

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生物(生命科學)科

040714

色？你我大不同～色弱眼中的世界

學校名稱：國立彰化高級中學

作者： 高二 黃俊憲 高二 顏震宇	指導老師： 余淑絹
-------------------------	--------------

關鍵詞：色弱

壹、摘要

本研究在探討色弱與螢幕顯示器表現顏色之關係，透過自行設計之程式，檢驗色弱對於螢幕顯示器中RGB值的敏感度，並與正常人做對照。在經由Student's *t*-Tests的分析檢驗後，我們了解到色弱患者所看到的顏色，並非由色光之波長決定，而是由色光組成之RGB值決定。

貳、研究動機

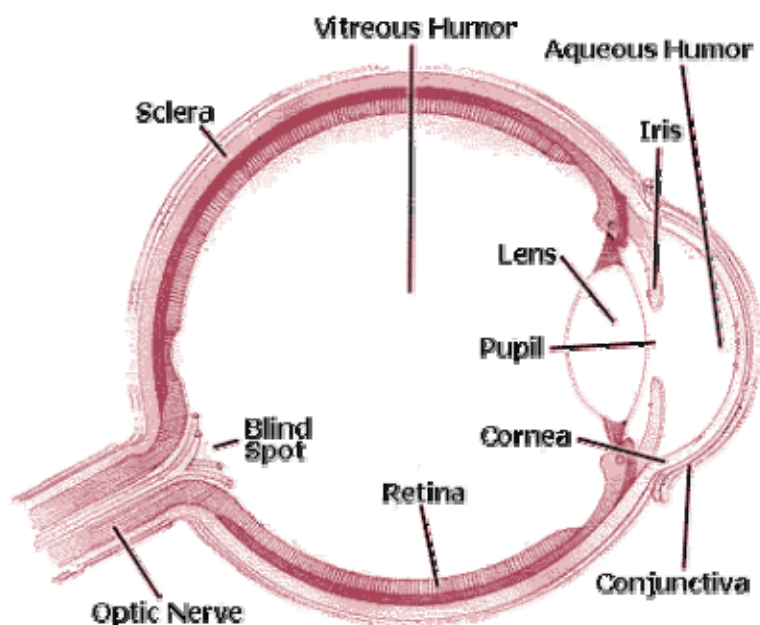
在翻閱大學錄取簡章時，常常會看到某些科系在附註當中限制色弱讀這個系(有辨色力異常者，宜慎重考慮)，本來以為色弱其實並不常見，但後來無意間看到一項數據：約有 7-8%的男性為色弱，引起了我們的興趣。對於這種日常生活中不會注意，卻潛藏在我們週遭的龐大族群，可以查到的資料卻少之又少；且遇到的幾位色弱患者，皆告訴我們雖然無法清楚辨別顏色，但卻不會對生活造成多大的影響。我們希望以後能發展出一種類似近視戴眼鏡的方法，來矯正其對於某些顏色無法辨別的缺陷。因此，幾經討論後，決定投入關於色弱的研究，希望能引起更多對於色弱的關懷。

參、研究目的

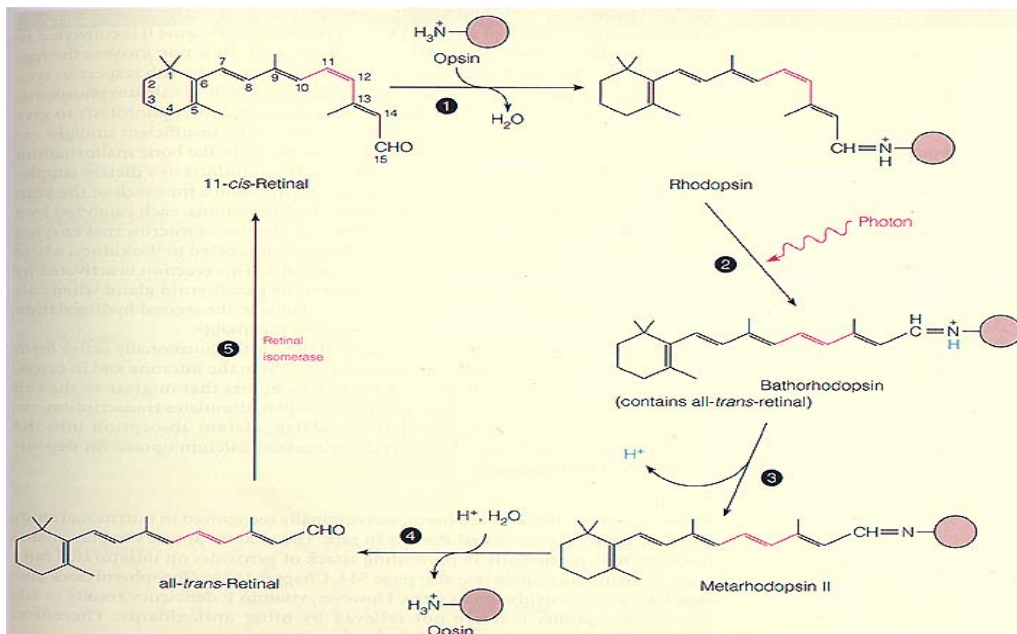
- 一、探討色弱在哪些顏色的辨別能力與正常人不同。
- 二、探討色弱對於顏色辨別是否在於光線之波長，或是在於光線組成之 RGB 值。
- 三、探討電腦顯示器之 RGB 值對於辨色的影響。
- 四、藉由電腦程式的開發，使色弱的檢定更快速與精確。
- 五、將色弱之嚴重程度量化。

肆、理論

- 一、基本構造：



二、視覺的產生：桿狀細胞含有感光色素視紫質（rhodopsin）。錐細胞含有相似的色素稱為視青質（iodopsin）。視紫質執行夜間視覺。視青質辨識影深和分辨顏色（藍色、綠色和紅色）。視紫質和視青質都是穿細胞膜的蛋白質，鍵結在 11 順式黃醛（11-cis-retinal）的輔基上。缺乏輔基的蛋白質為視白質（opsin）。在錐狀細胞中有三種不同的感光色素，吸收不同的色光，並分別對藍光（420nm）、綠光（535nm）和紅光（565nm）起反應。桿狀細胞和錐狀細胞中 11-順式黃醛（11-cis-retinal）同分異構成 11 反式黃醛（11-trans-retinal）的過程是完全相同的。



