

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

030307

「竹」巢高手－探討影響棕泥壺蜂築巢因子

學校名稱：新北市私立康橋高級中學(附設國中)

作者： 國三 羅兆珩 國二 羅思果	指導老師： 陳沛昀 李季篤
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：棕泥壺蜂、捲葉蛾、竹管

摘要

本研究探討影響棕泥壺蜂築巢的因子，利用 One-way ANOVA CRD 模型分析，以巢室口顏色改變、更換巢室位置、清洗巢室口及噴灑花香等不同因子進行實驗，並比較壺蜂往返巢室、巢室口徘徊、巢室內停留等時間上的差異，再觀察受到障礙物阻擋時、天敵侵入後壺蜂的反應，探討壺蜂築巢的秘密。初步得到結果，前三項的檢定統計量分別為 $F_0=0.6222$ 、 $F_0=2.0134$ 、 $F_0=1$ ，為接受 H_0 ，顯著性表示這些因子不會影響壺蜂進入巢室。但噴灑花香得到 $F_0=245$ 屬於拒絕域，為拒絕 H_0 ，有足夠地顯著性表示，改變巢室入口氣味，會顯著影響壺蜂進入巢室。另外刻意阻擋以及天敵侵入雖然沒有顯著意義指出對築巢有影響，但是就從壺蜂身上已經觀察到出現異常的行為。因此氣味是影響棕泥壺蜂築巢最主要的因子。

壹、研究動機

蜂的種類有許多種，而棕泥壺蜂的幼蟲是生活在竹管內常見的蜂類之一，我們曾在掃把竹管裡找到棕泥壺蜂的巢穴蹤跡，原來棕泥壺蜂以竹管做為築巢的材料，在竹管內產下卵粒，並捕捉捲葉蛾幼蟲當作未來壺蜂幼蟲的食物，當食物來源補足後，聰明的壺蜂會利用泥土混合唾液，作成一顆顆泥球帶回竹管內，抹成一層又一層的隔間，再將洞口封住，竹管於是成為了壺蜂的育幼室或稱巢室。只是令我們非常好奇的是，壺蜂飛出去又飛回來，時間有長有短，它是如何找到自己的竹管？或者有哪些因素會影響到竹管內的寶寶成長？為了滿足我們強烈的好奇心，解開這一層又一層的謎團，我們不禁踏進了棕泥壺蜂的世界，於是秉持著強烈的學習欲望，我們開始了探索旅程。

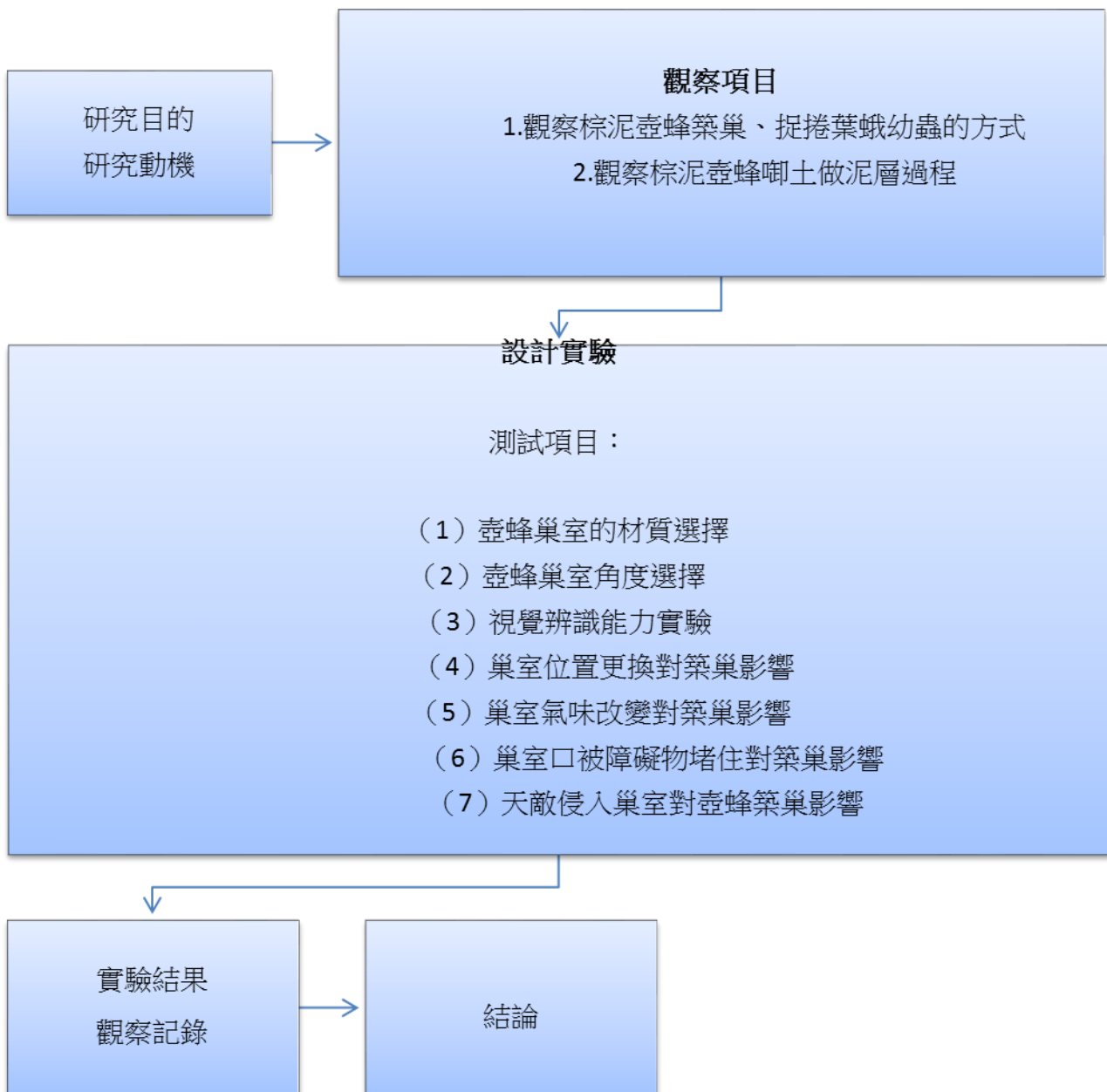
貳、研究目的

- 一、棕泥壺蜂築巢的生態觀察
- 二、探討影響棕泥壺蜂築巢的因子
 - (一)、棕泥壺蜂築巢材料與角度的選擇
 - (二)、視覺的辨識能力對築巢影響實驗
 - (三)、巢室位置更換對築巢影響實驗
 - (四)、巢室氣味的改變對築巢影響實驗
 - (五)、巢室口被障礙物堵住對築巢影響實驗
 - (六)、天敵侵入巢室後對壺蜂築巢影響

參、研究器材與設備

竹管、水管、色紙、膠帶、白膠、剪刀、美工刀、釘子、鑷子、直尺、皮尺、奇異筆、馬克筆、粉筆、水彩筆、筆記本、相機、錄影機、芳香劑、量角器、碼錶、灑水器、網子、夾子、計算機。

肆、研究架構



伍、研究過程與方法

【研究一】棕泥壺蜂築巢的生態觀察：

實驗一：記錄棕泥壺蜂築巢的方法與順序

【實驗步驟】：

1. 觀察棕泥壺蜂築巢的順序：

使用攝影機拍攝壺蜂進出巢室的過程，同時記錄壺蜂捉捲葉蟲與啣泥土來回的時間、順序，推測捉蟲、啣土的目的。

2. 觀察捕捉捲葉蛾幼蟲方法：

在學校的朱槿花圃園內，觀察棕泥壺蜂如何捕捉捲葉蛾幼蟲，同時使用攝影機拍攝，擷取照片，做出捉蟲行為分析。

3. 觀察壺蜂啣泥球方法：

觀察棕泥壺蜂，如何將泥球帶回巢室。

【結果與分析】：

1. 棕泥壺蜂選定做巢的竹管，會先啣泥土在竹管的底面做一個泥層，在竹管邊緣上產一粒卵後，再去捕捉捲葉蛾的幼蟲（圖 1-1）。

2. 棕泥壺蜂找到捲葉蛾幼蟲後，會先驅趕幼蟲，並用尾針把幼蟲刺昏，再進入捲葉蛾的巢穴內捕捉幼蟲，送到巢室內，一間巢室大約會捕捉九隻捲葉蛾幼蟲（圖 1-2～圖 1-4）。

3. 捕捉足夠的捲葉蛾幼蟲，壺蜂會利用大顎啣住泥球到竹管將出入口封住。

所以壺蜂築巢順序是先找捲葉蟲→築泥層→產卵→抓蟲→啣土→封口（圖 1-5～圖 1-8）。



圖 1-1 先築泥層再產卵



圖 1-2 壺蜂向右邊刺捲葉蟲



圖 1-3 壺蜂向左邊刺捲葉蟲



圖 1-4 進入捲葉內捉捲葉蟲



圖 1-5 捉到蟲飛往巢室方向



圖 1-6 進入巢室



圖 1-7 啣泥球封口



圖 1-8 完成的巢室內有捲葉蛾幼蟲、有泥層

【研究二】：探討影響棕泥壺蜂築巢的因子

實驗一：棕泥壺蜂築巢材料與角度的選擇

【實驗步驟】：

1. **巢室材質選擇**：將 30 支長 100cm 左右的竹子，以竹節為底，鋸出長 15~35cm、直徑 0.5~2.5cm 寬的竹管共 124 支，另外在選用 20 支珍珠奶茶吸管及直徑 2.0cm、長 20cm 塑膠水管 20 支，等 3 種不同材質的管子，提供棕泥壺蜂築巢選擇(圖 1-1~圖 1-2)。
2. **巢室角度選擇**：先將竹管對半剖開，分別以 7 到 13 支不等為一單位，使用透明膠帶捆綁固定或放入水管上，避免竹管鬆動掉落，分別將竹管擺放直立 (90°)、橫躺 (180°)、斜立 (45°)、隨意擺放 (各種不同角度)，觀察棕泥壺蜂是否進入竹管築巢(圖 1-3~圖 1-6)。
3. **觀察紀錄**：統計棕泥壺蜂選擇築巢材料與角度，並將以上實驗操作步驟拍攝成紀錄照片，並製作成流程圖，過程如下(圖 1-1~圖 1-9)：

棕泥壺蜂築巢材料與角度的選擇實驗操作流程圖

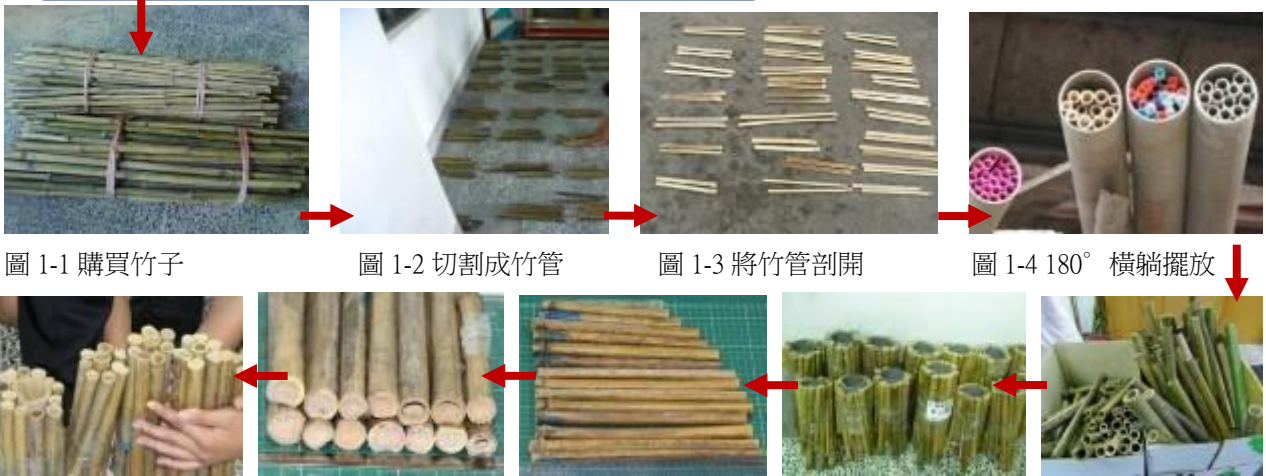
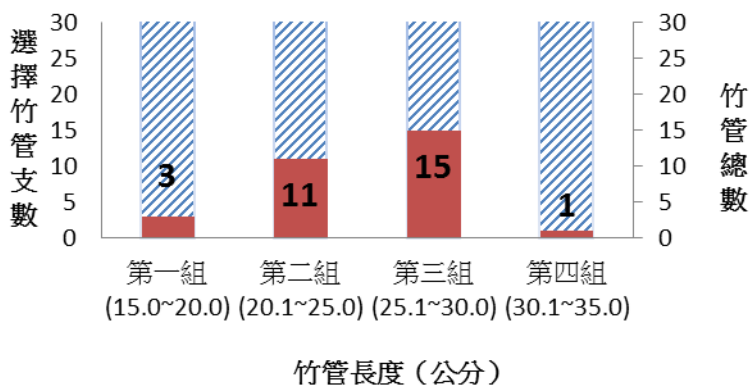


圖 1-1 購買竹子 圖 1-2 切割成竹管 圖 1-3 將竹管剖開 圖 1-4 180° 橫躺擺放
圖 1-5 隨意角度擺放 圖 1-6 用透明膠帶捆綁 圖 1-7 測量巢室長度 圖 1-8 測量巢室直徑 圖 1-9 統計築好的巢室

