

蠅憶殺手— 燃燒線香對果蠅學習能力的影響

翁鈺婷 賴禹辰 陳榮欣*

國立臺南家齊高級中學

壹、前言

臺灣是個宗教文化多元的國家，燃燒線香為常見的祭祀方式，而燃燒線香時所產生的氣體也屬於一種空氣汙染。若長期暴露在含有線香燃燒後產生的氣體之環境下，會導致腦神經的病變。就如文獻指出，空氣汙染中的成分會導致雌性小鼠阿茲海默症(Alzheimer's disease)的發病機率增加60%(M Cacciottolo et al. 2017)。

阿茲海默症推測可能的原因是由腦中的 Tau 蛋白所引起，Tau 蛋白屬於一種微管蛋白，負責維持細胞的形狀，主要存在於中樞系統的神經元。當神經元中 Tau 蛋白過度磷酸化時，會聚積導致負責運送養分的微小管瓦解，以致養分無法運送，可能造成神經元損傷及死亡(楊雨哲、孫承洲，2014)。而阿茲海默症的症狀除了記憶能力衰退外，通常也會伴隨憂鬱傾向(劉嘉逸、劉秀枝，2000)。更有趣的是，在文獻中提到，有些學習能力低落的老鼠親代，其子代的記憶能力也會受到損傷(Brian G Dias et al. 2014)。因此我們也想要了解，燃燒線香如果會對果蠅造成傷害，是否也

會影響牠們的子代。

燃燒化學線香產生的氣體為甲醛、甲苯、二甲苯、二氯甲苯等(林曉洪等人，2000)，也屬於空氣汙染的一環。近年已來有許多廟宇提倡減少、甚至禁止燒香的政策。國立台灣大學公共衛生學院陳保中教授研究團隊於 2018 年發表在 *Environment International* 的研究指出，線香燃燒後產生的氣體，會對人體胎兒的發育產生不良影響，像是造成出生時的頭圍較小及體重較輕，或發展遲緩等現象(Wei, C.-F. et al. 2018)。

然而化學線香所產生的氣體，是否會對記憶能力有不良的影響，目前還不清楚。因此本實驗想利用果蠅這種做為研究對象，來探討線香燃燒產生的氣體，是否會對果蠅的學習能力甚至腦部造成影響。

貳、研究方法

一、實驗架構

為了解燃燒線香產生的氣體對果蠅的影響，本研究分為「學習行為檢測」、「類憂鬱行為檢測」、「腦部解剖」三大方向探討，實驗架構如圖 1。

*為本文通訊作者

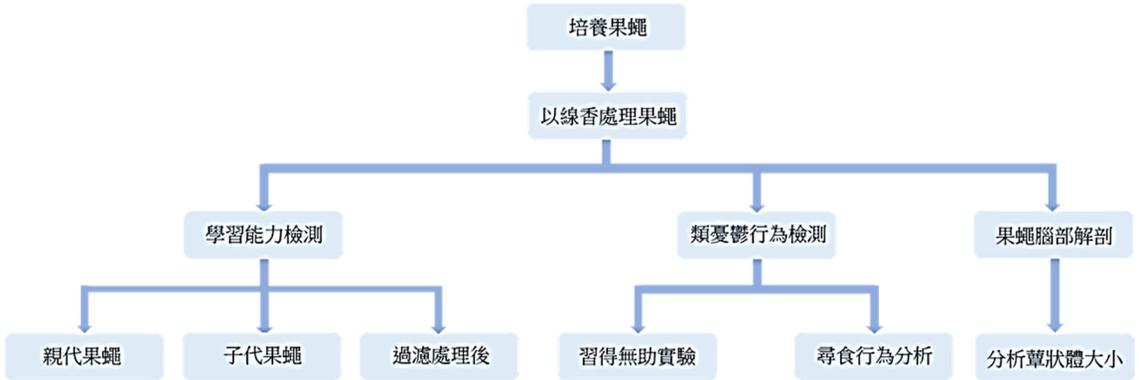


圖 1、實驗架構圖

二、實驗材料

(一) 實驗動物

本研究實驗動物以黑腹果蠅 (*Drosophila melanogaster*) 做為研究對象，由國立成功大學醫學院藥理學科暨藥理學研究所，姜學誠教授的實驗室提供，並培養在攝氏 25 度的恆溫培養箱內。

野生的果蠅通常為紅眼，可以在自發性的突變下產生白眼果蠅，本實驗所採用的研究方法修改自 Chia-Lin Wu et al. (2018)，該研究中的實驗動物便是以白眼果蠅為主，故採用同品種的果蠅。而果蠅的生長，可以分成卵、幼蟲、蛹、成蟲四

個階段(如圖 2)，卵期大約一天、幼蟲期為四到五天、蛹期為四到五天、成蟲的壽命可達一個月以上(張家禎、張慧羽，2013)。

果蠅易於飼養的優點，作為模式生物已有一百多年歷史，牠的腦神經細胞僅僅有數十萬顆，和人類相比相對簡單很多，是腦神經研究最透徹的模式生物 (Chun-Chao Chen et al. 2012)。

果蠅與人類的腦部皆具有不同的腦區，目前已經知道果蠅負責掌管記憶形成的腦區為蕈狀體(mushroom bodies)，類似人體的海馬迴 (Chun-Chao Chen et al. 2012)。

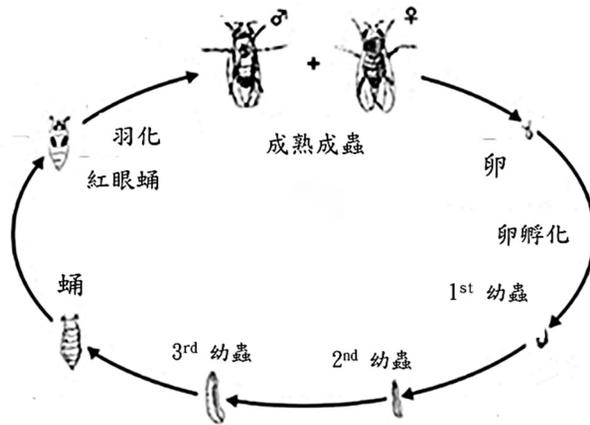


圖 2、果蠅的生長週期 圖片修改自：<http://reurl.cc/YIMV74>

(二) 藥品

甲基環己醇、辛醇、酵母粉、洋菜膠、玉米粉、蔗糖、95%酒精、丙酸。

(三) 儀器設備

數位電源供應器、高溫滅菌釜、加熱攪拌器、空氣品質監測器。

(四) 其他器材

橡皮塞、培養皿、量筒、燒杯、滴管、微量滴管、漏斗、焊槍、電路板、焊錫、針筒、活性炭口罩、甲醛吸附紙、棉花、紗布、HEPA 濾網、溫度計、碼錶。

三、實驗方法

(一) 線香處理

1. 材料

化學線香、裝有果蠅的培養瓶、打火機、針筒、保鮮膜、已鑽孔的橡皮塞。

2. 處理步驟

- (1) 將培養瓶上的棉花球替換成橡皮塞。
- (2) 點燃線香。
- (3) 將針筒的上端以保鮮膜包覆。
- (4) 把線香插入針筒，並堵住針筒的尖端，讓線香於針筒中燃燒 20 秒，再拔出。
- (5) 將尖端插入橡皮塞上的小孔，並將氣體注入。
- (6) 重複步驟(3)到步驟(5)，共三次。

