部分）四個波長區域，隨著濃度的降低，吸收度大於 1.8 的區域愈來愈小，吸收峰也同樣向短波長方向縮窄。

(3) 當重鉻酸鉀的濃度降到 0.001M 與 0.0005M 時，吸收峰開始分裂成兩部分 (333nm~360nm, 372nm)，其中在 330nm~360nm(左側)的吸收峰吸收度較大。

(4) 當濃度再下降至 0.0001M 時，又只出現一個最大吸收度在 371nm 的吸收峰。

3.綜合來說：鉻酸鉀與重鉻酸鉀在 0.001M~0.0005M 的濃度時，都出現兩支吸收峰。

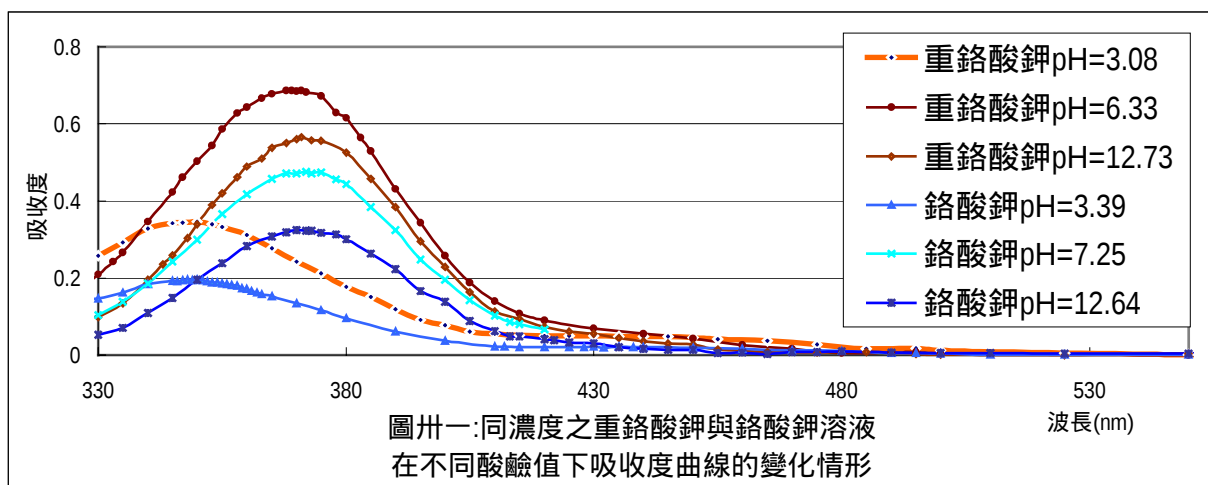
鉻酸鉀以右側為主要寬吸收峰，重鉻酸鉀以左側為主要寬吸收峰，但當濃度下降到 0.0003M 以下時，此種區分，又從圖中消失；濃度下降到 0.0001M 時兩種不同的溶液均只剩下 371nm 的主要吸收峰（此時酸鹼度值：鉻酸鉀 7.25 與重鉻酸鉀 6.33）。

4.以吸收度曲線來看，重鉻酸鉀與鉻酸鉀水溶液濃度的改變，不只改變了吸收度的大小，也改變了最大吸收度波長的位置，顯示濃度的改變，使溶質產生了某種變化。

< 實驗 3-5 > 以低濃度（0.0001M）重鉻酸鉀、鉻酸鉀水溶液為研究對象，探討在不同酸鹼度下，重鉻酸鉀、鉻酸鉀水溶液吸收度曲線將如何變化，兩者的關係又為何，實驗結果如表九；圖卅一。

表九：重鉻酸鉀、鉻酸鉀水溶液在不同酸鹼度下，各波長區間吸收度變化情形

藥品種類	濃度	顏色	酸鹼度	完整吸收峰數	完整吸收峰		各分段波長區間平均吸收度					
					最大吸收度之波長 (nm)	最大吸收度	紫	藍	綠	黃	橙	紅
							330.1nm 至 453.4nm	453.4nm 至 495.4nm	495.4nm 至 552.5nm	552.5nm 至 580.3nm	580.3nm 至 601.6nm	601.6nm 至 721.8nm
重鉻酸鉀	0.0001M	淡黃	酸性 pH=3.08	1	350	0.346	0.173	0.028	0.006	0.003	0.003	0
	0.0001M	淡黃	接近中性 pH=6.33	1	371	0.687	0.442	0.013	0.001	0	0	0
	0.0001M	淡黃	鹼性 pH=12.73	1	371	0.565	0.302	0.008	0.002	0.001	0	0.002
鉻酸鉀	0.0001M	淡黃	酸性 pH=3.39	1	348	0.195	0.120	0.010	0.002	0	0	0
	0.0001M	淡黃	接近中性 pH=7.25	1	372	0.476	0.243	0.013	0	0	0	0
	0.0001M	淡黃	鹼性 pH=12.64	1	370	0.324	0.161	0.008	0.005	0.001	0	0



****結果分析**：**

1.分析整理資料如下表：

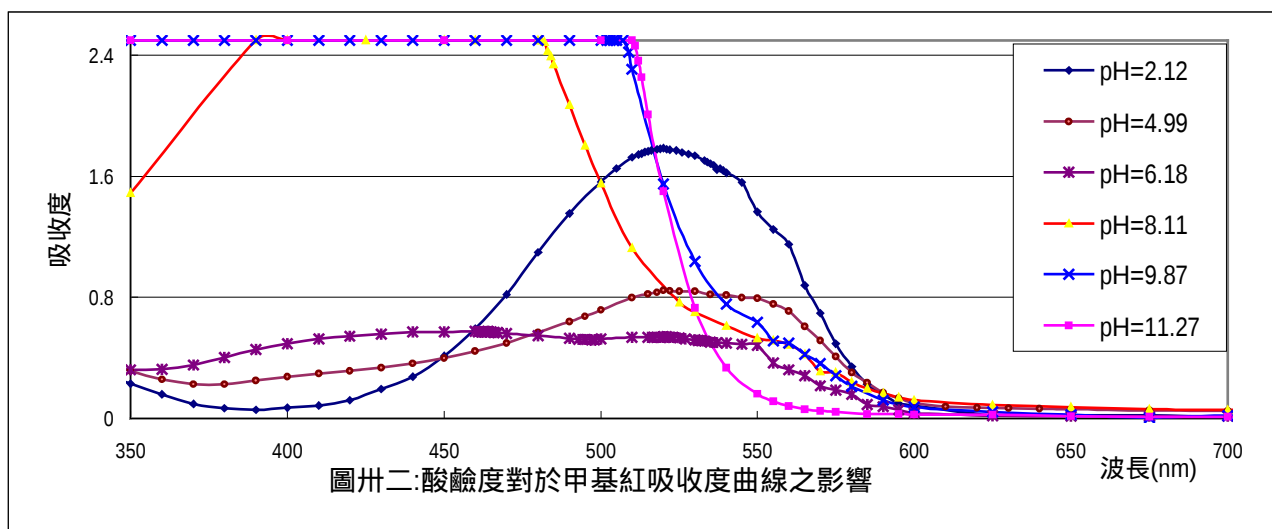
酸鹼度	原始溶質	最大吸收波長 (nm)	最大吸收度
3.08	重鉻酸鉀	350	0.346
3.39	鉻酸鉀	348	0.195
6.33	重鉻酸鉀	371	0.687
7.25	鉻酸鉀	372	0.476
12.64	鉻酸鉀	370	0.324
12.73	重鉻酸鉀	371	0.565

2.結果顯示，不管配製的溶液是重鉻酸鉀還是鉻酸鉀，在酸性條件下，最大吸收度的波長均在 348~350nm 之間；在中、鹼性的條件下，最大吸收度的波長均在 371 ~ 372nm 之間，這顯示著重鉻酸鉀，鉻酸鉀在酸中以同一種形式存在，在鹼中以另一種相同形式存在，而兩者會隨酸鹼度變化而互相轉換。

< 實驗 3-6 > 以相同濃度的甲基紅水溶液為研究對象，探討在不同酸鹼度下，指示劑水溶液可見光範圍吸收度曲線將如何變化，酸鹼度與吸收度兩者的關係為何，實驗結果如表十；圖卅二。

表十：甲基紅水溶液在不同酸鹼度下，各波長區間吸收度變化情形

藥品種類	濃度	酸鹼度	顏色	完整吸收峰數	完整吸收峰		各分段波長區間平均吸收度					
					最大吸收度之波長 (nm)	最大吸收度	紫 330.1nm 至 453.4nm	藍 453.4nm 至 495.4nm	綠 495.4nm 至 552.5nm	黃 552.5nm 至 580.3nm	橙 580.3nm 至 601.6nm	紅 601.6nm 至 721.8nm
甲基紅	0.001M	2.12	紫紅	1	520	1.785	0.172	0.856	1.703	0.894	0.181	0.021
	0.001M	4.99		1	520	0.847	0.304	0.565	0.815	0.598	0.189	0.063
	0.001M	6.18	橙紅	2	464	0.574	0.456	0.558	0.521	0.275	0.085	0.014
					520	0.54						
	0.001M	8.11	橙	1	390~481	>2.5	2.246	2.336	1.103	0.408	0.193	0.07
	0.001M	9.87	橙黃	1	330~507	>2.5	>2.5	>2.5	1.976	0.591	0.134	0.022
	0.001M	11.27	黃	1	330~511	>2.5	>2.5	>2.5	1.682	0.070	0.027	0.014



****結果分析**：**

1. 甲基紅在酸性條件下呈現紫紅色，在 520nm 波長處有最大吸收度，隨著溶液逐漸變為中性，520nm 處的吸收度也開始降低，但低波長處（464nm）會有一支吸收峰開始上升。
2. 當酸鹼度值到達中性範圍時，吸收度曲線趨於水平，此時溶液顏色為橙紅色，當酸鹼度變為鹼性，溶液漸漸由橙色變為黃色，此時 330~511nm 區域內吸收度出現急速上升趨勢直到超過儀器最大量測值（2.5）。
3. 在鹼性條件下，pH 值愈高的溶液，在 511~722nm 範圍中，吸收峰下降愈陡。

（四）在使用電腦製作彩色圖片，輸出至噴墨印表機列印出來的成品，其品質往往會受到不同廠牌的噴墨印表機（墨水）、不同繪圖軟體與不同廠牌的紙張（投影片）的影響，而有不同的列印效果。藉由 SP20 分光光度計偵測列印在投影片上的色彩最大吸收波長位置與各波長吸收度，藉以分析各廠牌墨水、印表機、軟體、投影片等變因，如何影響輸出製作彩色圖片顏色種類與濃淡的表現，並據以再次驗證眼中所見的顏色與實際可見光吸收、放出的波長區域關係。

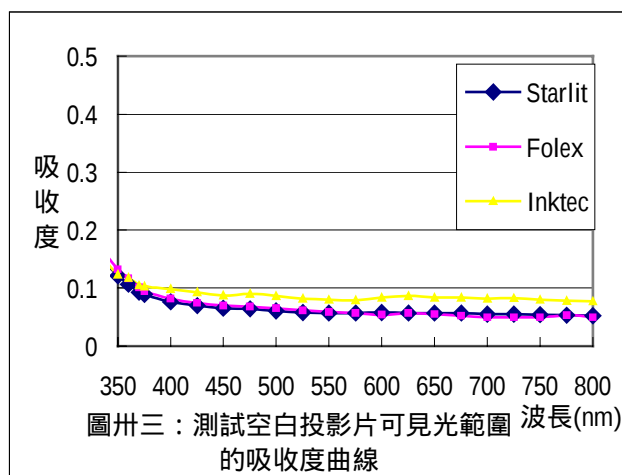
< 實驗 4-1 > 以空氣為背景值做校正，測量三種不同品牌（Starlit、Folex、Inktec）空白投影片的吸收度，實驗結果如表十一、圖卅三。

表十一：以空氣為背景值做校正，測量空白投影片的各波長區間平均吸收度

投影片種類	完整吸收峰數	各分段波長區間平均吸收度					
		紫	藍	綠	黃	橙	紅
		330.1nm 至 453.4nm	453.4nm 至 495.4nm	495.4nm 至 552.5nm	552.5nm 至 580.3nm	580.3nm 至 601.6nm	601.6nm 至 721.8nm
Folex	0	0.105	0.07	0.065	0.062	0.060	0.058
Starlit	0	0.100	0.065	0.061	0.058	0.059	0.058
Inktec	0	0.104	0.084	0.079	0.074	0.078	0.078

結果分析

三種不同廠牌的空白投影片均有相似的吸收度曲線，在紫光區同時都有吸收度些許升高的情形，其中 Inktec 的投影片平均吸收度較高，Starlit 和 Folex 的投影片平均吸收度較低，而 Starlit 和 Folex 的投影片吸收度曲線幾乎重疊。



< 實驗 4-2 > 以 Corel Draw 軟體和印表機 Canon BJC-80 列印 100%洋紅 (CMYK 模型) 在三種不同品牌的空白投影片上，與原墨水吸收度比較，探討這些不同廠牌的投影片對輸出圖片中洋紅色彩吸收度的影響，實驗結果如表十二、圖卅四。

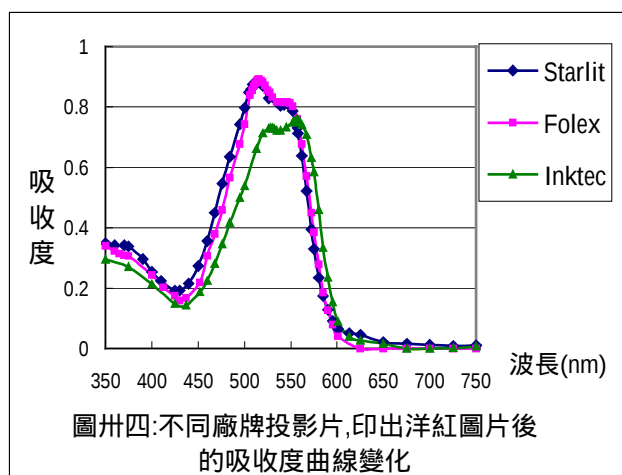
表十二：以相同條件列印 100%洋紅在三種不同品牌的空白投影片上，測量各波長區間平均吸收度

投影片種類	顏色	完整吸收峰數	完整吸收峰		各分段波長區間平均吸收度					
			最大吸收度之波長 (nm)	最大吸收度	紫	藍	綠	黃	橙	紅
					330.1nm 至 453.4nm	453.4nm 至 495.4nm	495.4nm 至 552.5nm	552.5nm 至 580.3nm	580.3nm 至 601.6nm	601.6nm 至 721.8nm
Folex	洋紅	2	516	0.89	0.251	0.478	0.842	0.569	0.142	0
			547	0.817						
Inktec	洋紅	2	528	0.731	0.209	0.353	0.707	0.715	0.254	0.016
			557	0.759						
Starlit	洋紅	2	512	0.881	0.275	0.546	0.84	0.555	0.139	0.029
			547	0.809						

結果分析

1. 以相同控制條件下，100%洋紅列印 Starlit、Folex 和 Inktec 三種品牌投影片，結果發現三種品牌均有二個吸收峰。Starlit(512nm、547nm)和 Folex(516nm、547nm) 投影片吸收度曲線較類似，吸收峰偏短波長，吸收度較大；而 Inktec 的兩個吸收峰 (528nm、557nm)，則是偏長波長，吸收度較小，但差異不大。

2.就最大吸收度波長分析，印在 Starlit 和



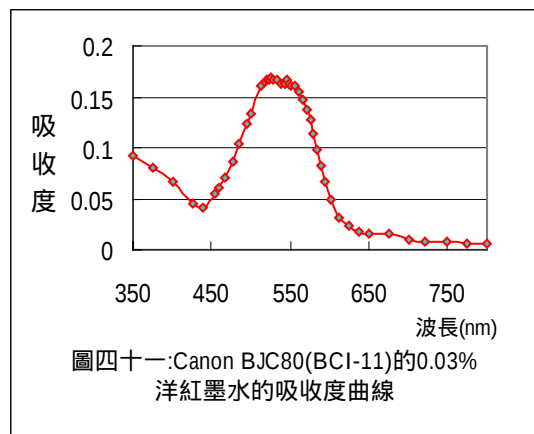
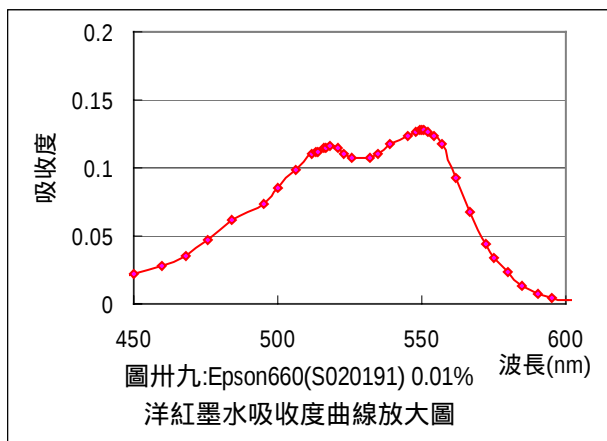
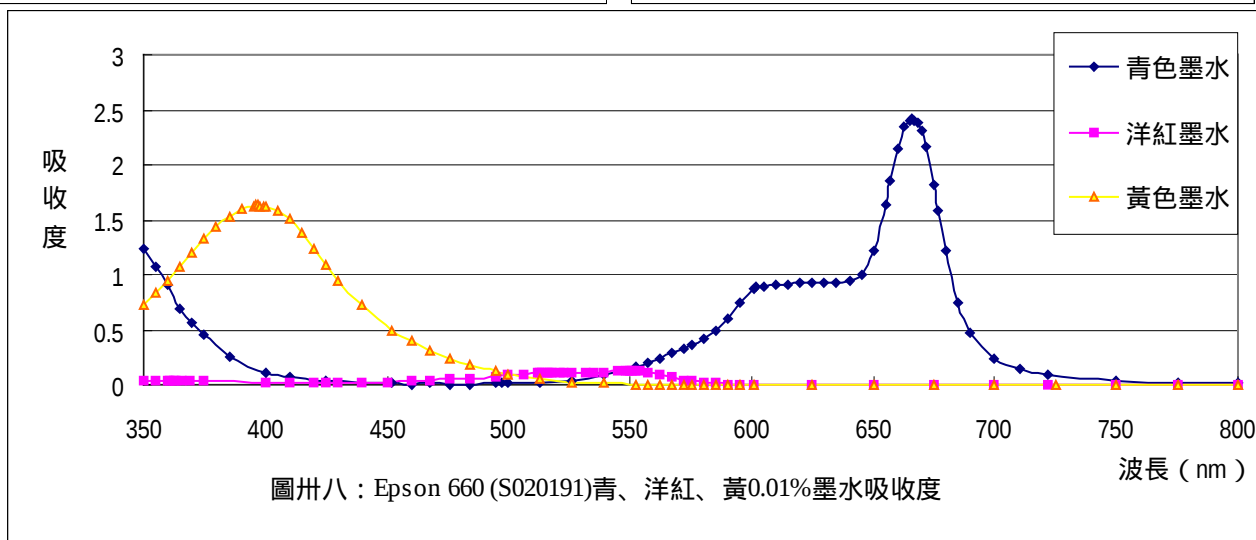
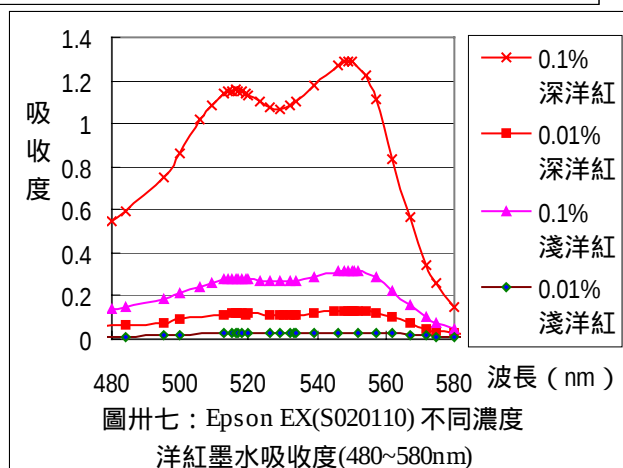
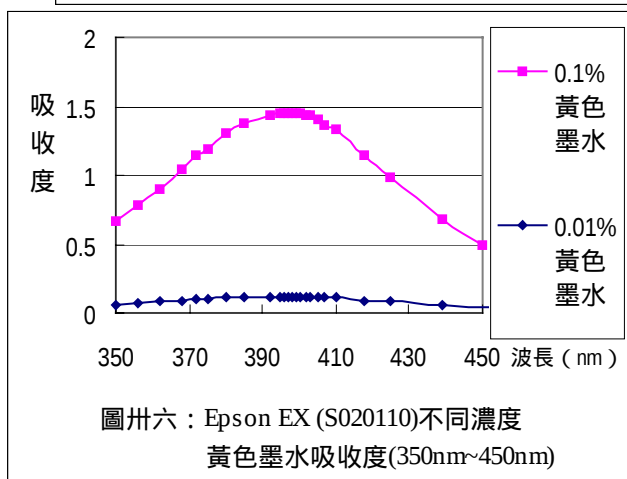
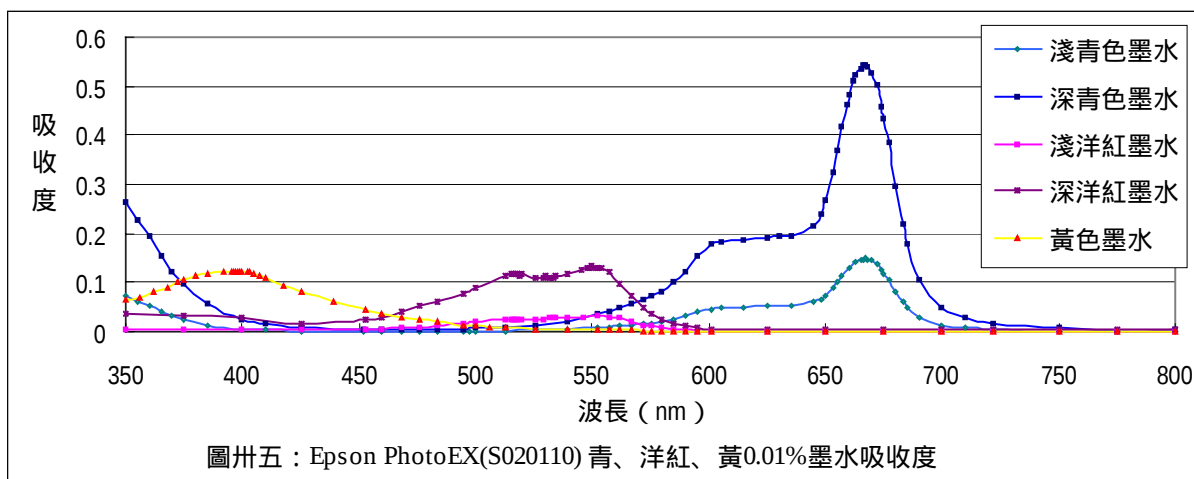
Folex 投影片的洋紅吸收度曲線高峰，吸收度呈現出左（短波長）高、右（長波長）低的現象，Inktec 的兩個吸收峰吸收度呈現出左（短波長）低、右（長波長）高的現象。

