

第十一屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA11-298

作品名稱：食在驚人—樹居舉尾蟻的覓食策略

姓名：劉廷恩

關鍵字：樹居舉尾蟻、學習記憶、動物行為

作品名稱

食在驚人—樹居舉尾蟻之覓食策略

摘要

樹居舉尾蟻 (*Crematogaster rogenhoferi*) 是台灣常見的樹棲性螞蟻，擁有完整社會結構的牠們必須有系統地分工、特別是有效率地尋覓食物以維持整個族群生存。過去文獻已提出螞蟻會用費洛蒙留下覓食記號，卻少有針對他們的覓食策略提出探討，故本實驗設計諸多模型欲探討舉尾蟻的覓食行為。我們嘗試以糖水或含糖水果餵養整個舉尾蟻巢，發現牠們不僅喜愛且會選擇最短路徑以到達食物源，並對食物源的位置有一定時間內的記憶性，實驗顯示可能是藉由空間物像、食物源顏色、地磁方向、重力方向與食物氣味等輔助記憶；一旦覓食過程遇到障礙時，舉尾蟻會彼此通知並嘗試突破障礙繼續前進。在面對不同覓食狀況的刺激時，舉尾蟻的反應竟充滿我們意想不到的智慧，值得未來繼續鑽研與探究。

壹、研究動機

一次偶然在校園的一隅發現樹上的蟻巢，細觀主幹竟有成群的舉尾蟻攀附，那蟻山蟻海竟能秩序地分工來覓食，且似乎會沿著特定路徑行走。小小的舉尾蟻是如何覓食呢？牠們在覓食上必定有什麼策略，這懷疑激盪了我們對此產生極大興趣，因而開啓這次的科展研究。

貳、研究目的

- 一、探討樹居舉尾蟻如何建立覓食路徑
 - (一)觀察舉尾蟻的覓食行為
 - (二)分析舉尾蟻建立覓食路徑時所需經過的最少次數
 - (三)探究舉尾蟻從巢穴至食物源之間不同距離的選擇性
- 二、探討樹居舉尾蟻如何定位食物源所在
 - (一)檢視舉尾蟻在立體空間下的覓食行為
 - (二)測試舉尾蟻對食物源位置是否具有記憶性
 - (三)探究舉尾蟻定位食物時可能使用的依據方式
- 三、觀察樹居舉尾蟻於覓食路徑中遇到不同障礙時可能的表現行為
 - (一)觀察舉尾蟻面對物理性障礙的反應
 - (二)觀察舉尾蟻面對化學性障礙的反應
 - (三)觀察舉尾蟻面對生物性障礙的反應
- 四、探討樹居舉尾蟻對覓食風險及獲利評估的策略行為

參、研究設備及器材

名稱	數量	名稱	數量	名稱	數量
樹居舉尾蟻蟻巢	1 個	電子天枰	1 台	蔗糖	適量
自製壓克力實驗箱	2 個	培養皿	數個	水果	適量
照相機	1 台	鑷子	數支	全開白紙	2 張
攝影機	2 台	鐵絲	一捆	酒精	1 瓶
載玻片	數個	棉線	一捆	丙酮	1 瓶
解剖顯微鏡	1 台	計時器	數台	膠帶&保利龍膠	數個
離心管	數個	指北針	一個	色紙	一包
鐵網	一個	紗布	一包	塑膠杯	數個

肆、研究過程或方法

一、實驗前置準備：

此次所欲探討的生物對象是樹居舉尾蟻，且實驗主軸主要會於室內各項模型中操作，故設置了一個實驗箱，並從住家附近的田野（附圖 1）中摘取一舉尾蟻巢至實驗箱（附圖 2）中飼養，配合自然環境的活動週期進行後續實驗操作。

實驗箱模型



附圖 1

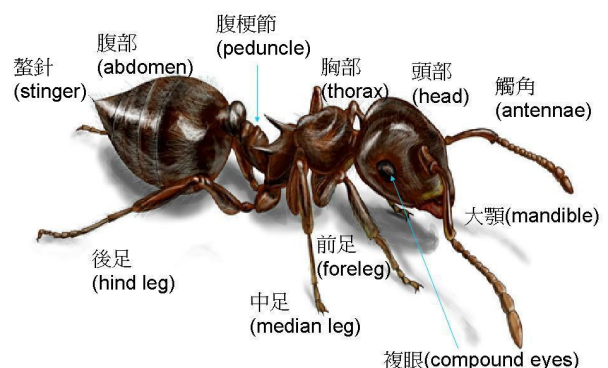


附圖 2

二、舉尾蟻簡介：

樹居舉尾蟻（*Crematogaster rogenhoferi*）屬於動物界、節肢動物門、昆蟲綱、膜翅目、蟻科、家蟻亞科、舉尾家蟻屬。舉尾蟻的體長約 3.5~4.5mm，身體為暗黑褐紅色，腹部扁大成水

2



滴狀。主要生活在低海拔山區，喜好吸食植物或蚜蟲的蜜露。擁有兵蟻階級，地域性強，受侵擾時會舉尾，並釋放蟻酸。(附圖 3)

三、工蟻的選擇：

附圖 3

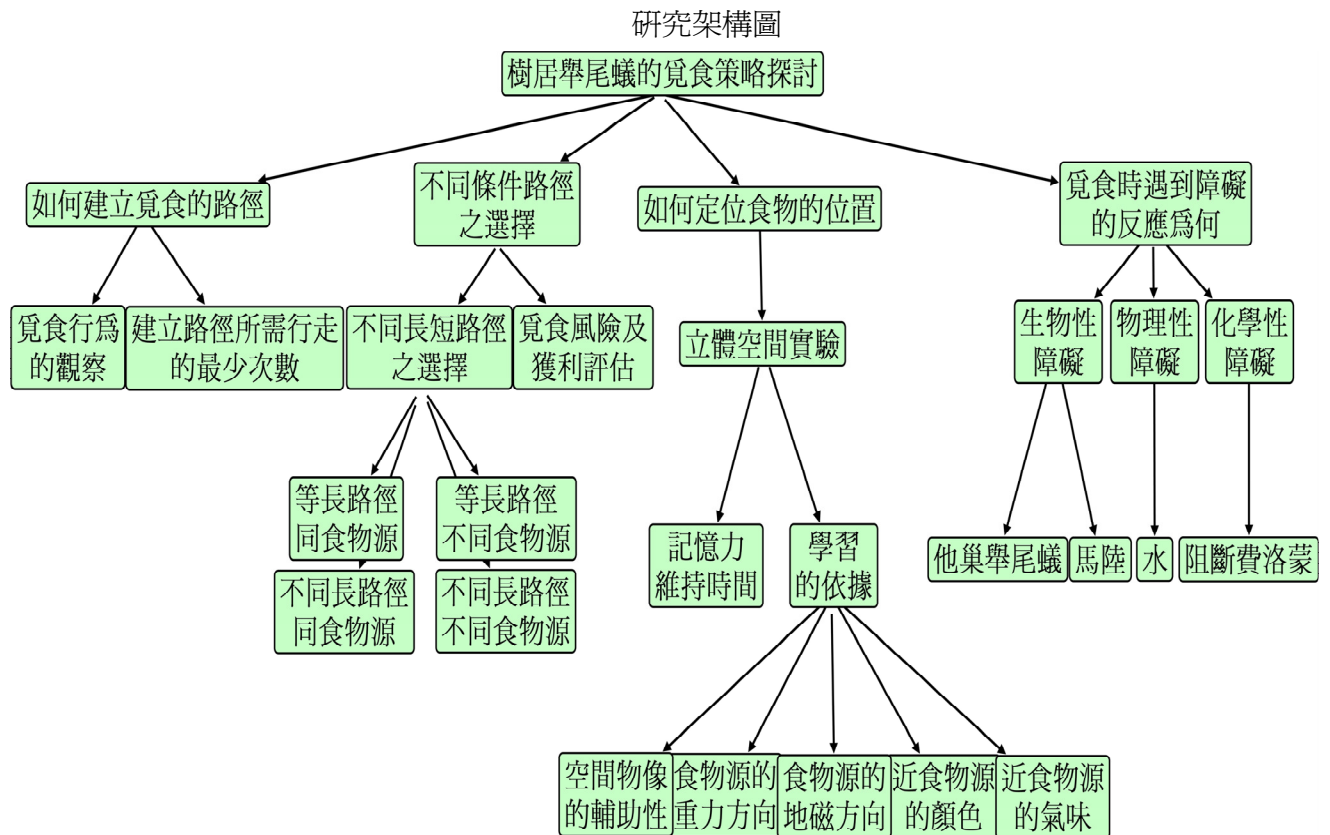
本實驗由於欲探討舉尾蟻的覓食策略，故在這種具社會行為的昆蟲族群裡選擇工蟻作為我們的研究對象。典型舉尾蟻工蟻的各部位體長大約為頭 0.5mm、胸 1.1mm、腹 1.2mm，故進行各實驗之前都會先量測螞蟻的體型，且工蟻扮演覓食的主要角色，故實驗工蟻是在覓食路徑上抓取的。

