

# 中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高中組 生物（生命科學）科

佳作

040722

一縷幽香—探討果蠅能夠感知的最低濃度

學校名稱：國立臺中第二高級中學

作者：  高一 洪維澤  高一 曹磊  高一 林卓奇  高一 周佑峻	指導老師：  林怡吟  龔雍任
--	-----------------------------

關鍵詞：果蠅、學習行為、嗅覺

# 一縷幽香--探討果蠅能夠感知的最低濃度

## 摘要

果蠅是日常生活中可時常觀察到的生物，而參考前人的報告結果可知，果蠅具有辨識嗅覺以及對嗅覺產生學習記憶的能力。本次實驗的目的，是想探討果蠅經過嗅覺學習行為之後，可分辨不同氣味的最低濃度為何濃度，以得到果蠅可以感受到的氣味臨界濃度；並且利用高溫或是電壓刺激以產生的嗅覺記憶，比較其能夠分辨的最低濃度是否會有差異。我們利用自製的果蠅嗅覺選擇器進行實驗，當以高溫作為處罰，測量果蠅在面臨不同濃度(1M~10<sup>-4</sup>M)的蔗糖溶液以及固定濃度(0.001N)的醋酸溶液時，發現果蠅起碼能夠感受到 10<sup>-3</sup>M 蔗糖溶液並產生學習記憶行為；而以電壓作為處罰，果蠅可分辨蔗糖的最低濃度下降到 10<sup>-4</sup>M。因此我們發現，果蠅在強烈的處罰之下，比溫和的處罰能分辨出更低的蔗糖的最低濃度。

## 壹、研究動機

某次的討論中，跟同學聊到了動物會不會記憶，彼此的針鋒相對，卻找不出一個合理的答案，於是開始找各式的資料。瀏覽到了某次科展的主題，跟我們的討論有些相似，他們的主題是討論果蠅是否會對氣味產生記憶？他們的結果推論果蠅是會記憶不同氣味的。但是，這樣子卻難以滿足我們的疑問，既然果蠅會記憶氣味，那有沒有極限呢？在高一基礎生物的第二章第 7 節中，介紹了各種不同的生物，其中昆蟲所佔的種類是所有地球上的生物中最多的，而第三章的「生物與環境」中，又提到了生物會針對環境的變化，產生各種反應；在老師的建議下，我們繼續使用果蠅來實驗。以之前科展的實驗數據為基礎，我們已經知道果蠅擁有記憶這項能力，我們打算再繼續延伸，探討果蠅的嗅覺記憶是否有極限。

## 貳、研究目的

本實驗分成三個部分：

### 一、測試果蠅感覺水的能力

本科展主要的實驗是利用果蠅不喜歡高溫的特性，在兩種氣味當中，對其中一種施以高溫，使果蠅討厭這種氣味，當果蠅到了一個具有這兩種味道的選擇器時，便可依賴其嗅覺的記憶得知此種氣味會帶有危險，在選擇器中會選擇另外一種氣味。因為我們已經知道果蠅對於不同的味道（例如之前科展提到的冬瓜茶以及柳橙汁的味道）可以產生嗅覺記憶，我們第一個想探討的問題，就是果蠅是否可以感覺到「水」（或是濕度），而不是各種強烈的味道；因此第一個實驗的一邊是水、另一邊是 0.001N 的醋酸，來檢測果蠅是否會有選擇的行為。

## 二、利用高溫檢測果蠅可感知蔗糖的最低濃度

基於我們第一個實驗結果，果蠅對於水，或是說沒有味道的液體，會無法建立起嗅覺記憶，因此我們可以藉著一次次的降低蔗糖的濃度，觀測果蠅到了多少臨界濃度時，會對兩邊氣味選擇的比例沒有太大的差異，此濃度可以推論為果蠅在正常生理狀況之下的嗅覺極限。

## 三、利用電壓檢測果蠅可感知蔗糖的最低濃度

另外，雖然果蠅討厭高溫，但是這個溫度並不會造成果蠅的痛苦，相對而言算是比較溫和的刺激，但是電極對於果蠅而言，算是比較強烈的刺激；我們製作了一個「電壓懲罰器」，讓果蠅在強烈的刺激下學習，希望能夠比較高溫以及電壓的刺激是否會對於果蠅的嗅覺行為產生不同的結果。

## 參、研究設備及器材

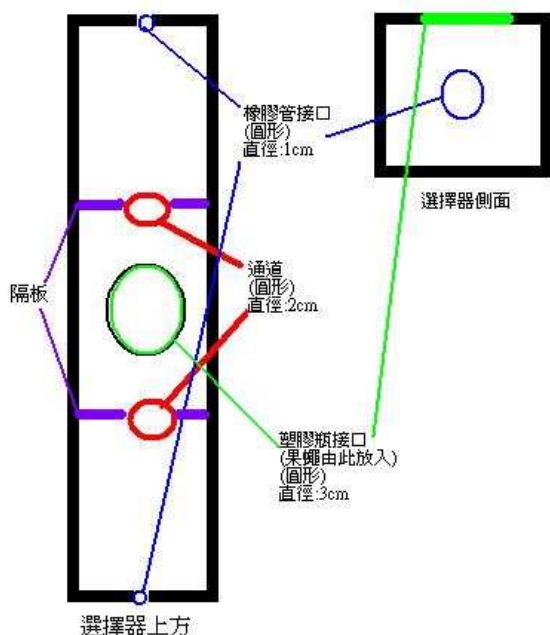
### 一、實驗設備：

#### (一) 果蠅氣味選擇器

壓克力製的果蠅氣味記憶選擇器；詳細規格請見設計圖（圖一；附錄照片一）。實驗時左右各接一條塑膠管，使選擇器與裝有氣味的燒杯連接，實驗配置圖請見附錄的照片二。

#### 氣味選擇器設計圖(1)

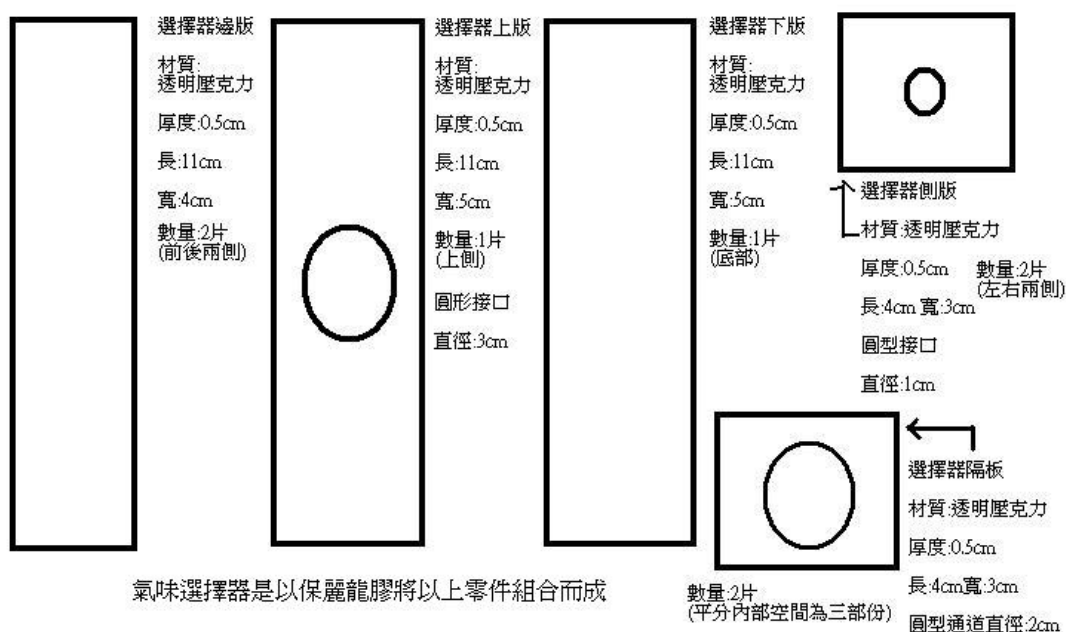
設計者: 洪維澤



#### 氣味選擇器基本資料

材質: 透明壓克力  
 壓克力厚度: 0.5cm  
 外部長: 11cm  
 外部寬: 5cm  
 外部高: 4cm  
 內部有兩片穿洞隔板  
 隔板材質: 透明壓克力  
 壓克力厚度: 0.5cm  
 隔板長: 4cm  
 隔板寬: 3cm  
 中央圓型通道直徑: 2cm  
 以隔板平分出三個空間  
 每個空間長: 4cm 寬: 3cm  
 選擇器兩側有直徑為 1cm 圓形橡皮管接口

