

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學(二)科

第一名

032910

致命的危機~探討蟲生真菌對疣胸琉璃蟻的致死情形

學校名稱：南投縣立北梅國民中學

作者： 國二 蕭仲凱 國三 周雋宸 國二 蕭仁豪	指導老師： 許碧蕙 賴佳麟
---	-----------------------------

關鍵詞：蟲生真菌、疣胸琉璃蟻、生物農藥

得獎感言

成功是透過不斷努力累積而來的

能夠在這次的全國科展得到第一名的佳績，內心充滿了許多的喜悅以及感謝是無法使用言語所表達的。

一開始我們是想研究如何驅趕螞蟻，好降低疣胸琉璃蟻對我們生活上的困擾，所以我們先進行野外的觀察，來了解疣胸琉璃蟻的習性，剛好我們在野外發現疣胸琉璃蟻身上長菌的現象，我們覺得這個現象很有趣，因此就開始進行相關研究。

我們想了解這種真菌是否有殺死疣胸琉璃蟻的效果，因此我們就先上網查詢如何培養此真菌，經過了兩個多月後，我們終於能夠順利地培養出這種具有殺死疣胸琉璃蟻的真菌，也在前置實驗中確認它的效果。接著在閱讀文獻中發現蟲生真菌多以孢子殺蟻，所以我們開始學習如何收集真菌孢子以及計算孢子濃度。

在後續實驗中我們透過單一爬行實驗知道我們找出來的蟲生真菌是具有傳染能力的，我們也得知孢子液保存於冰箱 10 週後一樣具有致死的能力，也引發我們想要更進一步了解這種蟲生真菌是否可以朝生物農藥的方向發展。

在這次進行科展比賽使我們拓展眼界、增廣見聞，也在不同的領域學習到許多新知識，也認識了在不同領域中的佼佼者，在過程中雖然遇到了不少的挫折及難題，甚至有一度想要放棄的時刻，但是我們沒有放棄，努力將難題一一克服……，這些辛苦的歷程成為我們邁向成功的墊腳石，努力的汗水最後都化作最甜美的果實，在我們的人生寫下完美的一頁。



現場解說作品



摘要

近年來疣胸琉璃蟻肆虐，防治困難。我們在野外採集到疣胸琉璃蟻身上真菌，透過自製馬鈴薯培養基、菌種純化方式、不同濃度孢子感染實驗及模擬野外感染方式，了解蟲生真菌對疣胸琉璃蟻的影響。研究結果顯示噴灑 4.36×10^6 濃度孢子液可在第 2 天達到半致死率；爬行 5 分鐘的單一帶菌疣胸琉璃蟻在 7 天內造成健康蟻群半致死情形；模擬野外感染實驗中 7 隻帶孢子的疣胸琉璃蟻 15 天內造成族群大量死亡；存放於冰箱 4 週、6 週、8 週、10 週的 4.36×10^6 濃度孢子液皆可在 9 天內達到半致死率效果，對共生的蚜蟲及介殼蟲則無影響。本研究的蟲生真菌與已知的偏側蛇蟲草菌不同，但對疣胸琉璃蟻有致死效果。期望未來提升孢子收集技術，朝開發真菌殺蟲劑的生物農藥方向發展。



壹、研究動機

在校園中，常常看見成群結隊的螞蟻沿著電線、水管爬行到教室走廊，並往鋁門窗框上爬，然後消失在天花板中，尤其在夏天的時候成千上萬的螞蟻大軍讓人覺得怵目驚心。上網搜尋之後發現牠們是近年來引起關注的疣胸琉璃蟻，由於繁殖力強，加上與人們的活動區域重疊，因此造成居民生活上的不便與困擾。而這幾年來專家學者(林宗岐，2016)也建議以硼酸加糖水的餌劑讓牠們將食物帶回去巢穴餵哺其他夥伴，藉此降低族群的數量。為了更進一步了解牠們在野外的生活情形，我們進行實地觀察與紀錄。偶然的機會中發現了螞蟻身上長菌的奇特現象，第一種是疣胸琉璃蟻停留在葉背上，頭上冒出一根像冬蟲夏草般的黃色菌絲，菌絲前端呈現圓球體；第二種是疣胸琉璃蟻停留在葉背上，整隻被白色菌絲包覆成木乃伊的外貌。這兩種現象激起我們的好奇心，腦中也浮現幾個問題：1.這些真菌是牠們死掉才長的呢？還是活著的時候就寄生在身上而導致牠們死亡？2.如果這些真菌是疣胸琉璃蟻活著的時候就寄生，那是只對單一個體有影響，還是它也會感染其他健康的疣胸琉璃蟻？3.需要多少濃度的真菌就能造成蟻群感染，達到降低疣胸琉璃蟻，發揮生物農藥的效果？為了尋求以上問題的答案，於是我們就開始進行實驗。

貳、研究目的與架構

- 一、認識疣胸琉璃蟻的身體構造及生活史。
- 二、學習蟲生真菌的培育及孢子計數方式。
- 三、探究不同方式及不同濃度蟲生真菌對疣胸琉璃蟻的致死情形。
- 四、模擬野外疣胸琉璃蟻群在不同方式中被個體感染的情形。
- 五、了解蟲生真菌對其他生物(樹棲舉尾蟻、咖啡硬介殼蟲、桃蚜)的影響。
- 六、分析蟲生真菌孢子液未來應用可行性。

致命的危機~探討蟲生真菌對疣胸琉璃蟻的致死情形

【研究一】認識疣胸琉璃蟻的身體構造及生活史

身體構造

生態分工

物種共生

【研究二】學習蟲生真菌的培育及孢子計數方式

培養基製作方式

平塗培養方式

菌種純化方式

孢子計數方式

【研究三】探究不同方式及不同濃度蟲生真菌對疣胸琉璃蟻的致死情形

A. 施放方式

B. 爬行隻數

A1. 清水噴灑

原濃度
1/10 濃度
1/100 濃度
1/1000 濃度

A2. 糖水噴灑

原濃度
1/10 濃度
1/100 濃度
1/1000 濃度

A3. 糖水餵食

原濃度
1/10 濃度
1/100 濃度
1/1000 濃度

B1. 全部螞蟻爬行

5 分鐘
10 分鐘
20 分鐘
40 分鐘

B2. 單一螞蟻爬行

5 分鐘
10 分鐘
20 分鐘
40 分鐘

【研究四】模擬野外疣胸琉璃蟻群在不同方式中被個體感染的情形

不同條件下疣胸琉璃蟻

分別感染

正常疣胸琉璃蟻聚落

【研究五】了解蟲生真菌對其他生物的影響

樹棲舉尾蟻

咖啡硬介殼蟲

桃蚜

【研究六】分析蟲生真菌孢子液未來應用可行性

四週孢子液

六週孢子液





八週孢子液

十週孢子液

結論

參、研究設備及器材

一、實驗生物

			
疣胸琉璃蟻	樹棲舉尾蟻	咖啡硬介殼蟲	桃蚜

二、野外收集蟻群材料：PVC 水管、PVC 水管塞頭、塑膠繩。

三、飼養蟻群器材：透明塑膠桶、透明水管、水管接頭、落葉、消毒棉花、糖水、寶特瓶。

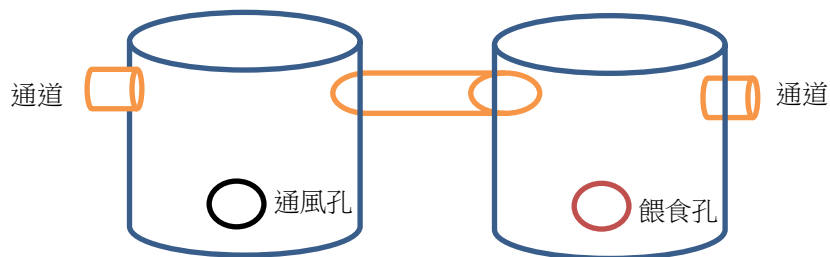


圖 3-1：自製疣胸琉璃蟻飼養桶

四、實驗用具

(一)菌種培養

紫外線烘碗機、塑膠培養皿、自製培養基(馬鈴薯、壓力鍋、過濾紙、滅菌帶、葡萄糖、Agar、玻璃瓶)、接種環、玻璃棒。

(二)觀察實驗

A.室內觀察：飼養杯、鋁箔飼養盒、CO₂ 瓶、棉球、解剖顯微鏡。

B.野外模擬：小型塑膠桶、透明水管及接頭、消毒棉花、糖水、餵食用寶特瓶。

(三)孢子收集

血球計數器、複式顯微鏡、Tween 20 乳化劑、清水。



肆、研究過程及方法

【研究一】認識疣胸琉璃蟻的身體構造及生活史

(一) 了解疣胸琉璃蟻身體構造

- 1 將野外取得的疣胸琉璃蟻放入培養皿中。
2. 使用 CO₂ 迷昏疣胸琉璃蟻。
3. 將迷昏的疣胸琉璃蟻放到解剖顯微鏡下進行觀察。

(二) 了解疣胸琉璃蟻生活情況

1. 將野外取得的疣胸琉璃蟻放置於飼養桶中。
2. 觀察疣胸琉璃蟻覓食行為、飼育方式及不同階段生態變化。



【研究二】學習蟲生真菌的培育及孢子計數方式

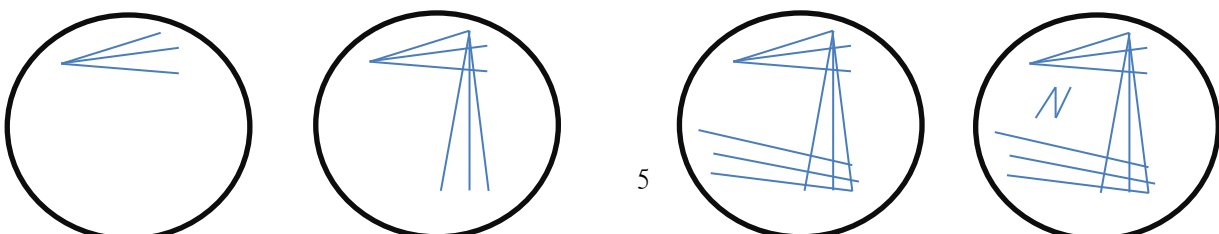
(一) 自製馬鈴薯培養基

1. 取 200g 去皮後的馬鈴薯，切成小塊後加水至 1000c.c.。
2. 加熱煮沸 30 分鐘後，過濾大塊馬鈴薯顆粒，並補水到 1000C.C.。
3. 將馬鈴薯溶液以濾紙進行過濾後，裝在容器中。
4. 接著加入 20g 葡萄糖及 10g 的 Agar，攪拌均勻後倒入玻璃瓶中。
5. 貼上滅菌帶，放入高壓蒸氣鍋煮 30 分鐘。
6. 待壓力鍋壓力下降後取出放涼，倒入塑膠培養皿中，凝固後即可放入 4°C 冰箱備用。



(二) 學習菌種純化方式

1. 將接種環以酒精燈加熱消毒。
2. 以接種環沾取待接種菌種，並畫在培養基上。
3. 將接種環再次加熱，並從第一次畫菌的線上再往下進行第二次畫線培養。
4. 重複第三步驟，進行第三次畫線培養。
5. 最後在中間畫個 Z 字型。



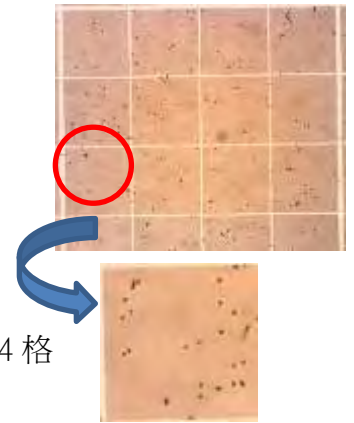
(三) 疣胸琉璃蟻身上取菌培養過程

項目	說明	照片
螞蟻身上取菌培育 	用鑷子將身上帶有黃色菌種的疣胸琉璃蟻、白色菌種的疣胸琉璃蟻以平塗方式分別平塗在 5 個培養皿中，進行 48~72 小時菌種培育，並觀察菌落生長情形。	
挑菌純化培育 	1. 挑出大小、顏色、外觀不同的菌種進行四區劃線法培養 48~72 小時，觀察其生長情形。 2. 持續挑選大小、顏色、外觀不同的菌種進行四區劃線法培養 48~72 小時，若菌種參雜，則再次進行純化，最後挑出紫色、黑色、綠色、白色等四種菌種。	
疣胸琉璃蟻爬行實驗 	分別將疣胸琉璃蟻放入純化過的紫菌 1~菌 5、黑菌 1~菌 5、綠菌 1~菌 3 及白菌 1~菌 6 中各爬行 30 分鐘，之後以毛筆將疣胸琉璃蟻放入飼養盒中，並以 15% 濃度的糖水飼養一星期，觀察其存活及身體變化情形。	
挑選有效菌種 	依據前置爬行實驗半致死率高低篩選出白菌 3 號及黑菌 2 號，準備進一步進行實驗時，卻發現黑菌 2 號培養皿上的疣胸琉璃蟻全身長滿仙女棒般的黃色菌絲及孢子囊，因此我們決定進一步了解這種蟲生真菌對疣胸琉璃蟻的影響。	
進行菌種培養 	以接種環沾取仙女棒般的黃色真菌，用四區劃線方式培養 48~72 小時，觀察其生長情形，並進行菌種生長紀錄。	
再次爬行實驗 	將疣胸琉璃蟻放入由仙女棒般真菌培養出來的培養皿中爬行 30 分鐘，再放入飼養盒中飼養一星期，觀察其存活情形。	
確認實驗菌種	經過 7 天觀察紀錄，發現這種如仙女棒般的蟲生真菌對疣胸琉璃蟻有一定的致死效果，因此決定以這種蟲生真菌進行進一步實驗。	

