中華民國第55屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組　生物科

佳作

080302

感覺對了嗎？高砂鋸鍬形蟲的溝通行為研究

學校名稱：國立東華大學附設實驗國民小學

作者：	指導老師：
小六 周承儒	周裕欽
小六 何倚宸	廖品蘭
小六 潘茗等	
小六 黃思嘉	
小六 張沛勻	
小六 黃芷彤	

關鍵詞：高砂鋸鍬形蟲、溝通行為、交配模式

摘要

高砂鋸鍬形蟲會溝通嗎?用什麼器官及如何溝通?研究發現高砂鋸會溝通。打鬥前，雄蟲與雌蟲分別以每秒 2.93 次及 1.6 次的頻率震動觸鬚，再以每秒 0.47 次及 0.11 次的速度向敵蟲伸吐口器，是為示威的溝通。

交配時，雄蟲與雌蟲會使用生長在頭部的觸鬚、小顎鬚及口器，以觸覺及非觸覺的形式傳遞及接收訊息；並透過生長在腹部下緣、腹部及頭部背板的表皮結構，以觸覺的方式接收訊息。

雄蟲打鬥模式可簡化為「插」、「夾」、「舉」、「拋摔」；雌蟲則為「下壓」、「夾」、「舉」、「拋摔」等四個步驟。交配模式可分成「觸動」、「觸刷顎點」、「觸動輕拍」及「交配」等四個階段。

關鍵字：高砂鋸鍬形蟲　　溝通行為　　交配模式

壹、研究動機

2013 的夏天，我們在學校附近公園的烏桕樹群上發現高砂鋸鍬形蟲的聚落，高砂鋸鍬形蟲雄蟲的外型兇猛威武，與一般常見的扁鍬形蟲不太一樣，引起我們高度的好奇。

自然課「昆蟲家族」單元中曾經學過觀察昆蟲的生態行為，我們也實際進行甲蟲飼育，觀察鍬形蟲的成長過程。這次野外踏查所發現的高砂鋸鍬形蟲的族群，讓我們相當好奇這兇猛的鍬形蟲的習性如何，便開始進行一連串的觀察研究。

研究初期發現，高砂鋸鍬形蟲的雄蟲非常喜歡打架，只要碰在一起，就會打成一團，模樣非常兇猛威武。我們也發現雄蟲會追逐雌蟲，用腳將雌蟲固定在身體下方，好像在跟雌蟲說悄悄話的樣子。這些發現讓我們產生疑問：雄蟲在打架及交配時，是否會先與對方溝通呢？牠們是如何溝通的？還有，牠們用身體的哪些部位以及如何運用這些部位進行溝通呢？

貳、研究目的

依照研究動機，我們的研究目的有以下三項：

目的一：探討高砂鋸鍬形蟲是否會溝通。

目的二：探討高砂鋸鍬形蟲有哪些溝通器官，牠們是如何進行溝通。

目的三：探討高砂鋸鍬形蟲打鬥及交配過程是否具有明確的模式。

參、相關文獻

一、高砂鋸鍬形蟲生命史與本研究樣本來源

高砂鋸鍬形蟲（Prosopocoilus motschulskyii），為臺灣特有種，屬於完全變態的昆蟲。一年間完成「卵」、「幼蟲」、「蛹」及「成蟲」四個階段的生命循環 (如圖 1)。

李惠永(2004)指出高砂鋸鍬形蟲喜歡生活在海拔 300 公尺以下的海邊，成蟲白天喜歡躲在烏桕樹、相思樹樹根。這跟我們調查結果一致，我們所發現高砂鋸鍬形蟲的棲地，就是在公園的烏桕樹群，牠們白天躲在烏桕樹的樹洞中，在傍晚四、五點之後，才跑出樹洞，往烏桕樹的樹頂上爬(如圖 2)。

卵	幼蟲	蛹(雄蟲)	成蟲(雌蟲)

圖 1　高砂鋸鍬形蟲生命史

另外，高砂鋸鍬形蟲的幼蟲，以木屑、及蕈類為食物。我們希望能夠觀察牠們打鬥與交配過程的溝通行為，於是決定要親自飼育與繁殖高砂鋸鍬形蟲，因此，在徵得指導老師同意，並以不危害高砂鋸鍬形蟲棲地環境生態的條件下，於 2013 年暑假採集三隻雌蟲，回學校布置雌蟲的產室，成功讓雌蟲繁殖下一代。

2014 年暑假，我們從自行繁殖的高砂鋸鍬形蟲後代中，成功取得 87 隻成蟲(49 隻雄蟲、38 隻雌蟲)，做為我們實驗與觀察的樣本。2015 年繼續保留 8 隻雌蟲做為繁殖樣本，截至 6 月 10 日止，我們已從自行繁殖的高砂鋸鍬形蟲中取得 88 隻成蟲(48 隻雄蟲，40 隻雌蟲)，做為後續繼續觀察高砂鋸鍬形蟲溝通行為的樣本來源。

棲地內的烏桕樹(1)	棲地內的烏桕樹(2)	白天躲在樹洞中	傍晚開始往外爬

圖 2 本研究觀察與採集之高砂鋸鍬形蟲原生棲地(美崙山東側山坡地)

二、高砂鋸鍬形蟲的身體結構與器官

高砂鋸鍬形蟲會溝通嗎?用哪些器官溝通呢?從我們蒐集的許多資料中，缺乏高砂鋸鍬形蟲感覺器官的相關資料。而在昆蟲相關的研究中，盧耽(2008)提到，昆蟲的感覺器官全身都有，可以用來傳遞、接受各種外界的訊息與刺激、分辨環境變化、幫助昆蟲尋找食物、躲避天敵、適應溫度及求偶交配。另外，朱耀沂(2006)指出「草蟬」在交配時，可分成「鳴叫」、「輕打」、「交尾」及「離開」四個階段。

這些資料引發我們進一步思考「高砂鋸雄蟲在打鬥及交配的過程，會用身體哪些器官來進行溝通呢？」，另外，「高砂鋸鍬形蟲交配過程，是否也能劃分出不同的階段與模式呢?」

綜合上述的文獻，我們釐清了主要的研究方向，必須先了解高砂鋸鍬形蟲的身體有哪些器官；再觀察高砂鋸鍬形蟲打鬥與交配過程的互動模式，並了解其中使用那些以及如何使用這些身體器官進行溝通?

肆、研究問題

問題一：高砂鋸鍬形蟲有哪些身體結構與器官？

問題二：雄蟲相遇時進行打鬥的機率如何?

問題三：雌蟲相遇時進行打鬥的機率如何?

問題四：雄蟲個體大小與打鬥結果之關係如何?

問題五：雄蟲打鬥前會先溝通嗎?是怎樣溝通呢?

問題六：雌蟲打鬥前會先溝通嗎?是怎樣溝通呢?

問題七：雄蟲打鬥時使用到哪些器官？

有沒有特別的打鬥招式呢？

問題八：雌蟲打鬥時使用到哪些器官?

有沒有特別的打鬥招式呢?

問題九：雄蟲打鬥時有明確的打鬥模式嗎?

問題十：雌蟲打鬥時有明確的打鬥模式嗎?

問題十一：雄蟲與雌蟲交配時會溝通嗎?是怎樣溝通呢?

問題十二：雄蟲與雌蟲交配時有明確的交配模式嗎?