#### 氣味選擇器設計圖(2)



圖一：氣味選擇器設計圖

## (二) 電壓懲罰器

我們利用壓克力管以及自製的電路版(附錄照片三),製作出可以懲罰果蠅的電壓懲罰器(附錄照片四),當接上電流供應器之後,便可輸出 35V,以進行電壓的刺激(附錄照片五)。

## (三) 水浴槽(可控制水溫,作高溫懲罰)(附錄照片六)

## (四) 恆溫箱(可控制在 25°C,飼養果蠅用)

## 二、實驗器材：

- (一) 燒杯數個 (50 ml)
- (二) 碼表一個
- (三) 保鮮膜(密封燒杯避免氣味散失)
- (四) 棉花一包
- (五) 鑷子(清潔選擇器用)
- (六) 塑膠瓶數個(飼養果蠅以及實驗中裝果蠅)
- (七) 電流供應器
- (八) 塑膠管

## 三、實驗藥品：

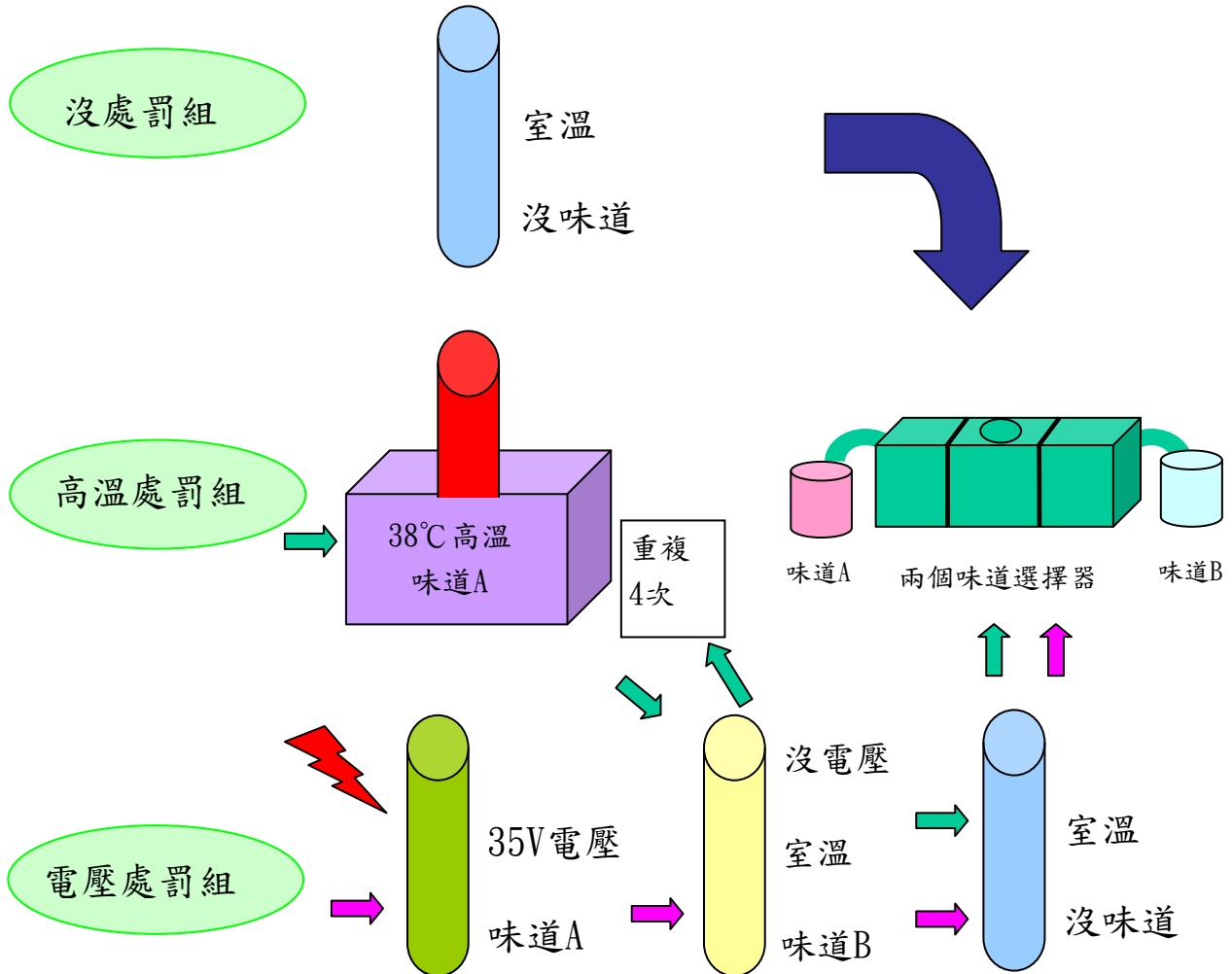
- (一) 蔗糖溶液(利用三次水調配成 1M、0.1M、0.01M、0.001M、0.0001M, Sigma)
- (二) 醋酸溶液(利用三次水調配成 1N、0.1N、0.01N、0.001N, Sigma)
- (三) 藥用酒精(70%)(清潔選擇器用)

## 四、實驗動物：

果蠅由中國醫藥大學林維勇博士實驗室提供,並感謝瑋鑫學長、書祥學長在養殖果蠅方面的協助。本次實驗的果蠅(*Drosophila melanogaster*)品系是 2U 品種的野生型果蠅,因為 2U 是一種記憶力好、活動力又佳的品系,是常用來做行為以及記憶相關實驗用的品系。每次實驗用的果蠅年齡大約是 0~7 天齡,培養於 25°C 的恆溫培養箱之中;雌雄都有。

## 肆、研究過程或方法

實驗的流程圖如下：(本流程以處罰味道 A--如蔗糖或是水為例，作完之後再改用味道 B--醋酸作為處罰)



### 一、測試果蠅感覺水的能力

- (一) 將飼養於在 25°C 恆溫箱中的果蠅酌量取出並倒入塑膠瓶中，先把果蠅放置在空的塑膠瓶中、室溫靜待一分鐘，再把塑膠瓶接在壓克力製的選擇器上，等待二分鐘後記錄果蠅選擇左右不同氣味和不選擇的數量，重複三次，本數據定義為「沒處罰」組（對照組）。
- (二) 將另一批果蠅裝在水溶液氣味的塑膠瓶(以沾有水溶液之棉花塞住瓶口)中靜置一分鐘後，然後再把塑膠瓶放進 38°C 的熱水浴裡處罰一分鐘，接著將果蠅放在無氣味瓶、室溫一分鐘後，改倒入室溫、有 0.001N 醋酸液氣味塑膠瓶(以沾有 0.001N 醋酸溶液的棉花塞住瓶口)裡面一分鐘。
- (三) 接著一樣倒回有水氣味的瓶子內重複靜置、處罰、換瓶子的步驟，共四次處罰重

複。(目的是爲了要讓果蠅記憶更鮮明)

