

# 中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

國中組 生物科

(鄉土)教材獎

030308

台灣扁錐形蟲行為研究-產卵偏好與幼蟲的趨避反應

學校名稱： 嘉義市立北興國民中學

作者：	指導老師：
國二 魏子茵	蘇于真
國二 簡士涵	林嘉慶
國二 陳循牧	

關鍵詞： 台灣扁錐形蟲、趨避反應

## 摘要

本研究以幫助社區復育台灣扁鍬形蟲，提供復育參考為宗旨，以台灣扁鍬形蟲作為研究對象，希望藉由本研究探討台灣扁鍬形蟲生長狀況與行為。為此，進行了台灣扁鍬形蟲母蟲之投產實驗、台灣扁鍬形蟲幼蟲之群養與趨避行為研究。

根據研究結果有以下發現：首先，台灣扁鍬形蟲母蟲在太空包及產木中皆有產卵情形，顯示以太空包進行投產具有可行性；其次，台灣扁鍬形蟲幼蟲群養時，平均重量隨幼蟲飼養密度上升而下降，並且在高密度飼養時，幼蟲有提早化蛹的現象。在趨避行為實驗中，也發現台灣扁鍬形蟲幼蟲彼此會保持 8~10 公分的距離，顯示幼蟲彼此具有驅避行為，透過震動實驗的結果顯示，台灣扁鍬形蟲幼蟲對於同類的感知，應該與聲音、震動有關。

# 壹、前言

## 一、研究動機

嘉義市頂庄社區擁有大面積農田與綠地，長期推動甲蟲復育有成。學校社團與社區長期合作，共同進行獨角仙的復育與解說。我們在社區進行生態解說時，發現社區在夏季常可以看到獨角仙，但鍬形蟲的數量卻十分稀少，引起我們對台灣扁鍬形蟲的好奇。因此希望藉由研究台灣扁鍬形蟲母蟲的產卵偏好及幼蟲的行為模式，找到台灣扁鍬形蟲復育方法。

在翻閱文獻後發現，鍬形蟲偏好在腐木產卵，但社區會定期清理枯倒木，造成母蟲投產介質的不足。而在進行嘉義木耳廠探訪時，我們發現廢棄太空包的主要成分為木屑，和鍬形蟲偏好的產卵介質相似，卻無法被再次利用，十分浪費環境資源，且對於環境整潔來說也是一大問題。我們便思考廢棄太空包是否可以作為投產介質使用，因此設計了實驗一：台灣扁鍬形蟲母蟲的投產實驗，比較台灣扁鍬形蟲母蟲使用兩種介質（廢棄太空包與產木）的產卵數差異。

另外，我們在文獻搜集時發現在台灣扁鍬形蟲的飼育記錄中，飼育者為了飼養出體型較大的個體，普遍將台灣扁鍬形蟲幼蟲分開飼養（單一空間內只飼養一隻台灣扁鍬形蟲幼蟲）。網路上有飼育者指出台灣扁鍬形蟲幼蟲群養會造成其體型偏小。但社區復育不以飼養出大型個體為目標，為了幫助社區節約復育成本，我們希望透過將台灣扁鍬形蟲幼蟲群養（單一空間內飼養多隻台灣扁鍬形蟲幼蟲），探討幼蟲最適合的飼養密度，並了解飼養密度對於幼蟲生長狀況與行為的影響。

在上述實驗中，我們觀察發現幼蟲彼此的移動通道並不會相互穿插，而是會呈現互相錯開的形式，且幼蟲間會保持一定距離。我們將同類互相避開的行為稱作「趨避行為」，進行了以下的趨避行為實驗：導管實驗、壓克力箱實驗、聲音震動實驗，分別在一維、二維以及聲音震動的方面探討幼蟲的趨避行

為。希望透過這些研究，給予社區未來進行台灣扁鍬形蟲復育基地建置的參考。

## 二、研究目的

- (一) 了解台灣扁鍬形蟲母蟲，對於「太空包」與「產木」兩種不同介質是否有產卵的偏好，比較「母蟲生產卵與幼蟲數量」之差異。
- (二) 探討台灣扁鍬形蟲幼蟲「飼養密度」對於幼蟲「生長狀況」與「行為」之關聯性。
- (三) 探討台灣扁鍬形蟲幼蟲的趨避行為。

## 貳、研究設備及器材

本研究的設備及器材如下：

- 一、研究設備：筆電、解剖顯微鏡、電子秤、arduino 與震動感測元件。
- 二、研究器材：飼養箱（573x413x345mm）、土壤、紀錄表、卡尺。
- 三、研究對象：台灣扁鍬形蟲。
- 四、研究材料：完整的廢棄太空包、甲蟲用（櫟木）產木、櫟木屑。

## 參、研究過程或方法

### 一、實驗流程

本研究的過程如下：

本研究進行戶外調查後，擬定研究主題，再蒐集相關文獻，最後設計實驗配置及所需設備。實驗進行的地點皆為學校的地下室，整體環境溫度較低，不易受到外界的溫度及噪音影響，但幼蟲仍會受到地下室的光線干擾而產生些微的實驗誤差，在實驗過程中我們全程以黑色塑膠袋覆蓋，盡量減少實驗誤差。



圖 3-1 實驗流程圖，出處詳如圖片來源 1

## 二、研究對象：台灣扁鍬形蟲（學名：*Dorcus titanus sika*）

台灣扁鍬形蟲為台灣平地到海拔 1500 公尺以下山區最常見的鍬形蟲，在夜晚有明顯的趨光性，本種的外型呈現油亮的黑色，且身體整體較扁，故稱台灣扁鍬形蟲（如圖 3-2），其繁殖期大約在 6 到 8 月。屬於完全變態，生命週期主要分為卵、幼蟲、蛹和成蟲，幼蟲階段又分一齡幼蟲、二齡幼蟲及三齡幼蟲。幼蟲的棲息環境較其他種類鍬形蟲多樣，各類枯木、朽木都可看見幼蟲。

成蟲主要食物有柑橘、構樹、台灣欒樹以及各種殼斗科的樹汁都是牠們的食物，有時在腐爛水果上，也會發現一些鍬形蟲；幼蟲主要吸食腐木。人工飼養之成蟲主要以果凍餵食，幼蟲則餵食木屑及土讓。飼育環境的溫溼度皆是影響幼蟲生長的因素，同類的干擾也會影響其生長。其性格暴躁、兇猛好鬥，連雌蟲、幼蟲也會為了生存與產卵空間而大打出手。（張永仁，2024）



圖 3-2 台灣扁鍬形蟲的不同生命階段，出處詳如圖片來源 1

（一）實驗一：了解台灣扁鍬形蟲母蟲對於「太空包」與「產木」兩種不同介質是否有產卵的偏好，比較「母蟲生產卵與幼蟲數量」之差異。

在實驗開始前，為了瞭解社區現有的環境與復育方法，我們先進行社區的台灣扁鍬形蟲棲地調查。在調查過程中，我們透過拍照與觀察發現，社區偶有枯倒木出現（如圖 3-3-1），但因為社區自行車車道的設立，很快就會將枯倒木移除，因此較缺乏適合鍬形蟲幼蟲生長的棲地。而現在社區普遍使用打散的土壤（如圖 3-3-2）與落葉堆肥（如圖 3-3-3）進行復育，雖然獨角仙的復育十分成功，但是相對的鍬形蟲數量很少，在這幾年中，每年觀察到的鍬形蟲的隻次約

在五隻上下，數量十分稀少，因此我們希望透過本實驗，了解台灣扁鍬形蟲母蟲的產卵偏好，並提供社區復育做為參考。



圖 3-3 頂庄社區甲蟲棲地照片，出處詳如圖片來源 1

本實驗步驟分為以下三步：公母蟲配對、產房布置、產房開箱，如下：

#### 1.公母蟲配對：

作為研究樣本的台灣扁鍬形蟲親代是自 2023 年由幼蟲開始飼養，2024 年 5 月份羽化成蟲的兩隻台灣扁鍬形蟲的公蟲與十隻台灣扁鍬形蟲母蟲所組成。透過分組配對，並觀察到公蟲與母蟲完成交配動作（母蟲和公蟲尾部的生殖器會相交）數次，才視為配對完成。

#### 2.產房布置：

本實驗我們一共做了兩次，分別於 2024/6/19-7/19 以及 2024/8/13-9/17，兩次實驗方法相同。

本次實驗使用大小為 573x413x345mm 的塑膠飼養箱進行實驗，分為一般甲蟲繁殖用的產木（櫟木）及種植木耳的廢棄太空包兩種組別，每組各 5 箱（每次 10 箱）進行實驗。我們將產房的主體（產木或廢棄太空包）稱為介質，而鋪於介質下方的材料稱為墊材。為避免產卵介質的體積造成實驗誤差，我們挑選與廢棄太空包體積相近的產木進行實驗。如下：

(1) 產木組：鋪滿約八分滿的木屑作為墊材，於箱子正中間挖開與產木體積相仿的空間。先將產木浸泡過水並鑽洞使母蟲更好鑿鑽，並放置產木（如圖 3-4-1），作為對照組 (A-E)。接著將產房置於陰暗處，一個月後開箱觀察其結

果。

- (2) 太空包組：鋪滿約八分滿的揉碎太空包基材作為墊材，於箱子正中間挖開與太空包體積相仿的空間，並放置太空包（如圖 3-4-2），作為實驗組（F-J）。最後將產房置於陰暗處，一個月後開箱觀察其結果。

### 3. 產房開箱：

在布置產房後的一個月後，我們打開產房，並記錄幼蟲及卵數量。如下：

- (1) 產木組：把飼養箱倒扣，將產木與木屑分離。使用斧頭將產木劈出裂痕，撥開查看是否有幼蟲或卵（如圖 3-4-3），木屑則倒扣翻找，紀錄幼蟲數量及卵數量和發現位置。
- (2) 太空包組：將太空包拿出，將太空包與墊材分別撥開以肉眼尋找，紀錄幼蟲數量及卵的數量和發現位置。

