

# 無線感測網應用於動物行為研究-以東方蜜蜂(*Apis cerana*) (Hymenoptera: Apidae)之觀測為例

陸聲山<sup>1</sup>，林文智<sup>2</sup>，陳永修<sup>2</sup>，林朝欽<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>農委會林業試驗所森林保護組；<sup>2</sup>農委會林業試驗所六龜研究中心；<sup>3</sup>通訊作者(*chin@tfri.gov.tw*)

**[摘要]** 本文探討如何透過感測器網路蒐集與分析東方蜜蜂(*Apis cerana*)之防禦行為，研究地點位於林業試驗所扇平森林生態科學園區，於東方蜜蜂築巢處架設網路攝影機，以每分鐘拍攝一張照片方式記錄蜂巢之活動，影像資料透過園區的網際網路系統傳輸至實驗室儲存，研究進行時間自 2006 年 9 月 27 日至 2007 年 10 月 6 日，資料分析的方法以每 10 分鐘取樣一張照片，分析東方蜜蜂與黃腳虎頭蜂(*Vespa velutina*)的互動數量、日活動的周期變化等。結果顯示東方蜜蜂面對虎頭蜂入侵會形成蜂球(bee ball)防禦，共記錄到 14 次蜂球防禦行為，而蜂球防禦所歷經的時間，最短者為 4 分鐘，最長者達 76 分鐘。入侵之虎頭蜂共有三種，分別為黃腳虎頭蜂(*V. velutina*)、姬虎頭蜂(*V. ducalis*)與中華大虎頭蜂(*V. mandarinia*)，中華大虎頭蜂並佔據蜂窩長達兩星期，造成該蜂巢瓦解。

**關鍵字：**虎頭蜂、東方蜜蜂、黃腳虎頭蜂、蜂球、熱防禦

## Application of Wireless Sensor Network to Study the Defensive Behavior of *Apis cerana* (Hymenoptera: Apidae)

Sheng-Shan Lu<sup>1</sup>, Wen-Chih Lin<sup>2</sup>, Yung-Hsio Chen<sup>2</sup>, and Chau-Chin Lin<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Division of Forest Protection, Taiwan Forestry Research Institute, <sup>2</sup>Liouguei Research Center, Taiwan Forestry Research Institute, <sup>3</sup>Corresponding author (*chin@tfri.gov.tw*)

**ABSTRACT** This article reports the preliminary result from using wireless sensor network to monitor the defensive behavior of *Apis cerana*. The study was conducted at Shanping Ecological Garden, Taiwan Forestry Research Institute, from September 27, 2006 to October 6, 2007. We monitored a honeybee colony using a web camera set up at the site. The sampling frequency was 1 minute. Images of the bee colony's activities were captured by the camera and sent to an archive disk for storage through the Internet. We then extracted images at 10-minute interval, and counted and analyzed the interactions between honeybee and its invaders, *Vespa* sp. The result shows that honeybee formed bee balls to defend the invasion of *Vespa*. In total 14 defensive bee balls were formed. The defensive behavior lasted from 4 to 76 minutes. Three hornet species, *V. velutina*, *V. ducalis*, and *V. mandarinia*, were found to have invaded the honeybee colony. Among them, *V. mandarinia* occupied the bee colony for two weeks and caused it to finally collapse.

**Keywords:** hornet, *Apis cerana*, *Vespa velutina*, thermal defense, bee ball

## 前言

蜂巢可說是蜜蜂(*Apis* sp.)生活的中心，蜜蜂的蜂室裡含有大量幾乎無法移動的幼體包括卵、幼蟲及蛹，再加上所儲存的蜂蜜與花粉，都是潛在的食物來源，因此吸引了上百種不同的動物前來取食(李建軍等 2005)，其中也包括了同樣是社會性昆蟲(social insects)的虎頭蜂。蜜蜂與虎頭蜂(*Vespa* sp.)都是屬於社會性昆蟲，其演化的主要趨勢主要有三：(1)聚落(colony)的日益增大；(2)個體行為逐漸特化及複雜化；(3)更具有控制巢內環境的能力。共同防禦行為是社會性昆蟲聚落生活的一大特色，透過不同腺體產生的警報費洛蒙與同伴進行溝通，可有效且迅速的將危機來源之訊息傳達給其他同伴，形成快速的增援與防禦(Matsuura and Yamane 1990)。