附註：工蟻和兵蟻的體型差異：

我們觀察了舉尾蟻的覓食行為中發現很多體型大小不一的螞蟻都會進行覓食，但若覓食過程受干擾時第一時間作出舉尾反擊的都是一些頭較大、腹部也比較長且肥大的螞蟻，其餘頭部寬度較小、腹部較圓且呈水滴狀或愛心狀者則是緊張逃離。推測前者可能為兵蟻，後者才是真正的工蟻，故選擇時也會加入體型比較上的考量。(附圖 4)



附圖 4 工兵蟻體型差異



四、探討樹居舉尾蟻如何建立覓食路徑

(一)舉尾蟻覓食行為探究

1.研究方法：

以載玻片盛裝食物（少許糖水）置於平台上，記錄舉尾蟻攝食的各種行為。(附圖 5)



附圖 5 在喝糖水的舉尾蟻



附圖 6 最少次數路徑

(二) 分析舉尾蟻建立覓食路徑時所需經過的最少次數

1.研究方法：

(1)架設一條新覓食路徑。(附圖 6)

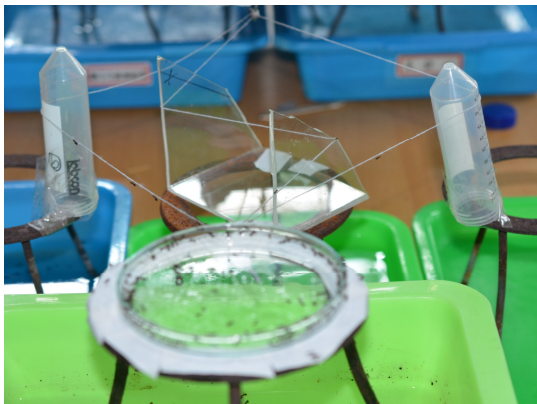
(2)紀錄整條路徑被舉尾蟻行走過次數達 10 的倍數時，紀錄其間到達食物源並攝食的舉尾蟻隻數。我們定義當糖水培養皿上取食的舉尾蟻隻數達到大量取食隻數(20 隻)時，即停止紀錄，表示舉尾蟻已建立一條穩定的覓食路徑。

(三)探究舉尾蟻從巢穴出發至食物源之間不同距離的選擇性

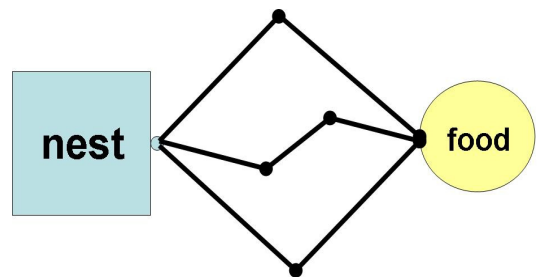
1.研究方法一：同長路徑、同食物源之路徑選擇探討(試驗 1 對照組)

(1)架設三條 40cm 棉線以供蟻選擇路徑(附圖 7 及 8)。

(2)紀錄單位時間內舉尾蟻在各路徑上的隻數。



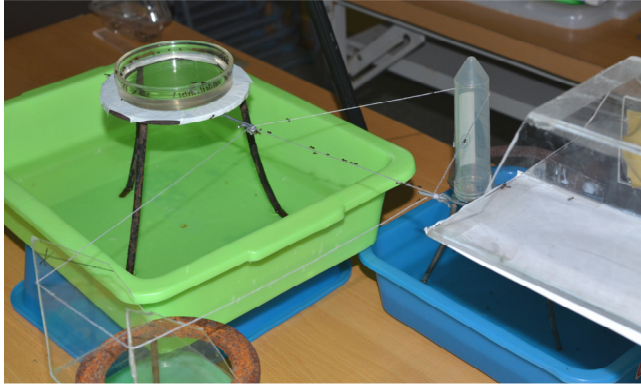
附圖 7



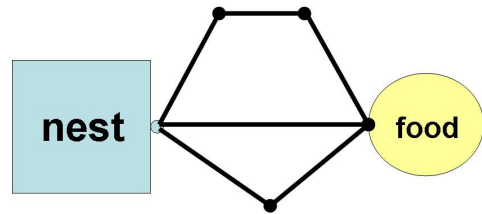
附圖 8

2.研究方法二：不同長短路徑、同食物源之路徑選擇探討(試驗 1 實驗組)

- (1)架設三條分別為 20cm、40cm、60cm 的路徑供螞蟻選擇。(附圖 9 及 10)
- (2)紀錄單位時間內舉尾蟻在各路徑上的隻數。



附圖 9



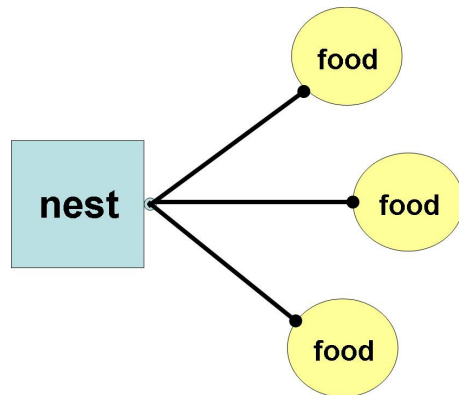
附圖 10

3.研究方法三：同長短路徑、不同食物源之路徑選擇探討(試驗 2 對照組)

- (1)模型架設方式如圖(附圖 11 及 12)，三條棉線長度皆為 40cm。
- (2)紀錄單位時間內舉尾蟻在各路徑上的隻數。



附圖 11



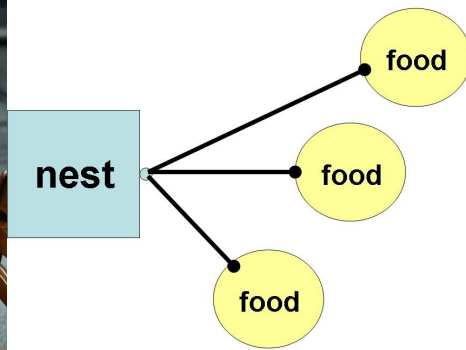
附圖 12

4.研究方法四：不同長短路徑、不同食物源之路徑選擇探討(試驗 2 實驗組)

- (1)模型架設方式如圖(附圖 13 及 14)，棉線長度分別為 20cm、40cm、60cm。
- (2)紀錄單位時間內舉尾蟻在各路徑上的隻數。



附圖 13



附圖 14

五、舉尾蟻如何定位食物的位置

(所有新實驗所使用裝置皆以酒精與丙酮擦拭過可能下的費洛蒙)

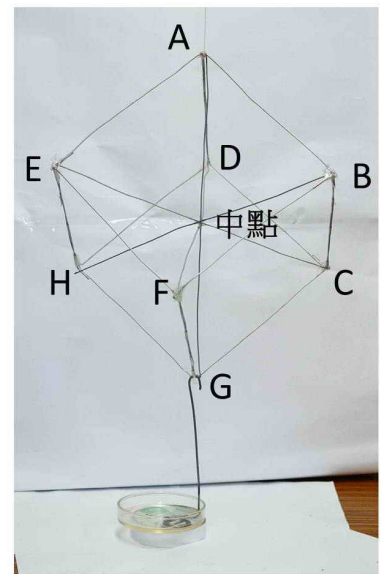
(一)檢視舉尾蟻在立體空間下的覓食行為

1.研究方法：

(1) 製作立體空間模型。(附圖 15)

(2)第一次試驗：取一隻工蟻置於模型中點，計時觀察並詳細記錄舉尾蟻所行經路徑及其所對應時間，當舉尾蟻到達糖水區並開始攝食時，實驗即停止。

(3)第二次試驗：作完第一次實驗後隨即將同隻工蟻繼續做第二次實驗，實驗及記錄方法同第一次實驗。



立體空間模型

附圖 15

(二)測試舉尾蟻對食物源位置是否具有記憶性及記憶的維持時間

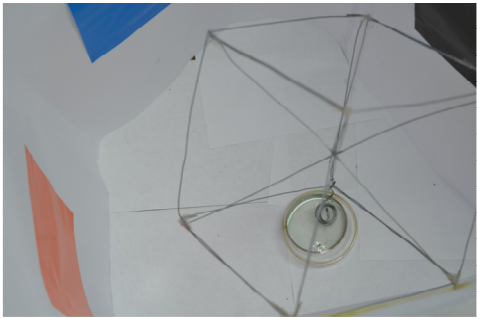
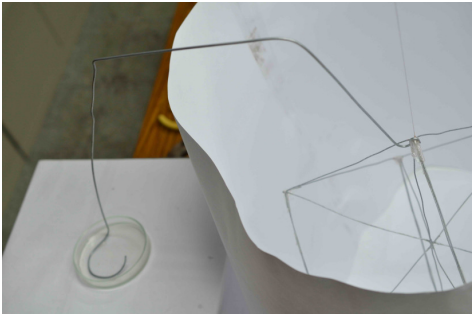
1.研究方法：

