

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 生物科

佳作

080302

「蟀」哥的奧林匹克~看誰跳得高？跳得遠？

學校名稱：高雄市左營區勝利國民小學

作者：	指導老師：
小六 林羿呈	王鴻彰
小六 王玟宣	陳利玲
小六 林祖安	
小五 顏子涵	
小五 吳旻宸	
小五 林軒毅	

關鍵詞：蟋蟀、垂直跳躍、水平跳躍

## 摘要

我們以小扁頭蟋蟀、台灣大蟋蟀、烏頭眉紋蟋蟀、家蟋蟀與黃斑黑蟋蟀等五種蟋蟀成蟲為研究對象，利用壓克力觀察箱與 GoPro7 攝影機，以 120fps 高速攝影蟋蟀的垂直跳躍與水平跳躍，總計完成 804 部影片上傳至 youtube 的影片編輯器，以 0.25 倍慢速播放紀錄分析，找出跳得最高、跳得最遠與最會跳的蟋蟀。

最後總計完成 109 隻蟋蟀外型特徵、垂直跳躍高度與水平跳躍距離的分析，結果顯示：

1.家蟋蟀的後腿/體長比最大，是「長腿王」；2.家蟋蟀的垂直跳躍高度（體長數）最高，是「跳高王」；3.家蟋蟀的水平跳躍距離（體長數）也最遠，是「跳遠王」；4.接受刺激後的跳躍率，眉紋蟋蟀是垂直跳躍的「跳跳王」，小扁頭蟋蟀則是水平跳躍的「跳跳王」。

## 壹、研究動機

在學校上跳遠課的時候，當體育老師掀開沙坑帆布的瞬間，我們看到有昆蟲從沙坑跳出來，跳得又快又遠，想起五年級自然課的動物世界單元也有介紹昆蟲的跳躍，於是我們請自然老師幫忙辨識，才發現躲在學校跳遠場的昆蟲是非常擅長跳躍的家蟋蟀。而在捕捉的過程中，我們還發現家蟋蟀不只會跳遠還會跳高，自然老師還說：還有其他種類的蟋蟀也是跳躍高手，激起了我們的好奇心，於是拜託自然老師指導我們捕捉蟋蟀並觀察蟋蟀如何跳躍，並比較不同種類蟋蟀在垂直跳躍高度、水平跳躍距離與跳躍率的差異。

## 貳、研究目的

為了捕捉小扁頭蟋蟀、台灣大蟋蟀、烏頭眉紋蟋蟀、家蟋蟀與黃斑黑蟋蟀，並研究分析五種蟋蟀成蟲的跳躍能力，擬定研究目的如下：

- 一、觀察蟋蟀棲地的生態環境。
- 二、測量計算蟋蟀的後腿/體長比，找出「長腿王」。
- 三、觀察紀錄蟋蟀的垂直跳躍高度，找出「跳高王」。
- 四、觀察紀錄蟋蟀的水平跳躍距離，找出「跳遠王」。
- 五、觀察紀錄蟋蟀接受刺激後的跳躍率，找出「跳跳王」。
- 六、分析蟋蟀性別、體重、後腿長度與跳躍的關係。

## 參、研究對象、研究設備與器材

### 一、研究對象

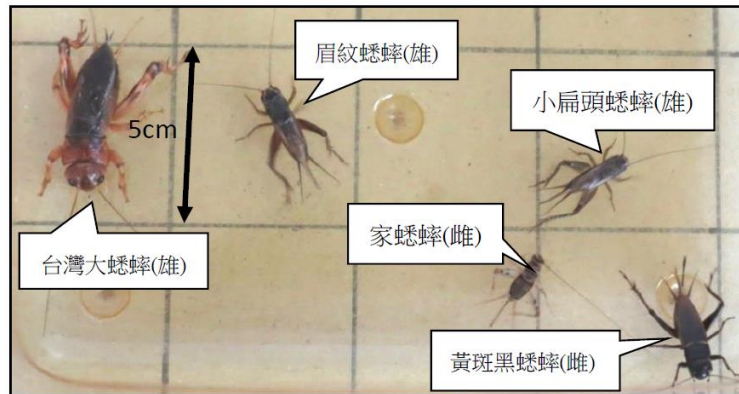
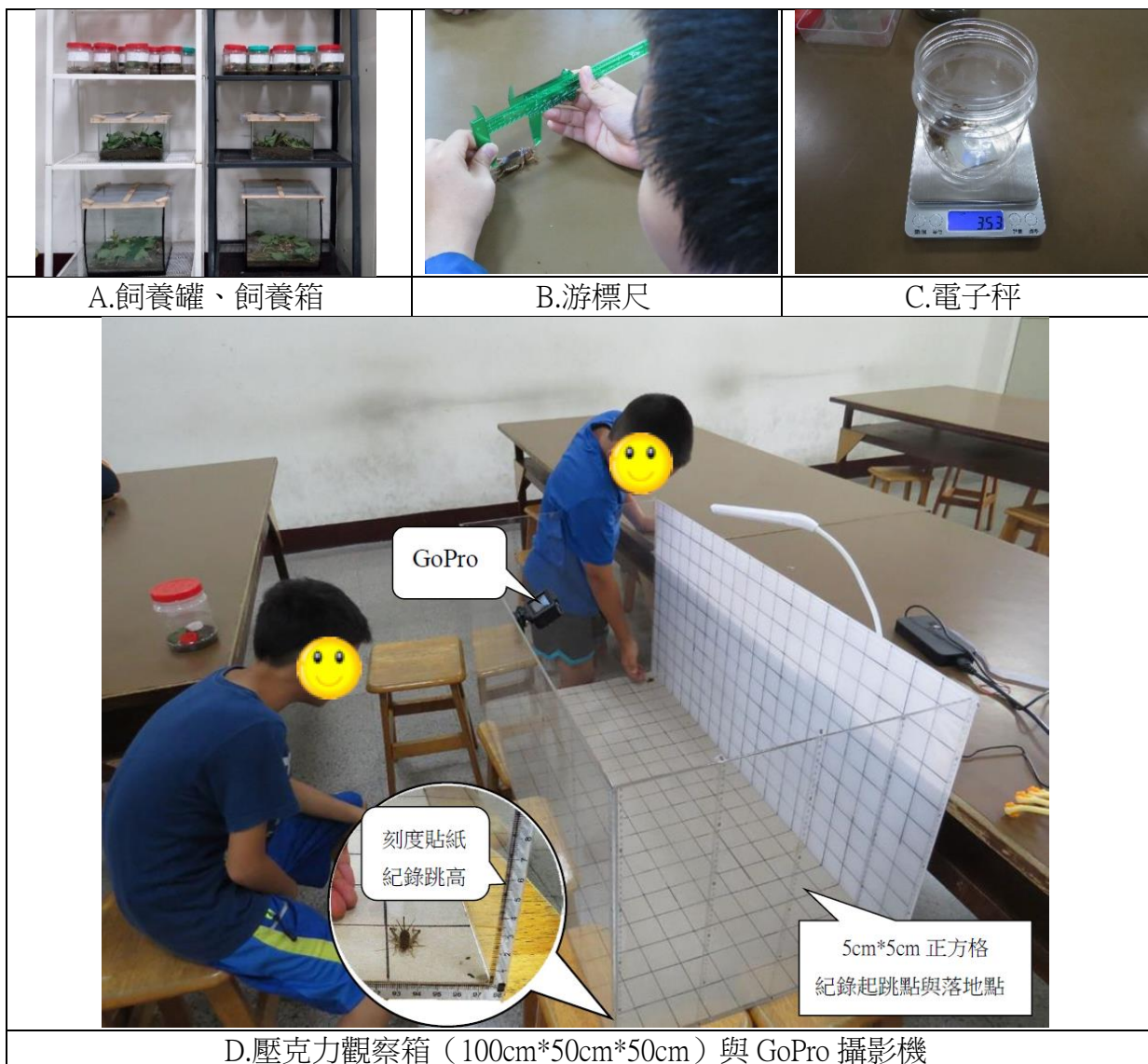


圖 1 研究對象合照圖

### 二、研究設備與器材

為達成研究目的，準備研究設備與器材如圖 2 所述：



D.壓克力觀察箱（100cm\*50cm\*50cm）與 GoPro 攝影機

圖 2 研究設備與器材

## 肆、文獻探討

在捕捉蟋蟀之前，我們尋找資料將小扁頭蟋蟀、台灣大蟋蟀、烏頭眉紋蟋蟀、家蟋蟀與黃斑黑蟋蟀五種蟋蟀的生態習性整理如表 1，並進一步瞭解蟋蟀的身體構造。

表 1 蟋蟀的生態習性比較摘要表<sup>1,2</sup>

種類 項目	小扁頭蟋蟀	台灣大蟋蟀	烏頭眉紋 蟋蟀	家蟋蟀	黃斑黑蟋蟀
學名	<i>Loxoblemmus equestris</i>	<i>Brachytrupes portentosus</i>	<i>Teleogryllus occipitalis</i>	<i>Gryllodes sigillatus</i>	<i>Gryllus bimaculatus</i>
分類	直翅目蟋蟀科	直翅目蟋蟀科	直翅目蟋蟀科	直翅目蟋蟀科	直翅目蟋蟀科
圖片					
外型特徵	體色為黑褐色，主要特徵為雄蟲頭部前額扁平呈棺木狀，雌蟲頭部為圓球形。	體型大，頭圓，全身褐色，胸及前翅則為黑褐色，雌蟲產卵管較短。	身體暗棕色，主要特徵為頭額具眉紋，雌蟲產卵管長。	體色為黃褐色，頭部圓形，兩個複眼間有一黑色橫帶條紋，前胸背板淡黃褐色，下緣則為黑色。	頭部、前胸背板及身體和三對足均為黑色，翅膀基部有二個黃斑，另有三對足為紅色品種。
生態習性	夜晚具趨光性，雄蟲鳴叫聲短，以植物的根莖葉或果實為食。由於後腳腿節粗壯，善彈跳，亦會飛行。	夜行有趨光性，會啃食農作物，是農田裡的害蟲，山產店大量捉來炸食，擅長挖地道。	活動以夜行為主，有趨光性。夜間在各處的草叢、荒地，很容易聽見雄蟲的鳴叫聲。	常棲息於農村灶台或火爐的縫隙裡，所以有家蟋蟀或短翅竈蟋的稱呼，屬夜行性昆蟲。	白天蟄伏在草叢隱蔽處不易被發現，夜晚則鳴聲宏亮，是民間用來鬥蟋蟀的主角。
分布地區	普遍分布於平地至低海拔山區。	分布於平地至低海拔山區、西部平原。	分布於平地及低海拔山區。	分布於平地至低海拔山區。	分布於中南部地區。
成體出現時間	春、夏、秋季全天鳴叫	夏、秋季晚上鳴叫	春、夏、秋季晚上鳴叫	全年晚上鳴叫	春、夏、秋季晚上鳴叫
棲息環境	林地、荒地的落葉層、石塊下潮濕處。	校園、公園樹下。	草叢、石頭邊緣、農田。	住家周圍的草叢、石頭、水泥縫。	公園、農田、道路兩旁綠帶等。
食性	以植物的根莖葉或果實為食	雜食性	雜食性	雜食性	雜食性

## 一、蟋蟀的身體構造

蟋蟀的身體構造可分為頭部、胸部和腹部，如圖 3 所示。

(一) 頭部：感覺器官所在的位置，主要有觸角、口器與複眼。

- 1.觸角：觸角長在頭的前上方，具有觸覺、嗅覺和味覺等多種功能，同時也具有感測氣溫的能力，常常擺動以辨別氣流，用以監視獵食者或天敵。
- 2.口器：咀嚼式口器，還有一對大顎用來切碎食物。
- 3.複眼：由許多六角形的小眼所集結而成，是視覺的主要器官。

(二) 胸部：運動器官翅膀和腳的所在位置，且胸部分為三節。

1.腳：在每一個胸節下方的兩側各長著一對腳，三個胸節共有三對腳，前兩對腳主要用於行走，而粗壯的後腳讓蟋蟀擁有優越的跳躍能力。蟋蟀的後腳長有棘刺，後腿可以用力踢向後方的獵食者。

2.翅膀：蟋蟀有兩對翅膀，前翅為革質，後翅則為透明的膜質。後翅通常折疊於前翅之下，末端縮成束狀，遭遇危險時，後翅偶爾會配合跳躍張開飛行，遠離危險。前翅是蟋蟀的發聲工具，雄蟋蟀的鳴聲就是由前翅相互摩擦所發出的。而家蟋蟀是五種蟋蟀裡面較為特別的，雄性家蟋蟀只有前翅，後翅已經退化，雌性家蟋蟀的前翅與後翅則都已經退化。

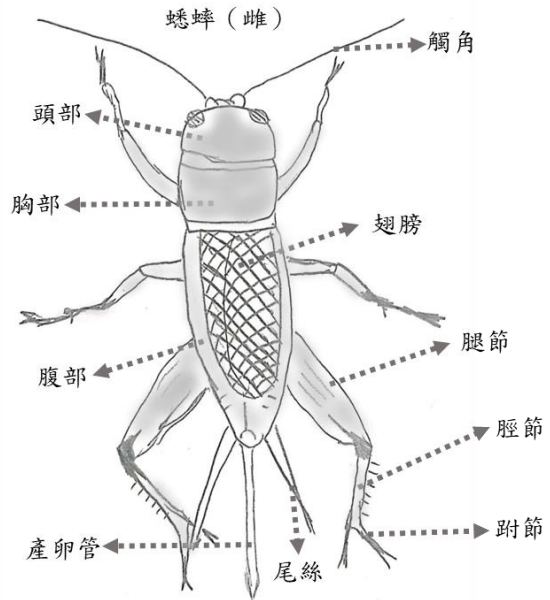


圖 3 蟋蟀的身體構造圖<sup>1,2</sup>

(圖片來源：自行繪製，以烏頭眉紋蟋蟀為例)

(三) 腹部：蟋蟀的腹部柔軟，末端有一對尾絲與交尾器（雄蟲）或產卵管（雌蟲）。

## 二、蟋蟀的成長過程

蟋蟀的一生會經過卵、若蟲、成蟲三個蟲態的變化，如圖 4 所示。

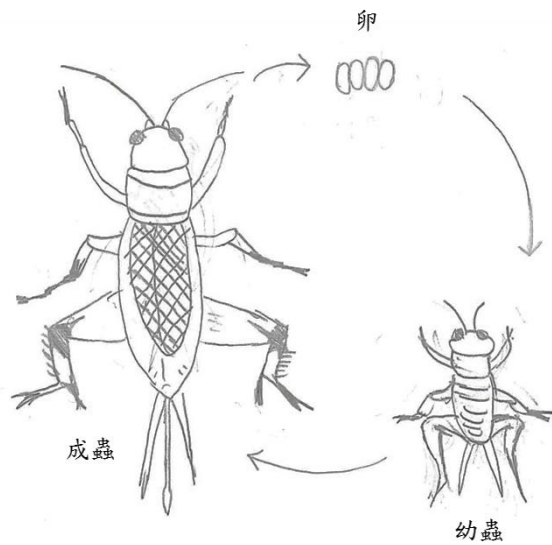


圖 4 蟋蟀的一生<sup>1,2</sup>

(圖片來源：自行繪製)

(一) 卵：雌蟋蟀腹部末端有產卵管，雌蟋蟀會把產卵管插入土中，產下一個個的卵。

(二) 若蟲：蟋蟀的幼蟲很像成蟲，但沒有翅膀，叫做若蟲，牠們會拼命進食，然後蛻皮。若蟲在生長過程中，隨著蛻皮次數與齡期的增加，它們會長得越來越像成蟲。

(三) 成蟲：若蟲經過數次蛻皮後會變為成蟲，翅膀全部形成，性器官也會完全成熟。

### 三、蟋蟀的跳躍

蟋蟀的大腿中富含一種有彈性的膠狀蛋白質，這種膠狀蛋白質聚集在後腳的肌肉纖維中。當肌肉繃緊後，膠狀蛋白質會收縮產生爆發力，於是蟋蟀就像離弦的箭被彈射出去，直到數十公分遠處。蟋蟀的後腳很發達，腿節粗壯，跳躍的預備姿勢為先將脛節靠近腿節（圖 5B），然後猛然收縮腿節上的拉肌和脛節上的提筋，同時在起跳前將前腳與中腳同時朝下方蹲去再往上抬（圖 5C），並藉助跗節與地面的反衝力，將身體彈向空中和遠方。因此蟋蟀是靠提筋收緊產生的肌肉壓力來跳躍，所以蟋蟀的跳躍其實是彈跳，提筋的伸縮範圍越大，壓力越大，蟋蟀就可以跳得越高、跳得越遠。