(二) 果蠅的訓練：修改自 Chia-Lin Wu et al. (2018)

1. 材料

自製果蠅訓練器、棉花、辛醇、甲基環己醇、滴管、電源供應器。



圖 3、自製果蠅訓練器

2. 實驗步驟

- (1) 將果蠅放進訓練器中，以棉花堵住管口。
- (2) 其中一邊的電線接上電源供應器，並將電源供應器調至 75 伏特。
- (3) 於棉花上滴上 1 毫升的辛醇或甲基環己醇。
- (4) 以另一邊的電線接觸電源供應器進行電擊，每電擊 2 秒後，停止 3 秒，以此頻率持續電擊 1 分鐘。
- (5) 結束電擊待 3 分鐘後進行測試，重複 2 次。

(三) 果蠅記憶能力檢測

1. 材料

T 型迷宮、辛醇、甲基環己醇。



圖 4、T 型迷宮

2. 實驗步驟

- (1) 以棉花堵住 T 型迷宮(如圖 4)兩端。
- (2) 將訓練過後的果蠅移入 T 型迷宮中，並集中至中央。
- (3) 將裝有果蠅的 T 型迷宮置於無光環境。
- (4) 在 T 型迷宮兩端的棉花各滴上 1 毫升辛醇及甲基環己醇。

(四) 果蠅爬升實驗：

修改自 Deeksha Kunder et al. (2018)

1. 材料

量筒、保鮮膜。

2. 實驗步驟

- (1) 將適量的果蠅放入 250 毫升的量筒。
- (2) 靜置三分鐘，讓果蠅適應環境。
- (3) 敲擊桌面三下，靜置並計算半數果蠅爬過 190 毫升（約 18 公分）所需時間，並持續計時至一分鐘，最長採計時間為一分鐘。
- (4) 重複步驟 3 三次。

(五) 果蠅尋食行為分析 (Food-seeking assay)：修改自 Chang-Hui Tsao et al. (2018)

1. 材料

培養皿、重量百分濃度 50% 的蔗糖水溶液、10 毫升的燒杯、微量吸管、空培養瓶。

2. 實驗步驟

- (1) 將果蠅裝入空培養瓶內，使其飢餓 24 小時。

- (2) 於培養皿中央放置濃度為 50% 蔗糖水溶液 50 μ l。

- (3) 將果蠅放置於培養皿邊緣。

- (4) 開始計時，紀錄所需時間以計算分數，一旦果蠅接觸中央甜食超過三秒即停止計時。

(六) 果蠅腦部解剖及分析

1. 材料

75%酒精、磷酸鹽緩衝食鹽水(PBS)、透明指甲油、打孔加強圈、4%福馬林(PFA)、FocusClear、Olympus 共軛焦顯微影像系統 FV1000、Olympus FLUOVIEW Ver.4.2。

2. 實驗步驟

- (1) 將果蠅倒入 75%酒精中待果蠅死亡。

- (2) 將果蠅移入 PBS 中。

- (3) 將果蠅頭身分離，拔除口器，再從去除口器後留下的洞撥開腦殼，最後將其他組織清除，只留下腦及複眼。

- (4) 放入 PFA 中，並抽真空。

- (5) 將打孔加強圈黏在載玻片上，並將腦放置中央，滴入 FocusClear。

- (6) 以透明指甲油作為黏著劑，塗於打孔加強圈外圍，蓋上蓋玻片。

- (7) 以 Olympus 共軛焦顯微影像系統 FV1000 及 Olympus FLUOVIEW Ver.4.2 觀察。

- (8) 利用 ImageJ 分析切面面積大小

四、實驗結果換算公式

(一) 果蠅記憶能力的表現指數公式：

$$\left(1 - \frac{\text{果蠅在有電擊氣味端的數量}}{\text{果蠅總數}}\right) \times 100\%$$

(二) 果蠅類憂鬱行為的分數公式：

1. 果蠅習得無助實驗公式：

$$\frac{(60s - \text{半數果蠅爬過 } 190 \text{ 毫升所需的時間})}{60s} \times 100\%$$

2. 果蠅尋食行為分析公式：

$$\frac{(180s - \text{果蠅靠近並吸食甜食所需的時間})}{180s} \times 100\%$$

五、統計方式

(一) 標準差

進行三次以上相同實驗後，對其數據進行分析，計算標準差。

(二) p 值

以 t 檢定做為比較兩數據間差異的方法，計算兩組實驗的相對 p 值，若 p 值小於 0.05，表達顯著差異，以 * 表示，若 p 值小於 0.01，則以 ** 表示。

參、研究結果

一、果蠅對氣味的喜好程度及厭惡程度

我們用果蠅喜歡的氣味(鳳梨汁、蘋果汁)或厭惡的氣味(辛醇、甲基環己醇)來進行訓練及記憶能力檢測，為了確保實驗結果不會因為果蠅特別偏好或厭惡某種氣味，而產生實驗誤差，所以分別測試果蠅對鳳梨汁及蘋果汁的喜好程度，以及對辛醇及甲基環己醇的厭惡程度。