圖 3　高砂鋸鍬形蟲雄蟲

圖 4　高砂鋸鍬形蟲雌蟲

伍、研究設備及器材

本研究使用下列器材進行實驗：放大鏡、手持式顯微鏡、三目電子顯微鏡、數位攝影機、電子游標尺、電子磅秤、標本製作工具組、昆蟲觀察箱。

電子游標尺	數位攝影機	數位相機	手持式顯微鏡	電子顯微鏡
放大鏡	電子磅秤	標本製作工具組	高砂鋸鍬形蟲	昆蟲觀察箱

圖 5　本研究使用之設備器材

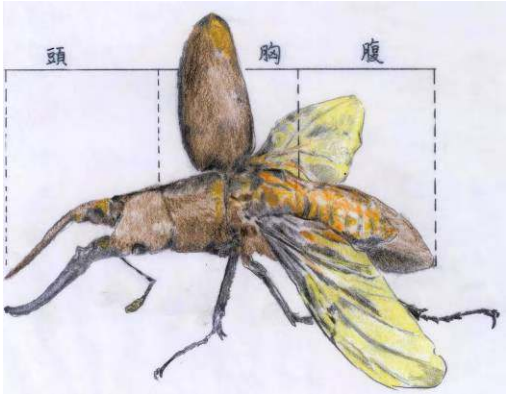


圖 6　高砂鋸鍬形蟲展翅圖

陸、研究發現與結果

問題一、高砂鋸鍬形蟲有哪些身體結構與器官？

方法：觀察法

步驟：

1.準備雄性與雌性高砂鋸鍬形蟲標本。

2.觀察鍬形蟲身體各部位的結構。

3.將觀察好的高砂鋸鍬形蟲身體各部位器官描繪並做標示。

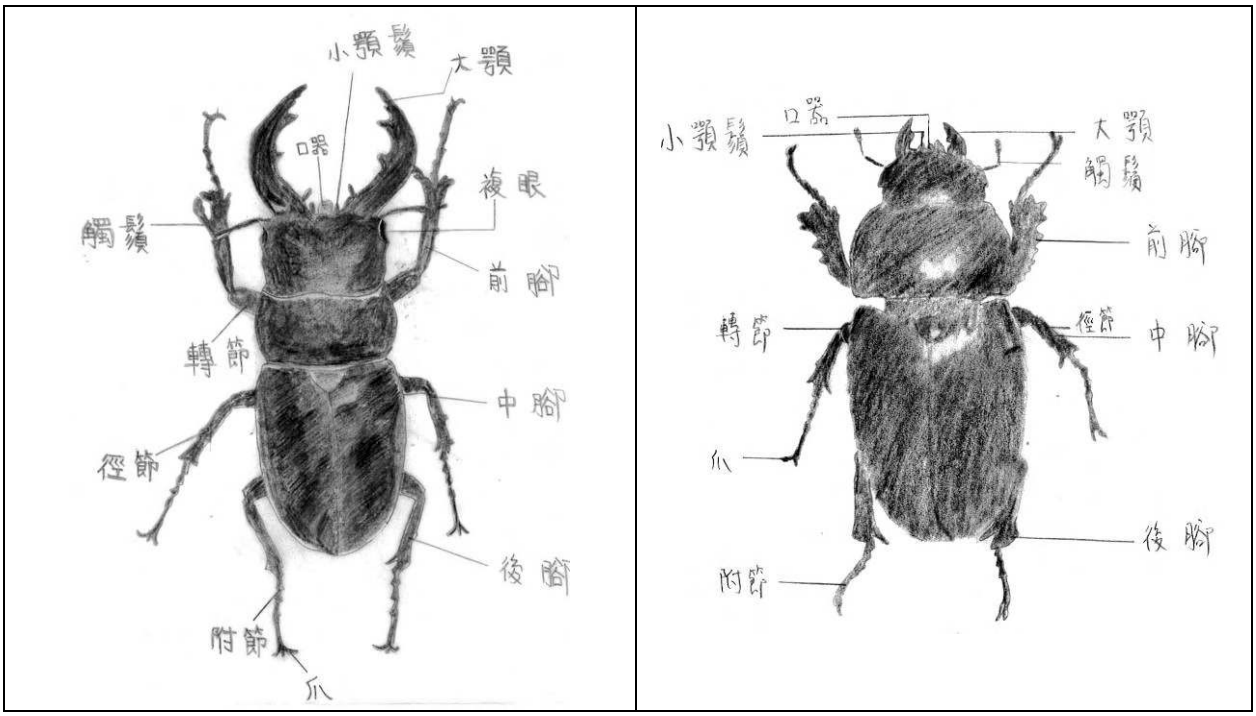


圖 7　高砂鋸鍬形蟲身體部位名稱

雄蟲正面	雄蟲背面	雌蟲正面	雌蟲背面

圖 8　高砂鋸鍬形蟲雄蟲與雌蟲正、反面圖

研究結果：高砂鋸鍬形蟲具有頭、胸、腹等基本結構。各結構主要器官如下：

1. 頭部器官：主要由大顎、複眼、觸鬚、口器、小顎鬚所構成。
2. 胸部器官：胸部分成前、中、後胸三節，下緣分別長出一對前腳、中腳及後腳，每隻腳由內而外分別長出轉節、徑節、附節及爪等細部結構。後胸上緣覆蓋著鞘翅，下方由一對內翅組成。
3. 腹部上緣覆蓋鞘翅，下緣是由五節腹部組織構成。
4. 以上的觀察，讓我們認識了高砂鋸鍬形蟲身體各部位器官，同時，我們也產生疑問：「是哪些器官，幫助高砂鋸鍬形蟲用來打鬥、交配與溝通呢？」

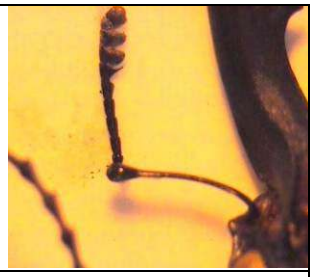
頭部器官				
	雄蟲大顎、口器及小顎鬚	雌蟲大顎、口器及觸鬚	複眼	觸鬚
胸部器官				
	鞘翅	內翅	前、中、後足	足部的細部結構
腹部器官				
	腹部上緣覆蓋鞘翅		腹部下方五個體節	

圖 9　高砂鋸鍬形蟲身體各部位器官

認識高砂鋸鍬形蟲身體各部位器官，對我們的研究有很大的幫助。我們假設高砂鋸鍬形蟲在進行溝通時，所運用到的器官就會出現移動的行為。因此，我們在進行實際觀察時，就以高砂鋸活動時有哪些器官在運動作為記錄的重點。但由於我們的肉眼無法判斷高砂鋸的複眼是否有活動的現象，因此，研究決定省略複眼的觀察與探究。

問題二：雄蟲相遇時進行打鬥的機率如何?

方法：觀察法

步驟：

1. 布置高砂鋸鍬形蟲打鬥觀察箱。
2. 將 2 隻雄蟲放入觀察箱中。
3. 觀察記錄雄蟲相遇時是否會打鬥。
4. 進行 10 組，總數 20 隻的觀察實驗，並統計結果。

圖 10　打鬥中的雄蟲

打鬥中的雄蟲 2

打鬥中的雄蟲 3

圖 11　雄蟲打鬥觀察情境布置與觀察情形

研究結果：高砂鋸鍬形蟲雄蟲相遇時就會進行打鬥，打鬥的比例高達 100%。

表 1　雄蟲相遇時打鬥觀察記錄表

組數	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
是否打鬥	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無
	ν		ν		ν		ν		ν		ν		ν		ν		ν		ν	
打鬥比例	100%																			

問題三：雌蟲相遇時進行打鬥的機率如何?

方法：觀察法

步驟：

1. 布置高砂鋸鍬形蟲打鬥觀察箱。
2. 將 2 隻雌蟲放入觀察箱中。
3. 觀察記錄雌蟲相遇時是否會打鬥。
4. 進行 10 組，總數 20 隻的觀察實驗，並統計結果。

雌蟲打鬥前的互動	雌蟲打鬥前的互動

圖 12　雌蟲打鬥狀況觀察

研究結果：我們總共進行了十組的雌蟲打鬥實驗，統計結果發現雌蟲打鬥機率為 30%。

表 2 雌蟲相遇時打鬥觀察記錄表

組數	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
是否打鬥	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無
	ν			ν	ν			ν		ν		ν		ν		ν	ν			ν
打鬥比例	30%																			

問題四：雄蟲個體大小與打鬥結果之關係如何?