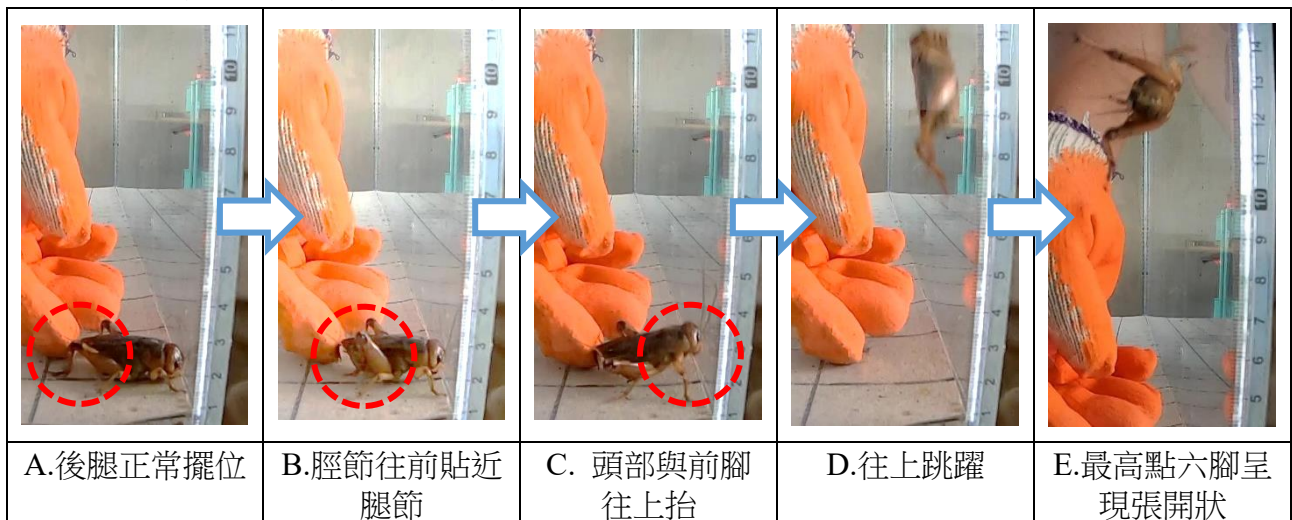


圖 5 蟋蟀跳躍連續動作圖

## 伍、研究過程、結果與討論

我們的研究對象為小扁頭蟋蟀、台灣大蟋蟀、烏頭眉紋蟋蟀、家蟋蟀與黃斑黑蟋蟀等五種台灣常見蟋蟀，蟋蟀來源為野生蟋蟀，在實驗過程中，為降低人為飼養對蟋蟀健康狀態與跳躍實驗的干擾，我們採取的方法有二：一為實驗期間採集原棲息地植物的根莖葉作為蟋蟀的食物，二是盡量縮短人工養殖的時間，並以一個禮拜為限。

在進行蟋蟀跳躍實驗之前，必須先想出让蟋蟀在觀察箱跳躍的方法，蟋蟀在不受刺激的狀態下，只會爬行或躲藏，並不會跳躍，王妍方(2012)等人的研究指出震動會使蟋蟀跳躍，因此我們將書本平拿至固定高度後放手，讓書本落地的震動引發蟋蟀的跳躍，但實驗成效不佳，蟋蟀跳躍的次數很少。我們也發現吹氣與噴水也會使蟋蟀跳躍，而且跳躍的次數很頻繁，但是吹氣可能會增加蟋蟀跳躍的距離，而噴水會讓蟋蟀身體潮濕影響跳躍能力，所以這兩種方式也不行。

後來我們想到在公園抓蟋蟀時，我們的手只要接近蟋蟀尾部，蟋蟀便會產生跳躍的行為，於是我們準備三種刺激棒(圖6)，並分別將刺激棒接近蟋蟀尾部，試著刺激蟋蟀跳躍，



圖 6 自製刺激棒與市售刺激棒

結果發現市售黃色手指棒容易戳傷蟋蟀，所以不考慮使用，於是另外用軟性的假葉與雞毛自製刺激棒，但發現上述兩種自製刺激棒讓蟋蟀跳躍的效果也不好。因此最後決定用我們的手指接近蟋蟀的尾絲，盡其可能給予蟋蟀威脅，讓蟋蟀產生跳躍的行為，但每次手指接近蟋蟀尾毛的方向或速度可能有所差異，因此我們每隻蟋蟀皆進行多次跳躍實驗，並期待每隻蟋蟀能夠測量到的有效垂直跳躍次數與有效水平跳躍次數皆能超過 10 次以上，降低手指威脅程度差異對實驗結果的影響，且每隻蟋蟀進行一次跳躍實驗之後，至少間隔一天再進行第二次實驗。

為了達成研究目的，研究過程、結果與討論如下所述：

## 一、蟋蟀的棲地環境

### (一) 研究過程

為了瞭解蟋蟀的棲地環境，研究過程如圖 7。

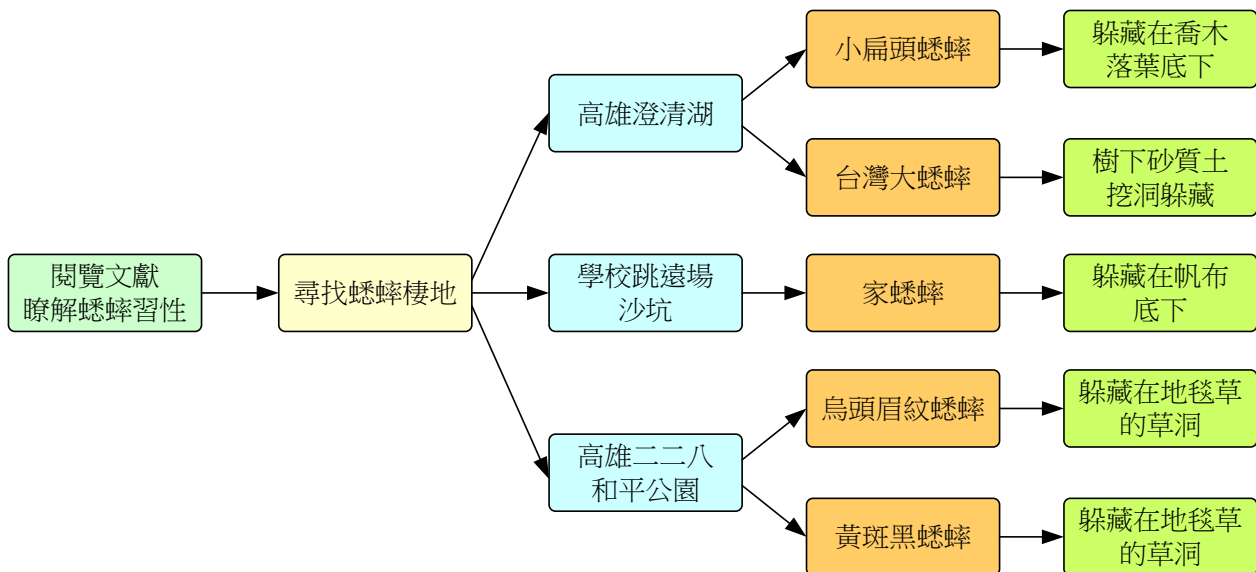
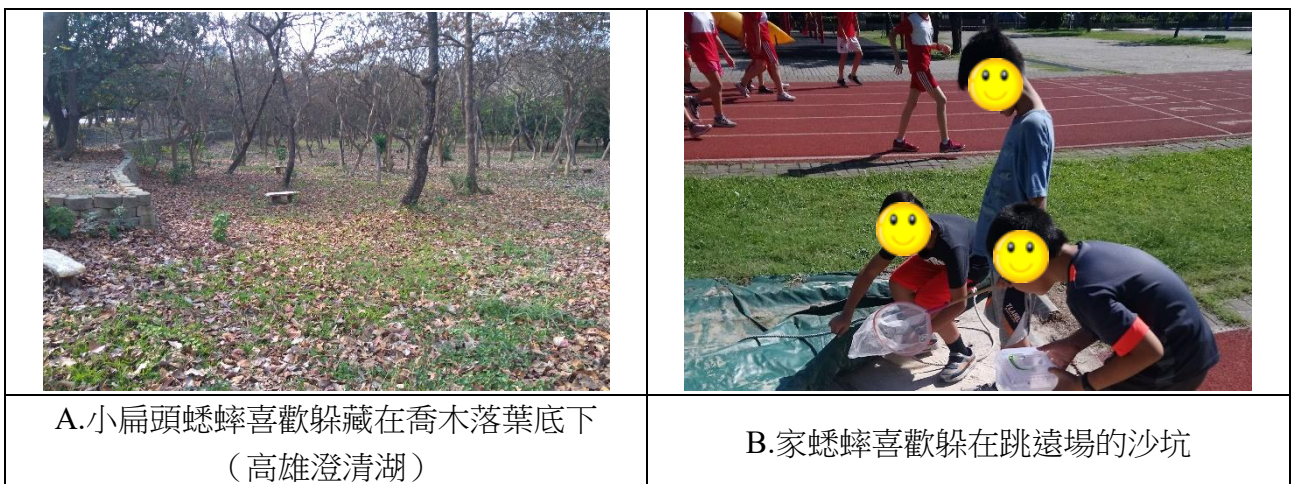


圖 7 蟋蟀棲地研究過程圖

### (二) 研究結果

在捕捉蟋蟀的過程中，我們發現小扁頭蟋蟀喜歡躲在喬木的落葉底下（圖 8A），而且小扁頭蟋蟀雄蟲白天就會鳴叫；家蟋蟀喜歡生活在沙質地（圖 8B），於是學校的跳遠場就成為家蟋蟀的樂園，晚上再從沙坑出來到旁邊的草皮覓食；烏頭眉紋蟋蟀與黃斑黑蟋蟀喜歡生活在公園與道路兩旁的草皮，雄蟲晚上的鳴叫聲很響亮（圖 8C、8D）；台灣大蟋蟀喜歡在樹下挖洞躲藏（圖 8F），要抓到牠，就必須拿水來灌蟋蟀。





	
<p>C.眉紋蟋蟀與黃斑黑蟋蟀喜歡生活在公園的地毯草底下（高雄二二八和平公園）</p>	<p>D.黃斑黑蟋蟀躲在地毯草的草洞</p>
	
<p>E.小扁頭蟋蟀、眉紋蟋蟀、黃斑黑蟋蟀也會挖洞，但是洞淺，洞口也不會有土擋著。</p>	<p>F.台灣大蟋蟀在樹下挖洞躲藏，洞的深度長達數十公分，洞口有土擋。</p>

圖 8 蟋蟀棲地圖

### （三）討論

1. 在捕捉蟋蟀的過程中，我們發現蟋蟀就生活在人類的周遭，就算是車水馬龍的都市，只要有草皮或樹木的道路兩旁與公園，就可以發現到蟋蟀的存在。
2. 找到蟋蟀最快的方法就是豎起耳朵聆聽雄蟲的鳴叫聲，台灣大蟋蟀、眉紋蟋蟀、家蟋蟀與黃斑黑蟋蟀的雄蟲經常在晚上鳴叫，小扁頭蟋蟀的雄蟲大部分在白天鳴叫。
3. 台灣大蟋蟀是民間灌蟋蟀的主角，暑假過後台灣大蟋蟀的幼蟲逐漸成熟，洞口外的土堆越來越大，只要在公園樹下仔細尋找就可以看到。

## 二、誰是長腿王？

### （一）研究過程

小扁頭蟋蟀、台灣大蟋蟀、烏頭眉紋蟋蟀、家蟋蟀與黃斑黑蟋蟀是我們的研究對象，研究數量為小扁頭蟋蟀 24 隻（公蟀 10、母蟀 14）、台灣大蟋蟀 20 隻（公蟀 11、母蟀 9）、烏頭眉紋蟋蟀 22 隻（公蟀 9、母蟀 13）、家蟋蟀 21 隻（公蟀 11、母蟀 10）與黃斑黑蟋蟀 22

隻（公蟋 12、母蟋 10），每隻蟋蟀皆以電子秤及游標尺測量其體重、體長，並測量其後腿各節（腿節、脛節與跗節）的長度資料（圖 9），每一隻蟋蟀的身體特徵數值載於文後附錄。

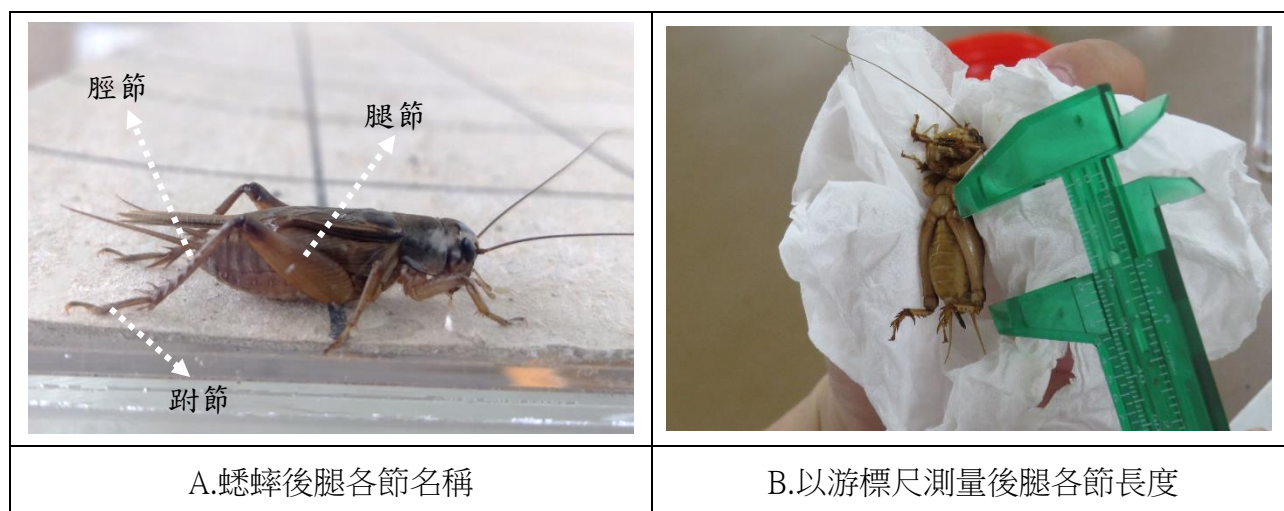


圖 9 測量蟋蟀體長與腿長

## （二）研究結果

測量蟋蟀體重、體長與腿長等基本資料之後，整理如表 2，從表中資料可知：台灣大蟋蟀是台灣體型最大的蟋蟀，台灣大蟋蟀在體重、體長、後腿各節長度均領先其他四種蟋蟀，如果按照體型大小進行初步分類，順序為台灣大蟋蟀 > 黃斑黑蟋蟀 > 烏頭眉紋蟋蟀 > 小扁頭蟋蟀 > 家蟋蟀。

但如果將蟋蟀後腿總長度除以體長求得後腿/體長比，則呈現家蟋蟀 > 烏頭眉紋蟋蟀 > 小扁頭蟋蟀 > 黃斑黑蟋蟀 > 台灣大蟋蟀的結果，顯示家蟋蟀是真正的「長腿王」，而體型最大的前二名台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀均為短腿族。