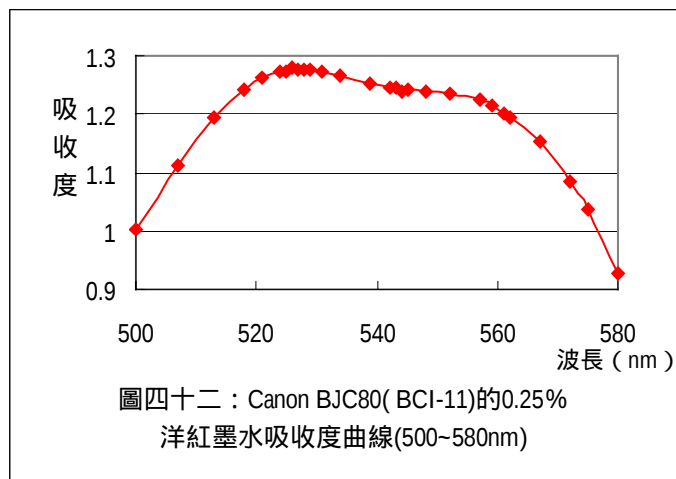
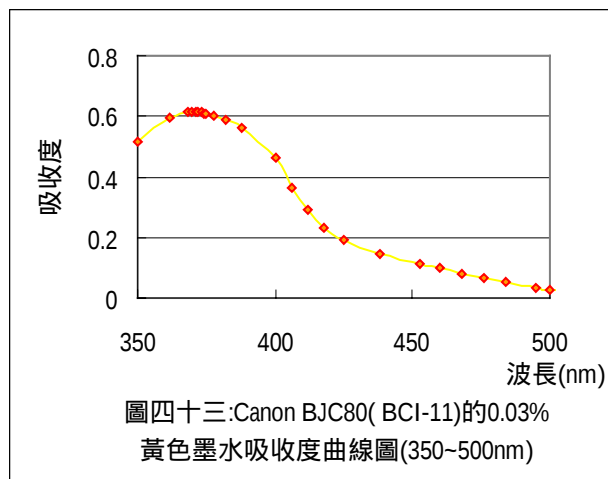
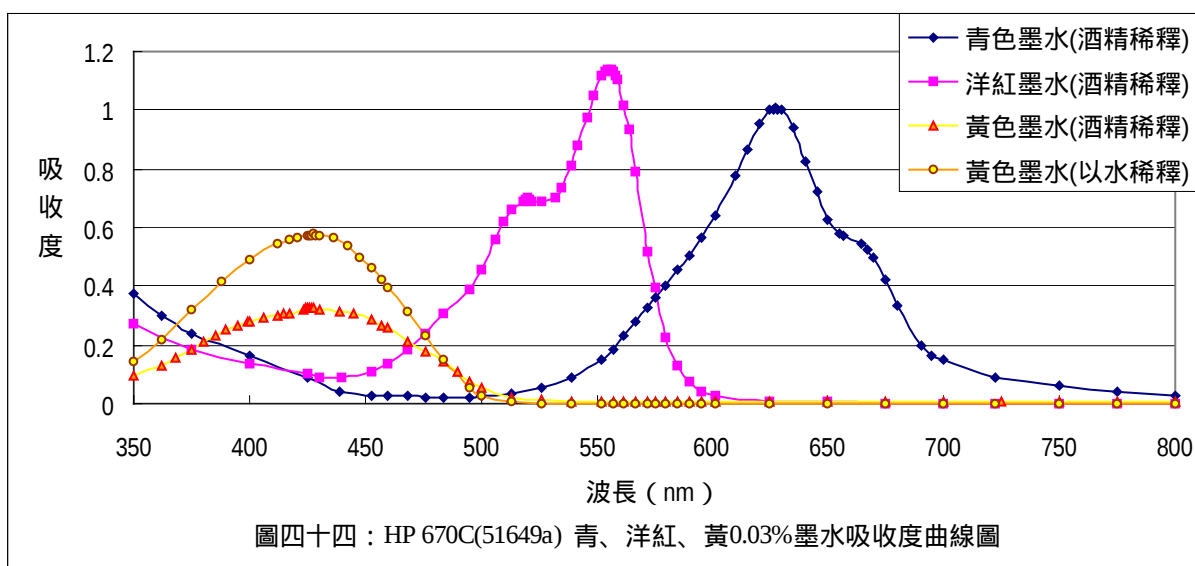
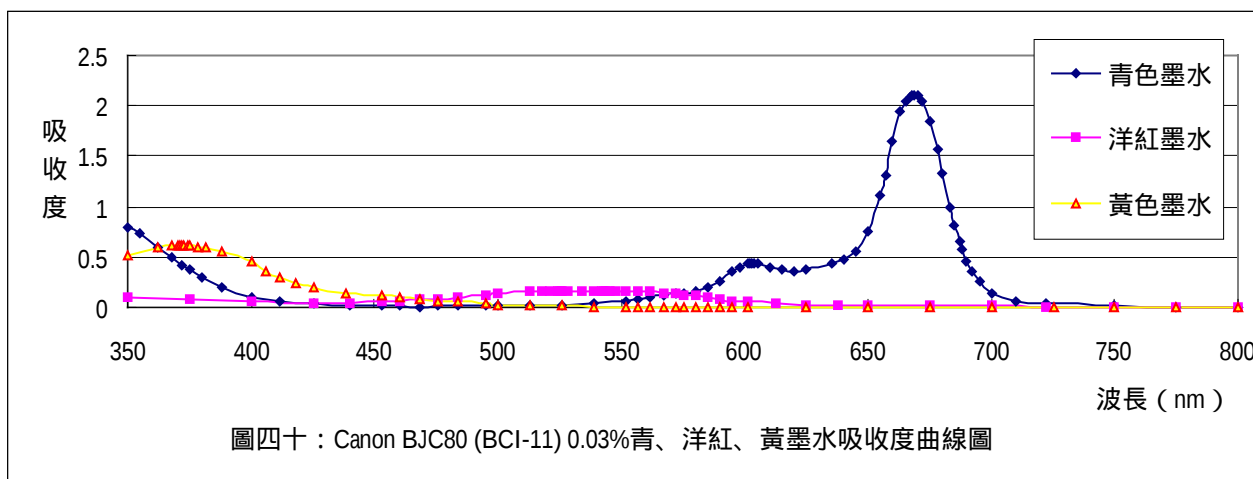
3.依實驗結果，不同的投影片對印出顏色的影響不大；選擇平均吸收度較大的 Starlit 投影片，作為以下實驗列印使用。

< 實驗 4-3 > 將幾種印表機的全新墨水盒(墨水匣)(HP670C 51649a 三色 EPSON 660-S020191 三色、EPSON PHOTO EX-S020110 五色、CANON BJC80 BCI-11 三色)的青(淡青)，洋紅(淡洋紅)，黃色等墨水抽出，以溶劑(酒精)稀釋配製適當濃度後，測量其吸收度曲線變化情形，實驗結果如表十三、圖卅五~四十四。

表十三：幾種印表機墨水盒墨水抽出，稀釋成適當濃度後，測量其吸收度曲線變化

墨水種類	稀釋濃度	顏色	完整吸收峰數	完整吸收峰		各分段波長區間平均吸收度					
				最大吸收度之波長 (nm)	最大吸收度	紫	藍	綠	黃	橙	紅
						330.1nm 至 453.4nm	453.4nm 至 495.4nm	495.4nm 至 552.5nm	552.5nm 至 580.3nm	580.3nm 至 601.6nm	601.6nm 至 721.8nm
Epson Photo Ex (S020110)	0.01 %	淺青	1	666	0.148	0.028	0	0.003	0.014	0.033	0.087
		深青	1	666	0.543	0.107	0.005	0.017	0.057	0.127	0.327
		淺洋紅	2	515	0.029	0.005	0.01	0.027	0.02	0.003	0
				550	0.032						
		深洋紅	2	516	0.118	0.028	0.051	0.118	0.084	0.013	0.003
				549	0.131						
		黃	1	397	0.12	0.102	0.025	0.007	0.003	0.001	0.001
Epson Color 660 (S020191)	0.01 %	青	1	666	2.41	0.493	0.009	0.058	0.283	0.629	1.371
		洋紅	2	518	0.116	0.027	0.049	0.114	0.080	0.01	0.001
				550	0.128						
		黃	1	398	1.629	1.277	0.238	0	0	0	0
Canon BJC-80 (BCI-11)	0.03 %	青	2	603	0.438	0.316	0.011	0.031	0.112	0.299	0.95
				668	2.103						
		洋紅	1	525	0.17	0.063	0.089	0.163	0.146	0.082	0.017
		黃	1	371	0.618	0.472	0.065	0.015	0.004	0.004	0.004
HP Deskjet 670C (51649a)	0.03 %	青	1	627	1.005	0.177	0.024	0.071	0.276	0.514	0.644
		洋紅	2	520	0.695	0.14	0.251	0.748	0.948	0.099	0.004
				555	1.141						
		黃	1	427	0.325	0.269	0.177	0.021	0.009	0.007	0.007





備註：實驗過程中發現 HP670C 黃色墨水對酒精的溶解度較差，而改用水當溶劑重新稀釋

結果分析

- 1.各廠牌的墨水，在（淡）青色、（淡）洋紅、黃色墨水各自的吸收度曲線圖中，低吸收度區域均出現與墨水顏色相關的位置上，若以最大平均吸收度區域來看：所有青色墨水此區域落在 602~722nm 位置，所有黃色墨水此區域落在 330~453nm 位置，Epson 與 Canon 洋紅色墨水此區域落在 495~553nm 位置上，HP 洋紅色墨水此區域則落在鄰近的 553~575nm 位置，四種廠牌的墨水在青色、洋紅、黃色

個別顏色上表現都相當類似。

2.就同一部印表機（淡）青色、（淡）洋紅、黃色墨水的吸收度高低表現上來觀察：

(1)Epson photo ex 的墨水，在以酒精稀釋成 0.01%後，深青色的墨水表現出的最大吸收度最高，在最大吸收度波長處，其他墨水吸收度的表現，都不及深青色的三分之一。

(2)Epson 660 的墨水，在以酒精稀釋成 0.01%後，青色與黃色的墨水表現出的最大吸收度相當明顯，洋紅色墨水吸收度的表現甚低，在最大吸收度波長處，甚至不及黃色的十分之一。

(3)Canon 的墨水，在以酒精稀釋成 0.03%後，青色的墨水表現出的最大吸收度最高，黃色墨水次之（在最大吸收度波長處，墨水吸收度約青色的三分之一），洋紅色墨水吸收度的表現甚低，在最大吸收度波長處，甚至不及青色的十分之一。

(4)HP 的墨水，在以酒精稀釋成 0.03%後，三種顏色（青色、洋紅、黃色）墨水，表現出的最大吸收度均相當平均而明顯。

3.以下根據墨水顏色，分別就所得的吸收度曲線圖一一分析實驗結果：

【青色墨水】

(1)Epson Ex、Epson 660、HP670C 的青色墨水只有一個突出吸收峰，Canon 青色墨水有兩個突出的吸收峰。

(2)Epson（淡）青色墨水的特色是在突出吸收峰的左側（低波長），出現吸收度平台（或緩坡），最大吸收波長（666nm）反而在整個吸收峰偏長波長處；Canon 的青色墨水的特色是有兩支吸收峰（603nm，668nm），最大吸收波長吸收峰偏長波長處；HP 的青色墨水吸收峰（一支，627nm）形狀較單純，只在吸收峰右側有小凸起。

(3)Epson Ex 的青色墨水分深青、淺青；Epson 660 的青色墨水只有一個，在相同的稀釋比例下比較其吸收度曲線，我們發現：吸收度曲線圖相當類似，應該有類似的組成成分，而且最大吸收度波長都相同（666nm）。在相同稀釋比例下，吸收度：
Epson 660 青 > Epson Ex 深青 > Epson Ex 淺青。

【洋紅墨水】

(1)Epson Ex 及 Epson 660 的洋紅墨水有兩個吸收峰凸起（515~518nm，549~550nm），吸收曲線中的兩個吸收峰凸起吸收度相近，而都以位在長波長的吸收峰吸收度較高。

(2)Canon 的洋紅墨水只有一個吸收峰，最大吸收波長（525nm）位在吸收峰偏短波長的一邊，但並不突出，整個吸收峰類似一個平台（或緩坡）。

(3)HP 的洋紅墨水有兩個吸收峰凸起（520nm，555nm），兩個吸收峰吸收度差異較大，位在長波長處的吸收峰凸起吸收度較高。

(4)Epson Ex 的洋紅墨水分深洋紅、淺洋紅；Epson 660 的洋紅墨水只有一種，在相同的稀釋比例下比較其吸收度曲線，我們發現：吸收度曲線圖相當類似，應該有類似的組成成分，而且最大吸收度波長都相當接近（516~518nm，549~550nm）。在相同稀釋比例下，吸收度：相同稀釋比例下，吸收度：

Epson 660 洋紅 > Epson Ex 深洋紅 > Epson Ex 淺洋紅。

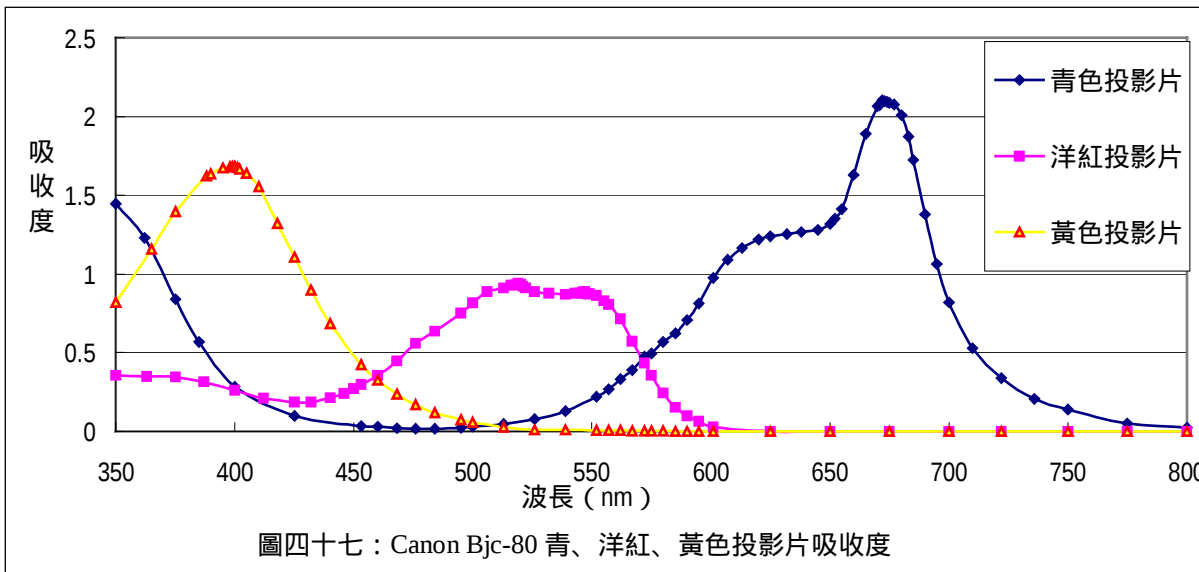
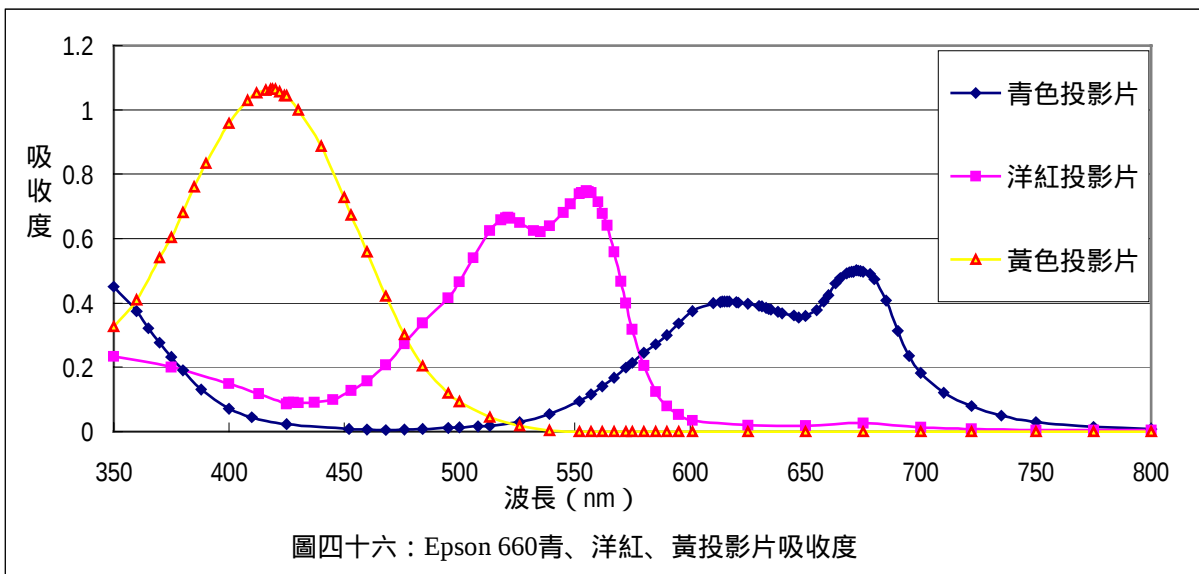
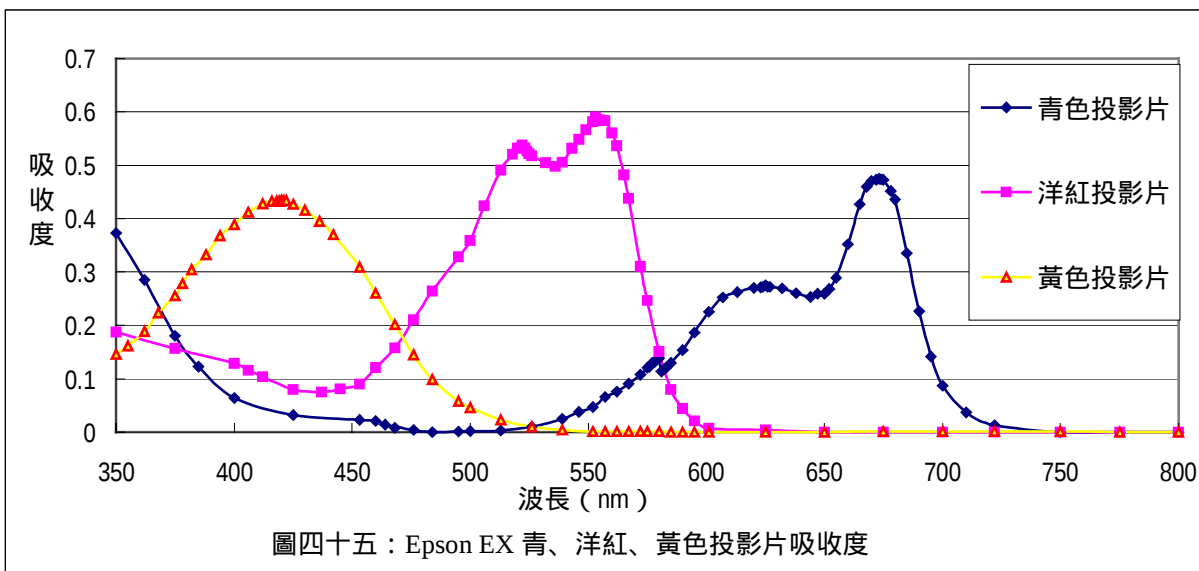
【黃色墨水】

