

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生物科

佳作

030305

高「巢」「疊」起—探究石蠶蛾幼蟲之造巢特性

學校名稱：宜蘭縣立復興國民中學

作者： 國二 劉云暄 國二 林馥萱	指導老師： 陳卉 呂俊賢
-------------------------	--------------------

關鍵詞：石蠶蛾幼蟲、造巢行為、絲線特性

摘要

本研究對象為石蠶蛾的幼蟲，為了確認此種幼蟲的學名，我們將幼蟲飼養至成蟲，利用幼蟲頭部六個白點及成蟲毛狀翅與斑點特徵，此物種應為寶島紋石蛾(*Hydropsyche formosana*)。石蠶蛾幼蟲不僅會利用石頭建造巢室，還會利用枯葉、樹枝和藻類，如有藻類則優先使用，如有枯葉則會蓋在巢室頂端。幼蟲在建造巢室時，利用步足搬動和轉動建材，亦會使用尾肢基部和似肛門乳頭的構造推動較重的建材。幼蟲可產生絲線黏結建材，平均一條絲線黏性為 0.8gw，但幼蟲結繭時產生的絲線黏性更大，是造巢絲線的 29.85 倍。造巢絲線黏性會受到水溫和酸鹼度影響，水溫高於 27°C、pH 小於 6 和 pH 大於 8，絲線黏性皆會喪失，因此水質對石蠶蛾幼蟲存活影響非常大。

壹、研究動機

某天我們一起到山區的溪流玩水，搬動溪流石頭時，發現大石頭上搭建著小碎石堆，我們好奇的用手撥開它，看到在碎石堆裡居然住著可愛的綠色和棕色小蟲，查詢資料後才知道牠是某種未知的石蠶蛾的幼蟲。體長僅有 0.8~1.2cm 的石蠶蛾幼蟲竟然可以藉由自身力量建造出如此與眾不同的家，令我們感到十分有趣。我們七年級學到動物行為，石蠶蛾幼蟲建造巢室就是其中的一種本能行為，我們想了解牠如何建造巢室及巢室具有什麼特徵，故以此作為我們的研究對象。

貳、研究目的

- 1.了解石蠶蛾幼蟲生存條件。
- 2.觀察石蠶蛾幼蟲及其成蟲之外觀特徵並確認此生物之學名。
- 3.探索石蠶蛾幼蟲本身特性與其建造巢室的關係。
- 4.探討石蠶蛾幼蟲建造巢室的過程及建造巢室的材料選擇。
- 5.探究那些因素會影響石蠶蛾幼蟲絲線黏性。
- 6.探討石蠶蛾幼蟲巢室的功能。

參、研究生物與器材

一、研究生物:

石蠶蛾是一群具有水生幼蟲和陸生成蟲的昆蟲。本研究對象的幼蟲在水下會構建一個固定式外殼，並留在裡面等待食物來到它們身邊，屬於環須亞目。因為牠沒有長 T 形膜狀孟唇(圖三十六)，為紋石蛾科。此種幼蟲每一胸節皆有背板，腹部又有一排排濃密的鰓，這些皆為紋石蛾屬(*Hydropsyche*)的特徵 (Pescador & Rasmussen, 1995)，故我們認為牠應為此屬的幼蟲。



科學分類

動物界(Animalia)
節肢動物門(Arthropoda)
昆蟲綱(Insecta)
毛翅目(Trichoptera)
環須亞目(Annulipalpia)
紋石蛾科(Hydropsychidae)
紋石蛾屬(*Hydropsyche*)

圖一：本研究的實驗生物

二、研究器材

採集箱、玻璃魚缸、打氣機、打氣石、外掛過濾器(AZOO 型號 AZ13101 360L)、塑膠網、電子秤、複式顯微鏡、解剖顯微鏡、縮時攝影機、鑷子、尺、剪刀、培養皿、pH meter、溫度計、軟木、棉花、雕刻用具、砂紙、載玻片、塑膠片、環保黏土、蠟燭、滴管、陶瓷纖維網、三腳架、酒精燈、直尺、磁鐵條、強力磁鐵、迴紋針、棉線、碘液、脂質測試劑、蛋白質測試劑。

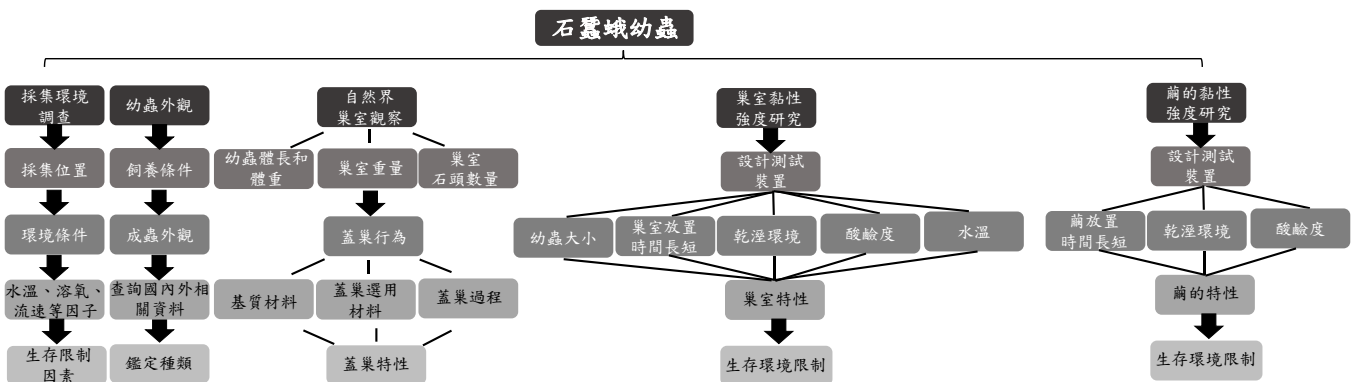
肆、研究過程

一、我們想探討的問題

- 1.我們採集到的石蠶蛾幼蟲學名為何？之前有人發表過嗎？如果沒人發表過，我們要如何確認？
- 2.此種石蠶蛾幼蟲生存環境條件？如何飼養幼蟲至成蟲？
- 3.石蠶蛾幼蟲化蛹後，如何蛻皮羽化成蟲？
- 4.石蠶蛾幼蟲建造巢室的特徵？材料是否只利用石頭，其他材料會使用嗎？
- 5.此種石蠶蛾幼蟲如何建造巢室？
- 6.幼蟲建造的巢室堅固度如何？幼蟲分泌的黏液其黏性如何？那些因素會影響黏性？
- 7.幼蟲化蛹前會形成繭，此繭堅固度如何？與一般巢室的差異？
- 8.巢室的功能為何？藏身、捕食或兼而有之？

二、研究架構

針對我們想探討的問題，以下為我們的研究架構：



三、採集環境調查和觀察、飼養採集物種

探究目標：了解幼蟲的基本習性，並飼養至成蟲。

(一)野外採集位置

我們在溪流上游和中游尋找目標石蠶蛾幼蟲的蹤跡(圖二)。

(二)採集環境

量測採集環境的水流速度、水溫範圍、pH 值。



圖二：石蠶蛾採集地點

(三)採集幼蟲

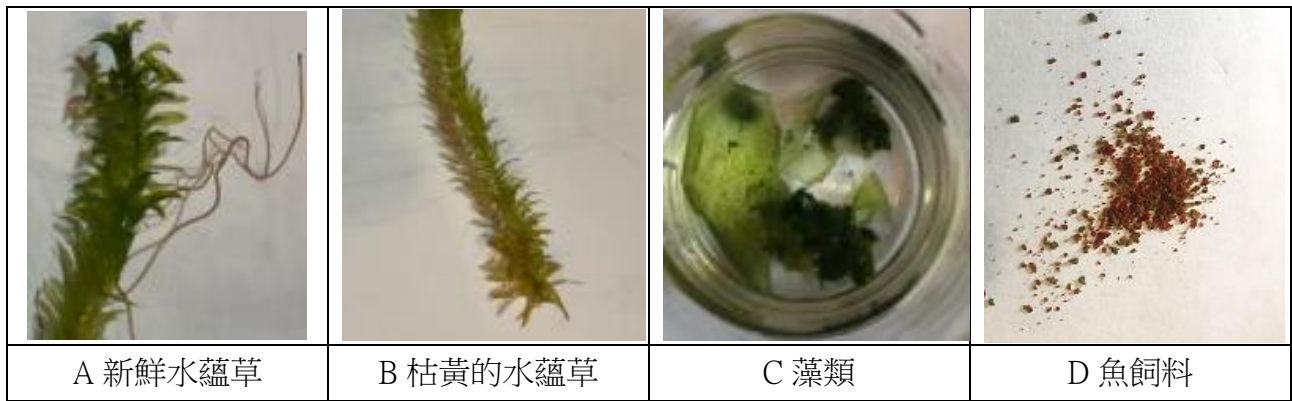
- 1.在野外溪流中採集到石蠶蛾幼蟲，小心放入採集箱中。
- 2.準備電池式的打氣機(夏天要準備碎冰)，將石蠶蛾幼蟲帶回實驗室。

(四)觀察幼蟲特徵

- 1.將石蠶蛾幼蟲放在培養皿上，先用手機相機拍整個外觀。
- 2.再利用複式顯微鏡觀察幼蟲細部構造以手繪圖及拍照記錄特徵。

(五)了解石蠶蛾幼蟲的食性

查詢網路資料，發現石蠶蛾種類很多，食性亦複雜，因此我們提供幼蟲新鮮的水蘊草、枯黃的水蘊草、藻類和魚飼料等食物進行測試，觀察幼蟲攝食情況。



圖三：石蠶蛾幼蟲食性實驗

(六)觀察石蠶蛾幼蟲攝食方式

根據三(五)的實驗結果，我們知道幼蟲會攝食藻類，網路上資料顯示，此種食性的幼蟲會用刮食的方式，因此我們將藻類養成膜狀與附著在蓋玻片上，觀察其攝食方式。

(七)飼養幼蟲至成蟲

- 1.準備一魚缸(長 23cm、寬 18cm、高 19cm)，放入一點小碎石(供幼蟲建造巢室之用)，加入飲用水，最後放入水蘊草(圖四)。
- 2.放入打氣石，維持飼養溫度約 22~24°C。
- 3.每二天換一次水，水的來源為每日的飲用水，每次換水量為原水量的 1/3。
- 4.每二天放入一片約 1 cm²的藻類供石蠶蛾幼蟲攝食。
- 5.因為根據之前的飼養經驗，幼蟲要蛻皮羽化成蟲，會建造十分堅固的繭，所以只要出現此種繭，就代表幼蟲正準備進行變態的過程。我們就在魚缸上方加上一個網子(圖四)，因為成蟲會飛出去。



圖四：飼養幼蟲的環境

(八)成蟲外觀

- 1.飼養石蠶蛾幼蟲至蛹化成成蟲。
- 2.小心將成蟲放入玻璃瓶中。
- 3.拍照、記錄及利用 75% 酒精保存。

四、確認採集物種學名

探究目標：藉由幼蟲和成蟲的特徵，確認本種學名。

- 1.先查詢台灣物種名錄，了解目前台灣石蠶蛾的分類及種類。
- 2.因為國內網站無物種的相關照片，因此我們上國外網站，根據幼蟲和成蟲特徵，確認石蠶蛾學名。





五、探索石蠶蛾幼蟲本身特性與建造巢室的關係

探究目標：了解幼蟲體長、體重與所建造巢室大小、重量的關係。

(一)石蠶蛾幼蟲的體長、體重與建造巢室(選用石頭大小、構造重量等)的關係

- 1.先將採集回來的石蠶蛾幼蟲進行拍照並測量體長(圖五 B)。
- 2.使用紙巾輕輕將幼蟲擦乾測量體重。

3.量測巢室大小、重量和計算石頭數量(圖五 C)。

			
A 測量巢室基本資料	B 測量幼蟲體長	C 計算巢室小碎石數量及重量	D 紀錄表格

圖五：測量石蠶蛾幼蟲及巢室基本數據

(二)分析相關性






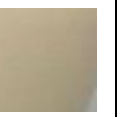
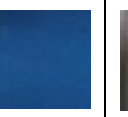

六、了解石蠶蛾幼蟲巢室基座、建材的選擇和建造巢室的過程

探究目標：因幼蟲在石頭下方建造巢室，我們希望能直接觀察到幼蟲建造巢室的過程。

(一)石蠶蛾幼蟲巢室基座的選擇

1.巢室基座的選擇

(1)準備塑膠、木板、軟木、玻璃、保麗龍、海綿、泡棉等材料。

							
A 塑膠	B 木板	C 軟木	D 玻璃	E 保麗龍	F 海綿	G 浮板	H 泡棉

圖六：幼蟲巢室基座實驗材料

(2)魚缸中放入小碎石及二隻體長約 10mm 的石蠶蛾幼蟲，分別將上述材料一一放入魚缸測試是否會建造巢室，換一種材料即換兩隻幼蟲。

2.巢室基座模型設計

(1)根據六(一)1.的實驗結果，我們發現幼蟲會在木板和軟木上建造蓋室，因為軟木比較好操作，因此我們決定使用軟木來進行模型設計。

(2)五(一)的測量結果(圖十九)，我們得到許多幼蟲建造巢室的基本資料，因此我們利用這些資料逐步修改我們的基質模型。

(二)石蠶蛾幼蟲巢室建材的選擇

1.幼蟲巢室建材使用的種類

(1)準備體長約 10mm 的石蠶蛾幼蟲及在溪邊採集到的石頭兩顆。

(2)準備兩個魚缸，分別放入三隻石蠶蛾幼蟲、1 顆大石頭，再分別放入較大的碎石(平均 1 顆 0.314gw，直徑 0.8cm)及較小的碎石(平均 1 顆 0.017gw，直徑 0.3cm)、堅硬的樹枝及柔軟的樹枝、新鮮葉片及枯葉、藻類，控制水溫在為 24°C 左右。