(四)孢子計數與稀釋

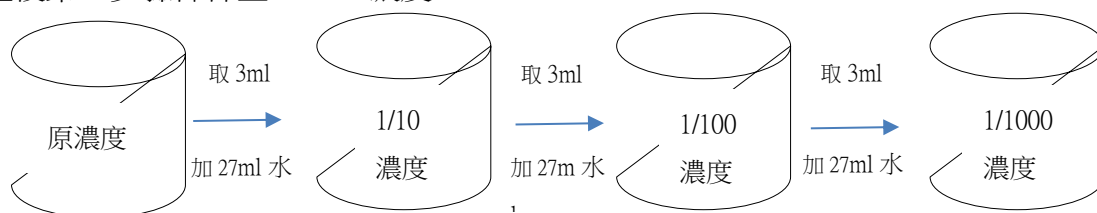
A.孢子計數

- 1.取 TWEEN20 乳化劑 0.1ml 加入 249.9 清水中，調成 250 毫升的溶液。
- 2.取調配好的 20C.C.溶液滴入已經培養一星期，布滿孢子的培養皿中。
- 3.將含有 TWEEN20 溶液的培養皿輕輕搖晃後倒出。
- 4.以滴管吸取 1C.C.含有孢子的 TWEEN20 溶液滴至血球計數器上。
- 5.將血球計數器放在複式顯微鏡下，並以拍照的方式將上下左右共計 64 格的孢子記錄下來。
- 6.使用 Image J 軟體進行手動計數孢子數。
- 7.將 64 小格計算後得出液體內所含孢子濃度為 4.36×10^6 。



B.1/10 孢子稀釋法

- 1.取 3ml 上述濃度(4.36×10^6)孢子原液加入 27ml 的清水中調成 1/10 的濃度。
- 2.再從 1/10 濃度的溶液取 3ml 加入 27ml 的清水中調成 1/100 的濃度。
- 3.重複第 2 步驟稀釋至 1/1000 濃度。



【研究三】探究不同方式及不同濃度蟲生真菌對疣胸琉璃蟻的致死情形

我們設計兩大變項瞭解蟲生真菌在不同情況對疣胸琉璃蟻的影響，分別為**施放方式**(清水噴灑濃度、糖水噴灑濃度、糖水餵食濃度三項)、**爬行隻數**(全部疣胸琉璃蟻爬行、單一疣胸琉璃蟻爬行兩項)。

壹、施放方式

(一)清水噴灑濃度

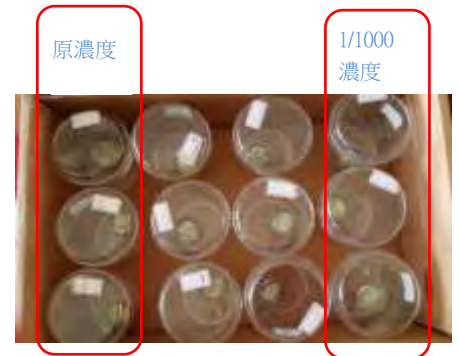
- 1.將各 20 隻疣胸琉璃蟻分別放入 12 個飼養杯中，並以 3 個為一組，共分成 4 組。
- 2.將清水調配好的原濃度、1/10 濃度、1/100 濃度、1/1000 濃度的蟲生真菌孢子液分別倒入噴瓶中並搖晃均勻。



- 3.分別將不同濃度的清水孢子液各朝 3 個飼養杯中噴三下後進行 10 天的觀察和紀錄。
- 4.另外準備 3 個各放 20 隻疣胸琉璃蟻的飼養杯當對照組，並以清水朝飼養杯噴三下。
5. 重複步驟 1~4 進行三重複實驗。

(二) 糖水噴灑濃度

- 1.將各 20 隻疣胸琉璃蟻分別放入 12 個飼養杯中，並以 3 個為一組，共分成 4 組。
- 2.將 15%糖水調配好的原濃度、1/10 濃度、1/100 濃度、1/1000 濃度的蟲生真菌孢子液分別倒入噴瓶中並搖晃均勻。



- 3.分別將不同濃度的糖水孢子液各朝 3 個飼養杯中噴三下後進行 10 天的觀察和紀錄。
4. 另外準備 3 個各放 20 隻疣胸琉璃蟻的飼養杯當對照組，並以糖水朝飼養杯噴三下。
- 5.重複步驟 1~4 進行三重複實驗。

(三)糖水餵食濃度

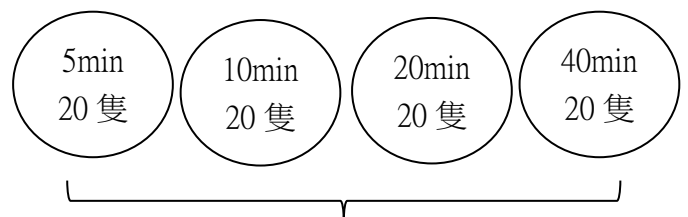
1. 將各 20 隻疣胸琉璃蟻分別放入 12 個飼養杯中，並以 3 個為一組，共分成 4 組。
- 2.將糖水調配好的原濃度、1/10 濃度、1/100 濃度、1/1000 濃度的蟲生真菌孢子液置於塑膠杯中，並以棉花球各沾取調配好的不同濃度糖水孢子液，放入鋁箔飼養盒中，進行 10 天的觀察和紀錄。
- 3.另外準備三個飼養盒，以棉花球沾取 15%糖水後，放入鋁箔飼養盒，並各放入 20 隻疣胸琉璃蟻飼養，當對照組。
4. 重複步驟 1~3 進行三重複實驗。



貳、爬行隻數

(一) 全部疣胸琉璃蟻爬行

- 1.準備培養一星期的蟲生真菌培養基 12 個，並以 3 個為一組，共分成四組。
- 2.分別以 5 分鐘、10 分鐘、20 分鐘、40 分鐘為基準，在每個培養基中放入 20 隻疣胸琉璃蟻讓牠們爬行。



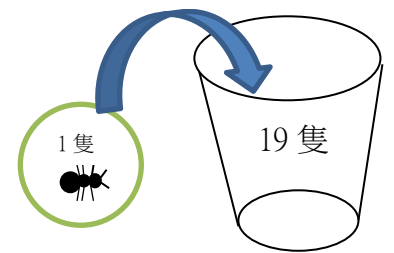
各放 3 個長菌一星期培養基讓疣胸琉璃蟻爬行不同時間，並進行三重複實驗

- 3.待時間到達後，用毛筆將疣胸琉璃蟻取出，放入飼養杯中飼養並進行 10 天的觀察記錄。
- 4.另外準備乾淨的馬鈴薯培養基 3 個，各放入 20 隻疣胸琉璃蟻爬行 40 分鐘後取出飼養，當對照組。
- 5.重複步驟 1~4 進行三重複實驗。

(二) 單一疣胸琉璃蟻爬行

1. 將各 19 隻健康的疣胸琉璃蟻放入 12 個飼養杯中，並以 3 個為一組，共分成 4 組。
2. 在培養一星期的 4 個蟲生真菌培養基中分別放入 1 隻疣胸琉璃蟻爬行，並以 5 分鐘、10 分鐘、20 分鐘、40 分鐘的方式計數後，以毛筆取出放入含 19 隻健康疣胸琉璃蟻飼養杯。
- 3.將上述四組飼養杯進行 10 天觀察並記錄。
- 4.另外設置三個在馬鈴薯培養基中爬行 40 分鐘的後放入健康琉璃蟻飼養盒當對照組，進行 10 天觀察及記錄。
5. 重複步驟 1~4 進行三重複實驗。

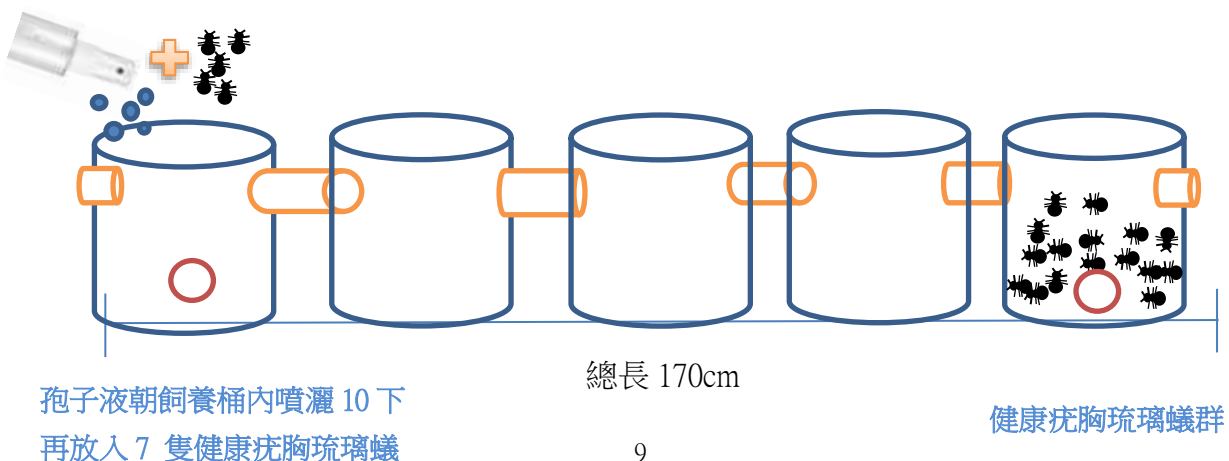
疣胸琉璃蟻在培養基爬行後放入



【研究四】模擬野外疣胸琉璃蟻群在不同方式中被個體感染的情形

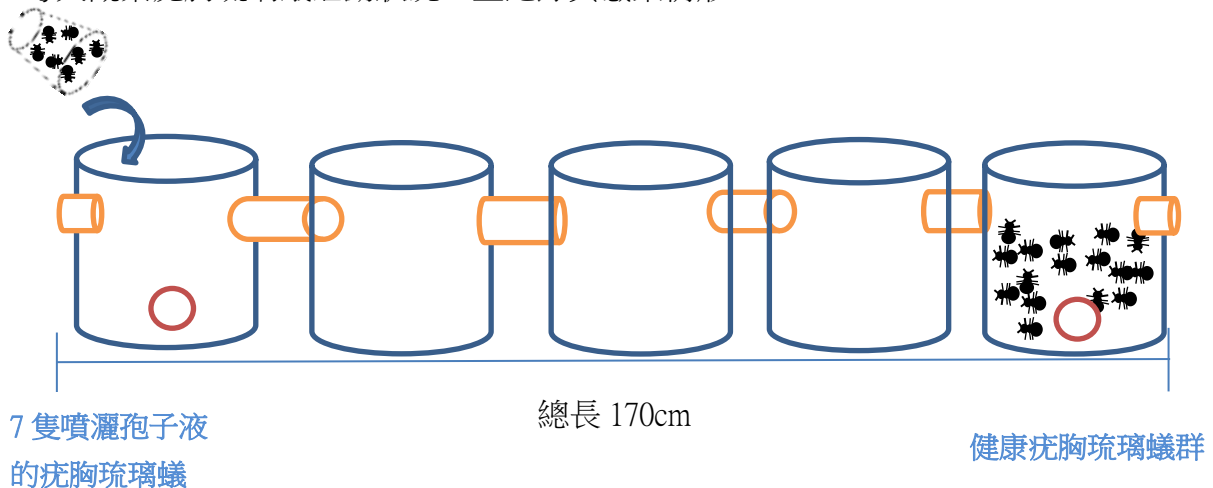
(一) 飼養桶中噴灑原濃度(4.36*10⁶)清水孢子液

1. 取出原濃度清水孢子液噴瓶，並朝將最左側的飼養桶內噴灑 10 下。
2. 將健康的 7 隻疣胸琉璃蟻放入最左邊的飼養桶中。
3. 將數量大約 150~200 隻的健康疣胸琉璃蟻蟻群(含卵、幼蟲、蛹、成蟲)放在最右側，並覆蓋枯樹葉。
- 3.在最左邊及最右邊的飼養桶中各準備一個濃度 15%的糖水罐餵食。
- 4.每天觀察疣胸琉璃蟻活動狀況，並記錄其感染情形。



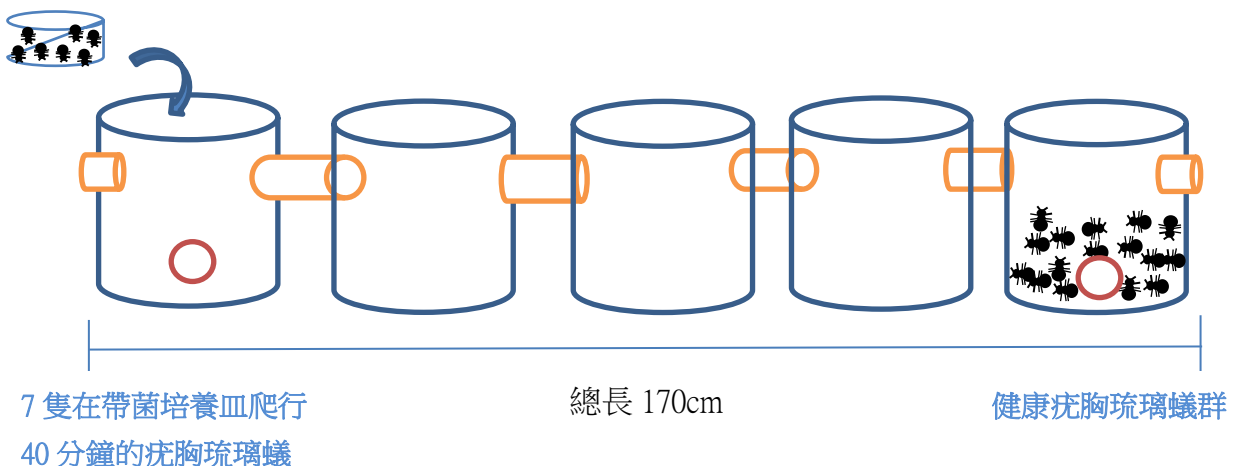
(二) 疣胸琉璃蟻身上噴灑原濃度(4.36×10^6)清水孢子液

- 1.取 7 隻疣胸琉璃蟻放在飼養杯中，並以原濃度清水孢子液噴灑 10 下後取出放在最左側的飼養桶中。
- 2.將數量大約 150~200 隻的健康疣胸琉璃蟻蟻群(含卵、幼蟲、蛹、成蟲)放在最右側，並覆蓋枯樹葉。
- 3.在最左邊及最右邊的飼養桶中各準備一個濃度 15%的糖水罐餵食。
- 4.每天觀察疣胸琉璃蟻活動狀況，並記錄其感染情形。