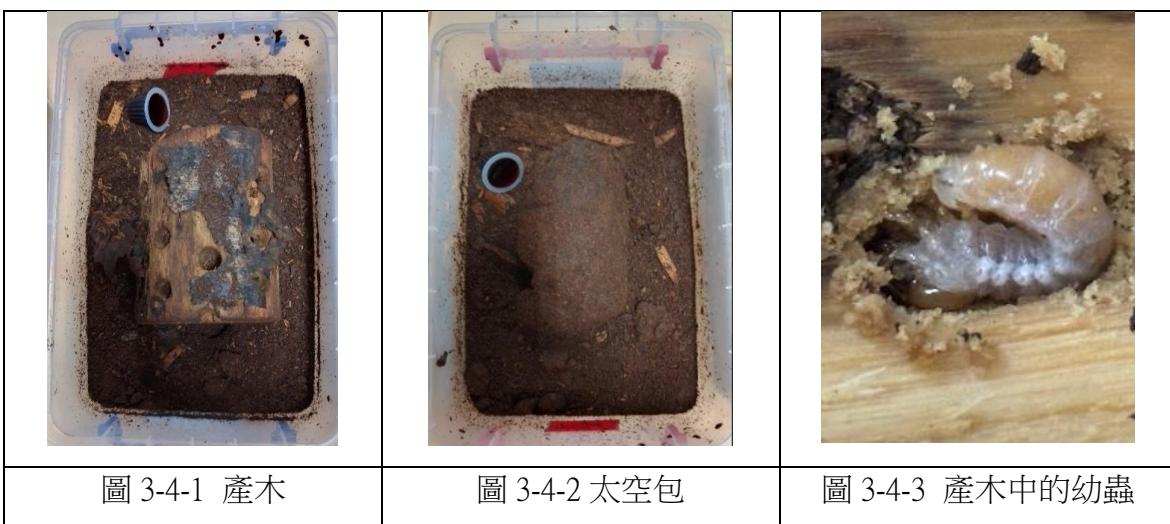


圖 3-4 台灣扁鍬形蟲母蟲產卵偏好實驗裝置圖，出處詳如圖片來源 1

(二) 實驗二：探討台灣扁鍬形蟲幼蟲「飼養密度」對於幼蟲「生長狀況」之關聯性。

1. 第一階段：

- (1) 布置方式：將實驗一母蟲所產下的一齡幼蟲分組成 4、6、8 隻，分別置入一個飼養箱。使用塑膠飼養箱 (573x413x345mm) 鋪滿木屑至距箱底 12 公分處。放置於陰暗處，兩週後開箱進行觀察。
- (2) 開箱步驟：將較大的蓋子放置於箱子上，箱子與蓋子上下倒置，小心的倒扣，盡量不去破壞木屑本體原來的形狀。將箱子拿起，紀錄幼蟲座標並秤重，便完成開箱步驟。
- (3) 記錄方式：面向飼養箱貼標籤一面，以左下的角落作為原點，方便規範所有組別的座標軸。我們用立體座標來記錄幼蟲的位置(圖 3-5-1)，並拍攝相片，搭配比例尺來記錄。

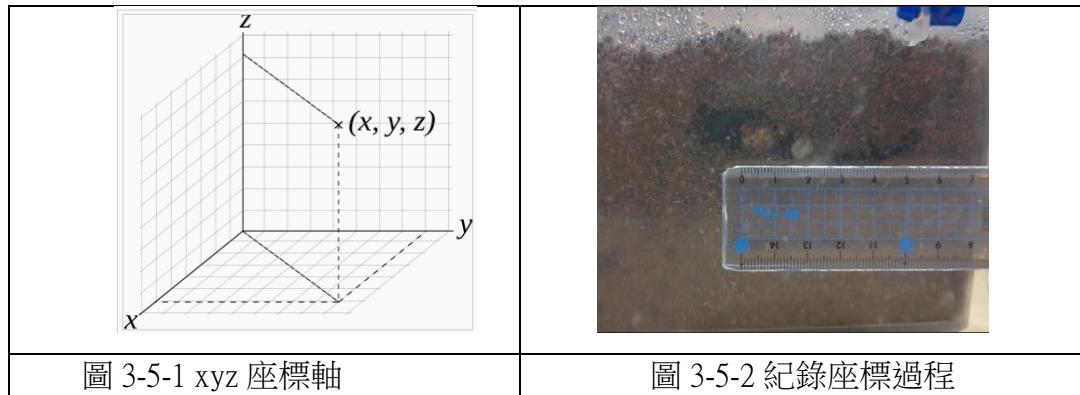


圖 3-5 幼蟲分布與記錄示意圖，出處詳如圖片來源 1

2. 第二階段：

上述的第一階段實驗完成後，實驗的幼蟲已經進入了三齡幼蟲階段，我們將幼蟲再分為 3、4、4、6、6 隻共 5 組進行實驗。將 5 組分別放入塑膠飼養箱 (573x413x345mm) 中，於 3 周後開箱紀錄幼蟲位置及重量。開箱步驟同第一階段實驗。

### （三）實驗三：探討台灣扁鍬形蟲幼蟲的趨避行為

#### 1. 台灣扁鍬形蟲幼蟲外型觀察：

在實驗二之幼蟲空間實驗中，我們發現幼蟲在飼養空間有平均分布的現象。依據文獻紀錄，昆蟲運用聲音訊號於個體間溝通是很普遍的行為（廖一璋、楊曼妙，2016）。在研究的過程中，我們會聽到幼蟲飼養箱內發出聲音，我們推測甲蟲幼蟲可能透過聲音或震動，來偵測彼此的存在。

為了解幼蟲如何透過聲音或震動來進行感知，我們使用解剖顯微鏡，觀察幼蟲的體表構造。透過解剖顯微鏡的觀察，我們發現台灣扁鍬形蟲幼蟲在身體上有許多的細毛（如圖 3-6）。推測鍬形蟲幼蟲可能是以身體表面的細毛來感測周圍環境的變化。

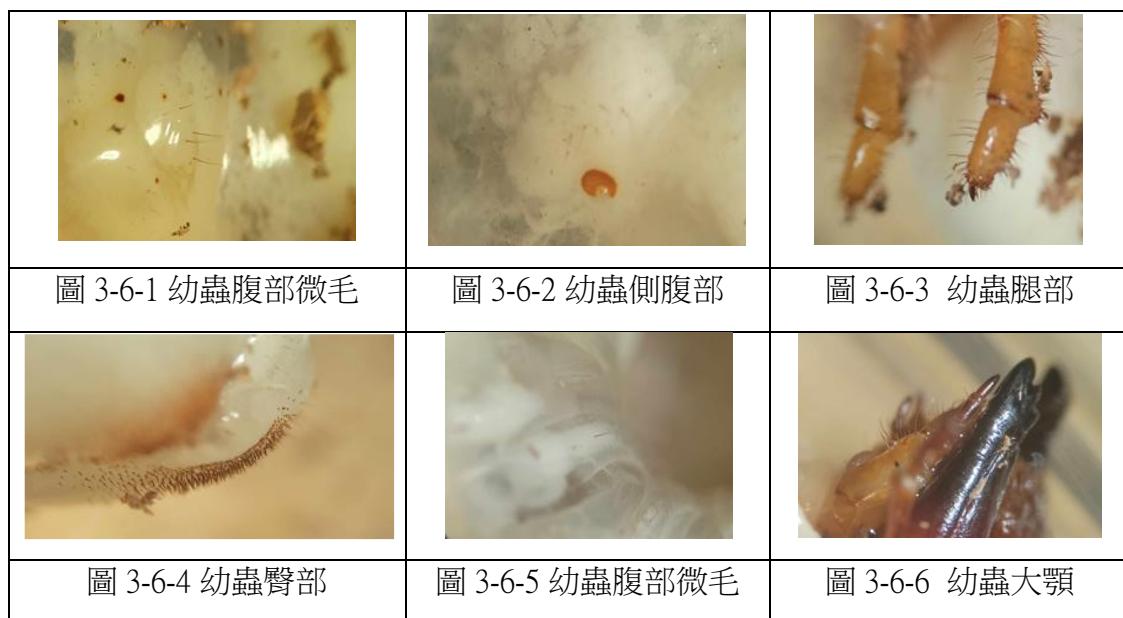


圖 3-6 解剖顯微鏡下的台灣扁鍬形蟲身體構造，出處詳如圖片來源 1

#### 2. 導管實驗（一維線狀實驗）：

在實驗二開箱紀錄時，我們發現台灣扁鍬形蟲幼蟲會彼此保持一定距離，但幼蟲在土中並不會有固定的移動方向，為了方便觀察及提高實驗精準度，我們設計了導管實驗：

(1) 導管大小：管子的種類依照幼蟲的大小分別選擇口徑 1.2 公分長 16 公分的粗塑膠吸管，以及口徑 1.6 公分長 26 公分的 PVC 管。首先，將土壤填入管內，為了防止幼蟲跑出來，我們將吸管的底部壓實 1 公分，再把土填入，並輕輕敲打，直到土不會再鬆動，經過測量，填入的土壤密度為  $0.5\text{g/cm}^3$ 。最後，在頂部留 2 公分放入幼蟲，再鋪上一層土壤。

(2) 導管實驗：本實驗分為實驗組與對照組，如下：

我們先取兩隻大小相近的幼蟲，再取兩支導管，每管各放入一隻幼蟲。為了減少幼蟲為了覓食移動所產生的誤差，先將兩隻導管分開放置，並讓幼蟲各自覓食五天後再進行實驗。用深色塑膠袋覆蓋，減少外在干擾因子影響實驗結果。

A. 實驗組：在經過 5 天後，先確認幼蟲位置，接著將兩隻導管並在一起，移動導管至內部幼蟲的頭部可以對齊，接著將並排的導管使用保鮮膜纏繞起來（實驗裝置如圖 3-7-1）。放置 2 天後，掀開深色塑膠袋觀察，觀察時，使用強光手電筒照射吸管管壁，觀察幼蟲的位置，用黑色簽字筆點上，全程不拿起吸管，並不觸碰塑膠箱。記錄幼蟲之間離出發點的距離、幼蟲之間最短距離，以及頭部對頭部的距離。

