

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物及地球科學科

佳作

031720

雄蟻先成之矛盾與現實

學校名稱：臺北縣立林口國民中學

作者： 國二 徐伯瑋 國二 林廷諭 國三 韓琳 國三 林毅政	指導老師： 鍾兆晉
--	------------------

關鍵詞： 雄蟻、虐殺、性別比

摘要

本研究主要在探討不事生產的雄蟻，為何會違反漢彌爾頓定律，而在生殖季節前就提早出現。我們除了觀察雄蟻先成的時間及原因外，還要進一步討論雄蟻的地位及其對蟻巢的影響。從研究結果發現，雄蟻確實是會在生殖季節先產生，且數量會在生殖季前一年的冬天達到高峰。雄蟻先成的情形在山蟻亞科中最為明顯，且食物多寡、聚落大小等因素都會影響其雄蟻先成；而管琉璃蟻 (*Ochetellus glaber*) 的工蟻會在沒有蟻后存在的情況下，自行產下未受精卵。

先成雄蟻在蟻巢中的地位僅高於工蟻，並會隨著蟻巢生存壓力的增加而逐漸下降，最後工蟻甚至會透過各種弑親行為來調控雄蟻的數量進而減少蟻巢的負擔。雄蟻先形成除了能確保在非生殖季時蟻巢基因的延續以外，還能提早為生殖季的來臨做準備。

雄蟻先成之矛盾與現實

壹、研究動機

在深秋的某一天，我們幾個人在校園遊玩時，偶然發現了一個已經被破壞的蟻巢，原來是因為最近學校施工，把那棵樹砍倒了。就在四散的蟻巢中，我們意外的看到了零散的幾隻雄蟻，可是就我們的認知，雄蟻的生殖、交配季節應該是在夏季，那又為什麼不參與勞動的雄蟻會在生殖季節前就提早出現呢？從表面上看來這是一種無益、甚至不利於己的行為；若有多餘的資源，為什麼不去擴大自己的聚落，而去產生在非生殖季節裡不會使用的雄蟻呢？事出必有因，我們決定著手研究這件事情真正的意涵。

貳、研究目的

- 一、觀察雄蟻在聚落中先成的時間。
- 二、比較何種蟻蟻會有雄蟻先成的現象。
- 三、探究影響雄蟻先成的因素。
- 四、探討雄蟻在聚落中的角色及其所帶來的影響
- 五、比較雄蟻早形成與晚形成的優劣。

參、研究器材及設備

表一、野外採集的用具

編號	物品名稱	數量	規格
(一)	鏟子	2 把	
(二)	十字鎬	1 把	
(三)	飼養箱	4 箱	26 cm × 15 cm × 17 cm
(四)	垃圾袋	4 個	
(五)	夾鍊袋	6 個	28 cm × 20 cm

表二、室內實驗的器材

編號	物品名稱	數量	規格
(一)	試管	30 支	大：口徑 3 cm，長度 15.5 cm 中：口徑 2.3 cm，長度 14.5 cm 小：口徑 1.5 cm，長度 14.5 cm
(二)	試管塞	9 個	
(三)	試管架	2 個	
(四)	棉花	3 包	
(五)	紗布	6 包	
(六)	塑膠盒	60 盒	第一種：9.5 cm × 6 cm × 3.5 cm 第二種：12 cm × 8 cm × 5 cm 第三種：13 cm × 8.5 cm × 4.5 cm 第四種：15 cm × 8 cm × 5 cm
(七)	塑膠管	1 網	
(八)	石膏	11 包	
(九)	黑色絕緣膠帶	3 捲	1.75 cm 寬
(十)	紅色玻璃紙	1 張	
(十一)	木板	17 塊	
(十二)	相機	1 台	
(十三)	二氧化碳瓶	1 瓶	
(十四)	刷子	2 把	
(十五)	麵包蟲	0.5 斤	
(十六)	蜂蜜	1 瓶	
(十七)	底片盒蓋	3 個	
(十八)	鑷子	1 支	
(十九)	透明塑膠片	30 片	
(二十)	麥克筆	1 支	
(廿一)	鋁箔紙	1 捲	
(廿二)	Y 行管	3 支	

肆、實驗過程或方法

一、觀察雄蟻在聚落中先成的時間

(一)、野外觀察

- 1、找尋朽木裡、石頭下、土丘裡面是否有螞蟻聚落。
- 2、觀察找到的蟻群是否有雄蟻，紀錄之後帶回並飼養。

(二)、自行飼養

- 1、飼養琉璃亞科的螞蟻：黑頭慌蟻 (*Tapinoma melanocephalum*)、管琉璃蟻 (*Ochetellus glaber*)。
- 2、飼養家蟻亞科的螞蟻：太平洋皺家蟻 (*Tetramorium pacificum*)、寡家蟻 (*Oligomyrmex*)。
- 3、飼養山蟻亞科的螞蟻：黑棘蟻 (*Polyrhachis dives*)、大黑巨蟻 (*Campontus friedae*)、褐毛蟻 (*Lasius niger*)。
- 4、飼養針蟻亞科的螞蟻：華夏粗針蟻 (*Pachycondyla chinensis*)。
- 5、將從學校、重劃區、祖師廟等地方採集回來的實驗對象飼養在 25°C 恆溫的生長室，每天餵食適量的麵包蟲以及 20% 的蜂蜜水，觀察是否有雄蟻先形成。

二、比較何種螞蟻會有雄蟻先成的現象

- (一)、統計野外採集資料，觀察各種類螞蟻中雄蟻先形成的情形。
- (二)、製作成表，觀察各種類中雄蟻先成的比例。

三、探究影響雄蟻先成的因素

(一)、觀察雄蟻先成是否與食物數量有關

- 1、飼養琉璃亞科的管琉璃蟻 (*O. glaber*) 三窩，分成實驗與對照兩組。
- 2、對照組每日交替餵食麵包蟲與 20% 蜂蜜水；實驗組的食物量與實驗組相同，但隔週才更換。
- 3、每天觀察紀錄，看食物量的多寡是否會影響雄蟻先產生。

(二)、探究蟻后的有無是否會影響雄蟻先形成

蟻蟻採單雙套染色體性別決定機制。當蟻后消失時，抑制工蟻卵巢發育的荷爾蒙便不再存在於蟻巢中，於是未交配的工蟻便有可能產下未受精的卵。因此針對這事實，我們設計了以下實驗。

- 1、飼養琉璃亞科的管琉璃蟻 (*O. glaber*) 三窩，分成實驗與對照兩組。
- 2、飼養到各聚落穩定之後，以二氧化碳昏迷實驗組的蟻蟻，便將其蟻后取出。
- 3、每天紀錄實驗組和對照組中雄蟻的數量變化，並注意實驗組中的工蟻是否會自行產下未受精卵。

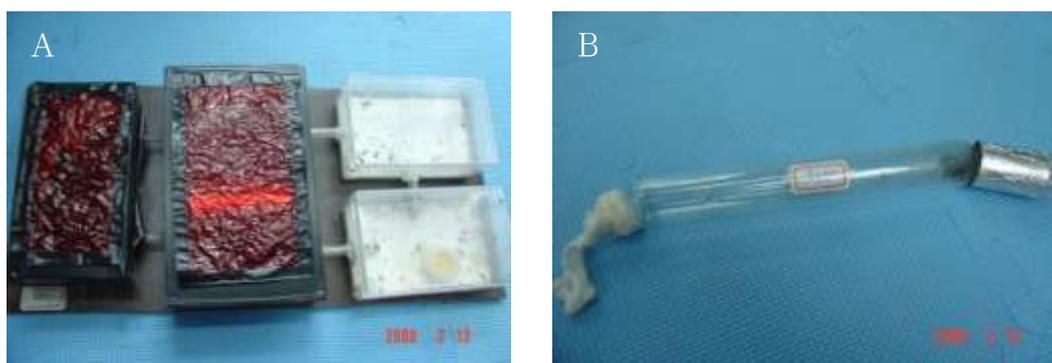
(三)、觀察聚落大小是否會造成各亞科雄蟻先形成

1、野外採集

- (1)、到野外採集之後，以二氧化碳昏迷蟻巢，估算蟻巢裡蟻蟻的數目並紀錄。
- (2)、整理數據，將蟻巢分成大 (500 隻以上)、中 (251 隻到 499 隻)、小 (250 隻以下) 三種聚落，並計算在非生殖季節裡雄蟻出現的比例。
- (3)、將數據統計成表，並觀察其差異。