虎頭蜂會在蜂窩入口附近盤旋等候捕食進出的工蜂，因此虎頭蜂的捕食行為對蜜蜂採集活動產生一定程度的影響，造成要外出採集的蜜蜂縮回巢內，以免被捕食，若虎頭蜂在蜂窩入口處滯留的時間越長，影響的程度就越大(譚墾等 2004, 李建軍等 2005)。當虎頭蜂在巢口盤旋數量過多時，嚴重干擾蜜蜂時，甚至可造成蜜蜂棄巢飛離。但蜜蜂相對也發展出對虎頭蜂的防禦方式，如蜜蜂的迴避、飛逃、威嚇、反擊等行為，這些行為可增加和捕食者相遇後的逃脫機會(李建軍等 2005)。

俗稱野蜜蜂的東方蜜蜂(*Apis cerana*，亦稱中國蜂)，與常見飼養於養蜂場的義大利蜂(*A. mellifera*，亦稱西洋蜂或歐洲蜂)為不同種類，因為東方蜜蜂不易馴養，逃蜂率可高達41.7%，而義大利蜂則鮮少逃蜂(葉盈君 1990)，故一般所稱的蜜蜂與多數的研究所指蜜蜂多指義大利蜂而言。而東方蜜蜂的研究往往集中於比較行為學上的研究，尤其是 Ono 等人(1987)報導東方蜜蜂(*A. cerana*)形成特殊的蜂球熱防禦行為後，吸引了許多學者進行後續的研究，進而探討虎頭蜂與蜜蜂間的捕食與防禦行為上的共同演化關係(譚墾等 2004 a,b,

Abrol 2006, Ono *et al.* 1995, Tan *et al.* 2005, 2007)。

由於虎頭蜂的快速飛翔能力，人為觀測並計算虎頭蜂同時出現的隻數並不容易，若同時出現高達十餘隻更形困難。但藉助六龜研究中心扇平生態科學園園區感測器網路架設的完成，透過網路攝影機便能獲取虎頭蜂在東方蜜蜂蜂窩附近活動的照片，能容易也正確的計算出虎頭蜂出現隻數，因而了解虎頭蜂與東方蜜蜂之間的互動，例如季節變化，日活動的周期變化等現象，進一步可探討生物間捕食與防禦的微妙關係。因此，本文將以蜜蜂與虎頭蜂為例，說明受限傳統研究方式而不易進行觀測或研究的動物行為，如何透過感測器網路而查覺或發掘出來，以期未來能擴大應用於國家公園/保留區的生態監測研究上。

## 材料與方法

### 一、扇平森林生態科學園概述

扇平森林生態科學園位於高雄縣茂林鄉，屬於林業試驗所六龜研究中心扇平工作站管轄，佔地有 933 公頃的試驗林地。扇平之森林隸屬南台灣暖溫帶闊葉林，也是南台灣的重要森林生態系，海拔高 700-1400m 之間，1998 年為進行生態系經營示範及提供環境教育改名為扇平森林生態科學園。扇平地區之月均溫約 20.6°C，降雨量約 3500mm，地形山巒起伏，陡峻異常，平均坡度 63%，由於扇平擁有完整的天然闊葉林相，因此孕育龐大的動物相，例如昆蟲已知鱗翅目中的蝴蝶類有 10 科 139 種，甲蟲預估至少 50 科，鳥類有 134 種，另外哺乳類 17 種，爬蟲類 16 種，兩棲類 11 種，魚類 5 種。園區內設有佔地 4.2 公頃的樹木標本園，共栽植 63 科 177 種裸子及被子植物，是重要的戶外環境教育場所(扇平森林生態科學園，<http://shanping.tfri.gov.tw>)。

### 二、無線感測網架構

本研究之資料蒐集為建構在感測器網路

系統上，此系統涉及三層架構的軟硬體組合 (Porter *et al.* 2005)，首先是感測器層，本研究的感測器是網路攝影機，由於多媒體技術的發達，市場上很容易取得各種網路攝影機，本研究使用 D-Link DCS-2120 型之網路攝影機。其次是感測器所蒐集的資料必須有通訊媒介傳送出來，如此才能突破人工資料蒐集的限制，最安全穩定的通訊媒介是有線的傳輸方式，但有線環境的傳輸不易建立，因此無線環境的傳輸相當受重視。本研究使用無線環境主要是透過無線電作為媒介傳送資料，再由中華電信系統連結網際網路將資料外送至實驗室。

