

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 生物科

第三名

080306

調查與飼養臺灣扇角金龜 (*Trigonophorus rothschildi varians*)~翅鞘顏色會改變的原因探討

學校名稱：臺北市私立復興實驗高級中學(附設國小)

作者：	指導老師：
小六 胡維恩	林淑慧
小五 林琦皓	陳佳宜
小五 吳丹睿	
小四 黃顥	
小四 賴宣	
小五 黃妍馨	

關鍵詞：臺灣扇角金龜鞘翅的結構色、不同日光角度  
鞘翅週期顏色變化

# 摘要

臺灣扇角金龜是臺灣特有種的鞘翅目昆蟲，體色多變像閃亮的寶石，多生長在海拔一千公尺的森林裡，我們想要揭開此種特殊生物的生物行為，進行生態調查。為了觀察在土團中產卵孵化情形，我們將牠們帶回實驗室，模擬拉拉山環境條件進行飼養，完成兩代的生活史。鞘翅實驗中，發現太陽照射後顏色會改變，在覓食、求偶、躲避敵人等不同情況時，鞘翅顏色會改變，我們分析並歸納結果。將鞘翅固定在 360 度尺規，每 30 度改變角度觀察顏色變化，發現鞘翅顏色在一天中都有週期性變化，翠綠色和橙黃色鞘翅，改變日光角度後將呈現黃色；藍紫色鞘翅，改變日光角度後將呈現深藍色，當光強時呈現金屬光澤時，具有刺眼、隱蔽效果。

## 壹、研究動機

拉拉山構樹的果實上竟然有一群金龜子成蟲在吸汁液，經過志工解說，我們很驚訝原來牠們是臺灣特有種的鞘翅目昆蟲－臺灣扇角金龜。牠們多生長在海拔一千公尺處，成蟲是日行性的。我們觀察到牠們瑰麗的外殼，在閃耀的陽光底下會變色，似乎與陽光照射的角度有關係。我們進行野外生態調查，同時捕抓三十隻並飼養牠們，期待能找出牠們躲避敵人、尋找配偶、交配繁殖，與日光角度之間的關係，並做出結論。(本研究與課程的相關單元為四年級「昆蟲王國」、五年級「動物大觀園」、六年級「臺灣的生態」)

## 貳、研究目的

- 一、在桃園拉拉山調查臺灣扇角金龜，包含成蟲與幼蟲的棲息環境、外形構造、數量。
- 二、探討臺灣扇角金龜喜歡棲息在哪些樹木或果實上，取食樹汁、果汁。
- 三、觀察臺灣扇角金龜鞘翅的顏色會改變，是否和鞘翅的結構有關。
- 四、臺灣扇角金龜鞘翅的顏色變化，是否和躲避敵人、尋找配偶、交配有關係。
- 五、使用陽光以不同角度照射臺灣扇角金龜的鞘翅，歸納臺灣扇角金龜的鞘翅顏色的改變是否具有週期性。
- 六、飼養臺灣扇角金龜，比較戶外觀察和實驗室飼養生活史差異；解決飼養產生的問題。

## 文獻回顧

### 一、臺灣扇角金龜外型構造與生活史

臺灣扇角金龜為臺灣特有種，體長大約 25 - 35 mm，屬於中大型金龜，體色多變，一般翠綠色系，不同角度看具有橙黃色的金屬光澤，少數有藍色、藍紫色、紅色。雄蟲頭部前方具一扇角突起，中央後端有一枚三角形盾狀突起，端部較尖，雌蟲頭前扇角柄部較短且寬，頭部後端的突起為長方形。臺灣扇角金龜普遍分布於低中海拔山區，成蟲 6-11 月出現，喜歡訪花，常群聚吸食構樹的漿果。雌蟲產卵前會先挖土穴，用腳和頭將落葉拖進洞裡，紮成羽球狀的土團，在裡面塞滿葉、花瓣、葉梗等有機質，於其中產卵，之後將土團埋在土中。幼蟲孵化後幾天便離開土團，到土中生活。成熟幼蟲會選擇黏土和細砂構築蛹室化蛹，在晚冬或初春羽化為成蟲，在蛹室內蟄伏到夏天才離開。



圖 1：臺灣扇角金龜成蟲公母的分辨

### 二、鞘翅目成蟲的採集

停留在高大樹木上的鞘翅目昆蟲，可使用「扣網振落法」進行捕捉採集；先在樹下鋪上白布，用堅硬木棍敲打樹枝樹葉，利用鞘翅目昆蟲的假死習性，將牠們振落到白布上進行收集，再計算數量。殼斗科樹木及構樹，可以使用鳳梨片放入絲襪掛在殼斗科樹木、構樹上，以「誘捕法」誘捕昆蟲。吸引臺灣扇角金龜。對於沒有假死習性的昆蟲，在木棍敲打振動時，昆蟲就會飛走，可以使用捕蟲網捕捉。金龜子科昆蟲都有趨光性，「燈光誘集法」是利用昆蟲趨光的習性，捕捉趨光性昆蟲。在沒有月亮的黑夜，選擇適當的地點懸掛白布與誘蟲燈，趨光性昆蟲見到燈光，便會自動飛來。

### 三、鞘翅目幼蟲的採集

首先要辨識可能有鞘翅目幼蟲的土壤，1~3 齡幼蟲喜歡排水良好的沙質壤土，附近有大喬木可以吸食樹汁；尋找缺乏灌溉地區或山地微酸性之紅黏壤土皆有分布，土壤含水量在 15~18% 之間，鞘翅目幼蟲較多。幼蟲孵化後以咀嚼式口器取食植物的根部，枯朽腐木及纖維當食物，棲息於腐植土中，可以利用腐植土飼養幼蟲。(資料來源：陽明山國家公園鞘翅目昆蟲物種多樣性資源調查。)

### 四、金龜子的鞘翅構造~結構色

自然界中的顏色主要有三個來源：生物發光、色素色、結構色。結構色是指光照射在蟲體表面的微觀結構，產生折射、繞射及干涉，是自然界中色彩最為多變的顏色。具有金屬光澤的甲蟲殼、蝴蝶或飛蛾閃閃發光的鱗片，都是典型的結構色。結構色有多種來源，最普遍的是體表、翅膀的「多層反射膜」，常見於金龜子、蒼蠅、吉丁蟲。文獻中提到，在顯微鏡下觀察琥珀化石裡的昆蟲，歸納出昆蟲具有結構色。他們使用掃描電子顯微鏡和穿透式電子顯微鏡分析發現，昆蟲體表結構色表面的藍綠色，是由多層重複出現的奈米級構造組成，是多層反射膜；肥皂泡具有的五顏六色，也是多層反射膜。(資料來源：揭秘這些昆蟲為何穿越億年仍能自帶光芒。)



圖 2：鞘翅目鞘翅的多層反射膜

圖 3：肥皂泡的多層反射膜

我們看見的「可見光」，波長介於 400 奈米至 700 奈米之間 (nm = nano meter = 奈米，1 奈米 =  $10^{-9}$  公尺)。金龜子鞘翅具有特殊的微結構，這些微結構呈現週期性排列與多層的結構，當光線進入這些微結構陣列後，會產生光線的折射、繞射、干涉等現象，使得光線的波長產生改變，反射出來進入我們眼睛時，發現顏色改變了。昆蟲的結構色可能參與昆蟲的熱調節、隱蔽色、吸引異性、尋找配偶有關；因此不同色彩的結構色出現在不同種類的昆蟲中，暗示了森林存在複雜的生態關係。(資料來源：昆蟲的奈米色彩。)

## 參、研究設備及器材

研究設備、研究器材、自製工具如圖 4、圖 5。



圖 4：360 度可旋轉圓尺、土壤偵測器、溫度計、風速計、鳳梨、捕蟲網 (6m)、鏟子、落葉、絲襪



圖 5：長竿蟲鉤、游標尺、甜度計、大蟲網、10m 長竿、USB 土壤偵測器

## 肆、研究過程或方法



### (一) 桃園拉拉山地區調查臺灣扇角金龜

1. 歷經 2 年的戶外調查臺灣扇角金龜，調查範圍包含 5 個踏查地點：插天山自然生態保留區、拉拉山遊客中心、塔曼山大水塔、巴陵古道生態園區、巴陵吊橋。調查地點附有 Google 地圖、剖面高度標示做說明(圖 6)。

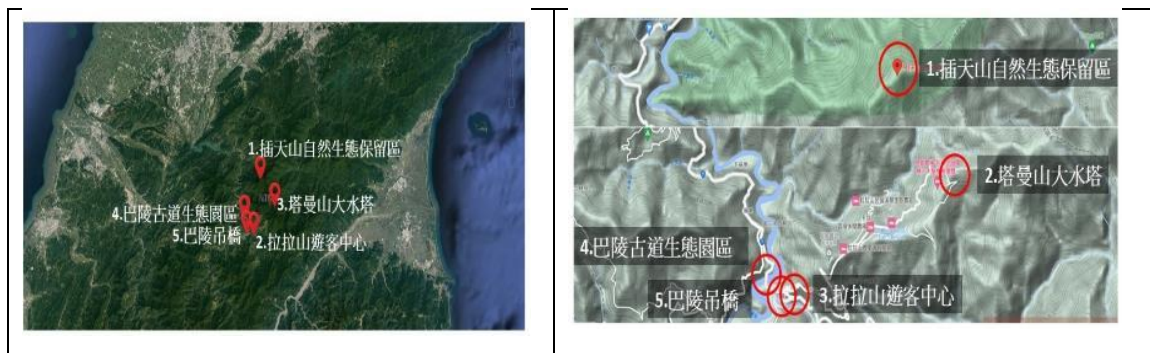
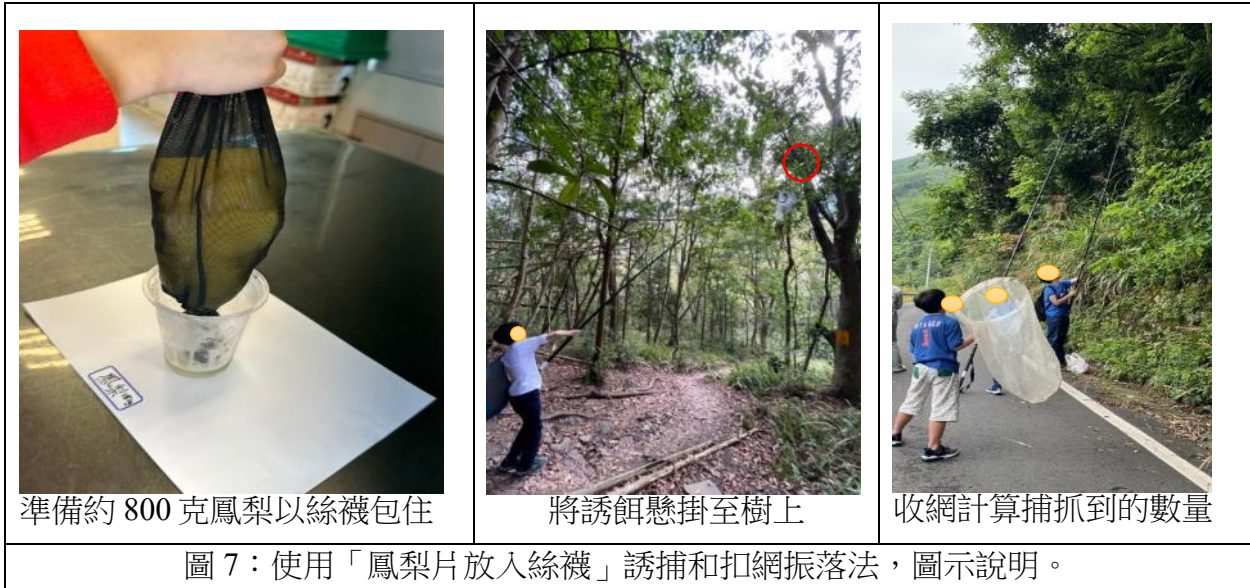


圖 6：調查臺灣扇角金龜的 Google 地點、剖面高度說明

2. 使用鳳梨片放入絲襪「誘捕法」和「扣網振落法」，掛在調查地區的樹木(光臘樹、構樹、青剛櫟等)吸引臺灣扇角金龜成蟲。在構樹果實上發現成蟲，計算各樹種所蒐集到的成蟲數量，觀察雌雄個體的差異(圖 7)。



3. 尋找適合幼蟲生長的土壤，有：巴陵古道生態園區、插天山自然生態保留區，土壤 pH7、土壤含水量 18%，挖掘尋找臺灣扇角金龜的幼蟲，計算數量，觀察各齡幼蟲的外形、體重、雌雄個體的差異。
4. 蒐集有臺灣扇角金龜幼蟲的土壤(圖 8)，測試酸鹼值、溼度和腐植質成分分析。



圖 8：五個地點的土壤採集

## (二) 臺灣扇角金龜喜歡棲息的樹種

1. 蒐集成蟲最多數量的樹種，觀察成蟲的口器，如何取食樹汁或果汁。
2. 將有棲息成蟲的各種樹種，蒐集樹汁，使用手持式糖度計去檢驗是否含糖，哪一樹種的含糖量較高(圖 9)。

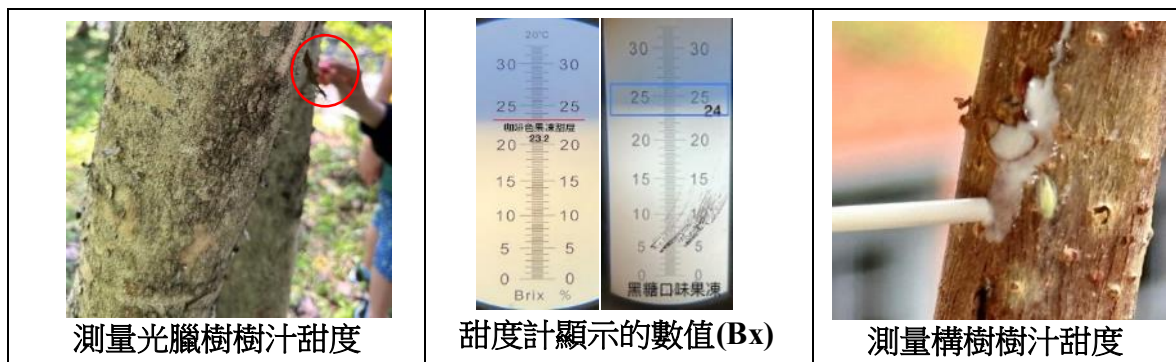


圖 9：練習使用手持式糖度計測試果凍、樹汁，閱讀甜度的數值

3. 比較樹種含糖量的高低和臺灣扇角金龜成蟲棲息是否有關係。

### (三) 臺灣扇角金龜鞘翅的顏色在日光下會改變

1. 野外調查發現在陽光下臺灣扇角金龜鞘翅的顏色會改變，呈現綠、黃綠、橙黃色的變化。
2. 閱讀國外文獻，了解臺灣扇角金龜鞘翅的結構。
3. 利用光學顯微鏡觀察鞘翅的表面構造，再請臺大實驗室協助，利用掃描式電子顯微鏡觀察鞘翅的表面構造。
4. 根據觀察結果，嘗試解釋鞘翅的結構色，是否具有多層反射膜的微結構。

