

2010年臺灣國際科學展覽會  
優勝作品專輯

編號：140011-07

作品名稱

以瑞利準則探討點描畫派最佳觀賞距離

**To Discuss the Best Distance to View the Pointillism by  
Rayleigh Criterion**

得獎獎項

物理與太空科學科大會獎二等獎

香港正選代表：香港第43屆聯校科學展覽會

學校名稱：國立高雄師範大學附屬高級中學

作者姓名：陳又榕

指導老師：簡聿成、許時嘉

關鍵詞：點描畫派、瑞利準則、色度

## 作者簡介



大家好！我是又榕，在充滿陽光與活力的高雄長大，喜歡音樂、閱讀及科學，更喜歡學習新事物。高一時因為一項作業，偶然間參加了科展，也因此引起對科學研究的興趣。

科學豐富了人類的生活，生活因科學而更加趣味。當科學家遇上蘋果與風箏，因而發現了地心引力和電力。當我在美術館看畫時又會發現甚麼呢？這就是科學的迷人之處。

解決問題是科學研究重要的過程，科學研究如果也能解決生活上的問題那就更有意義了，希望有機會做更多的研究，即便是一粒小沙子。

## 摘要

19、20 世紀的後期印象派中，點描派為最吸引人的畫派之一，而喬治·秀拉(Georges Seurat)即是其畫派之代表人物，因此，設計實驗時以秀拉的畫風為中心。

本研究以 Photoshop 繪圖模仿點描派之作品，為探索物質的本質，選用三原色為混色的原色，來觀察混色後對畫作的效果。研究中，以分析兩亮點之大小、距離與觀測距離的關係來設定點之尺寸，再進一步分析三原色點之觀測距離、比例及三原色點之佈點方式對混色效果之關係做為實驗主軸，並以瑞利準則判斷之。

希望藉由本實驗能以物理學的角度瞭解點描畫派之作品，同時，設法將點描畫數位化，並希望找出欣賞點描畫最佳情況，提供賞畫者最好的視覺享受。

## **Abstract**

In the 19 or 20 century, Pointillism was the one of the most attractive school of painting in the later period of Impressionism. Georges Seurat was the representative figure of Pointillism. Therefore, I made the Seurat's paint as the center.

In this experiment, I used Photoshop to imitate the works of Pointillism. In order to observe the effect to the works after color mixing, I chose red, green and blue to be the primary colors of color mixing. In the experiment, I analyzed the size and distance between two bright spots and design the size of spots by the relation to the distance of observation. To take one step ahead, I analyzed the observation distance, ratio of color light and the way how I spread the spots for the relation to effects of color mixing. That is the main point to the experiment. At last, I use Rayleigh criterion to discuss the result.

By the experiment, I desire to discover the works of Pointillism by physical viewpoints. In the meantime, try to digitize the works of Pointillism and find out the secret of them. In conclusion, I hope to look for the best situation to appreciate the Pointillism and provide the greatest visual enjoyment to those people who appreciate the paintings.

## 壹、 研究動機

因為爸爸工作的關係，從小時候便常常隨著他到美術館，成天享受在藝術的薰陶中；有一次，我頑皮地到處逛，偶然走到一幅點描畫派的作品(圖1)前，哇!近一點看、遠一點看，同樣的一幅畫卻呈現不同的樣貌，這引起了  
我濃濃的好奇心，終於有這機會能好好研究它了!



圖 1 秀拉的『大傑特島的星期日下午』  
(Sunday Afternoon on the Island of la Grande Jatte)

## 貳、 研究目的

本研究希望以瑞利準則探討點描畫派最佳觀賞距離，從分析兩亮點之大小、距離與觀測距離的關係到分析三原色點之比例及觀測距離對混色效果之關係為本實驗所討論之問題。

本研究的研究問題為：

- 一、分析兩亮點之大小、距離與觀測距離之關係

- (一) 分析兩亮點之大小與觀測距離之關係
- (二) 分析兩亮點之距離與觀測距離之關係
- 二、分析三原色點之比例及觀測距離對混色效果之關係
  - (一) 分析三原色點之比例對混色效果之關係
  - (二) 分析三原色點之比例之佈點方式對混色效果之關係
- 三、分析對三原色點之觀測距離對混色效果之關係

### 參、研究設備與器材

| 項次 | 品名                                 | 實物照片  |
|----|------------------------------------|---|
| 1  | 沙子(紅色、綠色、藍色)、黑紙板、直尺                |   |
| 2  | Photoshop 繪圖                       |   |
| 3  | 數位相機 (FUJIFILM S3 PRO 單眼數位相機)      |  |
| 4  | 測光表 (KONICA MINOLTA AUTO METER VF) |  |
| 5  | 色溫表 (MINOLTA COLOR METER II)       |  |
| 6  | SR-UL1R 超低輝度分光放射計一台                |  |
| 7  | 可攜式多光源觀測光箱                         |  |

## 肆、研究過程與結果討論

研究初期，以點描畫派的畫作作為研究對象，但因圖畫的取得不易，後改用色沙呈現似圖畫顏料的效果，但又因沙子顆粒小，不易擺設出設定之目標，例如：沙子的距離、各種顏色沙子的多寡……等，亦因人為擺設精確度不足，另外，沙子攜帶不易，位置容易移動，再三尋求解決方法後，以 Photoshop 繪圖表示沙子的各種狀態，再以沖洗照片的方式呈現，為之研究。

沙畫所用的沙色彩繽紛，為探索物質的本質，選用紅、綠、藍三原色為混色的原色，來觀察混色後的效果。而背景選用黑色是為減少非研究物之反射光。

### 一、分析兩亮點之大小、距離與觀測距離的關係

#### (一) 分析兩亮點之大小與觀測距離的關係

##### 1. 文獻探討：

瑞利準則 (Rayleigh criterion) 表示了一個光學儀器對兩個點光源的角分辨率 (Angular resolution)。

繞射限制了透鏡的分辨率，透鏡的口徑可以視為單狹縫的二維版本，經過狹縫的光波干涉，形成所謂的愛里繞射圖樣，這引致圖象模糊。

圓孔繞射的光強可寫成：

$$I(\theta) = I_0 \left[ \frac{2J_1(kR\sin\theta)}{kR\sin\theta} \right]^2$$

其中  $R$  是圓孔半徑

$k = 2\pi/\lambda$ ， $\lambda$  是光波長  $J_1(x)$  是貝塞爾函數

$J_1(x) = 0$  的最小正實數解是  $x = 3.83$

$I(\theta) = 0$  的最小正實數解就是  $\theta \approx \sin\theta = 1.220 \frac{\lambda}{2R}$

這表示了若透鏡和兩個物件之間的夾角少於 $\theta$ ，透鏡的觀察者便無法分辨出有兩個物件。

總而言之，瑞利準則原理與兩個點光源解析度有相關，當一亮點的光斑極大值必須落在另一亮點的極小值上，才能恰可分辨出相異的兩亮點。

## 2.研究過程：

### (1)步驟一

①繪圖：使用 PHOTOSHOP 繪圖，以寬度(W) 5 英寸，高度(H) 7 英寸，解析度(R) 300 像素/英寸(ppi)，色彩模式(M)為 RGB、8 位元之白色的背景內容(C)為底色。實驗時，以背景為黑色，減少觀測時之干擾。在黑色背景上訂出標準線後，以不同大小(如表 2)之白色小點，其 RGB 的灰階(GL)皆為 255。為符合瑞利準則，令兩圓點相切，完成此圖(如圖 2)。

②實驗分析：完成此圖後，以布面之相片沖洗，並以不同距離(100cm、150cm 及 200cm)作觀察、拍攝。為客觀起見，以數位相機(Canon EOS 5D Mark II)當作測量標準，並參照測光表將相機調整至以下條件：光圈(f) 8、快門 1/60s，並以焦距 50mm 之鏡頭於閃光燈(外加燈罩)照射下拍攝所製作的圖片模仿人眼所見；另再將拍成的照片在電腦上放大(zoom in)，觀察白點混合的狀況，以便使用 Photoshop 來分析。

### (2)步驟二

繪圖：使用 PHOTOSHOP 繪圖，以寬度(W) 5 英寸，高度(H) 7 英寸，解析度(R) 300 像素/英寸(ppi)，色彩模式(M)為 RGB、8 位元之白色的背景內容(C)為底色。實驗時，以背景為黑色，減少觀測時之干擾。



在黑色背景上訂出標準線後，以不同大小(如表 2)之白色小點，其 RGB 的灰階(GL)皆為 255，以多圓點相切形成面，完成此圖(如圖 9)。

實驗分析：完成此圖後，以布面之相片沖洗，並以不同距離作觀察、拍攝後再以 Photoshop 之 RGB 值作分析處理。

表 1 各組別之距離

| 組別     | A 組 | B 組 | C 組 |
|--------|-----|-----|-----|
| 拍攝(cm) | 100 | 150 | 200 |

表 2 px 與白點直徑 D(mm)之對照

|    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| px | 44  | 42  | 40  | 38  | 36  | 34  | 32  | 30  | 28  | 26  | 24  |
| D  | 3.8 | 3.5 | 3.3 | 3.2 | 3.0 | 2.8 | 2.7 | 2.5 | 2.3 | 2.2 | 2.0 |
| px | 22  | 20  | 18  | 16  | 14  | 12  | 10  | 8   | 6   | 4   |     |
| D  | 1.9 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.2 | 1.0 | 0.8 | 0.6 | 0.5 | 0.3 |     |

註：四捨五入至小數第一位

### 3.研究結果：

(1)步驟一：找出最大兩點能混合成一大點時，在不同距離處(A:100cm B:150cm C:200cm) 人眼所見之不同效果。

下圖 2 為依照研究過程(步驟一)所製之圖。

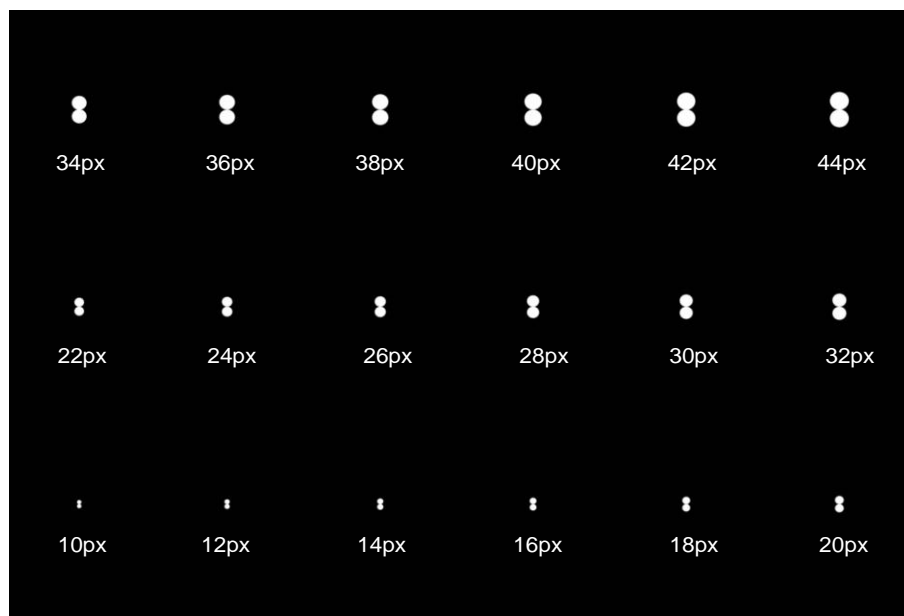


圖 2 不同尺寸之相切白點

表 3 兩圓點之相切點的 RGB 值之比

|   |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|
|   | 34px | 36px | 38px | 40px | 42px | 44px |
| R | 196  | 185  | 188  | 176  | 183  | 171  |
| G | 196  | 185  | 188  | 176  | 183  | 171  |
| B | 196  | 185  | 188  | 176  | 183  | 171  |
|   | 22px | 24px | 26px | 28px | 30px | 32px |
| R | 208  | 213  | 210  | 206  | 199  | 191  |
| G | 208  | 213  | 210  | 206  | 199  | 191  |
| B | 208  | 213  | 210  | 206  | 199  | 191  |
|   | 10px | 12px | 14px | 16px | 18px | 20px |
| R | 254  | 241  | 231  | 225  | 218  | 211  |
| G | 254  | 241  | 231  | 225  | 218  | 211  |
| B | 254  | 241  | 231  | 225  | 218  | 211  |

RGB 單位：灰階(GL)

由表 3 可發現：圓點越小，也就是圓心距越大，RGB 的灰階(GL)值就越小，其中雖不一定成等距減少，甚至有時會回升，是因所繪的圓點非常小，電腦繪圖時畫素設定的問題，而導致兩圓點相切的部分接觸點不相同。

此圖 3 為距離 100cm 所拍之最下排圓點之放大圖，可發現直徑 10px、12px、14px 間有著因圓點較小與畫素的關係所造成兩點似一點的感覺。此時，兩小圓白點的亮度與距離之關係呈現圖 4 之關係。

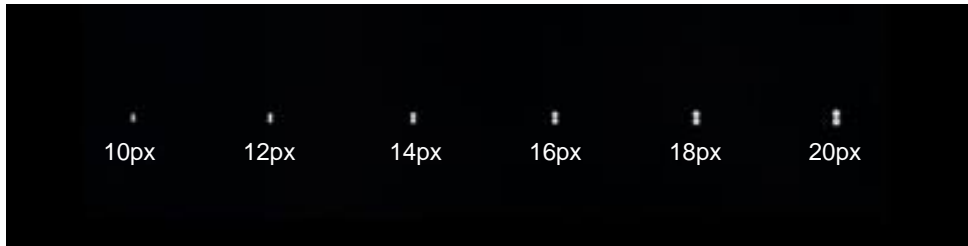


圖 3 距離 100cm 所拍之最下排圓點之放大圖

以 PHOTOSHOP 繪出以上圓點後，以數位相機(Canon EOS 5D Mark II)拍攝，再以 PHOTOSHOP 作調整，模仿人眼所見。(光圈:8 快門:1/60s 寬度:800 個像素 高度:534 個像素)

若使用相機模擬人眼，距離不同的結果亦不同。圓點越小，也就是圓心距越大，RGB 的灰階(GL)值就越小，有時 RGB 值略有差異，是因相機在拍攝時，會經過一次相機本身處理所產生之誤差。

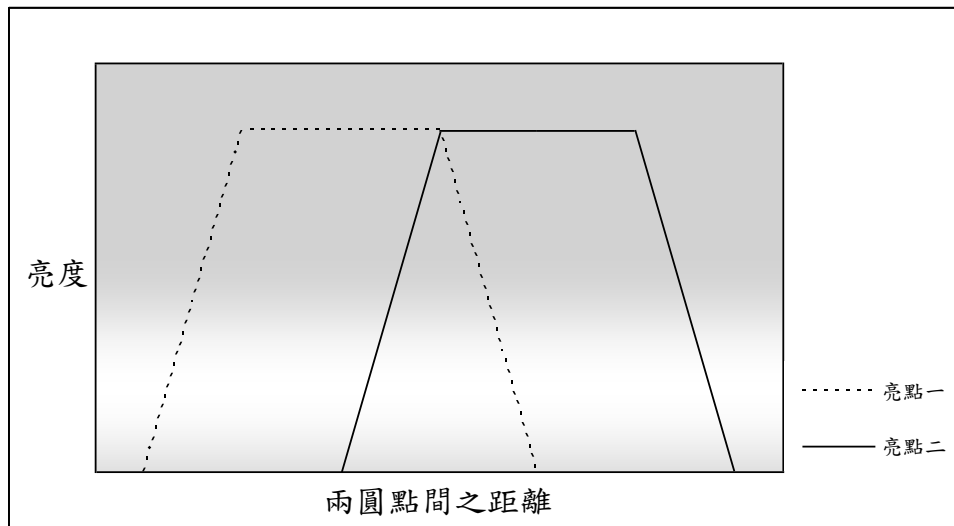


圖 4 兩圓點間之距離與亮度之關係

A 組

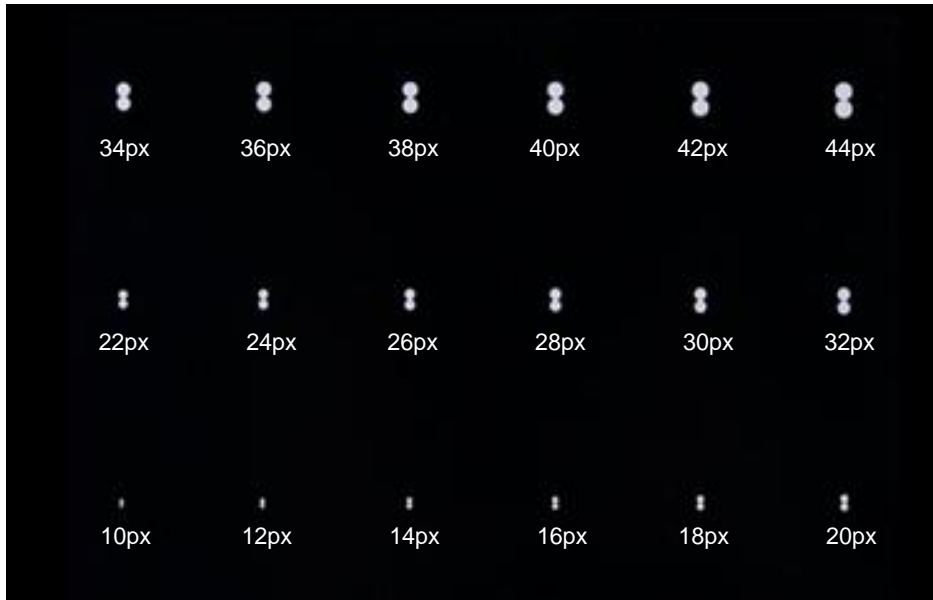


圖 5 距離 100cm 所拍之照片

表 4 兩圓點之相切點的 RGB 值之比

|   |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|
|   | 34px | 36px | 38px | 40px | 42px | 44px |
| R | 226  | 223  | 222  | 220  | 211  | 208  |
| G | 231  | 230  | 223  | 227  | 225  | 211  |
| B | 221  | 227  | 218  | 226  | 226  | 215  |
|   | 22px | 24px | 26px | 28px | 30px | 32px |
| R | 234  | 223  | 223  | 227  | 221  | 219  |
| G | 228  | 232  | 224  | 231  | 225  | 223  |
| B | 235  | 226  | 229  | 224  | 221  | 226  |
|   | 10px | 12px | 14px | 16px | 18px | 20px |
| R | 254  | 244  | 241  | 243  | 241  | 234  |
| G | 254  | 250  | 255  | 244  | 235  | 238  |
| B | 253  | 255  | 251  | 238  | 242  | 239  |

RGB 單位：灰階(GL)

B 組

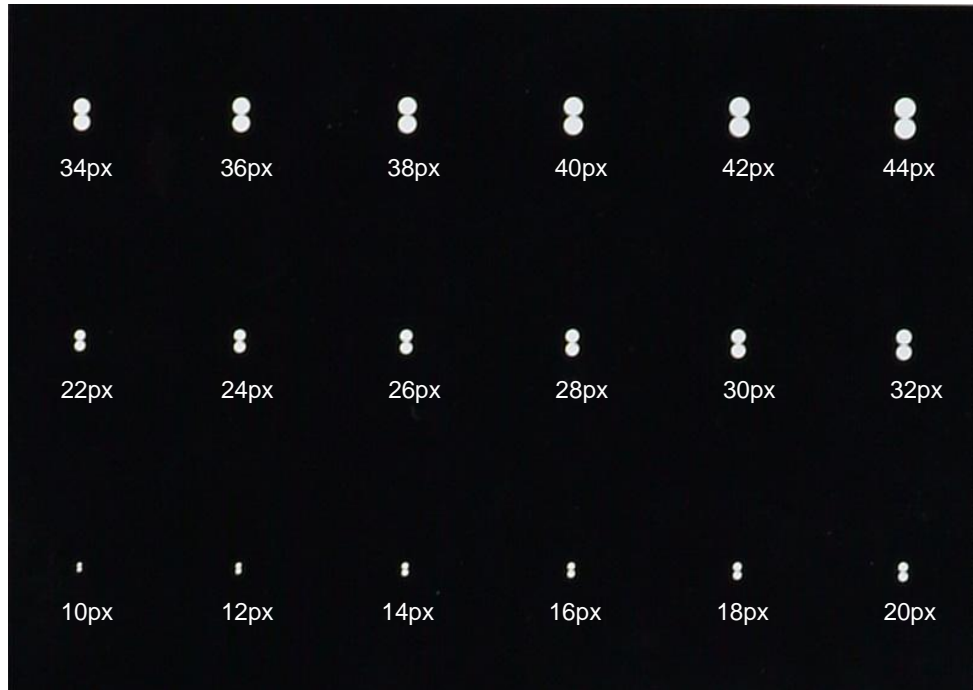


圖 6 距離 150cm 所拍之照片

表 5 兩圓點之相切點的 RGB 值之比

|   |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|
|   | 34px | 36px | 38px | 40px | 42px | 44px |
| R | 227  | 221  | 223  | 226  | 221  | 226  |
| G | 231  | 226  | 228  | 227  | 230  | 227  |
| B | 232  | 229  | 234  | 229  | 227  | 230  |
|   | 22px | 24px | 26px | 28px | 30px | 32px |
| R | 237  | 234  | 235  | 226  | 226  | 224  |
| G | 238  | 239  | 238  | 228  | 232  | 229  |
| B | 240  | 245  | 243  | 227  | 232  | 229  |
|   | 10px | 12px | 14px | 16px | 18px | 20px |
| R | 255  | 254  | 244  | 243  | 232  | 234  |
| G | 255  | 255  | 250  | 246  | 232  | 234  |
| B | 253  | 255  | 236  | 255  | 240  | 242  |

RGB 單位：灰階(GL)

C 組

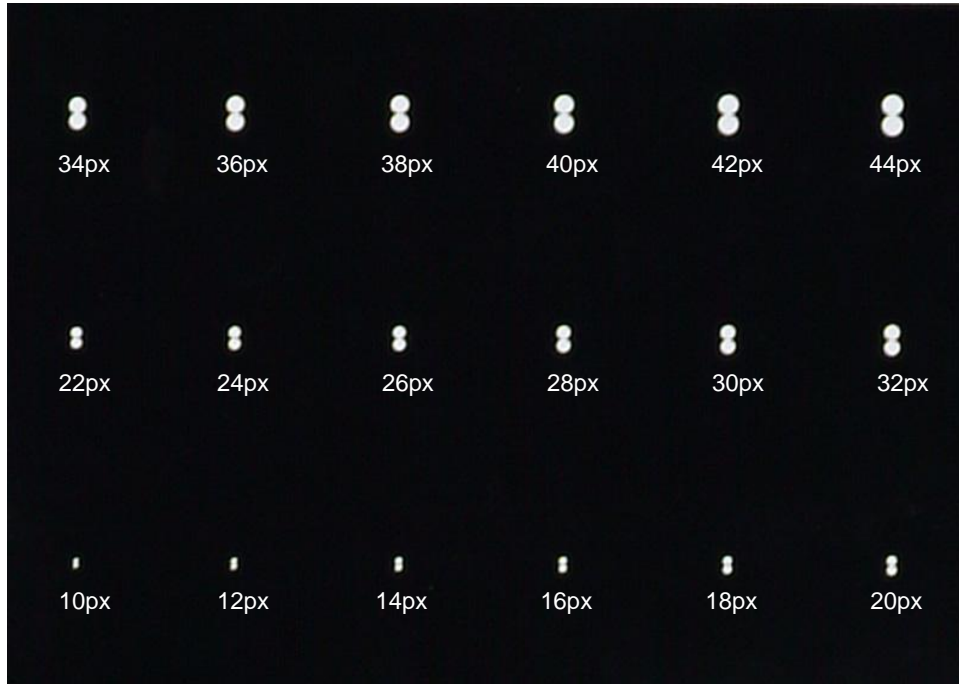


圖 7 距離 200cm 所拍之照片

表 6 兩圓點之相切點的 RGB 值之比

|   |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|
|   | 34px | 36px | 38px | 40px | 42px | 44px |
| R | 234  | 214  | 217  | 228  | 229  | 226  |
| G | 230  | 219  | 229  | 229  | 231  | 230  |
| B | 244  | 223  | 231  | 231  | 236  | 237  |
|   | 22px | 24px | 26px | 28px | 30px | 32px |
| R | 235  | 235  | 237  | 237  | 234  | 224  |
| G | 234  | 245  | 243  | 237  | 236  | 229  |
| B | 242  | 247  | 233  | 235  | 248  | 233  |
|   | 10px | 12px | 14px | 16px | 18px | 20px |
| R | 255  | 244  | 245  | 243  | 230  | 234  |
| G | 255  | 247  | 247  | 252  | 232  | 236  |
| B | 255  | 238  | 244  | 251  | 244  | 231  |

RGB 單位：灰階(GL)

