

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

第二名

030308

沙阱內的秘辛

--探討蟻獅幼蟲建造沙阱策略與捕食間關係

學校名稱：南投縣立宏仁國民中學

作者： 國一 羅靖雯 國一 陳詠勻 國一 歐羽捷	指導老師： 李季篤 李宜芳
---	-----------------------------

關鍵詞：蟻獅幼蟲、沙阱、等角螺線

摘要

本研究探討蟻獅幼蟲（統稱蟻獅）的生態行為，包括牠步行方式、建造沙阱過程與捕食間的關係。結果一：步行特色①在沙地上蟻獅每分鐘平均 $0.86\pm 0.08\text{cm}$ 向後走，沙地外每分鐘平均以 $35\pm 2.42\text{cm}$ 快速行走。②都會出現 180° 大迴轉後，改以反方向走。③會走出類正多邊形，最後形成『類等角螺線』的路徑。結果二：①頭部能向後側仰達 90° ，證實拋沙的構造是在頭部。②頭部的面積大小為 $0.01\text{cm}^2\sim 0.04\text{cm}^2$ ，可以承載 $0.0004\text{g}\sim 0.0018\text{g}$ 的沙量。③蟻獅建造沙阱，最大射程為 $0.565\text{cm}\sim 2.88\text{cm}$ ，因深度加深而縮短；最大高度 $0.357\text{cm}\sim 2.43\text{cm}$ ，因深度加深而增加。結果三：直徑與深度與體長大小沒有關係，但是與當時埋伏的半徑、深度有關。結果四：捕食的速度，頭部同方向掉落獵物 $>$ 頭部前方掉落的獵物。

壹、研究動機

從小我就是一位好奇寶寶，對於事物總喜歡問為什麼？因為這個習慣讓我從國小到國中，有機會參加了三年的科展研究與競賽。上了國中之後，好奇的心不曾減減，老師都常開我玩笑，說我是個很多問題的學生。記得開學時拿到自然生物課本，在上第一章前老師就先告訴我們未來課程要進入實驗室做實驗的規定與研究科學的方法，老師琅琅講了觀察、產生問題、文獻探討、假設、實驗、結果分析、結論等七大方法順序，其中令我印象最深刻的是我國小時沒有學到的方法，就是當參考文獻資料的閱讀探討，可以激發問題的產生，而實驗的結果與假設間如果不成立的時候，須要重新提出新假設再進行實驗求證，不斷去追根究柢找出答案的想法。我把這些概念牢牢記住，運用在這篇蟻獅的報告上，更把教科書中 1-1 節生物生存的環境、2-1 節顯微鏡的使用、3-4 節動物攝食的構造、5-3 節動物的行為、下冊 4-5 節完全變態的節肢動物，結合國小數學學過的的正多邊形演算法，利用各單元學到的知識去解釋與進行蟻獅的行為實驗，我們很期待完成的是一份好的研究報告。

貳、研究目的

- 一、研究蟻獅倒退走行為與建造沙阱間的關係
- 二、研究蟻獅建造沙阱的構造與拋沙的行為
- 三、研究蟻獅體型大小與建造沙阱的大小是否無關
- 四、研究沙阱對蟻獅的捕食重要性

參、研究設備及器材

- | | | |
|-----------------------|------------------|-------------------|
| 1.數位相機 (SONY RX100IV) | 2.電子秤 (SNUG-300) | 3.顯微鏡 (Dino-Lite) |
| 4.牙籤、尺 | 5.風速計 (FGM816) | 6.量角器 |
| 7.筆電 | 8.培養皿 | 9.鑷子、湯匙 |
| 10.濾網 | 11.塑膠碗 (盆) | 12.吹塵球 |

肆、研究方法

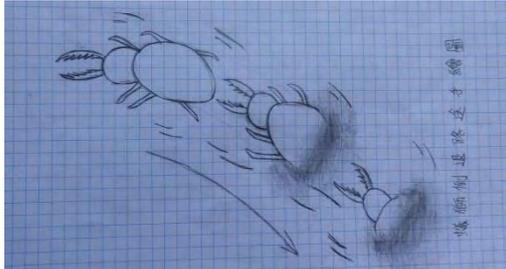
研究一、研究蟻獅倒退走行為與建造沙阱間的關係

實驗目的：找出蟻獅『倒退走』的路徑模式

(一) 實驗前的生態觀察：

我們在 106 年 12 月 2 日～106 年 12 月 31 日四個星期，利用假日前往南港溪、梧棲漁港進行蟻獅的調查與採集，回到學校後利用下課時間在實驗室內觀察。過程中我們觀察到蟻獅有一個特殊的行走方式，只要蟻獅從沙阱內被挖出來，放回沙地上，牠很快就『倒退走』鑽入土中。(如表 1、圖 1)

表 1：蟻獅的採集記錄與「倒退走」觀察手繪流程圖

		
1.觀察一：發現蟻獅沙阱並標上記號	2.觀察二：用湯匙挖掘沙阱，找到蟻獅	3.觀察三：把蟻獅放在沙土上很快鑽入土中

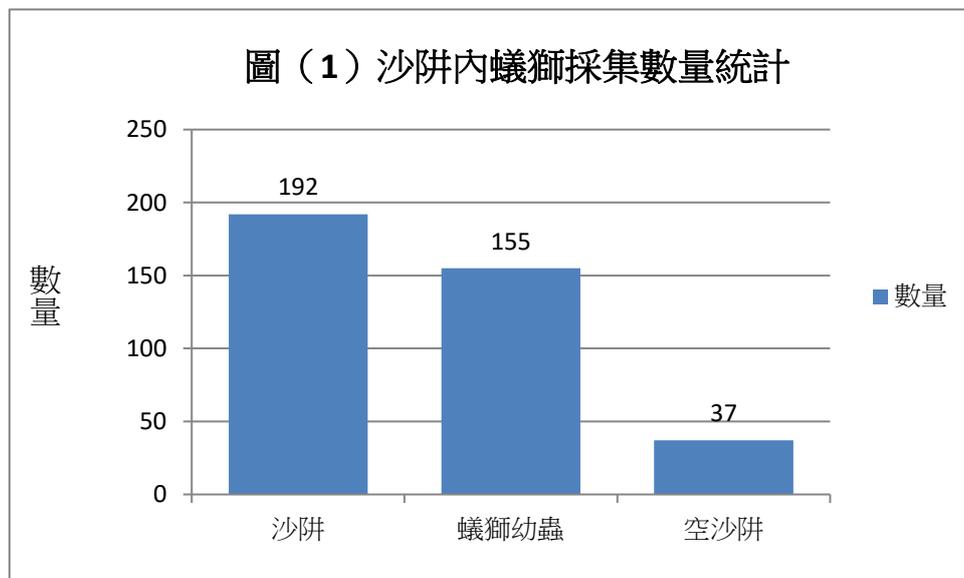


圖 (1) 說明：採集 192 個沙阱，發現 155 個沙阱內有蟻獅，37 個沙阱是空的，也沒有蟻獅。

(二) 觀察後我們產生了一個疑問：

蟻獅生活在沙土中，看不到牠在沙裡爬行的動作與過程，因此要觀察牠行走的方式，只有讓蟻獅離開沙土到地上來。我們的疑問是，蟻獅如果走到沙地外還會是倒退走嗎？

(三) 提出假設：我們提出『不管在沙土內或沙土外蟻獅都會倒退走，而且行走的路徑跟建造沙阱』有關的假設。

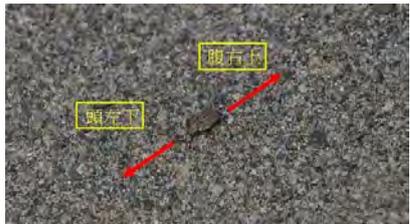
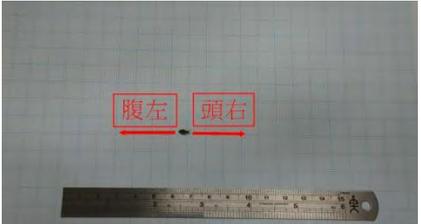
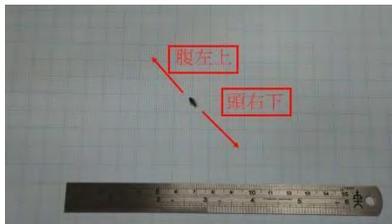
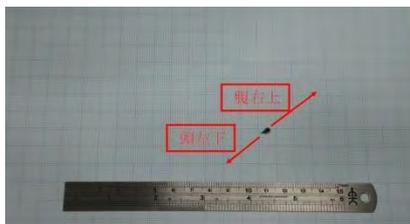
(四) 動手實驗解決疑問：

實驗設計：觀察蟻獅『爬行路徑』的記錄

步驟 1. **實驗組--蟻獅『在沙地』上的爬行路徑**：把三隻蟻獅（0.5~0.7 公分）隨機放在沙地上，觀察爬行方式，及測量每分鐘爬行距離，每一隻重複爬行三次實驗。

步驟 2. **對照組--蟻獅『在沙地』外爬行路徑**：把另外三隻蟻獅（0.5~0.7 公分）隨機放在方格紙、用直尺測量相機拍攝，結果使用 PhotoCap 將所有照片剪下並拼貼出行走路徑，再測量每分鐘爬行距離，每一隻重複爬行三次實驗，實驗操作流程照片。（如表 2）

表 2：蟻獅『沙地上與離開沙地爬行觀察』的動手實驗操作流程圖照

		
<p>1. 準備 2 組體型接近的蟻獅 (左邊實驗組、右邊對照組)</p>	<p>2. 將蟻獅隨機放沙土上 (頭上、腹下)</p>	<p>3. 將蟻獅隨機放沙土上 (頭左下、腹右上)</p>
		
<p>4. 樣本一、把蟻獅隨意放置方格紙上，頭部在右方、腹部在左方（重複走 3 次）</p>	<p>5. 樣本二、把蟻獅隨意放置方格紙上，頭部在右下方、腹部在左上方（重複走 3 次）</p>	<p>6. 樣本三、把蟻獅隨意放置方格紙上，頭部在左下方、腹部在右上方（重複走 3 次）</p>

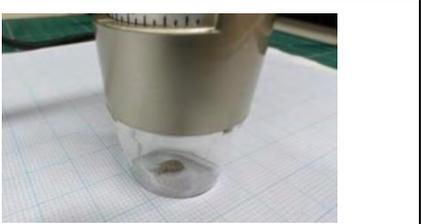
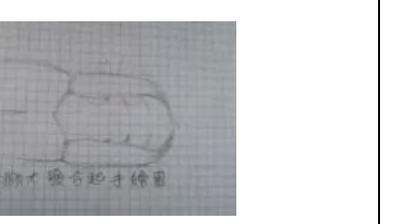
研究二、研究蟻獅建造沙阱的構造與拋沙的行為

實驗目的：找出『挖掘沙阱的關鍵構造』與『拋沙行為』間的關係

(一) 實驗前的生態觀察與閱讀前人研究報告後想法：

從研究一的實驗結果知道蟻獅行走路徑的模式，過程中也注意到了蟻獅利用身體向後仰，對拋出沙土的行為印象非常深刻。根據前人報告指出，蟻獅為了維護沙阱時，常有持續『噴沙』的行為（文獻四）或以大顎當鏟子向後拋沙挖掘出陷阱（文獻十），對於蟻獅大顎有這樣的特殊功能，引起了我們的好奇，於是我們把蟻獅放到顯微鏡下觀察，並把重要的大顎特徵畫下。（如表 3）

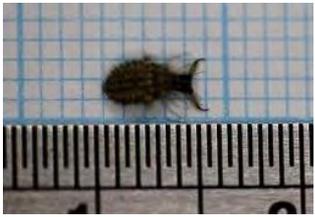
表 3：顯微鏡觀察「蟻獅大顎」與手繪動手實驗操作流程圖照

		
<p>1. 使用顯微鏡觀察蟻獅大顎</p>	<p>2. 畫出大顎張開姿勢</p>	<p>3. 畫出大顎合起來姿勢</p>

(二) 觀察後我們產生的疑問：

經過觀察與畫下大顎、拍下照片後分析，**我們產生了一個疑問？**發現蟻獅的大顎雖然會張開與閉合，但是當大顎閉合起來時並不是完全密合的，中間還留下一個很大的空洞，就是因為這個大的空洞，讓我們懷疑牠是如何把沙土鏟起來與拋出去？所以對於『**大顎能當鏟子拋沙的行為，我們產生了懷疑的想法**』。(如表 4)

表 4：觀察「蟻獅大顎張開與閉合」的動手實驗操作流程圖照

	→		→	
1.蟻獅把大顎張開		2.合起來的大顎約有 0.15cm 長，大顎間也約有 0.15cm 大空洞		3.向前走一步，大顎很快又張開
	→			
4.再度合起來大顎間還是有大空洞		5.即使要鑽入沙土中，大顎合起來，中間仍然有大空洞		

(三) 提出假設：我們提出『**大顎不能當鏟子拋沙，拋沙的部位應該是在頭部；而且能夠拋出一個圓錐狀的沙阱**』假設。

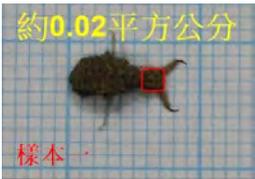
(四) 動手實驗解決疑問：

步驟 1. 『**頭部單位面積**』計算：我們把 24 隻二齡與三齡的蟻獅放在方格紙上，沿著頭部的軌跡畫下頭部的大小，計算頭部的面積。

步驟 2. 『**頭部承載沙重量**』計算：根據方格紙上畫出的面積，去堆放沙量，放在小數點四位的電子秤內秤重，記錄每隻不同體型蟻獅頭部能承載的重量，操作過程。(如表 5)

步驟 3. 『**頭部的拋沙運動--物理軌跡**』路徑：觀察如何用頭部拋甩沙子，下載 Tracker 軟體，再將錄下蟻獅建造沙阱的完整過程輸入電腦，以 Tracker 軟體分析拋物線運動的模式。

表 5：計算「蟻獅頭部面積與承載重量」的動手實驗操作流程圖照

	→		→		→	
1.畫出蟻獅頭部大小，並算出頭部面積		2.用夾子夾適量沙量在方格紙上		3.依照頭的大小用紙把沙推進格子內		4.秤出的重量是頭承載的沙重量

研究三、研究蟻獅體型大小與建造沙阱的大小真的無關嗎？

實驗目的：找出沙阱大小與體型『無關或有關』的關鍵證據

(一) 實驗前生態觀察與閱讀前人研究報告後的想法：

從研究一野外生態調查記錄與研究二拋沙運動等，初步得到的結果，沙阱的模樣確實有大的、有小的。因此實驗前我們再去閱讀了 3 篇相關的科展報告，第一篇『一沙一世界-蟻獅洞穴的探討(文獻七)』結論指出，體長 0.5cm~1.4cm 的蟻獅所做的洞穴大小與體長沒有絕對的關係。第二篇『蟻獅築巢行為初探(文獻八)』結論指出，蟻獅的巢穴直徑和體長有正相關。第三篇『沙漏中的小精靈(文獻九)』結論指出，體型大的蟻獅築的陷阱大、體型小築的陷阱較小，獲得的想法是前人與我們都有自己獨特的結果(如表 6)

表 6：觀察『蟻獅沙阱，標示出沙阱大小』的動手實驗操作流程圖照



(二) 觀察後我們產生的疑問：

閱讀了 3 篇關於蟻獅體型建造沙阱大小的研究，『結果都不同』？讓我們心中產生疑惑、為了釐清報告間的差異，因此我們想用更清楚的實驗步驟流程與圖照，去求證精確的實驗結果，解答疑問。

(三) 提出假設：我們提出『體型大蟻獅會作出大沙阱、體型小蟻獅會作出小沙阱』的假設。

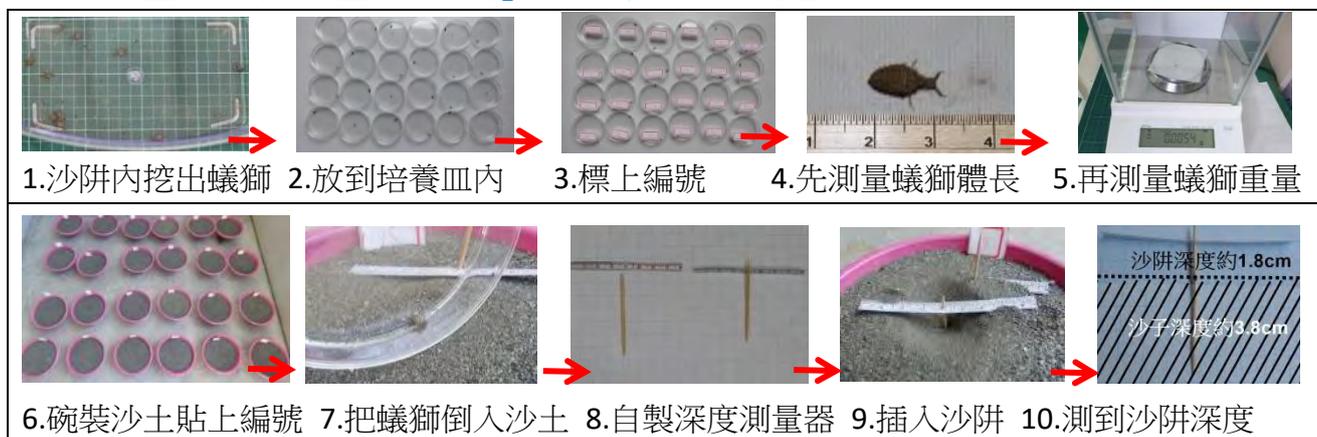
(四) 動手實驗：

步驟 1. 蟻獅『體長』的測量：依照採集到的 24 隻蟻獅放在方格紙上，用 15 公分的鐵尺測量體長，分成四組平均 5.2mm、7.0mm、8.25 mm、9.5mm。

步驟 2. 蟻獅『體重』的測量：將 24 隻蟻獅放在具有小數點四位的電子磅秤上秤蟻獅重量。

步驟 3. 沙阱的『深度』與『直徑』的測量：把 24 隻蟻獅放入寬 15.5cm、深 6cm 裝了 9 分滿沙子的塑膠碗內，用牙籤插著標有 8cm 刻度的 T 字形沙阱深度測量器，測量 7 天蟻獅建造沙阱的深度與直徑，實驗流程記錄照片。(如表 7)

表 7：測量『蟻獅沙阱直徑與深度』的動手實驗操作流程圖照



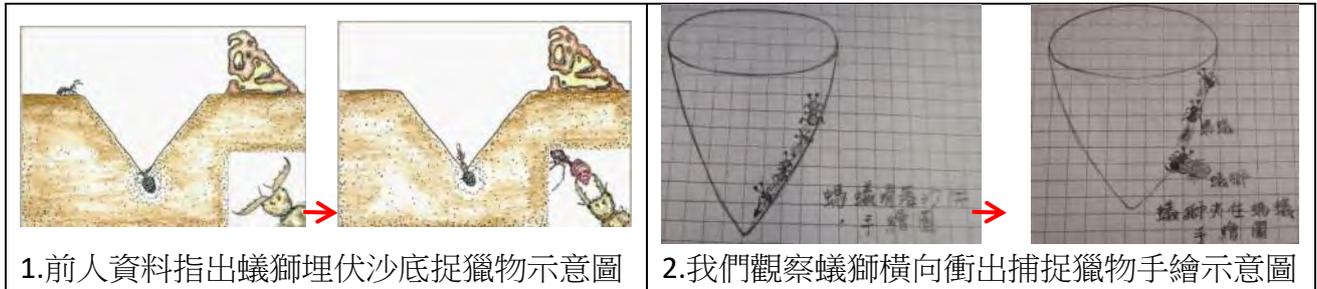
研究四、研究沙阱對蟻獅捕食的重要性

實驗目的：找出蟻獅埋伏在沙阱位置與捕捉獵物的實驗

(一) 實驗前閱讀前人研究報告與我們的生態觀察的想法：

在實驗前，我們閱讀了一篇『吃螞蟻的獅子』文章，內容中有模擬蟻獅埋伏在沙阱最底端位置，『由下往上』捕捉獵物的示意圖（文獻五），這結果與我們初步觀察，蟻獅是從沙阱『接近底部橫向』衝出捕捉獵物的結果不一樣。（如表 8）