### (四) 臺灣扇角金龜鞘翅顏色變化的意義

1. 根據文獻探討，希望了解成蟲鞘翅顏色變化是否和躲避敵人、尋找配偶、交配有關。
2. 盡量蒐集臺灣扇角金龜在覓食、交配、躲避敵人的照片，分成三類。
3. 將覓食、躲避敵人照片、交配照片，進行分析，看是否能找出一些規律性出來。輸入臺灣扇角金龜照片，共有 100 張躲避敵人(隱蔽色)、100 張交配、100 張覓食的照片 (圖 10)。



圖 10：100 張躲避敵人(隱蔽色)、100 張交配、100 張覓食的照片



### (五) 臺灣扇角金龜鞘翅的結構色

1. 為了證明臺灣扇角金龜的鞘翅是屬於結構色，利用太陽光不同角度照射，應該會有不同的顏色變化。
2. 將臺灣扇角金龜成蟲固定在有 360 度的尺規(如圖 11)上照太陽，固定手機在一定位置，開啟近拍模式，採連續拍攝 5 張照片。
3. 然後轉動成蟲尺規的角度從 0 度轉成 30 度，一樣用手機開啟近拍模式，連續拍攝 5 張照片。
4. 再轉動成蟲尺規的角度從 30 度轉成 60 度，一樣用手機開啟近拍模式，連續拍攝 5 張照片。
5. 以此類推，每次換 30 度角，拍攝；最後轉動成蟲尺規的角度為 330 度，一樣用手機開啟近拍模式，連續拍攝 5 張照片。
6. 尋找臺灣扇角金龜鞘翅顏色變化的週期性，證明是否為結構色。
7. 以色差儀來確定結構色，機器會顯示相應顏色 Lab 值(圖 12)，進行歸納。

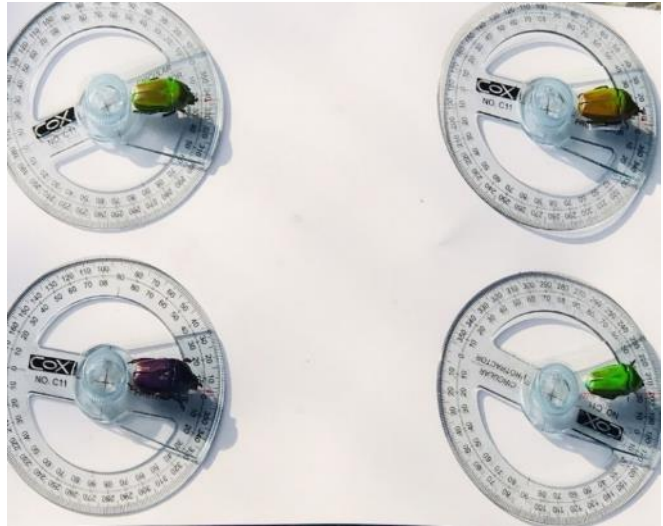


圖 11：成蟲在 360 度尺規上轉不同角度照太陽

			
手持式直接放在鞘翅上，操作簡易。	錐狀測量探頭可以測量小型鞘翅。	輕輕接觸鞘翅可以立即測量出數值。	顯示檢驗顏色，尋找相應顏色 Lab。

圖 12：色差儀確定結構色的操作說明

### (六) 比較戶外觀察和實驗室飼養，臺灣扇角金龜的生活史

1. 在實驗室飼養臺灣扇角金龜，利用自己研發的潛望鏡觀察幼蟲生長、進食情形。
2. 記錄臺灣扇角金龜的完全變態，共卵、幼蟲、蛹、成蟲四個時期的生長狀況、平均時間，估算飼養環境下的生活史。
3. 討論實驗室飼養臺灣扇角金龜所遇到的困難和如何解決問題，例如：腐植土的選擇和置放時間。

4. 蒐集文獻和自己的野外調查結果，估算自然環境下的臺灣扇角金龜生活史。
5. 比較臺灣扇角金龜生活史在自然環境下和飼養環境下的差異，並推測可能原因。

## 伍、研究結果

### 一、桃園拉拉山地區調查臺灣扇角金龜

#### (一) 成蟲野外棲息環境調查結果

我們發現拉拉山的步道到處散布著厚達十公分由青剛櫟、樟樹、楓樹、孟宗竹的混合大量落葉層(圖 13)，尤其此地的青剛櫟樹林遍佈是非常特殊的景象，有的甚至高達二十公尺的高大樹林，滿地是青剛櫟果實和落葉。我們觀察臺灣扇角金龜多棲息在海拔 1000 公尺以上、腐植土與落葉纖維多的森林區、氣候以陰暗溼冷為棲息地。成蟲外形具有扇角的特殊性，在七、八、九月較多，出現時間剛好是構樹果實成熟、殼斗科青剛櫟開花時節。我們推測臺灣扇角金龜成蟲在海拔 1000 公尺森林出沒，與這些植物出現期間有關，能夠提供足夠的食物。



拉拉山五個採集地點發現找到成蟲最多的樹木為青剛櫟、構樹和光臘樹，主要原因這三種樹是大量分布海拔約在 1000m~ 2000m 的山坡地，因為容易生長常會形成闊葉林或針闊葉混交的茂密森林，吸引著大量各式各樣的甲蟲，以下是踏查發現的最高海拔高度與植物分布表，發現樹種分布的海拔高度與臺灣扇角金龜數量有成正比的情形(圖 14)。

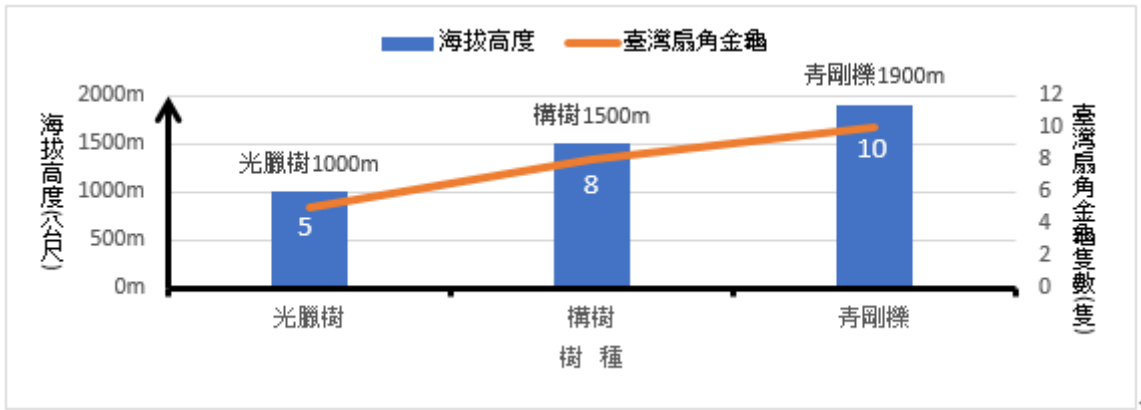
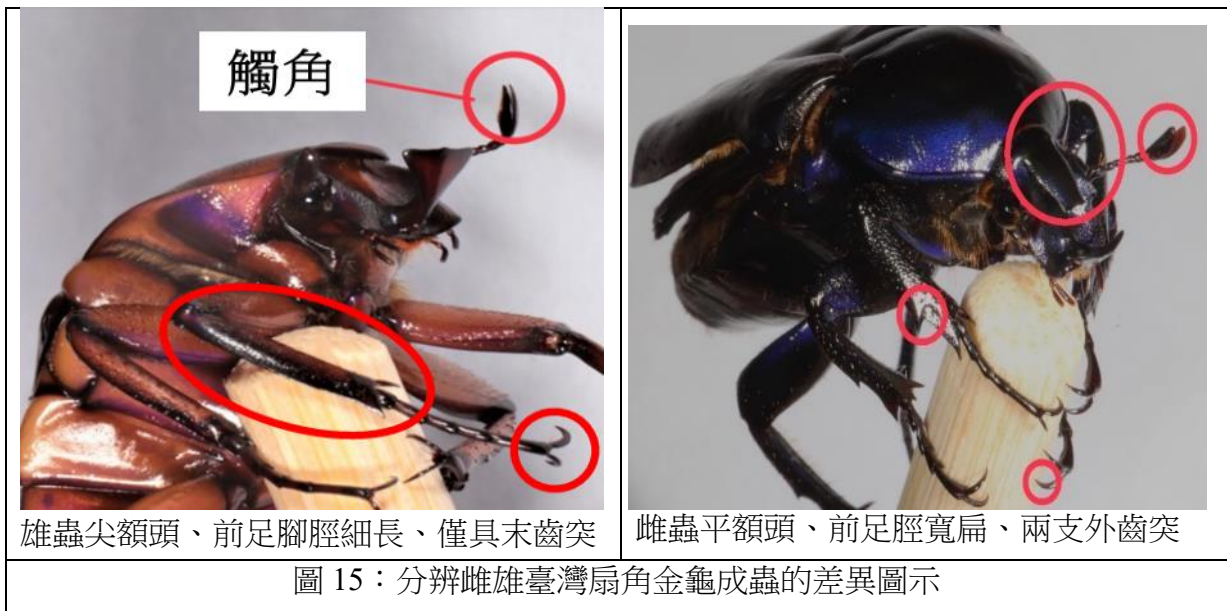


圖 14：樹種分布的海拔高度與臺灣扇角金龜數量分布情形

### (二) 成蟲的外形構造雌雄的差異

我們發現分辨臺灣扇角金龜成蟲雌雄的方法：雄性頭部後緣中央具長三角形突起、前足腳脛細長、僅具末齒突；雌性頭部後緣中央具長方形突起、前足腳脛寬扁、具明顯兩支外齒突(圖 15)。



### (三) 成蟲棲息環境溫度與捕抓數量調查結果

我們調查 2021 年、2022 年的氣溫，並統計兩年的成蟲捕抓數量，發現 2021 年捕抓 36 隻，集中在 7、8、9 月(圖 16)，2022 年捕抓 31 隻，也是集中在 7、8、9 月(圖 17)。2022 年的氣溫較高(最高溫 2022 年 36.1 度、2021 年 35.3 度)，可能是造成採集成蟲體數量少於 2021 年的原因。推測桃園拉拉山地區氣候因子的改變，可能影響臺灣扇角金龜的數量。成蟲多出現在海拔 1000 公尺以上的地區，也代表著不適應平地的高溫。這兩年的採樣量，可能不足以代表桃園拉拉山地區的全體數量，或許我們沒有採集的地點也有成蟲聚集。

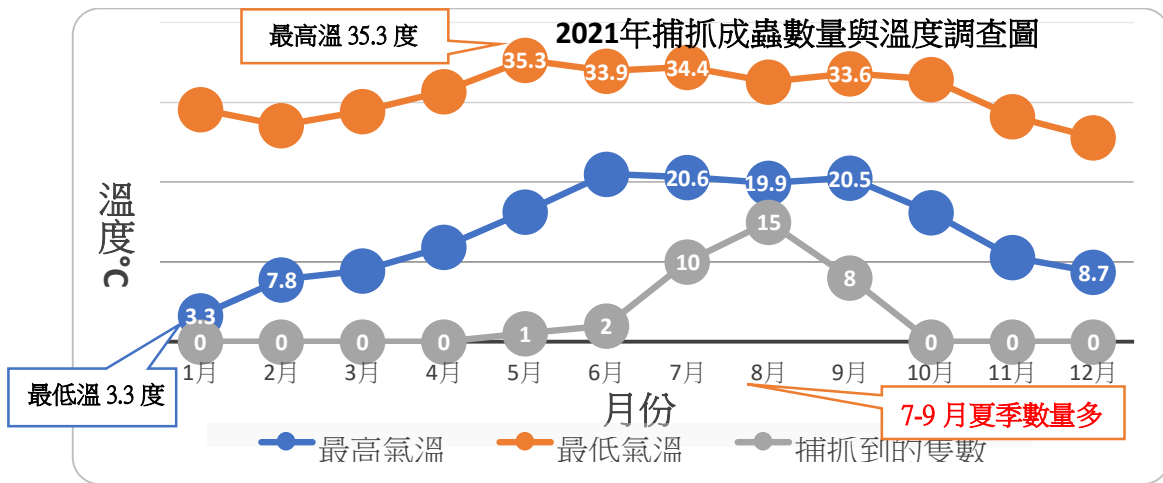


圖 16：2021 年成蟲棲息環境的溫度與捕抓數量調查圖

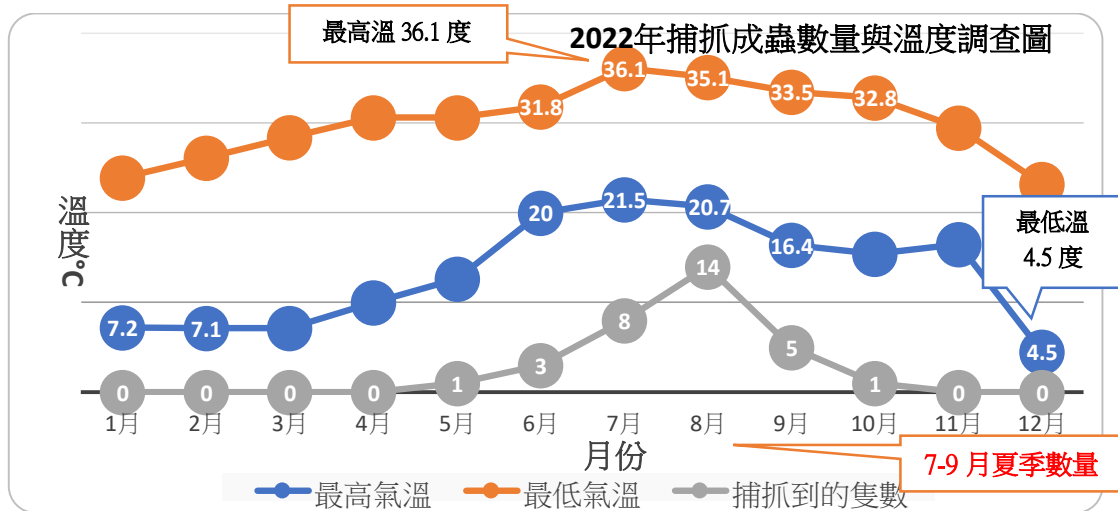


圖 17：2022 年成蟲棲息環境的溫度與捕抓數量調查圖

#### (四) 分析五個地點的土壤

我們發現土壤裡都含有許多碎屑包含非常多的腐植質、動物屍體、黑色膠狀物質，代表鞘翅目幼蟲喜歡含水的黏土土壤。將五個地點的平均溼度(%)和平均酸鹼度(pH)，說明如圖 18 所示。土壤內容分析說明如圖 19 所示。

