

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

第二名

040702

愛的教育，鐵的紀律--果蠅的學習與記憶能力

學校名稱：國立武陵高級中學

作者： 高二 劉雅安 高二 王凌音 高二 藍文蔓 高二 廖啟卉	指導老師： 蔡靜宜 李金祝
---	---------------------

關鍵詞：學習記憶 密集訓練

壹、摘要

本實驗主要目的為探討果蠅是否可經由學習行為分辨並記憶不同顏色與氣味差異，進一步探討年齡與學習能力的相關性，並分析多次訓練對於記憶時間長短的影響。根據本實驗結果得知，在氣味訓練方面，果蠅具有辨識並記憶不同氣味的能力，且年輕果蠅較能產生記憶性；在顏色訓練方面，果蠅仍可分辨並記憶顏色，但對於顏色記憶效果較氣味記憶不明顯；密集學習方面，在適當的學習次數內，密集訓練有助於增加果蠅的記憶能力，但過度的學習刺激反而會降低學習效果；藉由迷宮實驗，我們過濾並篩選出對顏色記憶最佳的果蠅並加以培養，期望能進一步探討並找出與學習記憶相關的基因。

貳、研究動機

在一次偶然的機會瀏覽科學人雜誌時，【蜜蜂會認人】這斗大的標題瞬間吸引了我們的注意！從期刊內容得知，辨識面孔雖然看起來需要很微妙的神經能力，然而蜜蜂所擁有的神經元數目卻居然不到人類的 0.01%！此種學習行為強烈引發我們的好奇心。配合高二生命科學下冊第六章第四節【動物的行為】與高三生物下冊第九章第六節【學習與行為活動】課內教材，所以我們也想訓練只有 4 對染色體的生物—果蠅。牠是否能如我們所期望地順利學習與記憶？牠是否能再為我們帶來生物上的奇蹟呢？

參、研究目的

本實驗過程主要是讓果蠅在不同顏色及不同氣味的環境下，進行熱處理的刺激，目的在探討果蠅是否會藉由接收刺激而與週遭的環境情況產生聯結，進而產生嗅覺與視覺學習及其記憶能力。並比較經由一次或多次訓練刺激，其學習能力及記憶時間長短是否會有所差異。另外更進一步探討學習與記憶能力的最佳年齡時期與最佳刺激次數下的記憶效果。並藉由多次選擇以篩選出對顏色記憶較佳的果蠅，期望能探討其子代的記憶能力與正常果蠅之差異。

肆、研究設備及器材

- 一、純品系果蠅【野生型 2U 品種】，清華大學生命科學系提供，培養於 25°C 恆溫培養箱。
- 二、果蠅培養基【配方：將玉米粉 6.25 公克、紅糖 2.5 公克、酵母粉 1.875 公克、洋菜粉 1.25 公克溶於 75 毫升的蒸餾水，並加入 Propionic acid(防腐劑) 0.3125 ml，分裝在各小試管內，以高壓滅菌釜加以滅菌後於管口塞上棉花球，置於冰箱內保存】。
- 三、特製壓克力果蠅學習記憶訓練器
- 四、經由打洞處理的塑膠小瓶
- 五、玻璃長瓶
- 六、細管徑塑膠管
- 七、自製迷宮（以鐵絲纏繞，保鮮膜包覆）

- 八、不同氣味（柳橙汁、冬瓜茶、蘋果汁、葡萄汁、果菜汁、木瓜牛奶）之果汁
- 九、以不同顏色（紅、黃、藍、綠）玻璃紙包覆的塑膠小瓶
- 十、熱水浴處理【35°C 熱刺激 45 秒】

伍、研究過程

一、果蠅對不同氣味的辨識與其氣味記憶能力

對照組

- (一) 將果蠅放入訓練機中等待 45 秒，並於選擇處區分別接上兩種不同氣味。
- (二) 將果蠅移至選擇處，讓其選擇 1 分鐘，觀察其選擇情況。如下圖所示。



- (三) 將果蠅移開選擇處，並紀錄兩個氣味管中與未選擇果蠅之數目。

實驗組

- (一) 將所有果蠅倒入玻璃長瓶中，瓶口塞入具有其中一種氣味之棉花球，隨即置入 35°C 熱水中 45 秒，如下圖所示。



- (二) 將果蠅放入訓練機中並等待 45 秒，並於選擇處區分別接上兩種不同氣味。
- (三) 將果蠅移至選擇處，讓其選擇 1 分鐘，並觀察其選擇情況。
- (四) 將果蠅移開選擇處，並紀錄兩個氣味管中與未選擇果蠅之數目。

二、經由一次訓練測試果蠅對不同氣味的記憶時間

對照組

- (一) 將果蠅放入訓練機中並等待 45 秒，再於選擇處區分別接上兩種不同氣味。
- (二) 將果蠅移至選擇處，讓其選擇 1 分鐘，並觀察其選擇情況。
- (三) 將果蠅移開選擇處，並紀錄兩個氣味管中與未選擇果蠅之數目。

實驗組

- (一) 將所有果蠅倒入玻璃長瓶中，瓶口塞入具有其中一種氣味之棉花球，隨即置入 35°C 熱水中 45 秒。
- (二) 將果蠅放入訓練機中並等待 45 秒，並於選擇處區分別接上兩種不同氣味。
- (三) 將果蠅移至選擇處，讓其選擇 1 分鐘，並觀察其選擇情況。
- (四) 將果蠅移開選擇處，並紀錄兩個氣味管中與未選擇果蠅之數目。
- (五) 將果蠅全數倒入訓練機中，休息 2 分鐘（與處罰時間相隔 3 分鐘），讓其選擇 1 分鐘，並觀察其選擇情形。
- (六) 將果蠅移開選擇處，並紀錄兩個氣味管中與未選擇果蠅之數目。
- (七) 將果蠅全數倒入訓練機中，休息 3 分鐘（與處罰時間相隔 4 分鐘），讓其選擇 1 分鐘，並觀察其選擇情形。
- (八) 將果蠅移開選擇處，並紀錄兩個氣味管中與未選擇果蠅之數目。

三、經由密集訓練測試果蠅對不同氣味的記憶時間

對照組

- (一) 將果蠅放入訓練機中並等待 45 秒，再於選擇處區分別接上兩種不同氣味。
- (二) 將果蠅移至選擇處，讓其選擇 1 分鐘，並觀察其選擇情況。
- (三) 將果蠅移開選擇處，並紀錄兩個氣味管中與未選擇果蠅之數目。

實驗組

- (一) 將所有果蠅倒入玻璃長瓶中，瓶口塞入具有其中一種氣味之棉花球，隨即置入 35°C 熱水中 45 秒。
- (二) 將果蠅放入訓練機中並等待 45 秒，同時在選擇處區分別接上兩種不同氣味。
- (三) 將果蠅移至選擇處，讓其選擇 1 分鐘，並觀察其選擇情況。
- (四) 將果蠅移開選擇處，並紀錄兩個氣味管中與未選擇果蠅之數目。
- (五) 重複步驟(一)到(四)共五次（即總共六次），並比較各次果蠅之選擇情況。

四、不同年齡果蠅之氣味記憶能力

將年輕及年老的果蠅分別重複實驗一的步驟，並記錄實驗結果。

五、果蠅對不同顏色的辨識與其顏色記憶能力

對照組

- (一) 將果蠅放入訓練機中並等待 45 秒，同時將以兩個不同顏色玻璃紙包覆的塑膠小瓶自兩邊接上選擇處。
- (二) 將果蠅移至選擇處，讓其選擇 1 分鐘並同時於兩邊照光，並觀察其選擇情況。如下圖所示。



(三) 將果蠅移開選擇處，並紀錄兩個顏色管中與未選擇果蠅之數目。

實驗組

(一) 將所有果蠅倒入其中一個顏色的玻璃長瓶中，並置入 35°C 熱水中 45 秒，如下圖所示。



(二) 將果蠅放入訓練機中並等待 45 秒，同時在選擇處接以兩個不同顏色玻璃紙包覆的塑膠小瓶。

(三) 將果蠅移至選擇處，讓其選擇 1 分鐘並同時於兩邊照光，並觀察其選擇情況。

(四) 將果蠅移開選擇處，並紀錄兩個顏色管中與未選擇果蠅之數目。

六、經由一次訓練測試果蠅對不同顏色的記憶時間

對照組

(一) 將果蠅放入訓練機中並等待 45 秒，同時將以兩個不同顏色玻璃紙包覆的塑膠小瓶自兩邊接上選擇處。

(二) 將果蠅移至選擇處，讓其選擇 1 分鐘並同時於兩邊照光，並觀察其選擇情況。

(三) 將果蠅移開選擇處，並紀錄兩個顏色管中與未選擇果蠅之數目。

實驗組

(一) 將所有果蠅倒入其中一個顏色的玻璃長瓶中，並置入 35°C 熱水中 45 秒。

(二) 將果蠅放入訓練機中並等待 45 秒，同時在選擇處接以兩個不同顏色玻璃紙包覆的塑膠小瓶。

(三) 將果蠅移至選擇處，讓其選擇 1 分鐘並同時於兩邊照光，並觀察其選擇情況。

(四) 將果蠅移開選擇處，並紀錄兩個顏色管中與未選擇果蠅之數目。

(五) 重複實驗二步驟(五)至(十)，以顏色管取代氣味管。

七、經由密集訓練測試果蠅對不同顏色的記憶時間

同實驗五，實驗組部份重複步驟(一)到(四)共五次（即總共六次），並比較各次果蠅之選擇情況。

八、不同年齡果蠅之顏色記憶能力

將年輕及年老的果蠅分別重複實驗五的步驟，並記錄實驗結果。

九、經密集訓練後再以迷宮篩選出對顏色記憶較明顯之果蠅

對照組

- (一) 將果蠅放入訓練機中並等待 45 秒，同時將以兩個不同顏色玻璃紙包覆的塑膠小瓶自兩邊接上選擇處。
- (二) 將果蠅移至選擇處，讓其選擇 1 分鐘並同時於兩邊照光，並觀察其選擇情況。
- (三) 將果蠅移開選擇處，並紀錄兩個顏色管中與未選擇果蠅之數目。

實驗組

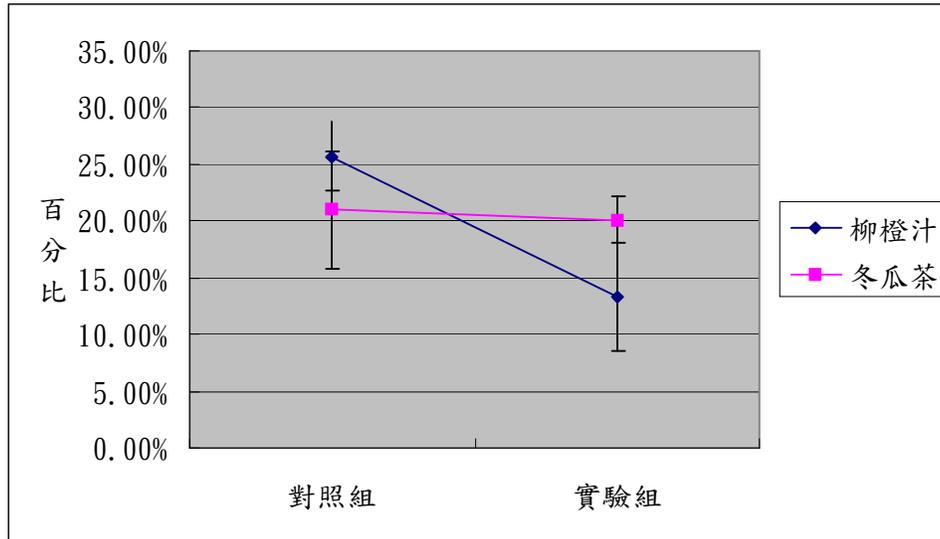
- (一) 將所有果蠅倒入其中一個顏色的玻璃長瓶中，並置入 35°C 熱水中 45 秒。
- (二) 將果蠅放入訓練機中並等待 45 秒，同時在選擇處接以兩個不同顏色玻璃紙包覆的塑膠小瓶。
- (三) 將果蠅移至選擇處，讓其選擇 1 分鐘並同時於兩邊照光，並觀察其選擇情況。
- (四) 將果蠅移開選擇處，並紀錄兩個顏色管中與未選擇果蠅之數目。
- (五) 重複步驟(一)到(四)共兩次（即總共三次）。
- (六) 將經過密集訓練後的果蠅置入自製迷宮中，打開第一道閘門進行第一次選擇，同時在選擇處兩端給予不同顏色之色光，並觀察其選擇情況，如下圖所示。



