

臺灣二〇〇三年國際科學展覽會

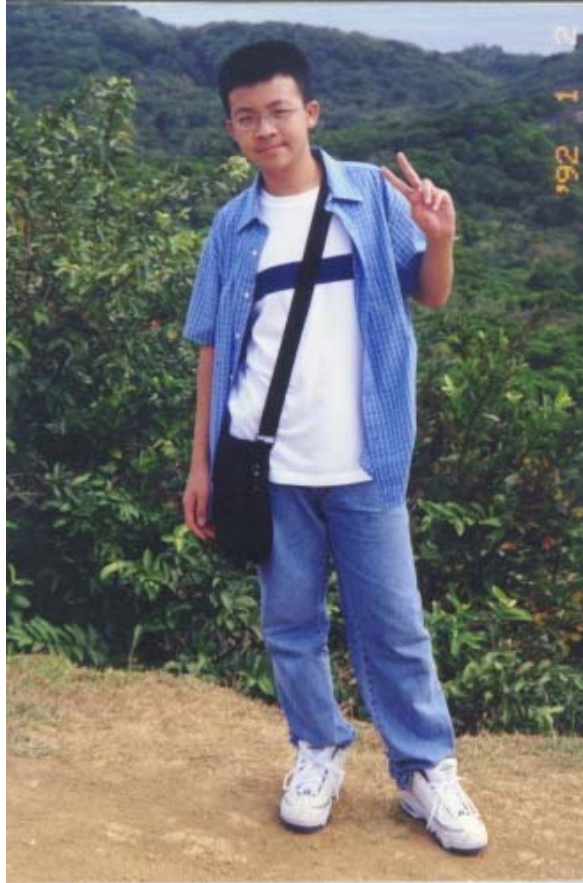
科 別：動物學科

作品名稱：黑棘蟻聚落的生物時鐘

學 校：臺北縣立林口國民中學

作 者：黃敬軒

作者簡介



進國中以來，就對科學方面頗為好奇，直到進了由鍾兆晉老師領軍的自然科學研究社。我從此對科學有了進一步的認識，做了許多研究，在各方面都有進展，在老師的推薦下，讓我有幸能參加這次的國際科學展覽，以研究黑棘蟻來當作這次的題目，雖然過程相當繁雜，資料也相當龐大，處理起來更是困難，但這也不失為學習的好機會。總而言之，能跟許多優秀的學生共同競爭，這次的經驗定讓我獲益良多。

黑棘蟻聚落的生物時鐘

英文摘要(Abstract)

This study is to investigate whether colony of the spiny-weaver ant, *Polyrhachis dives*, have biological clock so as to observe the locomotion activities of the ants in the nest and find out if the Light period will interfere the rhythm. The conclusion is the colony of the ants get the rhythm is 23.8 hours during in L:D=12:12. There are ants not significant difference between large colonies and small colonies. While in Dark (D:D) the ants appears free running with 23.1 hours as the rhythm, so, the colony of the ants has obvious light-rhythm movement, showing that the biological clock will act on group and being controlled by light period.

中文摘要

本研究是在探討黑棘蟻 (*polyrhachis dives*) 聚落是否有生物時鐘(biological clock)，以觀察黑棘蟻在巢裡的活動情形，找出週期並探討光是否會影響週期。結果觀察出黑棘蟻的聚落在有光的時候(L:D=12:12)以 23.8 小時為週期，沒有光的時候(D:D)黑棘蟻仍呈現自由律動(*free running*)，以 23.1 小時為週期，所以黑棘蟻的聚落有明顯的日週律動，顯示生物時鐘能作用在聚落上，且受光週期之調控。

