

2013 臺灣國際科學展覽會

優勝作品專輯

作品編號 050012

參展科別 動物科

作品名稱 得不到愛的左翅雄蟋蟀

得獎獎項 三等獎

就讀學校 國立臺中第一高級中學

指導教師 巍雍任、楊正澤

作者姓名 李舒嫻

關鍵字 蟋蟀、天擇、育種養殖

作者簡介



大家好，我是李舒嫻，是一個開朗樂觀但心智年齡有點老的男校女生，喜歡觀察人、事、物，尤其是盯著某樣東西久久不能自己的感覺。環遊世界是從小到大的夢想，不喜歡拘泥於體制、格式，但總會有自己的堅持。常用音律陶冶性靈、用文章抒發感情，但，上上臉書、看看電影這些娛樂多少有的，畢竟我也只是個高中生嘛！

摘要

為了解黃斑黑蟋蟀左翅在上變異型的遺傳性狀是否可以經人擇選種過程加以保留，以此探討其在族群內遺傳特性及其存活的指標。材料來自國家地理紀錄片中介紹的台南新化蟋蟀養殖場。在養殖場進行採樣調查黃斑黑蟋蟀的左翅位置比例，結果約佔 2%，與李俊康(2009)觀察標本的結果 2.05%的比例極為相近。由此可見，在這種蟋蟀族群中不論標本或是活體，左翅在上蟋蟀確實存在只是仍為少數，同時發現雌蟲左翅在上變異型的個體，比例約為雄蟲的九倍。本研究希望透過遺傳及演化的觀點，來了解左翅在上變異型的個體，各部位型態學性狀在族群中存在的可能原因，以及蟋蟀族群中為何右翅在上的真相並且能從其型態的參數，找出左翅在上仍然存在的原因。

Abstract

The Disliked Male Cricket

The left sister male cricket which the left tegmen above the right one (left tegmen variety here by) is unlikely the normal right tegmen pattern to producing the calling sound. The left tegmen within *Gryllus bimaculatus* populations could be retained through artificial selection, in this study, I choiced the left tegmen pattern and investigated the genetic characteristics and several survival indexes for survey. The experimental animals were obtained from the cricket farm in Xinhua Tainan, Taiwan which is the one same as in National Geographic channel “The Black Dragon”. The survey on tegmen variation in the cricket farm, and found there are 2% of left tegmen variety that similar as the previous result as 2.05% of Lee (2009). Therefore, the “left wing variety” crickets is rare in population accordingly. Moreover, the proportion of “left wing variety” in females is about 9 times than in males. In this study, I tried to understand the possible causation of this trait in the population based on the genetic and evolutionary point of view. And realize that why the “left wing variety” crickets is the minority in the nature population. Furthermore, to investigate the external body parameters of adult males to find out the morphological characters of the “left wing variety” in order to find and understand the relationship between the fuctional morphology and acoustic behavior happened in the evolutionary processes and formed the stable strategy of the cricket acoustic behavior.

壹、前言

一、研究動機

黑龍過江影片介紹台灣的鬥蟋蟀，在2008年播放後，又有機會隨著影片中的教授去參訪新化的蟋蟀養殖場，加上也去參加灌台灣大蟋蟀的調查工作，蟋蟀引起我的興趣，一有機會就想試試看，自己也來研究蟋蟀。

由於家兄過去在科展上已對黃斑黑蟋蟀進行過相關研究雖然黃斑黑蟋蟀大部份(98%)右翅在上，但是在以往觀察中曾發現前翅有調置成左翅在上的情形(2%)，在實驗過程中，我也曾參與有關蟋蟀前翅交疊造成雌蟋蟀對聲音偏好的部分觀察，因而對黃斑黑蟋蟀左翅在上的現象特別感興趣，當時確實看到了左翅在上的蟋蟀也可以摩擦發音，立即產生疑問，不知道這些左右翅交疊「異常」的雄性個體是否「正常」的存留在雌性選擇生殖策略的族群中？雄蟲的交尾機會完全受雌蟋蟀青睞與否而定。

在生物學史課程中學到有關演化及遺傳的知識，想到說，天擇過程淘汰左翅在上的雄蟋蟀性狀，是否有辦法藉由人擇方式育種而得以保留下來？當我向教授提出這個想法後，教授告訴我，可以經由人擇的方式來保留，哪些性狀表現，應該先瞭解，才能在選擇上正確辨識，於是在教授細心的指導下，除了自己加強昆蟲生物學基本知識之外，教授又加強了遺傳與演化關係的一些背景知識，還有告訴我作為一個科學人應有的研究態度，利用進入高中前的暑假，由野外採集和飼養練習，便展開了這項研究。

二、研究目的

(一)了解左翅在上之蟋蟀存在飼養族群中的比例如何？

(二)找出左翅在上的性狀遺傳方式

(三)蟋蟀羽化過程是否有前翅交疊的趨勢?

(四)左右前翅的交疊是單純行為的調控或遺傳控制?

(五)探討雌蟲偏好的雄蟲鳴聲與前翅交疊的情形是否相關?

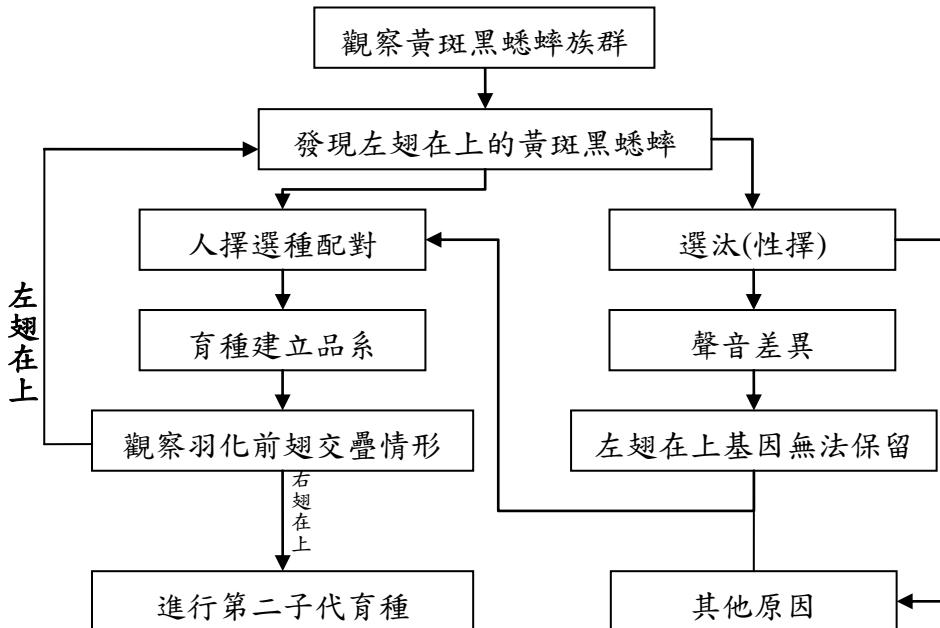


圖 1 黃斑黑蟋蟀左翅在上變異型的遺傳性狀人擇選種過程

貳、研究方法與過程

一、研究設備及器材

(一) 實驗材料來源

1. 台南新化黃斑黑蟋蟀養殖場

本次大部分實驗對象都是由台南新化的蟋蟀養殖場提供。

(1) 黃斑黑蟋蟀左翅在上的採樣調查:從養殖場隨機選取共 13 個分別飼養雌雄成蟲的養殖箱，大約 2600 隻蟋蟀，進行現場採樣調查，由於過度翻動養殖箱，會驚動蟋蟀，容易造成死亡，取樣時要特別小心。

(2) 人擇配對:從養殖場特別尋找左翅在上的雄蟲及雌蟲，實驗共用了左翅在上雄蟲 15 隻、左翅在上雌蟲 27 隻、右翅在上雄蟲 29 隻、右翅在上雌蟲 19 隻，以進行交叉配對四次。

(3) 羽化觀察:從養殖場帶回 45 隻老熟若蟲，因為五齡或六齡若蟲由外觀可以辨識雌雄，得以選出 13 隻雄若蟲及 32 隻雌若蟲，觀察其羽化後，還沒經過可能的前翅活動，甚至活動後調整前翅位置，前翅交疊的自然情形下，各占多少比例？並以此提供後續實驗之材料。

2. 人擇育種:育種養殖需要來自人擇配對時，使用上述雌蟋蟀所產下的卵，以便確定往後建立一個品系的親代，長期培養品系，提供未來相關研究所需的不同齡期之蟋蟀。

3. 野外採集:實驗對象的觀察，不只是由人為選汰下所養殖的蟋蟀標本或活體來判定，也需要與大自然中的蟋蟀族群做比較。教授於暑假期間，多次給我機會，帶著我與其他學長姐赴新化林場及埔里蓮花池進行生態觀察及野外採集，充實了我許多野外背景知識，也採集到了另一種蟋蟀，扁頭蟋蟀 (*Loxoblemmus* sp.)，並帶回飼養，同時觀察其羽化後前翅交疊狀況。

(二) 實驗設備及器材

表 1 實驗用器材規格及數量清單

名稱	數量 (單位)
透明壓克力罐(120c.c.)	150 個
塑膠箱(長 45cm X 寬 25cm X 高 30cm)	7 個
相、攝影機(PENTAX Optio A20 S1000)	1 台
幼型犬飼料 (顆粒狀直徑約 8 mm)	1 桶
脫脂棉花	大量
保溫燈	1 盞
交尾觀察箱(長 19cm X 寬 12cm X 高 10cm)	1 個
毛筆(小楷)	1 支
Y 型水管	1 個
耳機	2 副
游標尺	1 把