- (七) 關閉第一道閘門，打開第二道閘門，對作出正確判斷之果蠅再進行第二次選擇，同時在選擇處兩端給予不同顏色之色光，並觀察其選擇情況。
- (八) 關閉第二道閘門，打開第三道閘門，對作出正確判斷之果蠅進行最後一次的选择，同時在選擇處兩端給予不同顏色之色光，觀察其選擇情況並紀錄。

陸、研究結果

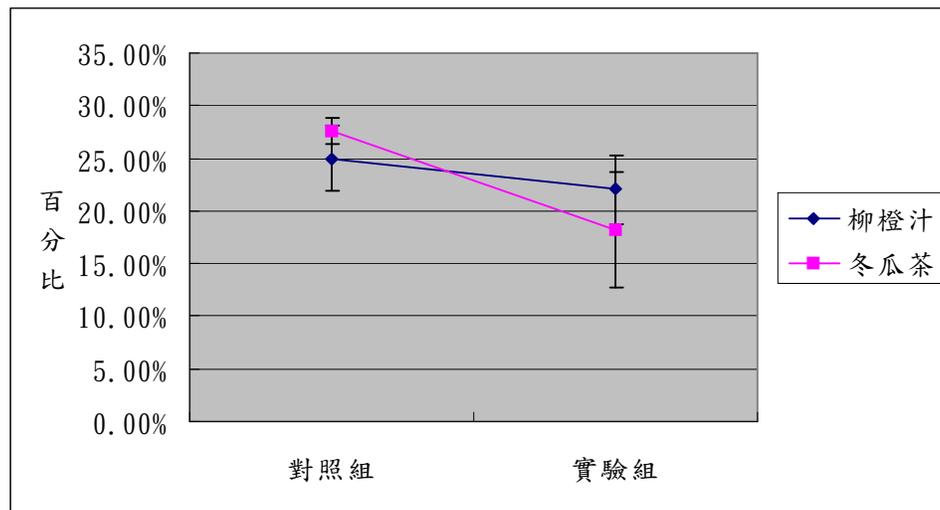
一、果蠅對不同氣味的辨識與其氣味記憶能力



圖一 選擇柳橙汁與冬瓜茶所佔全部之百分比變化的折線圖

... 過程：將實驗組之果蠅置於含柳橙汁氣味之玻璃瓶，接著放入熱水（處罰）後，計算選擇柳橙汁與冬瓜茶所佔全部之百分比變化。

... 結果：由圖中所示，將果蠅於柳橙汁中懲罰後，果蠅選擇柳橙汁的個數比例明顯的比冬瓜茶下降的多，表示果蠅經由訓練後可能有學習與記憶的能力。



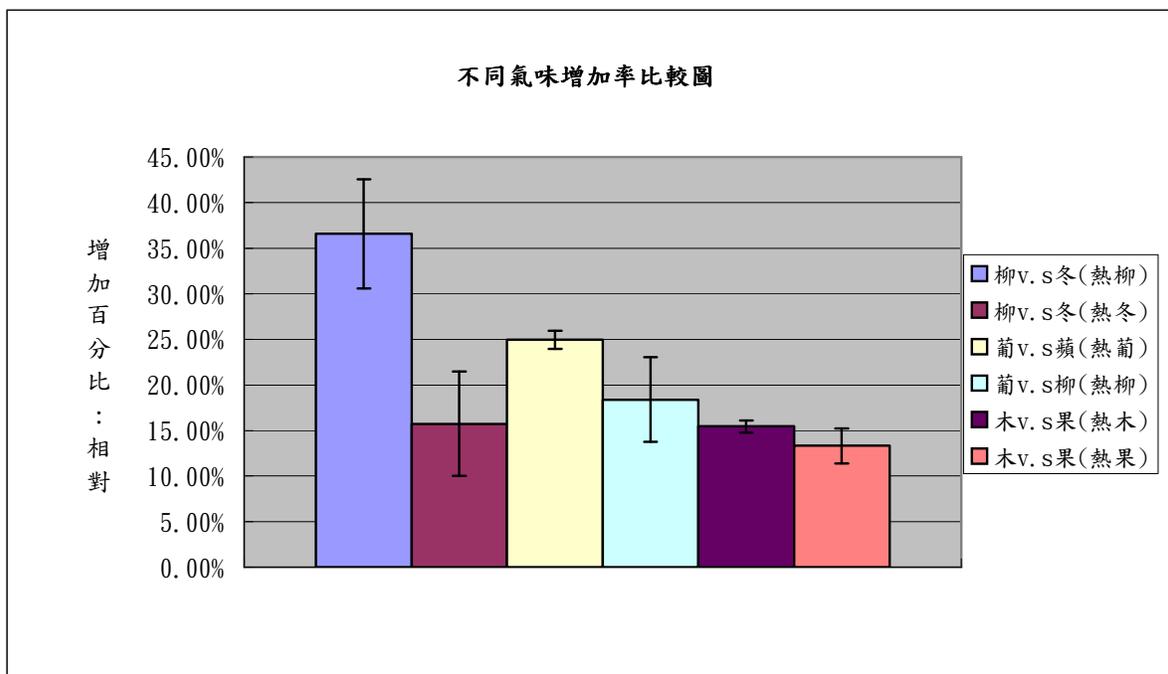
圖二 選擇柳橙汁與冬瓜茶所佔全部之百分比變化的折線圖

... 過程：將實驗組之果蠅置於含冬瓜茶氣味之玻璃瓶後放入熱水（處罰）後，計算選擇柳橙汁與冬瓜茶所佔全部之百分比變化。

... 結果：由圖中所示，將果蠅於冬瓜茶中懲罰後，果蠅選擇冬瓜茶的比例明顯的下降，表示果蠅經由訓練後可能有學習與記憶的能力。

※【註 1】圖表中百分比定義： $(\text{氣味管中的果蠅數} / \text{實驗果蠅總數}) \times 100\%$ 。

※【註 2】其他不同種類的氣味之圖表與研究結果詳細置於附錄中。



圖三 果蠅對於不同氣味記憶的比較圖

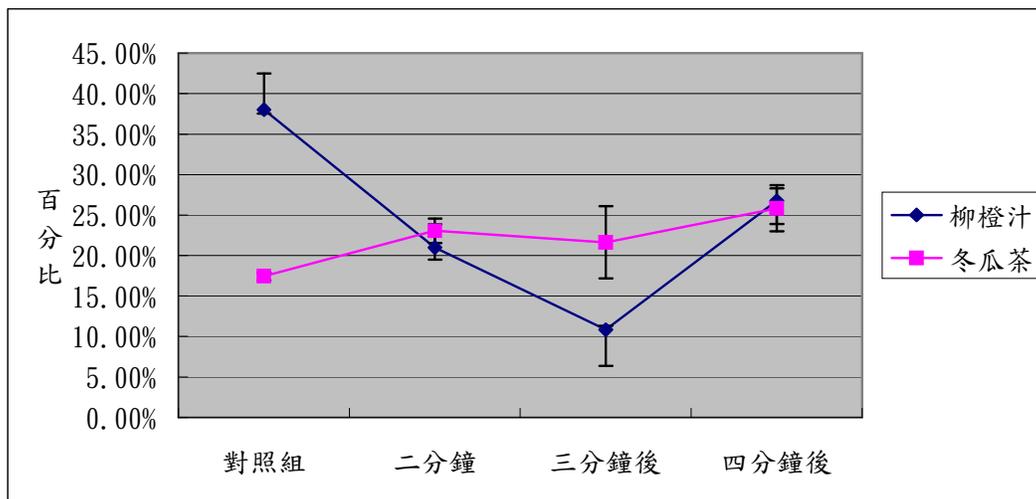
※【註 3】柳：代表柳橙汁；冬：代表冬瓜茶；葡：代表葡萄汁；蘋：代表蘋果汁；木：代表木瓜牛奶；果：代表果菜汁。

※【註 4】熱柳：代表將位於柳橙汁氣味環境下的果蠅進行熱處理，其餘以此類推。

【總結】綜合以上結果，推測果蠅經由訓練後可對不同氣味產生記憶性

二、經由一次訓練測試果蠅對不同氣味的記憶時間

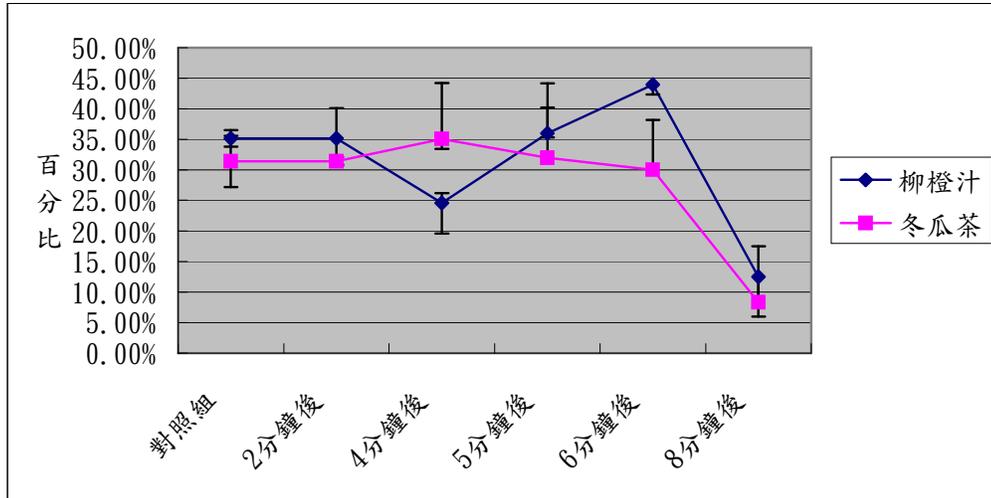
(一) 以不分年齡的果蠅進行測試



圖四 以不分年齡的果蠅進行記憶時間的測試

- ... 過程：將實驗組之果蠅置於柳橙汁後放入熱水（處罰）。將果蠅經由這一次訓練後，休息二分鐘（與處罰時間相隔三分鐘），再次讓其做選擇。休息三分鐘（與處罰時間相隔四分鐘），再次讓其做選擇。
- ... 結果：由圖中所示，果蠅在三分鐘內選擇柳橙汁的比例依然明顯的比對照組的比例為小，由此可知，果蠅經由訓練後記憶可維持數分鐘時間，而四分鐘後記憶效果較差。

