

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高中組 生物(生命科學)科

040719

「記憶中的好味道」

—以提示訓練果蠅之記憶能力

學校名稱：臺南市私立興國高級中學

作者： 高一 傅俊凱 高一 胡勵光 高一 鄭存孝	指導老師： 陳昱豪 李金珺
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：提示、果蠅、記憶能力

## 壹、摘要

果蠅是常見的實驗生物，且近來有許多證據指出，果蠅可記憶懲罰與附加的線索，具有一定的學習記憶能力。我們的實驗利用果蠅喜好的氣味作為誘因，透過附加的提示進行訓練，使果蠅將氣味與附加提示加以連結，產生記憶。而結果顯示，果蠅對色光有所偏好，我們選用非偏好的顏色作為提示，訓練果蠅將提示與偏好的柳橙汁氣味加以連結；除顏色外，我們亦運用漆包線通電製造磁場，以磁場作為另一種提示。而驗收結果顯示，果蠅確實可以記憶提示與柳橙汁氣味的關連性，密集訓練後，超過半數果蠅在沒有氣味誘因下仍選擇有提示的一方，表示果蠅已將該提示與喜好之氣味加以連結。結果顯示，不僅有懲罰能做為學習記憶的訓練方式，適當運用喜好之事物亦可有效促使果蠅產生學習記憶。

## 貳、研究動機

學習記憶的探討一直是令人著迷而又充滿迷團的領域，台灣的研究團隊，清大的腦科學研究中心在 2007 年，發表了一篇有關果蠅嗅覺學習記憶的研究在知名的期刊「自然神經科學」(Nature Neuroscience)上，他們以超高解析度的生物影像技術，清楚呈現果蠅腦中各種不同的神經網路結構，更與美國頂尖研究機構冷泉港實驗室提姆塔利 (Tim Tully) 博士合作，發現果蠅腦中心有一個特殊區域—橢圓體—極可能是長期記憶的儲存所在[1]。這個發現激發了我們對果蠅學習記憶的研究興趣，而在高一基礎生物下學期我們也將學習神經系統的構造與運作，我們便決定以果蠅做為研究題材，探討有關其學習記憶的能力。

根據過去的文獻研究指出[2, 6, 7]，果蠅可透過氣味與電擊或加熱懲罰的密集訓練，將其連結而產生學習記憶。但過去的文獻未曾探討果蠅是否可透過喜好之事物，對提示產生記憶，所以我們決定利用果蠅喜好之氣味，利用附加的提示訓練，使其與該附加提示產生連結，觀察果蠅是否可透過喜好事物而產生學習記憶。

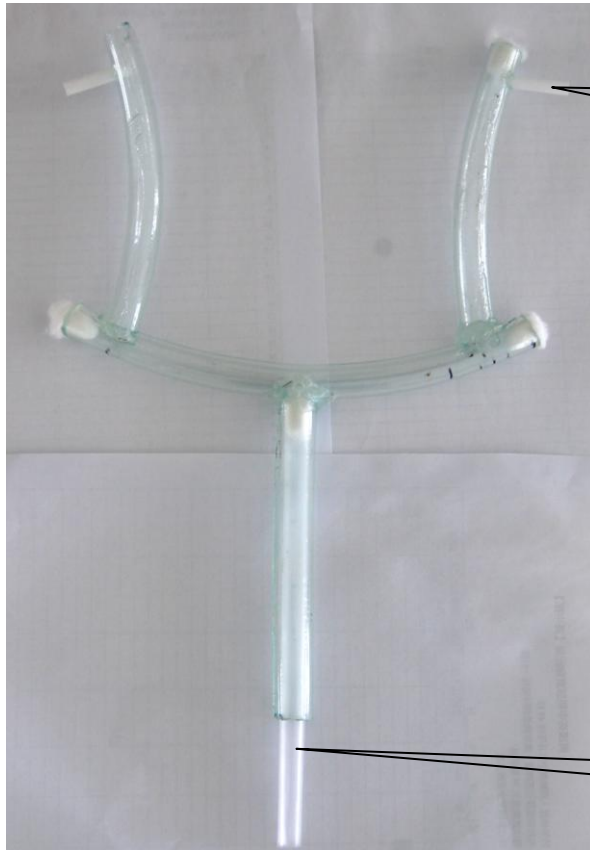
而透過前人的研究[7]，我們得知果蠅對色彩可能具有辨識的能力，且有特殊偏好；而更有研究指出[3]，果蠅對視覺可具有記憶能力，所以我們優先採用顏色作為附加提示來訓練果蠅。近來亦有科學家針對昆蟲感測磁場的能力進行研究，發現昆蟲感知磁場的機制[5]，故我們亦計劃運用磁場來作為附加提示。

## 參、研究目的

- 一、 果蠅對不同氣味之偏好。
- 二、 果蠅對顏色之辨認偏好。
- 三、 果蠅視覺與嗅覺連結之學習記憶能力。
- 四、 果蠅對磁場之感應與嗅覺連結之學習記憶能力

