

屏東縣第 60 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：生物科

組 別：國中組

作品名稱：

「蟑螂」包

～杜比亞蟑螂族群領袖生物行為之研究～

關 鍵 詞： 杜比亞蟑螂、動物行為、領袖（最多三個）

編號：

製作說明：

- 1.說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
- 2.編號：由承辦學校統一編列。
- 3.封面編排由參展作者自行設計。

「蟑螂」包

～杜比亞蟑螂族群領袖生物行為之研究～

摘要

本研究想瞭解杜比亞蟑螂成群而行是否與族群領袖的生物領導行為有關？而領袖的產生與性別、年齡又有什麼關聯性？因此利用 Y 字型紙盒實驗來探討蟑螂群體領導者的產生行為。本研究主要發現如下：

- 一、蟑螂群聚行為具有領袖領導的現象。
- 二、不同群體領袖蟑螂們會為了成為最後的領袖而打鬥（打鬥現象為相疊、互咬對方屁股，或以觸角相觸）最後，只會剩下一隻領袖。
- 三、實驗證明非羽化時期的領袖與羽化後的領袖皆為同一隻，且領袖皆為雌性領袖。
- 四、氣味與移動會對蟑螂追隨領袖的判斷產生影響且移動大於氣味的影響。
- 五、領袖蟑螂的追隨者雌雄性皆有，判斷其領袖氣味並非性費洛蒙。
- 六、領袖蟑螂的移動軌跡，可以使用 TRACKER 軟體進行追蹤，其在 10 公分*20 公分的範圍內，其移動範圍約為 3 公分左右，造成群聚現象。

壹、研究動機

「動物的行為分析」是一個非常有趣的研究領域，許多前人的研究皆以較高等的脊椎動物作為研究對象。在自然界中，可以看到生物群聚的現象：為何野雁排隊前進？麻雀成群飛翔？魚群成群游動？螞蟻排隊前進？（林俊宏譯，2010）包括最常見的蟑螂也是，如圖（一）。國中生物課堂上，我們已學習許多動物行為的相關例子。但我們身旁的許多生物，身體構造雖較為簡單，行為表現卻是複雜多樣的，因此我們很好奇，是否無脊椎動物（如：昆蟲），也可作為研究動物行為的實驗動物。我們第一個想到的問題是先有領袖才有群聚，還是先有群聚才有領袖呢？

我們以蟑螂作為實驗對象(如右圖 1-1 所示)，是因為它具備了許多模式生物的條件，如：數量多、易取得、成本低、易安置、生命力強…等。為何不選擇其他昆蟲呢？像蚊子這種昆蟲具有傳染病之風險；而像螞蟻，牠們會四處爬行，不意於觀察與安置，故不選擇此種昆蟲作為研究對象。而在眾多的蟑螂品種中，我們選擇以杜比亞蟑螂作為我們的實驗材料，因為牠的體型小易於觀察，且繁殖力很強，也無法如一般昆蟲爬行於光滑之垂直表面。在生活中，像蟑螂這種常見的昆蟲，常常不會被重視，因此我們打算從這裡探討蟑螂的領袖行為。從這當中了解蟑螂的群聚行為之特性，並從當中了解蟑螂的種種群聚行為，並了解各種互動行為，探討蟑螂的性別、年齡是否會對領袖蟑螂的影響因素，是否會有改變，也探討此種蟑螂是否因氣味，或行為動作來判別領袖，因此展開一連串探討實驗。





圖 1-1 蟑螂的分界與聚集

貳、文獻探討與分析

一、杜比亞蟑螂

杜比亞蟑螂（學名：*Blattella dubia* (Serville, 1839)），為節肢動物門蜚蠊目的一種昆蟲，原作寵物用途，但因繁殖力強而變成肉食性爬蟲與昆蟲的飼料。分布/產地為巴拉圭、烏拉圭和阿根廷。長約5cm，卵胎生，牠們無法爬上光滑的表面，即只能往水平或傾面爬行，而不能像一般的昆蟲一樣可在垂直的表面上爬行。特徵是雄性成蟲長有翅膀，雌性成蟲的翅膀退化，所以分辨公母非常容易。如下表2-1說明如何分辨雌雄及成蟲與幼蟲。

表2-1 杜比亞蟑螂之雌雄個體區分

<p>雌性成蟲</p>	<p>雄性成蟲</p>
<p>無翅膀</p>	<p>有翅膀</p>
	
<p>頭部無探出</p>	<p>頭部探出</p>
	

<p>成蟲</p>	<p>幼蟲</p>
<p>7-8節以上</p>	<p>6節</p>
	

二、領袖行為

一個群體中，領導者和追隨者是天生的，但是他們可以學會跟隨，但很難學會領導，不論是他們的個性。另外，領導者通常會馴化其他領導者的追隨者，以壯大自己的族群去馴化其他領導者，所以在最後通常只有一個領導者。而當兩個領導者放於同一空間時，會出現一陣打鬥現象，贏的領導者會馴化輸者，成為自己的追隨者，他們的個性通常會顯得安靜、攻擊性不強，也不會為地盤鬥爭。被馴化的領導者須具有幾個特徵：群居，服從領袖的社會行為，草食或雜食，領地需求不強（不會為地盤鬥爭），還有攻擊性不強等。

參、研究目的與問題

本研究主要目的是針對杜比亞蟑螂的族群特性設計實驗，以了解他們的群體決策是否優於個體，並且了解「領袖」在群體決策過程中的角色。

希望透過研究回答以下六個問題：

- 一、 研究杜比亞蟑螂之領袖行為及群聚現象。
- 二、 探討杜比亞蟑螂性別對領袖之影響。
- 三、 探討杜比亞蟑螂年齡對領袖的影響。
- 四、 探討紙板領袖氣味對杜比亞蟑螂的判斷影響研究。
- 五、 探討有無氣味的紙板移動對杜比亞蟑螂的判斷影響研究。
- 六、 探討紙板領袖氣味+移動對杜比亞蟑螂的判斷影響研究。
- 七、 利用 TRACKER 軟體分析隨行蟑螂的移動路徑分析

肆、研究設備與器材

研究設備及器材如下：

- 一、 Y字型跑道紙盒一個：長 66cm x 寬 15cm x 高 17cm（如右圖4-1），住要設計目的在於讓蟑螂領袖領導蟑螂走向不同的區域進行群聚行為。
- 二、 杜比亞蟑螂共20隻（如右圖4-2），（一）一開始使用幼蟲10隻雄蟲、10隻雌蟲，並分別用奇異筆在尾端進行編號。雄蟲編號M1~M10；雌蟲編號F1~F10。標號如下表4-1所示。



