

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生物科

第一名

探究精神獎

080307

紙糊的房子蓋在哪裡好呢？—研究長腳蜂屬
(*Polistes sp.*) 的生態行為

學校名稱：臺北市士林區士林國民小學

作者： 小六 林裕宸 小六 蔡秉芸 小六 湯容輔	指導老師： 巫青玫 柯孟昌
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：長腳蜂、蜂巢、飛行軌跡

得獎感言

田野調查樂無窮

因校內陸續發生蜂螫事件，引起我們關注長腳蜂的生態行為。經過三年的觀察紀錄，我們發現長腳蜂其實是相當溫馴的生物，只要了解牠們的生態習性，即可與牠們和平相處。從牠們的攝食行為可知長腳蜂也是維持環境生態穩定的要角。經過定期研究發現，從築巢高度可以預測當年的氣候趨勢。近年來隨著暴雨、乾旱等極端天氣事件的頻繁出現，長腳蜂蜂巢高度每年也有極大的變化，這樣劇烈的變動，似乎成為極端天氣事件可能發生的徵兆。

雖然進行田野調查相當吃力，中途有遇到許多困難，謝謝老師在研究期間提供了許多協助，才能一一克服難關。回首研究初期對蜂敬而遠之，到現在可以對其他同學仔細的講解蜂的生態行為，平反長腳蜂給一般人兇惡的印象，是我們覺得最大的成長與收穫。在持續的生態調查中，我們又有新的發現，期望未來能再與大家分享新的發現！



測量歷年長腳蜂築巢高度



紀錄每個築巢位置的濕度與照度



噴灑水霧測試對長腳蜂飛行能力的影響

摘要

長腳蜂屬於胡蜂科，長腳蜂亞科，本研究發現長腳蜂築巢高度與當年雨量有關：雨量大，蜂巢高度較高。築巢的位置有遮陰、照度較低。長腳蜂的警戒距離很短，不會主動攻擊人。對長腳蜂噴水可以暫停牠的動作是保護彼此可行的做法。

長腳蜂的主要行為：飛行、捕食、餵食、築巢、覓食、用口器排水等。一天中活動有 2 個高峰期，分別是上午 7:00~9:00 與下午 17:00~19:00。長腳蜂回巢後的工作與其是否為主要繁殖期有關：繁殖極盛期時，長腳蜂上午餵食的工作次數頻繁；繁殖期進入尾聲，長腳蜂回巢後多在休息或探查巢室。此外，長腳蜂飛行路線同一天有共通性，受風速的影響很大。我們也可以從繭蓋數量的消長看出蜂巢生命力是否旺盛。

壹、研究動機

我們常常看到有不同的蜂在校園採花吸蜜，甚至飛進教室，總是引起一陣騷動。大家都認為長腳蜂是虎頭蜂，讓人聞蜂色變，唯恐被叮咬，學校裡出現的蜂巢不管高低大小，一律被人移除。事實上，長腳蜂屬於胡蜂科，長腳蜂亞科，我們應該保持多長的距離才安全？是值得探討的問題；我們曾經撿過一個剛被移除的長腳蜂蜂巢，這個類似紙纖維材質做的蜂巢裡竟然還有嗷嗷待哺的幼蟲，不知道長腳蜂是如何餵食幼蟲的？長腳蜂跟蜜蜂一樣勤勞嗎？也有獨特的舞姿嗎？忙碌的蜂一天中會進出巢幾次？都在做什麼工作？因此，我們試著找尋一個比較不受人為干擾的長腳蜂蜂巢進行生態觀察，企圖找到答案、解開心中疑惑。這些研究是否能讓學校正視長腳蜂蜂巢，是否一定要移除？還是有更好對待的方法。

貳、研究目的

一、分析長腳蜂蜂巢的材質。

- (一) 分析蜂巢與蜂巢材質來源的異同。
- (二) 比較蜂巢與其他紙類的異同。

二、研究長腳蜂對築巢環境的選擇條件。

(一) 分析今年（2020）所選樣區的長腳蜂對築巢環境的選擇。

(二) 分析歷年所選樣區的長腳蜂對築巢環境的選擇。

三、探測長腳蜂警戒的範圍。

(一) 以衣物干擾測試長腳蜂的警戒反應。

(二) 以風力干擾測試長腳蜂的警戒反應。

(三) 以水霧干擾測試長腳蜂的警戒反應。

四、研究長腳蜂的生態行為。

(一) 認識長腳蜂的主要行為。

(二) 分析長腳蜂一天中的活動頻率。

(三) 研究長腳蜂回巢後的工作項目。

(四) 分析長腳蜂進出巢的飛行路徑。

(五) 分析長腳蜂蜂巢大小的消長情形。

參、文獻探討

關於本研究的研究對象，我們透過了下列的調查，藉以選定我們的研究主角長腳蜂！

一、長腳蜂的生物地位：

動物界-節肢動物門-昆蟲綱-膜翅目-胡蜂科-長腳蜂亞科（**Polistinae** 又名馬蜂亞科），亦稱為**長腳蜂**，是胡蜂的一個類群。

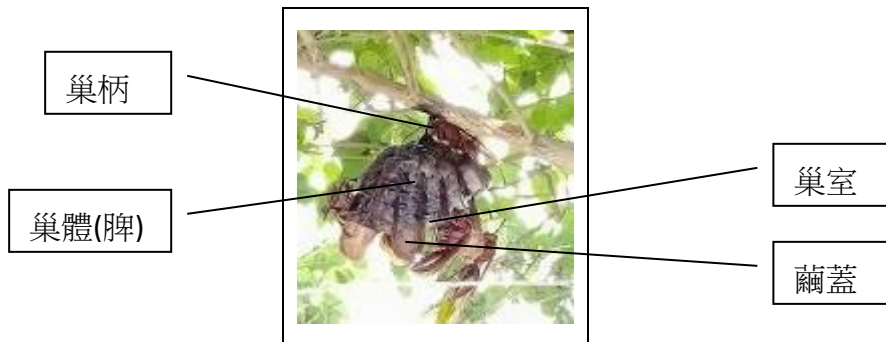
二、長腳蜂屬於雜食性，幼蟲時以成蟲獵捕回來的毛毛蟲等昆蟲維生，成蟲後會吃樹液、花粉和花蜜。

三、長腳蜂製作蜂巢時，材料有類似紙的成分，因而有 **Paper Wasp** 之稱。蜂巢結構如下：

(一) 蜂后是巢裡的指揮中心，決定生產工蜂或雄蜂的數量，在嚴密的組織與分工下，蜂巢和蜂群會持續的擴大。卵孵化後幼蟲被細心地呵護，等到五齡要化蛹之前，幼蟲會吐絲封閉巢口等待羽化，而後加入建築蜂巢的工程。蜂巢由一個最小的六角型房室架起，一層層的往下疊，向外擴增，高高的掛在樹幹上。巢頂有一巢柄黏著樹幹，工蜂會不斷的檢查巢柄、覓食、抵抗外敵。

(二) 一個蜂巢與蜂后的一生：

1. 幼小的蜂后在秋天出生，羽化交配後隨著季節進入冬眠期。春天一到蜂后便出來活動，挑選地點，以口器刮木屑和唾液築造新巢。
2. 蜂巢由許多的六角形巢室組成，蜂后在各巢室產卵；卵經過幼蟲和蛹的階段，在三至六星期內發育成無生殖力的工蜂。這些工蜂接手餵飼幼蟲及守衛蜂巢。工蜂可存活二至四星期，巢裡的成員不斷由新生的工蜂替補。
3. 老蜂后在季節結束時會死亡，最後蜂群也跟著陸續死去。一個蜂巢的歷史就是蜂后的一生，工蜂、雄蜂一輩子效忠蜂后，不會離巢也不會苟且貪生。









四、調查樣區裡，整理出長腳蜂的種類：

種類	棕長腳蜂	褐長腳蜂	黃長腳蜂	日本長腳蜂	家長腳蜂
簡介	從頭~腹部為紅褐色具光澤，前胸背板無斑，腹背具淺黑色的斑紋。	觸角第一節紅褐色，其餘黑色。腹部的黑斑較發達、近腹端黑色。	複眼間具黑色斑，單眼後方有1對橙黃色小斑紋；中胸背板底色黑色。	前胸背板有2橙黃條斑，下方有2條黃色橫斑，橫斑中央具一枚橙斑點。	兩眼間具黑斑，中胸背板黑色具2長2短縱斑，後胸背板黑色有2橙縱斑。
翅膀	棕色	棕色	褐色	棕黑色	褐色
外型					

五、黃長腳蜂的生活史 (觀察記錄)

生活史各階段	卵 期	幼 蟲 期	蛹 期
天數(日期)	約 7 天 (3/20 ~ 3/27)	約 15 天 (3/27 ~ 4/11)	約 14 天 (4/11 ~ 4/25)

3/20	3/27	4/3	4/11	4/18	4/25
卵期	幼蟲期	幼蟲期	蛹期	蛹期	成蟲羽化
					

肆、研究設備及器材

一、研究設備、材料：

高枝剪	1 個	捲尺	1 個	攝影器材	2 台
竿子	1 根	不同顏色的衣服	數件	噴水器	1 個
溫度計	1 個	指北針	1 個	照度計	1 個
電腦	1 台	電風扇	1 台	顯微鏡	1 個

二、實驗裝置：

測量蜂巢高度	測試長腳蜂的警戒範圍
	  

採集廢棄蜂巢	紀錄長腳蜂生態行為
	
測量蜂巢環境照度	記錄長腳蜂的攝影器材
	

伍、研究過程與方法

一、分析長腳蜂蜂巢的材質。

(一) 分析蜂巢與蜂巢材質來源的異同

1. 依據實地調查發現蜂巢材質取材自樣區最多的植物：帝王柑、金露花。
2. 分別將蜂巢、帝王柑樹皮、金露花樹皮刮下泡水打碎後在光學、解剖顯微鏡下觀察並紀錄其纖維構造。
3. 直接將蜂巢、刮取帝王柑、金露花樹皮，放在光學、解剖顯微鏡下觀察。

(二) 蜂巢與其他紙類比較

1. 取樣宣紙、便條紙、卡紙、樣區廢棄蜂巢等 4 種樣紙，如右圖。充分泡水浸濕之後，放在光學、解剖顯微鏡下觀察其纖維結構，比較不同紙質的纖維差異。
2. 將 4 種樣紙進行厚度、吸水率、強韌度差異比較。
 - (1) 厚度比較：以游標尺測量不同紙張的厚度並記錄下來。



(2) 吸水率比較：物質吸水性的量度：指在一定溫度下把物質在水中浸泡一定時間所增加的重量百分率。含水率是隨環境而變化的，而吸水率却是一定值，材料的吸水率可以說是該材料的最大含水率。

質量吸水率計算公式，如右所示：

$$W_{\text{質}} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

w: 吸水率 m1:吸水前重 m2:吸水後重

(3) 強韌度差異比較：分別取 4 種樣紙(1cmx2.5cm)，分別以長尾夾夾住紙兩端，其中一端以彈簧秤勾住，待樣紙斷裂之後，紀錄彈簧秤刻度大小。

二、研究長腳蜂對築巢環境的選擇條件。

(一) 選定通霄大坪頂向陽社區為研究樣區進行調查。

(二) 紀錄調查樣區長腳蜂種類、蜂巢數量、築巢樹種、築巢方位、築巢高度、蜂巢照度、濕度。

(三) 其他：戶外活動時，觀察長腳蜂出現的環境。

三、探測長腳蜂警戒的範圍。

(一) 衣物干擾測試：

1. 取一根長竹竿分別掛上紅色、粉紅色、黃色、藍色、綠色衣服，模擬人、動物等。
2. 將不同顏色的衣服，分別在距離蜂巢 5m、2m、1m、50cm、20cm、10 cm等距離靠近蜂巢，測試長腳蜂的警戒距離。

(二) 強風干擾測試：

1. 取 P 牌 16 吋 DC 直流電風扇 一台，將風速轉到最強。
2. 將強風對準蜂巢吹，觀察並記錄強風對蜂巢上的蜂、飛行中的蜂所造成的影響。

(三) 水霧干擾測試：

1. 拿出大型噴霧器，裝滿水後，對蜂巢噴灑水霧 10 秒，進行干擾測試。
2. 觀察記錄長腳蜂被水噴灑後的行為反應。

四、研究長腳蜂的生態行為。

(一) 到選定研究樣區對長腳蜂的行為進行錄影、觀察記錄，並帶回影片分析長腳蜂的行為。

(二) 紀錄長腳蜂一天中進出巢的時間，並分析其活動頻率。

(三) 紀錄長腳蜂飛回巢後的工作，並進行工作項目分析。

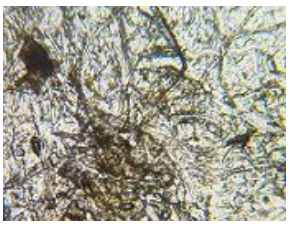
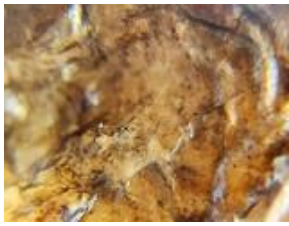
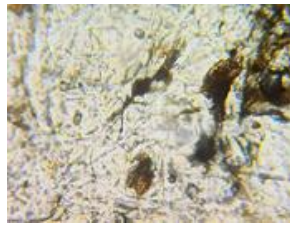
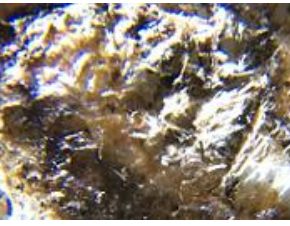

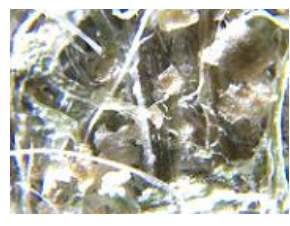
(四) 依據長腳蜂一天中進出巢的時間記錄其飛行路徑，並以 Tracker 軟體進行飛行路徑分析。

陸、研究結果

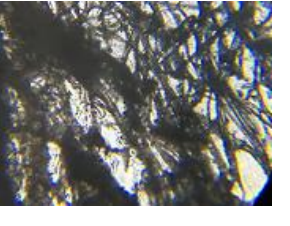
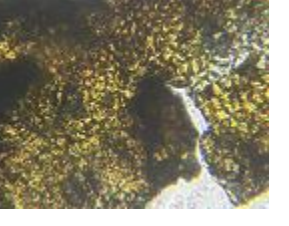


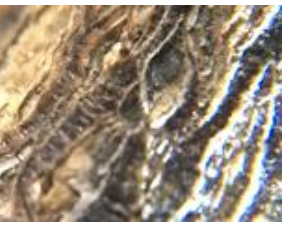
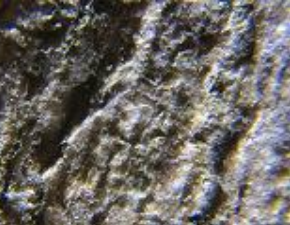
一、長腳蜂蜂巢材質分析

(一) 分析蜂巢與蜂巢材質來源的異同

1. 依據實地調查發現蜂巢材質取材自樣區最多的植物：帝王柑、金露花。
2. 分別將蜂巢、帝王柑樹皮、金露花樹皮刮下泡水打碎後在光學、解剖顯微鏡下觀察，結果如下圖所示，皆呈現纖維粗糙、長纖維的紙質構造。

蜂巢材質主要來源	泡水打碎	蜂巢	帝王柑	金露花
	光學顯微鏡觀察 (10×20)			
	解剖顯微鏡觀察 (60)			

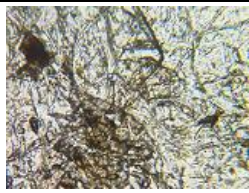
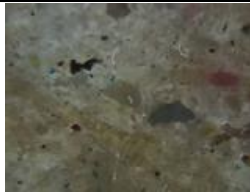


3. 直接將蜂巢、刮取帝王柑、金露花樹皮，放在光學、解剖顯微鏡下觀察。

蜂巢材質主要來源	直接取得	蜂巢	帝王柑	金露花
	光學顯微鏡觀察 (10×20)			
	解剖顯微鏡觀察 (60)			

結果說明	<p>1. 光學顯微鏡觀察：發現蜂巢具有較長纖維和塊狀組織，不是細胞形狀；帝王柑、金露花還維持細胞形狀的組織，表示是活的組織和活的細胞。</p> <p>2. 解剖顯微鏡觀察：發現蜂巢表面有纖維狀，夾雜黑色塊狀構造；帝王柑、金露花的表面維持著緊密組織結構，有粗纖維和植物細胞。</p>
------	---