## 肆、研究設備與材料

- 一、純品系果蠅【野生型 2U 品種】，████大學生物科技系所████老師實驗室提供，培養於 25°C 恆溫培養箱（如右圖）。
- 二、果蠅培養基（由████老師提供）。
- 三、特製 4 號塑膠軟管果蠅學習記憶訓練裝置（如下圖）。



沾有果汁的棉花置入處

果蠅置入推進裝置

- 四、不同氣味（100%現榨柳橙汁、鳳梨汁、葡萄之、檸檬紅茶）之液體。
- 五、以不同顏色（紅、黃、綠、透明）玻璃紙包覆塑膠軟管。
- 六、磁場設置：漆包線、一號電池、指南針

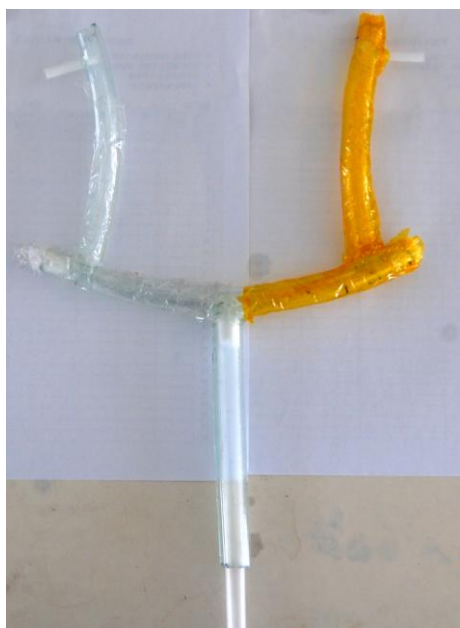
## 伍、研究過程與方法

### 一、果蠅對不同氣味的辨識

1. 以推進器將果蠅置入軟管訓練裝置中。
2. 將沾有不同氣味液體(柳橙汁、葡萄之、鳳梨汁、檸檬紅茶)之棉花塞入訓練裝置其中一側，另一側則沾白開水做為對照。
3. 待其進行選擇 3 分鐘，將通道中央以棉花阻隔，計算兩邊之果蠅數量。

### 二、果蠅對顏色之辨認偏好

1. 以推進器將果蠅置入軟管訓練裝置中。
2. 將不同顏色之玻璃紙(黃色、紅色、綠色、透明)包覆訓練裝置兩側通道(如下圖)。
3. 待其進行選擇 3 分鐘，將通道中央以棉花阻隔，計算兩邊之果蠅數量。