由以上三組相機模仿人眼之 RGB 值發現:當距離 150cm 及 200cm 時，RGB 的灰階(GL)值近 255 時，越易混合成一點。

由步驟一雖然可證實於 10px 之小白圓點可於人眼距離 100cm、12px 之小白圓點可於人眼距離 150cm、14px 之小白圓點可於人眼距離 200cm 時合成為一白點，但為了符合一般作畫的條件，因此，試著以面的方式測量之。

(2) 找出最大點所組成的面在不同距離處，人眼所見能混合成一大點

由於瑞利準則(如圖 8)是為高斯分佈，而本研究之白色小圓點並非點光源，無法得知其最低值來研究，因此，選擇經由瑞利準則所判定之數值進而往下延伸，以為研究。

由圖 10 的放大圖(右方)於 PHOTOSHOP 中，測量各點之 RGB 灰階值，發現在 14px 時，白點與白點之間最黑的部分為  $GL_R:127$ 、 $GL_G:127$ 、 $GL_B:127$ ，大約為白點 255 的一半，以此方法代替瑞利準則(Rayleigh criterion)找到構圖的基本條件。

表 7 各組別之距離

| 組別     | A 組 | B 組 | C 組 |
|--------|-----|-----|-----|
| 拍攝(cm) | 100 | 150 | 200 |

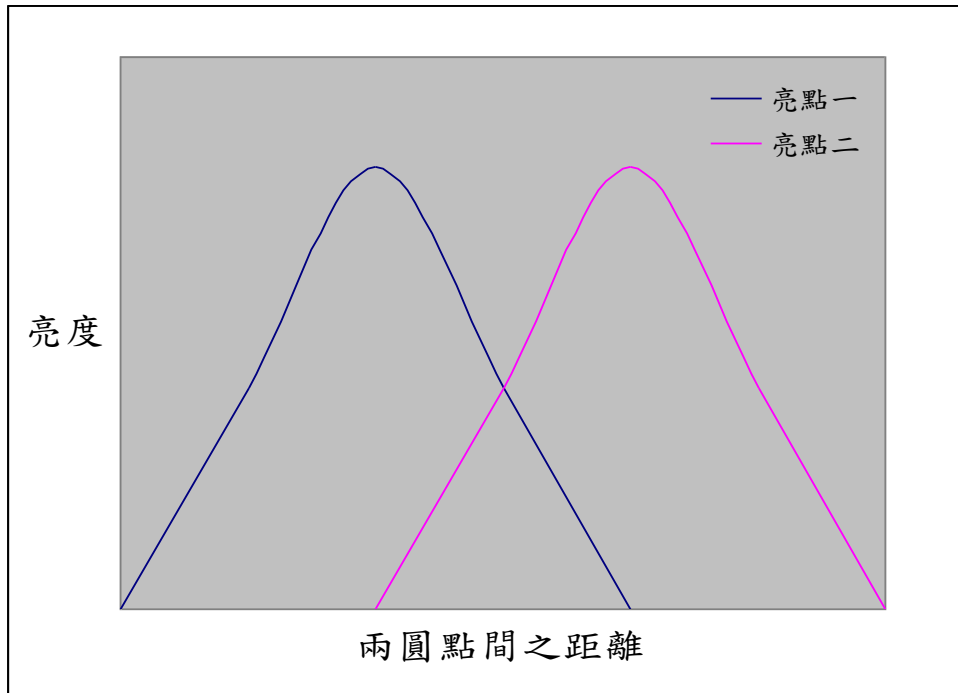


圖 8 瑞利準則示意圖

下圖 9 為依照研究過程(步驟二)所製之圖。

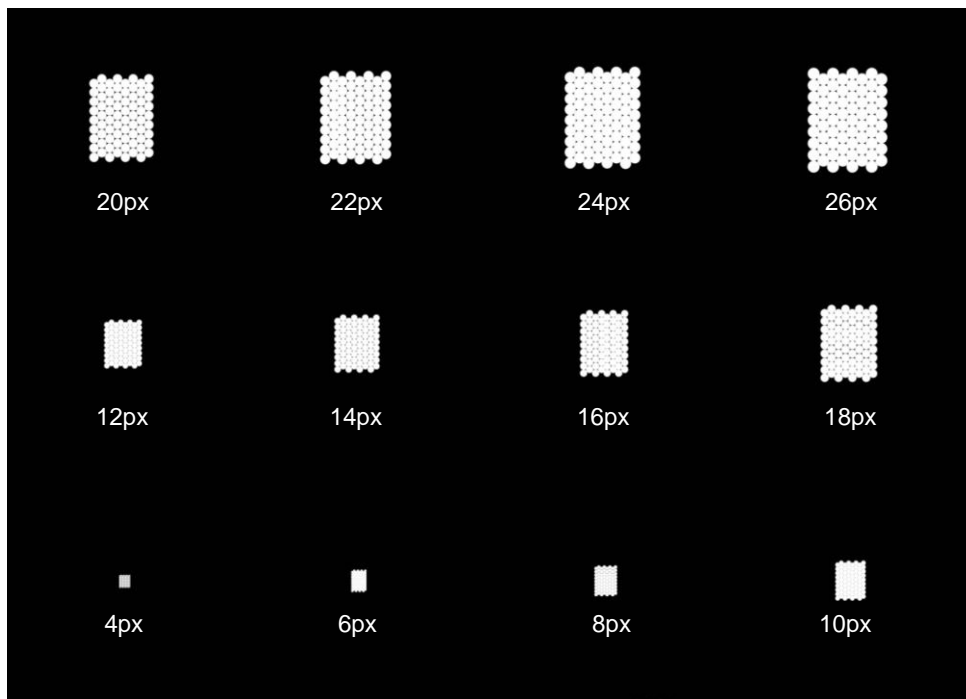


圖 9 不同尺寸之相切白色小圓點所組成的面



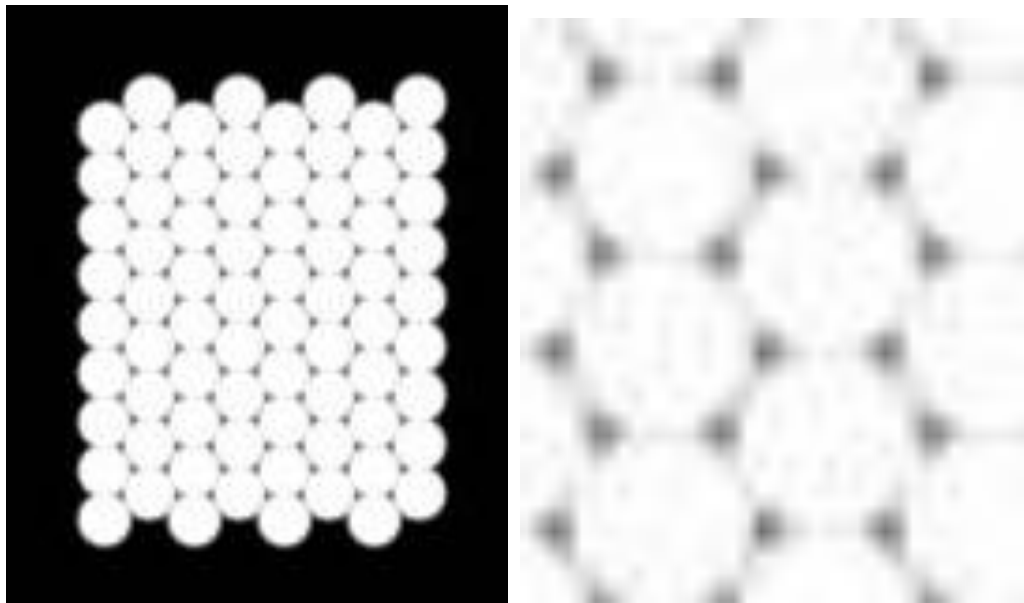


圖 10 18px 之相切白色小圓點所組成的面

表 8 圓點所組成之面 RGB 值之比

|   |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|
|   | 20px | 22px | 24px | 26px |
| R | 119  | 119  | 90   | 62   |
| G | 119  | 119  | 90   | 62   |
| B | 119  | 119  | 90   | 62   |
|   | 12px | 14px | 16px | 18px |
| R | 184  | 177  | 185  | 150  |
| G | 184  | 177  | 185  | 150  |
| B | 184  | 177  | 185  | 150  |
|   | 4px  | 6px  | 8px  | 10px |
| R | 243  | 253  | 234  | 244  |
| G | 243  | 253  | 234  | 244  |
| B | 243  | 253  | 234  | 244  |

RGB 單位：灰階(GL)

A 組

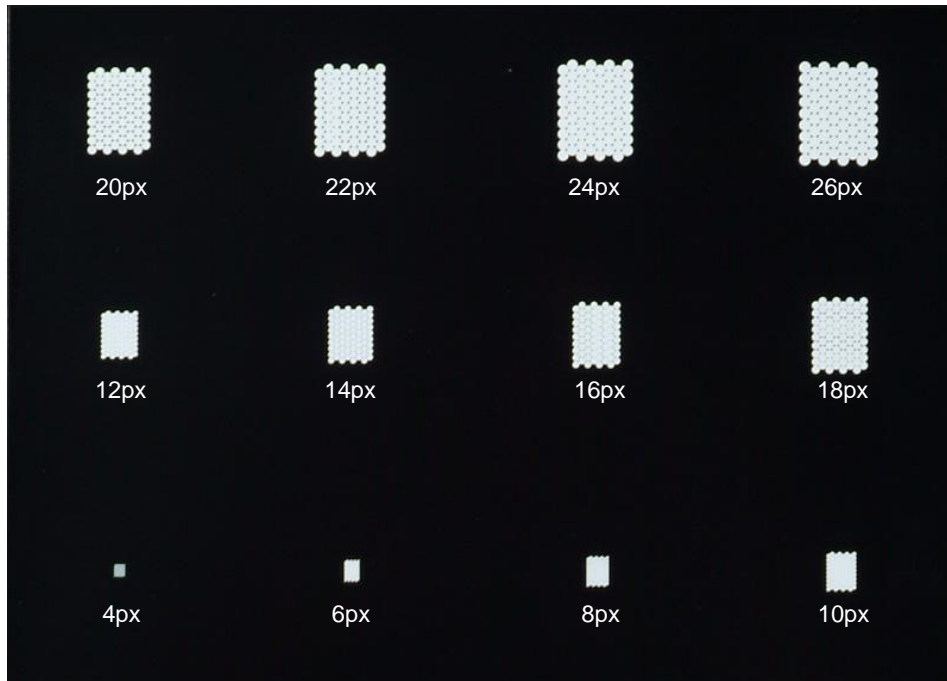


圖 11 距離 100cm 所拍之照片

表 9 圓點所組成之面 RGB 值之比

|   |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|
|   | 20px | 22px | 24px | 26px |
| R | 232  | 227  | 227  | 222  |
| G | 242  | 237  | 239  | 227  |
| B | 241  | 237  | 239  | 227  |
|   | 12px | 14px | 16px | 18px |
| R | 226  | 224  | 223  | 221  |
| G | 237  | 234  | 234  | 232  |
| B | 241  | 236  | 238  | 236  |
|   | 4px  | 6px  | 8px  | 10px |
| R | 180  | 242  | 242  | 221  |
| G | 192  | 246  | 247  | 230  |
| B | 190  | 232  | 250  | 237  |

RGB 單位：灰階(GL)

註：測量數據時，4px 之圓點所組成的面，因太小而黑色的空格會較多導致 RGB 的灰階(GL)值較小。

B 組

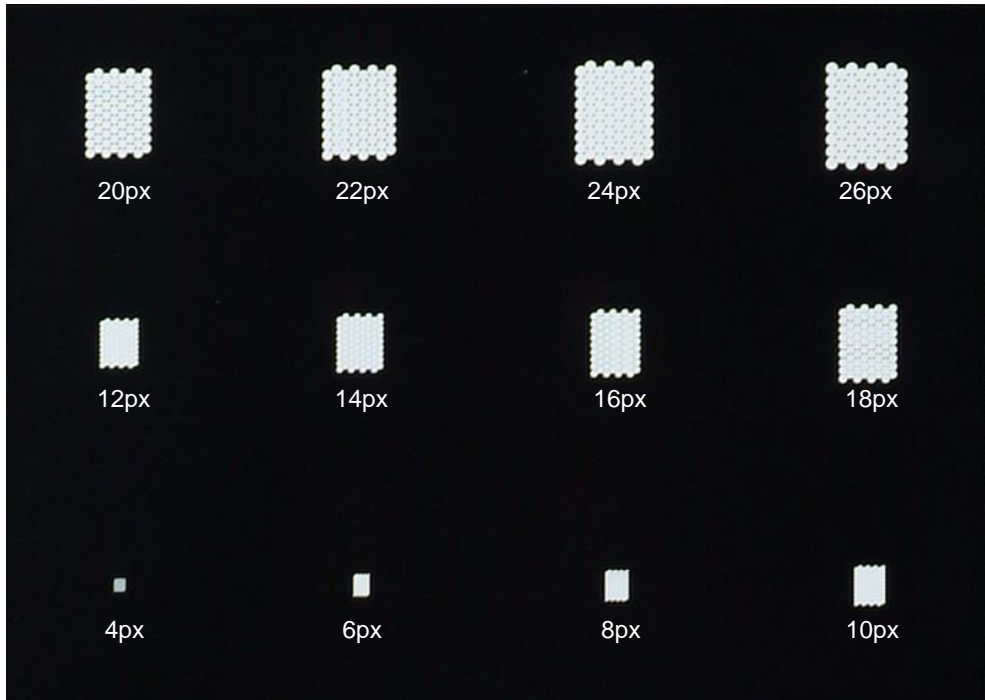


圖 12 距離 150cm 所拍之照片

表 10 圓點所組成之面 RGB 值之比

|   |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|
|   | 20px | 22px | 24px | 26px |
| R | 239  | 233  | 231  | 225  |
| G | 246  | 237  | 241  | 238  |
| B | 238  | 246  | 243  | 244  |
|   | 12px | 14px | 16px | 18px |
| R | 230  | 235  | 233  | 227  |
| G | 241  | 243  | 243  | 232  |
| B | 245  | 245  | 247  | 235  |
|   | 4px  | 6px  | 8px  | 10px |
| R | 171  | 222  | 223  | 220  |
| G | 189  | 231  | 232  | 231  |
| B | 199  | 238  | 237  | 235  |

RGB 單位：灰階(GL)

C 組

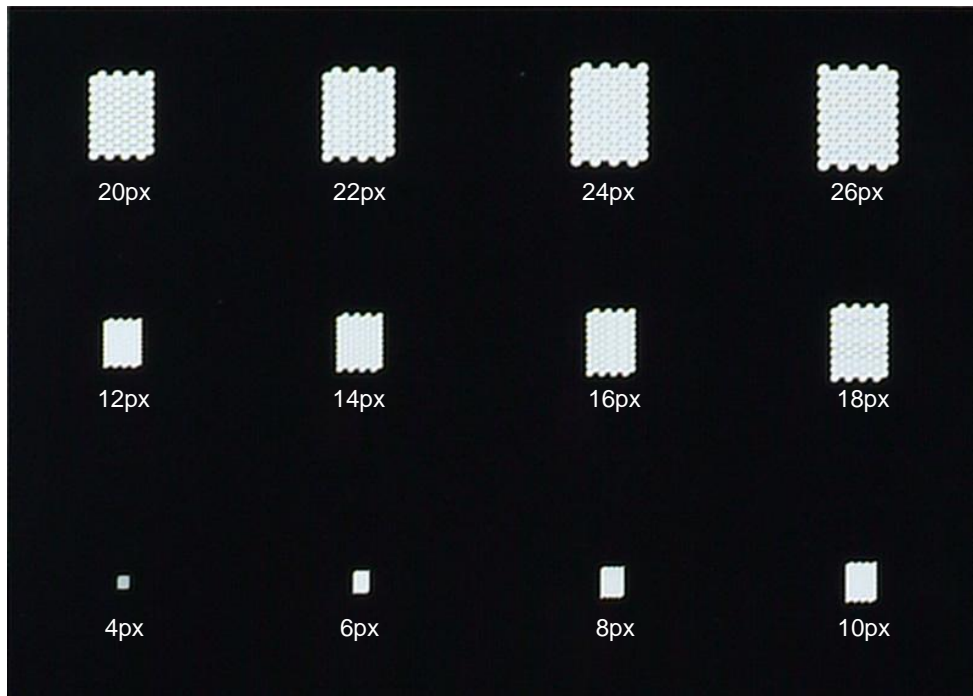


圖 13 距離 200cm 所拍之照片

表 11 圓點所組成之面 RGB 值之比

|   |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|
|   | 20px | 22px | 24px | 26px |
| R | 233  | 220  | 234  | 224  |
| G | 243  | 225  | 243  | 231  |
| B | 252  | 219  | 232  | 239  |
|   | 12px | 14px | 16px | 18px |
| R | 226  | 232  | 233  | 235  |
| G | 233  | 242  | 240  | 246  |
| B | 239  | 243  | 245  | 247  |
|   | 4px  | 6px  | 8px  | 10px |
| R | 178  | 204  | 220  | 219  |
| G | 199  | 199  | 234  | 230  |
| B | 200  | 203  | 237  | 234  |

RGB 單位：灰階(GL)

由以上三組相機模仿人眼之 RGB 值發現:當距離越遠時，越接近 RGB 的灰階(GL)值近 255 的圓點越大，而 RGB 的灰階(GL)值開始降低時的圓點大小也較大。

電腦模擬時，18px 為不可分辨圓點顆粒之最大值，於 6px 時可視為白平面；距離 100cm 時，8px 時視為白平面；距離 150cm 時，14px 時視為白平面；距離 200cm 時，18px 時視為白平面。

## (二) 分析兩亮點之距離與觀測距離的關係

### 1. 研究過程：

(1)繪圖：使用 PHOTOSHOP 繪圖，以寬度(W)5 英寸，高度(H)7 英寸析度 (R)300 像素/英寸，色彩模式(M)為 RGB、8 位元之白色的背景內容(C)為底色。實驗時，以背景為黑色，減少觀測時之干擾。

在黑色背景上訂出標準線，以不同大小(直徑分別為 16、14、12、10、8、6px)之 RGB 的灰階(GL)皆為 255 的白色小點，改變圓點與圓點間之距離，完成此圖。

(2)實驗分析：實驗時為改變兩亮點之距離，分別以三小圓點為一組與四小圓點為一組兩項實驗。完成此圖後，以布面之相片沖洗，並以相機模仿人眼以不同距離作觀察、拍攝後再以 Photoshop 之 RGB 值作分析處理。

表 12 各組別之距離

| 組別     | A 組 | B 組 | C 組 |
|--------|-----|-----|-----|
| 拍攝(cm) | 100 | 150 | 200 |

## 2.研究結果：

以下結果為改變圓點與圓點之間之距離，分為三小圓白點為一組及四小圓白點為一組來做討論。

### (1) 三小圓白點為一組

由“(一) 分析兩亮點之大小與觀測距離的關係”之步驟一及步驟二即可發現，圓點之大小大約在 16px、14px 或以下才有重合成一圓點的感覺，因此，此步驟之實驗由 16px 往下延伸，試著尋找符合瑞利準則之條件者，

如圖 14。完成此圖後，以相機模仿人眼以不同距離(A:100cm B:150cm C:200cm)作觀察、拍攝後再以 Photoshop 之 RGB 值作分析處理。

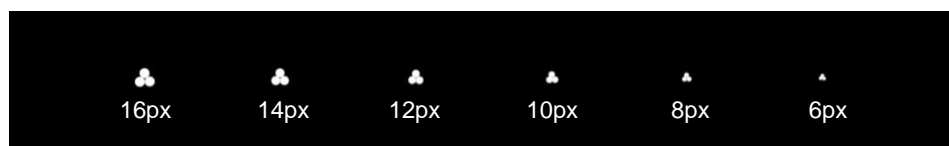


圖 14 三小圓點為一組之點距離

表 13 各大小圓點之點與點之間量測最黑部分之 RGB 值之比

|   | 16px | 14px | 12px | 10px | 8px | 6px |
|---|------|------|------|------|-----|-----|
| R | 61   | 72   | 126  | 191  | 199 | 222 |
| G | 61   | 72   | 126  | 191  | 199 | 222 |
| B | 61   | 72   | 126  | 191  | 199 | 222 |

RGB 單位：灰階(GL)

由表 13 可看出：當圓點為 10px 以下才會使兩圓點間之空隙填滿白色，因此，決定於分析彩色三點(為三點時)RGB 時採用 10px 之圓點大小。

若使用相機模擬人眼，距離不同的結果亦不同。

A 組

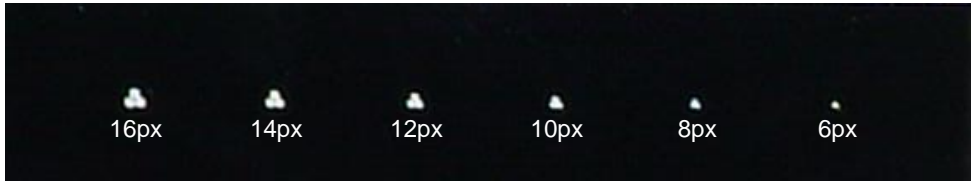


圖 15 三點排列下距離 100cm 所拍之照片

表 14 各大小圓點之點與點之間量測最黑部分之 RGB 值之比

|   | 16px | 14px | 12px | 10px | 8px | 6px |
|---|------|------|------|------|-----|-----|
| R | 228  | 240  | 245  | 251  | 254 | 253 |
| G | 223  | 237  | 240  | 243  | 255 | 252 |
| B | 219  | 244  | 247  | 240  | 255 | 247 |

RGB 單位：灰階(GL)

B 組

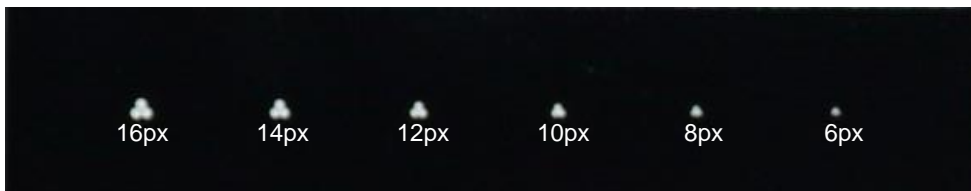


圖 16 三點排列下距離 150cm 所拍之照片

表 15 各大小圓點之點與點之間量測最黑部分之 RGB 值之比

|   | 16px | 14px | 12px | 10px | 8px | 6px |
|---|------|------|------|------|-----|-----|
| R | 202  | 216  | 211  | 206  | 202 | 177 |
| G | 210  | 218  | 218  | 212  | 211 | 190 |
| B | 213  | 224  | 224  | 219  | 226 | 198 |

RGB 單位：灰階(GL)

C 組

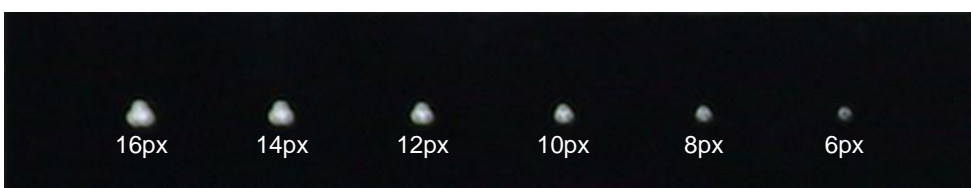


圖 17 三點排列下距離 200cm 所拍之照片

表 16 各大小圓點之點與點之間量測最黑部分之 RGB 值之比

|   |      |      |      |      |     |     |
|---|------|------|------|------|-----|-----|
|   | 16px | 14px | 12px | 10px | 8px | 6px |
| R | 224  | 223  | 204  | 192  | 139 | 109 |
| G | 230  | 231  | 204  | 204  | 156 | 114 |
| B | 242  | 244  | 230  | 220  | 174 | 113 |

RGB 單位：灰階(GL)

由以上三組相機模仿人眼之 RGB 值發現在不同距離下所混合成一  
點的圓點大小如下：

距離 100cm 所拍:6px，

距離 150cm 所拍:14px，

距離 200cm 所拍:16px。

(2) 四小圓白點為一組

由“(一) 分析兩亮點之大小與觀測距離的關係”之步驟一及步驟  
二即可發現，圓點之大小大約在 16px、14px 或以下才有重合成一圓點  
的感覺，因此，此步驟之實驗由 16px 往下延伸，試著尋找符合瑞利準  
則之條件者(如圖 18)。完成此圖後，以相機模仿人眼以不同距離(A:100cm  
B:150cm C:200cm)作觀察、拍攝後再以 Photoshop 之 RGB 值作分析處理。