2、自行飼養

- (1)、飼養家蟻亞科的太平洋皺家蟻 (*T. pacificum*) 四窩，分成實驗與對照兩組。
- (2)、依照蟻群大小給予比聚落大的飼養容器。每天紀錄實驗組和對照組中雄蟻的數量變化，觀察聚落大小是否會影響雄蟻先形成。



圖一、A 為大聚落的飼養容器；B 為小聚落的飼養容器。

(四)、探究各亞科的雄蟻會先成和聚落穩定性是否有關

- 1、飼養琉璃亞科的黑頭慌蟻 (*T. melanocephalum*) 四窩，分成實驗與對照兩組。
- 2、每天一次，用力搖晃實驗組居住的容器，造成巢內螞蟻的混亂。
- 3、紀錄實驗組和對照組中雄蟻的數量變化，觀察安逸性較高的蟻巢是否會產生雄蟻。

四、探討雄蟻在聚落中的角色及其所帶來的影響

(一)、比較各階級螞蟻的形態

- 1、搜尋文獻並以解剖顯微鏡直接觀察工蟻、雄蟻及蟻后，了解其構造。
- 2、統整資料製成表格後加以比較。

(二)、探討雄蟻所消耗能量的多寡

- 1、設定實驗的對象為山蟻亞科的黑棘蟻 (*P. dives*) 的工蟻、雄蟻及處女蟻后。
- 2、隨機選擇各階級螞蟻後，將透明塑膠片墊在螞蟻所居住的塑膠盒上，以麥克筆紀錄實驗對象在一分鐘內所移動的路徑。
- 3、以細線測量實驗對象的行徑距離，最後測量細線的長度。
- 4、統計工蟻、雄蟻及處女蟻后所移動的距離，製成圖表，並分析其結果。

(三)、觀察雄蟻是否會造成蟻巢生存的負擔

- 1、設定實驗對象為山蟻亞科的黑棘蟻 (*P. dives*)，取有雄蟻的蟻巢六窩為實驗組，無雄蟻的六窩為對照組。
- 2、在充分餵食蟻群之後，便停止餵食兩組螞蟻一週。
- 3、一週之後，計算墳場中螞蟻屍體的數量，再以二氧化碳迷昏蟻巢，計算存活螞蟻的數量。
- 4、整理數據統計成圖表，觀察其差異。

(四)、觀察雄蟻對於工蟻的吸引力

1、探究雄蟻在安定環境下對於工蟻的吸引力

- (1)、設定實驗對象為山蟻亞科的黑棘蟻 (*P. dives*) 的雄蟻、處女蟻后、子脾及工蟻。
- (2)、測量在蟻巢中照顧雄蟻與其它各階級螞蟻的工蟻數量多寡。
- (3)、統計數據，觀察各階級螞蟻被重視的程度。

2、探討雄蟻在受刺激的環境下對於工蟻的吸引力

- (1)、設定實驗對象為山蟻亞科的黑棘蟻 (*P. dives*) 的雄蟻、處女蟻后、子脾及工蟻。
- (2)、將同數量的雄蟻與其他階級的螞蟻分別置入 Y 型管前面兩端的試管中，試管口以定型的穿孔鋁箔堵住防止兩端實驗對象移動，並在底端置入工蟻。
- (3)、等工蟻移動總數的 80% 以上時，隨即計算停留在兩端的工蟻數量。
- (4)、統整數據進行比對，進而觀察各階級螞蟻受重視的程度。

(五)、探究雄蟻受重視的程度

1、探究雄蟻在整個蟻巢中被交哺的順位

- (1)、設定實驗對象為山蟻亞科的黑棘蟻 (*P. dives*)。在充分餵食蟻群之後，開始停止餵食四天。
- (2)、第五天時，以針筒給予少量的蜂蜜，單獨餵食一隻巢外的工蟻，直到該對象不再取食。
- (3)、等工蟻回到巢中，紀錄牠交哺同伴的順位，一隻工蟻至多紀錄十隻被餵食的同伴。
- (4)、統整數據，觀察雄蟻、蟻后及工蟻被交哺的次數及順位。

2、觀察雄蟻在蟻巢中被交哺的時間

- (1)、實驗的對象為山蟻亞科的黑棘蟻 (*P. dives*)。在充分餵食蟻群之後，開始停止餵食四天。
- (2)、第五天時將餵食用碟子盛滿蜂蜜水供工蟻取食。
- (3)、第一批覓食之工蟻回巢後，開始在巢中隨機挑選工蟻交哺的情況，紀錄下時間長與被餵食的對象。
- (4)、統整資料，觀察工蟻、雄蟻及蟻后被餵食的次數多寡以及時間。

(六)、觀察雄蟻依賴工蟻的程度

- 1、設定實驗對象為山蟻亞科的黑棘蟻 (*P. dives*) 的工蟻與雄蟻。
- 2、取出六隻雄蟻以及三隻工蟻分成兩組，一組為三隻雄蟻三隻工蟻、另一組為三隻雄蟻，分別放入相同大小的容器中，並且每天餵食。
- 3、計算兩組中雄蟻死亡的時間，重複數次，觀察其差異。

(七)、了解雄蟻與工蟻在面臨生存問題時的互動關係

- 1、設定觀察對象為山蟻亞科的黑棘蟻 (*P. dives*)。
- 2、在充分餵食過後，開始停止餵食。
- 3、持續觀察聚落內工蟻對待雄蟻的情況。

六、比較雄蟻早形成與晚行成的優劣

(一)、調查雄蟻先成和後成兩種聚落的規模

- 1、統計採集紀錄，計算各亞科中有雄蟻的蟻巢以及沒有雄蟻的蟻巢的平均大小。
- 2、統計成圖表，計算平均數量加以分析。

(二)、比較雄蟻先成及後成的兩種聚落抵抗飢餓的能力

- 1、實驗對象為山蟻亞科的黑棘蟻 (*P. dives*)，取有先形成雄蟻及尚未產生雄蟻的兩種蟻群。
- 2、在充分餵食兩組蟻群之後，便停止餵食。
- 3、每天紀錄蟻群的死亡情形，統整成圖表。