(1)承接上述(一)之實驗，間隔不同時間(10 分鐘、20 分鐘、30 分鐘、60 分鐘)測試舉尾蟻的方向性記憶力保留性，實驗及紀錄方法同上。

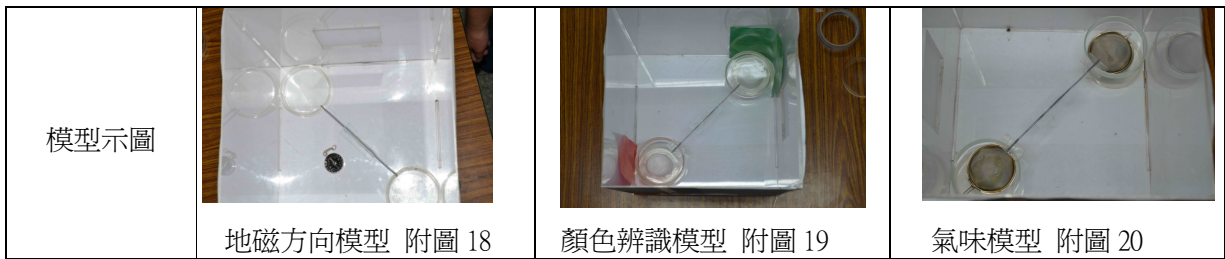
(三)探究舉尾蟻定位食物時可能使用的依據方式

由上述(一)、(二)實驗中我們發現舉尾蟻對食物源會產生記憶，故展開以下試驗：

	試驗一	試驗二
試驗名稱	空間物像辨識之輔助測試	食物源相對起點的重力方向測試
研究方法	同(二)鐵絲正立方體之實驗裝置與操作方法，但在整個懸吊的實驗模型外圍再圍上全開白色壁報紙。	

	<p>(1)設一全白者為對照組，另一全白但內部貼有不同色塊色紙的白色壁報紙為實驗組。(附圖 16)</p> <p>(2)記錄舉尾蟻在兩種不同周遭物像下，從起始點到達糖水處所需的時間。</p>	<p>(1)實驗一：先將食物源置於裝置(附圖 17)下方，讓舉尾蟻進行第一次探測與第二次記憶實驗，再將食物源改放置上方並進行第三次測試。</p> <p>(2)實驗二：重複實驗一方法但改變食物源方向，測試舉尾蟻反應試驗並記錄之。</p>
模型示圖	 <p>空間物象模型 附圖 16</p>	 <p>重力方向模型 附圖 17</p>

	試驗三	試驗四	試驗五
試驗名稱	食物源相對起點的地磁方向測試	近食物源顏色辨識測試	近食物源氣味辨識測試
研究方法	<p>將正立方體壓克力箱的四面與底部皆貼上白紙(以去除環境物像的干擾)，並於底部相對頂點處放置兩培養皿，之間再架設含有緩衝平台的鐵絲路徑以完成方向試驗裝置。</p> <p>(1)先將裝置(附圖)對準南北極架設，但兩邊皆無食物，再將舉尾蟻置於中央平台觀察 10 分鐘作為對照組試驗。</p> <p>(2)於北端培養皿中放入糖水進行初次探測及二次記憶(以舉尾蟻開始吸食糖水為止)，再改將糖水改置於南端觀察舉尾蟻行為。</p> <p>(3)改將裝置對準東西向架設，並重複上述方法。</p>	<p>(1)分別在裝置兩端、培養皿背後放置紅、綠色紙(附圖)，再將舉尾蟻置於中央平台觀察 10 分鐘作對照組試驗。</p> <p>(2)將糖水放在綠色端，進行初次探測及二次記憶(以舉尾蟻開始吸食糖水為止)，再改將糖水改置於紅色端觀察該舉尾蟻行為。</p>	<p>(1)裝置中兩端為鐵網蓋著紗布包(附圖)，再將一隻舉尾蟻置於裝置中央平台觀察 10 分鐘作為對照組。</p> <p>(2)於其中一側的紗布包裡放入哈密瓜，於鐵網上滴上糖水，以同一隻舉尾蟻進行初次探測及二次記憶(以舉尾蟻開始吸食糖水為止)，再將哈密瓜換到另一側、觀察舉尾蟻行為。</p>

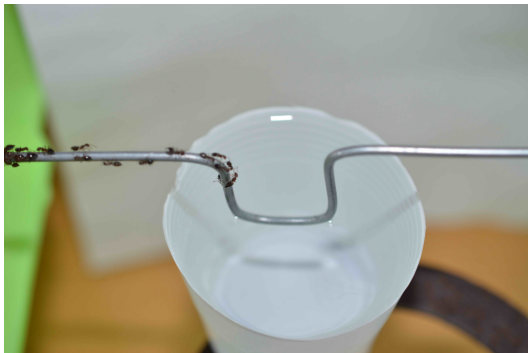


六、觀察樹居舉尾蟻於覓食路徑中遇到不同障礙時可能的表現行為

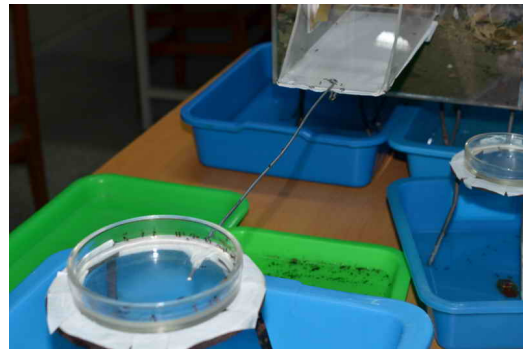
(一)觀察舉尾蟻面對物理性障礙的反應

1、研究方法：

- (1)先將鐵絲彎曲成凹字型（附圖 21），使之成為穩定覓食路徑。
- (2)改將彎曲鐵絲的凹字型區域浸泡於裝水的塑膠杯中，觀察該路徑部分浸入水深 0.5 公分、0.1 公分、0.05 公分時，舉尾蟻對此障礙的反應行為，為時 10 分鐘。



物理障礙模型 附圖 21



化學障礙模型 附圖 22

(二)觀察舉尾蟻面對化學性障礙的反應

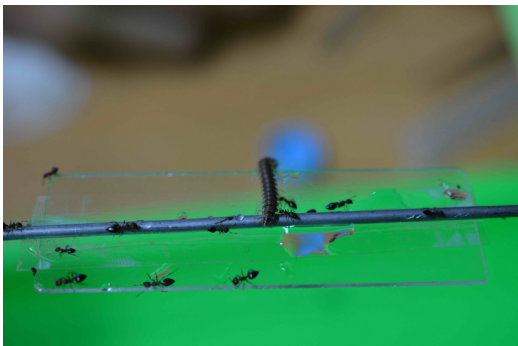
1、研究方法：

- (1)建立一路徑，使舉尾蟻習慣在此路徑上覓食。
- (2)建立一 9 公分長可阻斷原有費洛蒙的路徑，再觀察舉尾蟻對此障礙的反應行為，計時 10 分鐘。

(三)觀察舉尾蟻面對生物性障礙的反應

1、研究方法：

- (1)製作一生物障礙放置平台，使之成為一覓食路徑。
- (2)馬陸障礙測試：將馬陸放置於生物障礙平台上，觀察舉尾蟻的反應。（附圖 23）
- (3)他巢舉尾蟻障礙測試：將他用顏料標記後放置於生物障礙平台上，紀錄雙方行為，計時 10 分鐘。（附圖 24）



生物障礙模型---馬陸



8 生物障礙模型---他巢舉尾蟻

伍、研究結果

一、探討樹居舉尾蟻如何建立覓食路徑

(一)觀察舉尾蟻的覓食行爲

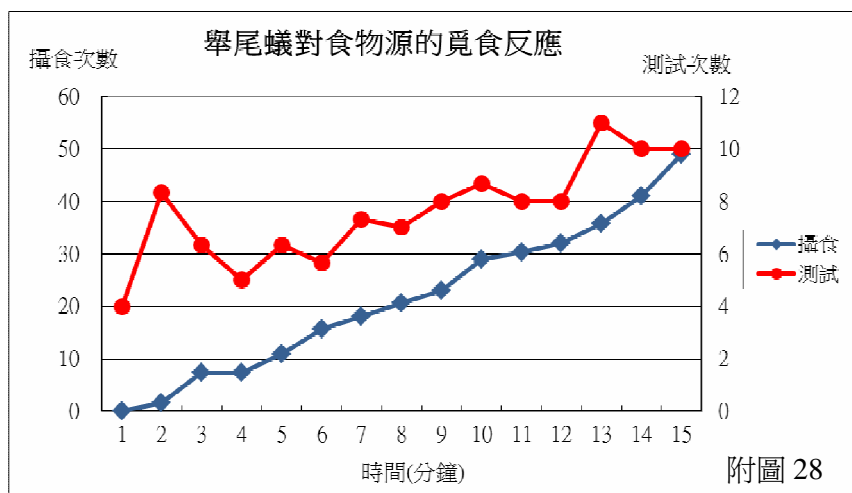
以糖水與哈密瓜爲例，我們發現『以觸角沾取食物→前肢清刷→伸入口內嚐試』是它們在面對食物時最早出現的行爲，之後就是進行持續不斷的「攝食」行爲，直至食物源清空爲止。