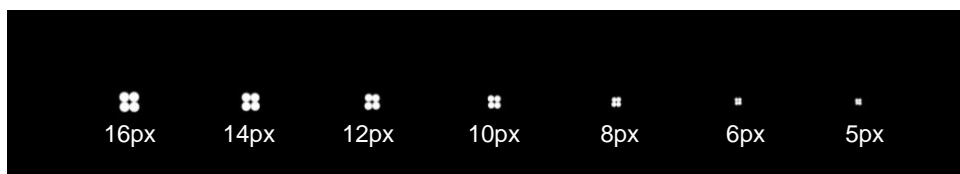


圖 18 四小圓點為一組之點距離

表 17 各大小圓點之點與點之間量測最黑部分之 RGB 值之比

|   |      |      |      |      |     |     |     |
|---|------|------|------|------|-----|-----|-----|
|   | 16px | 14px | 12px | 10px | 8px | 6px | 5px |
| R | 0    | 0    | 0    | 0    | 47  | 105 | 137 |
| G | 0    | 0    | 0    | 0    | 47  | 105 | 137 |
| B | 0    | 0    | 0    | 0    | 47  | 105 | 137 |

RGB 單位：灰階(GL)



由表 17 可看出：當圓點為 5px 以下才會使兩圓點間之空隙填滿白色，因此，決定於分析彩色三點 RGB 時(為四點時)採用 5px 之圓點大小。若使用相機模擬人眼，距離不同的結果亦不同。

A 組

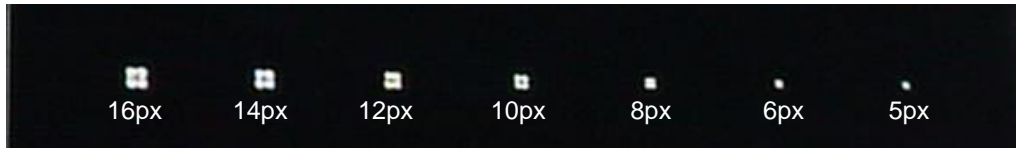


圖 19 四點排列下距離 100cm 所拍之照片

表 18 各大小圓點之點與點之間量測最黑部分之 RGB 值之比

|   | 16px | 14px | 12px | 10px | 8px | 6px | 5px |
|---|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| R | 167  | 173  | 215  | 220  | 253 | 251 | 255 |
| G | 172  | 177  | 215  | 220  | 255 | 253 | 255 |
| B | 166  | 188  | 209  | 222  | 250 | 253 | 248 |

RGB 單位：灰階(GL)

B 組

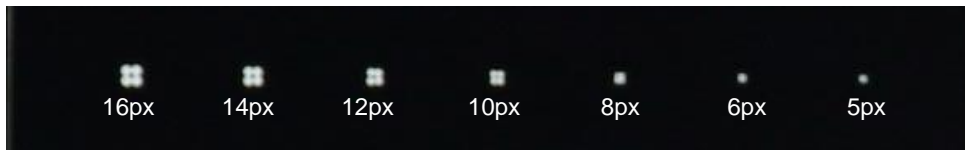


圖 20 四點排列下距離 150cm 所拍之照片

表 19 各大小圓點之點與點之間量測最黑部分之 RGB 值之比

|   | 16px | 14px | 12px | 10px | 8px | 6px | 5px |
|---|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| R | 155  | 174  | 172  | 192  | 201 | 180 | 172 |
| G | 166  | 186  | 186  | 199  | 211 | 184 | 181 |
| B | 152  | 172  | 187  | 207  | 203 | 188 | 196 |

RGB 單位：灰階(GL)

## C 組

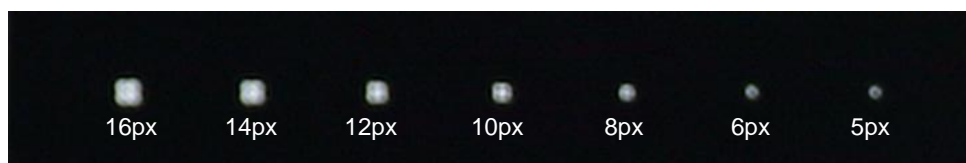


圖 21 四點排列下距離 200cm 所拍之照片

表 20 各大小圓點之點與點之間量測最黑部分之 RGB 值之比

|   | 16px | 14px | 12px | 10px | 8px | 6px | 5px |
|---|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| R | 200  | 225  | 225  | 224  | 181 | 103 | 98  |
| G | 21   | 233  | 235  | 228  | 190 | 119 | 103 |
| B | 219  | 235  | 244  | 237  | 207 | 135 | 123 |

RGB 單位：灰階(GL)

由以上三組相機模仿人眼之 RGB 值發現在不同距離下所混合成一  
點的圓點大小如下：

距離 100cm 所拍:5x，

距離 150cm 所拍:8x，

距離 200cm 所拍:10x。

第一大項“(一)分析兩亮點之大小、距離與觀測距離的關係”在套用瑞利準則(Rayleigh criterion)後決定：當分析彩色三點(為三點時)RGB 時採用 10px 之圓點大小，當分析彩色三點 RGB 時(為四點時)採用 5px 之圓點大小。

## 二、分析三原色點之比例及觀測距離對混色效果之影響

### (一) 分析三原色點之比例對混色效果之影響

#### 1. 文獻探討：CIE-XYZ 光譜三刺激值

CIE-XYZ 光譜三刺激值是由 CIE-RGB 光譜三刺激值經過光譜色度坐

標之間的轉換得到的，記為  $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ 。為了直觀的表示顏色的亮度，CIE 規定  $\bar{y}(\lambda) = V(\lambda)$ ，因此，不僅表達待配色（等能光譜色）中綠原色的數量，而且還表示待配色色光的亮度，用於計算顏色的亮度特性。由於  $\bar{y}(\lambda)$  符合明視光譜光視效率函數，所以 CIE-XYZ 光譜三刺激值  $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$  又稱為 "CIE 1931 標準色度觀察者光譜三刺激值"，簡稱 "CIE 標準色度觀察者"，在物體色色度值的計算中代表人眼的顏色視覺特徵參數。由色度坐標的定義知：

$$x(\lambda) = \bar{x}(\lambda) / [\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda)]$$

$$y(\lambda) = \bar{y}(\lambda) / [\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda)]$$

$$z(\lambda) = \bar{z}(\lambda) / [\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda)]$$

且  $x(\lambda) + y(\lambda) + z(\lambda) = 1$   
 又因為規定  $\bar{y}(\lambda) = V(\lambda)$   
 所以光譜三刺激值的計算公式為：

$$\bar{x}(\lambda) = x(\lambda) V(\lambda) / y(\lambda) +$$

$$\bar{y}(\lambda) = V(\lambda) \dots \dots \dots$$

$$\bar{z}(\lambda) = z(\lambda) V(\lambda) / y(\lambda) +$$

計算結果如圖 24 所示。

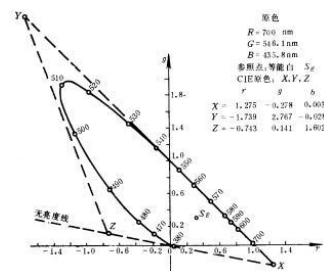


圖 22 CIE rg 色度圖

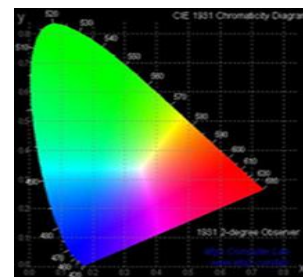


圖 23 CIE1931 色彩之分佈圖

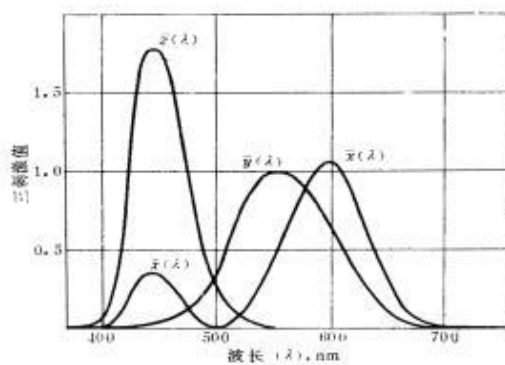


圖 24 光譜三刺激值

## 2.研究過程：

(1)繪圖：使用 PHOTOSHOP 繪圖，以寬度(W) 5 英寸，高度(H) 7 英寸，解析度(R) 300 像素/英寸(ppi)，色彩模式(M)為 RGB、8 位元之白色的背景內容(C)為底色。實驗時，以背景為黑色，減少觀測時之干擾。在黑色背景上訂出標準線後，以紅色、綠色、藍色小圓點，改變其 RGB 的灰階(GL)之比例，完成此圖。

(2)選擇繪圖時點得直徑大小：由“一、分析兩亮點之大小、距離與觀測距離的關係”得知:若改變點與點之間之距離會影響圓點之大小，因此，此實驗於三圓點為一組時，紅色、綠色、藍色小圓點為 10px；於四圓點為一組時，紅色、綠色、藍色、白色小圓點為 5px，以確保其混色效果。

(3)選擇繪圖條件：由於改變比例時，雖為同一比例，但卻會因 RGB 的灰階(GL)而導致不同的效果，影響亮度，因此，在選擇 RGB 值時，會依比例最大者調至接近於 RGB 的灰階(GL)為 255。以一般在平面顯示器中最常見的比值(即  $GL_R : GL_G : GL_B = 3 : 7 : 1$ )舉例說明(如圖 25、圖 26)，此時，選用圖 25 為標準。



圖 25  $GL_R : GL_G : GL_B = 108 : 252 : 36$

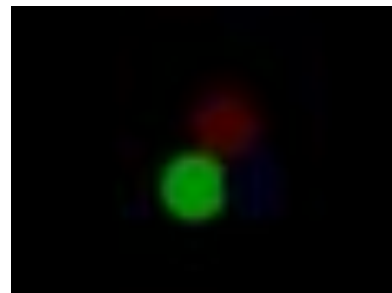


圖 26  $GL_R : GL_G : GL_B = 60 : 140 : 20$

(4)實驗：實驗中，使用 Photoshop 測量其 RGB 的灰階(GL)以及使用可攜式多光源觀測光箱中三種不同光源(A 光源、D65 燈管、近色溫 4000k 之一般燈管)為光源，拍攝在不同距離(100cm、150cm、200cm、250cm、300cm 及 350cm)下之變化。為了實驗的精確度及顧慮到點與點之間之距離，分為三小圓點(紅色、綠色、藍色)為一組及四小圓點(紅色、綠色、藍色、白色)為一組兩項實驗。

(5)分析：以 SR-UL1R 超低輝度分光放射計測量色座標 (xy Chromaticity Diagram,Colorimety) 及 頻譜 (Spectral Radiance Diagram,Spectral Radiance(ABS))紀錄並分析。

### 3.研究結果：

實驗中，使用 Photoshop 測量其 RGB 的灰階(GL)以及使用利用可攜式多光源觀測光箱中三種不同光源(A 光源、D65 燈管及近色溫 4000k 之一般燈管)為光源，拍攝在不同距離下之變化。實驗時發現，A 光源及近色溫 4000k 之一般燈管，會有色溫的問題；而 D65 燈管則是物理實驗中最常使用的燈管，所以在實驗中選擇以之實驗的結果。

(1)三小圓點(紅色、綠色、藍色)為一組

三小圓點(紅色、綠色、藍色)為一組，使三色混合成紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫色等十三色，以之比較，再組成一個面觀察。

完成此圖後，以相機模仿人眼以不同距離(A:100cm B:150cm C:200cm D:250cm E:300cm F:350cm)作觀察、拍攝後再以 Photoshop 之 RGB 值作分析處理。

表 21 各組別之距離

| 組別     | A 組 | B 組 | C 組 | D 組 | E 組 | F 組 |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 拍攝(cm) | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 |

下圖 27 為 Photoshop 所繪之圖。

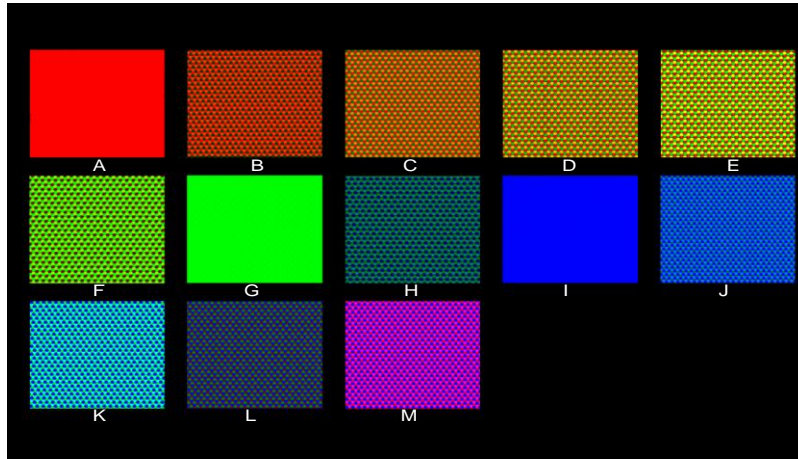


圖 27 不同色塊設計圖

表 22 三小圓點組成面之 RGB 數值

|   |     |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
|   | A   | B   | C   | D   | E   |
| R | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 |
| G | 0   | 64  | 128 | 192 | 255 |
| B | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
|   | F   | G   | H   | I   | J   |
| R | 128 | 0   | 0   | 0   | 0   |
| G | 255 | 255 | 125 | 0   | 128 |
| B | 0   | 0   | 125 | 255 | 255 |
|   | K   | L   | M   |     |     |
| R | 0   | 128 | 255 |     |     |
| G | 255 | 128 | 0   |     |     |
| B | 255 | 255 | 255 |     |     |

RGB 單位：灰階(GL)

若使用相機模擬人眼，距離不同的結果亦不同。

A 組

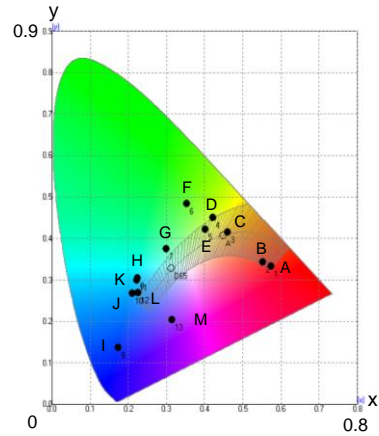
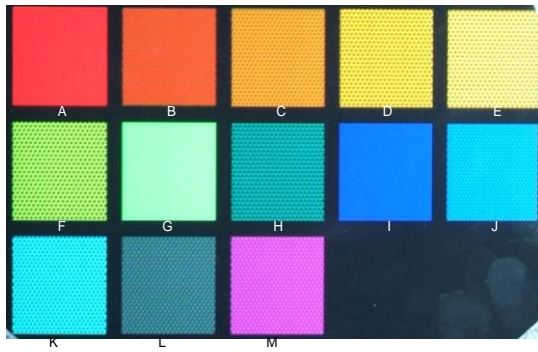


圖 28 三色點組成面之 RGB 數值(a)距離 100cm 所拍之照片 (b)色座標

表 23 三色點組成面之 RGB 數值(100cm)

|   |     |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
|   | A   | B   | C   | D   | E   |
| R | 255 | 250 | 247 | 255 | 253 |
| G | 65  | 94  | 178 | 255 | 252 |
| B | 78  | 56  | 57  | 111 | 169 |
|   | F   | G   | H   | I   | J   |
| R | 125 | 172 | 4   | 16  | 1   |
| G | 203 | 255 | 188 | 136 | 210 |
| B | 67  | 211 | 188 | 255 | 253 |
|   | K   | L   | M   |     |     |
| R | 48  | 63  | 236 |     |     |
| G | 254 | 147 | 108 |     |     |
| B | 250 | 173 | 255 |     |     |

RGB 單位：灰階(GL)

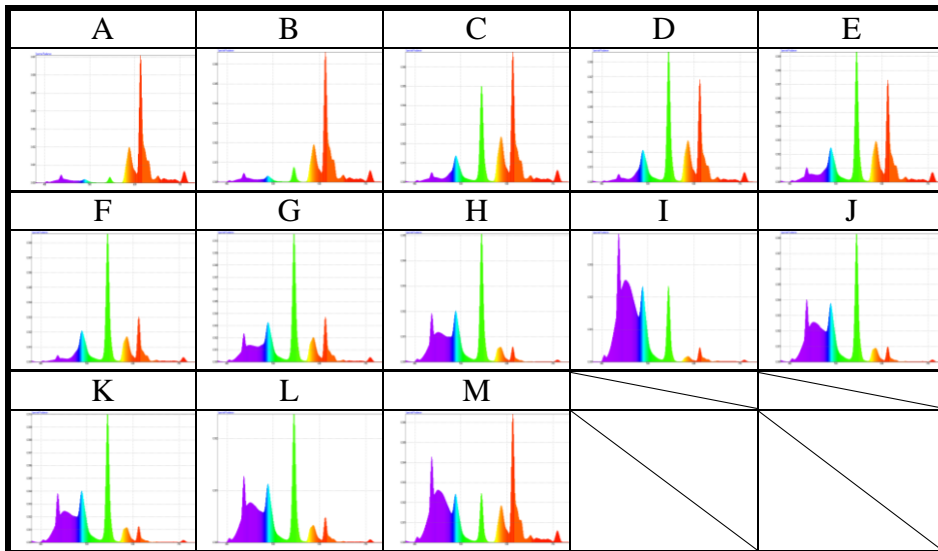


圖 29 三色點組成面之頻譜 橫軸：波長(nm) 縱軸：光強度

B 組

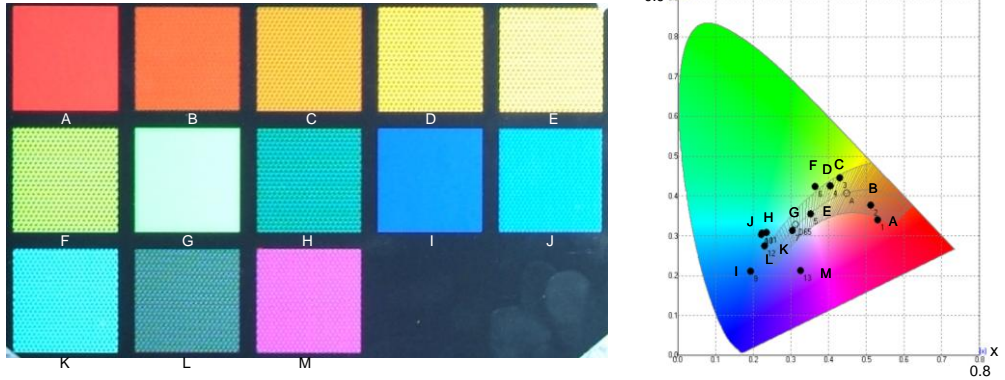


圖 30 三色點組成面之 RGB 數值(a)距離 150cm 所拍之照片 (b)色座標

表 24 三色點組成面之 RGB 數值(150cm)

|   |     |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
|   | A   | B   | C   | D   | E   |
| R | 255 | 255 | 241 | 253 | 243 |
| G | 78  | 123 | 190 | 255 | 242 |
| B | 97  | 75  | 63  | 141 | 185 |
|   | F   | G   | H   | I   | J   |
| R | 187 | 212 | 6   | 16  | 12  |
| G | 239 | 255 | 203 | 167 | 247 |
| B | 131 | 246 | 209 | 255 | 251 |
|   | K   | L   | M   |     |     |
| R | 87  | 84  | 252 |     |     |
| G | 253 | 176 | 137 |     |     |
| B | 253 | 199 | 255 |     |     |

RGB 單位：灰階(GL)

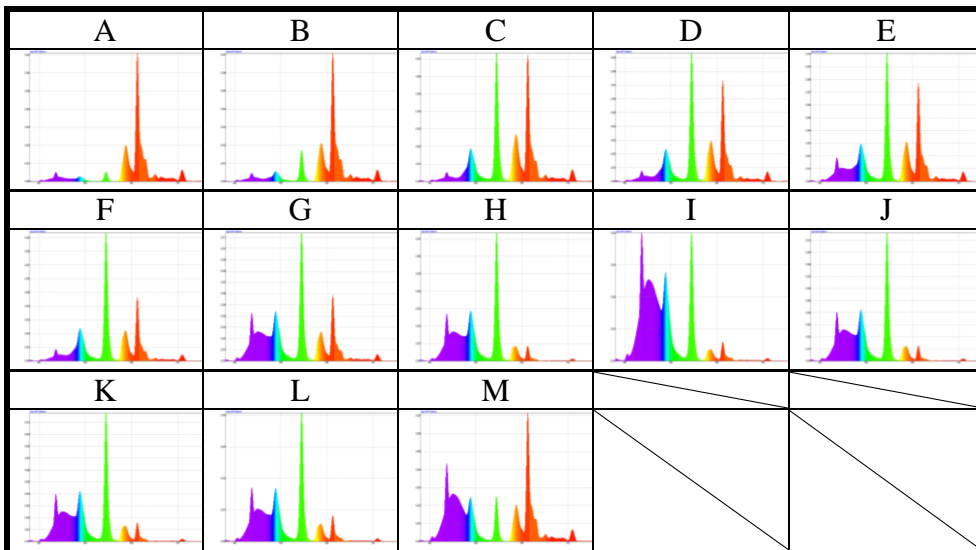


圖 31 三色點組成面之頻譜 橫軸：波長(nm) 縱軸：光強度



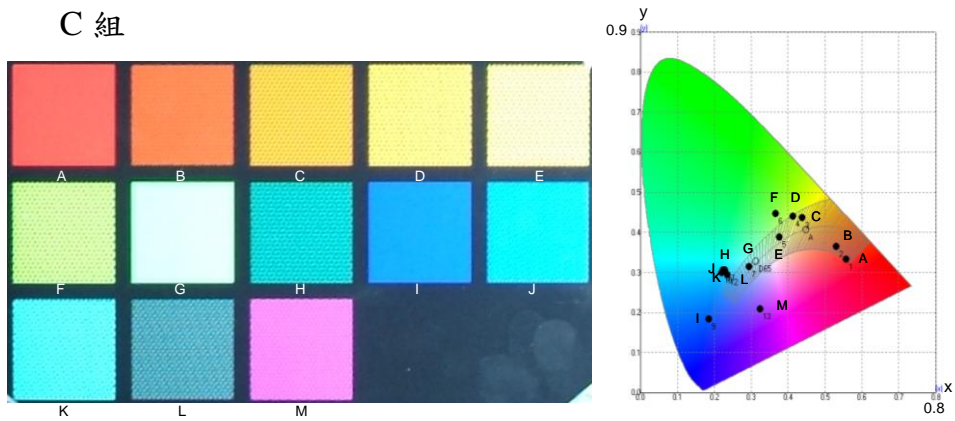


圖 32 三色點組成面之 RGB 數值(a)距離 200cm 所拍之照片 (b)色座標

表 25 三色點組成面之 RGB 數值(200cm)

|   |     |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
|   | A   | B   | C   | D   | E   |
| R | 255 | 254 | 255 | 255 | 252 |
| G | 119 | 139 | 227 | 253 | 252 |
| B | 111 | 84  | 101 | 166 | 216 |
|   | F   | G   | H   | I   | J   |
| R | 226 | 226 | 0   | 22  | 22  |
| G | 255 | 255 | 205 | 183 | 254 |
| B | 186 | 254 | 209 | 255 | 255 |
|   | K   | L   | M   |     |     |
| R | 91  | 83  | 254 |     |     |
| G | 253 | 176 | 160 |     |     |
| B | 255 | 194 | 254 |     |     |

RGB 單位：灰階(GL)

