

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生物科

030314

黑棘蟻的一例多休

-黑棘蟻覓食與分工行為之探討

學校名稱：國立科學工業園區實驗高級中學(附設國中)

作者：  國二 王立皓  國二 郭宸維  國二 劉凡藝	指導老師：  曾郁方
---	------------------

關鍵詞：集體行為、覓食、黑棘蟻

## 摘要

我們研究螞蟻的分工覓食行為，這是螞蟻集體行為的具體表現。我們選用規模不同的兩個黑棘螞蟻窩進行實驗，對個別螞蟻進行塗色編號，方便於實驗中辨認螞蟻。我們設計了可以有效觀察覓食行為及可調控的覓食變因(食物離巢距離、食物數量、斷食時間)的實驗裝置，經由計算螞蟻窩內螞蟻的平均覓食出勤率，量化螞蟻的分工覓食行為。實驗發現，不論是面對單一或多重固定的覓食環境，黑棘螞蟻並不會因為螞蟻窩規模的大小不同而有比率懸殊的覓食出勤率。我們實驗數據的高度一致性，並非偶然，這是螞蟻集體行為特徵的一個具體呈現。

## 壹、研究動機

我們進一步閱讀了美國史丹福大學教授黛柏拉·戈登 (Deborah M. Gordon) 有關螞蟻的科普書籍別和螞蟻拼命[1]，TED 的兩篇精采演講[2-3]，還有網路上的一些有關介紹螞蟻的科普文章，認為螞蟻的覓食行為是一種集體行為的表現[1-3]。黛柏拉·戈登的演講及網路的相關科普文章使的我們對螞蟻的分工覓食行為產生興趣，並決定以台灣最大的家蟻 - 黑棘螞蟻作為研究對象。

總以為螞蟻是孜孜矻矻，成天勞碌奔波，馬不停蹄的四處覓食。國一上生物課本的第五章生物體的協調作用裡也學過“螞蟻會分泌化學物質，引領同伴尋著共同的路徑前進。”這就是我們最常看到/聽到的螞蟻覓食行為。我們天真的以為一個螞蟻窩的運作，就宛如一個帝國，一個螞蟻帝國。蟻后是所有螞蟻的王，支配螞蟻窩裡的個別螞蟻，進行高度組織化的管理，一如歷史課本裡的人類帝王，也許還有公侯伯子男或層層的官僚系統，執行蟻后的意志，維持螞蟻帝國的日常運作。

我們想觀察螞蟻的集體行為是怎麼影響螞蟻的覓食行為，量化螞蟻的分工覓食行為。我們希望了解在集體行為的操控下，是否螞蟻窩裡的每一隻覓食螞蟻都是這麼的認命，成天像奴隸一樣的工作？還是有的螞蟻勤勞<sup>1</sup>些？有的懶惰些？牠們的工作負擔沉重嗎？是否整日惶惶恐

---

<sup>1</sup>覓食是生物生存的本能。從螞蟻的角度看，並沒有勤勞與否的問題，有的是物種覓食效率的問題。這裡說的螞蟻勤勞不勤勞是擬人的說法。

恐，疲於奔命，卻難得溫飽？還是終日無所事事，悠閒過日？我們想了解哪些因素影響了一個蟻窩的覓食出勤狀況。哪些外在(覓食環境)與內在(蟻群規模大小)的變因會影響牠們的覓食行為？蟻窩的規模大小是一個關鍵嗎？

## 貳、研究目的

- 一、探討黑棘蟻在分工覓食行為中的勞逸均攤。
- 二、探討外在覓食環境的變化對黑棘蟻的分工覓食行為的影響。
- 三、探討黑棘蟻族群規模的大小，是否影響黑棘蟻的分工覓食行為。

## 參、研究設備及器材

### 一、研究設備及器材

(一)、飼養螞蟻的容器，四個。如圖一(內含螞蟻)。

(二)、十二色壓克力樹脂顏料，一盒。如圖二。

(三)、鐵架，兩個。如圖三。

(四)、鐵夾，兩個。如圖三。

(五)、培養皿，兩個。如圖三。

(六)、橘子，數量若干。

(七)、布丁，數量若干。

(八)、塑膠盒，數量若干。

(九)、吸管，數量若干。如圖三。

(十)、膠帶。

(十一)、照相機。

(十二)、冰箱



圖一飼養螞蟻容器，內含螞蟻。



圖二壓克力樹脂顏料。



圖三鐵架，鐵夾，培養皿，

塑膠盒，吸管。

### 二、實驗動物

- (一)、實驗用螞蟻的選擇：我們選用黑棘蟻(*Polyrhachis dives*，屬於山蟻亞科)為我們實驗用的螞蟻。不同於大多數品種的螞蟻，黑棘蟻並沒有在蟻窩內儲存食物的習性，

這大大簡化了它們的覓食行為，也簡化了如何操控螞蟻覓食的集體行為之複雜度。另外，它是台灣常見的家屋類螞蟻當中體型最龐大的(體長約5-6公釐)，咬到不痛也無大礙，方便塗色，讓實驗中容易辨識個別螞蟻。黑棘蟻的蟻窩裡有蟻后、處女蟻后、公蟻與工蟻等不同階級的螞蟻。蟻后體型肥大，處女蟻后與公蟻長有翅膀。黑棘蟻的工蟻又下分為內務蟻、兵蟻、覓食蟻以及初生工蟻等四群工蟻。黑棘蟻的蟻窩可以是單蟻后，多蟻后，或缺蟻后的。有關黑棘蟻的一些生物特徵可參考[4-7]。

- (二)、 黑棘蟻是台灣常見的本土型螞蟻，體型大，容易飼養；尤其是黑棘蟻沒有在蟻窩儲藏食物的習性，大大簡化了牠們的覓食行為。因此，我們選擇了以量化畜養環境下(非野生型)黑棘蟻蟻窩裡的螞蟻分工覓食行為作為科展的題目。由於黑棘蟻是台灣常見的本土型螞蟻，並非西方螞蟻學者的主要研究對象，我們並沒有找到國外學者探討黑棘蟻覓食行為的相關文獻；文獻[4]是我們唯一找到的國人先前研究結果，是從經典學派的角度探討螞蟻的覓食行為，不是更吸引我們的--新興學派如戈登教授所描述的集體行為操控下的螞蟻覓食行為。我們的探討的重點不在個別螞蟻分工覓食行為的細節，也不在討論螞蟻覓食的最佳策略，而在其集體行為的表現。
- (三)、 實驗用蟻窩特徵：我們養的黑棘蟻是多蟻后蟻窩。小蟻窩有4隻蟻后，產卵中，沒有雄蟻，也沒有處女蟻后，有11隻幼蟲(含蛹)；大蟻窩有4隻蟻后，產卵中，有約10隻雄蟻，也沒有處女蟻后，有約20-40隻幼蟲(含蛹)。我們的大蟻窩與小蟻窩應該是一年輕的蟻窩。實驗時的蟻窩螞蟻的計數都不含幼蟲。
- (四)、 黑棘蟻飼養方法：飼養於小型塑膠盒中(如圖一)，兩天滴水一次以保持環境濕潤，每次滴3滴水於蟻巢內的衛生紙上，並餵食約5公克的橘子一次。我們選用橘子，除了橘子富含水分外，橘子天然又容易取得，並具有螞蟻可接受的化學物質，能夠有效刺激螞蟻觸角上的嗅覺感受器，前來覓食。

## 肆、研究過程或方法

### 一、實驗前置準備與優化

(一)、黑棘蟻的採集：在實驗初期，我們幾乎把學校裡可以找到的野生黑棘蟻窩都挖出來了(如圖四)，但由於飼養方式不當，幾乎全死光了，最後只留下一批。另外從螞蟻之家買了一窩黑棘蟻。這兩個規模大小不同的蟻窩就是我們進行螞蟻實驗的主體。



圖四在學校找到的野生黑棘蟻窩。

(二)、蟻窩的設計：人工飼養的螞蟻常使用石膏製造的蟻窩。這種蟻窩內層較暗，適合螞蟻喜愛居住在暗室的習性，卻不適合我們的實驗目的。最大的困擾是，居住在石膏蟻窩內的螞蟻，需要長時間等候覓食蟻外出覓食，導致實驗觀測時間過久。如果施以外加擾動如敲鑼打鼓外加搖晃，雖然可以強迫螞蟻離巢，卻破壞實驗條件-我們無法複製敲鑼打鼓外加搖晃對螞蟻的衝擊。我們最後放棄石膏蟻窩，改用塑膠杯(詳見圖一)充當蟻窩，平常讓螞蟻活在教室裡的儲物櫃內，進行實驗時讓螞蟻生活在光亮的環境中，可以在不過度卻又可重覆擾動螞蟻的作息下，有效引誘覓食蟻外出覓食。

(三)、黑棘蟻斷食天數：斷食兩天是指例如週一餵食，週二正常不餵食，週三應該餵食而不餵食，週四進行實驗。斷食三天，則是週四也不餵食，週五進行實驗。

(四)、黑棘蟻的冷凍：實驗中我們是利用黑棘蟻冬眠的習性，藉由低溫讓黑棘蟻進入昏睡狀態，方便塗色。我們嘗試冷凍(約-15°C)黑棘蟻不同時間，觀察黑棘蟻復甦需要的時間，關係如表一所示，我們發現黑棘蟻接受5分鐘冷凍後，我們已經有足夠的時間在其昏睡期間(平均50秒後甦醒)完



圖五冷凍黑棘蟻五分鐘後的情況。

成塗色，因此我們的螞蟻冷凍期間為5分鐘。我們曾留置黑棘蟻於冷凍庫內超過一小時，發現回溫後大部份螞蟻仍然活蹦亂跳，因此選用冷凍時間約5分鐘，可以避免螞蟻死亡又能縮短實驗時間。**圖五**是冷凍黑棘蟻五分鐘後的情況，有些螞蟻已經縮成一團，進入假冬眠狀態，有些螞蟻只是行動變的緩慢。

表一 黑棘蟻接受冷凍時間與去冷凍後持續昏迷時間的關係。

黑棘蟻冷凍時間(秒)	冷凍後昏迷時間 (秒)	螞蟻甦醒情況
30	0	
60	0	動作變緩慢
120	0~30	
180	10~45	一隻死亡
240	10~60	
300	25~70	平均50秒後甦醒

(五)、黑棘蟻的塗色：小蟻窩黑棘蟻冷凍昏睡後，將螞蟻的胸部、腹部用顏料塗色作為編號，如**圖六**。塗料為壓克力樹脂顏料，購買自美術用品材料行，如**圖二**。可以使用軟性展翅用鑷子抓住螞蟻，由於黑棘蟻體形較大，咬到無毒不痛，我們最後選用手指頭抓螞蟻塗色，靈活性更好。使用的工具為牙籤的鈍頭，沾顏料塗在螞蟻身上。螞蟻塗色技巧詳見[8]。在我們初期嘗試塗色過程，損傷了約1/6的螞蟻。小蟻窩的塗色編號詳見**表二**。



圖六塗完色的黑棘蟻

表二小蟻窩的螞蟻塗色列表

胸 腹	紅 (r)	深紅 (dr)	黃 (y)	深黃 (yd)	綠 (g)	深綠 (dg)	藍 (b)	紫 (p)	白 (w)	不塗 (bk)
紅(r)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
深紅(dr)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
黃(y)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
深黃(dy)	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
綠(g)	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
深綠(dg)	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
藍(b)	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
紫(p)	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
白(w)	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
不塗(bk)	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

(六)、黑棘蟻的計數：實驗中我們還是利用黑棘蟻冬眠的習性，將整個黑棘蟻窩放入冰箱冷凍庫內，方便計數。經過計算，自行採集的小蟻窩中有124隻黑棘蟻，塗色後剩下100隻；從螞蟻之家購買的大蟻窩中有324隻黑棘蟻。