觸角沾取糖水 附圖 25

前肢清刷 附圖 26

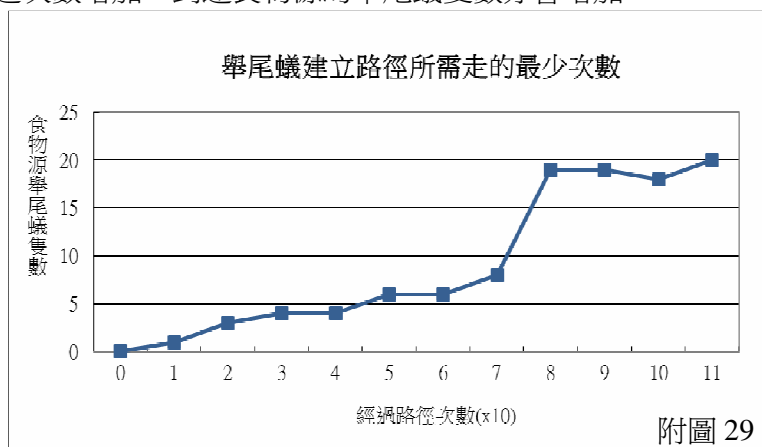
伸入口內嚐試 附圖 27



附圖 28

(二)分析樹居舉尾蟻建立路徑所需經過的最少次數

1. 在本實驗中，我們發現一條新路徑平均被舉尾蟻走過 70~80 次就能吸引更多舉尾蟻前來，且路徑被走過的次數越多、就有更多同伴會被吸引前來的趨勢。
2. 在觀察的過程中，我們發現一開始在路徑上行走並到達食物源的舉尾蟻並不一定馬上攝食，反而會在覓食路徑上重複行走，有加強該路徑被行走次數之可能性，因此隨著經過次數增加、到達食物源的舉尾蟻隻數亦會增加。



附圖 29

(三)探究舉尾蟻從蟻巢至食物源之間不同距離的選擇性

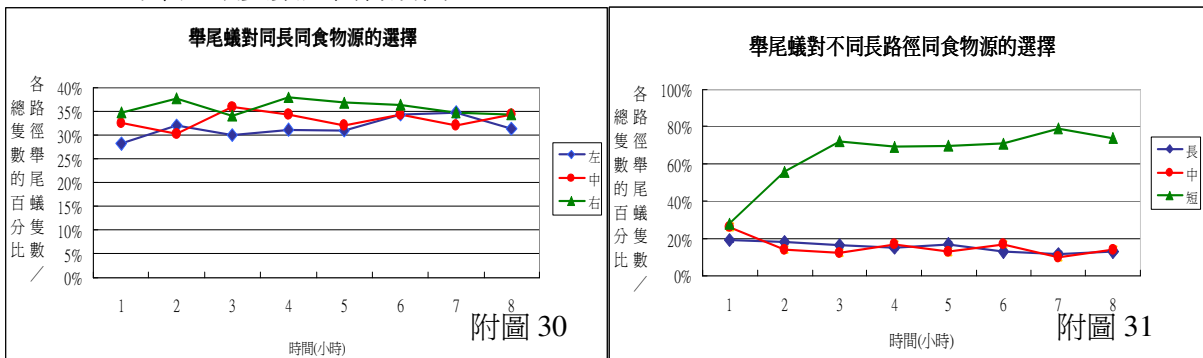
1. 研究方法一：舉尾蟻對同長路徑、同食物源的選擇(試驗 1 對照組)

我們發現隨著時間軸的推移，任一條路徑上行走的舉尾蟻數量占總覓食隻數的比例幾乎都差不多，顯示舉尾蟻在這種距離的選擇性上可能是隨機的。

2. 研究方法二：舉尾蟻對不同長路徑同食物源的選擇(試驗 1 實驗組)

我們發現，一開始舉尾蟻的選擇性是隨機性（對應到橫坐標第一個時間點時三條路徑上的舉尾蟻比例相當），但隨著時間的推移，短路徑上的舉尾蟻數量比例是越來越高，且以本實驗來看，大約在 3 小時後短路徑就成爲一條穩定而高比例的覓食選擇，顯示舉尾蟻在食物源與蟻巢之間會趨向選擇最短路徑行動。

3. 合併對照組與實驗組：在食物源單一且固定的狀況下，我們發現當路徑長皆相同時舉尾蟻對於任一路徑的選擇性是隨機的，且隨著時間推移各路徑舉尾蟻隻數的比例皆相當；但若改爲不同長短之路徑時，舉尾蟻一開始的選擇性依舊隨機，但會隨著時間的推移（以本實驗爲例，約三小時後）逐漸擴大對最短路徑的選擇性，使得最短路徑上的舉尾蟻隻數比例特別高。

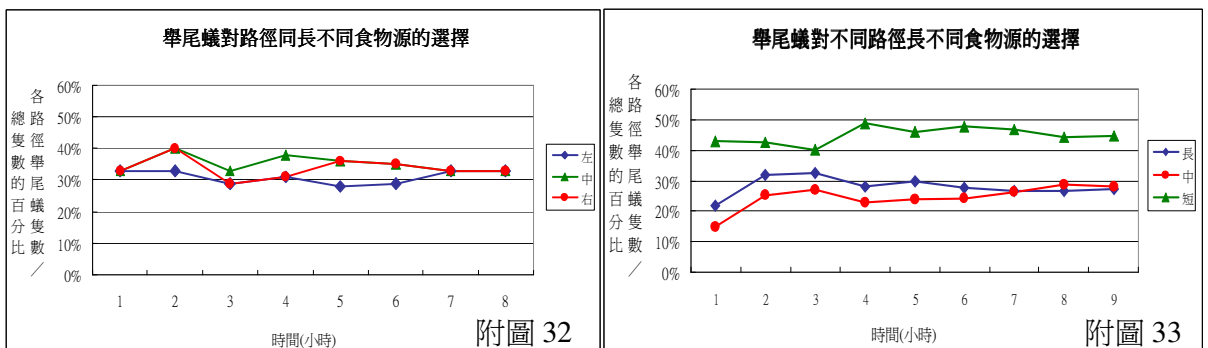


研究方法三：舉尾蟻對同長路徑不同食物源的選擇(試驗 2 對照組)

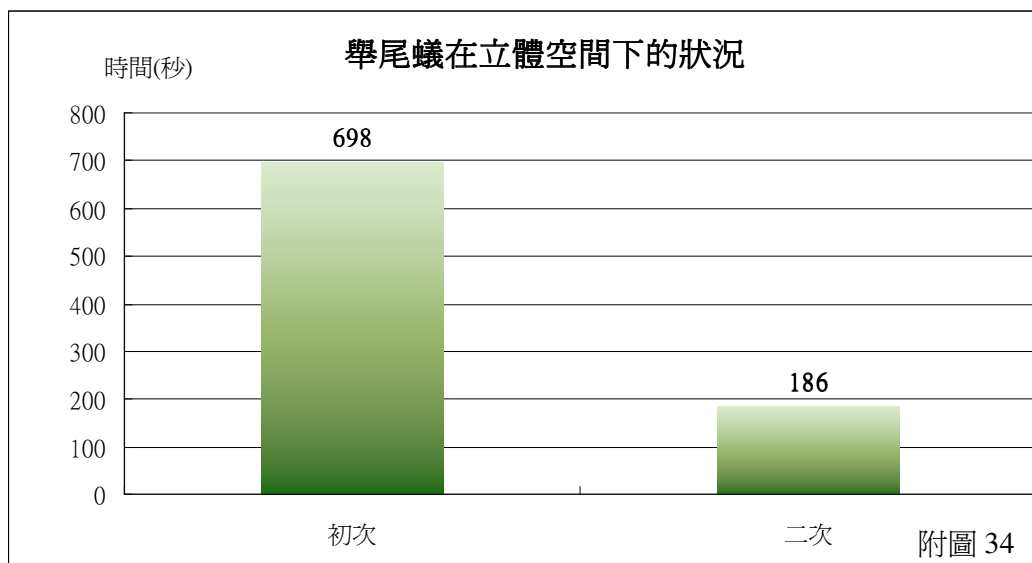
我們發現隨著時間軸的推移，任一條路徑上行走的舉尾蟻數量占總覓食隻數的比例都差不多，顯示舉尾蟻在同距離不同食物源的選擇性上可能是平均的。

研究方法四：舉尾蟻對不同長路徑不同食物源的選擇(試驗 2 實驗組)