二、研究過程及方法

(一) 黃斑黑蟋蟀左翅在上變異型個體採樣調查步驟

雖然黃斑黑蟋蟀大部分右翅在上，但是在以往觀察中曾發現前翅有調置成左翅在上的情形(李俊康，2009)，為了尋找確實存在於族群中的左翅在上的蟋蟀個體，特地前往國家地理頻道綻放真台灣-2，「黑龍過江」影片中介紹的台南新化的蟋蟀養殖場，進行採樣調查。黃斑黑蟋蟀養殖場中，隨時飼養著大量蟋蟀，從剛孵化的一齡蟲至成蟲養殖場主人大略估計有 40 萬隻，並致力於繁殖出鬥蟋蟀之優良品種，育種繁殖已超過 100 多代，是一個相當良好的採樣基礎。從飼養箱中，一隻一隻取出觀察其前翅交疊狀況，為避免重複，觀察後放入另外一個箱子。此採樣調查共分三次進行。

(二) 人擇配對實驗

此實驗共分成三批進行，配對步驟如下：

1. 確認本次實驗所需之蟋蟀養殖量，並考慮時間及空間的負荷。
2. 前往新化蟋蟀養殖場選取剛羽化的蟋蟀。
3. 確認蟋蟀前翅交疊情形，初步調查。

4. 挑選自然狀況下左翅在上的個體，並進行配對。
5. 架設好錄影設備，準備詳實紀錄求偶及交尾過程。
6. 將雄、雌蟋蟀分別從隔離飼養罐中取出，並置放於自製交尾觀察箱中，使之相遇。
7. 由影片觀察精包是否掛上雌蟲交尾孔，判斷有無交尾行為。
8. 交尾後，雄、雌蟲放回原隔離飼養罐。
9. 將脫脂棉鋪放於飼養罐底，使雌蟲產卵於濕潤棉花中。
10. 確認產卵，判定此次配對成功。

※ 第一批:

- 於 2011 年 7 月 17 日帶回 17 隻成蟲，左翅在上雄蟲 1 隻、雌蟲 8 隻，右翅在上雄蟲 4 隻、雌蟲 4 隻
- 於 2011 年 7 月 27 日帶回 6 隻右翅在上雄蟲
- 於 2011 年 7 月 17 日至 2011 年 8 月 25 日期間，共配對成功 7 對

※ 第二批:

- 於 2011 年 9 月 25 日帶回 11 隻成蟲，左翅在上雄蟲 3 隻、雌蟲 6 隻，右翅在上雄蟲 1 隻、雌蟲 1 隻
- 於 2011 年 9 月 25 日至 2011 年 10 月 20 日期間，共配對成功 3 對

※ 第三批:

- 於 2011 年 11 月 12 日帶回 34 隻成蟲，右翅在上雄蟲 22 隻、雌蟲 12 隻
- 於 2011 年 11 月 12 日至 2011 年 12 月 4 日期間，共配對成功 6 對

※ 第四批:

- 於 2012 年 2 月 5 日帶回 28 隻成蟲，左翅在上雄蟲 11 隻、雌蟲 13 隻，右翅在上雄蟲 2 隻、雌蟲 2 隻
- 於 2012 年 2 月 5 日至 2012 年 3 月 6 日期間，共配對成功 2 對

(三) 育種養殖

為了確保品系的純化，所以飼養時，要確實隔離，以便進行逐日的產卵數及孵化數的紀錄，我沿用昆蟲分類實驗室長期以來的蟋蟀養殖方法，進行選種，育出左翅在上的蟋蟀品系，其步驟如下：

1. 將雌蟋蟀產過卵之棉花以目視觀察產卵數量，如有必要，在進一步將棉花撕開確認產卵數。
2. 將卵移入底層鋪有濕棉花的壓克力罐，蓋上有通風孔的罐蓋，以便調節溼度避免太乾或太潮濕以致卵無法孵化。
3. 卵期約 1~2 週，每天觀察記錄蟋蟀孵化。
4. 孵化時逐日記錄孵化的若蟲數量，並挑出分批飼養。
5. 每日挑出之個體 15 隻為一個單位，分批飼養在一個壓克力罐，供給幼犬飼料，每次供給兩顆量，初齡幼蟲須將飼料壓碎；另提供一小段塞有棉花的供水小管；同時在罐內放入衛生紙團以增加蟋蟀之活動空間。

(四) 觀察羽化過程中左翅在上的交疊情況

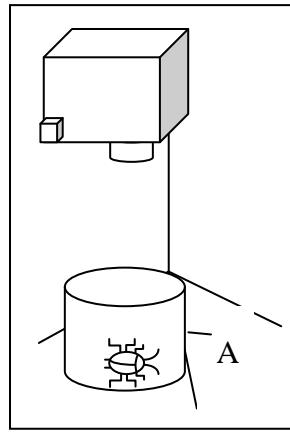


圖 2 觀察記錄蟋蟀出羽化時，前翅交疊之情形

從黃斑黑蟋蟀若蟲羽化為成蟲時，前翅在延展的過程，是否就出現交疊的情況？那時究竟是左翅在上還是右翅在上？據李俊康(2009)指出蟋

蟋前翅會有調置之行為，但是，羽化初期是甚麼情形並不知情，所以為了解蟋蟀最初羽化時前翅交疊的狀況，必須在單獨飼養下觀察。本研究總共觀察 45 隻老熟若蟲，其操作過程及步驟如下：

1. 由飼養場帶回 45 隻的蟋蟀，以大塑膠箱進行群體飼養。
2. 每十二小時檢查一次箱內狀況，以便發現將要羽化的若蟲(根據蟲體活動趨緩或靜止，背部緊繃並出現裂縫)。
3. 將羽化前期的若蟲移至壓克力罐隔離飼養(圖 2A)。
4. 架設有錄影功能的相機於壓克力罐正上方進行錄影(圖 2)。
5. 每 30 分鐘觀察記錄蟋蟀前翅交疊之情形一次(表 13)。
6. 每 1 小時用相機拍近照一次(圖 34)。

(五)Y 型管性擇實驗

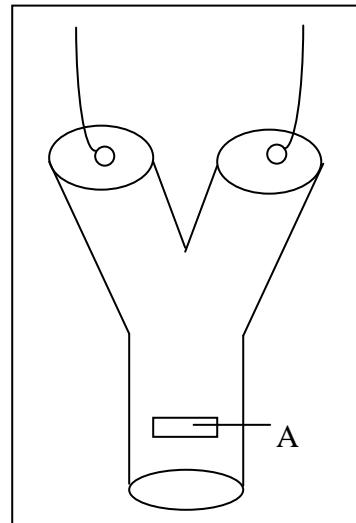


圖 3

以聲音分析軟體 GoldWave，分析出左翅在上與右翅在上雄蟲的呼喚聲(calling)、求偶聲及打鬥聲均有所不同，藉此實驗了解雌蟲對於雄蟲不同求偶聲音的喜好，步驟如下：

1. 於人擇配對時，錄製好左翅在上與右翅在上雄蟲求偶聲。
2. 架設實驗器材，於 Y 型水管的兩開口，分別放置播放左翅在上

及右翅在上雄蟲求偶聲的耳機。

3. 用隔板插入 Y 型水管上的開口(圖 3A)，將雌蟲放置於 Y 型水管尾端，並架設好有錄影功能的相機於 Y 型水管尾端後。
4. 播放兩邊聲音，開始錄影，再將隔板拉開，直至雌蟲前進並做出選擇為止。
5. 每隻雌蟲重複步驟(四)兩次，並記錄其選擇狀況。

(六) 標本觀察

由觀察前述實驗中所泡製的蟋蟀酒精標本，量測左翅在上與右翅在上蟋蟀的各項外觀型態學特徵數據，藉此比較兩者間型態差異與翅膀交疊情形的相關性，據以了解體型生存優勢與左右翅位置的關係。步驟如下：

1. 將酒精標本置於培養皿中，滴加溫水使標本稍微軟化。
2. 校準游標尺，以求量測精確。
3. 用游標尺分別量測圖 4 中蟋蟀的身長、身寬、胸板寬、翅長、翅基寬、翅最寬、翅膀交疊間距以及圖 5 中蟋蟀的側翅基寬、側翅最寬。

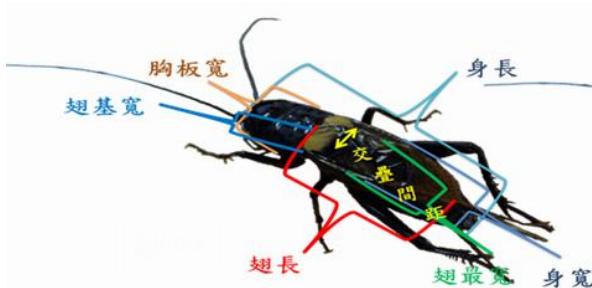


圖 4

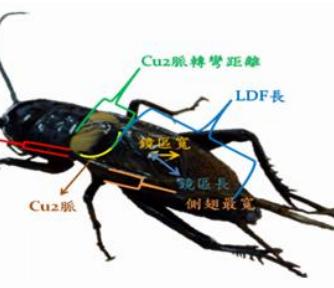


圖 5

4. 雄蟋蟀因為能摩擦翅膀發音，所以進一步測量與摩擦發音有較大相關的 Cu2 脉和鏡區，圖 5 中的 Cu2 脉轉彎距離、LDF 長(Cu2 脉至翅膀末端長度)、鏡區長及鏡區寬，就是雄蟋蟀進一步測量

的四項數據。

(七) 實驗結果分析，利用 Office Excel 的資料分析進行變異數檢定(F test)以及平均差檢定(Student's t test)，以測量這兩組之間的數據在統計上有無顯著差異；或是利用 SPSS(第 19 版)測量 ANOVA 以及多組之間的事後檢定(LSD 法；最小平方法)，以測量多組之間在統計上有無顯著差異。

