

# 落落大方-棉桿竹節蟲避敵及成蟲飛行落點行為探究

## 研究摘要

本研究透過飼養觀察、形態觀察及室內實驗等方式，探討棉桿竹節蟲若蟲與成蟲的避敵行為，以及成蟲避敵飛翔時，選擇落點的行為模式。

實驗研究發現，一齡至三齡若蟲的避敵策略多以快走、掉落方式表現，一齡若蟲尤會頭尾後拱作彎曲狀，隨即掉落；四齡與五齡若蟲避敵會出現快走移動，不再受到攻擊時即靜止，偽裝成樹枝不動；六齡若蟲及成蟲遭遇攻擊時會分泌人蔘氣味驅敵。若蟲避敵飄落大多在 10 公分內翻身 1 次；成蟲遭遇持續攻擊時會掉落地面偽裝成樹枝不動或於掉落時飛走。

成蟲飛行時會滯空以 C 形、偶爾出現 S 形的飛繞路線，以負趨光性行為尋找落點，在相同亮度下，成蟲對於不同色塊落點的選擇沒有明顯區別。同一隻成蟲的飛行軌跡大致相同，應有記憶及學習能力。

## 壹、研究動機

六上夏天，我們一起去美崙山和佐倉步道散步，從觀察到由螞蟻組成的橋，開始對生物行為產生興趣，並著手研究螞蟻。之後在閱讀參考文獻時，讀到一篇關於棉桿竹節蟲生態行為的研究，深深把我們吸引了，剛好學校也飼養了數量穩定的棉桿竹節蟲，我們可以每天親近、觀察，開始為竹節蟲拍照、紀錄、推測年齡(體長-1)創造更多的問題及興趣。我們在更換樹葉或整理大飼養箱時，觀察到棉桿竹節蟲若蟲遇到擾動時會有飄落行為，成蟲會出現飛行的避敵行為，讓我們想進一步了解若蟲如何掉落不受傷？有翅膀的成蟲飛行時是隨機降落？還是有特定的落點考量？成蟲有沒有可能飛到同一個地點附近？於是我們組隊，進行此一研究。

## 貳、研究目的

依照以上的動機，我們的研究有以下三個目的：

目的二：觀察棉桿竹節蟲若蟲與成蟲的避敵行為，並了解若蟲的飄落機制。

目的三：觀察棉桿竹節蟲成蟲的飛行落點選擇，探究成蟲選擇落點與飛行軌跡的關聯。

目的四：設計並製作仿真翅膀的棉桿竹節蟲模型，了解翅膀形狀對飛行軌跡的影響。

## 參、文獻探討

### 一、歷屆科展研究內容比較

在全國科展歷屆優勝作品中，曾以「棉桿竹節蟲」為研究題材的作品共有 5 件，其

研究發現與結論如下表：

屆別	組別	題目	研究發現與結論
60	國小 生物	竹節蟲夜未眠—棉桿竹節蟲斑紋辨識與夜間行為探究	1. 可利用中胸背板黑色斑點數量及排列圖形，辨識棉桿竹節蟲個體。 2. 不同的光照環境，會影響棉桿竹節蟲活動行為的時段分布與時間長短。
51	國小 生物	林間隱者—影響棉桿竹節蟲生長因子之探究	因食草、環境溫度的不同而在生活史上產生長短的差異，產卵量及卵的孵化率亦有不同。
49	國小 生物	不要一直注意人家的美腿啦！ 〈棉桿竹節蟲的步行晃動與擬態晃動頻率〉	1. 若蟲在平面步行時會晃動，成蟲不會。 2. 擬態過程中，身體上下晃動且高度逐漸降低。
49	國中 生物	樹上忍者—棉桿竹節蟲的生態研究	1. 具有負趨地性、有趨光性但不明顯。 2. 常見的防禦機制有雙臂舉起呈威嚇狀，或由胸前背板放出人蔘味，以

			及吐出微黃泡泡。
42	國小 生物	台灣皮竹節蟲與飛竹節蟲生活史與食草之比較	1. 兩種竹節蟲遇到天敵時都會裝死、自割，同時也是偽裝高手：不動如樹枝、隨風擺動，會模擬毒蠍。 2. 飛竹節蟲受到刺激會發出像人蔘的臭味，甚至會飛走。

## 肆、研究問題

依照研究目的與文獻探討，本研究探討的問題有以下七個：

問題一：棉桿竹節蟲的型態構造及生命史。

問題二：材質和角度對棉桿竹節蟲爬行步態的影響。

問題三：棉桿竹節蟲的若蟲與成蟲有哪些避敵行為？

問題四：不同齡期的棉桿竹節蟲若蟲飄落的方式。

問題五：棉桿竹節蟲成蟲對於飛行落點的選擇策略。

問題 5-1 不同色塊的落點選擇

問題 5-2 不同亮度的落點選擇

問題六：棉桿竹節蟲成蟲對於飛行軌跡與記憶能力的探討。

問題七：棉桿竹節蟲成蟲後翅形狀對飛行路線的影響。

## 伍、研究設備及器材

- 一、 飼養及實驗設備：棉桿竹節蟲、各種大小網箱、噴水器、尺、500cc 飲料杯數十個、自製碰觸棒、毛筆、課桌椅、捲尺、體操軟墊(1M\*1M)、筆、筆記本、鐵尺、游標尺、電子秤、A4 紙、切割墊、軟墊(防災頭套)、金屬鑷子、15X 放大鏡、斜口鉗、銼刀、數位相機、平板、手機、腳架。
- 二、 飼養及實驗材料：樟樹葉、芭樂葉、厚紙板、標本針(#1)、描圖紙、玻璃紙、全開書面紙(6 色)、膠水、快乾膠、強力膠、輕黏土、鉛片、飛鳥模型、橡皮筋。

		
大型飼養箱	大型網籠	各式飼養網籠
		
攜帶式飼養箱	自製碰觸棒	改造的翅膀模型

圖 1 研究器材表

## 陸、研究方法與過程

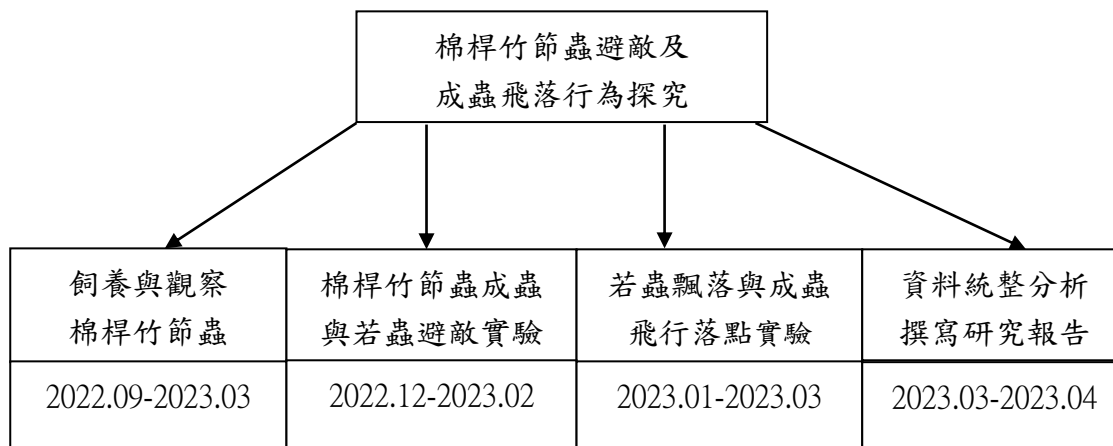


圖 2 本研究架構圖

### 研究問題一：棉桿竹節蟲的形態構造及生命史

#### (一) 研究方法：飼養觀察法

(二) 研究步驟：

1. 從教室外的大飼養箱，將不同齡期的竹節蟲分網籠飼養。
2. 每 4 ~ 6 天整理飼養箱及採集新鮮的樟樹葉與芭樂葉與噴水，觀察記錄竹節蟲不同齡期的特徵及行為，記錄各齡期若蟲及成蟲數量。
3. 將自然死亡的成蟲個體製成標本。
4. 拍照、繪製不同齡期的竹節蟲外觀特徵。



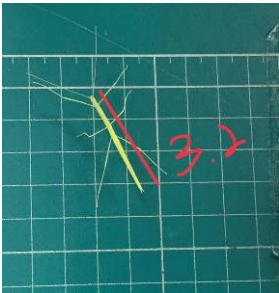





			
定期統計數量 清理飼養環境	分齡期分籠觀察紀錄	用尺規測量若蟲體長	用游標尺量若蟲體長
			
等靜止時量測體長	網上的棉桿竹節蟲卵	排除孵化困難	製作標本

圖 3 棉桿竹節蟲的飼養與觀察

(三) 研究結果：經閱讀資料與飼養觀察，棉桿竹節蟲(*Siphloidea sipylus*)的生物地位屬昆蟲綱、竹節蟲目，異竹節蟲科中的細頸竹節蟲屬。

1、身體構造：身體構造主要分為頭、胸、腹三節。

(1) 頭部：複眼、細長觸角、咀嚼式口器。

(2) 胸部：呈細長狀，前胸 / 中胸 / 後胸分別長前腳 / 中腳 / 後腳；成蟲具有翅膀，前翅十分短小，後翅寬大成圓弧狀，為主要飛行構造。

(3) 腹部：呈細長狀，若蟲腹節分為 7 節，5 齡起 8 或 9 節，成蟲分為 10 節，末端具肛片，繁殖方式為孤雌生殖，大多為雌性個體。

2、生命周期：棉桿竹節蟲的生命週期為卵－若蟲－成蟲，屬於不完全變態昆蟲，一年約 2-3 個世代。

3、竹節蟲數量變化：

(1) 飼養期間數量大量減少主要原因：過年期間約有 2 星期的空窗期，組員與老師均無法到校補充糧食，造成各齡竹節蟲大量死亡。以及冬天溫度較低，雖然產卵數量眾多，但卵的孵化速度較慢。