三、視桿細胞與視錐細胞的特性：人體的視細胞分為外形成桿狀的桿狀細胞和外形成錐狀的錐狀細胞兩種，其中桿狀細胞較多，每個眼球約有六百五十萬個細胞（除盲點和中央窩以外的區域），對光亮度十分敏感，再稍微暗的環境下也能辨識物體的形狀，但不能辨識色彩，異常時引起夜盲症。錐狀細胞的數目比較少，每個眼球約有六百五十萬個細胞，大多集中在中央窩（此處密度為 150,000 個/mm²）含有紅(565)、綠(535)和藍(420)三種感光色素，能夠辨識色彩，但須在強光下才有反應，不同程度的異常，引起不同的色盲症。對於感覺影像的敏銳度，兩種細胞也有差異。錐狀細胞可使人只看見銳利的影像細節，而桿狀細胞則使人只能看見物體外型。這種特性是因很多桿狀細胞的神經纖維會聚集，且其衝動傳到腦的相同位置，造成我們可依據物體外型，卻看不清楚細節。而錐狀細胞間神經纖維聚集的程度較低，所以當錐狀細胞受到刺激時，腦較能準確定位此刺激。最敏銳的視覺區域位於黃斑部內的中央小凹，此區缺乏桿狀細胞，但含有緻密堆聚的錐狀細胞，且其細胞間無聚集現象。

- 四、色域範圍：所謂色域範圍，指的是在某一色彩模組中，色彩可以被呈現出來的範圍。各種影像處理媒介或設備，色域範圍由大到小，按照順序為：可視光譜的色域>正片的色域>螢幕的色域>印刷或印表機的色域。
- 五、標準色度系統：國際照明委員會(CIE, Commission International de l'Eclairage)規定一套標準色度系統，以 700nm、546.1nm 與 435.8nm 之標準紅(R)、綠(G)與藍(B)三原色。
- 六、色弱遺傳：紅色和綠色色素的基因位於 X 染色體上，故為性聯遺傳。在不同種族中，色弱之比例也會略有不同。

伍、研究方法

- 一、色弱者為色弱者，正常人當正常人，隨機、雙盲對照控制研究。
- 二、利用 Visual Basic 6.0 版設計測驗程式，作為本研究數據的來源，使用華碩型號 W3H00A 作為測試平台。並使用 SPSS 分析統計軟體作為處理數據之工具。
- 三、使用程式：

陸、

由 27 頁(以下以 Form1-Form27 代表)具有不同背景顏色的視窗所構成，在每個視窗中各有三組共六行的色弱者，三組依次改變 R、G、B 值，由於背景顏色是由 0,128,256 三數交替組合而成，故視窗中的三組色弱者則有與背景顏色相同之 RGB 值開始變化，當背景顏色值出現 0 時，則每次分別遞增 3 直到背景顏色值為 63；出現 128 時，先每次遞增 3，直到遞增至背景顏色值為 158 後再一次遞減 3 至背景顏色值為 98；當背景顏色值出現 256 時，依次遞減 3 直到背景顏色值為 193。(見陸、模型架構講解)

- 步驟 1：在開啓程式後，先移動滑鼠，將游標劃過螢幕中的六段空白處，在游標移動過後，空白處將會顯現顏色。圖 1
- 步驟 2：觀察所顯現之顏色是否與視窗之背景顏色相同，若視為相同，則點下顏色下方之勾選欄，此時系統將紀錄為 1。圖 2
- 步驟 3：看過全部的顏色之後，按下左上角之「下一頁」進行下一組顏色之測試。圖 3
- 步驟 4：重複步驟 1-3，直到左上角出現「存檔」鈕，做完測驗之後關閉程式。圖 4
- 步驟 5：至 C 碟中取出數據並儲存於個別資料夾中。