方法：實驗法

步驟：

1. 取得小型（42mm）、中型（48mm）、大型（54mm）雄蟲各一隻。
2. 同時將三隻不同個體大小的高砂鋸鍬形蟲放入觀察箱中。
3. 觀察不同個體大小雄蟲打鬥效能。

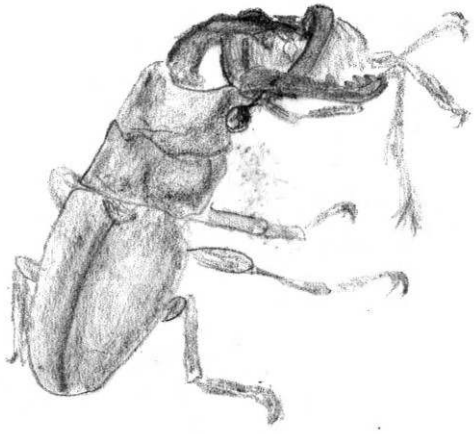


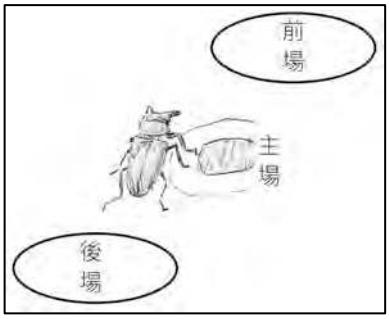
圖 13 雄蟲的打鬥

小型雄蟲 42mm	中型雄蟲 48mm	大型雄蟲 54mm	
			 圖 14 測量雄蟲個體尺寸

圖 15　高砂鋸鍬形蟲雄蟲不同個體大小圖示

研究結果：

本研究發現大型雄蟲打鬥勝率較高。我們總共進行了 12 次的測試，依序讓三隻雄蟲占據食物檯(果凍檯)，做為主場優勢，再觀察位於兩端的另兩隻雄蟲是否會前進搶占地盤。



研究發現大型雄蟲在總數 12 次的打鬥過程中，取得 10 次的勝利，以 83%的高勝機率佔有地盤；中型雄蟲也有 17%的搶佔地盤機會；小型雄蟲則皆呈現逃離打鬥現場的現象。由此推論，大型個體的高砂鋸鍬形蟲雄蟲較具有打鬥優勢。

表 3　不同個體大小高砂鋸鍬形蟲雄蟲打鬥效能統計表

觀察次數	大型雄蟲(54mm)		中型雄蟲(48mm)		小型雄蟲(42mm)	
	位置	勝☑負☒	位置	勝☑負☒	位置	勝☑負☒
1	主場	負☒	前場	勝☑	後場	逃離
2	前場	勝☑	後場	負☒	主場	逃離
3	後場	勝☑	主場	負☒	前場	逃離
4	主場	勝☑	前場	負☒	後場	逃離
5	前場	勝☑	後場	逃離	主場	逃離
6	後場	勝☑	主場	負☒	前場	逃離
7	主場	負☒	前場	勝☑	後場	逃離
8	前場	勝☑	後場	負☒	主場	逃離
9	後場	勝☑	主場	負☒	前場	逃離
10	主場	勝☑	前場	負☒	後場	逃離
11	前場	勝☑	後場	負☒	主場	逃離
12	後場	勝☑	主場	負☒	前場	逃離
勝率	$\frac{10}{12}$	(83%)	$\frac{2}{12}$	(17%)	0%	

註：位置(主場)代表果凍檯、位置(前場)位於果凍檯前方、位置(後場)位於果凍檯後方。前後以佔據果凍檯雄蟲身體為準，大顎方向為前方。

在觀察高砂鋸鍬形蟲雄蟲打鬥過程，我們發現兩隻雄蟲在打鬥前，會將口器快速的伸出，難道這是牠們在溝通嗎?這個特殊現象太有趣了，為了解這問題的答案，我們進行了問題五、六的實驗與觀察。

問題五、雄蟲打鬥前會先溝通嗎?是怎樣溝通呢?

方法：觀察法

步驟：1.選取五組，每組兩隻個體大小相近的高砂鋸鍬形蟲雄蟲。

2.將高砂鋸鍬形蟲放入觀察箱，觀察雄蟲在打鬥前是否有溝通行為。

3.使用照相機及攝影機輔助觀察。

觀察紀錄

雄蟲震動觸鬚

伸出口器的雄蟲

圖 16　雄蟲打鬥溝通的觀察實驗情形

研究結果：

我們發現高砂鋸雄蟲在打鬥前會以每秒 2.93 次的速度上下震動觸鬚，同時以每秒 0.47 次的速度，向敵蟲伸出口器。據此發現推論，雄蟲在打鬥前會先進行溝通；溝通方式就是透過震動觸鬚及伸出口器等兩種行為，向敵蟲發出某種訊號。

另外，我們也發現雄蟲打架前，大顎會壓低，跟身體呈現水平狀況或低於身體的角度，面向牠的敵人。前、中、後腳則隨著打鬥的狀況前、後移動。

觀察組別	對峙時間	有移動的器官					
		頭部			腳		
		觸鬚	口器	大顎	前腳	中腳	後腳
1	7 秒	21 次 (震動)	3 次 (伸出)	大顎平行 或稍微往下彎	前後 位移	前後 位移	前後 位移
2	11 秒	32 次 (震動)	5 次 (伸出)	大顎平行 或稍微往下彎	前後 位移	前後 位移	前後 位移
3	9 秒	25 次 (震動)	4 次 (伸出)	大顎平行 或稍微往下彎	前後 位移	前後 位移	前後 位移
4	14 秒	44 次 (震動)	7 次 (伸出)	大顎平行 或稍微往下彎	前後 位移	前後 位移	前後 位移
5	16 秒	45 次 (震動)	8 次 (伸出)	大顎平行 或稍微往下彎	前後 位移	前後 位移	前後 位移
平均	11.4 秒	33.4 次 (震動)	5.4 次 (伸出)				
頻率		**2.93 次/秒 (震動)**	**0.47 次/秒 (伸出)**				

表 4　雄蟲打鬥前的行為觀察與記錄表

問題六、雌蟲打鬥前會先溝通嗎?是怎樣溝通呢?

方法：觀察法

步驟：1.選取五組，每組兩隻個體大小相近的高砂鋸鍬形蟲雌蟲。

2.將高砂鋸鍬形蟲放入觀察箱，觀察雌蟲在打鬥前是否有溝通行為。

3.使用照相機及攝影機輔助觀察。

對峙的雌蟲

雌蟲震動觸鬚

雌蟲伸出口器

圖 17　雌蟲打鬥溝通的觀察實驗情形

研究結果:我們發現雌蟲在打鬥前會以每秒 1.6 次的速度上下震動觸鬚,同時以每秒 0.11 次的速度，向敵蟲伸出口器。依照這發現推論，雌蟲在打鬥前也會先溝通；溝通方式跟雄蟲一樣，透過震動觸鬚及伸出口器等兩種行為，向敵蟲發出訊號。

同時雌蟲打鬥前，大顎會往下壓，跟身體呈現水平或略低於身體的角度面向敵蟲。前、中、後腳也會跟著打鬥的狀況前、後移動。

表 5　雌蟲打鬥前的行為觀察與記錄表

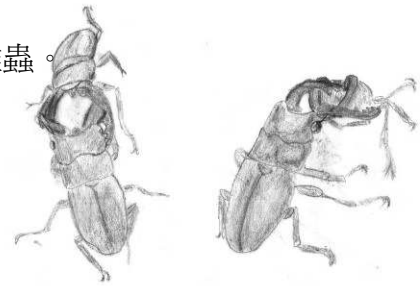
觀察組別	對峙時間	有移動的器官					
		頭部			腳		
		觸鬚	口器	大顎	前腳	中腳	後腳
1	10 秒	15 次(震動)	2 次(伸出)	向下彎曲	前後位移	前後位移	前後位移
2	12	19 次(震動)	0 次(伸出)	向下彎曲	前後位移	前後位移	前後位移
3	15	19 次(震動)	1 次(伸出)	向下彎曲	前後位移	前後位移	前後位移
4	12	19 次(震動)	2 次(伸出)	向下彎曲	前後位移	前後位移	前後位移
5	8	20 次(震動)	1 次(伸出)	向下彎曲	前後位移	前後位移	前後位移
平均	11.4	18.4 次(震動)	1.2 次(伸出)				
頻率		**1.6 次/秒(震動)**	**0.11 次/秒(伸出)**				

問題七：雄蟲打鬥時使用到哪些器官？有沒有特別的打鬥招式呢？

方法：觀察法

步驟：

1. 選取五組，每組為兩隻個體大小相近的高砂鋸鍬形蟲雄蟲。
2. 依序將每組高砂鋸鍬形蟲放入觀察箱。
3. 記錄雄蟲開始打鬥到逃離(或其中一隻翻身)的時間。
4. 仔細觀察打鬥的行為，並記錄獲勝雄蟲的打鬥行為。



