

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

第三名

030303

百「絲」莫解

--黑棘蟻 (*Polyrhachis dives*) 蟻絲蛋白探秘

學校名稱：新北市立崇林國民中學

作者： 國一 鍾承典	指導老師： 陳美雲 鍾兆晉
---------------	---------------------

關鍵詞：silk protein、*Polyrhachis dives*、silk-spinning

摘要

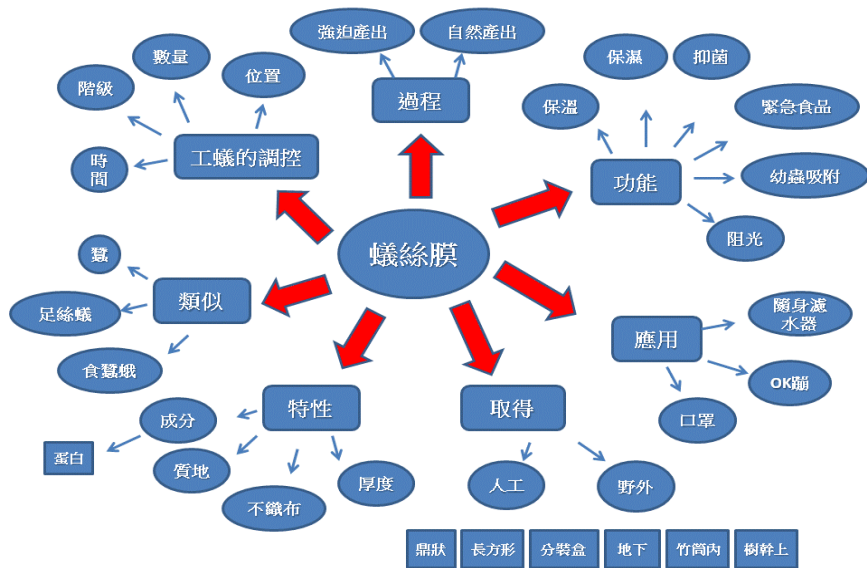
在蟻科(Formicidae)中的山蟻亞科(Formicinae)這個類群，終齡幼蟲會用絲腺分泌的獨特絲質纖維將本體包裹，形成蟲繭(cocoon)，這本來是很容易讓人理解的，但是，棘山蟻屬(*Polyrhachis*)的工蟻卻能操控幼蟲使其將奈米纖維狀(nano fibors)的蟻絲蛋白塗布蟻巢內部形成膜狀物，這種由工蟻調控幼蟲改變棲息微環境的進化情形更甚南美洲的織工蟻，而且罕有人研究。本研究嘗試水解蟻絲蛋白進行各項試驗，另發展大量取得乾淨蟻絲蛋白膜的人工養殖技術，同時詳述黑棘蟻幼蟲吐絲的習性，以及利用工蟻來調整控制蟻絲蛋白膜的生成和成品的功效，讓蟻絲蛋白的研究，奠定發展的基礎。

壹、 研究動機

黑棘蟻(*P. dives*)是台灣中低海拔地區常見的螞蟻，每年研究黑棘蟻的科展作品也很多，但是黑棘蟻的幼蟲會吐絲，且蟻絲的用途不只是形成蟻繭，因為工蟻能控制幼蟲吐絲築巢，這種特殊的行為至今是少有人研究，而這樣的天然產物至今也尚未被人類使用及運用。目前已知其他產絲昆蟲如蠶蛾所吐出的蠶絲已經被人類運用數千年了，黑棘蟻的蟻絲呢？如果蟻絲蛋白有特別的功效，那麼我是不是要先清楚工蟻是如何控制幼蟲吐絲的呢？在國中自然與生活科技七年級上冊第五章第四節動物行為的內容雖然有提到螞蟻的行為，但是並沒有太多深入的探討。以下，就是我對這種特殊的黑棘蟻蟻絲蛋白所做的實驗以及研究。

貳、 研究目的

- 一、 搜尋並整理有關蟻絲蛋白及黑棘蟻(*P.dives*)的相關資訊和資料。
- 二、 進行黑棘蟻(*P. dives*)野外樣區調查。
- 三、 研發黑棘蟻(*P. dives*)蟻絲蛋白取得技術。
- 四、 進行水解黑棘蟻(*P. dives*)蟻絲蛋白並檢驗。
- 五、 觀察黑棘蟻(*P. dives*)幼蟲吐絲的行為。
- 六、 探討黑棘蟻(*P. dives*)吐絲期幼蟲和工蟻的互動因素。
- 七、 分析黑棘蟻(*P. dives*)蟻絲蛋白對黑棘蟻聚落的影響。
- 八、 研發黑棘蟻(*P. dives*)蟻絲蛋白的各種用途及可能的產品。
- 九、 探討黑棘蟻(*P. dives*)蟻絲的雙面性。



圖一、黑棘蟻(*P. dives*)蟻絲膜研究概念圖。

參、 研究設備及器材

本研究所使用的設備及器材如表一。

表一、黑棘蟻(*P. dives*)蟻絲蛋白探祕各項研究設備與器材：

編號	設備名稱	型號	數量	用途
1	燒杯	150毫升	5杯	水解蠶絲蛋白
2	透析膜	60mm	1(卷)	過濾絲蛋白溶液
3	溫度計	水銀溫度計	1(個)	測量溫度
4	碳酸鈉	結晶	1公克	水解黑棘蟻絲
5	養殖盒	中型	6(盒)	養殖黑棘蟻
6	溴化鋰	溶液	100cc	水解黑棘蟻絲
7	蜂蜜	溶液	1(罐)	餵食黑棘蟻
8	麵包蟲	一條	1(盒)	餵食黑棘蟻
9	二氧化碳	氣體(Disposable Cartridge)	1(瓶)	麻醉黑棘蟻

10	分裝盒	塑膠	4(盒)	養殖黑棘蟻
11	針筒	10cm	1(個)	注射蜂蜜水
12	便利貼	一盒	2(個)	製作檢測用具
13	培養皿(滅菌)	塑膠	8(組)	分析蟻絲蛋白抗菌之效果使用
14	培養基	洋菜	1(包)	分析蟻絲蛋白抗菌之效果使用
15	O.K 蹦	一盒	1(包)	製作蟻絲纖維 O.K 蹦
16	黑色膠布	一卷	1(包)	觀察黑棘蟻喜好光暗的環境
17	數字顯微攝影機	Dino-Light	1(分)	拍攝黑棘蟻的生活型態

肆、 研究過程或方法

一、 搜尋並整理有關蟻絲蛋白及黑棘蟻(*P. dives*)的相關資料。

尋找圖書館或書局有關黑棘蟻和蟻絲蛋白的書，或者利用網路搜尋引擎查詢黑棘蟻和絲蛋白或其英文學名 “*Polyrhachis dives*” 之相關文獻。

二、 進行黑棘蟻(*P. dives*)野外樣區調查。

(一) 我們以學校為中心方圓1公里的範圍，選擇6個農田與荒地交會的地點（黑棘蟻分佈較密集的地點）當作樣區，並進行調查自然狀態下蟻絲蛋白利用情形及採集如圖(二)。



圖二、黑棘蟻的樣區(林口頂福)衛星採集圖。(紅色框框為採集點)