圖 4-1 自製 Y 型跑道紙盒



圖 4-2 10 隻雄蟲+10 隻雌蟲

表4-1 杜比亞蟑螂雄蟲、雌蟲編號表

雄蟲編號	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
雌蟲編號	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10

(二)第二群的杜比亞蟑螂也有20隻，其中八隻雄蟲，12隻雌蟲，分別標號為下表4-2所示：

表4-2 第二群杜比亞蟑螂雄蟲、雌蟲編號表

雄蟲編號	IIM1	IIM2	IIM3	IIM4	IIM5	IIM6	IIM7	IIM8				
雌蟲編號	IIF1	IIF2	IIF3	IIF4	IIF5	IIF6	IIF7	IIF8	IIF9	IIF10	IIF11	IIF12

- 三、昆蟲飼養箱一個
- 四、滴管
- 五、鑷子
- 六、膠帶
- 七、熱熔膠
- 八、麥片
- 九、米糠
- 十、紙板模型(如右圖4-3)
- 十一、照相機、錄影機
- 十二、TRACKER軟體(如右圖4-4)



圖 4-3 自製杜比亞蟑螂紙板模型

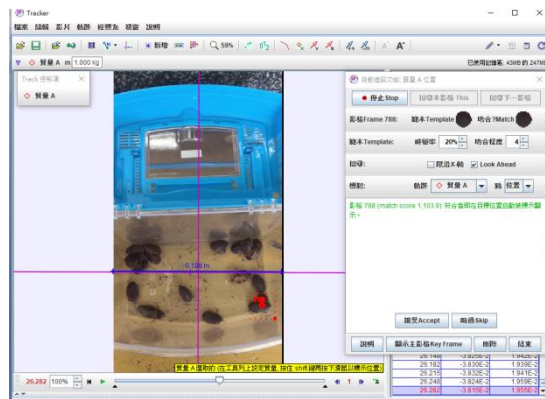


圖 4-4 TRACKER 軟體操作

伍、研究步驟與方法

(一)研究流程圖

下圖5-1是本研究的流程。我們設計以下六個實驗來回答提出的問題：

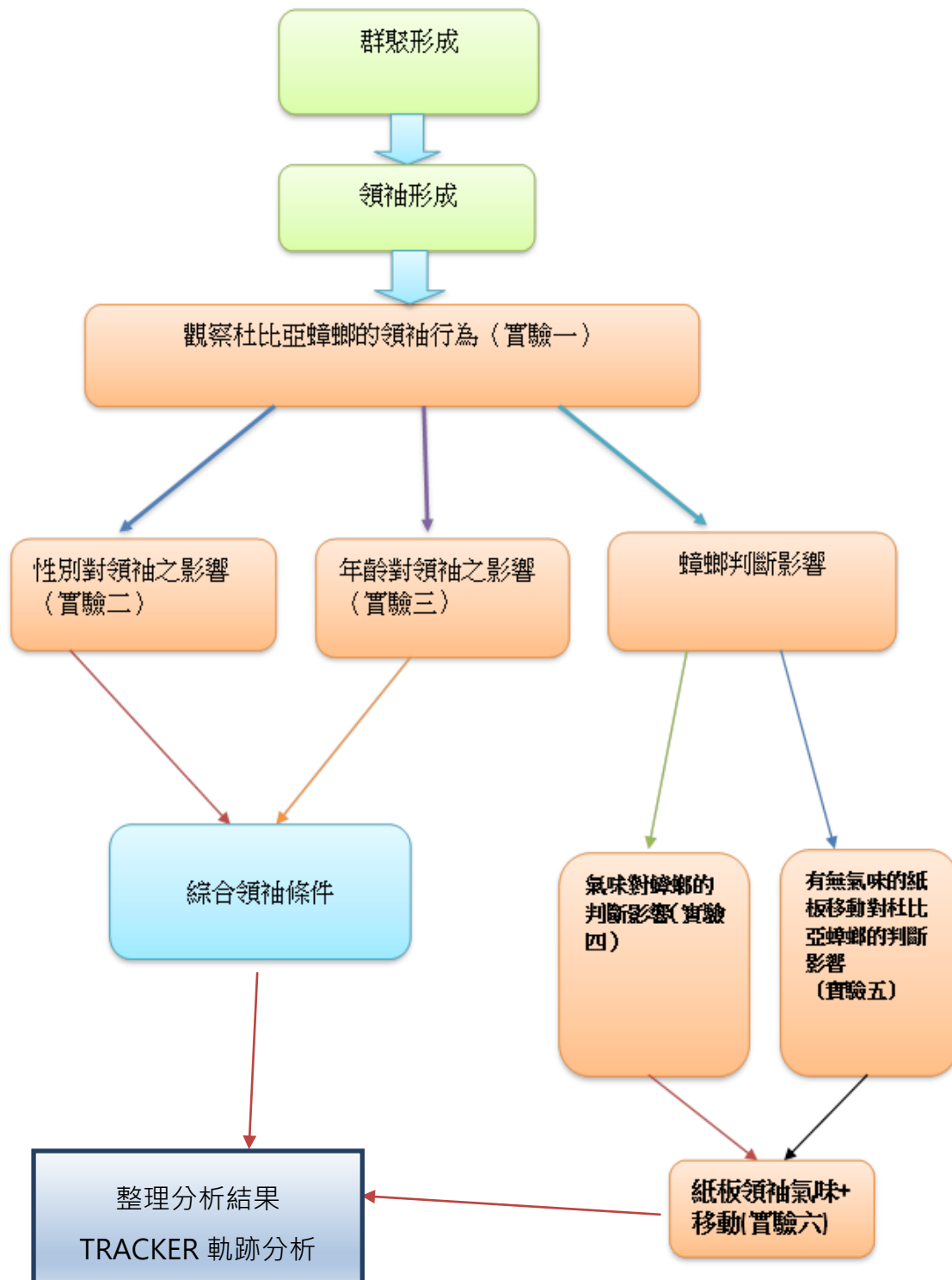


圖5-1實驗設計與流程

(二) 實驗組別與設計：

實驗一：蟑螂之領袖行為：從Y型跑道發現可能的領袖，並探討其特徵

實驗二：性別對領袖之影響：從實驗一中探討性別對領袖之影響

實驗三：年齡對領袖之影響：從實驗一中探討年齡對領袖之影響

實驗四：氣味對蟑螂的判斷影響：以有蟑螂氣味之蟑螂模型探討蟑螂的移動方向

實驗五：驗證有無氣味的紙板移動對杜比亞蟑螂的判斷影響:移動有和無氣味之紙板，觀察蟑螂的移動

實驗六：紙板領袖氣味+移動對杜比亞蟑螂的判斷影響：移動或不移動有或無領袖氣味隻蟑螂模型

為了研究杜比亞蟑螂領導模式，我們製作了一個蟑螂的Y型跑道紙盒（如圖5-1）。下文為研究步驟（全程皆採錄影紀錄）：

實驗一、杜比亞蟑螂之領袖行為及群聚現象：

1*將蟑螂放置於隔板前（如圖5-2）



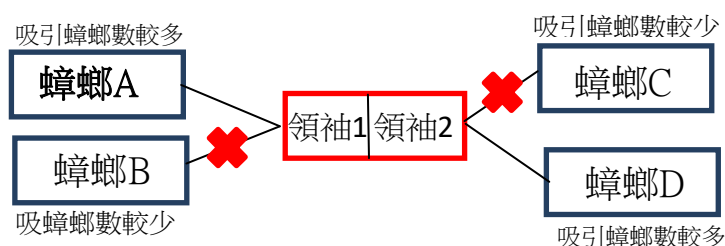
圖 5-2 Y 型蟑螂跑道盒設計

2*將隔板抽掉。

3*把隔板抽掉後，蟑螂會往兩端爬行，並觀察其現象。

4*找出可能的領袖。

5*做三次比較，找出兩個領袖：



6*將兩隻領袖放置於同一空間，並觀察記錄其現象圖。

實驗二、性別對領袖之影響

從《實驗一》中，我們將領袖夾出來觀察，探究性別對領袖之影響。