(二) 以羽化二十日之果蠅進行測試



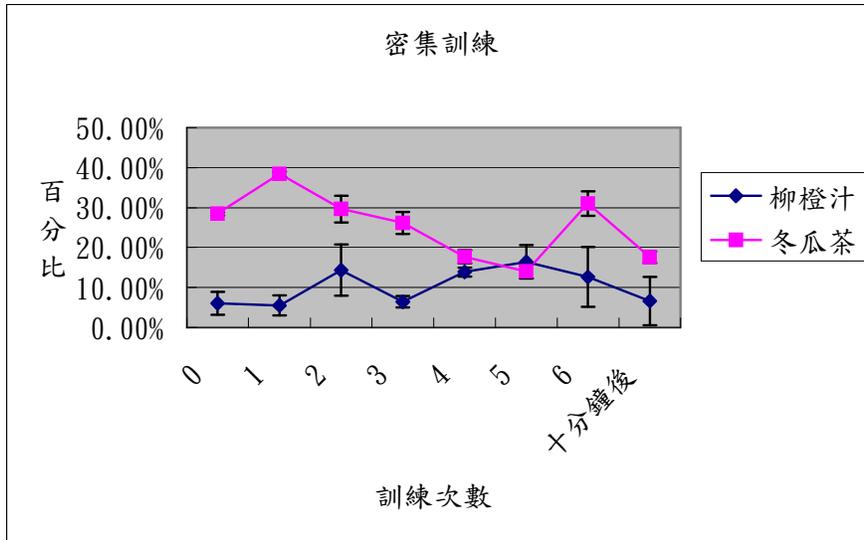
圖五 以羽化二十日之果蠅進行記憶時間的測試

- ... 過程：將實驗組羽化二十日之果蠅置於柳橙汁後放入熱水（處罰）。將果蠅經由這一次訓練後，休息三分鐘（與處罰時間相隔四分鐘），再讓其做選擇；休息四分鐘（與處罰時間相隔五分鐘），再次讓其做選擇；休息五分鐘（與處罰時間相隔六分鐘），再次讓其做選擇；休息七分鐘（與處罰時間相隔八分鐘），再次讓其做選擇。
- ... 結果：由圖中所示，果蠅在四分鐘（包含休息所需的兩分鐘在內）後，選擇柳橙汁的比例依然明顯的比對照組的比例為小；但到五分鐘後，選擇的柳橙汁的比例就明顯上升。由此可知，羽化二十日之果蠅經由訓練後記憶會維持較久，而此記憶約介於四分鐘至五分鐘之間。

【總結】綜合以上結果，經過訓練後，果蠅對於氣味的記憶可維持一段時間

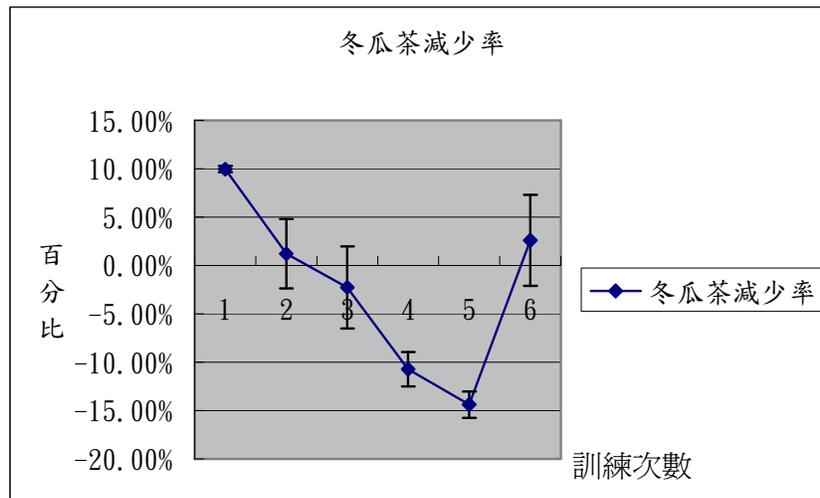
三、經由密集訓練測試果蠅對不同氣味的記憶時間

(一) 密集訓練氣味選擇的果蠅百分比及訓練次數



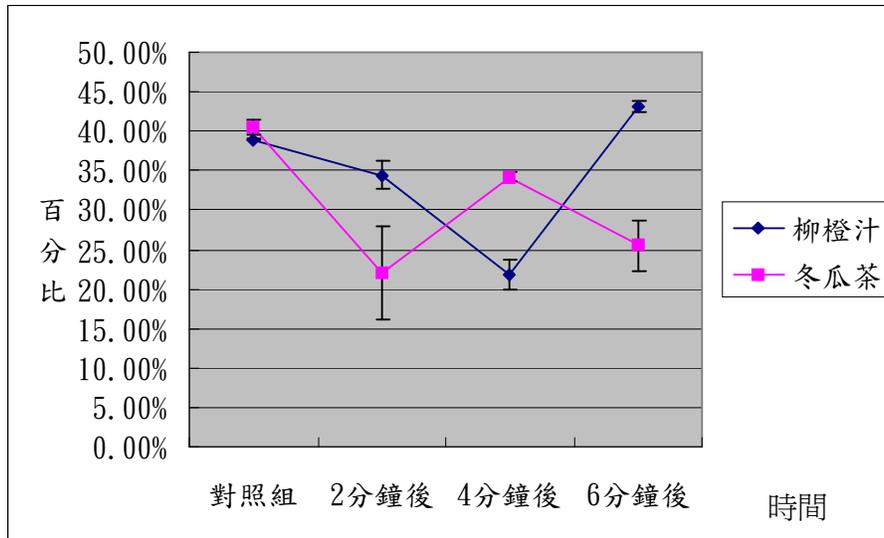
圖六 密集訓練選擇兩種氣味百分比及訓練次數比較圖
 ... 過程：將實驗組之果蠅（羽化一日）置於冬瓜茶後放入熱水（處罰），並重複訓練六次，計算選擇柳橙汁與選擇冬瓜茶之果蠅的相對百分比。

(二) 密集訓練後選擇正確氣味的果蠅百分比及訓練次數比較圖



圖七 密集訓練後選擇正確的果蠅百分比及訓練次數比較圖
 ... 過程：將實驗組之果蠅（羽化一日）置於冬瓜茶後放入熱水（處罰），並重複訓練六次，圖為選擇冬瓜茶之減少率。
 ... 結果：由圖中可知，果蠅於第五次訓練之學習效果為最佳。

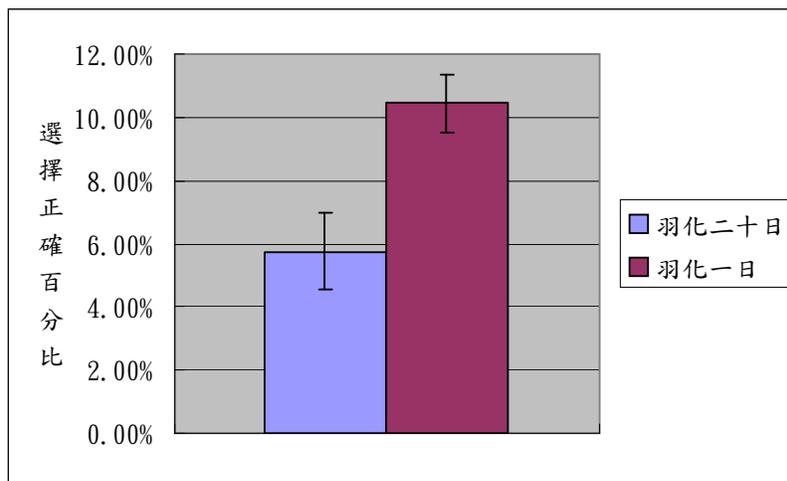
(三) 密集訓練後的氣味記憶時間



圖八 密集訓練後的記憶時間比較圖

- ... 過程：將實驗組之果蠅置於冬瓜茶後放入熱水（處罰），並重複訓練六次。經由這六次訓練後，休息兩分鐘（與處罰時間相隔四分鐘）、四分鐘（與處罰時間相隔六分鐘）、六分鐘（與處罰時間相隔八分鐘），再讓果蠅做選擇。
- ... 結果：由圖中所示，果蠅在六分鐘內，選擇冬瓜茶的比例依然明顯的比對照組的比例為小。故果蠅經由密集訓練，記憶可維持較久。

四、不同年齡果蠅之氣味記憶能力

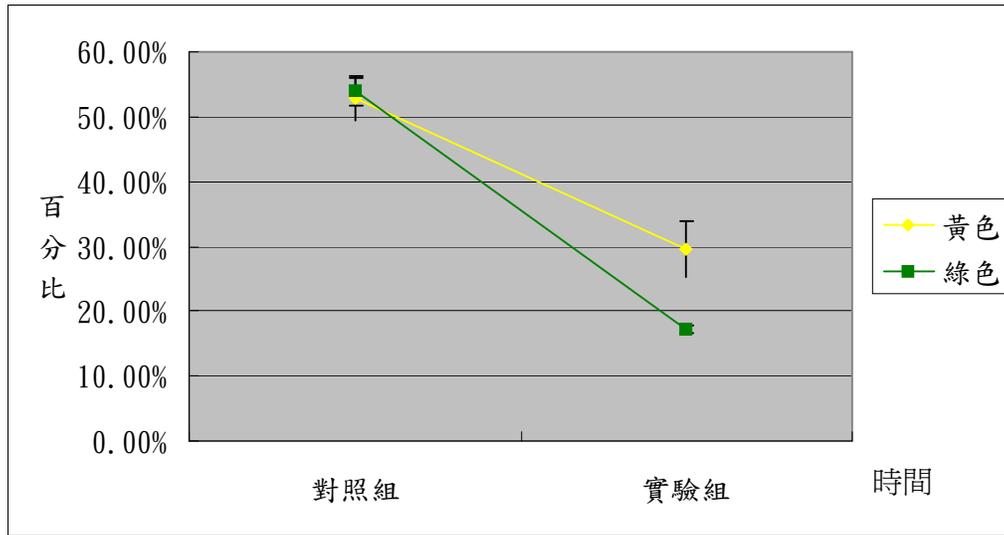


圖九 年齡與記憶的關係圖

- ... 過程：將實驗組果蠅訓練六次，計算不同年齡果蠅其記憶正確度。
- ... 結果：由圖可知，羽化一日之果蠅較羽化二十日之果蠅學習記憶佳。

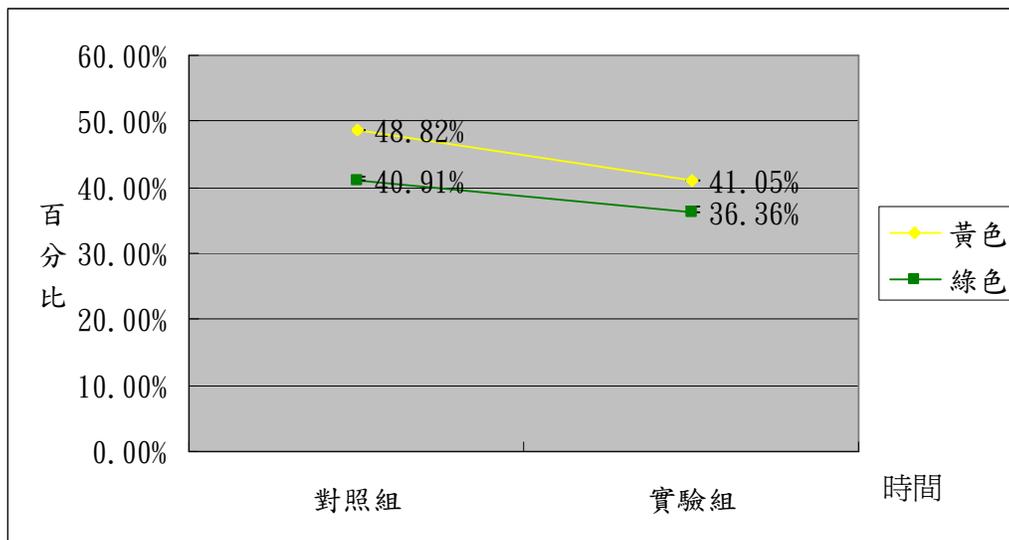
【總結】綜合以上結果，推測果蠅經密集訓練可延長其對氣味的記憶時間，且年輕果蠅較佳

