

# 中華民國第 55 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 生物科

第三名

080320

言『繭』議『蜂』

~杜鵑三節葉蜂的繭色變化與生命奧秘

學校名稱：新北市新店區新和國民小學

|        |       |
|--------|-------|
| 作者：    | 指導老師： |
| 小六 徐家華 | 王漢卿   |
| 小五 徐家翔 | 蔡淑遠   |
| 小四 王浚齡 |       |

關鍵詞：杜鵑三節葉蜂、結繭

## 摘要

本研究為期約兩年。研究以室內飼養觀察杜鵑三節葉蜂為主，野外觀察為輔，研究牠的生活史四個階段：幼蟲、繭（蛹）、成蟲、卵的有趣現象、行為，並建立生活史的基本資料，供往後生物教學及杜鵑蟲害防治使用。所得重要成果如下：1.老熟的幼蟲會在變黃結繭前有體長縮短的現象。2.老熟的幼蟲具趨暗性，在溼度高的環境所結的繭偏咖啡色。3.根據各月分蛹期變化資料，顯示有世代重疊的現象。4.確定會行產雄孤雌生殖。5.成蟲偏愛在嫩葉且邊緣不捲曲的葉片上產卵。6.成蟲喝蜜水利於存活及產卵。7.卵會隨時間變大，使得卵所在位置的杜鵑葉表皮日益明顯凸起。8.在春夏季生長期較短，在冬季的生長期最長。9.北台灣一年約有 5 個世代（5 化）。

|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |   |
| 室內飼養杜鵑三節葉蜂                                                                          | 到天山公園做野外觀察                                                                          | 野外觀察及採集                                                                               |
|  |  |  |
| 老熟幼蟲準備去找位置結繭                                                                        | 營造不同溼度的結繭環境                                                                         | 產雄孤雌生殖雄蟲標本                                                                            |
|  |  |  |
| 停在杜鵑葉片的雌蟲                                                                           | 老的杜鵑捲葉                                                                              | 葉表凸起處為蟲卵                                                                              |

## 壹、研究動機

102 年的五月中，我們發現校園裡的杜鵑葉上有被蟲咬的痕跡，有些葉子甚至被啃食殆盡，僅僅留下主脈，剛開始我們以為是四年級上自然課時老師提到的某種蛾類幼蟲，但仔細一看！這綠色毛毛蟲身上有許多黑色斑點，而且腹尾常捲在枝葉上，有時甚至還彎曲懸空上翹，好特別！於是便請教老師，並上網查詢，才知道這是「杜鵑三節葉蜂」的幼蟲。後來又發現有關杜鵑三節葉蜂的文獻資料相當少，便開始對牠著手進行研究，希望能更了解這可愛的小昆蟲，進一步也期望能在有關杜鵑花蟲害防治上提供可能的方法與建議。

作品與教材相關性：四年級下學期昆蟲單元

## 貳、研究目的

### 幼蟲期

一、觀察杜鵑三節葉蜂幼蟲結繭前體長的變化。

### 繭蛹期

二、研究杜鵑三節葉蜂在不同的結繭環境（亮光、**溼度**）對結繭的影響。

三、了解杜鵑三節葉蜂在不同月份的蛹期變化。

### 成蟲期

四、確認杜鵑三節葉蜂是否會行產雄孤雌生殖。

五、記錄室內繁殖、野外抓回的杜鵑三節葉蜂雌雄性別比例。

六、觀察杜鵑三節葉蜂對產卵葉片的喜好選擇。

七、實驗杜鵑三節葉蜂喝水或喝蜜水對產卵的影響。

### 卵 期

八、觀察杜鵑三節葉蜂卵發育的變化。

### 生命週期

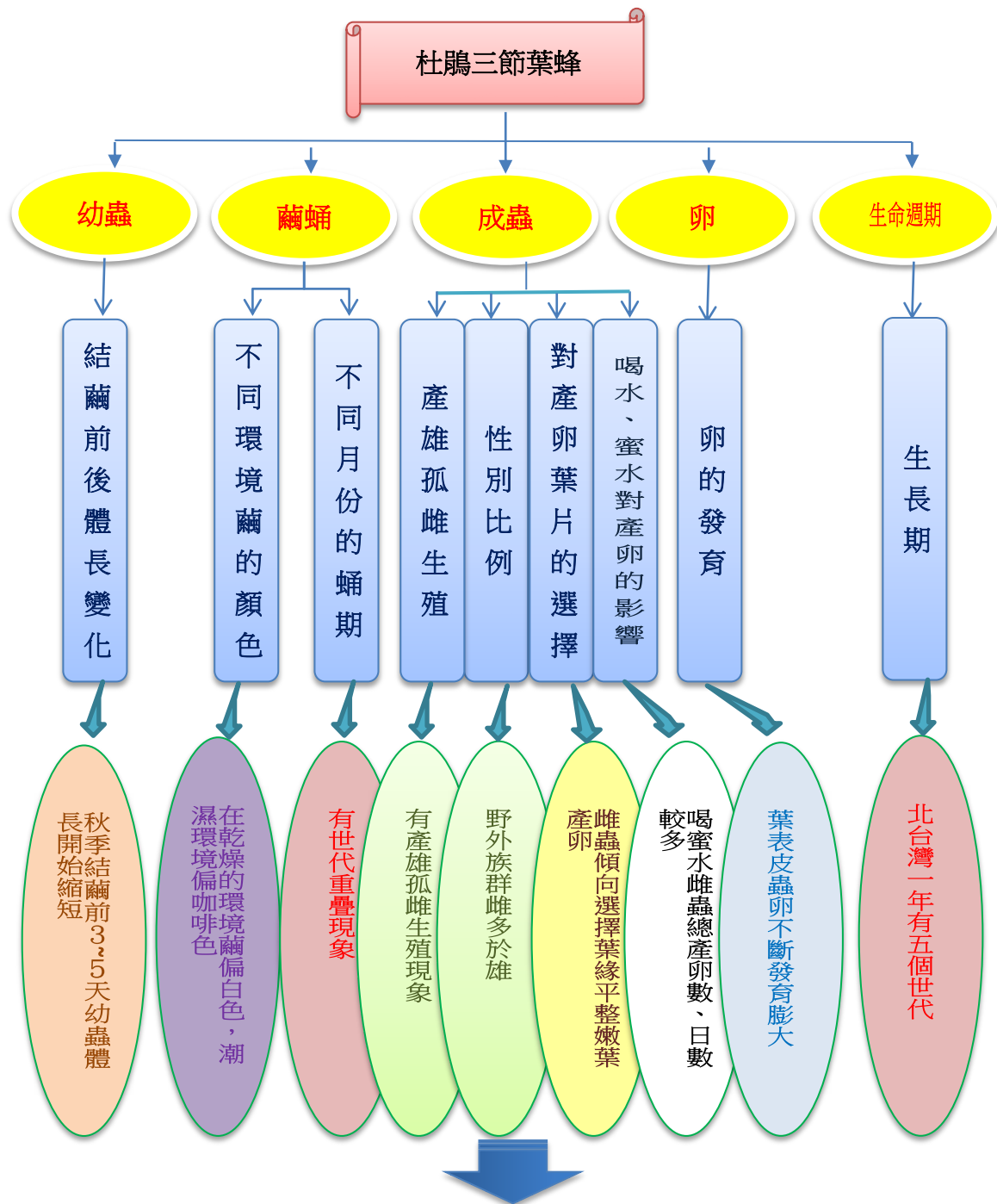
九、比較春夏、秋、冬季杜鵑三節葉蜂的生長期。

## 參、研究設備及器材

杜鵑三節葉蜂(*Arge similis*) (Vollenhoven, 1860)、杜鵑葉枝條、蜂蜜果糖、自製養蟲裝置、蟲無忌網室(佑成塑膠股份有限公司製作，尺寸規格長 73cm x 寬 48cm x 高 78cm)、置物箱、免洗杯、椰纖土、拖把頭、各色玻璃紙、自製結繭裝置、解剖顯微鏡、數位顯微鏡、數位相機、攝影機、LED 燈、電腦、ImageJ 及辦公室軟體、水彩筆、鑷子、人體彩繪顏料、夾鍊袋、小置物盒、萬用黏土、玻璃牛奶瓶、棉花、小透明罐、捕蟲網、製作昆蟲標本用品、方格板、烘烤箱、滴管、燒杯、酒精、透明飼養箱、玻璃紙、乾燥劑、水、溫溼度計、培養皿

|                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |    |
| 杜鵑三節葉蜂幼蟲                                                                            | 蟲無忌網室和杜鵑枝條                                                                           | 自製養蟲裝置 1                                                                              |
|  |  |  |
| 自製養蟲裝置 2 和置物箱                                                                       | 自製結繭裝置                                                                               | 拖把頭、玻璃紙、免洗杯                                                                           |
|  |  |  |
| 解剖顯微鏡                                                                               | 數位顯微鏡等拍照設備                                                                           | 烘烤箱、標本展翅板                                                                             |

## 肆、研究架構



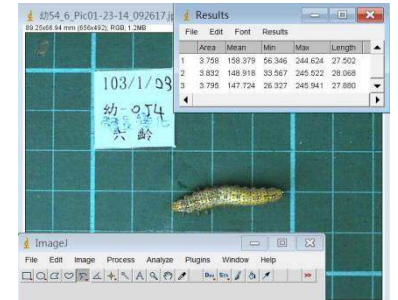
|                     |                                              |
|---------------------|----------------------------------------------|
| 研究<br>延伸<br>與<br>展望 | 1. 結繭顏色可望成為環境濕度指標                            |
|                     | 2. 培育葉緣捲的杜鵑花品系，對防治蟲害問題有益。                    |
|                     | 3. 本研究支持膜翅目昆蟲有產雄孤雌生殖現象，但雌蟲有無辦法控制子代性別，須再持續驗證。 |
|                     | 4. 蟲卵在葉表皮發育的現象值得再深入探究。                       |
|                     | 5. 杜鵑三節葉蜂越夏與滯育歷程與機制有持續延伸研究的必要。               |