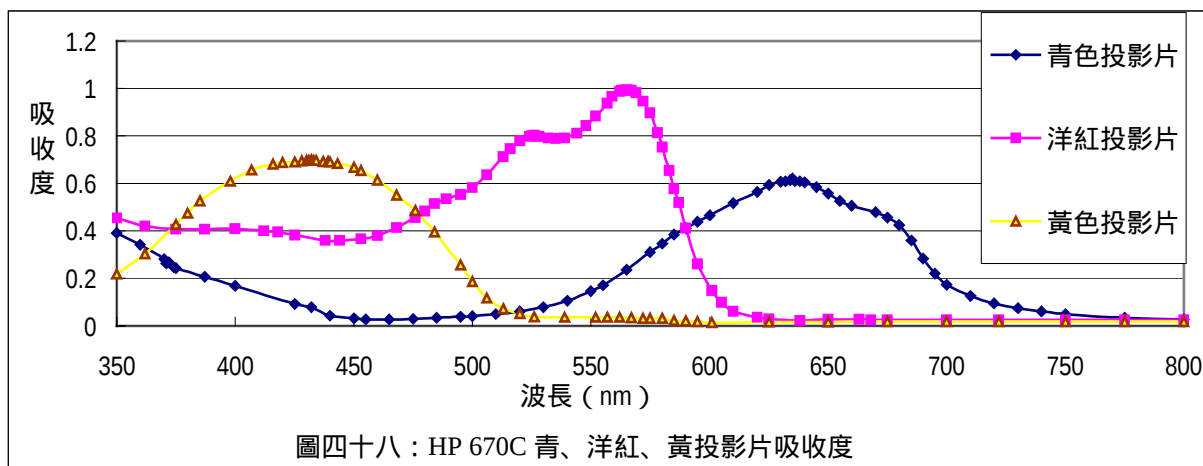
所有廠牌的黃色墨水都只有一個吸收峰，Epson Ex 與 Epson 660 黃色墨水的最大吸收度波長相當接近（397~398nm）。Canon 的黃色墨水最大吸收度波長(371nm)則略偏短波長。HP 的黃色墨水最大吸收度波長(427nm)，則略偏長波長。三種黃色墨水有明顯不同。

< 實驗 4-4 > 由墨水的測試實驗可知，印表機中的墨水在吸收度的表現上，各種顏色的彼此的差異很大，在這麼大的差異下（如 EPSON Photo EX 墨水），實際上由噴墨印表機噴字頭印在投影片上，各種顏色吸收度的差異又如何？各廠牌印表機機器本身的硬體與軟體（如印表機驅動程式），又如何將印出的圖片中顏色分布、濃淡調整到我們視覺可以接受的程度？各廠牌的差異又在哪裡？於是我們設計了下列這個實驗，期望在同一個色彩模型電腦檔案（註），同一種軟體【PHOTOSHOP】，同一種投影片（Starlit），的控制條件下，**改變不同的印表機印出圖片**，測量這些單色透明片的可見光吸收度曲線，實驗結果如表十四、圖四十五~四十七與照片展示。

表十四：以不同廠牌印表機，列印 100%青、洋紅、黃色方塊在投影片上，測量各波長區間平均吸收度

印表機種類	顏色	完整吸收峰數	完整吸收峰		各分段波長區間平均吸收度					
			最大吸收度之波長 (nm)	最大吸收度	紫	藍	綠	黃	橙	紅
					330.1nm 至 453.4nm	453.4nm 至 495.4nm	495.4nm 至 552.5nm	552.5nm 至 580.3nm	580.3nm 至 601.6nm	601.6nm 至 721.8nm
Epson Photo Ex	青	2	625	0.273	0.154	0.008	0.021	0.092	0.142	0.301
			673	0.475						
	洋紅	2	522	0.533	0.113	0.216	0.512	0.5	0.061	0.001
			553	0.589						
	黃	1	420	0.435	0.348	0.153	0.017	0.001	0	0
Epson Color 660	青	2	620	0.406	0.193	0.008	0.038	0.167	0.305	0.395
			672	0.5						
	洋紅	2	521	0.666	0.125	0.279	0.639	0.625	0.099	0.018
			555	0.747						
	黃	1	419	1.064	0.851	0.321	0.031	0	0	0
Canon BJC-80	青	1	673	2.096	0.643	0.022	0.101	0.391	0.738	1.497
	洋紅	2	519	0.938	0.27	0.55	0.892	0.618	0.117	0
			547	0.886						
	黃	1	400	1.683	1.351	0.184	0.022	0.005	0.001	0
HP Deskjet 670C	青	1	635	0.622	0.204	0.031	0.08	0.24	0.41	0.467
	洋紅	2	526	0.802	0.396	0.477	0.772	0.97	0.517	0.036
			565	0.994						
	黃	1	433	0.7	0.615	0.46	0.077	0.034	0.021	0.017





****結果分析****

- 1.各廠牌印表機印出的投影片，在青色、洋紅、黃色各自的吸收度曲線圖中，低吸收度區域均出現與墨水顏色相關的位置上，若以最大平均吸收度區域來看：所有青色投影片，此區域落在 602~722nm 位置；所有黃色投影片此區域落在 330~453nm 位置；Epson 與 Canon 洋紅色投影片，此區域落在 495~553nm 位置上；HP 洋紅色投影片此區域則落在鄰近的 553~575nm 位置，四種不同印表機印出的投影片在青色、洋紅、黃色的顏色上表現都相當類似。
- 2.所有由各廠牌印表機印出的投影片，在以電腦（印表機）軟體與硬體處理過後，墨水經由噴字頭噴出的量，三種顏色（青色、洋紅、黃色）所表現出的最大吸收度均相當平均而明顯，沒有在墨水測試實驗中，兩種顏色最大吸收度差異到數倍的情形發生，其中以五色彩色列印的 Epson photo ex 印表機印出的青色、洋紅、黃色最大吸收度值最為接近而平均。
- 3.以下根據投影片顏色，分別就所得的吸收度曲線圖一一分析實驗結果：

【青色投影片】

- (1)Epson Ex 的青色投影片吸收峰上有三個凸出，Epson 660 的青色投影片吸收峰上有二個凸出，Canon Bjc-80、HP670C 青色墨水只有一個凸出的吸收峰。
- (2)Epson 系列的青色投影片吸收度曲線的特色是在最大吸收度吸收峰的左側（偏低波長），出現吸收度平台（或緩坡）與其他吸收峰凸起，最大吸收波長（672~673nm）反而在整個吸收峰偏長波長處；Canon 的青色投影片吸收度曲線外型類似Epson，但只有一個吸收峰凸起（673nm）；HP 的青色投影片吸收度曲線吸收峰（一支，635nm）形狀較單純，只在吸收峰右側有小凸起。
- (3) Epson 系列（Epson Ex，Epson 660）的青色投影片，經比較其吸收度曲線，我們發現：吸收度曲線圖相當類似，應該有類似的墨水與軟硬體控制，而且最大吸收度波長幾乎相同（672~673nm），而吸收度的大小比較也幾乎相同。

【洋紅投影片】

- (1) Epson Ex 及 Epson 660 的洋紅投影片有兩個吸收峰凸起（521~522nm，553~555nm），吸收曲線中的兩個吸收峰凸起吸收度相近，而都以位在長波長的吸收峰吸收度較高。
- (2)Canon 的洋紅投影片有二個吸收峰凸起（519nm，547nm），最大吸收波長（519nm）位在吸收峰偏短波長的一邊，但並不突出，整個吸收峰類似一個平

台（或緩坡）。

(3)HP 的洋紅投影片有兩個吸收峰凸起（526nm，565nm），兩個吸收峰吸收度差異較大，位在長波長處的吸收峰凸起吸收度較高。

(4)Epson Ex 與 Epson 660 的洋紅投影片，經比較其吸收度曲線，我們發現：吸收度曲線圖相當類似，應該有類似的墨水與軟硬體控制，而且最大吸收度波長都相當接近（521~522nm，553~555 nm）。而吸收度的大小比較：

Epson 660 洋紅 > Epson Ex 洋紅

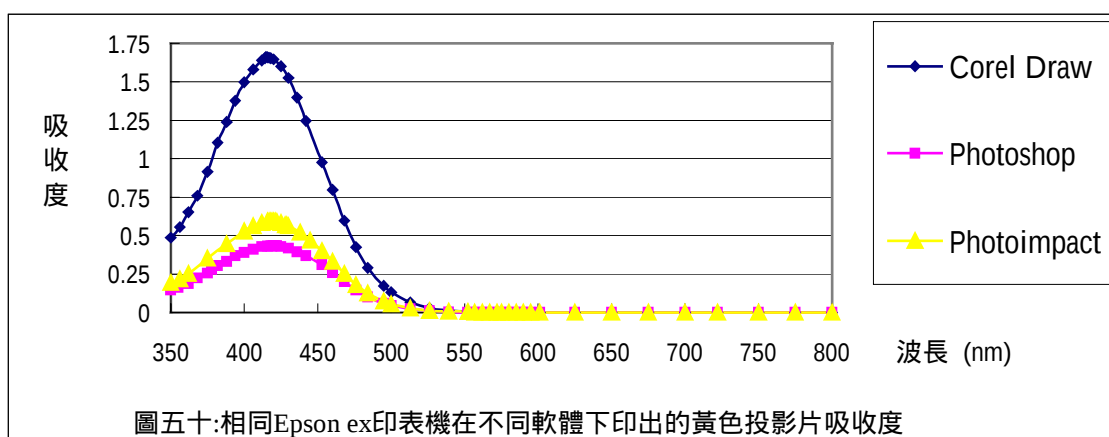
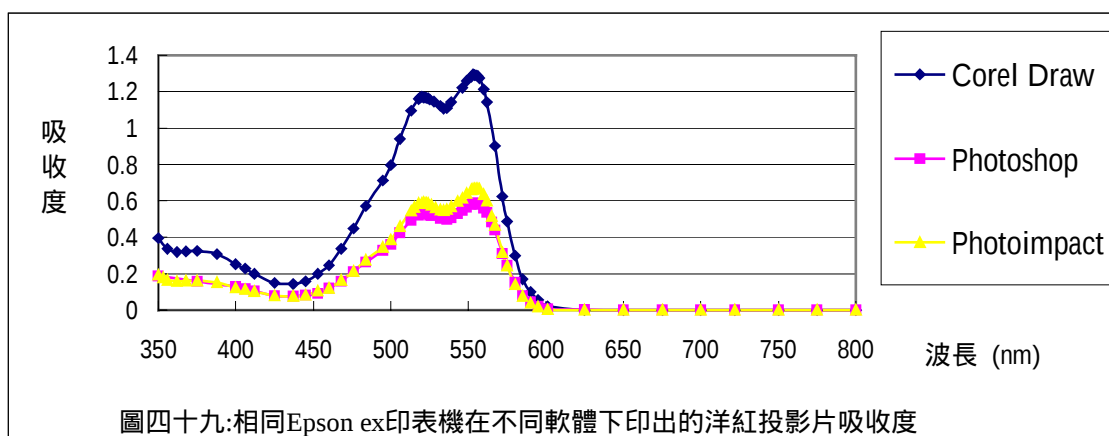
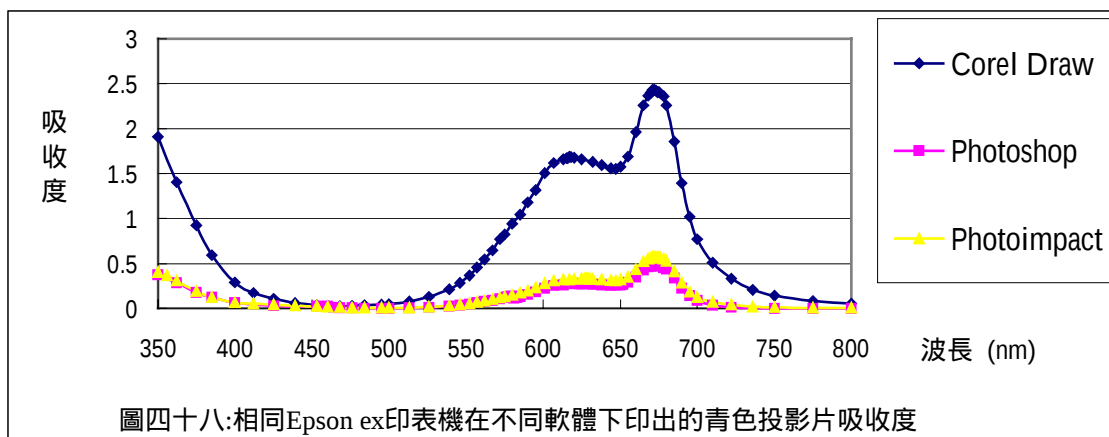
【黃色投影片】

所有廠牌的黃色投影片都只有一個吸收峰，Epson Ex 與 Epson 660 黃色投影片的最大吸收度波長相當接近（419~420nm）。Canon 的黃色投影片最大吸收度波長（400nm）則略偏短波長。HP 的黃色投影片最大吸收度波長（433nm），則略偏長波長。三種黃色投影片在最大吸收波長上有明顯不同。

< 實驗 4-5 > 由以上的實驗結果可知，以不同廠牌的印表機與墨水，在各顏色吸收度區線的表現上有相當的差異，但是彩色圖片的製作與列印選擇，除了印表機外，還有繪圖軟體的種類，於是我們接下來設計以相同的印表機（Epson Photo EX），在相同的顏色濃淡設定（HSB 色彩模型中，固定 HSB 值的控制條件下列印不同軟體（Photoshop、PhotoImpact、CorelDRAW）的青色、洋紅、黃色三色投影片，測量這些單色透明片的可見光吸收度曲線，實驗結果如表十五、圖四十八~五十與照片展示。

表十五：以不同種類繪圖軟體，列印 100%青、洋紅、黃色方塊在投影片上，測量各波長區間平均吸收度

軟體種類	顏色	完整吸收峰數	完整吸收峰		各分段波長區間平均吸收度					
			最大吸收度之波長（nm）	最大吸收度	紫	藍	綠	黃	橙	紅
					330.1nm 至 453.4nm	453.4nm 至 495.4nm	495.4nm 至 552.5nm	552.5nm 至 580.3nm	580.3nm 至 601.6nm	601.6nm 至 721.8nm
CorelDRAW	青	2	625	1.684	0.611	0.033	0.187	0.65	1.197	1.758
			673	2.428						
	洋紅	2	520	1.171	0.256	0.462	1.134	1.08	0.129	0
			553	1.294						
	黃	1	420	1.663	1.295	0.457	0.049	0.001	0	0
PhotoImpact	青	2	627	0.333	0.16	0.01	0.026	0.101	0.205	0.379
			673	0.57						
	洋紅	2	521	0.59	0.132	0.224	0.568	0.555	0.055	0
			556	0.668						
	黃	1	419	0.594	0.498	0.192	0.021	0	0	0
Photoshop	青	2	625	0.203	0.154	0.008	0.021	0.092	0.142	0.301
			673	0.475						
	洋紅	2	522	0.533	0.113	0.215	0.512	0.5	0.061	0.001
			553	0.589						
	黃	1	420	0.435	0.348	0.153	0.017	0.001	0	0



結果分析

在其他列印條件（如印表機、墨水、紙張）控制下，改變列印時所使用的繪圖軟體種類，所列出的有色透明片，經各波長的吸收度測試後我們發現：

- 1.不同繪圖軟體，無法改變有色透明片的最大吸收度波長值。也就是說，任何繪圖軟體，對青色透明片而言，均會在 673nm 出現最大吸收度，對洋紅透明片而言，均會在 520nm~522 nm、553 nm ~556 nm，出現兩個吸收峰凸起，對黃色透明片而言，均會在 415 nm ~420nm 處出現一個吸收峰。
- 2.但對最大吸收度而言，繪圖軟體的改變，會影響吸收度的變化，以 Corel draw 軟體列印所得的各色透明片，其最大吸收度均高出以 photoshop、photoimpact 繪圖軟體列印者甚多。而使用 photoshop 和 photoimpact 繪圖軟體列印所得的各色透明片彼此吸收度差異不大。

(五) 經由對各噴墨印表機樣品的吸收度曲線變因測試 (噴墨印表機廠牌、墨水、繪圖軟體、投影片廠牌) 後, 我們發現了在 100% 的青、洋紅、黃色的色彩濃淡設定下, 所得列印成品的顏色 (吸收度曲線), 受到印表機廠牌與墨水這些變因影響很大。但實際上彩色圖片的列印, 還必須考慮 **色彩深淺不同的要求與解析度 (噴墨點密度) 的提升**, 才能達到較好的列印品質。在這些要求下, 各噴墨印表機廠牌、墨水、各繪圖軟體種類, 影響色彩表現的程度如何? 解析度愈高, 色彩的偏差會愈小嗎? 何種印表機、墨水、繪圖軟體的搭配對顏色濃淡的控制最好? 於是我們將各電腦檔案中的顏色濃淡條件設定為 0 %、12 %、25 %、38 %、50 %、62 %、75 %、88 %、100 % , 經由印表機印出後, 再由分光光度計測量該有色投影片在最大吸收波長時的吸收度, **計算這些吸收度值在比例上是否符合原先在軟體上的設定**, 藉以了解噴墨列印技術中成品顏色的偏差狀況如何。