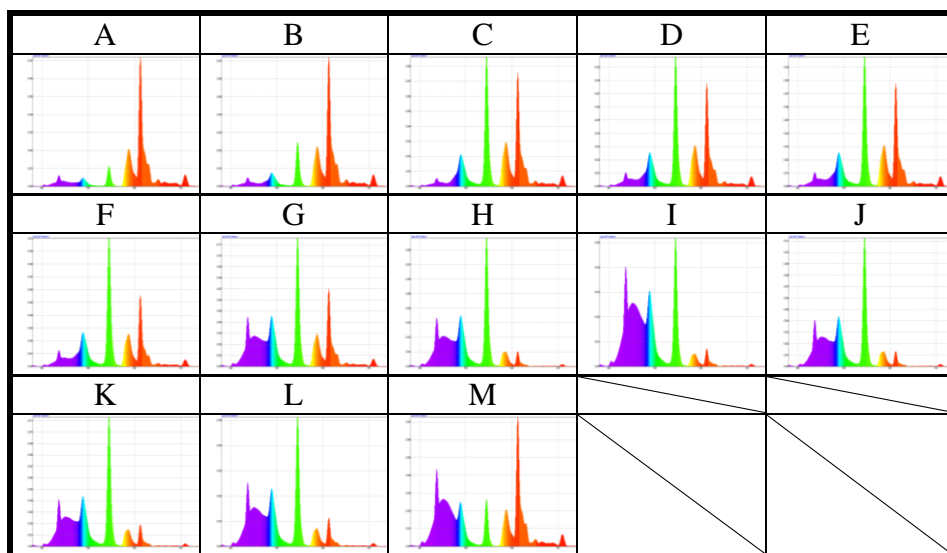


圖 33 三色點組成面之頻譜 橫軸：波長(nm) 縱軸：光強度

D 組

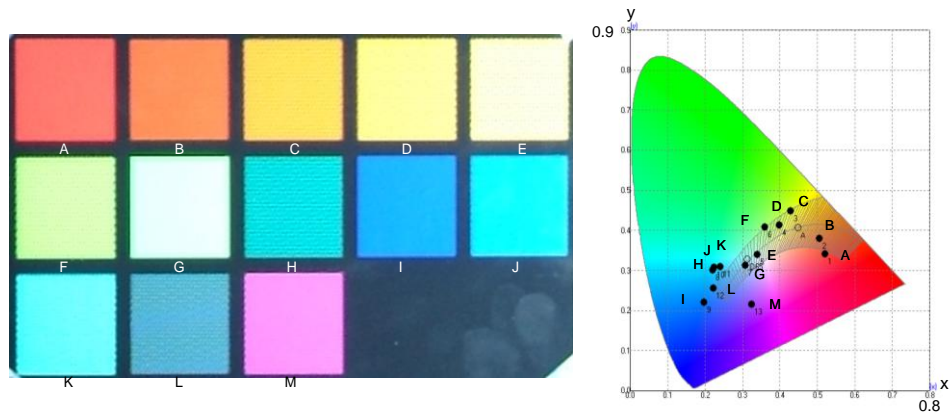


圖 34 三色點組成面之 RGB 數值(a)距離 250cm 所拍之照片 (b)色座標

表 26 三色點組成面之 RGB 數值(250cm)

|   | A   | B   | C   | D   | E   |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| R | 254 | 255 | 255 | 254 | 254 |
| G | 121 | 151 | 230 | 255 | 255 |
| B | 112 | 98  | 101 | 159 | 231 |
|   | F   | G   | H   | I   | J   |
| R | 217 | 236 | 7   | 25  | 20  |
| G | 253 | 254 | 236 | 188 | 254 |
| B | 181 | 254 | 242 | 255 | 253 |
|   | K   | L   | M   |     |     |
| R | 107 | 87  | 254 |     |     |
| G | 255 | 184 | 157 |     |     |
| B | 255 | 227 | 254 |     |     |

RGB 單位：灰階(GL)

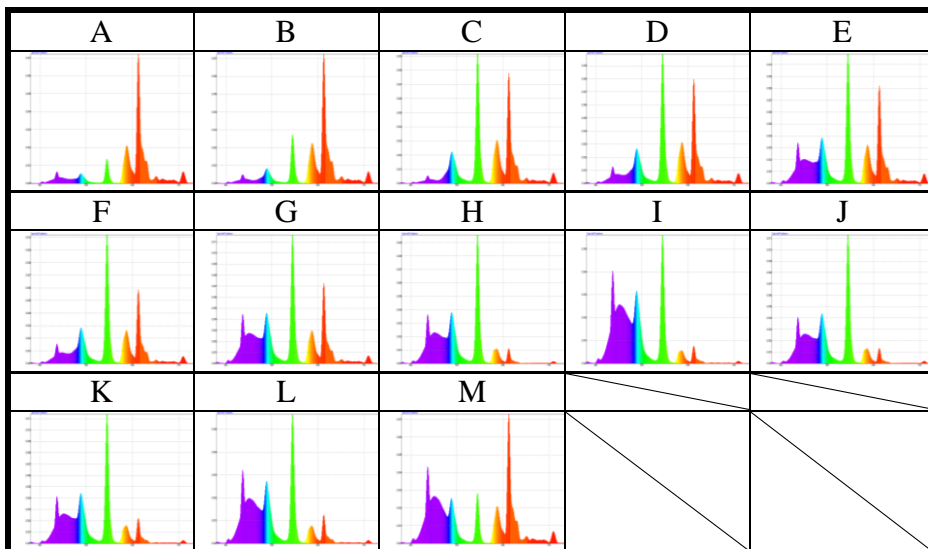


圖 35 三色點組成面之頻譜 橫軸：波長(nm) 縱軸：光強度

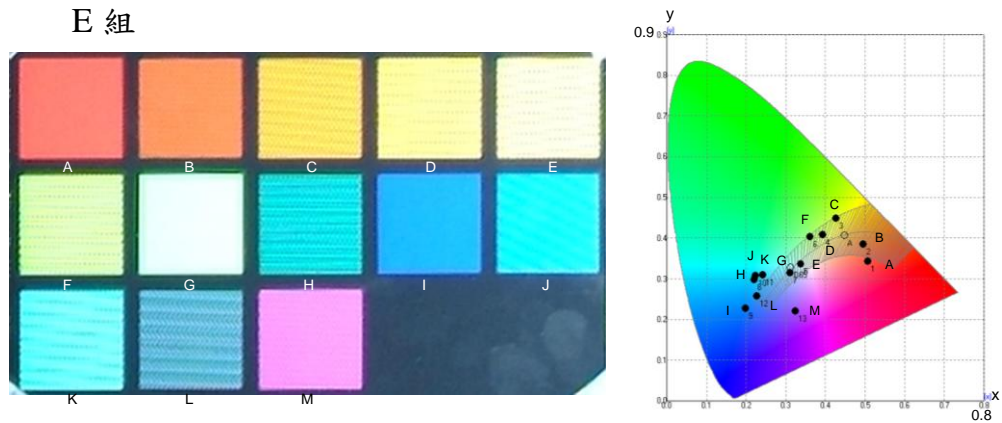


圖 36 三色點組成面之 RGB 數值(a)距離 300cm 所拍之照片 (b)色座標

表 27 三色點組成面之 RGB 數值(300cm)

|   |     |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
|   | A   | B   | C   | D   | E   |
| R | 255 | 255 | 252 | 254 | 253 |
| G | 131 | 154 | 227 | 255 | 255 |
| B | 119 | 100 | 100 | 175 | 234 |
|   | F   | G   | H   | I   | J   |
| R | 255 | 237 | 3   | 22  | 21  |
| G | 255 | 255 | 232 | 185 | 255 |
| B | 191 | 255 | 237 | 254 | 255 |
|   | K   | L   | M   |     |     |
| R | 115 | 97  | 255 |     |     |
| G | 255 | 190 | 159 |     |     |
| B | 255 | 234 | 255 |     |     |

RGB 單位：灰階(GL)

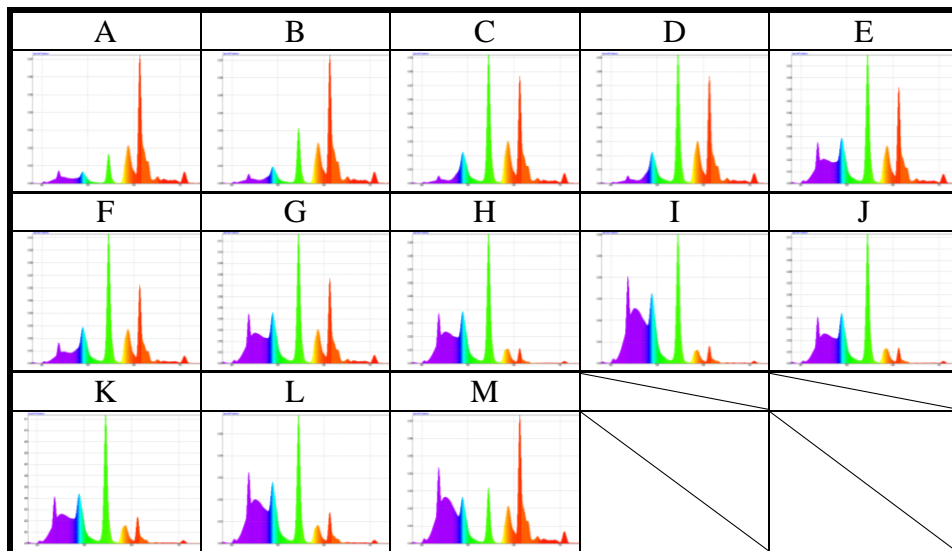


圖 37 三色點組成面之頻譜 橫軸：波長(nm) 縱軸：光強度

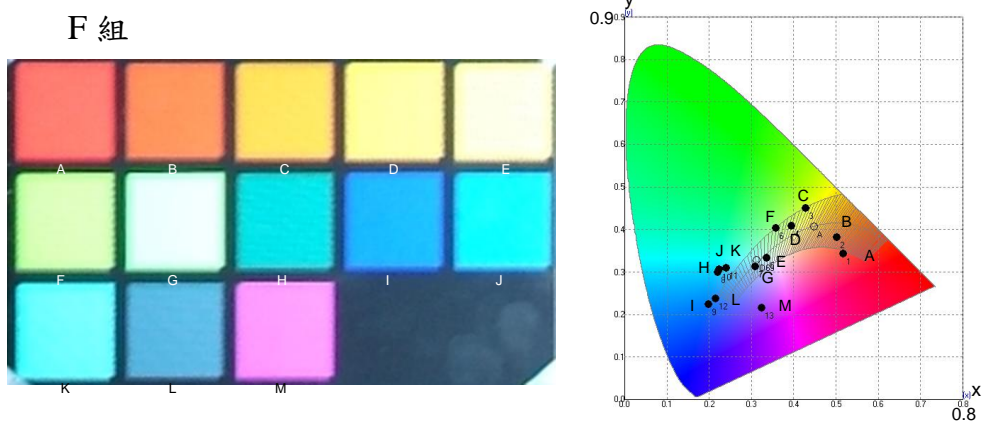


圖 38 三色點組成面之 RGB 數值(a)距離 350cm 所拍之照片 (b)色座標

表 28 三色點組成面之 RGB 數值(350cm)

|   | A   | B   | C   | D   | E   |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| R | 254 | 255 | 255 | 255 | 253 |
| G | 126 | 152 | 229 | 255 | 255 |
| B | 115 | 94  | 93  | 175 | 234 |
|   | F   | G   | H   | I   | J   |
| R | 255 | 237 | 3   | 22  | 21  |
| G | 255 | 255 | 232 | 185 | 255 |
| B | 191 | 255 | 237 | 254 | 255 |
|   | K   | L   | M   |     |     |
| R | 115 | 97  | 255 |     |     |
| G | 255 | 190 | 159 |     |     |
| B | 255 | 234 | 255 |     |     |

RGB 單位：灰階(GL)

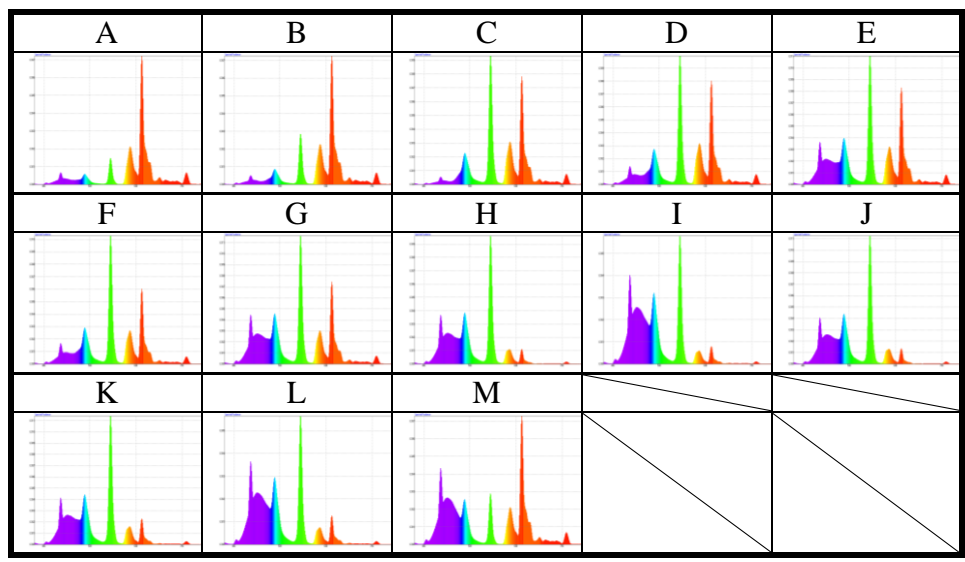
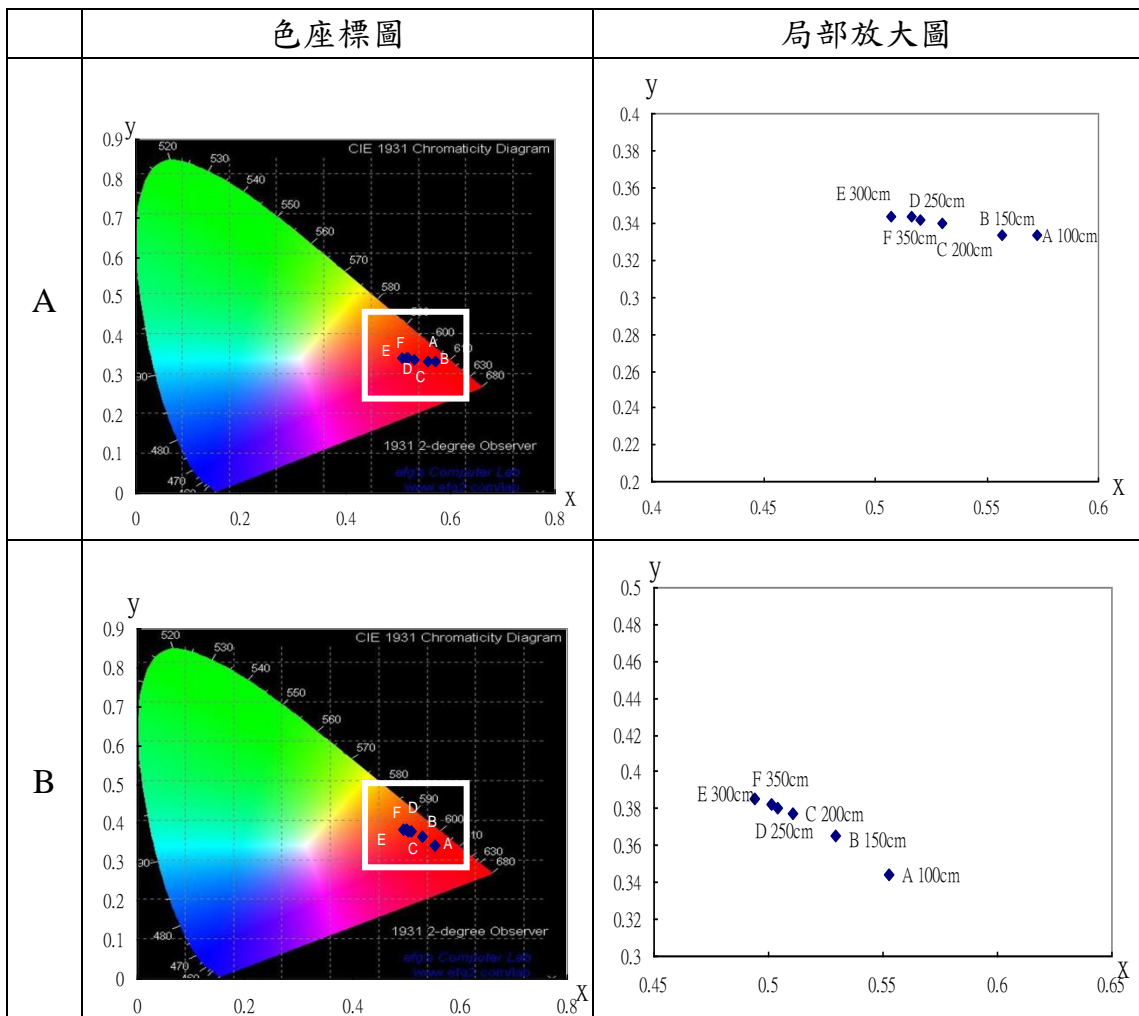


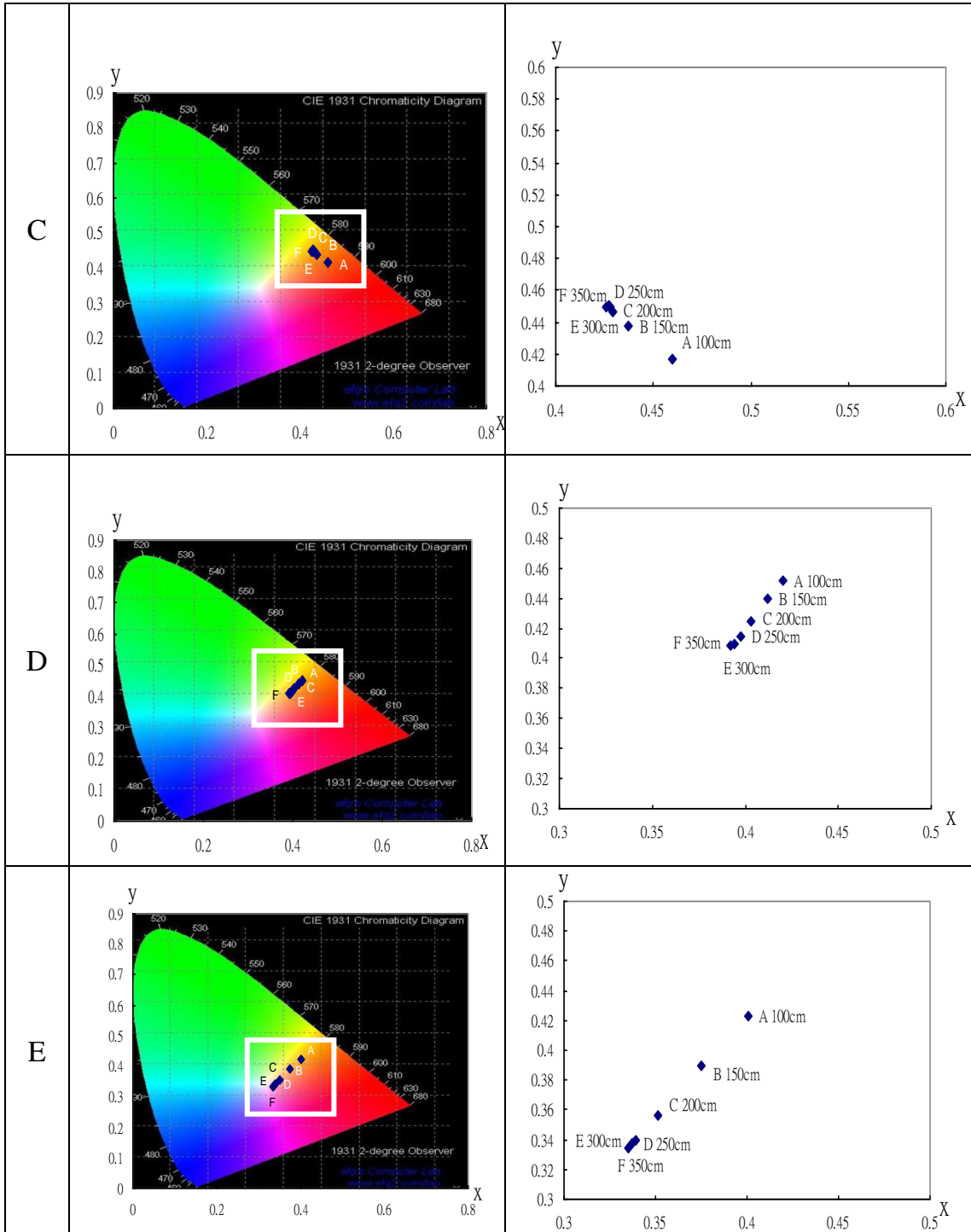
圖 39 三色點組成面之頻譜 橫軸：波長(nm) 縱軸：光強度

對於同一種色塊，將上述不同距離所量測之頻譜，經由計算將之轉換成色座標後，會發現不同距離的確會產生不同的變化，如下表 25。隨著距離遠近，有越來越亮的趨勢，色飽和度越來越低，不同顏色也有不同的色彩表現。

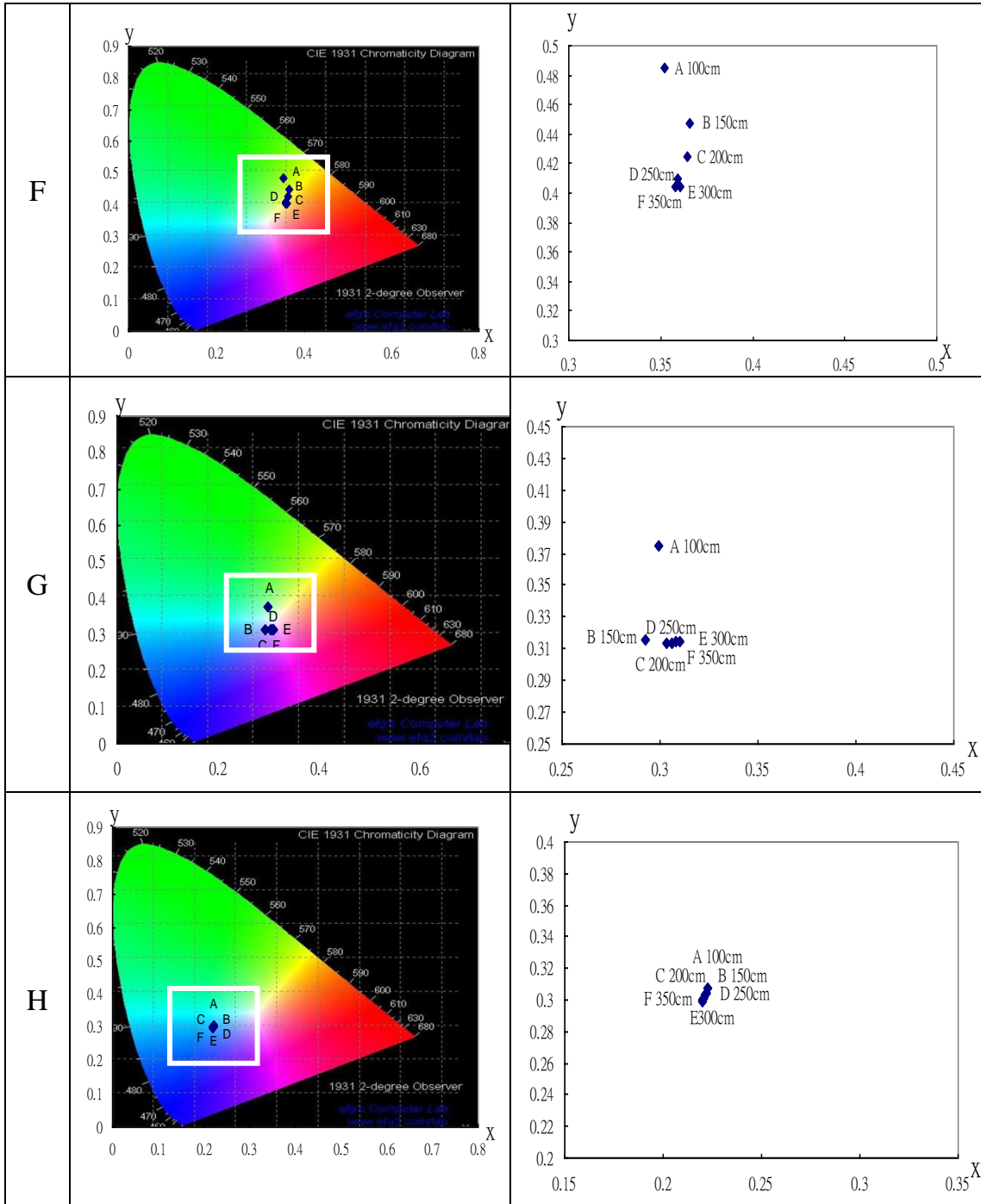
對於不同觀測距離下的色彩變化，從 RGB 灰階值、頻譜圖與色座標皆可看出不同的差異：於 1 公尺，點為 10px 大小時，恰可分辨，而距離 2.5 公尺後在色座標圖中所表示的位置越來越密，顏色差異變得更不明顯，亦即接近混色的最終結果。

