DOI: 10.6662/TESFE.2016012　台灣昆蟲 Formosan Entomol. 36: 107-123 (2016)　研究報告

Formosan Entomologist
Journal Homepage: entsocjournal.yabee.com.tw

# 臺灣雲嘉地區農林環境之借坑性築巢蜂類物候及群聚分析

陸聲山[1]、葉文琪[1]、宋一鑫[2*]

[1] 行政院農業委員會林業試驗所森林保護組　台北市 10066 中正區南海路 53 號
[2] 國立嘉義大學植物醫學系　嘉義市 60004 學府路 300 號
* 通訊作者 email: ihsinsung@mail.ncyu.edu.tw

收件日期：2016 年 11 月 8 日　接受日期：2017 年 2 月 21 日　線上刊登日期：2017 年 4 月 12 日

## 摘　要

本研究於 2012 年 3 月至 2013 年 5 月間，在台南區農業改良場雲林分場的水旱田、農業試驗所嘉義分所的荔枝果園之永續農耕區、慣行農耕區，以及林業試驗所中埔研究中心溪水試驗林的育林地設置 4 個樣區，各樣區放置 2 種築巢誘引巢體，以誘集居住於孔洞內築巢的狩獵蜂與訪花蜂。期間誘集到胡蜂科·蜾蠃亞科的黃緣前喙蜾蠃 (*Anterhynchium flavomarginatum formosicola*)、矛紋佳盾蜾蠃 (*Euodynerus nipanicus flavicornis*)、黃紋短腰蜾蠃 (*Epsilon fujianensis*)、赭褐毛唇蜾蠃 (*Orancistrocerus drewseni*)、赭褐旁喙蜾蠃 (*Pararrhynchium ornatum sauteri*) 及赭黃原喙蜾蠃 (*Rhynchium brunneum*)，切葉蜂科之窄條切葉蜂 (*Megachile angustistrigata*)、條切葉蜂 (*M. faceta*)、丘切葉蜂 (*M. monticola*)、臺灣切葉蜂 (*M. taiwanicola*) 及薔薇切葉蜂 (*M. tranquilla*)，穴蜂科之黃柄壁泥蜂 (*Sceliphron madraspatanum*) 及蛛蜂科 *Anoplius* 屬及 *Auplopu* 屬兩種，共計 4 科 10 屬 14 種 912 隻借坑性築巢蜂類。各樣區所誘集的蜂種類及數量高峰集中於春季至夏季，晚秋至冬季活動數量減少，且巢內出現越冬個體。560 隻的蜾蠃類誘集數中，赭黃原喙蜾蠃與黃緣前喙蜾蠃出現的比例高達 84.5%，捕捉獵物為螟蛾總科幼蟲。於荔枝果園內的永續農耕樣區在各月份誘集的蜂類多樣性指數，多數高於慣行農耕樣區。四個樣區間所誘集之蜂類群聚間的程度類似，以水旱田農業樣區或荔枝果園內的慣行農耕樣區較其它樣區蜂類群聚有較低的相似性指數，水旱田農業樣區有以蜾蠃為主的群聚組成，而荔枝果園內的永續農耕樣區與育林地樣區之誘集蜂類群聚有較高的相似性指數，顯示永續農耕的棲地環境，較能維持類似林地般的棲地環境，與物種組成的多樣化，對農耕地有益生物的保育具有重要的意義。

**關鍵詞：**借坑性築巢蜂類、物候、生物群聚分析、蜾蠃、切葉蜂、蛛蜂。

## 前　言

蜂常被視為有用昆蟲，寄生性與捕食性的蜂能應用在生物防治 (Fisher *et al*., 1999)，而訪花的蜂則能應用在植物授粉 (Klein *et al*., 2007)。具有捕食行為的狩獵蜂 (hunting wasps)，或具訪花行為的花蜂 (bees)，分類地位常見於節肢動物門．昆蟲綱．膜翅目針刺類 (Aculeata) 的胡蜂總科 (Vespoidea) 與蜜蜂總科 (Apoidea) 中 (Yamane *et al*., 1999)。多數的狩獵蜂與花蜂習性為獨棲性

(solitary)(Michener, 2007)，牠們具備之共通行為特徵是利用坑穴、管狀物等隱蔽處築巢，並將野外獲取的獵物或粉蜜攜回巢中供其幼蟲取食，也稱為獨棲蜂（solitary wasp）。利用竹子等管狀物誘集蜂的方法，西方國家常稱“trap-nesting”或“tube-nesting” wasps or bees (Krombein, 1967)，日本先驅學者岩田久二雄（K. Iwata）早從 1930 年代便開始觀察這一類蜂，首先使用“借坑性ハチ類”一詞(Hisamatsu and Suzuki, 1988)，意指利用孔洞或空洞築巢的蜂類。中文對於這些蜂類尚無一致的描述用語，故本文參考以上沿革，加以修飾稱其為“借坑性築巢蜂類”。

東亞地區，借坑性築巢狩獵蜂主要隸屬於胡蜂總科胡蜂科（Vespidae）與蛛蜂科（Pompilidae），及蜜蜂總科的穴蜂科（或稱細腰蜂科）(Sphecidae)與銀口蜂科（Crabronidae）等，多數物種能以鱗翅目或鞘翅目幼蟲、直翅目、蜘蛛等節肢動物為其獵物（Matsuura, 1995; Yamane *et al*., 1999; Budrys and Budrienė, 2012)；而花蜂主要包含蜜蜂總科的蜜蜂科（Apidae)、分舌蜂科（Colletidae)、銀口蜂科及切葉蜂科（Megachilidae）等，這幾個科別的物種具訪花行為，以花粉與花蜜為食(Michener, 2007)。由於物種多，巢的類型多樣化。以蜾蠃（Eumenid wasps）為例，東亞分布的蜾蠃有 tube-renter、potter wasp 與 mud-dauber 等三類型（Yamane, 1990)，tube-renter 是指蜂利用既存的坑洞築巢，利用泥土填補巢室隔間層與坑洞出入口；後兩類型則是指蜂利用泥土築巢，且 potter wasp 類型的巢會有明顯的壺狀或陶甕狀出入口。值得一提的是 mud-dauber 一詞現在則多用於指蜂的類別，尤其是穴蜂科或銀口蜂科等的種類。蜾蠃之外，蛛蜂、切葉蜂等築巢材料則不限於泥土，巢中尚有樹脂（resin)、樹葉或其他物質用以填補巢門口或保護幼蟲等用途。Staab *et al*. (2014) 的調查中，在中國東南地區發現的新種蛛蜂（*Deuteragenia ossarium* Ohl)，能以死去的螞蟻屍體填塞巢洞口，以驅離及阻隔外界的寄生蟲侵害巢內幼蟲。

應用不同類型的人工誘引築巢材料或基質(trap-nesting implements, or nest substrates)(本文稱“築巢誘引巢體”）吸引獨棲蜂前來築巢的方法，主要目的有：1. 評估自然環境中，蜂的多樣性及族群變化；2. 檢驗環境因子對蜂的影響；3. 增加蜂的豐度，提供授粉服務；4. 獲得實驗研究的蜂(MacIvor, 2016)，且相關的往昔研究報告甚繁。臺灣鄰近區域獨棲蜂的族群組成，以香港及日本的研究報告為例，香港白沙澳（Pak Sha O, Sai Kung Country Park）借坑性築巢的蜂類有 6 個科，包括穴蜂科、銀口蜂科、蛛蜂科、胡蜂科的蜾蠃亞科(Eumeninae)、切葉蜂科、分舌蜂科等，總計 21 種的狩獵蜂及花蜂（Barthélémy, 2012)。日本的多摩森林科學園（Tama Forest Science Garden）中，亦誘集上述的 6 個科，總計 19 種的狩獵蜂及花蜂(Matsumoto and Makino, 2011)。而臺灣的調查報告，目前僅有 Lu *et al*. (2013) 於陽明山國家公園以類似方法誘引，但其中僅描述蜾蠃亞科物種，尚未紀錄其他科別昆蟲。再者，蜂類的物候學是檢驗環境因子對蜂的影響的重要方法之一，Thorp *et al*. (1992) 調查美國加州本土與引進的蜂類長期生態，發現相距 40 km 的 Consumnes 流域自然保護區（Consumnes River Preserve）與聖華金實驗山區（San Joaquin Experimental Range）借坑性築巢蜂類之活躍期與兩地的植物相有關，在春季時多樣植物的花期與秋季時菊科植物的花期是影響兩地具備授粉功能的數種切葉蜂群聚變動之要因。此外，借坑性築巢蜂類也常被拿來當作檢驗環境品質與監測棲地變化的指標生物（Tscharntke *et al*., 1998)。

在不同的棲地環境利用誘引器誘集的生物群聚，研究上可使用多樣性與相似性等測量指標顯示棲地間借坑性築巢蜂類群聚的差異（Buschini, 2006)，多樣性是指樣本中包含的物種組成不同的程度，相似性則是指樣本間物種組成類似程度(Ohgaki, 2008)。分析方法中，如多樣性常使用 Simpson 及 Shannon-Wiener 指數，相似性則常使用 Jaccard 及 Morisita 指數，相似性亦可用來進行群聚間的分類（Kobayashi, 1995; Krebs, 2014)。臺灣的農業長期生態研究（Long Term Ecological Research）計畫於 2006 年展開（Chen *et al*., 2009)，主要目的為探討永續農業生態系統(sustainable agro-ecosystem）及慣行農業生態系統（conventional agro-ecosystem）對農業生態系統功能之影響，計畫場域供研究人員進行農業長期生態系統調查，可觀察特定生物族群或群聚之變遷或消長。本研究從農業長期生態研究站內之農業水旱田、荔枝果園，以及林試所之林業育林地三個試驗站，定義農業水旱田樣區、荔枝果園永續農耕樣區及慣行農耕樣區，及育林地樣區，總共四類棲地環境。各樣區之間以 2 種築巢誘引巢體誘集借坑性築巢蜂類，以蒐集樣區內的生物群聚。本研究主要目的有：一、瞭解水旱田、荔枝果園與育林區等作

物下，借坑性築巢蜂類的組成、築巢習性、物候及其生態功能；二、分析農業之水旱田、荔枝果園之永續農耕、慣行農耕與森林育林地等四類棲地環境，築巢誘引巢體內生物群聚間多樣性與相似性，藉以探討農林棲地環境對蜂類群聚所產生之影響。

## 材料與方法

### 一、研究地點

研究場域規劃與定義：1. 台南區農業改良場雲林分場（以下簡稱雲林分場）(23°38'N, 120°28'E)，海拔約 40 m，區內為雙期作水田及間作落花生，總種植面積約 7 ha，規劃為農業長期生態研究站，田區平坦，無遮蔽物，外圍有一果樹保存園及圍籬（Chen *et al*., 2009; Chan *et al*., 2012)。本研究將雲林分場定義為“水旱田樣區”(圖一 A)；2. 農業試驗所嘉義分所（以下簡稱嘉義分所）(23°29'N, 120°28'E)，分所總面積約 41 ha，海拔約 60 m，其中農業長期生態計畫將“荔枝原生種保存園”規劃為農業長期生態研究站，並劃分“永續農耕”(採行不施肥、不施藥、不整枝，簡易清園等處理) (SA) 和“慣行農耕”(CA) 區域，種植面積為 1.4 與 1.1 ha。其中永續農耕樣區與慣行農耕樣區直線距離約 300 m，兩區中間種植其他作物做為作物緩衝帶，本研究於該區定義為荔枝果園的“永續農耕樣區”和“慣行農耕樣區”(圖一 B~C)；3. 林業試驗所中埔研究中心澐水試驗林育苗林地（以下簡稱澐水試驗林) (23°22'N, 120°31'E)，該區總面積 32 ha，區內多為二次造林之落葉喬木與育苗林地，其中育苗林地海拔約 180 m，進行低海拔經濟樹種及綠化樹種育林。該站並無規畫農業生態系長期生態研究，亦無 SA 與 CA 設計，區內主要為試驗研究用途，未對外開放，人為干擾低，本研究規劃試驗區約 1.2 ha 之育苗林地內，定義為“育林地樣區”(圖一 D)。

