

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 生物科

080314

「落」落大方-棉桿竹節蟲避敵與成蟲飛行落點  
行為探究

學校名稱： 國立東華大學附設實驗國民小學

作者：  小六 蘇宥綾  小六 楊晟赫  小六 盧大可  小六 李承哲	指導老師：  陳雍青  毛盈芝
---	-----------------------------

關鍵詞： 棉桿竹節蟲、避敵、飛行落點

## 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，以及若蟲掉落後選擇停棲點、成蟲飛行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；四齡與五齡若蟲會快走移動，隨即偽裝成樹枝不動；六齡若蟲及成蟲甚至會分泌人蔘氣味，成蟲也會以飛行方式離開。若蟲避敵掉落大多翻正 1 次(91%)，側翻次數則最多(73%)。

若蟲與成蟲在同亮度的環境尋找停棲點時，對於不同色塊或色柱的選擇沒有顯著差異。成蟲在空曠環境、飛行時間達 4 秒以上，會以 C 形、偶爾出現 S 形的飛繞尋找陰暗的落點(74.4%)，推測飛行尋找落點具「負趨光性」行為，且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

學校飼養了數量穩定的棉桿竹節蟲，我們可以每天飼養、親近、觀察。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掉落行為，有的隨即不動，有的快步離開；成蟲甚至會出現飛行的行為，讓我們想進一步了解：竹節蟲如何掉落不受傷？掉落後會到哪裡躲藏？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？於是我們開始為竹節蟲拍照、記錄，提出更多的問題，進行此一研究。

## 貳、研究目的

- 一、 文獻探討與飼養觀察棉桿竹節蟲
- 二、 探討棉桿竹節蟲的避敵行為
  - (一) 棉桿竹節蟲各齡期若蟲與成蟲的避敵行為
  - (二) 平面材質與角度對棉桿竹節蟲爬行步態的影響
  - (三) 棉桿竹節蟲若蟲的掉落機制

### 三、棉桿竹節蟲停棲點的選擇機制

- (一) 觀察棉桿竹節蟲成蟲的飛行落點選擇與色塊的關聯
- (二) 觀察棉桿竹節蟲成蟲的飛行落點選擇與亮度的關聯
- (三) 觀察棉桿竹節蟲若蟲的爬行停棲點選擇與色塊的關聯
- (四) 探究棉桿竹節蟲若蟲爬行軌跡、成蟲飛行軌跡與記憶的關聯

#### 【研究進度】

研究步驟	111 年				112 年					
	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
文獻蒐集	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
飼養觀察與紀錄	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
實驗設計與操作			●	●	●	●	●	●	●	
資料整理與統計			●	●	●	●	●	●	●	●
撰寫作品說明書					●	●	●	●	●	●

### 參、研究設備及器材

研究主題	研究設備及器材
棉桿竹節蟲的飼養、形態特徵觀察	自製大型木框飼養網籠 45*45*90cm、昆蟲飼養籠 30×30×30cm×3 只、昆蟲飼養籠 40×40×40cm×3 只、圓形昆蟲飼養籠 30×60cm×3 只、樟樹葉、芭樂葉、噴水器、游標卡尺、22X 放大鏡、厚紙板、標本針(#1)、金屬鑷子、電子溫濕度計、數位相機、iPad Pro 平板、iphone7 手機、APEXEL 200 倍手機用顯微鏡頭。
探討棉桿竹節蟲的避敵行為實驗	毛筆、噴水瓶、塑膠隔板、木製棋盤、軟墊(防災頭套)、iPad Pro 平板、腳架。
探討棉桿竹節蟲停棲點的選擇實驗	500cc 飲料杯、毛筆、課桌椅、全開書面紙(6 色)、膠帶、體操軟墊 (1M×1M)×50 片、尺、捲尺、計時器、彩色筆、iPad Pro 平板、LUX light Meter FREE 照度計 app、
討論與紀錄	筆、方格筆記本、描圖紙、計算機、電腦

### 肆、研究過程、方法、結果與討論

#### 【研究一】文獻探討與飼養觀察棉桿竹節蟲

##### 一、文獻探討

(一) 方法：在臺灣網路科教館的科展群傑廳搜尋「棉桿竹節蟲」關鍵字，比較歷屆科展研究文獻，並上網搜尋與查閱昆蟲相關書籍，構建棉桿竹節蟲的相關知識，並建立問題意識。

(二) 結果：

1. 棉桿竹節蟲 *Sipyloidea sipyilus* (Westwood, 1859)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。本種以孤雌生殖繁殖下一代，1-2 齡若蟲體綠色，受到騷擾時會從前胸背板前端的腺體散發出一股很濃的人蔘味用來嚇退天敵(林義祥，2009)。
2. 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 4 件，其研究發現與結論如下表 1-1：

表 1-1 歷屆科展以「棉桿竹節蟲」為研究題材的作品內容比較表

屆別	組別	題目	研究發現與結論
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。 3. 齡期的推算公式：齡數=體長(cm)-1
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. 小眼約 417 顆，視力並不好。 2. 若蟲在平面步行時會晃動，成蟲不會。 3. 擬態過程中，身體上下晃動且高度逐漸降低。
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。
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。

## 二、飼養觀察

(一) 方法：

1. 將原本老師教室外的大飼養箱裡的棉桿竹節蟲，依照齡期的推算公式：

$\text{齡數} = \text{體長}(\text{cm}) - 1$  (吳沛禧, 2009)按不同齡期的竹節蟲分網籠飼養，確保取食正常，也便於觀察與紀錄行為及數量，如下圖 1-1。

2. 每日觀察記錄溫溼度，維持食草充足、適度噴水保持濕度與環境清潔，並書寫觀察記錄與繪製棉桿竹節蟲型態；每週記錄各齡期若蟲及成蟲數量。
3. 將自然死亡的成蟲製成標本並以顯微鏡頭觀察、拍照與繪圖。
4. 量測各齡期體長、體寬、體重，以及成蟲後翅長、後翅寬等數據。

			
大型木框飼養箱 45*45*90cm	用游標尺量若蟲體長	用尺規測量若蟲體長	等靜止時量測體長
			
依網籠尺寸分齡飼養	分齡期分籠觀察紀錄	定期統計數量 清理飼養環境	紗網上的棉桿竹節蟲卵
			
一至三齡若蟲大多停在上方，有負趨地性	平板接放大鏡觀察跗節	紀錄孵化困難個體	自然死亡成蟲個體 製成標本

圖 1-1 棉桿竹節蟲的飼養與觀察

(二) 結果：

1. 拍攝與繪製竹節蟲構造如下圖 1-2。



圖 1-2 棉桿竹節蟲標本與構造觀察素描

2. 棉桿竹節蟲各齡期體重、體長與體寬比，如下表 1-2

表 1-2 棉桿竹節蟲各齡期體重、體長與體寬比

齡期	體重(g)	體長(mm)	體寬 (mm)	體長體寬的比值
一齡	0.09	23	1	23
二齡	0.14	37	2	17.5
三齡	0.2	45	2	22.5
四齡	0.29	55	4	13.75
五齡	0.37	63	4	15.75
六齡	0.59	73	5	14.6
成蟲	0.73	79	5	18.72

## 【研究二】探討棉桿竹節蟲的避敵行為

### 二-1 棉桿竹節蟲的避敵行為

#### (一) 方法：

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頭胸部，模擬受到鳥啄攻擊，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…至成蟲各 1 隻，組員以肉眼觀察並以影像與表格紀錄。

操作過程如下圖 2-1。

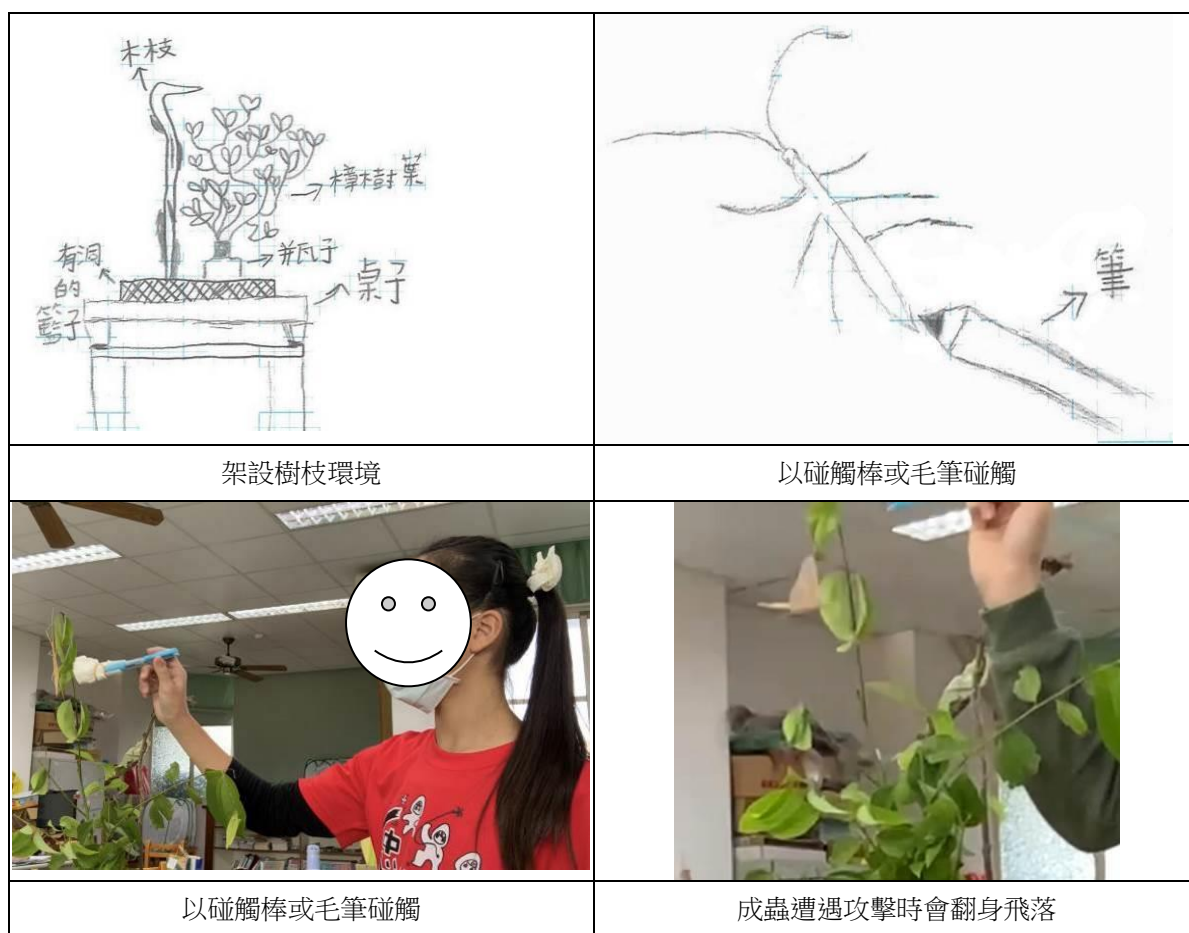


圖 2-1 棉桿竹節蟲的避敵行為

#### (二) 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。一齡若蟲尤其會頭尾後拱作彎曲狀，隨即掉落。

2. 四齡與五齡若蟲被輕戳攻擊時，會移動到枝葉的另一側，但不再攻擊時，隨即停止移動，並偽裝成樹枝不動。
3. 六齡若蟲及成蟲遭遇攻擊時除了移動到樹枝另一面，還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。

(三) 討論：我們發現齡期越小的若蟲越容易掉落，迅速移動位置，而四齡以上的若蟲因體色已慢慢轉為褐色，與樹枝顏色相近，採取偽裝的行為較多。而成蟲在大飼養箱的木條、壓克力面爬行時的速度緩慢或較少爬行，也引起我們的好奇，想進一步了解成蟲的跗節構造對在不同材質面與不同角度時的爬行能力。

## 二-2：材質和角度對棉桿竹節蟲成蟲爬行步態的影響。

### (一) 方法：

1. 我們準備六肢健全的棉桿竹節蟲成蟲 3 隻，依序編號為 A、B、C。
2. 將棉桿竹節蟲放置在不同材質(塑膠隔板、木製棋盤)的平面上，改變平面角度依序為：0 度、45 度、90 度、135 度，並觀察其爬行步態的變化。
3. 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	木板面平面 135° 爬行步態

圖 2-2 平面材質與角度對棉桿竹節蟲成蟲的爬行步態影響

### (二) 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：先動左前腳，之後動右中腳，最後動左後腳；第二組動作：先動右前腳，之後動左中腳，最後動右後腳；重複第一、二組動作。
4. 在平面 90 度時，右前腳、左前腳、右後腳、左後腳固定後，右中腳、左中腳再往前蹬，與三腳步態截然不同。
5. 成蟲在平面為 135 度時，攀爬不上去，直接掉落飛行。