(2) 3 月期間數量大量增加，主因為春天溫度提高，孵化速度快速，成功率高。

表 1 不同齡期棉桿竹節蟲的數量變化

日期/齡期	一齡	二齡	三齡	四齡	五齡	六齡	成蟲	小計
20221221	16	0	20	17	17	4	10	84
20230107	8	0	14	8	9	2	24	65
20230209	16	4	3	3	12	5	22	65
20230210	23	1	4	3	11	4	21	67
20230215	34	2	5	3	15	3	18	80
20230216	35	2	5	3	15	3	18	82
20230218	42	2	5	3	15	3	18	88
20230220	65	0	5	3	12	4	17	106
20230220	59	0	5	3	12	4	17	100
20230221	65	0	5	3	12	4	17	106
20230222	72	1	5	3	12	4	17	114
20230311	60	3	1	3	8	2	19	96
20230401	130	6	1	2	1	13	24	177



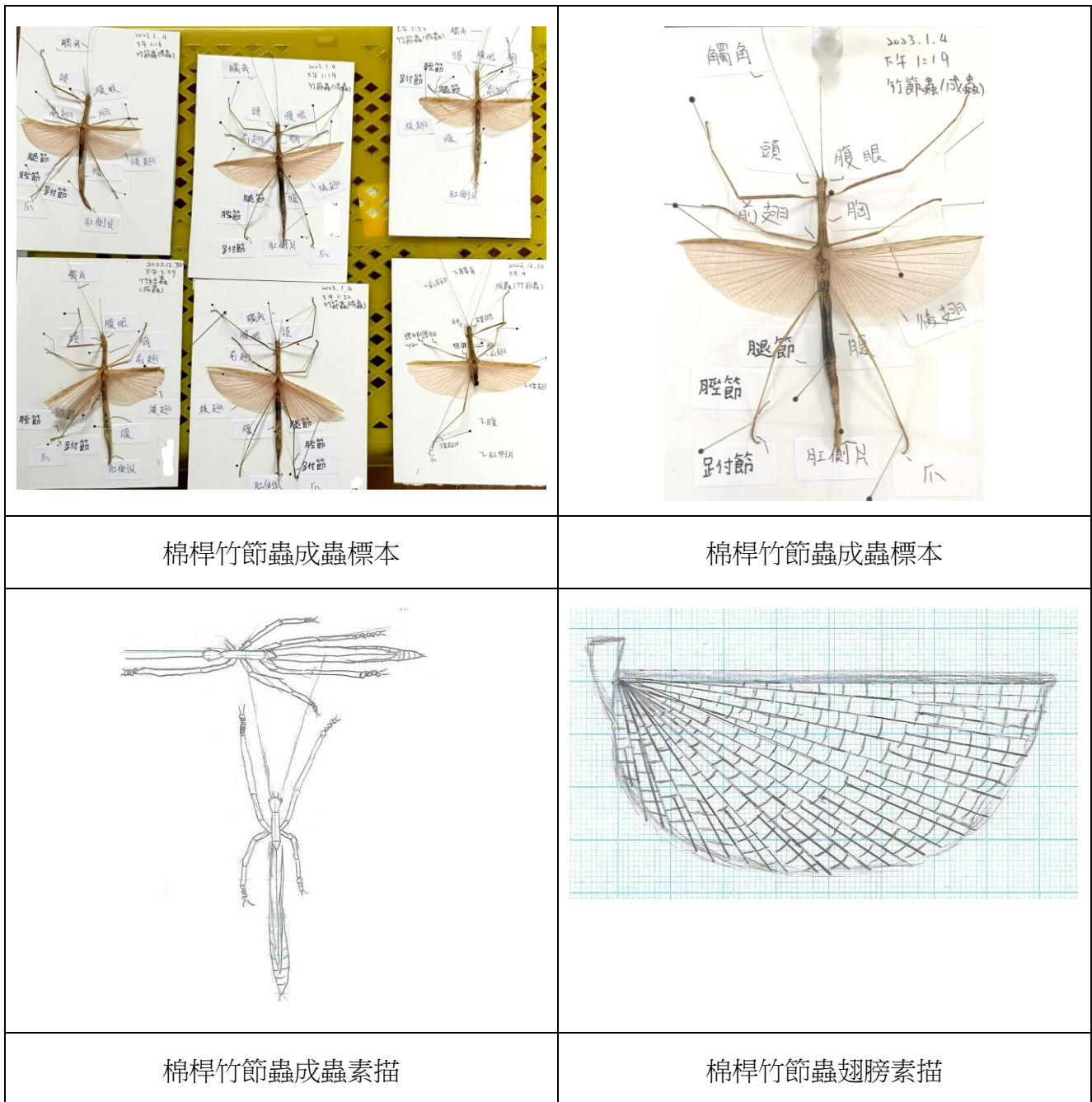


圖 4 棉桿竹節蟲標本與觀察素描

## 研究問題二：材質和角度對棉桿竹節蟲成蟲爬行步態的影響。

(一) 研究方法：實驗法

(二) 研究步驟：

1. 先蒐尋六肢健全的棉桿竹節蟲成蟲 3 隻，依序編號。
2. 將棉桿竹節蟲放置在不同材質的平面上，改變平面角度，並觀察其爬行步態

的變化。

3. 改變角度依序為：0 度、45 度、90 度、135 度
4. 材質使用 3 種：綠色塑膠隔板、棕色木製棋盤、透明玻璃(只做 90 度)
5. 慢速攝影後回放分析影像，繪製不同角度爬行狀態的改變並以表格記錄。



			
量測平面角度 45°	量測平面角度 90°	塑膠面 0° 爬行步態	塑膠面 45° 爬行步態
			
塑膠面 90° 爬行步態	塑膠面 135° 無法抓取	木板面平面 45° 爬行步態	玻璃面 90° 爬行步態

圖 5 平面材質與角度對棉桿竹節蟲成蟲的爬行步態影響

(三) 研究結果：

1. 棉桿竹節蟲成蟲在粗糙的表面(木製棋盤)可以停留的時間較久。
2. 棉桿竹節蟲成蟲在平面為 0 度或 45 度時，以三腳步態行走。
3. 三腳步態第一組動作：先動左前，之後動中右腳，最後動左腳；第二組動作：先動右腳，之後動中左腳，最後動右腳；重複第一、二組。
4. 在平面 90 度時，右腳 1、左腳 1、右腳 3、左腳 3 固定，右腳 2、左腳 2 往前蹬，與三腳步態截然不同。
5. 成蟲在平面為 135 度、180 度時，攀爬不上去，直接掉落飛行。



表 2 平面材質與角度對棉桿竹節蟲成蟲的爬行步態影響

材質	角度	次數一	次數二	次數三
塑膠隔板	0	三腳步態	三腳步態	三腳步態
	45	三腳步態	三腳步態	三腳步態
	90	前兩隻腳往前，後兩隻腳推，中間兩隻腳抓住	前兩隻腳往前，後兩隻腳推，中間兩隻腳抓住	前兩隻腳往前，後兩隻腳推，中間兩隻腳抓住
	135	抓不住	抓不住	抓不住
木質棋盤	0	三腳步態	三腳步態	三腳步態
	45	三腳步態	三腳步態	三腳步態
	90	前兩隻腳往前，後兩隻腳推，中間兩隻腳抓住	前兩隻腳往前，後兩隻腳推，中間兩隻腳抓住	前兩隻腳往前，後兩隻腳推，中間兩隻腳抓住
	135	抓不住	抓不住	抓不住
玻璃	90	前兩隻腳往前，後兩隻腳推，中間兩隻腳抓住	前兩隻腳往前，後兩隻腳推，中間兩隻腳抓住	前兩隻腳往前，後兩隻腳推，中間兩隻腳抓住

### 研究問題三：棉桿竹節蟲的若蟲與成蟲有哪些避敵行為？

(一) 研究方法：實驗法

(二) 研究步驟：

1. 將樟樹枝葉架設於塑膠籃上，再放置於桌面，模擬飼養環境。
2. 每次將 1 隻棉桿竹節蟲放上樹枝末端，使用自製碰觸棒與毛筆輕戳竹節蟲，以模擬鳥啄攻擊，並觀察其有哪些避敵行為。
3. 依序放置一齡若蟲、二齡若蟲、三齡若蟲…至成蟲，組員以肉眼觀察並以影像與表格紀錄。

<p>架設樹枝環境</p>	<p>以碰觸棒或毛筆碰觸</p>
<p>以碰觸棒或毛筆碰觸</p>	<p>成蟲遭遇攻擊時會翻身飛落</p>

圖 6 棉桿竹節蟲的避敵行為

(三) 研究結果：

1. 竹節蟲在被毛筆輕戳時，一齡至三齡若蟲多以快走、掉落方式嘗試躲避。
2. 一齡若蟲遇到碰觸時，尤會頭尾後拱作彎曲狀，隨即掉落。
3. 四齡與五齡若蟲被碰觸棒或毛筆輕戳攻擊時，會出現快走移動，但不再攻擊時，隨即停止移動，並偽裝成樹枝不動。
4. 六齡若蟲及成蟲遭遇攻擊時會分泌人蔘氣味驅敵，成蟲遭遇持續攻擊時會掉落地面偽裝成樹枝不動或掉落時飛走。