表 8：前人敘述「獵物掉落沙阱過程」示意圖與我們觀察的手繪圖差異



(二) 觀察後我們產生的疑問：由於前人研究的『蟻獅埋伏的位置』與我們觀察的結果不同，令我們產生疑問，因此要做實驗進行求證。

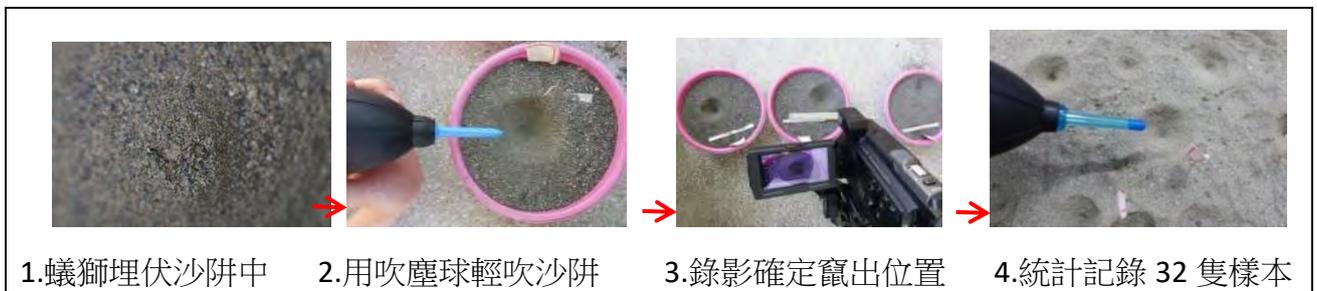
(三) 提出假設：提出蟻獅以『橫向姿態埋伏在接近沙阱底端，等待獵物上鉤』的假設。

(四) 動手實驗：

實驗 4-1：找出蟻獅埋伏的『正確位置』

步驟：以 32 隻蟻獅沙阱為樣本，用吹塵球輕輕按壓，對沙阱吹出氣體使沙土輕微崩落，讓蟻獅誤以為獵物上鉤，衝出捕捉，以錄影機錄下竄出位置，記錄埋伏正確位置。（如表 9）

表 9：尋找『蟻獅埋伏位置』的動手實驗操作流程圖照



實驗 4-2：確定蟻獅埋伏位置後，再進行『如何捕捉獵物』的實驗

步驟：以 17 隻蟻獅樣本為例，把螞蟻放到沙阱附近，讓牠自然掉落，要觀察與記錄的項目有 ①獵物滑落時間②測量捕捉獵物時間。2 天後重複再做一次，計算平均值。（如表 10）

表 10：記錄『蟻獅捕食』的動手實驗操作流程圖照



伍、研究結果

研究一、蟻獅的倒退行走結果

1. 蟻獅『在沙地』上的爬行：以每分鐘爬0.5cm~1.5cm，身體趴在沙地，腹部接觸處沙地上後身體傾斜，接著向後爬行平均 $0.86\pm 0.08\text{cm}$ 就鑽入沙土裡面了。(如圖2、3)
2. 蟻獅『在沙地』外的爬行：以每分鐘快速向後、再向前爬行 18cm~53cm。平均爬行 $35\pm 2.42\text{cm}$ 。(如圖 4 表 11)

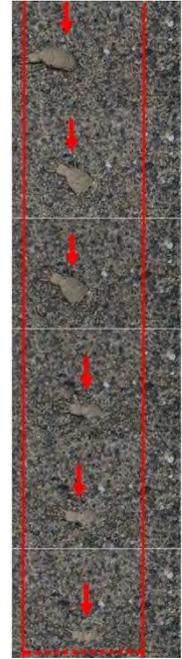
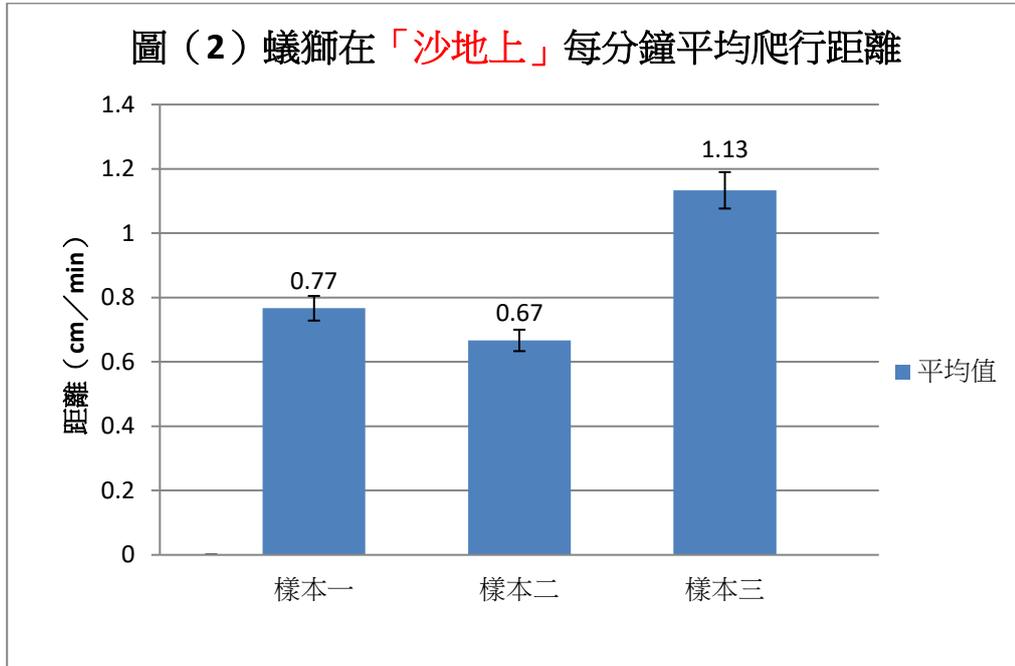
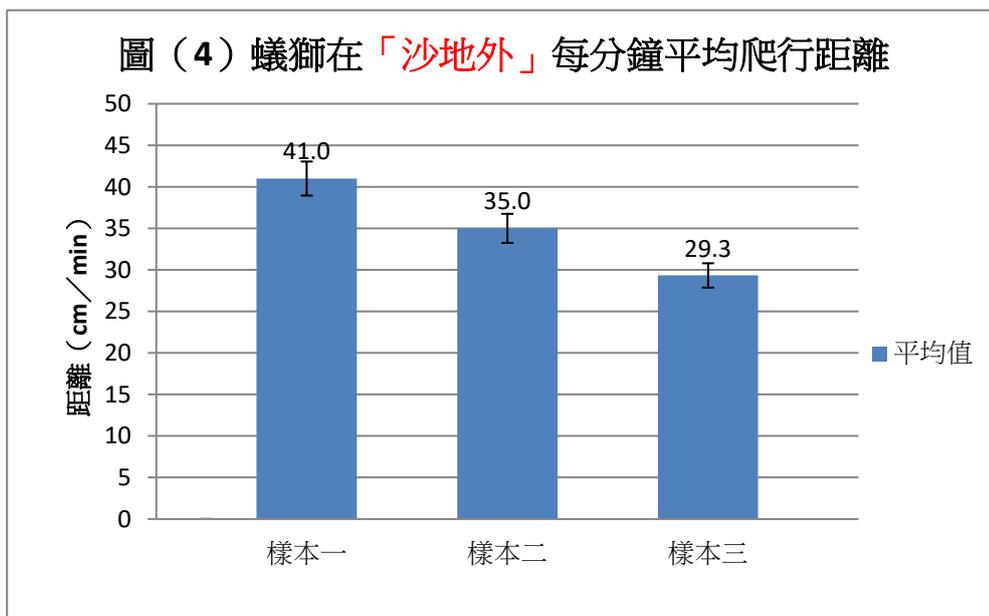


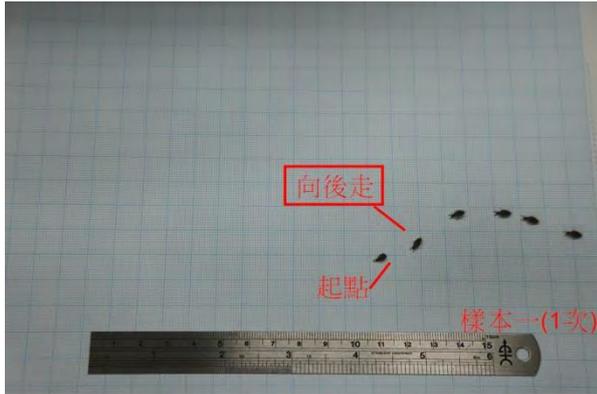
圖 3、蟻獅鑽入沙土過程與距離

說明：樣本一蟻獅每分鐘爬行 $0.77\pm 0.21\text{cm}$ ，樣本二蟻獅 $0.67\pm 0.13\text{cm}$ ，樣本三蟻獅 $1.13\pm 0.33\text{cm}$ ，總平均 $0.86\pm 0.08\text{cm}$ 。(N=3)

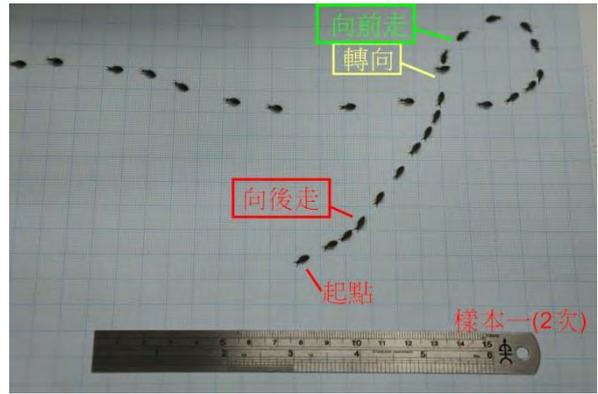


說明：樣本一蟻獅每分鐘爬行 $41\pm 7.79\text{cm}$ ，樣本二蟻獅 $35\pm 13.14\text{cm}$ ，樣本三蟻獅 $29.3\pm 12.66\text{cm}$ ，總平均 $35\pm 2.42\text{cm}$ 。(N=3)

表 11：蟻獅在『沙土外的地上爬行路徑』結果



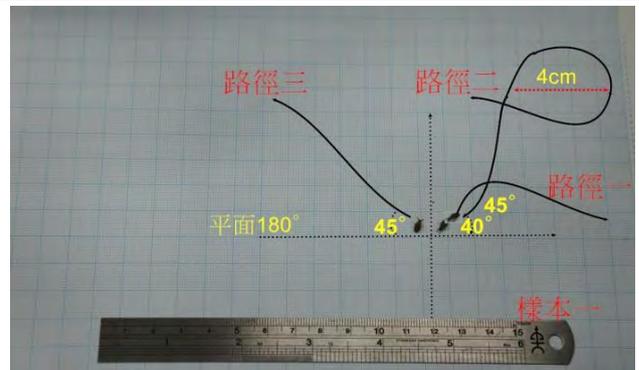
1-1.樣本一、第一次實驗路徑爬行結果：
先倒退走並走出一條弧形路徑。



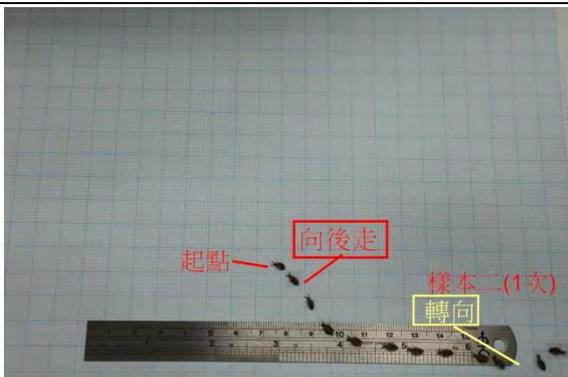
1-2.樣本一、第二次實驗路徑爬行結果：
①先倒退走並走出一條弧形路徑。
②出現 180°大轉彎。
③轉彎後『改以向前走』，走出一個類圓形。



1-3.樣本一、第三次實驗路徑爬行結果：
先倒退走並走出一條弧形路徑。



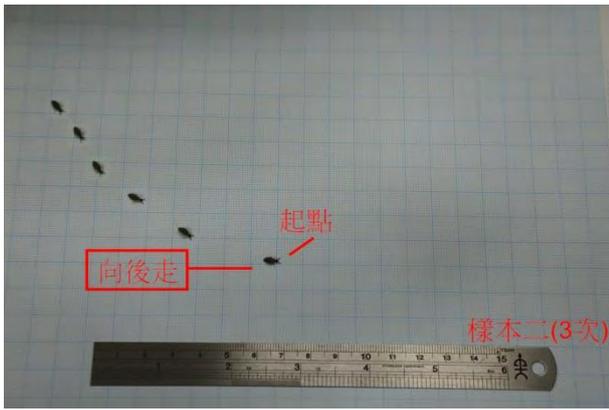
1-4. 樣本一、三次實驗結果,路徑整合示意圖：
①經量角器測量以 40°~45°間倒退走。
②會倒退走，並 180°大轉彎。
③轉彎後『改以向前走』方式移動。
④會走出弧度路徑，或是 4 cm 的類圓形。



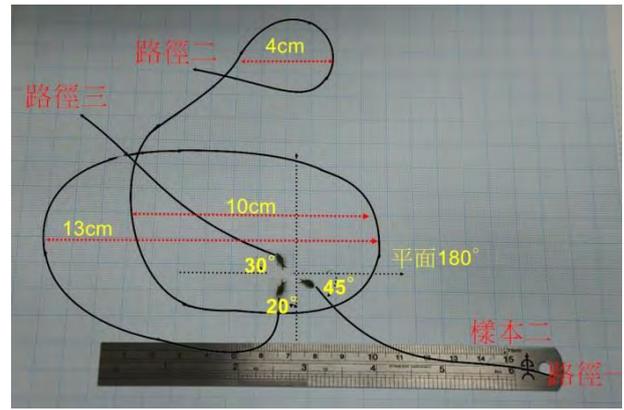
2-1.樣本二、第一次實驗路徑爬行結果：
①先倒退走並走出一條弧形路徑。
②倒退進行 180°大轉彎。
③轉彎後『改以向前走』方式移動。



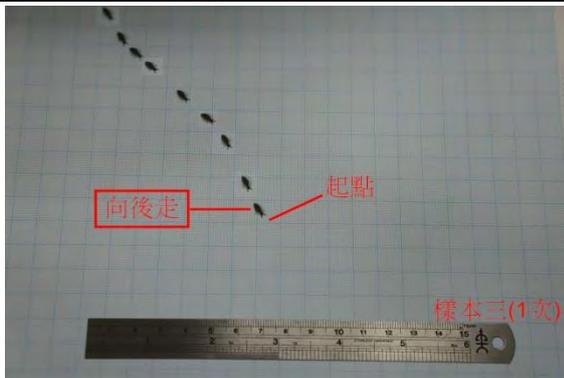
2-2.樣本二、第二次實驗路徑爬行結果：
①先倒退走並走出一條弧形路徑。
②出現 180°大轉彎。
③轉彎後『改以向前走』方式移動。
④以向前繞走方式，繞出三個類圓形。



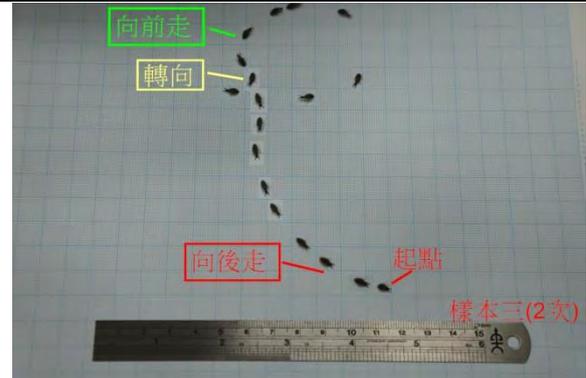
2-3. 樣本二、第三次實驗路徑爬行結果：
先倒退走並走出一條弧形路徑。



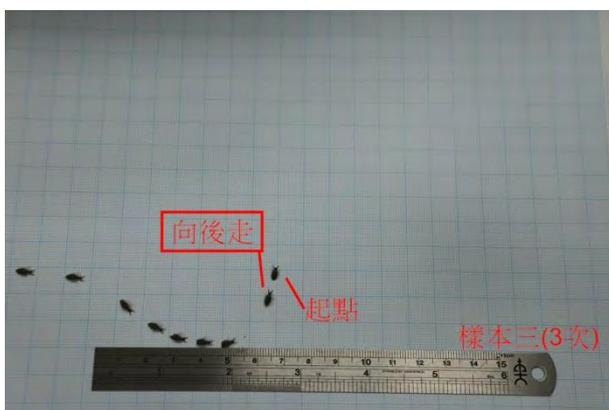
2-4. 樣本二、三次實驗結果，路徑整合示意圖：
①經量角器測量以 $20^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 間倒退走。
②以倒退走方式進行 180° 大轉彎。
③轉彎後『改以向前走』方式移動。
④走出弧度路徑，或是繞出約 13cm、10cm、4cm 的類圓形。



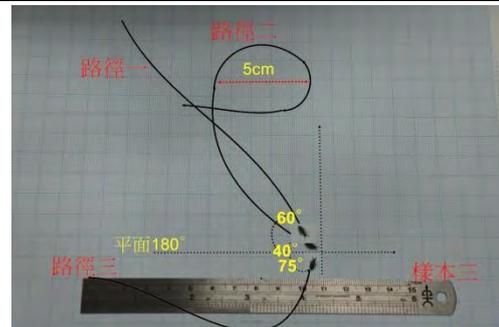
3-1. 樣本三、第一次實驗路徑爬行結果：
先倒退走並走出一條微弧形路徑。



3-2. 樣本三、第二次實驗路徑爬行結果：
①先倒退走並走出一條弧形路徑。
②再 180° 大轉彎。
③轉彎後『改以向前走』，走出一個類圓形。



3-3. 樣本三、第三次實驗路徑爬行結果：
先倒退走並走出一條弧形路徑。



3-4. 樣本三、三次實驗結果，路徑整合示意圖：
①經量角器測量以 $40^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 間倒退走。
②以倒退走方式進行 180° 大轉彎。
③轉彎後『改以向前走』方式移動。
④會走出弧度路徑，或是 5cm 的類圓形。

實驗結果：1.在沙土上蟻獅只會倒退走。2.在沙地外出現三種行走方式：①倒退走出弧形狀路徑②180°大轉彎③改以反方向向前走出 1~3 個類圓形。所以符合當初假設，蟻獅倒退走行為與所建造的圓錐狀沙阱是有相關聯的。

結果與疑問？

前人研究：在飢餓與密度對土阱蟻蛉幼蟲陷阱構築行為之影響（文獻十），報告中引用外國學者在 1980 年觀察 *Moter obscurus* 時，發現第二齡期及第三齡期蟻獅是以『倒退畫圓』方式，逐漸『向內向下』旋轉並拋出沙體建造陷阱。