(四) 最後放到無氣味的塑膠瓶裡一分鐘之後再接上選擇器，等待二分鐘的選擇後記錄選擇情況。共做三次實驗。

(五) 再取另一批果蠅，將處罰瓶氣味改成 0.001N 醋酸，不處罰瓶氣味爲水溶液，重複步驟(一)~(四)，共做三次實驗。

## 二、利用高溫檢測果蠅可感知蔗糖的最低濃度

利用果蠅的嗅覺記憶能力來測試果蠅對於不同濃度的蔗糖溶液和固定濃度醋酸溶液氣味所能夠感應之能力，希望借此測出果蠅可判別這蔗糖溶液氣味的最小濃度。

(一) 將飼養於在 25°C 恆溫箱中的果蠅酌量取出並倒入塑膠瓶中，先把果蠅放置在室溫、空的塑膠瓶中靜待一分鐘，再把塑膠瓶接在壓克力製的選擇器上，等待二分鐘後記錄果蠅選擇左右不同氣味和不選擇的數量，重複三次，本數據定義爲對照組。

(二) 將另一批果蠅裝在 1M 蔗糖溶液氣味的塑膠瓶(以沾有 1M 蔗糖溶液之棉花塞住瓶口)中靜置一分鐘後，然後再把塑膠瓶放進 38°C 的熱水浴裡處罰一分鐘，接著將果蠅取出放置無氣味瓶、室溫一分鐘後，改倒入室溫、有 0.001N 醋酸液氣味塑膠瓶(以沾有 0.001N 醋酸溶液的棉花塞住瓶口)裡面一分鐘。

(三) 接著一樣倒回有 1M 蔗糖氣味的瓶子內重複靜置、處罰、換瓶子的步驟，共四次處罰重複。(目的是爲了要讓果蠅記憶更鮮明)

(四) 最後放到無氣味的塑膠瓶裡一分鐘之後再接上選擇器，等待二分鐘的選擇後記錄選擇情況。共做三次實驗。

(五) 再取另一批果蠅，將處罰瓶氣味改成 0.001 醋酸，不處罰瓶氣味爲 1M 蔗糖溶液，重複步驟 1~4，共做三次實驗。這樣算是測完一種濃度。

(六) 將蔗糖溶液的濃度改爲 0.1M，配對的醋酸溶液仍然爲 0.001N，並重複步驟(一)~(五)，可得到低一個濃度的實驗結果。之後再依序調低蔗糖溶液濃度爲  $10^{-2}$ M、 $10^{-3}$ M，一直到果蠅無法分辨爲止。

## 三、利用電壓檢測果蠅可感知蔗糖的最低濃度

(一) 將飼養於在 25°C 恆溫箱中的果蠅酌量取出並倒入塑膠瓶中，先把果蠅放置在空的塑膠瓶中靜待一分鐘，再把塑膠瓶接在壓克力製的選擇器上，等待二分鐘後記錄果蠅選擇左右不同氣味和不選擇的數量，重複三次，本數據定義爲對照組。

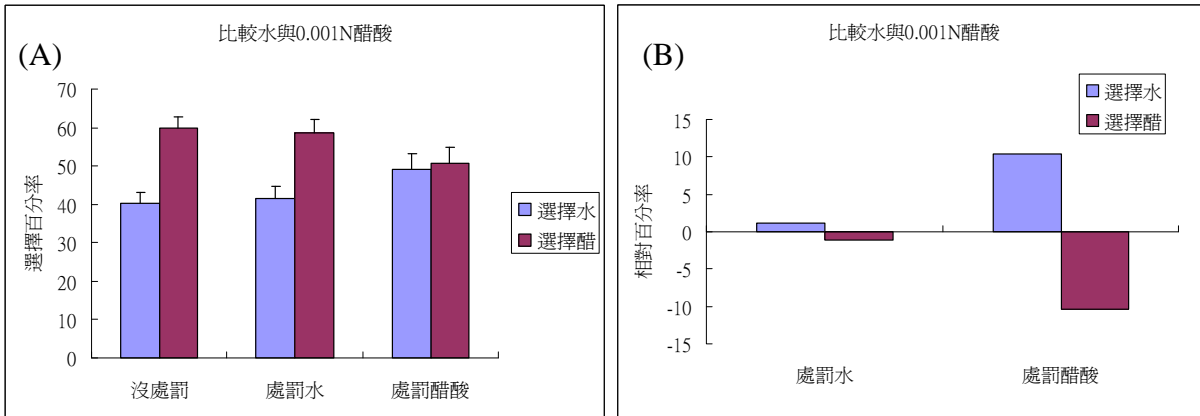
- (二) 將另一批果蠅裝在有  $10^{-3}$ M 蔗糖溶液氣味的電壓懲罰器中靜置一分鐘後，然後打開電壓供應器的開關，輸出 35V 的電壓處罰一分鐘，接著取出果蠅放置空瓶一分鐘後，改倒入有 0.001N 醋酸液氣味塑膠瓶(以沾有 0.001N 醋酸溶液的棉花塞住瓶口)裡面一分鐘。
- (三) 放到無氣味的塑膠瓶裡一分鐘之後再接上選擇器，等待二分鐘的選擇後記錄選擇情況。共做三次實驗。
- (四) 將處罰瓶氣味改成 0.001 醋酸，不處罰瓶氣味為 1M 蔗糖溶液，重複步驟(一)~(三)，共做三次實驗。這樣算是測完一種濃度
- (五) 將蔗糖溶液的濃度改為  $10^{-4}$ M，配對的醋酸溶液仍然為 0.001N，並重複步驟(一)~(四)，可得到低一個濃度的實驗結果。之後再依序調低蔗糖溶液濃度，一直到果蠅無法分辨為止。



## 伍、研究結果

### 一、測試果蠅感覺水的能力：

利用高溫處罰水後，果蠅選擇水的比率與沒處罰相比並未有變化，沒有產生「討厭到水」那邊去的行為；而如果反過來，以高溫處罰醋酸，則果蠅會產生「討厭到醋酸」的行為，可以看到選擇醋酸的相對百分率下降（圖一 B）。因此我們可知果蠅對於水（或是沒有味道）是沒有辦法產生嗅覺記憶的行為。



圖一：果蠅選擇水與醋酸的百分率

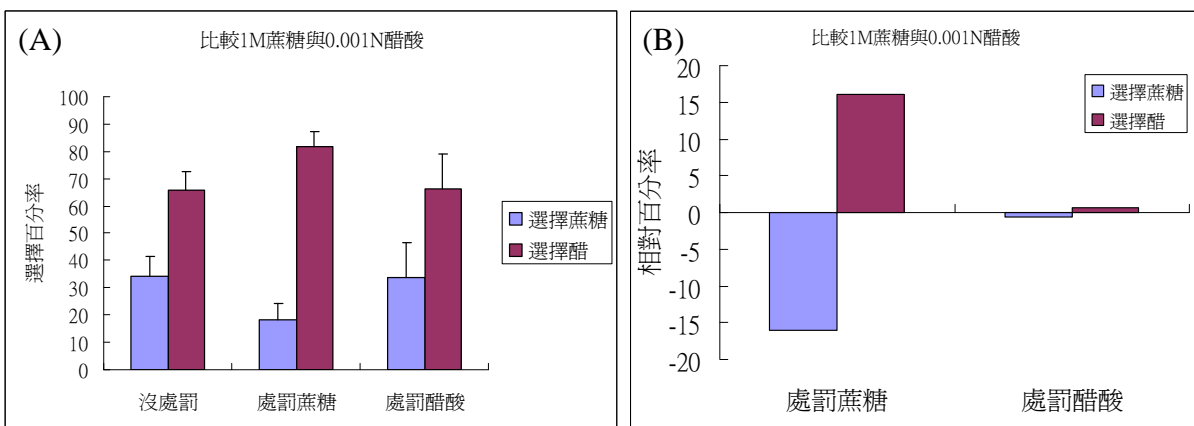
(A) 利用高溫懲罰不同氣味，果蠅的選擇百分率。數值是平均數±標準誤。

(B) 各組扣掉「沒處罰」後的相對百分率。

### 二、利用高溫檢測果蠅可感知蔗糖的最低濃度

#### (一) 使用 1M 的蔗糖水溶液和 0.001N 的醋酸水溶液做測試

用高溫處罰 1M 蔗糖之後，果蠅明顯的逃離有蔗糖味道的一側，相對百分率下降 15%(圖二 B)；雖然反過來測試醋酸時，果蠅並沒有明顯產生逃離醋酸的現象，但是因為處罰蔗糖的結果很明顯，因此我們認定果蠅可以分辨 1M 蔗糖以及 0.001N 醋酸。



