

# 花蓮縣第58屆中小學科學展覽會 作品說明書

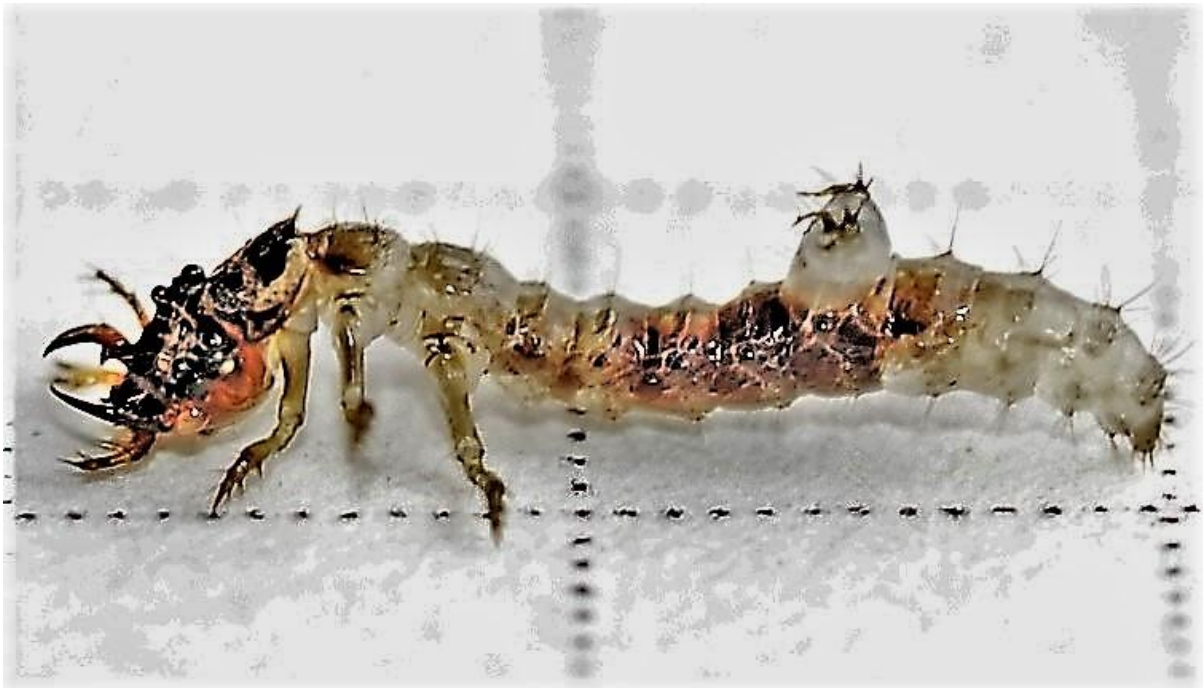
科 別：生物科

組 別：國中組

作品名稱：臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻之生物力學研究

關 鍵 詞：臺灣八星虎甲蟲幼蟲、獵捕螞蟻、生物力學

編 號：



# 目 錄

壹、研究動機·····	P.1
貳、研究目的·····	P.1
參、相關文獻·····	P.1
肆、研究問題·····	P.3
伍、研究方法、設備與器材·····	P.4
陸、研究過程與發現·····	P.9
柒、綜合討論·····	P.25
捌、研究結論與建議·····	P.29
玖、參考文獻·····	P.29
拾、附件·····	P.30



## 表 次

表 1.美崙山八星虎甲蟲棲地的 2017 年氣候資料	6
表 2.臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的影像分析模式過程(以影片 A 為例)	17
表 3.八星虎甲蟲幼蟲獵捕獵物的距離轉換計算結果	17
表 4.臺灣八星虎甲蟲幼蟲的獵捕速率計算	18
表 5.臺灣八星虎甲蟲幼蟲與隧道特性	21
表 6.臺灣八星虎甲蟲幼蟲埋伏與獵捕螞蟻時身體形態與角度觀察	23
表 7.臺灣八星虎甲蟲幼蟲埋伏與獵捕運動的生物力學分析	24

## 圖 次

圖 1.八星虎甲蟲幼蟲會埋伏在自己挖掘的隧道口，等待獵物趨近後獵捕	1
圖 2.臺灣八星虎甲蟲的生命史	2
圖 3.臺灣八星虎甲蟲幼蟲形態素描	2
圖 4.為了解臺灣八星虎甲蟲幼蟲行為，我們自己繁殖了幼蟲	2
圖 5.幼蟲在自掘隧道裡的行為觀察	3
圖 6.研究流程圖	4
圖 7.研究團隊自行繁殖成功的八星虎甲蟲幼蟲	4
圖 8.棲地範圍的 google map 及手繪研究區域	5
圖 9.組員測量棲地範圍與掘的過程紀錄	5
圖 10.我們使用手機以及攝影機來輔助進行幼蟲棲地行為觀察	6
圖 11.組裝觀察器並使用手機攝影機來輔助幼蟲行為觀察	7
圖 12.我們自製第一與第二代幼蟲觀察器，並使用相機及攝影機觀察幼蟲在土表下行為	8
圖 13.本研究所使用的主要設備與材料	8
圖 14.組員調查棲地環境以及統計幼蟲數量的過程紀錄	9
圖 15.組員棲地植物(上圖)與幼蟲數量(下圖)調查日記	10
圖 16.身體形態構造觀察過程	11
圖 17.八星虎甲蟲幼蟲身體結構與比例	12
圖 18.幼蟲頭部與前胸背板連結成橢圓形，是封住洞口、埋伏獵物趨近的主要構造	12
圖 19.幼蟲口器解剖	13
圖 20.幼蟲頭部的細部構造	13
圖 21.幼蟲胸部的細部構造	14
圖 22.幼蟲腹部的細部構造	14
圖 23.幼蟲第五段腹節背部長出一對覆滿細毛的倒鉤	14
圖 24.使用軟體計算幼蟲獵捕螞蟻行為	15
圖 25.幼蟲獵捕距離及模式探究過程	16
圖 26.臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕時間及效率計算過程	18
圖 27.組員研究臺灣八星虎甲蟲幼蟲埋伏隧道時的身體形態與自掘隧道過程	19
圖 28.臺灣八星虎甲蟲幼蟲埋伏在隧道時的形態記錄	20
圖 29.幼蟲獵捕螞蟻三個步驟-埋伏-獵捕-進食	22
圖 30.研究過程照片	24

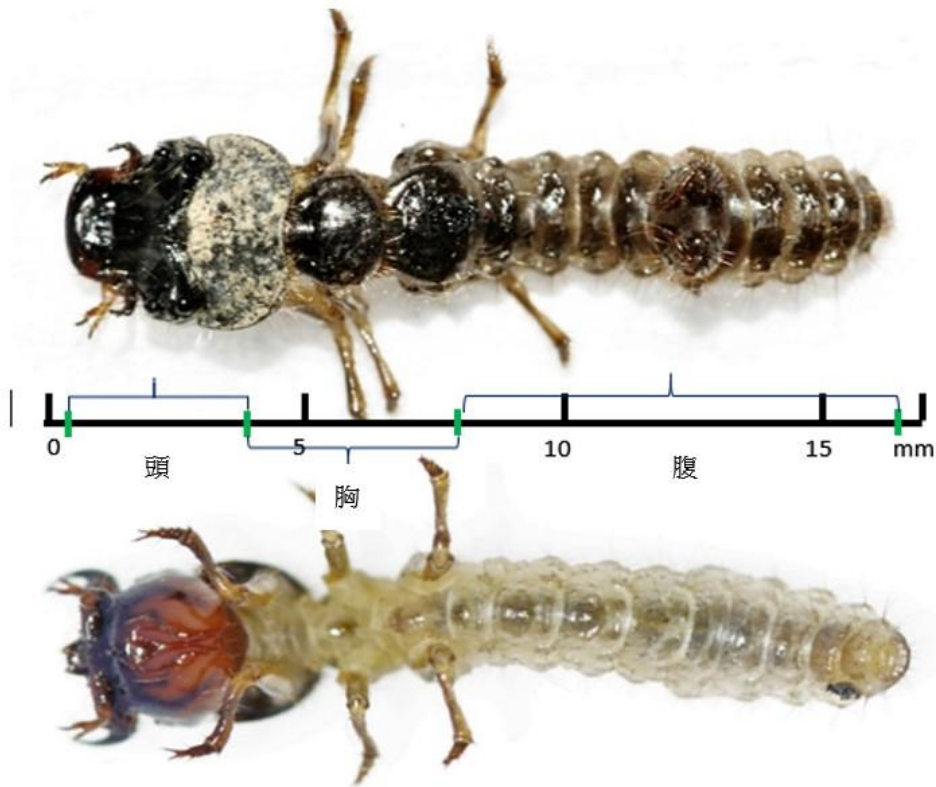
## 研究摘要

我們透過野地及自製觀察器兩種方式，長期觀察八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的行為。

觀察發現，3 齡幼蟲的頭、胸、腹比 1：2：3、共 14 段體節，具膜質，能讓幼蟲拉長、轉折，保持彈性及彎曲變形；第 5 腹節長一對倒鉤，讓牠能鉤住隧道內壁，固定身體。

幼蟲在隧道設埋伏、進食與避敵點。隧道前、中段只能前進或後退，底可迴轉。埋伏時，用上唇、前足、第 5 腹節及第 10 腹節來支撐身體。

獵捕螞蟻平均距離 0.84 公分，費時 0.08 秒，速率為 10.221 公分/秒。獵捕過程簡化為「埋伏」、「彈出」、「拉回」三個步驟。力量來源，是幼蟲自體驅動腹部尾端，瞬間拉直彎曲的 6-10 腹節所引起的變形彈力，將幼蟲的頭、胸及 1-4 腹節推向獵物，同時拉長身體膜質到實際獵捕到螞蟻的距離為止。





# 臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻之生物力學研究

## 壹、研究動機

在一次野外調查發現，公園的地表出現了許多小洞(圖 1)。回家查詢了資料，得知這是臺灣八星虎甲蟲幼蟲所居住的洞穴。文獻指出牠們會使用頭部由下往上頂住洞口，安靜的埋伏在地表，伺機等待獵物接近，再將其獵捕(黃文伯，2008)。

這讓我們感到好奇，全身都埋在地表下的臺灣八星虎甲蟲幼蟲長相如何？牠們如何頂住洞口？獵捕螞蟻時，如何運用身體構造施力，快速彈出洞口捕捉螞蟻？獵捕過程究竟展現了多大的力量(自然第一冊第五章生物體的協調作用)？隱藏著哪些生物力學的重要概念呢？

查詢了國內外文獻，都未獲得明確的解答，於是我們組隊邀請老師指導，開展了一連串的觀察與研究。



圖 1 八星虎甲蟲幼蟲會埋伏在自己挖掘的隧道口，等待獵物趨近後獵捕。

## 貳、研究目的

目的一：了解臺灣八星虎甲蟲幼蟲的形態構造。

目的二：了解野外的臺灣八星虎甲蟲幼蟲如何運用身體構造獵捕螞蟻。

目的三：探討臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻所展現的生物力學原理。

## 參、相關文獻

### 一、臺灣八星虎甲蟲的生命史及幼蟲獵捕方式

臺灣八星虎甲蟲 *Cosmodela batesi* (Fleutiaux, 1893) 為臺灣特有種虎甲蟲。分類地位為動物界、節肢動物門、昆蟲綱、鞘翅目、虎甲蟲科，是臺灣常見的地棲性甲蟲。生活史在一年內歷經卵、幼蟲、蛹及成蟲四個階段(圖 2)。



卵



幼蟲



蛹



成蟲

圖 2 臺灣八星虎甲蟲的生命史

國內有學者飼育觀察後指出，臺灣八星虎甲蟲幼蟲共分成三個齡期，在 25°C 恆溫飼養環境下的生長期，卵平均發育日數為 9.32 天，幼蟲一到三齡平均生長天數依序為 15.42、18.91 及 266.15 天，蛹期為 15.57 天，屬於一年一個世代的完全變態昆蟲。