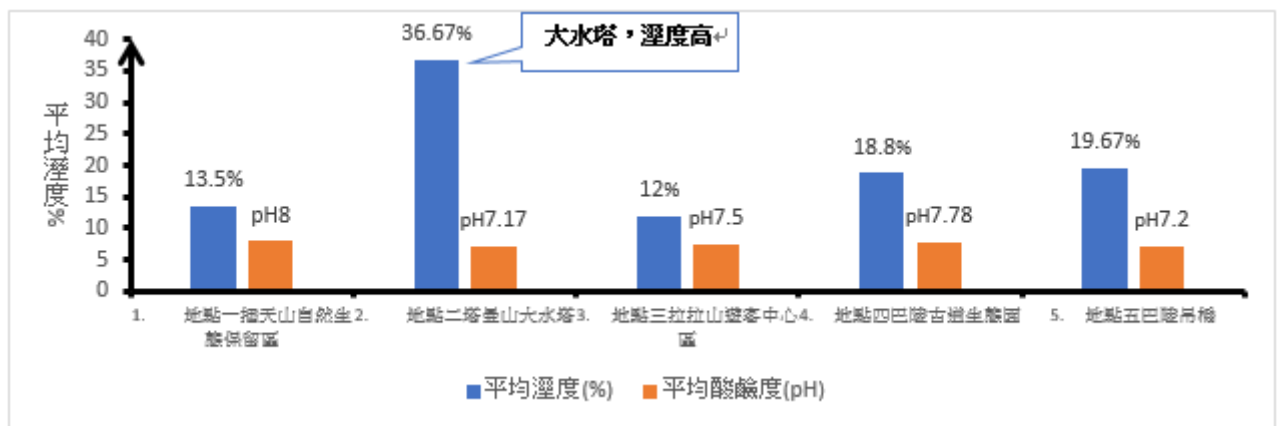


圖 18：五個地點土壤的平均溼度、平均酸鹼值分析

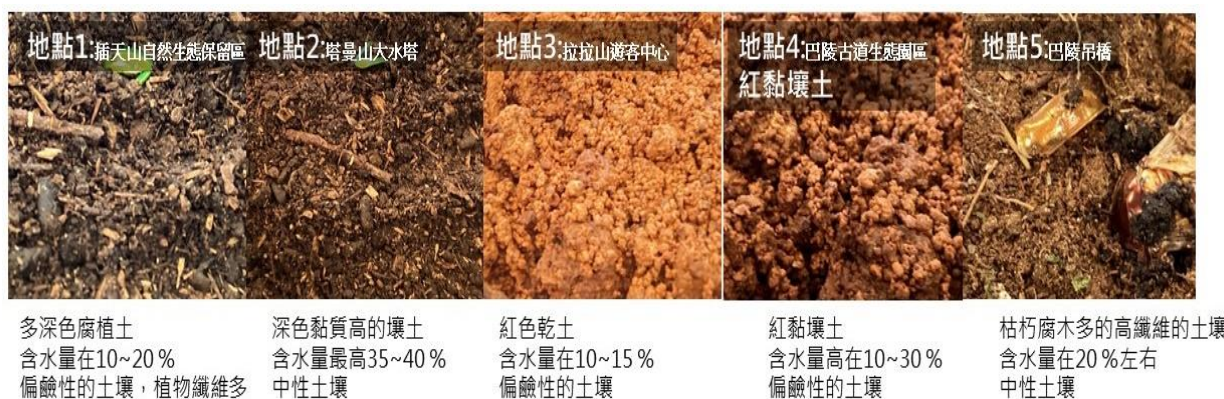
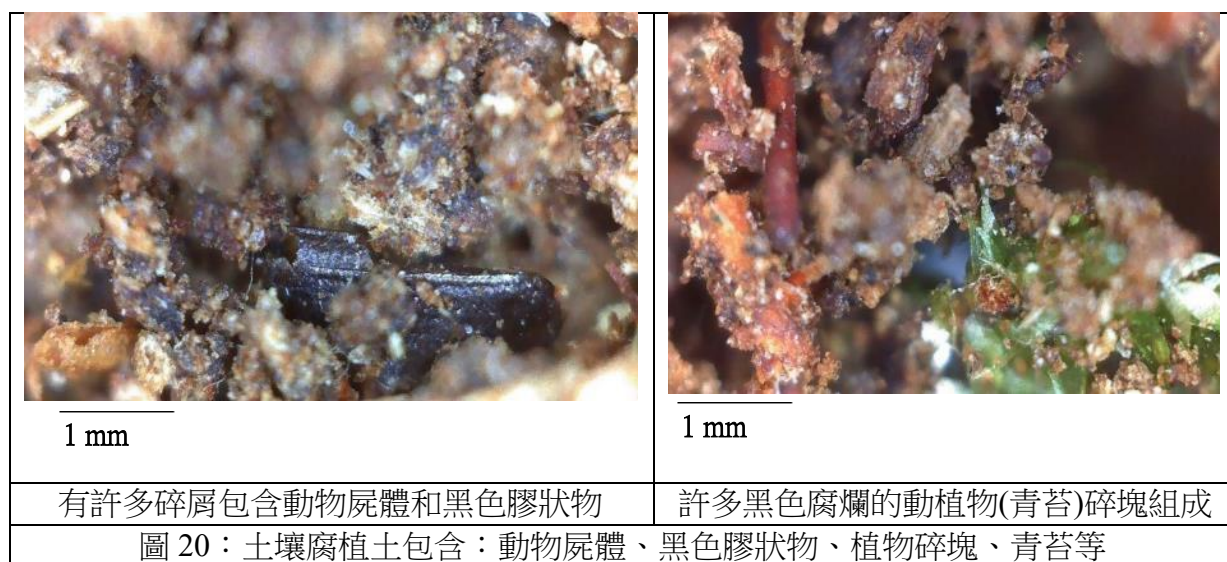


圖 19：五個地點土壤的內容分析

以螢幕式解剖顯微鏡觀察土壤成份(圖 20)，發現顏色愈深的腐植質愈多，呈現黑色、黏滯狀；因為環境潮溼，所以土壤的含水量很高，顏色深，其中含有當地的許多小石頭，紅黏土壤是從倒木的樹心腐化的土稱為樹心土。最特別的是，肉眼看不見綠色的青苔，在顯微鏡下竟然觀察的到，青苔似乎生長的非常好。



## 二、探討臺灣扇角金龜喜歡棲息的樹木或果實

### (一) 臺灣扇角金龜喜歡棲息的樹木

我們在戶外踏查，使用鳳梨片放入絲襪「誘捕法」和「扣網振落法」掛網的樹種、觀察結果，說明如圖 21 所示。

	
<p>青剛櫟高約 20 公尺，樹皮灰褐色、略光滑，因為環境潮溼，有許多藤蔓類植物攀爬在莖部。(拍攝於拉拉山遊客中心旁)</p>	<p>構樹高約 20 公尺，樹皮暗灰色，雌雄異株，果實呈圓球形，果肉橙紅色，是群蟲最愛吸食果汁。(拍攝於巴陵吊橋)</p>
	
<p>青剛櫟樹開花吸引著成蟲，莖部被成蟲啃咬留下垂直食痕，除了金龜子外亦可看到鍬形蟲、獨角仙、蜂類等啃咬。(拍攝於復興鄉光華，近拉拉山遊客中心旁)</p>	<p>青苔是成蟲最愛做成土團產卵的植物纖維的植物之一。落葉中有十幾種高大樹木的落葉，林相生態非常豐富。(拍攝於巴陵古道生態園區)</p>

圖 21：戶外踏查的樹種、地面青苔分析

## (二) 觀察臺灣扇角金龜的口器

我們發現成蟲的口器為咀嚼式口器，由上唇、上顎、舌(各 1 片)、下顎、下唇(各 2 個)五部分組成；先用發達的上顎咬破樹皮，流出汁液，再用舌、下唇取食樹汁、果汁(圖 22)。

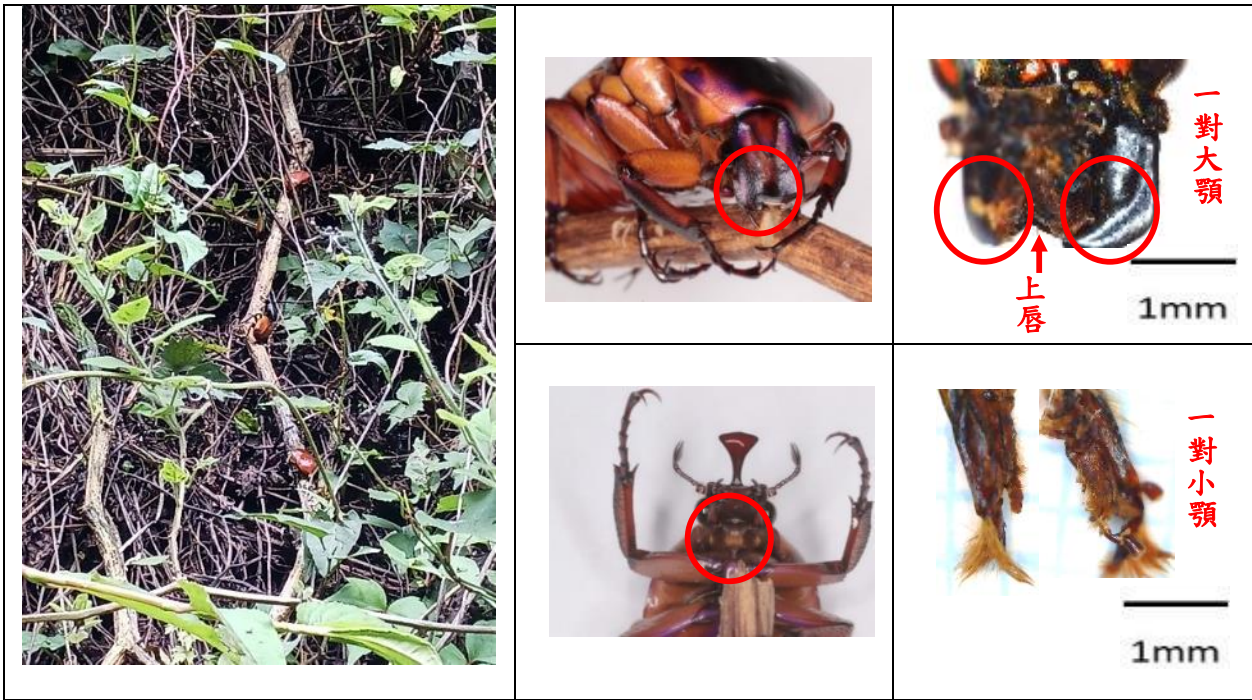


圖 22：臺灣扇角金龜的口器(咀嚼式口器:包含大、小顎和唇)

### (三) 檢驗各種樹汁的含糖量

蒐集青剛櫟、構樹、光臘樹、飼養幼蟲的果凍、誘捕成蟲的鳳梨。使用手持式糖度計法檢驗含糖量，結果說明如圖 23 所示。我們發現青剛櫟花蜜、果凍、鳳梨甜度計都有反應，推測糖含量很高，足以吸引臺灣扇角金龜前來覓食。但是，我們發現構樹、光臘樹、青剛櫟的樹汁，甜度計的光折射都有反應，推測昆蟲吸取莖部汁液和花蜜都是為了補充水分、補充必須的營養物質重要來源。

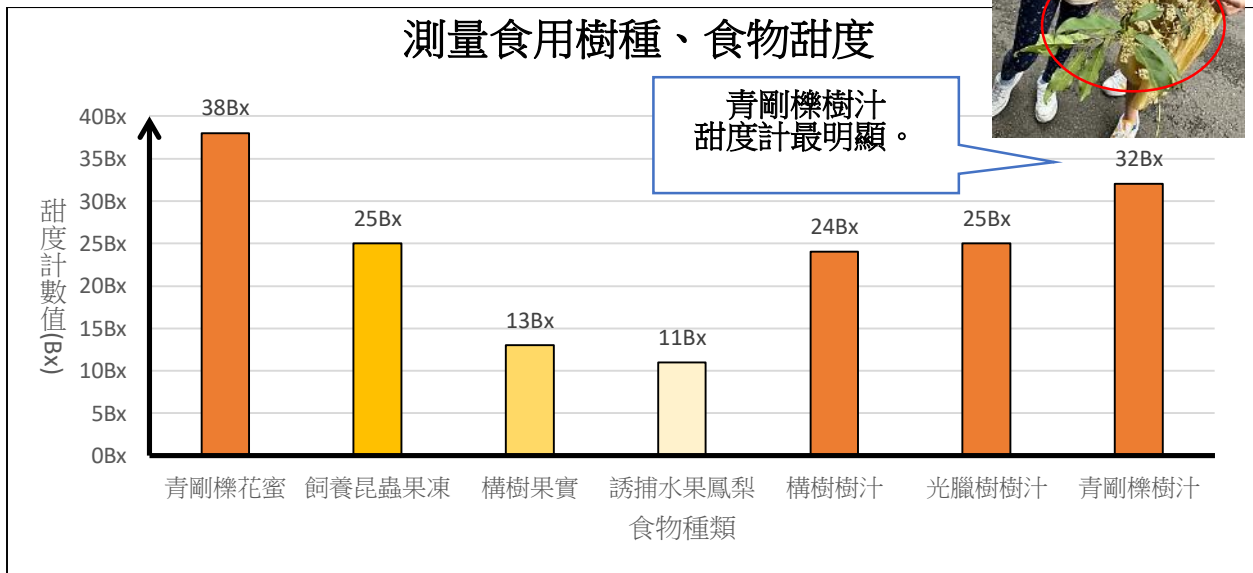


圖 23：各種樹汁、果汁的含糖量

### 三、臺灣扇角金龜鞘翅的顏色在日光下會改變

#### (一) 野外觀察發現

我們發現在青剛櫟、構樹、光臘樹樹幹上，臺灣扇角金龜鞘翅的顏色會隨著太陽光照射的角度不同而改變顏色，常見有綠色、橙黃色、藍色、紫色。

#### (二) 閱讀國外文獻，了解鞘翅結構

我們閱讀國外文獻(Biró et al., 2010; Sun & Bhushan, 2012) 以電子掃描顯微鏡(SEM)掃描金龜子鞘翅，嘗試理解文獻內容，畫出扇角金龜子鞘翅的紋理構造，如圖 24 所示；SEM 顯微結構證實薄膜間的干涉作用與昆蟲「結構色」有關。我們試圖歸納出光學特性，奈米晶體結構相互作用，將導致波長改變；波長增加，出現亮麗的彩虹色；波長減低，出現暗黑的色澤。