B. 對照組：同樣將 2 隻大小相近的幼蟲放入兩導管中，但放置 5 天後不將 2 導管纏繞在一起，而是平行放置，將導管移動至內部幼蟲頭部對齊後，兩吸管間隔至少 5 公分，放置 2 天後開箱觀察並記錄(圖 3-7-2)。因為在進行對照組實驗時幼蟲已經成長至一定大小，我們發現此時幼蟲已無法放入吸管內，因此對照組實驗僅進行 4 組。

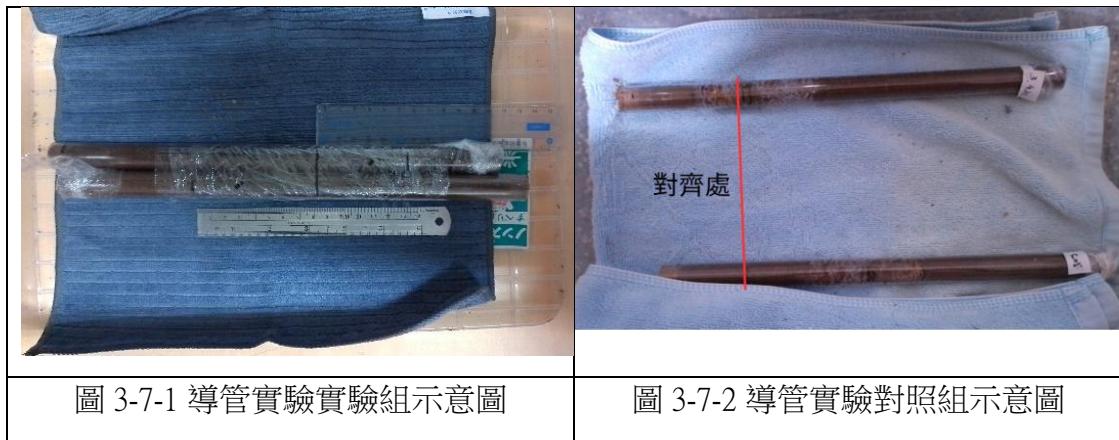


圖 3-7 導管實驗裝置示意圖，出處詳如圖片來源 1

### 3. 壓克力箱實驗（二維平面實驗）：

在上述實驗中，我們發現雖然幼蟲在吸管中可以清楚觀察，但一次只能放入兩隻，無法模擬多隻幼蟲同時在箱子內的情況，為了解決此問題，因此我們設計了裝有壓克力板的箱子，此箱可同時放入多隻幼蟲，也可以觀察幼蟲在箱內移動的情形（實驗裝置如圖 3-8-1）。我們將土壤填到距離壓克力箱底部 25 公分處，放入幼蟲，並鋪上黑色塑膠布。根據我們所進行的壓克力前測實驗中幼蟲移動的路徑（如圖 3-8-2）與震動觀測實驗的數據，放置 0-4 個小時間為幼蟲的移動軌跡變化最明顯的時刻，因此我們決定以 4 小時作為實驗時間，在 4 個小時後記錄位置。

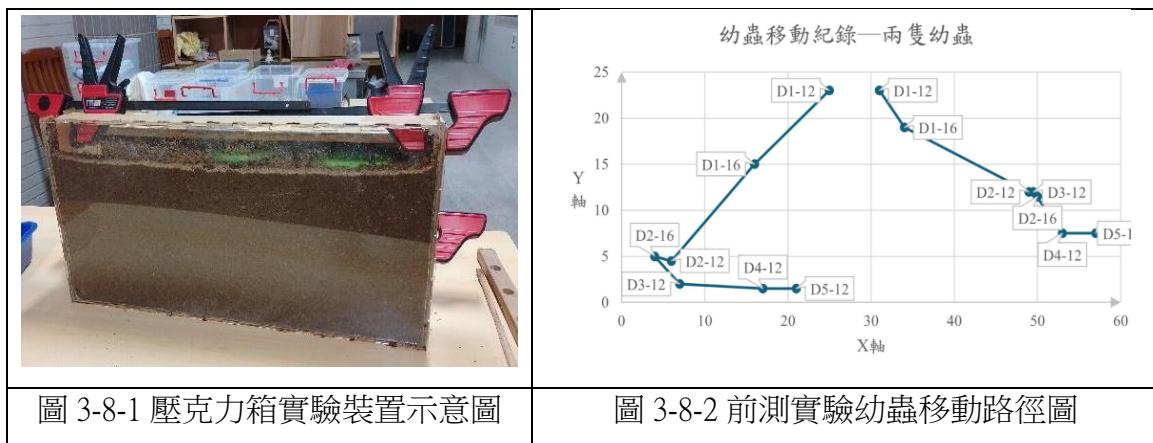


圖 3-8 實驗裝置及實際執行示意圖，出處詳如圖片來源 1

在開箱時於壓克力板上幼蟲出現的位置上標上標籤，紀錄幼蟲移動的距離並找出幼蟲移動軌跡。此實驗分為對照組及實驗組進行，以下為說明：

A. 對照組：於壓克力箱內放置一隻幼蟲，蓋上黑色塑膠布，紀錄點座標。共進行 3 箱。

B. 實驗組：於壓克力箱內放置兩隻、三隻幼蟲，在起點處，彼此距離 10 公分，最後蓋上黑色塑膠布，一天後紀錄點座標。2 隻組進行 12 箱，3 隻組進行 7 組。

#### 4. 壓克力箱震動觀測實驗

為探討震動與幼蟲趨避行為之關聯性，我們設計了壓克力箱延伸實驗—震動觀測實驗。本實驗分別針對同一箱內放置一隻及二隻幼蟲進行研究（每天進行一隻組每次 2 組，二隻組每次 1 組），實驗次數共兩天（實驗日期：2025.01.21、2025.01.22），每次實驗分別從當天下午 4 點至隔天上午 8 點。填土與開箱過程同上述壓克力箱二維平面實驗。此實驗於幼蟲放置的地方貼上震動感測器（一隻組置於幼蟲下方，二隻組則置於其中一隻幼蟲的下方），以程式錄音，比較壓克力箱內，時間與震動次數的差異，藉以觀察幼蟲數量不同時，聲音震動與幼蟲趨避行為之關聯性。

## 肆、研究結果

一、了解台灣扁鍬形蟲母蟲，對於「太空包」與「產木」兩種不同介質是否有產卵的偏好，比較「母蟲生產卵與幼蟲數量」之差異。

實驗數據如表 4-1，本次實驗共計 2 次，因 2 次實驗方法相同，因此將 2 次實驗數據合併分析。在第一次投產實驗中，我們在產木組發現共 23 隻幼蟲與卵，太空包組則共計 10 隻。在產木組的部分，有 21 隻幼蟲在產木中發現，2 隻幼蟲於墊材中發現；而在太空包組，有 6 隻幼蟲在太空包中發現，4 隻幼蟲於墊材中發現。

而在第二次投產實驗中，在產木組共計 22 隻幼蟲與卵，太空包組共計 14 隻。在產木組中，有 21 隻幼蟲於產木發現，1 隻幼蟲於墊材中發現；而在太空包組，有 9 隻幼蟲於太空包中發現，5 隻於墊材中發現。

表 4-1 實驗一幼蟲數量表

組別	於墊材中發現	於介質中發現	合計
產木組	3	42	45
太空包組	9	15	24

## 二、實驗二：探討台灣扁鍬形蟲幼蟲「飼養密度」對於幼蟲「生長狀況」之關聯性。

因為本實驗的第一、二階段實驗時間相隔四個月，幼蟲的齡數分別為一齡蟲及三齡蟲，為了控制「體重」的變因，因此我們將兩階段之實驗數據分開進行討論。由表 4-2-1，在第一階段中放入 4 隻幼蟲的組別幼蟲的平均體重最重（9.0 公克），其次為 6 隻組（6.0 公克），最輕為 8 隻組（3.5 公克）。

而由表 4-2-2，第二階段中 3 隻組平均距離為 15.44cm、4 隻組為 16.83cm、6 隻組 15.23cm。由實驗結果統計，我們發現所有幼蟲之間的平均距離都在  $15 \pm 4\text{cm}$ ，彼此保持一定距離，也驗證了幼蟲在群養狀態皆會保持一定距離。且幼蟲主要分布於箱子的底部，只有少數的幼蟲停留在箱子上半部，幼蟲在箱子裡皆大致呈現均勻的六角或四角分布。

另外，我們也發現台灣扁鍬形蟲幼蟲群養會造成其提早羽化的現象，如表 4-2-1 與圖 4-1，在表格中我們以文字說明幼蟲生長狀況，而圖中則以藍色標已構築蛹室的幼蟲。在第一階段實驗中，六隻組幼蟲有 2 隻已構築蛹室，進入蛹期；而八隻組幼蟲有四隻已經構築蛹室，一隻進入前蛹期，三隻進入蛹期。

表 4-2-1 幼蟲飼養密度實驗第一階段數據資料

飼養密度	平均體重	平均距離	觀察現象描述
4 隻/箱	9.0g	13.87cm	由一齡幼蟲轉變成三齡幼蟲。
6 隻/箱	6.0g	18.09cm	由一齡幼蟲轉變成三齡幼蟲，其中二隻已經構築蛹室，進入蛹期。
8 隻/箱	3.5g	17.51cm	由一齡幼蟲轉變成三齡幼蟲，其中四隻已經構築蛹室，一隻進入前蛹期，三隻進入蛹期。

表 4-2-2 幼蟲飼養密度實驗第二階段數據資料

飼養密度	平均體重	平均間隔距離
3 隻/箱	6.20g	15.44cm
4 隻/箱	6.00g	16.83cm
6 隻/箱	5.56g	15.23cm

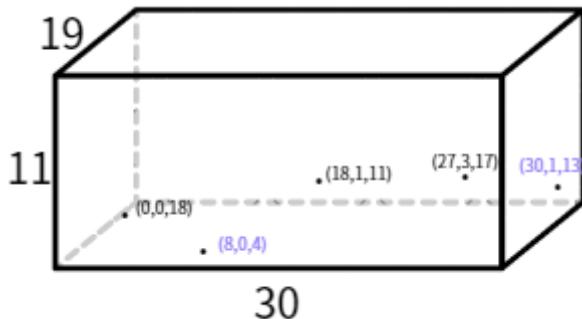


圖 4-1 幼蟲位置分布圖（六隻幼蟲）：平均體重 6.0 公克，出處詳如圖片來源 1

### 三、探討台灣扁鍬形蟲幼蟲的趨避行為

趨避行為之定義：幼蟲相鄰彼此時，會往其他空間進行移動的行為即稱為趨避行為。

#### (一) 導管實驗（一維線狀實驗）

實驗數據如圖 4-2。本次將實驗組與對照組 2 隻幼蟲的平均距離做比較。實驗組平均距離 10.8cm，標準差 4.4cm；對照組平均 3.1cm，標準差 2.5cm。實驗組平均 10.8cm，明顯高於對照組 3.1cm。

