

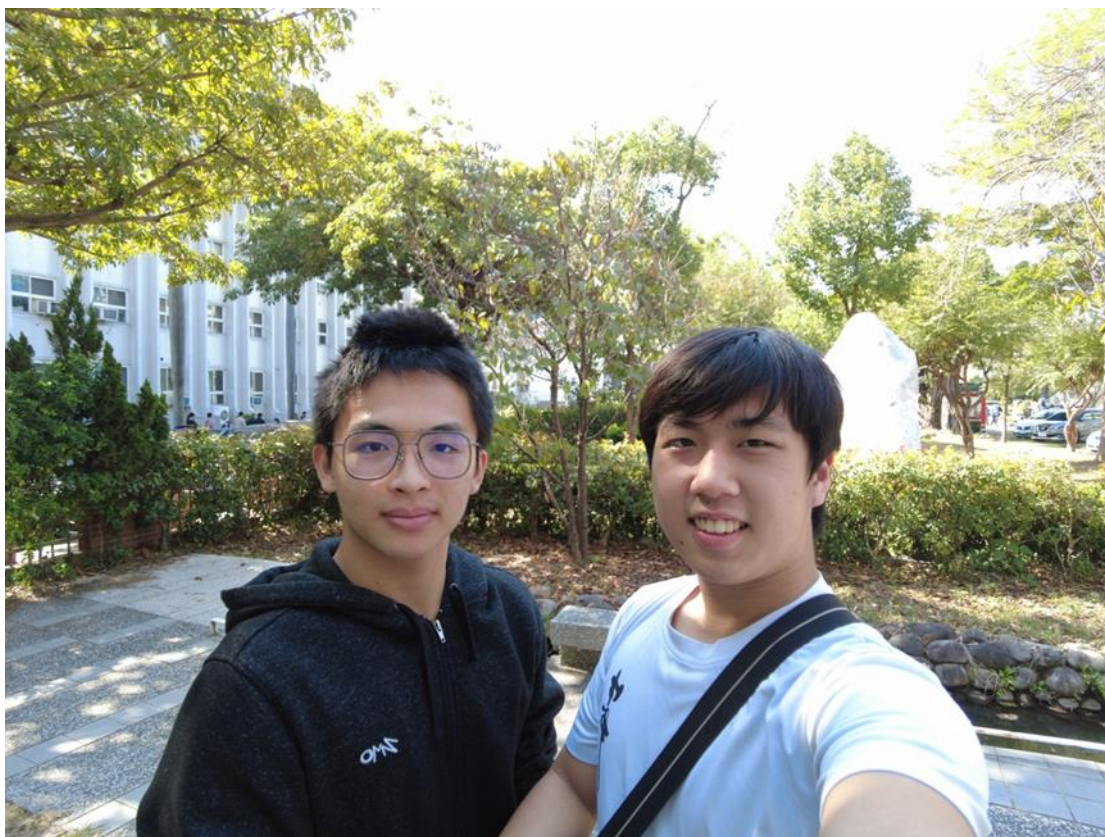
2023 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 130001
參展科別 行為與社會科學
作品名稱 朱文錦意識行為探討
得獎獎項

就讀學校 臺中市立臺中第一高級中學
指導教師 龔雍任
作者姓名 葉繼謙、張景堯

關鍵詞 朱文錦、辨色能力、數感能力

作者簡介



我們是葉繼謙（右）、張景堯（左），現在就讀台中一中。因為常常聽到生活中有流言，而我們經常抱持懷疑的態度去看待這些未必真實的言論。一次機會中我看到有人聲稱金魚僅有 7 秒記憶，抱持著探究的態度，我們展開這次研究。

特別感謝指導老師對我們的協助與支持，老師協助尋找的實驗環境和資源對身為一般班級的我們至關重要。

摘要

動物的學習能力與思考能力為判斷動物智力重要標準。本研究利用朱文錦的制約行為探討其學習能力、記憶能力、辨色能力與數感能力。研究以自製六邊形場地訓練朱文錦辨認顏色、測量其記憶時長與辨色精確度，並訓練其辨認數量多寡，以測定朱文錦數感能力。實驗結果發現朱文錦能辨認紅色，並能被訓練使特定顏色與食物產生連結，在紅色區域滯留較長時間，證明朱文錦可被訓練產生制約反應。停止訓練後其記憶力可長達 7 週，記憶強度與時間成高度相關。在數感測驗中，發現朱文錦具有可分辨數量的能力，且分辨能力與數量的比值與差皆有相關。本研究證明，朱文錦具學習能力，記憶力長達七週，辨識顏色精確度可達明度差 ± 40 ，並具有一定數感能力。

Abstract

Learning and memory abilities of animals are important standards for judging the intelligence of animals. This research uses the conditioning behaviors of Shubunkin (a kind of goldfish) to investigate their learning ability, memory ability, color distinguishing ability and the sense of numeracy. The experiment used a hand-made hexagon field to train Shubunkin to distinguish colors, measure their memory span and accuracy of distinguishing colors. And we also trained them to recognize different quantities of objects to assess the senses of numeracy of Shubunkin. Through the experiment, we found that Shubunkin could recognize the color red and could associate it with food, which proved conditioning responses can be trained on Shubunkin. In addition, after the training was finished, their memory of it could last for 7 weeks, and the memory decline was highly correlated with the passing time. In the experiment of numeracy, we also found that Shubunkin had the ability to distinguish quantity, and their performance on this ability correlates to the ratio and difference of the numbers of the red dots that were used in the experiment. In conclusion, this research has proven that the Shubunkin is capable of learning and memorizing, and their memory lasts as long as 7 weeks; they can distinguish colors of different brightness, and they possess some sense of numeracy.

壹、前言

一、研究動機

生活中時常會聽到有人罵別人金魚腦，或是戲稱金魚僅有七秒記憶。然而金魚真的如傳統想法上的那麼笨嗎？查詢相關研究，斑馬魚眼睛中有四種類型的錐形光感受器，分別為紅色、綠色、藍色和紫外線，運作方式與人類不同，但推測有分辨顏色能力，且對於灰階辨識的精確度可能優於人類 (Bartel et al. 2021)。而另一篇研究也發現金魚擁有四色色覺受器，能接收紅色、綠色、藍色和紫外線，對於波長 401nm 到 755nm 較敏感，並且能夠以與人相似的方式進行顏色分類 (Dean Yager. 1967)，而近期也有研究淡水斑龜的數感能力，發現淡水龜數感能力達巨猿同等，能比較 (9 : 10) 數量大小 (Feng-Chun Lin , et al. 2021)。因此，本研究以顏色做為訓練工具，選用生活中常見飼料用金魚(朱文錦)，訓練朱文錦以探討其辨認顏色與記憶時長；另外，因為好奇金魚視力好壞，所以也嘗試對其進行色彩明度敏感度的探討。最後本研究也嘗試對金魚進行數感測試。

二、研究目的



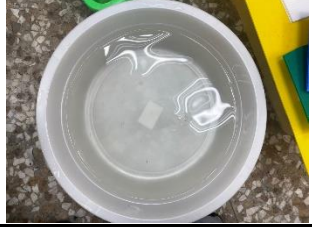
本研究主要探討朱文錦是否能夠辨認顏色差異、朱文錦是否能夠被訓練將食物與顏色產生連結、朱文錦是否能辨別數量之多少與辨別上限之數感能力與朱文錦的顏色相似對比能力。並且針對訓練後的魚進行記憶時長的測量，以探討朱文錦的智力與認知能力。