表 2 蟋蟀體型與後腿各節長度平均數摘要表

蟋蟀名稱	小扁頭 蟋蟀 (n=24)	台灣 大蟋蟀 (n=20)	烏頭 眉紋蟋蟀 (n=22)	家蟋蟀 (n=21)	黃斑 黑蟋蟀 (n=22)
體重(g)	0.28	<b>3.88</b>	0.7	0.2	0.79
A 體長(cm)	1.67	<b>4.05</b>	2.32	1.56	2.51
後腿腿節寬(cm)	0.39	<b>0.62</b>	0.45	0.34	0.40
後腿腿節長(cm)	0.97	<b>2.11</b>	1.3	1	1.21
後腿脛節長(cm)	0.75	<b>1.28</b>	1.07	0.72	0.96
後腿跗節長(cm)	0.46	<b>0.86</b>	0.66	0.46	0.64
B 後腿總長(cm)	2.18	<b>4.25</b>	3.03	2.18	2.81
B/A 後腿/體長比	1.30	1.05	1.31	<b>1.40</b>	1.12

### (三) 討論

1. 從上述結果可知台灣大蟋蟀體型最大，但後腿/體長比卻最小；家蟋蟀體型最小，但後腿/體長比卻最大，生物的演化讓我們覺得很驚奇。
2. 台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀後腿/體長比僅略大於 1，將這個結果放在人類世界就是「五五身」，身體比例欠佳，讓我們覺得莞爾。

## 三、誰是跳高王？

### (一) 研究過程

為了紀錄分析蟋蟀的垂直跳躍高度，實驗步驟如圖 10 與圖 11 所示，我們先將蟋蟀逼至觀察箱角落，再以手指接近蟋蟀尾部（圖 11A），蟋蟀受到刺激，加上觸角偵測到前方有阻隔物，便會產生垂直跳躍的行為（圖 11B、11C），企圖遠離來自身體後方的威脅。

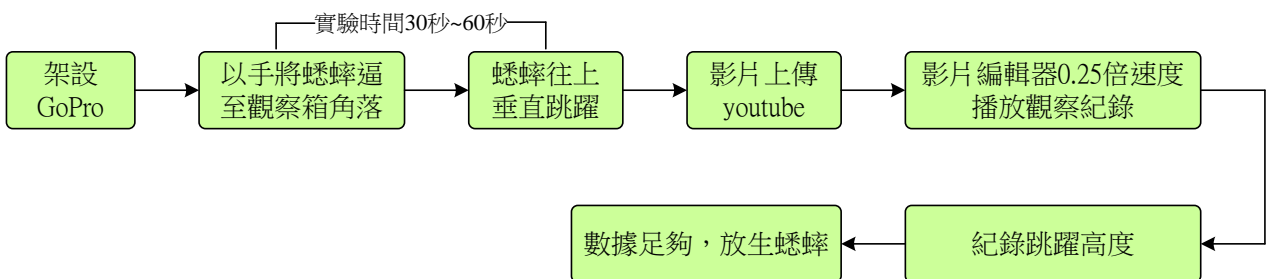


圖 10 蟋蟀垂直跳躍實驗步驟圖



圖 11 蟋蟀垂直跳躍測量

## (二) 研究結果

五種蟋蟀垂直跳躍高度如表 3 所示，從表中資料可知：台灣大蟋蟀 2 號的平均垂直跳躍高度最高（18.4cm），而五種蟋蟀垂直跳躍高度的平均數也以台灣大蟋蟀最高（13.1cm），但垂直跳躍高度必須除以每一隻蟋蟀的體長才能進一步公平比較。

表 3 蟋蟀垂直跳躍高度平均數摘要表

蟋蟀名稱 垂直跳躍高度 (cm) 編號	小扁頭 蟋蟀	台灣 大蟋蟀	烏頭 眉紋蟋蟀	家蟋蟀	黃斑 黑蟋蟀
1	測量次數過少(註 1)	8.3(9)	9.0(15)	10.8(13)	6.2(20)
2	測量次數過少	12.3(17)	10.4(9)	12.0(8)	6.8(15)
3	8.0(27)(註 2)	12.6(28)	15.6(16)	7.4(8)	3.7(11)
4	測量次數過少	13.1(26)	14.8(17)	測量次數過少	6.1(19)
5	13.3(22)	16.4(13)	14.8(21)	11.2(5)	5.1(19)
6	9.4(18)	14.1(36)	14.0(10)	12.8(23)	5.2(14)
7	6.4(11)	13.0(29)	7.4(9)	6.0(3)	7.4(13)
8	6.9(17)	<b>18.4(15)</b>	13.2(27)	10.3(13)	8.1(15)
9	5.0(21)	9.9(29)	13.4(36)	測量次數過少	10.5(17)
10	7.9(20)	13.6(21)	6.9(14)	14.1(17)	8.6(14)
11	5.9(11)	14.4(27)	10.0(6)	16.2(5)	8.1(15)
12	8.7(27)	12.3(27)	11.4(25)	8.6(5)	4.3(15)
13	5.1(21)	18.0(24)	13.6(26)	9.7(12)	7.8(8)
14	7.7(23)	13.6(29)	17.2(19)	7.8(13)	5.4(14)
15	4.6(17)	13.3(26)	13.8(21)	8.3(6)	4.8(21)
16	8.4(29)	15.5(29)	11.1(19)	5.3(11)	7.4(33)
17	11.5(15)	11.1(25)	12.3(40)	4.6(10)	7.2(13)
18	3.8(9)	9.6(22)	9.0(14)	6.5(11)	6.9(25)
19	7.0(23)	12.8(25)	7.1(6)	4.7(13)	7.2(23)
20	5.5(16)	9.3(18)	9.5(17)	9.5(7)	7.6(11)
21	6.3(19)		9.2(10)	12.2(21)	6.5(17)
22	6.9(22)		9.4(11)		6.9(18)
23	9.1(19)				
24	6.0(22)				
平均值	7.3(409)	<b>13.1(475)</b>	11.5(388)	9.4(204)	6.4(370)

註 1：測量次數過少原因為蟋蟀逃逸或死亡。

註 2：( )括弧內為成功測得之蟋蟀跳高次數

再將五種蟋蟀垂直跳躍高度除以個別蟋蟀體長得到垂直跳躍體長數，統計結果如表 4 所示，從表中資料可知：以家蟋蟀 11 號的平均垂直跳躍高度最高（9.5 個體長），而五種蟋蟀

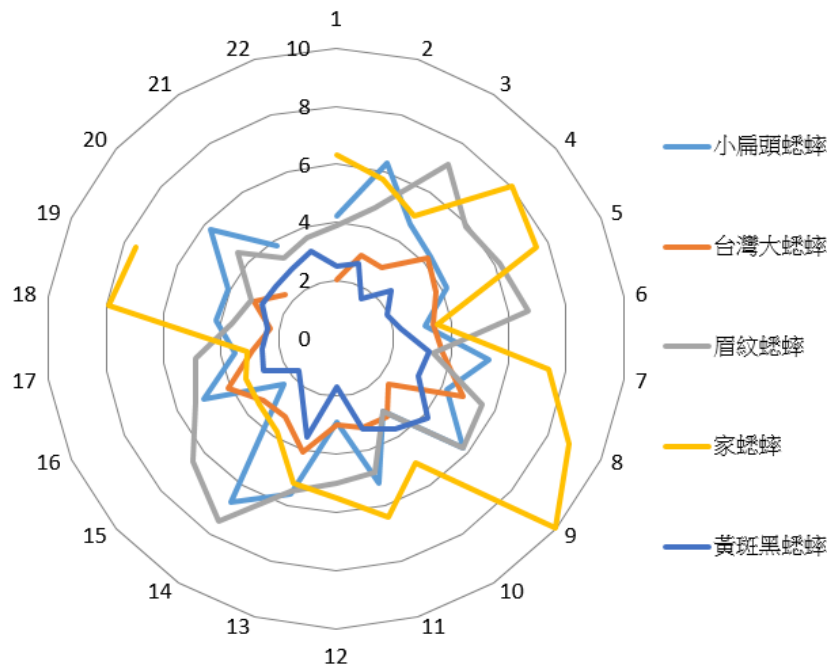
的平均垂直跳躍體長數也以小扁頭蟋蟀最高（6.0 個體長），而以黃斑黑蟋蟀的平均垂直跳躍體長數最低（2.7 個體長），整體結果為家蟋蟀 > 烏頭眉紋蟋蟀 > 小扁頭蟋蟀 > 台灣大蟋蟀 > 黃斑黑蟋蟀，而台灣大蟋蟀跳高能力優於黃斑黑蟋蟀的研究結果與蘇順德等（2012）的研究結果一致。

垂直跳躍高度除以個別蟋蟀體長，求得絕對高度（表 4）

表 4 蟋蟀垂直跳躍「體長數」摘要表

蟋蟀名稱 垂直跳躍體長數 (cm/體長) 編號	小扁頭 蟋蟀	台灣 大蟋蟀	烏頭 眉紋蟋蟀	家蟋蟀	黃斑 黑蟋蟀
1	測量次數過少(註)	2.0	3.9	6.3	2.5
2	測量次數過少	3.0	4.7	5.7	2.7
3	4.2	2.9	7.1	5.0	1.6
4	測量次數過少	4.2	5.9	測量次數過少	2.5
5	6.3	3.8	6.2	8.0	1.9
6	4.7	3.4	6.7	7.6	2.3
7	4.3	3.7	3.4	3.5	3.2
8	4.2	4.8	5.5	7.4	3.1
9	3.1	2.4	5.8	測量次數過少	4.2
10	5.3	3.2	3.0	8.8	3.7
11	4.2	3.2	4.8	<b>9.5</b>	3.3
12	5.8	3.0	5.0	5.1	1.7
13	3.0	4.1	5.5	6.4	3.6
14	5.2	3.2	7.5	5.5	2.2
15	2.9	3.3	6.5	5.2	1.7
16	5.2	4.1	5.3	3.8	2.7
17	6.7	2.9	4.9	3.5	2.6
18	2.4	2.3	3.6	3.4	2.4
19	5.0	3.1	3.2	3.1	2.8
20	3.5	2.3	4.5	7.9	2.7
21	4.2		3.3	7.6	2.8
22	4.1		3.6		3.1
23	5.7				
24	3.8				
平均	4.5	3.3	5.0	<b>6.0</b>	2.7

註：測量次數過少原因為蟋蟀逃逸或死亡。



接著將表 4 所有蟋蟀的垂直跳躍體長數轉化為雷達圖，可得到圖 12，從雷達圖可看出家蟋蟀、眉紋蟋蟀與小扁頭蟋蟀的雷達圈較大，而台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀的雷達圈被包覆在接近圓心的位置，可見家蟋蟀、眉紋蟋蟀與小扁頭蟋蟀垂直跳躍的能力較好，而台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀較差。

圖 12 垂直跳躍體長數雷達圖

### (三) 討論

1. 五種蟋蟀在垂直跳躍高度的比較大致可分為兩群，家蟋蟀、烏頭眉紋蟋蟀、小扁頭蟋蟀屬於跳得高的蟋蟀，台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀屬於跳得低的蟋蟀。
2. 垂直跳躍高度比較的結果與後腿/體長比的數據（表 2）是一致的，家蟋蟀、眉紋蟋蟀、小扁頭蟋蟀的後腿/體長比較大（長腿族），而台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀的後腿/體長比較小（短腿族）。

## 四、誰是跳遠王？

### (一) 研究過程

在水平跳躍距離實驗部份，實驗步驟圖如圖 13 所示，且因為蟋蟀跳躍的方向不固定，我們先在壓克力觀察箱底部畫上一個個 5cm\*5cm 的正方形，並紀錄蟋蟀的起跳點（圖 14A），並在觀察紀錄表劃記連接起跳點與落地點成直角三角形，最後利用畢氏定理求出水平跳躍距離（圖 14C）。

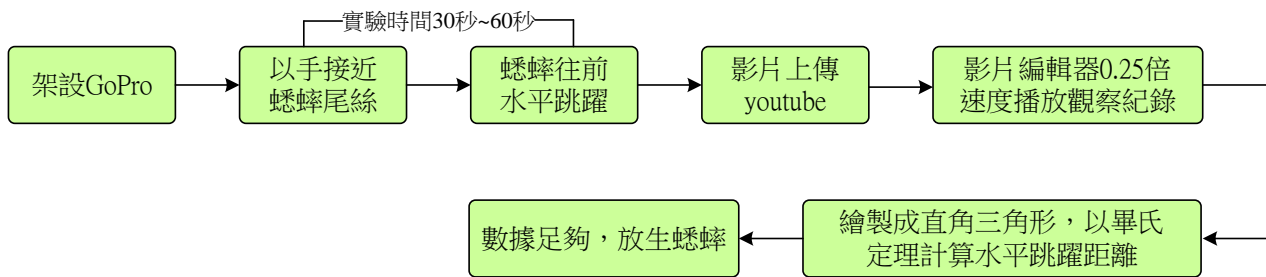


圖 13 蟋蟀水平跳躍實驗步驟圖

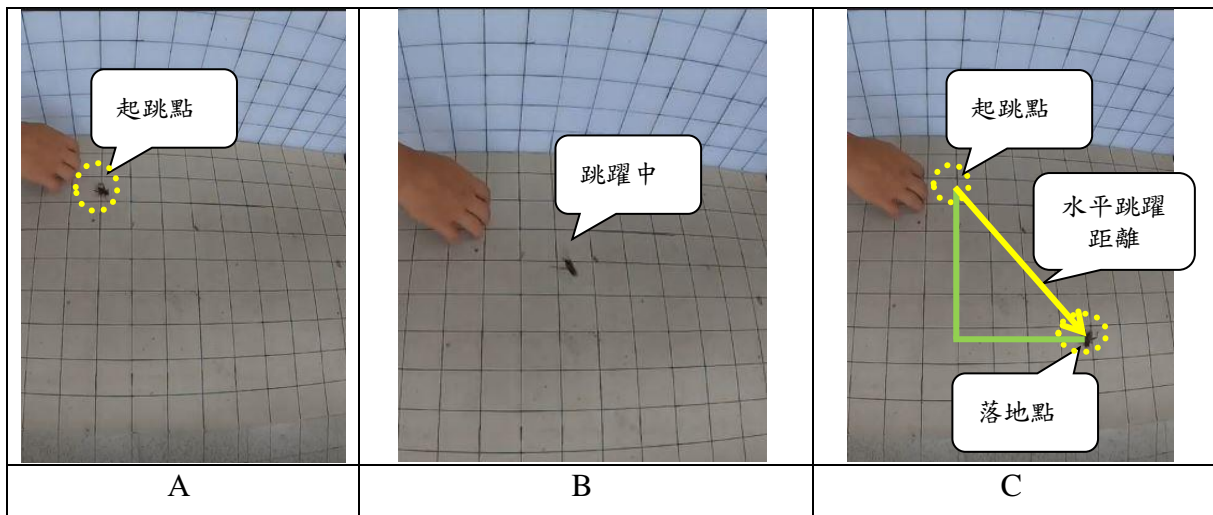


圖 14 利用畢氏定理算出蟋蟀水平跳躍距離

## (二) 研究結果

五種蟋蟀水平跳躍距離如表 5 所示，從表中資料可知：烏頭眉紋蟋蟀 16 號的平均水平跳躍距離最遠（56.4cm），家蟋蟀 6 號（51.3cm）與烏頭眉紋蟋蟀 5 號（51.2cm）的水平跳躍距離亦超過 50cm；而五種蟋蟀水平跳躍距離的平均數亦以眉紋蟋蟀最遠（37.4cm），台灣大蟋蟀（36.7cm）次之，家蟋蟀（36.3cm）再次之，但水平跳躍距離仍必須除以個別蟋蟀的體長才能進一步公平比較。

表 5 蟋蟀水平跳躍距離平均數摘要表

蟋蟀名稱 編號	水平跳躍距離 (cm)				
	小扁頭 蟋蟀	台灣 大蟋蟀	烏頭 眉紋蟋蟀	家蟋蟀	黃斑 黑蟋蟀
1	測量次數過少(註 1)	17.9(8)	36.7(31)	39.1(12)	26.7(24)
2	測量次數過少	40.4(13)	41.0(29)	44.5(19)	20.5(12)
3	24.1(32)(註 2)	41.1(15)	45.8(11)	27.4(18)	23.2(25)
4	測量次數過少	37.1(18)	30.4(13)	測量次數過少	23.9(26)
5	45.2(24)	43.7(6)	51.2(30)	37.2(11)	21.2(27)