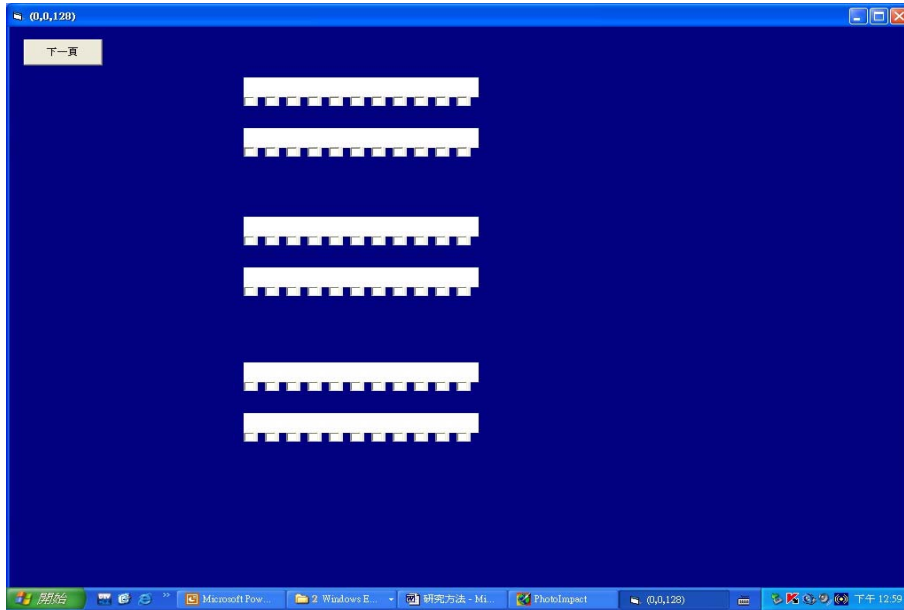


圖 1

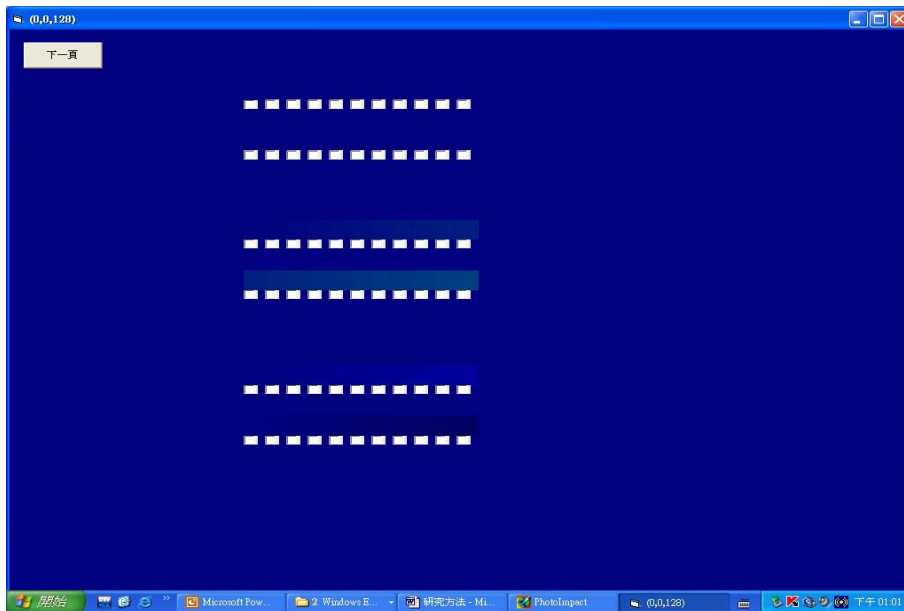


圖 2

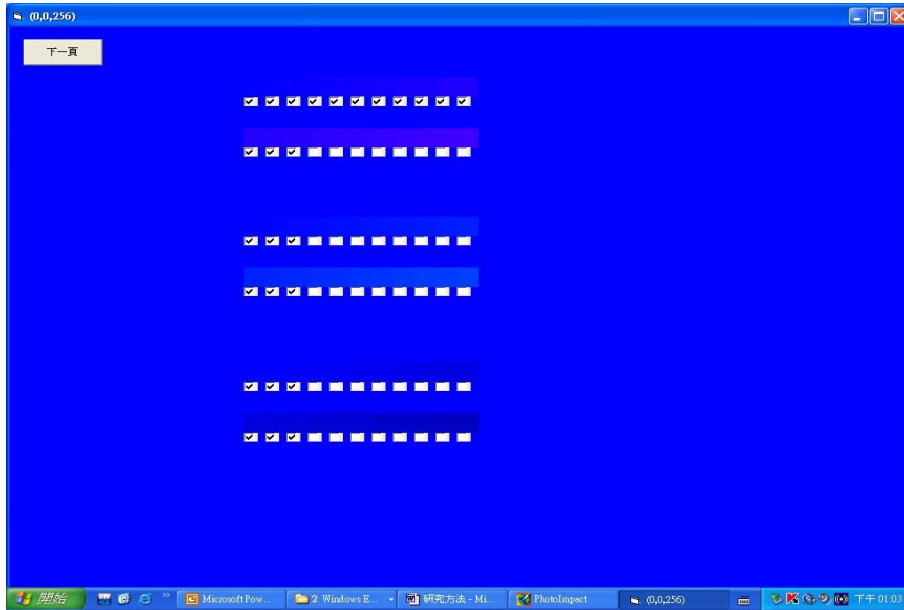


圖 3

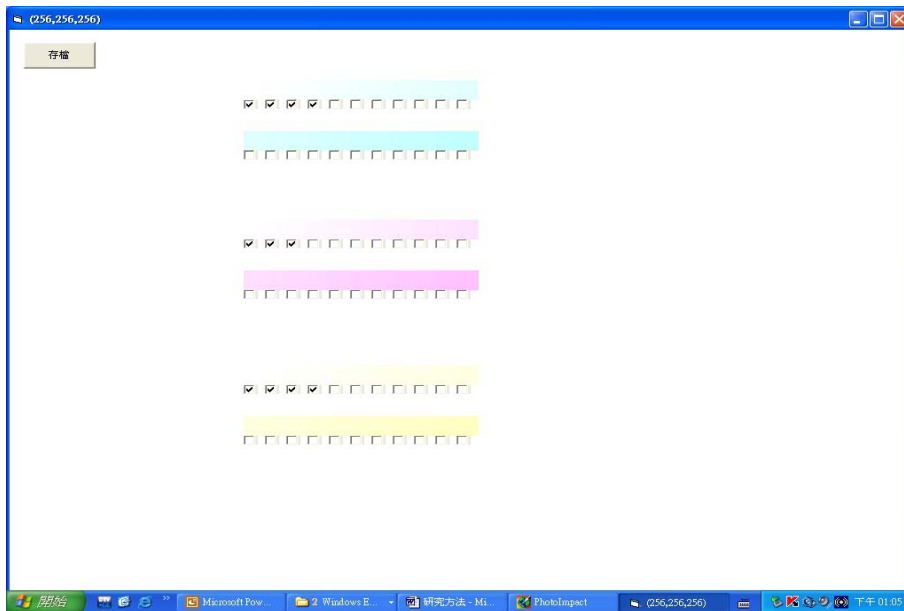


圖 4

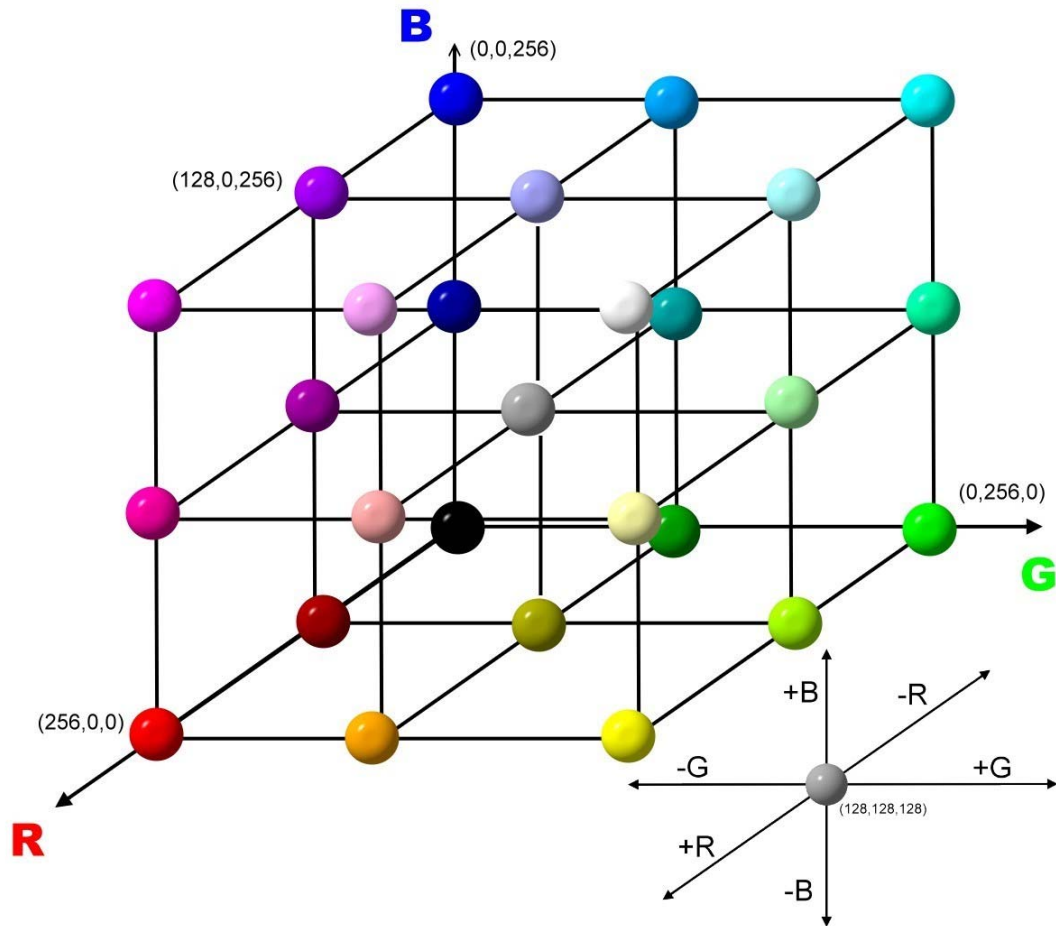
柒、統計原理

- 一、樣本之取得：至學校及學校周圍隨機抽測樣本，先做完測驗後，再以 "Ishihara"圖表檢驗是否為正常人。若是，則歸於正常人。若否，則歸於色弱者。
- 二、註：由於一般色弱患者較少，部分色弱是以研究人員詢問學校之同學的方式找到，故正常人人數與色弱者人數之比例並未符合色弱族群佔台灣總人口數之比例。
- 三、取樣範圍：年齡在 15-25 歲之間，且無深度近視者(以 800 度為界)。
- 四、取樣工具：華碩型號 W3H00A 之筆記型電腦，色弱檢辨表。
- 五、取樣人員：一名負責電腦部分、一名負責色盲檢辨表。
- 六、紀錄方法：在設計程式時，受測者將與背景相同之顏色勾選出來，電腦紀錄為 1；若未勾選，紀錄為 0。
- 七、統計軟體：SPSS(Statistical Package for Social Science)、Microsoft Excel。
- 八、統計方法：選用 Student's t-Tests 作為統計的計算工具。我們將其處理參數設定為單尾分配與兩樣本不同變異數。