### 二、築巢誘引巢體規格

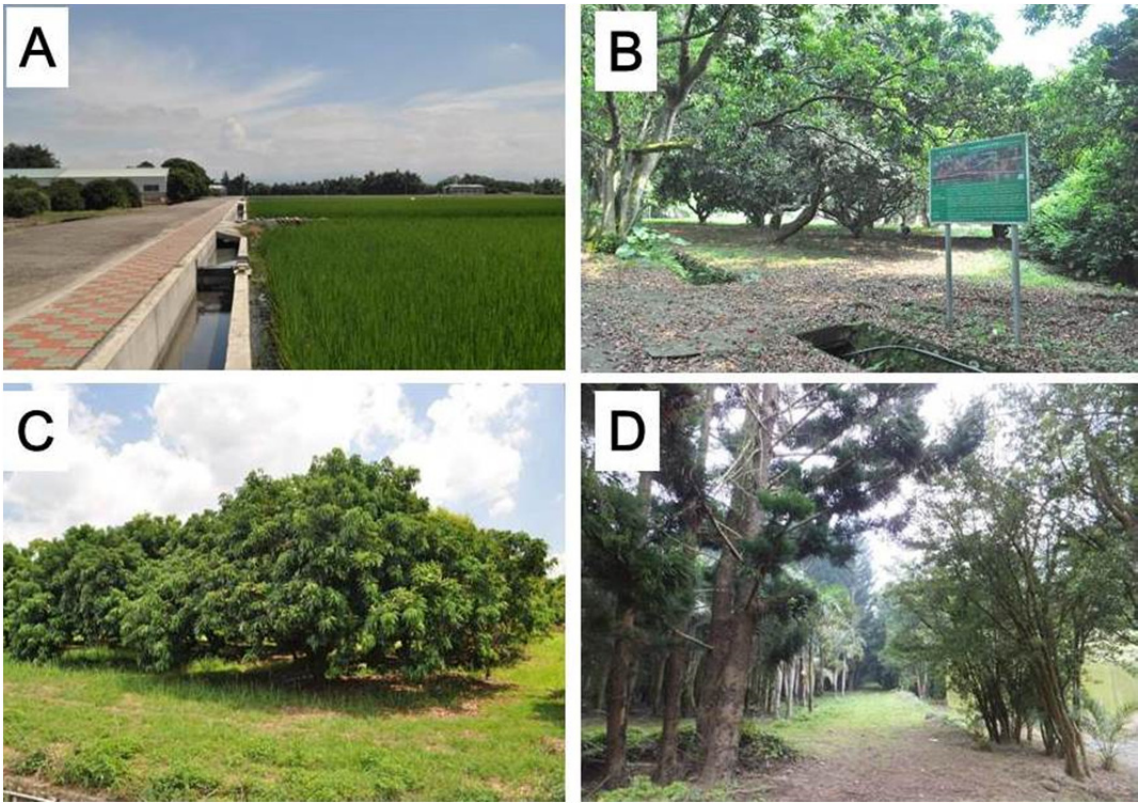
使用之兩種築巢誘引巢體規格參考 Lu *et al*. (2013)：1. 原木材質築巢誘引巢體 Binderboard® (US patent 5372535 與 5618220)，其本體長 13 cm，高度 4 cm，孔徑 0.6 cm、深度 10 cm 之三排 39 孔，具不鏽鋼上蓋防雨（圖二 A)。2. 自製型竹管束，單一竹管孔徑 0.4~1.5 cm，均留一節，節間長度留約 10~20 cm，在次一節前裁切。形成一端開口。再以細繩將 20 根集為一捆，形成竹管束，上鋪塑膠蓋板防雨（圖二 B)。

### 三、誘集點設置與誘集方法

每樣區設置原木誘引巢體 Binderboard® 與竹管束誘引巢體各 10 個，每個誘引巢體的放置點均定位，於 Google map 中標籤並利用其內建功能測量各樣區所圍成之涵蓋面積，水旱田約 76,000 $m^2$，荔枝果園永續農耕區約為 1,200 $m^2$，慣行農耕區約為 1,300 $m^2$，育林地約 3,100 $m^2$。雖然四個樣區點所圍成的面積不同，但鄰近周邊仍具有同質的棲地環境，以最大面積的水旱田來說，田區長寬邊的直線距離仍有 300~400 × 200~250 m 之距離，對飛行能力強的蜂類可能影響不大，因此假設蜂類的築巢選擇性會與此試驗的樣區面積大小無關。然而受到作物的株高特性與更換誘引巢體的難易度等條件限制，及避免設置誘引巢體後影響機械除草或施肥等農業管理操作，樣區的誘引巢體架設，說明如下：1. 水旱田樣區中，於不影響農業機械操作的 6 處田埂點，架設高度約 0.8~1 m 的角鋼架組，並設置 Binderboard® 與竹管束誘引巢體各 3 個，共計 6 個；另於離田中央 50 m 內樹木園與圍籬，高度約 0.8~1.2 m 處，懸掛 7 個 Binderboard® 與 7 個竹管束誘引巢體，共計 14 個。於嘉義分所之設置方法是於永續農耕區及慣行農耕區隨機各選 10 處，在高度 1~1.5 m 的位置，將 Binderboard® 與竹管束誘引巢體各 1 個相鄰水平固定或懸吊於荔枝枝幹上。於澐水試驗林之設置方法是於育林地內路旁隨機選 10 處，在高度 1~1.5 m 的位置，將誘引巢體各 1 個相鄰水平固定或懸吊於林木枝幹上。固定之 Binderboard® 與竹管均於原處每隔 4~5 周更換一次，總計 2012 年 3 月至 2013 年 5 月期間，各站各收集 14 次資料。

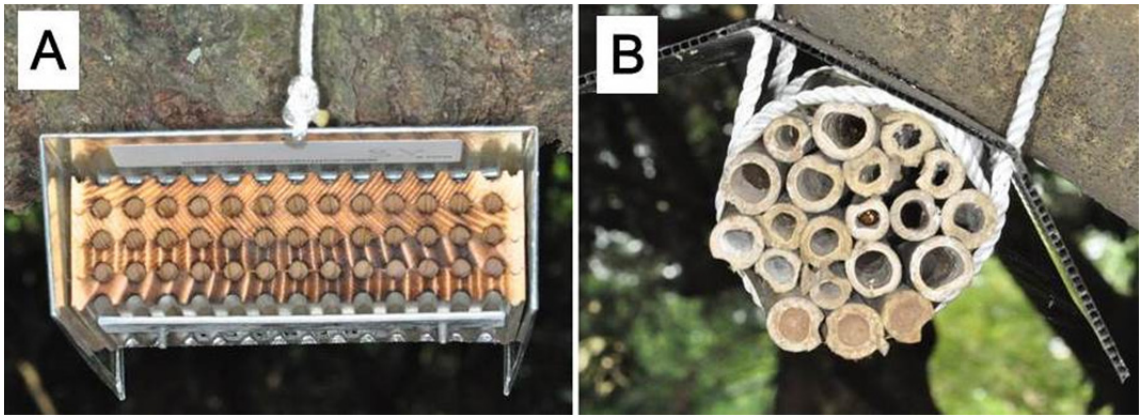
### 四、紀錄與鑑定

每月攜回之築巢誘引巢體，均逐一檢視並記錄巢的構造，各試驗樣區月份誘集的蜂種類，以蜾蠃亞科、切葉蜂科、穴蜂科及蛛蜂科等分類群整理，各分類群之數量和視為該月份別活動量。誘引巢體洞口如有泥土或樹脂封蓋，則將竹管與 Binderboard® 剖開後，記錄誘集蜂類所使用的孔徑與每坑洞內構築的蜂巢室數量，若發現蜂類幼蟲或蛹體，將其個別移出至 6 ml 小型樣本瓶內待其羽化，羽化為成蟲後才將其製作針插標本並鑑定；一部分幼蟲或蛹體在誘引巢體內被寄生及移至樣本瓶後無法羽化為成蟲，後續亦無法鑑定至屬或種級




圖一　各區試驗站地形地貌。A：台南區農業改良場雲林分場水旱田樣區 (YLBS)；B：農業試驗所嘉義分所荔枝果園內永續農耕樣區 (CAES-SA)；C：慣行農耕樣區 (CAES-CA)；D：林業試驗所澐水試驗林育林地樣區 (YSBS)。

Fig. 1.　Photographs of the experiment stations, A: YLBS station; B: CAES station with sustainable agroecosystem (CAES-SA); C: CAES station with conventional agroecosystem (CAES-CA); and D: YSBS station.




圖二　兩種築巢誘引巢體樣式。A：原木誘引巢體 Binderboard®；B：自製型竹管束。

Fig. 2.　Types of trap-nesting devices, A: Binderboard®; B: bamboo cluster.

者，資料未納入本研究中。誘集所獲得之蜂類標本由作者群鑑定，蜂類物種之檢索表主要參考文獻為：蜾蠃亞科、穴蜂科及蛛蜂科，Yamane *et al.* (1999)、Yeh (unpublished data)；切葉蜂科，Yasumatsu and Hirashima (1965)、Wu (2006)、Michener (2007)。蜾蠃中文名參考 Lu *et al.* (2013)、Zhang (1989) 及 Yeh (unpublished data)，狩獵蜂所捕獲之鱗翅目幼蟲則鑑定至科級，存證標本均長期置放於林業試驗所森林昆蟲標本館 (FACT, Forest Arthropod Collection of Taiwan at TFRI) 內，標本影像資料於附錄一，亦登錄至林業試驗所昆蟲標本館資料庫中。

## 五、數據處理、統計方法與群聚分析

將各試驗樣區月份別所誘集的蜂種類與數量資料輸入 Excel 試算表中，統計檢定參考 Glover and

Mitchell (2015)，說明如下：(1) 各試驗站間取食習性的誘集比例檢定，檢定法是以試驗站的作物別(水旱田、荔枝果園及育林地) 為 $k$，以狩獵與訪花的習性為 $r$ 之 $r \times k$ 列聯表之卡方檢定 (Chi-square test)；(2) 各試驗站間與科級分類群蜂數總和比例之卡方檢定；(3) 科級分類群在各月份別的誘集平均數差異，使用檢定法是 Kruskal-Wallis $k$ 樣本檢定法，它是採 $k$ 個母體中至少有一個中位數是不同於其他中位數的研究假說；(4) 試驗站內兩種誘引方法對於物種的誘集數比例檢定，使用檢定法是離散型數據組之適合度卡方檢定。

生物多樣性與群聚分析，各樣區在各月份別取得的樣本資料量化後，使用 Shannon-Wiener 多樣性指數分析。另進行生物群聚分析，方法參考 Kobayashi (1995)，主要參數為森下 (Morisita) 的 $C_\lambda$ 公式，以計算生物群聚間的相似性指數 (similarity index)。