由圖 5 可看出，果蠅對鳳梨汁及蘋果汁的喜好程度相仿，及對辛醇及甲基環己醇的氣味厭惡程度相仿。

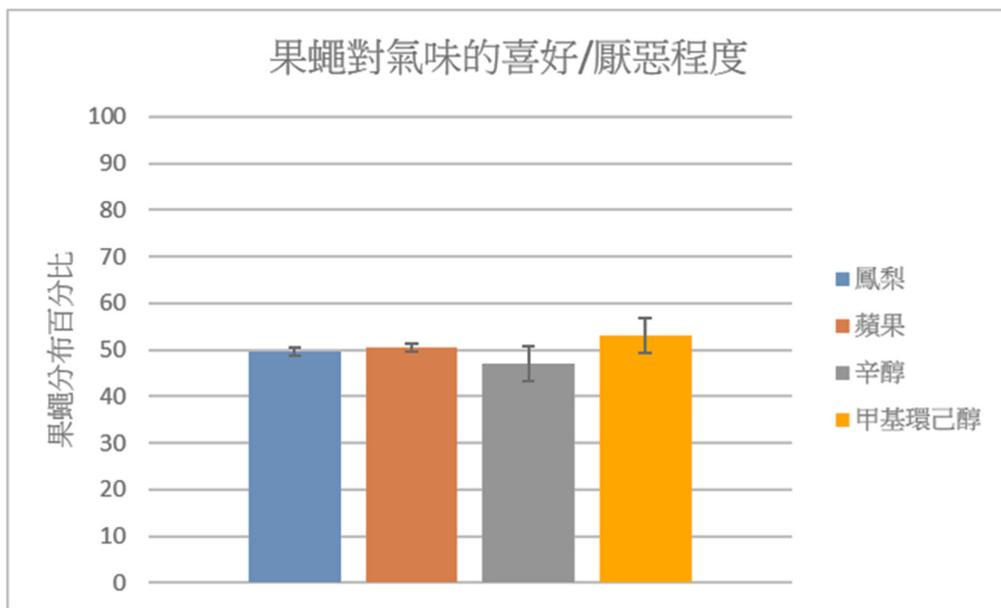


圖 5、果蠅對氣味喜好/厭惡程度

二、記憶能力檢測

為了了解燃燒線香所產生的氣體對果蠅學習能力是否會造成影響，我們進行果蠅的記憶能力檢測。實驗組會分成兩大組進行，一組是利用果蠅喜歡的氣味(鳳梨汁、蘋果汁)來訓練，另一組則是利用果蠅喜厭惡的氣味(辛醇、甲基環己醇)來訓練。

訓練後的果蠅移至 T 型迷宮檢測記憶能力，根據果蠅在二種氣味分布的比例轉化成牠們的表現指數(Performance index)，表現指數越高，代表果蠅的記憶能力越佳。

(一) 未經線香處理

由實驗結果圖 6 可看出，用果蠅喜歡的氣味訓練，不論是在鳳梨或蘋果氣味下

伴隨電擊的訓練後，移入 T 型迷宮檢測並計算果蠅的表現指數，發現其表現指數明顯較訓練前的果蠅高，顯示果蠅能將此兩種氣味與電擊連結。

另外我們也想測試，訓練中搭配厭惡的氣味，是否也會有同樣的學習效果。因此我們也利用果蠅厭惡的氣味(辛醇、甲基環己醇)來進行訓練及檢測。

由實驗結果圖 7 可看出，不論是在辛醇氣味或甲基環己醇氣味下伴隨電擊的訓練後，移入 T 型迷宮檢測並計算果蠅的表現指數，皆發現其表現指數明顯較訓練前的果蠅高，顯示果蠅能將此兩種氣味與電擊連結。

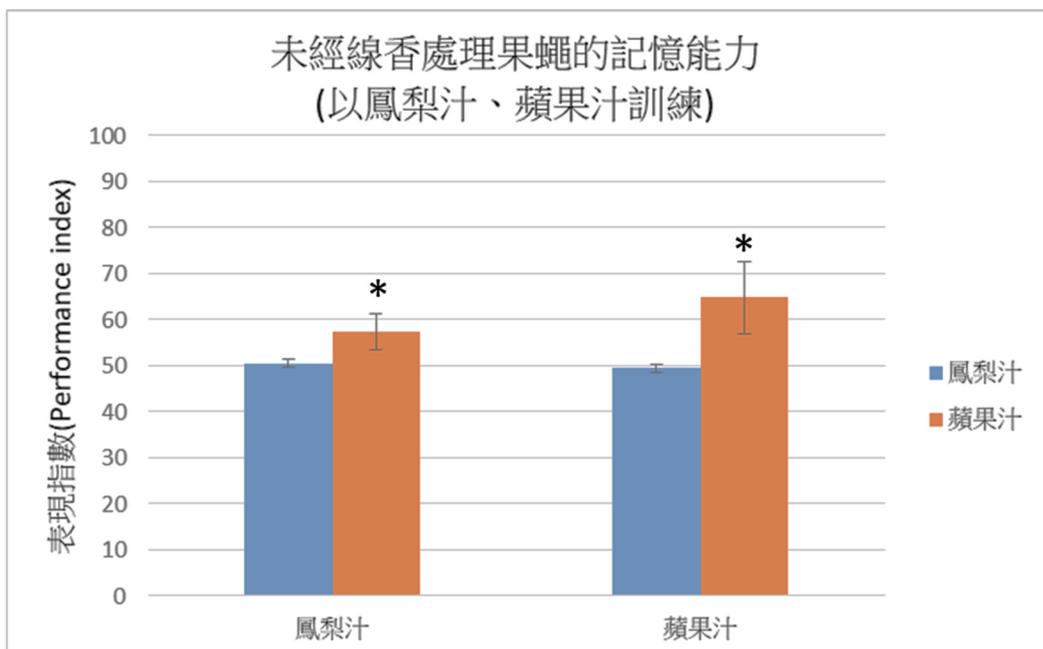


圖 6、未經線香處理果蠅的記憶能力(以鳳梨汁、蘋果汁訓練)

*代表與訓練前之果蠅比較，t 檢定的結果 P 值<0.05。

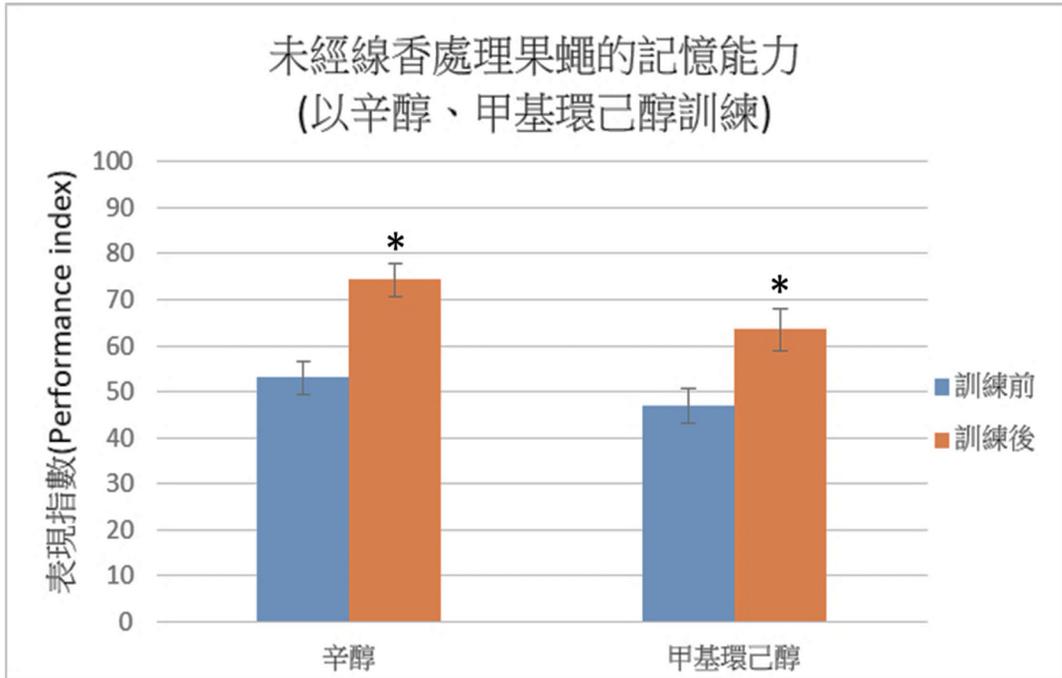


圖 7、未經線香處理果蠅的記憶能力(以辛醇、甲基環己醇訓練)

