

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生物科

第三名

080306

虎克 Run and Fly

-八星虎甲蟲成蟲的移動方式探究

學校名稱：國立東華大學附設實驗國民小學

作者： 小六 周佳儒 小六 顧崇懷 小六 李晴 小六 郭曉蓁	指導老師： 周裕欽 廖品蘭
--	---------------------

關鍵詞：八星虎甲蟲、移動策略、移動速度

2016 暑假發現八星虎甲蟲，即展開觀察，探究牠們捕食、避敵的移動速度與策略。

研究發現，虎甲蟲的頭、胸、腹比為 1:4:3，翅膀與三對足皆由胸部長出，是行控中心。捕食螞蟻，會壓低身體，慢慢接近，移動速度為每秒 4.22 公分，比螞蟻每秒 0.9 公分快 4.7 倍。捕食螞蟻時，觸鬚能偵測到 10 公分外的螞蟻，複眼則鎖定 3 公分獵物，兩者需合作，才能成功捕食獵物。與紅腳細腰蜂打鬥採正面衝撞策略，並以每秒 36.5 公分的速度，逃離打鬥現場。遇到人類時，會以每秒 1.3 公尺的速度，快速飛離現場。

步行採「三角步態」。前進時，前足用鉤爪固定地表將身體拉前；中足支撐；後足推動身體。使得八星虎甲蟲移動時，能將身體保持在三角形重心內。

關鍵字：八星虎甲蟲 移動策略 移動速度

壹、研究動機

2016 年暑假到鯉魚潭踏查，意外發現一群行動快速的昆蟲；當我們接近時，牠們馬上快速展翅飛離，不久卻又停在我們前面。從觀察牠的外型特徵、身體結構(四下自然-認識昆蟲單元)，我們發現這些小昆蟲就是八星虎甲蟲 (*Cosmodela batesi*)。觀察牠們的避敵行為後，我們感到相當好奇：為什麼牠們不飛遠一點？難道是因為移動速度夠快，不擔心我們的干擾，所以不用逃太遠嗎？牠們究竟飛多快呢？除了用飛的方式之外，在捕食或避敵時，



圖 1 八星虎甲蟲

還有不同的移動方式與策略嗎(五下自然-動物如何求生存單元)？針對這些疑惑，我們查詢許多昆蟲書籍與相關研究資料，未能獲得較為明確的解答；因此希望能透過一系列的觀察探究，了解這些快閃族的移動方式以及移動的速度。

貳、研究目的

- 一、了解八星虎甲蟲成蟲的習性、探究牠們在棲地裡的生態行為。
- 二、探究八星虎甲蟲成蟲的捕食、避敵方式，並偵測其移動的速度。

參、相關文獻

一、八星虎甲蟲的簡介

八星虎甲蟲早期被鑑定為 *Cicindela aurulenta*(Fabricius, 1801)，但 Werner 等人在 2002 年重新鑑定後，修正為 *Cosmodela batesi*(Fleutiaux, 1893)，屬於臺灣特有種。其分類地位為動物界、節肢動物門、昆蟲綱、鞘翅目、虎甲蟲科，是臺灣常見的地棲甲蟲，生活史歷經卵、幼蟲、蛹及成蟲四個階段。



圖 2 成蟲的體色呈現金屬光澤

成蟲身體顏色由黑、褐、深綠及紅等色構成，外表皮呈現金屬光澤，並在頭部與胸節之間長滿白色細毛；左右鞘翅共有 6 枚大白斑，另外在外緣前端還各有一枚小白斑，合計八枚，因此稱為八星虎甲蟲(引自吳怡欣、何嘉浩、蕭忠義、楊平世，2006)。

成蟲出現於 4-10 月，分布於全中海拔以下地區。喜歡在白天活動，出沒在林間小徑，以獵捕小型昆蟲為食。牠們的頭部很大，有一雙鼓出的大眼睛，大顎極為發達，外觀看似一對大獠牙，體色花紋如虎斑，長且細的腿和彎曲的頷骨，看起來體型雖然小卻頗為凶悍。



圖 3 如獠牙般的大顎

駝背的身體利於捕獲地面上的昆蟲，捕獵食物時會用六足頂高身體，抬頭挺胸，四處張望，準備隨時發動攻擊，迅速掠食地面上的小昆蟲，經過的螞蟻、甚至體型比牠大的毛蟲，都能輕鬆獵捕。

二、八星虎甲蟲的生態行為

八星虎甲蟲又稱為「引路蟲」，當遇到人類靠近時即向前飛逃，但也因不擅長長距離的飛行，所以往往飛一小段距離後即停下來；等人再靠近時又再度向前飛逃。看起來就像在為人帶路一樣(黃文伯，2008)。由於牠們是日行性動物，生性好鬥，速度快，行動迅速的成蟲反應速度與家蠅相當，甚至有部分品種移動速度可高達 9 公里/小時(維基百科-虎甲，<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%99%8E%E7%94%B2>)。這些文獻讓我們產生一系列疑問：我們在棲地所觀察到的八星虎甲蟲移動速度有多快？牠們在捕食及避敵時的跑步速度一樣嗎？可以跑多快？飛多快呢？在面對不同的狀況下，會使用同樣的移動方式嗎？另外，我們也想對棲地八星虎甲蟲的生活習性以及行為進行調查，深入了解八星虎甲蟲成蟲活動的時間範圍、同一棲地昆蟲種類、喜歡捕食的昆蟲類行與生態行為。

肆、研究問題

依照上述的文獻探討，我們的研究問題選定如下：

問題一、八星虎甲蟲身體構造中與移動有關的部位及其特徵為何？

問題二、八星虎甲蟲成蟲出現在棲地的時間點？

問題三、除了八星虎甲蟲，棲地還有哪些生物種類？

問題四、棲地裡八星虎甲蟲成蟲有哪些行為？牠們的移動方式為何？

問題五、八星虎甲蟲如何捕食螞蟻？捕食螞蟻的移動速度有多快呢？

問題六、八星虎甲蟲捕食螞蟻的移動過程中，觸鬚和複眼扮演什麼角色呢？

問題七、八星虎甲蟲如何攻擊紅腳細腰蜂？移動速度多快呢？

問題八、八星虎甲蟲如何避開人類干擾？移動速度多快呢？



伍、研究方法、設備及器材

一、研究方法

本研究以自然觀察為主，藉由使用電子設備(如：相機、攝影機)等工具，以數位化的方式在棲地觀察八星虎甲蟲所展現的行為。

此外，為了更深入了解八星虎甲蟲的行為模式，我們也採集了五隻已經死亡的八星虎甲蟲蟲體；並各採集五隻八星虎甲蟲以及深山虎甲蟲活體，進行飼育觀察，以輔助自然觀察的不足。



圖 4.棲地採集的蟲體



圖 5.使用攝影機協助觀察

以下說明本研究流程：

(一)、確認研究棲地的範圍

本研究的棲地位於鯉魚潭環潭步道 1.7 公里處，以 google earth 定位，為北緯 23.928662、東經 121.515307。此一棲地距離潭水僅 4 公尺，周圍植被密度高，生物種類眾多。8-10 月的平均氣溫為 27.6 度、濕度為 81%。由於棲地位在背陽坡，研究調查期間的日照，約從上午 8:30 到下午 17:30 止。本研究棲地為一處螢火蟲復育的自然保育區，棲地範圍內未使用任何農藥。

研究初期兩次的棲地調查中，發現棲地裡的虎甲蟲成蟲多數躲在棲地右側的土區，在這範圍內，亦有許多幼蟲挖洞的洞口，可見這裡是八星虎甲蟲重要的生活範圍。為了讓後續的觀察研究能夠聚焦，我們於是決定將此處作為本研究長期觀測的區域(如下圖 6)。



圖 6 本研究棲地位置。圖片來源：google earth



(二)棲地面積測量與區塊位置編號

經過測量得知本研究棲地的長、寬分別為 9 公尺、2.1 公尺，棲地面積為 18.9 平方公尺。我們將這塊棲地用細綿線隔成 18 個小方塊，並進行區塊編號 (1-18 號)。區塊面積略有不同，單號區域



圖 7 分隔棲地區塊

長 1 公尺，寬 1.1 公尺，面積 1.1 平方公尺。雙號區域長寬各為 1 公尺，面積 1 平方公尺。

(三)棲地觀察與記錄的步驟

研究調查期間，研究隊員分成 A、B 兩組同時進行觀察。A 組由 1 號棲地開始觀察，用肉眼依序由右而左、由上而下的方式，來回掃描檢視棲地上的物種。當觀察到目標物，稍停畫記在預先準備好的調查記錄單上。B 組同學則採相反的順序、相同的步驟進觀察，依序完成 18 塊小棲地的觀測為止。

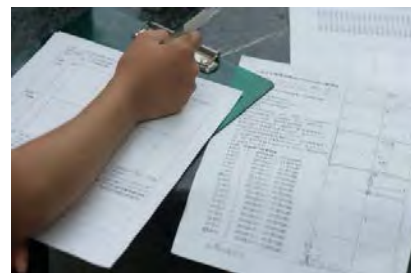


圖 8 觀察紀錄表

(四)攝影機輔助觀察記錄的方式

為蒐集更多觀察資料，本研究使用攝影機進行輔助性的觀察紀錄。研究第一階段，攝影機架設在棲地的中間(9-10 號)，進行探索性的觀察紀錄，用以觀測八星虎甲蟲在棲地出現的數量。隨著觀測次數漸多，研究焦點更為明確時，改採手持追蹤觀察錄影。以兩人一組，以攝影機追蹤紀錄八星虎甲蟲的行蹤，一直到無法追蹤到牠的行蹤為止。



圖 9 錄影機輔助觀察

(五)飼育觀察與實驗方式

為瞭解八星虎甲蟲捕食時，觸鬚及複眼所扮演的角色，研究者於 2017 年 05 月 17 日從棲地採集了五隻八星虎甲蟲活體(2 雌 3 雄)，進行飼育觀察及實驗。實驗完成後，於 06 月 17 日將 2 隻雌蟲放回棲地，並將因實驗而死亡的 3 隻雄蟲製作成標本，作為後續研究觀察的材料。

二、研究設備與器材

本研究使用單眼相機、錄影機、攝影腳架、生物顯微鏡、標本解剖工具組、書寫板、放大鏡、游標尺、觀察飼育箱、以及電腦、影像編輯軟體(PowerDirector 14)輔助進行資料分析。

表 1 研究器材與設備一覽表

			
單眼相機	攝影機及腳架	游標尺	學習單與書寫板
			
生物顯微鏡	電腦	影像剪輯分析軟體	標本解剖工具

陸、研究過程與結果

問題一：八星虎甲蟲身體構造中與移動有關的部位及其特徵為何？

為了解八星虎甲蟲身體構造及移動之間的關係，我們觀察八星虎甲蟲身體形態，並拆解八星虎甲蟲的標本，測量頭、胸、腹及前、中、後足長度，並換算出六足與身體的比例，以瞭解八星虎甲蟲移動器官與身體的比例特性。

(一) 研究步驟：

1. 軟化八星虎甲蟲標本，並依序將頭部、六足、鞘翅、內翅、胸部、腹部拆解下來。
2. 測量各部位長度，並依身體相對位置，使用膠水貼在硬紙板上。
3. 使用顯微鏡觀察足部的細部構造及特徵。
4. 分析與統計結果。



拆解標本-1

拆解標本-2

固定標本

測量各部件的長度

顯微觀察足部構造

圖 10 分解與分析八星虎甲蟲身體構造的過程

課程名稱：八星虎甲蟲的身體長度與行進構造觀測暨比例換算。

任務 1：破解八星虎甲蟲前、中、後足的長度及比例關係

任務 2：破解八星虎甲蟲各足部關節的長度及比例關係。

任務 3：破解八星虎甲蟲體長與各足部長度的比例關係。

所需工具		所需材料	
放大鏡	記錄用具	測量與統計表格	黏著工具
顯微鏡	鑷子	虎甲蟲標本	
尺	容器	衛生紙	

問題解決步驟：(3-6 個步驟，寫清楚研究者+工具+材料的關係)

1. []：用衛生紙包住虎甲蟲泡水 5 分鐘使其軟化
2. []：用鑷子拆下標本足部和觸鬚。
3. []：在白紙上黏著虎甲蟲足部，並標示各部位
4. 全：使用放大鏡(或顯微鏡)與尺，測量各部位長度並記錄。
5. 全：計算各部位長度比例。

首先，我們將虎甲蟲標本包在衛生紙中，泡些許的水，讓標本軟化不易碎裂。接著進行拆解，將標本的觸鬚、足部拆下，黏著在白紙上，並將白紙分成前、中、後足和觸鬚等區塊進行測量長度。最後，我們將長度資料整理好，記錄在學習單上面，計

圖 11 研究問題任務分工表(研究日誌)

表 2 八星虎甲蟲身體構造各部分測量結果一覽表(單位：mm)

	總體長	頭長	胸長(前段長、中後段長)	腹長	前足長	中足長	後足長
1 號蟲	14	2	7(2、5)	5	16	17	22
2 號蟲	14	2	7(2、5)	5	16	17	23
3 號蟲	18	2	9(3、6)	7	18	20	24
4 號蟲	18	2	9(3、6)	7	18	20	24
5 號蟲	16	2	8(2、6)	6	16	18	22
總數	80	10	40	30	84	92	115
平均長度	16	2	8	6	16.8	18.4	23

(二) 研究結果：

1.八星虎甲蟲身體分成頭、胸、腹三段，平均體長 16mm($14 \leq N \leq 18$)。頭、胸、腹三個部位平均長度分別為 2 mm、8 mm、6mm，長度比為 1:4:3，胸部的構造比例最大。

2.頭部由複眼、一對觸鬚及大顎組成。胸部分成「前胸」與「中後胸」兩節，鞘翅與內翅，分別由前胸前緣以及前胸側板長出。

3.三對足生長的位置，前足由前胸腹板長出，中後足由中後胸腹板前、後端長出。整體觀察，不論是飛行的鞘翅、內翅，或者步行的前、中、後三對足，都位於胸部構造上。可見胸部是八星虎甲蟲最重要的位移中心。

4.細部觀察八星虎甲蟲每一隻腳，由身體內側向外延伸出基節、轉節、腿節、脛節、跗節及爪五段構造，其中前足最短(平均 16.8mm, $16 \leq N \leq 18$)，後足最長(平均 23mm, $22 \leq N \leq 24$)。

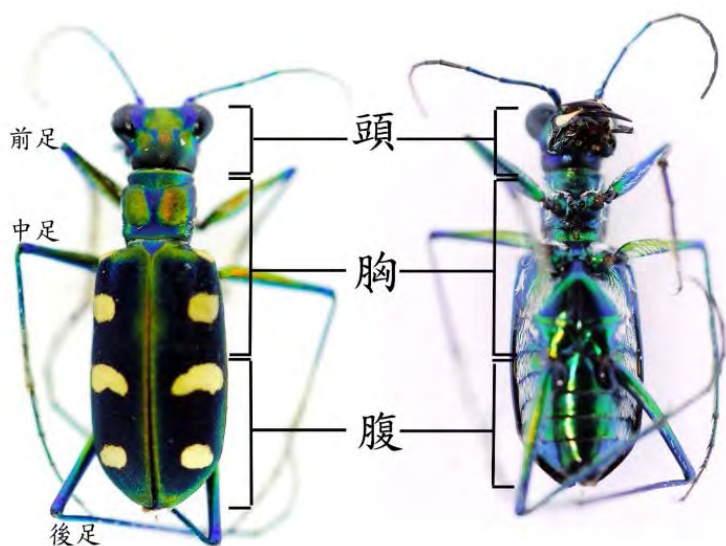


圖 12 八星虎甲蟲身體構造

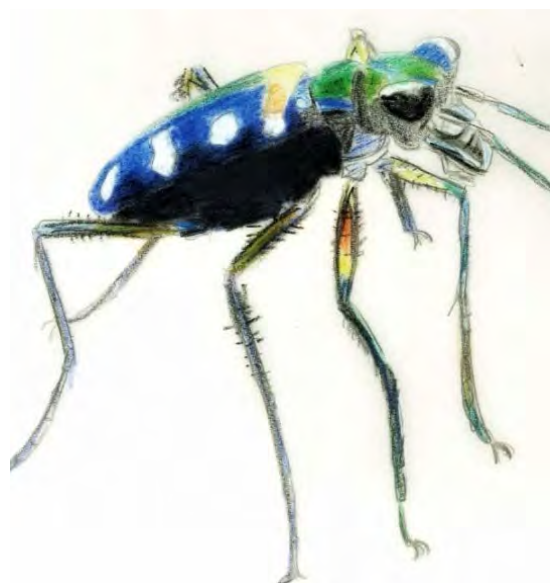


圖 13 進行昆蟲形態繪圖
以了解身體構造與比例

問題二：八星虎甲蟲成蟲出現在棲地的時間點？

(一) 調查過程：研究時間於 2016 年 7/31、8/07、8/14、8/21 日進行，從上午 6:00 到下午 8:00，每隔 30 分鐘進行棲地成蟲數量觀測，並統計調查數據。



記錄用的學習單

棲地觀察八星虎甲蟲

雨天的棲地調查-1

虎甲蟲成蟲照片

虎甲蟲成蟲夜間聚集照片

雨天的棲地調查-2

圖 14 八星虎甲蟲成蟲棲地調查過程照片

表 3 八星虎甲蟲成蟲出現時間記錄歸納表(2016 年 7-8 月)

時間	6:00-8:00				8:00-10:00				10:00-12:00				12:00-14:00				14:00-16:00				16:00-18:00				18:00-20:00			
觀察 間隔	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 1 次	第 2 次	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 3 次	第 4 次	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次
07/31	7	9	10	13	13	10	19	19	21	22	24	24	28	31	35	36	29	24	20	16	10	14	13	5	6	5	4	4
08/07	4	6	5	8	10	17	17	21	26	24	23	25	27	29	29	33	25	20	18	17	13	10	9	6	7	5	4	4
08/14	3	3	4	8	11	11	7	20	19	21	23	25	31	30	29	24	20	17	15	13	12	14	10	5	6	4	5	6
08/21	3	3	4	6	6	7	8	12	11	13	14	20	19	23	23	21	15	13	13	13	9	6	4	4	6	5	5	4
總數 (隻)	96				208				336				448				288				144				80			
平均 (隻)	6				13				21				28				18				9				5			
排序	6				4				2				1				3				5				6			