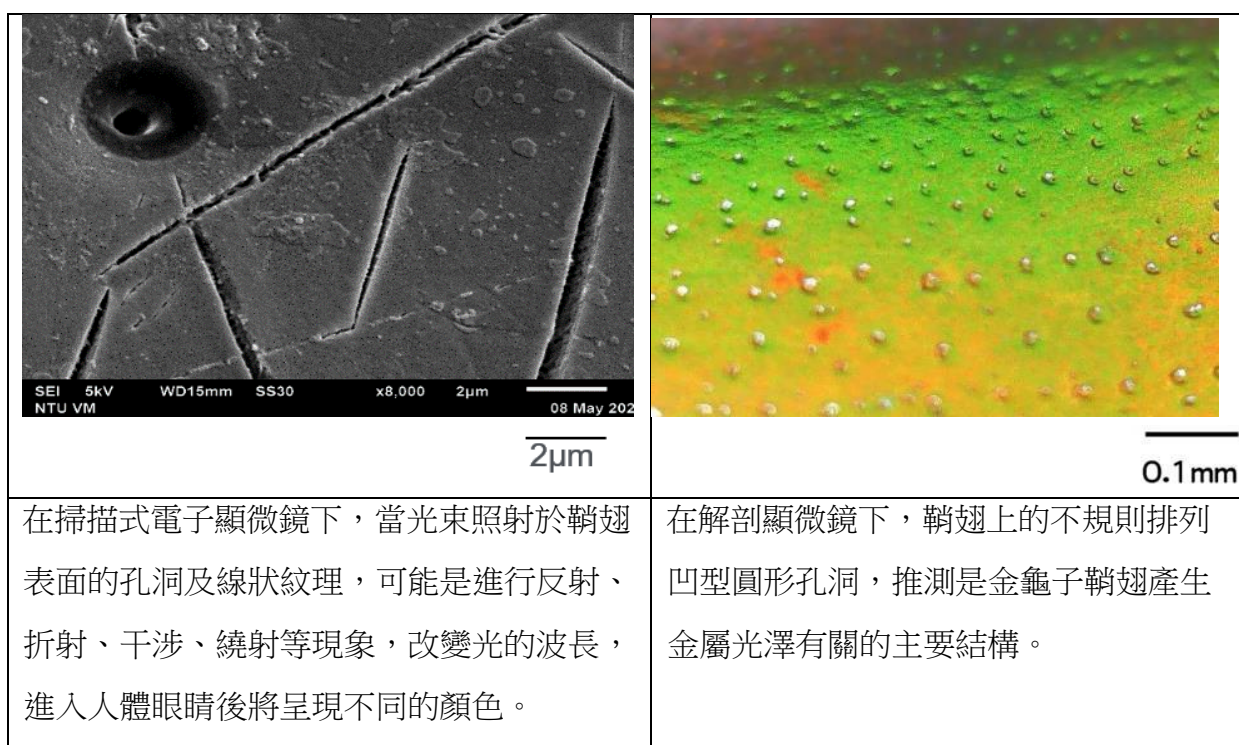


圖 24：金龜子鞘翅的結構

我們進一步以解剖顯微鏡、國外文獻掃描式電子顯微鏡 (SEM) 找出並歸納出鞘翅顏色變化。在解剖顯微鏡觀察鞘翅的表面構造，放大至約 100 倍就可以清楚看到金龜子鞘翅有凹面和凸面、大大小小近圓形的圓形孔洞 (圖 24)；解剖顯微鏡下發現肉眼看光滑的鞘翅，在顯微鏡下是許多不規則圓形排列所組成。推測這些扁平鱗狀結構、不平整的凹洞和凸洞與光線的可能作用有反射、干涉、繞射等光學效應。觀察鞘翅的表面構造、孔洞及線狀紋理 (圖 25)，發現鞘翅有六角形陣列，外觀質感如同金屬般光澤，其實就是多層膜的反射作用。



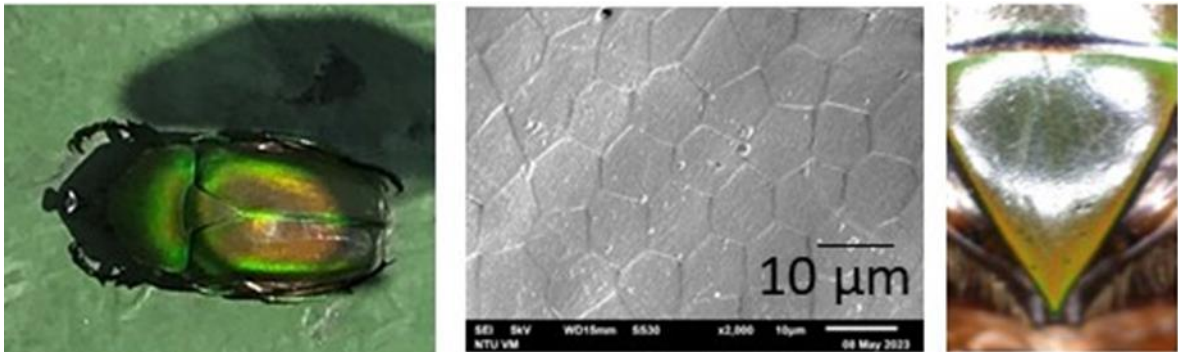


圖 25：歸納臺灣扇角金龜鞘翅的顯微結構，類似多層反射膜

#### 四、臺灣扇角金龜鞘翅結構色的週期性變化

色差儀的色彩模型：

L 表示黑白，也有說亮暗，+表示偏白亮，-表示偏暗黑；

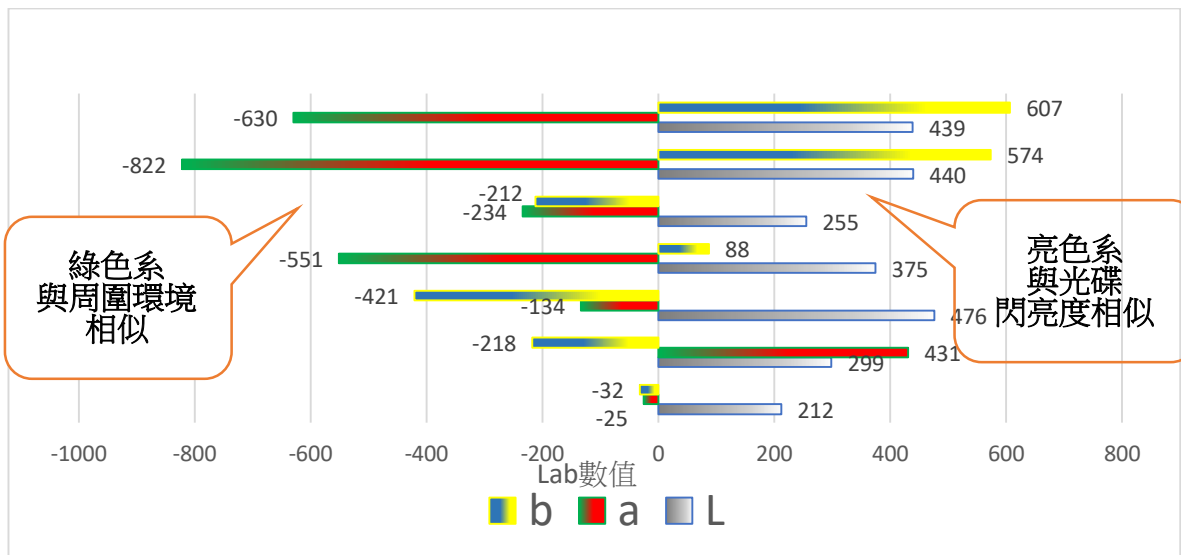
a 表示紅綠，+表示偏紅，-表示偏綠；b 表示黃藍，+表示偏黃，-表示偏藍；

結果如圖 26 所呈現。

照片描述	L	a	b	照片描述	L	a	b
禦敵 L: 212 A: -25 B: -302	212	-25	-32	覓食 1 L: 324 A: -649 B: 459	324	-649	459
禦敵 L: 299 A: 431 B: -218	299	431	-218	覓食 2 L: 216 A: -183 B: 61	216	-183	61
交配5502 L: 363 A: -191 B: 416	363	-191	416	覓食 10 L: 553 A: 124 B: 233	553	124	61
交配5501 L: 204 A: -416 B: 297	204	-416	267	覓食 11 L: 522 A: -392 B: 537	522	-392	537
交配3187 L: 251 A: -146 B: 365	251	-146	365	交配3191 L: 249 A: -508 B: 363	249	-508	363

圖 26：根據色差儀 Lab 測量數據

躲避敵人行為經大量照片分類，再經顏色 Lab 數值分析 (圖 27)，發現以綠色系為主，推測可能與周遭環境中樹葉、森林皆為綠色有關，因此以隱蔽色的綠色系為主。在亮度表現方面(L)，以亮色系為主，類似像農夫在稻草人身上掛上光碟片的效果相似，具有驚嚇的光影或類似暫時刺眼的光亮效果，達到讓天敵暫時看不見的隱蔽效果及躲避敵人行為。

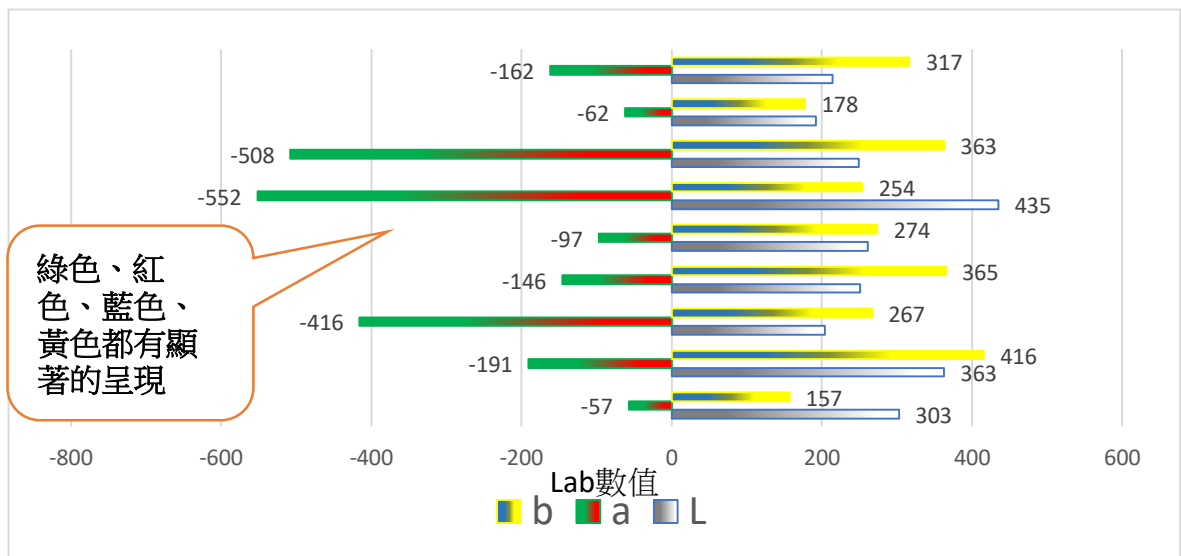


綠色系與周圍環境相似

亮色系與光碟閃亮度相似

圖 27：躲避敵人行為照片經分類後 Lab 數值分析

交配行為經大量照片分類，再經顏色 Lab 數值分析(圖 28)，可以明顯看到，雄蟲兩側具有鮮豔的顏色，推測可能跟雄蟲在上位的位置與光影所造成的色彩變化。無論在綠色、紅色、藍色、黃色都有大量的色澤被偵測到很高的亮度，推測交配行為時，與光線所產生的變化是繽紛的，具有多色彩的顏色。



綠色、紅色、藍色、黃色都有顯著的呈現

圖 28: 交配行為照片經分類後 Lab 數值分析

覓食行為經大量照片分類，再經顏色 Lab 數值分析(圖 29)，發現顏色分布非常極端與變異性大，推測可能是因為覓食時的環境變異大，時常會飛到樹頂找尋果實(紅色)、花序(黃色)，也會到樹幹吸取汁液(咖啡色)；臺灣扇角金龜鞘翅的顏色可能跟當時的環境相類似，受到環境影響顏色差異非常大，這一點也符合生物覓食的實際情形。

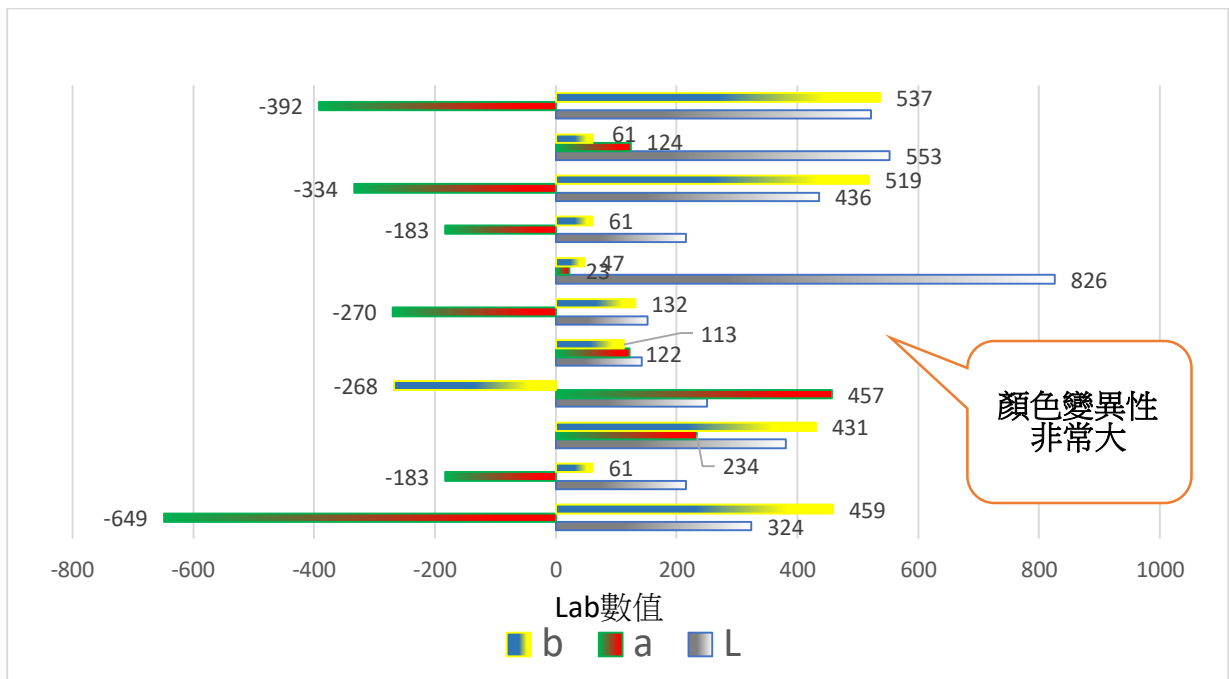


圖 29: 覓食行為照片經分類後 Lab 數值分析

發現四種綠色、橘色、綠橘色的臺灣扇角金龜鞘翅，當牠們與日光的不同角度會產生不同的顏色變化，運用 360 度尺規上轉不同角度照太陽，使用色差儀確定顏色。研究結果如圖 30、圖 31 所示。