【實驗一結果】：

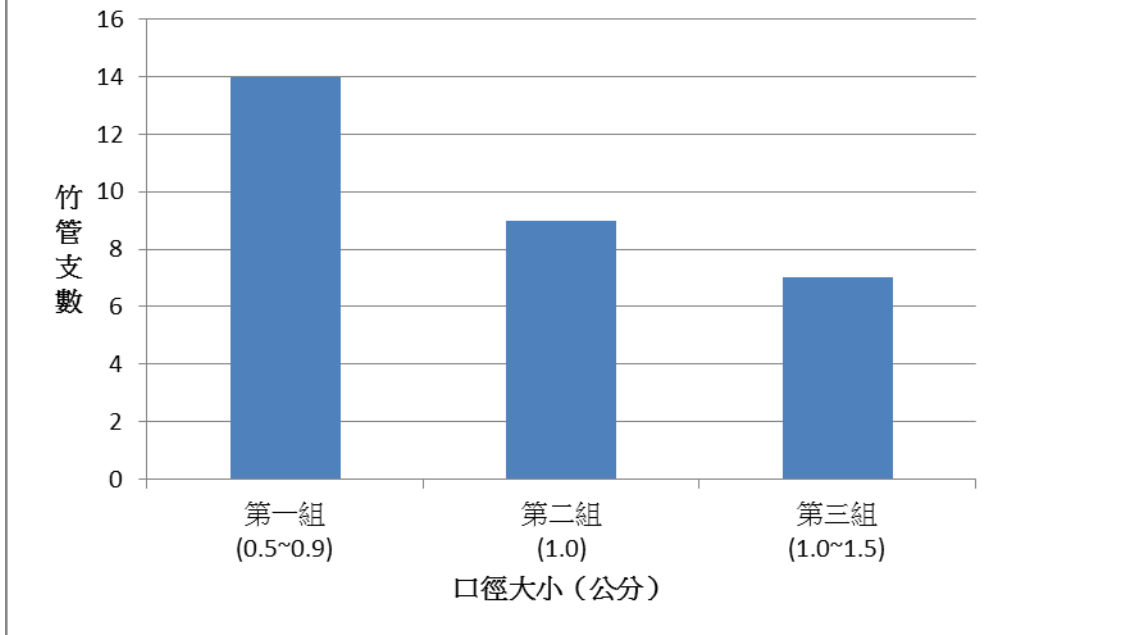
1. 壺蜂只選擇橫躺 (180°) 的竹子建造巢室。
2. 120 支竹子有 30 支築巢，選擇的長度、直徑 (圖 1-10~圖 1-12)。

圖 (1-10) 棕泥壺蜂築巢選擇竹管長度的喜好



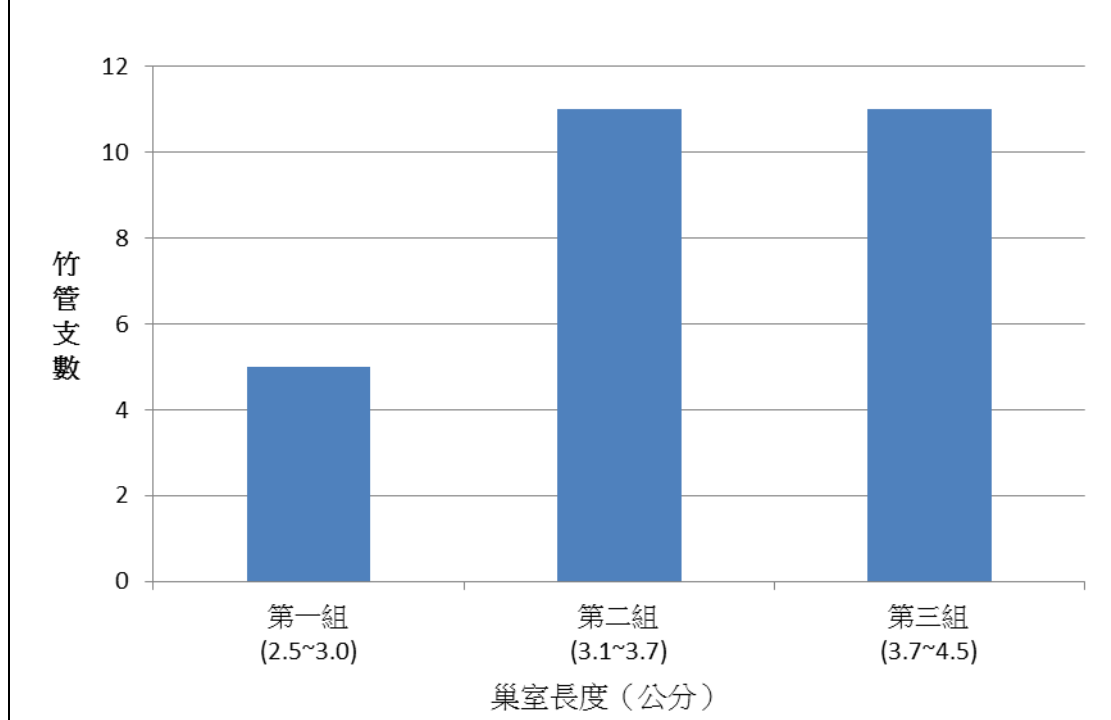
說明：由圖 (1-10) 可知棕泥壺蜂會選擇長度 15cm~30cm 長的竹子做為巢室，其中最喜歡選擇在 25~30 公分長的竹管內築巢。
(N=30)

圖 (1-11) 棕泥壺蜂築巢選擇竹管口徑大小的喜好



說明：由圖 (1-11) 可知棕泥壺蜂會選擇直徑 0.5cm~1.3cm 寬的竹子作為巢室，其中最喜歡選擇在竹管口直徑 0.5cm~0.9cm 寬的竹管內築巢。(N=30)

圖 (1-12) 棕泥壺蜂每間巢室大小空間比較圖



說明：由圖 (1-12) 可知棕泥壺蜂在竹管內建築的巢室大小，每間大小約在 2.5cm~4.5cm 之間，其中大多集中在 3.1cm~4.5cm 之間。(N=27)

實驗二：視覺的辨識能力對築巢影響實驗

【實驗想法】：

昆蟲的眼睛稱為複眼，是由許多六角形的小眼緊密排列而成，除了可以聚集光束之外，根據探索昆蟲微小腦的書中提到昆蟲擁有分辨顏色的能力。因此我們想求證棕泥壺蜂所選擇的巢室，當巢室出入口顏色被改變了，棕泥壺蜂是否能找到原有的巢室？而繼續完成築巢的工作。

【實驗假設】：

H_0 (虛無假設)：巢室出入口顏色被改變後，不會影響壺蜂進入巢室。

H_1 (對立假設)：巢室出入口顏色被改變後，會影響壺蜂進入巢室。

【實驗步驟】：

1. 實驗組：

將原本正在築巢的巢室，利用學校每天都在使用的粉筆，把巢室出入口由原本的黃褐色，改塗成紅色，觀察棕泥壺蜂回來築巢時，是否能再找到原本的巢室？如果找不到，實驗達到干擾的效果，如果找到，繼續將巢室口再塗上藍色、黃色，求證其他顏色能否干擾壺蜂築巢，每一種顏色都記錄三次進出時間實驗。

2. 對照組：

記錄不受干擾築巢中的棕泥壺蜂進出入巢室的時間，並將以上實驗操作步驟拍攝成照片，並製作成流程圖，過程如下：

視覺的辨識能力對築巢影響實驗操作圖



圖 2-1 巢穴塗上紅色粉筆



圖 2-2 巢穴出入口變紅色



圖 2-3 壺蜂是否找到原來巢穴

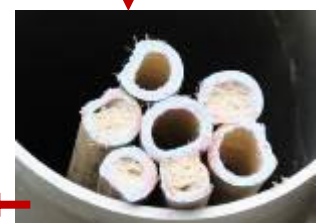


圖 2-7 回來是否能找到原來巢穴 圖 2-6 改塗上黃色粉筆 圖 2-5 回來是否能找到原來巢穴 圖 2-4 改塗上藍色粉筆

【實驗二結果】：

巢室出入口的顏色改變後並不會影響棕泥壺蜂築巢，而且能持續捉蟲回到原來的巢內，過程如下圖。



圖 2-8 飛到紅色巢室口



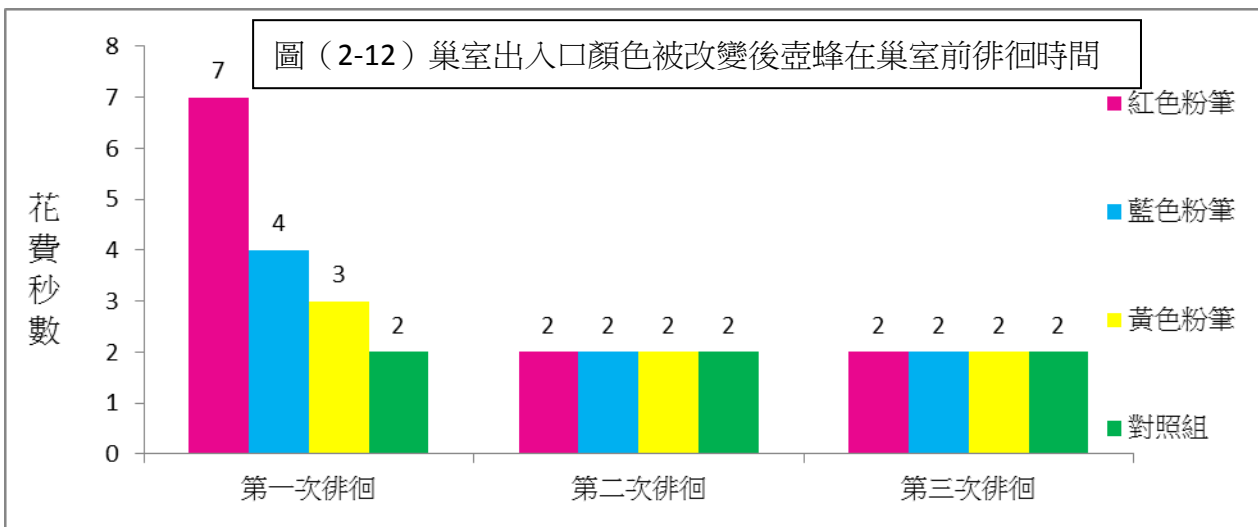
圖 2-9 紅色巢室口--找到原來巢室



圖 2-10 藍色巢室口--找到原來巢室



圖 2-11 黃色巢室--進入原來巢室



說明：

由實驗得知，巢室顏色的改變，並不會終止築巢的動作。以 One-way ANOVA CRD 檢定 ($\alpha=0.05$) 檢測改變巢室入口顏色是否有達到顯著，檢定結果，檢定統計量 $F_0=0.6222$ ，而拒絕域為 $RR=\{F_0 \geq F_{0.05}(3,8)=4.066\}$ ，可以得知 $F_0=0.6222$ 不屬於拒絕域，所以接受 H_0 ，有足夠地顯著性表示入口顏色改變不會影響壺蜂進入巢室。

實驗三：巢室位置更換對築巢的影響實驗

【實驗想法】：

根據前人的研究，蜜蜂可以透過視覺經驗的累積與學習，增加辨識影像的正確率（2011，陳曦），但是我們認為昆蟲的各種行為能力，除了視覺辨識或經驗之外，還需要其他多方的能力或構造互助合作，才能正確朝向目標行進，因此本實驗利用更換巢室位置的方式，來探尋棕泥壺蜂如何找尋到自己原有的巢室？

【實驗假設】：

H₀(虛無假設)：巢室位置被改變後，不會影響壺蜂進入巢室。

H₁(對立假設)：巢室位置被改變後，會影響壺蜂進入巢室。

【實驗步驟】：

1. 實驗組①巢室原地改變：

將棕泥壺蜂正在築巢的巢室，由內往外拉出 5~10 公分長，改變原來築巢位置。

2. 實驗組②巢室 180° 改變：

將棕泥壺蜂正在築巢的巢室，原本位於右下方巢室，180° 移往左上方，原來左下方再放置一支空的管子。

3. 實驗組③增加竹管：

將棕泥壺蜂正在築巢的巢室，原本只有 7 支竹管，在這上、下、左、右個邊分別再加入 20 支，共 27 支竹管。

4. 實驗組④抽離巢室：

將棕泥壺蜂正在築巢的巢室，單獨抽離出來，放在旁邊 20~30 公分處。以上四個實驗組別更換巢室，目的是測試壺蜂回來時是否可以找到原來的位置，每個實驗重複記錄三次。