< 實驗 5-1 > 將不同噴墨印表機廠牌墨水 (四種) 與不同繪圖軟體 (三種) 交叉配對列印青、洋紅、黃色三色投影片, 測量其吸收度, 經計算後得出顏色偏差值, 探討 **何種印表機與繪圖軟體的搭配對顏色濃淡的控制最好?** 所得結果整理如表十六~十八、圖五十一~五十九。

表十六：設定不同濃淡百分率列印出的有色透明片，實際在各最大吸收波長位置的吸收度

測量三次的吸收度平均值	列印濃淡設定	青色			洋紅色			黃色		
		Photo-shop	Photo Impact	Corel DRAW	Photo-shop	Photo Impact	Corel DRAW	Photo-shop	Photo Impact	Corel DRAW
Epson Photo EX 【青：673nm】 【洋紅：553nm】 【黃：420nm】	0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12%	0.044	0.038	0.035	0.012	0.006	0.018	0.004	0.003	0.022
	25%	0.079	0.080	0.089	0.025	0.029	0.046	0.027	0.025	0.058
	38%	0.119	0.134	0.158	0.047	0.047	0.082	0.065	0.056	0.095
	50%	0.196	0.189	0.263	0.072	0.075	0.137	0.100	0.102	0.154
	62%	0.295	0.292	0.418	0.111	0.111	0.236	0.146	0.143	0.211
	75%	0.346	0.348	0.586	0.175	0.178	0.355	0.217	0.211	0.316
	88%	0.360	0.363	0.712	0.295	0.293	0.519	0.305	0.299	0.458
	100%	0.375	0.357	1.000	0.539	0.528	0.778	0.370	0.354	0.725
Epson Color 660 【青：672nm】 【洋紅：555nm】 【黃：419nm】	0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12%	0.036	0.04	0.039	0.025	0.031	0.025	0.042	0.044	0.027
	25%	0.076	0.080	0.069	0.050	0.053	0.06	0.066	0.071	0.069
	38%	0.120	0.123	0.131	0.089	0.085	0.096	0.099	0.097	0.118
	50%	0.164	0.168	0.202	0.123	0.119	0.154	0.146	0.148	0.179
	62%	0.239	0.244	0.345	0.170	0.166	0.245	0.210	0.212	0.292
	75%	0.308	0.311	0.568	0.258	0.263	0.394	0.345	0.330	0.468
	88%	0.337	0.345	0.890	0.468	0.465	0.591	0.616	0.617	0.735
	100%	0.328	0.330	1.430	0.790	0.820	0.777	1.029	0.950	1.088
Canon BJC-80	0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12%	0.027	0.023	0.028	0.011	0.012	0.021	0.025	0.042	0.029
	25%	0.074	0.054	0.062	0.043	0.037	0.047	0.062	0.072	0.063
	38%	0.142	0.132	0.124	0.065	0.058	0.092	0.092	0.111	0.130

【青：635nm】 【洋紅：565nm】 【黃：433nm】	50%	0.254	0.233	0.169	0.095	0.087	0.147	0.145	0.157	0.197
	62%	0.829	0.756	0.276	0.131	0.130	0.221	0.205	0.219	0.305
	75%	1.494	1.509	0.480	0.200	0.181	0.356	0.356	0.354	0.523
	88%	1.522	1.567	0.904	0.403	0.378	0.641	1.004	0.962	1.110
	100%	1.514	1.551	1.554	0.894	0.870	0.921	1.506	1.476	1.431
HP 670C 【青：673nm】 【洋紅：547nm】 【黃：400nm】	0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12%	0.038	0.036	0.037	0.027	0.019	0.028	0.025	0.028	0.027
	25%	0.077	0.078	0.091	0.063	0.056	0.081	0.052	0.054	0.070
	38%	0.134	0.129	0.132	0.098	0.092	0.126	0.085	0.080	0.106
	50%	0.186	0.174	0.173	0.142	0.133	0.167	0.115	0.114	0.147
	62%	0.250	0.266	0.214	0.168	0.161	0.211	0.146	0.143	0.194
	75%	0.370	0.372	0.272	0.229	0.241	0.272	0.197	0.202	0.266
	88%	0.366	0.372	0.354	0.303	0.305	0.348	0.309	0.302	0.372
	100%	0.377	0.368	0.436	0.668	0.672	0.465	0.577	0.564	0.566

****結果分析****

1. 經 SP20 吸收度測量，在**吸收度大小**的比較上，由表十六的數據中可以發現：

< EpsonPhoto EX 與 EpsonColor 660 >

以 CorelDRAW 軟體搭配此兩種印表機所印出的片子，比其他兩種軟體，在各種顏色與濃淡設定的實驗中，均測得較高的吸收度。

< CanonBJC-80 >

各軟體搭配此印表機，在吸收度的表現上：青色以 Photoshop、PhotoImpact 有較高的吸收度。洋紅以 PhotoImpact 有較高的吸收度。黃色以 CorelDRAW 有較高的吸收度。

< HP670C >

各軟體搭配此印表機，在吸收度的表現上：三種軟體對青色與洋紅的吸收度，差別不大。黃色以 CorelDRAW 有較高的吸收度。

就以上分析綜合來看：吸收度較高的搭配，若在同一種印表機的情況下比較，顯示使用此種軟體列印時墨水的使用量較高。例如：以 EPSON PHOTO EX 印表機列印 CorelDRAW 軟體檔案時就耗費較多的墨水。

2. 將表十六的吸收度值經由下列計算後換算為吸收度百分率，得表十七：

$$\text{吸收度百分率} = \frac{\text{同軟體、同印表機，軟體濃淡設定為 X\% 的有色透明片，在最大吸收波長時的吸收度}}{\text{同軟體、同印表機，軟體濃淡設定為 100\% 的有色透明片，在最大吸收波長時的吸收度}} \times 100\%$$

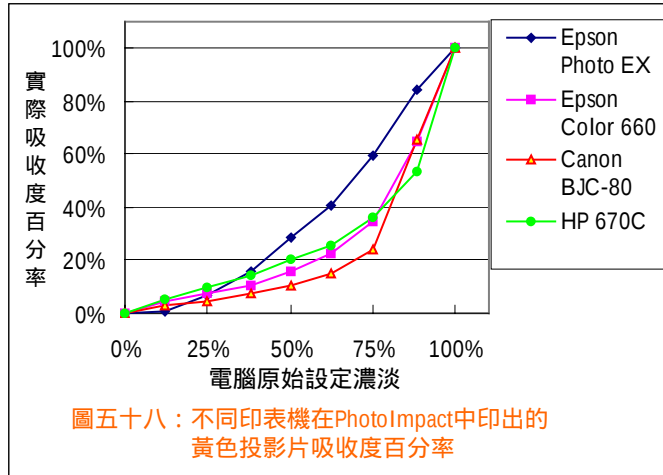
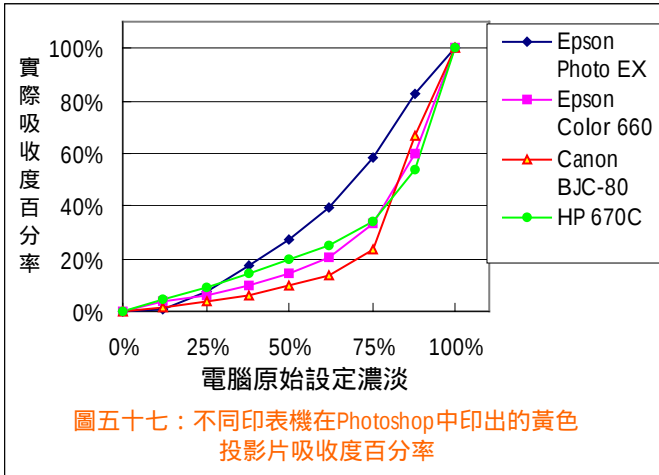
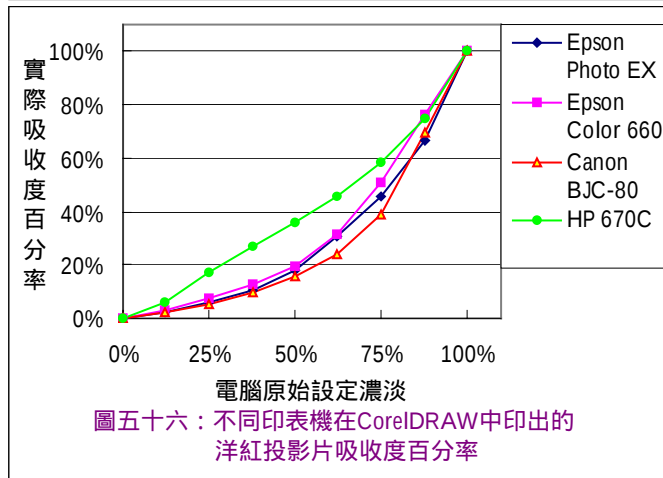
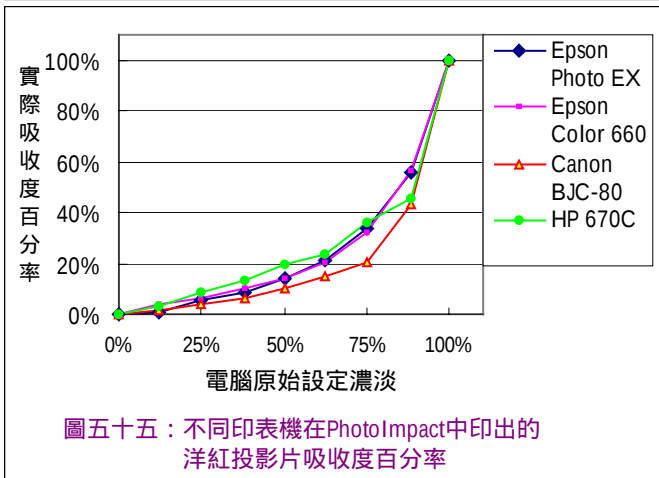
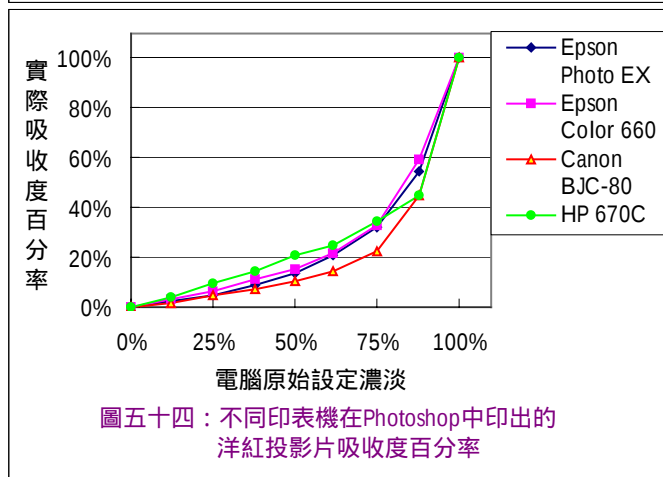
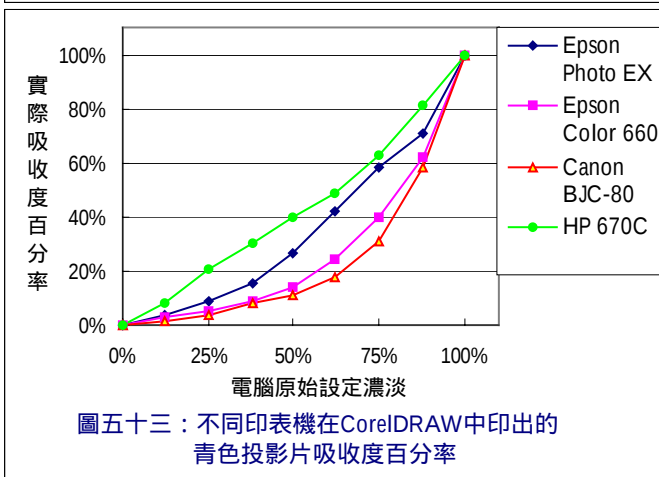
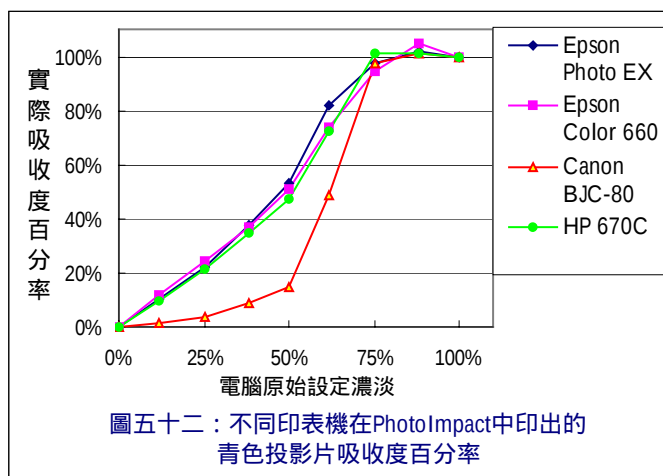
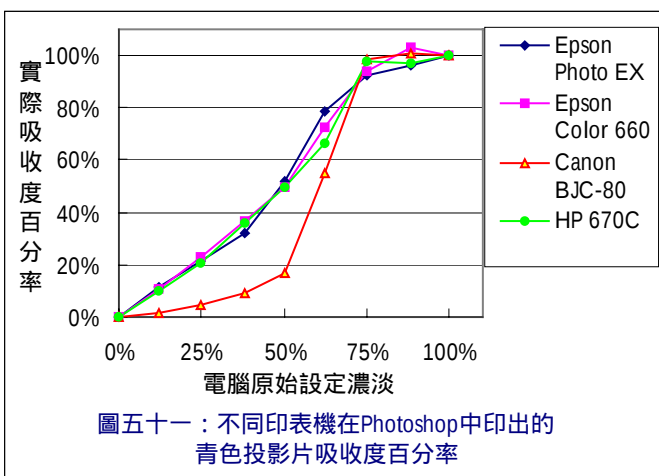
3. 將吸收度轉變為吸收度百分率後，我們比較**實際印出的吸收度百分率**（數據見表十七）和原先在**電腦中設定的顏色濃淡百分率**（0 %、12 %、25 %、38 %、50 %、62 %、75 %、88 %、100 %），有下列發現：

- (1)以電腦中設定的顏色濃淡百分率為橫座標,實際印出樣品的吸收度百分率為縱座標繪出關係圖(如圖五十一至圖五十九),如果樣品顏色與電腦設定完全吻合,圖形應該呈現一條斜直線,但圖五十一至圖五十九的圖形都是曲線,由此判斷:實際投影片的顏色吸收度百分率和電腦設定顏色濃淡的百分率,無論那種顏色,在各種軟體與印表機的組合中都有相當的差距,顏色的偏差相當明顯。
- (2)若以電腦設定顏色濃淡 12 %,25 %,38 %,50 %,62 %,75 %,88 % 為研究樣本(實驗全部共 252 組),與實際吸收度百分率差距在正負 10%之內的組合,共有 55 組。
- 以印表機來分:HP 670C 佔 21 組、EPSON PHOTO EX 佔 15 組、EPSON 660 佔 15 組、Canon BJC-80 佔 4 組。
- 以軟體來分:Photoshop 佔 22 組、PhotoImpact 佔 18 組、CorelDRAW 佔 15 組。
- 以顏色來區分:青色佔 34 組,洋紅佔 10 組,黃色佔 11 組。

表十七:設定不同顏色濃淡百分率列印出的有色透明片,實際在各最大吸收波長位置的吸收度百分率

測量三次的吸收度平均值	列印濃淡設定	青色			洋紅色			黃色		
		Photo-shop	Photo Impact	Corel DRAW	Photo-shop	Photo Impact	Corel DRAW	Photo-shop	Photo Impact	Corel DRAW
Epson Photo EX 【青:673nm】 【洋紅:553nm】 【黃:420nm】	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	12%	11.7%	10.6%	3.5%	2.2%	1.1%	2.3%	1.1%	0.8%	3.0%
	25%	21.1%	22.4%	8.9%	4.6%	5.5%	5.9%	7.3%	7.1%	8.0%
	38%	31.7%	37.5%	15.8%	8.7%	8.9%	10.5%	17.6%	15.8%	13.1%
	50%	52.3%	52.9%	26.3%	13.4%	14.2%	17.6%	27.0%	28.8%	21.2%
	62%	78.7%	81.8%	41.8%	20.6%	21.0%	30.3%	39.5%	40.4%	29.1%
	75%	92.3%	97.5%	58.6%	32.5%	33.7%	45.6%	58.6%	59.6%	43.6%
	88%	96.0%	101.7%	71.1%	54.7%	55.5%	66.7%	82.4%	84.5%	63.2%
	100%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Epson Color 660 【青:672nm】 【洋紅:555nm】 【黃:419nm】	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	12%	11.0%	12.1%	2.7%	3.2%	3.8%	3.2%	4.1%	4.6%	2.5%
	25%	23.2%	24.2%	4.8%	6.3%	6.5%	7.7%	6.4%	7.5%	6.3%
	38%	36.6%	37.3%	9.2%	11.3%	10.4%	12.4%	9.6%	10.2%	10.8%
	50%	50.0%	50.9%	14.1%	15.6%	14.5%	19.8%	14.2%	15.6%	16.5%
	62%	72.9%	73.9%	24.1%	21.5%	20.2%	31.5%	20.4%	22.3%	26.8%
	75%	93.9%	94.2%	39.7%	32.7%	32.1%	50.7%	33.5%	34.7%	43.0%
	88%	102.7%	104.5%	62.2%	59.2%	56.7%	76.1%	59.9%	64.9%	67.6%
	100%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Canon BJC-80 【青:635nm】 【洋紅:565nm】 【黃:433nm】	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	12%	1.8%	1.5%	1.8%	1.2%	1.4%	2.3%	1.7%	2.8%	2.0%
	25%	4.9%	3.5%	4.0%	4.8%	4.3%	5.1%	4.1%	4.9%	4.4%
	38%	9.4%	8.5%	8.0%	7.3%	6.7%	10.0%	6.1%	7.5%	9.1%
	50%	16.8%	15.0%	10.9%	10.6%	10.0%	16.0%	9.6%	10.6%	13.8%
	62%	54.8%	48.7%	17.8%	14.7%	14.9%	24.0%	13.6%	14.8%	21.3%
	75%	98.7%	97.3%	30.9%	22.4%	20.8%	38.7%	23.6%	24.0%	36.5%

HP 670C 【青：673nm】 【洋紅：547nm】 【黄：400nm】	88%	100.5%	101.0%	58.2%	45.1%	43.4%	69.6%	66.7%	65.2%	77.6%
	100%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
	0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	12%	10.1%	9.8%	8.5%	4.0%	2.8%	6.0%	4.3%	5.0%	4.8%
	25%	20.4%	21.2%	20.9%	9.4%	8.3%	17.4%	9.0%	9.6%	12.4%
	38%	35.5%	35.1%	30.3%	14.7%	13.7%	27.1%	14.7%	14.2%	18.7%
	50%	49.3%	47.3%	39.7%	21.3%	19.8%	35.9%	19.9%	20.2%	26.0%
	62%	66.3%	72.3%	49.1%	25.1%	24.0%	45.4%	25.3%	25.4%	34.3%
	75%	98.1%	101.1%	62.4%	34.3%	35.9%	58.5%	34.1%	35.8%	47.0%
	88%	97.1%	101.1%	81.2%	45.4%	45.4%	74.8%	53.6%	53.5%	65.7%
	100%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%



4.將表十七的吸收度百分率經由下列計算後換算為吸收度百分率偏差，將以相同印表機，相同軟體實驗測量計算所得的吸收度百分率偏差平均整理後，可得表十八：

吸收度百分率偏差

$$= | \text{實驗吸收度百分率} - \text{電腦中設定的顏色濃淡百分率} | \quad \text{取絕對值}$$

5.將各組印表機和軟體搭配所得的平均吸收度百分率偏差(電腦設定顏色濃淡百分率和實際投影片吸收度百分率的差值，取絕對值)進行分析比較，偏差大小以10%的標準來看，加以統計，結果如下(如表十八有標底色者，偏差<10%)：