## 伍、研究過程與結果

### 一、實驗 杜鵑三節葉蜂幼蟲結繭前體長的變化

#### (一)研究過程

1. 從野外帶回未孵化的卵，在實驗室培養至孵化。將孵化的幼蟲利用數位顯微鏡拍照記錄體長後，幼蟲單獨分開飼養，給予充足的杜鵑葉片，每天照顧。
2. 每一齡拍照記錄體長 1 次，到四齡之後每天拍，直到幼蟲老熟變黃結繭，如未完成結繭則繼續，維期 60 天。利用 Image J 測量幼蟲體長，重複 3 次求平均。
3. 將各蟲體長以變黃結繭日為基準，前後共取 20 天的資料作出體長平均變化圖，分析幼蟲在結繭幾前天開始有體長縮短的情形。

|                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |   |
| 利用水彩筆抓取幼蟲準備拍照                                                                       | 一齡蟲體體長(小格邊長 1cm)                                                                     | 變黃結繭前體長                                                                               |
|  |  |  |
| 幼長 02 乾死的前蛹體長                                                                       | 拍照後放入養蟲裝置飼養                                                                          | 拍照後，用 ImageJ 測量體長                                                                     |

#### (二)研究結果

1. 在 102 學年度飼養研究杜鵑三節葉蜂時，發現老熟的幼蟲在變黃結繭前會有體長縮短的現象，當時幼蟲體長的測量是以各蛻皮日來記錄，沒有每天體長的資料，無法得知幼蟲在變黃結繭前幾天會開始體長縮短，見圖 1-1。
2. 本次實驗從 2014/10/27~2014/12/25，從野外（學校旁的天山公園）採回的有卵枝葉成功

孵化出 7 隻幼蟲（編號幼長 1~7），過程中有 2 隻在前幾天就夭折死亡，本實驗就以所剩的 5 隻幼蟲當成研究樣本，體長變化研究結果如圖 1-2，在變黃結繭前 3~5 天，幼蟲體達到最長平均約 25.8mm~25.5mm，在變黃日平均體長縮到 22.0mm。

3. 亦對為期 20 天的體長變化觀察資料進行標準差的個別差異檢視，初步的結果(見圖 1-2)發現，蟲體的體長個別差異性不大。

4. 在 5 隻樣本中有 1 隻順利結繭，而另 4 隻幼蟲均以前蛹的形式裸露在外，以致有機會可以測量到老熟變黃的幼蟲後在前蛹階段的體長變化，見圖 1-2 變黃結繭日右邊的平均體長變化圖，在變成前蛹後蟲體會再縮短，約 7 天左右體長呈穩定狀態。

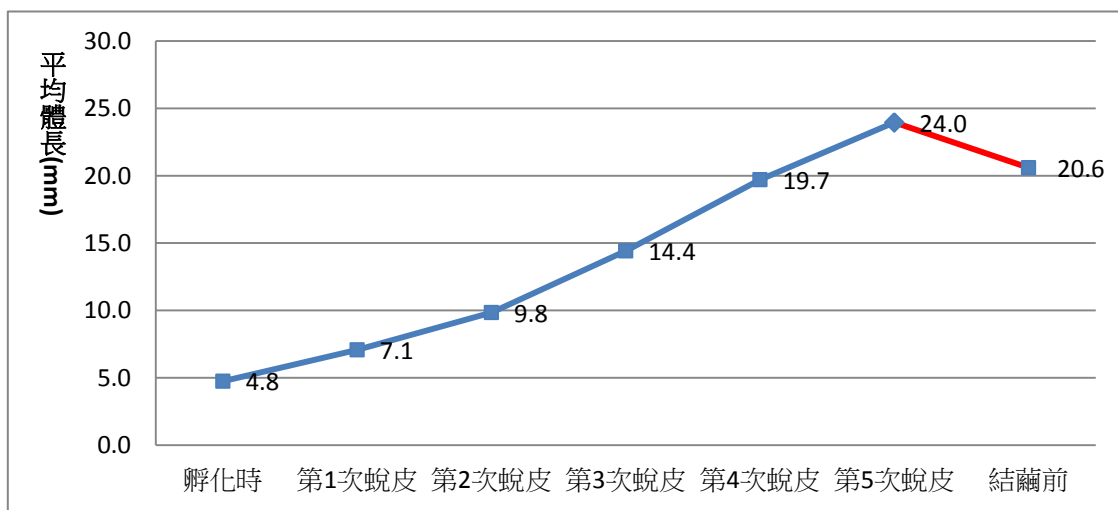


圖 1-1 蟲體結繭前各期平均體長

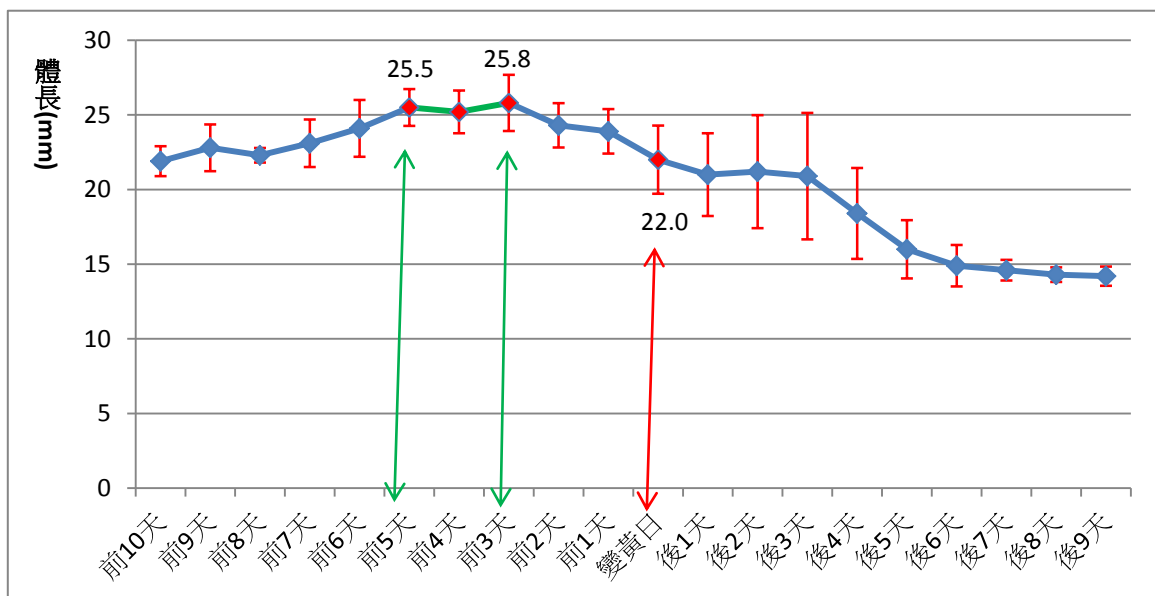


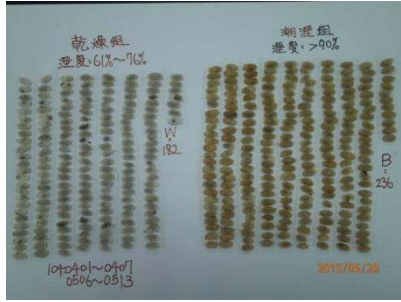
圖 1-2 變黃結繭前後蟲體體長平均與標準差變化圖

## 二、**實驗二** 不同的結繭環境（亮光、**溼度**）對結繭的影響

### (一)研究過程

1. 不同的結繭環境對結繭的影響實驗主要分成兩部分：(1)利用自製的結繭裝置營造不同色光及暗亮環境提供老熟幼蟲結繭實驗。(2)不同溼度的結繭環境對結繭的影響實驗。
2. **不同色光及暗亮環境實驗**取同一批幼蟲於蟲無忌網室（昆蟲飼養網室）中飼養，直到老熟變黃自行完成結繭，飼養期間提供充足的杜鵑枝葉，並維持環境乾淨。在杜鵑枝葉下方放置自製的結繭裝置提供老熟幼蟲結繭。
3. 自製的結繭裝置是在透明壓克力板上分區貼上透明、紅色、綠色、藍色玻璃紙及黑色塑膠袋紙，每一顏色分兩側對稱擺放且等面積，每一區同種顏色由邊緣往中間黏貼 1 到 3 層，形成中間顏色最深、亮度最暗，邊緣顏色較淺、亮度較亮，而中間次之，面積各為三分之一。底部則用白色繩子、螺絲固定纏繞出約蟲繭寬度的間隔，以供老熟幼蟲選擇位置結繭。等幼蟲都結繭後在開始羽化之際，再拿出記錄結繭位置、繭的外表顏色、數量並拍照，計算各不同顏色區所佔比例，實驗共重複 3 次，求百分比平均值。
4. **不同溼度結繭環境對結繭的影響實驗**取跟不同色光及暗亮環境實驗的同一批變黃老熟的幼蟲（產雄孤雌生殖子代），及野外同一地方抓回的幼蟲（可能有性生殖的子代）等兩批，放置於乾燥及潮溼的透明飼養箱中結繭。
5. 透明飼養箱整個包覆紅色玻璃紙，箱內放置供幼蟲結繭的介質拖把棉紗繩、小紗網袋。乾燥組（溼度低）的飼養箱內放乾燥劑維持乾燥，潮溼組（溼度高）的飼養箱內放沾溼的棉花於培養皿中，以維持潮溼。兩組均放入溫溼度計以記錄溫溼度變化。
6. 完成結繭後再取出，記錄繭的外表顏色、數量並拍照，計算兩組不同顏色繭的數量。

|                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| 自製的結繭裝置營造不同色光及暗亮環境                                                                  | 紅區結繭較多，繭聚集在一起顏色偏咖啡色                                                                  | 畫圖標記結繭位置（第一次）                                                                         |

|                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| 乾燥、潮溼組結繭實驗 1                                                                      | 取下棉紗繩中的蟲繭                                                                          | 乾燥（偏白）、潮溼（偏咖啡）                                                                      |
|  |  |  |
| 乾燥、潮溼組結繭實驗 2                                                                      | 利用小紗網袋隔開蟲體結繭                                                                       | 實驗 15 天次全部的繭                                                                        |