(二) 調查結果：

調查期間，12:00 到 14:00 之間出現在棲地的八星虎甲蟲數量最大(平均 28 隻， $19 \leq N \leq 36$)。其次依序為上午 10:00 到中午 12:00(平均 21 隻， $11 \leq N \leq 26$)、下午 14 點到 16:00(平均 18 隻， $13 \leq N \leq 29$)、上午 8 點到 10:00(平均 13 隻， $8 \leq N \leq 21$)、下午 16:00 點到 18:00(平均 9 隻， $4 \leq N \leq 14$)及上午 6:00 點到 8:00(平均 6 隻， $3 \leq N \leq 13$)，晚上 18:00 點到 20:00(平均 5 隻，躲藏在棲地的樹上不動)。

問題三：除了八星虎甲蟲，研究棲地中還有哪些生物種類？

(一) 調查過程：研究時間於 2016 年 7/31、8/07、8/14、8/21 日進行，從 6:00 至 18:00，每隔 1 小時進行觀測，遇到小昆蟲或者其他小生物，進行記錄及拍照，依序完成 1~18 號棲地上的生物調查。

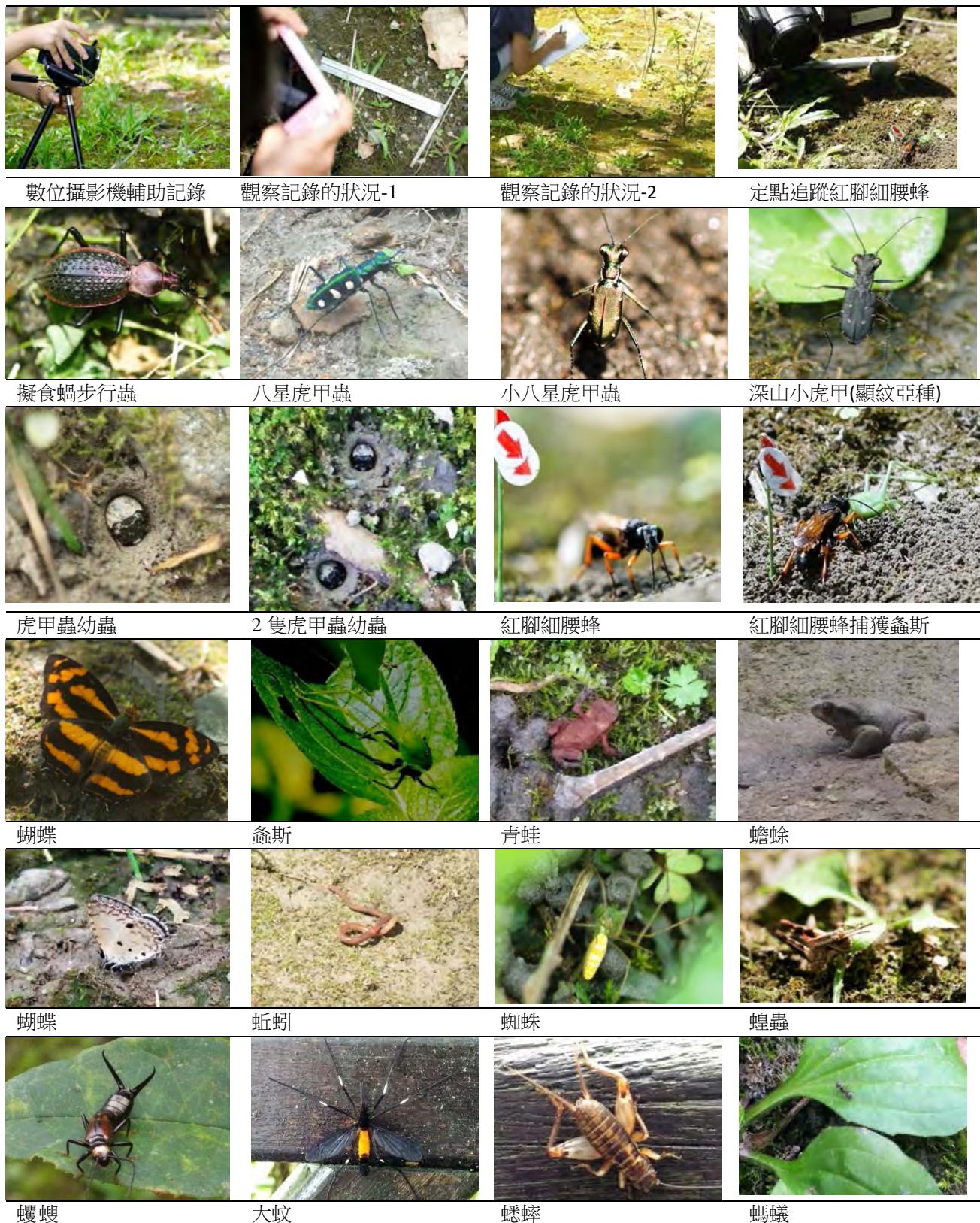


圖 15 八星虎甲蟲棲地物種調查結果

表 4 八星虎甲蟲生活棲地物種調查結果

日期	7/31	8/7	8/14	8/21
生物種類	紅腳細腰蜂、蜜蜂、小灰蝶、青斑蝶、螞蟻、蝗蟲、蚯蚓、八星虎甲幼蟲、深山微虎甲成蟲、青蛙。	紅腳細腰蜂、蜜蜂、小灰蝶、螞蟻、攀木蜥蜴、蒼蠅、蠡斯、蚯蚓、擬食蝸步形蟲、八星虎甲幼蟲、深山微虎甲成蟲。	紅腳細腰蜂、蜜蜂、螞蟻、石龍子、蟋蟀、蜘蛛、蝗蟲、蚯蚓、蠼螋、瓢蟲、八星虎甲蟲幼蟲、深山微虎甲蟲、小八星虎甲蟲。	紅腳細腰蜂、蜜蜂、小灰蝶、紅螞蟻、攀木蜥蜴、蒼蠅、蟾蜍、蜘蛛、炸蝻、蠡斯、蚯蚓、八星虎甲蟲幼蟲、深山微虎甲蟲。

(二) 調查結果：

1. 八星虎甲蟲活動的同一個棲地，出現紅腳細腰蜂、蜜蜂、灰蝶、螞蟻、石龍子、蜘蛛、蝗蟲、蟋蟀、大蚊、蚯蚓、瓢蟲、八星虎甲蟲幼蟲、深山微虎甲蟲成蟲、小八星虎甲蟲成蟲、青蛙、蟾蜍、蠼螋、擬食蝸步行蟲等生物。

2 歸納整理每次的調查結果，都能發現紅腳細腰蜂、螞蟻、蚯蚓、八星虎甲蟲幼蟲，這些小生物可以說是八星虎甲蟲的鄰居。

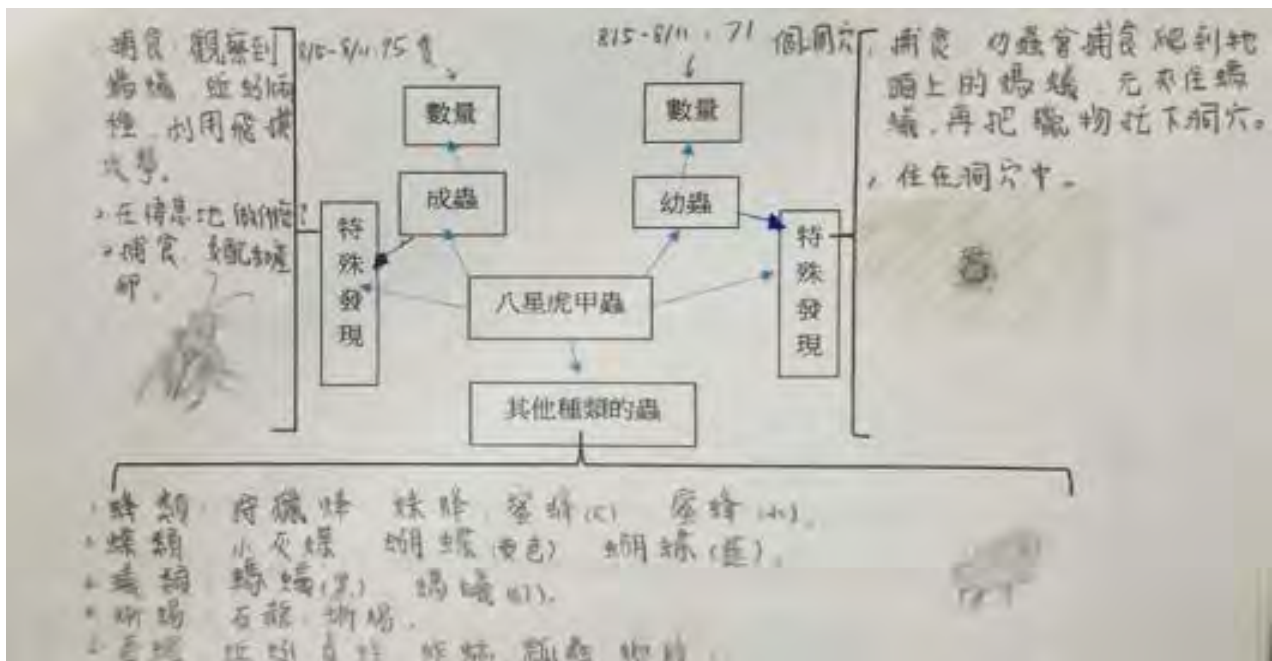


圖 16 棲地調查研究資料

上述的發現引起我們的疑問：八星虎甲蟲在棲地裡做哪些事呢？會跟棲地中出現的螞蟻、蚯蚓、紅腳細腰蜂互動嗎？如何互動呢？為解答此疑惑，我們使用攝影機，追蹤八星虎甲蟲的行為，並記錄牠們與其他昆蟲互動時的行進方式。另外，由於我們發現紅腳細腰蜂在棲地育雛，因此也決定在紅腳細腰蜂育雛孔旁架設攝影機，追蹤八星虎甲蟲與紅腳細腰蜂是否會產生互動。以下問題四、五分別說明攝影觀察的分析結果。

問題四：分析棲地裡八星虎甲蟲成蟲的行為？其移動方式為何？

(一) 調查步驟：

研究人員於 2016 年 8/8-10 日連續三天使用攝影機追蹤棲地裡的八星虎甲蟲行為。追蹤方式為先找到八星虎甲蟲，接著啟動攝影機的錄影功能，八星虎甲蟲移動到哪裡，攝影機就跟著錄到哪裡，一直追蹤到牠們消失在研究人員的視線為止。

		
棲地調查	用攝影機定點追蹤	雌八星虎甲蟲產卵
		
爬上樹葉，複眼、觸鬚朝前，身體靜止不動，是在偵查。	後腳墊高、前中腳抬起的直立姿勢，複眼、觸鬚朝前，身體靜止不動，是在偵查。	八星虎甲蟲攻擊蚯蚓
		
八星虎甲蟲交尾(1)	八星虎甲蟲交尾(2)	八星虎甲蟲捕食螞蟻

圖 17 八星虎甲蟲成蟲的棲地行為觀察

(二) 調查結果

1.八星虎甲蟲在棲地會進行「偵查」、與紅腳細腰蜂「打鬥」、「捕食」螞蟻、雄雌蟲「交尾」及雌蟲「產卵」等行為。

2.八星虎甲蟲有兩種不同的偵查方式。我們依照特徵把它命名為「一般偵查」與「伏擊偵查」。一般偵查時，八星虎甲蟲會將六足撐起，身體的角度可與地表呈現垂直(90 度)，只用兩

隻後腳站立。另一種**伏擊偵查**，是在八星虎甲蟲發現獵物之後，會將六足向兩側展開，壓低身體，再慢慢朝向獵物移動的偵查方式。

3.八星虎甲蟲雄蟲發現雌蟲時，會先以緩慢、壓低身體的方式接近雌蟲，最後再飛撲到雌蟲身上，同時使用大顎緊緊夾住雌蟲的前胸背板，用觸鬚拍打頭部與背板，隨後進行交尾。交尾方式雄蟲在上，雌蟲在下。完成交尾之後，雄雌蟲分離，各自離開。

4.八星虎甲蟲雌蟲產卵，會用腹部尾端在地上挖一個小洞，再將卵產在土洞裡，隨後離開。

從以上結果發現，不論是打鬥、捕食、交尾及產卵，八星虎甲蟲都是以步行位移的方式移動。這跟我們先前發現八星虎甲蟲會使用飛離方式離開我們的觀察經驗不同，使得我們感到好奇，難道八星虎甲蟲平時在棲地裡只需使用六足步行，就可以捕捉到螞蟻，並用以餵飽自己嗎？牠們捕食螞蟻的速度究竟有多快呢？此外，如果牠們遇到紅腳細腰蜂等較大型的攻擊性昆蟲，會因打架而相互追逐嗎？打鬥會輸還是會贏？是使用跑的方式離開現場還是有不同的逃離策略呢？逃離速度究竟多快呢？這一連串的疑問，將在問題五、六逐步進行解答。

表 5 八星虎甲蟲成蟲的棲地行為記錄

	偵查	打鬥	捕食	攻擊	交尾	產卵
觀察記錄	八星虎甲蟲停在棲地一段時間	紅腳細腰蜂以飛擊的方式，攻擊八星虎甲蟲。八星虎甲蟲從背後與側面攻擊紅腳細腰蜂。	八星虎甲蟲慢慢趨近螞蟻，最後以前撲的前進方式捕食。紅螞蟻軍團侵入八星虎甲蟲幼蟲的巢穴，會捕食八星虎甲蟲的幼蟲。	八星虎甲蟲捕食體長大於三倍的蚯蚓。	八星虎甲蟲在棲地裡交配。	八星虎甲蟲在棲地裡產卵。
移動方式	靜止不動，身體與地表呈現 15-90 度角。	步行位移 身體與地表呈平行，觸鬚向前朝下 15 度。	步行位移 身體與地表呈平行姿態，觸鬚向前朝下 15 度。	步行位移 身體與地表呈平行，觸鬚向前朝下 15 度。	步行位移 雄蟲與雌蟲身體與地表略呈平行，雄性成蟲在與雌蟲交尾前，會使用觸鬚快速敲打雌蟲背板。	靜止不動 身體與地表呈現 85-90 度。

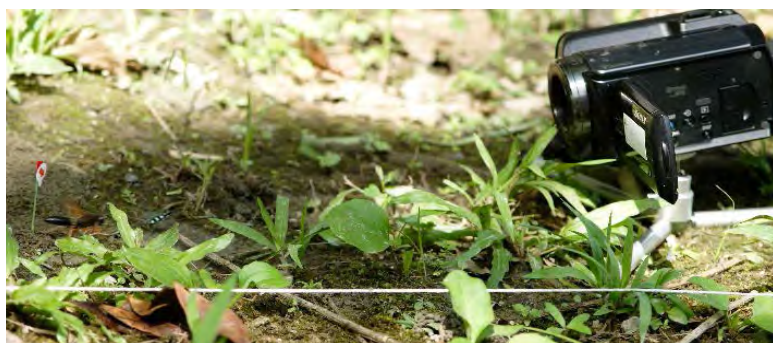


圖 18 八星虎甲蟲棲地行為觀察

問題五：八星虎甲蟲如何捕食螞蟻？移動速度多快呢？

(一)問題五-1：八星虎甲蟲如何捕食螞蟻？

1.調查步驟：

使用攝影機，追蹤八星虎甲蟲在棲地捕食螞蟻的行為。一直記錄到牠們消失為止。接著再使用影片編輯軟體(PowerDirector 14)進行影片分析，觀察八星虎甲蟲捕食螞蟻的方式，並計算牠們的捕食速度。










			
追蹤八星虎甲蟲捕食行為-1	追蹤八星虎甲蟲捕食行為-2	追蹤八星虎甲蟲捕食行為-3	追蹤八星虎甲蟲捕食行為-4
			
小組討論分析影片	分析捕食螞蟻的方式。	小組討論分析影片	影像擷取確認影片時間點
			
在 10 公分前偵查到螞蟻，身體會壓低，慢慢接近獵物。	慢慢接近螞蟻 5 公分後暫停。	快速向前移，同時用大顎捕捉螞蟻。	用小顎固定螞蟻，並用像鋸子一樣的大顎咬斷螞蟻身體後吞食。

圖 19 八星虎甲蟲捕食螞蟻的過程記錄

2.調查結果

- (1).八星虎甲蟲捕食螞蟻，可分「偵查」、「緩步趨近」、「快速捕捉」、「吞咬」四個階段。
- (2).「伏擊偵查」：八星虎甲蟲約在距離 10 公分前就能偵查到移動中的螞蟻。
- (3).「緩步趨近」：八星虎甲蟲發現螞蟻時，並不會馬上快速移動捕捉螞蟻，而會先緩慢的、壓低身體接近螞蟻，直到距離螞蟻大約 5 公分後停下來。
- (4).「快速捕捉」：此階段，八星虎甲蟲是以快速移動的方式，向螞蟻飛撲過去，同時使用大顎夾住螞蟻，螞蟻沒有反應逃跑機會。
- (5).「吞咬」：八星虎甲蟲捕食螞蟻的方式，一邊用小顎固定螞蟻，同時使用如鋸子般的大顎咬斷螞蟻身體，然後咀嚼吞咬。

(二)問題五-2：八星虎甲蟲捕食螞蟻的移動速度有多快呢？

1.研究步驟：

- (1).運用軟體擷取八星虎甲蟲捕食螞蟻的影片片段，並將它轉成 24 張捕食螞蟻過程照片。
- (2).利用影像分析軟體(photoimpact)逐一判讀每張照片中虎甲蟲所處位置的電腦座標，並轉換原始數據，計算照片中物體距離與實際虎甲蟲長度的比例，例如：影片中虎甲蟲身長為 126pxl 而實際虎甲蟲的身長為 16mm；長度比例為 126pxl：16mm=1pxl：0.12698413mm，依此比例尺作為後續資料判讀與分析基礎。
- (3).利用畢氏定理($a^2 + b^2 = c^2$)公式，計算虎甲蟲的移動距離。
- (4).以速率=距離÷時間公式，計算八星虎甲蟲捕食螞蟻的移動速率。