(三) 疣胸琉璃蟻在蟲生真菌培養皿中爬行

- 1.取 7 隻疣胸琉璃蟻放在培養一星期的蟲生真菌培養皿中爬行 40 分鐘後取出，放在最左側的飼養桶中。
- 2.將數量大約 150~200 隻的健康疣胸琉璃蟻蟻群(含卵、幼蟲、蛹、成蟲)放在最右側，並覆蓋枯樹葉。
- 3.在最左邊及最右邊的飼養桶中各準備一個濃度 15%的糖水罐餵食。
- 4.每天觀察疣胸琉璃蟻活動狀況，並記錄其感染情形。



【研究五】了解蟲生真菌對其他生物(樹棲舉尾蟻、咖啡硬介殼蟲、桃蚜)的影響

(一)樹棲舉尾蟻

- 1.將各 20 隻樹棲舉尾蟻分別放入 3 個飼養杯中。
- 2.將清水調配好的原濃度(4.36×10^6)的蟲生真菌孢子液倒入噴瓶中並搖晃均勻。
- 3.以原濃度的蟲生真菌孢子液朝 3 個飼養杯中噴三下後進行 10 天的觀察和紀錄。
- 4.重複步驟 1~3 進行三重複實驗。

(二)咖啡硬介殼蟲、桃蚜

A.清水噴灑

- 1.將疣胸琉璃蟻和咖啡硬介殼蟲及桃蚜共生的枝條剪下，並放在塑膠容器中。
- 2.以 7~9 公分為單位，將上述枝條剪成三段後分別放入三個小型飼養杯中，並提供 15%糖水當食物。
- 3.以原濃度(4.36×10^6)的清水蟲生真菌孢子液朝 3 個飼養杯中噴三下後進行 10 天的觀察和紀錄。
- 4.重複步驟 1~3 進行三重複實驗。



B.糖水噴灑

- 1.將疣胸琉璃蟻和咖啡硬介殼蟲及桃蚜共生的枝條剪下，並放在塑膠容器中。
- 2.以 7~9 公分為單位，將上述兩種枝葉剪成三段後分別放入三個小型飼養杯中，並提供 15%糖水當食物。
- 3.以原濃度(4.36×10^6)的糖水蟲生真菌孢子液朝 3 個飼養杯中噴三下後進行 10 天觀察紀錄。
- 4.重複步驟 1~3 進行三重複實驗。

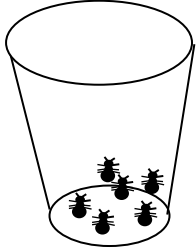
【研究六】分析蟲生真菌孢子液未來應用可行性

- 1.將培養一星期，布滿孢子的培養皿以 TWEEN20 的溶液沖洗後倒出，並以血球計數器計數後，確認孢子液濃度為 4.36×10^6 。
- 2.將上述孢子液裝入噴瓶中，並置於冰箱中冷藏 4 週、6 週、8 週、10 週。
- 3.將各 20 隻疣胸琉璃蟻分別放入 12 個飼養杯中，並以 3 個為一組，共分成 4 組。

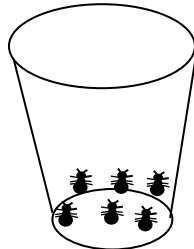
4.分別將冷藏 4 週、6 週、8 週、10 週的孢子液各朝 3 個飼養杯中噴三下後進行 9 天的觀察和紀錄。

5.另外準備 3 個各放 20 隻疣胸琉璃蟻的飼養杯當對照組，並以清水朝飼養杯噴三下。

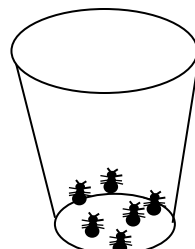
6. 重複步驟 1~4 進行二重複實驗。



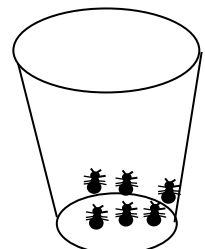
噴灑 4 週清水孢子液



噴灑 6 週清水孢子液



噴灑 8 週清水孢子液



噴灑 10 週清水孢子液

伍、研究結果

第一部分：疣胸琉璃蟻特徵及飼育方式

一、疣胸琉璃蟻為多蟻后型態，並喜歡與蜜源昆蟲共生

疣胸琉璃蟻體長約 5~6mm，體色黑色，體表粗糙，胸部上方具有凹凸不平的突起，且具有長毛，腹部具橫狀的光滑帶。牠們喜歡成群結隊的在樹枝間遷移蟻巢、搜尋食物，另外也喜歡居住於孔洞中，因此人為的水管、竹子孔隙，甚至榕樹樹幹中的凹洞處都是生活空間。在 PVC 館築巢時，會將洞口以泥土或樹葉封住，只留下小孔隙通行。蟻后負責產卵，一個族群中可以並存多隻蟻后，工蟻負責把食物搬回巢穴，並進行飼育幼蟲的工作，遇到危險時會使用大顎攻擊敵人，並迅速將卵搬離危險區域。

疣胸琉璃蟻以液態糖類為食，在野外常見疣胸琉璃蟻和蚜蟲或介殼蟲共生，以便吸取牠們分泌的蜜露。平時疣胸琉璃蟻會協助蚜蟲驅趕瓢蟲等天敵，而介殼蟲移動緩慢，疣胸琉璃蟻則會協助把牠搬到食物較充足的樹枝上。



表 5-1 疣胸琉璃蟻生活史

齡期	特徵
1. 卵	1. 呈現透明白色，大約 0.1mm。 2. 外表像米粒，呈橢圓形。
2. 幼蟲	1. 幼蟲外形像雞母蟲，大小約 0.5-1mm 之間。 2. 從解剖顯微鏡觀看，幼蟲具有一節一節的體節。
3. 蛹	1. 剛開始是透明狀，後來會逐漸轉變成褐色，大約 4~6mm。 2. 從顯微鏡下觀看外表有分成頭部、胸部、腹部，也長出觸鬚和腳。
4. 成蟲	1. 體長約 5-6mm 之間，工蟻和蟻后體型差距大。 2. 雄蟻和蟻后会長出翅膀，雄蟻通常負責交配壽命較短。

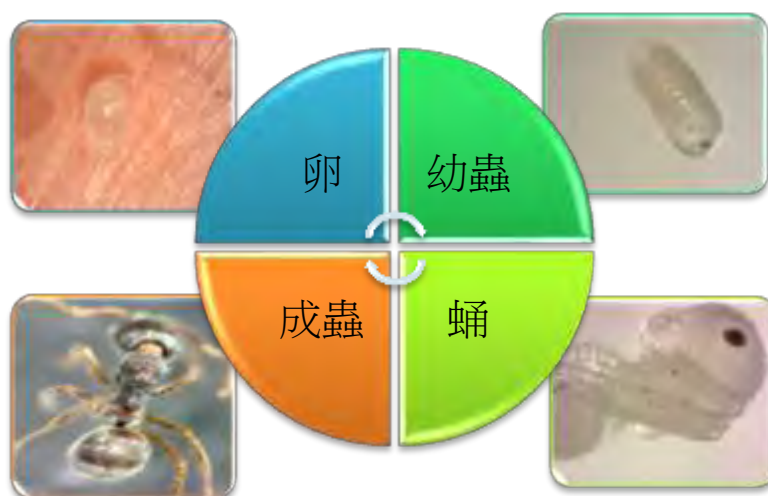


圖 5-1 疣胸琉璃蟻生活史(照片拍攝自學校實驗室)

第二部分：施行方式對疣胸琉璃蟻的致死情形

一、噴灑不同清水孢子濃度的蟲生真菌皆在 6 天前達到疣胸琉璃蟻半致死率效果

表 5-2-1-1 顯示，原清水孢子濃度、1/10 清水孢子濃度、1/100 清水孢子濃度、1/1000 清水孢子濃度分別在第二天，第三天、第三天、第六天達到半致死率的效果，而第 10 天時，原濃度的疣胸琉璃蟻死亡率達 88.3%。「原濃度,對照組」、「1/10 濃度,對照組」、「1/100 濃度,對照組」、「1/1000,對照組」死亡率上皆有顯著差異。表 5-2-1-2 顯示，原濃度、1/10 濃度、1/100 濃度、1/1000 濃度琉璃蟻在糖水盒內、糖盒外長菌比例分別為「50%,50%」、「67%,33%」、「71%,29%」、「50%,50%」。

表 5-2-1-1 疣胸琉璃蟻在噴灑不同濃度清水孢子液下死亡率的變化情形

項目	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	Day8	Day9	Day10	T test
原濃度	40.6%	63.6%	70.7%	75.4%	77.2%	78.1%	82.7%	82.7%	86.2%	88.3%	5.23*10 ^{-11***}
1/10 濃度	36.6%	47.3%	60.7%	66.7%	68.8%	69.3%	74.8%	75.3%	78.6%	81.2%	7.02*10 ^{-10***}
1/100 濃度	37.2%	45.5%	51.3%	52.6%	54.0%	54.0%	61.2%	61.2%	67.3%	73.1%	3.09*10 ^{-10**}
1/1000 濃度	26.2%	37.4%	41.4%	46.8%	49.2%	50.8%	54.1%	55.2%	61.4%	65.7%	1.79*10 ^{-8***}
對照	8.7%	10.1%	11.6%	15.9%	15.9%	17.4%	18.8%	18.8%	17.4%	18.8%	

註：*P< .05 **P< .01 ***P< .001

表 5-2-1-2 疣胸琉璃蟻在不同濃度清水孢子液下身體長菌及分布情形

項目	糖水盒	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	Day8	Day9	Day10	比例%	總數
原濃度	內	0	0	11	34	43	45	51	52	55	59	50	118
	外	0	8	27	42	42	44	54	54	56	59	50	
1/10 濃度	內	0	0	30	56	56	56	88	88	92	104	67	155
	外	0	0	2	13	22	23	26	42	43	51	33	
1/100 濃度	內	0	0	10	21	21	21	44	46	53	61	71	86
	外	0	0	0	3	11	11	11	17	22	25	29	
1/1000 濃度	內	0	0	0	6	7	7	7	8	10	11	50	22
	外	0	0	0	0	2	3	3	6	7	11	50	

內-糖水盒內；外-糖水盒外

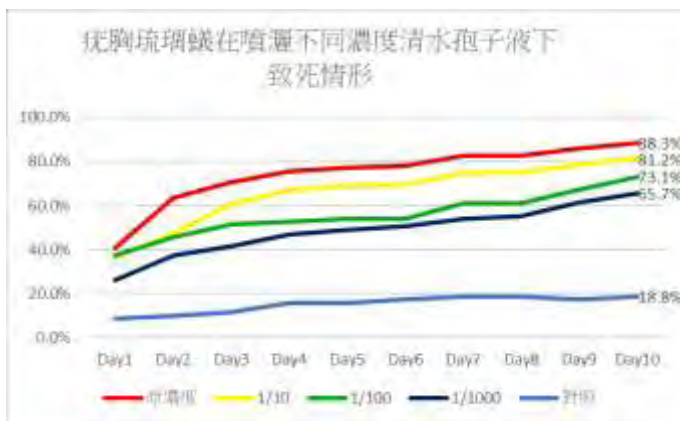


圖 5-2-1-1 琉璃蟻在不同濃度清水孢子液的致死情形



圖 5-2-1-2 琉璃蟻在噴灑不同濃度清水孢子液長菌分布情形

二、噴灑不同糖水孢子濃度的蟲生真菌皆在 9 天前達到疣胸琉璃蟻半致死率效果

表 5-2-2-1 顯示，原糖水孢子濃度、1/10 糖水孢子濃度、1/100 糖水孢子濃度、1/1000 糖水孢子濃度分別在第三天、第五天、第八天、第九天達到半致死率的效果，而第 10 天時，原濃度的疣胸琉璃蟻死亡率達 84.9%。「原濃度,對照組」、「1/10 濃度,對照組」、「1/100 濃度,對照組」、「1/1000,對照組」死亡率上皆有顯著差異。表 5-2-2-2 顯示，原濃度、1/10 濃度、1/100 濃度、1/1000 濃度琉璃蟻在糖水盒內、糖水盒外長菌比例分別為「53.8%,46.2%」、「68.8%,31.2%」、「68%,32%」、「76%,24%」。

表 5-2-2-1 疣胸琉璃蟻在噴灑不同濃度糖水孢子液下死亡率的變化情形

項目	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	Day8	Day9	Day10	T test
原濃度	29.2%	39.1%	57.7%	68.3%	73.6%	77.8%	80.9%	82.3%	83.6%	84.9%	8.21*10 ^{-9***}
1/10 濃度	23.3%	34.6%	48.0%	49.3%	52.2%	54.3%	61.3%	60.8%	64.1%	67.8%	8.72*10 ^{-8***}
1/100 濃度	23.0%	29.2%	35.4%	41.6%	43.9%	44.0%	47.9%	50.7%	53.7%	54.5%	6.72*10 ^{-8**}
1/1000 濃度	22.9%	31.8%	33.8%	40.3%	42.5%	43.8%	45.3%	46.6%	51.9%	53.5%	7.78*10 ^{-7***}
對照	5.2%	5.2%	7.2%	9.3%	11.3%	12.4%	14.4%	16.5%	18.6%	19.6%	