圖 3 臺灣八星虎甲蟲幼蟲形態描繪

成蟲大約每年 4-10 月活躍於田野或公園沙地與泥土地(圖 3)。幼蟲則在每年的 6 至隔年 3 月，居住在自己所挖掘的土洞隧道中，以頭部為蓋，由土洞往上頂住洞口，安靜埋伏在地表，等待像螞蟻之類的小型昆蟲走近之後，再以身體離開洞口的的方式走出隧道獵捕獵物(吳怡欣、何嘉浩、蕭忠義及楊平世，2006)。

## 二、八星虎甲蟲幼蟲的身體構造研究

八星虎甲蟲幼蟲身體構造可區分成頭、胸、腹三個體區(tagmata)。每個體區都是由數個體節合成(盧耽，2008)。我們想要進一步了解臺灣八星虎甲蟲幼蟲頭、胸、腹各體區的細部構造，觀察牠究竟有多少個體節？這些體節與臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻究竟有什麼關係？

為此我們查詢了網路與書籍，發現除了蔡在壽、李琦玫、林金盾、吳京一(1995)曾針對臺灣八星虎甲蟲成蟲的複眼形態以及感光能力進行科學研究，發現成蟲沒有單眼，複眼能感知紫外光(波長 370nm)及綠色光(波長 530nm)。除此外，則未見其他有關於臺灣八星虎甲蟲幼蟲的生物學研究以及相關資料。

這讓我們感到驚訝！公園及野地常見的臺灣八星虎甲蟲幼蟲，牠們的形態及行為研究竟如此的稀少！於是我們希望能進行一系列的觀察紀錄(圖 4、5)，了解臺灣八星虎甲蟲幼蟲身體各部位的細部構造，探討牠們的埋伏與獵捕行為之關係，並從中分析其獵捕行為中所展現的生物力學；並進一步能提供研究臺灣八星虎甲蟲幼蟲行為的相關基礎研究資料。

## 三、生物力學概念與本研究焦點

依照張至滿、劉錦璋、陳帝佑、洪得明、陳重佑、何維華、蔡虔祿、朱彥穎與程欣儀(2015)的定義，生物力學是指「一種利用力學方法研究生物系統構造和功能學問」的一門科學。它的研究對象泛指所有的生物(包括動物與植物)。



圖 4 為了解臺灣八星虎甲蟲幼蟲行為，我們自己繁殖了幼蟲。



圖 5 幼蟲在自掘隧道裡的行為觀察。

我們的研究預計探討八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻所展現的力學概念，即是使用系統的方法估算幼蟲身體構造及其功能與行為之科學，研究範疇符合生物力學的定義。

我們閱讀文獻發現，八星虎甲蟲幼蟲會運用身體構造頂住隧道口，靜靜的埋伏、等待獵物趨近後走離洞口加以捕捉(吳怡欣等，2006)。

依照吳怡欣等人(2006)的研究，我們產生以下三點疑惑：

疑問 1：幼蟲會在隧道口等待螞蟻趨近後再加以獵捕，獵捕螞蟻的位移距離多少？

疑問 2：幼蟲會靜靜的埋伏在隧道洞口，究竟幼蟲長怎樣？隧道形狀如何？幼蟲要使用哪些身體構造來支撐身體，以避免埋伏時墜落到隧道底部？

疑問 3：幼蟲獵捕螞蟻，需要哪些身體構造合作，才能啟動撲捉的行為，順利獵捕螞蟻？為了解答上述的疑問，我們將展開一系列的問題探究，期望能逐一解答。

## 肆、研究問題

依照上述研究目的以及文獻回顧，我們將依照問題的層次，依序探討下列七個研究問題：

研究問題一：臺灣八星虎甲蟲幼蟲的棲地環境與幼蟲數量調查。

研究問題二：臺灣八星虎甲蟲幼蟲的身體構造觀察。

研究問題三：臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻行為觀察與模式分析。

研究問題四：臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的速率探究。

研究問題五：臺灣八星虎甲蟲幼蟲埋伏時的身體形態與自掘隧道關係探究。

研究問題六：臺灣八星虎甲蟲幼蟲如何運作身體來獵捕螞蟻？

研究問題七：臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的生物力學原理探討。

## 伍、研究流程、設備與器材

### 一、研究流程

我們的研究自 2017 年 9 月至 2018 年 4 月(目前仍在進行)，觀察幼蟲獵捕螞蟻的生物力學。依照研究進行的流程，區分成(一)繁殖取得研究所需幼蟲(二)棲地環境調查(三)了解棲地環境氣候條件(四)棲地幼蟲獵捕螞蟻運動觀測及(五)觀察地表下幼蟲獵捕螞蟻之生物力學，並探討其中的生物力學原理等五個階段(如圖 6)，茲分述如下：

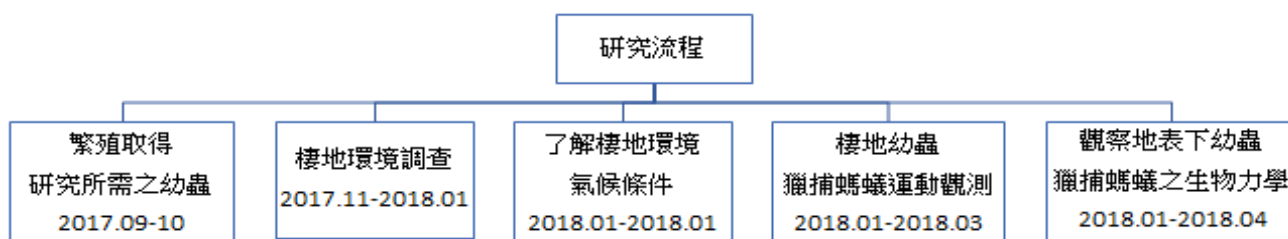


圖 6 研究流程圖



## (一)繁殖取得研究所需之幼蟲

我們的研究以自然觀察為主，實驗室觀察為輔。自然觀察所需的幼蟲直接取自棲地，我們在棲地裡架設攝影機，直接觀察並記錄牠們獵捕獵物的埋伏與捕捉行為，並計算牠們的獵捕運動速率。



圖 7 研究團隊自行繁殖成功的八星虎甲蟲幼蟲

本實驗觀察所需要的幼蟲來源，為研究者在 2017 年 9 月自行繁殖而得(圖 7)。繁殖的方法是，我們自棲地採集了七隻成蟲(4 雄、3 雌)，將其放入 45x60x30 公分高的飼養箱中，箱中填入高 10 公分的有機土壤，並投入麵包蟲餵食。成蟲會在箱中自然交配，2 個月後，我們自觀察箱成功取得 30 隻(以上)的幼蟲，並改以螞蟻餵食八星虎甲蟲幼蟲。

運用研究飼育的幼蟲探究幼蟲的身體形態構造，以及土表下的彈射運動觀察，進一步分析幼蟲撲捉獵物的力學模式。

## (二)棲地環境調查

由於棲地位於美崙山公園山頂，我們先透過 google earth 的地圖定位技術，得知棲地座標為北緯 23.965694、東經 121.492842，海拔約 108 公尺的丘陵平台上。

緊接著，我們實地到臺灣八星虎甲蟲幼蟲的生活空間，進行棲地面積測量。測得棲地長度為 30 公尺，寬 26 公尺，總面積約 780 平方公尺。

為了提高觀察與研究的效率，我們將此棲地分成 A、B、C、D 四個分區。由於 D 區日照多，光線充足，加上遠離遊客行走道路，可以避免較多的人為干擾，因此決定將 D 區選定作為我們進行野外幼蟲行為觀察的研究區域。再經過我們的實地測量，求得 D 區棲地長 15 公尺，寬 13 公尺，總面積約為 195 平方公尺(圖 8、9)。



圖 8 組員測量棲地範圍的過程紀錄



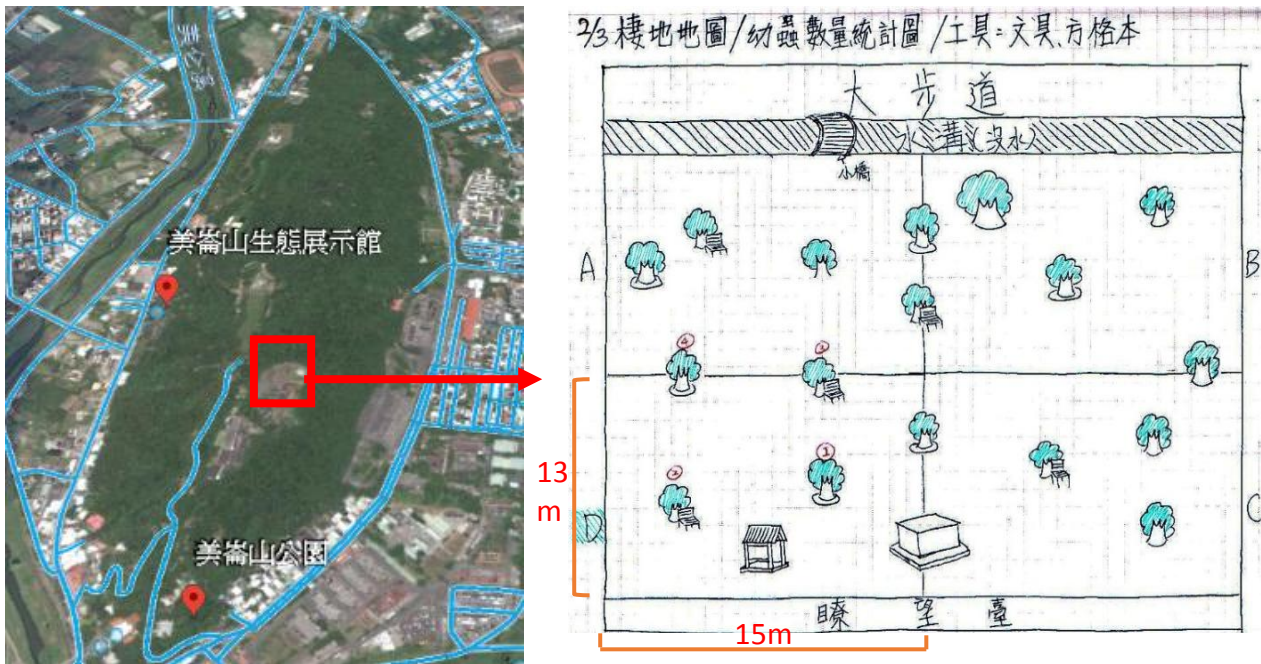


圖 9 棲地範圍的 google map 及手繪研究區域圖

### (三) 了解棲地環境的氣候條件

為了瞭解棲地的環境與氣候條件，我們查閱中央氣象局網站，得知花蓮美崙山 2017 年的氣溫、雨量、濕度與日照時數如表 1：

表 1 美崙山八星虎甲蟲棲地的 2017 年氣候資料

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
氣溫	19.6	18.	19.6	22.6	25.2	27.6	29.1	29.5	28.6	26.0	23.4	19.4
最高	26.9	26.7	27.7	30.2	31.6	34.2	34.5	34.3	33.4	32.6	30.0	26.4
最低	13.3	11.2	14.1	13.6	25.6	23.1	24.4	24.5	23.8	19.6	17.9	14.5
雨量	19	51.5	76.0	106.2	144.5	211.0	142.0	135.5	126.0	753.0	99.0	70.5
相對濕度	75	72	79	77	80	80	73	74	77	76	79	73
日照時數	70.1	51.6	47.7	103.8	108.6	174.9	272.9	287.6	220.4	137.3	74.7	43.0

說明 氣溫單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。雨量單位為 mm。  
 相對溼度單位為 RH(%)。日照時數單位為 SunShine (hr)。  
 資料來源：中央氣象局(<http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/dailyPrecipitation/dP.htm>)

由於我們進行幼蟲觀察研究的時間介於 2017 年 11 月-2018 年 4 月，共計七個月的時間，此七個月的平均溫度介於 18~23.4 $^{\circ}\text{C}$ 之間(最低 11.2 $^{\circ}\text{C}$ ；最高 30.0 $^{\circ}\text{C}$ )。相對溼度介於 72-79%之間。雨量介於 19-99 公厘。日照數 43-103.7 小時，特別在 12 月的日照僅 43 小時，日照偏少。

