

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

081545

螞蟻領航員

學校名稱：桃園縣桃園市中埔國民小學

作者：	指導老師：
小五 陳政文	陳曼莉
小五 吳思穎	
小五 陳鈺文	
小五 林儀嫻	
小五 邱芸茜	
小五 吳倍瑜	

關鍵詞：螞蟻 費洛蒙 嗅覺

摘 要

螞蟻不受各種人爲的聲音及環境中的顏色所影響，可以在看不見食物的環境中找到砂糖，顯示視覺並非是找食物的主要能力。

螞蟻受到了砂糖香味的吸引，故往砂糖方向搜尋，味道愈濃，螞蟻受到的方向指引愈明確，所花費的時間愈少，因此我們推測，螞蟻主要是以嗅覺找尋食物。

螞蟻留下費洛蒙訊息，似乎無方向的指示性，螞蟻可能無法辨別食物在路徑的哪一端，發現有食物費洛蒙訊息，便往前走，走到盡頭沒發現食物，部分的螞蟻會做搜尋，搜尋範圍大約是半徑 2cm，部分螞蟻則在路徑中來回的走，顯示出螞蟻的食物費洛蒙無方指示作用。費洛蒙訊息，寬度範圍大約是 0.4cm 左右，大約可保留 12 分鐘左右，27 分鐘以後，費洛蒙的訊息完全消失。

壹、研究動機：

在自然與生活科技的課程中，老師談到了有趣的螞蟻社會行爲，尤其課本裡的那個螞蟻行進路徑的實驗，更令我好奇，因為常看見一大群螞蟻在搬東西，而且還是排隊的照著原的路線走，老師說螞蟻是憑著費洛蒙的氣味傳遞訊息。我試著靠近螞蟻走過的地方聞聞看，可是發現一點氣味也沒有，真的有費洛蒙的存在嗎？我們存著懷疑的心，對螞蟻如何找食物及螞蟻行進的路線做一些測試。

貳、研究目的：

- (一)觀察螞蟻是利用哪種感官找尋食物。
- (二)研究證明螞蟻在傳遞食物訊息時，利用費洛蒙來傳遞訊息給其他螞蟻。
- (三)分析螞蟻傳遞食物訊息時，分泌的費洛蒙的特性。

參、研究設備及材料：

筷子、玻璃杯、直笛、大鼓、鳥鳴器、鴿子哨子、超高頻率驅鼠器、石頭、各色書面紙、2000P 厚紙板、砂糖、明星花露水、70%酒精、30%氨水、新鮮青草汁、新鮮柳橙汁、新鮮甘蔗汁、蘋果汁、殺蟲劑、松香水、樟腦油、保特瓶、攝影機、數位照相機、臺燈、放大鏡等。

螞蟻：

肆、文獻探討

目前全世界已命名的螞蟻計達九千多種，不過據估計應有兩萬種以上的螞蟻生活在地球上。一般昆蟲在外型上可區分為頭、胸、腹部三個部分，但螞蟻則在胸腹間多了一或二節鎰縮的腰部，這也是區分螞蟻和其他昆蟲的最簡單方法。

螞蟻似乎什麼都吃，牠的食物就是地球上所有可吃的東西，專門吃種子的收割蟻，吃真菌的切葉蟻，都是吃素的螞蟻，而恐怖的軍蟻和針蟻則是吃肉的肉食主義者，在家裡常見的家蟻，則是來者不拒的雜食者，偶爾一不小心在桌面上撒出了砂糖，頃刻間螞蟻就可能出現一大群。在「螞蟻、螞蟻、讓我看你」的研究中發現(黃亮寬等，2002)，使用牛奶餅乾、糖、塩、雞肉及昆蟲屍體，較能吸引校園中的螞蟻，尤其是肉類最佳。經由我們的測試，使用生豬肉及生雞肉來吸引螞蟻，螞蟻的確很快就出現，但缺點是常吸引其他的蠅類昆蟲來，如果使用牛奶餅乾，則發現麻雀和白頭翁會把餅乾吃掉，使用砂糖也能快速吸引螞蟻，而且不會吸引其他的蠅類昆蟲及鳥類的問題。

螞蟻擅常使用化學物質—費洛蒙來傳遞訊息(Bert Holldobler,1994)，牠們會分泌這種化學物質形成氣味痕跡，並配合一種特殊身體動作，所以施放痕跡的螞蟻碰到同伴時，可能會進行一小段舞蹈，或是碰觸對方的觸角。螞蟻腹部末端的肛門附有兩個腺體，化學物質便由其中之一所分泌。當螞蟻找到食物時，牠會一邊奔回巢裡，一邊從這兩個分泌腺源之一分泌出化學物質，並留下一道痕跡，其他的螞蟻則循著痕跡前往新發現食物的地點。不過人類

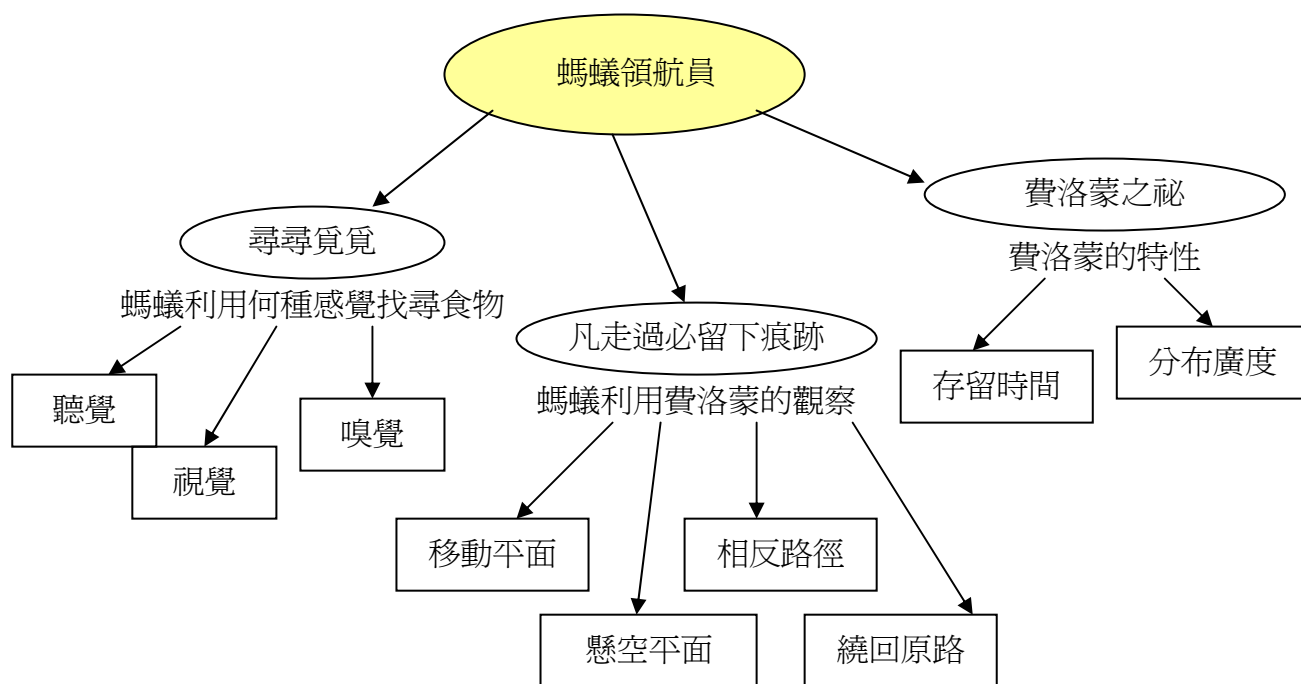
生理上的限制，無法辨視這種氣味。

大多數的螞蟻種類也會藉由聲音來溝通(Bert Holldobler,1994)，牠們腰部上的一片橫向摩擦器與相鄰腹部表面洗衣皮狀精細平行脊板相互摩擦，製造出一種高頻吱吱聲，但人耳幾乎聽不到這種信號。