註：*P<.05 **P<.01 ***P<.001

表 5-2-2-2 疣胸琉璃蟻在噴灑不同濃度糖水孢子液下身體長菌及分布情形

項目	糖水盒	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	Day8	Day9	Day10	比例%	總數
原濃度	內	0	0	13	23	30	33	39	39	62	64	53.8	119
	外	0	0	12	29	34	34	46	49	49	55	46.2	
1/10 濃度	內	0	0	6	23	29	35	59	60	62	66	68.8	96
	外	0	0	5	10	18	18	25	25	28	30	31.2	
1/100 濃度	內	0	0	12	28	28	30	38	39	45	51	68.0	75
	外	0	0	6	11	14	14	20	20	21	24	32.0	
1/1000 濃度	內	0	0	7	21	30	31	34	42	46	57	76.0	75
	外	0	0	3	9	11	11	12	13	15	18	24.0	



圖 5-2-2-1 疣胸琉璃蟻在不同濃度糖水孢子液下致死情形 圖 5-2-2-2 琉璃蟻噴灑在不同濃度糖水孢子液長菌分布情形

三、原餵食孢子濃度、1/10 餵食孢子濃度、1/1000 餵食孢子濃度皆在 8 天前達到半致死率

表 5-2-3-1 顯示，原餵食孢子濃度、1/10 餵食孢子濃度以及 1/1000 餵食孢子濃度分別在第七天、第七天、第八天達到半致死率的效果。「原濃度,對照組」、「1/10 濃度,對照組」、「1/100 濃度,對照組」、「1/1000,對照組」在死亡率上皆有顯著差異。表 5-2-3-2 顯示，原濃度、1/10 濃度、1/100 濃度、1/1000 濃度琉璃蟻在糖水盒內、糖水盒外長菌比例分別為「57.5%,42.5%」、「73.4%,26.2%」、「84.5%,15.5%」、「67.1%,32.9%」。

表 5-2-3-1 疣胸琉璃蟻在不同濃度餵食孢子液下死亡率的變化情形

項目	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	Day8	Day9	Day10	T test
原濃度	28.5%	35.8%	40.0%	44.2%	45.1%	49.0%	53.0%	60.1%	61.8%	68.6%	2.44*10 ^{-5***}
1/10 濃度	26.7%	33.6%	37.7%	49.7%	47.7%	49.8%	51.3%	54.7%	57.7%	62.1%	2.11*10 ^{-8***}
1/100 濃度	16.1%	27.0%	30.7%	36.4%	37.8%	37.8%	40.8%	44.5%	48.7%	48.3%	9.29*10 ^{-7**}
1/1000 濃度	26.5%	32.4%	35.6%	40.3%	43.4%	45.7%	47.4%	51.4%	52.3%	57.8%	2.31*10 ^{-8***}
對照	0.0%	2.1%	4.1%	6.2%	9.3%	12.4%	10.3%	13.4%	15.5%	19.6%	

註：*P< .05 **P< .01 ***P< .001

表 5-2-3-2 疣胸琉璃蟻在不同濃度餵食孢子液下身體長菌及分布情形

項目	糖水盒	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	Day8	Day9	Day10	比例%	總數
原濃度	內	0	10	17	26	36	44	48	56	60	61	57.5	106
	外	0	0	11	23	24	29	31	39	44	45	42.5	
1/10 濃度	內	0	1	16	33	41	43	45	47	49	58	73.4	79
	外	0	0	6	13	12	14	14	14	14	21	26.6	
1/100 濃度	內	0	0	9	27	35	36	41	43	46	49	84.5	58
	外	0	0	0	0	0	0	0	1	2	9	15.5	
1/1000 濃度	內	0	0	14	31	36	37	37	47	50	51	67.1	76
	外	0	0	0	5	5	6	8	17	19	25	32.9	



圖 5-2-3-1 疣胸琉璃蟻在不同濃度餵食孢子液下致死情形



圖 5-2-3-2 琉璃蟻在不同濃度餵食孢子液長菌分布情形

四、在三種不同施作方式中，四種濃度皆以清水噴灑最快達到半致死率，且三種施作方式結果有顯著差異

表 5-2-4-1 顯示，濃度相同的孢子菌液在使用不同方式下對疣胸琉璃蟻會造成不同的致死效果。原濃度、1/10 濃度、1/100 濃度三種濃度中，疣胸琉璃蟻致死效果由高到低依序為「噴灑清水組、噴灑糖水組、餵食組」；1/1000 濃度中，疣胸琉璃蟻致死效果由高到低依序為「噴灑清水組、餵食組、噴灑糖水組」。而「噴灑清水組、噴灑糖水組、餵食組」三種施作方式在死亡率上有顯著差異。

表 5-2-4-1 相同濃度下不同施作方式對疣胸琉璃蟻致死情況的差異情形

濃度	方式	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	Day8	Day9	Day10	T test		
												清糖	糖餵	清餵
原濃度	清水	40.6%	63.6%	70.7%	75.4%	77.2%	78.1%	82.7%	82.7%	86.2%	88.3%	0.192	0.009**	1.83*10 ^{****}
	糖水	29.2%	39.1%	57.7%	68.3%	73.6%	77.8%	80.9%	82.3%	83.6%	84.9%			
	餵食	28.5%	35.8%	40.0%	44.2%	45.1%	49.0%	53.0%	60.1%	61.8%	68.6%			
1/10 濃度	清水	36.6%	47.3%	60.7%	66.7%	68.8%	69.3%	74.8%	75.3%	78.6%	81.2%	0.017*	0.218	0.0019**
	糖水	23.3%	34.6%	48.0%	49.3%	52.2%	54.3%	61.3%	60.8%	64.1%	67.8%			
	餵食	26.7%	33.6%	37.7%	49.7%	47.7%	49.8%	51.3%	54.7%	57.7%	62.1%			
1/100 濃度	清水	37.2%	45.5%	51.3%	52.6%	54.0%	54.0%	61.2%	61.2%	67.3%	73.1%	0.006**	0.119	0.0003***
	糖水	23.0%	29.2%	35.4%	41.6%	43.9%	44.0%	47.9%	50.7%	53.7%	54.5%			
	餵食	16.1%	27.0%	30.7%	36.4%	37.8%	37.8%	40.8%	44.5%	48.7%	48.3%			
1/1000 濃度	清水	26.2%	37.4%	41.4%	46.8%	49.2%	50.8%	54.1%	55.2%	61.4%	65.7%	0.063	0.319	0.131
	糖水	22.9%	31.8%	33.8%	40.3%	42.5%	43.8%	45.3%	46.6%	51.9%	53.5%			
	餵食	26.5%	32.4%	35.6%	40.3%	43.4%	45.7%	47.4%	51.4%	52.3%	57.8%			

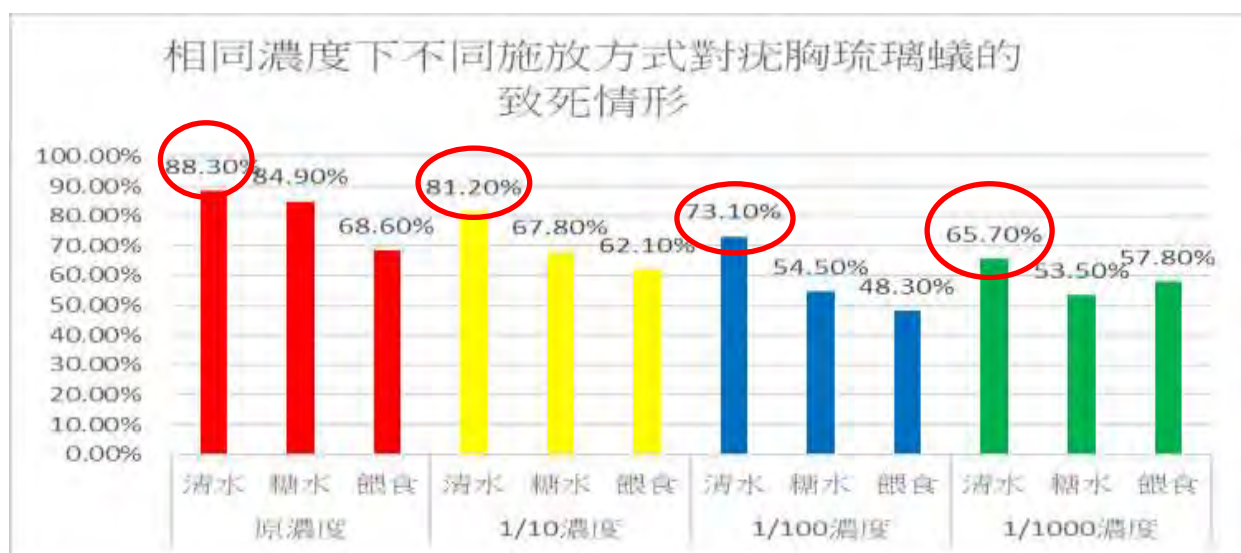


圖 5-2-4-1 相同濃度下不同施作方式對疣胸琉璃蟻的致死情形

第三部分：爬行隻數對疣胸琉璃蟻的致死情形

一、5分鐘、10分鐘、20分鐘、40分鐘爬行時間皆在第三天達到半致死率效果

表 5-3-1-1 顯示，不管是爬行時間 5 分鐘、10 分鐘、20 分鐘、40 分鐘的疣胸琉璃蟻，在第三天皆達到半致死率的效果，而第 10 天時，四種爬行時間的疣胸琉璃蟻死亡率皆達 90% 以上。而「5 分鐘,對照組」、「10 分鐘,對照組」、「20 分鐘,對照組」、「40 分鐘,對照組」在死亡率上皆有顯著差異。表 5-3-1-2 顯示，爬行 5 分鐘、10 分鐘、20 分鐘、40 分鐘琉璃蟻在糖水盒內、糖水盒外長菌比例分別為「66%,34%」、「54%,46%」、「58%,42%」、「57%,43%」。

表 5-3-1-1 疣胸琉璃蟻在不同爬行時間下的死亡率變化情形

項目	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	Day8	Day9	Day10	T test
5min	21.8%	40.7%	61.5%	78.0%	87.2%	89.7%	89.7%	91.5%	93.1%	94.0%	$2.89*10^{-7+++}$
10min	26.2%	34.2%	53.9%	72.5%	89.6%	92.8%	92.8%	92.8%	93.6%	94.4%	$9.11*10^{-5***}$
20min	17.6%	34.0%	60.8%	60.8%	87.9%	89.5%	90.4%	90.4%	91.2%	92.1%	$1.50*10^{-6***}$
40min	25.1%	44.5%	66.2%	85.8%	92.2%	92.2%	95.4%	96.2%	96.2%	96.9%	$1.25*10^{-7***}$
對照	0.0%	3.2%	3.2%	11.1%	12.7%	15.9%	17.5%	17.5%	19.0%	20.6%	

註：*P< .05 **P< .01 ***P< .001

表 5-3-1-2 疣胸琉璃蟻在不同爬行時間下身體長菌及分布情形

項目	糖水盒	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	Day8	Day9	Day10	比例%	總數
5min	內	0	0	0	0	6	16	27	39	39	39	66	59
	外	0	0	0	6	16	18	20	20	20	20	34	
10min	內	0	0	0	8	17	23	29	32	32	32	54	59
	外	0	0	0	6	11	21	25	25	25	27	46	
20min	內	0	0	0	5	7	21	27	35	35	35	58	60
	外	0	0	0	5	11	19	22	25	25	25	42	
40min	內	0	0	0	5	13	26	27	32	39	39	57	69
	外	0	0	0	8	15	22	27	30	30	30	43	

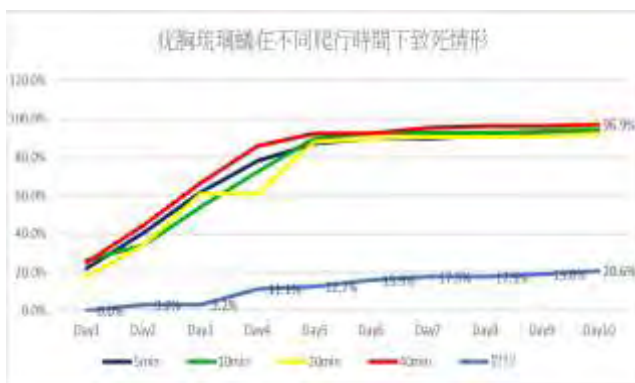


圖 5-3-1-1 疣胸琉璃蟻在不同爬行時間下致死情形



圖 5-3-1-2 琉璃蟻在不同爬行時間下長菌分布情形

二、單一疣胸琉璃蟻在蟲生真菌培養皿爬 5 分鐘就會在第七天達到健康琉璃蟻半致死率效果

表 5-3-2-1 顯示，單一疣胸琉璃蟻在爬行時間 5 分鐘、10 分鐘、20 分鐘、40 分鐘可在第七天或第六天造成健康琉璃蟻半致死率的效果。而「5 分鐘,對照組」、「10 分鐘,對照組」、「20 分鐘,對照組」、「40 分鐘,對照組」在死亡率上皆有顯著差異；表 5-3-2-2 顯示 5 分鐘、10 分鐘、20 分鐘、40 分鐘單一帶菌疣胸琉璃蟻造成其他健康琉璃蟻在糖盒內、糖盒外長菌比例為「61.9%,38.1%」、「64.2%,35.8%」、「54.6%,45.4%」、「82.3%,17.7%」。