在實驗組中，大隻組 2 隻幼蟲的平均距離為 7.3cm，中隻組 2 隻幼蟲的平均距離為 17.0cm，而小隻組 2 隻幼蟲的平均距離則為 8.0cm。此三組是依幼蟲的大（平均體重 2.20g）、中（平均體重 1.95g）、小（平均體重 1.65g）排列的，但每組的平均距離並沒有關聯性，且因為本實驗主要是在探討幼蟲的趨避行為，且由以上實驗，我們推斷幼蟲大小與移動距離應沒有直接關係，所以在接下來的便不再對幼蟲體型與平均距離關係做更多討論。

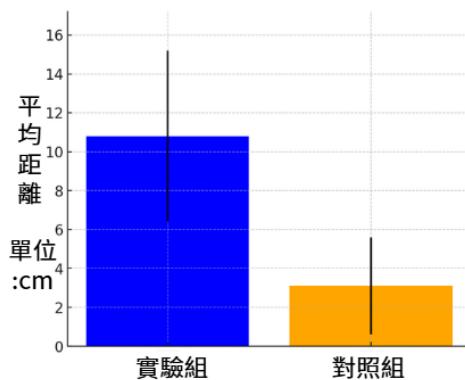


圖 4-2 吸管實驗幼蟲移動間距長條圖，出處詳如圖片來源 1

## (二) 壓克力箱實驗（二維平面實驗）

本次實驗記錄幼蟲最後停留位置的點座標（如圖 4-3-2），也標出幼蟲移動的路徑（如圖 4-3-3），並計算幼蟲座標之間的直線距離，兩隻組的最後落點距離平均為 11.01cm，三隻組為 11.66cm。我們發現各組幼蟲移動的路線不大一樣，因此也測量了幼蟲挖掘的通道之間最短的距離，最短距離普遍介於 8~10 公分，平均為 8.44 公分。幼蟲的移動不像我們先前猜測的分別朝相反方向移動，在向下挖掘的過程中，有些彼此平行前進（圖 4-3-4、圖 4-3-5），有些則是在接近另一隻幼蟲時會有轉向的情形（圖 4-3-6~10），共同點是彼此的隧道都會保持一定的距離。

幼蟲被放入壓克力箱後，一開始都是向下鑽鑿通道，接著移動路徑顯示放入 2 隻幼蟲的組別，其幼蟲都有往箱子左下方移動的現象，推測雖然有用黑色塑膠袋蓋著，但透進來的光線仍影響到幼蟲的移動，因此讓幼蟲朝背光側移動。

而在實驗過程中，我們也發現幼蟲在移動的過程中，有將背後的通道填實的情況。我們在尋找幼蟲移動路徑時，發現幼蟲經過的路線土壤不一定都是鬆散的，接近幼蟲的區域比較容易看到明顯路徑，土壤較鬆散，但距離較遠的區域路徑不明顯，土壤也是比較緊實的狀態。3隻幼蟲的組別也有這樣的現象，在圖 4-3-10 裡，左側和中間的 2 隻幼蟲彼此距離接近，但幼蟲經過的路徑已經被土壤填實了，使得 2 隻蟲之間仍有土壤阻隔，幼蟲可能利用這種方式避免敵人從後方攻擊。

1. 在箱子內放入 1 隻幼蟲

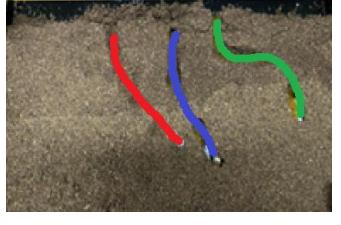
	
圖 4-3-2 幼蟲原始照片	圖 4-3-3 幼蟲路徑圖
出處詳如圖片來源 1	

2. 在箱子內同時放入 2 隻幼蟲

	
圖 4-3-4 幼蟲原始照片	圖 4-3-5 幼蟲路徑圖

	
圖 4-3-6 幼蟲原始照片	圖 4-3-7 幼蟲路徑圖
出處詳如圖片來源 1	

### 3. 在箱子內同時放入 3 隻幼蟲

		
圖 4-3-8 幼蟲路徑圖	圖 4-3-9 幼蟲路徑圖	圖 4-3-10 幼蟲路徑圖
出處詳如圖片來源 1		

### (三) 壓克力箱實驗（震動觀測實驗）

我們將測量之震動狀況轉換為圖表方式呈現，將聲波分為以下 3 個部分：環境噪音、環境聲音及幼蟲聲波。在圖形中不斷出現的小震動，我們認為是環境噪音，不予採計。以圖 4-4 為例，我們以在相同時間進行測量的各組實驗圖進行比較，同一時間在不同組別皆出現的較大震動，我們將此震動視為環境聲音產生的震動（如：學校鐘聲、車輛喇叭聲等），以紅色表示；其他較大的震動，我們判斷為幼蟲造成的聲音則以綠色部分標示。由圖 4-4 可以發現，幼蟲在前四個小時（黃框的部分）的震動次數會高於後面八個小時。這跟我們在前測試的觀察相同。在震動觀測時，在一隻組的震動測量時，我們將震動感測器放置幼蟲下方，以測量幼蟲產生的震動狀況；在二隻組的震動測量時，則是將震動感測器放置於其中一隻幼蟲的下方。藉此比較一隻組與二隻組的其中一隻幼蟲在移動時或是發出聲音時產生的震動數據。在兩隻幼蟲組觀察到的震動次

數平均為 14.8 次，標準差為 2.5（如表 4-3）；而單隻幼蟲組觀察到的震動次數平均為 10.0 次，標準差為 3.6，如表 4-3 及圖 4-5。

表 4-3 幼蟲震動實驗震動次數表（4 小時）

實驗組別	幼蟲震動平均次數
單隻組	10.0 次
2 隻組	14.8 次

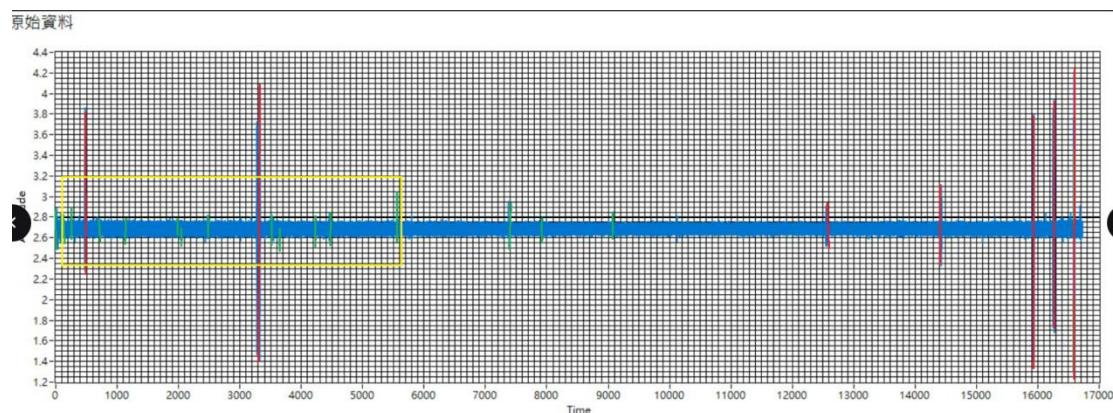


圖 4-4 2 月 21 日感測聲波圖出處，詳如圖片來源 1

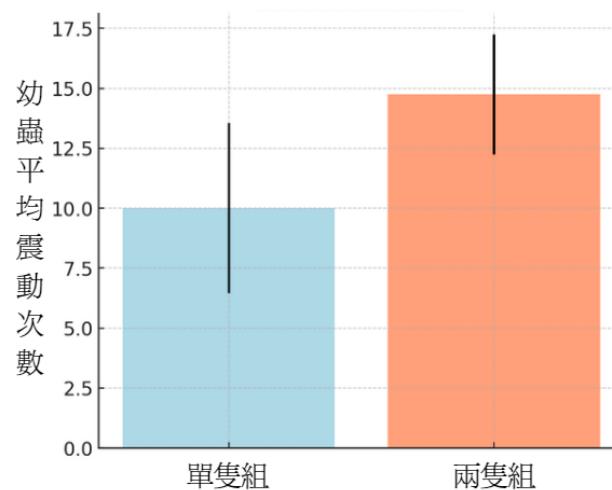


圖 4-5 幼蟲震動實驗震動次數長條圖，詳如圖片來源 1

## 伍、討論

一、了解台灣扁鍬形蟲母蟲，對於「太空包」與「產木」兩種不同介質是否有

產卵的偏好，比較「母蟲生產卵與幼蟲數量」之差異。

統整兩次實驗中產木組與太空包組的卵及幼蟲數量進行比較，顯示台灣扁鍬形蟲母蟲可以使用的產卵介質並不只侷限於產木，雖然其在產木中產卵的數量大於太空包中的產卵數量，但台灣扁鍬形蟲母蟲仍會在太空包進行產卵。而產木與太空包中的幼蟲數量皆比墊材中的幼蟲多。

從以上討論可以發現，台灣扁鍬形蟲母蟲偏好在完整的介質中產卵，且在本實驗中，雖然母蟲在太空包中產卵的數量比在產木中少，但依然能達到復育的作用。因此建議社區能保留部分枯倒木，以提供台灣扁鍬形蟲母蟲投產使用。而在社區不一定會有足夠數量的枯倒木提供台灣扁鍬形蟲母蟲進行產卵的狀況下，我們可以嘗試以保留完整太空包，而非將太空包打散的方式進行幼蟲的復育，不僅減少購買產木的費用，還能達到再次利用的效果。

