

臺灣二〇〇四年國際科學展覽會

科 別：動物學科

作品名稱：估算土棲螞蟻聚落的新方法
----以黑巨蟻(*Camponotus friedae*)為例

得獎獎項：動物學科第三名

學 校：臺北縣立林口國民中學

作 者：林瑋龍

作者簡介



我是林暉龍，民國七十七年出生於台北，從小就對自然科學有著濃厚的興趣，曾兩次代表學校參加台北縣科展和多次校內科展。在國中時，經過老師的審查考試後，進入自然科學研究社，在這個充滿思考討論的環境中，學習到了科學精神和科學模式，也確立了我往後的研究方向，國一時，我參加第四十一屆台北縣科展，在生物科獲得優等，升上國二，我轉戰應用科學組，也獲得第四十二屆台北縣科展優等獎，現在我已經是國三了，雖然面對著基本學力測驗的壓力，但仍然從事著科學活動，目前正進行「估算土棲螞蟻聚落的新方法——以黑巨蟻為例」的研究工作，準備參展 2004 國際科展。我希望在這次的活動中能有所收穫，學習更多的科學知識。

估算土棲螞蟻聚落的新方法——以黑巨蟻(*Camponotus friedae*)為例

New Method for Estimated Colony Size of Ground Black-Giant Ants, *Camponotus friedae*

英文摘要(Abstract)：

Estimated colony size is a basic work to count population of social insect up. It is not easy to measure any natural population accurately, in this respect, social insects here some advantages and some disadvantages over non-social ones. Previous studies have focused largely on the experimental colony of ants, such as *Lasius niger*, *Myrmica sabuleti* and *Formica rufa*, in the artificial nest. Furthermore, base on the division of labor, traditional Mark-Recaptured Methods can not be used to measure complete colony of ant correctly. Here, we show that new method has be set up to calculate the colony of the ground black-giant ant, *Camponotus friedae*, with a new indicator, ant hill. Predictions about the division of labor introduced to amend the formula of estimated population are discussed.

中文摘要：

本實驗探討黑巨蟻的蟻丘之形狀和生物意義，並分析利用何種方法能估算最準確的聚落大小。利用幾何圖形證明黑巨蟻會築似圓的蟻丘，並利用標識捕捉法的 Petersen method(又稱為 Lincoln index)、Schnabel method 和蟻丘大小重量，來推算黑巨蟻聚落之大小。發現黑巨蟻會築似圓度 90%的蟻丘，而且標識捕捉法的 Petersen method(又稱為 Lincoln index)、Schnabel method 並不能精確的推算出黑巨蟻之聚落大小；應使用黑巨蟻之蟻丘的重量當作參數來推算，才不會忽略幼蟲的存在。

研究報告

一、前言

(一)、研究動機：

生態學上，估算族群的數量是最基礎的工作。對社會性生物而言，在族群的計算上，另有獨特的單位稱為聚落。因此估算聚落的大小就是估算族群大小的第一步。但是，像螞蟻這種社會性昆蟲，在估算的方法上，歷年的研究皆很貧乏，大部分仍用標示再捕捉法估算。如何對螞蟻的聚落進行正確的估算而不至於破壞蟻丘呢？有

沒有比標示再捕捉更好的方法估算螞蟻的聚落？

黑巨蟻是一種生活在地底的生物，牠會在地面築似圓的蟻丘，而其他會築丘的生物，例如：多梳山蟻的大型蟻丘，為不規則的丘形建築，而不是形成似圓的蟻丘。到底黑巨蟻是否都是築似圓的蟻丘呢？我們如何證明蟻丘為圓形？我們能進一步從地面上蟻丘的高度、大小、重量等……來推算黑巨蟻在地底下的聚落大小嗎？我們將利用何種方法推算出黑巨蟻的聚落大小和更進一步推算出黑巨蟻數及其工蟻的分工比例？這些問題有待我的詳細觀察和深入的探討。

(二)、研究目的：

- 1、已知標記法的侷限。
- 2、探討黑巨蟻的蟻丘之形狀和生物意義。
- 3、分析黑巨蟻聚落之組成。
- 4、以不破壞蟻丘形狀為前提，建立數學模式，推算黑巨蟻聚落大小。
- 5、表較何種估算方法最恰當。

二、研究方法及過程

(一)、各種族群估算方法之推算

1、標識再捕捉法

國中生物學課本中，有一課是介紹以少數量的紅豆和多量綠豆混合，而在取樣過程後，求得綠豆之準確數量；這就是標識再捕捉法的基本原理。標識法是將捕獲外勤工蟻的蟻體上附加標識，釋放至原蟻巢內後，以便再次捕獲時能與其他外勤工蟻識別。外勤工蟻標識放回巢方法，可區分為記號法(Marking)和標誌法(Tagging)，我所使用的是記號法中的染色法，把捕捉的外勤工蟻染上壓克力顏料，以便再次捕捉時能辨別。不論是記號法或標誌法，標識都必須以對外勤工蟻(壽命、生理與行為等)影響最小，且能長期可存外勤工蟻之前胸背板以供辨識為前提。

不論採用何種標識捕捉法，其基本假設至少都包含：

- (1)、研究期間，標誌不會消失或遺失，且標誌不會影響外勤工蟻之存活率，因此所有標識外勤工蟻都有機會在後續取樣時捕回。

(2)、每次採樣都要逢機取樣，每隻外勤工蟻的被捕獲機率相同。外勤工蟻之行爲不受捕獲與標識影響，而能在釋回後，與未上標蟻群混勻，在後續之取樣過程有相同被獲捕機率。

2、Petersen method(又稱爲 Lincoln index)