### (四) 棲地幼蟲獵捕螞蟻之運動觀測

在進行研究期間，我們先透過前期攝影觀察，確認並統計每一個幼蟲的洞穴是否有幼蟲生活在裡面。隨後選定 3 個較少人為干擾的幼蟲洞穴，在牠的上方架設攝影機，作為追

蹤幼蟲埋伏與獵捕行為的影像紀錄。在完成觀察影像蒐集後，回家將影片上傳到網路電腦以及網路平台，讓組員可以透過 movie maker 影像軟體，瀏覽當日拍攝的影像資訊，分工節錄出有效的影片檔案，作為組員聚會討論分析幼蟲埋伏與獵捕行為的資料(圖 10)。



圖 10 我們使用手機以及攝影機輔助進行幼蟲棲地行為觀察

### (五)觀察並探討地表下幼蟲獵捕螞蟻之生物力學現象

為了能看清地表下八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的運動，我們設計能透過肉眼以及攝影機就能直接觀察幼蟲行為的八星虎甲蟲幼蟲飼養箱。以下說明製作過程：

#### 1.製作第一代觀察箱：

在 2017 年 11-12 月，我們製作了第一代觀察飼養箱。製作的方式，採用長 30 公分、寬 1 公分，高 15 公分的透明壓克力板製作外箱，填入有機土壤，把土壤壓實後，放入幼蟲。幼蟲自己能挖出一條隧道，並且穩定的居住在裡面。但我們在觀察時，常因隧道受到有機土的遮蔽而無法完整觀察幼蟲在隧道的實際狀況，因此思考要改良第一代觀察箱(圖 11)。



我們在討論並動手組裝第一代觀察器，同時架設相機與攝影機，嘗試觀察幼蟲行為。



第一代觀察器以有機土為幼蟲生活介質，可觀察到幼蟲，但部分身體形態易被遮蔽。

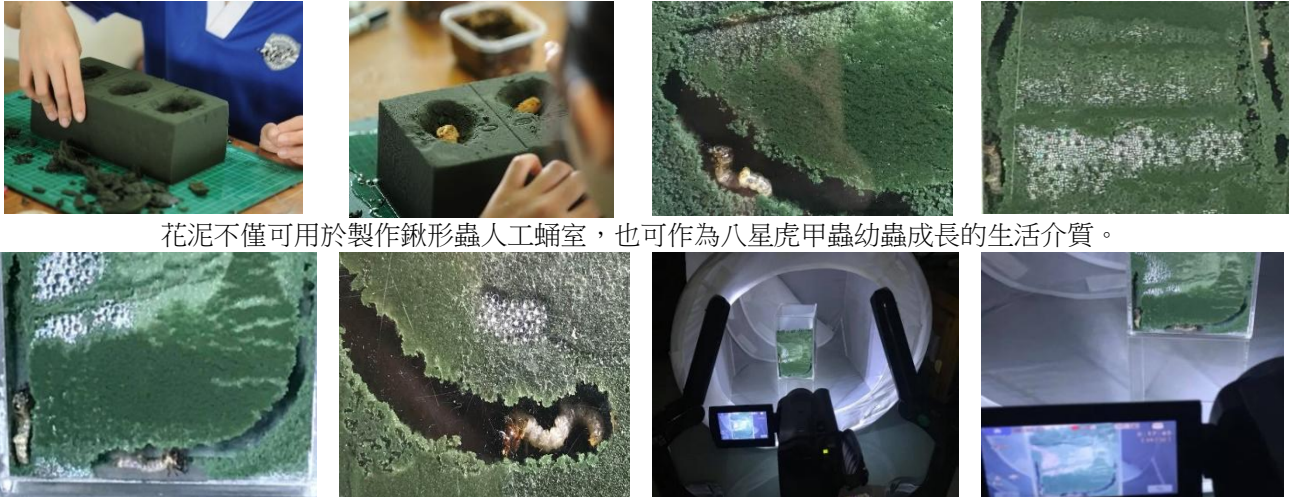
圖 11 組裝觀察器並使用手機攝影機來輔助幼蟲行為觀察

#### 2.製作第二代觀察箱：

2018 年 1-2 月，我們尋找介質，改進觀察箱的效果。由於我們使用過花泥(插花海綿)製作過鍬形蟲的人工蛹室，因此組員們將花泥填入觀察箱，觀察八星虎甲蟲幼蟲是否能夠適應這種材質。結果發現幼蟲能在花泥裡自由鑽出隧道，穩定住在隧道裡。由於花泥具有保溫、保濕的優勢，效果明顯優於土壤，於是我們採用它作為第二代幼



蟲觀察箱材料，如(圖 12)。



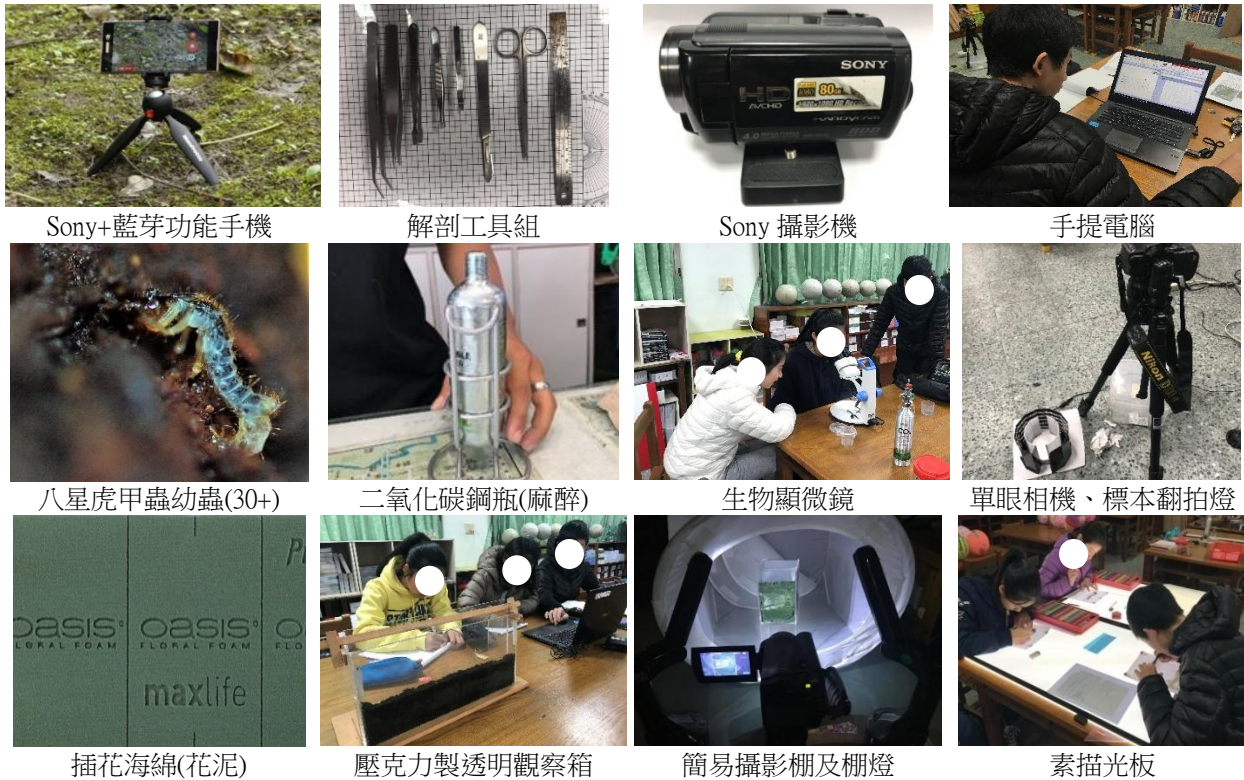
花泥不僅可用於製作鍬形蟲人工蛹室，也可作為八星虎甲蟲幼蟲成長的生活介質。

第二代觀察器以花泥為介質，更能夠清楚觀察到幼蟲在地表下的行為。

圖 12 我們自製第一與第二代幼蟲觀察器，並使用相機及攝影機觀察幼蟲在土表下行為

## 二、研究設備與器材

我們的研究主要是透過觀察以及電腦演算的方式，紀錄並分析八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻行為及背後隱藏的生物力學現象。所使用的設備及器材，亦以輔助觀察的攝影工具及邏輯演算的電腦軟體等器材為主。研究所使用的主要工具如下(圖 13)。



Sony+藍芽功能手機

解剖工具組

Sony 攝影機

手提電腦

八星虎甲蟲幼蟲(30+)

二氧化碳鋼瓶(麻醉)

生物顯微鏡

單眼相機、標本翻拍燈

插花海綿(花泥)

壓克力製透明觀察箱

簡易攝影棚及棚燈

素描光板

圖 13 本研究所使用的主要設備與材料

## 陸、研究過程與發現

【研究問題一：臺灣八星虎甲蟲幼蟲的棲地環境與幼蟲數量調查】



一、研究方法：實際到美崙山八星虎甲蟲幼蟲棲地進行環境以及數量調查

二、研究工具與材料：

研究工具	研究材料
Apple7+藍芽手機	棲地環境調查單
形色套裝軟體(棲地植物辨識)	幼蟲數量調查單
Nikon D700 單眼數位相機	
Nikon AF-S-105mm 微距相機鏡頭	

三、研究步驟

步驟一：使用線材圍繞虎甲蟲幼蟲棲地範圍，測量長、寬度，換算出棲地面積。

步驟二：使用裝有植物辨識軟體-形色 APP 之手機，調查棲地內之植物，畫棲地圖。

步驟三：調查棲地範圍內的幼蟲數量。

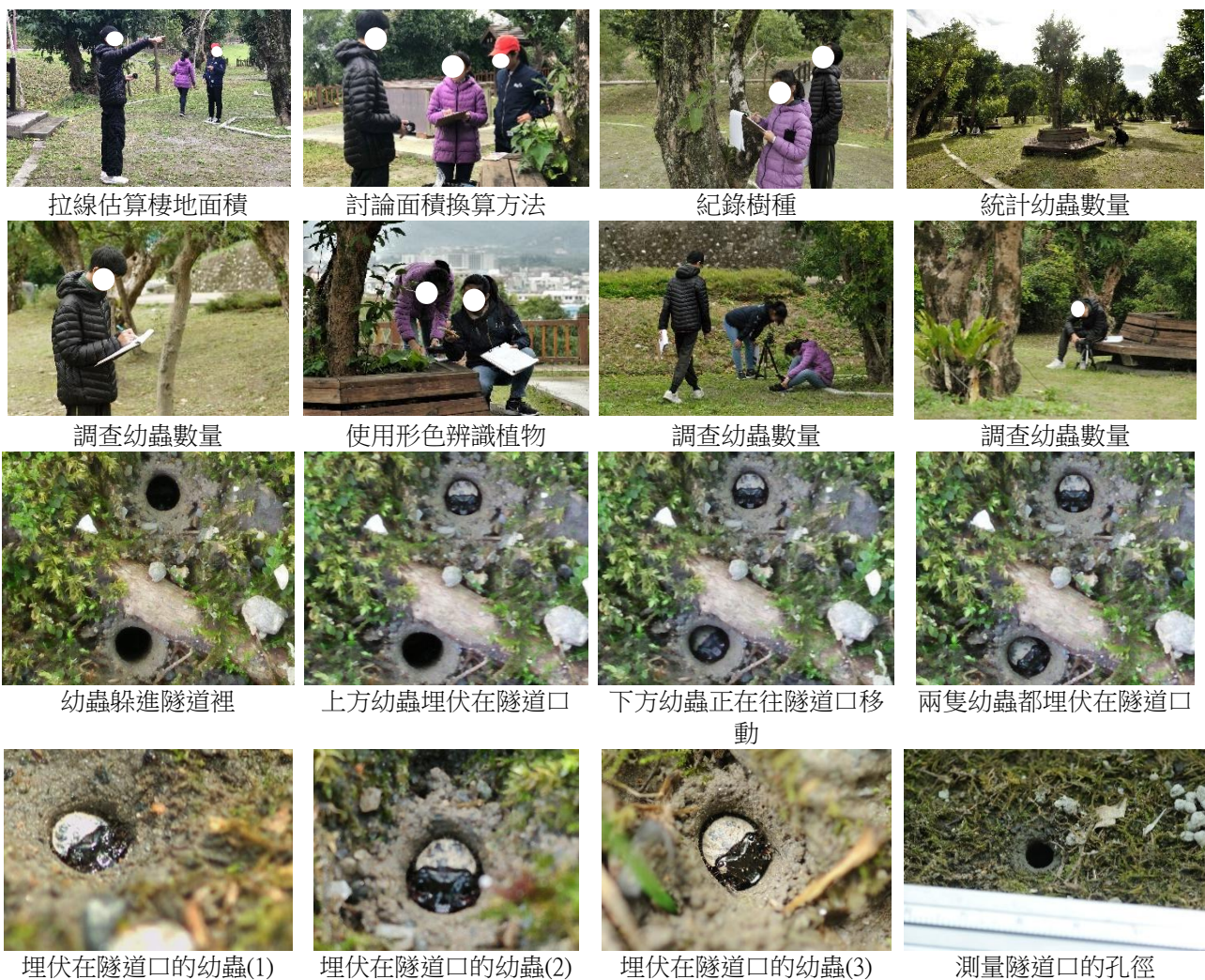


圖 14 組員調查棲地環境以及統計幼蟲數量的過程紀錄

四、研究發現：

(一)八星虎甲蟲幼蟲棲地，共發現六種大型植物，包括血桐、洋蒲桃(蓮霧)、構樹、月桃、桂花及玉蘭花。小型植物有瓦韋、鳥巢蕨(山蘇)、伏石蕨、牛筋草、酢醬草、霍香薊及苔蘚等七種。