(1)在青色方面：就印表機而言：HP670C有三種組合，EPSON PHOTO EX、EPSON color 660 各有二種組合的平均偏差在10%以內。

就軟體來看：Photoshop、PhotoImpact 各有三種組合，CorelDRAW 只有一種組合在10%的平均偏差內。

(2)在洋紅方面：僅HP670C印表機搭配CorelDRAW列印這組，平均偏差值在10%以下。

(3)在黃色方面：無任何印表機搭配繪圖軟體的組合，平均偏差值在10%以下。

(4)印表機與軟體的搭配中，平均偏差值最小前三組依次為：**HP 670C 搭配 CorelDRAW**
< EPSON photo EX 搭配 Photoshop < EPSON photo EX 搭配 PhotoImpact

(5)就整個印表機來看(包含不同顏色、不同軟體)平均偏差值的大小順序：

HP 670C < EPSON photo EX < EPSON color 660 < Canon BJC-80

(6)就繪圖軟體而言(包含不同顏色、不同印表機)平均偏差值的比較：

CorelDRAW Photoshop PhotoImpact 三者幾乎相同(差距不到1%)

(7)**所有軟體、印表機、顏色統計出來的總平均偏差為 17.3%**

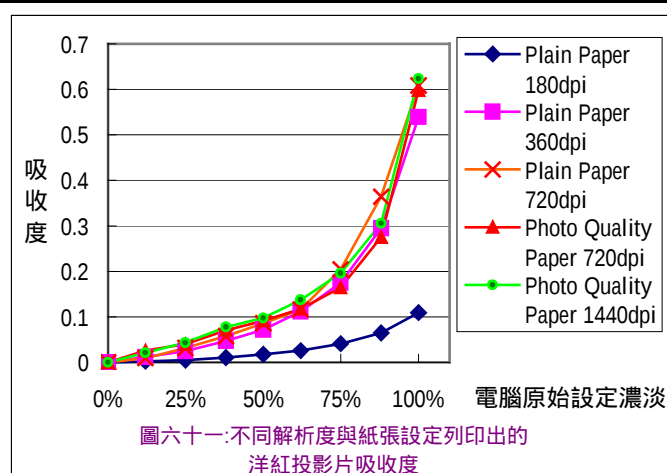
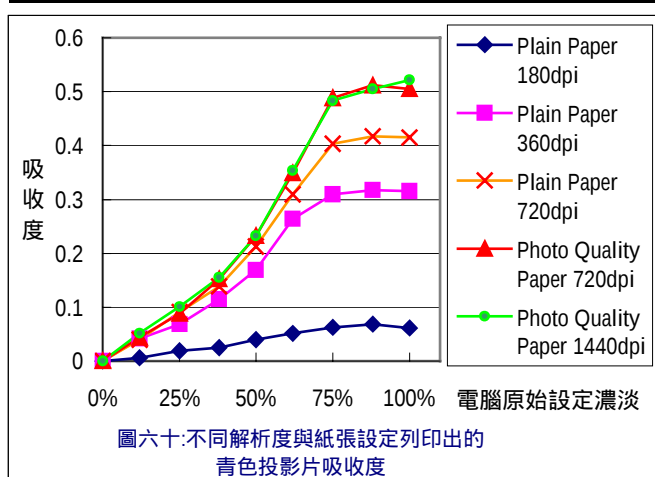
表十八：各組印表機和軟體搭配所得的平均吸收度百分率偏差

軟體別	Photoshop				PhotoImpact				CorelDRAW				總平均
	青	洋紅	黃	平均	青	洋紅	黃	平均	青	洋紅	黃	平均	
Epson Photo EX	6.1%	23.7%	12.9%	14.2%	7.0%	23.3%	12.6%	14.3%	13.8%	19.0%	18.8%	17.2%	15.2%
Epson Color 660	5.4%	22.3%	22.4%	16.7%	5.6%	22.9%	21.1%	16.5%	21.5%	16.5%	19.6%	19.2%	17.5%
Canon BJC-80	15.1%	27.1%	25.0%	22.4%	16.1%	27.6%	24.5%	22.7%	24.3%	20.5%	20.6%	21.8%	22.3%
HP deskjet 670C	5.1%	21.8%	21.0%	16.0%	6.8%	22.2%	20.7%	16.6%	6.4%	9.4%	15.7%	10.5%	14.3%
總平均	7.9%	23.7%	20.3%	17.3%	8.9%	24.0%	19.7%	17.8%	16.5%	16.4%	18.7%	17.2%	17.3%

< 實驗 5-2 > 在實驗 5-1 中，我們探討了何種印表機與繪圖軟體的搭配對顏色濃淡的控制最好。但在實際列印的過程中，我們發現：可以進入電腦印表機的設定視窗中，更改列印解析度與紙張種類（一般未更改設定時，預設值為普通紙 plain paper，解析度 360dpi），當實際以高解析度（相片品質）列印時，我們發現圖片變的細緻許多，但這種號稱相片品質的列印設定，對顏色的濃淡控制是否變的比較好？因此，我們選用現有最多解析度種類選擇（180dpi、360dpi、720dpi、1440dpi）的 EPSON photo EX 印表機搭配 Photoshop 軟體進行實驗，實驗中將不同解析度與不同紙張設定交叉配對，列印青、洋紅、黃色三色投影片，測量其吸收度，經計算後得出顏色偏差值，探討解析度與紙張設定對顏色濃淡的控制影響如何？所得結果整理如表十九~廿一、圖六十~六十五與照片展示

表十九：不同解析度與紙張設定列印出的有色透明片，實際在最大吸收波長位置的吸收度

投影片 顏色	列印設定		軟體設定濃淡百分率與實際所測得吸收度								
	列印紙張 設定	列印解析 度設定	0%	12%	25%	38%	50%	62%	75%	88%	100%
青 (673nm)	Plain Paper	180dpi	0	0.006	0.019	0.025	0.04	0.051	0.062	0.068	0.061
		360dpi	0	0.042	0.068	0.115	0.169	0.264	0.309	0.317	0.315
		720dpi	0	0.04	0.091	0.138	0.213	0.309	0.403	0.417	0.415
	Photo Quality Ink Jet Paper	720dpi	0	0.043	0.088	0.152	0.232	0.349	0.488	0.512	0.505
		1440dpi	0	0.051	0.101	0.155	0.232	0.354	0.483	0.505	0.522
洋紅 (553nm)	Plain Paper	180dpi	0	0.002	0.005	0.011	0.018	0.026	0.041	0.065	0.109
		360dpi	0	0.012	0.025	0.047	0.072	0.111	0.175	0.295	0.539
		720dpi	0	0.009	0.032	0.058	0.086	0.116	0.204	0.364	0.608
	Photo Quality Ink Jet Paper	720dpi	0	0.026	0.04	0.07	0.092	0.117	0.164	0.275	0.598
		1440dpi	0	0.021	0.043	0.078	0.098	0.137	0.196	0.305	0.624
黃 (420nm)	Plain Paper	180dpi	0	0.001	0.001	0.005	0.017	0.02	0.044	0.073	0.078
		360dpi	0	0.002	0.018	0.025	0.056	0.099	0.143	0.285	0.352
		720dpi	0	0.000	0.029	0.065	0.105	0.166	0.258	0.423	0.541
	Photo Quality Ink Jet Paper	720dpi	0	0.044	0.074	0.112	0.154	0.188	0.233	0.351	0.428
		1440dpi	0	0.036	0.083	0.126	0.175	0.214	0.28	0.374	0.471



****結果分析****

1.在探討解析度與紙張設定對顏色濃淡的影響實驗中，經 SP20 吸收度測量，在**吸收度大小**的比較上，表十九與圖六十至六十二中可以發現：

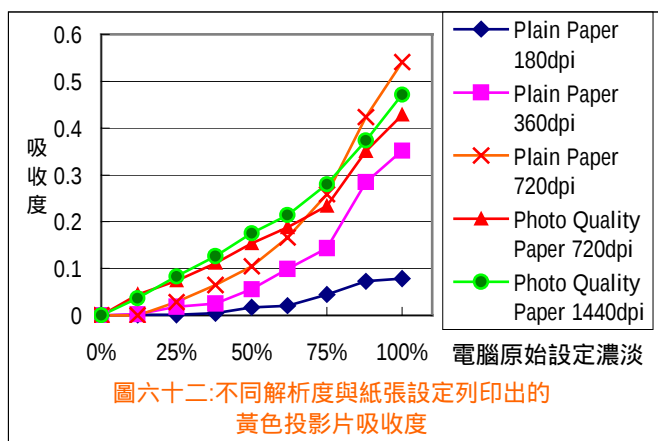
- (1) **【青色投影片】**：紙質設定為 plain paper 時，隨著解析度（180、360、720dpi）的變大，投影片吸收度也變大。紙質設定為 photo quality paper 時，不同解析度（720、1440dpi），投影片吸收度卻是相當接近。
- (2) **【洋紅投影片】**：除了由經濟模式（180dpi）列印出的投影片吸收度偏低外，其他各項紙質與解析度設定列印出的投影片吸收度都相當接近。
- (3) **【黃色投影片】**：由 180dpi 解析度列印出的投影片吸收度偏低，其他投影片隨著解析度（360、720、1440dpi）的變大，投影片吸收度也變大，但 plain、720dpi 列印設定這組，在 75 % 濃淡設定以上，吸收度異常偏高。

2.將吸收度轉變為吸收度百分率後，我們將**實際印出的吸收度百分率**（數據見表廿）和原先在**電腦中設定的顏色濃淡百分率**作比較，有下列發現：

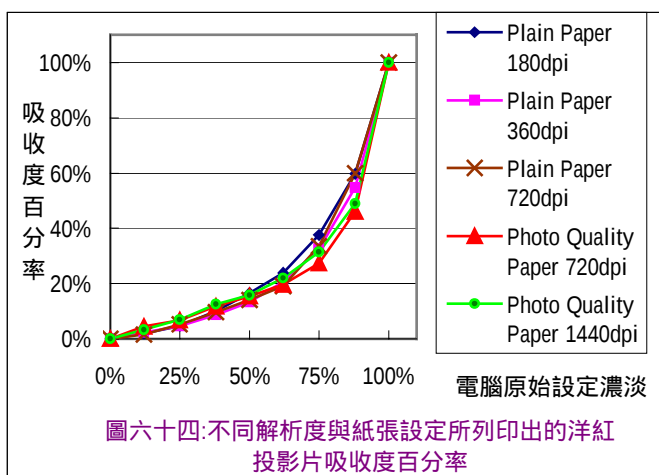
- (1) 圖六十到圖六十二都是曲線，由此判斷：實際投影片的顏色吸收度百分率和電腦設定顏色濃淡的百分率，無論哪種紙質與解析度設定，**顏色的偏差相當明顯**。
- (2) 各種紙質與解析度設定實驗組合，全部共 105 組（12 % ~88 %），與實際吸收度百分率**差距在正負 10%之內**的組合，共有 31 組。

以紙質來分：plain paper 63 組中有 15 組差距在正負 10%之內，photo quality paper 42 組中有 16 組差距在正負 10%之內。

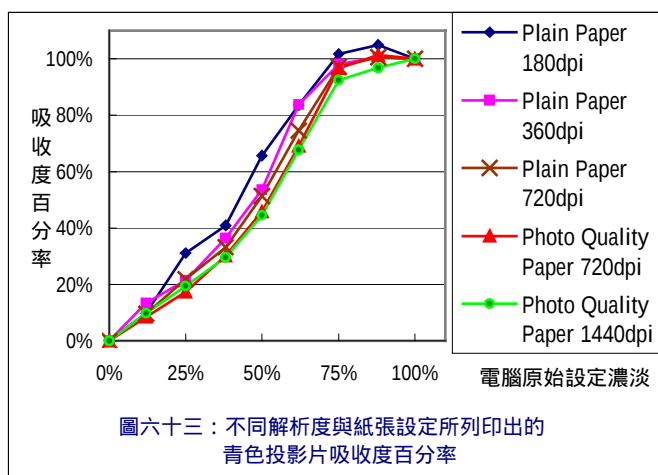
以解析度來分：180dpi 21 組中有 4 組；360dpi 21 組中有 6 組；720dpi 42 組中有 13 組；1440dpi 21 組中有 8 組，與實際吸收度百分率**差距在正負 10%之內**的組合。



圖六十二：不同解析度與紙張設定列印出的黃色投影片吸收度



圖六十四：不同解析度與紙張設定所印出的洋紅投影片吸收度百分率

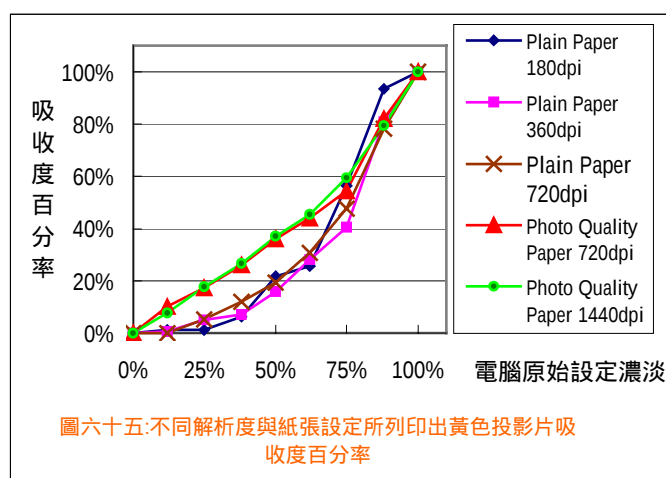


圖六十三：不同解析度與紙張設定所印出的青色投影片吸收度百分率

表廿：不同解析度與紙張設定列印出的有色透片，
實際在各最大吸收波長位置的吸收度百分率

投影片顏色	列印設定		軟體設定濃淡百分率與實際所測得吸收度百分率								
	列印紙張設定	列印解析度設定	0%	12%	25%	38%	50%	62%	75%	88%	100%
青 (673nm)	Plain Paper	180dpi	0%	9.8%	31.1%	41.0%	65.6%	83.6%	101.6%	111.5%	100.0%
		360dpi	0%	13.3%	21.6%	36.5%	53.7%	83.8%	98.1%	100.6%	100.0%
		720dpi	0%	9.6%	21.9%	33.3%	51.3%	74.5%	97.1%	100.5%	100.0%
	Photo Quality Ink Jet Paper	720dpi	0%	8.5%	17.4%	30.1%	45.9%	69.1%	96.6%	101.4%	100.0%
		1440dpi	0%	9.8%	19.3%	29.7%	44.4%	67.8%	92.5%	96.7%	100.0%
洋紅 (553nm)	Plain Paper	180dpi	0%	1.8%	4.6%	10.1%	16.5%	23.9%	37.6%	59.6%	100.0%
		360dpi	0%	2.2%	4.6%	8.7%	13.4%	20.6%	32.5%	54.7%	100.0%
		720dpi	0%	1.5%	5.3%	9.5%	14.1%	19.1%	33.6%	59.9%	100.0%
	Photo Quality Ink Jet Paper	720dpi	0%	4.3%	6.7%	11.7%	15.4%	19.6%	27.4%	46.0%	100.0%
		1440dpi	0%	3.4%	6.9%	12.5%	15.7%	22.0%	31.4%	48.9%	100.0%
黃 (420nm)	Plain Paper	180dpi	0%	1%	1%	6%	22%	26%	56%	94%	100%
		360dpi	0%	1%	5%	7%	16%	28%	41%	81%	100%
		720dpi	0%	0%	5%	12%	19%	31%	48%	78%	100%
	Photo Quality Ink Jet Paper	720dpi	0%	10%	17%	26%	36%	44%	54%	82%	100%
		1440dpi	0%	8%	18%	27%	37%	45%	59%	79%	100%

3.將表廿的吸收度百分率換算為吸收度百分率偏差，將以相同解析度與紙質設定列印之投影片，實驗測量計算所得的吸收度百分率偏差（電腦設定顏色濃淡百分率和實際投影片吸收度百分率的差值，取絕對值）平均整理後，進行分析比較，偏差大小以 10% 的標準來看，加以統計，結果如下（如表廿一，有標底色者，偏差 < 10%）：



(1)在青色方面：除了解析度為

180dpi 這組平均偏差大於 10%外，無論何種紙張設定，解析度為 360dpi、720dpi、1440dpi 的平均偏差均小於 10%。

(2)在洋紅方面：無任何紙質與解析度設定實驗組合，平均偏差值在 10%以下。

(3)在黃色方面：僅紙質設定為 Photo Quality Ink Jet Paper 與 720dpi、1440dpi 的實驗組合，平均偏差值在 10%以下。

(4)以紙質設定為條件做分析，平均偏差值大小依次為：

Photo Quality Ink Jet Paper < Plain paper

(5)以解析度設定為條件做分析，平均偏差值大小依次為：

Photo Quality paper 1440dpi < Photo Quality paper 720dpi < Plain paper 720dpi < Plain paper 360dpi = Plain paper 180dpi