表 2-1 平面材質與角度對棉桿竹節蟲成蟲的爬行步態影響

編號	角度 (度)	材質	
		塑膠隔板	木質棋盤
A	0	三腳步態	三腳步態
	45	三腳步態	三腳步態
	90	前兩隻往前，後兩隻推，中間兩隻抓住	前兩隻往前，後兩隻推，中間兩隻抓住
	135	抓不住	抓不住
B	0	三腳步態	三腳步態
	45	三腳步態	三腳步態
	90	前兩隻往前，後兩隻推，中間兩隻抓住	前兩隻往前，後兩隻推，中間兩隻抓住
	135	抓不住	抓不住
C	0	三腳步態	三腳步態
	45	三腳步態	三腳步態
	90	前兩隻往前，後兩隻推，中間兩隻抓住	前兩隻往前，後兩隻推，中間兩隻抓住
	135	抓不住	抓不住

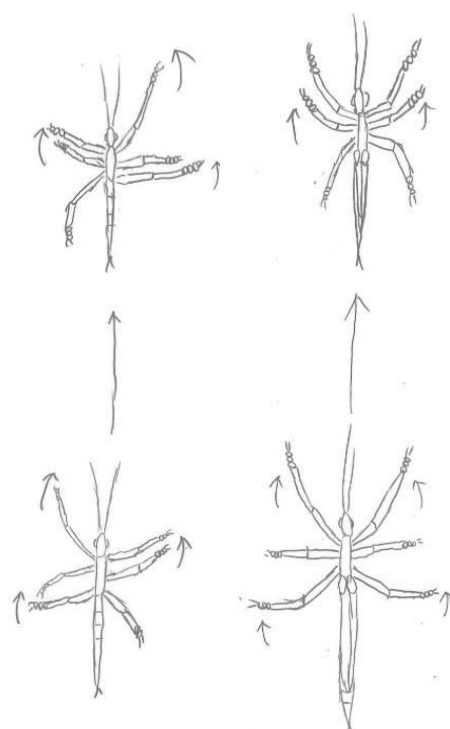


圖 2-3 三腳步態

圖 2-4 中腳步態

### 二-3：不同齡期的棉桿竹節蟲若蟲掉落的方式

我們發現棉桿竹節蟲掉落到平面時，均已呈現腹面著地的結果，我們想進一步了解若蟲掉落時如何翻身？以及何時會翻身？

#### (一) 方法：

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)，避免造成竹節蟲掉落時受傷。
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，

再以手指將棉桿竹節蟲若蟲輕輕撥落釋放，慢速錄影並觀察其掉落狀態。

3. 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。

4. 分析影像將若蟲翻身方向及掉落高度記錄並製成表格進行歸納整理。

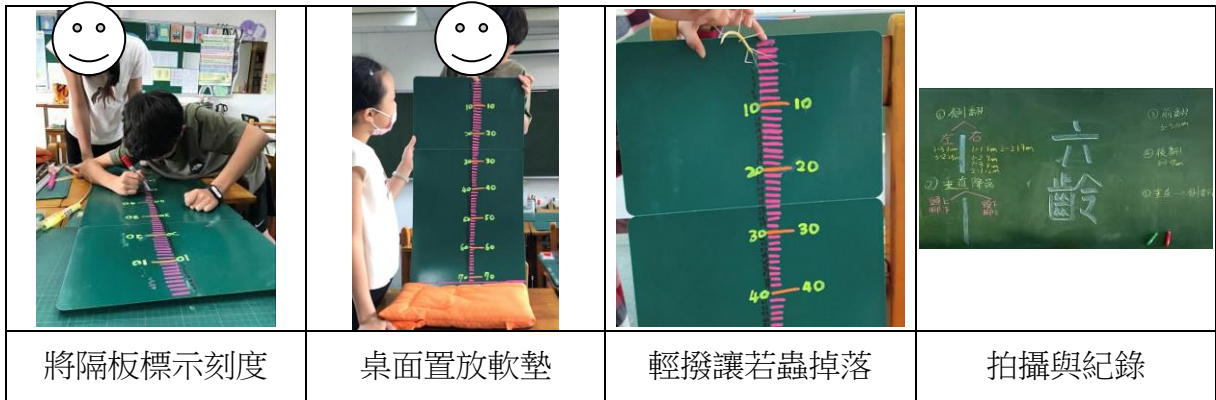


圖 2-5 棉桿竹節蟲若蟲飄落實驗

(二) 結果：

1. 棉桿竹節蟲若蟲掉落時，翻身前，腹面朝上，六腳均會張開，頭尾高約 23 至 32 度、身體重心低，呈現凹弧形態。
2. 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。
3. 棉桿竹節蟲若蟲大多只會**翻正 1 次(91%)**。
4. 棉桿竹節蟲若蟲翻正行為，以**側翻(左翻+右翻)(73.3%)**最多。
5. 棉桿竹節蟲若蟲大多都在 10 公分以內**(73.4%)完成翻正**，尤其是一齡到三齡若蟲(平均 96.3%)。
6. 棉桿竹節蟲若蟲受撥動力而掉落時，身體呈擺盪行為。
7. 棉桿竹節蟲若蟲垂直降落分為頭上腳下及頭下腳上兩種情形。

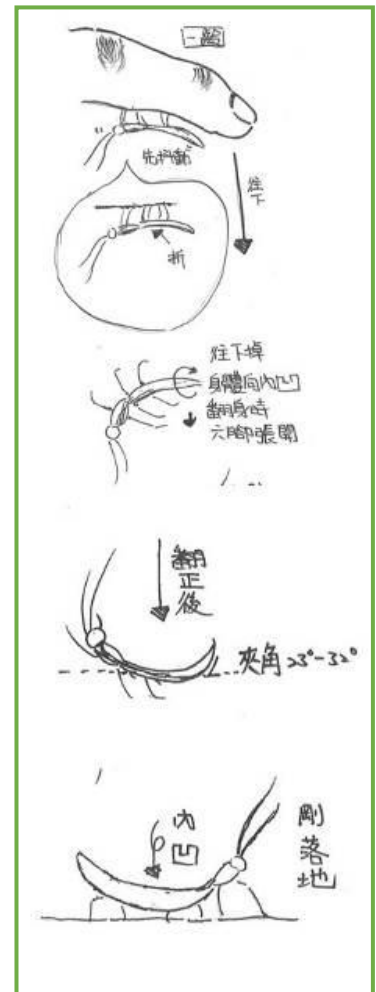


圖 2-6 若蟲飄落翻正

表 2-2 棉桿竹節蟲若蟲的飄落行為統計表

齡期	掉落	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 (11.1%)	8次 (88.9%)	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 (11.1%)	7次 (77.8%)	1次 (11.1%)	3次	2次	1次	3次	8次 (88.9%)	1次 (11.1%)	0次
三齡若蟲	9次	1次 (11.1%)	8次 (88.9%)	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 (33.3%)	5次 (55.6%)	1次 (11.1%)
五齡若蟲	9次	1次 (11.1%)	8次 (88.9%)	0次	1次	5次	2次	0次	5次 (55.6%)	1次 (11.1%)	3次 (33.3%)
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%)	4次 (44.4%)	1次 (11.1%)
全部	45次	3次(6.6%)	41次 (91.2%)	1次 (2.2%)	15次 (33.3%)	18次 (40%)	7次 (15.6%)	5次 (11.1%)	33次 (73.4%)	10次 (22.2%)	2次 (4.4%)

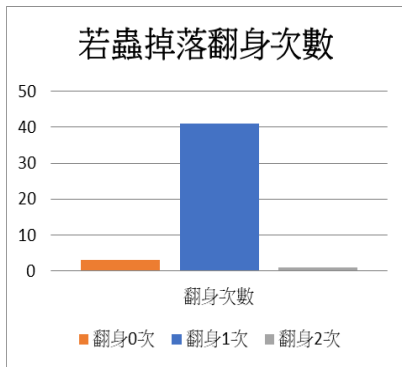


圖 2-7 若蟲掉落翻身次數

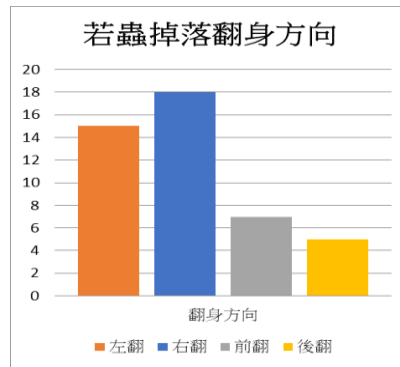


圖 2-8 若蟲掉落翻身方向

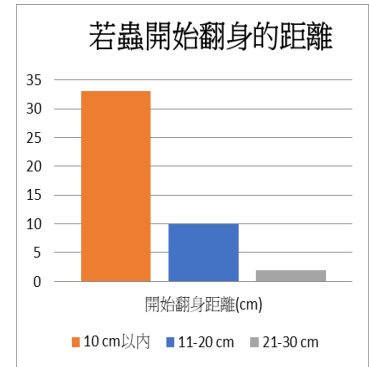


圖 2-9 若蟲掉落翻身距離

### (三) 討論：

透過影像慢速分析，我們觀察到若蟲在落地前一定會翻正，且大多是側身翻正，在上網查詢資料時，查到動物「翻正反射」(righting reflex)的本能機制，曾有學者探討蟑螂翻正反射過程中，身體運動與腳部的施力情形 (Camhi, 1977; Full, et al., 1995)。礙於工具與時間的限制，我們尚無法探究腳部施力的情形，但我們想先探討棉桿竹節蟲側身翻正的行為與身長身寬比以及掉落時的肢體動作是否有關連。

### 延伸實驗：若蟲側面翻身模型

#### (一) 方法：

1. 分析棉桿竹節蟲若蟲掉落的影片。分析紀錄若蟲掉落時姿態與動作。
2. 根據若蟲各齡期的身長、身寬、體重等資料(表 1-2)，製作頭尾夾角 30 度，重量

與長度 1 : 1 的掉落姿態模型。

3. 模擬若蟲掉落實驗，拍攝並分析。



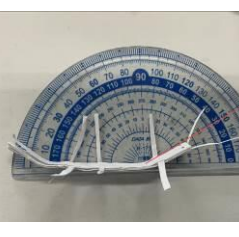
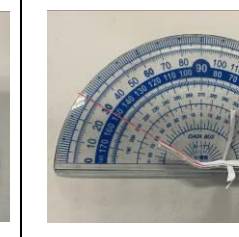
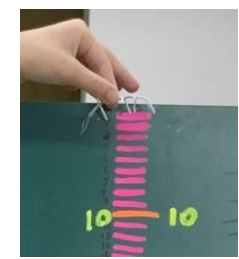
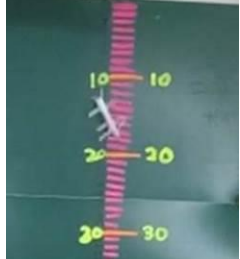


			
製作 1 : 1 的的模型— 六齡若蟲為例	六齡若蟲重量 0.59g	頭胸部與水平線夾角 30 度	腹部與水平線夾角 30 度
			
模擬若蟲腹部朝上施 放	在掉落 15cm 右側翻	以腹部碰觸軟墊後彈起	齡期越大的若蟲會壓低身體 不再移動

圖 2-10 若蟲側面翻身實驗

(二) 結果：

1. 各齡期模型掉落時側面翻正情形與若蟲相仿。若蟲仿真模型的身長與身寬比值在 15 至 23 之間(表 1-2)，雖沒有腳部施力的幫助，但仍能達到側面翻身的動作，推測與身體細長，以及維持頭尾翹高的動作幫助重心維持在身體中心，有很大的關係。
2. 掉落時若蟲張開六肢的動作，也有助於增加空氣浮力，增加滯空時間，也減緩撞擊地面的力量。

**【研究三】棉桿竹節蟲停棲點的選擇機制**

我們在教室做避敵實驗時，我們發現成蟲飛行的落點有褐色桌面、墨綠色黑板、深綠色用餐隔板和洗石子地板，落下後就伸直身體不再移動，似乎是找到保護色的環境。引起我們想探究：成蟲是隨機選擇落點？還是有特定顏色，例如保護色的選擇？

### 三-1 觀察棉桿竹節蟲成蟲的飛行落點的色塊選擇

#### (一) 方法：

1. 選擇在空曠無風的禮堂進行實驗，地面鋪墊半徑 5 公尺範圍的異色書面紙，準備 4 至 5 隻健全棉桿竹節蟲成蟲，另外準備一個空飼養箱作為休息室，施放高度 200 公分，放飛成蟲並慢速攝影記錄落點、飛行時間、飛行距離。
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，分兩階段進行實驗：(1)兩色塊落點比較(2)四色塊落點比較。
3. 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。
4. 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。