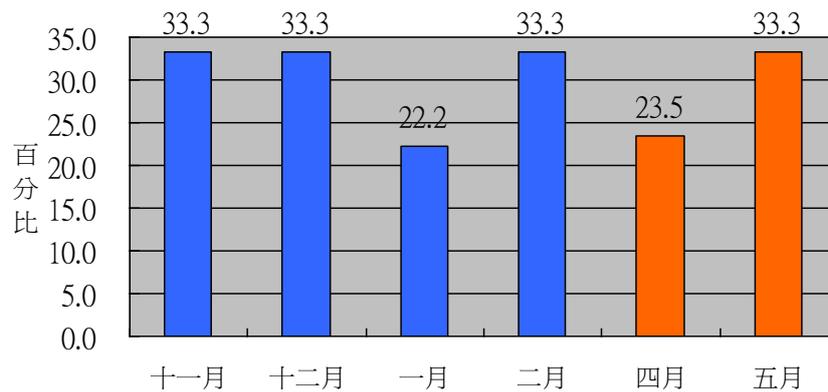
圖二、實驗流程圖。

伍、實驗結果

一、觀察雄蟻先成的時間

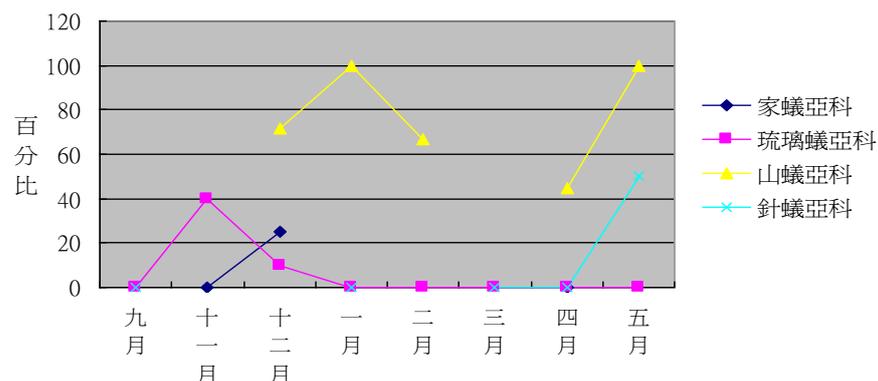
(一)、野外觀察

從9月到5月間共有98筆的野外採集紀錄，共有23窩有雄蟻，比例為23.5%。在採集資料中，都有發現雄蟻的蹤跡，比例從20%到30%不等。雄蟻出現的時間是比4到6月的繁殖季節還要提前約半年，集中在冬天的時候，如圖四所示。9月、10月、3月的採集數據異常的原因為採集數量不足，以及採集品種過於單一。



圖三、各月份中採集到含雄蟻的蟻巢比例（藍色為非繁殖季，橘色為生

進一步分析發現，在雄蟻先成的三個亞科中，又以山蟻亞科有高達54.6%以上的平均比例會先形成雄蟻，而剩下的家蟻亞科及琉璃蟻亞科雖然都有雄蟻出現，但是平均比例都未達到10%，由此推知雄蟻先成比例的高低與螞蟻的種類有關，如圖五。比例可能會因該月份挑選的採集地點、以及採集到螞蟻的種類和聚落大小不同而有所缺陷或起伏。



圖四、9到5月野外採集的各亞科中有雄蟻的比例。

(二)、自行飼養

在長達半年的養殖中，我們的褐毛蟻在五月時出現了雄蟻。人工養殖鮮少出現雄蟻，但這次在人工養殖的蟻巢中發現雄蟻，卻是在生殖季節時。但雖如此，我們還是可以將此數據與野外觀察到的褐毛蟻數據做統整。

二、比較何種螞蟻會有雄蟻先成的現象

琉璃蟻亞科的白足扁蟻 (*Technomyrmex albipes*)、以及家蟻亞科的大頭家蟻和懸巢舉尾蟻 (*Crematogaster rogenhoferi*) 都曾在少數的採集紀錄中有出現過雄蟻。而採集數量較多的管琉璃蟻 (*O. glaber*)、黑頭慌蟻 (*T. melanocephalum*) 和黑棘蟻 (*P. dives*) 中，管琉璃蟻 (*O. glaber*) 未曾出現雄蟻，黑頭慌蟻 (*T. melanocephalum*) 出現雄蟻的比例較少，但黑棘蟻 (*P. dives*) 出現雄蟻的窩數都佔有總數的 85% 以上，可見雄蟻先成的現象會明顯的在黑棘蟻 (*P. dives*) 聚落中出現，而此現象出現在各亞科之間，也顯示此現象在演化上屬於多起源的，如表三、表四所示。

表三、非冬季時各種類螞蟻採集到有雄蟻的窩數比例

	種類	無雄蟻的窩數	有雄蟻的窩數	總數	含雄蟻的窩數比例
琉璃蟻亞科	管琉璃蟻	3	0	3	0
	黑頭慌蟻	9	1	10	10
	白足扁蟻	0	1	1	100
	蓬萊點琉璃蟻	1	0	1	0
家蟻亞科	瘤突家蟻	1	0	1	0
	中華單家蟻	1	0	1	0
	大頭家蟻	1	0	1	0
	懸巢舉尾蟻	0	1	1	100
	太平洋皺家蟻	1	0	1	0
	寡家蟻	1	0	1	0
山蟻亞科	黑巨蟻	0	6	6	100
	黑棘蟻	0	2	2	100
針蟻亞科	黃足粗針蟻	2	0	2	0
	華夏粗針蟻	8	0	8	0

表四、冬季時各種類螞蟻採集到有雄蟻的窩數比例

	種類	無雄蟻的窩數	有雄蟻的窩數	總數	含雄蟻的窩數比例
琉璃蟻亞科	管琉璃蟻	8	0	8	0
	黑頭慌蟻	5	1	6	16.7
	蓬萊點琉璃蟻	1	0	1	0
家蟻亞科	大頭家蟻	1	1	2	50
	太平洋皺家蟻	2	0	1	0
	寡家蟻	1	0	1	0
山蟻亞科	黑巨蟻	1	0	1	0
	黑棘蟻	1	7	8	87.5
針蟻亞科	華夏粗針蟻	13	1	14	7.7

三、探究影響雄蟻先成的因素。

(一)、觀察雄蟻先成是否與食物數量有關

食物的多寡確實會影響雄蟻先形成。當一個聚落能夠取得充足資源的時候，牠們便有能力以多餘的資源產生雄蟻；若是資源不足，聚落便較會注重蟻巢的發展，而選擇產生工蟻。

(二)、探究蟻后的有無是否會影響雄蟻先形成

各種類沒有蟻后的蟻窩中，只有管琉璃蟻 (*O. glaber*) 會產卵。時間是牠們被置入試管之後的一至兩天。牠們產卵的時間並無固定，從 9 到 4 月都有紀錄。因此蟻后消失了，也有可能是雄蟻先成的其中一個原因。



圖五、琉璃蟻亞科編號 Do08 (A)、標號 Do15 (B) 沒有蟻后的管琉璃蟻 (*O. glaber*) 所產下的卵。

(三)、觀察聚落大小是否會造成各亞科雄蟻先形成

1、野外採集

從統計結果我們可以發現，聚落大小確實會影響雄蟻的數量，聚落越大，巢內雄蟻數量的比例也會隨之增加（三組皆有顯著差異， $p < 0.05$ ）。而從雄蟻出現的窩數比例來看，雖然大族群出現雄蟻的比例很高，但是中聚落出現雄蟻的比例，卻比小聚落來的低。

表五、從 2005 年 12 月到 2008 年 4 月的黑棘蟻 (*P. dives*) 採集數據

	大聚落	中聚落	小聚落
總窩數	8	18	25
有雄蟻的窩數	7	7	12
有雄蟻的窩數比例	87.5	38.9	48
總雄蟻數	282	287	141
總工蟻數	5189	6102	3352
總雄蟻數量的比例	5.4	4.7	4.2