A 偵查	B 緩步趨近	C 偵查	D 緩步趨近
E 緩步趨近	F 緩步趨近	G 緩步趨近	H 偵查
I 緩步趨近	J 偵查	K 緩步趨近	L 緩步趨近
M 緩步趨近	N 緩步趨近	O 偵查	P 緩步趨近
Q 偵查	R 緩步趨近	S 偵查	T 緩步趨近
U 緩步趨近	V 緩步趨近	W 捕捉	X 捕捉

圖 20 八星虎甲蟲捕食螞蟻的移動情形 註:(X,Y)代表座標位置

2.研究結果

(1).八星虎甲蟲捕食螞蟻的移動方式是步行。大約在距離 10 公分即可偵測到螞蟻，接著以壓低身體，邊趨前邊停的方式，緩緩朝向螞蟻的方向移動。

(2).捕食螞蟻的移動速度平均為每秒 4.22 公分(最慢捕食移動速度每秒 2.72 公分，最快為每秒 6.42 公分。

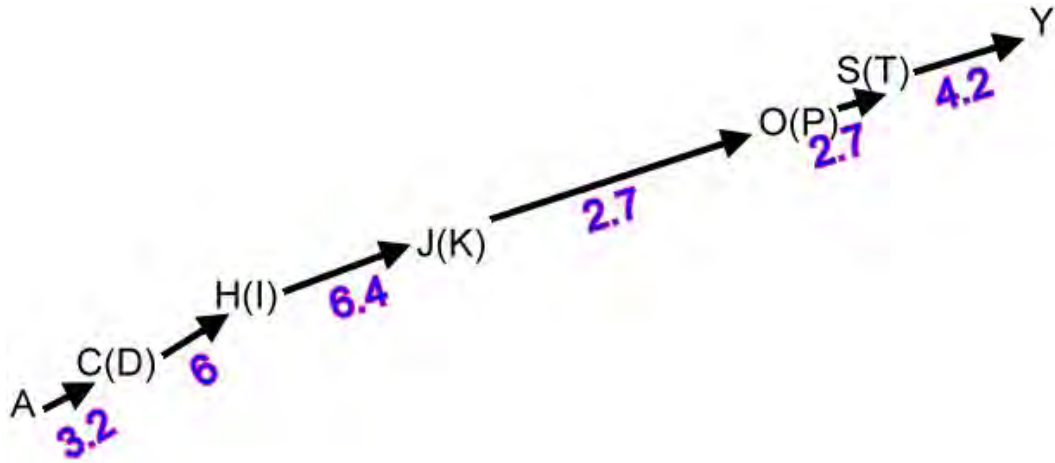


圖 21 八星虎甲蟲捕食螞蟻的移動方式與捕食速度(單位：cm/s)

表 6 八星虎甲蟲捕食螞蟻的移動速度計算結果

位 移	定 位點	影片中的位置、距離與時間						統計後的位置、距離、時間與速度				
		分	秒	毫秒	路徑	距離 (mm)	時間 (ms)	路 徑	距離 (mm)	時間 (ms)	速度 公分/秒	速度/ 公里/時
1	A	1	13	233.3	A-B	3.987	133.3				3.2 公分/秒	0.116 公里 /秒
	B	1	13	366.7	B-C	1.368	33.33	A-C	5.355	1.667		
	C	1	13	400	CD(不動)	***	***					
2	D	1	16	166.7	D-E	0.772	33.33				6 公分/秒	0.216 公里 /秒
	E	1	16	200	E-F	6.034	66.67					
	F	1	16	266.7	F-G	0.924	33.33	D-H	10.02	166.7		
	G	1	16	300	G-H	2.289	33.33					
3	H	1	16	333.3	HI(不動)	***	***				6.4 公分/秒	0.231 公里 /秒
	I	1	20	166.7	I-J	14.96	233.3	I-J	14.96	233.3		
4	J	1	20	400	JK(不動)	***	***				2.7 公分/秒	0.098 公里 /秒
	K	1	32	766.7	K-L	1.27	66.67					
	L	1	32	833.3	L-M	1.448	233.3					
	M	1	33	66.67	M-N	15.55	200	K-O	26.27	966.7		
	N	1	33	266.7	N-O	8.009	466.7					
5	O	1	33	733.3	OP(不動)	***	***				2.7 公分/秒	0.098 公里 /秒
	P	1	34	166.7	P-Q	3.412	100					
	Q	1	34	266.7	QR(不動)	***	***					
	R	1	34	500	R-S	2.923	133.3	P-S	6.335	233.3		
6	S	1	34	633.3	ST(不動)	***	***				4.2 公分/秒	0.151 公里 /秒
	T	1	34	733.3	T-U	4.417	100					
	U	1	34	833.3	U-V	0.898	166.7					
	V	1	35	0	V-W	7.854	100	T-Y	23.76	566.7		
	W	1	35	100	W-X	6.527	133.3					
	X	1	35	233.3	X-Y	4.065	66.67					
	Y	1	35	300								

問題六：觸鬚及複眼在八星虎甲蟲捕食螞蟻過程所扮演的角色。

(一)研究步驟：

步驟一：準備一個長 43、寬 18.5、高 24 公分的觀察箱。

步驟二：採集 3 隻八星虎甲蟲雄蟲(實驗前，先停止餵食 1 日)，30 隻螞蟻。

步驟三：實驗時，先放一隻雄八星虎甲蟲，再將每次 5 隻螞蟻放入觀察箱，觀察八星虎甲蟲捕食螞蟻的成功率、捕食螞蟻時間及行為反應。

步驟四：依序完成「正常」、「遮蔽複眼」及「剪斷觸鬚」三隻雄蟲的測試結果。

剪八星虎甲蟲的觸鬚，需要很小心，我們使用團隊合作，細心完成這個任務。	剪掉觸鬚的八星虎甲蟲無法偵測 10 公分之外的螞蟻，但可以捕捉範圍 3 公分內的螞蟻。	原想使用在複眼貼 OK 蹦的方式阻隔八星虎甲蟲的視覺，但八星虎甲蟲會用前腳鉤抓，導致一直脫落。	原想使用在複眼貼 OK 蹦的方式阻隔八星虎甲蟲的視覺，但八星虎甲蟲會使用前腳抓取，導致一直脫落失敗(1)。																																																																														
改以使用黑色簽字筆，將複眼外表塗上一層黑色墨水，用於阻隔八星虎甲蟲的視線。	使用黑色簽字筆，將複眼外表塗上一層黑色墨水，用於阻隔八星虎甲蟲的視線。	遮蔽複眼組的八星虎甲蟲誤把前方的石頭當成獵物，進行捕食。	正常組的八星虎甲蟲捕食成功率最高速度最快。																																																																														
<p>如何有效阻隔八星虎甲蟲視覺偵測?</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>方法</th> <th>優點</th> <th>缺點</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 用圓形標示貼紙貼在虎甲蟲的複眼上</td> <td>遮住虎甲蟲視線，不會造成永久性傷害</td> <td>不方便切割，適合虎甲蟲眼睛大小，可切割性不佳，無法達到最好的效果</td> </tr> <tr> <td>2. 使用黑色簽字筆均勻塗在虎甲蟲的複眼上</td> <td>可確保虎甲蟲的複眼用黑，不會有不含眼肉的問題</td> <td>會造成虎甲蟲的視力受到永久性損害，或其中有毒物質可能影響到虎甲蟲的生理狀況</td> </tr> </tbody> </table>		方法	優點	缺點	1. 用圓形標示貼紙貼在虎甲蟲的複眼上	遮住虎甲蟲視線，不會造成永久性傷害	不方便切割，適合虎甲蟲眼睛大小，可切割性不佳，無法達到最好的效果	2. 使用黑色簽字筆均勻塗在虎甲蟲的複眼上	可確保虎甲蟲的複眼用黑，不會有不含眼肉的問題	會造成虎甲蟲的視力受到永久性損害，或其中有毒物質可能影響到虎甲蟲的生理狀況	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">正常組</th> <th colspan="2">遮眼組</th> <th colspan="2">缺觸鬚組</th> </tr> <tr> <th>捕食狀況</th> <th>捕食時間</th> <th>捕食狀況</th> <th>捕食時間</th> <th>捕食狀況</th> <th>捕食時間</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td><input checked="" type="checkbox"/>成功 <input type="checkbox"/>失敗</td> <td>0.33</td> <td><input type="checkbox"/>成功 <input type="checkbox"/>失敗</td> <td></td> <td><input type="checkbox"/>成功 <input type="checkbox"/>失敗</td> <td>0.85</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td><input checked="" type="checkbox"/>成功 <input type="checkbox"/>失敗</td> <td>0.41</td> <td><input type="checkbox"/>成功 <input type="checkbox"/>失敗</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/>成功 <input type="checkbox"/>失敗</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td><input checked="" type="checkbox"/>成功 <input type="checkbox"/>失敗</td> <td>1.43</td> <td><input type="checkbox"/>成功 <input type="checkbox"/>失敗</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/>成功 <input type="checkbox"/>失敗</td> <td>1.28</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td><input checked="" type="checkbox"/>成功 <input type="checkbox"/>失敗</td> <td>1.06</td> <td><input type="checkbox"/>成功 <input type="checkbox"/>失敗</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/>成功 <input type="checkbox"/>失敗</td> <td>1.63</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td><input checked="" type="checkbox"/>成功 <input type="checkbox"/>失敗</td> <td>0.60</td> <td><input type="checkbox"/>成功 <input type="checkbox"/>失敗</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/>成功 <input type="checkbox"/>失敗</td> <td>0.37</td> </tr> <tr> <td>平均</td> <td>*****</td> <td>0.78</td> <td>*****</td> <td></td> <td>*****</td> <td>1.03</td> </tr> <tr> <td>各組捕食螞蟻時的行為描述</td> <td colspan="2">目標離虎甲蟲約 10cm 便會主動捕食，會想要逃離</td> <td colspan="2">虎甲蟲較無法偵測到眼前的虎甲蟲，行為較遲緩，平衡差，觸鬚若地</td> <td colspan="2">螞蟻需接近虎甲蟲約 3cm 內，虎甲蟲才會捕食(被動)，活動力也會降低</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="6">原因推測： 1. 以為天黑 2. 看不到</td> </tr> </tbody> </table>			正常組		遮眼組		缺觸鬚組		捕食狀況	捕食時間	捕食狀況	捕食時間	捕食狀況	捕食時間	1	<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	0.33	<input type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗		<input type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	0.85	2	<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	0.41	<input type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗		<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	0.8	3	<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	1.43	<input type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗		<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	1.28	4	<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	1.06	<input type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗		<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	1.63	5	<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	0.60	<input type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗		<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	0.37	平均	*****	0.78	*****		*****	1.03	各組捕食螞蟻時的行為描述	目標離虎甲蟲約 10cm 便會主動捕食，會想要逃離		虎甲蟲較無法偵測到眼前的虎甲蟲，行為較遲緩，平衡差，觸鬚若地		螞蟻需接近虎甲蟲約 3cm 內，虎甲蟲才會捕食(被動)，活動力也會降低			原因推測： 1. 以為天黑 2. 看不到					
方法	優點	缺點																																																																															
1. 用圓形標示貼紙貼在虎甲蟲的複眼上	遮住虎甲蟲視線，不會造成永久性傷害	不方便切割，適合虎甲蟲眼睛大小，可切割性不佳，無法達到最好的效果																																																																															
2. 使用黑色簽字筆均勻塗在虎甲蟲的複眼上	可確保虎甲蟲的複眼用黑，不會有不含眼肉的問題	會造成虎甲蟲的視力受到永久性損害，或其中有毒物質可能影響到虎甲蟲的生理狀況																																																																															
	正常組		遮眼組		缺觸鬚組																																																																												
	捕食狀況	捕食時間	捕食狀況	捕食時間	捕食狀況	捕食時間																																																																											
1	<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	0.33	<input type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗		<input type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	0.85																																																																											
2	<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	0.41	<input type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗		<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	0.8																																																																											
3	<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	1.43	<input type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗		<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	1.28																																																																											
4	<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	1.06	<input type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗		<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	1.63																																																																											
5	<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	0.60	<input type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗		<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	0.37																																																																											
平均	*****	0.78	*****		*****	1.03																																																																											
各組捕食螞蟻時的行為描述	目標離虎甲蟲約 10cm 便會主動捕食，會想要逃離		虎甲蟲較無法偵測到眼前的虎甲蟲，行為較遲緩，平衡差，觸鬚若地		螞蟻需接近虎甲蟲約 3cm 內，虎甲蟲才會捕食(被動)，活動力也會降低																																																																												
	原因推測： 1. 以為天黑 2. 看不到																																																																																
<p>要怎樣阻隔八星虎甲蟲的視線?該不該剪八星虎甲蟲的觸鬚?為解答這類兩難的問題，我們經過一番激辯，各自分析「做與不做」的優、缺點，再思考如何降低虎甲蟲傷害並給予補救的策略，決定以主動照顧的方式餵食虎甲蟲，避免實驗後的虎甲蟲無法自行捕食而死亡。最後虎甲蟲生命終結時，再將其製作標本，做為我們的教材。</p>		<p>八星虎甲蟲捕食螞蟻時，視覺及觸鬚究竟扮演了哪些功能?我們發現，觸鬚與視覺分工合作，觸鬚偵測 10 公分外較長距離的螞蟻，視覺則鎖定 3 公分短距離螞蟻的位置。兩者缺一，都會造成八星虎甲蟲捕食螞蟻的影響。</p>																																																																															

圖 22 觸鬚及複眼在八星虎甲蟲捕食螞蟻的功能探究過程

(二)研究結果：

- 1.正常組八星虎甲蟲在距離螞蟻前 10 公分，會轉身面對螞蟻，開始採用伏擊偵測的姿態，六足平伸，身體壓低，觸鬚朝前朝下擺動，接近螞蟻。在距離螞蟻 5 公分時，以平均每秒跑 6.4 公分的速度捕食螞蟻，捕食成功率為 100%。
- 2.遮蔽複眼組八星虎甲蟲展現兩個行為：第一，牠會一邊前進，一邊使用口器夾實驗箱的小石頭。第二，我們觀察到螞蟻從八星虎甲蟲腳下經過，未被八星虎甲蟲覺察，平安順利離開八星虎甲蟲身邊。
- 3.剪斷觸鬚組八星虎甲蟲在距離螞蟻 3 公分時，能捕食到螞蟻；螞蟻若距離虎甲蟲超過 3 公分，虎甲蟲不會追捕螞蟻，沒有反應。

表 7 觸鬚及複眼在八星虎甲蟲捕食螞蟻的實驗結果

	正常組		遮蔽複眼組		剪斷觸鬚組	
	捕食狀況	花費時間	捕食狀況	花費時間	捕食狀況	花費時間
1	<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	0.33 秒	<input type="checkbox"/> 成功 <input checked="" type="checkbox"/> 失敗	/	<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	0.85 秒
2	<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	0.41 秒	<input type="checkbox"/> 成功 <input checked="" type="checkbox"/> 失敗	/	<input type="checkbox"/> 成功 <input checked="" type="checkbox"/> 失敗	/
3	<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	1.43 秒	<input type="checkbox"/> 成功 <input checked="" type="checkbox"/> 失敗	/	<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	1.28 秒
4	<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	1.06 秒	<input type="checkbox"/> 成功 <input checked="" type="checkbox"/> 失敗	/	<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	1.63 秒
5	<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	0.66 秒	<input type="checkbox"/> 成功 <input checked="" type="checkbox"/> 失敗	/	<input checked="" type="checkbox"/> 成功 <input type="checkbox"/> 失敗	0.37 秒
平均	100%成功率	0.78 秒	0%成功率	/	80%成功	1.03 秒
總平均	6.4cm/秒		/		2.9 cm/秒	
捕食螞蟻的行為描述	八星虎甲蟲在距離螞蟻 10 公分前，即能偵測到移動中的螞蟻。 緊接著慢慢趨近螞蟻，並在 5 公分前，以平均每秒 6.4cm 的速度，撲捉螞蟻，螞蟻沒有時間逃避。		1.八星虎甲蟲一邊前進，一邊使用口器夾實驗箱的小石頭。 2.螞蟻從八星虎甲蟲腳下經過，仍未被八星虎甲蟲覺察。		虎甲蟲偵測不到 3 公分之外的螞蟻，只有螞蟻接近到虎甲蟲 3 公分的範圍內，才會被八星虎甲蟲捕食。 若螞蟻距離虎甲蟲超過 3 公分以上，則沒有反應，。	



圖 23 觸鬚及複眼在八星虎甲蟲捕食螞蟻的實驗過程-2

問題七：八星虎甲蟲如何攻擊紅腳細腰蜂？移動速度多快呢？

(一)問題六-1：八星虎甲蟲如何攻擊紅腳細腰蜂？

1.調查步驟：我們先在紅腳細腰蜂育雛的洞口定點架設攝影機，錄影追蹤紅腳細腰蜂與八星虎甲蟲的打鬥行為。後續再使用影片編輯軟體(PowerDirector 14)進行影片分析，觀察八星虎甲蟲攻擊紅腳細腰蜂的行為、移動方式及速度有多快。

			
架設攝影機觀察(1)	架設攝影機觀察(2)	架設攝影機觀察(3)	架設攝影機觀察 錄到紅腳細腰蜂捕食蠶斯
			
紅腳細腰蜂 1 號洞 紅旗是我們做的標記	紅腳細腰蜂 2 號洞	紅腳細腰蜂 3 號洞	用鏡子試看看紅腳 細腰蜂的反應
			
偵查中的八星虎甲蟲。	趨近紅腳細腰蜂的八 星虎甲蟲。	八星虎甲蟲與紅腳細 腰蜂正面打鬥	逃離戰場的八星虎 甲蟲。

圖 24 八星虎甲蟲與紅腳細腰蜂打鬥過程。

2.調查結果：

八星虎甲蟲採用正面攻擊與快速旋轉逃離的方式與紅腳細腰蜂打鬥，整個流程可區分為「偵查」、「趨近」、「打鬥」及「逃離」等四個步驟。

以此研究結果繼續探討八星虎甲蟲與紅腳細腰蜂打鬥的移動方式以及移動速度。

(二)問題六-2：八星虎甲蟲攻擊紅腳細腰蜂的移動速度有多快呢？

1.研究步驟：

- (1).運用影片編輯軟體擷取八星虎甲蟲與紅長腳細腰蜂打鬥影像，判讀虎甲蟲移動的座標位置，以及移動的時間。
- (2).將原始數據進行轉換分析，計算八星虎甲蟲與紅腳細腰蜂打鬥時的移動距離。
- (3).透過畢氏定理($a^2 + b^2 = c^2$)計算八星虎甲蟲的移動距離。再以速率=距離÷時間的公式，計算八星虎甲蟲與紅腳細腰蜂打鬥的移動速率。

