

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

第三名

030301

臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻之生物力學研究

學校名稱：花蓮縣慈濟大學附屬高級中學(附設國中)

| | |
|---|-----------------------------|
| 作者： 國一 周佳儒 國一 羅暉哲 國一 黃玟睿 | 指導老師： 柯政宏 林麗君 |
|---|-----------------------------|

關鍵詞：臺灣八星虎甲蟲幼蟲、獵捕螞蟻、生物力學

研究摘要

我們透過野外及自製觀察器的方式觀察臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻，並分析其生物力學現象。研究發現幼蟲獵捕螞蟻分成「埋伏」、「彈出」、「拉回」三個步驟。所展現的生物力學如下：

- 一、埋伏時採用多支點分散重量策略：透過上唇、前足(*2)、第五腹節(倒鉤)及腹部尾端等五個構造做為支點，讓幼蟲能長時間埋伏在隧道口。
- 二、獵捕螞蟻時採變形彈力策略：幼蟲等螞蟻趨近至 0.84 公分時，快速拉直 6-10 腹節，藉此產生變形彈力，將頭、胸及 1-4 腹節以 10.221 公分/秒的速率彈出隧道。

我們觀察到第五腹節倒鉤可能在幼蟲彈出隧道時扮演重要的施力角色，因此目前正設計實驗進行觀察驗證，期望在國展競賽時能導出實驗結論，分享給對此議題有興趣的研究者。



說明：
幼蟲埋伏在隧道口時採用分散力學策略，讓身體的重量分散到上唇、前足、第五腹節、腹部尾端等五處體節上。



說明：
幼蟲獵捕螞蟻時，腹部尾端施力，瞬間拉直 6-10 腹節，同時運用變形彈力，將頭、胸及 1-4 腹節彈向螞蟻並加以獵捕。

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。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?



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。

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)?其中隱藏著哪些生物力學的重要概念呢?查詢了文獻都未獲得解答，於是我們開展了一連串的觀察與研究。

貳、研究目的

目的一：了解臺灣八星虎甲蟲幼蟲的形態構造。

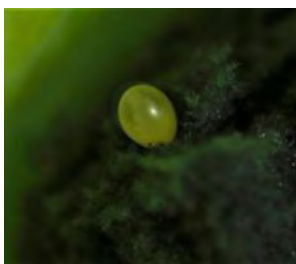
目的二：了解野外的臺灣八星虎甲蟲幼蟲如何運用身體構造獵捕螞蟻。

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，在一年內歷經卵、幼蟲、蛹及成蟲四個階段。



卵



幼蟲



蛹



成蟲

圖 2 臺灣八星虎甲蟲的生命史

國內學者飼育指出，臺灣八星虎甲蟲幼蟲分三個齡期，在25度C恆溫飼養環境下，卵平均發育日數9.32天，幼蟲一到三齡平均生長天數15.42、18.91及266.15天，蛹期15.57天，為一年一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、公園沙地或泥土地。幼蟲則在每年的6至隔年3月，居住在自己所挖掘的隧道中，以頭部為蓋，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後，再以身體離開洞口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)。我們想進一步了解臺灣八星甲蟲幼蟲頭、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?



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。

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，未見其他臺灣八星虎甲蟲幼蟲生物學研究資料。

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稀少!於是我們希望進行一系列觀察，了解臺灣八星虎甲蟲幼蟲身體細部構造，探討牠們的獵捕行為，從中分析其獵捕時所展現的生物力學現象，做為臺灣八星虎甲蟲幼蟲基礎學理的研究參考資料。

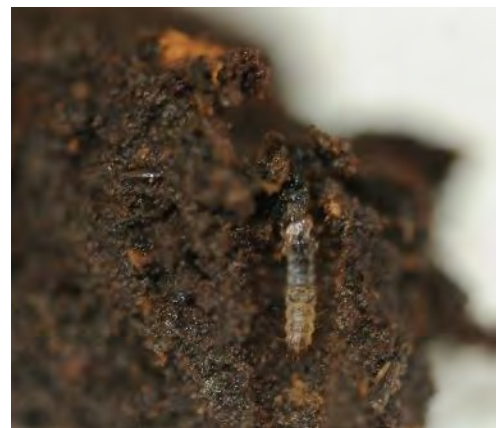


圖5 幼蟲在自掘隧道裡的行為觀察。

(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)。

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。

依照吳怡欣(2006)等人的研究，臺灣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。這讓我們產生以下三個疑問：

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？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？

疑問 3：幼蟲獵捕螞蟻，需要哪些身體構造合作，才能順利完成獵捕螞蟻的行為？

肆、研究問題

依照上述的研究目的與疑問，我們提出研究問題如下：

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獵捕模式分析。

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 6 月(仍在進行中)，觀察幼蟲獵捕螞蟻的生物力學現象。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）實驗室觀察地表下幼蟲獵捕螞蟻的運動行為，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：

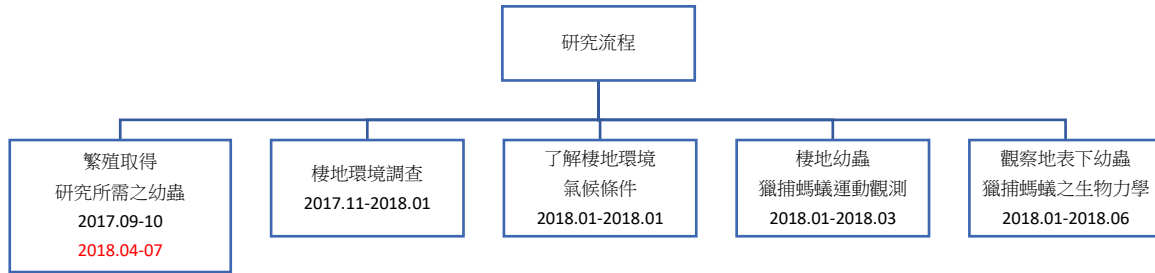


圖 6 研究流程圖

(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

實驗室觀察所需的幼蟲，為研究者採集野外成蟲繁殖而得。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。

為了觀察幼蟲獵捕螞蟻的行為，我們自製透明的觀察箱，以肉眼以及攝影機輔助觀察，探究幼蟲的身體構造及獵捕螞蟻的彈射運動的關係，再分析其中的生物力學現象。

(二)棲地環境調查

棲地位於美崙山頂，透過 google earth 的地圖定位，測得棲地座標為北緯 23.965694、東經 121.492842，海拔約 108 公尺的丘陵平台上。接著測量臺灣八星虎甲蟲幼蟲的棲地面積，獲得長 30 公尺，寬 26 公尺，總面積約 780 平方公尺。

我們將棲地分成 A、B、C、D 四個分區。因 D 區日照多，光線充足，遠離遊客路線，可以避免人為干擾，因此我們選定 D 區作為野外幼蟲行為觀察的主要區域。實測得 D 區長 15 公尺，寬 13 公尺，總面積約為 195 平方公尺。



圖 8 棲地範圍的 google map 及手繪研究區域圖



圖 9 測量棲地範圍的過程紀錄

(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 6 月，共計八個月的時間，此八個月的平均溫度介於 18~27.6 度(最低 11.2 度；最高 34.2 度)。相對溼度介於 72-80 之間。雨量介於 19-211 公厘。日照數 43-174.9 時(12 月的日照僅 43 小時，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。隨後選定五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，作為聚會討論幼蟲埋伏與獵捕行為的資料。

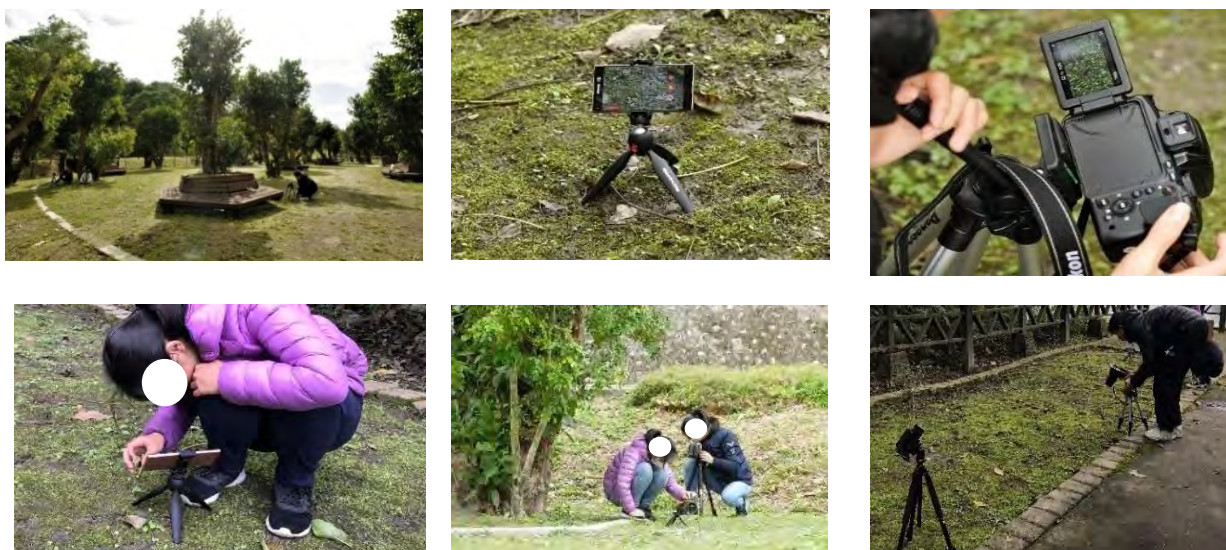


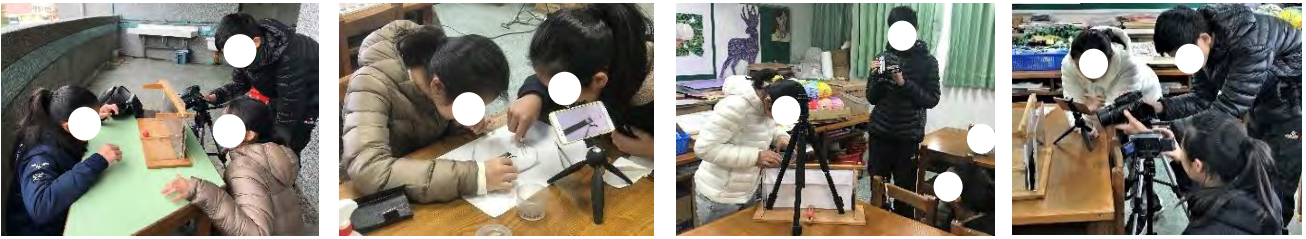
圖 10 我們使用手機以及攝影機輔助進行幼蟲棲地行為觀察

(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，我們設計並製作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，因此思考改良第一代觀察箱。



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，改進觀察箱的觀察效果。由於我們曾經使用過花泥(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，住在隧道裡。由於花泥具有保溫、保濕及易塑型的優勢，觀察效果優於土壤，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 12-1 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

3.製作第三代觀察箱：

2018 年 4-5 月，部分八星虎甲蟲成蟲已經陸續羽化，我們為了讓成蟲與幼蟲能夠同時生活在共同的空間中，於是我們重新設計觀察箱，準備材料，動手製作第三代觀察箱。第三

代觀察箱的功能，除了保持容易觀察幼蟲行為之功能外，亦增加了成蟲繁殖與活動的功能，目的是讓觀察箱成為一個小型的八星虎甲蟲自然生態圈。經過兩個月的試用，發現成蟲不僅能夠在觀察箱裡生活，並已成功產下超過 30 顆以上的卵，並且孵化成幼蟲，效果明顯優於第二代幼蟲觀察箱(如圖 13)。



圖 12-2 第三代觀察箱的觀察效果更好

二、研究設備與器材

我們的研究方法主要是運用觀察以及電腦演算的方式，分析八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的生物力學現象。所使用的設備及器材如下圖。