我們的實驗結果：蟻獅倒退走出弧形與類圓形的行為，與前人的研究結果不大一樣，因此決定重新提出新的假設，解開蟻獅行走路徑到底是偶發的行為？還是本能的行走？

再次提出新假設：蟻獅會先走出『一個類圓形再 180°轉彎、向下挖，建造圓錐狀沙阱』。

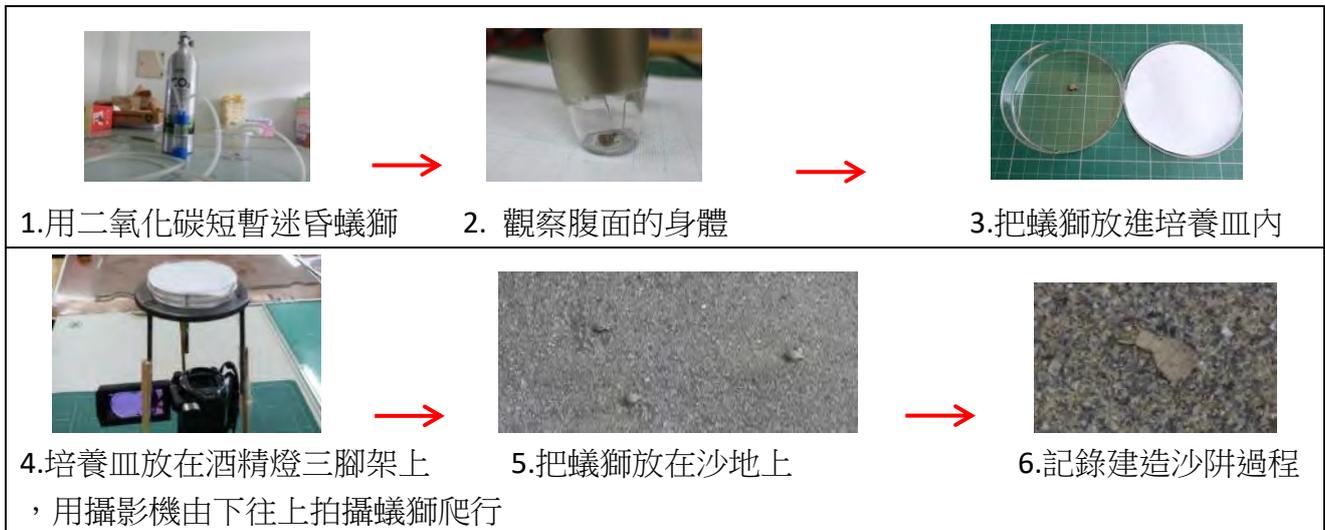
再次進行實驗（一）：認識昆蟲身體構造—蟻獅足部與運動模式

步驟 1.觀察足部特徵：將蟻獅從沙土中挖出放到透明飼養盒中，灌入二氧化碳 30 秒，當蟻獅不再移動，再放在方格紙上，使用數位顯微鏡觀察，並把足部特徵放大畫出重要部位。

步驟 2.記錄足部行走模式：把酒精燈三腳架用竹筷子架高，蟻獅放在培養皿內，從下往上拍攝，紀錄蟻獅足部行走的方式。

步驟 3.記錄蟻獅建造沙阱過程：用 8 隻一公分大蟻獅放在沙地上，全程拍攝紀錄蟻獅如何建造沙阱的過程。（如表 12）

表 12：「足部觀察與爬行路徑」的動手實驗操作流程圖照

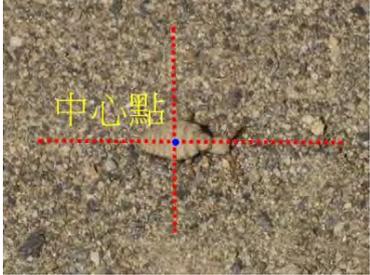
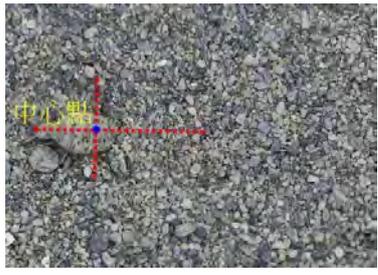
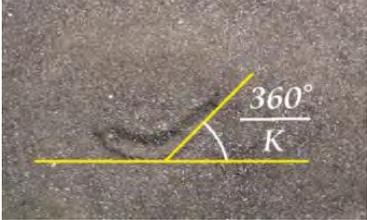
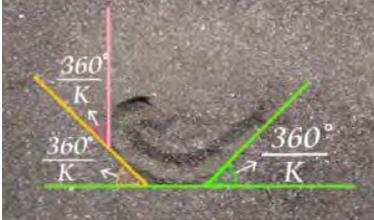
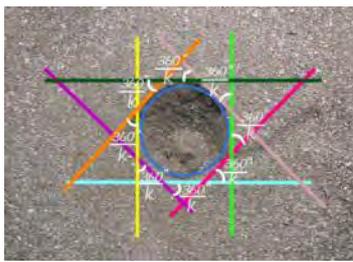


再次進行實驗（二）：探討蟻獅行走時，轉向角出現的『正多邊形』到『等角螺線』的路徑

步驟 1.蟻獅鑽入沙地角度測量：把 10 隻蟻獅平放沙地上，以腹部的中央處當中心點，測量牠鑽入沙地時的角度。（如表 13）

步驟 2.行走路徑轉向角的演算：我們發現蟻獅只要走到某一個點時，蟻獅就會短暫停下並自行轉彎改變路徑方向。所以想像蟻獅在一個平面座標上行走，當蟻獅改變路徑，轉向角為 $360^\circ/k$ （正 K 邊形的一個外角）方向，走了 K 次後最終會停在某一個點上，稱為收斂點，最後形成一個漏斗狀沙阱。例如出現 72° （ $360^\circ/5$ ，為一個正五邊形的外角）、 60° （ $360^\circ/6$ ，為一個正六邊形的外角），最後像繞著圈圈在行走。（如表 14）

表 13：蟻獅行走「鑽入沙土與轉向角」路徑的動手實驗操作流程圖照

 <p>1. 樣本一、找到腹部中心點，觀察鑽土的角度。</p>	 <p>2. 樣本二、找到腹部中心點，觀察鑽土的角度。</p>	 <p>3. 樣本三、找到腹部中心點，觀察鑽土的角度。</p>
 <p>4. 蟻獅轉向角為 $\frac{360^\circ}{K}$</p>	 <p>5. 蟻獅轉向形成弧線路徑</p>	 <p>6. 畫出蟻獅走的路徑，像『類正多邊形』形狀</p>

步驟 3. 蟻獅鑽入沙地後，在沙地內走出等角螺線模樣的路徑：

$$\text{當蟻獅的轉向角為 } \frac{360^\circ}{K} \text{ (} K \in \mathbb{N}, K \geq 3 \text{) 時收斂點為 } \begin{cases} x = \sum_{n=1}^K R_n \cos \left[\frac{360^\circ}{K} (n-1) \right] \\ y = \sum_{n=1}^K R_n \sin \left[\frac{360^\circ}{K} (n-1) \right] \end{cases}$$

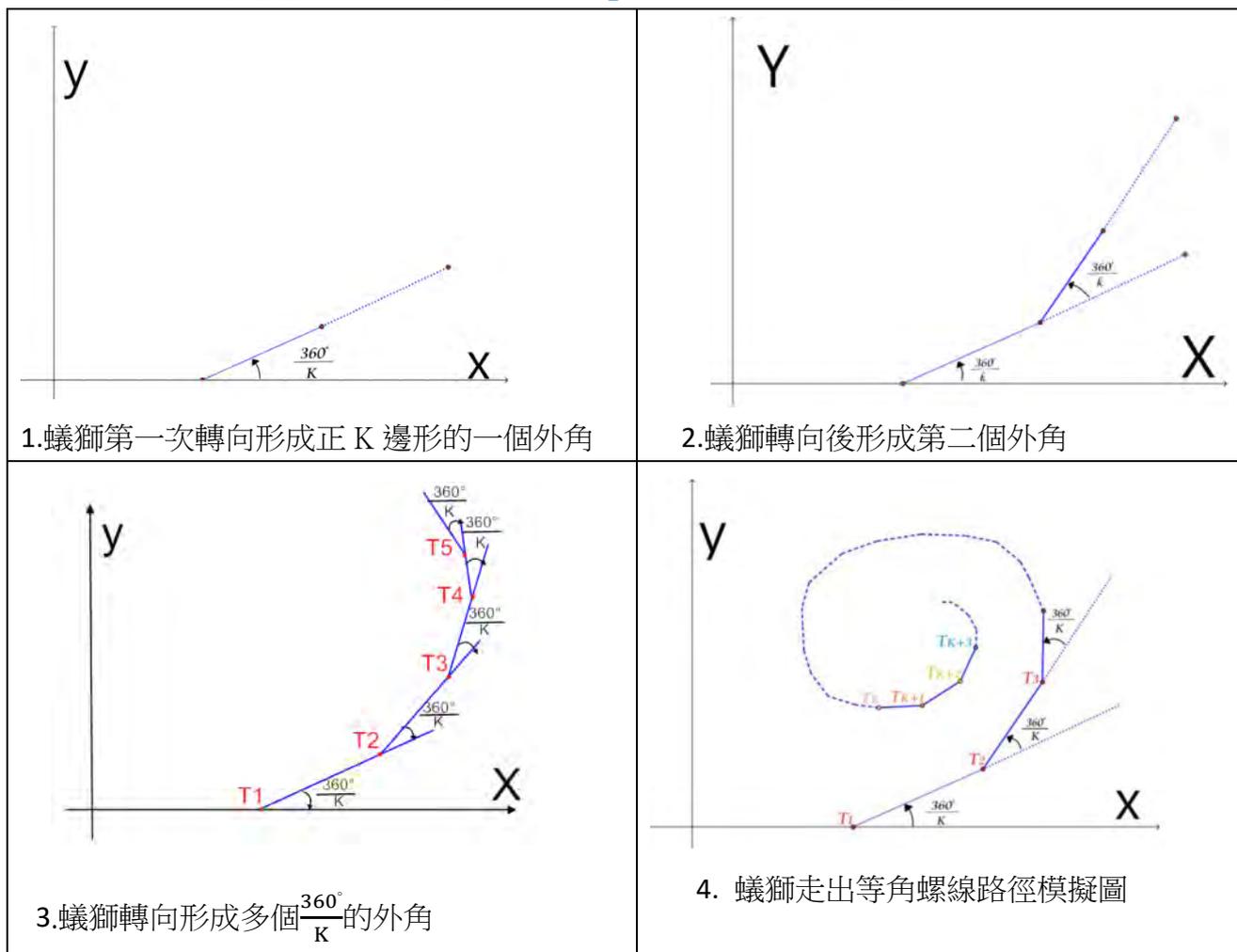
收斂點的 x 座標為

$$\begin{aligned} x &= R_1 + R_2 \cos \frac{360^\circ}{K} + R_3 \cos \left(\frac{360^\circ}{K} \times 2 \right) + \cdots + R_K \cos \left[\frac{360^\circ}{K} \times (K-1) \right] \\ &= \sum_{n=1}^K R_n \cos \left[\frac{360^\circ}{K} \times (n-1) \right] \end{aligned}$$

收斂點的 y 座標為

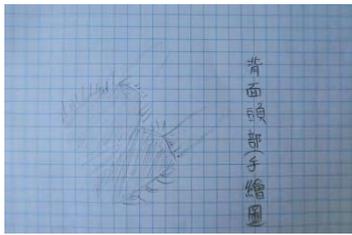
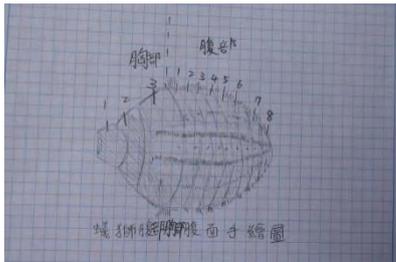
$$\begin{aligned} y &= R_2 \sin \frac{360^\circ}{K} + R_3 \sin \left(\frac{360^\circ}{K} \times 2 \right) + \cdots + R_K \sin \left[\frac{360^\circ}{K} \times (K-1) \right] \\ &= \sum_{n=1}^K R_n \sin \left[\frac{360^\circ}{K} \times (n-1) \right] \end{aligned}$$

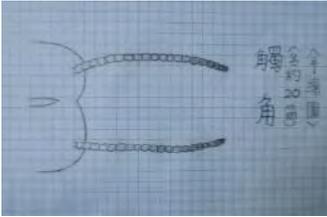
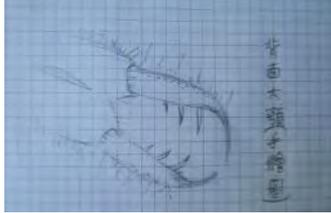
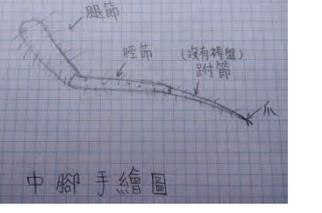
表 14：蟻獅行走過程路徑，出現「等角螺線」的動手實驗操作流程模擬圖照



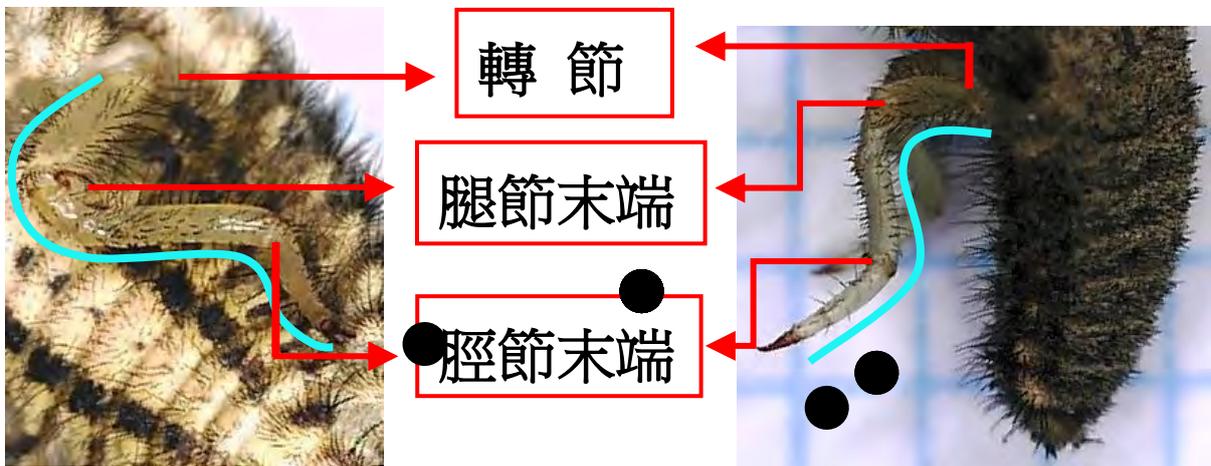
再次進行實驗（一）：認識昆蟲身體構造結果

表 15：蟻獅各部位重要特徵手繪結果

部位	型態與功能描述	手繪放大圖 1	手繪放大圖 2
1.頭部	頭部呈橄欖狀，上有許多黑色細毛，還有一對觸角，兩側有一對大顎，可用來夾住獵物。		
2.胸、腹部	胸部有三節，每一對胸節各有一對腳。腹部具有細毛，有 8 ~10 節。		

<p>3.觸角</p>	<p>於蟻獅頭部前上方有一對觸角，由基部到末端是由淺至深的褐色。鞭節約有 20 節。</p>		
<p>4.大顎</p>	<p>大顎位於蟻獅頭部前方兩側，內側有 3 個齒凸，可用來夾住獵物。</p>		
<p>5.腳（足）部</p>	<p>腳分為前腳、中腳、後腳，主要構造有腿節、脛節、跗節(沒有褥盤)和爪。其中後腳呈 S 型最為特殊。</p>		

6.蟻獅腹面與側面腳的特徵觀察，以及腳的行走結果路徑



S 型的後腳特徵

側面觀察，脛節~跗節呈鐮刀狀特徵



往左下方走



走回中央



往右下方走



再次回到中央

- 1.前腳與中腳平趴在地面
- 2.後腳滑動身體偏右
- 3.快速滑動往右下方
- 4.接著轉彎偏左，呈現 S 型或繞圓的路徑

表 16：蟻獅「建造沙阱完整過程」的結果圖照：

		
第一圈 08:01~10:55 (沙往 右後外方拋)	第二圈 10:56~14:02 (出現向外擴大挖)	第三圈 14:03~18:36 (出現 180°大迴轉， 沙改往左後方拋 ， 並且 走回第二圈位置)
		
第四圈 18:37~27:23 (出現 向左向下挖)	第五圈 27:24~29:43 (不斷向左向下挖)	第六圈 29:44~32:11 (不斷向左向下挖)
		
第七圈 32:12~36:35 (不斷向左向下挖)	第八圈 36:36~39:08 (不斷向左向下挖)	第九圈 39:09~41:52 (再度進行 180°大迴轉， 沙改往右後方拋 ， 走回第八圈位置)
		
第十圈 41:53~44:02 (不斷 向右向下挖)	第十一圈 44:03~46:04 (不斷向右向下挖)	第十二圈 46:05~47:37 (不斷向右向下挖)
		
第十三圈 47:38~48:58 (不斷向右向下挖)	第十四圈 48:59~50:08 (不斷向右向下挖)	第十五圈 50:09~51:46 (不斷向右向下挖)
		
第十六圈 51:47~53:03 (不斷向右向下挖)	第十七圈 53:04~53:35 (不斷向右向下挖)	第十八圈 53:36~54:14 (接近底部出現原地繞圈挖)
	<p>總結：1. 沙子會往側面後方拋。 2. 先往外擴大、再往內挖。 3. 出現了 2 次 180°大迴轉，會走回原來路徑 4. 走了 19 圈建造一個寬約 3.9cm、深 3.2cm 沙阱。</p>	
第十九圈 54:15~54:56 (最後 橫向鑽入沙地側邊埋伏)		