對峙中的鍬形蟲	打鬥中的雄蟲 1	打鬥中的雄蟲 2	打鬥中的雄蟲 3

圖 18 高砂鋸鍬形蟲雄蟲打鬥觀察

研究結果：如表 6 ，觀察五組雄蟲打鬥過程，發現每場打鬥時間平均約為 15.8 秒，觸鬚平均震動為 3 次；此外，雄蟲會以與身體平行或略低的角度，展開頭頂上的大顎，並向敵方衝撞。若是無法一次將敵蟲撞翻，接著就會以互夾、抬起敵蟲身體及拋摔敵蟲的方式，將敵蟲翻摔。打鬥進行的過程中，三對腳主要提供支撐身體，避免身體被敵蟲抬起，導致因失去固定身體的基礎而被拋摔的後果。

表 6 獲勝雄蟲打鬥所使用的主要器官與行為記錄

組別	打鬥時間(秒)	雄蟲打鬥使用的器官與運用的方法					
		頭部			腳		
		觸鬚(震動)	口器(伸出)	大顎	前腳	中	後腳
1	20	4	0	大顎跟身體平行，往敵蟲腹部下方插，雙方用大顎互頂，勝利的雄蟲最後將敵蟲彈出去。	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)
2	11	3	0	大顎下彎，往前衝，並插進敵蟲腹部下方。夾住敵蟲腹部、抬起敵蟲、快速的拋出敵蟲。	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)
3	13	2	1	大顎下彎，往前衝，從敵蟲腹部下方夾住敵蟲腹部，並抬起敵蟲身體，拋出敵蟲。	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)
4	16	3	0	大顎跟身體平行，往敵蟲方向衝撞，插入敵蟲腹部下方，並彈出敵蟲。	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)
5	19	3	0	大顎跟身體平行前衝，插進敵蟲腹部下方，夾住腹部，抬升，拋摔。	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)
平均	**15.8 秒**	**3 次**	/				

問題八、雌蟲打鬥時使用到哪些器官？有沒有特別的打鬥招式呢？

方法：觀察法

步驟：

1. 選取五組，每組為兩隻個體大小相近的高砂鋸鍬形蟲雌蟲。
2. 依序將每組高砂鋸鍬形蟲放入觀察箱。
3. 記錄雌蟲開始打鬥到逃離(或其中一隻翻身)的時間。
4. 仔細觀察打鬥的行為，並記錄獲勝雌蟲的打鬥行為。

對峙中的鍬形蟲	打鬥中的雌蟲 1	打鬥中的雌蟲 2	打鬥中的雌蟲 3

圖 17 高砂鋸鍬形蟲打鬥觀察

研究結果：如表 7 ，雌蟲平均每場打鬥時間為 9 秒，觸鬚震動 3 次；雌蟲大顎會以跟身體平行或略低的角度下壓，緊接著與敵蟲大顎展開互夾的動作，輸者會被抬起身體及拋摔。打鬥過程中，三對腳提供支撐以及固定身體的功能，以避免身體被抬起而拋摔。

表 7 獲勝雌蟲打鬥所使用的主要器官與行為記錄

組別	打鬥時間(秒)	雌蟲打鬥使用的器官與運用的方法					
		頭部			腳		
		觸鬚(震動)	口器(伸出)	大顎	前腳	中	後腳
1	12	6	0	大顎下壓，互夾大顎，舉起敵蟲，拋出敵蟲	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)
2	13	6	0	大顎下壓，互夾，舉起敵蟲，抖動敵蟲，拋摔	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)
3	10	3	0	大顎下壓，互夾大顎，舉起，拋離	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)
4	7	2	0	互夾、舉起敵蟲，掙脫逃離	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)
5	3	1	0	互夾、逃離	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)	移動 抓(固定)
平均	**9 秒**	**3.6 次**	0				

問題九：雄蟲打鬥時有明確的打鬥模式嗎?

方法：歸納與資料分析

步驟：

1. 歸納與統整本研究問題五及問題七的研究發現。
2. 分析雄蟲打鬥是否有明確的打鬥模式。
3. 討論、分析並歸納結果。

對望，用口器示威	往前衝，大顎下壓	接觸；互推、互夾	接觸:舉起、拋摔	勝負已分；翻身者輸

圖 18　雄蟲打鬥過程

研究結果：雄蟲打鬥時有明確的打鬥模式。打鬥可以分成「示威」及「戰鬥」兩個階段。每個階段還可細分成幾個次要的步驟，說明如下：

(1)**示威階段**：是指打鬥前，雄蟲會以每秒 2.93 次的速度對敵蟲震動觸鬚；同時以每秒 0.47 次的速度，向敵蟲伸出藏在頭楯下方的金黃色口器。由於這兩項行為出現在雄蟲打鬥之前，看起來似乎是在對敵蟲發出隔空的示威警告，因此我們將這一階段命名為「示威」。

(2)**戰鬥階段：**是指雄蟲與敵蟲開始接觸打鬥到翻身或一隻逃離等行為。

戰鬥可再區分成四個步驟；一開始時，雄蟲大顎會以衝撞的方式插入敵蟲腹部下方，卡住敵蟲的身體與腳；緊接著將大顎稍微抬高夾住敵蟲腹部；將敵蟲整隻舉起；然後拋摔。

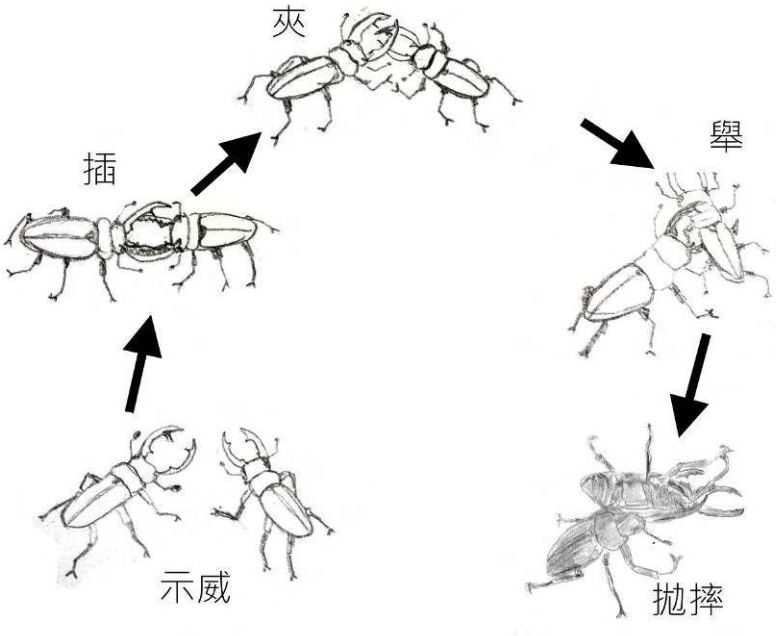


圖 19 雄蟲打鬥模式圖

整個過程可簡化成「插」、「夾」、「舉」、「拋摔」等四個動作。

表 8　雄蟲打鬥行為分析表

發現	打鬥前的器官與行為		打鬥中的器官與行為				
	觸鬚	口器	大顎				腳
			插	夾	舉	拋摔	移動及固定
問題五	雄蟲以每秒 2.93 下的速度朝向對手震動觸鬚	雄蟲以每秒 0.47 下的速度伸出口器	※	※	※	※	隨身體移動並提供固定身體的基礎
問題七	※	※	以平行或略低於身體的角度插入敵蟲腹部下方	夾住敵蟲大顎或者腹部	將敵蟲舉起	將敵蟲拋出，讓其翻身或逃走	隨身體移動並提供固定身體的基礎
備註	示威階段 使用觸鬚震動及口器伸縮的方式，嚇阻敵蟲接近。		戰鬥階段 使用「插」、「夾」、「舉」、「摔」等戰鬥策略，驅退敵蟲。 其中，大顎能在第一時間插入敵蟲腹部下方，即能架高敵蟲身體，使其腳部無法穩定抓住物品，失去依靠與重心，容易被抬高及拋摔，是打鬥勝負最主要的關鍵。				穩定的基礎，一被抬升，便容易失去重心，甚至被拋摔。

問題十：雌蟲打鬥時有明確的打鬥模式嗎?