## 二、探討台灣扁鍬形蟲幼蟲「飼養密度」對於幼蟲「生長狀況」之關聯性。

由上述實驗數據顯示，四隻組的幼蟲平均距離比六隻以及八隻組的距離還要短，我們推測是因為每箱的幼蟲移動距離還是會存在著誤差，因此導致四隻組的距離最短，但其平均距離依然保持在  $15\pm4\text{cm}$  間。

在四隻的組別中，有一隻重量僅有 3.1 公克，相較於其他三隻形成很大的對比，我們推測是因為較強勢的幼蟲與較弱勢的幼蟲在同一區塊覓食，導致互相排擠，造成有一隻幼蟲的體型特別小，但四隻幼蟲仍可以順利成長為成蟲。在查詢《鍬形蟲 58 野外觀察超圖鑑》時，書中提到台灣扁鍬形蟲從幼蟲至羽化的時間大約是 1 年。在我們的飼養經驗裡，單獨飼養的台灣扁鍬形蟲幼蟲會於出生後約 6 至 8 個月進入蛹期，在一箱 6 隻組及一箱 8 隻組群養的幼蟲中，有些幼蟲在 2 個月便會進入蛹期或前蛹期，而在一箱 4 隻組中並未發生此現象。在此實驗中，幼蟲的生長期與書中提到的時間差異甚大，以八隻組的來看，八隻幼蟲中就有四隻提早化蛹（50%），而六隻組的則有 2 隻提早化蛹（約 33%），四隻組的則沒有任何幼蟲提早來看，以百分比來看，飼養密度高的組別提早化蛹的機率也較高。因此，我們推測可能是因為在生存壓力較大的環境

下，幼蟲會透過提早化蛹的方式來增加自己的生存優勢，才會有上述現象。由此實驗，也證明了幼蟲的生存壓力會影響到幼蟲的生長時間以及體重

在觀察的過程中發現幼蟲多集中在箱子的底部，較少分布在箱子的上半部。另外，我們也發現其中一箱的幼蟲只集中在箱子的右半部，但我們認為這是因為此箱子在最外側，因此較容易受到光照的影響，所以幼蟲會往暗處鑽。也顯示出幼蟲會有負驅光行為。但就算有光照的影響，幼蟲依然保持均勻分布，距離也保持在  $15\pm4\text{cm}$  間。

在周承儒、張沛均（2017）發表的「高砂鋸鍬形蟲幼蟲環境適應、攝食行為及影響其成長因素的研究」中指出，高砂鋸鍬形蟲幼蟲遇到同類幼小個體，會出現攻擊與追殺的行為，小個體則會採取避走行為因應。這個實驗結果跟我們觀察到的結果相符合。由本實驗結果可推測，強勢的幼蟲會擠壓到較為弱勢的幼蟲生長，造成體型較小之幼蟲營養不良、體型大的幼蟲將體型小的幼蟲吃掉等現象，實際案例為放置 6 隻及 8 隻的組別，都各少了一隻幼蟲。

### 三、探討台灣扁鍬形蟲幼蟲的趨避行為

#### （一）導管實驗（一維線狀實驗）

由實驗數據顯示，實驗組、對照組數據之標準差錯開，顯示在各組誤差的前提下，幼蟲合併之實驗組較不合併之對照組平均距離大，顯示幼蟲緊鄰會造成幼蟲間距離拉長。

#### （二）壓克力箱實驗（二維平面實驗）

藉由本次實驗，我們發現幼蟲之間會保持一定距離，而在壓克力箱子中，每一組幼蟲保持的距離具有一致性，且幼蟲之間並沒有遇到，而是往相反的方向移動，又藉由幼蟲將通道填塞的行為，可知幼蟲可以藉由感知同類並進行躲避，因此我們推測，幼蟲可能存在趨避行為。而我們想要更詳細的探討趨避反應的媒介，於是進行了震動觀測實驗。

#### （三）壓克力箱實驗（震動觀測實驗）

透過數據可以發現，同時放入二隻幼蟲時，觀察到的震動次數較只有一隻震動次數多。因此，我們認為台灣扁鍬形蟲幼蟲應能透過震動感測彼此的存在，並加速移動位置或發生聲音警示對方，藉此保持彼此之間的距離。

## 陸、結論

本研究根據實驗結果分析，整合以下結論：

- 一、台灣扁鍬形蟲的母蟲不僅會在產木中產卵，在太空包中一樣有產卵的跡象，雖然幼蟲數量比起產木略少一些，但依然證明台灣扁鍬形蟲的產卵介質並不只侷限於腐朽木。
- 二、台灣扁鍬形蟲的幼蟲在壓克力箱裡覓食時，會與同類保持距離。幼蟲主要分布於箱子的底部，只有少數的幼蟲停留在箱子上半部，且幼蟲在箱子裡皆呈現均勻的六角或四角分布，幼蟲在箱子中皆保持固定距離（ $15\pm4\text{cm}$ ）。
- 三、台灣扁鍬形蟲在群養的狀況下，會造成幼蟲提早化蛹的情形，群養的密度越高，提早化蛹的情況越明顯。群養 8 隻組的幼蟲在 2 個月便會進入蛹期或前蛹期，而在 4 隻組的幼蟲就沒有這種情況發生。
- 四、土壤中的台灣扁鍬幼蟲之間會保持至少 8 到 10 公分的距離，而且幼蟲會有將經過通道土壤填實的行為；震動觀測實驗中，2 隻幼蟲發出的震動次數會高於 1 隻幼蟲的組別，因此推測幼蟲在土中可以藉由震動感知同類並有趨避的行為。
- 五、最後，綜合以上討論，建議社區可以保留一些枯倒木或完整廢棄太空包供母蟲投產使用。而在幼蟲飼育部分，若以塑膠飼養箱（ $573\times413\times345\text{mm}$ ）飼養，以 5-6 隻在同一空間內為佳，若在同空間內飼養過多幼蟲則會造成其互相殘殺之問題。

## 柒、參考文獻資料

1. 三浦慶太郎。世界首例！日本研究團隊發現了雞母蟲如何靠轉圈圈來挖洞。西元 2021 年 08 月 12 日。取自  
[https://forum.gamer.com.tw/G2.php?bsn=60433&sn=6502&fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTAAAR0vGq7VUtB5zwVOm8W7d\\_ouKcddZ2obDxew2ZeSEIjSnYpoMxhtfJ6OcX4\\_aem\\_dTy3JXfPsncQk4Ub-GJ15A](https://forum.gamer.com.tw/G2.php?bsn=60433&sn=6502&fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTAAAR0vGq7VUtB5zwVOm8W7d_ouKcddZ2obDxew2ZeSEIjSnYpoMxhtfJ6OcX4_aem_dTy3JXfPsncQk4Ub-GJ15A)
2. 范欽慧（2014/2/20）。「蟲聲」記傾聽大地耳語環境資訊中心。取自：  
<https://e-info.org.tw/node/97482>
3. 周承儒、張沛均（2017）。高砂鋸鍬形蟲幼蟲環境適應、攝食行為及影響其成長因素的研究。全國中小學科學展覽會。花蓮縣。
4. 張永仁（2024）。**鍬形蟲 58 野外觀察超圖鑑**。出版社：遠流出版社。
5. 張永仁（2022）。**昆蟲觀察入門**。出版社：遠流出版社。
6. 官永堂、陳品融、楊竣亦（2022）。「獨」「嘉」報導-嘉義市獨角仙野外調查及室內模組操作研究。嘉義市中小科學展覽會。
7. 廖一璋、楊曼妙（2016）。以介質傳遞訊號進行求偶行為之溝通:木蟲聲學多樣性及物。國立中興大學。

### 圖片來源

1. 本圖片由作者親自拍攝或編輯。
2. 本圖片由指導老師親自拍攝或編輯。

## 【評語】030308

本研究以幫助社區復育台灣扁鍬形蟲，提供復育參考為宗旨，以台灣扁鍬形蟲作為研究對象，探討不同介質對產卵之影響，並討論聲音及震動可能對其趨避反應。

1. 利用廢棄太空包作為產卵介質創新且具環保價值，探討幼蟲社會性與感知機制具生物行為學新意。
2. 在本研究中雖已觀察到高密度飼養可能引發提早化蛹等現象，但整體仍以現象描述為主，建議可進一步設計實驗，深入探討高密度養殖是否對幼蟲成長速度、羽化成功率及成蟲健康狀況造成影響。若能針對提早化蛹機制進行更具創意且具控制變因的驗證設計，將有助於評估此條件是否適用於快速復育之目的，進而提升研究應用價值與科學深度。
3. 建議補充飼養與鍬形蟲生態行為相關文獻，並加入顯著性檢定與誤差範圍等統計分析，以提升研究的科學嚴謹度與說服力。同時，若能增加各組重複樣本，亦有助於支持本研究的結論。

作品海報

台灣扁鍬形蟲行為研究—  
產卵偏好與幼蟲的趨避反應

## 摘要

本研究以幫助社區復育台灣扁鍬形蟲，提供復育參考為宗旨，以台灣扁鍬形蟲作為研究對象，希望藉由本研究探討台灣扁鍬形蟲生長狀況與行為。為此，進行了台灣扁鍬形蟲母蟲投產實驗、台灣扁鍬形蟲幼蟲之群養與趨避行為研究。

根據研究結果有以下發現：首先，台灣扁鍬形蟲母蟲在太空包及產木中皆有產卵情形，顯示以太空包進行投產具有可行性；其次，台灣扁鍬形蟲幼蟲群養時，平均重量隨幼蟲飼養密度上升而下降，並且在高密度飼養時，幼蟲有提早化蛹的現象。在趨避行為實驗中，發現台灣扁鍬形蟲幼蟲彼此會保持約8~10cm的距離，顯示幼蟲彼此具有趨避行為。透過震動實驗的結果顯示，台灣扁鍬形蟲幼蟲對於同類的感知，應該與聲音、震動有關。

## 壹、前言

### 一、研究動機

嘉義市頂庄社區擁有大面積農田與綠地，長期推動甲蟲復育有成。學校社團與社區長期合作，共同進行獨角仙的復育與解說。我們在社區進行生態解說時，發現社區在夏季常會看到獨角仙，但鍬形蟲的數量卻十分稀少，引起我們對台灣扁鍬形蟲的好奇。因此希望藉由研究台灣扁鍬形蟲母蟲的產卵偏好及幼蟲的行為模式，找到台灣扁鍬形蟲復育方法。