表 17：五隻蟻獅建造沙阱「圈數與花費時間」的結果圖照：

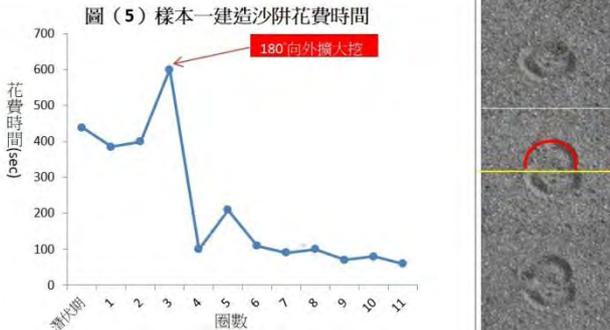
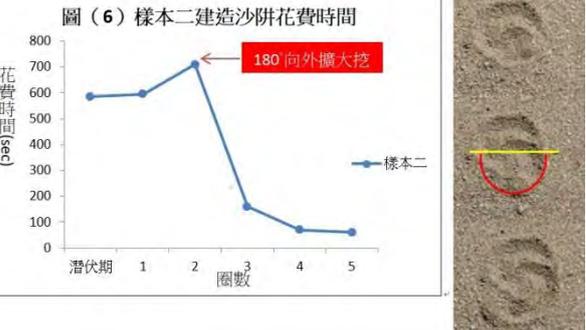
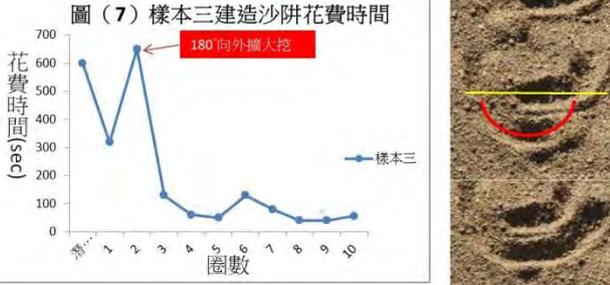
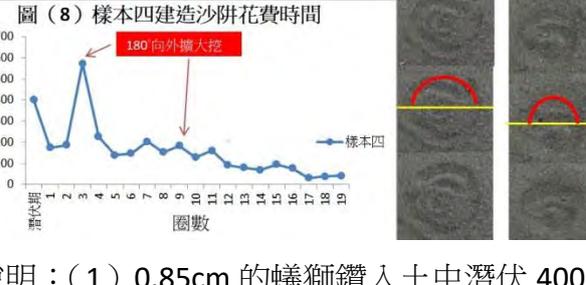
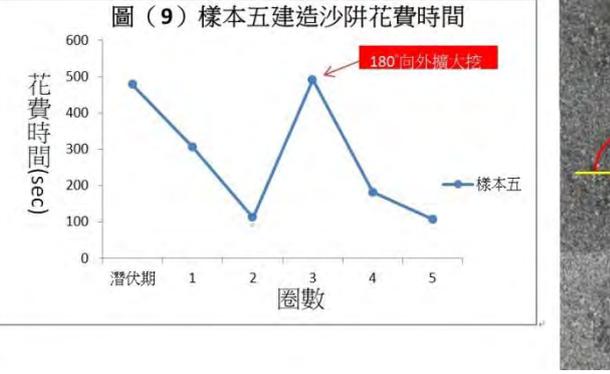
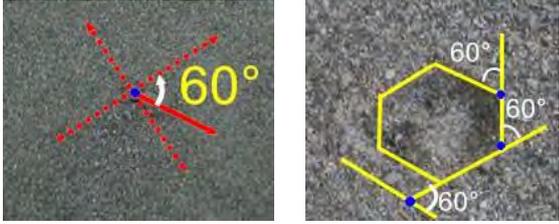
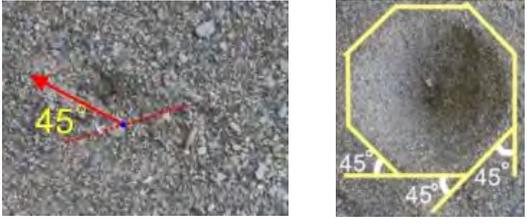
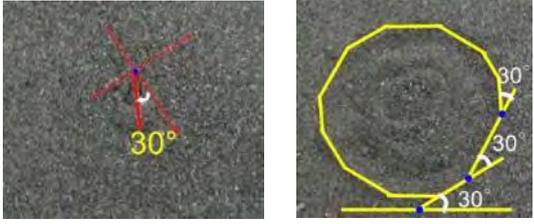
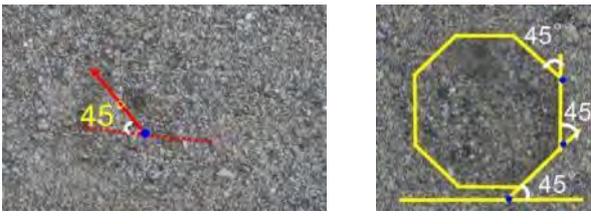
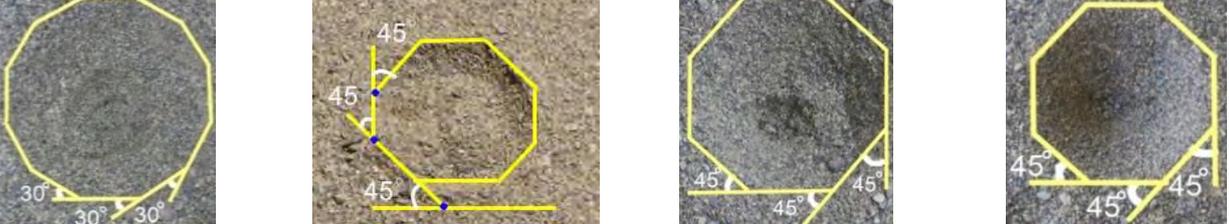
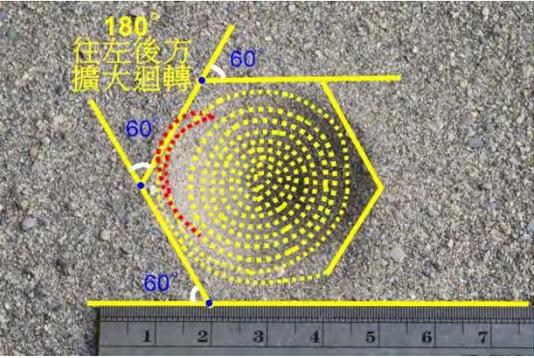
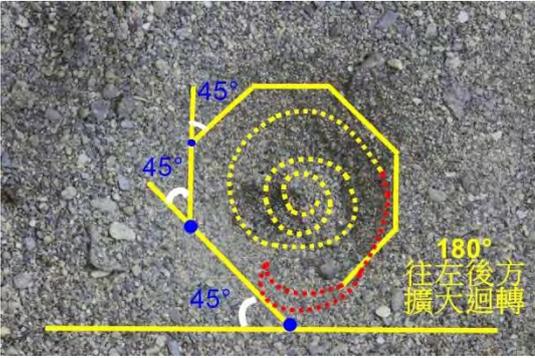
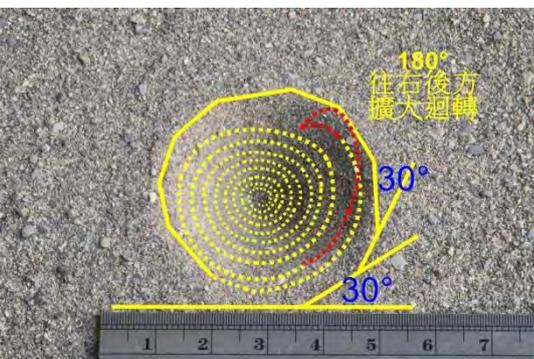
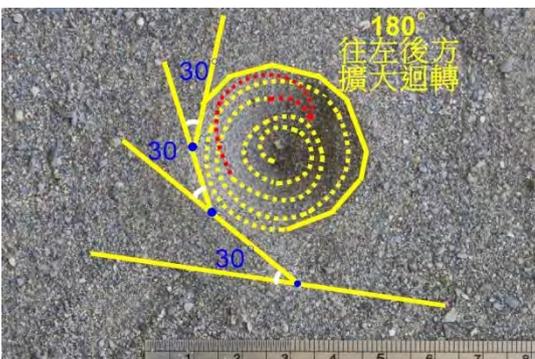
<p>圖(5) 樣本一建造沙阱花費時間</p> 	<p>圖(6) 樣本二建造沙阱花費時間</p> 
<p>說明：(1) 0.7cm 的蟻獅鑽入土中潛伏 439 秒後，再花費 1755 秒，走 11 圈，完成一個直徑 1.8cm、深約 1.5cm 的沙阱。 (2) 在第 3 圈時 180°大迴轉，向外擴大後再往內挖。</p>	<p>說明：(1) 1.0cm 的蟻獅鑽入土中潛伏 586 秒後，再花費 1595 秒，走 5 圈，完成一個直徑 1.9cm、深約 1.3cm 的沙阱。 (2) 在第 2 圈時 180°大迴轉，向外擴大後再往內挖。</p>
<p>圖(7) 樣本三建造沙阱花費時間</p> 	<p>圖(8) 樣本四建造沙阱花費時間</p> 
<p>說明：(1) 1.0cm 的蟻獅鑽入土中潛伏 599 秒後，再花費 1054 秒，走 10 圈，完成一個直徑 3.2cm、深約 2.9cm 的沙阱。 (2) 在第 2 圈時 180°大迴轉，向外擴大後再往內挖。</p>	<p>說明：(1) 0.85cm 的蟻獅鑽入土中潛伏 400 秒後，再花費 2755 秒，走 19 圈，完成一個直徑 3.9cm、深約 3.2cm 的沙阱。 (2) 在第 3、9 圈時 180°大迴轉，向外擴大後再往內挖。</p>
<p>圖(9) 樣本五建造沙阱花費時間</p> 	
<p>說明：(1) 1.0cm 的蟻獅鑽入土中潛伏 478 秒後，再花費 1198 秒，走 5 圈，完成一個直徑 2.8cm、深約 3.3cm 的沙阱。 (2) 在第 3 圈時 180°大迴轉，向外擴大後再往內挖。</p>	

表 18：蟻獅「身體傾斜角度與建造類圓、類等角螺旋形狀沙阱」的結果圖照：

 <p>1. 樣本一身體偏向右下方 60° 傾斜鑽入，走出類 6 邊形的沙阱。</p>	 <p>2. 樣本二身體偏向左上方 45° 傾斜鑽入，走出類 8 邊形的沙阱。</p>
 <p>3. 樣本三身體向右下方 30° 傾斜鑽入，走出類 12 邊形的沙阱。</p>	 <p>4. 樣本四身體向左上方 45° 傾斜鑽入，走出類 8 邊形的沙阱。</p>
 <p>5. 樣本五、六、七、八走出類 12、類 8 邊形的沙阱。</p>	
 <p>6. 樣本一走 11 圈，第 3 圈出現 180° 轉彎</p>	 <p>7. 樣本二走 5 圈，第 2 圈出現 180° 轉彎</p>
 <p>8. 樣本三走 10 圈，第 2 圈出現 180° 轉彎</p>	 <p>9. 樣本五走 5 圈，第 3 圈出現 180° 轉彎</p>

研究二、蟻獅挖掘沙阱的構造與拋沙的行為結果

表 19：蟻獅「頭部面積與承載沙粒的重量」結果圖照

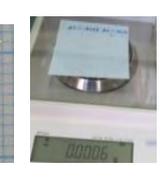
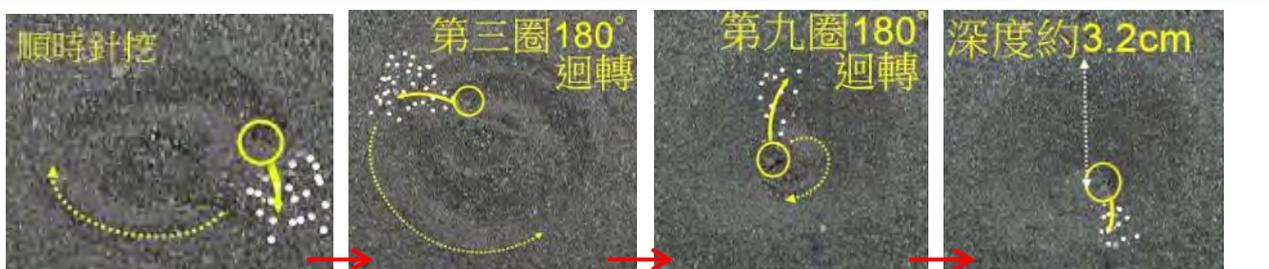
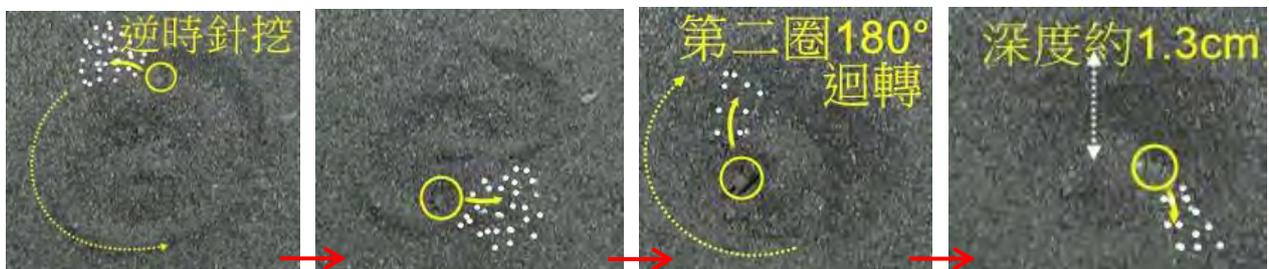
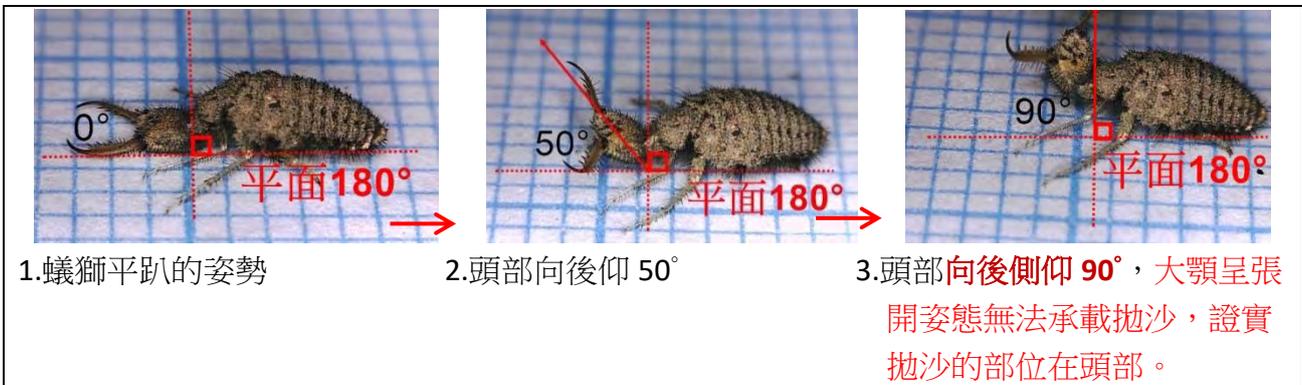
<p>約0.02平方公分</p>  <p>樣本一</p>  <p>1.樣本一頭面積與沙粒重量</p>	<p>約0.04平方公分</p>  <p>樣本二</p>  <p>2.樣本二頭面積與沙粒重量</p>	<p>約0.04平方公分</p>  <p>樣本三</p>  <p>3.樣本三頭面積與沙粒重量</p>
<p>約0.04平方公分</p>  <p>樣本四</p>  <p>4.樣本四頭面積與沙粒重量</p>	<p>約0.01平方公分</p>  <p>樣本五</p>  <p>5.樣本五頭面積與沙粒重量</p>	<p>約0.04平方公分</p>  <p>樣本六</p>  <p>6.樣本六頭面積與沙粒重量</p>
<p>約0.01平方公分</p>  <p>樣本十</p>  <p>7.樣本十頭面積與沙粒重量</p>	<p>約0.04平方公分</p>  <p>樣本十一</p>  <p>8.樣本十一頭面積與沙粒重量</p>	<p>約0.02平方公分</p>  <p>樣本十二</p>  <p>9.樣本十二頭面積與沙粒重量</p>
<p>約0.03平方公分</p>  <p>樣本十三</p>  <p>10.樣本十三頭面積與沙粒重量</p>	<p>約0.03平方公分</p>  <p>樣本十四</p>  <p>11.樣本十四頭面積與沙粒重量</p>	<p>約0.02平方公分</p>  <p>樣本十五</p>  <p>12. 樣本十五頭面積與沙粒重量</p>
<p>約0.03平方公分</p>  <p>樣本十六</p>  <p>13.樣本十六頭面積與沙粒重量</p>	<p>約0.34平方公分</p>  <p>樣本十七</p>  <p>14.樣本十七頭面積與沙粒重量</p>	<p>約0.022平方公分</p>  <p>樣本十八</p>  <p>15. 樣本十八頭面積與沙粒重量</p>
<p>約0.04平方公分</p>  <p>樣本十九</p>  <p>16.樣本十九頭面積與沙粒重量</p>	<p>約0.02平方公分</p>  <p>樣本二十</p>  <p>17.樣本二十頭面積與沙粒重量</p>	<p>約0.01平方公分</p>  <p>樣本二十一</p>  <p>18.樣本二十一頭面積與沙粒重量</p>
<p>約0.015平方公分</p>  <p>樣本二十二</p>  <p>19.樣本二十二頭面積與沙粒重量</p>	<p>約0.04平方公分</p>  <p>樣本二十三</p>  <p>20.樣本二十三頭面積與沙粒重量</p>	<p>約0.015平方公分</p>  <p>樣本二十四</p>  <p>21.樣本二十四頭面積與沙粒重量</p>

圖 (10) 蟻獅頭部面積與承載沙體重量



圖 (10) 說明：(1) 二齡蟲頭部面積 $0.01\text{cm}^2 \sim 0.015\text{cm}^2$ ，承載沙體重量約 $0.0004\text{g} \sim 0.0006\text{g}$ 。
 (2) 三齡蟲頭部面積 $0.02\text{cm}^2 \sim 0.04\text{cm}^2$ ，承載沙體重量約在 $0.0009\text{g} \sim 0.0018\text{g}$ 。

表 20：蟻獅「頭部向後側仰角度與拋沙方向」的結果圖照



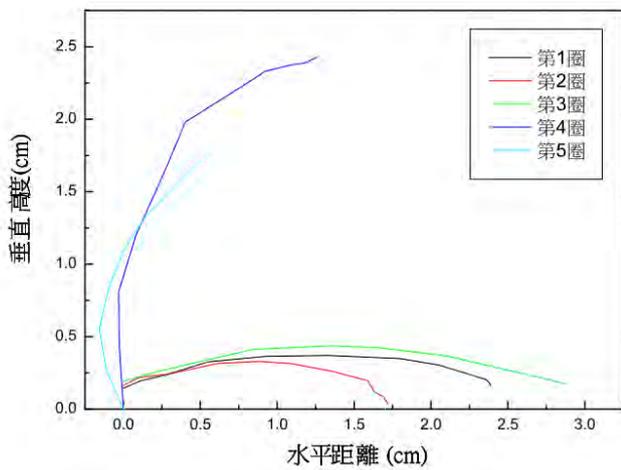


圖 (11) 說明：垂直高度與水平距離關係圖

- (1) 以樣本二蟻獅建造 5 圈沙阱為例。
- (2) 拋甩第一圈時，水平距離較遠、垂直高度較低，隨著深度增加，拋射角度越來越大、導致垂直高度高、水平距離短。
- (3) 第三圈的水平距離出現較第一圈遠的情況，原因是第二圈出現的 180° 大迴轉，將中間的沙往外旁邊拋，因此，深度出現較淺情況。

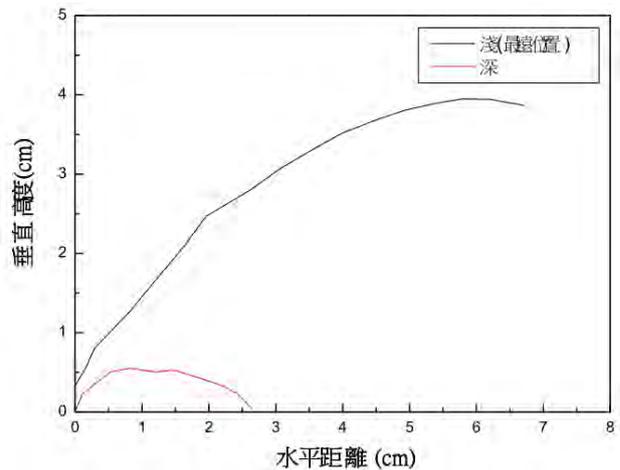


圖 (12) 說明：

當圈數增加，鑽進去的深度越深，所拋射出的最遠距離會較短。

表 21：蟻獅建造沙阱 1~5 圈的「射程、高度、初始角度與速度」的結果表

圈數	最大射程 (cm)	最大高度 (cm)	初始角度 $^\circ$	初始速度 cm/s	最大加速度 cm/s^2
1	2.39	0.439	104°	5.78	61.29
2	1.72	0.357	45°	6.64	80.07
3	2.88	0.519	34.64°	9.87	82.25
4	1.26	2.43	6.58°	11.63	103.43
5	0.565	1.76	107.04°	8.63	79.35

說明：

- (1) 最大射程平均為 1.76 ± 1.37 cm，因深度加深而縮短。
- (2) 最大高度平均 1.10 ± 0.84 cm，因深度加深而增加。
- (3) 初始角度平均 $59.45 \pm 39.67^\circ$ ，因深度加深而變大。
- (4) 初始速度平均 8.51 ± 2.12 cm/s，因深度加深而大幅增加。
- (5) 最大加速度平均 81.28 ± 13.39 cm/s^2 ，因深度越深加速度變快。

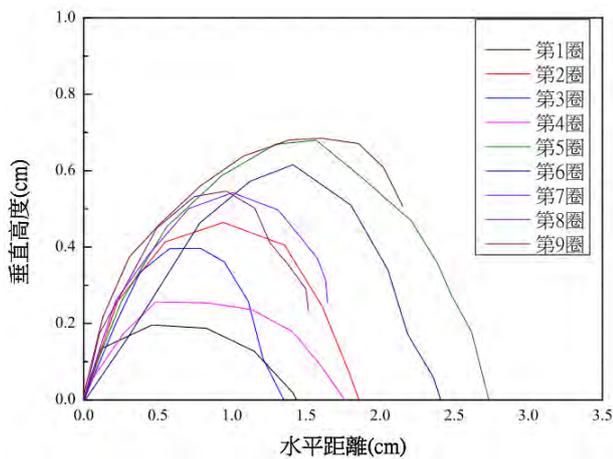


圖 (13) 說明：垂直高度與水平距離關係圖

- (1) 以樣本四蟻獅建造沙阱前 1~9 圈為例。
- (2) 從第一圈開始，深度較淺、拋射角度較小，當圈數增加，拋射角度變大、水平距離、及垂直高度均變大。
- (3) 但是到達第 9 圈的深度增加時，水平距離會逐漸減少。