*代表與訓練前之果蠅比較，t 檢定的結果 P 值<0.05。

(二) 經線香處理

為了瞭解線香是否會對果蠅記憶能力造成不良影響，我們使果蠅暴露在充滿線香燃燒氣體的環境中連續五天後進行訓練。

果蠅暴露的線香環境，是模擬在一般寺廟中燃燒線香所產生的濃度，我們以空氣品質監測器檢測，發現讓線香在 35 毫升的針筒燃燒 20 秒，再將氣體注入瓶內，並重複 3 次，這樣的空氣品質程度最接近寺廟的環境，空氣品質都屬於中度汙染，室內空氣品質 [Indoor Air Quality (IAQ)]數值為 175 與 177，如圖 8、圖 9。所以我們

以上述方式，讓果蠅暴露在含有燃燒線香氣體的環境五天後，進行果蠅學習能力的檢測。

由圖 10 及圖 11 可看出，生活在含有線香燃燒所產生的氣體環境下，不論是以果蠅喜歡或討厭的氣味來進行訓練，其表現指數均與訓練前沒有顯著差異，由此可推論生活在燃燒線香的氣體的環境中，對果蠅的記憶能力會造成不良影響。

另外由圖 6、7 可知，不論是以果蠅喜歡或討厭的氣味來訓練，都會有相同的結果，但以厭惡的氣味進行訓練學習效果較佳，其中以辛醇訓練的表現指數最高，因此後面的實驗都只以辛醇來訓練。



圖 8、寺廟中的空氣品質檢測數據



圖 9、培養瓶中燃燒線香的空氣品質檢測數據

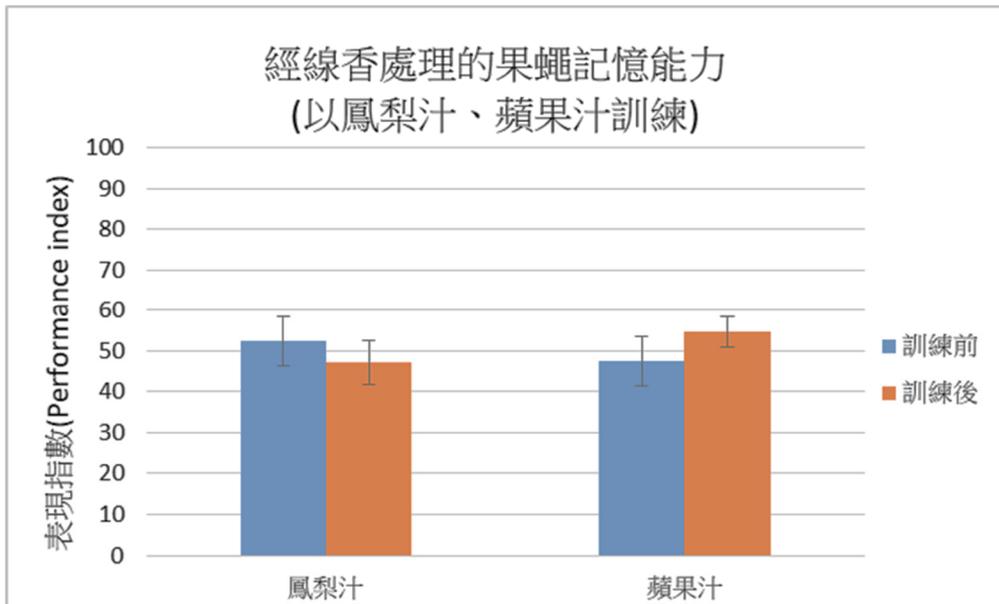


圖 10、經線香處理果蠅的記憶能力(以鳳梨汁、蘋果汁訓練)

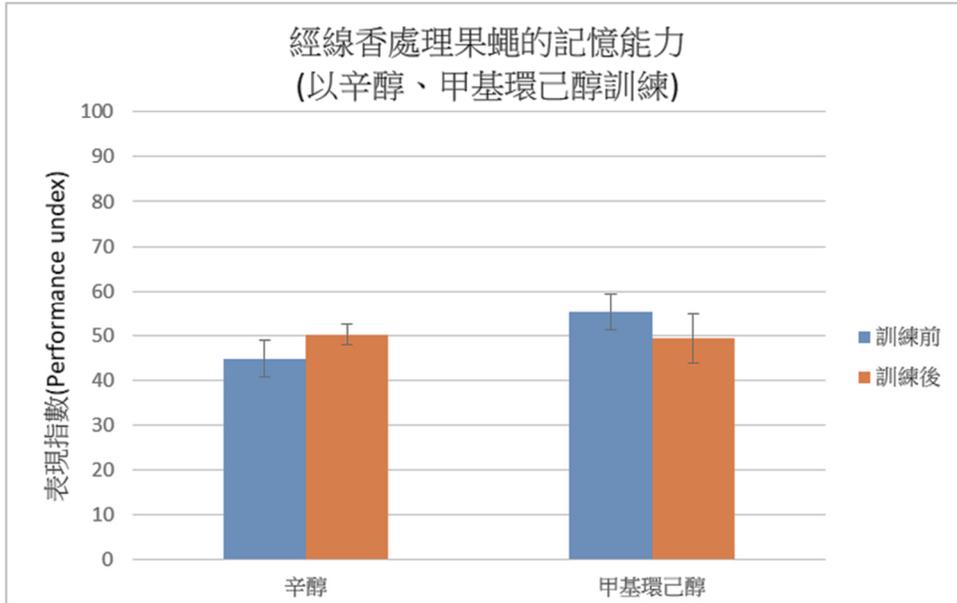


圖 11、經線香處理果蠅的記憶能力(以辛醇、甲基環己醇訓練)

(三) 經燃燒白紙處理

但果蠅的學習能力下降，是因為燃燒「線香」這項物質的關係，或者只要是「燃燒後的產物」都會對果蠅的學習能力造成不良影響，仍須進一步確認。因此我們選擇以燃燒白紙所產生的氣體對果蠅進行處理，一樣讓空白影印紙在針筒當中燃燒 20 秒，再將氣體注入裝有果蠅的瓶子，重複以上步驟三次再利用空氣品質監測器檢測。最後讓果蠅暴露在白紙燃燒產生的氣體環境中，連續五天後進行訓練並檢測記憶能力。

空氣品質監測器檢測的數值如圖 12，其污染程度與廟宇的空氣指標都屬於中度污染。由圖 13 可看出，在辛醇氣味下伴隨電擊的訓練後，移入 T 型迷宮檢測並計算果蠅的表現指數，發現其表現指數明顯較訓練前的果蠅高，顯示果蠅能將辛醇氣味