參、研究結果與討論

一、研究結果

(一) 黃斑黑蟋蟀左翅在上變異型個體取樣調查

1. 採樣調查圖片



圖 6 左翅在上雄黃斑黑蟋蟀



圖 7 左翅在上雌黃斑黑蟋蟀



圖 8 右翅在上雄黃斑黑蟋蟀



圖 9 右翅在上雌黃斑黑蟋蟀

2. 黃斑黑蟋蟀左、右翅在上比例

表 2

	總樣本	左翅在上	右翅在上
數量	2600	52	2548

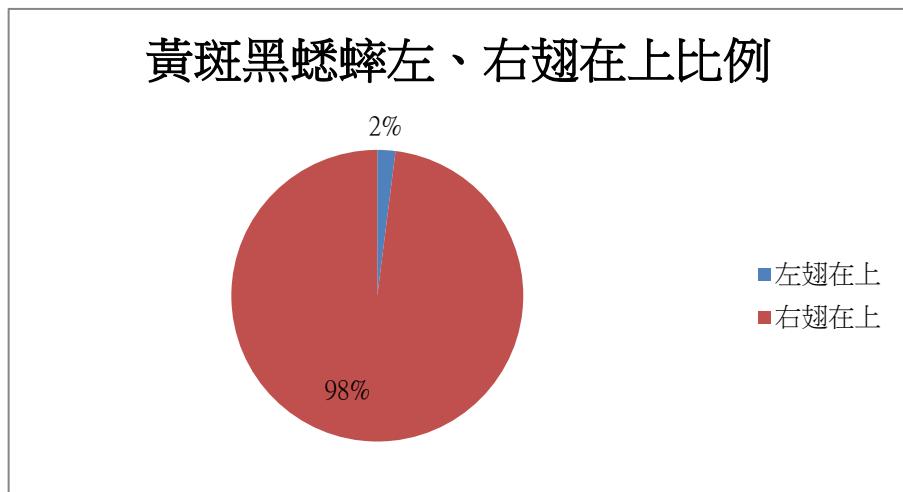


圖 10 利用新化蟋蟀養殖場的黃斑黑蟋蟀，作為取樣調查的基礎。取樣調查的結果，左翅在上的黃斑黑蟋蟀在族群中占 2%。

3. 雄、雌蟲左右翅在上之比例

表 3

	雄蟲左翅在上	雌蟲左翅在上	雄蟲右翅在上	雌蟲右翅在上
數量	7	45	1593	955

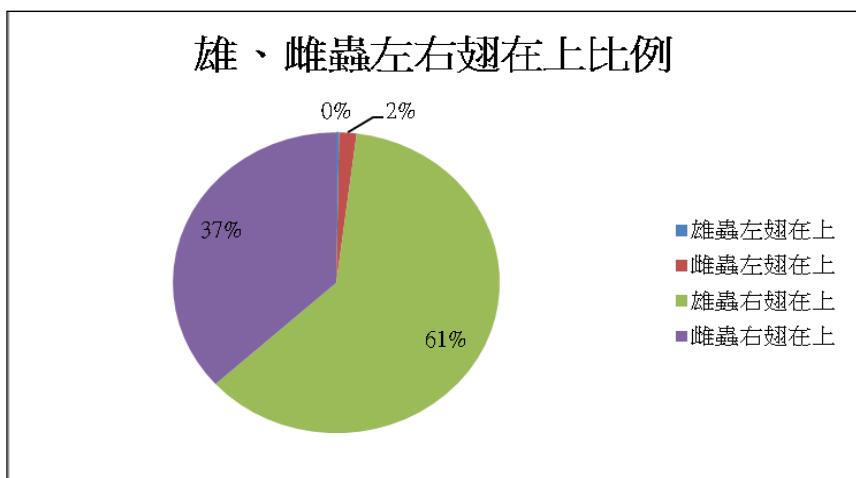


圖 11 別探討雄雌黃斑黑蟋蟀，左右翅在上的比例。

圖中雄蟲左翅在上的 0% 並非完全沒有，而是在族群中數量極少。

(二) 人擇配對實驗

1. 產卵相片



圖 12 雌蟋蟀將卵排出至產卵管末端，並插入棉花中將卵產出。

2. 配對產卵數

表 4

	LL-1 組	LL-2 組	LR-1 組	LR-2 組	RL-1 組	RL-2 組	RL-3 組	RR-1 組	RR-2 組	RR-3 組
產卵數	25	346	156	444	59	263	1467	427	209	834

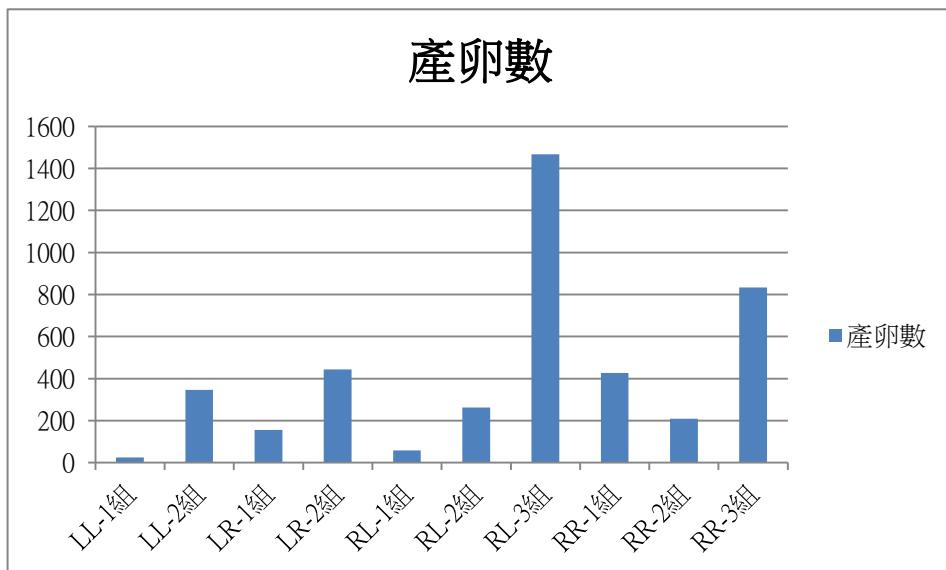


圖 13 配對十組，前(L/R)為雄蟲前翅交疊狀況，後(L/R)則為雌蟲，以交叉配對方式來比較產卵數差別。

(三) 產卵數顯著性分析

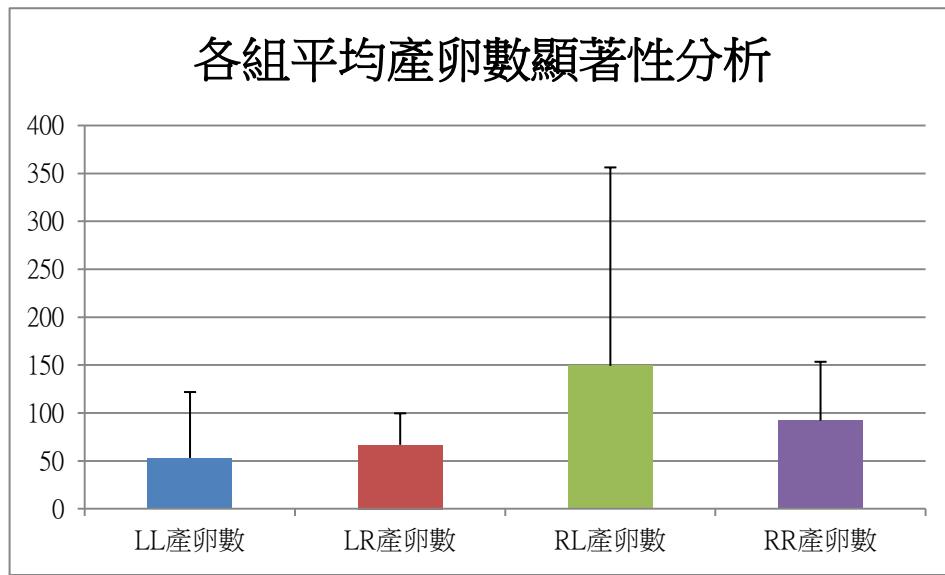


圖 14 依據四組產卵的平均數進行顯著性的分析，每組數據均為平均數±標準差。由圖可知左右翅在上的雄雌黃斑黑蟋蟀配對，在產卵數上並無顯著的差異。

3. 產卵期頻度表

表 5

	LL-1	LL-2	LR-1	LR-2	RL-1	RL-2	RL-3	RR-1	RR-2	RR-3
Day1	1	1	1	1	2	4	17	1	2	1
Day2	1	1	3	1	0	2	3	2	3	3
Day3	1	5	0	1	0	0	2	4	0	6
Day4	0	3	0	1	0	0	3	2	0	4
Day5	0	0	0	3	0	0	2	2	0	3
Day6	0	0	0	2	0	0	2	1	0	1
Day7	0	0	0	2	0	0	1	0	0	2
Day8	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
Day9	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0