6	32.8(21)	38.6(26)	42.6(12)	51.3(22)	21.6(24)
7	31.4(12)	34.9(17)	31.3(9)	21.0(17)	23.3(10)
8	13.2(28)	41.2(12)	31.7(21)	47.4(23)	23.7(12)
9	16.8(30)	34.7(21)	42.3(18)	測量次數過少	31.5(13)
10	30.8(24)	47.3(16)	27.7(23)	34.6(15)	34.3(20)
11	27.6(21)	40.8(17)	35.2(10)	38.1(19)	25.1(14)
12	24.1(40)	34.4(26)	31.9(26)	34.5(28)	18.7(23)
13	23.4(30)	40.1(13)	33.5(20)	36.1(18)	34.6(21)
14	20.9(35)	48.3(19)	37.5(16)	31.8(27)	21.3(12)
15	18.1(37)	28.8(22)	35.7(15)	32.5(23)	20.7(24)
16	21.8(32)	48.2(18)	<b>56.4(17)</b>	26.5(27)	25.9(36)
17	26.8(28)	32.8(9)	31.1(25)	34.2(19)	20.3(22)
18	12.9(29)	18.3(13)	24.5(35)	44.3(25)	29.4(23)
19	29.8(25)	39.6(15)	31.1(16)	26.9(27)	27.2(23)
20	23.0(30)	26.4(13)	41.9(20)	36.0(32)	29.2(16)
21	21.5(29)		35.4(18)	45.5(18)	30.5(13)
22	24.5(24)		49.0(27)		28.2(15)
23	32.6(27)				
24	31.0(33)				
平均距離	25.4(591)	36.7(317)	<b>37.4(442)</b>	36.3(400)	25.5(435)

註 1：測量次數過少原因為蟋蟀逃逸或死亡 註 2：( )括弧內為成功測得之蟋蟀跳遠次數

五種蟋蟀水平跳躍距離平均體長數如表 6 所示，從表中資料可知：家蟋蟀 8 號的平均水平跳躍距離最遠（34.0 個體長），五種蟋蟀的平均水平跳躍體長數亦以家蟋蟀最多（23.3 個體長），而以台灣大蟋蟀最少（9.1 個體長），而黃斑黑蟋蟀跳遠能力優於台灣大蟋蟀的研究結果也與蘇順德等（2012）的研究結果一致。

水平跳躍高度除以個別蟋蟀體長，求得絕對距離（表 6）

表 6 蟋蟀水平跳躍「體長數」摘要表

蟋蟀名稱 水平跳躍體長數 (cm/體長) 編號	小扁頭 蟋蟀	台灣 大蟋蟀	烏頭 眉紋蟋蟀	家蟋蟀	黃斑 黑蟋蟀
1	測量次數過少(註)	4.4	16.0	23.0	10.7
2	測量次數過少	9.8	18.6	21.2	8.2
3	12.7	9.6	20.8	18.3	10.1
4	測量次數過少	12.0	12.2	測量次數過少	10.0
5	21.5	10.2	21.3	26.6	8.2



6	16.4	9.2	20.3	30.2	9.4
7	21.0	10.0	14.2	12.4	10.1
8	8.0	10.8	13.2	<b>34.0</b>	9.1
9	10.5	8.3	18.4	測量次數過少	12.6
10	20.5	11.1	12.1	21.6	14.9
11	19.7	9.1	16.8	22.4	10.1
12	16.1	8.4	13.9	20.3	7.2
13	13.9	9.1	13.4	24.1	15.7
14	14.1	11.5	16.3	22.7	8.5
15	11.3	7.0	17.0	20.3	7.4
16	13.6	12.7	26.9	18.9	9.6
17	15.8	8.6	12.4	26.3	7.3
18	8.1	4.5	9.8	23.3	10.1
19	21.3	9.7	14.2	17.9	10.5
20	14.4	6.6	20.0	30.0	10.4
21	14.3		12.6	28.4	13.2
22	14.4		18.8		12.8
23	20.4				
24	19.4				
平均體長數	15.6	9.1	16.3	<b>23.3</b>	10.3

註：測量次數過少原因為蟋蟀逃逸或死亡

接著將表 6 所有蟋蟀的水平跳躍體長數轉化為雷達圖，可得到圖 15，從雷達圖可看出家蟋蟀、烏頭眉紋蟋蟀與小扁頭蟋蟀的雷達圈較大，而台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀的雷達圈較小被包圍在接近圓心的位置，可見整體來說家蟋蟀、烏頭眉紋蟋蟀與小扁頭蟋蟀的水平跳躍能力較好，而台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀較差。

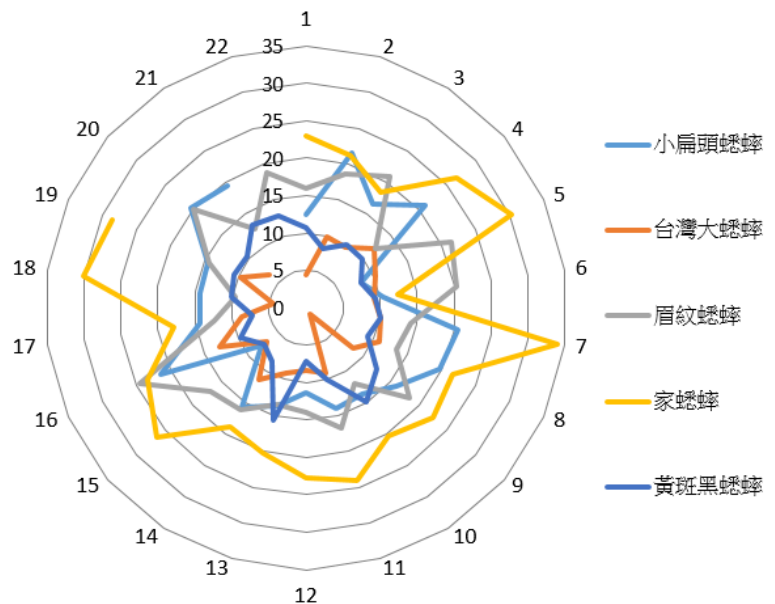


圖 15 蟋蟀水平跳躍體長數雷達圖

### (三) 討論

1. 五種蟋蟀在水平跳躍距離的比較大致分為三群，家蟋蟀一枝獨秀跳得最遠，而家蟋蟀也是後腿/體長比最高的蟋蟀（長腿王）；烏頭眉紋蟋蟀與小扁頭蟋蟀的跳遠距離居次，而台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀不但跳得近也跳得低。
2. 水平跳躍距離的實驗結果，也與後腿/體長比的數據（表 2）是一致的，家蟋蟀、烏頭眉紋蟋蟀、小扁頭蟋蟀的後腿/體長比較大（長腿族），而且跳得高跳得遠；而台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀的後腿/體長比較小（短腿族），跳得低也跳得近。
3. 在水平跳躍實驗的過程中，我們發現蟋蟀偶爾會張開後翅飛翔幫助跳躍，而家蟋蟀是五種蟋蟀中唯一沒有後翅的蟋蟀，是不是家蟋蟀已經有了一雙長腿善於跳躍，所以後翅逐漸退化消失，這是一個大家都感興趣的問題。

## 五、誰是跳跳王？

### (一) 研究過程

在跳躍實驗的過程中，我們發現每一種蟋蟀的跳躍高度與距離不同，也發現有的蟋蟀很會跳，有的蟋蟀不愛跳，因此想進一步瞭解不同種類蟋蟀在接受刺激後跳躍次數的差異，所以我們統計五種蟋蟀接受刺激後的跳躍率，幫助我們找出最喜歡跳躍的蟋蟀。

### (二) 研究結果

#### 1. 刺激後垂直跳躍率

五種蟋蟀垂直跳躍實驗的跳躍次數與刺激次數整理如表 7，從表中資料可知，就個別蟋蟀而言，以烏頭眉紋蟋蟀 20 號接受刺激後垂直跳躍率最高（100%），總計刺激 49 次，跳躍也達 49 次；就不同種類蟋蟀而言，也以烏頭眉紋蟋蟀接受刺激後的垂直跳躍率最高（52.8%），小扁頭蟋蟀居次（51.0%），而家蟋蟀接受刺激後的垂直跳躍率最低（31.4%）。

表 7 蟋蟀垂直跳躍實驗跳躍次數與刺激次數摘要表

蟋蟀名稱 跳躍次數/ 刺激次數 (%)	小扁頭 蟋蟀	台灣 大蟋蟀	烏頭 眉紋蟋蟀	家蟋蟀	黃斑 黑蟋蟀
編號					
1	測量次數過少(註)	11/48 (22.9%)	31/67 (46.3%)	19/32 (59.4%)	36/106 (34.0%)
2	測量次數過少	27/162 (16.7%)	27/134 (20.1%)	19/82 (23.2%)	16/36 (44.4%)
3	43/67 (64.2%)	45/73 (61.6%)	35/68 (51.5%)	9/52 (17.3%)	17/68 (25.0%)

4	測量次數過少	51/63 (81.0%)	40/54 (74.1%)	測量次數過少	25/58 (43.1%)
5	48/135 (35.6%)	19/49 (38.8%)	70/114 (61.4%)	8/34 (23.5%)	27/65 (41.5%)
6	40/100 (40.0%)	57/115 (49.6%)	44/58 (75.9%)	26/80 (32.5%)	19/66 (28.8%)
7	15/38 (39.5%)	54/99 (54.5%)	24/50 (48.0%)	8/69 (11.6%)	31/49 (63.3%)
8	25/42 (59.5%)	24/90 (26.7%)	42/50 (84.0%)	15/65 (23.1%)	33/48 (68.8%)
9	32/51 (62.7%)	72/87 (82.8%)	60/135 (44.4%)	測量次數過少	20/47 (42.6%)
10	30/61 (49.2%)	39/148 (26.4%)	42/119 (35.3%)	31/98 (31.6%)	33/52 (63.5%)
11	19/48 (30.6%)	58/92 (63.0%)	20/77 (26.0%)	11/36 (30.6%)	18/27 (66.7%)
12	42/80 (52.5%)	58/97 (59.8%)	43/60 (71.7%)	7/79 (11.6%)	21/59 (35.6%)
13	45/52 (86.5%)	58/130 (44.6%)	39/61 (63.9%)	19/64 (23.1%)	28/127 (22.0%)
14	35/45 (77.8%)	44/70 (62.9%)	28/73 (38.4%)	32/87 (31.6%)	27/35 (77.1%)
15	27/51 (52.9%)	35/79 (44.3%)	44/90 (48.9%)	18/71 (30.6%)	42/111 (37.8%)
16	40/64 (62.5%)	63/105 (60.0%)	52/60 (86.7%)	24/45 (8.9%)	74/126 (58.7%)
17	17/43 (39.5%)	31/102 (30.4%)	61/72 (84.7%)	25/61 (29.7%)	30/80 (37.5%)
18	12/38 (31.6%)	48/82 (58.5%)	49/68 (72.1%)	18/34 (36.8%)	54/128 (42.2%)
19	37/88 (42.0%)	52/79 (65.8%)	12/38 (31.6%)	26/53 (49.1%)	36/124 (29.0%)
20	23/51 (45.1%)	36/82 (43.9%)	<b>49/49</b> <b>(100%)</b>	22/47 (46.8%)	24/134 (17.9%)
21	28/50 (56.0%)		13/32 (40.6%)	28/71 (39.4%)	26/59 (44.1%)
22	34/49 (69.4%)		16/63 (25.4%)		32/35 (91.4%)
23	33/60 (55.0%)				
24	29/69 (42.0%)				
總計	654/1282 (51.0%)	882/1853 (47.6%)	<b>841/1592</b> <b>(52.8%)</b>	365/1160 (31.4%)	669/1640 (40.8%)

註：測量次數過少原因為蟋蟀逃逸或死亡

## 2. 刺激後水平跳躍率

五種蟋蟀水平跳躍實驗的跳躍次數與刺激次數整理如表 8，從表中資料可知，就個別蟋蟀而言，以家蟋蟀 15 號接受刺激後水平跳躍率最高（97.8%），總計刺激 46 次，跳躍達 45 次；就不同種類蟋蟀而言，以小扁頭蟋蟀接受刺激後水平跳躍率最高（62.5%），家蟋蟀居次（61.2%），而以台灣大蟋蟀接受刺激後水平跳躍率最低（36.0%）。

表 8 蟋蟀水平跳躍實驗跳躍次數與刺激次數摘要表

蟋蟀名稱 跳躍次數/ 刺激次數 編號 (%)	小扁頭 蟋蟀	台灣 大蟋蟀	烏頭 眉紋蟋蟀	家蟋蟀	黃斑 黑蟋蟀
1	測量次數過少(註)	12/70 (17.1%)	52/75 (69.3%)	19/54 (35.2%)	45/172 (26.2%)
2	測量次數過少	32/140 (22.9%)	48/55 (87.3%)	32/48 (66.7%)	16/106 (15.1%)
3	52/112 (46.4%)	59/128 (46.1%)	58/120 (48.3%)	26/89 (29.2%)	30/51 (58.8%)
4	測量次數過少	69/159 (43.4%)	59/138 (42.8%)	測量次數過少	39/55 (70.9%)
5	79/159 (49.7%)	15/84 (17.9%)	64/114 (56.1%)	12/19 (63.2%)	38/56 (67.9%)
6	76/111 (68.5%)	97/236 (41.1%)	24/54 (44.4%)	29/40 (72.5%)	34/56 (60.7%)
7	23/45 (51.1%)	62/169 (36.7%)	21/60 (35.0%)	32/66 (48.5%)	26/48 (54.2%)
8	55/81 (67.9%)	55/184 (29.9%)	58/97 (59.8%)	29/45 (64.4%)	27/75 (36.0%)
9	45/60 (75.0%)	46/111 (41.4%)	58/206 (28.2%)	測量次數過少	41/51 (80.4%)
10	43/70 (61.4%)	31/171 (18.1%)	54/117 (46.2%)	63/107 (58.9%)	49/63 (77.8%)
11	41/77 (53.2%)	48/115 (41.7%)	21/128 (16.4%)	58/115 (50.4%)	24/42 (57.1%)
12	88/121 (72.7%)	61/110 (55.5%)	60/94 (63.8%)	14/41 (34.1%)	36/68 (52.9%)
13	59/84 (70.2%)	38/158 (24.1%)	33/86 (38.4%)	34/66 (51.5%)	53/77 (68.8%)
14	50/69 (72.5%)	88/142 (62.0%)	32/94 (34.0%)	54/58 (93.1%)	19/42 (45.2%)
15	60/80 (75.0%)	45/111 (40.5%)	28/53 (52.8%)	<b>45/46</b> <b>(97.8%)</b>	50/114 (43.9%)
16	44/77 (57.1%)	47/106 (44.3%)	43/55 (78.2%)	53/71 (74.6%)	66/144 (45.8%)
17	39/74 (52.7%)	28/150 (18.7%)	50/77 (64.9%)	43/51 (84.3%)	40/93 (43.0%)
18	34/35 (97.1%)	35/125 (28.0%)	52/63 (82.5%)	33/53 (62.3%)	52/166 (31.3%)
19	32/47 (68.1%)	37/55 (67.3%)	19/20 (95%)	42/47 (89.4%)	50/120 (41.7%)
20	39/82 (47.6%)	39/97 (40.2%)	29/46 (63.0%)	31/57 (54.4%)	46/156 (29.5%)
21	38/56 (67.9%)		29/68 (42.6%)	33/42 (78.6%)	30/68 (44.1%)
22	38/55 (69.1%)		43/67 (64.2%)		42/47 (89.4%)
23	35/62 (56.5%)				
24	47/71 (66.2%)				
總計	<b>1017/1628</b> <b>(62.5%)</b>	944/2621 (36.0%)	935/1887 (49.5%)	682/1115 (61.2%)	853/1870 (45.6%)

註：測量次數過少原因為蟋蟀逃逸或死亡

### (三) 討論

1. 在接受刺激後垂直跳躍部份，小扁頭蟋蟀、台灣大蟋蟀與烏頭眉紋蟋蟀的垂直跳躍率較高，黃斑黑蟋蟀與家蟋蟀的垂直跳躍率較低，家蟋蟀跳得高但不常跳高。
2. 在接受刺激後水平跳躍部份，小扁頭蟋蟀與家蟋蟀的水平跳躍率較高，眉紋蟋蟀、黃斑黑蟋蟀與台灣大蟋蟀的水平跳躍率較低。