二、螞蟻實驗設計。我們設計了三個螞蟻實驗流程，分別改變黑棘蟻的覓食環境，探討螞蟻分工覓食的集體行為。

(一)、**實驗一**使用小蟻窩黑棘蟻，觀察黑棘蟻面對相同食物，但距離蟻窩遠近不同的分工覓食行為，如圖七。實驗用蟻窩放在鐵架的下方，鐵架放於塑膠盒內，內盒底放置

適當水量，阻隔螞蟻脫逃。同時在離蟻窩上方，距離不同的兩個位置放置培養皿，近的離巢15公分，遠的離巢30公分，兩個培養皿中央處各放入一小片的橘子。每次實驗前先擺放兩組吸管，一端直接放入蟻巢內，一端分別鎖在兩個鐵架上方便螞蟻



圖七實驗一的實驗裝置。量化相同食物，同時放置離巢不同距離(近的離巢 15 公分，遠的離巢 30 公分)，是否影響黑棘蟻的分工覓食行為。

螞蟻可以先爬上吸管再爬上鐵架螞蟻只能先爬上吸管再爬上鐵架上的培養皿。前兩次實驗，先進行飢餓處理兩天，於第三天做實驗。第3次實驗，先進行飢餓處理三天。

(二)、**實驗二**使用小蟻窩黑棘蟻，觀察黑棘蟻對不同食物偏好的分工覓食行為，如圖八。先進行飢餓處理兩天，於第三天做實驗。每次實驗前在鐵架上約相同高度處放置兩個培養皿，一個培養皿中央處放入一小片的橘子，另一個培養皿中央處放入一小匙的布丁。兩個培養皿與蟻窩的距離都約為15公分。其餘實驗器具的安排，參考實驗一的說明



圖八實驗二的實驗裝置。量化不同食物，同時放置離巢相同距離，是否影響黑棘蟻的分工覓食行為。

(三)、**實驗三**利用兩個規模不同的大小蟻窩的螞蟻(大蟻窩

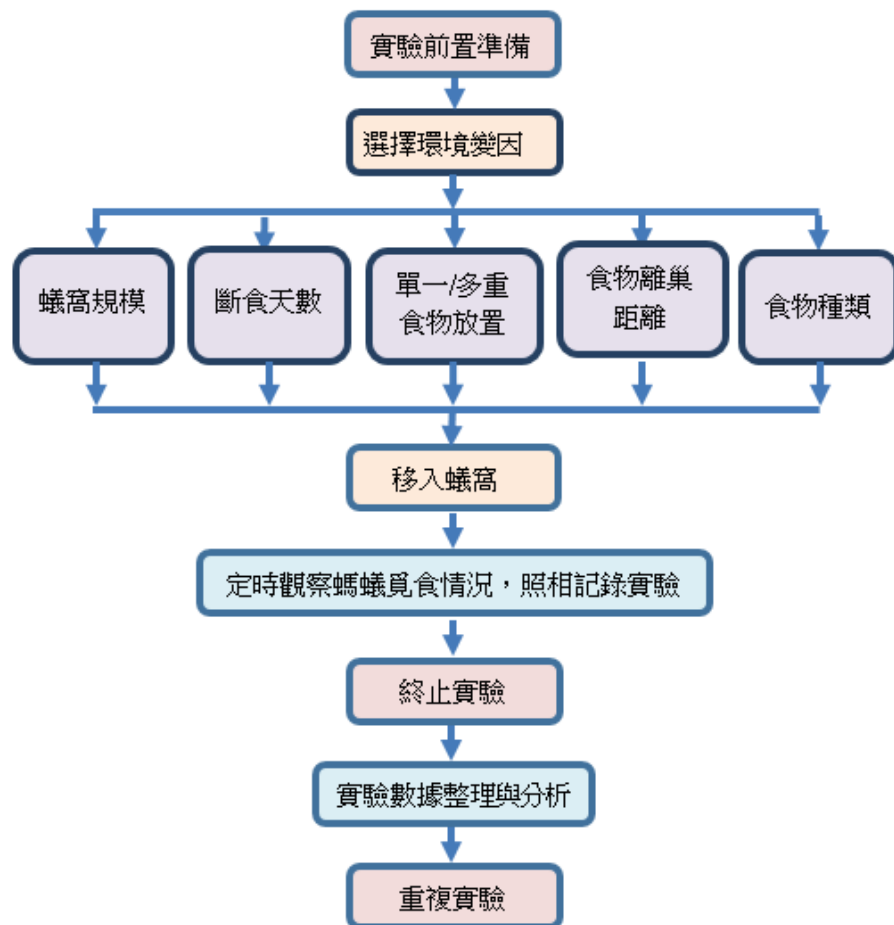


圖九實驗三的實驗裝置。相同食物，放置離巢相同距離。量化不同規模的黑棘蟻族群的分工覓食行為。



為324隻，小蟻窩剩下100隻)，觀察不同規模大小的黑棘蟻蟻窩的覓食行為，如圖九。此實驗先進行飢餓處理兩天，於第三天做實驗。同時改變食物與蟻窩的距離，分別擺放培養皿距離蟻約為15公分與5公分，培養皿中央處放入一小片的橘子。其餘實驗器具的安排，參考實驗一的說明。

三、**螞蟻實驗流程**。每次實驗進行前先進行飢餓處理，斷食天數可以改變(兩天或三天)。在鐵架上放置培養皿，放置高度5公分，15公分或30公分。培養皿的數目可以是一個或兩個。培養皿中央處放入適當食物，橘子或布丁。最後整個鐵架放入一大水盆(內有水)之中以防止螞蟻爬出。每次實驗進行約三小時，記錄時間間隔並不固定，分約別為15，30，60，120，與180分鐘，主要是配合學校下課時間。以拍照的方式記錄螞蟻的覓食行為，事後統計鐵架上和正在覓食的螞蟻數量，得到平均覓食出勤狀況，再用編號分析螞蟻的分工覓食行為。重複進行兩到三次。螞蟻實驗流程詳見圖十。



圖十螞蟻分工覓食行為實驗的程圖。

## 伍、研究結果

一、**實驗一**觀察黑棘蟻對相同食物，距離蟻窩遠近偏好的分工覓食行為。共重複進行三次實驗。第1次與第2次實驗前先斷食兩天，第3次實驗前先斷食三天。我們統計不同時間點(實驗開始後15, 30, 60, 120, 與180分鐘)，外出覓食的螞蟻的總數，原始實驗數據詳見**表三之一**到**表三之三**，作圖如**圖十一之一**到**圖十一之三**。大部分覓食的黑棘蟻都在離巢較近的地方覓食。覓食的初期，由於剛有覓食蟻發現食物，還來不及回蟻窩，通知同伴出來覓食，外出動員的覓食蟻數量偏低；覓食的中期，是覓食行為的高峰(如在60分鐘的時候)，蟻窩出動最多的覓食蟻外出覓食。覓食的末期，螞蟻不再饑餓，覓食動機下降，覓食蟻的外出數量快速降低，我們稱之為回巢期。比較**圖十一之一**或**圖十一之二**(斷食兩天)與**圖十一之三**(斷食三天)，明顯發現，斷食時間變長，明顯強化螞蟻的覓食動機。

**表三之一**小蟻窩黑棘蟻在實驗一，觀察相同食物/遠近偏好實驗的分工覓食行為的第1次原始實驗數據。斷食天數兩天。表中數字為統計的覓食蟻數目。表中標示「爬中」表爬行中的螞蟻，「吃中」表進食中的螞蟻。「遠處」表示離蟻窩較遠(30公分)的食物，「近處」表示離蟻窩較近(15公分)的食物。

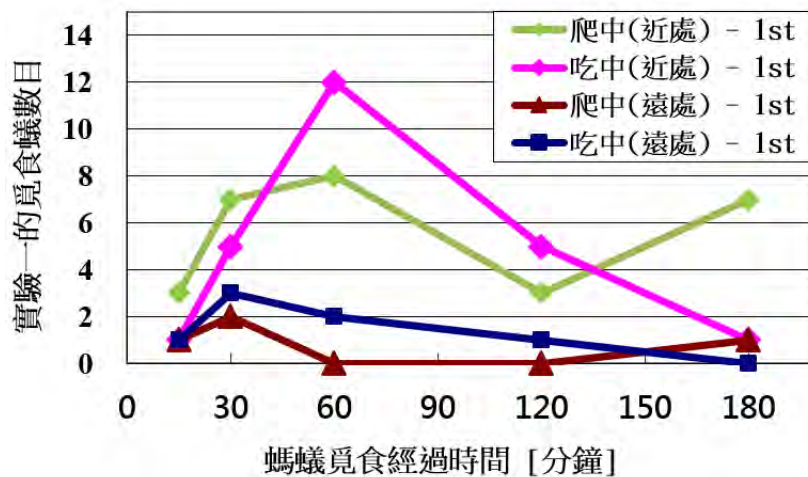
實驗一(1st)	爬中/近處	吃中/近處	爬中/遠處	吃中/遠處
15 分鐘	3	1	1	1
30 分鐘	7	5	2	3
60 分鐘	8	12	0	2
120 分鐘	3	5	0	1
180 分鐘	7	1	1	0

**表三之二**小蟻窩黑棘蟻在實驗一，觀察相同食物/遠近偏好實驗的分工覓食行為的第2次原始實驗數據。斷食天數兩天。其餘說明詳見**表三之一**。

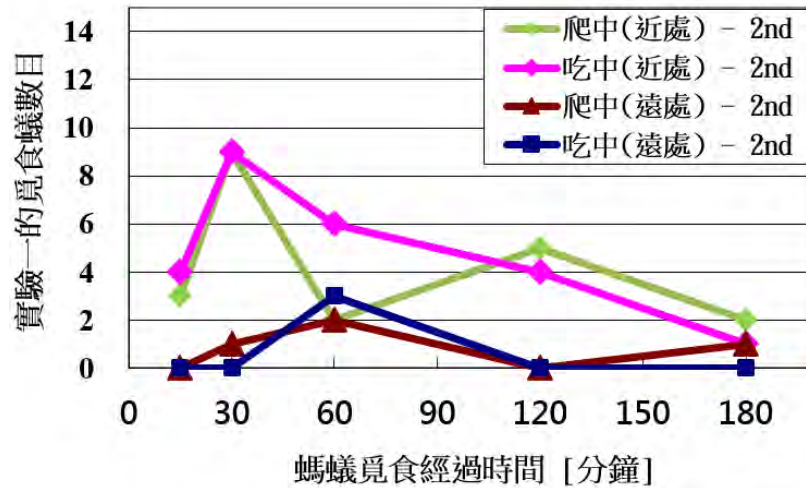
實驗一(2nd)	爬中/近處	吃中/近處	爬中/遠處	吃中/遠處
15 分鐘	3	4	0	0
30 分鐘	9	9	1	0
60 分鐘	2	6	2	3
120 分鐘	5	4	0	0
180 分鐘	2	1	1	0

表三之三小蟻窩黑棘蟻在實驗一，觀察相同食物/遠近偏好實驗的分工覓食行為的第3次原始實驗數據。斷食天數改為三天。表中數字為統計的覓食蟻數目。表中標示「爬中」表爬行中的螞蟻，「吃中」表進食中的螞蟻。「遠處」表示離蟻窩較遠(30公分)的食物，「近處」表示離蟻窩較近(15公分)的食物。

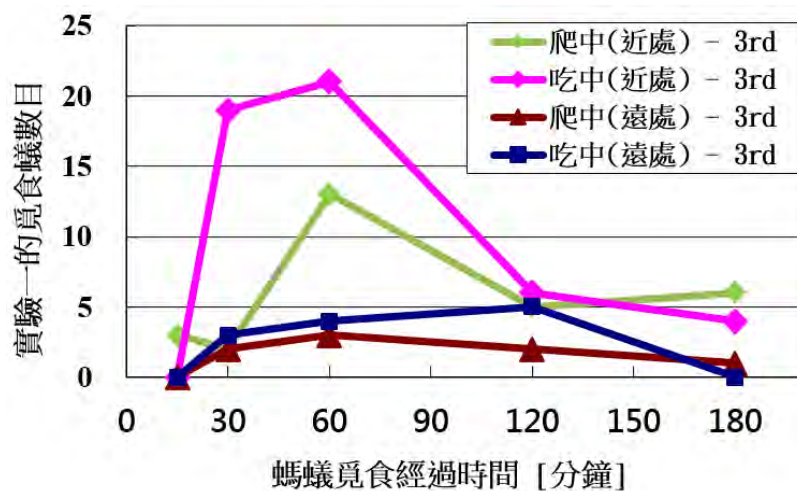
實驗一(3rd)	爬中/近處	吃中/近處	爬中/遠處	吃中/遠處
15 分鐘	3	0	0	0
30 分鐘	2	19	2	3
60 分鐘	13	21	3	4
120 分鐘	5	6	2	5
180 分鐘	6	4	1	0