- 九、計算過程：以正常人(0,0,0)R 為例。右表列出正常人(0,0,0)R 中，編號一、二、三，縱軸依次為人數，共 27 人。
- 十、算出 27 人的平均值。右表中，第一組平均值為 1，第二組平均值為 0.85，第三組平均值為 0.78。
- 十一、計算完平均值後，用 Student's t-Tests 檢驗正常人與色弱者之平均值，取出 P 值小於 0.05 的組別(即代表兩組之間有明顯差異的顏色)，並加以討論。

	一	二	三
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	0
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1
9	1	1	1
10	1	0	0
11	1	1	1
12	1	1	1
13	1	1	0
14	1	1	1
15	1	0	0
16	1	0	0
17	1	1	1
18	1	1	1
19	1	1	1
20	1	1	1
21	1	1	1
22	1	1	1
23	1	1	1
24	1	1	1
25	1	0	0
26	1	1	1
27	1	1	1

捌、模型架構講解

本實驗由 RGB 三色，以 $R(0, 128, 256) \times G(0, 128, 256) \times B(0, 128, 256)$ 組合出 $3 \times 3 \times 3 = 27$ 色（即圖中 27 個色球），每個色球再以 $\pm XYZ$ （RGB）軸進行延伸，每次間隔遞增或遞減 3，統計分析之後架構出整個模型中，每個色點和辨色能力之間的關係。