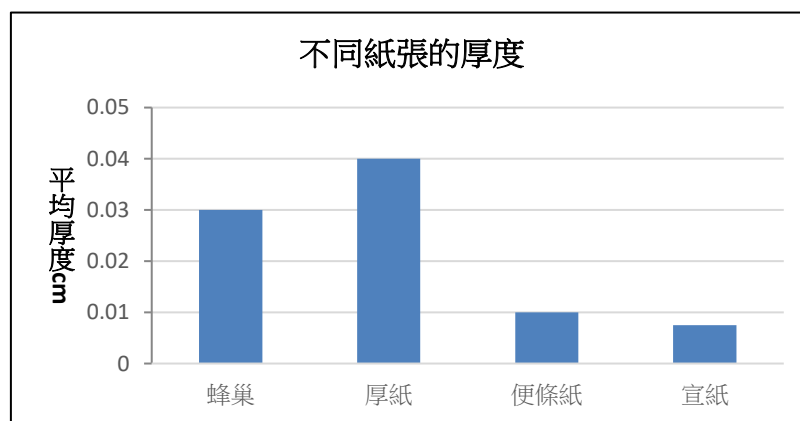
(二) 蜂巢與其他紙類比較

1. 光學顯微鏡下：蜂巢與宣紙的纖維結構比較相近，都呈現纖維較長、排列疏散的分布；表示這些產品是經過長腳蜂或人類製造的產品。

種類	蜂巢	卡紙	便條紙	宣紙
纖維結構				

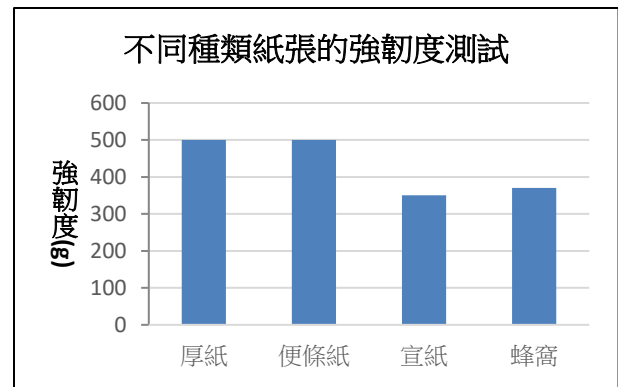
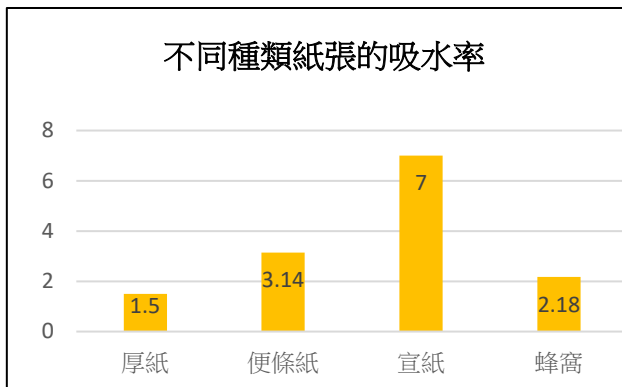
2. 厚度比較：蜂巢結構具有一定的厚度，比較接近於卡紙的厚度，能抵擋某些程度的風和雨。

紙質種類	蜂巢	卡紙	便條紙	宣紙
平均厚度(cm)	0.03	0.04	0.01	0.0075



3. 吸水率測試：宣紙>便條紙>蜂巢>卡紙，表示蜂巢材質不太吸水，能保護巢室遇水時不會馬上潮濕、泡爛。（如下圖左）
4. 強韌度測試：蜂巢的強韌度只有比宣紙大，所以需要很多小巢室築在一起，增加蜂巢的穩定性。（如下圖右）

紙質種類	卡紙	便條紙	宣紙	蜂巢
強韌度(g)	>500	>500	350	370



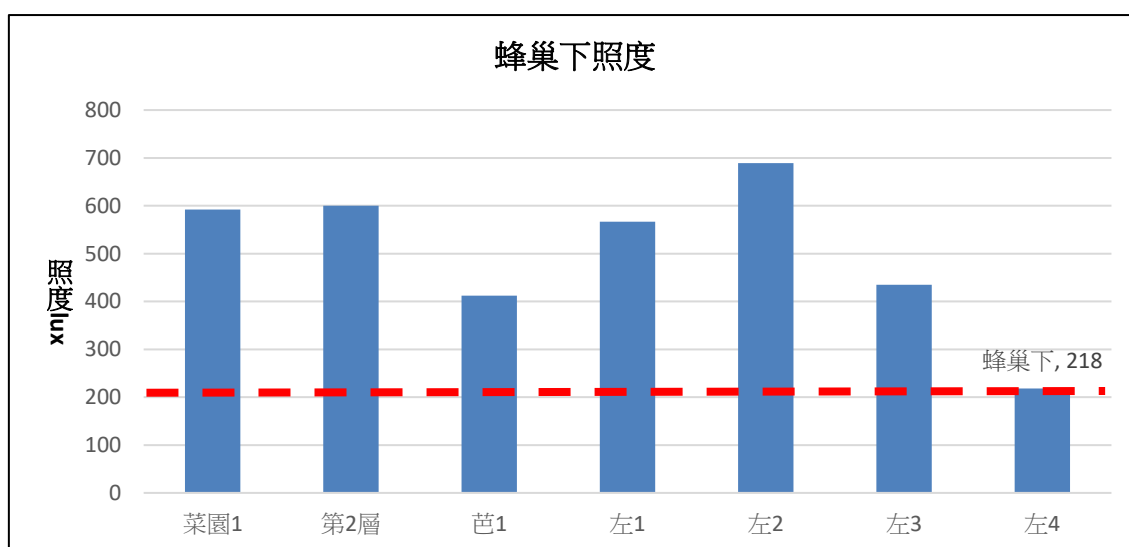
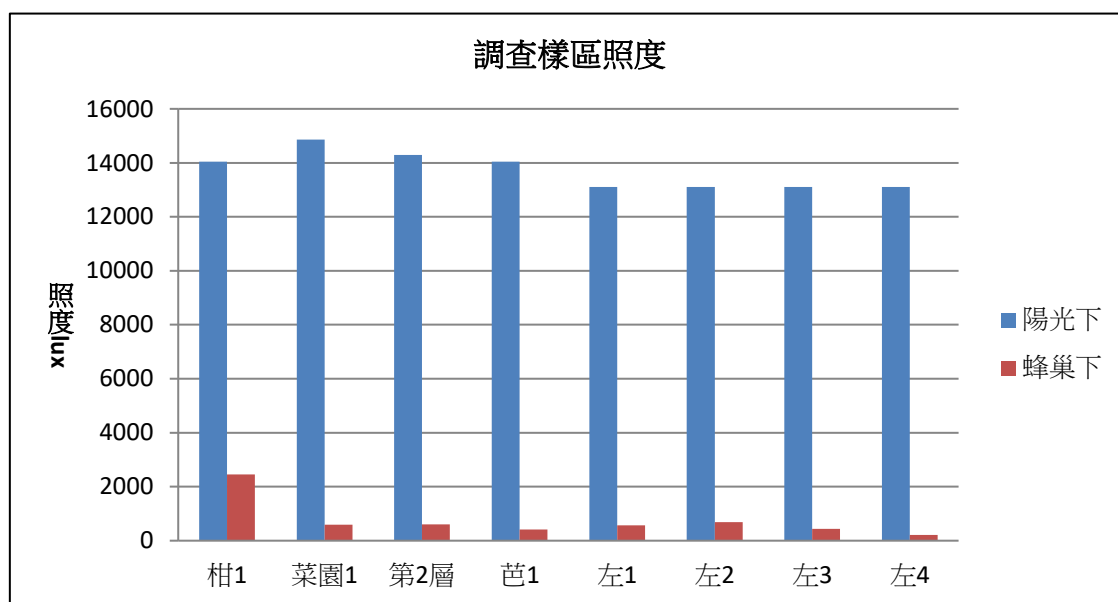
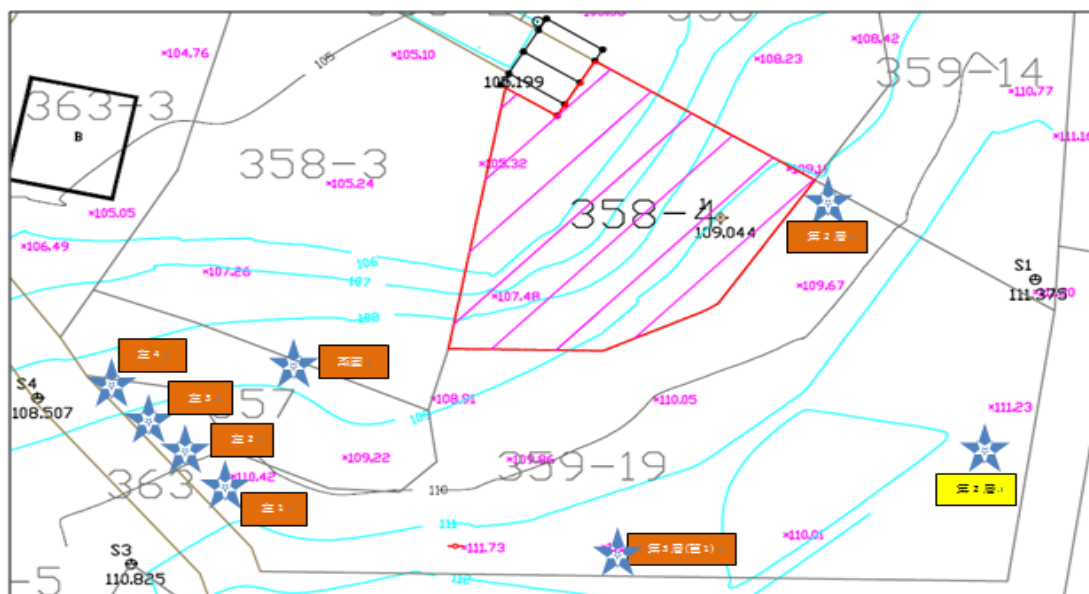
二、研究長腳蜂對築巢環境的選擇條件。

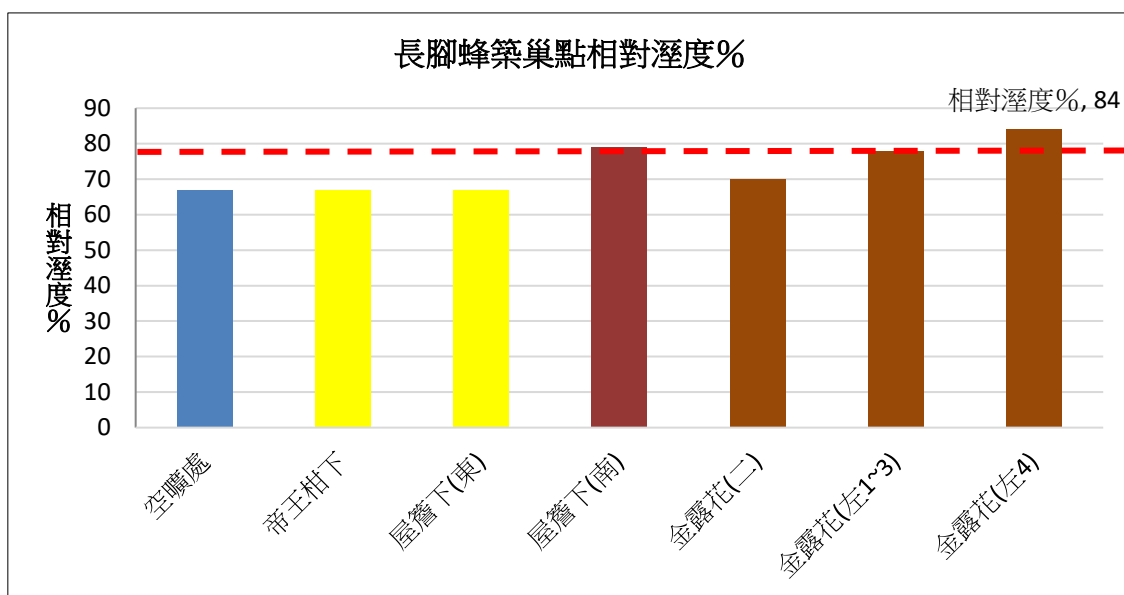
(一) 分析 2020 年樣區長腳蜂對築巢環境的選擇。

表一：通霄向陽社區 B13(如下圖)長腳蜂紀錄

發現日期	棄巢時間	長腳蜂種類	築巢樹種	樹種對蜂巢遮蔽方位	蜂巢照度(lux)	相對溼度%	蜂巢高度(cm)
5/16	5/16 人為移除	黃長腳蜂	帝王柑	面南	2454	67	120
6/26	6/26 人為移除	棕長腳蜂	金露花	南北向	592	70	105
6/26 (第 2 層)	11/28	棕長腳蜂	金露花	南北向	600	70	61
7/5 (左 3)	9/19	棕長腳蜂	金露花	南北向	435	78	47
7/11	7/16 棄巢	日本長腳蜂	帝王柑	樹頂端	11,000	67	182
7/16 (左 2)	12/19	棕長腳蜂	金露花	南北向	689	78	30
7/18 (第 3 層)	9/5	棕長腳蜂	金露花	南北向	412	78	49
8/2 (左 1)	10/31	棕長腳蜂	金露花	南北向	567	78	50
8/8 (左 4)	9/5	棕長腳蜂	金露花	南北向	318	84	45

※2020 調查樣區蜂巢位置圖（星號代表蜂巢位置）





研究發現：

1. 築巢樹種：帝王柑、金露花；以築巢於金露花樹叢為最多。
2. 蜂巢位置：多數為南北向、蜂巢高度低矮且成功築巢的蜂巢照度低、都有遮陰，具有隱蔽性。調查樣區的日照度有 12,000-15,000 lux，但是蜂巢下的日照度為 200-700 lux，表示比較能遮陰，具有隱蔽性。
3. 蜂巢出現始末：2020 年第一個長腳蜂蜂巢出現在 5 月，依據這 3 年來的紀錄，顯示黃長腳蜂都最早開始築巢。
4. 左 4 蜂巢出現約一個月就棄巢，推測蜂巢壽命長短與照度、濕度有關；相較之下，左 4 蜂巢照度最低，無法提供足夠的光線；濕度最高，樹下不利植物蒸散作用的進行，容易潮濕發霉。

(二) 分析歷年所選樣區的長腳蜂對築巢環境的選擇。

1. 2018 年大坪頂長腳蜂紀錄

發現日期	胡蜂種類	築巢地點	蜂巢照度(lux)	築巢高度(cm)
2018/8	黃長腳蜂	神秘果	641	52

2018/5	棕長腳蜂	金露花	589	87
2018/10	家長腳蜂	金露花，如圖 3	540	46
平均			590.0	61.6

※長腳蜂在樣區的築巢環境

圖 1：屋簷下	圖 2：金露花下	圖 3：檸檬樹下	圖 4：橘子樹下	圖 5：橘子樹頂
				

2. 2019 年大坪頂長腳蜂紀錄

發現日期	胡蜂種類	築巢地點	蜂巢照度(lux)	築巢高度(cm)
2019/05/25	棕長腳蜂	屋簷下，如圖 1	341	240
2019/05/25	棕長腳蜂			240
2019/05/25	棕長腳蜂			240
2019/06/08	棕長腳蜂			240
2019/06/22	黃長腳蜂	橘子樹，如圖 4	4823	102
2019/08/31	黃長腳蜂	屋簷下	341	240
平均			341.0	217

3. 2020 年大坪頂長腳蜂紀錄

發現日期	胡蜂種類	築巢地點	蜂巢照度(lux)	築巢高度(cm)
05/16	黃長腳蜂	帝王柑，如圖 4	2454	120
06/26	棕長腳蜂	金露花，如圖 2	592	105
06/26(第 2 層)	棕長腳蜂	金露花	600	61
07/05(左 3)	棕長腳蜂	金露花	435	47
07/11(棄巢)	日本長腳蜂	帝王柑樹頂	11000	182
07/16(左 2)	棕長腳蜂	金露花	689	30
07/18	棕長腳蜂	金露花	412	49
08/02(左 1)	棕長腳蜂	金露花	567	50
08/08(左 4)	棕長腳蜂	金露花	318	45
平均			758.4	63