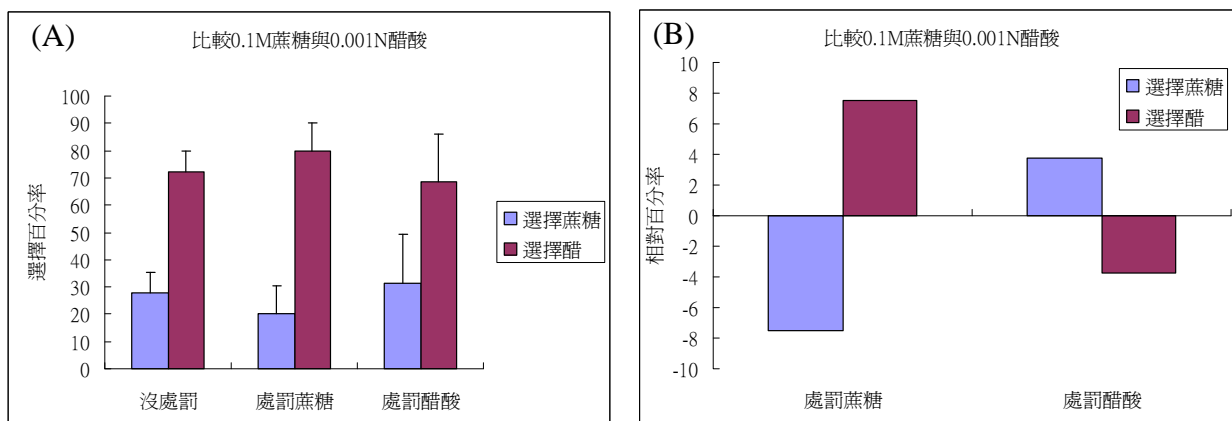
圖二：果蠅選擇 1M 蔗糖與醋酸的百分率

(A) 利用高溫懲罰不同氣味，果蠅的選擇百分率。數值是平均數±標準誤。

(B) 各組扣掉「沒處罰」後的相對百分率。

#### (二) 使用 $10^{-1}$ M 的蔗糖水溶液和 0.001N 的醋酸水溶液做測試

這一組便相當明顯，處罰蔗糖之後，果蠅選擇蔗糖的相對百分率下降；而處罰醋酸之後，果蠅選擇醋酸的相對百分率也下降，因此果蠅可以分辨  $10^{-1}M$  蔗糖以及  $0.001N$  醋酸。



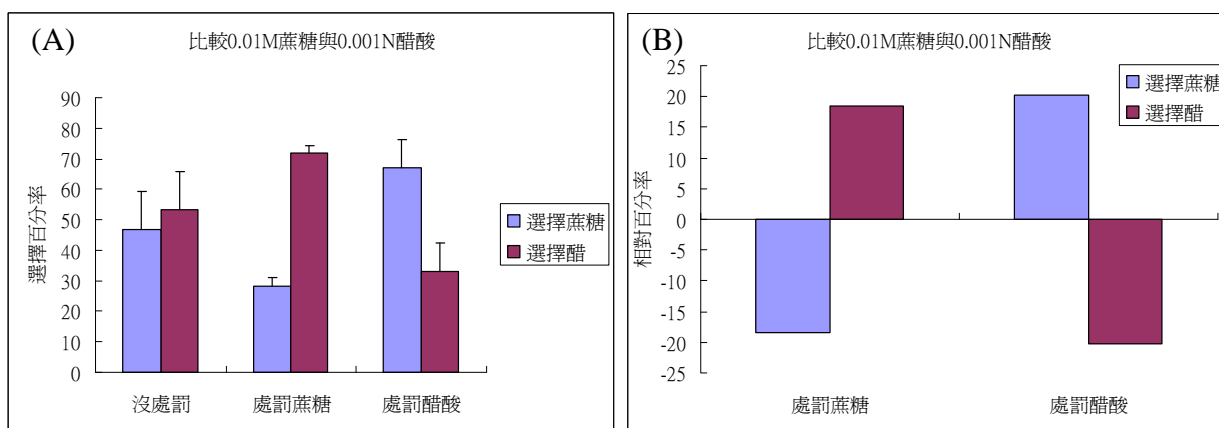
圖三：果蠅選擇  $10^{-1}M$  蔗糖與醋酸的百分率

(A) 利用高溫懲罰不同氣味，果蠅的選擇百分率。數值是平均數±標準誤。

(B) 各組扣掉「沒處罰」後的相對百分率。

(三) 使用  $10^{-2}M$  的蔗糖水溶液和  $0.001N$  的醋酸水溶液做測試

這一組也相當明顯，處罰蔗糖之後，果蠅選擇蔗糖的相對百分率下降；而處罰醋酸之後，果蠅選擇醋酸的相對百分率也下降，因此果蠅可以分辨  $10^{-2}M$  蔗糖以及  $0.001N$  醋酸。



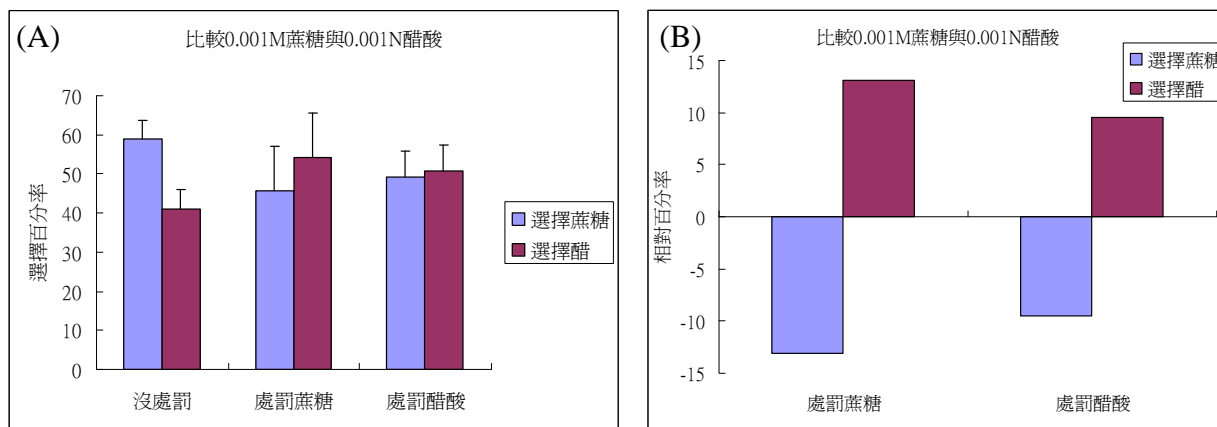
圖四：果蠅選擇  $10^{-2}M$  蔗糖與醋酸的百分率

(A) 利用高溫懲罰不同氣味，果蠅的選擇百分率。數值是平均數±標準誤。

(B) 各組扣掉「沒處罰」後的相對百分率。

(四) 使用  $10^{-3}M$  的蔗糖水溶液和  $0.001N$  的醋酸水溶液做測試

處罰蔗糖之後，果蠅選擇蔗糖的相對百分率下降；但是處罰醋酸之後，果蠅選擇醋酸的相對百分率反而上升。這組的結果比較奇怪，但是因為果蠅在處罰蔗糖之後，可以明顯產生逃避蔗糖的行為，因此我們覺得果蠅可能可以分辨  $10^{-3}M$  蔗糖以及  $0.001N$  醋酸。