感測器網路系統第二層涉及資料進入實驗室的歸檔與長期倉儲的設備，本研究作業系統使用 Linux，資料庫系統使用 MySQL 均為自由軟體，利用扇平辦公室作為第一現地實驗室，建立網站伺服器(web server)與檔案傳輸伺服器(ftp server)，感測器所蒐集的資料傳送到此，並建立自動備份機制與遠端遙控系統，透過網際網路將資料定時(每天晚上 11:40)傳入台北林業試驗所總所伺服器中。最後一層則是提供影像分析介面與工具，本研究利用影像軟體 Picasa 輔助人工進行計數與判釋虎頭蜂種類。

自 2006 年 7 月開始於扇平園區內設置無線監測系統，先後選擇幾個測試地點進行架設感測器，其中之一位於扇平辦公室旁會議室後方木板牆面上，發現已築巢數年的東方蜜蜂(*A. cerana*)，因此於其正上方屋簷下架設一台網路攝影機，以監測蜜蜂進出蜂巢情形及黃腳虎頭蜂捕食蜜蜂之行為。透過扇平架設的無線感測網系統，自 2006 年 9 月 27 日至 2007 年 10 月 6 日間(蜂窩遭受攻擊而瓦解後暫停監測)以網路攝影機記錄觀測東方蜜蜂與虎頭蜂間的互動關係。

### 三、影像照片拍攝與分析

本研究設定每分鐘拍攝一張照片，時間從早上 5 點到下午 7 點，一天共計 14 小時，故每日可拍 840 張照片，影像資料直接連結到網

路上，便可以即時看到前一分鐘的照片及所有倉儲的紀錄照片。虎頭蜂季節變化的影像照片，由於資料數量龐大，初步以每 10 分鐘間隔取樣一張照片，故每日僅先分析其中的 84 張取樣照片，先由研究人員確定影像中有虎頭蜂出現，再進行計算虎頭蜂出現數量。而蜂球出現與結束時間，則利用人工檢視所有照片，直接判別蜂群聚集成蜂球的情形而得到。

## 結果與討論

### 一、捕食東方蜜蜂的虎頭蜂種類

本研究除發現黃腳虎頭蜂(*Vespa velutina*)於不同月份持續前來捕食東方蜜蜂外，並於 2007 年 7 月 10 日觀測到一次姬虎頭蜂(*V. ducalis*)前來捕食。此外，亦首次發現中華大虎頭蜂(*V. mandarinia*)於 9 月 17 日前來攻擊，並佔領該蜂窩，持續至 10 月 5 日離去後，已造成該蜂巢瓦解，而使本研究暫停監測記錄。

許多學者的研究紀錄了捕食東方蜜蜂的數種虎頭蜂，包括 *V. simillima xanthoptera* (Ono *et al.* 1987)、*V. mandarinia*(中華大虎頭蜂)(Ono *et al.* 1995)、*V. magnifica* (Abrol 2006) 及 *V. velutina*(黃腳虎頭蜂) (Abrol 2006, Tan *et al.* 2005, 2007)。

台灣大學多位研究生曾在臺大蜂場觀察東方蜜蜂與義大利蜂防禦虎頭蜂行為，亦記錄了黃腳虎頭蜂及黃腰虎頭蜂(*V. affinis*)會捕獲東方蜜蜂，但亦提及東方蜜蜂較義大利蜂不易遭虎頭蜂捕食(葉盈君 1990, 廖洪正 1992, 盧思登 1992)。

在台灣共有 7 種虎頭蜂，除了主要分佈在中高海拔的特有種威氏虎頭蜂(*V. wilemani*)之外，其餘 6 種(即黃腰虎頭蜂、擬大虎頭蜂(*V. analis*)、黑絨虎頭蜂(*V. basalis*)、姬虎頭蜂、中華大虎頭蜂及黃腳虎頭蜂)都會捕食養蜂場的義大利蜂(趙榮台等 2002)。事實上，這 6 種虎頭蜂對蜜蜂的危害也分別見於中國福建及日本、印度等地的相關報導(王建鼎等 1985, Abrol 1994, Matsuura 1988, Kumar *et al.* 1998)。