壹、研究動機

有一天早上，我在校園內發現一窩螞蟻在灌木裡，看到螞蟻大批大批的跑到外面覓食。到了放學，太陽已經下山了，我到同一地點卻再也看不到螞蟻，連續幾天都是同樣的情形，似乎某種規律存在於螞蟻群中，於是想起以前曾經看過一本書，有關生物時鐘，但都是介紹個體的，例如蟑螂，果蠅等，後來去查資料發現，個體的生物時鐘已研究很明確，而且清楚，甚至到了基因層次的研究。但是聚落的生物時鐘卻很少人討論，為什麼？難道聚落不能當作生物時鐘的單位嗎？螞蟻是重要的社會性生物，難道聚落沒有對應的週期嗎？本實驗以黑棘蟻當材料，探討其聚落的活動週期，是否有內在因子調控。

貳、研究目的

- 一、探討黑棘蟻(*Polyrhachis dives*)聚落是否也有生物時鐘在運作；
- 二、聚落的大小對生物時鐘的運作有無差別；
- 三、外界訊息是否作用於黑棘蟻的生物時鐘。

參、研究過程及方法

- 一、本實驗以黑棘蟻當實驗物種是因黑棘蟻體型大。聚落小好觀察其行爲。黑棘蟻分布的地方遍及東南亞、大陸、台灣、菲律賓，所以容易找。
- 二、在野外找一個聚落大的黑棘蟻聚落(大約 200 隻)，跟從另一聚落取出十隻黑棘蟻形成一個小聚落。
- 三、把黑棘蟻聚落帶回飼養，放進以透明壓克力製成的蟻巢，分為主巢區(長 21cm 寬 14cm 高 4cm)、活動區(規模同主巢區)、覓食區(長 8cm 寬 11.5cm 高 4.5cm) 裝置如圖一，主巢區鋪設石膏 0.5cm 以便觀察。
- 四、餵食以蜂蜜加水 20%，飼育環境與室溫同，光照條件 L:D=12:12 和 D:D 兩種。
- 五、以紅外線定時錄影裝置，追蹤主巢區 10 天，觀察大小黑棘蟻聚落的分工、進出、活動、交哺作用有無明顯差異，裝置如圖二。
- 六、觀察每小時黑棘蟻大小聚落進出巢的次數，如圖 3-1、3-2、4-1、4-2。
- 七、觀察每小時黑棘蟻小聚落分布在巢裡的範圍，大聚落數量太大不好觀察，如

圖 6-1、6-2。

- 八、計算活動最旺盛（分布最廣）的時間到隔日活動最旺盛（分布最廣）的時間所間格的距離是幾小時，在求其平均值，以得到活動的週期。
- 九、本實驗不以黑棘蟻個體做實驗，是因個體存活時間太短，平均個體存活時間蟻后 5.6 天、雄蟻 2.2 天、工蟻 2.5 天，不易觀察出其日夜週期。
- 十、重複步驟（一）至（八）各五次，再進行統計分析。

肆、結果

- 一、在 L:D=12:12 中，大聚落跟小聚落都有日週律動，大聚落以 23.9 小時為週期 ($p < 0.01$)，小聚落以 23.8 小時為一週期，大小聚落沒有顯著差異，由此得知大小聚落週期一致，而且與一天的時間 24 小時差不多。
- 二、在 D:D 實驗中，大小聚落皆有自由律動 (*free running*)，也就是黑棘蟻真正的生物時鐘，大聚落以 23.2 小時為一週期，小聚落以 23 小時為一週期，大小聚落亦沒有顯著差異 ($p < 0.01$)，如圖 3-2、4-2、6-2。
- 三、跟結果（二）相比，光能影響黑棘蟻大小聚落的生物時鐘，使得週期與 24 小時同步，如圖 3-1、4-1、6-1。
- 四、在黑棘蟻聚落中，平均每 1 ~ 3 小時蟻后或工蟻就發出訊息，周圍螞蟻會聚集起來，尤以晚上頻率高。但是在白天仍有發現數次，這種聚集的行為沒有日週律動，因此沒有明顯的規律，如圖 5-1、5-2。
- 五、根據圖 6-1~圖 6-4 結果顯示，巢內分布的格數也呈日週運動，在白天 10:00 最高分布 9 格，在夜晚 22:00、23:00、1:00、2:00、3:00 最低分布一格。活動週期的高峰與分布格數的高峰吻合。
- 六、有些夜晚黑棘蟻會把卵帶到外面去而不留在主巢區，如表 1 推測黑棘蟻的生物時鐘與溫度、溼度有關，促使黑棘蟻聚落對這些刺激做出反應。