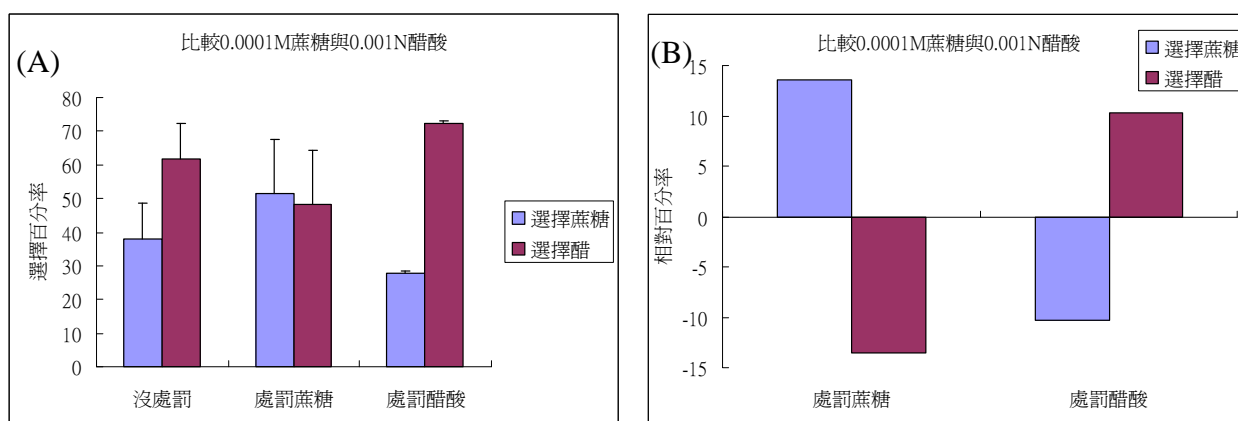


圖五：果蠅選擇 10<sup>-3</sup>M 蔗糖與醋酸的百分率

- (A) 利用高溫懲罰不同氣味，果蠅的選擇百分率。數值是平均數±標準誤。  
 (B) 各組扣掉「沒處罰」後的相對百分率。

(五) 使用 10<sup>-4</sup>M 的蔗糖水溶液和 0.001N 的醋酸水溶液做測試

這一組的數據完全是亂的，處罰完蔗糖之後，果蠅不會逃避蔗糖；處罰完醋酸之後，果蠅也不會逃避醋酸，因此我們覺得果蠅已經無法分辨 10<sup>-4</sup>M 蔗糖以及 0.001N 醋酸。



圖五：果蠅選擇 10<sup>-4</sup>M 蔗糖與醋酸的百分率

- (A) 利用高溫懲罰不同氣味，果蠅的選擇百分率。數值是平均數±標準誤。  
 (B) 各組扣掉「沒處罰」後的相對百分率。

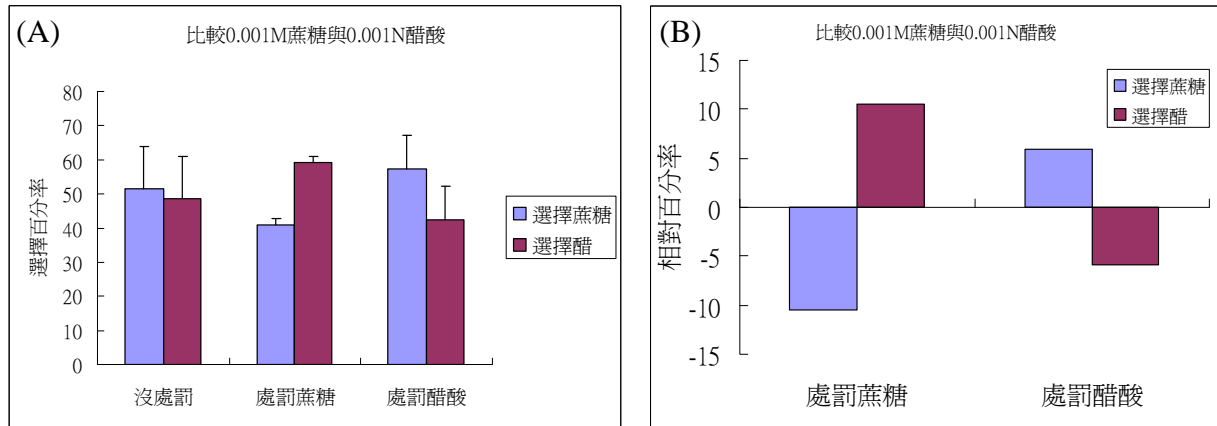
【總結】

依照以上結果顯示，在高溫的處罰之下，果蠅仍能分辨溶液並記憶溶液的氣味，並且在這種狀況之中，果蠅可以分辨 10<sup>-3</sup>M 的蔗糖溶液並進行逃避，所以果蠅可以感受到的蔗糖最低濃度為 10<sup>-3</sup>M。

### 三、利用電壓檢測果蠅可感知蔗糖的最低濃度

(一) 使用  $10^{-3}M$  的蔗糖水溶液和  $0.001N$  的醋酸水溶液做測試

因為在高溫刺激時，果蠅起碼可以感受到  $10^{-3}M$  的蔗糖濃度，因此我們直接從這個濃度開始測試。結果發現在電壓的刺激下，果蠅選擇蔗糖的相對百分率明顯下降(圖六 B)，而處罰醋酸時，選擇醋酸的相對百分率也下降，因此我們覺得果蠅可以分辨  $10^{-3}M$  蔗糖以及  $0.001N$  醋酸。



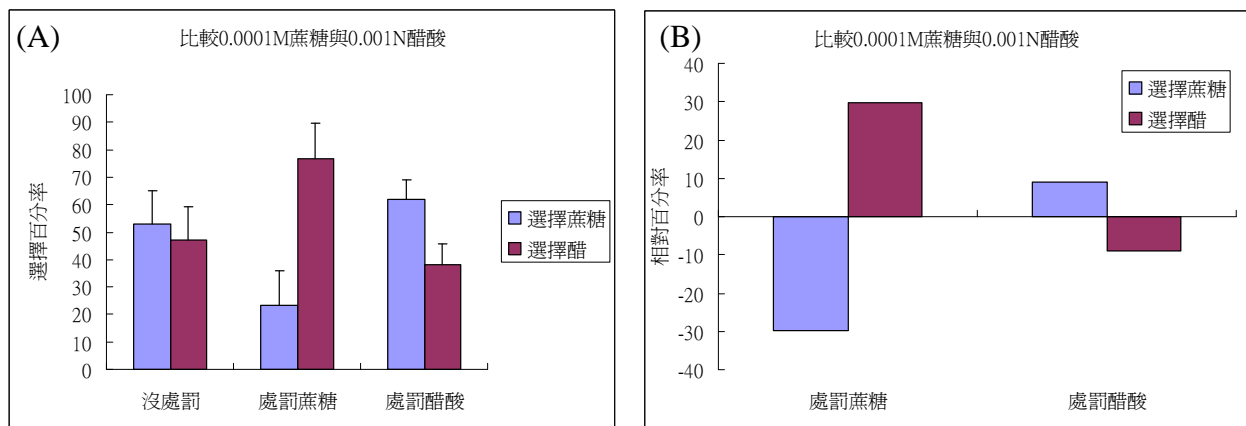
圖六：果蠅選擇  $10^{-3}M$  蔗糖與醋酸的百分率

(A) 利用高溫懲罰不同氣味，果蠅的選擇百分率。數值是平均數±標準誤。

(B) 各組扣掉「沒處罰」後的相對百分率。

(二) 使用  $10^{-4}M$  的蔗糖水溶液和  $0.001N$  的醋酸水溶液做測試

在電壓的刺激下，果蠅選擇蔗糖的相對百分率明顯下降(圖七 B)，而處罰醋酸時，選擇醋酸的相對百分率也下降，因此我們覺得果蠅可以分辨  $10^{-4}M$  蔗糖以及  $0.001N$  醋酸。