與電擊連結。這樣的實驗結果除了代表燃燒紙張的氣體並不會對果蠅學習能力造成不良影響，也暗示燃燒「線香」才是使果蠅記憶能力下降的物質。



圖 12、培養瓶中燃燒白紙的空氣品質檢測數據

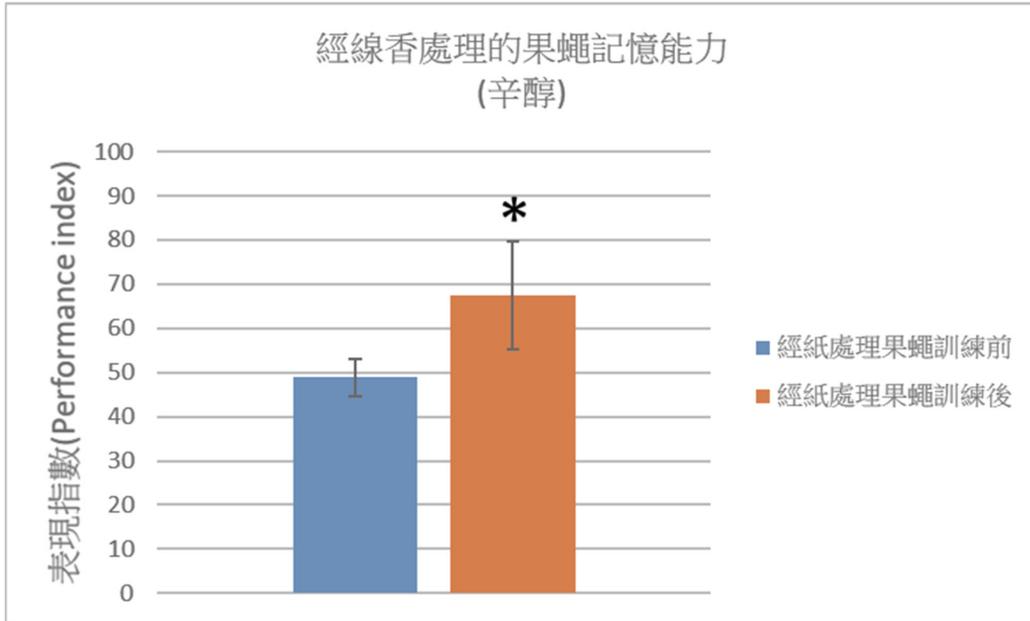


圖 13、經燃燒白紙處理之果蠅的表現指數*代表與未經處理之果蠅比較，t 檢定的結果 P 值 < 0.05。

三、經線香處理的子代

曾有研究指出，空氣汙染中的某些物質，例如尼古丁等，會對老鼠子代的腦部造成不良影響(Dani Smith et al. 2015)，因此我們想了解，線香燃燒後的氣體對果蠅的傷害是否也會「禍延子孫」，於是將經線香處理的果蠅，蒐集其子代，變態為成蟲後，再以辛醇搭配電擊訓練之，並計算其表現指數。

由圖 14 可看出，經過線香處理的果蠅其子代，訓練前相較於訓練後的表現指數並沒有明顯差異，因此可以推論曝露在充滿線香燃燒氣體之環境下，對子代記憶能力也會有不良影響。

四、線香燃燒之氣體經物理性過濾後，對果蠅學習能力的影響

由先前實驗結果可看出，線香燃燒後之氣體會對果蠅的記憶能力造成影響，因此我們使用活性炭、HEPA 濾網及甲醛吸附紙，檢測使用後是否能改善線香燃燒後氣體對果蠅學習能力造成的傷害。

我們讓果蠅生長在經過濾器材過濾後的氣體環境中，持續五天後，將果蠅放置於 T 型迷宮中，並計算其表現指數。在實驗後，我們發現只有使用甲醛吸附紙及 HEPA 濾網過濾線香燃燒氣體，才會使果蠅的表現指數較實驗前提高，而活性炭卻無法，表示甲醛吸附紙及 HEPA 濾網是可以有效改善果蠅學習能力的(如圖 15)。