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

研究方法：實際到美崙山八星虎甲蟲幼蟲的棲地進行環境以及數量調查

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 | |

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，調查棲地內植物，畫棲地圖。

步驟三：調查棲地內幼蟲數量。



拉線估算棲地面積



討論面積換算方法



紀錄樹種



統計幼蟲數量



調查幼蟲數量



使用形色辨識植物



調查幼蟲數量



調查幼蟲數量



幼蟲躲進隧道裡



上方幼蟲埋伏在隧道口



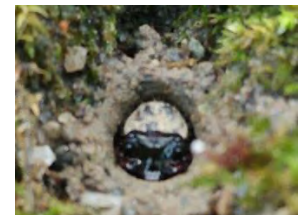
下方幼蟲正在往隧道口移動



兩隻幼蟲都埋伏在隧道口



埋伏在隧道口的幼蟲(1)



埋伏在隧道口的幼蟲(2)



埋伏在隧道口的幼蟲(3)



測量隧道口的孔徑

圖 14 組員調查棲地環境以及統計幼蟲數量的過程紀錄

研究發現：

1.八星虎甲蟲棲地，共有六種大型植物，包括血桐、洋蒲桃(蓮霧)、構樹、月桃、桂花及玉蘭花。小型植物有瓦葦、鳥巢蕨(山蘇)、伏石蕨、牛筋草、醋漿草、霍香薊及苔癬等七種。

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

3.為了長期觀察野外八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的行為，我們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。

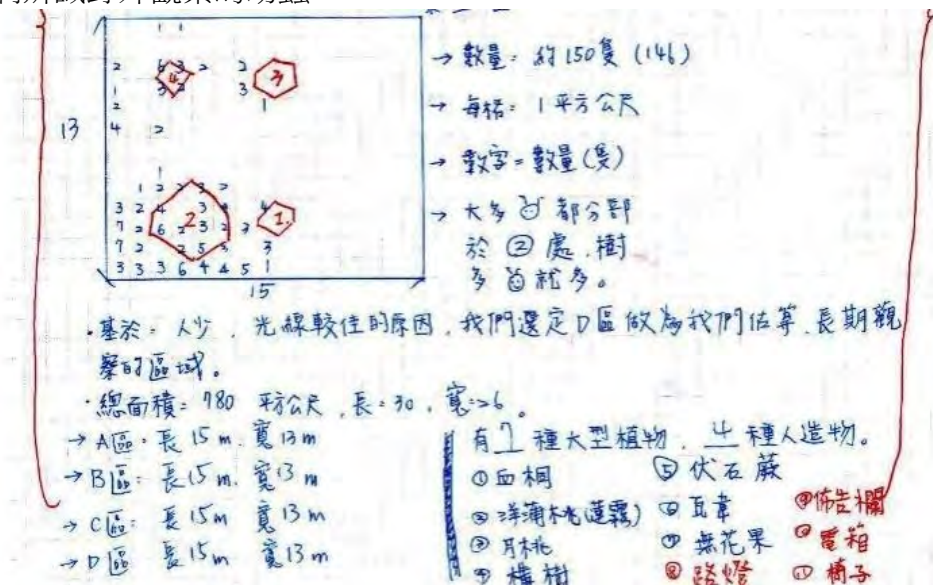


圖 15 組員棲地植物與幼蟲數量調查日記。上圖為棲地大型植物分布圖，下圖為幼蟲的數量統計筆記。

研究問題二、臺灣八星虎甲蟲幼蟲的身體形態構造觀察

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描繪出來。

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 | |

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，一邊細心觀察八星虎甲蟲幼蟲身體構造。

步驟四：測量八星虎甲蟲頭、胸、腹的長度比例，並統計結果。

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

研究結果：

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。

三齡幼蟲的平均體長為 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，正是幼蟲埋伏時用於封洞的主要部位。

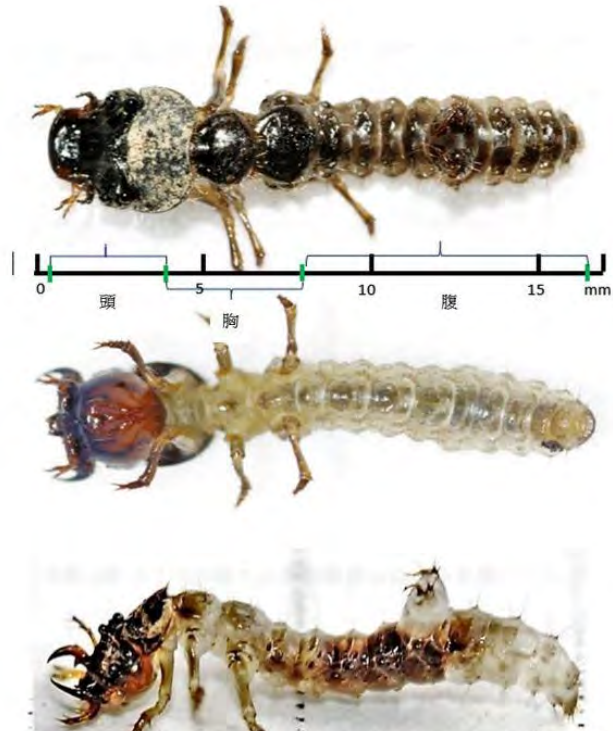


圖 17 八星虎甲蟲幼蟲身體結構與比例

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。

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)，腹部十段體節柔軟，且具備研展效果，可依需求拉長及縮短身體。

以下依序觀察頭、胸、腹部體節各細部結構：

(一)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。

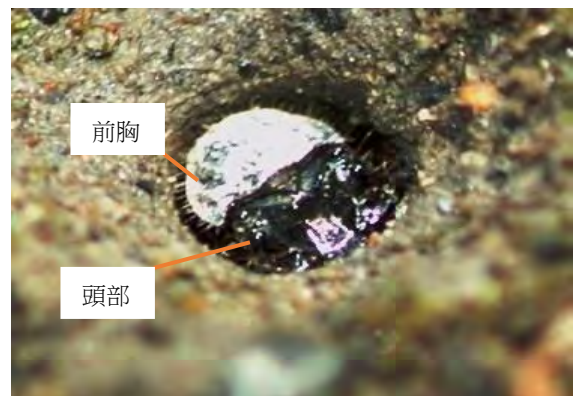


圖 18 幼蟲頭部與前胸背板連結成橢圓形，是幼蟲用於封住洞口、埋伏獵物趨近的主要構造。

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。

觸鬚：觸鬚長在頭部兩側大顎後方，屬於櫛狀觸鬚。

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。

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

小顎鬚：口器的一部分，長在上唇下緣左右兩側。

下唇鬚：長在下唇前方，由一對針狀的透明軟質構造組成。

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。

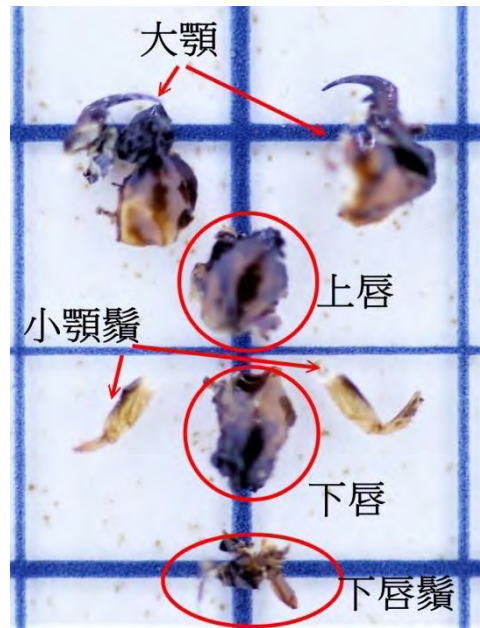


圖 19 幼蟲口器解剖



大顎以及小顎鬚可以往上翹起。

八星虎甲蟲幼蟲有 12 顆 眼睛左右對稱，。

每側各有三顆大顎(紅色箭頭)。

三顆小顎(黃色箭頭，其中一顆位於頭胸部連結下方(黃色虛線箭頭))。

小顎鬚前緣具備尖銳的分岔



圖 20 幼蟲頭部的細部構造。

(二)胸部構造觀察：八星虎甲蟲幼蟲胸部共有前、中、後三段胸節，每段胸節的左、右兩側各長出一對胸足，足部由身體內側向外長出「基節」、「轉節」、「腿節」、「脛節」、「跗節」及「前跗節(爪)」等六段關節。

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。



圖 21 幼蟲胸部的細部構造。

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。

(三)腹部構造觀察：

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。這特殊構造在幼蟲埋伏獵捕運動過程是否扮演重要功能?值得



圖 22 幼蟲腹部的細部構造。

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。

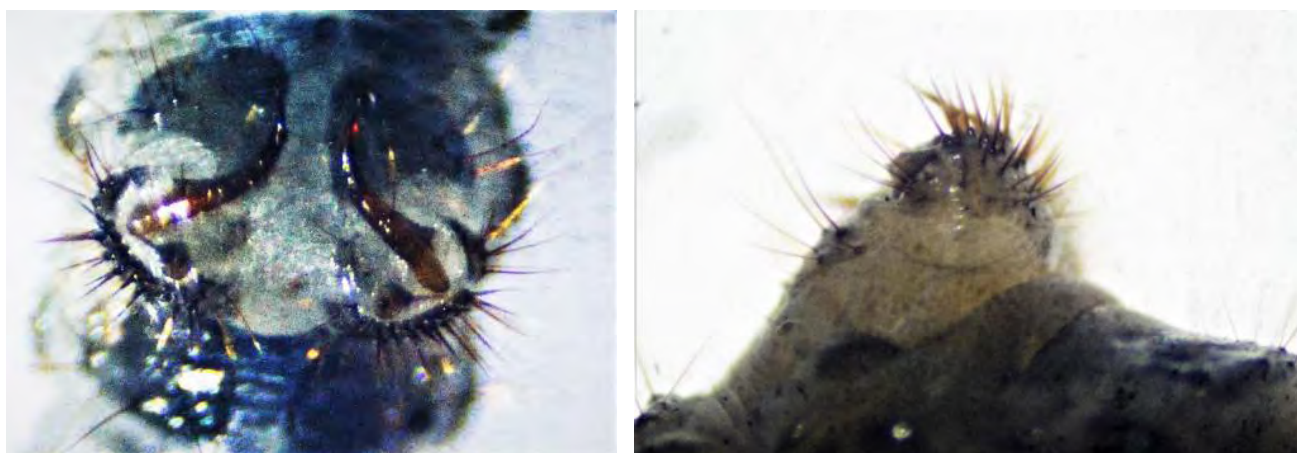


圖 23 幼蟲第五段腹節背部長出一對覆滿細毛的倒鉤。

小結：

我們發現，幼蟲埋伏在隧道口是運用頭部與前胸背板，這與吳怡欣、何嘉浩、蕭忠義及楊平世(2006)的發現有異。為此，我們反覆確認幼蟲埋伏的實際狀況，是以頭部與前胸背板作為頂住隧道口的構造，因此修正了吳怡欣、何嘉浩、蕭忠義及楊平世(2006)的研究發現。

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。

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：

(1)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)。(2)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。

(3) 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

(4)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。

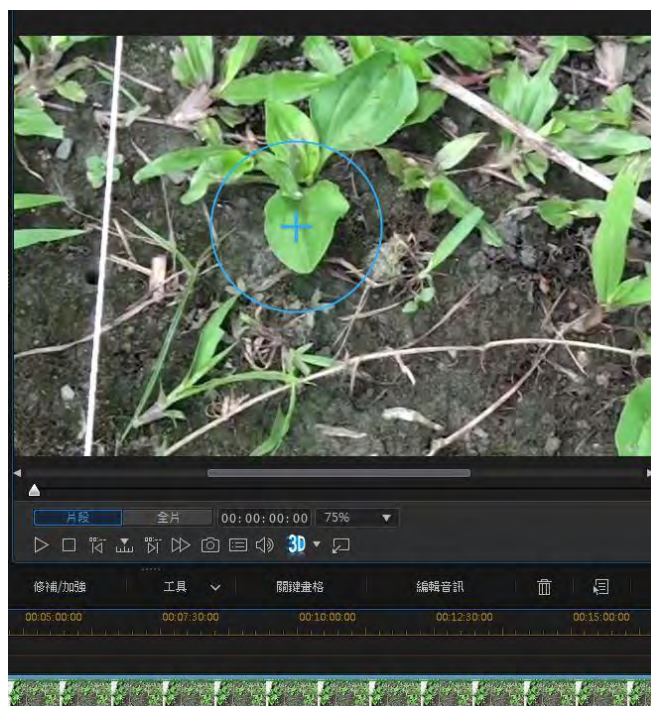


圖 24 使用軟體分析幼蟲獵捕螞蟻行為

| 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(平均洞口大小)+16

64.829x0.02625

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 | |
| imovie 軟體、photoimpact 軟體 | |
| 攝影燈具 | |