圖十一之一 圖表顯示小蟻窩黑棘蟻在實驗一，面對相同食物，離巢遠近不同的覓食環境下的第1次實驗觀察結果，即外出覓食蟻的數量與開放覓食後的經過時間的關係。圖中水平軸為覓食經過的時間，以分鐘計；垂直軸為統計的覓食蟻數目。實驗前的斷食天數為兩天。圖中標示「爬中」表爬行中的螞蟻，「吃中」表進食中的螞蟻。「遠處」表示離蟻窩較遠(30公分)的食物，「近處」表示離蟻窩較近(15公分)的食物。「1st」表第1次實驗量測數據。

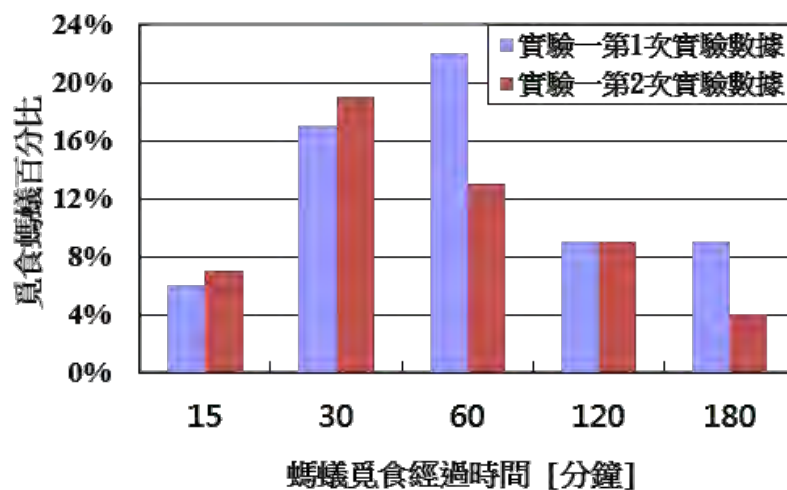


圖十一之二 圖表顯示小蟻窩黑棘蟻在實驗一，面對相同食物，離巢遠近不同的覓食環境下的第2次實驗觀察結果，即外出覓食蟻的數量與開放覓食後的經過時間的關係。「2nd」表第2次實驗量測數據。其餘說明詳見圖十一之一。



圖十一之三 圖表顯示小蟻窩黑棘蟻在實驗一，面對相同食物，離巢遠近不同的覓食環境下的第3次實驗觀察結果，即外出覓食蟻的數量與開放覓食後的經過時間的關係。「3rd」表第3次實驗量測數據。第1、2、3次實驗是在不同的日期進行的。其餘說明詳見圖十一之一。

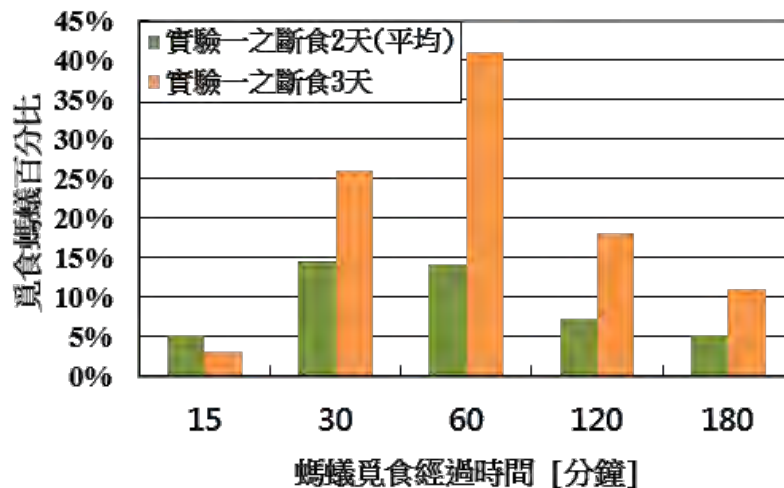
二、標準化<sup>2</sup>實驗一的第1次與第2次實驗數據，不分螞蟻是在覓食過程中的「爬中」或「吃中」，並將統計得到的覓食螞蟻數目除以小蟻窩的螞蟻總數(塗色後存活100)，得到圖十二。如果我們在兩次不同的時間點，發現同一隻螞蟻重複覓食，我們視同兩個覓食次數或等同兩隻覓食螞蟻的覓食行為。雖然第1與第2次實驗是在不同的日期進行的，我們卻看到頗為一致的覓食行為模式。將不同觀測時間統計的五次覓食螞蟻數目取平均，我們得到實驗一的平均覓食螞蟻百分比，此為螞蟻的平均覓食出勤率。第1次實驗的平均覓食螞蟻百分比約佔全窩螞蟻總數是12.6%，剩下的螞蟻幾乎都待在巢中，顯見蟻窩裡有專職的覓食螞蟻。螞蟻顯然謀生容易，總的來說，悠閒過日。實驗一第2次實驗的平均覓食螞蟻百分比是10.4%。兩次的平均是11.5%。兩次實驗的數據差異性不大。顯示螞蟻的覓食行為中的平均覓食出勤率具有簡單的行為模式，不必然是複雜的。



圖十二 圖表顯示小蟻窩黑棘蟻在實驗一，面對相同食物，離巢遠近不同的覓食環境下的第1次與第2次實驗觀察的標準化結果，即外出覓食出勤率(垂直軸)與開放覓食後的經過時間(水平軸)的關係。採計的標準化出勤率是不分爬中或吃中的覓食螞蟻。實驗前的斷食天數為兩天。第1與第2次實驗是在不同的日期進行的。我們看到頗為一致的覓食行為模式。對時間軸進行平均，我們得到螞蟻的平均覓食出勤率。第1次實驗結果是12.6%，第2次實驗結果是10.4%。兩次的平均是11.5%。實驗數據的差異性不大。

<sup>2</sup>標準化指螞蟻數目除以蟻窩螞蟻數目(不含幼蟲)。

三、斷食時間的長短會影響螞蟻的覓食出勤率的。實驗一的第3次實驗數據顯示平均覓食螞蟻百分比為19.8%，遠高於前兩次的實驗結果。這個差異來自斷食期間的不同。前者是兩天，後者是三天，詳如圖十三。



圖十三 圖表顯示小蟻窩黑棘蟻在實驗一，面對相同食物，離巢遠近不同的覓食環境下的第3次實驗觀察(斷食三天)與前二次實驗平均(斷食兩天)的標準化結果，即外出覓食出勤率(垂直軸)與開放覓食後的觀察時間點(水平軸)的關係。採計的標準化出勤率是不分爬中或吃中的覓食蟻。三次實驗是在不同的日期進行的。我們看到頗為一致的覓食行為模式。對每次實驗的五個觀測點的量測值進行平均，我們得到螞蟻的平均覓食出勤率。從第1與第2次實驗的平均數據，我們得斷食兩天的平均覓食螞蟻百分比是11.5%。從第3次實驗數據可知，斷食三天的平均覓食螞蟻百分比是19.8%。改變實驗前斷食的天數，會明顯影響螞蟻的覓食動機。

四、實驗二藉由觀察黑棘蟻對離巢距離相同的兩個獨立覓食路徑，不同食物的覓食偏好，探討覓食蟻的分工覓食行為，並記錄與量化。我們統計不同時間點，外出覓食螞蟻的總數。兩次重複實驗的原始實驗數據詳見表四之一與表四之二，作圖如圖十四之一與圖十四之二。可知相對於布丁，黑棘蟻較喜歡覓食橘子。覓食的週期一樣有初期的探索期，中期的覓食高峰期(如在60分鐘的時候)，與後期回巢期。將每次實驗的五個觀測點的覓食螞蟻數目(如圖十五)做平均，我們得到兩次實驗的平均覓食螞蟻百分比分別為第1次14.4%與第

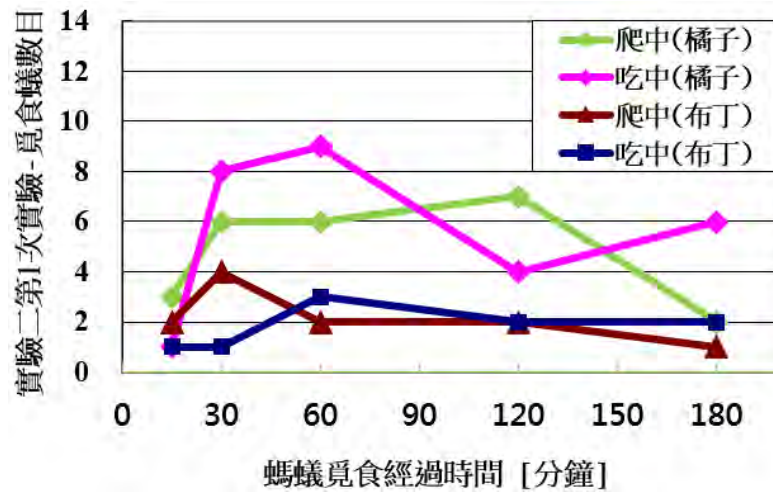
2次14.8%，剩下的螞蟻幾乎都待在巢中。這個數據略高於相同食物距離(15公分)，單一食物擺放(兩地)的外在因素下的平均值11.5%(實驗一)。覓食環境的豐裕度可以影響覓食螞蟻出勤的次數，但是影響程度不是非常大(相對於斷時天數)。

**表四之一** 小蟻窩黑棘蟻在實驗二(對距離相同，不同食物偏好實驗)裡的分工覓食行為觀察的第1次原始實驗數據。表中數字為統計的覓食螞蟻數目。表中標示「爬中」表爬行中的螞蟻，「吃中」表進食中的螞蟻。「1st」表第1次實驗量測數據。

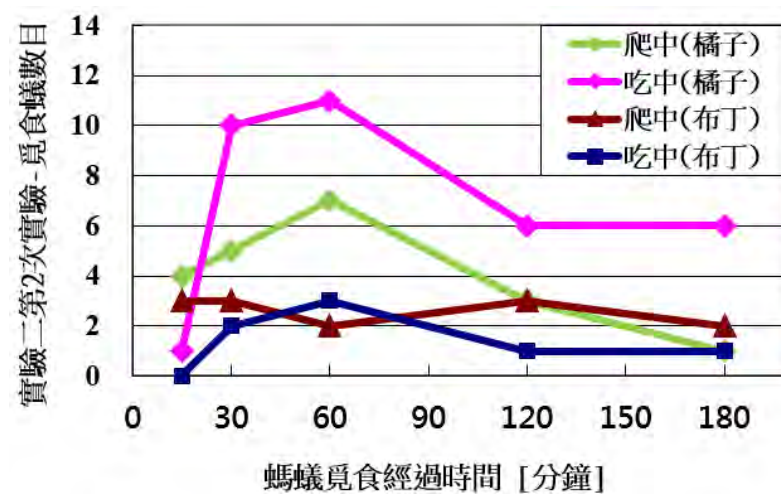
實驗二(1st)	爬中(橘子)	吃中(橘子)	爬中(布丁)	吃中(布丁)
15 分鐘	3	1	2	1
30 分鐘	6	8	4	1
60 分鐘	6	9	2	3
120 分鐘	7	4	2	2
180 分鐘	2	6	1	2

**表四之二** 小蟻窩黑棘蟻在實驗二(對距離相同，不同食物偏好實驗)裡的分工覓食行為觀察的第2次原始實驗數據。表中數字為統計的覓食螞蟻數目。表中標示「爬中」表爬行中的螞蟻，「吃中」表進食中的螞蟻。「2nd」表第2次實驗量測數據。

實驗二(2nd)	爬中(橘子)	吃中(橘子)	爬中(布丁)	吃中(布丁)
15 分鐘	4	1	3	0
30 分鐘	5	10	3	2
60 分鐘	7	11	2	3
120 分鐘	3	6	3	1
180 分鐘	1	6	2	1