表 5-3-2-1 不同時間下單一沾菌疣胸琉璃蟻對其他健康疣胸琉璃蟻造成死亡率的情形

項目	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	Day8	Day9	Day10	Ttest
5min	17.5%	28.1%	37.6%	42.9%	45.8%	47.1%	55.2%	58.7%	61.3%	65.1%	1.36*10 ^{-6***}
10min	15.0%	27.4%	39.2%	44.3%	46.2%	47.8%	52.4%	59.5%	62.5%	66.9%	2.39*10 ^{-6***}
20min	17.5%	27.4%	36.0%	42.6%	47.2%	49.6%	55.8%	61.8%	63.6%	66.2%	2.10*10 ^{-6***}
40min	15.6%	24.3%	38.5%	44.6%	47.8%	52.1%	54.2%	58.4%	62.4%	65.1%	2.54*10 ^{-6***}
對照	0.0%	3.2%	3.2%	11.1%	12.7%	15.9%	17.5%	17.5%	19.0%	20.6%	

註：*P< .05 **P< .01 ***P< .001

表 5-3-2-2 不同時間下單一沾菌疣胸琉璃蟻對其他健康疣胸琉璃蟻身體長菌及分布的情形

項目	糖水盒	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	Day8	Day9	Day10	比例%	總數
5min	內	0	2	24	45	54	58	62	64	66	73	61.9	118
	外	0	0	6	22	24	26	28	34	40	45	38.1	
10min	內	0	2	18	38	45	48	53	58	67	68	64.2	106
	外	0	0	7	14	16	18	18	28	35	38	35.8	
20min	內	0	0	21	31	43	51	55	64	70	71	54.6	130
	外	0	0	3	11	17	24	26	56	61	59	45.4	
40min	內	0	0	23	32	49	54	57	62	63	65	82.3	79
	外	0	0	0	1	4	6	7	15	14	14	17.7	

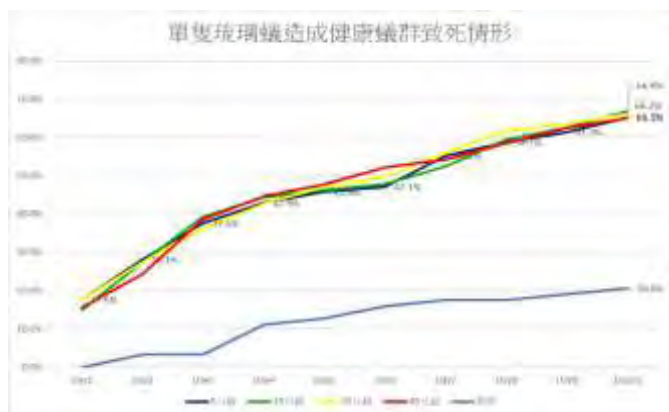


圖 5-3-2-1 單隻琉璃蟻造成健康琉璃蟻的致死情形



圖 5-3-2-2 單隻琉璃蟻造成健康琉璃蟻長菌分布情形

第四部分：模擬野外疣胸琉璃蟻群被個體感染的情形

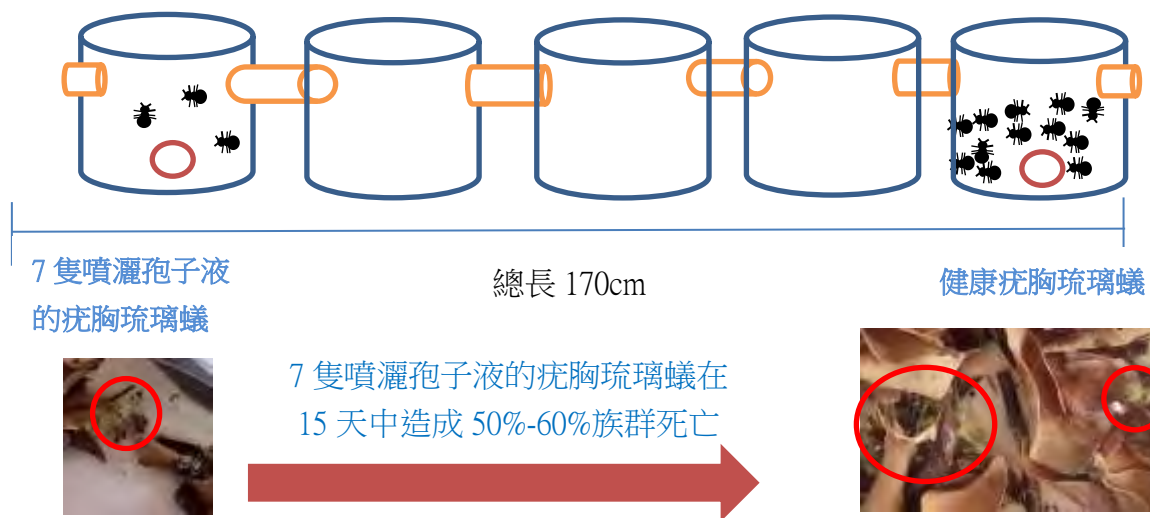
一、飼養桶中噴灑原濃度孢子液會對疣胸琉璃蟻影響不大

將原濃度清水孢子液先噴灑在最左邊飼養桶後，再放入 7 隻健康疣胸琉璃蟻，之後每天觀察蟲生真菌生長狀況，15 天後發現蟲生真菌主要生長在最左邊的糖水罐的棉花中，只有少數幾隻疣胸琉璃蟻身上有長菌的情形。



二、噴灑孢子液的疣胸琉璃蟻會造成半數健康琉璃蟻群死亡

將 7 隻噴灑孢子液的疣胸琉璃蟻放入最左邊的飼養桶並持續進行觀察，第 7 天時發現最左邊的飼養桶中出現長菌的胸琉璃蟻，最右邊糖水飼養盒也出現 7-8 隻長菌的疣胸琉璃蟻，第 15 天時則觀察到最右邊的葉子上出現 50%-60% 受感染的疣胸琉璃蟻群。



三、爬行培養基的疣胸琉璃蟻會造成全體疣胸琉璃蟻感染死亡

將 7 隻疣胸琉璃蟻放在充滿孢子的培養皿爬行 40 分鐘後放入最左邊的飼養桶，並將 150~200 隻疣胸琉璃蟻(含卵、幼蟲、蛹、成蟲)放入最右邊的飼養桶中。第二天觀察時，發現最左邊的 7 隻疣胸琉璃蟻都不見了，持續觀察到第七天時，發現最右邊塑膠桶的透明瓶身上停了 6 隻疣胸琉璃蟻，身上出現黃色菌絲及孢子，第 10 天時發現落葉堆中也有 20~30 隻長菌的疣胸琉璃蟻，第 15 天時則觀察到最右邊的族群全部染菌死亡的情形。



第五部分：蟲生真菌在疣胸琉璃蟻身上生長及分布情形

一、蟲生真菌對各齡期疣胸琉璃蟻都有影響

仔細觀察蟲生真菌對疣胸琉璃蟻的影響，發現由於帶孢子的疣胸琉璃蟻會飼育不同齡期的幼蟲，所以間接也造成不同階段的疣胸琉璃蟻都會受感染而長出蟲生真菌的現象。

		
幼蟲	蛹	成蟲

二、蟲生真菌由疣胸琉璃蟻關節處長出

觀察蟲生真菌在疣胸琉璃蟻的生長變化時，發現蟲生真菌由螞蟻尾端或關節點長出白色菌絲，接著開始出現孢子囊，孢子囊成熟時則如開滿黃色滿天星般，進而擴散至蟻群。

時間	第一天	第二天	第四天	第七天
照片				
說明	疣胸琉璃蟻被寄生，蟲生真菌由尾端長出白色絲	蟲生真菌由螞蟻頭部胸部關節長出菌絲及孢子	蟲生真菌菌絲由疣胸琉璃蟻身體關節處不斷長出，布滿全身	蟲生真菌由單隻感染擴大到蟻群集體感染

三、疣胸琉璃蟻被感染後大多分布在糖水盒上，只有少數分布於塑膠杯中

觀察不同施作方式及爬行隻數被感染的疣胸琉璃蟻身上長菌分布情形後，發現大部分的疣胸琉璃蟻會停在餵食的糖水盒內一動也不動，接著一星期後身上即長滿蟲生真菌，只有少數的疣胸琉璃蟻不是停在糖水盒內，而是停在塑膠杯的牆面或底部。



大部分長菌分布於糖水盒內(左) 只有少數分布於牆面或底部(右)

第六部份：蟲生真菌對其他生物的影響

一、同孢子濃度的清水溶液對疣胸琉璃蟻以及樹棲舉尾蟻的致死效果有顯著差異

表 5-5-1-1 顯示，在原孢子濃度下疣胸琉璃蟻在第 2 天即達到半致死率的效果，第 10 天死亡率達 84%，而樹棲舉尾蟻在第 10 天死亡率為 48.8%，未達到半致死率。

表 5-6-1-1 同孢子濃度下疣胸琉璃蟻和樹棲舉尾蟻致死情況的差異

原濃度 清水孢子液	蟻	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	Day8	Day9	Day10	T test
	疣胸琉璃蟻	25.3%	57.6%	67.8%	74.8%	77.0%	78.5%	80.1%	80.1%	81.6%	84.0%	1.38*10 ^{-5***}
	樹棲舉尾蟻	5.5%	11.8%	22.8%	26.0%	28.3%	31.5%	37.8%	42.5%	48.0%	48.8%	

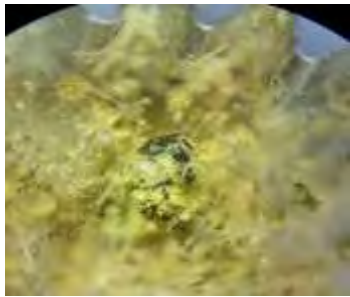







疣胸琉璃蟻(左)

樹棲舉尾蟻(右)

圖 5-6-1-1 疣胸琉璃蟻和樹棲舉尾蟻在原濃度致死情形

在觀察疣胸琉璃蟻與其他生物共生情況時，發現噴灑原濃度清水孢子溶液中的疣胸琉璃蟻在第三天開始死亡，而咖啡硬介殼蟲及桃蚜在經過 10 天後表面沒有出現蟲生真菌的菌絲。噴灑原濃度糖水孢子溶液中的疣胸琉璃蟻在第四天開始死亡，只有少數幾個樹枝、咖啡硬介殼蟲及桃蚜在第 9 天時表面出現蟲生真菌的菌絲及孢子。

項目	疣胸琉璃蟻	咖啡硬介殼蟲	桃蚜
原濃度清水孢子溶液			
原濃度糖水孢子溶液			

第七部份：不同週數蟲生真菌孢子液對疣胸琉璃蟻的影響

一、不同週數的孢子液皆在第 9 天前達到疣胸琉璃蟻半致死率效果

表 5-7-1 顯示，4 週清水、糖水孢子液皆在第七天達到半致死率的效果；6 週清水、糖水孢子液分別在第五天、第六天達到半致死率的效果。8 週清水、糖水孢子液分別在第八天、第四天達到半致死率的效果；10 週清水、糖水孢子液分別在第七天、第九天達到半致死率的效果。「4 週清水,對照組」、「4 週糖水,對照組」、「6 週清水,對照組」、「6 週糖水,對照組」、「8 週清水,對照組」、「8 週糖水,對照組」、「10 週清水,對照組」、「10 週糖水,對照組」在死亡率上皆有顯著差異。

表 5-7-1 疣胸琉璃蟻在不同週數下清水及糖水孢子液死亡率的變化情形

項目		Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	Day6	Day7	Day8	Day9	Ttest
4 週	清水	9.1%	25.8%	30.3%	31.8%	34.8%	39.4%	50.0%	60.6%	74.2%	0.0045**
	糖水	10.0%	27.1%	28.6%	32.9%	37.1%	42.9%	50.0%	60.0%	68.6%	0.0026**
6 週	清水	14.5%	27.2%	30.4%	45.8%	60.3%	71.1%	86.5%	86.5%	87.8%	0.00069***
	糖水	12.8%	25.6%	32.7%	40.8%	43.1%	58.5%	67.7%	69.2%	73.8%	0.00085***
8 週	清水	13.2%	29.4%	32.4%	32.4%	32.4%	39.7%	48.5%	52.9%	63.2%	0.00116**
	糖水	22.1%	31.5%	44.4%	55.9%	55.9%	67.6%	76.5%	89.7%	95.6%	0.00010***
10 週	清水	19.4%	41.8%	46.3%	47.8%	47.8%	49.3%	50.7%	53.7%	58.2%	1.96*10 ⁻⁶ ***
	糖水	8.3%	25.0%	26.7%	28.3%	31.7%	33.3%	38.3%	41.7%	50.0%	0.0061**
對照		14.6%	19.5%	19.5%	19.5%	19.5%	19.5%	19.5%	24.4%	24.4%	

