

2021 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 130002
參展科別 行為與社會科學
作品名稱 探討紅綠色盲族群對不同顏色赫曼方格的視錯覺現象
得獎獎項 大會獎 四等獎

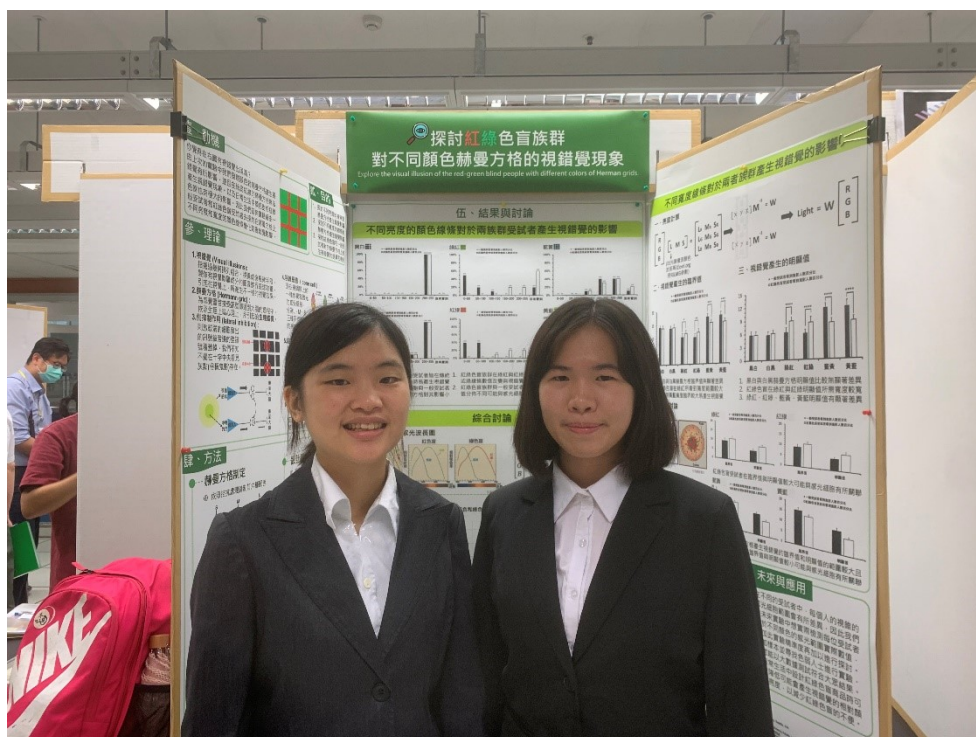
就讀學校 臺北市立麗山高級中學

指導教師 陳建中、林獻升

作者姓名 周芷語、謝宜薰

關鍵詞 紅綠色盲、視錯覺、赫曼方格

作者簡介



我們是麗山高中 20 屆的學生—謝宜薰(左)、周芷語(右)，高一因緣際會下我們進入生物專題開啟我們研究旅程，從一開始懵懵懂懂，遇到許多的挫折，像是找到題目卻一直無法執行下去，換了兩、三次題目之後，終於尋找到一個適合的題目，在師長指導和同學們建議下，我們一步一步成長，到了現在邁入國際科展，過程雖然辛苦，但學到的知識更是不勝枚舉。非常感謝一路上陪伴我們的指導教授-陳建中、專題老師-林獻升、郭瓊華和同學們，讓我們的研究能順利完成，也非常高興能入選國際科展，期待這次作品能帶給所有的讀者樂趣、知識與新的啟發。

摘要

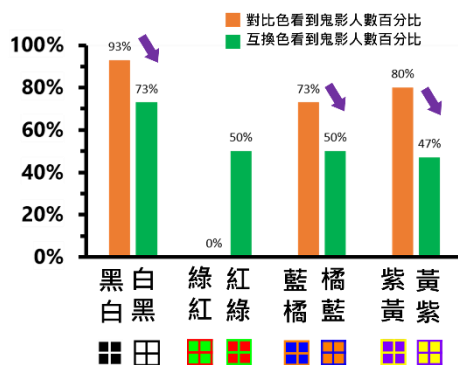
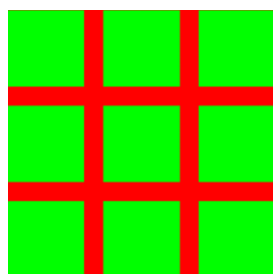
延續 2020 年視錯覺研究，我們想要探討視覺神經細胞接受不同亮度對立顏色刺激後是否會有不同活化程度，影響視錯覺？另外也想探討不同對立配色的赫曼方格中線條寬度的閾值是否有差異？我們設計網頁版程式，改變赫曼方格線條顏色的亮度和寬度，以正常受試者為對照組，色盲受試者為實驗組，探討視錐細胞的變異是否影響視錯覺的產生。我們以顏色拮抗理論定義對立配色的赫曼方格，以標準化情境進行實驗。在線條亮度的結果中，黑白配色的赫曼方格圖案中線條與方格對比度越大，視錯覺產生的效果越明顯。兩群受試者在綠紅、紅綠、藍黃這三組配色，線條亮度範圍呈現兩極化的趨勢，可能原因為色盲因錐狀細胞變異，需要較高亮度的對比顏色刺激才容易讓神經細胞有活化程度上的差異，造成視錯覺出現。在改變線條寬度的結果中，發現藍黃的赫曼方格閾值與明顯值最大，黑白次之，綠紅最小，可能與細胞感受野大小有關，且線條寬度超過感受野的閾值，視錯覺就無法產生。兩群受試者的線條寬度閾值差異，可能與色錐細胞變異有關。綜合以上結果，顯示視網膜色錐細胞與神經節細胞的作用，對視錯覺形成扮演一定角色。在消費行為問卷結果中，我們發現格子衣服若是顏色對比度大、線條較細的圖案設計，消費者的滿意程度較低，這原因可能與視錯覺產生影響衣服視覺效果。

Abstract

Continuing the research on visual illusion in 2020, we want to explore whether the optic nerve cells will have different activation degrees after receiving different luminance and opposite color stimulation, which will affect the visual illusion? In addition, I also want to explore whether there is a difference in the threshold of the line width in the Herman grid of different opposite colors? We designed a web version of the program to change the luminance and width of the color of the Herman checkered line, with normal subjects as the control group and red-green blind subjects as the experimental group, to explore whether the variation of cone cells affects the production of visual illusions. We use the color antagonism theory to define the Herman square of opposite colors, and conduct experiments in standardized situations. In the result of line luminance, the greater the contrast between the lines and the grid in the black-white Herman grid pattern, the more obvious the effect of the visual illusion. The two groups of subjects matched the three colors of green-red, red-green, blue-yellow, and the line luminance range showed a trend of polarization. The possible reason is that red-green blind subjects is caused by the mutation of cone cells, which requires higher luminance contrast color stimulation to easily make nerves. There are differences in the degree of activation of cells, causing visual illusions. In the result of changing the line width, it is found that the blue-yellow Herman grid threshold has the largest obvious value, followed by black and white, and green and red is the smallest. It may be related to the cell receptive field size, and the line width exceeds the threshold of the receptive field. Unable to produce. The difference in the line width threshold between the two groups of subjects may be related to the color cone variation. Based on the above results, it is shown that the role of retinal color cone cells and ganglion cells play a role in the formation of visual illusions. In the results of the consumer behavior, we found that if the plaid clothes are designed with large color contrast and thin lines, consumers' satisfaction is lower. This may be related to the degree of visual illusion.

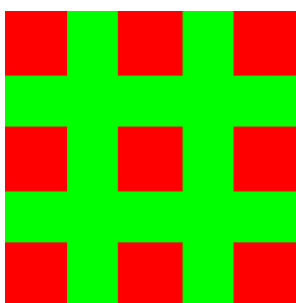
壹、前言

一、研究動機



圖一

在 2020 的研究中我們發現顏色對赫曼方格產生視錯覺有不同影響，從圖一看到鬼影人數比較數據中，可以發現綠格紅線無人看到鬼影，但在方格與線條互換的紅格綠線圖中，卻有五成受試者看到錯覺產生，此現象頗為特殊。因此我們想要延伸去探討視覺神經細胞接受不同亮度的對立顏色刺激後，是否會有不同活化程度，而影響視錯覺產生？



圖二

左圖的紅格綠線赫曼方格中，將線條寬度拉大後，我們發現視錯覺產生變弱。在 Schiller & Carvey 提到黑白赫曼方格線條越大越不容易產生視錯覺，且因視覺接受野(RF)有一定大小，故方格大小與線條寬度之比例會影響視錯覺產生。因此我們想要探討不同對立配色的赫曼方格中線條寬度的閾值是否有差異？一般與色盲受試者的線條寬度閾值是否也有差異？

二、研究目的：

- (一) 不同亮度的顏色線條對兩群受試者產生視錯覺的影響。
- (二) 不同寬度的顏色線條對兩群受試者產生視錯覺的影響。
- (三) 條紋方格衣服視錯覺程度與人類消費喜好行為之關聯。

三、名詞解釋

(一) 赫曼方格 (Hermann Grid)：

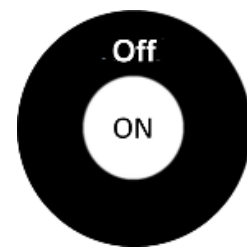
盯著線條方格圖中某一個白色交叉點時，餘光所見的其他白色交叉點似乎比較黑。

(二) 感受野 RF (Receptive Field) :