利用標識捕捉法計算族群的最簡單方法是 Petersen method。其應用於封閉族群，以單次標識，採樣兩次，即可推算族群。

設 N ：標識時之族群估計量。

M ：標識之外勤工蟻數。

C ：第二次採樣時，捕獲之外勤工蟻數。

R ：第二次採樣時，捕獲之標識外勤工蟻數。

$$N / M = C / R \quad N = CM / R$$

由 Petersen method(又稱爲 Lincoln index)所推估的族群量，往往出現誤差情形，有許多學者曾提出不同的修正方法，其中，Chapman 的估計運算方法不僅估算的變方小，計算的偏差也較小，最爲族群生態研究者所採用：

$$N = (M+1)(C+1) / (R+1) - 1$$

$$V(N) = (M+1)(C+1)(M-R)(C-R) / (R+1)(R+1)(R+2)$$

估計值之信賴區爲：

$$N \pm Z_a * \sqrt{V(N)}$$

95%之信賴區爲： $a = 0.05$ ， $Z_a = 1.96$

但是此種估計 95%信賴區的方法，只適用於回收比例高於 10%的情形下，因此，族群數量大或族群估計範圍大時，就必須標識並釋回大量的外勤工蟻，能回收較多的標識外勤工蟻，有些學者更認爲需釋回答族群量的 50%以上，才足以獲得可信度高的族群估計數值。

3、Schnabel method

Schnabel method 可視爲是 Petersen method 之擴展。當 Petersen method 所回收標識過低時(如小於 10%)，藉著增加捕錯數與標識外勤工蟻數，可有效的增加標識回收率。應用於封閉係族群，而以一種標識進行多次取樣與上之方法，標識之外勤

工蟻數隨著取樣次數增加，每次採樣紀錄標識外勤工蟻數與未上標外勤工蟻數即可；若每次採樣標識加以區分，則可推估族群之存活率等數值。在封閉係族群中，族群數不變。許多生物統計學者接曾根據 Schnabel method 之方法假設。

$$N_0 = N_1 = N_2 = \dots = N_t$$

$$N = C_1 M_1 / R_1 = C_2 M_2 / R_2 = \dots = C_t M_t / R_t$$

設計或改良估計方程式(Ricker 1975；Seber 1982)，常見的估計方程式：

(1)、Schnabel method(見 Seber 1982)之推估方程式：

$$N = \Sigma (C_t M_t) / \Sigma (R_t + 1)$$

$$V(1/N) = \Sigma R_t / \Sigma (C_t M_t)$$

N：標識時之族群估計量

M_t：第 t 次標識外勤工蟻隻數

C_t：第 t 次採樣時捕獲之外勤工蟻數

R_t：第 t 次採樣時捕獲之標識外勤工蟻數

S：採樣數

(2)、Schumacher and Eschmeyer(見 Seber 1982)之推估方程式：

$$N = \Sigma (C_t M_t^2) / \Sigma (R_t M_t)$$

$$V(1/N) = \Sigma (R_t^2 / C_t) - (\Sigma R_t M_t)^2 / \Sigma (C_t M_t^2) / S - 2$$

$$S(1/N) = \sqrt{V(1/N) / \Sigma (C_t M_t^2)}$$

此法的信賴區間的估算方法的計算方式比較複雜，並適用於累計捕獲標識外勤工蟻多於 50 隻之情況，由估計值倒數的信賴區間反推之(Kreb 1989)：

$$1/N \pm T_a S(1/N)$$

T_a：由(100-a)%信賴區見對照查 Student' t-table 所得。

4、jolly-seber

此法比前述兩種方法複雜，是由 jolly 根據 Petersen method 之概念，並考量動物之增減率所推演而得。應用於開放系族群之多次取樣與上標之方法，每次取樣後進行上標所使用之標示須不同，以視為區隔。基本假設為：(1) 每次採樣，每隻外勤工蟻捕獲率相同。(2) 兩次採樣間，每隻外勤工蟻的存活率相等。(3)

標示不會消失或遺失。(4) 採樣之時間間隔與時間可變異。但是由於螞蟻是封閉式族群，所以此方法不適用於螞蟻，就不在詳細介紹。

5、Jaw Jinn Method

(1)、發現洞口數越多，則在動外或全體隻數就越多，於是一種關係變存在了：(由其相互間比值大約都相近得知)

(2)、以蟻巢最大活動半徑來看：

$$S_n(\text{蟻總數}) \propto aR(\text{最大活動半徑})$$

$$S(\text{洞外蟻數}) \propto aR(\text{最大活動半徑})$$

(3)、以螞蟻進出洞口頻率來看：

進出洞口頻率，只與洞外螞蟻數有關，與蟻總數無關，進出洞口率越高，在洞外的螞蟻數就越多，因此我們有得到一個關係：

$$S(\text{洞外蟻數}) \propto af(\text{進出洞口頻率})$$

我從 1.2.3 導出以下的公式：

Rf：由前面 1.2.3.可知：

$$S(\text{洞外蟻數}) \propto aR(\text{最大活動半徑})$$

$$an(\text{蟻洞數}) \propto af(\text{出入洞口頻率})$$

所以 $S \propto R \times n \times f$

$$S = \text{Mant} \times R \times n \times f$$

式中的常數 Mant 我稱之為蟻聚係數，這個係數因種類而異。現在，蟻洞外的數目式子出現了，走先要注意的是一個蟻巢中的 Mant、R 和 n 都是固定的，只有 f 在變，而已總數可視為一個在逃難中的蟻群在單位時間內最大出洞量到最小出洞量的總合，這和 f 正好有關係，因此可以說蟻總數就是對洞外蟻數的積分。