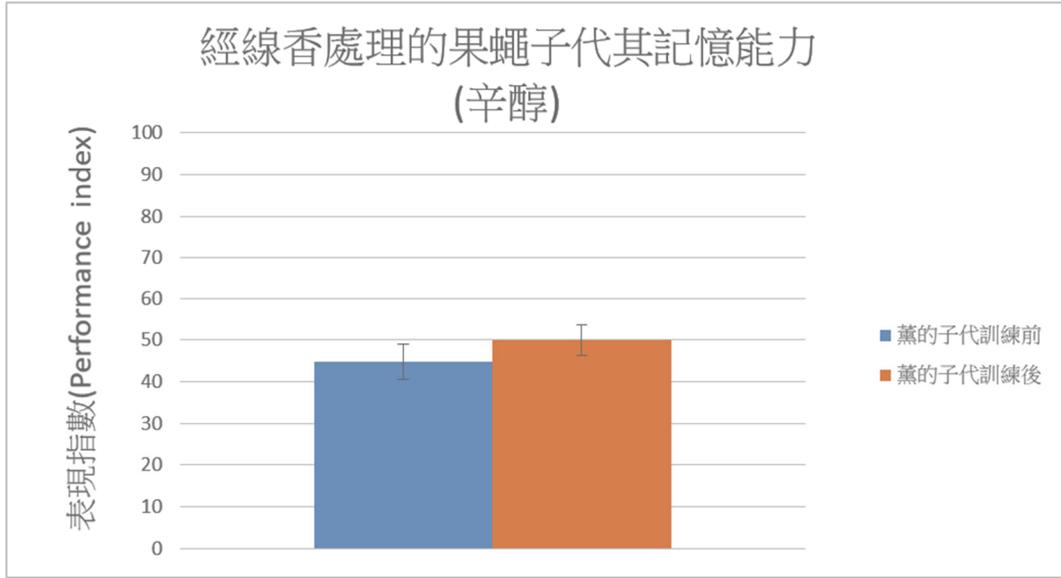


圖 14、經線香處理之果蠅子代的表現指數

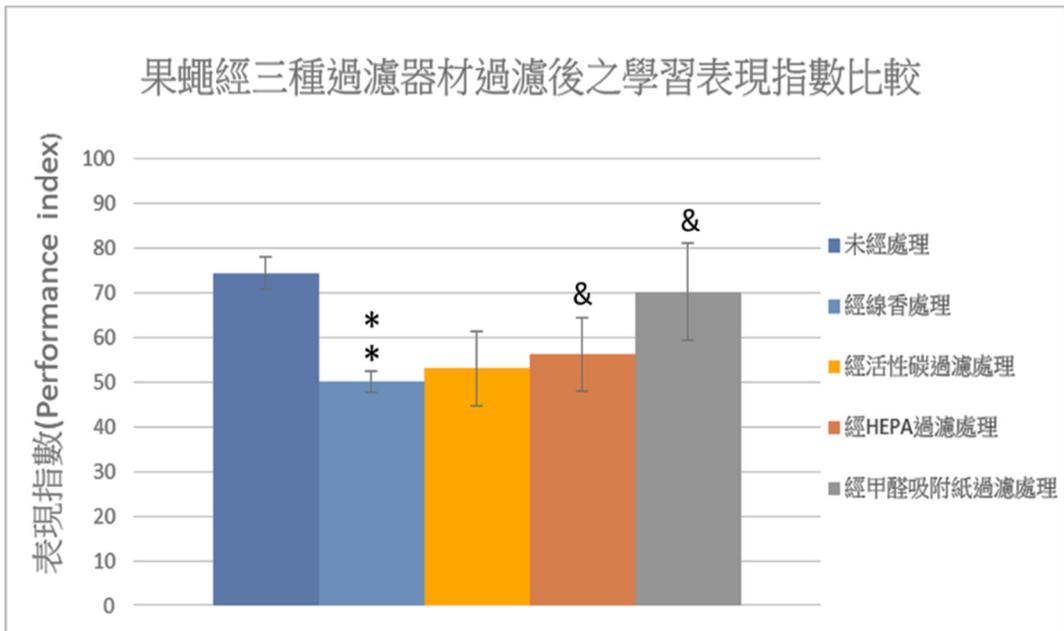


圖 15、燃燒氣體經三種過濾器材過濾後果蠅學習表現指數之比較

**代表與未經處理之果蠅比較，t檢定的結果 P 值<0.01。

&代表與經線香處理後之果蠅比較，t檢定的結果 P 值<0.05。

五、類憂鬱行為檢測

曾有實驗指出，若讓老鼠生活在空氣污染的環境中，其阿茲海默症的發病率會提高(M Cacciottolo et al. 2017)，阿茲海默症其中一項病症便是記憶能力衰退，此症狀影響的部位為負責記憶形成的海馬迴，而果蠅與記憶相關的腦區為蕈狀體。阿茲海默症除了造成記憶能力減弱外，同時也會伴隨憂鬱傾向(劉嘉逸、劉秀枝, 2000)，所以我們以習得無助實驗、尋食行為分析來檢測燃燒線香所產生的氣體是否也會讓果蠅產生類憂鬱行為。

(一) 果蠅習得無助實驗

果蠅有負趨地性，因此果蠅會自行向上爬升，每當果蠅往上移動，接著卻被趕至底部。重複多次後，若有類憂鬱傾向的果蠅會覺得努力白費，導致向上爬升的意願降低，產生類似習得無助感的現象。

我們將果蠅放入 250 毫升的量筒中讓其爬升，計時一分鐘後，將果蠅敲落至底部，如此重複三次，最後一次計算半數果蠅爬行超過 190 毫升(高度約 18 公分)所需的時間，重複三次並計算平均，再將此秒數換算成分數，計算方式如下：

$$\frac{(180s - \text{果蠅靠近並吸食甜食所需的時間})}{180s} \times 100\%$$

，分數越低，代表習得無助感越高。

由圖 16 的實驗結果可發現，經線香處理的果蠅與其餘組別比較，習得無助感的行為較明顯，而藉由 HEPA 濾網以及甲醛吸附紙過濾後，習得無助實驗檢測所得到的分數較高。由此可知線香燃燒後所產生的氣體，會造成果蠅的類憂鬱行為，但利用 HEPA 濾網以及甲醛吸附紙過濾，可明顯改善果蠅的類憂鬱現象。

(二) 尋食行為分析

憂鬱症在臨床上常常伴隨著沒有食慾的症狀，所以針對「食慾」的檢測，常常用來當作果蠅類憂鬱行為的分析指標。為了檢測經過線香處理的果蠅是否會有類憂鬱傾向，因此我們設計尋食行為分析的實驗。實驗方法是以直徑 13 公分的培養皿中間滴重量百分濃度為 50%的蔗糖水溶液 50 μ l，再將飢餓二十四小時的果蠅置於培養皿邊緣，計算三分鐘內果蠅從邊緣到靠近蔗糖水溶液的時間，並將其換算成分數。計算方式如下：

$$\frac{(180s - \text{果蠅靠近並吸食甜食所需的時間})}{180s} \times 100\%$$

，分數越低，代表越憂鬱。

實驗後我們發現，經線香處理的果蠅其尋食行為分數明顯的比未經處理的果蠅低，表示有類憂鬱傾向。但是如果利用 HEPA 濾網及甲醛吸附紙過濾，其尋食行為的分數都可以明顯提高，顯示這兩種物質能有效改善果蠅的類憂鬱傾向(如圖 17)。