(3)紀錄石蠶蛾幼蟲造巢結果。

2. 巢室建材選用特性

(1) 根據實驗六(一)和六(二)的結果，準備體長約 10mm 的石蠶蛾幼蟲六隻及軟木板。

(2) 將軟木板固定於魚缸中，石蠶蛾幼蟲放在軟木板上，控制水溫在為 24°C 左右，分別將建材石頭、樹枝、枯葉和藻類兩兩一組進行測試。

(3) 紀錄石蠶蛾幼蟲建造巢室的結果。

(三) 觀察石蠶蛾幼蟲建造巢室的過程

1. 準備體長約 10 mm 的石蠶蛾幼蟲五隻。

2. 根據實驗六(一)和六(二)的結果，將石蠶蛾幼蟲放入魚缸中，控制水溫在為 24°C 左右。

3. 利用縮時攝影機在魚缸上方拍攝。

七、探究影響石蠶蛾幼蟲吐出絲線黏性強度的因素

探究目標：幼蟲將建材放置於合適位置後，會吐出絲線黏住建材，我們想了解哪些因素會影響絲線黏性。

(一) 石蠶蛾幼蟲建造巢室絲線成分

1. 收集幼蟲建造的巢室，取其絲的部分，小心放在載玻片上。

2. 分別利用碘液、脂質測試劑和蛋白質測試劑測試，觀察其反應結果。

(二) 石蠶蛾幼蟲巢室的結構強度

1. 不同巢室完成時間對結構強度的影響

(1) 準備五隻 10mm 石蠶蛾幼蟲，魚缸內各放置大小相近的石頭，控制水溫在 24°C 左右。每兩日換水 1/3 及提供新鮮藻類供幼蟲攝食。

(2) 收集石蠶蛾幼蟲建造好的巢室放置於夾鏈袋中，分別靜置約 1、5、7 天(圖七 A)。

(3) 將幼蟲建造的巢室用吸水紙擦乾，將巢室一端的石頭利用環保黏土固定於直尺上，於下方石頭滴上蠟燭液、待下方石頭掉落，秤取掉落之石頭與蠟燭的重量，即為幼蟲絲線的黏性(圖七 B 和圖八)。



圖七：幼蟲巢室收集及測量結果



圖八：幼蟲絲線黏性測試裝置

2.不同體長的石蠶蛾幼蟲其巢室結構強度

- (1)準備體長約 9mm 和 12mm 的石蠶蛾幼蟲各五隻。
- (2)將相近體長的石蠶蛾幼蟲分別放入兩個魚缸中，魚缸內各放置大小相近的石頭，控制水溫在為 24°C 左右。
- (3)每二天換水 1/3 及提供新鮮藻類供幼蟲攝食。
- (4)收集石蠶蛾幼蟲建造的巢室。
- (5) 24 小時後，以七(二)1.的實驗方式進行黏性測試。

3.不同濕度下石蠶蛾幼蟲其巢室結構強度

- (1)準備五隻 10mm 石蠶蛾幼蟲，魚缸內各放置大小相近的石頭，控制水溫在為 24°C 左右。
- (2)收集石蠶蛾幼蟲建造的巢室分別放置於乾燥與充滿水分的夾鏈袋中。
- (3)24 小時後，以七(二)1.的實驗方式進行黏性測試。

4.不同水溫下石蠶蛾幼蟲建造巢室結構強度

- (1)利用加溫棒和碎冰，控制魚缸水溫於 15°C、22°C、27°C。
- (2)準備五隻 10mm 石蠶蛾幼蟲，魚缸內各放置大小相近的石頭，收集石蠶蛾幼蟲建造的巢室。
- (3)24 小時後，以七(二)1.的實驗方式進行黏性測試。

5.絲線保存於不同水溫下對其黏性大小之影響

- (1)準備五隻 10mm 石蠶蛾幼蟲，魚缸內各放置大小相近的石頭，控制魚缸水溫於 22°C。
- (2)收集石蠶蛾幼蟲建造的巢室，分別保存於 15°C 和 27°C 保溫瓶中。
- (3) 24 小時後，以七(二)1.的實驗方式進行黏性測試。

6.不同酸鹼度下石蠶蛾幼蟲其巢室結構強度

- (1)利用醋酸(CH₃COOH)和小蘇打(NaHCO₃)配置 pH6、pH6.5、pH7.5 和 pH8 的水溶液。
- (2)準備五隻 10mm 石蠶蛾幼蟲，魚缸內各放置大小相近的石頭，控制水溫在為 24°C 左右。
- (3)收集石蠶蛾幼蟲建造的巢室分別放置裝有 pH6、pH6.5、pH7.5 和 pH8 水溶液的夾鏈袋中。
- (4)24 小時後，以七(二)1.的實驗方式進行黏性測試。

八、探究影響石蠶蛾幼蟲的繭黏性強度的因素

探究目標：幼蟲羽化成蟲的過程中，會吐出絲線形成繭，我們想了解哪些因素會影響繭的黏性強度。

(一)比較一般巢室與繭結構強度的差異

- 1.於實驗前一天分別收集幼蟲建造的一般巢室五個和幼蟲建造的繭五個放置於夾鏈袋中。
- 2.實驗時分別將一般巢室和繭用吸水紙擦乾後，一般巢室利用圖八的測試裝置測量黏性，繭利用圖九的測試裝置測量。

(二)石蠶蛾幼蟲繭的結構強度

1.繭放置不同時間對結構強度的影響

- (1)準備五隻大於 10mm 石蠶蛾幼蟲，魚缸內各放置大小相近的石頭，第一天控制水溫在 25°C 左右，之後兩天讓水溫突然下降至 22°C。
- (2)收集石蠶蛾幼蟲建造好的繭放置於夾鏈袋中，分別靜置約 1、5、7 天。
- (3)將繭用吸水紙擦乾，先將繭的一端綁好棉線與強力磁鐵，將繭的另一端的石頭利用環保黏土固定於直尺上，於強力磁鐵下方依序加上迴紋針，待下方石頭掉落，秤取掉落之石頭、強力磁鐵和迴紋針的重量，即為繭的黏性強度(圖九)。



圖九：測試繭的黏性裝置

2. 繭放置於不同濕度下對結構強度的影響

- (1) 收集石蠶蛾幼蟲建造的繭分別放置於乾燥與充滿水分的夾鏈袋中。
- (2) 24 小時後，以八(二)1.的實驗方式進行黏性測試。

3. 繭放置於不同酸鹼溶液中對結構強度的影響

- (1) 利用醋酸(CH_3COOH)和小蘇打(NaHCO_3)配置 pH6、pH6.5、pH7.5 和 pH8 的水溶液。
- (2) 收集繭分別放置裝有 pH6、pH6.5、pH7.5 和 pH8 水溶液的夾鏈袋中。
- (4) 24 小時後，以八(二)1.的實驗方式進行黏性測試。

伍、研究結果

一、採集環境調查和觀察、飼養採集物種

(一) 野外採集位置

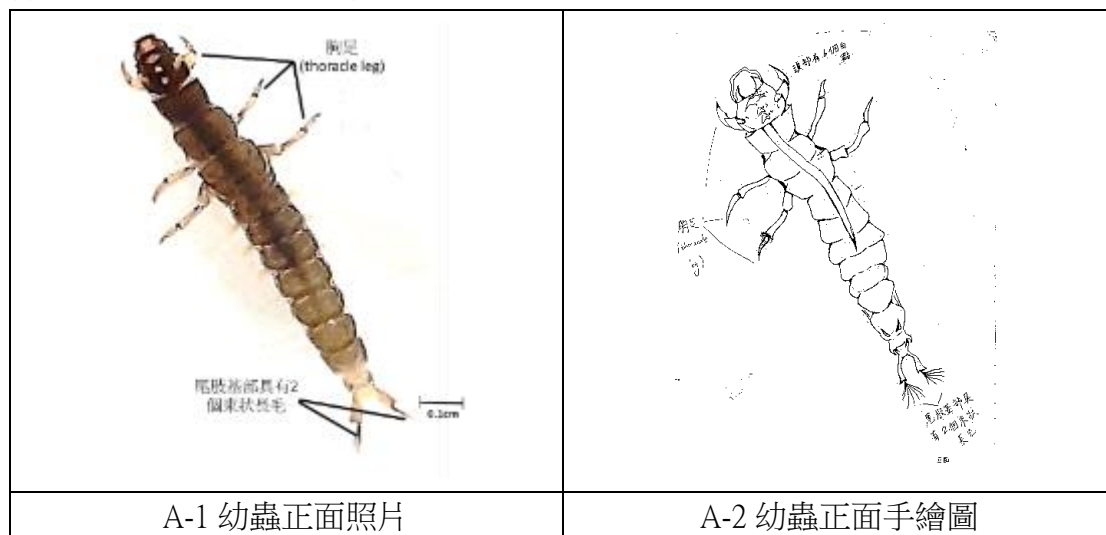
1. 夏天我們可以在溪流上游處，而大雨過後或冬天我們可以在溪流中游處發現實驗對象石蠶蛾幼蟲蹤跡。
2. 牠主要分布於溪流兩旁鄰近岸邊、水流較緩的大石頭下方。

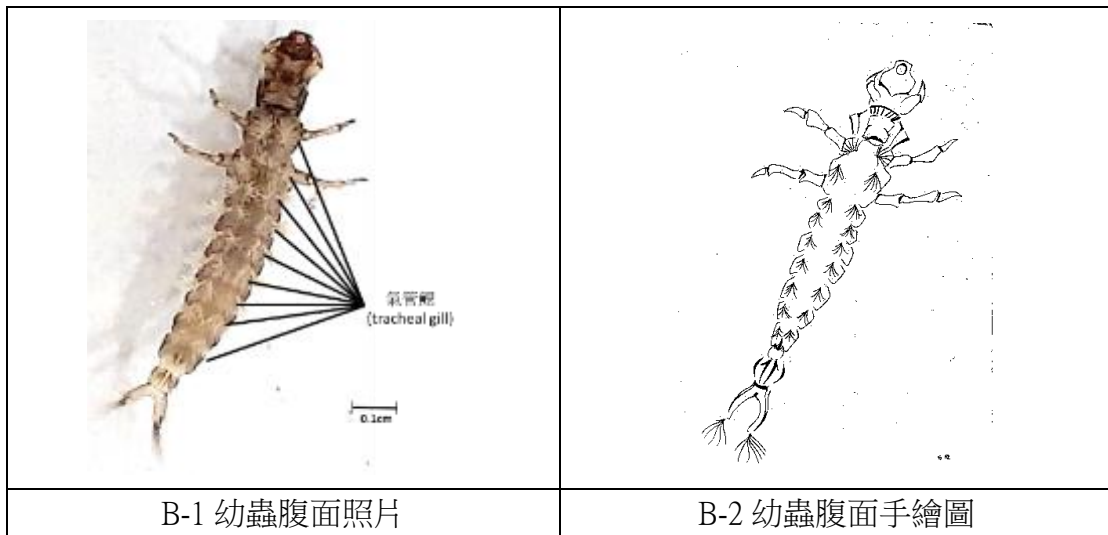
(二) 採集環境

1. 水流速度：34 ~ 40 cm / s (根據採集經驗，夏天雨水豐富期，要至中游尋找；枯水期，要至上游尋找)
2. 水溫範圍：21.4~25.5°C
3. pH 值：7.1~7.4