4/21 PM 16:20 (傍晚)	5/10 PM 17:02 (傍晚)
<p>褐色蟲</p>	<p>藍紫色蟲</p>
<p>發現每 30 度的改變，增加到 180 度可以清楚發現太陽的反射會從鞘翅頭部的顏色變亮，然後太陽的反射逐漸消失。到 30 度後顏色變得最暗，回到近陽光 120 度，又看見偏紅色的顏色。</p>	<p>發現每 30 度的改變，增加到 210 度可以清楚發現太陽的反射會從鞘翅頭部的顏色變亮，然後太陽的反射逐漸消失。到 30-100 度後顏色變得最暗，回到近陽光 100 度，又看見偏藍色的顏色。</p>

圖 30：褐色成蟲、藍紫色成蟲的鞘翅顏色過 360 度旋轉的變化


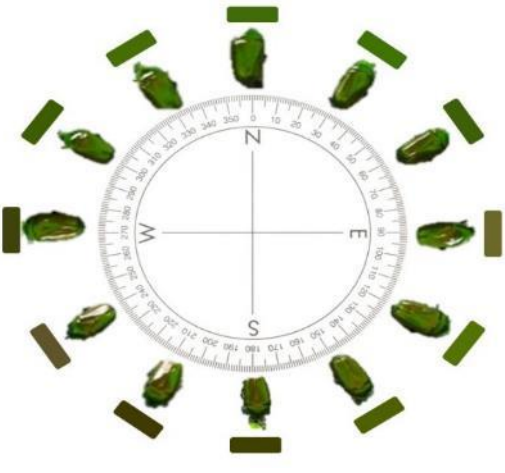

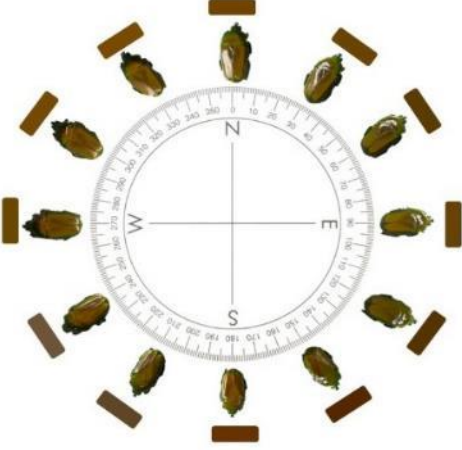
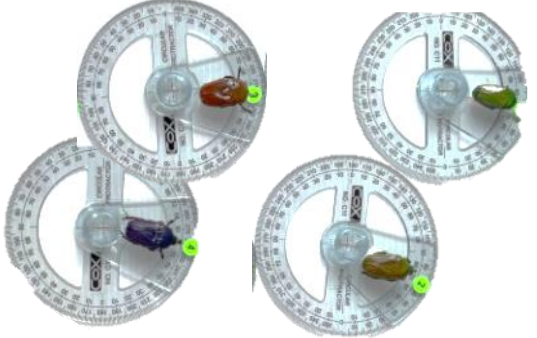

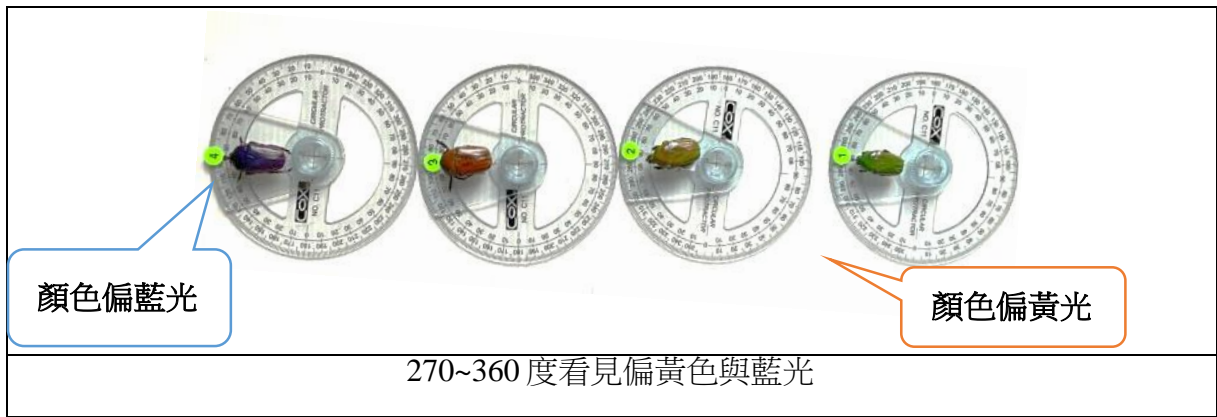
<p>3/21 AM 7:20 (清晨)</p> <p>翠綠色蟲 </p> 	<p>3/25 AM 7:10 (清晨) </p> <p>橙黃色蟲</p> 
<p>發現每 30 度的改變，增加到 90 度可以清楚發現太陽的反射會從鞘翅頭部的顏色變亮，然後太陽的反射逐漸消失。到 180 度後顏色變得最暗，回到近陽光 300 度，又看見偏黃色的顏色。</p>	<p>發現每 30 度的改變，增加到 90 度可以清楚發現太陽的反射會從鞘翅頭部的顏色變亮，然後太陽的反射逐漸消失。到 130-150 度後顏色變得最暗，回到近陽光 300 度，又看見偏黃色的顏色。</p>

圖 31：翠綠色成蟲、橙黃色成蟲的鞘翅顏色過 360 度旋轉的變化

我們發現翠綠色和橙黃色鞘翅改變角度後都會偏到黃色，藍綠色和藍紫色鞘翅改變角度後都會偏到深藍色，光強時呈現金屬光澤，具有刺眼暫時看不見的隱蔽效果。歸納結果發現 90~100 度，頭部的顏色會變亮，到 150~180 度最暗，近陽光的 270~360 度，又看見偏黃色或藍色的顏色。利用不同日光照度照射臺灣扇角金龜鞘翅，我們發現鞘翅會隨著日光照度不同產生不同的亮色；當日光照度高時，達到 20000 Lux，更會顯現金色系的金屬光澤，閃亮耀眼、更具有隱蔽的效果。

	
<p>90~100 度顏色變得亮</p>	<p>150~180 度顏色變得最暗</p>



## 五、臺灣扇角金龜的生活史

### (一) 實驗室飼養臺灣扇角金龜

我們發現野外的臺灣扇角金龜是一年一代，幼蟲以化蛹的方式在土壤內過冬；七到九月大量成蟲羽化，在夏天達到高峰。成蟲是日行性昆蟲，有群集性、趨光性，交配後在具有許多纖維質的土團中產卵後。秋天大量幼蟲開始成長，兩年野外調查大致相同。

採集臺灣扇角金龜回到實驗室後，我們以縮時錄影，觀察整天的活動情形(圖 32)，發現成蟲大部分的時間在休息、睡覺。凸起圓形物質就是蛹室，我們測量蛹室(圖 33)，範圍在 3.0-3.5 公分。我們進一步使用解剖顯微鏡觀察蛹室(圖 34)，發現有許多植物纖維、絲狀物、唾液黏合物等，推測是昆蟲排出黏液或唾液混合成黏著劑，用來製作蛹室。



圖 32：以縮時錄影，觀察牠整天的活動情形



圖 33：以方格紙、尺測量蛹室約 3-3.5cm

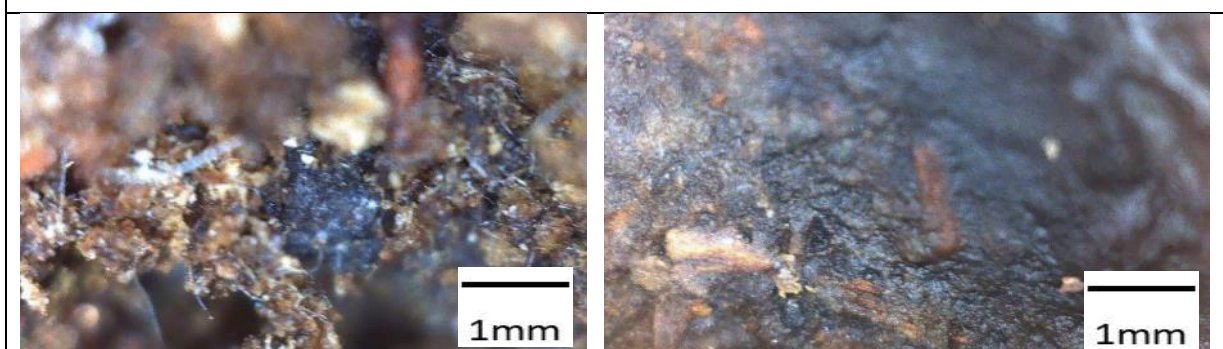


圖 34：以顯微鏡觀察蛹室 (左邊為蛹室外層、右邊為蛹室內層)

## (二) 估算臺灣扇角金龜的生活史

我們比較野外觀察的臺灣扇角金龜生活史，約 120-130 天，而在實驗室飼養的臺灣扇角金龜生活史，約 60 天，大約快了一倍的時間；各期說明如圖 35 所示。我們推測原因，臺灣扇角金龜非常稀少，生長於海拔一千公尺以上的山區，數量與族群無法大量生長，受限於營養來源、度冬問題；而實驗室飼養能提供充足的營養，沒有度冬問題 (圖 36)。但是我們無法明確驗證生活史實驗結果的正確性，我們期待未來有更多研究者能投入更長期的研究，加以驗證我們的初步結果。



圖 35：野外觀察、實驗室飼養，臺灣扇角金龜生活史紀錄

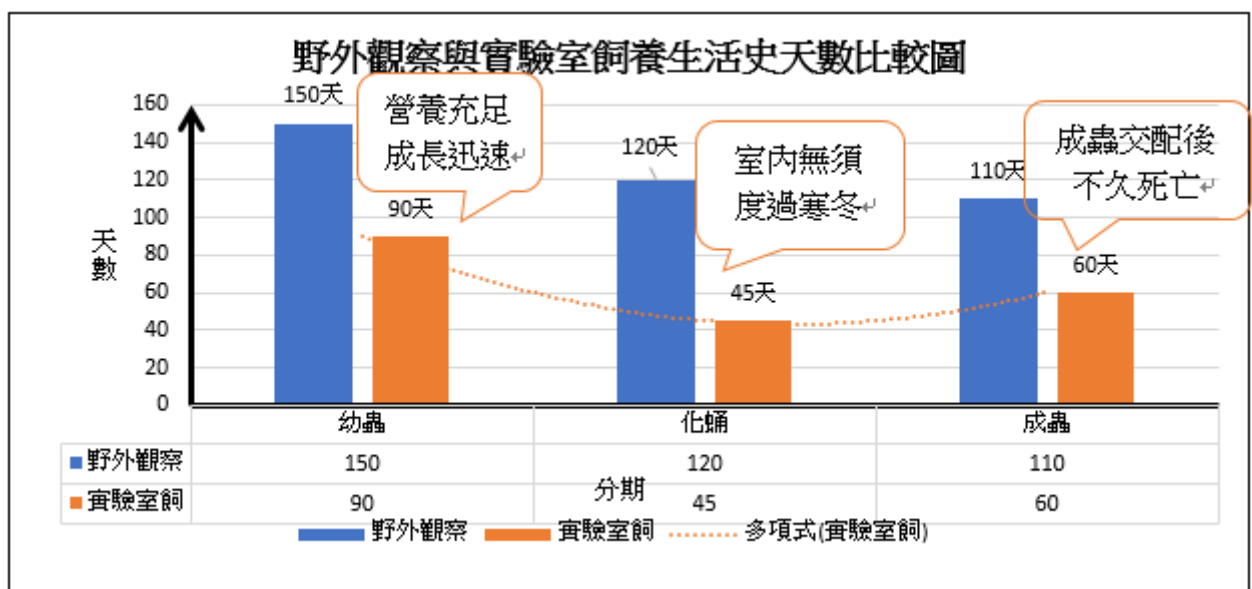
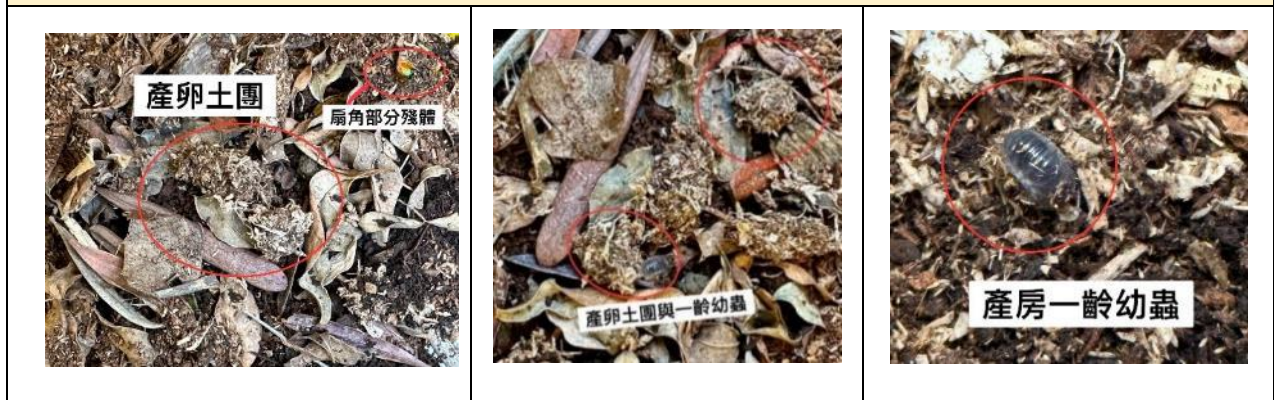


圖 36：野外、實驗室生活史比較圖

### (三)飼養臺灣扇角金龜幼蟲的問題探討

歷經兩年的戶外調查臺灣扇角金龜的資料，實驗室飼養臺灣扇角金龜，兩者做一些比較。戶外觀察和實驗室飼養，含卵的土團到一、二齡幼蟲的比較整理成圖 37，戶外觀察到土壤有許多各種昆蟲部分殘體的腐植土，因為長期受到山上強風吹拂以及烈日的照射，表層的落葉呈現淺咖啡色、脆性高、偏乾的各種落葉；幼蟲油亮、透明，像荔枝一樣，具有保護色，不容易被發現。實驗室飼養的卵孵化比野外慢，因為我們無法找到適合孵化的溫度，土壤溼度的不易控制，也可能忽略一齡幼蟲已經孵化的時間。一齡幼蟲看起來偏黑色，主要是因為外形比較透明，內臟看得更清楚。