眼睛可以看到的整個區域稱為視野，而任何單個神經元監視的視野區域就是該細胞的感受野。感受野區分為中央刺激和外圍相反刺激。

On-center : 感受野中央有光線刺激，會產生去極化作用，
並增加神經節細胞的放電，該細胞的活性就會提升。

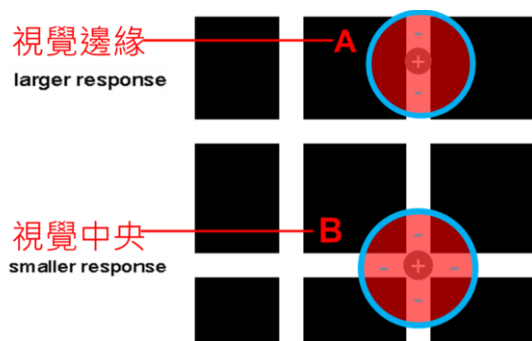
Off-surround : 感受野邊緣有光線刺激，會產生超極化作用，
並降低細胞的放電作用，該細胞的活性就被抑制。



圖三 Retinal ganglion cell

(三) 視網膜神經節細胞理論(側抑制作用) (Retinal Ganglion Cell Theory) :

Sekuler and Blake (1994)在「知覺」(Perception)這本教科書中，認為視網膜神經節細胞側抑制作用，是造成赫曼視錯覺的原因。此神經節側抑制理論解釋如圖四所示，視網膜上神經節細胞感受野的周圍在 B 區會比 A 區周圍的亮度較亮，接收的刺激多，神經活性抑制大，視錯覺灰點出現(感知 A 區圖案的神經節細胞感受野周圍只有 2 條白線刺激，感知 B 區圖案的神經節細胞感受野周圍則有 4 條交叉白線刺激，神經抑制較大)。



圖四

(四) S1 簡單細胞理論 (S1 Simple Cell Theory) :

Schiller & Carvey (2005)提出另一種赫曼視錯覺原因的解釋，他們認為當赫曼方格圖案作某些改變之後，按照神經節側抑制理論，視錯覺應該消失，結果反而更明顯；或者將色塊輪廓波浪線化(圖五)，錯覺卻徹底消失。他們認為視錯覺與定向選擇性神經元((S1 Simple Cell)作用有關，傳統視網膜神經節側抑制理論有問題。S1 簡單細胞位於 V1 紋狀皮層，主要用於判斷線段方向，每一個細胞只會被特定方向的線段所激活，簡單細胞又有 ON 細胞和 OFF 細胞兩類，ON 細胞被亮線條激活，OFF 細胞被暗線條激活，因此線條形狀改變就無法產生錯覺的出現。



圖五

(五) 視覺傳遞路徑

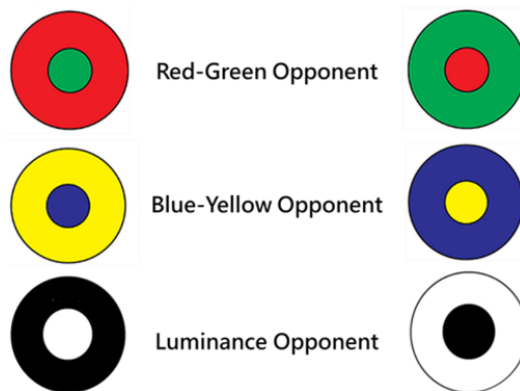
光量子 (photon) → 視野 (visual field) → 視網膜 (retina) → 視神經 (optic nerve) → 視交叉 (optic chiasma) → 視束 (optic tract) → 外側膝狀體 (lateral geniculate nucleus, LGN) → 視放射 (optic radiation) → 大腦視覺皮質 (visual cortex)。

(六) 彩色視覺 (color vision)

大腦對外在世界的顏色感知開始於視網膜的視錐細胞。在人類中，有 3 種對 3 種不同的光譜敏感的視錐細胞，按照它們的光譜敏感度 (Spectral sensitivity) 峰值波長的順序被標記為：短 (S)、中 (M)、和長 (L) 的視錐細胞，形成了三色視覺

(Trichromacy)。Ewald Hering 於 1872 年提出互補處理理論 (Opponent process)：視覺系統以一種拮抗的方式解釋顏色：紅對綠，藍對黃，黑對白，。三色視覺發生在視網膜視錐細胞層次，而拮抗加工則發生在視網膜神經節細胞 (retinal ganglion cell) 這一層次及之後的過程。(視網膜三錐細胞接受不同顏色刺激後，之後會在 LGN 整合後產生黑白、紅綠、藍黃，再傳遞到 V1 至 V4 皮層，產生不同顏色知覺。)

(七) 對色細胞 (Opponent Cell)：位於視網膜及 LGN 區域，在綠紅、藍黃、黑白顏色上的單對立細胞感受野的分布分別為中心顏色為 on(+)刺激，周圍顏色為 off(-)刺激。



圖六 單對立細胞感受野中心區域與周圍區域接受不同顏色的刺激

(八) 色盲 (Color Blindness) :

是指看見顏色及辨別顏色的能力減退的狀況，原因為眼睛上視網膜的光感覺細胞發生問題，使得它無法接受特定的可見光波長。當三種的錐狀細胞，有一種以上對光敏感度較低時候，即是色弱，而一種以上功能喪失時便是色盲。

貳、研究方法或過程

現今對於赫曼視錯覺的解釋存在兩種理論的爭議，一是傳統派認為錯覺發生原因是視網膜神經節側抑制所造成，另一是認為 V1 皮層的 S1 簡單細胞作用才是導致錯覺產生的機制，不是在視網膜層次。由於色盲的視網膜視錐細胞產生變異，與一般人的視錐細胞感光範圍不相同，可能造成後續色彩視覺傳遞至 V1 皮層整合後，S1 簡單細胞神經活性或感受野 RF 與一般人有所差異。因此我們提出一個「對比研究法」，以色盲當作實驗受試者，一般人當作對照組的研究設計，比較這兩群受試者在不同對立顏色的赫曼方格中，產生視錯覺效果有何異同，用以比較視網膜色錐細胞的變異，會不會影響到赫曼視錯覺的效果。若是兩者結果有顯著差異，則可以說明不同顏色圖案經過視網膜的視錐細胞接受，再經過拮抗加工之後，可能會影響到 V1 皮層，進而影響赫曼視錯覺。

一、研究受試者：

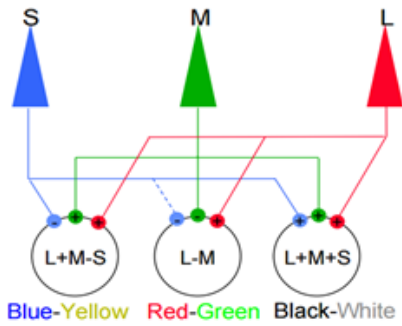
30 位自願性一般和紅綠色盲的受試者，並使用色盲檢測書檢測確認進行實驗。

二、赫曼方格制定

依照拮抗處理論制(圖七)訂六種配色:

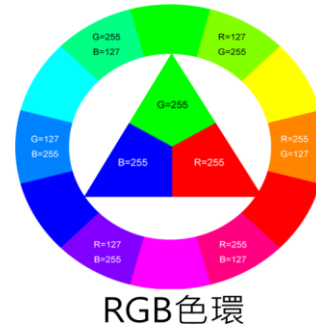
黑底白線 白底黑線 綠底紅線 紅底綠線 藍底黃線 黃底藍線

再以 RGB 色環(圖八)所定義顏色分成：



圖七 拮抗處理論制(IST04_ColorOpponent)

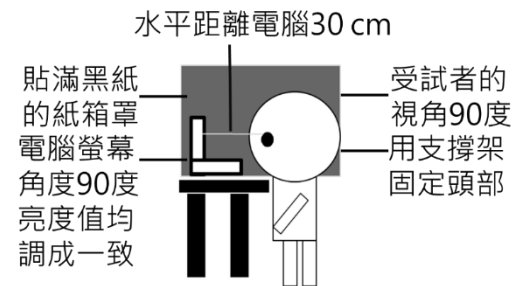
紅色 R=0-255 藍色 B=0-255 綠色 G=0-255



圖八 色環 (維基百科)

三、標準化環境

- (一) 製作黑色紙箱罩住使實驗不受外面光線影響
- (二) 放入電腦螢幕角度 90 度且受試者視角：90 度
- (三) 使受試者直視電腦螢幕水平距離 30 公分
- (四) 以架子固定頭部進行實驗

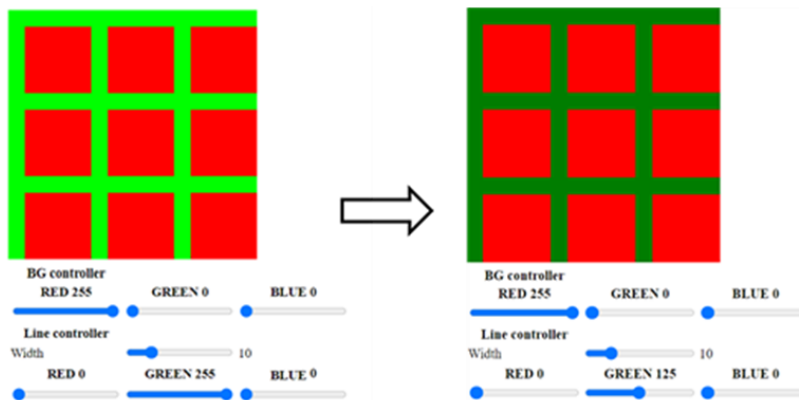


圖九 標準化觀察環境

四、網頁程式觀測

設計網頁版的程式(圖片大小 300*300px)