### 二、研究目的

- (一)了解台灣扁鍬形蟲母蟲，對於「太空包」與「產木」兩種不同介質是否有產卵的偏好。
- (二)探討台灣扁鍬形蟲幼蟲「飼養密度」對於幼蟲「生長狀況」與「行為」之關聯性。
- (三)探討台灣扁鍬形蟲幼蟲的趨避行為。

### 三、研究對象

台灣扁鍬形蟲（學名：*Dorcus titanus sika*）

台灣扁鍬形蟲為台灣平地到海拔1500公尺以下山區最常見的鍬形蟲，本種的外型呈現油亮的黑色，且身體整體較扁，故稱台灣扁鍬形蟲（如圖3-2），其繁殖期大約在6到8月。屬於完全變態，生命週期主要分為卵、幼蟲、蛹和成蟲，幼蟲階段又分一齡幼蟲、二齡幼蟲及三齡幼蟲。幼蟲的棲息環境較其他種類鍬形蟲多樣，各類枯木、朽木都可看見幼蟲。



圖3-2台灣扁鍬形蟲生活史(出處詳如圖片來源1)

## 參、研究過程方法及結果

本研究進行戶外調查後，擬定研究主題，再蒐集相關文獻，最後設計實驗配置及所需設備。

實驗進行的地點皆為學校的地下室，整體環境溫度較低，不易受到外界的溫度及噪音影響，但幼蟲仍會受到地下室的光線干擾而產生些微的實驗誤差，在實驗過程中我們全程以黑色塑膠袋覆蓋，盡量減少實驗誤差。

### 戶外踏查階段

在實驗開始前，為了瞭解社區現有的環境與復育方法，我們先進行社區的台灣扁鍬形蟲棲地調查。在調查過程中，我們透過拍照與觀察發現，社區偶有枯倒木出現（如圖3-3-1），但因為社區自行車車道的設立，很快就會將枯倒木移除。

而現在社區普遍使用打散的土壤（如圖3-3-2）與落葉堆肥（如圖3-3-3）進行復育，雖然獨角仙的復育十分成功，但是相對的鍬形蟲數量很少，在這幾年中，每年觀察到的鍬形蟲的隻數約在五隻上下，數量十分稀少。

在翻閱文獻後發現：鍬形蟲偏好在腐木產卵，但社區會定期清理枯倒木，因此造成母蟲投產介質的不足，也缺乏適合鍬形蟲幼蟲生長的棲地，。

另外，在進行嘉義木耳廠探訪時，我們發現廢棄太空包的主要成分為木屑，和鍬形蟲偏好的產卵介質相似，卻無法被再次利用，十分浪費環境資源，且對於環境整潔來說也是一大問題。



圖3-3頂庄社區甲蟲棲地照片(出處詳如圖片來源1)

## 貳、研究設備及器材

- 一、研究設備：筆電、解剖顯微鏡、電子秤
- 二、研究器材：飼養箱（573x413x345mm）、土壤、紀錄表、卡尺
- 三、研究對象：台灣扁鍬形蟲
- 四、研究材料：木屑、完整的廢棄太空包、產木

### 提問一：

母蟲是否能在廢棄太空包產卵？

我們首先思考廢棄太空包是否可以作為投產介質使用，因此設計了實驗一：台灣扁鍬形蟲母蟲的投產實驗，比較台灣扁鍬形蟲母蟲使用兩種介質（廢棄太空包與產木）的產卵數差異。

(一)台灣扁鍬形蟲母蟲(以下簡稱母蟲)對於「太空包」與「產木」兩種不同介質是否有產卵的偏好，比較「母蟲生產卵與幼蟲數量」之差異

### 一、實驗方法

本實驗為比較母蟲在太空包與產木中產下幼蟲之數量差異，首先使兩隻台灣扁鍬形蟲公蟲與母蟲交配，再將交配完畢之母蟲分別放入產木+木屑及報廢太空包+土壤兩種介質，每組各 5 箱進行投產實驗。一個月後，我們打開產房，以肉眼觀察並記錄幼蟲及卵數量。

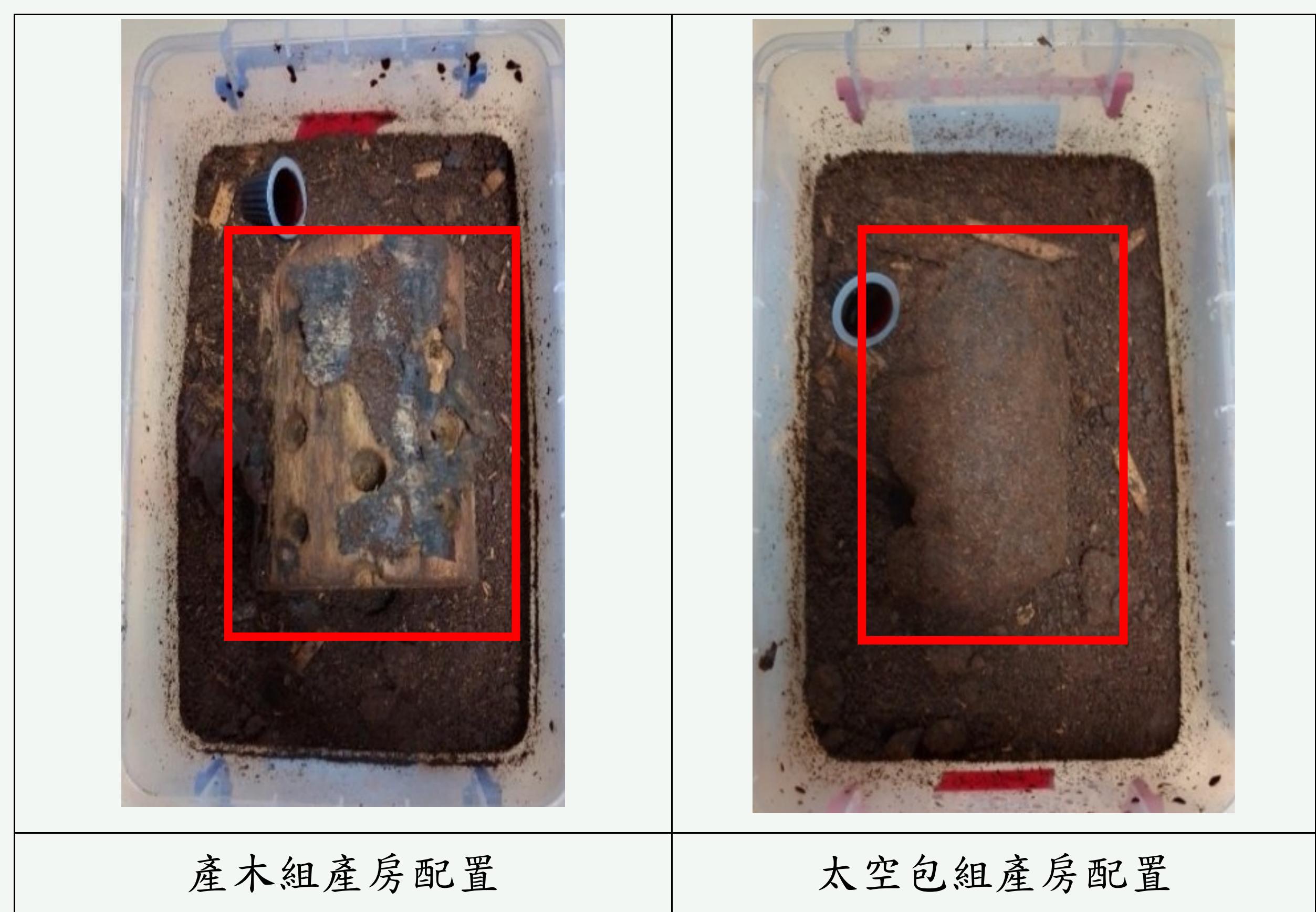


圖 3-4 台灣扁鍬形蟲母蟲產卵偏好實驗裝置圖  
(出處詳如圖片來源 1)

### 二、實驗結果

表 5-1-1 實驗一幼蟲數量表

組別	於墊材中發現	於介質中發現	合計
產木組	3	42	45
太空包組	9	15	24

由實驗數據顯示，我們發現母蟲可以用來產卵的介質並不侷限於產木。因此，在社區不一定會有足夠數量的枯倒木提供台灣扁鍬形蟲母蟲進行產卵的狀況下，我們可以提供完整廢棄的太空包(非打碎後的碎屑)替代枯倒木，來提供台灣扁鍬形蟲的復育。

**提問二：**  
飼養密度是否會影響幼蟲的生長？

(二)探討台灣扁鍬形蟲幼蟲「飼養密度」對「生長狀況」之關聯性。

### 一、實驗方法

本實驗探討幼蟲生長密度對其生長狀況之影響。將體重相近的幼蟲分為不同隻數的組別組，將同組幼蟲放入箱子中，觀察、記錄幼蟲位置及大小變化，並以相片拍攝搭配座標軸進行幼蟲位置的量測。2 個月後，開箱將幼蟲取出並進行數量的統計。