(二)D 區的臺灣八星虎甲蟲幼蟲數量共計 146 隻，其中超過 100 隻幼蟲圍繞在 2 號(蓮霧)的大型植物周圍。

(三)為了長期觀察野外八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的行為，我們在棲地裡選定了較少人為干擾地區的五隻幼蟲，並且在選定的幼蟲隧道旁插立一根 5 公分的紅色旗標，作為日後研究觀察的辨識依據。



我們在選定的觀察幼蟲隧道右側插上紅色旗標，以幫助我們辨識野外觀察的幼蟲。

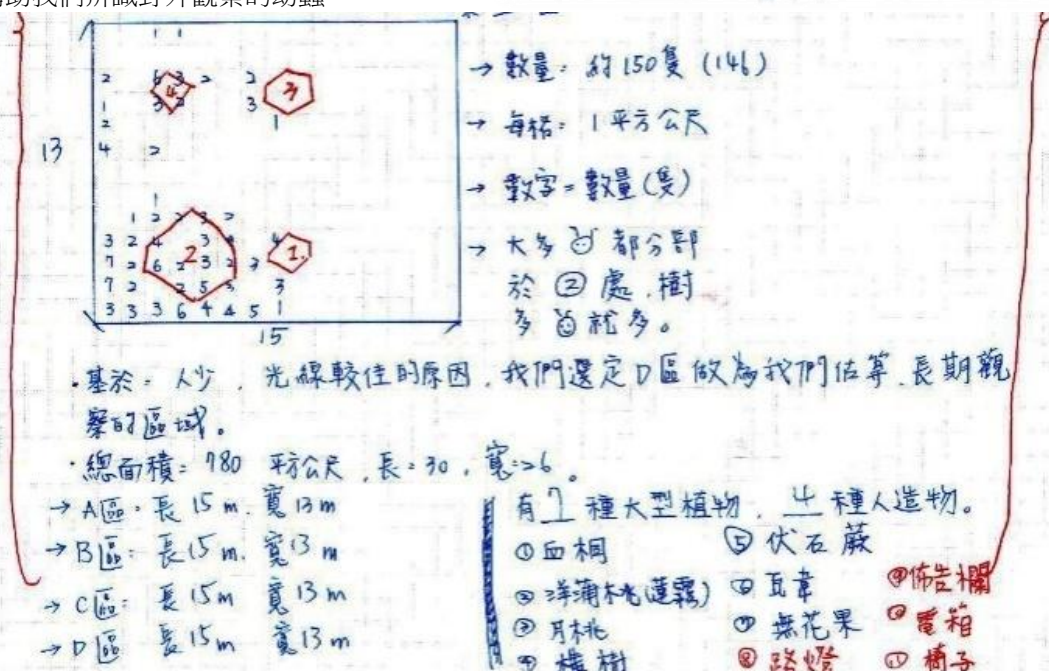
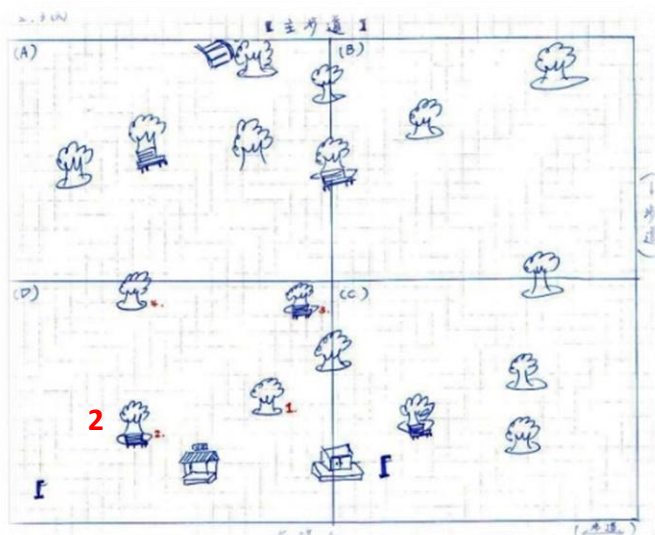


圖 15 組員棲地植物與幼蟲數量調查日記。上圖為棲地大型植物分布圖，下圖為幼蟲的數量統計筆記。詳盡的棲地環境與幼蟲數量調查筆記，請參考附件。

### 【研究問題二、臺灣八星虎甲蟲幼蟲的身體形態構造觀察】

一、研究方法：以肉眼、顯微鏡以及顯微鏡攝影的方式進行幼蟲身體構造觀察，再透過生物素描，將幼蟲身體細部構造完整描繪出來。

二、研究工具與材料：

研究工具	研究材料
實體顯微鏡	八星虎甲蟲幼蟲
Nikon D700 單眼數位相機+105mm 微距鏡	八星虎甲蟲 A4 照片
二氧化碳鋼瓶(麻醉幼蟲)	描圖紙
描圖光板	

### 三、研究步驟：

步驟一：取一隻幼蟲，使用二氧化碳進行麻醉，讓幼蟲暫時靜止不動。

步驟二：將幼蟲置放在實體顯微鏡下，詳細觀察其頭部、胸部及腹部構造，再運用單眼數位相機連結顯微鏡，進行身體各部位的顯微攝影。

步驟三：選出拍攝清楚，解析度較佳的照片，透過生物繪圖，一邊畫圖，一邊詳細觀察八星虎甲蟲幼蟲身體各部位構造。

步驟四：測量八星虎甲蟲頭、胸、腹的長度比例，並統計結果。

### 四、研究過程照片：



用二氧化碳瓶將幼蟲麻醉



生物顯微鏡觀察細部結構



拍攝顯微鏡觀察的結果



繪製幼蟲型態



幼蟲身體結構描繪圖



紀錄觀察結果

圖 16 身體形態構造觀察過程

### 五、研究結果：

(一)臺灣八星虎甲蟲三齡幼蟲身體形態觀察：八星虎甲蟲幼蟲身體結構可區分成頭(1 節)、胸(前、中、後 3 段胸節)、腹部(10 段腹節)三部分。由頭到腹部尾端，共計 14 段體節。

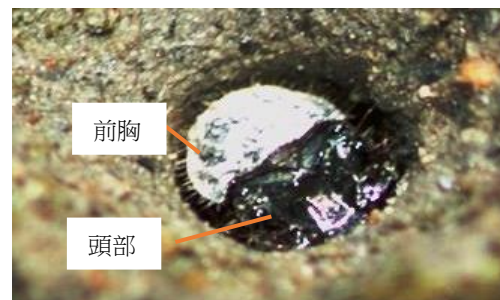


圖 17 幼蟲頭部與前胸背板連結成橢圓形，是封住洞口、埋伏獵物趨近的主要構造。



(二)我們測量 10 隻三齡中幼蟲，獲得身體平均體長度為 16mm(max : 19mm ; min : 13mm , n=10)。寬度部分，前胸最寬，頭部其次，兩者相連，成一橢圓形構造。跟野外觀察對比，頭與前胸背板，正是幼蟲在野外埋伏時封洞部位(圖 17)。

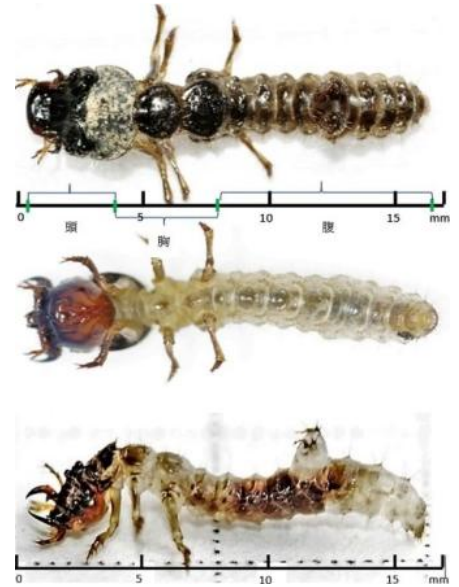


圖 18 八星虎甲蟲幼蟲身體結構與比例

(三)頭胸腹部比例觀察：八星虎甲蟲幼蟲腹部長度佔整個身體體長 1/2，遠大於頭部及胸部長度。計算比例，頭、胸、腹的身體比例接近 1 : 2 : 3(圖 18)。

(四)表皮構造觀察：從頭部算起，頭部與前、中、後胸四段體節的構造堅硬(骨質/sclerotin)，腹部構造柔軟。

(五)進一步分析八星虎甲蟲幼蟲的身體形態，以下依序觀察頭、胸、腹部體節各細部結構：

1.頭部器官觀察：臺灣八星虎甲蟲幼蟲的頭部器官是由大顎、觸鬚、上下唇、下唇鬚及眼睛所構成(圖 19)。

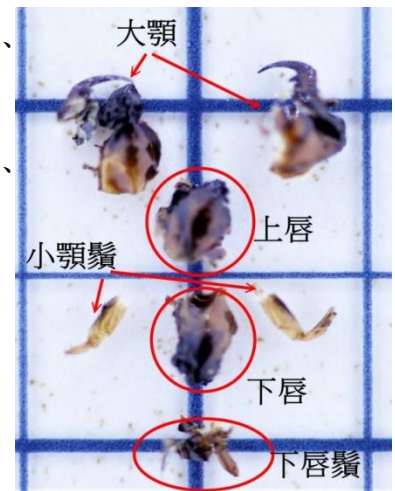


圖 19 幼蟲口器解剖

(1)大顎：生長在上唇的左右兩側，形狀呈現彎鉤狀。中間長出一根彎曲而尖銳的鋸齒，角度往上翹起 15 度。

(2)觸鬚：觸鬚長在頭部兩側大顎後方，屬於櫛狀觸鬚。

(3)上唇：口器的一部分，位於頭部器官前緣，由堅硬的幾丁質所構成，可用於咀嚼獵捕的昆蟲。

(4)下唇：口器的一部分，位於上唇的下方，同樣由堅硬的幾丁質構成，與上唇合作，用於咀嚼獵捕到的昆蟲。

(5)小顎鬚：口器的一部分，長在上唇下緣左右兩側。

(6)下唇鬚：長在下唇前方，由一對針狀的透明軟質構造組成。

(7)眼睛：八星虎甲蟲幼蟲的眼睛共計 12 顆，位於頭部左右兩側，兩邊各有 6 顆，共計 12 顆。(圖 20)