當食物源有多個的狀況下，我們發現若路徑距離相同，舉尾蟻會分配一定且相當的蟻力前往各食物源取食，但若改爲不同路徑長短時，舉尾蟻依舊不會放棄任何食物源、但會逐漸將大部分的蟻力轉移至距離巢穴最短路徑的那個食物源上。

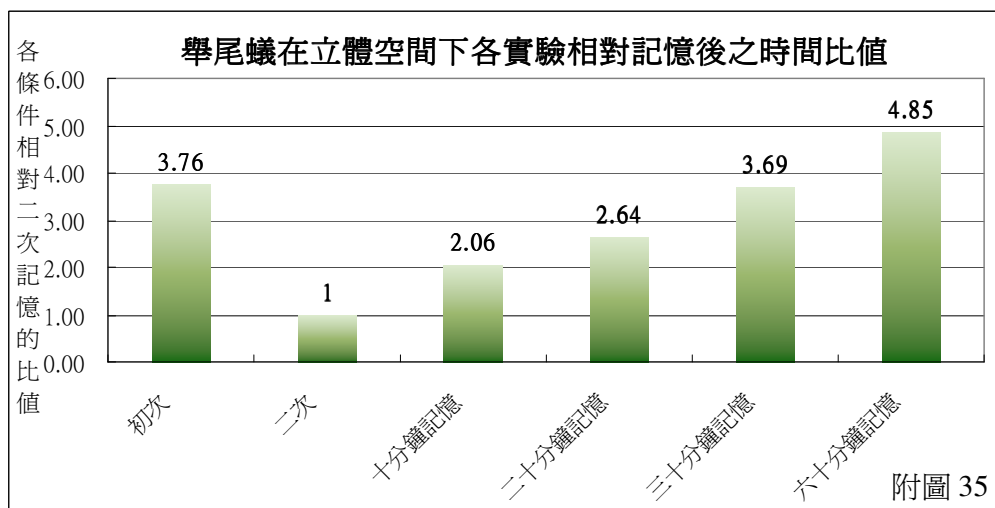


我們讓舉尾蟻在模擬自然環境中的立體空間模型中尋覓食物，發現舉尾蟻第一次尋找食物源時常常會在某些路徑上來回走動尋覓，以致它需要花比較久的時間才能到達食物源；但若馬上讓它再跑一次同樣的空間路徑，它重複行走的行為會減低、抵達終點所需要時間也會大大降低，似乎說明舉尾蟻會「記得」方才它走過的路，因而讓覓食效率加快許多。



(二)測試舉尾蟻對食物源是否具有記憶性

由於前一個試驗讓我們發現舉尾蟻似乎能夠對覓食地點存有記憶性，因此我們想測試舉尾蟻究竟可以保留多久的記憶時間。承接前一個實驗的方式，我們測試距離二次記憶試驗後間隔 10 分鐘、20 分鐘、30 分鐘、60 分鐘，舉尾蟻的覓食狀況。結果顯示，舉尾蟻對食物源的記憶力似乎只能維持不到 30 分鐘（因在 30 分鐘以後的探測時間與初次探測時間接近）。

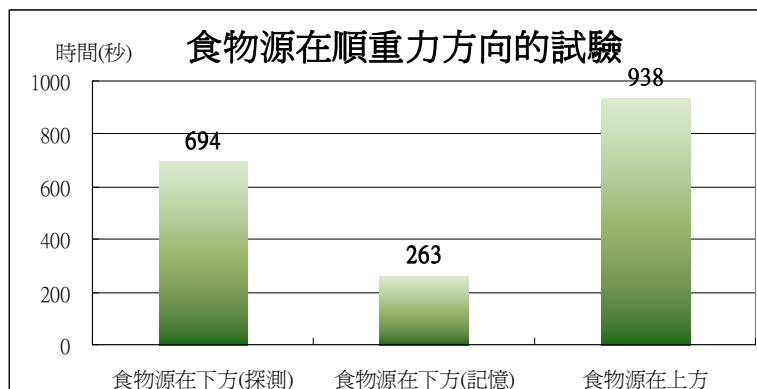


(三) 探究舉尾蟻定位食物時可能使用的依據方式

前兩個實驗顯示雖然舉尾蟻的記憶力不持久、但牠們確實能夠記憶食物源的方位，因此我們相當好奇舉尾蟻是如何建立這個記憶性？我們提出了以下幾項假說並進行測試，結果如下：

假說一：舉尾蟻可能會利用食物源相對重力場的方向來協助記憶

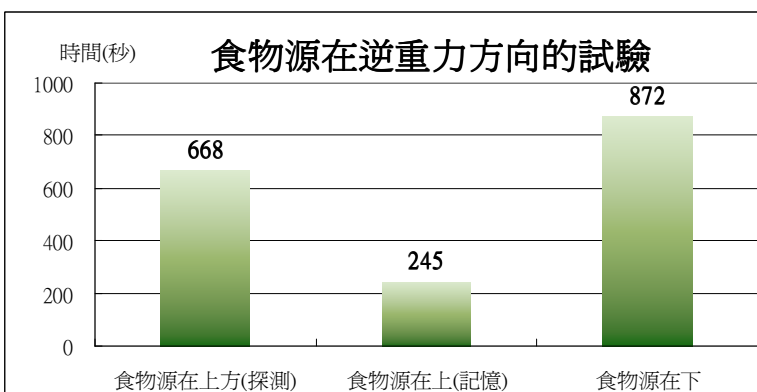
實驗一：在能改變食物源相對重力場方位的裝置中，讓舉尾蟻尋覓食物



結果說明：

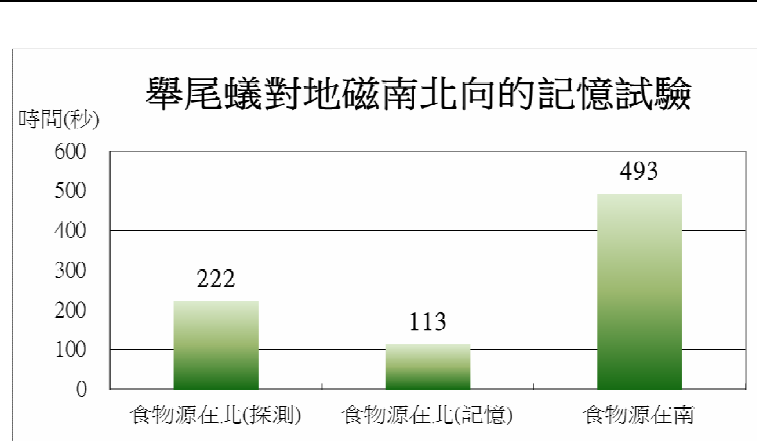
(一) 改變食物源的重力方向後，舉尾蟻須花費比初、二次探測更長的時間，顯示舉尾蟻相當仰賴食物源與重力方向的相對定位性。

(二) 無論將食物源以順重力或逆重力方向放置，皆得到類似結果。



假說二：舉尾蟻可能會利用食物源相對地磁的方向來協助記憶

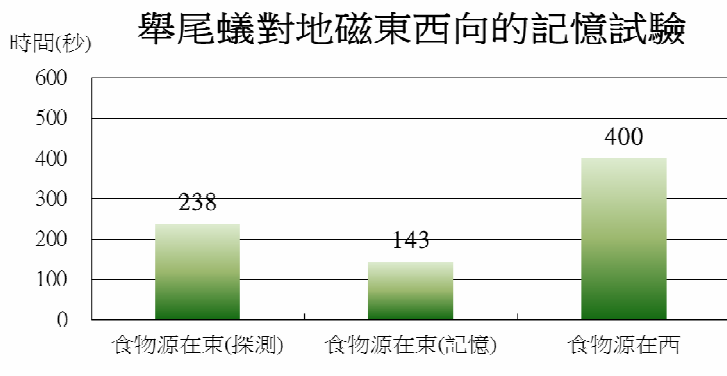
實驗二：在能改變食物源相對磁力場方向的裝置中，讓舉尾蟻尋覓食物



結果說明：

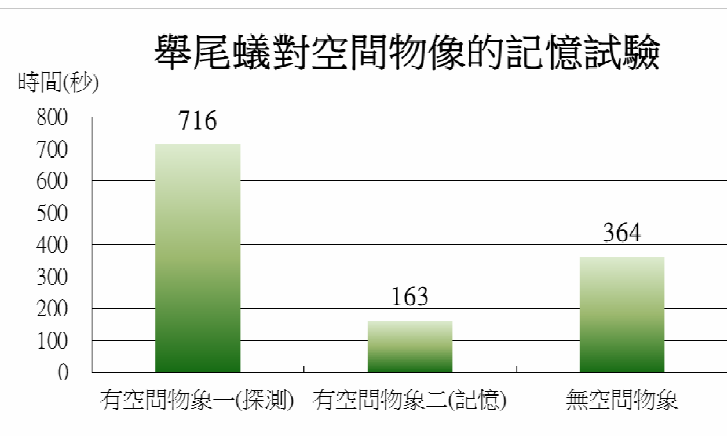
(一) 我們發現改變食物源的地磁方向後，牠們須花費比初、二次探測更長的時間，顯示舉尾蟻相當仰賴食物源與地磁方向的相對定位性。

