

投稿類別：自然科學類

篇名：

高砂鋸楸形蟲干擾交配權之策略探究

作者：

周承儒。慈大附中(國中部)。國一大愛班

張沛勻。慈大附中(國中部)。國一大愛班

指導老師：

林麗萍老師

壹●前言

一、研究動機

生態豐富的花蓮是甲蟲迷的天堂，喜愛锹形蟲的我們經常走訪林道進行野外觀察；夏日時分學校附近山間林道的烏柏樹上有為數不少的高砂鋸锹形蟲，除了尋訪蟲蹤外，我們也嘗試繁殖並體驗飼育锹形蟲的樂趣。從飼育過程中觀察分析高砂鋸锹形蟲的生命史以及互動溝通行為，並將研究發現整理出「高砂鋸锹形蟲的溝通行為研究」之專題報告參與第 55 屆科展，研究結論獲得評審肯定。研究發現高砂鋸锹形蟲交配時展現了豐富又多元的溝通方式。交配時，雄蟲與雌蟲先對望並震動觸鬚互相傳遞訊息。雄蟲再以觸鬚輕刷雌蟲背板、小顎鬚輕點雌蟲腹部背板，經此一溝通過程後交配。儘管是锹形蟲，仍有牠們慣用的溝通方式。

接續上述之锹形蟲溝通行為研究，我們還發現高砂鋸锹形蟲在交配情境中，雄蟲與雌蟲面對交配的對蟲有不同的反應行為，值得持續追蹤探究。希望透過本研究繼續深入探討高砂鋸锹形蟲的交配權爭奪情形，了解雄蟲與雌蟲是否有不同的行為反應模式。

二、研究目的

1. 觀察高砂鋸锹形蟲是否有干擾交配權的行為。設計實驗情境，觀察高砂鋸锹形蟲是否會干擾已取得交配權的對蟲；以及雄蟲與雌蟲反應行為的差異。
2. 比較高砂鋸锹形蟲雄蟲與雌蟲干擾交配權的策略與成功率，並討論分析背後的潛藏原因。

三、研究方法

本研究採用文獻分析、實驗觀察的方式，觀察分析高砂鋸锹形蟲干擾交配權的行為。研究步驟如圖 1：

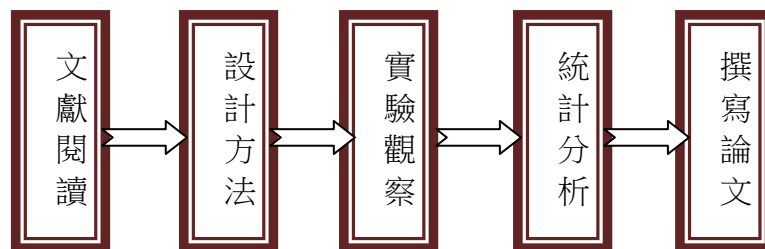


圖 1 研究流程圖

貳●正文

一、高砂鋸鍬形蟲的生命史

高砂鋸鍬形蟲(*Prosopocoilus motschulskyii*)，又稱莫氏鋸鍬形蟲(Waterhouse, 1869)。依照農委會的分類，高砂鋸鍬形蟲屬於臺灣特有種鍬形蟲，屬於完全變態的昆蟲。雄蟲體長 29 – 60 mm，雌蟲 26 – 30 mm，翅鞘顏色偏紅及暗紅色，腳呈棕黑及黑褐色，大型雄蟲大顎長且彎曲，大顎內部長出四對小齒凸，用以作為攻擊時夾住敵蟲的重要武器。李惠永(2004)指出高砂鋸鍬形蟲的生活環境，牠們喜歡生活在海拔 300 公尺以下的海邊。幼蟲躲在腐爛的腐木或樹根之下，成蟲為夜行性昆蟲，白天躲在烏柏樹、相思樹的樹洞或樹根裡面，約在下午 3 點至 5 點開始陸續爬出樹洞，往樹頂上爬開始進行覓食與繁殖等活動(周裕欽，2015)。