戶外觀察，臺灣扇角金龜從含卵的土團到一齡幼蟲



實驗室飼養，臺灣扇角金龜從含卵的土團到二齡幼蟲

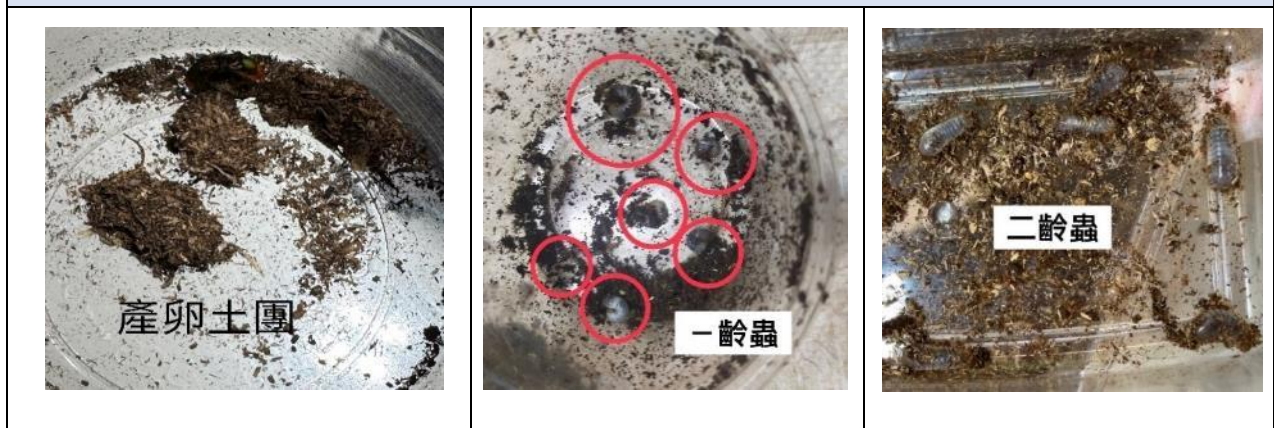


圖 37：戶外觀察和實驗室飼養，含卵的土團到一、二齡幼蟲的比較

戶外觀察和實驗室飼養，二齡、三齡、化蛹的比較整理成圖 38。戶外三齡蟲體型沒有實驗室碩大，牠一直蜷曲在枯木中，因此牠的食量與活動無法觀察。化蛹的蛹室的顏色較深，與棲息環境大量的腐植土有關。蛹室外夾雜著小石頭。兩顆蛹室似乎是在差不多的時間一起化蛹。實驗室飼養二、三齡幼蟲成長速度不一，在三齡末期變黃時的化蛹前期，擔心被其他幼蟲干擾做蛹室，會刻意分開單獨飼養。化蛹的蛹室偏乾；如果蛹室太溼，蟲體在裡面摩擦、扭動蛻皮時會讓蛹室容易破裂。

戶外觀察和實驗室飼養，臺灣扇角金龜成蟲到佈置產房的比較整理成(圖 39)，戶外的成蟲交配後，會尋找落葉將大量纖維與腐植質混合變成巨大的土團，然後將卵集中產在 20~30mm 土團裡，不同種類的竹葉中可觀察到產卵土團。實驗室我們盡量模擬戶外的土質分布，讓成蟲在枯葉和水苔做建材做土團，可以發現成蟲非常喜歡躲藏在水苔中，金龜會在土團中，所以產卵的產量低，卵的產量只有十顆左右。



戶外觀察，臺灣扇角金龜從二齡幼蟲到化蛹



實驗室飼養，臺灣扇角金龜從二齡幼蟲到化蛹



圖 38：戶外觀察和實驗室飼養，二齡、三齡、化蛹的比較

戶外觀察，臺灣扇角金龜成蟲到佈置產房



實驗室飼養，臺灣扇角金龜成蟲到佈置產房



圖 39：戶外觀察和實驗室飼養，臺灣扇角金龜成蟲到佈置產房的比較

卵孵化的速度也是不一樣的，臺灣扇角金龜卵的孵化在實驗室比戶外觀察的慢，我們紀錄四顆卵的孵化情形如圖 40 所示，發現卵越大顆，成長的長度也會越長。

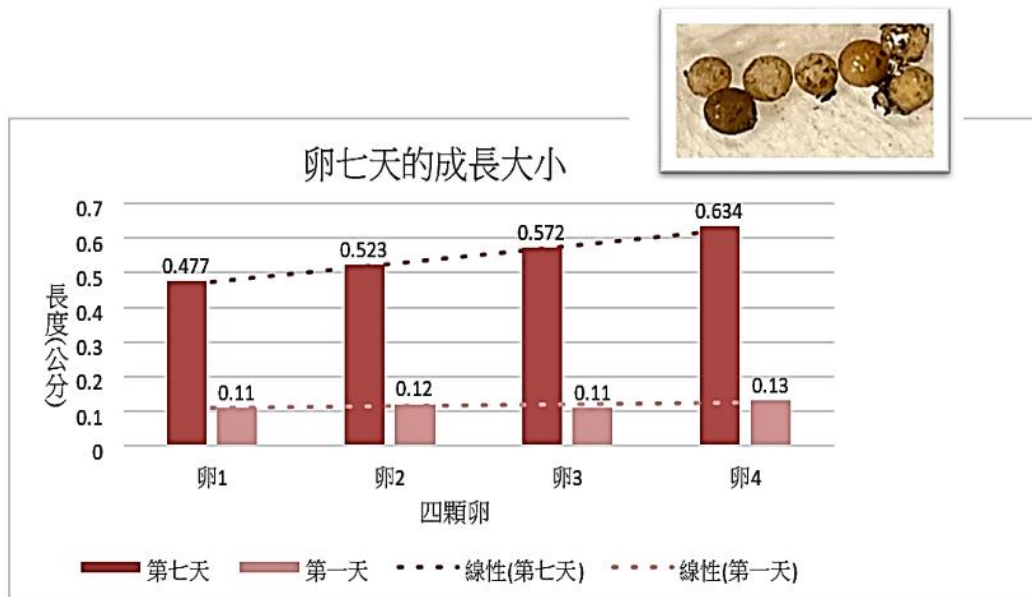


圖 40：我們一共發現十多顆卵，將其中四顆進行分析比較 (有些未發育)

野外踏查時，我們發現幼蟲喜歡較涼爽的氣候 (圖 41)。比較 2021 年和 2022 年捕抓五地點高度與發現三齡幼蟲隻數，從兩年的比較中，可以發現 2022 年因溫度偏高，受限於太陽、氣候因素，三齡幼蟲體數少；2021 年因溫度較低，三齡幼蟲蟲體數較多。雖然兩年採樣，可能不足以代表整座拉拉山全部的三齡蟲全體，但是，氣溫的氣候因子改變，地點 1 到 5 的海拔高度愈高，確實會讓臺灣特有種昆蟲的數量呈現不同變化。

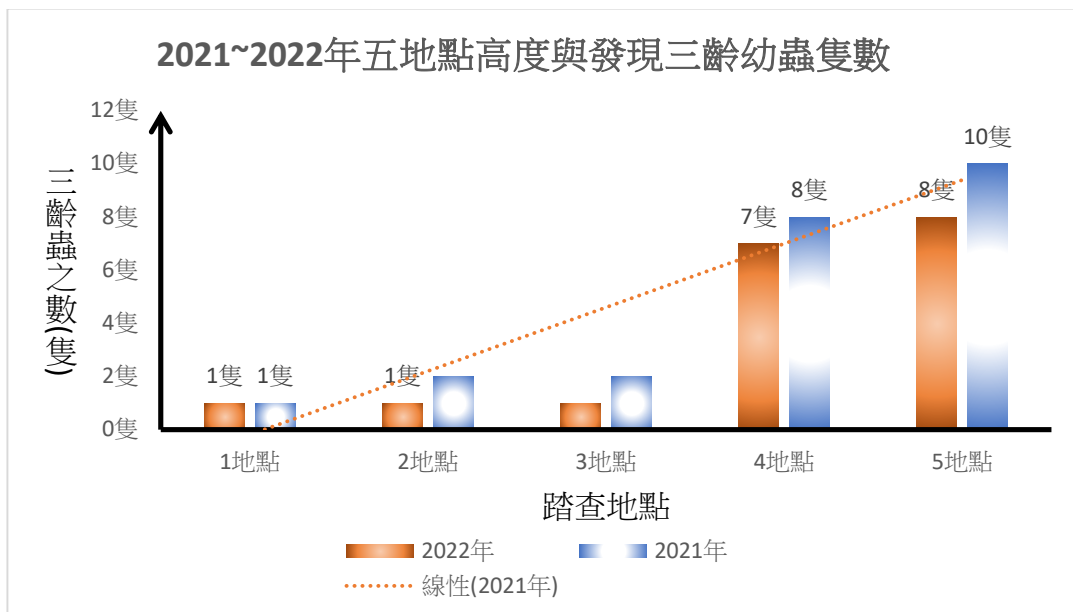


圖 41：野外調查、捕抓三齡幼蟲隻數圖

飼養幼蟲長度與重量變化整理成圖 42，結果顯示，幼蟲在三齡蟲時，長度變化量斜率最大，生長最快速。臺灣扇角金龜的一齡蟲階段約 30 天，三齡蟲階段時間較長，需要約 120 天。從一齡蟲至三齡蟲，長度增加約 4 倍，體重增加約 20 倍。其中，在蛻皮時會有生長停滯的現象，因此，統計圖上會有相對應的轉折。

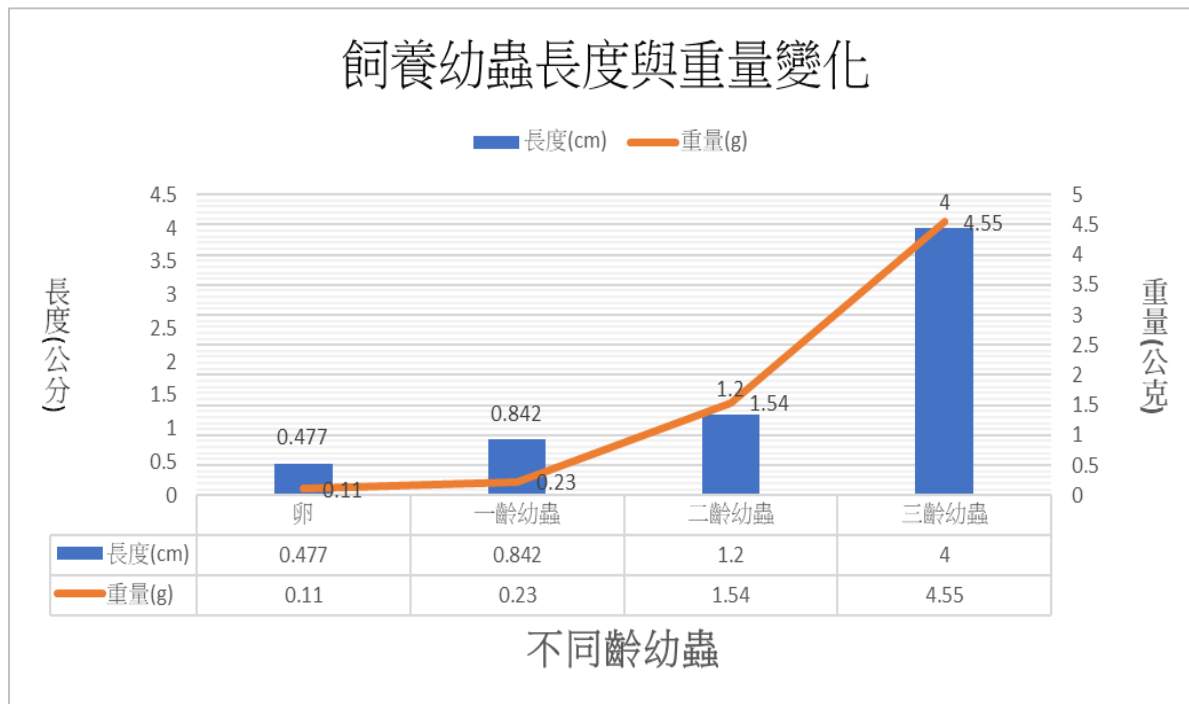
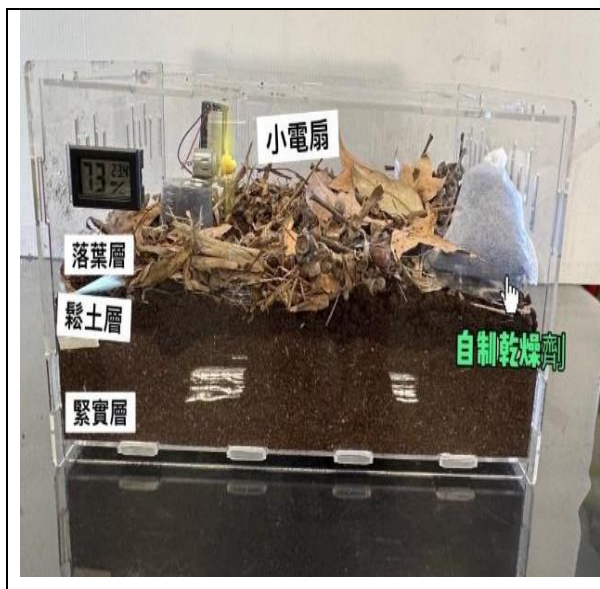


圖 42：飼養幼蟲長度與重量變化圖

## 陸、討論

### 一、實驗室飼養困難的解決策略

實驗室飼養臺灣扇角金龜是困難的。臺灣扇角金龜的生存要求高，溫度、陽光、土質、水分都必須具備海拔在 1000 公尺以上地區的環境因子，腐植土與落葉纖維多的森林區是很難模擬的，我們嘗試不斷修正但是孵育成功率很低。我們發現，臺灣扇角金龜的幼蟲多生長在距離地面底下約 3-5 公分鬆土層和 8-10 公分的緊實層。鬆土層土壤較為潮溼，緊實層土壤營養豐富，三齡蟲多喜愛在鬆土層活動，幼蟲化蛹多喜愛在緊實層躲藏，較為穩固、不易受到擾動。因此，我們設計了飼養箱、產卵孵化室(圖 42)。



小電風扇：模擬山上強陣風，乾燥落葉

落葉層：以青剛櫟葉混合孟宗竹乾燥落葉

自製乾燥劑：除溼讓溼度控制在 20-30%

鬆土層：採自拉拉山地下約 3-5 公分土層

緊實層：採自拉拉山地下約 8-10 公分土層

溫溼度計：嚴密監測溫度和溼度

圖 42：DIY 模擬拉拉山生長環境的飼養箱

## 二、在野外很難在土裡找尋幼蟲，我們做出「簡易內視鏡控制器」

如何在手部無法直接觸及土壤之情況下找尋幼蟲，我們利用簡單裝置做出「簡易內視鏡控制器」(圖 43)，將透明塑膠窄管置入土壤中，再將內視鏡伸入透明塑膠窄管，觀察幼蟲。利用類似操控木偶的原理，在遠端利用「拉」繩及「推」塑膠硬管之方式，控制內視鏡鏡頭的視角，以方便觀測。