(二) 無論將食物源以東西向或南北向放置，皆得到類似結果。



假說三：舉尾蟻可能會利用環境空間物像來輔助記憶

實驗三：在有／無空間輔助物像的環境下，讓舉尾蟻在立體空間模型中尋覓食物。

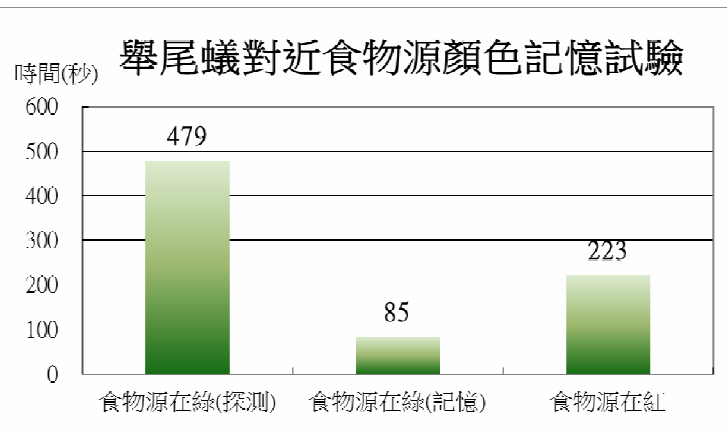


結果說明：

去除空間物象後舉尾蟻須花比二次記憶更多的時間，顯示牠們需要空間物像協助定位食物源，但由於所需時間還是比初次探測少，故推測除了空間物像以外，舉尾蟻還會依賴其他方式幫助定位。

假說四：舉尾蟻可能會利用近食物源的顏色來協助記憶

實驗四：在能改變食物源背方顏色的裝置中，讓舉尾蟻尋覓食物

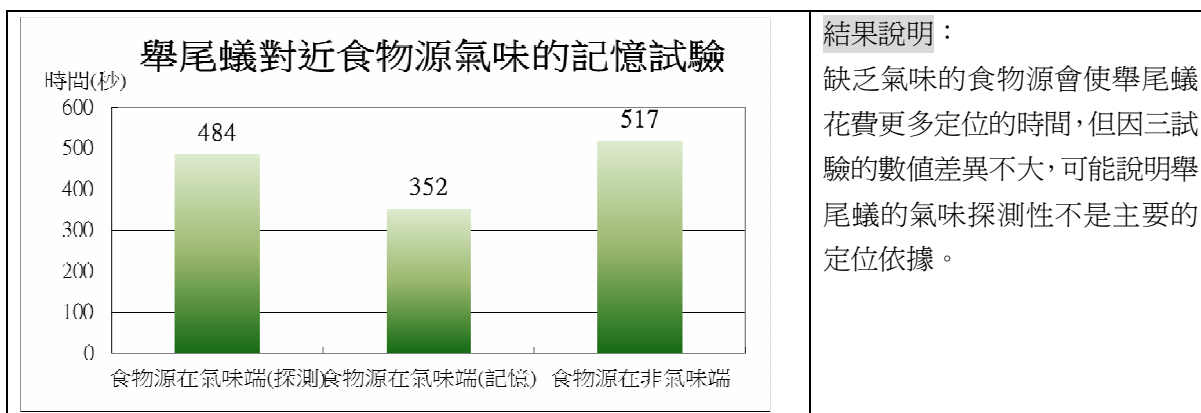


結果說明：

改變食物源的對應顏色後，舉尾蟻須花費比二次探測更長的時間，顯示牠們會仰賴此變因做定位。但所需時間還是比初次探測時少，可得知除了近食物源顏色以外，舉尾蟻還會依賴其他方式幫助定位。

假說五：舉尾蟻可能會利用近食物源的氣味來協助記憶

實驗五：選用氣味濃郁的哈密瓜放在能改變食物源氣味的裝置中，讓舉尾蟻尋覓食物



結果說明：
 缺乏氣味的食物源會使舉尾蟻花費更多定位的時間，但因三試驗的數值差異不大，可能說明舉尾蟻的氣味探測性不是主要的定位依據。

根據上述實驗結果，我們可推知舉尾蟻主要以『地磁』與『重力』的本體感覺方向性記憶來定位食物源。而牽涉到『視覺』的近食物源顏色與空間物像和『嗅覺』的近食物源氣味則可能是舉尾蟻的次要判斷標準。

三、觀察樹居舉尾蟻於覓食路徑中遇到不同障礙時可能的表現行爲

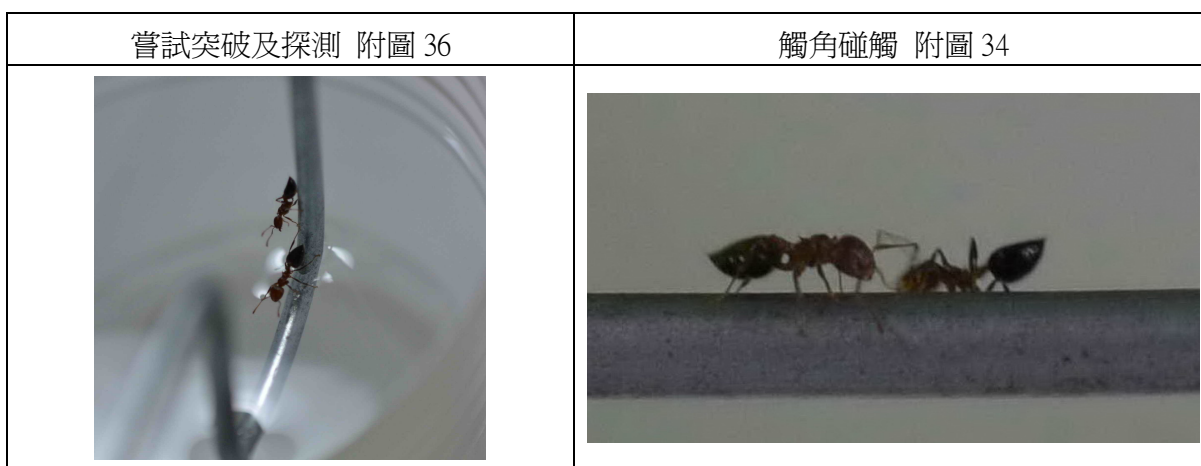
(一)觀察舉尾蟻面對物理性障礙的反應

	0.5 公分	0.1 公分	0.05 公分
探測	+++	++++	+
折返	+++++	++++	+
嘗試突破	+++	++++	++
觸角碰觸	+++	++++	++++
通過	—	—	++++

+表單位次數，最多5個+，—表無

1、行爲定義：

- (1)、探測為舉尾蟻在鐵絲與水面交界處，以觸角觸碰水面，行爲似乎在探測水深是否可以通過，但其六肢仍在鐵絲上。(附圖 36)
- (2)、折返為舉尾蟻在觸碰水面後立即回頭。
- (3)、嘗試突破為舉尾蟻在鐵絲與水面交界處，只有後四肢抓著鐵絲，前兩肢在水面上游移，行爲似乎想嘗試游過。(附圖 36)
- (4)、交談為舉尾蟻在接觸過水面後與其他舉尾蟻有觸角觸碰觸角的行爲。(附圖 44)
- (5)、通過為舉尾蟻穿越水障礙。



- 2、由試驗結果可知當舉尾蟻遇到 0.5 公分或 0.1 公分（超過其高度）的水深時，它們表現出先『探測』而後『折返』的行為次數很高，但水深只有 0.01cm 時（較其深高淺），舉尾蟻退縮的行為次數就會減少、突破的行為次數就增多。
- 3、獨立將舉尾蟻對 0.05cm 水深障礙的行為反應隨時間推移的變化情形作圖，發現退縮行為（例如：折返）次數會越來越少，積極突破的行為（例如：通過）則會越來越多（參考圖表），顯示 0.05cm 的水深對於舉尾蟻而言應不構成障礙。

(二)觀察舉尾蟻面對化學性障礙的反應

時間 \ 行爲	在新路徑上停頓	通過	折返	交談
0~2 分	+++	+++	+++	+++
2~4 分	+++	++++	++	++++
4~6 分	++	+++++	++	+++++
6~8 分	++	+++++	+	++++
8~10 分	+	+++++	+	++++

+表單位次數，最多5個+，-表無

我們發現起初新路徑上停頓的舉尾蟻隻數都相對通過的舉尾蟻隻數多，但隨著時間越長，舉尾蟻嘗試突破新路徑的次數越多，停頓行為就會漸漸減少了，然而探測及交談行為在實驗觀察下發現每個時段皆有。

(三)觀察舉尾蟻面對生物性障礙的反應

(1)馬陸障礙測試

	觸碰後逃	觸碰後攻擊	觸碰後通過	舉尾
0~2 分鐘	+++	+	++++	—
2~4 分鐘	++	+	++++	—
4~6 分鐘	++	++	+++++	+
6~8 分鐘	+	++	+++++	++
8~10 分鐘	+	++	+++++	++