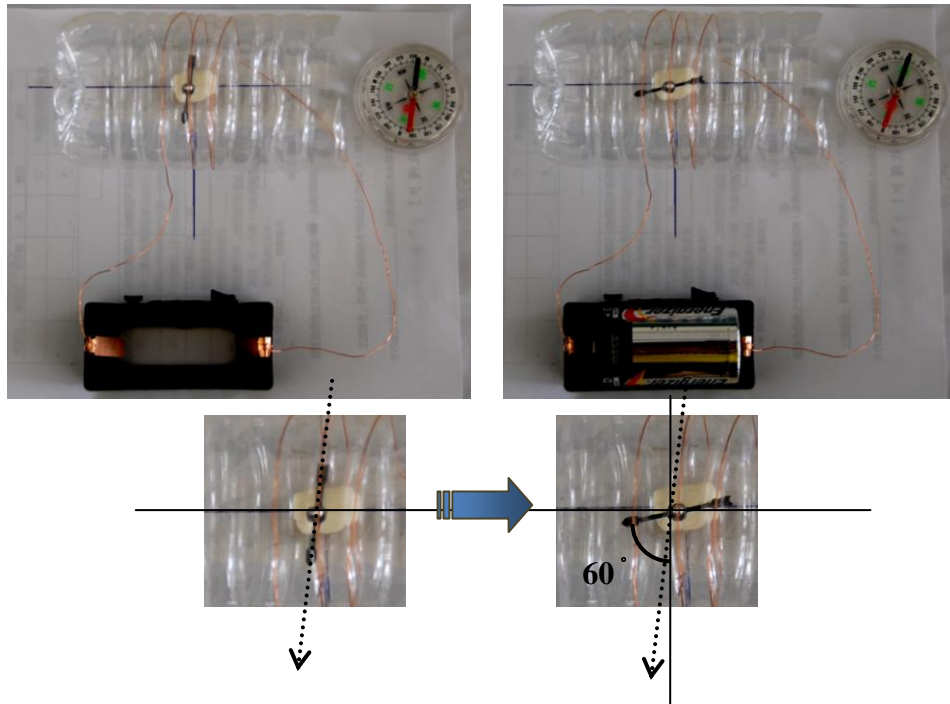


### 三、果蠅視覺與嗅覺連結之學習記憶能力

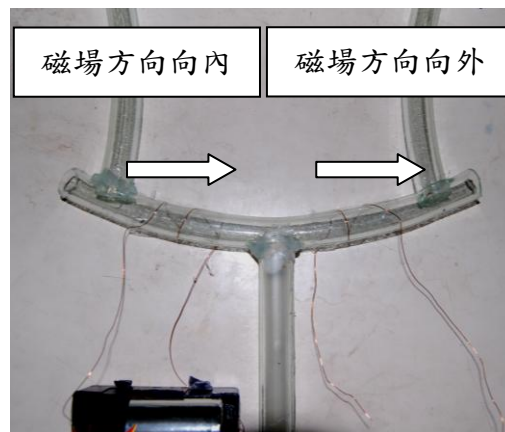
1. 以推進器將果蠅置入軟管訓練裝置中。
2. 將非果蠅喜好顏色之玻璃紙(黃色、紅色)包覆訓練裝置其中一側通道，並於該側通道末端塞入沾有果蠅喜好氣味之棉花。
3. 待其進行選擇 3 分鐘，將通道中央以棉花阻隔，計算兩邊之果蠅數量。
4. 訓練結束後，讓該批果蠅休息 1 分鐘，以此模式連續訓練三次後，將果蠅喜好氣味之棉花置換成白開水。
5. 待其進行選擇 3 分鐘，將通道中央以棉花阻隔，計算兩邊之果蠅數量。
6. 以此方式重複測試 3 次，果蠅間隔休息一分鐘。

#### 四、磁場的建立

1. 使用漆包線纏繞寶特瓶三圈，並連接電池，以製造出特定方向之磁場(如下圖左)。
2. 由下圖可知，漆包線纏繞三圈通電，確實可產生磁場，並造成指南針偏轉 60 度角(如下圖右、左)。



3. 將線圈纏繞(三圈或兩圈)於訓練裝置兩側，其中一側通電產生磁場，另一側作為對照組(如下圖)。或兩側同時給予電流，製造相對方向之磁場(向外及向內)。



#### 五、果蠅對磁場的辨認偏好

1. 以推進器將果蠅置入具備磁場之軟管訓練裝置中。
2. 待其進行選擇 3 分鐘，將通道中央以棉花阻隔，計算兩邊之果蠅數量。
3. 兩側同時給予不同方向之電流，製造相對方向(向內及向外)之磁場，依此步驟重複進行實驗。