方法：歸納與資料分析

步驟：

1. 歸納與統整本研究問題六及問題八的研究發現。
2. 分析雌蟲打鬥是否有明確的打鬥模式。
3. 討論、分析並歸納結果。

下壓	夾	舉	拋摔

圖 20　雌蟲打鬥過程

研究結果：雌蟲打鬥時有明確的打鬥模式。跟雄蟲一樣，整個過程也可以簡化成「示威」及「戰鬥」兩個階段。每個階段可細分成幾個步驟如下：

(1)**示威階段**：雌蟲在戰鬥前，會以每秒 1.6 次的速度震動觸鬚;同時以每秒 0.11 次的速度面向敵蟲伸出金黃色口器。

(2)**戰鬥階段：雌蟲的戰鬥行為可**分成四個步驟；一開始時，雌蟲頭部下壓，並使用大顎展開互夾的動作，接著勝利的一方將敵蟲整隻舉起，然後拋摔出去。完整的過程簡化為「下壓」、「夾」、「舉」、「拋摔」等四個動作。

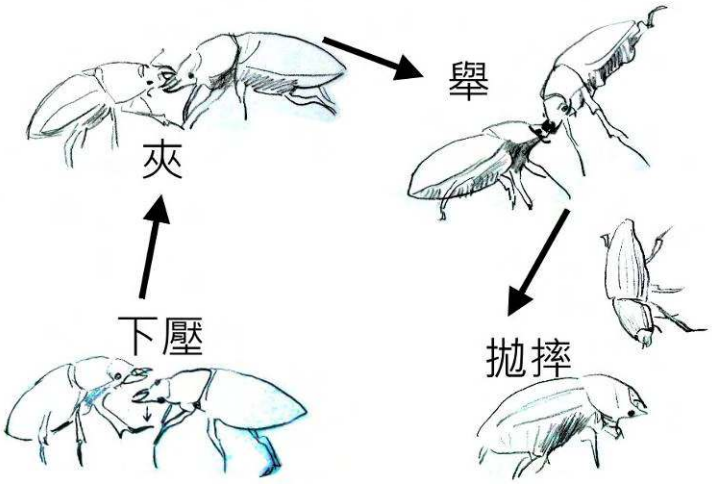


圖 21 雌蟲打鬥模式圖

表 9　雌蟲打鬥行為分析表

發現	打鬥前的器官與行為		打鬥中的器官與行為				
	觸鬚	口器	大顎				腳
			下壓	夾	舉	拋摔	移動固定
問題六	雌蟲以每秒 1.6 次的速度震動觸鬚	雌蟲以每秒 0.11 次的速度伸出口器	※	※	※	※	隨著身體移動，提供身體固定的基礎
問題八	※	※	大顎及頭部往下壓	雌蟲相互夾住大顎	將敵蟲舉起	將敵蟲拋摔	隨著身體移動，提供身體固定的基礎
備註	示威階段 使用觸鬚震動及口器伸縮嚇阻敵蟲接近。		戰鬥階段 使用「下壓」、「夾」、「舉」、「拋摔」等戰鬥策略，驅退敵蟲。				穩定的基礎

問題十一：雄蟲與雌蟲交配時會溝通嗎?是怎樣溝通呢?

方法：觀察法

步驟：

1. 選出**五組**個體大小相當的雄蟲與雌蟲配對，輪流放入觀察箱中。
2. 依序觀察、錄影五組配對雄蟲與雌蟲的交配過程，記錄「觸鬚」、「小顎鬚」、「口器」及其它部位的互動行為表現。
3. 統計分析結果。

布置交配觀察箱	觀察交配過程 1	觀察交配過程 2	用電腦分析影片

圖 22　高砂鋸鍬形蟲交配行為觀察過程

研究結果：雄蟲與雌蟲交配時會溝通。

雄蟲透過觸鬚、小顎鬚、腹部尾端等器官跟雌蟲溝通；雌蟲則以觸鬚、腹部背板及頭部背板接收訊息。

表 10 呈現觀察結果，五組對蟲中，第 1、3、4 組交配時雄蟲與雌蟲分別以震動觸鬚的方式互動。經一段時間後，雄蟲爬上雌蟲背部，與雌蟲方向相反，並用觸鬚輕刷雌蟲腹部背板，同時，小顎鬚也會以上下敲打的方式，輕點雌蟲腹部背板。然後雄蟲轉向，上下震動觸鬚，並使用腹部尾端輕拍雌蟲腹部背板，最後進行交配。

第 2、5 組對蟲交配時，雄蟲與雌蟲先以震動觸鬚的方式互動。接著雄蟲爬上雌蟲背部，上下震動觸鬚，然後使用腹部尾端輕拍雌蟲腹部背板，最後進行交配。

雄蟲與雌蟲對望，並快速震動觸鬚	雄蟲觸鬚輕刷雌蟲腹部背板	雄蟲小顎鬚輕點雌蟲腹部背板	雄蟲腹部尾端上下輕拍雌蟲腹部背板	進行交配

圖 23　高砂鋸鍬形蟲交配過程

依照上述的發現，我們歸納分析及推論高砂鋸交配時會溝通，雄蟲與雌蟲展現不同的溝通行為。雄蟲透過觸鬚、小顎鬚及腹部尾端主動向雌蟲傳遞訊息；而雌蟲則以觸鬚、頭部背板、腹部背板被動接收訊息，隨後完成交配。

表 10　雄蟲與雌蟲交配行為觀察表

組別		雄、雌蟲原地對望	雄蟲爬到雌蟲背上		交配
			反向互動	順向互動	
1	時間 3 分 57 秒	18 秒	1 分 43 秒	1 分 05 秒	51 秒
	觸鬚	上下擺動觸鬚 42 次 平均 2.3 次/秒	雄蟲觸鬚輕刷雌蟲腹尾背板(18 次) 平均 1 次/6.7 秒	觸鬚在空中上下震動(143 次)平均 2.2 次/秒	觸鬚輕刷雌蟲背板(11 次) 平均 1 次/5 秒
	小顎鬚	安靜不動	小顎鬚輕點雌蟲腹尾背板(21 下)平均 1 次/5 秒	安靜不動	安靜不動
	口器	安靜不動	安靜不動	安靜不動	安靜不動
	其它	※	※	雄蟲腹部輕拍雌蟲腹部背板(103 次/25 秒)平均 4 次/秒	※

2	時間 1 分 55 秒	12 秒	無反向互動	39 秒	1 分 04 秒
	觸鬚	上下擺動觸鬚(36 次) 平均 3 次/秒	※	觸鬚在空中上下震動 (98 次)平均 2.5 次/秒	觸鬚輕刷雌蟲背板(8 次) 平均 1 次/8 秒
	小顎鬚	安靜不動	※	小顎鬚輕點雌蟲頭部背板(9 次)平均 1 次/4 秒	安靜不動
	口器	安靜不動	※	安靜不動	安靜不動
	其它	※	※	雄蟲腹部輕拍雌蟲腹部背板 (43 次/11 秒)平均 4 次/秒	※
3	時間 6 分 14 秒	8 秒	1 分 34 秒	58 秒	3 分 34 秒
	觸鬚	上下擺動觸鬚 20 次平均 2.5 次/秒	雄蟲觸鬚輕刷雌蟲腹尾背板 (16 次) 平均 1 次/6 秒	觸鬚在空中上下震動 (145 次)平均 2.5 次/秒	觸鬚輕刷雌蟲背板(38) 平均 1 次/5.6 秒
	小顎鬚	安靜不動	小顎鬚輕點雌蟲腹尾背板(19 次)**平均 1 次/5 秒**	安靜不動	安靜不動
	口器	安靜不動	安靜不動	安靜不動	安靜不動
	其它	※	※	雄蟲輕拍雌蟲腹部背板 平均 3 次/秒(26 秒/78 次)	※
4	時間 4 分 00 秒	24 秒	1 分 24 秒	57 秒	1 分 15 秒
	觸鬚	上下擺動觸鬚(72 次)平均 3 次/秒	雄蟲觸鬚輕刷雌蟲腹尾背板(12 次)平均 1 次/7 秒	觸鬚在空中上下震動 (131 次) 平均 2.3 次/秒	觸鬚輕刷雌蟲背板(12 次) 平均 1 次/6 秒
	小顎鬚	安靜不動	小顎鬚輕點雌蟲腹尾背板 (21 次)平均 1 次/6 秒	小顎鬚輕點雌蟲頭部背板 (9 次)平均 1 次/6 秒	安靜不動
	口器	安靜不動	安靜不動	安靜不動	安靜不動
	其它	※	※	雄蟲腹部間歇性輕拍雌蟲腹部背板(80 次/16 秒) 平均 5 次/秒	※
5	時間 1 分 58 秒	8 秒	無反向互動	30 秒	1 分 20 秒
	觸鬚	上下擺動觸鬚(24 次)平均 3 次/秒	※	觸鬚在空中上下震動 (90 次)平均 3 次/秒	觸鬚輕刷雌蟲背板(12 次) 平均 1 次/6 秒
	小顎鬚	安靜不動	※	小顎鬚輕點雌蟲頭部背板 (6 次)平均 1 次/5 秒	安靜不動
	口器	安靜不動	※	安靜不動	安靜不動
	其它	※	※	雄蟲腹部間歇性輕拍雌蟲腹部背板(64 次/16 秒) 平均 4 次/秒	※

問題十二：雄蟲與雌蟲交配時有明確的交配模式嗎?