## 六、蟋蟀性別、體重、後腿長度與跳躍的關係

### (一) 研究過程

在實驗之前，我們針對每一隻蟋蟀皆有紀錄或測量其性別、體重、體長、後腿長等身體特徵數據，在確定跳高王、跳遠王與跳跳王之後，我們想進一步瞭解各種蟋蟀的性別、體重與後腿長度是否與蟋蟀的垂直跳躍高度與水平跳躍距離有關係，因此我們利用 Excel 繪製散佈圖與趨勢線，分別觀察不同性別的蟋蟀在垂直跳躍高度與水平跳躍距離是否有差異，且分析蟋蟀的體重與後腿長度與垂直跳躍高度與水平跳躍距離的關係，但受限研究時間不夠與野生蟋蟀捕捉困難，研究樣本的數量稍嫌不足，且蟋蟀的跳躍能力與後腿肌肉蛋白質及提筋更有直接的關係，但考量解剖技術與生命倫理，我們沒有進一步解剖深究蟋蟀的後腿肌肉，僅分析性別、體重、後腿長度與跳躍高度及距離的關係。

### (二) 研究結果

#### 1. 不同性別蟋蟀在垂直跳躍高度及水平跳躍距離的差異

不同性別蟋蟀在垂直跳躍高度及水平跳躍距離的統計摘要如表 9 所示，依序說明如下：

- (1) 就垂直跳躍高度而言，小扁頭蟋蟀、台灣大蟋蟀、家蟋蟀、黃斑黑蟋蟀的公蟀與母蟀在垂直跳躍高度的差異均不到 1 個體長，而烏頭眉紋蟋蟀母蟀的垂直跳躍高度超過公蟀 1.5 個體長。
- (2) 就水平跳躍距離而言，小扁頭蟋蟀、家蟋蟀、黃斑黑蟋蟀的公蟀與母蟀在水平跳躍距離的差異均不到 1 個體長，而台灣大蟋蟀公蟀的水平跳躍距離超過母蟀 1.7 個體長，烏頭眉紋蟋蟀母蟀的水平跳躍距離更超過公蟀 3.3 個體長。

表 9 不同性別蟋蟀在垂直跳躍高度及水平跳躍距離之比較摘要表

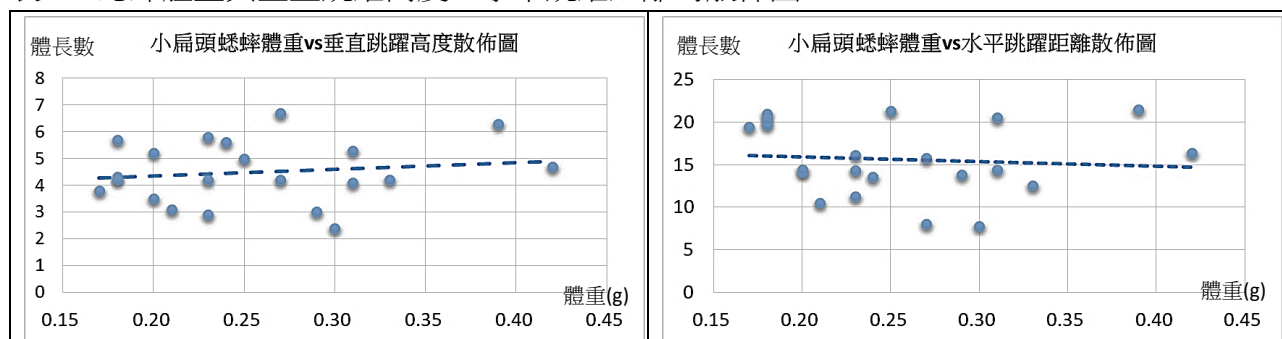
跳躍種類	小扁頭蟋蟀		台灣大蟋蟀		烏頭眉紋蟋蟀		家蟋蟀		黃斑黑蟋蟀	
	公蟀 (n=10)	母蟀 (n=11)	公蟀 (n=11)	母蟀 (n=9)	公蟀 (n=9)	母蟀 (n=13)	公蟀 (n=10)	母蟀 (n=9)	公蟀 (n=12)	母蟀 (n=10)
垂直跳躍高度 (體長數)	4.3	4.7	3.5	3.0	4.1	5.6	5.6	6.4	2.8	2.5
水平跳躍距離 (體長數)	15.6	15.5	9.9	8.2	14.3	17.6	22.8	23.7	10.4	10.1

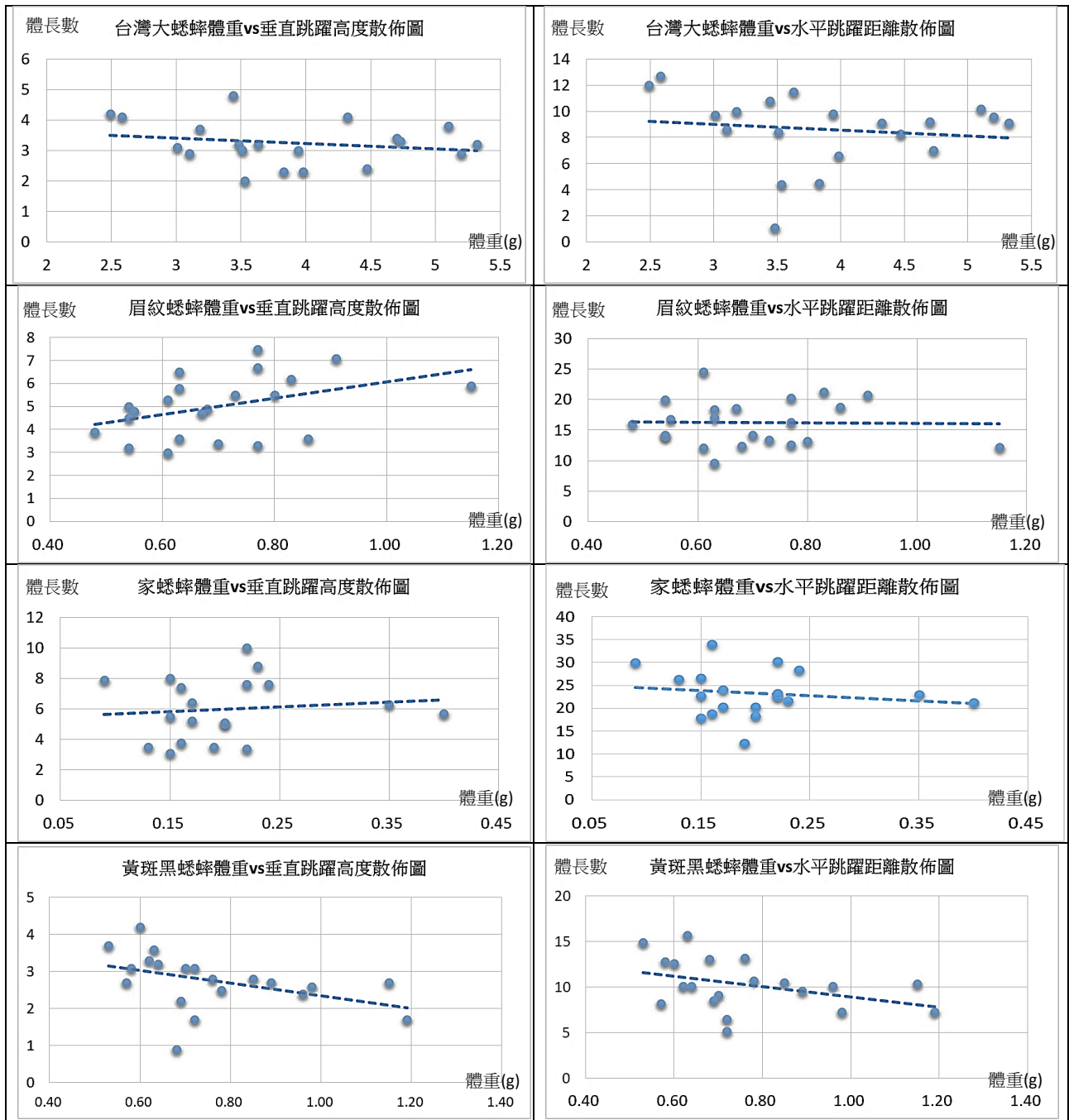
## 2. 蟋蟀體重與垂直跳躍高度及水平跳躍距離的關係

五種蟋蟀體重與垂直跳躍高度、水平跳躍距離的散佈圖與趨勢線如表 10 所示，依序說明如下：

- (1) 就垂直跳躍高度而言，小扁頭蟋蟀、台灣大蟋蟀、家蟋蟀的趨勢線較為平緩，顯示上述三種蟋蟀的體重與其垂直跳躍高度沒有關係；而烏頭眉紋蟋蟀體重越重，垂直跳躍高度越高，顯示烏頭眉紋蟋蟀的垂直跳躍高度有隨著體重增加而遞增的趨勢；而黃斑黑蟋蟀體重越重，垂直跳躍高度越低，顯示黃斑黑蟋蟀的垂直跳躍高度有隨著體重增加而遞減的趨勢。
- (2) 就水平跳躍距離而言，小扁頭蟋蟀、台灣大蟋蟀、家蟋蟀、烏頭眉紋蟋蟀的趨勢線較為平緩，顯示上述四種蟋蟀的體重與其水平跳躍距離沒有關係；而黃斑黑蟋蟀體重越重，水平跳躍距離越短，顯示黃斑黑蟋蟀的水平跳躍距離有隨著體重增加而遞減的趨勢。

表 10 蟋蟀體重與垂直跳躍高度、水平跳躍距離的散佈圖





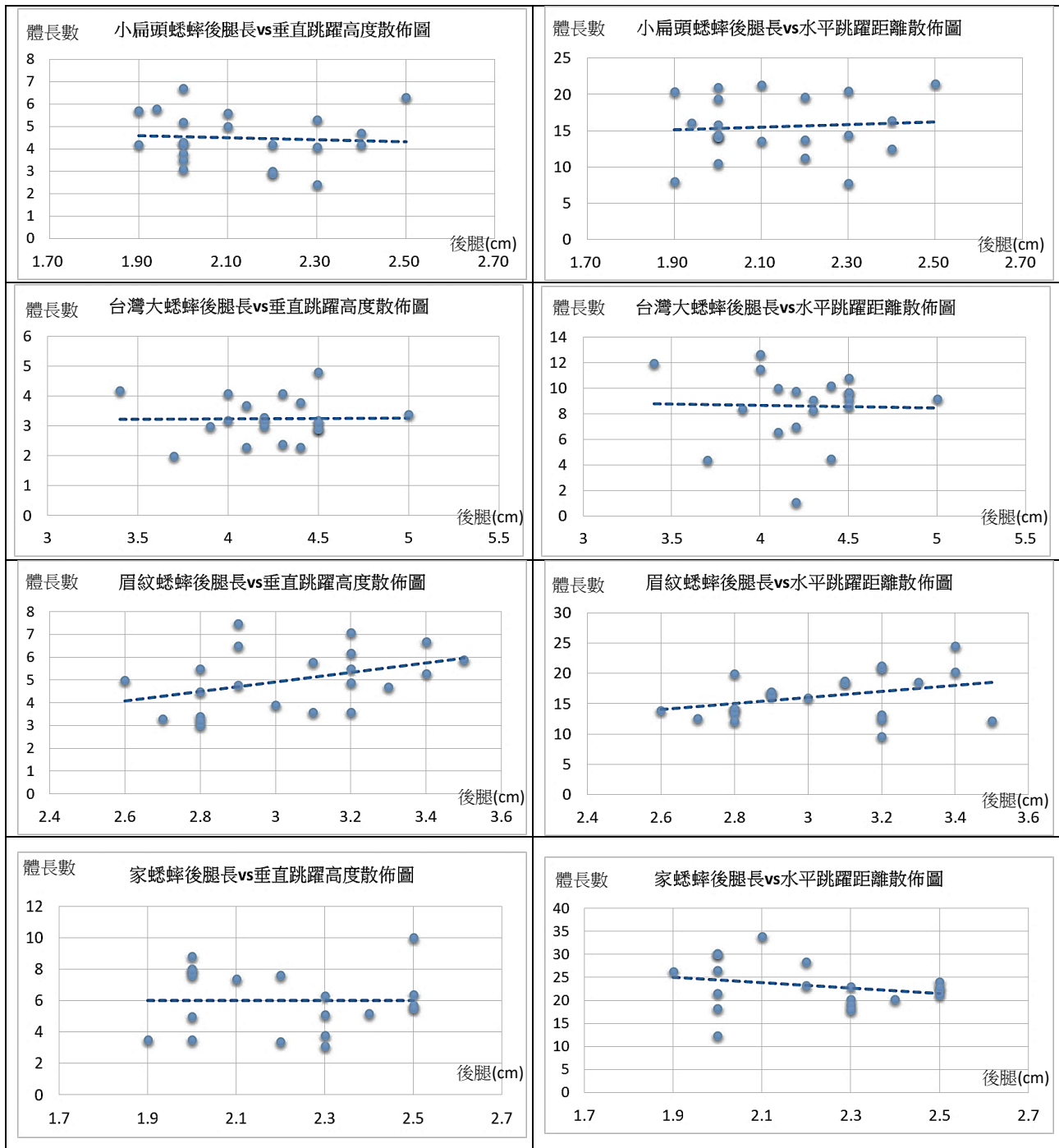
### 3. 蟋蟀後腿長度與垂直跳躍高度及水平跳躍距離的關係

蟋蟀後腿長度與垂直跳躍高度、水平跳躍距離的散佈圖與趨勢線如表 11 所示。

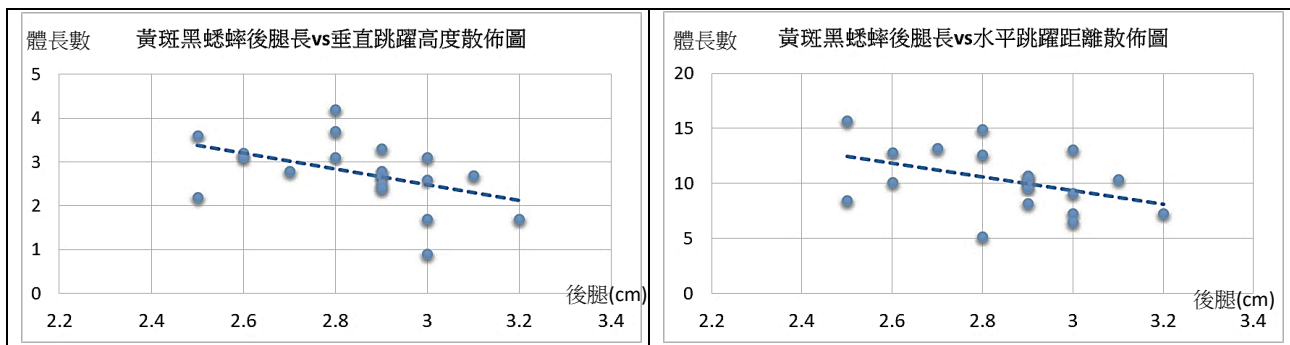
- (1) 就垂直跳躍高度而言，小扁頭蟋蟀、台灣大蟋蟀、家蟋蟀的趨勢線較為平緩，顯示前述三種蟋蟀的後腿長度與其垂直跳躍高度沒有關係；而眉紋蟋蟀後腿長度越長，垂直跳躍高度越高，顯示眉紋蟋蟀的垂直跳躍高度有隨著後腿長度增加而遞增的趨勢；黃斑黑蟋蟀後腿長度越長，垂直跳躍高度越低，顯示黃斑黑蟋蟀的垂直跳躍高度有隨著後腿長度增加而遞減的趨勢。
- (2) 就水平跳躍距離而言，小扁頭蟋蟀、台灣大蟋蟀、家蟋蟀的趨勢線較為平緩，顯

