

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生物(生命科學)科

第二名

最佳創意獎

040717

發現分工新角色

學校名稱：國立新莊高級中學

作者： 高二 許峰銓 高二 陳澤君	指導老師： 李貞苡 鍾兆晉
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞： 成體搬運行爲(adult transport)、運兵者(porter)、
儀式化行爲(ritualized behavior)

「發現分工新角色」----華夏粗針蟻(*Pachycondyla chinensis* Emery, 1895)

成體搬運行爲 (adult transport) 運用於覓食策略之研究

摘要

每當在野外進行觀察時，總會看到許多體型微小、體色黝黑，行動敏捷的針蟻 (Ponerinae)，即華夏粗針蟻 (*Pachycondyla chinensis* Emery, 1895)。經由行爲譜 (ethogram) 的分析得知，華夏粗針蟻之有后聚落 (queenright) 職蟻間分工嚴謹，且具有成體搬運行爲 (adult transport)，於其覓食過程中，產生一特殊階級—運兵者 (porter)，專司進行成體搬運，行爲高度專一化並發展出特殊之儀式化行爲 (ritualized behavior)。於食物短缺的情況下，運兵者 (porter) 佔外勤職蟻比例明顯提高，且被搬運者 (portee) 成爲運兵者 (porter) 的比例亦明顯提升。將運兵者 (porter) 於覓食過程中移除，覓食之職蟻數量亦大幅降低。食物與蟻巢距離超過 25 公分，運兵者 (porter) 產生之機率亦隨之下降。經過公式的推導，證實其成體搬運行爲 (adult transport) 可縮短覓食中行走之距離，減少總能量的散失與消耗，以利其達成最佳化覓食。

壹、研究動機

每當在野外進行目視法做生態觀察時，總會看到許多體型微小、體色黝黑，行動敏捷的針蟻（Ponerinae），在樣區進行掉落陷阱法時亦可經常發現在野外進行活動的職蟻，起初我們總以為這種螞蟻為小細顎蟻（*Leptogenys dim inuta* Fr.Sm ith,1857），但卻與網路上的資料與圖片不太相同，後來經過仔細的比對與觀察，最後交由專家鑑定，才還原了這種螞蟻的真實身份。其實此種螞蟻屬於粗針蟻屬（*Pachycondyla*），名為華夏粗針蟻（*Pachycondyla chinensis* Em ery,1895），並不是細顎針蟻屬（*Leptogenys*）的成員。這兩種針蟻皆生活於潮濕的地表土壤環境中，如圖一。相似的生存環境、不起眼的身形加上缺乏採集經驗的我們，不小心將這兩種分類上完全不同的針蟻混為一談。經過了這次啼笑皆非的遭遇後，令我們對華夏粗針蟻此一物種更加好奇，並且訂為此次科展的研究對象，以便深入了解華夏粗針蟻聚落內職蟻的覓食行為及分工模式。



圖一、華夏粗針蟻(*P. chinensis*)之自然棲地，生活於落葉堆下。

貳、研究目的

- 一、華夏粗針蟻（*P. chinensis*）基礎生物學探討。
- 二、華夏粗針蟻（*P. chinensis*）行為譜（Ethogram）分析。
- 三、華夏粗針蟻（*P. chinensis*）聚落內運兵者（porter）科學描述。
- 四、華夏粗針蟻（*P. chinensis*）覓食策略分析。
- 五、探討影響華夏粗針蟻（*P. chinensis*）分工機制之因素。

參、研究設備及器材

本研究使用設備及器材詳如表一。

表一、研究設備及其用途。

編號	品名	數量	用途
一	相機	3 台	拍攝實驗照與生態照
二	筆記本、筆	1 本、1 支	紀錄觀察結果，作為實驗日誌
三	解剖顯微鏡	1 台 (4.5×10X)	觀察華夏粗針蟻之生理構造
四	皮尺	1 捲 (3m)	實驗測量用
五	碼錶	1 個	實驗測量用
六	離心管	數管	進行掉落陷阱法
七	鐵鎚	一支	進行掉落陷阱法
八	木椿	一根	進行掉落陷阱法
九	肥皂水	1L (濃度 1/1000)	進行掉落陷阱法
十	鏟子	數支	目視觀察、採集
十一	麵包蟲	數隻	餵食華夏粗針蟻
十二	鑷子	2 支 (扁頭型和尖頭型)	便於移動螞蟻與進行實驗
十三	酒精	1 瓶 (濃度 95%)	標本用
十四	放大鏡	1 個 (倍率 15X)	利於觀察
十五	昆蟲針	2 根 (00 號針)	製作解剖針
十六	竹筷	數支	製作解剖針
十七	塑膠盒	數個	製作飼養觀察箱及迷宮
十八	塑膠盤	2 個	採集後便於攜回實驗室
十九	石膏粉	數包	製作飼養觀察箱
二十	廣告顏料	數瓶 (紅、黃、藍)	可標記，利於辨識觀察其行為
二十一	水彩筆	一支	標記時使用
二十二	珍珠板	數片	用於製作迷宮
二十三	夾鏈袋	一包 (240m m × 340m m)	採集用；描繪路徑
二十四	油性筆	一支	描繪路徑

肆、研究過程與方法

一、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 基礎生物學探討。

(一) 華夏粗針蟻研究今昔：

搜尋華夏粗針蟻的相關文獻，有助於了解華夏粗針蟻的生活習性、鑑定特徵與過去之相關研究資料。

(二) 生活習性：

至華夏粗針蟻的野外棲地，記錄其巢外個體之活動行為，並採集完整聚落攜回實驗室飼養，以方便觀察，如圖二、三。

1、製作飼養觀察箱：

- (1) 將塑膠盒 (20×20 cm) 底部灌入 1 cm 高的石膏作為底層。
- (2) 利用鑽孔機在塑膠盒四周鑽出小孔，以利人工蟻巢之通風。



圖二、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 聚落，圖三、自製之飼養觀察箱，紅色玻璃紙為蟻巢區域。

(三) 外觀型態：

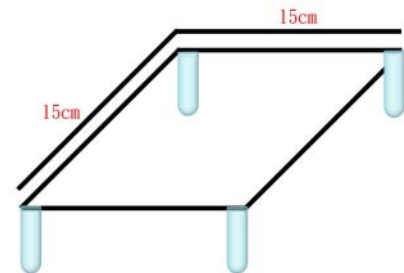
利用解剖顯微鏡 (10X) 觀察，攝影並描繪華夏粗針蟻的外觀型態，且依據文獻提供之鑑定特徵與其他粗針蟻屬之蟻種進行分類判別與比較。

(四) 生態區位：

探討在樣區中的華夏粗針蟻族群與其他物種之相對關係，有助於了解華夏粗針蟻在樣區所佔之生態區位 (niche) 及生態上之重要性。

1、掉落式陷阱：

在樣區 (sample area) 以鐵鎚敲擊直徑為 3 cm 之木樁，深入土中約 15 cm，埋設離心管，排列方式如圖。陷阱於放入 24 小時後回收，鑑定蟻種並計算數量，以利調查樣區分佈之物種，如圖四。



圖四、掉落式陷阱法示意圖。

2、目視觀察法：

至華夏粗針蟻棲地，實際觀察其棲地環境、覓食行為及分工情形，並紀錄華夏粗針蟻與其他物種之互動與利害關係。

二、華夏粗針蟻 (P. chinensis) 行爲譜 (Ethogram) 分析。

利用 ETHOM 行爲紀錄軟體 (施習德, 2000) 統計各行爲發生之頻率, 間接了解其社會分工行爲。

(一) 行爲譜 (ethogram) 概述:

了解行爲譜 (ethogram) 的實驗原理之依據以及測量方法, 並實際操作觀察, 製作華夏粗針蟻此一物種之行爲譜。

(二) 製作行爲譜 (ethogram):

- 1、觀察華夏粗針蟻在不同狀態下之各種行爲, 每筆紀錄觀察時間爲一分鐘。
- 2、重複做此實驗, 不限次數。(此實驗爲隨機取樣, 觀察後不必進行標記。)
- 3、將所紀錄之數據以 ETHOM 行爲紀錄軟體製成行爲譜, 並進行分析。

三、華夏粗針蟻 (P. chinensis) 聚落內運兵者 (porter) 科學描述。

觀察華夏粗針蟻的運兵者 (porter) 搬運巢內職蟻至巢外之食物周圍進行覓食之各種行爲細節, 即爲將成體搬運行爲 (adult transport) 融入覓食過程中的獨特行爲。

(一) 成體搬運行爲 (adult transport) 名詞意涵; 發現運兵者 (porter):

