

作品名稱：唧唧！唧！蟀歌知多少？

國中組 生物科 第一名

縣市：高雄市

作者： 林幼淳、陳毓璿

莊百賀、簡世嘉

校名：高雄市立陽明國民中學

指導教師： 張鳳琴

關鍵詞：唧唧！唧！



莊
百
賀

陳
毓
璿

林
幼
淳

簡
世
嘉

唧唧！唧！~~蟋歌知多少？

一、 研究動機

「唧唧！唧！」多麼令人熟悉的聲音呀！小時候每次回到鄉下的老家，總會聽到陣陣悅耳的唧唧聲從寂靜草叢中傳來，彷彿是一群琴藝高超小提琴手所奏出的樂章。心中總會有股想尋找其芳蹤探其究竟的衝動，於是為揭開心中那股迷惑，為瞭解其為何鳴叫，又如何發聲等問題，因此從資料的收集、整理、飼養、觀察、實驗、紀錄、攝影、錄音、分析……等過程，展開了一連串的蟋歌之旅。

二、 研究目的

- (一) 觀察瞭解蟋蟀若蟲和成蟲的外部形態
- (二) 瞭解蟋蟀生活史
- (三) 研究蟋蟀體表觸覺及聽覺器官生理構造
- (四) 觀察研究蟋蟀發聲構造及原理
- (五) 研究蟋蟀不同唧聲與行為變化關係
- (六) 分析唧聲特徵
- (七) 研究蟋蟀生長發育早期、中期、晚期唧聲特徵的變化
- (八) 研究不同溫度和蟋蟀唧聲的關係

三、 研究設備器材

- (一) 飼養用：昆蟲箱、溫度計、厚紙板、小檯燈、紙箱、小冰桶
- (二) 攝影及觀察用：數位照相機、顯微攝影照相機、解剖顯微鏡、塑膠墊板
- (三) 食物：高麗菜、蘋果、死蟋蟀、甘藷葉、魚飼料、蛋黃
- (四) 錄音與分析：電腦影像輸入與儲存設備、分析軟體、單眼照相機、喇叭

四、 研究過程

(一) 觀察蟋蟀若蟲和成蟲的外部形態

利用肉眼及放大鏡觀察蟋蟀成蟲及若蟲外部型態，標出各部位名稱。

(二) 瞭解蟋蟀生活史：

1. 將成蟲公母各五隻放入昆蟲箱，用魚飼料餵養並放溼棉花於培養皿中供產卵用。
2. 當公母蟋蟀交配產卵後，產卵於培養皿棉花中，每天噴適量的水保持適當濕度，觀察卵孵化為若蟲繼而成長蛻皮、羽化為成蟲的過程。

(三) 研究蟋蟀體表觸覺及聽覺器官生理構造

將雌雄成蟲各一隻放入小昆蟲箱，放置兩天後分別進行以下實驗：

1. 分別用手電筒照光、棉花沾醋、噴水，觀察昆蟲箱中蟋蟀的行為反應。
2. 將雄蟋蟀一隻個別放入昆蟲箱。利用各種蟋蟀聲音誘叫，觀察其鳴叫情形。
3. 用放大鏡及解剖顯微鏡觀察並攝影瞭解其構造。

(四) 研究蟋蟀發聲構造及原理

用解剖顯微鏡觀察雌、雄蟋蟀成蟲前翅與若蟲翅芽構造比較，分別攝影標示名稱。

(五) 研究蟋蟀不同唧聲與行為變化關係

1. 將三隻公蟋蟀和一隻母蟋蟀放入昆蟲箱中，當其中較強的一公蟋蟀先發出唧聲鳴叫時，掌握時間靜待觀察，將牠們之間唧聲與行為反應，瞬間快速的利用數位照相機拍攝其過程並錄音、分析、組合比較。
2. 分別將呼喚聲、求偶聲、打鬥聲及各行為反應組成唧聲與行為關係分析模式圖，並探討為何發聲？

(六) 分析唧聲特徵

1. 利用個人電腦及錄音設備將呼喚、交配、攻擊時各種不同唧聲錄好分類建檔，再將不同聲音資料檔載入，以分析軟體將各種唧聲波形、頻率、唧聲率、唧聲長、唧聲間隔、脈衝比、脈衝長、脈衝間隔等聲音特特的分析比較，分別畫各柱形圖比較。
2. 分別再將以上三種唧聲的波形、脈衝比，及脈衝比波形比較。

(七) 蟋蟀生長發育早期、中期、晚期鳴聲的變化：

取飼養幾天後的九齡雄若蟲九隻分三組進行下列實驗：

1. 仔細觀察等他們羽化後分別錄下成蟲青年期(羽化後 10 天內)、中年期(羽化後 20~30 天)、老年期(羽化後 50 天左右)的呼喚聲以供分析用。
2. 各階段依(六)方法(1)(2)分別分析比較，將分析的結果做成表格並算出各種聲音特徵的平均值，比較青年期、中年期、老年期叫聲的異同處。