本實驗觀察的對象是小黃家蟻(法老蟻/Pharaoh ant) 家蟻亞科 MYRMICINAE 單家蟻屬 *Monomorium*，小黃家蟻是目前眾所皆知分布全球各地的重要家屋螞蟻，分布於只要有人類居住的地方，並且隨人類的開發而更加拓展，成為已知螞蟻中分布最廣的種類。小黃家蟻喜歡溫暖潮濕的居家環境，廚房、浴室中家電用品的空隙是她們最佳的選擇。調查本校小黃家蟻的分布位置，發現校園裡的榕樹下、垃圾場、圍牆邊、走廊、教室裡等地點，有都牠們的蹤跡。



伍、研究構念圖



陸、研究方法：

一、螞蟻主要以什麼感覺找到食物？

研究問題：針對螞蟻的聽覺、視覺、嗅覺來分別了解螞蟻是以哪種感覺找到食物。

(一)螞蟻對砂糖的反應

實驗地點：戶外(榕樹下、圍牆邊)及室內(教室牆邊、走廊邊)等四個觀察點。



榕樹下



走廊邊



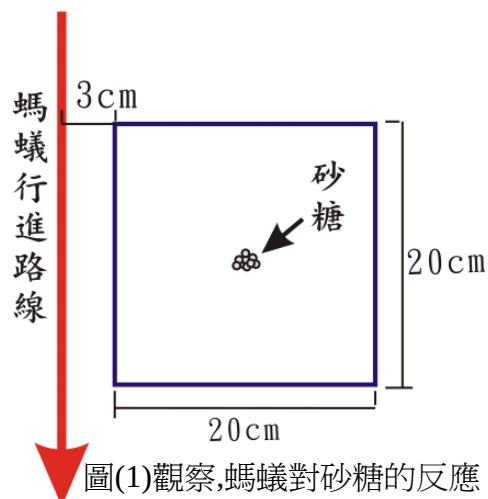
教室牆邊



圍牆邊

(一)螞蟻對砂糖的反應

1. 待觀察地點有螞蟻出現成一排前進時，在距離螞蟻行徑路線的側邊 3cm 處，平鋪一 20cm×20cm 的白色書面紙(目的是便於在多次實驗時，避免螞蟻可能在地上留下氣味影響實驗觀察)，中央放 1g 的砂糖，觀察螞蟻發現砂糖的過程。(圖 1)
2. 在不傷害螞蟻的情況下，將砂糖及白色書面紙移走，紙上及砂糖上的螞蟻用毛筆撥下來，放在原地，觀察螞蟻的反應。



結果：

地 點 \ 觀 察	第 1 隻螞蟻到 達砂糖的時間	螞蟻發現砂糖的反應	取走白色書面紙及砂糖後 螞蟻的反應
榕樹下	3'14"	一開始有 1 隻螞蟻離開隊伍，這隻螞蟻在發現砂糖後，往回走回隊伍，而且不再往砂糖方向前進，直接往原隊伍前進的反方向走，而隊伍中陸續有螞蟻往砂糖方向前進。	被毛筆撥下來的螞蟻四處亂走，甚至往隊伍的反方向走，速度比一般的螞蟻快，最後都會走回原隊伍，不過有的會隨著隊伍走，有的會往反方向走。
圍牆邊	3'21"	陸續有 3 隻螞蟻離開隊伍，第 1 隻螞蟻發現砂糖後，往回走回隊伍的半路上便碰到第 2 隻螞蟻，2 隻螞蟻均往回走，碰到第 3 隻螞蟻時，第 3 隻螞蟻往砂糖	被毛筆撥下來的螞蟻四處亂走，甚至往隊伍的反方向走，速度比一般的螞蟻快，最後都會走回原隊伍，不過有的會隨著隊伍走，有的會

地 點 \ 觀 察	第 1 隻螞蟻到達砂糖的時間	螞蟻發現砂糖的反應	取走白色書面紙及砂糖後螞蟻的反應
		方向前進，第 1、2 隻螞蟻回到隊伍，直接往原隊伍前進的反方向走，而隊伍中陸續有螞蟻往砂糖方向前進。	往反方向走。
教室牆邊	2'47"	一開始有 2 隻螞蟻離開隊伍，這 2 隻螞蟻在發現砂糖後，1 隻留在砂糖的位置，1 隻往回走回隊伍，而且不再往砂糖方向前進，直接往原隊伍前進的反方向走，而隊伍中陸續有螞蟻往砂糖方向前進。	被毛筆撥下來的螞蟻四處亂走，甚至往隊伍的反方向走，速度比一般的螞蟻快，最後都會走回原隊伍，不過有的會隨著隊伍走，有的會往反方向走。
走廊邊	3'06"	陸續有 4 隻螞蟻離開隊伍，4 隻螞蟻幾乎同發現砂糖，1 隻往回走回隊伍，而且不再往砂糖方向前進，直接往原隊伍前進的反方向走，而隊伍中陸續有螞蟻往砂糖方向前進。	被毛筆撥下來的螞蟻四處亂走，甚至往隊伍的反方向走，速度比一般的螞蟻快，最後都會走回原隊伍，不過有的會隨著隊伍走，有的會往反方向走。

發現：

- (1)螞蟻在四個觀察點均能順利發現砂糖，所花費的時間並無明顯差異。
- (2)放置砂糖後，一開始有 1-5 隻螞蟻離開隊伍，以近乎直線式的往砂糖方向前進，在 4 分鐘內，四個觀察點均有螞蟻出現。
- (3)將白色書面紙及砂糖拿走，使用毛筆輕撥砂糖上的螞蟻，讓螞蟻留在原地，發現螞蟻一開始往四面八方亂跑，但在 10 分鐘內，這些螞蟻皆回到原有的隊伍裡。

(二)人爲的聲音是否會影響螞蟻的行爲？

人爲的聲音：筷子敲擊玻璃、石頭互敲、吹直笛、敲鼓聲、鳥叫聲、鴿子哨音、超高頻率驅鼠器等 7 種聲音(圖 2)。

- 1.待觀察地點有螞蟻出現成一排前進時，發出各種測試的聲音，每種聲音發出的時間 30 秒，音量由小至大變化，聲音最大超過 100 分貝以上(圖 3)，觀察螞蟻的反應。
- 2.在距離螞蟻行徑路線的側邊 20cm 處，放置 1g 的砂



(圖 3)使用環境模式測量音量大小

糖，等到有 1 隻螞蟻開始改變原來的路線來吃砂糖時，依上列步驟發出聲音，觀察螞蟻的反應。

3. 在步驟 2 實驗結束後，等待砂糖周圍的螞蟻數超過 10 隻時，依上列步驟發出聲音，觀察螞蟻的反應。



圖(2)人爲的聲音是否會影響螞蟻的行爲

結果：

(一)地點：走廊邊

發聲時機 聲音種類	螞蟻成排前進時 (無砂糖)	第一隻螞蟻發現 砂糖時	10 隻以上的螞蟻 在砂糖周圍時
筷子敲擊玻璃	×	×	×
石頭互敲	×	×	×
吹直笛	×	×	×
敲鼓聲	×	×	×
鳥叫聲	×	×	×
鴿子哨音	×	×	×
超高頻率驅鼠器	×	×	×

○：螞蟻受到干擾 ×：螞蟻沒有明顯反應

(二)地點二：圍牆邊、教室牆邊、榕樹下的觀察結果與走廊邊相同。

發現：

- (1) 在「平時螞蟻行進時」、「螞蟻開始發現砂糖時」及「10 隻以上的螞蟻搬運砂糖時」，發出人爲的各種聲音，螞蟻的行爲沒有任何明顯的改變。
- (2) 我們推測螞蟻不受到人爲的聲音所影響，螞蟻找到食物主要並非是靠聽覺。

(3)由結果顯示四個不同的觀測點的螞蟻，在人為聲音的反應及尋找砂糖的時間上並無明顯的差異，故以下實驗以走廊邊的螞蟻為研究對象。

經由我們初步的觀察，發現螞蟻出現的時間並不一定，而且通常螞蟻出現的地方，並非理想的實驗場所，除了人的干擾外，陽光照射角度的變化、風力造成實驗器材的位移等也會影響我們實驗，因此我們模擬環境製作一個飼養箱，營造適合螞蟻築巢的環境(圖 4)，花了 3 個月的時間，吸引螞蟻來築巢，以利我們進行觀察與實驗。