$$S = \text{Mant} \cdot R \cdot n \cdot f$$

$$S = \int \text{Mant} \cdot R \cdot f$$

$$= 1/2 \text{Mant} \cdot R \cdot n \cdot (b^2 - a^2)$$

又：b 為最大頻率，a 為最小頻率，且 $a = 0$ 。

$$S = 1/2 \text{Mant} \cdot R \cdot n \cdot (b^2 - a^2)$$

$$= 1/2 \text{ Mant} \cdot R \cdot n \cdot b^2$$

最後，我們得到的總工蟻數之公式，只要量得最大活動半徑，蟻洞數，最大進出洞頻率，和各類螞蟻的蟻聚係數，便可不必挖開蟻穴而算出總工蟻數。

(二)、以幾何圖形證明黑巨蟻會築似圓的蟻丘。

- 1、把照下的蟻丘描繪於描圖紙上，並任取似圓形之 20 點。
- 2、以縫紉線量出其周長，再以直尺量出其長度，並利用周長公式求出其理論值半徑。
- 3、取實際以丘邊際各 20 點，測量各點到蟻丘入口之距離，再利用 Excel 軟體中的 Trimmean 函數(節去某一百分比值外的極端值後，在求其平均值)算出其測量平均值。
- 4、以各蟻丘的測量平均值作為 X 軸和理論值 Y 軸，畫在散佈座標系上。求得 R-squared 值，此為其圖形的似圓度，並求出誤差值。

(三)、探討圓形蟻丘對黑巨蟻的生物意義：

1、驗證蟻丘具有領域宣示的目的：

方法：(1)再圓形蟻丘方圓 30 公分內畫上警戒線。(2)觀察並紀錄有蟻丘和無蟻丘的蟻巢在單位時間(一小時)通過其蟻巢方圓 30 公分內的其他螞蟻及昆蟲數目。(3)比較有蟻丘和無蟻丘蟻巢的防禦狀況(警戒工蟻)。

2、驗證蟻丘對溫度調節的控制：

方法：(1)將找尋到的 15 個有蟻丘的蟻巢和 15 個無蟻丘的蟻巢編號。(2)先用溫度計測量室溫，再將溫度計插入蟻巢中多少公分，測量蟻巢內的溫度並紀錄。(3)比較有蟻丘和無蟻丘蟻巢內溫度的變化。

3、驗證蟻丘形狀與花費時間之關係：

方法：觀察圓形蟻丘及其他幾何圖形蟻丘的蟻巢，其築蟻丘的時間長短。

4、比較子脾(brood)多寡對蟻丘大小之影響。

方法：選擇 3 蟻巢控制成蟻數相同，但 A 巢只放成蟻不放子脾，B 巢放成蟻和佔成蟻數 5% 的子脾，C 巢放成蟻和佔成蟻數 20% 的子脾。計算 A、B、C 巢蟻丘大小並重複步驟 3 次。

(四)、推導以蟻丘為參考係數的新估算方程式，以步驟之結果立估算方程式：

1、利用鏟子將蟻丘剷平，並收集其土粒，以電子秤測量蟻丘土粒總重量。

架設錄影機觀察紀錄建築工蟻建築蟻丘搬運土粒的總次數和建蟻丘時所運用的建築工蟻隻數，並捕捉在搬運土粒的建築工蟻，並用電子秤測量其土粒重。

2、架設錄影機觀察一天中外勤工蟻數的總量。

三、研究結果

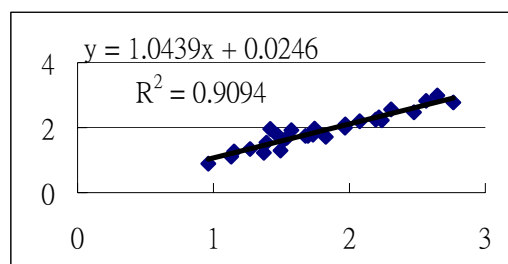
(一)、往昔研究：

1、黑巨蟻的分類階級：動物界（Kingdom Animalia）、節肢動物門（Arthropoda）、昆蟲綱（Insecta）、膜翅目（Hymenoptera）、蟻科（Formicidae）、巨蟻屬（*Camponotus*）。

2、黑巨蟻的型態描述：兵蟻亞階級與雌蟻頭部前緣未呈直切扁平狀；工蟻亞階級前足腿節無膨大，前伸腹節後緣略呈傾斜狀。工蟻亞階級頭型橢圓或矩型，後頭部無延長縊縮，頭型指數體軀針狀毛較少著生或無，中軀部長針狀毛少於 30 或無。前伸腹節前緣無明顯凹陷，表面無凹陷明顯刻紋；體軀多呈單色。前伸腹節前緣明顯凹陷，表面刻紋凹陷明顯；體軀呈明顯雙色，頭部與中軀部呈黑褐色但前緣略呈橙色，腹錘部呈黃橙色。體型較大，體長 TL > 0.7 mm。前伸腹節後緣角度明顯，近直角；腹柄節著生 3 對以上長針狀毛。

(二)、探討黑巨蟻的蟻丘之形狀和生物意義

1、我們利用 Excel 軟體，以測量平均值(測量各數據後，再利用函數 Trimmean 算出的平均值)為 X 軸，理論值(利用蟻丘的周長算出的半徑大小)為 Y 軸，畫出如圖(1-a)；而理論值推出圖(1-b)及圖(1-c)。由圖(1-c)可推論，實際蟻丘半徑大小為 $0.96 \leq X \leq 2.77$ 公分。



