

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生物科

030319

大屯火山區魔法帽-巫帽蓑蛾(*Striglocyrbasia  
meguae*)筒巢之研究

學校名稱：臺北市私立復興實驗高級中學(附設國中)

作者：  國二 陳以晏  國二 陳以捷	指導老師：  彭黃銘  楊惠婷
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：巫帽蓑蛾、圓錐形筒巢、筒巢三層的材質

## 摘要

我們發現大屯火山區有一種避債蛾的筒巢貌似一頂巫帽，經由特徵辨識確認為巫帽蓑蛾(*Striglocyrbasia meguae*)。除了調查牠的生態環境，並實驗了筒巢的三層結構，完整紀錄一年的生活史，筒巢表面積與重量相關、頭部角度與移動有關，以及針對筒巢保暖、疏水測試實驗、研究圓錐形的優勢。發現筒巢的圓錐形、保暖性、疏水性、絲的韌性比蜘蛛絲測試數據好，這些與生態契合的生物材料，展現牠面對特殊環境的生命力。因國內目前沒有相關的論文和期刊發表，更顯示本研究的重要性，尤其，本研究突破以往的生物科學，跨科、跨領域的運用，最後，仿作筒巢三層結構與圓錐形的亮點，期待未來能應用在防護性和保暖性的材料上。

## 壹、研究動機

我們到大屯火山爬山，竟然發現在大屯火山的樹林旁的石欄杆上，有一頂小帽子緩慢的移動著，經不同單位協助，確認為巫帽蓑蛾，因此我們想知道筒巢巢質的成分以及含有哪些建造的材料?並且希望將牠們建構的筒巢，應用在仿生科學上，用來減輕重量、保護或保暖，甚至進行圓錐的優點分析，希望能應用在房子的建築結構上、防寒衣的保暖上。(配合七下生物:生物、生態系；八下數學:幾何圖形；八下理化:力與平衡)

## 貳、研究目的

- 一、大屯火山巫帽蓑蛾的生活史、生態環境、生物行為與生態調查。
- 二、研究筒巢內、中、外部結構:材質、顯微結構，了解筒巢對於巫帽蓑蛾幼蟲，到化蛹、成蟲的重要性。
- 三、測試與模擬筒巢表面積與頭部移動模式，了解筒巢移動與筒巢結構與特殊運動力學有關。
- 四、研究筒巢三層結構與圓錐形的優勢，了解在日常生活中的應用性。

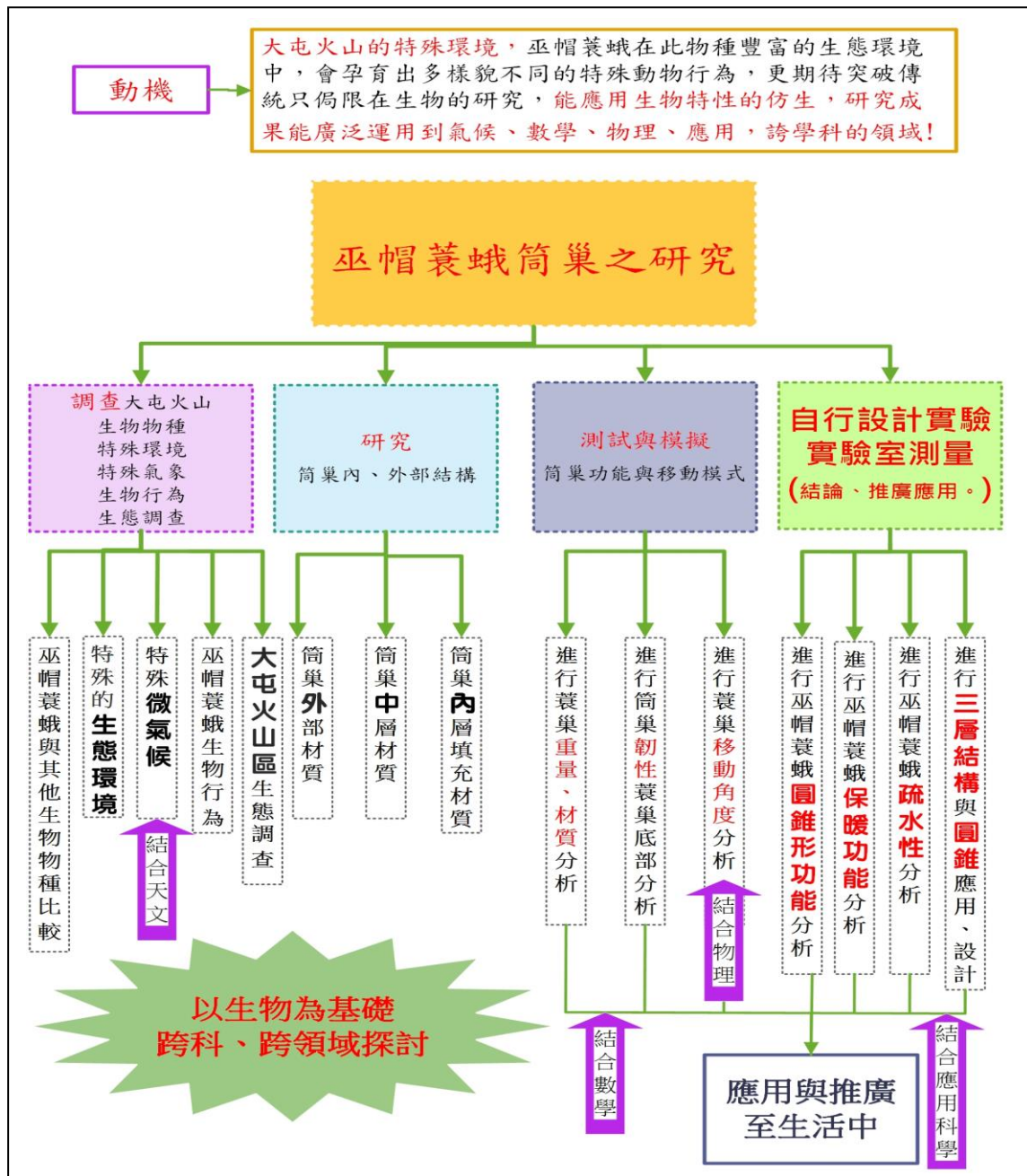
## 參、研究材料及設備器材

### 一、材料、設備及器材

材料	用途	數量
手作串珠與枝葉	自製筒巢	各 30 顆
螢幕式 USB 顯微鏡	顯微觀察筒巢	2 臺



### 二、研究架構



## 肆、研究過程與方法

表 1 蓑蛾(避債蟲)的相關文獻查證

<p>雌成蟲特殊性(國產的避債蛾簡介，2010)</p>	<p>蓑蛾 (<i>Clania minuscula</i> Butler) 又名避債蛾，屬鱗翅目，蓑蛾科，主要食草是茶花樹、桑等多種植物，這類的蓑蛾的雌蟲羽化後不出巢，事實上根本也沒有羽化，因為雌成蟲是幼蟲型，沒有複眼也沒有觸角，牠們會從蛹殼裏出來一點點，也不出巢，所以雄蟲必須把腹部伸進雌蟲巢中交尾。</p>
<p>幼蟲飼養經驗</p>	<p>如果還有懸絲的話，有可能是幼蟲，但也有可能已經在裏面化蛹，有些種類在化蛹的時候，整個筒巢會懸掛，飼養要花一段時間，愛吃的是樹皮上的陸生綠藻和地衣。</p>
<p>巫帽蓑蛾命名由來(熱帶作物學，'2008)</p>	<p>右圖是 2001 年由日本的杉本美華與三枝豐平所發表描述的 <i>Striglocyrbasia meguae</i>，種小名 <i>meguae</i> 是指日本民間故事裡的一個女巫名字，用來形容幼蟲巢式貌似巫師帽，這種幼蟲是 "食地衣性" 的，特別喜愛樹表皮的殼(粉)狀地衣，日本目前已知只產於沖繩，在台灣廣泛分布於海邊至低海拔山區。</p> <div data-bbox="437 1032 711 1218" data-label="Image"> </div> <p>來源: CHINESE JOURNAL OF TROPICAL CROPS. , 2008)</p> <p>因限於相關的文獻非常有限，經本研究研究一年，發現牠因為最大僅有 1 公分，多分布於山區，雌成蟲不出筒巢，一齡幼蟲僅 0.1 公分，幼蟲與化蛹都具有偽裝的行為，在台灣對經濟作物危害不大，實在不容易最為研究的題材。</p>
<p>台灣常見避債蛾(中央研究院生物多樣性研究中心，2000)。</p>	<p>「筒巢」尤其是最好的巢式特徵，部分種類甚至會出現雌雄二型性可以直接區分性別。巢質 (case fabric)：筒巢的質地，可區分為「硬質」與「軟質」。巢材：筒巢表面使用的額外裝飾材料。巢材的選用與裁切與幼蟲行為有關，幼蟲的築巢行為有時候的確具有特別的專一性偏好，但材料取得仍受限於自然環境的提供，因此巢材特徵不是絕對可靠的。</p>



圖 1 巫帽蓑蛾的科學分類

### 巫帽蓑蛾蓑蛾品種五特徵：

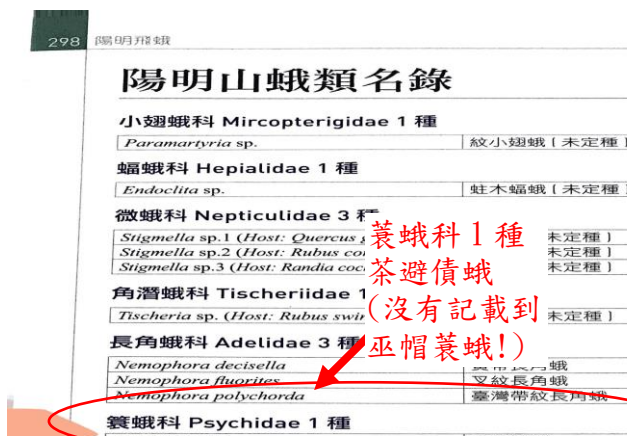
(與其他蓑蛾不同之處) 

1. 幼蟲體色全身黑色(無斑紋)
2. 筒巢略分三齡，形狀不同。
3. 化蛹的筒巢會倒掛以單一粗絲線單點固定，隨風搖曳。
4. 筒巢外以樹皮和苔蘚類為主。
5. 雄成蟲觸角粗羽狀，不到 1 公分(10mm)。

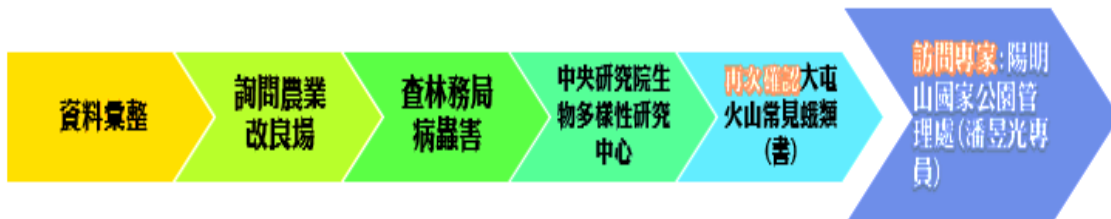


表 2 台灣常見的四種蓑蛾的**相關資料彙整**

四種常見 蓑蛾	(中央研究院生物多樣性研究中心系統分類及生物多樣性資訊專題中心，2020)		
	學名及照片	分類地位	生物學特性
大避債蛾 (Bag-worm moth、Giant bagworm) (最大最明顯)	<i>Eumeta japonica</i> Heylaerts, 1884 	Class Insecta 昆蟲綱 Order Lepidoptera 鱗翅目 Family Psychidae 蓑蛾科 Genus Eumeta	發生於平地至低海拔山區，腹節具有金黃色短毛，腹節第 8 節以下則急驟收縮，寄主範圍廣。
茶避債蛾 (Tea bag-worm) (數量多危害性)	<i>Eumeta minuscula</i> Butler, 1881 	Class Insecta 昆蟲綱 Order Lepidoptera 鱗翅目 Family Psychidae 蓑蛾科 Genus Eumeta	發生於平地至低海拔山區，年可發生 2~3 代，為害茶、梅、梨多種植物嫩葉，將葉咬成孔洞。
台灣避債蛾 (Taiwan bag-worm) (最瘦長型)	<i>Mahasena oolona</i> Sonan, 1935 	Class Insecta 昆蟲綱 Order Lepidoptera 鱗翅目 Family Psychidae 蓑蛾科 Genus Mahasena	屬台灣特有種，一年發生一世代，本蟲在孟宗竹上
四、薄翅避債蛾 (幼蟲寄生在雌蛾巢裡)	<i>Acanthopsyche saccharivora</i> Sonan, 1935 	Class Insecta 昆蟲綱 Order Lepidoptera 鱗翅目 Family Psychidae 蓑蛾科 Genus Acanthopsyche	生物學特性:發生於平地至低海拔山區，蟲袋極小，不同齡期之薄翅避債蛾幼蟲寄生在雌蛾巢裡。



在《陽明飛蛾-陽明山賞蛾》手冊一書中，對於蓑蛾科 *Psychidae* 一種類僅有茶避債蛾(*Eumeta pryeri*)，全國博碩士論文和期刊，目前沒有巫帽蓑蛾的相關文獻，本文可以說是首次發表巫帽蓑蛾的初步研究報告。



👑 因為目前找不到巫帽蓑蛾的相關文獻，所以，必須一再確認所發現蓑蛾品種。

## 一、大屯火山巫帽蓑蛾的生活史、生態環境、生物行為與生態調查。

### (一)物種研究

1. 搜尋臺灣現有蓑蛾種類與分布
2. 查詢中央研究院生物多樣性研究中心(台灣生物多樣性資訊入口網)和行政院農業委員會農委會農業改良場有關蓑蛾種類與分布資料。
3. 查詢與確認研究樣本的蓑蛾物種名稱
4. 進行對比大屯火山區巫帽蓑蛾的與台北市平地(士林區、大安區)地區的不同。

結果：

初春，越冬幼蟲開始活動和取食，冬天前，成蟲出現。雄蛾 2-5 天、雌蛾壽命 12-15 天，卵期 12-17 天，卵在死的雌蛾腹內越冬。幼蟲期 50-60 天，越冬代幼蟲 240 多天，雌蛹期 10-22 天，雄蛹期 8-14 天。根據中央研究院生物多樣性研究中心顯示，巫帽蓑蛾廣泛分布於全島，平地至低海拔山區都有，我們確實也在家裡社區和山邊大量發現牠的蹤跡。



圖 2 蓑蛾生物檢索(來源: 中央研究院生物多樣性研究中心)

### 巫帽蓑蛾分布地區



圖 3 巫帽蓑蛾分布地圖(來源:行政院農業委員)

3. 大屯火山巫帽蓑蛾的筒巢與其他地方的巫帽蓑蛾，最不同的是，筒巢外層大量使用各種豐富的苔蘚，因此筒巢顏色較翠綠、絲的厚度較厚、並沒有造成植物的嚴重危害，三齡蟲約一公分，生長季節和盛出期會受到氣候影響。

表 3 大屯火山巫帽蓑蛾(幼蟲)生物物種比較表

區域	大屯火山巫帽蓑蛾	台北市(士林、大安區)巫帽蓑蛾
外形	<p>頂端尖，更近似巫帽</p>  <p>1cm</p>	<p>頂端頓，頂端較圓</p>  <p>1cm</p>
外部材質	<p>筒巢材質苔蘚多、以及茶花樹芽的大木屑、安山岩粒</p>  <p>1cm</p>	<p>筒巢材質依當地環境就地取材，以樹皮和樹枝為主</p>  <p>1cm</p>
偽裝	<p>偽裝成鳥屎狀</p>  <p>1cm</p>	<p>幼蟲除了筒巢的材質不同，未發現有偽裝行為</p>  <p>1cm</p>
化蛹	<p>較濕潤、伸縮巢口大而膨出</p>  <p>1cm</p>	<p>較乾燥、伸縮巢口乾扁</p>  <p>1cm</p>

我們經過一年的生態調查與實驗室飼養，自行歸納發現大致的生活史如下：

自行觀察與飼養，發現每年 2~3 代，卵期約 12-17 天、幼蟲時間最久，幼蟲會經歷不同筒巢的三個階段，可長達一到兩個月之久，飼養期間僅提供水和原生之苔蘚類，一齡幼蟲約 0.1~0.5mm，肉眼不易看見，成直筒狀；二齡幼蟲呈現巫帽狀，有伸縮巢口，已經有 0.5mm 以上，約 0.5~4 mm，依筒巢形狀漸漸變成圓錐形；自行定義為三齡幼蟲約 5-10 mm，具有明顯伸縮巢口化蛹約 10-22 天，成蟲雄蛾 2-5 天的壽命，雌蛾等在筒巢中產完卵，約 12-15 天後死亡，之後約 12-17 天，可以發現幼蟲的孵化。