大顎以及小顎鬚可以往上翹起



小顎鬚前緣具備尖銳的分岔

八星虎甲蟲幼蟲有 12 顆眼睛  
左右對稱，  
每側各有三顆大顆(紅色箭頭)  
三顆小顆(黃色箭頭，其中一顆位於  
頭胸部連結下方(黃色虛線箭頭)。

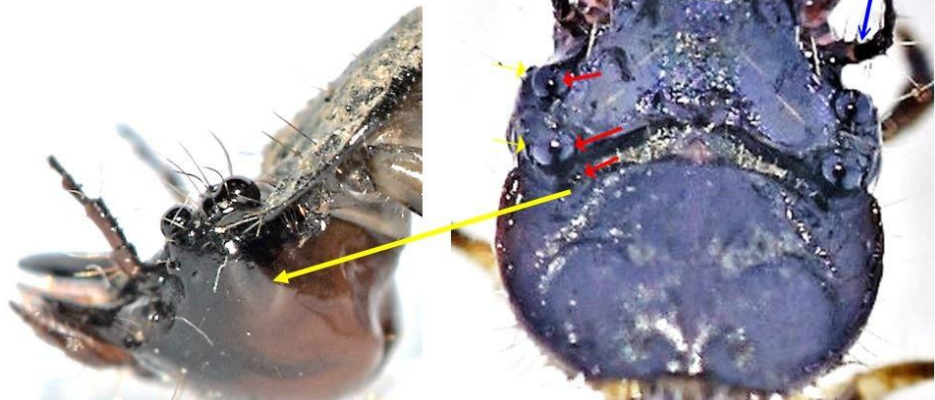


圖 20 幼蟲頭部的細部構造。

## 2.胸部構造觀察：

- (1)八星虎甲蟲幼蟲胸部構造共有前、中、後三段胸節構成，每段胸節的左、右兩側各長出一對胸足，足部構造由身體內側向外側長出「基節」、「轉節」、「腿節」、「脛節」、「跗節」及「前跗節(爪)」等六段關節。
- (2)足部的六段關節中，基節與胸部構造連結，可以前後轉動。轉節可以上下轉動。腿節為足部



圖 21 幼蟲胸部的細部構造。

構造中長得最為強壯的分節。脛節可以延伸腳的活動範圍，像人類的小腿結構。

- (3)跗節柔軟，由 4 段關節組合而成，其功能跟人類的腳掌一樣，能夠在幼蟲行進時平貼地面，增加步行時的穩定性。爪由分岔的兩個尖狀構造組成，可以協助幼蟲在爬行時勾抓物體。(圖 21)

## 3.腹部構造觀察：

- (1)八星虎甲蟲幼蟲的腹節共十段。第五段腹節背側長出突起肉塊，使用顯微鏡觀察，突起肉塊上緣布滿體毛，同時長出一對往上翹起倒鉤。這特殊構造在幼蟲



圖 22 幼蟲腹部的細部構造。

埋伏獵捕運動過程是否扮演重要功能？值得在後續觀察中加以驗證。此外，腹部體節與體節連接處由具備彈性的膜質構成，這使得八星虎甲蟲幼蟲能夠增加腹部的延伸、轉折、彈性以及彎曲變形功能。(圖 22、23)



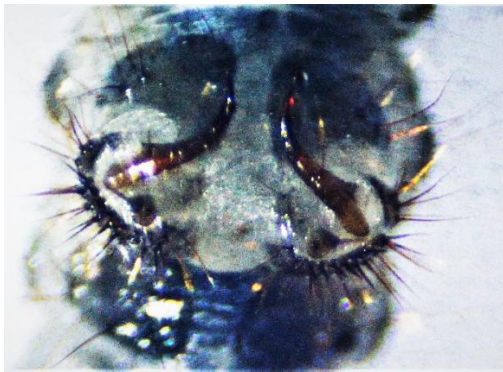


圖 23 幼蟲第五段腹節背部長出一對覆滿細毛的倒鉤。

#### 4.小結：

經過觀察，我們對於八星虎甲蟲幼蟲的身體構造有了更深刻的了解。同時，我們發現，幼蟲埋伏在隧道口所運用的身體構造是頭部與前胸背板，這與吳怡欣、何嘉浩、蕭忠義及楊平世(2006)所提出的頭部頂住洞口的說法有異，為此，我們反覆確認野外幼蟲埋伏時的影片與照片，都是以頭部與前胸背板作為頂住隧道口的構造，因此我們對於吳怡欣等人的研究結果提出部分修正，確認頭及前胸背板為埋伏隧道口的構造。(圖 18)

### 【研究問題三：臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕行為觀察與模式分析】

一、研究方法：先使用攝影機追蹤觀察棲地幼蟲的獵捕行為。再透過軟體(PowerDirector、Photoimpact)擷取幼蟲獵捕螞蟻的影像，計算獵捕距離，再分析獵捕行為模式。使用軟體分析幼蟲獵捕獵物的模式及計算距離步驟：

- (一)先用 PowerDirector 軟體擷取八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的片段，並將影像轉換成獵捕螞蟻的過程照片(軟體能夠自動將每一秒動態攝影影像分解成 30 張過程照片)(圖 24)。
- (二)利用 Photoimpact 軟體分析照片中虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的電腦座標(提出 X、Y 軸)，算出影片中虎甲蟲幼蟲移動相關座標的距離。

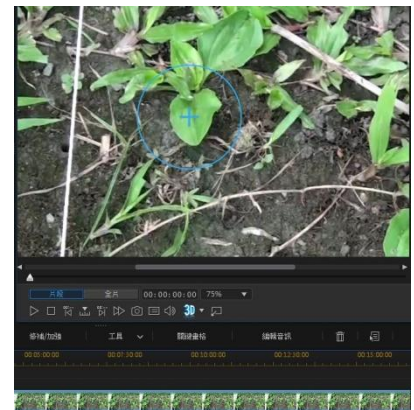


圖 24 使用軟體分析幼蟲獵捕螞蟻行為

- (三)以虎甲蟲幼蟲挖掘的洞口直徑作為基準，根據動物園學報——八星虎甲蟲 *Cicindela batesi* (Fleutiaux, 1893)之形態與生活史研究中 12 頁表一的三齡幼蟲平均頭寬，作為洞口大小的依據。再將每組的洞口像素值除平均洞口大小(0.42cm)，得到 1 像素換算實際的公分數。1pxl:1 像素換算實

攻擊來回的總距離	每一組的洞口像素值	1像素在這組影片的實際長度(cm)	移動總距離(像素)x1像素在這組影片的實際長度(cm)
64.829	16	0.02625	1.70176125

$0.42(\text{平均洞口大小}) \div 16$   
 $64.829 \times 0.02625$



際的公分數 = 移動總距離 (像素) : 移動總距離 (cm) 以其中一組作為例子：  
 $pxl:0.02625cm=64.829pxl:1.70176125cm$

(四)利用畢氏定理( $a^2 + b^2 = c^2$ )公式，計算虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的移動距離。

## 二、研究工具與材料：

研究工具	研究材料
Nikon D700 單眼數位相機+腳架	紅色玻璃紙
Nikon AF-S-105mm 微距相機鏡頭	
Sony 攝影機+腳架、攝影燈具	
imovie 軟體、photoimpact 軟體	

## 三、研究過程：



在棲地定點觀察幼蟲獵捕行為(一)



在棲地定點觀察幼蟲獵捕行為(二)



在棲地定點觀察幼蟲獵捕行為(三)



在棲地定點觀察幼蟲獵捕行為(四)



定點觀察幼蟲獵捕



使用攝影機輔助觀察



使用手機輔助觀察(一)



使用手機輔助觀察(二)



老師指導我們透過軟體計算距離。



分析影片中的幼蟲攻擊螞蟻距離(一)



分析影片中的幼蟲攻擊螞蟻距離(二)



幼蟲攻擊螞蟻距離計算：節錄自研究日記

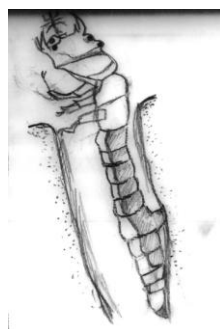
圖 25 幼蟲獵捕距離及模式探究過程。

## 四、研究結果：

(一)八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻模式：可以歸納出「埋伏」、「彈出獵捕」、「拉回」三個步驟。



幼蟲埋伏在隧道口



幼蟲彈出身體上半部獵捕螞蟻



獵捕螞蟻，拉回隧道進食

(二)獵捕距離：八星虎甲蟲幼蟲埋伏在洞口，等螞蟻趨近到平均距離洞口 0.846 公分(最遠距離 1.70 公分；最短距離 0.13 公分)後，開始展開攻擊。

(三)快速彈出捕捉：八星虎甲蟲幼蟲是以非常快的速度彈出身體上半部。捕捉獵物時，身體並沒有離開洞穴，這方面的發現，與吳怡欣、何嘉浩、蕭忠義及楊平世(2006)等人的研究發現幼蟲獵捕時會爬出洞外的結果不同。

(四)快速拉回洞中：捕捉獵物的同時，八星虎甲蟲幼蟲即快速的拉回洞中。這讓我們無法具體觀察到八星虎甲蟲幼蟲的進食方法，究竟是以咀嚼獵物的物理進食方式？或是透過小顎鬚等口器構造分泌消化液進行化學消化，值得設計深入的觀察技術，繼續探討這個問題。

表 2 八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的影像分析模式過程(以影片 A 為例)

影片 A	X 軸	Y 軸	影片中的距離 (像素值)(說明 1)	洞口直徑 (像素值)	實際距離 (公分)(說明 2)
1	185	136	64.829	16	1.70176125
2	173	105			
3	178	126			
4	184	134			
說明	1.使用畢氏定理算出八星虎甲蟲幼蟲位移的距離，再把三次(1~2、2~3、3~4)移動距離相加，求得影片中的總位移距離。 2.我們根據八星虎甲蟲之型態與生活史研究中的幼蟲的平均洞口大小(0.42cm)來計算，公式如下：平均洞口大小(cm)/各組洞口直徑(像素值)*總移動距離(像素值)				

表 3 八星虎甲蟲幼蟲獵捕獵物的距離轉換計算結果

	影片中的距離(像素值)	實際距離(cm)
影片 A	64.829	1.70176125
影片 B	52.72	0.763531034
影片 C	72.803	1.019242
影片 D	41.049	0.615735
影片 E	8.261	0.128504444
平均	47.9324	0.846

#### 【問題四：臺灣八星虎甲蟲幼蟲的獵捕速率探究】

一、研究方法：引用問題四的影片與資料，使用 PowerDirector 14 軟體分析影片中幼蟲獵捕所花費的時間。透過速率=距離÷時間公式，換算臺灣八星虎甲蟲幼蟲捕食螞蟻的獵捕速率。

二、研究步驟：

(一)剪接五段幼蟲獵捕螞蟻的影片。

(二)使用 PowerDirector 14 軟體分析影片中幼蟲獵捕螞蟻花費的時間。

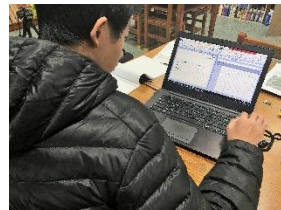
(三)以「速率=距離÷時間」之公式，計算八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的速率。

三、研究過程：





老師指導我們用軟體計算影片距離與時間。



運用電腦軟體計算影片中的時間(一)



運用電腦軟體計算影片中的時間(二)



運用電腦軟體計算影片中的時間(三)



運用電腦軟體計算影片中的時間(四)



運用電腦軟體計算影片中的時間(五)



討論分析結果



歸納與統整資料

圖 26 臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕時間及效率計算過程。

#### 四、研究發現：

(一)臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕獵物的平均速率為 10.221 公分/秒，瞬間最快獵捕速率為 17.017 公分/秒，最慢獵捕速度為 1.927 公分/秒。轉換成臺灣成人男生的平均身高後的平均獵捕速率為 40.905 公里/小時，瞬間最快的速率為 68.104 公里/小時，最慢為 7.714 公里/小時。