顏色辨認實驗以個別方式訓練朱文錦從紅、藍、綠三個色中辨認出紅色，並以週為單位測量其記憶時長。顏色辨認精確度實驗以 Word 內建顏色 HSB 標準調整列印紅色色板的紅色明度 (B) 以作為色階，並測驗經改變明度的紅色與原始紅色比較，以測量朱文錦顏色辨認精確度。最後，數感能力實驗以紅色小方塊作為一個單位，按照比例 (1 : 1)、(1 : 2)、(2 : 2)、(1 : 3)、(2 : 3)、(3 : 3)、(1 : 4)、(2 : 4)、(3 : 4)、(4 : 4)、(1 : 5)、(2 : 5)、(3 : 5)、(4 : 5)、(5 : 5)、(5 : 6) 分次測驗，分析其數感能力。

實驗項目：

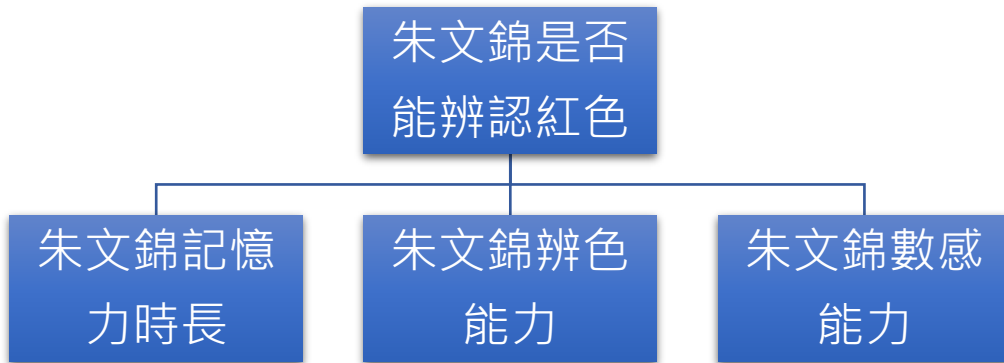
- 一、朱文錦是否有學習能力？是否能辨認出紅色？
- 二、朱文錦的記憶力達多久？
- 三、朱文錦的辨色精度
- 四、探討朱文錦是否具有數感及其數感能力

貳、研究設備及器材

| | | | |
|---|---|--|---|
| 六邊形實驗場地 | 色板 | 支撐板 | 瓦楞板(防蒸氣) |
|  |  |  |  |
| 色階實驗場地 | 照明設備 | 色階的辨識 | 飼料 |
|  |  |  |  |
| 行車紀錄器 | 手機 | 筆記型電腦 | 曝氣缸 |
|  |  |  |  |
| 墊板 | 暫留缸 | 場地隔板 | 朱文錦 |
|  |  |  |  |
| 鑷子 | 美工器材 | 濾水器 | 加溫棒 |
|  |  |  |  |
| 大桶子 | 撈魚杯 | 滴管 | 圖一、實驗器材介紹圖。圖片為實驗器材照片，圖片上方為器材名稱。 |
|  |  |  | |

參、研究過程與方法

一、研究架構



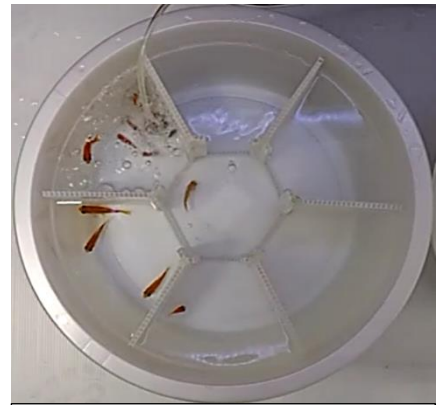
二、實驗設計

(一) 朱文錦辨認顏色實驗

實驗假設：朱文錦能夠辨認紅色並被訓練將紅色與食物產生連結

1. 習慣環境訓練(如圖二)

- (1) 將整缸魚同時置入實驗場地
- (2) 打氣並維持實驗場地溫度
- (3) 使魚在其中適應四小時
- (4) 將魚取出餵食
- (5) 持續兩天

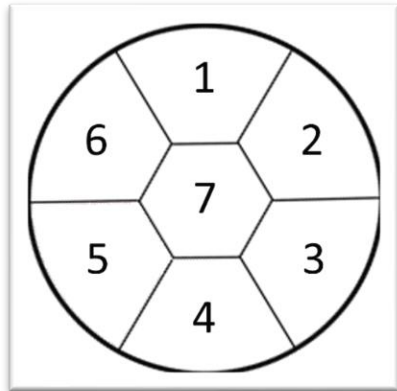


圖二、朱文錦習慣環境訓練

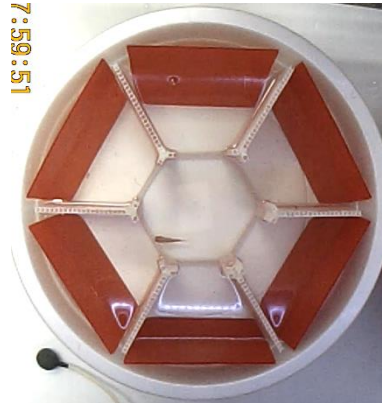
2. 簡單提示訓練(如圖三、四、五)

- (1) 第一、二天將實驗場地 zone1~6 均置入紅色色板；第三、四天將實驗場地間格放置紅色色板例如 zone2、zone4、zone6
- (2) 將魚放入實驗場地訓練 zone 7 (一次一隻)
- (3) 當魚游入紅色區域時餵食
- (4) 一隻訓練 6 分鐘

(5) 每隻依次訓練



圖三、實驗場地區域示意圖



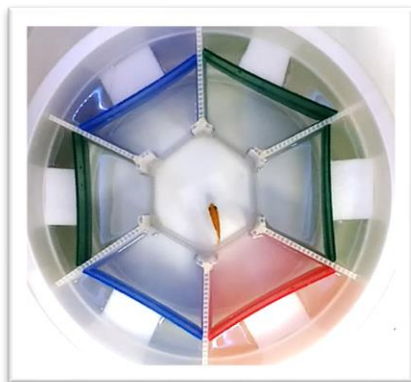
圖四、簡單提示訓練



圖五、簡單提示訓練

3. 顏色訓練 (如圖六)

- (1) 將紅藍綠三色色板隨機放入 zone1~6
- (2) 將魚放入實驗場地訓練 zone 7 (一次一隻)
- (3) 當魚游入紅色區域時餵食
- (4) 一隻訓練 6 分鐘
- (5) 每隻依次訓練



圖六、顏色訓練

4. 辨認顏色測驗

- (1) 將藍綠二色色板隨機放入 zone1、2、3、4、6
- (2) Zone5 放入紅色色板
- (3) 將魚放入實驗場地訓練 zone 7 (一次一隻)
- (4) 不餵食

- (5) 一隻測驗 6 分鐘並攝影紀錄
- (6) 每隻依次測驗
- (7) 分析魚在紅色區域滯留時間

(二) 朱文錦記憶時長探討

實驗組：訓練後朱文錦經 1~12 週

正對照組：延續實驗一訓練完成並且確認學會辨認紅色的朱文錦，定義其為擁有完整記憶。

負對照組：未訓練朱文錦

1. 記憶力測驗

- (1) 每隔一週進行
- (2) 將紅藍綠三色色板隨機放入 zone1~6
- (3) 將魚放入實驗場地訓練 zone 7 (一次一隻)
- (4) 不餵食
- (5) 一隻測驗 6 分鐘並攝影紀錄
- (6) 每隻依次測驗
- (7) 分析魚在紅色區域滯留時間