(二) 在臺灣南部也進行採樣和觀察，作為對照。

三、研發黑棘蟻(*P. dives*)蟻絲蛋白取得技術

(一) 野外取得法:

1. 找尋蟻巢：首先，我們先在樣區內找尋黑棘蟻的自然蟻巢，而蟻巢也分為地洞型和絲質型，通常是在空樹幹、樹皮上、水泥管、或竹筒內。
2. 麻醉蟻巢：用二氧化碳(CO₂)來麻醉蟻巢中的黑棘蟻，準備採集蟻絲。(圖三)
3. 採集蟻絲：採集蟻絲時，會先用手將附著在角落的蟻絲拉起，這樣便能把整片完整的天然蟻絲完全採集下來。



圖三、用二氧化碳瓶麻醉野外黑棘蟻



圖四、剖開的竹筒黑棘蟻巢。

(二) 室內養殖法:

首先，我們把從樣區採集回來的野生黑棘蟻放入自製的養殖箱內，再來便讓它們開始吐絲馴化。等待一個月後，我們一樣先將養殖的黑棘蟻昏迷(圖五)，再來便分為兩種取絲的方法:

- 1、熱脹冷縮法：這種方法是利用物品熱脹冷縮的原理，將外面的養殖盒放入溫水裡，一段時間後，裡面的蟻絲自然就會脫離盒子，方便取絲。



圖五、用二氧化碳麻醉室內人工養殖巢。



圖六、室內人工養殖巢的黑棘蟻麻醉情形。

2、一般取絲法：而這種方法則和野外採集法一樣用手把附著在角落的蟻絲拉起，這樣便能把整片蟻絲完全採集。

四、探討如何水解及分析黑棘蟻(*P. dives*)蟻絲蛋白

(一) 水解蟻絲蛋白

1. 削下蟻絲去雜質，並脫膠：先把用野外採集法和室內養殖法所採集到的蟻絲脫膠裁絲，將蟻絲中的雜質剔除如圖七。然後在0.05M的弱鹼(Na_2CO_3)溶液中煮沸30分鐘。再取出蟻絲，用去離子水漂洗數次脫膠。

2. 水解：將脫膠後的蟻絲放入濃度9.3M的LiBr水溶液中，以60°C水浴(水解裝置如圖八)。觀察至蟻絲蛋白溶解後停止水浴後，將上述溶液靜置回溫。



圖七、將較大的黑棘蟻蟻絲蛋白膜剪成小塊的蟻絲條。



圖八、黑棘蟻蟻絲水解實驗配置。

3.過濾提純：如圖九。

4.pH 調整：用 pH 調節劑調整 pH 在6.5~7.0左右。

5.將蟻絲蛋白水溶液放入冰箱儲存，供後續實驗用。



圖九、利用透析膜過濾水解黑棘蟻(*P.dives*)蟻絲。

(二) 檢驗蟻絲蛋白水溶液。

1、Biuret 法

(1) 將儲存的黑棘蟻絲用9g 酒石酸鈉溶入於40ml 0.2N 的氫氧化鉀中。

(2) 再來加入1g 硫酸銅混合使之溶解。

(3) 並且加入1g 碘化鉀混合使之溶解。

(4) 最後使用0.2N NaOH 稀至200ml。

(5) 然後便將水解後的蟻絲蛋白水溶液檢測於此溶劑中。

(6) 若呈現紫色，則是試劑中的銅離子與蛋白質的胺根結合而呈現的。

(7) 相同步驟以純水及黑棘蟻幼蟲全蟲體液再測試。

2、Lowry 法:

(1) 將藥劑 A 加入藥劑 B(50:1)作成 A1水溶液。

(2) 再來將待測物(蟻絲蛋白)原液、稀釋1/10蟻絲蛋白溶液及水5ml 加上 A1水溶液25ml，形成先驅產物。

(3) 最後將先驅產物加上藥劑 B 如圖十，避光十五分鐘完成。

(4) 檢查液體顏色，若為紫色，即是有蛋白質。



圖十、將先驅產物加上藥劑 B 之示意圖。

五、探討黑棘蟻(*Polyrhachis dives*)幼蟲本身吐絲的行為

(一)有關黑棘蟻幼蟲本身的生物性，我們先提出以下四個問題來深入探討。

1.幾齡的幼蟲專門吐絲？

(1)將幼蟲分為初齡幼蟲、中期幼蟲及終齡幼蟲三群。

(2) 隨機選擇時段觀察工蟻選擇何種齡期幼蟲吐絲。

(3) 該齡期幼蟲被選擇吐絲數除以巢中該齡期數，為被選擇率。

2.幼蟲吐絲的方式是什麼？

(1)以移動式數位解剖顯微鏡貼近人工蟻巢壁觀察幼蟲吐絲行為

(2)計算移動距離及吐絲方向。

(3)重複觀察十次，計算平均值。

3.一隻幼蟲平均一分鐘可以吐多少絲？

(1) 以移動式數位解剖顯微鏡貼近人工蟻巢壁觀察幼蟲吐絲速度。

(2)觀察時以碼表計時十秒，再乘以6作為記錄資料。

(3) 重複觀察十次，計算平均值。

4.一天中多少比例的幼蟲會吐絲？

- (1)實驗時，將每天觀察時段分為早晨、中午、傍晚及午夜。
- (2)計算在單位時間內，於觀察區（10×10cm）幼蟲自行吐絲的數量。
- (3)重複觀察一星期，重複進行5個蟻巢，並繪製統計圖表。