5. 對照組：

記錄不受干擾築巢中的棕泥壺蜂，正常進出入巢室的時間，並將以上實驗操作步驟拍攝成記錄照片，製作成流程圖，過程如下：

巢室位置更換對築巢的影響實驗操作流程圖

實驗組 ①



圖 3-1 箭頭指原築巢位置



圖 3-2 將竹管拉出 5~10cm

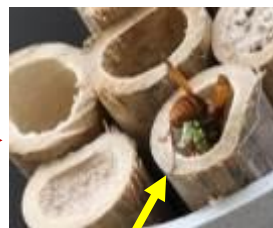


圖 3-3 原本在右下方築巢



圖 3-4 180° 移項左上方

實驗組 ③



圖 3-5 原本 7 支竹管



圖 3-6 隨意加上 20 隻空竹管

實驗組 ④

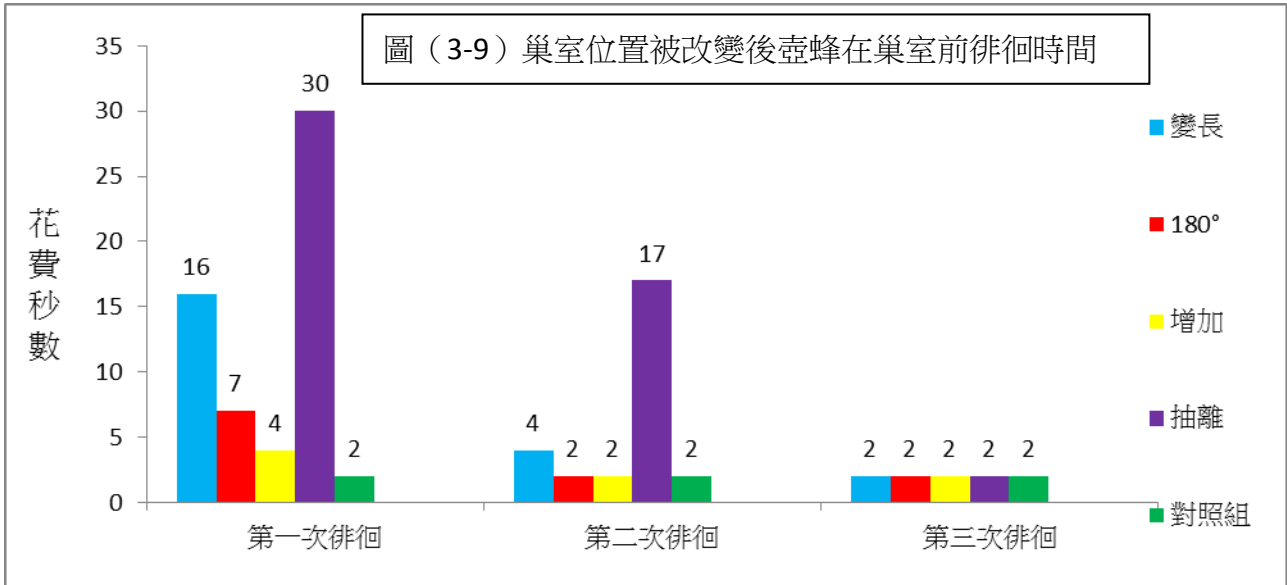


圖 3-7 巢室抽離到 20~30cm 處



圖 3-8 觀察壺蜂回來後的反應

【實驗三結果】：



說明：

由實驗得知，巢室的位置被改變，並不會終止築巢的動作。以 One-way ANOVA CRD 檢定 ($\alpha=0.05$) 檢測改變巢室的位置被改變是否有達到顯著，檢定結果，檢定統計量 $F_0=2.0134$ ，而拒絕域為 $RR=\{F_0 \geq F_{0.05}(4,10)=3.478\}$ ，可以得知 $F_0=2.0134$ 不屬於拒絕域，所以接受 H_0 ，有足夠地顯著性表示巢室位置被改變不會影響壺蜂進入巢室。

實驗①巢室原地改變圖示結果：



圖 3-10 壺蜂想進入原本的位置



圖 3-11 發現不對向後高飛徘徊



圖 3-13 最後找到原本巢室



圖 3-12 停留在別的竹管上

實驗②巢室 180° 改變圖示結果：



圖 3-14 壺蜂返巢，習慣飛到改往右下方位置



圖 3-15 發現巢室不對緊急飛高徘徊



圖 3-16 最後找到被左上方的巢室

實驗③增加竹管圖示結果：



圖 3-17 壺蜂飛回來



圖 3-18 直接停在巢室口



圖 3-19 進入巢室內

實驗④抽離巢室圖示結果：



圖 3-20 壺蜂飛往原來位置



圖 3-21 發現巢室不見了向上飛



圖 3-22 飛到左下方找尋



圖 3-23 停在抽離前的巢室位置



圖 3-24 再飛往左上邊方向找尋



圖 3-25 找到了原來巢室



圖 3-26 進入巢室內



圖 3-27 出來後沒有飛離，開始在巢室
前留下氣味



圖 3-28 沿著巢室附近留下氣味，擴大氣味的範圍



圖 3-29 很快再回到原來巢室留氣味

實驗四：巢室氣味的改變對壺蜂築巢影響實驗

【實驗想法】：

從上一個實驗結果中我們意外得到了一個相當重要的訊息，就是棕泥壺蜂已經發現了巢室不斷的被移動更換位置，也許是怕離開後找不到或遺失巢室，於是就地再將唾液塗抹在巢室的周圍附近，來加強巢室位置的氣味，這樣的行為我們推測，是在做氣味標記的動作？因此本實驗就針對此方向，去除壺蜂的氣味，觀察壺蜂是否還能繼續完成築巢的任務。

【實驗假設】：

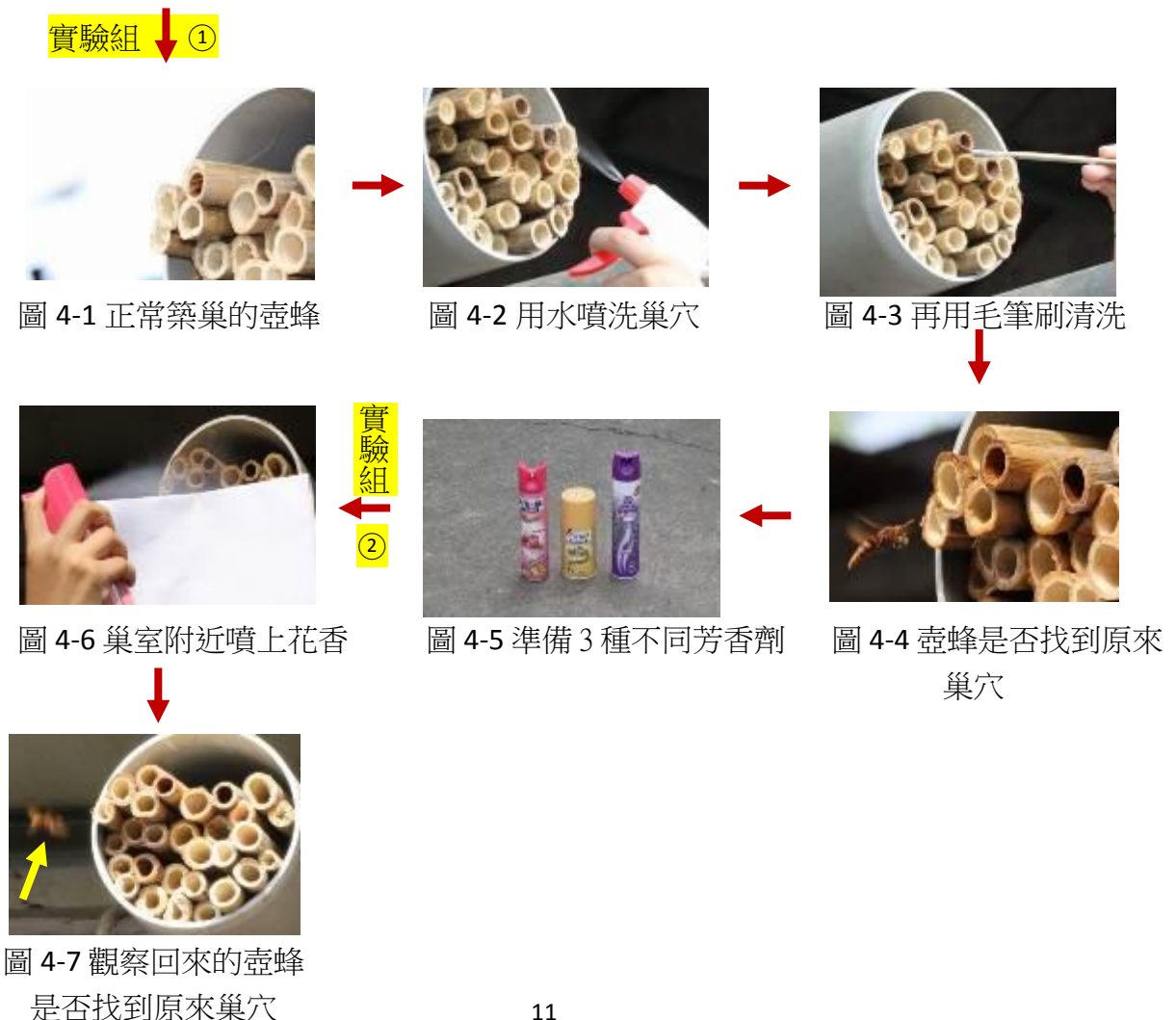
H₀(虛無假設)：巢室噴水或噴芳香劑後，不會影響壺蜂進入巢室。

H₁(對立假設)：巢室噴水或噴芳香劑後，會影響壺蜂進入巢室。

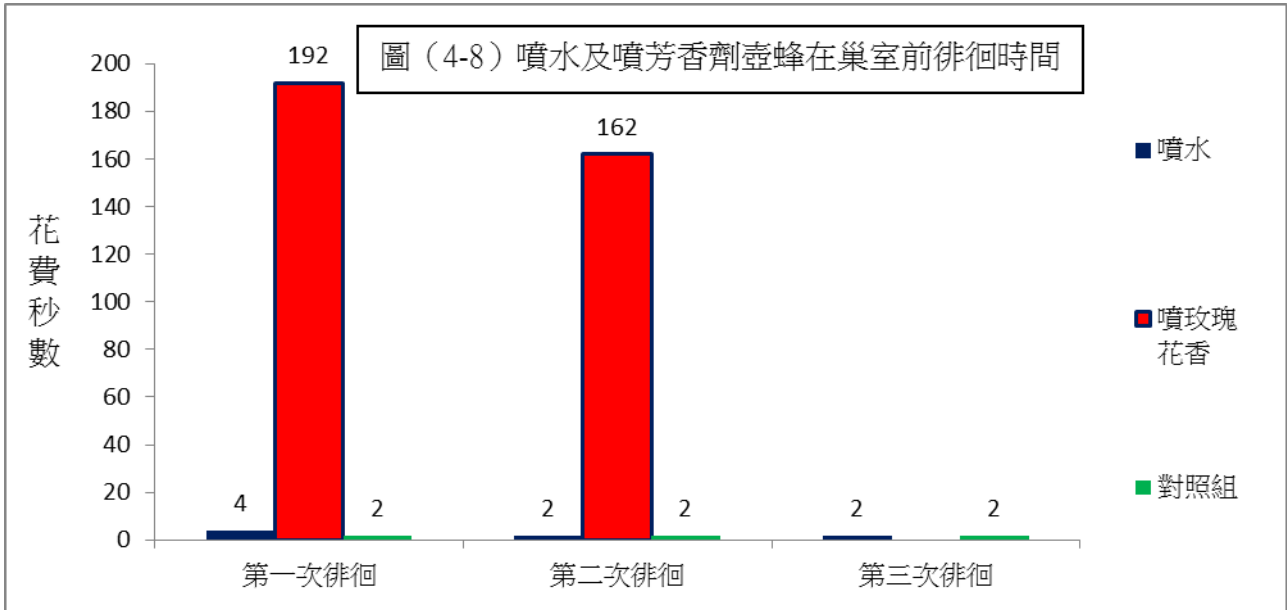
【實驗步驟】：

1. **實驗組①用水清洗巢室：**將原本正在築巢的巢室，先用噴水器噴出霧狀水氣，再用水彩筆刷洗，觀察壺蜂是否能找到原本巢室。
2. **實驗組②用芳香劑改變巢室氣味：**將原本正在築巢的巢室，分別噴上有玫瑰花香、玉蘭花香、薰衣草花香等氣味，觀察壺蜂是否能找到原本巢室，以上兩個實驗都重複做三次。
3. **對照組：**記錄不受干擾築巢中的棕泥壺蜂，正常進出入巢室的時間，並將以上實驗操作步驟拍攝成記錄照片，製作成流程圖，過程如下(如圖 4-1~圖 4-7)：

巢室氣味的改變對築巢影響實驗操作流程圖



【實驗四結果】：



說明：

- (1) 第一次噴水清洗壺蜂回來後在巢室口外滑了一跤，但 4 秒後進入，第二、三次回來沒有徘徊，直接停在巢室口，花 2 秒就進入。
- (2) 第一次噴上玫瑰花香，壺蜂回來後在巢室口外徘徊 192 秒離去，38 秒後飛回來，第二飛回來仍然徘徊 62 秒，找不到巢室最後飛離。
- (3) 第二次飛離後 3 個小後不見飛回來，3 小時又 7 分後看見進入不同的竹管內。
- (4) 巢室噴水後以 One-way ANOVA CRD 檢定 ($\alpha = 0.05$) 檢測巢室噴水後，會不會顯著影響壺蜂進入巢室，檢定結果，檢定統計量 $F_0 = 1$ ，而拒絕域為

$RR = \{F_0 \geq F_{0.05}(1,4) = 7.709\}$ ，可以得知 $F_0 = 1$ 不屬於拒絕域，所以 do not reject H_0 (接受 H_0)，有足夠地顯著性表示巢室噴水後，不會顯著影響壺蜂進入巢室。

但是噴上芳香劑後，檢定的統計量 $F_0 = 245$ ，而拒絕域為 $RR = \{F_0 \geq F_{0.05}(1,3) = 10.128\}$ ，可以得知 $F_0 = 245$ 屬於拒絕域，所以 reject H_0 (拒絕 H_0)，有足夠地顯著性表示改變巢室入口氣味，會顯著影響壺蜂進入巢室。