Cm

圖（1-a）黑巨蟻蟻丘(*Camponotus friegae*)實際測量值的似圓度(單位：公分)。

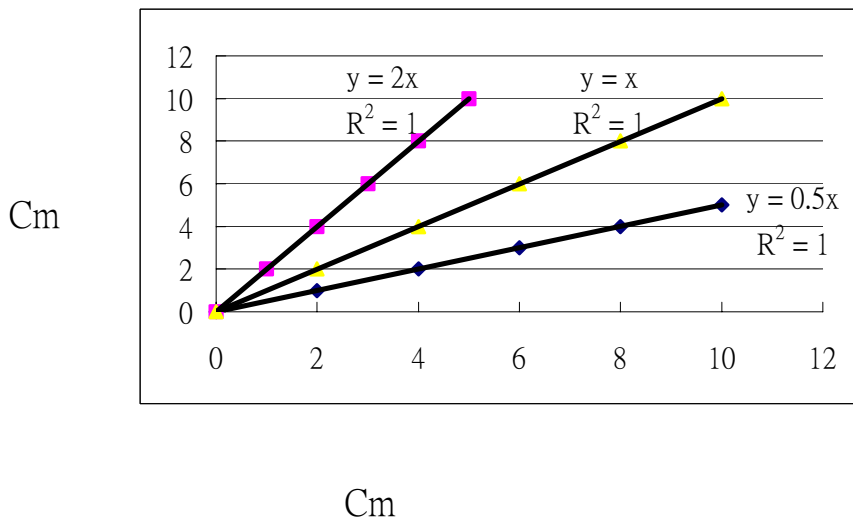


圖 (1-b)。

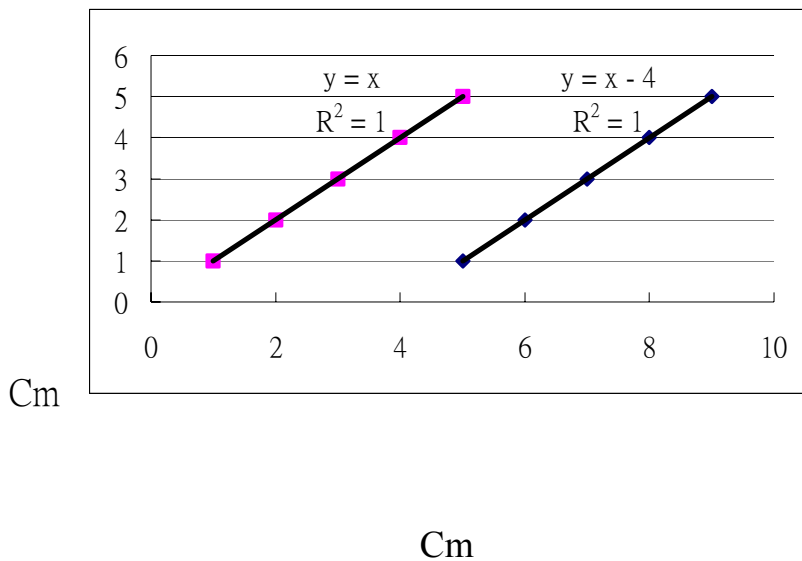


圖 (1-c) 蟻丘半徑大小之比較表(單位：公分)。

- 2、有蟻丘的蟻巢和無蟻丘的蟻巢之差異：(1)單位時間內通過的生物數量。有蟻丘的蟻巢明顯比無蟻丘的蟻巢少，證明了建築蟻丘能使蟻巢防禦力增加。如表 2。
- (2)其巢內溫度的變化，有蟻丘的蟻巢，其巢內的溫度維持在一定的範圍，而沒蟻丘的蟻巢，其巢內溫度及溼度起伏很大，隨室溫的變化，如表 3。證明蟻丘能調節蟻巢內的溫度，使蟻丘不被外面的溫度受影響。

表 2、單位時間(一小時)內昆蟲在有蟻丘和無蟻丘的蟻巢所通過的數目

	有築蟻丘(隻)	未築蟻丘(隻)
蟻丘平均昆蟲數	0	3.5
其它螞蟻通過數	0	1.2
同巢警戒工蟻數	3	1

表 3、有蟻丘和無蟻丘蟻巢溫度和室溫溫度變化

	室溫(°C)	戶外溫(°C)	有蟻丘巢溫 (°C)	無蟻丘巢 溫(°C)
平均溫(°C)	26	28	24	28
最高溫(°C)	29	31	27	31
最低溫(°C)	23	25	22	27

(三)、以數學模式推算黑巨蟻聚落大小

- 1、觀察黑巨蟻的工蟻之分工比例(表 4)，黑巨蟻的丘築蟻丘方式，是由(1-4)隻建築工蟻共同建築。而建築工蟻約佔所有工蟻的 5 % (表 5)，所以可知建築蟻丘的工作是一臨時任務編組。比較子脾多寡對蟻丘大小之影響結果。如圖 2。