(八) 研究不同溫度和蟋蟀唧聲的關係:

在不同的溫度下，測定 8 秒內蟋蟀呼喚叫聲的次數。

溫度控制方法 1:(低於室溫)

- (1) 用冰桶當作裝蟋蟀的容器，容器口蓋上盒蓋，並在蓋上放置裝有冰塊的小水盆。
- (2) 用熱空氣上升，冷空氣下降的原理，使桶內氣溫逐漸下降，至平衡時達到需要的溫度。

溫度控制方法 2:(高於室溫)

- (1) 同在上在桶口裝置燈泡，作為增溫器具，調整燈泡的亮度或在桶口加蓋抹布的方法控制桶內溫度，使平衡達到所要的溫度。

五、 研究結果

(一) 蟋蟀若蟲和成蟲的外部形態

1. 蟋蟀若蟲和成蟲的外部形態圖(略)
2. 雄、雌蟋蟀外部形態及赤羌仔、烏龍仔比較如下:

種類	頭部,胸部	腹部	前翅	步足	產卵管	翅芽
烏龍仔	黑色	黑色	黑色	黑色	黑色	黑色
赤羌仔	黑色	黑褐色	褐色	褐色	褐色	褐色

(二) 蟋蟀生活史: 生活史圖(略)

1. 生長發育過程，由卵期、若蟲期到成蟲期變化為**不完全變態**，每一世代約三、四個月左右，約有 3 至 4 個世代，各期特徵觀察結果如下：

卵期: 交配後母蟋蟀腹部變大體重增加,產完後減輕,卵呈金黃色紡錘形，長度約 2.5mm 左右，剛產下為淡黃色，光滑臘腸狀，末期色越深呈土黃，可看見紅眼點。

若蟲: 共九齡，前期(1-6 齡)無翅芽，後期(7-9 齡)有翅芽。卵孵化為若蟲夏天約二十天(冬天三十天左右)。剛孵化為一齡，一到二齡蟲約七天，二到三齡蟲約六天。三至六齡各約五天，六到七齡時翅芽初形成，蟲體長度在若蟲期後期就決定。蛻皮各階段中有下列現象：

- (1) 幼蟲剛出生時很小,每蛻一次皮身體就長大一點，剛蛻皮時腹末各節有縊縮，胸寬與腹寬相當，生長幾天後各節膨大變長呈紡錘形。剛蛻皮後身體白軟，易受攻擊不愛動。漸漸死去。

羽化: 九齡蟲最後蛻皮即羽化。其不同階段變化情形如下。

羽化過程	現象觀察	
羽化前	食量小，活動力弱	
羽化中	由頭部開始脫皮，漸漸脫到尾部，全身雪白；雌蟲的產卵管變長	
羽化後	1 小時後	前後翅完全伸展開來、體色呈黃色、不活動、頭胸腳均白色
	2 小時後	體色變灰白色，前翅的黃色斑點很明顯、不活動
	3 小時後	體色完全變黑，開始走動、吃東西或自行吃掉羽化後蛻下的舊皮，雌蟲前翅前緣較雄蟲窄。

成蟲: 體長 23 到 27 毫米，體黑或黑褐色光滑。頭胸部光澤，前胸背寬大於長，基部有 2 斑點。雄蟲斜脈 4 條，鏡室方圓，內有一彎脈分隔。雌蟲背區由平行縱脈組成，成活約兩個~兩個多月。

(三) 蟋蟀體表觸覺及聽覺器官生理構造(略)

外在刺激感覺器官反應如下

處理項目	行為反應情形
照光	雌雄負趨光性，躲藏在隱密處
醋	雌雄禁止不動
噴水	雌雄整理觸角
振動	雌雄禁止不動
同種聲音誘叫	雌雄公蟋蟀跟隨鳴叫，觸角擺動明顯
異種聲音誘叫	雌雄公蟋蟀不鳴叫，觸角擺動不明顯

(四) 究了解蟋蟀發聲構造及原理

1. 翅脈比較:

- (1) 若蟲翅芽與母的翅脈平直規則，不能摩擦發聲。
- (2) 公蟋蟀前翅翅脈彎曲有鏡室能摩擦發聲。

2. 發聲構造:

- (1) **弦器**: 前翅第二肘脈的腹面具有連續齒狀突起，〈列齒約 200 個〉間隔不一，形態各異，左右翅都有，右翅較發達。

(2) 彈器：前翅基部內側，第二肘脈末端增厚硬化形成，左右翅都有，左翅較發達。

(3) 鏡區：左右前翅翅片中央都有一膜質區，可使震動的聲音很大。

3.發聲原理：雄蟋蟀的發音靠左右前翅鼓起摩擦產生,因蟋蟀右前翅疊於左前翅上，特別只有右翅弦器與左翅彈器相摩擦才能發聲，而左前翅的弦器和右前翅的彈器不發達，失去摩擦發聲的功能。