圖 4 巫帽蓑蛾雄蟲

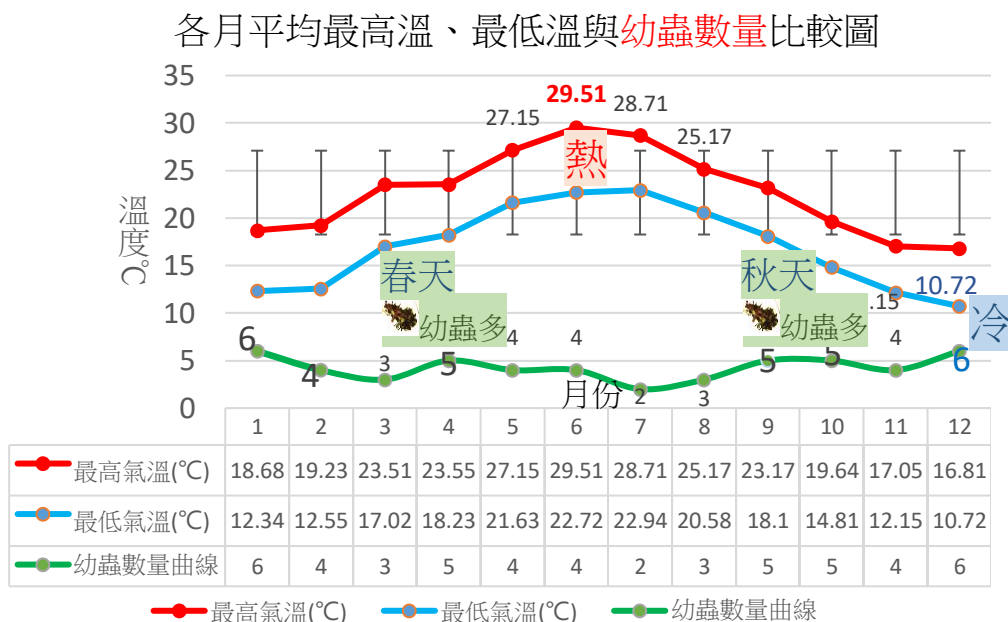


## (二)特殊氣候

1.下載中央氣象局，觀測資料查詢系統，下載陽明山每個月的天氣資料。

2.以 Excel 統計月平均，繪製成圖表。

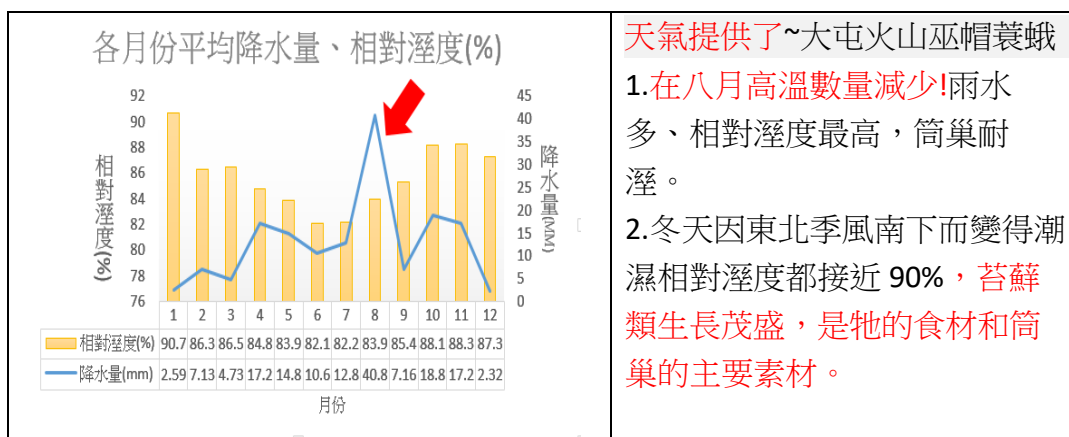
表 4 中央氣象局個月平均最高、最低溫度



### 調查發現:

冬季最低溫 12-10 度，發現數量竟然沒有減少!在春、秋幼蟲數量最多!第 2 代的越冬幼蟲在九月漸漸出現，因為溫度開始變冷!從中央氣象局自動氣象站網頁中，每小時的氣象觀測站，下載每個月每小時資料，進行一整年的分析，發現各月平均最高氣溫在七月均溫度也接近攝氏 30 度的高溫，但是，相較於其他九個月分最高溫都在 25 度以下，加上強風的吹拂，相對的涼爽。各月份平均最低氣溫，以一月份 31 天平均溫度只有 10.72 度，加上東北季風速達 11.36m/s 強陣風，加上相對溼度達 87.29%，冷度至少下降 3~4 度。冬季時因受東北季風影響，陽明山區經常寒風細雨，低溫高濕，雲霧瀰漫，別具一番景緻；若遇強烈寒流來襲，七星山、竹子山、大屯山一帶偶可見白雪紛飛，成為瑞雪覆蓋的銀白世界。

表 5 中央氣象局個月平均最多降雨量、相對溼度

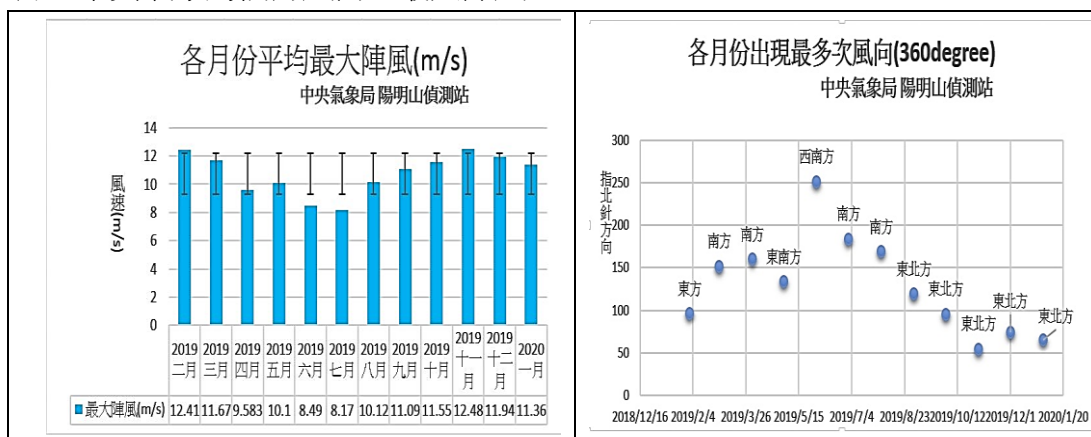


天氣提供了~大屯火山巫帽蕨蛾

1. 在八月高溫數量減少! 雨水多、相對溼度最高，筒巢耐溼。
2. 冬天因東北季風南下而變得潮濕相對溼度都接近 90%，苔蘚類生長茂盛，是牠的食材和筒巢的主要素材。

中央氣象局自動氣象站網頁中，以各月份出現最多次風向統計圖(表 6)為例，因為大屯火山位於北緯 25 度，有明顯的亞熱帶地區季風型氣候的特徵，夏季受到西南季風影響，多為晴朗，午後有雷陣雨的天氣，冬季則因東北季風南下而變得潮濕多雨，年雨量多達四千公厘，降雨日數也在 190 天以上。由於地勢較高，氣溫較鄰近之台北盆地約低 3 至 4 度，呈現冬冷夏涼的季節特性，而本區起伏的地形與複雜的地勢，致使局部地區微氣候變化相當明顯，時有東山飄雨西山晴的特殊景象。

表 6 中央氣象局個月風向、最大陣風



因為中央氣象局自動氣象站的偵測站位於鞍部經度：121.5297.緯度：25.1825. 海拔高度 825.8m.的山頂上的風速非常強勁，最低風速至少達出現 8 至 10 級強陣風，根據中央氣象局的風速分類表，八級達到有葉之小樹搖擺；十級達到大樹枝搖動，電線呼呼有聲，舉傘困難；東北季風十月到隔年三月最大陣風都達到十一級以上，可見風速強勁的景象。



## (二)發現地點的環境因子

- 1.東北季風、多霧
- 2.苔蘚、地衣及一年中茶花的四季生長的數量
- 3.動物多、昆蟲多
4. 其他生態的數量(統計巫帽蓑蛾食物與素材之苔蘚，寄生於茶樹分布情形)



圖 5 茶花樹上可以發現巫帽蓑蛾的蹤跡(偽裝)

整體植物社會受火山地質及東北季風之影響深遠，冬季的低溫、高濕特質，造成部份原本棲生於 2,000 公尺中海拔的植物，如台灣龍膽、昆欄樹在此有海拔分佈的「北降現象」。本區植物景觀大致可分為水生、草原及森林植被三大類。陽明山國家公園多樣的地形及繁茂的植被，提供了各種動物絕佳的覓食、活動和棲息場所，進而孕育了豐富的動物群聚。根據陽明山國家公園調查報告指出，目前園區至少有哺乳動物 30 種，鳥類 122 種，兩棲類 21 種、爬蟲類 53 種、魚類 22 種、蝶類 168 種，以及其他昆蟲和無脊椎動物數千種。(中華民國 陽明山國家公園管理處，2016)

### 調查結果：

大屯火山巫帽蓑蛾並沒有造成樹木落葉和大量病蟲害，與其族群的數量有關，在各種物種極為豐富的大屯火山區，其中巫帽蓑蛾的天敵更是不計其數，所以，**不像其他地區對經濟農作物區所造成的危害。**

### (三)大屯火山棲息地的特殊環境

- 1.研究範圍僅侷限於杜鵑茶花園的巫帽蕨蛾(衛星定位杜鵑茶花園)。
- 2.調查除了杜鵑茶花園，大屯火山區巫帽蕨蛾物帽蕨蛾分布情形。
- 3.下載中央氣象局大屯火山的氣象站(竹子湖站)進行一年月均溫、月溼度、月降雨、月風速分析，分析、歸納出「氣候對生物環境的影響」。
- 4.針對杜鵑茶花園面積大約7617.48平方公尺，每月進行巫帽蕨蛾數量調查。
- 5.不同海拔高度的大屯火山群中茶花樹林的生態調查實驗。



圖6 大屯火山棲息地的海拔高度地位圖

進行大屯火山區，不同高度的巫帽蓑蛾生態調查(用博客海拔高度APP)

採用**穿越線調查法**(Line transect):

不同高度的巫帽蓑蛾生態調查，沿途計算或紀錄巫帽蓑蛾的出現次數的路徑，**沿著產業道路**步行**探勘**固定的路徑移動，計算出現



的隻數。從調查覆蓋區域的估計結果與調查穿越線的估計結果之相關係數**可以估計該物種的實際密度**。每次調查約2~3小時，以步行速度(1m/min)，約兩周一次，時間是8:00~11:00，所以，**實際的巫帽蓑蛾數量當然比觀察到的數值多更多**。

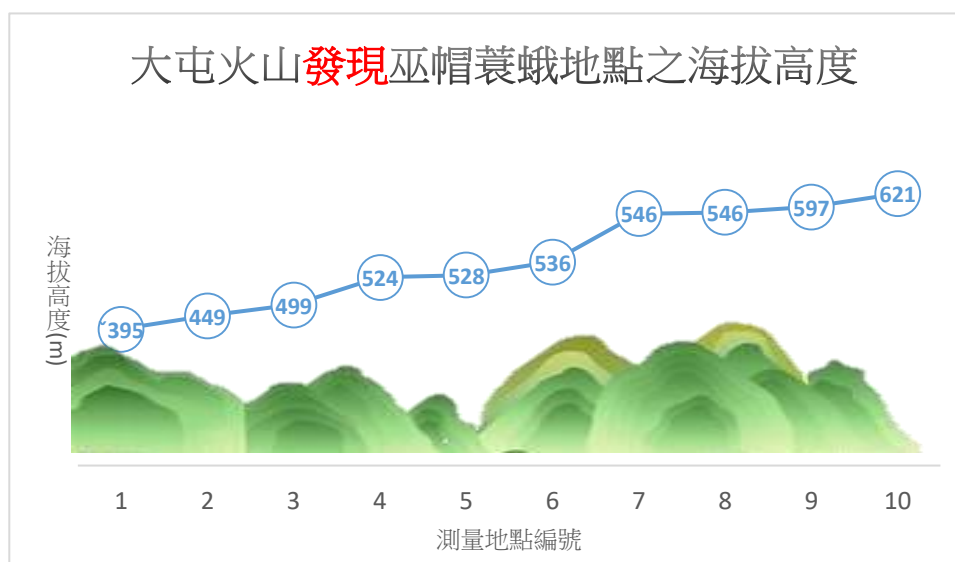


圖7 進行不同海拔高度巫帽蓑蛾生態調查統計圖

表7 一年中在杜鵑茶花園**發現到**巫帽蓑蛾數量統計表

測量地點編號	地點名稱	海拔高度(m)	發現三齡幼蟲隻數(隻)
1	草山行館	(395m)	3
2	橫嶺古道	(449m)	1
3	陽明山花鐘	(499 m)	1
4	陽明公園服務中心	(524m)	2
5	陽明山國家公園管理處	(528m)	2
6	頂坪	(536m)	1
7	童軍苗圃	(546m)	1
8	陽明書屋	(546m)	3
9	磺仔外	(597m)	2
10	氣象台	(621m)	1

月份	一月		二月		三月		四月		五月		六月		七月		八月		九月		十月		十一月		十二月	
日期	1/5	1/30	2/5	2/17	3/7	3/22	4/6	4/27	5/11	5/26	6/9	6/30	7/1	7/29	8/4	8/25	9/9	9/29	10/13	10/28	11/1	11/28	12/9	12/29
幼蟲	3	3	2	2	2	1	3	2	3	1	2	2	1	1	2	1	2	3	2	3	2	2	3	3
化蛹	0	2	1	1	0	3	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
成蟲	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
隻數	3	5	3	3	2	4	5	4	6	1	3	3	2	2	2	1	2	3	2	4	2	3	3	4
總隻	8		6		6		9		7		6		4		3		5		6		5		7	

圖 8 一年中不同月份巫帽蓑蛾隻數統計圖

以一年中在杜鵑茶花園裡發現到巫帽蓑蛾數量分布，以七、八月最少，反而是天氣愈冷發現的數量愈多，以十二月到三月為例，四月春暖花開，數量多!

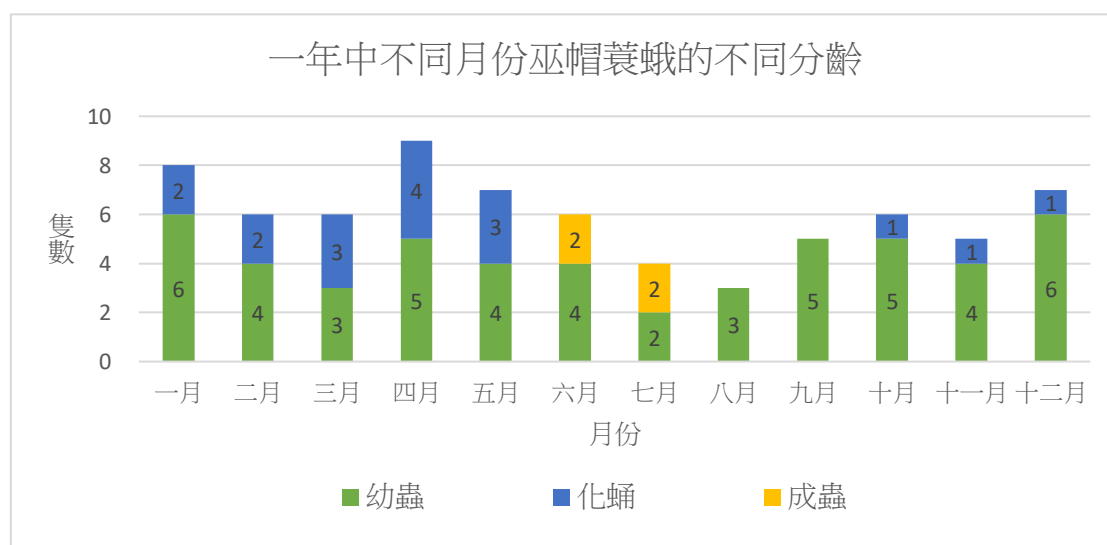


圖 9 一年中不同月份巫帽蓑蛾不同分齡統計圖

調查結果：

為了知道大屯火山區巫帽蓑蛾分布情形，所以，發現巫帽蓑蛾我們所到之處立刻測量海拔高度紀錄，幾乎在中、低海拔的茶花樹上。

杜鵑茶花園面積大約 7617.48 平方公尺，約 30 分鐘步行可以繞完四周，因為巫帽蓑蛾雌蟲在巢裡，不易發現，就連雄性成蟲壽命只有短短三天左右，也不容易發現!但是，幾乎一年四季都可以在此處發現巫帽蓑蛾的幼蟲，觀察發現越冬幼蟲生命更是長達半年之久，所以，在杜鵑茶花園一年中不同月份觀察巫帽蓑蛾不同分齡，觀察到的總數量可以達 72 隻之多。其中，幼蟲數量:51 隻，化蛹:17 隻，成蟲:4 隻，一年中發現總共 72 隻，實際當然比觀察量多更多。



#### (四)生物行為

- 1.每次踏查，觀察大屯火山的巫帽蓑蛾達五隻以上。
- 2.野外觀察利用放大鏡和隨身型的手機顯微鏡，觀察巫帽蓑蛾筒巢的素材。
- 3.野外觀察利用放大鏡和隨身型的手機顯微鏡，觀察巫帽蓑蛾吐絲、固定、纏繞筒巢外素材之方法。

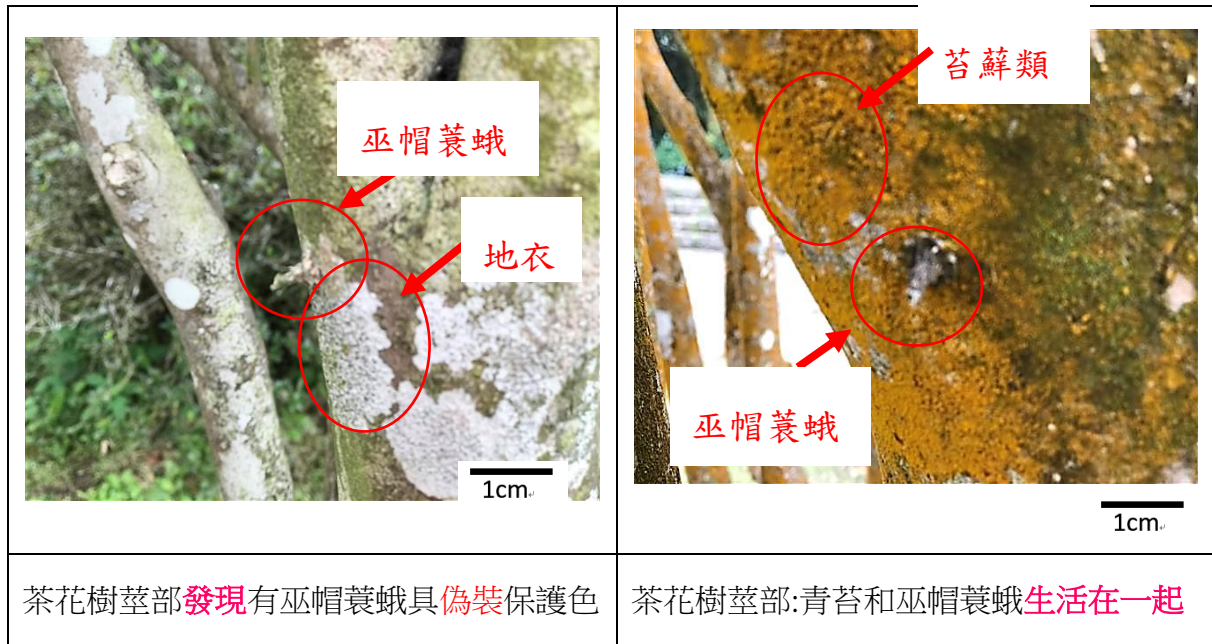


圖 10 觀察不同巫帽蓑蛾生物行為、生活環境

巫帽蓑蛾偽裝指的是巫帽蓑蛾在演化過程中，做出的筒巢形狀與鳥糞形狀相似，以混淆另一方（如掠食者）的認知，進而遠離或靠近物種。偽裝指的是對於有被掠食威脅的巫帽蓑蛾來說，一般在掠食者視覺上，當獵物具有與對掠食者有危險或是無用的生物相似的外貌，會使掠食者很難辨識，因此很容易達成欺瞞的目的。