查詢成體搬運行爲 (adult transport) 文獻及相關之參考資料, 並與華夏粗針蟻運兵者 (porter) 的成體搬運行爲進行比較。

(二) 運兵者 (porter) 與其他職蟻的階級體系 (caste system):

觀察華夏粗針蟻運兵者與其他內勤、外勤之職蟻間的互動模式及接觸後之行爲, 以便了解運兵者 (porter) 在華夏粗針蟻巢中之職蟻間的階級地位。

(三) 運兵時機與序列分析:

紀錄華夏粗針蟻運兵者 (porter) 進行成體搬運行爲 (adult transport) 的時機與被搬運者 (portee) 被搬運之地點, 並分析運兵者此階級之職蟻搬運之成體的階級地位, 以便了解此行爲對於巢中其他階級之職蟻的搬運序列。

(四) 成體搬運行爲 (adult transport) 野外調查:

至華夏粗針蟻的棲地, 觀察在自然環境中是否有成體搬運 (adult transport) 應用於覓食過程中之實例, 證實此行爲在野生族群亦具有其特殊之實用性。

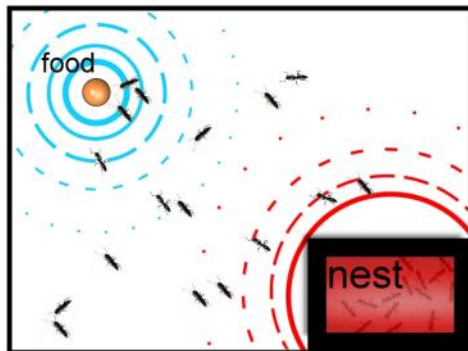
四、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 覓食策略分析。

觀察華夏粗針蟻的覓食方式，紀錄華夏粗針蟻的覓食路徑，並檢驗運兵者 (porter) 此階級對於聚落的重要性。設計公式，以便計算出其最佳化覓食方式。

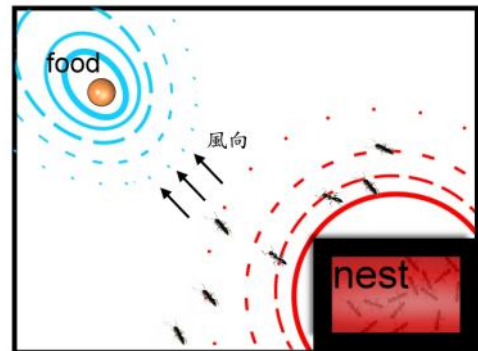
(一) 覓食定位方式：

1、空氣中氣味逸散：

在箱中放入食物，以風扇將氣味吹往蟻巢反向，避免氣味散入巢中。觀察華夏粗針蟻的覓食情形，證明其是否以溢散之氣味進行定位，如圖五、六。



圖五、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 正常覓食示意圖，蟻巢氣味與食物之濃度梯度皆為輻射狀平均擴散。



圖六、覓食定位實驗示意圖。

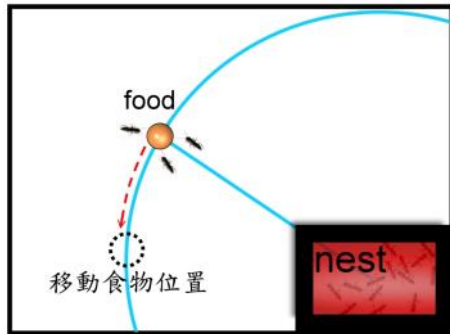
2、氣味濃度梯度檢驗，如圖七：

- (1) 放置食物並記錄華夏粗針蟻首次覓食之路線與覓食時間。
- (2) 巢穴為圓心，食物和巢穴之距離為半徑畫圓，形成一等距假想圓。
- (3) 將食物移動至不同位置、但位在相同圓周上之任一點。
- (4) 紀錄其覓食路徑，並與首次覓食所得之數據進行分析。

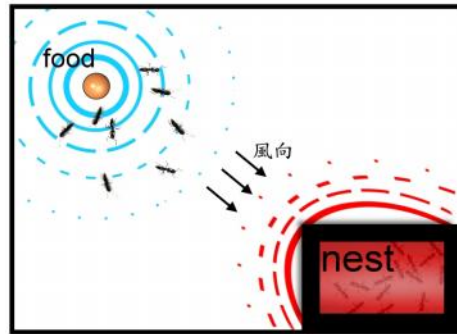
(二) 返巢定位方式：

1、空氣中氣味逸散：

將食物放置於觀察箱中，待華夏粗針蟻離巢進行覓食，使用風扇將氣流吹散，阻止蟻巢的氣味逸散至覓食區，觀察其覓食行為與返巢路線，如圖八。



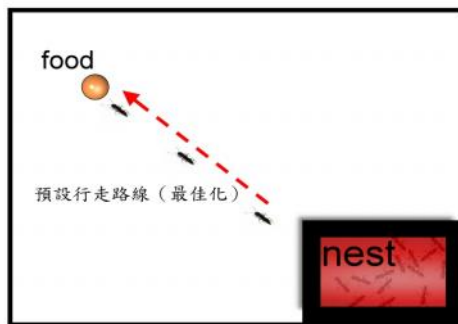
圖七、濃度梯度檢驗法示意圖。



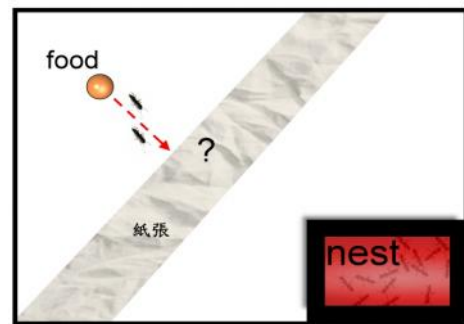
圖八、返巢定位氣味逸散實驗示意圖。

2、嗅跡費洛蒙 (trail pheromone)：

將食物放置於觀察箱中吸引華夏粗針蟻覓食，以油性筆紀錄其覓食路線，並將紙張平鋪於食物與蟻巢之間，紀錄其回巢路線，並與覓食路線進行分析，確認華夏粗針蟻是否使用嗅跡費洛蒙進行返巢定位（圖九、十）。



圖九、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 預設之覓食最佳化行走路線。



圖十、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 嗅跡費洛蒙 (trail pheromone) 返巢定位實驗示意圖。

3、嗅跡費洛蒙 (trail pheromone) 檢驗法二：

製作迷宮，置入華夏粗針蟻並記錄其行徑。將同巢之另一個體放入，觀察其路線是否相同，以驗證其是否會分泌嗅跡費洛蒙，如圖十一。



圖十一、迷宮實驗設置圖。



圖十二、移入觀察箱之華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 聚落。

4、以分子技術檢驗嗅跡費洛蒙 (trail pheromone)：

以分子技術檢驗華夏粗針蟻，證實華夏粗針蟻各腺體是否具嗅跡費洛蒙。

(三) 華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 聚落中有無運兵者 (porter) 之影響：

比較同一聚落中有無運兵者 (porter) 的覓食情形，並分析其結果。

- 1、將食物置於觀察箱吸引華夏粗針蟻覓食。
- 2、以 10 隻抵達覓食區之巢中職蟻為標準，紀錄覓食時間及行走路線。
- 3、取出進行成體搬運行為之運兵者 (porter)，並紀錄其巢中職蟻覓食時間。
- 4、分析有無運兵者 (porter) 對於族群之重要性。

(四) 影響華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 運兵者 (porter) 產生之因素。

1、食物大小：

紀錄華夏粗針蟻發生運兵者的食物量，並將等量之食物進行切割，探討食物之分割大小是否為決定運兵者 (porter) 產生的因素。

2、食物多寡：

紀錄華夏粗針蟻發生運兵者的食物量，並將食物逐次減少，了解食物量與運兵者 (porter) 之產生是否具關聯性。

3、覓食距離遠近：

在觀察箱中將食物分別放置於距蟻巢 5 cm、10 cm、20 cm 之處，觀察華夏粗針蟻是否產生運兵者，探討覓食距離對於運兵者 (porter) 產生之影響。

(五) 華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 覓食策略分析：

假說一、利用嗅跡費洛蒙 (trail pheromone) 覓食。

假說二、以食物之濃度梯度進行覓食定位。

假說三、運兵者 (porter) 進行之成體搬運 (adult transport) 提高覓食效率。

假說四、利用發音器 (stridulitum) 傳訊覓食。

觀察華夏粗針蟻的覓食方式，與其他種類之螞蟻進行比較，並以推導之公式進行分析，何種覓食策略最有利於華夏粗針蟻，達成最佳化覓食。

五、探討影響華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 分工機制之因素。

將有后 (queenright) 聚落及缺后 (queenless) 聚落之實驗結果進行分析，並互相比較，了解何種狀態之蟻巢對華夏粗針蟻較具優勢，並繪製相關趨勢圖。