表 1. 黃腳虎頭蜂各月日平均出現次數

| 年份   | 月份  | 日平均出現次數 |
|------|-----|---------|
| 2006 | 10  | 117     |
|      | 11  | 300     |
|      | 12  | 169     |
| 2007 | 1   | 115     |
|      | 2   | 9       |
|      | 3-8 | 0       |

註：3-8 月間取樣未記錄到虎頭蜂

本研究亦記錄到中華大虎頭蜂及黃腳虎頭蜂會成功捕食東方蜜蜂，加上台大研究生觀測到的黃腰虎頭蜂，因此台灣至少有三種虎頭蜂會捕食東方蜜蜂。而姬虎頭蜂於本研究中雖觀測到於蜂巢入口處徘徊，但尚未確認是否能成功捕獲東方蜜蜂，其餘兩種在台灣會捕食義大利蜂的虎頭蜂是否亦會捕食東方蜜蜂也值得繼續觀測。

## 二、黃腳虎頭蜂季節變化

由於黃腳虎頭蜂是觀測期間出現最頻繁的捕食虎頭蜂，因此將其數量變化加以分析，自 2006 年 9 月 27 日至 2007 年 10 月 6 日間先以每 10 分鐘取樣一張照片計算黃腳虎頭蜂出現數量。結果顯示黃腳虎頭蜂於 10 月份時，天亮後 05h50 即出現於蜂巢，隨後數量逐漸增多，但大多集中於 10h00 至 15h00 間，16h00 後數量漸減，但最晚活動仍可晚至 17h20(10 月份已近天黑)。

黃腳虎頭蜂每日累計出現之次數(10分鐘取樣一次)，由 10 月份每天出現累計平均 117 隻次，11 月份高達 300 隻次，12 月份 169 隻次，之後數量明顯下降至 2 月底，3 月至 9 月間的取樣，則未見黃腳虎頭蜂前來捕食東方蜜蜂(表 1)。虎頭蜂侵襲或攻佔蜂巢一般多發生在秋季，由於此時正值胡蜂的繁殖高峰，對食物的需求大增，因此食物壓力迫使虎頭蜂冒險前來攻擊蜜蜂(李建軍等 2005, Abrol *et al.* 2006)，故本研究觀察結果符合一般學者觀測的結論。

黃腳虎頭蜂同時出現最高紀錄可達 17 隻，這即使在現場單靠人力也是難以計算出的。這種需耗費人力的密集觀察研究，加上行為觀測研究面臨的主要問題，往往需同時針對幾個不同觀察對象進行研究時，研究者往往分身乏術，必須由不同的觀測者同時進行，因此常遭遇到觀測者能力或程度是否不一的質疑，這些傳統上行行為觀測研究面臨的困境，透過本研究無線感測網的佈建證實其實際可行，資料獲取的便利性與正確性也大幅改進(Porter *et al.* 2005, Suri *et al.* 2006)。透過此系統初步分析的結果，亦可做為調整監測取樣頻率，減少頻率過高或過低的問題，可改善工作量的負荷或資料不足的情形。本研究初步以具昆蟲鑑定人員以人工方式計算，後續工作將朝向將具有黃腳虎頭蜂出現之影像以影像灰階度進行自動計算訓練，以降低人工取樣的工作量。

## 三、東方蜜蜂熱防禦行為—蜂球(bee ball)

當黃腳虎頭蜂出現的季節，蜂巢入口處會有一群戒備的蜜蜂，其數量隨黃腳虎頭蜂數量的增加而增多(圖 1)，蜜蜂可藉由快速抖動翅膀、腹部擺動，發出警報費洛蒙召集同伴，並嚇阻來襲的虎頭蜂。當虎頭蜂太靠近蜂群時，守衛蜂或其他工蜂會快速出擊，若咬住來襲虎頭蜂的腿、翅和觸角後，會進行結團聚集形成蜂球，進而熱死入侵的虎頭蜂(李建軍等 2005, Ono *et al.* 1987)。