(6)所有紙質與解析度設定實驗組合統計出來的總平均偏差為 **15.0%**

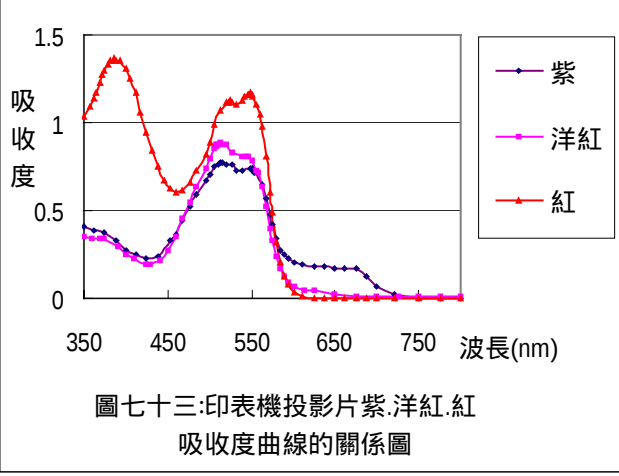
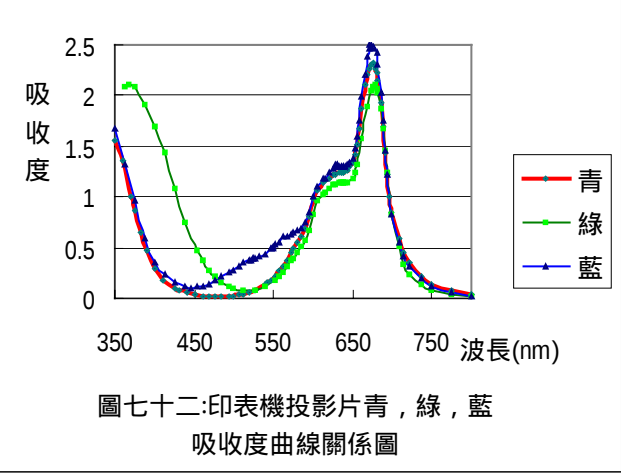
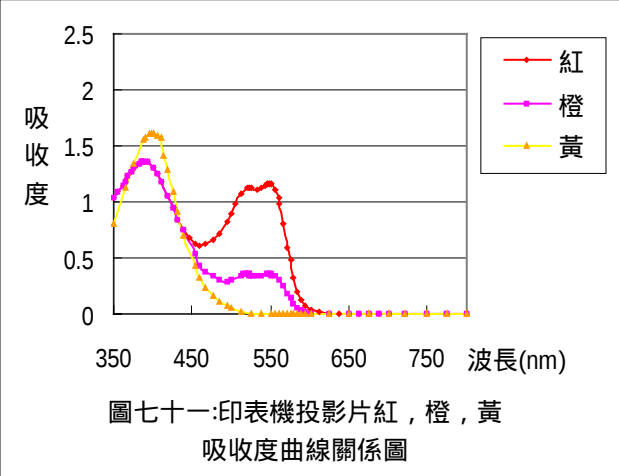
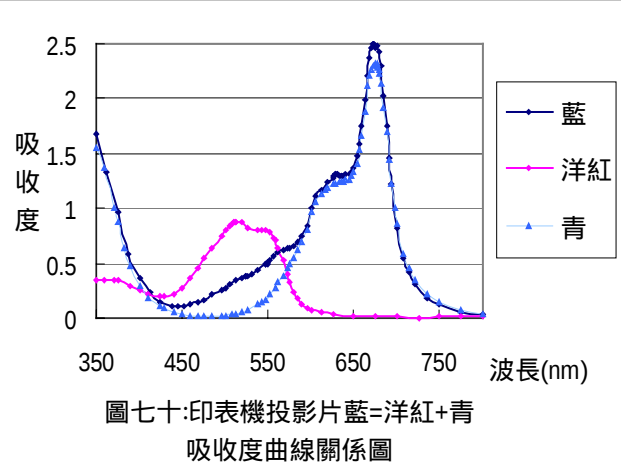
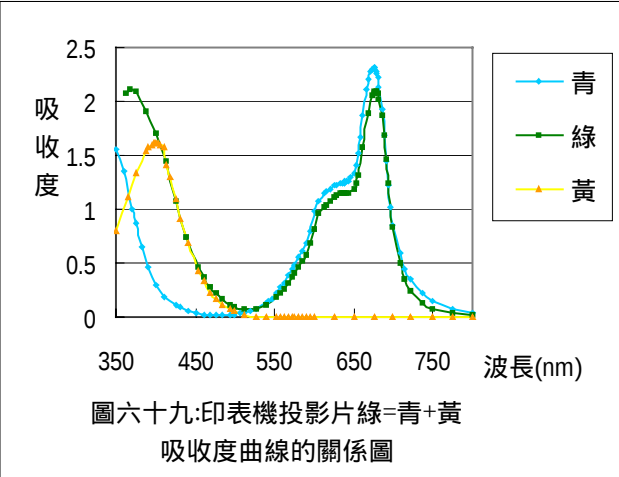
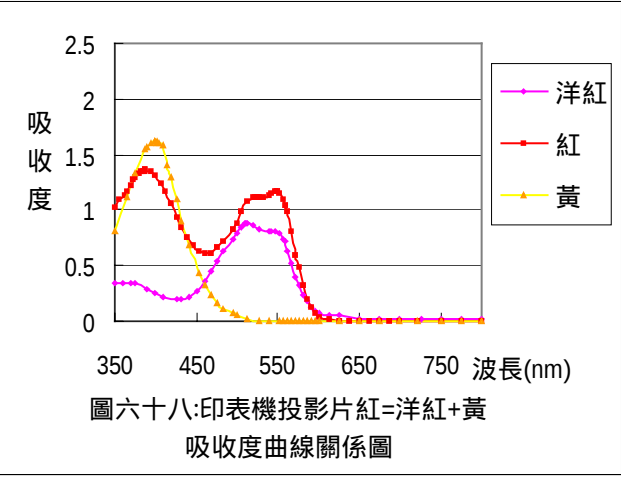
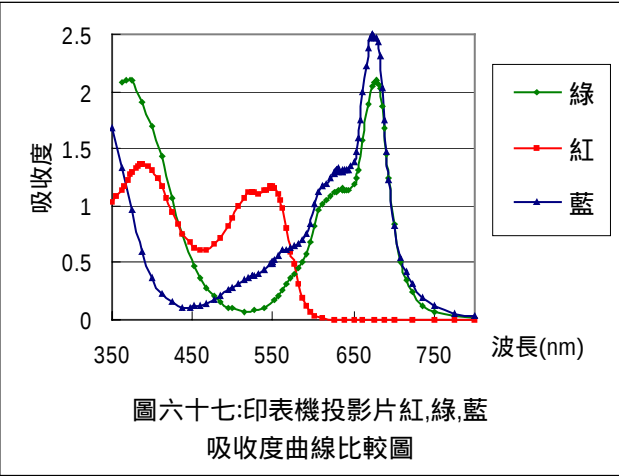
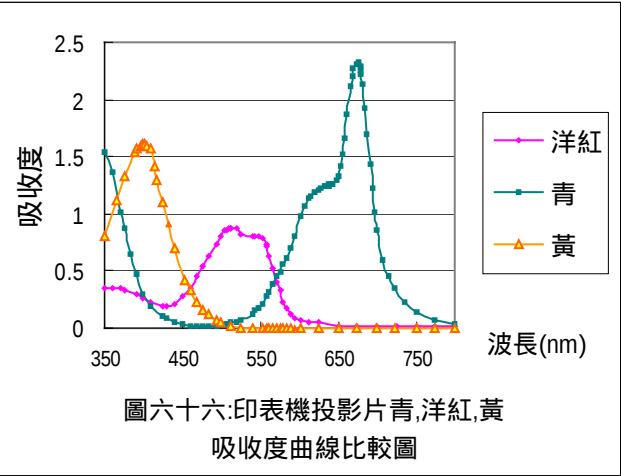
表廿一：紙質與解析度設定實驗組合統計出來的平均吸收度百分率偏差

顏色	Plain paper			Photo Quality Ink Jet Paper		總平均
	180dpi	360dpi	720dpi	720dpi	1440dpi	
青色	10.2%	7.5%	6.5%	7.2%	6.0%	7.5%
洋紅	21.8%	23.7%	23.0%	24.3%	23.3%	23.2%
黃色	17.2%	19.1%	17.4%	8.9%	8.5%	14.2%
總平均	16.4%	16.8%	15.6%	13.5%	12.6%	15.0%
	16.27 %			13.05 %		

(六) 在完成對印表機墨水與印出來投影片的吸收度(曲線)測試後,我們試著以實驗中吸收度最高的配對組合(Canon 印表機和 CorelDRAW 軟體)來製作課本 4-2 光與顏色實驗中所需要的濾光片,並以此為樣本,以分光光度計 SP20 測量由印表機列印的各種顏色投影片,其中可見光波長吸收度變化情形,探討透過投影片的光是單色光還是由幾種顏色組合而成的,和原先實驗裝置所用的濾光片有無差別。實驗結果如表廿二;圖六十六~七十三。

表廿二：由印表機列印的各種顏色投影片的可見光波長吸收曲線數據資料

投影片 顏色	完整 吸收 峰數	完整吸收峰		各分段波長區間平均吸收度					
		最大 吸收度 之波長 (nm)	最大吸 收度	紫	藍	綠	黃	橙	紅
				330.1nm 至 453.4nm	453.4nm 至 495.4nm	495.4nm 至 552.5nm	552.5nm 至 580.3nm	580.3nm 至 601.6nm	601.6nm 至 721.8nm
青	1	635	1.245	0.554	0.021	0.100	0.382	0.728	1.508
洋紅	1	512	0.882	0.275	0.546	0.84	0.555	0.139	0.029
黃	1	400	1.616	1.317	0.180	0.015	0	0	0
紅	3	386	1.364	1.144	0.685	1.111	0.836	0.153	0.002
		524	1.124						
		548	1.166						
綠	2	636	1.146	1.512	0.228	0.108	0.311	0.608	1.334
		678	0.098						
藍	2	630	1.322	0.564	0.183	0.414	0.611	0.79	1.559
		673	2.498						
橙	3	386	1.364	1.161	0.347	0.347	0.241	0.040	0
		518	0.354						
		548	0.358						
紫	2	513	0.773	0.313	0.520	0.748	0.609	0.259	0.144
		552	0.737						



****結果分析(見照片展示)****

- 1.由各印表機列印的各種顏色投影片所測得的吸收度分布曲線中，我們發現各種顏色投影片實際的顏色，都和吸收度曲線中低吸收度區域所代表的可見光顏色相同，而這些吸收度曲線彼此的關係，和使用課本實驗裝置濾光片所得的結果幾乎一樣。
- 2.由光與顏料的三原色混合圖中，找出相關聯的顏色，進行吸收度曲線的合成，如圖六十二~六十四，以吸收峰分布狀況分析，結果發現：
洋紅和黃色合成紅色，青色和黃色合成綠色，洋紅和青色合成藍色
- 3.以吸收度曲線相似程度來分類，八種色彩略可分為三類，如圖六十五~六十七。
 - (1)紅、橙、黃的吸收曲線，有低吸收區域愈朝低波長變寬，顏色愈黃的趨勢。
 - (2)從波谷（低吸收度區）的角度來看，青色片的波谷範圍最寬，綠色片的波谷則依靠在青色片波谷的長波長邊，藍色片的波谷則依靠在青色片波谷的短波長邊。
 - (3)最大吸收度波長位置類似的紅色、洋紅與紫色吸收度曲線圖中，紫色吸收曲線在吸收峰右側（長波長區），吸收度較洋紅大，在吸收峰左側（短波長區）則出現重疊的吸收曲線，紅色吸收曲線在吸收峰左側（短波長區），吸收度較洋紅大，在吸收峰右側（長波長區）則出現重疊的吸收曲線。
- 4.由以上結果可知：透過各印表機列印的各種顏色投影片的光，也並無法完全達到單色光的程度。

柒、討論

- (一)以 20 位國二學生為樣本，讓他們觀察經由分光光度計所投射出的各種波長的亮點，探討學生眼睛對各種波長的光感覺的顏色，同時查閱相關資料書籍與網路上所刊載可見光的顏色與波長關係，我們有了下列的發現。(如表廿三)

表廿三：實驗和查資料所得的顏色與吸收波長資料關係對照表

各種顏色光的波長(nm)	紅	橙	黃	黃綠	綠	藍綠	綠藍	藍	紫
實驗值	602 722	580 602	553 580	*	495 553	*	*	453 495	453 330
參考資料一	605 705	595 605	580 595	560 580	500 560	490 500	480 490	435 480	400 435
參考資料二	700	600 orange-red	550	530 yellow-green	*	500 blue-green	*	450	400
參考資料三	650 780	595 650	580 595	560 580 yellowish green	500 560	490 500 bluish-green	480 490 greenish-blue	435 480	380 435
參考資料四	620 770	590 620	560 590	*	490 460	*	*	430 490	380 430
參考資料一：從綠葉到激光光盤，389 頁 參考資料二：Spectroscopy 2nd.ed 參考資料三：台灣師大施正雄教授，高等分析講義 參考資料四：網路資料（彩色原稿的分色工藝）									

其中對人眼所感覺到的顏色與波長的關係，最大的不同有下列幾點：

1. 在顏色的分類上除了課本上的紅、橙、黃、綠、藍、紫以外，幾份參考資料

又增加了黃綠 (yellowish green)、藍綠 (bluish-green)、綠藍 (greenish-blue) 幾種顏色，將 430~590nm，這約佔可見光光譜二分之一的區域(黃色~藍色)，做了更細部的區分，而在我們對同學視覺顏色測試上，從藍色到黃色這段範圍，也是所有人分歧最多的地方(標準差偏高)。

- 理化課本告訴我們，物體所呈現的顏色，除了和光的顏色、物體表面吸收反射的情形有關外，甚至每個人對顏色的描述也有些不同，同時我們也從網路上查到了資料：人的眼睛對各波長的光，在強度感覺上是不同的，人眼對黃~藍的感覺強度最大，從另一個角度來說：人眼對顏色感覺的產生機制，是因為眼睛內有三種不同的錐狀細胞，分別感應三段不同波長範圍的可見光(如圖三)，再進一步由大腦組合成各種顏色的感覺，而且三種錐狀細胞的感光波長在黃~綠色的波長範圍，有一些互相重疊的區域，這也正是為什麼多份資料中，將這部分的顏色細分以及我們的同學對這個區域顏色感覺差異最大的原因。
- 在可見光的範圍方面，各參考資料的敘述也各有不同，但大致上的範圍是由 780nm 的紅色光到 380nm 的紫色光可以為人眼所看見，但我們的研究結果顯示：同學們平均可看見的可見光波長為 330nm~722nm。部分同學甚至可以看到投射在白紙上 325nm 的紫光光點和 740nm 的紅光光點。如果可見光的定義，是人眼可見的有顏色光的範圍，那麼對我們這二十位同學而言，這個範圍應該有向低波長(向下)修正的必要。

(二) 對課本實驗所使用的濾光片，與自行用印表機印出的各色投影片(紅、橙、黃、綠、藍、紫、洋紅、青)做吸收度的測試，我們有下列發現：

- 從化學物質吸收特定波長的光(吸收峰)的角度來看：青色、黃色、洋紅三片濾光片的吸收峰較為單純，應該是直接用單一染料製成，而非混合的結果。其他濾光片則可依吸收峰的數目與位置，大致來判斷是由青、黃、洋紅那些組合而成。如表廿四。

表廿四：濾光片的顏色組合整理

濾光(投影)片 顏色	依吸收度曲線判斷 所得的顏色組合	低吸收度波長範圍的顏色
紅	洋紅 + 黃	紅
綠	青 + 黃	綠
藍	青 + 洋紅	藍
青	青	藍 + 綠 + 黃
洋紅	洋紅	紅 + 藍(弱)
黃	黃	紅 + 橙 + 黃 + 綠
橙	洋紅(少量) + 黃	紅 + 橙 + 黃
紫	洋紅 + 青(少量)	藍 + 紅(弱)

- 從低吸收度區域的角度來看，來除了紅、藍、綠三色外，由其他濾光片反(透)射至我們眼睛的光線應該是幾種色光的組合，例如：眼睛看到黃色物體，實際上到眼睛的光有紅、橙、黃、綠四個區域波長的光而非單純的黃色光。

(三) 以幾種有色藥品水溶液為樣本，探討在各可見光波長吸收度曲線的變化情形方面。

1. 對銅、亞鈷、亞鎳等鹽類水溶液而言，溶液的顏色可視為陽離子在水中所呈現的顏色(如表廿五)，也就是在吸收度曲線圖上的低吸收度區域所顯示的顏色。但我們更進一步的發現，在銅的鹽類溶液中，水溶液中的其他物質會影響到陽離子最大吸收波長和吸收度大小，例如：醋酸根離子的存在會使銅離子在水中的最大吸收波長，向短波長移動並加大吸收度；氯離子存在會使銅離子在水中的最大吸收波長，向長波長移動並加大吸收度，但相同的氯離子卻對亞鈷、亞鎳等鹽類水溶液沒有影響。
2. 對過錳酸鉀、重鉻酸鉀、鉻酸鉀而言，溶液的顏色，實際上是來自於陰離子(含氧酸根) 在水中所呈現的顏色，也是在吸收度曲線圖上的低吸收度區域所顯示的顏色。
3. 在比較各類藥品吸收度曲線的最大吸收度後，我們發現：陰、陽離子在最大吸收度大小上有極大的差異，陰離子（有色原子團）**最大吸收度與濃度的比例**超過單純有色陽離子百倍（如表廿五）。此種跡象顯示，單純有色陽離子（ Cu^{+2} 、 Co^{+2} 、 Ni^{+2} 等）在水中對可見光的吸收，在物質內部的構造與原理上應該和陰離子（有色原子團，如過錳酸根）不同。

表廿五：有色藥品水溶液吸收度曲線性質整理

4 藥品種類	濃度	最大吸收度之波長 (nm)	最大吸收度	最大吸收度/濃度
硫酸銅	0.1M	802~813	1.228	12.28
硝酸銅	0.1M	803~812	1.191	11.96
醋酸銅	0.1M	745	2.301	23.01
氯化銅	0.1M	822	1.600	16.00
硝酸亞鈷	0.1M	511	0.566	5.66
氯化亞鈷	0.1M	511	0.58	5.80
硫酸亞鈷	0.1M	511	0.605	6.05
硫酸鉍 亞鎳	0.1M	394	0.628	1.856
		659	0.244	2.44
		722	0.258	2.58
氯化亞鎳	0.1M	394	0.568	5.68
		659	0.21	2.1
		722	0.244	2.44
硫酸亞鎳	0.1M	394	0.621	6.21
		659	0.231	2.31
		722~724	0.264	2.64
過錳酸鉀	0.0007M	525	2.051	2930
		546	1.971	2816
重鉻酸鉀	0.0001M	酸性 350	0.346	3460
		鹼性 371	0.565	5650
鉻酸鉀	0.0001M	酸性 348	0.195	1950
		鹼性 370	0.324	3240

4.以硫磺銅水溶液和過錳酸鉀水溶液做最大吸收度和濃度關係的測試，可以發現，只要在分光光度計 SP20 能偵測到的吸收度範圍內，最大吸收度和濃度會有正比關係，符合比爾定律。這種間接偵測濃度的方法，應該可以運用在有色彩變化的化學反應上，偵測物質變化時，環境變因（如酸鹼度）是如何的影響濃度的升降，進而對此種化學反應有更深入的了解。

5.從參考資料中，我們查到重鉻酸鉀（橙色）和鉻酸鉀（黃色）在水溶液中，是呈現一種互相平衡的狀態，會隨著酸鹼度改變產生化學變化，根據我們的實驗發現，這兩種物質在吸收度上的表現（如表廿六）：

(1)在 0.0001M 濃度下，不管原來配製的溶液是鉻酸鉀，還是重鉻酸鉀，最後的吸收峰就只有一隻，酸性條件下（酸鹼度 = 3.08、3.39 時），最大吸收波長在 348~350nm；鹼、中性、極弱酸性時（酸鹼度 = 12.73~6.33 時），最大吸收波長在 370~372nm。

表廿六：重鉻酸鉀和鉻酸鉀吸收度曲線圖整理

藥 品	高濃度 0.001M			低濃度 0.0001M		
	吸收峰	顏色	酸鹼度	吸收峰	顏色	酸鹼度
重鉻酸鉀	最大吸收度 > 2.5 吸收峰分裂成兩部分 偏短波長者 (323nm~360nm) 吸收峰較寬	橙	5.44	371nm	淡黃	6.33、12.73
				350nm	淡黃	3.08
鉻酸鉀	最大吸收度 > 2.5 吸收峰分裂成兩部分 偏長波長者 (373nm~393nm) 吸收度較寬	黃	8.31	372nm	淡黃	7.25
				370nm	淡黃	12.64
				348nm	淡黃	3.39

(2)在 0.001M 的濃度上，我們可以看到二隻吸收峰(約 350nm，370nm)同時存在，但在酸性條件下的重鉻酸鉀溶液，以 350nm(短波長)的吸收峰吸收度較大，在鹼性條件下鉻酸鉀溶液，則以 370nm（長波長）的吸收峰吸收度較大。

(3)由以上實驗結果搭配下列我們查到的化學方程式，可以發現：重鉻酸根離子在酸中較穩定存在，最大吸收波長在 350nm 附近；鉻酸根離子在中、鹼性中較穩定存在，最大吸收波長在 370nm 附近，酸鹼度的改變會使這兩種離子互相轉換。



6.在甲基紅指示劑的實驗中，甲基紅在水中也是呈現兩種物質的平衡狀態，依據實驗結果（吸收度表現如表廿七）與參考資料，我們利用下列化學方程式來做解釋：



其中 HIn（代稱）為甲基紅在酸中的穩定狀態（紫紅色），最大吸收波長在 520nm 附近，In⁻（代稱）為甲基紅在鹼中的穩定狀態（橙黃色）最大吸收波長在 390~481nm 之間，酸鹼度的改變會使 HIn，In⁻ 這兩種離子互相轉換，而作為酸鹼指示計使用。

表廿七：不同酸鹼度時，甲基紅吸收度曲線圖整理

藥品酸鹼度	顏色	最大吸收峰波長
甲基紅（酸性） pH < 6.18	紫紅	520nm
甲基紅（鹼性） pH > 6.18	橙黃	390-481nm （超過儀器可量度的最大吸收度）