(二)臺灣八星虎甲蟲幼蟲每次獵捕花費的平均時間為 0.08 秒，最快 1/15 秒，最慢 0.1 秒。

表 4 臺灣八星虎甲蟲幼蟲的獵捕速率

檔案	獵捕距離 (公分)	獵捕時間 (秒)	獵捕速率 (公分/秒)	轉換成人類的速率 <sup>(說明)</sup> v <sub>1</sub> (公里/小時)
影片 A	1.70176125	0.1	17.0176125	68.104
影片 B	0.763531034	0.1	7.63531034	30.556
影片 C	1.019242	1/15	15.28863	61.185
影片 D	0.615735	1/15	9.236025	36.962
影片 E	0.128504444	1/15	1.927566667	7.714
平均	0.845754746	0.08	10.221	40.905
說明	轉換成人類平均速率的體長標準，是以臺灣成年男子平均身高 166.75 公分計算得出。			

#### 【研究問題五：臺灣八星虎甲蟲幼蟲身體形態與自掘隧道之關係】

一、研究方法：製作透明觀察箱，置入幼蟲，讓幼蟲自掘隧道，再觀測幼蟲與隧道的關係。

二、研究工具與材料：

研究工具	研究材料
Nikon D700 單眼數位相機+腳架	幼蟲
Nikon AF-S-105mm 微距相機鏡頭	花泥(插花海綿)
Sony 攝影機+腳架自製觀察箱	
攝影燈具 電子磅秤(精準到 0.1 克)	

三、研究步驟



步驟一：組裝觀察箱，在觀察箱外架設攝影及相機，置入幼蟲，等待幼蟲挖掘隧道。

步驟二：追蹤並拍攝幼蟲挖掘隧道時的身體運動狀況。

步驟三：剪輯隧道影片與照片，分析幼蟲在隧道的行為，以探討幼蟲與隧道的關係。

步驟四：將分析結果整理成書面報告。



組裝幼蟲行為觀察箱(一)



組裝幼蟲行為觀察箱(二)



測試觀察箱效果(一)



測試觀察箱效果(二)



觀察幼蟲行為(一)



觀察幼蟲行為(二)



觀察幼蟲行為(三)



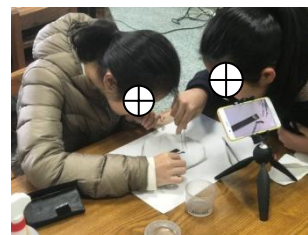
觀察幼蟲行為(四)



分工測量幼蟲基本資料



分工測量幼蟲基本資料



分工測量幼蟲基本資料



分工測量幼蟲基本資料



測量幼蟲重量



測量幼蟲尺寸



觀察幼蟲活動(一)



觀察幼蟲活動(一)

圖 27 組員研究臺灣八星虎甲蟲幼蟲埋伏隧道時的身體形態與自掘隧道過程

#### 四、幼蟲在隧道內的行為觀察照片：



棲地裡的幼蟲隧道



觀察箱的幼蟲隧道(1)

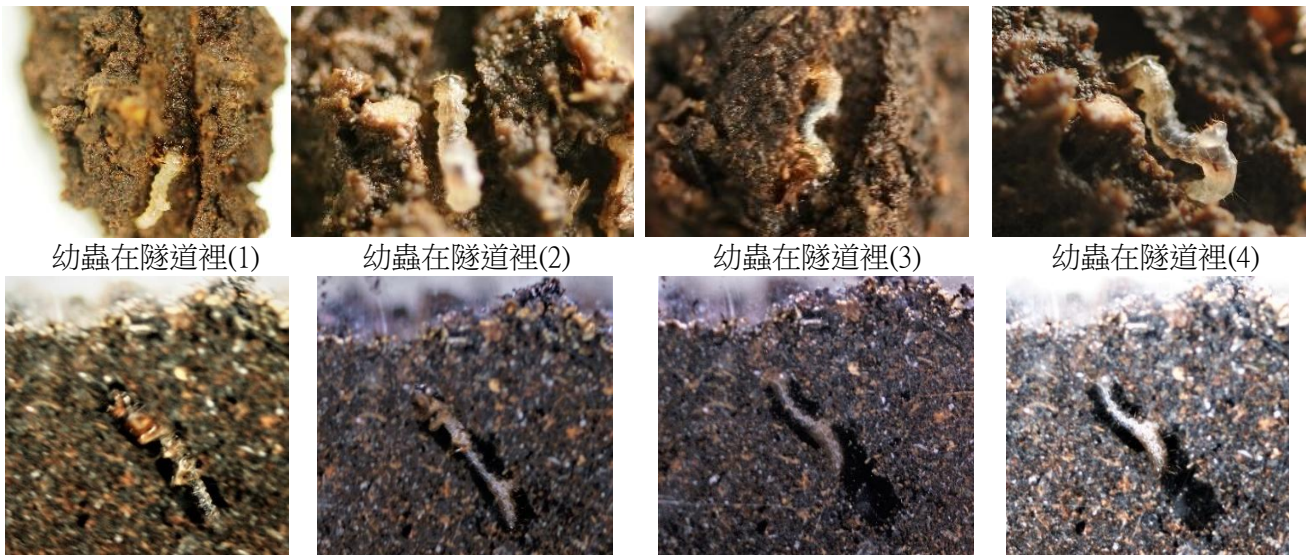


觀察箱的幼蟲隧道(2)



觀察箱的幼蟲隧道(3)





第一代觀察器，能看到幼蟲身體局部運動狀態，雖無法看到完整形態，但可觀察到第五腹節尾鉤及腹部尾端接觸隧道的方式。



第二代自製觀察箱，可以成功觀察到幼蟲躲進隧道裡的行為。

圖 28 臺灣八星虎甲蟲幼蟲埋伏在隧道時的形態

### 五、研究發現：

表 5 臺灣八星虎甲蟲幼蟲與隧道特性

	幼蟲特性			隧道特性			
	長度	頭幅	重量	長度	隧道角度	隧道寬度	
						隧道口	隧道尾
1 號蟲隧道	1.7cm	0.5cm	0.12g	14cm	8 度	0.7cm	1.6cm
2 號蟲隧道	1.8cm	0.6cm	0.13g	8cm	14 度	0.7cm	1.4cm
3 號蟲隧道	1.6cm	0.5cm	0.10g	11cm	15 度	0.8cm	1.4cm
4 號蟲隧道	1.8cm	0.6cm	0.14g	12cm	18 度	0.8cm	1.8cm
5 號蟲隧道	1.5cm	0.5cm	0.12g	12cm	14 度	0.7cm	1.8cm
平均	1.68cm	0.54cm	0.12g	11.4cm	12.2 度	0.74cm	1.6cm

### (一)隧道的特性觀察

- 1.隧道形狀：幼蟲所挖掘的隧道呈 L 形，由地表開始，並以 12.2(max18，min8)度的傾斜角向下挖掘，因此，幼蟲所挖掘的隧道並非垂直。
- 2.隧道長度與寬度：我們測量五隻幼蟲所挖掘的隧道平均長度為 11.4 公分(max14，min8 公分)，隧道口的平均直徑為 0.74 公分(max0.8，min0.7cm)，隧道尾寬 1.6cm(max1.8cm，min1.4cm)，隧道底部的空間明顯大於隧道其它空間。

### (二)幼蟲的身體特性

- 1.平均體長：三齡幼蟲的平均體長為 1.68cm(max 1.8cm，min1.6cm)。
- 2.平均頭幅：幼蟲頭幅平均寬度為 0.54 公分(max0.6cm，min0.5cm)。
- 3.平均重量：幼蟲平重量為 0.12 克(max0.14，min0.10 克)。

### (三)幼蟲身體與隧道的關係探究

- 1.隧道長大於幼蟲體長 7.2 倍。隧道口寬大於幼蟲頭幅 1.4 倍。隧道尾寬大於幼蟲頭幅 2.69 倍。
- 2.每一個隧道住一隻幼蟲。我們觀察到兩次幼蟲在挖掘隧道時，隧道互通狀況。其中一次，個體小的幼蟲使用口器抓咬碎道內壁土壤，將互通隧道填補起來，個體大的幼蟲靜止不動。第二次，則觀察到個體大的幼蟲追擊個體小的幼蟲，將其獵捕取食。
- 3.幼蟲在隧道內設三個停點：隧道口設埋伏點，隧道中設進食點，隧道底設避敵點。
- 4.幼蟲在隧道前、中段，因隧道寬度無法容許幼蟲迴轉，因此只能前、後退運動。隧道底部寬度大於幼蟲頭幅 2.9 倍，可供幼蟲迴轉。
- 5.因任務不同，幼蟲在隧道時的身體形態也不同：
  - (1)埋伏時：頭部上唇頂住隧道口，前足鉤住隧道兩側，腹部第五腹節倒鉤嵌入隧道上壁，腹部尾端頂住隧道下壁，穩定不動。
  - (2)避敵時：幼蟲會躲進隧道底，將身體以 s 形的方式內縮，躲藏在隧道底部。

以上的發現引發我們更深一層的疑問，幼蟲埋伏時會以第五腹節倒鉤嵌入隧道上壁，並使用腹部最末節頂住隧道下壁，這些構造在幼蟲獵捕螞蟻時究竟扮演什麼功能呢？以下問題將繼續探討這個問題。

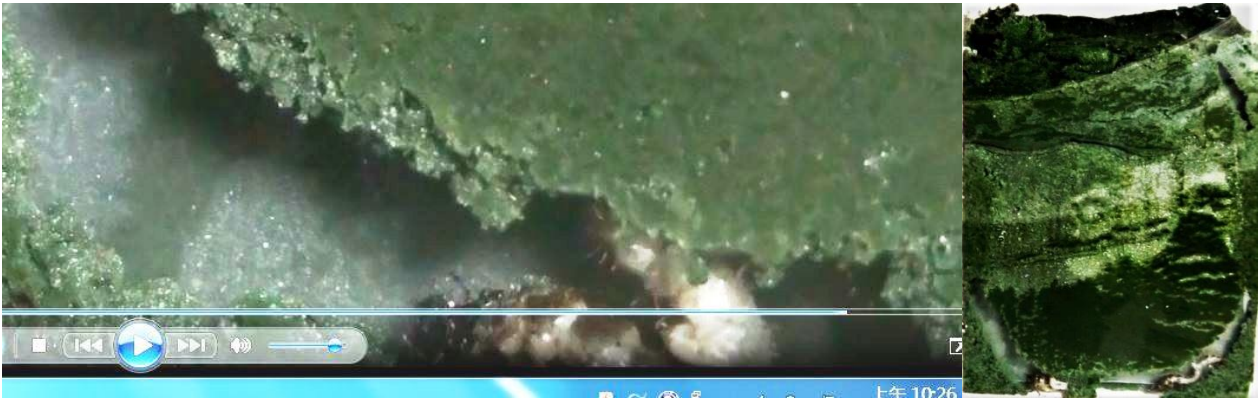
### 【研究問題六：臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的運動策略觀察】

#### 一、研究步驟：

- 步驟一：在幼蟲挖出的隧道口前方及兩端架設錄影機，開機等待幼蟲獵捕螞蟻。
- 步驟二：觀察影片幼蟲獵捕運動身體各節點的形態。
- 步驟三：估算幼蟲獵捕螞蟻時身體關節的功能與角度，歸納幼蟲獵捕螞蟻的策略。