(三) 色階能力實驗

1. 習慣環境訓練

- (1) 將整缸魚同時置入實驗場地
- (2) 打氣並維持實驗場地溫度
- (3) 使魚在其中適應四小時
- (4) 將魚取出餵食
- (5) 持續兩天

2. 辨認紅色訓練

- (1) 以紅色色號(E3112F)列印並護備後貼上色板
- (2) 將紅藍綠三色色板隨機放入 zone1~6
- (3) 將魚放入實驗場地訓練 zone 7 (一次一隻)
- (4) 當魚游入紅色區域時餵食

(5) 一隻訓練 5 分鐘

(6) 每隻依次訓練

3. 辨色力測驗

(1) 以紅色色號(E3112F)列印護備後為基準紅色

(2) 以 word 內建調色工具中的 HSB 模式（色相、飽和度、光度）調整紅色的光度，作數值 $\pm 50 \sim \pm 10$ 相異紅色色板

(3) 將兩紅色色板相鄰放置於實驗場地內（基準紅色、調整後的紅色）

(4) 將兩綠兩藍隨機放置於剩餘四 zone 中

(5) 將魚放入實驗場地訓練 zone 7（一次一隻）

(6) 不餵食

(7) 一隻測驗 5 分鐘並攝影紀錄

(8) 每隻依次測驗

(9) 分析魚在原紅色區域滯留時間與改變後紅色對比

(四) 數感能力實驗

1. 習慣環境實驗

(1) 將整缸魚同時置入實驗場地

(2) 打氣並維持實驗場地溫度

(3) 使魚在其中適應四小時

(4) 將魚取出餵食

(5) 持續兩天

2. 數感訓練實驗

(1) 在六邊形場地其中四個相鄰區域關閉

(2) 將黑色瓦楞板黏上黑色磁鐵（如圖七）

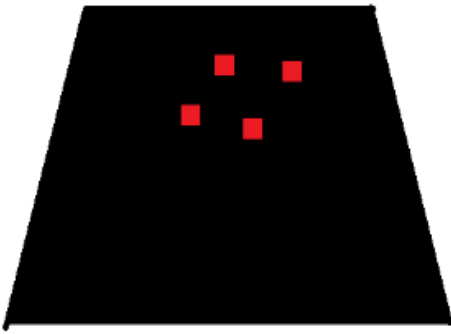
(3) 在黑色磁鐵上貼上不同數量的紅色小正方形（如圖七）

(4) 將紅色小正方形數量 4、1 的兩個色板隨機放入兩個區（如圖八、九）

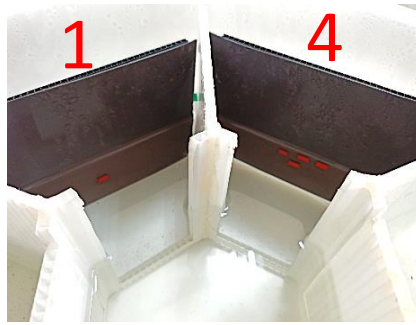
(5) 將魚放入實驗場地訓練 zone 7（一次一隻）

(6) 當魚紅色點數量較多的區域時餵食

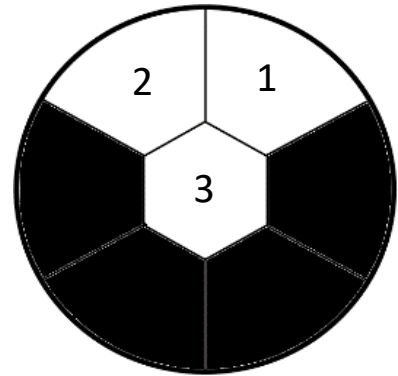
(7) 每隻訓練 5 分鐘



圖七、訓練用磁鐵板示意圖



圖八、數感實驗操作圖



圖九、數感實驗區域示意圖

3. 數感能力測驗

- (1) 在六邊形場地其中四個相鄰區域關閉
- (2) 將黑色瓦楞板黏上黑色磁鐵
- (3) 在黑色磁鐵上貼上 (1 : 1)、(1 : 2)、(2 : 2)、(1 : 3)、(2 : 3)、(3 : 3)、(1 : 4)、(2 : 4)、(3 : 4)、(4 : 4)、(1 : 5)、(2 : 5)、(3 : 5)、(4 : 5)、(5 : 5)、(5 : 6) 的紅色小正方形
- (4) 將紅色小正方形不同實驗數量的兩個色板隨機放入兩個 zone
- (5) 將魚放入實驗場地訓練 zone 3 (一次一隻)
- (6) 不餵食
- (7) 一隻測驗 5 分鐘並攝影紀錄
- (8) 每隻依次測驗
- (9) 分析魚在多與少兩 zone 對比

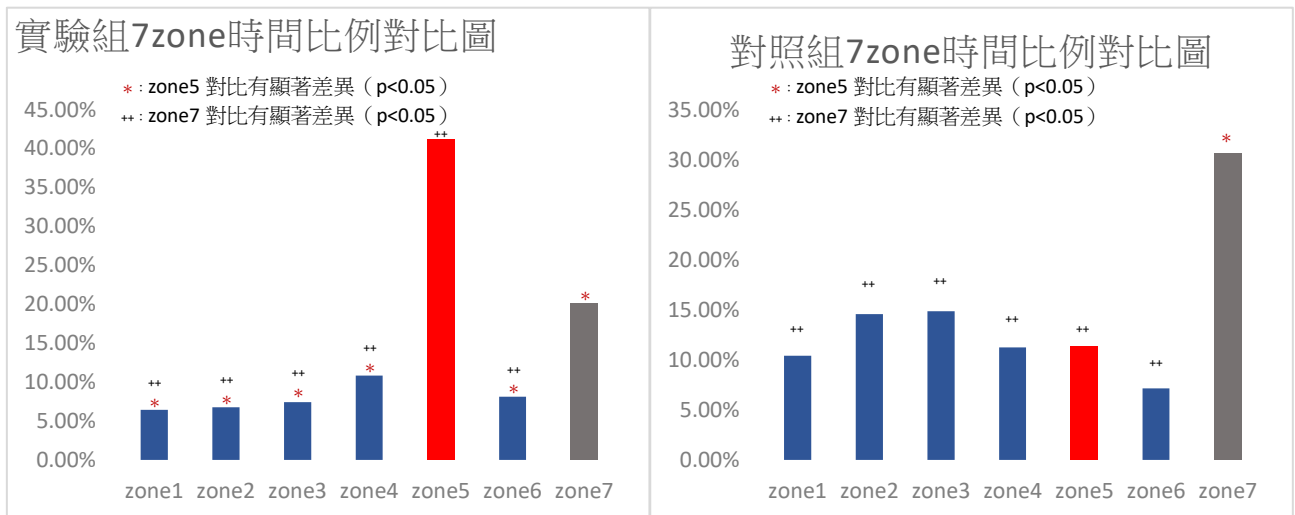
(五) 實驗分析軟體 Toxtrac (Department of Ecology and Environmental Science, Umeå University, 901 87 Umeå, Sweden)

1. 將影片統一至 mp4 或 avi 檔
2. 調整灰階區間至剩下實驗場地
3. 以選取工具標示分析區域
4. 調整灰階值到魚出現標註
5. 以選取工具去除雜訊
6. 標示特定區域 (zone)
7. 分析魚路徑、在 zone 滯留時間等數據