5.探討黑棘蟻覓食食物種類和蟻絲有無關連。

- (1)我們將養殖的黑棘蟻分為三組，一組只吃蜂蜜如圖（十一）；一組只吃麵包蟲；另一組則 蜂蜜和麵包蟲都吃。



- (2)我們將各組都分配兩盒人工養殖巢來測試。

- (3) 經過一個月後，觀察各組產出的膜狀蟻絲的量與質

是否有差異。

圖十一、注射蜂蜜餵食人工巢的黑棘蟻。

6.探討黑棘蟻在有光及無光的環境中分泌的蟻絲多寡

- (1)我們將養殖的黑棘蟻分為兩組，一組是在有光的環境生活，一組是在無光的環境生活，一樣都是餵麵包蟲和蜂蜜如圖（十二）。

- (2)經過一個月後，觀察到黑棘蟻在有光及無光的環境中分泌的蟻絲有無不同。

(二)依下列步驟進行觀察並計算統計

- 1.我們先將所有蟻巢換成第三巢型。



- 2.並用相機和筆記本進行一個月的觀察記錄。圖十二、黑棘蟻有光、無光組之分配圖。

- 3.計算方式:吐絲十秒中，寬度(mm)乘以次數再乘以0.6，等於一分鐘寬度(cm)。

4.最後統計資料並用 SigmaPlot 軟體程式來製作圖表。

六、探討黑棘蟻(*Polyrhachis dives*)幼蟲吐絲時和工蟻的互動因素

(一)我們發現幼蟲吐絲和工蟻的協助有極大的關係，所以便提出以下十一個問題。

1.什麼時候工蟻會銜咬幼蟲來吐絲？

(1)架設錄影機，連續記錄觀察區工蟻與幼蟲互動行為。

(2)連續記錄7天。

(3)重複三個蟻巢。

2.工蟻咬幼蟲的哪個部位會加速幼蟲吐絲

(1)以移動式數位解剖顯微鏡貼近人工蟻巢壁觀察工蟻銜咬幼蟲的部位。

(2)以幼蟲的體節作為記錄銜咬位置的標示，並記錄方向（頭的方向）。

(3)重複記錄十次。

3.工蟻喜歡控制幼蟲在哪個地方吐絲？

(1)將蟻巢分為巢底、巢壁、巢口及餵食區(放置小塑膠盒裝蜂蜜用)等四區。

(2)記錄在不同人工蟻巢巢區，吐絲的位置。

4.工蟻會怎麼處理吐絲後的幼蟲？

(1)追蹤吐完絲後的幼蟲，看工蟻放至何處。

(2)追蹤吐完絲後的幼蟲，工蟻再利用的情形。

5.光線會不會加速幼蟲吐絲？

(1)實驗將人工蟻巢分別置全暗、正常光週期及全暗的環境中，其餘因素

維持一致，讓黑棘蟻聚落運作。

(2)兩星期後，比較各組蟻巢巢壁吐絲情形。

6.一天中多少比例的幼蟲會負責吐絲？

(1)觀察一天中多少比例的幼蟲會負責吐絲。

(2)記錄不同蟻巢，分析比例。

7.一天之中，哪時候幼蟲會大量吐絲(高峰期)？

(1)計錄不同蟻巢一天之中最多幼蟲被工蟻銜咬至巢壁吐絲的時間。

(2)在三個人工蟻巢重複步驟一5天，分析其結果。

8.幼蟲所在的人工蟻巢的層數會不會改變(第三巢型)？

(1)本實驗主要在瞭解黑棘蟻工蟻對幼蟲的控制是隨機選取鄰近幼蟲或者有目標地的搬運幼蟲至欲其吐絲處。

(2)實驗分兩組，一組自然讓幼蟲分佈，記錄幼蟲自然位置改變與吐絲層數的變化，另一組以人為的方式，移動幼蟲，將幼蟲集中在某一層巢室，看是否蟻絲只集中在該巢室之巢壁出現。

9.黑棘蟻聚落中哪一個分工亞階級的工蟻專門控制幼蟲吐絲？

(1)實驗中依分工亞階級將黑棘蟻工蟻分為：初生工蟻、內勤工蟻和外勤工蟻，記錄在觀察區的幼蟲由何類工蟻銜咬吐絲。

(2)分別在三個蟻巢記錄重複記錄5天。

10. 不同發育時期的黑棘蟻與蟻絲的分佈情形有甚麼不同？

(1)我們先製作一個中心鏤空，邊長3cm 的正方形邊框。

(2)再來，我們將邊框移置一處蟻群聚集地，便記錄邊框中不同發育時期的黑棘蟻的數量(工蟻、蛹、三齡幼蟲、二齡幼蟲及一齡幼蟲)

11.黑棘蟻蟻絲的利用有自巢跟他巢的分別嗎？

(1)我們首先編號 A B 兩巢， 並準備一個空巢。

(2)接下來，我們便把 B 巢移入空巢， A 巢移入原本 B 巢的巢箱裡。

(3)最後用第 9 問題的方法觀察記錄一次。



圖十三、利用邊框觀察不同發育時期的黑棘蟻

七、分析黑棘蟻(*Polyrhachis dives*)蟻絲蛋白對黑棘蟻聚落的影響

(一)我們推測蟻絲蛋白的功能大略分為五種，所以便提出問題加以討論。

1. 蟻絲蛋白是否有蟻絲是否抗菌及防發黴

(1)蟻絲蛋白是否能防發黴之實驗。

A、我們先將蟻絲水解溶液放入自備培養基內。

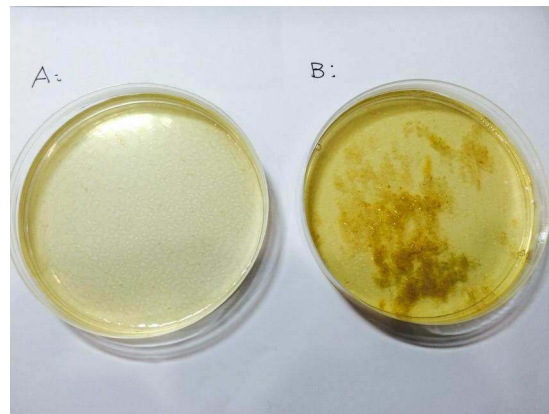
B、放置在室溫下觀察其發黴情形。

(2)蟻絲是否擁有抗菌的效果之實驗。

A、我們將水解蟻絲蛋白加入純水。

B、再來便放入蛋白質和有機物。

C、最後觀察放入蟻絲蛋白的純水是否能抗菌（混濁度改變）。



圖十四、黑棘蟻蟻絲蛋白是否能防發黴之實驗。(A:有加入黑棘蟻蟻絲蛋白；沒有加入黑棘蟻蟻絲蛋白)

2. 幼蟲吐完絲的盒壁可否讓幼蟲輕易的附著

(1)觀察有蟻絲蛋白塗布的盒壁是否有助於幼蟲的附著。我們將所有蟻巢放入重新開發的第三巢型內的最底層，第二三層由已經由原巢吐絲的巢區。讓工蟻自由搬運幼蟲，計算幼蟲數。討論並注寫觀察記錄。

3. 蟻絲蛋白是否能做到保溫保冷的作用

(1)觀測蟻絲是否能保溫的效果:將第三巢型分為四層。並觀察有蟻絲的那一層和沒有的壁溫是否相近。

(2)觀測蟻絲是否能保冷的效果:將取出的蟻絲蛋白膜搜集起來。再來便將蟻絲蛋白膜成正方形。再來在最上方挖出一個孔，並放入溫度計。最後把正方體放入冰箱，觀察裡面的溫度盒和外面的溫度有無不同。