(三) 觀察幼蟲特徵

1. 石蠶蛾幼蟲的正面和腹面外觀。

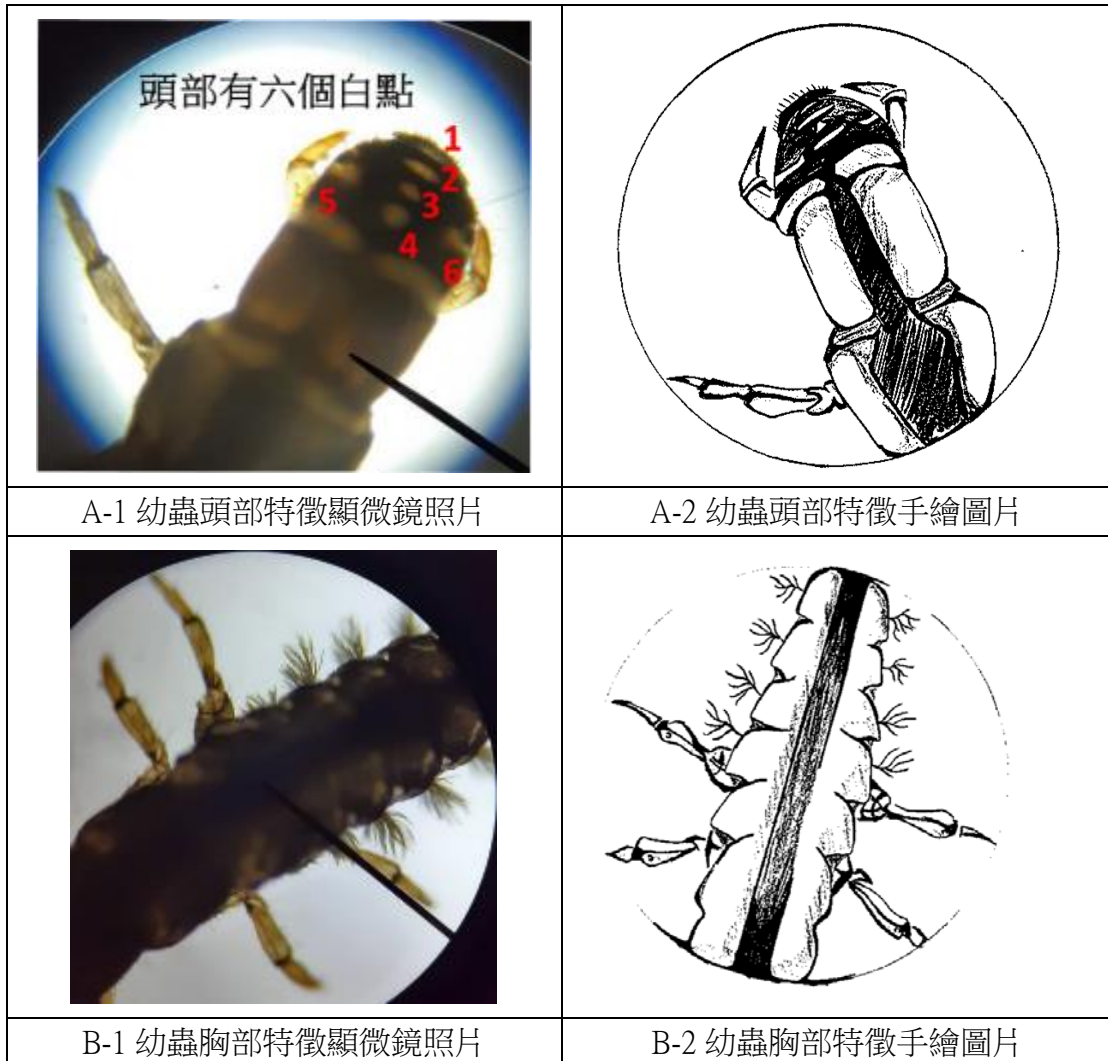


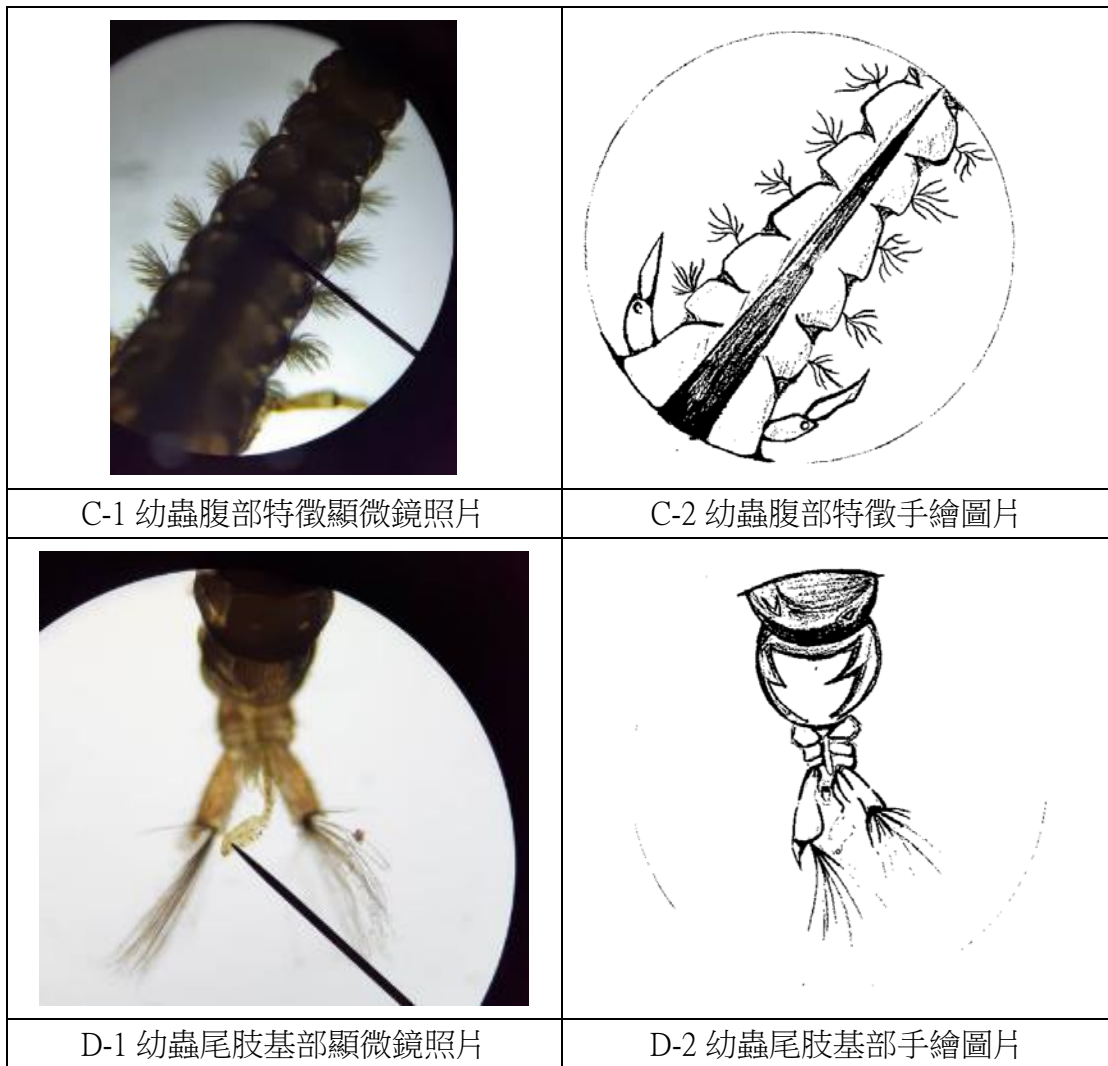


圖十：石蠶蛾幼蟲的正面和腹面

幼蟲前、中、後胸均有幾丁質骨板覆蓋(圖十 A-1、A-2)；腹部腹面氣管鰓呈分枝叢狀；尾肢基部具有束狀長毛及鉤子(圖十 B-1、B-2)。

2.幼蟲細部構造

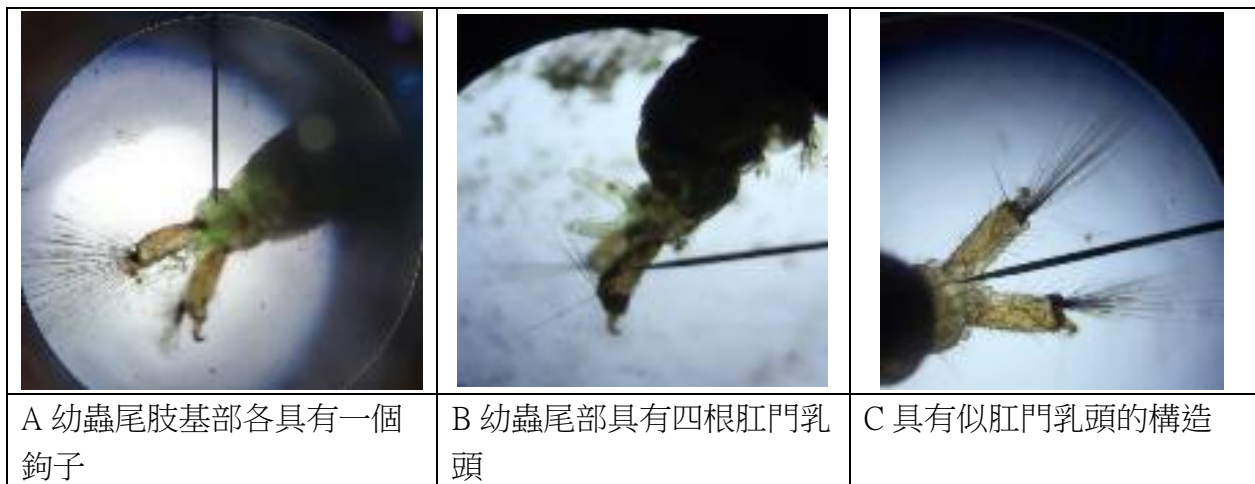




圖十一：幼蟲頭、胸、腹及尾肢基部細部構造

本種幼蟲頭部背面具有六個白點，中間四個白點；兩邊兩個白點(圖十一 A-1、A-2)。

3. 幼蟲尾肢基部特殊構造



圖十二：幼蟲尾部構造之顯微照片

觀察幼蟲運動的過程中，發現尾肢基部的鉤子會勾在石頭上(圖十二 A)，固定自己的身體。幼蟲尾部有四根肛門乳頭(圖十二 B)，而似肛門乳頭的構造會配合幼蟲運動，而有伸出和縮回的動作(圖十二 C)。

4.石蠶蛾破蛹而出的行為觀察



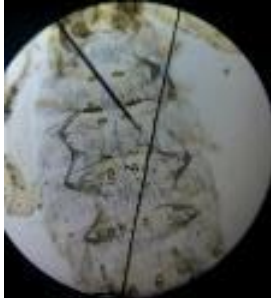

(1)裸蛹外觀

	
<p>A 幼蟲會先脫落頭部外殼與胸節背板</p>	<p>B 脫完幼蟲頭部外殼與胸節背板的蛹期</p>
	
<p>C 成蟲從頭部開始往前蠕動，準備破蛹而出</p>	<p>D 裸蛹的外殼</p>

圖十三：石蠶蛾破蛹過程及其裸蛹外觀

成蟲破蛹方向是從頭部開始，先脫落三個白點背板和兩旁的兩個側板(圖十三 A)，進入蛹期(圖十三 B)，約七天後，成蟲從頭部往前蠕動(圖十三 C)，之後整個脫離(圖十三 D)。由蛹體可以清楚看出石蠶蛾成蟲外形的蛹，觸角、腳、翅膀都和身體分離、有活動能力，故屬於「裸蛹」或「離蛹」(圖十三 D)。

(2)裸蛹的細部構造

			
<p>A 裸蛹的頭部</p>	<p>B 裸蛹的胸部</p>	<p>C 裸蛹的腹部</p>	<p>D 裸蛹的尾端</p>

圖十四：石蠶蛾裸蛹顯微照片

石蠶蛾裸蛹外部連細毛都非常清楚(圖十四)。幼蟲從巢室鑽出，翅膀是潮濕的，故從魚缸壁往上爬出，爬至魚缸壁乾燥處，等待翅膀乾燥後，開始有飛的行為。

(四)石蠶蛾成蟲

1.成蟲外觀



A 石蠶蛾成蟲照片



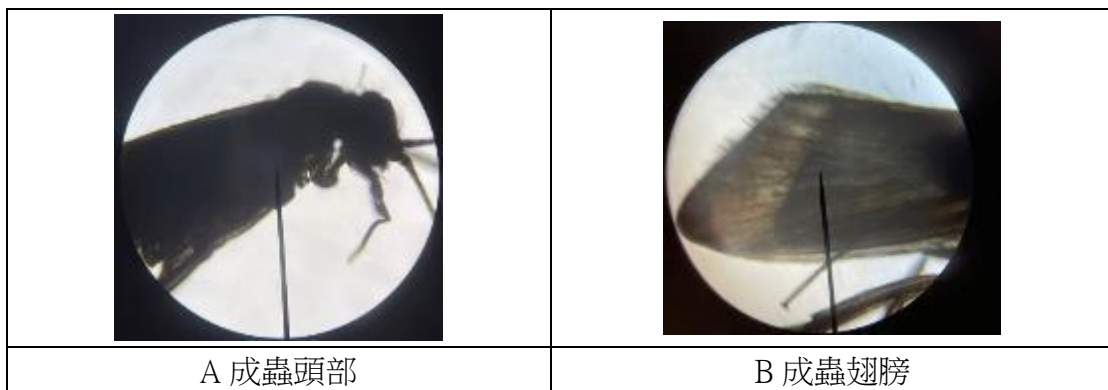
B 成蟲側面照片

C 成蟲腹面照片

圖十五：石蠶蛾外觀

成蟲的觸角為條紋狀；有兩對毛狀膜質翅膀，上面有特殊的斑點紋路；三對步足呈樹枝狀(圖十五)。

2.成蟲細部構造



A 成蟲頭部

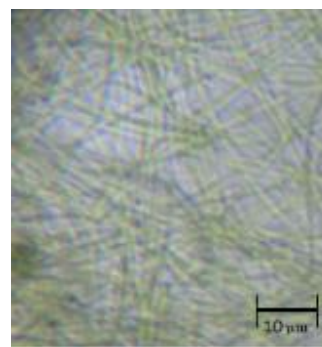
B 成蟲翅膀

圖十六：石蠶蛾頭部和翅膀的顯微照片

成蟲的翅膀末端密布細毛，頭部也有許多細毛分布(圖十六)。

(五)了解石蠶蛾幼蟲的食性

我們提供幼蟲新鮮的水蘊草、腐爛的水蘊草碎屑、藻類和魚飼料，發現幼蟲只攝食藻類(圖十七)。



圖十七：供攝食之藻類顯微照片

(六)觀察石蠶蛾幼蟲攝食方式

根據一(五)的實驗結果，我們知道幼蟲會攝食藻類，進一步想了解攝食方式，結果發現幼蟲會啃食藻類(圖三十七)，但並未發現會用刮食的方式攝食藻類。

二、確認採集物種學名與保存樣本

(一)確認物種學名

根據習性觀察和幼蟲、成蟲特徵，本研究對象屬於毛翅目(Trichoptera)，因其幼蟲會構建一個固定式巢室故為環須亞目。環須亞目包含兩個科，一為等翅石蛾科(Philopotamoidea)；一為紋石蛾科(Hydropsychoidea)。本研究對象的幼蟲因不具有長T形膜狀孟唇(圖三十六)，所以屬於紋石蛾科(Hydropsychoidea)。紋石蛾科有七個屬，分別為合脈石蛾屬(*Cheumatopsyche*)、腺紋石蛾屬(*Diplectrona*)、瘤突石蛾屬(*Hydatomanicus*)、離脈石蛾屬(*Hydromanicus*)、長角石蛾屬(*Macrostemum*)、紋長角石蛾屬(*Macronema*)、紋石蛾屬(*Hydropsyche*)。此種幼蟲每一胸節皆有背板，腹部又有一排排濃密的鰓(圖十、圖十一)，這些皆為紋石蛾屬的特徵(Pescador & Rasmussen, 1995)，故我們認為應為紋石蛾屬(*Hydropsyche*)。

我們分別查詢了台灣物種名錄和國外網站：

1.查詢台灣物種名錄 <https://taibnet.sinica.edu.tw/>、台灣生物多樣性網絡

<https://www.tbn.org.tw/>，了解台灣有五種石蠶蛾：

Hydropsyche breviculata Kobayashi, 1987 短莖紋石蛾

Hydropsyche formosana Ulmer, 1911 寶島紋石蛾 (*Mexipsyche dolosa* 異名)

Hydropsyche kagiana Kobayashi, 1987 嘉義紋石蛾

Hydropsyche orbiculata Ulmer, 1911 圓球紋石蛾

Hydropsyche spinata Kobayashi, 1987 棘刺紋石蛾

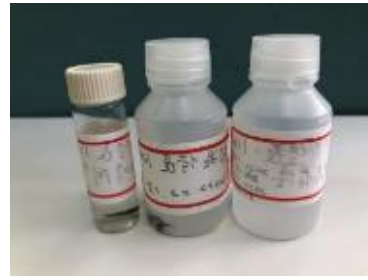
但國內網站皆無這五種紋石蛾幼蟲和成蟲的照片，也沒有相關圖鑑的書籍可以參考，因此我們只好查詢國外網站的資料。

2.我們上國外網站 <https://bugguide.net/>查詢，我們皆未發現符合我們研究生物特徵的照片，思考這可能是台灣特有種。

3.因此我們請教國內這方面領域的專家，根據我們研究生物的特徵，專家提出這種生物可能是寶島紋石蛾(*Hydropsyche formosana*)，為台灣特有種。但依此學名查詢 Integrated insect types database of Taiwanese species <http://twinsecttype.nmns.edu.tw/> 卻發現成蟲標本已因年代久遠而失真。

(二)保存幼蟲和成蟲樣本

因為昆蟲常有同種異形或外表相似卻是不同種的情況出現，所以現在確認物種的方式常是根據 DNA 分析結果，因此我們利用 75%酒精保存幼蟲和成蟲的遺體(圖十八)，希望日後可以進一步分析確認。