伍、研究結果

一、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 行爲學文獻之探討。

(一) 華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 相關文獻：

華夏粗針蟻爲大型針蟻且螫傷時會產生劇烈的疼痛。在美國，華夏粗針蟻爲外來種，甚至具有入侵性，外觀型態如圖十三。聚落規模小，每個聚落的數量約數十隻至數百隻，有多后 (polygynous) 聚落產生的可能。於潮濕腐爛的朽木或土壤覆蓋的物體下築巢，如石塊、瓦礫等，偏好黑暗、潮濕的棲地。華夏粗針蟻爲肉食性，主要取食小型節肢動物。常見於維吉尼亞州 (Virginia)、北卡羅來納州 (North Carolina)、喬治亞州 (Georgia) 和南卡羅來納州 (South Carolina) 距海較遠的區域。



圖十三、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 網路下載之俯視圖。

(二) 生活習性：

華夏粗針蟻爲單獨覓食，且沒有一固定之行進路線，其幼蟲及卵會形成子脾堆 (brood pile)，並可觀察到一種常見於螞蟻社會中職蟻之成體搬運行爲 (adult transport)，如圖十四。外勤職蟻於覓食中發現食物後，可發現一種特殊階級，專司進行成體搬運行爲，將巢中職蟻搬至食物旁，暫將此特殊階級命爲運兵者 (porter)，此發現有待進一步的考證。其他職蟻則負責將部份之食物採集回巢。其觸角相當敏感，碰觸如昆蟲內臟等具沾黏性之物體，皆會產生極強烈之梳理反應，如圖十五。



圖十四、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 成體搬運行爲 (adult transport)。



圖十五、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 觸角極爲敏感，如遇具沾黏性之物體會產生強烈之梳理反應。

(三) 掉落式陷阱：

下表爲樣區中進行掉落式陷阱所記錄之蟻種，各族群數量在樣區中皆爲優勢種，因此不行標記。

表二、以掉落陷阱法記錄分布於樣區之蟻種。

亞科名	學名	中名
Myrmicinae	<i>Aphaenogaster tipuna</i>	大林長腳家蟻
	<i>Crematogaster rogenhoferi</i>	懸巢舉尾家蟻
	<i>Monomorium chinense</i>	中華單家蟻
	<i>Monomorium pharaonis</i>	小黃家蟻
	<i>Pristomyrmex pungens</i>	堅硬雙針家蟻
	<i>Pheidole noda</i>	寬節大頭家蟻
	<i>Pheidoleton diversus</i>	小紅蟻
	<i>Tetramorium nipponense</i>	日本皺家蟻
Ponerinae	<i>Pachycondyla javanus</i>	爪哇粗針蟻
	<i>Pachycondyla chinensis</i>	華夏粗針蟻
Dolichoderinae	<i>Odontaspis glaber</i>	光滑管琉璃蟻
	<i>Technomyrmex albipes</i>	白足扁琉璃蟻
	<i>Tapinoma melanocephalum</i>	黑頭慌蟻
Formicinae	<i>Anoplolepis longipes</i>	長腳捷蟻

二、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 行爲譜 (ethogram) 分析。

(一) 行爲譜 (ethogram) 概述：

將行為所產生的反應數據化並驗證假說的正確性。須視觀察之行為進行紀錄，而非推測其內涵。對研究物種採隨機觀察，觀察後之個體不必特別標記。

(二) 華夏粗針蟻行為紀錄：如表三

表三、華夏粗針蟻 (P. chinensis) 行為紀錄。

行為	敘述
餵哺	將嗉囊 (craw) 中的食物吐餵給同伴，如圖四十九。
被餵哺	接受餵哺之職蟻，如圖四十九。
梳理	可分為自體梳理和梳理同伴，如圖四十五、四十六。
靜止	靜止不動。
行走	一種不知其目的之行走活動。
警戒	如圖五十一。
成體搬運行為	一種搬運螞蟻成體之行為，如圖四十七。
被搬運者	被搬運之成蟲，如圖五十。
育幼	哺育行為，如圖五十二。
接觸	如圖四十四。
運屍	如圖四十八。

(三) 華夏粗針蟻 (P. chinensis) 行為譜 (ethogram)：

下表為華夏粗針蟻在餵食、未餵食及受干擾的狀態下產生之行為。

表四、華夏粗針蟻 (P. chinensis) 有后聚落，未餵食。

	次級職蟻 (subordinate worker) n=375	高階職蟻 (dominant worker) n=282	蟻后 (queen) n=114
餵哺	0.064	0	0
被餵哺	0.024	0.021	0.079
自體梳理	0.136	0.117	0.053
被梳理	0.008	0.149	0.105
梳理同伴	0.144	0.011	0
靜止	0.312	0.170	0.368
行走	0.152	0.255	0.263
警戒	0.016	0.128	0
搬運同伴	0	0.064	0
育幼	0.048	0	0.053
接觸	0.080	0.085	0.079
搬運屍體	0.016	0	0

備註：標有紅色之數據為較常發生之行為。

華夏粗針蟻聚落中不受干擾時，各階層較常發生之行為集中於靜止、行走，高階職蟻

(dominant worker) 與蟻后被梳理比例較高，接受次級職蟻 (subordinate worker) 之梳理。

表五、華夏粗針蟻 (P. chinensis) 有后聚落，餵食 (五分鐘後)。

	次級職蟻 (subordinate worker) n=435	高階職蟻 (dominant worker) n=327	蟻后 (queen) n=75
餵哺	0.214	0.037	0
被餵哺	0.069	0.147	0.320
自體梳理	0.076	0.028	0.040
被梳理	0.021	0.092	0.120
梳理同伴	0.179	0.009	0
靜止	0.124	0.073	0.320
行走	0.131	0.193	0.080
警戒	0.007	0.128	0
搬運同伴	0	0.147	0
育幼	0	0.037	0.120
覓食	0.179	0.110	0

備註：標有紅色之數據為較常發生之行爲。

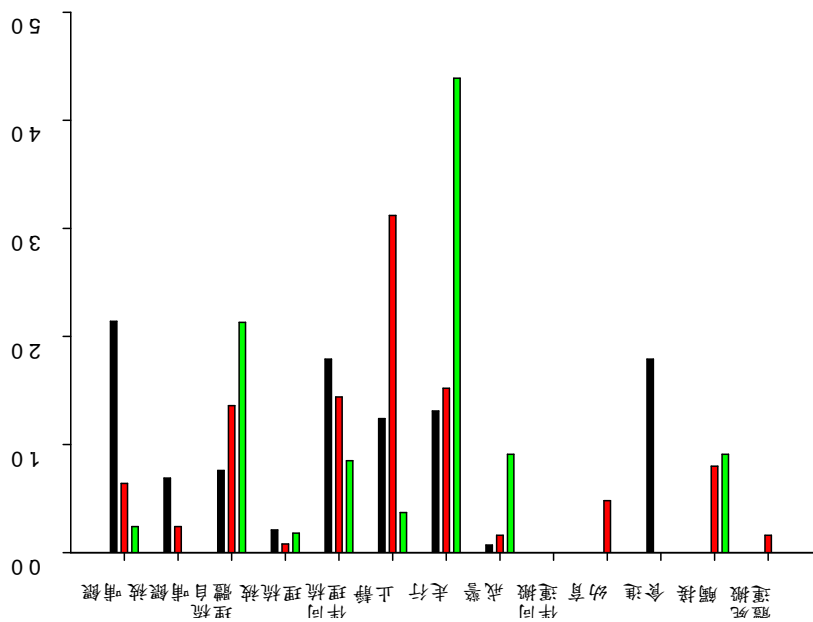
由表格統計出之數據可發現華夏粗針蟻不同階層之職蟻於餵食狀態下產生之行爲具相當之差異，僅高階職蟻 (dominant worker) 與蟻后被餵哺之行爲發生機率皆較高。