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)



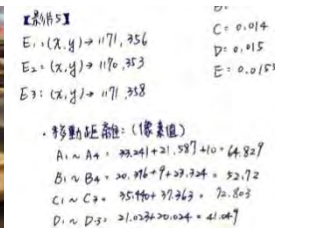
老師指導我們透過軟體計算距離。



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)

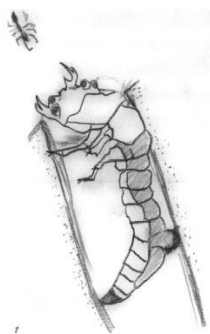


幼蟲攻擊螞蟻距離計算：節錄自研究日記

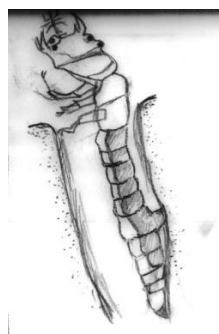
圖 25 幼蟲獵捕距離及模式探究過程。

研究結果：

- (1) 八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的模式：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

(2)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。

(3)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。

(4)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 (說明 1) (像素值) | 洞口直徑 (像素值) | 實際距離(說明 2) (公分) |
|------|--|-----|---------------------------|---------------|--------------------|
| 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

研究方法：引用問題四的影片與資料，使用 Power Director 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獵捕螞蟻的速率。

研究步驟：

- (1)剪接五段幼蟲獵捕螞蟻的影片。
- (2)使用 PowerDirector 14 軟體分析影片中幼蟲獵捕螞蟻花費的時間。
- (3)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。

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。

研究發現：

1. 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。
2. 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 ^(說明 1) (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。

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。

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) | |

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



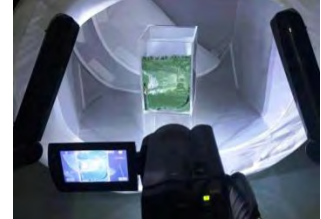
測量幼蟲重量



測量幼蟲尺寸



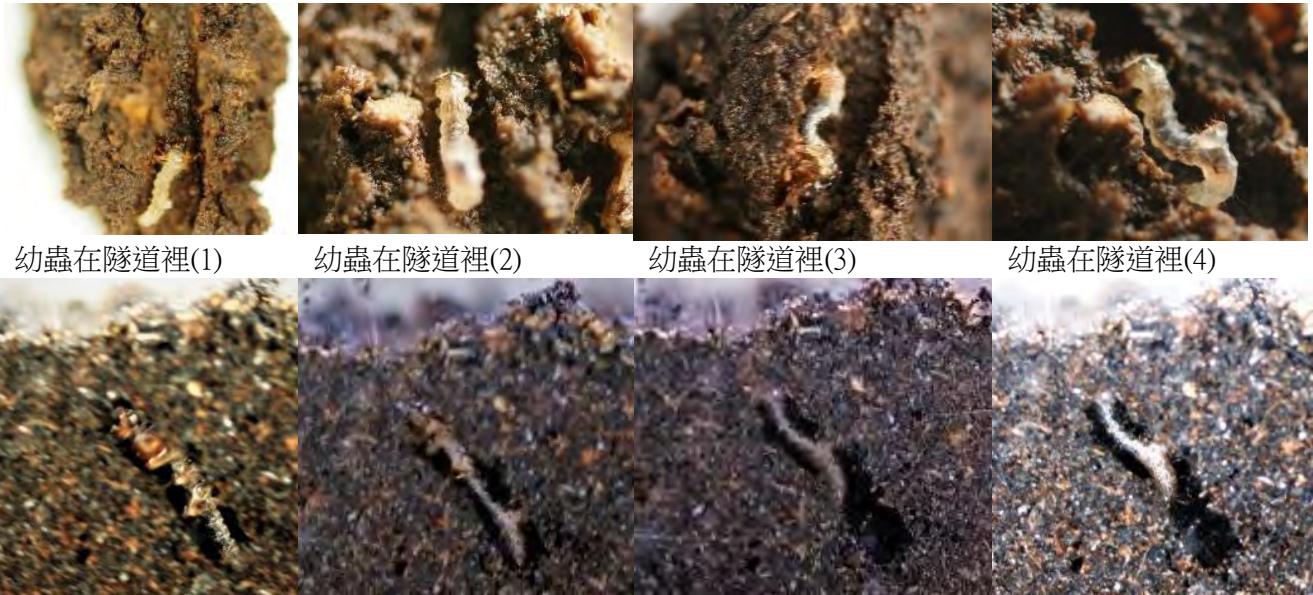
觀察幼蟲活動(一)



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

幼蟲在隧道內的行為觀察照片：



幼蟲在隧道裡(1)

幼蟲在隧道裡(2)

幼蟲在隧道裡(3)

幼蟲在隧道裡(4)

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。



第三代自製觀察箱，可以更清楚的觀察到幼蟲在隧道裡的行為。

圖 28 臺灣八星虎甲蟲幼蟲埋伏在隧道時的形態

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 |

1.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。

2.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)。

3.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。但幼蟲挖掘隧道時會有偶遇的狀況。我們觀察到兩物幼蟲偶遇的狀況，其中一次，個體較小的幼蟲迅速將隧道填補起來。另一次則發現個體大的幼蟲展開追擊幼蟲的行為，最後將其獵捕取食。

(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，因寬度不夠無法迴轉。隧道底部較寬，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:

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**倒鉤插入隧道，**腹部尾端**頂住隧道，穩定不動。

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。

以上發現引發我們疑問：幼蟲埋伏時會以第五腹節倒鉤插入隧道，並使用腹部最末節頂住隧道，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。

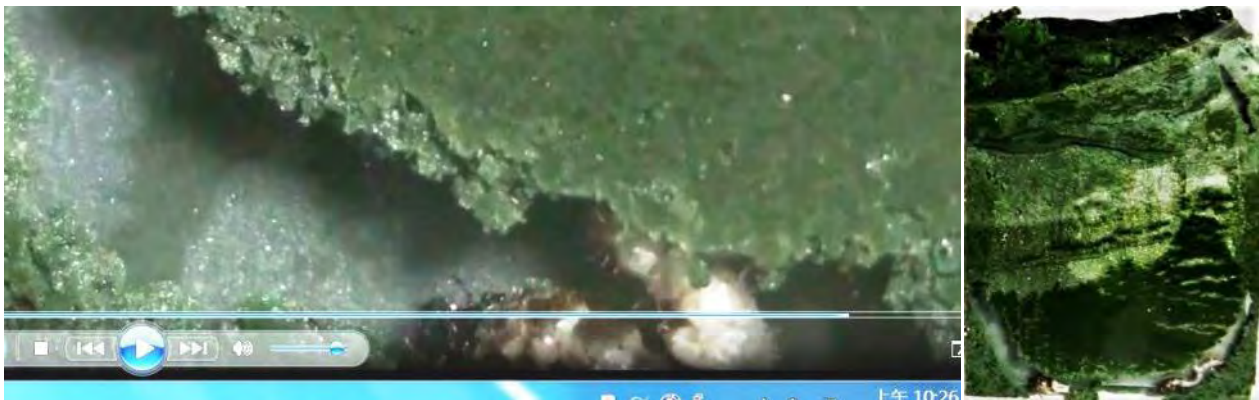
研究步驟：

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：觀察影片中的幼蟲獵捕螞蟻時，各體節的運動狀態。

步驟三：歸納幼蟲獵捕螞蟻的運動策略。

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

研究發現：

一、幼蟲埋伏時的運動策略觀察


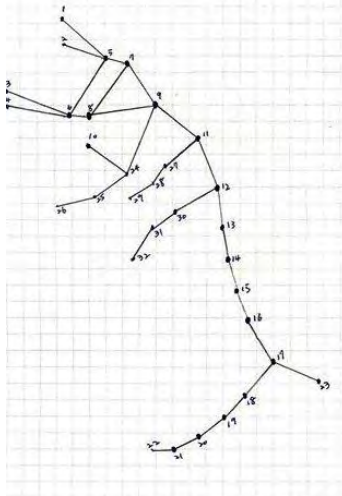

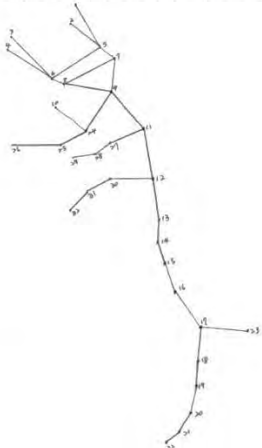
幼蟲埋伏在隧道，身體的形態狀況可分成三個體區。第一體區由頭與前胸背板組成，兩者共同頂住隧道口，上唇與前足鉤住前壁，提供穩定支點。第二區由第 2 胸節到第 5 腹節組成。埋伏時，第 2、3 胸節及 1-4 腹節懸空，第 5 腹節背部倒鉤插入隧道壁。第三區由第 6~10 腹節組成。腹節前彎 45 度角，腹部尾端鉤住隧道前緣，支撐身體。

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 1 胸節抬高，與 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，增加體長至捕捉螞蟻的距離。幼蟲捕捉螞蟻時，第 5 腹節背板倒鉤及 6-10 腹節轉向彈起，平貼在隧道壁。

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 |  |  | <p>頭部上唇及前足頂住隧道口。上顎及前足鉤住前側壁。</p> <p>第 2 胸節彎曲，第 3 胸節彎曲，腹部體節順著胸節的角度懸空，並以第 5 腹節背部所長出的倒鉤做為基點，頂住隧道壁。</p> <p>第三區由第 6 腹節到第 10 腹節組成，往前彎曲，腹部尾端鉤住隧道前壁，支撐身體。</p> |
| 獵捕觀察 |  |  | <p>頭部與第 1 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。</p> <p>第 2 胸節到第 5 腹節伸展身體體節內的膜質，拉長身體。第 5 腹節平貼隧道內壁，支撐身體。</p> <p>第 6~10 腹節，平貼隧道內壁。</p> |

為了進一步探討幼蟲獵捕螞蟻所展現的生物力學現象，我們將繼續深入探討幼蟲獵捕螞蟻的生物力學原理。

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。

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

研究過程：



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

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螞蟻的運動狀態下，身體各構造的運動狀況。本節將依照表 7 所歸納的結果，探討幼蟲在(一)埋伏、(二)獵捕螞蟻時所展現的生物力學原理。

表 7 臺灣八星虎甲蟲幼蟲埋伏與獵捕螞蟻運動的生物力學分析

| | | 埋伏狀況下的生物力學分析 | 獵捕螞蟻時的生物力學分析 | |
|---------|----------|-----------------------|------------------|---------|
| | | | 彈出 | 拉回 |
| 頭 | 觸鬚 | / | / | / |
| | 眼睛 | / | / | / |
| | 口器 | ✓(上唇頂住隧道口) | / | ✓(捕捉螞蟻) |
| | 大顎 | 懸空 | ✓(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 | 懸空 | ✓拉長變形 | ✓拉回變形 |
| | 後胸 後足 | 懸空 | ✓拉長變形 | ✓拉回變形 |
| | 腹部 | 1-4 腹節 | 懸空 | ✓拉長變形 |
| 第 5 腹節 | | ✓腹節倒鉤 | ✓固定支點 (貼住隧道壁) | ✓固定 |
| 6-10 腹節 | | ✓6-9 腹節懸空，第 10 腹節頂住隧道 | ✓固定支點 (貼住隧道壁) | ✓固定 |