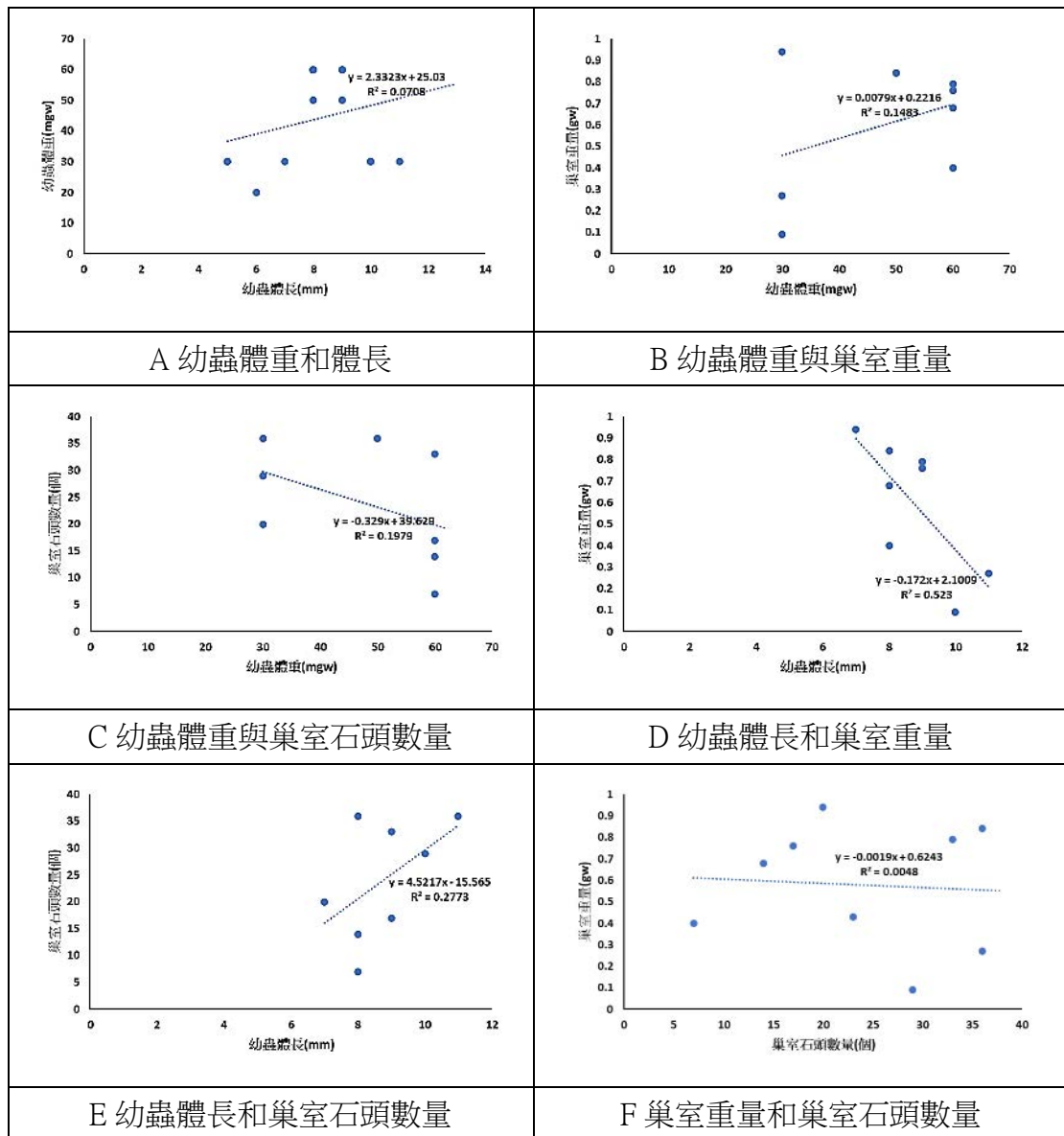


圖十八：幼蟲和成蟲保存於 75% 酒精

三、探索石蠶蛾幼蟲本身特性與建造巢室的關係

(一)石蠶蛾幼蟲的體長、體重與建造巢室選用石頭數量、重量的關係

- 1.量測石蠶蛾體長、體重和巢室石頭數量、重量
- 2.分析相關性



圖十九：石蠶蛾幼蟲基本數據分析結果

數據分析顯示：

1. 幼蟲體長與體重(圖十九 A)、巢室小碎石數量與巢室(圖十九 F)相關係數非常低。
2. 幼蟲體重分別與巢室小碎石數量(圖十九 C)和巢室重量(圖十九 B)成低度相關；幼蟲體長也與巢室小碎石數量(圖十九 E)呈低度相關。
3. 分析結果幼蟲體長和巢室重量(圖十九 D)相關性最高，呈中度相關。

四、了解石蠶蛾幼蟲巢室基座和建材的選擇




(一)石蠶蛾幼蟲巢室基座選擇和設計


1. 巢室基座的選擇

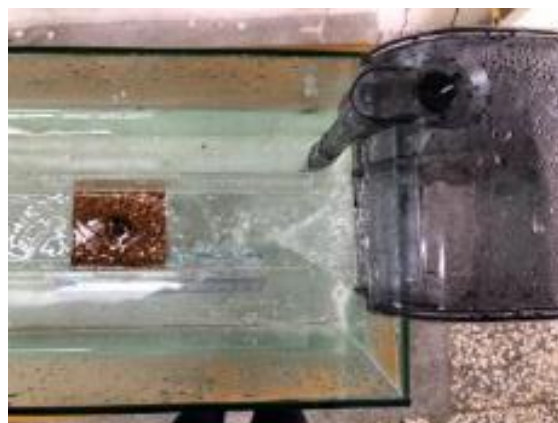
(1) 幼蟲最後選擇木板和軟木建造巢室。

2. 巢室基座模型設計

表一：第一代至第六代基座模型改良過程






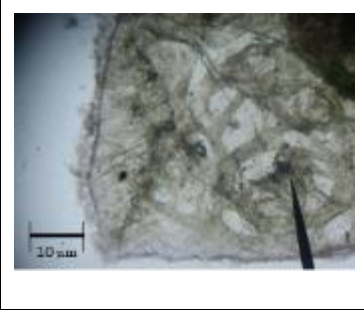
改進過程	模型照片	細部結構	優缺點
第一代		材質:木頭 尺寸:總長 10 cm、寬 1 cm、深 0.4 cm，中間圓圈直徑 2 cm 放置方式: 倒著放在石頭上方	木頭切割不易，如要修改模型，則需耗費太多時間。根據實驗結果，軟木亦為一很好的基座材料可以應用。
第二代		材質:軟木 尺寸:總長 7 cm、寬 1 cm、深 0.4 cm，中間圓圈直徑 2 cm 放置方式:倒著放在石頭上方	無法觀察到幼蟲建造巢室的過程。
第三代		材質:軟木 尺寸:總長 7 cm、寬 2cm、深 1 cm，中間圓圈直徑 3 cm 放置方式:在挖空的軟木內放置石頭，上方蓋上玻璃片	玻璃太光滑，本模型上下皆為玻璃，幼蟲無法建造巢室在玻璃上，只會在挖空軟木周圍處造巢。
第四代		材質:軟木 尺寸:準備一個長 7 cm、寬 5 cm 的軟木板，中間設計三個分支與一個中央圓圈構造，分支與分支間約呈 90°，分別長 1 cm、	幼蟲活動力不佳，推測因為水流無法流通。

		寬 0.8 cm、深度 0.4 cm。中央圓圈直徑 1.2 cm 放置方式:軟木板凹面朝上，上方蓋上玻璃片。	
第五代		材質:軟木 尺寸:大致與第四代相同，但周圍分支深度改為 0.3cm。且為了增加溶氧，於軟木周圍鑽洞，增加水流流動。為避免幼蟲穿進洞中，鑽洞處則塞上棉花。 放置方式:與第四代相同	幼蟲直接在放置材料凹槽處建造巢室。
第六代		材質:軟木 尺寸:模型改為圓形，中間圓圈直徑 1.2 cm、深度為 0.4 cm，外圍圓圈直徑 2 cm、深度 0.3 cm。 放置方式:與第四代相同，但為了更進一步增加溶氧量，上方放置打洞(打 20 個洞在周圍，每個洞直徑 0.1 cm)的透明塑膠片(3 cm*3 cm)。	配合幼蟲習性，我們將模型改成圓形，把建造巢室的材料擺放模型外圍圓圈處。



圖二十：測試幼蟲巢室基座模型及建材選擇

(二)石蠶蛾幼蟲巢室建材選擇

		
A 大碎石與小碎石	B 堅硬樹枝與柔軟葉柄	C 枯葉
		
D 藻類	E 幼蟲自己吐絲線，把自己包起來	F 幼蟲包裹自己的絲線 顯微照片

圖二十一：幼蟲巢室建材選擇結果

石蠶蛾幼蟲會就近取材建造巢室，大小碎石、小樹枝、藻類都是可以建造巢室的材料。但葉片部分會選擇枯葉，而不會選擇新鮮的葉片。如果真的沒有建造的材料，石蠶蛾幼蟲會自己吐絲將自己包起來(圖二十一 E)。利用顯微鏡觀察幼蟲產生的絲線，發現呈網狀，絲線亦會纏繞許多藻類(圖二十一 F)。幼蟲建造巢室如有枯葉，會將枯葉蓋在巢室頂部(圖二十二)。



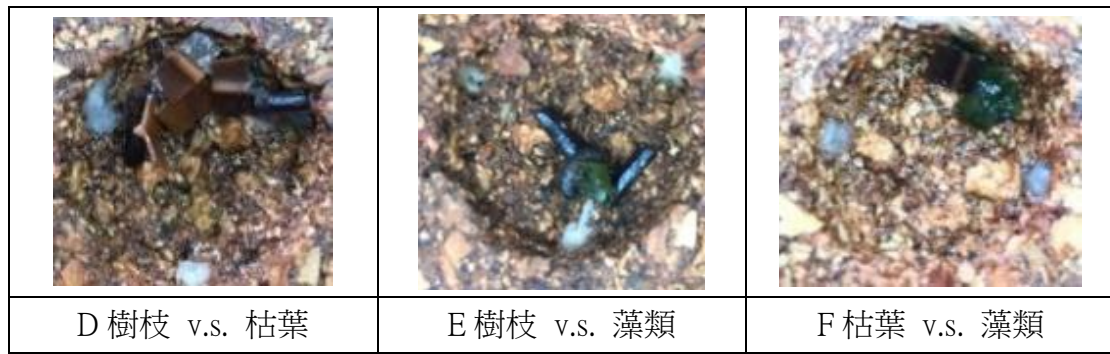
圖二十二：幼蟲利用枯葉建造巢室

(三)石蠶蛾幼蟲巢室建材使用特性

1.巢室建材使用特性

(1)材料選擇實驗結果

		
A 石頭 v.s. 樹枝	B 石頭 v.s. 枯葉	C 石頭 v.s. 藻類



圖二十三：幼蟲建造巢室材料實驗照片

表二：幼蟲建造巢室建材實驗結果






組別	結果	實驗結果	備註
石頭 v.s. 樹枝		兩種材料皆會使用	
石頭 v.s. 枯葉		兩種材料皆會使用	幼蟲會先使用石頭建造巢室的基部，再將枯葉建造於巢室頂部
石頭 v.s. 藻類		兩種材料皆會使用	幼蟲會先使用藻類將身體包覆住，之後才使用石頭圍在巢室四周
樹枝 v.s. 枯葉		兩種材料皆會使用	幼蟲會先使用樹枝建造巢室的基部，再將枯葉建造於巢室頂部
樹枝 v.s. 藻類		兩種材料皆會使用	幼蟲會先使用藻類，之後使用將樹枝黏在青苔兩邊
枯葉 v.s. 藻類		兩種材料皆會使用	幼蟲會先使用藻類，之後才使用枯葉建造於巢室頂部

幼蟲會使用環境中隨手可取得的材料建造巢室，並非只專一或偏愛石頭。但幼蟲建造巢室亦有一些規則，材料中如有藻類，牠會優先使用；材料中如有枯葉，牠會將其蓋於巢室頂部(圖二十三 B、D)。

五、探討石蠶蛾幼蟲建造巢室的過程

(一)觀察石蠶蛾幼蟲建造巢室的過程

表三：幼蟲建造巢室過程

步驟	步驟一	步驟二	步驟三	步驟四	步驟五
照片					

<p>圖片</p>					
<p>說明</p>	<p>幼蟲利用尾肢基部固定在一顆石頭上。</p>	<p>幼蟲身體前端向周遭探索其他環境和材料。</p>	<p>3.用步足移動小石頭(本實驗提供的大小約為0.017gw/顆)，將其轉動角度和直接將小石頭舉起放置在適當位置。</p>	<p>較大的石頭，則靠扭動尾部(本實驗提供的大小約為0.31gw/顆)。</p>	<p>將整個身體蜷著石頭，在石頭間吐絲固定。</p>