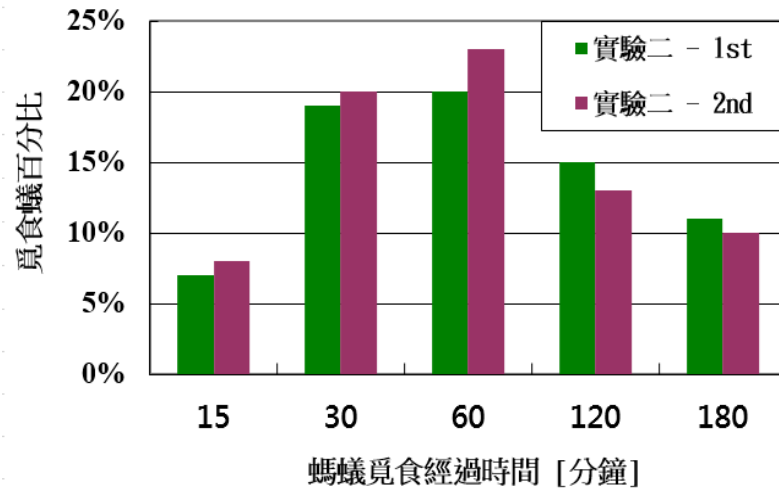


圖十四之一 小蟻窩黑棘蟻在實驗二(對距離相同，不同食物偏好實驗)裡的分工覓食行為觀察的第1次實驗數據。實驗前的斷食天數為兩天。食物分別為橘子與布丁，擺放位置離巢15公分。圖表顯示外出覓食蟻的數量與開放覓食後的經過時間的關係。圖中標示「爬中」表爬行中的螞蟻，「吃中」表進食中的螞蟻。



圖十四之二 小蟻窩黑棘蟻在實驗二(對距離相同，不同食物偏好實驗)裡的分工覓食行為觀察的第2次實驗數據。實驗前的斷食天數為兩天。食物分別為橘子與布丁，擺放位置離巢15公分。圖表顯示外出覓食蟻的數量與開放覓食後的經過時間的關係。圖中標示「爬中」表爬行中的螞蟻，「吃中」表進食中的螞蟻。



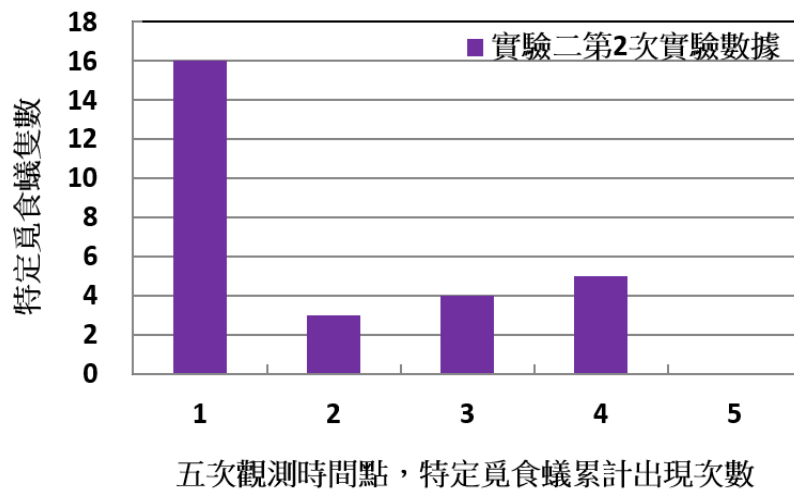


**圖十五** 小蟻窩黑棘蟻在實驗二(對距離相同,不同食物偏好實驗)裡的分工覓食行為觀察的第1次與第2次實驗數據。實驗前都先進行兩天的斷食。圖表顯示外出覓食蟻的總數量(不分爬中或吃中的覓食蟻)占蟻窩螞蟻總數的百分比(即覓食螞蟻百分比)與開放覓食實驗後的經過時間的關係,此為螞蟻的覓食出勤率。第1與第2次實驗是在不同的日期進行的。我們看到了頗為一致的覓食行為模式。對每次實驗的五次觀測值進行平均,我們得到平均覓食螞蟻百分比。第1次實驗結果是14.4%,第2次實驗是14.8%。實驗數據的一致性相當好。

五、針對實驗二的第2次實驗數據,利用螞蟻身上的塗色,我們可以分析在不同觀測時間點是哪些螞蟻在進食,判別個別螞蟻覓食的時間,進而知道覓食蟻的工作量是否勞逸不均。其中一隻螞蟻無法辨別塗色,沒有登錄於圖表中,詳如圖十六之一與表五。總計28隻覓食蟻出現在此次覓食的週期中,也就是整個覓食週期中,勤覓食的螞蟻只佔蟻窩內螞蟻總數的28%左右,顯然尚有多數覓食蟻待在蟻窩休息。我們統計個別覓食蟻在不同觀測時間點的出現次數,發現大多數的覓食蟻出現的次數為一,出現二,三,與四次的覓食蟻數目較少,沒有覓食蟻是在五次的觀察時間都在進行覓食的,詳如圖十六之二所示。整體而言,螞蟻並不特別勤勞,少數螞蟻譬如編號ry,yy,drb,ybk則特別勤勞,覓食時間可以長達2小時,少數螞蟻覓食時間長達90分鐘,其餘出勤覓食蟻的覓食時間則較短。

分鐘																		
15	ry	yb	gr	yy	rp													
30	ry	gr	yy	wg	rdg	rb	dgg	wy	ybk	wb	drr	rw	pg	wdg	drb			
60	yb	ry	wg	ww	dgdg	rdr	ybk	rb	dgg	wy	gr	yy	drb	drr	rw	drdr	bdr	
120	yb	wp	wg	dgg	ry	ww	yy	drb	ybk									
180	br	rb	gw	dgg	drb	ybk	drp											

圖十六之一 針對小蟻窩黑棘蟻在實驗二(對距離相同，不同食物偏好實驗)裡的分工覓食行為觀察的第2次實驗結果，經由辨認覓食蟻身上的塗色，判斷覓食蟻的工作量是否勞逸不均。



圖十六之二 針對小蟻窩黑棘蟻在實驗二(對距離相同，不同食物偏好實驗)裡的分工覓食行為觀察的第2次實驗結果，經由辨認覓食蟻身上的塗色，判斷覓食蟻的工作量是否勞逸不均。圖示為在五次不同觀測時間點，圖色的覓食蟻累計出現幾次(一到五次)。

表五 表中有圈字編號的黑棘蟻為實驗二第2次實驗外出覓食之黑棘蟻，對應螞蟻身上塗色參照圖十六之一。

胸 腹	紅 (r)	深紅 (dr)	黃 (y)	深黃 (yd)	綠 (g)	深綠 (dg)	藍 (b)	紫 (p)	白 (w)	不塗 (bk)
紅(r)	1	②	3	4	錯誤	6	錯誤	8	9	10
深紅(dr)	錯誤	⑫	13	14	15	16	錯誤	18	19	20
黃(y)	錯誤	22	錯誤	24	25	26	27	28	錯誤	30
深黃(dy)	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
綠(g)	41	42	43	④④	45	④⑥	47	錯誤	錯誤	50
深綠(dg)	錯誤	52	53	54	55	⑤⑥	57	58	錯誤	60
藍(b)	錯誤	⑥②	錯誤	64	65	66	67	68	錯誤	70
紫(p)	錯誤	⑦②	73	74	75	76	77	78	錯誤	80
白(w)	錯誤	82	83	84	錯誤	86	87	88	錯誤	90
不塗(bk)	91	92	錯誤	94	95	96	97	98	99	100

六、實驗三之一與實驗三之二探討不同規模的黑棘蟻蟻窩的分工覓食行為，並記錄與量化其覓食出勤率。改變的覓食變因為蟻窩與食物的距離，分別是實驗三之一的15公分(重覆三次實驗)實驗與三之二(一次實驗)的5公分。基於最小化實驗變因的考慮，大小蟻窩於覓食前皆接受等長(兩天)的斷食，分工覓食實驗於同一時間進行，約略同一時間統計覓食蟻的出勤狀況。實驗三之一的第1次與第2次原始實驗數據詳見表六之一與表六之二，作圖見圖十七之左圖與右圖。標準化實驗數據得到圖十八，對應的大小規模的蟻窩的平均覓食螞蟻百分比分別為大蟻窩的第1次實驗的9.0%與第2次實驗的8.4%，與小蟻窩第1次實驗的11.6%與第2次實驗的11.0%。顯而易見，螞蟻並不會因為蟻窩規模的不同而派出比率懸殊

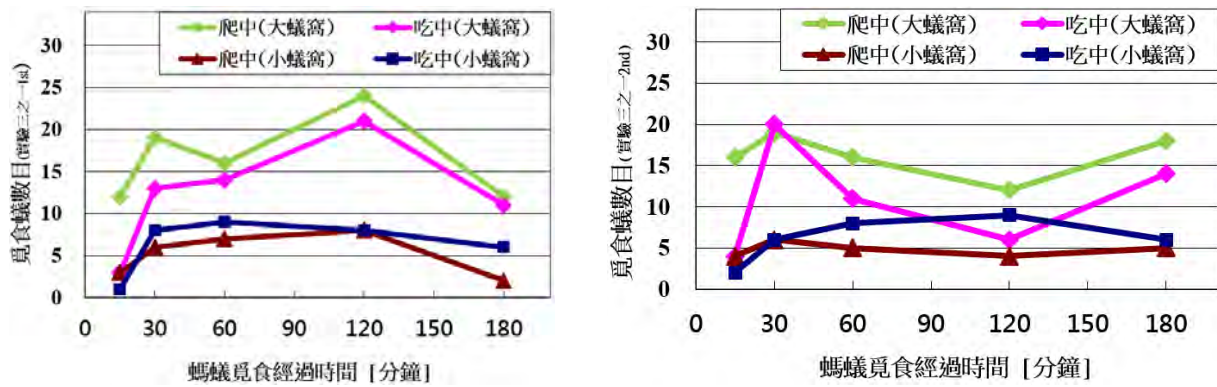
的覓食蟻。對於第3次實驗的平均覓食蟻百分比(分別為大蟻窩的5.9%與小蟻窩的5.0%的平均覓食出勤率)，實驗數據遠低於前兩次的原因不明，也許實驗日的天氣較冷影響蟻的覓食動機，可惜當時沒有記錄此一影響覓食的相對變因，此次實驗數據不採計。實驗三之二(食物離蟻窩5公分)的原始實驗數據詳見表七，作圖見圖十九與圖二十。食物離巢遠近會顯著影響蟻的出勤率，但並不受蟻窩規模大小而派出比率懸殊的覓食蟻。

表六之一 實驗三之一探討不同規模的黑棘蟻蟻窩的分工覓食行為的第1次觀測原始實驗數據，食物距離蟻窩15公分處。表中數字為統計的覓食蟻數目。表中標示「爬中」表爬行中的蟻，「吃中」表進食中的蟻。不論大小蟻窩，覓食過程的模式頗為一致，歷經探索期，高峰期，與回巢期。

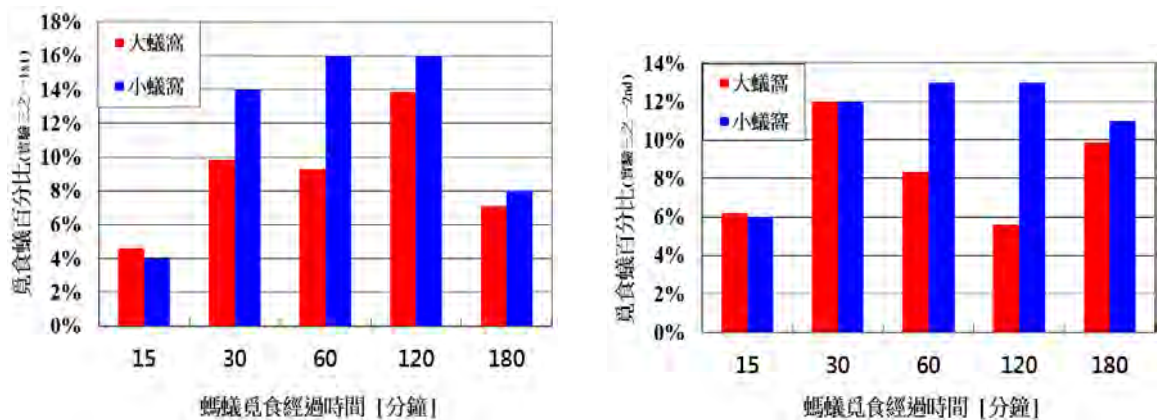
實驗三之一 (1st)	爬中 (大蟻窩)	吃中 (大蟻窩)	爬中 (小蟻窩)	吃中 小蟻窩)
15 分鐘	12	3	3	1
30 分鐘	19	13	6	8
60 分鐘	16	14	7	9
120 分鐘	24	21	8	8
180 分鐘	12	11	2	6

