

# 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

科別：動物與醫學學科

組別：高級中等學校組

作品名稱：「蟻亂易整」～探討狂蟻路徑選擇及驗證最佳化路徑

關鍵詞：狂蟻、路徑選擇、最佳化路徑

## 摘要

本實驗主要研究狂蟻覓食行為。實驗發現狂蟻偏好甜味及鹹味物質，對刺激性苦味及辣味物質無偏好，且觀察到居處不同環境的狂蟻對覓食鹽類物質之數量比例不同。在路徑研究得知，狂蟻主要選擇最短的路線為最佳化路徑（optimization of the path），實驗中發現路徑選擇會受到誘因及障礙的影響：當路徑上有吸引狂蟻的味道或物質時，除了選擇最短路徑外，狂蟻也會偏好氣味足夠的路徑及可直接取食的路徑；當路徑上出現障礙時，狂蟻偏好走平順的路徑勝過有黏性的路徑，導致最短路徑並非全然形成最佳化路徑。在記憶性實驗中發現，當移除費洛蒙後，狂蟻仍會依循記憶性回到原地，且隨移走食物的時間點不同，狂蟻回到原地的數量變化也不同，和狂蟻食物訊息的傳遞鏈有關係。

## 壹、研究動機

在高一基礎生物下《生物與環境》課程中談到不同生態環境下都有螞蟻的蹤跡，這引起我們對螞蟻的好奇心，於是上網查詢相關的資料。我們學到螞蟻是一種極富社會性的團體生物，其中大部分的工蟻階級負責尋覓食物，並呼叫其他工蟻幫忙搬運回巢。若螞蟻在巢穴附近發現食物，就會帶一小份回巢，同時留下費洛蒙；而其他螞蟻則依循這個味道找到食物，並也打包一點食物回巢。我們學到，單一螞蟻尋覓食物的方式是幾近隨機的，然而一整群狂蟻的覓食行為卻是很有系統的螞蟻隨機行走找尋食物，因此會產生許多不同的費洛蒙路徑。根據 Hans Joachim Schellnhuber 在 2014 年發表的研究文獻所述，中德兩國的研究團隊發現，混亂分散找尋食物的螞蟻透過不斷行走熟悉環境，有秩序地找到最短路徑，並因經過次數多，強化了路徑上費洛蒙的濃度，形成穩定的最佳化路徑（optimization of the path），如此一來，蟻群便能有效率的覓食。不過，國內並無深入探討將最短路徑施加其他影響後，其最佳化路徑是否會改變的相關研究。有鑒於此，由於狂蟻身形小，覓食速率快，顏色與環境分明，較不具有攻擊性，加上巢穴在戶外隨處可見，增加實驗之方便性，因此本實驗將以狂蟻為實驗對象，先確認狂蟻是否會以最短路徑為最佳化路徑，再加入一些影響因素，進一步觀察其是否造成狂蟻的路徑選擇產生改變。

## 貳、研究目的

- 一、探討狂蟻對味道之喜惡。
- 二、驗證最短路徑較易形成最佳化路徑之真實性。
- 三、探討費洛蒙對狂蟻選擇路徑之影響。
- 四、探討路徑經不同糖水處理對狂蟻選擇路徑之影響。
- 五、探討路徑上出現障礙時，對狂蟻選擇路徑之影響。
- 六、探討移除食物後的狂蟻數量變化及下降速度。

## 參、研究設備及器材

### 一、研究對象：狂蟻(*Paratrechina longicornis*)

狂蟻，又名小黑蟻、長角立毛蟻，在戶外地區常見於樹下、牆壁旁、水溝以及其他地方等，並以其行動迅速為名。好取食小昆蟲及昆蟲或植物分泌之蜜露，環境適應力強。



【圖一】狂蟻照片

【表一】狂蟻簡介

學名	<i>Paratrechina longicornis</i>
分類	昆蟲綱、膜翅目、細腰亞目、蟻科、蟻亞科、立毛蟻屬
外觀	蟻后體長約 0.4 公分，工蟻體長約 0.3 公分。全身光亮黑，腹有深色橫帶狀紋，觸角有 12 節，胸背板有明顯凹陷。
特徵	此種蟻能接受不同巢同種的群落加入自己的陣營。在禦敵方面，會從「酸腺孔」中放出特殊的蟻酸來保護自己；在覓食方面，狂蟻會將食物吃下並儲存在「嗉囊」中，以供回去吐給其他同伴吃。此外，降雨過度且地板潮濕時，狂蟻很容易搬家。
活動	室溫 25 至 26 度之間是蟻活動最佳時段，超過或者低於其溫度太多會使之活動力減少。

## 二、研究器材：

儀器名稱	用途	數量
培養皿	滴溶液於上	20 個
檸檬汁 砂糖 黃連 辣椒粉 氯化鈉	五種味道的代表溶液	1 罐 1 包 適量 1 罐 1 罐
燒杯	盛裝溶液	5 杯
滴管	滴溶液	5 支
直尺	測量器材距離蟻穴出入口或螞蟻路徑的距離、器材間的距離、量測路徑的長短	1 支
鑷子	挑除路徑上可能的障礙	1 根
砂紙	滴溶液於上	適量
蒸餾水	溶劑	適量
碼表	計時螞蟻覓食之時間	1 個
計數器	計算螞蟻隻數	1 個
電子天秤	秤重溶液重量，以便量測溶液濃度	1 個
磁性攪拌器	攪拌溶液至均勻混合	1 個
溫度計	量測室溫	1 個
玻片	滴溶液於上、黏砂紙以便固定形狀和增加重量	適量
三角架	置器材於上，用於路徑實驗中以便排處地上費洛蒙之影響	2 個
方格紙	方便量測路徑之長度、黏貼鐵絲於內	適量
廢紙	紀錄實驗結果	適量
橡皮筋	綁在三角架腳坐上，減低螞蟻爬上三腳架之意願	6 根
剪刀	剪紙	1 把
鐵絲	固定路徑形狀，增加路徑穩定性	適量
雙面膠	黏紙	適量
噴霧器	噴灑溶液於路徑上，使之濕潤而不積水	1 個

## 三、製作器材：

### (一) 路徑：

1. 在方格紙上用直尺量測寬 2 公分、長 20 公分長方形紙數條，並各自在其兩端用筆標上 2 公分及 3 公分，每一條可得到 2 公分、15 公分和 3 公分的分段。
2. 用剪刀沿著邊緣剪下，每一條可得到空白面及方格面，並定義空白面為正面，方

格面為反面(如【圖二】，上圖為正面，下圖為反面)。

3. 拿其中一張紙反面處用雙面膠整面黏貼，並在中間段(15 公分)黏上 15 公分的鐵絲(如【圖三】)。
4. 拿第二張長條紙，由上反面朝下，正面朝上向下對齊線黏貼於第一張紙上(如【圖四】)。

## (二) 圓形白紙：

將三腳架頂座放在白紙上，用筆沿著邊緣畫出半徑 6 公分的圓，同步驟畫出數張並剪裁下來(如【圖五】)。

## (三) 砂紙玻片組：

1. 將三個玻片併排對齊，用膠帶黏於正反兩面使其固定(如【圖六】)，形成玻片組。
2. 將玻片組置於 AA-240 之砂紙上，沿著邊緣畫線剪裁下來，形成 7.6 乘以 7.5 之長方形(如【圖七】)，並把平滑面朝內黏於玻片組上(如【圖八】、【圖九】)。

## (四) 實驗用三腳架：

將圓形紙黏於三腳架頂座上，砂紙玻片組置於紙上，路徑 3 公分段黏於砂紙和紙上，另一端 2 公分處至於地上，以便增加狂蟻爬上路徑的方便性(如【圖十一】、【圖十二】)。



【圖二】2\*20cm 長方形紙



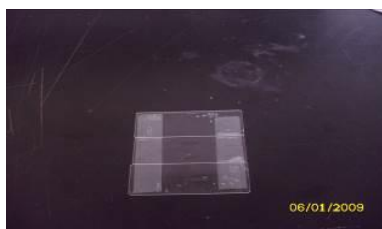
【圖三】長方形紙+15cm 鐵絲



【圖四】路徑成品



【圖五】圓形白紙



【圖六】玻片組



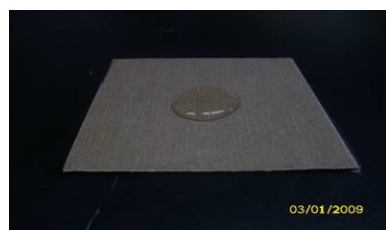
【圖七】砂紙



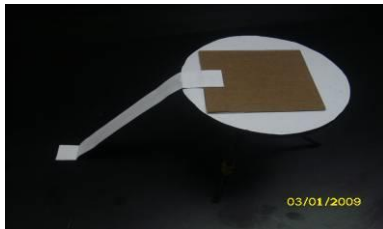
【圖八】砂紙黏於玻片上(正面)



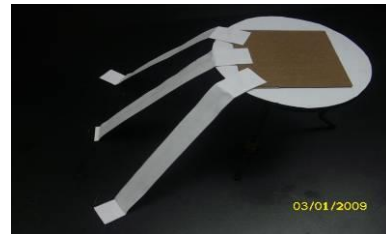
【圖九】砂紙黏於玻片上(反面)



【圖十】滴 1ml 溶液於砂紙上



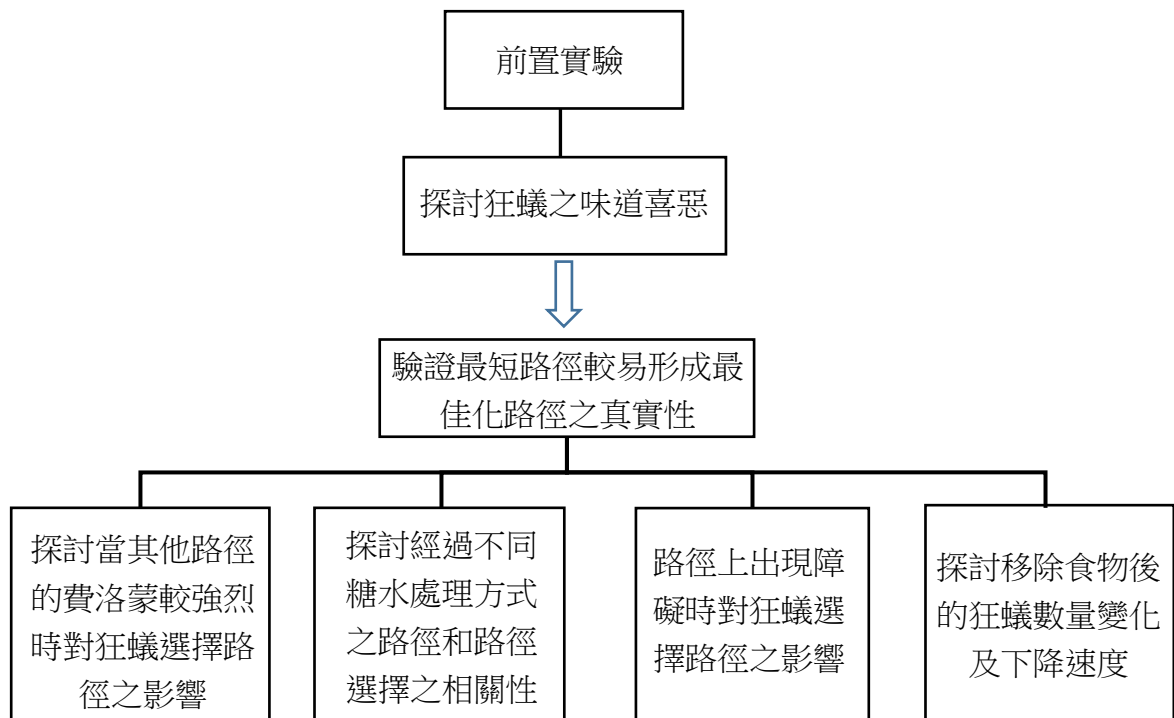
【圖十一】路徑組(單一路徑)