高砂鋸鍬形蟲屬於完全變態的昆蟲，一年內完成「卵」、「幼蟲」、「蛹」及「成蟲」四個階段(如圖 2)。從時間的角度來區分，成蟲大約從每年的 4 月中下旬開始出土，並在 6-8 月間進行交配與產卵；卵期 3-4 星期；接著進入幼蟲期，時間約 4-6 個月完成三個齡期的轉換；約在隔年的 2-4 月間化蛹、羽化成蟲及完成蟄伏後從地底及木頭裡爬出。本研究主要探討成蟲干擾交配權的行為與現象，在生命循環中，屬於成蟲階段的生命歷程。以下說明鍬形蟲成蟲的任務與行為。

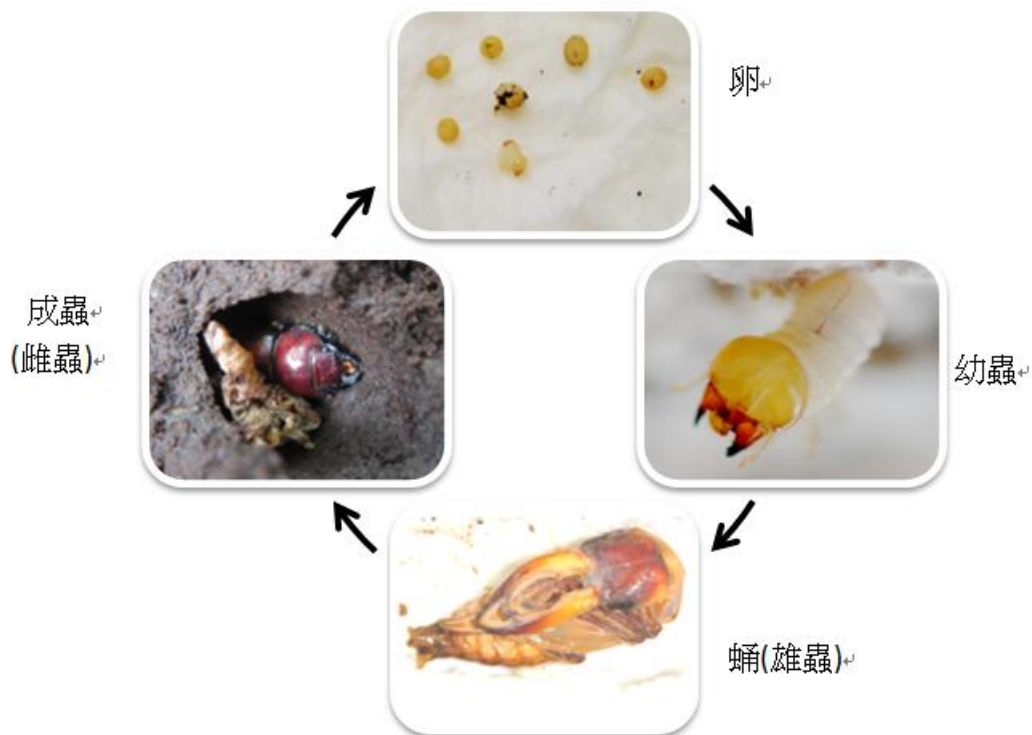


圖 2 高砂鋸鍬形蟲生命史循環圖

二、高砂鋸锹形蟲成蟲的身體型態與主要生活任務

高砂鋸锹形蟲基本結構包含：頭、胸、腹三個部份。頭部由大顎、複眼、觸鬚、口器、小顎鬚等器官所構成。胸部分成前、中、後胸三段，下方分別長出前腳、中腳及後腳，每隻腳由內而外再長出轉節、徑節、附節及爪等細部結構。後胸覆蓋著鞘翅，下方由一對內翅組成。腹部內側由五段腹節所構成。楊平世(1999)指出，昆蟲在成蟲階段的重要任務有「進食」與「繁殖」等兩大任務，經常會為了「吃飽」及「傳宗接代」而產生許多互動及相互爭奪的行為。

先前的研究發現，高砂鋸锹形蟲會為了完成傳宗接代的任務使用觸鬚及小顎鬚等器官進行溝通，並會運用大顎及腳等器官打架(周承儒等，2015)。而高砂鋸雄蟲與雌蟲是否會為了搶奪交配權而干擾已經在交配中的對蟲？牠們是如何進行溝通與干擾呢？雄蟲與雌蟲使用的策略一樣嗎？值得深入探究。