A 前進	B 偵查	C 前進	D 前進
E 戰鬥	F 逃離	G 逃離	H 逃離
I 逃離	J 逃離	K 逃離	L 逃離
M 逃離	N 逃離	O 逃離	P 逃離
Q 逃離	R 逃離	S 逃離	T 減速
U 偵查	V 偵查	W 偵查	X 偵查
Y 偵查	Z 偵查		

圖 25 八星虎甲蟲與紅長腳蜂打鬥時的位移速度紀錄

註:(X,Y)代表座標位置

表 8 八星虎甲蟲與紅腳細腰蜂打鬥時的移動速度

影片中的位置、距離與時間							統計後的位置、距離、時間與速度				
行為	定位點	秒數	毫秒	路徑	距離 (mm)	時間 (ms)	路徑	距離 (mm)	時間 (ms)	速度 公分/秒	速度 公里/時
前進	A	1	866.67	A-A1	16.129	166.66	A-A1	16.129 (mm)	166.66	9.7 公分/秒	0.348 公里/時
	A1	2	33.33	A1-A2	***	***					
前進	A2	2	800.00	A2-A3	4.334	300.00	A2-B	7.131 (mm)	533.33	1.3 公分/秒	0.048 公里/時
	A3	3	100.00	A3-B	2.797	233.33					
	B	3	333.33	B-C	***	***					
前進	C	7	733.33	C-C1	7.432	100.00	C-C2	7.432 (mm)	100.00	7.4 公分/秒	0.268 公里/時
	C1	7	833.33	C1-C2	***	***					
戰鬥	C2	8	333.33	C2-D	27.713	300.00	C2-F	70.037 (mm)	733.33	9.6 公分/秒	0.344 公里/時
	D	8	633.33	D-E	9.739	166.66					
	E	8	800.00	E-F	32.584	266.66					
逃離	F	9	66.67	F-G	24.329	200.00	F-T	216.53 (mm)	700	36.5 公分/秒	1.313 公里/時
	G	9	266.67	G-H	4.052	33.33					
	H	9	300.00	H-I	12.438	33.33					
	I	9	333.33	I-J	7.971	33.33					
	J	9	366.67	J-K	8.979	33.33					
	K	9	400.00	K-L	16.648	33.33					
	L	9	433.33	L-M	14.714	33.33					
	M	9	466.67	M-N	15.873	33.33					
	N	9	500.00	N-O	3.812	33.33					
	O	9	533.33	O-P	10.927	33.33					
	P	9	566.67	P-Q	25.662	66.66					
	Q	9	633.33	Q-R	25.506	33.33					
	R	9	666.67	R-S	19.195	33.33					
	S	9	700.00	S-T	26.424	66.66					
	偵查	T	9	766.67	T-U	30.164					
U		10	0.00	U-V	4.121	33.33					
V		10	33.33	V-W	***	***					
前進	W	11	666.67	W-X	5.703	33.33	W-DA	36.984 (mm)	300.00	12.3 公分/秒	0.444 公里/時
	X	11	700.00	X-Y	8.836	33.33					
	Y	11	733.33	Y-Z	4.587	33.33					
	Z	11	766.67	Z-AA	3.820	100.00					
	AA	11	866.67	AA-BA	6.406	33.33					
	BA	11	900.00	BA-CA	7.273	33.33					
	CA	11	933.33	CA-DA	0.359	33.33					
	DA	11	966.67	DA-EA	***	***					
前進	EA	12	500.00	EA-FA	4.603	33.33	EA-IA	20.969 (mm)	200.00	10.5 公分/秒	0.377 公里/時
	FA	12	533.33	FA-FA1	4.827	33.33					
	FA1	12	566.67	FA1-GA	0.898	33.33					
	GA	12	600.00	GA-HA	9.333	66.66					
	HA	12	666.67	HA-IA	1.307	33.33					
	IA	12	700.00	IA-JA	***	***					
前進	JA	13	300.00	JA-KA	13.774	266.66	JA-KA	13.774 (mm)	266.66	5.2 公分/秒	0.186 公里/時
	KA	13	566.67								

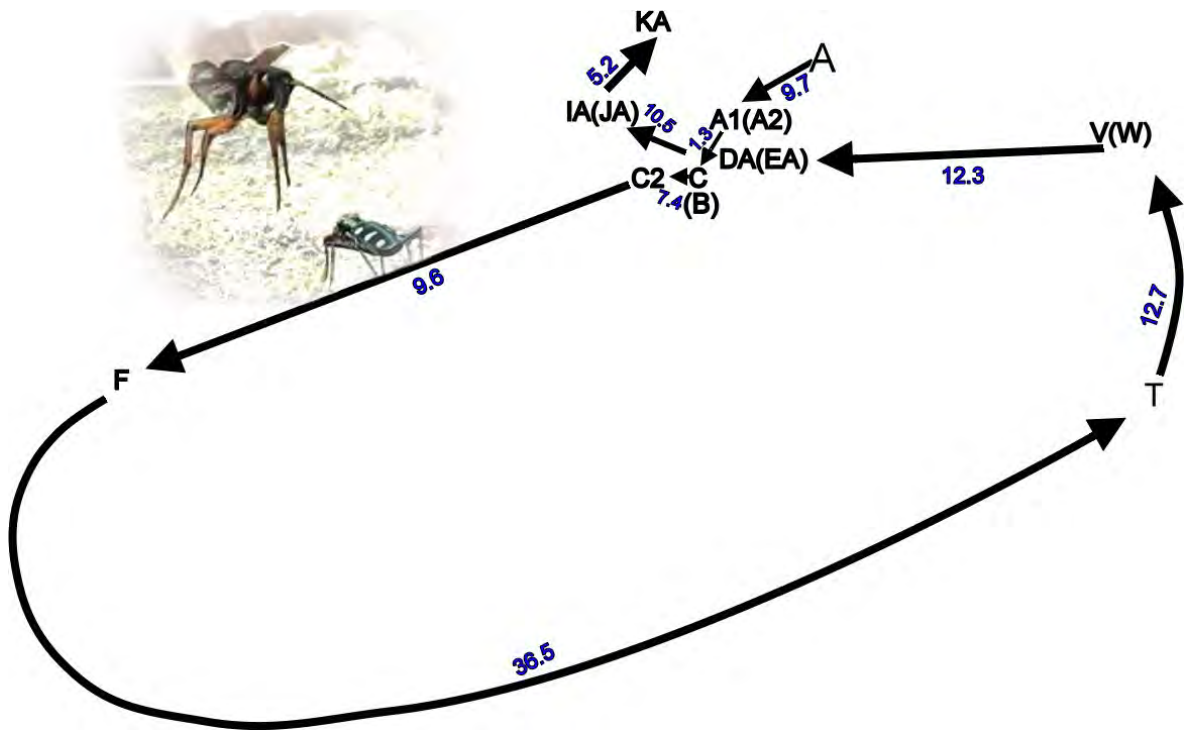


圖 26 八星虎甲蟲與紅長腳蜂打鬥時的運動路線與速度摘要 (單位：cm/s)

2.研究結果：

- (1).八星虎甲蟲與紅長腳蜂打鬥前的移動模式，是採一邊偵查，一邊直線前進的方式進行，移動速度介於**每秒 1.3~9.7 公分**。
- (2). 打鬥是採正面衝撞的方式進行，使用中、後腳站立，前腳與大顎當武器，衝撞紅腳細腰蜂後轉彎逃離，衝撞的速度為**每秒 9.6 公分**。
- (3). 戰鬥後的逃離，採用急轉彎的方式，平均逃離速度為**每秒 36.5 公分**，最快的逃離速度可達**每秒 76.5 公分**。

問題八：八星虎甲蟲如何避開人類干擾？移動速度多快呢？

(一)調查步驟：

- 1.組員合共同合作，一人持攝影機器錄影、一人緩慢接近干擾虎甲蟲，待虎甲蟲飛行時，測量牠們的飛行距離。
2. 後續再使用影片編輯軟體，擷錄八星虎甲蟲的飛行影像，並以速率=距離÷時間的公式，換算八星虎甲蟲受人干擾時的飛行速率。



圖 27 八星虎甲蟲躲避干擾時的移動模式調查

表 9 八星虎甲蟲躲避干擾時的移動速度調查紀錄表

	1 號蟲		2 號蟲		3 號蟲		4 號蟲		5 號蟲		6 號蟲		7 號蟲		8 號蟲		9 號蟲	
	時間	距離	時間	距離	時間	距離	時間	距離	時間	距離	時間	距離	時間	距離	時間	距離	時間	距離
追蹤一	1.1	1.3	2.01	3.42	2.01	1.74	1.21	1.14	2.31	3.54	3.1	3.24	3.5	2	3.12	3.95	2	2.1
追蹤二	3.1	4.1	3.48	5.13	2.13	3.34	3.11	4.58	3.6	4.31	3.22	4.63	4.12	5.06	4	3.98	2	2.53
追蹤三	**	**	3.21	5.03	3.21	4.65	4.19	5.21	4.33	5.69	3.21	4.33	4	4.68	4.95	6.52	2	2
追蹤四	**	**	**	**	2.1	2.29	**	**	4.23	4.68	4.98	9.65	5	5.69	5	10	2.15	2.43
追蹤五	**	**	**	**	**	**	**	**	3	4.5	2.1	2.31	**	**	**	**	**	**
累積	4.2	5.4	8.7	13.58	9.45	12.02	8.51	10.93	17.47	22.72	16.61	24.16	16.62	17.43	17.07	24.45	8.15	9.06
速率	1.29m/秒		1.56 m/秒		1.27m/秒		1.28m/秒		1.30m/秒		1.45m/秒		1.05m/秒		1.43m/秒		1.11m/秒	
總平均速率	平均速度，1.30 公尺/秒(每小時 4.68 公里) 紅底為最慢速，約每秒 0.57 公尺(每小時 2.05 公里) 藍底為最快速，約達每秒 2 公尺(每小時 7.2 公里) 註：(單位：時間-秒。距離-公尺)																	

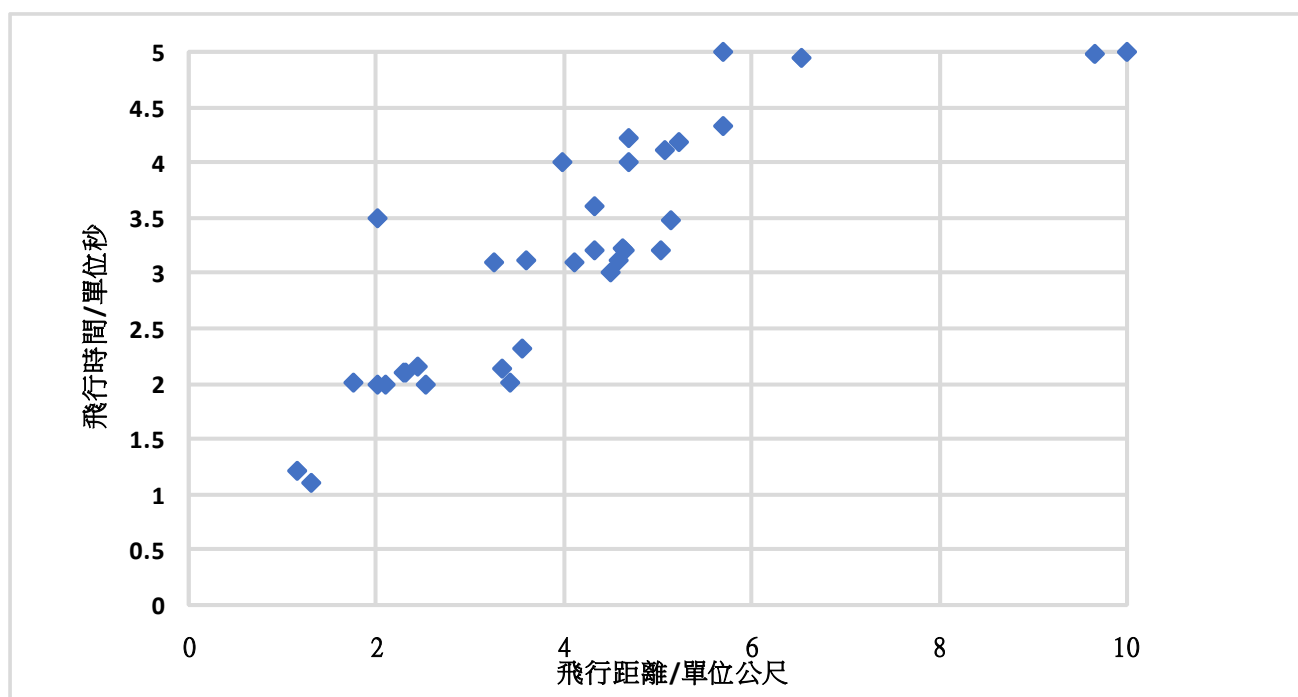


圖 28 八星虎甲蟲躲避干擾時的飛行距離與時間

(二)研究結果：

- 1.八星虎甲蟲遇到人類干擾時，採用飛行方式避敵，飛行範圍距離干擾者 1.4-10 公尺之間。
- 2.飛行避敵的速度為每秒 1.30 公尺(時速 4.68 公里)，最快的避敵飛行速度達每秒 2 公尺(時速 7.2 公里)，最慢為每秒 0.57 公尺(時速 2.05 公里)。

柒、綜合討論與結論

一、綜合討論

我們的研究目的在瞭解八星虎甲蟲捕食、避敵時所採行的移動策略，並探究牠們的移動速度。表 9 為我們整理八星虎甲蟲在以上不同行為中所表現的移動方式及速度。我們將以此一摘要表作為本節綜合討論的基礎。

表 9 八星虎甲蟲不同情況下的移動方式以及移動速度摘要表

行為		捕食	打鬥			避敵
互動對象		螞蟻	紅腳細腰蜂			人類
行為模式		身體壓低，分階段接近及捕食螞蟻	打鬥前： 分階段接近	打鬥： 身體接觸	打鬥後： 瞬間逃離	瞬間飛離
移動方式		步行： 直線前進	步行： 分段前進	步行： 正面衝撞	步行： 快速繞彎	飛行： 快速離開
時速	平均	4.22 公分/每秒	6.1 公分/每秒	9.6 公分/每秒	36.5 公分/每秒	1.3 公尺/秒
	最快 最慢	6.42 公分/每秒 2.72 公分/每秒	9.7 公分/每秒 1.3 公分/每秒	※	76.5 公分/每秒	2 公尺/秒 0.57 公尺/秒
時速排名		5	4	3	2	1
備註		八星虎甲蟲會針對不同狀況與需要，選擇不同的移動方式。也會依照不一樣的目的，主動調整移動的快慢，不會一樣。				

(一) 討論一：八星虎甲蟲的移動方式與策略探討

棲地裡的八星虎甲蟲用怎樣的方式移動呢?研究發現，牠們除了會在避開人類干擾時採用飛行策略外，捕食螞蟻、與紅腳細腰蜂打鬥時，都是採用步行的方式移動。為了探究其中原因，我們觀測並計算螞蟻的平均移動速度為每秒 0.9 公分，由於八星虎甲蟲的捕食速度每秒 4.22 公分，比螞蟻快了 4.7 倍，因此八星虎甲蟲能輕易的捕食到野外移動中的螞蟻。

在與紅腳細腰蜂的打鬥過程中，打鬥前與打鬥後的移動方式是不同的。打鬥前，八星虎甲蟲以**每秒 6.1 公分**的速度走-停-走-停，分階段接近紅腳細腰蜂。打鬥後，八星虎甲蟲改以平均每秒 36.5 公分的速度繞彎快速離開現場。依照我們的觀察發現推論，八星虎甲蟲體型雖小，但腿部肌肉發達，跑得又快又靈活，使得體型較大、擅長飛行的紅腳細腰蜂無法在平地上追趕八星虎甲蟲，致使八星虎甲蟲選擇以跑步的方式躲避紅腳細腰蜂的追逐。另一方面，八星虎甲蟲受到人類趨近威脅時，會以平均每秒 1.3 公尺、最快每秒 2 公尺(時速 7.2 公里)的快速避敵方式躲避危險。

綜合以上觀察，我們推論，八星虎甲蟲的移動是有策略考量的，牠們會依照不同的需要，選擇不同的移動策略，甚至會主動控制移動速度的快慢，以適應環境。為了細部觀察八星虎甲蟲的運動策略，我們使用影片格放的方式，分析牠們跑步時六足的擺動策略。發現牠們行進採用「三角步態」：同一邊的前、後足與另一邊的中足合併成一組；往前走時，前足前伸，用鉤爪固定地表，並將身體拉前；中足則支撐並舉起身體；後足用力推動身體向前。這樣的擺動方式，不僅可以協助牠們快速位移，也能讓牠們在移動的過程維持身體重心於背板中心點，形成一個相當穩固的移動策略。

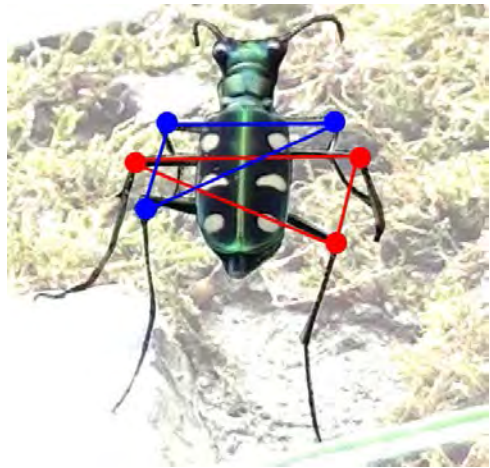


圖 29 三角步態示意圖

(二) 討論二：八星虎甲蟲移動的速度究竟可以多快呢？在什麼情況下移動得最快？什麼因素讓牠們可以跑這麼快而不會迷失呢？

八星虎甲蟲在什麼情況下移動的最快？本研究結果發現，八星虎甲蟲避開人類干擾的避敵飛行最快(平均每秒 1.3 公尺)，其次依序為打鬥逃離(每秒 36.5 公分)、打鬥(每秒 9.6 公分)、打鬥前的趨近(每秒 6.1 公分)及捕食螞蟻(每秒 4.22 公分)。究竟有多快呢？牠們的避敵飛行最快可達每秒 2 公尺的速度(7.2 公里/小時)。