模擬環境飼養箱



螞蟻的巢



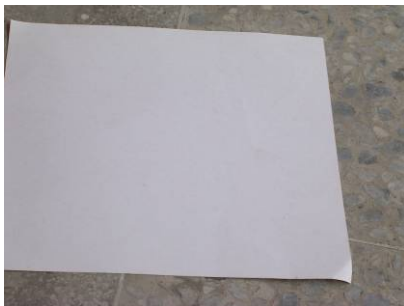
進行觀察與實驗的場所

(圖 4) 模擬環境飼養箱，吸引螞蟻來築巢，以利我們進行觀察與實驗

(三) 螞蟻是否利用視覺來尋找食物？

1. 不同顏色與線條的環境

- (1)以走廊的螞蟻為觀察點，鋪白色書面紙，在白色書面紙的中央放置 1g 砂糖，測量第一隻螞蟻到達砂糖的時間，同前步驟觀測三次求其平均時間。
- (2)更換紅、藍、綠、黑等四色的書面紙，測量螞蟻到達砂糖的時間(圖 6)。
- (3)更換成白紅、紅綠、綠藍、藍黑、黑白等五種雙色線條的書面紙，觀測螞蟻到達砂糖的時間及行進路線的異同(圖 7)。



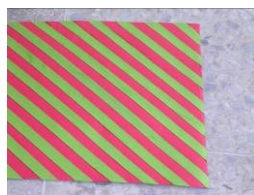
圖(5)使用白色書面紙為底色，觀察螞蟻的反應。



圖(6)使用紅色、綠色書面紙為底色，中央放砂糖，觀察螞蟻的反應。



白紅線條



紅綠線條



綠藍線條



藍黑線條



黑白線條

圖(7) 以雙色線條的書面紙，觀測螞蟻到達砂糖的時間及行進路線的異同。

結果

(一)不同顏色的環境

書面紙 次數 \ 時間	無糖組	白色	紅色	藍色	綠色	黑色
第一次	--	3'15"	2'47"	3'41"	2'59"	2'28"
第二次	--	2'58"	3'04"	3'11"	3'23"	3'33"
第三次	--	3'29"	3'38"	3'00"	3'45"	3'18"
平均	--	3'14"	3'10"	3'17"	3'22"	3'06"

發現：

- (1)除無糖組外，其餘各組均有螞蟻找到砂糖。
- (2)由各組所觀測的時間分析，各顏色組的時間並沒有明顯的差異，我們推測，螞蟻尋找砂糖的能力，並不受到顏色所影響。

(二)不同顏色線條的環境

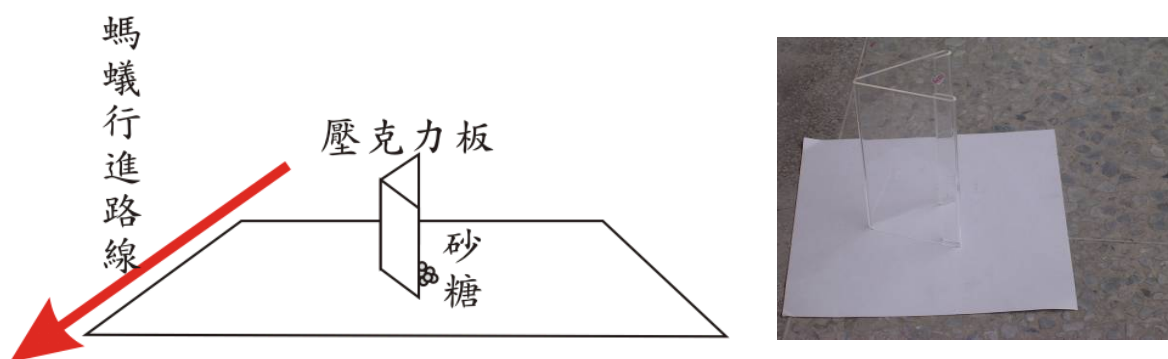
書面紙 次數 \ 時間	無糖組	白紅 線條	紅綠 線條	綠藍 線條	藍黑 線條	黑白 線條
第一次	--	3'42"	3'51"	3'27"	2'40"	3'52"
第二次	--	3'02"	2'57"	3'11"	3'46"	3'18"
第三次	--	3'29"	3'45"	3'38"	3'14"	3'01"
平均	--	3'24"	3'31"	3'22"	3'13"	3'24"

發現：

- (1)除無糖組外，其餘各組均有螞蟻找到砂糖。
- (2)螞蟻在各雙色線條書面紙的行徑路線，都以近直線的路徑往返，並無沿著某種顏色行進的跡象。
- (3)由各雙色線條書面紙所觀測的時間分析，各組的時間並沒有明顯的差異，我們推測，螞蟻尋找砂糖的能力，並不受到顏色所影響，亦無沿著特定顏色行進的現象。

2. 看不見的食物

- (1)以走廊的螞蟻為觀察點，在書面紙中央，豎立一透明壓克力三角牌板 (7cm×6cm×13cm)，觀察螞蟻的反應(圖 8)。
- (2)換上新的白色書面紙及透明壓克力板後，在透明壓克力板正後方 3cm 處放置 1g 的砂糖，測量第一隻螞蟻到達砂糖的時間。
- (3)分別以紅、藍、綠、黑等四色色紙改變壓克力的顏色，同(2)的步驟測量第一隻螞蟻到達砂糖的時間。



圖(8)在書面紙中央，豎立一透明壓克力三角牌板，觀察螞蟻的反應

結果

壓克力板 次 數 時 間	無糖組	無壓克力板組	透明板	紅色板	藍色板	綠色板	黑色板
第一次	--	3'15"	6'44"	5'55"	6'21"	6'39"	5'31"
第二次	--	2'58"	6'31"	6'33"	6'02"	6'42"	6'46"
第三次	--	3'29"	5'59"	6'47"	6'41"	6'03"	6'19"
平 均	--	3'14"	6'25"	6'25"	6'21"	6'28"	6'12"

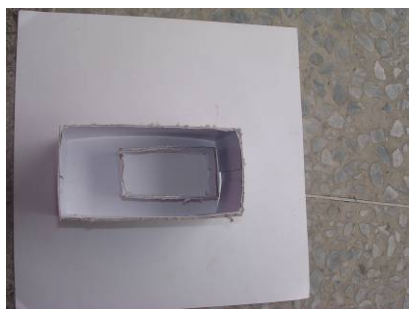
發現：

- (1)除了無糖組沒有螞蟻到壓克力板後方外，其餘都各組都有螞蟻找到砂糖，表示螞蟻找到砂糖，主要並非是靠視覺。
- (2)有壓克力板組與無壓克力板組比較起來，第一隻螞蟻找到砂糖所花費的時間較多，我們推測，可能是壓克力板阻擋了直線路徑，螞蟻必須繞遠路。
- (3)此次實驗另一個發現，各組實驗所測得的時間並無明顯差異，這表示，螞蟻並無所謂的精熟學習，也就是並沒有從這一連串的實驗中，學習到找砂糖的經驗，找尋砂糖的方式沒有改變。

3. 光影與黑暗

(1) 黑暗的環境

- a. 以走廊的螞蟻為觀察點，平鋪一 20cm×20cm 的白色書面紙。在白色書面紙的中央放置 1g 砂糖，外面放置一無底無蓋的小盒(6cm×3cm×2cm)，靠近螞蟻的側邊開一小洞(0.5cm×0.5cm)，以利螞蟻進入，小盒外放置一無底無蓋的大盒(10cm×5cm×5cm)，在大盒靠近螞蟻的側邊開一小洞(1cm×1cm)，以利螞蟻進入，觀察螞蟻是否找到砂糖(圖 9)。
- b. 同上一步驟，將大小盒改為長方體無底有蓋小盒及長方體無底有蓋大盒，使盒內的砂糖處於黑暗的狀態，觀察螞蟻是否找到砂糖(圖 10)。