#### 調查結果：

- 1.巫帽蓑蛾筒巢外的素材以苔蘚、木屑、落葉、大量安山岩以及絲線纏繞而成。
- 2.無論是二、三齡幼蟲的巫帽蓑蛾筒巢伸縮巢口的錐形口，禦敵兼具保護色的功能。
- 3.以苔蘚或茶花樹幹上地衣刮取為食，並且以茶花樹樹幹上地衣化蛹偽裝成樹枝狀，進行偽裝。
- 4.發現巫帽蓑蛾筒巢外的素材有大量的具刺狀苔蘚，所以，筒巢外造型貌似枯枝。
- 5.巫帽蓑蛾筒巢外的素材有大量的絲，包覆著苔蘚、木屑、落葉、安山岩粒。

發現與討論：

大屯火山的巫帽蓑蛾具有特殊的保護色，偽裝與生活周遭的環境，可相融合，而藉環境的保護，以躲避天敵。大量的具刺狀苔蘚、貌似鳥糞的偽裝行為，藉模擬以阻嚇天敵，防衛自己。



圖11 觀察巫帽蓑蛾模仿枯枝與苔蘚，明顯偽裝

(五)生態調查

- 1.調查茶花樹種類和棵數。
- 2.調查苔蘚種類、每平方公尺分布情形。
- 3.調查與巫帽蓑蛾生態相關的動物生態。

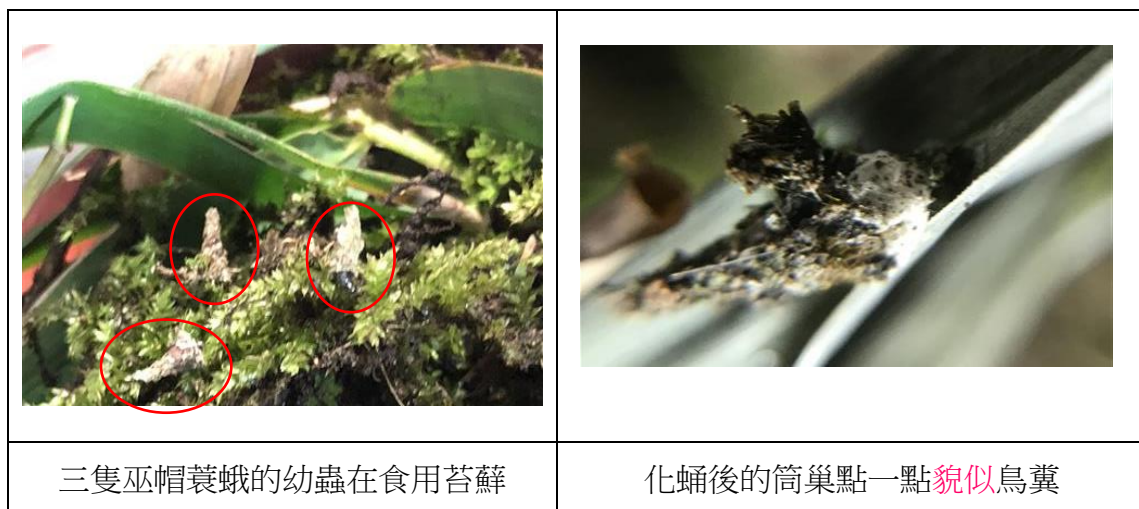






圖12 觀察巫帽蓑蛾生態調查

調查結果：

- 1.杜鵑茶花園有多達數百棵的茶花樹林，每一棵莖上都布滿了地衣、苔蘚。
- 2.茶花樹林的枝芽，大小、形狀和顏色，都和巫帽蓑蛾的筒巢非常相似。所以，是巫帽蓑蛾偽裝成茶花樹小枝芽，發現了巫帽蓑蛾順利融入此生態環境。
- 3.在此杜鵑茶花園四周都有達數公尺的竹林區，地上、石階都是竹葉，竹林提供了許多落葉、防風林和保溼性，在此地背風面，樹木多生長良好，發現微氣候，受到地形與阻礙物影響。位於陽明山的花卉試驗中心，早於民國 38 年就開始栽種茶花、蒐集品種，園區已蒐集超過 300 種、5000 餘株茶花，且多數都是樹齡超過 50 年茶花樹，是目前全台規模最大的茶花園。此次研究，發現巫帽蓑蛾特別喜愛大屯火山的茶花樹、杜鵑花樹枝上，也有可能是特別適合在大屯火山的茶花樹莖和的杜鵑花樹枝上生存吧!

二、研究筒巢內、中、外部結構:材質、顯微結構，了解筒巢對於巫帽蓑蛾幼蟲，到化蛹、成蟲的重要性。

(一) 外層材質選擇

- 1.利用小鑷子夾取、刮取或夾下筒巢外層有石頭和樹皮等天然材料。
- 2.以USB顯微鏡觀察顯微結構，觀察筒巢的三個部分(外層、中層、內層伸縮巢口)
- 3.以小數點後三位的微量天平，測重量，分析筒巢材質的比例。



圖13 筒巢外部結構

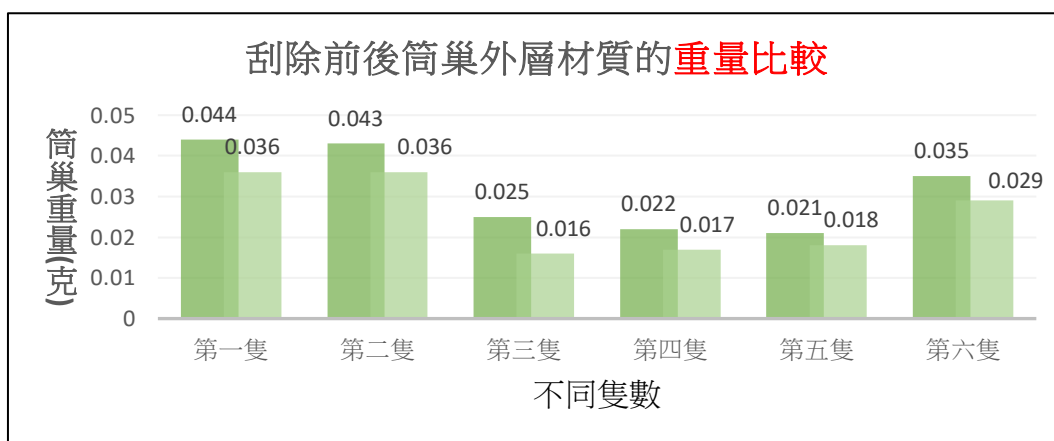


圖 14 刮除筒巢外層材質種類與重量比較統計圖

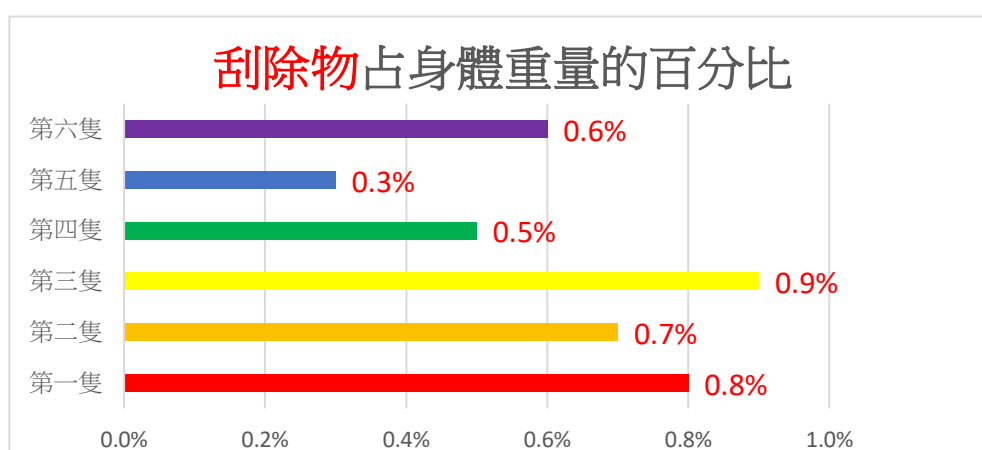


圖15 刮除筒巢素材後佔身體重量的百分比圖

發現與討論：

意外發現，整個筒巢的重量是非常非常輕的!縱使已經刮除大部分的筒巢外素

材，根據(圖15)刮除物佔身體重量的百分比只有0.3%~0.9%，加上中間絲的空氣原理，外在材質和蓑蛾絲構成的筒巢，對牠幾乎是沒有重量負擔的!

## (二)巫帽蓑蛾筒巢中層的結構

- 1.觀察筒巢厚厚的多層絲的保護層
- 2.撥開筒巢後的絲層，以x200倍顯微鏡拍攝

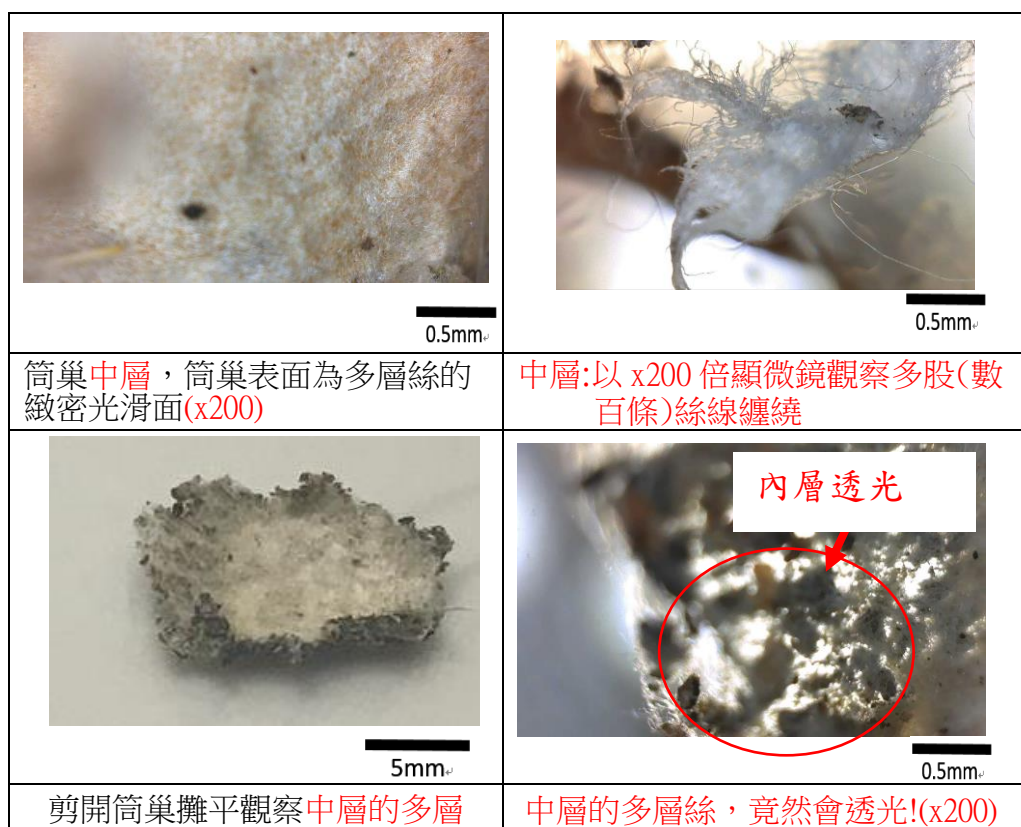


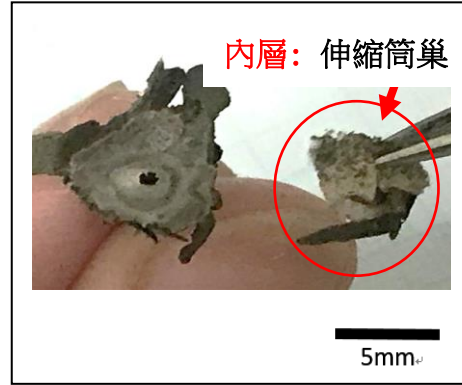
圖16 筒巢(中層)具有厚的多層絲

### 實驗結果：

中層為多層絲的光滑結構，用 USB 顯微鏡在光源下拍攝，竟然具透光性，推測牠在筒巢內可以察覺外在環境! 中層(外筒巢內側) 為多層絲的光滑結構，具透光性。厚度僅達 1mm 而已。顯微卻拍到「多股」上百層絲線纏繞，內部光滑。更重要的是冬暖夏涼!巫帽蓑蛾的絲具有韌性，可以單點懸絲固定，還有在撥開觀察實驗，小小一公分的筒巢竟然剪刀剪不動，費了好大功夫才撥開，畢竟上百層的緻密絲層，真的值得再深入研究。

(三) 巫帽蓑蛾筒巢內層的結構

1. 觀察筒巢的伸縮筒巢口的結構。
2. 撥開筒巢口後的絲層，以x200倍顯微鏡拍攝。



發現與討論：

巫帽蓑蛾筒巢筒口，內層結構主

要有禦敵，伸縮絲層非常厚，當封口時，具有保暖效果再升級的效果。意外發現當，遇到驚嚇會立刻封口，但是，整個伸縮絲層變成錐狀厚到約筒巢的三分之一時(如下圖)，倒掛，懸絲呈現蜘蛛網的圓盤狀牢牢固定在樹幹或欄杆上，這是判別化蛹的重要特徵。



表8 筒巢三層結構材質分析結果：

層數	第一層(外層)	第二層(中層)	第三層(內層)
材質	苔蘚、茶花樹芽的大木屑、安山岩粒、咬碎的葉面、地衣	絲(較濃厚、細密、多層)化蛹時層層包裹著蛹	絲(具伸縮性的筒巢口主要禦敵(保護作用和封口效果))
外形構造	外層絲纏繞著許多苔蘚、木屑、落葉、大量安山岩以及大量多股絲線纏繞而成。	中層(外筒巢內側)為多層絲的光滑結構，事由非常細的絲，一層一層，薄又透光的結構。	化蛹前期筒巢口的絲層非常飽滿，一個月後筒巢口漸漸脫水，呈顯準備破蛹狀。



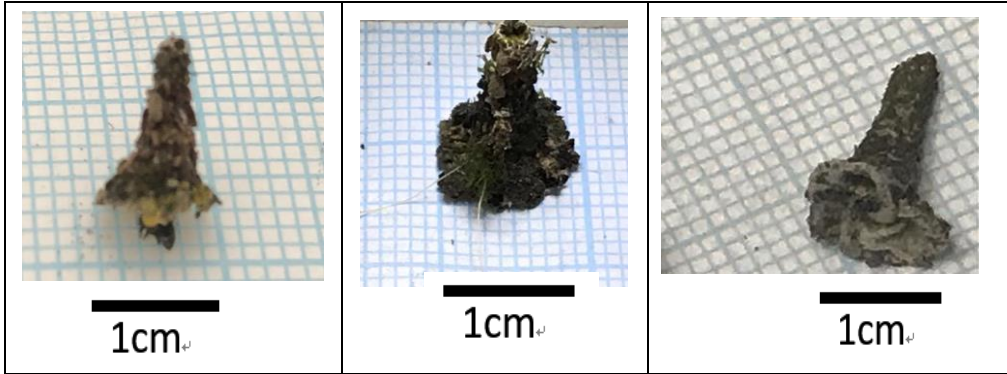
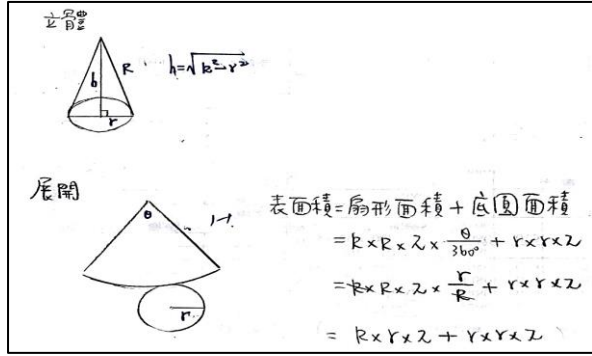
三、測試與模擬筒巢表面積與頭部移動模式，了解筒巢移動與筒巢結構與特殊運動力學有關。