(五) 蟋蟀不同唧聲與行為變化關係:

(1) 唧聲與行為反應模式圖(略)。

(2) 唧聲與舉翅定向比較如下：

特徵	呼喚	求偶	求偶中斷	交尾後	攻擊
舉翅(度)	約 45	約 10-15	約 10	0	約 45-55
定向	不定	背雌	追雌	雌旁	兩雄相向

(3) 交配過程及行為觀察結果：

過程	觀察
1.求偶前期	雌雄在一起後雄蟲開始對雌蟲發出求偶的叫聲，雄蟲會慢慢的把身往雌蟲的身體移動，先用觸角或身體碰觸雌蟲，雌蟲無反應，雄蟲再開始發出美妙的叫聲，吸引雌蟲就開始進行其戀曲。
2.求偶期	雄蟲會抬高翅膀 10 度左右，雄蟲會以短又有力的叫聲和雌蟲求婚。聲音是(唧-唧-唧-)-。
3.騎乘期	雄蟲向後退雌蟲向前騎上雄蟲的背部，形成雌上雄下的形式。
4.交配期	雄蟲會把精胞往上推向雌蟲的腹部傳送,而兩蟲的觸鬚往上翹，雄蟲尾毛摩擦雌蟲的腹部末端，直到交配完為止，約五到四十秒。
5.分偶期	雌雄分開時，公的會先離開,雌蟲的腹部會抬高保護精胞。
6.護衛期	雄前雌後，雄保護雌蟲不讓別的蟋蟀來攪局,或不讓雌蟲吃精胞。
7.間隔期	雌蟲有的還會跟另外的雄蟲交配，交配後的雄蟲約 2 小時再度鳴叫重複 1~7 的步驟。

(六) 分析唧聲特徵

1. 呼喚、求偶、攻擊唧聲特質分析如表

呼喚唧聲（一公）

號碼	唧聲率	唧聲長	唧聲間隔	脈衝比		脈衝長	脈衝間隔	頻率	波形
樣本一	3.6552	0.179	0.102	5	first	0.019	0.007	6000	近似三角波
					last	0.021	0.006	6143	近似三角波
樣本二	3.7673	0.228	0.142	4	first	0.014	0.006	6000	近似三角波
					last	0.023	0.004	6000	近似三角波
樣本三	3.8646	0.124	0.146	4	first	0.011	0.006	5680	近似三角波
					last	0.02	0.008	6000	近似三角波
最大	3.8646	0.228	0.146	4	first	0.019	0.007	6000	
					last	0.023	0.008	6143	
最小	3.6552	0.124	0.102	5	first	0.011	0.006	5680	
					last	0.02	0.004	6000	
平均	3.76236	0.177	0.13	4.3	first	0.0146	0.0063	5893.3	
					last	0.0213	0.006	6047.6	
					總平均	0.01795	0.00615	5970	

求偶聲（一公一母）

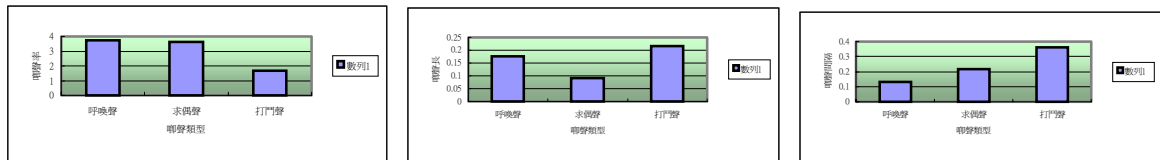
號碼	唧聲率	唧聲長	唧聲間隔	脈衝比		脈衝長	脈衝間隔	頻率	波形
樣本一	3.60360	0.089	0.209	1	first	0.015	無	4700	近似三角波
					last	無	無		近似三角波
樣本二	3.61999	0.068	0.223	1	first	0.016	無	5500	近似三角波
					last	無	無		近似三角波
樣本三	3.62999	0.119	0.216	1	first	0.023	無	6000	近似三角波
					last	無	無		近似三角波
最大	3.62999	0.119	0.223	1	first	0.023	無	6000	
					last	無	無		
最小	3.60360	0.068	0.209	1	first	0.015	無	4700	
					last	無	無		
平均	3.617676	0.092	0.216	1	總平均	0.018	無	5400	