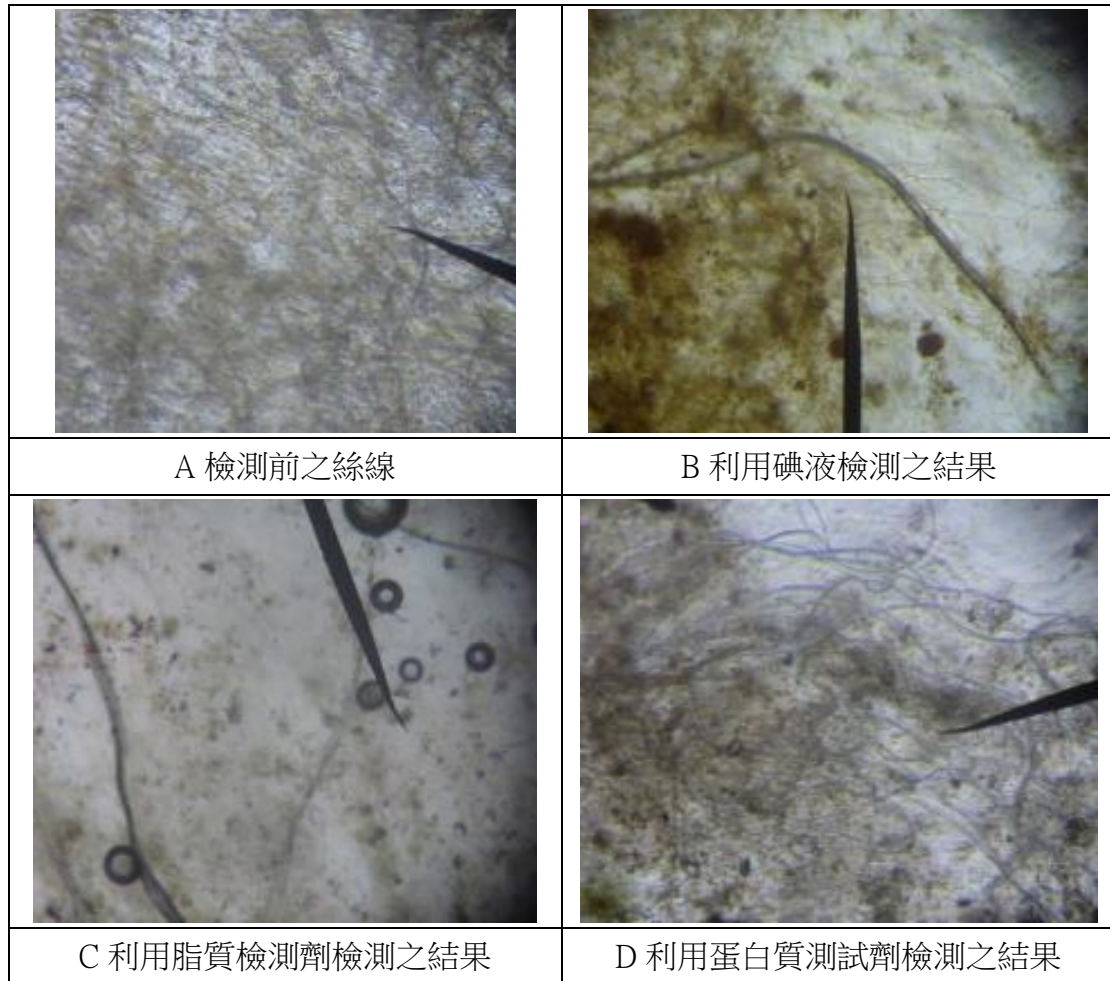
圖二十四：尾部具有似肛門乳頭的構造伸出

幼蟲在移動身體或推動較大的石頭時，幼蟲除利用尾肢基部外，尾部還會伸出似肛門乳頭的構造(圖二十四)。

六、探究石蠶蛾幼蟲巢室的結構強度與材質

(一)石蠶蛾幼蟲建造巢室黏液成分

1.分別利用碘液、脂質測試劑和蛋白質測試劑測試絲線成分。

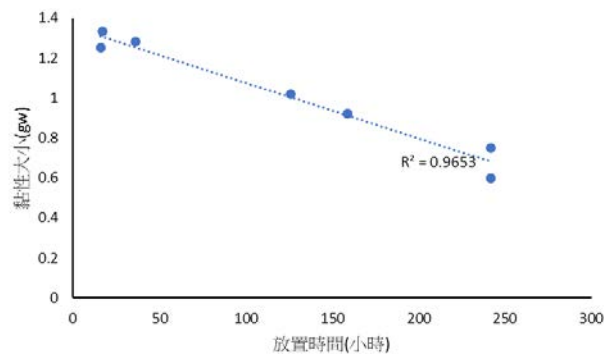


圖二十五：利用不同試劑檢測幼蟲絲線成分

利用碘液、脂質測試劑和蛋白質測試劑測試絲線成分，發現皆未變色(圖二十五)。

(二)影響石蠶蛾幼蟲巢室結構強度的因素

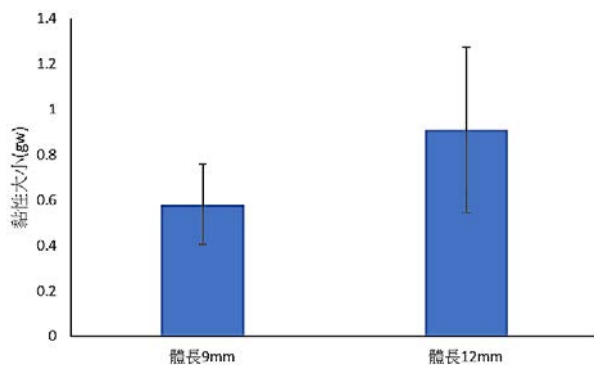
1.不同巢室完成時間對結構強度的影響



圖二十六：巢室完成時間與絲線黏性大小之關係

巢室黏性的強度會隨時間增加而變弱(圖二十六)。

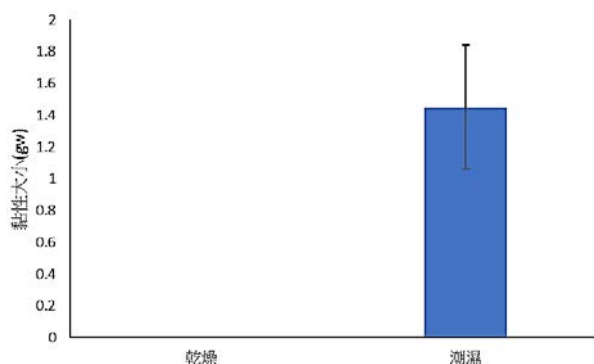
2.不同體長的石蠶蛾幼蟲其巢室結構強度



圖二十七：不同體長幼蟲絲線黏性大小

體長較長的幼蟲其絲線黏性較體長較短的大(圖二十七)。

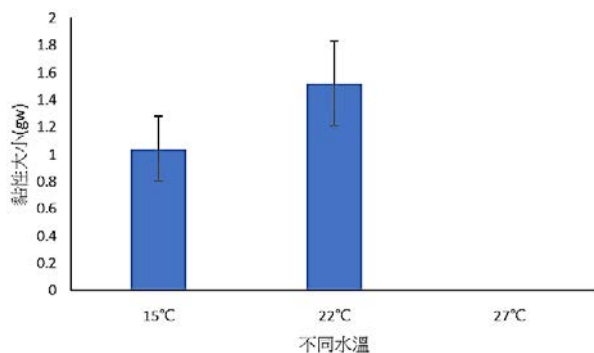
3.不同濕度下石蠶蛾幼蟲其巢室結構強度



圖二十八：乾溼環境下對幼蟲絲線黏性大小之影響

幼蟲的絲線在乾燥環境中幾乎完全無黏性(圖二十八)。

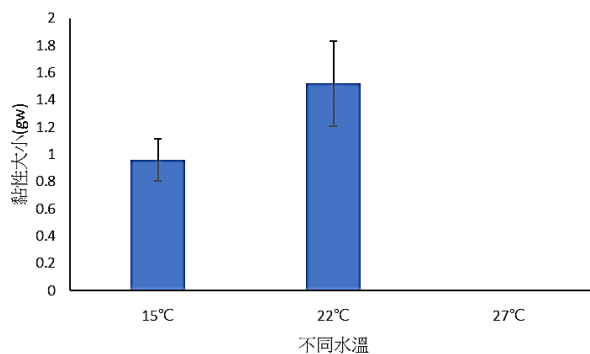
4.不同水溫下石蠶蛾幼蟲建造巢室結構強度



圖二十九：不同水溫對幼蟲絲線黏性大小之影響

幼蟲在水溫較高的情況下，吐出的絲線一碰就斷。低溫環境下，幼蟲絲線黏性亦較一般水溫小(圖二十九)。

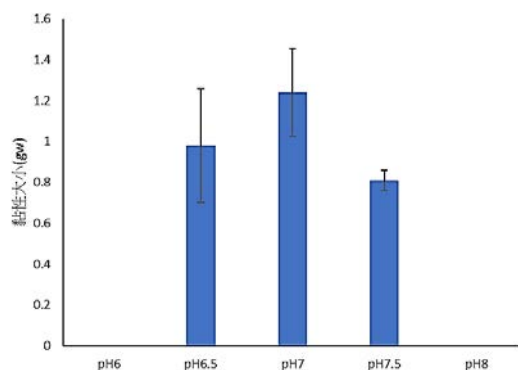
5. 絲線保存於不同水溫下對其黏性大小之影響



圖三十：不同水溫保存對石蠶蛾幼蟲巢室結構強度之影響

與上述實驗結果相同，絲線保存在較高水溫中時，絲線一碰就斷。保存在低溫環境下，幼蟲絲線黏性亦較一般水溫小(圖三十)。

6. 不同酸鹼度下石蠶蛾幼蟲其巢室結構強度

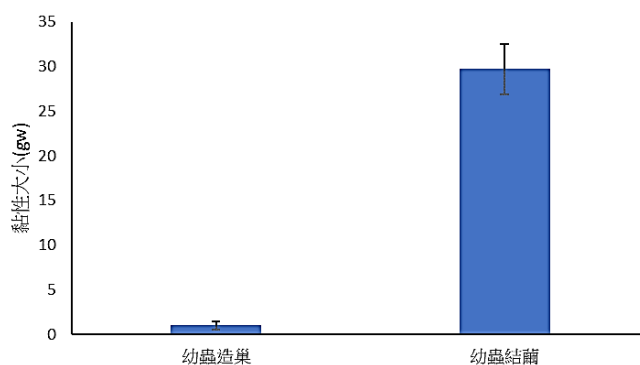


圖三十一：不同酸鹼度對幼蟲絲線黏性大小之影響

幼蟲的絲線在酸性和鹼性環境下皆無黏性(圖三十一)。

七、探究影響石蠶蛾幼蟲的繭黏性強度的因素

(一) 一般巢室與繭的黏性強度差異

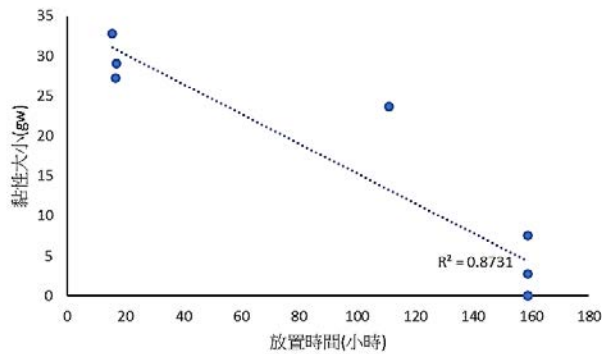


圖三十二：不同階段幼蟲絲線黏性大小

幼蟲結繭時，吐的絲線黏性很強，是平常建造巢室的 29.85 倍(圖三十二)。

(二)石蠶蛾幼蟲繭的結構強度

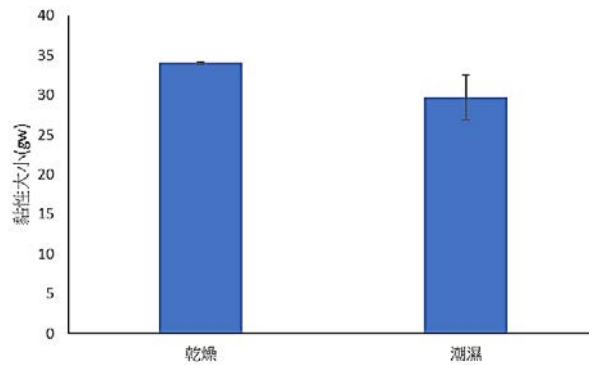
1.放置不同時間對繭黏性強度的影響



圖三十三：繭放置不同時間其黏性變化

繭黏性的強度會隨時間增加而變弱(圖三十三)，尤其約七天後，繭幾乎無黏性。

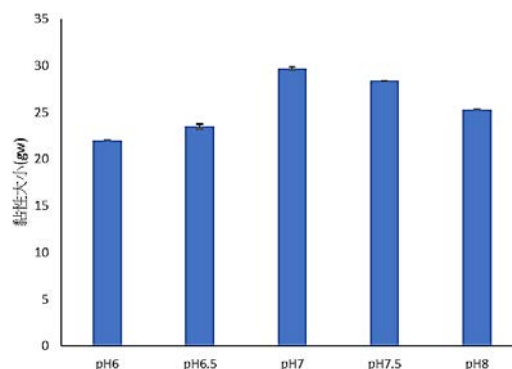
(三)放置於不同濕度下對繭黏性強度的影響



圖三十四：在不同濕度下繭的黏性強弱

繭在乾燥環境的黏性比潮濕環境中更強(圖三十四)。

(四)繭放置不同酸鹼溶液中對結構強度的影響



圖三十五：在不同酸鹼環境下繭的黏性大小

繭在中性環境下黏性強度最強，弱鹼環境次之，酸性環境下黏性最弱(圖三十五)。

陸、討論

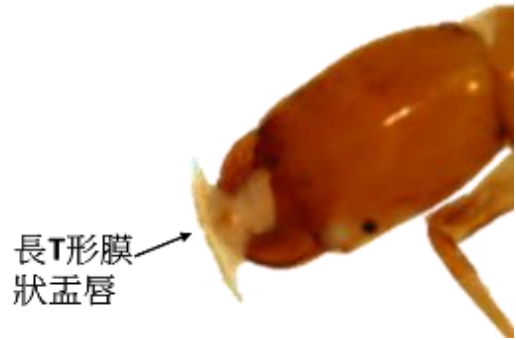
一、確認本研究對象的物種學名

石蠶蛾，即毛翅目 (Trichoptera)，是一群具有水生幼蟲和陸生成蟲的昆蟲。根據成年口器分為完須亞目 (Integripalpia) 和環須亞目

(Annulipalpia)。完須亞目的幼蟲構建一個可攜式外殼，以便在它們四處尋找食物時保護自己，而環須亞目的幼蟲構建一個固定式巢室，它們留在裡面等待食物來到它們身邊。本研究對象的幼蟲是建造

一個固定式巢室(圖二十一 A、B、C、D、E 和圖二十二)，留在巢室等待食物，故屬於環須亞目。環須亞目有兩個科，一為等翅石蛾科(Philopotamoidea)；一為紋石蛾科

(Hydropsychoidea)，本研究對象屬於紋石蛾科，因為我們實驗的幼蟲不具有長 T 形膜狀孟唇(孫, 2007)(圖三十六)。紋石蛾科有七個屬，本研究的此種幼蟲每一胸節皆有背板，腹部又有一排排濃密的鰓(圖一、圖十、圖十一)，這些皆為紋石蛾屬(*Hydropsyche*)的特徵(Pescador & Rasmussen, 1995)，故我們認為牠應為是紋石蛾屬(*Hydropsyche*)。



圖三十六：長 T 形膜狀孟唇(孫, 2007)

本研究對象之成蟲體型約只有 1 cm，且兩對膜質翅膀末端具有細絨毛，不是鱗片或鱗粉；觸角呈細絲狀多節且長，不呈羽狀；步足呈樹枝狀(圖十五)。辨識此種研究生物其幼蟲最大特點為頭部具有六個白點；成蟲最大特徵為細絨毛的翅膀底色為黑褐色，上面有淡褐色斑點。我們查詢「台灣生物多樣性資訊入口網」及國外網站資料，不管是根據成蟲的翅膀紋路(圖十五)或是幼蟲的頭部特徵(圖十 A-1 和 A-2、圖十一 A-1 和 A-2)，皆無法找到相同的物種圖片。我們請教專家後，此研究對象可能是寶島紋石蛾(*Hydropsyche formosana*)，為台灣特有種。但因為昆蟲常有型態多樣性的情況發生，所以我們將成體和幼體保存於 75% 的酒精中(圖十八)，日後可進一步藉由分析 DNA 確認。

二、石蠶蛾基本習性的探討

昆蟲的蛹大致可分為三類，裸蛹(離蛹)、被蛹和圍蛹。根據本實驗結果(圖十三 D、圖十四)，由蛹體可以清楚看出成蟲外形的蛹，觸角、腳、翅膀都和身體分離、有活動能力，故屬於「裸蛹」或「離蛹」(圖十三)。有些昆蟲在蛹期無法活動，為了躲避天敵，在化蛹時會尋覓適當之隱蔽場所隱藏以保護自己，本研究的幼蟲化蛹前會建造堅固的繭，其黏性比一般巢室大 29.85 倍(圖三十二)或吐絲將蛹團團包裹的方式保護蛹體(圖二十一 E)。幼蟲成蛹之前，會先把自己幼蟲期的胸節背板褪掉(圖十三 A)，之後會在蛹內進行變態(圖十三 B)，約 7 天後，成蟲會從蛹的前端開始蠕動(圖十三 C)，最後破蛹而出。