表六之二 實驗三之一探討不同規模的黑棘蟻蟻窩的分工覓食行為的第2次觀測原始實驗數據。其餘說明詳見表六之一。

實驗三之一 (2nd)	爬中 (大蟻窩)	吃中 (大蟻窩)	爬中 (小蟻窩)	吃中 小蟻窩)
15 分鐘	16	4	4	2
30 分鐘	19	20	6	6
60 分鐘	16	11	5	8
120 分鐘	12	6	4	9
180 分鐘	18	14	5	6



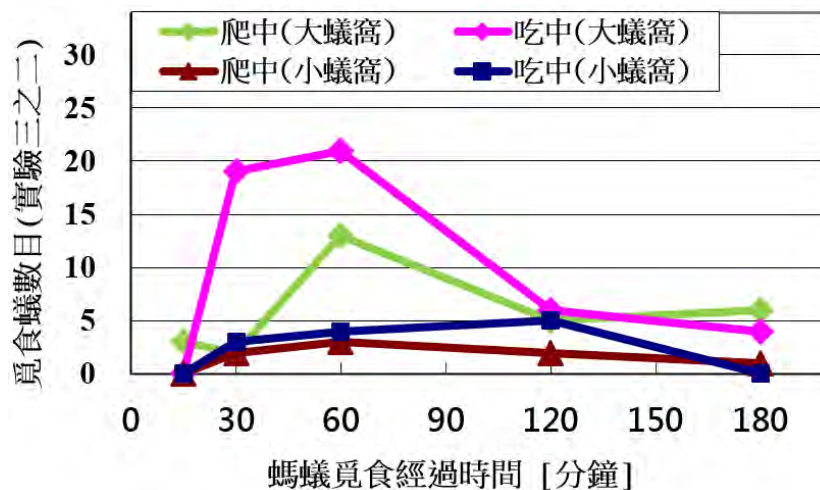
圖十七 實驗三之一探討不同規模的黑棘蟻蟻窩的分工覓食行為的第 1 次(左圖)與第 2 次(右圖)觀測，食物距離蟻窩 15 公分處。大小蟻窩分別有 324 與 100 隻黑棘蟻。實驗前都先進行兩天的斷食。大小蟻窩實驗於同一時間進行。圖表顯示外出覓食蟻的數量與開放覓食後的經過時間的關係。圖中標示「爬中」表爬行中的螞蟻，「吃中」表進食中的螞蟻。



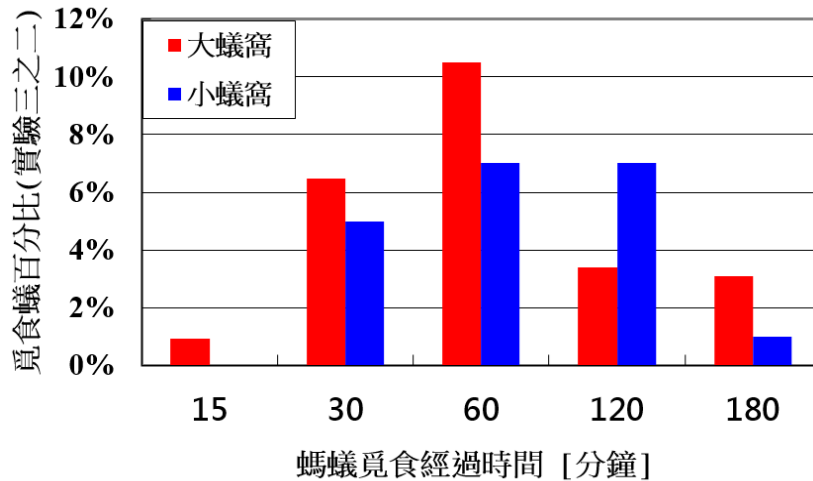
圖十八 實驗三之一探討不同規模的黑棘蟻蟻窩的分工覓食行為的第 1 次(左圖)與第 2 次(右圖)，食物距離蟻窩 15 公分處。實驗前都先進行兩天的斷食。大小蟻窩實驗於同一時間進行。探討不同規模的黑棘蟻蟻窩的分工覓食行為。圖表顯示外出覓食蟻的總數量(不分爬中或吃中的覓食蟻)占蟻窩螞蟻總數的百分比(即覓食螞蟻百分比)與開放覓食實驗後的經過時間的關係。對每個實驗的五個觀測值取平均，我們得到的大小規模的蟻窩的平均覓食螞蟻百分比分別為第 1 次觀測的 9.0%與 11.6%與第 2 次觀測的 8.4%與 11.0%。實驗數據的一致性相當接近，並不受蟻窩規模大小影響。

表七 實驗三之二探討不同規模的黑棘蟻蟻窩的分工覓食行為，食物距離蟻窩5公分處。表中數字為統計的覓食蟻數目。表中標示「爬中」表爬行中的螞蟻，「吃中」表進食中的螞蟻。不論大小蟻窩，覓食過程的模式頗為一致，歷經探索期，高峰期，與回巢期。

實驗三之二	爬中(大蟻窩)	吃中(大蟻窩)	爬中(小蟻窩)	吃中(小蟻窩)
15 分鐘	3	0	0	0
30 分鐘	2	19	2	3
60 分鐘	13	21	3	4
120 分鐘	5	6	2	5
180 分鐘	6	4	1	0



圖十九 實驗三之二探討不同規模的黑棘蟻蟻窩的分工覓食行為，食物距離蟻窩5公分處。大小蟻窩分別有324與100隻黑棘蟻。實驗前都先進行兩天的斷食。大小蟻窩實驗於同一時間進行。圖表顯示外出覓食蟻的數量與開放覓食後的經過時間的關係。圖中標示「爬中」表爬行中的螞蟻，「吃中」表進食中的螞蟻。不論大小蟻窩，覓食過程的模式頗為一致，歷經探索期，高峰期，與衰退期。



圖二十 實驗三之二探討不同規模的黑棘蟻蟻窩的分工覓食行為，食物距離蟻窩5公分處。圖表顯示外出覓食蟻的總數量(不分爬中或吃中的覓食蟻)占蟻窩蟻總數的百分比(即覓食蟻百分比)與開放覓食實驗後的經過時間的關係。對每個實驗的五個觀測值取平均，我們得到的大小規模的蟻窩的平均覓食蟻百分比分別為4.9%與4.0%。實驗數據的一致性相當好，並不受蟻窩規模大小影響。再次顯示蟻蟻的覓食行為具有簡單的宏觀因子（分工的行為表現）。

## 陸、討論

黑棘蟻的分工覓食行為實驗(詳見表八)告訴我們，蟻窩規模的大小，不會影響一個蟻窩的平均覓食出勤率。我們推論黑棘蟻的覓食集體行為是受到蟻蟻的平均食量所制約。這個推論符合驅動集體行為背後的簡單規範。個別實驗討論如下：

表八黑棘蟻分工覓食行為實驗結果總

	實驗一						實驗二				實驗三											
	第1次		第2次		第3次		第1次		第2次		實驗三之一		實驗三之二									
蟻窩規模	小蟻窩(100隻蟻)						小蟻窩(100隻蟻)				大蟻窩(324隻蟻)		小蟻窩(100隻蟻)		大蟻窩(324隻蟻)		小蟻窩(100隻蟻)					
斷時天數	2			3			2				2											
食物數量	兩個固定食物位置						兩個固定食物位置				單一固定食物位置											
食物種類	橘子						橘子   布丁   橘子   布丁				橘子											
食物離蟻窩距離	15公分	30公分	15公分	30公分	15公分	30公分	15公分				15公分				5公分							
食物種類	食物近	食物遠	食物近	食物遠	食物近	食物遠																
子項結果	10.4%	2.2%	9.0%	1.4%	15.8%	4.0%	10.4%	4.0%	10.8%	4.0%												
總結果	12.6%		10.4%		19.8%		14.4%		14.8%		9.0%		11.6%		8.4%		11.0%		4.9%		4.0%	
說明	蟻蟻不笨，優先選擇距離蟻窩較近的食物進行覓食，多重食物來源，不明顯影響平均出勤率。						斷時天數拉長，明顯提高蟻蟻的平均出勤率。				蟻蟻優先選擇天然食物，但不明顯影響蟻蟻的平均出勤率。				蟻蟻規模不明顯影響平均出勤率。食物離蟻窩遠近，明顯影響平均出勤率。							

- 一、在實驗一中，同時在距離蟻窩遠近的兩個位置(15公分與30公分)擺放食物處，雖然都可以發現覓食蟻，明顯的螞蟻傾向於選擇距離蟻窩較近的食物進行覓食。實驗結果與螞蟻利用嗅覺覓食的生物本能是一致。另一方面，食物距離蟻窩30公分與距離蟻窩15公分遠，螞蟻來回蟻窩時間變久，留下的費洛蒙較弱，也就不容易導引招募而來的螞蟻到遠處覓食。
- 二、在實驗一中，我們發現斷食時間長短，會明顯影響螞蟻覓食的動機。比較斷食兩天與三天，實驗結果顯示黑棘蟻覓食的出勤率因而明顯改變。如斷食兩天的平均出勤率是11.5%(兩次實驗數據平均)與斷食三天的是19.8%(一次實驗數據)。
- 三、在實驗二中，我們觀察黑棘蟻對橘子、布丁的覓食反應。橘子為天然食物，布丁為人為加工食品。我們發現黑棘蟻較喜愛天然食物-橘子，較不喜愛人為加工食品-布丁。螞蟻對於氣味的選擇性是很敏感的。也許橘子帶有甜味和獨特的刺激香味，容易讓覓食蟻找到。螞蟻是環境指標生物，如果覓食蟻認為食物是“有毒”的，也就是有特殊氣味(如某些刺激性的化學氣味)的，牠們並不會去食用。
- 四、在實驗三中，我們改變擺放食物位置，探討大小黑棘蟻蟻窩的分工覓食行為的差異性。總的來說，擺放餵食食物離巢遠近顯著影響螞蟻的平均覓食螞蟻百分比出勤狀況，但平均覓食螞蟻百分比(出勤率)，並不受蟻窩規模大小而明顯變化。
- 五、從實驗一到實驗三，我們都發現黑棘蟻並不是集體總動員地外出覓食的，而是以分工的方式外出覓食。針對單一固定的覓食環境（只提供一處橘子餵食時），黑棘蟻並不會因為蟻窩的螞蟻數量不同而派出比率不同的覓食蟻，這顯示一個蟻窩所耗食量是與該蟻窩的螞蟻數量成正比的。我們也發現，針對雙固定目標的覓食環境（如提供二處食物餵食時），蟻窩會派出較多的覓食蟻將食物搬回蟻窩，如在螞蟻斷食兩天的前提下，實驗一的兩組實驗數據的平均出勤率分別是 12.6%與 10.4%，與實驗二的 14.4%與 14.8%相比，顯示在等距離多個固定目標的覓食環境將稍微提高螞蟻的覓食誘因，因此它們出動較高比例的覓食蟻，但是差異並不特別大。又如實驗三之一與實驗三之二所示，改變餵食食物與蟻窩的距離會影響螞蟻的出勤率，如大蟻窩的平均出勤率分別是遠處(15 公分)的 8.7%(兩次實驗數據平均)與近處(5 公分)的 4.9%，是有所不同。但分別與相同覓食變因下