森下 $C_\lambda$ 相似性指數

$$C_\lambda = \frac{\sum_i n_{ij} n_{ik}}{N_j \cdot N_k} \cdot \frac{1}{(\lambda_j + \lambda_k)/2}$$

$$\lambda_j = \frac{\sum_i n_{ij}(n_{ij}-1)}{N_j(N_j-1)}$$

$$\lambda_k = \frac{\sum_i n_{ik}(n_{ik}-1)}{N_k(N_k-1)}$$

$$0 \le C_\lambda \le 1$$

式中 $N_j$、$N_k$ 為操作組 j、操作組 k 之樣本總數，$n_{ij}$、$n_{ik}$ 為各組間第 $i$ 號物種的數量。$C_\lambda$ 值為 0 時代表兩群聚間類似程度低，$C_\lambda$ 值為 1 時代表兩群聚間類似程度高，大於 0.6 代表兩群聚間明顯重疊。操作資料組規劃，從水旱田、荔枝果園永續農耕區、慣行農耕區及育林地等四組生物群聚，將各組群聚資料之 $C_\lambda$ 值以矩陣 (matrix) 排列比較，依次合併矩陣中最高 $C_\lambda$ 值之兩組，並重新製作矩陣比較，即以加權平均 (weighted group average) 分類方式，連結各組間距離並作樹狀圖 (dendrogram)，可獲得數組生物群聚間距離 (Kobayashi, 1995)，以此探討四種棲地類型間生物群聚之類似程度。

## 結　　果

### 一、誘集種類與數量

於 4 種棲地環境誘集之借坑性築巢蜂類總計 912 隻，鑑定至屬或種的物種共 14 種，包括 6 種蜾蠃、5 種切葉蜂、1 種穴蜂及 2 種蛛蜂 (表一)。物種名為：胡蜂科．蜾蠃亞科的黃緣前喙蜾蠃 (*Anterhynchium flavomarginatum formosicola* (Schulthess))、矛紋佳盾蜾蠃 (*Euodynerus nipanicus flavicornis* Yamane)、黃紋短腰蜾蠃 (= 福建埃蜾蠃，*Epsilon fujianensis* Lee)、赭褐毛唇蜾蠃 (*Orancistrocerus drewseni* (Saussure))、赭褐旁喙蜾蠃 (*Pararrhynchium ornatum sauteri* (Schulthess))、赭黃原喙蜾蠃 (*Rhynchium brunneum* (Fabricius)) 等 6 種蜾蠃；切葉蜂科的窄條切葉蜂 (*Megachile angustistrigata* Alfken)、條切葉蜂 (*Megachile faceta* Bingham)、丘切葉蜂 (*Megachile monticola* Smith)、臺灣切葉蜂 (*Megachile taiwanicola* Yasumatsu et Hirashima)、薔薇切葉蜂 (*Megachile tranquilla* Cockerell) 等 5 種切葉蜂；穴蜂科的黃柄壁泥蜂 (*Sceliphron madraspatanum* (Fabricius))，以及蛛蜂科的 *Anoplius* 屬及 *Auplopus* 屬各 1 種 (附錄一)。

以取食習性區分的誘集數，在水旱田、荔枝果園 (永續農耕與慣行農耕) 及育林地的試驗站中，狩獵習性 (蜾蠃、蛛蜂、穴蜂) 比例分別佔 29.5、32.5 及 25.4%，訪花蜂習性 (切葉蜂) 比例佔 0、3.7 及 8.9%，在統計上具顯著水準 ($\chi^2$ test, $P < 0.001$)，顯示試驗站間取食習性的蜂誘集比例並不一致。試驗站間亞科以上分類群的誘集數，蜾蠃亞科佔 61.4%、蛛蜂科 23.6%、穴蜂科 2.4% 及切葉蜂科佔 12.6%；蜾蠃亞科又以水旱田的佔比較多，育林地次之，蛛蜂科以荔枝果園與育林地為主；切葉蜂科於育林地較多 (圖三、圖四)，統計上分類群的蜂數總和比例具顯著性差異 ($\chi^2$ test, $P < 0.001$)，顯示試驗站間分類群的蜂數總和比例並不一致。另以分類群在月份別之誘集蜂平均數，其平均中位數呈顯著性差異 (Kruskal-Wallis Test, $N = 62$, $P < 0.05$)；且平均數間亦具顯著性差異，依高低序為蜾蠃亞科 21.5 隻 ($n = 26$)、切葉蜂科 12.8 隻 ($n = 9$)、蛛蜂科 9.4 隻 ($n = 23$)、穴蜂科 5.5 隻 ($n = 4$) (Bonferroni $t$ Test, $P < 0.0167$)，顯示在蜾蠃或切葉蜂類的活動月別，數量較蛛蜂與穴蜂集中且多。

各試驗站間以竹管、Binderboard® 方法對於 14 個物種的誘集數 (表一)，水旱田的誘集，有 98.9% 的比例被竹管誘集 ($n = 269$)；於荔枝果園，竹管與 Binderboard® 誘集比例為 57.9 與 42.1% ($n = 330$)，誘集比例並不一致 ($\chi^2$ test, $P < 0.001$)；於育林地誘集，竹管與 Binderboard® 誘

表一　2012 年 3 月至 2013 年 5 月間使用竹管束及 Binderboard® 築巢誘引巢體於雲林分場水旱田樣區 (YLBS)、嘉義分所荔枝果園的永續農耕與慣行農耕樣區 (CAES-SA, CAES-CA) 及林試所濃水試驗林育林地樣區 (YSBS) 誘集借坑性築巢蜂類及數量

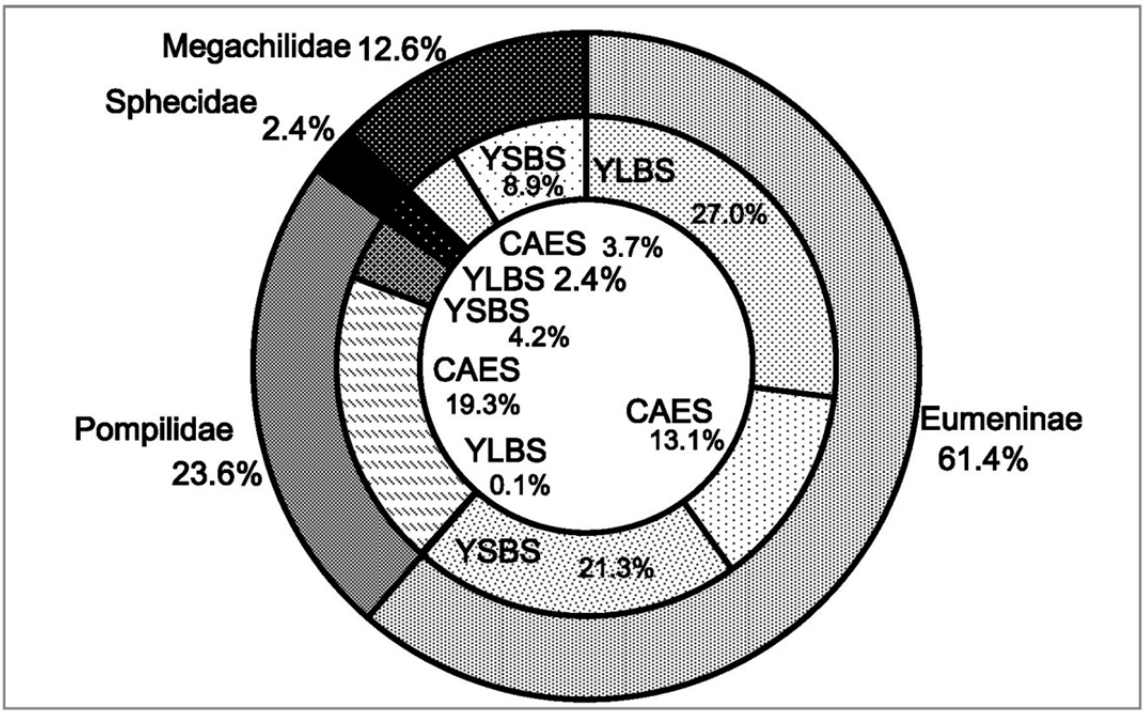
Table 1.　Number of trap-nesting wasps and bees trapped using bamboo tubes and Binderboard® in the YLBS, CAES-SA, CAES-CA, and YSBS stations from March 2012 to May 2013

| Family / Subfamily | Species | YLBS | | CAES-SA + CAES-CA | | YSBS | | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Bamboo cluster | Binderboard® | Bamboo cluster | Binderboard® | Bamboo cluster | Binderboard® | |
| Vespidae / Eumeninae | *Anterhynchium flavomarginatum formosicola* | 0 | 0 | 41 | 24 | 147 | 15 | 227 |
| | *Euodynerus nipanicus flavicornis* | 53 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 53 |
| | *Epsilon fujianensis* | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 |
| | *Orancistrocerus drewseni* | 0 | 0 | 19 | 0 | 0 | 0 | 19 |
| | *Pararrhynchium ornatum sauteri* | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 11 |
| | *Rhynchium brunneum* | 190 | 3 | 36 | 0 | 17 | 0 | 246 |
| Megachilidae | *Megachile angustistrigata* | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 10 | 19 |
| | *M. monticola* | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| | *M. faceta* | 0 | 0 | 0 | 9 | 3 | 18 | 30 |
| | *M. taiwanicola* | 0 | 0 | 7 | 0 | 41 | 0 | 48 |
| | *M. tranquilla* | 0 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 13 |
| Sphecidae | *Sceliphron madraspatanum* | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 |
| Pompilidae | *Anoplius* sp. | 0 | 0 | 37 | 105 | 12 | 1 | 155 |
| | *Auplopus* sp. | 1 | 0 | 33 | 1 | 18 | 7 | 60 |
| Total | | 266 | 3 | 191 | 139 | 258 | 55 | 912 |

集比例為 82.4 與 17.6%，亦並不一致 ($\chi^2$ test, $P < 0.001$)。水旱田的誘集，物種有赭黃原喙蜾蠃、矛紋佳盾蜾蠃、黃柄壁泥蜂及 *Auplopus* sp. 等 4 種 (表一)。於荔枝果園，物種為 *Anoplius* sp. 及黃緣前喙蜾蠃等 8 種，其中竹管紀錄 8 種蜂類，主要 4 種依序為黃緣前喙蜾蠃、*Anoplius* sp.、赭黃原喙蜾蠃及 *Auplopus* sp.，而 Binderboard® 則紀錄 4 種蜂類，但以 *Anoplius* sp. 為主。於育林地，物種為黃緣前喙蜾蠃、臺灣切葉蜂、*Auplopus* sp. 等 9 種，其中竹管紀錄 8 種蜂類，主要 2 種為黃緣前喙蜾蠃與臺灣切葉蜂；而 Binderboard® 則紀錄 6 種蜂類，以條切葉蜂與黃緣前喙蜾蠃為主。部分科別或物種，如切葉蜂科只出現在荔枝果園及育林地；又如矛紋佳盾蜾蠃只出現於水旱田的竹管，而黃紋短腰蜾蠃只出現於育林地的 Binderboard® 中 (表一)。