五、果蠅對不同顏色的辨識與其顏色記憶能力



圖十 黃色與綠色所佔全部之百分比變化的折線圖

- ... 過程：將實驗組之果蠅置於綠色玻璃瓶後放入熱水（處罰）後，計算選擇黃色與綠色所佔全部之百分比變化。
- ... 結果：由圖中所示，果蠅於綠色瓶中接受處罰後，選擇綠色的比例明顯下降，表示果蠅對顏色可能有學習與記憶的能力。

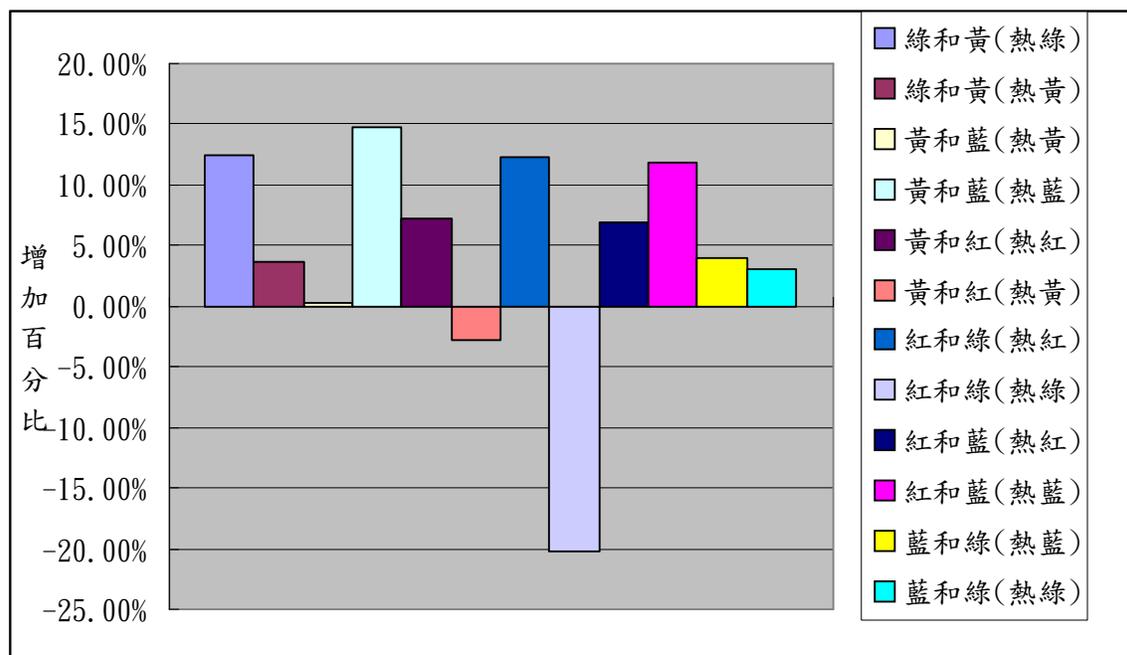


圖十一 黃色與綠色所佔全部之百分比變化的折線圖

- ... 過程：將實驗組之果蠅置於黃色玻璃瓶後放入熱水（處罰）後，計算選擇黃色與綠色所佔全部之百分比變化。
- ... 結果：由圖中所示，果蠅於黃色瓶中接受處罰後，選擇黃色的比例下降度比選擇綠色的比例下降度多，表示果蠅對顏色可能有學習與記憶的能力。

※ 【註 5】圖表中百分比定義： $(\text{顏色管中的果蠅數} / \text{實驗果蠅總數}) \times 100\%$

※ 【註 6】其他不同種類的氣味之圖表與研究結果，詳細置於附錄中

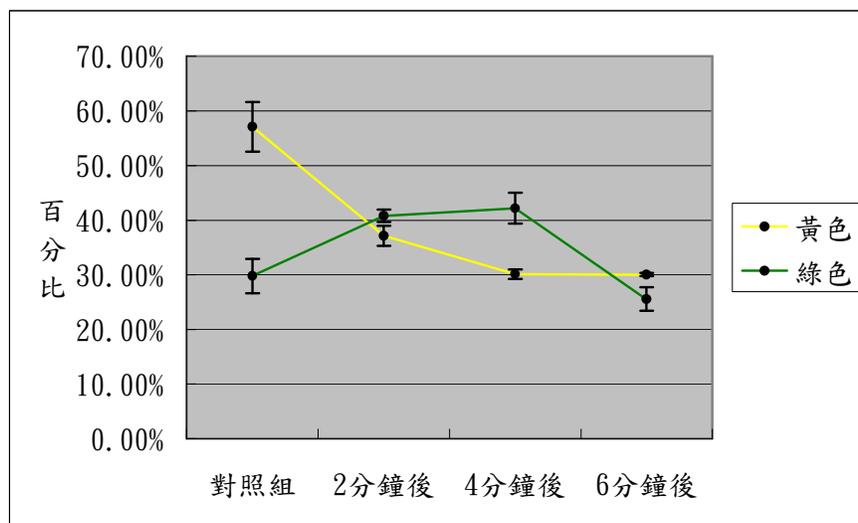


圖十二 果蠅對於不同顏色記憶比較圖

※ 【註 7】熱黃：代表對處於黃色環境下的果蠅加熱處理，其餘以此類推。

【總結】綜合以上結果，發現經過訓練後，果蠅雖然對於顏色的記憶較氣味記憶不明顯，但仍可對於顏色產生記憶

六、經由一次訓練測試果蠅對不同顏色的記憶時間

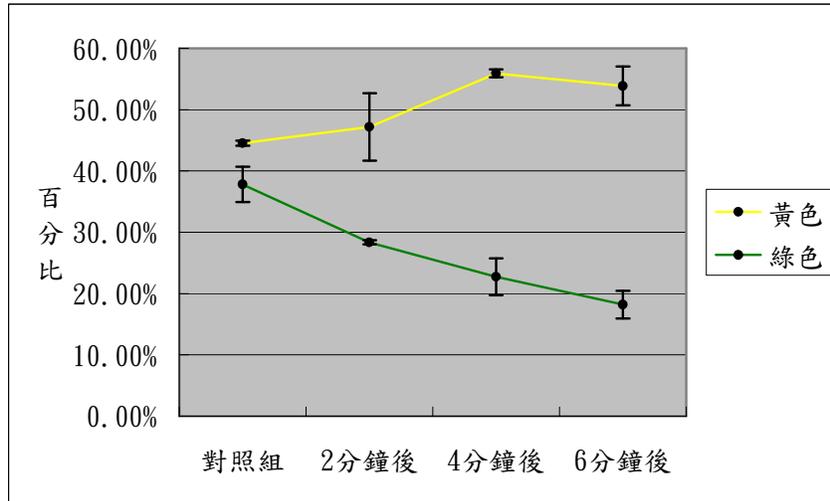


圖十三 以羽化一日的果蠅進行記憶時間的測試

過程：將實驗組之果蠅置於黃色玻璃瓶後放入熱水（處罰）。將果蠅經由這一次訓練後，休息兩分鐘（與處罰時間相隔四分鐘），再讓其做選擇，再休

息兩分鐘（與處罰時間相隔六分鐘），再次讓其做選擇。

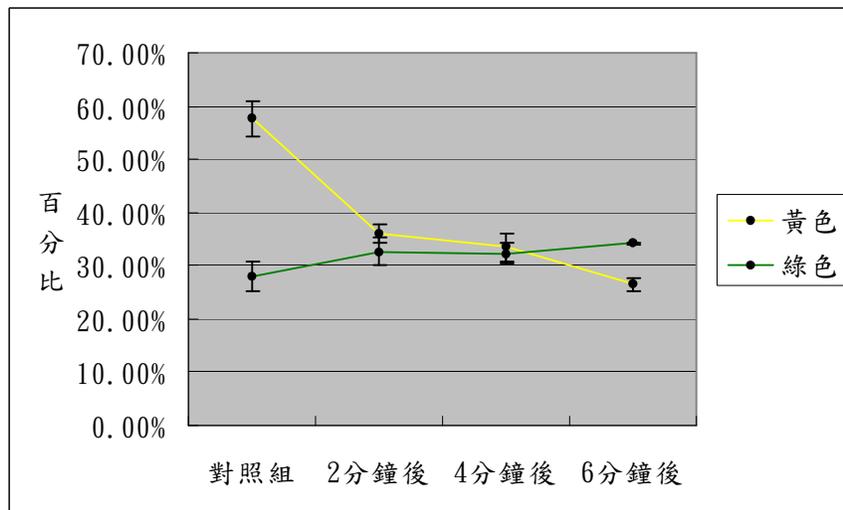
... 結果：由圖中所示，果蠅在六分鐘內，選擇黃色的比例依然明顯的比對照組的比例為小。由此可知，果蠅經由訓練，確實會維持一段時間的記憶。



圖十四 以羽化一日的果蠅進行記憶時間的測試

... 過程：將實驗組之果蠅置於綠色玻璃瓶後放入熱水（處罰）。將果蠅經由這一次訓練後，休息兩分鐘（與處罰時間相隔四分鐘），再讓其做選擇，再休息兩分鐘（與處罰時間相隔六分鐘），再次讓其做選擇。

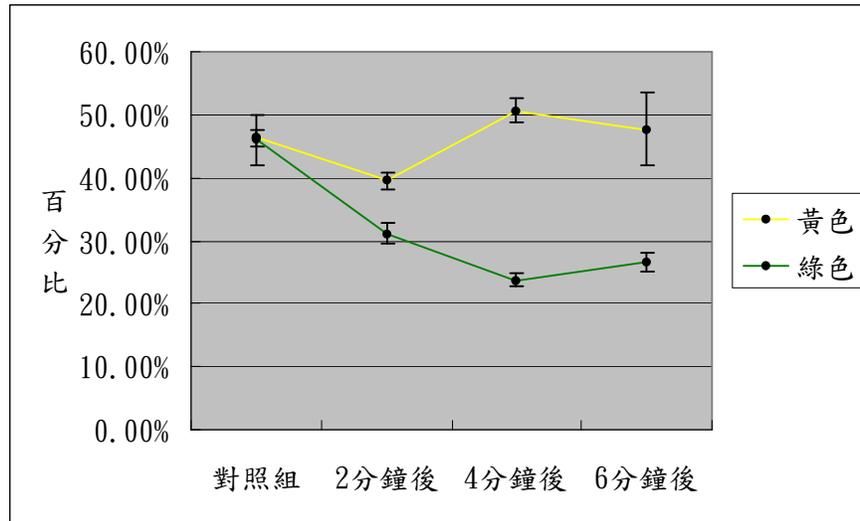
... 結果：由圖中所示，果蠅在六分鐘內，選擇綠色的比例依然明顯的比對照組的比例為小，且選擇黃色的比例明顯的比對照組的比例為大。由此可知，果蠅經由訓練，確實會維持一段時間的記憶。



圖十五 以羽化二十日的果蠅進行記憶時間的測試

... 過程：將實驗組之果蠅置於黃色玻璃瓶後放入熱水（處罰）。將果蠅經由這一次訓練後，休息兩分鐘（與處罰時間相隔四分鐘），再讓其做選擇，再休息兩分鐘（與處罰時間相隔六分鐘），再次讓其做選擇。

... 結果：由圖中所示，果蠅在六分鐘內，選擇黃色的比例依然明顯的比對照組的比例為小且選擇綠色的比例稍微的比對照組的比例為大。由此可知，果蠅經由訓練，記憶會維持較久。