## (二)研究結果

- 不同色光及暗亮環境實驗從 104/2/5~104/4/11 重複三次所得完整繭的數量有 515 顆，研究結果見圖 2-1，各區的繭所佔的比例：透明區 0.6%、紅色區（紅區）40.6%、綠色區（綠區）26.0%、藍色區（藍區）1.7%、黑色區（黑區）31.1%，其中以紅區為最高，顯示杜鵑三節葉蜂對紅色光的環境有偏好。
- 實驗所結的繭外表顏色可分成偏咖啡色、偏白色 2 種類。各區偏咖啡色繭所佔的比例：透明區 0.0%、紅區 35.0%、綠區 25.6%、藍區 1.4%、黑區 27.8%。而偏白色繭所佔的比例：透明區 0.6%、紅區 15.6%、綠區 0.4%、藍區 0.4%、黑區 3.3%。以上結果呈現出杜鵑三節葉蜂在不同色光的環境所結的繭顏色與不同色光沒關係，偏咖啡色的繭多為聚在一起，而偏白色的繭則是分散獨立或是在聚集的繭最外圍。
- 如以亮度來看結繭的位置，從結繭較多的紅區、其次的黑區、綠區分析，以偏中間亮度最暗的位置多於邊緣較亮的位置。以上可以驗證老熟的幼蟲具有趨暗性，喜好在較暗的環境結繭。
- 不同溼度結繭環境對結繭的影響實驗從 104/4/1~104/5/13，取變黃老熟的幼蟲（產雄孤雌生殖子代），及野外同一地方抓回的幼蟲（可能包含有性生殖的子代）等兩批，完成

15 天次的結繭，所得完整繭的數量有 418 顆，溼度較低的乾燥組（相對溼度 61%~76%）268 隻的老熟幼蟲有 182 隻完成結繭，所結的繭全都偏白色（結果如圖 2-2）。溼度較高的潮溼組（相對溼度 90%以上）271 隻的老熟幼蟲有 236 隻完成結繭，所結的繭全都偏咖啡色。以上透露出環境中的溼度才是影響繭顏色的關鍵因子。

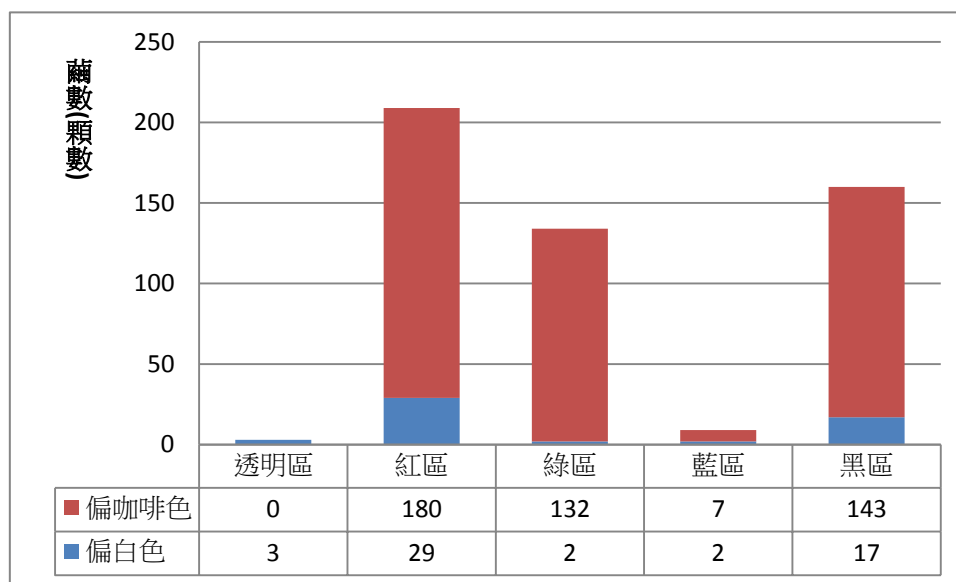


圖 2-1 不同色光環境結繭結果圖

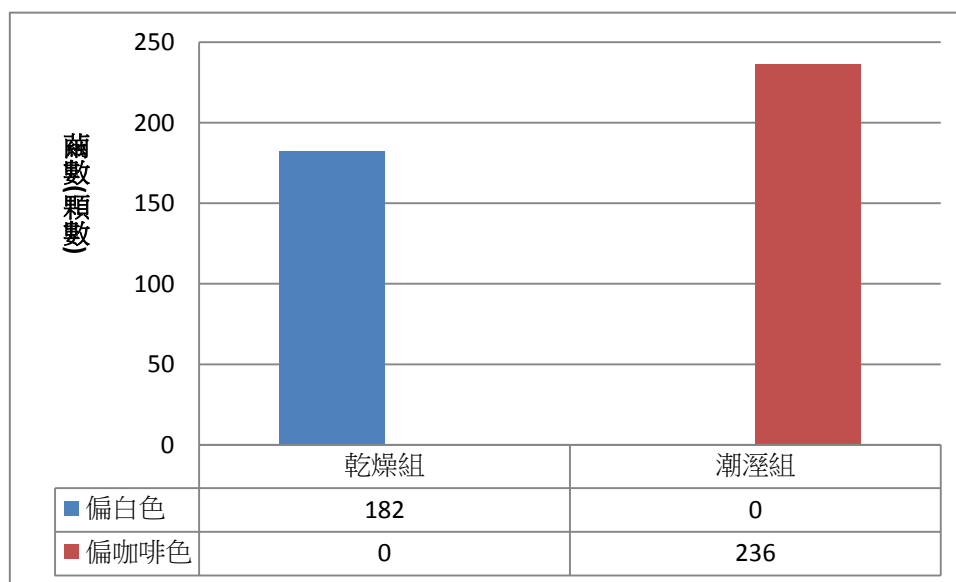


圖 2-2 不同濕度環境結繭結果圖

### 三、**實驗三** 杜鵑三節葉蜂在不同月份的蛹期變化

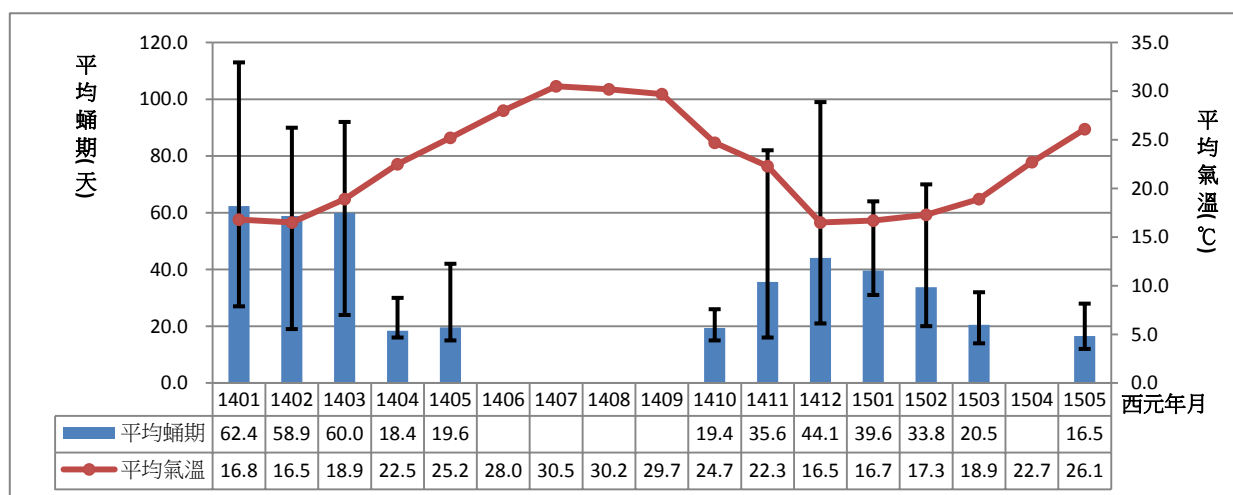
#### (一)研究過程

1. 持續飼養杜鵑三節葉蜂，記錄老熟幼蟲變黃結繭、成蟲羽化的日期，同一天所結的繭需獨立放置，以確保不混淆。
2. 實驗經一年多進行，每天觀察記錄，確定結繭、羽化日期。
3. 統計各月份的資料，蛹期數據取平均、最大、最小值作出不同月份的蛹期變化圖。
4. 並將中央氣象局台北觀測站這一年多的平均月均溫做為環境溫度指標進行對照比較。

|                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |   |
| 利用拖把頭供幼蟲結繭                                                                          | 取下拖把棉紗繩間的蟲繭                                                                          | 記錄老熟幼蟲結繭的日期                                                                           |
|  |  |  |
| 每天固定時間觀察是否羽化                                                                        | 記錄羽化日期、時間、性別                                                                         | 整理各月份羽化的資料                                                                            |

#### (二)研究結果

1. 本次實驗從 2014/1/6~2015/3/8 維持一年有餘，蒐集 967 筆數據，經統計分析後得到圖 3-1。4、5 月所結的繭隨氣溫回升後，蛹期變短約 18~20 天。6、7 月所結的繭因沒羽化以致於無法分析變化。而 8、9 月因沒採到幼蟲而沒有繭可觀察。10 月以後到隔年 3 月蛹期從約 20 天到 60 天，呈隨氣溫下降蛹期變長的趨勢，到 1 月份平均蛹期最長。
2. 從圖 3-1 的蛹期最大值及最小值來看，杜鵑三節葉蜂有世代重疊的現象；以 2014 年 1 月份最大值 113 天和最小值 27 天為例，113 天的期間足以讓一個世代完成。