註：*P< .05 **P< .01 ***P< .001



圖 5-7-1-1 不同週數清水孢子液對疣胸琉璃蟻致死情形

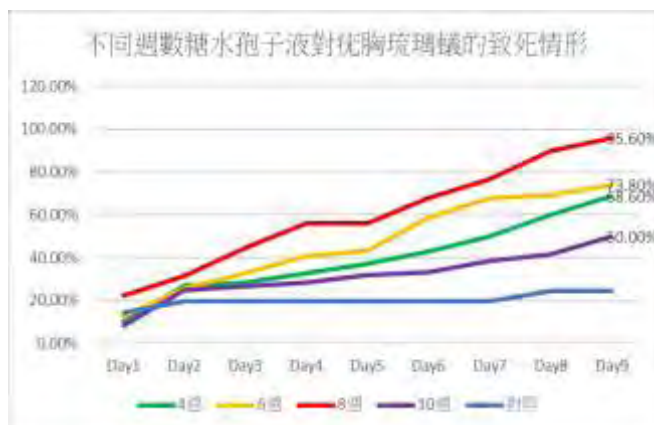


圖 5-7-1-2 不同週數糖水孢子液對疣胸琉璃蟻致死情形

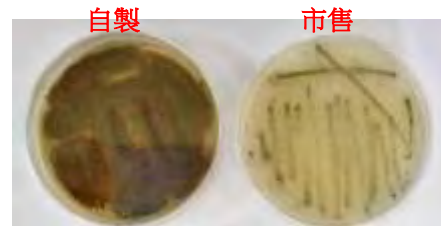
陸、討論

一、疣胸琉璃蟻喜歡沿著水泥地邊緣爬行，並與蜜源昆蟲共生

在校園中觀察疣胸琉璃蟻時，牠們會沿著水管及樹枝爬行，棲息於葉面上，並與介殼蟲和蚜蟲共生在植物上。仔細觀察後發現疣胸琉璃蟻會以前腳或觸鬚輕觸介殼蟲或蚜蟲，對方即會生產蜜露給疣胸琉璃蟻，所以當發生危險時，疣胸琉璃蟻會負責保護蚜蟲和介殼蟲，把它們搬離危險的地方，呈現取食共生現象（霍德伯勒與威爾森，2000）。

二、自製 PDA 培養基培養蟲生真菌效果較佳

將疣胸琉璃蟻的菌種分別培養於自製 PDA 培養基及市售 PDA 培養基 7 天後，發現前者比後者產生更好的菌種生長現象，因此我們推論自製培養基的營養成分更適合本實驗的蟲生真菌生長。



蟲生真菌在自製 PDA 培養基及市售 PDA 培養基生長的差異

三、三種施作方式中以孢子沾附體表方式(清水噴灑、糖水噴灑)達到較高致死率

在噴灑清水孢子、噴灑糖水孢子、糖水餵食孢子三種施行方式，本研究發現蟲生真菌的感染途徑以噴灑清水孢子及噴灑糖水孢子效果較佳，查閱相關文獻後發現當蟲生真菌孢子直接接觸昆蟲體壁時，會沾附在體表上發芽形成發芽管及吸附器，並透過伸出侵入釘，穿入昆蟲表皮(蔡勇勝，2005)，因此在相同孢子濃度下，噴灑方式比餵食方式更快達到致死效果。

四、單一帶菌疣胸琉璃蟻會造成健康蟻群集體感染死亡

在飼養杯中進行小型感染實驗時，發現單一疣胸琉璃蟻在蟲生真菌培養皿爬 5 分鐘就會在 7 天內達到健康琉璃蟻半致死率效果，而在模擬野外實驗中更發現帶孢子的疣胸琉璃蟻會將身上的蟲生真菌帶回巢穴中，讓巢穴中的蟻群在 15 天內受到感染死亡。一般而言，當蟻群發現垂死同伴身上有汙染物時，會將牠帶離巢穴，避免整個蟻窩受感染，但是本實驗中的蟲生真菌並不會讓疣胸琉璃蟻產生上述行為，因此才會讓整個蟻群受感染而死亡。

五、本研究的蟲生真菌對其他生物影響有限

在進行蟲生真菌對其他生物的影響時發現樹棲舉尾蟻並不像疣胸琉璃蟻一樣在 10 天內達到半致死率，而作用在咖啡硬介殼蟲及桃蚜時也只有少數體表長出菌絲，因此本研究的蟲生真菌對疣胸琉璃蟻有較高的致死效果，對其共生生物則無大影響。

六、本研究發現的蟲生真菌與已知的偏側蛇蟲草菌不同

目前研究螞蟻身上的真菌以偏側蛇蟲草菌(*Ophiocordyceps unilateralis*)為主，並有學者針對此菌進行一系列相關的研究。在他們的研究中發現這種偏側蛇蟲草菌會入侵螞蟻的肌肉，產生俗稱殭屍蟻的控制行為，進而造成螞蟻的死亡(Sandra B. Andersen et al, 2009)。而本實驗發現的菌種所生長的外觀(圖 6-6-1)與前述學者研究的菌種有顯著不同(圖 6-6-2)。在研究進行中也發現受感染的疣胸琉璃蟻會出現不自主的抽搐動作，感染後多集中於糖水盒中等現象。本研究的蟲生真菌是否如偏側蛇蟲草菌般控制疣胸琉璃蟻的行動，或是產生其他作用機制值得進一步深入探討。



圖 6-6-1：本研究找出來的蟲生真菌



圖 6-6-2：學者研究的偏側蛇蟲草菌

七、本研究以蟲生真菌降低蟻群數量，與市面上販售的藥劑不同

市面上的除蟻膏或除蟻劑成分多為硼砂、硼酸，利用螞蟻社會胃(嗉囊)將液狀食物帶回蟻巢交哺給其他同伴或幼蟲的方式(霍德伯勒與威爾森，2000)，進而達到連鎖殺蟻效果，然而硼砂或硼酸具有毒性，使用時要留意其安全性。本研究使用蟲生真菌孢子噴灑方式，針對疣胸琉璃蟻進行噴灑後即可透過工蟻將孢子帶回巢穴，達到降低蟻群的效果。

八、放置於冰箱保存 10 週的孢子液仍對疣胸琉璃蟻有半致死率效果

進行不同週數孢子液對疣胸琉璃蟻的影響實驗中，我們發現不管是冰存 4 週、6 週、8 週或 10 週的蟲生真菌孢子液對疣胸琉璃蟻都有半致死效果，因此如何進行液態發酵培養法，縮短蟲生真菌分生孢子生產期程，加上適當的保存技術，將有助於提升此種蟲生真菌未來應用的可行性。



柒、結論與建議

蟲生真菌是寄生在昆蟲身上的真菌，這些真菌能寄生，並在昆蟲體內增殖，使其早期死亡(蔡勇勝，2005)。我們透過野外採集長菌疣胸琉璃蟻進行菌種的培育，進而發現蟲生真菌的樣貌，也了解蟲生真菌對疣胸琉璃蟻及其他生物的影響。未來希望能透過專業的孢子收集技術，開發調製生物農藥（真菌殺蟲劑），進一步減少疣胸琉璃蟻對人類的危害，降低上述蟻群對生態的影響。

參考資料

1. 王秉誠(2018)。螞蟻飼養與觀察。出版社：晨星出版社。
2. 林宗岐,鍾富雅,方懷聖(2014)。湖山生物資源解說手冊：螞蟻類。出版社：特有生物保育中心。
3. 高穗生。生物農藥產業之現況及應用。農業藥物毒物試驗所生物藥劑組。
<https://www.tactri.gov.tw/Uploads/Item/556a4421-eb80-467f-96d2-cb51f8736dc5.pdf>
4. 蔡勇勝(2005)。生物農藥：使昆蟲發黴的蟲生真菌。《科學發展》。2005年7月，391期，10~13頁。<https://scitechvista.nat.gov.tw/c/s2N7.htm>
5. 謝佳真、王鈺靜、楊千霈(2010)。蚊所遁形—白殭菌對地下家蚊致病力探討。中華民國第50屆中小學科學展覽會作品說明書。
6. 霍德伯勒與威爾森(2000)。螞蟻·螞蟻。Journey to the ants : a story of scientific exploration。出版社：遠流出版社。
7. Sandra B. Andersen,^{1,*} Sylvia Gerritsma,^{1,2} Kalsum M. Yusah,³ David Mayntz,⁴ Nigel L. Hywel-Jones,⁵ Johan Billen,⁶ Jacobus J. Boomsma,¹ and David P. Hughes^{1,7}. *Natural History Note* : *The Life of a Dead Ant: The Expression of an Adaptive Extended Phenotype*. The American Naturalist September 2009 vol. 174, no. 3

【評語】 032910

本作品在野外採集到疣胸琉璃蟻身上的真菌，經培養與菌種純化，以不同濃度孢子感染實驗及模擬野外感染方式，了解蟲生真菌對疣胸琉璃蟻的影響。實驗方法設計妥善，層次分明，涵蓋面向廣，使用蟲生真菌孢子噴灑方式殺滅疣胸琉璃蟻也可行，有發展生物農藥的潛力，但仍需確定在應用時對其他生物之影響實驗。

摘要

近年來疣胸琉璃蟻肆虐，防治困難。我們在野外採集到疣胸琉璃蟻身上真菌，透過自製馬鈴薯培養基、菌種純化方式、不同濃度孢子感染實驗及模擬野外感染方式，了解蟲生真菌對疣胸琉璃蟻的影響。研究結果顯示噴灑 4.36×10^6 濃度孢子液在第2天達到半致死率；爬行5分鐘的單一帶菌疣胸琉璃蟻在7天內造成健康蟻群半致死情形；模擬野外感染實驗中7隻帶孢子的疣胸琉璃蟻15天內造成族群大量死亡；存放於冰箱4週、6週、8週、10週的 4.36×10^6 濃度孢子液皆可在9天內達到半致死率效果，對共生的蚜蟲及介殼蟲則無影響。本研究的蟲生真菌與已知的偏側蛇蟲草菌不同，但對疣胸琉璃蟻有致死效果。期望未來提升孢子收集技術，朝開發真菌殺蟲劑的生物農藥方向發展。

壹、研究動機

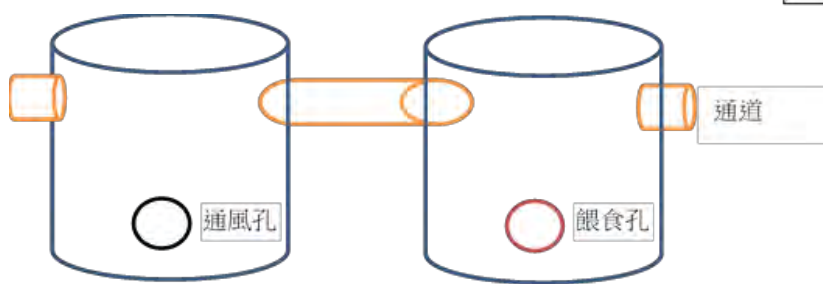
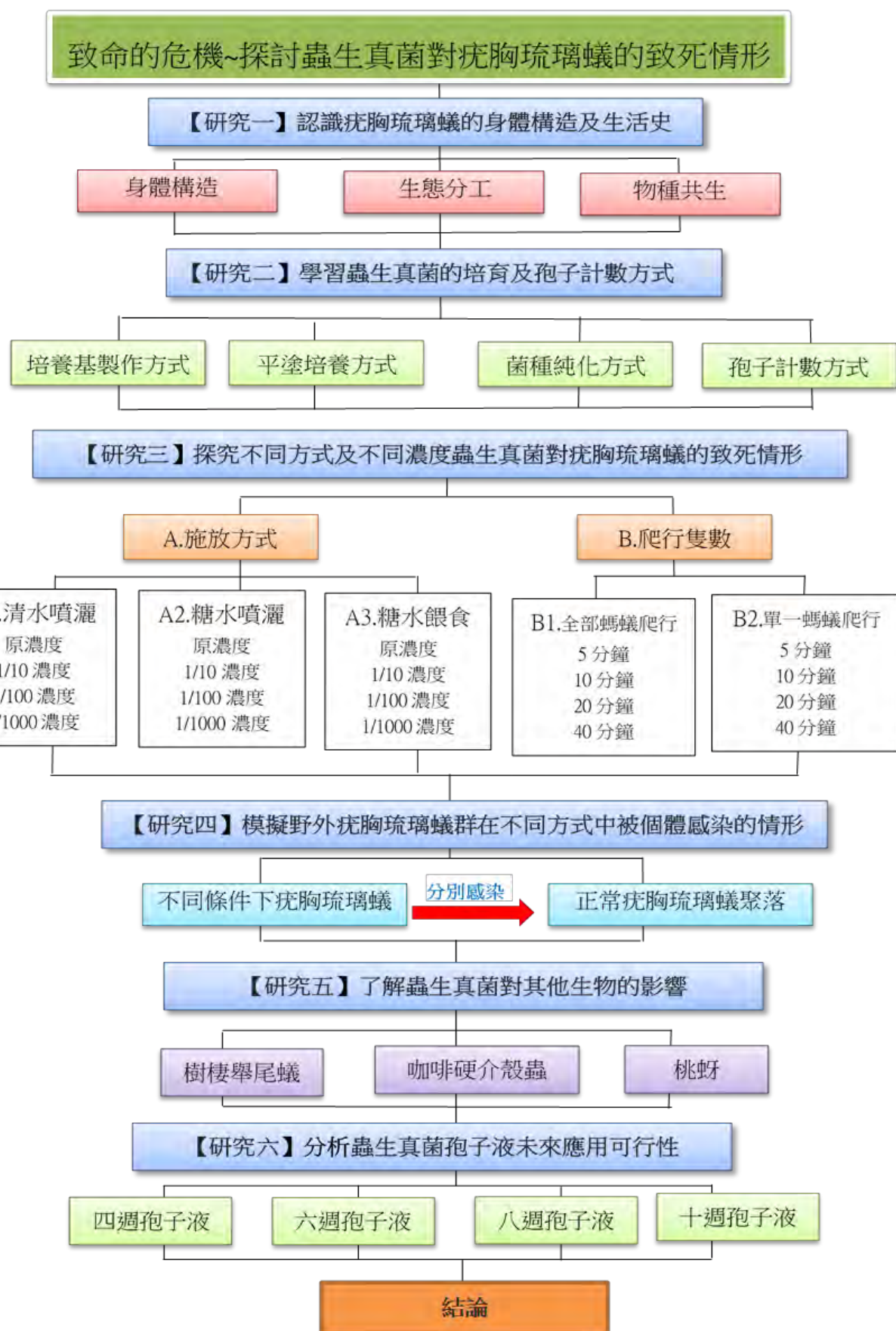
在進行實地觀察與紀錄中發現了疣胸琉璃蟻身上長菌的奇特現象，第一種是疣胸琉璃蟻停留在葉背上，頭上冒出一根像冬蟲夏草般的黃色菌絲，菌絲前端呈現圓球體；第二種是疣胸琉璃蟻停留在葉背上，整隻被白色菌絲包覆成木乃伊的外貌。我們腦中浮現幾個問題：1.這些真菌是牠們死掉才長的呢？還是活著的時候就寄生在身體上而導致牠們死亡？2.如果這些真菌是疣胸琉璃蟻活著的時候就寄生，那是只對單一個體有影響，還是它也會感染其他健康的疣胸琉璃蟻？3.需要多少濃度的真菌就能造成蟻群感染，達到降低疣胸琉璃蟻，發揮生物農藥的效果？