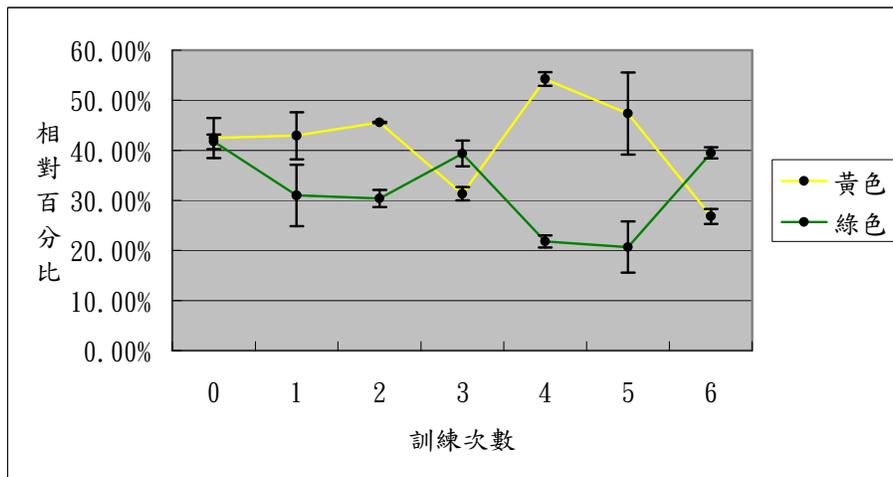


圖十六 以羽化二十日的果蠅進行記憶時間的測試

... 過程：將實驗組之果蠅置於綠色玻璃瓶後放入熱水（處罰）。將果蠅經由這一次訓練後，休息兩分鐘（與處罰時間相隔四分鐘），再讓其做選擇，再休息兩分鐘（與處罰時間相隔六分鐘），再次讓其做選擇。

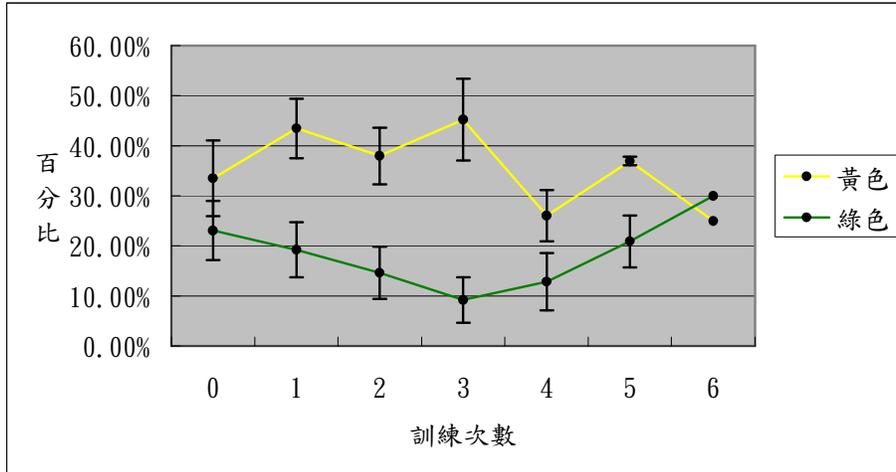
... 結果：由圖中所示，果蠅在六分鐘內，選擇綠色的比例依然明顯的比對照組的比例為小且選擇黃色的比例明顯的比對照組的比例為大。由此可知，果蠅經由訓練，記憶會維持較久。

七、經由密集訓練測試果蠅對不同顏色的記憶時間



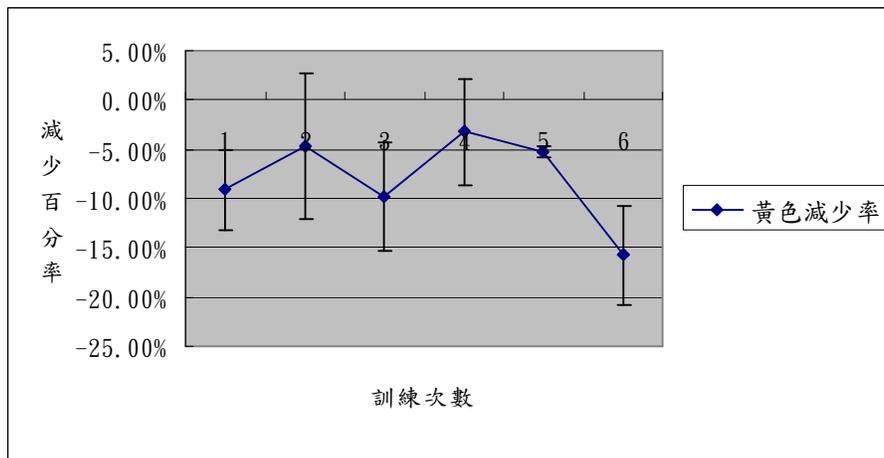
圖十七 密集訓練選擇兩種顏色百分比及訓練次數比較圖

... 過程：將實驗組之果蠅置於黃色玻璃瓶後放入熱水（處罰），並重複訓練六次，計算選擇黃色與選擇綠色之相對百分比。



圖十八 密集訓練選擇兩種顏色百分比及訓練次數比較圖

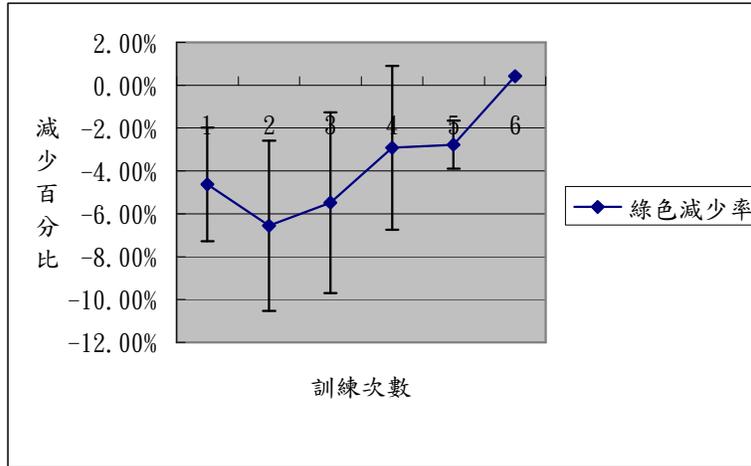
... 過程：將實驗組之果蠅置於綠色玻璃瓶後放入熱水（處罰），並重複訓練六次，計算選擇黃色與選擇綠色之相對百分比。



圖十九 密集訓練正確百分比及訓練次數比較圖

... 過程：將實驗組之果蠅置於黃色玻璃瓶後放入熱水（處罰），並重複訓練六次，計算選擇黃色的減少率。

... 結果：由圖可知，果蠅於第六次訓練之學習效果為最佳。



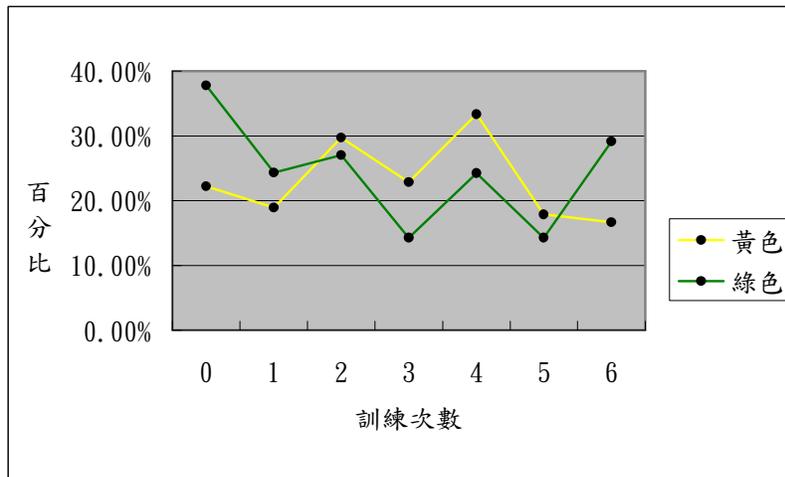
圖二十 密集訓練正確百分比及訓練次數比較圖

... 過程：將實驗組之果蠅置於綠色玻璃瓶後放入熱水（處罰），並重複訓練六次，計算選擇綠色之減少率。

... 結果：由圖可知，果蠅於第二次訓練之學習效果為最佳。

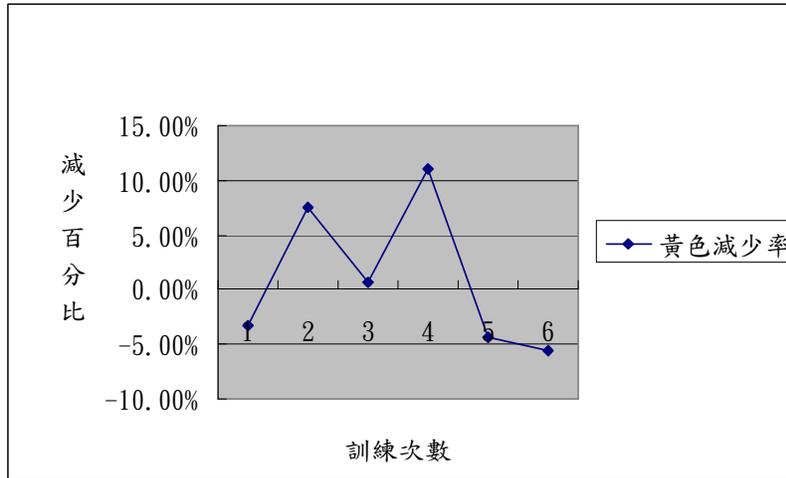
八、不同年齡果蠅之顏色記憶能力

（一）羽化一日的果蠅經密集訓練後之記憶能力



圖二十一 密集訓練選擇兩種顏色百分比及訓練次數比較圖

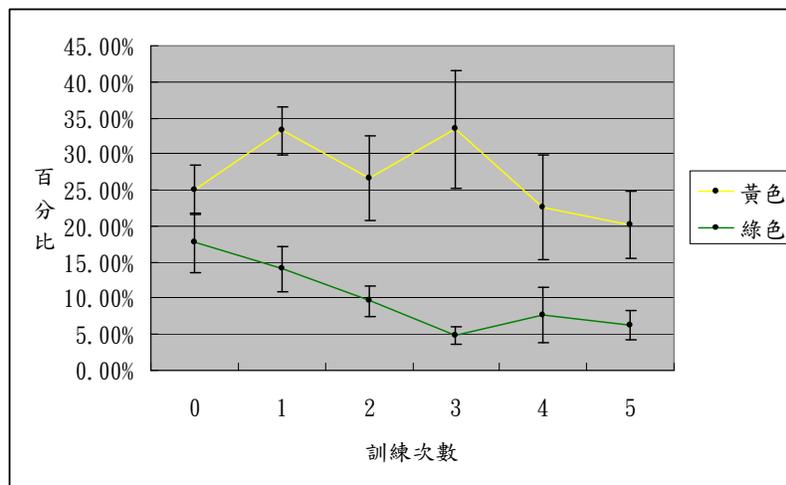
... 過程：將實驗組羽化一日之果蠅置於黃色玻璃瓶後放入熱水（處罰），並重複訓練六次，計算選擇黃色與選擇綠色之相對百分比。



圖二十二 密集訓練正確百分比及訓練次數比較圖

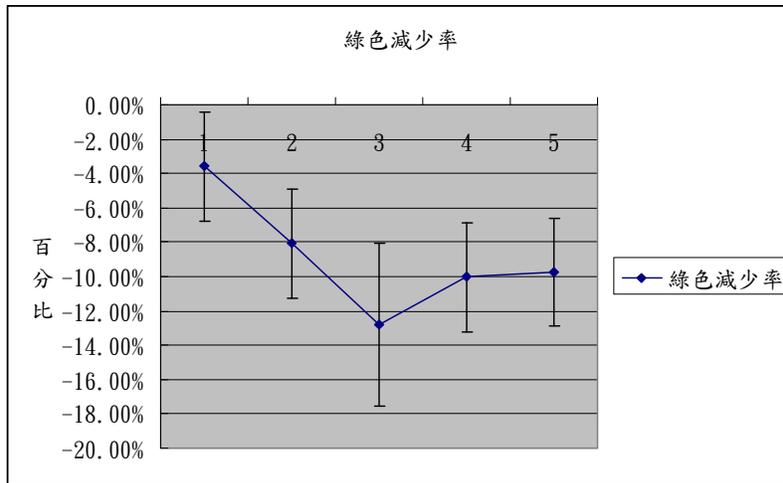
過程：將實驗組羽化一日之果蠅置於黃色玻璃瓶後放入熱水（處罰），並重複訓練六次，計算選擇黃色之減少率。