表六、華夏粗針蟻 (P. chinensis) 有后聚落，受干擾 (五分鐘後)。

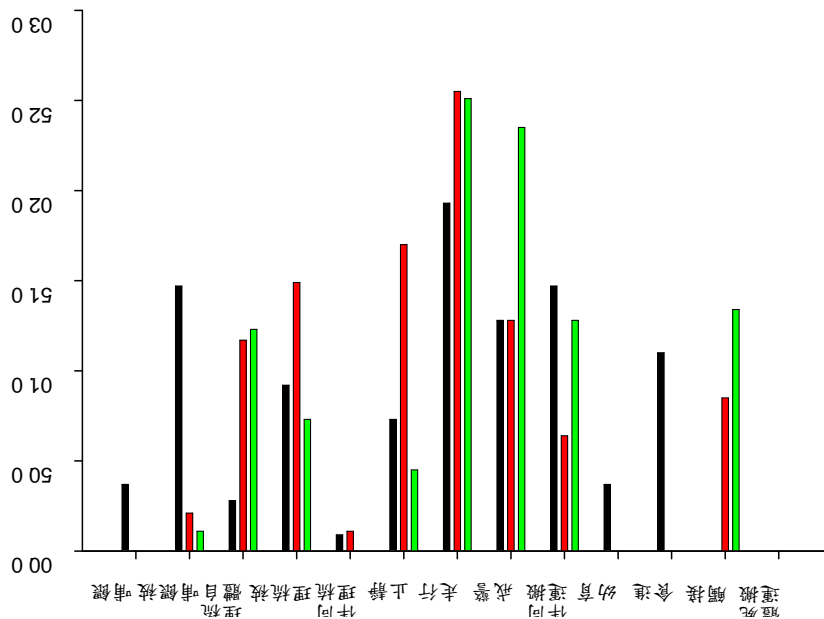
	次級職蟻 (subordinate worker) n=76	高階職蟻 (dominant worker) n=124	蟻后 (queen) n=22
餵哺	0.024	0	0
被餵哺	0	0.011	0.016
自體梳理	0.213	0.123	0.210
被梳理	0.018	0.073	0
梳理同伴	0.085	0	0
靜止	0.037	0.045	0.419
行走	0.439	0.251	0.290
警戒	0.091	0.235	0
搬運同伴	0	0.128	0
接觸	0.091	0.134	0.065

備註：標有紅色之數據為較常發生之行爲。

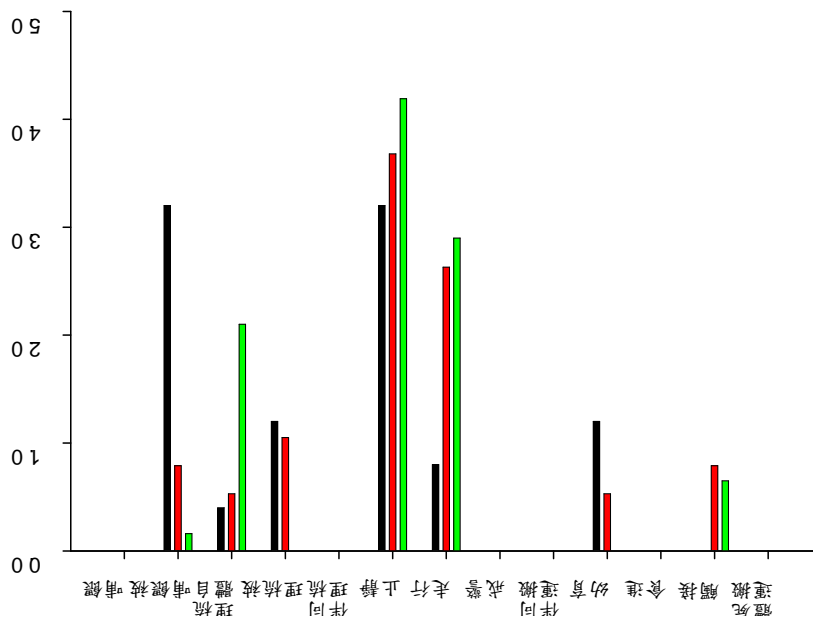
華夏粗針蟻受干擾後，次級與高階職蟻 (dominant worker) 比例較高之行爲相似 (行走、警戒、接觸)。次級職蟻 (subordinate worker) 與蟻后之自體梳理皆為比例較高之行爲。



圖十六、不同狀態下蟻巢之次級職蟻 (subordinate worker) 發生比例變化比較圖。
 (黑：餵食；紅：未餵食；綠：受干擾)



圖十七、不同狀態下蟻巢之高階職蟻 (dominant worker) 發生比例變化比較圖。
 (黑：餵食；紅：未餵食；綠：受干擾)



圖十八、不同狀態下蟻巢之蟻后(queen)發生比例變化比較圖。(黑：餵食；紅：未餵食；綠：受干擾)



圖十九、受干擾後，高階職蟻 (dominant worker) 會進行成體搬運 (adult transport)，將個體搬回巢。



圖二十、左下角即為在覓食過程進行成體搬運行為 (adult transport) 的運兵者 (porter)。

三、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 聚落內運兵者 (porter) 科學描述。

(一) 成體搬運行為 (adult transport) 名詞意涵；發現運兵者 (porter)：

根據飼養紀錄，華夏粗針蟻的成體搬運行為 (adult transport) 主要發生於蟻巢受到干擾以及應用於覓食過程中，且覓食模式產生一特殊階級，運兵者 (porter)。運兵者專司進行成體搬運行為，不負責搬運食物回巢。

在觀察期間，華夏粗針蟻的成體搬運行為 (adult transport) 被搬運者 (portee) 會以蛹狀 (pupal posture) 的姿態被運兵者 (porter) 進行搬運，並非

常見於其他蟻種之合作活動（cooperate activity）。合作活動泛指一切被搬運者（portee）施力、非蛹狀等非自然狀態下進行之搬運行為。

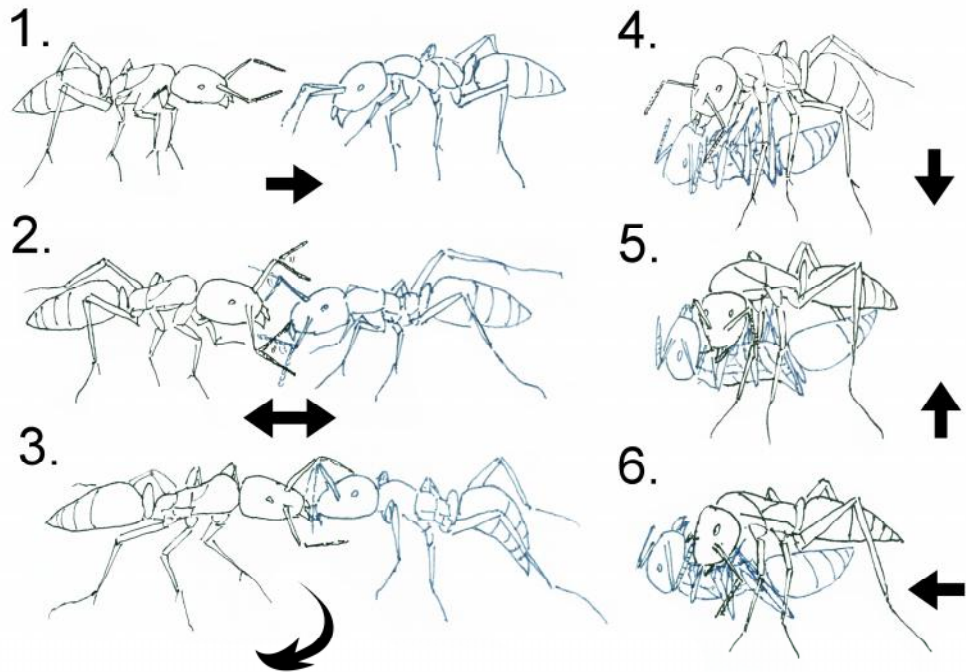
成體搬運行為（adult transport）結束後，運兵者（porter）會產生一種喚醒機制成為儀式化行為（ritualized behavior），以觸角從頭部縱向移至腹部輕撫被搬運者（portee），如圖二十二。