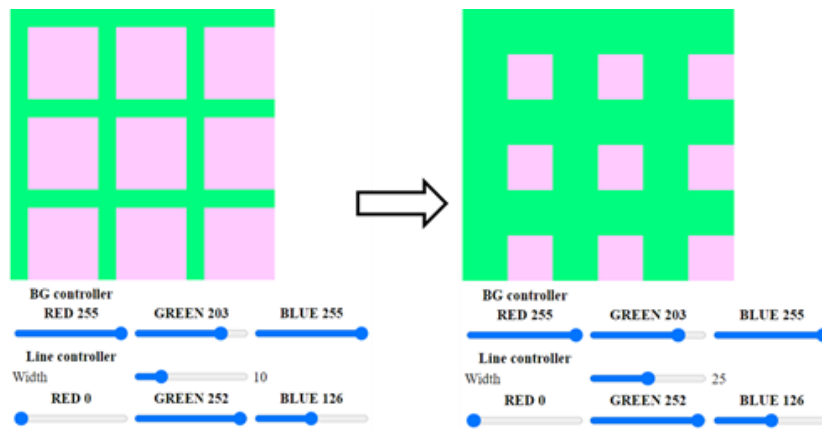
- (一) 固定方格顏色調控線條顏色



- (二) 將顏色固定為亮度相同的，調控線調的寬度(範圍 0-25)

線條寬度的 0-25 代表為 0-50px，而整張赫曼方格為 300*300px。

首先會向受試者說明實驗流程，並提醒受試者調圖片時間 30 秒眼睛休息 5 秒，而後受試者調整線條顏色或大小開始測驗。



圖十 網頁版的程式

(file:///C:/Users/jenna/Downloads/Hermann%20(2).html)

五、收集數據

填寫 google 表單分成四大部分：

第一部分為填寫個人資料

第二部分為當方格顏色固定一種時紅色，調整 Line controller 中的特定顏色，請問調整

Line controller 在調到數值為多少區間時有鬼影的出現？例如：當方格顏色為紅色

(R=255)時，調整 Line controller 中的綠色，請問在綠色調到數值為多少區間時有鬼影？

第三部分為當背景顏色與線條顏色都固定時，請問調 Width 到數值為多少時有鬼影(休息並重複調三次)？

第四部份為在不考量金錢和格子的衣服線條和大小版型情況下，下圖請問如果有這樣配色的格子襯衫，你會選擇購買嗎？

並會提前對受試者解釋鬼影出現、圖片定義的標準：

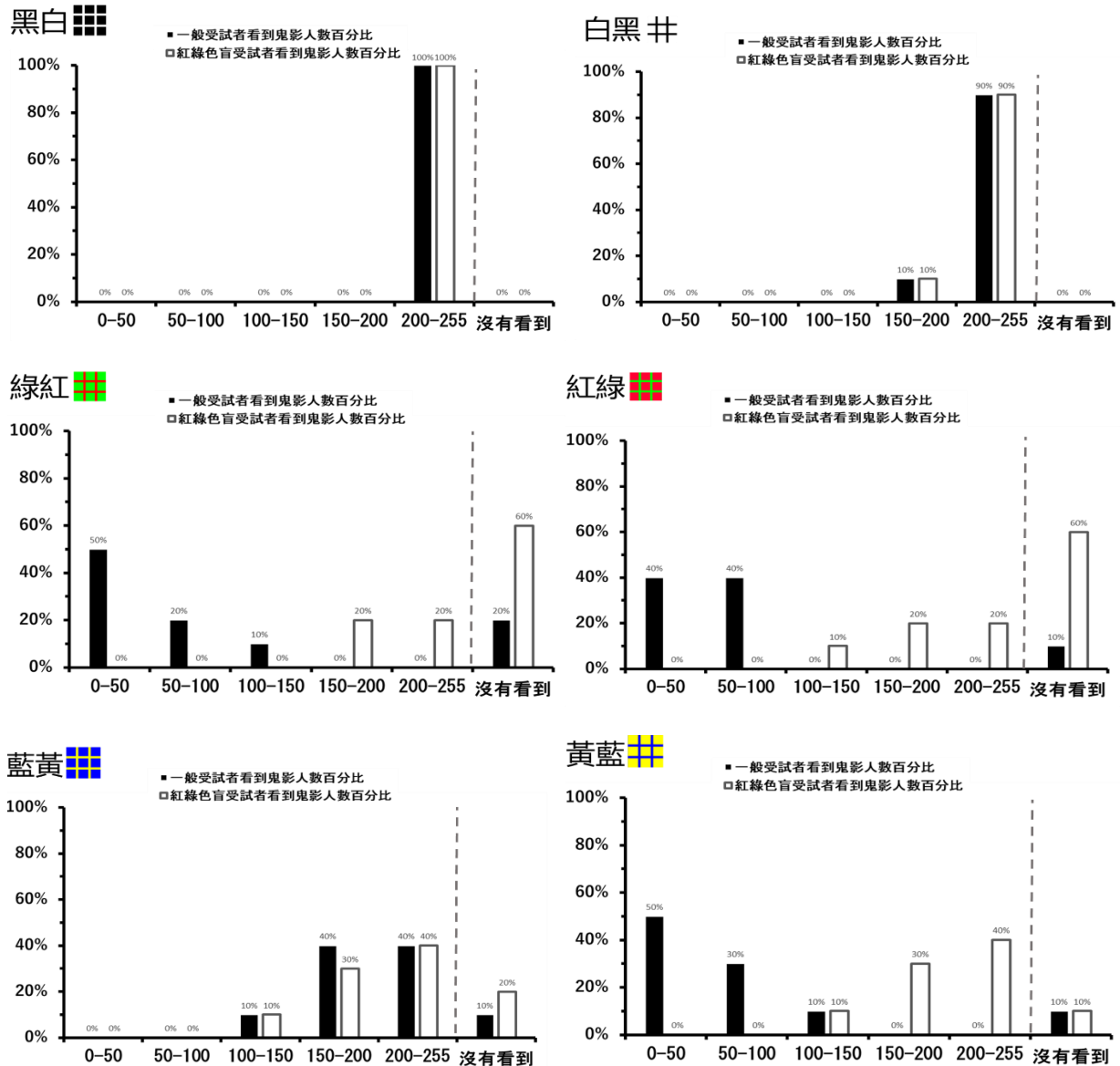
- (一) 鬼影是位於交叉原點中可能會產生的錯覺
- (二) 將線條顏色分五大區間 0-255 從暗到亮
- (三) 將大小數值定義 0-25 區間

六、分析結果

- (一) 統計成表格、圖像，並觀察數據。
- (二) 探討紅綠色盲與一般受試者看赫曼方格視錯覺的差異。
- (三) 探討紅綠色盲在視錯覺的影響下與消費行為的關聯性。

參、研究結果與討論

一、不同亮度的顏色線條對兩群受試者產生視錯覺的影響



圖十一 X 軸單位是線條亮度值，從最暗 0 調至最亮 255，Y 軸是看到視錯覺人數比例

兩群受試者在黑白配色兩組結果相似，都是方格與線條的對比度越大，視錯覺的效果越好。而在有顏色的綠紅、藍黃四組的配色結果中，除了在藍格黃線一般與色盲的受試者皆在線條較亮時容易產生視錯覺外，在其他三組配色的結果中，一般與色盲的受試者皆有顯著差異，一般人在線條較暗時容易產生視錯覺，而色盲則在較亮線條產生視錯覺。

結果討論：

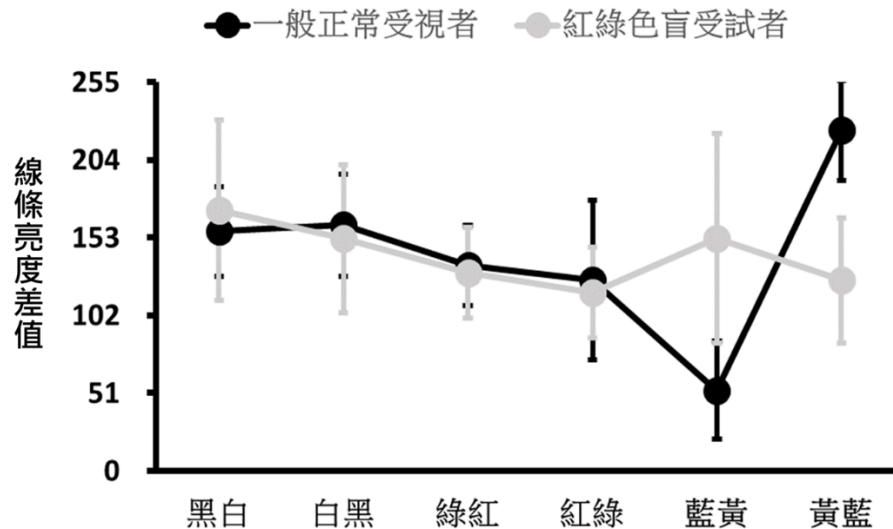
(一) 黑白配色赫曼方格中線條與方格對比度越大，視錯覺產生的效果越明顯

(1)白線條			(2)暗線條		
有錯覺					
黑白對色細胞	刺激值 high ← → low	神經 活性	黑白對色細胞	刺激值 high ← → low	神經 活性
A 感受野中央 +	✓	+	A 感受野中央 +	✓	+
感受野周圍 -	✓		感受野周圍 -	✓	
B 感受野中央 +	✓	+	B 感受野中央 +	✓	+
感受野周圍 -	✓		感受野周圍 -	✓	