## 研究問題四：不同齡期的棉桿竹節蟲若蟲飄落的方式。

(一) 研究方法：實驗法

(二) 研究步驟：

1. 將畫有刻度的隔板直立於桌面，並於桌面放置軟墊(防災頭套)，避免造成竹節蟲飄落的傷害。
2. 將棉桿竹節蟲若蟲置於離桌面 70 公分高的位置，亦即隔板頂端刻度 0 的位置。
3. 以手指將棉桿竹節蟲若蟲輕輕撥落釋放，並觀察其飄落狀態
4. 依序操作一齡至六齡的棉桿竹節蟲若蟲，每齡期 3 隻，並操作 3 次。
5. 將若蟲翻身方向及高度記錄並製成表格。

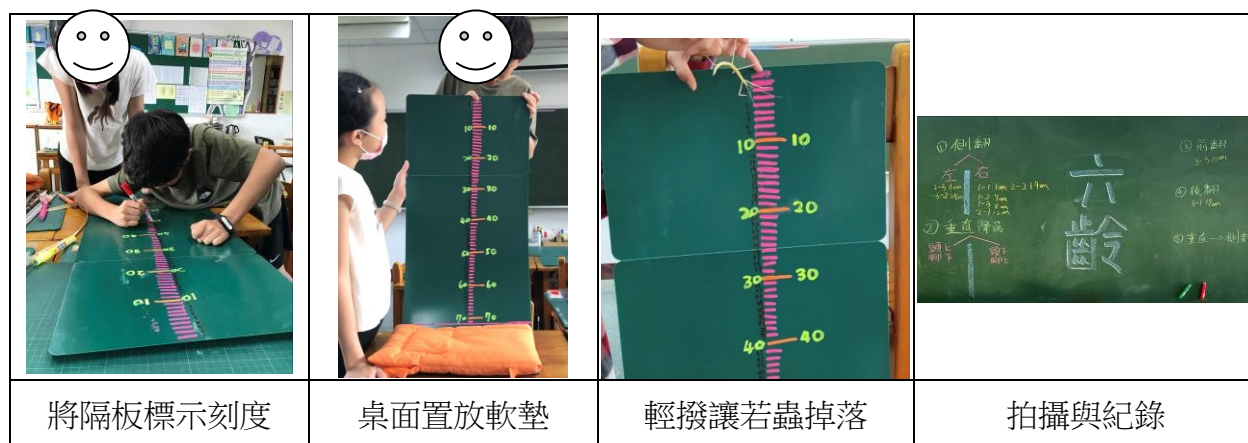


圖 7 棉桿竹節蟲若蟲飄落實驗

(三) 研究結果：

1. 棉桿竹節蟲若蟲掉落時，翻身前，腹部會朝上。
2. 棉桿竹節蟲若蟲飄落時六腳均會張開。
3. 棉桿竹節蟲若蟲大多只會翻正 1 次(91%)。
4. 棉桿竹節蟲若蟲落地後保持不動，約兩秒後才會開始爬行、移動。
5. 棉桿竹節蟲若蟲推論掉落時六肢朝上，身體略低。
6. 棉桿竹節蟲若蟲受撥動力而掉落時，身體呈擺盪行為。
7. 棉桿竹節蟲若蟲翻正行為，以側翻(73%)最多。

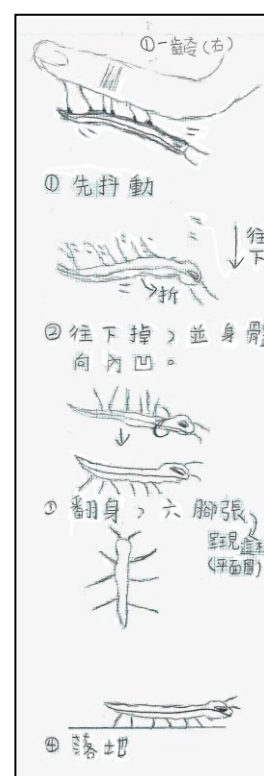


圖 8 若蟲飄落翻正圖

8. 棉桿竹節蟲若蟲大多都在 10 公分以內(73%)完成翻正，尤其是一齡到三齡若蟲。
9. 棉桿竹節蟲若蟲垂直降落分為頭上腳下及頭下腳上兩種情形。

表 3 棉桿竹節蟲若蟲的飄落行為記錄表

齡期	飄落	翻身次數			翻身方向(以頭部為準)				開始翻身距離(CM)		
		翻身 0 次	翻身 1 次	翻身 2 次	左翻	右翻	前翻	後翻	10 以內	11-20	21-30
一齡若蟲	9 次	1 次 (11%)	8 次(89%)	0 次	3 次	4 次	1 次	1 次	9 次(100%)	0 次	0 次
二齡若蟲	9 次	1 次 (11%)	8 次(89%)	1 次 (11%)	3 次	2 次	1 次	3 次	8 次(89%)	1 次(11%)	0 次
三齡若蟲	9 次	1 次 (11%)	8 次(89%)	0 次	2 次	5 次	2 次	0 次	9 次(100%)	0 次	0 次
四齡若蟲	9 次	0 次	9 次 (100%)	0 次	5 次	2 次	2 次	0 次	3 次(33%)	5 次(56%)	1 次(11%)
六齡若蟲	9 次	0 次	9 次 (100%)	0 次	2 次	5 次	1 次	1 次	4 次(44%)	4 次(44%)	1 次(11%)
全部	45 次	3 次(7%)	41 次 (91%)	1 次(2%)	15 次 (33%)	18 次 (40%)	7 次 (16%)	5 次 (11%)	33 次(73%)	10 次(22%)	2 次(4%)

## 研究問題五：棉桿竹節蟲成蟲對於飛行落點的選擇策略。

### 研究問題 5-1 不同色塊的落點選擇

(一) 研究方法：實驗法

(二) 研究步驟：

1. 量測釋放高度 200 公分，放飛成蟲，估測飛行範圍約 5 公尺。
2. 準備 5 種顏色書面紙(淺褐色、鮮紅色、藍綠色、白色、黑色) 的全開書面報紙各 9 張。
3. 取 5 隻健全棉桿竹節蟲成蟲做實驗，並準備一個飼養箱作為休息室。
4. 第一階段：每次布置兩色書面紙大色塊，在色塊交界邊線放置課桌椅作為施放點，讓竹節蟲選擇飛落地點，目的在明確判斷竹節蟲前飛的色塊落點選擇。
5. 第二階段：將布置最多落點次數的四個顏色拼接成四個象限，將施放點放置於中央，目的在進一步確認竹節蟲對於落點選擇的顏色。

6. 第三階段：由於棉桿竹節蟲在前兩次色塊實驗中，多次飛落在色塊外的暗處，因此團隊將環境布置為全部明亮的狀態，再次確認竹節蟲對色塊的選擇是否存在差異。此次以黃色、淺綠色的大自然色作為色塊布置。
7. 實驗時邊錄影並觀測飛行狀態與路線，並用捲尺測量竹節蟲的飛行距離。
8. 回放影片分析，紀錄及繪製飛行路線。