4. 2021 年大坪頂長腳蜂紀錄

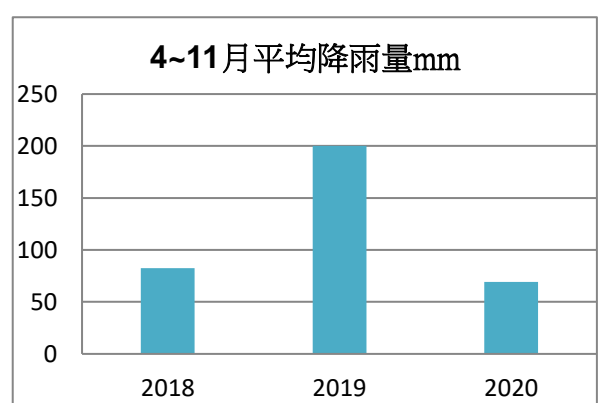
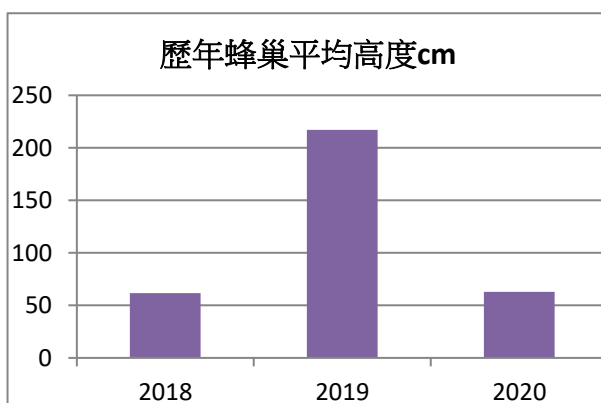
發現日期	胡蜂種類	築巢地點	蜂巢照度(lux)	築巢高度(cm)
2021/03/20	黃長腳蜂	屋簷下，如圖 1	2657	280
2021/04/03	褐長腳蜂		341	240
2021/04/03	棕長腳蜂		387	210
2021/5/15	黃長腳蜂	帝王柑樹頂，如圖 5	7786	215
平均			1128.3	236.3

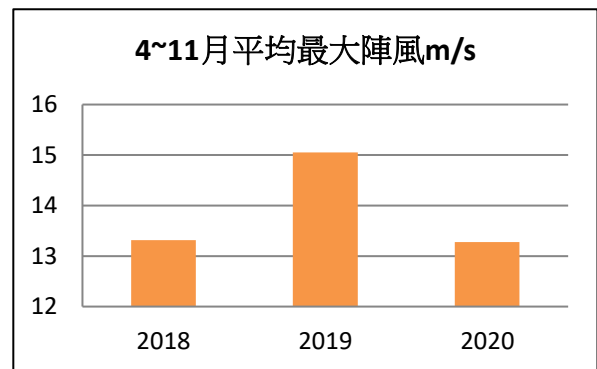
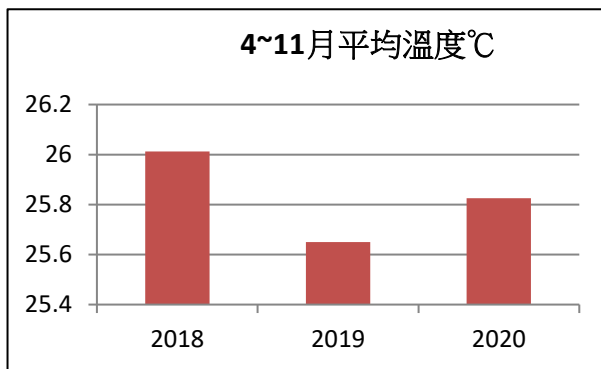
5. 研究發現：

- (1) 本樣區出現的長腳蜂種類以棕長腳蜂為最多，其次為黃長腳蜂。照度高低程度與長腳蜂種類有關，黃長腳蜂可以適應較高照度的環境。
- (2) 2018 年多數在金露花或神祕果樹叢築巢，共有 3 個，蜂巢平均高度約 61.6 cm；平均照度為 590.0 lux。
- (3) 2019 年多數在在屋簷下築巢，共有 5 個，蜂巢平均高度約 217cm；去除黃長腳蜂在向陽橘子樹下特別高的照度外，平均照度為 341.0 lux；都是在屋簷下築巢，照度較低。
- (4) 2020 年多數在金露花樹叢築巢，共有 7 個，蜂巢平均高度約 63 cm；去除日本長腳蜂在向陽帝王柑下特別高的照度外，平均照度為 758.4 lux。
- (5) 2021 年有 3 個在屋簷下築巢，1 個在帝王柑下築巢；蜂巢平均高度約 236.3 cm；去除黃長腳蜂在向陽帝王柑下特別高的照度外，平均照度為 1128.3 lux。
- (6) 不管築巢在屋簷下或是矮樹叢下，蜂巢位置都有遮風避雨處；為什麼 2019 年多數長腳蜂選擇在屋簷下築巢，而其他年代長腳蜂則選擇在矮樹叢下築巢呢？

(三) 分析樣區的長腳蜂對築巢高度的選擇與天氣的關係。

1. 樣區的長腳蜂對築巢高度與天氣的關係如下圖：





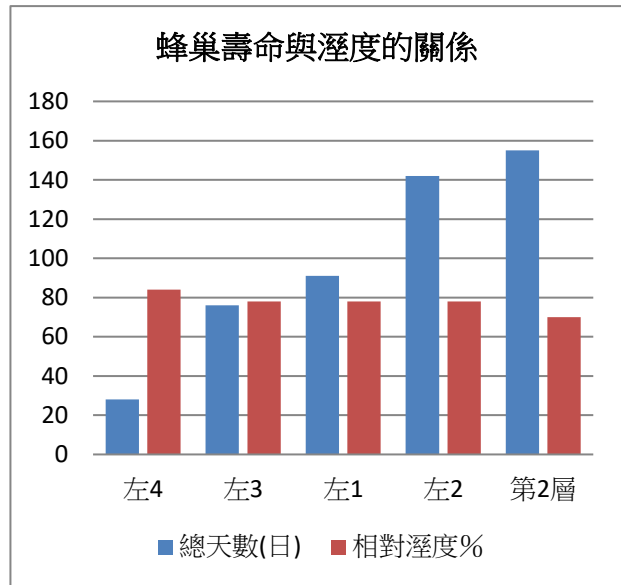
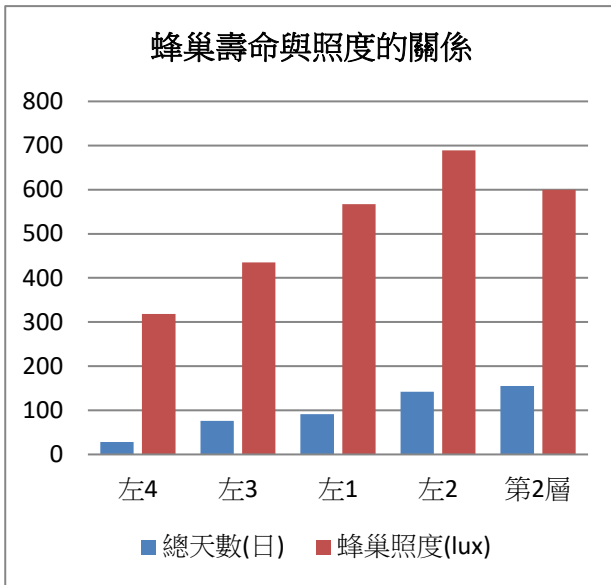
2. 研究發現：

- (1) 2019 年雨量較多，蜂巢高度較高；2018 年、2020 年雨量少，蜂巢較低。
- (2) 2019 年平均溫度較低、陣風較大，但蜂巢高度卻比較高。
- (3) 2019 年多數在在屋簷下築巢，是因為當年下雨特別多，還有強風，年均溫低的關係。
否則長腳蜂應該比較喜歡在金露花矮樹叢築巢。

(四) 分析樣區長腳蜂蜂巢壽命的差異。

1. 蜂巢壽命：蜂巢編號左 1~左 4 都同一排，間隔約 1 公尺。蜂巢壽命很不平均，短的有 28 日，也有長到 155 日。推測與蜂巢的生態環境有關。
 - (1) 蜂巢編號第 2 層，築巢位置在整排金露花中，日照度 600 lux，和編號左 1~左 4 相比，比較不會互相干擾。
 - (2) 蜂巢編號左 1~左 3，蜂巢較靠近金露花圍籬外緣，日照度 567、689、435 lux，左 4 蜂巢位於金露花圍籬內層(中間)，日照度 318 lux，左 4 蜂巢最快棄巢。
 - (3) 比較蜂巢壽命與蜂巢日照度的關係發現，長腳蜂築巢雖選擇有遮陰處，但照度太低，蜂巢壽命較短，推測蜂巢壽命長短與蜂巢日照度有關；太亮也不行，如 2020/7/11 棄巢的日本長腳蜂，日照度高達 11,000 lux。
 - (4) 比較蜂巢壽命與蜂巢溼度的關係發現，長腳蜂築巢雖選擇有遮陰處，但溼度太高，蜂巢壽命較短，推測蜂巢壽命長短與蜂巢溼度有關；左 4 蜂巢築巢在金露花叢內側溼度偏高，不利植物蒸散作用，蜂巢易潮濕發霉。

蜂巢編號	巢的出現~棄巢日期	總天數(日)	蜂巢照度(lux)
左 1	8/2~10/31	91	567
左 2	7/16~12/19	142	689
左 3	7/5~9/19	76	435
左 4	8/8~9/5	28	318
第 2 層	6/2~11/28	155	600

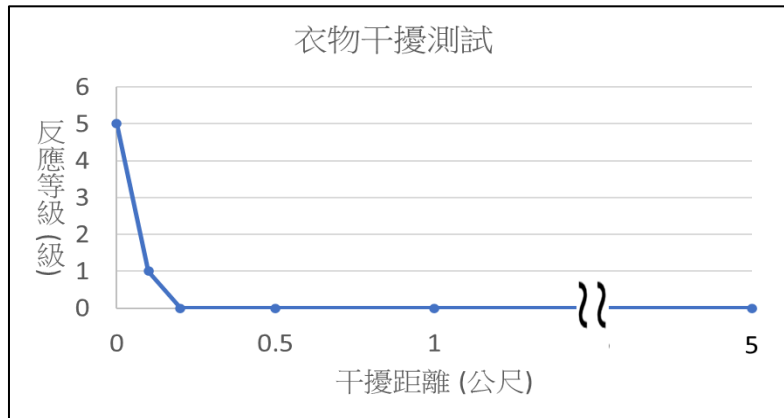


三、探測長腳蜂警戒的範圍。

(一) 衣物干擾測試：

(m) 長腳蜂反應 衣服顏色	與蜂巢距離									
	5	4	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0	
紅色	×	×	×	×	×	×	×	振翅	飛出	
粉紅色	×	×	×	×	×	×	×	振翅	飛出	
黃色	×	×	×	×	×	×	×	振翅	飛出	
藍色	×	×	×	×	×	×	×	振翅	飛出	
綠色	×	×	×	×	×	×	×	振翅	飛出	

1. 我們將長腳蜂行為依其反應的激烈程度定義、繪圖如下。



2. 研究發現五種不同顏色衣物觸發長腳蜂振翅反應的距離沒有明顯差距。

3. 長腳蜂的警戒距離很短，不會主動攻擊人。只有非常靠近巢體、甚至碰觸到巢體或上方枝條了，才會有振翅反應，少數幾隻工蜂有衝出來的攻擊行為。

(二) 風力干擾測試：

1. 無法移動已經在巢上的長腳蜂，風力轉到最強頂多讓蜂的身體產生些微震動。

2. **即將回巢的長腳蜂遇風力較強時無法順利回巢**：在蜂巢外圍以不規則路線繞了幾圈才成功回巢；推測長腳蜂的飛行路線易受當地風力影響。

(三) 水霧干擾測試：

1. 拿出大型噴霧器，裝滿水後，對蜂巢噴灑水霧進行干擾測試。

2. 長腳蜂被水霧噴灑沒有衝出來攻擊，反而因為翅膀濕了飛不起來，一隻一隻往蜂巢上方爬走，等薄薄的膜翅晾乾了回巢，有吸水把巢弄乾的動作。

四、了解長腳蜂的生態行為。

(一) 長腳蜂的主要行為：飛行、捕食、餵食、築巢、覓食等。如下圖所示：

飛行：張翅移動	覓食：先把幼蟲咬破、剝皮、取脂肪體帶回蜂巢		
			

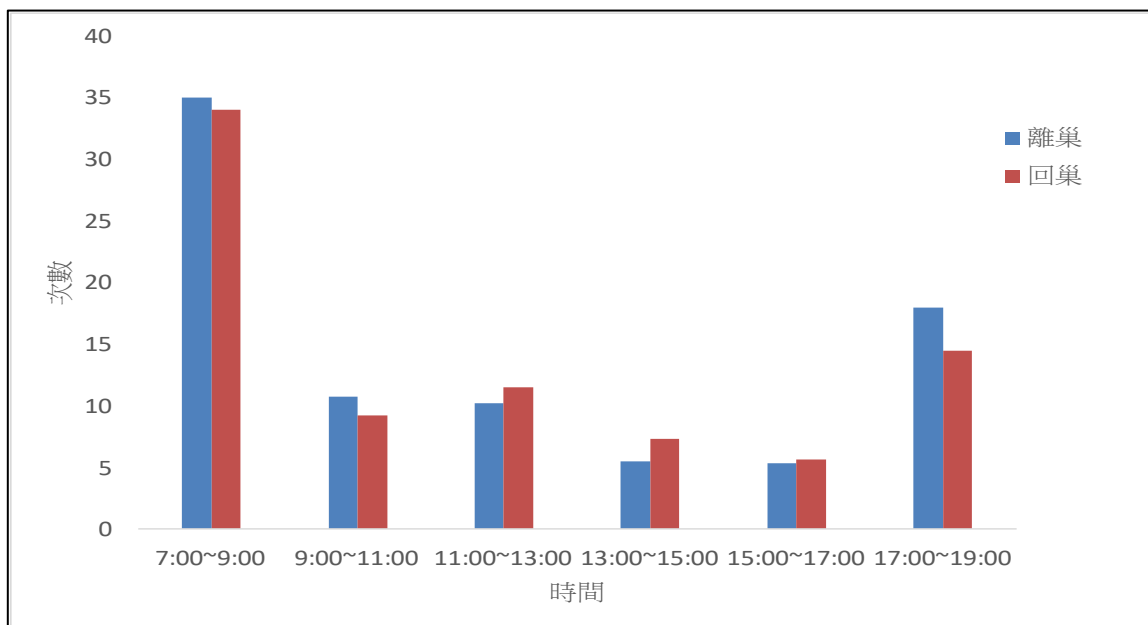
餵食：像挖冰淇淋一樣把帶回的肉球分給其他成蟲，來餵食幼蟲，較大的幼蟲會探出頭。

築巢：先帶回建材，用口水混和建材，趁還沒乾前塗抹在巢上。



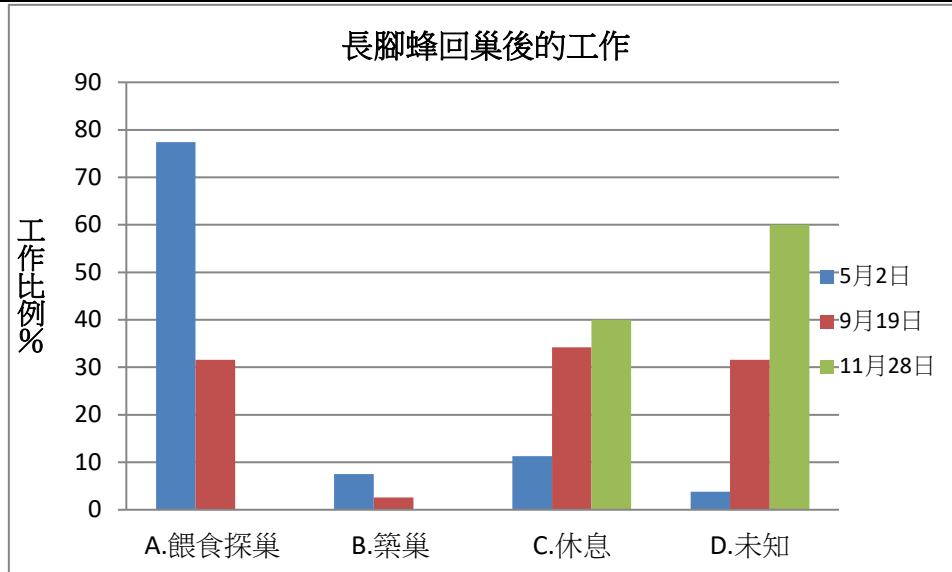
(二) 觀看 DV 紀錄長腳蜂一天中進出巢的時間，並依長腳蜂回巢、離巢的次數分析其活動頻率，結果如下：

1. 統計長腳蜂離巢與回巢的次數發現，上午七點至九點之間，長腳蜂離巢與回巢次數最為頻繁，也發現有密集的採食與餵食的行為，九點後進出次數逐漸減少。
2. 中午期間大部分長腳蜂停留於蜂巢表面，活動性最不明顯。
3. 下午五點至傍晚日落前又是另一波進出巢的活躍期。推測長腳蜂工蜂的餵食主要集中於早晨與傍晚，進出次數較多。而中午的高溫下飛行，可能導致長腳蜂體溫過熱，因此大部分停留在蜂巢表面休息。