圖 3-1 飛行落點色塊選擇實驗

#### (二) 結果：

1. 在第一階段的兩色塊實驗中，棉桿竹節蟲成蟲成功放飛 17 次。飛行時間未滿 5 秒佔 58.8%，5 秒以上佔 41.2%，平均 4.5553 秒。飛行距離超過原先在教室測試時的 5 公尺有 9 次，佔(53%)，飛行平均距離為 5.62 公尺。著陸後，會先靜止不動，直到人靠近才移動。棉桿竹節蟲成蟲的飛行落點對於原先布置的色塊(紅、褐、綠、白、黑)均無明顯喜好，反而大多落地於光線不充足的暗綠色地面(53%)。
2. 在第二階段的四色塊實驗中，棉桿竹節蟲成蟲成功放飛 10 次。飛行時間

在未滿 5 秒的次數佔 70%，5 秒以上佔 30%，平均 4.272 秒。飛行距離超過 5 公尺的次數達 6 次(60%)，平均距離為 7.36 公尺。著陸後，與第一階段一樣會先靜止不動，直到人靠近才移動。棉桿竹節蟲成蟲的飛行落點對於原先布置的四個色塊(褐、紅、白、黑)均無明顯喜好，反而大多落地於光線不充足的暗綠色地面(90%)。

3. 棉桿竹節蟲成蟲飛行時，會保持一定的角度(約 50° ~60° 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。
4. 同一隻成蟲飛行的路線有類似的選擇，推測成蟲對於飛行軌跡可能有記憶能力，待進一步實驗求證。

表 3-1 第一階段實驗：棉桿竹節蟲對於色塊落點選擇(兩色)

編號	次數	飛行時間(s)		飛行距離(m)			落點顏色選擇			
		未滿 5	5 以上	未滿 5	5-10	10 以上	褐色	綠色	暗綠(地面)	其他(網、桌)
成蟲 1 號	2	2 次	0 次	2 次	0 次	0 次	1 次	0 次	1 次	0 次
成蟲 2 號	6	4 次	2 次	3 次	3 次	0 次	0 次	3 次	3 次	0 次
成蟲 3 號	4	3 次	1 次	2 次	2 次	0 次	0 次	1 次	3 次	0 次
成蟲 4 號	5	1 次	4 次	1 次	3 次	1 次	1 次	0 次	2 次	2 次
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 3-2 第二階段實驗：棉桿竹節蟲對於色塊落點選擇(四色)

編號	次數	飛行時間(s)		飛行距離(m)			落點顏色選擇		
		未滿 5	5 以上	未滿 5	5-10	10 以上	褐色	其他色	暗綠(地面)
成蟲 1 號	2	2 次	-	2 次	-	-	1 次	-	1 次
成蟲 2 號	2	1 次	1 次	-	1 次	1 次	-	-	2 次
成蟲 3 號	2	2 次	-	1 次	1 次	-	-	-	2 次
成蟲 4 號	2	-	2 次	-	-	2 次	-	-	2 次
成蟲 5 號	2	2 次	-	1 次	1 次	-	-	-	2 次
總計	10	7 次(70%)	3 次(30%)	4 次(40%)	3 次(30%)	3 次(30%)	1 次(10%)	-	9 次(90%)

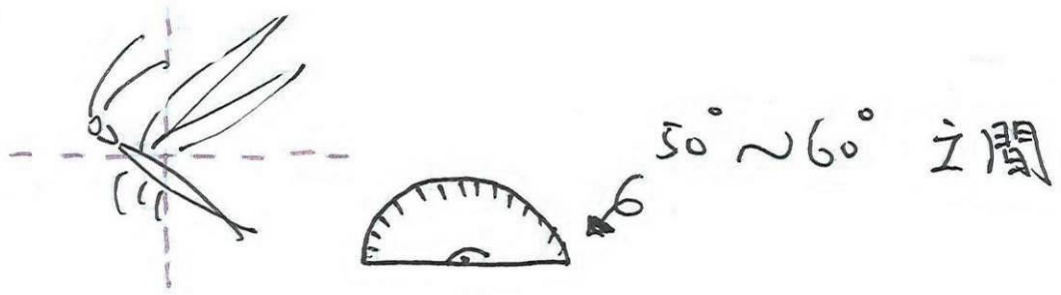


圖 3-2 棉桿竹節蟲飛行角度

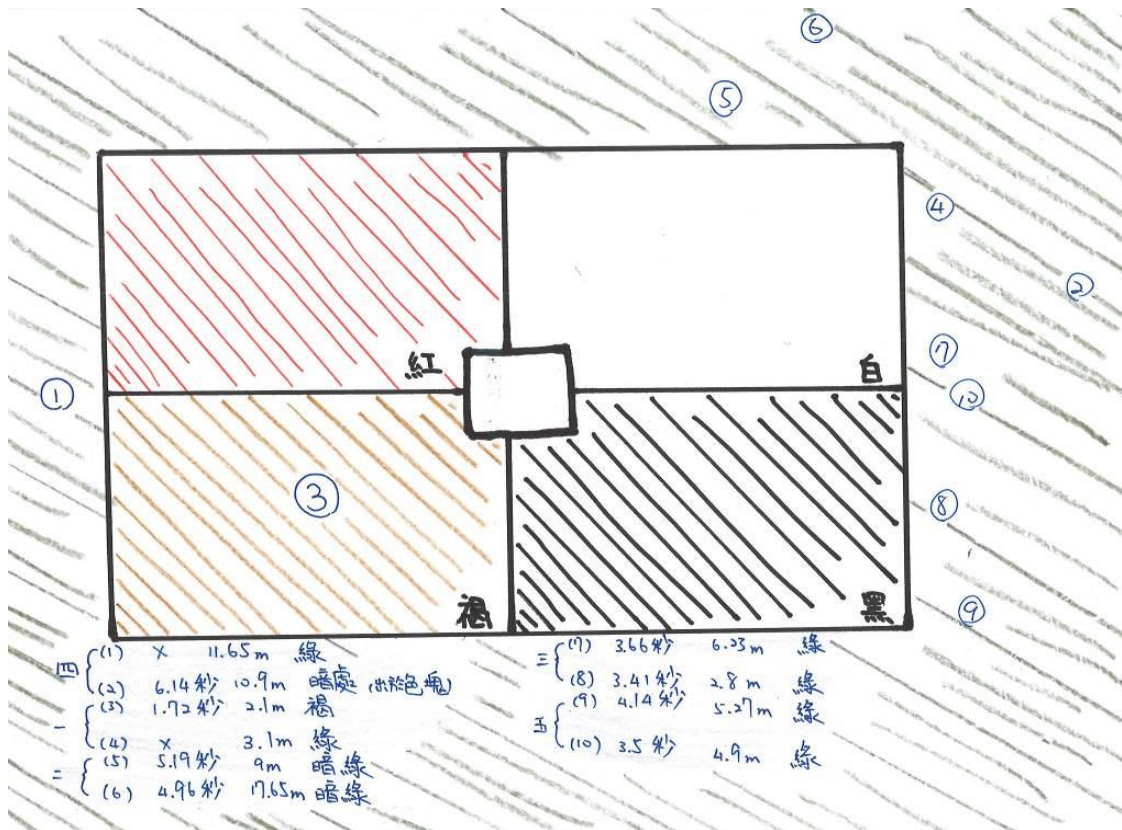


圖 3-3 實驗第二階段：棉桿竹節蟲對於飛行落點之色塊選擇結果

### (三) 討論：

1. 在禮堂進行的兩色與四色實驗中，飛行時間平均超過 4 秒，印象中比先前在教室試飛時的飛行時間要長，推測是教室障礙物多，而禮堂是空曠場地。但因在教室做試飛測試時沒有記錄秒數，留待下次補做實驗。
2. 在禮堂進行的兩色與四色實驗中，飛行平均距離均超過在教室估測的 5m(分別為 5.62m/7.36m)，推測也是教室障礙物多所致。

3. 此色塊實驗推測棉桿竹節蟲成蟲選擇飛行落點，對色塊選擇沒有明顯差異，但對暗綠色地面則有顯著效果，甚至有一次長飛 6.14 秒、10.9m 到牆壁邊的陰暗角落，我們推測棉感竹節蟲在飛行選擇落點時應該也有負趨光性的可能，與棲息時有負趨光性選擇一致。
4. 為證明棉桿竹節蟲成蟲對於飛行落點的色塊選擇確實沒有顯著差異，我們嘗試剔除飛行範圍內亮度差異的變因，決定增加做一次全亮度環境下，成蟲飛行落點的色塊選擇。

### 補充實驗：同亮度環境下，棉桿竹節蟲成蟲的飛行落點的色塊選擇

#### (一) 方法：

1. 選擇在空曠無風、照明燈全開的禮堂進行實驗，地面鋪墊長 8 公尺的淺綠色體操軟墊，降低成蟲飛到暗綠色地板的機率。上方鋪設褐色、黃色書面紙大色塊以及淺綠色體操墊的大自然顏色布置，約長 5 公尺的範圍。
2. 在色塊交界邊線放置課桌椅作為施放點，施放點後方設置擋板阻隔，讓成蟲往前飛行，目的在明亮的飛行範圍內，明確判斷竹節蟲的色塊落點選擇，並記錄飛行落點。



圖 3-4 飛行落點色塊選擇實驗(全亮)



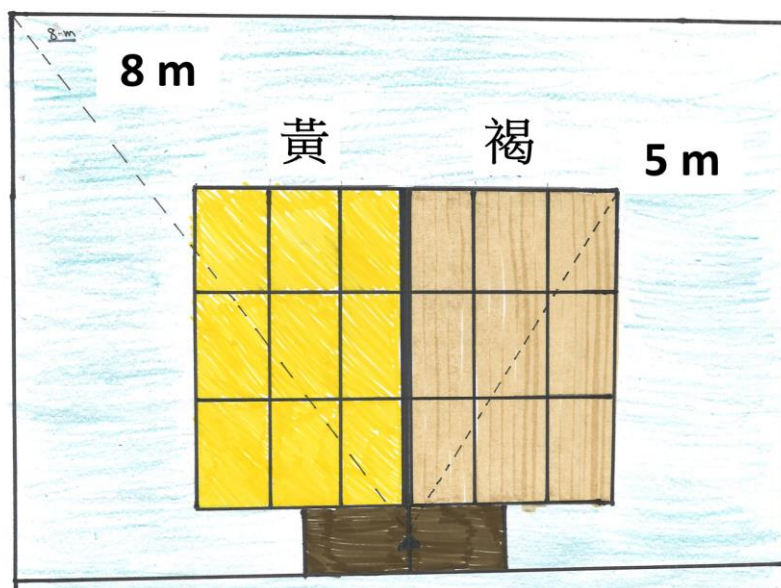


圖 3-5 同亮度下的色塊布置環境

(二) 結果：4 隻棉桿竹節蟲成蟲共成功放飛 19 次。將場地布置為相同亮度後，成蟲對於色塊的落點選擇以 5 公尺外、8 公尺內的淺綠色地墊 8 次最多(42%)，其次為黃色色塊 5 次(26%)，棕色與暗綠色地面較少，均為 3 次(16%)，驗證成蟲飛行在亮度相同的環境下，落點顏色的選擇並無明顯差異。

表 3-3 補充實驗：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	淺綠色軟墊	暗綠色地面
成蟲 1 號	2 次	0 次(0%)	0 次(0%)	0 次(0%)	2 次(100%)
成蟲 2 號	7 次	3 次(43%)	3 次(43%)	1 次(14%)	0 次(0%)
成蟲 3 號	4 次	0 次(0%)	0 次(0%)	3 次(75%)	1 次(25%)
成蟲 4 號	6 次	2 次(33%)	0 次(0%)	4 次(67%)	0 次(0%)
總計	19 次	5 次(26%)	3 次(16%)	8 次(42%)	3 次(16%)

### 三-2 不同亮度的飛行落點選擇

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。

### 三-2-1 教室不同亮度環境的飛行落點選擇

#### (一) 方法：

1. 在教室布置明亮區與陰暗區，測出照度分別為 143LUX 與 1LUX，兩區均拉上窗簾減少陽光對暗區的干擾。
2. 取 5 隻正常活動的成蟲，在中間線放飛棉桿竹節蟲成蟲，每隻成蟲放飛 5 次，放飛時保持安靜，減少對成蟲的干擾，錄影並計時，紀錄落點與飛行時間。



圖 3-6 教室不同亮度的環境布置

#### (二) 結果：

1. 成功放飛次數共 25 次，落點在明亮區有 11 次(44%)，在陰暗區有 12 次(48%)，在中間有 2 次(8%)，顯示成蟲飛行落點的選擇沒有明顯差異。
2. 飛行時間平均為 **2.78 秒**，飛行時間為 2 秒有 14 次，3 至 4 秒有 10 次，6 秒只有 1 次。落點大多為窗簾、黑板、桌面、白牆、書櫃、布告欄，而落在地面只有一次。推測教室空間的限制與障礙物多，會造成成蟲飛行時間縮短，也影響成蟲對於明暗度的選擇。

- 成蟲飛行時會平飛至窗簾，甚至往上飛至靠近天花板的牆面，顯示在有立體障礙物時，成蟲會優先選擇較近可停落之處。
- 雖然飛行時間短暫，但同一隻成蟲飛行的路線仍有類似的軌跡，再次推測成蟲對於飛行軌跡可能有記憶能力，待進一步實驗求證。