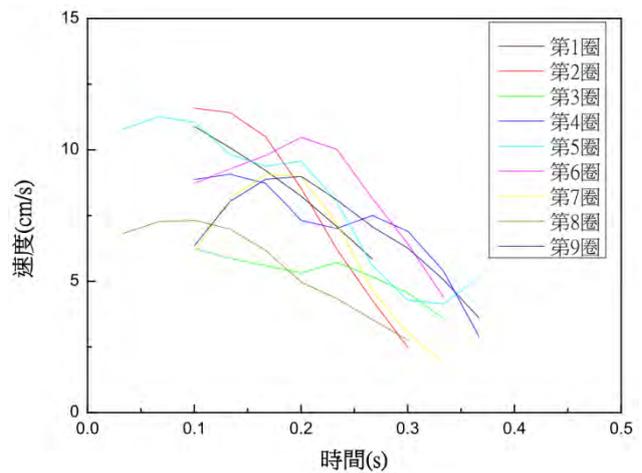


圖 (14) 說明：速度對時間關係圖

- (1) 以樣本四蟻獅建造沙阱前 1~9 圈為例。
- (2) 在忽略重力作用的狀態下，只考慮位置對時間的關係，可發現速度愈來愈小，為負的加速度運動，表示在拋出沙子後，沙子因阻力而愈來愈慢。

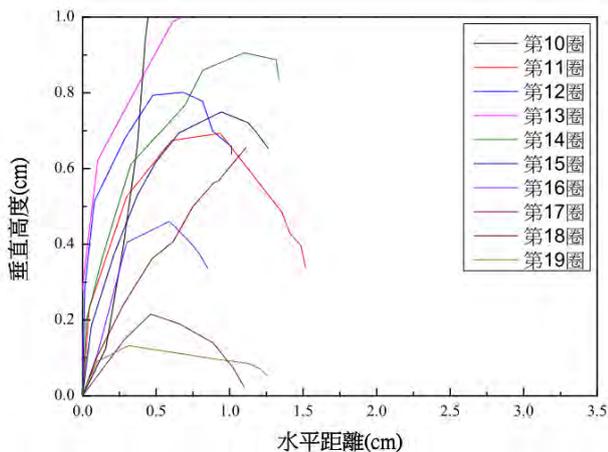


圖 (15) 說明：垂直高度與水平距離關係圖

- (1) 以樣本四建造沙阱後 10~19 圈為例。
- (2) 以相同的尺度比較，可以看到，當隨著深度逐漸增加，水平距離逐漸縮短，但垂直的高度明顯變大。
- (3) 當深度越深、越到達底層時，拋出來的大部分沙子會落在兩側壁上，且會滑落下來。
- (4) ①最大射程平均 1.56 ± 0.56 cm，因深度加深而縮短。②最大高度平均 0.64 ± 0.39 cm，因深度加深而增加。③初始角度平均 $87.94 \pm 32.11^\circ$ ，因深度加深而變大。④初始速度平均 7.72 ± 1.90 cm/s，因深度加深而大幅增加。⑤最大加速度平均 75.23 ± 28.17 cm/s²，因深度越深加速度變快。

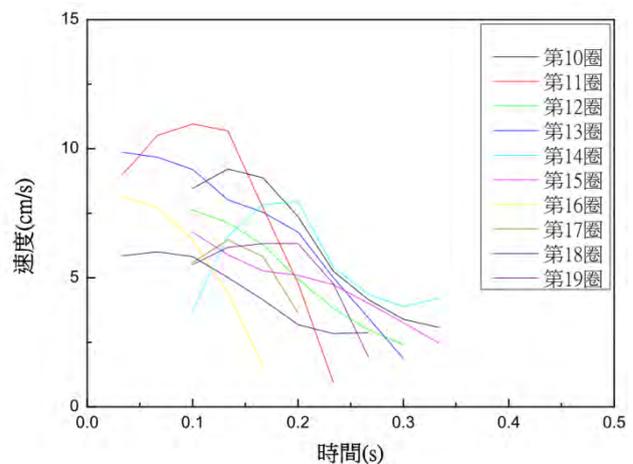
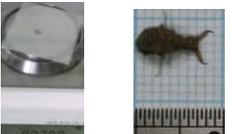
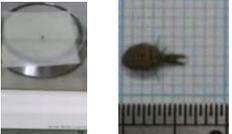
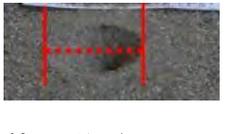
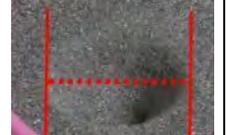


圖 (16) 說明：速度對時間關係圖

- (1) 以樣本四建造沙阱後 10~19 圈為例。
- (2) 隨著深度增加，剛開始的速度減小、速度變化量亦變小，表示所施的力也較小。

研究三、蟻獅體型大小與建造沙阱大小無關的實驗結果

表 22：測量蟻獅「體長與重量直徑」的結果圖照

樣本數	第一天	第二天	第三天	第七天
 1.樣本 1 體長 7mm	 約 3 公分	 約 3.6 公分	 約 3.7 公分	 約 4.0 公分
 2.樣本 2 體長 8mm	 約 0.8 公分	 約 0.8 公分	 約 0.8 公分	 約 3.5 公分
 3.樣本 3 體長 7mm	 約 2 公分	 約 2.5 公分	 約 2.6 公分	 約 1.8 公分 重建沙阱
 4.樣本 4 體長 8.5mm	 約 0.85 公分	 約 1 公分	 約 1.3 公分	 約 2.3 公分
 5.樣本 7 體長 5mm	 約 1.5 公分	 約 2 公分	 約 1.7 公分	 約 3.5 公分
 6.樣本 9 體長 8mm	 約 2.7 公分	 約 3.55 公分	 約 3.2 公分	 約 4.4 公分
 7. 樣本 10 體長 5mm	 約 0.7 公分 第一天沙阱直徑	 約 1.75 公分 第二天沙阱直徑 增加約 7%倍	 約 1.9 公分 第三天沙阱直徑 增加約 107%倍	 大約 3.1 公分 第七天沙阱直徑 增加約 343 %倍

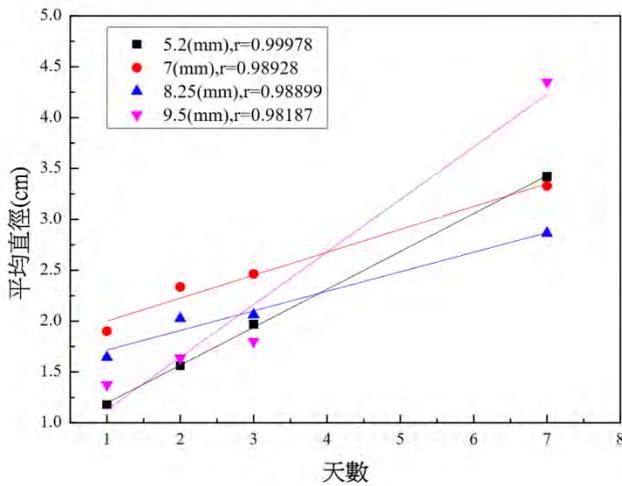


圖 (17) 說明：

- (1) 四組體長不同的蟻獅建造沙阱直徑， r 值都超過 0.9，具有高度的相關性。
- (2) 可以看出蟻獅建造的沙阱隨著天數越長，直徑雖然會越大、卻與體長大小沒有關係。

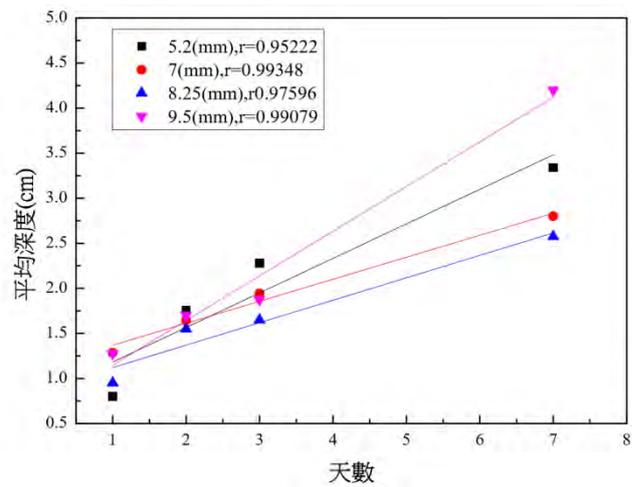


圖 (18) 說明：

- (1) 四組體長不同的蟻獅建造沙阱深度， r 值都超過 0.9，具有高度的相關性。
- (2) 可以看出蟻獅建造沙阱隨著天數越長，深度雖然會越深、卻與體長大小沒有關係。

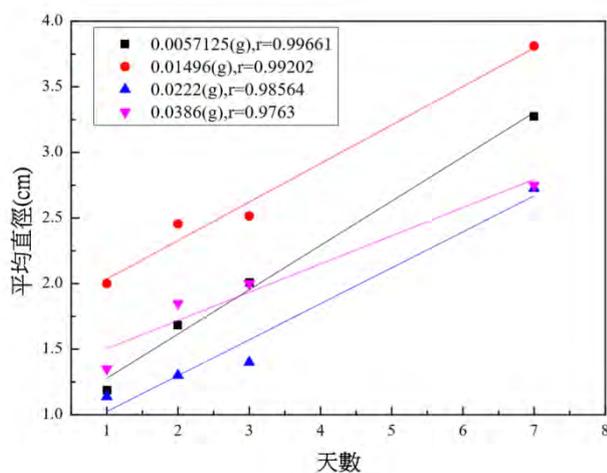


圖 (19) 說明：

- (1) 四組體重不同的蟻獅建造沙阱直徑， r 值都超過 0.9，具有高度的相關性。
- (2) 可以看出蟻獅建造沙阱隨著天數越長，直徑雖然會越大、卻與體重輕重沒有關係。

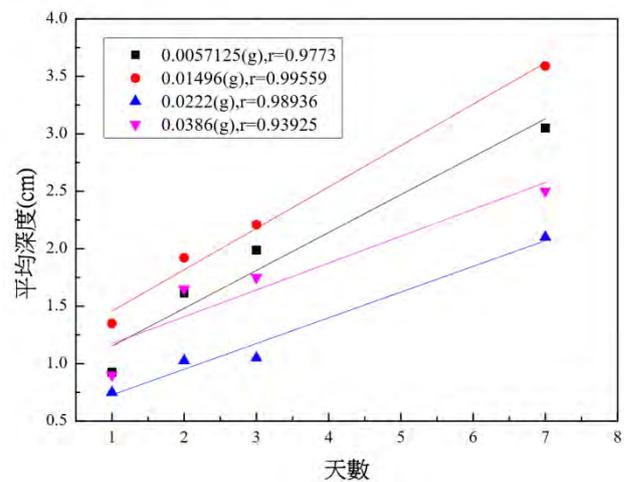


圖 (20) 說明：

- (1) 四組體重不同的蟻獅建造沙阱深度， r 值都超過 0.9，具有高度的相關性。
- (2) 可以看出蟻獅建造沙阱隨著天數越長，深度雖然會越深、卻與體重輕重沒有關係。

結果與疑問？

根據上面的實驗結果，發現了不符合體長大小與直徑『有關係』的實驗假設，因此我們決定再提出新的假設，嘗試找出影響沙阱直徑大小的因素。

再次進行實驗，解決疑問？

提出新假設：實驗過程中我們意外發現，沙阱內的蟻獅好像不是埋伏在沙阱的最底部，因此我們再提出『大顎長度、張開角度與埋伏的位置』才是影響直徑與深度的原因。

實驗（1）測量蟻獅大顎『長度與張開的角度』

步驟：將平均 0.95cm、0.7cm、0.52cm 三種不同體長蟻獅，放在方格紙上與量角器上，測量大顎長度與張開的最大與最小角度。

實驗（2）計算蟻獅『埋伏最高、最低深度與沙阱的最大小範圍』

步驟 1：求證埋伏『深度』的範圍，把蟻獅釣起來後，用石膏製作沙阱模型，模擬埋伏深度，如圖 21：

假設 X=體長、Y=大顎長、k=深度/半徑。

埋伏深度範圍公式= $X \cdot Y \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot K$ (最小) ~ $X \cdot Y \cdot K$ (最大)

步驟 2：求證埋伏『半徑』的範圍：用石膏製作沙阱模型，模擬埋伏半徑，如圖 22：

假設 X=體長、Y=大顎長。

埋伏半徑範圍公式

= $X \cdot Y \cdot \sqrt{2} \cdot 1/2$ (最小) ~ $X \cdot Y$ (最大)，(如圖 22、表 23)



圖 21.沙阱模型製作

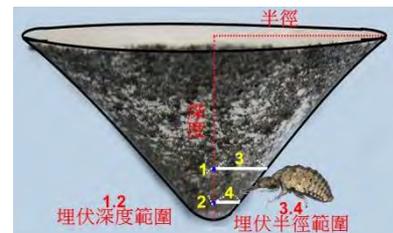
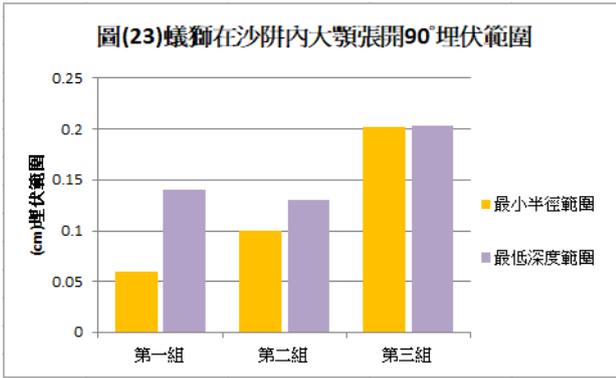


圖 22.蟻獅埋伏範圍位置圖

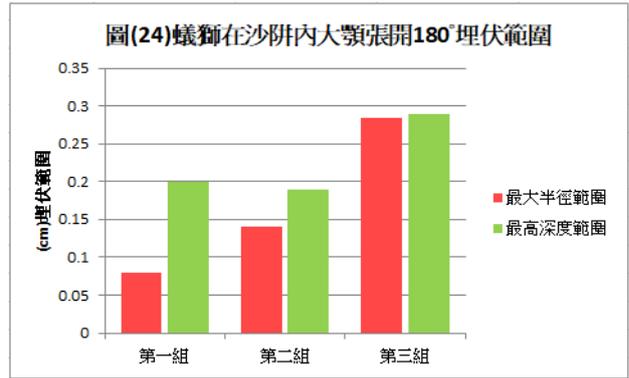
表 23：『蟻獅大顎張開大小角度與埋伏位置間關係』的動手實驗操作流程圖照

<p>1.樣本一：發現蟻獅埋伏在沙阱最底部的上方，竄出時大顎張開約 135°。</p>	<p>2. 樣本二：發現蟻獅埋伏在沙阱最底部的上方，竄出時大顎張開約 145°。</p>	<p>3.樣本三：發現蟻獅埋伏在沙阱最底部的上方，竄出時大顎張開約 145°。</p>
<p>4.測量 0.95cm 蟻獅大顎，張開最大（左）、最小（右）範圍。</p>	<p>5.測量 0.7cm 蟻獅大顎，張開最大（左）、最小（右）範圍。</p>	<p>6.測量 0.52cm 蟻獅大顎，張開最大（左）、最小（右）範圍。</p>

再次進行實驗獲得解決的結果：



說明：沙阱內大顎張開 90°平均埋伏半徑和深度範圍在 0.12 ± 0.06 cm、 0.16 ± 0.03 cm



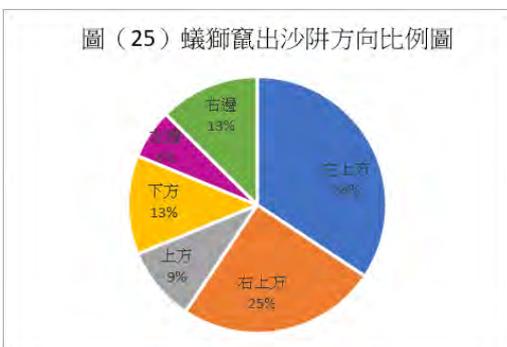
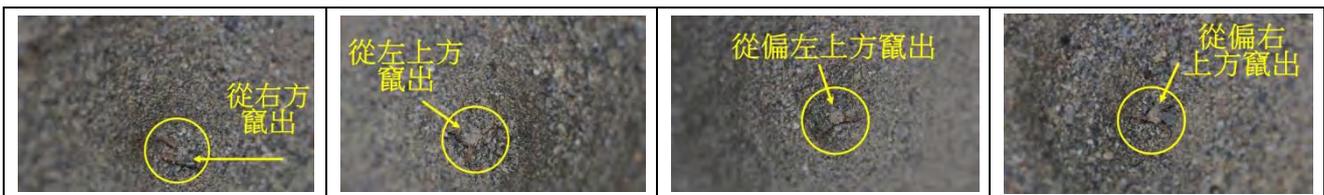
說明：沙阱內大顎張開 180°平均埋伏半徑和深度範圍在 0.17 ± 0.09 cm、 0.23 ± 0.04 cm

表 24：求證『體長相近蟻獅，經過一晚後』建造不同沙阱與埋伏位置結果

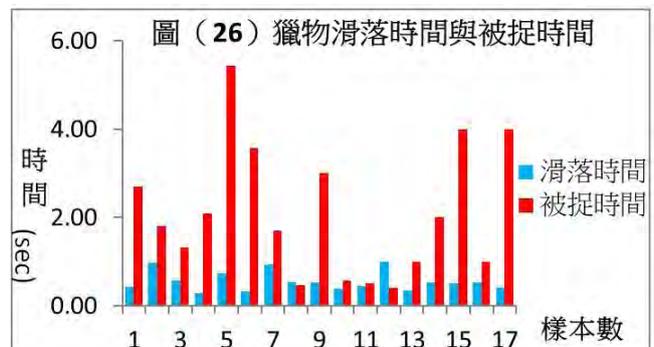
1.2 隻體型相近的蟻獅。	2.蟻獅建造 4cm 大沙阱，埋伏半徑範圍 0.10cm~0.14cm，深度範圍 0.18cm~0.25cm。	3.蟻獅建造 1cm 小沙阱，埋伏半徑範圍 0.10cm~0.14cm，深度範圍 0.05cm~0.06cm。

研究四、探討沙阱對蟻獅的捕食重要性結果

表 25：『蟻獅埋伏位置』竄出的結果



說明：蟻獅會分別從不同方向橫向竄出 (N=32)



說明：①獵物滑落時間 0.28~1.00 sec 平均 0.55 ± 0.22 sec
②獵物被捉時間 0.40~5.43sec 平均 2.09 ± 1.44 sec (N=17)

結果與疑問？

上面的實驗結果，我們發現兩個疑問？第一個疑問，獵物掉落沙阱時間平均在 0.28 秒如此極短的時間，但是為什麼在捕捉獵物的時間上出現『0.40~5.43 秒之間的大落差』？第二個疑問，如果沒有埋伏在沙阱的情況下，蟻獅是直接捉獵物？還是有其他的方法呢？

再次進行實驗，解決疑問？

提出新假設：『獵物掉入不同的方向，以及沒有沙阱情況下會影響到蟻獅捕捉獵物』。

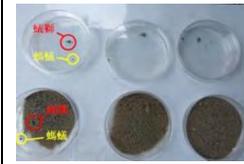
實驗設計 1：不同方向『投餵獵物』實驗

步驟：實驗組『同方向投餵獵物』、對照組『對面方向投餵獵物』：以 22 隻確定蟻獅方向當樣本，用鑷子夾螞蟻，分別從同方向與不同方向每隔 2 天投餵一次，記錄蟻獅捕捉時間。