方法：歸納與資料分析

步驟：

1. 歸納與統整問題十一的結果。
2. 分析雄蟲與雌蟲交配時是否有明確的交配模式。
3. 分析歸納與討論結果。

布置交配的環境	雄蟲雌蟲交配過程	雄蟲雌蟲交配過程	雄蟲雌蟲交配過程

圖 24　觀察雄蟲與雌蟲交配過程

研究結果：雄蟲與雌蟲交配時有明確的交配模式。依照交配步驟的繁簡程度，區分成以下兩種模式：

模式一：屬於較為繁複的交配模式，雄蟲與雌蟲總共歷經面對面「觸鬚震動」(簡稱觸動)、「反向並以觸鬚輕刷、雌蟲小顎鬚輕點雌蟲腹部背板」(簡稱觸刷顎點)、接著轉為順向，透過觸鬚震動及腹部下緣輕拍雌蟲腹部背板(簡稱觸動輕拍)等流程，隨後完成交配的模式。以下說明各階段的細部流程：

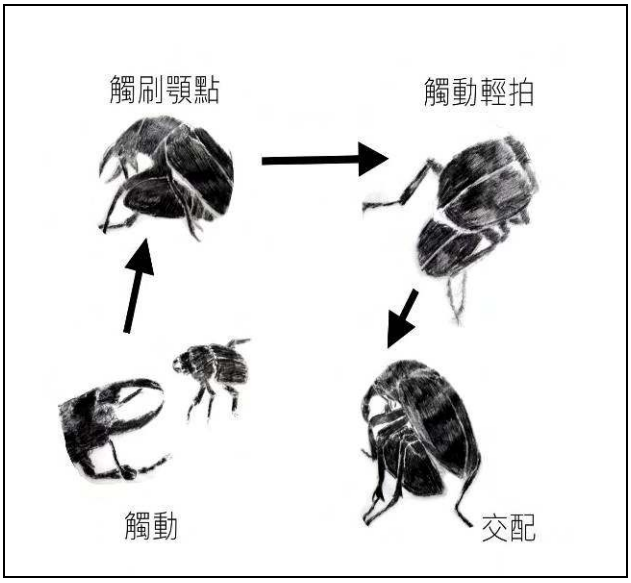


圖 25　交配模式(一)

步驟一、「觸動」：是指雄蟲與雌蟲在交配初期，以兩相對望的方式，互相震動觸鬚之行為。為了明確與簡化交配模式的表達方式，我們討論將這一階段的名稱簡化為「觸動」。

步驟二、「觸刷顎點」：是指雄蟲與雌蟲反向互動的過程中，雄蟲以觸鬚輕刷及以小顎鬚輕點雌蟲背板之行為。我們將此一階段簡化命名為「觸刷顎點」。

步驟三、「觸動輕拍」：是指雄蟲與雌蟲順向互動過程，雄蟲以觸鬚震動及使用腹部尾端輕拍雌蟲背板之行為。我們將此階段命名為「觸動輕拍」。

步驟四、「交配」：是指雄蟲與雌蟲進行交配的行為。

模式二：屬於較簡化的交配模式，雄雌蟲在完成「觸動」溝通後，省略反向的「觸刷顎點」步驟，直接進行順向的「觸動輕拍」，隨即完成交配。

討論：我們發現模式一與模式二的差別在於**「觸刷顎點」**步驟，模式一的雄蟲多了以反向的方式，透過觸鬚及小顎鬚輕刷、輕點雌蟲背板的步驟。這讓我們感到好奇，是否**因為雌蟲交配的意願不高，導致雄蟲必須花更多的時間與行為對雌蟲進行溝通，才能獲得雌蟲認可呢?**

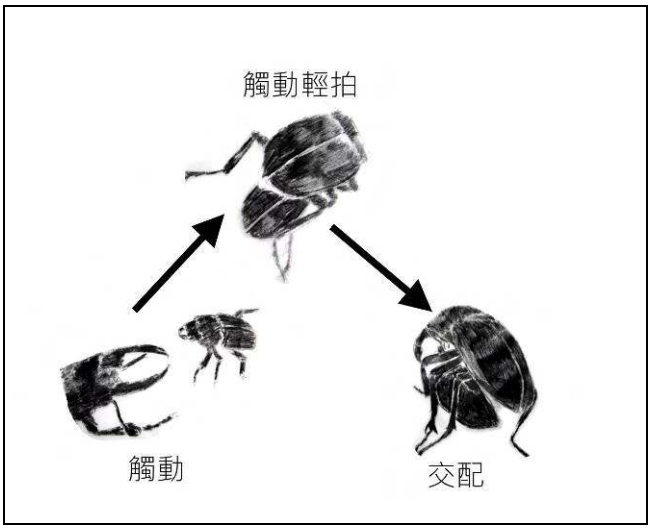


圖 26 交配模式(二)

受限於時間，此問題無法在繳交國展報告前獲得答案，因此我們將繼續設計可行的實驗情境，於暑假期間完成這項實驗，在於競賽會場上分享補充實驗結果。

表 11 高砂鋸鍬形蟲交配模式歸納表

組別		交配前對望	交配前接觸					
			雄蟲與雌蟲反向			**雄蟲與雌蟲順向**		
			觸鬚	小顎鬚	腹部	觸鬚	小顎鬚	腹部
模式一	1	雄蟲對雌蟲以每秒 2.3 次的速度震動觸鬚	雄蟲觸鬚以每次 6.7 秒的速度，輕刷雌蟲腹部背板	雄蟲小顎鬚以 5 秒 1 次的速度，輕點雌蟲腹尾背板	※	雄蟲對雌蟲以每秒 2.3 次的速度震動觸鬚	※	雄蟲腹部下緣以每秒 4 次的速度，輕拍雌蟲腹部背板
	3	雄蟲對雌蟲以每秒 2.5 次的速度震動觸鬚	雄蟲觸鬚以每次 5 秒的速度，輕刷雌蟲腹部背板	雄蟲小顎鬚以 5 秒 1 次的速度，輕點雌蟲腹尾背板	※	雄蟲對雌蟲以每秒 2.3 次的速度震動觸鬚	※	雄蟲腹部下緣以每秒 3 次的速度，輕拍雌蟲腹部背板
	4	雄蟲對雌蟲以每秒 3 次的速度震動觸鬚	雄蟲觸鬚以每次 7 秒的速度，輕刷雌蟲腹部背板	雄蟲小顎鬚以 6 秒 1 次的速度，輕點雌蟲腹尾背板	※	雄蟲對雌蟲以每秒 2.3 次的速度震動觸鬚	雄蟲小顎鬚以每次 6 秒的速度，輕點雌蟲頭部背板	雄蟲腹部下緣以每秒 5 次速度，輕拍雌蟲腹部背板
	命名	觸鬚震動簡稱**觸動**	觸鬚與小顎鬚輕刷、輕點雌蟲腹部背板簡稱**觸刷顎點**			觸鬚與腹尾震動輕拍簡稱**觸動輕拍**		
模式二	2	雄蟲對雌蟲以每秒 3 次的速度震動觸鬚	※	※	※	雄蟲對雌蟲以每秒 2.5 次的速度震動觸鬚	雄蟲小顎鬚以每次4秒的速度，輕點雌蟲頭部背板	雄蟲腹部下緣以每秒4次速度，輕拍雌蟲腹部背板
	5	雄蟲對雌蟲以每秒 3 次的速度震動觸鬚	※	※	※	觸鬚對雌蟲以每秒 3 次的速度震動觸鬚	雄蟲小顎鬚以每秒 5 次的速度，輕點雌蟲頭部背板	雄蟲腹部下緣以每秒 4 次速度，輕拍雌蟲腹部背板
	命名	觸鬚震動簡稱**觸動**		※		觸鬚與腹尾震動輕拍簡稱**觸動輕拍**		