表 3-4 棉桿竹節蟲不同亮度的飛行落點統計表(教室)

編號	實驗次數(次)	落點		
		明亮區域(次)	陰暗區域(次)	中間(次)
成蟲 1 號	5 次	4 次(80%)	1 次(20%)	0 次
成蟲 2 號	5 次	0 次	5 次(100%)	0 次
成蟲 3 號	5 次	3 次(60%)	1 次(20%)	1 次(20%)
成蟲 4 號	5 次	4 次(80%)	0 次	1 次(20%)
成蟲 5 號	5 次	0 次	5 次(100%)	0 次
總計	25 次	11 次(44%)	12 次(48%)	2 次(8%)

### 成蟲對亮度的落點選擇 ( 教室 )

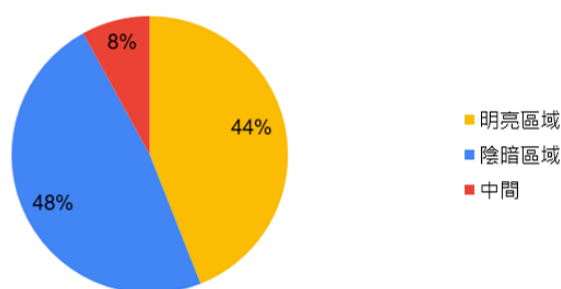


圖 3-7 不同亮度的飛行落點選擇(教室)

### (三)討論：

- 這次在教室的放飛實驗，原先我們認為教室較容易布置出明暗區都很明顯的環境，所以改在教室操作，同時也為了補足之前在教室試飛時沒有做的飛行時間紀錄。
- 但成蟲對於亮度的落點選擇，與我們原先預期的成蟲飛行也有「負趨光性」的想法有落差，甚至有 3 隻成蟲幾乎都選擇明亮區，這樣的結果讓團隊感到困惑。接著我們想到之前在禮堂成蟲的平均飛行時間都在 4 秒以上，也許是飛行時間不夠，加上室內物品多，影響此項實驗的結果，我們決定再回到禮堂重做實驗。

### 三-2-2 禮堂不同亮度環境的飛行落點選擇

#### (一) 方法：

1. 準備棉桿竹節蟲成蟲 9 隻，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。
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，記錄及繪製飛行路線。



圖 3-8 禮堂不同亮度的環境布置

#### (二) 結果：

1. 共成功施放 43 次，實驗結果落點為陰暗面的次數有 32 次(74.4%)，證明棉桿竹節蟲飛行選擇落點時確實有負趨光性的判斷。
2. 平均飛行時間為 5.18605 秒，遠大於在教室環境的飛行時間(2.78 秒)，推測棉桿竹節蟲對於亮度的飛行落點選擇須在空曠的環境才足以判斷。
3. 此次實驗同一隻棉桿竹節蟲的飛行軌跡仍出現相似的飛行路線，推測對飛行軌跡有記憶能力。

表 3-5 棉桿竹節蟲對於不同亮度的飛行落點統計表(禮堂)

編號	實驗次數(次)	落點		
		明亮區域(次)	陰暗區域(次)	中間 (次)
成蟲 1 號	3 次	0 次	3 次(100%)	0 次
成蟲 2 號	3 次	0 次	3 次(100%)	0 次
成蟲 3 號	7 次	3 次(42.9%)	4 次(57.1%)	0 次
成蟲 4 號	5 次	0 次	4 次(80%)	1 次(20%)
成蟲 5 號	5 次	2 次(40%)	3 次(60%)	0 次
成蟲 6 號	5 次	0 次	3 次(60%)	2 次(40%)
成蟲 7 號	5 次	0 次	5 次(100%)	0 次
成蟲 8 號	5 次	1 次(20%)	4 次(80%)	0 次
成蟲 9 號	5 次	2 次(40%)	3 次(60%)	0 次
總計	43 次	8 次(18.6%)	32 次(74.4%)	3 次(7%)

成蟲對亮度的落點選擇 ( 禮堂 )

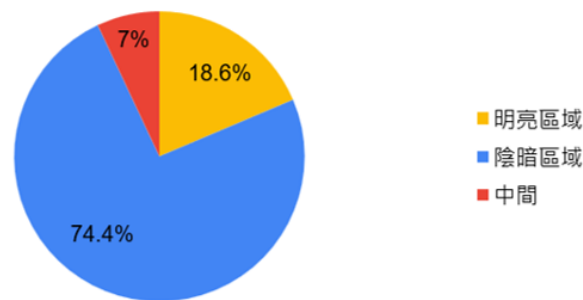


圖 3-9 棉桿竹節蟲不同亮度的落點選擇圓形圖

### 三-2-3：棉桿竹節蟲若蟲的爬行停棲點選擇與色塊的關聯

完成棉桿竹節蟲成蟲對於色塊與亮度的落點選擇實驗後，團隊也試著探索若蟲對於停棲在不同顏色的自然物或色塊有無特定的偏好？

(一) 方法：

1. 先在平面上劃分四區塊，分別布置綠葉、枯葉、樹枝、沙土，讓棉桿竹節蟲若蟲試爬，瞭解是否會躲藏在自然物中？
2. 確認不受影響後，改用褐、淺黃、深黃、淺綠色等四個接近自然色的書面紙拼接為四個象限的大紙張，準備 5 隻一齡若蟲與相對應的色鉛筆。實驗時禁聲禁晃動，投射同亮度光線籠罩整張大拼圖，再將若蟲置放於中心點，觀察

並拍攝爬行狀態，每隻操作 3 次攝影記錄並將爬行路線繪製於地圖上並記錄爬行距離與最後停棲點位置。



圖 3-10 棉桿竹節蟲一齡若蟲爬行對色塊的選擇實驗

(二) 結果：

1. 一齡若蟲停留在色塊上的次數只有 4 次，其餘均爬出色塊，且沒有特定停棲目標。
2. 影片分析若蟲最後停棲點均為立體物，如整理箱、木桌、紙箱、直立瓦楞板，且呈現垂直停棲的姿態，推測若蟲暴露在裸露的空間會有不安全感。

表 3-6 棉桿竹節蟲一齡若蟲爬行對色塊的選擇統計表

編號	次數	停棲點	爬行距離 (cm)	備註
1 (紅線)	1	綠	77	
	2	色塊外	144	往整理箱
	3	淡黃	118	
2 (橘線)	1	色塊外	119	往木桌
	2	色塊外	109	往書櫃
	3	色塊外	106	往鐵櫃
3 (黑線)	1	淡黃	143	
	2	色塊外	111	往書櫃
	3	綠	192	往紙箱
4 (綠線)	1	淡黃	110	
	2	色塊外	105	往書櫃
	3	色塊外	117	往椅子
5 (藍線)	1	色塊外	143	往木桌
	2	色塊外	121	往直立綠色瓦楞板
	3	色塊外	165	往直立綠色瓦楞板



圖 3-11 一齡若蟲對色塊選擇的爬行實驗路線圖

(三) 討論：原預計要作一齡至六齡的若蟲爬行對色塊選擇的實驗，但在做完一齡若蟲後，團隊發現若蟲大多爬上立體物後才停棲，因此改做一齡至六齡的若蟲爬行對於色柱的選擇實驗。

## 修正實驗：棉桿竹節蟲若蟲的爬行停棲點選擇與色塊的關聯

### (一) 方法：

1. 包覆褐、淺黃、深黃、淺綠四個顏色的色柱，色柱為底面 10cm×10cm、柱高 40cm 的長方體，放置於白色書面紙上。
2. 準備一齡至六齡若蟲各 3 隻，每隻操作 5 次，合計 90 次。實驗範圍控制為同亮度，將若蟲放置於四個色柱中間，觀察攝影並記錄爬行後的色塊選擇停棲點。

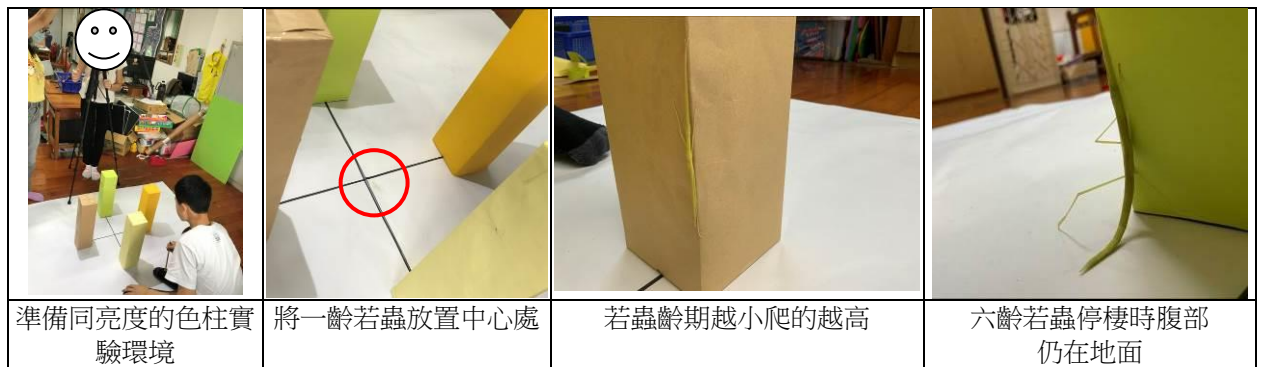


圖 3-12 若蟲爬行同亮度的色柱實驗

### (二) 結果：

1. 若蟲落地時頭朝哪邊就爬向哪，90 次停棲點實驗中，色柱以外有 33 次(37%)，其次是棕色色柱有 24 次(27%)，其它色柱佔比不高，推測棉桿竹節蟲若蟲對色塊沒有明顯選擇。
2. 若蟲都會往上爬，推測有負趨地性。
3. 齡期愈小的若蟲爬行的高度(尾端離地距離)愈高，一齡平均爬行高度 7cm、二齡 4.82cm、三齡 8cm，四到六齡均低於平均值 4.7545cm。
4. 一齡至四齡若蟲會在色柱上頭朝上，身體垂直停棲，五齡以上會出現斜躺的現象。
5. 將各齡期爬行高度與體長相加，約莫為眼睛離地高度。各齡期若蟲停棲時眼睛離地高度約在 8 至 12.5cm 之間，推測可能是若蟲感覺安全的停棲高度。

表 3-7 若蟲爬行同亮度的色柱停棲點次數與高度統計表

齡期	色柱選擇(次)					平均高度 (cm)	體長 (cm)	眼睛離地高度 (cm)
	淡黃色	深黃色	綠色	棕色	色柱以外			
一齡	2	3	0	2	8(53%)	7	2.3	<b>9.3</b>
二齡	1	1	0	7(47%)	6(40%)	4.8182	3.7	<b>8.5182</b>
三齡	3	0	3	4	5	8	4.5	<b>12.5</b>
四齡	3	2	3	5	2	2.8462	5.5	<b>8.3462</b>
五齡	3	3	2	3	4	3.6818	6.3	<b>9.9818</b>
六齡	1	1	2	3	8(53%)	0.6143	7.3	<b>7.9143</b>
總計	13(14%)	10(11%)	10(11%)	24(27%)	33(37%)	4.7545		

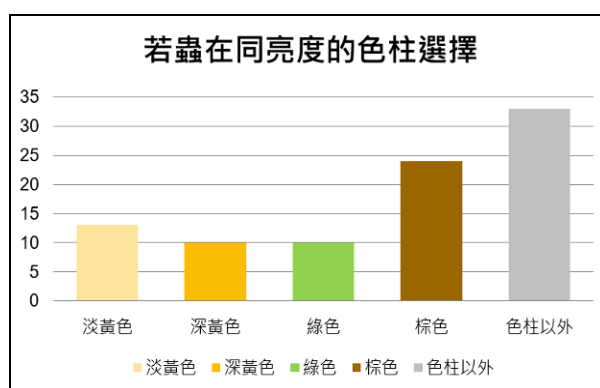


圖 3-13 若蟲在同亮度的色柱選擇長條圖

### 三-2-4：棉桿竹節蟲若蟲爬行軌跡、成蟲飛行軌跡與記憶的關聯

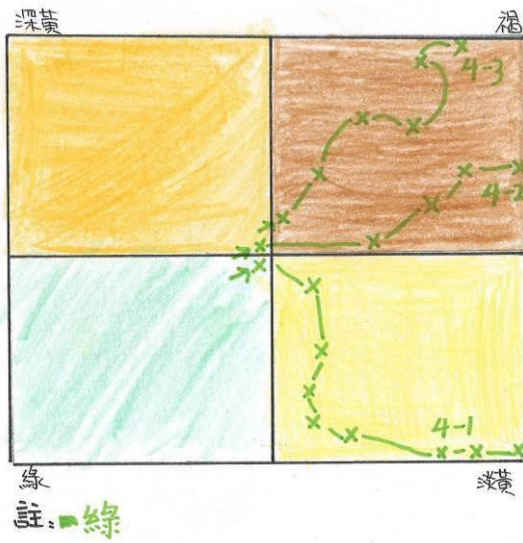
(一) 方法：分析影片，繪製圖形，紀錄飛行路線。

(二) 結果：

1. 棉桿竹節蟲若蟲在色塊上的爬行軌跡，5 隻裡第四隻與第五隻應有記憶軌跡的可能。(圖 3-14)
2. 棉桿竹節蟲成蟲的飛行軌跡幾乎都是以 C 形為主，少量出現 S 形(圖 3-15)。但在較多立體物的環境，成蟲會出現直線飛行。
3. 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，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，整理如下圖 3-16 至圖 3-18。