表一

B 區感受野周圍區域接受負刺激程度較 A 區大，導致 A 和 B 區神經活性有差異，產生視錯覺。若亮度對比度越大，神經刺激差異越大，視錯覺效果越好。

(二) 兩群受試者在不同配色赫曼方格中可看到視錯覺的線條亮度範圍有差異

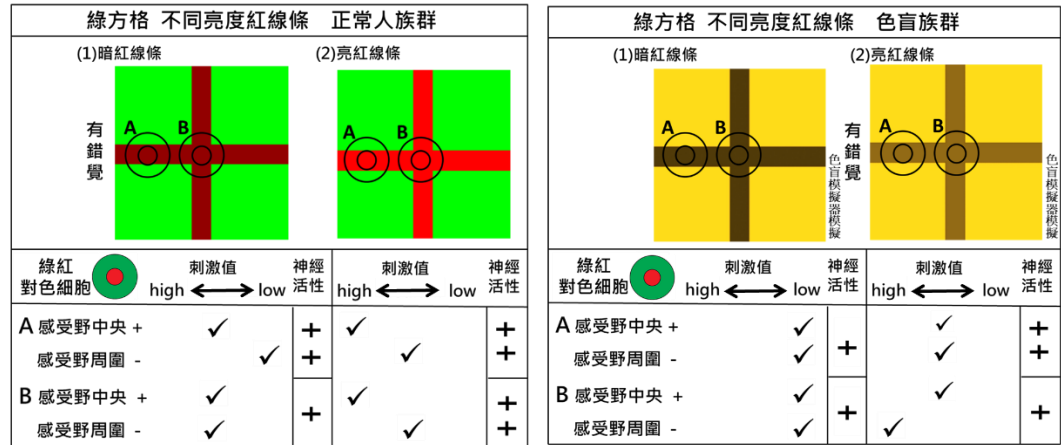


圖十二

不同配色的線條都有一段亮度的範圍可以看到視錯覺，不同人範圍差異大，一般與色盲受試者除了在藍黃配色範圍明顯差異，黑白與綠紅則較相似。

(三) 兩群受試者在綠紅、紅綠、藍黃配色中線條亮度範圍呈現兩極化的趨勢

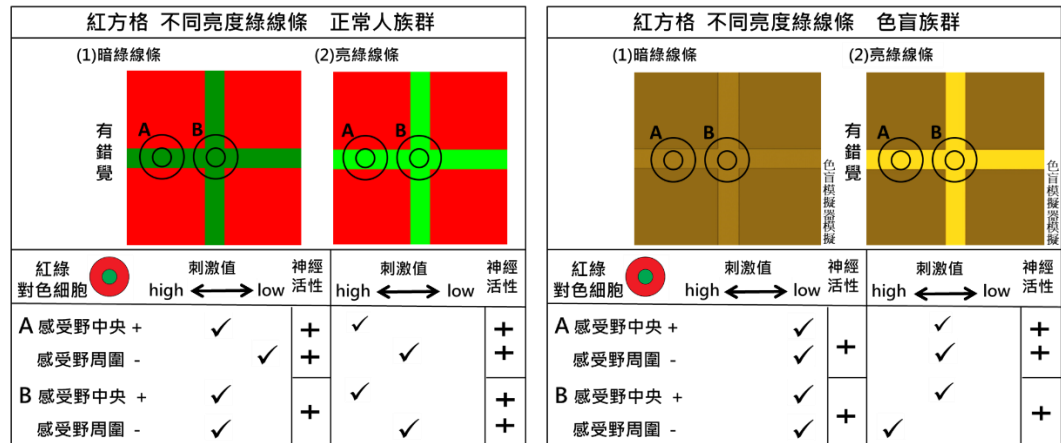
1. 綠格紅線赫曼方格



表二

正常人在暗紅線條出現視錯覺，是因為 A 區感受野受暗紅線負刺激較少，神經活性較 B 區高。而色盲則在亮紅線條出現視錯覺，是因為 B 區感受野受亮紅線負刺激較多，導致神經活性較 B 區高，產生視錯覺出現。

2. 紅格綠線赫曼方格



表三

正常人在暗綠線條出現視錯覺，是因為 A 區感受野受暗綠線負刺激較少，神經活性較 B 區高。而色盲則在亮綠線條出現視錯覺，是因為 B 區感受野受亮綠線負刺激較多，導致神經活性較 B 區高，產生視錯覺出現。

3. 藍格黃線赫曼方格

藍方格 不同亮度黃線條 正常族群					藍方格 不同亮度黃線條 色盲族群				
(1)暗黃線條			有錯覺		(2)亮黃線條			有錯覺	
藍黃對色細胞		刺激值 high ←→ low		神經活性	藍黃對色細胞		刺激值 high ←→ low		神經活性
A 感受野中央 +		✓	✓	+	A 感受野中央 +		✓	+	
感受野周圍 -	✓			+	感受野周圍 -	✓		+	
B 感受野中央 +		✓	✓	+	B 感受野中央 +		✓	+	
感受野周圍 -	✓			+	感受野周圍 -	✓		+	

表四

正常人和色盲都在亮黃線條出現視錯覺，是因為 B 區感受野亮黃線相對暗藍方格，對比度較高，負刺激較多，導致 AB 兩區神經活性有差異，產生視錯覺。

4. 黃格藍線赫曼方格

黃方格 不同亮度藍線條 正常族群					黃方格 不同亮度藍線條 色盲族群				
(1)暗藍線條			有錯覺		(2)亮藍線條			有錯覺	
黃藍對色細胞		刺激值 high ←→ low		神經活性	黃藍對色細胞		刺激值 high ←→ low		神經活性
A 感受野中央 +		✓	✓	+	A 感受野中央 +		✓	+	
感受野周圍 -	✓			+	感受野周圍 -	✓		+	
B 感受野中央 +		✓	✓	+	B 感受野中央 +		✓	+	
感受野周圍 -	✓			+	感受野周圍 -	✓		+	

表五

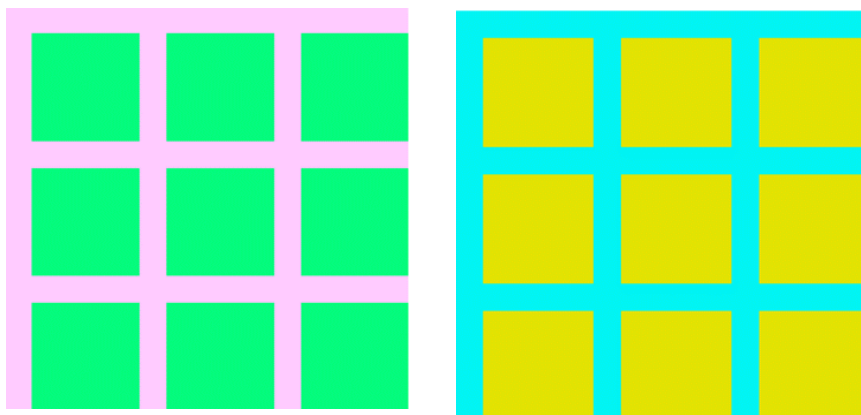
正常人在暗藍線條出現視錯覺，是因為 A 區感受野受暗藍線負刺激較少，神經活性較 B 區高。而色盲則在亮藍線條出現視錯覺，是因為 B 區感受野受亮藍線負刺激較多，導致神經活性較 B 區高，產生視錯覺出現。

實驗小結：

- (一) 黑白配色中方格與線條的對比度越大，越容易產生視錯覺，可能因為在交叉點的視網神經節細胞感受野周圍區域被抑制較強烈，導致對應交叉點視野區域的神經活性較低，產生視錯覺。
- (二) 綠紅、藍黃配色方格中，正常與色盲兩個族群在不同的亮暗度線條產生錯覺程度有差異，可能與受試者視錐細胞所接收到的顏色亮度差異有關，色盲需要對比對較高亮度的顏色刺激才容易讓神經節細胞(感應中央 B 點與其他 A 點顏色)有活化程度上的差異，產生視錯覺。
- (三) 紅綠色盲族群在黑白、白黑與藍黃的錯覺效果與一般人相似，但在綠紅、紅綠與黃藍的錯覺效果就與一般人有顯著差異，可能紅綠色盲族群因色錐細胞的缺陷，造成對這三種對色感知的差異。

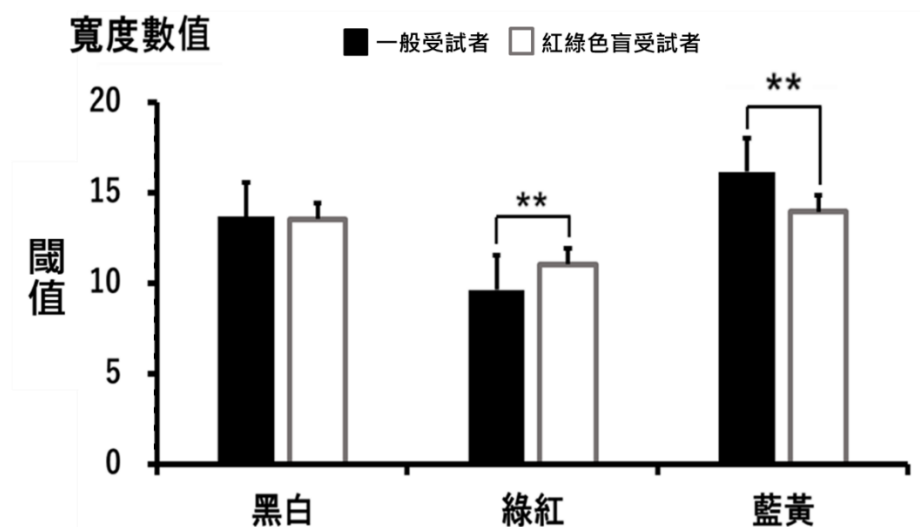
二、 不同寬度的顏色線條對兩群受試者產生視錯覺的影響

藉由網頁程式將方格背景固定，並且將線條的寬度數值調到最小，請受試者調整特定兩種顏色數值，當受試者調到兩種顏色幾乎無法分辨或感受到產生混色時，此時的數值為此受試者去亮度後的值，若以此進行後面的實驗，降低因顏色本身的亮度造成的誤差。