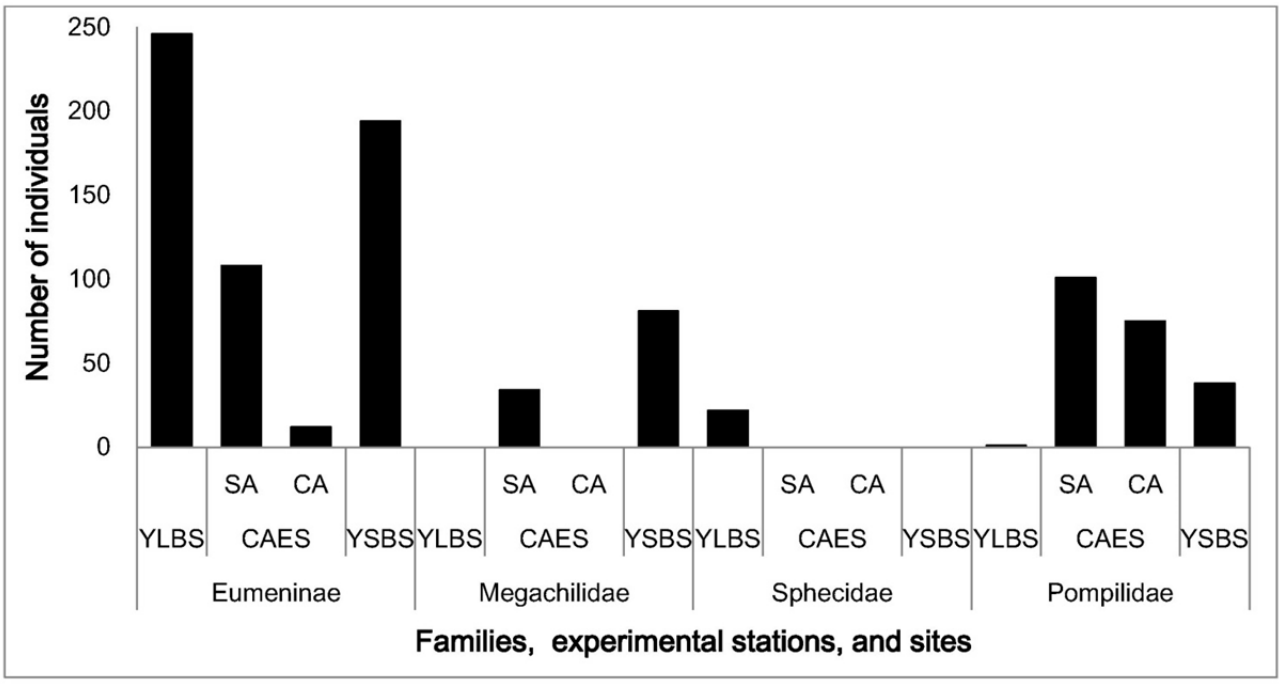
## 二、築巢習性初探

兩種誘引巢體的孔徑與深度，Binderboard® 為固定的 (0.6 × 10 cm)，竹管則變異大 (0.4~1.5 × 10~20 cm)。蜾蠃巢通常每坑洞構築一至數個巢室，巢室內有蜾蠃幼蟲與鱗翅目幼蟲，經鑑定赭黃原喙蜾蠃和黃緣前喙蜾蠃，蜾蠃之獵物幼蟲為螟蛾總科 (Pyralidoidea)，每巢室獵物最多可達十餘隻。除赭褐毛唇蜾蠃外，巢室內壁通常不覆以泥土層，為 tube-renter 類型，巢室隔間以泥土隔開 (圖五 A)。黃緣前喙蜾蠃、赭黃原喙蜾蠃及赭褐旁喙蜾蠃會在坑洞入口築 1~2 層泥牆將其堵住。赭褐毛唇蜾蠃的巢，在竹管內沿坑洞基部至坑洞口，覆以大量泥土，幼蟲被保護於泥坑道內，泥坑道並延伸至坑洞出口外數公分 (圖五 B)。黃紋短腰蜾蠃之巢室隔間層與巢口似以一層淺褐色樹脂構成，築巢材料似與其它蜾蠃相異，因觀察數太少，仍有待進一步確認。蛛蜂 *Anoplius* sp. 內部巢室與多數蜾蠃相似，其巢室內壁沒有泥土通道，但坑洞入口常以褐色樹脂堵住。黃柄壁泥蜂與 *Anoplius* sp. 選擇孔徑較大於其巢的竹管，於竹管內築長橢圓形泥巢，有數個巢室 (圖五 D, F)。蛛蜂和黃柄壁泥蜂捕捉幾類蜘蛛 (Araneae)，*Anoplius* sp. 每巢獵物僅 1 隻蜘蛛 (圖五 C)，雌蟲產卵在蜘蛛獵物的腹部，黃柄壁泥蜂獵物則有多隻蜘蛛。丘切葉蜂蜂巢，巢室內有幼蟲與潤濕狀花粉，巢室周圍以樹脂與細碎葉片包覆，巢室隔間層至坑洞入口間有鬆散的葉片。薔薇切葉蜂、窄條切葉蜂、條切葉蜂的巢室，是以外界攜回的碎葉片如萵苣般疊層，外緣與竹管緊密貼合，往



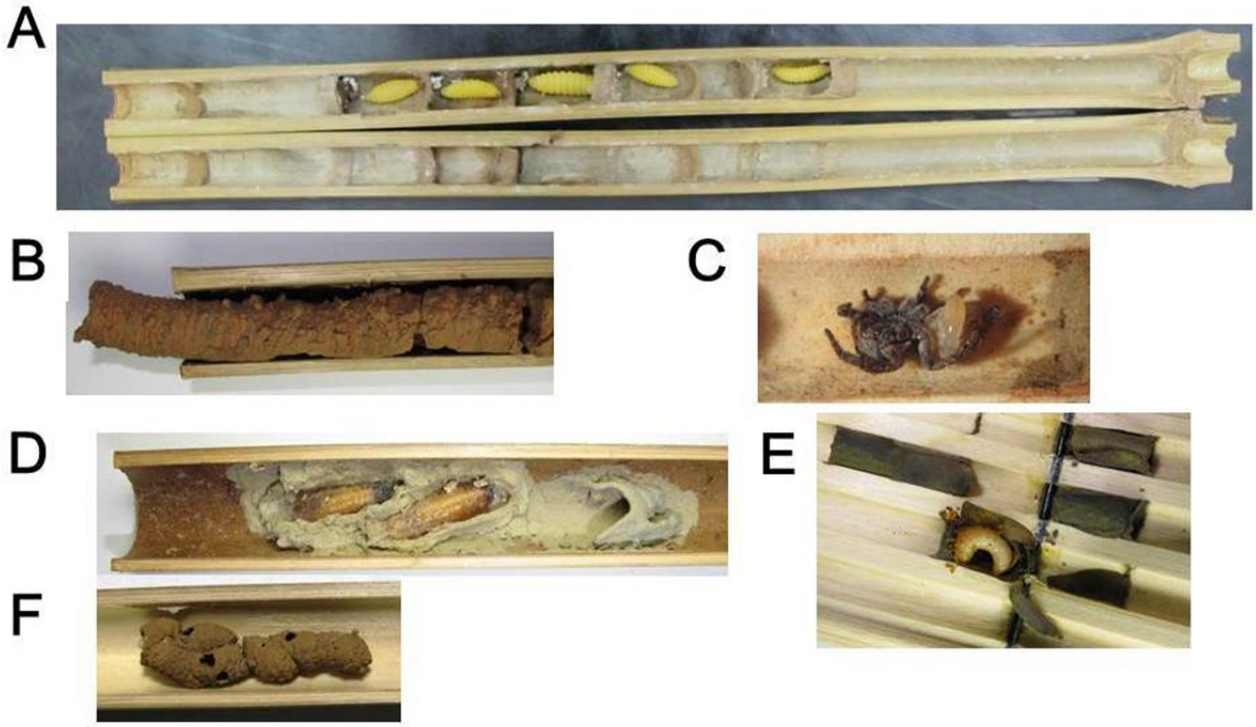

圖三　科級分類群的詳細圓圈圖。外圈：蜾蠃亞科、蛛蜂科、穴蜂科和切葉蜂科的分布比例；內圈：各科於水旱田樣區 (YLBS)、荔枝果園 (CAES) 與育林地樣區 (YSBS) 的分布比例。

Fig. 3.　Elaborate doughnut chart presenting the proportions of the families, Outer ring: Proportion of Eumeninae, Pompilidae, Sphecidae, and Megachilidae; Inner ring: Proportion of families in the YLBS, CAES, and YSBS stations.




圖四　雲林分場水旱田樣區 (YLBS)、嘉義分所荔枝果園內永續農耕樣區 (CAES-SA)、慣行農耕樣區 (CAES-CA) 與澐水試驗林育林地樣區 (YSBS) 所誘得蜾蠃亞科、切葉蜂科、穴蜂科和蛛蜂科總數。

Fig. 4.　Number of trap-nesting wasps and bees from the families of Eumeninae, Megachilidae, Sphecidae, and Pompilidae in the YLBS, CAES-SA, CAES-CA, and YSBS stations.




圖五　數種借坑性築巢蜂類巢內概況。A：黃緣前喙蜾蠃巢內巢室隔間與幼體；B：赭褐毛唇蜾蠃之巢門出口泥土覆蓋；C：蛛蜂 *Anoplius* sp. 之幼蟲及其獵物；D：黃柄壁泥蜂巢內概況；E：窄條切葉蜂巢內概況；F：蛛蜂 *Auplopus* sp. 巢內概況。

Fig. 5.　Nests of trap-nesting wasps and bees (picture is not scaled proportionally), A: nest of *Anterhynchium flavomarginatum*; B: nest of *Orancistrocerus drewseni*; C: prey (spider) and larva of *Anoplius* sp.; D: nest of *Sceliphron madraspatanum*; E: nest of *Megachile angustistrigata*; and F: nest of *Auplopus* sp.

坑洞入口構築數個巢室（圖五 E)。表二為 14 種蜂類頭殼寬與身長，此外，表三為誘集到蜂類所使用的孔徑與每坑洞內構築的巢室數量，多數體型相對較小的蜂類（頭寬 1.3~3.8 mm，體長 5.2~13.4 mm)，如窄條切葉蜂、條切葉蜂、*Anoplius* 及 *Auplopus* 等，多會進入 Binderboard® 及竹管內築巢，但黃紋短腰蜾蠃、矛紋佳盾蜾蠃及薔薇切葉蜂則例外；體型相對中等的蜂類（頭寬 3.2~4.8 mm，體長 9.4~20.1 mm)，如赭褐毛唇蜾蠃、丘切葉蜂與臺灣切葉蜂，牠們並未築巢於 Binderboard® 內；又如體型中等的黃緣前喙蜾蠃與赭黃原喙蜾蠃，竹管內構築的巢室最多 8 個，但 Binderboard® 內最多僅 4 個，誘集總數量亦較少。

## 三、物候特徵

各月份所誘集的蜾蠃亞科、切葉蜂科、穴蜂科及蛛蜂科，每科級分類群有 1~4 物種，各分類群月份別數量如圖六~八。蜾蠃亞科於水旱田中從 4 月開始成功誘集，顯示成蜂活動築巢，至 9 月又增加，從 10 至隔年 3 月誘集數 0 (圖六)；於荔枝果園中蜾蠃亞科於慣行農耕區的數量不多，與永續農耕區合併後觀察活動期在 4~9 月，從 11 至隔年 3 月誘集數 0 (圖七)；於育林地誘集期從 12~2 月及 6 月誘集數 0，其餘期間均有誘集（圖八)。切葉蜂科於荔枝果園及育林地中從 5 月開始成功誘集，至 9 月亦似有另一波出現（圖七~八)。穴蜂科及蛛蜂科的誘集約與蜾蠃亞科、切葉蜂科相似，於荔枝果園及育林地中從 4 至 11 月誘集，12~2 月誘集數下降（圖七~八)。另於實驗室內觀察蛹體或幼蟲的羽化，多數在 9~10 月以後所收集，隔年 4~5 月間方才陸續羽化的蛹體或幼蟲，羽化前都形成休眠形態之前蛹。但較早在 4~9 月間所收集形成的蛹體，短則數日，長約 1 個月，便陸續羽化。以上觀察結果推測，蜾蠃亞科、切葉蜂科、穴蜂科及蛛蜂科等於低溫季節應有越冬的習性，而在春夏季，則至少有 2~3 代的發育現象。