玖、結果

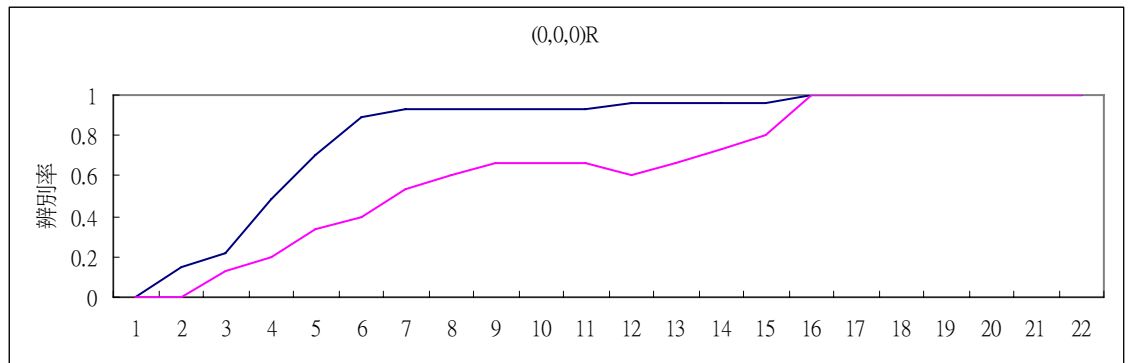
一、正常人與色弱者經統計分析之結果如下：

P 值	>0.05	<0.05	<0.01	總和
數量(組)	71	5	5	81

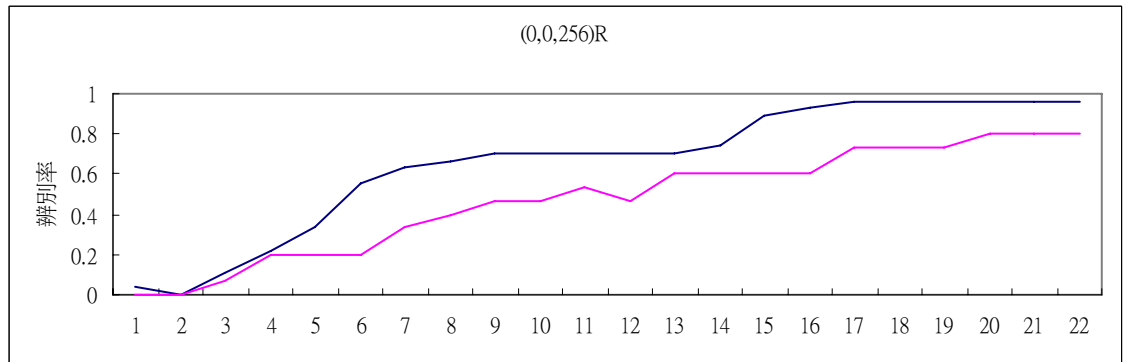
即本實驗 81 組顏色中，有 10 組顏色經統計後 P 值<0.05

二、不同 RGB 值組合之辨色結果(若統計後 $P > 0.05$ 表示色弱者與正常人無明顯差異，不予討論)，以下僅呈現出 $P < 0.05$ 的組別結果

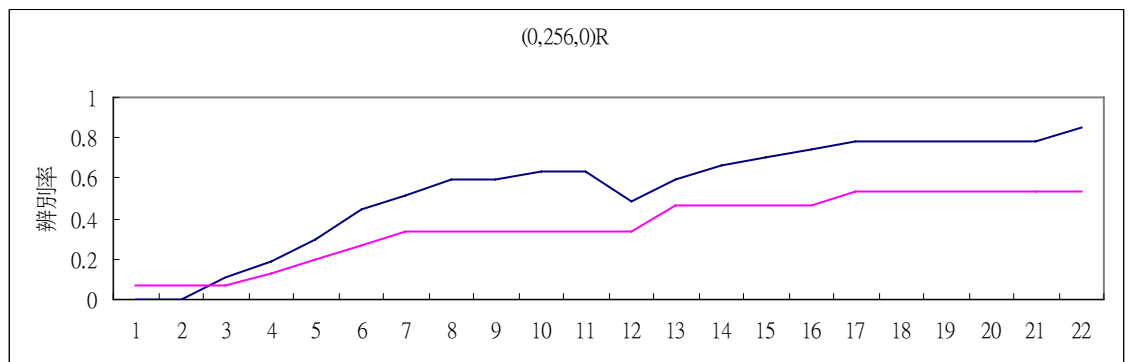
※下列圖中藍線表為常模，紅線為色弱組



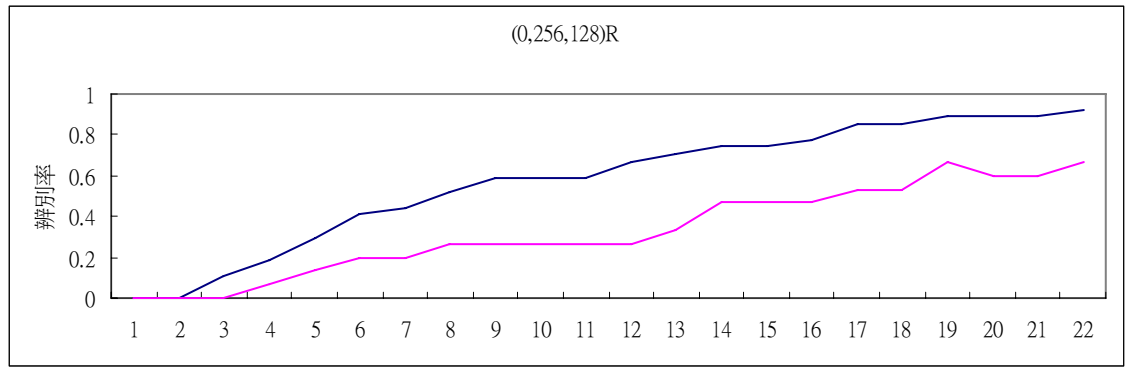
經Student's *t*-Tests檢驗後，所得P值為 0.036616



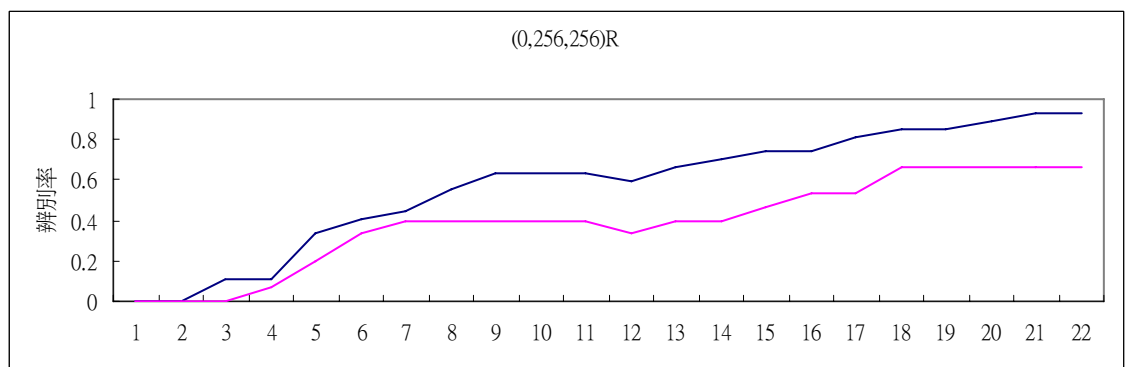
經Student's *t*-Tests檢驗後，所得P值為 0.020684



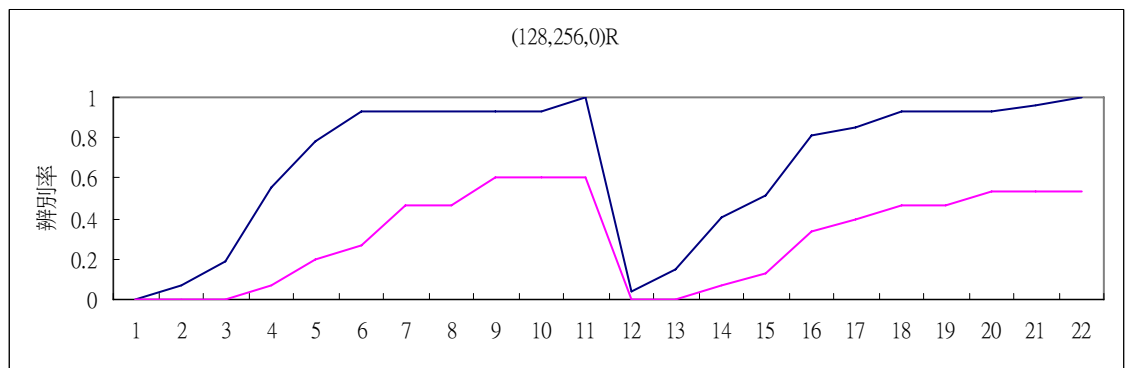
經Student's *t*-Tests檢驗後，所得P值為 0.003988