4. 幼蟲吐的絲有無保濕的能力。

5. 工蟻讓幼蟲吐絲是不是為了提升飼養盒的遮亮度。

八、研發黑棘蟻(*Polyrhachis dives*)蟻絲蛋白的各種用途及可能的產品。

- (一) 收集水解的蟻絲蛋白，送驗蛋白質成分，研究成為食品之可能。
- (二) 從醫療保健方面著手，剪裁蟻絲蛋白膜，加入口罩、OK 繃、隨身濾水器等。
- (三) 從奈米結構著手，生產的蟻絲蛋白之細緻性更勝蠶絲，研究可做為更微型設備的隔熱、絕緣、保濕及多孔性的吸附等使用功能。

九、探討黑棘蟻(*P.dives*)蟻絲的雙面性。

- (一)將正反兩面蟻絲膜分別放暗箱(木盒)。
- (二)用手電筒照射蟻絲膜，使手電筒的燈成為唯一光源。
- (三)用手機下載照度計軟體 APP「Light Meter」測蟻絲的反射光，反射光越多，蟻絲膜越光滑。
- (四)重覆上述步驟五次，分析蟻絲膜雙面性是否存在。

伍、 研究結果

一、 黑棘蟻(*Polyrhachis dives*)和蟻絲蛋白的文獻探討

(一)黑棘蟻:

1.分類：蟻科 / 棘山蟻屬。

2.特徵：工蟻體長 7 mm，體色黑色、灰黑色微弱的絲緞光澤，前胸背板前緣有2根長棘刺、中胸後緣有2根較短的棘刺，後胸有2長2短的棘刺，前後總有8根棘刺。屬多蟻后型態群落~數量可達數萬隻之普，黑棘蟻是少數可供人類食用之外更且具豐富營養價值的螞蟻。

3.習性：黑棘蟻受到刺激時會將腹部往前舉起成威嚇狀並噴灑蟻酸作為武器，必要時亦會以大顎攻擊，與蚜蟲有共生關係，領域性強，受到騷擾時工蟻觸角會上揚，腹部上舉來攻擊敵人，但通常不會造成人類傷害。

4.分佈：分佈於平地至低、中海拔的農地和平原，屬於樹棲與地棲型的螞蟻。

(二)絲蛋白:

- 1.絲蛋白素本身具有良好的機械性能和理化性質，如良好的柔韌性和抗拉伸強度、透氣透濕性、緩釋性等，而且經過不同處理可以得到不同的形態，如纖維、溶液、粉、膜以及凝膠等。

二、 黑棘蟻(*Polyrhachis dives*)野外樣區調查

- (一) 整個實驗野外調查共進行12次，分別在林口湖北村4次、下湖村3次，桃園蘆竹鄉1次，屏東長治鄉侖上村3次以及屏東市區糖廠附近公園預定地1次。所有野外黑棘蟻聚落均取得蟻絲蛋白膜，出現機率100%。
- (二) 野外蟻巢分為：竹筒節內、包覆樹枝及土棲三種生態型，無論何種生態型，黑棘蟻都利用蟻絲蛋白包覆巢的最外層和巢室的隔間，和織工蟻不同的是，織工蟻利用幼蟲的絲連結樹葉，巢的主體是樹葉，而黑棘蟻的巢主體是以絲蛋白膜，在利用幼蟲的絲上是更徹底的。
- (三) 帶回室內進行人工養殖的蟻巢共7巢，分別取自林口湖北村2巢、下湖村2巢，桃園蘆竹鄉1巢，屏東長治鄉侖上村1巢以及屏東市區糖廠附近公園預定地1巢，因黑棘蟻為多后聚落，還可分為多巢進行實驗。
- (四) 在我們的記錄裡，南、北部的黑棘蟻都會銜幼蟲來吐絲，並沒有差異。

三、 蟻絲蛋白取得技術

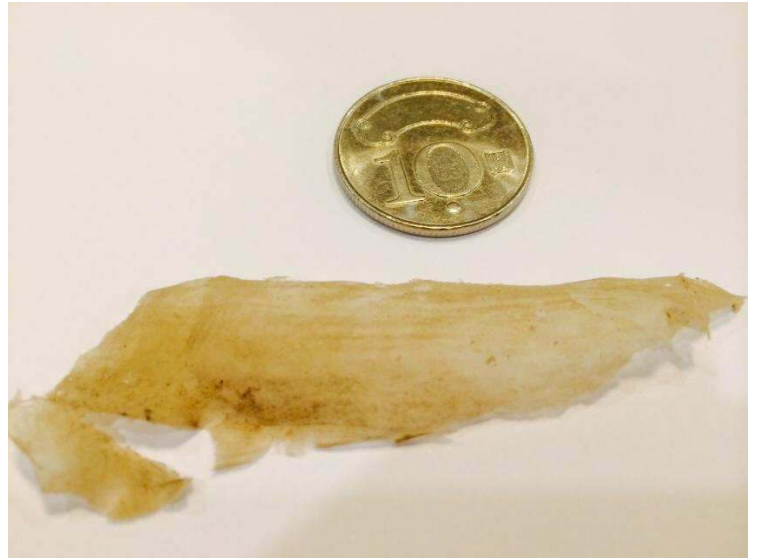
(一) 野外取得法:

1. 我們發現在野外的黑棘蟻蟻巢型態主要有兩種（地棲的較罕見）。

2. 第一種是大部分是用幼蟲吐的絲來當巢材，再用樹枝樹葉修補其中，作成球狀的不規則立體圖形。
3. 第二種是用竹筒等筒狀物品當作蟻巢的主體，再用蟻絲來附著壁面，方便蟻群生活。
4. 第三種則是直接在地表或地底的黑棘蟻蟻巢，這也是天然蟻絲最多的一種巢型，因為蟻巢要阻絕大量的泥土，並演變成巨大又大量的蟻絲巢穴。

(二) 室內養殖法：

我們主要是用三種巢型來養殖黑棘蟻第一種是瓶狀養殖桶；第二種是鼎型養殖箱；第三種則是一層層的分裝盒。我們發現如果要搜集製作蟻絲用品，第三巢形比較適合。

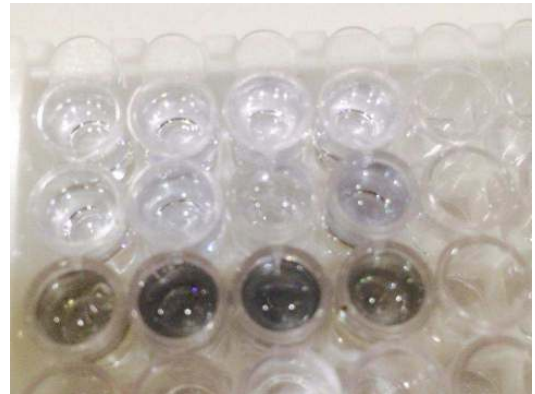


圖十四、黑棘蟻蟻絲蛋白膜之與五十元硬幣比例圖。

四、 進行水解蟻絲蛋白的技術並檢驗

- (一) 為了方便在人工蟻巢快速、順利、大片取得蟻絲蛋白膜，我設置實驗之初 便在巢壁一線貼便利貼，當黑棘蟻沿巢壁控制幼蟲吐絲形成膜，便利貼一端緊貼巢壁一端游離，我只要從游離端撕起便利貼，就可一併取下整片的蟻絲蛋白膜。