(一)計算筒巢表面積

1.以方格紙測量與觀察巫帽蕨

蛾頭部移動和圓錐筒巢之間的關係。

2.以Ruler App在固定的距離、高度下測量筒巢的圓錐的高和底圓直徑長度，計算出圓錐表面積，做統計分析。



圖二十五:以方格紙測量圓錐筒巢之間的關係

圓錐:圓錐有一個圓形的底面（或簡稱底）和一個側面，它的側面是曲面，頂點到底面的距離，稱為圓錐的高。



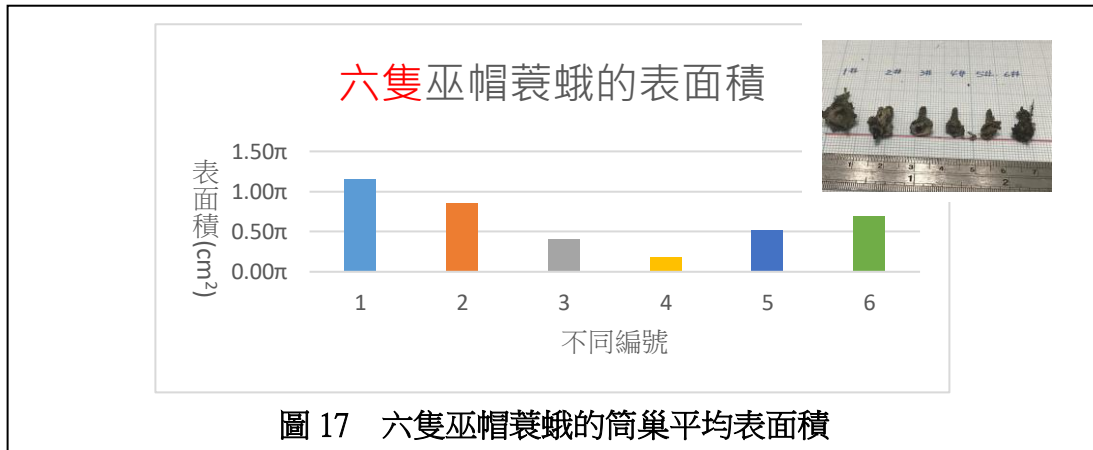
表9 計算六隻的筒巢的重量(微量天平)

不同筒巢	第一隻	第二隻	第三隻	第四隻	第五隻	第六隻
重量:g	0.044	0.043	0.025	0.022	0.021	0.035

表10 計算六隻的筒巢圓錐表面積

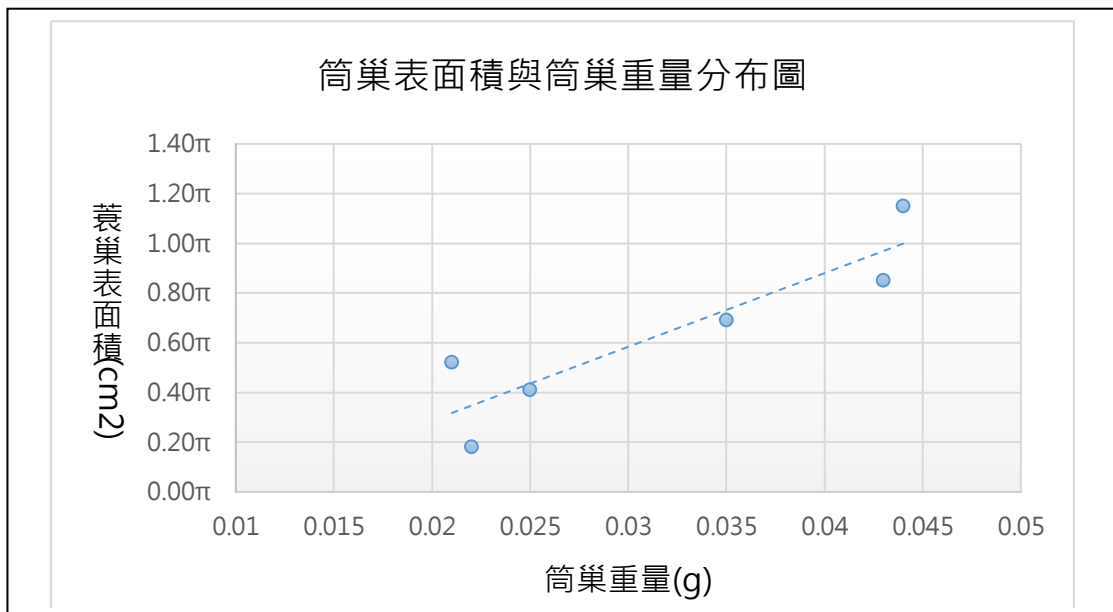
單位:cm R=直徑H=高	第一隻R	第一隻H	第二隻R	第二隻H	第三隻R	第三隻H	第四隻R	第四隻H	第五隻R	第五隻H	第六隻R	第六隻H
第一次	1.31	1.43	1.1	1.01	0.64	1.17	0.68	1.12	0.74	1	0.73	1.63
第二次	1.44	1.51	1.05	0.94	0.59	1.11	0.68	1.32	0.65	0.97	0.63	1.43
第三次	1.25	1.6	1.09	0.98	0.54	1.31	0.7	1.15	0.84	0.91	0.53	1.56
第四次	1.28	1.54	1.05	0.95	0.44	1.14	0.9	1.09	0.74	1.07	0.89	1.26
第五次	1.34	1.37	1.14	1.1	0.43	1.1	0.77	1.04	0.85	1.03	0.88	1.36
平均	1.11	1.49	1.09	1	0.53	1.17	0.75	1.14	0.76	1	0.73	1.45

不同筒巢	第一隻	第二隻	第三隻	第四隻	第五隻	第六隻
R (底圓半徑)	1.11cm	1.09 cm	0.53 cm	0.75 cm	0.76 cm	0.73 cm
h(高)	1.49 cm	1 cm	1.17 cm	1.14 cm	1 cm	1.45 cm
計算出表面積 單位 $\text{cm}^2$	$1.15\pi$	$0.85\pi$	$0.41\pi$	$0.18\pi$	$0.52\pi$	$0.69\pi$



實驗結果：

實驗發現，全部三齡幼蟲的巫帽蓑蛾筒巢表面積差異很大。巫帽蓑蛾重量與巫帽蓑蛾的表面積、重量和表面積統計圖表趨勢大致相同。



用筒巢的重量與表面積作圖，發現一條 X 軸一條 Y 軸，呈現正比的趨勢，分析筒巢與表面積的關係，主要在推論筒巢的重量愈重，表面積愈大，兩者所測得的結果，趨勢大致相同。



(二) 測量巫帽蓑蛾頭部轉動角度

1. 觀察近百隻移動時錄影、拍照時頭部轉動角度

2. 以 Measure 軟體進行測量角度(精準的電腦量角器)



移動一步時，需整個筒巢抬起上下移動，轉動幼蟲頭部來撐起整個筒巢。

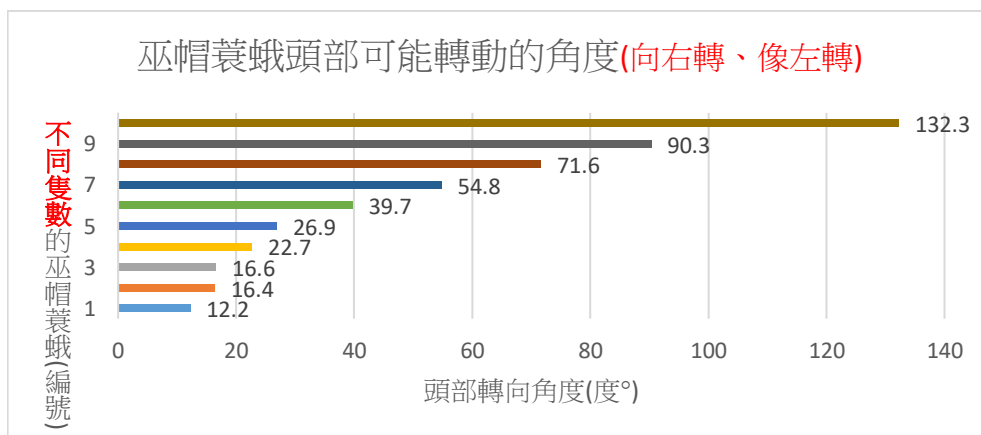
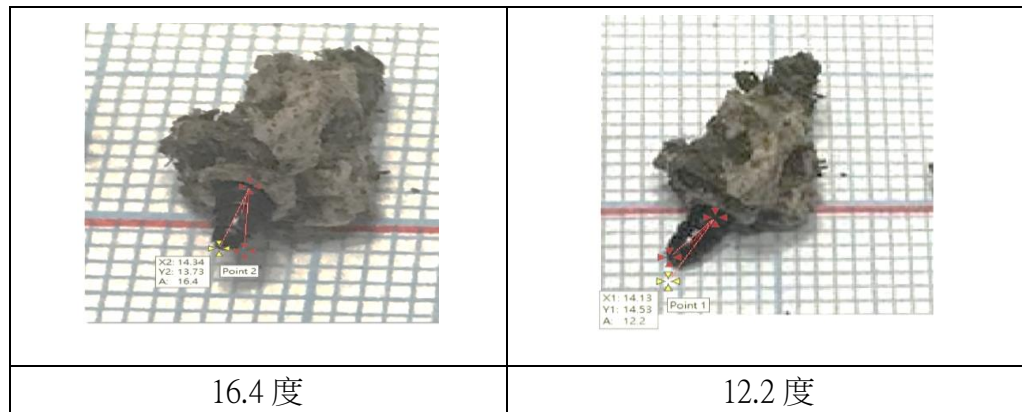
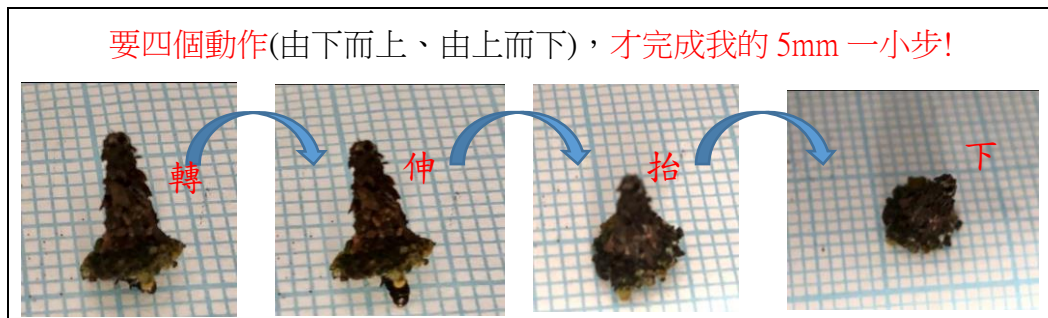


圖 18 巫帽蓑蛾頭部轉動方式之測量結果

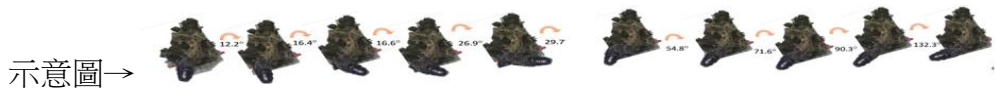


圖19 不同的頭部轉動角度(以Meazure軟體進行測量角度)

實驗結果：以觀察十隻不同巫帽蓑蛾頭部轉動時發現，一有風吹草動，立刻就縮回筒巢內，牠轉動的速度非常緩慢，有時很難判別，先拍照、錄影再用Meazure軟體進行測量角度，發現巫帽蓑蛾左右邊都會轉動，以測量到最小12.2度、最大132.3度，**角度愈大移動愈快。**

#### 四、研究筒巢三層結構與圓錐形的優勢，了解在日常生活中的應用性。

##### (一)保暖實驗

- 1.將綠豆加熱，塞入空蓑筒巢，測量保暖較果。(約35°C)
- 2.將巫帽蓑蛾冰鎮在冰上五分鐘(0.8°C，模擬陽明山下雪)
- 3.回溫每五分鐘測量，到三十分鐘後，以溫度計測溫測量筒巢內溫度。

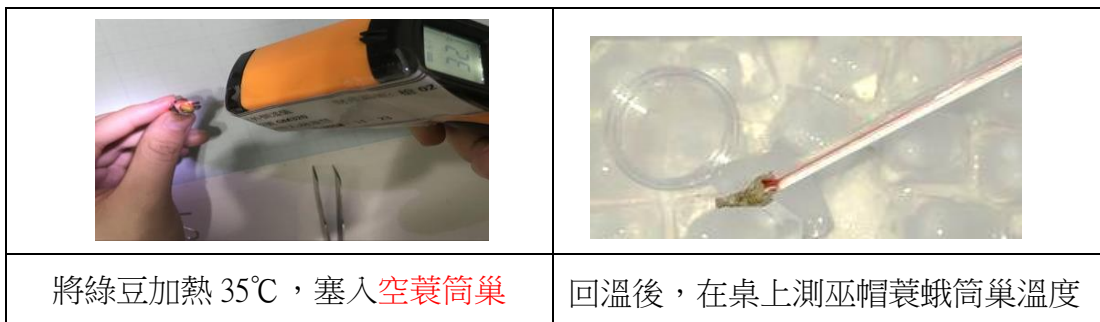


圖20 巫帽蓑蛾保暖實驗實測圖

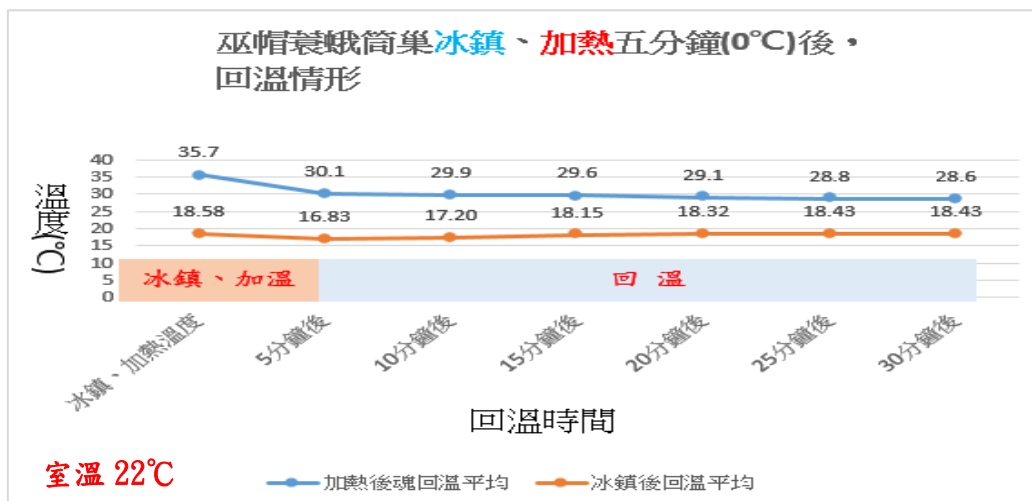


圖21 巫帽蓑蛾回溫折線圖

實驗結果：

實驗時，發現冰鎮和加溫後的回溫溫度變化不大，一度懷疑是否冰鎮時間過短，所以，拿化蛹後空的筒巢再試冰鎮，冰五分鐘、冰十分鐘、冰十五分鐘、冰二十分鐘、冰二十五分鐘、冰三十分鐘後，結果識字顯示差異都不大!**我們大膽假設，筒巢幾乎接近絕緣體，根本冷傳不進去筒巢內部。保暖實驗，熱綠豆像暖暖包，測到的回溫30分鐘，一樣沒有熱能的進出反應。**

(二) 巫帽蓑蛾筒巢防水實驗

- 1.撥開筒巢，以注射針筒滴一滴清水，進行接觸角的分析。
- 2.以Meazure軟體進行測量角度分析。


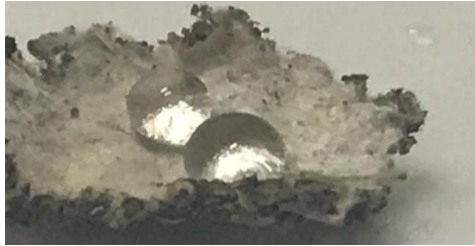

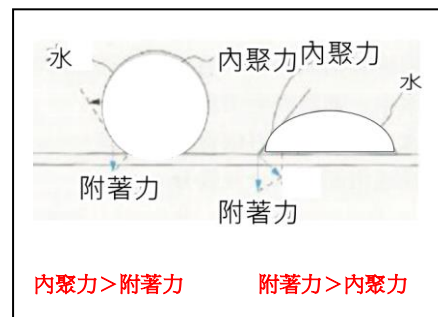
	
筒巢內層防水佳	筒巢外層也有防水
	
筒巢中層 <b>內聚力大於附著力</b>	塑膠墊上水滴 <b>附著力大於內聚力</b>

圖22 巫帽蓑蛾筒巢防水、水滴接觸角實驗

實驗結果：

實驗筒巢內層和外層的滴水實驗，發現，筒巢內層防水，因為內聚力大於附著力所致，表示筒巢內、外都是具有表示筒巢內、外都是**具有蓮葉效應，具有疏水性和自潔性的效果。**所



以，靜置長達一小時，水珠保持圓滾滾的!完全沒有被吸收!也證實了疏水性。

### 蓑蛾「絲」韌性測試

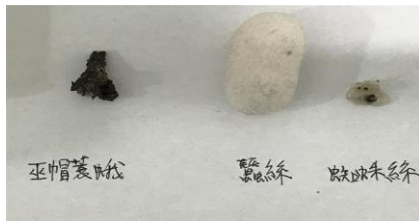


圖 23:以蓑蛾絲、蠶絲、蜘蛛絲，在雙手固定下，測韌性實驗

#### 實驗步驟

1. 先準備三種絲，各10公分測試絲數條
  2. 抓緊(蓑蛾絲、蠶絲、蜘蛛絲)的兩端
  3. 掛上不同克數的砝碼，直到斷裂為止。
- 來比較絲在抵抗伸長變形的能力及斷裂。

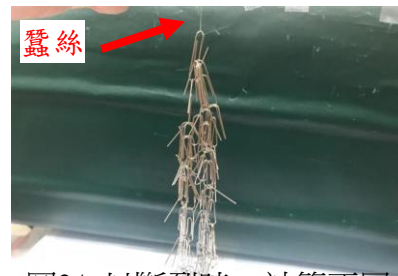
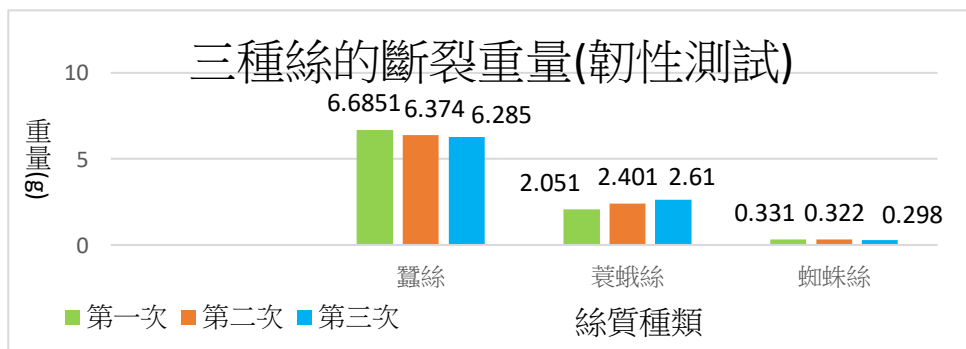