第4隻/第1,2,3次



第5隻/第1,2,3次

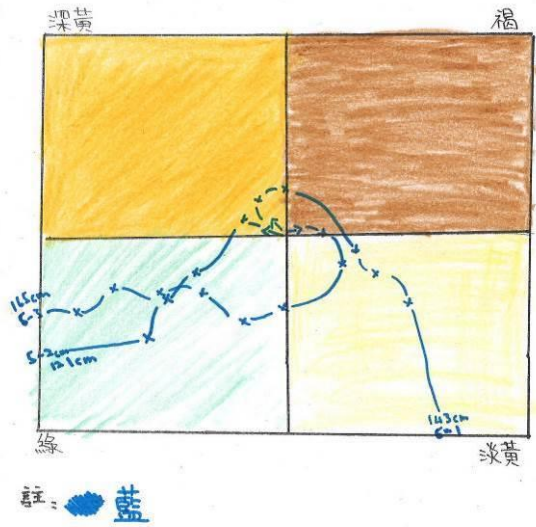
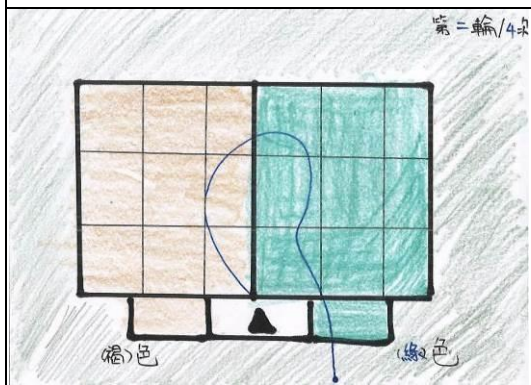
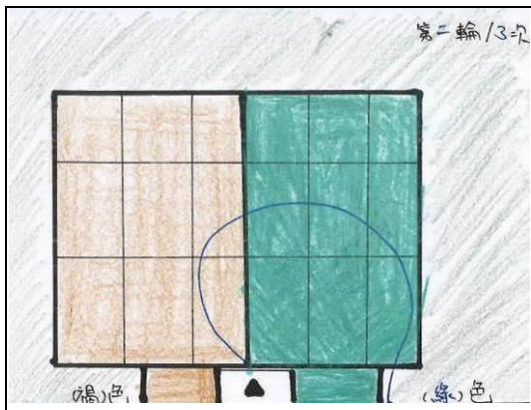


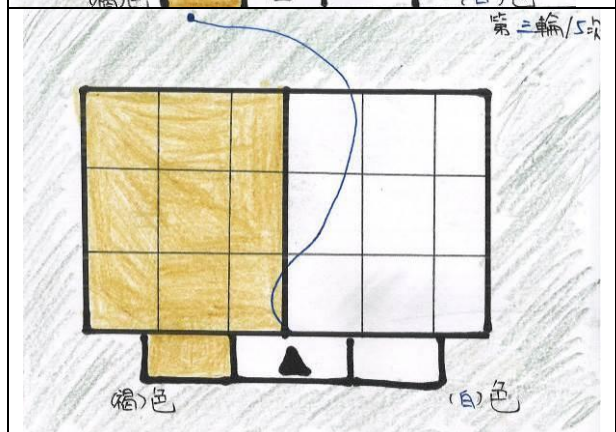
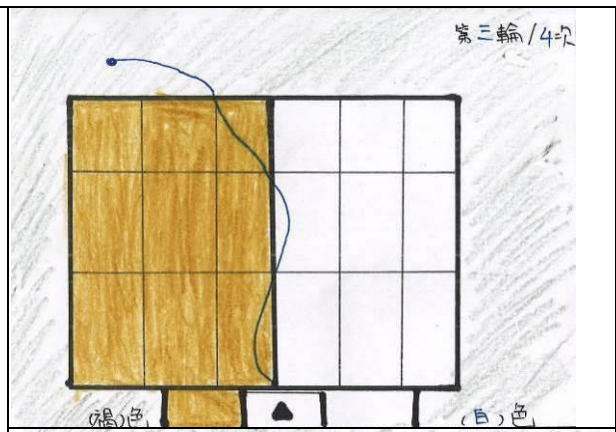
圖 3-14 若蟲選擇色塊的路線圖

<p>飛行軌跡_C形</p>	<p>飛行軌跡_S形</p>	<p>飛行軌跡_弧形</p>

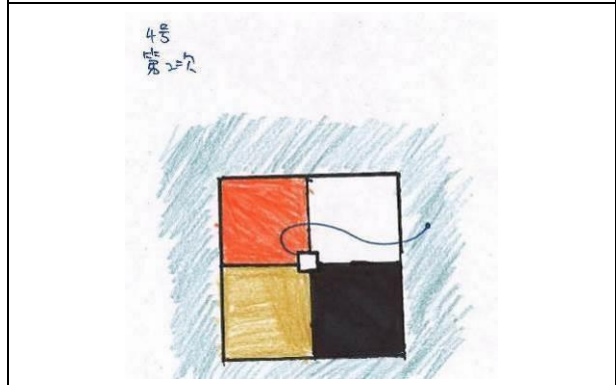
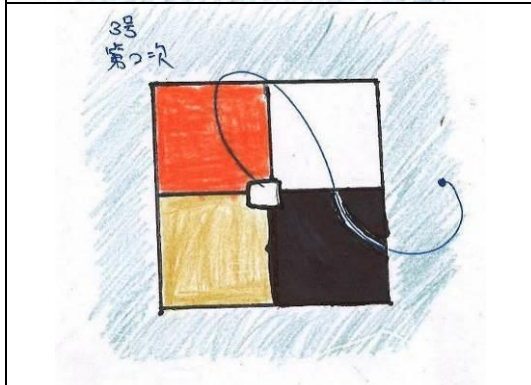
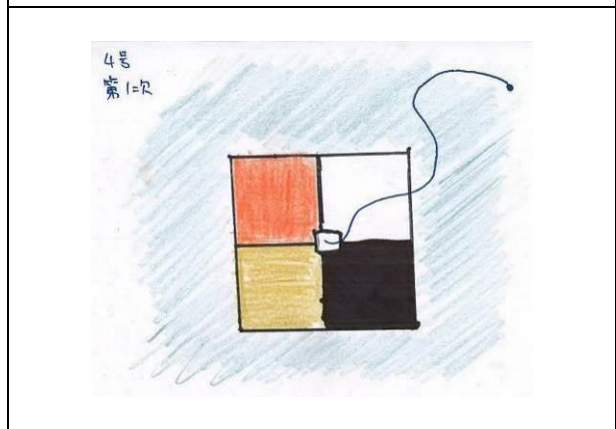
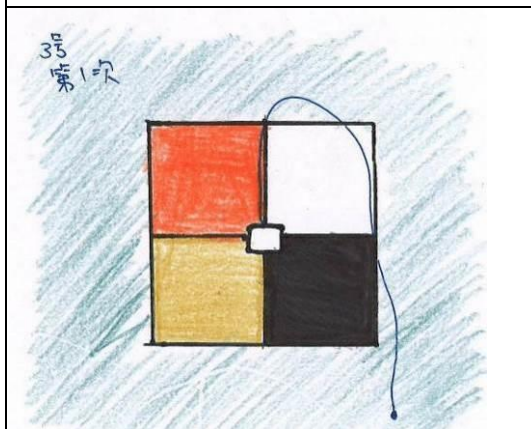
圖 3-15 棉桿竹節蟲成蟲的飛行軌跡圖



兩色塊飛行軌跡記憶(一)



兩色塊飛行軌跡記憶(二)



四色塊飛行軌跡記憶(一)

四色塊飛行軌跡記憶(二)

圖 3-16 棉桿竹節蟲在不同色塊實驗飛行軌跡記憶圖

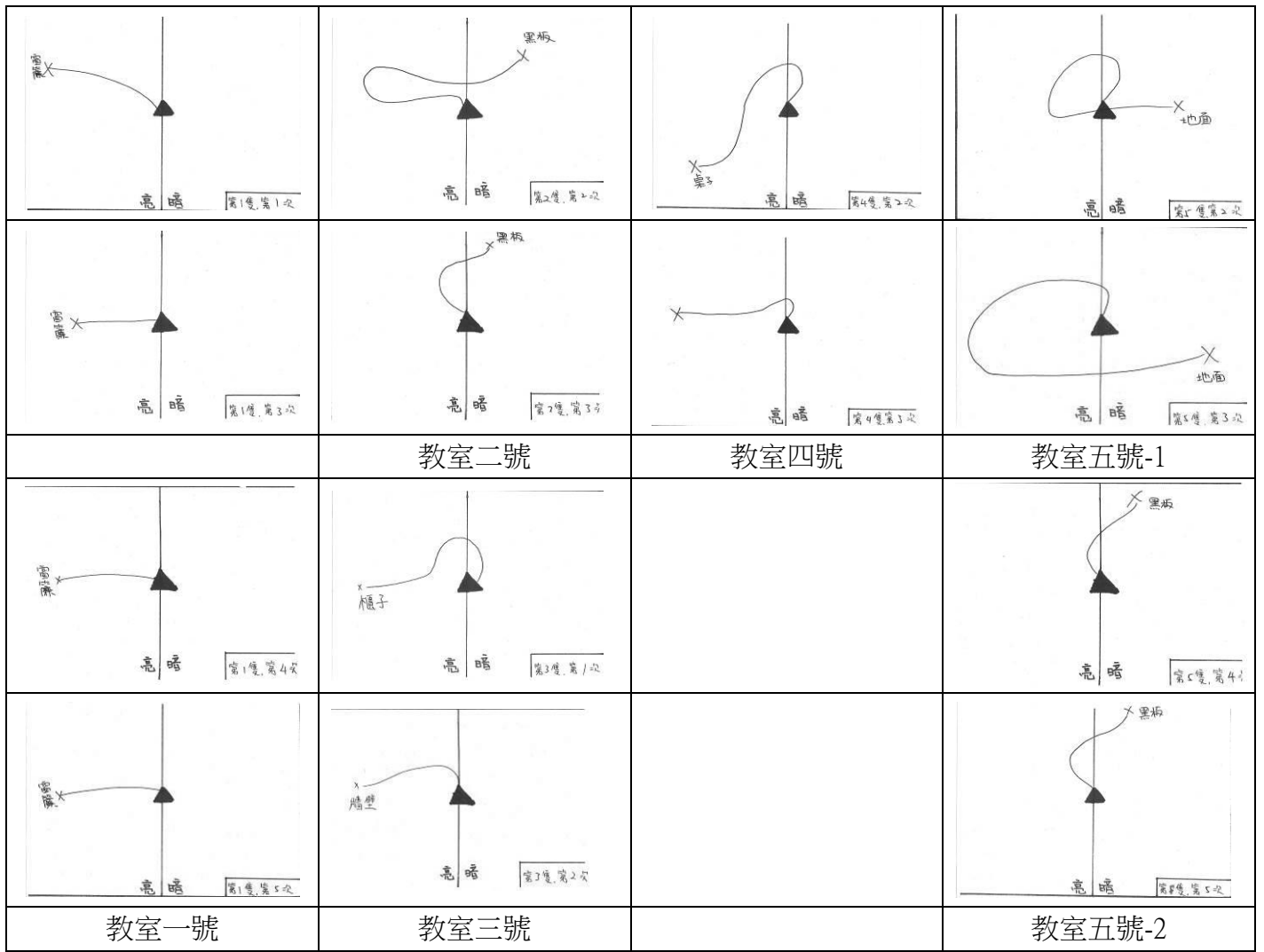
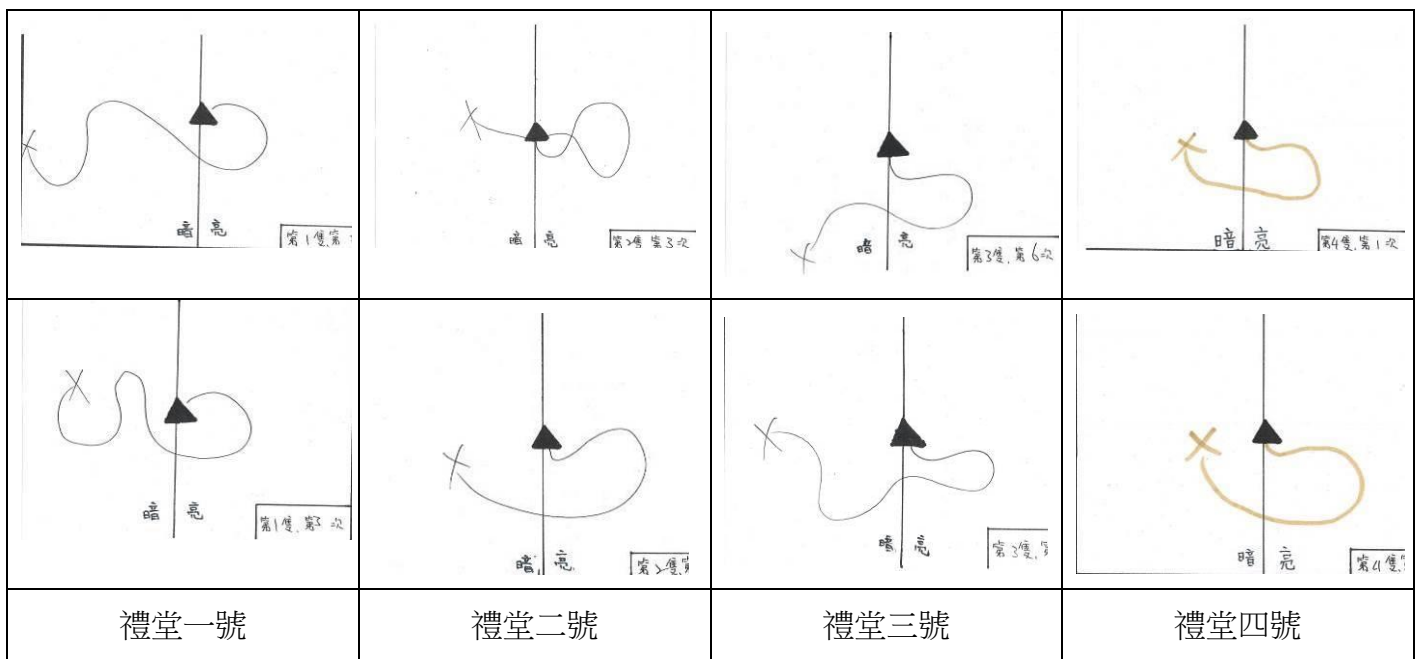