圖(9)使用無蓋盒子觀察螞蟻的反應。



圖(10)黑暗的環境實驗使用的紙盒模型。

(2)光影交錯的環境

- 同上一黑暗環境的實驗，盒內產生明顯的光影交錯的情形，測量第一隻螞蟻到達砂糖的時間。
- 同 a. 的步驟，將頂面的細縫改為縱向細縫及斜向細縫，改變盒內光影交錯的情形(圖 11)。



橫向光影交錯



直向光影交錯



斜向光影交錯

圖(11)光影交錯中，螞蟻是否能找到砂糖？

結果：

盒子結構 次 數 時 間	光亮組	黑暗中	橫向光 影交錯	縱向光 影交錯	斜向光 影交錯
第一次	8'12"	○	8'01"	7'56"	8'14"
第二次	7,41"	○	7'44"	7'12"	8'37"
第三次	7'53"	○	8'04"	8'29"	7'27"
平 均	7'55"	○	7'56"	7'49"	8'06"

○：螞蟻在黑暗中找到砂糖 ✕：螞蟻在黑暗中沒有找到砂糖

發現：

- 螞蟻在黑暗及光影交錯的環境中，均能順利找到砂糖，找到砂糖的時間與上一個實驗一看不見的食物結果相似。
- 能在黑暗的環境中利用視覺找到食物，表示螞蟻的視覺可能非常敏銳，但能在光影交錯、明暗對比明顯的環境下，發現砂糖的位置，而且與無任何光影

影響的情況相同，這表示螞蟻可能不是利用視覺找到食物，而是利用另一種非視覺性的尋找方式，因此我們推測，螞蟻能找到砂糖，並非是靠視覺。

(四) 螞蟻是否利用嗅覺來尋找食物？

1. 砂糖的氣味

- (1) 以走廊的螞蟻為觀察點，觀測第一隻螞蟻到達砂糖的時間，同前步驟觀測三次求其平均時間。
- (2) 同上步驟，將砂糖改為完全密封在小透明盒子裡(圖 12)、潮解的砂糖(圖 13)、熔化成液態糖(圖 14，砂糖熔化後滴在實驗位置後，讓砂糖自然凝固不再加熱)等三種方式，使砂糖揮發出來的氣味程度不同，觀測第一隻螞蟻到達砂糖的時間。



圖(12)砂糖密封在透明盒子裡



圖(13)潮解的砂糖(重拍)



圖(14)熔化砂糖，糖的氣味變的非常濃郁(重拍)

結果

	砂糖	熔化的砂糖	潮解的砂糖	密封的砂糖
第一次	3'15"	1'58"	2'35"	--
第二次	2'58"	1'29"	2'49"	--
第三次	3'29"	1'48"	2'55"	--
平均	3'14"	1'45"	2'46"	--

發現：

- (1) 熔化的砂糖，最能吸引螞蟻，其次是潮解的砂糖，而完全密封的砂糖沒有吸引螞蟻靠近。
- (2) 熔化的砂糖，發出很濃郁的糖香味，熔化的砂糖溫度較高，比一般常溫下的砂糖易昇華；潮解的砂糖，由於含水量較多，比一般砂糖易揮發含糖氣味的水氣。螞蟻受到了砂糖香味的吸引，故往砂糖方向搜尋，味道愈濃，螞蟻受到的方向指引愈明確，所花費的時間愈少，因此我們推測，螞蟻主要是以嗅覺找尋食物。

2. 其他氣味的影響

- (1) 將水及香水(明星花露水)、70%酒精、30%氨水、新鮮青草汁、新鮮柳橙汁、新鮮甘蔗汁、蘋果汁、殺蟲劑、松香水、樟腦油等日常生活中會揮發出濃郁氣味的物質(水為對照組)，滴 5ml 在棉球上，觀察螞蟻的行為在 8 分鐘內是否會受

到影響。

(2)以上列(1)中實驗結果對螞蟻沒有影響的液體為測試物質，在距離螞蟻行徑路線的側邊 3cm 處，平鋪一 20cm×20cm 的白色書面紙，在白色書面紙的中央放置 1g 砂糖時，順便在旁邊 2cm 處(遠離螞蟻側)放入一個沾有 3ml 液體的棉球，以干擾糖水的氣味，觀測第一隻螞蟻到達砂糖的時間，同前步驟觀測三次求其平均時間(圖 15)。



圖(15)其他的的氣味是否會影響螞蟻尋找砂糖

結果：

(1)單獨液體對螞蟻的影響

液體	水	香水	70%酒精	30%氨水	新鮮青草汁	新鮮柳橙汁	新鮮甘蔗汁	蘋果汁	殺蟲劑	松香水	樟腦油
結果	×	×	×	×	×	○	○	○	×	×	×

○：表示螞蟻被吸引 ▲：表示螞蟻隊伍呈現不穩定 ×：表示沒有反應

(2)液體+砂糖對螞蟻的影響

	砂糖	水+砂糖	香水+砂糖	酒精+砂糖	氨水+砂糖	青草汁+砂糖	殺蟲劑+砂糖	松香水+砂糖	樟腦油+砂糖
第一次	3'15"	3'25"	5'55"	4'42"	5'31"	3'58"	10'41"	11'56"	12'51"
第二次	2'58"	2'47"	4'27"	4'13"	5'49"	4'26"	11'21"	10'26"	10'43"
第三次	3'29"	3'11"	5'34"	3'58"	5'10"	4'57"	10'01"	12'12"	10'47"
平均	3'14"	3'08"	5'19"	4'18"	5'30"	4'27"	10'41"	11'31"	11'27"

發現：

(1)將水及香水、70%酒精、30%氨水、新鮮青草汁、殺蟲劑、松香水、樟腦油等液體所產生的氣味，在距離螞蟻隊伍 10cm 處對螞蟻不會有影響；新鮮

柳橙汁、新鮮甘蔗汁、蘋果汁對螞蟻有吸引的效果。

(2)以水、香水、70%酒精、30%氨水、新鮮青草汁、殺蟲劑、松香水、樟腦油等液體所產生的氣味為干擾的實驗中發現，除了水以外，其他的液體氣味都影響了螞蟻找尋砂糖的時間，使找尋砂糖的時間變的更長，其中以殺蟲劑、松香水、樟腦油的影響最大。