## 四、群聚之多樣性比較

圖九所示為月份別誘集蜂類生物群聚的 Shannon-Wiener 多樣性指數趨勢。水旱田的

表二　測量 14 種借坑性築巢蜂類之頭殼寬、身長
Table 2.　Head width and body length of 14 species of trap-nesting wasps and bees

| Family / Subfamily | Species | Head width | Body length | Body length, from refenerces |
|---|---|---|---|---|
| Vespidae / Eumeninae | *Anterhynchium flavomarginatum formosicola* | 3.2 – 4.4 | 16.3 – 19.8 | 14.5 – 21 mm[a] |
| | *Euodynerus nipanicus flavicornis* | 2.1 – 3.3 | 7.8 – 13.2 | 10.5 – 12 mm[a] |
| | *Epsilon fujianensis* | 3.6 | 11.8 | |
| | *Orancistrocerus drewseni* | 3.2 – 4.6 | 13.7 – 19.1 | 16 – 19.5 mm[a] |
| | *Pararrhynchium ornatum sauteri* | 3.2 – 3.8 | 13.8 – 18.1 | 12.5 – 16 mm[a] |
| | *Rhynchium brunneum* | 3.5 – 4.5 | 14.5 – 20.1 | |
| Megachilidae | *Megachile angustistrigata* | 3.1 – 3.5 | 7.4 – 9.4 | 7.5 – 9.5 mm (♀)[b] |
| | *M. monticola* | 4.8 | 15.0 (♂) | |
| | *M. facata* | 3.4 – 4.1 | 10.1 – 13.4 | 12 – 13 mm (♀)[b] |
| | *M. taiwanicola* | 3.6 – 4.4 | 9.4 – 12.6 | ca. 12 mm (♀)[b] |
| | *M. tranquilla* | 3.0 – 3.8 | 8.4 – 10.2 | ca. 10 mm (♀)[b] |
| Sphecidae | *Sceliphron madraspatanum* | 3.2 – 4.1 | 16.8 – 20.0 | 17 – 22 mm[a] |
| Pompilidae | *Anoplius* sp. | 1.8 – 2.2 | 7 – 7.7 | |
| | *Auplopus* sp. | 1.3 – 1.5 | 5.2 – 6.0 | |

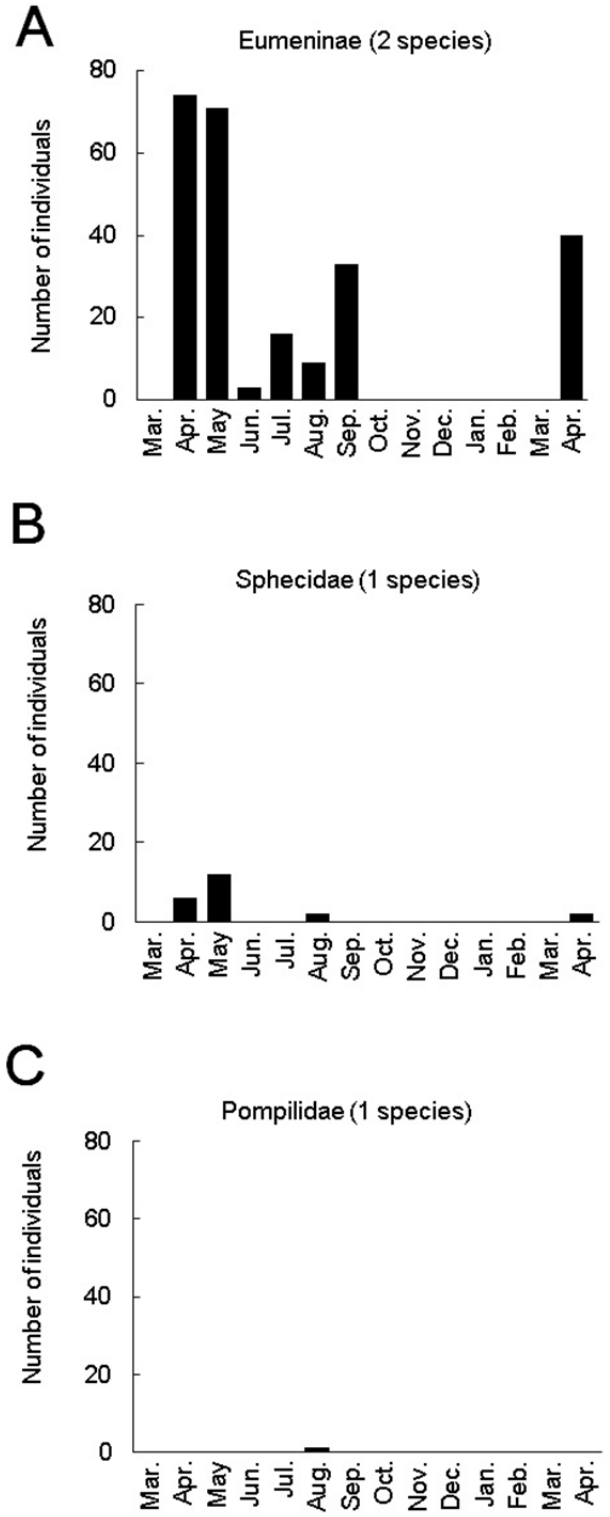
[a]Yamane *et al*., 1999; [b]Yasumatsu and Hirashima, 1965.

表三　借坑性築巢蜂類之各物種選擇的之竹管誘引巢體孔徑及管道內築巢室數
Table 3.　Bamboo diameters and number of cells in 13 species of trap-nesting wasps and bees

| Family / Subfamily | Species | Bamboo diameters (mm) | Number of cells in a bamboo canal ($n$)[1] | Number of cells in a Binderboard® canal ($n$)[2] |
|---|---|---|---|---|
| Vespidae/ Eumeninae | *Anterhynchium flavomarginatum formosicola* | 6.5 – 12 | 1 – 8 (74) | 2 – 4 (3) |
| | *Euodynerus nipanicus flavicornis* | 10 – 11 | 2 – 13 (9) | – |
| | *Epsilon fujianensis* | – | – | 1 – 3 (2) |
| | *Orancistrocerus drewseni* | 9 – 14 | 2 – 6 (10) | – |
| | *Rhynchium brunneum* | 6.5 – 11 | 1 – 8 (98) | 1 – 2 (3) |
| Megachilidae | *Megachile angustritrigata* | – | 9 (1) | 1 – 8 (3) |
| | *M. monticola* | 8 – 12 | 1 – 4 (3) | – |
| | *M. faceta* | 10 | 4 – 7 (5) | 4 – 5 (3) |
| | *M. taiwanicola* | 9 | 4 – 14 (6) | – |
| | *M. tranquilla* | – | 6 – 7 (2) | – |
| Sphecidae | *Sceliphron madraspatanum* | – | 1 – 7 (8) | – |
| Pompilidae | *Anoplius* sp. | 5 – 9 | 1 – 11 (34) | 1 – 7 (52) |
| | *Auplopus* sp. | 5.5 – 13.5 | 1 – 7 (14) | 1 – 2 (4) |

[1]Bamboo diameters ranged from 4 to 15 mm.
[2]The Binderboard® diameter is 6 mm

Shannon-Wiener 多樣性指數從 4 月份開始，至 8 月份達到峰值，隨後的月份便下降。荔枝果園的永續農耕與慣行農耕區峰值集中於 5~7、9、11 月，且永續農耕區的 Shannon-Wiener 多樣性指數較慣行農耕區大，育林地的峰值於 7、9 月。水旱田、荔枝果園永續農耕區、荔枝果園慣行農耕區、育林地組成之生物群聚中，各樣區間以 $C_\lambda$ 相似性指數為基礎的群聚分類樹狀圖如圖十所示，群聚間相似性指數最高兩個樣區為荔枝果園永續農耕區與育林地，相似性指數為 0.700。將荔枝果園永續農耕區與育林地資料合併後與水旱田、荔枝果園慣行農耕區比較之相似性指數即偏低，依序為荔枝果園永續農耕區 + 育林地之組合與荔枝果園慣行農耕區之相似性指數 0.299，荔枝果園永續農耕區 + 育林地 + 荔枝果園慣行農耕區之組合與水旱田之相似性指數 0.155。此結果顯示水旱田農業樣區或荔枝果園內的慣行農耕樣區棲地，誘集借坑性築巢蜂類之生物群聚組成與荔枝果園內永續農耕樣區、育林地樣區的類似程度較低，而荔枝果園內的永續農耕樣區與育林地樣區之生物群聚組成類似程度較高。



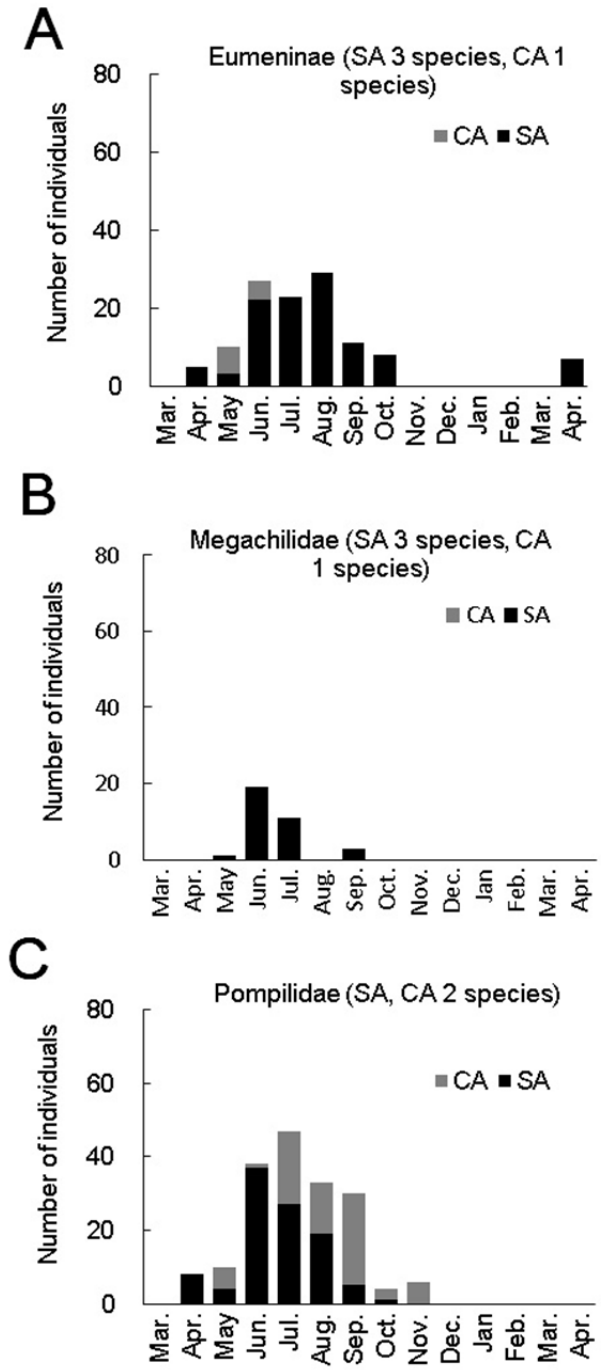

圖六　雲林分場水旱田樣區 (YLBS) 於 2012~2013 年每月誘集蜾蠃亞科、黃柄壁泥蜂及 *Auplopus* sp. 之數量。

Fig. 6. Monthly numbers of individuals from Eumeninae, *Sceliphron madraspatanum*, and *Auplopus* sp. in the YLBS station between 2012 and 2013.