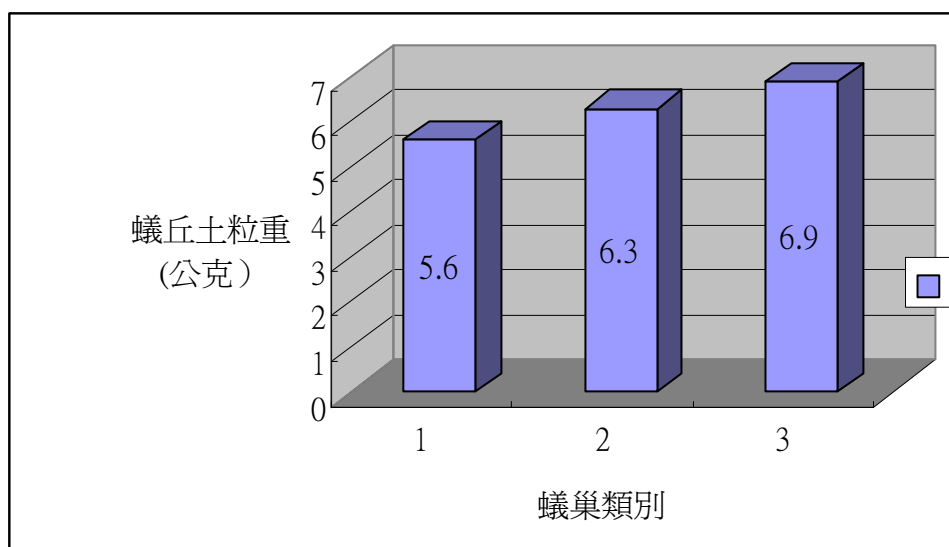


圖 2、1 巢只放成蟻不放子脾，2 巢放成蟻和佔成蟻數 5% 的子脾，3 巢放成蟻和佔成蟻數 20% 的子脾。

表 4、工蟻之分工比例

	護士(Nurse) (%)	覓食(Forager) (%)	守衛(Guard) (%)	建築(Builder) (%)
建築蟻丘時	75	18	2	5
非建築蟻丘時	78	20	2	0

表 5、外出工蟻及築巢工蟻的數量及比例之比較

	出外活動工蟻數 (隻)	築巢工蟻數(隻)	築巢工蟻佔全部工 蟻比例(%)
平均值	60	4	5
最大值	105	5	7
最小值	59	2	3

2、推算出的新數學公式

(1)、設 W_t ：蟻丘土粒總重量。

W ：平均土粒重。

N_s ：總搬運次數。推導結果如下：

$$W_t / W = N_s \quad \text{-----公式一}$$

由公式一可知，蟻丘土粒總重除以平均土粒重等於總搬運次數。

(2)、設 n_1 ：第一類建築工蟻(Major worker)總搬運次數。

n_2 ：第二類建築工蟻(Miner worker)總搬運次數。

代入公式一可推導結果如下：

$$N_b = n_1 + n_2 + \dots \quad \text{---公式二}$$

(3)、又知建築工蟻總搬運次數等於建築工搬運平均土粒重乘以建築工蟻隻數。

設 N ：建築工搬運平均土粒重。

n_w ：建築工隻數。

推導公式如下：

$$N_b = N \cdot n_w \quad \text{---- 公式四}$$

(4)、設 N_t ：黑巨蟻聚落總個體數。 N_q ：蟻后數量。 N_g ：守衛工蟻數量。 N_n ：護土工蟻數量。 N_b ：建築工蟻數量。 N_l ：幼蟲數量。 N_f ：外勤工蟻數。 m ：有幼蟲蟻巢築蟻丘平均搬運次數。 n ：無幼蟲蟻巢築蟻丘平均搬運次數。 p ：幼蟲係數。

$$N_{s0} = n \cdot N_b$$

$$N_{s1} = m \cdot N_b$$

$$N_{s1} - N_{s0} = p \cdot N_l$$

$$(m-n)N_b = p \cdot N_l$$

$$N_t = N_q + N_g + N_n + N_b + N_f + N_l$$

黑巨蟻聚落通常為單后

$$N_t = 1 + N_g + N_n + N_b + N_f + N_l$$

$$N_t = 1 + N_g + 4.2N_f + N_b + N_f + \left(\frac{m-n}{p} \right) N_b$$

$$= 1 + N_g + 5.2N_f + \left(1 + \frac{m-n}{p} \right) N_b$$

$$N_f = 80 \quad N_g = 3 \quad N_b = 4 \quad m = 402 \quad n = 101 \quad p = 3.9$$

$$N_t = 733$$

$$\text{信賴值} = 701 < x < 767$$

(四)、Petersen method(又稱為 Lincoln index)的推算結果

在蟻巢的附近捕捉外勤工蟻，獲得下列資料，據以估計該蟻巢的黑巨蟻族群數：

$$M=78 \quad C=72 \quad R=10$$

$$N = CM / R = 562 \text{ (Petersen method)}$$

$$N = (M+1)(C+1) / (R+1) - 1 = 525 \text{ (Chapman)}$$

$$V(N) = (M+1)(C+1)(M-R)(C-R) / (R+1)(R+1)(R+2) = 129$$

$$N \pm Z_{\alpha} * \sqrt{V(N)} = 354 < x < 754 \text{ (x 等於推估的族群數之信賴值)}$$

由 Petersen method 和 Chapman 推算可知黑巨蟻族群數約為 500 多隻，而信賴值介於 $354 < x < 754$ 之間，由此可知利用次種方法估算黑巨蟻的族群數，其誤差值相當大，而且此方法只能估計外勤工蟻的數量，並無法準確的推出黑巨蟻聚落的大小，所以我試利用蟻丘來推算黑巨蟻的聚落大小。

(五)、Schnabel method 的推算結果：

由連續 4 天的黑巨蟻外勤工蟻採樣，以染色法之標記方式標記外勤工蟻數，經整理後得下列數據。

表 6、外勤工蟻採樣數據(單位：隻)

捕獲外勤工蟻數(C)	累積標記外勤工蟻數(M)	捕獲標記外勤工蟻數(R)	新增標記外勤工蟻數
71	0	0	71
72	71	15	51
64	122	17	43
66	165	23	34

1、Schnabel method

$$N = \Sigma (C_t M_t) / \Sigma (R_t + 1) = 425$$

2、Schumacher-Eschmeyer method

$$N = \Sigma (C_t M_t^2) / \Sigma (R_t M_t) = 449$$

$$V(1/N) = \Sigma (R_t^2 / C_t) - (\Sigma R_t M_t)^2 / \Sigma (C_t M_t^2) / S-2 = 7.724$$

$$S(1/N) = \sqrt{V(1/N) / \Sigma (C_t M_t^2)} = 0.001575$$

$$1/N \pm T_{\alpha} S(1/N) = 138 < X < 795$$

$$(\text{degree of freedom} = s - 2 = 3, t_{0.025} = 3.182)$$

由 Schnabel method 和 Schumacher-Eschmeyer method 可推知：黑巨蟻工蟻總數數之信賴值為 $138 < X < 795$ 之間。這樣的估計值，區間太大，也與實驗聚落大小有很大的誤差。無論是 Petersen method 或 Schnabel method 都會低估聚落大小，因為嚴重