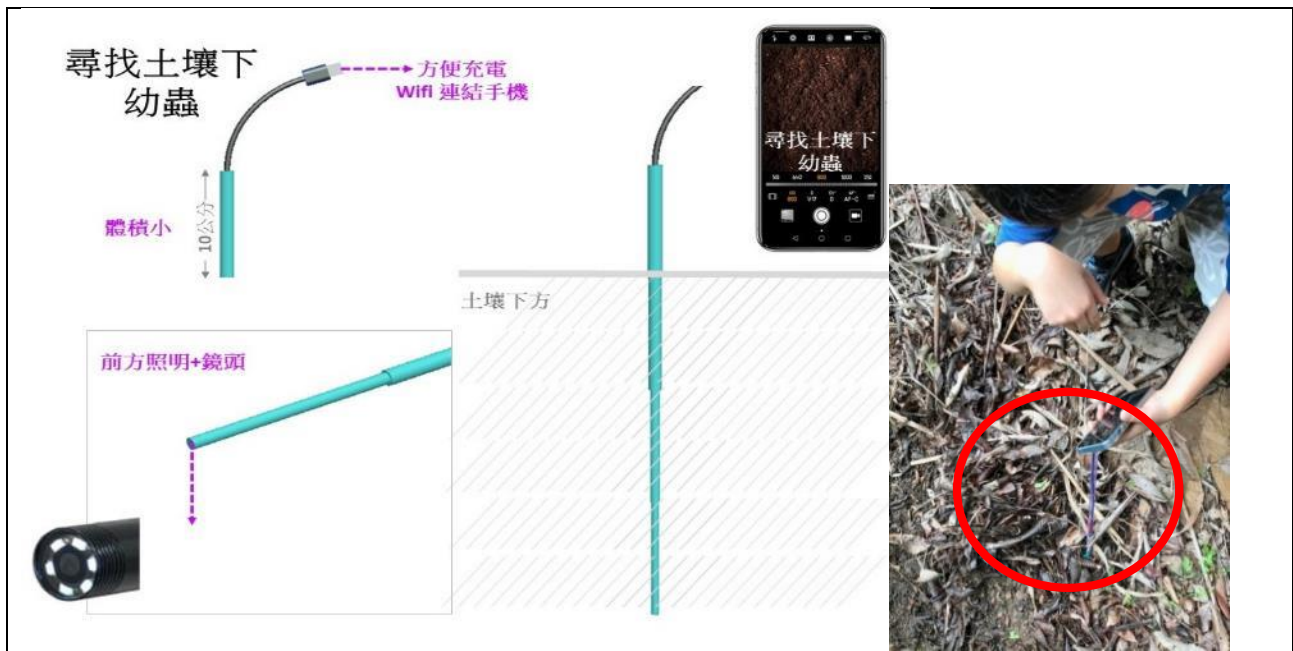
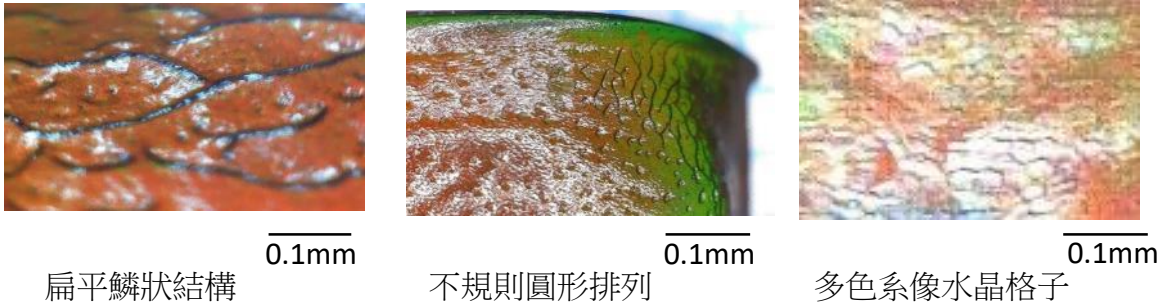


圖 43: DIY 設計多功能土壤偵測器

### 三、以解剖顯微鏡(100倍)發現鞘翅呈現多樣性結構、繽紛色彩

在觀察鞘翅顯微結構後，發現鞘翅由許多大小不一的圓孔、扁平鱗狀結構、六角形陣列像水晶格子，而且，色澤呈現多色系，閃閃發光，鞘翅外觀質感如同金屬般光澤，尤其是在頭部和小盾板的反射效果最好，類似光碟外觀質感，如同水晶一般。(圖 44)。



扁平鱗狀結構

不規則圓形排列

多色系像水晶格子

圖 44：歸納顯微鏡(100倍)下可能造成結構色改變的所有發現

### 四、光臘樹、青剛櫟、構樹的樹汁成分探討

光臘樹、青剛櫟、構樹的白色樹汁聞起來具有特殊的味道，可能吸引昆蟲，使用甜度計測量有甜度反應，這也是我們在青剛櫟的花叢和樹枝上容易找到許多臺灣扇角金龜的原因。



### 五、臺灣扇角金龜的十個物種地點

我們根據中央研究院生物多樣性研究中心 2022 年的資料 (表 1)，拍攝到臺灣扇角金龜的十個地點，經我們查閱所有資料，海拔都在一千公尺以上，也當作未來可以前往探勘之地點。

表 1：中央研究院生物多樣性研究中心記錄拍攝到臺灣扇角金龜的地點

目前預計前往地點編號	地點名稱	海拔(公尺)	目前預計前往地點編號	地點名稱	海拔(公尺)
1	宜蘭明池	1150-1700	6	高雄桃源鄉	1839
2	臺南大凍山	1000	7	臺中市和平區	1000-3000
3	南投仁愛鄉	600-3559	8	南投縣鹿谷鄉	500-1839
4	花蓮卓溪鄉	113-2157	9	苗栗泰安鄉	1745-3500
5	花蓮秀林鄉	1564	10	桃園拉拉山	2031

## 柒、結論

### 一、調查與飼養臺灣扇角金龜的幼蟲、成蟲

臺灣扇角金龜生活在海拔 1000 公尺以上、腐植土與落葉纖維多的茂密森林中，光線灰暗，環境潮溼。成蟲多在七、八、九月出現，與構樹果實成熟、青剛櫟開花時節相吻合，植物能夠提供成蟲足夠的食物。成蟲是日行性動物，晚上到半夜活動力差，中午左右開始活動。我們在野外捕抓約 30 隻，經過兩年的實驗室飼養，發現飼養難度高，土團產卵率低。若針對溫度、土質、水分做適合的調整，將可以飼養牠們達到代代繁殖的生活史。

### 二、探討臺灣扇角金龜喜歡棲息的樹木或果實

在拉拉山五個採集地點發現找到成蟲最多的樹木為青剛櫟、構樹和光臘樹，主要原因這三種樹大量分布海拔約在 1000m~2000m 的山坡地或河谷地，因為容易生長常會形成闊葉林或針闊葉混交的茂密森林，發現樹種分布的海拔高度與臺灣扇角金龜數量有成正比的情形。

### 三、臺灣扇角金龜鞘翅的顏色會改變和鞘翅的結構有關

我們在野外踏查時發現臺灣扇角金龜呈現不同色澤，與陽光照射角度有關。在解剖顯微鏡下，發現鞘翅上的不規則排列凹型圓形孔洞，是金龜子鞘翅產生金屬光澤的主要結構。在掃描式電子顯微鏡下，發現鞘翅表面的孔洞及線狀紋理，能進行反射、折射、繞射等現象，改變光的波長，進入人體眼睛後將呈現不同的顏色。

### 四、臺灣扇角金龜鞘翅的顏色變化和躲避敵人、交配、覓食有關

經分類大量三種動物行為照片，再經顏色 Lab 數值分析，發現躲避敵人是以前綠色系為主，推測可能與周遭環境中樹葉、森林多為綠色為主，因此以前隱蔽色的綠色系為主；在亮度表現方面以前亮色系為主，具有驚嚇的光影或類似暫時刺眼的光亮效果，達到讓天敵暫時看不見的隱蔽效果及躲避敵人行為。尋找配偶時，明顯看到雄蟲兩側具有鮮豔的顏色，推測可能跟雄蟲在上位的位置和光影角度造成的色彩變化；交配時，無論在綠色、紅色、藍色、黃色都有大量的色澤被偵測到，推測交配行為時，與光線所產生的變化是繽紛的，具有多色彩的顏色。覓食行為的顏色分布非常極端與變異性大，推測可能是因為覓食時的環境變異大，時常會飛到樹頂找尋果實、花序，也會到莖部吸取汁液，受到環境影響顏色差異非常大，這一點也符合生物覓食的實際情形。

## 五、臺灣扇角金龜的鞘翅顏色的改變具有週期性

為了證明臺灣扇角金龜的鞘翅是屬於結構色，將臺灣扇角金龜成蟲固定在有 360 度尺規上照太陽，發現臺灣扇角金龜鞘翅顏色變化具有週期性。翠綠色和橙黃色鞘翅改變角度後都會偏到黃色，藍綠色和藍紫色鞘翅改變角度後都會偏到藍色；光強時呈現金屬光澤時，具有刺眼暫時看不見的隱蔽效果，證明了臺灣扇角金龜為結構色。

**未來展望：**環境的變異影響著臺灣特有種昆蟲的生態；臺灣扇角金龜鞘翅與日光的週期性訊息，能幫助我們獲取大自然的生物訊息；鞘翅的光學結構，可望成為物理學的新研究素材。

## 捌、參考文獻資料

- 一、中央氣象局，2022。臺灣天氣觀測。網址：<https://www.cwb.gov.tw/>
- 二、王榮文，2022。吉丁蟲虹彩防身術，科學人。網址：  
<https://sakb.ylib.com/article/202209.10670/en>
- 三、生物多樣性研究中心資料，2022。台灣生物多樣性網路。網址：  
<https://www.tbn.org.tw/taxa/5f91a112-50cd-4ab9-aa73-f3fbeb28a909?ft=datatype%3Aoccurrence>
- 四、楊維晟，2008。甲蟲放大鏡，臺北市，大樹文化。
- 五、這些昆蟲為何穿越億年仍能“自帶光芒”。網址：  
[http://big5.xinhuanet.com/gate/big5/m.xinhuanet.com/2020-07/08/c\\_1126208716.htm](http://big5.xinhuanet.com/gate/big5/m.xinhuanet.com/2020-07/08/c_1126208716.htm)
- 六、陽明山國家公園鞘翅目昆蟲(甲蟲)物種多樣性資源調查。網址：  
[https://www.ymsnp.gov.tw/main\\_ch/fileRename/fileRename.aspx?uid=2159&fid=4930&kid=2&site\\_id=0](https://www.ymsnp.gov.tw/main_ch/fileRename/fileRename.aspx?uid=2159&fid=4930&kid=2&site_id=0)
- 七、戴子堯，2017。昆蟲的奈米色彩，科技大觀園。網址：  
<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=865cfedd-e8bb-4c0f-893a-2e02b76b8e59>
- 八、Biró, L. P., Kertész, K., Horváth, E., Márk, G. I., Molnár, G., Vértessy, Z., Vigneron, J. P. (2010). Bioinspired artificial photonic nanoarchitecture using the elytron of the beetle *Trigonophorus rothschildi* varians as a 'blueprint'. *J R Soc Interface*, 7(47), 887-894. doi: 10.1098/rsif.2009.0438
- 九、Sun, J., & Bhushan, B. (2012). Structure and mechanical properties of beetle wings: a review. *RSC Advances*, 2(33), 12606-12623. doi: 10.1039/C2RA21276E

## 【評語】 080306

本研究主題在於探討臺灣扇角金龜的特殊生物行為與生態調查，並探討鞘翅顏色會改變的成因。實驗結果證明鞘翅是屬於結構色，鞘翅顏色在一天中隨太陽照射角度有週期性變化，在覓食、求偶、躲避敵害等不同情況時，鞘翅顏色亦會改變。其中，「簡易內視鏡控制器」的設計具有創意及問題解決的精神。

建議：

1. 選擇五個踏查地點的原因？可以更詳細說明。
2. 如何蒐集與判斷臺灣扇角金龜在覓食、交配、躲避敵人的照片？  
尤其是躲避敵人的照片，如何判斷？
3. 溫度與數量的關係圖，若用月均溫呈現，會有什麼結果？
4. 顏色的資料分析與結果圖表判讀及光照的實驗設計與結果判讀需要進一步的說明。



# 作品海報



# 調查與飼養 臺灣扇角金龜

(*Trigonophorus rothschildi varians*)

~鞘翅顏色會改變的原因探討

## 摘要

臺灣扇角金龜是臺灣特有種的鞘翅目昆蟲，體色多變像閃亮的寶石，多生長在海拔一千公尺的森林，我們想要揭開此特殊生物的生物行為，進行生態調查。為了觀察土團中產卵孵化，將牠們帶回實驗室，模擬拉拉山環境進行飼養，完成兩代的生活史。

實驗發現太陽照射後顏色會改變，在覓食、交配、躲避敵人等不同情況時，鞘翅顏色會改變，分析並歸納結果。將鞘翅固定在360度尺規，每30度觀察顏色變化。增加到90度時，發現太陽的反射會從頭部的顏色變亮，到180度後變得最暗，回到近陽光的270度顏色又變亮，翠綠色和橙黃色鞘翅，改變日光角度後將呈現黃色；藍紫色鞘翅，改變日光角度後將呈現深藍色，發現鞘翅顏色在一天中都有週期性變化，當光強時呈現金屬光澤時，具有刺眼、隱蔽效果，非常有趣。

## 壹、研究動機

拉拉山構樹的果實上竟然有一群金龜子成蟲在吸汁液，經過志工解說，我們很驚訝原來是臺灣特有種的鞘翅目昆蟲 - 臺灣扇角金龜。牠們多生長在海拔一千公尺處，成蟲是日行性。牠們瑰麗的外殼在閃耀的陽光底下會變色，似乎與陽光照射的角度有關係。我們進行野外生態調查，捕抓飼養三十隻，期待找出覓食、交配、躲避敵人，與日光角度之間的關係，並做出結論。(本研究與課程的相關單元為四年級「昆蟲王國」、五年級「動物大觀園」、六年級「臺灣的生態」)

## 貳、研究目的

- 一、在桃園拉拉山調查臺灣扇角金龜，包含成蟲與幼蟲的棲息環境、外形構造、數量。
- 二、探討臺灣扇角金龜喜歡棲息在哪些樹木或果實上，取食樹汁、果汁。
- 三、觀察鞘翅的顏色會改變，是否和鞘翅的結構有關。
- 四、臺灣扇角金龜鞘翅的顏色變化，是否和覓食、交配、躲避敵人有關。
- 五、使用陽光以不同角度照射鞘翅，歸納鞘翅顏色改變是否具有週期性。
- 六、飼養臺灣扇角金龜，比較戶外觀察和實驗室飼養生活史差異；解決飼養產生的問題。