三、高砂鋸锹形蟲會運用觸鬚等器官溝通

溝通是一種傳遞與接收訊息的行為。朱耀沂(2006)主張昆蟲會使用不同的方式進行溝通，因為這是昆蟲適應環境的重要能力與關鍵。盧耽(2008)進一步指出，昆蟲全身布滿感覺器(sensilla)，這些感覺器是由特化的神經細胞所構成，能將細胞接收到的訊號刺激轉換成電位訊號，再透過神經電位訊號傳遞到大腦中的神經系統。

我們先前在觀察高砂鋸锹形蟲的溝通行為時發現，雄蟲與雌蟲不論是「打鬥」或在「交配」階段，會使用「觸鬚」、「小顎鬚」、「口器」、「腹部下緣」、「腹部背板」、「頭部背板」等器官進行溝通(周承儒等，2015)。雄蟲與雌蟲在打鬥初期，會先運用震動「觸鬚」及伸吐「口器」的方式，向敵蟲發出訊號，達成溝通的目的。溝通不成，隨即展開戰鬥。交配時則會使用「觸鬚」、「小顎鬚」、「腹部下緣」、「雌蟲腹部背板」、「雌蟲頭部背板」等器官，透過觸鬚震動以及器官接觸的方式進行溝通。



圖 3 高砂鋸锹形蟲溝通行為與打鬥照片

上述文獻分析與先前的研究發現，增加我們對於高砂鋸干擾交配權行為的認識。本研究假定，「干擾交配權」是锹形蟲溝通行為的一部分；如果第三者雄蟲或雌蟲在高砂鋸锹形蟲對蟲交配時進行干擾，牠們會採用較文明的溝通訊號策略？亦或是直接訴諸武力，透過打架來干擾與阻止交配中的對蟲呢？為了獲得解答，我們進行了以下的兩個實驗。

四、干擾交配權的實驗過程及發現

(一)雄蟲干擾交配權的實驗

為了探究雄蟲是否會干擾交配權，我們從自行繁殖的高砂鋸锹形蟲中選出兩隻體型相似的雄蟲與一隻體型較小的雌蟲，先選擇其中一雄一雌，並放進觀察箱中，等雄蟲佔有雌蟲交配權之後，再放入第二隻雄蟲(簡稱：雄蟲 2)，以肉眼觀察、與相機、錄影機攝錄影方式，同步觀察雄蟲 2是否會干擾交配中的對蟲進行交配，如此反覆進行十回之後，再進行研究結果的統計。

研究發現高砂鋸對蟲交配時，雄蟲 2進行干擾交配權的機率為 80%，干擾成功率為 75%(總數十次的實驗中，出現八次的干擾行為，八次干擾行為中，有六次干擾成功阻止了原對蟲交配)。不過我們也發現，雄蟲 2雖然有 75%的機率順利阻止原對蟲交配，卻因為雌蟲已在兩隻雄蟲打鬥時逃離現場，使得雄蟲 2就算阻止了原蟲交配，也無法進一步取代原雄蟲而佔有交配權。

在干擾策略的觀察部分，研究發現雄蟲 2用以干擾交配權的策略包括「快速震動觸鬚」、「伸吐口器」等訊號溝通方式，以及透過「衝、夾、舉、拋、摔」等實際接觸的戰鬥策略。這與先前進行的「進食」與「繁殖」溝通行為的研究發現一致；高砂鋸锹形蟲雄蟲面對敵人的反應方式，都是先以震動觸鬚及伸吐口器的方式傳遞溝通訊號再進行戰鬥。我們將此命名為「宣示」及「戰鬥」。