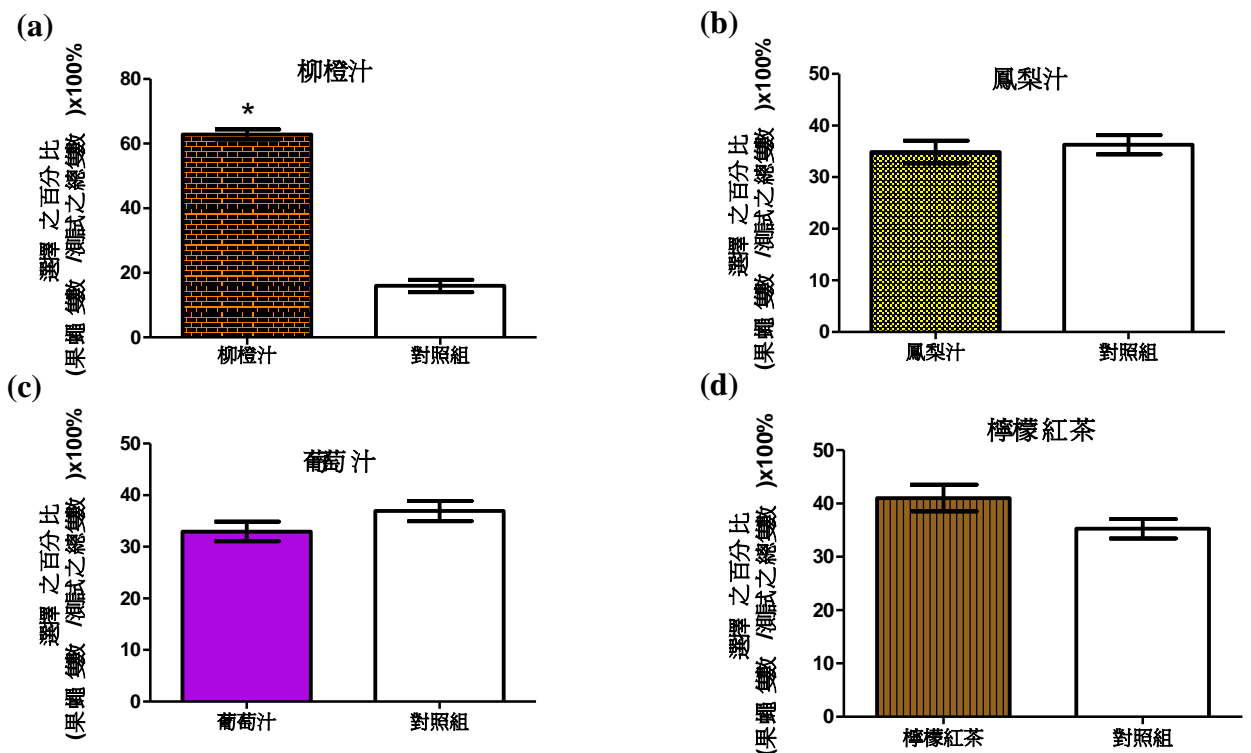
## 六、果蠅對磁場之感應與嗅覺連結之學習記憶能力

1. 以推進器將果蠅置入具備磁場之軟管訓練裝置中。
2. 於有向外磁場之一側通道末端塞入沾有果蠅喜好氣味之棉花。
3. 待其進行選擇 3 分鐘，將通道中央以棉花阻隔，計算兩邊之果蠅數量。
4. 訓練結束後，讓該批果蠅休息 1 分鐘，以此模式連續訓練三次後，將果蠅喜好氣味之棉花置換成白開水。
5. 待其進行選擇 3 分鐘，將通道中央以棉花阻隔，計算兩邊之果蠅數量。
6. 以此方式重複測試 3 次，果蠅間隔休息一分鐘。

## 陸、實驗結果

### 一、果蠅對不同氣味的辨識

由圖一可知，我們使用的四種果汁之氣味中，以天然柳橙汁對果蠅較具有吸引力。相較於其他三種氣味，果蠅對天然柳橙汁有顯著性地偏好，在實驗時間內，停留於具有柳橙汁氣味的一側數量與比例都較高(圖一 a)。而其他三種氣味的測試中，果蠅對實驗組(氣味)與對照組的選擇上並沒有顯著的差異，甚至不選擇的果蠅數也較高(圖一 b、c、d)。

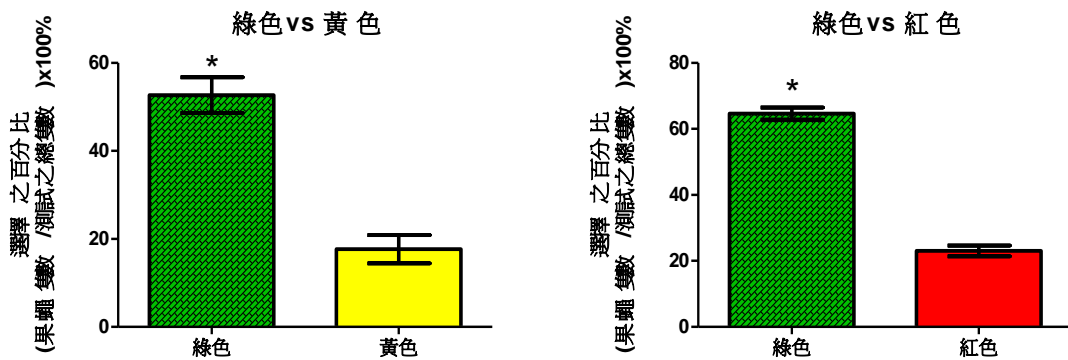


圖一、果蠅對氣味之喜好。每次使用 30 隻果蠅，每種氣味進行 28 次實驗。

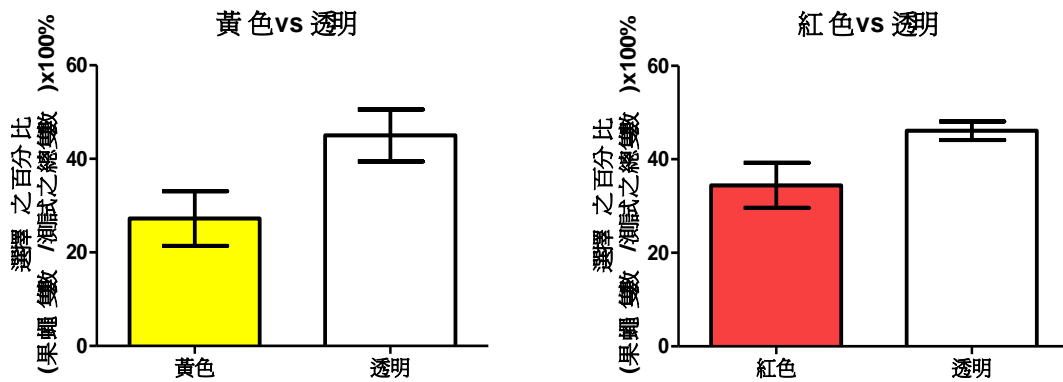
\*  $p < 0.05$ ，與對照組相比，以  $t$ -test 進行統計。

## 二、果蠅對顏色之辨認偏好

我們欲使用顏色作為提示，來訓練果蠅將顏色與其喜好之氣味(柳橙汁)建立連結，我們先測試果蠅對顏色是否有特殊的選擇性。從結果發現(圖二)，相較於黃色與紅色，選擇綠色的果蠅顯著較多，表示果蠅可能對綠色有優先選擇的趨性。為確認果蠅對黃色與紅色無優先選擇的現象，避免顏色對記憶訓練的結果產生影響，從圖三我們也發現，果蠅對選擇紅色或黃色並沒有明顯的趨勢，表示果蠅對紅色與黃色應無優先選擇性。