2、自行飼養

族群大小確實會影響雄蟻先形成，族群較大的蟻巢，相對的穩定性較高，所以牠們可以有較穩定的環境來先成雄蟻。

(四)、探究各亞科的雄蟻會先成和聚落穩定性是否有關

聚落的穩定性會影響雄蟻先形成。若蟻巢的穩定度較高，牠們就能有安定的環境先形成雄蟻；若是巢內環境較為混亂，先形成雄蟻的情形就會因此被減緩。

四、探討雄蟻在聚落中的角色及其所帶來的影響

(一)、比較各階級螞蟻的形態

表六、雄蟻、蟻后及工蟻的型態比較

特徵	工蟻	蟻后	雄蟻
觸角	膝狀	膝狀	鏈狀
胸節	小	大	中
複眼比例	小	中	大
口器	咀嚼	咀嚼	吸吮
腹部	小而圓	大、長橢圓	中、長扁狀



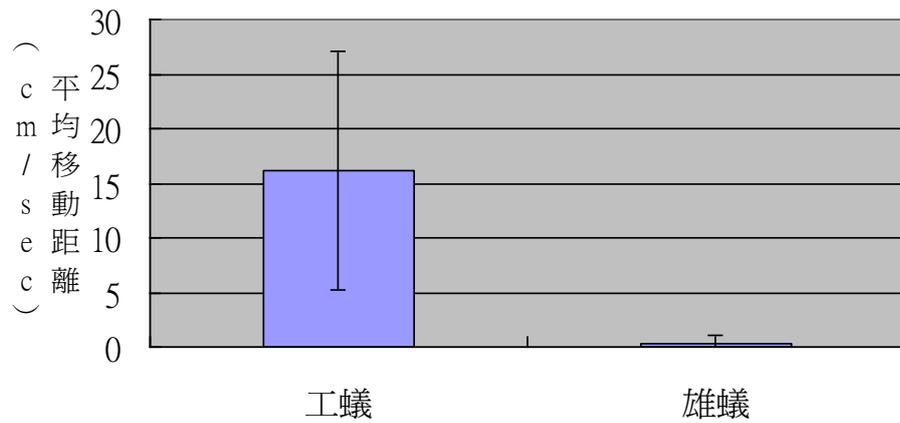
圖六、顯微鏡下的黑棘蟻雄

(二)、探討雄蟻所消耗能量的多寡

結果顯示(如圖九)，工蟻的平均移動距離與雄蟻的平均移動距離有統計上的顯著差異($P < 0.01$)。因此，雄蟻雖不事生產，但相對的牠們所消耗的能量也較工蟻來的少。



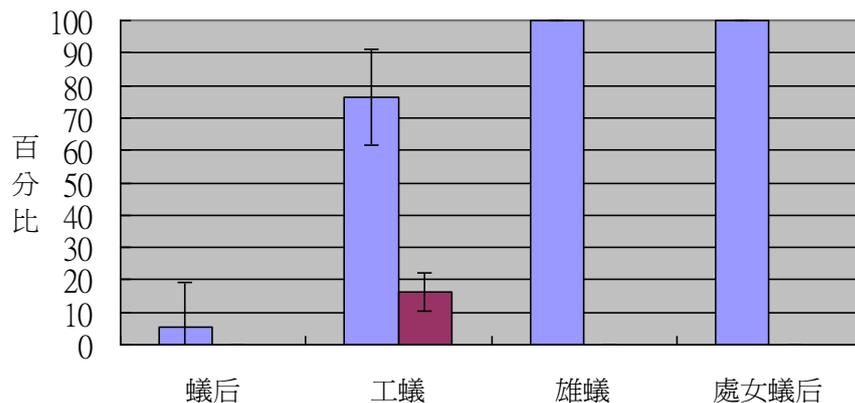
圖七、黑棘蟻 (*P. dives*) 工蟻路徑的紀錄。



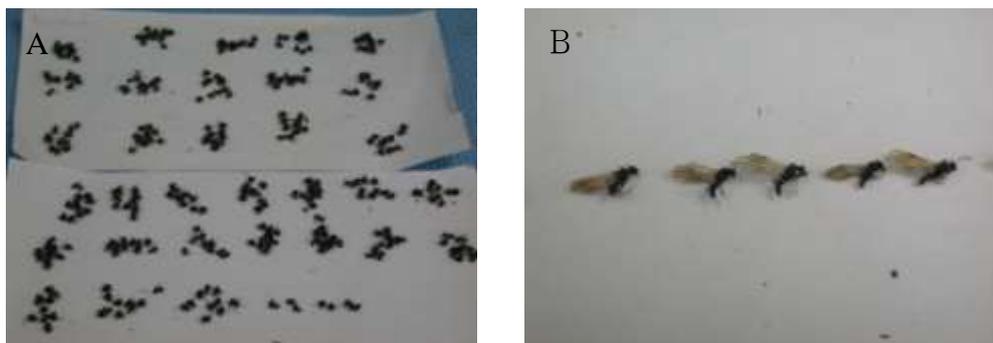
圖八、黑棘蟻 (*P. dives*) 的工蟻與雄蟻在聚落中移動距離比較。

(三)、觀察雄蟻是否會造成蟻巢生存的負擔

從實驗結果中我們可以發現，雄蟻與處女蟻后的存在，確實會造成蟻巢相當大的負擔 (圖十)。而有雄蟻的蟻巢在面臨生存危機時，他們會選擇犧牲掉平時不從事任何生產工作的雄蟻以及處女蟻后来降低整個蟻巢的負擔。因此雖然雄蟻及處女蟻后的存在會造成蟻巢一定的負擔，但是蟻巢有能力藉著調控牠們的數量來維持整個蟻巢的生存。



圖九、有雄蟻的黑棘蟻蟻巢 (藍) 與無雄蟻的黑棘蟻蟻巢 (紫) 在饑餓一星期之後，各階級蟻的死亡比例。

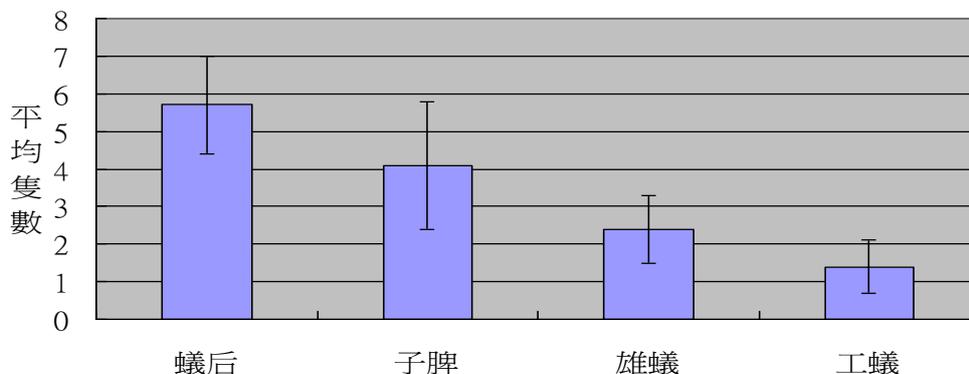


圖十、計算黑棘蟻 (*P. dives*) 的結果 (A) 以及其中的雄蟻屍體 (B)。

(四)、觀察雄蟻對於工蟻的吸引力

1、探究雄蟻在安定環境下對於工蟻的吸引力

以上數據中，除蟻后與子脾的兩組數據外，其餘的都有統計上的顯著差異 ($P < 0.01$)，而根據這個實驗的地位排列為蟻后 > 子脾 > 雄蟻 > 工蟻。因此，雖然我們發現在危難時雄蟻會先被犧牲，但在一般情況下，具有生殖能力的雄蟻還是會受到工蟻較好的照顧。



圖十一、黑棘蟻 (*P. dives*) 各階層蟻被工蟻照顧的平均數量。

2、探討雄蟻在受刺激的環境下對於工蟻的吸引力

蟻后比雄蟻以及子脾比雄蟻的兩組數據皆有統計上的顯著差異

($P < 0.05$)。根據這個實驗可以排出的地位高低為蟻后 > 子脾 > 工蟻 = 雄蟻。

表七、Y 型管中黑棘蟻 (*P. dives*) 雄蟻與其他階級蟻吸引工蟻停留的數目。

階級	蟻后：雄蟻		工蟻：雄蟻		子脾：雄蟻	
	蟻后	雄蟻	工蟻	雄蟻	子脾	雄蟻
實驗次數	6		10		6	
最大值 (隻)	19	9	13	14	14	9
最小值 (隻)	6	0	2	2	8	0
總數 (隻)	63	19	70	66	61	24
平均 (隻)	10.5±5.3	3.2±3.1	7.0±3.7	6.6±3.7	10.2±2.1	4.0±3.7