柒、綜合討論

本研究目的有三：第一，探討高砂鋸是否會溝通。第二，瞭解高砂鋸有哪些溝通器官並進一步瞭解牠們如何溝通。第三，探討高砂鋸打鬥及交配過程是否具有明確的模式。

依照盧耽(2008) 的主張，所謂「溝通」是指昆蟲用於傳遞、接收各種外界訊息及刺激的行為。依此定義，我們分析高砂鋸是否會溝通？牠用哪些器官溝通及如何溝通？即是從高砂鋸行為中是否展現傳遞及接收訊息的行為作為判斷標準。

在進行綜合討論前，我們將問題五、六、十一等三個探討「溝通」的研究發現整理成表 12；並把問題四、七、八、九、十等五個探討「打鬥」模式及問題十一、十二等兩個探討「交配」模式的發現整理成表 13，以利後續作為綜合討論之基礎。

表 12 高砂鋸溝通行為歸納表

	器官	雄蟲行為反應	雌蟲行為反應	是否接觸	溝通類型判斷
打鬥溝通行為	觸鬚	雄蟲面對面，互相震動觸鬚	雌蟲面對面，互相震動觸鬚	□有接觸 ☑沒有接觸	☑傳遞 □接收
	口器	雄蟲面對面，互相伸吐口器	雌蟲面對面，互相伸吐口器	□有接觸 ☑沒有接觸	□傳遞 □接收
交配溝通行為	觸鬚	雄蟲面向雌蟲，震動觸鬚	雌蟲面對雄蟲，震動觸鬚	□有接觸 ☑沒有接觸	☑傳遞 □接收
		雄蟲使用觸鬚，輕刷雌蟲腹部背板	※	☑有接觸 □沒有接觸	☑傳遞 □接收
	小顎鬚	雄蟲使用小顎鬚輕點雌蟲頭部背板	※	☑有接觸 □沒有接觸	☑傳遞 □接收
	腹部下緣	雄蟲使用腹部下緣輕拍雌蟲頭部與腹部背板	※	☑有接觸 □沒有接觸	☑傳遞 □接收
	腹部背板	※	雌蟲腹部背板接收雄蟲腹部尾端拍打	☑有接觸 □沒有接觸	□傳遞 ☑接收
	頭部背板	※	雌蟲頭部背板接收雄蟲腹部尾端拍打	☑有接觸 □沒有接觸	□傳遞 ☑接收

表 13 高砂鋸打鬥與交配行為模式歸納表

	雄蟲	雌蟲	說明
打鬥模式	打鬥機率 100% 雄蟲打鬥歷經「示威」及「戰鬥」兩階段 示威：以觸鬚及口器向敵蟲宣戰 戰鬥：歷經「插」、「夾」、「舉」及「拋摔」等四個步驟。	打鬥機率 30% 雌蟲打鬥歷經「示威」、「戰鬥」兩階段 示威：以觸鬚及口器向敵蟲宣戰 戰鬥：歷經「下壓」、「夾」、「舉」及「拋摔」等四個步驟。	雄蟲超級愛戰鬥，只要相遇，100%會打起來。雌蟲不一樣，僅 30%的戰鬥機率。 在戰鬥模式部分，雄蟲與雌蟲大致相同，都會歷經「示威」及「戰鬥」兩個階段。 不過雄蟲開打前會以大顎直接插進敵蟲腹部下方，讓敵蟲失去重心而翻摔。雌蟲則不會以衝撞的方式攻擊，而是以頭部下壓，並以短大顎夾住對方大顎，隨後抬舉敵蟲進行拋摔。
交配模式	雄蟲交配模式有兩種： 一：「觸動」、「觸刷顎點」、「觸動輕拍」及「交配」 二：「觸動」、「觸動輕拍」及「交配」	雌蟲未具明顯模式： 僅在交配前會以觸鬚震動的方式來回應雄蟲，隨後以被動的角色等待接收雄蟲的後續反應。	雄蟲與雌蟲交配時，雄蟲扮演主動地位；雌蟲以被動接收訊息為主。

綜合討論一、高砂鋸鍬形蟲是否會溝通？

溝通是一種傳遞與接收訊息的行為。表 12 為高砂鋸溝通行為歸納表。不論是雄蟲與雄蟲打鬥的狀況、雌蟲與雌蟲打鬥狀況或者是雄蟲與雌蟲交配的狀況，都能發現高砂鋸展現互相傳遞與接收訊息的溝通行為。雄蟲與雌蟲，都會在打鬥前進行溝通，並且都是以快速震動觸鬚及伸吐口器的方式，向敵蟲傳遞訊息。

此外，雄蟲與雌蟲交配所展現的溝通行為更為多元豐富。首先，雄蟲與雌蟲對望，透過震動觸鬚的方式，互相傳遞訊息。接著雄蟲爬上雌蟲，以首尾相反的方向，擺動觸鬚輕刷雌蟲背板，同時使用小顎鬚，輕輕的點觸雌蟲的腹部背板。緊接著轉身使用腹部尾端輕拍雌蟲的腹部背板，隨即進行交配。

朱耀沂(2006)認為昆蟲會使用不同的方式進行溝通，這是昆蟲用於適應環境以獲得生存與演化的重要關鍵。經過我們的研究發現，高砂鋸確實在打鬥及交配過程展現多元的溝通行為，這跟朱耀沂老師所提出的主張不謀而合，高砂鋸為了適應環境而使用了多元的方式進行溝通。我們能夠發現這深層的道理，真是感到高興及也很有成就感！

綜合討論二、高砂鋸鍬形蟲有哪些溝通器官及如何溝通？

高砂鋸的溝通器官有哪些?我們的研究結果發現，不論是打鬥狀況或者交配行為，高砂鋸會透過「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。盧耽(2008)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成電位訊號，再傳遞到神經系統。

依照我們的觀察結果與盧耽的文獻比對，我們發現雄蟲打鬥初期，會使用非觸覺的方式，以「觸鬚」與「口器」向敵蟲發出訊號。另外，雄蟲與雌蟲交配時，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，透過觸碰的觸覺方式進行溝通。為此，我們也使用了顯微鏡觀察這些器官，驗證了盧耽所說昆蟲全身表皮佈滿了各種細胞的說法。同時，也讓我們的研究多了一些佐證的證據。

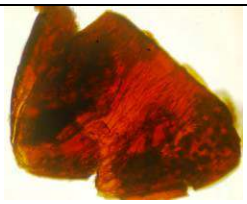
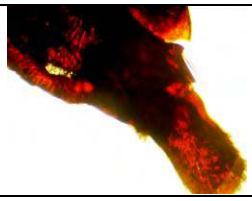
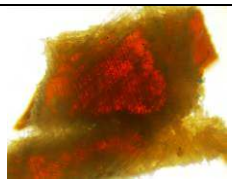
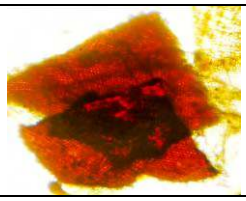
雄蟲	觸鬚	小顎鬚	腹部尾端
			
雌蟲	觸鬚	頭部背板	腹部背板
			

圖 27　顯微觀察之細胞

綜合討論三、高砂鋸鍬形蟲打鬥及交配模式探討

我們發現高砂鋸鍬形蟲不論是「打鬥」或者「交配」，都能展現出明確的行為模式。在行為前，不論雄蟲或雌蟲，都會先透過震動觸鬚的方式，向對手發出特定的訊號，接著再進行打鬥或者交配。由此可知，觸鬚是高砂鋸用以傳遞、接收及偵測環境訊息的重要器官。