貳、研究目的、研究架構、設備器材

研究目的

- 一、認識疣胸琉璃蟻的身體構造及生活。
- 二、學習蟲生真菌的培育及孢子計數方式。
- 三、探究不同方式及不同濃度蟲生真菌對疣胸琉璃蟻的致死情形。
- 四、模擬野外疣胸琉璃蟻群在不同方式中被個體感染的情形。
- 五、了解蟲生真菌對其他生物(樹棲舉尾蟻、咖啡硬介殼蟲、桃蚜)的影響。
- 六、分析蟲生真菌孢子液未來應用可行性。



參、研究過程、結果與討論

【研究一】認識疣胸琉璃蟻的生活習性及共生生物

齡期	特徵
1.卵	1.呈現透明白色，大約0.1mm。 2.外表像米粒，呈橢圓形。
2.幼蟲	1.幼蟲像雞母蟲，大約0.5-1mm之間。 2.從解剖顯微鏡觀看，幼蟲具有一節一節的體節。
3.蛹	1.剛開始是透明狀，後來會逐漸轉變成褐色，大約2~3mm。 2.從顯微鏡下觀看外表有分成頭部、胸部、腹部，也長出觸鬚和腳。
4.成蟲	1.體長約3-4mm之間，工蟻和蟻后體型差距大。 2.雄蟻和蟻后会長出翅膀，雄蟻通常負責交配壽命較短。

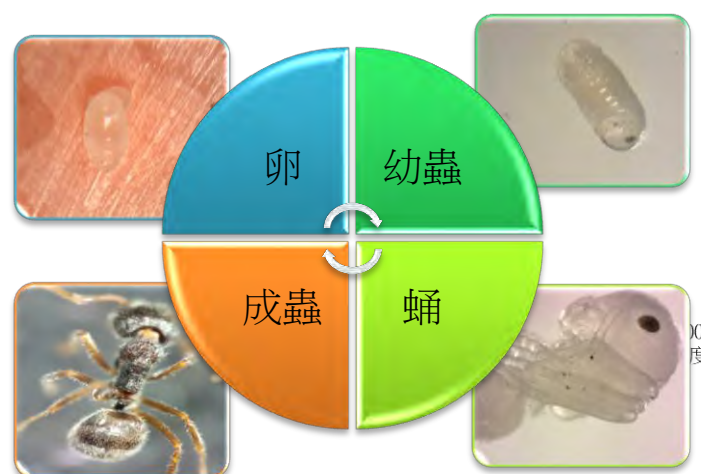
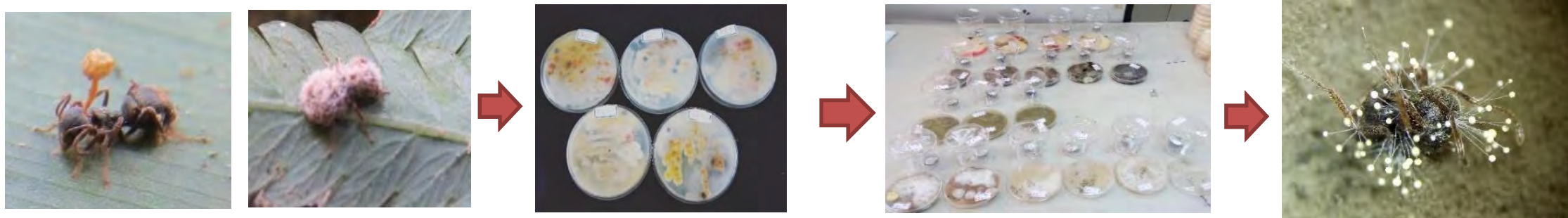


圖5-1 疣胸琉璃蟻生活史(照片拍攝自學校實驗室)

【研究二】學習蟲生真菌的培育及孢子計數方式



將疣胸琉璃蟻平塗於PDA上培養

培養出多種菌種

挑菌單一培養

疣胸琉璃蟻長出蟲生真菌

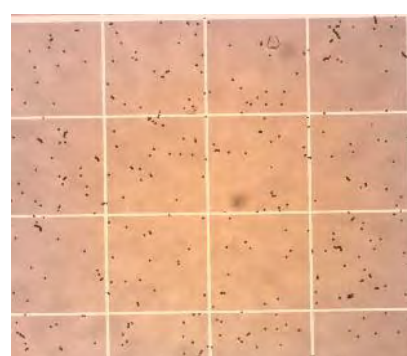


進行純化培養

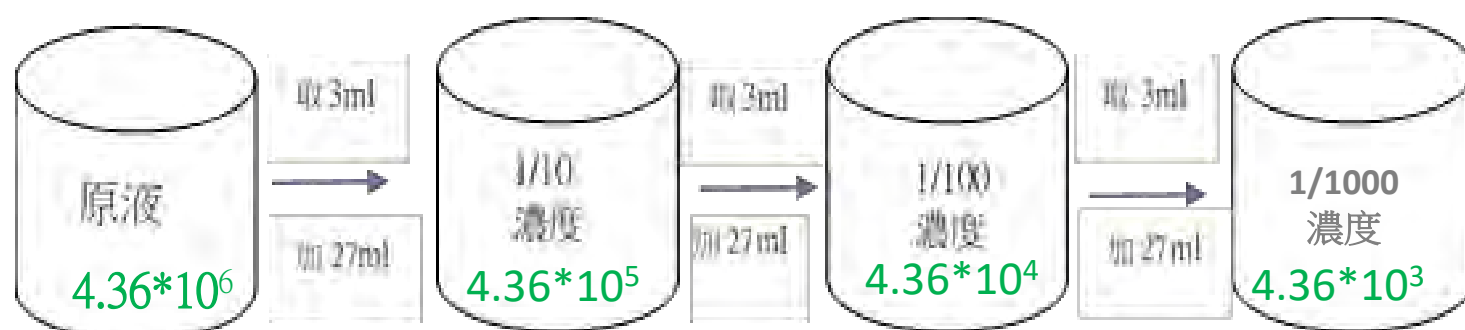
進行三重複前置實驗

確認此菌有效

自製培養基產較多孢子



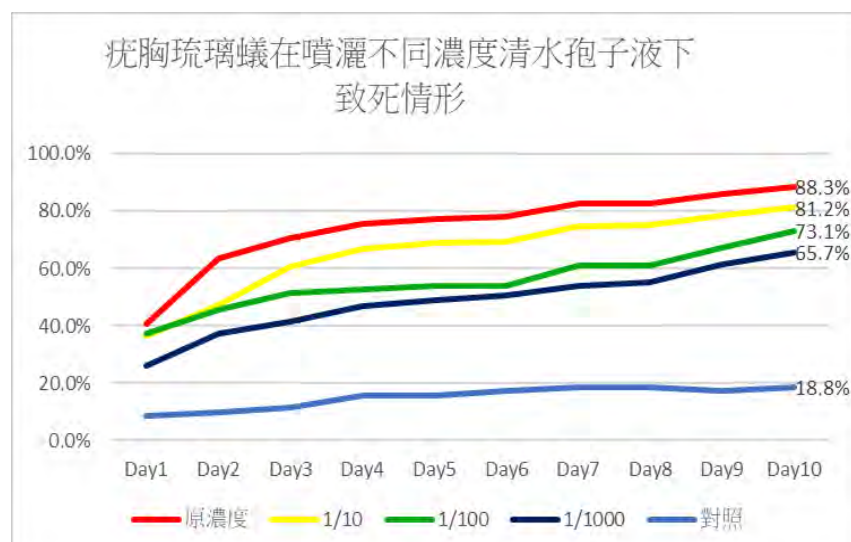
收集孢子計數(Image J軟體)



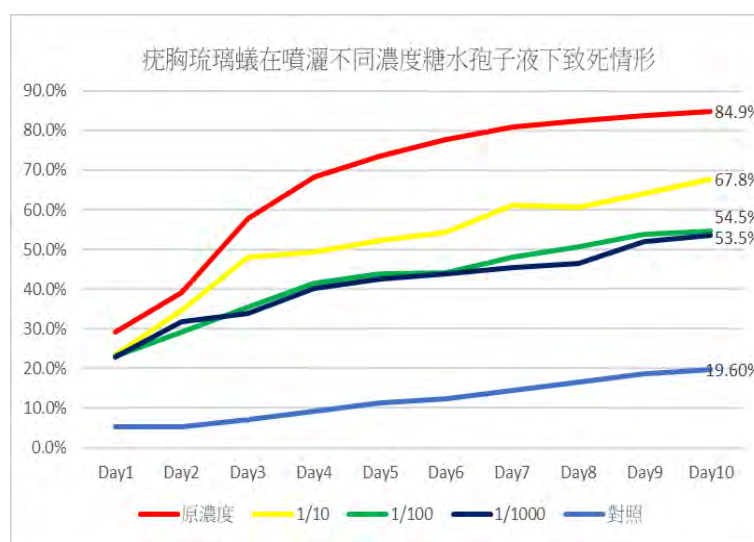
調製四種濃度

【研究三】探究不同方式及不同濃度蟲生真菌對疣胸琉璃蟻的致死情形

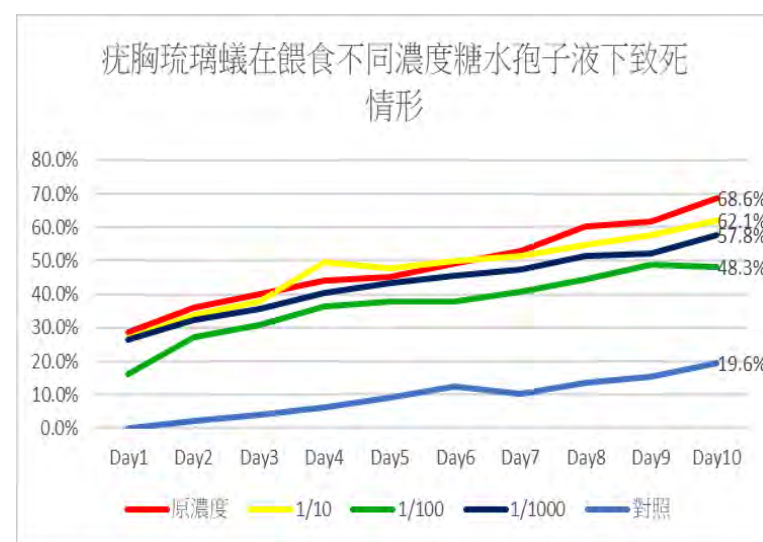
(一)不同方式--清水噴灑、糖水噴灑、糖水餵食三種方式中以清水噴灑效果最好



清水噴灑皆在6天前達到半致死率效果



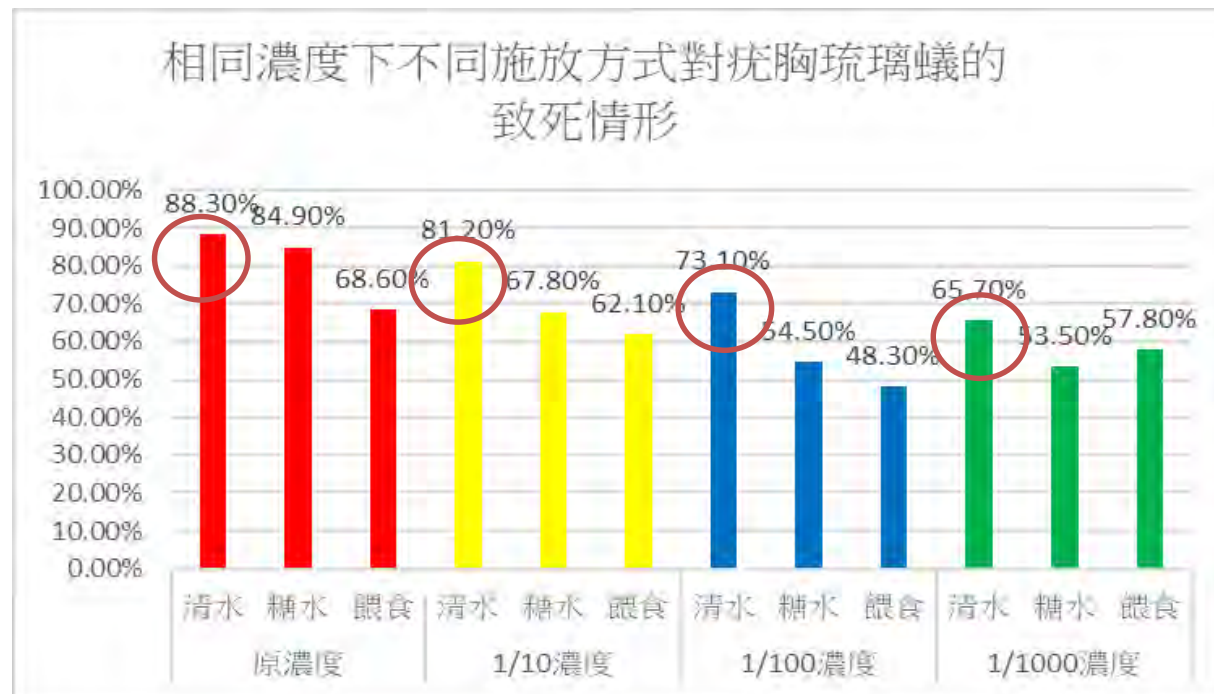
糖水噴灑皆在9天前達到半致死率效果



糖水餵食在8天達到半致死效果

方式 \ 濃度	原液	1/10 濃度	1/100 濃度	1/1000 濃度
噴灑清水孢子液	第二天	第三天	第三天	第六天
噴灑糖水孢子液	第三天	第五天	第八天	第九天
餵食糖水孢子液	第七天	第七天		第八天