打鬥聲（兩公一母）

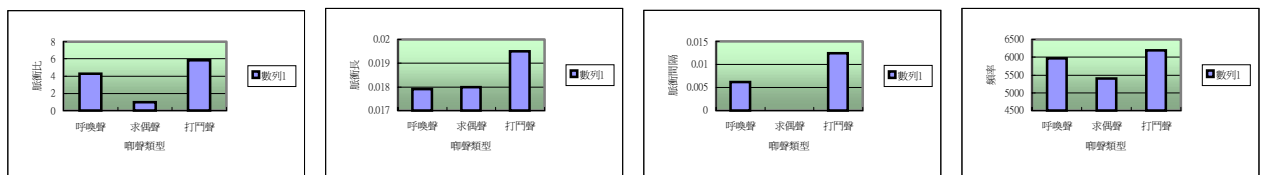
號碼	唧聲率	唧聲長	唧聲間隔	脈衝比		脈衝長	脈衝間隔	頻率	波形
樣本一	2.235	0.306	0.22	9	first	0.027	0.038	6437.5	近似三角波
					last	0.028	0.006	6857.1	近似三角波
樣本二	2.235	0.18	0.242	4	first	0.022	0.006	6214.2	近似三角波
					last	0.024	0.008	6222.2	近似三角波
樣本三	2.452	0.131	0.296	4	first	0.022	0.006	6125	近似三角波
					last	0.023	0.008	6100	近似三角波
樣本四	2.452	0.194	0.231	6	first	0.02	0.005	6250	近似三角波
					last	0.024	0.011	6200	近似三角波
樣本五	1.531	0.268	0.818	6	first	0.009	0.02	5800	近似三角波
					last	0.018	0.022	5812	近似三角波
最大	2.452	0.306	0.296	9	first	0.027	0.038	6437.5	
					last	0.028	0.022	6857.1	
最小	2.235	0.131	0.22	4	first	0.009	0.005	5800	
					last	0.018	0.006	5812	
平均	1.6906	0.2158	0.3614	5.8	first	0.0156	0.015	6165.3	
					last	0.0234	0.0098	6238.3	
					總平均	0.0195	0.0124	6201.8	

2. 攻擊、求偶唧聲分析柱形圖比較：

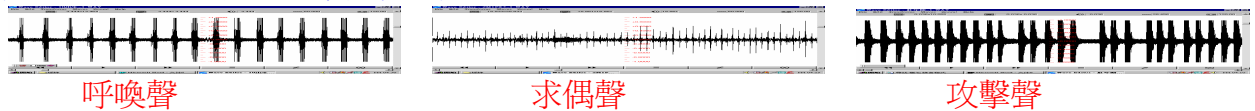
唧聲率、唧聲長、唧聲間隔柱形圖比較



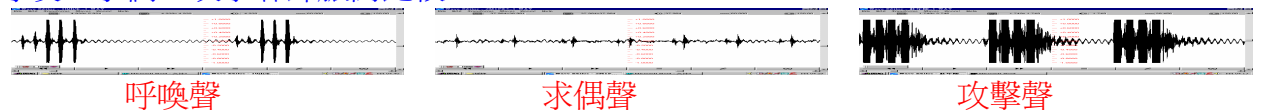
脈衝比、脈衝長、脈衝間隔、頻率柱形圖比較



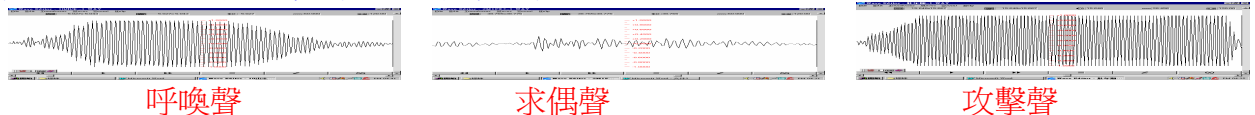
呼喚、求偶、攻擊之唧聲波形比較



呼喚、求偶、攻擊唧聲脈衝比較



呼喚、求偶、攻擊唧聲脈衝比之波形比較



(七) 青年期、壯年期、老年期,唧聲特徵分析

青年期（羽化後十天）

號碼	唧聲率	唧聲長	唧聲間隔	脈衝比		脈衝長	脈衝間隔	頻率	波形
樣本一	1.851	0.27	0.272	7	first	0.014	0.02	6283.333	近似三角波
					last	0.013	0.028	6142.857	近似三角波
樣本二	1.460	0.382	0.461	10	first	0.023	0.014	6000	近似三角波
					last	0.018	0.026	6416.667	近似三角波
樣本三	1.546	0.211	0.49	6	first	0.012	0.023	5833.333	近似三角波
					last	0.02	0.019	6275	近似三角波
樣本四	1.945	0.189	0.384	5	first	0.012	0.021	6500	近似三角波
					last	0.017	0.018	6050	近似三角波
樣本五	1.847	0.191	0.357	5	first	0.019	0.019	6280	近似三角波
					last	0.017	0.021	6125	近似三角波
樣本六	1.793	0.189	0.338	5	first	0.015	0.018	5357.143	近似三角波
					last	0.014	0.016	5437.5	近似三角波

最大	1.945525	0.382	0.49	10	first	0.023	0.023	6500	
					last	0.02	0.028	6416.667	
最小	1.459144	0.189	0.272	5	first	0.012	0.014	5357.143	
					last	0.013	0.018	5437.5	
平均	1.740331	0.239	0.384	6.3	first	0.015833	0.019167	6042.302	
					last	0.0165	0.021333	6074.504	