實驗①巢室噴水圖示與結果：

巢室被噴了水，棕泥壺蜂第一次飛回來，在巢室口差一點滑落，不過還是能找到築巢中的巢室（如圖 4-9～圖 4-10）。



圖 4-9 壺蜂滑一跤後停在被水清洗過的巢室



圖 4-10 爬起來進入清洗過的巢室

實驗②巢室噴玫瑰花香結果與圖示：

噴上玫瑰花香的巢室，濃濃的花香味蓋過了棕泥壺蜂的氣味，讓壺蜂在巢室口不斷徘徊了 192 秒才飛離，再次飛回來時，仍然找不到巢室最後再飛離，直到飛回來時，沒有捉蟲、也沒有啣泥土，而是進入別的竹管，重新築巢。因此實驗證實，氣味是影響棕泥壺蜂築巢的最重要因素（如圖 4-11～圖 4-16）。



圖 4-11 壺蜂飛回來

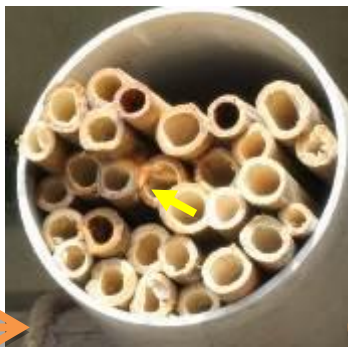


圖 4-12 不斷找尋巢室



圖 4-13 快速飛到右邊找尋

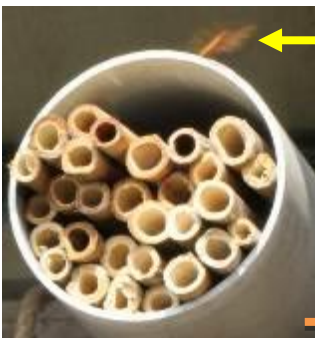


圖 4-14 飛到上右上方找尋



圖 4-15 進入別的竹管



圖 4-16 再進入別的竹管

實驗五：巢室口被障礙物堵住對壺蜂築巢影響實驗

【實驗想法】：

會想做這個實驗，主要是想到巢室在正常情況下應該位在環境複雜的戶外，如果突然刮起一陣強風把樹葉吹起，正巧就覆蓋在巢室出入口，於是我們想知道，壺蜂要如何去解決這樣突如其來的棘手問題，是選擇中止築巢？還是棄巢另築新巢？或者另有其它解決的方法？

【實驗假設】：

H₀(虛無假設)：巢室口被堵住後，不會影響壺蜂進入巢室。

H₁(對立假設)：巢室口被堵住後，會影響壺蜂進入巢室。

【實驗步驟】：

- 1 實驗組：**從壺蜂捉完第 3 隻捲葉蟲離去開始，在巢室出入口放置一小張塗色的衛生紙條（障礙物），觀察壺蜂回來後的反應動作，為了避免過度干擾，此實驗只重複做二次。
- 2 對照組：**以正在捕捉捲葉蟲進入巢室為實驗，記錄不干擾捉前三隻捲葉蟲的時間，當作對照組。
- 3 攝影拍攝，**擷取照片，資料數據分析，並將以上實驗操作步驟拍攝成照片，製作成流程圖，過程如下：

巢室口被堵住對壺蜂築巢影響實驗觀察流程圖

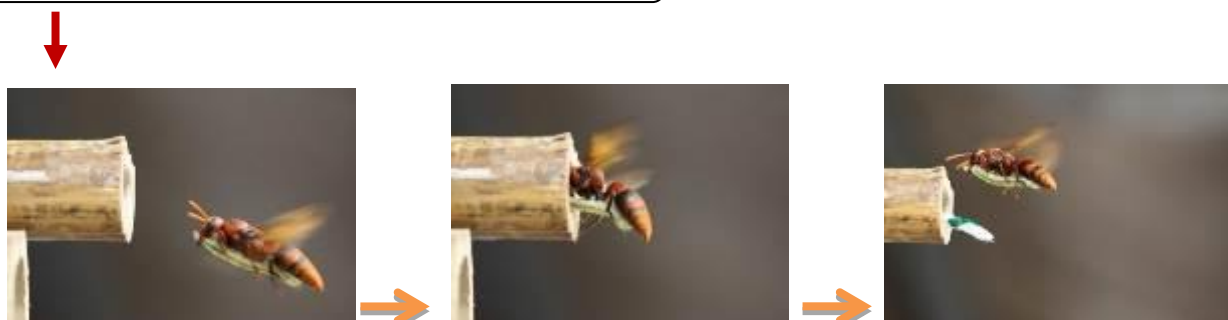


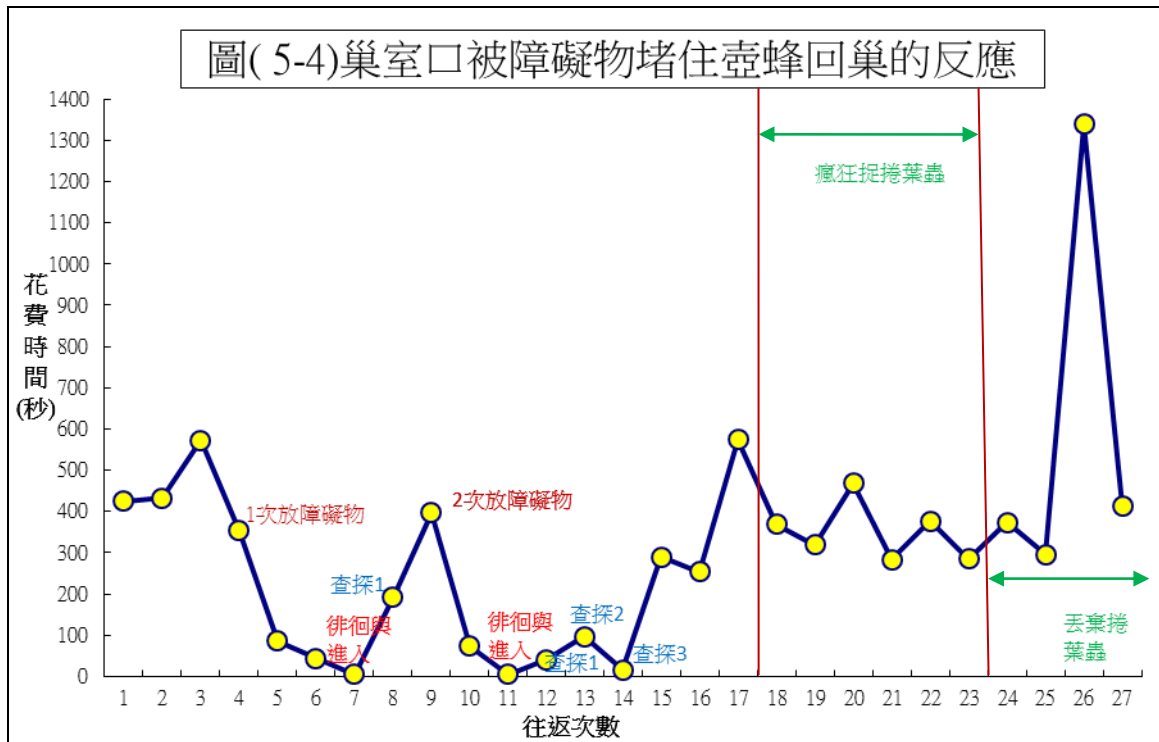
圖 5-1 正常壺蜂捉捲葉蟲回來

圖 5-2 很快進入巢室

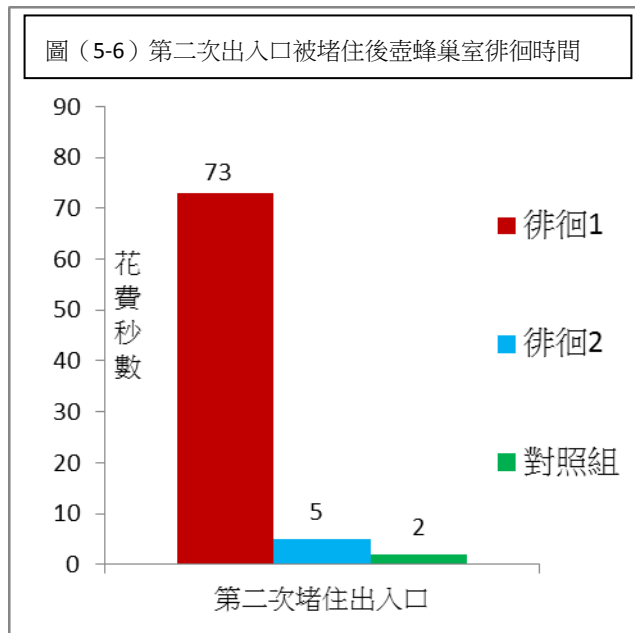
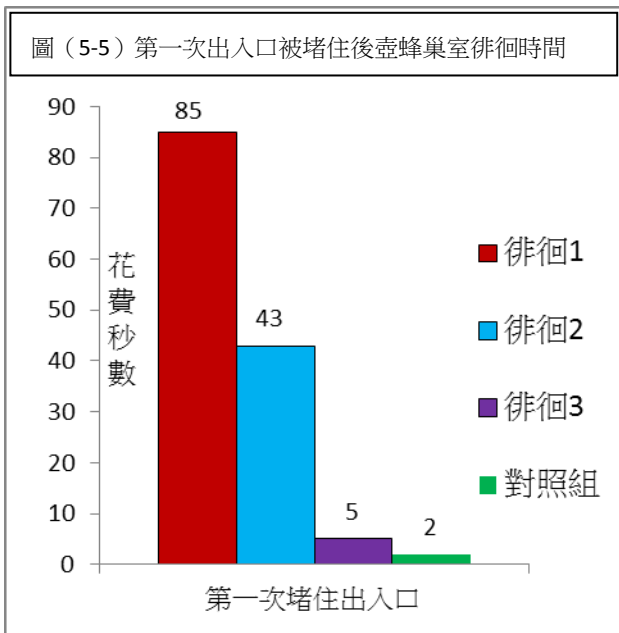
圖 5-3 放上塗色衛生紙障礙物觀察壺蜂反應

【實驗五結果】：

- 第一次放置障礙物，壺蜂回來發現巢室出入口被堵住，不斷在巢室口附近左、右、上、下徘徊，經過 85 秒第一次停在出入口側面，用右邊第二、第三側的腳，勾住障礙物微微拉出，徘徊 43 秒後第二次停在出入口，將障礙物徹底拉出外面，5 秒後進入巢室。
- 第二次放置障礙物，回來後同樣徘徊，73 秒後停在出入口，一次就將障礙物排除，5 秒後進入巢室。
- 之後壺蜂瘋狂捕捉捲葉蛾幼蟲共 18 隻，再將這些捲葉蟲全部咬出丟棄（圖 5-4～圖 5-6）。
- 沒有唧土封口，最後棄巢離去，可見刻意阻擋動作，不大合乎自然法則，壺蜂雖然克服排除了障礙，而且繼續捉蟲回來，卻做出咬蟲丟棄，令人意想不到的脫序行為。



說明：(1) 第一次放障礙物後，壺蜂回來在外徘徊，清除障礙物離開後，又回來查探 1 次。
 (2) 第二次放障礙物後，壺蜂回來在巢室口外徘徊時間變少，但離開後又回來查探 3 次，檢視巢室口是否有異樣。最後壺蜂的花了將近 2 個小時又 30 分鐘，瘋狂的捉了 18 隻捲葉蛾幼蟲，又花 413 秒將捲葉蟲丟棄到巢室外。



說明：由實驗得知，巢室口被堵住，並不會影響壺蜂進入巢室。，檢測結果具有統計意義，入口放置障礙物不會影響壺蜂進入巢室。以 One-way ANOVA CRD 檢定 ($\alpha=0.05$) 檢測改變巢室的位置被改變是否有達到顯著，檢定結果，檢定統計量 $F_0=0.4474$ ，而拒絕域為 $RR=\{F_0 \geq F_{0.05}(1,5)=6.608\}$ ，可以得知 $F_0=0.4474$ 不屬於拒絕域，所以接受 H_0 ，有足夠地顯著性表示短暫性的巢室口被堵住不會影響壺蜂進入巢室。

4. 棕泥壺蜂受阻礙返回後處理方式圖示結果：



圖 5-7 入口被堵住往右邊飛去



圖 5-8 往上方飛



圖 5-9 停在入口，用腳捉出障礙物



圖 5-10 障礙物已經被拉出一小段



圖 5-11 再飛往右邊



圖 5-12 第二次停在入口上



圖 5-13 徹底將障礙物拉出



圖 5-14 回到入口處



圖 5-15 進入巢室



圖 5-16 捉了 18 隻捲葉蟲後
身體倒退爬出來



圖 5-17 將捲葉蟲拉出來丟棄



圖 5-18 收集被丟棄地上的捲
葉蛾幼蟲

實驗六：天敵侵入巢室後對壺蜂築巢的影響

【實驗想法】：

當初在觀察壺蜂築巢過程時，曾經發現了有肉蠅及青蜂一直停留在巢室口的附近，肉蠅甚至趁壺蜂離開後，鑽進巢室內，我們心裡很疑惑，肉蠅為何要進入？這對壺蜂的築巢會造成影響嗎？這就是我們想求證的動機。