上面此兩張圖為我們所製作出來的綠紅配色黃藍配色的圖片

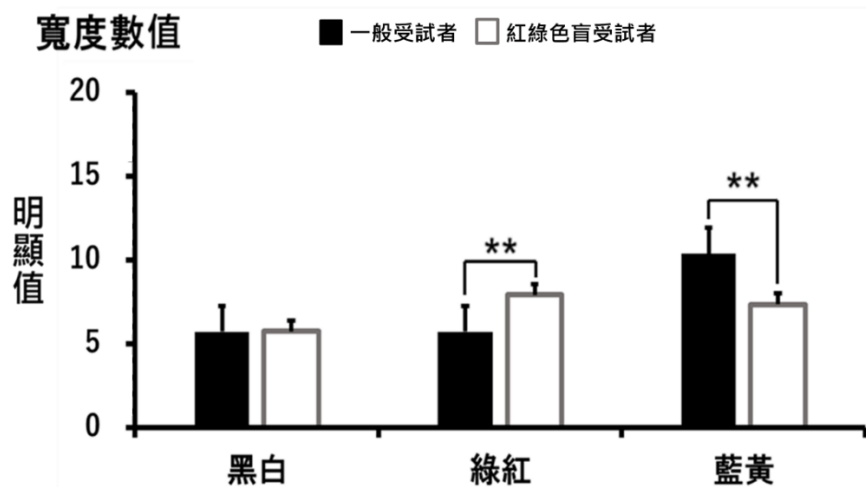
(一) 產生視錯覺的臨界值 (閾值)



圖十三

1. 閾值意義：線條逐漸變寬方格變小，當超過一定寬度，受試者不產生視錯覺。
2. 一般與色盲受試者在三組配色結果呈現相同趨勢，與黑白色相比較，綠紅閾值較低，藍黃閾值較高。

(二) 產生視錯覺的明顯值



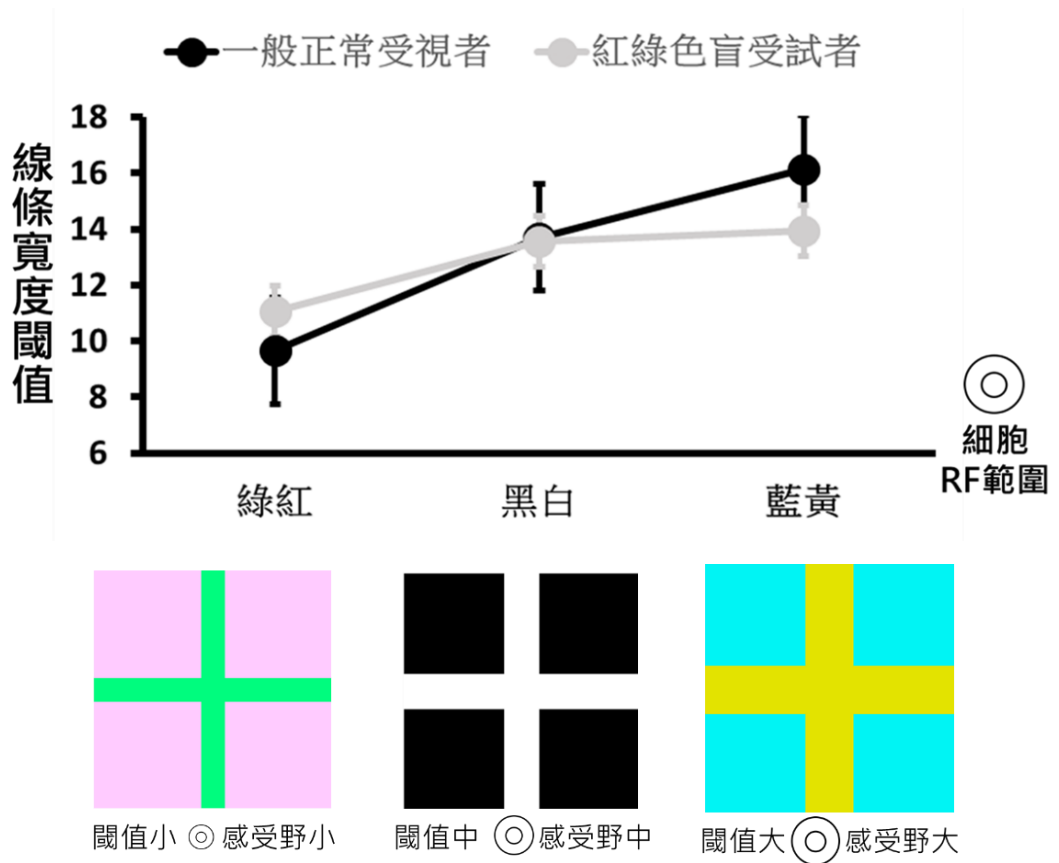
(三)

圖十四

1. 明顯值意義：線條逐漸變寬方格變小，當一定寬度時，受試者產生最大視錯覺
2. 在綠紅配色組色盲在較寬的線條產生明顯視錯覺，在藍黃配色組色盲在較窄的線條產生明顯視錯覺。

實驗討論：

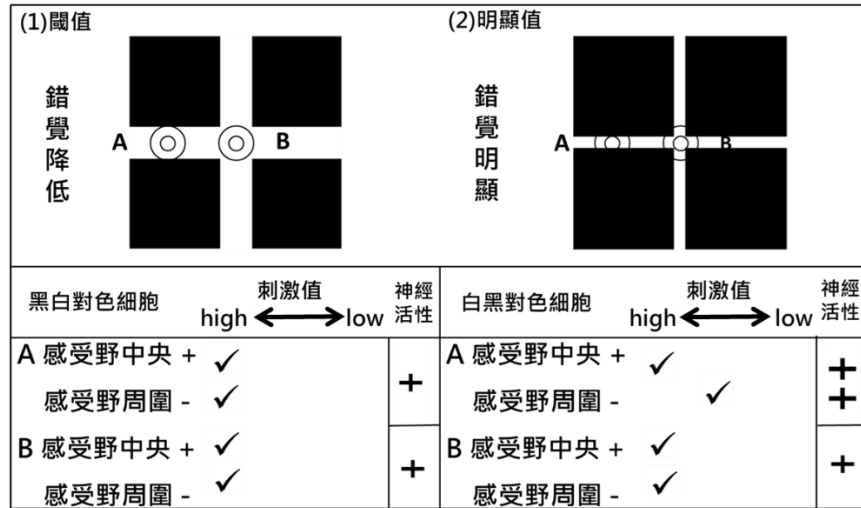
(一) 不同顏色的線條寬度閾值差異，可能與神經細胞感受野範圍有關



圖十五

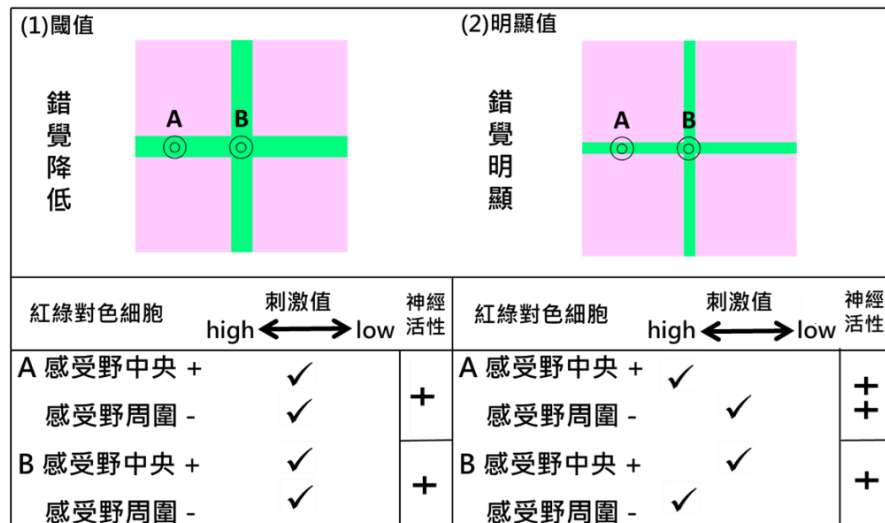
感受野有分為中心+刺激與周圍-刺激兩個區域，當感受野較大時，線條變寬後，線條還是會落在周圍-刺激區域，還是會造成神經活性有差異，出現錯覺。所以我們認為當感受野越大，閾值就會越大；當感受野越小，閾值也會較小。由實驗數據顯示，與黑白相比較，綠紅感受野範圍較小，而藍黃較大。

1. 黑白配色



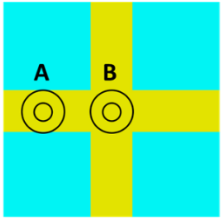
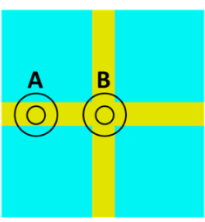
當 B 點線條寬度變大時，代表 B 點感受野周圍區域被黑格子刺激較少，較不產生側抑制作用，B 點對應的神經節細胞活性提高，造成 AB 兩點的活化水平拉近，視錯覺效果較不明顯。當 B 點線條寬度超度臨界值時，代表 B 點對應的神經節細胞活性與 A 點相同，沒有活化水平的差異，不產生視錯覺。

2. 綠紅配色



與黑白相比較，綠紅對立細胞的 RF 範圍較小，造成 B 點線條寬度的臨界值較黑白配色小，線條太寬就容易讓視錯覺消失。

3. 黃藍配色

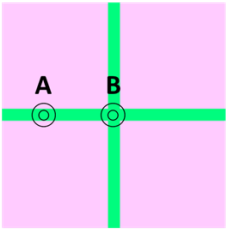
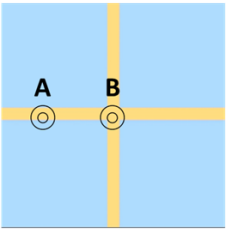
(1) 閾值				(2) 明顯值			
錯覺降低				錯覺明顯			
		紅綠對色細胞				紅綠對色細胞	
		刺激值 high ← → low				刺激值 high ← → low	
		神經活性				神經活性	
A 感受野中央 +	✓	+	A 感受野中央 +	✓	+	A 感受野中央 +	✓
感受野周圍 -	✓	+	感受野周圍 -	✓	+	感受野周圍 -	✓
B 感受野中央 +	✓	+	B 感受野中央 +	✓	+	B 感受野中央 +	✓
感受野周圍 -	✓	+	感受野周圍 -	✓	+	感受野周圍 -	✓