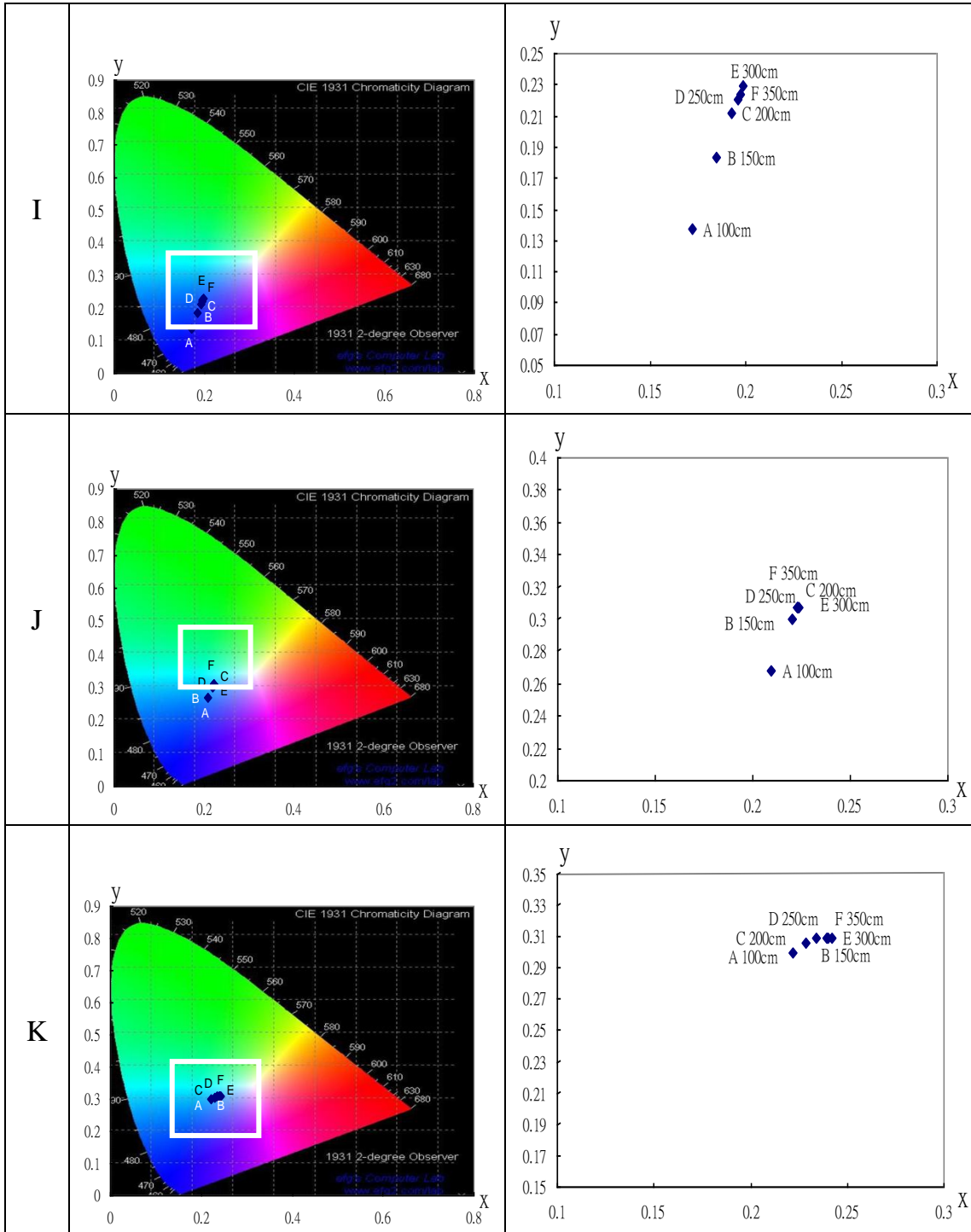
表 29 此實驗中不同色塊之色座標圖



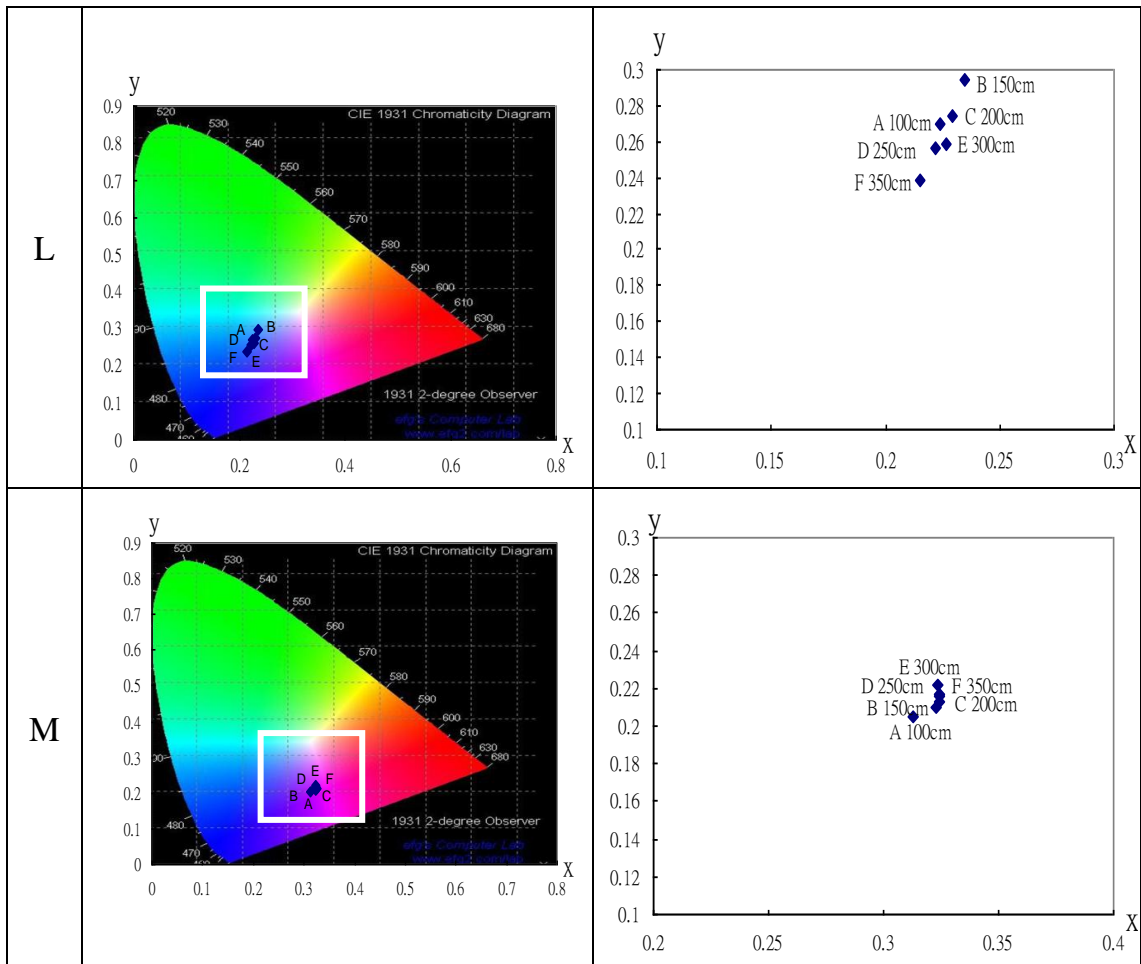












此實驗所設計的 13 色中，由色座標可看出：

距離越遠，改變越來越少：A、B、C、E、F、G、I、J 改變較少或等量改變：D、H、K、L、M，亦即顏色會隨著“距離越遠，改變越少”的顏色作變化，例如：距離越遠，E、F 及 I 就應放少一點以維持圖畫之平衡，另外，由圖中亦可看出若距離越遠，越容易偏 E、F 及 I 顏色，因此，畫家在作畫時，若考慮觀看者的觀察距離，就應隨著距離改變色點的比例多寡或排列。

(2)四小圓點 (紅色、綠色、藍色、白色) 為一組

此時，利用四小圓點(紅色、綠色、藍色、白色)為一組，使三色混合成紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫色等十三色，在加上 RGB 的灰階(GL)值皆為 255 的白色，以之比較，再組成一個面觀察。

完成此圖後，以相機模仿人眼以不同距離作觀察、拍攝後再以 Photoshop 之 RGB 值作分析處理。

表 30 各組別之距離

| 組別     | A 組 | B 組 | C 組 | D 組 | E 組 | F 組 |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 拍攝(cm) | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 |

下圖 40 為 Photoshop 所繪之圖。

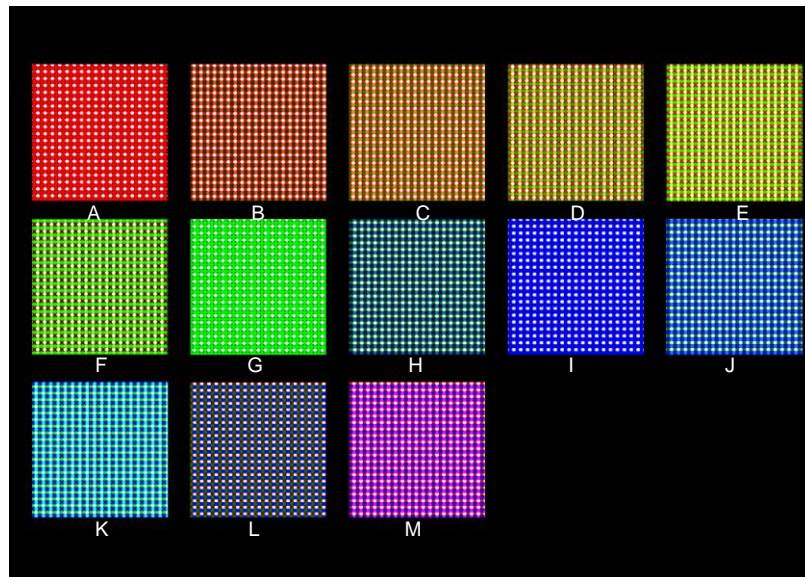


圖 40 不同色塊設計圖

表 31 四小圓點組成面之 RGB 數值

|   |                 |     |     |     |     |     |
|---|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|   |                 | A   | B   | C   | D   | E   |
| R |                 | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 |
| G |                 | 0   | 64  | 128 | 192 | 255 |
| B |                 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| W | GL <sub>R</sub> | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 |
|   | GL <sub>G</sub> | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 |
|   | GL <sub>B</sub> | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 |
|   |                 | F   | G   | H   | I   | J   |
| R |                 | 128 | 0   | 0   | 0   | 0   |
| G |                 | 255 | 255 | 125 | 0   | 128 |
| B |                 | 0   | 0   | 125 | 255 | 255 |
| W | GL <sub>R</sub> | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 |
|   | GL <sub>G</sub> | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 |
|   | GL <sub>B</sub> | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 |
|   |                 | K   | L   | M   |     |     |
| R |                 | 0   | 128 | 255 |     |     |
| G |                 | 255 | 128 | 0   |     |     |
| B |                 | 255 | 255 | 255 |     |     |
| W | GL <sub>R</sub> | 255 | 255 | 255 |     |     |
|   | GL <sub>G</sub> | 255 | 255 | 255 |     |     |
|   | GL <sub>B</sub> | 255 | 255 | 255 |     |     |

RGB 單位：灰階(GL)

A 組

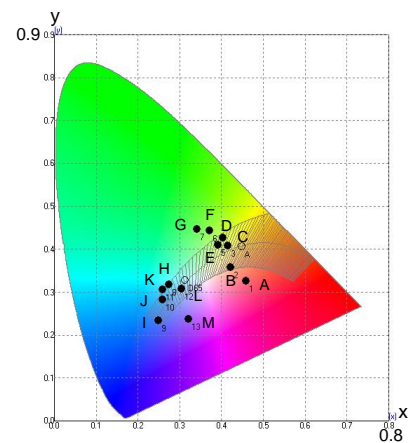
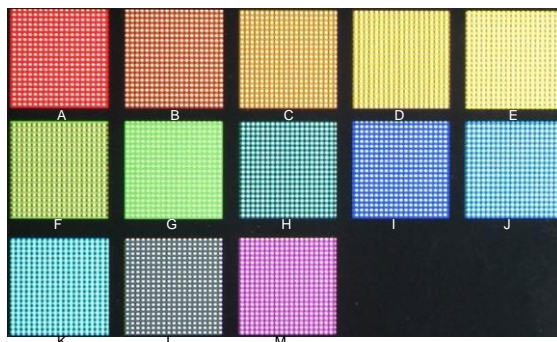


圖 41 四色點組成面之 RGB 數值(a)距離 100cm 所拍之照片 (b)色座標

表 32 四色點組成面之 RGB 數值(100cm)

|   | A   | B   | C   | D   | E   |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| R | 213 | 216 | 248 | 255 | 255 |
| G | 54  | 121 | 212 | 252 | 255 |
| B | 48  | 93  | 138 | 157 | 182 |
|   | F   | G   | H   | I   | J   |
| R | 253 | 151 | 31  | 68  | 119 |
| G | 253 | 234 | 110 | 101 | 193 |
| B | 199 | 130 | 114 | 206 | 232 |
|   | K   | L   | M   |     |     |
| R | 0   | 91  | 173 |     |     |
| G | 89  | 107 | 82  |     |     |
| B | 100 | 97  | 178 |     |     |

RGB 單位：灰階(GL)

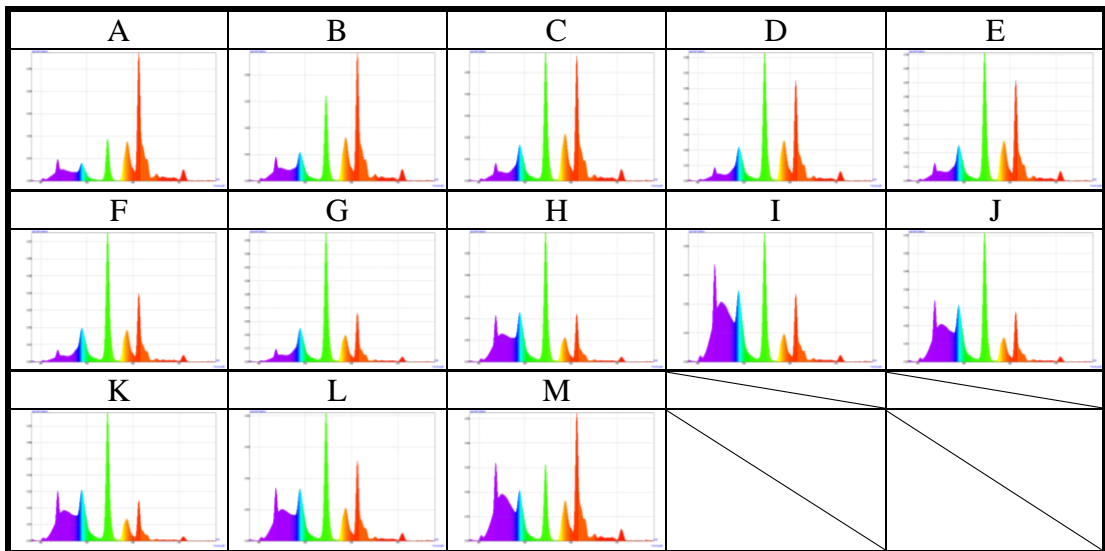


圖 42 四色點組成面之頻譜 橫軸：波長(nm) 縱軸：光強度

B 組

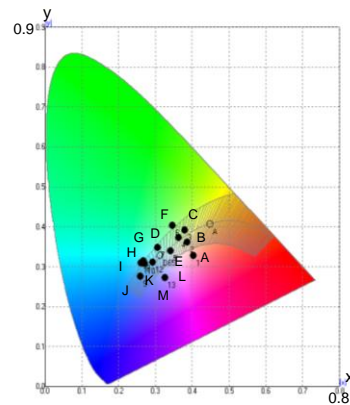
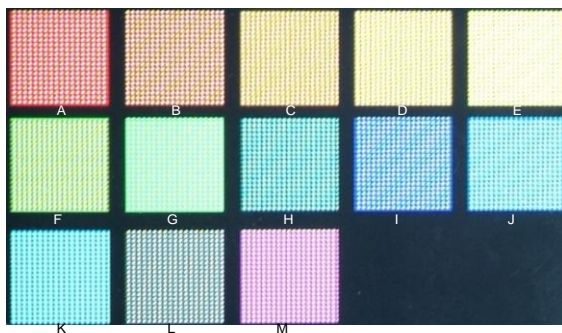


圖 43 四色點組成面之 RGB 數值(a)距離 150cm 所拍之照片 (b)色座標

表 2 表 33 四色點組成面之 RGB 數值(150cm)

|   | A   | B   | C   | D   | E   |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| R | 251 | 168 | 223 | 249 | 255 |
| G | 176 | 121 | 207 | 246 | 254 |
| B | 173 | 113 | 173 | 201 | 236 |
|   | F   | G   | H   | I   | J   |
| R | 191 | 183 | 195 | 159 | 114 |
| G | 238 | 240 | 255 | 241 | 187 |
| B | 186 | 199 | 255 | 255 | 194 |
|   | K   | L   | M   |     |     |
| R | 85  | 128 | 228 |     |     |
| G | 168 | 168 | 174 |     |     |
| B | 170 | 168 | 234 |     |     |

RGB 單位：灰階(GL)

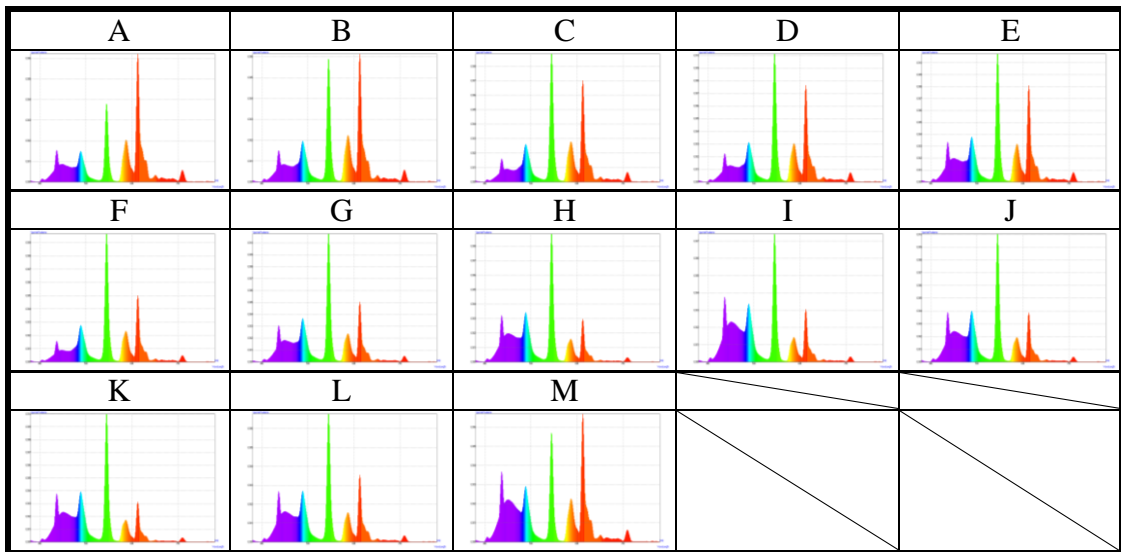


圖 44 四色點組成面之頻譜 橫軸：波長(nm) 縱軸：光強度

C 組

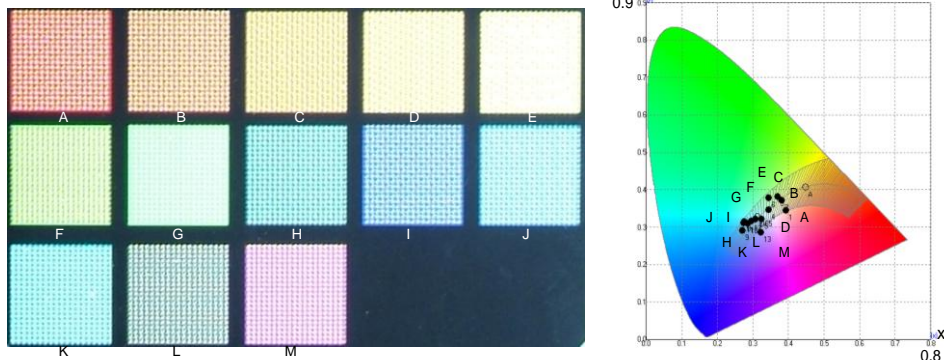


圖 45 四色點組成面之 RGB 數值(a)距離 200cm 所拍之照片 (b)色座標



表 34 四色點組成面之 RGB 數值(200cm)

|   | A   | B   | C   | D   | E   |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| R | 247 | 232 | 255 | 255 | 255 |
| G | 194 | 196 | 254 | 255 | 255 |
| B | 178 | 164 | 206 | 231 | 248 |
|   | F   | G   | H   | I   | J   |
| R | 255 | 233 | 175 | 192 | 212 |
| G | 255 | 254 | 239 | 246 | 254 |
| B | 215 | 245 | 241 | 255 | 252 |
|   | K   | L   | M   |     |     |
| R | 191 | 178 | 190 |     |     |
| G | 255 | 209 | 159 |     |     |
| B | 254 | 203 | 193 |     |     |

RGB 單位：灰階(GL)

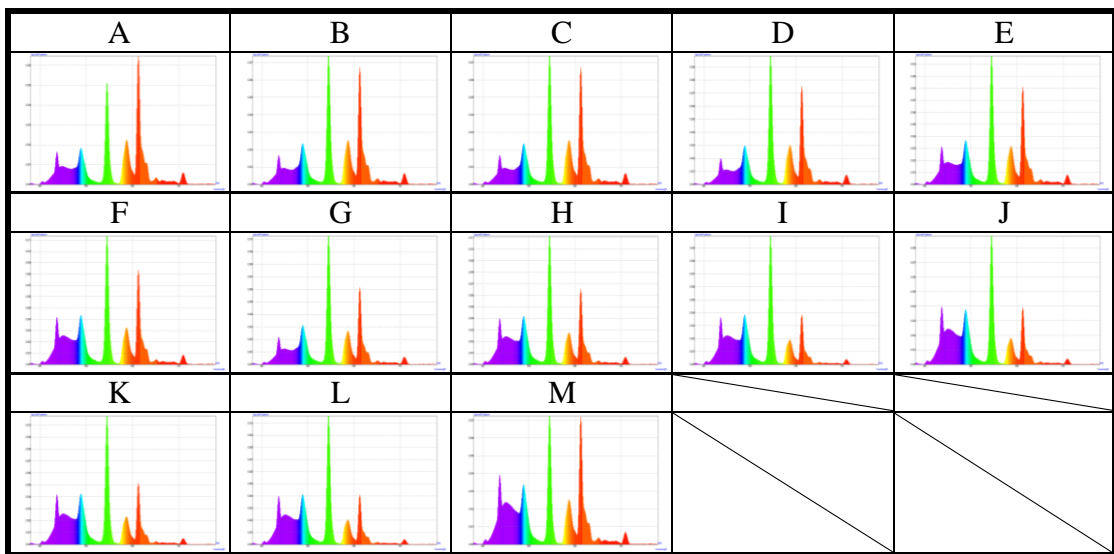


圖 46 四色點組成面之頻譜 橫軸：波長(nm) 縱軸：光強度

D 組

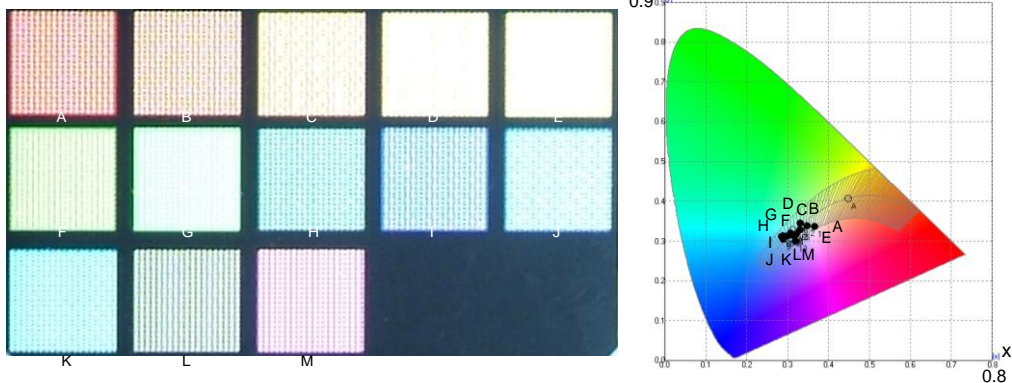


圖 47 四色點組成面之 RGB 數值(a)距離 250cm 所拍之照片 (b)色座標

表 35 四色點組成面之 RGB 數值(250cm)

|   | A   | B   | C   | D   | E   |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| R | 252 | 255 | 245 | 254 | 255 |
| G | 248 | 242 | 242 | 255 | 255 |
| B | 239 | 239 | 237 | 250 | 255 |
|   | F   | G   | H   | I   | J   |
| R | 240 | 244 | 224 | 177 | 220 |
| G | 255 | 254 | 255 | 219 | 250 |
| B | 232 | 253 | 255 | 231 | 250 |
|   | K   | L   | M   |     |     |
| R | 211 | 223 | 250 |     |     |
| G | 255 | 251 | 236 |     |     |
| B | 255 | 251 | 251 |     |     |

RGB 單位：灰階(GL)