在打鬥模式的研究方面，雄蟲與雌蟲略有不同，雄蟲在打鬥初期會以大顎衝撞對手，期望一次就將對手撞翻，如無法如願，再開始透過夾、舉、拋摔的策略擊退對手。雌蟲並沒

有向雄蟲一樣，出現衝撞對手之行為，只以大顎下壓，互夾方式，開啟雙方之戰鬥行為。

我們推論造成雄、雌蟲打鬥行為差異的原因，可能是因為兩者大顎形狀與大小差異所致，雄蟲大顎長且彎，雌蟲大顎短且直，是否是因為這些差異，使得兩者選擇不同的打鬥策略？建議未來可針對此一議題設計實驗進行解答。

捌、研究結論與建議

結論一、高砂鋸鍬形蟲會溝通，打鬥時用「觸鬚」及「口器」溝通；交配時用「觸鬚」、「小顎鬚」、「口器」、「腹部下緣」、「腹部背板」、「頭部背板」溝通。其中「觸鬚」、「小顎鬚」及「口器」位於高砂鋸的頭部，這三個器官可以同時運用「觸覺」及「非觸覺」的方式傳遞接收訊息。「腹部下緣」、「腹部背板」及「頭部背板」則分別位於腹部與頭部之表皮結構，僅能以觸覺的方式接收訊息。這兩者間的差異，是否意謂著頭部器官比起位於身體表皮結構的器官具備更為多元的功能?值得未來研究加以驗證與探索。

結論二、高砂鋸打鬥模式可以簡化為「示威」與「戰鬥」兩階段。打鬥的溝通主要展現在戰鬥之前，**雄雌蟲均以震動觸鬚及伸吐口器的方式面向敵蟲示威。**雄蟲觸鬚震動的頻率為每秒 2.93 次，雌蟲為每秒 1.6 次；雄蟲伸吐口器的速度為每秒 0.47 次，雌蟲為 0.11 次。緊接著進入打鬥階段，雄蟲與雌蟲的打鬥方式略有不同，雄蟲先以大顎猛烈下插敵蟲腹部，希望一次將敵蟲撞翻，若不成功，則會以「夾」、「舉」、「拋摔」的策略，攻擊敵蟲。雌蟲打鬥不使用大顎衝撞，而會以頭部「下壓」、「夾」、「舉」、「拋摔」的策略，攻擊敵蟲。整個戰鬥的過程，足部扮演了固定的基礎，我們還觀察到爪、徑節還會依照場地高低起伏的狀況伸縮調整，建議未來可以針鍬形蟲對戰過程足部的移動與力學概念進行觀測與延伸研究。

結論三、高砂鋸鍬形蟲交配有「簡」、「繁」兩組溝通模式，主要差別在於是否多了雄雌蟲反向的「觸刷顎點」步驟。繁複組的交配溝通模式，雄蟲與雌蟲必須完成觸動、觸刷顎點、觸動輕拍及交配等四個流程。簡化組的交配模式，雄雌蟲完成觸動、觸動輕拍及交配等三個流程。上述「簡」、「繁」兩套模式的主要差別在於「觸刷顎點」步驟，繁複組雄蟲必須多進行觸鬚及小顎鬚輕刷、輕點雌蟲背板的步驟，才能與雌蟲完成交配。這是否因雌蟲交配意願不高導致雄蟲必須多進行一些溝通行為所致?建議未來研究可針對此一疑問進行深入的觀察探討。

玖、參考文獻

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。

張永仁（1998）。昆蟲圖鑑（一）、（二）。台北：遠流出版社。

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。

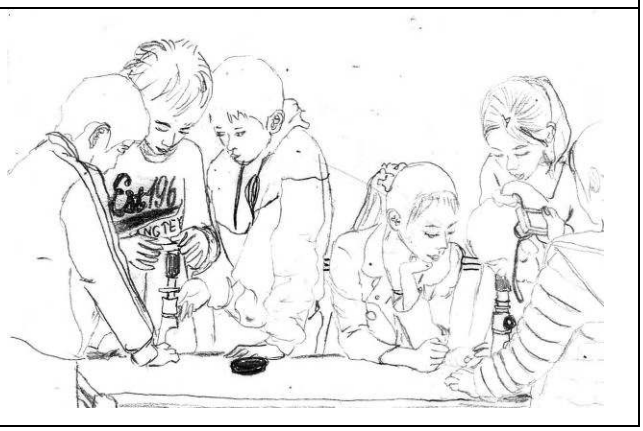
陳俊雄、高瑞卿（2008）台灣行道樹圖鑑。台北市：貓頭鷹出版社。

楊平世（1999）。台灣的常見昆蟲。台北：渡假出版社。

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。

盧耽（2008）。圖解昆蟲學。臺北：城邦出版社。

拾、附件

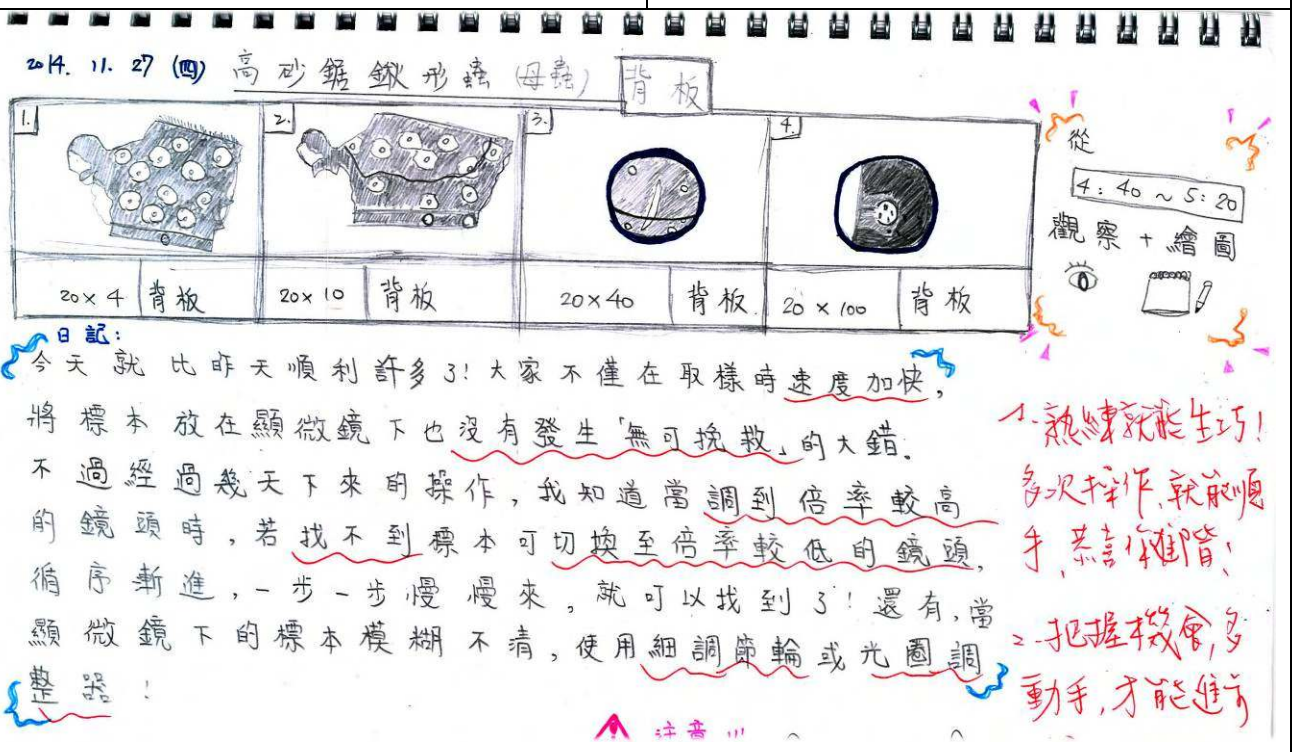


卵與幼蟲

等待化蛹的三齡幼蟲

剛羽化的雌蟲

剛羽化的雄蟲



研究日誌-顯微鏡觀察

【評語】080302

1. 參與研究的學生很有熱誠及耐心，能進行詳細的觀察與記錄，精神可嘉。

2. 研究主題多達 14 項，過於分散，建議從中選擇一、兩項主要題目深入研究。