石蠶蛾屬於完全變態之昆蟲，在蛹裡面發育完成後，自水中的蛹掙脫而出，脫離水面在陸地上變成成蟲的過程就叫『羽化』。大多數石蠶蛾成蟲的壽命短暫，在成蟲期它們不進

食。有些網路資料指出成蟲階段的石蠶蛾可能只存活幾個星期，許多物種成蟲不會進食並在繁殖後很快死亡。根據我們的飼養經驗，我們研究的此種石蠶蛾成蟲在無交配行為下，約可存活 50~70 小時(存活時間長短似乎與變態前的幼蟲體型有關)。也是因為此原因，我們無法同時擁有雌雄的成蟲來進行交配，故無法從卵飼養至孵化出幼蟲。

有網路資料顯示，羽化時成蟲會用上顎咬破蛹壁再游到水面上，爬到石頭或枝條破蛹羽化成蟲。我們的觀察中亦發現新孵出的成蟲需要幾個小時蠕動身體從蛹的前端離開(圖十三 C)，之後會掙扎爬到水面，並花約 1 小時晾乾它的翅膀，有報告提到這段時間是魚類最容易發現這些新成蟲而被吃掉的時間。有研究指出石蠶蛾一年繁殖 1 次，越冬的時候是幼蟲在春季化蛹，在初夏時羽化為成蟲。也有報告指出幼蟲歷期的長短，一是取決於不同種的種性，二是受環境因子特別是水溫的影響很大。但我們在實驗室飼養，春夏秋冬四季都有發現成蟲的蹤跡，推測可能是在室內環境培養，所以不受限自然的季節規律，所以四季皆可羽化為成蟲。

目前約有 14,500 種石蠶蛾被發表，其攝食行為模式複雜且多樣性，不同種類的石蠶蛾幼蟲表現出各種不同的食性與攝食策略。查詢的資料顯示有些石蠶蛾幼蟲可從底棲環境中聚集有機物碎片；或使用絲網或腿上的毛髮從水中過濾出有機顆粒；或是利用刮食方式以水中物體上生長的藻類和其他附生生物為食；或咀嚼植物碎片或藻類等。一開始我們在野外抓到這個物種的幼蟲，並不知道牠的食性與攝食方式，只能一一測試加上平日觀察。在我們的實驗觀察中，發現本實驗幼蟲會利用絲線攔截和黏住水中藻類(圖二十一 F、圖三十九)，也會用咀嚼方式攝食藻類(圖三十七)。此種幼蟲相較於其他屬的幼蟲其尾肢基部具有兩個明顯的束狀長毛(圖十、圖十一 D-1 和 D-2、圖十二 A 和 C)，是否可以過濾水中藻類則需進一步探討。



圖三十七：幼蟲咀嚼藻類

三、了解幼蟲本身特性與建造巢室關係

分析石蠶蛾幼蟲本身特性與建造巢室關係的結果，發現幼蟲體長和巢室重量呈中度相關(圖十九)。我們推測幼蟲的體重與體長、巢室小碎石數量和巢室重量相關度不高的原因是幼蟲體重變化會受是否剛攝食而影響，因此在野外採集和在實驗室飼養時，我們皆可發現相同體長的幼蟲卻體型差異非常大的個體，也因為攝食對象為藻類，所以身體常呈綠色(圖一)。

四、設計模型，觀察幼蟲建造巢室過程

我們想設計幼蟲巢室基質模型主要是為了觀察幼蟲建造巢室的過程。因為幼蟲都在大石頭下方建造巢室，雖有架設縮時攝影機，但建造巢室的小碎石卻會遮住觀察角度，因此我

們讓幼蟲搭建巢室在軟木上，上方蓋上透明塑膠片(表一)。在改良模型的過程中，我們亦發現氧氣對幼蟲的重要性，當氧氣不足時，幼蟲的氣管鰓會朝向水流方向不斷擺動，因此我們不僅在軟木塞內部鑽孔，也在塑膠片上打洞，讓水流可以順利流經幼蟲(表一)。

根據幼蟲的基因構成，可以在其結構特徵、材料的性質和巢室設計中加入各種增強物。因此石蠶蛾幼蟲可以從它們的外殼被辨認到科的水平，甚至屬的水平。但我們實驗發現，本種石蠶蛾幼蟲可使用的材料種類廣泛，從大的石粒、小的沙粒、細樹枝、葉片、藻類皆可成為建造巢室的材料(圖二十一、圖二十三)，比較屬於就地利用可用材料。但建造巢室還是有牠的一些特殊性，例如材料中有藻類，牠會優先使用；如有枯葉，牠會蓋在巢室的頂部(圖二十二)。

幼蟲頭胸腹部骨質化，胸足發達，不具腹足但腹末端有一對尾肢基部，其上具強而有力的鉤子(圖十一 D-1 和 D-2、圖十二)。觀察幼蟲建造巢室時，我們發現幼蟲會利用兩根尾肢基部上面的鉤子，將尾部固定於一處的大石頭上，再去尋找適合的蓋巢材料(表三)。我們推測此一行為是因幼蟲生活於溪流中，為避免被水流沖走，故需要固定身體於一處。幼蟲在建造巢室，會利用尾部推動較大的石頭，但幼蟲尾部只有兩根尾肢基部，似乎沒有這麼大的推動力，因此我們再以顯微鏡觀察，發現尾部尚有特殊構造(圖十二 C)，這種特殊構造在幼蟲移動時，似可以提供較大的前進力量(表三)。有研究報告指出，幼蟲的肛門乳頭具有調節滲透壓和去毒性的功能(Tszydel et al. 2021)，我們觀察它的位置常朝上(圖十二 B)，無法協助幼蟲移動、固定身軀及推動較大石塊。所以這似肛門乳頭的構造，可能要再進一步了解其功能。

五、探究影響幼蟲絲線黏性的因素

有報告指出石蠶蛾幼蟲在口的附近具有唾液腺可吐出的絲線黏著物體。我們想了解其成分為何，因此利用不同的試劑來檢測黏液的成分，發現不管是脂質的檢測，還是蛋白質的檢測，皆無反應(圖二十五)。我們查詢了相關資料指出石蠶蛾能在水面下吐絲，而能將絲黏結在一起的主要關鍵在於，石蠶蛾的絲纖維上的絲胺酸是磷酸化的，使得吐出的絲纖維得以在水面黏聚在一起(鄭和李)。但為何利用蛋白質檢測劑檢測，卻未發現絲線有變色的情況，是因為胺基酸磷酸化的原因嗎？所以之後可能要再尋找其他種類的蛋白質檢測劑進行檢驗。

我們設計一些不同變因來探討哪些變因會影響這些絲線的黏性。幼蟲吐的絲線黏性會受幼蟲大小、造巢完成時間、製造絲線水溫、絲線保存水溫、酸鹼度和濕度的影響(圖二十六、圖二十七、圖二十八、圖二十九、圖三十、圖三十一)。幼蟲吐出的絲線在水裡愈久黏性愈低。因此我們發現幼蟲會不斷建造新的巢室(圖三十八)。



圖三十八：幼蟲不斷建造巢室

除幼蟲的飼養溫度會影響到絲線黏性(圖二十九)，我們更進一步探討保存絲線的水溫亦會影響絲線黏性，尤其是高溫(27°C)，絲線幾乎無黏性(圖三十)，且為不可逆的反應。幼蟲吐出的絲線受酸鹼度影響也很大，在 pH6 和 pH8 的水質下，絲線亦無黏性(圖三十一)。我們查詢石蠶蛾相關資料時，常可以搜尋到石蠶蛾幼蟲可以做為水污染的指標性物種。根據我們的實驗觀察和結果，幼蟲除了本身生理特性對氧氣敏感，吐出的絲線黏性又受到水溫和酸鹼度影響，因此是一個非常好的指標生物。不同生活史階段亦會影響幼蟲的巢室強度，幼蟲要結繭時，絲線黏性約為造巢時的 29.85 倍(圖三十二)。

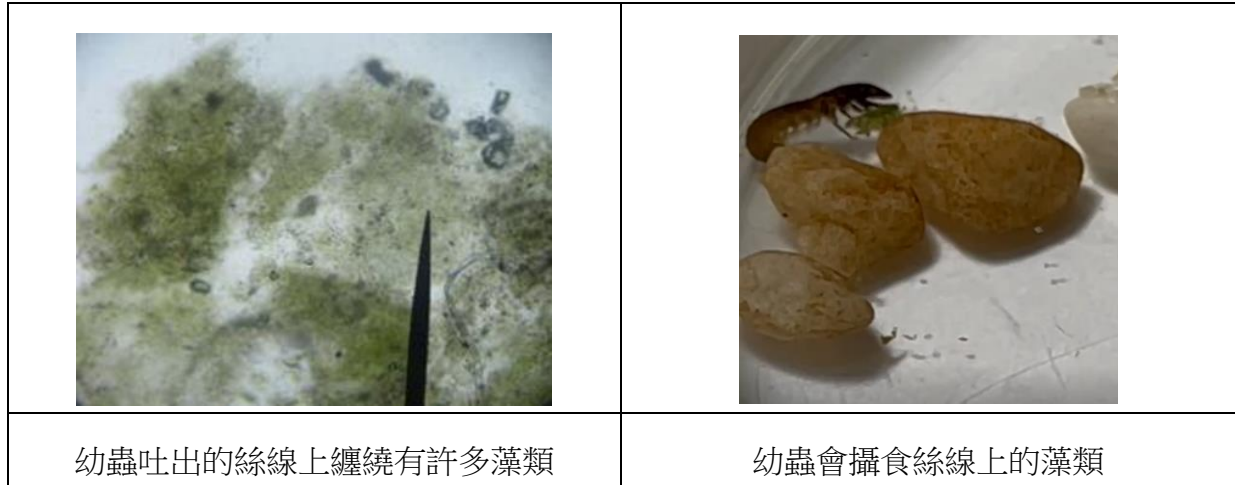
繭是昆蟲在蛹期時，蛹外的構造，繭的功能是在於保護蛹的安全，昆蟲在造完繭後，才開始化蛹。通常繭在鱗翅目中只有蛾類才擁有，但我們發現本種亦在蛹期前，會用絲線緊緊黏住石頭，形成繭的結構。如沒有可利用的建材，本種幼蟲亦會吐絲，將自己包起來(圖二十一 E)。繭的黏性除了比造巢時大之外，還有一個最大的不同處為在乾燥環境下，繭的黏性更強(圖三十四)，此一特性代表兩者應為不同成分。

六、探討幼蟲建造巢室的原因

有報告指出石蠶蛾幼蟲建造巢室，具有保護、躲藏、埋伏的功用，因為我們研究對象是攝食藻類，故應不具有埋伏功能。根據我們的實驗結果，我們認為此幼蟲建造的巢室具有下面三個功能：

- 1.抵抗水流：根據我們的採樣經驗，大雨或颱風過後，溪流上游採集不到石蠶蛾幼蟲，因為水流速度大於 34 ~ 40 cm / s 以上，幼蟲會被水流沖走。
- 2.保護自己：牠的天敵為魚類，躲在巢室中，避免被魚類捕食。這種情況在蛹期表現更明顯，此時期的巢室結構異常堅固，提供更好的保護。
- 3.獲得食物：建造巢室的絲線具有黏性，可黏住水中藻類(圖三十九)。尤其是「石蠶蛾幼蟲巢室建材使用特性」實驗，幼蟲會優先選擇藻類。我們亦觀察到幼蟲會攝食絲

線纏繞的藻類，更確定巢室與食物的相關性。



圖三十九：幼蟲利用絲線獲得食物

柒、結論

為了確認本研究物種學名，我們將幼蟲飼養至羽化成蟲，利用石蠶蛾幼蟲頭部六個白點及成蟲毛狀翅特殊斑點外觀特徵，作為此種石蠶蛾鑑定種類的依據，本研究對象應為寶島紋石蛾(*Hydropsyche formosana*)，是台灣特有種。石蠶蛾為此生物幼蟲的中文俗名，其意為利用石頭建造巢室，但我們發現此種幼蟲不僅會利用石頭建造巢室，還會利用樹葉、樹枝、藻類，根據實驗結果此種幼蟲建造巢室選用的材料，主要是就地取材，但如有藻類，則優先使用；如有枯葉，則蓋在巢室頂部。本種石蠶蛾幼蟲以藻類為主要攝食對象，因此一般石蠶蛾建造巢室除是為了保護自身的安全和抵抗水流外，最主要是可以攔截水中藻類，我們也可以在幼蟲吐出的絲線上發現大量藻類，而且幼蟲會攝食絲線上面的藻類得到證明。幼蟲吐的絲線黏性會受幼蟲大小、造巢完成時間、水溫、酸鹼度和濕度的影響，水溫高於 27°C、pH 小於 6 和 pH 大於 8，絲線黏性皆會喪失。幼蟲除了本身生理特性對氧氣敏感，吐出的絲線黏性又受環境因子影響，因此是偵測溪流水質一個非常好的指標生物。幼蟲造的繭其黏性強度約為造巢時的 29.85 倍，它與造巢絲線特性最大的不同在於乾燥環境下，繭的黏性強度更大。

捌、未來展望

未來我們希望將此種生物的標本送至專業實驗室進行 DNA 鑑種，了解牠的生物分類地位。石蠶蛾幼蟲分泌的絲線在水中黏性非常強，黏著的材質種類又廣，也許未來在水族設備，可以利用其特性。繭的黏性強度在乾燥環境下更強，未來可利用此一特性於醫療耗材使用。

玖、參考文獻資料

- 1.徐歷鵬(1997)。台灣地區毛翅目之分類研究。私立東海大學生物所博士論文。370 頁。
- 2.孫長海(2007)。等翅石蛾科（昆蟲綱：毛翅目）兩新種記述。南京農業大學學報；30 卷 4 期。P71-73。
- 3.柏谷博之著。溪流裡的 KOLAY-石蠶蛾的生態研究。2017 年。第九屆原住民雲端科展。
4. M. Tszedel, D. Błońska, P. Józwiak & M. Józwiak (2021) SEM-EDX analysis of heavy metals in anal papillae of *Hydropsycheangustipennis* larvae (Trichoptera, Insecta) as a support for water quality assessment, *The European Zoological Journal*, 88:1, 718-730.
- 5.Pescador, M.L. & Rasmussen, A.K. (1995) Identification Manual for the Caddisfly (Trichoptera) Larvae of Florida. Entomology Center for Water Quality, Florida A & M University, Tallahassee, Florida, 186 pp.
- 6.鄭雅之、李旺龍編，在水下構成膠纖維：石蛾，仿生部落格。取自 <http://science.nchc.org.tw/blog/>
- 7.毛翅目幼蟲石蠶的水下建造。取自 <https://kknews.cc/nature/z5enazg.html>
- 8.台灣生物多樣性資訊入口網。取自 <http://taibif.tw/>
9. Integrated insect types database of Taiwanese。取自 <http://twinsecttype.nmns.edu.tw/specimen/?id=NMNS-MCZ-00050>
- 10.台灣生命大百科。取自 <https://taicol.tw/pages/109649>