【圖十二】路徑組(三條路徑)

## 肆、研究過程或方法

### 一、 探討實驗流程：



【圖十三】實驗流程圖

### 二、 實驗介紹：

(一) 準備實驗：鑑定螞蟻品種及定義螞蟻建立穩定路徑的判斷基準。

#### 1. 鑑定品種

- (1) 事先準備複式顯微鏡一臺、培養皿大小尺寸各一個、酒精適量裝於噴霧瓶中、20%糖水適量裝於小燒杯中、滴管一支。
- (2) 前往校園中選定的一棵雨豆樹下及司令台牆角兩個實驗地點取樣：以滴管吸幾滴糖水置於大培養皿中央，並靜置等待螞蟻聚集。待螞蟻達到 20-30 隻左

右時，噴灑酒精並將小培養皿倒置於大培養皿上，將部分螞蟻困住，然後將培養皿帶回實驗室。

- (3) 將迷昏後的螞蟻放置於載玻片上，並以複式顯微鏡觀察其觸角長度、身體顏色、體型大小和腹部紋路等身體特徵，並對照螞蟻鑑定指南(黃裕星，2009)及網路資料(侯修煒，《螞蟻的家》)以鑑定其品種。
- (4) 兩個實驗地點內所捕獲螞蟻可觀察到觸角長度有 12 節、全身亮黑色、體長約 0.2~0.3 公分、腹部有明顯條紋並且受到驚嚇會快速移動逃避，符合狂蟻的身體特徵，因此品種鑑定的結果皆為狂蟻(如【圖十四】、【圖十五】、【圖十六】、【圖十七】)。



【圖十四】雨豆樹下狂蟻頭部



【圖十五】司令台狂蟻頭部



【圖十六】雨豆樹下狂蟻腹部



【圖十七】司令台狂蟻腹部

## 2. 定義狂蟻建立穩定路徑之判斷基準

- (1) 將實驗器材佈置完畢後，開始進行實驗並以碼表計時。
- (2) 在等待到達紀錄時間點的期間，於一旁同時觀察狂蟻行為。
- (3) 根據花蓮高中研究樹居舉尾蟻的科展定義(參四)，當第 20 隻螞蟻爬上路徑頂端時代表形成了穩定路徑，因此以之作為參照依據。

(二) 前置實驗：探討狂蟻對味道之喜惡。

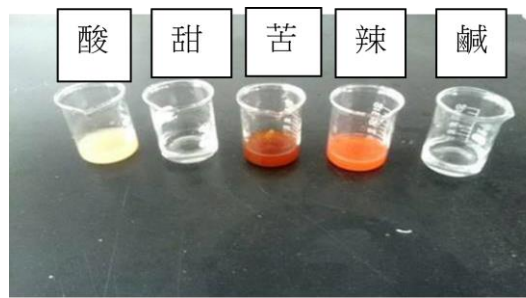
**【實驗一】探討狂蟻對味道之喜惡**

1. 實驗目的：測試狂蟻對酸甜苦辣鹹五種味道的喜惡程度。

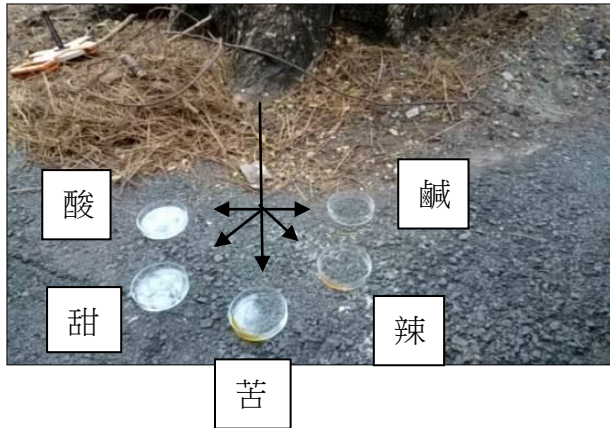
2. 實驗步驟：

- (1) 根據許多報告及實驗顯示，在 20%或 25%糖水溶液濃度下最吸引螞蟻，因此本實驗於實驗室內製備適量的 20%稀釋檸檬汁（酸）、20%糖水（甜）、飽和黃連溶液（苦）、飽和辣椒溶液（辣）、20%食鹽溶液（鹹）(如【圖十八】)。
- (2) 將以上溶液、五個相同大小之培養皿以及其他實驗器材攜至兩個實驗地點雨豆樹下(如【圖十九】)及司令台牆角(如【圖二十】)，以正對狂蟻行進路徑的周圍，將五個培養皿以半圓形擺放，10 公分為半徑，每個培養皿各距離 5 公分。
- (3) 並依序於中央滴上 1 毫升酸甜苦辣鹹五種味道的溶液。
- (4) 計算照片中的狂蟻數量，紀錄於白紙上，共紀錄 30 分鐘。為了消除狂蟻可能形成固定覓食路徑而導致結果不準確，因此參照屏東女中研究小黃家蟻報告的實驗方式(參六)，每次實驗都向左遞移一個順序（酸甜苦辣鹹、甜苦辣鹹酸、苦辣鹹酸甜、辣鹹酸甜苦、鹹酸甜苦辣），一共進行五次實驗。
- (5) 分析狂蟻對五味的喜惡程度。

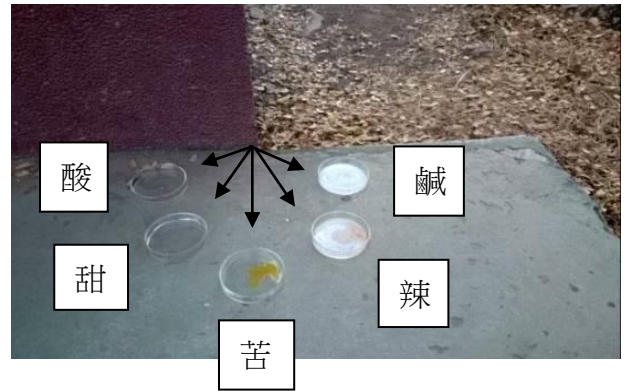




【圖十八】五種不同味道的溶液



【圖十九】雨豆樹下



【圖二十】司令台牆角

(三) 最短路徑與最佳化路徑相關實驗：根據研究記載(Hans Joachim Schellnhuber, 2014)，混亂分散找尋食物的螞蟻透過不斷行走熟悉環境，有秩序地找到距離蟻穴和食物源最短路徑，並因經過次數多，強化了路徑上費洛蒙的濃度，形成穩定的最佳化路徑；依據該文獻，設計實驗驗證最短路徑較易形成最佳化路徑的真實性，並探討將路徑或食物源以其他因素干擾後產生何種影響及狂蟻數量的變化。

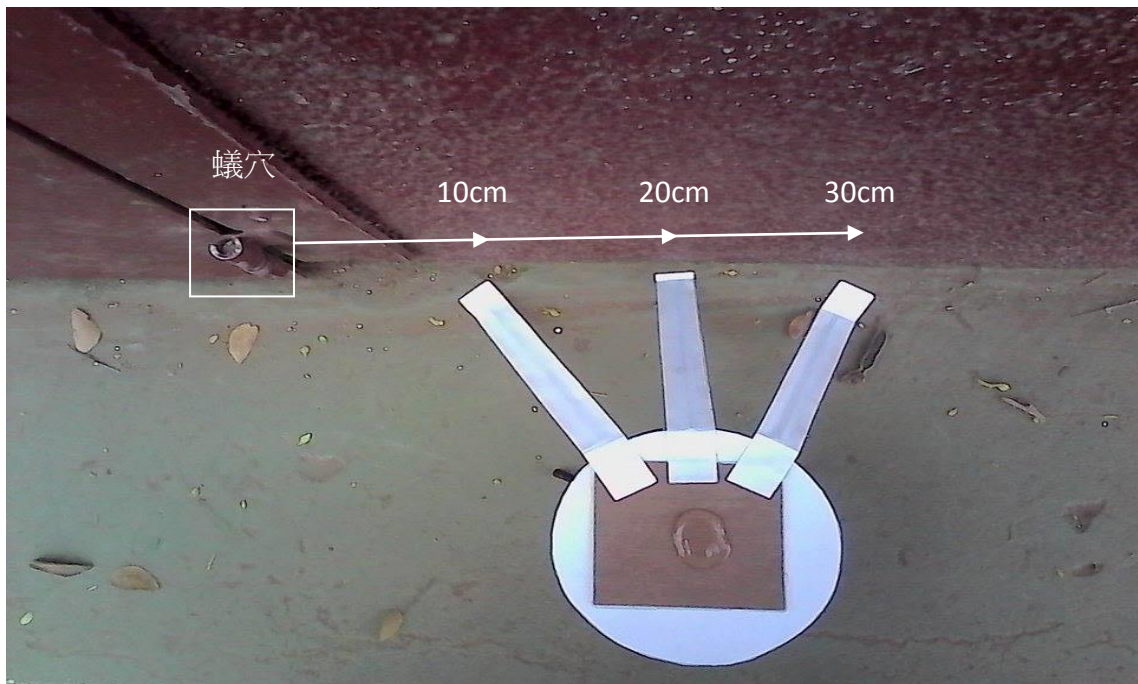
#### 【實驗二】驗證最短路徑較易形成最佳化路徑之真實性

1. 實驗目的：驗證最短路徑是否為狂蟻之最佳選擇。

2. 實驗步驟：

- (1) 將事先預備實驗用三角架、三條 15 公分路徑及其他實驗器材，並攜至實驗場地。實驗用三腳架的最短路徑對齊從巢穴口量起沿原有路徑 10 公分處放置（往後以實驗位置稱之）(如【圖二十一】)。
- (2) 為了讓食物在實驗期間被吃完，以便觀察狂蟻數量趨勢，因此滴 1 毫升糖水於砂紙上，並以碼表開始計時，每十分鐘拍攝路徑正面、路徑背面及三腳架平台上各一張，計算照片中的狂蟻數量，將其結果紀錄於白紙上，共紀錄一個小時。