圖 3-17 棉桿竹節蟲在不同亮度飛行落點軌跡圖-教室



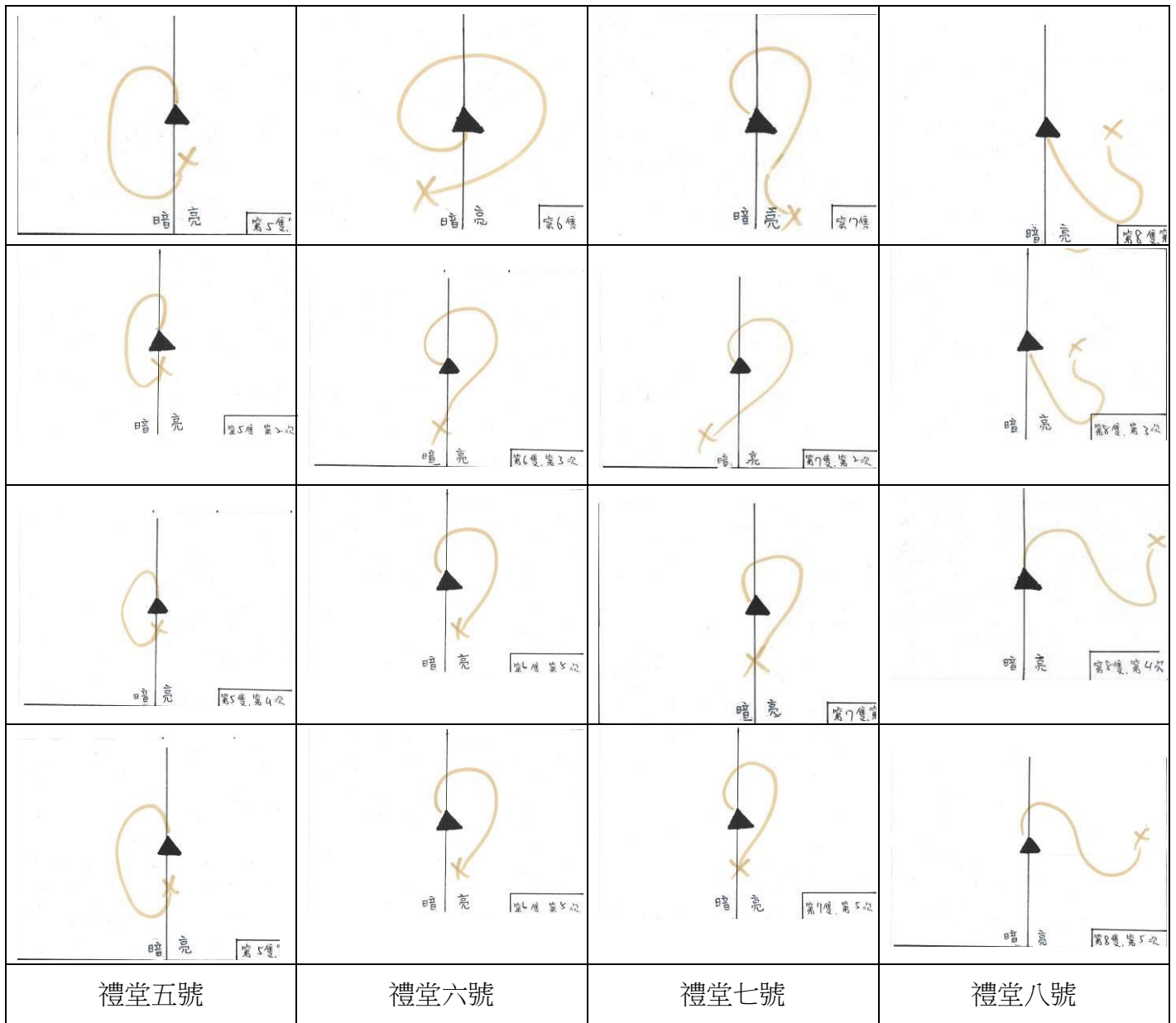


圖 3-18 棉桿竹節蟲在不同亮度飛行落點軌跡圖-禮堂

## 伍、結論

- 一、棉桿竹節蟲 *Sipyloidea sipyilus* (Westwood, 1859) 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，身體構造主要分為頭、胸、腹三個部份，屬不完全變態昆蟲，以孤雌生殖繁殖下一代。
- 二、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。

- 三、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 隻中腳往上爬行，再重複同樣的動作。
- 四、棉桿竹節蟲若蟲的避敵掉落行為：任何齡期的若蟲掉落時均會翻正(腹面朝下)安全掉落，呈現「翻正反射」(righting reflex) 機制。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(91%)，側翻次數最多(73%)。若掉落時呈現頭上腳下的垂直狀態，則會保持同樣姿勢著陸。
- 五、若蟲仿真模型同樣具有翻正與側翻的現象，推測與身體細長，以及維持頭尾翹高的動作幫助重心維持在身體中心，有很大的關係。若蟲張開六肢的動作，也有助於增加空氣浮力，增加滯空時間，也減緩撞擊地面的力量。
- 六、成蟲飛行在亮度相同的環境下，落點顏色的選擇並無明顯差異。
- 七、在空曠無風的環境進行不同亮度的飛行落點實驗，落點為陰暗面的次數有 32 次 (74.4%)，證明棉桿竹節蟲選擇落點時確實有負趨光性的判斷。讓成蟲能飛行至少 4 秒(禮堂平均飛行時間 5.18605 秒)才足以形成判斷。
- 八、不同齡期的若蟲在同亮度的環境尋找停棲點時，對於不同色塊或色柱的選擇沒有顯著差異。爬行在物體上，不同齡期的若蟲眼睛離地面的高度約在 8 至 12.5cm 之間，推測可能是若蟲感覺安全的停棲高度。
- 九、棉桿竹節蟲若蟲的爬行軌跡少量呈現有記憶能力的可能(圖 3-14)。
- 十、棉桿竹節蟲成蟲的飛行軌跡幾乎以 C 形為主，少量出現 S 形，但在較多立體物的環境，成蟲會出現直線飛行。進一步發現成蟲在有立體物的空間(教室)或空曠的場地(禮堂)，對飛行軌跡均有記憶能力。未來宜進一步探討棉桿竹節蟲視力、空間感與記憶的連結關係。

## 陸、參考文獻

### 【書籍資料】

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。

黃世富（2008）。**台灣的竹節蟲**。大樹文化事業股份有限公司。

蔡宜庭、蔡任甫(2011)。**認識身旁的小傢伙(八)--以翻正反射模式探討阻斷蟑螂單側附肢的側化現象**。科學教育月刊，337，212-29。

### 【網路資料】

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。

林義祥（2001）。**嘎嘎昆蟲網**。2022年9月1日取自 <http://gaga.biodiv.tw/new23/9402/a10.htm>

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。

曾俊翰等(2009)。**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）**。中華民國第四十九屆中小學科學展覽會作品說明書。

## 柒、附件

### 實驗基本數據選錄

棉桿竹節蟲不同亮度的飛行落點紀錄表(教室)

(實驗日期：2023年3月7日~10日)

編號	次數	選擇暗或亮	落點	飛行時間(S)	備註
1	1	亮	窗簾	2	
	2	暗	桌子	2	
	3	亮	窗簾	2	
	4	亮	窗簾	2	
	5	亮	窗簾	2	
2	1	暗	黑板	2	
	2	暗	黑板	4	
	3	暗	黑板	2	
	4	暗	桌上	4	
	5	暗	牆壁	3.5	
3	1	亮	櫃子	4	
	2	亮	白牆	3	
	3	亮	白牆	2	
	4	中間	線條上	2	8-4:停在投影幕的拉線
	5	暗	桌面	6	
4	1	中間	桌面	3	9-1:落在投影幕線對齊的桌子
	2	亮	桌面	3	
	3	亮	白板	2	
	4	亮	布告欄	4	
	5	亮	牆壁	2	
5	1	暗	黑板	3	
	2	暗	桌子	2	
	3	暗	地面	4	
	4	暗	黑板	2	
	5	暗	黑板	2	

棉桿竹節蟲不同亮度的飛行落點紀錄表(禮堂)

(實驗日期：2023年3月13日~21日)

編號	實驗次數	秒數	選擇(亮、暗、中間)
1	1	5	暗
	2	7	暗
	3	8	暗
2	1	5	暗
	2	4	暗
	3	4	暗
3	1	6	亮
	2	5	亮
	3	6	亮
	4	7	暗
	5	5	暗
4	1	5	暗
	2	4	暗
	3	6	暗
	4	6	暗
	5	4	中間
5	1	6	亮
	2	5	暗
	3	4	暗
	4	7	暗
	5	6	亮
6	1	4	暗
	2	5	暗
	3	4	中間
	4	4	暗
	5	4	中間
7	1	6	暗
	2	6	暗
	3	6	暗
	4	7	暗
	5	7	暗
8	1	4	暗
	2	5	暗
	3	4	暗
	4	4	暗
	5	3	亮
9	1	4	暗
	2	3	暗
	3	5	暗
	4	4	亮
	5	6	亮

## 【評語】 080314

本研究作品主題係探討棉桿竹節蟲之避敵行為，以及選擇停棲點的行為模式。科學研究方法有系統地收集數據及分析，作品說明書中適時參考前人的文獻資料做陳述與討論。

研究棉桿竹節蟲的棲息點選擇機制，包括成蟲的飛行落點選擇與色塊和亮度的關聯，若蟲的爬行停棲點選擇與色塊的關聯，以及若蟲爬行和成蟲飛行軌跡與記憶的相互關係。研究問題相當有趣，也有適當的實驗設計，值得鼓勵。

建議：

1. 「若蟲側面翻身模型」是有創意的呈現，換句話說，竹節蟲翻身是因為形態所致，非自行運動施力？或者兩者共同造成翻正動作？是否可以後續驗證？
2. 不同角度坡度棉桿竹節蟲會有不同的步態呈現，所以步態對於抓地力有什麼樣的影響？可從生物力學角度進行詮釋嗎？