圖二、果蠅對顏色之選擇。每次使用 30 隻果蠅，每種顏色比較進行 10 次實驗。  
\*  $p < 0.05$ ，與對照組相比，以  $t$ -test 進行統計。



圖三、果蠅對顏色之選擇。每次使用 30 隻果蠅，每種顏色比較進行 10 次實驗。  
\*  $p < 0.05$ ，與對照組相比，以  $t$ -test 進行統計。

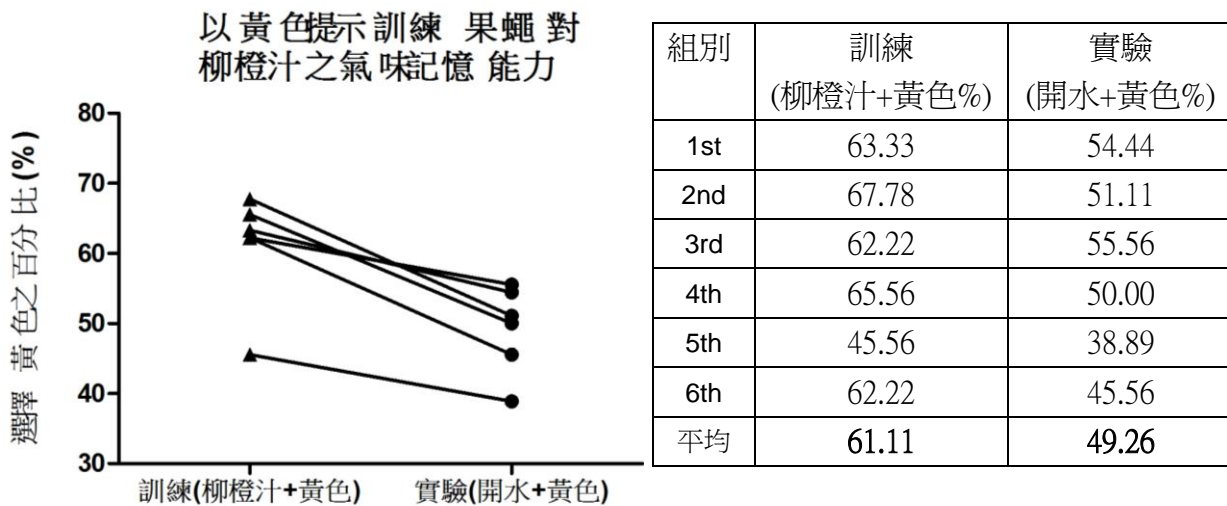
## 三、果蠅視覺與嗅覺連結之學習記憶能力

(一) 以非喜好顏色為提示，進行果蠅對顏色與氣味連結之訓練

從實驗二我們得知，果蠅對綠色有顯著性地偏好，故若使用綠色作為訓練提示則不客觀，選擇會受到顏色偏好的影響；而從圖三可知，果蠅對黃色與紅色並沒有優先選擇的現象，故我們選用黃色與紅色作為訓練的提示。

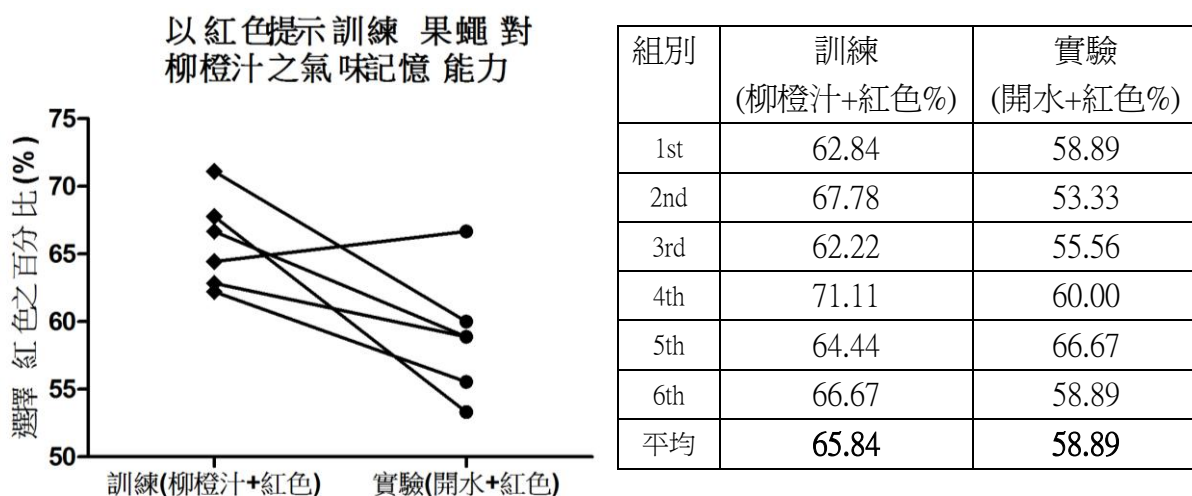


我們先使用黃色作為訓練之提示，另一側則包覆透明玻璃紙。我們將黃色玻璃紙包覆的一側施用果蠅喜好的柳橙汁氣味，並使其選擇三次做為訓練；訓練過後，將氣味棉花置換為無氣味之開水，再讓訓練過後的果蠅進行選擇。從圖四與表一可知，在訓練的過程中，與實驗一的結果相符，有 61.11% 受測的果蠅會選擇停留於具有柳橙汁氣味且包覆黃色玻璃紙的一側；而經三次訓練後，除去柳橙汁氣味的誘因，仍有 49.26% 的果蠅會選擇黃色玻璃紙的一側。