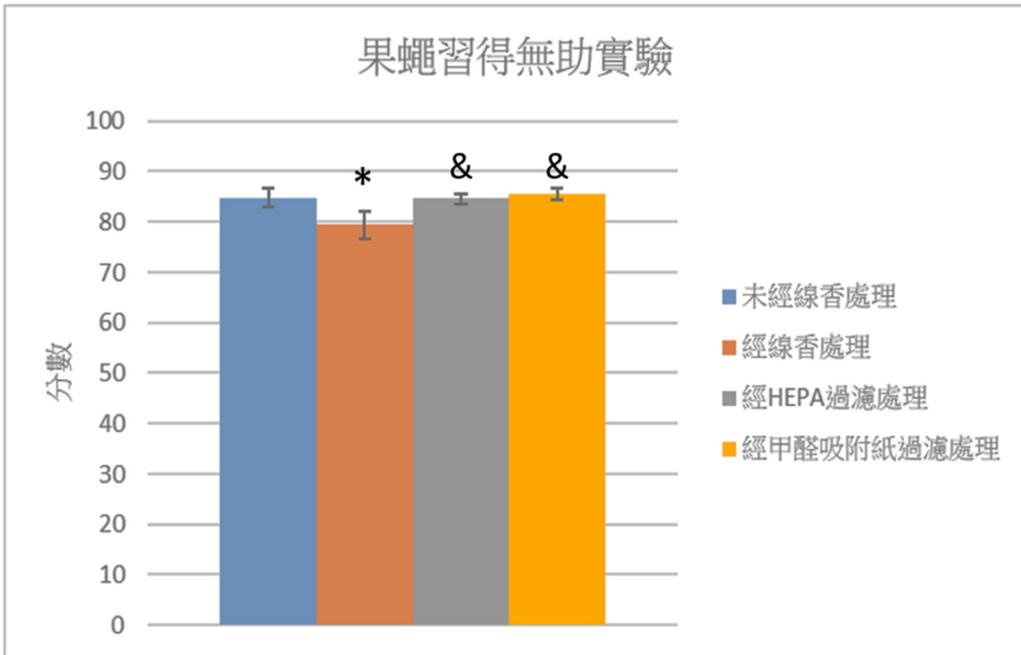


圖 16、習得無助實驗結果

*代表與未經處理之果蠅比較，t檢定的結果 P 值<0.05。

&代表與經線香處理後之果蠅比較，t檢定的結果 P 值<0.05。

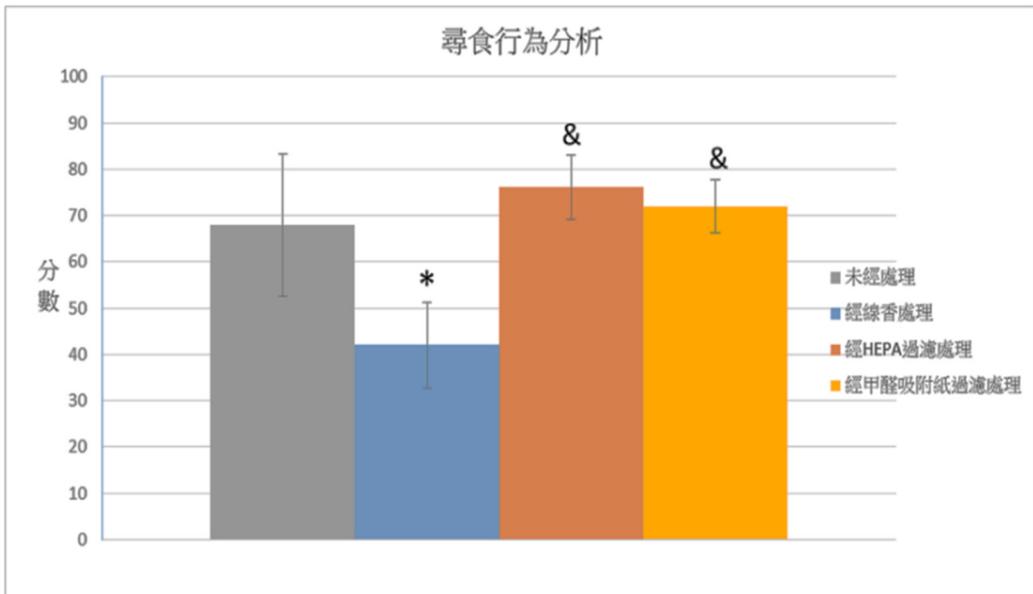


圖 17、尋食行為分析結果

*代表與未經處理之果蠅比較，t檢定的結果 P 值<0.05。

&代表與經線香處理後之果蠅比較，t檢定的結果 P 值<0.05。

六、果蠅腦部解剖及分析

蕈狀體是果蠅腦中負責掌管記憶能力的腦區(如圖 18)，蕈杯(Lobe)為蕈狀體中的一部份。為了了解燃燒線香所產生的氣體對果蠅負責記憶形成的腦區是否有所影響，因此我們對果蠅的蕈狀體進行解剖及分析蕈杯的面積大小。

我們將果蠅放置在線香燃燒氣體的環

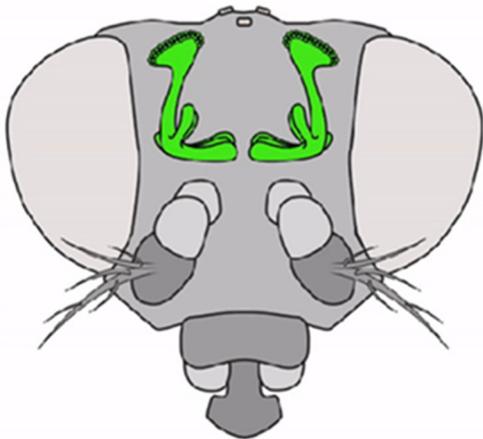


圖 18、果蠅蕈狀體位置示意圖(綠色)
圖片取自 <https://reyrk.cc/62NX8r>

境內五天，解剖時使用螢光顯微鏡拍攝(如圖 19)，再使用 Image J 軟體計算面積並分析。

由圖 20 的實驗結果可發現，經過線香處理的果蠅，其蕈杯面積明顯比未經線香處理的組別來的小，因此可以推斷燃燒線香產生的氣體，會對果蠅負責形成記憶能力的腦區造成傷害。

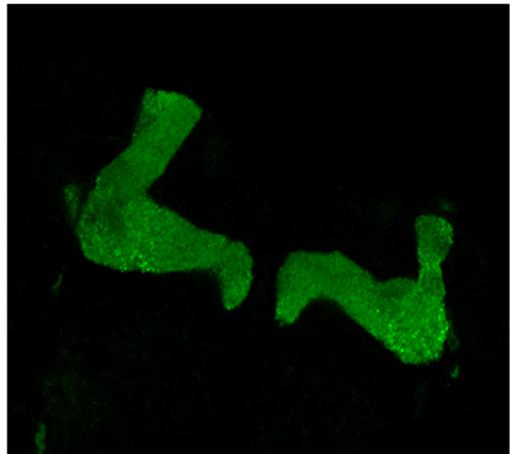


圖 19、果蠅蕈狀體蕈杯螢光圖

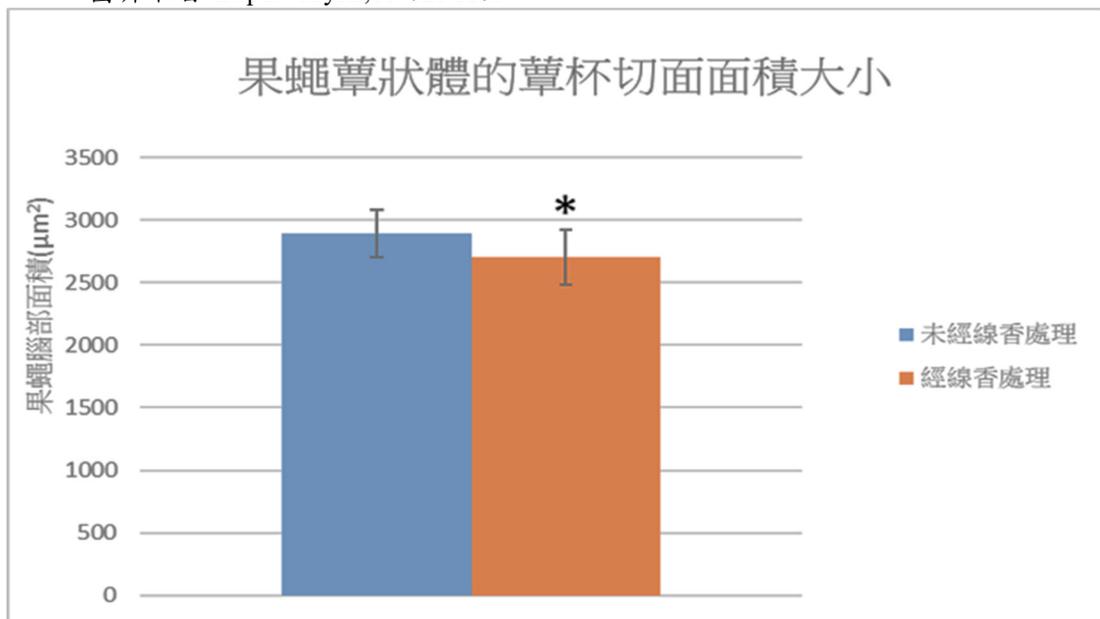


圖 20、果蠅蕈狀體的蕈杯切面面積大小比較*代表與未經處理之果蠅比較，t 檢定的結果 P 值 < 0.05

肆、討論

果蠅作為神經研究的模式生物已有一百年左右的歷史，目前已經知道果蠅負責掌管嗅覺記憶形成的腦區為蕈狀體 (mushroom bodies)，就相似於人類的海馬迴。想要了解人類記憶是如何形成的科學家，似乎可以在果蠅身上找到答案。我們在實驗以及搜尋文獻的過程，發現一個有趣的現象，到底學習的環境應該是要「舒適」或「艱困」，哪一個才有比較好的學習效果？在我們實驗的圖 6、圖 7 隱約可以找到答案。果蠅在他們討厭的氣味下進行訓練，似乎有比較高的表現指數，表示在不舒適的環境底下學習，會有比較好的學習表現，或許這樣的結論也可應用在人類身上。