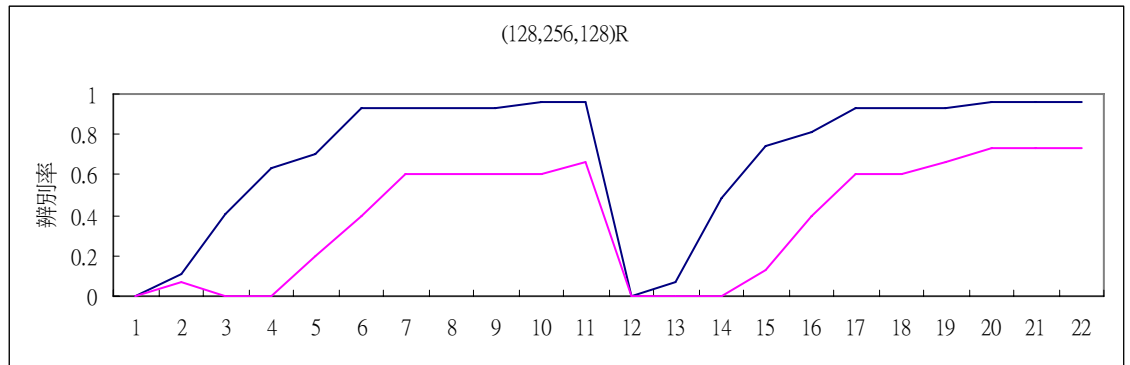
經Student's *t*-Tests檢驗後，所得P值為 0.001605



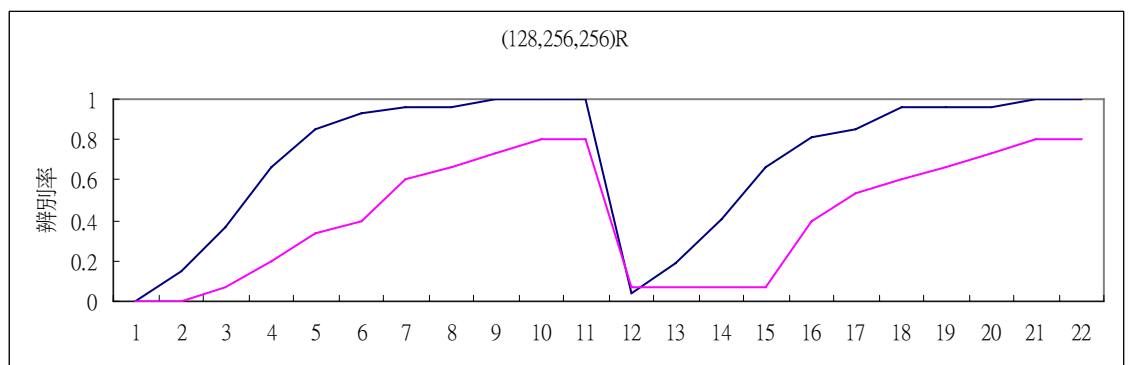
經Student's *t*-Tests檢驗後，所得P值為 0.013883



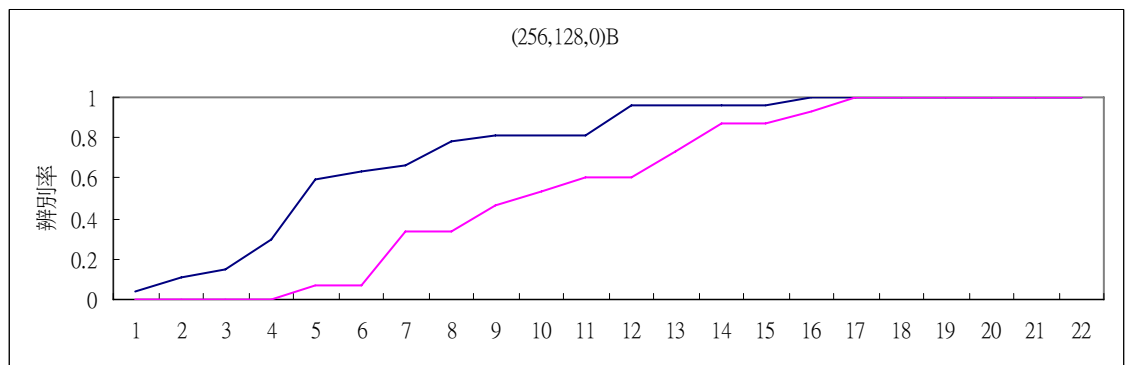
經Student's *t*-Tests檢驗後，所得P值為 0.000133



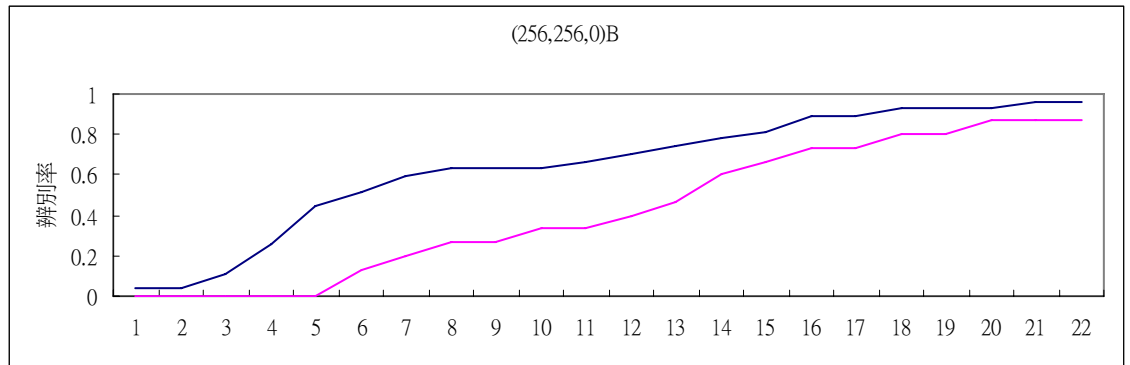
經Student's *t*-Tests檢驗後，所得P值為 0.001296



經Student's *t*-Tests檢驗後，所得P值為 0.003054



經Student's *t*-Tests檢驗後，所得P值為 0.045922



經Student's *t*-Tests檢驗後，所得P值為 0.013666

註：以上 10 組中，在某些圖中，其變化趨勢並非漸增而是中間有明顯陷落，並非數據之缺陷，而是在程式設計時，在第 1 至 11 組顏色遞增，第 12 至 22 組顏色遞減，在遞增與遞減的轉換之間(第 11 與 12 組之間)產生的不自然陷落。