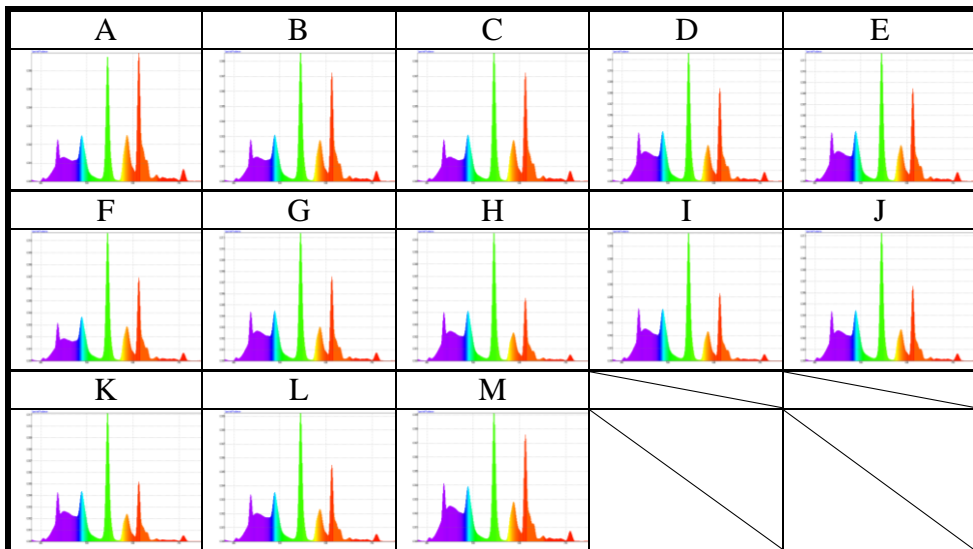


圖 48 四色點組成面之頻譜 橫軸：波長(nm) 縱軸：光強度

E 組

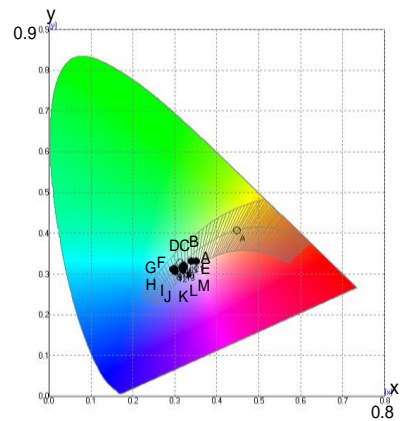
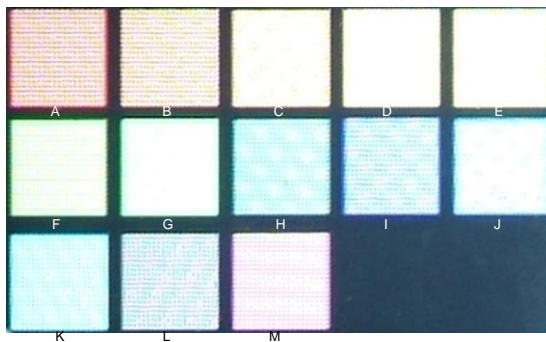


圖 49 四色點組成面之 RGB 數值(a)距離 300cm 所拍之照片 (b)色座標

表 36 四色點組成面之 RGB 數值(300cm)

|   |     |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
|   | A   | B   | C   | D   | E   |
| R | 253 | 255 | 255 | 255 | 255 |
| G | 237 | 252 | 255 | 255 | 255 |
| B | 224 | 251 | 253 | 255 | 255 |
|   | F   | G   | H   | I   | J   |
| R | 245 | 255 | 203 | 238 | 255 |
| G | 255 | 255 | 249 | 254 | 255 |
| B | 250 | 255 | 247 | 254 | 255 |
|   | K   | L   | M   |     |     |
| R | 233 | 210 | 245 |     |     |
| G | 254 | 228 | 241 |     |     |
| B | 255 | 240 | 242 |     |     |

RGB 單位：灰階(GL)

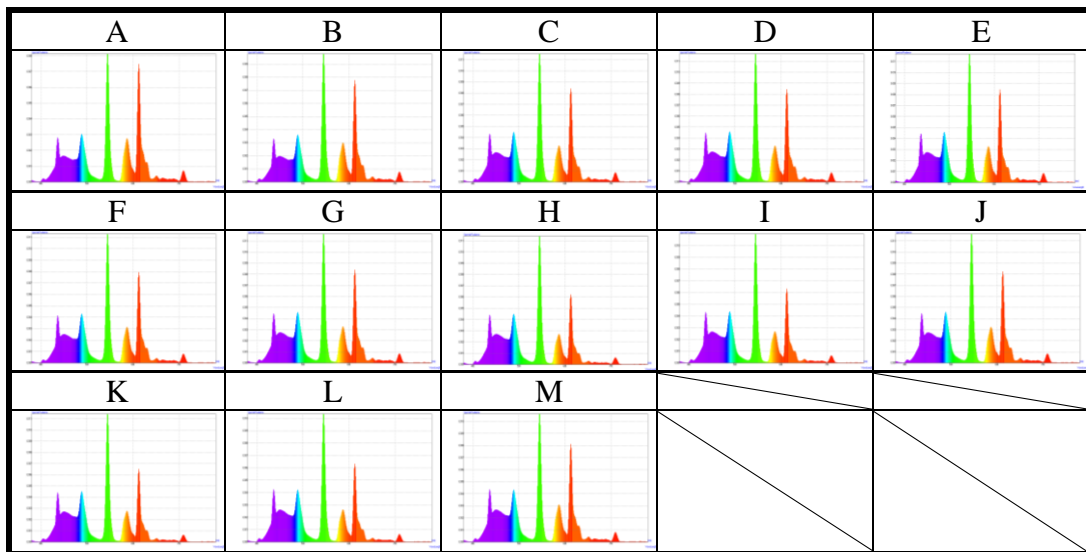


圖 50 四色點組成面之頻譜 橫軸：波長(nm) 縱軸：光強度

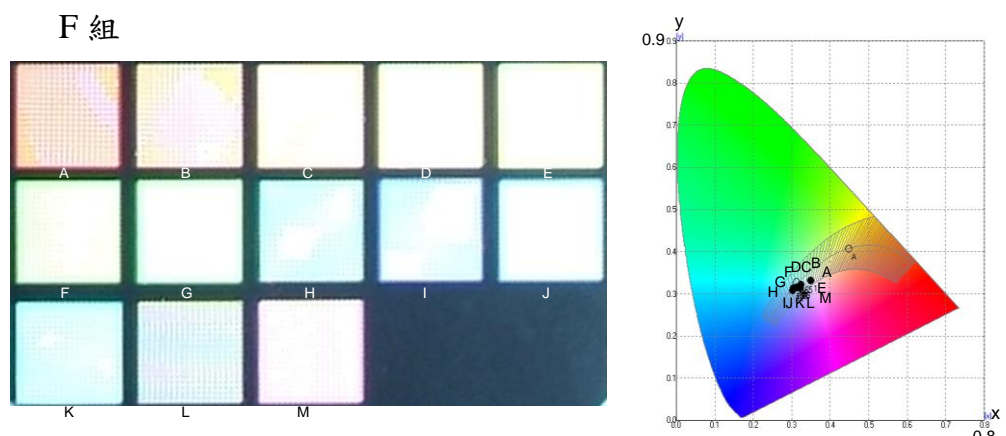


圖 51 四色點組成面之 RGB 數值(a)距離 350cm 所拍之照片 (b)色座標



表 37 四色點組成面之 RGB 數值(350cm)

|   |     |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
|   | A   | B   | C   | D   | E   |
| R | 255 | 242 | 255 | 255 | 255 |
| G | 236 | 230 | 255 | 255 | 255 |
| B | 221 | 242 | 253 | 255 | 255 |
|   | F   | G   | H   | I   | J   |
| R | 255 | 255 | 249 | 255 | 255 |
| G | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 |
| B | 255 | 255 | 255 | 255 | 255 |
|   | K   | L   | M   |     |     |
| R | 236 | 231 | 254 |     |     |
| G | 254 | 252 | 254 |     |     |
| B | 254 | 253 | 254 |     |     |

RGB 單位：灰階(GL)

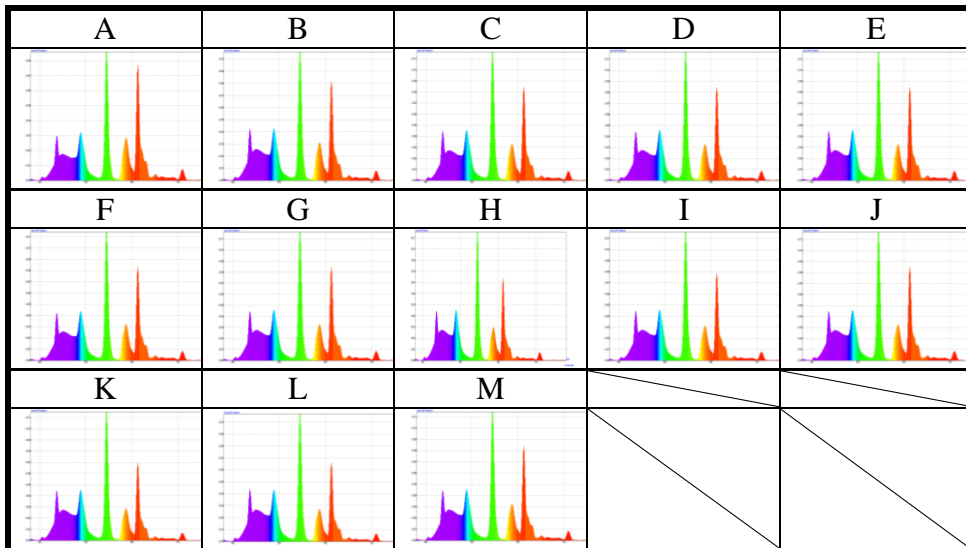
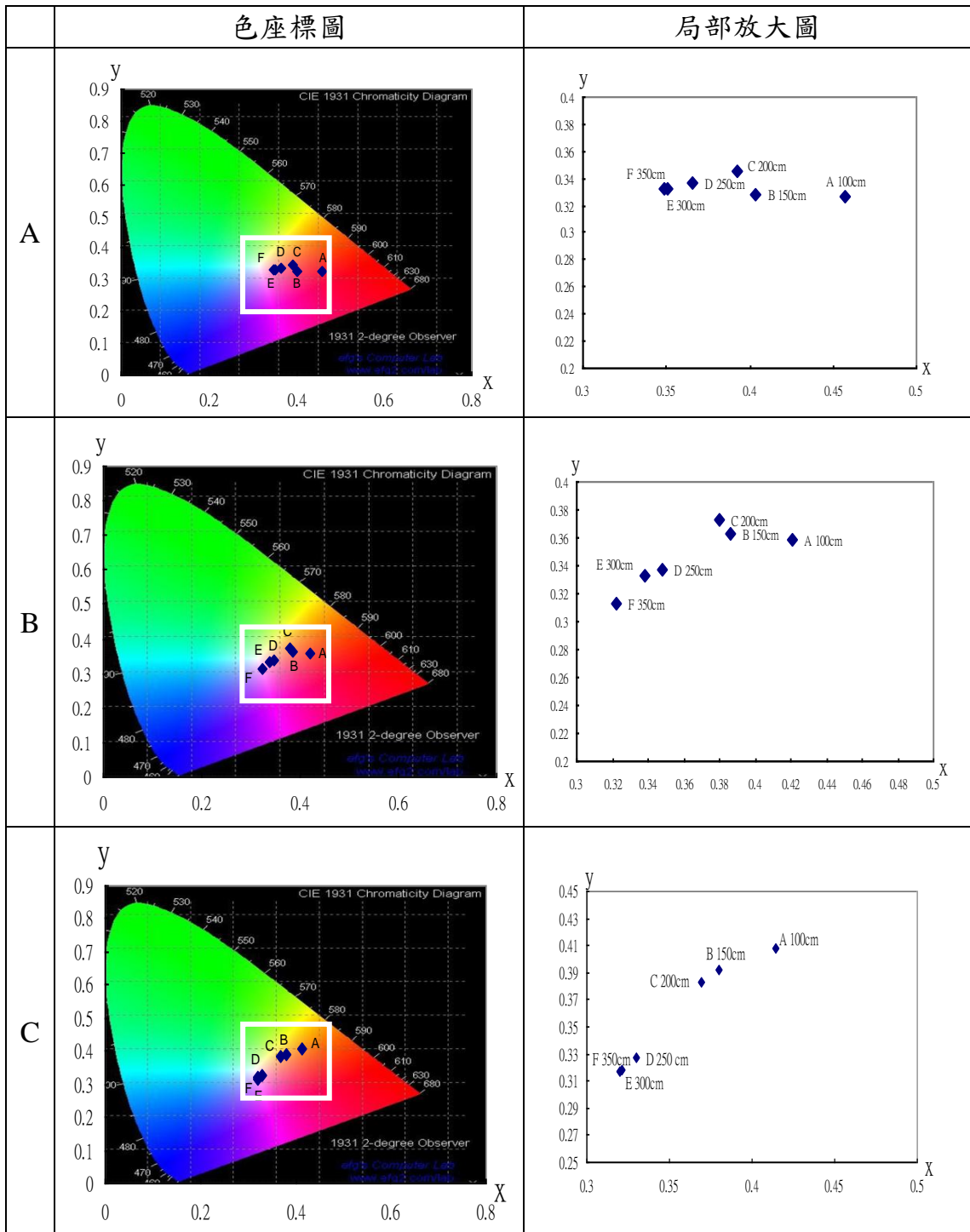


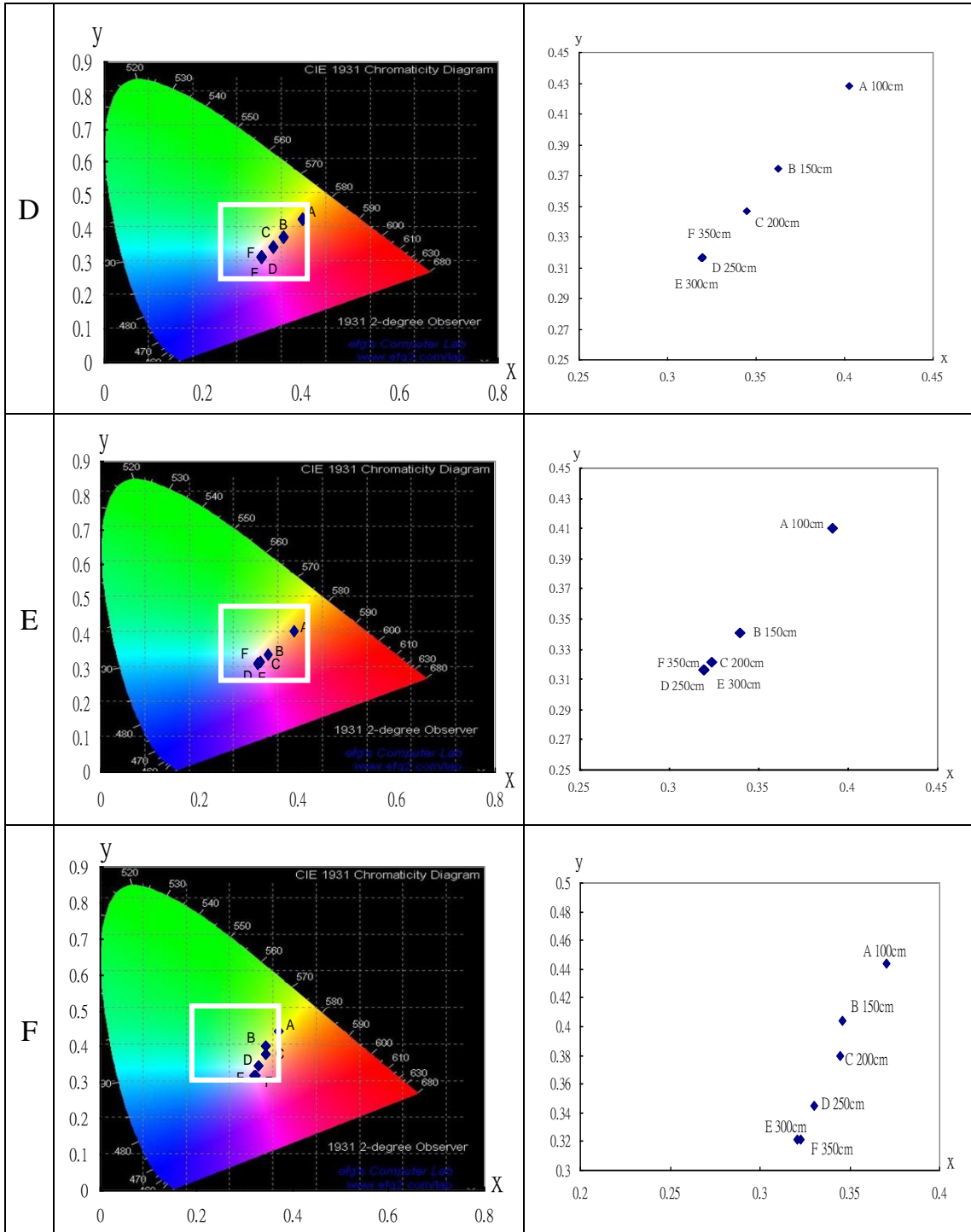
圖 52 四色點組成面之頻譜 橫軸：波長(nm) 縱軸：光強度

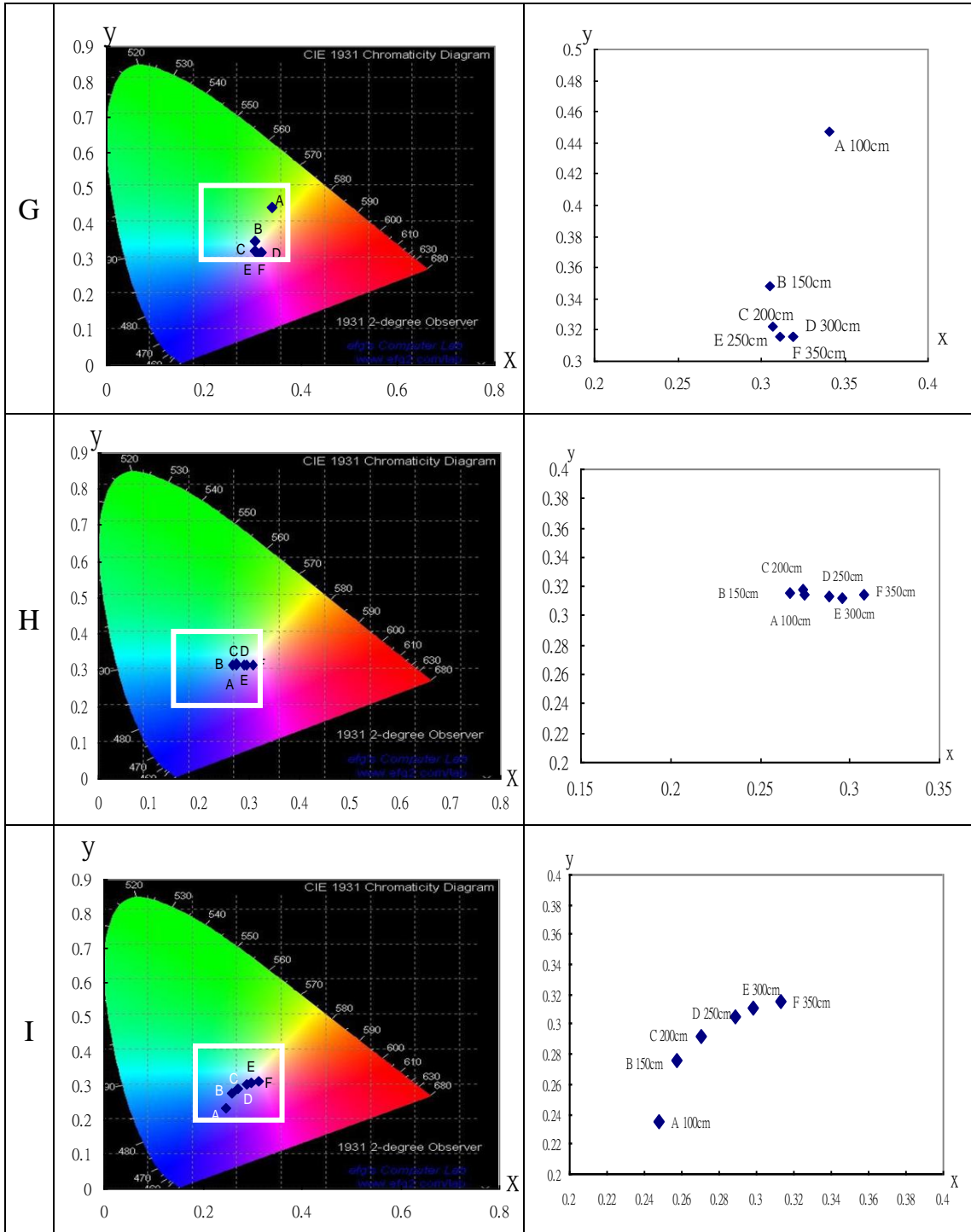
對於同一種色塊，將上述不同距離所量測之頻譜，經由計算將之轉換成色座標後，會發現不同距離的確會產生不同的變化，尤其是四小圓點為一點因為白色的加入，導致變化越不明顯，如下表 38。隨著距離遠近，有越來越亮的趨勢，色飽和度越來越低，不同顏色也有不同的色彩表現。

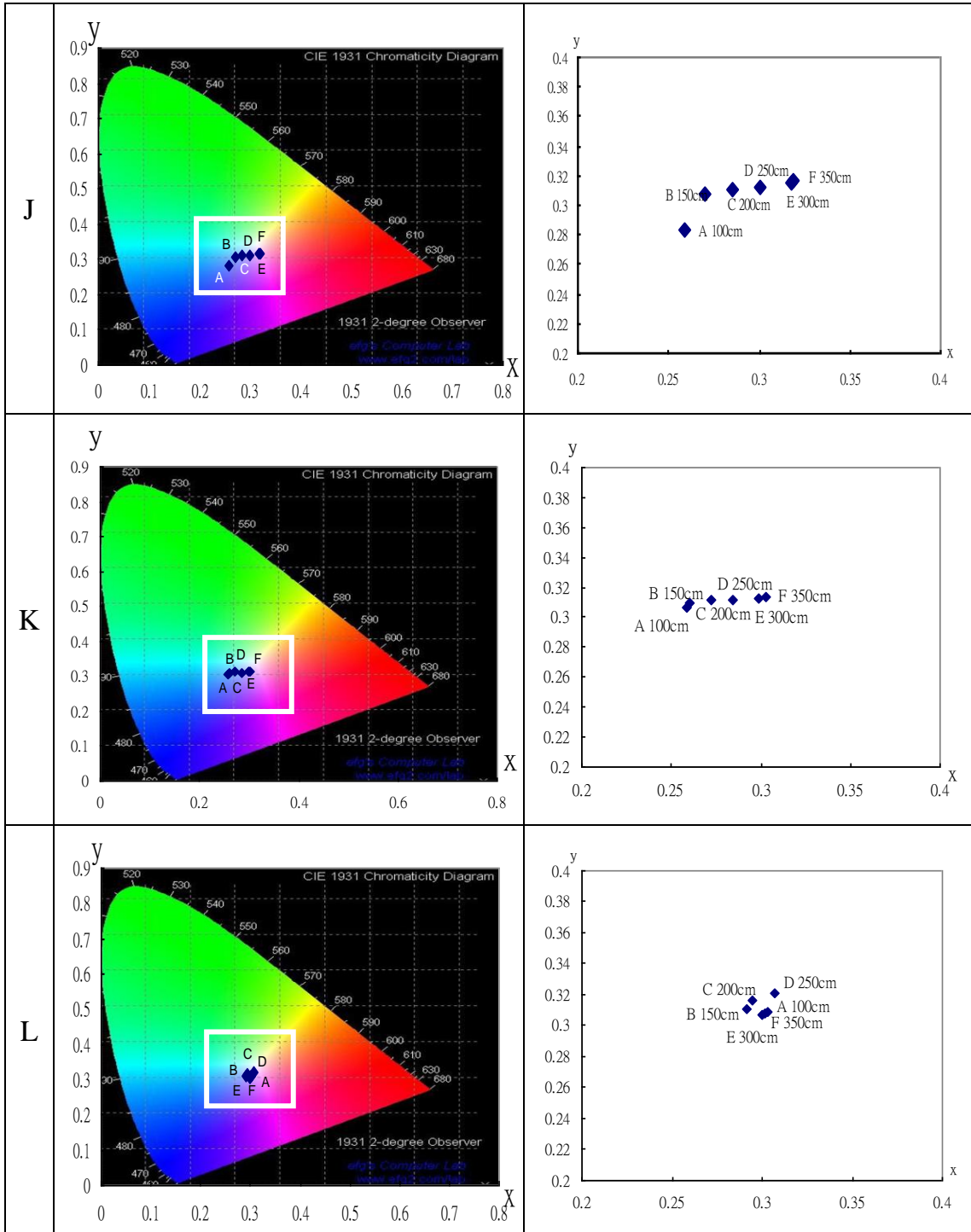
對於不同觀測距離下的色彩變化，從 RGB 灰階值、頻譜圖與色座標皆可看出不同的差異：於 1 公尺，點為 10px 大小時，恰可分辨，而距離 2.5 公尺後在色座標圖中所表示的位置越來越密，顏色差異變得更不明顯，亦即接近混色的最終結果。