二、食物訊息的傳遞—費洛蒙的觀察

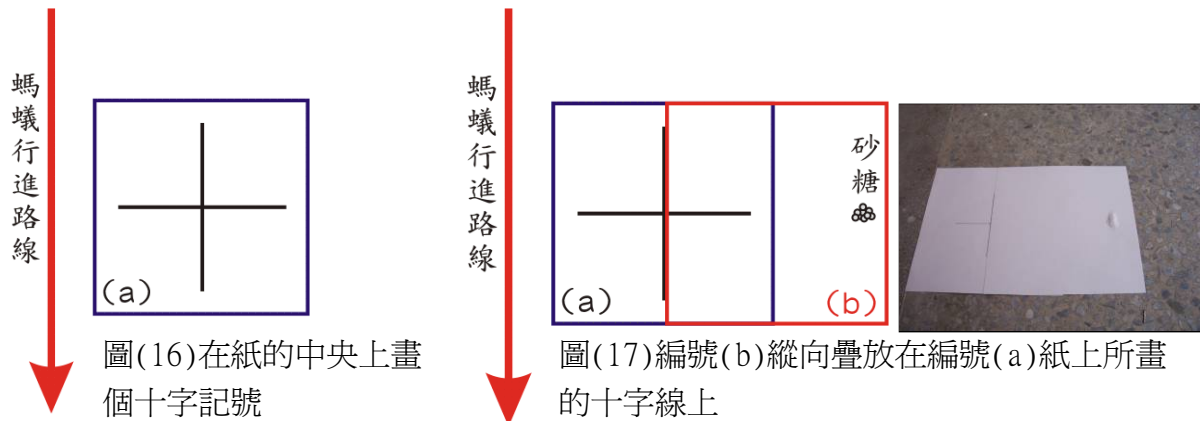
(一)第一種觀察法：移動的平面

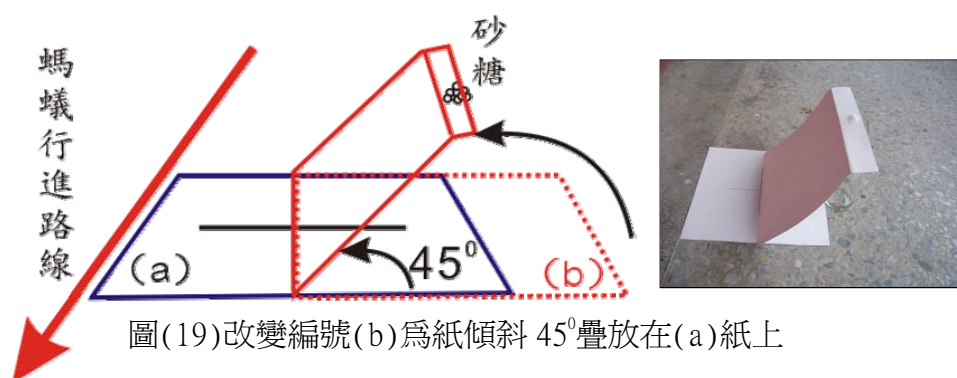
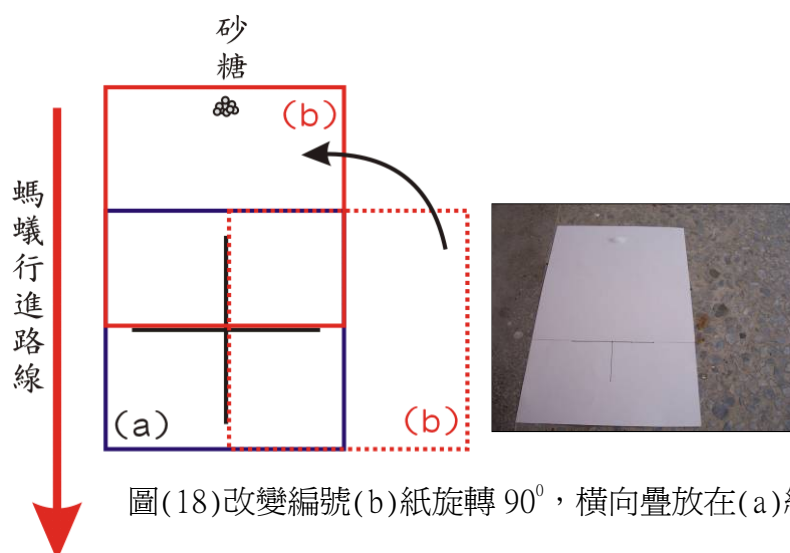
觀察項目：

- A. 將平面抽走：把螞蟻走過的路徑抽離，觀察螞蟻的反應。
- B. 旋轉平面：把螞蟻走過的路徑旋轉 90° ，觀察螞蟻的反應。
- C. 傾斜平面：把螞蟻走過的路徑傾斜 45° ，觀察螞蟻的反應。

方法：

- (1)取一張 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 的白色書面紙(編號 a)，在紙的中央上畫個十字記號(圖 16)，再取另一張 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 的白色書面紙(編號 b)，縱向疊放在編號 a 紙上所畫的十字線上，並在編號 b 紙的末端放 1g 砂糖(圖 17)，觀察第一隻螞蟻從十字縱線到達砂糖的時間。
- (2)待已有螞蟻順利搬下砂糖回隊伍後，將編號 b 紙慢慢地往外抽走，並使用毛筆將編號 b 紙上的螞蟻全部刷落至他處，觀察留在編號 a 紙上螞蟻的反應。
- (3)將編號b紙旋轉 90° (圖 18)，觀察第一隻螞蟻從十字橫線到達砂糖的時間。
- (4)將編號b紙改變為傾斜 45° 疊放在(a)紙上 (圖 19)，觀察第一隻螞蟻從十字橫線到達砂糖的時間。





結果：

觀察條件	第一次	第二次	第三次	平均
第一隻螞蟻從十字縱線到達砂糖的時間	2'17"	2'02"	1'43"	2'01"
編號(b)紙抽走後留在編號(a)紙上螞蟻的反應	螞蟻到達十字記號的橫軸附近就不再前進，然後沿著(a)紙的路徑來回的走。			
改變編號(b)紙旋轉 90° ，橫向疊放在(a)紙上，第一隻螞蟻到達砂糖的時間	0'20"	0'16"	0'21"	0'19"
改變編號(b)紙為紙傾斜 45° 疊放在(a)紙上，第一隻螞蟻到達砂糖的時間	0'22"	0'26"	0'21"	0'23"

發現：

- (1)在編號 b 紙抽離時，螞蟻到達十字記號的縱軸附近就不再前進，這應該是突然失去某種訊息，使得螞蟻不知該往何處走。
- (2)當編號b紙縱向疊放時，第一隻螞蟻到達砂糖，平均花了 2'01"，當編號b紙改為旋轉 90° 橫向疊放時，螞蟻平均花了 0'19" 找到砂糖，當編號b紙改為傾斜 45° 疊

放時，螞蟻平均花了 0'23" 找到砂糖，而且螞蟻在旋轉 90° 橫向疊放及傾斜 45° 編號 b 紙的行進路線與在編號 b 紙縱向時的行進路線相同。

- (3) 我們推測，當螞蟻的平面被抽走時，食物的訊息中斷，所以螞蟻不在前進，反而來回的走。螞蟻在 b 紙改為旋轉 90° 橫向疊放及傾斜 45° 時能快速的找到砂糖，應該是螞蟻找到了紙上留下的食物訊息，使螞蟻能快速的找到砂糖，而這個訊息，應是我們看不見的費洛蒙。
- (4) 對於平面被抽走而食物訊息中斷，螞蟻卻在路徑上來回的走，因此我們懷疑，螞蟻的費洛蒙訊息，沒有方向性。

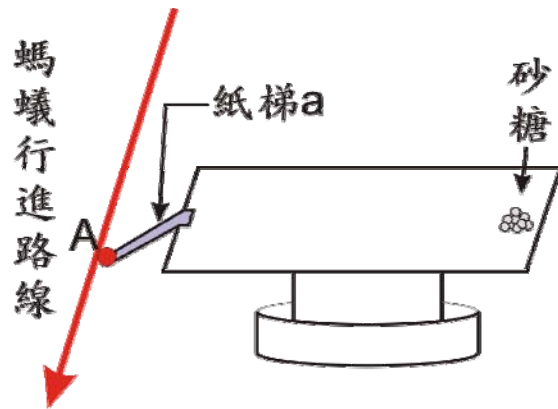
(二) 第二種觀察法：懸空的平面

觀察項目：

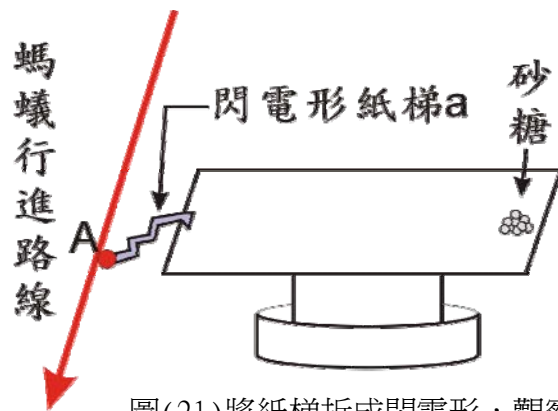
- A. 將平面懸空：把糖放在懸空 5cm 的平面上，觀察螞蟻的反應。
- B. 改變路徑的形狀：把螞蟻走過的路徑折成閃電形，觀察螞蟻的反應。
- C. 改變路徑的位置(1)：把螞蟻走過的路徑接在平面的另一個點上，觀察螞蟻的反應。
- D. 改變路徑的位置(2)：把螞蟻走過的路徑接在距離砂糖 4cm 處，觀察螞蟻的反應。
- E. 平移整個平面，觀察螞蟻的反應。