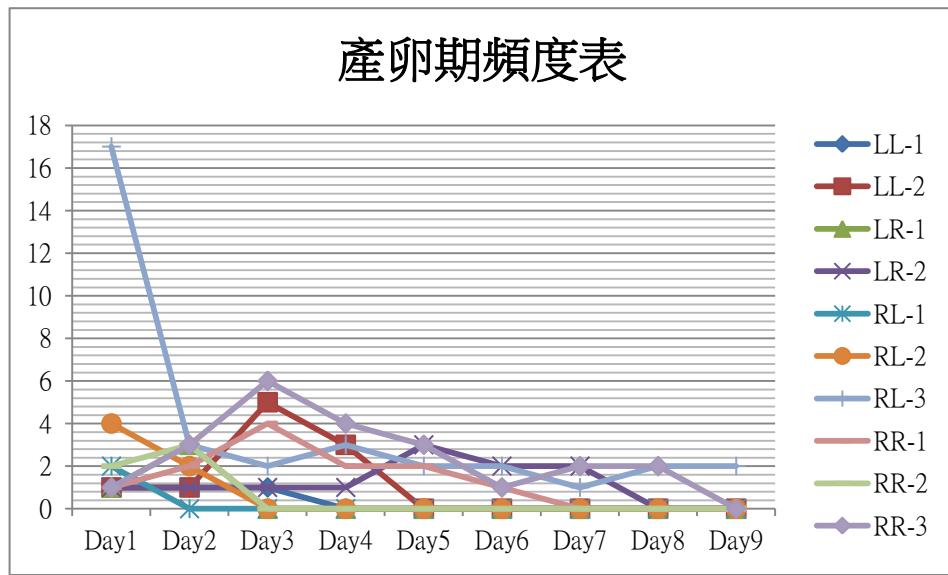


圖 15 此頻度圖每一級距是 50 顆卵，為減低數卵時人為的誤差，所以分級方式來表述產卵期中，雌蟲每天產出的卵數。

4. 配對成功率

表 6

	Lm1	Lm3	Rm1	Rm2	Rm3	Rm4	Rm7	Rm8	Rm9
配對次數	15	5	1	5	5	5	2	1	1
成功次數	5	3	0	2	3	1	1	1	0
成功率	33%	60%	0%	40%	60%	50%	100%	100%	0%

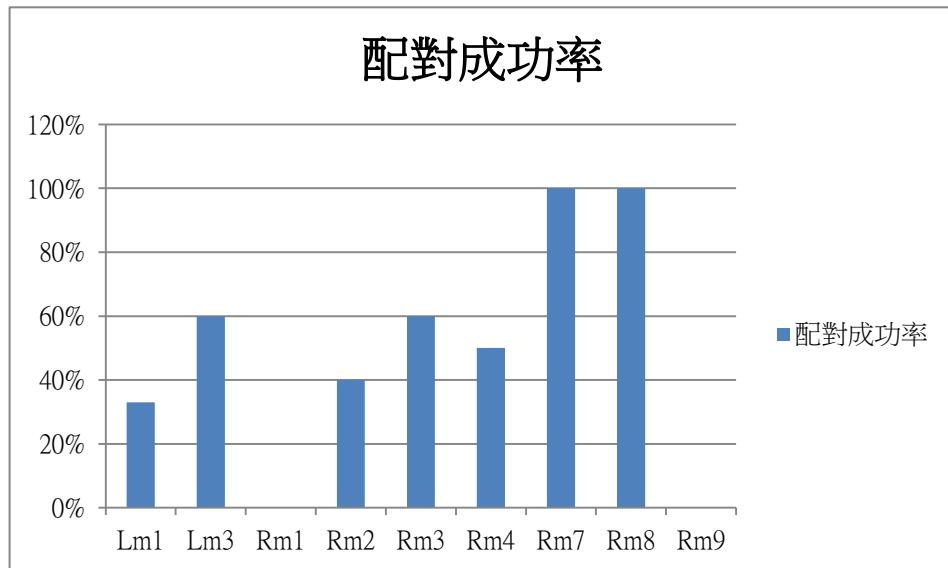


圖 16 左翅在上雄蟲相對於右翅在上雄蟲，雌蟲選擇並產下後代機率較低。

(四) 育種養殖

1. 養殖狀況相片



圖 17 雌蟲產卵後插滿洞的棉花



圖 18 一齡蟲飼養狀況



圖 19 一齡蟲孵化



圖 20 剛蛻皮的若蟲



圖 21 蛹皮中的若蟲



圖 22 剛蛻皮的若蟲

2. 孵化數

表 7

卵期/親代	LL-1	LL-2	LR-1	LR-2	RL-1	RL-2	RL-3	RR-1	RR-2	RR-3
Day10	0	62	31	0	0	0	0	0	0	0
Day11	0	15	13	304	0	176	736	339	0	0
Day12	0	0	0	597	0	57	118	11	543	156
Day13	0	0	0	189	0	0	35	45	40	549
Day14	0	0	0	0	142	0	0	6	0	353
Day15	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3

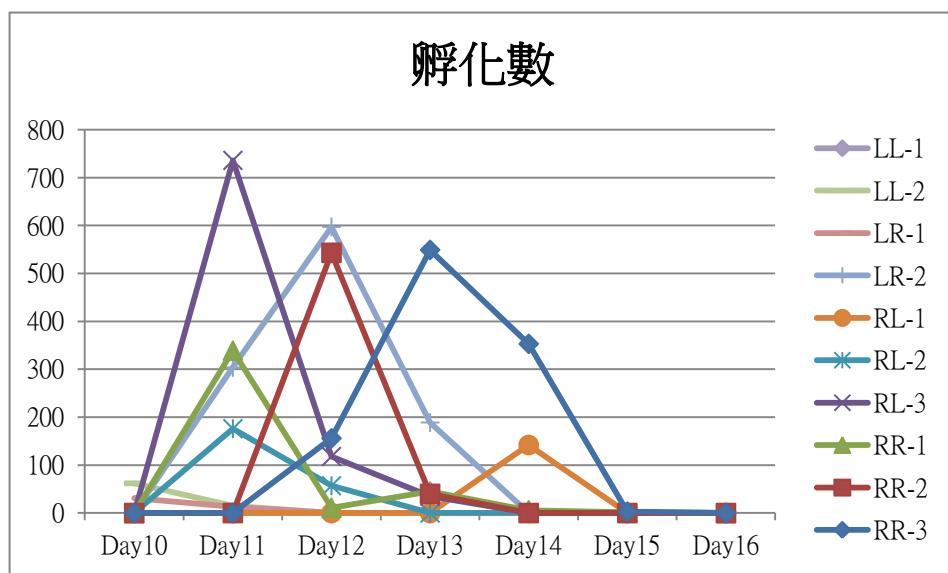


圖 23 孵化數為確切量值, 10 組不同品系的卵在產出後的 10~15 天孵化，其餘則判定無法孵化。可從圖中清楚看出 LL 組的兩組配對，孵化數均為最少。

3. 孵化數顯著性分析

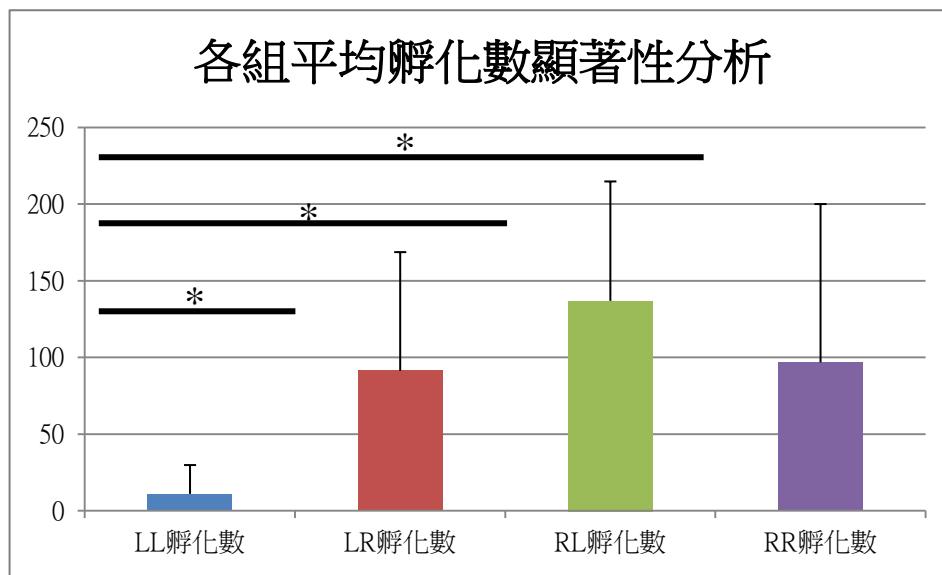


圖 24 依據四組孵化的平均數進行顯著性的分析，每組數據均為平均數±標準差。

* $P < 0.05$ ，ANOVA 以及 LSD 法。由圖可知 LL 組黃斑黑蟋蟀的配對，在孵化數上與其他組有顯著的差異。

4. 卵期間孵化狀況

表 8

	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5
LL-1	0	0	0	0	0
LL-2	62	15	0	0	0
LR-1	31	13	0	0	0
LR-2	304	597	189	0	0
RL-1	142	0	0	0	0
RL-2	176	57	0	0	0
RL-3	736	118	35	0	0
RR-1	339	11	45	6	2
RR-2	543	40	0	0	0
RR-3	156	549	353	3	0