實驗三、年齡對領袖之影響

從《實驗一》中，我們也將領袖夾出來觀察，探究年齡對領袖之影響。

實驗四、氣味對螞蟻的判斷影響

1*製作四只螞蟻紙板模型（兩只備用）。

2*將一只螞蟻模型與領袖隻螞蟻放在一起七天（如圖 5-3），另外一只與其他 19 隻模型一起七天（如圖 5-4）。

3*延續 2*步驟七天。

4*將兩只模型放置於 Y 型紙板兩側。

5*觀察螞蟻群的行為（如圖 5-5）。



圖 5-3 位有氣味之螞蟻模型



圖 5-4 模型螞蟻與領袖螞蟻共存



圖 5-5 有無氣味之蟑螂模型靜置對於蟑螂群聚的影響

實驗五、有無氣味的模型移動對杜比亞蟑螂的判斷影響

- 1*重複《實驗四》1-3 步驟。
- 2*在 Y 型跑道兩側擺動模型，並將模型緩慢往 Y 型跑道盒前方移動（注意：此模型無沾染任何領袖蟑螂或非領袖蟑螂的氣味）。
- 3*觀察蟑螂的行為。

實驗六、紙板領袖氣味+移動對杜比亞蟑螂的判斷影響

- 1*重複《實驗四》和《實驗五》。
 - 2*移動有氣味模型
 - 3*不移動有氣味模型
 - 4*模型無氣味移動
 - 5*模型無氣味不移動
- } 比較
- } 比較

陸、研究結果與分析

一、實驗一：杜比亞蟑螂之領袖行為及群聚現象

(一) 此段分析我們將20隻蟑螂放置於Y型跑道盒的前端，掀開隔板之後觀察20隻蟑螂的前驅與聚集行為，發現共有兩個群聚。第一群聚為12隻，最前方移動的為F2，其他的蟑螂會聚集在F2之上；第二群聚為8隻，最前方移動的為F8，其他則會聚集在F8之上。重複步驟三次的結果，發現其群聚效應穩定，且兩群中的雌雄個體各占50%。其結果如下圖6-1、表6-1所示。

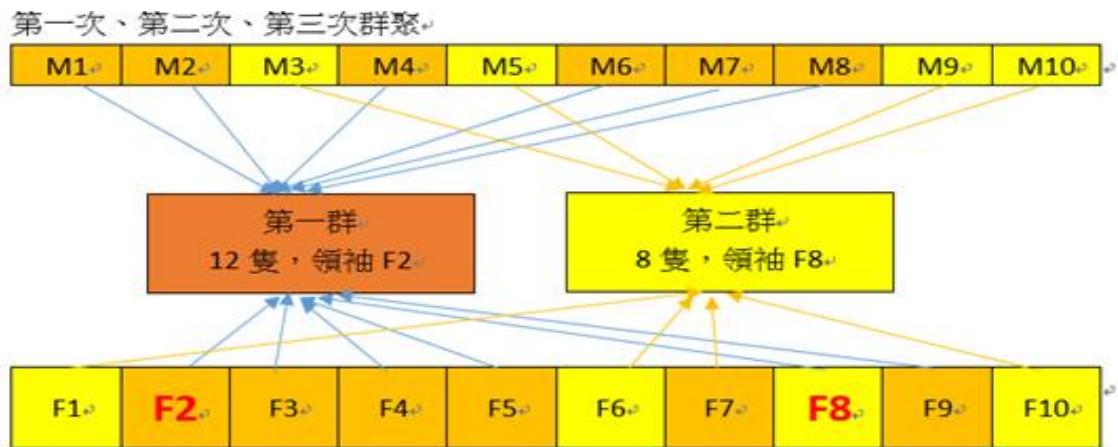


圖6-1 經過第一階段行為之分群結果

表6-1 前三次群聚結果分析表

族群	領袖編號	隻數(百分比)
第一群	F2	12(60%)
第二群	F8	8(40%)




The figure below the table consists of three pie charts. The central chart shows the overall population distribution: 50% female (orange) and 50% male (blue). Two smaller pie charts on either side show the gender distribution for each group: Group 1 (60% of the population) is 50% female and 50% male; Group 2 (40% of the population) is 50% female and 50% male.