示前述三種蟋蟀的後腿長度與其水平跳躍距離沒有關係；而眉紋蟋蟀後腿長度越長，水平跳躍距離越遠，顯示眉紋蟋蟀的水平跳躍距離有隨著後腿長度增加而遞增的趨勢；而黃斑黑蟋蟀後腿長度越長，水平跳躍距離越短，顯示黃斑黑蟋蟀的水平跳躍距離有隨著後腿長度增加而遞減的趨勢。

表 11 蟋蟀後腿長度與垂直跳躍高度、水平跳躍距離的散佈圖







### (三) 討論

1. 五種蟋蟀只有雄性眉紋蟋蟀的垂直跳躍高度與水平跳躍距離皆低於雌蟀一個身長以上，其餘四種蟋蟀的雄蟀與雌蟀則相去不遠，眉紋蟋蟀的研究結果讓我們很訝異，可能需要抓更多的眉紋蟋蟀來測量才能有更明確的答案。
2. 從上述分析蟋蟀體重、後腿長度與垂直跳躍高度、水平跳躍距離的散佈圖，我們發現眉紋蟋蟀與黃斑黑蟋蟀有著相反的結果，眉紋蟋蟀的體型越大（體重越重、後腿越長），垂直跳躍高度與水平跳躍距離的數值就越大；而黃斑黑蟋蟀的體型越大（體重越重、後腿越長），垂直跳躍高度與水平跳躍距離的數值就越小。兩種蟋蟀的體型相似，卻有截然不同的結果，值得再深入研究。

## 七、蟋蟀仿生機器人

近年來，世界各國皆致力於 AI 機器人的研發，利用仿生及微型的設計，使機器人具備走、跑、跳、甚至是翻滾或飛翔的能力，並將其廣泛的應用在災難救助或軍事偵察。我們也從研究中發現：蟋蟀的跳躍具有速度快、距離長、對地面環境要求低以及落地平穩的特性，而且體積小，特別適合於複雜惡劣的環境中活動，因此，我們決定模仿蟋蟀的跳躍運動，嘗試設計蟋蟀仿生機器人。

我們根據研究結論（家蟋蟀是跳得最高、最遠的蟋蟀，水平跳躍距離是體長的 23.3 倍，垂直跳躍高度是體長的 6 倍，且跳躍落地之後少有翻覆失去平衡的情形），結合國小六年級自然課所學到的機械原理進行蟋蟀仿生機器人的設計，過程如下所述：

## (一) 設計發想

我們先參考家蟋蟀的外型與蟋蟀跳躍原理繪出模型草圖（圖 16）。

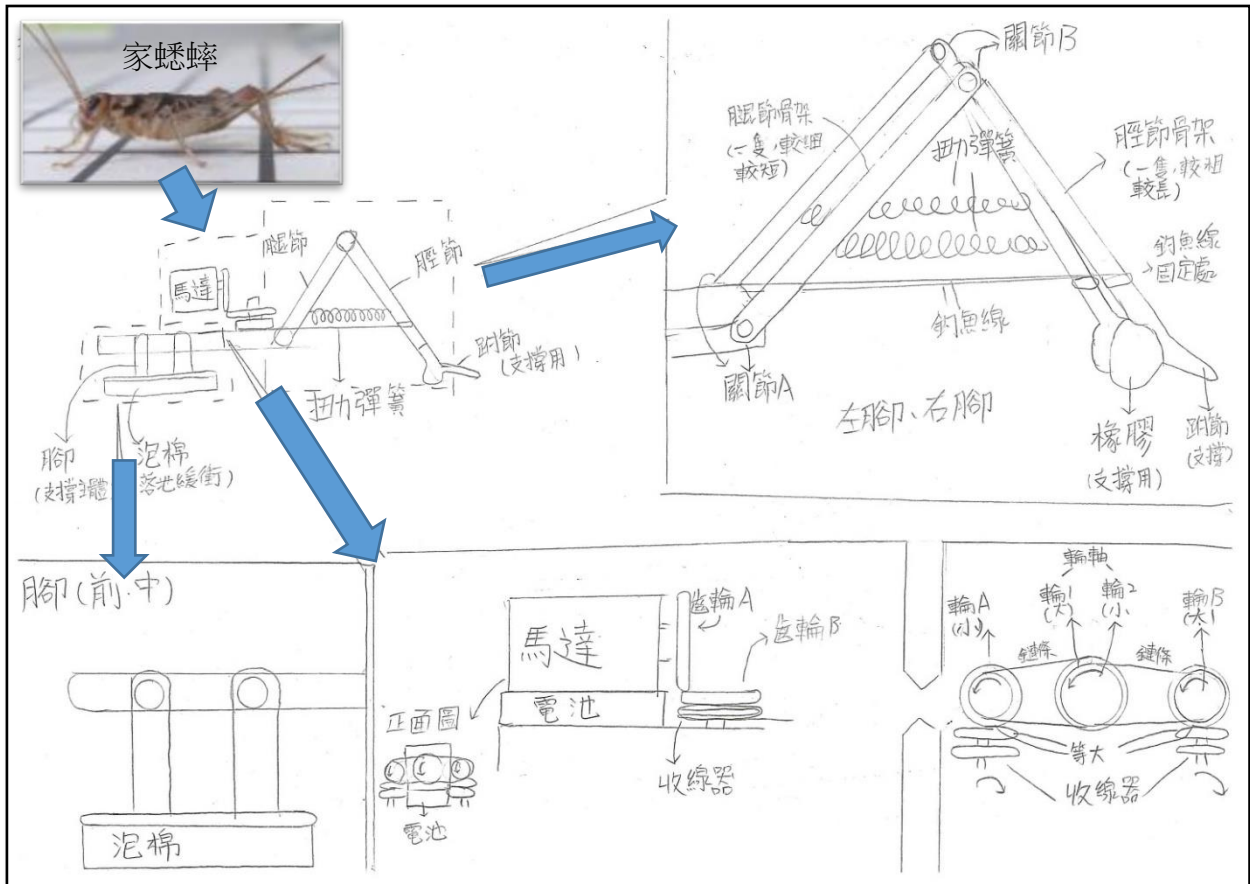


圖 16 蟋蟀仿生機器人草圖

## (二) 使用樂高積木

我們使用樂高積木嘗試練習組裝蟋蟀的後腿（圖 17），但樂高積木的套件無法讓我們組成一隻完整的蟋蟀機器人。

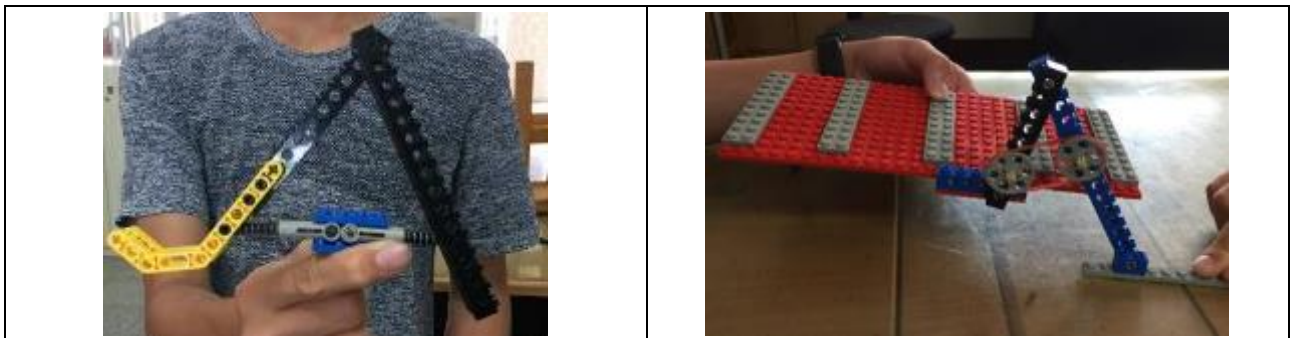


圖 17 使用樂高積木組裝蟋蟀的後腿

(三) 請教授指導討論修正，使用 3D 列印

仿生機器人的製作並不容易，因此我們請教高科大教授如何利用 3D 列印製造蟋蟀機器人的零件，再利用玩具馬達、馬達正反轉控制器、扭轉彈簧、釣魚線等器材加以組裝，設計圖修正如圖 18 所示。



圖 18 蟋蟀仿生機器人 3D 模型圖

(四) 成品

完成的蟋蟀仿生機器人（圖 19）可由遙控器操控，具有跳躍能力。

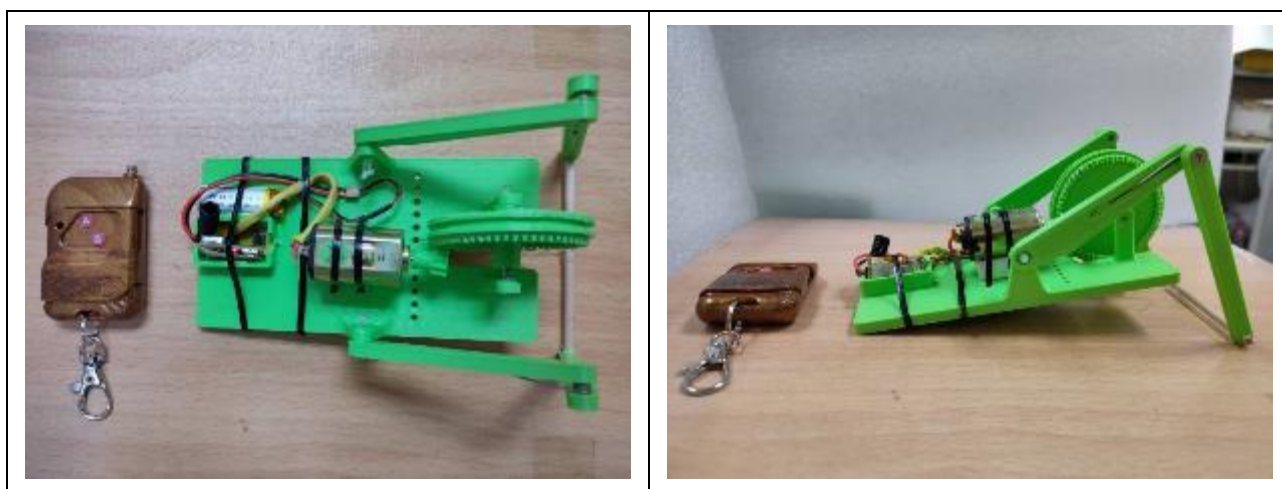


圖 19 蟋蟀仿生機器人

## 陸、研究結論

我們總計分析完畢 109 隻蟋蟀外型特徵、垂直跳躍高度、水平跳躍距離與刺激後跳躍率的數據，結果顯示：

- 一、家蟋蟀的後腿/體長比最大，是「長腿王」。
- 二、家蟋蟀垂直跳躍高度（體長數）最高，是「跳高王」。
- 三、家蟋蟀水平跳躍距離（體長數）最遠，也是「跳遠王」。
- 四、就接受刺激後的跳躍率而言，烏頭眉紋蟋蟀是垂直跳躍的「跳跳王」，小扁頭蟋蟀是水平跳躍的「跳跳王」。

後腿/體長比較大的小扁頭蟋蟀、烏頭眉紋蟋蟀與家蟋蟀，在垂直跳躍高度與水平跳躍距離皆明顯優於後腿/體長比較小的台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀，雖然台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋

蟀的跳躍能力不好，但是台灣大蟋蟀善於挖地道躲藏，而黃斑黑蟋蟀善鬥較不怕人，這些天性是否讓牠們較不需要靠跳躍遠離危險，仍有待研究。

## 柒、未來研究與建議

受限於解剖技術與分析儀器的不足，無法進一步分析蟋蟀跳躍能力與後腿肌肉蛋白質及提筋的關係，但上述研究成果可提供為後續研究者深入分析的參考資料。

## 捌、參考資料

- 1.許育銜（2004）。*鳴蟲音樂國*。台北市，大樹文化。
- 2.廖智安（2000）。*臺灣昆蟲季*（35,296-299 頁）。台北市，大樹文化。
- 3.王妍方、蕭棠心、簡裕心（2012）。「*蟀*」哥體能王-從抓地力、跳躍高度、爬行速率探討蟋蟀足部的運動能力。第 52 屆全國中小學科展作品。
- 4.蘇順德、劉頤、蔡宗霖（2012）。雙『*蟀*』對決—台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀型態比較與行為探索。第 52 屆全國中小學科展作品。

附錄一 小扁頭蟋蟀體重、腿長摘要表（單位：體重 g，長度 cm）

編號	性別	體重	體長	腿節長	脛節長	跗節長	後腿長	腿長/體長	腿寬
1	母	0.53	2.2	1.1	0.9	0.5	2.50	1.14	0.4
2	母	0.36	1.9	1.2	0.8	0.4	2.40	1.26	0.4
3	母	0.33	1.9	1.1	0.8	0.5	2.40	1.26	0.35
4	母	0.38	1.8	1.1	0.9	0.5	2.50	1.39	0.5
5	公	0.39	2.1	1.1	0.9	0.5	2.50	1.19	0.35
6	母	0.42	2	1.1	0.8	0.5	2.40	1.20	0.4
7	公	0.18	1.5	0.8	0.7	0.5	2.00	1.33	0.4
8	公	0.27	1.65	0.9	0.6	0.4	1.90	1.15	0.4
9	公	0.21	1.6	0.8	0.7	0.5	2.00	1.25	0.4
10	母	0.31	1.5	0.9	0.8	0.6	2.30	1.53	0.4
11	母	0.18	1.4	1	0.7	0.5	2.20	1.57	0.4
12	公	0.23	1.5	0.8	0.74	0.4	1.94	1.29	0.35
13	公	0.29	1.7	1	0.8	0.4	2.20	1.29	0.4
14	母	0.20	1.5	0.9	0.7	0.4	2.00	1.33	0.4
15	公	0.23	1.6	1	0.7	0.5	2.20	1.38	0.4
16	母	0.24	1.6	0.9	0.8	0.4	2.10	1.31	0.4
17	母	0.27	1.7	0.9	0.7	0.4	2.00	1.18	0.4
18	母	0.30	1.6	1.1	0.7	0.5	2.30	1.44	0.4
19	母	0.25	1.4	0.9	0.7	0.5	2.10	1.50	0.4
20	公	0.20	1.6	0.9	0.7	0.4	2.00	1.25	0.3
21	母	0.23	1.5	0.9	0.7	0.4	2.00	1.33	0.4
22	母	0.31	1.7	1.1	0.7	0.5	2.30	1.35	0.4
23	公	0.18	1.6	0.8	0.7	0.4	1.90	1.19	0.3
24	公	0.17	1.6	0.9	0.7	0.4	2.00	1.25	0.3
平均		0.28	1.67	0.97	0.75	0.46	2.17	1.31	0.39

附錄二 台灣大蟋蟀體重、腿長摘要表（單位：體重 g，長度 cm）

編號	性別	體重	體長	腿節長	脛節長	跗節長	後腿長	腿長/體長	腿寬
1	母	3.53	4.1	1.9	1	0.8	3.7	1.11	0.6
2	公	3.94	4.1	2.1	1.3	0.8	4.2	0.98	0.6
3	公	5.2	4.3	2.2	1.4	0.9	4.5	0.96	0.6
4	母	2.49	3.1	1.7	1	0.7	3.4	0.91	0.5
5	公	5.1	4.3	2.1	1.4	0.9	4.4	0.98	0.7
6	公	4.7	4.2	2.4	1.6	1	5	0.84	0.8
7	公	3.18	3.5	2.1	1.2	0.8	4.1	0.85	0.6
8	公	3.44	3.8	2.2	1.4	0.9	4.5	0.84	0.7
9	母	4.47	4.2	2.1	1.3	0.9	4.3	0.98	0.6
10	公	3.48	4.2	2	1.3	0.9	4.2	1.00	0.7
11	公	5.32	4.5	2.1	1.4	1	4.5	1.00	0.6
12	母	3.51	4.1	2	1.1	0.8	3.9	1.05	0.5
13	公	4.32	4.4	2	1.4	0.9	4.3	1.02	0.7
14	公	3.63	4.2	2	1.2	0.8	4	1.05	0.55
15	母	4.73	4.1	2.1	1.3	0.8	4.2	0.98	0.6
16	母	2.58	3.8	1.9	1.3	0.8	4	0.95	0.6
17	公	3.1	3.8	2.3	1.3	0.9	4.5	0.84	0.7
18	母	3.83	4.1	2.3	1.3	0.8	4.4	0.93	0.6
19	母	3.01	4.1	2.3	1.3	0.9	4.5	0.91	0.6
20	母	3.98	4	2.3	1	0.8	4.1	0.98	0.6
平均		<b>3.88</b>	<b>4.05</b>	<b>2.11</b>	<b>1.28</b>	<b>0.86</b>	<b>4.24</b>	<b>0.96</b>	<b>0.62</b>