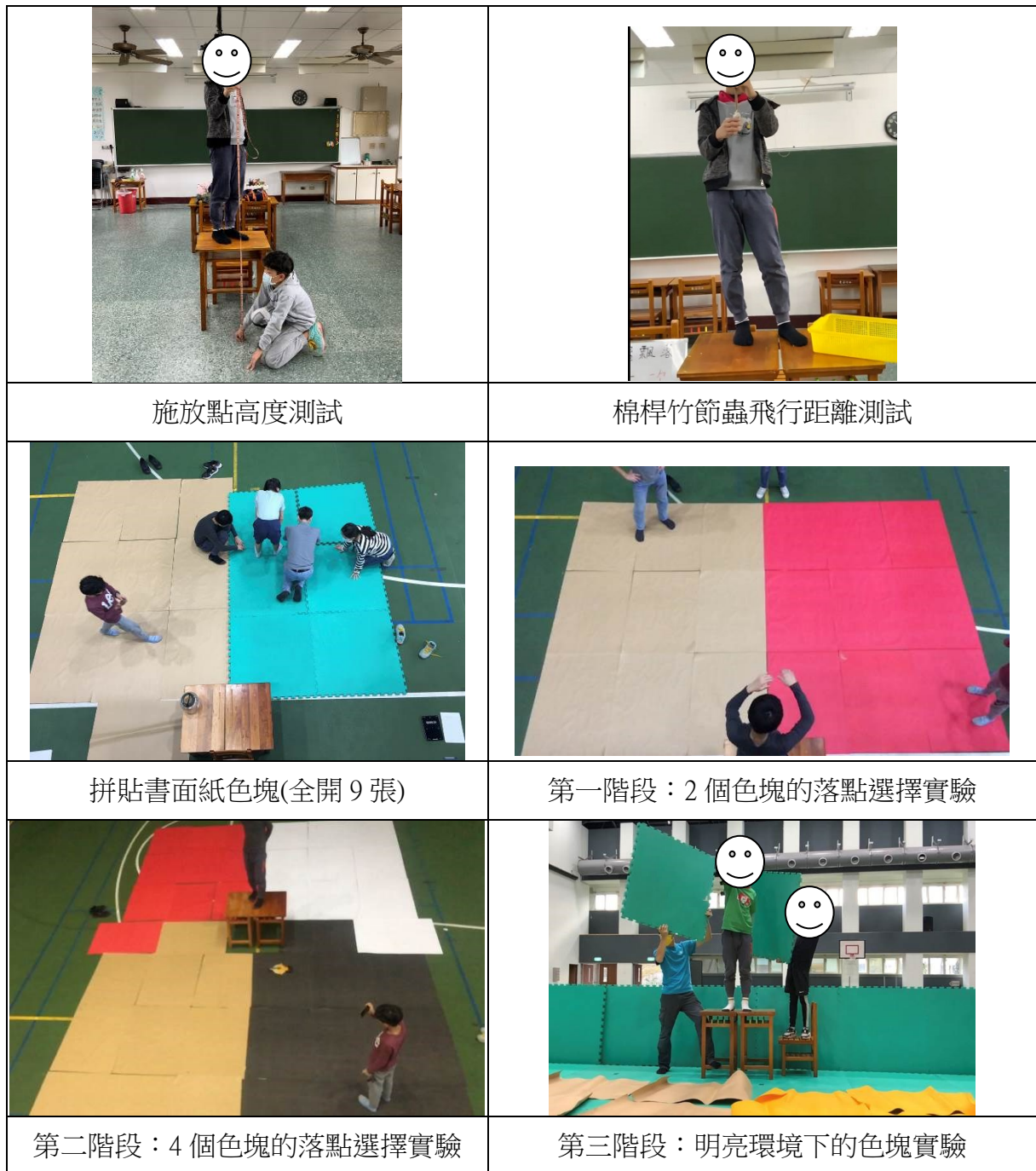


圖 9 棉桿竹節蟲對於飛行落點之色塊選擇實驗



(三) 研究結果：

1. 在第一階段的兩色塊實驗中，棉桿竹節蟲的飛行滯空時間大約在 0 至 5 秒 (58.8%)。著陸後，會先靜止不動，直到人靠近才移動。
2. 棉桿竹節蟲成蟲飛行時，會保持一定的角度(約  $50^{\circ}$  ~ $60^{\circ}$  之間)，飛行初期會先繞飛一段距離，後半段才以趨近直線的飛行方式降落，推測是飛行時會先感測周圍環境再判斷飛行落點。
3. 在第一階段(兩色)與第二階段(四色)實驗中，棉桿竹節蟲成蟲大多落地於光線不充足的暗綠色地面區域，遠超過原先測試時的 5 公尺(53%)，此實驗證明棉桿竹節蟲成蟲選擇飛行落點應有負趨光性。
4. 第三階段實驗將場地布置為相同亮度後，棉桿竹節蟲對於色塊的落點選擇無明顯差異。
5. 在三個階段的實驗中，每隻竹節蟲第二次以後的飛行軌跡(目測)大約相同，似乎有記憶及學習能力。

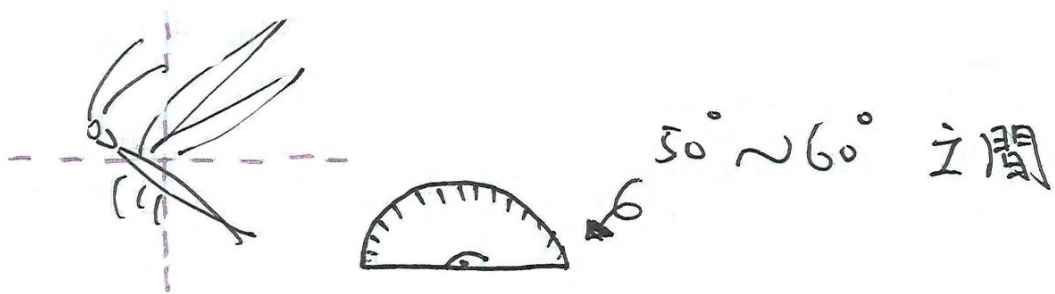


圖 10 棉桿竹節蟲飛行角度

表 4 第一階段實驗：棉桿竹節蟲對於兩色色塊落點選擇

編號	次數	飛行時間(s)		飛行距離(m)			落點顏色選擇			
		0-5	6-10	0-5	6-10	11-15	褐色	綠色	暗綠	其他
成蟲 1 號	2	2 次(100%)	0 次	2 次(100%)	0 次	0 次	1 次(50%)	0 次	1 次(50%)	0 次
成蟲 2 號	6	4 次(67%)	2 次(33%)	3 次(50%)	3 次(50%)	0 次	0 次	3 次(50%)	3 次(50%)	0 次
成蟲 3 號	4	3 次(75%)	1 次(25%)	2 次(50%)	2 次(50%)	0 次	0 次	1 次(25%)	3 次(75%)	0 次
成蟲 4 號	5	1 次(20%)	4 次(80%)	1 次(20%)	3 次(60%)	1 次(20%)	1 次(40%)	0 次	2 次(20%)	2 次(20%)
總計	17	10 次(58.8%)	7 次(41.2%)	8 次(47%)	8 次(47%)	1 次(6%)	2 次(12%)	4 次(26%)	9 次(53%)	2 次(12%)

表 5 第三階段實驗：棉桿竹節蟲對於同亮度不同色塊的飛行落點選擇

編號	實驗次數	落點			
		黃色色塊	棕色色塊	色塊外	阻礙物
成蟲 2 號	4 次	0 次(0%)	0 次(0%)	1 次(25%)	3 次(75%)
成蟲 3 號	12 次	3 次(25%)	3 次(25%)	2 次(16%)	4 次(34%)
成蟲 4 號	10 次	0 次(0%)	0 次(0%) <td 4 次(33%)	6 次(50%)	
成蟲 5 號	8 次	2 次(25%)	0 次(0%)	4 次(50%)	2 次(25%)
總計	34 次	5 次(14%)	3 次(8%)	11 次(32%)	15 次(46%)

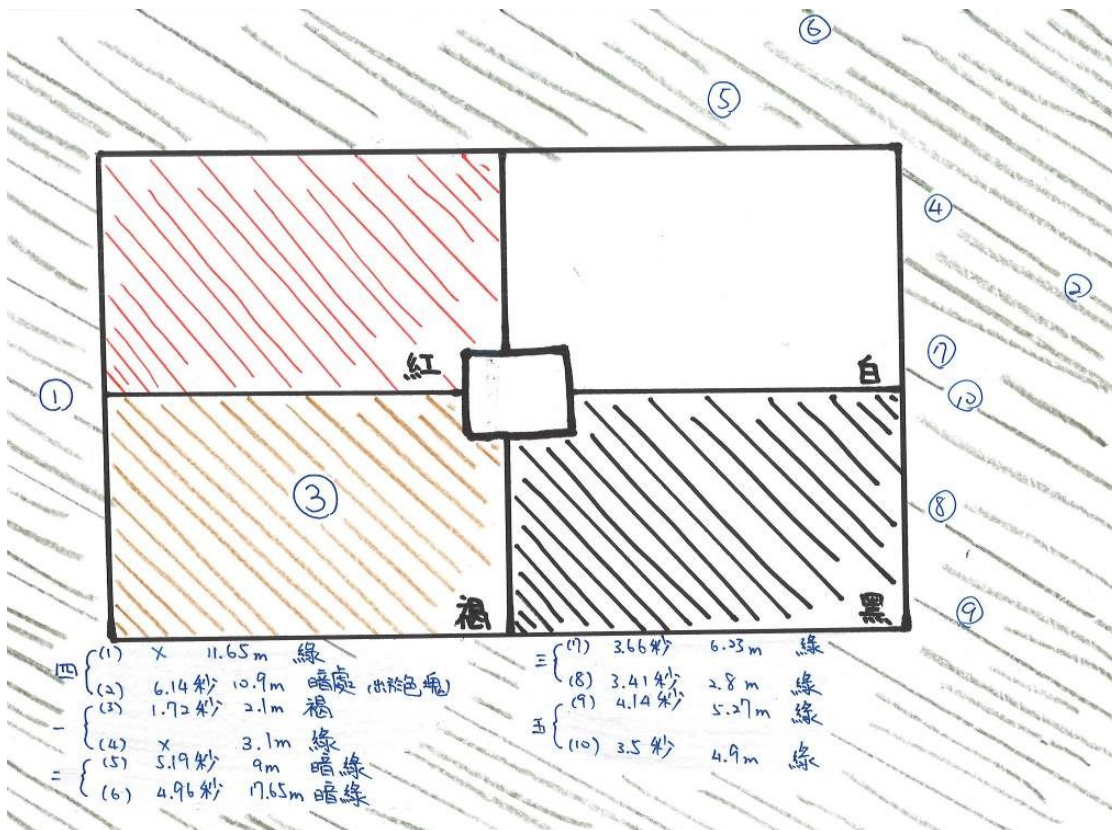


圖 10 實驗階段二：棉桿竹節蟲對於飛行落點之色塊選擇結果

### 研究問題 5-2 不同亮度的落點選擇

在棉桿竹節蟲對於色塊的飛行落點選擇實驗中，團隊發現棉桿竹節蟲對於顏色的落點選擇沒有明顯差異，反而是會以更遠的飛行距離飛到相對較暗的地板上，甚至飛到更遠的牆邊陰暗角落，加上第二次以後的飛行多會重複之前的飛行軌跡，更凸顯棉桿竹節蟲對於亮度較暗的區域可能有明顯偏愛，故團隊想進一步確認棉桿竹節蟲在飛行落點的選擇上，亮度是否為最主要的考量。

(一) 研究方法：實驗法

(二) 研究步驟：

1. 施放點在亮燈區域與關燈區的界線，施放高度 200 公分，以輕撥的方式放飛。放飛成蟲，估測飛行範圍約 5 公尺。
2. 實驗時在梯子上錄影並觀測飛行狀態與路線，並回放影片分析，紀錄及繪製飛行路線。