一、埋伏狀態下的生物力學分析

表 7 顯示，幼蟲在埋伏時，上唇、前足(*2)、第 5 腹節及第 10 腹節與隧道接觸，共同支撐幼蟲埋伏隧道口，讓幼蟲的重量分散在上述的五個支點上，減輕負擔。因此我們歸納提出，幼蟲在埋伏時，使用分散重量的策略，維持埋伏時的穩定。

二、幼蟲獵捕螞蟻時的生物力學分析

幼蟲獵捕螞蟻時，可區分成「彈出」及「拉回」等兩個階段。

(一)彈出隧道的生物力學分析

幼蟲彈出隧道時，頭節、胸節及 1-4 腹節朝螞蟻方向彈出，大顎、前足及口器用以撲捉螞蟻。由於幼蟲整個身體只有第 10 及第 5 腹節背部倒鉤與隧道接觸，能夠產生彈出身體的力量，因此我們歸納推論幼蟲獵捕螞蟻的彈射力量，是由第 10 及第 5 腹節所驅動。由於截至繳交報告期限，我們繁殖的幼蟲剛進入第二齡期，個體較小，無法進一步模擬實驗，因此我們預計在七月初，待幼蟲進入三齡時，設計實驗，檢驗第 5 腹節及第 10 腹節是否為幼蟲獵捕螞蟻彈射力量的主要關鍵，同時了解其彈射的原因。此外，幼蟲利用 6-10 腹節瞬間收縮的力量，將位於各體節間的膜質拉長，產生拉伸變形，讓幼蟲能夠順利彈出獵捕螞蟻。

(二)拉回隧道的生物力學分析

幼蟲獵捕到螞蟻時，瞬間收縮各體節間的膜質，同時將身體拉回隧道內，此時腹部第 5 腹節仍緊緊貼住隧道壁。這讓我們產生合理的懷疑，第五腹節背部所長出的倒鉤，是否為幼蟲用以固定身體所長出的特殊構造，未來仍值得設計實驗繼續追蹤檢驗。

柒、綜合討論

討論一：臺灣八星虎甲蟲幼蟲埋伏與獵捕方式的探討

由於國內對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，將以此文獻作為對話依據。

吳怡欣等人主張，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點不同：

第一點不同，我們發現，幼蟲是以頭節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，我們反覆觀察了幼蟲埋伏隧道口的實際狀況，確認牠們的確是使用頭節及前胸背板兩部位做為埋伏，針對此一結果，我們修正了吳怡欣等人(2006)的研究結果。

第二點不同，我們發現幼蟲獵捕獵物，並沒有爬出洞外，而是使用彈射的方式，將頭節、胸節拉長延伸射向獵物，並使用大顎、前足抓取獵物。為了避免彈出隧道外，幼蟲將腹部第 5 腹節的倒鉤插入隧道內壁，同時使用 6-10 腹節貼住隧道，增加固定身體的摩擦力。因此，我們針對吳怡欣等人認為八星虎甲蟲幼蟲爬出洞外獵捕螞蟻的說法提出修正。

討論二：幼蟲長怎樣?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，頭部兩側各有 6 顆單眼(合計 12 顆)、咀嚼式的口器、櫛狀觸鬚，腹部具有 10 段體節，其中第 5 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。

幼蟲埋伏在隧道口時，會使用上唇、前足、第 5 腹節及第 10 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 5 腹節的倒鉤固定隧道，再將身體彈出獵捕螞蟻。由於體節與體節之間由柔軟的膜質構成，具備可拉長與伸縮的效果，因此，節間膜的彈性與延展性，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 5 腹節共有 9 段體節，具備 8 個節間膜，能夠提供幼蟲獵捕螞蟻的彈射運動中，拉長 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 5 腹節及第 10 腹節跟隧道接觸，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，會使用第 10 復節及第 5 腹節合力將頭、胸以及 1-4 腹節彈出，運用節間膜的拉伸變形產生拉長與拉回策略來獵捕螞蟻。第 5 腹節背部所長出的一對倒鉤，則會以插入隧道的方式，卡住身體，讓幼蟲穩定停留在隧道內。

捌、研究結論與建議

一、研究結論

依照研究發現與討論，我們提出以下幾點結論：

(一)設計新的觀察工具，突破八星虎甲蟲幼蟲(土棲昆蟲)不易觀察的困境

結論一：由於八星虎甲蟲幼蟲居住在土壤下方，屬於土棲性的昆蟲，不容易觀察、也沒有辦法掌控牠們的行動，因此在研究牠們的行為時，受到了許多的挫折困難。為了解決觀察的瓶頸，我們陸續設計並改良製作了三代的透明觀察器，終於讓我們成功觀察到幼蟲行為。這方面的成功經驗，能分享給想要探究土棲性昆蟲(幼蟲)行為的學者，提高研究的成功率。

(二)認識八星虎甲蟲幼蟲的形態學以及生物學知識

結論二：臺灣八星虎甲蟲幼蟲頭、胸、腹的比例 1：2：3。平均體長 1.68cm，平均重量 0.12 克。全身共有 14 段體節。頭與前胸背板為幼蟲埋伏頂住隧道口的構造。單側眼睛 6 顆，左右兩側合計 12 顆單眼。腹部有 10 段體節，第 5 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膜質構成，能增加腹部的延伸、轉折、彈性以及彎曲變形功能。

結論三：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。獵捕螞蟻分成「埋伏」、「彈出捕捉」、「拉回」三個步驟。獵捕平均距離 0.84cm(最遠 1.70cm；最短 0.13cm)。獵捕時，身體沒有離開洞穴。

結論四：每次獵捕螞蟻花費的時間平均 0.08 秒，最快 1/15 秒，最慢 0.1 秒。獵捕螞蟻的平均速率為 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平均身高後的平均獵捕速率為 40.905 公里/每小時，瞬間最快的速率為 68.104 公里/小時，最慢為 7.714 公里/小時。

(三)認識八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的生物力學原理

結論五：幼蟲埋伏在隧道口時，使用分散重量的策略來維持埋伏時的身體穩定。埋伏時，上唇、前足(*2)、第 5 腹節及第 10 腹節與隧道接觸，共同支撐身體。

結論六：彈出隧道獵捕螞蟻時的生物力學分析

幼蟲彈出隧道時，頭節、胸節及 1-4 腹節朝螞蟻方向彈出，大顎、前足及口器用以撲捉螞蟻。由於當時只有第 10 及第 5 腹節背部倒鉤與隧道接觸，能夠產生彈出身體的力量，因此我們推論幼蟲獵捕螞蟻的彈射力量，是由第 10 及第 5 腹節所驅動。此外，幼蟲利用 6-10 腹節瞬間收縮的力量，將各體節間的膜質拉長，產生拉伸變形，讓幼蟲能夠順利彈出獵捕螞蟻。

二、建議

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 5 腹節尾端長出一對倒鉤，其上佈滿感覺毛，在獵捕螞蟻食，幼蟲能很快的透過腹部尾端彈出身體。這讓研究者推測第 5 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

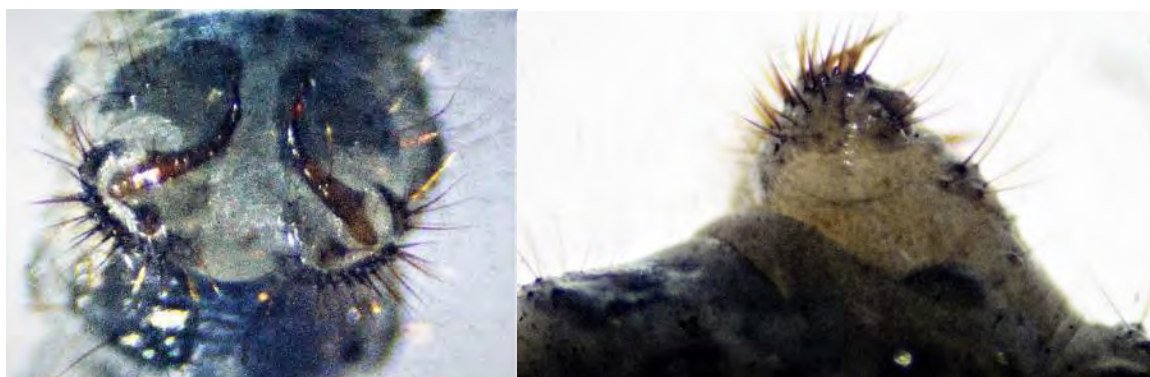
吳怡欣、何嘉浩、蕭忠義、楊平世(2006)。八星虎甲蟲 *Cicindela batesi* (Fleutiaux, 1893) 之形態與生活史研究。動物園學報，18:7-14。

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。



2018.2.5 (一) / 天氣: 陰冷, 雨 / 任務: 分析幼蟲影片 & 將幼蟲換箱

【日記】

由於這幾天天氣很冷(10°C), 幼蟲們紛紛都躲在了土洞中不動, 所以, 我們決定來分析影片並幫助牠們換箱。而要換箱(觀察)的原因, 則是因為我們看到虎甲蟲的幼蟲們都把自已的洞越挖越深了, 而且好像小的觀察箱不夠深的感覺一樣。所以早上我們就先將八星虎甲蟲的幼蟲用大的觀察箱飼養, 花費了非常多的時間耶!! 是個浩大的工程, 首先, 我們去拿了大的觀察箱來, 再去搬土, 用鏟子把土放進飼養箱中, 之後就噴大量的水, 讓土有一定的濕度, 最後鋪好並壓緊, 組裝好飼養箱, 就可以請幼蟲們入住啦!! 不過為什麼牠們要把自己所居住的洞穴挖那麼深呢? 是否和氣溫太冷有關係? *good point!*



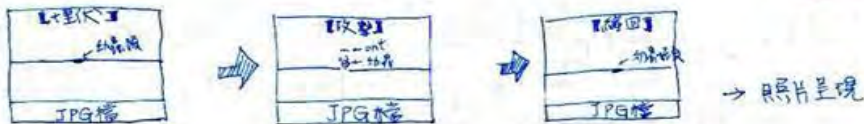
【日記】

今天下午, 我們主要是在分析幼蟲的捕食影片的時間, 因為拍攝時和計算時的方法關係, 一定會有誤差, 所以, 我們使用電腦 軟體 威力導演來輔助, 利用拍攝的影片繼續分析, 用畫格(每秒 30 格)的時間, 算出換算好的秒數 → 利用 excel 的軟體, 最後找出 5 個影片, 用相同的方法, 完成, 算平均 ~

(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。

- 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
- × 八星虎甲蟲幼蟲捕食獵物距離平均 0.84 公分 → 表格中
- 攻擊速率為 21.956 m/hr; 換算成成人身高比例, 攻擊速率則約 41 km/hr。



| | 組別移動距離 | 各組攻擊時間(秒) | 攻擊速率(格/秒) | 比較成人身高比例 攻擊速率 (m/hr) |
|----------|-------------|--|-------------|-------------------------|
| A | 1.70176125 | 0.1 (± $\frac{1}{30}$) | 17.0176125 | 19.2866275 |
| B | 0.763531034 | 0.1 (± $\frac{1}{30}$) | 7.635310345 | 8.653351724 |
| C | 1.019242 | $\frac{1}{15}$ (± $\frac{1}{30}$) | 15.28863 | 17.327114 |
| D | 0.615735 | $\frac{1}{15}$ (± $\frac{1}{30}$) | 9.236025 | 10.467495 |
| E | 0.128504444 | $\frac{1}{15}$ (± $\frac{1}{30}$) | 1.92756666 | 2.184575556 |
| 每次攻擊平均距離 | 0.84 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】

- A₁ = 05' 26" 00 畫格 → 326 秒
 - A₂ = 05' 26" 01 畫格 → ~~326.03333 秒~~ → 326 $\frac{1}{30}$
 - A₃ = 05' 26" 02 畫格 → ~~326.06667 秒~~ → 326 $\frac{2}{15}$
 - A₄ = 05' 26" 03 畫格 → 326.1 秒
- 326.09 - 326 = 0.09 (s)

【影片2】

- B₁ = 03' 10" 10 畫格 → ~~190.33333 秒~~ → 190.3 $\frac{1}{30}$
 - B₂ = 03' 10" 11 畫格 → ~~190.36667 秒~~ → 190.3 $\frac{2}{15}$
 - B₃ = 03' 10" 12 畫格 → 190.4 秒
 - B₄ = 03' 10" 13 畫格 → ~~190.43333 秒~~ → 190.4 $\frac{1}{30}$
- 190.43 - 190.33 = 0.1 (s)