方法：

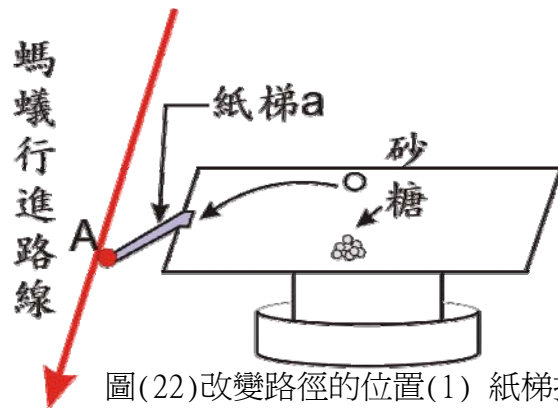
- (1) 以走廊的螞蟻為觀察點，在距離螞蟻行徑路線的側邊，架設一懸空的平面(圖 20)，紙梯(a)立於螞蟻路徑的 A 點，A 點距離螞蟻的路徑 1cm，觀察第一隻螞蟻到達砂糖的時間。
- (2) 將紙梯(a)折 3 折成閃電形，再將懸空的平面放回原處，紙梯(a)立於 A 點，觀察螞蟻的行進路線及第一隻螞蟻到達砂糖的時間(圖 21)。
- (3) 將紙梯(a)從懸空的平面拆下來，改接在懸空平面的左側，再將懸空的平面放回原處，紙梯(a)立於 A 點，觀察螞蟻的行進路線及第一隻螞蟻到達砂糖的時間(圖 22)。[改變路徑的位置(1)的實驗]
- (4) 將紙梯(a)從懸空的平面拆下來，改接在懸空平面的對面，距離砂糖 2cm，再將懸空的平面放回原處，紙梯(a)立於 A 點，觀察螞蟻的行進路線及第一隻螞蟻到達砂糖的時間(圖 23)。[改變路徑的位置(2)的實驗]
- (5) 在懸空的平面上再架上 1 條紙梯(b)，然後將懸空平面放回原處，並平移 10cm，使紙梯(b)立於螞蟻路徑上的 A 點，而紙梯(a)則立於螞蟻路徑上的 C 點，觀察螞蟻的行進路線及第一隻螞蟻到達砂糖的時間(圖 24)。[平移整個平面的實驗]



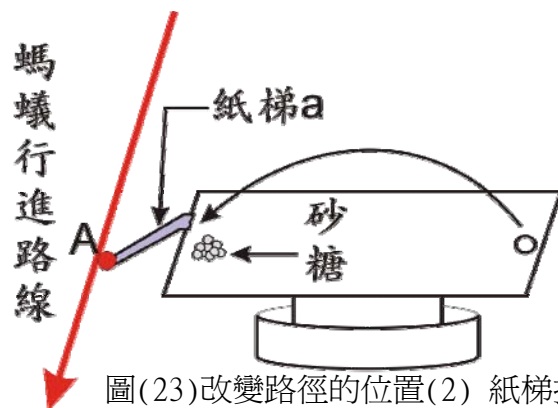
圖(20)懸空的平面如桌子的造型，以塑膠杯當做支撐點，下面套在一個裝有水的培養皿裡，加水的目的是不讓螞蟻從塑膠杯上去紙板。用 2000 磅的厚紙板當桌面，桌面側邊放有 1g 的砂糖，螞蟻只能從左邊紙梯的方向上紙板。



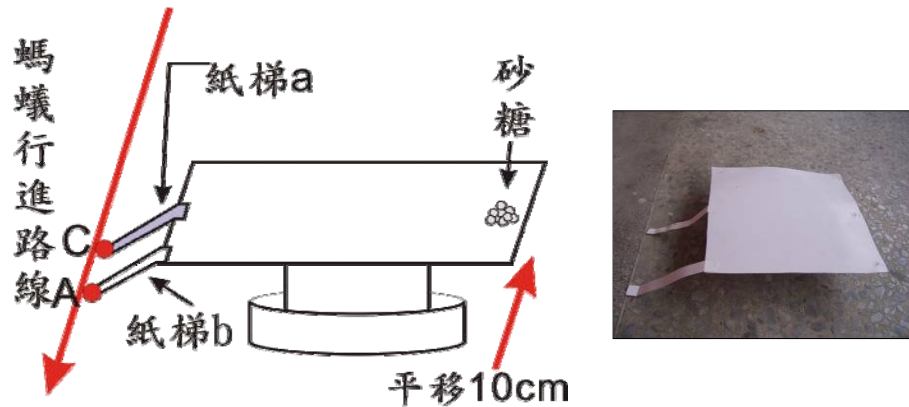
圖(21)將紙梯折成閃電形，觀察螞蟻的反應。



圖(22)改變路徑的位置(1) 紙梯接在懸空平面的左側，觀察螞蟻的反應。



圖(23)改變路徑的位置(2) 紙梯接在距離砂糖 4cm 處，觀察螞蟻的反應。



圖(24)將懸空平面放回原處，並平移 10cm，使紙梯(b)立於螞蟻路徑上的 A 點，而紙梯 (a)則立於螞蟻路徑上的 C 點，觀察螞蟻的行進路線及第一隻螞蟻到達砂糖的時間。

結果：

觀察條件	第一次	第二次	第三次	平均	備註
懸空平面	21'29"	22'53"	25'31"	23'18"	
改變路徑的形狀 (折成閃電形)	0'53"	1'11"	1'03"	1'02"	
改變路徑的位置(1) (接在懸空平面的左側)	8'58"	7'19"	7'48"	8'02"	螞蟻走到紙梯的末端後不再往前進，然後沿著紙梯來回的走，有螞蟻上平面，但沒有走到砂糖處。
改變路徑的位置(2) (距離砂糖 4cm)	2'59"	3'25"	3'22"	3'15"	螞蟻走到紙梯的末端後不再往前進，然後沿著紙梯來回的走，有螞蟻上平面，但未立刻往砂糖方向走，過一段時間後，螞蟻才找到砂糖。
平移整個平面	2'17"	2'46"	2'36"	2'33"	螞蟻原本由 A 點經紙梯(a)上紙板，當懸空平面平移後，螞蟻改由 C 點經由紙梯(a)上紙板，而 A 點的螞蟻在 A 點附近繞來繞去(範圍約半徑 2cm)，並沒有爬上紙梯(b)。

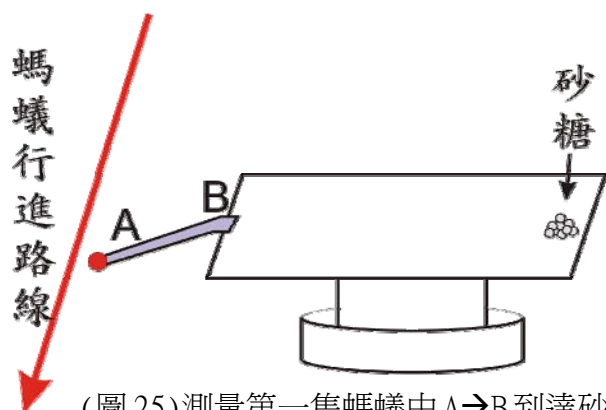
發現：

- (1)當懸空平面的紙梯(a)放在螞蟻路徑的 A 點時，第一隻螞蟻大約在二十分後才到達砂糖，當紙梯折成閃電形，螞蟻約 1 分鐘就到達砂糖，顯示螞蟻不受到路徑形狀改變的影響。。