圖 4 雄蟲干擾交配權過程照片

表一、雄蟲干擾交配實驗記錄

次數	宣示行為		戰鬥行為				說明
	震動觸鬚	伸出口器	夾	舉	拋	摔	
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	雄蟲開始戰鬥，雌蟲逃離。
2	✓	✓	✓	×	×	×	雄蟲開始戰鬥，原雄蟲驅離干擾雄蟲(雄蟲 2)，完成交配。
3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	雄蟲展開戰鬥，雌蟲鑽進土裡。
4	✓	✓	✓	×	✓	✓	雄蟲展開戰鬥，雌蟲逃離。
5	×	×	×	×	×	×	干擾的雄蟲(雄蟲 2)離開，原對蟲完成交配。
6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	雄蟲展開戰鬥，原雄蟲將雌蟲壓在下方，並用大顎驅離干擾雄蟲(雄蟲 2)，完成交配。
7	✓	✓	✓	×	×	✓	雄蟲展開戰鬥，雌蟲逃離。
8	✓	✓	✓	✓	✓	×	雄蟲展開戰鬥，雌蟲逃離。
9	×	×	×	×	×	×	干擾的雄蟲(雄蟲 2)離開，原對蟲完成交配。
10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	雄蟲展開戰鬥，雌蟲逃離。

(二)雌蟲干擾交配權的實驗

雌蟲干擾交配權的實驗步驟與雄蟲一樣，先選擇兩隻體型相似的雌蟲及一隻較大型的雄蟲。實驗開始前，先隨機將一雄一雌放進觀察箱中，等雄蟲佔有交配權時，再放入第二隻雌蟲(簡稱：雌蟲 2)，以肉眼觀察、與相機、錄影機攝錄影方式，同步觀察雌蟲 2是否會干擾原對蟲進行交配，再記錄其干擾策略與行為。

研究結果發現，高砂鋸锹形蟲對蟲交配時，雌蟲 2進行干擾交配權的機率為 80%。在總數十次的干擾交配權實驗中，雌蟲 2出現八次的干擾行為。在總數八次的干擾活動中，有七次雌蟲 2被雄蟲使用大顎彈開，只有一次成功干擾交配(成功率 12.5%)。值得注意的是，這次的干擾不只驅離了原雌蟲，還取代原有雌蟲與雄蟲完成交配。

在干擾的策略部分，雌蟲 2 進行干擾交配權的策略為壓低身體，緩慢接近交配中的對蟲，同時透過震動觸鬚、伸吐口器的方式，朝向交配中的雌蟲位置移動，找機會從雄蟲側身穿過，並使用背部與腹部，將雌蟲推擠開來。



圖 5 雌蟲干擾交配權過程照片

表二、雌蟲干擾交配實驗記錄

次 數	宣示行為		戰鬥行為				說明
	震動 觸鬚	伸出 口器	夾	舉	拋	摔	
1	✓	✓	×	×	×	×	<u>雌蟲 2</u> 緩慢接近干擾，被雄蟲用大顎彈走，原對蟲完成交配。
2	✓	✓	×	×	×	×	<u>雌蟲 2</u> 緩慢接近交配對蟲，被雄蟲使用大顎趕走，原對蟲完成交配。
3	✓	✓	×	×	×	×	<u>雌蟲 2</u> 緩慢接近干擾，壓低身體，並從雄蟲下方擠走原雌蟲，取代原雌蟲完成交配。
4	✓	✓	×	×	×	×	<u>雌蟲 2</u> 緩慢接近干擾，被雄蟲用大顎趕走，原對蟲完成交配。
5	×	×	×	×	×	×	<u>雌蟲 2</u> 離開交配中的對蟲，原對蟲完成交配。
6	✓	✓	×	×	×	×	<u>雌蟲 2</u> 緩慢接近干擾，被雄蟲用大顎趕走，原對蟲完成交配。
7	×	×	×	×	×	×	<u>雌蟲 2</u> 離開交配中的對蟲，原對蟲完成交配。
8	✓	✓	×	×	×	×	<u>雌蟲 2</u> 緩慢接近干擾，被雄蟲用大顎趕走，原對蟲完成交配。

9	x	x	x	x	x	x	雌蟲 2 緩慢接近干擾，被雄蟲用大顎趕走，原對蟲完成交配。
10	✓	✓	x	x	x	x	雌蟲 2 緩慢接近干擾，被雄蟲用大顎趕走，原對蟲完成交配。

參●結論

一、高砂鋸锹形蟲干擾交配權之策略探討與結論

高砂鋸锹形蟲會干擾交配權嗎？研究發現，高砂鋸锹形蟲不論是雄蟲或雌蟲都有 80% 的機率會對正在交配中的對蟲進行干擾。但在干擾策略以及干擾成功率，雄蟲與雌蟲出現不一樣的結果。為統整與簡化本研究結果，我們將雄蟲與雌蟲干擾交配權之機率、策略與成功率歸納成表三，並進行後續的分析。