表六

與黑白相比較，黃藍對立細胞 RF 範圍較大，造成 B 點線條寬度的臨界值較黑白配色大，線條寬一點，還是會有視錯覺發生。

(二) 兩群受試者的線條寬度閾值差異，可能與色錐細胞感光範圍有關

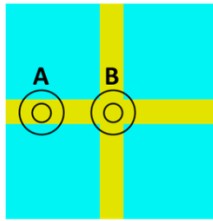
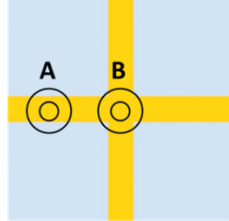
1. 綠紅配色

(1) 正常受試者				(2) 色盲受試者			
閾值較小				閾值較大			
		紅綠對色細胞				紅綠對色細胞	
		刺激值 high medium low				刺激值 high medium low	
		神經活性				神經活性	
A 感受野中央 +	✓	+	A 感受野中央 +	✓	+	A 感受野中央 +	✓
感受野周圍 -	✓	+	感受野周圍 -	✓	+	感受野周圍 -	✓
B 感受野中央 +	✓	+	B 感受野中央 +	✓	+	B 感受野中央 +	✓
感受野周圍 -	✓	+	感受野周圍 -	✓	+	感受野周圍 -	✓

表七

因色盲 L 或 M 色錐細胞的異常，可能改變對紅綠對立細胞感受野刺激的
程度，讓側抑制較不明顯。線條變寬後，B 點神經細胞活性上升較一般
人慢，造成色盲受試者綠紅配色線條閾值較一般人高。

2. 藍黃配色

(1) 正常受試者				(2) 色盲受試者			
閾值 較 大				閾值 較 小			
	藍黃對色細胞	刺激值 high ←→ low	神經 活性		藍黃對色細胞	刺激值 high ←→ low	神經 活性
A 感受野中央 +	✓	+	A 感受野中央 +	✓	+		
感受野周圍 -	✓		感受野周圍 -	✓			
B 感受野中央 +	✓	+	B 感受野中央 +	✓	+		
感受野周圍 -	✓		感受野周圍 -	✓			

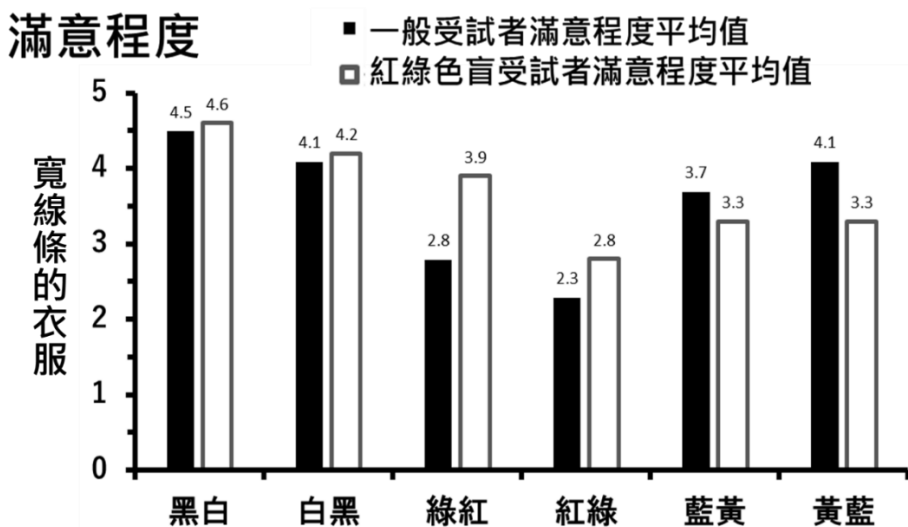
表八

因色盲 L 或 M 色錐細胞的異常，黃色光會變暗，但 S 色錐細胞正常，藍色影響較小，因此感受野中心與周圍亮度對比較大，改變藍黃對立細胞
感受野刺激的程度，側抑制較明顯，造成色盲受試者在藍黃配色線條閾
值較一般人低。

實驗小結：

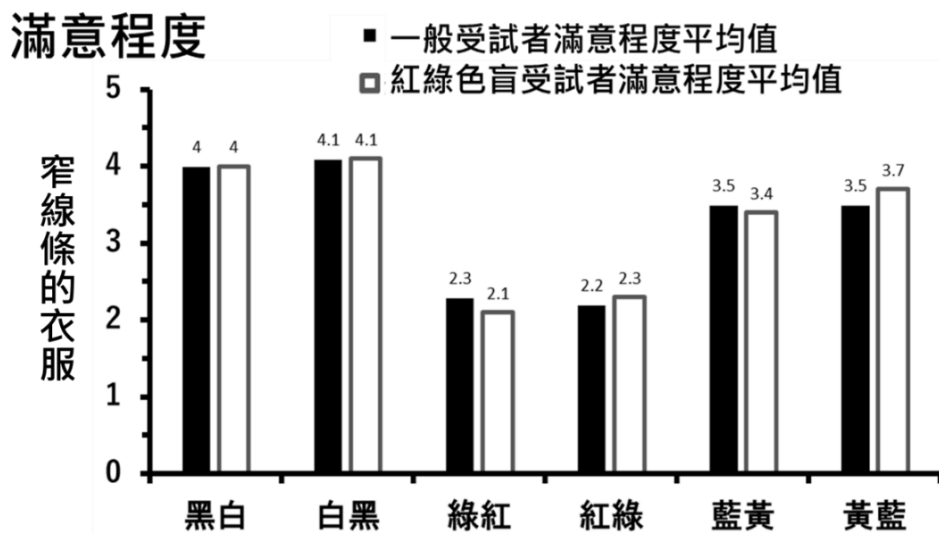
- (一) 不同顏色的臨界值和明顯值有差異，可能與不同對立細胞的 RF 範圍
差異有關，與黑白相比較，藍黃 RF 範圍較大，綠紅 RF 較小。
- (二) 當線條寬度增加時，色盲因 L M 色錐細胞缺陷，可能改變神經節細
胞對顏色的亮度感知，讓感受野中心與周圍神經活化水平速度不
同，與正常人產生臨界值與明顯值差異的存在。

三、 條紋方格衣服視錯覺程度與人類消費喜好行為之關聯



圖十六

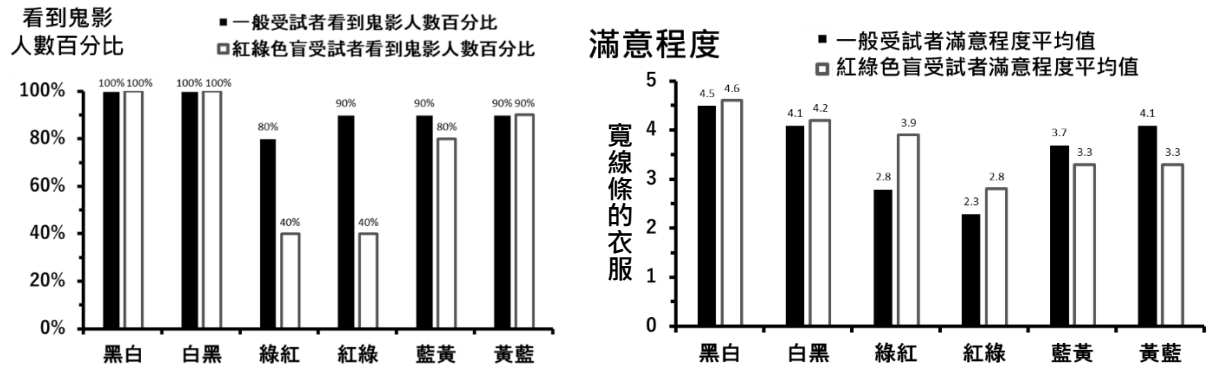
在較寬線條的格子衣服消費行為問卷結果中，兩群受試者皆以黑白配色滿意度較其他配色高，而一般受試者在綠紅配色滿意程度比色盲低很多，但藍黃色相反。可能與兩者看到視錯覺線條亮度分佈差異有關。



圖十七

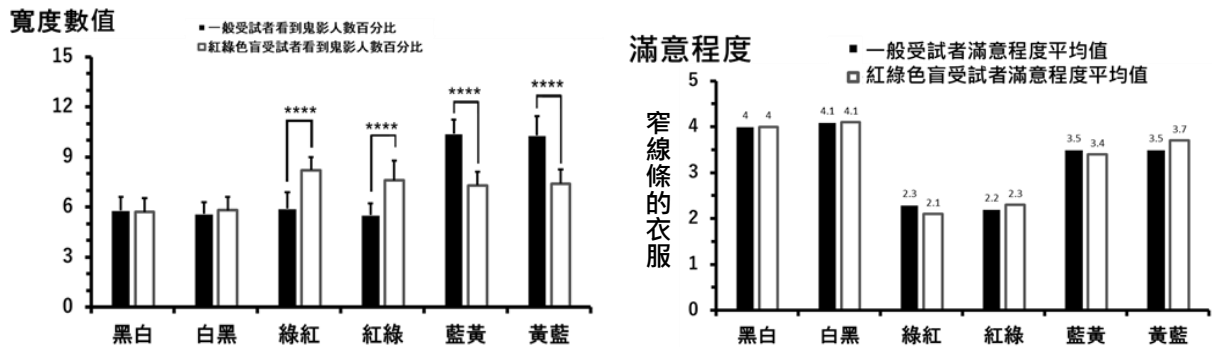
線條寬度縮小後，兩者受試者的滿意程度都降低，可能與視錯覺程度有關。線條寬度比較小，容易引發視錯覺，滿意程度會下降。