## 二、研究過程照片：



隧道底較寬，可以容納幼蟲在此迴轉。

幼蟲在隧道的狀況。



靜靜埋伏等候螞蟻趨近第五腹節鉤住隧道壁。



幼蟲快速獵捕螞蟻，頭部、三段胸節及 1-4 腹節拉長。腹鉤與 6-10 腹節貼住隧道壁。



進食：幼蟲縮進洞中，在進食點咀嚼螞蟻。

圖 29 幼蟲獵捕螞蟻三個步驟

## 三、研究發現：

### (一)幼蟲埋伏時的運動策略觀察


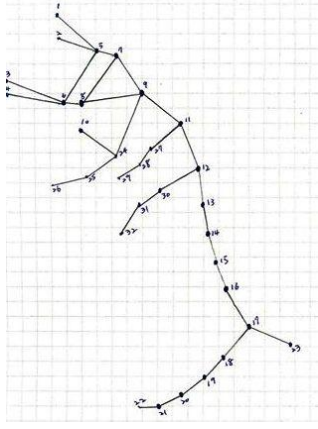
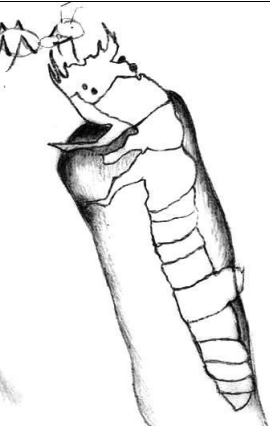
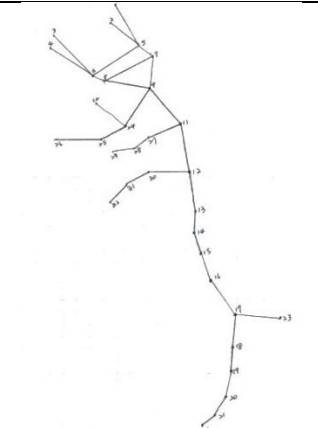
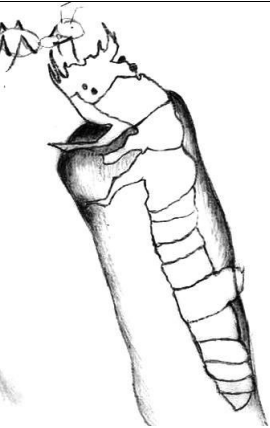
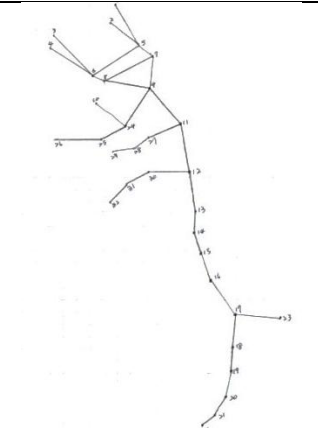
幼蟲埋伏在隧道口，依照體節在隧道位置所扮演的角色功能區分，共可區分成三個體區。第一體區由頭部與前胸背板組成，頭部及前胸背板向上共同合作頂住隧道口，上唇與前足鉤住前側壁緣，提供了穩定支點。第二區由第二胸節到第五腹節，總共六塊體節組成。第二胸節彎曲(45-50)度角，第三胸節彎曲(30-40)度角，腹部體節順著胸節的角度懸空，並以第五腹節背部所長出的倒鉤做為支點，頂住隧道後側壁緣，支撐身體。第三區由第六腹節到第十腹節組稱。腹節往前 45 度角彎曲，腹部尾端鉤住隧道前側壁緣，以支撐身體。

### (二)幼蟲獵捕螞蟻時的運動策略觀察

幼蟲獵捕螞蟻時，頭部、第一胸節抬高，與後段 2-3 胸節、1-5 段腹節連成一直線，同時伸展各節與各節之間的膜質，增加體長至能捕捉到螞蟻的距離。此外，我們發現幼蟲捕捉螞蟻時，第五腹節背板的倒鉤及 6-10 腹節改變原彎曲的身體角度，展直平貼在隧道

內側。

表 6 臺灣八星虎甲蟲幼蟲埋伏與獵捕身體角度觀察

	埋伏狀態	身體角度觀察	身體關節運動功能觀察	
埋伏觀察	頭節與第一胸節			頭部上唇及前足頂住隧道口。上顎及前足鉤住前側壁緣。
	第二胸節到第五腹節			第二胸節彎曲，(45-50)度角，第三胸節彎曲(30-40)度角，腹部體節順著胸節的角度懸空，並以第五腹節背部所長出的倒鉤做為基點，頂住隧道後側
獵捕觀察	第六腹節到第十腹節			第三區由第六腹節到第十腹節組稱。腹節往前 45 度角彎曲，腹部尾端鉤住隧道前側壁緣，用以支撐身體。
	頭節與第一胸節			頭部與第一胸節角度抬高，與後段胸節、腹節連成直線，使用前足、大顎捕捉獵物。
獵捕觀察	第二胸節到第五腹節			第二胸節到第五腹節伸展身體體節內的膜質，拉長身體。第五腹節平貼隧道內壁，支撐身體。
	第六腹節到第十腹節			第六到第十腹節，接續在第五腹節之後，平貼隧道內壁。

【研究問題七：臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的生物力學原理探討】

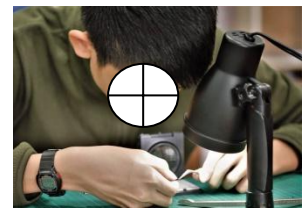
一、研究方法：歸納統整各研究問題的研究發現，針對觀察現象提出原理解釋



架設輔助工具



拆解幼蟲眼部、口器、跗節構造



製作標本玻片



用光學顯微鏡觀察眼部構造



用生物顯微鏡觀察口器及跗節



紀錄觀察結果

圖 30 研究過程照片

二、研究發現：

表 7 歸納整理臺灣八星虎甲蟲幼蟲在埋伏以及獵捕運動狀態下身體各構造的使用狀況。

以下將依照表 7 歸納的重點，分別探討(一)埋伏以及(二)獵捕兩種狀況下，幼蟲所使用的力學



原理，並歸納其運動行為的解釋。

表 7 臺灣八星虎甲蟲幼蟲埋伏與獵捕運動的生物力學分析

		埋伏狀態下的生物力學分析	獵捕狀態下的生物力學分析	
			彈出	拉回
頭	觸鬚	/	/	/
	眼睛	/	/	/
	口器	✓(上唇頂住隧道口)	/	✓(捕捉螞蟻)
	大顎		✓(接觸螞蟻)	✓(捕捉螞蟻)
胸	前胸 前足	✓(前足頂住隧道口)	✓(接觸螞蟻)	✓(捕捉螞蟻)
	中胸 中足	/	✓延伸變形	✓拉回變形
	後胸 後足	/	✓延伸變形	✓拉回變形
腹部	前四腹節	/	✓延伸變形	✓拉回變形
	第五腹節	✓	✓固定支點(與隧道壁緣接觸)	✓固定支點
	後五腹節	✓(第十腹節,其餘腹節懸空)	✓固定支點(與隧道壁緣接觸)	✓固定支點

### (一)埋伏狀態下的生物力學分析

表 7 顯示，幼蟲在埋伏時，使用了口器(上唇)、前足、第五腹節以及第十腹節等體節。由於埋伏屬於靜止的狀態，幼蟲當下所面臨的生物力學屬於平衡運動。由於上述五個體節分別位於幼蟲的頭、胸、腹部器官，共同支撐幼蟲平穩的埋伏在洞口，讓幼蟲身體的重量得以分散在五個區域，減輕了各體節的負擔。幼蟲使用分散重量策略，維持其埋伏時的平衡狀態。

### (二)獵捕運動下的生物力學分析

幼蟲在獵捕螞蟻，可區分成「彈出」及「拉回」隧道等兩種不同形態的運動策略。

#### 1.彈出隧道的生物力學分析

幼蟲彈出隧道時，使用大顎及位於前胸的前足捕捉螞蟻，頭部、胸部以及 1-4 腹節朝螞蟻方向彈出，運用連接各關節的柔軟膜質產生拉伸變形，拉長幼蟲彈出隧道的距離，幫助幼蟲獵捕螞蟻。第五腹節倒鉤插入隧道壁，第 6-10 腹節調整角度，連接在第 5 腹節之後，平貼在隧道壁，增加身體與隧道間的摩擦力，避免幼蟲彈出隧道之外。

從以上的分析發現，幼蟲彈出身體獵捕螞蟻時，僅腹部的第五到第十腹節與隧道接觸，其產生的彈力來源，也僅限於第五腹節及位於腹部尾端的第十腹節。

#### 2.拉回隧道的生物力學分析

幼蟲獵捕螞蟻拉回身體入隧道時，使用口器、大顎及前足獵捕獵物，胸節與腹節產生拉回變形，將身體快速的拉回隧道中。此時腹部第五腹節仍平貼在隧道壁上，扮演固定身體的功能。

## 柒、綜合討論

為了深入了解八星虎甲蟲幼蟲的身體形態、獵捕模式、速率以及獵捕螞蟻過程所隱藏的生物力學原理，我們畫了圖 31，作為後續討論的基礎。

### 討論一：臺灣八星虎甲蟲幼蟲埋伏與獵捕方式的問題

由於國內關於臺灣八星虎甲幼蟲的研究甚少，查閱文獻，僅吳怡欣、何嘉浩、蕭忠義、楊平世(2006)進行了八星虎甲蟲 *Cicindela batesi* (Fleutiaux, 1893)之形態與生活史研究，因此我們的研究結果，將以此文獻為基礎進行對話討論。

吳怡欣等人發現，八星虎甲蟲幼蟲埋伏時，會以：

…頭部頂於穴道洞口，等待獵物經過，便爬出洞外將獵物拖入洞內食用(吳怡欣等人，2006，p10)…

以上的說法，跟我們的研究觀察結果出現兩個重要的不同之處：

第一，幼蟲是以頭部加上前胸背板兩個體節合作頂住洞口，並非只有頭部。為了確認以上的觀察，我們反覆觀察了十餘隻幼蟲埋伏於隧道口的狀況，確認其使用頭部及前胸背板兩部位做為埋伏的構造，因此我們對於吳怡欣等人(2006)的研究結果提出些微的修正。

第二，幼蟲獵捕獵物，並沒有爬出洞外，而是使用彈射的方式，將頭部、胸部的體節射向獵物，並使用大顎、前足抓取獵物，為了避免彈出隧道外，幼蟲會運用腹部第五腹節尾鉤緊緊鉤住隧道內壁，並使用 6-10 腹節貼緊隧道，以增加身體與隧道的摩擦力，固定身體。因此，我們針對吳怡欣等人認為八星虎甲蟲幼蟲是爬出洞外將獵物拖進洞內食用的說法，提出修正。

### 討論二：幼蟲長怎樣？隧道長怎樣？幼蟲要使用哪些身體構造來支撐身體，以避免埋伏時墜落到隧道底部呢？(幼蟲埋伏隧道口的照片)

由於國內並沒有相關文獻作為討論的依據，因此關於此問題，我們就以我們的研究發現進行統整與歸納討論。八星虎甲蟲幼蟲長相已如研究問題二所發現的結果，除了具有頭、胸、腹等一般昆蟲的基本構造外，頭部兩側各有 6 顆眼睛(合計 12 顆眼睛，目前正在使用顯微觀察判讀這 12 顆眼睛屬於單眼或複眼構造)、咀嚼式的口器、櫛狀觸鬚，腹部具有 10 段體節，其中第五段腹節背部上端長出一對倒鉤，在幼蟲進行埋伏、獵捕彈射以及拉回時，均扮演重要的支撐角色，為一般昆蟲所未曾見到的奇特構造。

幼蟲挖掘出的隧道，長度大於幼蟲體長的 7.2 倍。隧道口寬大於幼蟲頭幅 1.4 倍。隧道尾寬大於幼蟲頭幅 2.69 倍。而且我們發現，幼蟲習慣在隧道設埋伏點、進食點以及避敵點，在幼蟲進行埋伏、進食以及避敵時，習慣位於隧道口、隧道中以及隧道底端。

至於幼蟲埋伏在隧道口時，會使用上唇、前足、第五腹節及第十腹節來支撐身體，由於這些構造分布於頭、胸、腹部各體區，因此研究者歸納推論幼蟲埋伏時，會使用將重量分散



到身體各部位的方式，提高埋伏運動時身體靜置於隧道上端的穩定度。

**討論三：幼蟲獵捕螞蟻，需要哪些身體構造合作，才能啟動彈射行為，順利獵捕螞蟻？其中蘊藏哪些生物力學原理呢？**

幼蟲獵捕螞蟻，大顎、前足扮演抓取獵物的角色。頭部、3 段胸節以及 1-4 腹節提供彈射拉長獵捕距離的功能。5-10 腹節則扮演啟動彈射以及支撐身體避免離開隧道口的功能。

關於彈射拉長幼蟲獵捕螞蟻的距離問題，我們在研究問題三發現幼蟲獵捕螞蟻的平均距離為 0.846 公分。另在研究問題六發現幼蟲獵捕螞蟻，會使用第五腹節的倒鉤固定隧道，再將身體彈出至能獵捕到隧道外的螞蟻為止。由於體節與體節之間的膜質柔軟，而且具備可拉長與伸縮的效果，因此，節間膜的彈性與延展性，便成為幼蟲獵捕螞蟻的重要條件。我們實際統計幼蟲從頭部到第五腹節共有九段體節，這九段體節共具備八個節間膜，使其得以在幼蟲獵捕螞蟻的彈射運動中，拉長了 0.846(平均)公分的距離。這拉長的距離已達幼蟲平均體長的 1/2 比例，可見節間膜的伸展及拉回效果極佳，值得進一步探討研究。