結果：由圖可知，果蠅於第六次訓練之學習效果為最佳。



圖二十三 密集訓練選擇兩種顏色百分比及訓練次數比較圖

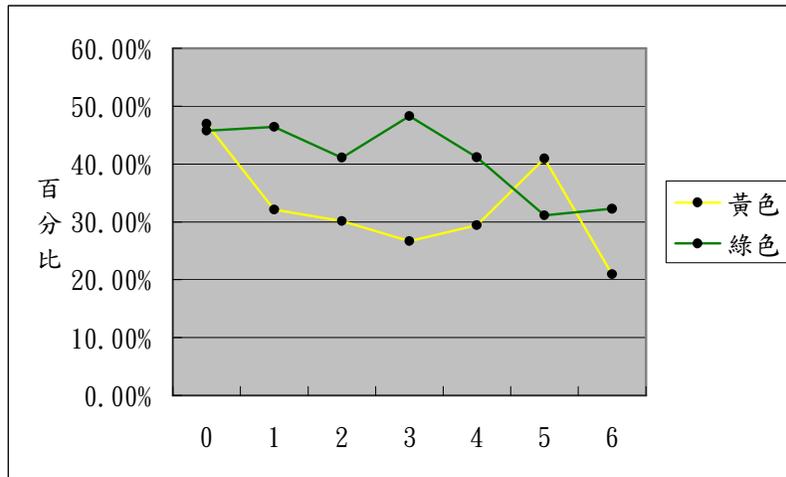
過程：將實驗組羽化一日之果蠅置於綠色玻璃瓶後放入熱水（處罰），並重複訓練六次，計算選擇黃色與選擇綠色之相對百分比。



圖二十四 密集訓練正確百分比及訓練次數比較圖

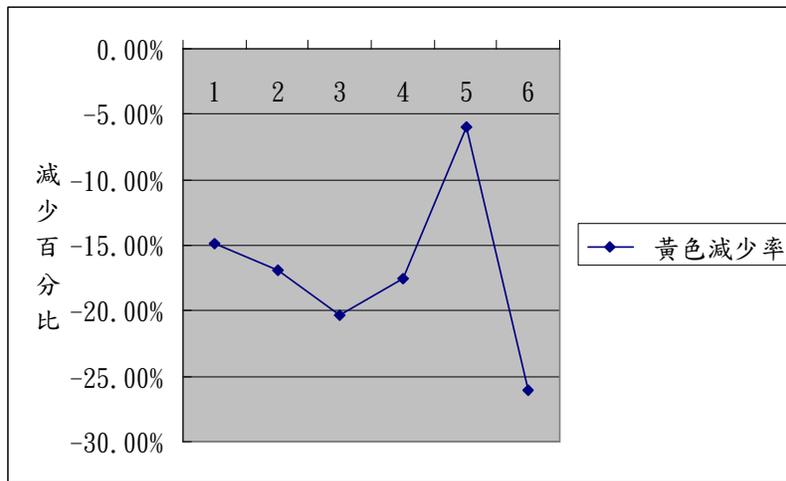
- ... 過程：將實驗組羽化一日之果蠅置於綠色玻璃瓶後放入熱水（處罰），並重複訓練六次，計算選擇綠色之減少率。
- ... 結果：由圖可知，果蠅於第三次訓練之學習效果為最佳。

(二) 羽化二十日的果蠅經密集訓練後之記憶能力



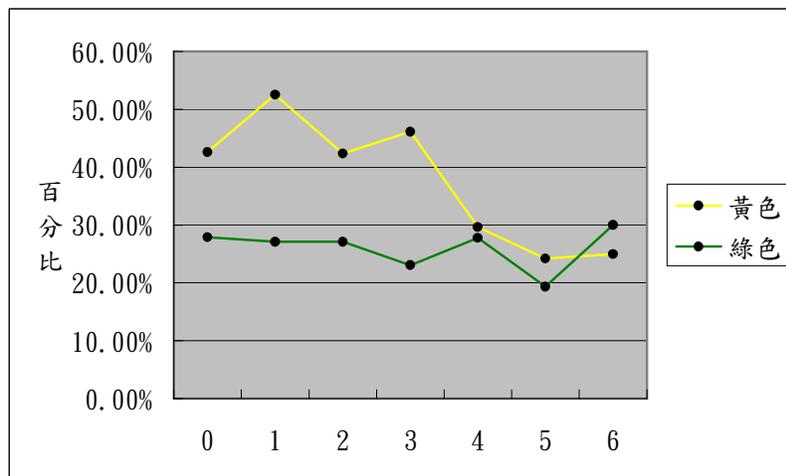
圖二十五 密集訓練選擇兩種顏色百分比及訓練次數比較圖

- ... 過程：將實驗組羽化二十日之果蠅置於黃色玻璃瓶後放入熱水（處罰），並重複訓練六次，計算選擇黃色與選擇綠色之相對百分比。



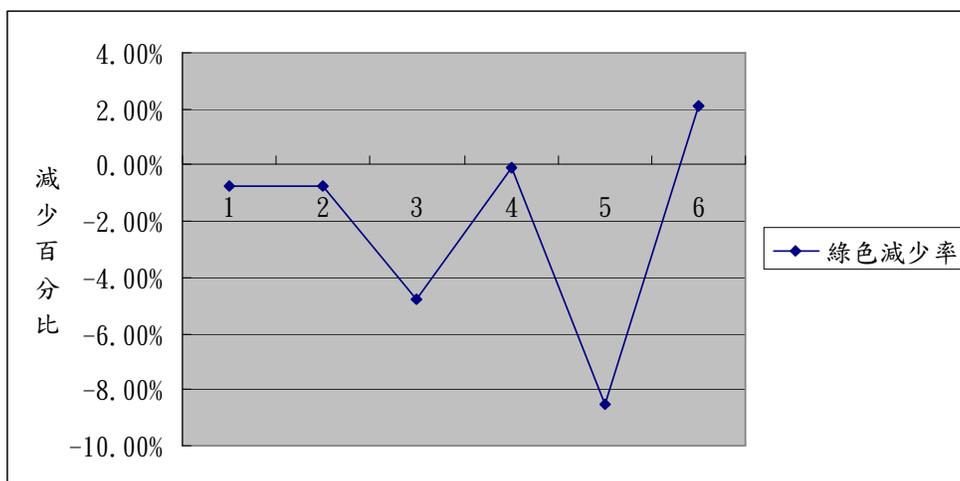
圖二十六 密集訓練正確百分比及訓練次數比較圖

- ... 過程：將實驗組羽化二十日之果蠅置於黃色玻璃瓶後放入熱水（處罰），並重複訓練六次，計算選擇黃色之減少率。
- ... 結果：由圖可知，果蠅於第六次訓練之學習效果為最佳。



圖二十七 密集訓練選擇兩種顏色百分比及訓練次數比較圖

- ... 過程：將實驗組羽化二十日之果蠅置於綠色玻璃瓶後放入熱水（處罰），並重複訓練六次，計算選擇黃色與選擇綠色之相對百分比。

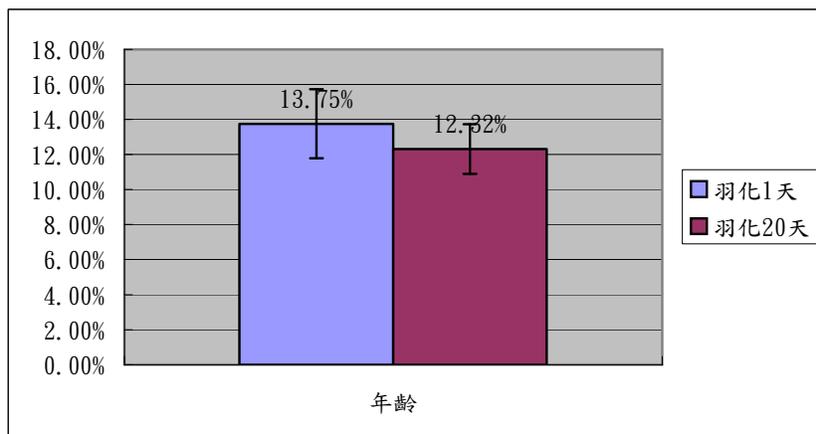


圖二十八 密集訓練正確百分比及訓練次數比較圖

... 過程：將實驗組羽化二十日之果蠅置於黃色玻璃瓶後放入熱水（處罰），並重複訓練六次，計算選擇綠色之減少率。

... 結果：由圖可知，果蠅於第五次訓練之學習效果為最佳。

（三）果蠅年齡與顏色記憶能力



圖二十九 果蠅年齡與顏色記憶的關係圖

... 過程：將實驗組之果蠅訓練六次，計算不同年齡與記憶正確度的比較。

... 由圖可知，羽化一日之果蠅稍較羽化二十日之果蠅學習記憶佳。

【總結】綜合以上結果，推測果蠅經密集訓練可延長其對顏色的記憶時間，且年輕果蠅稍佳

九、經密集訓練後再以迷宮篩選出對顏色記憶較明顯之果蠅

迷宮閘門	對	未選	錯	總數	對的百分比	未選百分比	錯的百分比
第一次篩選	17	3	1	21	80.95%	14.29%	4.76%
第二次篩選	16	1	0	17	94.12%	5.88%	0.00%
第三次篩選	10	2	1	13	76.92%	15.38%	7.69%

柒、討論

- 一、我們所使用的材料為純品系野生型果蠅（2U 品種），由清華大學生命科學系腦科學中心所提供。此品種其視覺辨識能力及喜好與一般果蠅皆相同。
- 二、在辨識與學習氣味的實驗中，經過訓練後的果蠅能夠辨識並學習記憶不同種類的氣味，且將其中的某一氣味與熱(懲罰)作連結，其中又以處理柳橙汁與冬瓜茶的學習效果最佳，我們推測是因柳橙汁與冬瓜茶兩者之氣味最為強烈且較易分辨。又每次實驗皆使用直接由市面上購得固定品牌且未過期的果汁，故其所散發的氣味應當相同。另外，我們之所以選用多種不同的果汁，是為確定果蠅對不同氣味皆具有記憶性，並不是因為某種特定氣味而做選擇，進而得知果蠅具有記憶氣味的能力。
- 三、在辨識與學習氣味的實驗中，經訓練後的果蠅，在三分鐘、四分鐘、五分鐘後，都仍有對於氣味辨識的能力，而到了六分鐘甚至是八分鐘後，果蠅就開始作隨機的選擇了。由此我們可以推斷，果蠅經由一次訓練學習的記憶時間，可維持在訓練（加熱處罰）之後的五分鐘之內。
- 四、在辨識與學習氣味的實驗中，經過一次訓練(在某氣味中加熱過後)的果蠅選擇該氣味的比例減少，我們初步推測其原因有二種可能：(1)果蠅具有記憶能力，能夠辨識與學習氣味。(2)該氣味對果蠅之吸引力較第一次差，即果蠅已習慣該味道，而使果蠅選擇比例減少。由於仍具有後者的可能性，故我們設計了密集訓練的實驗，證明果蠅並非是因為吸引力減弱而進行隨機選擇，而是其真的具有辨識與學習氣味的能力，另外亦可延長其記憶時間。
- 五、在辨識與學習氣味的密集訓練實驗中，經過五至六次的密集訓練後，果蠅維持記憶的時間，可高達十二分鐘。
- 六、在辨識與學習氣味的密集訓練實驗中，顯示羽化一日的果蠅在密集訓練的成果較羽化二十日的果蠅為佳，故推測年齡應會影響果蠅的記憶能力。
- 七、在辨識與學習氣味(顏色)的密集訓練實驗中，每次訓練之所以皆間隔二分鐘的原因如下：(1)於研究過程中曾提及，將果蠅置入 35°C 熱水中 45 秒後，將其放入訓練器中休息 45 秒，再加上我們計算果蠅與操作訓練器的時間恰約二分鐘。(2)若間隔時間過長，我們無法確知果蠅是否已將先前的記憶遺忘，故我們盡可能以間隔最短時間(即二分鐘)進行密集訓練的實驗，以確保果蠅的記憶效果。
- 八、在辨識與學習顏色的實驗中，經過訓練的果蠅對於辨識顏色的能力並不如辨識氣味的能力佳，推測可能原因為：(1)果蠅對於不同種類的顏色有不同的喜好程度，而此種喜好程度不容易因為一次短暫的學習而因此改變。(2)因有些顏色的明暗程度(深淺)差異不大(如：藍色與綠色)，我們認為，可能是因為果蠅不能確切分辨出不同顏色的差異，故果蠅在第一次的訓練實驗中，學習效果並不理想。
- 九、為了深入研究果蠅對於顏色的學習，我們挑選黃色和綠色(因其訓練成效較佳)以進行密集訓練，觀察多次的訓練對於顏色的記憶效果是否有所助益。數據顯示，經過三到六次的密集訓練後，果蠅對於顏色的學習效果皆有成長的趨勢。
- 十、綜合氣味和顏色的密集訓練，我們發現，對於氣味而言，果蠅的最佳學習效果是於密集訓練的第四次、第五次，而對於顏色而言，則是多以第三次、第六次的效果最佳。而以氣味密集訓練而言，訓練至第六次時，果蠅的學習效果有不增反減的情況，