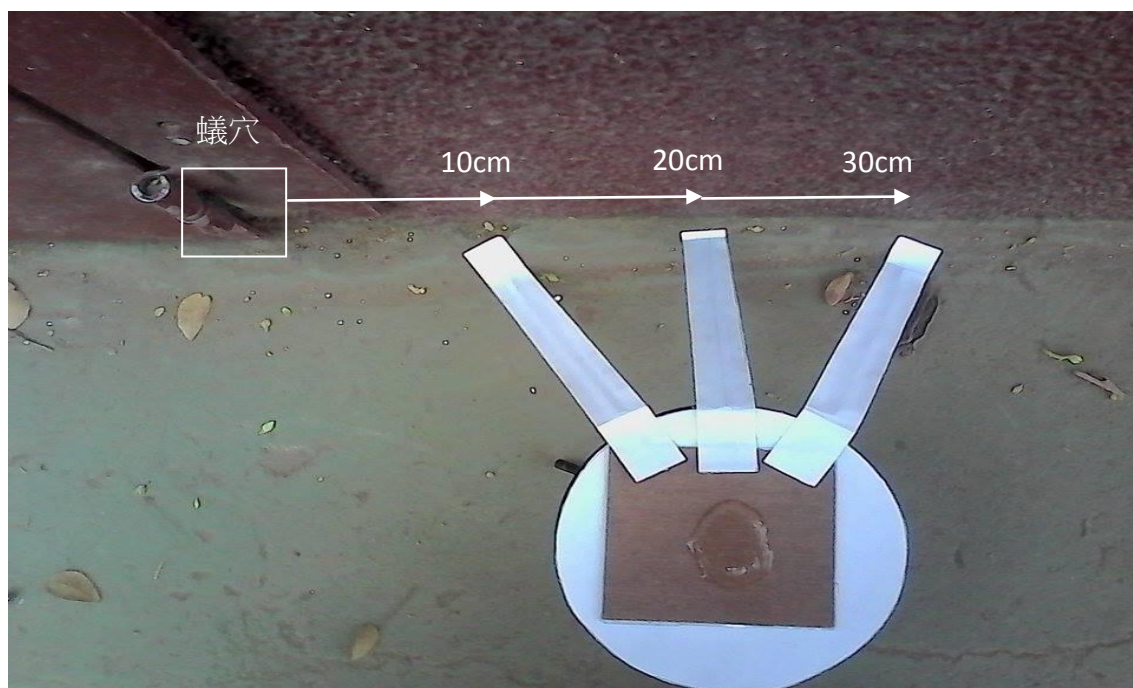
(3) 分析狂蟻對三條不同遠近之路徑的選擇狀況及數量變化。



【圖二十一】實驗二擺放方式

【實驗三】探討費洛蒙對狂蟻選擇路徑之影響

1. 實驗目的：探討當其他路徑的費洛蒙的味道勝於最短路徑時，狂蟻是否會因此產生改道的現象。
2. 實驗步驟：
  - (1) 〈實驗二〉結束後，立即進行〈實驗三〉，以利用紙上殘餘的費洛蒙進行實驗。
  - (2) 在盡可能不破壞糖水的形狀下，輕輕晃動實驗用三腳架，驚動狂蟻使之離開。
  - (3) 更換新的白紙、砂紙及消除地面的費洛蒙，以去除其他殘餘費洛蒙的干擾；將〈實驗二〉中狂蟻數量最多及最少的路徑交換。
  - (4) 將實驗用三腳架置回實驗位置(如【圖二十二】)，滴 1 毫升糖水於砂紙上，並以碼表開始計時，每十分鐘拍攝路徑正面、路徑背面及三腳架平台上各一張，計算照片中的狂蟻數量，並將其結果紀錄於〈實驗二〉同一張白紙的背面上，共紀錄一個小時，共紀錄一個小時。
  - (5) 分析狂蟻對三條不同路徑的選擇狀況及數量變化。



【圖二十二】實驗三擺放方式

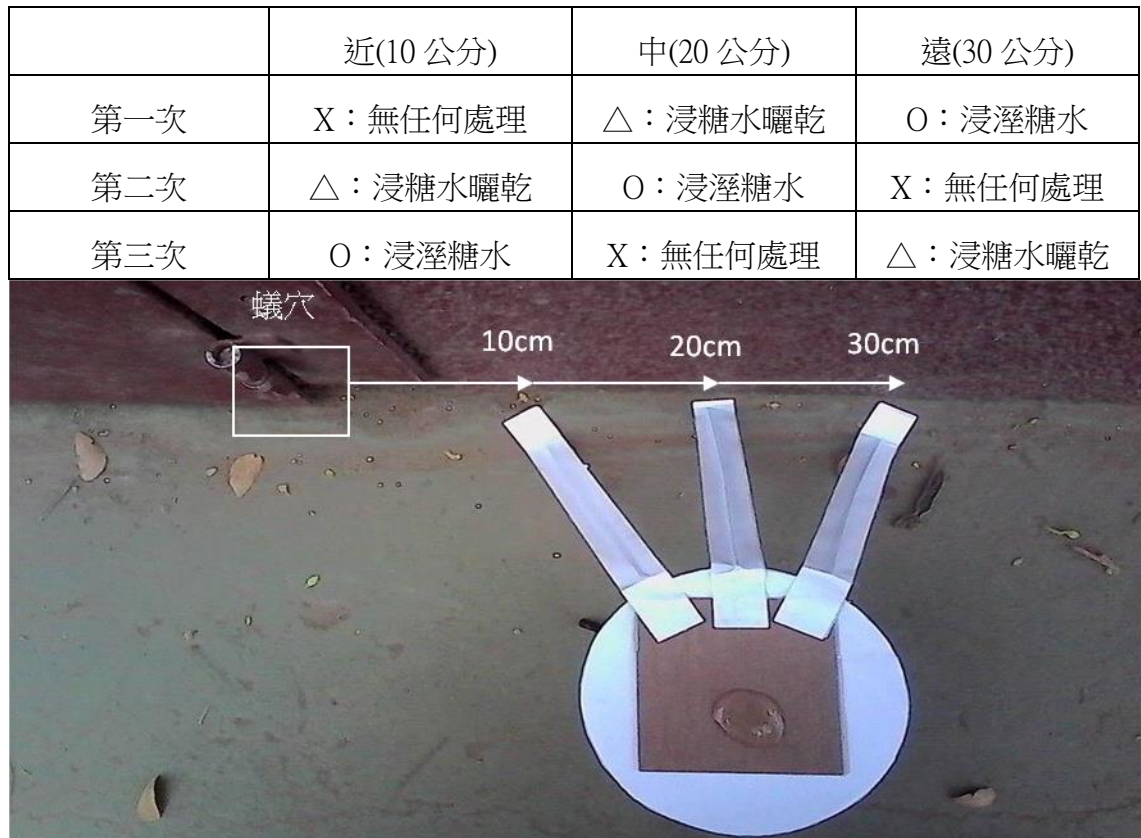
【實驗四】探討路徑經不同糖水處理對狂蟻選擇路徑之影響

1. 實驗目的：探討三條路徑經過不同糖水處理方式後，是否會對狂蟻之路徑選擇產生影響。
2. 實驗步驟：
  - (1) 事先預備實驗用三角架、三條路徑及其他實驗器材，並在三角架上黏上三種不同的路徑，如下：
    - a. 無任何處理的路徑，以「X」表示。
    - b. 於中間 15 公分長以噴霧瓶噴上糖水浸濕，但表面不積水的路徑，以「O」表示。
    - c. 同步驟浸溼糖水後，置於太陽下曬乾的路徑，以「△」表示。
  - (2) 將路徑組置於實驗位置(如【圖二十三】)，以從最近到最遠路徑依序為「X △O」的擺放順序為第一組實驗。
  - (3) 滴 1 毫升糖水於砂紙上，並以碼表開始計時，每十分鐘拍攝路徑正面、路徑背面及三腳架平台上各一張，計算照片中的狂蟻數量，並將其結果紀錄於白紙上，共紀錄一個小時。
  - (4) 為了消除狂蟻可能形成固定覓食路徑而導致結果不準確，我們每次實驗都



向蟻穴方向遞移一個順序（X△O、△OX、OX△），一共進行三次實驗。

(5) 分析狂蟻對三條不同糖水處理方式之路徑的選擇狀況及數量變化。



【圖二十三】實驗四擺放方式

#### 【實驗五】探討路徑上出現障礙時，對狂蟻選擇路徑之影響

1. 實驗目的：探討若於路徑上施加狂蟻厭惡之味道、黏性表面等障礙是否會造成其產生改道的現象，對狂蟻之路徑選擇產生影響。
2. 實驗步驟：
  - (1) 事先預備實驗用三角架、三條路徑及其他實驗器材，並在三角架上黏上三種不同的路徑，如下：
    - a. 無任何處理的路徑，以「X」表示。
    - b. 於中間 7 至 8 公分處之正反兩面黏上一公分雙面膠的路徑，以「=」表示。
    - c. 於中間 7 至 8 公分處之正反兩面黏上一公分雙面膠，並裹上黃連粉的路徑，以「■」表示。
  - (2) 將實驗用三腳架置於實驗位置(如【圖二十四】)，以從最近到最遠路徑依

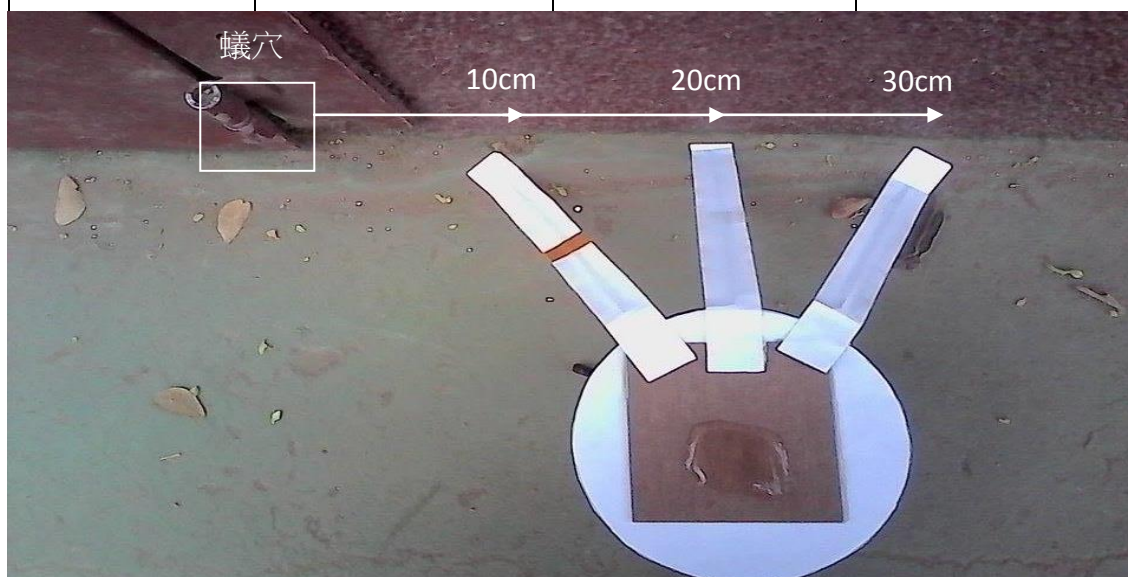
序為「■=X」的擺放順序為第一組實驗。

(3) 共分成「■=X」、「=■X」、「■X=」、「=X■」四種情況，依序做四種實驗。

(4) 滴 1 毫升糖水於砂紙上，並以碼表開始計時。觀察至狂蟻於任一條路徑建立穩定的覓食路徑(達到 20 隻狂蟻)為止，並將該時刻、三條路徑中找到糖水的狂蟻數量紀錄於白紙上。