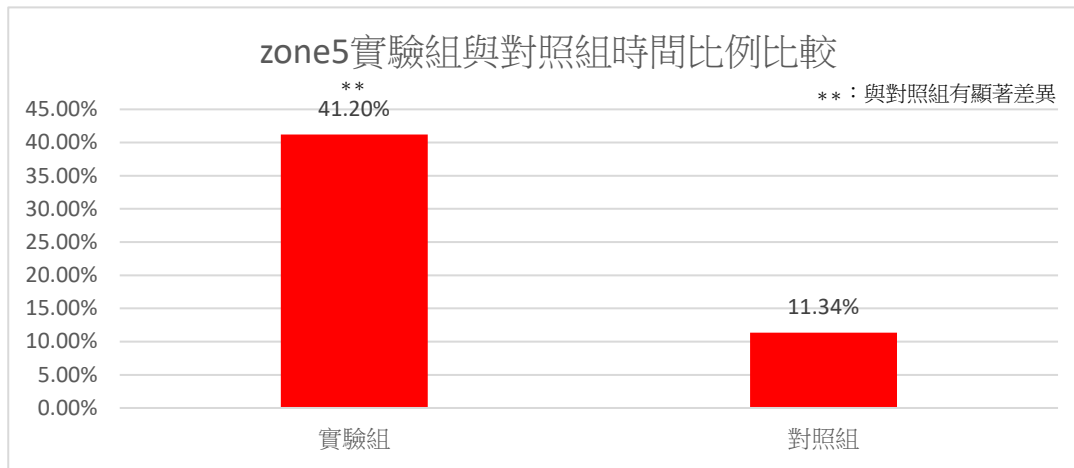
肆、研究結果

一、探討朱文錦的辨色力與學習力

本實驗以未訓練朱文錦作為對照組，已經訓練者作為實驗組，進行為期近一個月訓練。訓練後進行測驗並分析其在實驗場地移動路徑，並將實驗組朱文錦滯留在紅色區域的時間比例與對照組時間比例進行比較，以 ANOVA 與事後檢定的 P 值驗證差異性，並以平均時間比例做圖。實驗發現實驗組的朱文錦待在紅色區域時間遠多於其他區域(如圖十)，而對照組在各區域的時間分佈較平均。比較實驗組與對照組中紅色區域與其他區域，分析後發現實驗組中 zone5 (紅色區域) 與其他 zone 皆有顯著差異($P < 0.05$)，對照組 zone1 ~zone6 之間則無顯著差異 (如下圖十)。再比較實驗組中 zone5 與對照組 zone5 兩組滯留於紅色區域時間比例，分析發現兩組滯留於紅色區域時間比例也有顯著差異($P < 0.05$) (圖十一)。因此，實驗證明朱文錦能夠學習辨認顏色且認得紅色。而實驗中 zone7 為實驗中央區域，因此兩組中時間比例也皆與其他六個 zone 有顯著差異，實驗顯示朱文錦認得紅色且擁有學習能力。



圖十、實驗組訓練後朱文錦在 zone1~7 平均滯留時間比例與對照組未訓練朱文錦在 zone1~7 平均滯留時間比例圖。Zone5 是紅色區域，為受訓練辨認之顏色，zone7 是六邊形中間區域，其他區域則是其他顏色區域。

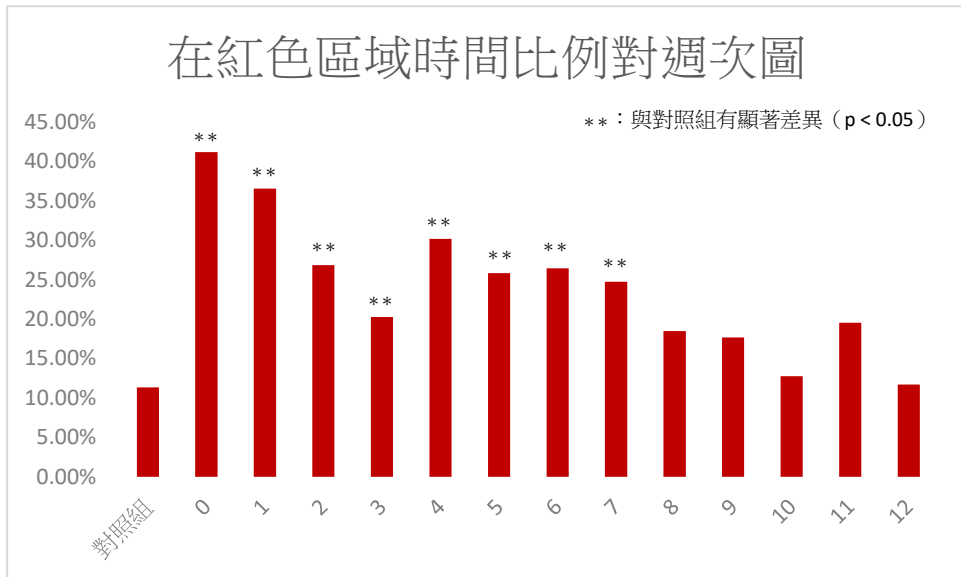


圖十一、實驗組紅色區域滯留時間比例與對照組紅色區域滯留時間比例比較圖。橫軸為實驗組與對照組，縱軸為滯留時間比例，左側為實驗組朱文錦滯留於紅色區域之時間比例，右側是對照組朱文錦滯留於紅色區域之時間比例

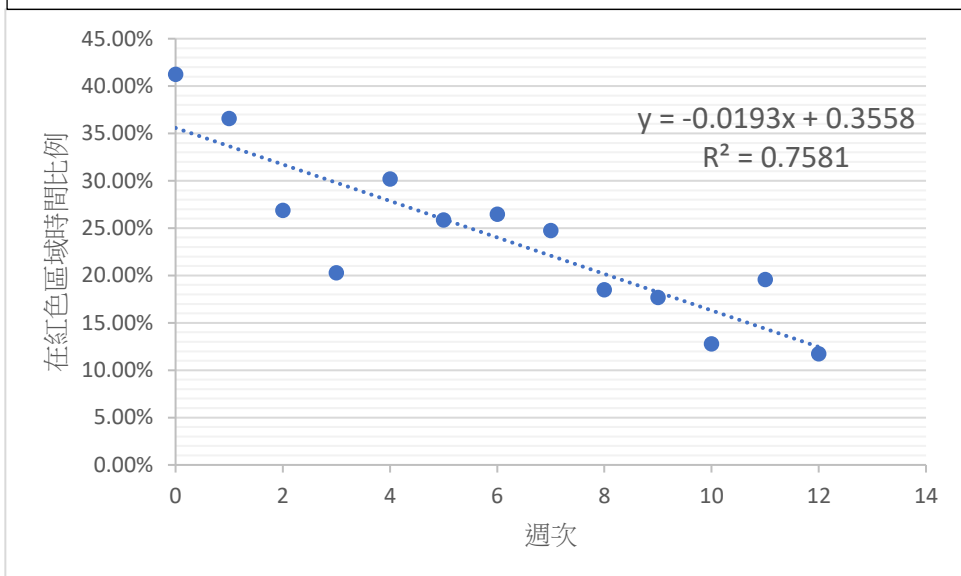
二、探討朱文錦的記憶力

以實驗一經訓練的實驗組（能辨認出紅色的朱文錦）作為第 0 週，未訓練朱文錦為對照組，每隔一週做一次測驗作為實驗二的實驗組，共測驗 12 週。並將各週滯留於紅色區域時間比例與未訓練之對照組滯留於紅色區域時間比例進行 ANOVA 與事後檢定的 P 值驗證比較，實驗組與對照組(未訓練)無顯著差異之時定義為不記得($P < 0.05$)。比較發現 1~7 週實驗組時間比例與對照組時間比例有顯著性差異($P < 0.05$)；與 8~12 週實驗組時間比例與對照組時間比例無顯著性差異($P < 0.05$)（如下圖十二）。發現朱文錦記憶力達 7 週之久。以時間為橫軸，滯留於紅色區域時間比例為縱軸，發現隨著時間，朱文錦在紅色區域滯留時間有所下降，且下降程度與時間高度線性相關（如下圖十三），確認記憶力與時間的關聯性。