的小蟻窩的平均出勤率，分別是遠處(15 公分)的 11.3%(兩次實驗數據平均)與近處(5 公分)的 4.0%，卻有高度吻合，此一連串實驗數據的高度一致性。這是我們實驗中最重要的發現，我們量化了覓食過程中集體行為表現的一種特徵。

六、不論黑棘蟻的覓食過程有多長，因為黑棘蟻的平均覓食出勤率只有 10%左右，都遠低於人類的每週 40 小時的工作時間。以實驗二第 2 次實驗觀測的數據為例，5 個觀測時間點內，只有 28 隻螞蟻外出覓食，只佔小蟻窩螞蟻數目的 28%，說不上全體總動員地外出覓食。雖然連續時間內，外出覓食的總螞蟻數目，很可能高於 28%，但以人類的工作時間的標準來看，黑棘蟻的覓食行為不算勤勞。

七、我們並不是使用野生型，而是使用畜養型黑棘蟻進行實驗。畜養型與野生型黑棘蟻的覓食行為表現不能排除是有差異的，如黑棘蟻頗能忍受飢餓，可以忍受長達一個月的斷食環境，而畜養型黑棘蟻除於做實驗期間外係按時餵食，近乎無限供應，覓食需求可能遠低於野生型黑棘蟻。另外，我們常看到野生型螞蟻長時間覓食，或覓食時間遠高於我們觀測的三個小時時間。或許那些螞蟻具有儲存食物的習性，或者覓食行為具有某種週期性節拍，這需要更長的觀測時間，如連續六小時或九小時甚至於更久才能進一步澄清，但這些尚待釐清之處對於我們統計黑棘蟻的覓食出勤率是沒有影響的，因為我們探討的是一個平均的覓食行為，而不純然是覓食時間的長短。

八、溫度對螞蟻覓食行為的影響：我們報告上的實驗數據是在今年二月與三月在學校教室與家裡做的。今年是暖冬，室內的氣溫都有 20°C 以上，是適合螞蟻活動的氣溫。我們認為室內氣溫的些微變化，不會影響螞蟻覓食的平均出勤率。以實驗二為例，實驗是在不同天進行的，但是數據的重覆性很好(第 1 次實驗數據，吃橘子是 10.4%，吃布丁是 4.0%；第 2 次實驗數據，吃橘子是 10.8%，吃布丁是 4.0%)，顯然室內溫度的些微變動對實驗結果的影響不大。對於實驗三，討論大小蟻窩的平均覓食出勤率的差異性，是在同一天，同一地點，同時進行，與溫度的關聯性可以去除。

九、實驗數據的誤差分析：我們在做螞蟻實驗期間，可能有一些新螞蟻出生和死亡(已考慮螞蟻因身上塗色的死亡數目)，所以總數量存在有些變動，我們忽略這個差異性對最終實驗數據的影響。不同覓食變因下的多次實驗數據也顯示清晰的規律性，實驗數據的不確定

性並不會影響結論。

十、我們的螞蟻實驗是在冬天進行的。冬天的天氣較冷，多數螞蟻可能長時間在半冬眠狀態，這影響螞蟻的覓食需求，也讓我們螞蟻實驗的進行變得困難。

十一、我們的科展內容與文獻[4]的比較：

- (一)、**我們的實驗重點不同**。文獻[4]將觀察重點放在個別螞蟻覓食上的行為細節。我們著重的是整體蟻窩的整體表現。因此文獻[4]只討論一個蟻窩，一個實驗環境的螞蟻覓食行為。我們討論兩個不同規模的蟻窩，在不同覓食環境下的覓食行為交叉比對。
- (二)、**我們的實驗技巧不同**。譬如說文獻[4]使用巧妙卻複雜的手法將螞蟻著色(先利用魚線將螞蟻固定在珍珠板上，再放在解剖顯微鏡下，使用大頭針尖端沾油漆於螞蟻身上)；我們將螞蟻送入冰箱冷凍幾分鐘，直接用手抓螞蟻，用牙籤沾壓克力漆於螞蟻身上。我們尋找最佳的冷凍時間，合適的塗色位置(如果塗到螞蟻足部關節，螞蟻會急著去除塗色，也有較高的死亡率)，讓螞蟻的傷亡率降到最低。
- (三)、**我們有不同的實驗結論**。文獻[4]強調是個別螞蟻行為的細節觀察，如工作內容是否與古典學派[9]定義的覓食行為理論相符合，即辨認覓食過程的搜尋，取回，和防禦的分工行為。我們著重的是如何量化特定集體行為的宏觀表現。我們結論，螞蟻覓食行為與蟻窩的規模大小的相關性很低，這是文獻[4]看不到的。當然，我們也看到一些相同的現象如覓食過程中出勤率的時間變化，即螞蟻覓食過程中展現的三個階段，初期的探索期，中期的覓食高峰期，與後期回巢期(這是我們的命名)，只是我們看到的行為週期更明顯。另外，我們得到的平均覓食出勤率略低於文獻[4]的數據，我們推論是因為文獻[4]的斷食天數為4到5天，我們的為2到3天。我們也實驗驗證，增加斷食天數，會提高平均覓食出勤率。
- (四)、**當然，也有類似與不足的地方**。如螞蟻覓食行為的實驗道具的擺放等等。我們因為實驗數據的重覆性很好，也就省略了使用統計方法確認實驗結果推論的步驟。

## 柒、結論

我們研究黑棘蟻的分工覓食行為。我們設計了可以有效觀察覓食行為的實驗裝置與可調控的覓食變因(覓食距離，食物數量，斷食時間)，並統計蟻窩內螞蟻的平均覓食出勤率，量化螞蟻的宏觀分工覓食行為。我們發現：

### 一、黑棘蟻在分工覓食行為是勞逸不均的：

蟻窩裡的螞蟻以分工的方式外出覓食，其餘的螞蟻在蟻窩內休息，如當食物離巢距離15公分，斷食2天下，在5個特定的觀測時間點內，約有10%的平均出勤率與約20%的覓食蟻曾經參與覓食工作。有些螞蟻勤勞(或貪吃)些，有些螞蟻則較懶惰。勤勞的螞蟻出現在覓食過程中的時間長，懶惰的螞蟻出現在覓食過程中的時間短。我們發現就連大家認為總是勤勞的螞蟻也會偷懶，也許好逸務勞-偷懶才是生物的本能之一。這與我們對螞蟻的刻板印象不同。

### 二、外在覓食環境的變化深刻影響黑棘蟻的分工覓食行為：

外在環境因素會深刻影響螞蟻的外出覓食行為。除了眾所週知的環境溫度有決定性的影響外，螞蟻也會依其飢餓的程度(由人為斷食時間的長短作為饑餓程度的量化)，食物與蟻窩的距離，食物的豐盛度等而改變派出螞蟻外出覓食的數量。如當螞蟻較飢餓時，會有較強的覓食慾望，會提高外出覓食的螞蟻數量；當食物與蟻窩的距離越近，外出覓食螞蟻的數量越少，且會以比較近的食物為主要覓食對象；當螞蟻面對多樣的食物，對食物也有好惡的差別，也會提高外出覓食螞蟻的數量。

### 三、黑棘蟻族群規模的大小與其分工覓食行為並無顯著關聯：

相同覓食環境下，蟻窩內螞蟻總數的多寡並不會顯著影響外出覓食蟻的比例，蟻窩規模大小與覓食蟻外出覓食總次數的比例約為定值。當食物離蟻窩較遠時，螞蟻有較多的外出覓食次數，反之較少。這暗示單一螞蟻的平均耗食量是相當的。這個結論當然也與黑棘蟻並無在蟻窩內儲存食物的天性有關。由於蟻后並無法外出覓食，對於外界覓食環境的變更也無法即時掌握，蟻群裡的個別螞蟻係單兵作業，但是牠們的個別行為卻又深受其與其他螞蟻間的互動影響。這是螞蟻集體行為的一個具體表現。

最後，在覓食的過程，個別覓食蟻應該不會去詢問蟻窩裡的每隻螞蟻是否吃飽了(否則牠們就真的需要一個可以號令蟻窩的蟻王了)，那麼出勤的覓食蟻們怎麼會知道大家都吃飽了，可以收工了呢?這就是集體行為的奧妙，也是我們探討的謎團。

## 捌、未來展望與可能的應用

我們的螞蟻分工覓食研究一如打開了潘朵拉盒子，一方面我們實驗驗證了螞蟻並不勤勞，另一方面在實驗觀測與撰寫報告的過程中卻又帶給我們更多的疑惑與需要再更深入的題目。在未來的螞蟻研究裡，首先我們要更有系統的觀測螞蟻的覓食行為。在實驗數據的多樣性與可靠性上面，希望能針對更多規模不同的蟻窩，更多樣性的覓食環境變因，如食物的數量(如幾公克)，食物的種類(單獨針對富醣類，富脂肪，富蛋白質食物)，和環境的干擾(溫度，濕度，風向，光線，地板顏色等)，重覆更多次的實驗，並借用統計的技巧量化實驗推測的信心度。更進一步，如果有機會，我們也應該採用不同種類的螞蟻，看牠們的覓食行為有怎樣的差異，尤其是那些有在蟻窩儲藏食物的螞蟻。

其次，螞蟻的覓食招募行為是否真的如新興學派認為的，覓食螞蟻回到蟻窩，與蟻窩內休息的螞蟻的相互碰撞頻率決定一切[10]？我們希望能設計出更明確的實驗，探討覓食螞蟻回到蟻窩內招募其他覓食螞蟻的方式。這有賴於我們的實驗技巧的大幅改進。我們將嘗試安裝光纖攝影鏡頭在蟻窩裡面，了解出勤的覓食螞蟻在覓食過程中途回到蟻窩裡究竟做了什麼事，是如何的通風報信，以招募更多的覓食螞蟻出外覓食。我們也將嘗試安裝辨識多重特定運動目標(移動的個別螞蟻)的免費軟體 Biotrack[11]在Linux電腦上。如果成功，我們只要拍攝下已塗色的螞蟻的覓食過程，就可以自動分析螞蟻的覓食軌跡。

細菌經由製造與分泌，同時又吸收化學小分子來與鄰邊的其他細菌進行溝通[12]。當化學小分子的濃度超過特定的濃度，也就是臨界值，細菌間的集體行為開始呈現，譬如抗藥性的發展[13]。在螞蟻覓食的初期，少量的覓食螞蟻外出覓食。如果已經找到食物，就會回巢通報，在沿路留下的費洛蒙濃度尚不足以引領螞蟻大軍到特定食物覓食之前，蟻窩內的螞蟻該相信哪一隻回報的覓食螞蟻呢？如果螞蟻的覓食行為真如近代學派所言，螞蟻覓食行為的運作如果取決於覓食螞蟻在蟻窩內相互碰撞頻率，那是否存在有一個臨界值，只有當撞頻率高於臨界值，集體招募的行為才能觸發？我們希望能夠觀測到這個臨界值並探討影響它的變因。最終期望的是藉由對於螞蟻的集體行為的深刻了解，幫助我們了解細菌在分子水平的集體行為，進而操控細菌的集體行為，減緩細菌耐藥性的進化，更甚至於操控癌腫瘤的集體行為，讓癌腫瘤不再成長或轉移，而能與人類和平共存。