(5) 分析狂蟻對三條不同障礙路徑的選擇狀況及數量變化。

	近(10 公分)	中(20 公分)	遠(30 公分)
第一次	■：黏上黃連粉	=：黏上雙面膠	X：無任何處理
第二次	=：黏上雙面膠	■：黏上黃連粉	X：無任何處理
第三次	■：黏上黃連粉	X：無任何處理	=：黏上雙面膠
第四次	=：黏上雙面膠	X：無任何處理	■：黏上黃連粉

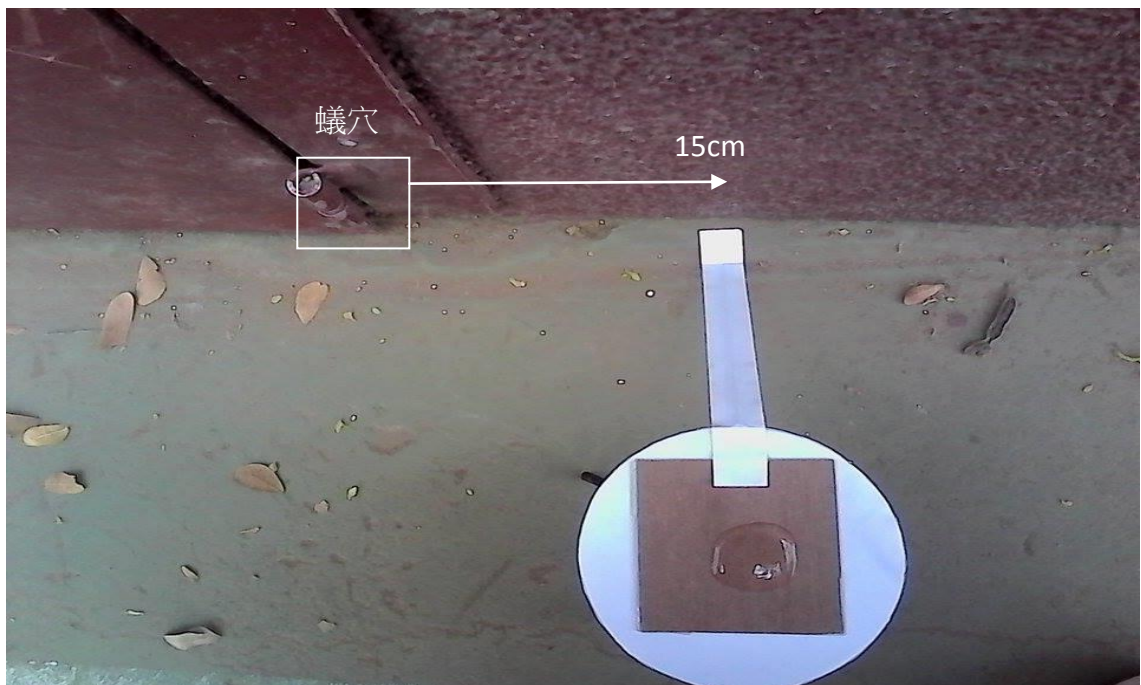


【圖二十四】實驗五擺放方式

【實驗六】探討移除食物後的狂蟻數量變化及下降速度。

1. 實驗目的：在糖水未被吃完及被吃完兩種情況下更換新的裝置後，20 分鐘之內之狂蟻數量變化及下降速度。
2. 實驗步驟：

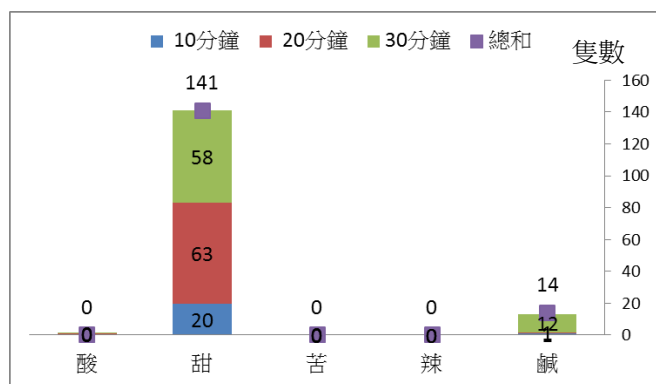
- (1) 事先預備實驗用三腳架加一條路徑兩組及其他實驗器材，並攜至實驗場地。
- (2) 將實驗用三腳架置於實驗位置(如【圖二十五】)，滴 1 毫升糖水於砂紙上，並以碼表開始計時，每十分鐘拍攝路徑正面、路徑背面及三腳架平台上各一張，計算照片中的狂蟻數量，並將其結果紀錄於白紙上。
- (3) ●未被吃完：由〈實驗三〉發現狂蟻建立穩定覓食路徑並且數量開始快速上升的時間約為 20 分鐘，因此在 20 分鐘後輕輕晃動實驗用三腳架，驚動狂蟻使之離開，並更換新的三角架置於實驗位置及消除地面的費洛蒙，以去除其他殘餘費洛蒙的干擾，往後縮短為每五分鐘拍攝一次，繼續紀錄 20 分鐘。  
●已被吃完：待狂蟻吃完糖水後，輕輕晃動實驗用三腳架，驚動狂蟻使之離開，並更換新的三角架置於實驗位置及消除地面的費洛蒙，以去除其他殘餘費洛蒙的干擾，往後縮短為每五分鐘拍攝一次，繼續紀錄 20 分鐘。
- (4) 分析狂蟻之數量變化與下降速度。



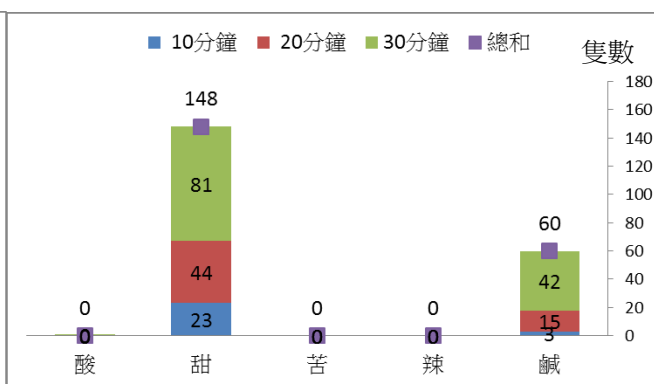
【圖二十五】實驗六擺放方式

## 伍、研究結果

### 【實驗一】探討狂蟻之味道喜惡



【圖二十六】雨豆樹五種味道  
30 分鐘內之狂蟻數量總和



【圖二十七】司令台五種味道  
30 分鐘內之狂蟻數量總和

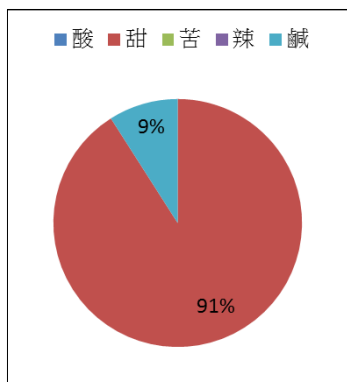
#### 一、 擺放酸甜苦辣鹹五種味道的溶液並交換順序，將五次實驗之狂蟻數量做算術平均並加總得出 30 分鐘內選擇各種味道之狂蟻總數結果

由【圖二十六】可知，在雨豆樹狂蟻覓食糖水的總隻數為第一高：10 分鐘時有 20 隻狂蟻，為三個紀錄時刻中數量最少；20 分鐘時則達到三個紀錄時刻中數量最多的 63 隻狂蟻；30 分鐘時數量下降為 58 隻狂蟻；將三個時刻之數量加總得覓食糖水之狂蟻達到 141 隻。五味中覓食數量第二高的是食用鹽水的總隻數：10 分鐘及 20 分鐘時，皆只有 1 隻；30 分鐘時達到 12 隻；加總三個時刻之狂蟻總數為 14 隻。擇食酸、苦、辣味溶液的狂蟻數量皆為 0 隻。

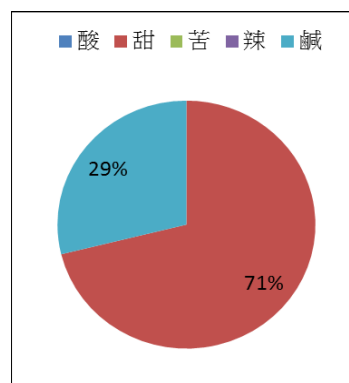
另外觀察【圖二十七】，在司令台狂蟻食用糖水的總隻數為第一高：10 分鐘、20 分鐘、30 分鐘之數量分別為 23 隻、44 隻、81 隻，呈現遞增；加總三個時刻之狂蟻總數和雨豆樹的部分差不多：為 148 隻，較雨豆樹多了 7 隻。食用鹽水的總隻數為第二高：10 分鐘、20 分鐘、30 分鐘之數量分別為 3 隻、15 隻、42 隻，亦呈現遞增；加總三個時刻之狂蟻總數則達到 60 隻，較雨豆樹之鹽水部分多了 46 隻。擇食酸、苦、辣味溶液的狂蟻數量皆為 0 隻。



## 二、 將 30 分鐘內選擇五種味道之狂蟻總數換算為比例之結果



【圖二十八】雨豆樹五種味道之狂蟻數量佔狂蟻總數之比例

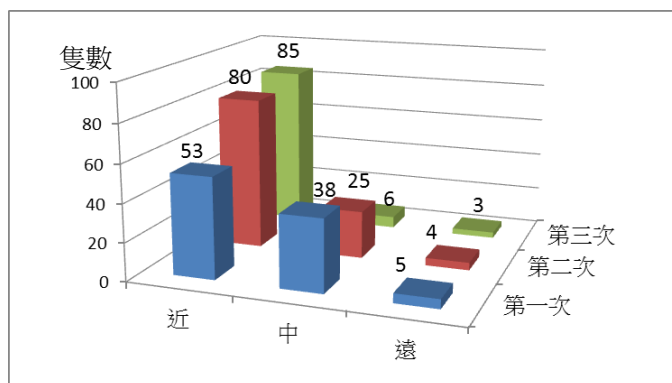


【圖二十九】司令台五種味道之狂蟻數量佔狂蟻總數之比例

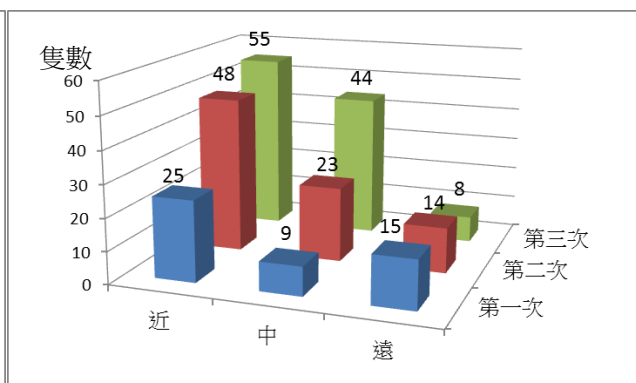
由【圖二十八】及【圖二十九】之比例來看，雨豆樹選擇糖水的狂蟻數量佔總隻數 91%，較司令台的 71% 高；若觀察選擇鹽水的比例，則司令台覓食鹽水的狂蟻比例佔 29%，較雨豆樹的 9% 來的多。