伍、討論

- 一、「生物時鐘」生物時鐘存在每個地球的生物，影響著許多週期，而外在的因素會影響生物時鐘導致週期改變，生物利用生物時鐘的日週期性判斷季節，例如：光照的長短。而為什麼生物時鐘都很少吻合 24 小時呢？因為一個生物族群成長速與 24 小時為一週期，則受到日光中的紫外線傷害大，每一個生物都以 24 小時為一週期，則競爭會越來越強烈，根據最近研究指出生物時鐘範圍都在 22~28 之間，很少有吻合 24 小時的。我所研究的黑棘蟻，也是如此。
- 二、「時鐘基因」目前已知有兩個時鐘基因 PERIOD(簡稱 PER)TIMLESS(TIM)參與，當這兩個基因啟動時會有兩個對應的蛋白質產生，結合形成 heterodimer 進入細胞核，會抑制時鐘基因合成蛋白質的速率，當 heterodimer 的量減到一定程度時，其抑制作用就不能發揮而形成一種負回饋機制，這些循環週期經選汰結果呈現大約是 24 小時的生物時鐘週期，外在的光會分解其中一種時鐘蛋白質使 heterodimer 減少使得抑制蛋白質合成的速率減慢，如此一來就矯正了內在的生物時鐘以使其外界環境的變化規律同步。
- 三、不定時的聚集有時工蟻發動，有時由蟻后引起，有何生物意義？試探討之。本來以為這種聚落行為可能是聚落啟動生物時鐘的 pacemaker，使整個聚落的行為可以同步

(synchronization)，但發現並沒有規章，因此必須另外再找。

- 四、雖然證實了聚落有生物時鐘，可是並無法確定，聚落的生物時鐘是如何調控？這是我們未來可以再進一步深入坦討的問題。
- 五、在錄影中個別螞蟻的活動非常難追蹤，個別螞蟻的表現也難有日週律動，尤其在巢內，但是聚落卻能表現一致的規律性，顯示社會性昆蟲有一機制使聚落的活動功能同步。
- 六、大聚落、小聚落都能表現日週律動並且同步，大聚落個體多、分工細，小聚落個體少，分工粗。我推論是每個黑棘蟻個體中都有獨立的生物時鐘，所以理論上，不同階級的螞蟻有不同的生物時鐘，聚落越大，分工越細，越難同步，然而在我的實驗中卻發現，不管分工粗細，個體多少，聚落皆能表現日週律動
- 七、德國蟑螂的日週律動為 23.63 小時，且為夜行性，表示光週期越長，德國蟑螂日週律動越弱，符合亞秀夫法則(Aschoff's rule)。但是如果按其法則推論黑棘蟻則是夜行性昆蟲，可是我的實驗中，黑棘蟻聚落是日行性的，為何相反呢？可見聚落的生物時鐘與個體的生物時鐘是不一樣的，螞蟻的生物時鐘與蟑螂的生物時鐘在表現的方式上也大不相同。
- 八、黑棘蟻對季節是否同樣由生物時鐘控制？其他聚落生活的生物是否也有生物時鐘運作？黑棘蟻個體的生物時鐘是否一致？是否有其他外再因素影響生物時鐘？黑棘蟻的分工是否跟生物時鐘有關？這些問題都值得我們做更深入的研究！
- 九、一個生物體都不只一個生物時鐘調控各項生理功能，一個細胞更可多達 16 個基因表現日週運動(Roenneberg and Morse, 1993)，因此，我相信聚落的生物時鐘也並非單一因子調控。