【實驗假設】：

H₀(虛無假設)：天敵侵入巢室後，不會影響壺蜂進入巢室。

H₁(對立假設)：天敵侵入巢室後，會影響壺蜂進入巢室。

【實驗步驟】：

1. **實驗組：**觀察肉蠅侵入巢室後，壺蜂的反應，以及打開肉蠅進入的巢室，觀察裡面的變化。
2. **對照組：**以正在捕捉捲葉蟲進入巢室的竹管為實驗，記錄不干擾捉前三隻捲葉蟲的時間，當作對照組。
3. 攝影拍攝，擷取照片，資料數據分析。並將以上實驗操作步驟拍攝成照片，製作成流程圖，過程如下(圖 6-1~圖 6-3)：

天敵對壺蜂築巢影響實驗操作流程圖

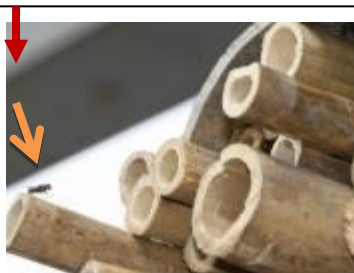


圖 6-1 肉蠅在巢室旁等待



圖 6-2 壺蜂飛走後飛到巢室口

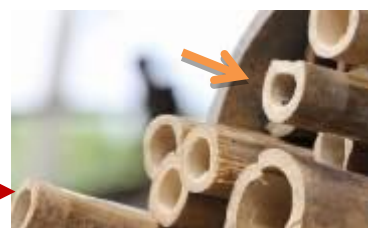


圖 6-3 肉蠅爬進巢室內

【實驗結果】：

1. 30 支巢室竹管中有 7 支巢室被天敵寄生，一共記錄到 4 種天敵，分別是肉蠅、青蜂、小繭蜂與果蠅。
2. 肉蠅跟青蜂的寄生方式：是等待在巢室旁，等到壺蜂從巢室一飛走就會立刻爬進去產卵後快速飛離，接著孵化的肉蠅幼蟲會連同棕泥壺蜂幼蟲與捲葉蛾幼蟲一併吃掉。
3. 小繭蜂與果蠅的寄生方式：這兩種寄生性昆蟲，原本寄生在捲葉蛾幼蟲身上，卻被棕泥壺蜂捉回來後，在巢室內化蛹成長。
4. 當肉蠅與青蜂爬進去產卵時，會在巢室竹管內留下氣味，當壺蜂回來聞到異樣的氣味後，出現 3 種反應。
 - ① 會不定時臨時往返回巢室巡視查探
 - ② 提前唧土隨意封巢後，離去。
 - ③ 或者築上好幾層泥層，就離去。

5.天敵入侵後棕泥壺蜂返回反應圖示結果：



圖 6-4 中途飛回查探



圖 6-5 往旁邊查探



圖 6-6 進入巢室查探



圖 6-7 發現有不同異物氣味



圖 6-8 啣土前來



圖 6-9 進入巢室封口

6.天敵寄生棕泥壺蜂圖示結果：



圖 6-10 青蜂幼蟲捕食壺蜂幼蟲



圖 6-11 肉蠅幼蟲將壺蜂及捲葉蛾幼蟲全吃光



圖 6-12 小繭蜂在捲葉蛾幼蟲旁吐絲化繭



圖 6-13 果蠅在捲葉蛾幼蟲旁吐絲化蛹

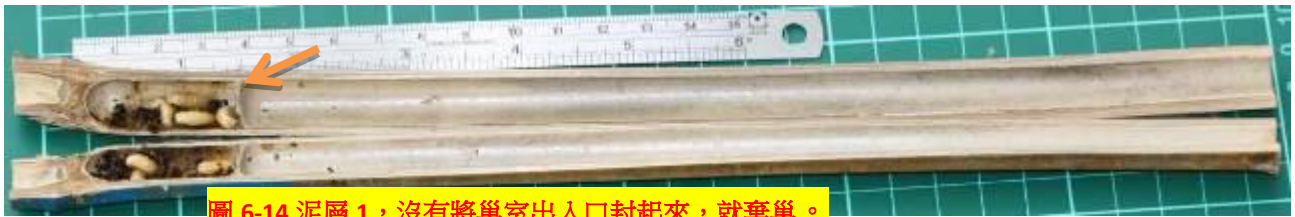


圖 6-14 泥層 1，沒有將巢室出入口封起來，就棄巢。



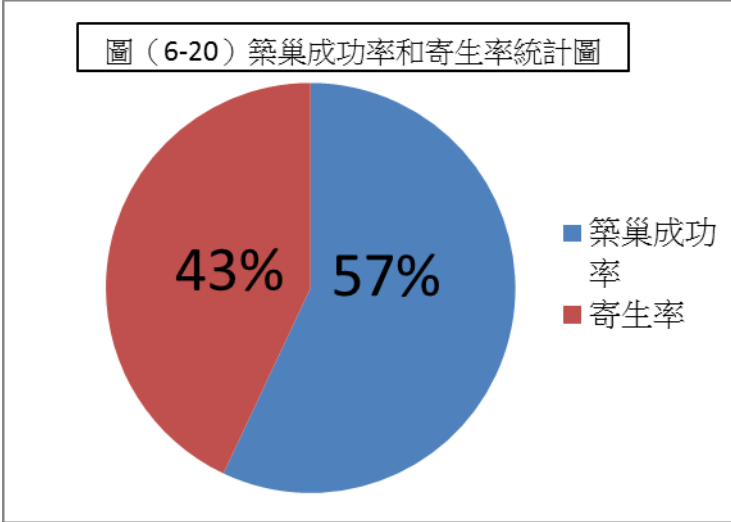
圖 6-15 泥層 1、2 泥層 3 泥層 4、5、6 泥層 7 封口



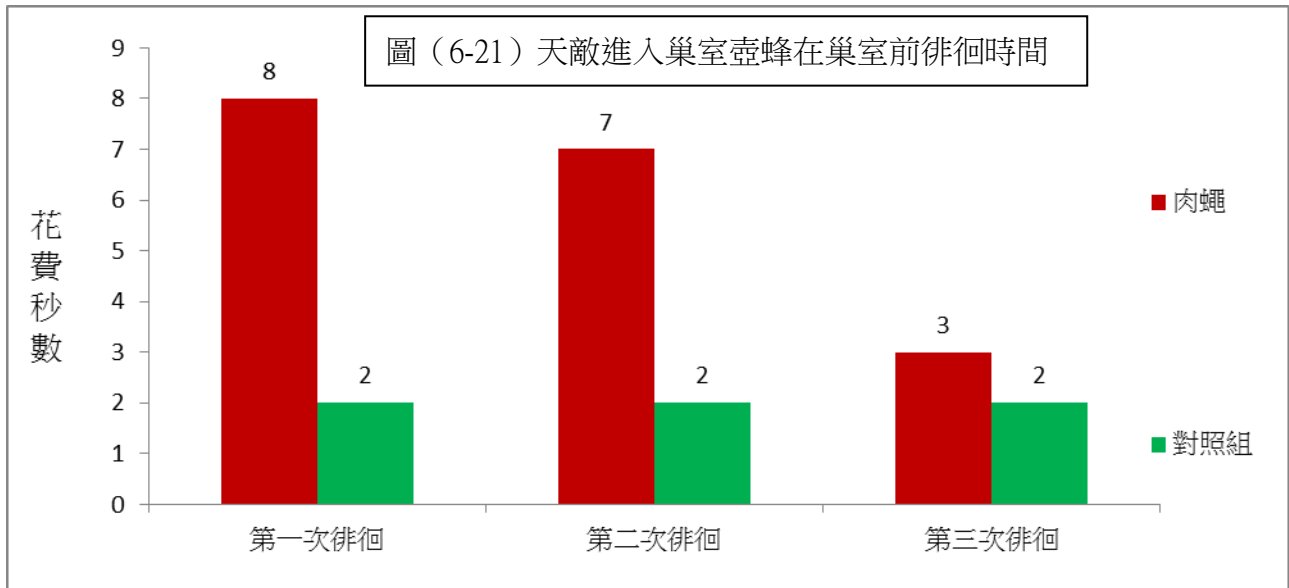
圖 6-16 泥層 1 泥層 2 泥層 3 泥層 4 泥層 5、6 封口



圖 6-17 被寄生的封口泥層有 1cm 圖 6-18 後羽化後肉蠅鑽出小洞離開 圖 6-19 壺蜂鑽出的洞口明顯大多了

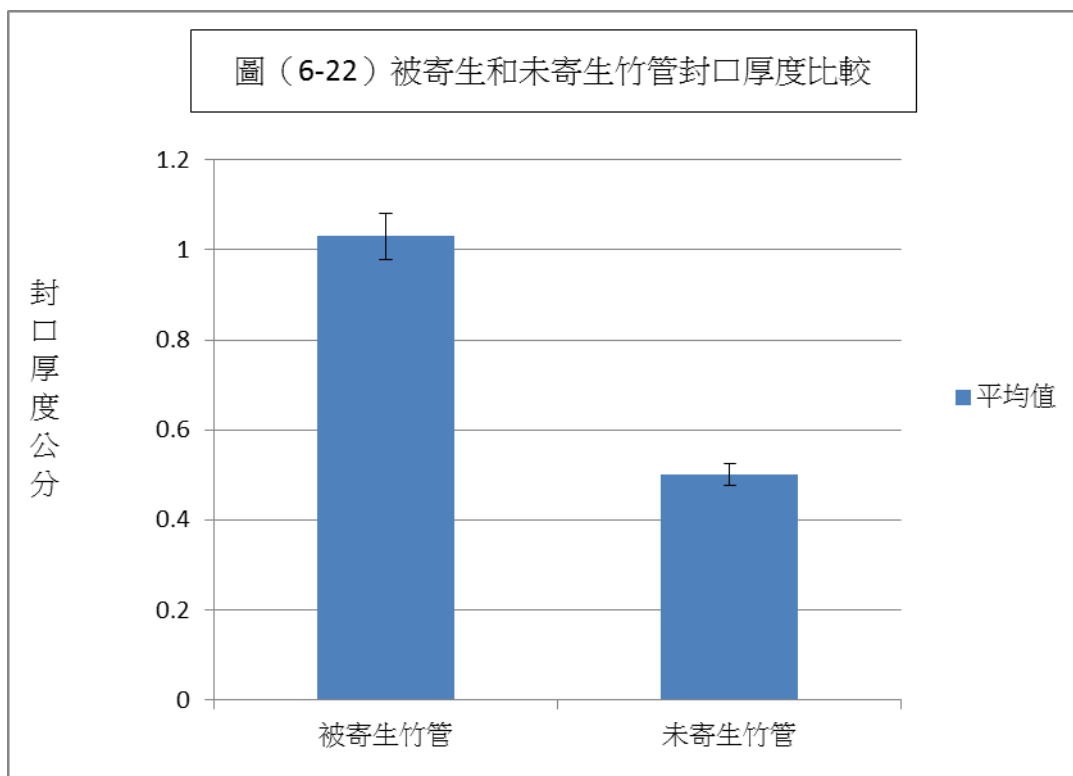


說明：30 支竹管巢室中有 43% 的機率被寄生，造成壺蜂幼蟲無法順利成長



說明：

由實驗得知，巢室被天敵入侵後，並不會影響壺蜂繼續進入巢室。以 One-way ANOVA CRD 檢定 ($\alpha=0.05$) 檢測改變天敵侵入巢室後是否有達到顯著，檢定結果，檢定統計量 $F_0=6.8571$ ，而拒絕域為 $RR=\{F_0 \geq F_{0.05}(1,4)=7.709\}$ ，因為 $F_0=6.8571$ 不屬於拒絕域，所以接受 H_0 ，有足夠地顯著性表示天敵侵入後不會影響壺蜂進入巢室。



說明：由圖可知，被寄生後的封口的厚度平均為 1.03 公分，標準差為 0.17；沒有被寄生的封口厚度平均 0.5 公分，標準差為 0.09。所以被寄生的竹管，在封口處明顯變厚，我們猜測壺蜂已經知道巢室被天敵寄生，想把天敵封在巢室裡面。

陸、討論

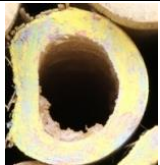

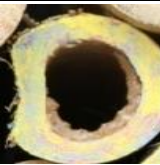


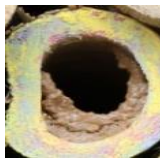
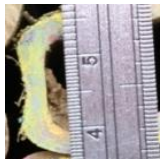








一、關於棕泥壺蜂啣土築巢的實驗討論

在研究的過程中，我們發現棕泥壺蜂是一種非常聰明的昆蟲，懂得在屋簷下築巢，躲避雨水破壞自己辛苦建造的巢室，讓後代順利的成長，至於一個泥層要使用到幾粒泥球，因為在竹管內我們觀察不到，於是利用在出入口要封住的時候，來推測一個泥層所要花費掉的泥球數，如下結果，一粒的大小泥球約大小約 0.4cm、重 0.03 公克，抹一粒土最短 33 秒、最長 200 秒，愈接近完成，抹土時間愈長，建造一層泥層至少要 6 粒泥球、花費 23 分 40 秒，所以從這結果也可以知道，棕泥壺蜂不會選擇直徑太大的竹管口築巢，因為口徑越大，要額外使用更多的力氣與時間去啣泥球、做泥層，以生物建築巢穴傳宗接代的習性來判斷，當然越短越好，出入口越快封住，可為後代帶來更大的生存空間。