圖 11 棉桿竹節蟲在不同亮度的落點選擇

(三) 研究結果：

1. 成蟲 1 號與成蟲 2 號選擇飛行落點為光線暗處的比率為 100%；成蟲 3 號前 3 次的落點均為光線明亮面，與團隊的預期不符，在增加實驗次數後，第 4 到 7 次的落點均為陰暗面(57.1%)，推測棉桿竹節蟲會記憶前一次的飛行軌跡。
2. 此次實驗平均落點為陰暗面的機率为 76.9%證明棉桿竹節蟲飛行選擇落點時確實有負趨光性的考量。

表 6 棉桿竹節蟲在不同亮度的落點頻率表

編號	實驗次數(次)	落點	
		明亮區域(次)	陰暗區域(次)
成蟲 1 號	3 次	0 次	3 次(100%)
成蟲 2 號	3 次	0 次	3 次(100%)
成蟲 3 號	7 次	3 次(42.9%)	4 次(57.1%)
總計	13 次	3 次(23.1%)	10 次(76.9%)

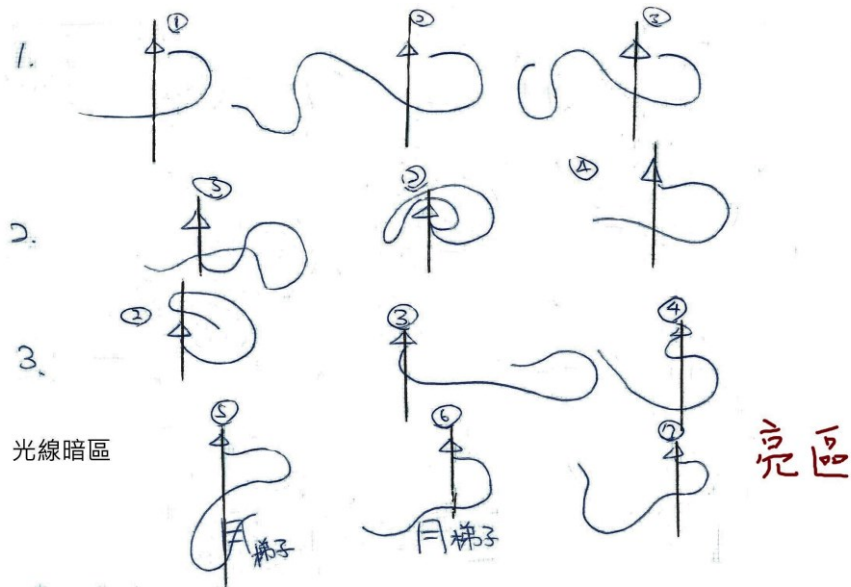


圖 12 棉桿竹節蟲不同亮度的落點選擇

### 研究問題六：棉桿竹節蟲成蟲對於飛行路線的記憶能力。

(一) 研究方法：實驗法

(二) 研究步驟：

1. 將棉桿竹節蟲成蟲從離地 2 公尺高輕碰釋放，使其自然飛落。
2. 每隻棉桿竹節蟲成蟲操作 3 次，實驗共使用 5 隻棉桿竹節蟲成蟲，依序編號。
3. 依序操作並錄影其飛行路線。
4. 分析影片，繪製圖形，紀錄飛行路線。

(三) 研究結果：

1. 棉桿竹節蟲成蟲的飛行軌跡幾乎都是以 C 形為主，偶爾也會出現 S 形路線。
2. 同一隻棉桿竹節蟲成蟲的第二次之後的飛行，飛行距離皆有不同，但是飛行路線大致相同。
3. 推測可能是因為棉桿竹節蟲成蟲對於飛行軌跡有記憶能力。
4. 棉桿竹節蟲成蟲會選擇亮度較低的顏色降落，這點也會影響棉桿竹節蟲成蟲飛行的軌跡。
5. 飛行的軌跡也會受到場地的影響，因為觀察到棉桿竹節蟲成蟲會往陰暗處飛的關係。



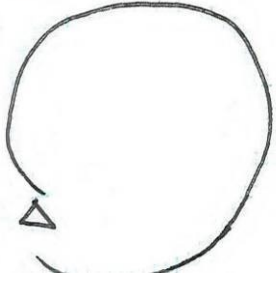


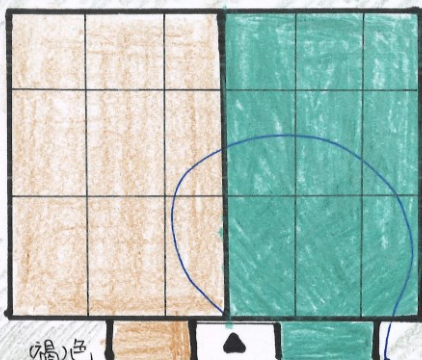
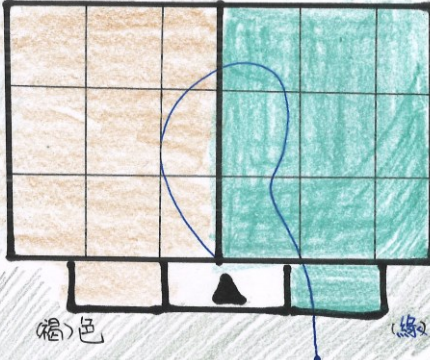
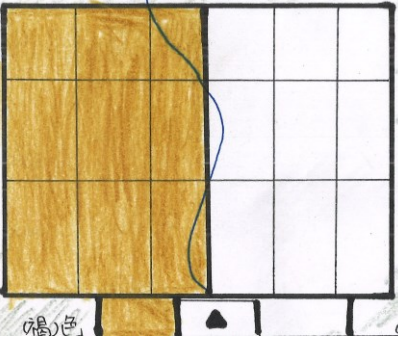
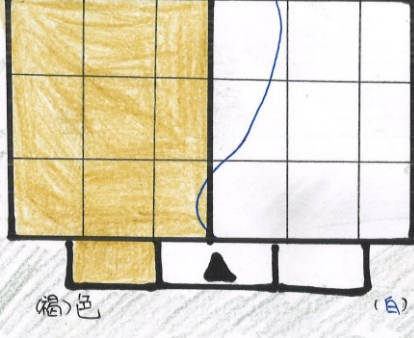
		
飛行軌跡_C形	飛行軌跡_S形	飛行軌跡_弧形

圖 13 棉桿竹節蟲成蟲的飛行軌跡

<p>第二輪/3次</p>  <p>(橘)色 (綠)色</p>	<p>第二輪/4次</p>  <p>(橘)色 (綠)色</p>
兩色塊飛行軌跡記憶(一)	兩色塊飛行軌跡記憶(一)
<p>第三輪/4次</p>  <p>(橘)色 (白)色</p>	<p>第三輪/5次</p>  <p>(橘)色 (白)色</p>
兩色塊飛行軌跡記憶(二)	兩色塊飛行軌跡記憶(二)