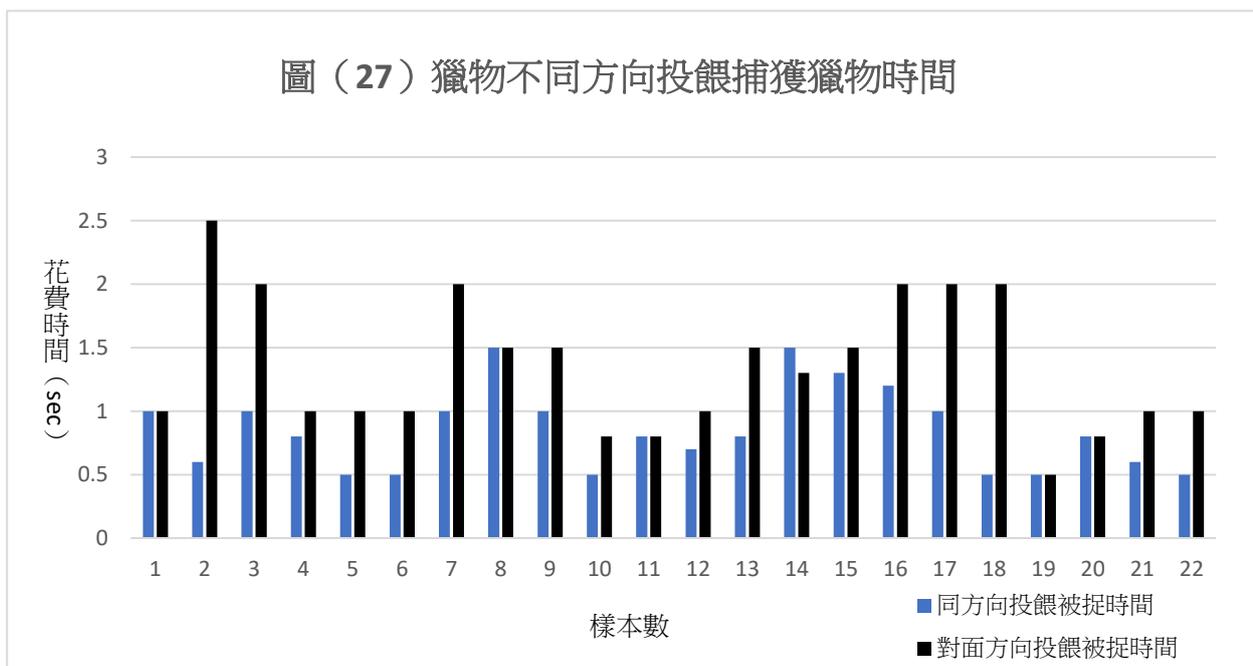
實驗設計 2：蟻獅在『無沙、淺沙捕捉獵物』的實驗

步驟：實驗組『無沙處投餵獵物』、對照組『淺沙處投餵獵物』：把蟻獅與獵物同時放在淺沙及沒有沙土的培養皿內，記錄蟻獅如何捕捉獵物。(如表 26)

表 26：蟻獅『進行投餵』--動手實驗操作流程圖照

				
進行投餵獵物螞蟻捕捉實驗	樣本一不同方位投餵獵物實驗	樣本二不同方位投餵獵物實驗	樣本三不同方位投餵獵物實驗	淺沙與無沙的獵物捕捉實驗

再次進行實驗獲得解決的結果：



說明：獵物同方向投餵約 $0.85 \pm 0.31 \text{sec}$ ，獵物對面方向投餵約 $1.35 \pm 0.52 \text{sec}$ (N=22)

表 27：蟻獅在『淺沙與無沙下』與獵物間的結果圖照



陸、問題與討論

一、關於蟻獅建造沙阱的策略中，『蟻獅胸腳與其他昆蟲腳的特徵』的比較討論

蟻獅能走出弧形、走出 180°大迴轉的行為，可見腳的構造是非常特殊的，為了找出腳的獨特性，我們比較一樣是完全變態的紋白蝶、瓢蟲、獨角仙、壺蜂等昆蟲幼蟲腳的構造，才發現蟻獅 S 型的後腳跟其他完全變態的幼蟲階段長的不一樣，反而像成蟲階段，所以蟻獅才能在土中不斷的轉彎行走。(如表 28)

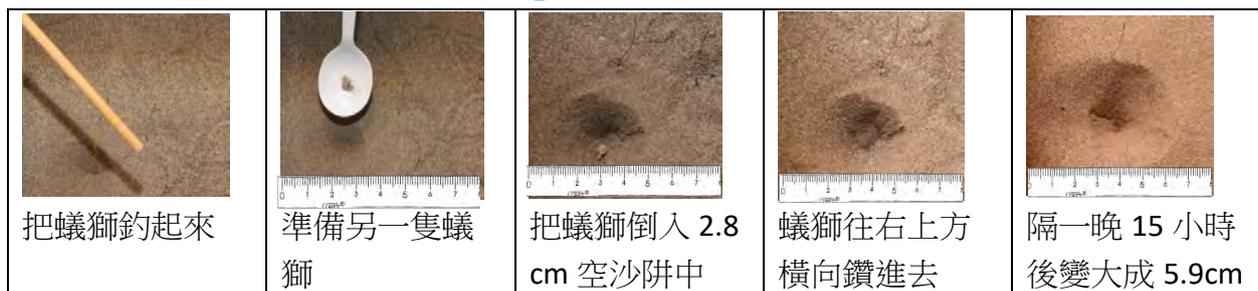
表 28：幾種『完全變態昆蟲腳的型態』觀察比較討論結果



二、關於蟻獅的建造沙阱策略中，『空的沙阱還能不能重複利用』的問題討論

在實驗一的調查野外進行調查時，發現了 37 個空沙阱。當時就懷疑蟻獅到底去哪裡了？這些空沙阱還能被使用嗎？如果離開的蟻獅又回到空沙阱，是不是可以不用這麼辛苦自己重新再造新的沙阱？於是我們嘗試把沙阱內的蟻獅釣出來，把另一隻蟻獅放入這個空沙阱內做簡單實驗，發現蟻獅不僅會使用這個空沙阱，還會把原沙阱建造擴大再利用。(如表 29)

表 29：蟻獅的空沙阱『能不能重複利用』觀察討論結果



三、關於蟻獅所建造沙阱的策略中，沙阱『遇到強風或遇到雨水』，蟻獅會有什麼反應嗎？

在野外尋找蟻獅的時候，我們發現蟻獅大多生活在空曠風大的海邊或溪谷邊，我們想，住在沙阱內的蟻獅一旦遇到強風把沙阱掩埋或遇到下雨，不知道會有什麼樣的行為反應？於是用風速約 10m/s 強風，把沙阱就地掩埋，用灑水器對沙阱噴灑水，觀察蟻獅反應。發現被掩埋蟻獅會爬出來，在附近建新沙阱，而遇水會破壞原有沙阱，四處走另建沙阱。(表 30)

表 30：蟻獅建造沙阱『遇到風沙阱被埋、遇到下雨』沙阱的變化觀察討論結果

 <p>電風扇 風速計 沙阱</p>	 <p>被覆蓋的沙阱 新建造的沙阱</p>		 <p>爬到右上方</p>	
<p>用 10m/s 強風，把沙阱掩埋，隔天在距離原沙阱 5~6 公分處建造新沙阱。</p>		<p>遇水的沙阱，蟻獅爬到沙阱上方，不斷爬行最後把沙阱給破壞了。</p>		

四、關於蟻獅建造沙阱的策略中，『群聚』的問題討論：

我們在野外調查尋找獵物的時候，看到的沙阱都是群聚在附近，很少看到單獨一個沙阱，我們把他們帶回學校飼養，心想如果集體放下，會不會有 2 隻或 3 隻共同建造一個沙阱的可能呢？於是我們把 25 隻蟻獅同時倒在沙堆裡，經過隔天，發現蟻獅分散建造沙阱，不會有 2 隻住在同一個沙阱中的情況，這種結果跟在野外看到的結果一樣。(如表 31)

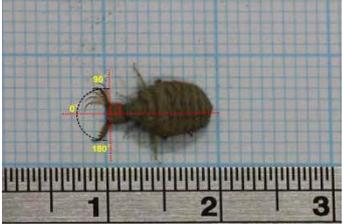
表 31：蟻獅『群聚建造沙阱過程』觀察與討論結果

			
<p>1.被我們圍起來的野外沙阱 2.25 隻蟻獅一起放下 3.經過 8 小時完成像輻射狀散開的沙阱</p>			

五、關於蟻獅捕食策略中，『大顎』的功能討論

我們認為大顎主要功能在於快速夾擊獵物，在解剖顯微鏡下觀察，意外看到大顎上的特殊構造。正面內側有 3 對刺狀的齒凸，可以協助夾刺獵物，讓獵物無法掙脫。而反面的中央有一條像血管狀構造，是不是當捉到獵物後，能夠消化獵物的液體酵素，經由這裡注入獵物身上，軟化組織，幫助進食。是不是真的有這樣的功能，未來還須進一步研究求證。(如表 32)

表 32：大顎『型態』觀察與討論結果

		
<p>1.大顎夾擊範圍示意圖</p>	<p>2.大顎正面有 3 個刺狀齒凸</p>	<p>3.背面有血管狀構造</p>

柒、結論

研究一、蟻獅倒退走行為與建造沙阱間的關係實驗結論：

- (1) 在沙地上蟻獅每分鐘行走速度，平均以 $0.86\pm 0.08\text{cm}$ 向後鑽入沙土。
- (2) 在無沙的地上每分鐘平均以 $35\pm 2.42\text{cm}$ 快速行走，出現的路徑特徵：①以 $20^\circ\sim 75^\circ$ 間倒退走，出現弧形路徑②會 180° 大迴轉後，改以反方向向前走出 1~3 個類圓形。
- (3) **再次經過求證的結果**，第一、二對腳通常平趴姿態，第三對的後腳呈現 S 形狀，行走快速，是掌控轉彎路徑的主要構造。5 隻體型相似的蟻獅，花費 1054~2755sec，分別走出 5 圈、10 圈、11 圈、19 圈，直徑在 1.8~3.9cm、深度在 1.3~3.3cm 的沙阱。
- (4) 當蟻獅鑽入沙土的角度 30° 、 45° 、 60° ，會分別走出 12 邊、8 邊、6 邊等類正多邊形的沙阱。挖掘的路徑只要經過 180° 大迴轉後，就會改以反方向向下挖掘，最終走出『類等角螺線』路徑的沙阱。

研究二、蟻獅挖掘沙阱的構造與拋沙行為的實驗結論：

- (1) 頭部可以向後側仰達 90° ，證實拋沙的構造是在頭部，不是大顎。
- (2) 二齡蟲蟻獅頭部平均面積是 $0.0117\pm 0.0024\text{cm}^2$ ，承載沙土平均重量約 0.00047g 。三齡蟲蟻獅頭部平均面積是 $0.0309\pm 0.0086\text{cm}^2$ ，承載沙土平均重量約 $0.0014\text{g}\pm 0.0004\text{g}$ 。
- (3) **再次經過求證的結果**，蟻獅建造沙阱，因深度加深會產生下列結果：
①最大射程平均縮短， $1.76\pm 1.37\text{cm}$ 。②最大高度平均增加， $1.10\pm 0.84\text{cm}$ 。③初始角度平均變大， $59.45\pm 39.67^\circ$ 。④初始速度平均增加， $8.51\pm 2.12\text{cm/s}$ 。⑤最大加速度平均 $81.28\pm 13.39\text{cm/s}^2$ ，因深度越深加速度變快。

研究三、蟻獅體型大小與建造沙阱大小有無關係的實驗結論：

- (1) 體長平均在 0.52cm 的蟻獅建造的沙阱，直徑大小在 $1.18\pm 0.54\text{cm}$ ，深度在 $1.52\pm 0.72\text{cm}$ 。
- (2) 體長平均在 0.7cm 建造的沙阱，直徑大小在 $1.9\pm 0.80\text{cm}$ ，深度在 $1.29\pm 0.26\text{cm}$ 。
- (3) 體長平均在 0.83cm 建造的沙阱，直徑大小在 $1.64\pm 1.11\text{cm}$ ，深度在 $0.95\pm 0.57\text{cm}$ 。
- (4) 體長平均 0.95cm 建造的沙阱，直徑大小在 $1.38\pm 0.48\text{cm}$ ，深度在 $0.70\pm 0.21\text{cm}$ 。
四組不同體長、體重蟻獅建造沙阱直徑大小與深度，r 值都超過 0.9，代表具有高度的相關性。但當建造沙阱的天數越長，直徑與深度越大越深，卻與體長大小沒有關係。
- (5) **再次經過求證的結果**，蟻獅並不是埋伏在沙阱的最底部，當大顎張開 90° 與 180° 時，分別埋伏半徑、深度範圍在 $0.12\pm 0.06\text{cm}$ 、 $0.16\pm 0.03\text{cm}$ 與 $0.17\pm 0.09\text{cm}$ 、 $0.23\pm 0.04\text{cm}$ 。得到直徑與深度的大小與當時埋伏的半徑、深度有關。

研究四、探討沙阱對蟻獅捕食的重要性實驗結論：

- (1) 獵物滑落時間平均在 $0.55\pm 0.22\text{sec}$ ，獵物被捉時間平均 $2.09\pm 1.44\text{sec}$ 。所以獵物掉落位置與蟻獅埋伏位置有所差異，會影響捕捉機率與時間長短。
- (2) **再次經過求證的結果**，捕捉獵物速度：同方向投餵平均在 $0.85\pm 0.31\text{sec}$ ；對面方向投餵平均 $1.35\pm 0.52\text{sec}$ 。所以與頭部同方向掉落的獵物較快被捕食。
- (3) 蟻獅在淺沙或無沙阱的下不利於捕食行為，通常造成會兩敗俱傷或是捕捉不到獵物。

表 33：研究總結，綜合前人研究報告與我們實驗的結論比較

建造沙阱與捕食方式的比較	前人的研究的觀察或結果	我們推翻前人實驗與新發現
一、.蟻獅行走方式	1.由外而內的同心圓方式往下往後移動，文獻五第 17 頁。 2.後退鑽入沙，文獻六第 10 頁。 3.倒退畫圓方式行走，文獻十第 3 頁。	1.在沙土外行走的新發現：倒退走出弧狀路徑，180°大迴轉後向前走出類圓。 2.沙土上行走的新發現：倒退走向後外方拋、180°大迴轉擴大挖掘，仍然用倒退走方式，向後、向下挖掘沙。
二、挖掘沙阱主要構造	前人研究過程、結論不一致，如： 1.有噴沙行為，文獻四第 94 頁。 2.頭部鏟土，文獻六第 10 頁。 3.大顎當鏟，文獻十第 3 頁。	1.推翻：不是大顎鏟沙或噴沙，而是頭部向後側仰到 90°，把沙拋出去。 2.新發現：求出頭部面積大小，與每次承載拋出沙量的重量。
三、挖掘沙阱過程	1.向內向下旋轉建造陷阱，文獻十第 3 頁。 2.腹部螺旋狀向下鑽洞，文獻十一第 12 頁。	1.新發現：求出挖掘沙阱需要的圈數。 2.新發現：求出拋沙最大最小射程、高度，初始角度、速度，最大加速度。 3.新發現：沙阱最後形成的形狀，像一個類等角螺線向下旋轉而成。
四、體型大小與沙阱間的關係	前人研究結論不一致，例如： 1.洞穴大小與體長沒有絕對的關係，文獻七第 17 頁。 2.蟻獅的巢穴直徑和體長有正相關，文獻八第 9 頁。 3.體型大蟻獅築的陷阱大、體型小築的陷阱較小，文獻九第 9 頁。	1.求出直徑與深度雖然越大、越深，卻與體長大小沒有關係。 2.新發現：沙阱的大小跟大顎長度、張開時的角度與埋伏在接近底部半徑間的深度有關。
五、埋伏位置與抓獵物行為	1.埋伏在沙阱底部，由下往上衝出捕捉獵物，文獻五第 18 頁。 2.待在陷阱底部等待獵物落下，文獻十第 3 頁。	1.推翻：蟻獅並非由下往上衝出捉獵物，而是橫向衝出捕捉獵物才對。 2.新發現：蟻獅捉獵物的動作順序。橫向衝出沙阱→大顎夾擊→夾到獵物→沒夾到獵物，會重複頭部向後仰側拋沙粒，動作停止後→發現仍然沒有獵物，大顎打開，橫向退回埋伏。
六、拋沙攻擊獵物的方式	獵物嘗試逃出陷阱時，猛烈晃動頭部，用大顎拋沙造成陷阱崩落，使獵物再度掉入陷阱中，文獻十第 5 頁。	1.推翻：應該是利用頭部拋沙，沙粒撞擊沙阱，造成獵物再次滑落下來。 2.新發現：觸角快速感應同方向掉落的沙土與獵物，所以捉獵物速度從頭部同方向掉落 > 對面方向掉落的獵物。 3.新發現：必須依靠沙阱才能順利捉到獵物，沒有沙阱掩護，會兩敗俱傷。

捌、參考資料及其他

- 一、徐瑋峰（2002）• 昆蟲學概論（33 頁） 昆蟲足部構造 • 臺北市：合記。
- 二、盧耽（2008）• 圖解昆蟲學 • 臺北市：商周。
- 三、康軒出版社（2017）• 國一自然與生活科技 上冊生物篇 4-5 頁《科學方法》、3-4 動物如何獲取養分（66-67 頁）、5-3 動物的行為（117 頁），下冊 4-5 節肢動物門完全變態生物（112 頁）。
- 四、曹又仁（2014）• 科學人雜誌 154 期 沙地獵手-臀腋蟻蛉 遠流出版事業股份有限公司。
- 五、曹又仁（2017）• 動物園雜誌 147 期 蟻獅 Pk 螞蟻 吃螞蟻的獅子 台北市立動物園。
- 六、陳俊興（2003）• 「絕命追殺令」-沙丘中的蟻獅 • 中華民國第四十三屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 七、吳鼎毅（2003）• 一沙一世界-蟻獅洞穴的探討 • 中華民國第四十三屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 八、林淑真（2004）• 蟻獅築巢行為初探 • 中華民國第四十四屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 九、周立揚（2004）• 沙漏中的小精靈 • 中華民國第四十四屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 十、林莞瑜（2007）• 飢餓與密度對土阱蟻蛉幼蟲陷阱構築行為之影響 • 國立高雄師範大學生物科技系 碩士論文。
- 十一、王思傑（2010）• 蟻退為進，含沙射蟻-蟻獅行走及攝食行為之探討 • 國立政治大學附屬高級中學校內科展作品說明書。
- 十二、曹靖妤（2017）• 中樞神經節對美洲蟑螂步足反射的影響 • 中華民國第五十六屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 十三、陳抒函（2018）• 麻醉大師—壺蜂麻醉獵物的策略與幼蟲捕食間關係 • 中華民國第五十七屆中小學科學展覽會作品說明書。

玖、待研究的問題

- 一、未來想繼續研究有哪些因素會造成蟻獅離開沙阱建造新沙阱？
- 二、未來想研究蟻獅如何用吸管狀的攝食構造，將消化酵素注入獵物體內，吸食體液？

【評語】 030308

1. 探討蟻蛉幼蟲-蟻獅(antlion)的步行方式、建造沙阱過程與捕食間的關係。
2. 研究方法有系統地收集諸多數據，實驗進行中能適時修改或重提假設，並加以實驗印證，並適切地討論與比較本實驗結果與前人研究結論之異同處。
3. 觀察非常詳盡，值得嘉許。
4. 能從前人的研究中去存疑及再次找出可以挑戰的點，非常難得的實驗精神。
5. 有邏輯的利用科學方法去遇到問題解決問題
6. 拋沙構造是在頭部，非在大顎的論點，宜提供直接證據為宜。
7. 此研究所使用的研究方法大致合理可行，數據分析亦多有使用數學及統計方法。不過，誤差線的繪製似乎有誤(如圖四)，應再確認。
8. 對沙阱建造的軌跡描述，是有趣的觀察。整體的觀察記錄還算是詳細，但有些觀察並沒有確切的結論。沙阱建造的圈數可能是逢機的；體長與沙阱大小的實驗，相同體長樣本數太少，體長的範圍也太窄。
9. 牽扯體長，體積大小，必須考量人造沙地與實際沙地的不同，及環境天敵的差異，結果可能會有不同。