棕泥壺蜂築泥層過程記錄表

單位:秒

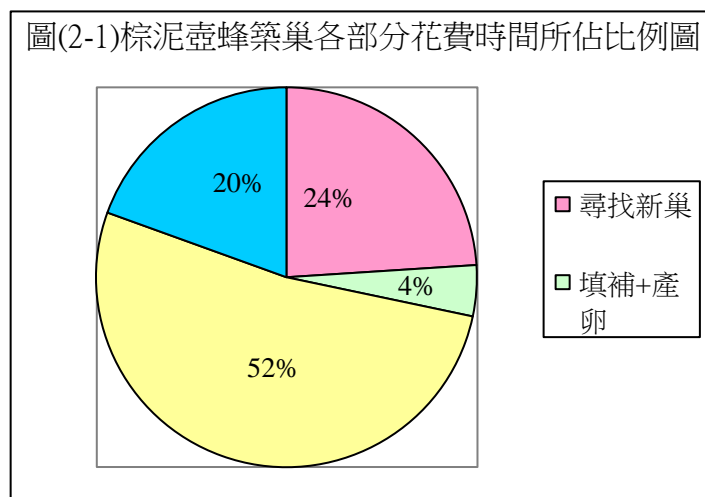
次數	飛出時間	飛入時間	抹土時間	往返花費時間	壺蜂啣土行為
1	12:19:40	12:21:00	45	80	第一粒土
2	12:21:45	12:23:18	52	93	啣第二粒，閃光燈干擾飛離
3	12:24:10	12:24:15	144	5	短暫飛離、立刻飛回抹土
4	12:26:39	12:27:27	18	48	啣第三粒掉落
5	12:27:45	12:29:31	37	106	重新啣第三粒
6	12:30:08	12:32:05	33	117	啣第四粒
7	12:32:38	12:37:31	200	293	啣第五粒
9	12:40:51	12:41:37	103	46	啣第六粒土泥層完成一圈

				
第一粒泥球	第二粒泥球	第二粒泥球	第三粒掉下的泥球約 0.4cm	一粒泥球約為 0.03g
				
第三粒泥球	測量泥層寬度	第四粒泥球	測量泥層寬度	第五粒泥球
				
測量泥層寬度	第六粒泥球	封口完成	泥土材質不一定相同	有時也會在竹管內封口

二、關於棕泥壺蜂捕捉捲葉蛾幼蟲的實驗討論

根據研究一的結果，我們統計整個築巢過程時間，發現壺蜂捕捉捲葉蛾幼蟲就佔了52%一半以上的時間（圖 2-1），為什麼壺蜂捉蟲會花掉如此多的時間？原來是捲葉蛾不會坐以待斃，它的行動爬行速度快、遇到干擾還會彈跳，所以壺蜂要捕捉它並不容易。不單只有捕捉的問題，我們最大的疑問是壺蜂如何找到捲葉蛾幼蟲呢？以及如何捉到它。所以我們採取了守株待兔的方法，等待棕泥壺蜂飛到朱槿花圃來，經過了一個多月的觀察，針對棕泥壺蜂精準捉蟲方式，歸納出下列幾個階段時期：

1. 尋找期：壺蜂會不斷尋找有捲葉形狀（稱葉苞）的朱槿葉，並停在上面，如果捲葉內有蟲，會在捲葉上來回走動，如是空的沒蟲，壺蜂就會立刻飛走（如圖 2-2）。
2. 標記期：確定捲葉葉苞內有幼蟲的棕泥壺蜂，會在葉片咬上數口留下食痕記號，作為未來捕捉的標記記號（如圖 2-3、2-4）。
3. 捕捉期：一旦壺蜂確定開始築巢後，會迅速飛到之前有標記的葉片上，用尾針猛刺葉片，迷昏幼蟲後，壺蜂進入捲葉內捕捉幼蟲，一捉到幼蟲立刻往竹管巢室方向飛去，有時捲葉蛾幼蟲一受到驚嚇，即會快速往捲葉葉苞外跳出逃命。（如圖 2-6～圖 2-9）。



說明：

棕泥壺蜂整個築巢過程，以捕捉捲葉蛾幼蟲，所花費的時間最多，而產卵所佔的時間最短。



圖 2-2 棕泥壺蜂會不斷停在不同的朱槿葉上找尋捲葉蛾幼蟲



圖 2-3 正在啃食葉片留下食痕的棕泥壺蜂



圖 2-4 留下食痕標記



圖 2-5 再飛另一端捲葉留下標記



圖 2-6 頭探入捕捉幼蟲



圖 2-7 驚嚇跳出捲葉外面逃生



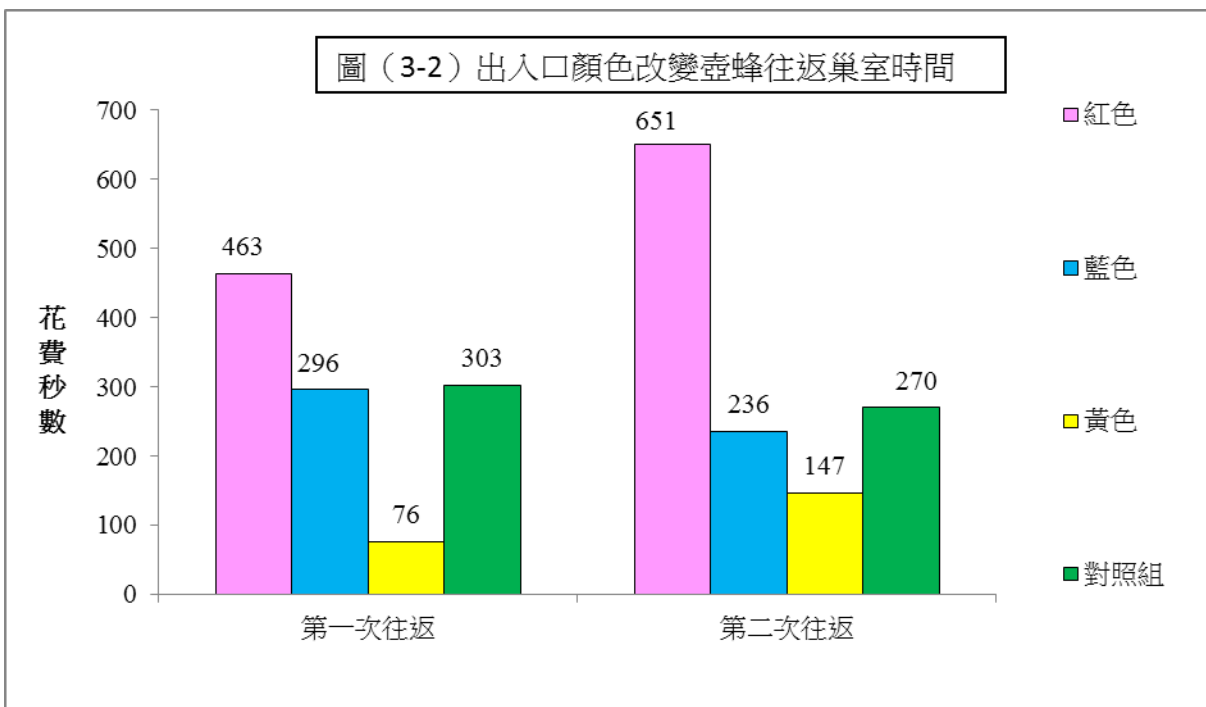
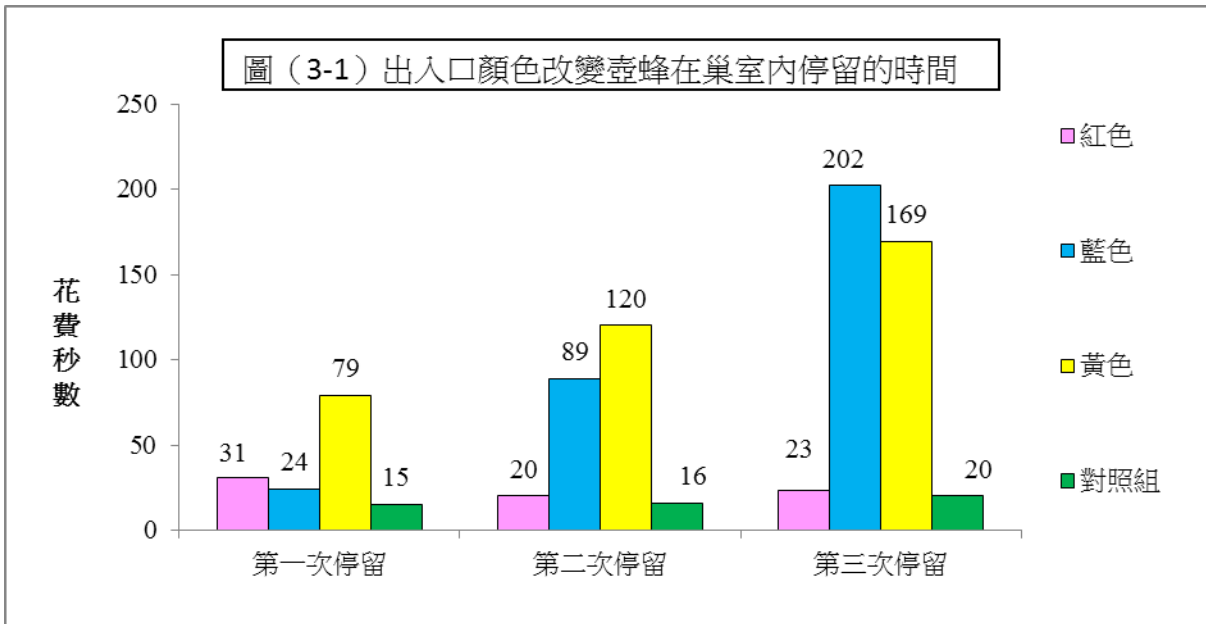
圖 2-8 被棕泥壺蜂刺過的葉片，佈滿細小孔洞



圖 2-9 捲葉蛾幼蟲身上也佈滿被刺的小針孔

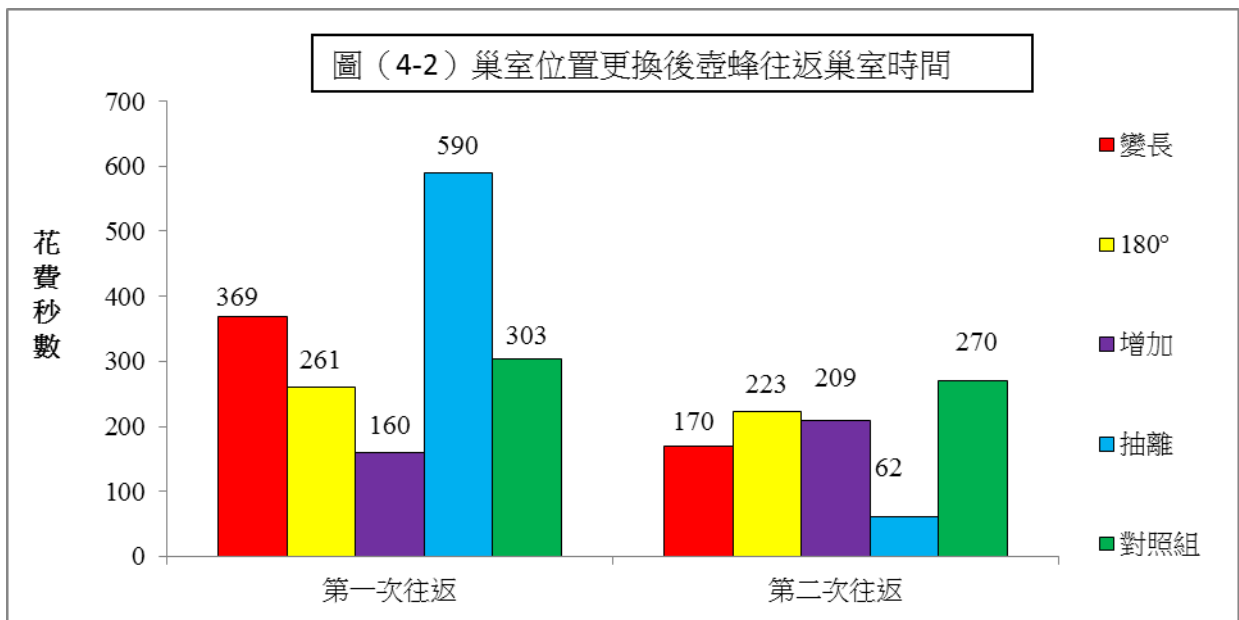
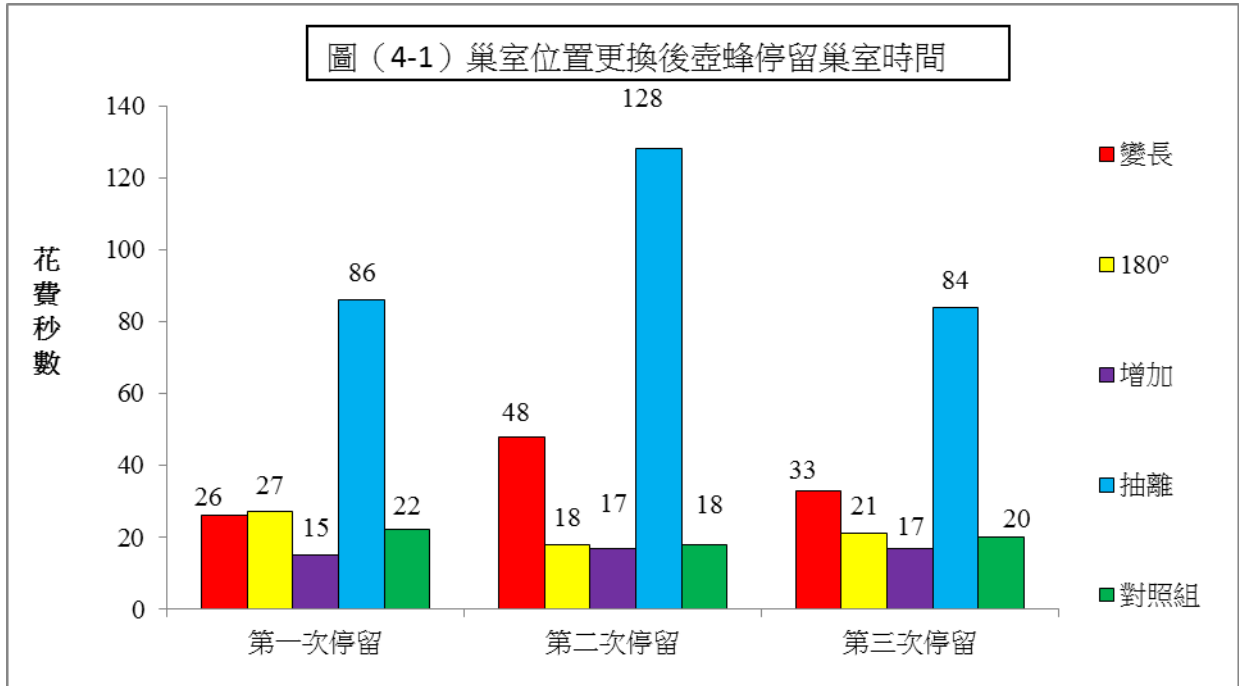
三、關於視覺的辨識能力對築巢影響的實驗討論