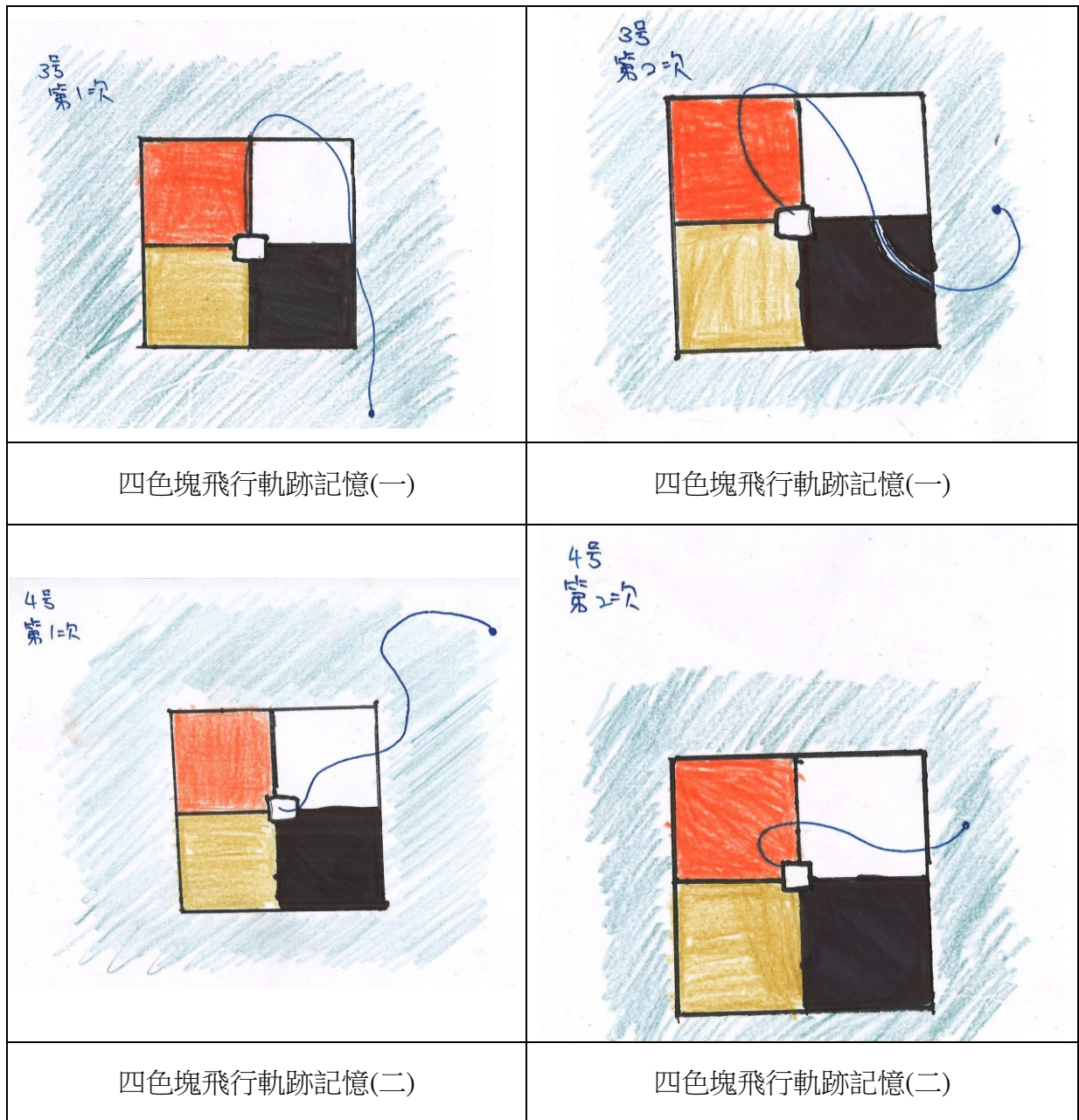


圖 14 棉桿竹節蟲在不同色塊實驗飛行軌跡記憶圖

### 研究問題七：棉桿竹節蟲成蟲後翅形狀對飛行路線的影響。

在做棉桿竹節蟲成蟲飛行落點實驗時，團隊對於成蟲飛行軌跡呈現弧形或 C 形，而非直線飛行感到疑惑，猜測是否受到圓弧形翅膀的影響？因此嘗試以原理相近的拍翅鳥玩具做改造，想了解棉桿竹節蟲翅膀圓弧形狀對飛行軌跡的影響。


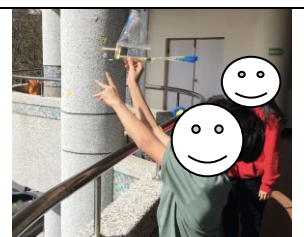
(一) 研究方法：實驗法

(二) 研究步驟：

1. 拍攝棉桿竹節蟲成蟲的飛行影片，觀察棉桿竹節蟲飛行時翅膀拍動的形態與飛

行的軌跡。

2. 量測棉桿竹節蟲體長與翅長的比例，以飛鳥玩具做拆解改裝，依數據製作竹節蟲飛行模型，修改翅膀形狀、尾部面積，以接近棉桿竹節蟲原比例。
3. 從影片中量測竹節蟲的飛行角度為 50-60 度之間，以鉛片或輕黏土微調尾部重量以調整飛行時的角度。
4. 更換橡皮筋增加動力強度。

			
將標本的翅膀取下 測量體長與翅長	計算體長與翅長比	拆解購買的鳥玩具	剪出竹節蟲翅膀形狀
			
調整翅膀骨架	黏合身體與翅膀	用輕黏土增加重量 調整飛行角度	竹節蟲模型試飛

### (三) 研究結果：

1. 棉桿竹節蟲成蟲的飛行角度為 50 至 60 度之間。
2. 棉桿竹節蟲模型無法呈現 45 度的角度，並且因為飛行拍翅時間不夠，無法呈現飛行效果，故本項實驗無法取得結果，歸納檢討如下：
  - (1) 團隊以輕黏土或鉛片增加竹節蟲成蟲模型的身體後半部重量，做出飛行時的傾斜角度，然而增加重量到符合飛行角度又會過重，導致模型試飛時急速墜落。
  - (2) 翅膀修剪以後，必須裝上支架才能夠支撐翅膀，不過這樣會導致翅膀過重，無法跟往常一樣快速拍動。
  - (3) 我們觀察到當竹節蟲拍動翅膀時，翅膀是對稱的，但我們使用的模型是輪流

拍動翅膀的，無法呈現真實的飛行狀態。

(4) 模型翅膀的橡皮筋動力不足，無法表現長距離的飛行，沒有足夠的飛行時間來觀察模型飛行狀態。

(5) 竹節蟲的翅膀過輕無法秤出重量，也可能導致仿真模型的飛行實驗不準確。

(6) 竹節蟲的飛行是繞行的，模型似乎無法呈現。

## 柒、討論與結論

- 一、棉桿竹節蟲的身體構造主要分為頭、胸、腹三個部份，屬不完全變態昆蟲。靜止棲息時一、二齡若蟲可觀察到倒趴在葉背的情形；三齡以上的竹節蟲會垂直攀附在樹枝、尼龍網或木條上；若受到擾動，一、二齡若蟲會以掉落方式躲避。
- 二、棉桿竹節蟲成蟲在粗糙的表面(木製棋盤)可以停留的時間較久，但不論粗糙或平滑的平面，平面為 0 度或 45 度時，成蟲均以三腳步態行走；但平面在 90 度時，成蟲的 2 隻前腳與 2 隻後腳會同時固定，再用 2 隻中腳往上蹬，再重複同樣的動作。
- 三、棉桿竹節蟲的避敵行為：一齡至三齡若蟲多以快走、掉落方式嘗試躲避，尤以一齡若蟲遇到碰觸時，會頭尾後拱作彎曲狀，隨即掉落；四齡與五齡若蟲多偽裝成樹枝不動，六齡若蟲及成蟲遭遇攻擊時會分泌人蔘氣味驅敵，成蟲遭遇持續攻擊時會掉落地面偽裝成樹枝不動或掉落時飛走。推測越成熟的個體體色趨近枯枝的褐色，故多採取偽裝不動的避敵行為。
- 四、棉桿竹節蟲若蟲的避敵飄落行為：任何齡期的若蟲飄落時均會翻正(腹面朝下)安全掉落，而若蟲齡期越小，飄落時越快翻身，推測與體重有關；絕大多數只翻正 1 次。若飄落時呈現頭上腳下的垂直狀態，則會保持同樣姿勢著陸。
- 五、棉桿竹節蟲成蟲在避敵飛行時對於落點色塊的選擇沒有明顯差異，反而在三階段的色塊落點實驗與進一步確認的不同亮度落點實驗中，均得到成蟲飛行時也會受負趨光性影響，選擇在陰暗的區域降落。
- 六、我們根據成蟲的飛行軌跡圖，歸納出以 C 形為主的飛行軌跡，其次為 S 形與弧形，卻沒有出現過直線飛行的軌跡。進一步發現棉桿竹節蟲對飛行軌跡有記憶能力，甚至

對於前幾次的錯誤選擇(往亮處飛)也有記憶能力，同一隻成蟲在多實驗幾次後，會修正往正確的區域(陰暗處)飛，也依然呈現記憶軌跡的現象。

七、團隊想了解棉桿竹節蟲圓弧形狀的翅膀對飛行軌跡是否有影響，在嘗試製作仿真翅膀的模型時遭遇過重急摔、動力不足與結構不符的困難，礙於研究時間不足，只能先做檢討，未來若有機會，應尋求更接近成蟲的結構與合適材料再做實驗探討。

## 捌、參考文獻

黃世富（2008）。台灣的竹節蟲。大樹文化事業股份有限公司。

高雄市自然觀察學會（2020）。動物隱身術：自然追蹤眼力大考驗。商周出版。

林梵紘等（2002）。台灣皮竹節蟲和飛竹節蟲生活史與食草之比較。中華民國第四十二屆中小學科學展覽會作品說明書。

林梵紘等（2004）。台灣新紀錄種竹節蟲—山桂花竹節蟲的調查研究。中華民國第四十四屆中小學科學展覽會作品說明書。

吳沛禧等（2009）。樹上忍者-棉桿竹節蟲的生態研究。中華民國第四十九屆中小學科學展覽會作品說明書。

邱靖維等（2011）。林間隱者—影響棉桿竹節蟲生長因子之探究。中華民國第五十一屆中小學科學展覽會作品說明書。

曾沛穎等（2020）。竹節蟲夜未眠—棉桿竹節蟲斑紋辨識與夜間活動行為探究。中華民國第六十屆中小學科學展覽會作品說明書。

林義祥（2001）。嘎嘎昆蟲網。2010年12月1日取自 <http://gaga.biodiv.tw/9701bx/in94.htm>

## 玖、附件

### 實驗基本數據選錄

竹節蟲一至六齡若蟲飄落反應實驗表

(實驗日期：2023年2月7日~3月15日)

齡期	編號	實驗次數	飄落型態	是否有翻身	翻身(依頭部方向定)	掉落幾公分翻身	備註
若蟲(一齡)	1	1	六腳張開	有	左	8	
若蟲(一齡)		2	六腳張開	有	右	7	
若蟲(一齡)		3	六腳張開	有	後	10	
若蟲(一齡)	2	1	六腳張開	有	★(特殊，在備註解釋)	5	頭上腳下，垂直掉落
若蟲(一齡)		2	六腳張開	有	右	10	
若蟲(一齡)		3	六腳張開	有	左	3	
若蟲(一齡)	3	1	六腳張開	有	左	2	
若蟲(一齡)		2	六腳張開	有	右	1	
若蟲(一齡)		3	六腳張開	有	右	1	
若蟲(二齡)	1	1	六腳張開	有	右	6	
若蟲(二齡)		2	六腳張開	有	左	10	
若蟲(二齡)		3	六腳張開	有	左	10	
若蟲(二齡)	2	1	六腳張開	有	★(特殊，在備註解釋)	4	後側翻，後翻4公分，側翻9公分
若蟲(二齡)		2	六腳張開	有	★(特殊，在備註解釋)	無	頭上腳下，垂直掉落
若蟲(二齡)		3	六腳張開	有	後	20	
若蟲(二齡)	3	1	六腳張開	有	左	4	
若蟲(二齡)		2	六腳張開	有	右	10	
若蟲(二齡)		3	六腳張開	有	後	10	
若蟲(三齡)	1	1	六腳張開	有	左	4	
若蟲(三齡)		2	六腳張開	有	右	10	
若蟲(三齡)		3	六腳張開	有	★(特殊，在備註解釋)	無	頭下腳上，垂直掉落
若蟲(三齡)	2	1	六腳張開	有	右	3	
若蟲(三齡)		2	六腳張開	有	右	1	
若蟲(三齡)		3	六腳張開	有	右	5	
若蟲(三齡)	3	1	六腳張開	有	前	3	