我們猜想此現象的發生，代表在果蠅辨識氣味方面，不可以過度訓練學習。

- 十一、實驗的結果曲線，有時會有對照組及實驗組的數據出現同時下降現象（例如圖五），此乃因為在實驗過程中，果蠅在做選擇時，有些果蠅並沒有做選擇，亦或是在選擇過程中，有些果蠅會不小心死亡，造成此現象產生。

捌、結論

- 一、果蠅能夠辨識且學習記憶不同種類的氣味，並將其中的某一氣味與熱(懲罰)作連結，其中以柳橙汁與冬瓜茶的學習效果最佳。
- 二、在辨識與學習氣味的實驗中，經過一次訓練後的果蠅，在五分鐘內仍具有明顯的記憶能力，然而到了六分鐘甚至是八分鐘(包含休息所需的兩分鐘在內)後，果蠅即開始隨機的選擇。
- 三、在辨識與學習氣味的密集訓練實驗中，經過五至六次的密集訓練後，果蠅能夠維持較久的記憶時間，最長可至十二分鐘(包含休息所需的兩分鐘在內)。
- 四、在辨識與學習氣味的密集訓練實驗中，顯示羽化一日的果蠅在密集訓練後的成果較羽化二十日的果蠅為佳。
- 五、在辨識與學習顏色的實驗中，經過一次訓練的果蠅記憶顏色的能力並不明顯。
- 六、在辨識與學習顏色的實驗中，經過三到六次的密集訓練後，果蠅對於顏色的學習效果明顯較只訓練一次的果蠅佳。
- 七、果蠅是能夠訓練並加以學習的，同時其記憶可維持一段時間。

玖、參考資料

- 一、楊冠政。高中生命科學課本下冊第六章第四節『動物的行為』。龍騰文化事業公司，68-70，2006。
- 二、鄭湧涇。高中生物課本上冊第九章第六節『學習與行為活動』。康熙文化事業股份有限公司，33-40，2006。
- 三、D. Marcus, H. Martin(2006), Visual Pattern Memory without Shape Recognition, *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 349(1328), 143-152

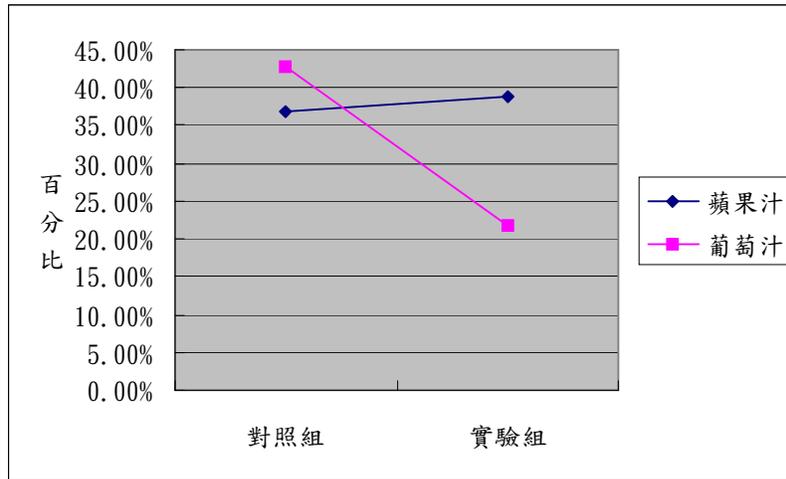
拾、未來展望

- 一、藉由迷宮實驗，我們過濾並篩選出對顏色記憶效果最佳的果蠅，希望未來能進一步探討訓練過後的果蠅之子代能否有較優良的記憶行為，甚至找出與學習記憶相關的基因。將學習能力佳與學習能力差的果蠅進行 DNA 定序並比較兩者的差異，更進而探討基因調控層面，抑或者與人類基因進行相關比較。
- 二、在果蠅的幼蟲期即給予刺激，分析其經過變態期後是否仍具有對先前的刺激具有記憶性，並探討此基因在果蠅生活史中的重要性，並比較其在成蟲時接受相同的刺激，是否會有較佳的學習能力。
- 三、將果蠅暴露在電磁波中，觀察其在學習記憶上的能力是否與一般果蠅有差異，進而探討電磁波可能對人類學習記憶上造成的影響。