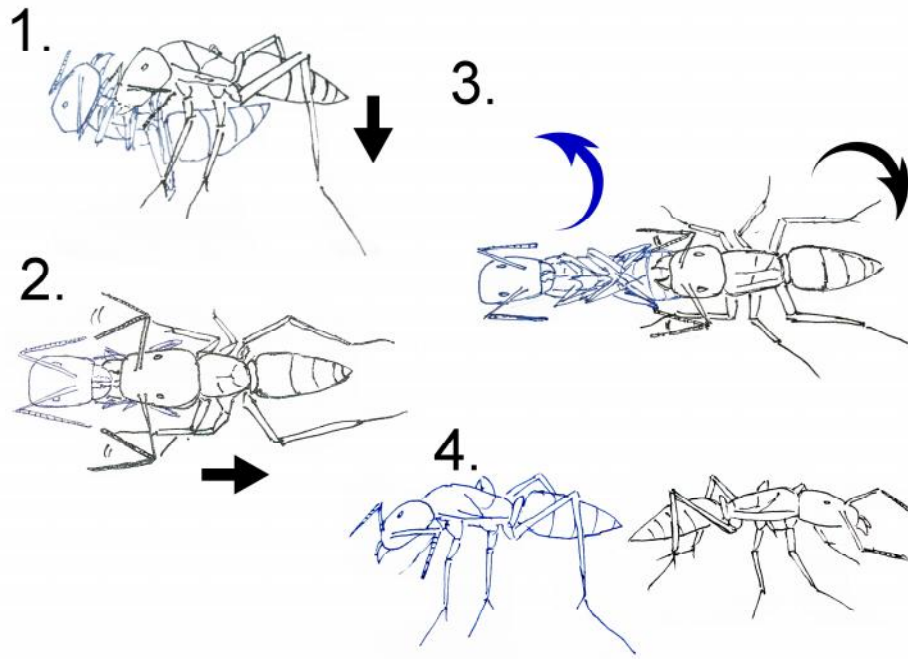
圖二十一、同一隻運兵者（porter）於一次的餵食紀錄中，進行成體搬運（adult transport）之行走路線。



圖二十二、華夏粗針蟻（*P. chinensis*）運兵者（porter）對被搬運者（portee）進行儀式化行為（ritualized behavior）。

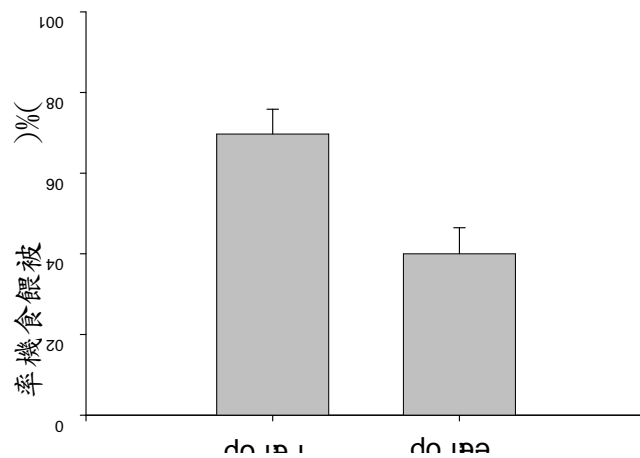


圖二十三、成體搬運行為（adult transport）示意圖。黑：運兵者（porter），藍：被搬運者（portee）；黑色箭頭為運兵者（porter）行走方向。



圖二十四、成體搬運行為 (adult transport) 喚醒機制示意圖。黑：運兵者 (porter)，藍：被搬運者 (portee)；黑色箭頭為運兵者 (porter) 行走方向，藍色為被搬運者 (portee) 之方向。

運兵者與被搬運者 (portee) 在巢外被餵哺之機率如圖二十五，證明運兵者其行為高度專一化，不負責搬運食物回巢。



圖二十五、運兵者 (porter) 與被搬運者 (portee) 被餵哺之機率比較 (T test < 0.01)。

四、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 覓食策略分析。

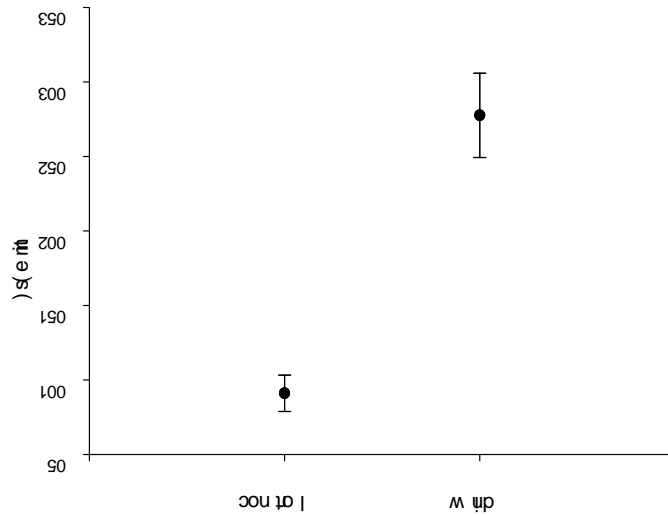
(一) 覓食定位：

華夏粗針蟻腹部末端具發達之螫針，推測其毒腺 (poison gland) 分泌物可吸引同伴加入覓食行動。進行之迷宮實驗發現華夏粗針蟻並不會依據前一

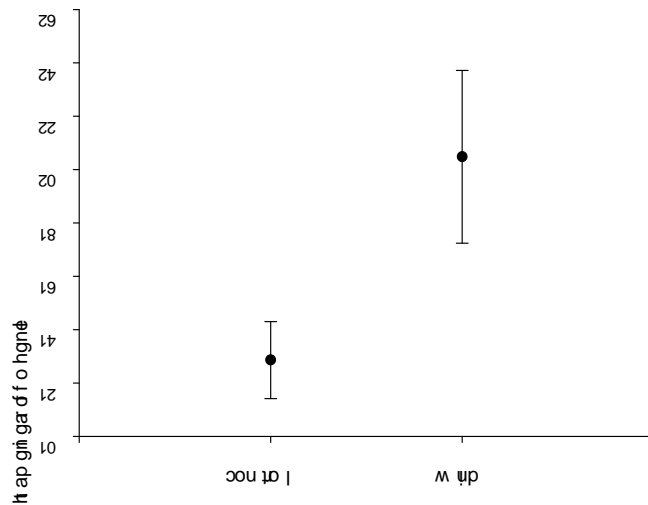
個體行走之軌跡，初步印證華夏粗針蟻不具嗅跡費洛蒙（trail pheromone），但仍需要進一步以科學儀器檢測加以證實。

(二) 無風與有風狀態覓食情形：

結果顯示有風狀態確實會影響華夏粗針蟻進行覓食，如圖。



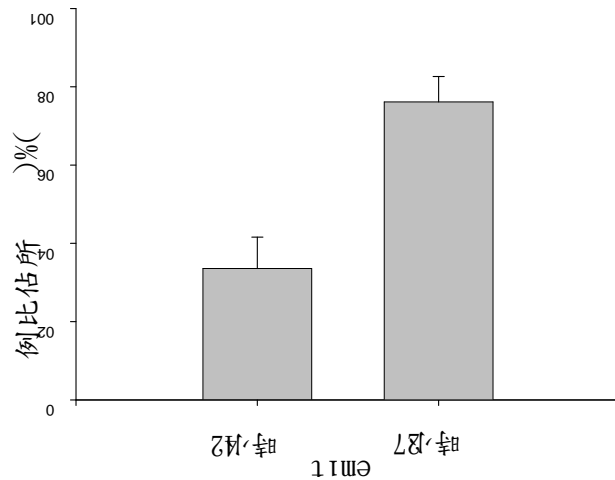
圖二十六、華夏粗針蟻 (*P.chinensis*) 外勤職蟻無風與有風狀態之覓食時間比較。(T-test < 0.001, 有顯著差異)



圖二十七、華夏粗針蟻 (*P.chinensis*) 外勤職蟻無風與有風狀態之覓食距離比較。(T-test < 0.001, 有顯著差異)

(二) 餵食間隔與運兵者 (porter) 數量變化量之關聯：

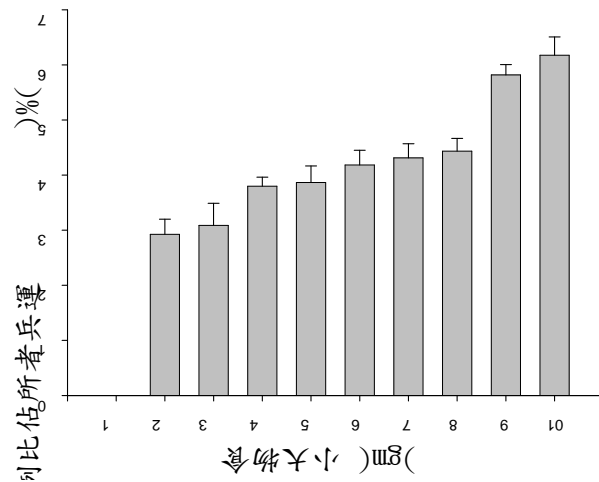
將餵食之間隔時間從原本的 24hr 延長至 72hr，減少食物之供應頻率，原先運兵者 (porter) 數量僅佔外勤職蟻的 33.5%，後提升至 75%，如圖二十八。