實驗討論：



圖十八

上圖一般正常受試者與紅綠色盲受試者看到鬼影人數百分比圖中，發現黑白和白黑赫曼方格對兩不同族群受試者能看到視錯覺人數百分比都是 100%，但紅綠色盲受試者願意購買的程度卻大於一般受試者，可能是傳統赫曼方格產生的視錯覺對於紅綠色盲受試者影響較沒有那麼明顯；在綠紅和紅綠赫曼方格中，紅綠色盲可能因為 L 或 M 錐狀細胞變異，對於紅色與綠色無法辨別，常把綠色視為黃色，紅色視為褐色。對於較亮的顏色線條才容易辨別，當光線不足或是顏色太淺時候無容易分辨顏色差異，所看到的視錯覺較少，願意購買的程度較高；在藍黃和黃藍赫曼方格中，兩者受試者所看到的鬼影百分比皆較多，我們認為可能原因色盲受試者受到視錯覺影響較大，導致願意購買程度較少。



圖十九

綠紅配色的格子衣服滿意度結果分析，當線條變窄之後，色盲的滿意度下降幅度比一般受試者高很多(3.9 下降至 2.1)。可能是紅綠色盲受試者看到視錯覺的線條閾值的較大導致紅綠色盲受試者看到線條較小的方格襯衫所產生視錯覺較多，願意購買程度下降；在黃藍配色中，紅綠色盲所能看到視錯覺分布較少，可能導致紅綠色盲受試者看到線條較小的方格襯衫產生視錯覺較少，紅綠色盲受試者願意購買的程度上升(3.3 上升至 3.7)。

肆、結論與應用

一、結論：

- (一) 不同亮度和寬度線條赫曼方格實驗中，一般與色盲受試者在黑白配色無顯著差異，在綠紅與藍黃配色，有顯著差異。
- (二) 色盲因錐狀細胞的變異，可能造成顏色感知相關的神經細胞刺激程度或感受野範圍不同，影響赫曼方格視錯覺效果。
- (三) 一般與色盲族群在有顏色的赫曼方格實驗結果出現差異，顯示視網膜色錐細胞與神經節細胞的作用，對視錯覺形成扮演一定角色，可能影響 S1 簡單細胞作用。

二、未來探討：

- (一) 增加更多一般和紅綠色盲受試者樣本，並區別不同形式的紅或綠色弱和色盲。
- (二) 將水平和垂直線條做不均等或不對稱的變化，去探討在不同顏色的赫曼方格中神經節細胞與 S1 簡單細胞影響的差異。
- (三) 在不同顏色赫曼方格改變色塊波浪形狀，探討線條形狀變因對視錯覺的影響。

三、應用：

- (一) 在日常商品外型設計方格條紋圖案時，條紋的寬度不要太細，且盡量避開可能會產生視錯覺的顏色配色與亮度差值。
- (二) 日常生活的設計中對於紅綠色盲族群較為忽略他們的感受，使用較易產生視錯覺的配色方格製作提醒標誌，並且在商品上增加他們的視覺辨認顏色的感受，讓他們減少誤認物品的顏色，使生活更加方便。

伍、參考資料(文獻)

- 一、Ashish Bakshi, Kuntal Ghosh (2020) Tiny Squares at the Hermann Grid Corners Can Completely Remove the Illusion. First Published January 6, 2020
- 二、Françoise Viénot and Jean Le Rohellec (2017). Colorimetry and Physiology - The LMS Specification. Digitalcolor. Acquisition, Perception, Coding and Rendering , 2013
- 三、James P. Comerford, Frank Thorn, Brad Bodkin (2005). The chromatic Hermann grid illusion for stimuli equated in chroma
- 四、Jay Neitz and Maureen Neitz (2011). The genetics of normal and defective color vision. University of Washington, Dept. of Ophthalmology, Seattle, WA
- 五、Judah B. De Paula (2006). Converting RGB Images to LMS Cone Activations. Department of Computer SciencesThe University of Texas, Austin.
- 六、Marcelo F., Paulo R. K., Mirella T. S.and Dora F.(2016). Reduced Discrimination in the Tritanopic Confusion Line for Congenital Color Deficiency Adults. Laboratório de Psicofisiologia Sensorial, Departamento de Psicologia Experimental, Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo.
- 七、Sara S. Patterson, Maureen Neitz and Jay Neitz. 2019. Reconciling Color Vision Models With Midget Ganglion Cell
- 八、Receptive Fields. Frontiers in Neuroscience Volume 13 Article 865.
- 九、Schiller, P. H., & Carvey, C. E. 2005 The Hermann Grid Illusion Revisited. Perception: 34: 1375 – 1397.
- 十、Sekuler R, Blake R . 1994 Perception. New York: McGraw-Hill
- 十一、Tran Trung Kien ; Tomas Maul ; Lee Jung Ren ; Andrzej Bargiela (2012). Outer plexiform layer receptive fields as underlying factors of the Hermann grid illusion
- 十二、Victor de Lafuente & Octavio Ruiz (2003). The orientation dependence of the Hermann grid illusion
- 十三、色盲,維基百科
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%89%B2%E7%9B%B2%E7%B4%85%E7%B6%A0%E8%89%B2%E7%9B%B2>

十四、 華人百科；視球成像

<https://www.itsfun.com.tw/%E7%9C%BC%E7%90%83%E6%88%90%E5%83%8F/wiki-542179-068819>

十五、 深海魚眼中的世界，也可以五彩繽紛？（2019）科學松鼠會

<https://www.weiwenku.org/d/201116790>

十六、 華人百科；雙極細胞

<https://www.itsfun.com.tw/%E9%9B%99%E6%A5%B5%E7%B4%B0%E8%83%9E/wiki-1133491-7867381>

十七、 色環維基百科

<https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/%E8%89%B2%E7%92%B0>

附錄

實驗問卷：

視錯覺實驗

各位同學您好：
首先非常感謝您願意協助填寫這份問卷！
本研究屬於生物專題的學術性研究，主旨在了解不同顏色對赫曼方格所產生視錯覺的影響，所有資料為統計分析之用，不對外公開，因此您可以放心作答。
問卷分成三部分，第一部分填寫個人資料，我們不會透露出去。第二部分與第三部分內所有問題並無標準答案，您只要依照您所看到的去填寫即可。您的意見非常寶貴與重要，衷心感謝您的參與協助！

麗山高中生物專題
指導老師：林獻升 指導
研究生：周正穎、謝宜蕓 敬上
中華民國109年5月

*必填

第一部分：基本資料
我們不會透露出去，因此您可以放心填寫

姓名*

您的回答 _____

性別*

- 男
 女

眼睛是否有特殊疾病？*

有，對螢幕感到模糊或無法辨認顏色(接下題)

第二部分-依題意進行回答

鬼影是位於交叉原點中可能會產生的錯覺

(1)下圖中是否有看到鬼影(視錯覺)?*

受試者請訂在中央的交叉上，利用餘光觀察右上方十字(下圖為方格固定，調整綠色線條的顏色)



- 是
 否

標準化環境

- 受試者請訂在中央的交叉上，利用餘光觀察右上方十字(十字如上面，上圖為示意圖)
- 受試者請在測試光一張圖片後閉眼休息5秒鐘再進行下一張圖的測試
- 受試者在調整數值請在30秒內完成

(2)當方格顏色為紅色(R=255)時，調整Line controller中的綠色，請問在綠色調到數值為多少區間時有鬼影的出現?*

受試者請訂在中央的交叉上，利用餘光觀察右上方十字(下圖為方格固定，調整綠色線條的顏色)，範例回答形式：G=100-134

您的回答 _____

(3)當方格顏色為紅色(R=255)時，調整Line controller中的藍色，請問在藍色調到數值為多少區間時有鬼影的出現?*

受試者請訂在中央的交叉上，利用餘光觀察右上方十字(下圖為紅色方格固定，調整藍色線條的顏色)，範例回答形式：B=100-134

您的回答 _____

(4)當方格顏色為綠色(G=255)時，調整Line controller中的紅色，請問在紅色調到數值為多少區間時有鬼影的出現?*

受試者請訂在中央的交叉上，利用餘光觀察右上方十字(下圖為綠色方格固定，調整紅色線條的顏色)，範例回答形式：R=100-134

您的回答 _____

(5)當方格顏色為綠色(G=255)時，調整Line controller中的藍色，請問在藍色調到數值為多少區間時有鬼影的出現?*

受試者請訂在中央的交叉上，利用餘光觀察右上方十字(下圖為綠色方格固定，調整藍色線條的顏色)，範例回答形式：B=100-134

您的回答 _____

第三部分-依題意進行回答

鬼影是位於交叉原點中可能會產生的錯覺

(1)當背景顏色為紅色且線條顏色為綠色時，請問調Width到數值為多少時有鬼影?*

受試者請訂在中央的交叉上，利用餘光觀察右上方十字，範例回答形式：11 (休息並重複看三次)

您的回答 _____

(2)當背景顏色為紅色且線條顏色為藍色時，請問調Width到數值為多少區間時有鬼影?*

受試者請訂在中央的交叉上，利用餘光觀察右上方十字，範例回答形式：11-15

您的回答 _____

(3)當背景顏色為綠色且線條顏色為紅色時，請問調Width到數值為多少時有鬼影?*

受試者請訂在中央的交叉上，利用餘光觀察右上方十字，範例回答形式：11 (休息並重複看三次)

您的回答 _____

(4)當背景顏色為綠色且線條顏色為藍色時，請問調Width到數值為多少時有鬼影?*

受試者請訂在中央的交叉上，利用餘光觀察右上方十字，範例回答形式：11 (休息並重複看三次)

您的回答 _____

(5)當背景顏色為藍色且線條顏色為紅色時，請問調Width到數值為多少時有鬼影?*

受試者請訂在中央的交叉上，利用餘光觀察右上方十字，範例回答形式：11 (休息並重複看三次)