當初進行此實驗的時候，所觀察到的棕泥壺蜂行為，是正在捕捉捲葉蛾的幼蟲到巢室內的過程，經由實驗的結果我們得知，巢室處入口的顏色一再被改變，並不會影響棕泥壺蜂的繼續捕捉捲葉蛾的幼蟲，但我們卻從壺蜂待在巢室的時間及往返回巢室的時間裡，發現了蛛絲馬跡，壺蜂可能警覺到巢室被動了手腳，原因在於回巢的時間來越快，這表示壺蜂捉蟲的速度也加快了，而棕泥壺蜂停留在巢室內的時間明顯的變久了（如圖 3-1、3-2），因此本實驗可以判斷，因出入口顏色的改變，不但不會中斷壺蜂築巢，反而會多停留在管內時間守護卵，及加快速度完成築巢工作。



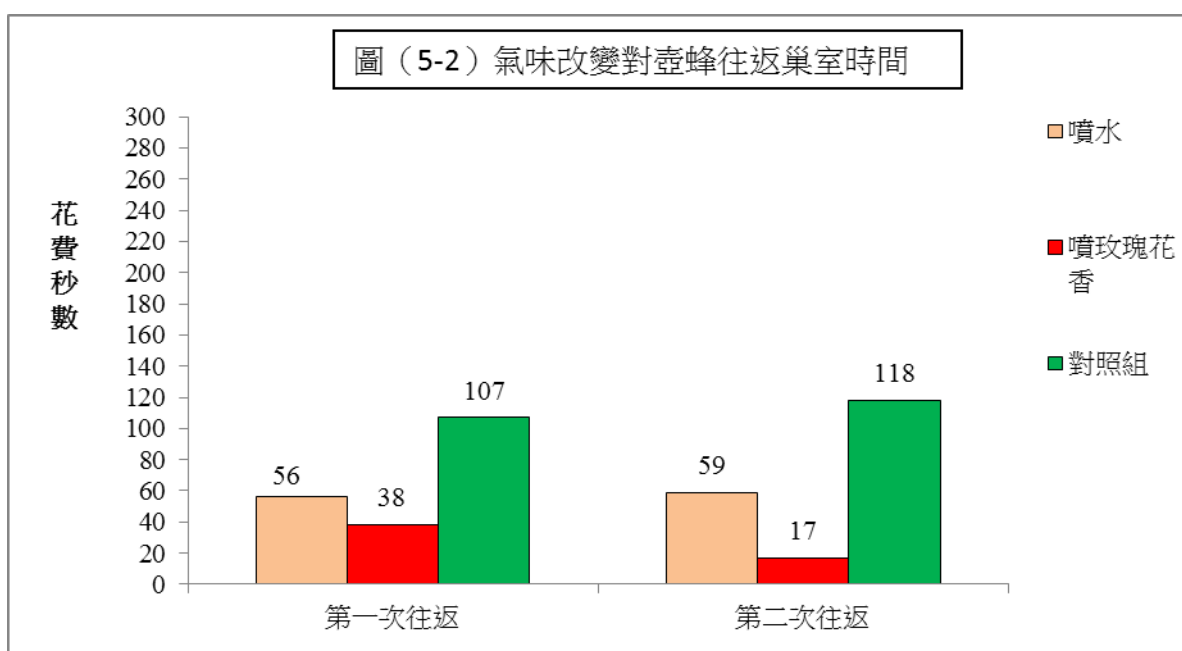
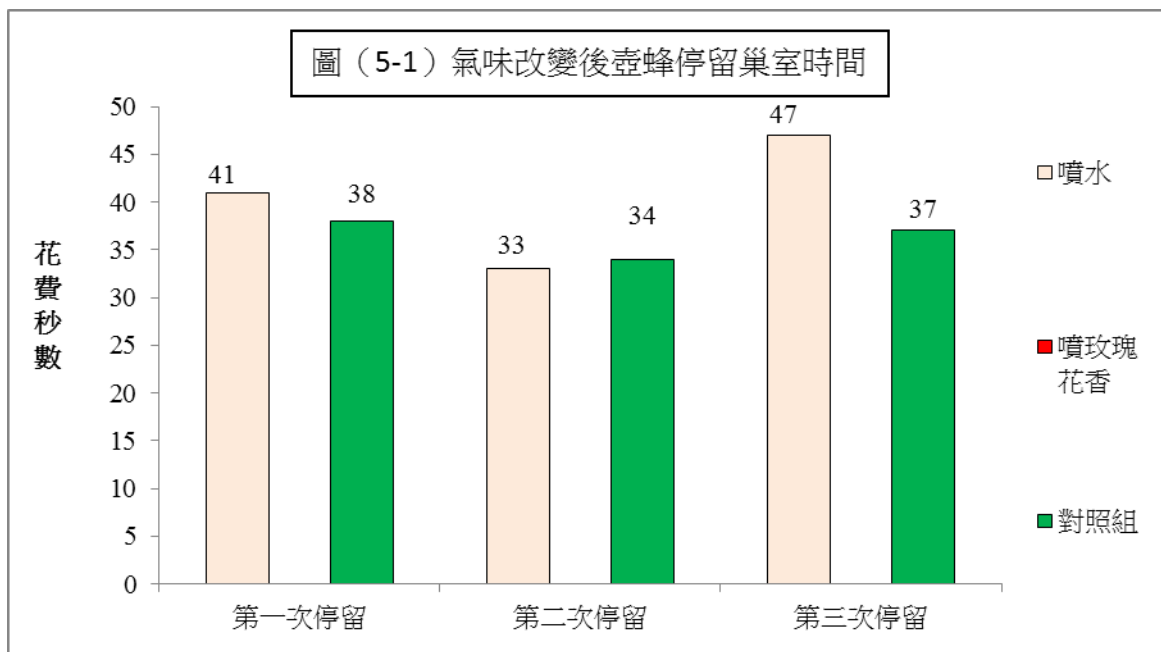
四、關於巢室位置更換對築巢的影響實驗討論

從實驗的結果得知棕泥壺蜂築巢之行為，並不是只依靠本能習性的在捉蟲、啣土，來為自己的後代建造一座安全的城堡，因為巢室被大幅度改變位置後，我們發現壺蜂回來後出現尋找巢室的行為，甚至塗抹唾液記號做標記，以免找不到巢室，所以我們推測，壺蜂這個抹唾液的行為，也許就是棕泥壺蜂與竹管間的訊息聯繫密碼？（如圖 4-1、4-2）



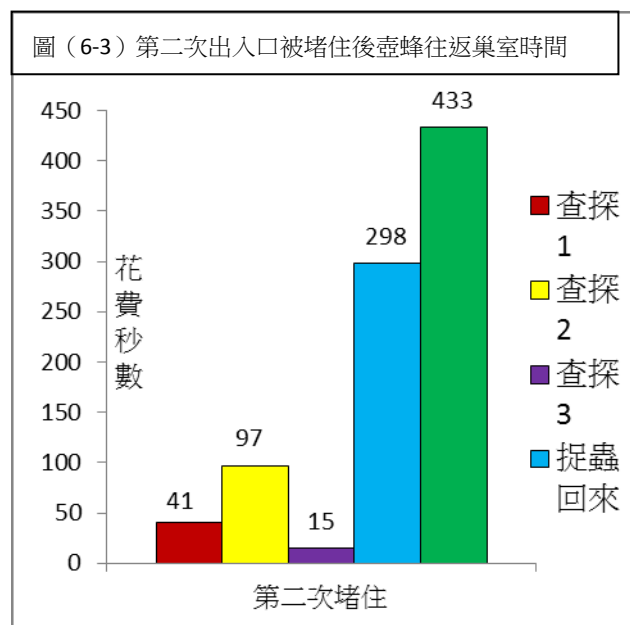
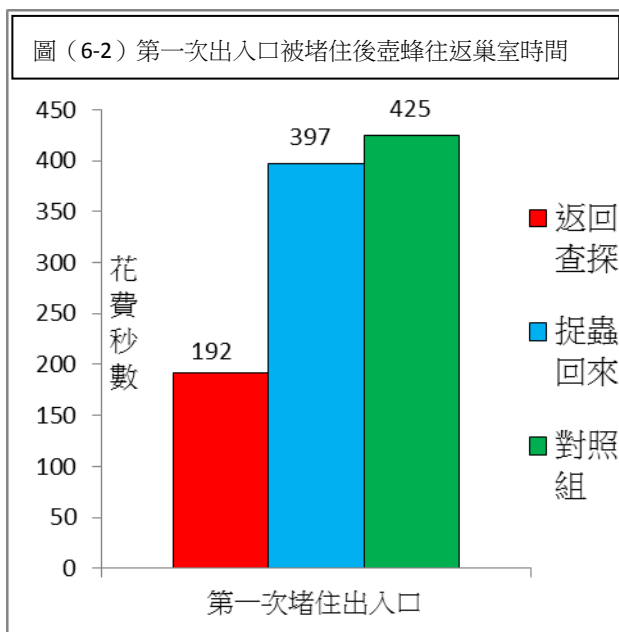
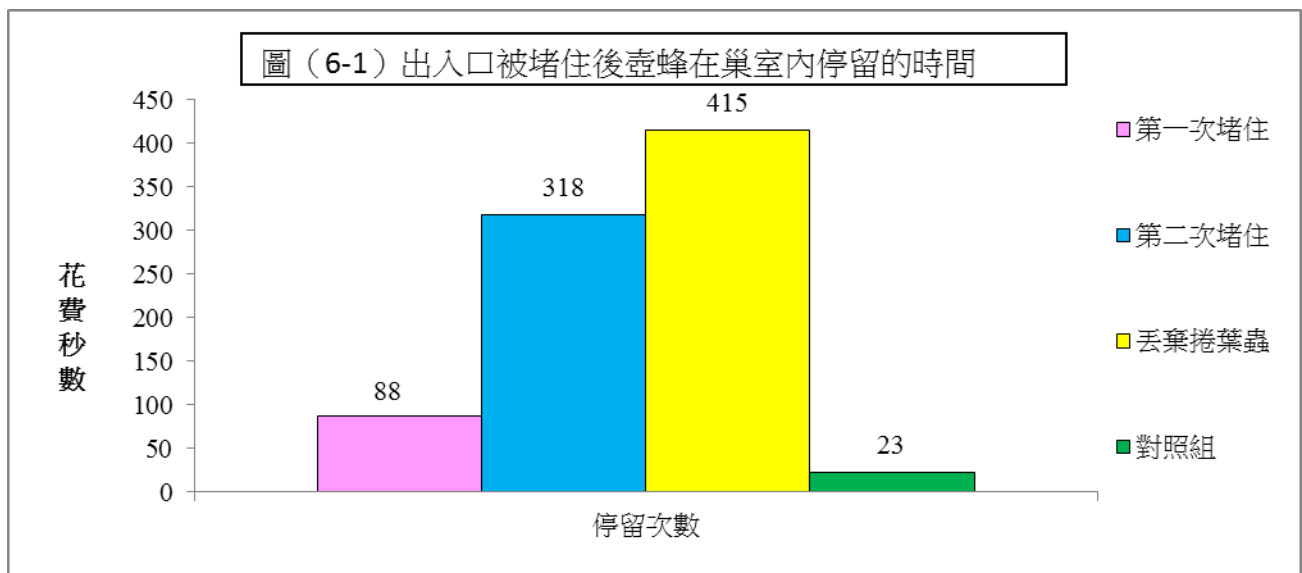
五、關於巢室氣味被改變對築巢影響的實驗討論

眾所皆知昆蟲的觸角有敏銳的嗅覺，能夠迅速聞到自己留下的氣味，甚至可分辨同種間的差異，在此次的實驗中，噴水清洗實驗結果，停留在巢室內時間與對照組差異不大，但是一旦噴上玫瑰花香後，濃厚的玫瑰花香，掩蔽壺蜂之前所留下的氣味，造成壺蜂嗅覺失靈而找不到巢室。即使不斷回巢徘徊尋覓，仍然找無巢室下落，而無法繼續築巢，最後唯有中斷工作，重新建造新巢室（如圖 5-1、5-2）。因此棕泥壺蜂口器中所留下的唾液氣味，正是壺蜂與巢室的聯繫密碼。