我們閱讀過一篇報導，介紹美國康乃爾大學 Cole Gilbert 教授的研究發現，該文測量虎甲蟲的平均時速是 9 公里(換算成人類體型，時速則為 770 公里)(黃佳欣，2014)。牠們認為這麼快速的移動，會使得虎甲蟲複眼無法捕捉足夠的光線，使得牠們在快速跑步的過程會看不清獵物。所以虎甲蟲必須透過觸鬚，演化出機械的感覺行為來配合快跑，才能夠在快速跑動的過程重新定位獵物。



圖 30 移動時觸鬚呈現向前向下角度

為了進一步探討觸鬚與複眼在八星虎甲蟲捕食螞蟻過程所扮演的角色，我們進行了補充實驗。將八星虎甲蟲區分成正常組、遮蔽複眼組以及剪斷觸鬚等三組，分別觀測三組八星虎甲蟲捕食螞蟻的成功率以及時間。實驗發現正常組八星虎甲蟲可以偵測到 10 公分距離的螞蟻，並在距離 5 公分左右，快速前進捕食螞蟻。而被剪了觸鬚的八星虎甲蟲，卻只能被動等待螞蟻走進身體 3 公分左右距離，再趨前捕食螞蟻。這使得我們認為儘管觸鬚被剪掉，由於

複眼正常，牠們還是能夠鎖定並捕食距離 3 公分的螞蟻；就此而言，複眼即是負責短距離獵物的偵測功能。相對的，複眼被遮蔽的八星虎甲蟲，雖然觸鬚功能正常，但實際的捕食行為卻一直反覆出現無法鎖定螞蟻的狀況，甚至連螞蟻從腳底下走過，也抓不到螞蟻進食，並一直誤把小石頭當獵物捕捉的現象。

我們的發現與 Cole Gilbert 教授的研究認為觸鬚是虎甲蟲捕食獵物最重要的感覺器官不同，雖然觸鬚可以偵測 10 公分距離的螞蟻，但遮蔽複眼的八星虎甲蟲便無法鎖定螞蟻，並成功捕食。這或許是因為我們研究的對象差異所導致的結果，我們研究八星虎甲蟲捕食螞蟻，由於螞蟻平均時速每秒才 0.9 公分，因此八星虎甲蟲在捕食螞蟻的過程，也不用跑得太快，因此未呈現該研究中所指複眼無法捕捉足夠光線的眼盲現象。

總而言之，本研究發現，八星虎甲蟲在捕食螞蟻時，觸鬚與複眼必須相輔相成，才能達到最好的偵測與獵捕效果。觸鬚能夠幫助八星虎甲蟲偵測 10 公分外螞蟻的方位，等螞蟻趨近到獵物 3 公分左右距離後，則需靠複眼鎖定獵物，兩者缺一，都會造成八星虎甲蟲捕食螞蟻的能力降低，只有相互合作，才能精準偵測獵物的距離與方位，成功捕食到獵物。

二、研究結論

結論一、

八星虎甲蟲的身體構造分成頭、胸、腹三段，比例呈 1:4:3，胸部構造大於腹部及頭部。鞘翅與內翅，分別由前胸前緣及側板長出。前足由前胸腹板長出，中後足則分別由中後胸腹板前緣以及後端長出。胸部連結飛行與步行構造，是八星虎甲蟲最重要的行動部門。

結論二、

八星虎甲蟲最喜歡在中午 12:00 到下午 14:00 活動。棲地常出現紅腳細腰蜂、螞蟻、蚯蚓、八星虎甲蟲幼蟲，是八星虎甲蟲的鄰居。八星虎甲蟲在棲地會「偵查」、「打鬥」、「捕食」、「交尾」及「產卵」。

結論三、

八星虎甲蟲以捕食螞蟻為主，捕食過程分成「偵查」、「緩步趨近」、「快速捕捉」、「吞咬」四個階段。捕食螞蟻，會以壓低身體，邊走邊停的方式，向螞蟻方向前進。捕食平均速度為每秒 4.22 公分。這樣的速度比螞蟻每秒 0.9 公分的速度快出 4.7 倍，因此八星虎甲蟲可以輕易的捕捉到螞蟻。

結論四、

八星虎甲蟲會與紅腳細腰蜂打鬥，打鬥過程可分為「偵查」、「趨近」、「打鬥」及「逃離」等四個階段。打鬥採正面衝撞的方式進行，逃離則採用急轉彎的步行策略進行，最快逃離速度為每秒 36.5 公分。

結論五、

八星虎甲蟲遇到人類干擾時，會採用飛行的方式避敵，最快的避敵飛行速度每秒 2 公尺，平均避敵時速為每秒 1.3 公尺。

結論六、

八星虎甲蟲在捕食螞蟻的過程，觸鬚能幫助八星虎甲蟲偵測到 10 公分外的螞蟻，複眼則協助八星虎甲蟲鎖定 3 公分內的螞蟻。只有觸鬚與複眼都健康的狀況下，才能協助八星虎甲蟲精準偵測移動中的螞蟻，並精準定位螞蟻的方位與成功捕食。

結論七、

八星虎甲蟲會針對不同狀況與需要選擇不同的移動策略。也會依照不同的目的，主動調整移動速度的快慢。移動時採「三角步態」方式進行：同一邊的前、後足與另一邊的中足合併一組。往前走時，前足前伸，尾端鉤爪固定地表物體，並將身體拉前；中足支撐身體；後足使力推動身體向前。這樣的三角步態，能夠協助八星虎甲蟲在快速移動時，也能將身體保持在背板中心附近的三角形重心範圍內，形成一個相當穩固的移動策略。

捌、研究建議

八星虎甲蟲是移動速度非常快的昆蟲，行進採用三角步態的方式進行。但他們在行進的過程中，如何協調「基節」、「轉節」、「腿節」、「脛節」、「跗節」及「爪」，讓這些足部構造與關節能夠適應不同的地形環境，增加身體的穩定呢？

這些問題目前則仍無答案。這些議題非常有趣且有挑戰性，因此我們決定在暑假期間繼續探索這個議題，期望我們能解開答案，提供做為仿生科技的基礎資料。

玖、參考文獻

王三郎(1998)《宜蘭縣無尾港水鳥保護區導覽》，自然生態保育系列叢書(六)，宜蘭縣政府。

法布爾著，梁守鏘譯(2002)。《高明的殺手》。臺北市：遠流出版社。

法布爾著，奧本三大郎編寫(1993)。《昆蟲記(二)》。臺北市：臺灣東方出版社。

吳怡欣、何嘉浩、蕭忠義、楊平世(2006)。八星虎甲蟲 *Cicindela batesi* (Fleutiaux, 1893) 之形態與生活史研究。《動物園學報》，18:7-14。

泉麻人著，黃瑾瑜譯(2004)。《夢幻中的虎甲蟲》，文章收錄在《東京昆蟲物語》，第69-71頁。臺北市：時報文化出版社。

黃文伯(2008)。眼突顎利的虎甲蟲。取自環境資訊中心網站，網址：<http://e-info.org.tw/node/35519>。

黃佳欣(2014.03.13)。《繽紛生態-虎甲蟲舉起觸角當作望眼鏡》。文章引自
<http://140.112.166.87/blog/?p=17013>。

張永仁(1998)。《昆蟲圖鑑：台灣七百多種常見昆蟲生態圖鑑》。台北市：遠流出版社。

楊維晟著(2008)。《認清甲蟲性格》。文章收錄在《甲蟲放大鏡》，第89頁。臺北市：天下文化出版。

日期 = 105. 11. 2 (三)
時間 = pm 1:00 ~ 400
任務 = 了解仿生科技及一般甲蟲 & 虎甲蟲的足部結構與運動 ✓

今天我們在教室進行討論，老師給我們看了五個影片。第一、二個影片是在講仿生科技，模仿昆蟲的足部關節，使機器人可以在有高低落差的地方，仍可以保持平衡。但在設計機器人之前，必須了解昆蟲的足部構造，老師有拆解了一隻锹形蟲的標本放在PPT上，可以清楚了解足部在身體的位置。

雖然大部份的甲蟲都使用三腳步態，但也有特例，分成前足、中足、後足三組移動。~~這看起來像青蛙~~使用三腳步態雖然三腳步態可以維持重心，但一旦翻過來重心同樣很穩定，所以會翻不回來。

但為什麼八星虎甲蟲不會呢？

good thinking and good question.

106. 3. 1
任務：分析虎甲蟲與紅腳細腰蜂打鬥行為的速度

今天首先，我們討論了上次數據過於緩慢、差距太大的問題，「明明是同樣的行為，為什麼兩個數據差那麼多？」

經過了一番「舌」上大戰後，我們終於想到了合理、能解釋問題的結果：兩個影片中虎甲蟲的「目的」不同，要捕食的對象不一樣，使用的「方式」、速度就不一樣囉！接著我們繼續進行上次未完成的影片分析——八星虎甲蟲和紅腳細腰蜂的打鬥。這次影片有利用腳架拍攝，因此，角度好且我們已有經驗，測量的速度比較快。『到了慢？』

結果：

觀察 =	0 km/時	攝影技術是
攻擊 =	0.8 km/時	慢速影片是
逃離 =	> 5.3 km/時	有經驗

	前足		中足		後足	
	1號蟲	2號蟲	1號蟲	2號蟲	1號蟲	2號蟲
體長	16	15	16	15	16	15
觸鬚長	6	4.9	6	4.9	6	4.9
腿長	基節	2.2	1.2	1.7	2.3	2
	轉節	0.4	0.7	0.5	0.7	0.5
	脛節	4.3	5	4.5	6	6
	跗節	3.8	5.2	5.3	7	6.5
爪	6	5.6	5.7	5.6	6.9	6.8
爪	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

1號蟲: 前足總長: 18.2, 中足總長: 18.2, 後足總長: 23.4

前中後足的長度比為 18.2 : 18.2 : 23.4
 前足各關節長度: 轉節: 1.1, 脛節: 4, 跗節: 4, 爪: 0.5
 前足各關節長度比為: 2.6 : 1.1 : 4 : 4 : 6 : 0.5

中足各關節長度: 轉節: 0.7, 脛節: 5, 跗節: 5.2, 爪: 0.5
 中足各關節長度比為: 1.2 : 0.7 : 5 : 5.2 : 5.7 : 0.5

後足各關節長度: 轉節: 0.7, 脛節: 6, 跗節: 7, 爪: 0.5
 後足各關節長度比為: 2.3 : 0.7 : 6 : 7 : 6.9 : 0.5

2號蟲: 前足總長: 16.8, 中足總長: 18.3, 後足總長: 21.3
 前中後足的長度比為 16.8 : 18.3 : 21.3

前足各關節長度: 轉節: 0.4, 脛節: 4.3, 跗節: 3.8, 爪: 0.5
 前足各關節長度比為: 2.2 : 0.4 : 4.3 : 3.8 : 5.6 : 0.5

中足各關節長度: 轉節: 0.5, 脛節: 4.5, 跗節: 5.3, 爪: 0.5
 中足各關節長度比為: 1.9 : 0.5 : 4.5 : 5.3 : 5.6 : 0.5

後足各關節長度: 轉節: 0.5, 脛節: 6, 跗節: 6.5, 爪: 0.5
 後足各關節長度比為: 2 : 0.5 : 6 : 6.5 : 6.8 : 0.5

頭: 3.5
 胸: 8
 腹: 5

破解八星虎甲蟲每小時飛行之平均速度 (2016.10.25)

各位同學，經過幾個星期的測試與討論，各位同學對於八星虎甲蟲應該有進一步認識與今天主要任務期冀能夠破解八星虎甲蟲的飛行距離與平均時速，同時能夠取得錄影影片證據學發揮團隊合作的精神，努力達成任務，加油囉@@

研究問題: 八星虎甲蟲平均飛行速度調查。

研究前	研究材料	研究設備
學習單, 虎甲蟲, 記錄用具	照相機, 攝影機	
研究步驟	1. 用肉眼找到虎甲蟲。 2. 用攝影機追蹤虎甲蟲。 3. 接近虎甲蟲, 直到牠起飛並降落。 4. 測量距離, 並記錄時間。	第一次測: 飛行 1 公尺, 飛行 1 秒。 第二次測: 飛行 4 公尺, 飛行 3 秒。 第三次測: 飛行 3 公尺, 飛行 2 秒。 第四次測: 飛行 5 公尺, 飛行 3.5 秒。 第五次測: 飛行 5 公尺, 飛行 3 秒。 第六次測: 飛行 1 公尺, 飛行 2 秒。 第七次測: 飛行 3 公尺, 飛行 2 秒。 第八次測: 飛行 4 公尺, 飛行 3 秒。 第九次測: 飛行 3 公尺, 飛行 2 秒。 第十次測: 飛行 1 公尺, 飛行 1 秒。 第十一次測: 飛行 4.5 公尺, 飛行 3 秒。 第十二次測: 飛行 5 公尺, 飛行 4 秒。 第十三次測: 飛行 3 公尺, 飛行 2 秒。 第十四次測: 飛行 4 公尺, 飛行 3 秒。 第十五次測: 飛行 5 公尺, 飛行 4 秒。 第十六次測: 飛行 4 公尺, 飛行 4 秒。 第十七次測: 飛行 4.5 公尺, 飛行 3 秒。 第十八次測: 飛行 3 公尺, 飛行 3 秒。 第十九次測: 飛行 4 公尺, 飛行 3 秒。 第二十次測: 飛行 4 公尺, 飛行 3 秒。 總共飛了 (13.5) 公尺, 共花了 (11.5) 秒。平均時速為 (約 4.0 > 7/4) 公里/小時。
研究發現		

任務: 分析虎甲蟲與紅腳細腰蜂打鬥行為的速率

心得:

由於上次測得的虎甲蟲捕食速率十分緩慢，我們提出質疑，並探討測量方法。後來我們發覺是「目的」的問題，飛行與行走的速率目的不同，因此虎甲蟲會採用不同的速率自動。之後，我們測量虎甲蟲打鬥的速率，因為有前一次經驗，所以測量較快。測量結果如下:

	觀察	攻擊	逃離
第一回	時4.7距0	時3.5距16.5	時0.7距12.4
第二回	時0.8距0	時2.58距11.2	時0.05距8.2
第三回	時1.7距0	時2.65距16.1	時1.16距12.4
第四回	時6.12距0	時3.53距16.9	時0.54距7.9
第五回	時0.8距0	時2.05距3.2	時0.95距14
平均	時2.84距0	時2.88距12.78	時0.78距10.98
平均速率	0 Km/h	9.58 Km/h	30.4 Km/h

計算後發現打鬥的平均速率比捕食多了200倍，比飛行多了4.7倍，雖然不確定是否正確，但一定會對研究很有用的!

	Time	far
(一) 觀察	(1) 5.13 (2) 4.34 (3) 5.00 (4) 4.13 (5) 4.88 平 = 4.7	0.0
攻擊	(1) 3.47 (2) 3.63 (3) 3.66 (4) 3.50 (5) 3.59 平 = 3.57	(1) 7.2 (2) 3 (3) 11.8 (4) 1.5 (5) 3 總 = 16.5 cm
逃離	(1) 0.75 (2) 0.82 (3) 0.75 (4) 0.66 (5) 0.66 平 = 0.71	How? 12.4 總 = 12.4 cm
(二) 觀察	(1) 0.88 (2) 0.88 (3) 0.91 (4) 0.98 (5) 0.66 平 = 0.86	0
攻擊	(1) 2.78 (2) 2.69 (3) 2.47 (4) 2.57 (5) 2.37 平 = 2.58	(1) 4.8 (2) 2.45 (3) 2.25 (4) 1.7 總 = 11.2 cm
逃離	(1) 0.50 (2) 0.53 (3) 0.50 (4) 0.66 (5) 0.48 平 = 0.52	8.2 How? 總 = 8.2 cm
觀察	(1) 1.53 (2) 1.82 (3) 1.63 (4) 1.85 (5) 1.66 平 = 1.70	0.0
攻擊	(1) 2.69 (2) 2.69 (3) 2.57 (4) 2.69 (5) 2.50 平 = 2.63	(1) 0.65 (2) 2.7 (3) 2.5 (4) 4 (5) 6.25 總 = 16.1 cm
逃離	(1) 1.09 (2) 1.95 (3) 1.75 (4) 1.28 (5) 1.19 平 = 1.16	(1) 5.65 (2) 3.3 (3) 3.4 總 = 12.4 cm

【評語】 080306

本作品觀察八星虎甲蟲在棲地的生態行為、移動速度以及捕食、避敵方式，觀察紀錄十分詳盡。特點在於量測虎甲蟲的移動速度，並描述捕食螞蟻及與長腳蜂的行為及量測移動速度。本作品並量測出觸鬚以及複眼對八星虎甲蟲捕捉獵物分別的貢獻，別出心裁。利用軟體計算出虎甲蟲捕捉螞蟻或與紅腳細腰蜂的移動速度過程，不錯的想法！

作品海報

研究動機

2016年暑假到鯉魚潭探查時，意外發現一群行動快速八星虎甲蟲(*Cosmodela batesi*)，這種別稱為「引路蟲」的小傢伙，遇到人類靠近即向前飛逃，但因不善長距離飛行，往往飛行一小段距離後即停下來；等人再靠近時又向前飛逃，像在為人帶路一樣(黃文伯, 2008)。八星虎甲蟲生性好鬥，速度快，行動迅速的成蟲反應速度與家蠅相當，而我們在棲地所觀察到的虎甲蟲移動速度為何？及其在捕食及避敵時，可以跑多快？飛多快？其使用的移動方式為何？成為本次的研究焦點。另外，本研究針對棲地中虎甲蟲的生活習性、棲地環境進行調查，以進一步了解虎甲蟲成蟲日間活動的時間範圍、同一棲地昆蟲種類、喜歡捕食的昆蟲種類等生態行為。