### 【實驗二】驗證最短路徑較易形成最佳化路徑之真實性

一、擺放黏有三條無處理路徑之實驗用三角架於實驗位置，重複三次實驗並加總得一小時內三條路徑上狂蟻總數結果



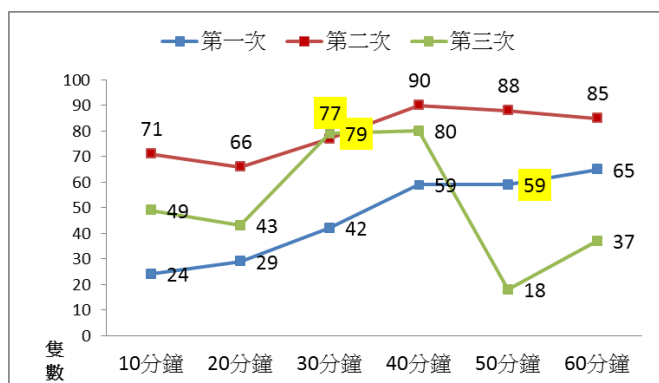
【圖三十】雨豆樹三次實驗中一小時內三條路徑上之狂蟻總數



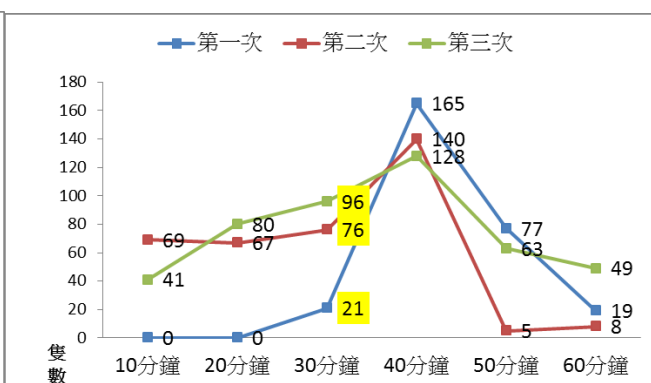
【圖三十一】司令台三次實驗中一小時內三條路徑上之狂蟻總數



二、此三次實驗中砂紙上之狂蟻數量變化結果，並將糖水被吃完的時間點以黃色資料標籤顯示



【圖三十二】雨豆樹之狂蟻  
一小時內之覓食數量變化



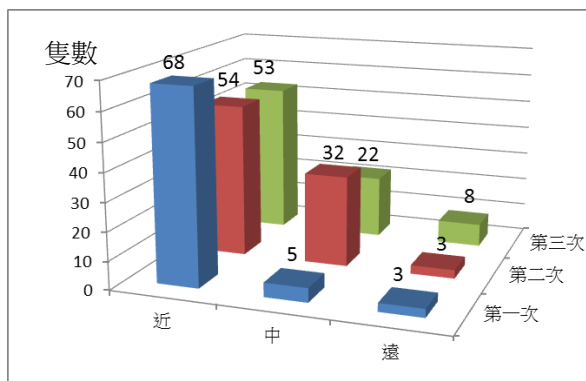
【圖三十三】司令台之狂蟻  
一小時內之覓食數量變化

由【圖三十】及【圖三十一】可以發現不論是雨豆樹還是司令台，大部分距離狂蟻蟻穴出入口最近路徑上的狂蟻數量的確會較另外兩條較遠路徑的數量來的多，並且路徑由近而遠之狂蟻數量呈現遞減。雨豆樹第一次實驗最近路徑有最多狂蟻隻數 53 隻，最遠路徑則相對最少隻數 5 隻；第二次實驗最近路徑有最多狂蟻隻數 80 隻，最遠路徑則有最少隻數 4 隻；第三次實驗最近路徑有最多狂蟻隻數 85 隻，最遠路徑為最少隻數 3 隻。司令台第二次實驗最近路徑有最多狂蟻隻數 48 隻，最遠路徑則相對最少隻數 14 隻；第三次實驗最近路徑有最多狂蟻隻數 55 隻，最遠路徑則為 8 隻。雖然司令台第一次實驗顯示中段路徑有最少狂蟻隻數 9 隻，但比起最遠路徑的 15 隻差距不大，實驗上大致仍為由近而遠呈現遞減趨勢。

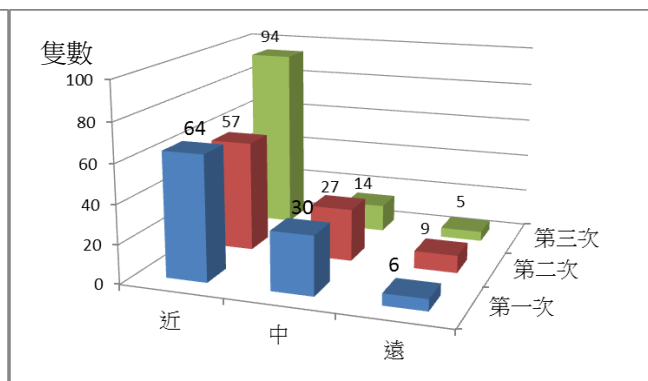
另外由【圖三十二】及【圖三十三】可以發現：雨豆樹及司令台共六次實驗中，每次實驗當糖水被食用完(黃色資料標籤)之下一個紀錄點狂蟻數量會達到最大值。

【實驗三】探討當其他路徑的費洛蒙較強烈時，對狂蟻選擇路徑之影響

一、將〈實驗二〉結果中狂蟻數量最多及最少之兩條路徑交換，重複三次實驗並加總得一小時內三條路徑上狂蟻總數結果

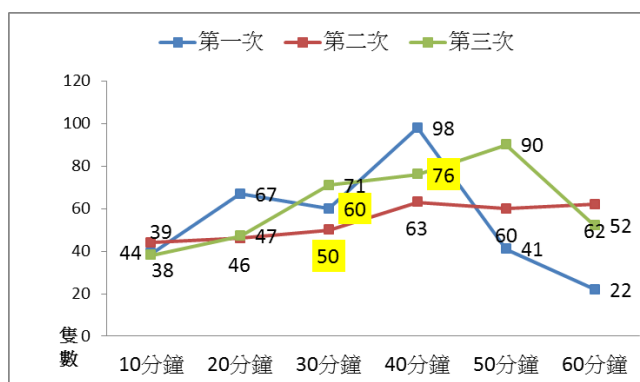


【圖三十四】雨豆樹交換路徑後，三次實驗中一小時內三條路徑上之狂蟻總數

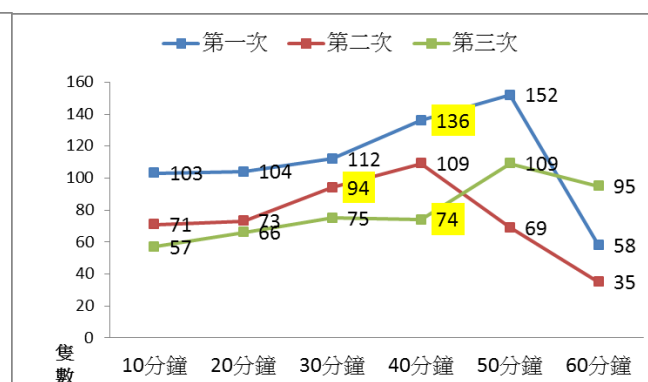


【圖三十五】司令台交換路徑後，三次實驗中一小時內三條路徑上之狂蟻總數

二、此三次實驗中砂紙上之狂蟻數量變化結果，並將糖水被吃完的時間點以黃色資料標籤顯示



【圖三十六】雨豆樹交換路徑後，狂蟻一小時內之覓食數量變化



【圖三十七】司令台交換路徑後，狂蟻一小時內之覓食數量變化

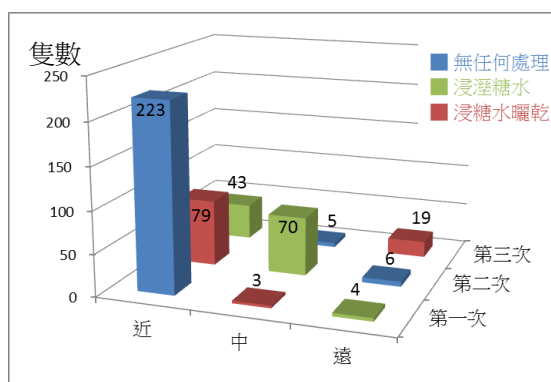
最近路徑有最多狂蟻隻數 68 隻，最遠路徑則相對最少隻數 3 隻；第二次實驗最近路徑有最多狂蟻隻數 54 隻，最遠路徑則有最少隻數 3 隻；第三次實驗最近路徑有最多狂蟻隻數 53 隻，最遠路徑為最少隻數 3 隻。司令台第一次實驗最近路徑有最多狂蟻隻數 64 隻，最遠路徑

則相對最少隻數 6 隻；第二次實驗最近路徑有最多狂蟻隻數 57 隻，最遠路徑則有最少隻數 9 隻；第三次實驗最近路徑有最多狂蟻隻數 94 隻，最遠路徑為最少隻數 5 隻。

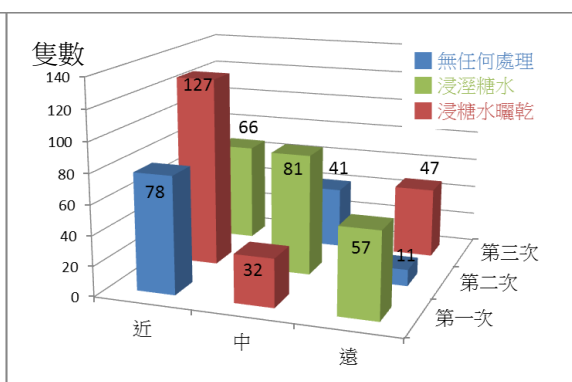
另外由【圖三十六】及【圖三十七】可以發現：雨豆樹及司令台共六次實驗中，每次實驗當糖水被食用完(黃色資料標籤)之下一個紀錄點狂蟻數量會達到最大值。