(三) 紀錄長腳蜂飛回巢後的工作，並進行工作項目分析。

繁殖期	日期	紀錄時間	時段	回巢後的行為紀錄			
				A. 餵食探巢	B. 築巢	C. 休息	D. 未知
前期	5/2	09:15~16:20	全天	41	4	6	2
中期	9/19	07:30~17:30	全天	12	1	13	12
後期	11/28	08:17~16:45	全天	0	0	6	9




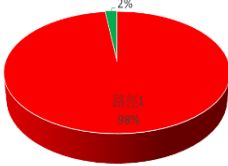
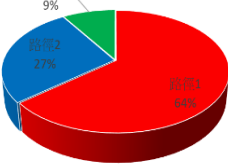
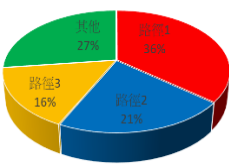



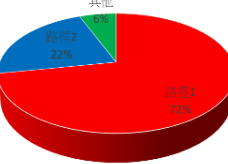
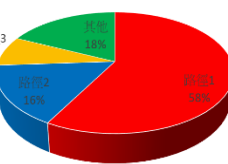
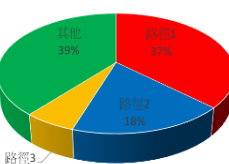


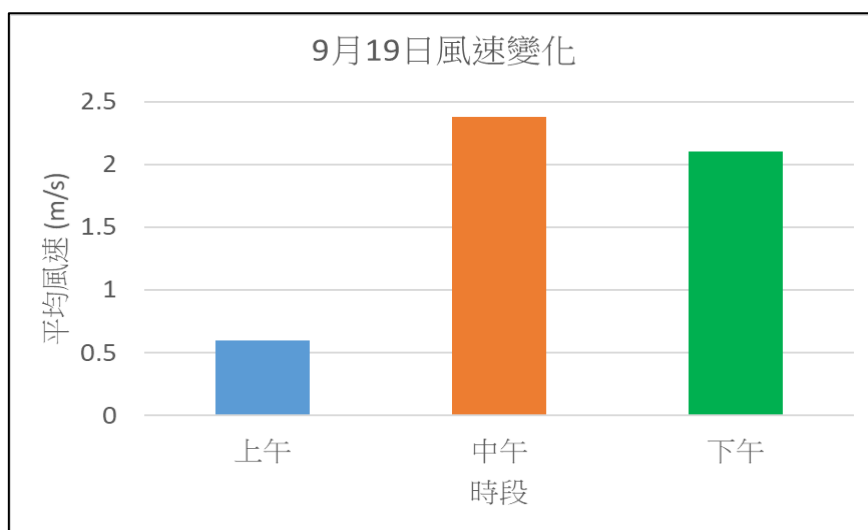
研究發現：

1. **繁殖期前期**：依據觀察發現 5 月是長腳蜂繁殖極盛期，長腳蜂往返蜂巢次數頻繁，回巢後的工作有 77% 以上進行餵食探巢的工作，可見此時期幼蟲數量最多、急需餵食。
2. **繁殖期中期**：9 月屬於繁殖中期，長腳蜂仍需帶幼蟲食物回巢進行餵食，但是餵食工作次數以不像繁殖前期頻繁，少部分需要拓增巢室讓蜂后繼續產卵繁殖。
3. **繁殖期末期**：11 月底繁殖期進入尾聲，長腳蜂回巢後已經不需餵食幼蟲、築巢這些工作了，花更多時間在休息，活動力也隨之下降。
4. 依據繁殖期不同時段進行長腳蜂回巢後的工作項目分析、結合長腳蜂進出巢的次數記錄，我們發現餵食幼蟲的工作主要是在上午時段完成；中午時段、下午時段長腳蜂花了更多時間在休息，傍晚才會進入另一次活動的小高峰。
5. 由上可知，長腳蜂回巢後不同工作項目的工作次數與長腳蜂是否為主要繁殖期有關。

(四) 依據長腳蜂一天中進出巢的時間，記錄其飛行路徑，並進行飛行路徑分析。

1. 9/19 長腳蜂飛行路徑分析如下：




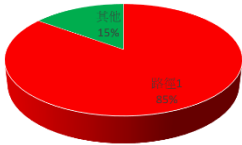
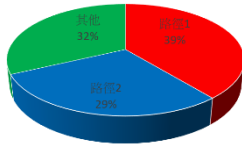
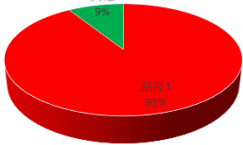



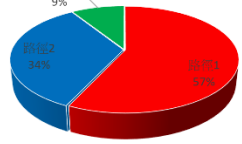
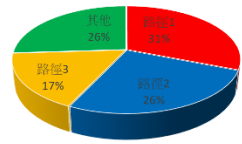
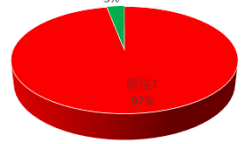
9/19	上午	中午	下午																												
離巢軌跡																															
路徑統計	<p>9月19日上午離巢路徑統計</p>  <table border="1"> <tr><th>路徑</th><th>百分比</th></tr> <tr><td>路徑1</td><td>90%</td></tr> <tr><td>其他</td><td>2%</td></tr> </table>	路徑	百分比	路徑1	90%	其他	2%	<p>9月19日中午離巢路徑統計</p>  <table border="1"> <tr><th>路徑</th><th>百分比</th></tr> <tr><td>路徑1</td><td>64%</td></tr> <tr><td>路徑2</td><td>27%</td></tr> <tr><td>其他</td><td>9%</td></tr> </table>	路徑	百分比	路徑1	64%	路徑2	27%	其他	9%	<p>9月19日下午離巢路徑統計</p>  <table border="1"> <tr><th>路徑</th><th>百分比</th></tr> <tr><td>路徑1</td><td>35%</td></tr> <tr><td>路徑2</td><td>21%</td></tr> <tr><td>路徑3</td><td>16%</td></tr> <tr><td>其他</td><td>27%</td></tr> </table>	路徑	百分比	路徑1	35%	路徑2	21%	路徑3	16%	其他	27%				
路徑	百分比																														
路徑1	90%																														
其他	2%																														
路徑	百分比																														
路徑1	64%																														
路徑2	27%																														
其他	9%																														
路徑	百分比																														
路徑1	35%																														
路徑2	21%																														
路徑3	16%																														
其他	27%																														
回巢軌跡																															
路徑統計	<p>9月19日上午回巢路徑統計</p>  <table border="1"> <tr><th>路徑</th><th>百分比</th></tr> <tr><td>路徑1</td><td>72%</td></tr> <tr><td>路徑2</td><td>22%</td></tr> <tr><td>其他</td><td>6%</td></tr> </table>	路徑	百分比	路徑1	72%	路徑2	22%	其他	6%	<p>9月19日中午回巢路徑統計</p>  <table border="1"> <tr><th>路徑</th><th>百分比</th></tr> <tr><td>路徑1</td><td>59%</td></tr> <tr><td>路徑2</td><td>16%</td></tr> <tr><td>路徑3</td><td>10%</td></tr> <tr><td>其他</td><td>15%</td></tr> </table>	路徑	百分比	路徑1	59%	路徑2	16%	路徑3	10%	其他	15%	<p>9月19日下午回巢路徑統計</p>  <table border="1"> <tr><th>路徑</th><th>百分比</th></tr> <tr><td>路徑1</td><td>37%</td></tr> <tr><td>路徑2</td><td>18%</td></tr> <tr><td>路徑3</td><td>6%</td></tr> <tr><td>其他</td><td>39%</td></tr> </table>	路徑	百分比	路徑1	37%	路徑2	18%	路徑3	6%	其他	39%
路徑	百分比																														
路徑1	72%																														
路徑2	22%																														
其他	6%																														
路徑	百分比																														
路徑1	59%																														
路徑2	16%																														
路徑3	10%																														
其他	15%																														
路徑	百分比																														
路徑1	37%																														
路徑2	18%																														
路徑3	6%																														
其他	39%																														

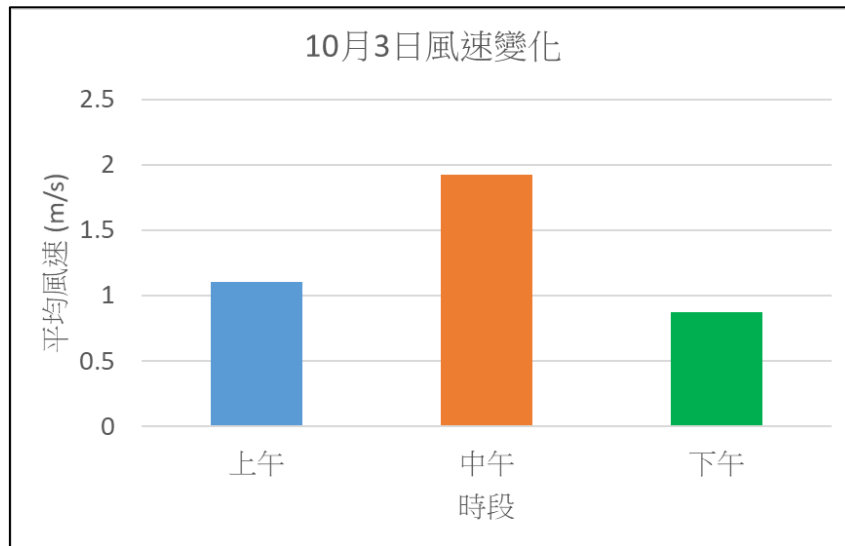


(1) 利用 Tracker 軌跡紀錄軟體分析長腳蜂離巢與回巢的路徑，結果發現長腳蜂進出蜂巢的飛行路徑可能受到當時風力強弱的影響。

- (2) 9/19 上午時段樣區的平均風速為每秒 0.6 公尺，相對微弱，每隻長腳蜂離巢與回巢的路徑十分相似。分析發現約有 98% 依循路徑 1 離巢，而有 72% 依循路徑 1 回巢，另有 22% 循路徑 2 回巢。
- (3) 接近中午時，當地風力明顯增強至風速每秒 2.4 公尺，長腳蜂飛行軌跡變得更多樣，約有 64% 依循路徑 1，27% 循路徑 2 離巢，其他軌跡無法歸類。回巢路徑也多變許多。
- (4) 下午風速沒有減弱，在下午活動高峰時，進出巢路徑變得更複雜，無法歸類的其他路徑比例更高。

2. 10/3 長腳蜂飛行路徑分析如下：




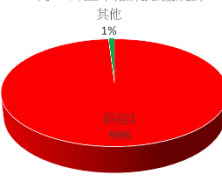
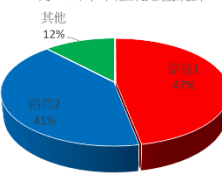
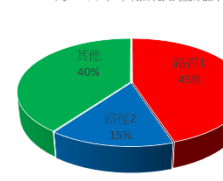



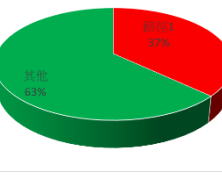
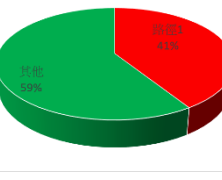
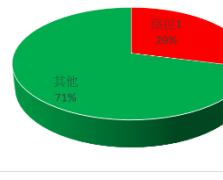
10/3	上午	中午	下午																										
離巢軌跡																													
路徑統計	<p>10月3日上午離巢路徑統計</p>  <table border="1"> <tr><th>路徑</th><th>百分比</th></tr> <tr><td>路徑1</td><td>98%</td></tr> <tr><td>路徑2</td><td>2%</td></tr> <tr><td>其他</td><td>0%</td></tr> </table>	路徑	百分比	路徑1	98%	路徑2	2%	其他	0%	<p>10月3日中午離巢路徑統計</p>  <table border="1"> <tr><th>路徑</th><th>百分比</th></tr> <tr><td>路徑1</td><td>64%</td></tr> <tr><td>路徑2</td><td>27%</td></tr> <tr><td>其他</td><td>9%</td></tr> </table>	路徑	百分比	路徑1	64%	路徑2	27%	其他	9%	<p>10月3日下午離巢路徑統計</p>  <table border="1"> <tr><th>路徑</th><th>百分比</th></tr> <tr><td>路徑1</td><td>61%</td></tr> <tr><td>路徑2</td><td>3%</td></tr> <tr><td>其他</td><td>36%</td></tr> </table>	路徑	百分比	路徑1	61%	路徑2	3%	其他	36%		
路徑	百分比																												
路徑1	98%																												
路徑2	2%																												
其他	0%																												
路徑	百分比																												
路徑1	64%																												
路徑2	27%																												
其他	9%																												
路徑	百分比																												
路徑1	61%																												
路徑2	3%																												
其他	36%																												
回巢軌跡																													
路徑統計	<p>10月3日上午回巢路徑統計</p>  <table border="1"> <tr><th>路徑</th><th>百分比</th></tr> <tr><td>路徑1</td><td>57%</td></tr> <tr><td>路徑2</td><td>34%</td></tr> <tr><td>其他</td><td>9%</td></tr> </table>	路徑	百分比	路徑1	57%	路徑2	34%	其他	9%	<p>10月3日中午回巢路徑統計</p>  <table border="1"> <tr><th>路徑</th><th>百分比</th></tr> <tr><td>路徑1</td><td>21%</td></tr> <tr><td>路徑2</td><td>26%</td></tr> <tr><td>路徑3</td><td>17%</td></tr> <tr><td>其他</td><td>36%</td></tr> </table>	路徑	百分比	路徑1	21%	路徑2	26%	路徑3	17%	其他	36%	<p>10月3日下午回巢路徑統計</p>  <table border="1"> <tr><th>路徑</th><th>百分比</th></tr> <tr><td>路徑1</td><td>87%</td></tr> <tr><td>路徑2</td><td>3%</td></tr> <tr><td>其他</td><td>10%</td></tr> </table>	路徑	百分比	路徑1	87%	路徑2	3%	其他	10%
路徑	百分比																												
路徑1	57%																												
路徑2	34%																												
其他	9%																												
路徑	百分比																												
路徑1	21%																												
路徑2	26%																												
路徑3	17%																												
其他	36%																												
路徑	百分比																												
路徑1	87%																												
路徑2	3%																												
其他	10%																												

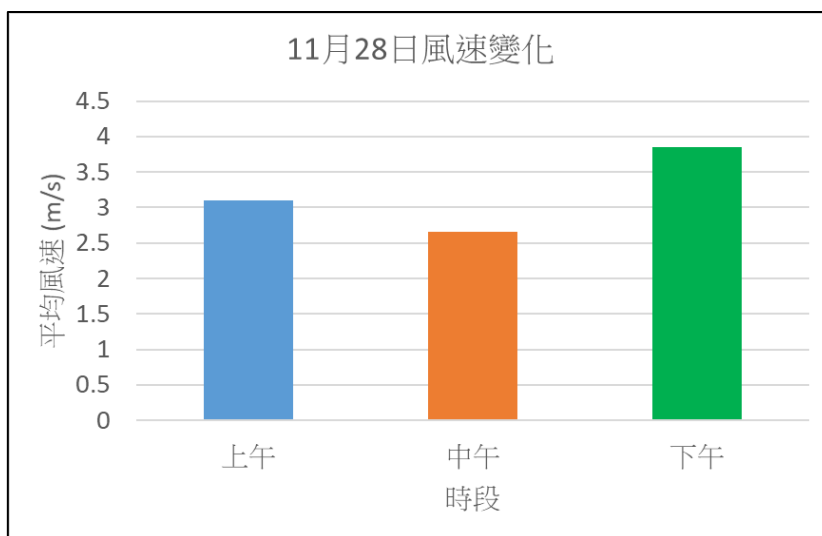


研究發現：

- (1) 10/3 長腳蜂飛行路徑也發現和 9/19 類似情形。
- (2) 上午期間當地平均風速為每秒 1.1 m/s，風速相對微弱，長腳蜂出入蜂巢路徑也相當固定，離巢與回巢可歸類的路徑分別為 85%與 91%。
- (3) 中午時段平均風速又提升至每秒 1.9 m/s，長腳蜂進出軌跡變異性也提高，其中 32%離巢路徑不規律而無法歸類，26%回巢路徑無法歸類。
- (4) 下午時平均風速明顯降至每秒 0.8 m/s，長腳蜂出入蜂巢的飛行路徑相較於上午期間路徑更為一致，91%循著相似的路徑離巢。
- (5) 分析結果顯示：**風速的強弱對長腳蜂的飛行路徑有顯著的影響**。當地風速微弱穩定時，長腳蜂會依循固定路線進出蜂巢，當風速增強時，對於長腳蜂的飛行穩定性造成干擾，進出蜂巢路線會變得混亂。