壯年期(羽化後二十天)

號碼	唧聲率	唧聲長	唧聲間隔	脈衝比		脈衝長	脈衝間隔	頻率	波形
樣本一	2.360	0.242	0.297	4	first	0.025	0.014	6300	近似三角波
					last	0.02	0.018	6900	近似三角波
樣本二	1.397	0.172	0.638	4	first	0.024	0.015	6166	近似三角波
					last	0.019	0.021	6300	近似三角波
樣本三	1.113	0.238	0.579	5	first	0.019	0.014	6333	近似三角波
					last	0.022	0.017	6166	近似三角波
樣本四	3.267	0.216	0.355	5	first	0.02	0.016	6125	近似三角波
					last	0.017	0.018	6125	近似三角波
樣本五	1.859	0.232	0.454	4	first	0.019	0.014	5750	近似三角波
					last	0.015	0.018	6500	近似三角波
最大	3.262	0.242	0.638	5	first	0.025	0.016	6333	
					last	0.022	0.021	6900	
最小	1.113	0.172	0.297	4	first	0.019	0.014	5750	
					last	0.015	0.017	6125	
平均	1.999	0.22	0.4646	4.4	first	0.0214	0.0146	6135	
					last	0.0186	0.0184	6398	
					總平均	0.02	0.0165	6266.5	

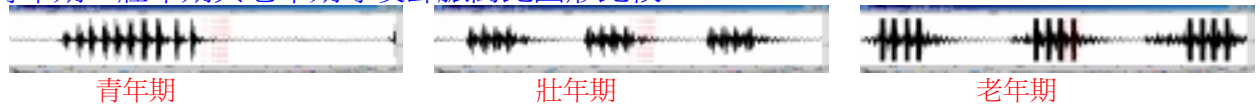
老年期 (羽化後五十天左右)

號碼	唧聲率	唧聲長	唧聲間隔	脈衝比		脈衝長	脈衝間隔	頻率	波形
樣本一	3	0.217	0.128	4	first	0.021	0.017	6500	近似三角波
					last	0.024	0.013	6200	近似三角波
樣本二	3.033	0.226	0.138	4	first	0.019	0.018	6600	近似三角波
					last	0.018	0.013	6285.7	近似三角波
樣本三	1.917	0.25	0.269	4	first	0.017	0.014	6166.7	近似三角波
					last	0.011	0.021	6250	近似三角波
樣本四	2.779	0.212	0.162	4	first	0.018	0.018	6600	近似三角波
					last	0.015	0.018	6800	近似三角波
樣本五	2.226	0.275	0.241	4	first	0.018	0.017	6400	近似三角波
					last	0.017	0.011	6385.7	近似三角波
最大	3.033	0.275	0.269	4	first	0.021	0.018	6600	
					last	0.024	0.021	6800	
最小	1.971	0.212	0.128	4	first	0.017	0.014	6166	
					last	0.011	0.011	6200	
平均	2.591	0.236	0.188	4	first	0.0186	0.0168	6453.3	
					last	0.017	0.0152	6384.3	
					總平均	0.0178	0.016	6418.5	

青年期、壯年期與老年期呼喚聲唧聲率圖形比較



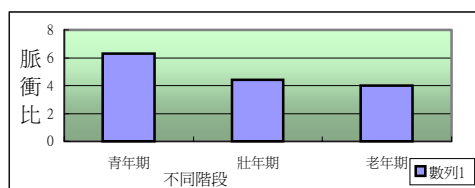
青年期、壯年期與老年期呼喚聲脈衝比圖形比較



青年期、壯年期與老年期之呼喚聲波形圖形比較



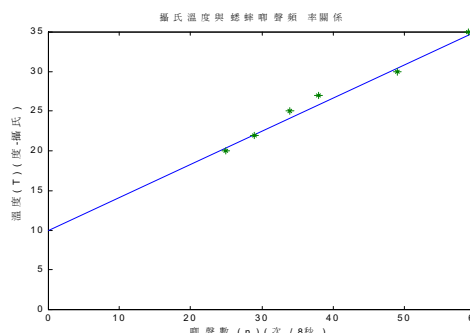
青年期、壯年期與老年期之呼喚聲脈衝比柱形圖比較



(八) 不同溫度和蟋蟀唧聲的關係

唧聲之次數和攝氏溫度關係如表，平均值畫成如圖近似直線，將直線方程式導出如下： $T = \frac{5}{12} \times n + 10$

溫度 T	8 秒內鳴叫的次數 n							去較 不準 數值
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	平均	
35 度	53	55	56	64	62	63	59	59
30 度	45	48	49	49	55	55	50	49
27 度	34	37	35	41	44	39	37.8	38
25 度	34	39	34	39	39	37	37	34
22 度	30	29	25	35	29	32	30	29
20 度	28	26	32	20	22	24	25.3	25