發表於 *Environment International* 的研究 (Wei, C.-F et.al 2018) 指出，燃燒線香所產生的氣體，會對人類新生兒的發育造成不良影響，例如：出生時頭圍較小、體重較輕、極大動作發展遲緩等等，但科學界尚未有研究指出線香會對人類腦部會產生什麼不良影響。不過本研究結果發現燃燒線香產生的氣體會對果蠅記憶能力造成損傷，也會產生類憂鬱行為。有趣的是，並不是所有過濾物質都可以有效改善燃燒線香產生的氣體，對果蠅學習能力帶來的傷害，只有 HEPA 濾網以及甲醛吸附紙有用，其中以甲醛吸附紙改善的效果最佳。至於，為什麼甲醛吸附紙改善學習能力的效果最好，我們推測可能是因為燃燒線香所產生的甲醛對腦部的傷害最大。2011 年有一群

科學家發現癡呆小鼠的體內的甲醛濃度，與記憶能力損傷呈現正相關。也就是甲醛濃度越高，小鼠對空間記憶能力越差。並且發現如果使用甲醛消除劑，可以減少癡呆模型小鼠腦內的斑塊，且改善記憶功能 (童志前等人, 2011)。藉由這些文獻資料可以知道，甲醛是可以直接影響學習能力，這也能解釋為什麼使用甲醛吸附紙可以明顯改善線香燃燒的氣體對學習能力的傷害。

然而線香燃燒後所產生的氣體，為什麼可以讓果蠅的學習能力變差？在最後的實驗中，我們推測可能是與蕈杯面積減少有關。

伍、結論

研究利用模式生物——黑腹果蠅，檢測生活環境含有線香燃燒氣體是否會影響果蠅學習能力，結果發現不僅會使果蠅記憶能力下降，甚至子代的學習能力也會明顯降低，表示線香燃燒氣體會使果蠅記憶能力受到損傷。藉由習得無助及尋食行為分析的實驗中我們也發現，線香燃燒氣體亦會導致果蠅出現類憂鬱傾向。同時，本研究也發現，暴露在線香燃燒氣體環境中的果蠅，其蕈杯面積會減少。而我們亦發現，經由使用 HEPA 濾網或甲醛吸附紙來過濾線香燃燒氣體後，能有效防止果蠅記憶能力的損傷以及類憂鬱傾向。

陸、致謝

本研究之實驗動物與部分實驗指導，由國立成功大學藥理學科暨藥理學研究所姜學誠教授實驗室提供協助，本研究曾獲得第 60 屆國立暨縣(市)公私立高級中等學校第 5 區科學展覽會環境學科優等，謹此致謝。

柒、參考資料

- Brian G Dias, Kerry J Ressler (2014). Parental olfactory experience influences behavior and neural structure in subsequent generations. *Nature Neuroscience*.
- Chun-Chao Chen, Jie-Kai Wu, Hsuan-Wen Lin, Tsung-Pin Pai, Tsai-Feng Fu, Chia-Lin Wu, Tim Tully, Ann-Shyn Chiang (2012). Visualizing Long-Term Memory Formation in Two Neurons of the *Drosophila* Brain. *Science*, 335(6069), 678-685.
- Chia-Lin Wu, Ching-Ching Chang, Jie-Kai Wu, Meng-Hsuan Chiang, Chu-Huai Yang, Hsueh-Cheng Chiang (2018). Mushroom body glycolysis is required for olfactory memory in *Drosophila*. *Neurobiology of Learning and Memory*, 150, 13-19.
- Chang-Hui Tsao, Chien-Chun Chen, Chen-Han Lin, Hao-Yu Yang, Suewei Lin (2018). *Drosophila* mushroom bodies integrate hunger and satiety signals to control innate food-seeking behavior. *eLife*.
- Dani Smith, Angela Aherrera, Armando Lopez, Enid Neptune, Jonathan P. Winickoff, Jonathan D. Klein, Gang Chen, Philip Lazarus, Joseph M. Collaco, Sharon A. McGrath-Morrow (2015). Adult Behavior in Male Mice Exposed to ECigarette Nicotine Vapors during Late Prenatal and Early Postnatal Life. *PLOS ONE*.
- Deeksha Kunder, Patil Rajashekhar K. (2018). Reduction in climbing index of *Drosophila* revealed by Rotor-RING Assay suggests learned helplessness. *Journal of Entomological Research*, 42(2), 271-274.
- M Cacciottolo, X Wang, I Driscoll, N Woodward, A Saffari, J Reyes, ML Serre, W Vizuete, C Sioutas, TE Morgan, M Gatz, HC Chui, SA Shumaker, SM Resnick, MA Espeland, CE Finch and JC Chen (2017). Particulate air pollutants, APOE alleles and their contributions to cognitive impairment in older women and to amyloidogenesis in experimental models. *Translational Psychiatry*, 8, 15738. DOI: 10.1038/tp.2016.280
- Wei, C.-F., Chen, M.-H., Lin, C.-C., Guo, Y.L., Lin, S.-J., Hsieh, W.-S., Chen, P.-C. (2018). Household incense burning and infant gross motor development: Results from the Taiwan Birth Cohort Study. *Environment international*, 115, 110-116.
- 林曉洪、王秀華、錢美岑、陳穎端、李怡靜(2000)：線香之燃燒性及其燃煙中芳香族氣體之探討·*林產工業*，19(4)，467-475。
- 張家禎、張慧羽(2013)：果蠅在遺傳學上的貢獻·*科學發展*，481，6-11。
- 童志前、韓嬋、帥苗君、葉盧靜、赫榮喬(2011)：內源性甲醛異常蓄積與記憶衰退·*生物化學與生物物理進展*，38(6)，575-579。
- 楊雨哲、孫承洲(2014)：阿茲海默症的成因及治療·*臨床藥物治療學*，30(3)，68-73。
- 劉嘉逸、劉秀枝(2000)：阿茲海默氏症之非認知症狀·*應用心理研究*(7)，89 - 103。