（四）在測試印表機墨水搭配軟體列印出有色投影片的實驗中，我們發現：

- 三種空白投影片（以空氣作背景值校正）在可見光範圍實際上還有少許的吸收度（< 0.2），而且都沒有吸收峰。我們推測吸收度一部份是來自於投影片本身的吸收，一部份是來自於投影片對光的反射。
- 在以 Canon BJC-80 列印洋紅投影片，作為測試不同廠牌投影片的實驗中：我們比較 Canon 的洋紅墨水（以酒精稀釋到 0.03 %）和三種投影片上位在短波長處的吸收峰，並做出整理如下（見表廿八）：

表廿八：相對於 Canon 洋紅墨水最大吸收波長紅移一覽表。

投影片品牌	Canon 洋紅墨水	Folex	Inktec	Starlit
最大吸收度波長（nm）	525	516	528	512
吸收度	0.170	0.890	0.731	0.881
相對 Canon 洋紅墨水最大吸收波長波長差（紅移）（nm）		-9	3	-13

由此實驗我們得知不同品牌的投影片可能會使最大吸收度波長與吸收度大小產生些微的變化。

- 在墨水吸收度的實驗中，Epson Photo EX 擁有五種不同顏色的墨水，在 Epson Photo EX 的說明中指出：五色墨水比三色墨水更能調配出接近原來圖片的色彩。實驗結果顯示：五色墨水中，深青和淺青、深洋紅和淺洋紅，在吸收度曲線上均非常相似，只有吸收度高低不同而已，依比爾定律，濃度和吸收度成正比，也就是說兩種深淺不同的青（洋紅）色墨水，只是顏料濃度高低不同而已，而且計算後可知深青的濃度約為淺青濃度的 3.7 倍，深洋紅的濃度約為淺洋紅的 4 倍。

- 4.以相同軟體 (Photoshop) , 四種印表機列印出投影片 , 測得的吸收度曲線實驗中 , 將各印表機各種顏色的最大吸收波長 , 整理如下 (見表廿九) (有底色的是吸收度曲線中的最大吸收度) :

表廿九：投影片各印表機各種顏色的最大吸收波長整理

	EPSON Photo EX		EPSON color 660		Canon BJC-80		HP Deskjet 670C	
青色	625nm	673nm	620nm	673nm	673nm		635nm	
洋紅色	522nm	553nm	521nm	555nm	519nm	547nm	526nm	565nm
黃色	420nm		419nm		400nm		433nm	

- 5.以相同印表機 (Epson Photo EX) , 三種軟體列印出投影片 , 測試吸收度曲線的實驗中 :

- (1) 不管使用何種軟體 , 只要使用相同印表機 (Epson Photo EX) , 各顏色吸收度曲線中 , 最大吸收度波長幾乎相同。

青色：627~625nm 與 673nm (最大) 黃色：419~420nm

洋紅色：520~522nm 與 553~556nm (最大)

- (2) 實驗的結果：三種軟體印得的各色投影片 , 最大吸收度均呈現：

CorelDRAW > PhotoImpact Photoshop

由於是同一部印表機 , 吸收度的大小可視為噴墨量的多寡 , 因此使用

CorelDRAW 軟體對 Epson Photo EX 墨水耗損最大。

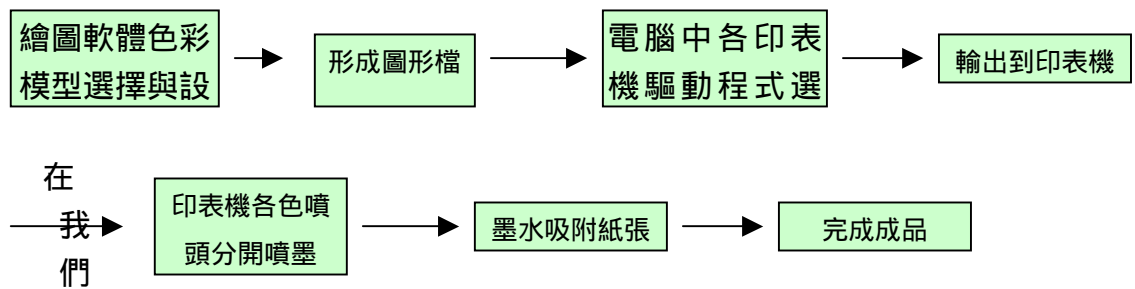
- 6.比較各廠牌墨水與列印後所得到的有色投影片兩者的最大吸收度波長 , 可以得到投影片造成吸收峰的波長偏移影響如表卅 , 整體而言 , 列印後的投影片 (與原先墨水比較) , 在最大吸收度波長方面 , 幾乎都是增加 , 向長波長的方向移動 (紅移) , 對 EPSON 系列兩部印表機而言 , 紅移結果極為類似 ; Canon 的洋紅墨水是唯一一個最大吸收度波長向短波長的方向移動的 , 但這些最大吸收度波長的變化並不顯著 , 對顏色的感覺並未造成影響。

表卅：墨水印在投影片上的紅移波長一覽表

印表機	EPSON EX			EPSON 660			CANON			HP 670C		
顏色	青	洋紅	黃	青	洋紅	黃	青	洋紅	黃	青	洋紅	黃
墨水	666	550	397	666	550	398	668	525	371	627	555	427
投影片	673	553	420	672	555	419	673	519	400	635	565	433
紅移波長	7	3	23	6	5	21	5	-6	29	8	10	6

- (五) 將各軟體中的顏色濃淡條件設定為設定為 0 % 、 12 % 、 25 % 、 38 % 、 50 % 、 62 % 、 75 % 、 88 % 、 100 % , 經由印表機印出後 , 再由分光光度計測量該有色投影片在最大吸收波長時的吸收度 , 並計算轉換成吸收度百分率後 , 比較這些吸收度值在比例上是否符合原先在軟體上的設定 , 探討何種印表機與繪圖軟體的搭配對顏色濃淡的控制最好 ? 從結果分析中我們發現 :

1.在噴墨列印的過程中，從電腦中顏色濃淡的設定到成品的輸出，其流程如下：



的實驗中，針對上述流程，排列組合各項變因如表卅一，共計 324 組實驗。

表卅一：實驗操縱與控制變因處理

繪圖軟體	色彩模型	濃淡設定	印表機種類	墨水	紙張（投影片）
Photoshop PhotoImpact CorelDRAW	CMYK 模型 其他電腦 列印設定 360dpi plain paper 【各組相同】 【控制變因】	0 %（不噴） 12 % 25 % 38 % 50 % 62 % 75 % 88 % 100 %	HP670C EPSON color 660 EPSON Photo EX Canon BJC-80	各印表機原廠墨水 青 洋紅 藍	Starlit 【各組相同】 【控制變因】

2.由於在各繪圖軟體中，我們設定了九種各顏色的列印濃淡百分率，經由 SP20 所量得的投影片最大吸收度，在除於 100 % 濃淡設定投影片的最大吸收度後，轉換成吸收度百分率，在最理想的狀況下，依照比爾定律，濃度與吸收度的正比關係，經測量計算得到的吸收度百分率，應該和之前電腦軟體中設定的濃淡百分率完全相同。

3.結果顯示：在濃淡設定為 12 % ~ 88 % 的 252 組實驗中，只有 55 組實驗吸收度百分率和電腦軟體中設定的濃淡百分率差距在 10%以下，各印表機與軟體的搭配，色彩濃淡轉換列印的效果，並沒有預期中的好，有相當的差距。（數據見表十七）

4.就這 55 組來討論：

以列印的墨水色彩（青，洋紅，黃色）作區分：青色佔 34 組，洋紅佔 10 組，黃色佔 11 組

以軟體來分：Photoshop 佔 22 組、PhotoImpact 佔 18 組、CorelDRAW 佔 15 組

以印表機來分：HP 670C 佔 21 組、EPSON PHOTO EX 佔 15 組、

EPSON 660 佔 15 組、Canon BJC-80 佔 4 組。

5.將各組印表機和軟體搭配所得的吸收度百分率偏差（電腦設定顏色濃淡百分率和實際投影片吸收度百分率的差值，取絕對值）平均，進行印表機和軟體搭配分析比較（四種印表機，三種軟體，兩者組合共 12 組），結果如表卅二：

表卅二：印表機和軟體搭配所得的平均吸收度百分率偏差分析比較

印表機	Photoshop	PhotoImpact	CorelDRAW	平均
EPSON PhotoEX	14.2%【2】	14.3%【3】	17.2%	15.2%
EPSON Color 660	16.7%	16.5%	19.2%	17.5%
Canon BJC-80	22.4%	22.7%	21.8%	22.3%
HP Deskjet 670C	16.0%	16.6%	10.5%【1】	14.3%
平均	17.3%	17.8%	17.2%	17.3%

註：【1-3】表示吸收度百分率偏差最小，最接近設定顏色濃淡的三組實驗搭配

6.就整個印表機來看（包含不同顏色、不同軟體、不同設定顏色濃淡百分率）平均偏差值的大小順序：

HP 670C < EPSON PHOTO EX < EPSON Color 660 < Canon BJC-80

7.就軟體而言（包含不同顏色、不同印表機）平均偏差值的大小順序：

CorelDRAW Photoshop PhotoImpact

三者幾乎相同，（差距不到 1%）

8.所有軟體、印表機、顏色、濃淡百分率統計出來的總平均偏差為 17.3%

（六）探討解析度與紙張設定對顏色濃淡的控制與影響實驗：我們選用現有最多解析度種類選擇(180dpi 360dpi 720dpi 1440dpi)的 EPSON photo EX 印表機搭配 Photoshop 軟體進行實驗，實驗中將不同解析度與不同紙張設定交叉配對，列印青、洋紅、黃色三色投影片（將各軟體中的顏色濃淡條件設定為設定為 0 %、12 %、25 %、38 %、50 %、62 %、75 %、88 %、100 %），再由分光光度計測量該有色投影片在最大吸收波長時的吸收度，經計算後得出設定顏色濃淡百分率與吸收度百分率的偏差值，比較這些吸收度百分率值在比例上是否符合原先在軟體上的設定，探討解析度與紙張設定對顏色濃淡的控制影響如何？從結果分析中我們發現：

1.在實驗中，針對上述流程，排列組合各項變因如表卅三，共計 135 組實驗。

表卅三：實驗操縱與控制變因處理

繪圖軟體	印表機種類	色彩模型	紙質與解析度設定	濃淡設定	墨水	紙張（投影片）
Photoshop 【各組相同】 【控制變因】	EPSON Photo EX 【各組相同】 【控制變因】	CMYK 模型 其他電腦 列印設定 【各組相同】 【控制變因】	Photo Quality Ink Jet Paper 1440dpi Photo Quality Ink Jet Paper 720dpi Plain paper 720dpi Plain paper 360dpi Plain paper 180dpi	0 %（不噴） 12 % 25 % 38 % 50 % 62 % 75 % 88 % 100 %	各印表機 原廠墨水 青 洋紅 藍	Starlit 【各組相同】 【控制變因】

2.結果顯示：在濃淡設定為 12 % ~ 88 % 的 105 組實驗中，只有 31 組實驗吸收度百分率和電腦軟體中設定的濃淡百分率差距在 10%以下，色彩濃淡轉換列印的效果，並沒有預期中的好。（數據見表廿）。

3.就這 31 組來討論：

以列印的墨水色彩（青，洋紅，黃色）作討論：青色（21 組），洋紅（3 組），黃色（7 組），青色色彩列印準確度較高。

以紙質來分：plain paper 色彩列印準確度較高實驗組數（濃淡百分率差距在 10% 以下）佔所有實驗組數的 23.8%，photo quality paper 色彩列印準確度較高實驗組數佔 38.1%。

以解析度來分：色彩列印準確度較高實驗組數（濃淡百分率差距在 10% 以下）佔所有實驗組數，180dpi 佔 19.1 %；360dpi 佔 28.8 %；720dpi 佔 31.0 %；1440dpi 佔 38.1 %。

4.將各組解析度與紙張設定搭配所得的吸收度百分率偏差平均，進行分析比較（共 5 組），結果如表卅四：

表卅四：解析度與紙張設定搭配所得的平均吸收度百分率偏差分析比較

顏色	Plain paper			Photo Quality Ink Jet Paper		總平均
	180dpi	360dpi	720dpi	720dpi	1440dpi	
總平均	16.4%	16.8%	15.6%	13.5%	12.6%	15.0%
	16.27 %			13.05 %		

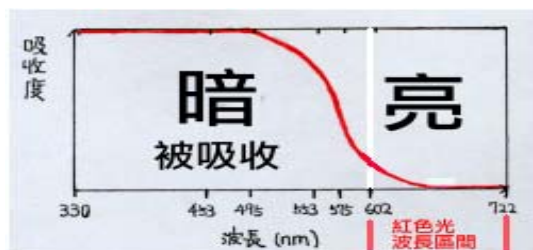
5.解析度愈高，色彩列印準確度愈高（平均吸收度百分率差距愈小），使用 Photo Quality Ink Jet Paper，也比使用 Plain paper 有較好的色彩列印準確度。

（七）由各印表機列印的各種顏色投影片（紅、橙、黃、綠、藍、紫、洋紅、青）所測得的吸收度曲線中，我們發現各種顏色投影片實際的顏色，都和吸收度曲線中低吸收度區域所代表的可見光顏色相同，而這些吸收度曲線彼此的關係，和使用課本實驗裝置濾光片所得的結果幾乎一樣，但吸收度值較課本實驗裝置濾光片的低。

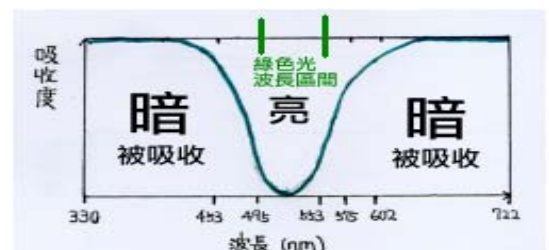
（八）在實驗一中，我們測量了同學們對 SP20 發射的光點中，各種顏色的感覺與可見光波長的關係，在後來的各個實驗中，我們也測量幾種樣品（濾光片、藥品、印表機印出的投影片）的吸收度曲線，分析了它們的顏色與可見光波長的關係。但我們發現可見光的顏色和樣品的顏色，在吸收度曲線的表現上，對部分色光來說並不一致，以下將色彩分成三類說明：

1.紅（722~602nm），綠（495~553nm），藍（453~495nm）：

具有這三種顏色的樣品，在吸收度曲線中，低吸收度區域就是該顏色單色光的波長範圍（如圖七十四）。



紅色樣品吸收度曲線



綠色樣品吸收度曲線

圖七十四：紅色與綠色樣品吸收度曲線示意圖

2. 黃 (552~580nm) 、 橙 (580~602nm) 、 紫 (330~453nm) :

具有這三種顏色的樣品，在吸收度曲線低吸收度區域的表現，和該顏色在可見光波長範圍並不吻合（如表卅五）。也就是說，對黃、橙、紫而言，我們的眼睛把這些由不同波長區域所組合成的入射光，當成同一種顏色，而無法分辨其中的異同（如圖七十四）。



顏色感覺為黃色的兩種不同的吸收度曲線



顏色感覺為紫色的兩種不同的吸收度曲線

圖七十五：黃色與紫色樣品吸收度曲線示意圖

表卅五：黃、橙、紫顏色單色光波長與吸收度曲線關聯性

顏色	相對應 單色可見光 波長範圍	樣品低吸收度區域		
		樣品	波長範圍	包含可見光顏色
黃	552~575nm	濾光片	495~722nm	紅、橙、黃、綠
		(重)鉻酸鉀 (0.0001M)	453~722nm	紅、橙、黃、綠、藍
		印表機墨水	453~722nm	紅、橙、黃、綠、藍
		投影片	453~722nm	紅、橙、黃、綠、藍
橙	575~602nm	濾光片	553~722nm	紅、橙、黃
		重鉻酸鉀 (0.1M)	553~722nm	紅、橙、黃
		甲基紅 (0.001M)(鹼)	553~722nm	紅、橙、黃
		投影片	553~722nm	紅、橙、黃
紫 (或紫紅)	330~453nm	濾光片	602~722nm 453~495nm	紅、藍
		亞鈷鹽 (0.1M)	553~722nm 330~453nm	紅、橙、黃、紫
		過錳酸鉀 (0.001M)	602~722nm 330~453nm	紅、橙、紫
		甲基紅 (0.001M)(酸)	580~722nm 330~453nm	紅、橙、紫
		投影片	580~722nm 330~453nm	紅、橙、紫

註：樣品低吸收度區域吸收度標準：小於（三分之一最大平均吸收度）的區段。

3. 洋紅、青色：

一般可見光分色的區域中，並無這兩種顏色，具有這兩種顏色的樣品，在吸收度曲線的表現上，可以看成是其他幾種不同可見光波長區域的組合，而組合的方式整理後如表卅六：

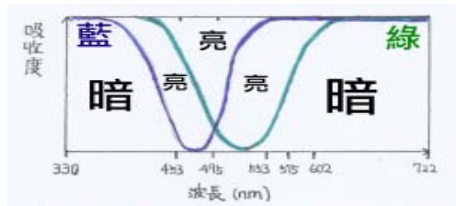
表卅六：洋紅、青色：吸收度曲線與幾種可見光波長區域的組合方式整理

顏色	相對應單色可見光波長範圍	樣品低吸收度區域		
		樣品	波長範圍	包含可見光顏色
青	無	濾光片	453nm~553nm	綠、藍
		印表機墨水	453nm~553nm	綠、藍
		投影片	453nm~553nm	綠、藍
洋紅	無	濾光片	453nm~495nm 601nm~722nm	紅、藍
		投影片	330nm~495nm 601nm~722nm	紅、橙、紫
		Epson 墨水	330nm~453nm 580nm~722nm	紅、橙、紫
		HP 墨水		紅、橙、紫
		Canon 墨水		紅、橙、紫

註：樣品低吸收度區域吸收度標準：小於（三分之一最大平均吸收度）的區段。

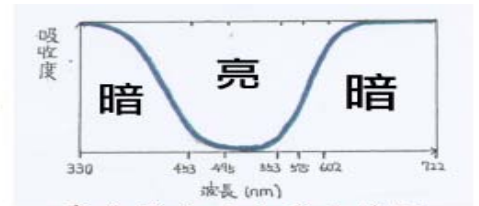
- 在整個實驗中，我們發現顏色為紫色和洋紅的樣品，吸收度曲線非常相像，最大平均吸收度範圍在藍、綠區間；低吸收度區域跨四個區間（紅、橙、藍、紫），如果在紅橙區間的吸收度強，顏色轉深而偏紫；在藍紫區間吸收度強，顏色轉紅而變為洋紅。
- 由以上的分析，我們發現人眼無法分辨由不同吸收度曲線或不同光的波長組合分布所形成的同一種顏色，因此顏色應該不是光本身的特性，而是各種波長的光組合後，經由視覺受器、視神經、大腦共同形成的感覺，由於人的個別差異，顏色感覺也應該因人而異。
- 以光的三原色做色料加色法，以顏料三原色做色料減色法，得到的色彩應該只是一個大概的原則，對於多采多姿的顏色變化，只是用加色法與減色法是無法詳細解釋的，若改用吸收度曲線的分布來解釋各種顏色的變化，除了有科學上的理論證據（軌域電子躍遷，比爾定律）支持外，對於相近的顏色（如重鉻酸鉀的漸層色彩）也較容易解釋。在吸收度曲線圖本身所代表的意義上，以下分兩方面來敘述：
 - 使用最大吸收度波長資料，來約略判斷物質種類的多寡，特別是有變色特性的化學反應，在顏色漸變反應過程中的，最大吸收度波長的偏移，再加上吸收度與濃度的關聯性，可以來進一步解釋化學反應中的細部變化與原理。
 - 各區間的吸收度大小，可以提供色彩的濃淡與飽和度方面的資料，吸收度區間的平均吸收度愈小，此區間所代表的顏色愈淡，在作色彩的混合時，各區間吸收度的不同，是會影響實際上的顏色變化的（如紫色與洋紅）。
- 由於色彩加色法、減色法的說明圖過於簡略，依據我們的實驗結果，我們嘗試以吸收度曲線變化來解釋光和顏色的關係，以光源有無作區分，在無光環境下，單色光以加色法為主，對一般顏料、有色的藥品來說，在有光環境下，以減色法為主。