註：長條中間的線段為最大、最小值的區間

圖 3-1 各結繭月份平均蛹期統計與環境溫度統計圖

#### 四、**實驗四** 杜鵑三節葉蜂是否會行產雄孤雌生殖

##### (一)研究過程

1. 利用隔離羽化的雌性成蟲（確定未經交尾），直接給予杜鵑枝葉產卵，等幼蟲孵化後，飼養至羽化。實驗重複 3 次以上。
2. 利用雄性成蟲觸角及腹部末端的特徵判定羽化成蟲的性別（觸角鞭節粗細均勻，鞭節上的細毛較雌蟲長；腹部末端沒有夾狀構造，雌蟲則有，以資區辨），記錄並拍照。

|                      |                   |                       |
|----------------------|-------------------|-----------------------|
|                      |                   |                       |
| 雄性成蟲                 | 雌性成蟲              | 20131206 孤雌生殖裝繭瓶子     |
|                      |                   |                       |
| 20131206 孤雌生殖 18 隻雄蟲 | 20140414 孤雌生殖大量實驗 | 20140414 孤雌生殖 110 隻標本 |

## (二)研究結果

1. 本次實驗從 2013/12/7~2015/3/31，期間為了要確定杜鵑三節葉蜂是否會有產雄孤雌生殖的行為，重複多次，也經長期的等待成蟲羽化，以確定只有雄蟲單一性別，資料整理於表 4-1。

2. 從表 4-1 可看出：杜鵑三節葉蜂行孤雌生殖真的只產雄蟲，即確定為產雄孤雌生殖。

表 4-1 雌蟲(未經交配)產卵孵化後之幼蟲羽化成蟲後性別統計表

| 編號          | 實驗日期                | 幼蟲總數量 | 雄蟲數量 | 雌蟲數量 |
|-------------|---------------------|-------|------|------|
| 20131206 孤雌 | 2013/12/7~2015/2/17 | 21    | 18   | 0    |
| 20140414 孤雌 | 2014/4/14~2015/2/17 | 150   | 110  | 0    |
| 幼 M-1~40    | 2014/4/17~2015/2/17 | 40    | 3    | 0    |
| 20150205 孤雌 | 2015/2/5~2015/3/31  | 123   | 62   | 0    |

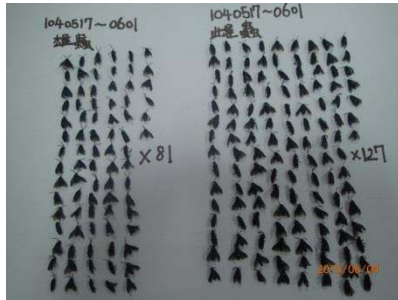
## 五、實驗五 室內繁殖、野外抓回的杜鵑三節葉蜂雌雄性別比例

### (一)研究過程

1. 將在學校附近或方便到的公園（採集地點有新店天山公園、二叭子植物園、永和四號公園、中正紀念堂、台灣大學、新莊青年公園等）採集幼蟲回實驗室飼養當成野外族群。而室內繁殖族群則是從野外採回後實驗室中繁殖（在室溫下悉心照顧，提供足夠杜鵑葉及合適結繭羽化位置）的子代。

2. 兩批幼蟲飼養到成蟲羽化後，判斷性別。統計數量換算性別比例。

3. 室內繁殖之子代與本研究的實驗三、實驗九為同一批研究樣本，野外族群與實驗二、實驗三為同一批研究樣本。

|                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| 到二叭子植物園採集                                                                           | 左邊雌蟲、右邊雄蟲                                                                            | 野外族群雌蟲多於雄蟲                                                                            |

## (二)研究結果

1. 杜鵑三節葉蜂野外族群性別比例記錄期間是 103/10/2~104/6/4，共得到 445 筆數據。而室內繁殖族群性別比例統計資料則來自 102 年的冬季生長期及 103 年春夏季生長期等兩研究，期間為 102/12/8~103/4/24，共得到 117 筆數據。
2. 統計結果如圖 5-1、圖 5-2。室內繁殖族群性別比例雄蟲 56%、雌蟲 44%，野外族群性別比例雄蟲 36%、雌蟲 64%。

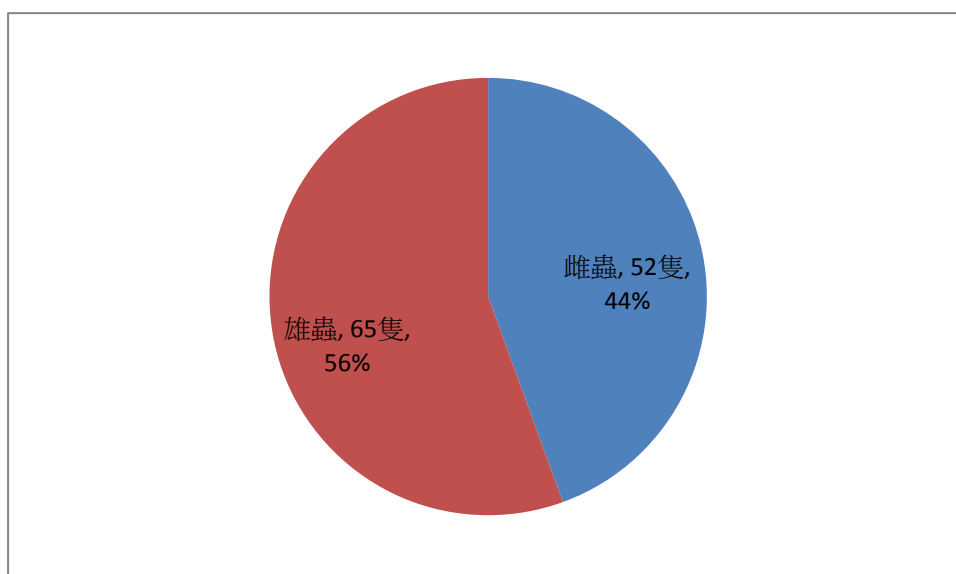


圖 5-1 室內繁殖成蟲性別比例圖

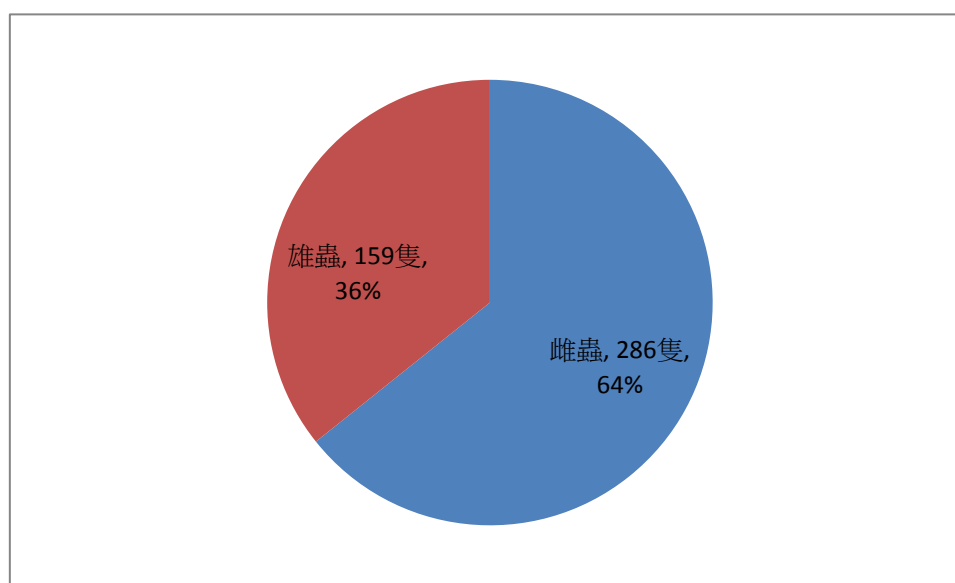


圖 5-2 野外繁殖成蟲性別比例圖

## 六、實驗六 杜鵑三節葉蜂對產卵葉片的喜好選擇

### (一)研究過程

1. 本實驗分成室內模擬及野外調查兩部分。在室內模擬以杜鵑花盆栽及不同葉片形式兩種給予杜鵑三節葉蜂雌性成蟲（共 26 隻）選擇則產卵。
2. 室內模擬一：杜鵑花盆栽整株放入蟲無忌網室，讓雌蟲自由產卵一段時間，觀察牠會在哪些類型葉片產卵。
3. 室內模擬二：選擇杜鵑葉為老葉邊緣捲、老葉邊緣平、嫩葉邊緣平 3 種不同葉片類型進行，擺放葉片高度以提供杜鵑水分的水瓶瓶口為基準，距離為 0、15、30、60 公分 4 種高度，因離瓶口 60 公分的葉片已經快頂到網室上蓋，而以此為限。不同高度的葉子是模擬杜鵑植株葉子的分層。每種類的葉子各取 6 片，全部共約 72 ( $3 \times 4 \times 6 = 72$ ) 片給予產卵選擇，連續記錄 5 天，每天作記號點數卵數記錄。以各類型的統計分析用產卵數量來比較。
4. 到永和四號公園進行野外調查杜鵑三節葉蜂對產卵葉片選擇的情形，記錄所產卵枝葉的總葉數、老葉邊緣捲、老葉邊緣平、嫩葉邊緣平 3 種葉片產卵葉數，調查 30 筆，求 3 種類葉片所佔產卵比例。

|                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| 杜鵑花整株放入網室供產卵                                                                        | 3 種不同葉片類型產卵實驗                                                                        | 到四號公園調查                                                                               |
|  |  |  |
| 嫩杜鵑葉—葉緣平整（產滿卵）                                                                      | 老的杜鵑葉—葉緣平整                                                                           | 老的杜鵑葉—葉緣捲曲                                                                            |