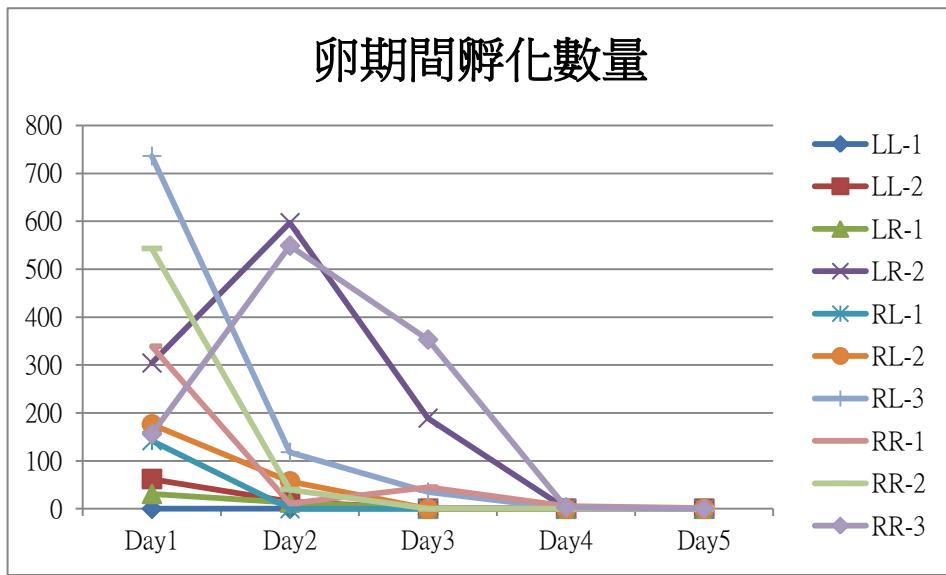


圖 25 此圖呈現各組的孵化高峰，除了 LR-2 組以及 RR-3 組在第二天之外，其餘品系皆在卵期的第一天看到孵化高峰。

(五) 羽化觀察

1. 羽化不完全相片



圖 26 此圖為 2011 年 9 月 28 日羽化的 M5，右前翅尚未長全，因此無法判定其翅交疊情況，右中足斷掉，左後胫節斷掉，右尾毛基部有裂痕，羽化後於 24 小時內死亡。



圖 27 此圖為 2011 年 9 月 29 日羽化的 M8，羽化時皮尚未蛻去及黑化，前翅未完全黑化，似乎缺少某種養分，但是明顯可看出為右前翅在上的黃斑黑蟋蟀，羽化後於 24 小時內死亡。



圖 28 此圖為 2011 年 10 月 3 日羽化的 M13，右後肢缺乏，左前翅看似被重物壓過，以至皺褶扭曲，但是也可明顯看出其為右翅在上的雄蟋蟀，羽化後於 72 小時內死亡。