圖24 以斷裂時，計算不同迴紋針重量實驗結果

以 10 條可承受重量(g)進行實驗(1 條絲=10 條/10)可承受重量(g)			
1 條絲測試次數	第一次	第二次	第三次
蠶絲	6.6851	6.374	6.285
蓑蛾絲	2.051	2.401	2.61
蜘蛛絲	0.331	0.322	0.298

為了瞭解絲在受到拉力時，絲在彈性範圍內及塑性範圍內，抵抗伸長變形的能力及斷裂的特性。雖然全部都是動物的絲蛋白的韌性測試:

結果以:蠶絲韌性〉蓑蛾絲韌性〉蜘蛛絲韌性





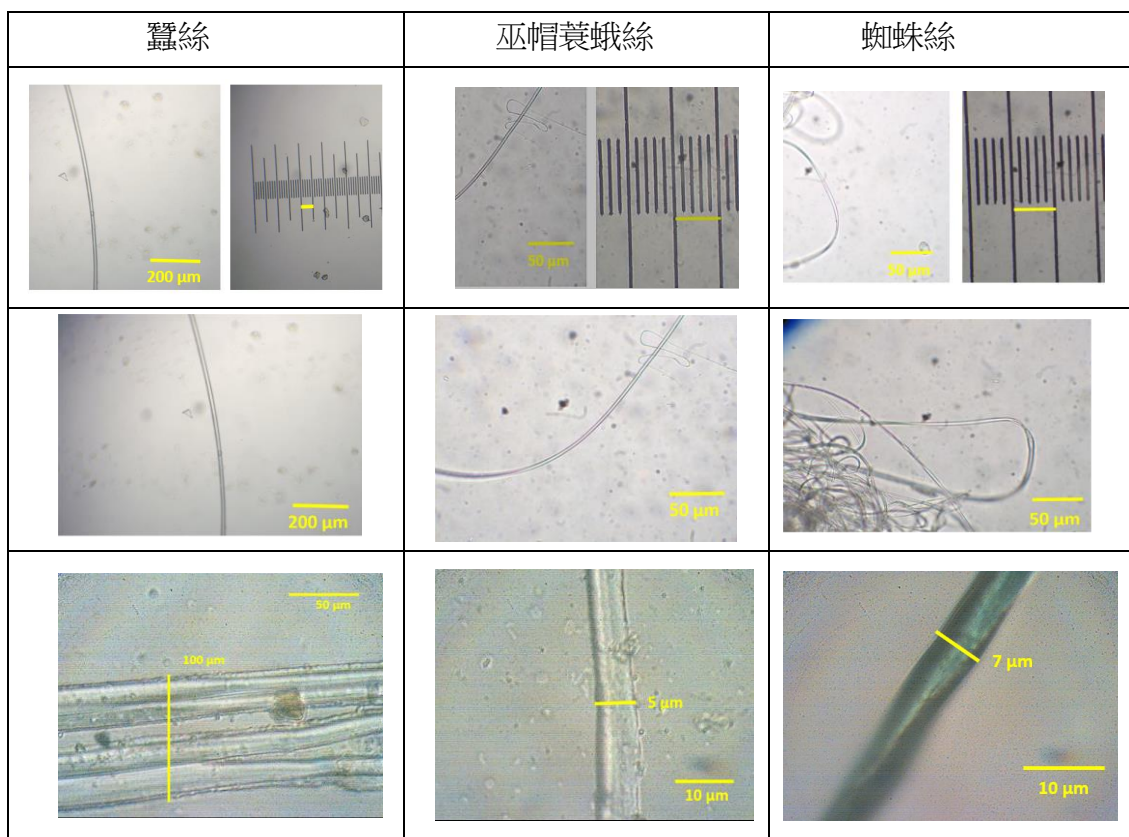


圖26蠶絲、巫帽蓑蛾絲、蜘蛛絲三種絲的顯微結構、大小比較圖

實驗結果:

蠶絲為雙股螺旋不斷纏繞的結構(已煮過熱水30分鐘)，是三種絲中最粗的，而最細的是巫帽蓑蛾絲(已浸泡過溫水30分鐘)，蜘蛛絲可能受到品種的差異，目前測量結果韌性最差。以截面積來說，四條蠶絲截面積( $100\mu m$ )是一條巫帽蓑蛾絲截面積( $5\mu m$ )的四倍。蓑蛾絲( $10\mu m$ )非常細，可以讓中層摸起來更滑順，數千根絲讓筒巢，其韌性可以類比是昆蟲界的防彈衣，未來若有機會對整個筒巢韌性做比較，會比顯微結構螺旋的蠶絲更強韌。

(四)自行設計筒巢保暖、防水、防風測試實驗，圓錐形的優勢，

期待結合仿生運用與應用在生活中的可行性。

- 1.嘗試以生活中常見的文具或植物，模擬筒巢進行堆積。
- 2.期待依圓錐的高和底圓直徑長度，進行堆積。
- 3.從實做中，創作出可行的生物仿生。

實驗結果：

### 動手做一，堆積圓錐形

動手做，才發現圓錐形，好難堆，我們試了各種線，勉強做成類似圓錐、有些已經成角錐了！

根本不可能依照圓錐的高和底圓直徑長度，進行堆積！



### 動手做二，仿巫帽蕨蛾圓錐形及三層結構

動手做，根據研究巫帽蕨蛾圓錐形及三層結構的結果，以不同布料仿做三層不同的結構，試做看看保溫效果，結果在零度的冰塊上半小時，能維持在 16~18 度之間。

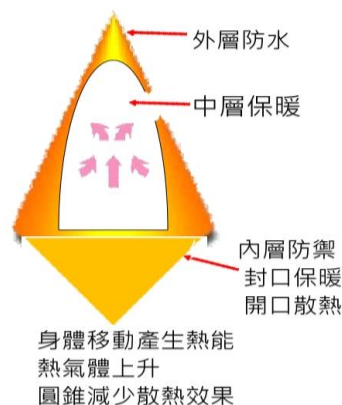


圖 28 手縫、設計筒巢巫帽蕨蛾圓錐形及三層結構



圖 29 可以仿巫帽蕨蛾的仿生運送箱

未來展望:根據以上實驗發現巫帽蕨蛾的筒巢具有**保暖、防水和輕巧**等特性，目前發想是想，用在求生毯、建築、家具、禮品包裝、商品運送等……



## 伍、研究結果

- 一、大屯火山巫帽蓑蛾的生活史、生態環境、生物行為與生態調查。自行觀察與飼養，發現每年 2~3 代，幼蟲時間最久，幼蟲會經歷不同筒巢的三個階段。年中發現到巫帽蓑蛾數量分布，以七、八月最少，以十二月到三月為例，四月春暖花開，數量多!牠的筒巢外的素材有大量的絲，包覆著苔蘚、木屑、落葉、安山岩粒。大量的具刺狀苔蘚、貌似鳥糞的偽裝行為，藉模擬以阻嚇天敵，防衛自己。對比的與台北市平地(士林區、大安區)地區，不同地區的巫帽蓑蛾有很大差異(三層結構都不同)。
- 二、巫帽蓑蛾一生都離不開筒巢，筒巢的重要性可想而知。我們以顯微鏡一一拆解每三層結構，發現外層可以偽裝、中層保暖、外層禦敵，每一層都有著特殊功能。
- 三、用微量天平發現筒巢表面積與重量呈現一定的趨勢，頭部左右轉動的角度與移動有關，這些筒巢結構與物理量有相關。
- 四、以疏水性來探討不透水與自潔效應，研究筒巢三層結構與圓錐設計的原理、絲的韌性，期待應用在日常生活中的可行性。

## 陸、討論

- 一、蜘蛛絲被稱之為世界「最強」的生物纖維，今天部分防彈衣、醫療用品及航天材料或已使用了蜘蛛絲混合製成。不過原來還有比蜘蛛絲更堅韌——蓑蛾絲。研究發現，每條蓑蛾絲雖然只有 0.01mm(10 $\mu$ m)，但堅韌非常。比蠶絲要細四倍，還要比大腹園蛛的蜘蛛絲堅韌 2 倍，基本數值等全都比蜘蛛絲要優勝。期待，未來能更深入進行韌性相關實驗，尤其是數據的呈現部分。
- 二、巫帽蓑蛾食用土馬駱，筒巢有土馬駱的蒴，筒巢沾土馬駱的蒴，造型奇特!發現，苔蘚類植物，不僅是牠的食物、也是牠築巢的材料。





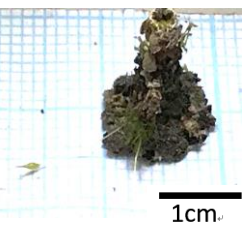

圖 30 :正在咬食土馬駱的蒴

三、這一年的研究，我們觀察了上千棵灌木、喬木，我們**試著假設**牠會有相同的選擇寄生植物，**也試著歸納出**:莖有濃郁香味、太過光滑的樹皮、深裂粗糙樹皮，無論在平地或大屯火山區，都找不到任何巫帽蓑蛾的蹤跡；相反的，牠愛寄生在茶花樹、杜鵑花、朱纓花、七里香.....等，樹枝上的枝芽茂密的灌木植物；喬木要莖部必須容易多青苔的植物，牠愛寄生在杜英、鳳凰木和松樹.....等，喬木必須莖部一年四季都有苔蘚類、地衣寄生，才容易發現牠的蹤跡。

#### 四、大屯火山巫帽蓑蛾和平地巫帽蓑蛾之差異

大屯火山(山區)蓑殼多苔蘚類、石頭、茶花芽、大量絲纏繞在筒巢外，體型小(1公分以下)；平地筒巢沒有苔蘚類、樹皮，體型較山區大(1公分以上)，絲量較少。

表 11 大屯火山(山區)、士林區(平地)、大安區(平地)巫帽蓑蛾

地點	杜鵑茶花園	士林區公園	大安區台灣大學
苔蘚類種類與比例(植物莖部)	苔蘚類種類多達數十種，每棵植物莖部 <b>超過一半面積被寄生</b>	苔蘚類種類十種以下，每棵植物莖部 <b>少於一半面積被寄生</b>	苔蘚類僅在冬天、雨季出現，很少植物莖部 <b>有被寄生</b> 的情形
棲息植物物種	<b>各品種的茶花樹、杜鵑</b>	<b>鳳凰木、朱纓花</b>	<b>杜英</b>
觀察到數量	約 70 隻	約 20 隻	約 5 隻
巫帽蓑蛾 (實際棲息植物莖部)			
在顯微鏡×200倍 USB 下特寫			

## 柒、總結

一、大屯火山巫帽蓑蛾生活史可以分成四期、本研究依筒巢的形狀與大小，粗

略分成三齡、一年中都可以發現到巫帽蓑蛾，數量分布以十二月到四月最多!牠的筒巢外層的素材有大量的絲，包覆著苔蘚、木屑、落葉、安山岩粒。**具刺狀苔蘚、貌似鳥糞的偽裝行為，藉由偽裝來防衛自己。**

二、筒巢內、中、外部結構及伸縮巢口:外層材料選擇陽明山當地苔蘚類為主、咬碎的葉面；中層有多達百層的細絲纏繞，光滑又保暖，還有伸縮巢口絲質的**內層具可遮蔽的巢口具禦敵作用。**

三、筒巢表面積與重量有一定的趨勢，越大隻筒巢越大重量越重，頭部移動模式功能發現，每一隻的筒巢表面積差異很大，頭部移動角度以測量到最小12.2度、最大132.3度，角度範圍很大，會向右轉、向左轉，頭部角度越大，移動速度愈快。測試筒巢保暖、防水、韌性測試結果數據都非常好，三項測試結果與生態調查契合，數據方面都展現面對特殊環境的生命力。

**未來展望** 三層不同結構的**蓮葉效應、保暖，伸縮巢口防衛和保暖兼具散熱；圓錐的蓑巢設計的原理:保暖、輕巧、安全，都是可仿生的方向。**粗略找出筒巢特殊圓錐和三層結構非常具仿生的潛力。

## 捌、參考資料及其他

- 1.中央研究院生物多樣性研究中心(2000)。臺北市：國產的避債蛾簡介。
- 2.熱帶作物學報(2008)。CHINESE JOURNAL OF TROPICAL CROPS.29.5。
- 3.行政院農業委員會臺中區農業改良場(2010)。中部地區經濟竹類病蟲害圖說。臺北市：行政院農業委員會。
- 4.陽明山國家公園 (2017)。陽明飛蛾-陽明山賞蛾。臺北市：陽明山國家公園。



圖 31 內政部營建署陽明山國家公園管理處採集證明

## 【評語】 030319

學生針對陽明山域的巫帽蓑蛾進行長期的調查與追蹤，其耐心非常值得鼓勵。模仿巫帽蓑蛾的三層圓錐結構所製作的仿生結構可能具有保溫特性，這個發現應該有機會廣泛運用，但是圓錐形狀對於保溫效果是否有貢獻，則需持續研究。



# 壹、研究動機

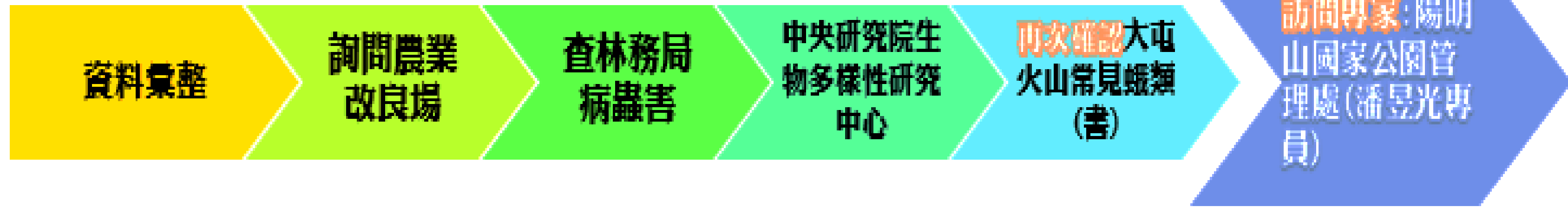
我們到大屯火山爬山，竟然發現在大屯火山的樹林旁的石欄杆上，有一頂小帽子緩慢的移動著，經不同單位協助，確認為巫帽蓑蛾，我們想知道筒巢巢質的成分以及含有哪些建造的材料？並且希望將牠們建構的筒巢，應用在仿生科學上。  
(配合七下生物:地球上的生物、生態系；八下數學:幾何圖形；八下理化:力與平衡)

# 貳、研究目的

- 一. 大屯火山巫帽蓑蛾的生活史、生態環境、生物行為與生態調查。
- 二. 研究筒巢內、中、外部結構:材質、顯微結構，了解筒巢對於巫帽蓑蛾幼蟲，到化蛹、成蟲的重要性。
- 三. 測試與模擬筒巢表面積與頭部移動模式，了解筒巢移動與筒巢結構與特殊運動力學有關。
- 四. 研究筒巢三層結構與圓錐形的優勢，了解在日常生活應用性。

# 肆、研究方法與結果

因為目前找不到巫帽蓑蛾的相關文獻，所以，必須一再確認所發現蓑蛾品種。



## 大屯火山巫帽蓑蛾的生活史、生態環境、生物行為與生態調查。

### (一) 物種研究



巫帽蓑蛾 (Striglocyrbasia meguae)

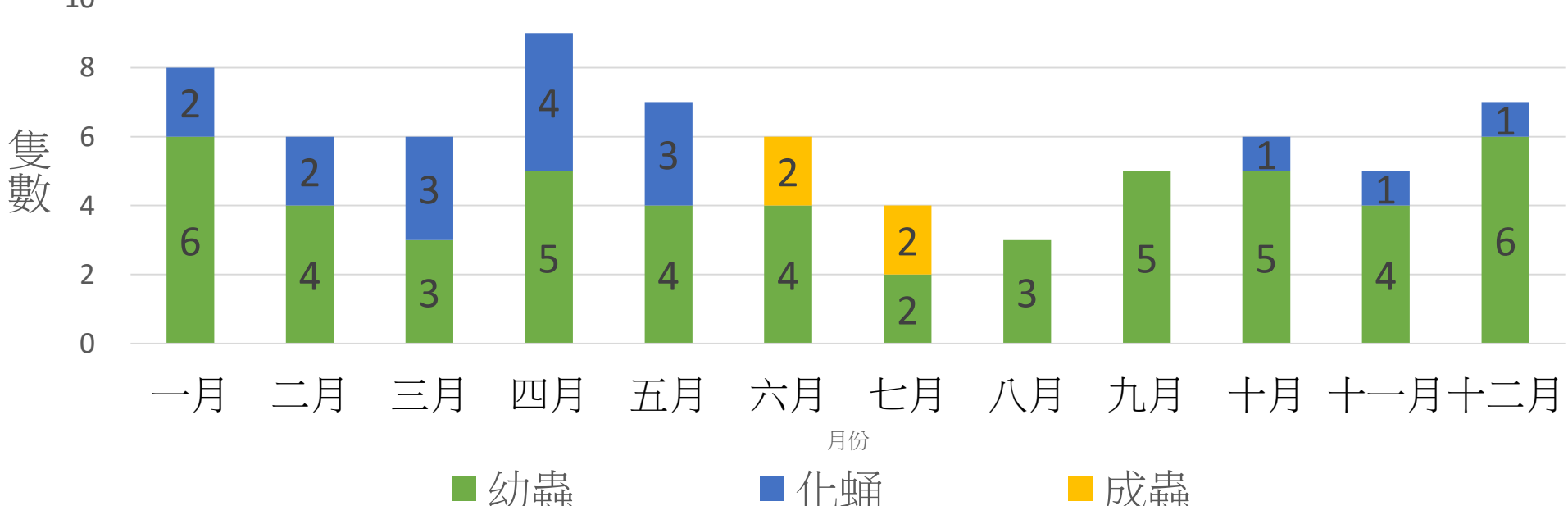
巫帽蓑蛾分布地圖 (來源:行政院農業委員)