六.討論：

1. 全世界蟋蟀估計約有 3000 種，依其棲所分為這三大類：地棲性、草棲性、樹棲性三大類。台灣的地棲蟋蟀已知直翅目蟋蟀科有 36 種，黃班黑蟋蟀屬其中之一，目前台灣蟋蟀各科種數約為世界的十二分之一。本實驗以黃班黑蟋蟀赤羌仔為主。
2. 發聲構造：是靠特化的前翅，呼叫時兩前翅舉起，左翅內緣的彈器摩擦右翅下面的弦器齒突，利用兩翅張閉，來回摩擦發出聲音，經由身體各部分的共振產生獨特聲音
3. 雌蟲有發達產卵器，尾鬚短，分節不明顯，漸變態。
4. 『愛因斯坦也不知道』書中記載，蟋蟀鳴聲頻率會隨溫度變化，八秒鐘內叫次數加五就可得知當時所在位置攝氏溫度，故每種蟋蟀應有不同的測溫公式。
5. 蟋蟀為何發聲：由唧聲與行為關係觀察發現，聲音表達其本身狀態的作用如下：
 - (1) 蟀的聲音溝通以同種內溝通為主，為表達其自身準備交配之狀態而發出不同聲音，這些聲音有其不同背景。
 - (2) 呼喚歌：聲具有聚集作用，有時具類似鳥類領域範圍的作用將同種雄蟲吸引前來有些雄蟲可聚集一起呼喚配偶，形成吸引雌蟲的誘引區。
 - (3) 有些不發聲雄蟋蟀在有聲音的蟋蟀附近等候，雌蟋蟀被引來交尾，不但得到散布基因，也可免發聲暴露目標喪命，故如何用求偶歌聲來吸引雌蟋蟀，是雄蟋蟀發出歌聲最需考慮的因素。
 - (4) 交配聲：當吸引雌蟋蟀靠近到時雄探雌虫，若不交配則離去，雄蟲連續發出求偶聲，若雌虫接受則雌雄撐起六足，觸角碰觸角，雄虫立刻倒退，進入雌虫撐起的空間，採雌上雄下方式交尾。
 - (5) 攻擊聲：交配後雄雌虫分開，雄虫發出另一種近於呼喚及求偶聲稱交配後聲音。此時若有另一雄虫靠近或兩生理狀態相同雄虫，則分別發出攻擊聲音。
 - (6) 雄蟋蟀發聲在室外多受到本身生物時鐘、光週期、溫度的影響。室內溫度高叫次數較多；溫度低叫次數較少，主受溫度不受光週期影響，與本實驗結果相符。
 - (7) 蟋蟀三種唧聲及各階段呼喚聲聲音特性除由音調、節奏等分辨外，尚可由唧聲特質唧聲波形、頻率、唧聲率、唧聲長、唧聲間隔、脈衝比、脈衝長、脈衝間隔等比較。
 - (8) 因蟋蟀平時以呼喚聲較多，故以呼喚聲探討與溫度的關係：由實驗與紀錄發現蟋蟀的鳴叫次數會隨著溫度的增加而增加。因蟋蟀是冷血動物，體溫會隨著周圍溫度改變，周圍的氣溫越高，牠體內的新陳代謝越快，而新陳代謝的速度增加