圖四及表一、以非果蠅偏好顏色黃色作為提示，訓練果蠅對喜好氣味柳橙汁之記憶能力。每次使用 30 隻果蠅，訓練三次之後，測驗三次取其平均值。

為確認實驗結果，我們亦使用了非果蠅偏好的紅色作為提示。圖五及表二的結果顯示，原本選擇具有柳橙汁氣味與紅色玻璃紙包覆一側的果蠅約佔受測果蠅的 65.84%，而除去柳橙汁氣味的誘因後，仍有 58.89% 的果蠅會選擇紅色玻璃紙包覆的一側，顯示結果與黃色作為提示的結果相符。表示果蠅確實能記憶氣味與顏色之間的關聯。

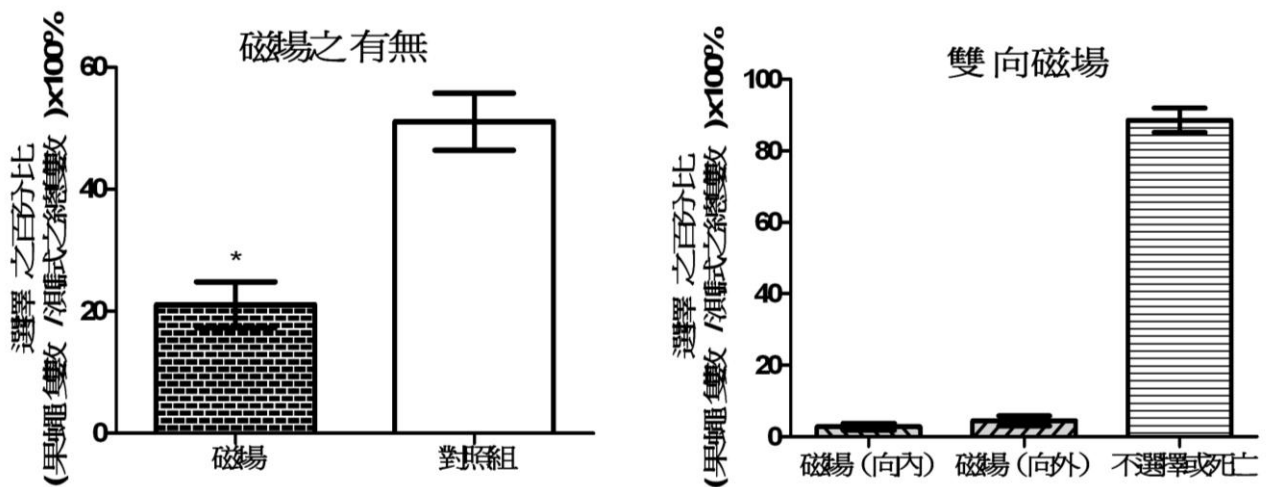


圖五及表二、以非果蠅偏好顏色紅色作為提示，訓練果蠅對喜好氣味柳橙汁之記憶能力。每次使用 30 隻果蠅，訓練三次之後，測驗三次取其平均值。



#### 四、果蠅對磁場的辨認偏好

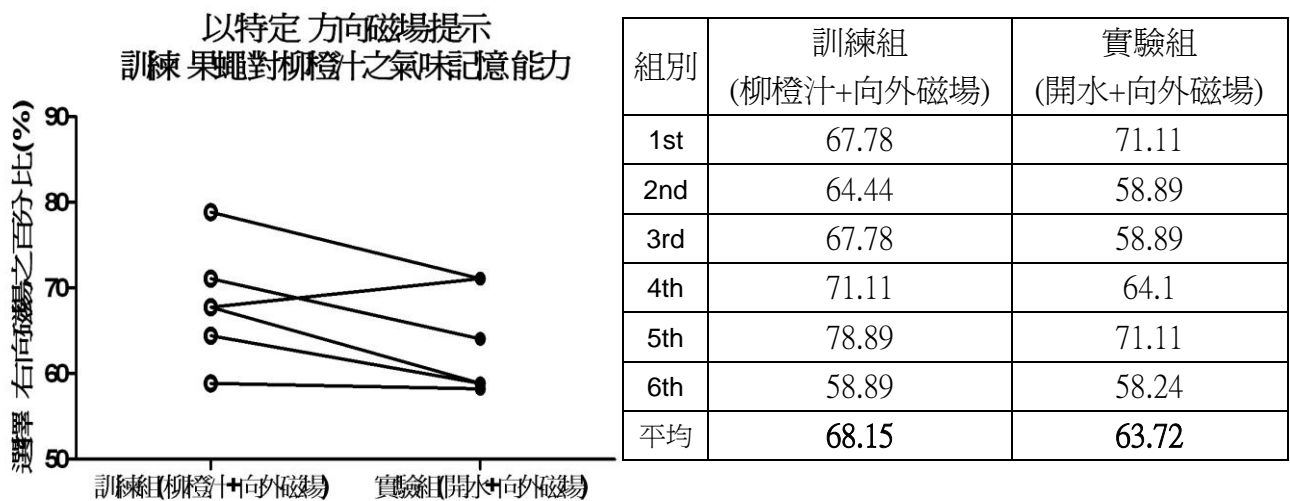
除了使用顏色作為提示外，我們欲測試其他果蠅可辨識的事物作為提示；因多數昆蟲可察覺磁場的變化，我們便選用磁場作為提示。同樣地，為避免果蠅對磁場有特殊選擇優先性，我們先測試果蠅對磁場是否有辨認之偏好。由圖六我們發現果蠅有排斥磁場的現象，多數果蠅選擇不移動或無磁場之對照組一側；若兩側皆通電產生相反方向（向內及向外）之磁場，僅不到 10% 的果蠅停留於有磁場之兩側，多數果蠅選擇停留於中間區域，且有磁場之兩側之果蠅數量並沒有顯著差異。



圖六、果蠅對磁場之選擇。每次使用 30 隻果蠅，每次比較進行 6 次實驗。\*  $p < 0.05$ ，與對照組相比，以  $t$ -test 進行統計。