陸、結論

黑棘蟻是日行性動物，活動高峰期在 8 點到 12 點之間，黑棘蟻不只個體有生物時鐘，聚落也有對應的生物時鐘，而聚落的大小並無差別，由實驗得知的週期因光照大聚落由 23.2 小時變成 23.8 小時，小聚落的週期因光照由 23 小時變成 23.7 小時，所以光能影響黑棘蟻聚落的週期，使週期趨近 24 小時，證實光在生物時鐘有其重要性。至於聚落生物的生物時鐘是如何調控？使聚落的活動趨於一致？則有待進一步的探討。

柒、參考文獻

- 一、數學傳播 中央研究院數學研究所 P.11~P.12
- 二、Moore D. 2001. Honey bee circadian clocks: behavioral control from individual workers to whole-colony rhythms. *Journal of Insect Physiology* 47 (2001):843-857
- 三、Schate, B., Lachaud, J.-P. and Beugnon G., 1999. Spatio-temporal learning by the ant *Ectatomma ruidum*. *Journal of Experimental Biology* 202: 1897-1907.
- 四、Roenneberg, T. and D. Mores 1993, Two circadian oscillators in one cell. *Nature* 362:362-364.

捌、圖表

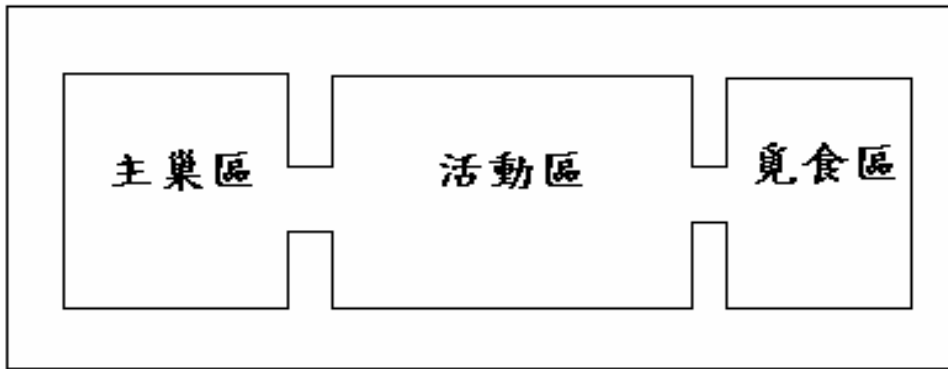


圖 1 飼養箱構造簡圖。

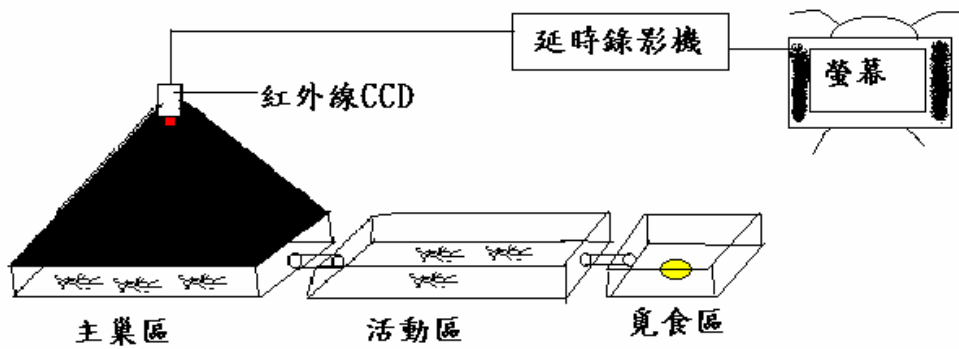


圖 2 定時錄影裝置。

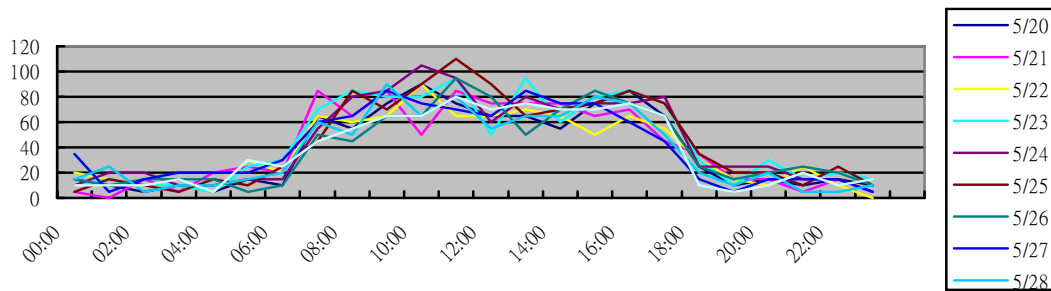


圖 3-1 L:D 下黑棘蟻(P. dives)大型聚落巢口工蟻進出個數(以 5 隻為一單位)。

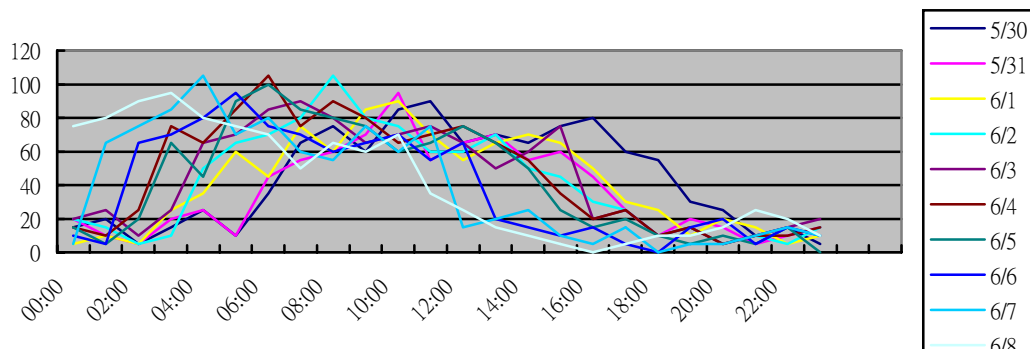