## 討　論

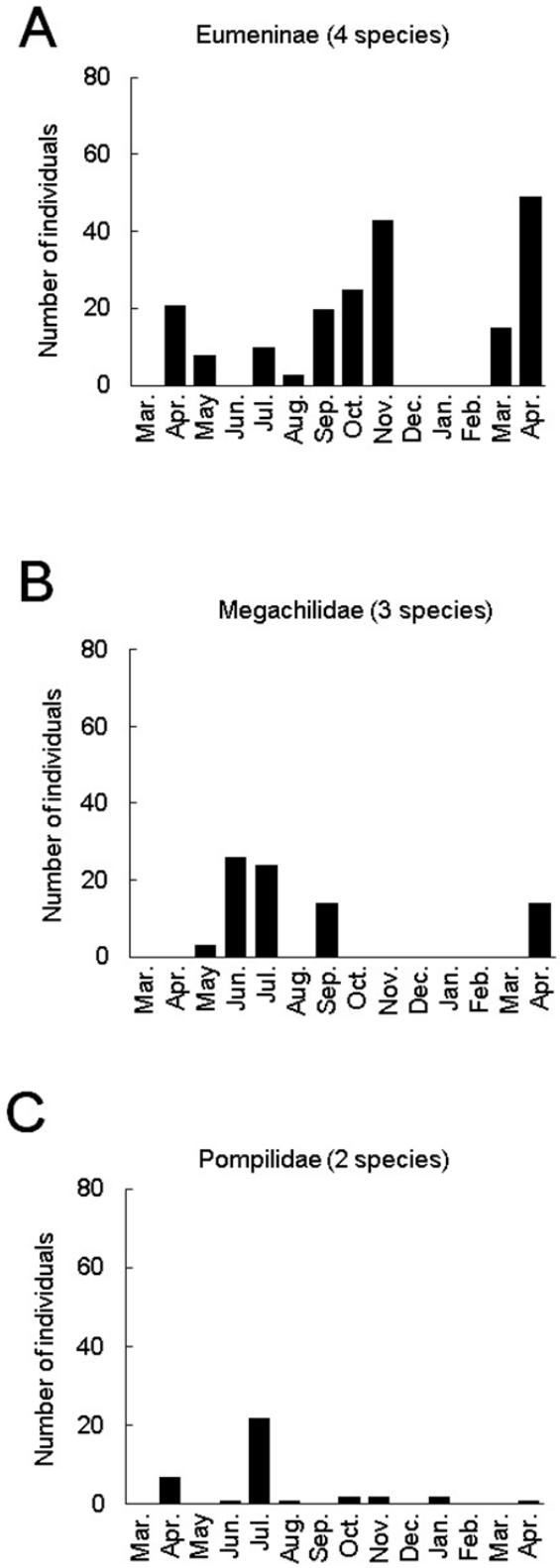
本研究調查農林生態系中借坑性築巢蜂類的組成有胡蜂科的蜾蠃亞科、切葉蜂科、蛛蜂科與穴蜂科等 4 科。參考國外以類似方法誘集蜂類的研究 (Ishihara, 1995; Tscharntke *et al*., 1998; Hallett, 2001; Horn and Hanula, 2004; Matsumoto and Makino, 2011; Barthélémy, 2012)，本研究並未誘集臺灣亦有分布的分舌蜂科與銀口蜂科蜂種。就分舌蜂科而言，臺灣分布的屬僅有分舌蜂屬 (*Colletes*) 及面花蜂屬 (*Hylaeus*) (Michener, 2007)。其中分舌蜂屬僅 1 種，學名為 *Colletes taiwanensis* Dubitzky et Kuhlmann，僅分布於中高海拔，且只專訪黃苑花 (*Senecio nemorensis* L.) (Dubitzky and Kuhlmann, 2004)，棲地範圍並不在低海拔。此外，據 I-Hsin Sung 的蒐集與調查，國內外的臺灣產面花蜂屬資料，分類的研究主題曾有數篇報告，生態研究甚少；在野外雖可在低海拔偶然發現數種，但並不常見 (personal communication Jan 10, 2017)。就日本所調查的報告與資料庫紀錄，銀口蜂科有 *Rhopalum clavipes jessonicum* Bischoff、*Trypoxylon malaisei* Gussakovskij，面花蜂屬亦只有 *Hylaeus nippon* Hirashima (Makino *et al*., 2011)；香港則有兩種臺灣亦有分布，捕食蜘蛛習性的短翅泥蜂，*Trypoxylon formosicola* Strand、*Trypoxylon petiolatum* Smith，以及 1 未知種面花蜂 (Barthélémy, 2012)。雖然所知甚少，推測本研究未誘集分舌蜂科與銀口蜂科之原因，應與棲地環境的資源是否有利於該等科別的昆蟲存活有關。

除切葉蜂科外，調查的其他 3 科蜂類均有利用泥土築巢的習性，但同一科內物種間築巢習性仍有不同，因此仍略可從外觀分辨特定物種的巢穴。此外，本次所使用的築巢誘引巢體之一 Binderboard®，其孔徑為 6 mm，較誘集到的 5 種蜾蠃所適合的孔徑 (6.5~14 mm) 還小，因此 Binderboard® 容易收集到較小型的蜂類；體型中等的黃緣前喙蜾蠃與赭黃原喙蜾蠃，Binderboard® 也因孔洞深度僅 10 cm，構築的巢室最多也僅 4 個。而竹管的長度，較 Binderboard® 多，構築的黃緣前喙蜾蠃與赭黃原喙蜾蠃巢室最多可達 8 個，竹管束也可誘集多樣的借坑性築巢蜂類。此外，切葉蜂築巢時也類似於蜾蠃，通常雌蜂於單一孔洞內會同時建構多個巢室，因此在蜾蠃或切葉蜂類的活動期，一旦成功誘集，數量便非常集中且多。在應用上，利用竹管束誘引天敵以防治農業害蟲，有成本



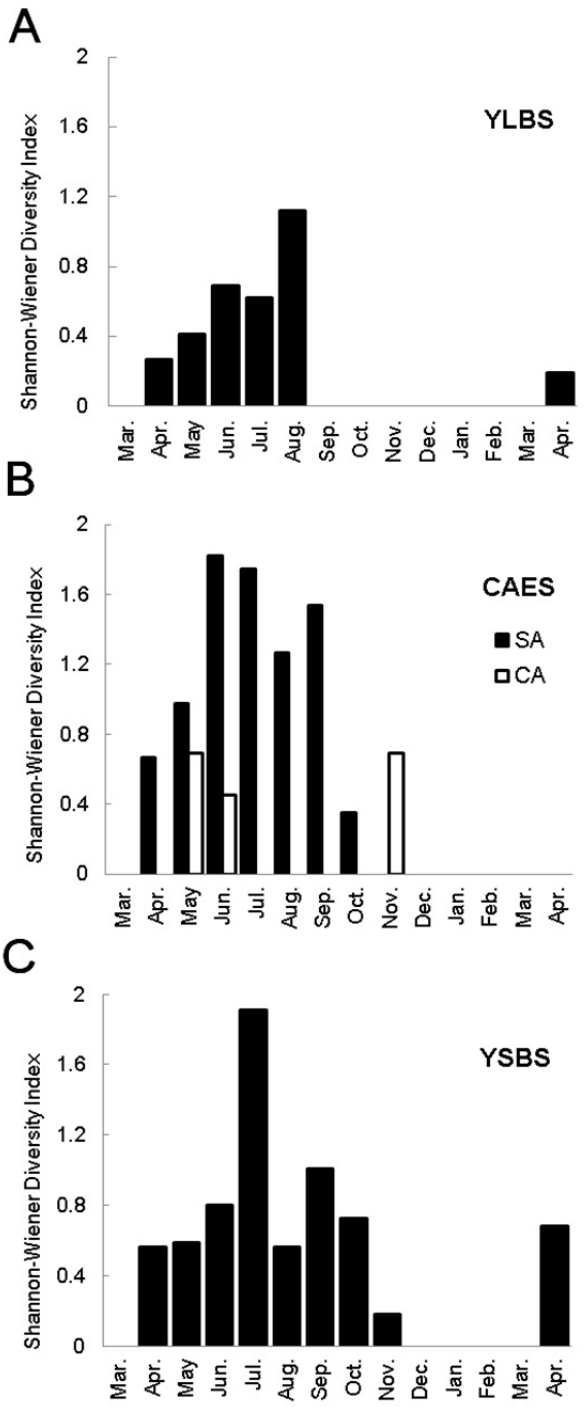

圖七　嘉義分所荔枝果園內永續農耕樣區 (CAES-SA) 與慣行農耕樣區 (CAES-CA) 農耕樣區於 2012~2013 年每月誘集蜾蠃亞科、切葉蜂科及蛛蜂科之數量。

Fig. 7. Monthly numbers of individuals from Eumeninae, Megachilidae, and Pompilidae in the CAES-SA and CAES-CA stations between 2012 and 2013.



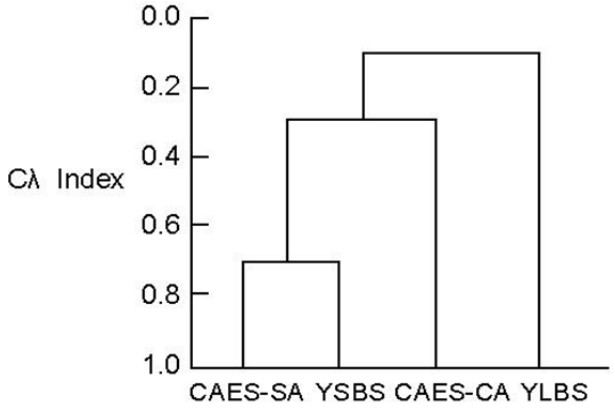

圖八　濁水試驗林育林地樣區 (YSBS) 於 2012~2013 年每月誘集蜾蠃亞科、切葉蜂科及蛛蜂科之數量。

Fig. 8. Monthly numbers of individuals from Eumeninae, Megachilidae, and Pompilidae in the YSBS station between 2012 and 2013.




圖九　雲林分場水旱田樣區 (YLBS)、嘉義分所荔枝果園內永續農耕 (CAES-SA) 與慣行農耕 (CAES-CA) 樣區及澐水試驗林育林地樣區 (YSBS) 於 2012~2013 年每月之 Shannon-Wiener 多樣性指數。

Fig. 9. Monthly patterns of Shannon–Wiener indices in the YLBS, CAES-SA, CAES-CA, and YSBS stations between 2012 and 2013.




圖十　雲林分場水旱田樣區 (YLBS)、嘉義分所荔枝果園內永續農耕樣區 (CAES-SA)、慣行農耕樣區 (CAES-CA) 及澐水試驗林育林地樣區 (YSBS) 之 4 組生物群聚，基於森下的 $C_\lambda$ 指數之群聚分類樹狀圖。

Fig. 10. Dendrogram of $C_\lambda$ similarity indices among the trap-nesting wasp and bee communities in the YLBS, CAES-SA, CAES-CA, and YSBS stations.