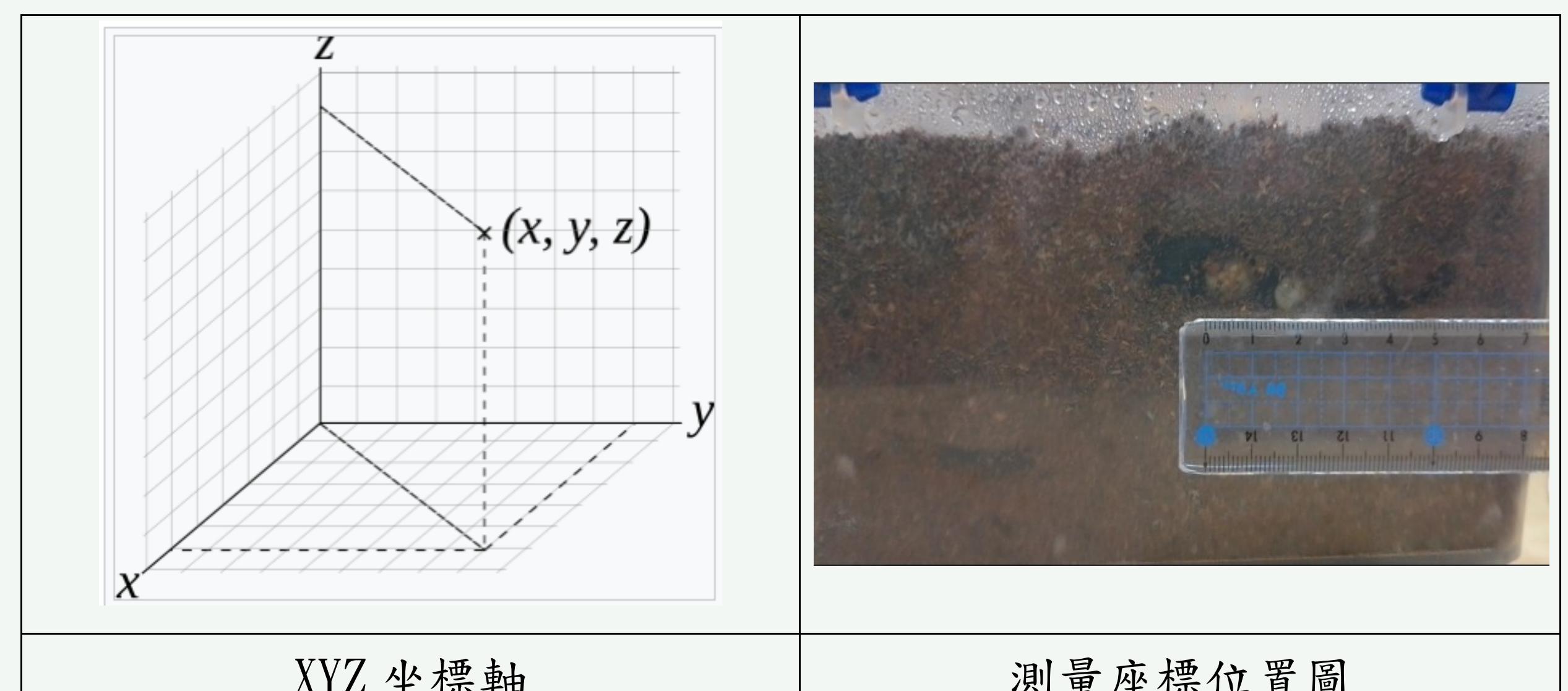


圖 3-5 幼蟲分布與紀錄示意圖(出處詳如圖片來源 1)

### 二、實驗結果

表 5-2-1 幼蟲飼養密度實驗第一階段數據資料

飼養密度	平均體重	平均距離
4 隻/箱	9.0g	13.87cm
6 隻/箱	6.0g	18.09cm
8 隻/箱	3.5g	17.51cm

表 5-2-2 幼蟲飼養密度實驗第二階段數據資料

飼養密度	平均體重	平均間隔距離
3 隻/箱	6.20g	15.44cm
4 隻/箱	6.00g	16.83cm
6 隻/箱	5.56g	15.23cm

由實驗結果統計，我們發現所有幼蟲之間的平均距離都在  $15 \pm 4\text{cm}$ ，顯示幼蟲在群養狀態皆會保持一定距離。

在一篇文獻(請參考說明書 p. 9)的研究結果跟我們觀察到的結果相符合。由本實驗結果可推測，強勢的幼蟲會擠壓到較為弱勢的幼蟲生長，造成體型較小之幼蟲營養不良、體型大的幼蟲將體型小的幼蟲吃掉等現象。

我們也發現生存壓力會讓幼蟲提早化蛹。由此實驗，也證明了幼蟲的生存壓力會影響到幼蟲的生長時間以及體重。

**提問三：**  
幼蟲在不同維度的移動軌跡差異？

(三)探討台灣扁鍬形蟲幼蟲的趨避行為

### 一、幼蟲構造觀察

實驗二中發現幼蟲間會保持特定距離，為了解幼蟲如何透過環境進行感知，我們使用解剖顯微鏡觀察幼蟲的體表構造，發現台灣扁鍬形蟲幼蟲在身體上有許多微毛。推測幼蟲是以體表微毛來感測環境變化。



圖 3-6 解剖顯微鏡下台灣扁鍬形蟲母蟲的身體構造  
(出處詳如圖片來源 1)

### 圖片來源

1. 本圖片由作者親自拍攝或編輯。
2. 本圖片由指導老師親自拍攝或編輯。

## 二、實驗過程

### 1. 導管實驗（一維線狀實驗）

本實驗由一維角度探討幼蟲間的趨避行為。先將土壤填充至吸管，將體重相近的幼蟲分為兩兩一組，分別將幼蟲放入吸管中，實驗組待 5 天後將幼蟲頭部對齊，使用保鮮膜纏繞起來，而對照組則分開放置。再 2 天後，開箱觀察並紀錄。



圖 3-7 導管實驗裝置示意圖(出處詳如圖片來源 1)

### 2. 壓克力箱實驗（二維平面實驗）

為觀測幼蟲趨避行為的方向性，我們設計了本實驗。將土壤填到距離壓克力箱底部 25 公分處，放入幼蟲(依實驗組及對照組不同分別放入 1、2、3 隻幼蟲)，並鋪上黑色塑膠布。在 4 小時後進行開箱，於壓克力板上標示幼蟲位置上，紀錄幼蟲移動距離，並找出幼蟲移動軌跡。

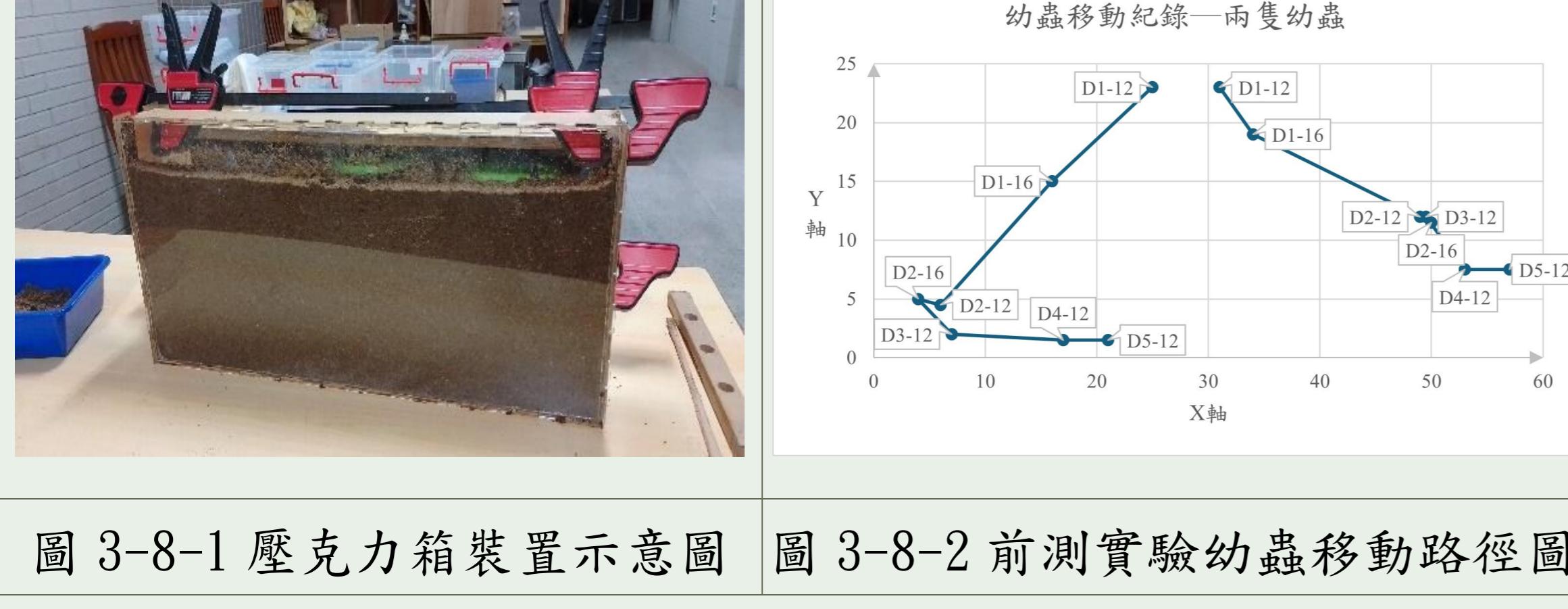
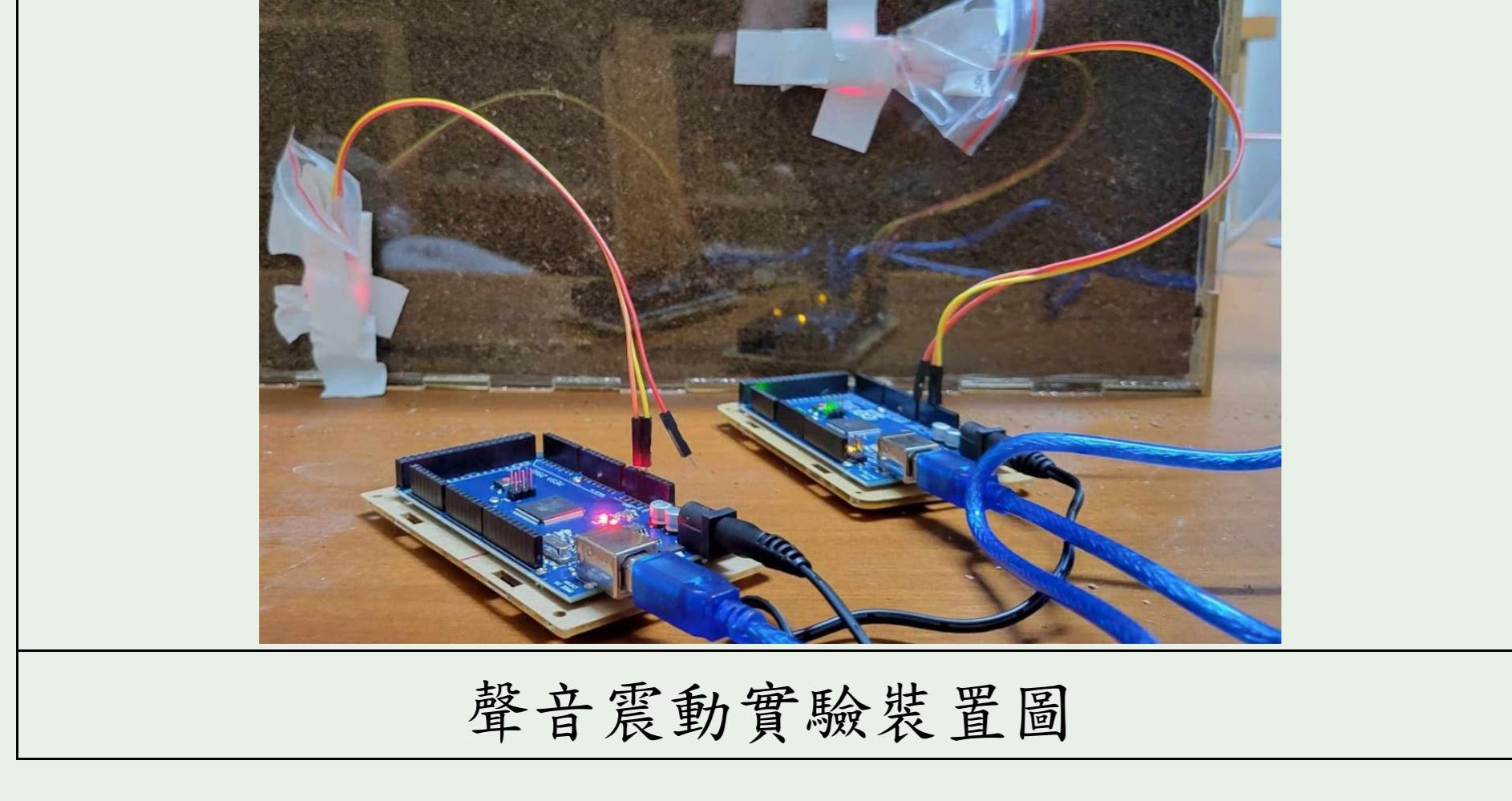