#### 【實驗四】探討狂蟻傾向選擇何種糖水處理方法之路徑

一、擺放黏有三條不同糖水處理方式路徑之實驗用三角架於實驗位置並交換順序，加總得一小時內三條路徑上狂蟻總數之結果



【圖三十八】雨豆樹不同糖水處理方式路徑之狂蟻數量



【圖三十九】司令台不同糖水處理方式路徑之狂蟻數量

由【圖三十八】及【圖三十九】可以發現最近路徑為浸糖水曬乾處理的第二次實驗中，路徑由近而遠之狂蟻數量呈現遞減：雨豆樹的部分由近而遠分別為浸糖水曬乾路徑 79 隻、浸溼糖水路徑 70 隻、無任何處理路徑 6 隻；司令台的部分由近而遠分別為浸糖水曬乾路徑 127 隻、浸溼糖水路徑 81 隻、無任何處理路徑 11 隻。

另外，中間路徑為浸糖水曬乾處理、最遠路徑為浸溼糖水處理的第一次實驗，以及中間路徑為無任何處理、最遠路徑為浸糖水曬乾處理的第三次實驗中，無論在雨豆樹還是司令台，最近路徑的狂蟻數量最多，中間路徑上之狂蟻數量則少於最遠路徑（如【表 1】），並非隨著路徑由近而遠而數量呈現遞減。

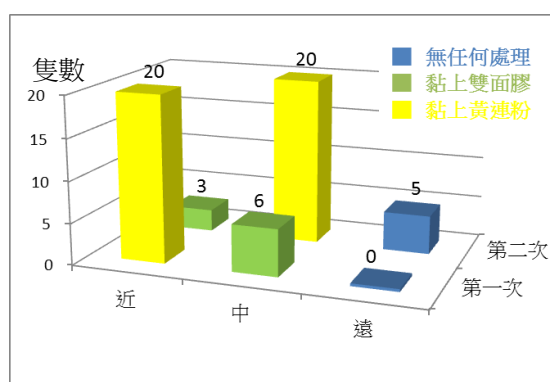
【表 1】雨豆樹及司令台第一次及第三次實驗之各路徑狂蟻數量

雨豆樹	近(無任何處理)	中(浸糖水曬乾)	遠(浸溼糖水)
第一次	223 隻	3 隻	4 隻
雨豆樹	近(浸溼糖水)	中(無任何處理)	遠(浸糖水曬乾)
第三次	43 隻	5 隻	19 隻

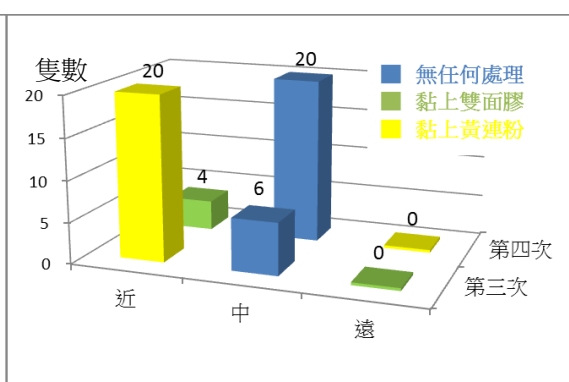
司令台	近(無任何處理)	中(浸糖水曬乾)	遠(浸溼糖水)
第一次	78 隻	32 隻	57 隻
司令台	近(浸溼糖水)	中(無任何處理)	遠(浸糖水曬乾)
第三次	66 隻	41 隻	47 隻

### 【實驗五】探討路徑上出現障礙時，對狂蟻選擇路徑之影響

一、擺放黏有三條不同障礙處理路徑之實驗用三角架於實驗位置並交換順序，當狂蟻建立一條穩定覓食路徑時，紀錄三條路徑被使用之狂蟻數，並分別將四種情況做三次重複實驗的數量做算術平均之結果



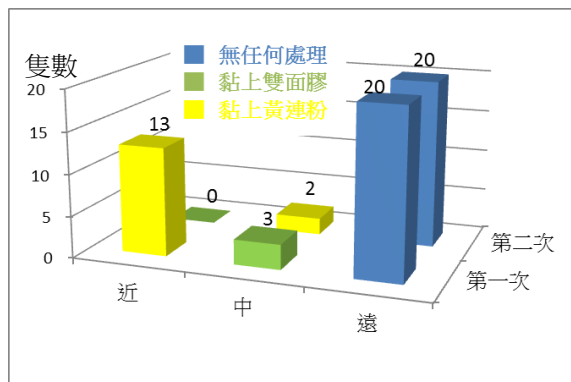
【圖四十】雨豆樹障礙性實驗  
第一次及第二次之狂蟻數量



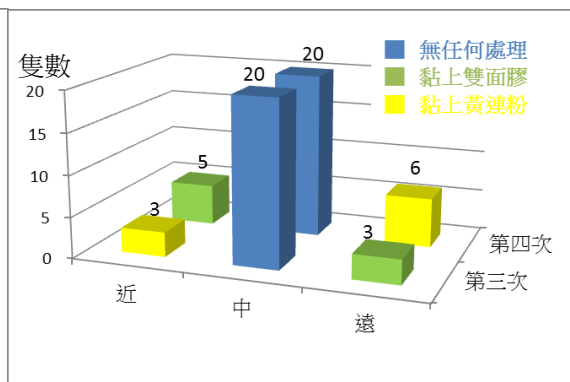
【圖四十一】雨豆樹障礙性實驗  
第三次及第四次之狂蟻數量

由【圖四十】及【圖四十一】可以發現在雨豆樹第一次實驗中由近而遠為黏有黃連粉路徑 20 隻、黏有雙面膠路徑 6 隻、無任何處理路徑 0 隻；第三次實驗中由近而遠為黏有黃連粉路徑 20 隻、無任何處理路徑 6 隻、黏有雙面膠路徑 0 隻。此兩次實驗的最近路徑皆黏有黃連粉，且呈現狂蟻數量隨著路徑由近而遠而遞減的現象。

另外在第二次實驗中由近而遠為黏有雙面膠路徑 3 隻、黏有黃連粉路徑 20 隻、無任何處理路徑 5 隻；第四次實驗中由近而遠為黏有雙面膠路徑 4 隻、無任何處理路徑 20 隻、黏有黃連粉路徑 0 隻。此兩次實驗的最近路徑皆黏有雙面膠，且可見到最先達到 20 隻狂蟻之覓食路徑為中間路徑。



【圖四十二】司令台障礙性實驗  
第一次及第二次之狂蟻數量



【圖四十三】司令台障礙性實驗  
第三次及第四次之狂蟻數量

由【圖四十二】及【圖四十三】可以發現在司令台的四次實驗中，無任何處理之路徑(藍色長條圖)皆最快達到 20 隻狂蟻，建立穩定覓食路徑。

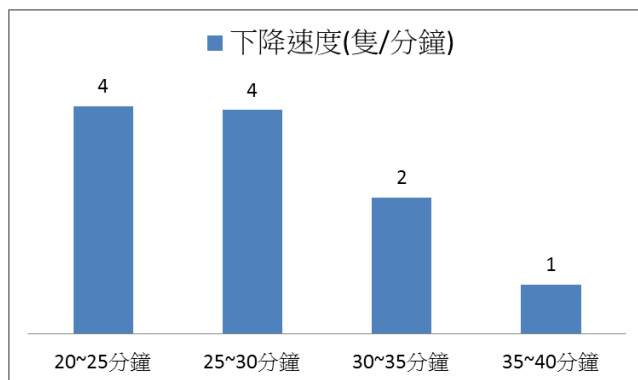
另外比較黏有雙面膠的路徑和黏有黃連粉的路徑，可以發現前者的狂蟻數少於或等於後者（如【表 2】）。

【表 2】司令台障礙性實驗之狂蟻數量結果

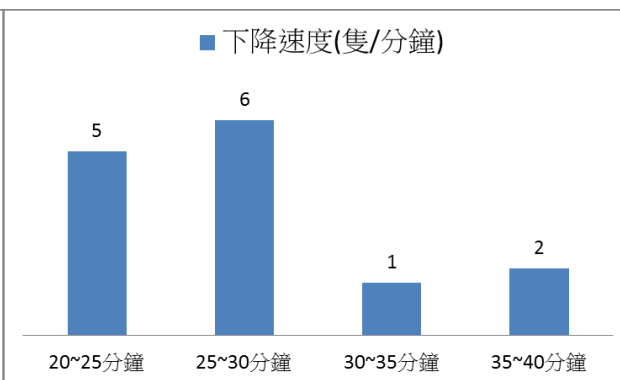
司令台	近(黏有黃連粉)	中(黏有雙面膠)	遠(無任何處理)
第一次	13 隻	3 隻	20 隻
司令台	近(黏有雙面膠)	中(黏有黃連粉)	遠(無任何處理)
第二次	0 隻	2 隻	20 隻
司令台	近(黏有黃連粉)	中(無任何處理)	遠(黏有雙面膠)
第三次	3 隻	20 隻	3 隻
司令台	近(黏有雙面膠)	中(無任何處理)	遠(黏有黃連粉)
第四次	5 隻	20 隻	6 隻

## 【實驗六】測定移除食物源後的狂蟻數量變化及下降速度

一、未吃完：擺放黏有一條無處理路徑之實驗用三角架於實驗位置，20 分鐘時更換新的三腳架並開始五分鐘記錄一次，持續紀錄 20 分鐘，求得三次實驗中每個 5 分鐘區間內的下降速度(隻/分鐘)並將三次實驗之下降速度做算術平均之結果

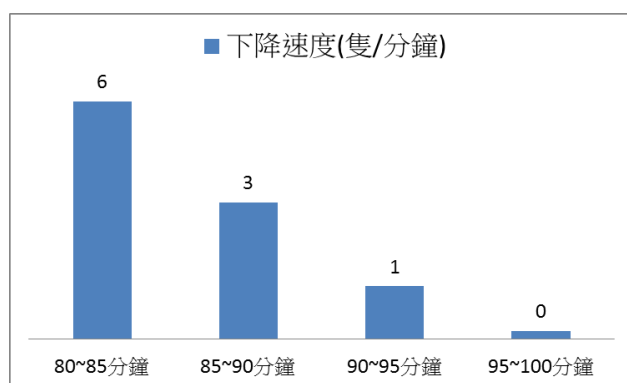


【圖四十四】雨豆樹糖水未吃完時更換之狂蟻數量下降速度

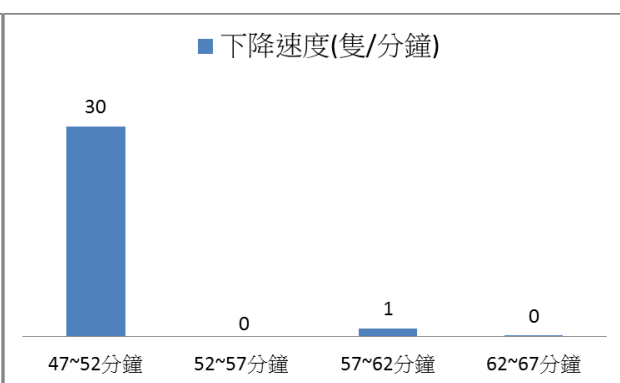


【圖四十五】司令台糖水未被吃完時更換之狂蟻數量下降速度

二、已吃完：擺放黏有一條無處理路徑之實驗用三角架於實驗位置，於糖水已被吃完時更換新的三腳架並開始五分鐘記錄一次，持續紀錄 20 分鐘，求得三次實驗中每個 5 分鐘區間內的下降速度(隻/分鐘)並將三次實驗之下降速度做算術平均之結果