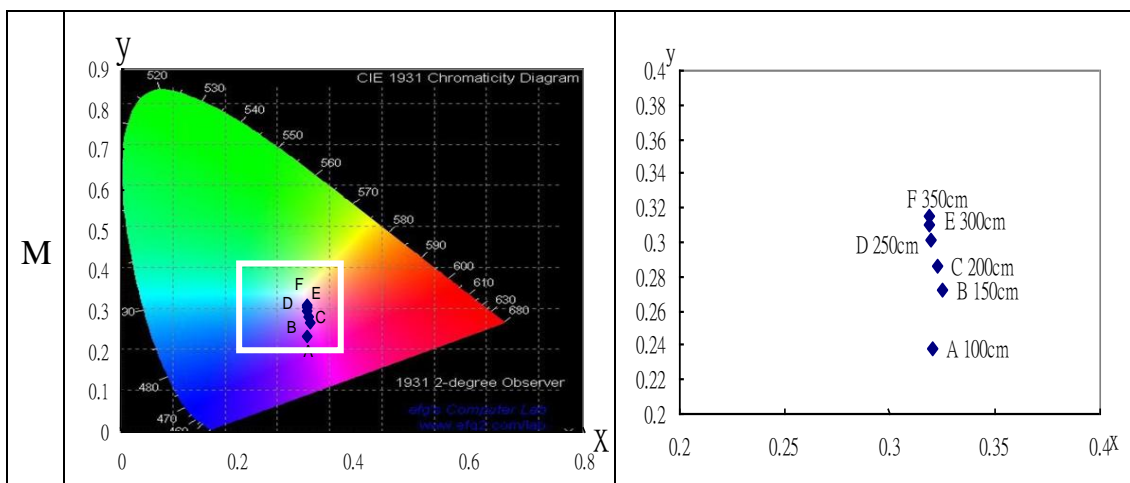
表 38 此實驗中不同色塊之色座標圖











此實驗所設計的 13 色中，由色座標可看出：

**距離越遠，改變越來越少：A、C、D、E、F、G、J、M**

**改變較少或等量改變：B、H、I、K、L**

，亦即顏色會隨著“距離越遠，改變越少”的顏色作變化，例如：距離越遠，D、E 及 F 就應放得越少以維持圖畫之平衡，因此，畫家在作畫時，若考慮觀看者的觀察距離，就應隨著距離改變色點的比例多寡或排列。另外，由此次實驗發現，若比較前一實驗，此實驗之整體變化量較少，因此，若畫家要維持畫作色彩對距離的穩定度，可用四小圓點為一組來作畫。

由上述兩實驗比較發現 C、D、E、F、G、M 無論在三點或四點時皆距離越遠，改變越少；而 H、K、L 則無論在三點或四點時皆距離越遠，改變較少，幾乎無變化，因此，若不考慮顏色的使用，要使圖畫較不因距離而影響其原色，則可多利用 H、K、L 三色，而不用 C、D、E、F、G、M。

## (二) 分析三原色點之比例之佈點方式對混色效果之影響

### 1. 研究過程：

(1) 繪圖：使用 PHOTOSHOP 繪圖，以寬度(W) 5 英寸，高度(H) 7 英寸，解析度(R) 300 像素/英寸(ppi)，色彩模式(M)為 RGB、8 位元之白色的背景內容(C)為底色。實驗時，以背景為黑色，減少觀測時之干擾。

在黑色背景上訂出標準線後，以紅色、綠色、藍色小圓點，固定其 RGB 的灰階(GL)之比例，改變其佈點方式，完成此圖。

(2) 選擇繪圖時點得直徑大小：由“一、分析兩亮點之大小、距離與觀測距離的關係”得知:若改變點與點之間之距離會影響圓點之大小，因此，此實驗選擇紅色、綠色小圓點為 10px，以確保其混色效果。

(3) 實驗分析：完成此圖後，以布面之相片沖洗，並以不同距離作觀察、拍攝，並使用 Photoshop 測量其 RGB 的灰階值(GL)來分析。

表 39 各組別之距離

| 組別     | A 組 | B 組 | C 組 | D 組 | E 組 | F 組 |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 拍攝(cm) | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 |

### 2. 研究結果：

本實驗以對比較明顯的紅色及綠色的 10px 小點實驗不同排列方式，如圖 53，再以不同距離(A:100cm B:150cm C:200cm D:250cm E:300cm 及 F:350cm)作觀察、拍攝。



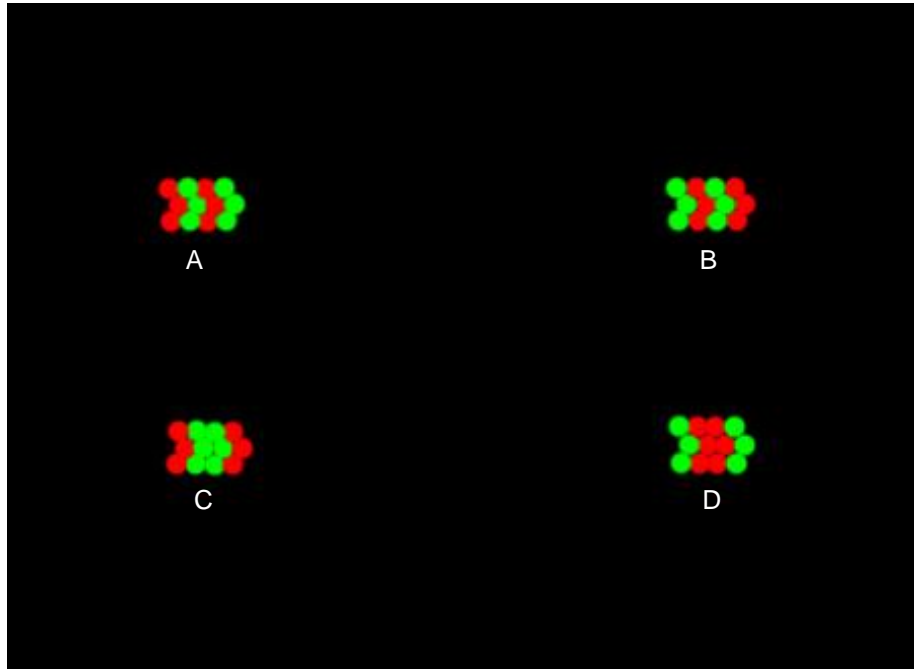


圖 53 10px 小點不同排列方式

此圖中 A、B、C、D 組有不同的三點為一組的組合，各組中有 12 組不同的 RGB 值，因此，在此取平均值，例如 A 之 12 組不同的 RGB 值(如表 40)。

表 40 10px 小點不同排列方式之 RGB 數值

|   |     |     |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| R | 203 | 99  | 203 | 26  | 214 | 26  |
| G | 4   | 143 | 4   | 165 | 25  | 165 |
| B | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| R | 185 | 96  | 96  | 126 | 203 | 24  |
| G | 29  | 140 | 123 | 78  | 20  | 173 |
| B | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |

RGB 單位：灰階(GL)

下表為 A、B、C、D 組之 RGB 值。(平均後四捨五入)

表 41 10px 小點不同排列方式

|   | A   | B   | C   | D   |
|---|-----|-----|-----|-----|
| R | 125 | 109 | 91  | 141 |
| G | 89  | 86  | 132 | 79  |
| B | 0   | 0   | 0   | 0   |

RGB 單位：灰階(GL)



若使用相機模擬人眼，距離不同的結果亦不同。

A 組

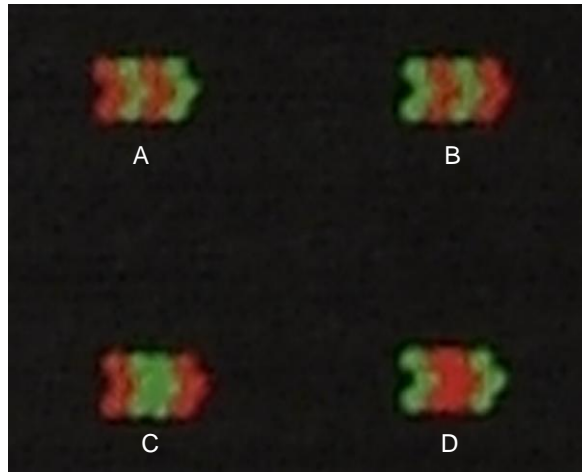


圖 54 距離 100cm 所拍之照片

表 42 10px 小點不同排列方式(100cm)

|   | A   | B   | C   | D   |
|---|-----|-----|-----|-----|
| R | 124 | 123 | 94  | 142 |
| G | 115 | 71  | 138 | 54  |
| B | 60  | 31  | 61  | 30  |

RGB 單位：灰階(GL)

B 組



圖 55 距離 150cm 所拍之照片

表 43 10px 小點不同排列方式(150cm)

|   | A   | B   | C   | D   |
|---|-----|-----|-----|-----|
| R | 126 | 105 | 97  | 135 |
| G | 105 | 79  | 123 | 43  |
| B | 58  | 30  | 58  | 20  |

RGB 單位：灰階(GL)

C 組

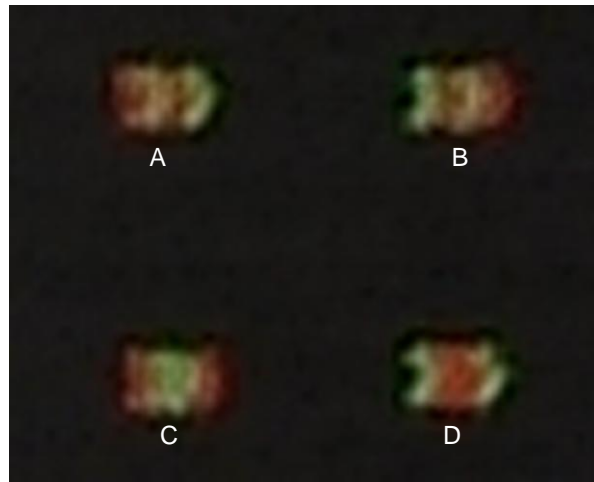


圖 56 距離 200cm 所拍之照片

表 44 10px 小點不同排列方式(200cm)

|   | A   | B   | C   | D   |
|---|-----|-----|-----|-----|
| R | 139 | 112 | 104 | 135 |
| G | 107 | 89  | 121 | 69  |
| B | 67  | 48  | 67  | 43  |

RGB 單位：灰階(GL)

D 組

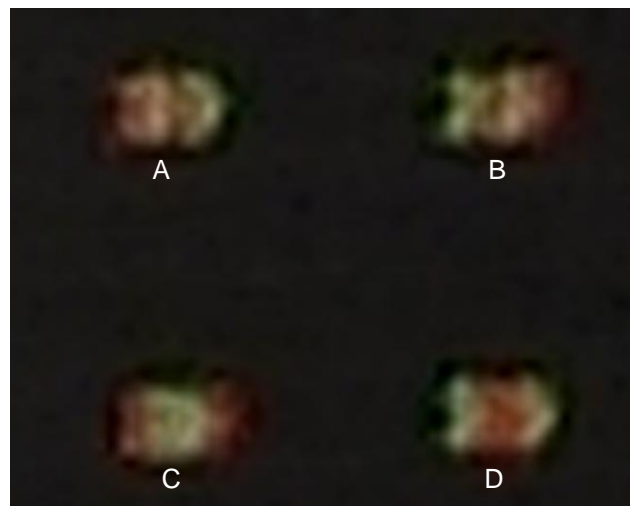


圖 57 距離 250cm 所拍之照片

表 45 10px 小點不同排列方式(250cm)

|   | A   | B   | C   | D   |
|---|-----|-----|-----|-----|
| R | 138 | 117 | 109 | 108 |
| G | 102 | 104 | 111 | 99  |
| B | 76  | 91  | 71  | 67  |

RGB 單位：灰階(GL)

E 組

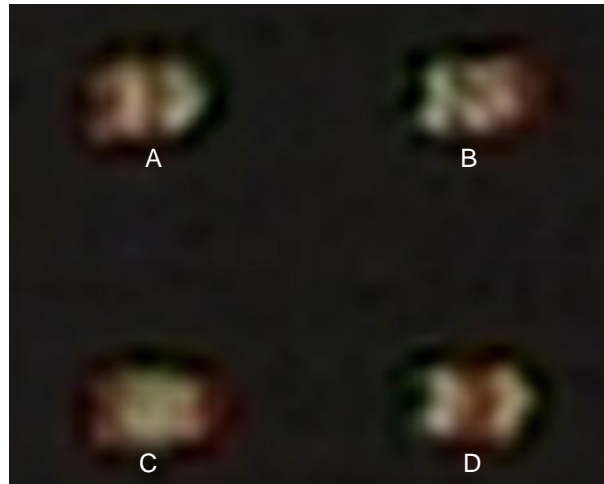


圖 58 距離 300cm 所拍之照片

表 46 10px 小點不同排列方式(300cm)

|   | A   | B   | C   | D   |
|---|-----|-----|-----|-----|
| R | 128 | 124 | 119 | 127 |
| G | 105 | 113 | 109 | 93  |
| B | 74  | 85  | 74  | 66  |

RGB 單位：灰階(GL)

F 組

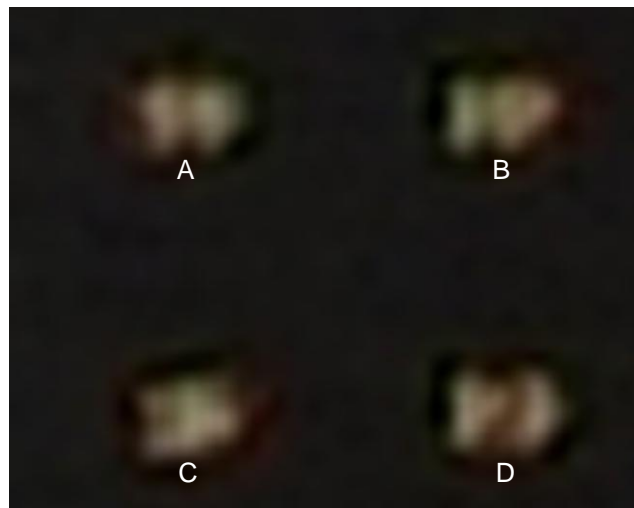


圖 59 距離 350cm 所拍之照片

表 47 10px 小點不同排列方式(350cm)

|   | A   | B   | C   | D   |
|---|-----|-----|-----|-----|
| R | 122 | 115 | 125 | 114 |
| G | 108 | 109 | 122 | 90  |
| B | 82  | 75  | 91  | 66  |

RGB 單位：灰階(GL)

由上表可發現佈點方式其實是有差異的，即使距離不同亦有不同的 RGB 值，但，A 組與 B 組的 RGB 值是差不多的，但 C 組有綠色點的集中，因此，G 值較高，而 D 組因有紅色點集中，R 值較高，是相同的結果。

由此實驗得知，盡管所用之色點有相同的比例、數量，但會有不同的呈現，這樣一來，只要有排列上的差異，各色點多寡是可以被替換的。

結合二、分析三原色點之比例及觀測距離對混色效果之影響之（一）分析三原色點之比例對混色效果之影響及（二）分析三原色點之比例之佈點方式對混色效果之影響，即可利用色點重新排列，而使某些較不易因距離而變化的顏色取代容易因距離而改變的色彩，使畫作能在不同距離下維持持相似的色彩表現。

### 三、分析三原色點之觀測距離對混色效果之影響

#### 1. 研究過程：

(1)處理要分析之圖：將所要分析之圖使用 PHOTOSHOP 分析，原圖寬度(W) 16413 像素，高度(H) 11370 像素，解析度(R) 300 像素/英寸(ppi)，色彩模式(M)為 RGB、8 位元之白色的背景內容(C)為底色。

(2)實驗：在圖上選取一小部分欲分析之區域，另將其拉出，使之成為寬度(W)2237 像素，高度(H) 1427 像素，解析度(R) 300 像素/英寸(ppi)，色彩模式(M)為 RGB、8 位元之白色的背景內容(C)為底色的圖(如圖 47)。完成圖後，為位模仿人眼，拍攝在不同距離(100cm、150cm、200cm、250cm、300cm 及 350cm)下之變化。

(3)分析：由“(一)分析三原色點之比例對混色效果之影響”及“(二)分析三原色點之比例之佈點方式對混色效果之影響”來確定一幅完整圖畫所需使用的各個條件。

分析時，以色座標、1931CIE-XYZ 標準色度系統觀察其顏色、彩度及亮度之變化，分析畫後，進行對此之觀測距離對混色效果之影響，找出最適宜之觀測位置及各個不同位置觀測結果的差異。

表 39 各組別之距離

| 組別     | A 組 | B 組 | C 組 | D 組 | E 組 | F 組 |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 拍攝(cm) | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 |