忽略社會性昆蟲行為分工的特性，母群體的假設皆有誤，因此必須修正。

四、討論

(一)、標記法的侷限：

傳統生物族群計量法根據我的研究並不適用於螞蟻族群的求值，因為螞蟻的族臨不同於別種生物的族群。

以標識捕捉法進行時，標識的回收率往往決定估計的準確性；因此，決定了此類方法時，需考慮如何能於聚落範圍中，以對蟻群傷害性小，又能有效的或捕外勤工蟻的方法採樣，並盡可能標識多量的外勤工蟻，以使在後續的採樣能捕獲較高比例的標識外勤工蟻，增加準確性。

標識法只能推估出工蟻數，並無法推估出幼蟲數和蟻后數，因此不能準確的推估出黑巨蟻之聚落大小。

根據 Jaw Jinn Method 做出來的推導蟻總數公式，其中的蟻聚數值實已控制了傳統計量法所不能考慮的因素，假設觀察 1.2.3.沒有太大的差異則推導出來的公式並定正確，我為何不做具體論證呢？因為我認為論證的供作由他人完成，較具有客觀性，我只提出我所得的結果和假設就好了。

(二)、探討黑巨蟻的蟻丘之形狀和生物意義：

黑巨蟻的修築方式，有些是由多隻工蟻（約 1-4 隻）共同修築，有些是單隻進行。但無論如何，築巢工蟻佔所有外出工蟻不到二十分之一，如附表（4）所示，可知築巢工作是一臨時任務的編組，每隻黑巨蟻自己所走的總路程相同，但和其它並不一定相同，所以會修築成為不規則圖形。但如果只有一隻工蟻負責築丘的工作，則將會築成圓形，因為同一隻黑巨蟻每次走的路程大小相同，而且往四周築蟻丘，使蟻丘成為圓形。

由附圖（1-b）及附圖（1-c）中可知以下各點：1、直線方程式 $y = ax + b$ ，其 a 所代表的意思，即為其斜率，當似圓度為 100%（ $a=1$ ）時，即為圓形。若是大於、小於 1，則其似圓度越小，如附圖（1-c）所示，黃色直線的似圓度為 100%，而紅色及藍色直線的似圓度皆為 50%。2、直線方程式 $y = ax + b$ ，其中 $|b|$ 和兩軸的交點，推測其代表的意思即為測量時的誤差值。因為我們在測量數據時，並不

知道它實際出入的位置，如圖 3，咖啡色部分為蟻丘，黑點代表測量點，而藍點代表實際出入點，故測量點到真正出入口的誤差值，即是 $|b|$ 的值。3、由附圖（1-c）中可知，藍色蟻丘的半徑大小範圍為 $5 \leq x \leq 9$ cm，而紅色蟻丘的半徑大小範圍為 $1 \leq x \leq 5$ cm。（四）由趨勢線 R-squared 值可知，其似圓度的大小，即為此數據符合此趨勢線的百分等級。

蟻丘似圓度的大小會受到以下各點的影響：1、是否為單一隻螞蟻進行建造，若是則其似圓度將會接近 100%。2、是否有受到外來的破壞，包括人為及天然因素，若有，其似圓度將會降低。3、建造完成的時間長短。完成時間較長者，其似圓度將會隨著時間變化，時間越久則似圓度越低。4、受到外來破壞程度的大小。受破壞程度越大，則其似圓度越低；反之，則越高。5、同一個蟻巢，其蟻丘築到一定大小範圍後，其似圓度又開始下降。由此可以推論，黑巨蟻具有築圓形蟻丘的能力，但其能力是有限制的，並非無限。

黑巨蟻築圓形蟻丘的主要功用為以下各點：1、可增加防禦功能。有蟻丘的蟻巢及沒有蟻丘的蟻巢，在單位時間內，通過其蟻穴的昆蟲數量，如表（2）所示。由表（2）可知，有築蟻丘的蟻巢，其單位時間內通過的昆蟲數目，明顯比未築蟻丘的蟻巢少。因此可以推論，黑巨蟻築圓形蟻丘，具有防禦的目的。2、築圓形蟻丘所耗費的能量較其他幾何圖形少，例如正方形，其中心到邊上任何一點，距離並不相等，所以必須經過繁複的計算、丈量，比圓形的蟻丘更費體力，所以黑巨蟻築圓形蟻丘能節省體力，且更容易計算。3、圓形蟻丘可以增加吸收能量的表面積，如圖 4，蟻丘所堆起的土堆，不但可以增加吸收太陽能的表面積（推算過程請見第 8-4 點），而且散熱也比未築蟻丘快，巢溫調節的功能顯著。圓形的蟻丘，像雷達一樣，可以幫助牠們了解、處理外在的細微變化，使其事先做好準備，故在下雨之前，黑巨蟻並未出現大規模的活動。4、若未建築蟻丘，則其吸收太陽能的表面積即為蟻巢範圍的地表面積。但若其建築蟻丘後，其吸收表面積增加為整個蟻丘的表面積。如圖 4，利用三角形「兩邊和大於第三邊」的性質可知，築蟻丘後，其吸收太陽能的面積大於未築蟻丘時的面積。所以，築蟻丘可以增加吸收太陽能的表面積。