圖十二、正在進行吸引力實驗的黑棘蟻 (*P.dives*)。

(五)、探究雄蟻受重視的程度

1、探究雄蟻在整個蟻巢中被交哺的順位

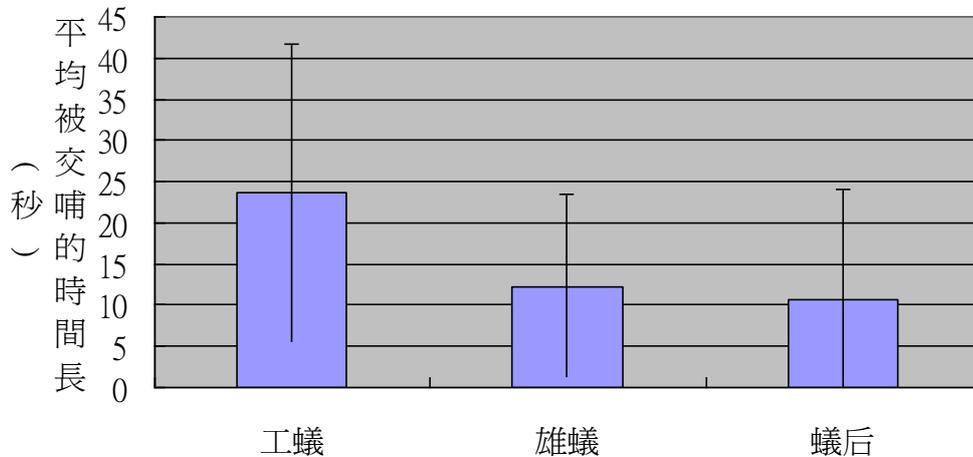
從實驗結果可以發現，剛回巢的工蟻都只會先交哺工蟻同伴，而不會交哺其他階級的螞蟻。可能是因為工蟻取食回巢後，爲了要將食物快速傳遞，因此而餵給了工蟻同伴。

表八、黑棘蟻 (*P.dives*) 工蟻在回巢之後的餵食次序

編號\餵食次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	W	W	W	W	W					
II	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
III	W	W								
IV	W	W	W	W	W					
V	W	W	W	W						
VI	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
VII	W	W	W	W	W					
VIII	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
IX	W	W	W	W	W	W	W			
X	W	W								
XI	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
XII	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
XIII	W	W	W							
XIV	W	W	W	W						
XV	W	W	W	W	W					
XVI	W	W	W	W	W	W	W			

2、觀察雄蟻在蟻巢中被交哺的時間

從實驗結果我們可以發現，工蟻同伴被餵食的時間，明顯高於雄蟻 ($p < 0.05$)，原因是覓食回來的工蟻，必須快速的將食物分配給其他的同伴，好讓整個蟻巢能快速的被分配到食物。



圖十三、黑棘蟻 (*P.dives*) 各階級螞蟻被交哺的時間。

(六)、觀察雄蟻依賴工蟻的程度

我們可以從實驗觀察到，雖然有工蟻照顧的雄蟻會生存的比無工蟻照顧的久，但是兩者的生存時間卻都是很長的。因此，雖然雄蟻依賴工蟻可以生存的較長，但是如果雄蟻是獨自身處在安定的情況下，那麼他們還是有能力存活一段時間的。

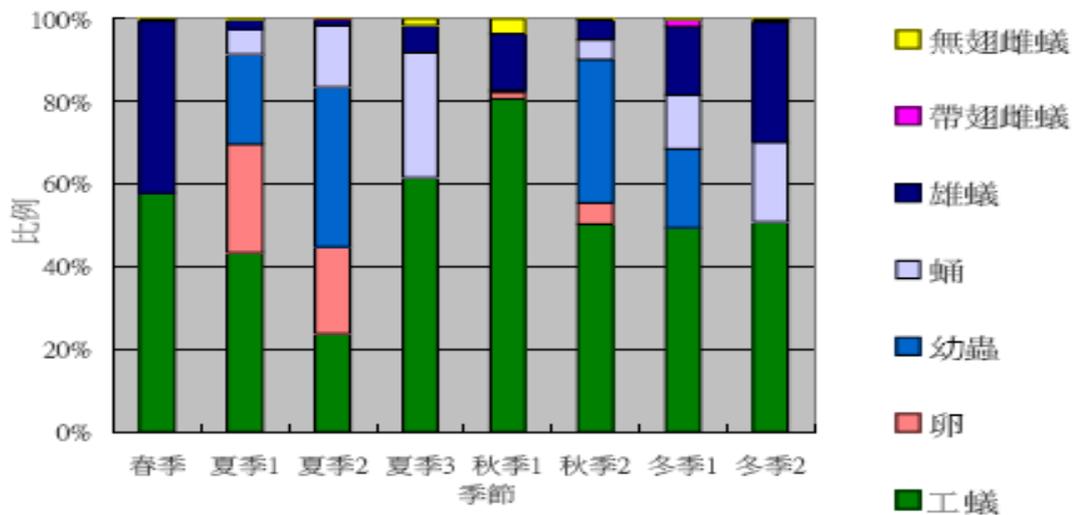
(七)、了解雄蟻與工蟻在面臨生存問題時的互動關係



圖十四、黑棘蟻 (*P.dives*) 黑棘蟻工蟻與雄蟻互動的階段圖。一開始工蟻還會照顧雄蟻 (A)，但是當蟻巢處於危難時，工蟻會漸漸的不理會雄蟻 (B)。隨著災難越來越嚴重，工蟻會將雄蟻趕出蟻巢 (C)，甚至會將雄蟻翅膀拔除 (D)。最後，工蟻使用虐殺這種最激烈的手段 (E) 來肢解雄蟻。在墳場中，可以找到被肢解的雄蟻 (F)。

陸、討論

- 一、會先成雄蟻的品種會集中在前一年冬天的時候就會先形成，而山蟻亞科的蟻蟻尤其明顯，我們推斷其原因可能有以下幾點：一是山蟻亞科的蟻蟻們，巢內環境維持的較好，因此能有優良的條件產生雄蟻；二是山蟻亞科的有性蟻婚飛期較早，因此需要比其他種類蟻蟻較早的時間來預產雄蟻，得以在生殖季時，有充足數量的雄蟻婚飛；三是山蟻亞科的工蟻較於溫和，不會強烈排斥照顧與自己相似度極低的雄蟻兄弟，因此先被產下的雄蟻能夠先形成，不會被殺害；最後是因為山蟻亞科中自交的情形較為常見。自交及是同巢內的有性蟻不進行婚飛，直接在巢中進行交配。自交沒有季節性，因此牠們便有可能不受婚飛期約束，而產生雄蟻及處女蟻后。
- 二、從前人的資料中我們可以發現到，雄蟻在全年四季都會存在於蟻巢中，而比例則是從夏季初婚飛之開始成長到冬末春初時的最高峰。所以統整前人的資料與我們自己的採集數據，我們可以發現雄蟻先形成的現象是非常明顯的，甚至會在生存環境最嚴酷的冬天雄蟻在巢中的比例就達到高峰。



註：

春季(蟻巢編號 55~61 取自引用 Katsusuke YAMAUCHI et.(1987)資料)

夏季 1(蟻巢編號 7~8 頂福村取樣實驗數據)

夏季 2(蟻巢編號 15~25 取自 Masaki KONDOH(1975)資料)

夏季 3(蟻巢編號 26~33 取自 Katsusuke YAMAUCHI et.(1987)資料)

秋季 1(蟻巢編號 1~6 湖北村取樣實驗數據)

秋季 2(蟻巢編號 9~11 頂福村取樣實驗數據)

冬季 1 冬季(蟻巢編號 12~14 頂福村取樣實驗數據)

冬季 2(蟻巢編號 34~54 取自 Katsusuke YAMAUCHI et.(1987)資料)