3. 11/28 長腳蜂飛行路徑分析如下：

11/28	上午	中午	下午																						
離巢軌跡																									
路徑統計	<p>11月28日上午離巢路徑統計</p>  <table border="1"> <tr><th>Category</th><th>Percentage</th></tr> <tr><td>路徑1</td><td>98%</td></tr> <tr><td>其他</td><td>1%</td></tr> </table>	Category	Percentage	路徑1	98%	其他	1%	<p>11月28日中午離巢路徑統計</p>  <table border="1"> <tr><th>Category</th><th>Percentage</th></tr> <tr><td>路徑1</td><td>49%</td></tr> <tr><td>路徑2</td><td>41%</td></tr> <tr><td>其他</td><td>12%</td></tr> </table>	Category	Percentage	路徑1	49%	路徑2	41%	其他	12%	<p>11月28日下午離巢路徑統計</p>  <table border="1"> <tr><th>Category</th><th>Percentage</th></tr> <tr><td>路徑1</td><td>45%</td></tr> <tr><td>路徑2</td><td>15%</td></tr> <tr><td>其他</td><td>40%</td></tr> </table>	Category	Percentage	路徑1	45%	路徑2	15%	其他	40%
Category	Percentage																								
路徑1	98%																								
其他	1%																								
Category	Percentage																								
路徑1	49%																								
路徑2	41%																								
其他	12%																								
Category	Percentage																								
路徑1	45%																								
路徑2	15%																								
其他	40%																								
回巢軌跡																									
路徑統計	<p>11月28日上午回巢路徑統計</p>  <table border="1"> <tr><th>Category</th><th>Percentage</th></tr> <tr><td>路徑1</td><td>37%</td></tr> <tr><td>其他</td><td>63%</td></tr> </table>	Category	Percentage	路徑1	37%	其他	63%	<p>11月28日中午回巢路徑統計</p>  <table border="1"> <tr><th>Category</th><th>Percentage</th></tr> <tr><td>路徑1</td><td>44%</td></tr> <tr><td>其他</td><td>56%</td></tr> </table>	Category	Percentage	路徑1	44%	其他	56%	<p>11月28日下午回巢路徑統計</p>  <table border="1"> <tr><th>Category</th><th>Percentage</th></tr> <tr><td>路徑1</td><td>29%</td></tr> <tr><td>其他</td><td>71%</td></tr> </table>	Category	Percentage	路徑1	29%	其他	71%				
Category	Percentage																								
路徑1	37%																								
其他	63%																								
Category	Percentage																								
路徑1	44%																								
其他	56%																								
Category	Percentage																								
路徑1	29%																								
其他	71%																								

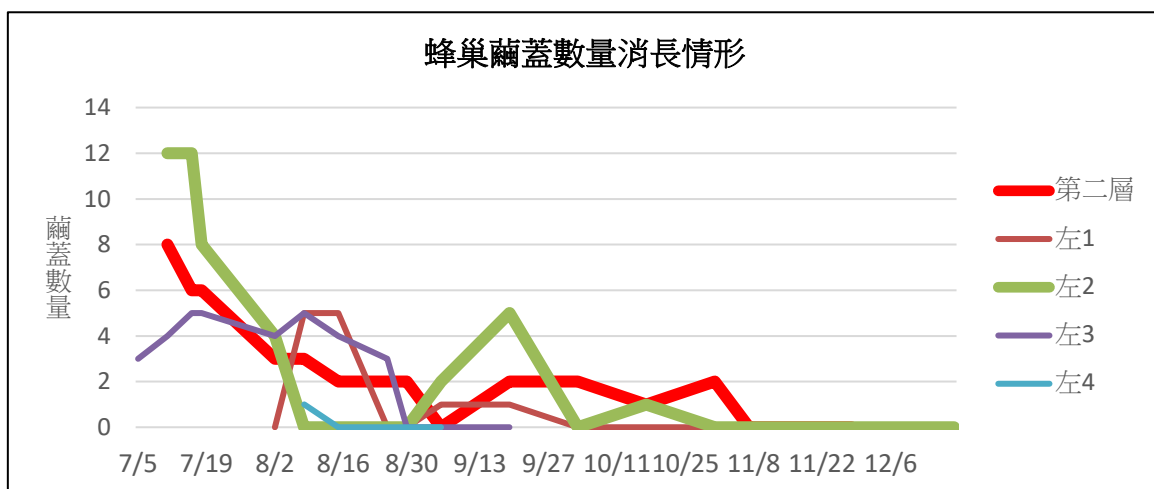


- (1) 依據調查，11/28 當天風速皆高於 2.5 m/s，對於長腳蜂的飛行穩定性造成干擾，進出蜂巢飛行路徑沒有規律性。
- (2) 11/28 已進入東北季風盛行的冬天，蜂巢壽命也進入尾聲，僅剩零星幾隻孱弱的工蜂還在巢上活動，極少飛行，而且多數在蜂巢與樹枝之間以爬行為主要活動。因此以飛行為主要路徑統計的標準反而得到主要路徑所佔比例比其他路徑少的情形；這些其他路徑就是所觀察到的以爬行方式離巢到其他枝頭的行為，通常不久之後會再回到蜂巢上方。

(五) 長腳蜂蜂巢體積的消長

研究發現：

1. 蜂巢上出現繭蓋表示有長腳蜂幼蟲進入蛹期，即將有成蜂羽化。
2. 左 2 巢從一開始被發現就呈現多繭蓋，蜂巢壽命最長；左 4 巢繭蓋最少，蜂巢壽命最短。
3. 巢室可以重複利用：一開始在蜂巢中一間巢室一個繭蓋，但在編號第二層巢的蜂巢上，發現了用過的巢室被長腳蜂繼續往下構築新的巢室、繭蓋，整個蜂巢外形被加長了。但成蜂羽化後，原拉長的巢室也恢復原狀。
4. 繭蓋數量的消長代表是否有新成蜂出現，也意味著這個蜂巢生命力是否旺盛。以下圖綠線(左 2 巢)趨勢發現蜂巢繭蓋 7/12 最多，繭蓋隨著時間減少表示有新的成蜂羽化，所有成蜂羽化之後，又有新的繭蓋出現，反覆這樣的繭蓋消長歷程。每個波段繭蓋數量逐漸減少，一直到蜂巢被棄巢。




柒、討論

一、分析長腳蜂蜂巢的材質。

長腳蜂大顎與分泌物神奇的將蜂巢材質(周邊的帝王柑、金露花樹皮)做成了紙糊的蜂巢，難怪長腳蜂的英文有 paper wasp 一詞。雖然不如機器製造的紙來的密實，但吸水性差卻可讓蜂巢免於在大雨來時瞬間毀壞。我們曾在蜂巢外滴水，水滴瞬間沿著蓮蓬頭外型的蜂巢滑落，在粗長纖維的紙質構造下，這樣的造型與材質配合得天衣無縫。

二、研究長腳蜂對築巢環境的選擇條件。

(一) 人們通常是在被蜂螫咬了之後，才開始注意到蜂巢的存在，接著的反應是摘除蜂巢，這個是人與蜂的領域競爭。去年 (2020)在菜園摘了第一個棕長腳蜂蜂巢後，對面的圍籬隔週就出現編號左 3 的棕長腳蜂蜂巢，然後雨後春筍般地在左 3 旁邊出現了左 2、左 1、左 4 蜂巢，每個蜂巢相距約 1 公尺。經過暑假的調查，我們在樣區的 B17 圍籬下也發現類似情形。資料顯示，蜜蜂有分巢的行為，以拓展蜂群的勢力，那長腳蜂是否也有分巢的行為呢？

主要樣區 B13，4 個緊鄰蜂巢的位置	樣區 B17，3 個緊鄰蜂巢的位置
	

(二) 分析歷年所選樣區的長腳蜂對築巢環境的選擇。

1. 前年(2019 年)的蜂巢剛好都築巢在倉庫屋簷下，因有 2018 年有學生被蜂螫的經驗，2019 年發現的蜂巢一發現就馬上移除。蜂巢高度由 2019 年的屋簷下，變成 2020 年的矮灌叢差距很大，從天候狀況去找出影響蜂巢高度的因素，以**樣區雨量的差異**最能解釋蜂巢築在不同高度的原因，今年值得再觀察、驗證一番。
2. 長腳蜂蜂巢都選擇築於隱蔽性高的地方，例如：金露花圍籬下；築巢點不會直接暴露在樹頂，2020 年築巢在帝王柑樹頂的日本長腳蜂蜂巢僅維持一週就棄巢了。

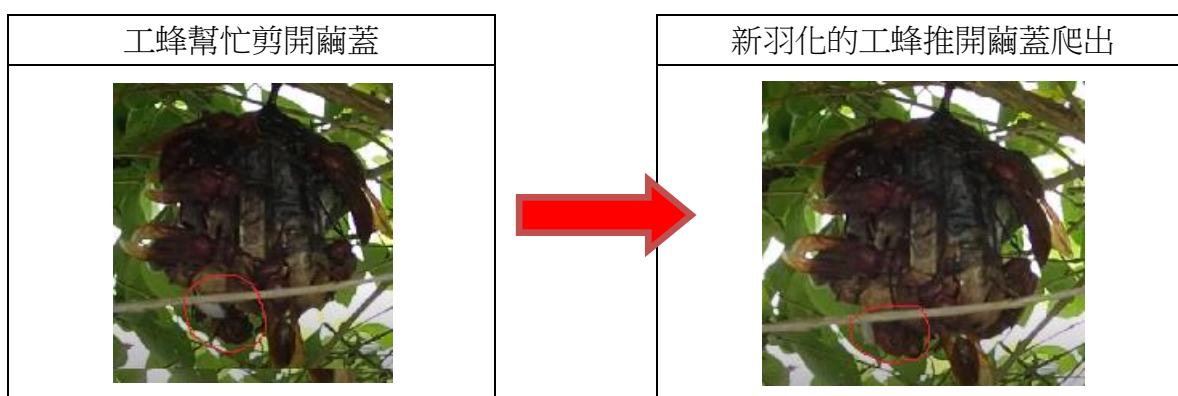
3. 我們的研究發現長腳蜂築巢的位置與照度有關，依據 2019 年以來的觀察，發現體色較淺的黃長腳蜂比深色的棕長腳蜂可以接受較高的照度環境。是什麼樣的身體構造讓他們產生差異呢？值得我們進行後續性研究。

三、探測長腳蜂警戒的範圍。

- (一) 大多數人聞“蜂”色變，本研究發現長腳蜂擁有嚇人的大複眼、大顎，外表像外星臉孔，但實在是溫馴的昆蟲，即使碰到蜂巢所在的枝條，長腳蜂也只是振翅作勢而已；除非不斷激怒牠們，才會引起長腳蜂群起攻之。
- (二) 水霧干擾測試不會引起長腳蜂攻擊敵人，反而因膜翅被噴濕無法飛翔。因此，若有長腳蜂進駐農地產生領域衝突，建議農地主人整理樹枝時以噴灑水霧替代殺蟲劑，讓蟲農成為夥伴。

四、研究長腳蜂的生態行為。

- (一) 原以為長腳蜂頻繁進出巢都是忙著工作，卻發現在繁殖中後期花了更多時間在休息。
- (二) 帶回巢的球狀物顏色深淺都有，大部分是餵食幼蟲的肉球，少部分是啃咬木質纖維與樹液膠質，混合唾液後可以拿來建造巢房的材料。
- (三) 長腳蜂是社會性昆蟲，棕長腳蜂羽化時工蜂幫忙將繭蓋剪開，繭蓋裡面的成蟲再爬出。



- (四) 這一年來的觀察，發現看起來兇惡的長腳蜂最大的天敵是人類。連出現在影片中的蛇都只是路過打招呼而以。廢棄的蜂巢沒有被摘除，才一週不見就入住某種幼蟲，把紙做的房子啃咬的破爛不堪。

(五)長腳蜂蜂巢外觀清一色是以褐色為基底，深淺不一。今年調查到的蜂巢有一個彩色的蜂巢，其中的藍色應該是取材自周邊的人造產物，顯示人類與蜂的活動已經密不可分。



(六)長腳蜂進出巢的飛行路徑看似雜亂，整理分析後發現長腳蜂有一定的規律，期待未來可以解開長腳蜂飛行規律的祕密。

(七)長腳蜂蜂巢體積的消長情形意味著蜂巢生命力的旺盛與否，伴隨統計繭蓋的數量增減，也代表工蜂的數量是否增加，一旦蜂巢的繭蓋數量減少不再增加，就代表蜂巢壽命接近尾聲，若還沒到秋末冬初卻被棄巢了，如編號左 1 蜂巢，值得我們繼續研究下去。

五、長腳蜂是一個重要的環境指標。

農業害蟲和森林害蟲的天敵，是生物鏈中的重要一環，對維護生態系統平衡很重要。長腳蜂可捕食大量林木和農田害蟲，是農業上可行的生物防治的手段。此外，長腳蜂作為一類重要的野生傳粉昆蟲，對保護物種多樣性和穩定性、保障植物結果數量和質量等方面也發揮著重要作用。

捌、結論

一、分析長腳蜂蜂巢的材質：

蜂巢與宣紙的纖維結構相近，具一定厚度，且吸水性差，不易因雨水潑淋而潮濕，影響結構。然而蜂巢纖維強韌度較低，對於外力拉扯的承受力不足，因此長腳蜂通常選擇屋檐、樹枝等周圍有阻擋強風的遮蔽物下築巢。

二、長腳蜂對築巢環境的選擇條件：

- (一) 蜂巢高度與當年雨量多寡有關：雨量多，蜂巢高度較高，反之，則較低。
- (二) 築巢的位置通常選擇照度在 400~700 lux 之間的環境。照度過強，恐難以維持巢室內的溼度與溫度；照度過低的陰濕環境，巢室可能有黴菌感染的疑慮。

三、探測長腳蜂警戒的範圍：

- (一) 長腳蜂的警戒距離很短，不會主動攻擊人。只有非常靠近巢體、碰觸到巢體或巢上枝條，才會有攻擊反應。
- (二) 對長腳蜂噴水可以暫停牠的動作包括攻擊，是保護彼此可行的做法。

四、研究長腳蜂的生態行為：

- (一) 認識長腳蜂的主要行為：飛行、捕食、餵食、築巢、覓食、用口器排水。
- (二) 上午 7:00~9:00 與下午 17:00~19:00 是長腳蜂一天中活動的高峰期，與蜜蜂覓食、餵食的作息吻合。
- (三) 長腳蜂回巢後進行的工作與長腳蜂是否為主要繁殖期有關：若正值繁殖極盛期，長腳蜂上午餵食的工作最頻繁，甚至拓增巢室；繁殖期進入尾聲，長腳蜂回巢後已無餵食、築巢等工作，花更多次數是在休息或探查巢室內的狀況。
- (四) 長腳蜂飛行路線受到當時風速的影響極大，在風速微弱時，飛行路徑相當一致。但風速增強時，飛行路線會相當多樣而沒有一致性。
- (五) 長腳蜂蜂后每年春季開始尋覓適當地點築巢並繁衍工蜂，在五月至九月初期間族群數量最多，繁殖力也最旺盛。九月中以後，工蜂活動力明顯下降，且逐漸因死亡而數量明顯減少，蜂巢會產生新的蜂后有分巢行為，蜂后也開始尋覓適當地點蟄伏過冬，待隔年春季再度尋覓新地點築巢繁殖下一代。
- (六) 本研究發現長腳蜂雖然體型巨大，長相感覺十分兇猛，卻是一種相當溫和的蜂類。牠們會捕食其他昆蟲幼蟲，對於移除農業蟲害、維持生態平衡扮演相當重要的角色。然而，一般人因擔心遭受攻擊，常常發現築巢時就快速的摘除，因而傷害了這群益蟲。期望這

次的研究結果，能改正大家對長腳蜂的誤解，讓這群面惡心善的無名英雄繼續維護環境生態的穩定。

- (七) 下次學校再發現蜂巢時，建議學校先鑑定到底是什麼種類的胡蜂或蜜蜂，如果是對學生無害的胡蜂或蜜蜂種類，例如：長腳蜂，也許可以劃定一個範圍不讓學生靠近，但不一樣要馬上摘除蜂巢，因為無害的胡蜂或蜜蜂種類也是生態的一分子，有生存的權利，也能穩定校園生態系，有興趣的師生可以遠距離觀察牠。

玖、參考文獻資料

一、書籍：

- (一) 《與虎頭蜂共舞--安奎的虎頭蜂研究手札》
(二) 楊維晟。2010。野蜂放大鏡。天下文化出版社。
(三) 都市胡蜂之生態及其監測。林業研究專訊 Vol. 24 No. 3 2017。