(二) 我順利取得蟻絲蛋白水解溶液後，分別以 Biuret 法和 Lowry 法測蛋白質都得到濃度極高的蛋白質含量反應，如圖十五與圖十六，其中 Biuret 法的對照組之一，取全蟲蛋白量，仍不及蟻絲蛋白水溶液濃度深，可見蟻絲蛋白在蟻絲膜上是綜合多隻幼蟲彙集而來。



圖十五、蟻絲水解溶液、幼蟲以及水之蛋白質分析。 圖十六、不同濃度蟻絲水解溶液的蛋白質分析。

五、探討幼蟲吐絲的行為

(一) 我們發現黑棘蟻覓食高蛋白的麵包蟲時，能在一天中吐較多蟻絲，而如果只是吸蜂蜜的黑棘蟻幼蟲則會把絲吐得較鬆散。所以，我們也決定以後生產蟻絲時，使用麵包蟲來當黑棘蟻的主食。

(二) 我們發現當蟻巢有大面積的範圍被光照到，工蟻就會用嘴咬住幼蟲體節的4~6節，並用觸角輕拍幼蟲頭部，刺激幼蟲來吐絲。

(三) 幼蟲吐絲是有一定的規律，方向是左右左右，然後慢慢由上到下(如圖二十五)。



圖十七、在饑餓狀態下的黑棘蟻會咬食幼蟲吐的蟻絲膜。

(四)幼蟲都會在吐好的絲旁邊再吐一條比較白，比較粗的絲來防止蟻絲鬆解脫落。

(五)幼蟲吐絲築巢是被動行為，而平常若沒有工蟻刺激，他們都非常安靜，不太會動(如圖二十二)；而幼蟲吐的蟻絲

多少也和結蛹時的蛹厚度有關係，如果吐的多，蛹壁就薄；吐得少，蛹壁就厚(如圖二十三)；在我們的研究中也發現過裸蛹的型態，這就是因為幼蟲吐出太大量的絲，而讓要結蛹時沒有絲可以結(如圖二十四)。

(六)結果顯示餵養食物不同，蟻絲蛋白膜的面積（都是全巢巢壁塗布）和厚度（光線穿透度和顏色）都沒有顯著差異。

(七)我發現蟻巢處於饑餓狀況，才會使蟻絲蛋白分泌減低，而不是餵養食物種類。

(八)分析提供不同食物無法影響幼蟲是因為食物並不是直接由幼蟲取食而是間接經過工蟻消化後由工蟻再反芻餵食，故影響較小。

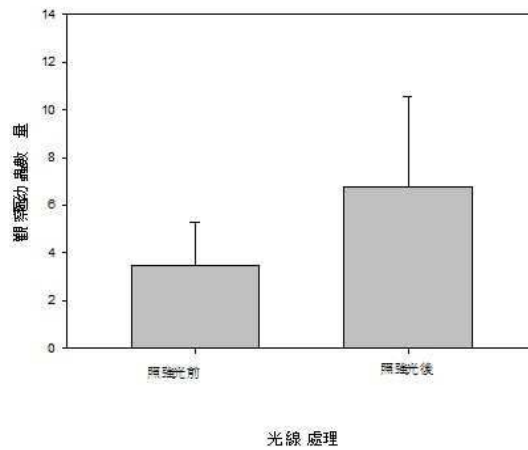
(九)我們發現到將蟻巢從無光處移動到有光處，蟻絲量會變多。(詳如圖十八)



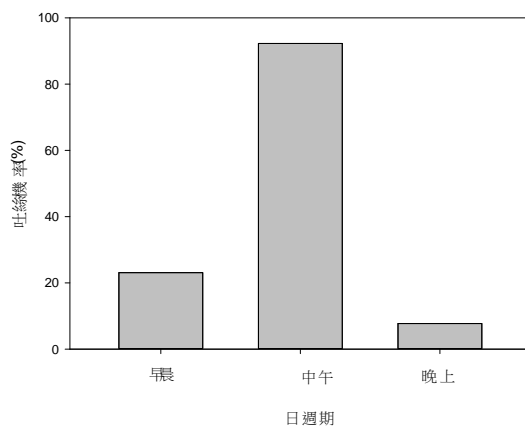
圖十八、黑棘蟻(*Polyrhachis dives*)巢有光組和無光組的吐絲量比較。

(一) 有光組黑棘蟻巢。

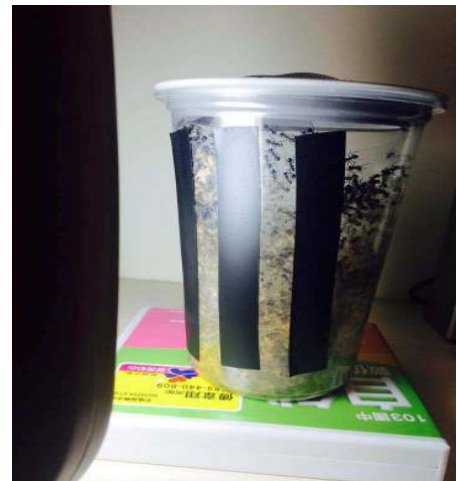
1. 我們發現到有光組的黑棘蟻因為受到光照的刺激，所以工蟻也讓幼蟲快速的吐絲覆蓋巢壁。
2. 而因為黑棘蟻喜歡黑暗，所以讓黑棘蟻蟻巢放置在陽光下有助於黑棘蟻吐絲，也讓我們蟻絲的生產量增加。



圖十九、光線處理量前後黑棘蟻的吐絲量。



圖二十、黑棘蟻聚落內工蟻銜終齡幼蟲吐絲分析。



圖二十一、黑棘蟻蟻群光暗區分佈。

(二) 無光組黑棘蟻巢。

1. 黑棘蟻喜歡黑暗，黑棘蟻刺激幼蟲吐絲有一定程度的原因是為了阻擋光線。
2. 本組的蟻絲蛋白膜雖然還是會產生，但是會任由幼蟲在底層鋪設，在巢壁吐

絲的區域會是零星不連續，不利人工取得，所以無光組的設計並不適合我搜集蟻絲及製造蟻絲蛋白用品。

表二、有無照光對觀察區黑棘蟻工蟻與終齡幼蟲之情況分析

	有光組(N=3)	無光組(N=3)
觀察區工蟻數	53±4	27±6
觀察區終齡幼蟲數	16±5	5±2
觀察區蟻絲覆蓋比率 (%)	76~98	37~60
觀察區蟻絲密度	高	低
觀察區活動工蟻/靜止工蟻	2/3	1/7
觀察區蟻絲厚度 (層數)	5~13	2~6