(二) 經過第一階段群聚之後，我們找出F2和F8的領袖蟑螂，放置於杯內中進行領袖行為分析，我們將兩隻領袖蟑螂放置在一起（如圖6-2）後，發現兩隻領袖蟑螂會呈現打鬥現象（會呈相疊、互咬對方屁股，或以觸角相觸、擠壓，相關行為如表6-2所示）。最後其中一隻蟑螂成為領袖，另一隻會被領袖馴服，他會變得安靜、攻擊性不強，也不會為地盤鬥爭、不具有攻擊性。領導者通常會馴化其他領導者的追隨者，以壯大自己的族群去馴化其他領導者，所以在最後通常只有一個領導者。



圖 6-2 兩隻領袖的競爭

表6-2 領袖競爭行為

相疊	互咬對方尾端	互碰觸角	擠壓
			

(三) 經過領袖蟑螂的競爭之後，我們將競爭得勝的F2領袖和輸的F8領袖重新放回蟑螂堆中，經過1小時讓20隻蟑螂跑Y型跑道，其結果如下圖6-3和表6-3所示：

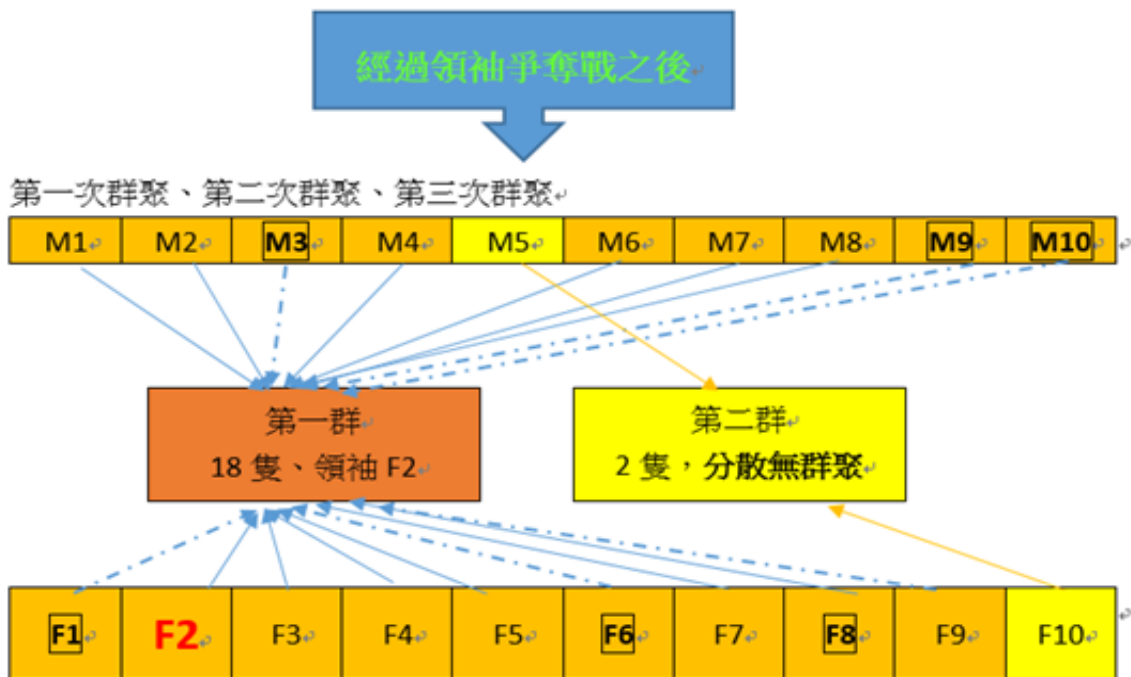
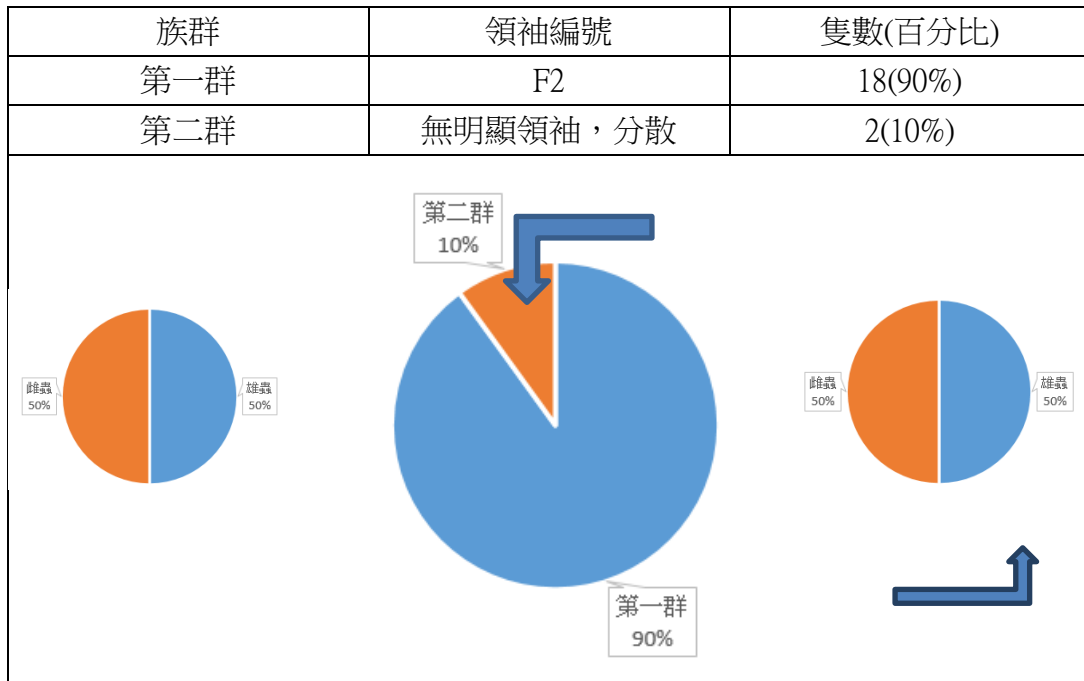


圖6-3 經過第二階段群聚行為隻分群結果

表6-3 第二階段群聚結果分析表



第二階度的群聚試驗得到第一群共有18隻（90%），而第二群僅省下2隻且不明顯群聚（10%）。有趣的發現為第一群是以原本F2為領袖的蟑螂群，且多吸引了6隻原本以F8為領袖的族群，其中F8也跑到第一群。我們重複該實驗3次，發現原本第二族群的M5和F10都無法跟第一群混合，這點現象讓我們覺得很有趣。

(四) 根據實驗一的實驗結果，我們統整出以下發現：

1. 在領袖爭奪戰之前，群聚的個體為固定，會有固定的追隨領袖。
2. 群聚領袖皆為未羽化雌性。
3. 在領袖爭奪戰之後，第二群的領袖(F8)已經成為第一群領袖(F2)的追隨者，所以第二群群聚行為產生崩潰，且更換領袖之後，群聚行為也為固定。

二、實驗二：性別對領袖之影響

在實驗一過後，我們重複養了另一群20隻杜比亞蟑螂幼蟲（雄8隻、雌12隻），經過三次Y型跑道實驗，其結果如下表6-4所示：

表6-4 II階段幼蟲領袖尋找結果表

	領袖性別	是否為幼蟲
II第一次實驗	雌性(IIF6、IIF8)	幼蟲
II第二次實驗	雌性(IIF6、IIF8)	幼蟲
III第三次實驗	雌性(IIF6、IIF8)	幼蟲
分群狀況	領袖	群聚狀況
第一群	雌性(IIF6)	11(55%)(雄5隻+雌6隻)
第二群	雌性(IIF8)	9(45%)(雄3隻+雌6隻)

The diagram illustrates the composition of the two groups. The central pie chart shows Group 1 at 55% and Group 2 at 45%. Group 1 is composed of 67% males and 33% females. Group 2 is composed of 54% males and 46% females.