【圖四十六】雨豆樹糖水已吃完時更換之狂蟻數量



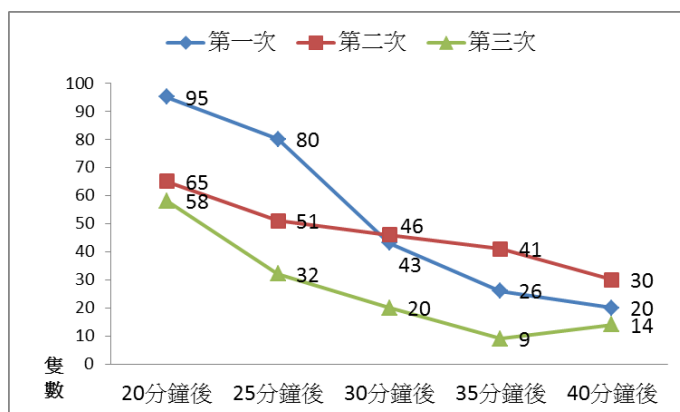
【圖四十七】司令台糖水已吃完時更換之狂蟻數量

比較【圖四十四】、【圖四十六】及比較【圖四十五】、【圖四十七】可以發現無論是雨豆樹還是司令台，在更換實驗用三角架後的第一個五分鐘區間內，已吃完的部分之下降速度會大於未吃完的部分：雨豆樹已吃完組別在 80~85 分鐘區間內的下降速度約為平均每分鐘 6 隻狂蟻，大於未吃完組別在 20~25 分鐘區間內的平均每分鐘 4 隻狂蟻；司令台已吃完組別在 47~52 分鐘區間內的下降速度約為平均每分鐘 30 隻狂蟻，大於未吃完組別在 20~25 分鐘區間內的平均每分鐘 5 隻狂蟻。

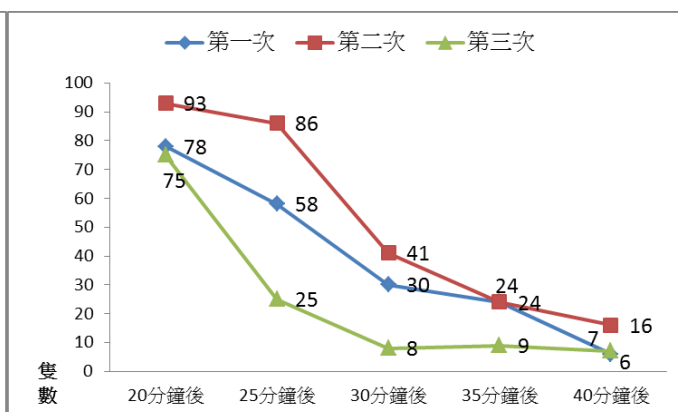
另外司令台未吃完組別及以吃完組別的狂蟻數量在更換後 10 分鐘內之下降速度皆較雨豆樹的快：司令台未吃完組別在 20~25 分鐘、25~30 分鐘兩個區間內之下降速度分別為平均每分鐘 5 隻狂蟻和平均每分鐘 6 隻狂蟻，大於雨豆樹未吃完組別在 20~25 分鐘、25~30 分鐘兩個區間內的平均每分鐘 4 隻狂蟻；司令台已吃完組別在 47~52 分鐘區間內以平均每分鐘 30 隻狂蟻之下降速度陡降，大於雨豆樹已吃完組別在 80~85 分鐘區間內的平均每分鐘 6 隻狂蟻及 85~90 分鐘區間內的平均每分鐘 3 隻狂蟻。

司令台已吃完組別在更換後的第一個 5 分鐘區間內狂蟻數量以平均每分鐘 30 隻的下降速度陡降，之後的 15 分鐘便是平均每分鐘下降 0~1 隻狂蟻的下降速度(如【圖四十七】)，因為此時的狂蟻數量只剩個位數，狂蟻數量幾乎沒有上升或下降。

### 三、未吃完組別三次實驗中，更換裝置後持續記錄 20 分鐘的狂蟻數

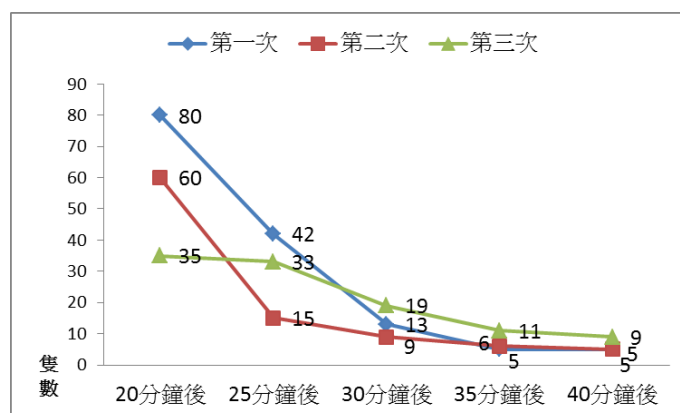


【圖四十八】實驗六雨豆樹未吃完  
更換後 20 分鐘之狂蟻數

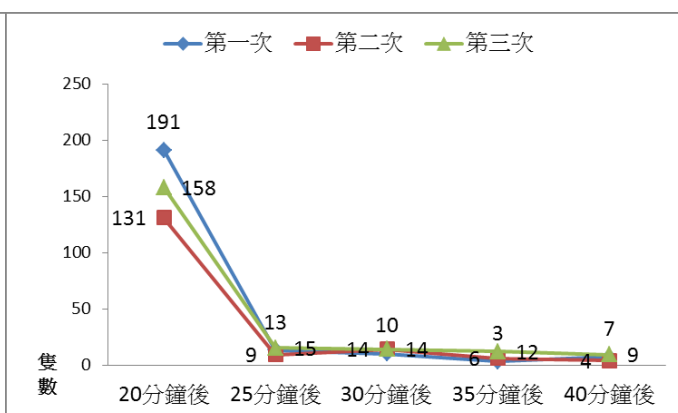


【圖四十九】實驗六司令台未吃完  
更換後 20 分鐘之狂蟻數

### 四、已吃完組別三次實驗中，更換裝置後持續記錄 20 分鐘的狂蟻數



【圖五十】實驗六雨豆樹已吃完  
更換後 20 分鐘之狂蟻數



【圖五十一】實驗六司令台已吃完  
更換後 20 分鐘之狂蟻數



雨豆樹未吃完組減少隻數最多的是第一次實驗：由 20 分鐘時的 95 隻到 40 分鐘時的 20 隻，減少了 75 隻狂蟻；減少隻數最少的是第二次實驗：由 20 分鐘時的 65 隻到 40 分鐘時的 30 隻，減少了 35 隻狂蟻(如【圖四十八】)。

司令台未吃完組減少隻數最多的是第二次實驗：由 20 分鐘時的 93 隻到 40 分鐘時的 16 隻，減少了 77 隻狂蟻；減少隻數最少的是第三次實驗：由 20 分鐘時的 75 隻到 40 分鐘時的 7 隻，減少了 68 隻狂蟻(如【圖四十九】)。

雨豆樹已吃完組減少隻數最多的是第一次實驗：由 95 分鐘時的 80 隻到 115 分鐘時的 5 隻，減少了 75 隻狂蟻；減少隻數最少的是第三次實驗：由 85 分鐘時的 35 隻到 105 分鐘時的 9 隻，減少了 26 隻狂蟻(如【圖五十】)。

司令台已吃完組減少隻數最多的是第一次實驗：由 45 分鐘時的 191 隻到 65 分鐘時的 7 隻，減少了 184 隻狂蟻；減少隻數最少的是第二次實驗：由 30 分鐘時的 131 隻到 50 分鐘時的 4 隻，減少了 127 隻狂蟻(如【圖五十一】)。

另外觀察【圖五十】及【圖五十一】可以發現兩個實驗地點的已吃完組在更換後 20 分鐘，也就是最後一個紀錄點，狂蟻數量都只剩個位數。

## 陸、討論

### 【實驗一】探討狂蟻之味道喜惡

狂蟻主要偏好覓食糖水及鹽水，而且在不同的地點，狂蟻覓食這兩種味道的比例也不盡相同。根據美國古生物學家 Stephen · J · Gould 在發表的研究指出：蔗糖是一種醣類，可代謝成能量，是螞蟻必須攝取的物質，而且易儲存、易消化，因此本實驗推測其為狂蟻食用糖水比例高的原因，而苦味及辣味等具有刺激性的物質則會被狂蟻所避免。

此外，雨豆樹下的狂蟻覓食鹽類物質之比例比司令台的狂蟻還要低，根據 Robert Sanders 在 2008 年之報導指出：美國生態學家發現生活在內陸鹽類缺乏之雜食性及食植性的螞蟻，相較於生活於靠海地區鹽類充足之的螞蟻更傾向於攝取鹽類，因此本實驗推測雨豆樹下的蟻穴，狂蟻可直接攝取昆蟲屍體以取得礦物質，鹽類補充源較豐富，相較之下司令台周遭是牆壁及水泥地板，缺乏礦物質來源，於是選擇食用鹽水之狂蟻比例較多。

本實驗以培養皿為器材，溶液會因地形的些微起伏而流至四處，加上邊緣垂直地面可能



對狂蟻造成爬行上之不易，因此後續實驗將培養皿改成砂紙。

## 【實驗二】驗證最短路徑較易形成最佳化路徑之真實性

不論哪個地點，狂蟻會選擇最短的路線形成最佳化路徑，亦即成為狂蟻最多的路徑；(參 9)中之路徑形成示意圖可以解釋最佳化路徑之形成過程，並也提到最短路徑較易形成最佳化路徑之原因是由於最短路徑往返巢穴與食物源之時間較短，因此同樣時間內可被行走較多次，進而留下較濃之費洛蒙，而這在 Tenya Lewis 於 live science 撰寫研究火蟻(*Wasmannia auropunctata*)之科學報導也有提及類似現象(參十二)。

但是在司令台的第一次實驗中，最近路徑卻不是最多狂蟻經過的路徑：由【表 3】顯示的數據可觀察到，狂蟻在第 60 分鐘時最遠路徑上有最多數量，本實驗推測因為 60 分鐘時距離糖水被吃完的時間點已久，路徑上之費洛蒙已經幾乎全部散失；再加上從糖水被吃完到 60 分鐘時的這段期間狂蟻可能又於其他地方發現食物，最遠路徑卻變成相對最近的路徑，因此接受新的食物訊息之狂蟻便由原本的最遠路徑前往新的食物源，造成最遠路徑上之狂蟻數量最多。

【表 3】實驗二司令台第一次實驗三條路徑之狂蟻數

司令台 第一次	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘	60 分鐘	數量總和
近(10cm)	0 隻	0 隻	4 隻	8 隻	9 隻	4 隻	25 隻
中(20cm)	0 隻	3 隻	0 隻	3 隻	1 隻	2 隻	9 隻
遠(30cm)	0 隻	2 隻	0 隻	2 隻	1 隻	10 隻	15 隻