## (二)研究結果

1. 本實驗期間 104/1/21~104/2/17。在室內模擬一實驗中發現：整株杜鵑枝葉被產卵的葉片觀察上，得到大、小葉片都會被產卵，高處、低處的葉片也都會有卵，唯獨葉邊緣捲的葉子看不到卵的蹤影。實驗時適逢杜鵑春季發芽期，剛好有機會可以看到比較多的新嫩葉陸續長出，有嫩葉的枝葉上嫩葉被產卵的比例比該枝葉上的老葉有增加的情形。也想進一步知道葉子所在高度會不會是個影響因子。因此，進行了室內模擬二不同高度、不同葉片類型的實驗。

2. 室內模擬二：不同高度、不同葉片類型的實驗結果如圖 6-1。邊緣平的嫩葉被產卵的數量高達 499 顆，邊緣平的老葉被產卵的數量為 136 顆居次，邊緣捲的老葉被產卵的數量只有 8 顆，可以推論杜鵑三節葉蜂選擇嫩葉大於老葉，而不喜愛在邊緣捲的葉片上產卵。就葉片高度來看產卵數量依順：離瓶口 0cm（203 顆）>離瓶口 15cm（197 顆）>離瓶口 60cm（138 顆）>離瓶口 30cm（104 顆），中間的高度似乎較少。

3. 野外調查的結果：在 30 個被產卵的枝葉樣本中，被產卵的總葉片有 81 片，其中邊緣平的老葉有 63 片（佔 78%）、邊緣平的嫩葉 18 片（佔 22%）、邊緣捲的老葉 0 片（佔 0%）。

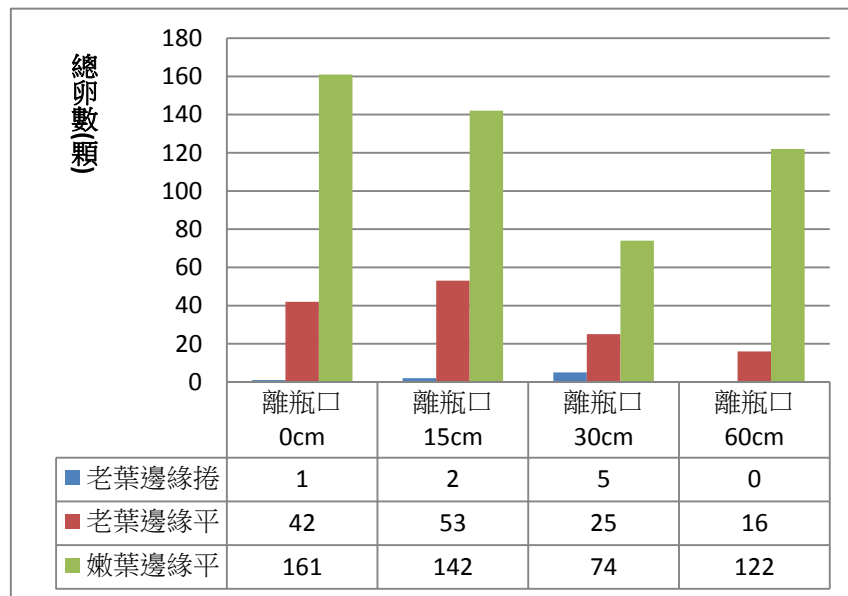


圖 6-1 成蟲產卵葉片選擇統計圖

## 七、**實驗七** 杜鵑三節葉蜂喝水或喝蜜水對產卵的影響

### (一)研究過程

1. 取未經交尾剛羽化的等量雌性成蟲（各 6 隻），兩組在產卵期間餵予水、蜜水。每一隻母蟲獨立擺放，容器內放置杜鵑枝葉給予產卵。
2. 每天照顧蟲及要被產卵的杜鵑枝葉。如有產卵則作記號、記錄產卵數量，並替換新的枝葉。持續到母蟲老死。
3. 統計總產卵數、母蟲存活天數、產卵天數、最後產卵天數，求平均並取最大值來分析。

|                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |    |
| 每天照顧，餵食蜜、水及記錄                                                                       | 如產卵則換新的杜鵑枝葉                                                                          | 在產卵處旁作記號                                                                              |
|  |  |  |
| 共得 65 枝有卵的枝葉放窗戶旁                                                                    | 剛孵化的一齡幼蟲                                                                             | 正在從卵殼爬出的一齡幼蟲                                                                          |

### (二)研究結果

1. 本實驗進行期間 2014/12/9~2015/1/14。數據剔除提早死亡 1 隻、未產卵 2 隻，以 9 隻共 176 天（次）的數據分析所得結果如圖 7-1。喝蜜水的總產卵平均數（41.5 個）、母蟲存活平均天數（25.0 天）、產卵平均天數（7.3 天）、最後產卵平均天數（21.0 天）多於只喝水的成蟲，以上可知喝蜜水比只喝水的利於產卵。
2. 在 9 隻成蟲產卵的統計數據中整理出最大數圖（見圖 7-2），母蟲最大總產卵數（54 個）、最多存活天數（29 天）、最多產卵天數（11 天）、最多最後產卵天數（25 天），以上可以初步知道杜鵑三節葉蜂的繁殖能力。

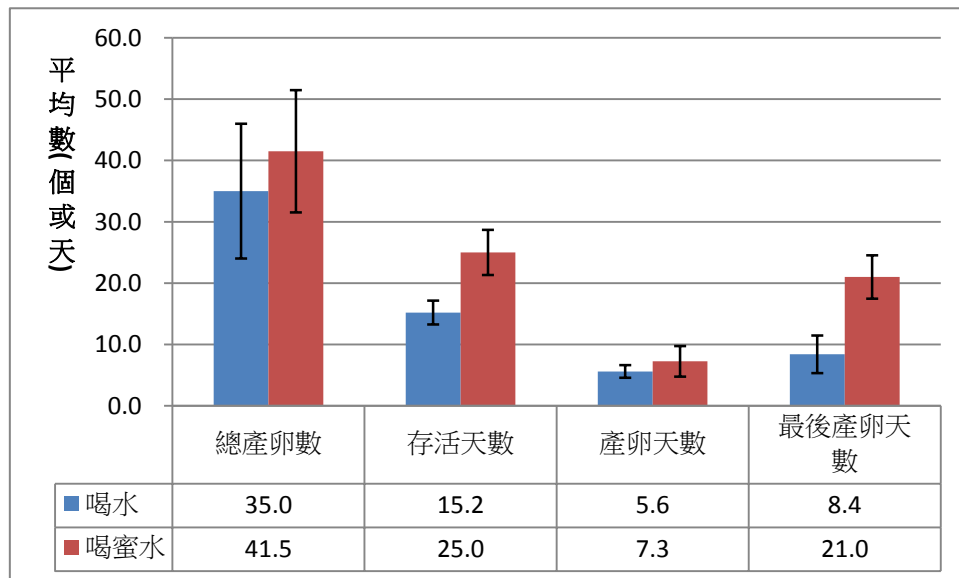


圖 7-1 喝水、喝蜜水成蟲產卵平均數與標準差統計圖

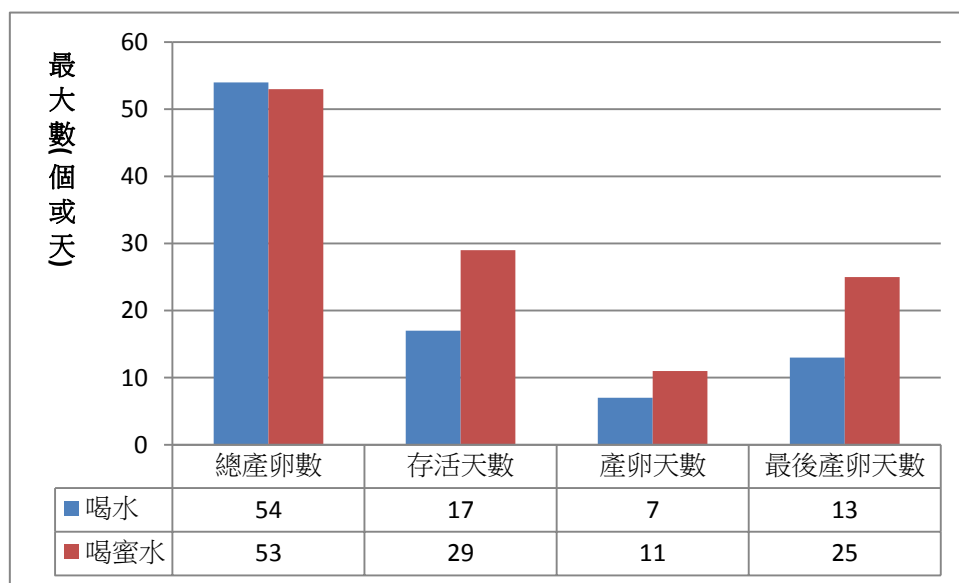


圖 7-2 喝水、喝蜜水成蟲產卵最大值統計圖

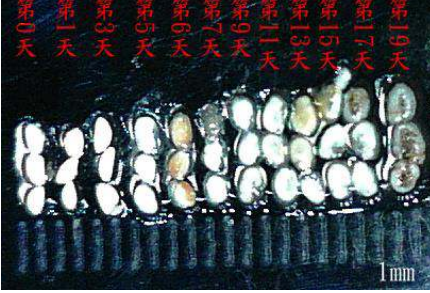
## 八、實驗八 杜鵑三節葉蜂卵發育的變化

### (一)研究過程

1. 利用數隻（6 隻）未交尾的雌蟲產卵，得到本研究所需的卵（約 100 多顆）。從剛產卵的時間當成第 0 天起算，每隔 1 天解剖卵觀察拍照記錄，以供後續測量使用，每次至少要取 3 顆，到同一批的卵有幼蟲孵化為止。