【影片5】

- E₁ = 17' 09" 00 畫格 → 1029 秒
 - E₂ = 17' 09" 01 畫格 → ~~1029.03333 秒~~ → 1029 $\frac{1}{30}$
 - E₃ = 17' 09" 02 畫格 → ~~1029.06667 秒~~ → 1029 $\frac{2}{15}$
- 1029.06 - 1029 = 0.06 (s)

【影片3】

- C₁ = 1' 16" 16 畫格 → ~~76.53333 秒~~ → 76.5 $\frac{1}{30}$
 - C₂ = 1' 16" 17 畫格 → ~~76.56667 秒~~ → 76.5 $\frac{2}{15}$
 - C₃ = 1' 16" 18 畫格 → 76.6 秒
- 76.59 - 76.53 = 0.06 (s)

【影片4】

- D₁ = 02' 19" 19 畫格 → ~~139.63333 秒~~ → 139.6 $\frac{1}{30}$
 - D₂ = 02' 19" 20 畫格 → ~~139.66667 秒~~ → 139.6 $\frac{2}{15}$
 - D₃ = 02' 19" 21 畫格 → 139.7 秒
- 139.69 - 139.63 = 0.06 (s)

• 平均時間計算:

$$(0.09 + 0.06 + 0.1 + 0.06 + 0.06) \div 5$$

$$= 0.074 \div 5 = 0.0148 (s) \Rightarrow$$

* 平均秒數 = 0.074 秒 (鐘)

(二) 距離計算:

【影片1】

- A₁ = (x, y) → 185, 126
- A₂ = (x, y) → 173, 105
- A₃ = (x, y) → 178, 126
- A₄ = (x, y) → 184, 134

【影片2】

- B₁ = (x, y) → 1111, 586
- B₂ = (x, y) → 1091, 582
- B₃ = (x, y) → 1091, 573
- B₄ = (x, y) → 1111, 585

【影片3】

- C₁ = (x, y) → 1256, 810
- C₂ = (x, y) → 1246, 776
- C₃ = (x, y) → 1256, 812

【影片4】

- D₁ = (x, y) → 1111, 589
- D₂ = (x, y) → 1110, 568
- D₃ = (x, y) → 1111, 588

【影片5】

- E₁ = (x, y) → 1171, 356
- E₂ = (x, y) → 1170, 353
- E₃ = (x, y) → 1171, 358

• 移動距離 = (像素值)

- A₁ ~ A₄ = 33.241 + 21.587 + 10 = 64.827
- B₁ ~ B₄ = 20.376 + 9 + 27.324 = 52.72
- C₁ ~ C₃ = 35.110 + 37.763 = 72.803
- D₁ ~ D₃ = 21.023 + 20.024 = 41.047
- E₁ ~ E₃ = 3.162 + 5.099 = 8.261

• 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 >

【評語】 030301

1. 在實驗發想的研究動機下，實驗方法能由國中生作者自行設計並改良製作了三代的透明觀察器，有利土棲性昆蟲的幼蟲觀察，具有原創性，充分展現國中生作者投入研究的科學態度。
2. 資料與數據頗豐，但偏離主題的內容，如棲地與個體數量的調查及型態構造的描述等稍多，建議可更專注主題，進行更深入的分析。
3. 研究具有部分原創性，部分所得結果亦有別於先前的發現，然於生物力學上的分析仍處於推測及觀察的層面。
4. 本研究重心偏重幼蟲外部形態構造的觀察，比較缺乏幼蟲內部生理結構與功能的探索，建議考慮例如對環走肌與縱走肌的交替收縮的探討，應可進一步闡述「彈出」與「拉回」，內外搭配相得益彰。
5. 昆蟲是外溫的動物，可以利用冰塊做麻醉之用，比二氧化碳效果還好，而且不會致死。

壹、研究動機

在一次野外調查發現，公園泥土地面出現許多小洞(圖1)。查詢資料後，得知此為臺灣八星虎甲蟲幼蟲居住的洞穴。文獻指出牠們會頂住洞口安靜的埋伏，伺機等待獵物接近進行獵捕(黃文伯，2008)。

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?這些獵捕過程究竟隱藏著哪些生物力學?是本研究所要探討的焦點。



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

一、了解臺灣八星虎甲蟲幼蟲的形態構造。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。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

臺灣八星虎甲蟲 *Cosmodela batesi* (Fleutiaux, 1893) 為臺灣特有種虎甲蟲(圖2)。成蟲大約每年4-10月活躍於田野或公園沙地與泥土地。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(圖3)，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)。



圖2 臺灣八星虎甲幼蟲生活史及幼蟲照片

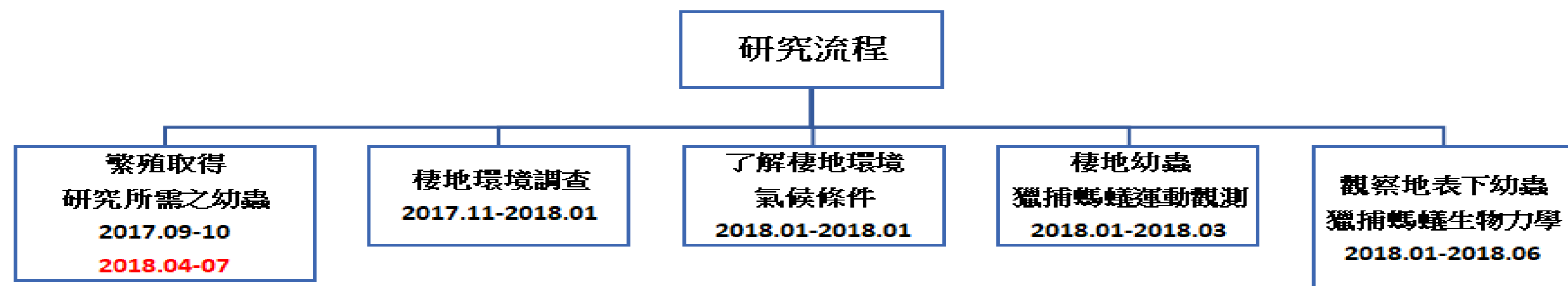
八星虎甲蟲幼蟲身體構造可區分成頭、胸、腹三個體區(tagmata)。每個體區都是由數個體節合成(盧耽，2008)。我們想要進一步了解臺灣八星甲蟲幼蟲頭、胸、腹各體區的細部構造，觀察牠究竟有多少個體節?這些體節與臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻究竟有什麼關係?

另外，吳怡欣等(2006)的研究指出，八星虎甲蟲幼蟲會運用身體構造頂住隧道口，靜靜埋伏、等待獵物趨近後走離洞口加以捕捉。據此，我們產生以下疑惑：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? 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? 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? 我們進一步加以探究。

肆、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。
- 二、臺灣八星虎甲蟲幼蟲的身體構造觀察。
- 三、臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻行為觀察與模式分析。
- 四、臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的速率探究。
- 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。
- 六、臺灣八星虎甲蟲幼蟲如何運作身體來獵捕螞蟻?
- 七、臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的生物力學原理探討。

伍、研究方法與設備



一、繁殖取得研究樣本幼蟲

本研究以自然觀察為主，實驗室觀察為輔。自然觀察幼蟲樣本直接取自棲地，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。本實驗觀察幼蟲來源，為研究團隊在2017年9月自行繁殖而得(圖4、圖5)。

二、棲地環境調查與範圍界定

測得棲地長度為30公尺，寬26公尺，總面積約780平方公尺。本研究將研究棲地分成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6)。

三、了解棲地環境的氣候條件

本研究進行幼蟲觀察研究的時間介於2017年11月-2018年4月，此六個月的平均溫度介於18~23.4°C之間。相對溼度介於72-79%之間。雨量介於19-106.2mm。日照數43-103.8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：

研究團隊在棲地選定3個較少人為干擾的幼蟲洞穴，架設攝影機進行追蹤幼蟲獵捕行為的影像紀錄。

五、觀察並探討地表下幼蟲獵捕螞蟻之生物力學現象

本研究設計能進行直觀幼蟲行為的飼養箱。以下說明製作過程：



圖3 埋伏在隧道中的幼蟲



圖4 交配中的成蟲



圖5 臺灣八星虎甲蟲的卵

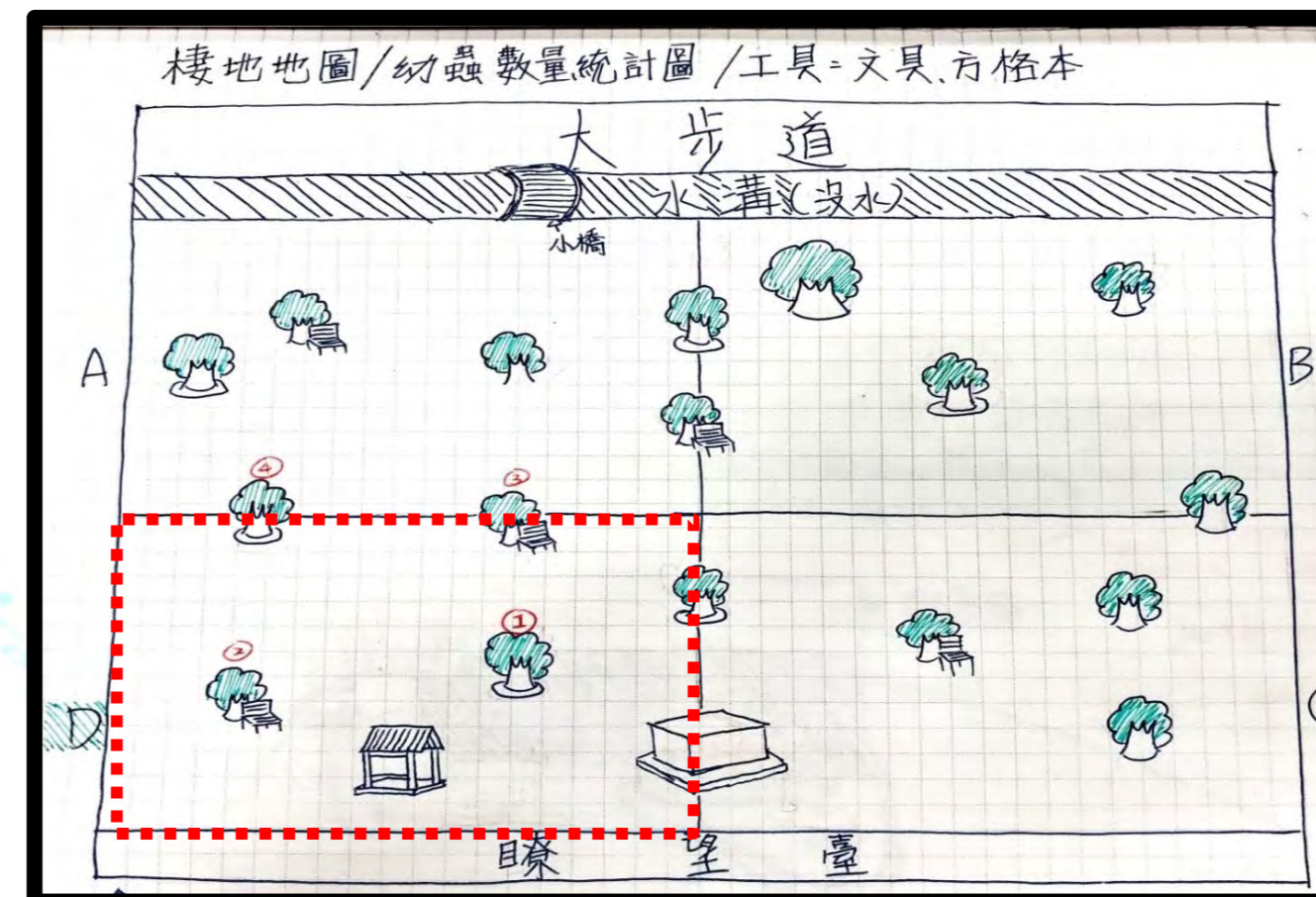


圖6 棲地地圖

表1 棲地環境氣候條件

| | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 |
|--------|------|------|------|------|------|-------|
| 氣溫°C | 23.4 | 19.4 | 19.6 | 18 | 19.6 | 22.6 |
| 雨量mm | 99 | 70.5 | 19 | 51.5 | 76 | 106.2 |
| 濕度% | 79 | 73 | 75 | 72 | 79 | 77 |
| 日照(hr) | 74.7 | 43 | 70.1 | 51.6 | 47.7 | 103.8 |