【評語】 030305

本研究從形態觀察開始，確立研究物種的分類地位，再深入觀察石蠶蛾幼蟲建構巢室與蛹室的行為，發現造巢絲線黏性會受到水溫和酸鹼度影響，是有趣的作品，本研究內容呈現詳盡記錄，可見作者用心，建議未來可以延伸探討的面向如下：

1. 分析各齡期石蠶蛾絲線成分與黏性成分
2. 分析各齡期石蠶蛾絲線產生的腺體與位置
3. 從觀察的實驗數據發展新的假說，再進行驗證
4. 根據絲線的黏液成分與結構進行應用性發想

作品簡報

高「巢」「壘」起

探究石蠶蛾幼蟲之造巢特性

組別：國中組
科別：生物科
編號：030305

探究問題

研究結果1

研究結果2

研究結果3

研究結果4

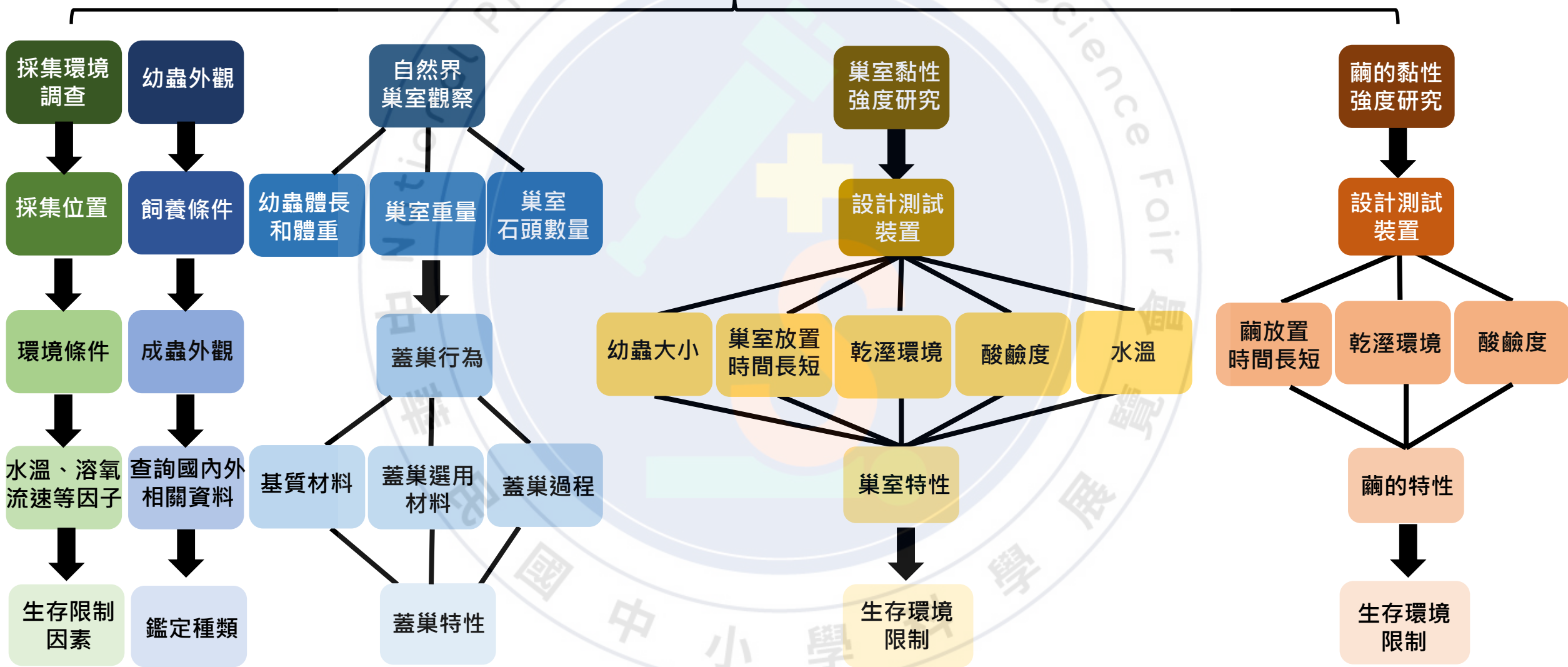
研究結果5

研究結果6

結論

未來展望

石蠶蛾幼蟲



1. 石蠶蛾幼蟲的正面和腹面觀

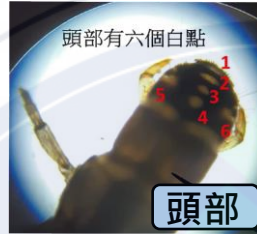


幼蟲正面



幼蟲腹面

2. 幼蟲細部構造



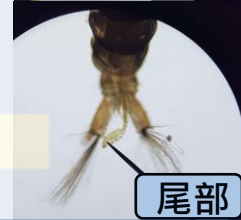
頭部



胸部



腹部



尾部

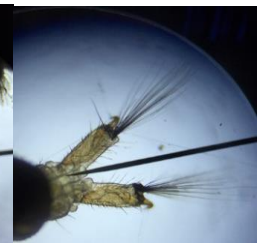
3. 尾肢基部特殊構造



尾肢基部各具有一個鉤子



尾部具有四根肛門乳頭



具有似肛門乳頭的構造

1. 成蟲外觀



成蟲側面

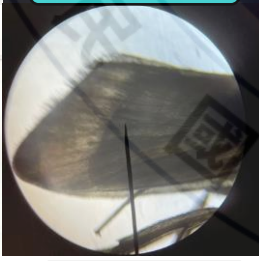


成蟲腹面

2. 成蟲細部構造



成蟲頭部



成蟲翅膀

幼蟲階段

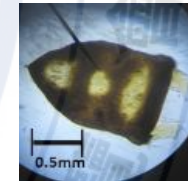
寶島紋石蛾
(*Hydropsyche formosana*)

成蟲階段

蛹期階段

確認採集物種學名

1. 裸蛹外觀



幼蟲會先脫落頭部外殼與胸節背板



脫完幼蟲頭部外殼與胸節背板的蛹期

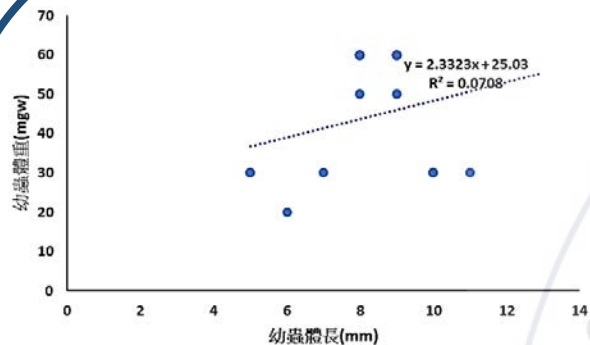


從頭部開始往前蠕動，準備破蛹而出

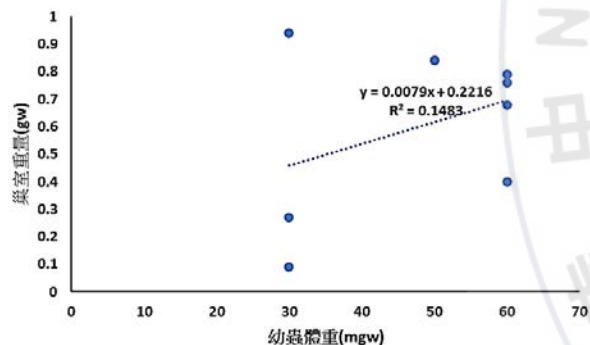


裸蛹的外殼

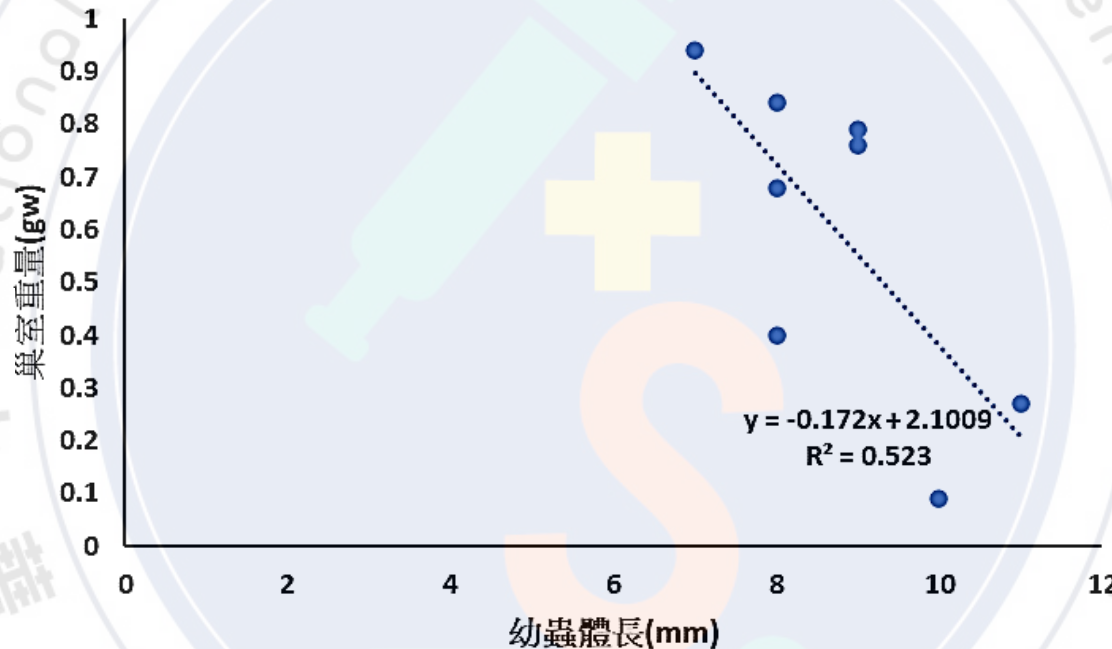
幼蟲造巢基本數據分析結果



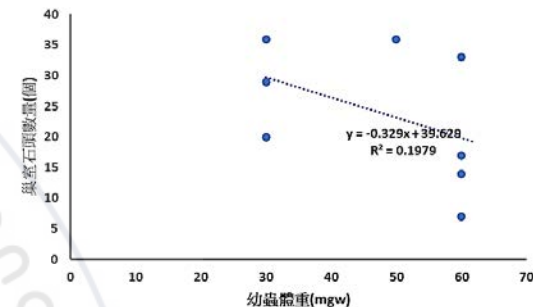
幼蟲體重和體長



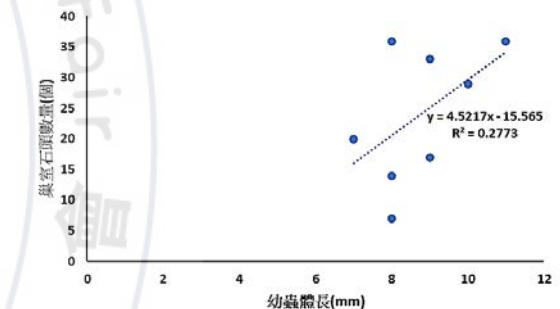
幼蟲體重與巢室重量



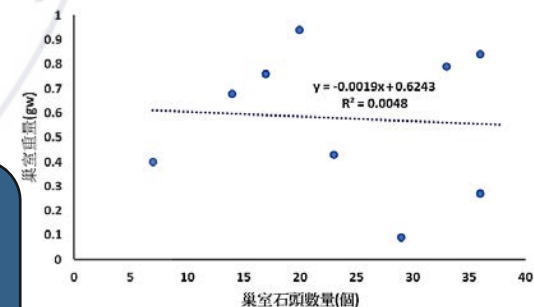
幼蟲體長和巢室重量



幼蟲體重與巢室石頭數量



幼蟲體長和巢室石頭數量



巢室重量和巢室石頭數量

1. 幼蟲體長與體重、巢室石頭數量與巢室重量相關係數非常低。
2. 幼蟲體重分別與巢室石頭數量和巢室重量成低度相關；幼蟲體長也與巢室石頭數量呈低度相關。
3. 分析結果幼蟲體長和巢室重量相關性最高，呈中度負相關。