($R^2=0.7581$; $r=-0.87$)。本實驗可知，朱文錦記憶力可持續到七週，記憶強度隨時間呈現降趨勢，且記憶力強度與時間成高度線性相關。



圖十二、經歷 n 週後在紅色區域滯留時間比例圖。(第一直欄為對照組。第二直欄 0 為訓練完成之朱文錦。1~12 為經歷時間，單位為週。)

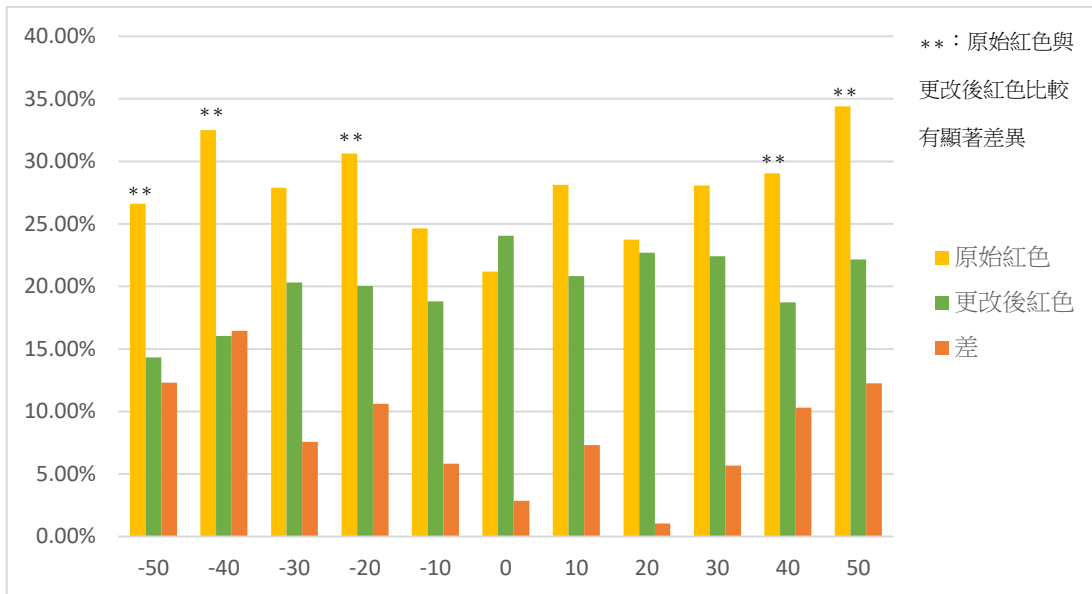


圖十三、經過時間與在紅色區域時間比例趨勢圖。橫軸為經過時間，縱軸為在紅色區域時間比例，虛線為趨勢線。

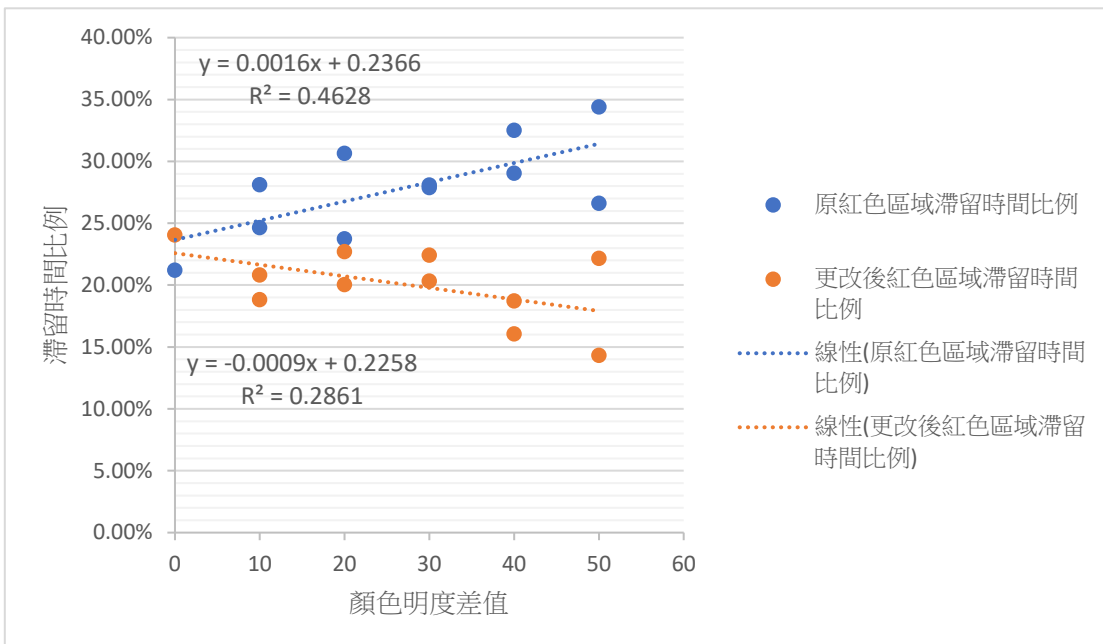
三、朱文錦的辨色精確度

實驗訓練朱文錦辨認紅色（以色號 E3112F 紅色作為基準紅色），在此之後以原紅色的 HSB 值之 B 值（明度）以 10 為間距，得原顏色±50以內共 10 組相異紅色組別，以 ANOVA 與事後檢定的 P 值驗證比較各個組別原紅色區域滯留時間比例與更改後紅色區域滯留時間比例，並以原訓練顏色（+0）作為對照組。實驗發現朱文錦在原始紅色與更