大屯火山群巫帽蓑蛾	台灣其他區巫帽蓑蛾
蓑巢材質 苔蘚多、以及茶花樹芽的大木屑	蓑巢材質依當地環境就地取材
偽裝成鳥屎狀	幼蟲型態除了蓑巢的材質不同未發現有擬態現象
偽裝成樹枝狀	以刮取地衣為食，具保護色。

### (二) 大屯火山棲息地的特殊環境

採用穿越線調查法(Line transect):沿著產業道路步行探勘固定的路徑移動。實際的巫帽蓑蛾數量當然比觀察到的數值多更多。

一年中不同月份巫帽蓑蛾的不同分齡

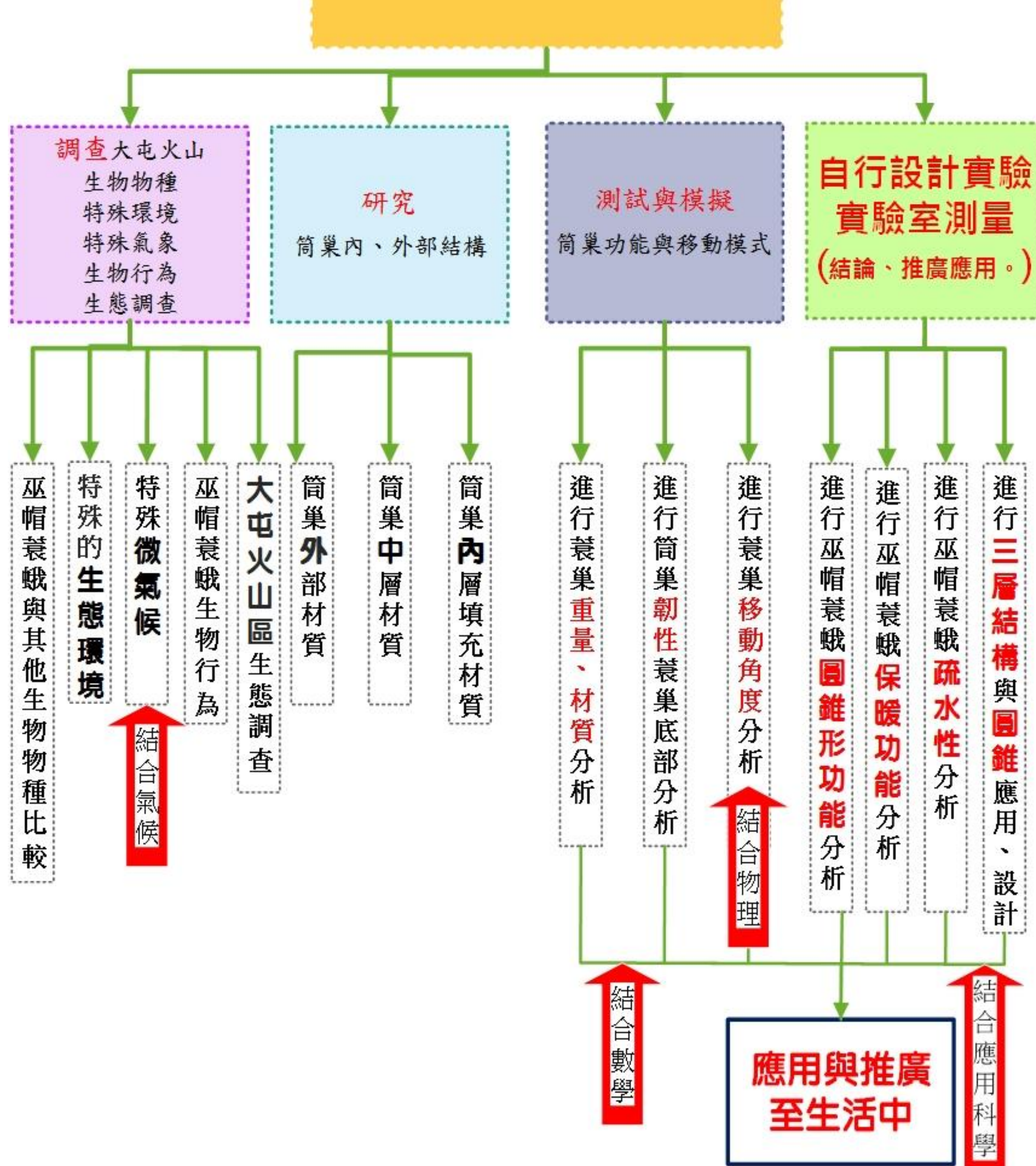


# 參、研究架構

## 動機

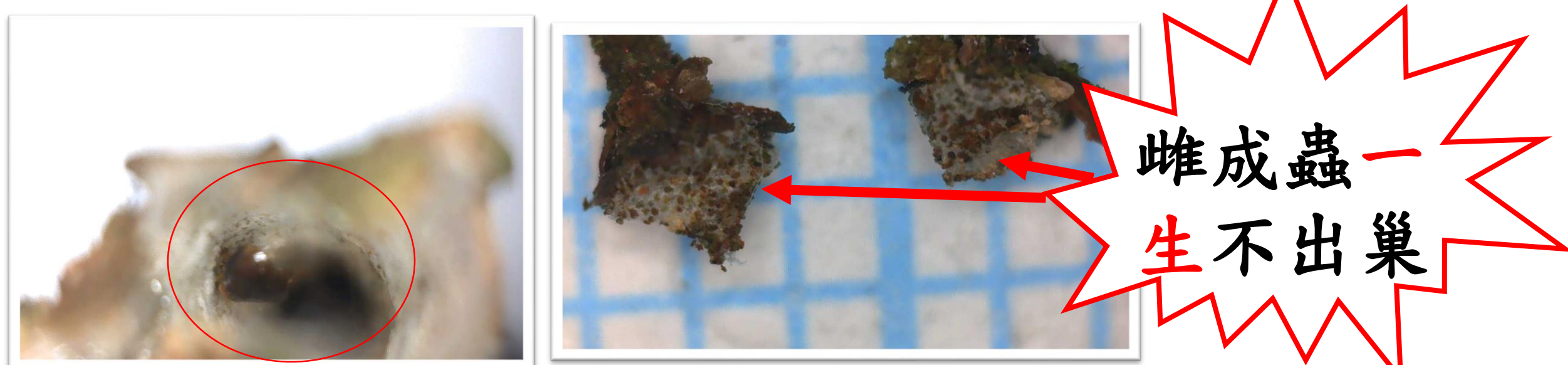
大屯火山的特殊環境，巫帽蓑蛾在此物種豐富的生態環境中，會孕育出多樣貌不同的特殊動物行為，更期待突破傳統只侷限在生物的研究，能應用生物特性的仿生，研究成果能廣泛運用到氣候、數學、物理、應用，跨學科的領域！

## 巫帽蓑蛾筒巢之研究

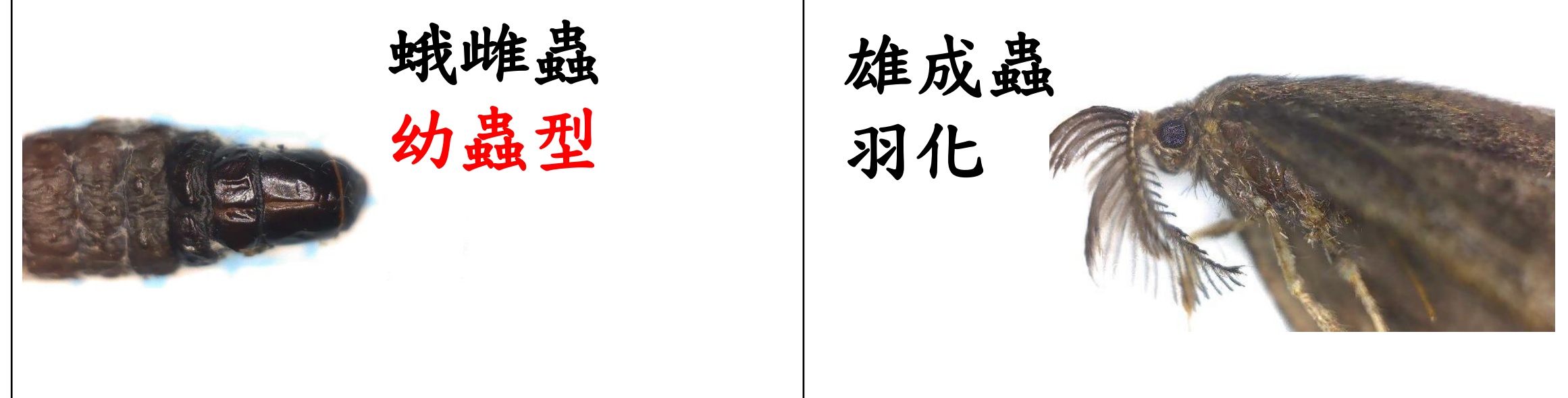


我們經過一年的生態調查與實驗室飼養，自行歸納發現大致的生活史歸納如下：

## 巫帽蓑蛾的生活史



巫帽蓑蛾雌蟲、雄蟲，具雌雄二型性。



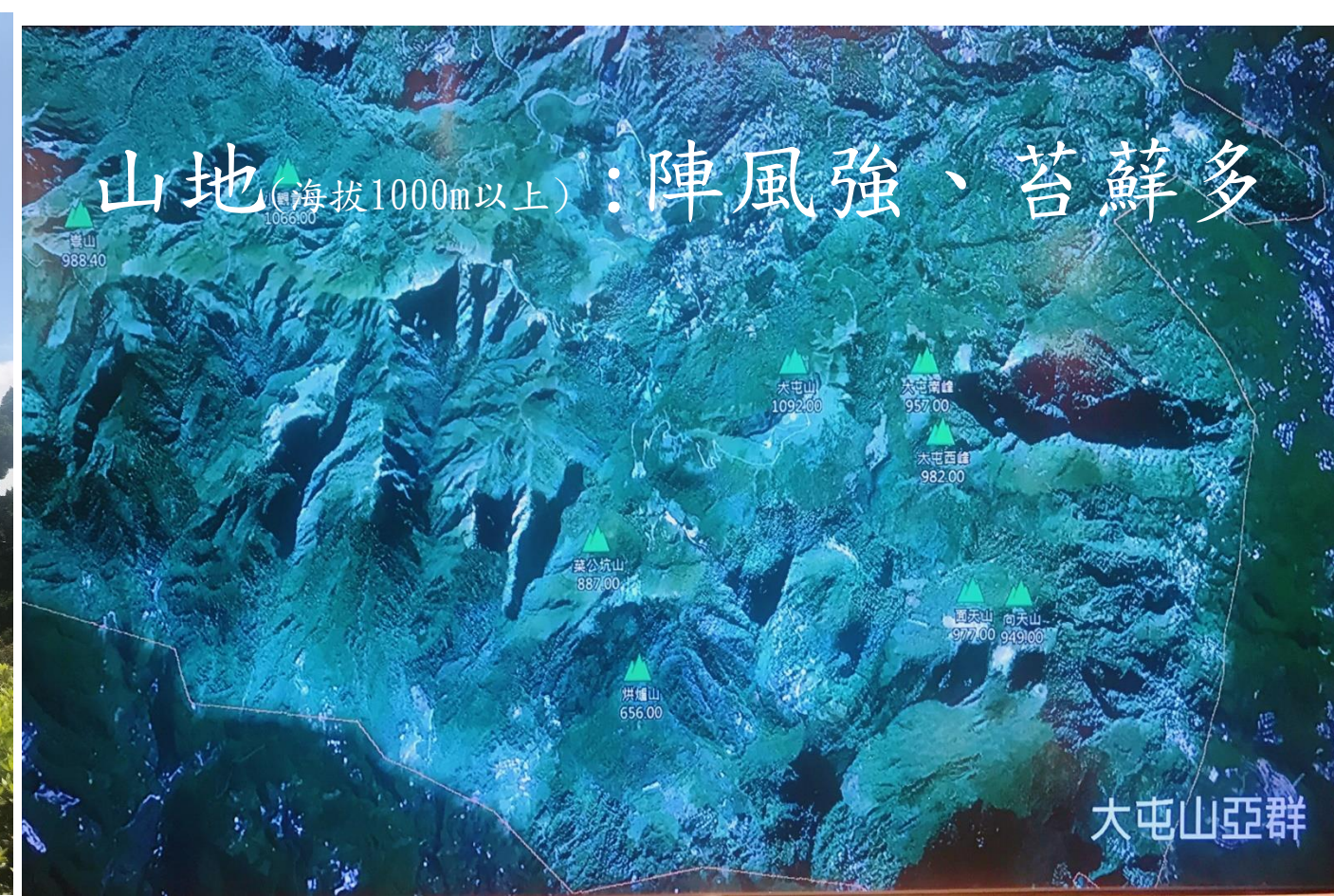


# 肆、研究方法與結果

## 大屯火山巫帽蓑蛾的生活史、生態環境、生物行為與生態調查。

### 調查結果：

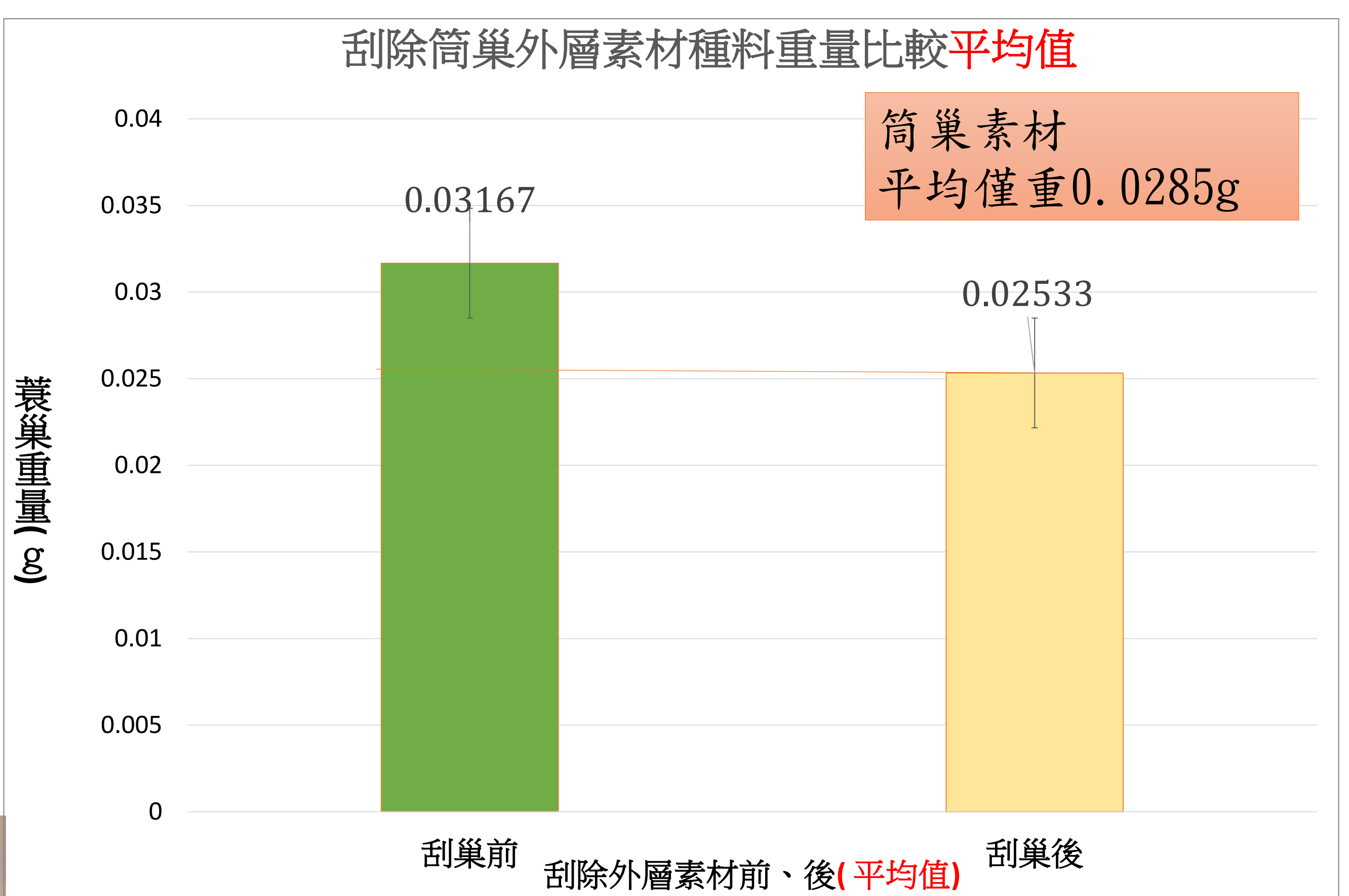
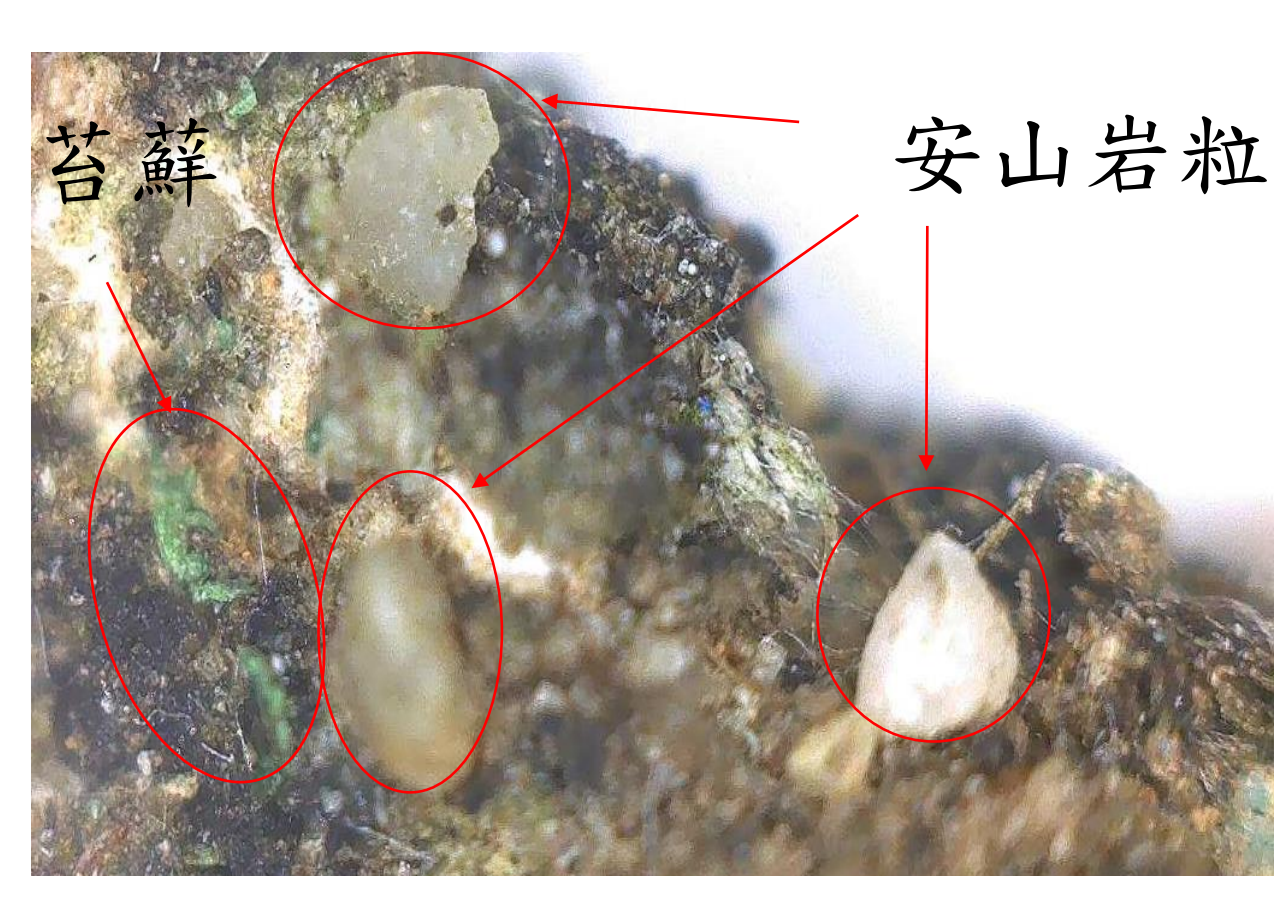
- (一) **物種研究：**  
生長季節和盛出期會受到氣候影響。
- (二) **發現地點的環境因子：**  
又溼又冷、陣風強、苔蘚多
- (三) **微氣候：背風面、山地起伏地形**與三山環繞的**緩坡地形**，使物種得以生存。