圖二十八、不同之餵食間隔 (24hr 與 72hr) 與運兵者 (porter) 佔外勤職蟻比例變化圖。

(三) 食物量與成體搬運 (adult transport) 比例變化之關聯：

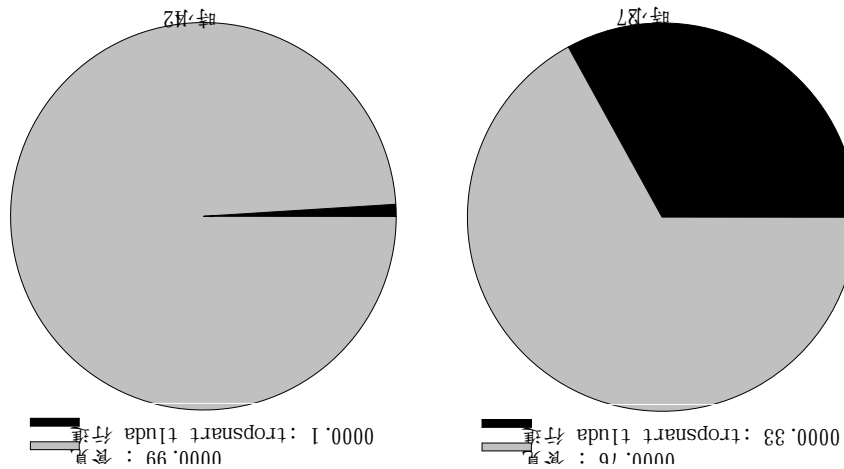
食物量不同，產生成體搬運的比例亦產生差異性，由結果得知，食物量太小，成體搬運的比例較小，甚至不產生成體搬運，如圖二十九。



圖二十九、食物量與成體搬運 (adult transport) 產生之比例變化比較。

(四) 被搬運者 (portee) 行為變化比較：

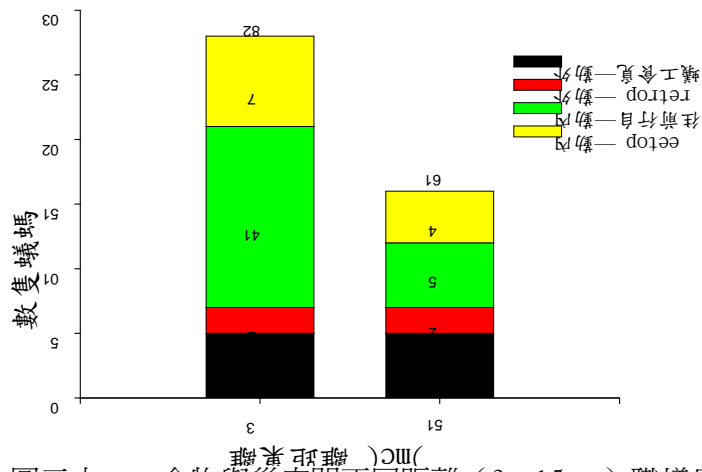
在食物充足的情況下，華夏粗針蟻的被搬運者 (portee) 被搬運後產生成體搬運行為 (adult transport) 的比例小於 1%。食物缺乏時，被搬運者進行成體搬運的比例提昇至 33%，可加強巢中職蟻之覓食效率，如圖三十。



圖三十、不同之餵食間隔 (24hr 與 72hr) 被搬運者 (portee) 行為發生比例之變化。

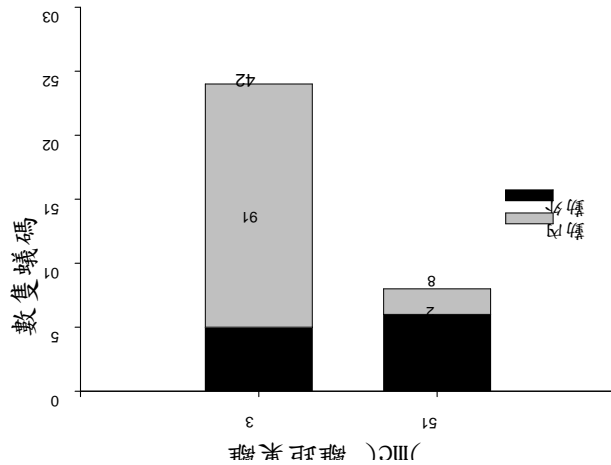
(五) 運兵者 (porter) 有無：

根據觀察，華夏粗針蟻聚落之運兵者 (porter) 相當具重要性，於不同距離 (3、15cm) 放置食物五分鐘後，皆會產生運兵者 (porter)，相關數據如下圖 (圖三十一)。



圖三十一、食物與巢穴間不同距離 (3、15 cm) 職蟻覓食方式分析。

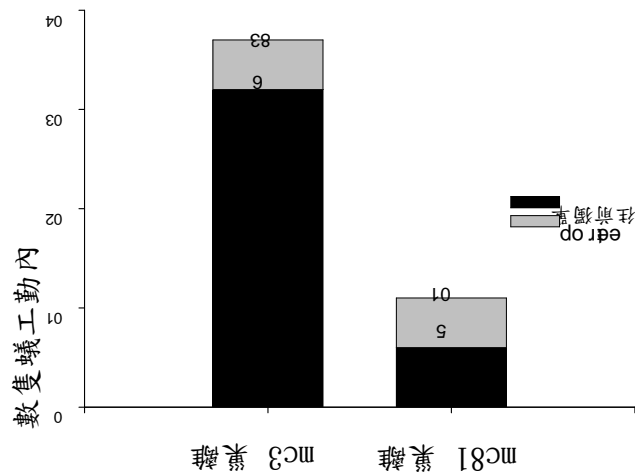
將運兵者 (porter) 於覓食過程中移除，並將被搬運者 (portee) 放置回巢，發現其覓食之內勤職蟻數量大幅減少，相關數據如圖三十二。



圖三十二、無運兵者 (porter) 之華夏粗針蟻 (*P.chinensis*) 聚落於不同覓食距離覓食職蟻組成比例。

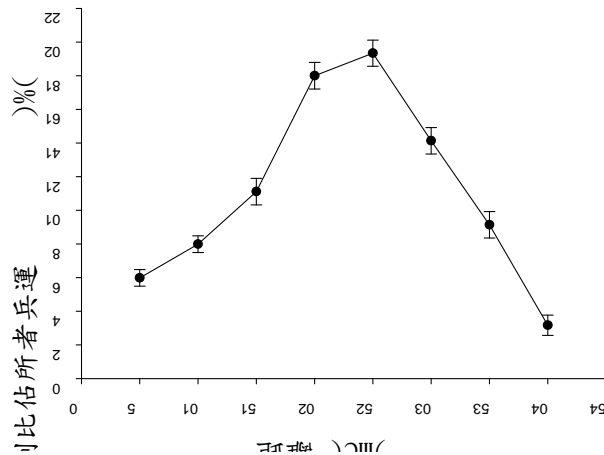
(六) 食物距離遠近之影響：

將食物置於距蟻巢 3 cm、18 cm 之處五分鐘後，紀錄華夏粗針蟻巢中職蟻抵達覓食區之方式。結果顯示，食物距蟻巢較近，以成體搬運 (adult transport) 前往之比例愈小；距離較遠以成體搬運行為抵達之比例提昇至 50%，如圖三十三。推測距離較遠，單獨前往會增加其行走距離，利用運兵者 (porter) 可減少總能量之消耗。



圖三十三、華夏粗針蟻 (*P.chinensis*) 巢中職蟻抵達不同距離之覓食區使用方式比例變化圖。

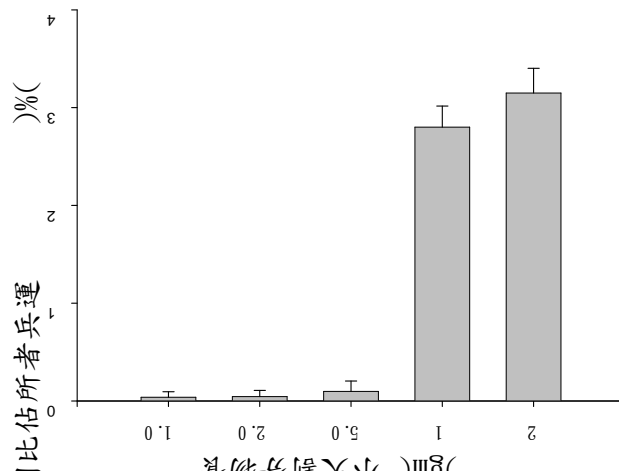
圖三十四為食物與蟻巢間距離和運兵者產生之機率變化圖，從結果得知，距離超過 25 公分後，產生運兵者之機率隨之下降，推測為其路程過長，不符合其利益。