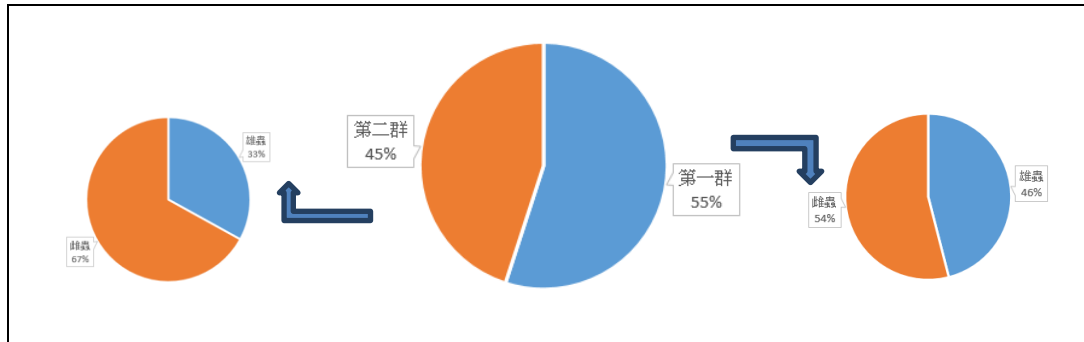
經過實驗二，我們原本以為雌性性費洛蒙是影響族群移動的主要關鍵，可是經過我們查閱文獻，蟑螂的性費洛蒙在成年羽化之後才會開始分泌，而我們使用的卻是幼蟲，所以幼蟲不會分泌性費洛蒙，所以為何幼蟲雌性會成為蟑螂領袖，這個謎我們無法用實驗數據進行解釋。在這個實驗中發現每次實驗過後的領袖皆為未羽化的雌性，推測為非性費洛蒙導致而成，若是羽化的成蟲呢？我們進行下一個實驗。

三、實驗三：年齡對領袖之影響

實驗二過後，我們將第二群的20之杜比亞蟑螂養成羽化的成蟲，再次進行Y型跑道實驗，其結果為下表6-5所示：

表6-5 II成蟲群聚結果分析表

族群	領袖編號	隻數(百分比)
第一群	IIF6(成蟲)	11(55%)(雄5隻+雌6隻)
第二群	IIF8(成蟲)	9(45%)(雄3隻+雌6隻)



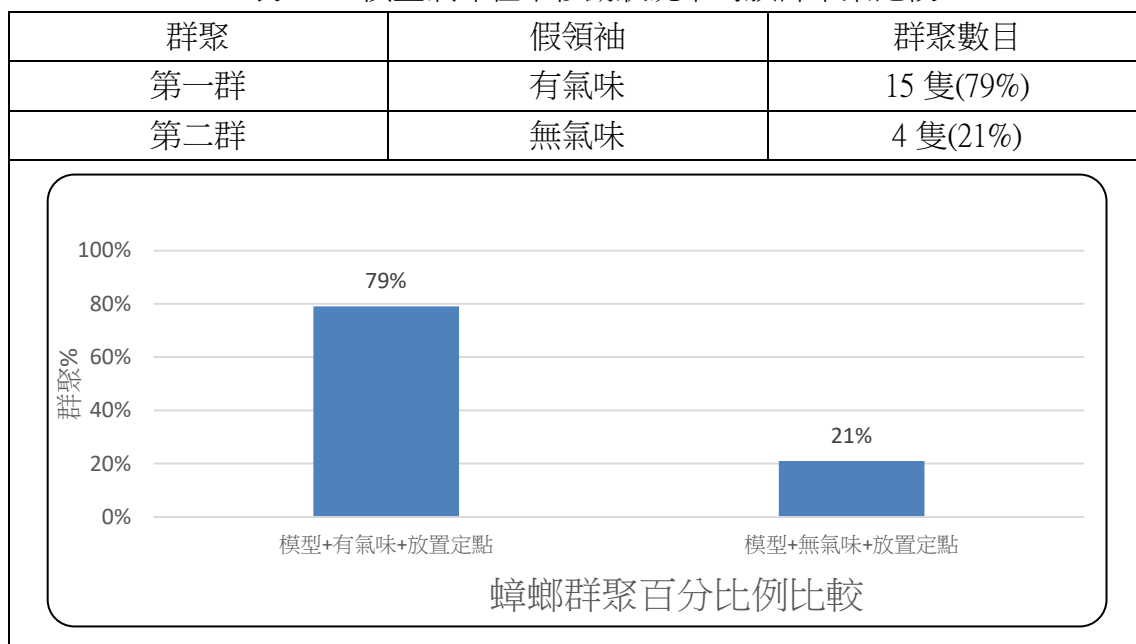
此段研究結果發現：

- (一) 所有實驗的領導者皆為成蟲雌性，且體型都是最大的兩隻雌性成蟲，可能體型較大、較強壯，所以在競爭方面有一定的優勢。
- (二) 幼蟲的IIF6變成成蟲IIF6，在幼蟲食為領袖，在成蟲的時候也為領袖；幼蟲的IIF8變成成蟲IIF8，在幼蟲的時候為領袖，在成蟲的時候也為領袖。得到這樣的結果，似乎雌性的領袖是天生的，在幼年時期和成年時期都表現出領袖行為。
- (三) 另一個有趣的發現，幼蟲時候的群聚個體和成年的時候的群聚個體是相同的，是否意味著一旦認定領袖之後就不會再有變更的改變(此實驗室將幼年時期的兩群蟑螂分開養育，沒有將兩隻領袖蟑螂進行混合培育)。

四、實驗四：氣味對蟑螂的判斷影響

結束實驗一之後，雖然未羽化的雌幼蟲不會分泌性費洛蒙，可是味道會不會也是影響群聚的結果，於是我們將一隻沾滿領袖氣味的模型蟑螂，和一隻沒有沾到領袖氣味的蟑螂模型放置在 Y 型跑道的兩端，開啟閘門之後觀看剩下蟑螂移動的結果並以第一階段經過領袖競爭後的結果作為比較，其結果如下表 6-6 所示：