這種東方蜜蜂獨特的熱防禦行為，根據監測系統拍攝出來的照片(圖 2)可顯示蜂球出現的次數(表 2)與經歷的時間。透過此監測系統記錄到 14 次蜂球事件，以 11 月份 6 次為最多，而蜂球發生歷時最短 4 分鐘，最長達 76 分鐘，中位數為 26 分鐘。本研究顯示蜂球發生季節以 11 月份 6 次為最多，且蜂球發生時段多集中於 10h00-15h00，即蜂球發生季節與時段皆與黃腳虎頭蜂大量出現時間吻合，亦符合 Abrol (2006)所言虎頭蜂攻擊密度(次數)增加，蜂球形成的次數也相對提高，造成虎頭蜂

表 2. 蜂球發生次數

| 年份   | 月份  | 次數 |
|------|-----|----|
| 2006 | 10  | 3  |
|      | 11  | 6  |
|      | 12  | 2  |
| 2007 | 1   | 3  |
|      | 2-8 | 0  |

註：2-8 月間未觀測記錄到蜂球發生

的死亡亦增加，亦即蜜蜂的防禦提高，蜜蜂的死亡則也相對的降低。

蜂球發生的次數和時間，亦說明黃腳虎頭蜂出現活動可延續到 1、2 月間，亦即持續整個冬天仍可見到黃腳虎頭蜂的活動，這種越冬行為值得後續觀察，故此系統亦可延伸做為其他行為的觀測。蜂球歷時僅 4 或 5 分鐘的事件，蜜蜂是否能成功的熱死入侵的虎頭蜂，或是虎頭蜂有逃逸的情形，應能藉著改善或加裝攝影機於不同角度，並檢視是否有遭熱死的蜂棄置地上來驗證。歷時高達 76 分鐘的蜂球事件，經檢視照片並未發現中斷的情形，如此長的期間說明蜂球耗蜂耗時，效率值得後續探討，然而 Abrol(2006)觀察記錄蜂球歷時平均為  $58.52 \pm 10.49$  分鐘，值域介於 44-76 分鐘間。

黃腳虎頭蜂持續的前來捕食東方蜜蜂，雖會對蜜蜂活動造成影響，但蜜蜂仍能有效的防禦。在低密度的黃腳虎頭蜂攻擊下，虎頭蜂並無傷亡發生(Abrol 2006)，推測蜜蜂或可容忍低密度的虎頭蜂攻擊，為了維持正常外出採蜜活動，並沒有形成蜂球的必要，因形成一個蜂球平均需要 176 隻蜜蜂參與(Abrol 2006)，除會影響蜜蜂正常活動，且亦可能造成蜜蜂於此過程中傷亡。

原生種(native species)的東方蜜蜂與引進馴養的義大利蜂相較之下，推測是否在長期的演化下，東方蜜蜂發展出一系列的防禦方式，對虎頭蜂有較佳的防禦行為或機制，不易遭受虎頭蜂攻擊，亦成為學者新近探討研究的一個方向(Abrol *et al.* 2006, Tan *et al.* 2005, 2007)。事實上，監測系統觀察期間長達一年，僅記錄

到 14 次蜂球事件(集中於 10 月至翌年 1 月間)，除可能顯示原生種東方蜜蜂有較佳的防禦外，亦再次說明此系統應用於觀測少數發生事件的優點。

#### 四、偶發或特殊事件觀測—分蜂及瓦解

對於偶發或特殊事件觀測的觀測，將以下列兩個例子說明。第一個例子於 2007 年 5 月 9 日 9 點 42 分時，研究人員於園區員工宿舍前桃樹上發現大量東方蜜蜂聚集停留，透過檢視倉儲存檔的監測紀錄照片，發現同日 1 小時前(即 8 點 41 分)網路攝影機拍攝到的畫面，如圖 3 所示，顯示已有大量蜜蜂聚集於蜂窩洞口附近，應正準備進行分蜂遷移。此系統亦再次證明對偶發出現的分蜂事件能記錄到，除可提供研究人員進一步的比對與後續分析分蜂時的環境因子，若能應用於養蜂業監控蜜蜂分蜂逃逸前的跡象，便能及時人工分蜂介入避免蜂群逃逸，以降低養蜂業者的損失。而對於避免或減少蜜蜂遭受虎頭蜂攻擊，亦能有預警的功用，皆可降低蜂農的損失。