## 研究筒巢內、中、外部顯微結構、材質

### (一) 外層材質選擇

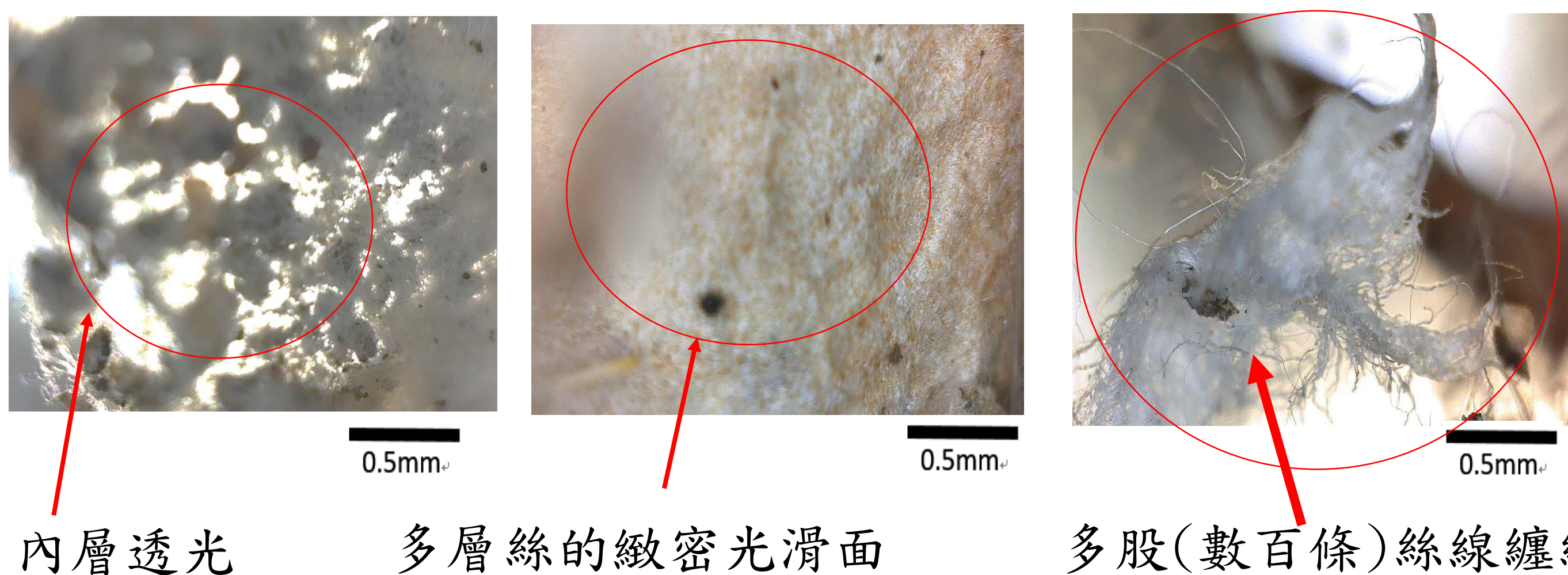
發現筒巢外材質有**安山岩粒**、**苔蘚**、**木屑**、**糞便**(x200倍USB顯微鏡)



### (二) 巫帽蓑蛾筒巢中層的結構

#### 實驗結果：

用USB顯微鏡在光源下拍攝，**具透光性**、「多股」**上百層絲線纏繞**，**內部光滑**。絲具有韌性，使筒巢竟然剪刀剪不動，值得再深入研究。



筒巢素材:佔身體重量,僅0.6%,平均不到1%!

**發現與討論：**  
意外發現，整個筒巢的重量是非常非常輕的!縱使已經刮除大部分的筒巢外素材，根據刮除物佔身體重量的百分比只有0.3%~0.9%(平均0.6%)，加上中間絲的空氣原理，外在材質和蓑蛾絲構成的筒巢，對牠幾乎是沒有重量負擔的!

### 筒巢三層結構材質分析結果：

層數	第一層(外層)	第二層(中層)	第三層(內層)
材質	苔蘚、茶花樹芽的大木屑、安山岩粒咬碎的葉面、地衣	絲(較濃厚、細密、多層)化蛹時層層包裹著蛹	絲(具伸縮性的筒巢口主要禦敵(保護作用和封口效果))
外形構造	外層絲纏繞著許多苔蘚、木屑、落葉大量安山岩以及大量多股絲線纏繞而成。	中層(外筒巢內側)為 <b>多層絲的光滑結構</b> ，是由非常細的絲，一層一層，薄又透光的結構。	化蛹前期筒巢口的絲層非常飽滿，一個月後筒巢口漸漸脫水，呈現準備破蛹狀。
圖片			



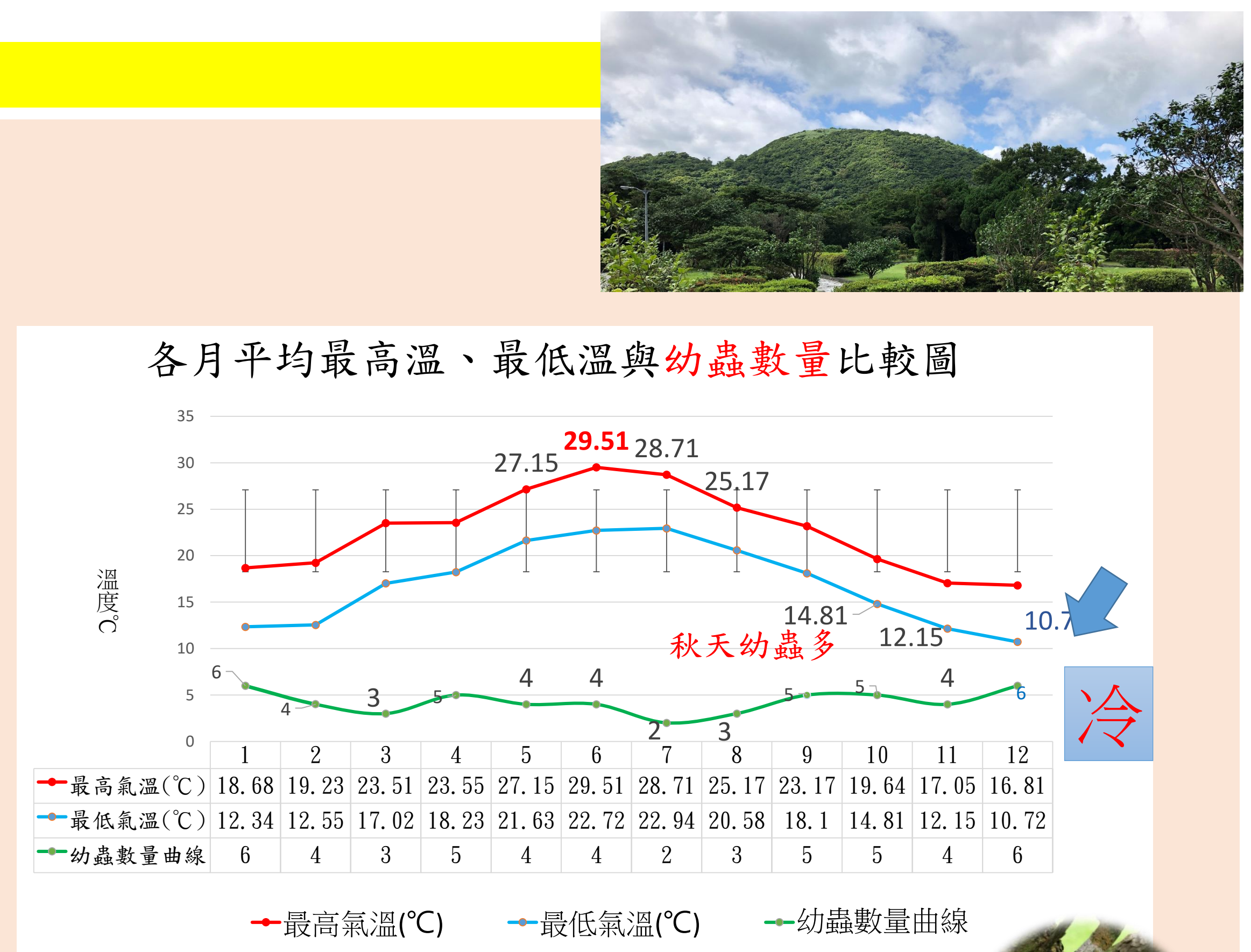
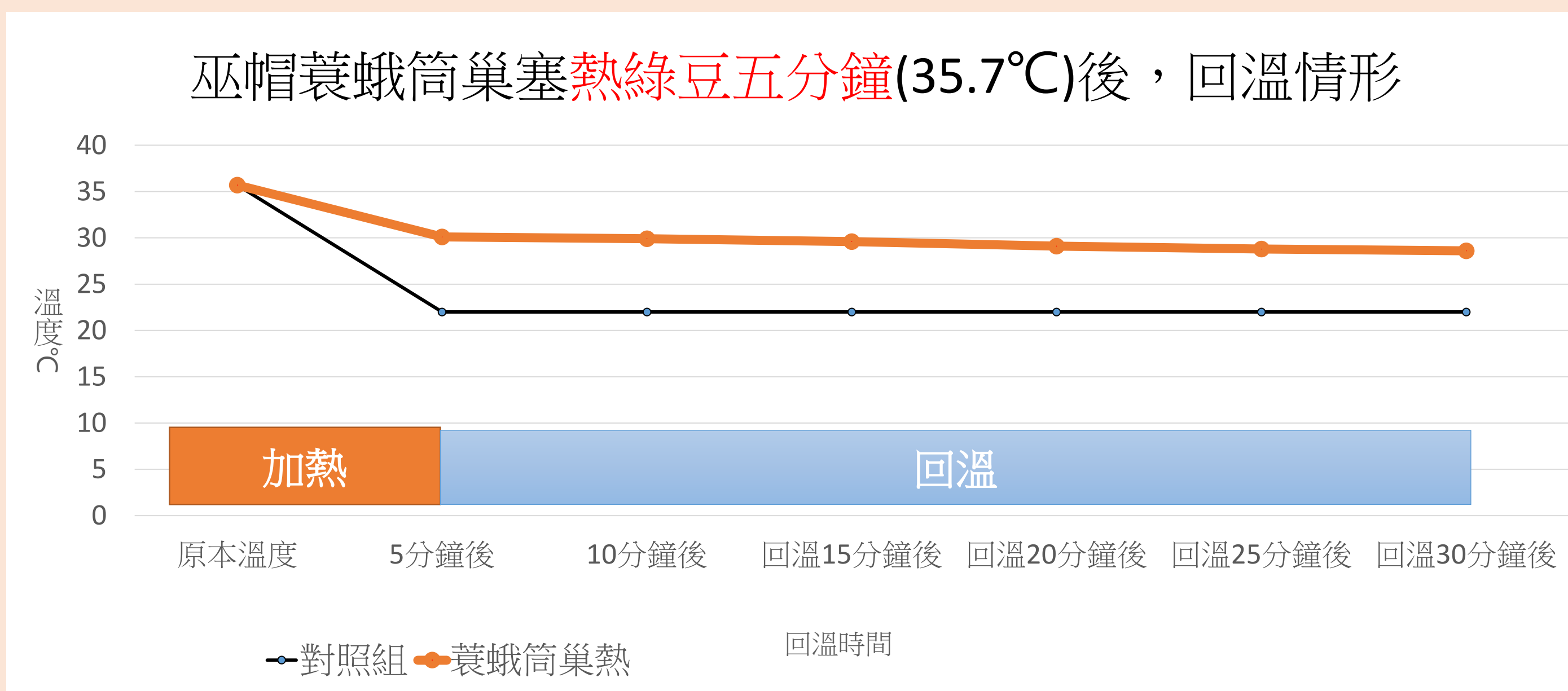
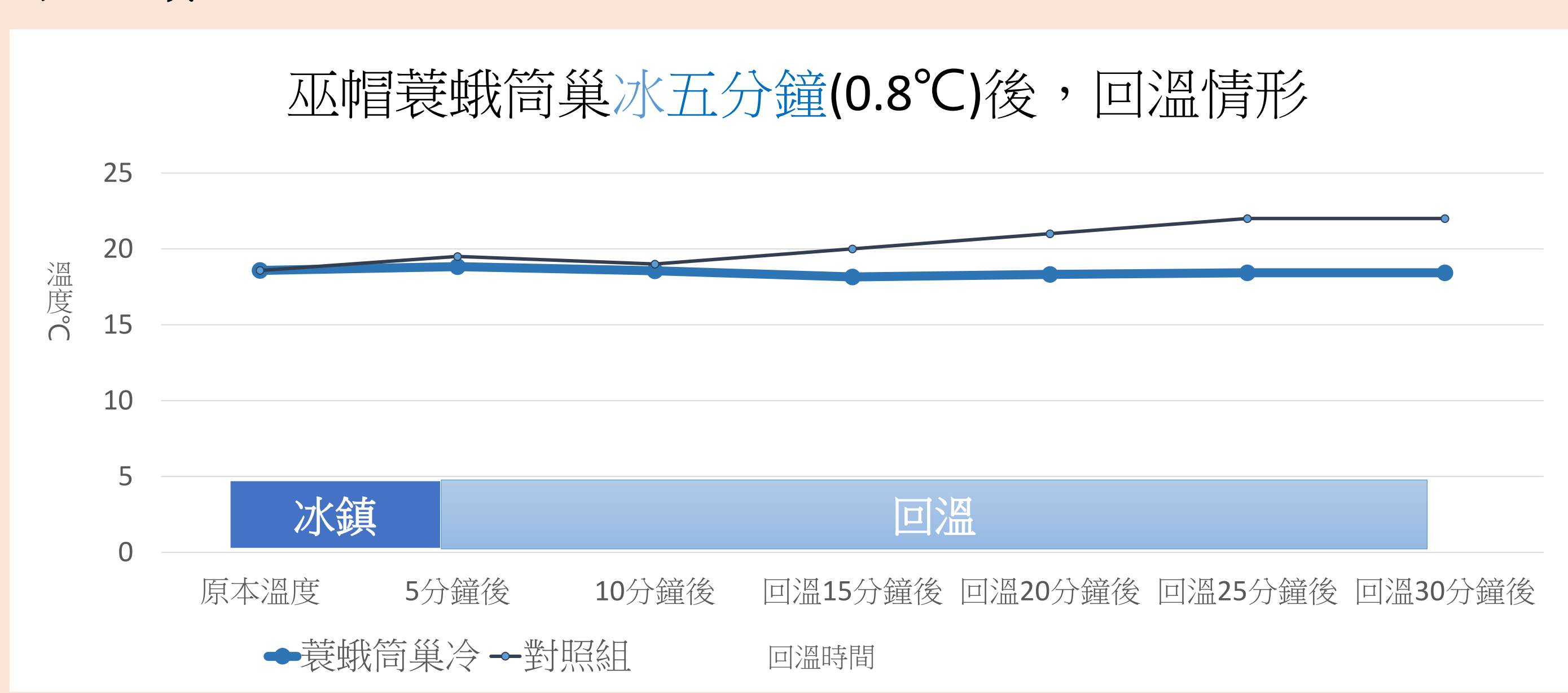
**發現與討論：**  
巫帽蓑蛾筒巢筒口，內層結構主要有禦敵，伸縮絲層非常厚，當封口時，具有保暖效果再升級的效果。