二、網站：

- (一) 昆蟲發育與生活史 web.nchu.edu.tw/pweb/users/kuomeihwa/lesson/59.rtf
(二) 蜜蜂養殖技術溫度對蜜蜂影響的研究報告- 每日頭條 <https://kknews.cc/zh-tw/news/e8bl664.html>
(三) 【蟲蟲的祕密】紙雕大師長腳蜂 <https://e-info.org.tw/node/78835>
(四) 驚奇山行 <http://gaga.biodiv.tw/new23/9411/261.htm>
(五) 危險驚奇的鄰居:黃長腳蜂
<https://www.flickr.com/photos/66086774@N04/albums/72157630803890460/>
(六) 黃長腳蜂 <http://gaga.biodiv.tw/new23/9311/k55.htm>
(七) 黃長腳蜂蜂后
<https://blog.xuite.net/m49.k5083/twblog/153768457-%E9%BB%83%E9%95%B7%E8%85%B3%E8%9C%82%E8%9C%82%E5%90%8E>
(八) 蜜蜂築巢藏細節 建築工法結合熱力學－民視新聞
<https://www.youtube.com/watch?v=Sd734FO7dBU&app=desktop>
(九) 蜜蜂和馬蜂都是蜂，為什麼他們是敵對關係？ <https://kknews.cc/news/85gzmye.html>
(十) 馬蜂 (polistine wasps)
<https://kknews.cc/zh-tw/nature/r3egrgr.html>

【評語】 080307

1. 此作品對常見的長腳蜂種類進行生態與行為觀察。觀察紀錄很豐富，足見同學的用心；研究過程產生的數據也很清楚的呈現，值得鼓勵！同學在敘述成果與回答問題時，評審委員充分感受到其對於研究的熱誠與投入。
2. 非常佩服從 2018 年開始投入觀察，也因為長期觀察而可以近年來的氣候變化進行連結，是非常不錯的觀察成果。未來可以將氣候變遷議題與長腳蜂生活行為做結合，將會是具有潛力與深度的研究。
3. 如果可以針對蜂巢為何在吸水性差以及韌度低上多加探討纖維的組織、架構等等，應該也會是挺有趣的題目

作品簡報

紙糊的房子蓋在哪裡好呢？

—研究長腳蜂屬（*Polistes* sp.）的生態行為

國小組生物科

研究動機

• 人與長腳蜂的衝突



同學通報校園出現蜂巢



學校摘除蜂巢並大規模修剪樹木



工友被蜂螫傷

• 初期的困難與解決方法

1. 找尋能保留蜂巢的觀察地點

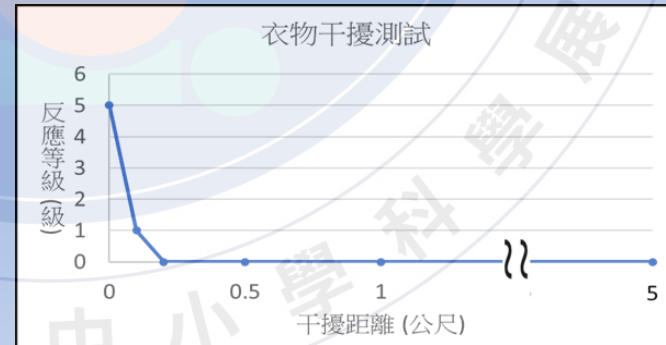


城市中蜂巢易被摘除



到親戚農園觀察

2. 了解長腳蜂習性確保實驗安全



10公分以內才有警戒反應



翅膀沾濕暫時無法飛行

• 認識長腳蜂

➤ 胡蜂科

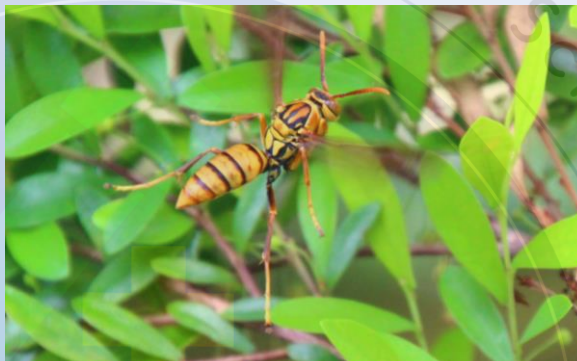
馬蜂亞科

長腳蜂屬

➤ 體長2~4公分



➤ 後腳長，飛行時後腳下垂可與虎頭蜂區別



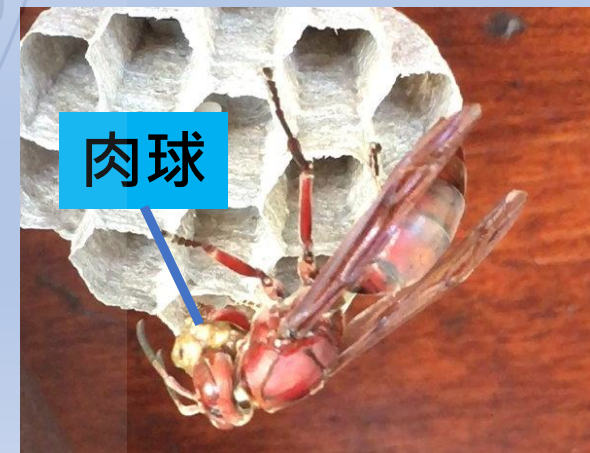
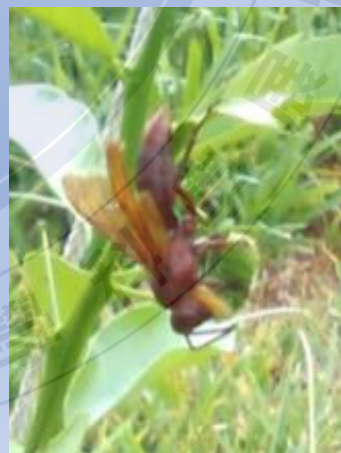
後腳長度與體長相近



飛行時後腳明顯下垂

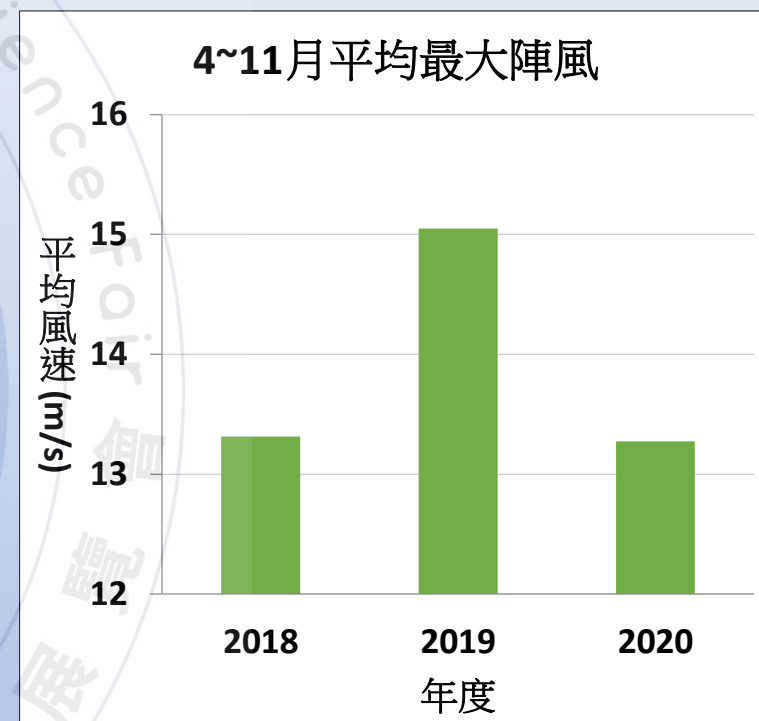
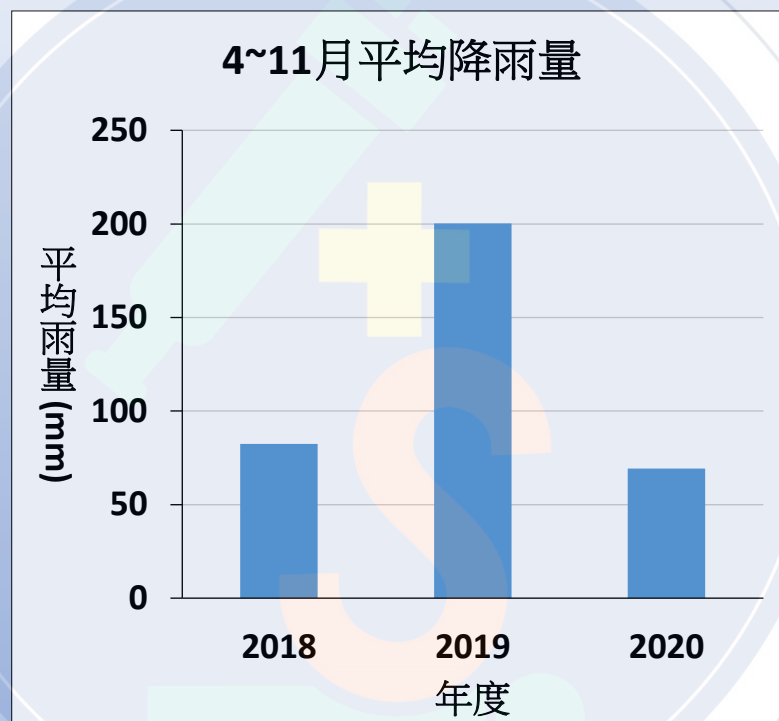
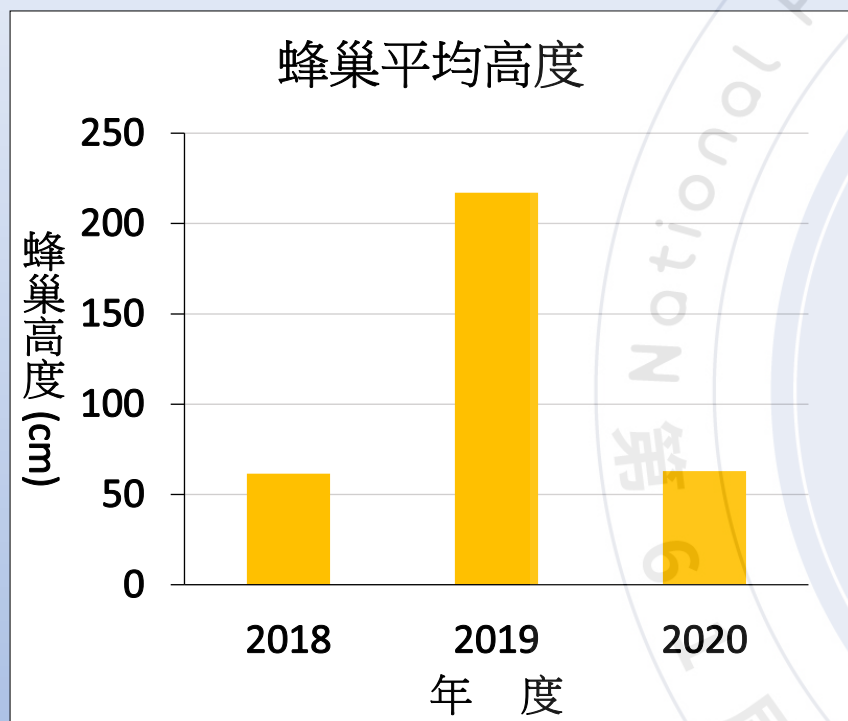
➤ 春季築紙質蜂巢繁殖，俗稱**Paper Wasp**

➤ 成蟲捕食鱗翅目幼蟲，以肉球餵其幼蟲



實驗結果

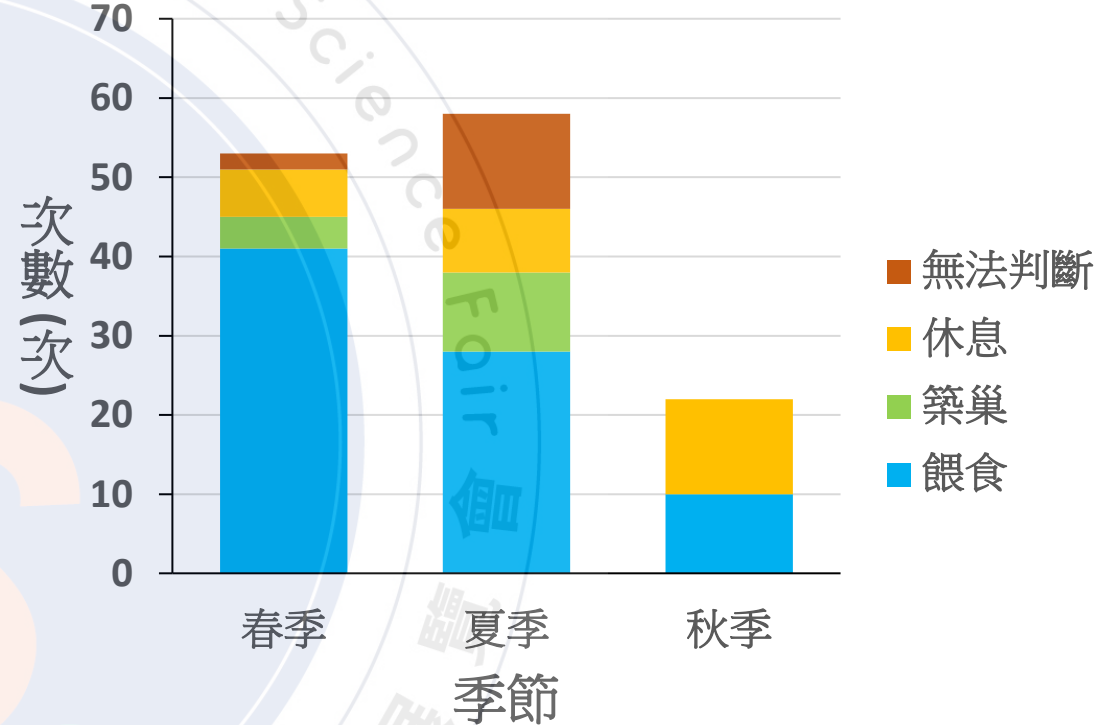
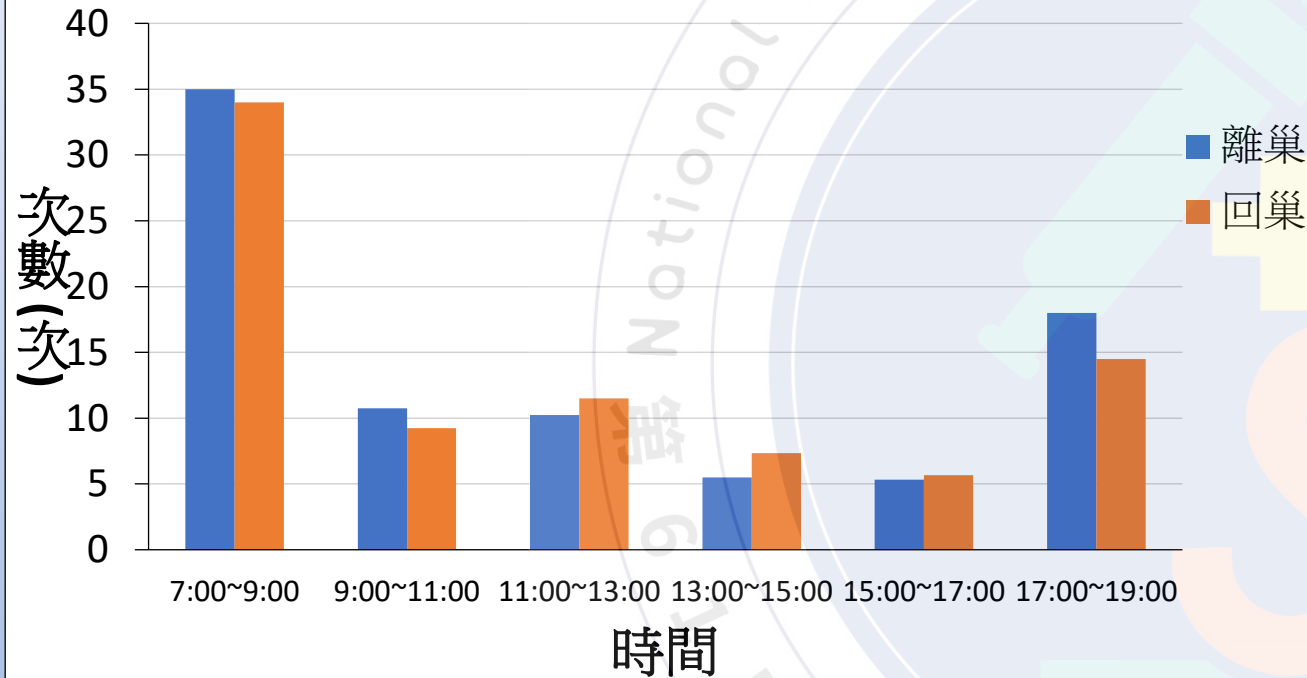
歷年築巢高度與氣候關係