圖三十四、食物與蟻巢間距離及華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 運兵者 (porter) 佔外勤職蟻比例變化圖。

(七) 食物分割大小與運兵者 (porter) 產生比例變化：

將等量之食物 (2m g) 分割為不同之大小，結果顯示華夏粗針蟻會因分割塊狀小、可搬回巢而不產生運兵者，如圖三十五。

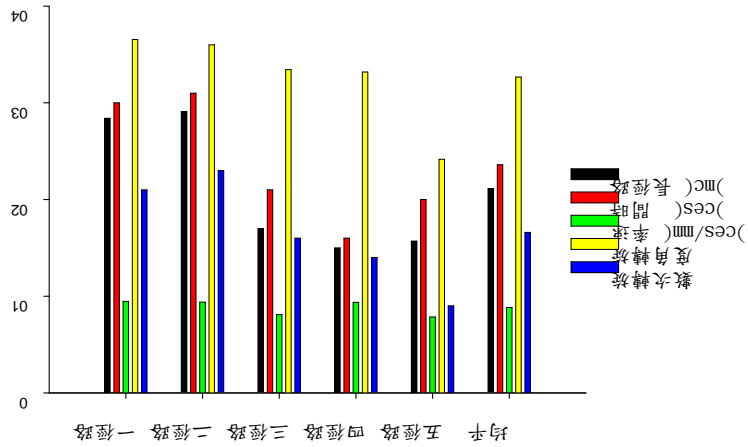


圖三十五、食物分割大小與運兵者 (porter) 產生比例變化。

(八) 運兵者 (porter) 路線分析：

實驗結果顯示，外勤職蟻發現食物後，同一隻運兵者進行之成體搬運行為 (adult transport) 隨著次數的增加，旋轉次數、旋轉角度、路徑皆縮短 (行

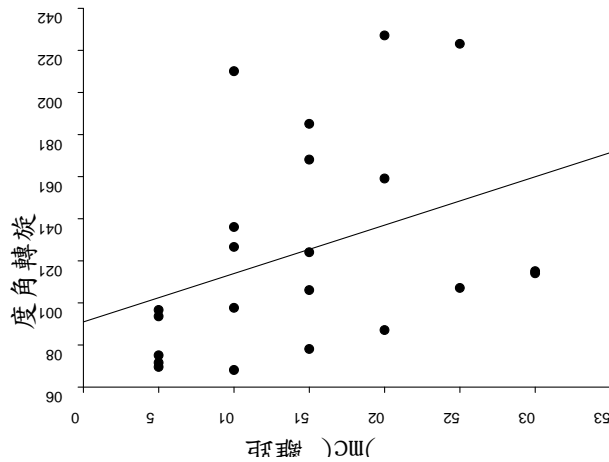
走速率無顯著差異)，尋求最佳化之覓食路線，數據如圖三十六。



圖三十六、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 同一隻運兵者 (porter) 於一次紀錄中進行五次成體搬運行為 (adult transport) 各項數據圖。

圖三十七為華夏粗針蟻覓食行走距離與其轉折之角度之關係分布，

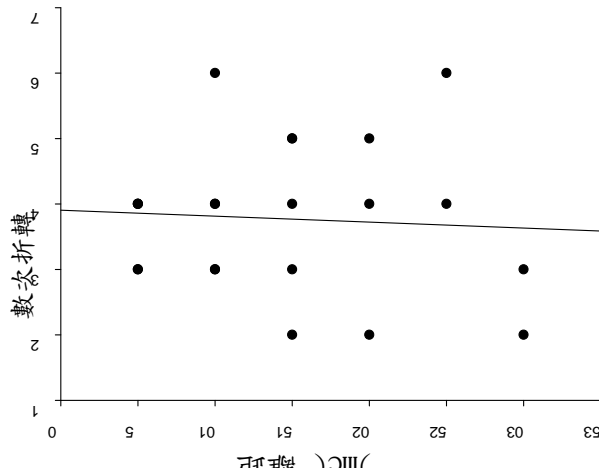
$R^2=0.1348 < 0.5$ ，不具有明顯之關聯性。



圖三十七、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 同一隻運兵者 (porter) 成體搬運行為 (adult transport) 轉折角度與覓食距離關係圖。

圖三十八為華夏粗針蟻覓食行走距離與其轉折次數之關係分布，

$R^2=0.004 < 0.5$ ，不具有明顯之關聯性。



圖三十八、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 同一隻運兵者 (porter) 成體搬運行為 (adult transport) 轉折次數與覓食距離關係圖。

(九) 覓食公式：

如果以嗅跡費洛蒙進行覓食，則每隻螞蟻行走之路徑長會逐漸縮短，達到最佳覓食路線後，覓食路徑將等長，假設 N 等於總螞蟻隻數， n 等於覓食路徑長不同之螞蟻總隻數， m 等於單趟覓食路徑長，而 L_1 則等於覓食路線的總長，公式如下：

$$\text{因 } m_1 > m_2 > m_3 \dots > m_n > m_{n+1} = m_{n+2} = m_{n+3} \dots \quad (1)$$

$$\text{由 (1) 可知 } 2 \left(\sum_{k=1}^n m_k + (N - n) \cdot m_{n+1} \right) = L_1 \quad (2)$$

如果是無嗅跡費洛蒙之螞蟻，且此種螞蟻可依賴食物的濃度梯度來覓食，每隻螞蟻所行走的覓食路徑長大約相同，所以總螞蟻隻數乘上每隻螞蟻每一次行走之覓食路徑長，就等於覓食路線的總長，假設 N 等於總螞蟻隻數， m 等於單趟覓食路徑長，而 L_1 則等於覓食路線的總長，公式如下：

$$\text{因 } m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m_5 \dots = m_n \quad (3)$$

$$\text{由 (3) 可知 } N \cdot 2m = L_2 \quad (4)$$

如果此種螞蟻可藉運兵者 (porter) 所進行之成體搬運 (adult transport) 提高覓食效率，則除了運兵者 (porter) 外，其餘被搬運者 (portee) 皆只有單趟的路徑長，一隻運兵者 (porter) 行走一趟的距離，加上搬運隻數乘以運兵者 (porter) 一趟所需之距離，再加上將食物搬回巢的被搬運者 (portee)

次數乘以單趟的距離，就等於覓食路線的總長，當運兵者（porter）為一隻時，假設 n 等於被搬運者（portee）隻數， m 等於單趟覓食路徑長，而 L_3 則等於覓食路線的總長，公式如下：

$$2m + 2m \cdot n + m \cdot n = L_3 \quad (5)$$

由 (5) 化簡為 $2m + 3m \cdot n = L_3 \quad (6)$

由 (6) 化簡為 $m(2 + 3n) = L_3 \quad (7)$

經過公式的推導，並實際的觀察華夏粗針蟻其生活習性（即單獨覓食、覓食範圍小）與棲地形態（潮濕之地表與落葉層中），可證實其覓食路程若以單程之路程進行計算，將會發現 $L_1 > L_2 > L_3$ ，使用運兵者進行覓食確為最佳化之覓食模式。

五、探討影響華夏粗針蟻（*P. chinensis*）分工機制之因素。

（一）有后（queenright）聚落職蟻（worker）分工情形：

在觀察過程中，華夏粗針蟻之正常聚落分工嚴謹，外勤工蟻的數量與巢內之個體比值約為 1/10。

（二）缺后（queenless）聚落職蟻（worker）分工情形：

華夏粗針蟻之缺后聚落職蟻間的階級不明確，結構鬆散，外勤與內勤職蟻的比值接近 1。發現食物後，發生成體搬運行為（adult transport）的次數亦明顯降低。



圖三十九、華夏粗針蟻（*P. chinensis*）覓食，右下角可見成體搬運行為（adult transport）。



圖四十、華夏粗針蟻（*P. chinensis*）成體搬運行為（adult transport）特寫。

陸、討論

一、在飼養期間，可觀察到一種常見於螞蟻社會中職蟻的成體搬運行為（adult transport）（圖五十），其行為意指將同伴搬運至搬運者所滿意之處，並有表示職蟻間階級體系（caste system）之意。但在觀察中，華夏粗針蟻將成體搬運（adult transport）運用於覓食過程，且發展出一特殊階級，暫命名為運兵者（porter），可能為學術界之新發現，正積極準備發表於期刊上。