表三、雄蟲與雌蟲干擾交配權之機率、策略與成功率差異比較

	干擾率	干擾策略	成功率	取代率
雄蟲	80%	宣示：震動觸鬚、伸吐口器 戰鬥：夾、舉、拋、摔	75%	0%
雌蟲	80%	宣示：震動觸鬚、伸吐口器 壓低身體，緩慢爬向交配中的對蟲 繞到雄蟲身體下方，用身體將交配中的雌蟲推擠開來。	12.5%	12.5%

說明 干擾率：雄蟲 2 或 雌蟲 2 干擾交配中對蟲的機率。

成功率：阻止原對蟲完成交配的成功機率。以雄蟲為例，八次干擾中，六次成功阻止原對蟲的交配，成功率為 $6/8=75\%$ 。

取代率：取代原雄(雌)蟲，完成交配的機率。以雌蟲為例，八次干擾成功中，有一次取代原雌蟲，與雄蟲完成交配，取代率為 $1/8=12.5\%$ 。

(一)雄蟲採正面的「宣示」與「戰鬥」干擾策略

高砂鋸锹形蟲雄蟲干擾交配權的方式是以震動觸鬚、伸吐口器，以及夾、舉、拋、摔等「宣示」及「戰鬥」的「正面迎戰」策略來進行。朱耀沂(2006)認為，

昆蟲的存活，是以繁衍為最終目的。我們觀察到雄蟲干擾交配權的現象，正符合了朱耀沂的主張與論述：「雄蟲為了能夠圓滿繁衍的目的，儘管發現已經進入交尾的階段的對蟲，仍不願放棄爭取交尾的機會，勇敢迎戰敵蟲。」

(二)雌蟲先宣戰，再採用迂迴爬行的推擠策略擠掉其他雌蟲

高砂鋸鍬形蟲雌蟲干擾交配權的策略跟雄蟲不同。我們發現，交配中的雄蟲會使用大顎向接近中的雌蟲展開攻擊，運用大顎由下而上將接近的雌蟲彈開，因此干擾的雌蟲(雌蟲 2)無法直接接近雄蟲，必須躲過雄蟲的視覺焦點，並藉由身體壓低，緩慢接近交配中的雌蟲，穿過雄蟲的把關之後，再使用身體將原雌蟲推擠開。干擾的成功率雖然不高，但卻能取代原雌蟲，獲得與雄蟲交配的權利。

二、未來研究建議

本研究實驗觀察進行時間皆在下午 4-6 點時段進行，研究設計雖已符合高砂鋸鍬形蟲生態習性，然建議未來可進行夜間不同時段的互動行為之歸納與分析，以探究砂鋸鍬形蟲干擾交配權行為是否受時間因素而有所差異。

肆●引註資料

- 朱耀沂(2006)。情色昆蟲記—昆蟲世界的愛情兵法。臺北：商周出版社。
- 李惠永(2004)。自然觀察圖鑑 4-台灣鍬形蟲。台北市：親親文化事業出版。
- 周裕欽(2015)。尋找高砂鋸—生活習性與觀察要訣。國語日報(科學版)，2015.07.08。
- 周承儒、何以宸、潘茗等、黃思嘉、張沛勻、黃芷彤(2015)。感覺對了嗎?高砂鋸鍬形蟲的溝通行為研究。(未出版，第 55 屆全國科展研究報告)。
- 張永仁(1998)。昆蟲圖鑑(一)、(二)。台北：遠流出版社。
- 張永仁(2006)。鍬形蟲 54。遠流出版事業股份有限公司。
- 教育部(2001)。自然與生活科技教學指引-生物的繁殖單元。台北：教育部。
- 楊平世(1999)。台灣的常見昆蟲。台北：渡假出版社。
- 盧耽(2008)。圖解昆蟲學。臺北：城邦出版社。
- 蘇俞丞(2005)。台灣地區鍬形蟲科昆蟲分類與地理分佈上的回顧與整理。蟲誌 5，130-137。台北市：商鼎文化出版。