黑棘蟻 *Polyrhachis dives* 聚落成員比例比較

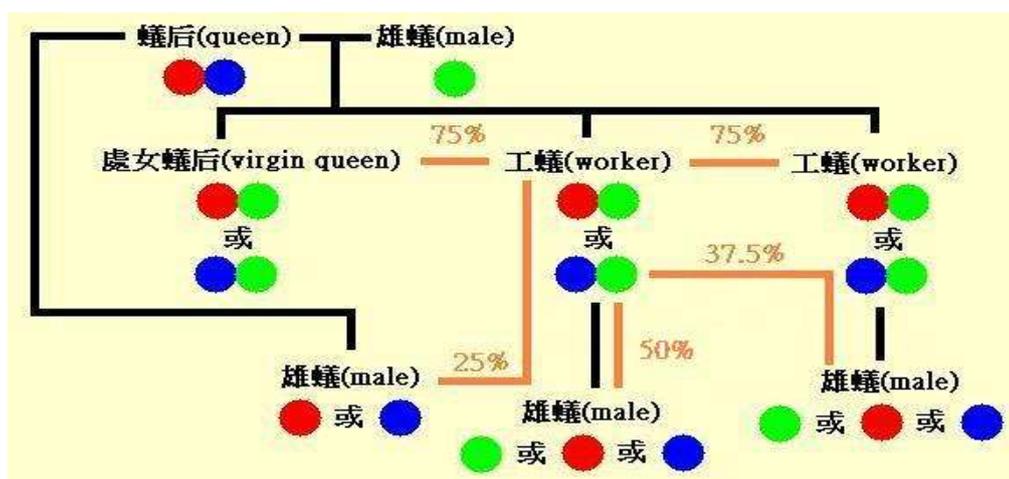
圖十五、黑棘蟻 (*P.dives*) 聚落成員比例比較 (陳盈秀, 2004)。

二、除了山蟻亞科有明顯的雄蟻先成情形外，我們還發現到太平洋皺家蟻（*T. pacificum*）有處女蟻后（virgin queen）先形成的情形。除了生活環境較貧瘠的一窩外，剩下的兩窩都有發現數量不小的處女蟻后。但是除了太平洋皺家蟻（*T. pacificum*），我們未曾發現有另外的螞蟻品種會先產生處女蟻后；但是反觀雄蟻，雖然說只山蟻亞科有明顯的先形成雄蟻的行為，但是其他亞科的螞蟻也會有少量雄蟻先成的行為。所以，處女蟻后先形成的情況算是特例。

三、我們當初之所以會想到有無蟻后是否會影響雄蟻產生的這個因素，是在查資料時，發現一篇螞蟻·螞蟻作者霍德伯勒的研究。其研究團隊發現，蟻后與工蟻卵表面上烴類的不同是工蟻判斷依據，當他們得知蟻后卵存在時，就不會產卵，但是當蟻后被移開一百六十天後，他們所飼養的木蟻的工蟻卻開始產卵；而在相同條件下，也就是蟻后被移除但蟻后所產的卵存在下，工蟻們則會放棄產卵的決定。於是我們把採集到不完整的蟻巢，也就是沒有蟻后的蟻巢繼續飼養，也把我們原本就有飼養的蟻群各分出一些工蟻來另行飼養。其中，又以管琉璃蟻（*O. glaber*）工蟻所產下的卵數量最多、時間最快，但管琉璃蟻（*O. glaber*）所產的卵數量都相當的多，令人起疑，於是我們請教了專家，得知那些有可能是滋養蛋。滋養蛋是拿來螞蟻產下來食用補充營養的，並不會成長變成幼蟲。但雖如此，我們還是證實了工蟻的確是會自行產下未受精卵的。目前我們還在觀察紀錄，看那些卵是否會成長變成幼蟲。

四、由觀察雄蟻是否會造成蟻巢生存的負擔可知當蟻巢面臨重大危難時，首先犧牲掉的，便是我們所熟知的那些沒有工作能力的有性蟻。因此雄蟻的存在雖然是一種負擔，但是工蟻可以有效調控雄蟻的比例。另外，我們也可以發現到雄蟻的地位真的不高，那麼處女蟻后（virgin queen）呢？而工蟻在危機時，又是會先殺掉雄蟻，還是處女蟻后？

我們可以從英國生物學家漢彌爾頓（W.D.Hamilton, 1936—2000）提出的「親屬選擇」的觀念得知。螞蟻是由單雙倍染色體決定性別，有受精的雙倍染色體卵會孵化成雌蟻，及工蟻和處女蟻后；而未受精的單倍染色體卵則會孵化成雄蟻，因此雌蟻的基因一半來自蟻后，一半來自雄蟻，其中來自蟻后的基因平均有一半與蟻后的基因相同，而來自雄蟻的基因則與雄蟻的基因則完全一致，所以雌蟻姊妹之間 75%的相似度便高於了雄蟻的 50%（如圖十七所示），這就是為什麼危機時候工蟻們會犧牲無工作能力，而且相似度較少的雄蟻，再來才是相似度較高的處女蟻后；而另一原因可能是也可能是因為培養雄蟻需要的資源較處女蟻后來的少的緣故。



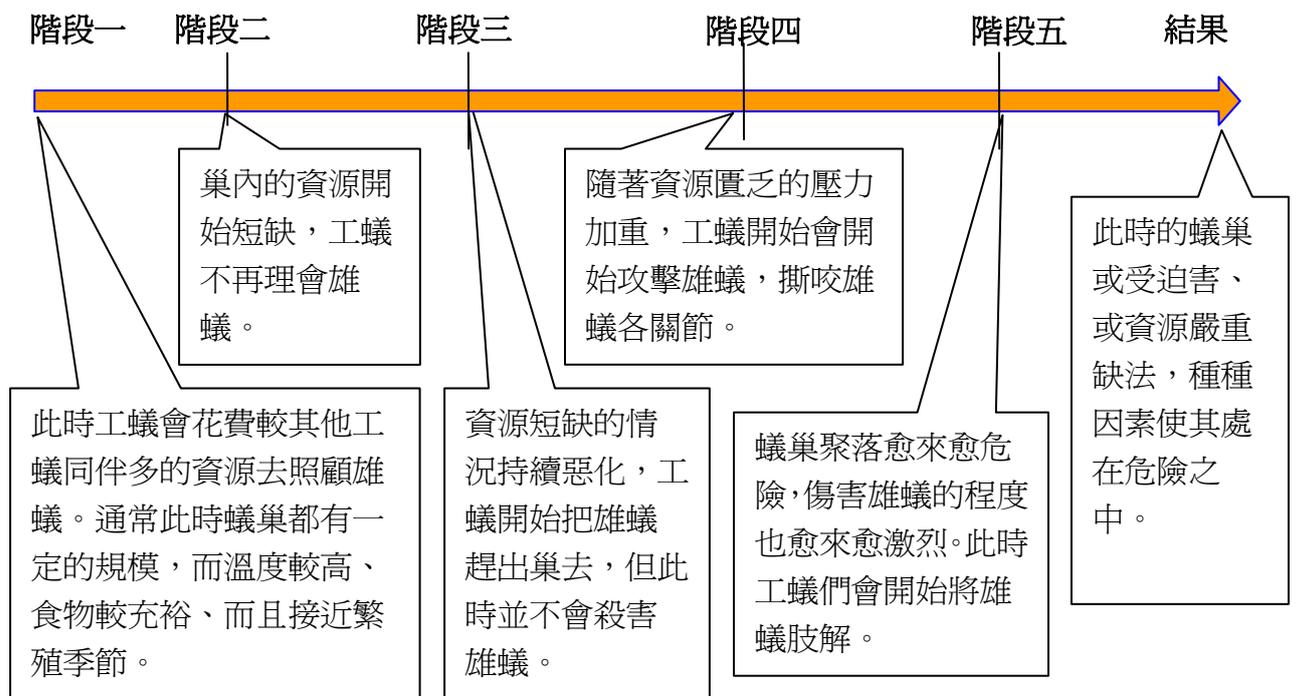
圖十六、工蟻與各同伴的基因相似度。

五、我們在實驗中觀察到一種工蟻殺害雄蟻的方式：工蟻們會把雄蟻從頭、胸、腹、翅、腳的各個關節肢解開來，在詢問專家之後，得知這是一種稱作虐殺的弑親方式，而除了虐殺，另外還有停止餵食雄蟻，或者是將雄蟻逐出巢外等方式。這種殺害雄蟻的情況不僅僅發生在成蟲階段，根據資料發現，*Formica exsecta* 的工蟻會在單后的聚落裡殺死雄性有性蟻的幼蟲（Michel Chapuisat、Liselotte Sundstrom、Laurent Keller）。另外，他們所提到的「雄性被殺害可能是因為會資源的限制而發生」的推論，也在我們的實驗中得到驗證，因此，先成雄蟻的數量，是可以依外在環境的改變而被調整的，也就如此，雄蟻所造成的負擔便會大大的降低。雄蟻先形成可以備蟻巢的不時之需，但若是發生了某些災變，雄蟻、甚至連處女蟻后都可以先行被犧牲來降低負擔。而螞蟻這種弑親行為的演化，最好以生態、人口統計和遺傳學參數來解釋（Michel Chapuisat、Liselotte Sundstrom、Laurent Keller）。