二、因在人工飼養下的環境無法有正常且穩定之照明來源，很可能改變其生活方式與習性，因此我們以 12 小時為一光照週期，作為其固定之光源，如圖四十一。



圖四十一、華夏粗針蟻（*P. chinensis*）飼養於人工環境下穩定之照明來源。

三、由於華夏粗針蟻在野外之棲地陰暗且潮濕，其巢穴位置之明暗與溼度相較之下，濕度更較光線重要。飼養的過程中對水分的需求量也相當高，需每天補充水分。

四、我們推測是由於棲地環境之因素，而導致華夏粗針蟻以震動波及氣味之濃度作為野外之覓食定位方式。在其生活之落葉及表土層環境，常因遭受其他物種之影響而改變結構，無法以嗅跡費洛蒙（trail pheromone）作為有效之增援傳訊方式。

五、在公式的推導中，我們只推導出有嗅跡費洛蒙、無嗅跡費洛蒙，和利用運兵者（porter）進行之成體搬運（adult transport）三種覓食公式，至於利用發音器（stridulitrum）傳訊覓食之公式，因與濃度梯度公式相同，所以並不另外推導。

六、在報告中我們假設華夏粗針蟻（*P. chinensis*）可能可以利用濃度梯度來進行覓食，但在野外時覓食區域可能很廣，利用氣味定位來覓食或許不適用。

七、由於螞蟻對於紅色光較不敏感，因此人工觀察箱之蟻巢區域以紅色玻璃紙遮蓋，以便觀察其巢中職蟻於巢內之活動。

八、由行為譜（ethogram）的結果可發現蟻巢於未受干擾之情況下亦會產生成體搬運（adult transport），事後查詢文獻得知，次級職蟻（subordinate worker）會臣服於高階職蟻

(dominant worker)，並接受其搬運。

九、蟻巢受干擾後，進行成體搬運 (adult transport) 的高階職蟻 (dominant worker) 不會同時進行警戒，會專一進行成體搬運行為。當華夏粗針蟻運兵者 (porter) 與另一隻個體產生接觸之行為，即揮動觸角傳遞訊息，有時會發生僵持不下的情形，原因為其皆為運兵者 (porter) 或此為正進行警戒之守衛蟻 (guard)，並非逃逸之個體。

十、經過觀察，華夏粗針蟻的成體搬運行為 (adult transport) 被搬運者 (portee) 搬運的次序並無一定之順序，隨機相遇之內勤職蟻皆可立即為運兵者 (porter) 所搬運成為被搬運者 (portee)，與階級並無明顯之相關性。



圖四十二、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 職蟻之成體搬運行為 (adult transport)。

柒、結論

經由行為譜 (ethogram) 的分析得知，華夏粗針蟻之有后聚落 (queenright) 職蟻間分工嚴謹，且具有成體搬運行為 (adult transport)，於其覓食過程中，產生一特殊階級—運兵者 (porter)，專司進行成體搬運，其被餵哺機率高於被搬運者 (portee)，行為高度專一化並發展出特殊之儀式化行為 (ritualized behavior)。食物量太少、可搬運回巢時成體搬運行為比例亦較小。於食物短缺的情況下，運兵者 (porter) 佔外勤職蟻比例明顯提高，且被搬運者 (portee) 成為運兵者 (porter) 的比例亦明顯提升。將運兵者 (porter) 於覓食過程中移除，覓食之職蟻數量亦大幅降低。食物與蟻巢距離超過 25 公分，運兵者 (porter) 產生之機率亦隨之下降。經過公式的推導，證實其成體搬運行為 (adult transport) 可縮短覓食中行走之距離，減少總能量的散失與消耗，以利其達成最佳化覓食。

捌、參考資料

- 一、尚玉昌，2003。行為生態學，五南出版社 P 59~64。
- 二、林宗歧與吳文哲，2003。國立台灣博物館，國立台灣博物館年刊 P 5~P 68。
- 三、張永仁，1998。昆蟲入門，遠流出版社。
- 四、張永仁，1998。昆蟲圖鑑，遠流出版社。

- 五、張永仁，2001。昆蟲圖鑑 2，遠流出版社。
- 六、潘建宏、廖智安，1999。台灣昆蟲記，大樹文化。
- 七、霍德·伯勒與威爾森，1996。螞蟻·螞蟻，遠流出版社。
- 八、國立台灣大學昆蟲學系暨研究所，蓬萊仙島
http://www.entomol.ntu.edu.tw/~ant/new_page_5.htm
- 九、台灣生物多樣性資訊網
<http://taibnet.sinica.edu.tw/home.asp>
- 十、增援傳訊行爲
<http://elearning.qcobaass.edu.hk/~bio/ant/a4.htm>
- 十一、無脊椎動物監測模式之建立
http://bc.zon.tu.edu.tw/conf_2005082526/pdf/06.pdf
- 十二、以螞蟻群聚做爲保留區監測的目標物種－掉落式陷阱
<http://www.fri.gov.tw/cht/files/%B1M%C3D6-1433970534.pdf>
- 十三、Japanese Ant Image Database
<http://ant.edb.miyakyo-u.ac.jp/E/Taxo/F10701.html>
- 十四、Subfamily PONERINAE Tribe PONERINI *Pachycondyla chinensis* (Emery)
<http://www.mississippienmuseum/researchtaxapages/Formicidae/pages/genericpages/Pachycondyla.chinensis.htm>
- 十五、*Pachycondyla chinensis* (Emery) An Emerging Ant Pest of Medical Importance
<http://entweb.clemson.edu/cuentres/eiis/pdfs/mv18.pdf>
- 十六、The Ethogram : quantifying behavior and testing hypotheses
<http://biology.kenyon.edu/courses/biol261/Ethogram/EthoBody.htm>
- 十七、Dahbi A. and J.Retana and A.Lenior and X. Cerdá, 2008. Nest-moving by the polydomous ant *Cataglyphis iberica*. *J. Ethol.* 26: 119~126.
- 十八、Dahbi A. and X.Cerdá and A.Hefetz and A.Lenoir, 1997. Adult transport in the ant *Cataglyphis iberica*: A means to maintain a uniform colonial adour in a species with multiple nests. *Physiological Entomology* 22: 13~19.

- 十九、Fourcassie V.and A.Dahbi and X.Cerd ,2000.Orientation and navigation during adult transport between nests in the ant *Cataglyphis iberica*.*Naturwissenschaften*87:355~359.
- 二十、Gibb H.and D.F.Hochuli,2003.Nest relocation in the golden spiny ant,*Polyrhachis ammon*:environmental cues and temporal castes. *Ins. Soc.*50:323~329.
- 二十一、Hölldobler Bert,1974.Social carrying behavior and division of labor during nest moving in ants. *Psyche*81:219~236
- 二十二、Hölldobler Bert,1984. A new exocrine gland in the slave-raiding ant genus *Polyergus*. *Psyche* 91 : 225-236
- 二十三、Marcio R. Pie,2002.Behavioral repertoire,age polyethism and adult transport in *Ectatomma opaciventre* (Formicidae:Ponerinae).*Ins. Soc.*15:25~35
- 二十四、Mercier J.L.and A.Dejean,1996.Ritualized behavior during competition for food between two Formicinae. *Ins. Soc.*43:17~29
- 二十五、Ruano F. and A.Tinaut,2004.The assault process of the slave-making ant *Rossomyrmex minuchae*(Hymenoptera,Formicidae)*Sociobiology*43:201~209
- 二十六、Wilson E.O.and B.Hölldobler,1986.Ecology and behavior of the neotropical cryptobiotic ant *Basicerros manni* (Hymenoptera:Formicidae:Basicerotini).*Ins. Soc.*33:70~84

玖、附錄



圖四十四 (a.b.)、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 接觸之行爲照。進行此行為時，其觸角會快速揮動，鞭打對方的頭部。



圖四十五 (a.b.c.)、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 各種梳理行爲 (自體梳理)。



圖四十六、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 梳理行爲 (梳理同伴)。



圖四十七、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 成體搬運 (adult transport) 特寫。



圖四十八、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 棄屍行爲 (所堆疊之墳場)。



圖四十九、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 餵哺行爲，由嗦囊 (craw) 具食物之職蟻吐餵給同伴。



圖五十 (a.b.)、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 搬運屍體 (上圖右) 與成體搬運行爲 (adult transport) 以蛹狀 (pupal posture) 搬運時 (上圖左) 皆以大顎咬合被搬運者 (portee) 之前胸。



圖五十一、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 正進行警戒之行爲。



圖五十二、華夏粗針蟻 (*P. chinensis*) 育幼行爲，其大顎之間爲幼蟲。

【評語】 040717

1. 觀察入微，且有新發現，並有圖及照片為證。
2. 對針蟻之觀察除了以照片為證並佐以數據，定性及定量皆符合。
3. 對食物分割大小與 porter 產生比例之探討為文獻中未曾出現，porter 路線分析考慮到路徑旋轉角度等頗為難得。