**發現與討論：**  
當封口時，具有保暖效果再升級的效果；開口時，具備抓風，全部灌進筒巢內。

## 研究筒巢三層結構與圓錐形的優勢，了解在日常生活中的應用性。

### (一) 保溫實驗



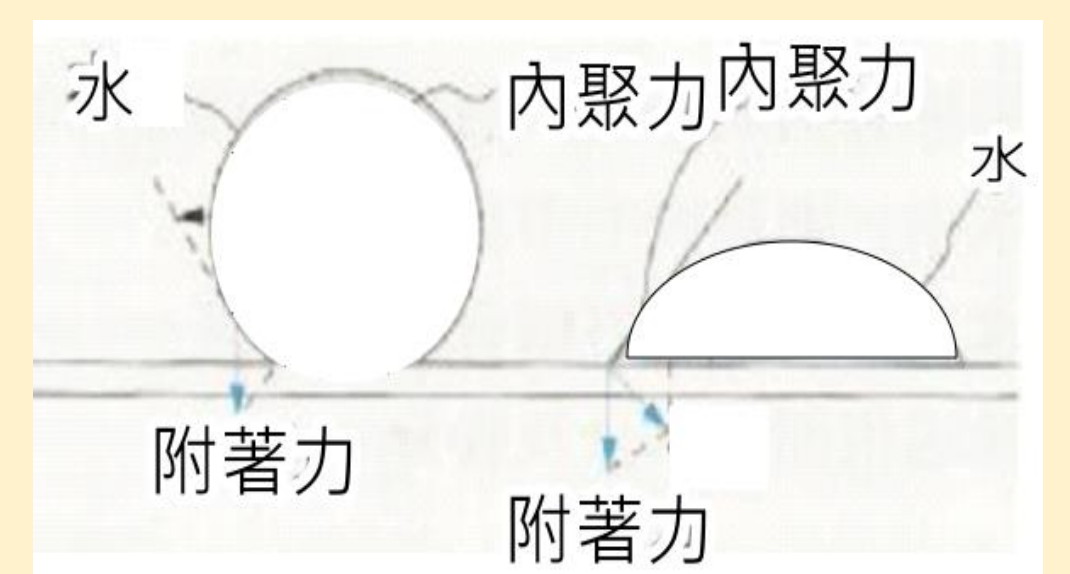
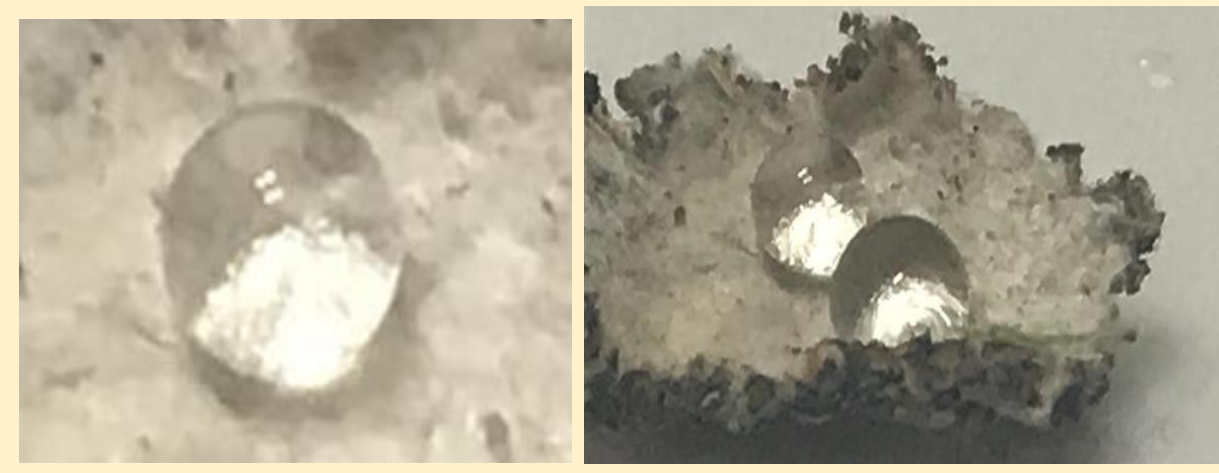


## (二) 巫帽蓑蛾筒巢防水實驗

實驗結果：

拿化蛹後空的筒巢再試冰鎮，冰五分鐘、冰十分鐘、冰十五分鐘、冰二十分鐘、冰二十五分鐘、冰三十分鐘後，結果數字顯示差異都不大！

我們大膽假設，筒巢幾乎接近絕緣體，根本冷傳不進去筒巢內部。保暖實驗，熱綠豆像暖暖包，測到的回溫30分鐘，一樣沒有熱能的進出反應。



實驗結果：

筒巢內、外都是具有表示筒巢內、外都是具有蓮葉效應，也證實了巫帽蓑蛾筒巢具疏水性和自潔性的效果。

內聚力 > 附著力 附著力 > 內聚力

## (三) 巫帽蓑蛾「絲」韌性測試

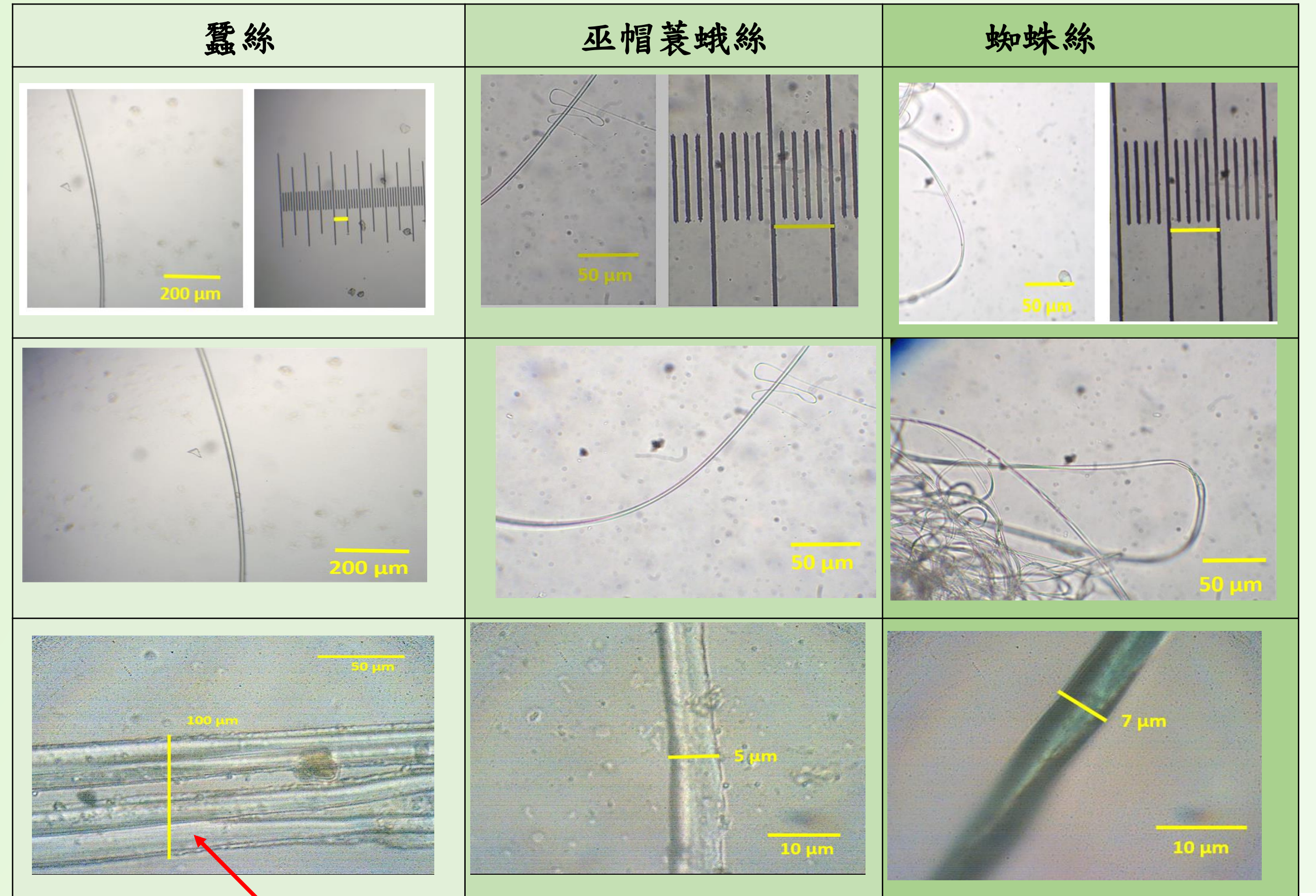
掛上不同克數的迴紋針，直到斷裂為止，來比較絲在抵抗伸長變形的能力及斷裂。

三種絲的斷裂重量(韌性測試)



結果: 蠶絲韌性 > 蓑蛾絲韌性 > 蜘蛛絲韌性

蓑蛾絲(10μm)非常細，可以讓中層摸起來更滑順，數千根絲讓筒巢，其韌性可以類比是昆蟲界的防彈衣。



三種絲的斷裂重量(韌性測試值除以截面積)

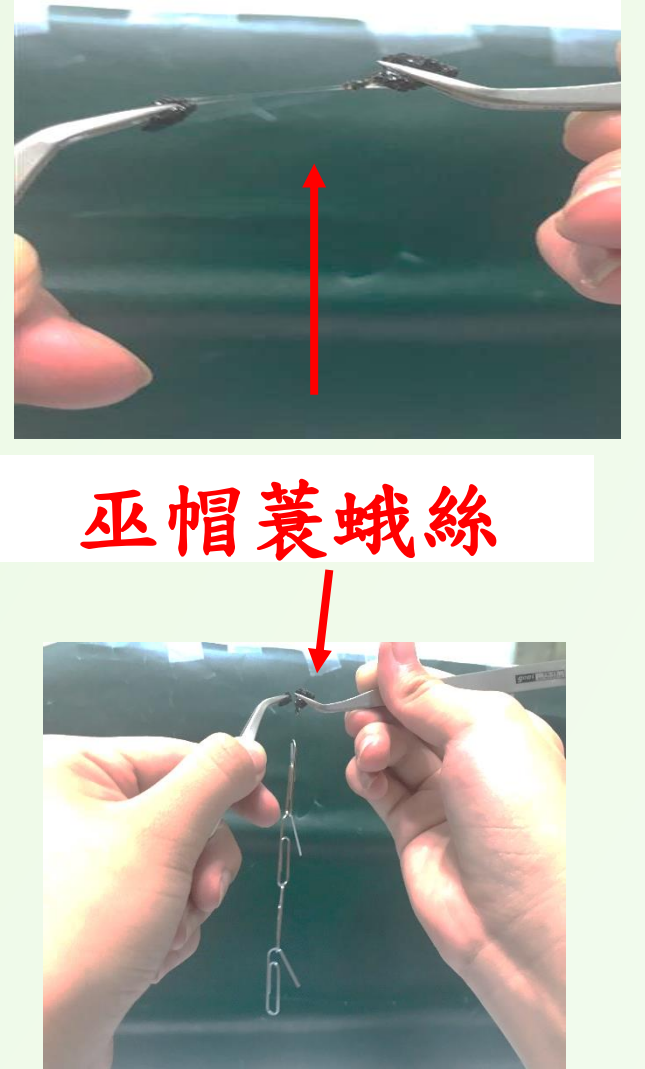


以截面積來說: 蓑蛾絲韌性 > 蜘蛛絲 > 蠶絲韌性

韌性比蠶絲強7.2倍

韌性比蜘蛛絲強3倍

上百條絲組成的「懸掛絲」，非常堅韌！



## (四) 自行設計筒巢保暖、防水、防風測試實驗，圓錐形的優勢，期待結合仿生運用與應用在生活中的可行性。

仿圓錐設計：  
閉口保暖  
開口散熱

仿筒巢三層結構：  
保暖、透氣

仿絲的韌性、疏水性  
透氣、保暖、圓錐設計



全球暖化，極冷、酷熱



## 陸、討論

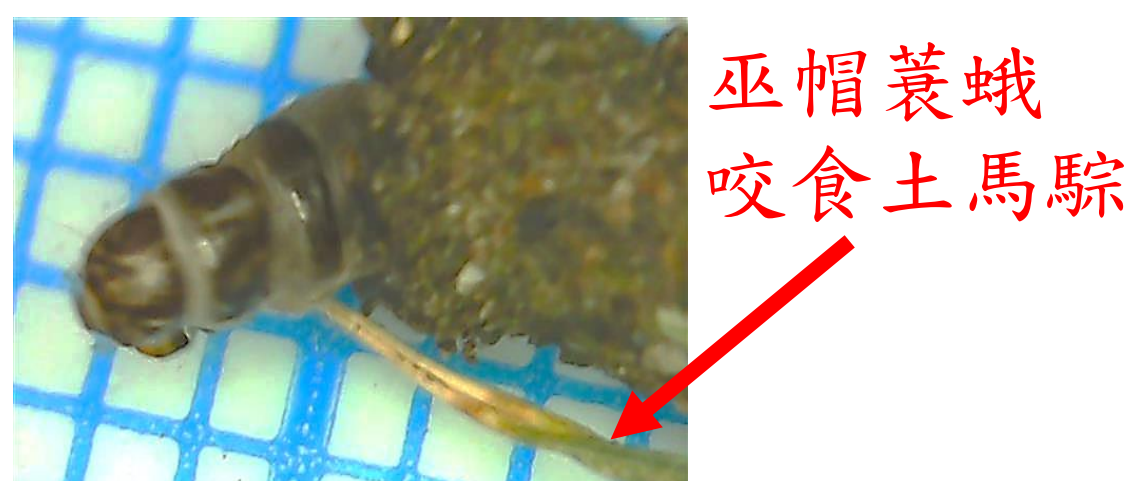
- ★ 未來研究圓錐的蓑巢設計的原理: 材質疏水、保暖、輕巧、韌性、適合移動的優勢，以及找出可仿生的方向。
- ★ 巫帽蓑蛾伸縮筒巢兼具保溫和散熱效果。實驗顯示幾乎沒有熱能的進出反應。
- ★ 巫帽蓑蛾絲(10μm)筒巢由數千根絲構成，其韌性可以類比是昆蟲界的防彈衣。
- ★ 筒巢特殊圓錐形和三層結構非常具有仿生的潛力。

## 柒、研究結論

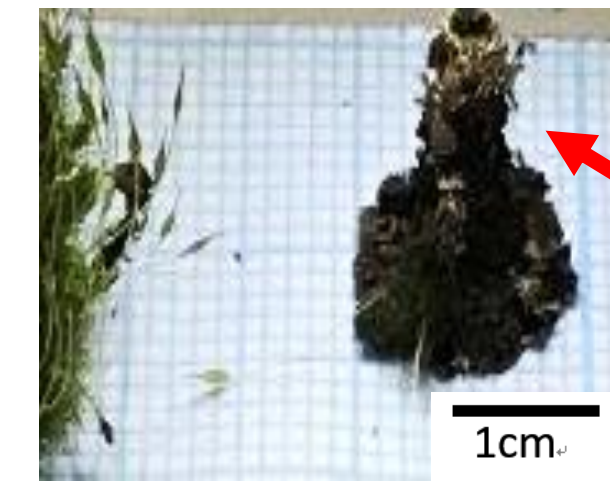
1. 大屯火山區生物物種、特殊環境、特殊氣象、生物行為與生態調查，發現筒巢外的素材有大量的絲，包覆著苔蘚、木屑、落葉、安山岩粒。大量的具刺狀苔蘚、貌似鳥糞的偽裝行為，藉模擬以阻嚇天敵，防衛自己。對比台北市平地(士林區、大安區)地區，不同地區的巫帽蓑蛾有很大差異(三層結構都不同)。
2. 巫帽蓑蛾一生都離不開筒巢，筒巢的重要性可想而知。我們以顯微鏡一一拆解每三層結構，發現外層可以偽裝、中層保暖、內層禦敵，每一層都有著特殊功能。
3. 用微量天平發現筒巢表面積與重量呈現一定的趨勢，頭部左右轉動的角度與移動有關，這些筒巢結構與物理量有相關。
4. 以疏水性來探討不透水與自潔效應，研究筒巢三層結構與圓錐設計的原理、絲的韌性，期待應用在日常生活中的可行性。發現生態環境對巫帽蓑蛾有非常大的影響(微氣候、苔蘚植物、平地 and 山區的不同)。

## 捌、參考資料及其他

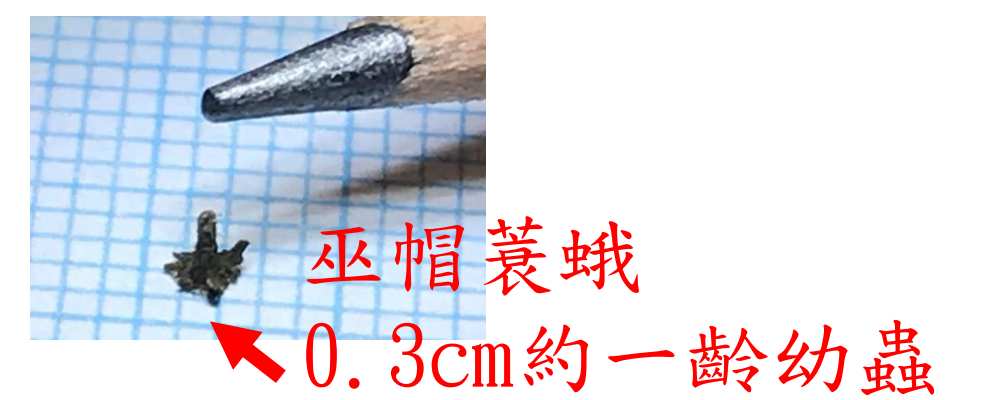
1. 中央研究院生物多樣性研究中心(2000)。臺北市：國產的避債蛾簡介。
2. 熱帶作物學報(2008)。CHINESE JOURNAL OF TROPICAL CROPS. 29. 5。
3. 行政院農業委員會臺中區農業改良場(2010)。中部地區經濟竹類病蟲害圖說。臺北市：行政院農業委員會。
4. 陽明山國家公園 (2017)。陽明飛蛾-陽明山賞蛾。臺北市：陽明山國家公園。



巫帽蓑蛾  
咬食土馬駱



巫帽蓑蛾  
筒巢材質有土馬駱



巫帽蓑蛾  
0.3cm約一齡幼蟲