三、正常人與色弱者辨色能力有差異的 10 組中，其中改變 R 值有 8 組，改變 B 值有 2 組，改變 G 值 0 組。

	R	G	B	總合
組數	8	0	2	10

壹拾、討論

- 一、在分析數據時，並未發現有特定顏色可作為斷定正常人或色弱之依據。意即在所有顏色之中，不存在所謂色弱者可辨別而正常人無法辨別，或是正常人可辨別而色弱者無法辨別之顏色。故一般在判斷是否為色弱患者時，應該多方面檢定，以免產生誤判。
- 二、本研究測試之組數共有 81 組，其中有 10 組顏色在經過計算後，其 P 值小於 0.05，即總共約有 12.3%的顏色在色弱的眼中看起來是與正常人有異的。在這 10 組中，又以改變 R 值所佔的有 8 組比例最大(80.0%)，改變 B 值有 2 組所佔比例其次(20.0%)，而改變 G 值所造成對辨別率的影響是 0，其關係為 $R > B > G$ ，與目前已知資料，亮度以 G 值最大，B 值其次，R 值最小，而色弱在亮度小的情況下不容易分辨的理論相符。故可互相印證。
- 三、在處理顏色的過程中，有部分顏色其 RGB 值不同，但卻顯現出相似的色彩。色弱在對於這些不同 RGB 值所組成的相似顏色，各有不同的辨別率，顯示色弱對於顏色的分辨主要不在於這組顏色所對應到的光波長是多少，而是在於顏色之間 RGB 值的變化關係。如下圖

(0,256,256)R



(128,256,256)R



(0,256,0)R



(0,256,128)R



(128,256,0)R



(128,256,0)R



- 四、在 10 組色弱無法辨別之組數中，以(0,256,0)R、(0,256,128)R、(128,256,0)R、(128,256,128)R 與(128,256,256)R 五組顏色色弱與常模之差異最為明顯，所以在進行更進階的研究時，可再更深入研究 (0,256,*)、(128,256,*) (為 0-256 之間任一數) 這個區塊，並建議以後在使用到(0,256,*)與(128,256,*)兩區塊顏色時，可以用其他 RGB 值得顏色替代，避免對色弱產生困擾。
- 五、在討論二中有提到總共約有 12.3%的顏色在色弱的眼中看起來是與正常人有異的，即表示大部分的顏色實際上色弱與正常人看起來是相同的，故罹患色弱並不會造成生活上太大之困擾，但在現有的文獻中知道即使是色弱，也像近視一樣具有差異，換言之，有些色弱較嚴重，有些較輕微。希望能在研究完成後，能將色弱程度量化，即像近視般轉化成「度」來表示，以供將來的治療作為參考。
- 六、81 組顏色中，我們在其中設定了部分顏色的 RGB 值與背景顏色完全相同，理論上這些顏色之辨別率應為 0%(即無法辨別之意)，但實際上這些顏色之辨別率不完全為 0%，即有些受測者可能在測試的過程中，忽略了這些顏色，或是有其他因素(如：環境光線、視覺暫留) 導致受測者將 RGB 值完全相同的顏色辨別為相異，期望能在累積更多資料後，能將外在因素之影響降至最低。
- 七、研究開始前，已知正常人與正常人之間、色弱與色弱之間存在有個別差異，但不知道其整體趨勢為何，而由圖中可知正常人與色弱者在每一組顏色之變化趨勢皆不相同，暗示即使個體之間有差異，就整體而言仍有最基本的趨勢存在。(目前仍未檢驗現有數據的信度與效度，故此點存疑)

- 八、大部分的組別中，正常人與色弱者之顏色辨別率在顏色差異最明顯時皆未達 100%。而在顏色差異最明顯的組別之後，也就是圖中未呈現的部分，其正常人與色弱者辨色率之趨勢是否與圖中已知的部分相同，抑或有極大的差別，仍有待研究。
- 九、累積至目前數據有正常人 27 組，色弱者 16 組，目前希望能將正常人與色弱者的數據分別累積至 50 組、25 組以上，希望能提高本研究整體數據的準確度、可靠性與代表性。在蒐集數據的過程中，患有色弱之受測者，多半不願讓研究人員(2 名)知道其為色弱患者，使得色弱者的數據不易蒐集。
- 十、目前希望在數據量累積夠多以後，能就部分顏色區段中，色弱辨色能力較正常人佳的部分深入探討。根據目前所發表的文獻，色弱患者，只是感光色素不正常，沒有完全缺乏，但感光色素不正常無法確知其是否會影響腦部的視神經分布，而產生類似左手斷掉，右手功能增強的神經取代作用，至於此作用是否適用於色弱患者仍待研究。
- 十一、在研究過程中，曾經想把 RGB 值轉化成為光之波長，但在我們所採用國際照明協會(CIE)於 1931 年所制定的 XY 標準系統，僅能將特定波長的光轉化為 rgb 值，但此 rgb 值不同於電腦顯示器所展現的 RGB 值，且現有資料中查無此二者之轉換關係，故無法藉由調控電腦顯示器的 RGB 值來達到控制波長之目的。此外，特定光的波長與其對應的 rgb 值所產生的顏色是人眼看出來的結果，國際照明協會(CIE)並未公佈其原因，有不可掌握之因子在其中，經討論後，決定捨棄這個部分。
- 十二、為使本研究數據具有學術上之價值，故採用 Student's *t*-Tests("Student" 是 William Sealy Gosset [1876-1937] 的筆名) 做為分析工具。而 Student's *t*-Tests 是用來作為判別兩組數據是否有差異之方法，所以對於我們蒐集到的數據，若經由 Student's *t*-Tests 判別為有意義，即兩組數據之間確實有差別，那麼便代表色弱與正常人確有差異；若經由 Student's *t*-Tests 判別為無意義，則代表其實色弱與正常人對於此組顏色看起來是相同的。在使用 Student's *t*-Tests 處理數據時，我們將其處理參數設定為單尾分配與兩樣本不同變異數。
- 十三、最早的寫出程式並不是研究所用的程式，因為在第一個程式(以下稱程式一)寫出來後，其顏色是由亂碼決定，我們無法掌握數據蒐集的方向，故改採用第二個程式(以下稱程式二)，也就是本研究所採用的程式。藉由地毯式的搜索，希望能達到我們的最終目標：建立起一個由 RGB 三個值所建立起的三維座標，而在座標之中繪出到底哪些區域是色弱難以分辨而正常人可以分辨的，哪些是色弱與正常人皆可分辨的。程式二繪出了在立體空間中的骨架，但仍只是線狀的數據，希望能在研究的最後，藉由程式一亂碼的特性，將整個顏色的立體完整繪出。