附錄三 眉紋蟋蟀體重、腿長摘要表（單位：體重 g，長度 cm）

編號	性別	體重	體長	腿節長	脛節長	跗節長	後腿長	腿長/體長	腿寬
1	母	0.48	2.3	1.3	1.1	0.6	3	1.30	0.4
2	母	0.67	2.2	1.4	1.2	0.7	3.3	1.50	0.5
3	母	0.91	2.2	1.3	1.2	0.7	3.2	1.45	0.5
4	母	1.15	2.5	1.5	1.2	0.8	3.5	1.40	0.5
5	母	0.83	2.4	1.4	1.1	0.7	3.2	1.33	0.5
6	母	0.77	2.1	1.5	1.1	0.8	3.4	1.62	0.5
7	公	0.70	2.2	1.2	1	0.6	2.8	1.27	0.4
8	母	0.80	2.4	1.4	1.1	0.7	3.2	1.33	0.5
9	公	0.63	2.3	1.3	1.1	0.7	3.1	1.35	0.4
10	公	0.61	2.3	1.2	1	0.6	2.8	1.22	0.4
11	母	0.55	2.1	1.2	1.1	0.6	2.9	1.38	0.4
12	公	0.54	2.3	1.2	0.9	0.5	2.6	1.13	0.4
13	公	0.73	2.5	1.2	1	0.6	2.8	1.12	0.5
14	母	0.77	2.3	1.2	1.1	0.6	2.9	1.26	0.5
15	母	0.63	2.1	1.2	1	0.7	2.9	1.38	0.4
16	母	0.61	2.1	1.4	1.2	0.8	3.4	1.62	0.4
17	母	0.68	2.5	1.4	1.1	0.7	3.2	1.28	0.5
18	公	0.63	2.5	1.4	1.1	0.7	3.2	1.28	0.4
19	公	0.54	2.2	1.2	1	0.6	2.8	1.27	0.4
20	公	0.54	2.1	1.2	1	0.6	2.8	1.33	0.4
21	公	0.77	2.8	1.2	0.9	0.6	2.7	0.96	0.4
22	母	0.86	2.6	1.3	1.1	0.7	3.1	1.19	0.5
平均		<b>0.70</b>	<b>2.32</b>	<b>1.30</b>	<b>1.07</b>	<b>0.66</b>	<b>3.04</b>	<b>1.32</b>	<b>0.45</b>

附錄四 家蟋蟀體重、腿長摘要表（單位：體重 g，長度 cm）

編號	性別	體重	體長	腿節長	脛節長	跗節長	後腿長	腿長/體長	腿寬
1	母	0.35	1.7	1.1	0.7	0.5	2.3	1.35	0.3
2	母	0.40	2.1	1.2	0.8	0.5	2.5	1.19	0.4
3	母	0.20	1.5	0.9	0.7	0.4	2	1.33	0.3
4	母	0.22	1.5	0.9	0.6	0.3	1.8	1.20	0.3
5	公	0.15	1.4	1.1	0.6	0.3	2	1.43	0.3
6	公	0.22	1.7	1	0.6	0.4	2	1.18	0.3
7	公	0.19	1.7	0.9	0.7	0.4	2	1.18	0.3
8	母	0.16	1.4	1	0.7	0.4	2.1	1.50	0.3
9	公	0.17	1.4	0.9	0.7	0.5	2.1	1.50	0.3
10	母	0.23	1.6	0.9	0.7	0.4	2	1.25	0.4
11	公	0.22	1.7	1.1	0.8	0.6	2.5	1.47	0.4
12	母	0.20	1.7	1.1	0.7	0.5	2.3	1.35	0.35
13	母	0.17	1.5	1.1	0.8	0.6	2.5	1.67	0.4
14	母	0.15	1.4	1.1	0.8	0.6	2.5	1.79	0.4
15	公	0.17	1.6	1	0.8	0.6	2.4	1.50	0.35
16	公	0.16	1.4	1	0.8	0.5	2.3	1.64	0.35
17	公	0.13	1.3	0.9	0.6	0.4	1.9	1.46	0.3
18	公	0.22	1.9	1	0.7	0.5	2.2	1.16	0.4
19	公	0.15	1.5	1	0.8	0.5	2.3	1.53	0.4
20	公	0.09	1.2	0.9	0.7	0.4	2	1.67	0.3
21	母	0.24	1.6	1	0.8	0.4	2.2	1.38	0.3
平均		<b>0.20</b>	<b>1.56</b>	<b>1.00</b>	<b>0.72</b>	<b>0.46</b>	<b>2.19</b>	<b>1.42</b>	<b>0.34</b>

附錄五 黃斑黑蟋蟀體重、腿長摘要表（單位：體重 g，長度 cm）

編號	性別	體重	體長	腿節長	脛節長	跗節長	後腿長	腿長/體長	腿寬
1	公	0.78	2.5	1.3	0.9	0.7	2.9	1.16	0.45
2	公	0.57	2.5	1.2	1	0.7	2.9	1.16	0.4
3	母	0.76	2.3	1.1	0.9	0.5	2.5	1.09	0.35
4	母	0.74	2.4	1.1	0.9	0.5	2.5	1.04	0.35
5	母	0.91	2.6	1.2	1	0.6	2.8	1.08	0.4
6	母	0.82	2.3	1.2	1	0.6	2.8	1.22	0.4
7	母	0.64	2.3	1.1	0.9	0.6	2.6	1.13	0.4
8	公	0.70	2.6	1.3	1	0.7	3	1.15	0.45
9	公	0.60	2.5	1.2	1	0.6	2.8	1.12	0.4
10	公	0.53	2.3	1.2	1	0.6	2.8	1.22	0.4
11	公	0.62	2.5	1.2	1	0.7	2.9	1.16	0.4
12	母	0.99	2.6	1.2	1.1	0.6	2.9	1.12	0.4
13	母	0.63	2.2	1.1	0.8	0.6	2.5	1.14	0.4
14	公	0.69	2.5	1.1	0.8	0.6	2.5	1.00	0.4
15	公	1.19	2.8	1.4	1	0.8	3.2	1.14	0.5
16	公	0.89	2.7	1.3	1	0.6	2.9	1.07	0.4
17	母	0.98	2.8	1.3	1	0.7	3	1.07	0.4
18	公	0.96	2.9	1.2	1	0.7	2.9	1.00	0.4
19	公	0.85	2.6	1.3	0.9	0.7	2.9	1.12	0.4
20	母	1.15	2.8	1.3	1.1	0.7	3.1	1.11	0.4
21	公	0.76	2.3	1.2	0.9	0.6	2.7	1.17	0.4
22	母	0.58	2.2	1.1	0.9	0.6	2.6	1.18	0.4
平均		<b>0.79</b>	<b>2.51</b>	<b>1.21</b>	<b>0.96</b>	<b>0.64</b>	<b>2.80</b>	<b>1.12</b>	<b>0.40</b>

## 【評語】 080302

觀察蟋蟀外型特徵、垂直跳躍高度、水平跳躍距離與刺激後跳躍率。

1. 總計完成 109 隻蟋蟀外型特徵、垂直跳躍高度與水平跳躍距離的分析
2. 以研究結論進行蟋蟀仿生機器人設計，是本作品亮點。
3. 研究過程詳細且嚴謹，不僅止於觀察，且將所觀測的成果應用於創意開發中。
4. 此作品對利用高速攝影的方式來量測五種台灣常見的蟋蟀的跳躍行為，並進行量化分析，具有基本的科學方法，值得嘉許。
5. 研究中量測了體重、體長、後腿各節長度等數據，並以後腿/體長的比例來進行跳躍行為的探討，若有適當的物理理論依據來解釋會更佳，讓研究結果更具說服力。

# 壹、研究動機

在學校上跳遠課時，當老師掀開帆布的瞬間，看到有幾隻小傢伙從沙坑裡跳出來，讓大家嚇了一跳，仔細一看，才發現原來是蟋蟀。心中不禁想著：是每隻蟋蟀都能跳那麼高、那麼遠嗎？哪種環境才能發現蟋蟀？這些疑問激起了我們的好奇心，於是我們請自然老師指導我們捕捉蟋蟀並觀察蟋蟀如何跳躍，並比較不同種類蟋蟀在垂直跳躍高度、水平跳躍距離與跳躍率的差異。

# 貳、研究目的

為了捕捉小扁頭蟋蟀、台灣大蟋蟀、烏頭眉紋蟋蟀、家蟋蟀與黃斑黑蟋蟀，並研究分析五種蟋蟀成蟲的跳躍能力，擬定研究目的如下：

- 一、觀察蟋蟀棲地的生態環境。
- 二、測量計算蟋蟀的後腿/體長比，找出「長腿王」。
- 三、觀察紀錄蟋蟀的垂直跳躍高度，找出「跳高王」。
- 四、觀察紀錄蟋蟀的水平跳躍距離，找出「跳遠王」。
- 五、觀察紀錄蟋蟀刺激後的跳躍率，找出「跳跳王」。
- 六、分析蟋蟀性別、體重、後腿長度與垂直跳躍高度、水平跳躍距離的關係。

# 參、研究對象與實驗器材



圖1 研究對象與實驗器材圖



# 肆、文獻探討

## 一、蟋蟀身體構造名稱

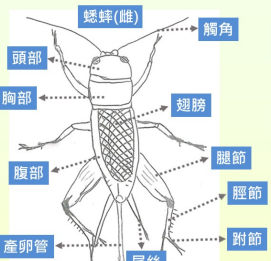


圖2 蟋蟀身體構造名稱圖

## 二、蟋蟀的一生

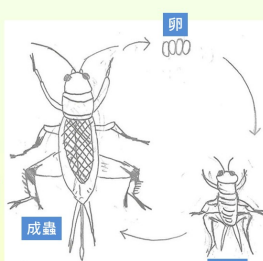


圖3 蟋蟀的一生示意圖

## 三、蟋蟀的跳躍

蟋蟀大腿富含一種有彈性的膠狀蛋白質，蛋白質聚集在後腳的肌肉纖維中。當肌肉繃緊後，膠狀蛋白質會收縮產生爆發力，於是蟋蟀就像離弦的箭被彈射出去。



圖4 蟋蟀跳躍連續圖

# 伍、研究過程、結果與討論

我們的研究對象為小扁頭蟋蟀、台灣大蟋蟀、烏頭眉紋蟋蟀、家蟋蟀與黃斑黑蟋蟀等五種台灣常見蟋蟀，蟋蟀來源為野生蟋蟀。研究過程與結果如下所述：

## 一、蟋蟀的棲地環境

### (一) 研究過程與結果

進行實驗前，我們閱覽了相關書籍和研究資料，從中瞭解到5種蟋蟀的生態習性，於是開始鎖定可能的棲地進行捕捉。研究結果如下所述：

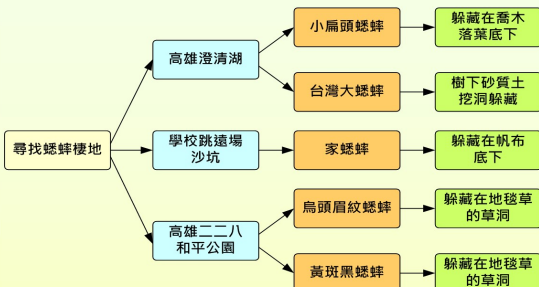


圖5 蟋蟀棲地圖

### (二) 研究討論

在捕捉蟋蟀的過程中，我們發現蟋蟀就生活在人類的周遭，就算是車水馬龍的都市，只要有草皮或樹木的道路兩旁和公園，都可能發現到蟋蟀的存在。

## 二、誰是長腿王？

### (一) 研究過程與結果

接著，我們要找出5種蟋蟀中的長腿王，每種蟋蟀我們都捕捉20隻以上，以電子秤、游標尺測量牠們的體重、體長，及其後腿各節的長度資料，再進一步計算出後腿長度與體長的比值。

從表1可知：單就蟋蟀的體形來看，台灣大蟋蟀在體重、體長，及後腿各節的長度遙遙領先其他四種蟋蟀，但從後腿長度與體長比值的統計表中卻可以發現：「家蟋蟀」才是真正的長腿王，而台灣大蟋蟀則是短腿族。

表1 蟋蟀體型與後腿各節長度平均數摘要表

蟋蟀名稱	小扁頭蟋蟀 (n=24)	台灣大蟋蟀 (n=20)	眉紋蟋蟀 (n=22)	家蟋蟀 (n=21)	黃斑黑蟋蟀 (n=22)
體重(g)	0.28	3.88	0.7	0.2	0.75
A體長(cm)	1.67	4.05	2.32	1.56	2.54
後腿腿節寬(cm)	0.39	0.62	0.45	0.34	0.42
後腿腿節長(cm)	0.97	2.11	1.3	1	1.22
後腿脛節長(cm)	0.75	1.28	1.07	0.72	0.95
後腿跗節長(cm)	0.46	0.86	0.66	0.46	0.66
B後腿總長(cm)	2.18	4.25	3.03	2.18	2.83
B/A後腿/體長比	1.30	1.05	1.31	1.40	1.12

### (二) 研究討論

從上述結果可知台灣大蟋蟀體型最大，但後腿/體長比卻最小；家蟋蟀體型最小，但後腿/體長比卻最大，生物的演化讓我們覺得很驚奇。台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀後腿/體長比僅略大於1，將這個結果放在人類世界就是「五五身」，身體比例欠佳，讓我們覺得莞爾。



### 三、誰是跳高王？

#### (一) 研究過程與結果

在「誰是跳高王」的實驗中，我們試過吹氣、灑水和震動這些方法，使蟋蟀受驚嚇而跳躍，但是效果都不盡理想。最後，我們決定先將蟋蟀逼至觀察箱角落，用手接近蟋蟀的尾部給予刺激，使其跳高。從表2可知：家蟋蟀是「跳高王」，平均跳躍高度為6.0個體長數，而黃斑黑蟋蟀跳得最低，僅2.7個體長數。

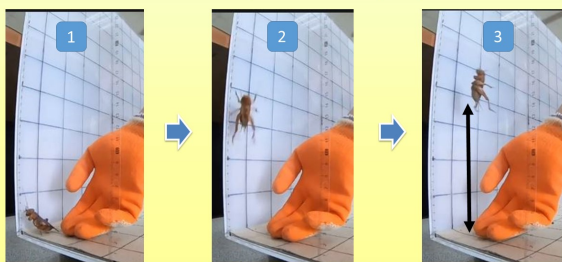
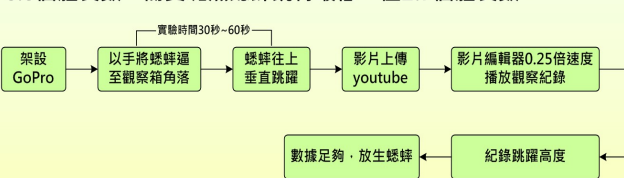