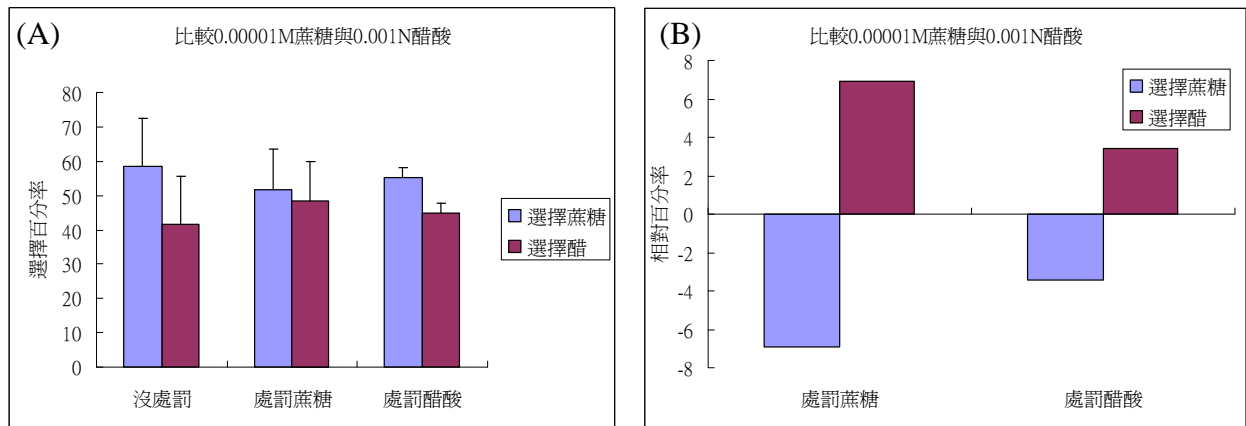
圖七：果蠅選擇  $10^{-4}M$  蔗糖與醋酸的百分率

(A) 利用高溫懲罰不同氣味，果蠅的選擇百分率。數值是平均數±標準誤。

(B) 各組扣掉「沒處罰」後的相對百分率。

(三) 使用  $10^{-5}\text{M}$  的蔗糖水溶液和  $0.001\text{N}$  的醋酸水溶液做測試

在電壓的刺激下，果蠅選擇蔗糖的相對百分率明顯下降(圖八 B)，但在處罰醋酸時，選擇醋酸的相對百分率反而，這個結果與高溫下果蠅選擇  $10^{-3}\text{M}$  蔗糖與醋酸的百分率(圖五)類似，因此我們覺得果蠅可能可以分辨  $10^{-5}\text{M}$  蔗糖以及  $0.001\text{N}$  醋酸。



圖八：果蠅選擇  $10^{-5}\text{M}$  蔗糖與醋酸的百分率

(A) 利用高溫懲罰不同氣味，果蠅的選擇百分率。數值是平均數 $\pm$ 標準誤。

(B) 各組扣掉「沒處罰」後的相對百分率。

#### 【總結】

依照以上結果顯示，在電壓的處罰之下，果蠅能分辨溶液並記憶溶液的氣味，並且在這種狀況之中，果蠅起碼可以分辨  $10^{-5}\text{M}$  的蔗糖溶液並進行逃避，所以果蠅可以感受到的蔗糖最低濃度為  $10^{-5}\text{M}$ 。

## 陸、討論

- 一、在本次實驗之前，已參考「中華民國第四十七屆中小學科學展覽會-高中生物組-愛的教育,鐵的紀律—果蠅的學習與記憶能力」中證實果蠅對於嗅覺有學習與記憶的能力，在本實驗中便對於此研究作進一步延伸。
- 二、因為果蠅感覺嗅覺的地方主要在觸角，而觸角上尚有許多濕度感覺受器，所以我們推測果蠅應該也可以感覺得到濕度，但我們想知道感覺到「水」這件事情是否可以當作一個嗅覺的記憶；結果根據我們的第一個結果發現（圖一），果蠅對於水並沒有辦法跟高溫產生連結，也就是說，果蠅對於「兩種不同的氣味」才能產生嗅覺記憶，而「一邊是水、一邊是味道」的狀況下，果蠅不能將「水」以及「討厭的因子」在腦中結合。這讓我們產生一個想法：既然果蠅對於水（等於沒味道）與討厭因子無法結合，那我們可以利用這個特性，來判斷果蠅在生理的狀況下，可以感受到的物質最低濃度，所以我們便繼續往下設計實驗。
- 三、我們參考的科展中，他們是利用各種香味濃郁的飲料作為嗅覺因子，但是我們覺得這樣可能會不清楚果蠅到底是對哪種味道產生記憶；因此我們將嗅覺因子簡單化，只使用蔗糖以及醋酸兩種。我們發現在高溫處罰之下，果蠅對於  $1\sim 10^3\text{M}$  的蔗糖溶液以及  $0.001\text{N}$  醋酸都可以產生行為的偏好性，因此也就證明了果蠅的確可以分辨出起碼  $10^3\text{M}$  的蔗糖溶液；而到了  $10^4\text{M}$  的濃度時，果蠅的選擇性變得很奇怪，連在懲罰醋酸時，選擇醋酸組的比率都反而提高（圖五 B），我們可能只能用果蠅的個體差異太大來解釋這個行為反應，但是因為無論處罰蔗糖或醋酸，在這組裡都無法正確的選擇，因此我們認定果蠅已經無法分辨  $10^4\text{M}$  的蔗糖溶液。
- 四、如果我們用可能會危及果蠅生命的電刺激做為懲罰，而且只要處罰一次，果蠅就會產生明顯的逃避行為（圖六到圖八），而且果蠅可以分辨的蔗糖濃度竟然往下了 100 倍（ $10^5$ ）。也就是說，果蠅在面臨溫和的懲罰時，分辨能力的有限，但是若用強烈的懲罰時，竟然可以加強果蠅的潛能，聞到更加稀薄的蔗糖溶液。
- 五、本實驗在進行前置實驗時發現幾個有趣的現象：
  - （一）果蠅對於光的反應很強烈，因此我們在實驗的時候，放置兩個氣味的選擇器的位置必須沒有亮暗之別，不然果蠅會忽略氣味，而都往有光的地方跑。
  - （二）在進行選擇的時候，要「溫柔」的將果蠅拍入選擇器之中，最好是讓它們自己走進去，不然果蠅會因為驚慌而忘記剛剛學習到的嗅覺記憶。
  - （三）我們原本在作高溫懲罰時，只處罰一次遍開始測量，結果果蠅無法產生選擇性，經過測試之後，果蠅在經過高溫懲罰並經過重複四次的訓練之後，才會產生嗅覺記憶；但是高刺激性的電壓刺激則只要一次處罰，便可以達到記憶的效果。

## 柒、結論

- 一、果蠅對於兩種不同味道可以建立起嗅覺記憶；但是若是一邊是氣味，一邊只有水，則無法順利建立嗅覺記憶。
- 二、在高溫的懲罰且經過四次的訓練之後，果蠅能夠感受且記憶濃度大於  $10^{-3}\text{M}$  的蔗糖溶液。
- 三、在電壓的懲罰之下，果蠅能夠感受到的蔗糖濃度變得更淡( $10^{-5}\text{M}$ )，比高溫懲罰還要低 100 倍，而且不需要重複訓練便可達成。