#### 五、果蠅對磁場之感應與嗅覺連結之學習記憶能力

由實驗四可知，在我們實驗設計中果蠅可感應磁場，且對磁場有顯著排斥的現象。因此，在我們的設計中無法使用單側磁場作為提示，故我們將兩側施予相反方向（向內及向外）之磁場，再於單一側（向外）給予柳橙汁之氣味。圖七與表三結果顯示，雖然果蠅排斥磁場，但給予柳橙汁氣味的一側仍可吸引 68.15% 的果蠅，而訓練過後，可以發現，有 63.72% 仍選擇具有向外磁場之一側，表示果蠅可記憶磁場方向與柳橙汁氣味的關連性，且記憶效果比實驗三中的顏色提示更佳。



圖七及表三、以磁場作為提示，訓練果蠅對喜好氣味柳橙汁之記憶能力。每次使用 30 隻果蠅，訓練三次之後，測驗三次取其平均值。

## 柒、討論

- 一、氣味的實驗中，我們測試了四種不同氣味的液體，果蠅對於市售的葡萄汁、鳳梨汁與檸檬紅茶沒有產生顯著的偏好，但對現榨柳橙汁則有顯著地偏好（圖一）；此現象表示果蠅可能較不偏好人工香料的氣味，而偏好天然水果的自然香氣。
- 二、由我們的實驗結果發現，果蠅對綠色有顯著性地偏好，表示果蠅確實可辨認不同的顏色，且對不同色光有不同程度的趨性。由於顏色對本實驗而言，僅作為提示物，故不可選用果蠅偏好之顏色，依據結果，我們選用果蠅無偏好之黃色與紅色。
- 三、根據前人的研究顯示[6]，一次訓練的效果維持僅有五分鐘的記憶時間，但多次密集訓練可強化記憶效果，故我們採用連續密集訓練來強化記憶。
- 四、由圖三可知，果蠅對黃色與紅色並沒有選擇上的偏好，結果的呈現中無選擇上的顯著趨勢，而圖四與圖五顯示，我們將氣味誘因移除後，果蠅明顯對黃色與紅色的選擇產生顯著趨勢（分別為 48.89% 與 58.89%），表示經過連續三次的密集訓練後，果蠅可能確實將喜好氣味與顏色提示建立連結。
- 五、我們根據過去的文獻發現[8,9]，果蠅能辨認並記憶色光，我們的研究更指出，果蠅可將視覺與嗅覺的感受加以連結，顯示果蠅在自然環境中，可能可透過嗅覺的辨認，佐以視覺的記憶，來判斷食物的位置與方向。