研究問題

- 問題一、八星虎甲蟲身體構造中與移動有關的部位及其特徵為何？
- 問題二、八星虎甲蟲成蟲出現在棲地的時間點？
- 問題三、除了八星虎甲蟲，研究棲地中有哪些生物種類？
- 問題四、棲地裡八星虎甲蟲成蟲有哪些行為？其移動方式為何？
- 問題五、八星虎甲蟲如何捕食螞蟻？移動速度多快呢？
- 問題六、八星虎甲蟲捕食螞蟻時，觸鬚與複眼扮演的角色為何？
- 問題七、八星虎甲蟲如何攻擊紅腳細腰蜂？移動速度多快呢？
- 問題八、八星虎甲蟲如何避開人類干擾？移動速度多快呢？



研究方法

一、確認研究棲地範圍與編號

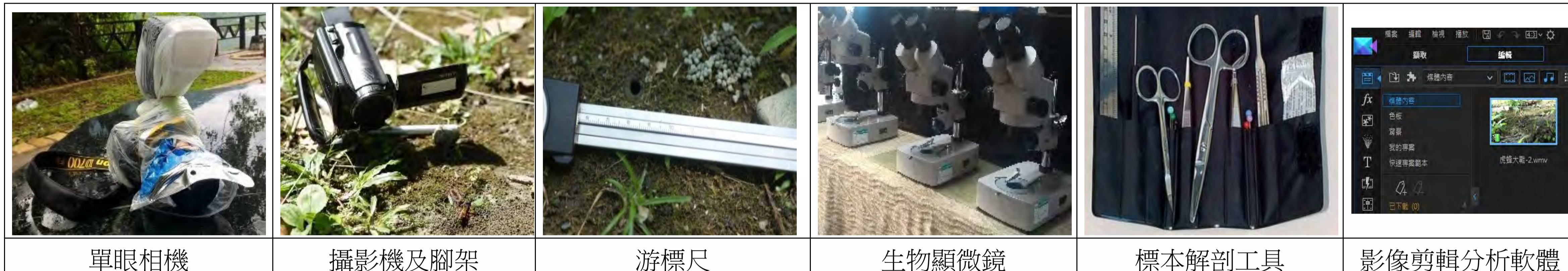
本研究的棲地位置在鯉魚潭環潭步道1.7公里處，以地圖定位系統(google earth)定位，棲地位置為北緯23.928662、東經 121.515307。此一棲地距離潭水僅4公尺，周圍環境植被密度高，生物種類眾多。8-10月的平均氣溫為27.6度、濕度為81%。由於棲地位在背陽坡，研究調查時的日照時間，約從上午8:30到下午17:30止。本研究棲地為一處自然保育地，棲地範圍內未使用任何農藥。

經過測量得知本研究棲地的長、寬分別為 9 公尺、2.1 公尺，棲地面積為 18.9 平方公尺。我們將這塊棲地用細綿線隔成 18 個小方塊，並進行區塊編號(1-18 號)。

二、棲地觀察記錄的方法

研究調查期間，研究隊員分成A、B兩組同時進行觀察。A組由1號棲地開始觀察，用肉眼依序由右而左、由上而下的方式，來回掃描檢視棲地上的物種。當觀察到目標物，稍停畫記在預先準備好的調查記錄單上。B組同學則採相反的順序、相同的步驟進觀察，依序完成18塊小棲地的觀測為止。為蒐集更多觀察資料，本研究使用攝影機進行輔助性的觀察紀錄。

研究設備



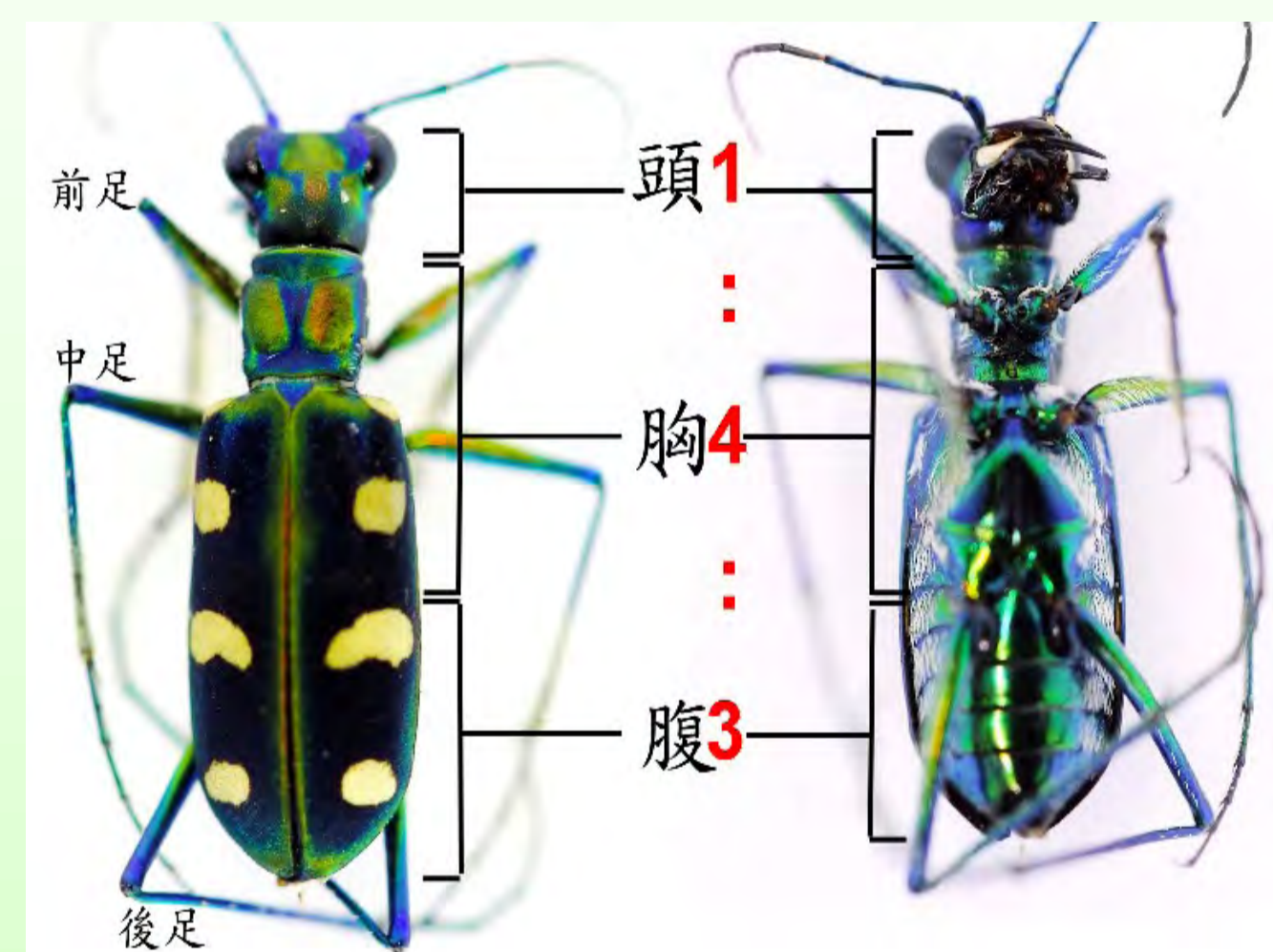
研究過程與結果

問題一：八星虎甲蟲身體構造中與移動有關的部位及其特徵為何？

研究步驟：依序將八星虎甲蟲標本的頭部、六足、鞘翅、內翅、胸部、腹部拆解。測量各部位長度、使用顯微鏡觀察足部細部構造及特徵。

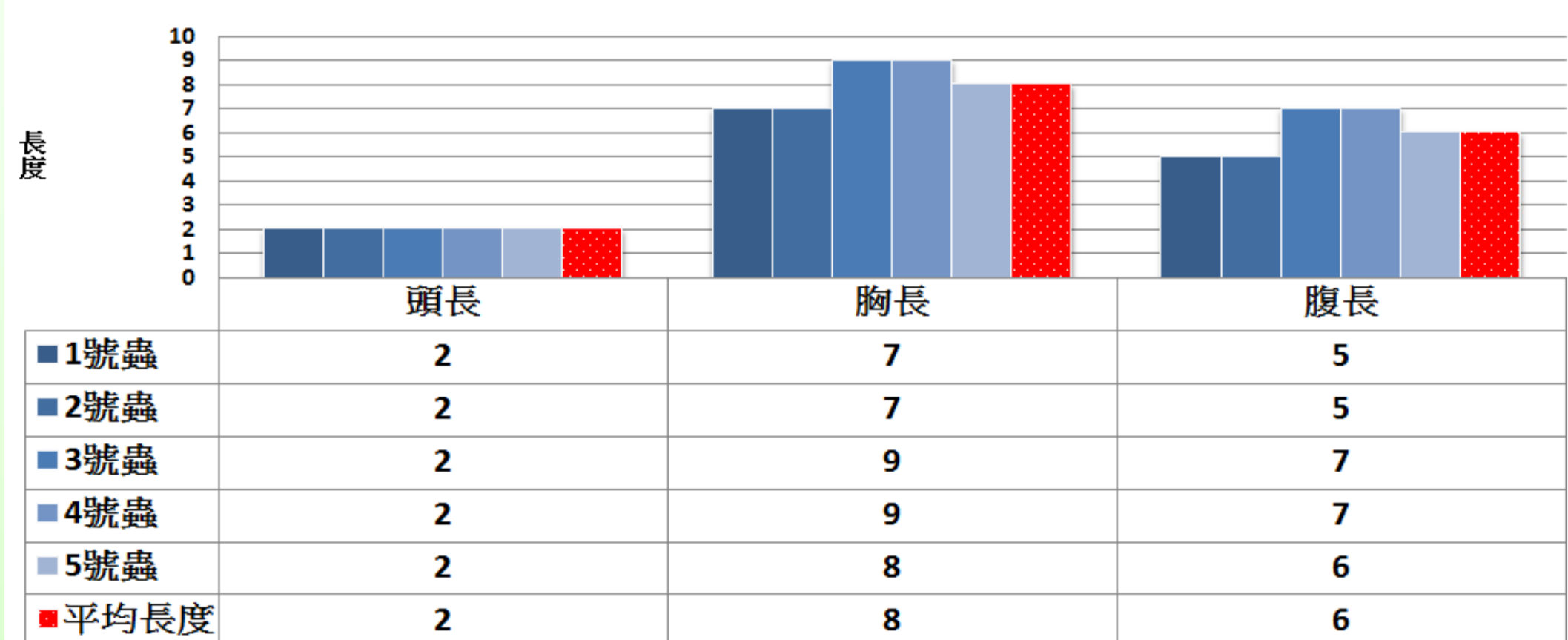


拆解標本

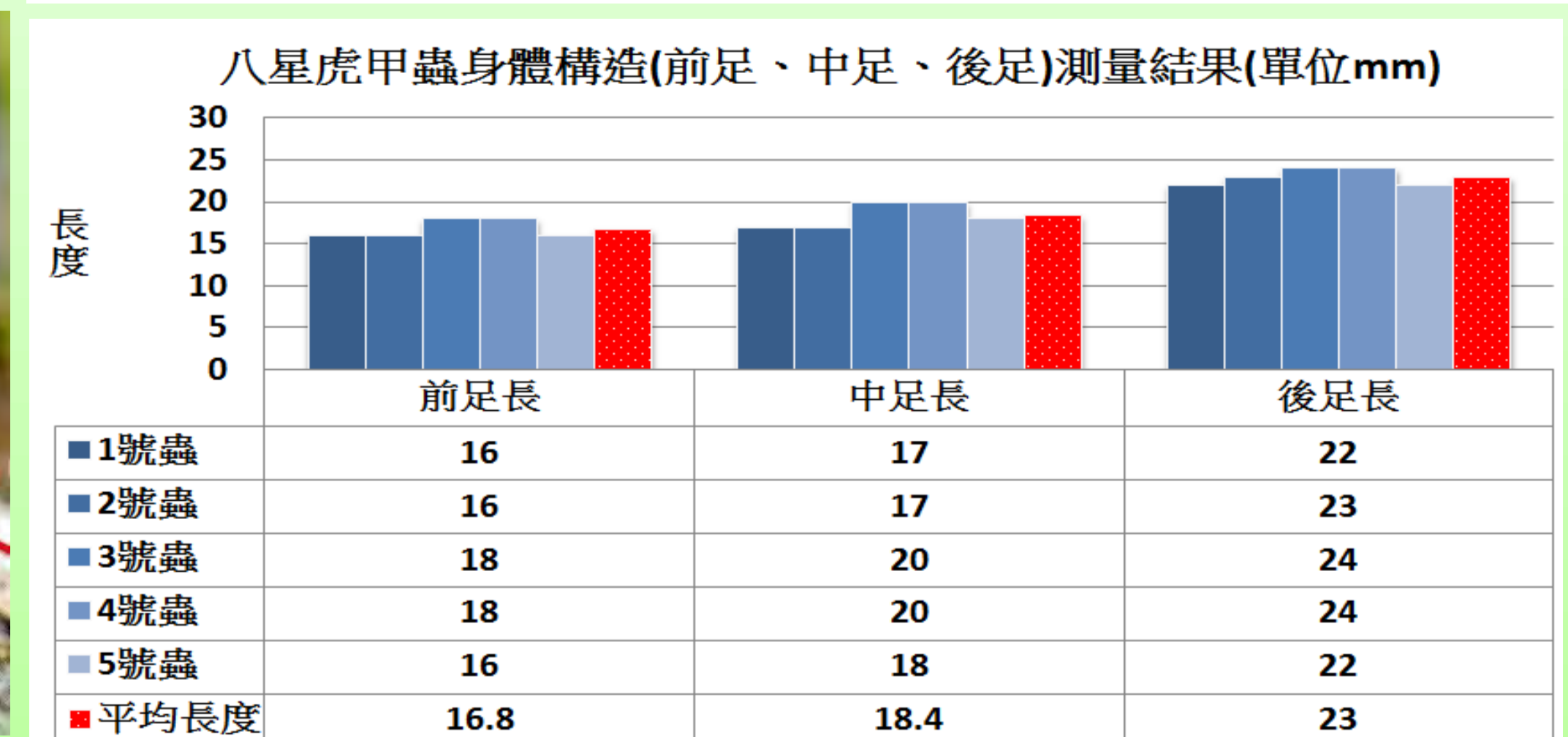
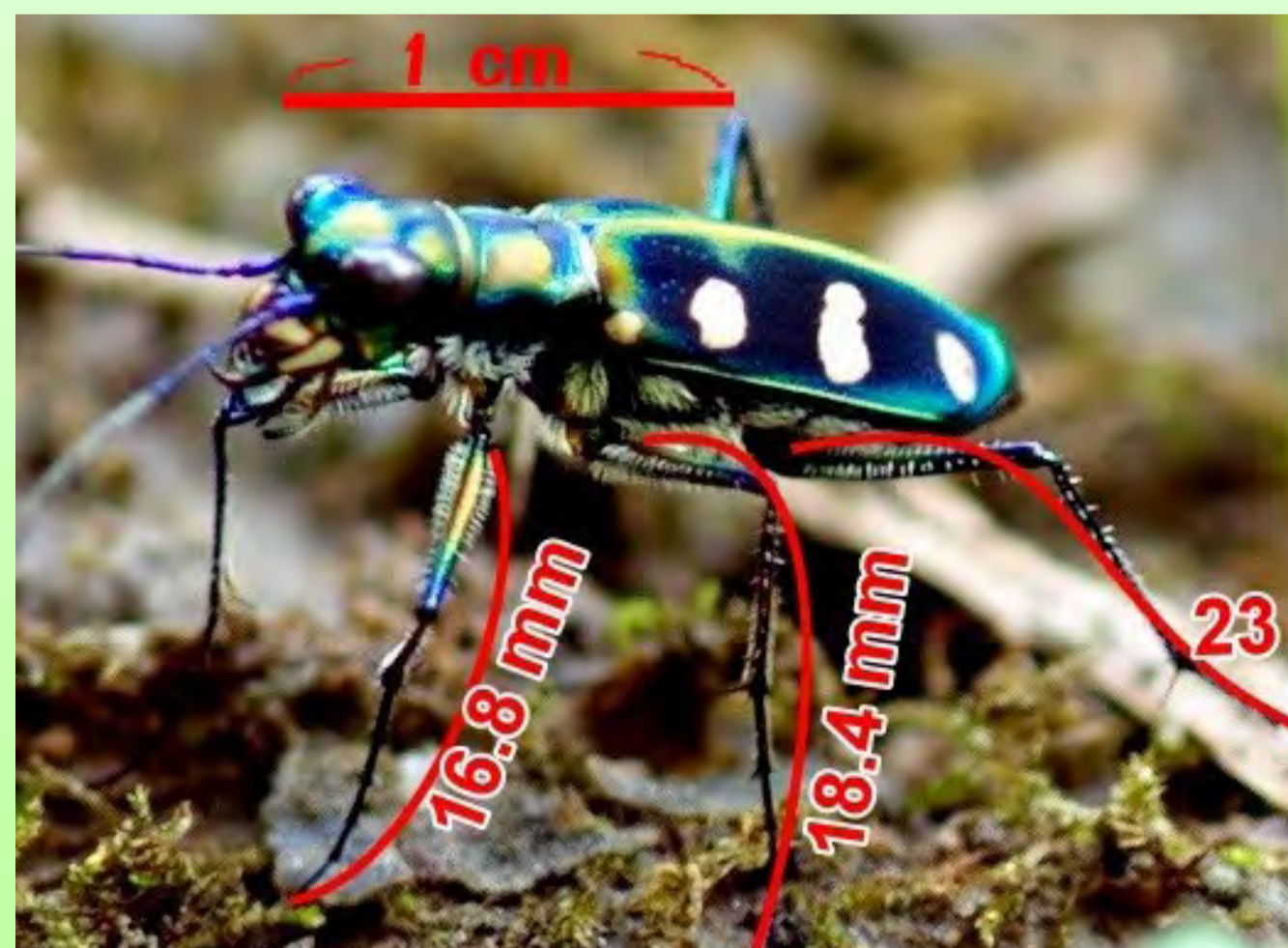


研究結果

八星虎甲蟲身體構造(頭、胸、腹)測量結果(單位mm)