也造成蟋蟀鳴叫的次數加快加多。

- (9) 根據我們實驗的黃斑黑蟋蟀測求得當時所在位置的溫度是:12分之5乘以8秒內的唧聲數加10。即 $T=5/12 \times n + 10$

七.結論

- (一) 我們實驗用的蟋蟀是黃斑黑蟋蟀，屬台灣地棲性直翅目蟋蟀科，其中有整隻全黑的俗名『黑龍仔』。另一種前翅較淡的『赤羌仔』。
- (二) 辨別蟋蟀的雌雄,最簡單的方法有兩種：
- (1) 產卵管有無區分：成蟲因為膜狀後翅收縮於兩尾毛之間,不易看到產卵管，如果尾部外型有產卵管呈三尾是母的,沒有產卵管尾部外形成二尾是公的。
 - (2) 翅脈區分：用翅膀上的紋路來辨別，雌的條紋整齊，雄的不規則，有斜脈和鏡區(俗稱印仔)。
- (三) 生活史：卵期、若蟲期、成蟲期的生長發育過程中，缺少蛹期，為不完全變態，每一世代約三、四個月左右，一年共約有3到4世代。在生活史觀察中，發現赤羌仔生長較快較，故本研究各項實驗項目均以赤羌仔來作實驗。生活階段如下：
- (1) 卵期: 交配後母蟋蟀有的立即產卵，有的幾天後才產卵。產卵前母蟋蟀腹部變大，體重增加，等卵產完後才減輕。卵金黃色，紡錘形，長度約2.5mm左右，剛剝下之卵淡黃色，表面光滑形似臘腸狀，隨著胚胎之發育卵色變深，到末期色呈土黃色，放大後可看見紅色眼點。卵膜很薄，須保持適當的溫度，否則太乾燥會縮皺而死。
 - (2) 若蟲：自卵孵化後為一齡若蟲，每蛻皮一次身體就長大許多，總共9齡，最後9齡蟲羽化為成蟲。若蟲前期(1到6齡)無翅芽，後期(7到9齡)有翅芽(前足脛節無鼓膜)，翅膀的形成由六到七齡初長成。
 - (3) 成蟲：體長23-27毫米，體黑色或黑褐色，光滑。頭胸部有光澤，前胸背寬大於長前翅褐至黑褐色，長達腹端，基部有2個斑點。雄蟲斜脈4條，鏡室方圓形，四角圓，鏡內有一彎脈分隔。雌蟲背區由許多互相平行的規則縱脈組成，縱脈有小橫脈相隔，構成規則小室。
- (四) 蟋蟀的觸角、脛腳上的聽器，以及尾毛都是他重要的感覺器官，時常清理這些感覺器官，以使他的各種感覺更靈敏。
- (五) 蟋蟀發聲構造：由雄蟋蟀特化的前翅形成。前翅革質、左右翅有完全對稱的彈器及弦器，又因為左翅在下，右翅在上。所以左翅的彈器去撥動右翅螺旋的弦器的齒列突起，引起前翅震動以發出聲音，而後翅膜質不會發聲。
- (六) 蟋蟀發聲原理：雄蟋蟀的發音靠左右前翅鼓起摩擦而產生,由於蟋蟀的右前翅疊蓋於左前翅上，只有左翅的彈器與右翅的弦器齒突互相摩擦才能發聲,使整個前翅(尤其是鏡區)震動,使聲音更大，而左前翅的弦器和右前翅的彈器不發達，失去摩擦發聲的功能。鳴叫時左右翅舉起與體被形成10-50°的角度。
- (七) 蟋蟀三種叫聲，發聲的條件、目的、行為反應及唧聲特徵分析等比較如下：

叫聲種類	呼喚聲	求偶聲	打鬥聲
發聲條件	公蟋蟀獨處	公蟋蟀和母蟋蟀相遇	兩隻戰鬥力相當的公蟋蟀相遇
發聲目的與作用	吸引母蟋蟀前來交配，具有聚集作用	表達其自身準備交配之狀態，吸引雌蟋蟀靠近，	有警告意味，
行為反應	1.吸引同種雄蟲聚集。 2.呼喚配偶，形成吸引雌蟲的誘引區。	1.雄探雌蟲，雌蟲不接受離雄蟲而去。 2.若雌蟲接受，則撐起六足，以觸角碰雄蟲，雄蟲迅速倒退，進入雌蟲撐起的空間，採雌上雄下交配。	1.兩雄蟲靠近，發出攻擊聲，甚至做攻擊打鬥毆的動作。 2.為雌蟲相爭而發出攻擊聲。
聲音節奏	唧~唧~唧~唧(高尖短音)	唧!唧!唧(低沈短音)	唧...唧...(高尖長音)
其他特徵	長時間發出呼喚聲，唧聲中最常被聽到的。	因求偶失敗有時會發出高尖長音。	蟋蟀打鬥動作忽快忽慢、發出斷斷續續高尖長音。
舉翅角度	45度	10到15度	45到50度
定向	不定	背雌	向雌

唧聲特質數據分析

唧聲特徵	唧聲率	唧聲長	唧聲間隔	脈衝比	脈衝長	脈衝間隔	頻率
呼喚聲	3.762 (唧聲數/秒)	0.177 (秒)	0.13 (秒)	4.3 (脈衝數/唧聲)	0.0179 (秒)	0.0063 (秒)	5970Hz
求偶聲	3.617 (唧聲數/秒)	0.092 (秒)	0.216 (秒)	1 (脈衝數/唧聲)	0.018 (秒)	無	5400Hz
打鬥聲	1.690 (唧聲數/秒)	0.215 (秒)	0.361 (秒)	5.8 (脈衝數/唧聲)	0.019 (秒)	0.012 (秒)	6202Hz

唧聲特質分析比較

唧聲特徵	唧聲率	唧聲長	唧聲間隔	脈衝比	脈衝長	脈衝間隔	頻率
比較	呼喚>求偶>打鬥	呼喚>打鬥>求偶	打鬥>求偶>呼喚	打鬥>呼喚>求偶	打鬥,呼喚、求偶相近	打鬥>呼喚,求偶無	打鬥>呼喚>求偶

(八) 蟋蟀為何發聲：為表達其狀態而發出不同聲音，這些聲音有其不同背景，且聲音以同種內溝通為主。室外受本身生物時鐘、光週期、溫度的影響。室內受溫度不受光週期影響。

(九) 蟋蟀的青年期、壯年期、老年期呼喚聲比較：

階段	聲音特徵
青年期	節奏不穩定，單薄而輕，不結實，撕裂聲
壯年期	節奏穩定，響亮，強有力，結實
老年期	節奏慢，低沉，短促，弱無力

唧聲特質數據分析:

唧聲特徵	唧聲率	唧聲長	唧聲間隔	脈衝比	脈衝長	脈衝間隔	頻率
青年期	1.74 (唧聲數/秒)	0.2386 (秒)	0.3837 (秒)	6.3 (脈衝數/唧聲)	0.0165 (秒)	0.0213 (秒)	6042Hz
壯年期	1.999 (唧聲數/秒)	0.22 (秒)	0.464 (秒)	4.4 (脈衝數/唧聲)	0.02 (秒)	0.0165	6266Hz
老年期	2.591 (唧聲數/秒)	0.236 (秒)	0.187 (秒)	4.0 (脈衝數/唧聲)	0.0178 (秒)	0.016 (秒)	6418Hz

蟋蟀年齡除了聽聲分辨外,大約可由呼喚聲的脈衝比平均值推算.青年期脈衝比不穩定,如脈衝比平均值在5以上約為青年期、脈衝比平均值4.4左右約為壯年期、脈衝比全為4約為老年期。

(十) 不同溫度與蟋蟀唧聲的關係如下:蟋蟀的唧聲次數會隨著溫度增加而變多。因蟋蟀是冷血動物，體溫會隨著周圍的溫度改變，周圍溫度越高，體內的新陳代謝越快，而化學反應愈快，造成蟋蟀鳴叫的次數增加，翅膀摩擦也較快。"愛因斯坦也不知道"這本書上寫蟋蟀的叫聲頻率與溫度關係是：北美雪樹蟋蟀測溫公式： $8 \text{ 秒內的唧聲次數} + 5 = \text{當時的攝氏溫度}$ 。根據實驗的黃斑黑蟋蟀測：當時所在位置的溫度(T)=(5/12×8 秒內的唧聲數)+10

八.參考資料

- (1) Robert L. Wolk 著 高雄柏譯,1999 年,愛因斯坦也不知道,初版,臉譜文化出版 北市
- (2) 郭玉吉,民國 83 年,蟋蟀和紡織娘,三版,圖文出版社,台北市
- (3) 李文蓉,民國 76 年,昆蟲世界,三版,幼獅文化事業
- (4) 任淑仙,1995 年,無脊椎動物學(下冊),初版,淑馨出版社
- (5) 張永仁,1998 年,昆蟲入門,初版,遠流出版社,台北市
- (6) Stephen Hart 著,陳雅茜譯,民國 87 年,動物的語言,初版
- (7) 探訪蟋蟀的家,中華民國環境綠化協會編印
- (8) 常見鳴蟲的選養和觀賞,上海科學技術出版社
- (9) 臺灣蟋蟀亞科(直翅目:蟋蟀科)生物系統分類:國立中興大學昆蟲學研究所
- (10) 楊正澤, 民國 86 年, 地棲蟋蟀及棲所保育, 中華民國環境綠化協會
- (11) 袁鋒主編: 昆蟲分類學, 中國農業出版社, 1996 年 5 月 1 版

評語：

利用聲音的震動頻率與強度說明昆蟲蟋蟀雌雄互相交換信息的原理，同時清楚的說明雄性蟋蟀產生聲音的器官，其產生求偶聲、打鬥聲、呼喚聲的意義，最重要的是同學們可以利用聲音記錄及分析軟體(wave editor versional 03, copyright(C) 1992 by keith W. Boone) 代替以前的聲音分析儀，使試驗工作易行，省錢、正確，故給予獎勵。

作者簡介

林幼淳

在小學參加過數十次的生態之旅，東至花蓮，南至墾丁，西至金門、澎湖，北至淡水，都留有我的足跡。野外的花草、樹木、昆蟲對我都不陌生。國一在張老師的指導下，開始展開蟋蟀研究之旅，過程雖漫長且辛苦，但收穫良多。

陳毓璿

”唧唧唧”想到這熟悉的聲音，不僅讓我想起了作科展的酸甜苦辣，更讓我想起老家_小琉球。小時候，只要一到假日爸爸就會帶我去拜訪她，也是在那第一次聽到蟋蟀的叫聲。雖然隨著年紀的增加去過了許多的風景名勝，但小琉球仍令我留下了最深刻的印象。

莊百賀

出生高雄，從小就對昆蟲有極大興趣，常與祖父到大自然觀察、捕捉昆蟲，在這樣的環境下，自小就對昆蟲有蠻多的認識，國中後課業繁重，但在假日也仍不忘到郊外和大自然接觸。這次科展在我生命過程中不論在知識和做人處事上成長不少。

簡世嘉

出生高雄旗山的我，從小就喜歡大自然，喜歡跑東跑西，把台灣的觀光景點都玩遍了。對生物有極大的興趣，小時旗山公園沒開發時常聽到”唧唧唧”的悅耳聲，有時常與父母一起灌或鬥蟋蟀。此次蟋歌之旅更圓了我的夢。