若蟲(三齡)		2	六腳張開	有	右	9	
若蟲(三齡)		3	六腳張開	有	左	8	
若蟲(四齡)	1	1	六腳張開	有	左	11	
若蟲(四齡)		2	六腳張開	有	左	9	
若蟲(四齡)		3	六腳張開	有	前	15	
若蟲(四齡)	2	1	六腳張開	有	★(特殊，在備註解釋)	11	頭上腳下，垂直掉落
若蟲(四齡)		2	六腳張開	有	右	12	
若蟲(四齡)		3	六腳張開	有	左	18	
若蟲(四齡)	3	1	六腳張開	有	左	21	
若蟲(四齡)		2	六腳張開	有	右	6	
若蟲(四齡)		3	六腳張開	有	左	9	
若蟲(六齡)	1	1	六腳張開	有	右	1	
若蟲(六齡)		2	六腳張開	有	右	7	
若蟲(六齡)		3	六腳張開	有	右	8	
若蟲(六齡)	2	1	六腳張開	有	右	12	
若蟲(六齡)		2	六腳張開	有	右	14	
若蟲(六齡)		3	六腳張開	有	左	11	
若蟲(六齡)	3	1	六腳張開	有	後	17	
若蟲(六齡)		2	六腳張開	有	左	25	
若蟲(六齡)		3	六腳張開	有	前	10	

### 棉桿竹節蟲選擇飛行落點實驗\_兩色塊比較

(實驗日期：2023年2月9日~3月8日)

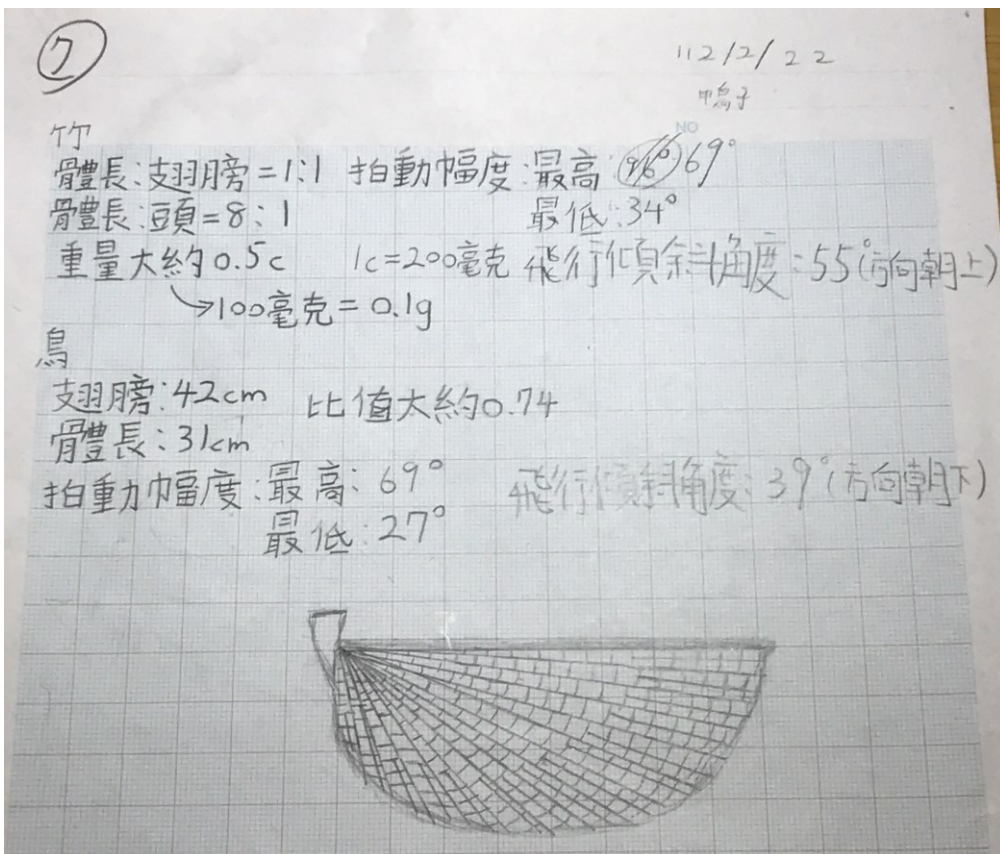
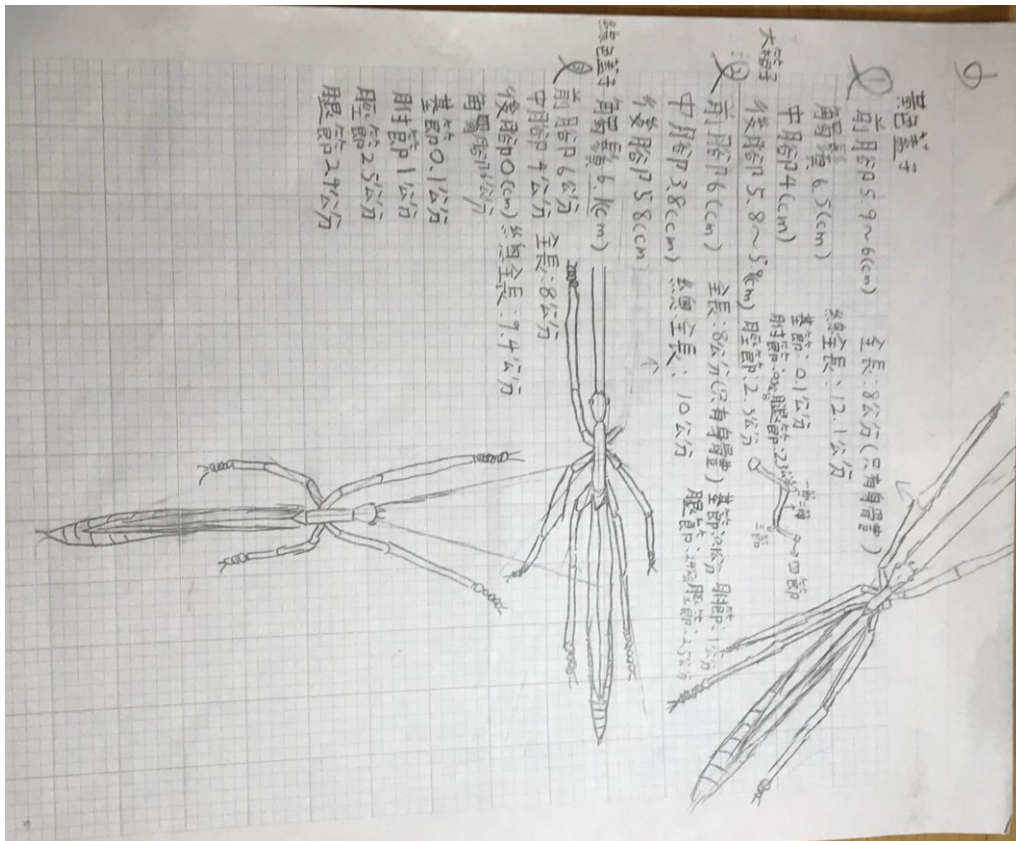
編號	實驗次數	輪數	飛行時間(s)	飛行距離(m)	顏色(黑、褐、綠、紅、白)	備註
成蟲 1 號	1	第一輪(紅、褐)	約 3.23 秒	2.93	褐	
成蟲 1 號	2	第一輪(紅、褐)	約 2.37 秒	4.6	暗綠	
成蟲 2 號	1	第二輪(褐、綠)	約 4.28 秒	4.68	綠	
成蟲 2 號	2	第二輪(褐、綠)	約 5.23 秒	7.65	綠	
成蟲 2 號	3	第二輪(褐、綠)	約 3.79 秒	6	綠	
成蟲 2 號	4	第二輪(褐、綠)	約 4.46 秒	4.65	暗綠	
成蟲 2 號	5	第二輪(褐、綠)	約 4.83 秒	4.4	暗綠	
成蟲 2 號	6	第二輪(褐、綠)	約 5.09 秒	7.94	暗綠	
成蟲 3 號	1	第三輪(褐、白)	約 3.4 秒	3.7	綠	
成蟲 3 號	2	第三輪(褐、白)	約 2.89 秒	5.9	暗綠	
成蟲 3 號	3	第三輪(褐、白)	約 3.27 秒	3.6	暗綠	
成蟲 3 號	4	第三輪(褐、白)	約 5.81 秒	5.46	暗綠	
成蟲 4 號	1	第四輪(褐、黑)	約 6.54 秒	5.53	暗綠	

成蟲 4 號	2	第四輪(褐、黑)	約 6.59 秒	7.9	暗綠	
成蟲 4 號	3	第四輪(褐、黑)	約 6.51 秒	9	褐色	繞圈回起點
成蟲 4 號	4	第四輪(褐、黑)	約 6.64 秒	11.2	網子上	
成蟲 4 號	5	第四輪(褐、黑)	約 2.51 秒	0.4	起點桌子	

### 棉桿竹節蟲翅長與體長比

	編號	翅長	體長	翅長與體長比值	拍動幅度	飛行傾斜角度
竹節蟲	1	7	8	0.88	最高 69 度 最低 34 度	55 度(向上)
	2	8	8	1		55 度(向上)
	3	8	8	1		55 度(向上)
	4	8	7.5	1.07		55 度(向上)
	5	8	8	1		55 度(向上)
模型鳥	1	42	31	0.74	最高 69 度 最低 27 度	39 度(朝下)