表 6-6 模型氣味在不移動狀況下的族群聚集比較



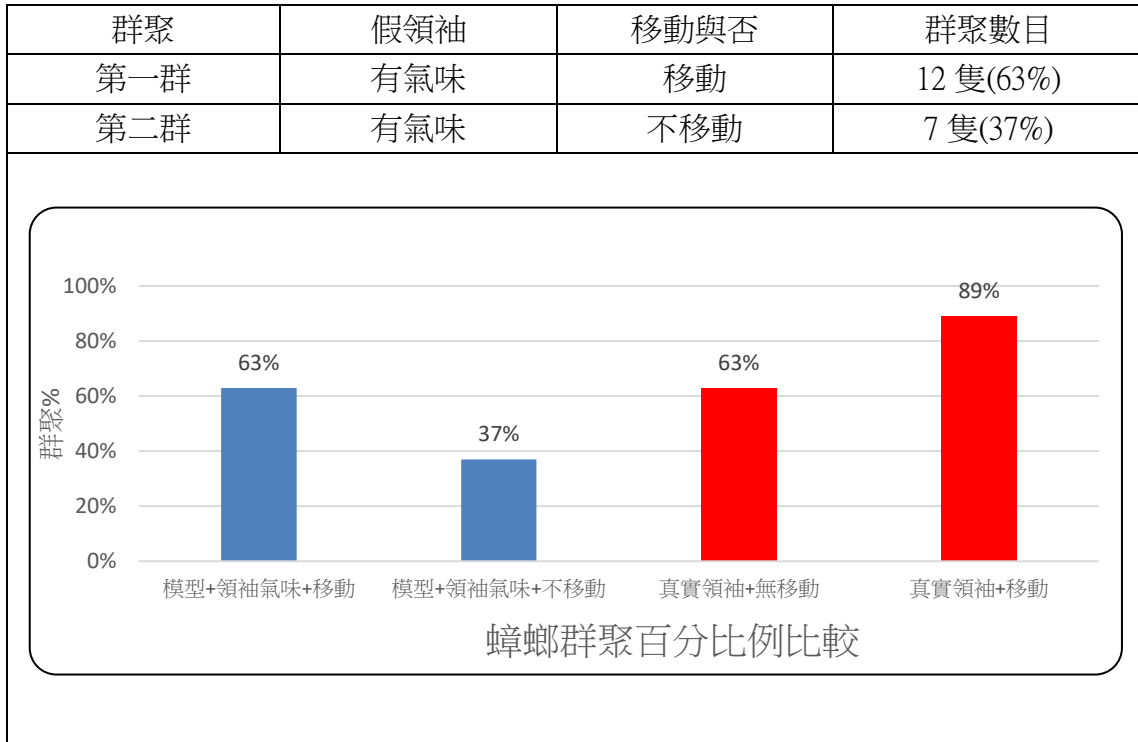
發現：

- (一) 若單獨比較模型有無氣味而言，有氣味的模型相較於無氣味的模型，其族群聚集率較高（79% > 21%）。
- (二) 若在不移動的狀況下，模型+領袖氣味+不移動與真實領袖+無移動的族群聚集率較為接近。
- (三) 推測未羽化的幼蟲氣味可能也為造成追隨領袖與群聚行為的主因。

五、實驗五：有氣味的紙板移動對杜比亞蟑螂的判斷影響

在這個實驗中，我們將一隻具有領袖蟑螂氣味的模型蟑螂放置在 Y 型跑道的一側終點，另外在閘道口以移動具有領袖蟑螂氣味的蟑螂模型，從閘道口讓模型開始項 Y 型跑道的另一側。結果發現，有氣味且移動之蟑螂模型比無氣味有移動之蟑螂模型跟隨者更多，其結果如下表 6-7 所示。

表 6-7 有氣味的紙板移動對杜比亞蟑螂的群聚影響



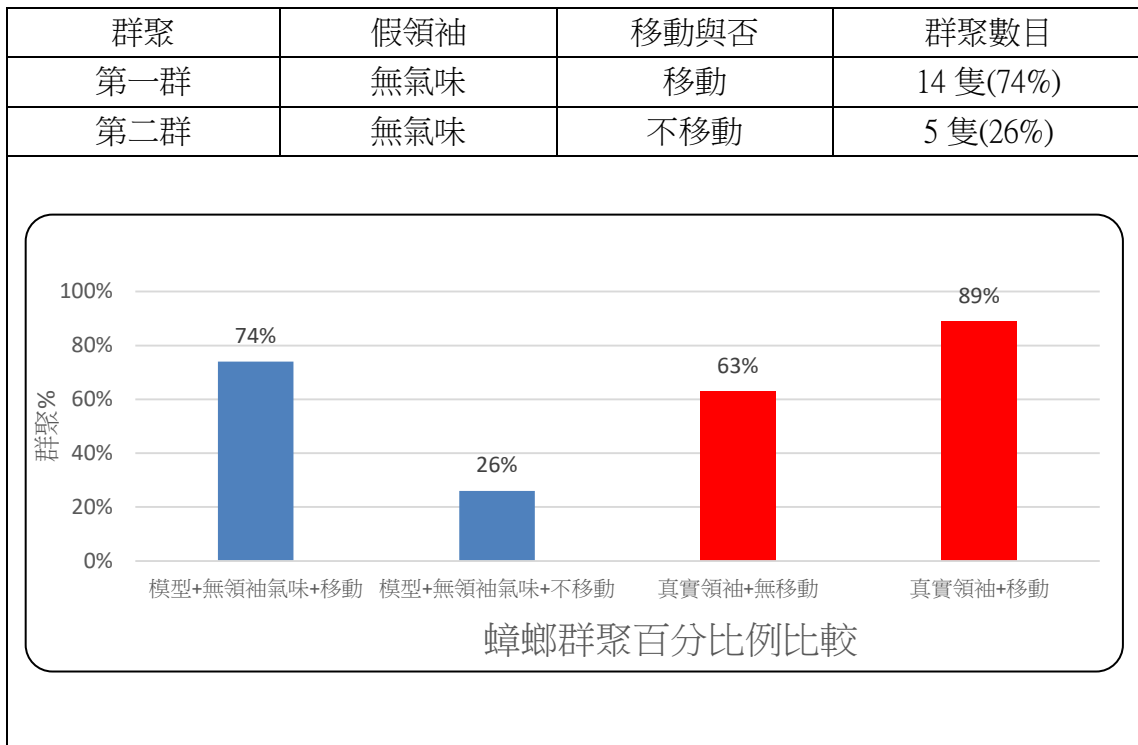
結果顯示：

- (一) 有氣味的移動模型相較於有氣味不移動的模型更容易達到大比例的群聚，且與真實領袖+移動的組別較為接近。
- (二) 顯示在有氣味的狀況下，移動的因素也為影響蟑螂群聚的主要因素之一。