(一) **第一代觀察箱**：採用透明壓克力板製作長30公分、寬1公分，高15公分的外箱，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，因此進行改良(圖7)。

(二) **第二代觀察箱**：我們尋找適用的觀察箱內介質使觀測效果能加以提升。發現使用插花用花泥效果良好，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(圖7)。

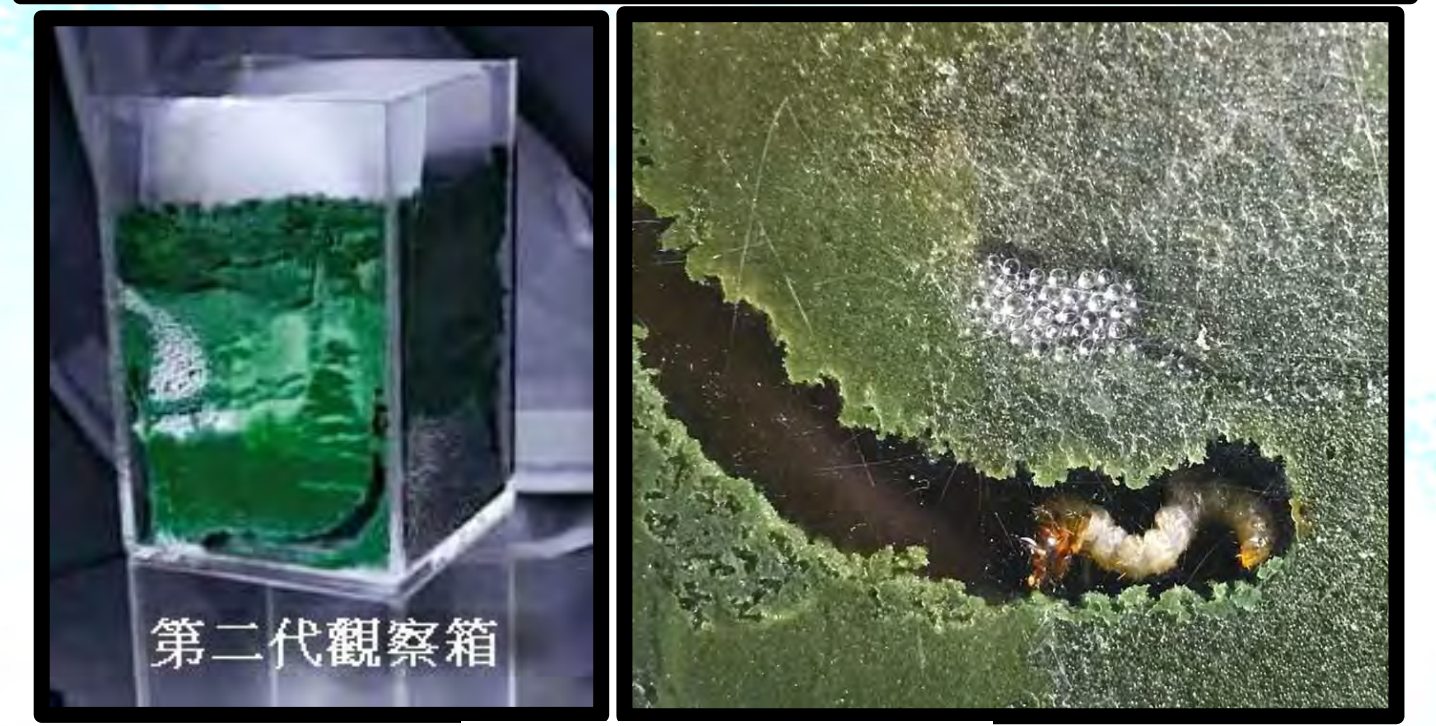
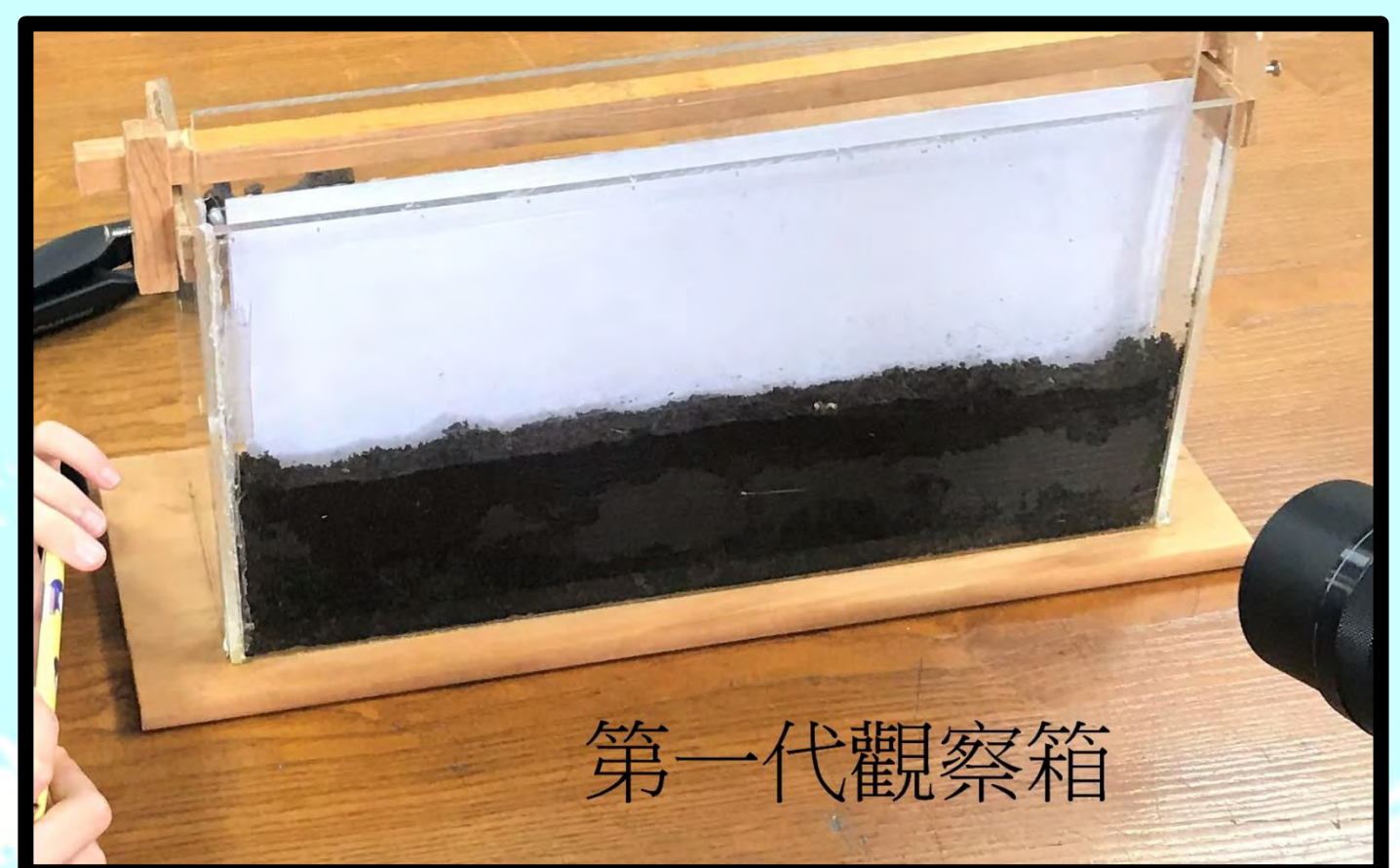


圖7 幼蟲觀察箱

陸、研究過程與發現

【問題一：臺灣八星虎甲蟲幼蟲的棲地環境與幼蟲數量調查】

- 研究步驟：(一)使用線材圍繞幼蟲棲地範圍，測量長、寬度，換算出棲地面積。(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。(三)調查棲地範圍內的幼蟲數量。

二、研究發現：

- 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。
- 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)大型植物周圍。
- 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(圖8)。



圖8 在選定觀察幼蟲隧道口插上紅旗

【問題二：臺灣八星虎甲蟲幼蟲的身體形態構造觀察】

- 研究步驟：(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。(二)將幼蟲置放在解剖顯微鏡下，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。(三)進行生物繪圖，詳細觀察八星虎甲蟲幼蟲身體各部位構造。(四)測量頭、胸、腹的長度比例。

二、研究結果：

- 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。頭、胸、腹的身體比例接近1:2:3。
- 胸部有前、中、後三段胸節，每段胸節的左、右兩側各長出一對胸足，足部關節為「基節」、「轉節」、「腿節」、「跗節」及「前跗節(爪)」。
- 腹部共十段腹節。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鈎。(圖9)