作品海報

摘要

本研究探討蟻獅幼蟲（統稱蟻獅）的生態行為，包括牠步行方式、建造沙阱過程與捕食間的關係。結果一：步行特色 1.在沙地上蟻獅每分鐘平均 $0.86 \pm 0.08\text{cm}$ 向後走，沙地外每分鐘平均以 $35 \pm 2.42\text{cm}$ 快速行走。2.都會出現 180° 大迴轉後，改以反方向走。3.會走出類正多邊形，最後形成『類等角螺線』的路徑。結果二：1.頭部能向後側仰達 90° ，證實拋沙的構造是在頭部。2.頭部的面積大小為 $0.01 \sim 0.04$ 平方公分，可以承載 $0.0004 \sim 0.0018\text{g}$ 的沙量。3.蟻獅建造沙阱，最大射程為 $0.565 \sim 2.88\text{cm}$ ，因深度加深而縮短；最大高度 $0.357 \sim 2.43\text{cm}$ ，因深度加深而增加。結果三：直徑與深度與體長大小沒有關係，但是與當時埋伏的半徑、深度有關。結果四：捕食的速度，頭部同方向掉落獵物 > 頭部前方掉落獵物。

壹、研究動機

從小我就是一位好奇寶寶，對於事物總喜歡問為什麼？因為這個習慣讓我從國小到國中，有機會參加了三年的科展研究與競賽。上了國中之後，好奇的心不曾減滅，老師都常開我玩笑，說我是個很多問題的學生。記得開學時拿到自然生物課本，在上第一章前老師就先告訴我們未來課程要進入實驗室做實驗的規定與研究科學的方法，老師琅琅講了觀察、產生問題、文獻探討、假設、實驗、結果分析、結論等七大方法順序，其中令我印象最深刻的是我國小時沒有學到的方法，就是當參考文獻資料的閱讀探討，可以激發問題的產生，而實驗的結果與假設間如果不成立的時候，須要重新提出新假設再進行實驗求證，不斷去追根究柢找出答案的想法。我把這些概念牢牢記住，運用在這篇蟻獅的報告上，更把教科書中 1-1 節生物生存的環境、2-1 節顯微鏡的使用、3-4 節動物攝食的構造、5-3 節動物的行為、下冊 4-5 節完全變態的節肢動物，結合國小數學學過的的正多邊形演算法，利用各單元學到的知識去解釋與進行蟻獅的行為實驗，我們很期待完成的是一份好的研究報告。

貳、研究目的

- 一、研究蟻獅倒退走行為與建造沙阱間的關係
- 二、研究蟻獅建造沙阱的構造與拋沙的行為
- 三、研究蟻獅體型大小與建造沙阱的大小是否無關
- 四、研究沙阱對蟻獅的捕食重要性

參、研究設備及器材

- 1.數位相機 (SONY RX100IV)
- 2.電子天秤 (ATY124、SNUG-300)
- 3.顯微鏡 (Dino-Lite)
- 4.牙籤、尺
- 5.風速計 (FGM816)
- 6.量角器
- 7.筆電
- 8.培養皿
- 9.鏟子、湯匙
- 10.濾網
- 11.塑膠碗 (盆)
- 12.吹塵球

肆、研究方法

研究一、研究蟻獅倒退走行為與建造沙阱間的關係

實驗目的：找出蟻獅『倒退走』的路徑模式

表 1：蟻獅的採集記錄與「倒退走」觀察手繪流程圖：



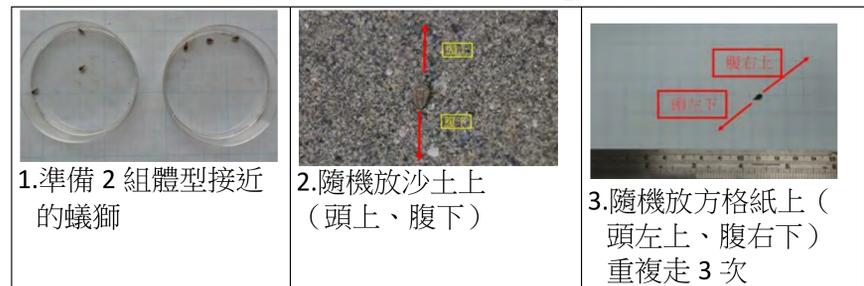
(二) 觀察後我們產生的疑問：蟻獅生活在沙土中，看不到牠在沙裡爬行的動作與過程，因此要觀察牠行走的方式，只有讓蟻獅離開沙土到地上來。我們的疑問是，蟻獅到了地上還會是倒退走嗎？

(三) 提出假設：我們提出『不管在沙土內或沙土外蟻獅都會倒退走，而且行走的路徑跟建造沙阱有關』的假設。

(四) 動手實驗解決疑問：

實驗設計：觀察蟻獅『爬行路徑』的記錄

表 2：蟻獅『沙地上與離開沙地爬行觀察』實驗操作流程圖照：



研究二、研究蟻獅建造沙阱的構造與拋沙的行為

實驗目的：找出『挖掘沙阱的關鍵構造』與『拋沙行為』間的關係

(一) 實驗前的生態觀察與閱讀前人研究報告後想法：

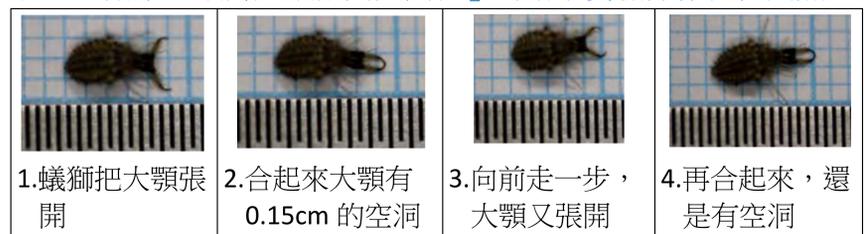
根據前人報告指出，蟻獅為了維護沙阱時，常有持續『噴沙』的行為 (文獻四) 或以大顎當鏟子向後拋沙挖掘出陷阱 (文獻十) 對於蟻獅大顎有這樣特殊功能，引起我們的好奇，於是我們把蟻獅放到顯微鏡下觀察，並把重要大顎特徵畫下。(如表 3)

表 3：觀察「蟻獅大顎」的動手實驗操作流程圖照：



(二) 觀察後我們產生的疑問：蟻獅的大顎閉合時並不是密合的中間會留下一個很大的縫隙，由於這個空洞，讓我們懷疑牠要如何把沙土鏟起來與拋出去？所以對於『大顎能當鏟子撥沙的行為，產生了懷疑的想法』。(如表 4)

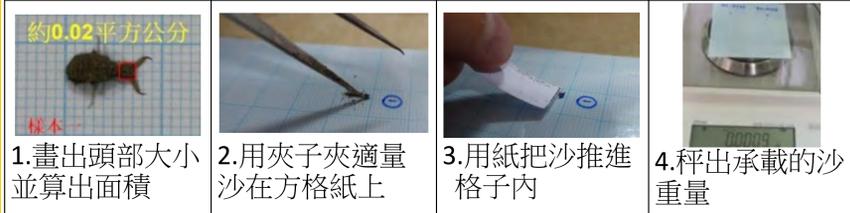
表 4：觀察「蟻獅大顎張開與閉合」的動手實驗操作流程圖照：



(三) 提出假設：我們提出『大顎不能當鏟子拋沙，拋沙的部位應該是在頭部；而且能夠拋出一個圓錐狀的沙阱』假設。

(四) 動手實驗解決疑問：

表 5：觀察『頭部面積與承載重量』動手實驗操作流程圖照：



研究三、研究蟻獅體型大小與建造沙阱的大小真的無關嗎？

實驗目的：找出沙阱大小與體型『無關或有關』的關鍵證據

(一) 實驗前生態觀察與閱讀前人研究報告後的想法：

我們閱讀 3 篇相關的科展報告，1.『一沙一世界-蟻獅洞穴的探討 (文獻七)』指出，體長 $0.5\text{cm} \sim 1.4\text{cm}$ 的蟻獅所做的洞穴大小與體長沒有絕對的關係。2.『蟻獅築巢行為初探 (文獻八)』指出，蟻獅巢穴直徑和體長有正相關。3.『沙漏中的小精靈 (文獻九)』指出，體型大的蟻獅築的陷阱大、體型小築的陷阱小。(如表 6)

表 6：觀察『蟻獅沙阱，標示出沙阱大小』的動手實驗操作流程圖照：



(二) 觀察後我們產生的疑問：

閱讀了 3 篇關於蟻獅體型建造沙阱大小的研究，『結果都不同』？讓我們心中產生疑惑、為了釐清報告間的差異，我們想用更清楚的實驗步驟流程與圖照，去求證精確的實驗結果，解答疑問。

(三) 提出假設：我們提出『體型大蟻獅會作出大沙阱、體型小蟻獅會作出小沙阱』的假設。

(四) 動手實驗：

表 7：測量『蟻獅沙阱大小』的動手實驗操作流程圖照：



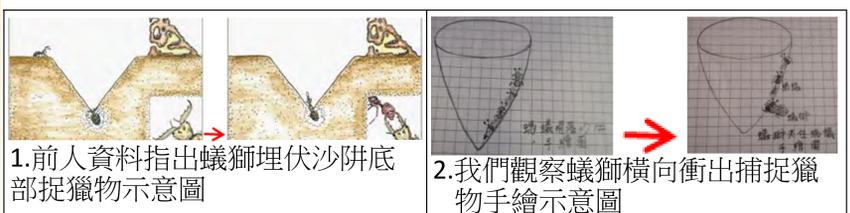
研究四、研究沙阱對蟻獅捕食的重要性

實驗目的：找出蟻獅埋伏在沙阱位置與捕捉獵物的實驗

(一) 實驗前閱讀前人研究報告與我們的生態觀察的想法：

我們閱讀『吃螞蟻的獅子』文章，模擬蟻獅埋伏在沙阱最底端位置，『由下往上』捕捉獵物 (文獻五)。我們初步觀察，蟻獅是『接近沙阱底部橫向』捕捉獵物。(如表 8)

表 8：前人敘述『獵物掉落沙阱過程』與我們觀察的手繪圖差異：



(二) 觀察後我們產生的疑問：前人研究『蟻獅埋伏位置』與我們觀察結果不同，令我們產生疑問，因此要做實驗求證。

(三) 提出假設：提出蟻獅以『橫向姿態埋伏在接近沙阱底端，等待獵物上鉤』的假設。

(四) 動手實驗：

實驗 4-1：找出蟻獅埋伏的『正確位置』

步驟：以 32 隻蟻獅沙阱為樣本，用吹塵球輕輕按壓，使沙土輕微崩落，讓蟻獅以為獵物上鉤，衝出捕捉，以錄影機錄下竄出位置，記錄埋伏正確位置。(如表 9)

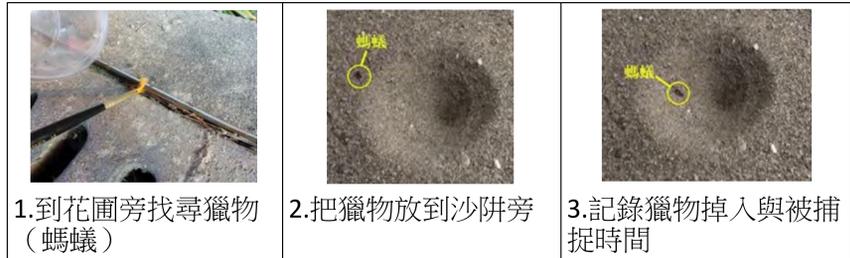
表 9：尋找『蟻獅埋伏位置』的動手實驗操作流程圖照：



實驗 4-2：確定蟻獅埋伏位置後，進行『如何捕捉獵物』的實驗

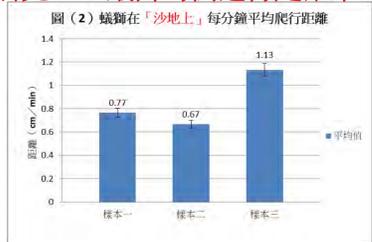
步驟：以 17 隻蟻獅樣本為例，把螞蟻放到沙阱附近自然掉落，觀察與記錄 1.獵物滑落時間 2.捕捉獵物時間。2 天後重複再做一次，計算平均值。(如表 10)

表 10：記錄『蟻獅捕食』的動手實驗操作流程圖照：

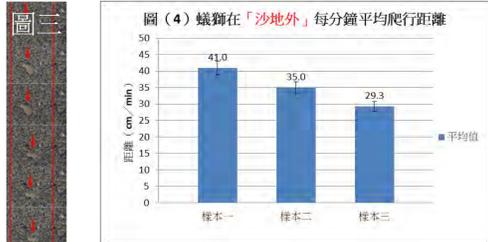


伍、研究結果

研究一、蟻獅的倒退行走結果

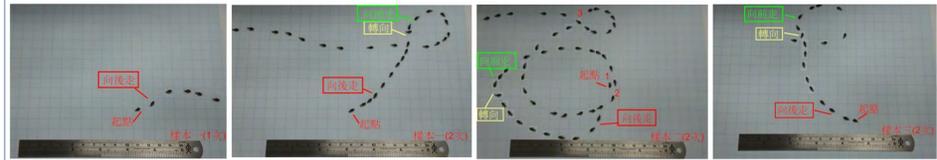


樣本一 0.77 ± 0.21cm/min
 樣本二 0.67 ± 0.13cm/min
 樣本三 1.13 ± 0.33cm/min
 平均 0.86 ± 0.08cm/min



樣本一 41 ± 7.79cm/min
 樣本二 35 ± 13.14cm/min
 樣本三 29.3 ± 12.66cm/min
 平均 35 ± 2.42 cm/min

表 11: 蟻獅在「沙土外的地上爬行路徑」結果



實驗結果:沙土上蟻獅只會倒退走。沙地外出現三種行走方式:①倒退走出弧形狀路徑② 180°大轉彎③向前走出 1~3 個類圓形。

所以符合當初假設:『蟻獅倒退走行為與所建造的圓錐狀沙阱是有關聯的』

結果與疑問?

前人研究:文獻十發現二齡及三齡蟻獅『倒退畫圓』逐漸『向內向下』旋轉並拋出沙體建造陷阱。

我們的實驗結果:蟻獅倒退走出弧形與類圓形的行為,與前人的研究不一樣提出新假設:會『走出類圓形再 180°轉彎、向下挖,建造圓錐狀沙阱』

再次進行實驗(一) 步驟:1 觀察足部; 2 紀錄行走; 3 紀錄建造沙阱過程。

表 12: 觀察蟻獅腳部重要特徵與行走操作步驟、結果

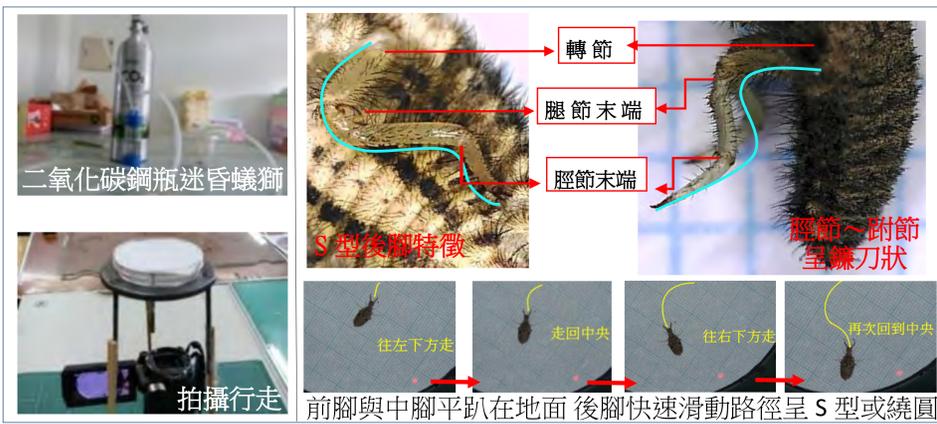
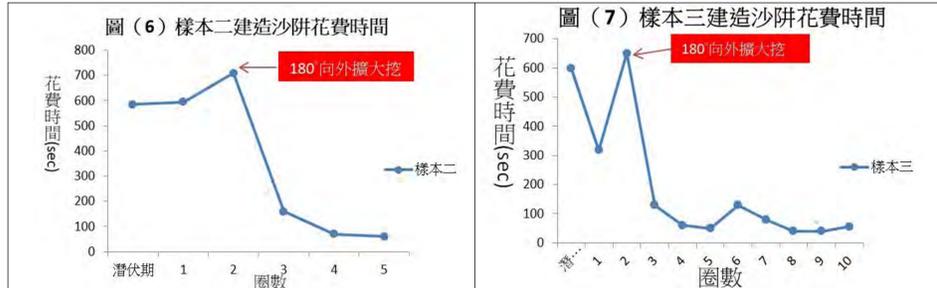


表 17: 五隻蟻獅建造沙阱「圈數與花費時間」的結果圖照



1.0cm 的蟻獅潛伏 586 秒, 花 1595 秒走 5 圈, 完成直徑 1.9cm 深 1.3cm 的沙阱
 1.0cm 的蟻獅潛伏 599 秒, 花 1054 秒走 10 圈, 完成直徑 3.2cm 深 2.9cm 的沙阱

再次進行實驗(二) 步驟:1 測量鑽入角度到正多邊形; 2 演算等角螺線到收斂點。

當蟻獅的轉向角為 $\frac{360}{K}$ ($K \in \mathbb{N}, K \geq 3$) 時, 收斂點為 $\begin{cases} x = \sum_{n=1}^K R_n \cos\left[\frac{360}{K}(n-1)\right] \\ y = \sum_{n=1}^K R_n \sin\left[\frac{360}{K}(n-1)\right] \end{cases}$

收斂點的 x 座標為
$$X = R_1 + R_2 \cos\left[\frac{360}{K}\right] + R_3 \cos\left[\frac{360}{K} \times 2\right] + \dots + R_K \cos\left[\frac{360}{K} \times (K-1)\right]$$

$$= \sum_{n=1}^K R_n \cos\left[\frac{360}{K} \times (n-1)\right]$$

收斂點的 y 座標為
$$y = R_2 \sin\left[\frac{360}{K}\right] + R_3 \sin\left[\frac{360}{K} \times 2\right] + \dots + R_K \sin\left[\frac{360}{K} \times (K-1)\right]$$

$$= \sum_{n=1}^K R_n \sin\left[\frac{360}{K} \times (n-1)\right]$$

表 14: 蟻獅行走過程出現「正多邊形」到「等角螺線」動手操作流程圖照

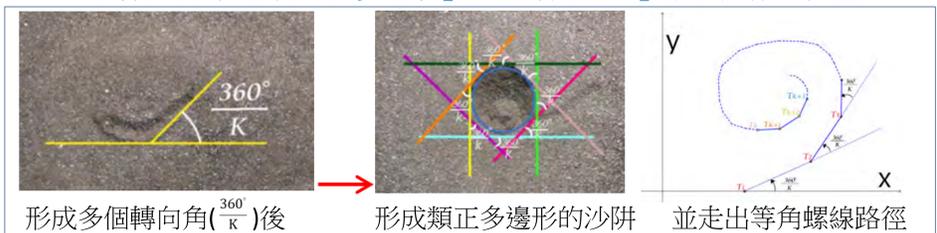
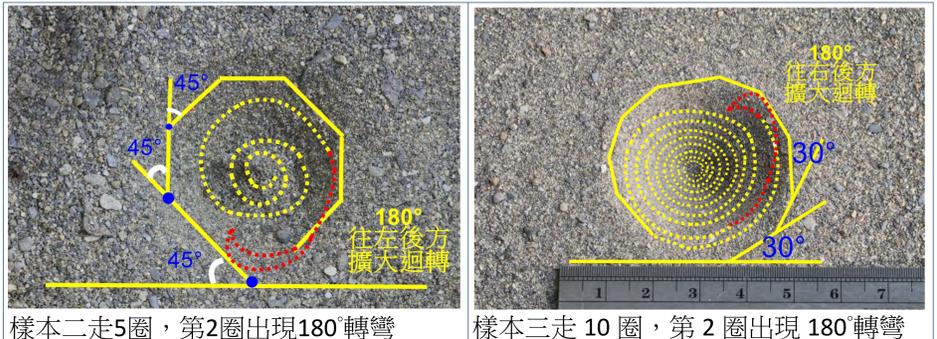
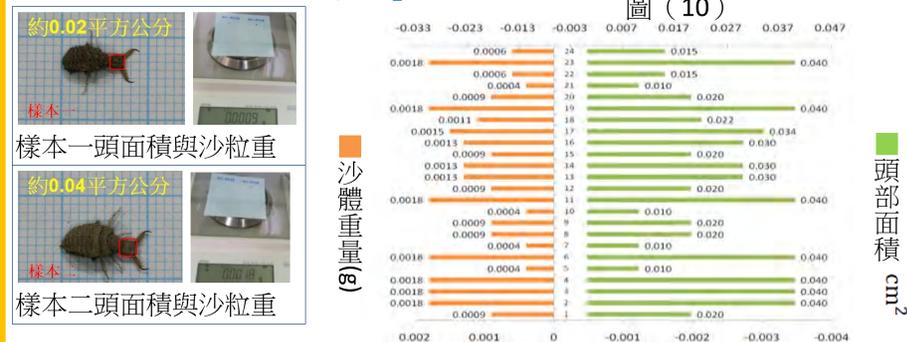