低，田間容易取得等優點。而 Binderboard® 雖也有大小不一的孔徑的成品，在材質的成本考量與環境友善面較不適合用於推廣給農民使用。基於借坑性築巢蜂類之築巢習性與體型關係，可利用 Binderboard® 固定孔徑的成品應用於誘集、監測或量化特定蜂類的樣本，減少非目標昆蟲的影響。

借坑性築巢蜂類的物候觀察，因每月頻繁的更換誘引巢體，發現多數的誘集樣本除卵期外，亦有各齡期幼蟲或蛹之紀錄，顯示這些誘引巢體釋放於田間後，短時間內便會吸引特定物種的狩獵蜂前來築巢。以捕食鱗翅類幼蟲為主的蜾蠃在 8 月份數量仍多，9~10 月份所採得蜾蠃幼蟲皆為前蛹，至隔年 4~5 月才陸續羽化。其它 2 種蛛蜂情況亦同，在冬季 1~3 月之低溫月份幾無新築巢現象，或許於低溫環境時該等蜂類發生越冬。Ishihara (1995) 指出，竹管狀誘引巢體所誘集到的巢的類型有幼蟲為越冬個體的越冬巢、有正常幼蟲的夏期巢或成蟲已羽化離巢的殘體巢。Li *et al*. (1975) 的也曾報導赭黃原喙蜾蠃 (*Rhynchium brunneum*) 的越冬習性。初步觀察結果，多數在臺灣的蜾蠃，有越冬習性，適當活動季節多為春季至夏秋季。因此考慮生物防治或授粉功能之釋放誘引巢體時，可選擇在春季前開始，避免誘引巢體長期使用腐壞而降低誘引效果，而越冬個體的保護亦可能是未來繼續研究的重點。

借坑性築巢蜂類具有生物防治之生態功能，尤以蜾蠃對於鱗翅目的害蟲有一定的效果，中國很早

就報導赭黃原喙蜾蠃在水田與棉田中進行生物防治的利用，該蜾蠃能捕捉螟蛾科 (Pyralidae)、夜蛾科 (Noctuidae)、舟蛾科 (Notodontidae) 等 13 種的蛾類幼蟲 (Li *et al.*, 1975)。此外，Barthélémy (2012) 發現前喙蜾蠃屬 (*Anterhynchium* spp.) 捕捉草螟科 (Crambidae) 或斑野螟亞科 (Spilomelinae) 等幼蟲。本研究誘集的 560 隻蜾蠃類中，赭黃原喙蜾蠃與黃緣前喙蜾蠃出現的比例高達 473 隻 (84.5%)，因此推估牠們在農園內應普遍分布，對於農業害蟲的生物防治作用，應不可忽視。切葉蜂科在國外的調查，Yoon *et al.* (2015) 說明韓國 5 種切葉蜂科的壁蜂屬 (*Osmia* spp.) 物種，發現牠們依存於誘引材料的築巢率受到地點與高度、植物多樣性等影響。在利用於授粉上的實例上，如日本於蘋果園中利用竹管誘集切葉蜂科壁蜂屬蜂類的技術，已大量應用並取代人工授粉 (Inoue *et al.*, 1993)。在臺灣，溫帶果樹因為受到緯度與地形的限制，種植的面積並不廣，且臺灣沒有壁蜂屬的分布 (Michener, 2007)，因此切葉蜂的授粉效益，宜先瞭解臺灣是否有與其共演化的經濟性或珍稀植物，再確認切葉蜂的重要性。另外，蛛蜂與穴蜂類捕食的獵物為蜘蛛類，但蜘蛛也可能是如褐飛蝨 (brown plant hopper) 等重要農業害蟲的天敵生物 (Chiu, 1979)，此種捕食性狩獵蜂捕捉害蟲的天敵生物的食物鏈過程，在農業生態系之生態功能更形複雜且須進一步確認。

樣區之棲地環境特徵群聚間多樣性分析，具狩獵習性的蜾蠃亞科、蛛蜂科及穴蜂科，誘集比例多於授粉習性的切葉蜂，且狩獵蜂在水旱田偏多，荔枝果園以永續農耕區的多樣性較完整，且荔枝果園永續農耕區與育林地群聚間有高的相似性指數，而育林地仍保有一定比例的狩獵蜂與授粉蜂。上述結果，推測試驗樣區獨棲蜂類的棲地環境有三項特徵：

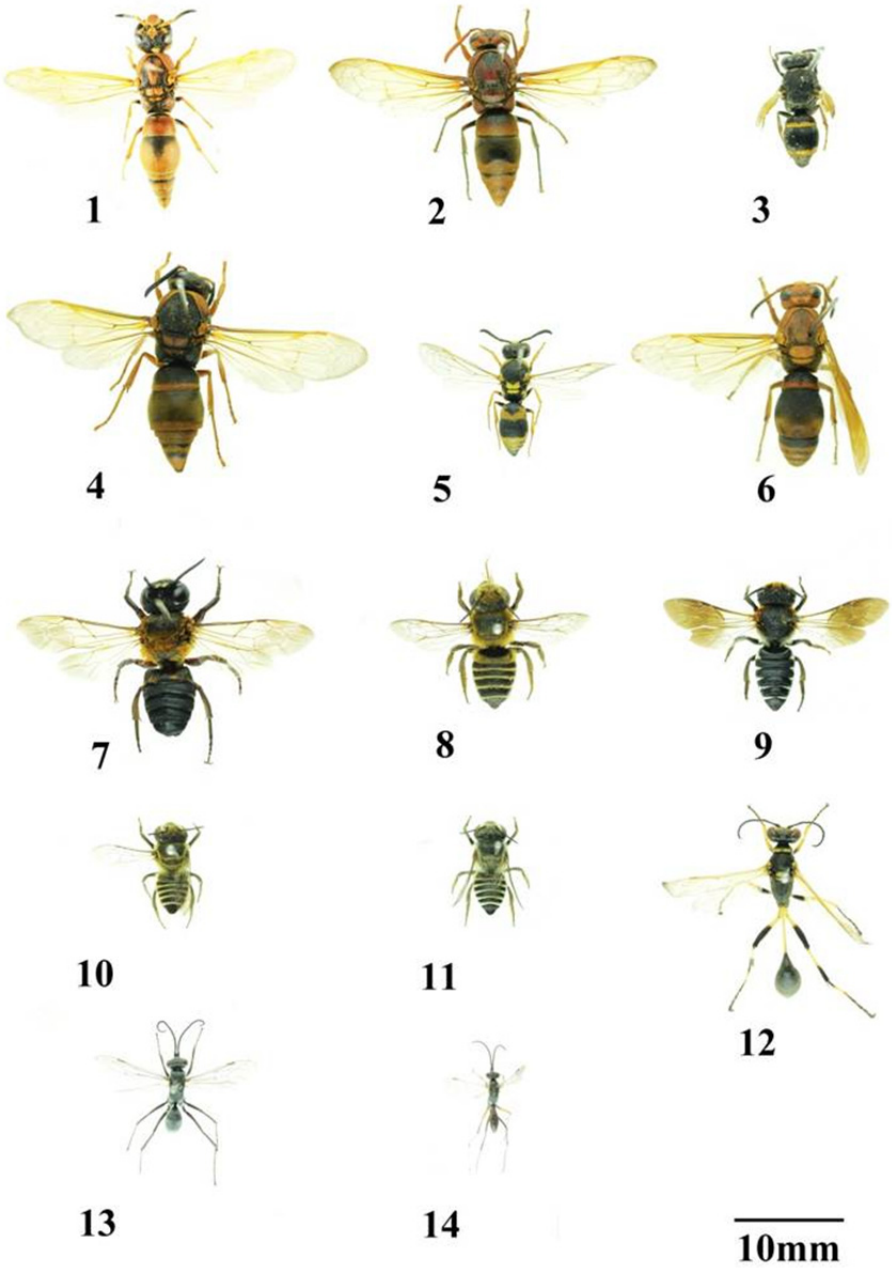
一、水旱田與荔枝果園慣行農耕區的棲地環境，土地耕作、作物收穫及農地管理作業通常很頻繁，棲地干擾度常大於育林地與荔枝果園的永續農耕區。Benton *et al.* (2002) 說明農業的頻繁活動，會造成節肢動物與鳥類等各類生物的族群數量不穩定。此外，借坑性築巢狩獵蜂類的物種豐富度較不會因森林消失而減少，而與其棲息環境呈現較直接的關係，是因受干擾的農林地可接收較多的光線，使林下植物更茂盛，而提供多樣的食物源 (Taki *et al.*, 2008)。

二、農業區由於作物相簡化，容易造成某些害蟲密度增加，獵食者與獵物 (Predator-Prey) 間因 Lotka-Volterra 的生態交互作用，天敵生物族群數量亦容易隨之變動，推估水旱田等農業樣區的棲地環境，有許多利於狩獵蜂類捕捉的農業害蟲或天敵生物 (如蜘蛛類) 存在；而授粉蜂，則以植物的物候為影響授粉蜂族群數量變動的要因 (Thorp *et al.*, 1992)，Sung (2010) 說明臺灣切葉蜂類常造訪的植物科別有菊科 (Compositae)、旋花科 (Convolvulaceae)、豆科 (Fabaceae)、槿葵科 (Malvaceae) 等，因樣區內主要為水稻、荔枝等作物，而其餘可能是切葉蜂類的粉蜜源植物，常容易被當成雜草而移除，而育林地的棲地環境，人為干擾少，環境中應能保有較多樣的植物相，利於切葉蜂類的棲息。

三、以水旱田為主的農業操作環境，狩獵蜂的比例高於花蜂，而在荔枝果園，永續農耕樣區的狩獵蜂比例則高於慣行農耕樣區，推測農業環境害蟲的密度與棲地的品質會影響天敵生物的分布。水旱田的可能因素是作物的鱗翅目害蟲密度容易增高，會吸引蜾蠃前來捕食。而在荔枝果園，除害蟲密度外，因永續農法對棲地的影響與人為干擾較少，對維持類似於育林地樣區的棲地環境有較多助益。近年許多學者提倡地景變遷 (landscape change) 包含棲地破壞與破碎化，是造成生物物種消失的主因，必需從保護棲地、強化棲地品質、增加破碎棲地的連結與管理來解決 (Bennett and Saunders, 2010)。因此，基於以上三項論點，對於農業操作管理的建議，應該在農業區塊中劃設永續農耕的生態區塊，以提供棲地保育天敵生物。在水旱田的農業環境，天敵可能有較多的害蟲可供取食，但必須提供天敵生物適當的棲地環境，如在田區鄰近地點設置防護林或保護帶，並釋放誘引巢體，增加天敵生物前來的機率。

## 誌　　謝

本研究承中央研究院楊秋忠院士、農業試驗所陳琦玲研究員邀請參與農業長期生態試驗；農業試驗所嘉義分所、台南區農業改良場雲林分場、林業試驗所中埔研究中心提供試驗場地；黃守宏副研究員、王瑞章助理研究員、陳俊仁助理研究員及李青珍小姐等協助試驗研究進行；吳士緯博士及施禮正先生協助鑑定鱗翅目害蟲。本研究計畫經費補助單位為行政院科技部研究計畫 (NSC100-2621-M-053A-001-、NSC101-2621-M-053A-001-) 補助經費，謹此誌謝。




附錄一　1. 赭褐旁喙蜾蠃。2. 赭黃原喙蜾蠃。3. 黃紋短腰蜾蠃。4. 黃緣前喙蜾蠃。5. 矛紋佳盾蜾蠃。6. 赭褐毛唇蜾蠃。7. 丘切葉蜂。8. 臺灣切葉蜂。9. 條切葉蜂。10. 窄條切葉蜂。11. 薔薇切葉蜂。12. 黃柄壁泥蜂。13. *Anoplius* sp.。14. *Auplopus* sp.。

Appendix 1.　1. *Pararrhynchium ornatum sauteri*. 2. *Rhynchium brunneum*. 3. *Epsilon fujianensis*. 4. *Anterhynchium flavomarginatum formosicola*. 5. *Euodynerus nipanicus flavicornis*. 6. *Orancistrocerus drewseni ingens*. 7. *Megachile monticola*. 8. *M. taiwanicola*. 9. *M. faceta*. 10. *M. angustistrigata*. 11. *M. tranquilla*. 12. *Sceliphron madraspatanum*. 13. *Anoplius* sp. 14. *Auplopus* sp.