## 玖、參考資料

- [1] 黛柏拉·戈登 (Deborah Gordon)，“別和螞蟻拼命(Ants at Work)” ，譯者王盟雄，ISBN：9573317737，皇冠出版社，2001/03/12。
- [2] 黛柏拉·戈登 (Deborah Gordon)，“令人驚豔的螞蟻地下碉堡 (The Emergent Genius of Ant Colonies)” ，TED 演講，2003。中譯演講稿詳見 [https://www.ted.com/talks/deborah\\_gordon\\_digs\\_ants](https://www.ted.com/talks/deborah_gordon_digs_ants)。
- [3] 黛柏拉·戈登 (Deborah Gordon)，“關於大腦、癌症及網路，螞蟻教了我們什麼 (What Ants Teach Us about the Brain, Cancer and the Internet )” ，TED 演講，2014。中譯演講稿詳見 [https://www.ted.com/talks/deborah\\_gordon\\_what\\_ants\\_teach\\_us\\_about\\_the\\_brain\\_cancer\\_and\\_the\\_internet](https://www.ted.com/talks/deborah_gordon_what_ants_teach_us_about_the_brain_cancer_and_the_internet)。
- [4] 邱巧詩，“黑棘蟻聚落覓食分工模式”，國立彰化師範大學，碩士論文，2011。
- [5] 侯修煒 螞蟻的家，<http://www.ant-home.idv.tw/888/a-2/a2-pic-a06.htm>。
- [6] 林宗岐，“台灣家屋中的螞蟻”，附錄於霍德伯勒·威爾森 (Edward Osborne Wilson)， “螞蟻·螞蟻”，譯者蔡承志，ISBN：9789573240655，遠流出版社，2000。
- [7] AntWiki，“Polyrhachis dives”，[http://www.antwiki.org/wiki/Polyrhachis\\_dives](http://www.antwiki.org/wiki/Polyrhachis_dives)。
- [8] Kinetrack，“Ant Painting - Unique Identification of Insects”，Youtube，<https://www.youtube.com/watch?v=uAQ5IKVpysc>。
- [9] 霍德伯勒·威爾森 (Edward Osborne Wilson)， “螞蟻·螞蟻”，第四章螞蟻的溝通方式，譯者蔡承志，ISBN：9789573240655，遠流出版社，2000。
- [10] 黛柏拉·戈登 (Gordon, Deborah)，“The Collective Wisdom of Ants”，Scientific American，2016。  
<https://web.stanford.edu/~dmgordon/articles/other/Gordon%20Scientific%20American.pdf>
- [11] Software Biotrack，<http://www.bio-tracking.org/category/software/>。
- [12] 卡爾·齊默 (Carl Zimmer)，瓦解「細菌社會」，環球科學，《科學美國人》大陸中文版，2015。<http://www.huanqiukexue.com/plus/view.php?aid=25245>。內文詳見壹讀-瓦解「細菌社會」，<https://read01.com/2k7M38.html>。
- [13] Bonnie Bassler，“談細菌如何溝通 (How bacteria “talk” )”，TED 演講，2009。中譯演講稿詳見 [https://www.ted.com/talks/bonnie\\_bassler\\_on\\_how\\_bacteria\\_communicate/transcript?language=zh-tw](https://www.ted.com/talks/bonnie_bassler_on_how_bacteria_communicate/transcript?language=zh-tw)。

## 【評語】 030314

1. 本研究探討黑棘螞蟻分工覓食的集體行為。
2. 作品的題目名稱有趣，容易吸引讀者的目光；實驗設計能適當控因及變因清楚。建議各組實驗重複試驗宜有獨立三重複以上，不同試驗之間的差異比較，也宜有統計方法的支持。此研究的實驗一，雖有三次重複，但第三次改變了斷食天數的變因，使得所獲結果無法合理的判斷是否有顯著差異，如圖13。實驗二及實驗三也有類似的情形。建議可增加蟻窩數，可使結論更具說服力。
3. 解說清楚，反應快，回答問題表現不錯。
4. 研究樣本略少（兩個蟻窩），可操作的變因也少（挨餓天數、食物種類只有橘子和布丁，距離），小實驗之間因果連結較弱。
5. 出勤率低，可能與冬天休息期有關。但是覓食也與巢內個體數，狀態相關。
6. 本研究進行黑棘螞蟻覓食與分工行為之探討。但網路上已有許多相關資料可供查詢，如大直高中學生的黑棘螞蟻群落習性與覓食特性之探討  
(<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2014/11/2014111419320041.pdf>)。故新穎性較不足。

## 作品海報



## 摘要

- ❖ 研究螞蟻的分工覓食行為、量化覓食行為。
- ❖ 選用族群規模不同的兩個黑棘蟻蟻窩進行實驗，對個別螞蟻進行塗色編號。
- ❖ 設計觀察覓食行為及可調控的覓食變因的實驗裝置。
- ❖ 實驗數據的高度一致性，並非偶然，是螞蟻集體行為特徵的一個具體呈現。

螞蟻很勤勞嗎？

影響出勤的因素？

- (一) 外在的覓食環境？
- (二) 蟻窩規模大小？

所有的螞蟻都同樣勤勞嗎？

螞蟻的工作負擔沉重嗎？

## 研究動機

可否量化螞蟻的覓食集體行為？



## 研究目的

探討螞蟻的分工覓食行為中的勞逸分攤

檢測實驗數據是否可重複？

外在環境變化對覓食行為的影響

族群規模大小是否影響覓食行為？

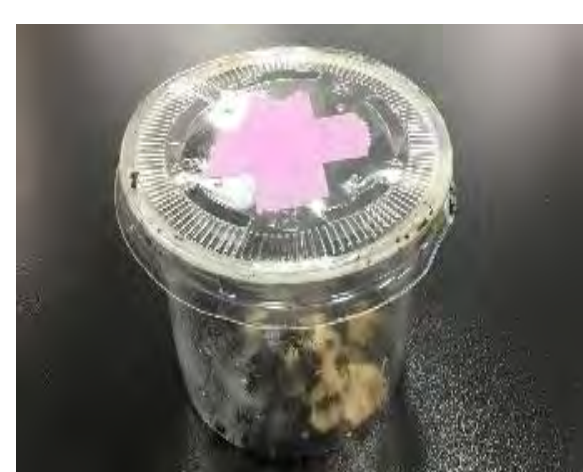


## 研究設備

- 一、大小黑棘蟻蟻窩
- 二、飼養容器、螞蟻
- 三、十二色壓克力顏料
- 四、鐵架、鐵夾、培養皿
- 五、橘子、布丁
- 六、塑膠盒、吸管、膠帶
- 七、照相機
- 八、冰箱



在學校找到野生黑棘蟻蟻窩



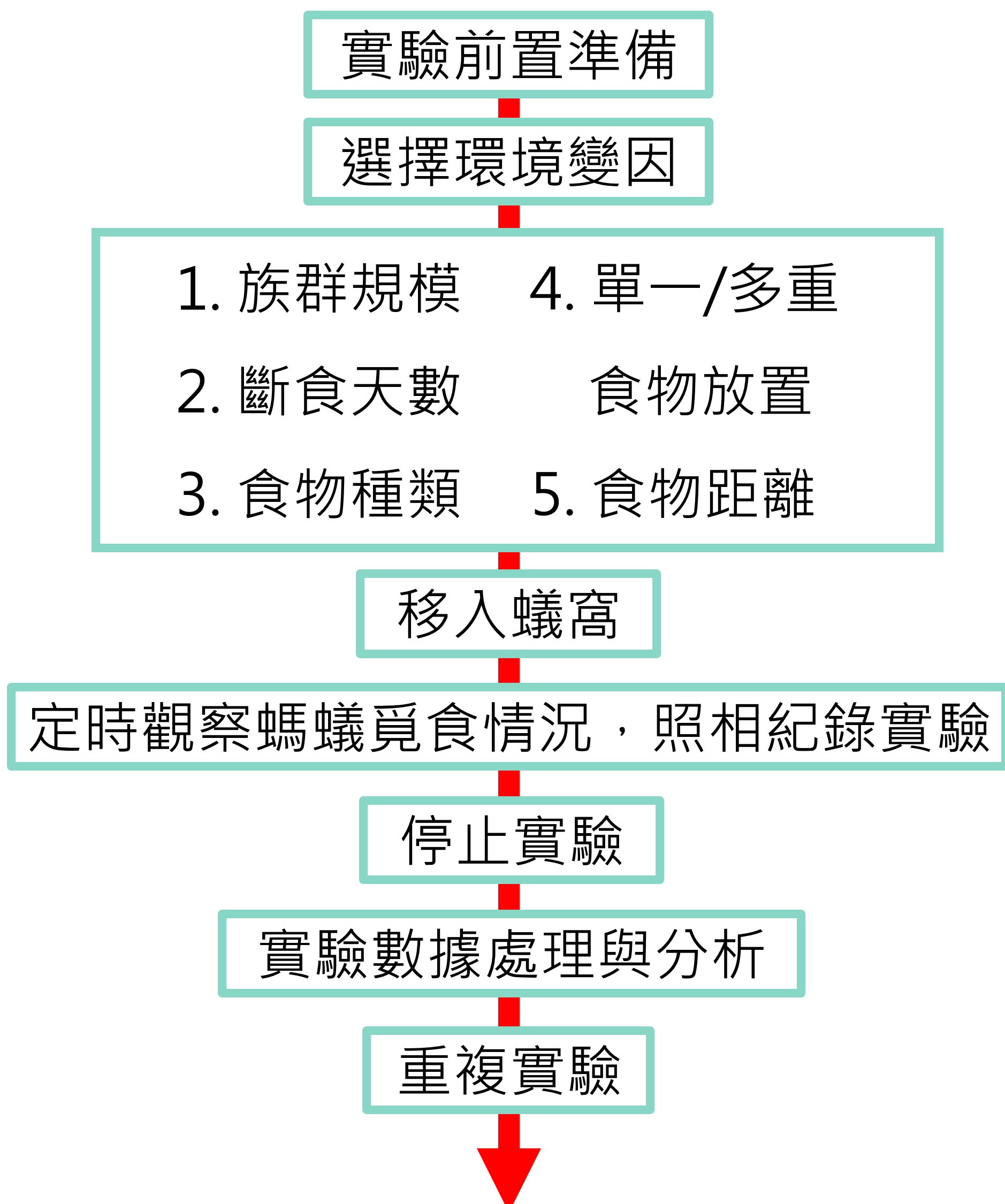
飼養容器，含螞蟻



鐵架、鐵夾



## 研究過程與方法



## 小辭典

集體行為是大量個體的集體運動，個體遵循簡單的運動與邏輯規則，不依賴中央的指揮，而能自然而然的呈現群體特徵。如鳥群，魚群。



## 實驗設計



**實驗一：**  
相同食物，不同距離



**實驗二：**  
不同食物，相同距離



**實驗三：**  
不同規模的蟻群



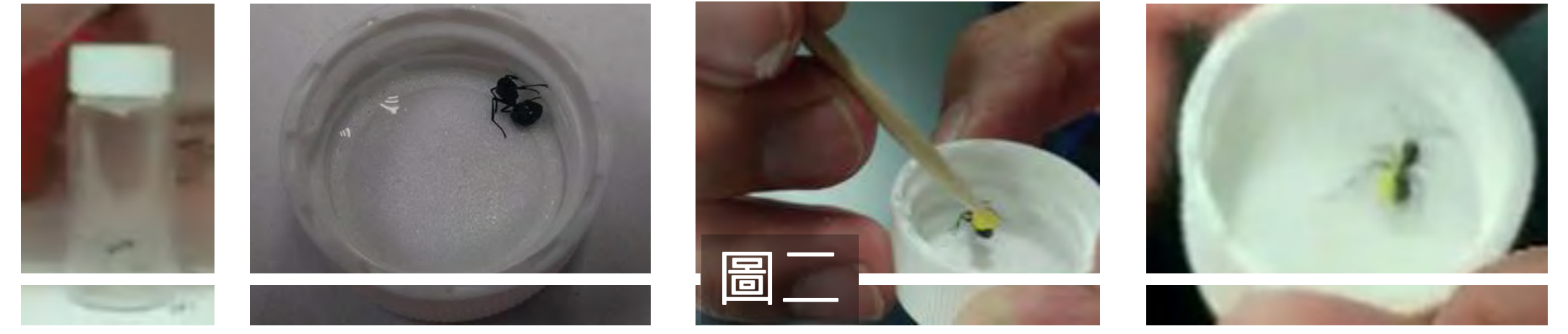
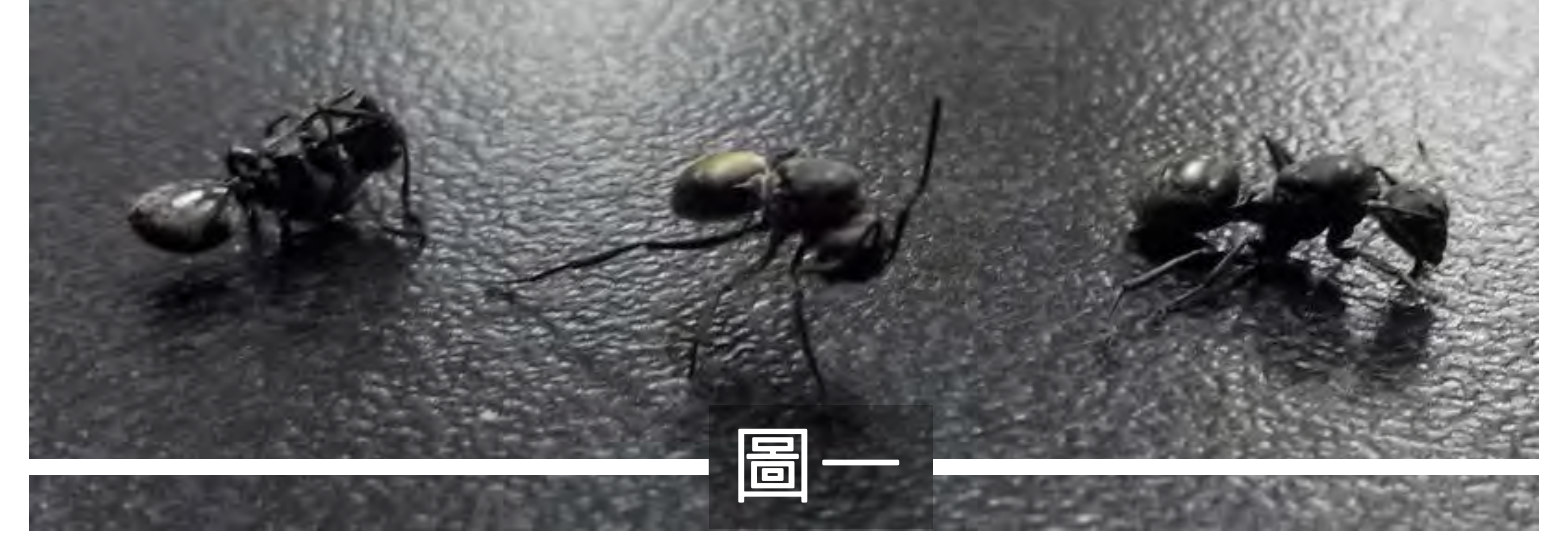
## 實驗前置準備