探究問題

研究結果1

研究結果2

研究結果3

研究結果4

研究結果5

研究結果6

結論

未來展望

石蠶蛾幼蟲巢室建材選擇

第一代



第二代



第三代



第四代



第五代



第六代



大碎石與小碎石



樹枝與葉柄



藻類



枯葉



自己吐絲線



枯葉+石頭



石頭 v.s. 樹枝



石頭 v.s. 青苔



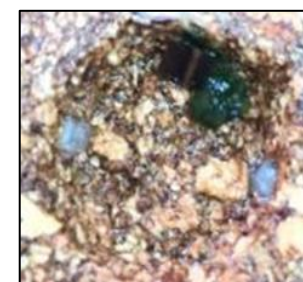
石頭 v.s. 枯葉



樹枝 v.s. 枯葉



樹枝 v.s. 青苔



枯葉 v.s. 青苔

幼蟲建造巢室過程

1



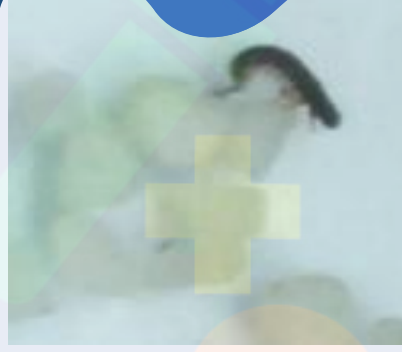
幼蟲利用尾肢
基部固定在一
顆石頭上

2



幼蟲身體前端
向周遭探索其
他環境和材料

3



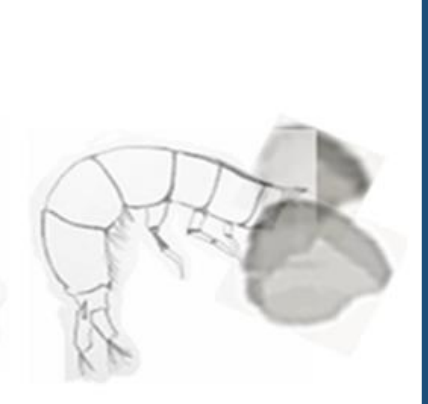
用步足移動小
石頭

4



較大的石頭，
則靠扭動尾部

5



將整個身體蜷
著石頭，在石
頭間吐絲固定

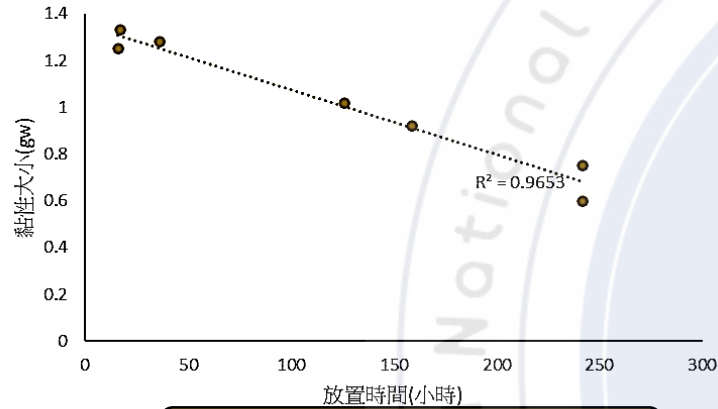
檢測一般造巢絲線黏性裝置



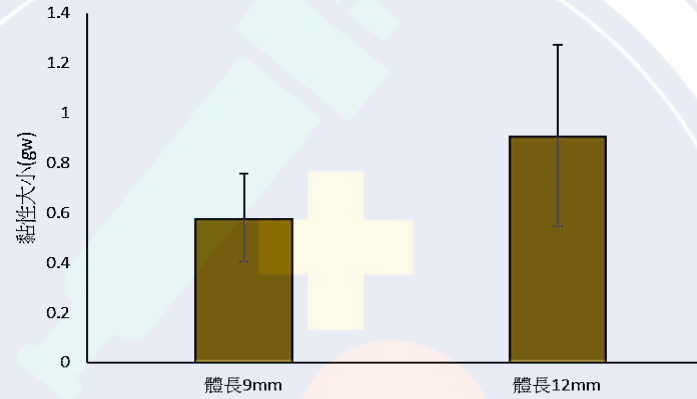
檢測結繭絲線黏性裝置



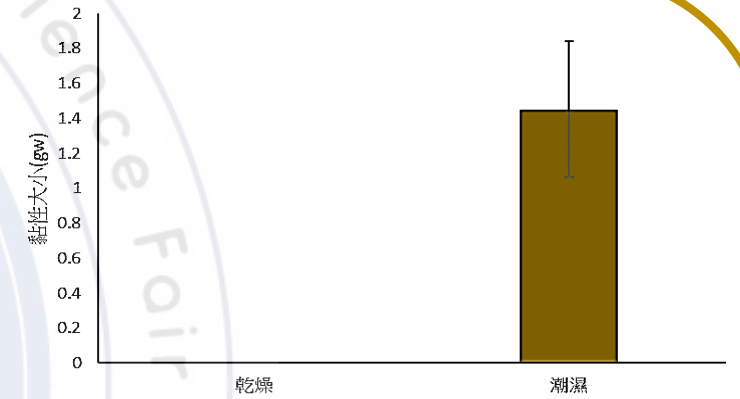
影響石蠶蛾幼蟲巢室結構強度的因素



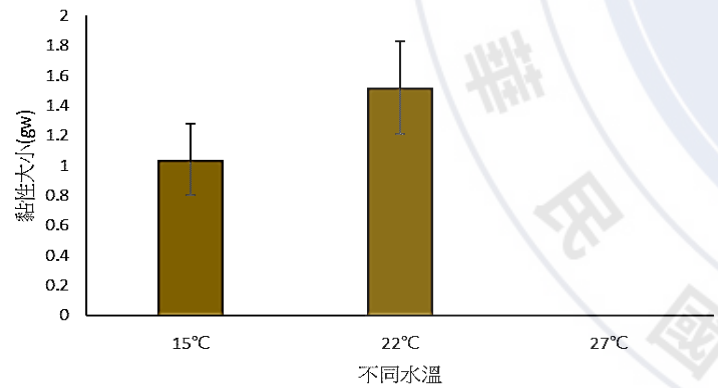
放置時間與黏性大小



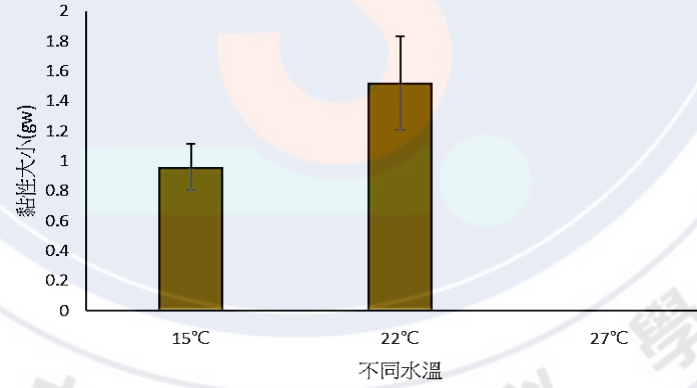
幼蟲大小與黏性大小



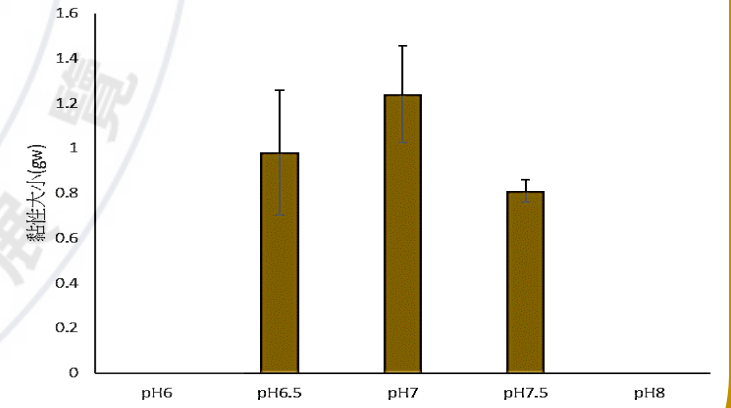
乾溼環境與黏性大小



飼養水溫與黏性大小

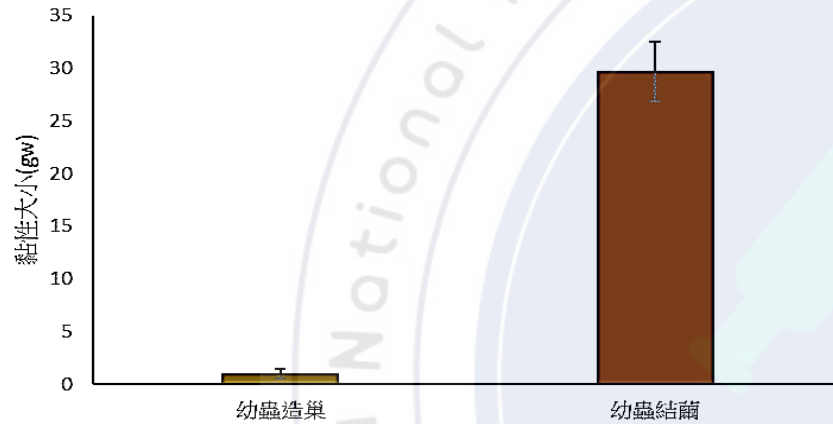


絲線保存溫度與黏性大小

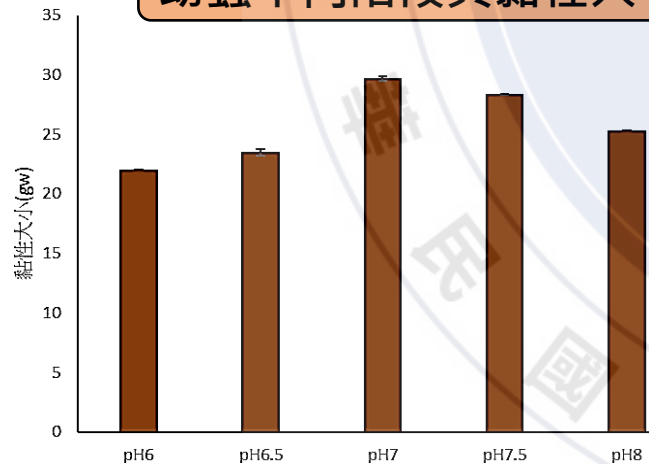


酸鹼度與黏性大小

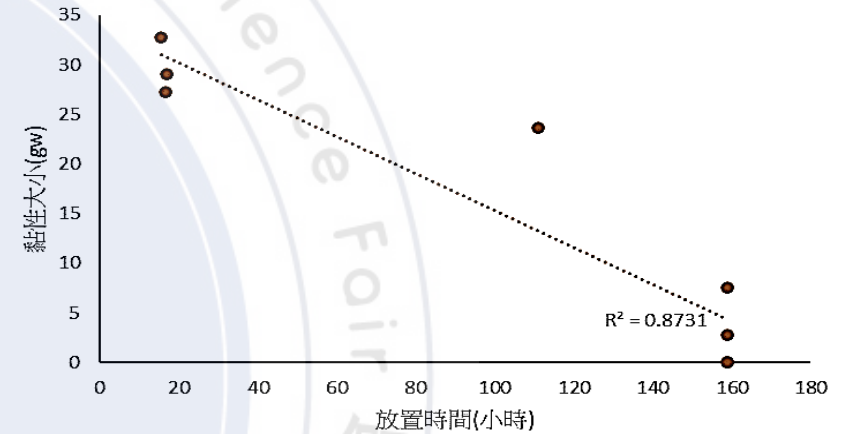
影響石蠶蛾幼蟲繭結構強度的因素



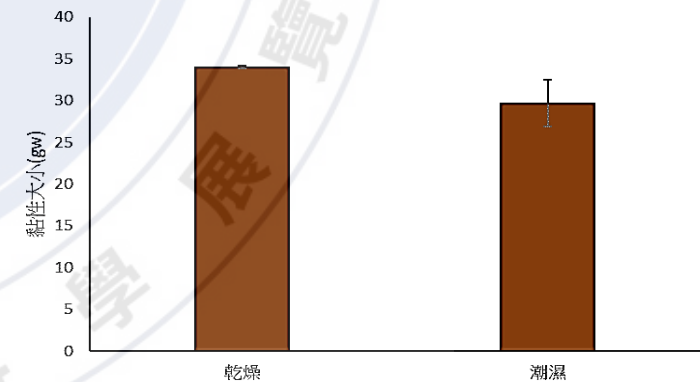
幼蟲不同階段與黏性大小



在不同酸鹼環境下繭的黏性大小



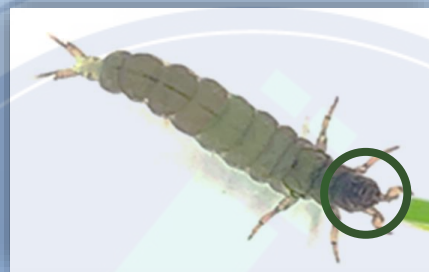
繭放置不同時間其黏性變化



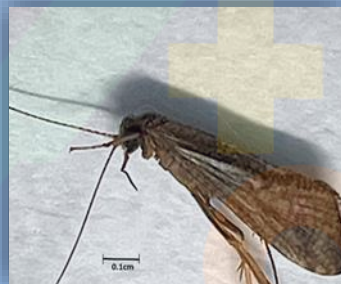
在不同濕度下繭的黏性強弱

一、鑑種：

1. 石蠶蛾幼蟲頭部六個白點



2. 成蟲毛狀翅特殊斑點外觀特徵



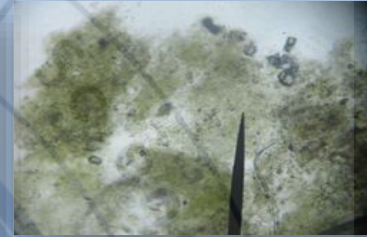
作為鑑定種類的依據，本研究對象應為**寶島紋石蛾**(*Hydropsyche formosana*)，是台灣特有種。

二、建材選擇：

幼蟲不僅會利用石頭建造巢室，還會利用樹葉、樹枝、藻類，此種幼蟲建造巢室選用的材料，主要是就地取材，但如有藻類，則優先使用如有枯葉，則蓋在巢室頂部。

三、探討幼蟲建造巢室的原因

- 1.保護功能：保護石蠶蛾幼蟲避免被天敵攝食。
- 2.攔截藻類：幼蟲吐出的絲線纏繞許多藻類。
- 3.抵抗水流：大雨或颱風過後，石頭下方皆無巢室，溪流上游採集不到石蠶蛾幼蟲。



四、影響石蠶蛾幼蟲巢室結構強度的因素

幼蟲吐的絲線黏性會受到：1.幼蟲大小 2.造巢完成時間 3.水溫 4.酸鹼度 5.濕度的影響
6.水溫高於27°C，pH<6和pH>8絲線黏性皆會喪失。

→ 幼蟲除了本身生理特性對氧氣敏感，吐出的絲線黏性又受環境因子影響，
因此是偵測溪流水質一個非常好的指標生物。

五、繭的絲線

- 1.幼蟲造的繭其黏性強度約為造巢時的29.85倍，
- 2.它與造巢絲線特性最大的不同在於乾燥環境下，繭的黏性強度更大。

未來我們希望將此種生物的標本送至專業實驗室進行DNA鑑種，了解牠的生物分類地位。石蠶蛾幼蟲分泌的絲線在水中黏性非常強，黏著的材質種類又廣，也許未來在水族設備，可以利用其特性。繭的黏性強度在乾燥環境下更強，未來可利用此一特性於醫療耗材使用。

參考文獻資料

- 1.徐歷鵬(1997)。台灣地區毛翅目之分類研究。私立東海大學生物所博士論文。370 頁。
- 2.孫長海(2007)。等翅石蛾科(昆蟲綱：毛翅目)兩新種記述。南京農業大學學報；30卷4期。P71-73。
- 3.柏谷博之著。溪流裡的KOLAY-石蠶蛾的生態研究。2017年。第九屆原住民雲端科展。
4. M. Tszydel, D. Błońska, P. Józwiak & M. Józwiak (2021) SEM-EDX analysis of heavy metals in anal papillae of *Hydropsyche angustipennis* larvae (Trichoptera, Insecta) as a support for water quality assessment, The European Zoological Journal, 88:1, 718-730.
- 5.Pescador, M.L. & Rasmussen, A.K. (1995) Identification Manual for the Caddisfly (Trichoptera) Larvae of Florida. Entomology Center for Water Quality, Florida A & M University, Tallahassee, Florida, 186 pp.
- 6.鄭雅之、李旺龍編，在水下構成膠纖維：石蛾，仿生部落格。取自<http://science.nchc.org.tw/blog/>
- 7.毛翅目幼蟲石蠶的水下建造。取自<https://kknews.cc/nature/z5enazg.html>
- 8.台灣生物多樣性資訊入口網。取自<http://taibif.tw/>
9. Integrated insect types database of Taiwanese。取自<http://twinsecttype.nmns.edu.tw/specimen/?id=NMNS-MCZ-00050>
- 10.台灣生命大百科。取自<https://taieol.tw/pages/109649>