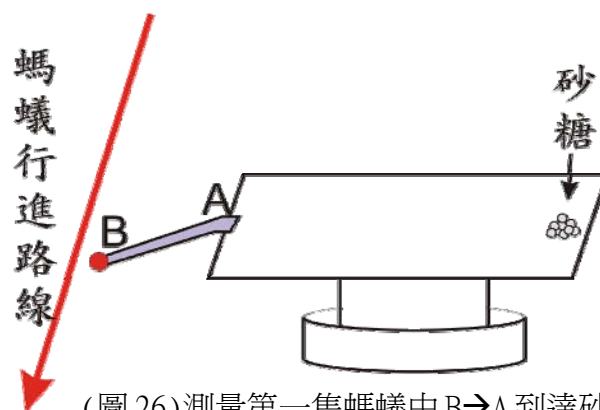
- (2)當懸空平面的紙梯(a)改變與平面的接點，大部分的螞蟻在紙梯上來回的走，少數螞蟻上平面走，但都在原地繞，並未走向砂糖；當接點距離砂糖只有 4cm 時，螞蟻也無立刻往砂糖方向走的行為，這應是受到訊息中斷的影響。
- (3)當懸空平面平移時，紙梯(a)位置移至 B 點，B 點的螞蟻很快的就上紙梯(a)到達砂糖，這應是受到食物訊息的引導，而 A 點的螞蟻失去了食物訊息，雖然有新的紙梯(b)，但紙梯上無食物訊息，螞蟻則在周圍半徑 2cm 的範圍內繞來繞去，觀察 30 分鐘，還是沒有螞蟻上紙梯(b)。
- (4)我們推測，螞蟻在紙梯(a)放在 B 點時能快速的找到砂糖，應該是螞蟻在紙梯上留下了食物的訊息，使螞蟻能快速的找到砂糖，而這個訊息，應是我們看不見的費洛蒙。

(三)第三種觀察法：相反路徑的觀察

- (1)使用懸空平面的實驗裝置，使用毛筆清下懸空平面上的螞蟻，並移至他處，再將懸空的平面放回原處，觀察第一隻螞蟻到達砂糖的時間(圖 25)(路徑 A→B)。
- (2)同上的步驟，但將懸空平面放回前，先將紙梯的方向顛倒，使螞蟻的路徑變成 B→A，測量第一隻螞蟻到達砂糖的時間(圖 26)。



(圖 25)測量第一隻螞蟻由 A→B 到達砂糖的時間。



(圖 26)測量第一隻螞蟻由 B→A 到達砂糖的時間。

結果：

觀察條件	第一次	第二次	第三次	平均
第一次螞蟻到達砂糖的時間	21'29"	22'53"	25'31"	23'18"
放回後螞蟻到達砂糖的時間(A→B)(對照組)	0'51"	0'49"	1'21"	1'01"
放巨後螞蟻從顛倒路線到達砂糖的時間(B→A)	1'15	0'57"	1'04"	1'05"

發現：

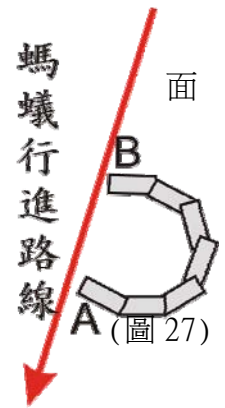
由結果顯示，螞蟻由 A→B 和顛倒路線 B→A 所花的時間相似，因此我們推測，螞蟻所留下的食物費洛蒙訊息，沒有方向性。

(四)第四種觀察法：繞回原路的觀察

使用懸空平面的實驗裝置，紙梯的兩端標示 A、B 符號，待已有螞蟻順利搬下砂糖回隊伍後，將懸空的平面移開，使用毛筆清下懸空平面上的螞蟻，並移至他處，將紙梯拆下來，每 2cm 剪一小段，再拼接成半圓形紙梯，再將此半圓形紙梯放在螞蟻的路徑邊，觀察螞蟻的反應（圖 27）。

發現：

- (1) 有的螞蟻會從 B→A 走，有的螞蟻會從 A→B 走，有的螞蟻會從 A→B→A→B 來回的走。
- (2) 我們推論，螞蟻的食物費洛蒙訊息沒有方向性，而且由於沒發現砂糖，螞蟻會無方向感的在費洛蒙訊息中來回的走。



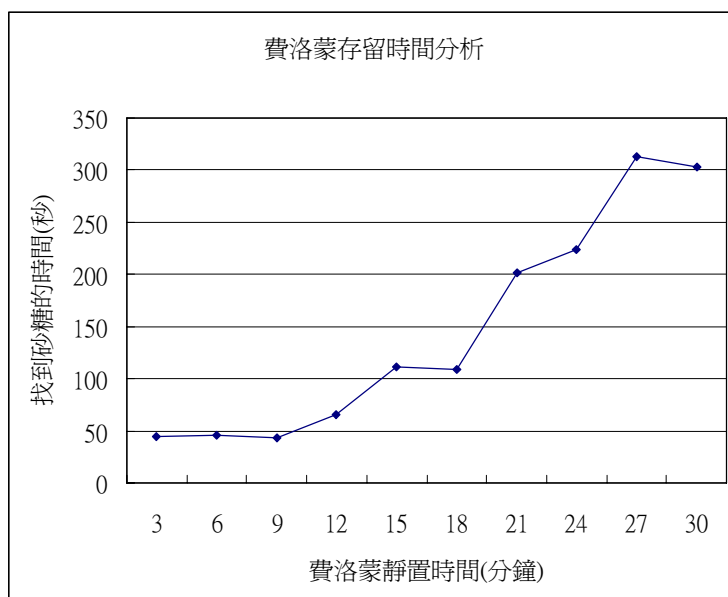
三、費洛蒙的特性

(一)螞蟻的費洛蒙存留的時間

- (1) 以走廊的螞蟻為觀察點，待已有螞蟻順利搬下砂糖回隊伍時，將白色書面紙移開，使用毛筆清下紙上的螞蟻移至他處，等待 3 分鐘後，再將白色書面紙放回原處測量第一隻螞蟻到達砂糖的時間。
- (2) 同上(1)的步驟，改為 6、9、12、15、18、21、24、27、30 分等時間，測量第一隻螞蟻到達砂糖的時間。

結果：(加折線圖)

時間	對照組	3 分鐘	6 分鐘	9 分鐘	12 分鐘	15 分鐘	18 分鐘	21 分鐘	24 分鐘	27 分鐘	30 分鐘
第一次	5'12"	0'46"	0'37"	0'43"	0'59"	1'32"	2'03"	2'45"	3'33"	4'34"	5'04"
第二次	4'47"	0'38"	0'52"	0'49"	0'55"	1'53"	1'48"	3'22"	3'59"	4'53"	4'39"
第三次	5'03"	0'51"	0'50"	0'36"	1'20"	1'48"	1'35"	3'57"	3'11"	5'12"	5'25"
平均	5'01"	0'45"	0'46"	0'43"	1'05"	1'51"	1'49"	3'21"	3'44"	5'13"	5'03"

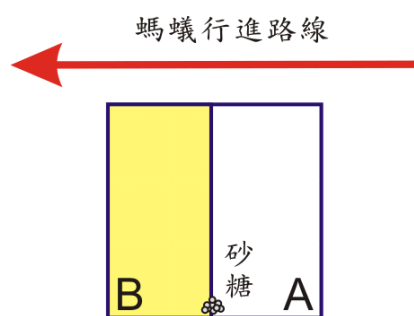


發現：

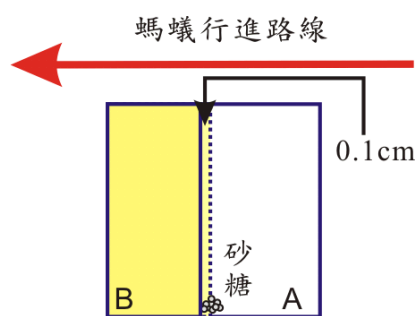
- (1)由觀察結果發現，螞蟻在書面紙移開 12 分鐘前的組別，很快的就找到砂糖，書面紙移開 15 分鐘以後，找到砂糖的時間逐漸變長，書面紙移開 27 分鐘以後，螞蟻找到砂糖的時間，與對照組相似。
- (2)我們推測，紙上的費洛蒙訊息在 12 分鐘前保留的很完整，15 分鐘以後，紙上的費洛蒙訊息似乎有逐漸消失的情形，27 分鐘左右，費洛蒙的訊息完全消失。

(二)螞蟻的費洛蒙的分佈寬度

- (1)以走廊的螞蟻為觀察點，待已有螞蟻順利搬下砂糖回隊伍時，在白色書面紙 B 上螞蟻行進的路線上簡單的做幾個記號，然後將白色書面紙 B 移開，使用毛筆清下紙上的螞蟻移至他處，迅速的以上面白色書面紙上的螞蟻的行進路線為中心，將白色書面紙剪成兩半，將一半的紙放回原處，再次測量第一隻螞蟻到達砂糖的時間(圖 28)。
- (2)同上(1)的步驟，但不從行進路線中心剪，而從行進路線往外 0.1cm 處剪，也就是螞蟻行進路線左右往外擴張共 0.2cm，將此少 0.1cm 的紙放回原處，再次測量第一隻螞蟻到達砂糖的時間(圖 29)。
- (3)每次多剪 0.1cm，直到剪除 0.5cm 為止，測量第一隻螞蟻到達砂糖的時間。