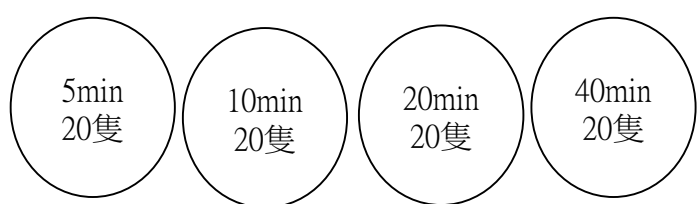
不同方式不同濃度達半致死率情形



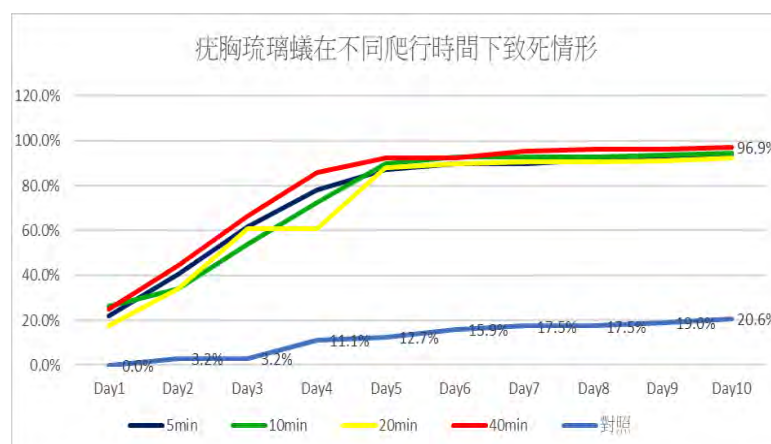
同濃度下清水噴灑效果最好

(二) 爬行隻數--全部爬行在第三天達到半致死率效果，單隻爬行5分鐘在第七天達致死效果

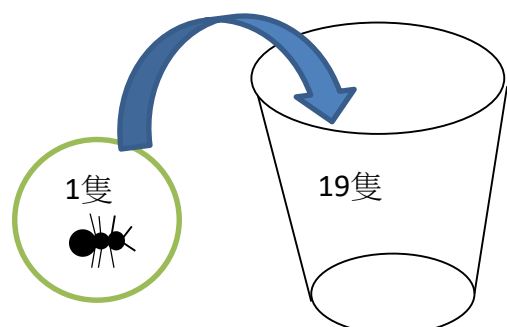
A. 全部疣胸琉璃蟻爬行



不同時間各放3個長菌培養基爬行



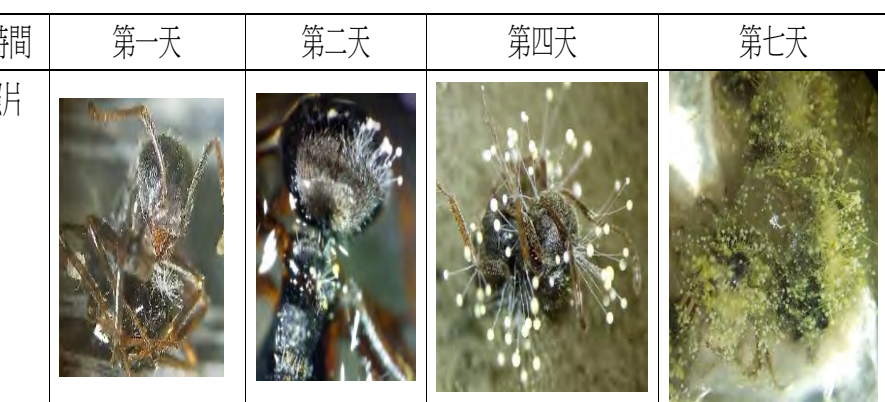
B. 單一疣胸琉璃蟻爬行



方式 \ 時間	5 min	10 min	20 min	40 min
全部爬行	第三天	第三天	第三天	第三天
十天死亡率大於90%				
單隻爬行 感染其他	第七天	第七天	第七天	第六天
十天死亡率大於60%				

討論

一、蟲生真菌由關節處長出，半數停糖盒中 二、與前人研究的偏側蛇蟲草菌不同(影片)



時間片
第一天 第二天 第四天 第七天
疣胸琉璃蟻被寄生，蟲生真菌由頭部關節處長出白色絲狀菌絲及孢子，斷長出，在滿全身



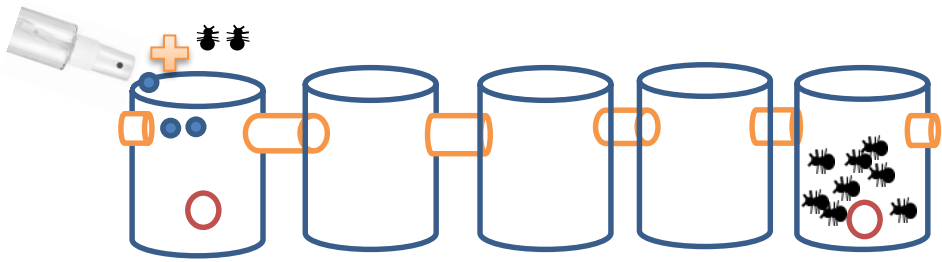
本研究蟲生真菌



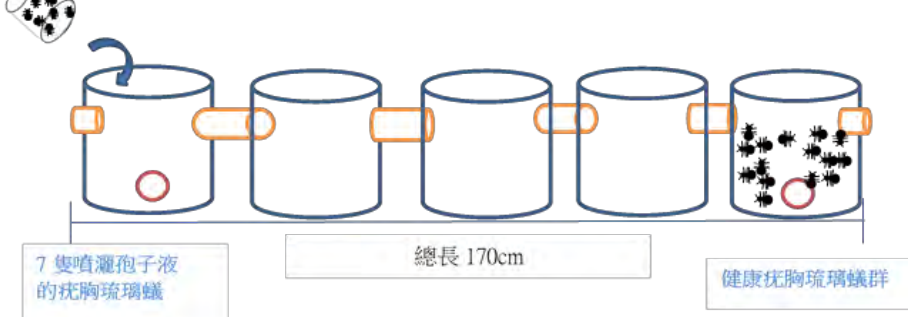
偏側蛇蟲草菌

【研究四】模擬野外疣胸琉璃蟻群被個體感染的情形

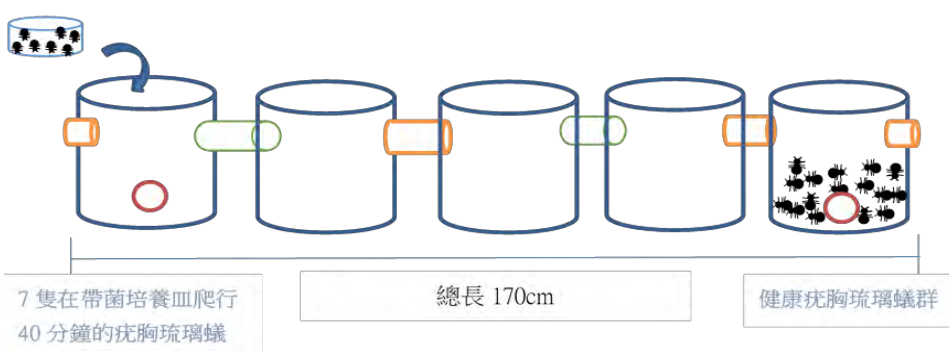
(一) 飼養桶中噴灑原濃度(4.36*10⁶)清水孢子液



(二) 疣胸琉璃蟻身上噴灑原濃度清水孢子液



(三) 疣胸琉璃蟻在蟲生真菌培養皿中爬行



結果

7 隻噴灑孢子液的疣胸琉璃蟻在 15 天中造成 50%-60% 族群死亡

7 隻帶菌疣胸琉璃蟻在 15 天中造成 150~200 隻族群死亡

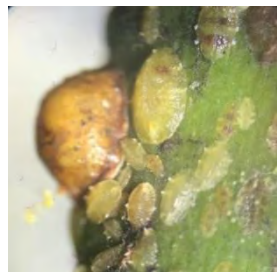
【研究五】了解蟲生真菌對其他生物的影響



樹棲舉尾蟻

臭巨山蟻

黑棘蟻



咖啡硬介殼蟲



桃蚜

結果

同孢子濃度下疣胸琉璃蟻和樹棲舉尾蟻的致死情形

Day	疣胸琉璃蟻	樹棲舉尾蟻
Day1	0.253	0.055
Day2	0.576	0.118
Day3	0.678	0.228
Day4	0.748	0.260
Day5	0.771	0.283
Day6	0.783	0.315
Day7	0.801	0.378
Day8	0.801	0.421
Day9	0.810	0.468
Day10	0.84	0.488

樹棲舉尾蟻未達半致死率

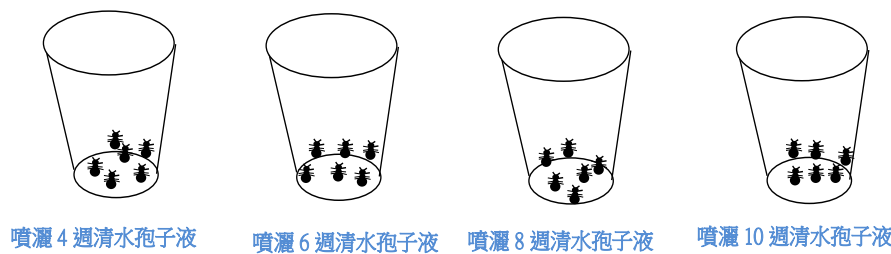
臭巨山蟻 1/3 長菌

黑棘蟻不受影響

咖啡硬介殼蟲及桃蚜 1/20 長菌

【研究六】分析蟲生真菌孢子液未來應用可行性

(一) 不同週次孢子液皆在 9 天前達半致死率

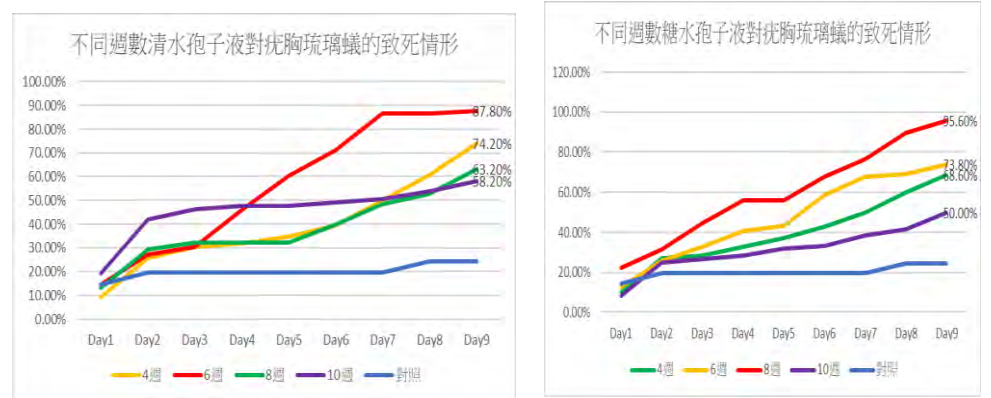


噴灑 4 週清水孢子液

噴灑 6 週清水孢子液

噴灑 8 週清水孢子液

噴灑 10 週清水孢子液



未來應用

將收集的蟲生真菌孢子液存放於冰箱中(一段時間也會長分生孢子)，清楚巢穴的位置則可用清水孢子噴灑方式，而未知巢穴則可以使用餌站讓疣胸琉璃蟻在攝食時沾附孢子，帶回蟻巢後傳染給其他蟻群藉此降低人事成本，以及抑制疣胸琉璃蟻的功效。



參考資料

王秉誠(2018)。螞蟻飼養與觀察。出版社：晨星出版社。
 林宗岐, 鍾富雅, 方懷聖(2014)。湖山生物資源解說手冊：螞蟻類。出版社：特有生物保育中心。
 高穗生。生物農藥產業之現況及應用。農業藥物毒物試驗所生物藥劑組。 <https://www.tactri.gov.tw/Uploads/Item/556a4421-eb80-467f-96d2-cb51f8736dc5.pdf>
 蔡勇勝(2005)。生物農藥：使昆蟲發黴的蟲生真菌。《科學發展》。2005年7月，391期，10~13頁。
<https://scitechvista.nat.gov.tw/c/s2N7.htm>
 謝佳真、王鈺靜、楊千霽(2010)。蚊所遁形—白殭菌對地下家蚊致病力探討。中華民國第50屆中小學科學展覽會作品說明書。
 霍德伯勒與威爾森(2000)。螞蟻·螞蟻。Journey to the ants: a story of scientific exploration。出版社：遠流出版社。
 Sandra B. Andersen,¹* Sylvia Gerritsma,^{1,2} Kalsum M. Yusah,³ David Mayntz,⁴ Nigel L. Hywel-Jones,⁵ Johan Billen,⁶ Jacobus J. Boomsma,¹ and David P. Hughes^{1,7}. *Natural History Note : The Life of a Dead Ant: The Expression of an Adaptive Extended Phenotype*. The American Naturalist September 2009 vol. 174, no. 3