六、實驗六：無氣味的蟑螂模型有無移動對杜比亞蟑螂的判斷影響

在這個實驗中，我們將一隻不具有領袖蟑螂氣味的模型蟑螂放置在 Y 型跑道的一側終點，另外在閘道口以移動不具有領袖蟑螂氣味的蟑螂模型，從閘道口讓模型開始項 Y 型跑道的另一側。結果發現，移動之蟑螂模型比不移動之蟑螂模型跟隨者更多，其結果如下表 6-8 所示。

表 6-8 無氣味的紙板移動對杜比亞蟑螂的群聚影響



結果顯示：

- (一) 在無氣味的狀況下，移動的蟑螂模型之聚集比例大過於不移動的蟑螂模型。
- (二) 模型 + 無領袖氣味 + 移動的聚集比例更接近於真實領袖 + 無移動組別和真實領袖 + 移動的組別。
- (三) 顯示移動為重要的影響因素。

柒、綜合討論

一、哪些因素主要影響群聚的因素？

為了討論這個問題，我們將模型、氣味、移動等三大因素的實驗數據，與真實領袖有無移動的聚集比例做整體的比較，其結果如下圖 7-1。

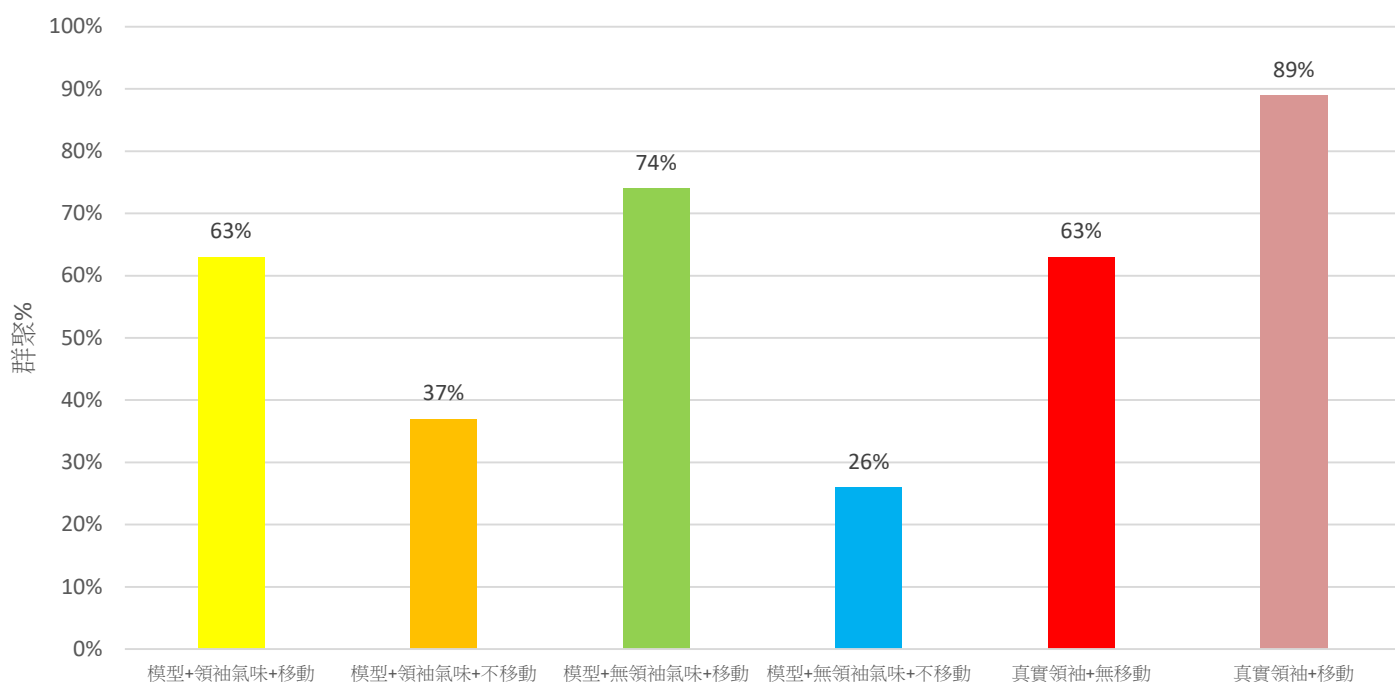


圖7-1 螞蟻群聚百分比例比較

結果討論：

(一) 若討論移動而言：

1. 模型有氣味的移動 > 模型有氣味的不移動 → 顯示移動為因素。(黃色/紫色長條圖比較)。
2. 模型無氣味的移動 > 模型無氣味的不移動 → 顯示移動為因素。(綠色/藍色長條圖比較)。
3. 真實領袖移動的群聚狀況 > 真實領袖不移動 → 顯示移動為因素。(紅色/紫色長條圖比較)。

(二) 若討論氣味而言：

1. 比較黃色暗綠色色長條圖，發現氣味在有移動的狀況下，移動的因素優於氣味。
2. 比較橘色和藍色 → 顯示氣味也為影響因素。
3. 比較橘色和紅色 → 顯示移動的因素優於氣味。

(三) 幼蟲的領袖為雌性，該雌性幼蟲成熟羽化之後仍為群體領袖，除了氣味的因素之外，是否具有其他的影響原因，還是天生的領袖特徵，這無法從我們的實驗中得到推論。

(四) 根據我們的研究結果，性別、移動和氣味都是影響因素。


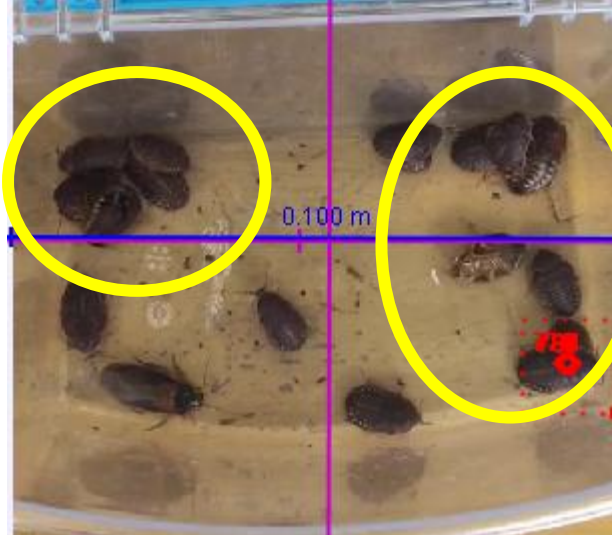
1. 領袖都是雌性（不論幼蟲或是成蟲）。
2. 移動的因素較氣味明顯。

二、 蟑螂的移動軌跡為何?