1. 長腳蜂築巢高度與當年降雨量、最大陣風有關。
2. 2019年雨量多、風速強，長腳蜂築巢位置較高。




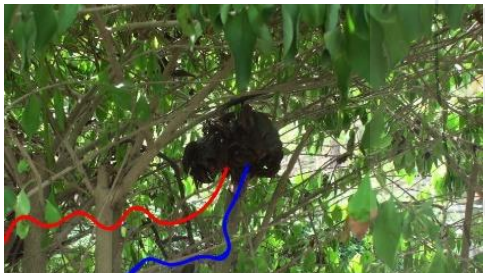

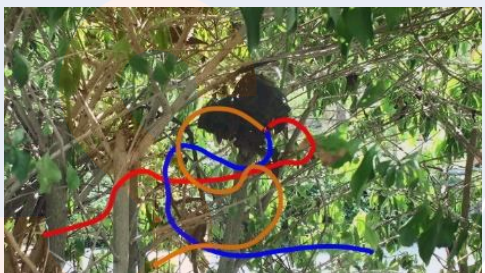
長腳蜂作息與回巢主要工作內容

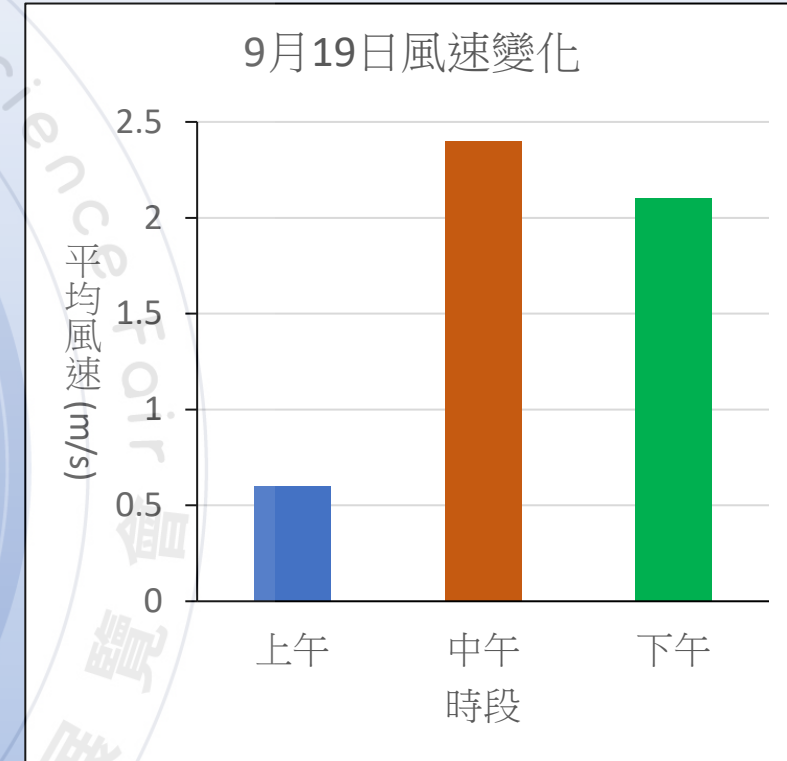
各時段進出巢次數



1. 每日活動高峰期：上午 7~9 點、下午 5 點至日落
2. 春、夏季時長腳蜂進出頻繁，忙於餵食與築巢。
3. 入秋後幼蟲減少，活動力低。

風速對飛行軌跡的影響—九月







9/19	上午	中午	下午
離巢軌跡			
回巢軌跡			

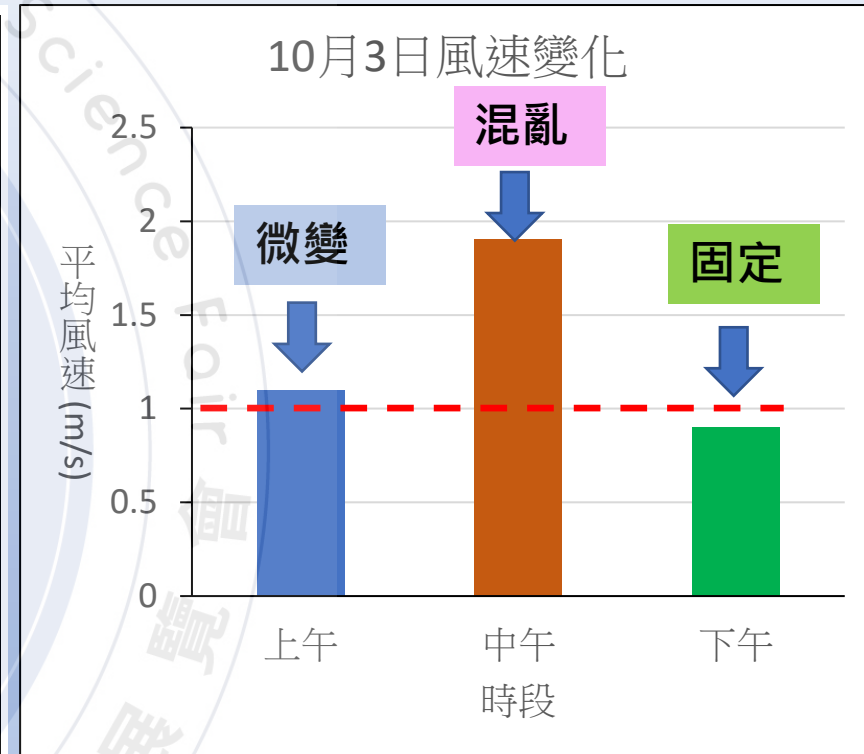


▲ 主要路徑 —— 次要路徑 —— 再次要路徑 ——

1. 繁殖期間長腳蜂進出蜂巢都有固定的飛行路線。
2. 東北風轉強時，路線會變得混亂，靠近牠就容易受攻擊，推論是秋季較常發生蜂螫事件的原因。

風速對飛行軌跡的影響—十月

10/3	上午	中午	下午
離巢軌跡			
回巢軌跡			

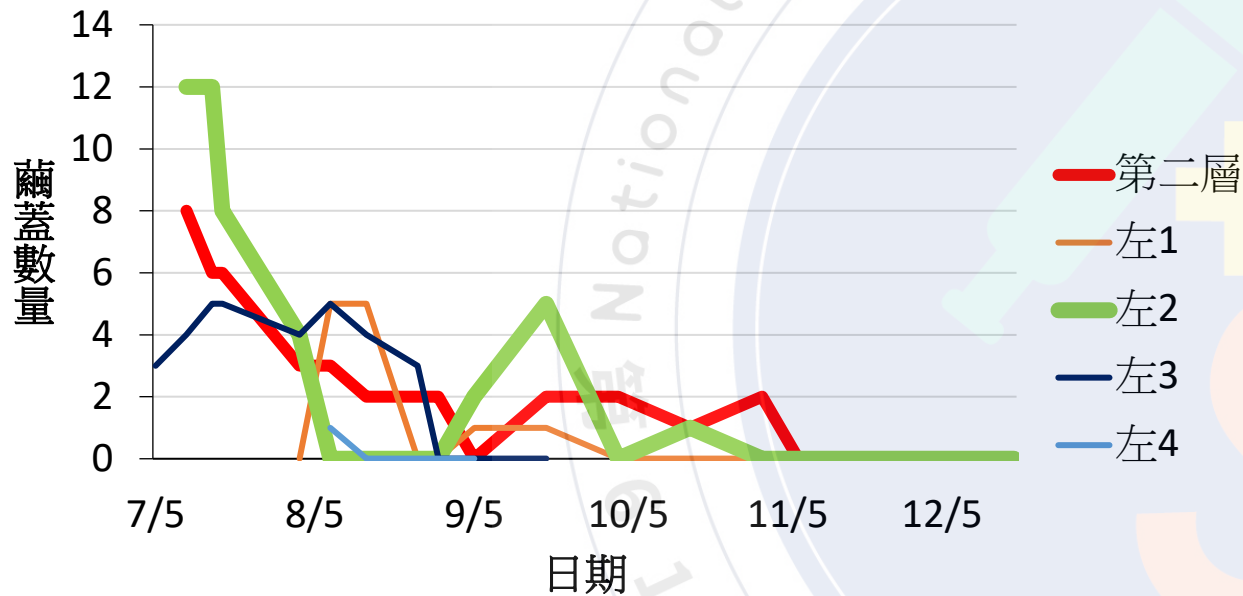


▲主要路徑  次要路徑  再次要路徑 

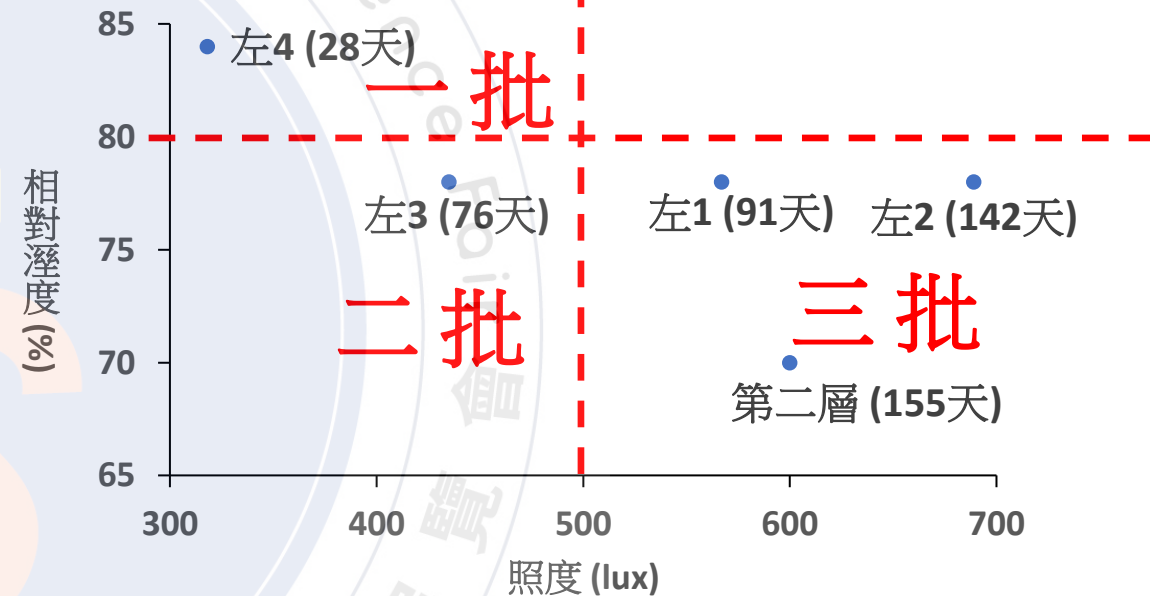
1. 分析發現，當風速超過 **1 m/s**時，飛行軌跡會明顯混亂。
2. 人類無法察覺的風速變化，對牠的飛行軌跡有很大影響。

環境條件對蜂巢壽命影響

蜂巢繭蓋數量消長情形



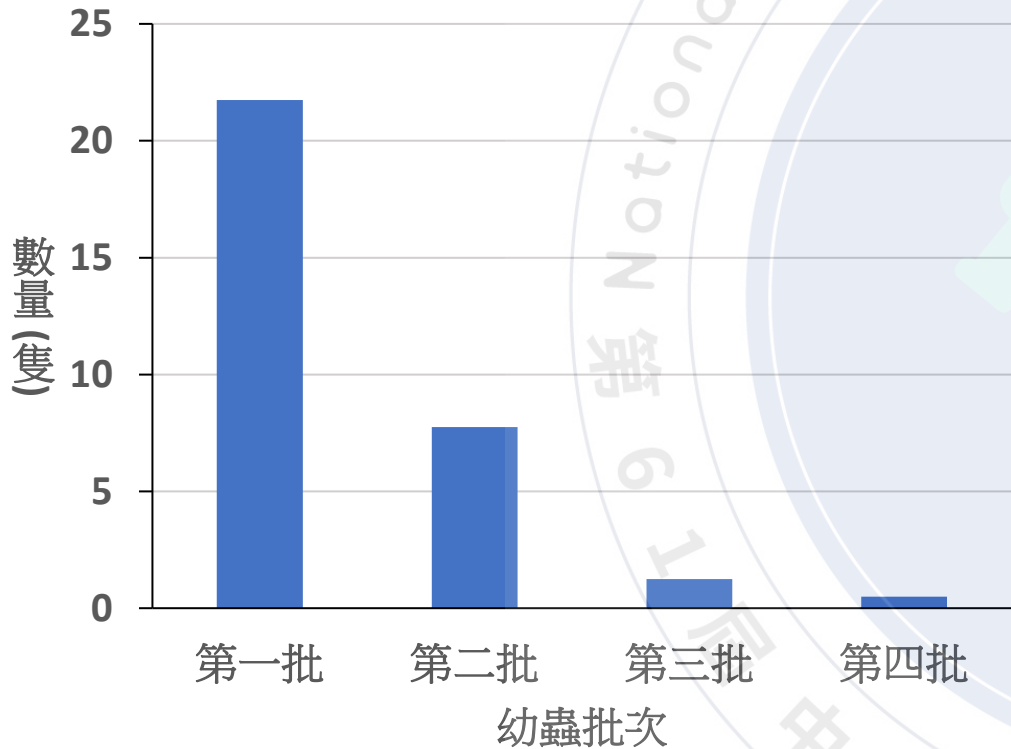
蜂巢壽命與環境條件的關係



1. 每個巢可繁殖2~4批幼蟲，但受干擾時會暫停繁殖甚至棄巢。
2. 築於照度500 ~ 700 lux、相對濕度80%以下的地點，蜂巢壽命最長。

各批數量變化與分巢、棄巢行為

各批幼蟲數量



左1

(8/2~10/31)



左2

(7/16~12/5)



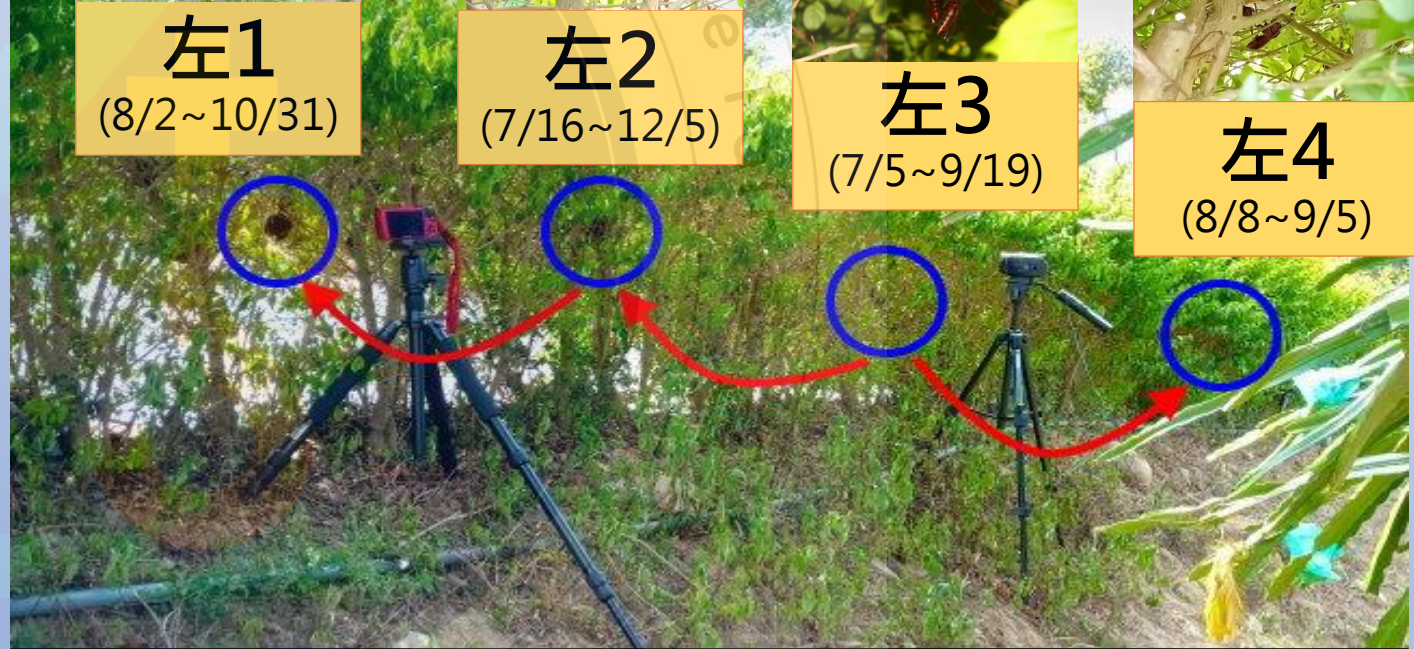
左3

(7/5~9/19)