2. 卵的發育情形以卵的面積來代表，並輔助圖片、文字說明。

3. 卵的面積是用 Image J(影像分析軟體)測量，測量 3 次求平均，整理出卵發育變化圖。

|                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| 用產卵器將葉肉鋸開（透光）                                                                     | 6 隻蟲同天產卵，得到百餘顆卵                                                                   | 解剖取出葉片內的蟲卵                                                                          |
|  |  |  |
| 左邊卵將孵化右邊卵剛產下                                                                      | 排不同發育期共 36 顆蟲卵                                                                    | 從剛產下的卵到將孵化的卵                                                                        |

## (二)研究結果

1. 研究從 103/12/7 進行到 103/12/26，整理所得數據畫成圖 8-1，可看出蟲卵一直發育變大，驗證了從杜鵑葉表看到的日益膨大的現象，是葉表皮內杜鵑三節葉蜂的蟲卵長大而撐開葉表皮膨大。

2. 用蟲針取出卵的過程中也觀察到蟲卵胚胎的發育變化，從卵、卵變形、有幼蟲外形、幼蟲成形、卵內的幼蟲會轉動，到卵孵化等一系列精彩變化。

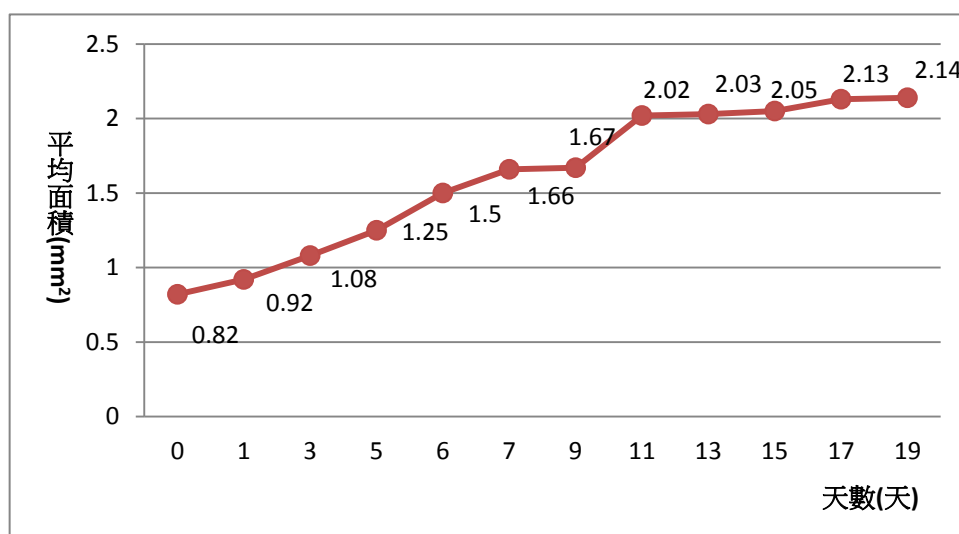


圖 8-1 卵發育變化圖

## 九、**實驗九** 比較春夏、秋、冬季杜鵑三節葉蜂的生長期

### (一)研究過程

1. 在春夏季（4~6 月）、秋季（9~11 月）、冬季（12~3 月）飼養杜鵑三節葉蜂，每季養的數量如來源數量足夠，均需超過 30 隻以上。過程給予充分的杜鵑葉及清潔照顧，每天記錄生長情形，以得到卵期、幼蟲期、蛹期及成蟲期的資料。其中冬季記錄是始於 102 年終。

2. 統計每一隻蟲各階段的數據，取平均作出各蟲期生長圖。

|                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |    |
| 102 年冬季飼養                                                                           | 103 年春夏季飼養                                                                           | 103 年夏季飼養(於杜鵑盆栽)                                                                      |
|  |  |  |
| 103 年秋季飼養                                                                           | 整理冬季飼養的成蟲資料                                                                          | 幼長 02 達 7 齡                                                                           |

### (二)研究結果

1. 冬季飼養的主要記錄期間為 102/12/8~103/4/24，樣本數有 132 隻，分 3 批養（編號幼 1~60、幼 3-1~40、幼 1-1~40）。春夏季飼養的主要記錄期間為 103/4/5~103/6/28，樣本數有 121 隻，也是分 3 批養（編號幼 A-1~37、幼 M-1~40、幼 M2-1~45）。秋季飼養的主要記錄期間為 103/9/10~103/12/4，因當時數量稀少只完成 7 隻的實驗記錄（編號幼長 1~4 及幼長 5 幼紅 1、幼綠 1，其中幼長的 5 隻是實驗一的樣本），各季節平均所作出各生長期統計圖，如圖 9-1。

2. 從圖 9-1 中可看出春夏季（4~6 月）生長期較另兩季為短，而冬季（12~3 月）的生長

期最長。在成蟲期的部分只有約 3~5 天，是在沒有食物的情況下測得的，再輔助實驗七的結果來看，成蟲的壽命會因季節及食物的影響，生長期會有變動。

3. 從圖 9-1 及圖 3-1 中，約略可推估在本研究地區（台灣北部）杜鵑三節葉蜂一年約有 5 個世代（5 化）：1 月初~3 月下旬、4 月初~5 月下旬、6 月初~8 月中旬、8 月中下旬~10 月初、10 月上中旬~12 月下旬。

4. 在春夏及秋季飼養觀察中，發現少數的幼蟲達七齡，有幼 A-33、幼 m2-5、幼 m2-6、幼 m2-43、幼長 2、幼長 3、幼綠 1 共 7 隻，較為特別。（另這 7 隻因沒順利羽化，故無法確定 7 齡蟲的性別。）

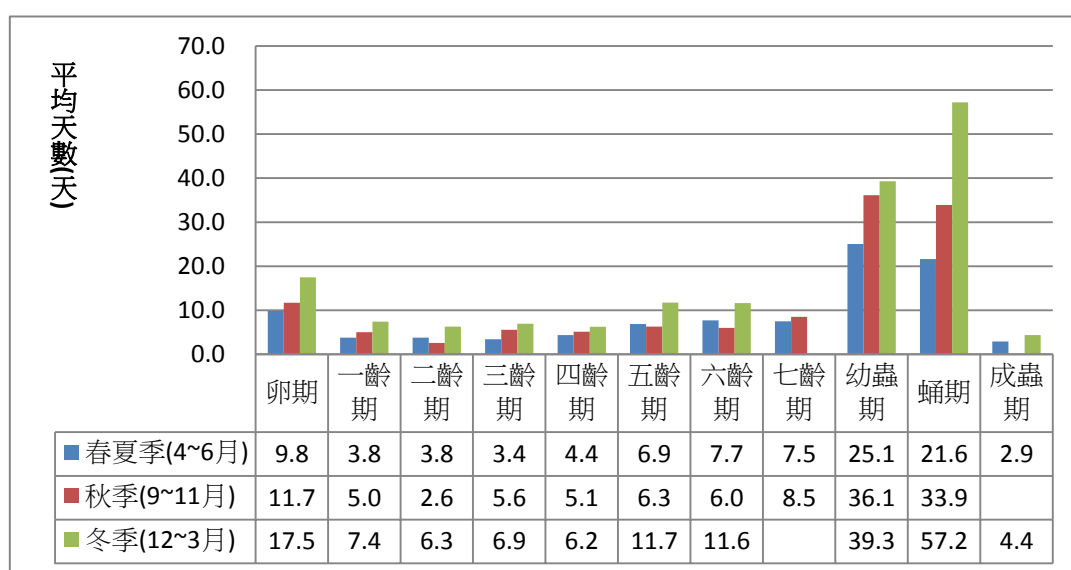


圖 9-1 春夏、秋、冬季各生長期生長日數統計圖

## 陸、討論

### 一、杜鵑三節葉蜂幼蟲結繭前體長的變化

(一) 因杜鵑三節葉蜂幼蟲多數為五、六齡，齡數大則體長通常會較長。另外，幼蟲的發育生長也會有個別差異，變黃後結繭的時間彼此也會不一致，無法以每天的體長來進行平均，取變黃結繭日為基準，進行前後數據的平均是比較可行的作法。

(二) 在飼養過程中，從蟲體體長的縮短現象可以預知幼體已將屆老熟，可以提早預作結繭環境的準備，本研究結果提供給對飼養杜鵑三節葉蜂有興趣者參考，在秋天時約為變黃結繭日的前 3~5 天。

(三) 在維期 60 天測量體長實驗後，仍持續觀察前蛹的生長變化，得知：穩定體長的前蛹

如果沒有順利化蛹，會再繼續縮短，最終無法完成羽化。

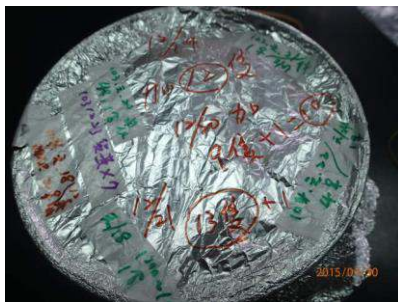
## 二、不同的結繭環境（亮光、溼度）對結繭的影響

（一）老熟幼蟲具有趨暗的特性會在環境中找尋較暗的位置結繭。在結繭實驗中常常可以看到老熟的幼蟲會聚集在一起結繭的情形，這種現象可以從老熟幼蟲具有趨暗性來解釋，牠們都喜歡較暗的環境所致。但聚集結繭的現象是不是還有其他的因素，例如：相依在一起比較好結繭成功，或是彼此會產生某種吸引同伴的物質所造成，可再進一步研究。