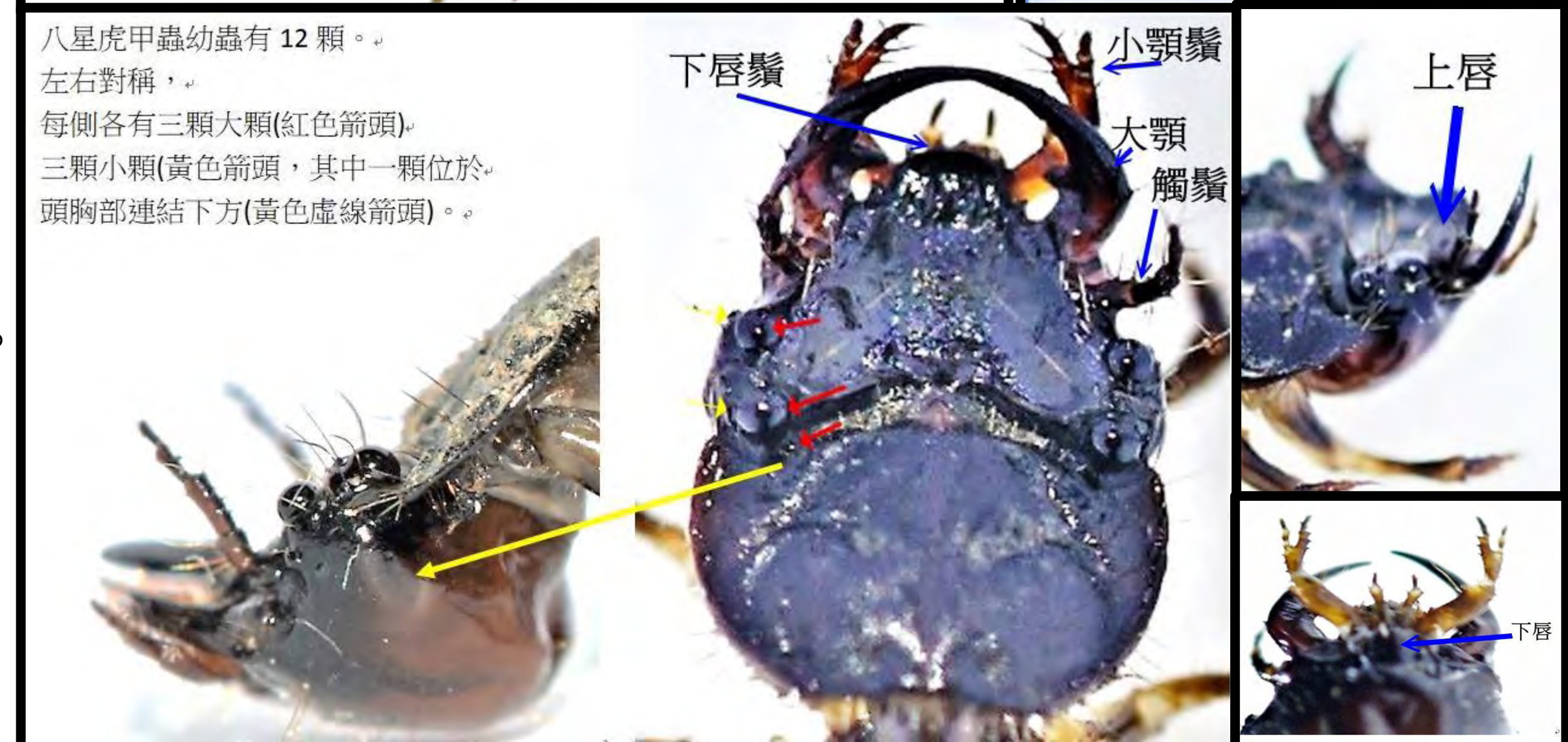
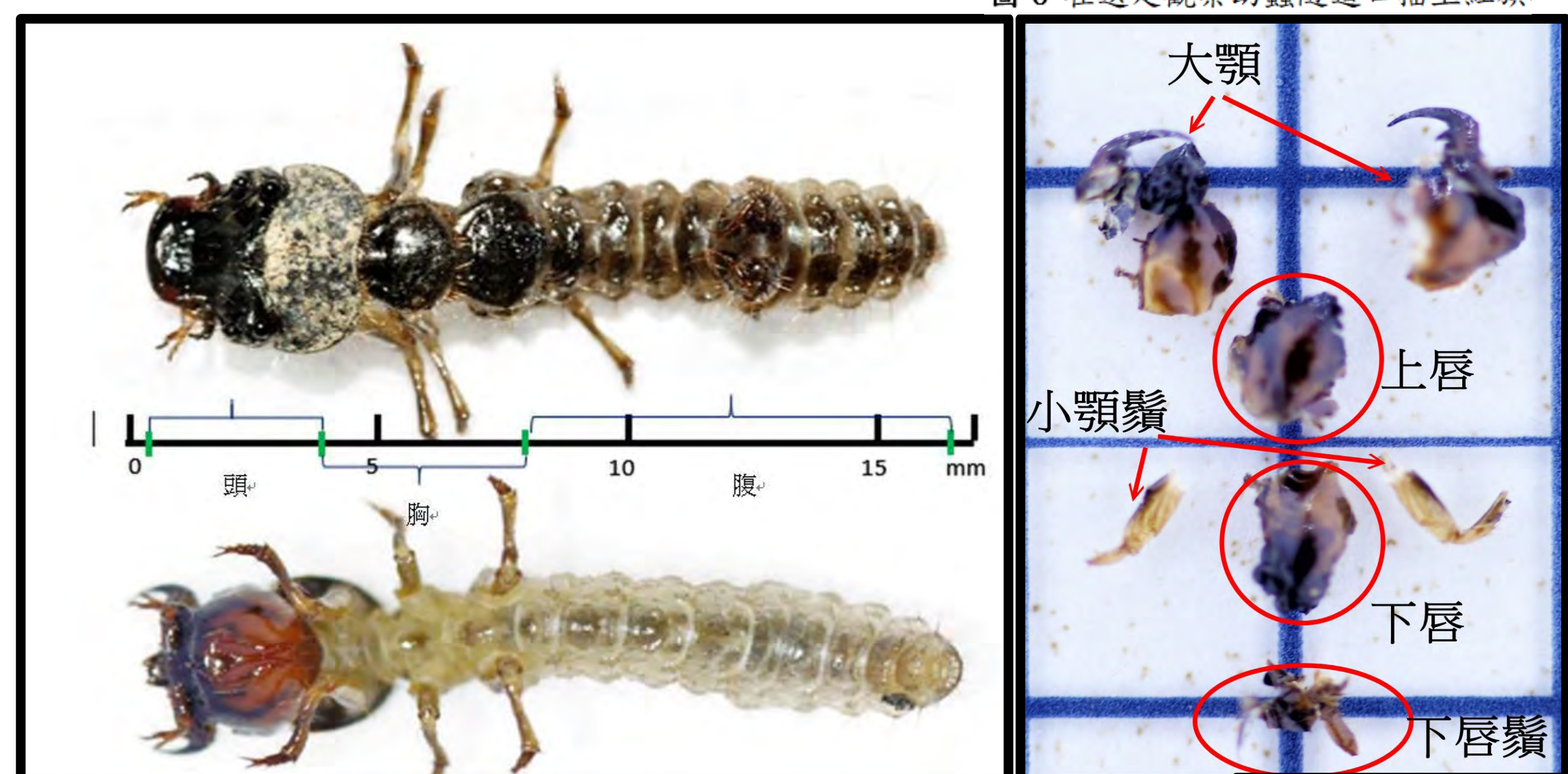


圖9 幼蟲身體型態構造照片

【問題三：臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕行為觀察與模式分析。】

- 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。

二、研究結果：

- 臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕螞蟻的模式：可以歸納出「埋伏」、「彈出獵捕」、「拉回」三個步驟(圖10)。
- 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0.85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。
- 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。
- 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。

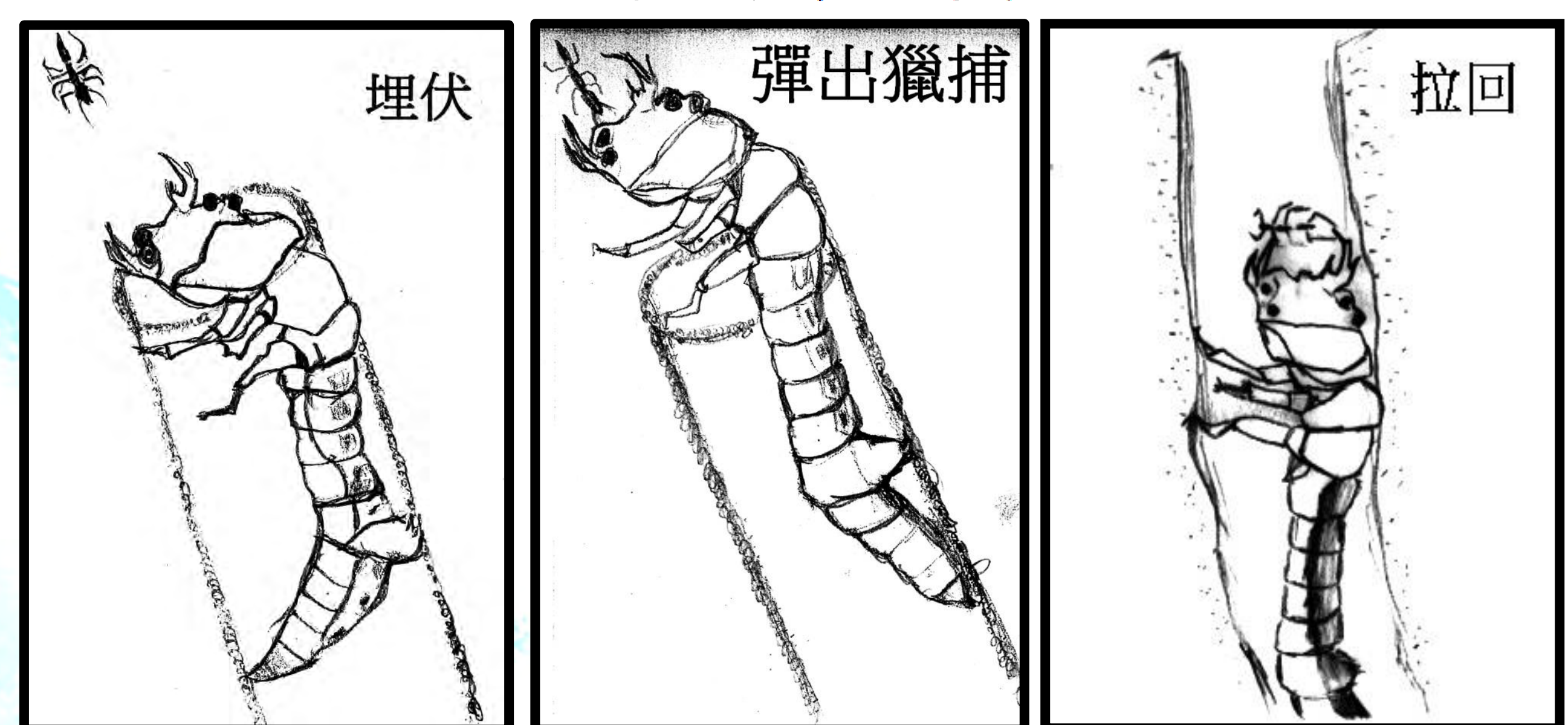


圖10 幼蟲獵捕螞蟻模式

【問題四：臺灣八星虎甲蟲幼蟲的獵捕速率探究。】

- 研究方法：引用問題三的视频與資料，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。

- 研究發現：(一)臺灣八星虎甲蟲幼蟲獵捕獵物的平均速率為10.22公分/秒，瞬間最快獵捕速率為17.02公分/秒，最慢獵捕速度為1.93公分/秒。(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0.07秒，最慢0.10秒(表2)。

表2 幼蟲捕食速率

| 檔案 | 影片中的距離(像素值) | 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(公里/小時) |
|-----|--|----------|---------|------------|-----------------|
| 影片A | 64.83 | 1.70 | 0.10 | 17.02 | 68.10 |
| 影片B | 52.72 | 0.76 | 0.10 | 7.64 | 30.56 |
| 影片C | 72.80 | 1.02 | 0.07 | 15.29 | 61.19 |
| 影片D | 41.05 | 0.62 | 0.07 | 9.24 | 36.97 |
| 影片E | 8.26 | 0.13 | 0.07 | 1.93 | 7.72 |
| 平均 | 47.93 | 0.85 | 0.08 | 10.22 | 40.91 |
| 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。 | | | | |

【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：將幼蟲置入透明觀察箱，觀察幼蟲體型與其自掘隧道的關係。

二、研究發現：

- (一)隧道的特性觀察：幼蟲所挖掘的隧道呈L形，以12.2度的傾斜角向下挖掘。隧道平均長度為11.4公分，隧道口的平均直徑為0.74公分，隧道尾寬1.6公分，隧道底部的空間較大(圖12)。
- (二)幼蟲的身體特性：三齡幼蟲的平均體長為1.68公分、頭幅平均寬度為0.54公分、平均重量為0.12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。2. 每一個隧道住一隻幼蟲。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，無法迴轉，只能前進與後退。5. 隧道底部寬度大於幼蟲頭幅2.9倍，可供幼蟲迴轉。6. 因任務不同，幼蟲在隧道時的身體形態也不同。

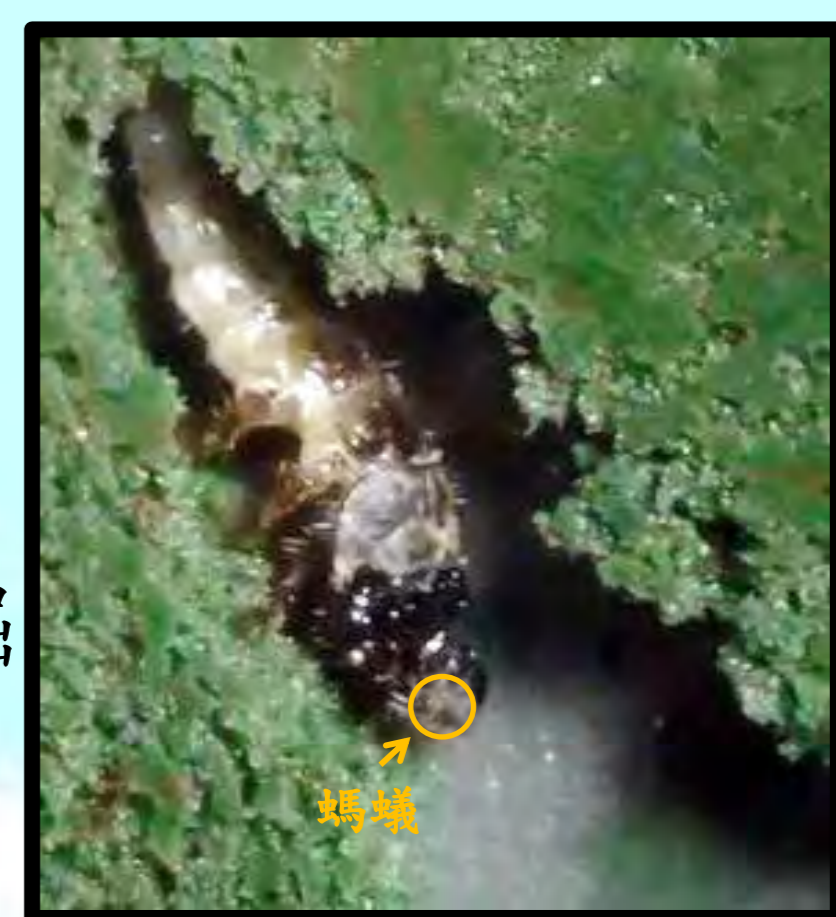


圖 11 幼蟲咬食螞蟻中



圖 12 身體型態與隧道比例的觀察

【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：分析幼蟲獵捕運動身體各節點的形態。估算幼蟲獵捕螞蟻時身體關節的功能與角度(圖13)。