第二個例子則於 9 月 17 日首次發現中華大虎頭蜂前來攻擊並佔領該蜂窩，持續至 10 月 5 日離去後，佔領期間超過兩星期，造成該蜂窩瓦解。雖然報導東方蜜蜂亦能對中華大虎頭蜂產生熱防禦的行為(Ono *et al.* 1995)，但中華大虎頭蜂，覓食行為超過三隻以上時，將改變為集體攻擊的行為，進入屠殺期(slaughter phase)。一隻中華大虎頭蜂每分鐘屠殺的蜜蜂高達 40 隻，在一群 20-30 隻中華大虎頭蜂的攻擊下，3 小時即可以攻陷一個 30,000 隻蜜蜂的聚落，並佔據整個蜜蜂房，此一佔據期(occupation phase)可長達 10 天，佔據期間中華大虎頭蜂陸續將蜜蜂的幼蟲及蛹攜回巢內哺育幼蟲(Ono *et al.* 1995)。

其他若於特殊或惡劣天候下之觀察，例如颱風期間，亦可減少研究人員冒著生命安全之狀況而能持續蒐集到資料(Porter *et al.* 2005)。此外，此系統打破野外與實驗室的距離，研究人員便能獲取幾近即時的資訊，並避免或減少

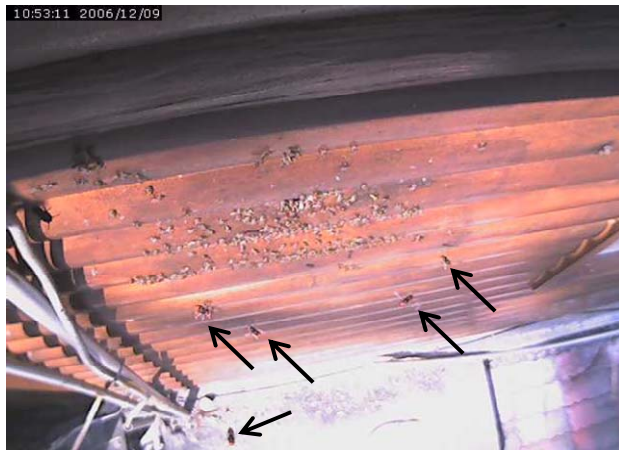


圖 1. 監測照片中黃腳虎頭蜂盤旋(箭頭所指)與蜜蜂警戒的畫面



圖 2. 監測照片左上方白色圓圈內顯示蜂球的畫面



圖 3. 檢視倉儲照片下發現 96 年 5 月 9 日 8 點 41 分蜜蜂遷移畫面

研究人員直接觀察而遭受虎頭蜂或與蜜蜂攻擊的機會，且降低人為觀測時可能對觀測物種所造成的干擾現象(Porter *et al.* 2005)。

## 結論

感測器網路應用在動物行為的研究上雖然尚在起步階段，但其潛力卻隨著無線網路技術的發展而大增，主要是感測器網路擴展了傳統調查的能力，尤其在資料收集與獲取上更突破以往無法達到的優勢，資料蒐集的正确性也將大幅提高 (Porter *et al.* 2005, Suri *et al.* 2006)。本研究結果顯示應用感測器網路對研究人員在資料蒐集上產生巨大的影響，每分鐘一張的影像收集，即使有大量人力恐怕也難以進行如此密集取樣，且在短期內即可獲得如此巨量的資料，未來可應用擴大於空間尺度或時間尺度的密集取樣。而許多受限傳統研究方式而無法或不易進行研究或觀測到的現象，例如蜂群分蜂、熱防禦形成的蜂球等現象，也透過此感測器網路而查覺與發掘出來，並供後續進一步的研究。

其他若於特殊或惡劣天候下之觀察，例如颱風期間，亦可減少研究人員冒著生命安全之狀況而持續蒐集到資料。此外，此系統打破野外與實驗室的距離，研究人員便能獲取幾進即時的資訊，並避免或減少研究人員直接觀察而遭受虎頭蜂或與蜜蜂攻擊的機會，且降低人為觀測時可能對觀測物種所造成的干擾現象。幾近即時的影像資料，未來亦可成為應用於解說教育上的素材，而觀測對象亦可多元化，如扇平生態科學園區初春藍鵲育雛的行為監測，或是應用於監測國家公園內供鳥類築窩的巢箱等，除可擴大累積研究上的第一手資料，更可提供一般社會大眾豐富且有趣的資訊，而達到教育的目的。