左4

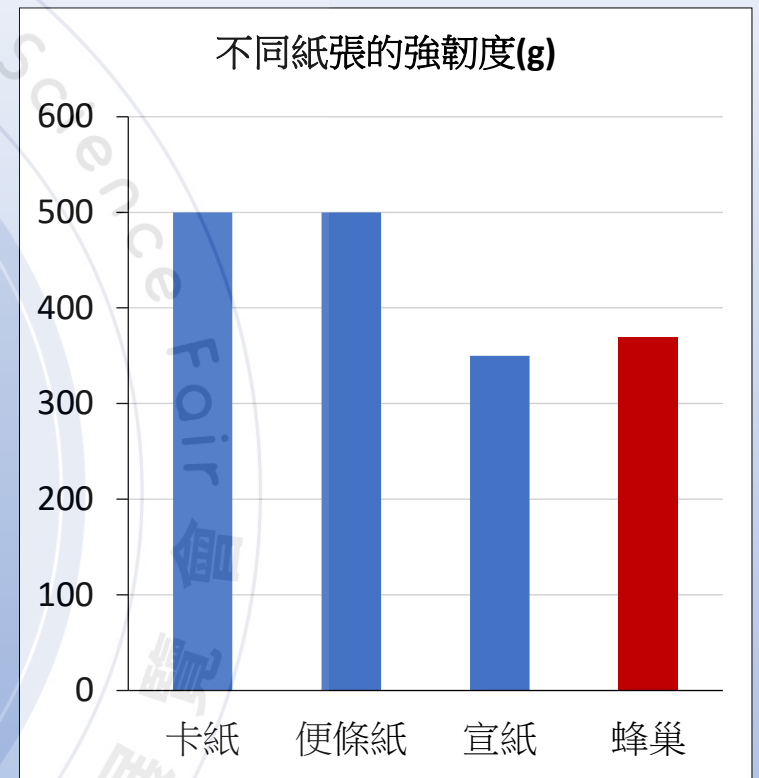
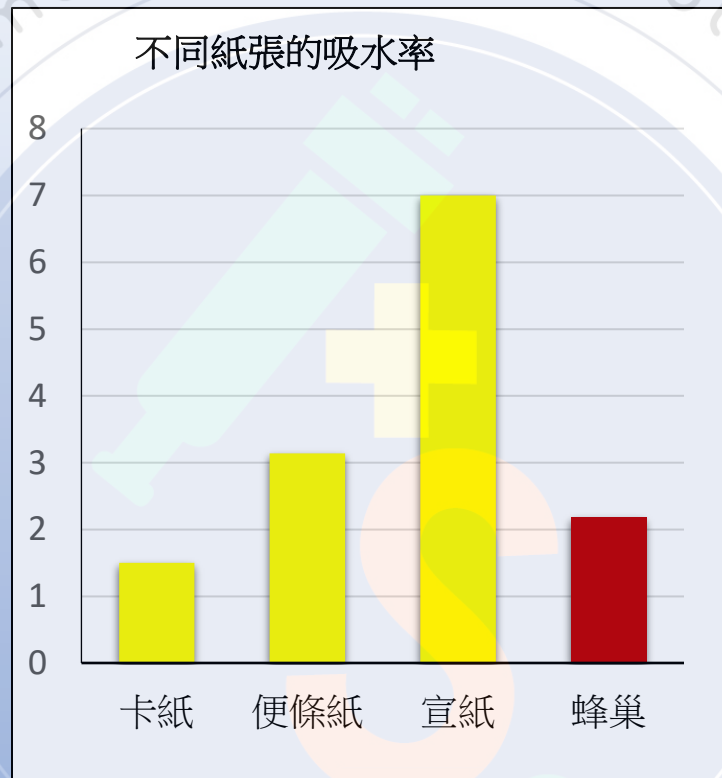
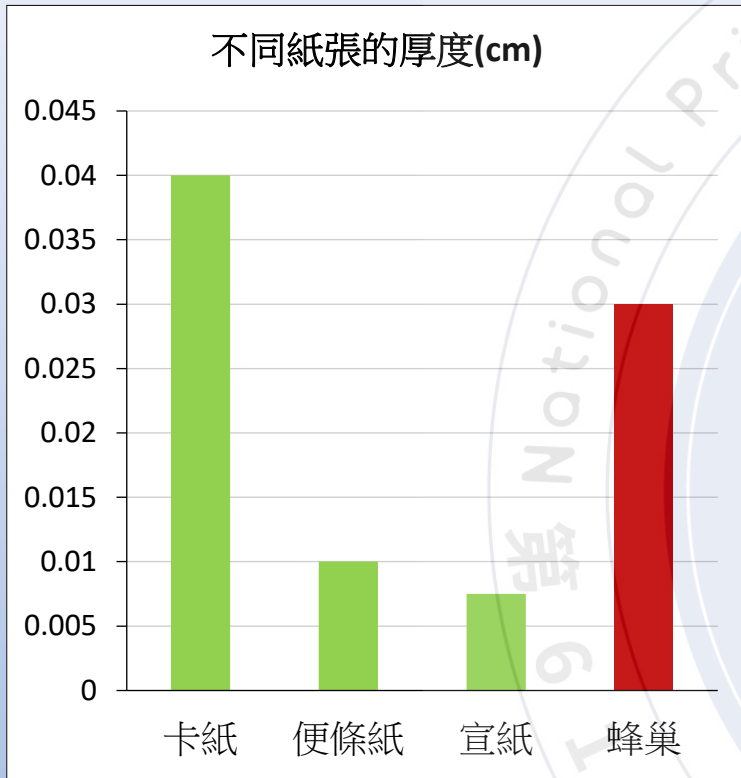
(8/8~9/5)



7/5左3巢出現後，依序分出另外三個巢

每批繁殖數量漸減，第二批後開始有分巢或棄巢行為。

蜂巢短纖維材質的物理特性



蜂巢材質主要來源	泡水打碎	蜂巢	帝王柑	金露花
光學顯微鏡觀察 (10x20)				
解剖顯微鏡觀察 (60)				

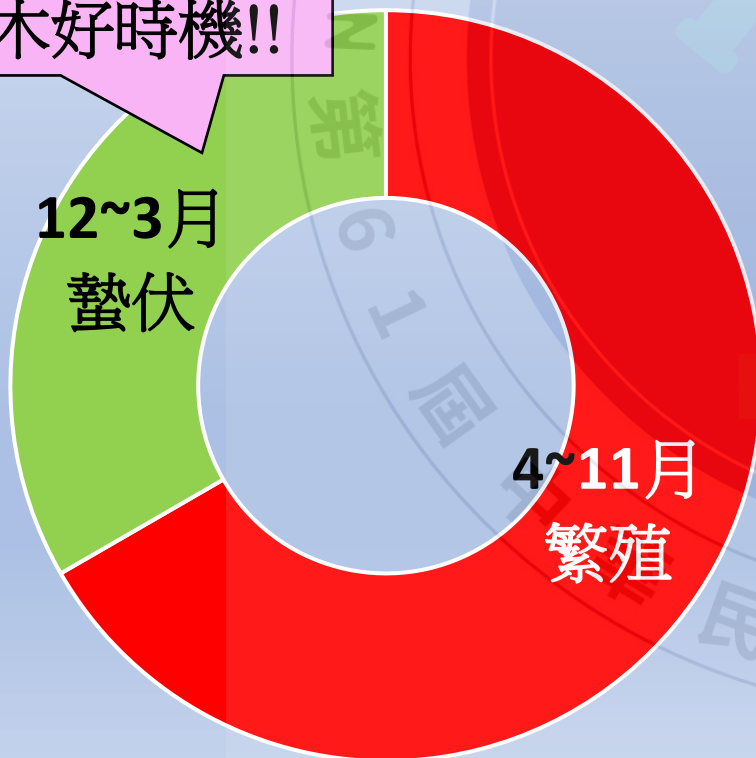
- 吸水率低，不易潮濕 → 蜂巢防水性佳
- 強韌度低，不耐拉扯 → 抗風性不足

討論與結論

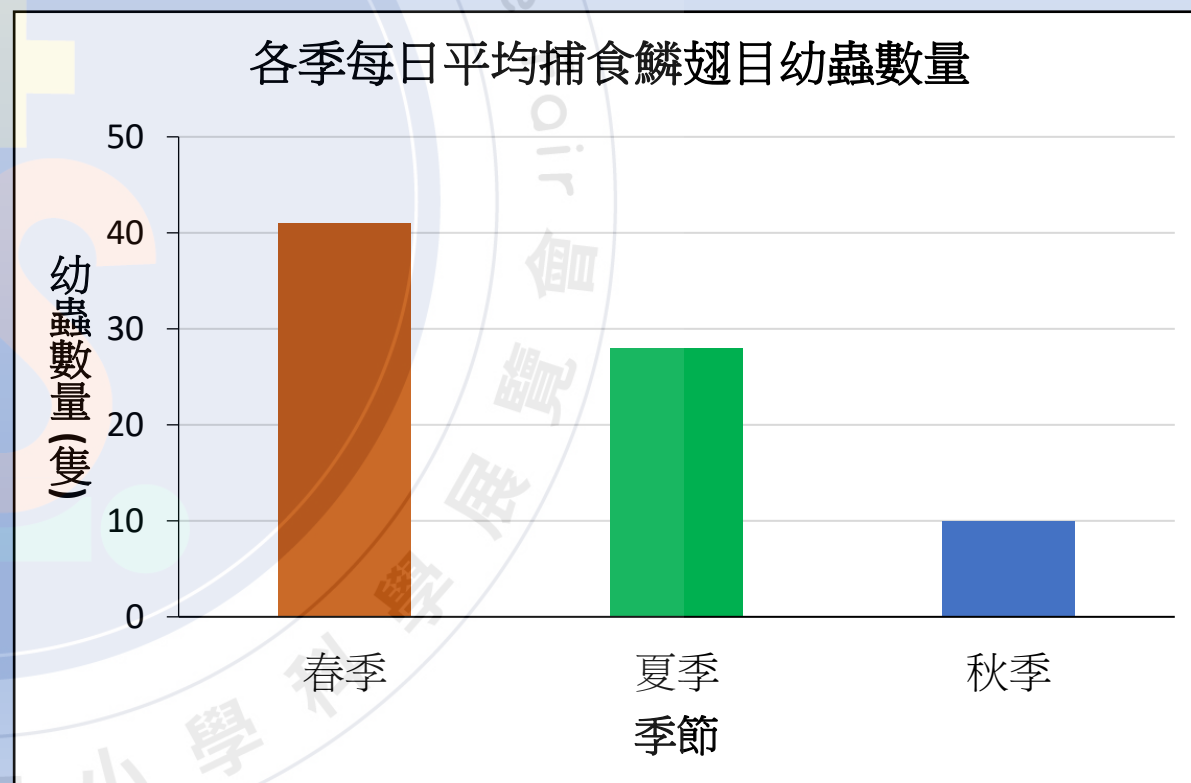
• 給學校的建議：

- 留適量樹蔭勿過度修剪
- 闖入教室：關燈、關電扇、開窗

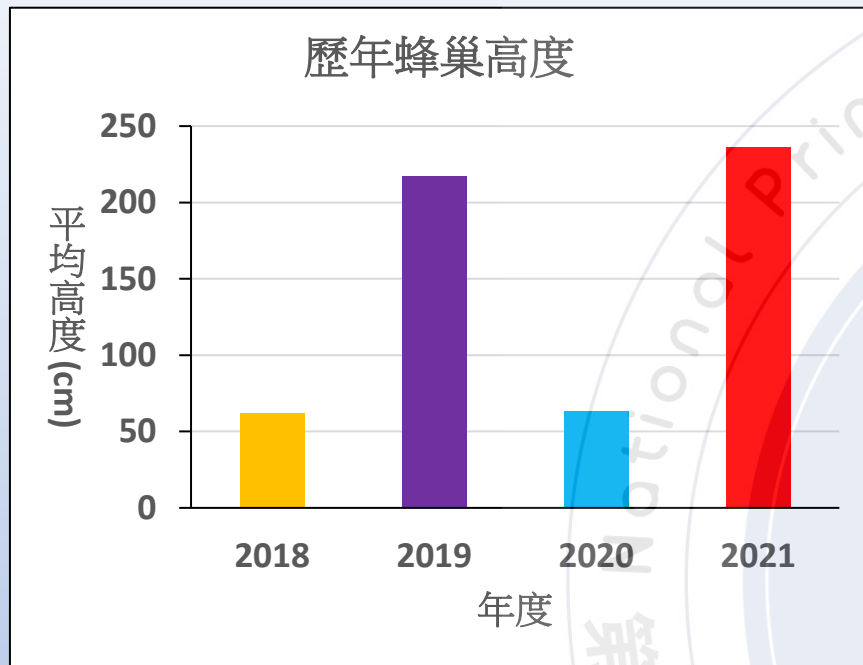
AM10:00~PM15:00
是修剪花木好時機!!



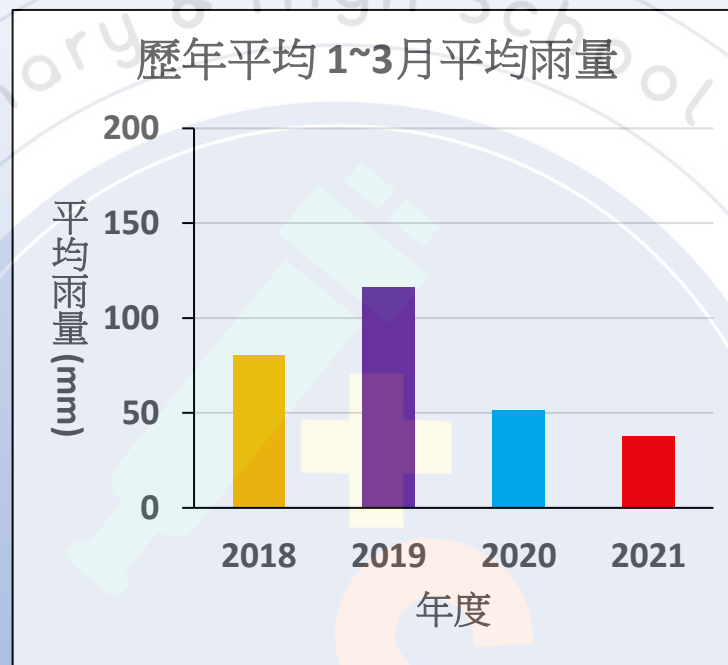
• 捕食菜蟲，有機農業的幫手！



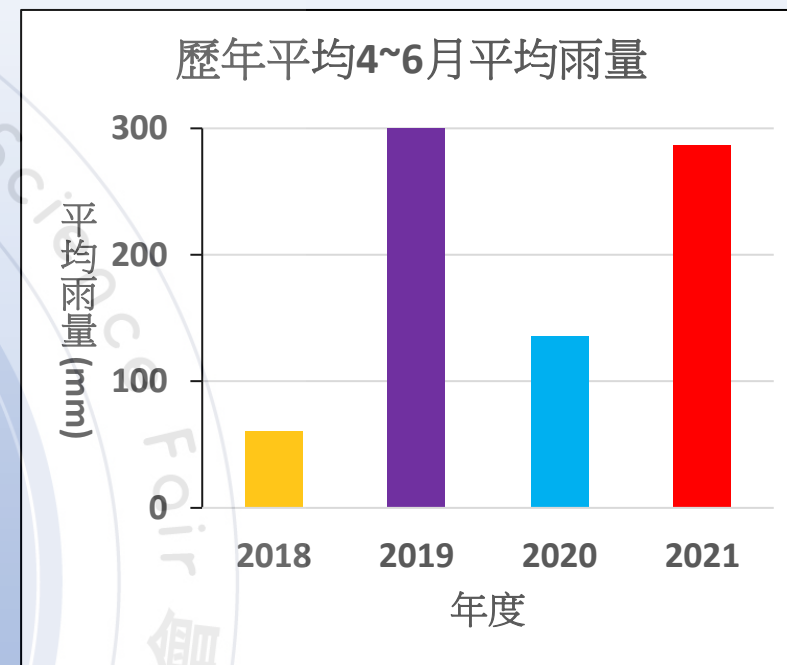
• 2021年的氣候預測



2021年蜂巢較高，推測雨量偏多



2021年初卻面臨百年大旱象



4月起雨量豐沛，逼近2019年

• 未來展望——參考蜂巢材質，研發防水、防腐紙張

參考資料

(一)楊維晟 (2010年)。野蜂放大鏡。臺北市:大樹文化

(二)李依文 (2021/04/07)。可食用包裝的材料有新發現！牛奶蛋白可塑性高、還能補充營養！文章取自：

<https://www.foodnext.net/science/packing/paper/5852574645>