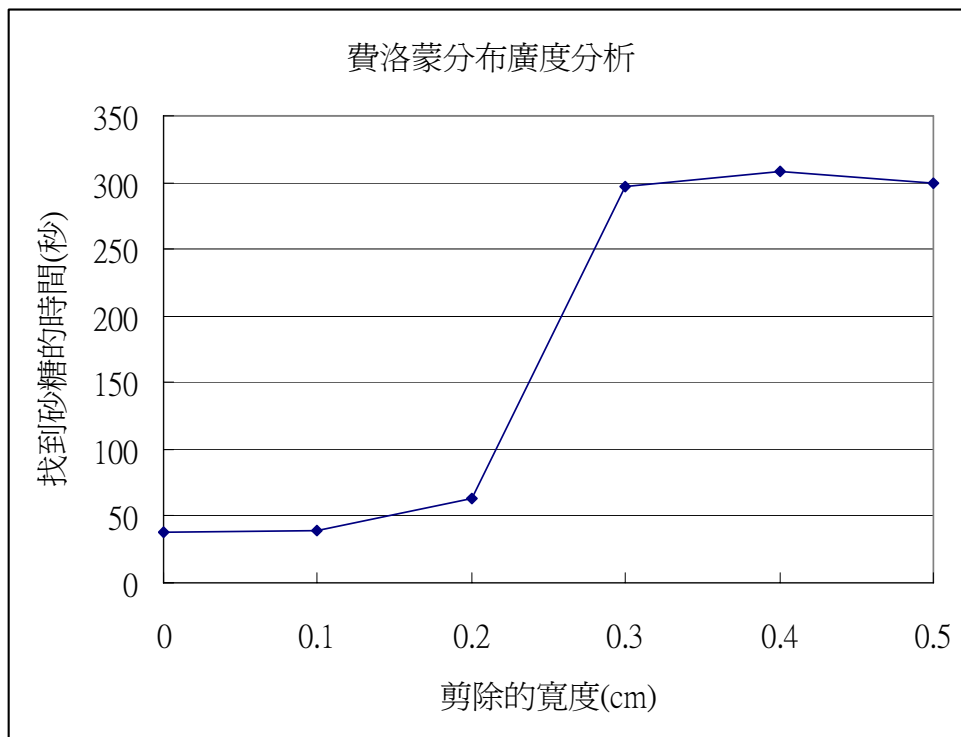
(圖 28)將白色書面紙剪成兩半，將一半的紙放回原處，再次測量第一隻螞蟻到達砂糖的時間。



(圖 29)從行進路線往外 0.1cm 處剪，將此少 0.1cm 的紙放回原處，再次測量第一隻螞蟻到達砂糖的時間。

結果：

範圍	對照組	0cm	0.1cm	0.2cm	0.3cm	0.4cm	0.5cm
第一次	5'12"	0'37"	0'47"	0'59"	5'21"	5'29"	5'17"
第二次	4'47"	0'35"	0'38"	1'08"	4'51"	5'10"	4'43"
第三次	5'03"	0'42"	0'31"	1'01"	4'39"	4'46"	4'57"
平均	5'01"	0'38"	0'39"	1'03"	4'57"	5'08"	4'59"



發現：

- (1)由結果顯示，當白色書面紙 B 被剪去的範圍在 0.2cm 以下時，螞蟻能快速的找到砂糖，當白色書面紙 B 被剪去的範圍大於 0.3cm 以上時，螞蟻找尋砂糖的速度與對照組相似。
- (2)我們推論，螞蟻留下食物的費洛蒙訊息，寬度範圍大約是 0.4cm(0.2cm×2)左右，0.6cm(0.3cm×2)以上，就沒有食物費洛蒙的訊息。

陸、討論：

- 一、在榕樹下、圍牆邊、教室牆邊及走廊邊等四個觀測點觀察螞蟻找砂糖的情形，發現螞蟻在四個觀察點均能順利發現砂糖，所花費的時間並無明顯差異，顯示同種的螞蟻，在不同的環境中，尋找食物的速度相當。
- 二、由「聲音的干擾」的實驗中發現，螞蟻似乎不受各種人爲的聲音所影響，在音量大於 100 分貝時，螞蟻亦無任何反應，顯示螞蟻對聲音的反應度很差，但是否對不同於人類的音頻有反應，則需再進一步探討。
- 三、分析顏色的實驗結果，發現螞蟻並不受到環境中的顏色的影響，也許螞蟻對顏色無反應，而螞蟻可以在看不見食物的環境中找到砂糖，顯示視覺對螞蟻來說，並非是找食物的主要能力。
- 四、在不同濃度的氣味實驗中，熔化的砂糖較易昇華，發出很濃郁的糖香味，螞蟻找到砂糖的時間最短；其次是潮解的砂糖，由於水氣揮發的緣故，糖水的香味比固體砂糖來的明顯。螞蟻受到了砂糖香味的吸引，故往砂糖方向搜尋，味道愈濃，螞蟻受到的方向指引愈明確，所花費的時間愈少，因此我們推測，螞蟻主要是以嗅覺找尋食物。
- 五、在不同的氣味干擾下，螞蟻的找到砂糖的能力似乎受到了影響，其中以殺蟲劑、松

香水、樟腦油的影響最大，這個現象更支持了螞蟻主要是以嗅覺找尋食物。

- 六、我們推測，螞蟻能在走過的紙梯或書面紙上，快速的找到砂糖，應該是螞蟻在紙板及紙梯上留下了有食物的訊息，使螞蟻能快速的找到砂糖，而這個訊息，應是我們看不見的費洛蒙。
- 七、螞蟻留下的食物費洛蒙訊息，似乎無方向的指示性，由實驗結果顯示，螞蟻可能無法辨別食物在路徑的哪一端，發現有食物費洛蒙訊息，便往前走，走到盡頭沒發現食物，部分的螞蟻會做搜尋，搜尋範圍大約是半徑 2cm，部分螞蟻則在路徑中來回的走，顯示出螞蟻的食物費洛蒙無方指示作用。
- 八、在重複的實驗過程中，螞蟻的反應似乎都像沒有尋找過實驗中的砂糖一樣，一直重複著尋找砂糖的位置，這顯示螞蟻並無精熟的練習學習能力。
- 九、費洛蒙訊息，寬度範圍大約是 0.4cm 左右，大約可保留 12 分鐘左右，15 分鐘以後，紙上的費洛蒙訊息則逐漸消失的情形，27 分鐘以後，費洛蒙的訊息完全消失。

柒、結論：

觀察了螞蟻尋找砂糖的模式發現，發現螞蟻並非利用視覺及聽覺找尋食物，而是利用嗅覺，在看不見砂糖或處在黑暗的情況下，依然可以順利找到砂糖，而且砂糖的氣味愈濃，螞蟻愈容易找到砂糖。當螞蟻找到砂糖時，螞蟻會在行進的路徑上留下食物的訊息—費洛蒙，這種食物訊息並沒有方向性，大約可以保持 12 分鐘左右，寬度範圍大約是 0.4cm。

捌、參考資料

- 一、螞蟻王國 ,夏元瑜主編 ,1987 ,明統圖書公司
- 二、螞蟻·螞蟻 Bert Holldobler & Edward O. Wilson ,1994, 遠流出版社
- 三、螞蟻、螞蟻、讓我看看你 ,黃亮寬等 ,2002 ,中華民國第四十三屆中小學科展參展作品專輯

【評 語】 081545 螞蟻領航員

本實驗設計精良，但難度較高對螞蟻的習性提供了進一步的說明，建議對費洛蒙的說明及測試實驗可以再更進一步，對噪音製造的變因可以有效控制，如此將對結果說明有些助益。