## 誌謝

本研究期間感謝六龜研究中心李政賢、彭

瑞芬、森林保護組邱振財等人協助謹致謝忱。

## 引用文獻

- 王建鼎、張緯華、王育敏、林華榮，1985。捕殺蜜蜂的幾種胡蜂生物學及其防除法的初步研究。福建農學院學報 14: 43-51。
- 李建軍、和紹禹、譚壘，2005。蜜蜂的敵害—胡蜂的研究進展。蜜蜂雜誌 no.8: 26-28。
- 葉盈君，1990。中國蜂與義大利蜂生物學之比較。台灣大學植物病蟲害學研究所碩士論文，共 92 頁。
- 廖洪正，1992。東方蜜蜂生物學研究。台灣大學植物病蟲害學研究所碩士論文，共 72 頁。
- 趙榮台、陸聲山、何聖玲、張世揚，2002。虎頭蜂對臺灣養蜂之影響。蜜蜂生物學研討會專刊。臺灣昆蟲特刊 4。115-124 頁。
- 盧思登，1992。胡蜂之習性及其與蜜蜂關係之研究。台灣大學植物病蟲害學研究所碩士論文，共 79 頁。
- 譚壘、汪建明、劉意秋、周丹銀，2004a。胡蜂對蜜蜂採集行為影響的實驗研究。蜜蜂雜誌 no. 2: 7-8。
- 譚壘、余玉生、劉意秋、周丹銀、和紹禹，2004b。胡蜂與蜜蜂的防禦行為研究。雲南農業大學學報 19: 584-588。
- Abrol DP. 1994. Ecology, behaviour and management of social wasp, *Vespa velutina* Smith (Hymenoptera: Vespidae), attacking honeybee colonies. Korean J. Apiculture 9: 5-10.
- Abrol DP. 2006. Defensive behaviour of *Apis cerana* F. against predatory wasps. Journal of Apicultural Science 50: 39-46.
- Kumar A, BS Rana, and JK Gupta. 1998. Incidence and extent of damage by predatory wasps to honey bees at Solan, Himachal Pradesh. Pest Management and Economic Zoology 6: 37-42.
- Matsuura M. 1988. Ecological study on Vespine wasps (Hymenoptera: Vespidae) attacking honeybee colonies I. seasonal changes in the frequency of visits to apiaries by vespine wasps and damage inflicted,

- especially in the absence of artificial protection. *Applied Entomology and Zoology* 23: 428-440.
- Matsuura M and S Yamane. 1990. *Biology of vespine wasps*. Springer, Berlin Heidelberg, New York.
- Ono M, I Okada, and M Sasaki. 1987. Heat production by balling in the Japanese honeybee, *Apis cerana japonica* as a defensive behavior against the hornet, *Vespa simillima xanthoptera* (Hymenoptera: Vespidae). *Experientia* 43:1031–1032.
- Ono M, T Igarashi, E Ohno, and M Sasaki. 1995. Unusual thermal defence by a honeybee against mass attack by hornets. *Nature* 377: 334-336.
- Porter J, P Arzberger, HW Braun, P Bryant, S Gage, T Hansen, P Hanson, FP Lin, CC Lin, T Kratz, W Michener, S Shapiro, and T Williams. 2005. Wireless sensor networks for ecology. *BioScience* 55: 561-572.
- Suri A, SS Iyengar, and E Cho. 2006. Ecoinformatics using wireless sensor networks: An overview. *Ecological Informatics* 1: 287-293.
- Tan K, HR Hepburn, SE Radloff, YS Yu, YQ Liu, DY Zhou, and P Neumann. 2005. Heat-balling wasps by honeybees. *Naturwissenschaften*, 92: 492-495.
- Tan K, SE Radloff, JJ Li, HR Hepburn, MX Yang, LJ Zhang, and P Neumann. 2007. Bee-hawking by the wasp, *Vespa velutina*, on the honeybees *Apis cerana* and *A. mellifera*. *Naturwissenschaften* 94: 469-472.