黑巨蟻蟻巢常會有 2-3 個出口，當有蟻丘的洞口有危險時，牠們就會由旁邊的洞口出入，如圖 5，但此出入口常不會堆積蟻丘。

黑巨蟻在築蟻丘時，順序是由內而外，如圖 6 所示；而修補蟻丘的順序則是由外而內，如圖 7 所示。

黑巨蟻的蟻丘被破壞 1 處時，牠們會從最外圍一層層的向蟻丘的洞口排列進來，約有 1-2 隻在進行修補工作，有 1-2 隻在檢查沒被破壞的蟻丘，隨時進行修補。待其檢查完畢，便加入修補行列，此時蟻丘便開始呈現不規則狀。若將其破壞 2 處時，其蟻蟻就會一次修補一處，輪流修補，一直至其修補完成。破壞越多處，修補後越偏離圖形。有時，修補會臨時停止，因為泥沙顆粒的供應已經停止。（洞穴大小已固定）

黑巨蟻築蟻丘時，若遇障礙物，如雜草，牠們會避開它且繼續造圓，因為其造蟻丘是以總路程而確定在何處堆放土粒，如圖（8-a）所示。但若將障礙物處空缺的部分，依照原有蟻丘的曲線延伸、修補起來的話，則其似圓度將會增加，如圖（8-b）所示。

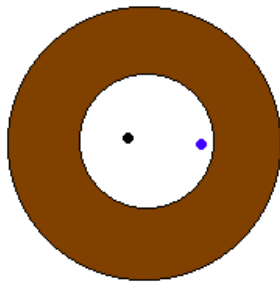


圖 3、黑點代表測量點，而藍點代表實際出入點。

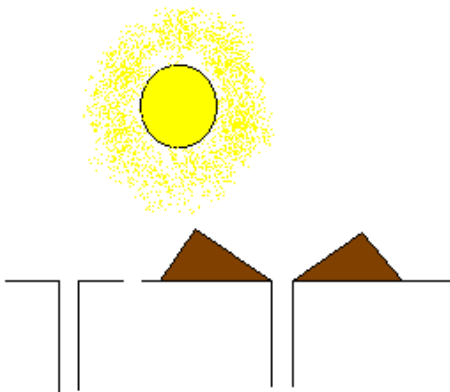


圖 4、有蟻丘和無蟻丘吸收太陽能的面積比較。

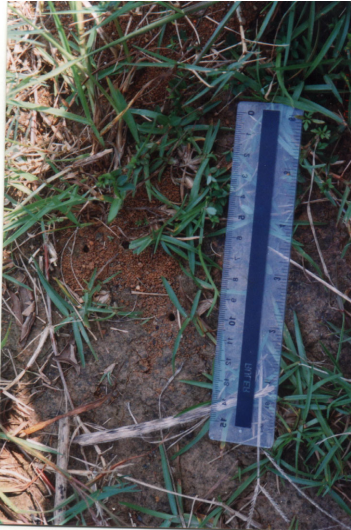


圖 5、由此圖可知蟻巢有 2-3 個出口。

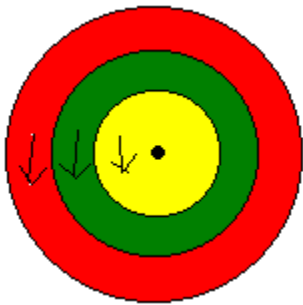
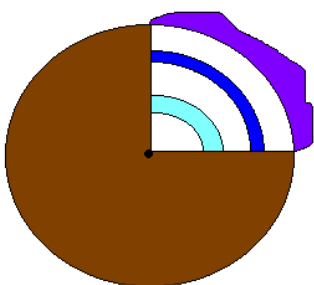
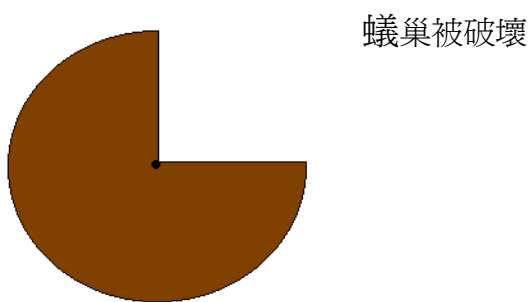