+表單位次數，最多5個+，—表無

圖表顯示舉尾蟻遇到體型相對自己很大但並不具威脅性的馬陸時，『逃跑』行為的次數隨時間而減少，通過隻數逐漸增加，『攻擊』以及『舉尾』兩種反應則隨時間推進而逐漸趨緩。

(2)他巢舉尾蟻障礙測試

	觸碰後逃	觸碰後攻擊	觸碰後通過	舉尾
0~2 分鐘	+	—	+++	++
2~4 分鐘	—	+	+++	+++
4~6 分鐘	—	+++	+++	++
6~8 分鐘	—	+++	++++	++
8~10 分鐘	—	+++	+++++	++

+表單位次數，最多5個+，—表無

由圖表顯示舉尾蟻在遇到他巢舉尾蟻時，『逃跑』行為的次數會隨時間而減少，通過隻數逐漸增加，攻擊的次數會隨時間推進而增加，然而舉尾隻數則先是上升再趨緩。

四、探討樹居舉尾蟻對覓食風險及獲利評估的策略行為

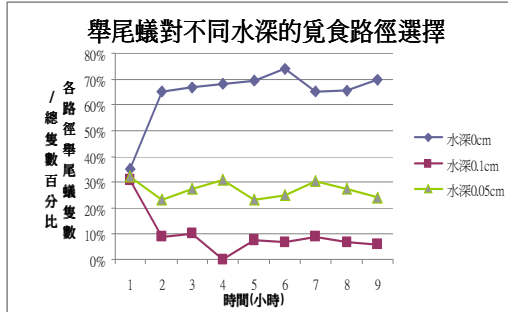
(一)樹居舉尾蟻對覓食風險的評估

架設三條分別有 0、0.1、0.05cm 水障礙的覓食路徑，觀察並記錄隨時間推移各路徑螞蟻分配比例與行為。

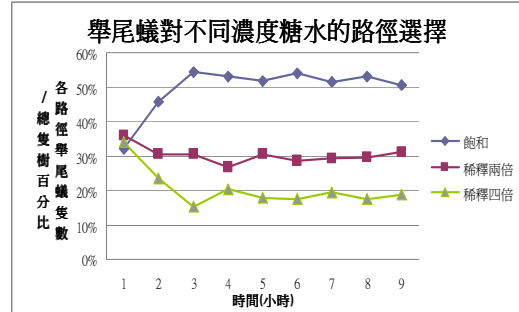
(二)樹居舉尾蟻對覓食獲利的評估

架設三條同長路徑，但糖水濃度分別為飽和、稀釋兩倍、稀釋四倍，觀察並記錄隨時間推移各路徑螞蟻分配比例與行為

樹居舉尾蟻對覓食風險的評估



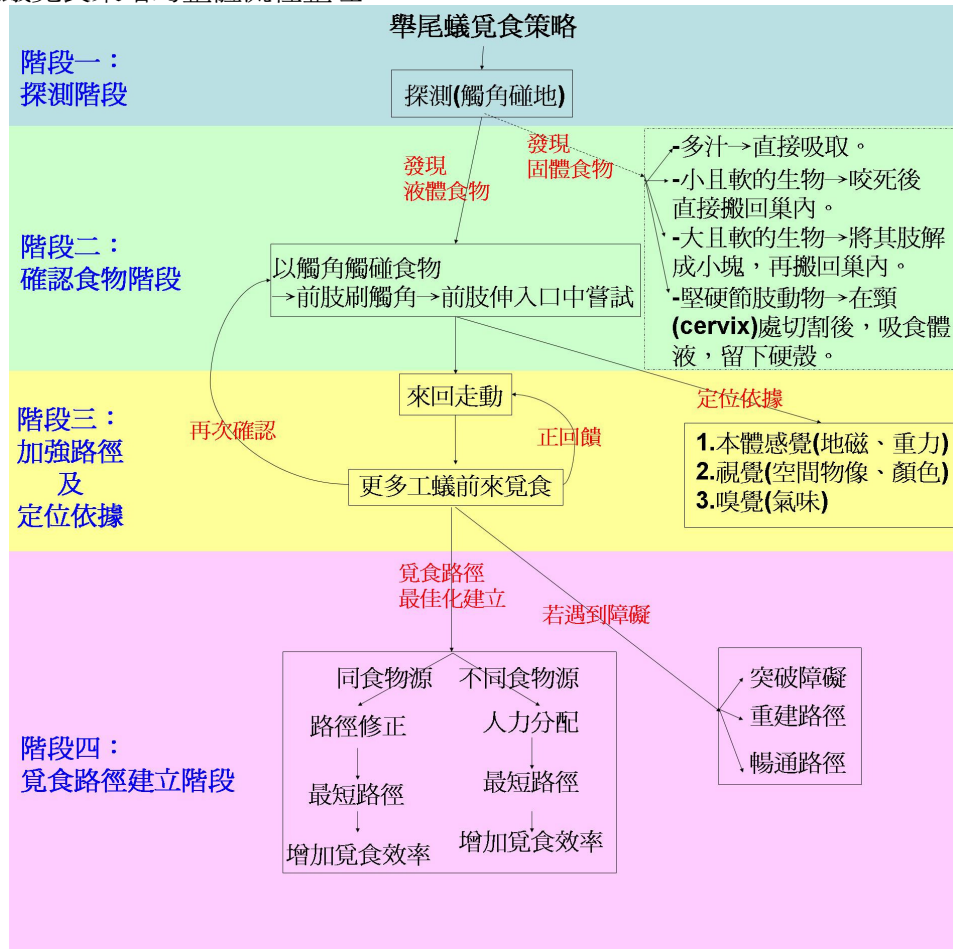
樹居舉尾蟻對覓食獲利的評估



結果顯示舉尾蟻有評估最高覓食獲利、最低覓食風險之判斷力。

陸、討論

一、舉尾蟻覓食策略的整體流程整理：



二、舉尾蟻在建立覓食路徑上的探討

(一) 覓食行為的分析

- 舉尾蟻在開始尋覓食物時，會先以觸角不斷碰觸行走路面且時時探測，可能有助於探尋路徑上可能留存的各種氣味或費洛蒙痕跡（例如：同伴先前留下過的軌跡費洛蒙、他巢螞蟻或他種螞蟻的費洛蒙、其他生物的費洛蒙、食物的氣味...等）。
- 本實驗中主要以糖水餵食，發現舉尾蟻會以觸角碰觸並沾取少許成分，再用前肢清理後送入口中品嚐以確認是否為食物；但我們在實驗過程中也看過幾次舉尾蟻取食其他非液態食物源的經驗（例如：死甲蟲、死飛蛾、食蚜虻幼蟲）（附圖 35、36、37），發現牠們一樣會先在食物源身上與周邊來回探測數次，但在無法『觸角沾取、前肢刷處、口中嚐試』的情形下舉尾蟻依舊知道這是可取食的對象，並迅速用大顎咬住該食物源較為柔軟的頸部（cervix），讓更多舉尾蟻前來取食或肢解、搬回巢穴。因此我們針對舉尾蟻對食物源的確認行為作了以下彙整與討論：

- 當舉尾蟻遇到液態食物源時，舉尾蟻會以觸角碰觸並沾取少許成分，再用前肢清理後送入口中品嚐以確認是否為食物。
- 當舉尾蟻遇到非液態食物源時，舉尾蟻會先以觸角碰觸探測（推測可能藉獵物身上所散發出來的某種氣味／費洛蒙檢測時食物源的可食性與威脅性），然後以大顎箝制獵物再拖回巢穴。若獵物體型較大時，則會有數隻舉尾蟻合力壓制

住獵物並就地肢解再帶回巢穴。

3. 觸角探測與口器嚐試對食物源確認的意義：根據文獻（四）指出，一般螞蟻觸角最前端的鞭節上有許多感測觸覺與嗅覺的受器，前肢的脛梳則有清刷頭部與胴部以集中”垃圾”進入消化系統起點--口下袋的功能，口下袋不僅可集中身上的髒東西、亦可協助螞蟻攝取食物、把所有固體或半固體食物中的汁液擠出來並清除殘留渣滓。因此對於只能消化液狀食物的舉尾蟻而言，我們推測『觸角沾取』與『舔吮前肢』這兩個行為可說是覓食策略中重要的起始環節，前者確認食物的可食性、後者加強食物的攝取判斷力。
4. 一旦發現食物並確認可食後，舉尾蟻會在食物源觸環繞數次（例如：於本實驗中常見舉尾蟻在裝著糖水的培養皿邊緣環繞數圈）後再開始取食，推測可能有助於軌跡費洛蒙訊號的建立與加強，以利後來的同伴覓食。