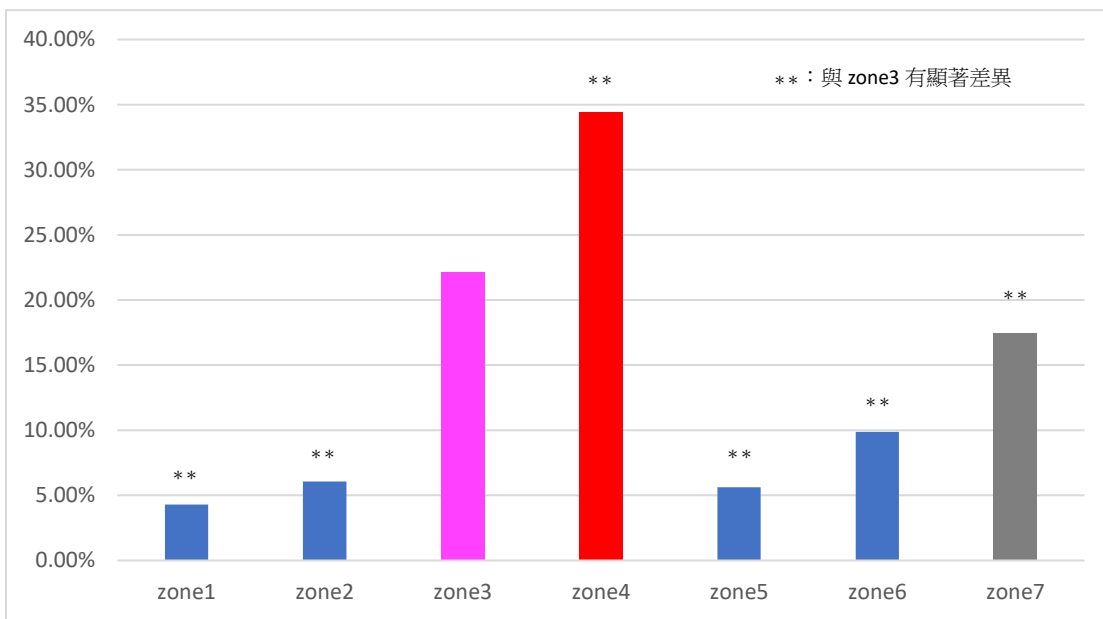
改後紅色-50、+50、-40、+40、-20 比較的組別有顯著差異($P < 0.05$)，且原始紅色與更改後紅色時間比例差值（下圖十四橘色區域）大，而隨著顏色越相近，即越接近+0，其時間比例差異呈現縮小趨勢。從圖表中也可以看出，朱文錦對於降低明度的組別（-50 ~ -10）比較能力較增加明度的組別（50 ~ 10）更好。下圖中（圖十五）也可以看到，朱文錦滯留於+0 紅色區域時間比例隨明度差異縮小而變小，且更改明度後的紅色則是隨差異縮小而放大。另外，實驗中也發現即使在明度變化較大的組別中（以+50 為例）（圖十六），朱文錦在更改明度後紅色區域滯留時間比例仍遠高於其他顏色區域，且構成顯著差異。本實驗可知，朱文錦能以人類相似的方式進行顏色歸類，在相異紅色滯留時間較綠色及藍色長，能辨識明度差異大於 40 的組別，且深色較淺色辨識良好。



圖十四、色階組別原始明度紅色區域滯留時間與更改明度後紅色區域滯留時間比較圖。橫軸為更改明度紅色組別，縱軸為滯留時間比例，黃色為原始紅色滯留時間比例，綠色為更改後紅色滯留時間比例，橘色為前二者之差。



圖十五、滯留時間與顏色明度差值趨勢圖。橫軸為更改後紅色明度與原紅色差值，縱軸為滯留時間，藍色為原紅色區域朱文錦滯留時間，橘色為更改後紅色區域朱文錦滯留時間。

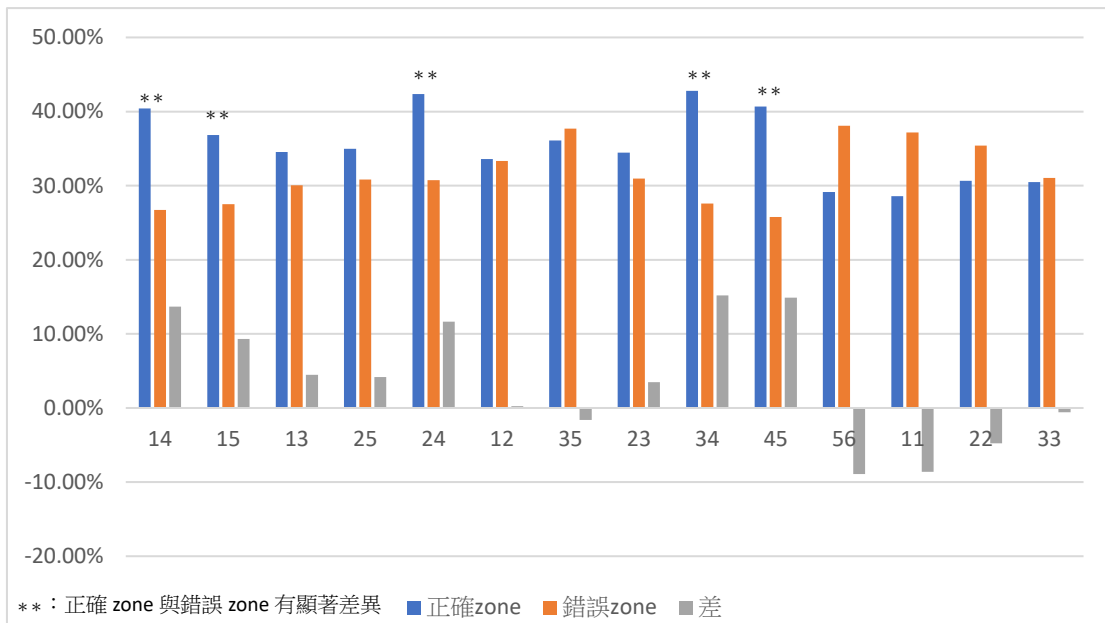


圖十六、+50 組別的 7 zone 滯留時間比例比較長條圖，橫軸為 zone 編號，縱軸為滯留時間比例，zone3 (桃紅色) 為更改後明度+50 色區域，zone4 (紅色) 為原始紅色區域，zone7 為中央區域。

四、探討朱文錦是否具有數感及其數感能力

本實驗訓練朱文錦比較兩區域黑色底板上紅點數量，並選擇數量較多處餵食。實驗以連續兩次（1：4）測驗皆正確的朱文錦挑選出作為成功訓練者（19 隻中挑選 12 隻），後續以此組進行測驗。

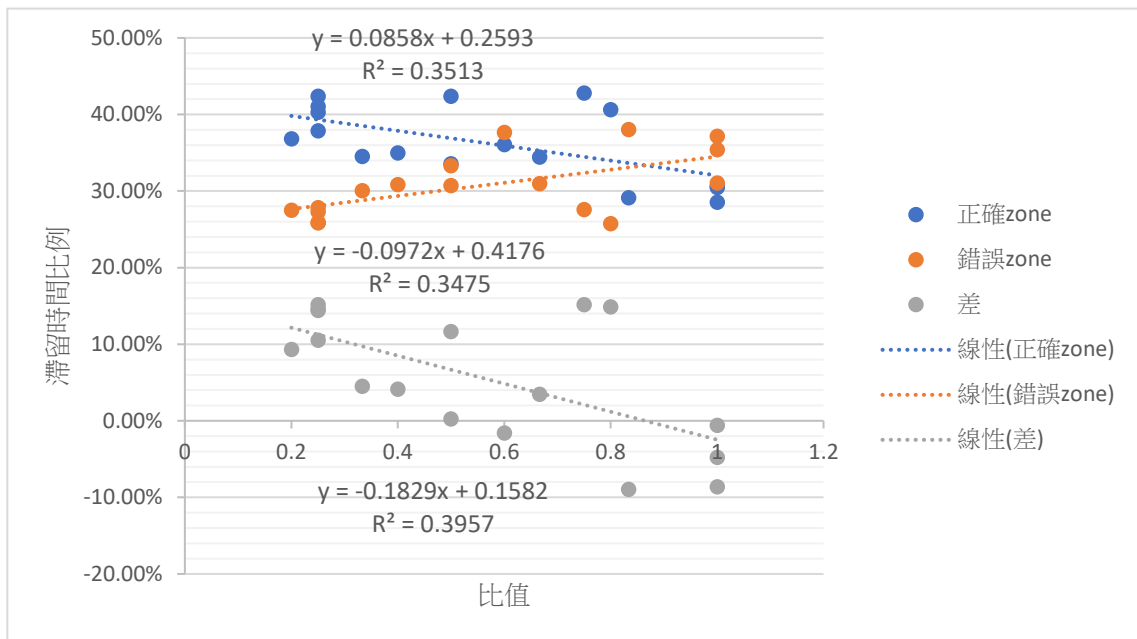
分析實驗數據發現在（1：5）、（1：4）、（2：4）、（3：4）、（4：5）組別中，朱文錦在正確區域滯留時間比例都顯著大於錯誤的區域滯留時間比例，而從（1：5）的組別到（2：1）的組別中，朱文錦在正確區域的時間比例平均都大於在錯誤區域，並且，除（3：5）以外，（2：3）到（4：5）組別在正確區域的時間比例平均也大於在錯誤區域，而（5：6）、（5：3）則是在錯誤區域的時間比例平均大於在正確區域。（如下圖十七）