用新製成的手鏡吊掛在蟻絲上的幼蟲



吊掛在蟻絲上的卵團

圖二十二、吊掛於巢壁上的一、二齡幼蟲。

圖二十三、黏附在巢壁上的是尚未孵化的蟻卵。



佈滿黑毛的黑棘蟻幼蟲近照

圖二十四、黑棘蟻三齡幼蟲特寫。



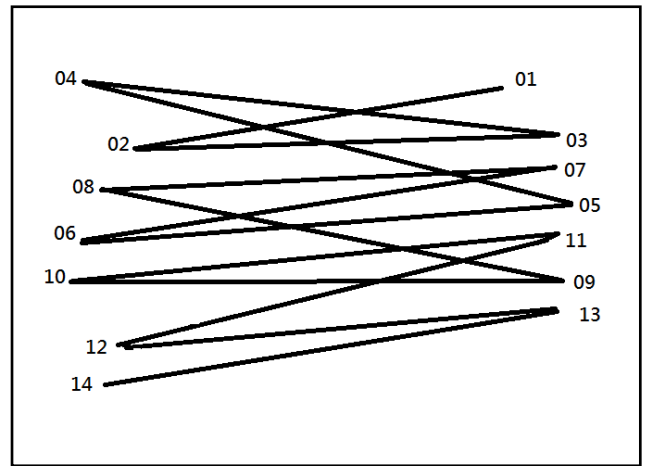
黑棘蟻巢內不同厚度程度的蟻蛹

圖二十五、黑棘蟻蟻巢內不同厚度的蛹。



圖二十六、黑棘蟻蟻巢內的裸蛹。

(從1到14)



圖二十七、黑棘蟻幼蟲吐絲順序放大流程圖。

A. after 10 mins.



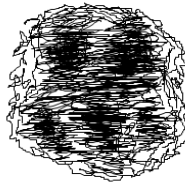
B. after 30 mins.



C. after 1 hr.



D. after 3 hrs.



圖二十八、黑棘蟻幼蟲吐絲附著蟻巢壁行動示意(約三小時)

表三、蟻科中已知螞蟻吐絲種類

亞科名	屬名	吐絲角色	發現者
山蟻亞科 (Camponotinae)	<i>Oecophylla</i>	幼蟲	Holldabler and Wilson 1977
	<i>Polyrhachis</i>	幼蟲	Karawajew, 1929
	<i>Camponotus</i>	幼蟲	Maschwitz, 1988
	<i>Dendromyrmex</i>	幼蟲	Wilson 1981
琉璃蟻亞科 (Dolichoderinae)	<i>Dolichoderus</i>	成蟲	Maschwitz, 1991
家蟻亞科 (Myrmecinae)	<i>Melissotarsus</i>	幼蟲	
Aneuretinae		幼蟲	
Apromyrminae		幼蟲	Baroni, 1992
Cerapachyinae		幼蟲	
Foitzingerinae		幼蟲	
Ponerae		幼蟲	

(五) 在自然情況下，幼蟲發育到終齡

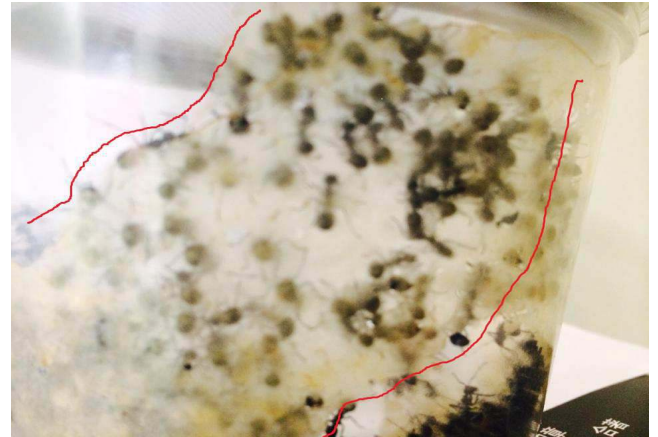
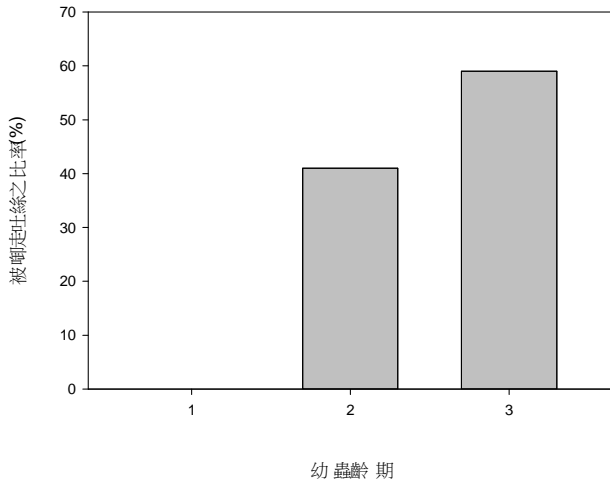
才會吐絲，吐絲的時間也很集中，就為了

結繭化蛹。但是工蟻的控制下，會讓幼蟲

提早到中期就吐絲，我們發現，提早吐絲

的幼蟲，仍然可以順利吐絲結繭(如圖二

十三、二十四)。

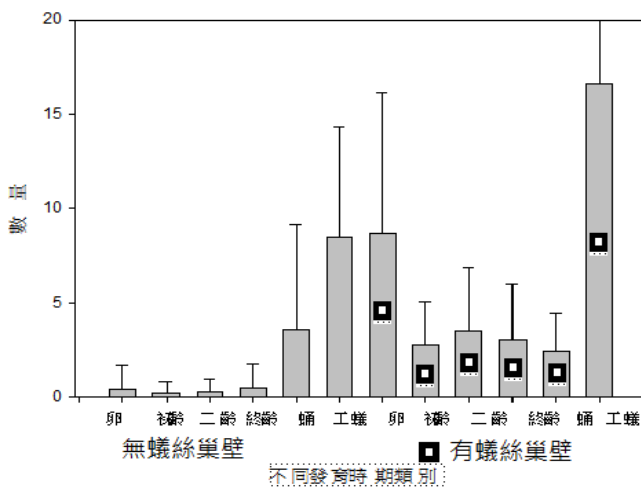


圖二十九、聚落內被工蟻銜走並刺激吐絲之幼蟲齡期分佈。圖三十、新的蟻群會在舊的蟻絲上繼續織絲。

六、探討黑棘蟻幼蟲吐絲時和工蟻的互動因素

表四、黑棘蟻聚落內不同階級工蟻對控制終齡幼蟲吐絲比較

	初生工蟻 (young worker)	內勤工蟻 (Nurse)	外勤工蟻 (Forager)
與終齡幼蟲接觸率(%)	2~5	15~29	0
接手率(%)	0	8~13	0
銜終齡幼蟲移動率(%)	0	19~31	0