## 【實驗三】探討當其他路徑的費洛蒙較強烈時，對狂蟻選擇路徑之影響

即使已經調換了路徑，狂蟻還是選擇最短路徑居多，因此本實驗推測地面上之費洛蒙經過移除後，狂蟻又重新開始搜索覓食，經過一段時間後，仍然會找到距離食物源最短，亦即往返時間最快的路徑，並成為穩定路徑，而不再經過原本的路徑了。

又根據 Dwight Moody 教授在 1993 年發表之研究顯示：當原本有費洛蒙的路徑已經沒有狂蟻經過時，數分鐘內費洛蒙會從食物源處開始往巢穴方向急速消失，直到完全沒有氣味，因此較遠路徑之費洛蒙會因為狂蟻不經過而快速蒸散，以致於狂蟻仍會於最近之路徑形成最佳化路徑。

#### 【實驗四】探討路徑經不同糖水處理對狂蟻選擇路徑之影響

結果顯示除了距離長短為優先考慮因素外，在第二選擇上，狂蟻會優先選擇有甜味且濕潤的路徑，其次為有甜味且乾燥的路徑，最後才是無處理的一般路徑，故本實驗推測如果所有路徑距離皆相同，狂蟻會先選擇其偏好的氣味較足夠之路徑。

另外當同樣有經過糖水處理但是一條潮濕、一條乾燥的兩路徑間進行比較，則可發現濕潤路徑上的狂蟻數量又會多於乾燥路徑上的，因此本實驗推論如果路徑是濕潤的，雖然糖水沒有積於路徑表面上，但滲於紙內的糖水仍能夠提供狂蟻少量的取食，進而可利用將糖水儲存於嗉囊以傳遞食物訊息告知同伴，增加狂蟻爬上的機會。

#### 【實驗五】探討路徑上出現障礙時，對狂蟻選擇路徑之影響

結果顯示最短路徑不一定是最多狂蟻經過的路徑，路徑黏性確實會影響狂蟻覓食路徑選擇：本實驗觀察到只要是黏上雙面膠的路徑，比起沒有黏性的路徑，整體數量會少很多：兩個地點共八次實驗中，經雙面膠處理路徑之狂蟻數量範圍為 0~6 隻，較建立穩定路徑標準之 20 隻狂蟻少了 14 隻，因此本實驗推測狂蟻偏好走平滑的路徑勝過有黏性的路徑，並非一定是最短路徑形成最佳化路徑。

此外，兩豆樹下之狂蟻會優先選擇較短的路徑，黃連粉不會造成影響；反之，司令台之狂蟻則優先選擇無處理路徑，而非較短的路徑。本實驗推測兩豆樹下之狂蟻其路徑是以蟻穴出入口為起點，沿著樹幹的一條直線，因此會最先找到最近的路徑；加上雖然路徑上有苦味，但仍然是平滑的，因此會選擇此路徑走的狂蟻居多而建立起穩定覓食路徑。司令台有一部份的狂蟻其覓食路徑分散於周圍地面，距離因素影響較小；又無處理路徑較好走、也較容易到達器材頂端而發現糖水，因此司令台的狂蟻會選擇較好走的路徑並建立穩定覓食路徑，進而留下費洛蒙吸引其他同類前往食物源。

#### 【實驗六】測定移除食物源後的狂蟻數量變化及下降速度

受到驅趕的狂蟻，就算其原有路徑的費洛蒙消失了，還是會照著原來的路徑回到食物源處；根據 Laurel Hamers 在 2016 年發表的研究報告指出：captive black garden ants 在費洛蒙被移除後，還是會產生記憶性而回到原來的食物源處，所以本實驗推測狂蟻具有記憶性。

另外當狂蟻在覓食中因外來影響而食物消失，雖然數量有減少，可是減少的速率較緩和（如【圖四十八】、【圖四十九】），推測有些狂蟻藉由自身儲存一些食物於嗉囊並和其他同伴進

行食物訊息的交換，因此食物訊息的傳遞鏈還能維持一段時間，仍有新的狂蟻前來補充造成其下降速度比起吃完食物更換的組別來的緩和；而當狂蟻吃完食物後交換則數量遽減(如【圖五十】、【圖五十一】)，推測狂蟻已無法和其他同伴交換食物訊息，因此食物訊息傳遞鏈迅速消失，獲得食物訊息前往覓食的狂蟻數遠少於離開的數量，造成下降速度較大，甚至達到平均每分鐘 30 隻狂蟻的下降速度。

## 柒、結論與未來展望

### 一、探討狂蟻之味道喜惡：

- (一) 給予酸甜苦辣鹹五種味道供狂蟻選擇，狂蟻最偏好有甜味的蔗糖溶液，其次為有鹹味的氯化鈉溶液，酸、苦、辣三種味道則為狂蟻不喜好的味道。
- (二) 若狂蟻巢穴附近缺乏鹽類來源，則覓食鹽水的狂蟻比例會較其他鹽類來源充足的巢穴來的高。

### 二、驗證最短路徑較易形成最佳化路徑之真實性：多條無特殊處理的路徑之中，狂蟻會選擇距離巢穴最短的路徑、也就是往返巢穴時間最短的路徑。經過次數最多使得最短路徑會形成最佳化路徑。

### 三、探討當其他路徑的費洛蒙較強烈時，對狂蟻選擇路徑之影響：驅趕狂蟻並抹除地面之費洛蒙後，狂蟻會在最短路徑再次建立最佳化路徑，至於其他路徑上較強烈的費洛蒙則會因為狂蟻不經過而迅速散失。

### 四、探討狂蟻傾向選擇何種糖水處理方法之路徑：狂蟻在路徑的選擇上會以距離巢穴的遠近為主要因素，第二選擇上則偏好有甜味而且濕潤的路徑。

### 五、探討路徑上出現障礙時，對狂蟻選擇路徑之影響：狂蟻在路徑的選擇上除了各路徑距離巢穴的遠近這個因素外，各路徑行走上的難易也是一個重要的影響因素。

### 六、測定移除食物源後的狂蟻數量變化及下降速度：

- (一) 狂蟻具有記憶性，會回到食物源所在處。
- (二) 更換新的無糖水實驗用三角架後，原先更換前糖水的吃完與否會影響食物訊息傳遞鏈的維持時間，進而影響狂蟻數量的下降速度。

本實驗發現狂蟻會選擇往返時間最短、距離巢穴最近、溼潤而有甜味又好走的路徑形成最佳化路徑。希望未來可以設計誘捕器材，利用螞蟻喜歡濕潤有甜味的路徑的特性，將室內蟻群誘導至戶外覓食，也可以在食物周圍擺放螞蟻討厭或使其爬行困難的東西，減少食物暴露在外會引來螞蟻的困擾。另外，其他群體性生物例如蜜蜂在覓食路徑的選擇上是否也有類似現象，則有待他人後續加以研究。

## 捌、參考資料及其他

### 一、中文部分

- (一) 黃裕星(2009) • 福山地區螞蟻監測及鑑定指南(初版) • 臺北：行政院農業委員會林業試驗所。
- (二) 侯修煒 • 《螞蟻的家》 • 取自 <http://www.ant-home.idv.tw/888/a-2/a2-01.htm>
- (三) 林宗岐(2010) • 家屋螞蟻覓食記 • 科學人 • 取自 <http://news.sina.com.tw/magazine/article/5191.html>
- (四) 張致瑋、劉廷恩、吳承澤(2012) • 食在驚人－樹居舉尾蟻之覓食策略 • 中華民國第 52 屆中小學科學展覽會作品說明書 • 指導老師：吳曙序。
- (五) 沈威宏、王昱揚、張鈺紳(2012) • 螞步停蹄蟻兵止步 • 中華民國第 52 屆中小學科學展覽會作品說明書 • 指導老師：黃伶莉。
- (六) 徐子惠、羅佩文、蔡宛儒(2008) • 不同糖對小黃家蟻吸引程度之探討 • 全國高級中等學校小論文特優作品

### 二、英文部分

- (七) Li, L., Peng, H., Kurths, J., Yang, Y., Schellnhuber, H.J. (2014): Chaos-order transition in foraging behavior of ants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Early Edition. Retrieved April 24, 2014, from <http://www.pnas.org/content/111/23/8392>
- (八) Penny Whitehouse(2011). The Ant Experiment . Mother Nature : Connecting Kids with Nature . From <http://mothernatured.com/2011/11/28/cement-savengers-the-ant-experiment/>
- (九) How ants find food ? Mute. From <http://mute-net.sourceforge.net/howAnts.shtml>
- (十) Stephen J Gould(2013) . *Tapinoma sessile* and its Preference for Sour, Sweet, Bitter, and Salty

Solutions . From

[http://www.unbc.ca/sites/default/files/assets/centre\\_for\\_teaching\\_and\\_learning/docs/practice\\_marking\\_85\\_95\\_paper\\_no\\_comments.pdf](http://www.unbc.ca/sites/default/files/assets/centre_for_teaching_and_learning/docs/practice_marking_85_95_paper_no_comments.pdf)

(十一) Robert Sanders , Media Relations (2008) : Inland ants prefer salty snacks to sweet.UC

Berkeley News. Retrieved October 27 , 2008 , from

[http://www.berkeley.edu/news/media/releases/2008/10/27\\_salt.shtml](http://www.berkeley.edu/news/media/releases/2008/10/27_salt.shtml)

(十二) Tanya Lewis(2013).Ants 'Use Math' to Find Fastest.livescience.Retrieved April 17, 2013,

from <http://www.livescience.com/28795-ants-find-fastest-route-using-math.html>

(十三) Dwight Moody(1993).A Field Study of the Ant Trail Phenomenon.Division of Natural

Science, 99-104,from <http://ableweb.org/volumes/vol-5/7-moody.pdf>

(十四) Taryn Nye, Laura Broseke, Sai Yan Chu, Elizabeth Gerber.Ant Behavior(2002): Which Path Do They Prefer? Natural System 1,from

<http://marineecology.wcp.muohio.edu/ns1fall02/cummins/morning/ants/web/antbehavior.html>

(十五) Laurel Hamers(2016).When chemical cues disappear, ants rely on memory .Science .

Retrieved January 15 , 2016 , from

<http://www.sciencemag.org/news/2016/01/when-chemical-cues-disappear-ants-rely-memory>

(十六) Yael Provecho , Roxana Josens (2009) : Olfactory memory established during trophallaxis

affects food search behaviour in ants .The Journal of Experimental Biology, 212, 3221-3227.

Retrieved July 14,2009, from <http://jeb.biologists.org/content/jexbio/212/20/3221.full.pdf>

(十七) Roxana Josens , Claire Eschbach, Martin Giurfa(2009) : Differential conditioning and

long-term olfactory memory in individual Camponotus fellah ants . The Journal of

Experimental Biology, 212, 1904-1911. Retrieved March 23, 2009, from

<http://jeb.biologists.org/content/212/12/1904.full.pdf>