圖十七、各數感測驗組別正確與錯誤區域滯留時間比較長條圖。橫軸為數感組別，兩數字是測驗數量。縱軸為滯留時間比例。圖中藍色為朱文錦在正確區域滯留時間比例，橘色為朱文錦在錯誤區域滯留時間比例，灰色為正確減錯誤所得之滯留時間比例差。

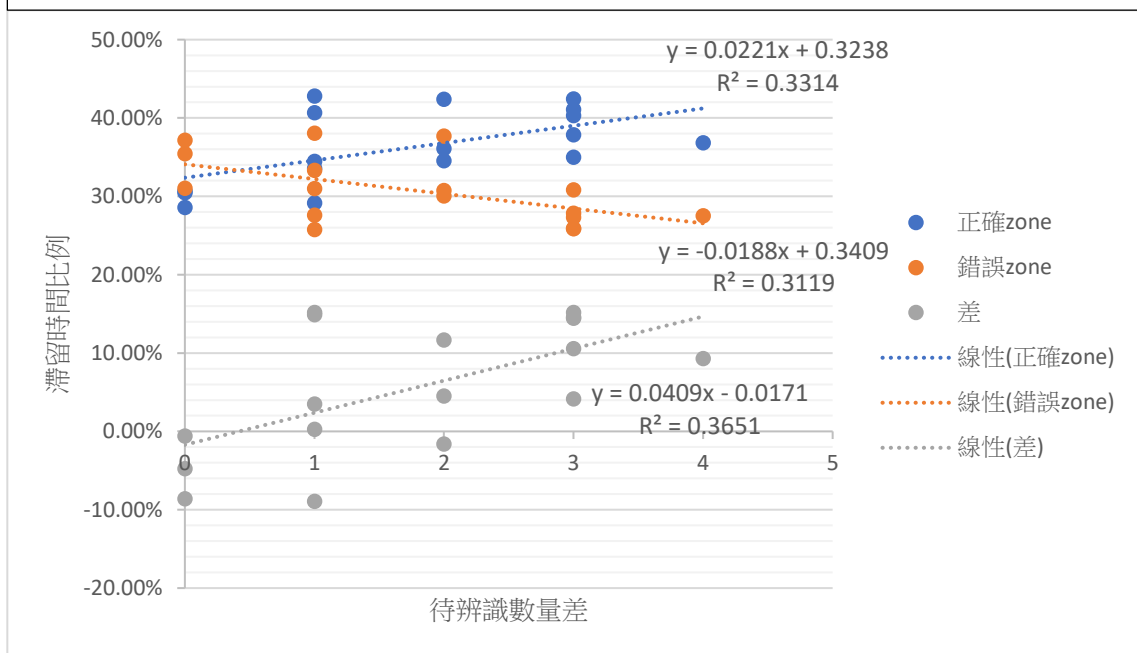
分析朱文錦在正確區域與在錯誤區域的滯留時間差與待辨識數量關聯性，發現在正確區域、在錯誤區域的滯留時間和其差與受比較的数量比值（待辨識數量數量小比數量大的比值）與待辨識數量差均有顯著線性相關（圖十八、十九），在圖中（圖十八）可以看到隨著待辨識數量比值接近 1（比值越接近 1，座標軸左，辨認難度越高），正確

zone 的滯留時間比例逐漸下降，錯誤 zone 的滯留時間逐漸上升，而兩者的差則逐漸下降，也就是說當比值越接近 1 之時，朱文錦越能認得出數感的差異。而在圖中（圖十九）可以看到隨著待辨識數量差變大（差值越小，座標軸右，辨認難度越高），正確 zone 的滯留時間呈上升趨勢錯誤 zone 的滯留時間呈下降趨勢，而兩者的差則逐漸上升，差別逐漸明顯。再比較待辨識數值比值與數值差，發現待辨識數值比值與滯留時間關係較待辨識數值差與滯留時間關係明顯（正確 zone：待辨識數值比值 $r=-0.59$ 、待辨識數值差 $r=0.58$ ，錯誤 zone：待辨識數值比值 $r=0.59$ 、待辨識數值差 $r=-0.56$ ，比例差：待辨識數值比值 $r=-0.63$ 、待辨識數值差 $r=0.60$ ）。本實驗證明，朱文錦明顯認得（1：5）、（1：4）、（2：4）、（3：4）、（4：5）之多少差異，但是一直到（4：5）以上組別，朱文錦在錯誤區域滯留時間才多於在正確區域。另外朱文錦分辨數量多寡的能力與數值的比值和差均呈線性關聯。且與朱文錦分辨數量多寡的能力與數值的比值比差更相關。



圖十八（上）、待辨識數值比值與滯留時間關係圖。橫軸為待辨識數值比值，縱軸為滯留時間比例。藍色是在正確區域滯留時間比例，橘色是在錯誤區域滯留時間比例，灰色則為其差。（比值越接近 1，座標軸左，辨認難度越高）

圖十九（下）、待辨識數值差與滯留時間關係圖。橫軸為待辨識數值差，縱軸為滯留時間比例。藍色是在正確區域滯留時間比例，橘色是在錯誤區域滯留時間比例，灰色則為其差。（差值越小，座標軸右，辨認難度越高）



伍、討論

一、朱文錦是否能辨認出紅色？

本實驗在進行之前曾嘗試以重複替換色板多次訓練，然而進行中發現朱文錦對於快速更換色板之動作會有恐懼反應，而不進食，因此嘗試以靜態環境進行。

本實驗發現，朱文錦雖眼睛構造與人類不同，眼睛中具有四種感光細胞，能感測紅、綠、藍與紫外光四區段 (DeanYager. 1967)，但是研究結果發現其仍然可以辨認紅色，且朱文錦有能力將顏色與食物產生連結，並出現制約反應，故推測其視覺系統運作時也能有效區分相異顏色。本研究也發現經訓練後朱文錦滯留於紅色區域時間顯著增加、明顯區別於未訓練之對照組，推知其具有學習能力，且會在有餵食區域滯留較長時間，滯留時間與實驗場地中其他相異五區皆有顯著差異，與對照組之紅色區域滯留時間也有顯著差異，因此後續實驗以在區域滯留時間比例作為判斷標準，並因實驗確認其擁有辨認紅色之能力，因此記憶力實驗、辨色精確度實驗、數感實驗皆以紅色作為進行訓練的顏色。實驗中經過訓練的朱文錦確實能夠訓練辨認出紅色，因此，本實驗認為朱文錦是能夠被訓練進行特定任務的。