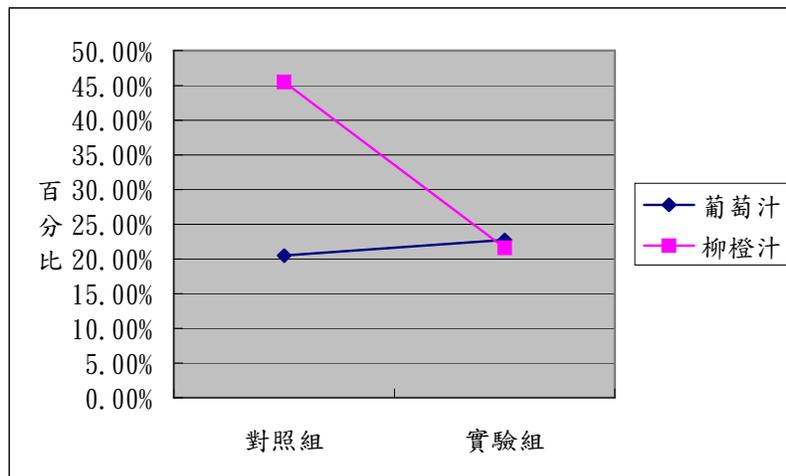
拾壹、附錄

一、氣味實驗

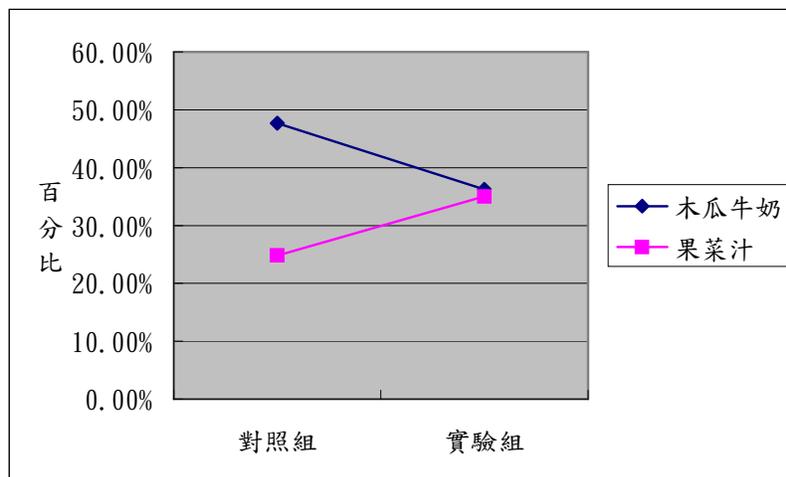
(一) 葡萄汁與蘋果汁《置於含葡萄汁氣味之玻璃瓶後放入熱水處罰》



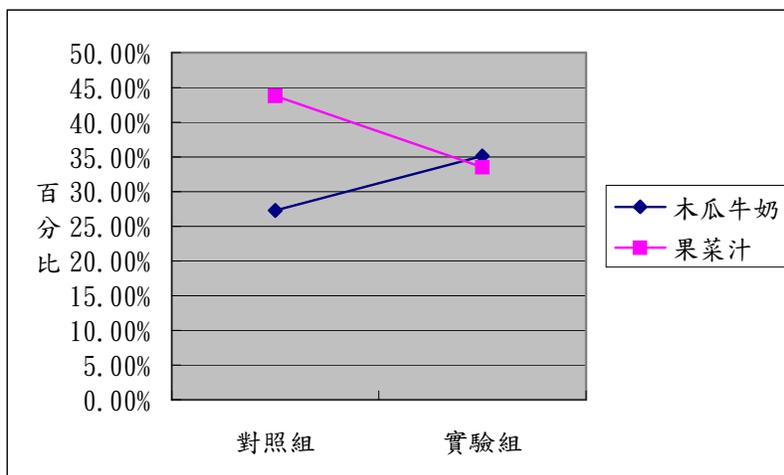
(二) 葡萄汁與柳橙汁《置於含柳橙汁氣味之玻璃瓶後放入熱水處罰》



(三) 木瓜牛奶與果菜汁《置於含木瓜牛奶氣味之玻璃瓶後放入熱水處罰》

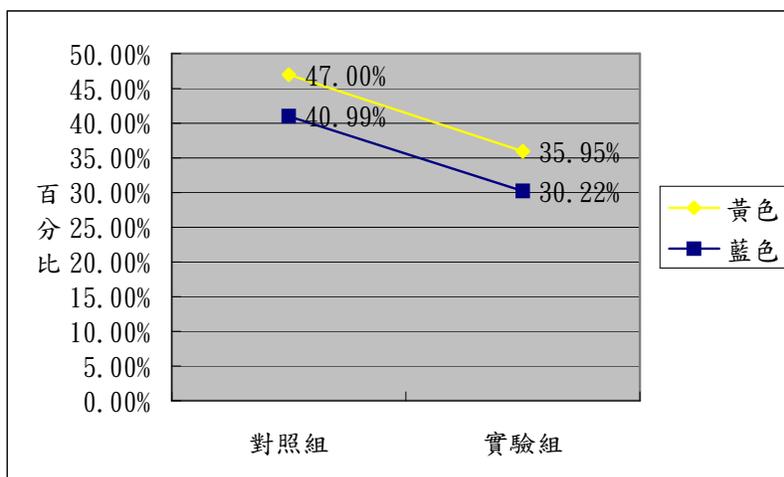


(四) 木瓜牛奶與果菜汁《置於含果菜汁氣味之玻璃瓶後放入熱水處罰》

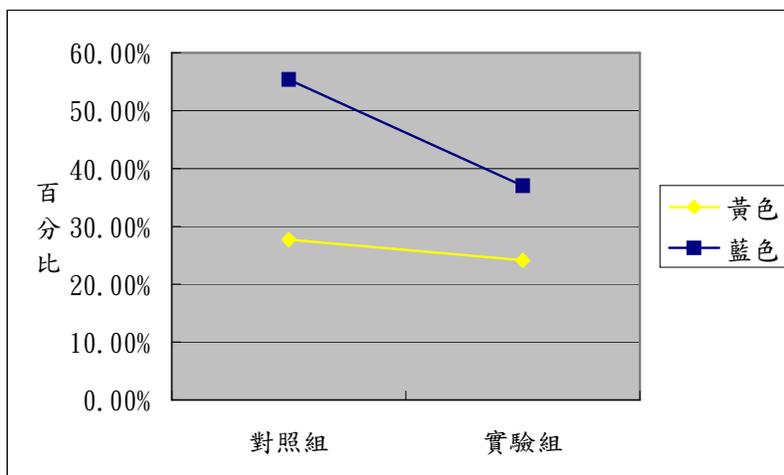


二、顏色實驗

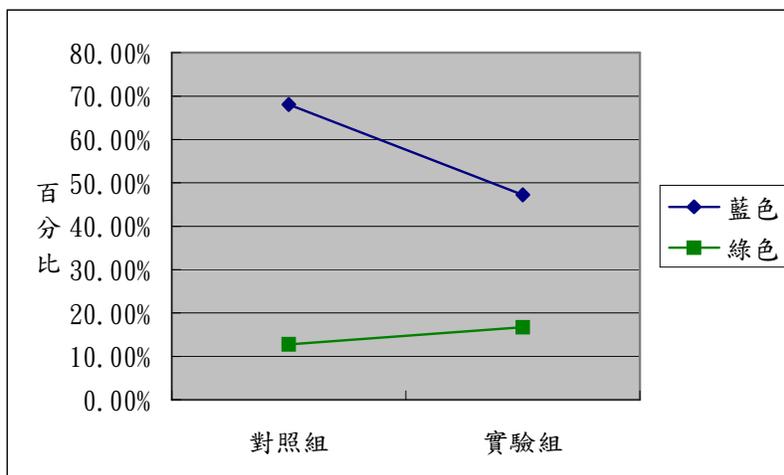
(一) 黃色和藍色《置於黃色玻璃瓶後放入熱水處罰》



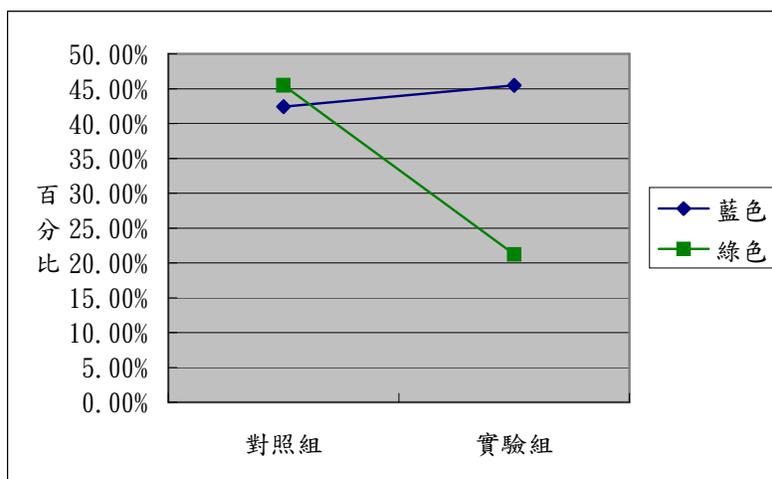
(二) 黃色和藍色《置於藍色玻璃瓶後放入熱水處罰》



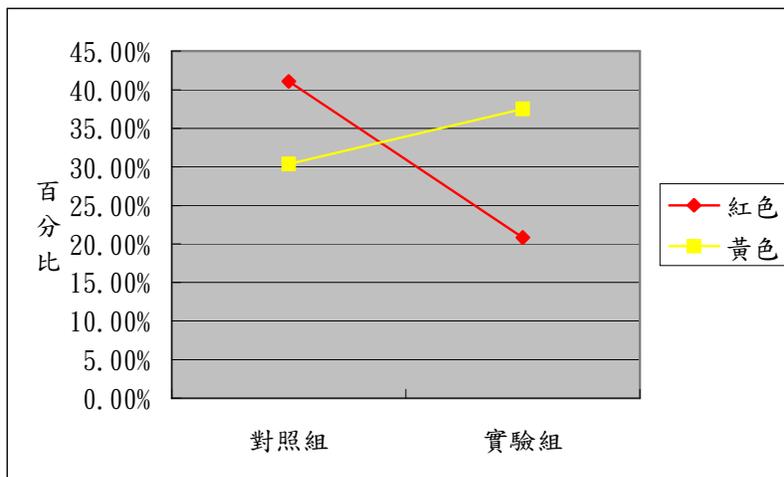
(三) 藍色和綠色《置於藍色玻璃瓶後放入熱水處罰》



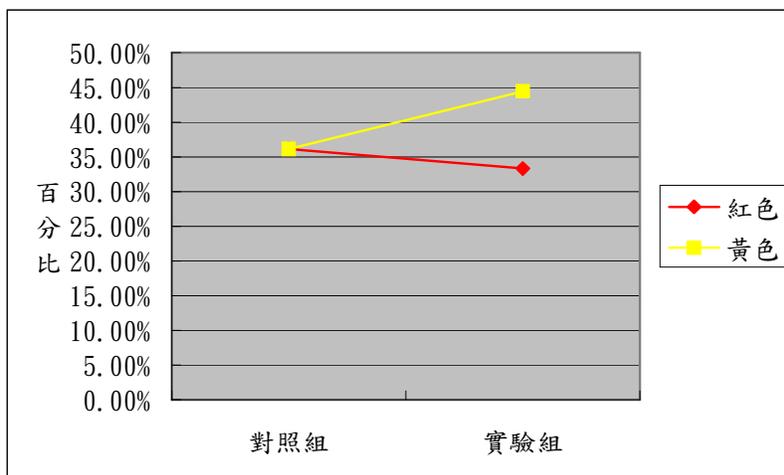
(四) 藍色和綠色《置於綠色玻璃瓶後放入熱水處罰》



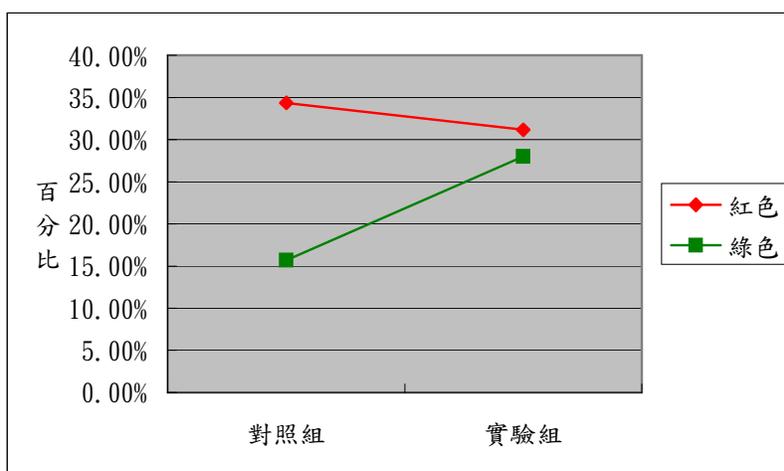
(五) 紅色和黃色《置於紅色玻璃瓶後放入熱水處罰》



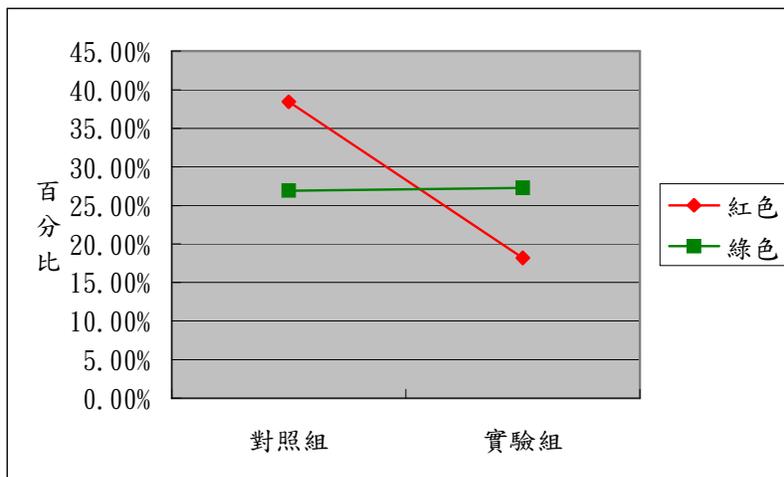
(六) 紅色和黃色《置於黃色玻璃瓶後放入熱水處罰》



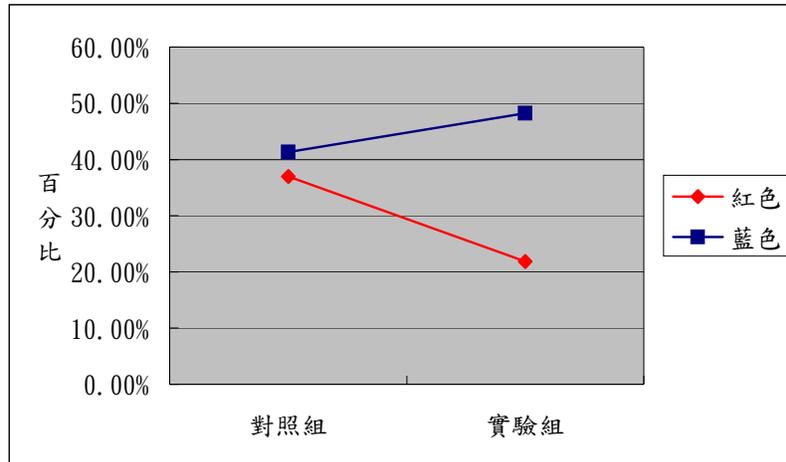
(七) 紅色和綠色《置於紅色玻璃瓶後放入熱水處罰》



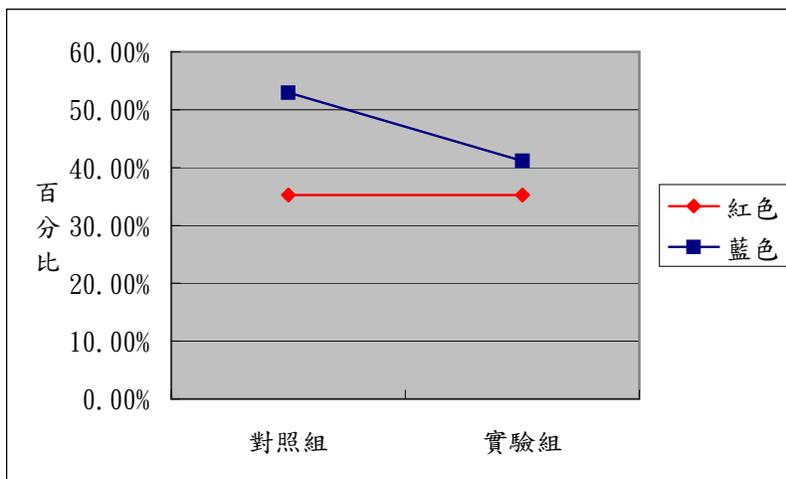
(八) 紅色和綠色《置於綠色玻璃瓶後放入熱水處罰》



(九) 紅色和藍色《置於紅色玻璃瓶後放入熱水處罰》



(十) 紅色和藍色《置於藍色玻璃瓶後放入熱水處罰》



【評語】 040702 愛的教育，鐵的紀律--果蠅的學習與記憶能力

1. 本題目以果蠅作材料，分析果蠅對不同顏色，氣味差無之學習能力及與年齡相關性。
2. 結果顯示果蠅對氣味的記憶比顏色記憶力佳。
3. 本作品，以自作迷宮作實驗，具創意。