固定標本



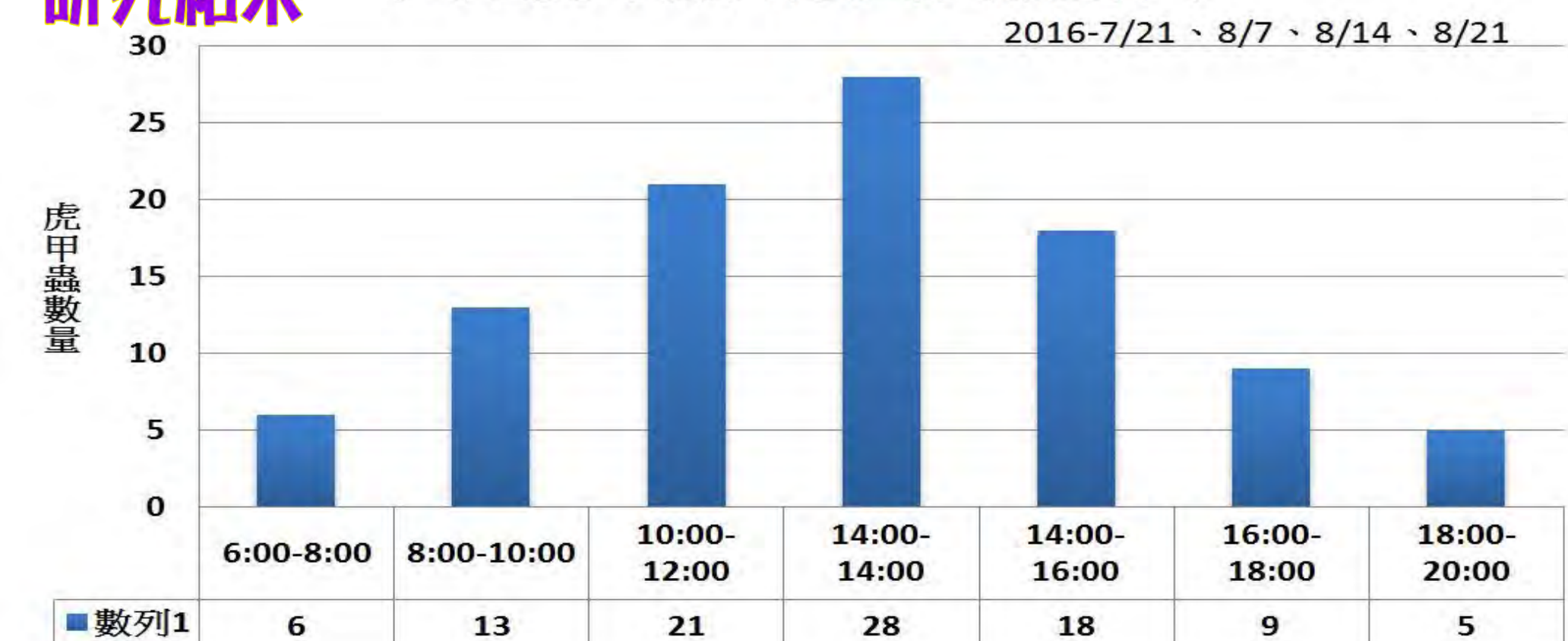
問題二：八星虎甲蟲成蟲出現在棲地的時間點？

研究步驟：研究時間於 2016 年 7/31、8/07、8/14、8/21 日進行，從上午 6:00 到下午 8:00，每隔 30 分鐘進行棲地成蟲數量觀測，並統計調查數據。

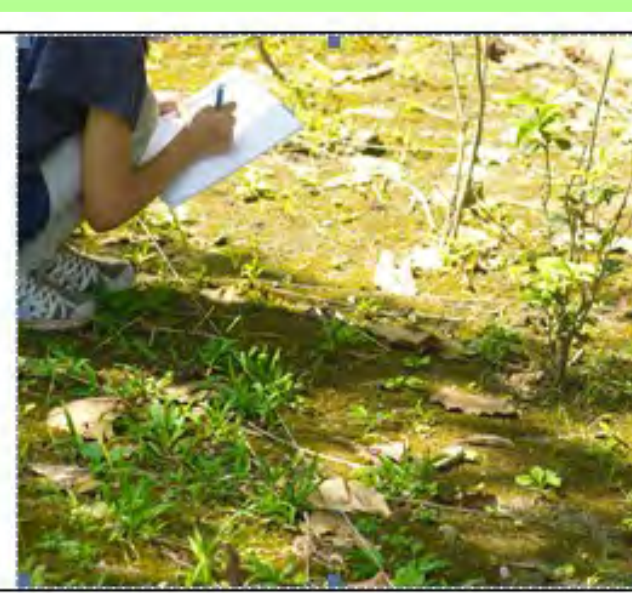
研究結果

八星虎甲蟲出現時間統計圖

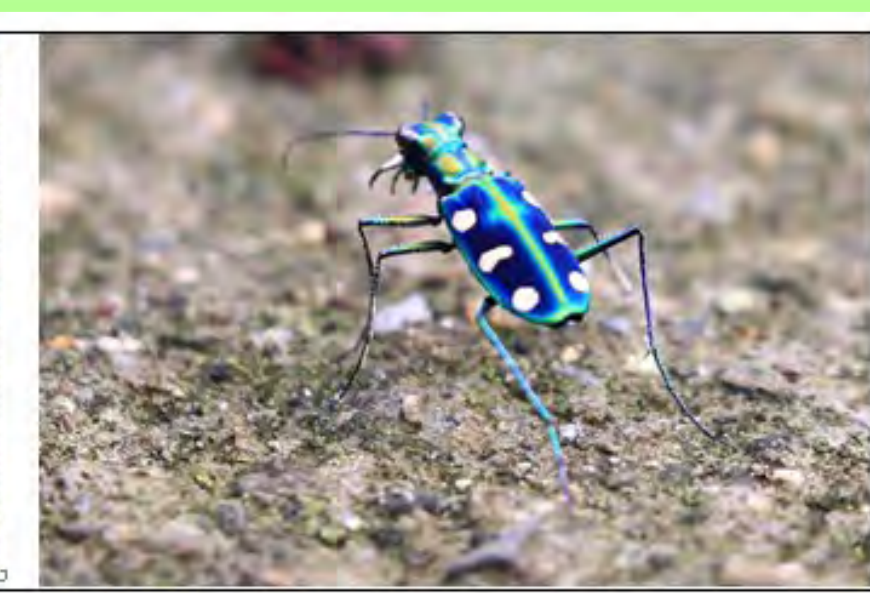
2016-7/21、8/7、8/14、8/21



記錄用的學習單



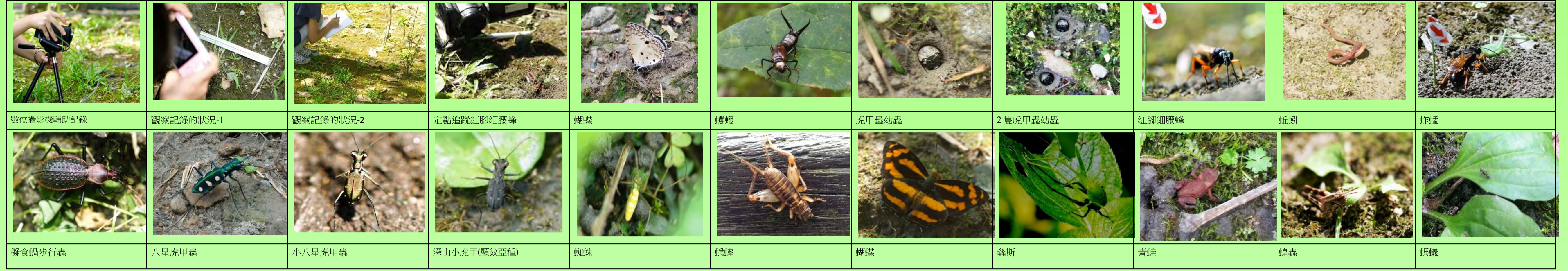
棲地調查



虎甲蟲成蟲

問題三、研究棲地中有哪些生物種類？

調查過程：研究時間於 2016 年 7/31、8/07、8/14、8/21 日進行，從 6:00-18:00，每隔 1 小時進行觀測與記錄，依序完成 1~18 號棲地上的生物調查。



調查日期	7/31	8/7	8/14	8/21
生物種類	紅腳細腰蜂、蜜蜂、小灰蝶、青斑蝶、螞蟻、蝗蟲、蚯蚓、八星虎甲幼蟲、深山小虎甲成蟲、青蛙。	紅腳細腰蜂、蜜蜂、小灰蝶、螞蟻、攀木蜥蜴、蒼蠅、蠱斯、蚯蚓、擬食蝸步形蟲、八星虎甲幼蟲、深山小虎甲成蟲。	紅腳細腰蜂、蜜蜂、螞蟻、石龍子、蟋蟀、蜘蛛、蝗蟲、蚯蚓、蠹蝨、瓢蟲、八星虎甲蟲幼蟲、深山小虎甲蟲、小八星虎甲蟲。	紅腳細腰蜂、蜜蜂、小灰蝶、紅螞蟻、攀木蜥蜴、蒼蠅、蟾蜍、蜘蛛、炸蟻、蠱斯、蚯蚓、八星虎甲蟲幼蟲、深山小虎甲蟲。

問題四、分析棲地裡八星虎甲蟲成蟲的行為？其移動方式為何？

研究步驟：研究小組於 8/8-10 日連續三天在棲地進行調查，使用攝影機追蹤八星虎甲蟲的棲地行為。用攝影機追蹤虎甲蟲的行徑，錄至牠們消失研究者的視線為止。

爬上樹葉，複眼、觸鬚朝前，身體靜止不動，是在偵查訊息。	後腳墊高、前中腳抬起的直立姿勢，複眼、觸鬚朝前，身體靜止不動，在偵查訊息。	八星虎甲蟲交尾	雌八星虎甲蟲產卵	八星虎甲蟲捕食螞蟻(2)	八星虎甲蟲攻擊蚯蚓

偵查	打鬥	捕食	攻擊	交尾	產卵
八星虎甲蟲停在棲地上一段時間，	紅腳細腰蜂以飛擊的方式，攻擊八星虎甲蟲。八星虎甲蟲從背後與側面攻擊紅腳細腰蜂。	八星虎甲蟲慢慢趨近螞蟻，以前撲的前進方式捕食。紅螞蟻軍團侵入八星虎甲蟲幼蟲的巢穴，似乎會捕食虎甲蟲幼蟲。	八星虎甲蟲捕食體長大於三倍的蚯蚓。	八星虎甲蟲在棲地裡交配。	八星虎甲蟲在棲地裡產卵。
靜止不動，身體與地表呈現 15-90 度角。	步行位移：身體與地表呈平行，觸鬚向前朝下 15 度	步行位移：身體與地表呈平行，觸鬚向前朝下 15 度。	步行位移：身體與地表呈平行，觸鬚向前朝下 15 度	步行位移：雄蟲與雌蟲身體與地表略呈平行，雄蟲在與雌蟲交尾前，會使用觸鬚快速敲打雌蟲背板。	靜止不動：身體與地表呈現 85-90 度。



問題五、八星虎甲蟲如何捕食螞蟻？移動速度多快呢？

問題五-1：八星虎甲蟲如何捕食螞蟻？

研究步驟：使用攝影機，追蹤紀錄八星虎甲蟲在棲地捕食螞蟻的行為。後續再使用影片編輯軟體進行分析，觀察八星虎甲蟲捕食螞蟻的方式。

研究結果

八星虎甲蟲捕食螞蟻，可區分成「偵查」、「緩步趨近」、「快速捕捉」、「吞咬」四階段。(八星虎甲蟲口器開啟、閉合，如下圖)

在 10 公分前偵查到螞蟻，身體會壓低，慢慢接近獵物。	慢慢接近螞蟻 5 公分後暫停。	快速向前移，同時用大顎捕捉螞蟻。	用小顎固定螞蟻，並用像鋸子一樣的大顎咬斷螞蟻身體後吞食。



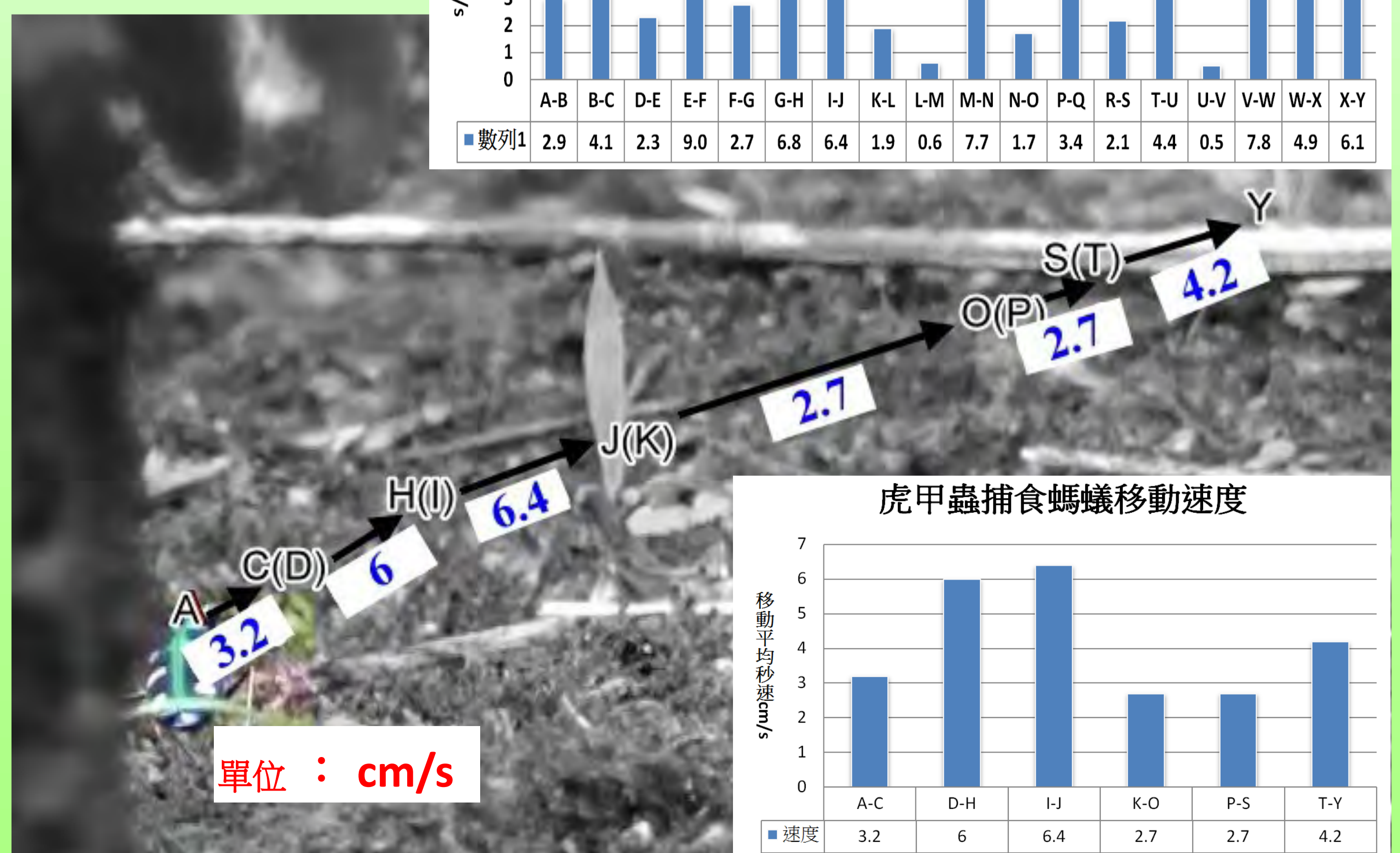
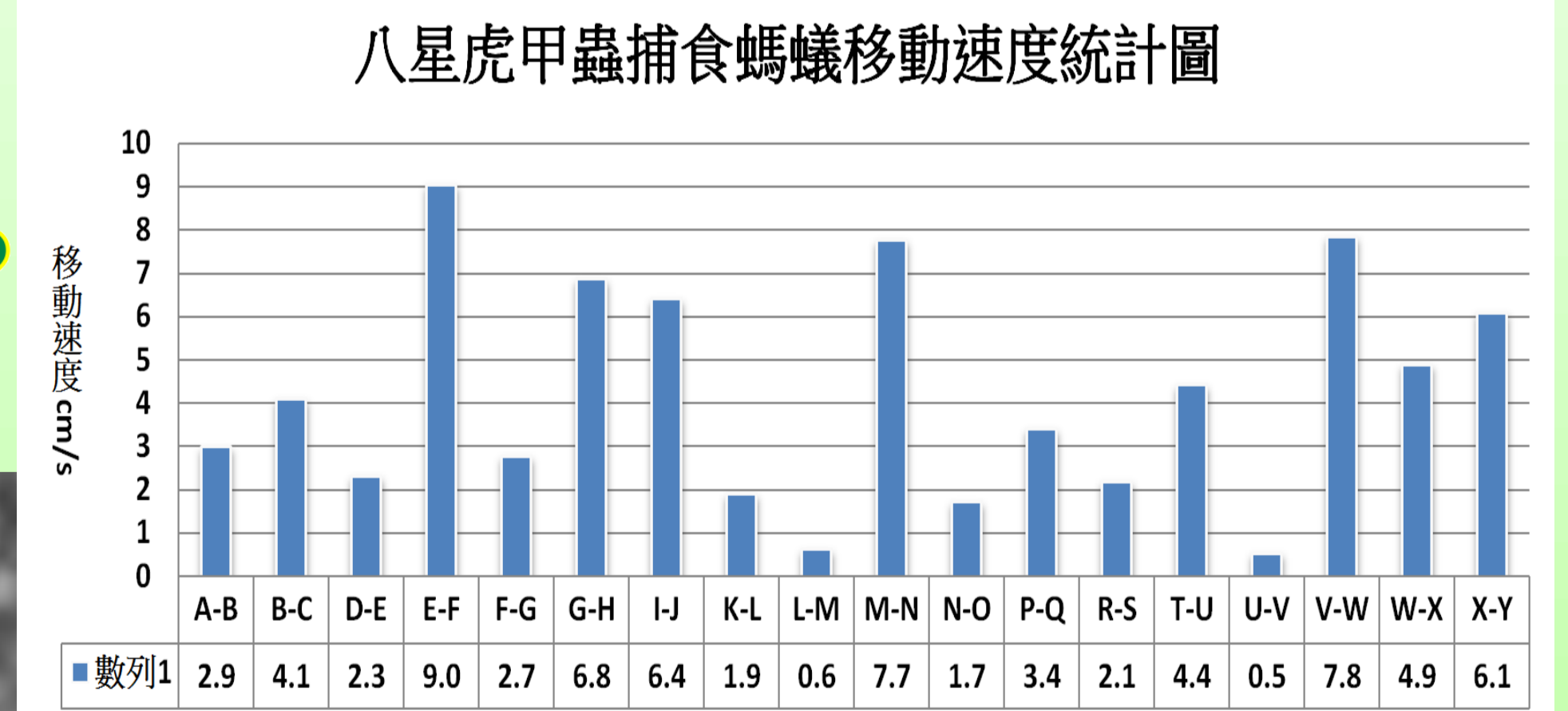
問題五-2：八星虎甲蟲捕食螞蟻的移動速度有多快呢？