- 黑棘蟻的採集與飼養
- 黑棘蟻的斷食
- 蟻窩的設計-增加實驗效率
- 黑棘蟻的冷凍、塗色、計數

冷凍五分鐘後的情況(圖一)

蟻蟻的塗色(圖二)

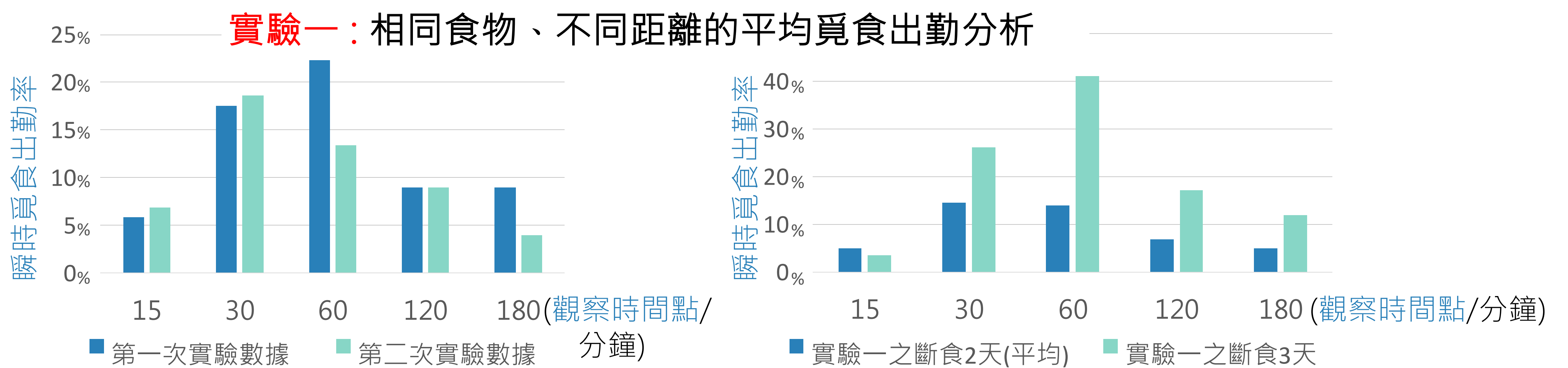
塗色標記(圖三)



## 數據處理

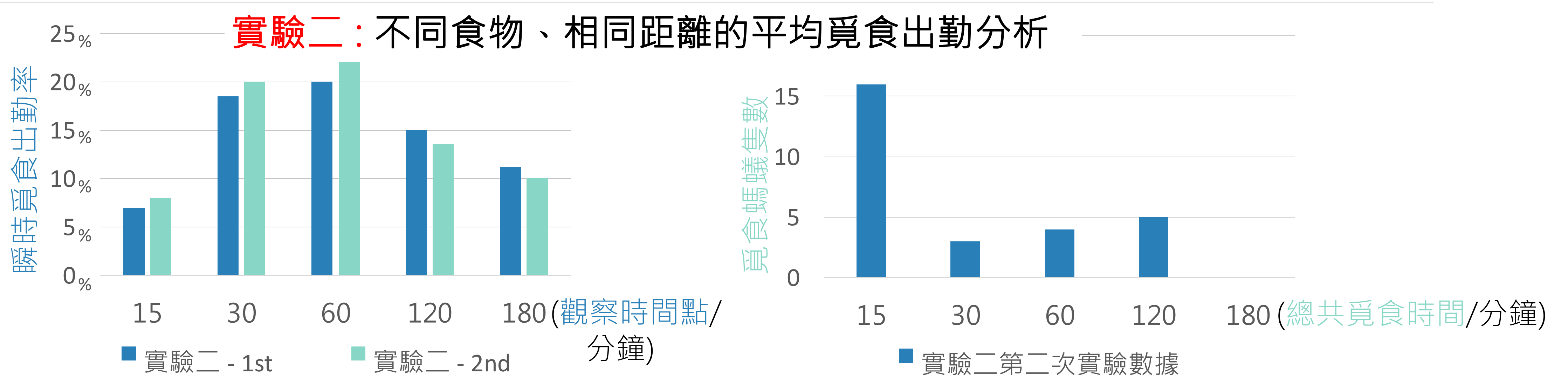
- ❖ 重複二到三次實驗，在不同天、重新斷食後進行。
- ❖ 連續觀察三小時，定時統計覓食蟻蟻的數目。
- ❖ 瞬時覓食蟻蟻總數除以蟻蟻總數，為瞬時覓食出勤率。
- ❖ 平均5組瞬時覓食出勤率為蟻蟻的平均覓食出勤率。

## 研究結果



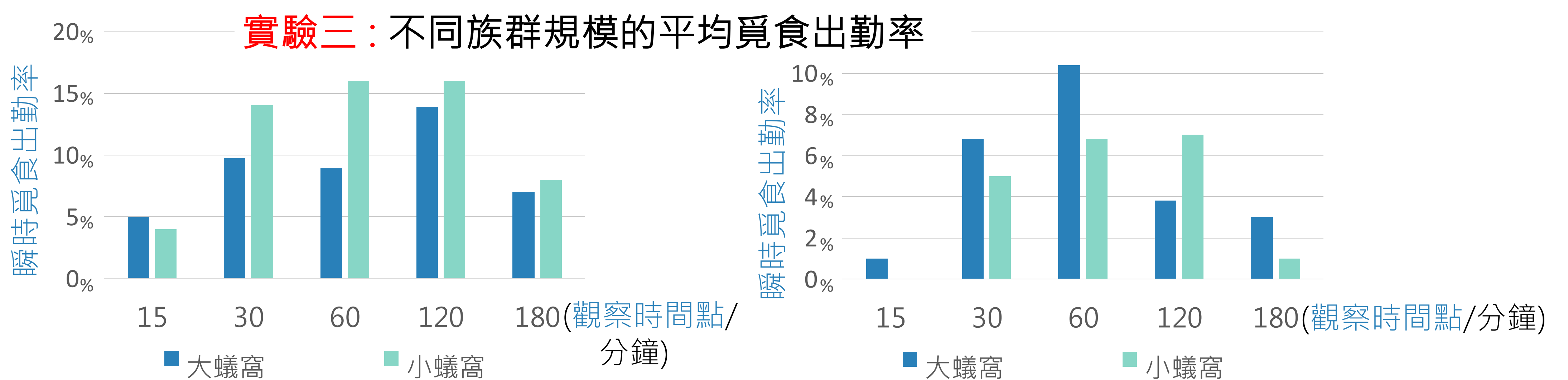
左圖是第一與第二次實驗數據(斷食兩天)。數據一致性良好，實驗結果可重複。

右圖是第三次實驗數據(斷食三天)與斷食兩天的兩次實驗數據(平均)的比較。覓食與斷食天數相關。



左圖是第一與第二次實驗數據(斷食兩天)。數據一致性良好，實驗結果可重複。

右圖是覓食蟻蟻的塗色編號，推得蟻蟻分時分工覓食行為分布。



左圖是食物距離蟻窩15公分處，大小蟻窩的瞬時覓食出勤率。大小蟻窩的平均覓食出勤率一致性良好。

右圖是食物距離蟻窩5公分處，大小蟻窩的瞬時覓食出勤率。大小蟻窩的平均覓食出勤率一致性良好。



- 一、黑棘蟻傾向距離較近的食物-**嗅覺**覓食的生物本能(實驗一)。
- 二、黑棘蟻覓食**時間長短**隨食物擺放**距離遠近而增加**(實驗一)。
- 三、黑棘蟻**斷食時間長短**明顯影響其覓食出勤率(實驗一)。
- 四、黑棘蟻的**嗅覺**容易受到**橘子(天然食物)的濃厚酸香甜氣味的刺激**，較不喜愛人為加工食品-布丁(實驗二)。
- 五、黑棘蟻採用**分時分工的方式**覓食(實驗二)。
- 六、**豐盛/多樣的覓食環境下**，覓食出勤率稍微提高(實驗一、二)。
- 七、我們發現**黑棘蟻族群規模的大小，不顯著影響特定覓食環境下的平均覓食出勤率**。這是我們實驗中最重要的發現，我們**量化了黑棘蟻覓食過程中集體行為表現的一種特徵**(實驗三)。
- 八、實驗觀測時間的長短因素：雖然我們只統計開放覓食後開始的3個小時內的覓食行為，但已經看到一個明顯的**循環週期-覓食的探索期，高峰期，回巢期**(實驗一、二、三)。
- 九、數據的誤差分析：不同覓食變因下的多次實驗數據都顯示良好的**重複性**，推論數據的量測不確定性不會影響結論。
- 十、我們使用畜養型黑棘蟻進行實驗。畜養型與野生型黑棘蟻的覓食行為表現不能排除是有差異的。



### 我們研究黑棘蟻的分工覓食行為

我們發現：

- ❖ 黑棘蟻在分工覓食行為是**勞逸不均**的。
- ❖ 外在**覓食環境的變化**深刻影響覓食行為。
- ❖ **族群規模的大小**與其分工覓食行為的比例(平均覓食出勤率)無顯著關聯。

更久/更多次重複觀測螞蟻的覓食行為

更多樣的**環境變因**

更多**種類及規模**的螞蟻

未來展望  
可能應用

螞蟻覓食行為是否存在有一集體行為常見的**啟動臨界值**?

可否從螞蟻的集體行為了解**細菌耐藥性**或**癌腫瘤轉移**的集體行為?應用到**無人飛機群**的集體調控?



- [1] 黛柏拉·戈登 (Deborah Gordon), “別和螞蟻拼命 (Ants at Work)”, 譯者王盟雄, 皇冠出版社, 2001。
- [2] 黛柏拉·戈登, “令人驚豔的螞蟻地下碉堡 (The Emergent Genius of Ant Colonies)”, TED 演講, 2003。
- [3] 黛柏拉·戈登, “關於大腦、癌症及網路, 螞蟻教了我們什麼 (What Ants Teach Us about the Brain, Cancer and the Internet)”, TED 演講, 2014。
- [4] 邱巧詩, “黑棘蟻聚落覓食分工模式”, 國立彰化師範大學碩士論文, 2011。