- 六、各階層螞蟻周圍圍繞的工蟻數量，以及 Y 型管中雄蟻與其他階級螞蟻吸引工蟻停留的數目兩實驗結果中，在工蟻及雄蟻的地位排列上有所不同，可見當雖然說在安定情況下雄蟻雖然會受到較良好的照顧，但是當環境有所變化的時候，雄蟻與工蟻的地位會趨於接近，雄蟻甚至會在危機的時候被殺害。
- 七、我們的飼養容器分成飼養大聚落和小聚落兩種。飼養大聚落的是將塑膠盒外層黏上黑色的絕緣膠帶以製造黑暗，底層鋪上保持濕度用的石膏後黏在木板上，盒蓋則是參考螞蟻·螞蟻上，以可以拉起的紅色玻璃紙遮蔽，這樣子我們可以在不驚動螞蟻的情況下進行觀察（因為螞蟻看不到紅色光，在牠們看起來是黑暗的。），最後以塑膠管連接各個塑膠盒；小聚落的飼養則是取大型的試管或是雙頭的玻璃管，將用紗布固定好的棉花塞住洞口，要餵食時打開，也具有保持溼度的功能。而單頭和雙頭之分，會照實驗飼養情況而定，因為有些時候，螞蟻會因為溼度不夠或是劇烈晃動，而遷移到有棉花堵住的洞口，所以就改用雙頭，這樣子就可以更方便的進行飼養。
- 八、我們的實驗中，幾乎都沒有雄蟻先形成，單單只有管琉璃蟻（*O. glaber*）會在沒有蟻后的情況下，自行產下未受精的卵。原因可能是因為我們所以養的螞蟻聚落本身就比較小，另外也有可能是因為該種螞蟻本身就沒有明顯的雄蟻先成情形。
- 九、野外採集的紀錄中，小聚落的蟻巢較中聚落的蟻巢容易出現雄蟻，我們推測的原因為，小聚落的蟻巢，蟻后抑制工蟻產卵的能力較小。因此聚落較小的蟻巢出現雄蟻的比例便較高。
- 十、從探究雄蟻受重視的程度實驗中，我們推斷餵食了工蟻的一段時間之後，工蟻們才會將食物交哺給蟻后、子脾以及雄蟻，此現象是因為工蟻為了能讓食物快速的在巢中傳送開來，所以會先餵食同樣能將食物傳送開來的工蟻，之後才會餵食蟻后、子脾以及雄蟻。在各階級螞蟻被交哺的時間中我們可以發現到，工蟻被餵食的時間是明顯高於蟻后及雄蟻的。雄蟻及蟻后被餵食的時間並無顯著差異，但是前者的位置在蟻巢的外圍，後者卻是位於整個蟻巢的核心，因此推算起來，雄蟻的地位是比蟻后和工蟻低的。

十一、雄蟻能夠不依賴雌蟻而獨自生存一段時間，因此他們有能力在蟻巢危急的時候逃離，並找尋到其他的蟻巢來將自己的基因延續下去。這也是為什麼雄蟻需要先形成的原因：一是為了確保蟻巢在危急的時候還有基因能延續下去，二是在生殖季節的時候，需要為數不小的雄蟻，因此需要在生殖季節前就要提早產生。

十二、雄蟻和工蟻的互動關係



圖十七、在面臨生存情況時黑棘蟻 (*P. dives*) 工蟻與雄蟻的互動階段

十三、螞蟻在分類上屬於動物界 (*Animalia*)，節肢動物門 (*arthro*)，昆蟲綱 (*Insecta*)，膜翅目 (*Hymenoptera*)，細腰亞目 (*Apocrita*)，胡蜂總科 (*Vespoidea*)，蟻科 (*Formicidae*)，而我們所飼養的有琉璃亞科 (*Dolichoderinae*)、山蟻亞科 (*Formicinae*)、家蟻亞科 (*Myrmicinae*)、針蟻亞科 (*Ponerinae*)。而交配季節 (4~6 月) 之前，發展至一定規模蟻群的蟻后會在適當的時期產下未受精的卵，這些卵會發育成有生殖能力、長翅膀的雄蟻，在生殖季節會與年輕的蟻后交配，以完成傳宗接代的任務。雄蟻的體型細長較蟻后小，複眼、單眼及翅均較蟻后發達，數量較蟻后多，在蟻群中不參加勞動，僅接受同伴提供食物，專供交配，在空中飛行與蟻后交配後不久即死亡。

柒、結論

雄蟻確實會在生殖季節前產生，原因與品種、蟻后的存在與否以及族群大小有關。山蟻亞科會有明顯的雄蟻先成行爲，而先成雄蟻的地位在巢中只高於工蟻，且會隨著蟻巢面臨的生存壓力增加而下降，最後甚至會被工蟻以快速、殘忍的方式殺害。

雄蟻先成雖然是一種耗能的行爲，但是雄蟻所消耗的能量很少，而且工蟻可以在必要的時候藉由調控雄蟻的數量來維持蟻巢的生存，因此雄蟻先形成，並不會對於蟻巢造成太大的負擔。

雄蟻可以不依靠工蟻生存一段時間，因此牠們可以先形成以確保在非生殖季節時蟻巢的基因可以在受災害的時候延續下去，而雄蟻先形成也能爲尚未到來的生殖季節未雨綢繆，以便屆時能有較多的雄蟻進行婚飛。

捌、參考資料

- 一、Denis Fournier (2005) Reproduction by males and females in the little fire ant. *Nature*. 435 : 1230 - 1234.
- 二、Grant Singleton, Charles J. Krebs, Stephen Davis, Lisa Chambers, Peter Brown (1996) *Proceedings : Biological Sciences* Vol. 263, No. 1373, pp. 1041-1046
- 三、Michel Chapuisat, Liselotte Sundstrom, Laurent Keller (1997) *Proceedings : Biological Sciences*, Vol. 264, No. 1385, pp. 1255-1260
- 四、陳盈秀 (2004) 一后多夫否 國際科學展覽會
- 五、道金斯 (Richard Dawkins) (1995) 自私的基因 天下文化出版社
- 六、霍德伯勒 (Bert Holldobler) (2004) Surface hydrocarbons of queen eggs regulate worker reproduction in a social insect. *U S A*. 101 : 2945
- 七、霍德伯勒 (Bert Holldobler)、威爾森 (Welson) (1999) 螞蟻 • 螞蟻 遠流出版社