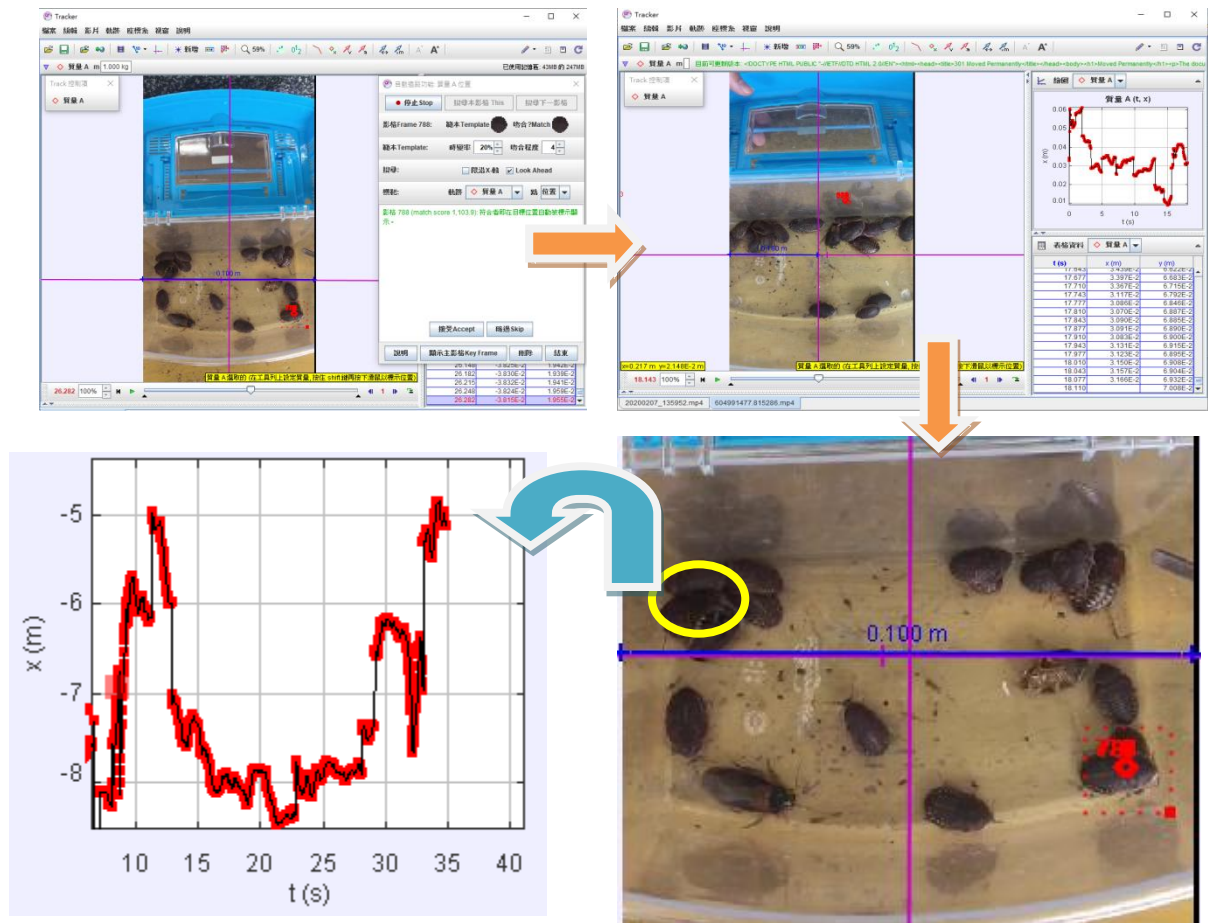
此段討論我們將我們所拍到的影片利用 TRACKER 軟體進行軌跡移動分析，分為下列各項進行討論：

(一) 在蟑螂的群聚上，分為單群聚與雙群聚兩現象：

表 7-1 蟑螂的群聚類型

單聚型	雙聚型
	
<p>通常發生在有激烈的外在攻擊或刺激的狀態</p>	<p>一般安靜的狀態下，大都為雙群聚型</p>

(二) 若分析蟑螂的移動軌跡，以起頭(分散)與結束(雙群聚)進行分析：



左邊群聚的領袖蟑螂，我們以 TRACKER 軟體分析，發現其在群聚形成的過程中，約在 X 軸之-5~-8 公分間移動，最後約在-5 公分的地方停住，其他蟑螂就以它為聚集地不斷堆疊上去。

(((截至截稿前，我們仍在分析其他影片，若有進入複賽，則會有新的整理)))

捌、結論

- 一、蟑螂群聚行為具有領袖領導的現象。
- 二、不同群體領袖蟑螂們會為了成為最後的領袖而打鬥。我們發現的打鬥現象為相疊、互咬對方屁股，或以觸角相觸、擠壓等四種明顯行為，最後，只會剩下一隻領袖。
- 三、實驗證明及領袖皆為皆為雌性，且幼蟲領袖羽化後仍為成蟲領袖。
- 四、氣味與移動會對蟑螂追隨領袖的判斷產生影響且移動大於氣味的影響。
- 五、領袖蟑螂的追隨者為雌雄皆有，判斷其氣味並非性費洛蒙。
- 六、領袖蟑螂的移動軌跡，可以使用 TRACKER 軟體進行追蹤，其在 10 公分*20 公分的範圍內，其移動範圍約為 3 公分左右，造成群聚現象。

玖、 參考文獻

- 一、行為生態學 (Behavioral ecology) 徐芝敏副教授
<http://www2.nsysu.edu.tw/Bio/images/commen/behecol98.pdf>
- 二、林俊宏譯，群的智慧，第一版，天下文化，2010
(Peter Miller, The Smart Swarm, McCormick & Williams, 2008)
- 三、自然與生活科技課本 (七上)，5-4 行為與感應，第三版，翰林出版，2019
- 四、郭東穎。生物的群聚行為與生存優勢-大肚魚的群體決策行為研究及電腦模擬。
第五十四屆中小學科學展覽國中組生物科第一名。
- 五、Shinnosuke Nakayama, 2013, “Following fish teach us that leaders are born, not made”, The Conversation, University of Cambridge.
- 六、Wolf, M., Kurvers, R., Ward, A., Krause, S., Krause, J., 2013, “Accurate decisions in an uncertain world: Collective cognition increases true positives while decreasing false positives”, Proceedings of the Royal Society of London, Biological Sciences, 280(1756), 1-9.