（二）在壓克力板下的繩縫間所結成的繭多偏咖啡色，經 3 次實驗重複以確定之。在紅、黑、綠等 3 區都記錄到有聚集結偏咖啡色的繭，我們利用平時觀察所累積的經驗，大膽假設是與溼度（水氣多寡）有關，線索是：曾看聚集在角落一起結繭的幼蟲周圍有明顯的小水珠；在連續下雨的潮溼天所結成的繭均偏咖啡色，而連續晴天時則為偏白色；結在不透水的吸管內的繭也是偏咖啡色，因此我們將在壓克力板下的情形解釋為幼蟲聚集容易匯聚水氣，而不透氣的壓克板又不容易使水氣散去，以致溼度提高，使蟲繭偏咖啡色，如是單獨或在邊緣所結的繭因水氣容易散去（溼度較低）會呈偏白色。

|                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| 第 1 次結果，紅區咖啡色最多                                                                     | 第 2 次結果，紅區中間最多                                                                       | 第 3 次結果，黑區中間最多                                                                        |
|  |  |  |
| 聚集在角落一起結繭的幼蟲，絲色偏咖啡，撥開時內部有水氣                                                         | 連續雨天時繭偏咖啡色、轉陰天時顏色偏白微咖啡色、變晴天後繭偏白色                                                     | 吸管的結繭實驗                                                                               |

(三) 為了要確定結繭的顏色是與環境中的溼度有關，我們還做了繭偏咖啡色的子代飼養，結果子代所結成的繭有偏白也有偏咖啡色兩種，所以初步**排除是與品種的關係**。在使用不同色光壓克力板自製的結繭裝置前，用過染不同顏色的拖把頭、不同著色的紙杯加染不同顏色的拖把棉紗繩蓋不同顏色的玻璃紙兩次小實驗，發現繭有聚集的現象，顏色有偏白及偏咖啡兩種，令我們往控制更嚴謹的不同色光壓克力板（自製結繭裝置）實驗進行，後來用鋁箔紙包覆容器避光結繭，繭有偏白也有偏白微咖啡色，亦將**環境的顏色變因排除**。

|                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| 染色拖把頭的結繭實驗                                                                        | 染色並包玻璃紙的結繭實驗                                                                       | 包鋁箔的避光結繭實驗                                                                          |

(四) 最後用同種幼蟲來源進行了乾燥組、潮溼組兩組對照實驗證明：繭的顏色偏白、偏咖啡色是與溼度有關，如果真的杜鵑三節葉蜂具特這樣的特性，則可利用溼度的控制來產生偏咖啡色或偏白色的繭，在外國文獻中也找到支持證據(H. R. Wong,1951)。另外，幼蟲在晴天（乾燥）轉雨天（潮溼）過渡期間結成的繭顏色會偏白微咖啡色，如此，所研究出的繭色現象可以用在溼度指示使用。

(五) 老熟變黃幼蟲會有群聚結繭現象，如此一來因聚集而提高周圍微環境溼度，造成繭色偏咖啡色，於是我們利用自製小紗網袋，刻意隔開蟲體，使其蟲體獨立結繭，發現研究結果更穩定：**控制環境濕度的確可以控制杜鵑三節葉蜂的繭色**。

|                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| 用自製小紗網袋隔開幼蟲                                                                         | 隨機取樣進行結繭實驗                                                                           | 上（潮溼）偏咖啡色、下（乾燥）偏白色                                                                    |

(六) 環境溼度影響繭色實驗以實驗室自行繁殖的孤雌生殖及野外採集(可能有有性生殖)的幼蟲為樣本進行，實驗結果顯示繭色受溼度影響而與生殖方式無關。

(七) 對於杜鵑三節葉蜂容易在哪些環境下結繭，可再繼續研究，有助於解開牠是如何渡過高溫夏季。本實驗經一年多的醞釀，其中試了好多種的結繭方式：用泥土落葉、鬆軟的椰纖土、落葉小罐、小紙片、瓦楞紙、抹布、棉紗繩拖把頭…，其中推薦棉紗繩拖把頭來取得繭為較便利的作法。

|                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| 在椰纖土表層所結的繭                                                                        | 內放杜鵑落葉的結繭小罐                                                                        | 棉紗繩拖把頭                                                                              |

### 三、杜鵑三節葉蜂在不同月份的蛹期變化

(一) 本研究各結繭月份平均蛹期的統計結果，可當成推估杜鵑三節葉蜂一年有幾個世代的參考。

(二) 在 6、7 月所得的繭沒有成蟲羽化，而 8、9 月沒有幼蟲飼養，可能是杜鵑三節葉蜂不喜愛在氣溫高的夏季活動(與中央氣象局台北觀測站的月平均溫做比較)，以致於族群數量大幅減少，看法相同於第 54 屆生物科科展作品『「蜂」煙四起~杜鵑三節葉蜂結繭與孤雌生殖?』。往後研究可以選在較涼爽的地點進行，以確定杜鵑三節葉蜂是否以某種階段來越夏，或只是單純氣溫高致使存活率降低的緣故。

(三) 實驗進行過程中，我們觀察到杜鵑三節葉蜂大多在上午羽化，結果與文獻資料(陳列，1998)相符。以 104/5/17~104/6/4 的統計資料分析得到上午羽化(12:40 前)有 167 隻佔 73%，下午羽化(12:40 後)有 61 隻佔 27%，所得結果可供建立杜鵑三節葉蜂生物學基礎資料。

#### 四、杜鵑三節葉蜂是否會行產雄孤雌生殖

(一) 經文獻探討 (Gullan, P. J. & P. S. Cranston, 2002; 朱耀沂, 2006; 易希陶, 1976) 知, 膜翅目的昆蟲像蜜蜂、螞蟥具有單套、雙套的繁殖方式, 卵未經授精 (單套) 孵化後均為雄性, 而經授精 (雙套) 的均為雌性。杜鵑三節葉蜂屬於膜翅目昆蟲, 親源關係較近於蜜蜂、螞蟥, 其子代亦受蟲卵是否授精的過程而決定性別。本研究結果可印證文獻資料。

(二) 研究所得如果雌蟲未經交尾則子代全為雄性。令我們聯想到如果讓雄蟲不孕或是讓雄蟲的數量降低, 如此子代的雌蟲數量就會減少, 相對來說杜鵑三節葉蜂的族群量就是下降, 則危害杜鵑花的情形應該就會改善。

#### 五、室內繁殖、野外抓回的杜鵑三節葉蜂雌雄性別比例

(一) 室內繁殖族群性別比例雄蟲 56%、雌蟲 44%, 雄蟲多於雌蟲。而野外族群性別比例雄蟲 36%、雌蟲 64%, 比例明顯為雌蟲比較多, 與第 54 屆科展作品『「蜂」煙四起~杜鵑三節葉蜂結繭與孤雌生殖?』在校園中杜鵑花從下方取得的繭所羽化後的葉蜂, 性別比例接近。

(二) 室內繁殖族群與野外族群性別比例比較, 發現室內繁殖族群雌蟲比例明顯較野外族群為低, 可以從牠們的生活環境來解釋, 室內繁殖族群被限制在人為局限的空間、葉片有限的條件下產卵, 而野外族群則相反, 有寬闊的空間、充足的葉片供可自由選擇, 推測杜鵑三節葉蜂雌蟲可能會判斷子代生存環境的優劣, 進而有控制子代性別的產卵機制。文獻 (朱耀沂, 2006) 指出同為膜翅目的筒花蜂雌蜂會因子代生存空間及食物量而控制子代性別。杜鵑三節葉蜂是否有類似的繁殖行為可繼續當成之後研究的方向。

(三) 在我們飼養觀察中, 發現通常幼蟲的齡數愈多, 啃食的葉片量會愈多, 體型也愈大, 根據我們在 102 年開始進行的研究 (見圖 5-3 幼蟲不同齡別之成蟲性別比例圖) 之後續資料再整理所得到的結果: 雄蟲多數為五齡 (比例 72%), 而雌蟲通常會比雄蟲多一齡達六齡 (比例 82%), 再配合 102 年測量各齡體長的資料 (圖 1-1), 齡別愈大體長愈長, 大隻的雌蟲比例會較高。杜鵑三節葉蜂賴以為生的杜鵑葉數量多寡, 可能是造成本研究室內繁殖族群與野外族群性別比有較大差異的原因。

(四) 從網路搜尋得到的日本地區同種的杜鵑三節葉蜂資料，其中指出雄蟲為四~五齡、雌蟲為五~六齡，與我們室內繁殖記錄不同：沒有四齡蟲，五齡多數為雄蟲，六齡多數是雌蟲。