玖、附錄

表九、9 月到 3 月的野外觀察、採集紀錄－1（小：1~100 隻 中：101~500 隻 大 501 隻以上）

時間	地點	種類	雄蟻有無	天氣	聚落規模
2007/9/9	學校	瘤突家蟻	無	晴	小
2007/9/9	學校	黑頭慌蟻	無	晴	小
2007/9/9	學校	爪哇粗針蟻	無	晴	小
2007/9/23	學校	中華單家蟻	無	陰	小
2007/9/23	學校	細顎蟻	無	陰	小
2007/10/5	學校	大頭家蟻	無	陰	中
2007/11/4	學校	懸巢舉尾蟻	無	晴	大
2007/11/11	頂福巖祖師廟	白足扁蟻	有	雨	中
2007/11/11	頂福巖祖師廟	黑頭慌蟻	無	雨	小
2007/11/11	頂福巖祖師廟	黑頭慌蟻	無	雨	小
2007/11/20	學校	黑頭慌蟻	有	陰	小
2007/11/20	學校	黑頭慌蟻	無	陰	小
2007/12/2	頂福巖祖師廟	太平洋皺家蟻	無	陰	小
2007/12/2	頂福巖祖師廟	管琉璃蟻	無	陰	小
2007/12/2	頂福巖祖師廟	管琉璃蟻	無	陰	小
2007/12/2	頂福巖祖師廟	管琉璃蟻	無	晴	小
2007/12/9	頂福巖祖師廟	寡家蟻	無	晴	小
2007/12/9	頂福巖祖師廟	大頭家蟻	無	晴	中
2007/12/9	頂福巖祖師廟	管琉璃蟻	無	晴	小
2007/12/9	頂福巖祖師廟	管琉璃蟻	無	晴	小
2007/12/16	頂福巖祖師廟	黑頭慌蟻	無	陰	小
2007/12/16	頂福巖祖師廟	黑棘蟻	有	陰	大
2007/12/16	頂福巖祖師廟	黑棘蟻	有	陰	大
2007/12/16	頂福巖祖師廟	黑棘蟻	有	陰	中
2007/12/16	頂福巖祖師廟	黑棘蟻	有	陰	大
2007/12/22	學校	黑頭慌蟻	無	陰	小
2007/12/22	學校	管琉璃蟻	無	陰	大
2007/12/22	學校	管琉璃蟻	無	陰	大
2007/12/23	頂福巖祖師廟	黑棘蟻	無	雨	大
2007/12/23	頂福巖祖師廟	黑棘蟻	有	雨	大
2007/12/25	學校	大頭家蟻	有	晴	中
2007/12/25	頂福巖祖師廟	黑巨蟻	無	晴	小
2007/12/25	頂福巖祖師廟	黑頭慌蟻	有	晴	小

表十、9月到3月的野外觀察、採集紀錄-2 (小:1~100隻 中:101~500隻 大 501隻以上)

時間	地點	種類	雄蟻有無	天氣	聚落規模
2008/1/8	學校	黑頭慌蟻	無	陰	小
2008/1/8	學校	黑頭慌蟻	無	陰	中
2008/1/8	學校	黑頭慌蟻	無	陰	小
2008/1/19	烏來	粗針蟻	無	雨	小
2008/1/20	烏來	粗針蟻	無	雨	小
2008/1/22	學校	黑頭慌蟻	無	陰	小
2008/1/22	學校	蓬萊點琉璃蟻	無	雨	中
2008/1/28	頂福巖祖師廟	黑棘蟻	有	陰	大
2008/1/28	頂福巖祖師廟	黑棘蟻	有	陰	中
2008/02/24	頂福巖祖師廟	黑棘蟻	有	陰	中
2008/02/24	頂福巖祖師廟	黑棘蟻	有	陰	中
2008/02/24	公園	黑頭慌蟻	無	陰	小
2008/02/25	學校	蓬萊點琉璃蟻	無	雨	中
2008/02/28	醒吾技術學院	台灣巨蟻	無	晴	中
2008/02/28	醒吾技術學院	管琉璃蟻	無	晴	中
2008/03/02	學校	黑頭慌蟻	無	陰	小
2008/03/02	學校	黑頭慌蟻	無	陰	小
2008/03/02	學校	黑頭慌蟻	無	陰	小
2008/03/02	學校	黑頭慌蟻	無	陰	小
2008/03/02	學校	管琉璃蟻	無	陰	中
2008/3/16	親戚家	巨蟻	無	陰	小
2008/3/16	親戚家	寡加蟻	無	陰	小
2008/3/16	親戚家	太平洋皺加蟻	無	陰	中
2008/3/16	親戚家	黑頭慌蟻	無	陰	小
2008/3/16	親戚家	管琉璃蟻	無	陰	中
2008/3/16	工業區	華夏粗針蟻	無	陰	小
2008/3/16	工業區	管琉璃蟻	無	陰	中

表十一、4月的野外觀察、採集紀錄-3 (小:1~100隻 中:101~500隻 大 501隻以上)

時間	地點	種類	雄蟻有無	天氣	聚落規模
2008/4/6	重劃區	黑巨蟻	有	晴	中
2008/4/6	重劃區	黑巨蟻	有	晴	中
2008/4/6	重劃區	黑巨蟻	有	晴	小
2008/4/6	重劃區	黑巨蟻	有	晴	中
2008/4/6	重劃區	華夏粗針蟻	無	晴	小
2008/4/6	重劃區	蓬萊點琉璃蟻	無	晴	中
2008/4/6	重劃區	蓬萊點琉璃蟻	無	晴	中
2008/4/11	重劃區	華夏粗針蟻	無	晴	小
2008/4/11	重劃區	華夏粗針蟻	無	晴	小
2008/4/11	重劃區	華夏粗針蟻	無	晴	小
2008/4/11	重劃區	華夏粗針蟻	無	晴	小
2008/4/11	重劃區	褐毛蟻	無	晴	中
2008/4/11	重劃區	褐毛蟻	無	晴	中
2008/4/11	重劃區	褐毛蟻	無	晴	中
2008/4/11	重劃區	黑頭慌蟻	無	晴	小
2008/4/11	重劃區	白疏巨蟻	無	晴	中
2008/4/19	重劃區	黑巨蟻	有	晴	中
2008/4/19	重劃區	黑巨蟻	有	晴	中
2008/4/19	重劃區	花間巨蟻	無	晴	中
2008/4/19	重劃區	華夏粗針蟻	無	晴	小
2008/4/19	重劃區	華夏粗針蟻	無	晴	小
2008/4/19	重劃區	華夏粗針蟻	無	晴	小
2008/4/19	重劃區	華夏粗針蟻	無	晴	小
2008/4/19	重劃區	太平洋皺家蟻	無	晴	中
2008/4/19	重劃區	太平洋皺家蟻	無	晴	小
2008/4/19	重劃區	太平洋皺家蟻	無	晴	中
2008/4/19	重劃區	褐毛蟻	無	晴	中
2008/4/20	重劃區	黑棘蟻	無	陰	中
2008/4/20	重劃區	黑棘蟻	有	陰	中
2008/4/20	重劃區	黑棘蟻	有	陰	中
2008/4/20	重劃區	黑棘蟻	無	陰	中
2008/4/20	重劃區	黑棘蟻	無	陰	中
2008/4/20	重劃區	黑頭慌蟻	無	陰	小
2008/4/20	重劃區	褐毛蟻	無	陰	中

表十二、5月的野外觀察、採集紀錄－4（小：1~100隻 中：101~500隻 大 501隻以上）

時間	地點	種類	雄蟻有無	天氣	聚落規模
2008/5/1	重劃區	華夏粗針蟻	有	陰	小
2008/5/1	重劃區	褐毛蟻	有	陰	中
2008/5/29	重劃區	黑頭慌蟻	無	晴	小
2008/5/29	重劃區	太平洋皺家蟻	無	晴	中
2008/5/30	重劃區	太平洋皺家蟻	無	陰	中
2008/5/30	重劃區	黑頭慌蟻	無	陰	小

【評語】 031720

對自然觀察詳細，找出雄蟻先成的特殊現象。

發現問題，解決問題。探討能力良好，建議針對單一物種雄蟻先成現象深入研究。