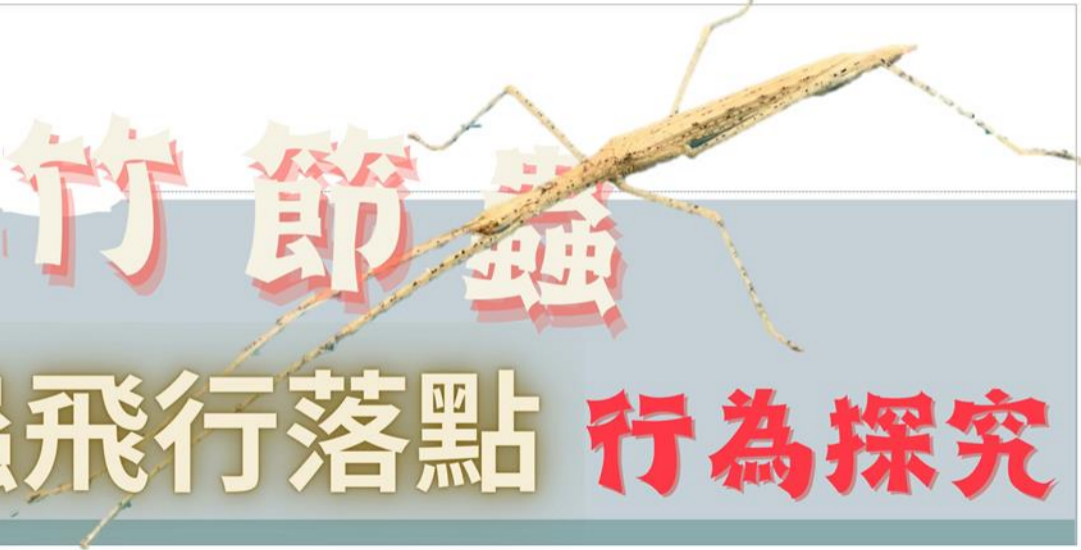
3. 關於顏色喜好的實驗或許可以進一步思考，顏色是經過大腦詮釋的結果，並非所有生物都能夠看到顏色，所以探討顏色喜好是否適當？
  
4. 有關棉桿竹節蟲學習行為的推測，非常有趣，建議後續可設計實驗進一步探討，會是有發展性的探究主題。

## 作品海報

落落大方

棉桿竹節蟲

避敵 與 成蟲飛行落點 行為探究



# 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，以及若蟲掉落後選擇停棲點、成蟲飛行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；四齡與五齡若蟲會快走移動，隨即偽裝成樹枝不動；六齡若蟲及成蟲甚至會分泌人蔘氣味，成蟲也會以飛行方式離開。**若蟲避敵掉落大多翻正1次(91%)，側翻次數則最多(73%)。**

若蟲與成蟲在同亮度的環境尋找停棲點時，對於不同色塊或色柱的選擇沒有顯著差異。**成蟲**在空曠環境、飛行時間達4秒以上，會以C形、偶爾出現S形的飛繞尋找陰暗的落點(74.4%)，推測**飛行**尋找落點具「負趨光性」行為，且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

學校飼養了數量穩定的棉桿竹節蟲，我們可以每天親近、觀察，我們整理飼養箱時，觀察到棉桿竹節蟲若蟲遇到擾動時會有掉落行為，有的隨即不動，有的快步離開；成蟲甚至會出現飛行的行為，讓我們想進一步了解：竹節蟲如何掉落不受傷？掉落後會到哪裡躲藏？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？於是我們開始為竹節蟲拍照、記錄，提出更多的問題，進行此一研究。

## 貳、研究目的

### 研究一：文獻探討與飼養觀察棉桿竹節蟲

### 研究二：探討棉桿竹節蟲的避敵行為

- 二-1：棉桿竹節蟲各齡期若蟲與成蟲的避敵行為
- 二-2：平面材質與角度對棉桿竹節蟲爬行步態的影響
- 二-3：棉桿竹節蟲若蟲的掉落機制

### 研究三：棉桿竹節蟲停棲點的選擇機制

- 三-1：觀察棉桿竹節蟲成蟲的飛行落點選擇與色塊的關聯
- 三-2：觀察棉桿竹節蟲成蟲的飛行落點選擇與亮度的關聯
- 三-3：觀察棉桿竹節蟲若蟲的爬行停棲點選擇與色塊的關聯
- 三-4：探究棉桿竹節蟲若蟲爬行軌跡、成蟲飛行軌跡與記憶的關聯

## 參、研究過程、方法與結果

### 棉桿竹節蟲的避敵與飛行行為落點探究



## 一、飼養與觀察

棉桿竹節蟲 *Sipyloidea sipylus* (Westwood, 1859) 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。本種以孤雌生殖繁殖下一代，1-2齡若蟲體綠色，受到騷擾時會從前胸背板前端的腺體散發出一股很濃的人蔘味用來嚇退天敵(林義祥，2009)。

### 1. 分齡飼養



大型木框飼養箱 45\*45\*90cm      齡期推算公式：齡數=體長(cm)-1      按一至六齡期若蟲分籠飼養      孵化困難的若蟲

### 2. 定期觀察記錄



清查數量、維持環境舒適      顯微拍攝      複眼、第一腹斥退化、跗節構造

### 3. 繪圖、製作標本



將自然死亡的成蟲製成標本      繪製翅膀、秤重

## 二、避敵行為

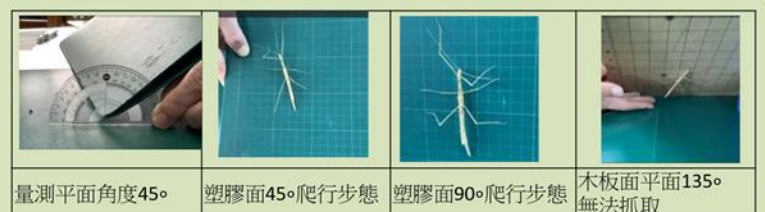
(一) 模擬天敵攻擊棉桿竹節蟲頭胸部，觀察其避敵行為。



架設有樹枝的實驗環境      以毛筆碰觸棉桿竹節蟲頭胸部      成蟲遭遇攻擊時會翻身飛落

(二) 不同平面的材質與角度對棉桿竹節蟲爬行的影響。

1. 方法：將竹節蟲放置在塑膠隔板、木製棋盤平面上，並改變角度依序為：0度、45度、90度、135度，並觀察其爬行步態的變化。

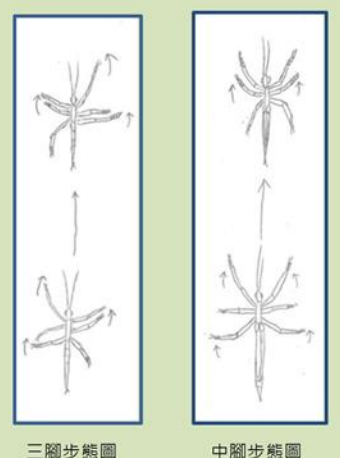


量測平面角度45°      塑膠面45°爬行步態      塑膠面90°爬行步態      木板面平面135°無法抓取

2. 結果：

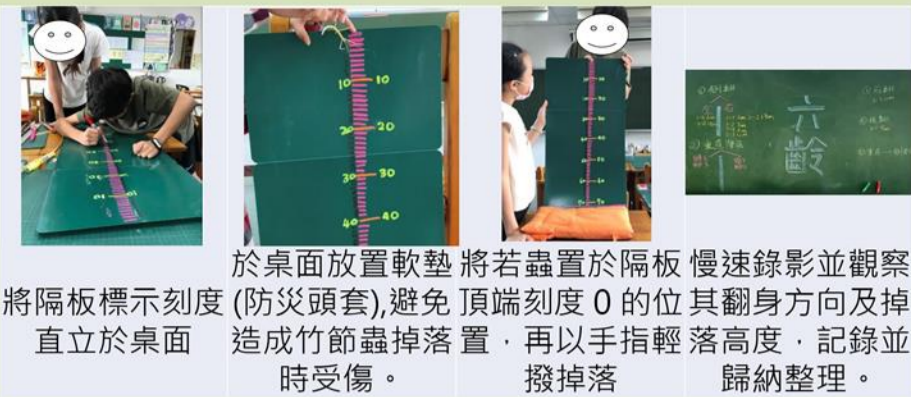
平面材質與角度對棉桿竹節蟲成蟲的爬行步態影響

編號	角度(度)	塑膠隔板	木質棋盤
A	0	三腳步態	三腳步態
	45	三腳步態	三腳步態
	90	前兩隻往前，後兩隻推 中間兩隻抓住	前兩隻往前，後兩隻推， 中間兩隻抓住
	135	抓不住	抓不住
B	0	三腳步態	三腳步態
	45	三腳步態	三腳步態
	90	前兩隻往前，後兩隻推 中間兩隻抓住	前兩隻往前，後兩隻推， 中間兩隻抓住
	135	抓不住	抓不住
C	0	三腳步態	三腳步態
	45	三腳步態	三腳步態
	90	前兩隻往前，後兩隻推 中間兩隻抓住	前兩隻往前，後兩隻推， 中間兩隻抓住
	135	抓不住	抓不住



三腳步態圖      中腳步態圖

### (三) 棉桿竹節蟲若蟲的掉落機制



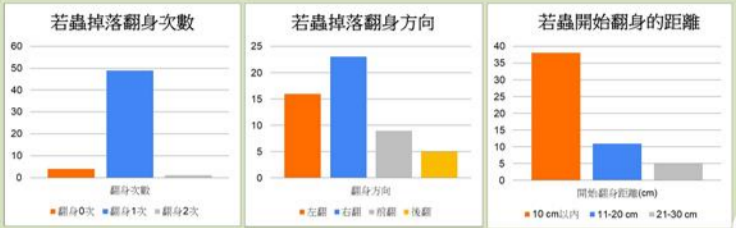
於桌面放置軟墊將若蟲置於隔板 慢速錄影並觀察  
將隔板標示刻度 (防災頭套), 避免頂端刻度 0 的位其翻身方向及掉  
直立於桌面 造成竹節蟲掉落置, 再以手指輕落高度, 記錄並  
時受傷。 撥掉落 歸納整理。



1. 翻身前·腹面朝上
2. 六腳張開·頭尾高約23至32度、身體重心低, 呈現凹弧形態·掉落時·身體呈擺盪行為。
3. 落地後保持不動·約兩秒後才會開始爬行
4. 若蟲大多只會翻正1次(90.7%), 以側翻(左翻+右翻)(72.2%)最多。
5. 若蟲大多都在10公分以內(70.3%)完成翻正

齡期	掉落	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(11.1%)	8次(88.9%)	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(11.1%)	7次(77.8%)	1次(11.1%)	3次	2次	1次	3次	8次(88.9%)	1次(11.1%)	0次
三齡若蟲	9次	1次(11.1%)	8次(88.9%)	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(33.3%)	5次(55.6%)	1次(11.1%)
五齡若蟲	9次	1次(11.1%)	8次(88.9%)	0次	1次	5次	2次	0次	5次(55.6%)	1次(11.1%)	3次(33.3%)
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%)	4次(44.4%)	1次(11.1%)
全部	54次	4次(7.4%)	49次(90.7%)	1次(1.9%)	16次(29.6%)	23次(42.6%)	9次(16.7%)	5次(9.3%)	38次(70.3%)	11次(20.4%)	5次(9.3%)

棉桿竹節蟲若蟲的飄落行為統計表



若蟲掉落翻身次數 若蟲掉落翻身方向 若蟲掉落翻身距離

### 延伸實驗：若蟲側面翻身模型

透過影像慢速分析·觀察到若蟲在落地前一定會翻正·且大多是側身翻正。上網查詢資料發現動物有「翻正反射」

(righting reflex)的本能機制。我們先探討棉桿竹節蟲側身翻正的行為與身長、身寬比以及掉落時的肢體動作是否有關連。

各齡期模型掉落時側面翻正情形與若蟲相仿。雖沒有腳部施力的幫助·但仍能達到側面翻身的動作·推測與身體細長·以及維持頭尾翹高的動作幫助重心維持在身體中心·有很大的關係。



根據各齡期的身長、身寬體重等資料·製作1:1的模型(六齡若蟲為例)



模擬若蟲掉落實驗·腹部朝上施放·拍攝並分析。



六齡若蟲重量0.59g



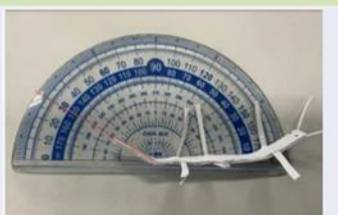
模型在掉落15cm右側翻·



頭胸部與水平線夾角30度



以腹部碰觸軟墊後彈起



腹部與水平線夾角30度



齡期越大的若蟲會壓低身體·不再移動

### 三、棉桿竹節蟲停棲點的選擇機制

#### (一) 觀察棉桿竹節蟲成蟲的飛行落點選擇與色塊的關聯

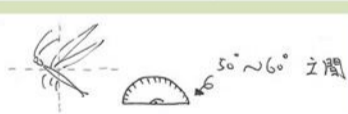


測量釋放高度

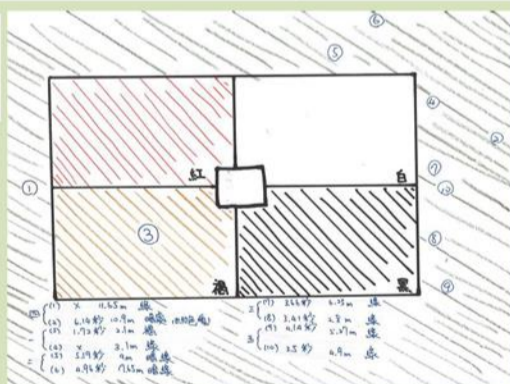
飛行落點與距離測試

第一階段：2色塊落點選擇實驗

第二階段：4色塊落點選擇實驗



成蟲飛行時·會保持約50°~60°·飛行初期先繞飛·後半段才以趨近直線的方式降落·推測是先感測周圍環境再判斷飛行落點。



#### 第一階段實驗：棉桿竹節蟲對於色塊落點選擇(兩色)

編號	次數	飛行時間(s)			飛行距離(m)			落點顏色選擇			
		未滿5	5以上		未滿5	5-10	10以上	褐色	綠色	暗綠(地面)	其他(網·桌)
成蟲1號	2	2次	0次		2次	0次	0次	1次	0次	1次	0次
成蟲2號	6	4次	2次		3次	3次	0次	0次	3次	3次	0次
成蟲3號	4	3次	1次		2次	2次	0次	0次	1次	3次	0次
成蟲4號	5	1次	4次		1次	3次	1次	1次	0次	2次	2次
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%)