## 參、研究設備及器材

360度可旋轉圓尺、土壤偵測器、溫度計、風速計、鳳梨、捕蟲竿(6m)、大蟲網、色差儀、鏟子、落葉、絲襪、長竿蟲鉤、游標尺、甜度計、10m長竿、USB土壤偵測器

## 肆、研究過程或方法：

### (一) 桃園拉拉山地區調查臺灣扇角金龜：

1. 歷經2年的戶外調查臺灣扇角金龜。
2. 使用鳳梨片放入絲襪「誘捕法」和「扣網振落法」。
3. 尋找適合幼蟲生長的土壤。
4. 蒐集土壤，測試酸鹼值、溼度和腐植質成分分析。

### (二) 臺灣扇角金龜喜歡棲息的樹種：1. 蒐集成蟲最多數量的樹種，觀察成蟲的口器。2. 調查成蟲棲息樹種的甜度。

### (三) 臺灣扇角金龜鞘翅的顏色在日光下會改變

1. 野外調查，呈現綠、黃綠、橙黃色變化。
2. 閱讀國外文獻，了解鞘翅的結構。

### (四) 臺灣扇角金龜鞘翅顏色變化的意義：1. 盡量蒐集臺灣扇角金龜在覓食、交配、躲避敵人的照片，分成三類。

### (五) 臺灣扇角金龜鞘翅的結構色

1. 成蟲固定在360度的尺規照太陽。
2. 以色差儀來確定結構色，機器會顯示相應顏色Lab值。

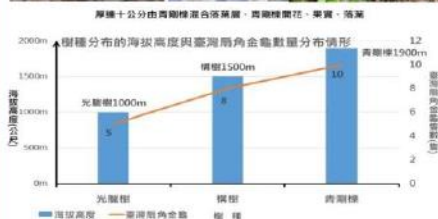
### (六) 比較戶外觀察和實驗室飼養，臺灣扇角金龜的生活史

1. 蒐集文獻和自己的野外調查結果。
2. 比較生活史。

## 伍、研究結果：

### 一、桃園拉拉山地區調查

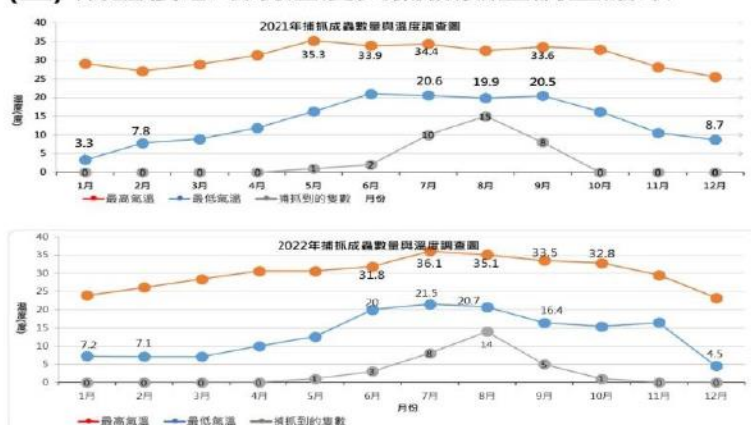
#### (一) 成蟲野外棲息環境



#### (二) 成蟲雌雄的差異



#### (三) 成蟲棲息環境溫度與捕抓數量調查結果



#### (四) 分析五個地點的土壤



## 伍、研究結果:

### 二、探討臺灣扇角金龜喜歡棲息的樹木或果實

#### (一) 臺灣扇角金龜喜歡棲息的樹木



測量構樹樹汁甜度 喜愛吸食被蟲咬後形成的樹瘻汁液

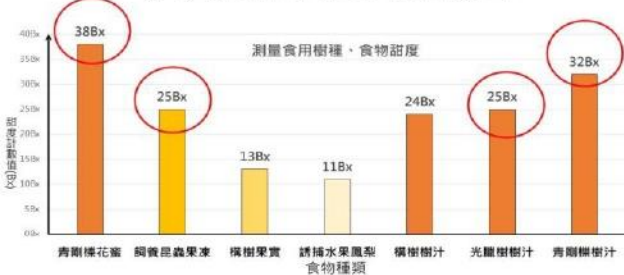


青剛櫟 高約20公尺 構樹果實呈圓球形 果肉橙紅色 光臘樹於遊客中心 大量復育中 青剛櫟雄花 是柔荑花序

#### (二) 觀察臺灣扇角金龜的口器



#### (三) 檢驗各種樹汁的含糖量



### 三、鞘翅的顏色在日光下會改變

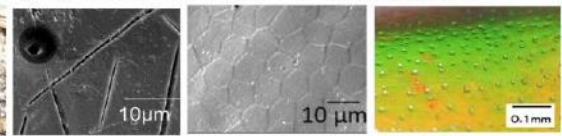
以解剖顯微鏡、國外文獻掃描式電子顯微鏡 (SEM) 找出並歸納出鞘翅顏色變化。解剖顯微鏡100倍可以看到金龜子鞘翅有凹面和凸面、大大小小近圓形的圓形孔洞；肉眼看光滑的鞘翅，在顯微鏡下是許多不規則圓形排列所組成。推測這些扁平鱗狀結構、不平整的凹洞和凸洞與光線的可能作用有反射、干涉、繞射等光學效應。觀察鞘翅的表面構造、孔洞及線狀紋理，發現鞘翅有六角形陣列，外觀質感如同金屬般光澤，其實就是多層膜的反射作用。

#### (一) 野外觀察發現-鞘翅顏色變化



野外調查發現：陽光下鞘翅會變色，呈現綠、黃綠、褐色、藍紫色的變化。

#### (二) 閱讀國外文獻，了解鞘翅結構



歸納臺灣扇角金龜鞘翅的顯微結構，類似多層反射膜

### 四、臺灣扇角金龜鞘翅結構色的週期性變化

各100張  
覓食、交配、躲避敵人(隱蔽色)的照片

交配  
100個圖片

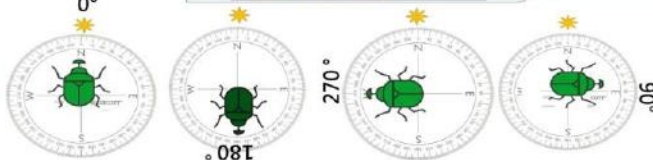
覓食  
100個圖片

躲避敵人  
100個圖片

動物行為:交配和躲避敵人，鞘翅產生顏色週期性變化



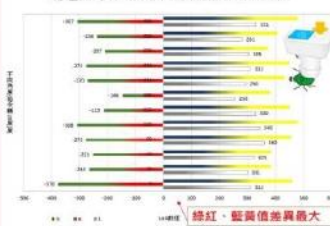
成蟲在360度尺規上，相同太陽角度，每次轉30度，當照射在增加到90度時，發現太陽的反射會從頭部的顏色變亮，到180度後變得最暗，回到近陽光的270度顏色又變亮。



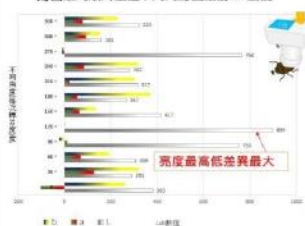
並以色差儀測量結構色產生變化。四種顏色鞘翅測量，製成以下統計圖。



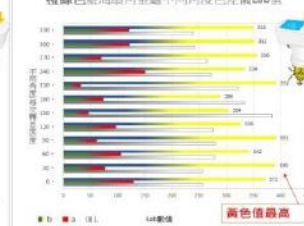
綠色臺灣扇角金龜不同角度色差儀Lab數值



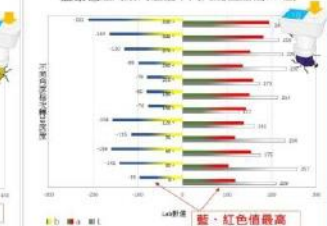
褐色臺灣扇角金龜不同角度色差儀Lab數值



橙綠色臺灣扇角金龜不同角度色差儀Lab數值



藍紫色臺灣扇角金龜不同角度色差儀Lab數值



以色差儀測量四種不同顏色的臺灣扇角金龜(相同太陽角度，每次轉30度)，鞘翅顏色改變之Lab結果統計圖。

## 伍、研究結果：

太陽高度角  
(0~180度)  
產生顏色變化

### 四、臺灣扇角金龜鞘翅結構色的週期性變化



## 五、臺灣扇角金龜的生活史

### (一) 實驗室飼養臺灣扇角金龜



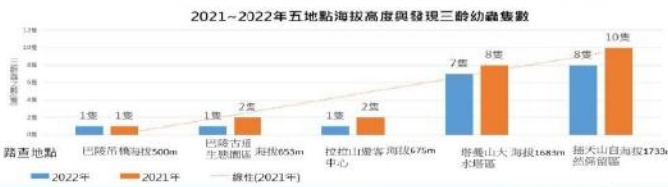
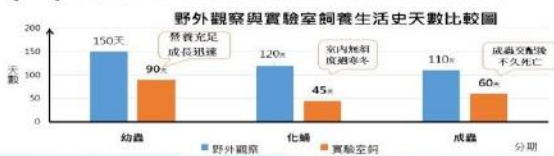
以縮時錄影，日行性，群集、趨光性，交配後土團中產卵，約3-3.5cm

### (三) 飼養臺灣扇角金龜幼蟲的問題探討



戶外觀察，臺灣扇角金龜從含卵的土團到一齡幼蟲

### (二) 估算臺灣扇角金龜的生活史



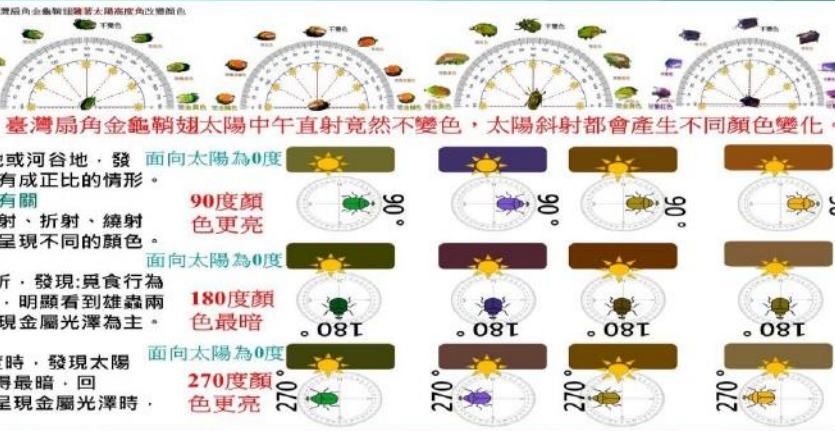
## 陸、討論

- 實驗室飼養困難的解決策略
  - 三齡蟲多喜愛在鬆土層活動，幼蟲化蛹多喜愛在緊實層躲藏，較為穩固、不易受到擾動，所以我們自製飼養箱。
- 在野外很難在土裡找尋幼蟲，做出「簡易內視鏡控制器」類似操控木偶的原理，在遠端利用「拉」繩及「推」塑膠硬管的方式，控制內視鏡鏡頭的視角，以方便觀測。
- 以解剖顯微鏡發現鞘翅多樣性結構、繽紛色彩
  - 發現鞘翅色澤呈現多色系，質感如同金屬般光澤，尤其是在頭部和小盾板的反射效果最好，類似光碟外觀質感，如同水晶一般，是鞘翅具有結構色的原因。
- 光臘樹、青剛櫟、構樹的樹汁成分探討
  - 使用甜度計測量有甜度反應，這也是在青剛櫟的花蜜和樹枝上，有樹洞的地方容易找到許多臺灣扇角金龜的原因。
- 目前發現有臺灣扇角金龜的十個物種地點
  - 中央研究院生物多樣性研究中心，拍攝到臺灣扇角金龜的十個地點，海拔都在一千公尺以上。



## 柒、結論

- 調查與飼養臺灣扇角金龜的幼蟲、成蟲經過兩年的實驗室飼養，發現飼養難度高，土團產卵率低。
- 探討臺灣扇角金龜喜歡棲息的樹木或果實
  - 大量分布海拔約在1000m~2000m的山坡地或河谷地，發現樹種分布的海拔高度與臺灣扇角金龜數量有成正比的情形。
- 臺灣扇角金龜鞘翅的顏色會改變和鞘翅結構有關
  - 發現鞘翅表面的孔洞及線狀紋理，能進行反射、折射、繞射等現象，改變光的波長，進入人體眼睛後將呈現不同的顏色。
- 鞘翅顏色變化覓食、交配和躲避敵人有關
  - 分類大量三種行為照片，經顏色Lab數值分析，發現覓食行為的顏色分布變異性大無法判斷，尋找配偶時，明顯看到雄蟲兩側具有鮮豔的顏色；躲避敵人以改變角度呈現金屬光澤為主。
- 臺灣扇角金龜鞘翅顏色的變具有週期性
  - 每30度改變角度觀察顏色變化，增加到90度時，發現太陽的反射會從頭部的顏色變亮，到180度後變得最暗，回到270度。四種顏色都會變亮色，當光強時呈現金屬光澤時，具有刺眼、隱蔽效果，非常有趣。



## 捌、參考文獻資料

- 中央氣象局，2022。臺灣天氣觀測。網址：<https://www.cwb.gov.tw/>
- 王榮安，2022。吉丁蟲虹彩的尋身。科學人。網址：<https://askylib.com/article/202209.10670/en>
- 生物多樣性研究中心資料，2022。台灣生物多樣性網路。網址：<https://www.tbri.org.tw/taxa/519/1a112-50cd-4a73-0fb28a9097b-datatp9a3Accurrence>
- 楊勝威，2008。甲蟲放大鏡，臺北：大樹文化。
- 這些昆蟲為何穿越千年仍能「自带光芒」。網址：[http://big5.xinhuanet.com/gone/big5/xinhuanet.com/2020-07/08/c\\_1126208716.htm](http://big5.xinhuanet.com/gone/big5/xinhuanet.com/2020-07/08/c_1126208716.htm)
- 陽明山國家公園鞘翅目昆蟲(甲蟲)物種多樣性資源調查。網址：[https://www.ymsnp.gov.tw/main\\_ch?fileRename=fileRename.aspx?uid=2159&fid=4930&lid=2&site lid=0](https://www.ymsnp.gov.tw/main_ch?fileRename=fileRename.aspx?uid=2159&fid=4930&lid=2&site lid=0)
- 戴子喬，2017。昆蟲的奈米色彩。科技大觀園。網址：<https://scitechvista.nst.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=865fcd4-e88b-4c0f-893a-2e02b76b8e59>
- Bán, L. P., Körtész, K., Horváth, E., Márk, G. L., Molnár, G., Vértess, Z., Vigneron, J. P. (2010). Biomechanical photonic nanoarchitecture using the elytron of the beetle *Trigonophorus rothschildi varians* as a blueprint. *J.R. Soc Interface*, 7(47), 887-894. doi: 10.1098/rsif.2009.0438
- Sun, J., & Bhushan, B. (2012). Structure and mechanical properties of beetle wings: a review. *ZSC Advances*, 2(33), 12606-12623. doi: 10.1039/C2RA21276E