圖 3-2 D:D 下黑棘蟻(P. dives)大型聚落巢口工蟻進出個數(以 5 隻為一單位)。

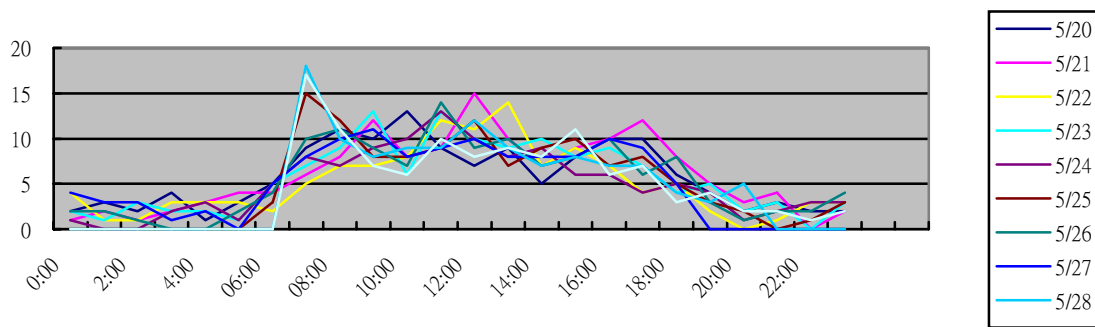


圖 4-1 L:D 下黑棘蟻(*P.dives*)小型聚落巢口工蟻進出個數(以 1 隻為一單位)。

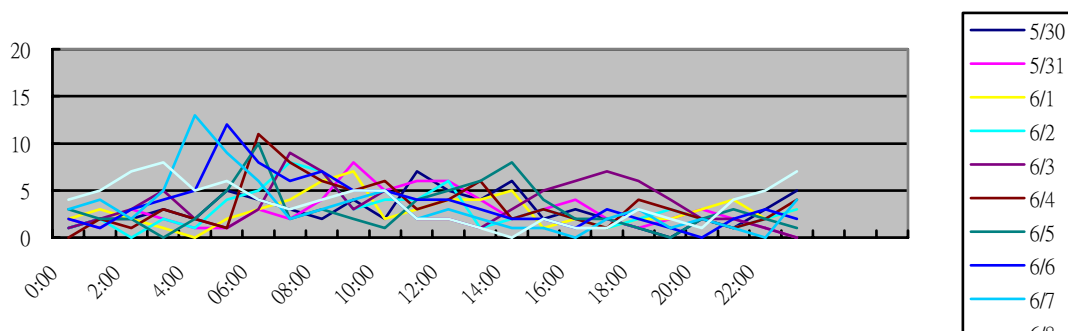


圖 4-2 D:D 下黑棘蟻(*P.dives*)小型聚落巢口工蟻進出個數(以 1 隻為一單位)。

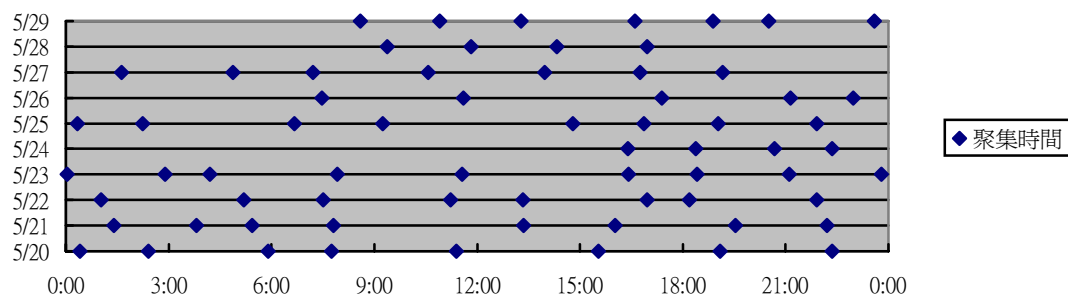


圖 5-1 L:D 下黑棘蟻(*P.dives*)聚落聚集時間圖。

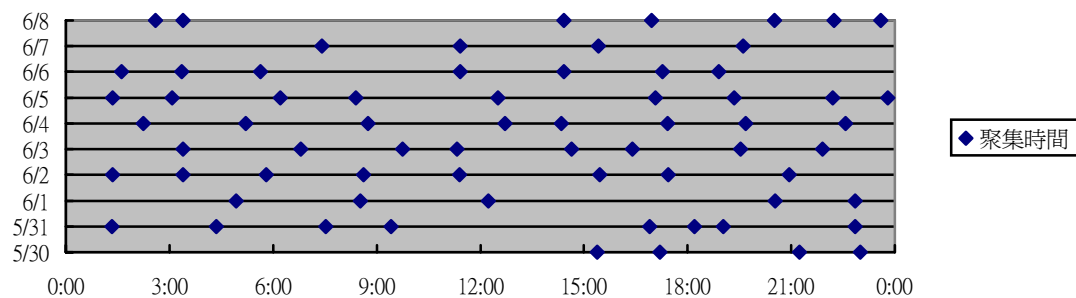


圖 5-2 D:D 下黑棘蟻(*P.dives*)聚落聚集時間圖。

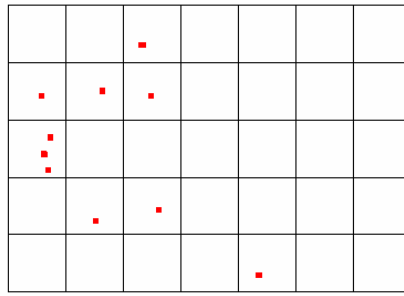
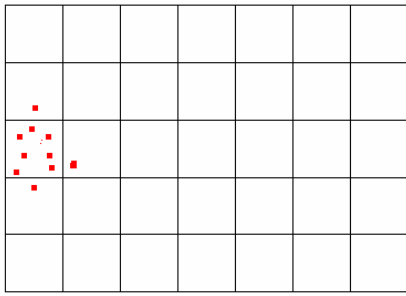