#### 第二階段實驗：棉桿竹節蟲對於色塊落點選擇(四色)

編號	次數	飛行時間(s)			飛行距離(m)			落點顏色選擇		
		未滿5	5以上		未滿5	5-10	10以上	褐色	其他色	暗綠(地面)
成蟲1號	2	2次	-		2次	-	-	1次	-	1次
成蟲2號	2	1次	1次		-	1次	1次	-	-	2次
成蟲3號	2	2次	-		1次	1次	-	-	-	2次
成蟲4號	2	-	2次		-	-	2次	-	-	2次
成蟲5號	2	2次	-		1次	1次	-	-	-	2次
總計	10	7次(70%)	3次(30%)		4次(40%)	3次(30%)	3次(30%)	1次(10%)	-	9次(90%)

棉桿竹節蟲對於飛行落點之色塊選擇結果：無顯著差異。

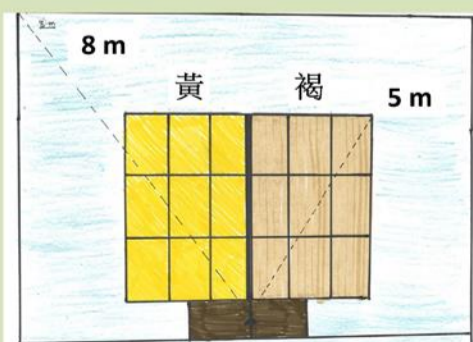
### 補充實驗：同亮度成蟲的飛行落點的色塊選擇



鋪設長8公尺淺綠色軟墊

禮堂照度為143LUX

施放點後方設置擋板阻隔·讓成蟲往前飛行·目的在明亮的範圍內飛行



1. 在淺綠色軟墊上方鋪設褐色、黃色書面紙大色塊·約長5公尺的範圍。
2. 成蟲對於色塊的落點選擇以5公尺外、8公尺內的淺綠色地墊8次最多(42%)·其次為黃色色塊5次(26%)·棕色與暗綠色地面較少·均為3次(16%)·驗證成蟲飛行在亮度相同的環境下·落點顏色的選擇並無明顯差異。

編號	實驗次數	落點			
		黃色色塊	棕色色塊	淺綠色軟墊	暗綠色地面
成蟲1號	2次	0次(0%)	0次(0%)	0次(0%)	2次(100%)
成蟲2號	7次	3次(43%)	3次(43%)	1次(14%)	0次(0%)
成蟲3號	4次	0次(0%)	0次(0%)	3次(75%)	1次(25%)
成蟲4號	6次	2次(33%)	0次(0%)	4次(67%)	0次(0%)
總計	19次	5次(26%)	3次(16%)	8次(42%)	3次(16%)

(二) -1 不同亮度的飛行落點選擇 - 教室

吊掛手電筒增加亮度

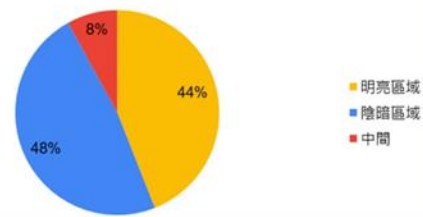
明亮區照度 143 LUX

陰暗區拉上窗簾

暗區照度 1 LUX

教室布置為明亮區與陰暗區的環境，兩區均拉上窗簾減少陽光對暗區的干擾。

成蟲對亮度的落點選擇 (教室)



1. 落點在明亮區有11次(44%)，在陰暗區有12次(48%)，沒有明顯差異。
2. 平均飛行時間為 2.78秒

(二) -2 不同亮度的飛行落點選擇 - 禮堂

在亮燈區域與開燈區的界線施放

明亮區照度 143LUX

陰暗區拉上不透光窗簾

暗區照度 3LUX

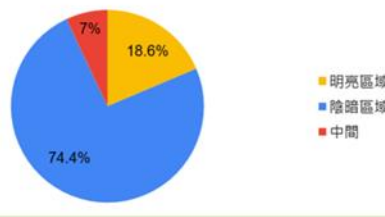
從鋁梯向下拍攝飛行落點

準備健全的成蟲8隻

量測施放高度 200公分

竹節蟲飛往暗處降落

成蟲對亮度的落點選擇 (禮堂)



1. 落點為陰暗面的次數有32次(74.4%)
2. 平均飛行時間為 5.18605秒，大於在教室環境的飛行時間

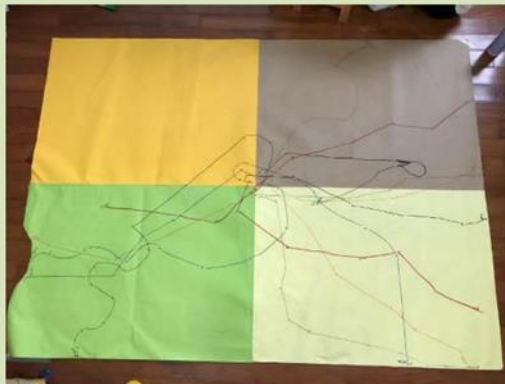
(三) 棉桿竹節蟲若蟲的爬行停棲點選擇與色塊的關聯

用樹葉、樹枝、沙土布置爬行環境，瞭解若蟲是否會躲藏在自然物中

準備一齡若蟲與相對應的色鉛筆

用接近自然色的書面紙拼接為四個象限，在同亮度的環境下實驗記錄

描繪竹節蟲爬行路線



編號	次數	停留點	爬行距離(cm)	備註
1(紅線)	1	綠	77	
	2	色塊外	144	往整理箱
	3	淡黃	118	
2(橘線)	1	色塊外	119	往木桌
	2	色塊外	109	往書櫃
	3	色塊外	106	往鐵櫃
3(黑線)	1	淡黃	143	
	2	色塊外	111	往書櫃
	3	綠	192	往紙箱
4(綠線)	1	淡黃	110	
	2	色塊外	105	往書櫃
	3	色塊外	117	往椅子
5(藍線)	1	色塊外	143	往木桌
	2	色塊外	121	往直立綠色瓦楞板
	3	色塊外	165	往直立綠色瓦楞板

一齡若蟲爬行對色塊的選擇統計表

1. 一齡若蟲停留在色塊上的次數只有4次，其餘均爬出色塊
2. 以影片分析最後均呈現垂直的姿態停棲在立體物，因此改做若蟲爬行對於色柱的選擇實驗。

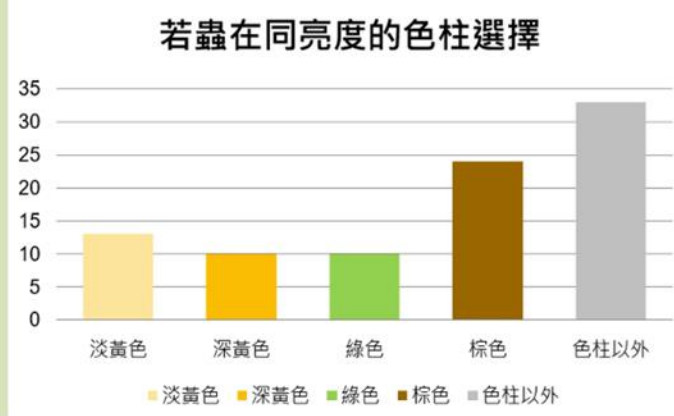
修正實驗：若蟲的爬行停棲點選擇與色柱的關聯

準備同亮度的色柱實驗環境

將一齡若蟲放置中心處

若蟲齡期越小爬的越高

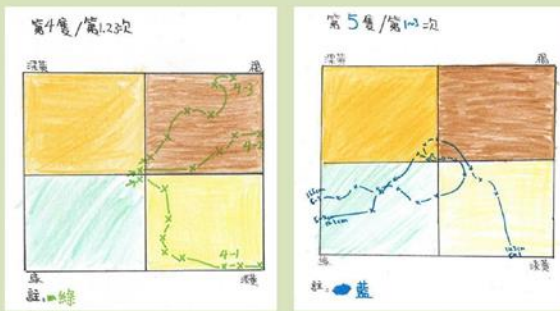
六齡若蟲停棲時腹部仍在地面



1. 色柱以外有33次(37%)，其次是棕色色柱有24次(27%)
2. 若蟲都會往上爬，推測有負趨地性
3. 各齡期若蟲停棲時眼睛離地高度約在 8至12.5cm 之間，推測是感覺安全的停棲高度。

(四) 棉桿竹節蟲若蟲爬行軌跡、成蟲飛行軌跡與記憶的關聯

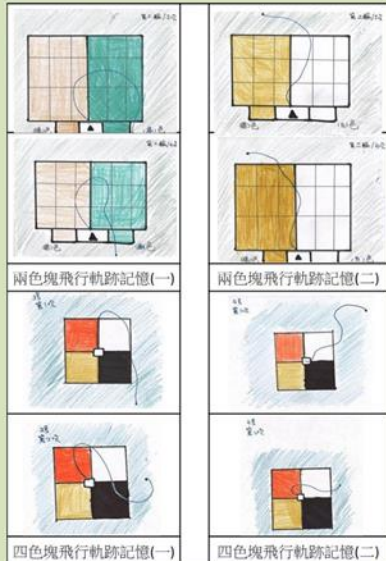
➢ 若蟲選擇色塊的路線圖 - 有記憶軌跡



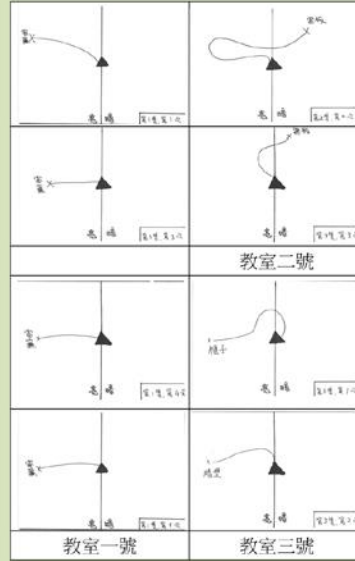
➢ 成蟲的飛行軌跡圖 - C形為主，少量出現S形



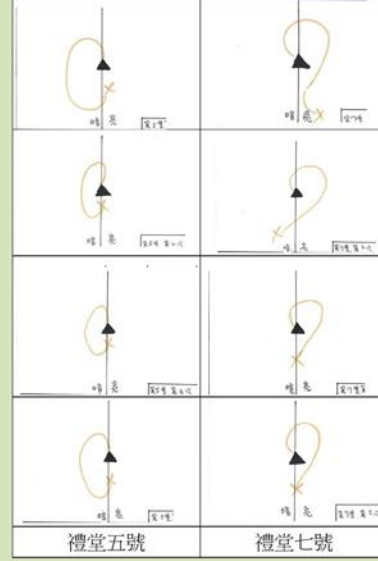
➢ 不同色塊飛行軌跡記憶圖



➢ 不同亮度飛行落點軌跡圖-教室



➢ 不同亮度飛行落點軌跡圖-禮堂



伍、結論

- 一. 棉桿竹節蟲的避敵行為：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策略。
- 二. 成蟲在平面為0度或45度時以三腳步態行走；在90度時，2隻前腳與2隻後腳會同時固定，再用2隻中腳往上爬行。
- 三. 若蟲掉落時均會呈現「翻正反射」(righting reflex) 機制，絕大多數只翻正1次(90.7%)，側翻次數最多(72.2%)。
- 四. 若蟲仿真模型同樣具有翻正與側翻的現象，推測與身體細長，以及維持頭尾翹高的動作幫助重心維持在身體中心有關。張開六肢的動作也有助於增加空氣浮力，增加滯空時間以減緩撞擊地面的力量。
- 五. 不同亮度的飛行落點實驗，落點為陰暗面有32次(74.4%)，飛行4秒才足以形成負趨光性的判斷。
- 六. 若蟲停棲在物體上時，眼睛離地面的高度約在8至12.5cm 之間，推測是感覺安全的停棲高度。
- 七. 成蟲的飛行軌跡幾乎以C形為主，少量出現S形。進一步發現成蟲在有立體物的空間(教室)或空曠的場地(禮堂)，對飛行軌跡均有記憶能力。未來宜進一步探討棉桿竹節蟲視力、空間感與記憶的連結關係。