表 18: 蟻獅「身體傾斜角度與類等角螺旋路徑」的結果圖照



研究二、蟻獅挖掘沙阱的構造與拋沙的行為結果

表 19: 「頭部面積與承載沙粒重」結果圖照



二齡蟲頭部面積 0.01 cm² ~ 0.015 cm², 承載沙體重量約 0.0004g ~ 0.0006g
 三齡蟲頭部面積 0.02 cm² ~ 0.04 cm², 承載沙體重量約 0.0009g ~ 0.0018g

表 20: 蟻獅「頭部向後側仰角度」結果圖照

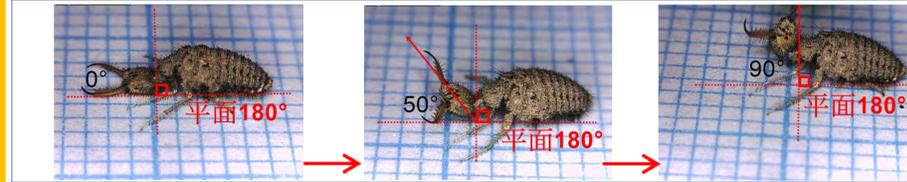
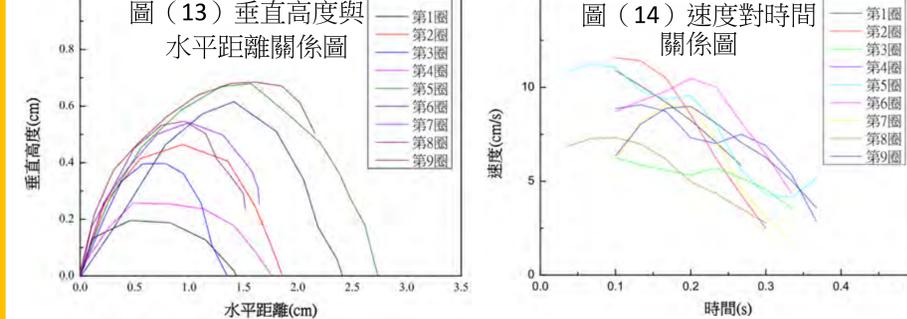


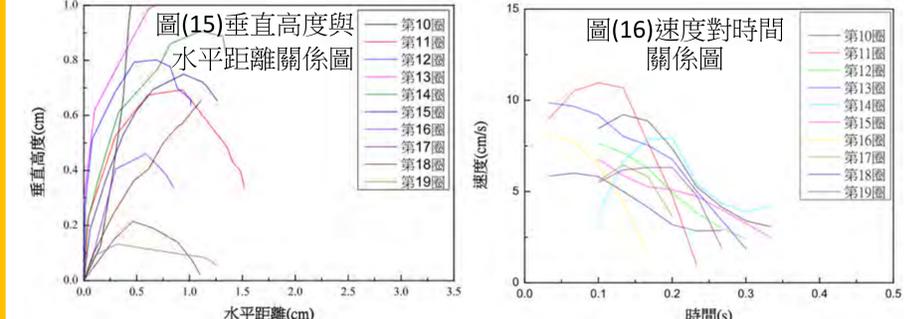
表 21: 建造沙阱 1~5 圈「射程、高度、初始角度、速度與最大加速度」結果表

圈數	最大射程(cm)	最大高度(cm)	初始角度'	初始速度 cm/s	最大加速度 cm/s ²
1	2.39	0.439	104'	5.78	61.29
2	1.72	0.357	45'	6.64	80.07
3	2.88	0.519	34.64'	9.87	82.25
4	1.26	2.43	6.58'	11.63	103.43
5	0.565	1.76	107.04'	8.63	79.35

因深度加深產生下列結果:
 最大射程縮短, 平均 1.76 ± 1.37 cm
 最大高度增加, 平均 1.10 ± 0.84 cm
 初始角度變大, 平均 59.45 ± 39.67°
 初始速度增加, 平均 8.51 ± 2.12cm/s
 最大加速度變快, 平均 81.28 ± 13.39 cm/s²



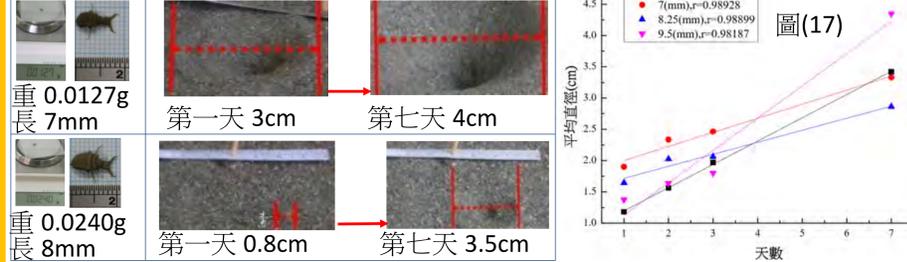
水平距離會逐漸減少, 拋射角度變大
 只考慮位置對時間, 速度愈來愈小, 為負加速度運動, 沙因阻力而愈來愈慢



垂直的高度變大且沙子落在側壁
 速度變化量變小, 所施的力也較小

研究三、蟻獅體型大小與建造沙阱大小無關的實驗結果

表 22: 測量「體長、重量與直徑」結果圖照



四組體長不同蟻獅建的沙阱直徑 r 值都超過 0.9, 雖然直徑會變大, 卻與體長無關

結果與疑問?

發現不符合體長大小與直徑『有關係』的實驗假設

提出新假設:『大顎長度、張開角度與埋伏位置』是影響直徑與深度的原因

實驗(一)測量蟻獅大顎『長度與張開角度』如(表 23)

實驗(二)計算蟻獅『埋伏最高、最低深度(由沙阱底部往上算)與最大小範圍』

設 Y = 大顎長、 k = 深度/半徑

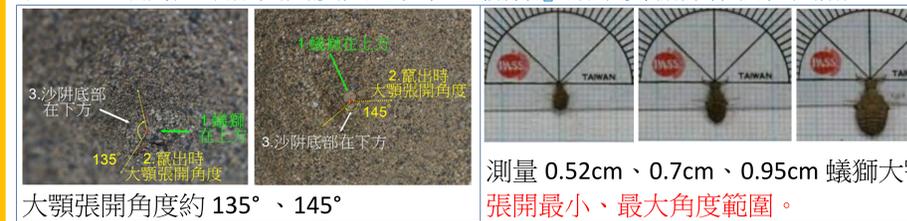
求證埋伏『深度』範圍:

$Y \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot K$ (最小) ~ $Y \cdot K$ (最大)

求證埋伏『半徑』範圍:

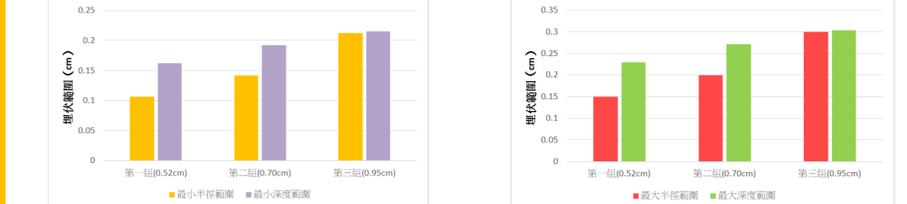
$Y \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2}$ (最小) ~ Y (最大)

表 23: 『蟻獅大顎張開角度與埋伏位置關係』動手實驗操作流程圖照



大顎張開角度約 135°、145°

再次進行實驗獲得解決的結果:

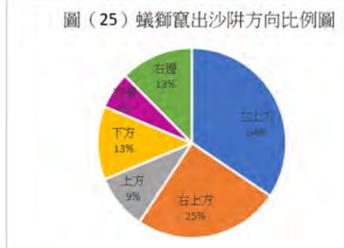
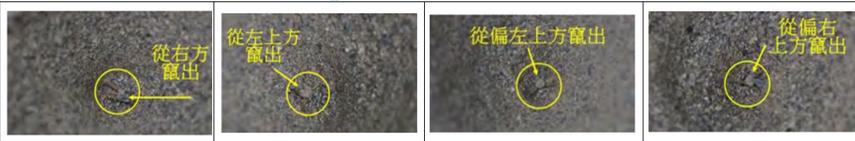


大顎張開 90° 平均埋伏半徑和深度範圍在 0.153 ± 0.044 cm、0.19 ± 0.022 cm

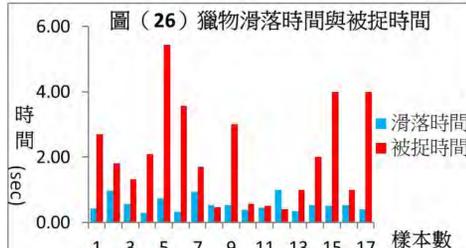
大顎張開 180° 平均埋伏半徑和深度範圍在 0.217 ± 0.062 cm、0.268 ± 0.031 cm

研究四、探討沙阱對蟻獅的捕食重要性結果

表 25：『蟻獅埋伏位置』竄出的結果



說明：蟻獅會分別從不同方向橫向竄出 (N=32)



說明：①獵物滑落時間 0.28~1.00 sec 平均 $0.55 \pm 0.22\text{sec}$
②獵物被捉時間 0.40~5.43sec 平均 $2.09 \pm 1.44\text{sec}$ (N=17)

結果與疑問？

上面的實驗結果，我們發現兩個疑問？第一個疑問，獵物掉落沙阱時間在 0.28 秒極短的時間內，但是為什麼在捕捉獵物的時間上出現『0.40 ~ 5.43 秒之間的大落差』？第二個疑問，如果沒有埋伏在沙阱的情況下，蟻獅是直接捉獵物？還是有其他的方法呢？

再次進行實驗，解決疑問？

提出新假設：『獵物掉入不同的方向，以及沒有沙阱情況下會影響到蟻獅捕捉獵物』。

實驗設計 1：不同方向『投餵獵物』實驗

步驟：實驗組『同方向投餵獵物』、對照組『對面方向投餵獵物』：以 22 隻確定蟻獅方向當樣本，用鑷子夾螞蟻，分別從同方向與不同方向每隔 2 天投餵一次，記錄蟻獅捕捉時間。

實驗設計 2：蟻獅在『無沙、淺沙捕捉獵物』的實驗

步驟：實驗組『無沙處投餵獵物』、對照組『淺沙處投餵獵物』：把蟻獅與獵物同時放在淺沙及沒有沙土的培養皿內，記錄蟻獅如何捕捉獵物。（如表 26）

再次進行實驗獲得解決的結果：

表 26：蟻獅『進行投餵』--動手實驗操作流程圖照

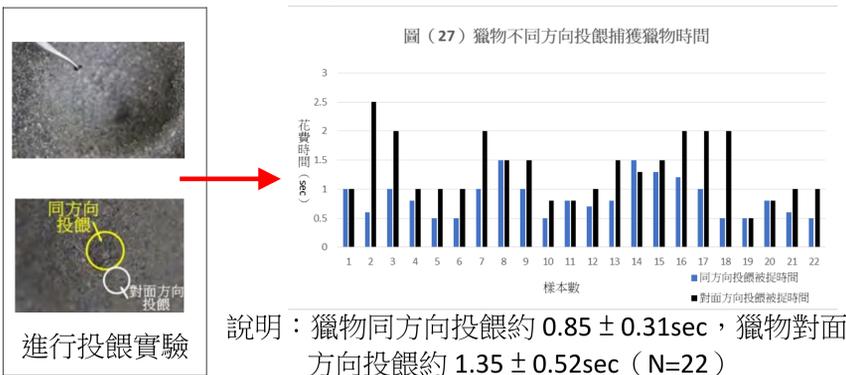


表 27：蟻獅在『淺沙與無沙下』與獵物間的結果圖照



陸、問題與討論

一、關於蟻獅建造沙阱的策略中，『蟻獅胸腳與其他昆蟲腳的特徵』的比較討論

表 28：幾種『完全變態昆蟲腳的型態』觀察比較討論結果



蟻獅 S 型後腳，紋白蝶、瓢蟲、獨角仙幼蟲腳是鉤狀，壺蜂幼蟲沒有腳只能靠蠕動移動

二、關於蟻獅的建造沙阱策略中，『空的沙阱還能不能重複利用』及『遇到強風或遇到雨水』，蟻獅有什麼反應的問題討論

表 29：蟻獅的空沙阱『能不能重複利用』觀察討論結果



將蟻獅釣起後，把另一隻蟻獅倒入空沙阱中，結果蟻獅把原沙阱擴大

三、關於蟻獅所建造沙阱的策略中，沙阱『遇到強風或遇到雨水』，蟻獅會有什麼反應嗎？

表 30：沙阱『遇到強風被埋、遇到下雨』的變化觀察討論結果



四、關於蟻獅建造沙阱的策略中，『群聚』的問題討論：

表 31：蟻獅『群聚建造沙阱過程』觀察與討論結果



五、關於蟻獅捕食策略中，『大顎』的功能討論

表 32：大顎『型態』觀察與討論結果



1.大顎夾擊範圍示意圖 2.正面有 3 個刺狀齒凸 3.背面有血管狀構造

柒、結論

研究一、蟻獅倒退走行為與建造沙阱間的關係實驗結論：

- (1) 在無沙地上出現的路徑特徵：
 - 1.以 $20^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 間倒退走，出現弧形路徑
 - 2.會 180° 大迴轉後改以反方向向前走出 1 ~ 3 個類圓形，當鑽入沙土的角度 30° 、 45° 、 60° ，會分別走出 12 邊、8 邊、6 邊等類正多邊形的沙阱。
 - 3.挖掘的路徑只要經過 180° 大迴轉後，就會改以反方向向下挖掘，最終走出『類等角螺線』路徑的沙阱。
- (2) 再次經求證的結果，第一、二對腳通常呈平趴姿態，第三對後腳呈 S 形，行走快速，是掌控轉彎路徑的主要構造。

研究二、蟻獅挖掘沙阱的構造與拋沙行為的實驗結論：

- (1) 頭部能向後側仰達 90° ，證實拋沙構造是頭部，不是大顎。
- (2) 三齡蟻獅頭部平均面積是 $0.0309 \pm 0.0086\text{cm}^2$ 承載沙土平均重量約 $0.0014\text{g} \pm 0.0004\text{g}$
- (3) 再次經過求證的結果，蟻獅建造沙阱，因深度加深會產生下列結果：
 - 1.最大射程平均縮短， $1.76 \pm 1.37\text{cm}$ 。
 - 2.最大高度平均增加， $1.10 \pm 0.84\text{cm}$ 。
 - 3.初始角度平均變大， $59.45 \pm 39.67^{\circ}$ 。
 - 4.初始速度平均增加， $8.51 \pm 2.12\text{cm/s}$ 。
 - 5.最大加速度平均 $81.28 \pm 13.39\text{cm/s}^2$ ，因深度越深加速度變快。

研究三、蟻獅體型大小與建造沙阱大小有無關係的實驗結論：

- (1) 四組不同體長、體重蟻獅建造沙阱直徑大小與深度，r 值都超過 0.9，代表具有高度的相關性。但當建造沙阱的天數越長，直徑與深度雖越大越深，卻與體長大小沒有關係。
- (2) 再次經過求證的結果，蟻獅並不是埋伏在沙阱的最底部，當大顎張開 90° 與 180° 時，分別埋伏半徑、深度範圍在 $0.153 \pm 0.044\text{cm}$ 、 $0.19 \pm 0.022\text{cm}$ 與 $0.217 \pm 0.062\text{cm}$ 、 $0.268 \pm 0.031\text{cm}$ 。得到直徑與深度的大小與當時埋伏的半徑、深度有關。

研究四、探討沙阱對蟻獅捕食的重要性實驗結論：

- (1) 獵物掉落位置與蟻獅埋伏位置有所差異，會影響捕捉機率與時間長短。
- (2) 再次經過求證的結果，捕捉獵物速度：同方向投餵平均在 $0.85 \pm 0.31\text{sec}$ ；對面方向投餵平均 $1.35 \pm 0.52\text{sec}$ 。所以與頭部同方向掉落的獵物較快被捕食。
- (3) 蟻獅在淺沙或無沙阱的下不利於捕食行為，通常造成會兩敗俱傷或是捕捉不到獵物。

表 33：研究總結，綜合前人研究報告與我們實驗的結論比較

前人的研究的觀察或結果	我們推翻前人實驗與新發現
1.由外而內的同心圓方式 2.後退鑽入沙 3.倒退畫圓	1.在沙土外行走的新發現：倒退走出弧狀路徑， 180° 大迴轉後向前走出類圓。 2.沙土上行走的新發現：倒退走向後外方拋， 180° 大迴轉擴大挖掘，仍然用倒退走方式，向後、向下挖掘沙。
1.有噴沙行為 2.頭部鏟土 3.大顎當鏟	1.推翻：不是大顎鏟沙或噴沙，而是頭部向後側仰到 90° ，把沙拋出去。 2.新發現：求出頭部面積大小，與每次承載拋出沙量的重量。
1.向內向下旋轉建造陷阱 2.腹部螺旋狀向下鑽洞	1.新發現：求出挖掘沙阱需要的圈數。 2.新發現：求出拋沙最大最小射程、高度，初始角度、速度，最大加速度。 3.新發現：沙阱最後形成的形狀，像一個類等角螺線向下旋轉而成。
1.洞穴大小與體長沒有絕對的關係 2.蟻獅的巢穴直徑和體長有正相關 3.體型大蟻獅築的陷阱大、體型小築的陷阱較小	1.求出直徑與深度雖然越大、越深，卻與體長大小沒有關係。 2.新發現：沙阱的大小跟大顎長度、張開的角度與埋伏在接近底部半徑間的深度有關。且發現計算出的是由下往上數的深度範圍。
1.埋伏在沙阱底部，由下往上衝出捕捉獵物 2.待在陷阱底部等待獵物落下	1.推翻：蟻獅並非由下往上衝出捉獵物，而是橫向衝出捕捉獵物才對。 2.新發現：蟻獅捉獵物的動作順序。橫向衝出沙阱→大顎夾擊→夾到獵物→沒夾到獵物，會重複頭部向後仰側拋沙粒，動作停止後→發現仍然沒有獵物，大顎打開，橫向退回埋伏。
獵物嘗試逃出陷阱時，猛烈晃動頭部，用大顎拋沙造成陷阱崩落，使獵物再度掉入陷阱中	1.推翻：應該是利用頭部拋沙，沙粒撞擊沙阱，造成獵物再次滑落下來。 2.新發現：觸角快速感應同方向掉落的沙土與獵物，所以捉獵物速度從頭部同方向掉落 > 對面方向掉落的獵物。 3.新發現：必須依靠沙阱才能順利捉到獵物，沒有沙阱掩護，會兩敗俱傷。

捌、參考資料及其他

- 一、陳俊興 (2003)。「絕命追殺令」-沙丘中的蟻獅。中華民國第四十三屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 二、吳鼎毅 (2003)。「一沙一世界-蟻獅洞穴的探討」。中華民國第四十三屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 三、林淑真 (2004)。「蟻獅築巢行為初探」。中華民國第四十四屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 四、周立揚 (2004)。「沙漏中的小精靈」。中華民國第四十四屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 五、林莞瑜 (2007)。「飢餓與密度對土阱蟻蛉幼蟲陷阱構築行為之影響」。國立高雄師範大學生物科技系 碩士論文。
- 六、王思傑 (2010)。「蟻退為進，含沙射蟻-蟻獅行走及攝食行為之探討」。國立政治大學附屬高級中學校內科展作品說明書。