二、朱文錦的記憶力達多久？

動物的記憶力都會有隨著時間下降的趨勢，而本實驗的結果也不例外，朱文錦對於紅色區域聯想到食物的記憶力強度隨著時間逐漸下降，下降幅度與時間成高度線性相關，且記憶時長達到 7 週之後方才與對照組沒有顯著差異。推測對於實驗朱文錦而言，在約 7 週時大腦中紅色與食物的連結趨弱，因此在紅色區域時間比例漸低。

而在實驗中待在紅色區域時間比例長度在第四週時有回升，推測可能是因前三週朱文錦快速失去對紅色之興趣但仍然記得，而在其他區域亦無食物而第四週回到紅色區域，因而使中間產生部分回彈現象。

三、朱文錦的辨色精確度

本實驗發現朱文錦辨認顏色顯著性可在色彩明度 ± 40 以上的組別出現顯著差異，但觀察圖表，除對照組外，各組朱文錦在原訓練顏色滯留時間皆較更改後顏色長，故推測其仍然有一定辨識能力，但是行為較不顯著。並且圖表中也可以看出，隨著更改後紅色

接近原來的紅色，在原紅色區域滯留時間呈現下降趨勢，而在更改後區域呈現上升趨勢，其原因可能是因隨著顏色接近，朱文錦漸趨無法辨別二者差異，因此在兩區域中滯留時間趨近。而在實驗中也可以看出，在朱文錦能明確分辨的組別（如 ± 50 ）仍然會進入更改後的紅色區域，且其進入時間比例仍然遠超其他區域，由此推知朱文錦有對於顏色的歸類能力，能將原紅色區域訓練的結果延伸到同為紅色系之相異紅色，因此，本研究推測朱文錦也有將顏色歸類和將相似情形類推適用的能力。

四、探討朱文錦是否具有數感及數感能力

在實驗進行中發現並非所有朱文錦都能學習分辨數量多少學習良好，推測將紅點數量與食物產生連結過程較為不易，對大多數朱文錦而言，分辨多與少是一個困難的任務。因此本實驗嘗試找出學習良好的「成功訓練者」（19隻中挑選12隻）進行實驗，並以此進行分析。實驗中發現朱文錦的辨認數量除有出現顯著差異外，在比例（4：5）以內的各組（3：5例外）都是在正確的區域滯留時間大於錯誤的區域滯留時間，因此本實驗推論朱文錦實際上可以分辨到（4：5）的數量差，相較於過往研究蚊魚辨識最高上限（3：4）（Agrillo et al, 2008），朱文錦辨識的上限似乎更高。而在本實驗中，不同於過往僅使用比例作為比較難易度的方法，增加了數量差此一方法進行比較，發現數量差也與朱文錦數感表現有所關聯，因此推論數感的難易度是同時受到數量比例與數量差影響的。

陸、結論

一、朱文錦是否有學習能力？是否能辨認出紅色？

- （一）朱文錦具有學習能力，經訓練的朱文錦會在紅色區域長時間滯留
- （二）朱文錦能夠從紅、藍、綠三色中辨認出紅色
- （三）朱文錦能從事簡單任務

二、朱文錦的記憶力達多久？

- （一）朱文錦記憶力測驗中，朱文錦記憶力表現顯著性達七週
- （二）記憶強度隨著時間下降，且與時間成高度線性相關

三、朱文錦的辨色精度

- (一) 朱文錦能將顏色進行歸類
- (二) 朱文錦能將經驗類推至相似情形
- (三) 朱文錦能辨識明度與原顏色差異大於 40 的紅色色板
- (四) 朱文錦對於深色的辨識精確度優於淺色

四、朱文錦是否具有數感及數感能力

- (一) 朱文錦具有數感能力
- (二) 朱文錦能分辨比值（4：5）以內的數

柒、參考文獻資料

Katie, Grade 9, Michigan(2015) Goldfish as a Model for Understanding Learning and Memory: More Complex Than You Think

Behavioral measures and theoretical analysis positivity and spectral saturation in the goldfish, *Carassius auratus*, *Vision Research*, Volume 7, (1967), Issues 9–10 Pages 707-727
Takeshi Yoshimatsu, Philipp Bartel, Cornelius Schröder, Filip K. Janiak, François St-Pierre, Philipp Berens, Philipp Berens, Tom Baden(2021) *SCIENCE ADVANCES*, Volume 7 ,Issue 42,October 2021

Philipp Bartel, Takeshi Yoshimatsu, Filip K. Janiak, Tom Baden. Spectral inference reveals principal cone-integration rules of the zebrafish inner retina. *Current Biology*, (2021); DOI: [10.1016/j.cub.2021.09.047](https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.09.047)

Do fish count? Spontaneous discrimination of quantity in female mosquitofish. Christian Agrillo , Marco Dadda, Giovanna Serena, Angelo Bisazza.(2008)

Rodriguez, A., Zhang, H., Klaminder, J., Brodin, T., Andersson, P. L. and Andersson, M. (2018). ToxTrac: a fast and robust software for tracking organisms. *Methods in Ecology and Evolution*. 9(3):460–464

Rodriguez, A., Zhang, H., Klaminder, J., Brodin, T., and Andersson, M. (2017). ToxId: an algorithm to track the identity of multiple animals. *Scientific Reports*. 7(1):14774.

【評語】 130001

本研究主題新穎有趣，作者探討朱文錦的辨色能力和數感能力，進行的實驗內容相當豐富。作者以自製六邊形場地訓練朱文錦辨認顏色、測量其記憶時間長度、以及辨色精確度。作者也訓練其辨認數量多寡，以測定朱文錦數感能力。結果發現朱文錦能辨認紅色，以及能在紅色區域滯留較長時間，並且其記憶力可維持長達7週左右。另外也發現朱文錦具有可分辨數量的能力。

優點：

- (1) 研究目的相當明確，並且在實驗設計上頗有創意而清楚，用圖像解說的呈現方式能讓讀者在更能理解實驗組朱文錦的訓練內容和後續實驗的每個步驟。
- (2) 研究結果的表格設計簡單易懂，一目了然。
- (3) 作者的討論除了統整所有的資料結果之外，也在開頭就又一次表達這次的研究內容及本篇實驗的假設，整篇文章緊扣主題，是個蠻吸引人的作品。
- (4) 兩位作者回答問題，清楚簡潔且思考縝密。

幾個建議請作者們參考：

- (1) 可思索圖表如何更清楚的呈現結果，部分圖表有重複的資訊。另外除了標示顯著性之外，也應該標示標準差。
- (2) 可以增加對可能共變因素的討論。例如在記憶長度的研究中，每週測試但不餵食，是否也是一種反制約的訓練，以及在數量的研究當中，數量越多，強度也越大。作者在做推論時可以多考慮這些共變是否會影響，或是建議未來的研究可以如何排除這些共變因素。
- (3) 由於使用列印色版來做相關實驗，在色階上恐會失真，建議使用螢幕方式表現出不同的色階，可以更加準確的驗證實驗內容的準確性。
- (4) 在辨數能力上的實驗中，必須進一步釐清到底是數目的影響還是因為紅色光源的 total intensity 的作用所致。
- (5) 本研究標題為「朱文錦意識行為探討」--建議改為「朱文錦的色彩辨識與數感行為的探討」會更精確些，因為我們無法確定朱文錦的選擇行為是否為"有意識"的。