圖6 蟋蟀垂直跳躍連續圖

表2 蟋蟀垂直跳躍高度體長數摘要表

蟋蟀名稱 垂直跳躍體長數 (cm/體長)	小扁頭 蟋蟀	台灣 大蟋蟀	烏頭 眉紋蟋蟀	家蟋蟀	黃斑 黑蟋蟀
1	測量次數過少 註1	2.0	3.9	6.3	2.5
2	測量次數過少	3.0	4.7	5.7	2.7
3	4.2	2.9	7.1	5.0	1.6
4	測量次數過少	4.2	5.9	測量次數過少	2.5
5	6.3	3.8	6.2	8.0	1.9
6	4.7	3.4	6.7	7.6	2.3
7	4.3	3.7	3.4	3.5	3.2
8	4.2	4.8	5.5	7.4	3.1
9	3.1	2.4	5.8	測量次數過少	4.2
10	5.3	3.2	3.0	8.8	3.7
11	4.2	3.2	4.8	9.5	3.3
12	5.8	3.0	5.0	5.1	1.7
13	3.0	4.1	5.5	6.4	3.6
14	5.2	3.2	7.5	5.5	2.2
15	2.9	3.3	6.5	5.2	1.7
16	5.2	4.1	5.3	3.8	2.7
17	6.7	2.9	4.9	3.5	2.6
18	2.4	2.3	3.6	3.4	2.4
19	5.0	3.1	3.2	3.1	2.8
20	3.5	2.3	4.5	7.9	2.7
21	4.2		3.3	7.6	2.8
22	4.1		3.6		3.1
23	5.7				
24	3.8				
平均	4.5(409)註2	3.3(475)	5.0(388)	6.0(204)	2.7(370)

註1：測量次數過少原因為蟋蟀逃逸或死亡。 註2：括弧內為成功測得之蟋蟀跳高次數。

#### (二) 研究討論

1. 五種蟋蟀在垂直跳躍高度的比較大致可分為兩群，家蟋蟀、烏頭眉紋蟋蟀、小扁頭蟋蟀屬於跳得高的蟋蟀，台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀屬於跳得低的蟋蟀。  
2. 垂直跳躍高度比較的結果與後腿/體長比的數據(表1)是一致的，家蟋蟀、眉紋蟋蟀、小扁頭蟋蟀的後腿/體長比較大(長腿族)，而台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀的後腿/體長比較小(短腿族)。

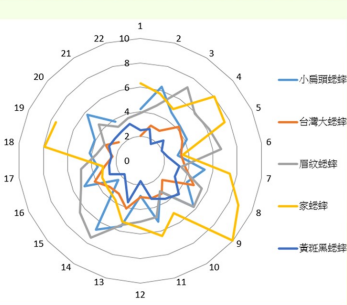


圖7 蟋蟀垂直跳躍體長數圖

### 四、誰是跳遠王？

#### (一) 研究過程與結果

在水平跳躍距離實驗部分，我們先在壓克力觀察箱的底部畫滿一個個5×5公分的正方形，接著將蟋蟀放置其中，再用手接近蟋蟀尾絲，使其在觀察箱水平跳躍，並記錄每一次的起跳點與落地點。最後利用畢氏定理計算距離。

從表3可知：家蟋蟀是「跳遠王」，平均跳躍距離達23.3個體長數，而以台灣大蟋蟀跳得最短，僅9.1個體長數。

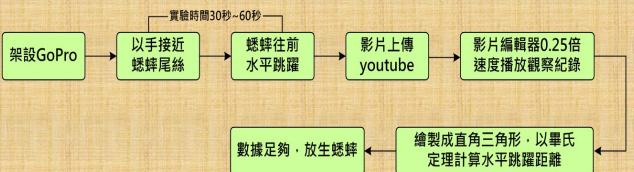
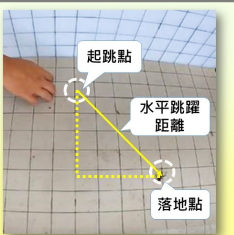


表3 蟋蟀水平跳躍距離體長數摘要表

蟋蟀名稱 水平跳躍距離數 (cm/體長)	小扁頭 蟋蟀	台灣 大蟋蟀	烏頭 眉紋蟋蟀	家蟋蟀	黃斑 黑蟋蟀
1	測量次數過少 註1	4.4	16.0	23.0	10.7
2	測量次數過少	9.8	18.6	21.2	8.2
3	12.7	9.6	20.8	18.3	10.1
4	測量次數過少	12.0	12.2	測量次數過少	10.0
5	21.5	10.2	21.3	26.6	8.2
6	16.4	9.2	20.3	30.2	9.4
7	21.0	10.0	14.2	12.4	10.1
8	8.0	10.8	13.2	34.0	9.1
9	10.5	8.3	18.4	測量次數過少	12.6
10	20.5	11.1	12.1	21.6	14.9
11	19.7	9.1	16.8	22.4	10.1
12	16.1	8.4	13.9	20.3	7.2
13	13.9	9.1	13.4	24.1	15.7
14	14.1	11.5	16.3	22.7	8.5
15	11.3	7.0	17.0	20.3	7.4
16	13.6	12.7	26.9	18.9	9.6
17	15.8	8.6	12.4	26.3	7.3
18	8.1	4.5	9.8	23.3	10.1
19	21.3	9.7	14.2	17.9	10.5
20	14.4	6.6	20.0	30.0	10.4
21	14.3		12.6	28.4	13.2
22	14.4		18.8		12.8
23	20.4				
24	19.4				
平均體長數	15.6(591)註2	9.1(317)	16.3(442)	23.3(400)	10.3(435)

註1：測量次數過少原因為蟋蟀逃逸或死亡。 註2：括弧內為成功測得之蟋蟀跳高次數。

#### (二) 研究討論

從表3和雷達圖中可以看出，家蟋蟀一枝獨秀跳得最遠，是跳遠王，而烏頭眉紋蟋蟀和小扁頭蟋蟀跳遠距離居次，表現最差的是台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀。

水平跳躍距離的實驗結果，也與後腿/體長比的數據(表1)是一致的，家蟋蟀、烏頭眉紋蟋蟀、小扁頭蟋蟀的後腿/體長比較大(長腿族)，跳得高跳得遠；而台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀的後腿/體長比較小(短腿族)，跳得低也跳得近。

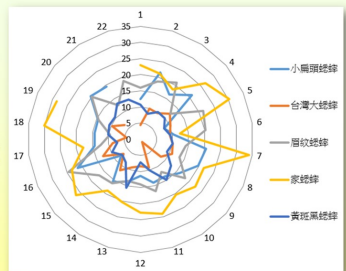


圖8 蟋蟀水平跳躍體長數圖

### 五、誰是跳跳王？

#### (一) 研究過程與結果

在跳躍實驗的過程中，我們發現有些蟋蟀很愛跳，有些蟋蟀不愛跳，因此想進一步瞭解不同種類蟋蟀在接受刺激後跳躍次數的差異，所以我們統計了5種蟋蟀接受刺激後的跳躍率，從中找出最喜歡跳躍的蟋蟀。從表4可知：烏頭眉紋蟋蟀是垂直跳躍的跳跳王，而小扁頭蟋蟀則是水平跳躍的跳跳王。

表4 蟋蟀刺激後跳躍率摘要表

蟋蟀名稱	小扁頭蟋蟀 (n=21)	台灣大蟋蟀 (n=20)	烏頭眉紋 蟋蟀 (n=22)	家蟋蟀 (n=19)	黃斑黑蟋蟀 (n=20)
垂直跳躍次數/ 刺激次數 (垂直跳躍率)	654/1282 (51.0%)	882/1853 (47.6%)	841/1592 (52.8%)	365/1160 (31.4%)	669/1640 (40.8%)
水平跳躍次數/ 刺激次數 (水平跳躍率)	1017/1628 (62.5%)	944/2621 (36.0%)	935/1887 (49.5%)	682/1115 (61.2%)	853/1870 (45.6%)

#### (二) 研究討論

從跳躍率的統計表來看，家蟋蟀跳高率最低，但從表2數據觀察，卻是跳最高的蟋蟀。從跳遠率來看，家蟋蟀與領先的小扁頭蟋蟀幾乎不相上下，是不是家蟋蟀的後腿構造較適合進行水平跳躍，有待進一步的研究。

## 六、蟋蟀性別、體重、後腿長度與跳躍的關係

在確定跳高王、跳遠王以及跳跳王之後，我們利用 Excel 繪製散佈圖與趨勢線，進一步瞭解不同蟋蟀的性別、體重、後腿長度與跳躍的關係。但受限於研究時間的不足與野生蟋蟀捕捉困難，研究樣本數量稍嫌不足。研究結果如下所述：

### (一) 不同性別蟋蟀在垂直跳躍高度及水平跳躍距離的差異

從表5可知：

- 1.就垂直跳躍高度而言，小扁頭蟋蟀、台灣大蟋蟀、家蟋蟀、黃斑黑蟋蟀的公蟀與母蟀在垂直跳躍高度的差異均不到1個體長，而烏頭眉紋蟋蟀母蟀的垂直跳躍高度超過公蟀1.5個體長。
- 2.就水平跳躍距離而言，小扁頭蟋蟀、家蟋蟀、黃斑黑蟋蟀的公蟀與母蟀在水平跳躍距離的差異均不到1個體長，而台灣大蟋蟀公蟀的水平跳躍距離超過母蟀1.7個體長，烏頭眉紋蟋蟀母蟀的水平跳躍距離更超過公蟀3.3個體長。

表5 不同性別蟋蟀在垂直跳躍高度與水平跳躍距離之比較表

蟋蟀名稱	小扁頭蟋蟀		台灣大蟋蟀		烏頭眉紋蟋蟀		家蟋蟀		黃斑黑蟋蟀	
	公蟀 n=10	母蟀 n=11	公蟀 n=11	母蟀 n=9	公蟀 n=9	母蟀 n=13	公蟀 n=10	母蟀 n=9	公蟀 n=12	母蟀 n=10
垂直跳躍高度 (體長數)	4.3	4.7	3.5	3.0	4.1	5.6	5.6	6.4	2.8	2.5
水平跳躍距離 (體長數)	15.6	15.5	9.9	8.2	14.3	17.6	22.8	23.7	10.4	10.1

### (二) 蟋蟀體重與垂直跳躍高度及水平跳躍距離的關係

至於蟋蟀體重與跳躍的關係，我們分析散佈圖與趨勢線後發現：烏頭眉紋蟋蟀的垂直跳躍高度有隨著體重增加而遞增的趨勢；黃斑黑蟋蟀的垂直跳躍高度與水平跳躍距離有隨著體重增加而遞減的趨勢。

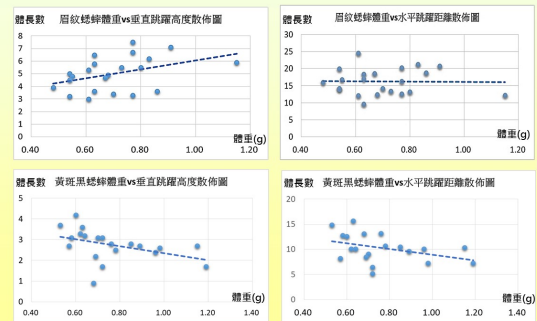


圖9 蟋蟀體重與垂直跳躍高度及水平跳躍距離散佈圖

### (三) 蟋蟀後腿長度與垂直跳躍高度及水平跳躍距離的關係

從蟋蟀後腿長度與跳躍的關係來看，我們發現烏頭眉紋蟋蟀的垂直跳躍高度與水平跳躍距離有隨著後腿長度增加而遞增的趨勢；黃斑黑蟋蟀則相反，其垂直跳躍高度與水平跳躍距離有隨著後腿長度增加而遞減的趨勢。

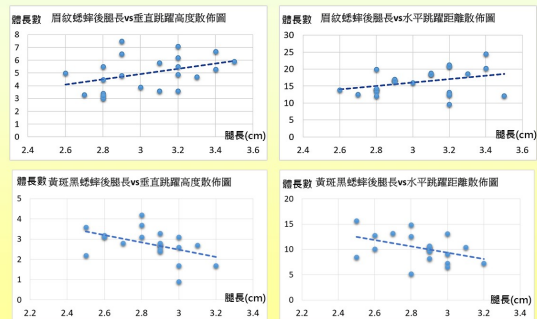


圖10 蟋蟀後腿長度與垂直跳躍高度及水平跳躍距離散佈圖

### (四) 研究討論

- 1.五種蟋蟀只有雄性眉紋蟋蟀的垂直跳躍高度與水平跳躍距離皆低於雌蟀一個身長以上，其餘四種蟋蟀的雄蟀與雌蟀則相去不遠，眉紋蟋蟀的研究結果讓我們很訝異，可能需要抓更多的眉紋蟋蟀來測量才能有更明確的答案。
- 2.從上述分析蟋蟀體重、後腿長度與垂直跳躍高度、水平跳躍距離的散佈圖，我們發現眉紋蟋蟀與黃斑黑蟋蟀有著相反的結果，眉紋蟋蟀的體型越大(體重越重、後腿越長)，垂直跳躍高度與水平跳躍距離的數值就越大；而黃斑黑蟋蟀的體型越大(體重越重、後腿越長)，垂直跳躍高度與水平跳躍距離的數值就越小。兩種蟋蟀的體型相似，卻有截然不同的結果，值得再深入研究。

## 七、蟋蟀仿生機器人

近年來，世界各國皆致力於機器人的研發，利用仿生及微型的设计，將其廣泛的應用於救災或偵察中，我們從研究中發現：蟋蟀的跳躍具有速度快、距離長和落地平穩等特點，非常適合在惡劣的環境中活動。因此，我們決定模仿蟋蟀的跳躍運動，嘗試設計蟋蟀仿生機器人。

在我們的研究中，家蟋蟀是跳得最高、跳得最遠的蟋蟀，所以我們便以家蟋蟀為設計原型，結合國小六年級自然課所學到的機械原理，參考網路上關於仿生機器人的資料，透過小組討論的方式，繪製出設計草圖(圖11)，尋求專業人士的指導，利用3D列印的技術印出機器人的零件，再加以組裝，最後完成可由遙控器操控的蟋蟀仿生機器人(圖12)。

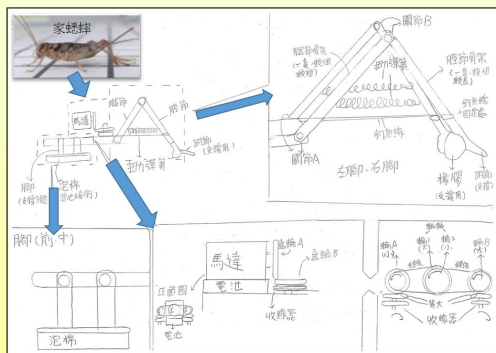


圖11 蟋蟀仿生機器人草圖



圖12 3D列印製作蟋蟀仿生機器人

## 陸、研究結論

- 我們總計分析完畢109隻蟋蟀外型特徵、垂直跳躍高度、水平跳躍距離與刺激後跳躍率的數據，結果顯示：
- 一、家蟋蟀的後腿/體長比最大，是「長腿王」。
  - 二、家蟋蟀垂直跳躍高度最高，是「跳高王」。
  - 三、家蟋蟀水平跳躍距離最遠，也是「跳遠王」。
  - 四、就接受刺激後的跳躍率而言，烏頭眉紋蟋蟀是垂直跳躍的「跳跳王」，小扁頭蟋蟀是水平跳躍的「跳跳王」。



後腿/體長比較大的小扁頭蟋蟀、烏頭眉紋蟋蟀與家蟋蟀，在垂直跳躍高度與水平跳躍距離皆明顯優於後腿/體長比較小的台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀，雖然台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀的跳躍能力不好，但是台灣大蟋蟀善於挖地道躲藏，而黃斑黑蟋蟀善鬥較不怕人，這些天性是否讓牠們較不需要靠跳躍遠離危險，仍有待研究。

## 柒、未來研究與建議

由於解剖技術與分析儀器的不足，我們無法對蟋蟀的跳躍能力與後腿肌肉蛋白質、提筋的關係的進行分析研究，希望以後能有機會繼續進行深入的探討。

## 捌、參考文獻

- 1.許育銜 (2004)。鳴蟲音樂國。台北市·大樹文化。
- 2.廖智安 (2000)。臺灣昆蟲季 (35,296-299頁)。台北市·大樹文化。
- 3.王妍方、蕭棠心、簡裕心 (2012)。「蟀」哥體能王-從抓地力、跳躍高度、爬行速率探討蟋蟀足部的運動能力。第52屆全國中小學科展作品。
- 4.蘇順德、劉頌、蔡宗霖 (2012)。雙『蟀』對決-台灣大蟋蟀與黃斑黑蟋蟀型態比較與行為探索。第52屆全國中小學科展作品。