## 捌、參考資料及其他

李星黎。民 91。美洲蟑螂運動中觸角的擺動模式之研究。師大生物所碩士論文。

果蠅簡介與型態觀察 <http://grassland.agron.ntu.edu.tw/genelab/FlyIntro.htm>

劉雅安,王淩音,藍文蔓,廖啓卉。中華民國第四十七屆中小學科學展覽會-高中生物組『愛的教育,鐵的紀律—果蠅的學習與記憶能力』2006

楊冠政等。高中基礎生物課本第二章第七節『動物』。龍騰文化事業股份有限公司,64-77,2008。

楊冠政等。高中基礎生物課本第三章『生物與環境』。龍騰文化事業股份有限公司,88-141,2008。

## 玖、展望

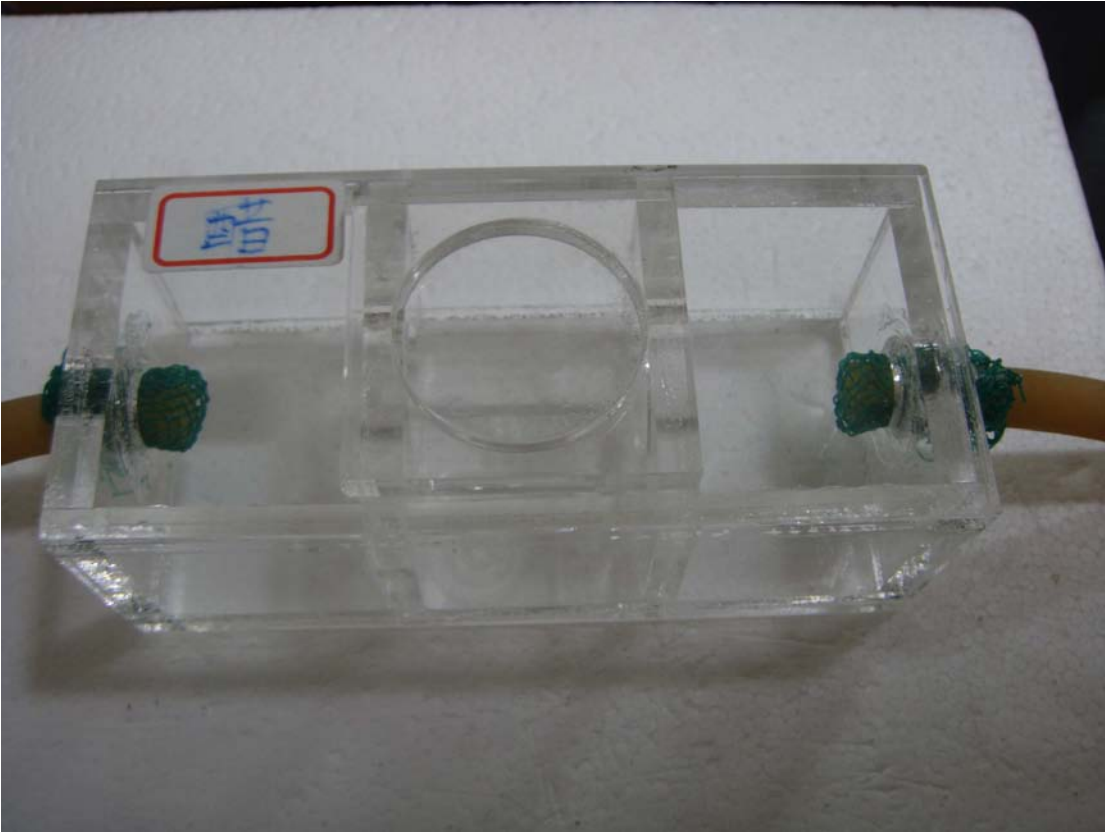
我們的實驗結果帶出了一個有趣的想法，就是果蠅是不是也跟學生一樣，如果不強烈的處罰便不想好好學習，而只要讓他很痛苦的話，連辨別的能力都會變強。現在教育一片支持「愛的教育」，但老師也感慨學生是越來越難帶，還說「像我們那個年代，打一打就都會唸書了」，也許這個道理，在果蠅身上也是通用的。

我們這個實驗還有很多可以延伸的部分，例如除了蔗糖之外的味道（例如酸味、臭味），是否也會有類似的效果？如果我們將溫度懲罰的溫度提高，是不是果蠅的學習能力也會加強？這些都是我們未來可以努力的方向