2.研究結果：

由秀拉的『大傑特島的星期日下午』(Sunday Afternoon on the Island of la Grande Jatte)為例子(如下圖 60)。

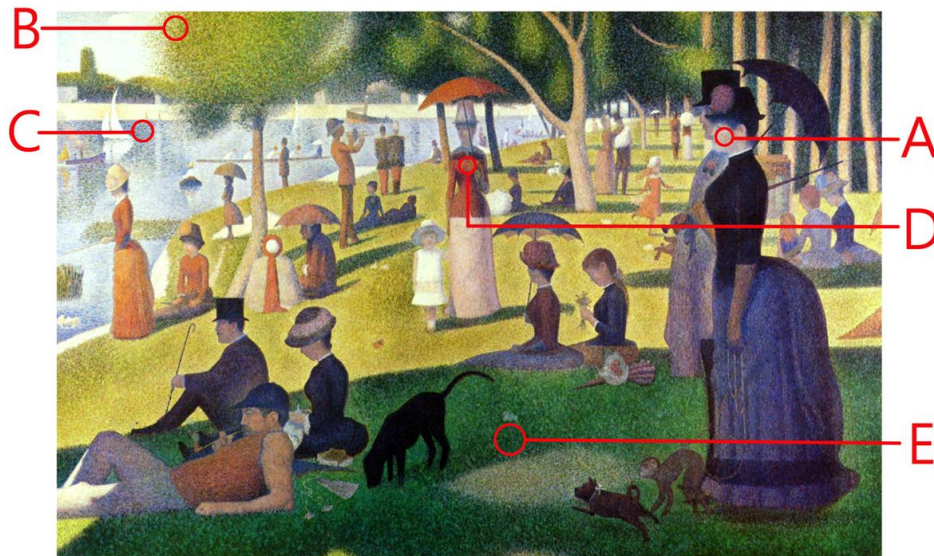


圖 60 秀拉的『大傑特島的星期日下午』中的選點位置

A 組

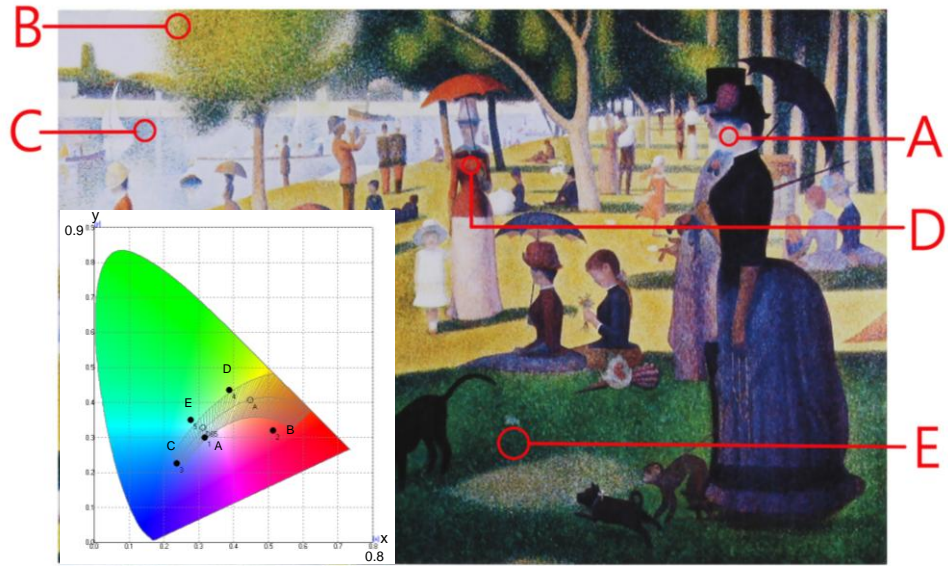


圖 61 距離 100cm 所拍之照片與其色座標

B 組

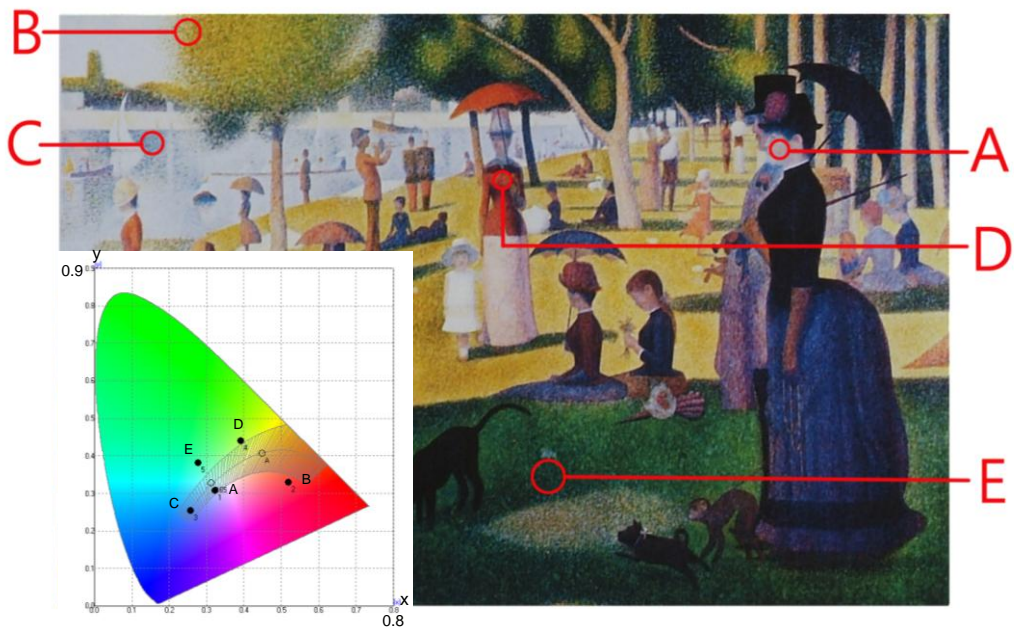


圖 62 距離 150cm 所拍之照片與其色座標



C 組

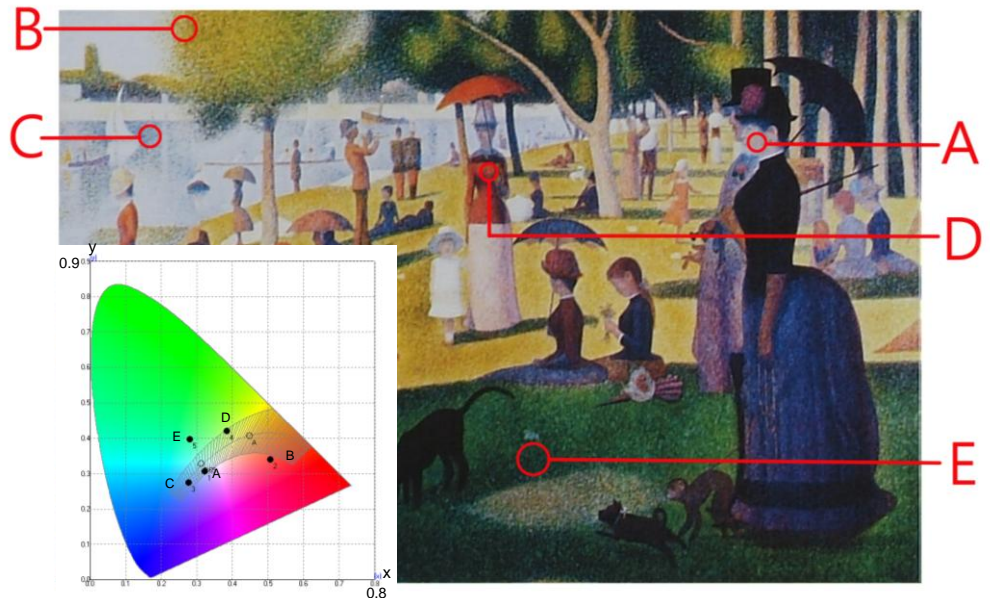


圖 63 距離 200cm 所拍之照片與其色座標

D 組

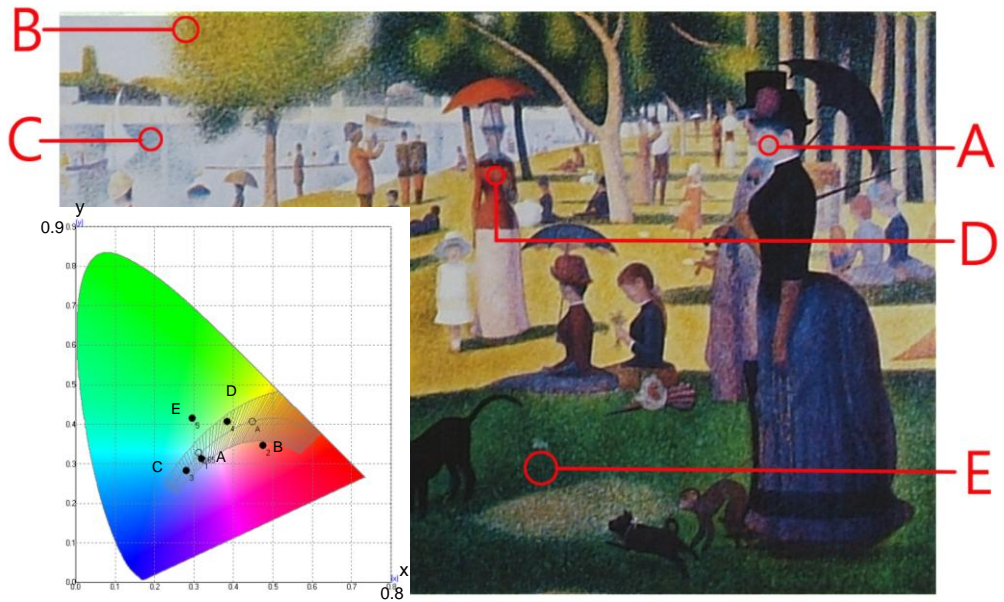


圖 64 距離 250cm 所拍之照片與其色座標

E 組

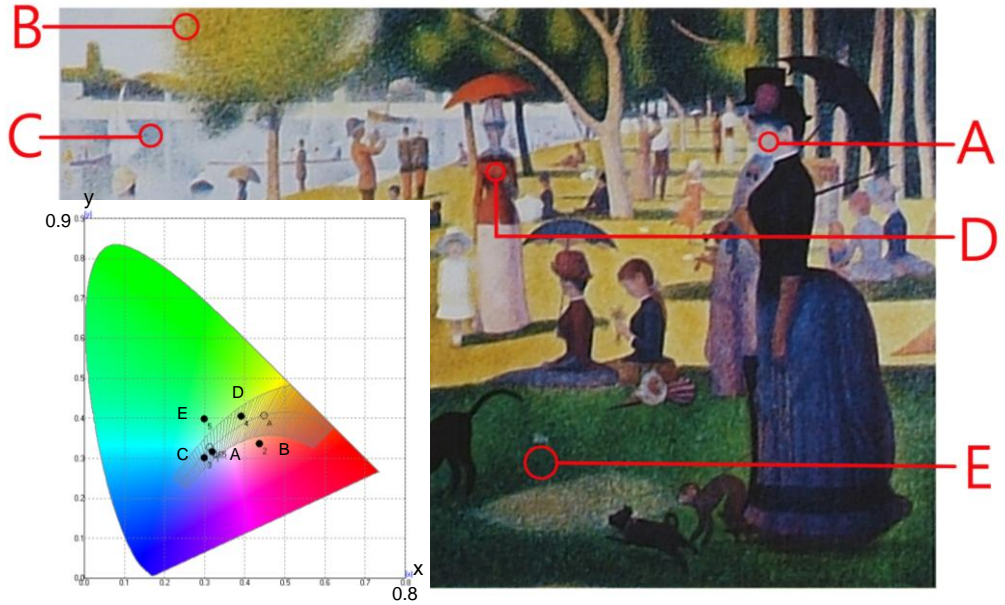


圖 65 距離 300cm 所拍之照片與其色座標

F 組

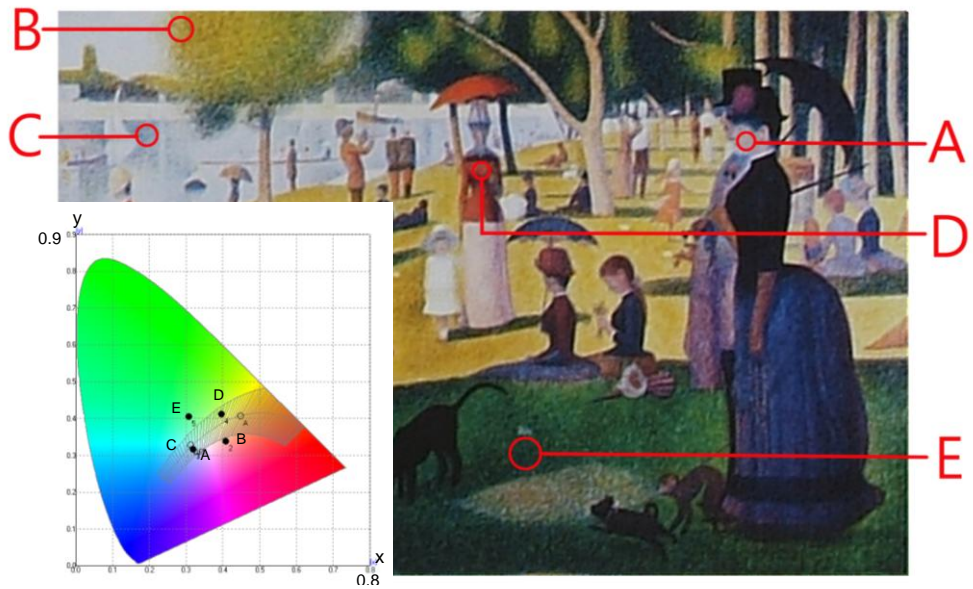


圖 66 距離 350cm 所拍之照片與其色座標



以下為各顏色之頻譜比較。

A 點

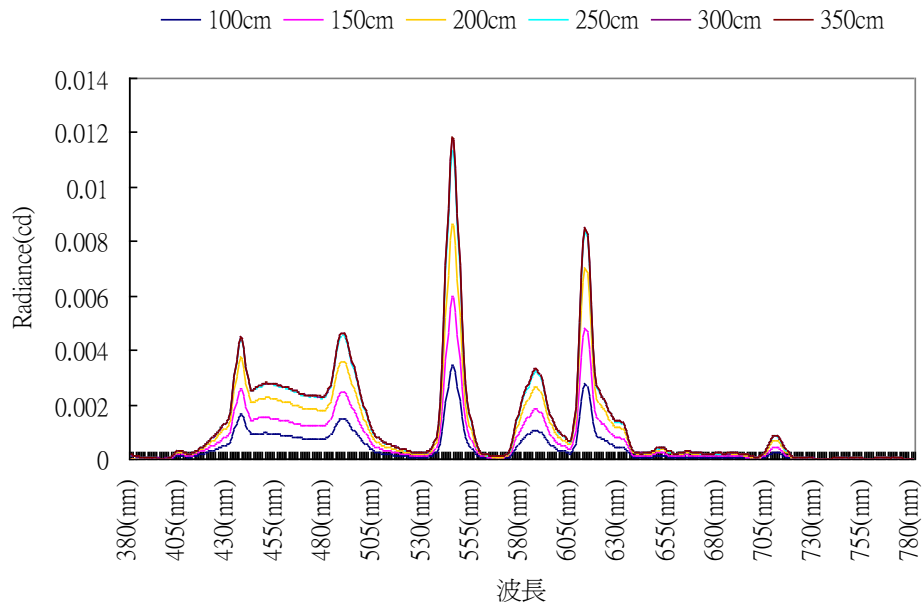


圖 67 秀拉圖中 A 之頻譜

B 點

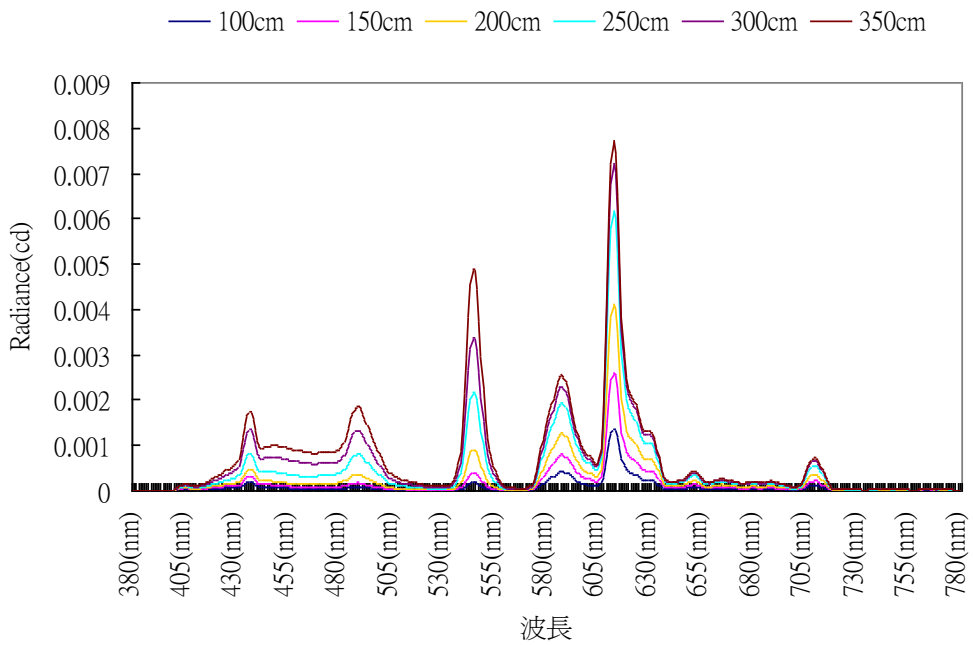


圖 68 秀拉圖中 B 之頻譜

### C 點

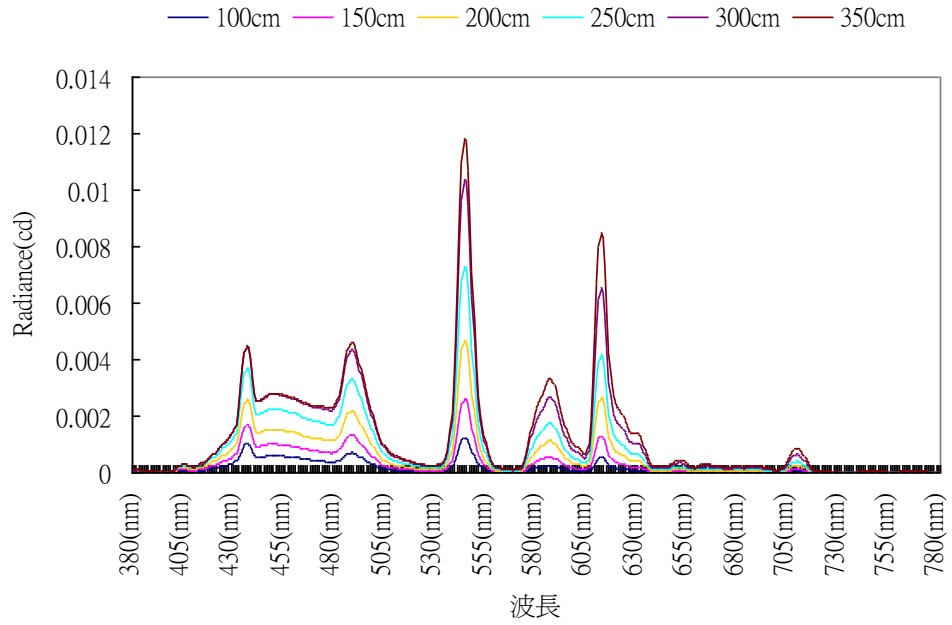


圖 69 秀拉圖中 C 之頻譜

### D 點

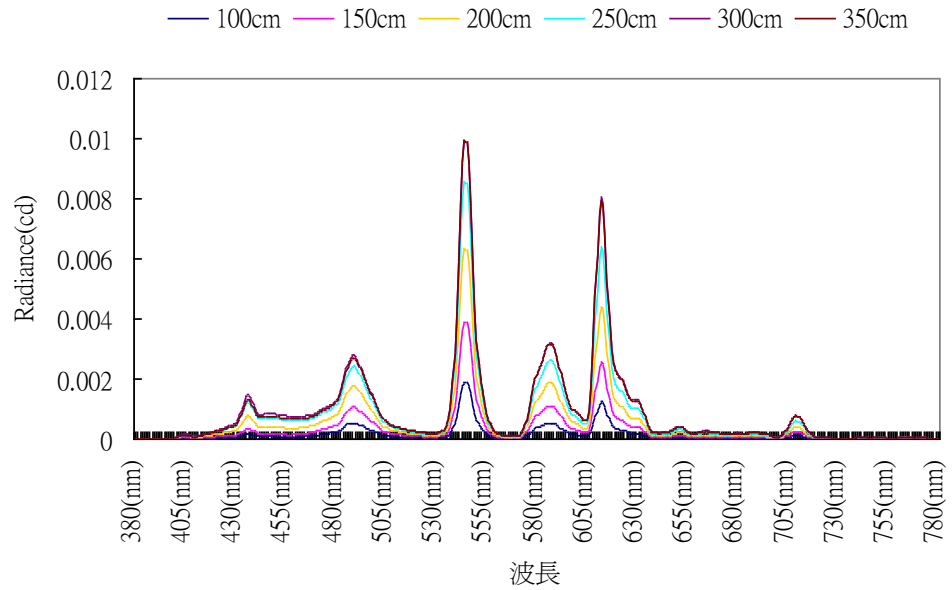


圖 70 秀拉圖中 D 之頻譜

## E 點

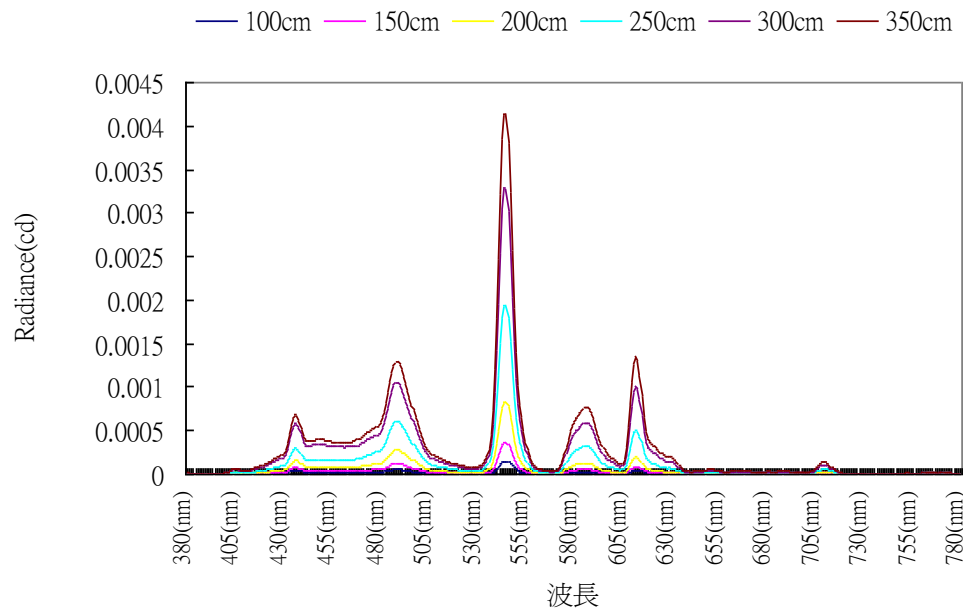


圖 71 秀拉圖中 E 之頻譜

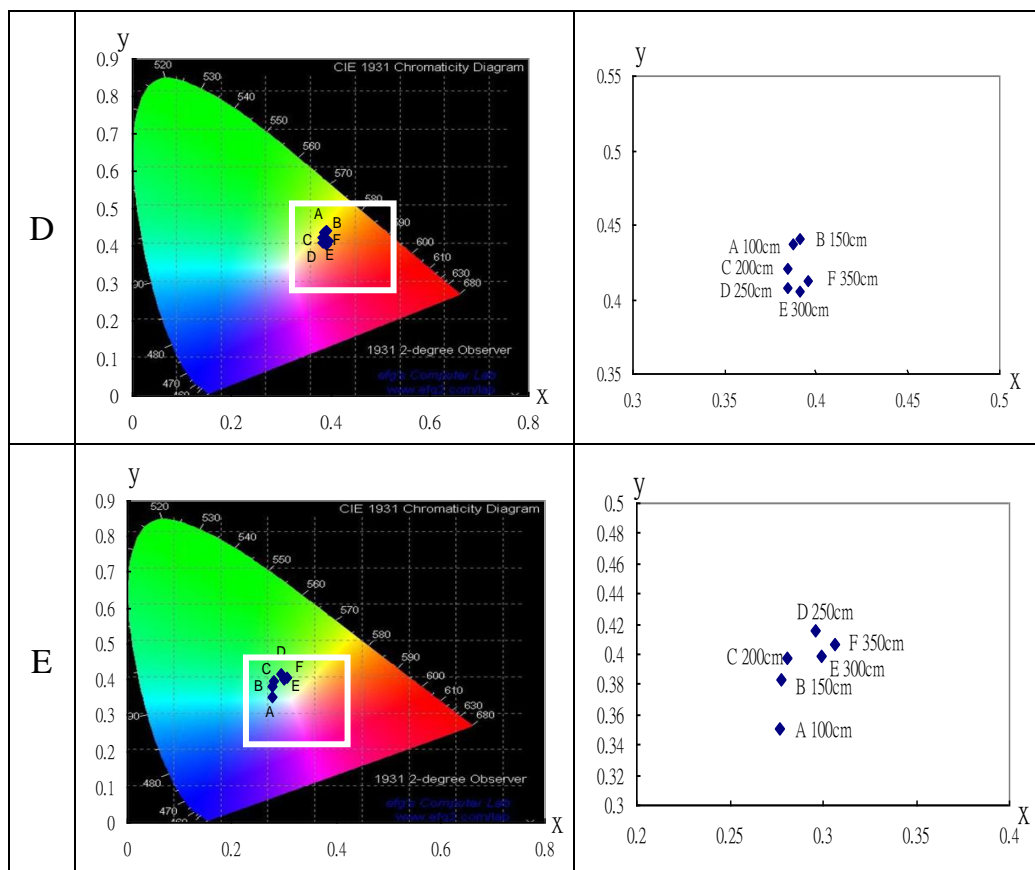
實驗中，選擇圖片的五個點(A、B、C、D 及 E)做為實驗對象比較。由上述不同距離所繪製、量測之頻譜交叉重疊後會呈現下列圖表，會發現不同距離的確會產生不同的變化(如下表 48)。從頻譜圖中比較各距離，可看出其差異，其中 B 點和 E 點之差異較小。

分析以 xy 值及色座標，因數據隨著距離越遠，數字越大，可看出：距離越遠，亮度越亮，顏色越來越不新鮮、飽和。

在前面實驗即發現：於 1 公尺，點為 10px 大小時，恰可分辨，而距離 2.5 公尺後差異變得更不明顯，若換算成秀拉圖平均的 2mm，相當於 24px，則於 2.5 公尺時，恰可分辨，而距離 6 公尺後差異變得更不明顯。

表 48 此實驗中之 xy 值及其所對應之色座標

|   | 色座標圖 | 局部放大圖 |
|---|------|-------|
| A |      |       |
| B |      |       |
| C |      |       |



此項研究比起之前的十三色塊較穩定，但亦會隨著距離而改變，改變量也較之前十三色研究來的穩定，B 及 C 組變化量較大，較易被觀測距離所影響。

對於同一區的顏色，將上述不同距離所量測之頻譜，經由計算將之轉換成色座標後，會發現不同距離的確會產生不同的變化，隨著距離遠近，有越來越亮的趨勢，色飽和度越來越低，不同顏色也有不同的色彩表現。

對於不同觀測距離下的色彩變化，從 RGB 灰階值、頻譜圖與色座標皆可看出不同的差異：於 2.5 公尺，恰可分辨，而距離 6 公尺後在色座標圖中所表示的位置越來越密，顏色差異變得更不明顯，亦即接近混色的最終結果。

## 伍、 結論

19、20 世紀的後期印象派中，點描派為最吸引人的畫派之一，而喬治·秀拉 (Georges Seurat) 即是其畫派之代表人物，因此，設計實驗時以秀拉的畫風為中心。

本研究希望以瑞利準則探討點描畫派最佳觀賞距離，從分析兩亮點之大小、距離與觀測距離的關係到分析三原色點之比例及觀測距離對混色效果之關係為本實驗所討論之問題：

### 一、分析兩亮點之大小、距離與觀測距離的關係

#### (一) 分析兩亮點之大小與觀測距離的關係

由電腦模擬到用照片模擬人眼所見，都有不同的感覺。由實驗中三組相機模仿人眼之 RGB 值發現:當距離 150cm 及 200cm 時，越易混合成一點(RGB 的灰階(GL)值近 255 時)，也就是，當距離越大兩點恰可混合時的點越大。

#### (二) 分析兩亮點之距離與觀測距離的關係

電腦模擬時，18px 為不可分辨圓點顆粒之最大值，而於 6px 時可視為白平面；距離 100cm 時，8px 時視為白平面；距離 150cm 時，14px 時視為白平面；距離 200cm 時，18px 時視為白平面。由此可見，面與點相同，皆是當距離越大兩點恰可混合時的點越大。

### 二、分析三原色點之比例及觀測距離對混色效果之關係

#### (一) 分析三原色點之比例對混色效果之關係

利用 10px 大小之不同顏色的圓點實驗發現：比例的不同所混出來的顏色也不同。對於不同觀測距離下的色彩變化，從 RGB 灰階值、頻譜圖與色座標皆可看出不同的差異:於 1 公尺，點為 10px

大小時，恰可分辨，而距離 2.5 公尺後在色座標圖中所表示的位置越來越密，顏色差異變得更不明顯，亦即接近混色的最終結果。

## (二) 分析三原色點之比例之佈點方式對混色效果之關係

利用 10px 大小之不同顏色的圓點實驗發現：不同的佈點方式所混出來的顏色，由 RGB 的灰階(GL)值來看不盡相同。距離不同亦有不同的 RGB 值。

由此實驗得知，盡管所用之色點有相同的比例、數量，但會有不同的呈現，這樣一來，只要有排列上的差異，各色點多寡是可以被替換的。

## 三、分析對三原色點之觀測距離對混色效果之關係

### (一) 實驗中白點間距與觀測距離之關係

利用 10 px (0.8 mm)大小的圓點，在觀測距離為 1 公尺下，即可使畫作產生混色效果。

### (二) 由實驗中白點間距與觀測距離之關係推算實際觀測距離

由文獻可知，秀拉畫作的色點大小間距約為 2mm，依前項條件推算出實際觀測距離約為 2.5m，而距離 6 公尺後差異變得更不明顯。故在觀測距離為 2.5m 至 6m 之間，可觀看到不同顏色之變化。

此實驗得知點的大小與距離的關係，因此，在看畫時可運用此結果，用物理的方式就可以得知最佳觀賞距離。

## 陸、未來展望與建議

### 一、實驗應用的建議：

在此研究中，色彩會因觀測距離、色點距離、大小、排列不同而有所差異，因此，再將畫作數位化時可利用所研究出之條件，改變作畫技巧及所使

用之色點，相信能減低因觀測距離而導致之顏色誤差，而觀畫者則能調整自己所欣賞的角度而不影響觀畫品質。

## 二、研究問題的展望：

(一)此次研究未能拿到真實的畫作而利用書上的及網路的資料，或許與真實畫作數值有所誤差，但趨勢是相同的，希望未來有機會研究真實畫作，並且研究多位畫家不同風格驗證此次研究。

(二)或許不單是本研究的變因，未來能更深入的研究環境光、畫作本身是否亦有影響。

## 柒、參考資料

### 參考書籍：

- 1、世界藝術百科，初版，台北市，佳慶文化事業有限公司出版，p.111 至 p.112。
- 2、Joseph T. Jaynes, Rip Noël 著，胡為君譯，數位攝影精技，台北市，p.4-2，2006 年 5 月出版。
- 3、Fundamentals of physics extended 5th，Halliday，page.939

### 參考網站：

- 1、CIE 標準色度學系統（2002 年 3 月 22 日）  
<http://www.cgan.net/book/books/print/packcolor/link/5-4-1.html>
- 2、CIE 標準色度學（2002 年 3 月 22 日）  
[http://140.120.90.1/~photoele/download/course\\_data/94\\_first/class1/addition/CIE2.doc](http://140.120.90.1/~photoele/download/course_data/94_first/class1/addition/CIE2.doc)
- 3、秀拉點描派之電腦模擬(無日期)  
<http://cgm.cs.ntust.edu.tw/hlyang/www/Research/CGW2006%20.pdf>
- 4、George Seurat(無日期)  
<http://www.si.umich.edu/CHICO/Emerson/seurat.html>



5、瑞利準則 維基百科 (2009 年 8 月 4 日)

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%91%9E%E5%88%A9%E6%BA%96%E5%89%87>

6、色的表示-物理表示法 (1996 年 12 月 5 日)

<http://www.dfmng.com.tw/text/tb04-6-3.htm>

7、LED 原理(無日期) <http://www.led-shop.com.tw/page38.htm>

8、發光二極體 維基百科 (2009 年 10 月 4 日)

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%91%E5%85%89%E4%BA%8C%E6%9E%81%E7%AE%A1>

9、藝術漫步-繪畫人物(無日期)

<http://www.cmcart.com/ramble/moreinfo.asp?ID=111>

10、喬治秀拉-維基百科 (2009 年 11 月 24 日)

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%96%AC%E6%B2%BB%C2%B7%E7%A7%80%E6%8B%89>

11、視覺素養學習網 秀拉(無日期)

<http://vr.theatre.ntu.edu.tw/fineart/painter-wt/seurat/seurat.htm>