二、研究發現：

(一)幼蟲埋伏時的運動策略：幼蟲埋伏在隧道，身體的形態分成三個體區。第一體區由頭與前胸背板組成，兩者共同頂住隧道口，上唇與前足鉤住前壁，提供穩定支點。第二區由第2胸節到第5腹節組成。埋伏時，第2、3胸節及1-4腹節懸空，第5腹節背部倒鉤插入隧道壁。第三區由第6~10腹節組成。腹節前彎45度角，腹部尾端鉤住隧道前緣，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1胸節抬高，與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，增加體長至捕捉螞蟻的距離。幼蟲捕捉螞蟻時，第5腹節背板倒鉤及6-10腹節轉向彈起，平貼在隧道壁。

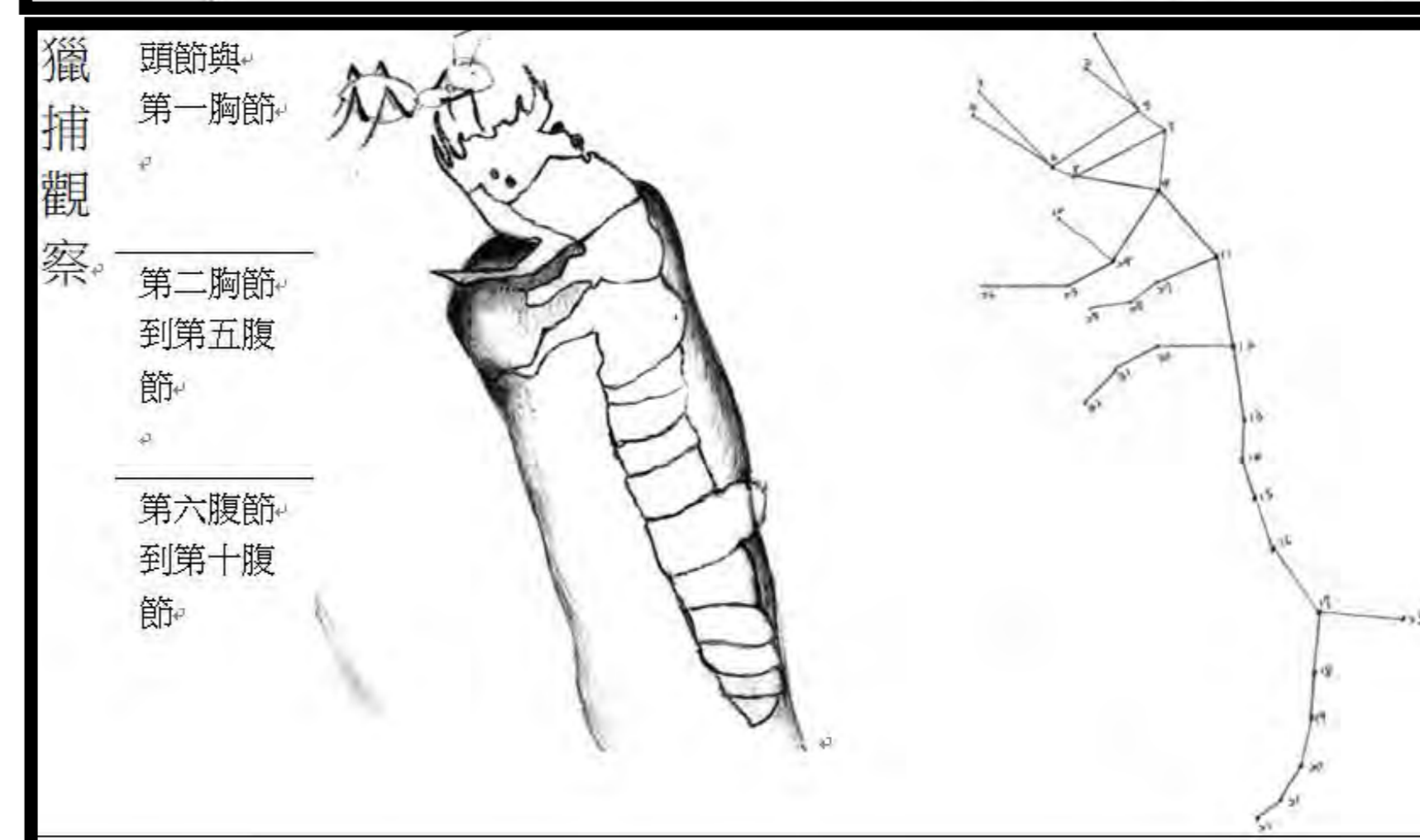
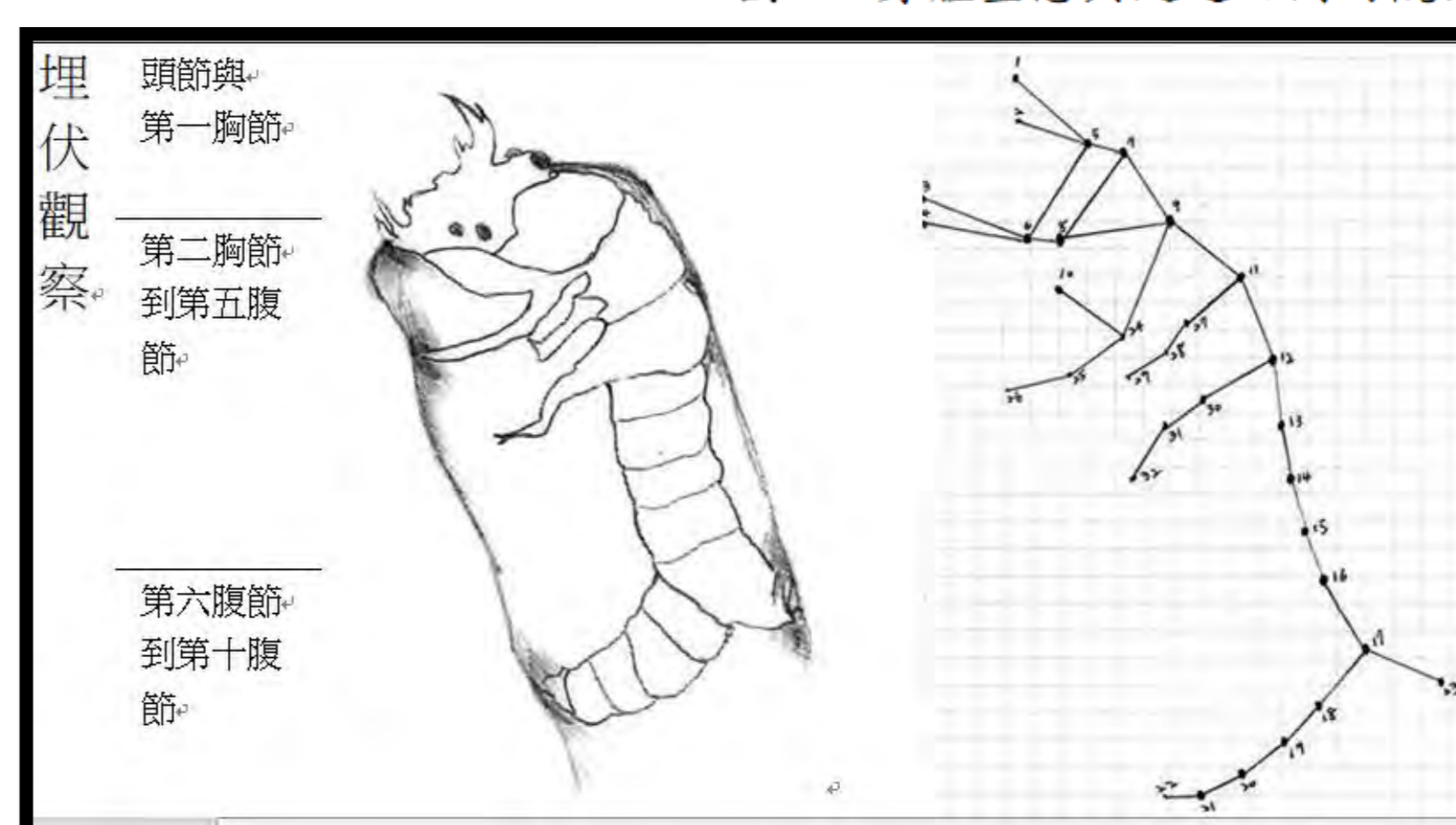


圖 13 獵捕螞蟻策略分析

【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。

二、研究結果：

- (一)埋伏狀態的生物力學分析：埋伏時，上唇、前足(*2)第5腹節及第10腹節與隧道接觸，共同支撐幼蟲埋伏隧道口，讓幼蟲的重量分散在上述五個支點上。幼蟲在埋伏時，使用分散重量的策略，維持穩定。
- (二)獵捕運動的生物力學分析：

1. 彈出隧道：幼蟲的頭、胸及1-4腹節朝螞蟻方向彈出，大顎、前足及口器用以撲捉螞蟻。我們歸納推論幼蟲獵捕螞蟻的彈射力量，是由第10及第5腹節所驅動。2. 拉回隧道：幼蟲獵捕到螞蟻時，瞬間收縮各體節間的膜質，同時將身體拉回隧道內，此時腹部第5腹節仍緊緊貼住隧道壁。第五腹節背部所長出的倒鉤，是否為幼蟲用以固定身體所長出的特殊構造，值得繼續檢驗。

柒、研究討論

研究發現與吳怡欣等人(2006)的研究有以下差異：一、幼蟲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。二、幼蟲獵捕時並未爬出洞外，而是使用彈射的方式，將頭部、胸部的體節射向獵物，並以腹部第5腹節尾鉤固定身體。幼蟲埋伏在隧道口時，會使用上唇、前足、第5腹節及第10腹節來支撐身體，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。獵捕時，會使用第10腹節及第5腹節合力將頭、胸以及1-4腹節彈出，運用節間膜的拉伸變形產生拉長與拉回策略來獵捕螞蟻。

捌、研究結論與建議

一、研究結論：(一)設計新的觀察工具，突破八星虎甲蟲幼蟲(土棲昆蟲)不易觀察的困境。(二)臺灣八星虎甲蟲幼蟲頭、胸、腹的比例1：2：3。(三)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。獵捕螞蟻分成「埋伏」、「彈出捕捉」、「拉回」三個步驟。(四)獵捕螞蟻的平均速率為10.22cm/s。(五)幼蟲埋伏在隧道口時，使用分散重量的策略來維持埋伏時的身體穩定。(六)幼蟲獵捕螞蟻的彈射力量，是由第10及第5腹節所驅動。此外，幼蟲利用6-10腹節瞬間收縮的力量，將各體節間的膜質拉長，產生拉伸變形，讓幼蟲能順利彈出獵捕螞蟻。

二、研究建議：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? 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)。眼突頸利的虎甲蟲。取自環境資訊中心網站, 網址: <http://e-info.org.tw/node/35519>。
楊維晨(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。臺北市: 遠流出版社。
張至滿、劉錦璋、陳帝佑、洪得明、陳重佑、何維華、蔡慶祿、朱彥穎與程欣儀(2015)。運動生物力學。臺北市: 禾楓書局。