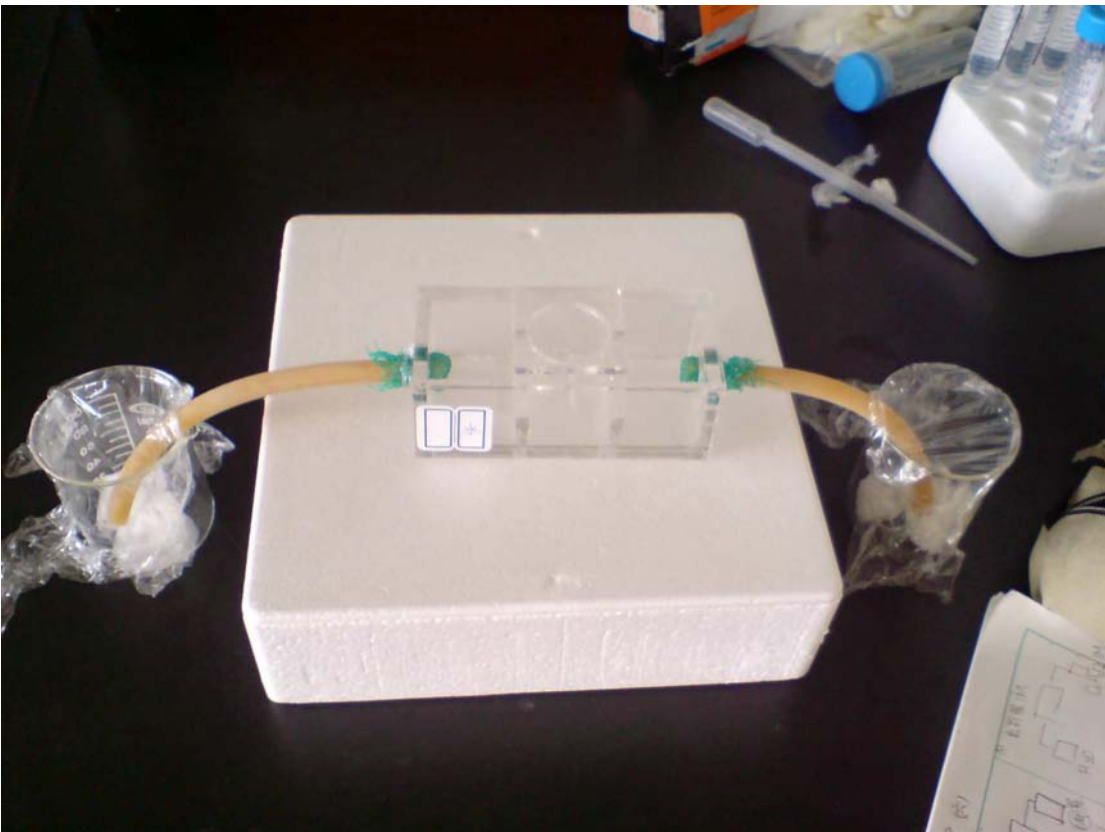


## 拾、附錄：實驗照片

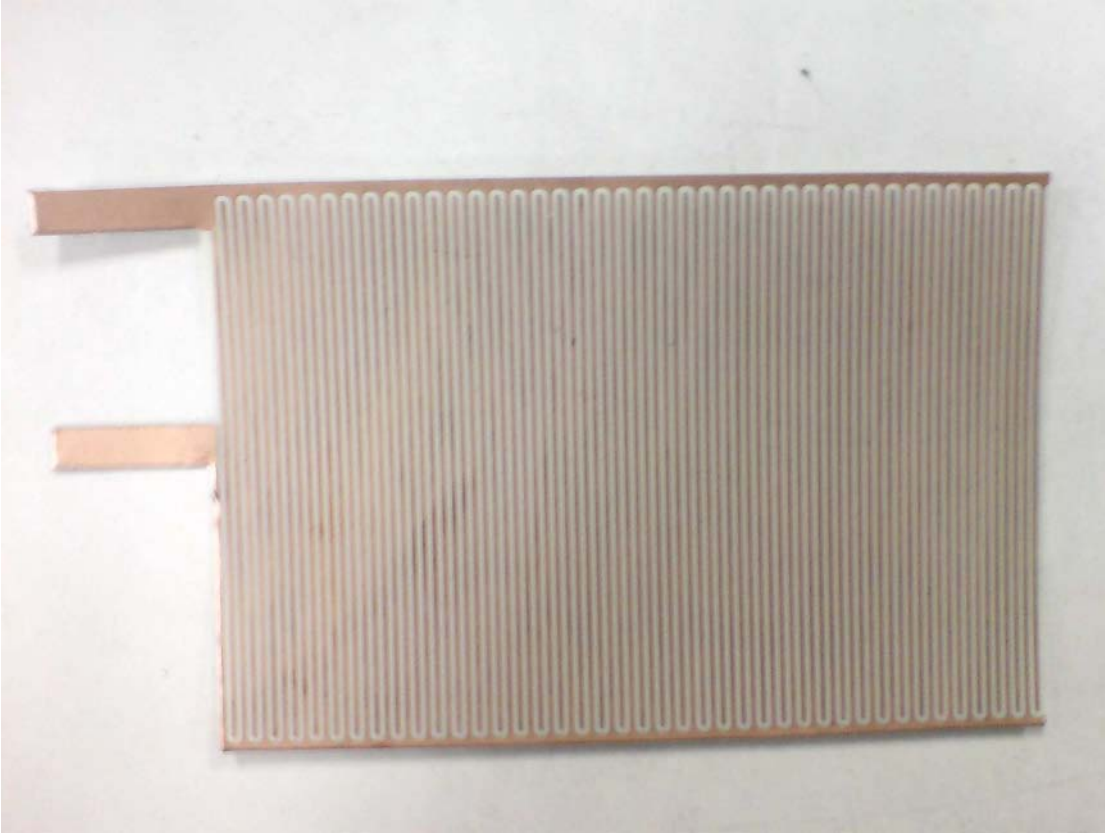
### 一、果蠅選擇器



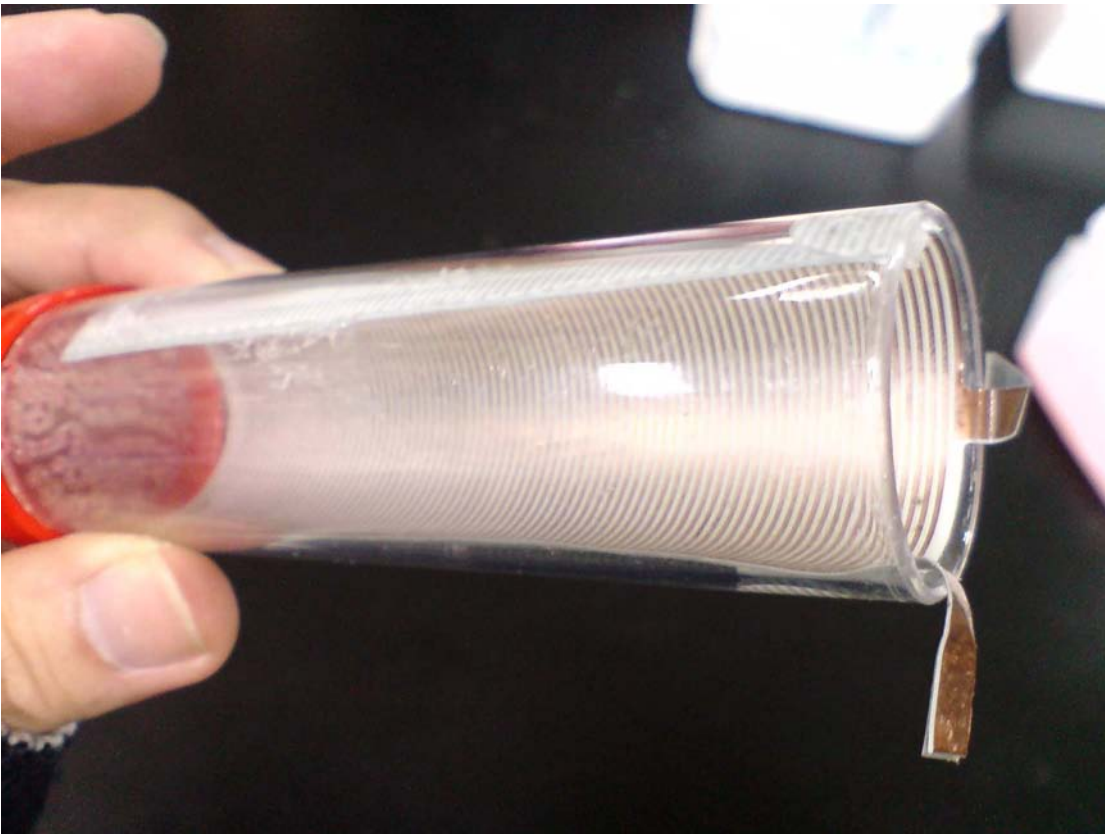
### 二、實驗配置狀況



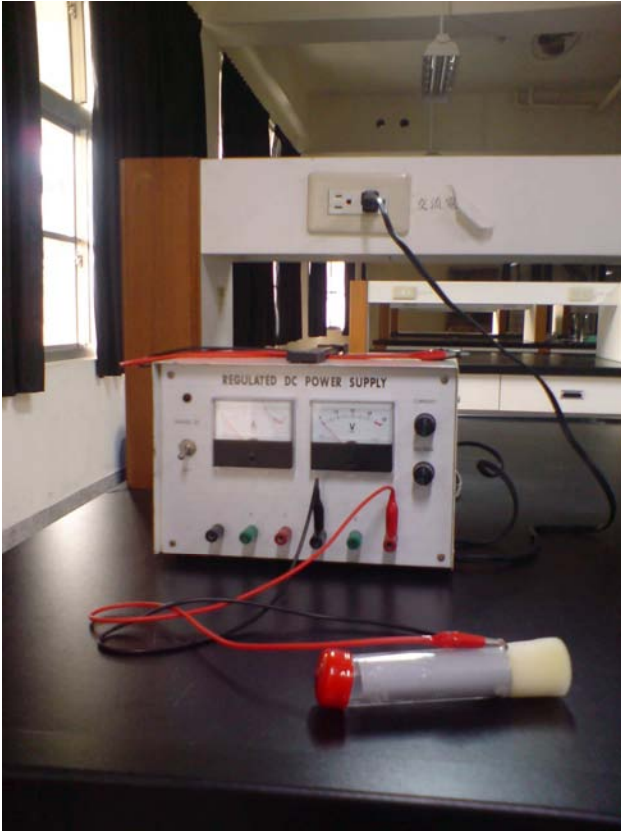
### 三、電路版



### 四、電壓懲罰器



## 五、電壓懲罰實驗配置圖



## 六、水浴槽（此為實驗前測試時的溫度，後來我們改用 38°C）



## 【評語】 040722

口說、實驗概念清楚，對濃度的概念應用適當，自製測試裝置佳，實驗樣本數重複次數可。

待改進：溶液的選擇及使用方式電極處罰方式之改良，其他氣味的嘗試利用。