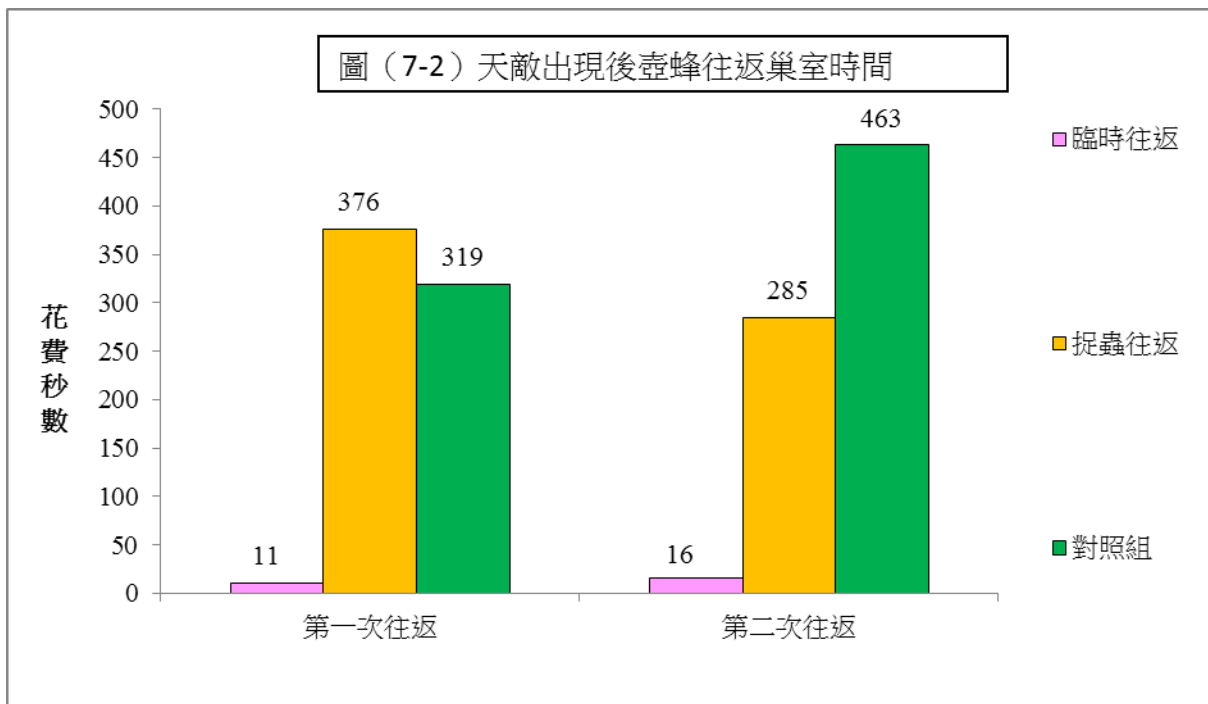
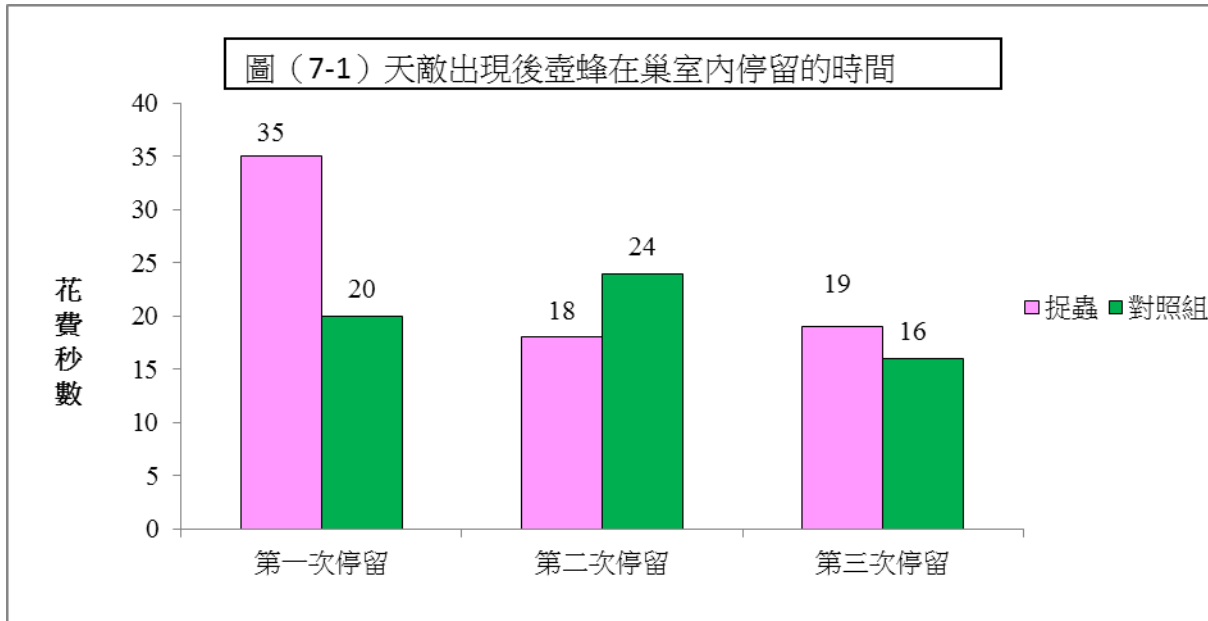
六、關於巢室口被障礙物堵住對壺蜂築巢影響的實驗討論

- (1) 警覺性很高的棕泥壺蜂發現回巢的路被堵住了，所以排除障礙，進入後停留的時間由原本的 23 秒爆增到 88 秒，甚至在第二次被堵住後停留長達 318 秒，很明顯的壺蜂會希望能有多一點時間，待在裡面看守卵粒與捲葉蛾幼蟲（圖 6-1）。
- (2) 壺蜂會出現狂捉 18 隻捲葉蛾幼蟲再丟棄的行為，也許是受到不明原因強勢的阻擾，我們只知道壺蜂回來查探的次數增多，卻不知它性情已經大變。因為在壺蜂捉這麼多蟲往返回來的時間裡，其實看不大出來它的差異形為，只訝異壺蜂怎會突然捉這麼多隻捲葉蟲，不過在它捉第 18 隻回來後，卻露出一點前兆，原來壺蜂在巢室內停留了 415 秒，這與一般正常只停留 23 秒短暫時間相較下，竟多出 18 倍，之後就將捲葉蛾夾出拋棄，這玉石俱焚的舉動，其實我們很好奇，到底壺蜂捉蟲又棄蟲的行為，是在受阻礙時就決定？還是在巢室內長時間停留所思考後的結果？這點也許在未來需要有進一步的實驗來求證（圖 6-2、6-3）。



七、關於天敵進入巢室對壺蜂築巢影響的實驗討論

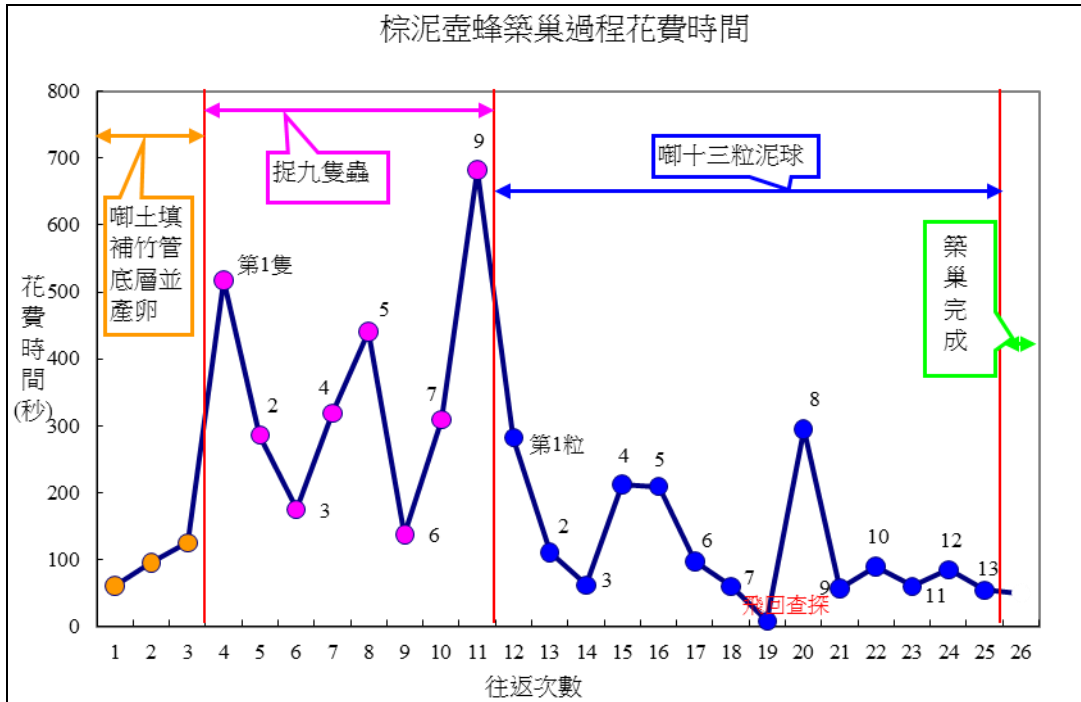
棕泥壺蜂敏銳的嗅覺，不僅可以快速嗅出自身的味道，讓它辨認出巢室的位置，也能夠聞到不屬於的自己專有氣味，因此一出現異味，即使已經飛出去捉蟲的壺蜂，也會臨時飛回來突襲檢查，這使得在巢室口徘徊時間增長了，巢內停留時間似乎也多了一些(圖 7-1、7-2)，不只如此，這天敵異味讓壺蜂感受到危機，於是它會趕快去啣土把封住出入口，想要阻絕天敵進入，但是肉蠅等天敵實在太狡猾，一次短暫的入侵，卻對壺蜂後代產生致命性的一擊。



柒、結論

一、棕泥壺蜂做巢室的目的：

壺蜂築巢目的是為了繁衍後代，捉捲葉蛾幼蟲的目的，是為了幫壺蜂後代儲存食物，唧土做泥層是為了阻絕所有外來天敵或干擾，讓壺蜂的幼蟲後代可以順利成長。



說明：

由上圖可知，棕泥壺蜂一間巢室總計捉九隻蟲，平均 348 秒會捉一隻捲葉蛾幼蟲回來；唧十三粒泥球建築一層泥層，平均 110 秒就會唧一粒泥球回來，由於打開觀察造成壺蜂快速飛回查探又快速飛離，築一個巢室共花費 2 小時 58 分 47 秒。

二、影響棕泥壺蜂築巢的因子：

- (一)、『氣味』：巢室口更換顏色、巢室更換位置，都不會影響到棕泥壺蜂築巢的行為。唯獨巢室附近氣味一旦被改變，棕泥壺蜂將會迷失方向，聞不到自己當初所留下的氣味，導致找不到原有巢室，最後放棄巢室。
- (二)、巢室口被障礙物堵住：此因子會激怒棕泥壺蜂的判斷，導致胡亂捉捲葉蛾，再丟棄捲葉蛾幼蟲，最後築巢失敗。
- (三)、天敵入侵：一旦進入巢室，壺蜂後代會被寄生，雖然壺蜂繼續完成築巢工作，但已經無法挽救，後代通常是被寄生生物啃食殆盡。

捌、參考資料

一、中文部分

1. 水波城，2008，探索昆蟲微小腦。
2. 李淳陽，2005，李淳陽昆蟲記—昆蟲心智解碼實錄。
3. 尚玉昌，2003，行為生態學，頁 284-293。
4. 陳曦，2011，〈圖變密碼—蜜蜂視覺經驗的擷取與 top-down process〉「2011 臺灣國際科展優勝作品專輯」。
5. 高唯芯、陳映晴，2010，〈見「蜂」轉舵—工蜂對蜂后的選擇性〉「中華民國第五十屆中小學科學展覽會參展作品」。
6. 楊惠齡、林明德，2011，生物統計學 Biostatistics
7. 盧耽，2008，圖解昆蟲學。
8. 戴玉琪，1990，〈自然界的小忙人—蜜蜂〉「中華民國第三十屆中小學科學展覽會參展作品」。

二、西文部分

1. Cheng, K., T. S. Collett, A. Pickhard and R. Wehner. "The Use of Visual Landmarks by Honeybees: Bees Weight Landmarks According to Their Distance from the Goal." *Journal of Comparative Physiology A* 161, no. 3 (1987): 469-475.
2. Hsu, C. Y. and C. W. Li. "Magnetoreception in Honeybees." *Science* 265, no. 5168 (1994): 95-7.

【評語】 030307

1. 作品部分內容與以往科展作品內容雷同。
2. 報告時非常有精神，值得稱讚。
3. 摘要只以純文字描述結果，無呈現任何數據。
4. 分析方法使用 one-way ANOVA CRD，太強了。
5. 圖說建議一致放在圖下方，作品中全部的圖應在內文中適當處引用。
6. 實驗四設計三種花香，結果只呈現玫瑰花香一種，其餘結果建議要說明一下。實驗設計重複做三次，但只做一隻一次，僅記錄徘徊時間，會不會淪為假重複？
7. 圖 4-8 中第二次徘徊玫瑰花香花費秒數為 162 秒，文中為 62 秒，且 $n=1$ ，如何做進行 ANOVA 分析？
8. 討論中圖表的編碼與前面重複。
9. 引用文獻寫法，請用 APA 格式書寫。