圖 6-1 分布集中(晚上)。

圖 6-2 分布分散(白天)。

(每一個紅點代表一隻黑棘蟻)

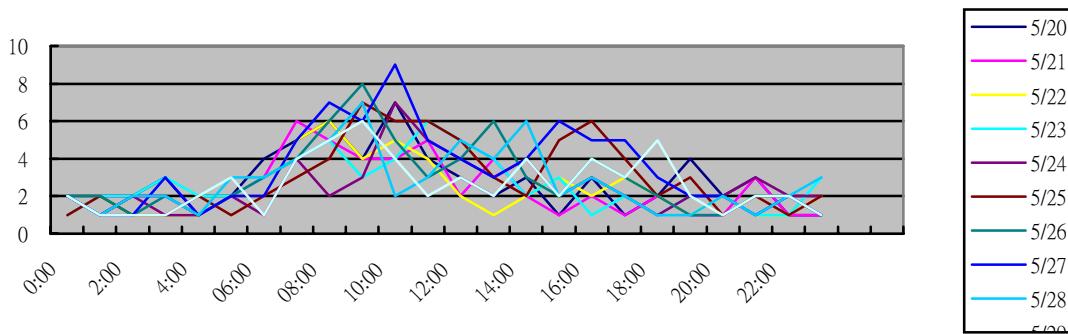


圖 6-3 L:D 下黑棘蟻(P.dives)小聚落在巢裡分布格數。

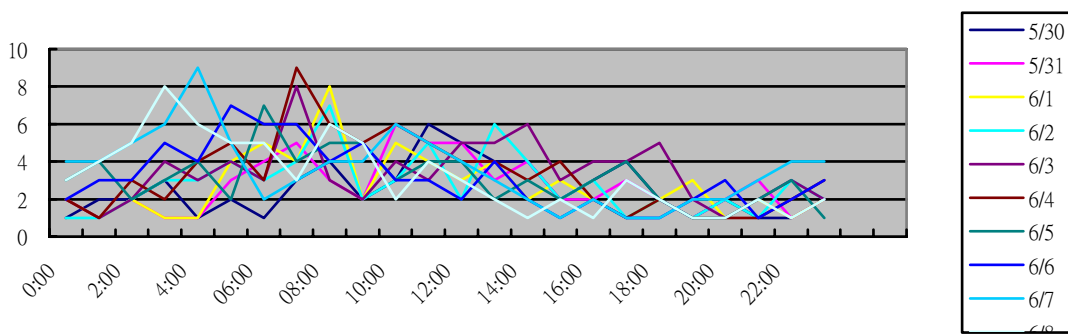


圖 6-4 D:D 下黑棘蟻(P.dives)小聚落在巢裡分布格數。

表 1 黑棘蟻(*P. dives*)把卵搬出紀錄區的特殊行爲。

| | | |
|---------|----------|------|
| 五月 25 日 | 晚上十點整 | 把卵搬出 |
| 五月 26 日 | 早上六點四十分 | 把卵搬回 |
| 五月 27 日 | 晚上七點二十七分 | 把卵搬出 |
| 五月 28 日 | 早上六點五十五分 | 把卵搬回 |
| 五月 28 日 | 晚上八點三十一分 | 把卵搬出 |
| 五月 29 日 | 早上六點五十二分 | 把卵搬回 |