## 引用文獻

**Barthélémy C.** 2012. Nest trapping, a simple method for gathering information on life histories of solitary bees and wasps. Hong Kong Entomol Soc 4: 3-37.

**Bennett AF, Saunders DA.** 2010. Habitat Fragmentation and Landscape Change, p 88-106. In: Sodhi NS, Ehrlich PR eds. Conservation Biology for All. Oxford Univ Press. 344 pp.

**Benton TG, Bryant DM, Cole L, Crick HQP.** 2002. Linking agricultural practice to insect and bird populations: a historical study over

three decades. J Appl Ecol 39: 673-687.

**Budrys E, Budrienė A.** 2012. Adaptability of prey handling effort in relation to prey size in predatory wasps (Hymenoptera: Eumeninae). Ann Zool Fennici 49: 58-68.

**Buschini MLT.** 2006. Species diversity and community structure in trap-nesting bees in Southern Brazil. Apidologie 37: 58-66.

**Chan YK, ChenCL, Wu HS, Lin CC, Hou PC, Yao MH, Shii JK, Chen CW, Lin CC.** 2012. Cyberinfrastructure for long-term ecological research on agricultural ecosystem. Taiwan Agric Res 61: 269-284. (in Chinese)

**Chen CL, Chen BH, Huang SN, King HB, Sun WC, Guo HY, Chien CC, Lin RH, Young CC, Chen ZS.** 2009. Establishment and perspectives of a long term ecological research in agricultural ecosystem in subtropics. Crop Environ Bioinformatics 6: 233-246. (in Chinese)

**Chiu SC.** 1979. Biological control of the brown planthopper. p 335-355. In: Brown Planthopper: Threat to Rice Production in Asia. Int Rice Res Inst, Los Banos, The Philippines.

**Dubitzky A, Kuhlmann M.** 2004. First record of the bee genus *Colletes* for Taiwan with description of a new species (Hymenoptera, Apoidea, Colletidae). Deut Entomol Z 51: 271-278.

**Fisher TW, Bellows TS, Caltagirone LE, Dahlsten DL, Huffaker CB, Gordh G.** 1999. Handbook of Biological Control: Principles and Applications of Biological Control. Academic Press. 1046 pp.

**Glover T, Mitchell K.** 2015. An Introduction to Biostatistics (3rd ed.). Waveland Press Inc. 553 pp.

**Hallett PE.** 2001. A method for 'hiving' solitary bees and wasps. Am Bee J 141: 133-136.

**Hisamatsu M, Suzuki K.** 1988. Habits of some Eumenid wasps. Bull Fac Edu Chiba Univ 36: 83-92. (in Japanese)

**Horn S, Hanula JL.** 2004. A survey of cavity-nesting bees and wasps in loblolly pine stands of the Savannah River Site, Aiken County, South Carolina. J Entomol Sci 39: 464-469.

**Inoue T, Kato M, Kakutani T, Yumoto T, Ichino T, Hoda M, Maeta Y, Oogusi T.** 1993. Flower Pollination Animals, Co-evolution between Flowers and Pollinators. Heibonsha Company Press, Tokyo, Japan. 286 pp. (in Japanese)

**Ishihara K.** 1995. The fauna surveys of tube-renters in Kakuma Campus, Kanazawa University, Kanazawa, Japan (2): additional list of the fauna. Ann Rep Bot Gar Fac Sci Kanazawa Univ 18: 15-21. (in Japanese)

**Klein AM, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Tscharntke T.** 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proc Royal Soc B 274: 303-313.

**Kobayashi S.** 1995. Multivariate Analysis of Biological Community. Soju Shobo Press, Tokyo, Japan. 194 pp. (in Japanese)

**Krebs CJ.** 2014. Ecological Methodology (3rd ed.). Available on-line at http://www.zoology.ubc.ca/~krebs/books.html

**Krombein KV.** 1967. Trap-nesting Wasps and Bees: Life Histories, Nests, and Associates. Smithsonian Press, Washington. 594 pp.

**Li S, Wang TC, Don SJ.** 1975. [A preliminary study of the pot wasp *Rhynchium brunneum* and its utilization]. Acta Entomol Sinica 18: 151-155. (in Chinese)

**Lu SS, Yeh WC, Sung IH.** 2013. Vespid fauna of Yangmingshan National Park. J National Park 23: 62-68. (in Chinese)

**MacIvor JS.** 2016. Cavity-nest boxes for solitary bees: a century of design and research. Apidologie DOI: 10.1007/s13592-016-0477-z.

**Makino S, Sayama K, Okabe K, Abe W.** 2011. Image database of cavity-nesting wasps and bees in Japan. Jpn J Entomol (NS) 14: 28-31.

**Matsumoto K, Makino S.** 2011. Monitoring of tube-nesting bees and wasps with bamboo tube nest traps of different types in two types of forests in temperate Japan.

Entomol Sci 14: 154-161.

**Matsuura M.** 1995. Social Wasps of Japan in Color. Hokkaido Univ Press, Sapporo. 353 pp. (in Japanese)

**Michener CD.** 2007. The Bees of the World (2nd ed.). The Johns Hopkins University Press, Baltimore. 953 pp.

**Ohgaki S.** 2008. New index of diversity, similarity and classification. Agronauta 15: 10-22. (in Japanese)

**Staab M, Ohl M, Zhu CD, Klein AM.** 2014. A unique nest-protection strategy in a new species of spider wasp. PLoS ONE 9: e101592. doi:10.1371/journal.pone.0101592

**Sung IH.** 2010. Wild bees as crop pollinators in Taiwan. p 85-93. In: Yasuda K, Ihara F, Ku TK, eds., International Seminar on Enhancement of Functional Biodiversity Relevant to Sustainable Food Production in ASPAC, in Association with MARCO.

**Taki H, Viana BF, Kevan PG, Silva FO, Buck M.** 2008. Does forest loss affect the communities of trap-nesting wasps (Hymenoptera: Aculeata) in forests? Landscape vs. local habitat conditions. J Insect Conserv 12: 15-21.

**Thorp RW, Frankie GW, Barthell J, Gordon D, Newstrorn L, Griswold T, Schmidt J, Thoenes S.** 1992. Long-term studies to gauge effects of invading bees. Calif Agric 46: 20-23.

**Tscharntke T, Gathmann A, Steffan-Dewenter I.** 1998. Bioindication using trap-nesting bees and wasps and their natural enemies: community structure and interactions. J Appl Ecol 35: 708-719.

**Wu YR.** 2006. Megachilidae, Insecta, Fauna Sinica, Vol. 44. Science Press, Beijing. 474 pp. (in Chinese)

**Yamane S.** 1990. A revision of the Japanese Eumenidae (Hymenoptera, Vespoidea). Insecta Matsumurana Series Entomol New Series 43: 1-189.

**Yamane Sk, Ikudome S, Terayama M.** 1999. Identification Guide to the Aculeata of the Nansei Islands, Japan. Hokkaido Univ Press, Sapporo. 831 pp.

**Yasumatsu K, Hirashima Y.** 1965. Two new species of *Megachile* from Taiwan (Hymenoptera, Apoidea). Kontyû 33: 373-384.

**Yoon HJ, Lee KY, Kim SY, Lee YB, Kim N, Jin BR.** 2015. Effects of location, direction, altitude, and placement of trap nests on the rate of trap-nesting of *Osmia* solitary bees. J Asia Pac Entomol 18: 695-700.

**Zhang J.** 1989. A checklists of superfamily Vespoidea in Fujian Province, China. J Fujian Agric Coll 18: 571-578. (in Chinese)

# Phenology and Community Analyses of Trap-Nesting Wasps and Bees in the Agricultural Fields and Forests of Yunlin and Chiayi Counties, Taiwan

**Sheng-Shan Lu[1], Wen-Chi Yeh[1], I-Hsin Sung[2*]**

[1] Forest Protection Division, Taiwan Forestry Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taipei, Taiwan

[2] Department of Plant Medicine, National Chiayi University, Chiayi, Taiwan

* Corresponding email: ihsinsung@mail.ncyu.edu.tw

Received: 8 November 2016 Accepted: 21 February 2017 Available online: 12 April 2017

## ABSTRACT

To collect trap-nesting wasps and bees, two types of trap-nesting devices, namely bamboo clusters and Binderboard®, were applied at four experimental sites: 1, the paddy-upland fields at the Yunlin Branch Station (YLBS) of Taiwan District Agricultural Research and Extension Station; 2 and 3, the sustainable and conventional agricultural ecosystem areas of orchards in the Chiayi Agricultural Experiment Station (CAES-SA and CAES-CA, respectively) of the Taiwan Agricultural Research Institute (TARI); and 4, the silvicultural field at the Yunshei Forest Experiment Station (YSBS) of the Taiwan Forestry Research Institute (TFRI). The purpose of this experiment was to explore the biodiversity and ecological functions of trap-nesting wasps and bees in Yunlin and Chiayi counties, Taiwan. From March 2012 to May 2013, a total of 912 individuals from 10 genera of 4 families were collected; the identified species were *Anterhynchium flavomarginatum formosicola*, *Euodynerus nipanicus flavicornis*, *Epsilon fujianensis*, *Orancistrocerus drewseni*, *Pararrhynchium ornatum sauteri*, *Rhynchium brunneum* (Eumeninae, Vespidae), *Megachile angustistrigata*, *M. faceta*, *M. monticola*, *M. taiwanicola*, *M. tranquilla* (Megachilidae), and *Sceliphron madraspatanum* (Sphecidae); the two unidentified species were *Anoplius* sp. and *Auplopus* sp. (Pompilidae). The peak activities of these wasps and bees were detected in the spring and summer seasons, whereas overwintering individuals were detected in late autumn. Among eumenine wasps, 84.5% of the individuals were *A. flavomarginatum formosicola* and *R. brunneum*. They were found to be the predators of Pyralidoidea larvae. Monthly diversity indices were higher in CAES-SA than in CAES-CA. Compared with the communities of YLBS and CAES-CA, the similarity between the communities of CAES-SA and YSBS was the greatest. The results show that the habitat of the sustainable agricultural area may play a role in preserving and maintaining the diversity of trap-nesting wasps and bees and is thus important for conserving beneficial insects in agricultural areas.

**Key words:** trap-nesting wasps and bees, phenology, community analysis, potter wasps, leaf-cutter bees, spider wasps