圖 6、黑巨蟻築蟻丘的順序。



甲螞蟻先修築淺藍色部分，乙螞蟻先修築深藍色部分，丙螞蟻先修築紫色部分

甲螞蟻後修築淺紅色部分，乙螞蟻後修築淺綠色部分，丙螞蟻後修築黃色部分。

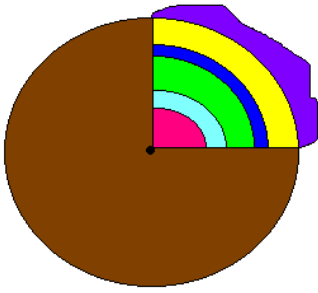


圖 7、 黑巨蟻蟻巢的修補過程。

空白部分為遇障礙物的蟻丘，黑色部分為障礙物



空白部分為遇障礙物的蟻丘，虛線部分為修補的部分

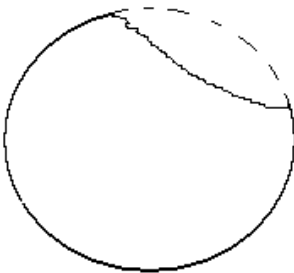


圖 8、 築蟻丘遇障礙物時所修補的情形。

(三)、分析黑巨蟻聚落之組成：

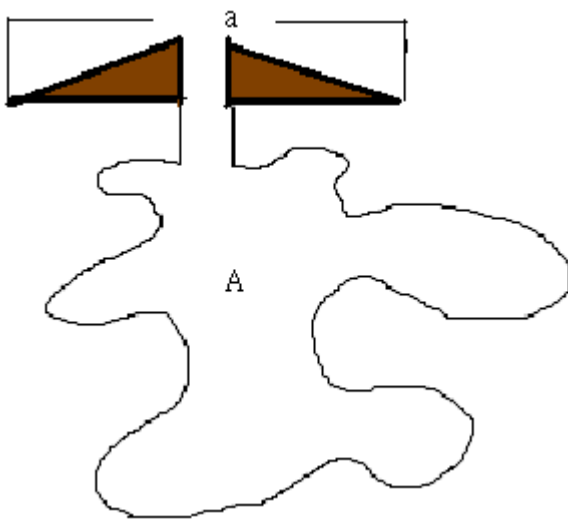
分析黑巨以聚落之組成後(表 4)，發現築蟻丘工作是一臨時任務的編組，而擔任建築工的工蟻，通常是從護土工蟻和覓食工蟻以來擔任，等到蟻丘完成後，建築工蟻又從回覓食和護士的工作。而聚落之組成是由工蟻、蟻后、幼蟲所組成。

(四)、以數學模式推算黑巨蟻聚落大小：

假如分工比例在定時下是固定的無誤，那直接以外出覓食工蟻推算聚落大小就好，為何還要運用蟻丘呢？

因為，聚落的組成不只成蟻，還有幼蟲，唯有蟻丘能代表聚落真正的活動空間，所以以計算蟻丘為優先。如(圖 9)兩蟻丘的工蟻數相等，但以丘 1 的蟻丘大小和聚落大小明顯得比蟻丘 2 還大，所以計算聚落的大小要從計算蟻丘為優先。

蟻丘一



蟻丘二

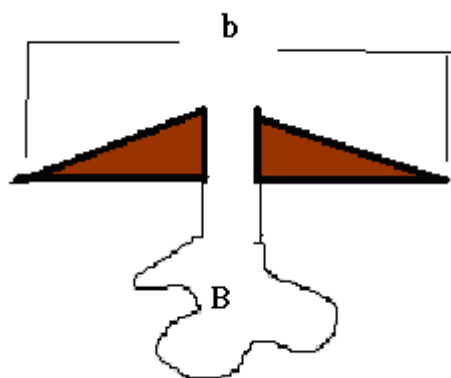


圖 9、設兩蟻丘各有 100 隻工蟻，分工比例=護士：覓食：守衛：建築=75:18:2:5(a= 蟻丘一的蟻丘大小；b= 蟻丘二的蟻丘大小；A = 蟻丘一的蟻巢大小；B = 蟻丘二的蟻巢大小； $a > b$ ； $A > B$)。

(五)、 比較各種估算方法的準確值(表 7)：

表 7、各種估算方法之比較

	<i>P e r e r s e n</i>	<i>S c h n a b e l</i>	<i>J u l l y -</i> <i>S i b e r</i>	<i>J a w J i n n</i>	<i>N e w</i> <i>m e t h o d</i>
族群特性	封閉	封閉	開放	封閉	封閉
標記數	少	適中	多	無	少
估算工蟻總數	誤差大	誤差大		誤差小	誤差小
估算聚落大小	不可	不可		不可	可
估算方法	易	易	難	難	易

(六)、 新估算方法之盲點或限制：

- 1、限制在單后。
- 2、如果沒有在「建築時期」無法進行。
- 3、需花費過多的時間觀察建築時的情形。



圖 1 0、此圖是攝影設備。



圖 1 1、圓形蟻丘照片。

四、結論與應用

黑巨蟻所築的蟻丘，其似圓度約為 91%。其築蟻丘的目的是為了增加防禦功能、增加對外界感覺的敏感度、增加能量的吸收面積、增加巢內調節能力、減少築巢時能量的損失。

黑巨蟻族群估計方法有許多，再選擇採用時，也必須有一些準則，不僅能獲得正確的族群量資訊，也能收事倍功半之效。常應用之準則包括：(1)標的黑巨蟻之生物學知識；(2)蟻丘大小與型態；(3)估計之時間範圍；(4)採樣方法。Petersen method 適用於範圍較小，族群量較小，捕獲方法效率較高的情況；一般而言，若時間與人力因素許可之下許多大

型哺入乳類動物之族群估算，則以 Schnabel method 較佳，但 Petersen method 所標識的黑巨蟻數少的話，在捕獲的數量將更少，族群估計值的信賴區間寬大，就失去了估計的意義。Schnabel method 以連續採樣與標識，增加標識的數量與回收之標識外勤工蟻之比例，可增加族群估計之準確度，但誤差仍然很大。

Jaw Jinn Method 雖然以洞口數、最大出洞頻率和最大活動半徑為估算參數，但作者提出之「蟻聚係數」仍然再計算時造成困擾，且可信度仍然有待驗證。至於我所提的新方法，至少在估算黑巨蟻聚落上，較其他的方法更準確，且更具體可行。

五、參考資料

- 1、阮俊輝。 2001。繪畫圓的昆蟲---黑巨蟻。第四十二屆台北縣科學展生物優等。
- 2、威爾森與霍德柏勒著。 蔡承志譯 2000。 螞蟻 螞蟻。遠流事業出版。
- 3、國立編譯館。 圓的定義。 數學第四測第二章簡單的幾何圖形。
- 4、螞蟻。 大美百科全書第二冊。14 頁 82 年六月第四刷。 光復書局出版。
- 5、鍾兆晉。 蟻學概論。 第二十九屆高雄市科學展覽生物科特優。
- 6、Sauter, H. Formosa-Ausbeute : Formicidae. Entomologische Mitteilungen 1 : 45-81。

評語及建議事項

本作品針對土棲螞蟻的聚落進行觀察，利用幾何圖形來證明黑蟻築丘之能力。作品並配合以簡單數學公式的推演來表示。使作品有另類生動的表現。雖然作品的完整性有待加強但假以時日，本次研究應會更成功。