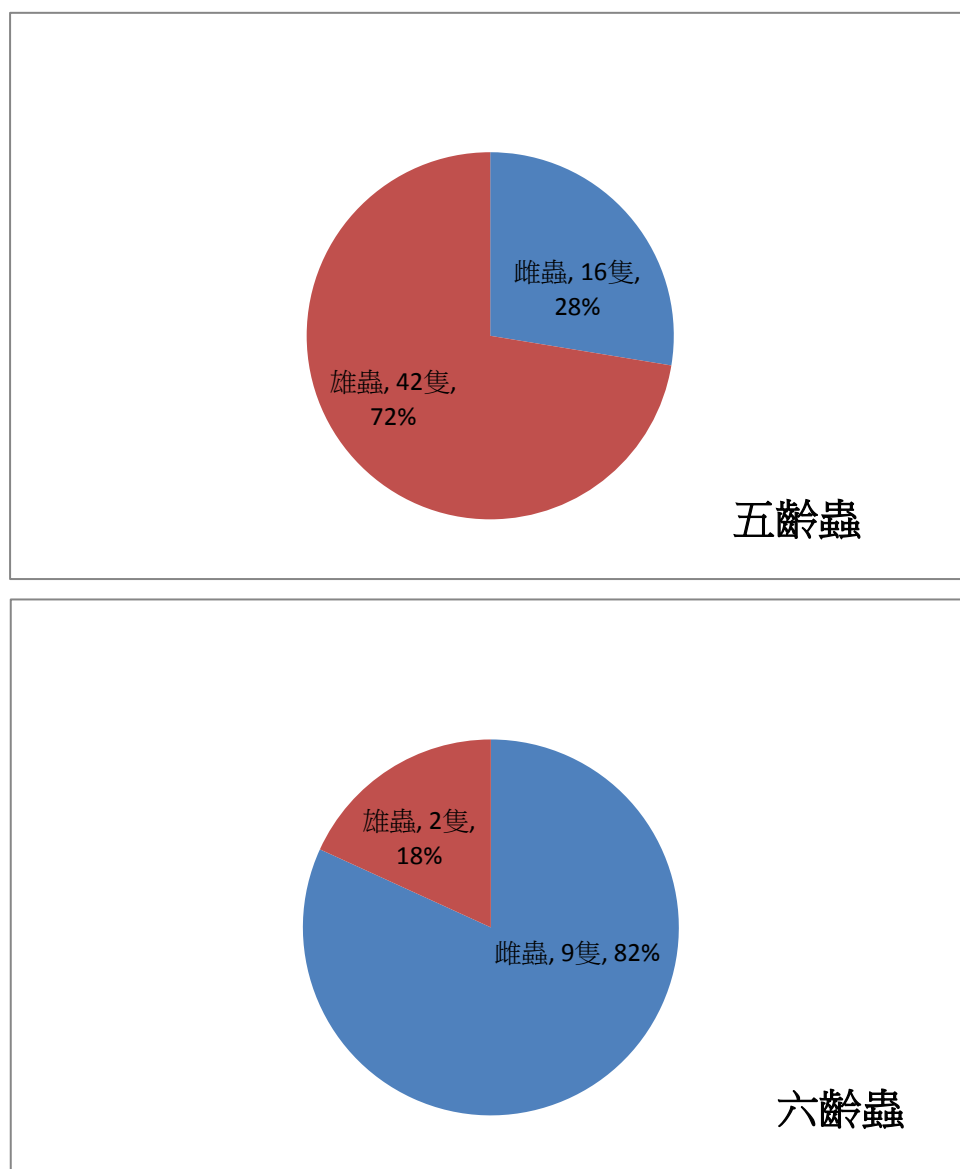


圖 5-3 幼蟲不同齡別之成蟲性別比例圖

## 六、杜鵑三節葉蜂對產卵葉片的喜好選擇

(一) 杜鵑三節葉蜂幾乎不會在邊緣捲的葉片上產卵，就我們的觀察解釋為與雌性成蟲產卵的姿勢有關，母蟲需有六足可以抓的位置，其腹部產卵器也要能夾住的葉片，好讓像鋸子般的附肢能筆直插入鋸開葉肉組織然後產卵，如果是葉緣彎曲的葉片，是不利於母

蟲夾住產卵的。

(二) 室內的模擬二實驗，嫩葉有卵的數量大於老葉，可以解釋為母蟲為了讓子代有更好的存活環境，會選擇較不容易枯黃掉落的健康葉片，嫩葉應是可以存在較久時間的葉片，故母蟲會多選擇它。但在沒選擇的情況下，由我們的記錄得知，只要是能產卵的位置，母蟲都會盡量利用，甚至於整片葉子邊緣都被產滿了卵。

(三) 葉邊緣捲的杜鵑較不容易被產卵，若杜鵑的品種改良，讓觀賞用的杜鵑品種為葉緣捲的品系，則杜鵑三節葉蜂就不容易產卵，當然後續的蟲害防治問題就會跟著減少。

#### 七、杜鵑三節葉蜂喝水或喝蜜水對產卵的影響

(一) 由實驗結果可以驗證：喝水可以讓杜鵑三節葉蜂成蟲維持基本生命力，且可藉由養分的補充來增加生命力。

(二) 在野外生活的杜鵑三節葉蜂牠的食物來源應該很多元，基本上可以參考實驗室所得的結果來推估野外情形，我們餵的蜜水所提供的營養成分為碳水化合物(醣類)，本研究結果可以建立基本的生物資料，提供後續杜鵑三節葉蜂產卵相關研究利用。

#### 八、杜鵑三節葉蜂卵發育的變化

(一) 因為卵不大，無法用秤量重量，或以測量體積的方式來得卵的大小數據，退而求其次使用卵面積的測量來替代，雖然立體的卵只取其中一個截面來測量卵的變化，是有一定的誤差，但盡量將數位顯微鏡的鏡頭垂直取像，且讓卵畫面清晰較大，以降低測量誤差，由圖 8-1 還是可以看出蟲卵生長發育的變化，確實有日益膨大的現象。

(二) 第 0 天的卵平均面積 ( $0.82\text{mm}^2$ )，卵孵化的當天卵平均面積 ( $2.14\text{mm}^2$ )，長後差了約 2.6 倍。卵發育的營養是否只來自母體，還是有從葉片中吸收，令人好奇。在研究杜鵑三節葉蜂的這段時間，曾經觀察過好幾次杜鵑枝上的產卵太多，以致於葉外表呈現營養不良的情形，之後葉上的卵也未能成功孵化，不知是否跟葉子養份被吸收殆盡有關？

(三) 要證明杜鵑三節葉蜂卵是否會從杜鵑葉片中吸收養份，或許以後可以試著將卵取出放置放無菌的培養皿內觀察操弄，看牠能否順利發育，也許可以解開我們的疑惑。

#### 九、比較春夏、秋、冬季杜鵑三節葉蜂的生長期

(一) 實驗所得的春夏、秋、冬季各蟲期生長資料，可供杜鵑花蟲害防治參考：於第一世

代積極防治，其餘世代重點防治（陳列，1998），亦可提供生物教學，並利於後續研究。

(二) 根據文獻（陳列，1998）指出夏季溫度高也是寄生蜂大量寄生於杜鵑三節葉蜂卵的高峰時期，因此導致大量的杜鵑三節葉蜂卵無法孵化，也使 7~9 月野外葉蜂族群大量減少。在我們觀察期間曾經記錄到有杜鵑三節葉蜂卵內某種小昆蟲的蛹，後續那些蛹有些也順利羽化，或許就是寄生蜂所使，以致於杜鵑三節葉蜂卵胎死葉中。

(三) 在夏季 7~9 月的記錄內沒有完整的生活史資料，只有零星的幾筆觀察：7 月養的幼蟲食慾不佳在常溫下養不活，7~9 月也沒有繭羽化的記錄、在野外只在 9 月觀察到少數的幼蟲。5~6 月常是杜鵑三節葉蜂大發生期，但其中大量的繭無法羽化，這些繭會像實驗室內我們所觀察到的繭一樣乾死？還是會渡過高溫的夏季，然後在往後適當的條件下順利羽化，是個待解開的謎團。

## 柒、結論

- 一、杜鵑三節葉蜂老熟的幼蟲會在變黃結繭前有體長縮短的現象；在秋季時，幼蟲體長在結繭前 3~5 天達到最長平均約 25.5mm，在變黃日平均體長縮到 22.0mm。
- 二、杜鵑三節葉蜂老熟的幼蟲具趨暗性對紅色光的環境有偏好。環境中的溼度會影響結繭的顏色，溼度較低的乾燥組（相對溼度 61%~71%）所結的繭全都偏白色，溼度較高的潮溼組（相對溼度 90%以上）所結的繭全都偏咖啡色
- 三、杜鵑三節葉蜂不同月份的蛹期受季節氣溫影響，有世代重疊的現象。
- 四、杜鵑三節葉蜂確定會行產雄孤雌生殖。
- 五、杜鵑三節葉蜂野外族群性別比例為雌性多於雄性。
- 六、杜鵑三節葉蜂產卵選擇嫩葉大於老葉，不喜愛在邊緣捲的葉片上產卵。
- 七、杜鵑三節葉蜂喝蜜水比只喝水的利於產卵。
- 八、杜鵑三節葉蜂的蟲卵會隨時間變大，使得卵所在位置的杜鵑葉表皮明顯凸起。
- 九、杜鵑三節葉蜂在春夏季(4~6 月)生長期較另兩季(9~11 月、12~3 月)為短，而冬季(12~3 月)的生長期最長。一年約有 5 個世代（5 化）。

## 捌、展望

- 一、研究杜鵑三節葉蜂卵及蛹的發育情形。
- 二、研究杜鵑三節葉蜂如何越夏。是否有滯育(diapause)情形？
- 三、研究杜鵑三節葉蜂行有性生殖時，雌蟲是否有辦法控制子代的性別？

## 玖、參考資料及其他

- 一、朱耀沂 (2006)。情色昆蟲記：昆蟲世界的愛情兵法。台北市。商周。
- 二、沈雲冰 (1971)。杜鵑花葉蜂生物學之初步研究。生物科學，1：2，25-30。
- 三、易希陶 (1976)。昆蟲分類學。台北市。環球書社。
- 四、陳列 (1998)。杜鵑三節葉蜂 ( Arge Similis Vollenhoven)的發生與防治。廣西植保，3，20-22。
- 五、第 54 屆中小學科展說明書 「蜂」煙四起~杜鵑三節葉蜂結繭與孤雌生殖？
- 六、新北市 102 學年度科展說明書 杜鵑花殺手—杜鵑三節葉蜂首部曲
- 七、ルリチュウレンジ Arge similis 2014.4.11 取自  
<http://www.hfri.pref.hokkaido.jp/zukan/konchu/00data/hati/mifusi/rurichu/note.html>
- 八、Gullan, P. J. & P. S. Cranston 著 徐堉峰編譯 (2002)。昆蟲學概論。合記出版社。
- 九、H.R. Wong(1951). Cocoons of some sawflies that defoliate forest trees in manitoba and saskatchewan.  
*Excerpt from Eighty-Second Annual Report of the Entomological Society of Ontario.*

## 【評語】 080320

1. 觀察詳細而深入，能從觀察中找出問題並深入探討、設計實驗驗證。
2. 可以就觀察及實驗獲得的結果進一步設計實驗找出其產生的機制及原理。