研究步驟：

- 運用影片編輯軟體擷取虎甲蟲捕食螞蟻過程影像，判讀虎甲蟲移動的相對座標位置，以及移動的時間點。
- 將原始分析數據進行轉換，計算影片中物體距離像素值(px)與實際長度(mm)的比例關係，例如：影片中虎甲蟲身長為 126px 而實際虎甲蟲的身長為 16mm；以此建立影片分析的長度比例尺關係為，126px:16mm；以此比例尺進行相關數據的轉換，以利後續資料的判讀與分析。
- 移動距離計算利用畢氏定理 ($a^2 + b^2 = c^2$)，計算虎甲蟲的移動距離。再以 速率=距離÷時間的公式，計算出八星虎甲蟲捕食螞蟻的移動速率。

研究結果

- 八星虎甲蟲捕食螞蟻的移動模式是步行。從偵測到螞蟻開始，會以壓低身體，直線前進，邊走邊停留偵查的方式，緩緩向螞蟻方向前進。
- 捕食螞蟻的平均移動速度為每秒 4.22 公分，捕食螞蟻的移動速度介於每秒 2.72~6.42 公分之間。



問題六：觸鬚及複眼在八星虎甲蟲捕食螞蟻過程所扮演的角色

研究步驟：

- 步驟一：準備一個長 43、寬 18.5、高 24 公分的觀察箱。
- 步驟二：採集 3 隻八星虎甲蟲雄蟲(實驗前，先停止餵食 1 日)，30 隻螞蟻。
- 步驟三：先放一隻雄八星虎甲蟲，再將每次 5 隻螞蟻放入觀察箱，觀察八星虎甲蟲捕食螞蟻的成功率、捕食螞蟻時間及行為反應。
- 步驟四：依序完成「正常」、「遮蔽複眼」及「剪斷觸鬚」三隻雄蟲的測試結果。

研究結果：

- 1.正常組八星虎甲蟲捕食成功率為 100%。
- 2.遮蔽複眼組八星虎甲蟲展現兩個行為：第一，牠會一邊前進，一邊使用口器夾實驗箱的小石頭。第二，我們觀察到螞蟻從八星虎甲蟲腳下經過，未被八星虎甲蟲覺察，順利離開八星虎甲蟲身邊。
- 3.剪斷觸鬚組八星虎甲蟲在距離螞蟻 3 公分時，能捕食到螞蟻；螞蟻若距離虎甲蟲超過 3 公分，虎甲蟲不會追捕螞蟻，沒有反應。

問題七：八星虎甲蟲如何攻擊紅腳細腰蜂？移動速度多快呢？

問題七-1：八星虎甲蟲如何攻擊紅腳細腰蜂？

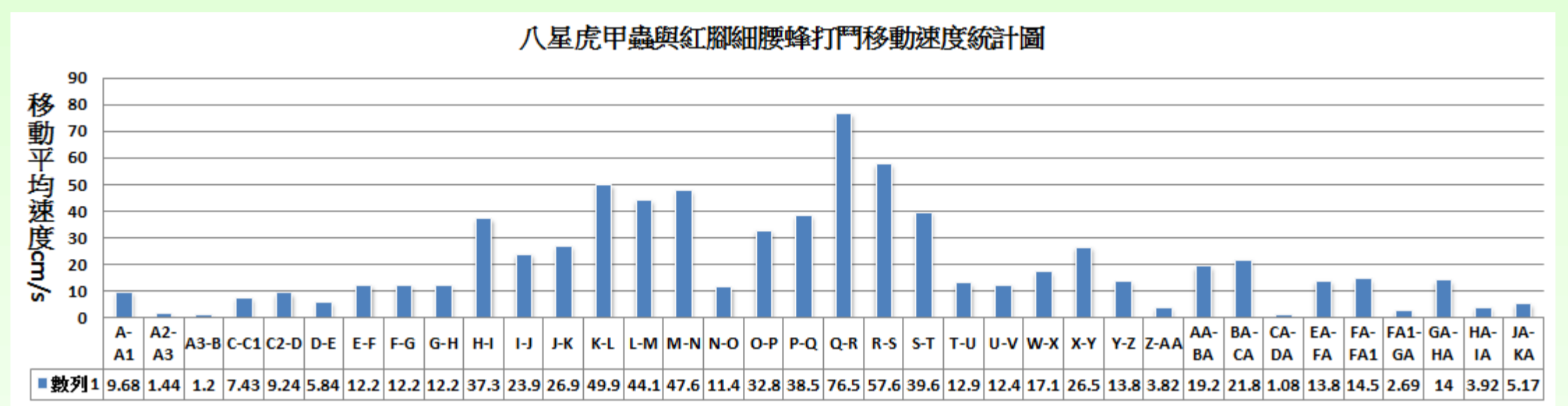
調查步驟：使用攝影機，追蹤紀錄八星虎甲蟲在棲地與紅腳細腰蜂的打鬥行為。再使用影片編輯軟體進行影片分析。

調查結果：八星虎甲蟲與紅腳細腰蜂打鬥的過程，可區分成「偵查」、「趨近」、「打鬥」及「逃離」等四個步驟。



問題七-2：八星虎甲蟲攻擊紅腳細腰蜂的移動速度有多快呢？

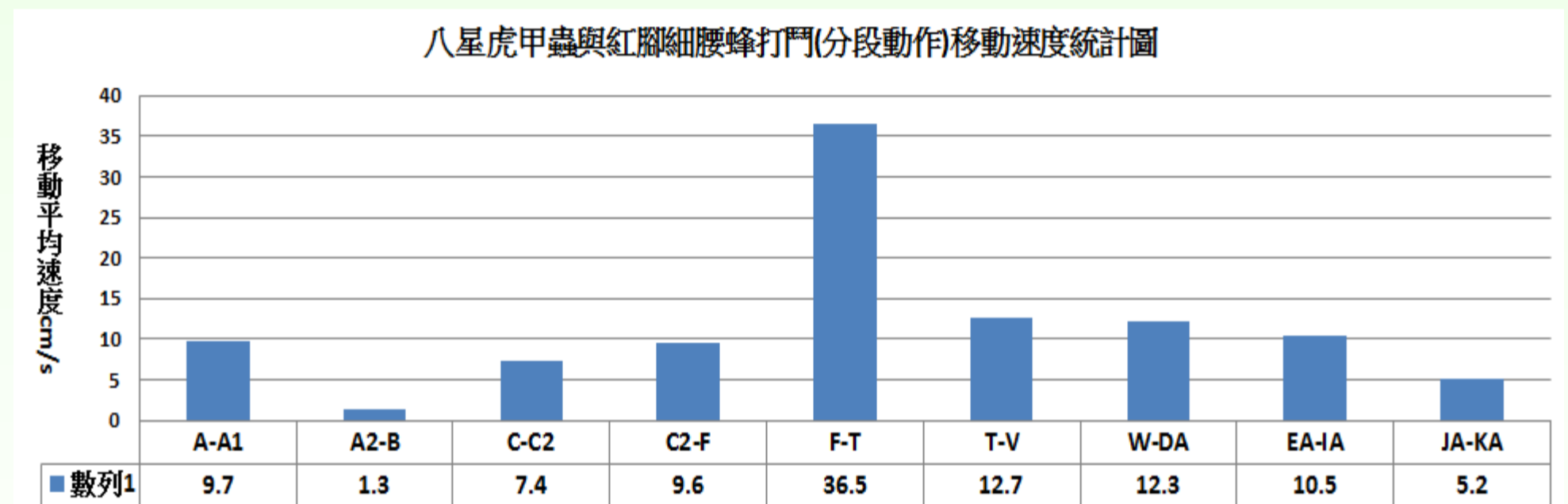
研究步驟：運用影片編輯軟體擷取八星虎甲蟲與紅腳細腰蜂打鬥過程影像，判讀虎甲蟲移動的相對座標位置，以及移動的時間點、打鬥時的移動距離；再以速率=距離÷時間的公式，計算出移動速率。



研究結果：(1).打鬥前的移動模式，是採一邊偵查，一邊直線前進的方式進行，移動速度介於每秒 1.3~9.7 公分。

(2).使用中、後腳站立，前腳與大顎當武器，正面衝撞紅腳細腰蜂後轉彎逃離，衝撞的速度為每秒 9.6 公分。

(3).戰鬥後的逃離，採用急轉彎的方式，平均逃離速度為每秒 36.5 公分，最快的逃離速度可達每秒 76.5 公分。



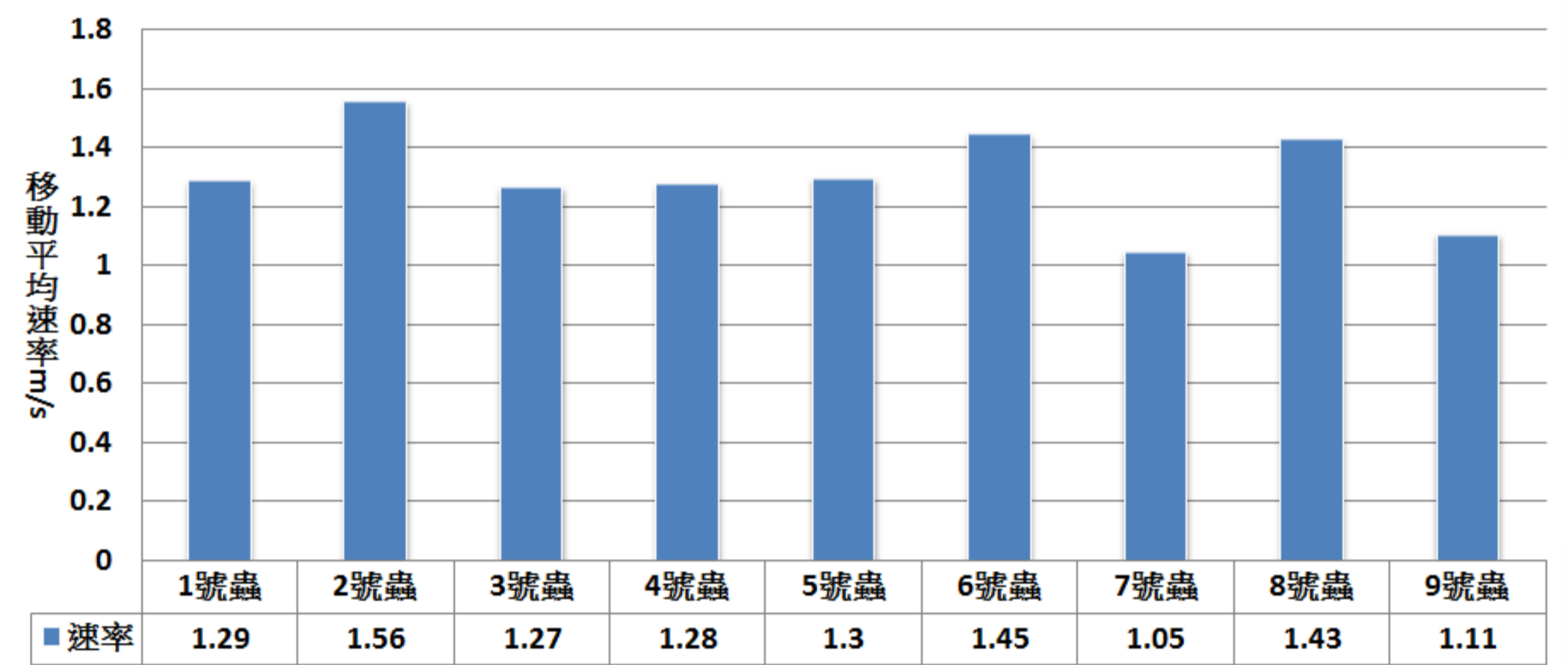
問題八：八星虎甲蟲如何避開人類干擾？移動速度多快呢？

調查步驟：組員共同合作，一人持攝影機器錄影、一人緩慢接近干擾虎甲蟲，待虎甲蟲飛行時，測量牠們的飛行距離。再使用影片編輯軟體，擷錄八星虎甲蟲的飛行時間，並以速率=距離÷時間的公式，換算八星虎甲蟲受人干擾時的飛行速率。

研究結果：

- (1).遇到人類干擾時採用飛行避敵，飛行範圍距離干擾者 1.4~10 公尺之間。
- (2).飛行避敵的速度為每秒 1.30 公尺(時速 4.68 公里)，最快的避敵飛行速度達每秒 2 公尺(時速 7.2 公里)，最慢為每秒 0.57 公尺(時速 2.05 公里)。

八星虎甲蟲躲避人類干擾的移動速度統計圖



綜合討論與結論

(一)八星虎甲蟲移動的方式與策略：

- 1.研究發現，牠們除了會在避開人類干擾時採用飛行策略外，其餘不論捕食螞蟻、或與紅腳細腰蜂的打鬥行為，都是採用步行的方式移動。由於八星虎甲蟲的捕食速度(4.22cm/s)比螞蟻快 4.7 倍，因此八星虎甲蟲能輕易的以步行方式捕食到野外移動中的螞蟻。
- 2.在與紅腳細腰蜂的打鬥過程中，打鬥前與打鬥後的移動方式是不同的。打鬥前，八星虎甲蟲以 6.1cm/s 的速度走-停-走-停，分階段接近紅腳細腰蜂。打鬥後，八星虎甲蟲改以迴旋繞彎方式快速離開打鬥現場(平均時速 36.5cm/s)
- 3.八星虎甲蟲受到人類趨近威脅時，會以平均時速 130cm/s、最快飛行時速 7.2 公里(200cm/s)的快速避敵方式躲避危險。
- 4.八星虎甲蟲的移動是有策略的，牠們會針對不同的狀況與需要，選擇不同的移動方式；也會依照不同的情況，主動調整移動速度的快慢，以適應環境的需求。



(二)八星虎甲蟲移動的速度究竟可以多快呢?在什麼情況下移動得最快呢?什麼因素讓牠們可以跑這麼快而不會迷失呢?

1. 八星虎甲蟲避開人類干擾的避敵飛行速度(130cm/s)比打鬥逃離 (36.5cm/s)、打鬥 (9.6cm/s)、打鬥前趨近行為 (6.1cm/s) 及捕食螞蟻 (4.22cm/s) 快。
2. 牠們的避敵飛行最快時速可達 7.2 公里/小時。這麼快速的移動，會使得虎甲蟲眼睛無法捕捉足夠光線，因此在快速跑步過程會看不清楚獵物。所以虎甲蟲透過觸鬚演化出機械的感覺行為來配合快跑，才能夠在快速跑動的過程重新定位獵物。
3. 八星虎甲蟲在捕食螞蟻時，觸鬚與複眼必須相輔相成，才能達到最好的偵測與獵捕效果。



表 9 八星虎甲蟲不同情況下的移動方式以及移動速度摘要表

行為	捕食	打鬥			避敵	
互動對象	螞蟻	紅腳細腰蜂			人類	
行為模式	身體壓低，分階段接近及捕食螞蟻	打鬥前：分階段接近	打鬥：身體接觸	打鬥後：瞬間逃離	瞬間飛離	
移動方式	步行：直線前進	步行：分段前進	步行：正面衝撞	步行：快速繞彎	飛行：快速離開	
速度	平均	4.22cm/s	6.1 cm/s	9.6 cm/s	36.5 cm/s	1.3 cm/s
	最快	6.42 cm/s	9.7 cm/s	※	76.5 cm/s	200 cm/s
	最慢	2.72 cm/s	1.3 cm/s			57 cm/s
速度排名	5	4	3	2	1	
備註	八星虎甲蟲會針對不同狀況與需要，選擇不同的移動方式。也會依照不一樣的目的地，主動調整移動的快慢。					

研究結論

結論一、八星虎甲蟲身體構造分成頭、胸、腹三段，比例呈 1:4:3，胸部構造大於腹部及頭部。鞘翅與內翅，分別由前胸前緣及側板長出。前足由前胸腹板長出，中後足則分別由中後胸腹板前緣以及後端長出。胸部連結飛行與步行構造，是最重要的行動部門。

結論二、八星虎甲蟲最喜歡在中午 12:00 到下午 14:00 活動。棲地常出現紅腳細腰蜂、螞蟻、蚯蚓、八星虎甲蟲幼蟲，是八星虎甲蟲的鄰居。八星虎甲蟲在棲地會「偵查」、「打鬥」、「捕食」、「交尾」及「產卵」。

結論三、八星虎甲蟲以捕食螞蟻為主，捕食過程分成「偵查」、「緩步趨近」、「快速捕捉」、「吞咬」四個階段。捕食螞蟻，會以壓低身體，邊走邊停的方式，向螞蟻方向前進。捕食平均速度為 4.22cm/s。這樣的速度比螞蟻 0.9cm/s 的速度快出 4.7 倍，因此能輕易的捕捉到螞蟻。

結論四、與紅腳細腰蜂打鬥過程可分為「偵查」、「趨近」、「打鬥」及「逃離」等階段。打鬥採正面衝撞的方式，逃離則採用急轉彎的步行策略，最快逃離速度為 36.5cm/s。

結論五、遇到人類干擾時，會採用飛行的方式避敵，最快的避敵飛行速度 200cm/s，平均避敵速度為 130cm/s。

結論六、八星虎甲蟲在捕食螞蟻的過程，觸鬚能幫助八星虎甲蟲偵測到 10 公分外的螞蟻，複眼則協助八星虎甲蟲鎖定 3 公分內的螞蟻。只有觸鬚與複眼都健康的狀況下，才能協助八星虎甲蟲精準偵測移動中的螞蟻，並精準定位螞蟻的方位與成功捕食。

結論七、八星虎甲蟲會針對不同狀況與需要選擇不同的移動策略。

參考文獻(略)