研究筆記節錄



## 研究日記節錄

### 111/11/23\_活動心得-紀錄其變化

上週我們丈量竹節蟲並了解竹節蟲的身體基本構造後，本週我們開始紀錄竹節蟲的產卵數量，還拍了竹節蟲箱子裡的狀況以及竹節蟲的身長。

我們在做科展前老師說他要去開會，只留下了他的手機給我們拍竹節蟲的照片。於是我們便開始記錄竹節蟲，一開始我們幫竹節蟲拍了體長和各個部位的照片，但是大家還是沒有克服抓竹節蟲的恐懼，所以抓竹節蟲的工作還是由我執行，我們發現了一件事，那就是竹節蟲二號成蟲是最會生蛋的一隻，一個禮拜就可以產超過兩顆的蛋，真的超級厲害的，看來這隻竹節蟲比其他的年輕、健康呢！不過我們好像把竹節蟲裝錯箱了，這樣有關係嗎？會不會數據錯誤啊？下次一定要把竹節蟲的順序給分清楚然後裝箱才行，這樣才不會出現數據值不準的問題。

接下來的兩天，我們還有在中午吃完午飯後去觀察竹節蟲並拍照記錄。我在抓竹節蟲的時候不小心鬆手讓竹節蟲掉了下去，這件事也讓我發現了竹節蟲是以接近站姿的姿勢飛行。這可能是讓我們的研究前進的一個重要發現呢！當然我們也記錄了產卵數量和竹節蟲箱子裡的狀況。

不過我那兩天又忘記提醒大家幫忙把竹節蟲的順序分清楚裝箱了。下個禮拜一定要把順序換過來裝箱才行。

這個禮拜的科展很好進行，因為除了拍照沒有別的事要做，雖然簡單，卻也讓我發現了竹節蟲的飛行方法。這也讓我們成功地進入了科展的下一個階段，也就是準備研究。科展終於要開始進行了，這一點讓人緊張又興奮，緊張是因為我們要開始忙碌了，興奮則是因為要開始研究了。真期待下次的科展。

補充資料：

1. 卵：有卵蓋，通常會黏在牆角或地面上。不慎壓破會流出黃色汁液。
2. 觀察記錄

項目\編號	一號	二號	三號
體長	8 cm	8 cm	8 cm
基節	0.1cm	0.1cm	0.1cm
腿節			
卵的數量		8	

3. 在這次的觀察中我發現竹節蟲通常是以接近站姿的姿勢飛行，飛行的時候會把腳微張，並快速以小幅度拍動翅膀。

## 111/12/14\_活動心得-竹節蟲數量統計和製作標本

這個禮拜我們進行到了下一部份，就是計算竹節蟲的數量與製作標本，這意味著我們要開始做很費工的事了！真是讓人期待又害怕，不過這好像也是一件非常有趣的事喔！

首先，老師請我們觀察飼養箱裡的竹節蟲是否有身體上的殘缺並重新統計其數量，這個觀察是為了瞭解竹節蟲飼養箱的壓力及減少的數量。這個實驗乍看之下十分簡單，但實際做起來非常困難，因為我們可是養了整整一大箱的竹節蟲呢！要數完不知道要到民國多少年哩！可是我們還是在有限的時間內數完了，這都要多虧老師的幫忙與指導呢！我們在此實驗中發現有好多殘疾的竹節蟲，尤其是四齡的竹節蟲，除了一隻以外其他的全部殘疾，真是可怕。我們還發現算出來的總數量比原本的一百四十七隻還少了二十隻，在我們仔細思考後發現我們已經分裝了好多隻竹節蟲，也養死了很多的竹節蟲，也難怪數量會大幅減少二十隻了。從此實驗我們發現竹節蟲的飼養空間壓力真是太大了，才害竹節蟲斷手斷腳的成為殘疾人士，所以飼養竹節蟲時必需注意飼養的空間大小，讓牠們在適度的空間裡活動，才不致於受傷。

隔天老師讓我們做標本，至於標本從何而來呢？就是之前死掉的竹節蟲，我們把牠們用水泡軟後再做成標本(因為是乾屍)。這樣就有靜止不動的竹節蟲樣本可以使用了。但其實我幾乎都沒有做標本，都是盧○○做的，我只負責拿大頭針而已，因為屍體實在太噁心了，我無法克服心理的障礙，再加上我怕會把竹節蟲的腳扯斷，所以我壓根兒不敢碰，最後還是由盧○○完成這項任務。

這個禮拜的活動真的讓我有做研究的感覺了，不但讓我們做了標本，還讓我們檢查了竹節蟲的數量。成功知道了竹節蟲的數量變化和改變數量的主因，希望我們今天的資料可以派上用場。

補充：

1. 棉桿竹節蟲的齡期有六齡，幼蟲期體色為綠色，幼蟲到了六齡會長出翅芽，再次蛻皮後，就變為成蟲。成蟲的翅膀伸開來之後，約經過兩個小時，翅鞘就會逐漸由白色轉為褐色，若蟲成長期平均為 65 天，成蟲可活 60 天以上，成蟲產卵後 2—3 天就會死亡。

(資料來源：<https://sites.google.com/a/mail.clps.ntpc.edu.tw/61407/home/zhu-jie-chong-de>)

2. 竹節蟲的齡期是由體長公分數減一所得到的。例如四齡的竹節蟲體長就是五公分。成蟲的體長則是八公分。



## 112/02/09 竹節蟲飛行落點色塊實驗心得

我們的科展在今天做了一個極為大型的實驗，就是看竹節蟲在選擇降落地點時的顏色分別，正因為如此，所以老師買了很多不同顏色的壁報紙以便實驗使用。接著我們便開始進行實驗。

我們在實驗前先抓了五隻竹節蟲作為實驗對象帶到了禮堂，並往地上鋪了一張又一張的壁報紙不過是兩種不同的顏色，這是為了瞭解在不同顏色下竹節蟲的降落選擇。我們在實驗時發現竹節蟲比起棕色更偏向喜歡綠色，因為牠們都會飛到禮堂的綠色地板上，這點我們還不清楚是為甚麼，但我推測應該是因為竹節蟲認為那是樹葉的關係。因為在野外牠們通常會降落在樟樹葉上頭，所以本能會指使牠們尋找綠色的東西進行降落。

我們還增加了一些不同顏色的壁報紙使顏色達到了四種，不過牠們還是照著原本的規律飛到了綠色地板上，這代表了竹節蟲真的有可能和我推論的一樣，是靠著尋找樹葉的本能來進行掉落地點選擇的。這項實驗還繼續進行了很多次直到五隻竹節蟲都被測試過為止。如果失誤的次數除外的話真的都是飛到禮堂的綠色地板上。這更大大的證明了我的猜測是正確的。

有趣的是，他們就算是死撐也要飛到禮堂的綠色地板上。這點讓我覺得非常有意思，莫非牠們是為了覓食才飛行的，因為這樣才有死撐的意義(如果沒有飛到定點就會因為沒有食物而餓死)。這就是竹節蟲的最佳生存策略！

在今天的實驗中我們了解到竹節蟲是以尋找樟樹葉的理念在飛行，所以才會飛到了讓自己顯得更明顯的綠色上，竹節蟲的生存策略就是如此，為了找到食物而選擇綠色當降落點，這就是竹節蟲演化出來的最強生存方式，正因為如此牠們才沒被大自然淘汰掉而讓族群一直保留到了現在。

## 112/03/01 竹節蟲模型製作

我們今天開始了我們的模型製作，我們已經量測好了竹節蟲身體的長度數據並開始製作竹節蟲模型，我們在製作前先把橡皮筋飛鳥翅膀的漆清理掉，在清理的同時我們也衍生出了製作上難題的討論。我們就這樣邊討論難題邊製作模型。

我們在製作模型的第一步驟是先把橡皮筋飛鳥翅膀的漆清理掉，原因是我們要仿造真正竹節蟲的翅脈，要畫上翅脈就必須把漆清理掉才能作畫在翅膀上。正因為如此我們才必須做這麼麻煩的事情，可是在我們在製作過程中也發現了一個有趣的地方，就是模型膠竟然可以除漆！這一點可說是非常神奇的，雖然我也大概知道原理，但這件事還是非常神奇。

接下來，我們開始做竹節蟲模型的身體部分，但是我們必須先知道真正竹節蟲的體長才能做出真實的竹節蟲模型，雖然我們已經量過了，但基於保險還是再量一次。於是我們開始量測竹節蟲的體長以便製作模型時使用。我們在量測出竹節蟲體長後發現竹節蟲體長為八公分，這樣體長的因素就解決了。接下來是翅膀位置比例的問題，因為如果我們量不出翅膀位置的比例，那竹節蟲模型就會出現比例不正確的狀況以至於模型飛不起來。可是這樣子就會出現一個問題，就是我們量出的身體比例數據並不符合先前竹節蟲體長的數據，可是礙於時間關係只好將就著用這些數據，接著我們在製作時也碰上了許多難題，好比說發現竹節蟲不是因為重量而是因為氣流傾斜著飛，再來就是竹節蟲模型的頭太大看起來很不真實。最大的難題還是我們手滑不小心把竹節蟲模型的翅膀弄破後，必須用膠帶黏起來，但是這樣黏又會造成重量不均衡。做科展真是一件難題重重的事情啊！

我們在今天的科展中發現了竹節蟲不是因為重量而傾斜，那牠到底是為何而傾斜呢？就只能等下次揭曉囉！