2. 觀察羽化結果

表 9

總樣本數	雄蟲	雌蟲	未羽化	羽化不完全	羽化後左翅在上
數量	45	13	32	3	1

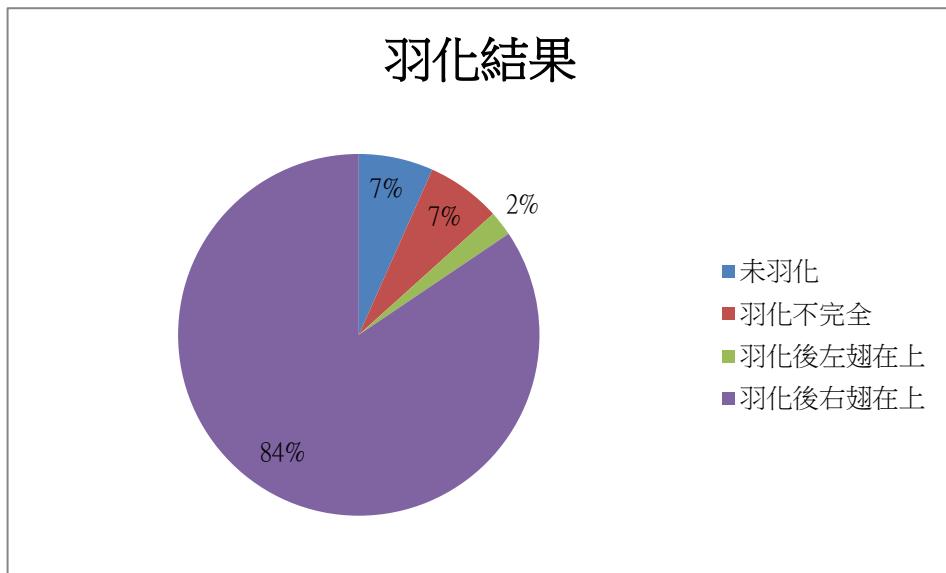


圖 29 觀察黃斑黑蟋蟀在羽化過程中前翅交疊的情形。育種養殖的結果與採樣調查一樣，左翅在上存在於族群中的比例均為 2%。

3. 前翅交疊時間點

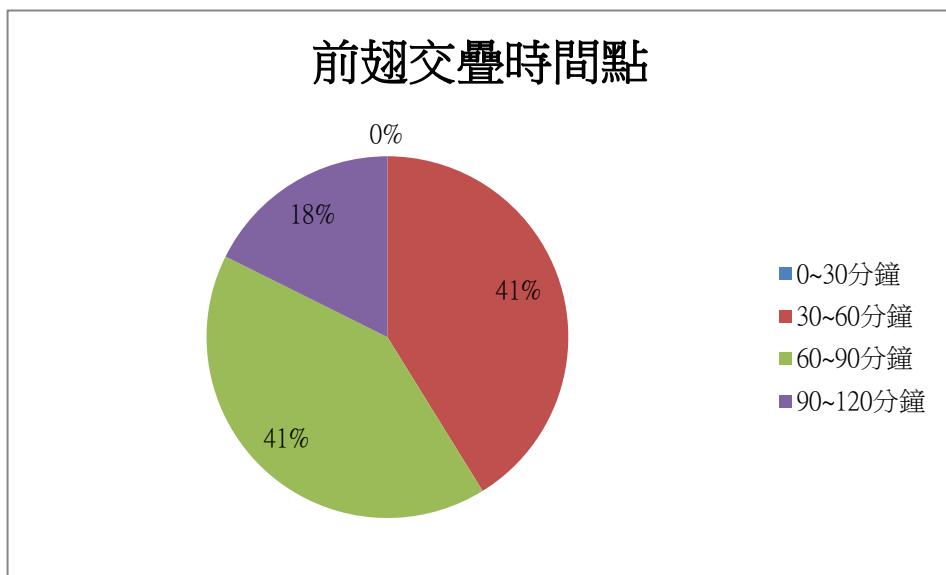


圖 30 黃斑黑蟋蟀起始羽化後前翅交疊時間點，圖中顯示約在 60 分鐘左右，會出現交疊的一瞬間。

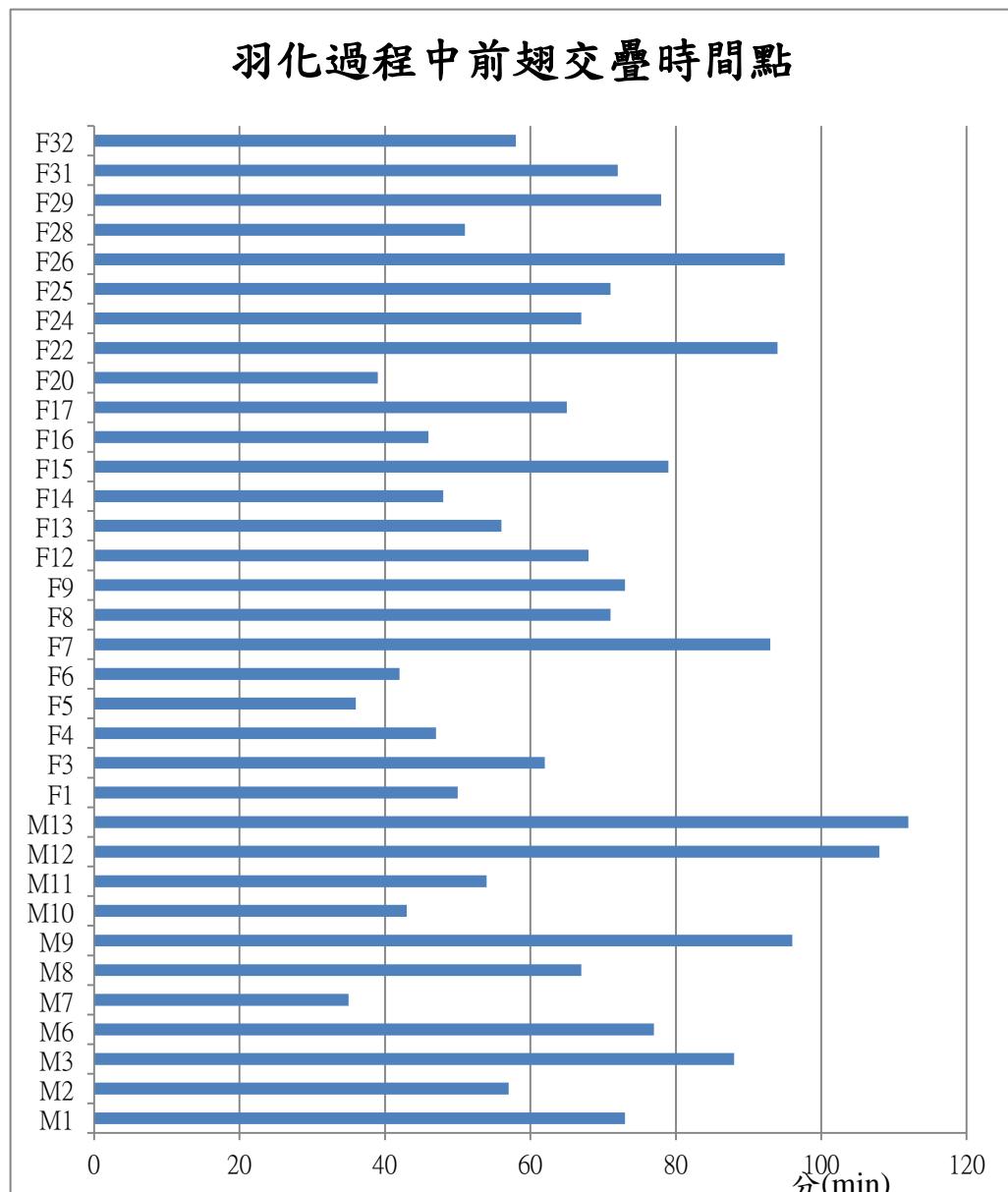


圖 31 羽化過程中前翅交疊時間點(已扣除特殊狀況)。

4. 羽化後相片



圖 32 羽化後 120 分鐘。已交疊，為右翅在上。

(六) Y型管性擇實驗

1. 左翅在上與右翅在上雄蟲聲音比較

(1) 鳴叫聲(calling)比較

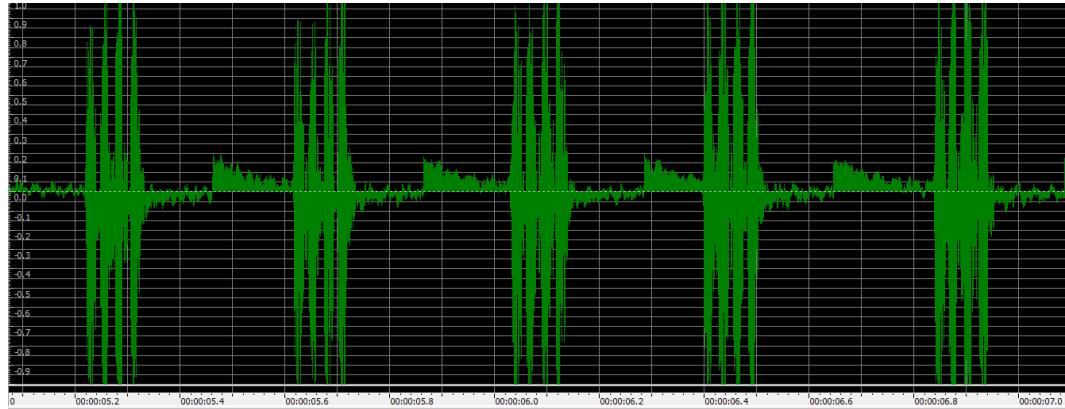


圖 33 右翅在上雄蟲鳴叫聲

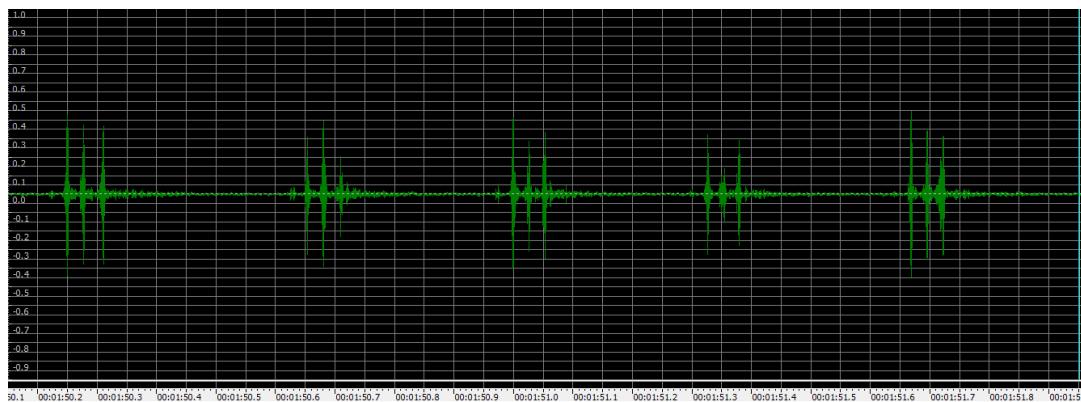


圖 34 左翅在上雄蟲鳴叫聲

(2) 求偶聲比較

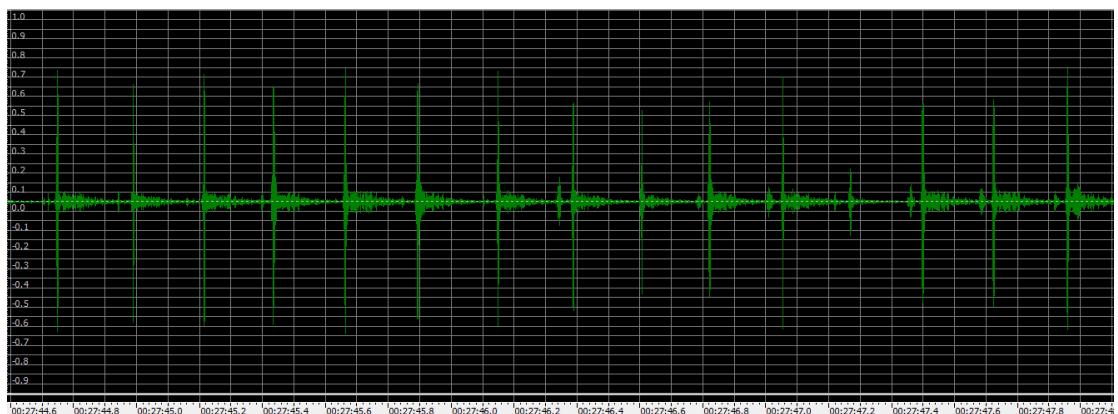


圖 35 右翅在上雄蟲求偶聲

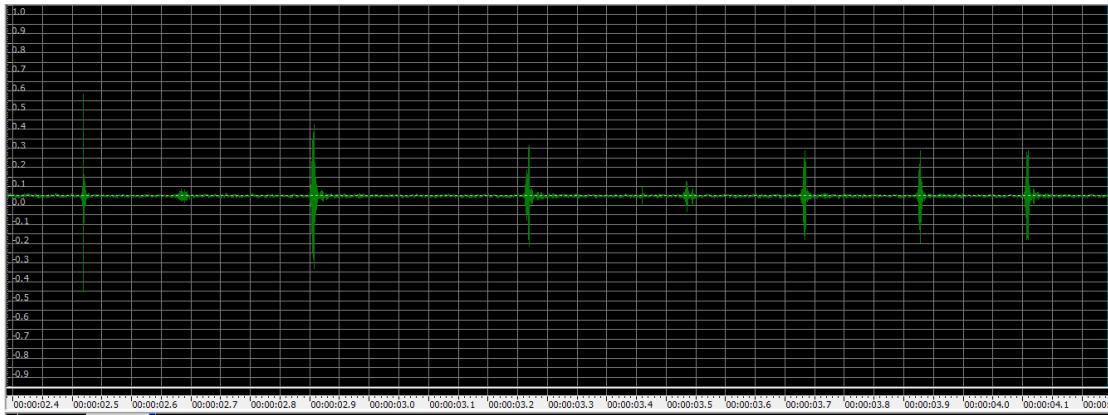


圖 36 左翅在上雄蟲求偶聲

2. 雌蟲選擇結果

本實驗對象共 82 隻雌蟲，每隻雌蟲均做 2 次選擇，實驗數據共 164 筆。

表 10

左翅在上求偶聲	右翅在上求偶聲	未做出選擇
26	136	2

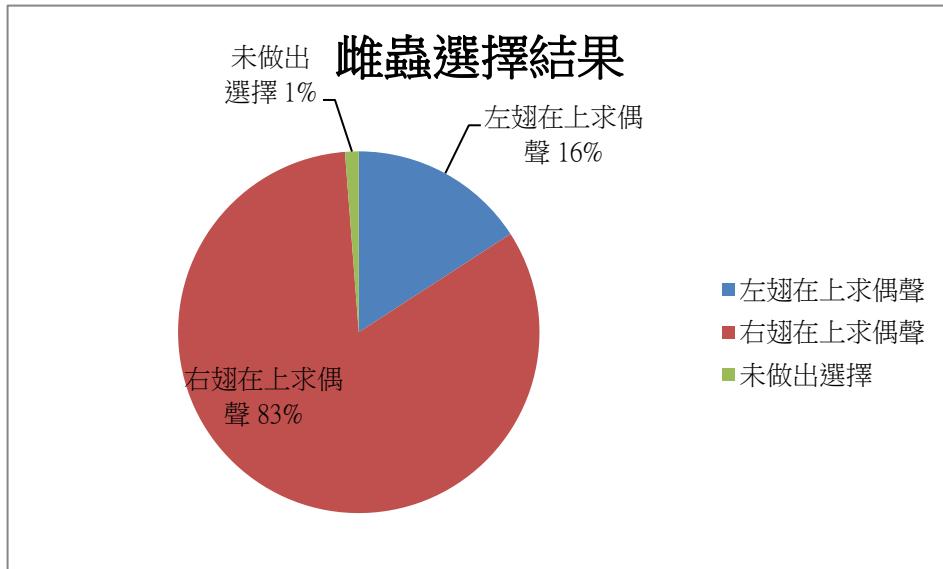


圖 37 Y 型管性擇實驗雌蟲選擇結果，由圖可知，左翅在上雄蟲求偶聲在黃斑黑蟋蟀族群中較右翅在上雄蟲求偶聲不易獲得青睞。

(1) 左翅在上雌蟲選擇結果

表 11

左翅在上求偶聲	右翅在上求偶聲	未做出選擇
14	56	0

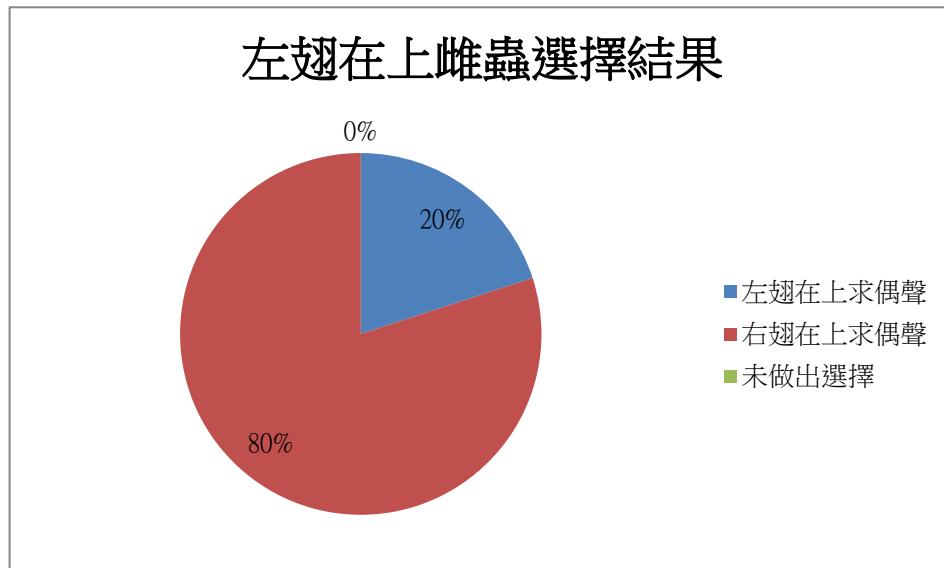


圖 38 左翅在上雌蟲的選擇結果，選擇左翅在上雄蟲求偶聲的機率較高，可能是同類相吸的關係，但仍舊以選擇右翅在上者較多。

(2) 右翅在上雌蟲選擇結果

表 12

左翅在上求偶聲	右翅在上求偶聲	未做出選擇
12	80	2

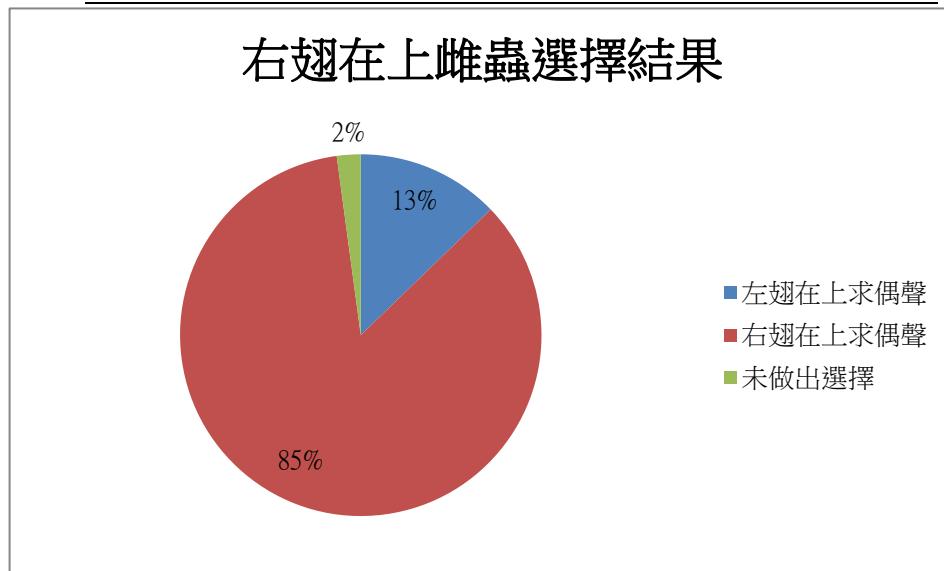


圖 39 右翅在上雌蟲的選擇結果，選擇左翅在上雄蟲求偶聲的機率較低，且以選擇右翅在上雄蟲求偶聲為大多數。

(七) 標本觀察

1. 身長、身寬、胸板寬、左右翅膀交疊間距顯著性分析結果

表 13 依據身長、身寬、胸板寬及左右翅膀交疊間距四項數值進行顯著性分析

	雌平均	雄平均	雌雄 T-test	左翅在上平均	右翅在上平均	左右翅在上 T-test
身長	3.11	3.46	0.01	3.20	3.22	0.87
身寬	0.94	0.92	0.35	0.94	0.93	0.75
胸板寬	0.94	1.00	0.004	0.93	0.97	0.14
交疊間距	0.32	0.60	9.20696E-14	0.37	0.42	0.38

雌雄蟋蟀分組的部分在身長、胸板寬及交疊間距都出現了顯著差異，表示雌雄蟋蟀的體型有著很大的差別，且在交疊間距的部分，雄蟲較雌蟲交疊多，也代表雌雄蟲在翅膀摩擦發音的有無上，平時的交疊間距即有相關。以左、右翅在上蟋蟀的分組，在此四項數值上並無出現顯著差異。P<0.05，Office Excel 平均差檢定(Student's t test)。

2. 翅長、翅基寬、翅最寬顯著性分析結果

表 14 依據翅長、翅基寬、翅最寬三項數值進行顯著性分析

	雌平均	雄平均	雌雄 T-test	左翅在上平均	右翅在上平均	左右翅在上 T-test
翅長差值	-0.014	-0.019	0.8	0.038	-0.028	0.01
翅基寬差值	-0.002	0.004	0.72	-0.006	0.007	0.54
翅最寬差值	-0.005	-0.056	0.003	0.003	-0.025	0.19