壹拾壹、結論

關於這次的研究，我們得出了以下幾點結論：

- 一、色弱與正常人除了某些特定顏色外，其餘的顏色色弱與正常人並無顯著差異。
- 二、色弱對於顏色 RGB 值的改變，以對 G 值(green)的改變最為敏感，即改變 G 值色弱者較能分辨出來，其次為 B 值(blue)，最後為 R 值(red)。
- 三、色弱與正常人有差異之顏色並不全然唯一般所認知的紅色或綠色，在其他部分如淺藍、黃等顏色，也有些微差異，與目前所知色若有分為紅綠色弱、黃藍色弱等相符。
- 四、色弱對於顏色的辨別在於顏色組成的 RGB 值，而非光之波長。
- 五、色弱辨色能力的強弱與週遭環境所提供的條件有密切關係。

壹拾貳、展望

- 一、一般色弱之檢驗多是使用"Ishihara"圖表進行對紅色及綠色的色覺普查，而較精確的測試如顏色粒排列測試(Farnsworth D-15 測試及 Lanthony's D-15 非飽和測試)，雖可判斷色弱之程度，但卻不普遍，因此，希望藉由電腦程式的開發，來更精確且便利的將色弱之程度量化，以期大部分輕微色弱患者，能從事如考駕照等目前限制色弱從事的活動。
- 二、目前有將色弱分為數級，類似於我們一般以 2.0-0.1 來測驗是否罹患近視，但是對於近視 400 度與近是 600 度的人，其檢驗出的值可能皆為 0.1，但我們知道實際上 400 度與 600 度仍有區別，因此希望藉由密集的顏色測驗，將色弱之程度分為幾"度"，而非幾"級"。
- 三、結合技術研發配合植入式隱形眼鏡有別於傳統式色弱矯正的缺點。
- 四、找出更精確之方法來判斷受測者是否為色弱。
- 五、開發程式，使檢驗者在施測完立即知道自身之辨色能力。

壹拾參、心得感想

色弱患者在大多數的顏色上，表現與正常人無異，日常生活大致沒有問題，但在色弱與正常人差異較大的顏色，若出現在重要場合，則會導致不便，例如曾經問一位色弱如何辨別紅綠燈，他竟回答：「看別人走就跟著走就好啦！」如此將會增加發生交通事故的風險，值得大家留意。在研究的過程中，遇到了兩個瓶頸，第一個便是我們一開始使用的亂碼程式，累積了約 20 組資料後，去找眼科醫師討論，希望能有一點幫助，但眼科醫師的答覆是必須重做，因為用亂數取得的數值無法掌握，也就是說在某些片段的資料可能累積很多，而某些部分的數據量很

有可能是 0。因此，醫師建議我們放棄亂碼程式，改用目前作為測試的程式，而亂碼程式用來作為研究完成後的印證，為此，總共又花 7、8 小時開發新程式，進度又從 0 開始。在寫新程式的期間，我們又遇到了另一個問題，是否能將電腦螢幕的 RGB 值轉化為波長，那麼分析出來的結果將更有價值，期間曾打電話至中興大學的光電研究所與中山醫學大學的視光學系，皆未有結果，原想利用國際照明協會的 XY 標準系統做轉換，但後來得知電腦螢幕的 RGB 值與光波長經轉換所得的 rgb 值不同，卡在 RGB 值與波長的轉換數週後，決定回歸到最原始的一用 RGB 值來進行測驗。在整個研究過程中，我們看了許多資料，大部分的文獻僅提到眼睛的構造和如何接受光的刺激與反應，但像是為何調控電腦螢幕的 RGB 值，也就是改變三原色，可以使人看起來和單一波長的光顏色一樣，卻隻字未提，且關於討論色弱的部分，也多僅以感光色素有缺陷或幾張判別色弱的圖帶過，到底色弱與正常人的差別是否只有判別色弱圖上的那幾組，到底色弱與正常人對於顏色的辨別率到底差多少，是不是色弱對於某組顏色完全無法辨別，而常人皆可辨別，還是大部分色弱與小部分常人皆不能辨別，皆是值得探討的方向，由餘對於這種未知的好奇，使我們持續不斷的投入大量時間與精力來從事研究，期望不僅是提升自己的研究能力，更希望在色弱這片幾近空白的領域上留下一道足跡，為有佔了將盡 8% 人口的色弱患者盡一點心力。也希望不僅是我們，還有更多的人為色弱做出努力，以期有朝一日，可以發展出一套方法用來矯正色弱，來消除目前對於色弱的種種限制。最後感謝指導老師、眼科醫師、父母、及以及所有參與本研究計劃的夥伴，謝謝您們參與，讓本研究計劃得以如期順利初步完成。

壹拾肆、參考資料

1. Abraham L, Kierszenbaum 簡基憲等譯 2005 組織學及細胞生物學 病理學入門藝軒出版社 初版
2. Campbell/Reece Biology Seventh Edition Pearson Benjamin Cummings Chapter49.4 p1057~p1063
3. Campbell/Reece 著 生物學 第六版 偉名圖書有限公司出版 第 49 章 p1308~p1315
4. Harria Benson 著 普通物理學(下) 初版 學銘圖書有限公司出版 第 35,36,37,38 章 p911~p1018
5. John W. Hole Jr/Karen A.Koos 胡明、陳懿慧、謝慧瑛、孫穆乾編譯 2004 人體解剖學修訂版 藝軒出版社 p359
6. John W. Hole,Jr/Karen A. Koos Human Anatomy 藝軒圖書出版社 第一版
7. Willian F. Ganong Review of Medical Physiology 藝軒圖書出版社 第 15 版
8. 山中俊夫著 黃書倩譯 色彩學的基礎 六和出版社 初版
9. 石原忍著 色盲檢辦法 立誼出版社 初版
10. 林元興編譯 統計學 徐氏基金會 第八版
11. 林金盾著 生理心理學-神經與行為 2004 藝軒圖書出版社 初版
12. 松井高廣著 鄭雅云、夏淑怡、林利珉等譯 2005 再生醫學圖解 商周出版 初版
13. 張保身編 搶救視力大作戰 元氣齋出版社 初版
14. 陳連春編譯 彩色液晶顯示器 建興文化事業有限公司 增訂版
15. 盧孟佑、施金元等編譯 神經解剖學 合記圖書出版社 初版 p279~282,p332,p334~335,p459~467,p505~528

【評語】 040714 色？你我大不同～色弱眼中的世界

1. 表達清晰設計能力佳。
2. 實驗結果尚未呈現與傳統色弱檢定優劣之比較。
3. 電腦設計之檢測達 27 頁時間及眼力負擔重宜再精簡。