(1) 在無光（黑暗）環境下，色光的加成（如圖七十六）。：

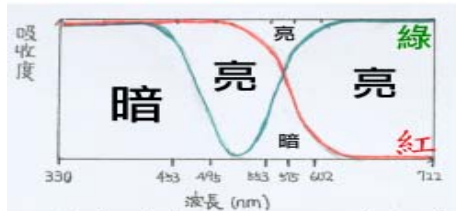


藍色與綠色樣本吸收度曲線圖

$$\text{藍} + \text{綠} = \text{青}$$

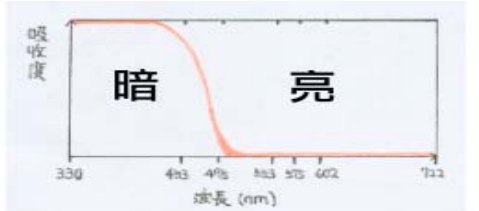


青色樣本吸收度曲線圖

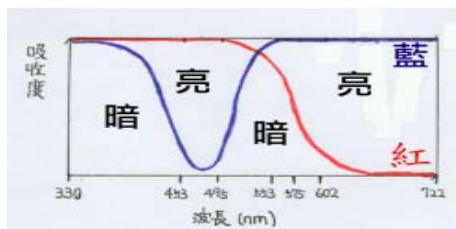


紅色與綠色樣本吸收度曲線圖

$$\text{紅} + \text{綠} = \text{黃}$$

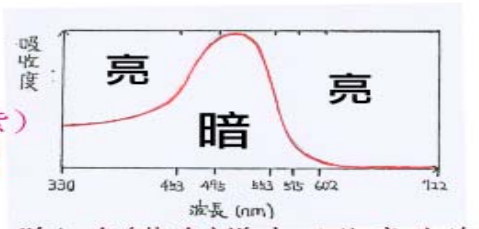


黃色樣本吸收度曲線圖



藍色與紅色樣本吸收度曲線圖

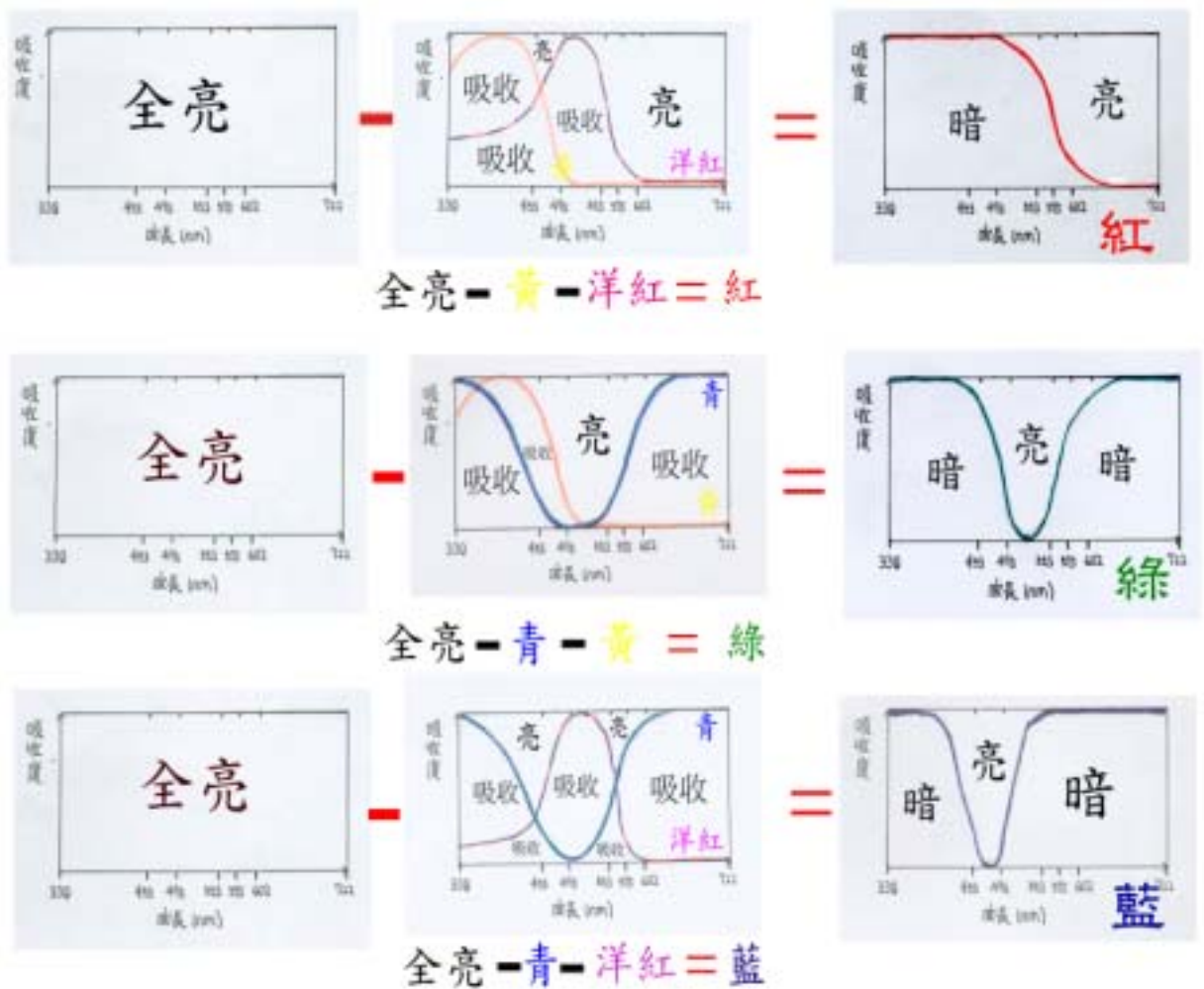
$$\text{藍} + \text{紅} = \text{洋紅(紫)}$$



洋紅色(紫色)樣本吸收度曲線圖

圖七十六：以吸收度曲線變化來解釋光和顏色的關係---加色法

(2)在有光（明亮）的環境下，色光的減抵（如圖七十七）。



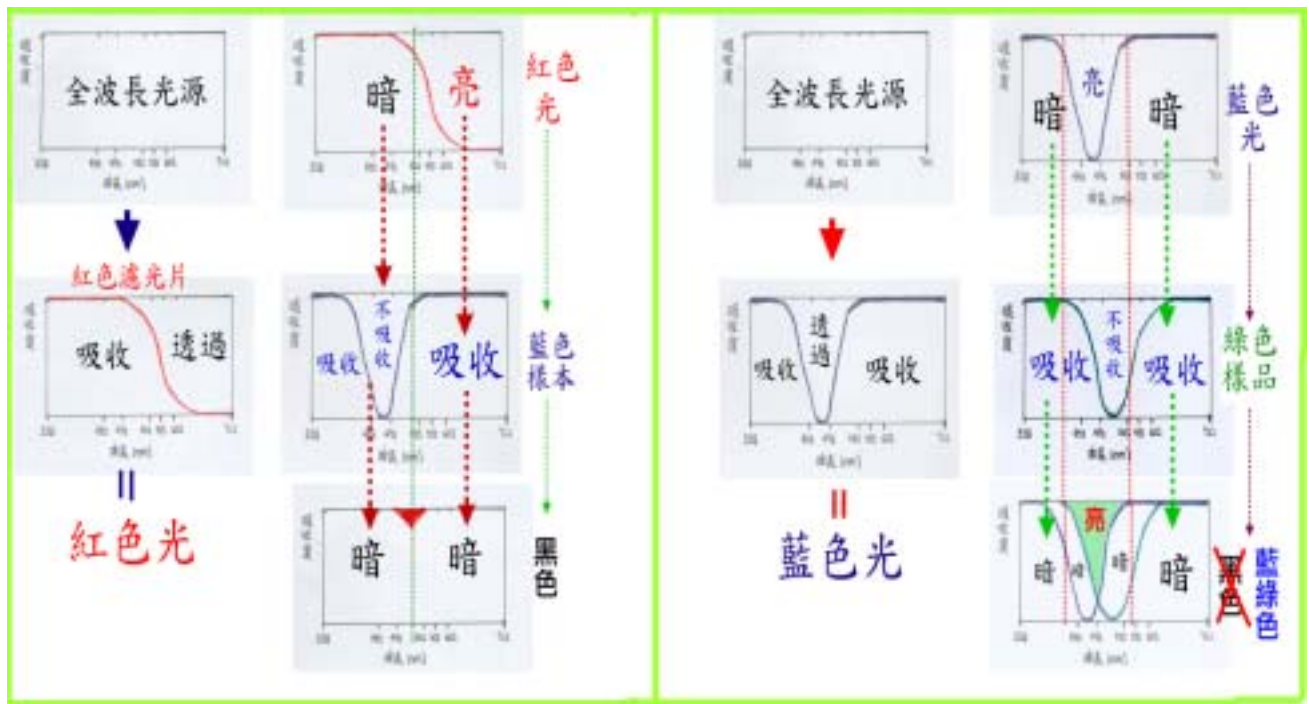
圖七十七：以吸收度曲線變化來解釋光和顏色的關係---減色法

(3)除了色圈中的原有的顏色外，利用吸收度曲線圖中，各波長區域吸收度的升降變化與排列組合，可以更詳盡的解釋漸層、深淺的顏色變化，以及對比色與互補色等色彩變化中的現象。

(九)關於課本實驗 4-2 發生的問題，我們用下列吸收度圖形來說明（如圖七十八）。

1.在無光環境下（暗），紅色光照在綠色樣本上。

紅色光的亮區（低吸收波長區域）和藍色片的不吸收區（低吸收波長區域）距離較遠（少許重疊），所形成的亮區很小，所以結果呈現黑色，與課本實驗中：紅色光照在藍色樣品呈黑色的結果相符。



透過濾光片形成的紅色光照在藍色樣品上 透過濾光片形成的藍色光照在綠色樣品上

圖七十八：以吸收度曲線變化圖來解釋課本實驗 4-2：光與顏色所產生的問題

2. 在無光環境下，藍色光照在綠色樣本上：

由實驗觀測結果與吸收度曲線圖形解釋：實際上我們發現透過濾光片形成的藍色光照在綠色樣品上，應該是藍綠色，而不是課本與參考書給的答案 - 黑色。除非找到藍色光的亮區，和綠色光的不吸收區域完全不重疊的濾光片和樣本材料，否則實驗結果無法達成黑色的效果，但藍、綠兩色在可見光中屬於相鄰區域，要找到這種材料，應該很難，在光源方面，單波長的雷射光或 SP20 分光光度計的單波長光應該可行。

捌、結論

(一) 經由對分光光度計單波長光源與課本實驗裝置濾光片（混合型光源）的觀察，我們發現：人眼所感覺到的顏色，和實際進入眼睛中可見光的波長範圍之間的關係，有下列兩種模式：

1. 一種單色光（單波長光），引發人眼單一種色彩的感覺：例如紅色光進入眼中，人眼感覺紅色；波長 564nm 的可見光進入眼中，人眼感覺黃色。在以二十位同學為樣本，探討眼睛對各種單波長的光所能感覺到的顏色實驗中，我們發現同學們對於顏色感覺與可見光波長的关系如下表卅七：而以本實驗所得的各顏色光的波長範圍，用來作為本次研究測量各物質對可見光光吸收度實驗時，在吸收度曲線中，判斷區間顏色的標準。

表卅七：人眼的色彩感覺與可見光波長的關係

顏色	紫	藍	綠	黃	橙	紅
波長範圍	330.1nm 至 453.4nm	453.4nm 至 495.4nm	495.4nm 至 552.5nm	552.5nm 至 580.3nm	580.3nm 至 601.6nm	601.6nm 至 721.8nm

- 2.幾種單色光的組合，共同引發人眼對某一種顏色的感覺：在完成對課本實驗裝置濾光片與自行用印表機列印所得濾光片兩者吸收曲線的測試後，我們得到一些顏色組合的共同的結論，例如：青色光是藍光加綠光，紫（洋紅）色是紅光加藍光。
- 3.而以上這兩種人眼感覺顏色的模式，對同一種顏色而言，眼睛是無法區分其中的不同的。以黃色為例：

紅、橙、黃、綠光
495~722nm 的色光組合 = 黃 = 553~575nm 的單色黃光

(二)經由 SP20 分光光度計所測得的吸收度曲線圖，只要樣品具有色彩與透光性，我們便可以對這些自然與人為創造的顏色加以分析：

- 1.在濾光片的實驗中，經由吸收度曲線的分析，我們清楚的了解顏料間是如何組合形成另一種顏色（見實驗二與實驗六的結果分析）。
- 2.對銅、亞鉛、亞錫等同種陽離子的鹽類水溶液而言，實驗結果顯示，只要陽離子相同，就會具有極為類似的吸收度曲線，這顯示溶液的顏色也就是陽離子在水中的顏色，也就是在吸收度曲線圖上的低吸收度區域所顯示的顏色。
- 3 在 CuSO_4 、 KMnO_4 濃度和吸收曲線的實驗中
 - (1)顏色的深淺，來自於有色物質混合時的濃度：濃度高，吸收度變大，使能透過的光變少，進入眼中的光少了，顏色就變深變暗。藉由吸收度和濃度的正比關係（Beer's Law），我們可以了解濃度和顏色深淺（吸收度）之間的定量關係。
 - (2)在（重）鉻酸鉀、甲基紅濃度、酸鹼度與吸收度曲線的實驗結果顯示，吸收度曲線中，最大吸收波長的改變，可以用來偵測化學變化的發生和平衡，而物質間濃度的變化，也可以因吸收度的改變而被偵測出來。
- 4.利用吸收度曲線中，最大吸收波長和吸收度的關係，我們實地分析人為創造的顏色由一噴墨列印技術。除了了解印表機墨水、印表機廠牌、印表機與繪圖軟體控制解析度與紙張設定、所使用的投影片，在這些變因的改變下，吸收度曲線的變化情形外，我們有更進一步發現：
 - (1)EPSON Photo EX 使用五種不同的彩色墨水（青、淡青、洋紅、淡洋紅、黃），其中，深青和淺青、深洋紅和淺洋紅，在吸收度曲線上非常的相似，只有吸收度（顏料濃度）高低不同而已，深青的濃度約為淺青濃度的 3.7 倍，深洋紅的濃度約為淺洋紅的 4 倍。
 - (2)各廠牌墨水雖然種類不同（吸收度曲線略有差異），但低吸收度區域所顯示的顏色（青、洋紅、黃），相當接近，實際印出的表現，在顏色的感覺上，也十分接近。

(3)經由實驗變因控制，我們想証明噴墨印表機和電腦繪圖軟體的技術，列印出成品後，能不能忠實反應(表達)出我們預先設定的顏色深淺，換句話說，**所見即所得**，是每項噴墨列印技術追求的最高境界，但實驗結果顯示：(見表十七)

以預期設定顏色濃淡 25% ~ 88%的 252 組實驗中，與實際吸收度百分率差距在正負 10%之內的組合，各種顏色只有 55 組，以平均吸收度百分率偏差來比較，結果如下：

以印表機種類來比較：HP 670C 表現最佳，EPSON PHOTO EX 次之。

以軟體種類來比較：CorelDRAW，Photoshop，Photoimpact 三種軟體對顏色濃淡的表現相當接近。(見表廿二)

(4) 根據噴墨印表機列印成品時，解析度與紙張設定對顏色濃淡的控制的實驗結果顯示：以 **EPSON photo EX 印表機搭配 Photoshop 軟體** 列印投影片，**解析度愈高，色彩列印準確度愈高(平均吸收度百分率差距愈小)**，使用 **Photo Quality Ink Jet Paper**，也比使用 **Plain paper** 有較好的色彩列印準確度。

(三)人眼對顏色的感覺，是人眼中細胞接受光的刺激，經由神經系統傳遞到大腦，由大腦思考判斷、組合而成，**顏色是人類對光的感覺，而不是光本身的性質。**

1.物質對光的反射、吸收、色散，會使進入眼睛的光，在光的「成分」(波長範圍)產生改變，如果人的神經系統(眼睛與大腦)能辨別出光的「成分」變化，顏色感覺就會改變；如果不能辨別，就會把它當成同一種顏色。

2.在一般明亮的環境下，全波長的可見光，因為被物質吸收了一部份的波長區間的可見光(色料減色法)，而使進入眼中，光的波長區域組合不同，在人的神經系統可以辨別的前提，而對物質產生顏色變化感覺。

3.在沒有光的條件下，幾個波長區域射出來的光，混合後相加進入眼睛產生色彩的感覺，這就是光的加法。

不管是光的加法或是色料的減法，加減之間所導致的光波長的偏移，吸收度的增減，是會造成無限多種光與顏色的組合變化。我們的實驗，對顏色的組合與深淺偵測，提供了新的實驗方法，利用 **SP20 分光光度計**測得的吸收度曲線，進行顏色的分析，要將萬紫千紅的彩色世界，歸納整理出光與顏色的關係，藉由顏色的分析與彩色列印的技術，來把這個世界紀錄下來。

玖、參考資料

- (一) 國中理化第一冊，國立編譯館，2001，30-35，108-115
- (二) 田禾、陳孔常，「從綠葉到激光光盤 - 顏色與化學」，牛頓出版社，2001，22-79
- (三) 楊慶成，「儀器分析」，眾光文化事業公司：台北市，1996，160-236
- (四) 楊寶旺、楊美惠等五人，「化學大辭典」，高立出版社：台北市，1993，1437-1439
- (五) 王以誠(譯)，「大學儀器分析學」，徐氏基金會，1991，129-148
- (六) Alan Lightman(著) 丘宏義(譯)，「物理學家的靈感抽屜」，天下文化，台北市，2001，19-24

(七) 大山正, "色彩心理學", 牧村圖書, 台北市, 1998, 2-15, 58, 92-94

(八) Pavia; Lampman; Kriz, "Spectroscopy", 2nd ed, Saunders college, 267-302

(九) 參考相關網站：

1. www.omniwell.com.tw 印表機操作筆記
2. Taiwan.cnet.com 數位世界
3. shopping.yam.com 拍賣王
4. w3.Epson.com.tw Epson 科技新知
5. image.hp.com.tw 台灣惠普

拾、未來展望與其他

從今年寒假前開始，算算對光及顏色所進行的實驗與研究也五個多月了，在老師用心的指導，和同學們熱心協助下，終於把實驗部份告一個段落。一月底開始，在幾位老師的指導下，開始進行以電腦處理數據、製作報告（Word、Excel、Photoimpact 的操作）、看板的製作與訓練，並將先前拍攝的幾百張照片，整理擇優掃描成檔案並作影像處理，而完成了這份報告。

在這次的實驗結束後，我們在實驗的過程及參考的資料中，發現了許多值得探討的現象，如在進行氯化銅吸收度測量之實驗時發現，將氯化銅水溶液長時間（一天）放置後，吸收度會有上升的趨勢；又如某些藥品水溶液（如過錳酸鉀由紫紅色變成黃褐色，鉻酸鉀變成黃綠色）放置兩天後就變質了；以及 HP 的墨水抽出實驗，出現黃色墨水溶於酒精，出現懸浮物的現象 ...等。希望能在未來繼續的實驗或這次科展中與教授討論得到解答，更希望往後有人能夠從事和這些現象相關的實驗，以真正解決我們所發現的疑惑。

感謝在實驗過程中，校方資訊小組所提供的實驗儀器及電腦周邊設備，尤其感謝電腦資訊教育執行秘書的全力協助，以及二位指導老師認真盡心的指導。對於光和顏色這方面的研究領域還有進一步探討及實驗價值，希望未來還有機會能再持續研究下去。

(第二名)

利用分光光度計，以非常科學的方法量測光被吸收的程度。並針對不同廠牌的電腦噴墨印表機，不同繪圖軟體，觀測實際的顏色輸出情形，此作品之資料收集相當完整，實驗數據非常完善，分析齊備，是個優秀之作品。