由於彈射作用當下，幼蟲僅第五腹節及第十腹節兩個節點跟隧道接觸，因此研究者可以確認幼蟲產生彈射作用的力量來源為這兩個構造，或者兩者其中之一。

綜觀以上的討論結果，我們認為，幼蟲在獵捕螞蟻時，會使用腹部尾端以及第五腹節合力將頭、胸以及 1-4 腹節彈出，同時運用前述各體節間的膜質產生拉長與拉回的變形策略來獵捕螞蟻。第五腹節背部所長出的一對腹鉤，則會以插入隧道內側的方式，卡出身體，讓幼蟲能夠穩定停留在隧道內。

## 捌、研究結論與建議

### 一、研究結論

依照研究發現與討論結果，我們提出以下七點研究結論：

結論一：臺灣八星虎甲蟲幼蟲頭、胸、腹的比例接近 1：2：3。平均體長 1.68 公分，頭幅 0.54 公分，重量 0.12 克。全身共有十四段體節。頭與前胸背板合力做為幼蟲埋伏時頂住隧道口的構造。單側眼睛 6 顆，分別位於頭緣兩側的上下方，左右兩側合計 12 顆。腹部有十段體節，第五腹節背部長出突起構造，上面有一對倒鉤，佈滿感覺毛。體節與體節連接處由具備彈性的膜質構成，這使得八星虎甲蟲幼蟲能夠增加腹部的延伸、轉折、彈性以及彎曲變形功能。

結論二：幼蟲獵捕螞蟻的模式為「埋伏」、「彈出捕捉」、「拉回」三個步驟。獵捕螞蟻的平均距離為 0.84 公分(最遠 1.70 公分；最短 0.13 公分)。獵捕螞蟻時，身體並沒有離開洞穴，這方面的發現，與吳怡欣、何嘉浩、蕭忠義及楊平世(2006)等人的研究發現幼蟲獵捕時會爬出

洞外的結果不同。我們確認我們的研究發現正確，部分修正了吳怡欣等學者的結論。

結論三：臺灣八星虎甲蟲幼蟲每次獵捕花費的平均時間為 0.08 秒，最快 1/15 秒，最慢 0.1 秒。臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕獵物的平均速率為 10.221 公分/秒，瞬間最快獵捕速率為 17.017 公分/秒，最慢獵捕速度為 1.927 公分/秒。轉換成臺灣成人男生的平均身高後的平均獵捕速率為 40.905 公里/每小，瞬間最快的速率為 68.104 公里/小時，最慢為 7.714 公里/小時。

結論四：每一個隧道住一隻幼蟲。幼蟲在隧道內設三個停點：隧道口設埋伏點，隧道中設進食點，隧道底設避敵點。在隧道前、中段只能以前進及後退方式運動，隧道底部較寬，可供幼蟲迴轉。

結論五：幼蟲挖掘的隧道長大於幼蟲體長 7.2 倍。隧道寬大於幼蟲頭幅 1.4 倍。隧道尾寬大於幼蟲頭幅 2.69 倍。幼蟲埋伏時，使用上唇、前足、第五腹節及第十腹節來支撐身體，由於這些構造分布於頭、胸、腹部，因此研究者推論幼蟲使用重量分散的策略，減輕身體的負擔，並提高埋伏時身體的穩定性。

結論六：幼蟲獵捕螞蟻，大顎、前足扮演抓取獵物的角色。頭部、3 段胸節以及 1-4 腹節提供彈射拉長獵捕距離的功能。5-10 腹節則扮演啟動彈射以及支撐身體避免離開隧道口的功能。由於體節與體節之間的膜質柔軟，而且具備可拉長與伸縮的效果，因此，節間膜的彈性與延展性，便成為幼蟲獵捕螞蟻的重要條件。

結論七：幼蟲在獵捕螞蟻時，會使用腹部尾端以及第五腹節合力將頭、胸以及 1-4 腹節彈出，同時運用前述各體節間的膜質產生拉長與拉回的變形策略來獵捕螞蟻。第五腹節背部所長出的一對腹鉤，則會以插入隧道內側的方式，卡住身體，讓幼蟲能夠穩定停留在隧道內。

## 二、建議

建議一：八星虎甲蟲運動時的腿部肌肉構造觀測。受限於研究器材，我們目前無法清楚觀察到位於隧道內側第十腹節於彈射作用發生時的運動機制，因此在幼蟲產生彈力的來源部分，仍無法確認其來源，導致我們暫時無法演算出幼蟲獵捕螞蟻產生的力量究竟多大的困境。我們目前仍在努力尋找解答的方法，期望在短期內能夠有所突破，進一步將幼蟲獵捕的機制與力量大小計算出來。

建議二：八星虎甲蟲獵捕運動時的神經運作，屬於有意識的行為？或純屬神經反射作用呢？本研究發現，幼蟲的第五腹節尾端長出一對倒鉤，其上佈滿感覺毛，在獵捕螞蟻時，幼蟲能很快的透過腹部尾端彈出身體。這讓研究者推測第五腹節的突狀構造，除了扮演支撐身體穩定性外，可能也與神經反射運作有關。建議未來研究能加入此一議題，進行深入的探討。

## 玖、參考文獻

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。

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>。

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

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

張至滿、劉錦璋、陳帝佑、洪得明、陳重佑、何維華、蔡虔祿、朱彥穎與程欣儀(2015)。運動生物力學。台北市：禾楓書局。

2018.2.8(四)

(一) 八星虎甲蟲幼蟲如何捕食? (結論)

· 八星虎甲蟲捕食模式可分為：埋伏 → 攻擊 → 縮回。

x) 八星虎甲蟲幼蟲捕食獵物平均 0.08 秒 (極大 0.1 秒, 極小 0.06 秒)。 → 表格中

x) 八星虎甲蟲幼蟲捕食獵物距離平均 0.846 公分。 → 表格中

· 攻擊速率為 217.956 m/hr ; 換算成成人身高比例, 攻擊速率則約 41 km/hr :

【埋伏】

→ 縮回

JPG檔

→

【攻擊】

→ 縮回

JPG檔

→

【縮回】

→ 縮回

JPG檔

→ 照片呈現

	獵物移動總距離	各相攻擊時間(秒)	攻擊速率(公分/秒)	比照成人縮回幼蟲攻擊速率 (m/s)
A	1.70176125	0.1 (± <math>\frac{1}{30}</math>)	17.0176125	19.2866275
B	0.763531034	0.1 (± <math>\frac{1}{30}</math>)	7.635310345	8.653351724
C	1.017242	$\frac{1}{15}$ (± <math>\frac{1}{30}</math>)	15.28863	17.327114
D	0.615735	$\frac{1}{15}$ (± <math>\frac{1}{30}</math>)	9.236025	10.467495
E	0.128504444	$\frac{1}{15}$ (± <math>\frac{1}{30}</math>)	1.92756666	2.184575556
每次攻擊平均移動	0.846(公分)	資料成人速率	約 41 km/hr	
每次攻擊平均時間	0.08 (秒)			

{幼鼠捕食移動速率計算}

一) 時間計算:

【影片1】

- A<sub>1</sub> = 05' 26" 00 畫格 → 326 秒
  - A<sub>2</sub> = 05' 26" 01 畫格 → ~~326.0333~~ 秒 → 326  $\frac{1}{30}$
  - A<sub>3</sub> = 05' 26" 02 畫格 → ~~326.0667~~ 秒 → 326  $\frac{2}{15}$
  - A<sub>4</sub> = 05' 26" 03 畫格 → 326.1 秒
- 326.09 - 326 = 0.09 (s)

【影片2】

- B<sub>1</sub> = 03' 10" 10 畫格 → ~~190.3333~~ 秒 → 190.3 +  $\frac{1}{30}$
  - B<sub>2</sub> = 03' 10" 11 畫格 → ~~190.3667~~ 秒 → 190.3 +  $\frac{2}{15}$
  - B<sub>3</sub> = 03' 10" 12 畫格 → 190.4 秒
  - B<sub>4</sub> = 03' 10" 13 畫格 → ~~190.4333~~ 秒 → 190.4 +  $\frac{1}{30}$
- 190.47 - 190.37 = 0.1 (s)

【影片5】

- E<sub>1</sub> = 17' 09" 00 畫格 → 1029 秒
  - E<sub>2</sub> = 17' 09" 01 畫格 → ~~1029.0333~~ 秒 → 1029  $\frac{1}{30}$
  - E<sub>3</sub> = 17' 09" 02 畫格 → ~~1029.0667~~ 秒 → 1029  $\frac{2}{15}$
- 1029.06 - 1029 = 0.06 (s)

【影片3】

- C<sub>1</sub> = 1' 16" 16 畫格 → ~~76.5333~~ 秒 → 76.5 +  $\frac{1}{30}$
  - C<sub>2</sub> = 1' 16" 17 畫格 → ~~76.5667~~ 秒 → 76.5 +  $\frac{2}{15}$
  - C<sub>3</sub> = 1' 16" 18 畫格 → 76.6 秒
- 76.59 - 76.53 = 0.06 (s)

【影片4】

- D<sub>1</sub> = 02' 19" 19 畫格 → ~~139.6333~~ 秒 → 139.6 +  $\frac{1}{30}$
  - D<sub>2</sub> = 02' 19" 20 畫格 → ~~139.6667~~ 秒 → 139.6 +  $\frac{2}{15}$
  - D<sub>3</sub> = 02' 19" 21 畫格 → 139.7 秒
- 139.67 - 139.63 = 0.06 (s)

• 平均時間計算:

$$(0.09 + 0.06 + 0.1 + 0.06 + 0.06) \div 5 = 0.07 \div 5 = 0.014 (s) \Rightarrow$$

\* 平均秒數 = 0.014 秒 (鐘)

|||||

(二) 距離計算:

【影片1】

- A<sub>1</sub> = (x, y) → 185, 136
- A<sub>2</sub> = (x, y) → 173, 105
- A<sub>3</sub> = (x, y) → 178, 126
- A<sub>4</sub> = (x, y) → 184, 134

【影片2】

- B<sub>1</sub> = (x, y) → 111, 586
- B<sub>2</sub> = (x, y) → 109, 582
- B<sub>3</sub> = (x, y) → 109, 573
- B<sub>4</sub> = (x, y) → 111, 585

【影片3】

- C<sub>1</sub> = (x, y) → 1356, 810
- C<sub>2</sub> = (x, y) → 1346, 776
- C<sub>3</sub> = (x, y) → 1356, 812

【影片4】

- D<sub>1</sub> = (x, y) → 1111, 589
- D<sub>2</sub> = (x, y) → 1110, 568
- D<sub>3</sub> = (x, y) → 1111, 588

【影片5】

- E<sub>1</sub> = (x, y) → 1171, 356
- E<sub>2</sub> = (x, y) → 1170, 353
- E<sub>3</sub> = (x, y) → 1171, 358

• 各組同 = 像素值 =

- ↳ A → 16, B → 29, C → 30, D → 28, E → 27.

• 公分/像素值 =

- A = 0.02625
- B = 0.01448 = 7586206897 ÷ 0.014
- C = 0.014
- D = 0.015
- E = 0.015555555555555556 ÷ 0.96

<下頁>

• 移動距離 = (像素值)

- A<sub>1</sub> ~ A<sub>4</sub> = 33.241 + 21.587 + 10 = 64.829
- B<sub>1</sub> ~ B<sub>4</sub> = 20.376 + 9 + 23.724 = 52.72
- C<sub>1</sub> ~ C<sub>3</sub> = 35.140 + 37.763 = 72.803
- D<sub>1</sub> ~ D<sub>3</sub> = 21.027 + 20.024 = 41.049
- E<sub>1</sub> ~ E<sub>3</sub> = 3.162 + 5.099 = 8.261