黑棘蟻工蟻用嘴咬住幼蟲第七腹節刺激幼蟲吐絲的側面照

圖三十一、不同發育時期的黑棘蟻與蟻絲的分佈情形。圖三十二、黑棘蟻工蟻用嘴會咬住幼蟲來吐絲。



不同齡幼蟲都會被刺激吐絲形成蟻絲膜

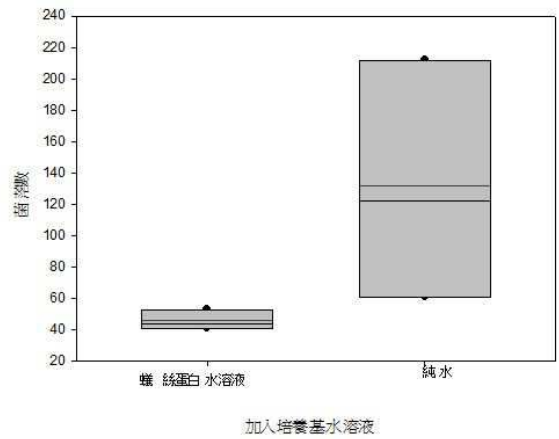


沒有工蟻陪伴，吊掛在蟻絲膜上的幼蟲，是非常安靜的

圖三十三、不同齡別的黑棘蟻幼蟲都可能被工蟻刺激吐絲。圖三十四、沒被工蟻刺激吐絲時的幼蟲不會自己吐絲。



陪伴幼蟲吐絲的工蟻全身不動只有觸角一直探觸巢壁



圖三十五、工蟻用觸角刺激幼蟲，幼蟲會擺動身體吐絲。

圖三十六、黑棘蟻抑制菌類的強度及對照組

表五、黑棘蟻蟻絲膜是否有自用專一性之分析(t-test, p<0.01)。

蟻巢狀態	工蟻停駐率%	蟻卵置放率%	蟻蛹置放率%	幼蟲置放率%
自築蟻巢 (N=3)	67 *	41 *	95 *	87.3
使用他巢 (蟻絲膜由他巢織 N=3)	44 *	84 *	5 *	91.3

七、分析黑棘蟻 (*Polyrhachis dives*) 蟻絲蛋白對黑棘蟻聚落的影響

(一) 經過實驗發現，蟻絲蛋白膜塗布蟻巢，可有效抑制微生物生長，而實際觀察野

生蟻巢也沒有在蟻絲蛋白膜上看到發黴的現象(如表六)。

(二)我們也發現到黑棘蟻蟻絲蛋白能抑制多種空氣中的菌類孢子(如圖三十四)

表六、黑棘蟻幼蟲蟻絲蛋白水解溶液培養基抑菌情形

種類	蟻絲蛋白水解溶液(N=6)	純水(N=6)
菌種數(平均)	1.33±0.51	4.33±0.52
最多	2	5
最少	1	4
菌種類別	綠、橘	綠、褐、黑(點)、灰(埋膠)、黃(絲)
重複出現菌種	綠	綠

(二) 實驗結果發現蟻絲蛋白膜有利幼蟲懸掛，並具有吸濕排濕以及調節溫度的效果，

這對黑棘蟻聚落在環境的適應上都是演化有利的條件。當然，增厚的蟻絲蛋白膜

絕對可以阻絕光線讓蟻巢保持在全暗的情況下，有利全巢的生物時鐘運轉。

八、研發黑棘蟻(*Polyrhachis dives*) 蟻絲蛋白的運用性產品

(一)我的觀察發現到黑棘蟻的蟻絲有明顯的拒水性，可以讓水珠停留在蟻絲表面

超過5分鐘(詳 如圖三十五)。



單棘蟻蟻絲的拒水性，讓水珠停留超過5分鐘

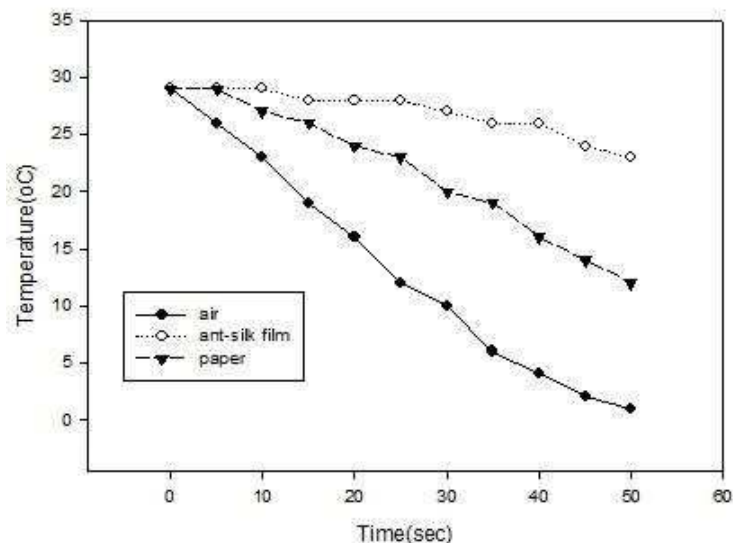
圖三十七、黑棘蟻蟻絲與拒水性。



圖三十八、黑棘蟻蟻絲蛋白膜黏貼 OK 繃成功成品。

九、蟻絲的雙面性

(一)經過我們的實驗，我們發現蟻絲會分為兩面，一面是絨布狀，一面是平滑狀，黏巢壁的平滑，若用背面對背面，那麼便能很容易的相互摩擦；而若用正面對正面，這樣兩片



圖三十九、不同材質保溫效果分析。(蟻絲膜、空氣、報紙)

的摩擦力就會成倍增加，這樣的雙面性是有顯著差異的。(詳如表七)

表七、黑棘蟻蟻絲膜雙面性的反光性之分析。

	蟻絲膜正面 (粗糙面)	蟻絲膜反面 (光滑面)
複次數 (N)	5	5
Mean	204.800	323.600
Std Dev	30.850	16.817
SEM	13.796	7.521
單位	lux	lux

陸、討論

- 一、經過這次的實驗，我們發現黑棘蟻幼蟲吐出的絲具有抗菌和防黴菌的效果，所以我們便能將這種特性運用在 OK 棒等藥學用品上。
- 二、實驗發現，雖然黑棘蟻通常是住在無光的地方，但如果把牠們移到有光的環境生長，他們便能激發更多吐絲的潛能，讓蟻絲的生產量大增。
- 三、雖然第一次在蟻絲蛋白的純化上失敗，但是原因應該出在我們參照的方法是製

造蠶絲蛋白，而蠶絲蛋白的纖維較大，而且第一步驟的脫膠也許就把蠶絲蛋白洗出；第二點是我們再製作透析膜過濾時，沒有把空隙全部封好，所以有部分蠶絲蛋白溶液沒有經過透析膜的過濾便連著雜質流入收集瓶中。