差值的意思是指在單一個體身上進行比較，例:翅長差值=左翅長-右翅長，表中即為左翅在上蟋蟀的左、右翅長差值與右翅在上蟋蟀的左、右翅長差值進行的比較。在翅長的部分，左、右翅在上的蟋蟀出現了顯著差異，意思是左翅在上的蟋蟀，左翅較右翅長；右翅在上的蟋蟀，右翅較左翅長。而在翅最寬的部分，雌雄蟋蟀間也出現了顯著差異，雌蟲大部分是右翅較寬而雄蟲大部分是左翅較寬。P<0.05，Office Excel 平均差檢定(Student's t test)。

3. 側翅基寬、側翅最寬顯著性分析結果

表 15 依據側翅基寬、側翅最寬二項數值進行顯著性分析

	R/左平均	L/右平均	左右翅在上	T-test
R 左右側翅基寬	0.26	0.26		0.98
R 左右側翅最寬	0.54	0.54		0.97
L 左右側翅基寬	0.26	0.28		0.55
L 左右側翅基最寬	0.50	0.55		0.19
RL 左右側翅基寬差值	0.00	-0.02		0.45
RL 左右側翅最寬差值	0.00	-0.05		0.13
RL 左側翅基寬	0.26	0.26		0.94
RL 右側翅基寬	0.26	0.28		0.42
RL 左側翅最寬	0.54	0.50		0.14
RL 右側翅最寬	0.54	0.55		0.78

R、L 分別代表左翅在上、右翅在上的蟋蟀，例:「R 左右側翅基寬」是右翅在上蟋蟀左側翅基寬及右側翅基寬的比較。本表進行了多重的比較，但是均未找出左、右翅在上蟋蟀間的顯著差異，推測左、右翅膀交疊的情形與側翅寬度較無關係。 $P < 0.05$ ，Office Excel 平均差檢定(Student's t test)。

4. 翅膀面積(翅長*翅基寬、翅長*翅最寬)顯著性分析結果

表 16 依據翅膀面積(翅長*翅基寬、翅長*翅最寬)二項面積數值進行顯著性分析

	R/左平均	L/右平均	左右翅在上	T-test
R 左右翅長*基寬	0.92	0.93		0.81
R 左右翅長*最寬	1.18	1.26		0.15
L 左右翅長*基寬	0.80	0.80		1.00
L 左右翅長*最寬	1.13	1.10		0.69
RL 翅長*基寬差值	-0.01	0.00		0.81
RL 翅長*最寬差值	-0.07	0.03		0.03

R、L 分別代表左翅在上、右翅在上的蟋蟀，例:「R 左右翅長*基寬」是右翅在上的蟋蟀左翅面積(左翅長*左翅基寬)及右翅面積(右翅長*右翅基寬)的比較。本表中在比較左、右翅在上蟋蟀分別左、右

翅膀面積的差值出現了顯著差異，意思是左翅在上的蟋蟀，左邊翅膀面積較大；右翅在上的蟋蟀，右邊翅膀面積較大。 $P < 0.05$ ，Office Excel 平均差檢定(Student's t test)。

5. 雄蟲脈象(Cu2 脈轉彎距離、LDF 長、鏡區長、鏡區寬)

表 17 依據雄蟲翅膀脈象(Cu2 脈轉彎距離、LDF 長、鏡區長、鏡區寬)四項數值進行顯著性分析

	R/左平均	L/右平均	左右翅在上 T-test
RL 左翅基部至 Cu2 脈長	0.37	0.41	0.47
RL 右翅基部至 Cu2 脈長	0.38	0.40	0.75
RL 左右翅基部至 Cu2 脉長差值	-0.01	0.02	0.41
RL 左翅 LDF 長	1.64	1.42	0.003
RL 右翅 LDF 長	1.62	1.41	0.003
RL 左右翅 LDF 長差值	0.02	0.02	0.95
RL 左鏡區長	0.48	0.48	0.87
RL 右鏡區長	0.49	0.46	0.21
RL 左右鏡區長差值	0.00	0.02	0.44
RL 左鏡區寬	0.32	0.29	0.32
RL 右鏡區寬	0.33	0.31	0.33
RL 左右鏡區寬差值	-0.01	-0.02	0.77

R、L 分別代表左翅在上、右翅在上的蟋蟀，例：「RL 左翅基部至 Cu2 脈長」是左、右翅在上的蟋蟀各自左翅基部至 Cu2 脉長(Cu2 脈轉彎距離)的比較。本表左、右翅在上的蟋蟀分別左、右翅的 LDF 長比較均出現了顯著差異，但是在 Cu2 脈轉彎距離的比較中並無顯著差異，與表(十四)得到的結果做比較，翅長=Cu2 脈轉彎距離+LDF 長，意思是造成左翅在上蟋蟀左翅較長；右翅在上蟋蟀右翅較長這個原因，是由於 LDF 長的決定，而非 Cu2 脈的轉彎距離。 $P < 0.05$ ，Office Excel 平均差檢定(Student's t test)。