食蚜虻幼蟲 附圖 35



死飛蛾 附圖 36



死甲蟲 附圖 37



附圖 38

(二) 建立新路徑所需經過的最小次數

1. 根據文獻（四）指出，螞蟻身上具有多種分泌費洛蒙的腺體，分佈範圍從口部、頭部到胸、腹部、尾部皆有，因此螞蟻幾乎走到哪就會留下不少費洛蒙，特別是對於定位與溝通所需要用到的軌跡費洛蒙。因此我們認為一條新覓食路徑的建立肯定需要一定濃度的費洛蒙累積，且應當會和螞蟻經過的次數成現正相關。
2. 我們在實驗中觀察舉尾蟻在新的覓食路徑開拓過程中以觸角貼地探測各種訊號，也不時在某些路段來回行走；當找到食物源後，它們更會在食物源周圍或者在巢穴通往覓食路徑的入口處反覆走動，可能與為留下高濃度費洛蒙訊號的目的有關，因此我們才想利用舉尾蟻在新路徑上的行走次數來評估這個路徑被認可的意義性。

3. 從實驗結果，我們發現若要觀察最少行走次數對舉尾蟻覓食的影響，我們只需對第一次大量增加來討論，起初的平滑曲線是由一些探測蟻的來回走動而來，故覓食的舉尾蟻增加速率不快，但當行走次數超過 70 次後，可能因軌跡費洛蒙濃度超過一定值，進而使在食物源的舉尾蟻隻數大增，推測他們已建立一穩定覓食路徑，於是我們可以推知出舉尾蟻建立路徑所需行走的最少次數。

(三) 在食物源距離巢穴路徑長短的試驗中，舉尾蟻若對同一食物源時，會逐漸將路徑修正成最短路徑，以增加覓食效率。若對不同食物源時，舉尾蟻會懂得蟻力的最佳分配，將大量的舉尾蟻分配至最短路徑，亦是增加整巢的覓食效率。我們希望在未來能將食物源的濃度條件與以改變，觀察舉尾蟻能否懂得對食物源的選擇。

二、如何定位食物位置？

(一) 我們建立了一個立體空間模型，是想模擬自然環境中樹居舉尾蟻的覓食狀況。發現舉尾蟻對食物源的方向性定位有記憶性，其定位依據似乎相當仰賴本體感覺，其次運用視覺，最後依據嗅覺。結果顯示舉尾蟻在定位食物源上：

1. 舉尾蟻主要從傍晚開始至清晨活動，這段期間光線並不充足、無法讓舉尾蟻的視覺發揮，因此對於重力場與磁力場的本體感覺可說是相當重要的定位工具。根據文獻（五）顯示，螞蟻具有感測重力的本體感覺受器，文獻（三）也介紹到螞蟻體內某些細胞可能具有奈米磁性分子、可協助感測地球磁場性，因此我們推測舉尾蟻應亦相當善用這兩種感知能力來協助食物源的定位與記憶。
2. 觀察上可見舉尾蟻有複眼構造，雖然沒能在文獻上查出其組成之小眼數量究竟有多少，但對照同為家蟻亞科（*Myrmicine*）的紅火蟻資料，顯示其小小的複眼裡可能只有數十個、或者不到百個的小眼，因此我們推測舉尾蟻在成像的解析度上應該不會很好；我們的實驗結果也顯示視覺性的輔助測試對於舉尾蟻定位與記憶食物源有部分成效，但應非主要依賴工具。
3. 大部份網路文獻都表示螞蟻會倚賴嗅覺探測食物位置，而根據文獻（五）的確說明螞蟻的觸角上有錐形感受器、毛狀感受器的嗅覺感官受器。我們進行嗅覺記憶測試之前先做了「舉尾蟻是否有依據氣味來尋找食物」的實驗(裝置如附圖 38)，結果顯示會有高比例的舉尾蟻選擇有氣味分子的出口，故我們才進一步提出了舉尾蟻可能有對近食物源的氣味來協助記憶的假說，但實驗結果我們可以推測舉尾蟻會利用氣味來判定食物方位，故我們提出甲說五—「探究舉尾蟻定位食物時可能使用的依據方式」。但實驗結果卻不如我們預期的明顯（二次記憶後所需花費的時間雖比初次探測少但差距不大），推測可能我們在實驗中所使用的哈密瓜對牠們而言並非是強烈氣味的代表，因此在自然覓食狀況下是不是一項主要的定位依據，可能還有待商榷。但有介紹螞蟻的網站指出螞蟻的嗅覺範圍會跟其體型大小成正比，或許舉尾蟻對於費洛蒙以外的空氣分子接受性也會受其體型限制也說不定！

三、覓食過程遇到障礙會如何反應？

(一) 自然環境下舉尾蟻極可能於覓食路徑遭遇障礙，因此我們設計的幾項實驗觀察，發現：

1. 在物理性障礙中，我們觀察到舉尾蟻相當討厭水。以簡單的培養皿水障礙測試可見，牠們在自然狀況下絕不會主動爬進水裡，除非唯一的路徑被水阻礙了舉尾蟻才會找水最淺的區塊強行突破。因此我們設計模擬野外下大雨覓食路徑可能淹水的障礙時，看到舉尾蟻會探測並分辨水深對其通過障礙的可行性，由文獻（五）指出螞蟻

在觸角、前肢、口器等處有機械性與壓力感測器，因此我們所看見的『探測』與『嘗試突破』等行為可能就是舉尾蟻在分析水深的重要動作。而經量測我們發現舉尾蟻平均身高大概都有 0.1 公分左右，故我們能在水深只有 0.05 公分的障礙裡看到大量通過的趨勢，可能跟舉尾蟻判斷此深度較不具威脅性有關。

2. 我們在操作化學障礙上將以建立好的路徑替換成一條新路徑作為試驗，發現無論從食物源出發還是從巢穴方向出發的舉尾蟻都會在新路徑入口出有明顯的停頓行為，但已在食物源區取得食物準備返巢的舉尾蟻會率先突破疑慮踏上沒有任何費洛蒙訊號的路，隨著時間推移、新路徑被走過的次數增多，可能重新建立一定的費洛蒙訊號，就讓我們得以看見越來越多舉尾蟻在此新路徑上行走。推測舉尾蟻有在短時間內重建路徑的能力。
 3. 生物性障礙的試驗中我們發現舉尾蟻對於自己的食物相當保護，因此放入他巢舉尾蟻時我們很快就會看到他們以舉尾並用大顎箝住制伏外來物的行為，而且箝制住的同時腹部還會不斷上下晃動，好似在散發出更多警戒費洛蒙的意義；而且這些舉尾蟻都是原來在覓食路徑上來回覓食的工蟻，能夠在得知有外敵入侵而迅速轉換其角色。且當已有足量舉尾蟻可應付此生物障礙時，其他舉尾蟻將不前去幫忙而繼續覓食，這項分工能力讓我們非常好奇，或許有什麼條件（ex：某費洛蒙）的啓發能開啓這道分工轉換開關，值得我們後續細細深究。
 4. 但若在生物性障礙中放入馬陸時，我們並沒有看到這麼激烈又兇悍的攻擊性，但舉尾蟻還是會作出驅趕的動作，可能有助於維持覓食通道暢通的目的。
- (二) 綜合而言，我們認為舉尾蟻在覓食過程中若遇到障礙均會採取盡力突破障礙以疏通原本覓食路徑的策略，但若有兩條食物源路徑、其中一條發生障礙時，舉尾蟻是否會評估覓食路徑的風險大小呢？我們期盼日後能繼續試驗以探討這個問題。

柒、結論

- 一、舉尾蟻的覓食行為始於觸角探測、前肢刷觸、口中辨識等步驟。
- 二、舉尾蟻會藉由重複行走以增加來回次數，來快速建立一條新的覓食路徑。
- 三、舉尾蟻在蟻巢至食物源之間會盡量選擇最短路徑，已達到覓食最佳效率。
- 四、舉尾蟻會對食物源的位置存有記憶性，雖然記憶力的維持不超過 30 分鐘，但卻會藉由食物源相對重力與地磁的方向性，以及部份視覺輔助與嗅覺協助來定位。
- 五、若在覓食過程中遇到障礙，舉尾蟻會努力嘗試突破以維持覓食工作的順暢性，特別是遇到具攻擊性的生物障礙時，覓食路徑上的部分舉尾蟻個體會暫時放下覓食任務轉而攻擊敵方以保護同伴覓食的順利性。

捌、參考資料及其他

- (一)第四十三屆科展 國中組 生物科【與蟻共舞—舉尾蟻社會結構與蟻巢結構研究】
- (二)第四十三屆科展 國小組 生物科【團結力量大—舉尾蟻群體性的觀察】
- (三)科學人雜誌 NO.122【動物磁感哪裡來?】
- (四)《科學月刊》螞蟻的身體 洪章夫（1976 年 3 月，75 期）
- (五)無脊椎動物學 任淑仙 淑馨出版社
- (六)《動物學》 Stephen A.Miller 原著，曾萬年 譯（2001 年，Mc Graw Hill／藝軒）
- (七)《第 27 屆中小學科展》螞蟻奇觀 鍾兆晉（1987 年）