- 六、根據過去的研究已知，果蠅可透過體內的 **Cryptochrome**，一種藍光/紫外光的受體來辨識磁場[5]；而我們的結果顯示，果蠅確實可辨識磁場，且對產生磁場之區域有排斥現象。我們的實驗設置中，原本以漆包線纏繞裝置三圈，多數果蠅（91.2%）都選擇無磁場之一側（數據未呈現），改纏繞兩圈後，圖六顯示不選擇或選擇無磁場一側的果蠅仍顯著較多（78.89%）；且若兩測同時製造不同向之磁場，則果蠅多數選擇不動，表示果蠅可辨識磁場且排斥具有磁場之區域。
- 七、由圖七我們發現，即便果蠅排斥磁場，但若出現喜好的柳橙汁時，在同時有磁場與柳橙汁的情況下，果蠅仍舊會選擇有柳橙汁之一側，表示喜好之氣味對果蠅的吸引力要比磁場所產生的排斥力更有影響力。由圖七也可發現，果蠅可記憶磁場與氣味之相關性；有 68.15% 的果蠅選擇同時施予磁場與柳橙汁氣味的一側，而將氣味誘因除去後，仍有 63.72% 的果蠅會選擇有同向磁場的一側，顯示記憶效果良好。
- 八、而由圖四、圖五、圖七，以及表一、表二、表三可發現，以磁場作為提示所產生的記憶效果，比起以顏色作為提示的效果更佳。此結果顯示，果蠅對磁場的判別能力可能要比視覺的判斷能力更好。
- 九、參考過去果蠅的相關研究[6,7]，多使用懲罰來建立連結進而產生學習記憶，且有顯著的效果。這些結果表示，透過恐懼來學習記憶確實有其效果，但現今社會講究愛的教育，避免體罰，而我們的結果顯示，以果蠅喜好之事物，亦可使其與提示物產生連結，顯示並非僅有懲罰能達到訓練的目的，喜好之事物亦可，且不會對測驗對象產生傷害。
- 一〇、人類恐懼記憶形成的腦區與一般記憶的腦區並不相同，恐懼記憶的形成與杏仁核（amygdale）有關，而對於一般事物的記憶儲存則與海馬迴腦區有關。根據清大江安世教授的研究發現，果蠅的中短期記憶腦區與長期記憶腦區並不相同[9]，這也表示，果蠅對於懲罰記憶與喜好事物記憶的腦區可能不同，而記憶的強度可能也會有所差異。

## 捌、結論

- 一、相較於市售葡萄汁、鳳梨汁與檸檬紅茶，果蠅較偏好新鮮柳橙汁的氣味。
- 二、果蠅對顏色有特定偏好，明顯優先選擇綠色，而對黃色與紅色則無此現象。
- 三、果蠅對人為製造的磁場有排斥現象，但若出現喜好之氣味，可忽略對磁場的排斥。
- 四、果蠅可透過顏色（紅色與黃色）以及磁場作為提示，將其與喜好之氣味（柳橙汁）建立連結關係，且以磁場作為提示的效果較佳。這些結果表示，不僅可透過懲罰（高溫或電擊）來訓練果蠅，喜好事物亦可達同樣效果。

## 玖、未來展望

- 一、建立雙層以上迷宮，測試並確認果蠅記憶提示與氣味關連的能力。
- 二、以不同齡數的果蠅進行實驗，瞭解年齡對果蠅記憶能力的影響。

## 壹拾、參考文獻

1. Chia-Lin Wu, Shouzhen Xia, Tsai-Feng Fu, Huaien Wang, Ying-Hsiu Chen, Daniel Leong, Ann-Shyn Chiang & Tim Tully (2007) Specific requirement of NMDA receptors for long-term memory consolidation in *Drosophila* ellipsoid body. *Nature Neuroscience* (Advance Online Publication 10.1038/nn2005)
2. <http://www.sciencedaily.com/releases/2006/12/061207160623.htm> *Tracing The Formation Of Long-Term Memory*
3. Gang Liu, Holger Seiler, Ai Wen, Troy Zars, Kei Ito, Reinhard Wolf, Martin Heisenberg & Li Liu (2006) Distinct memory traces for two visual features in the *Drosophila* brain. *Nature*.
4. Robert J. Gegear, Lauren E. Foley, Amy Casselman & Steven M. Reppert (2010) Animal cryptochromes mediate magnetoreception by an unconventional photochemical mechanism. *Nature*.
5. Robert J. Gegear, Amy Casselman, Scott Waddell & Steven M. Reppert. (2008) Cryptochrome mediates light-dependent magnetosensitivity in *Drosophila*. *Nature*.
6. 劉雅安、王凌音、藍文蔓、廖啓卉、蔡靜宜、李金祝 愛的教育，鐵的紀律--果蠅的學習與記憶能力 第47屆中小學科學展覽會
7. 洪維澤、曹磊、林卓奇、周佑峻、林怡吟、龔雍任 (2009) 一縷幽香—探討果蠅能夠感知的最低濃度 第49屆中小學科學展覽會
8. 楊淳惠、陳運萱、徐禎婉、陳美蘭、吳欣欣 色不色？大有關係—果蠅彩色視覺之研究 第43屆中小學科學展覽會
9. Arthur C. Guyton M.D., John E. Hall P. and 林佑穗、袁宗凡編譯, *新編蓋統醫用生理學*. (2002).

## 【評語】 040719

本作品研究過程的設計符合制約反應及趨性的研究，皆正確但解釋方式需加強，另外實驗次數應增加以提升結果的正確性，學習與記憶在腦部的位置也應較深入研究才能符合科展的要求。