您的回答 _____

(6)當背景顏色為藍色且線條顏色為綠色時，請問調Width到數值為多少時有鬼影?*

受試者請訂在中央的交叉上，利用餘光觀察右上方十字，範例回答形式：11 (休息並重複看三次)

您的回答 _____

第四部份:消費行為探討

依照自己喜好選擇

(1)在不考量金錢和袖子的衣服線條和大小版型情況下，下面請問如果有這樣配色的格子襯衫，你會選擇購買嗎？



- 非常滿意
- 滿意
- 普通
- 不滿意
- 非常不滿意

(2)在不考量金錢和袖子的衣服線條和大小版型情況下，下面請問如果有這樣配色的格子襯衫，你會選擇購買嗎？



- 非常滿意
- 滿意
- 普通
- 不滿意
- 非常不滿意

(7)在不考量金錢和袖子的衣服線條和大小版型情況下，下面請問如果有這樣配色的格子襯衫，你會選擇購買嗎？



- 非常滿意
- 滿意
- 普通
- 不滿意
- 非常不滿意

(8)在不考量金錢和袖子的衣服線條和大小版型情況下，下面請問如果有這樣配色的格子襯衫，你會選擇購買嗎？



- 非常滿意
- 滿意
- 普通
- 不滿意
- 非常不滿意

(3)在不考量金錢和袖子的衣服線條和大小版型情況下，下面請問如果有這樣配色的格子襯衫，你會選擇購買嗎？



- 非常滿意
- 滿意
- 普通
- 不滿意
- 非常不滿意

(4)在不考量金錢和袖子的衣服線條和大小版型情況下，下面請問如果有這樣配色的格子襯衫，你會選擇購買嗎？



- 非常滿意
- 滿意
- 普通
- 不滿意
- 非常不滿意

(9)在不考量金錢和袖子的衣服線條和大小版型情況下，下面請問如果有這樣配色的格子襯衫，你會選擇購買嗎？



- 非常滿意
- 滿意
- 普通
- 不滿意
- 非常不滿意

(10)在不考量金錢和袖子的衣服線條和大小版型情況下，下面請問如果有這樣配色的格子襯衫，你會選擇購買嗎？



- 非常滿意
- 滿意
- 普通
- 不滿意
- 非常不滿意

(5)在不考量金錢和袖子的衣服線條和大小版型情況下，下面請問如果有這樣配色的格子襯衫，你會選擇購買嗎？



- 非常滿意
- 滿意
- 普通
- 不滿意
- 非常不滿意

(6)在不考量金錢和袖子的衣服線條和大小版型情況下，下面請問如果有這樣配色的格子襯衫，你會選擇購買嗎？



- 非常滿意
- 滿意
- 普通
- 不滿意
- 非常不滿意

(11)在不考量金錢和袖子的衣服線條和大小版型情況下，下面請問如果有這樣配色的格子襯衫，你會選擇購買嗎？



- 非常滿意
- 滿意
- 普通
- 不滿意
- 非常不滿意

(12)在不考量金錢和袖子的衣服線條和大小版型情況下，下面請問如果有這樣配色的格子襯衫，你會選擇購買嗎？



- 非常滿意
- 滿意
- 普通
- 不滿意
- 非常不滿意

實驗同意書：

附錄二：參與研究同意書

同意書版本：第一版 日期：西元 2020
受試者姓名： 出生年月：____年____月____日 通訊地點： 連絡電話：
一、 研究目的： 本研究主旨為探討紅綠色盲受試者與一般受試者對於不同顏色亮度的赫曼方格所產生視錯覺的不同；與亮度差異減少到最小後，不同寬度對於不同類群受試者的視錯覺影響： 1. 利用網頁版設計程式，控制方格顏色與線條寬度的變因，調線條顏色的亮度，探討不同顏色線條的亮度對不同類群受試者產生視錯覺的影響。 2. 利用網頁版設計程式，控制方格顏色與線條顏色的變因，調線條與方格寬度的比例，探討不同寬度對視錯覺產生的影響。
二、 研究方法與應配合事項 1. 研究方法： 實驗開始前，我們會先給您觀看規則與名詞解釋，再進行實驗測試。 我們將實驗測試分成三個階段，第一階段為探討不同顏色的亮度對不同族群受試者產生視錯覺的影響，首先我們會控制方格顏色與線條寬度的變因，並請受試者調線條顏色的亮度，一共有 6 種不同配色的赫曼方格分別為黑白（黑方格調白線條亮度）；白黑；綠紅；紅綠；藍黃；黃藍，進行測試，第二階段為探討不同寬度對視錯覺產生的影響，首先我們會控制方格顏色與線條顏色的變因，並請受試者調線與方格寬度的比例一共有 6 張不同配色的赫曼方格。 <pre>graph LR; A[消費行為問卷的填寫： 招募20位受試者] --> B[觀測圖片實驗]; B --> C[實驗前]; B --> D[實驗中]; C --> C1[圖片程式的操作流程]; C --> C2[實驗規則]; C --> C3[專有名詞解釋]; C1 --> C1R[調顏色亮度和線條寬度]; C2 --> C2R[如何進行實驗]; C3 --> C3R[鬼影出現]; D --> D1[調顏色亮度]; D --> D2[調線條寬度]; D --> D3[格子襯衫消費行為]; D1 --> D1R[六種配色]; D2 --> D2R[六種配色]; D3 --> D3R[六種配色];</pre>
2. 研究進行的地點：臺北市某高中生物實驗室 3. 應配合的事項： (1) 實驗開始前會進行色盲檢測書的檢定，並請配合。

- (2) 受試者請訂在中央的交叉上，利用餘光觀察右上方十字，觀看後回答問題。
- (3) 受試者請在測試完一張圖片後閉眼休息 5 秒鐘再進行下一題的測試。
- (4) 受試者在調數值時請在 30 秒內完成。
- (5) 進行實驗過程中若有不適請馬上告知。

三、 研究潛在風險與救濟措施說明：

本研究除了需要您撥出時間參與之外，並不會對您的身體有任何侵入性影響。實驗開始前，主試者將明確告訴您可拒絕參與研究並可隨時撤回同意書而不影響您的權益。實驗中，可能會造成眼睛的不適與疲勞，經受試者反應後，實驗立即中止，並給予受試者適當的閉眼休息與按摩眼球，若還是感到不適，可送至學校保健室或眼科診所就醫。

四、 機密性：

計畫主試者將依法把任何可辨認您的身分之記錄與您的個人隱私資料視為機密來處理，不會公開。將來發表研究及結果時，您的身分仍將保密。您也瞭解若簽署同意書及同意您的原始記錄可直接受監測者、稽核者、人體研究暨倫理委員會及主管機關檢閱，以確保研究過程與數據符合相關法律及法規要求；上述人員也承諾，將不會洩露任何與您身分有關之資料，絕不違反您的身分之機密性。

五、 研究資料將如何處理及處存地點：

本研究結果僅用於學術論文發表，所有資料將由主試者負責保管，並保存於臺北市立某高級中學生物辦公室保險櫃，僅提供研究團隊使用。所有可以辨識您的身分的資料，主試者都會予以慎重保密。研究團隊會以一個代碼來取代您的姓名，書面資料將會上鎖，而數位資料庫也將以密碼來管制。除了有關機構依法調查之外，研究團隊會小心維護您的隱私權。

六、 誰可以使用您的研究資料：

依人體研究法規定，唯有研究計畫主持人，共同/協同主持人及本計畫含括之人員可用於研究進行期間依本研究所定研究計畫使用您的資料，如於研究資料結束後仍需要使用，將依法請您另外簽一份同意書。

七、 研究結束後資料處理方法：

統一由臺北市立某高級中學銷毀

八、 中途退出研究的方式與研究資料處理方法：

您可以自由決定是否參加本研究，研究過程中不需要任何理由，可隨時撤回同意書或退出研究。如果您拒絕參加或退出，將不會引起任何不愉快，或影響日後研究計畫主持人對您的評價，更不會損及您的任何權利。

退出研究後研究資料處理方法：統一由臺北市立某高級中學銷毀

九、 權利：

1. 參加本研究皆不需繳交任何費用
2. 您有不參加研究權利，並有權隨時退出本研究，且不會引起任何不愉快或影響應有的權利。

3. 計畫主持人已將您簽署之一及兩份同意書其中一份交給您留存。並已完整地
向您說明本研究之性質與目的。計畫主持人已回答有關研究的問題，並以解
釋您有權隨時退出研究工作，且不會引起任何不愉快或任何不良後果。

十、簽名：

1. 主持人已詳細解釋有關本研究計畫中上訴研究方法的性質與目的，及可能產
生的危險與利益。

計畫主持人：_____ (簽名)

日期：_____年_____月_____日(請務必填寫)

研究說明者：_____ (簽名)

2. 受試者已詳細瞭解上述研究方法及其所可能產生的危險與利益，有關本研究的
疑問，經計畫主持人詳細於以解釋。本人同意接受為研究計畫的自願受試
者。

受試者：_____ (簽名)

日期：_____年_____月_____日(請務必填寫)

3. 本受試者的同意書適用範圍為一般大眾和紅綠色盲受試者，未滿二十歲之受
試者，須由法定代理人簽名始生效。

法定代理人：_____ (簽名)

與受試者之關係：_____ (請務必填寫)

日期：_____年_____月_____日(請務必填寫)

【評語】 130002

此作品為延伸去年獲二等獎之作品。

先前研究未發現綠紅赫曼方格有視錯覺,新版調整赫曼方格線條顏色的亮度和寬度,以探討視錐細胞刺激不同與接受域範圍的影響。並以紅綠色盲為受試,探討視錐細胞的受損是否影響視錯覺的產生。以及延伸到對格子襯衫的購買行為影響。

研究設計與報告完整，缺點是，主題缺乏新穎性，當以此研究成果推展到對格子襯衫的購買行為之影響時，中間的聯結性不足，需要更多的實驗結果來應證。