三、討論

(一) 黃斑黑蟋蟀左翅在上變異型個體取樣調查

經過三次在新化黃斑黑蟋蟀養殖場的取樣調查後，由圖 10 可見，活體黃斑黑蟋蟀族群中左翅在上的佔有率是 2%，與李俊康(2009)的標本檢查左翅在上黃斑黑蟋蟀在族群中的佔有率 2.05% 極為相近。再進一步探討雌雄蟋蟀左翅在上的比例，如圖 11，左翅在上雌蟲的 2% 較雄蟲趨近 0% 的佔有率，明顯多出，證實了 Masaki(1987)所說的，左翅在上在雄蟲極為罕見，在雌蟲較為常見，雌雄間比例的差異可以推測對雄蟋蟀而言右翅在上應是有著相當重要的意義。

(二) 人擇配對

要進行配對並不是將雌雄蟋蟀放在一起即可，蟋蟀的身型、氣味、求偶的聲音、行為模式的調控皆可能是影響性擇的重要原因。由圖 13 中，各種不同組合的配對，比較產卵數之間的差異，為了不傷害到卵，數卵時較易產生人為誤差，因此以頻度表圖 15 來表示，黃斑黑蟋蟀雌蟲的產卵期可長達 7~9 天，由圖中可見，大部分每天產卵量約在 50~200 顆卵之間，其中幾組後面幾天的產卵頻度為 0，原因均是雌蟲死亡，而無法產卵。

圖 14 以 LL、LR、RL、RR 四組產卵平均數做統計分析，各組產卵數雖然不一，但是分析後並無出現顯著差異，可見無論是何種配對，對產卵數並無顯著相關。

由圖 16 可見，相較於右翅在上的雄蟲，左翅在上的雄蟲要獲得雌蟲的青睞，以機率來看明顯較低，前述之影響性擇的原因，左右前翅的交疊，不僅會影響本身的身型，前翅摩擦發出的聲音也會不一樣，推測前翅交疊影響左翅在上基因的保留，扮演著重要的關鍵。

(三) 育種養殖

此實驗中，孵化數是準確的，因此以原始數值做判斷，由圖 23 可見，從卵產出的那天開始算起至第 10~14 天為黃斑黑蟋蟀的卵期，尤其以 12~13 天出現孵化量高峰最多。進一步探討各品系的孵化高峰，圖 25 顯示 LR-2 組及 RR-3 組的孵化高峰出現於孵化期的第 2 天，但是相較於產卵期的第二天卻無發現明顯之相對性，其餘孵化高峰在孵化期第一天的，相比較下也無明顯對應。產卵期及孵化期之間的相對關係，仍有待了解。

圖 24 以 LL、LR、RL、RR 四組孵化平均數做統計分析，發現 LL 組相對於另外三組，均出現顯著的差異，孵化數量確實較少，甚至無法孵化，此現象可能與其左翅在上基因的配對，而對孵化數造成影響。相較於一般最常出現的右翅在上雄蟲與右翅在上的雌蟲配對，產卵數及孵化數都是正常的情況，其中造成顯著差異的原因，可能跟遺傳基因的配對有關。

(四) 羽化過程中前翅交疊觀察

在觀察黃斑黑蟋蟀羽化過程中前翅交疊的情形後，發現 45 隻黃斑黑蟋蟀中僅有 1 隻雌蟲是羽化後左前翅在上，如圖 29 的統計結果，左翅在上的比例也是接近 2%，又再一次證實了前面取樣出的比例。觀察過程中也有發現羽化不完全的狀況，如圖 26、圖 27、圖 28，均為 RR 組的後代，推測其可能性，缺乏羽化所需的營養、羽化期間受到干擾、本身基因缺陷均有可能是造成羽化不完全的原因。

圖 30 是排除特殊情況的黃斑黑蟋蟀後的結果，在羽化起始約 60 分鐘前後，是前翅交疊的關鍵時間點，前翅交疊是在一瞬間發生，並非慢慢調整後交疊，推測在本身基因上，已經決定好前翅交疊的上下位置。

(五) Y 型管性擇實驗

圖 33 及圖 34 可明顯看出左翅在上與右翅在上雄蟋蟀鳴叫聲的差異，以及圖 35 及圖 36 的求偶聲差異，都可能是影響雌蟲選擇配偶的原因。

在進行過 164 次性擇實驗之後，雌蟲選擇右翅在上雄蟲的求偶聲機率 83% 遠超過選擇左翅在上雄蟲求偶聲的機率 16%，又左翅在上雌蟲選擇同為左翅在上雄蟲求偶聲的機率 20% 較右翅在上雌蟲選擇的機率 13% 多了 7 個百分點，推測左翅在上的雄蟋蟀，較容易吸引到與自己表現型相同的雌蟋蟀，但是以整體而言，右翅在上的雄蟋蟀求偶聲，還是較受到雌蟋蟀青睞。

(六) 標本觀察

由表 13 及表 14 中可看出雌雄蟋蟀間體型的顯著差異以及翅膀交疊情形，雄蟲相對於雌蟲交疊較緊密。在表 14 也看到了左、右翅在上的蟋蟀其左、右翅膀長度差值的顯著差異，可證明左翅在上的蟋蟀，左翅較長；右翅在上的蟋蟀，右翅較長的狀況。

進一步推算出左、右翅在上蟋蟀的翅膀面積，從表 16 發現在翅長* 翅最寬的面積算法中，左、右翅在上蟋蟀分別左、右翅膀的面積差值出現了顯著差異，可證明左翅在上蟋蟀，左翅面積較大；右翅在上蟋蟀，右翅面積較大。

針對雄蟲翅膀脈象進行測量，以 Cu2 脈為分界測量的 Cu2 脈轉彎距離及 LDF 長相加即為翅膀長度，由表 17 中發現翅膀長度之所以會有左翅在上蟋蟀左翅較長，而右翅在上蟋蟀右翅較長的現象，是因為在 LDF 長的部分即出現了顯著差異，才會造成這個情況。

肆、結論與應用

一、結論

- (一)黃斑黑蟋蟀族群中，左前翅在上的比例，在標本及活體中，皆是 2% 左右，而雌蟲左翅在上的比例又略高於雄蟲，以及在標本觀察中發現雄蟲左、右翅膀較雌蟲左、右翅膀交疊多，可知前翅交疊的情形對雄蟲可能是一項重要的演化關鍵。
- (二)左翅在上的黃斑黑蟋蟀雄蟲，在繁殖後代時，會因為雌性的選擇，而影響左翅在上此性狀存在於族群中的比例。
- (三)雌蟲產卵期的長短與卵孵化期的長短，並無直接關聯，在不同組合的配對情況下，產卵數並無顯著的差異，但是在孵化數上，左翅在上雄蟲與左翅在上雌蟲的配對相較於另外三組配對，則出現了顯著的差異，證明其左翅在上基因存在族群中較少的原因，非源自於產卵數，而是較少量的孵化數。
- (四)確定羽化過程中黃斑黑蟋蟀前翅在交疊時，是一瞬間疊合，而非慢慢調整，也確定交疊的時間點約在羽化起始後 60 分鐘左右。
- (五)分析出左翅在上與右翅在上雄蟲的聲音差異，並且確定在黃斑黑蟋蟀族群中，右翅在上的雄蟲求偶聲確實較左翅在上的雄蟲求偶聲易獲得雌蟲青睞，但是族群中也仍然存有雌蟲會選擇左翅在上的雄蟲進行交尾。
- (六)經由標本的量測及分析，確定左翅在上蟋蟀，左翅較右翅長，面積也較大；右翅在上蟋蟀，右翅較左翅長，面積也較大，而影響翅膀長度差值間出現顯著差異的原因是 LDF 的長度。
- (七)左翅在上的基因仍存在族群中，不僅是因為雌蟲的選擇，更可以維持族群的基因多樣性，使得黃斑黑蟋蟀族群能夠生生不息。

二、未來展望及應用

- (一) 經由育種建立出一個完整的左前翅在上品系，從中尋找可能影響左右前翅交疊的性狀表現基因，並由蛋白質差異及基因分析找出其性狀遺傳方式。
- (二) 從胚胎發育前期時，就開始進行觀察，尋找其他可能影響前翅交疊情形的原因，例如：異速生長。
- (三) 將左右前翅交疊的情況，與其他蟋蟀族群做比較，且與大多數前翅為左翅在上的螽斯一起討論，從分類表上找尋各族群間是否有因左右前翅在上而造成的族群分類。
- (四) 利用果蠅身上控制左右的基因片段，找出相對於蟋蟀身上控制左右的基因片段，將左右前翅在上的蟋蟀作比較，並了解其中差異及遺傳方式。
- (五) 推廣至其他動物，如人類雙手交握其左拇指在上與右拇指在上，是否與黃斑黑蟋蟀左、右前翅在上的基因表現相關。

伍、參考文獻

1. 李俊康，2009，為何蟋蟀總是右翅在上？，台灣 2009 年科學展覽會
2. 張青文，2000，昆蟲遺傳學，科學出版社，北京，299
3. Sinzo Masaki, Mitsuko Kayaoka, Kazuya Shirato, and Masahide Nakagahara. 1987. Evolutionary differentiation of right and left tegmina in crickets. Insect evolution.311-318.

評語

本作品針對左右翅的排列進行研究，作者的細心觀察使本作品呈現不可多得的成果，亦使別人對蟋蟀有更進一步的了解。但作者將左右翅之排列認為是遺傳性狀可能需要更進一步的資料或研究數據來支持。