四、 蠶絲觀察的實驗中，我發現當工蟻和幼蟲結完絲後，工蟻會讓幼蟲在整個絲質的區域範圍邊吐上一層較厚的框，這樣絲質部分就不容易脫落飼養盒的壁面。

五、 養殖過程中，我用三種巢型來飼養，也發現到各個巢型也有不同的優點缺點，像是第三巢型很適合用來搜集蠶絲，但因空間較小易有水氣，而不方便觀察。

六、 做幼蟲吐絲習性這個實驗時，我發現到正中午天氣較熱，而幼蟲吐絲的速度也變得比較快些，我推測不止是光線，溫度亦可能是幼蟲吐絲品質的促進因素。

七、 我們也在研究中，發現到薩瑟蘭博士2007的一篇文章中描述到螞蟻蠶絲和蜜蜂絲的分子結構與飛蛾和蜘蛛絲中較大的蛋白質、薄片結構非常不同。螞蟻的繭和巢絲是由一種捲曲螺旋(一種蛋白質排列結構，由多種螺旋狀絲彼此纏繞狀結構組成)。這種結構讓蠶絲的重量更輕、韌度更強。同時，薩瑟蘭博士已經鑒別出蜜蜂的絲蛋白基因，但蠶絲蛋白卻還未進行深入的研究。

八、 在前人的研究中發現，天然蠶絲在自然生態中屬於非污染的天然纖維，具有其他加工纖維無可替代的獨特性質。而水解後的蠶絲蛋白對人體則有許多的好處，而我也在黑棘蟻的巢中發現類似蠶絲，但比蠶絲更密的蟻絲，那麼水解之後的蟻絲蛋白是否也有蠶絲蛋白的效果呢?還是比蠶絲蛋白還有更多對人體有益的功效?而其它也會吐絲的昆蟲，例如: 胡蜂、石蠶蛾、齧蟲、足絲蟻、

寄生蜂、草蛉、衣魚、跳蚤、薊馬、甚至蜉蝣、蜻蜓、蟋蟀和螞蟻等吐的絲，和黑棘蟻吐的絲又有什麼差別呢?這些都有待進一步的進行探討和研究。

九、在收集蟻絲時，我發現黑棘蟻蟻絲是用不規則方式來織成的不織布，而不像衣服是由規則的直橫線編織的，這也讓黑棘蟻的蟻絲非常堅韌，顏色也比較深。

十、我發現黑棘蟻幼蟲把蟻絲織出一片偌大的空間時，蟻群就只會在蟻絲上活動，但是工蟻會把蛹放入蟻巢的最下方，而且會放在沒有吐絲的地方，我們推測這是因為蛹狀態下的黑棘蟻不能一直劇烈搖動，所以沒有被掛在半空的蟻絲上。

十一、更換蟻巢時，觀察到新的蟻群會在舊有的蟻絲上繼續生活，並不會排斥其他蟻群幼蟲吐的絲，而且還會在原本的基礎下繼續吐絲，所以蟻絲膜是通用的，沒有使用的專一性。

十二、除了少數像馬來西亞的琉璃蟻是成蟻分泌蟻絲外，其餘的織工蟻科類(Weaver ant)都是螞蟻幼蟲專門吐絲(Maschwite 等，1991)。

十三、前人的研究中，非洲織工蟻(*Oecophylla Longinoda*)工蟻是咬著終齡幼蟲(final-instar larvae)去吐絲建築，但在我的實驗裡，黑棘蟻工蟻在選擇幼蟲齡期上，並沒有專一性，幾乎所有蟻期的幼蟲，在需要的時候，都會被工蟻叼去吐蟻絲。

十四、在黑棘蟻巢中幼蟲吐絲形成蟻絲膜是一種被動行為，研究中甚至觀察到工蟻為搶奪幼蟲到不同地域吐絲而將幼蟲拉扯死亡的情況，我也發現幼蟲在已織好的蟻絲膜上停留的時候，是背部用著勾毛掛在蟻絲膜上，並不會主動吐絲。

十五、科學家 Reddy 等人(2011)研究織工蟻(*Oecophylla*)獨特的奈米纖維，發現該蟻

的蟻絲蛋白膜具有31%的伸展彈性約4兆帕(MPa)的拉伸長度，可承受沸點和呈現弱鹼性，更能比一般的絲質材料裝在4.7倍的藥物，我研究的黑棘蟻蟻絲，往後也可以做類似的研究。

柒、結論

經過這次的實驗探討，我們除了發現了黑棘蟻幼蟲吐絲的習性，也釐清工蟻對幼蟲的控制，利用此種生物的特性來調整控制蟻絲的生成和成品的功效，我也發現蟻絲膜具有通透性、雙面性、拒水性、不織布性、抗菌性及保溫性，抗菌性及保溫性都是前人沒有發現的特質，從我的研究開始，讓蟻絲蛋白在未來世界的運用更多元、更實際，並且可以用蟻絲生產一些天然又無毒的防黴衣物、藥品等等；而蟻絲蛋白的化學分析，更是我未來值得更深入探討的問題。

捌、參考資料

一、書籍

- (一) 王林瑤、張立峰。 2002。 藥用昆蟲養殖。 金盾出版社。
- (二) 石達愷。 1991。 臺灣社會性昆蟲。 國立自然科學博物館。
- (三) 李典忠。 2004。 螞蟻生產技術。 中國農業出版社。
- (四) 魏永平。 2004。 藥用昆蟲養殖與利用技術大全。 農業出版社。
- (五) 龔泉福。 2001。 螞蟻養殖利用。 上海文獻科技出版社。
- (六) 鍾兆晉。 2008。 黑棘蟻聚落分工機制及生物時鐘表現。 臺灣大學博士論文。

二、網路資料

(一) big5.39kf.com/yyjj/biotechnology/ol/2007-11-23-431798.shtml。

三、期刊論文

(一) Dorow, W.H.O, U. Maschwitz and S. Rapp. 1990. The natural history of *Polyrhachis*

(*Myrmhoph*) *muelleri* Forel 1893. (*Formicidae Formicinae*), a weaver ant with mimetic larvae and an unusual nesting behaviour *Tropical Zoology* . 3: 181-190.

(二) Maschwitz, U., K. Dumpert, T. Botz, and W. Rohe. 1991. A silk-nest weaving

Dolichoderine ant in a Malayan rain forest. *Ins. Soc.* 38:307-316.

(三) Sutherland T.D. Weisman S. , Trueman H.E, Sriskantha A. , Trueman JW. , Haritos VS.

2007. Conservation of essential design features in coiled coil silks. *Mol.Biol. evo*

124(11):2424-32.

【評語】 030303

1. 作者觀察入微，研究成果有應用價值值得鼓勵，作者對研究工作相當投入，對問題的回答也相當了解。
2. 絲蛋白的應用是值得研究的，但困難是量的問題，如何提升絲蛋白量的問題，至少要做個探討，則本作品內容會更完整。