圖 3-8-1 實驗裝置及實驗執行示意圖(出處詳如圖片來源 1) 圖 3-8-2 前測實驗幼蟲移動路徑圖

### 3. 震動觀測實驗

本實驗探討幼蟲趨避行為與震動之關聯性，分別針對同箱內放置一隻及二隻幼蟲進行研究，每次實驗分別進行 16 小時。填土與開箱過程同壓克力箱二維平面實驗。此實驗於幼蟲放置的地方貼上震動感測器(一隻組置於幼蟲下方，二隻組則置於其中一隻幼蟲的下方)，以程式錄音，比較壓克力箱內幼蟲數量與震動次數的差異。



聲音震動實驗裝置圖

(出處詳如圖片來源 1)

## 三、實驗結果

### 1. 導管實驗（一維線狀實驗）

實驗組平均距離 10.8cm，標準差 4.4cm；對照組平均 3.1cm，標準差 2.5cm。兩組數據之標準差錯開，顯示在各組誤差的前提下，幼蟲合併之實驗組較不合併之對照組平均距離大，顯示幼蟲緊鄰會造成幼蟲間距離拉長。

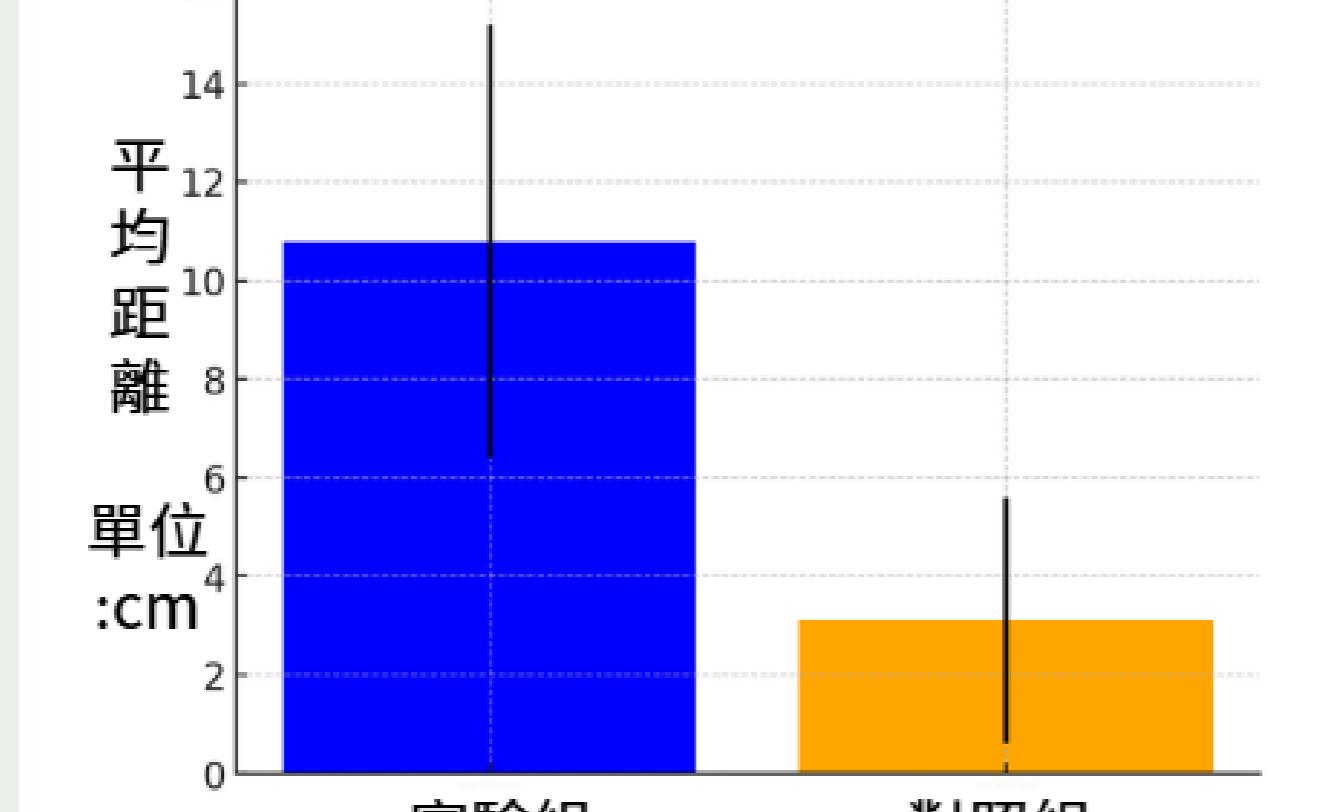


圖 4-2 吸管實驗幼蟲移動間距長條圖

(出處詳如圖片來源 1)

### 2. 壓克力箱實驗（二維平面實驗）

我們發現各組幼蟲移動的路線不大一樣，因此也測量了幼蟲挖掘的通道之間最短的距離，最短距離普遍介於 8~10 公分，平均為 8.44 公分。幼蟲的移動不像我們先前猜測的分別朝相反方向移動，在向下挖掘的過程，有些彼此平行前進。



(出處詳如圖片來源 1)

### 3. 壓克力箱實驗（聲音震動實驗）

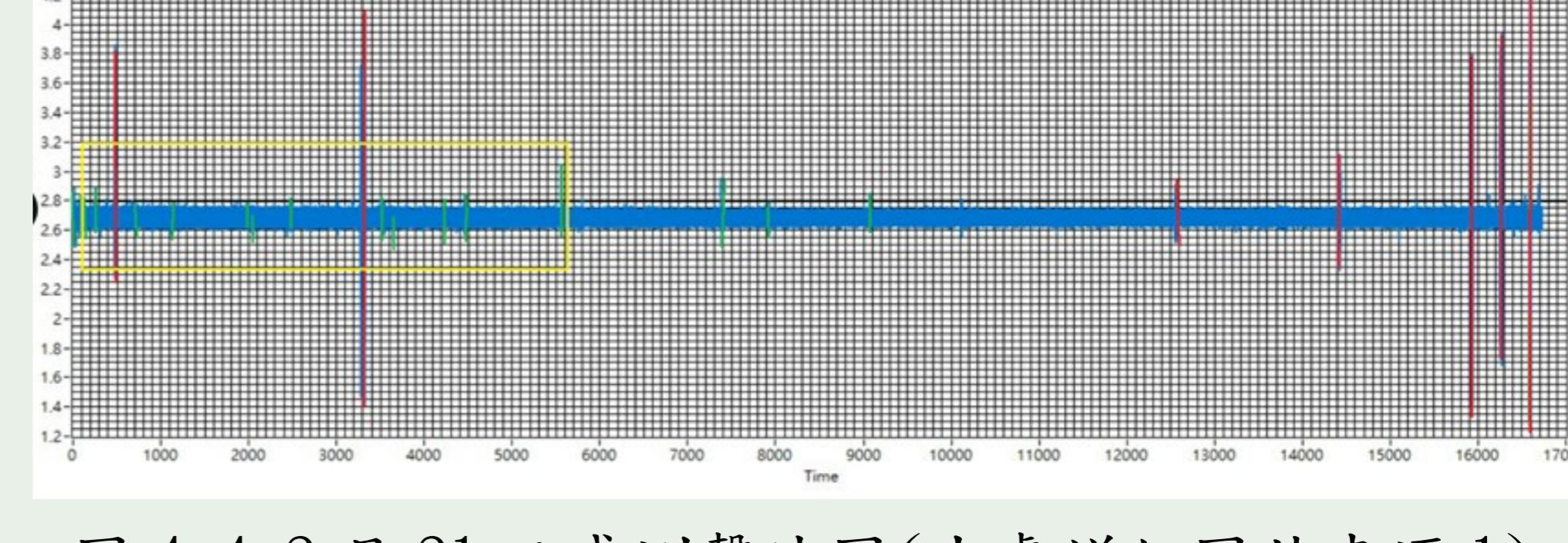


圖 4-4 2月 21 日感測聲波圖(出處詳如圖片來源 1)

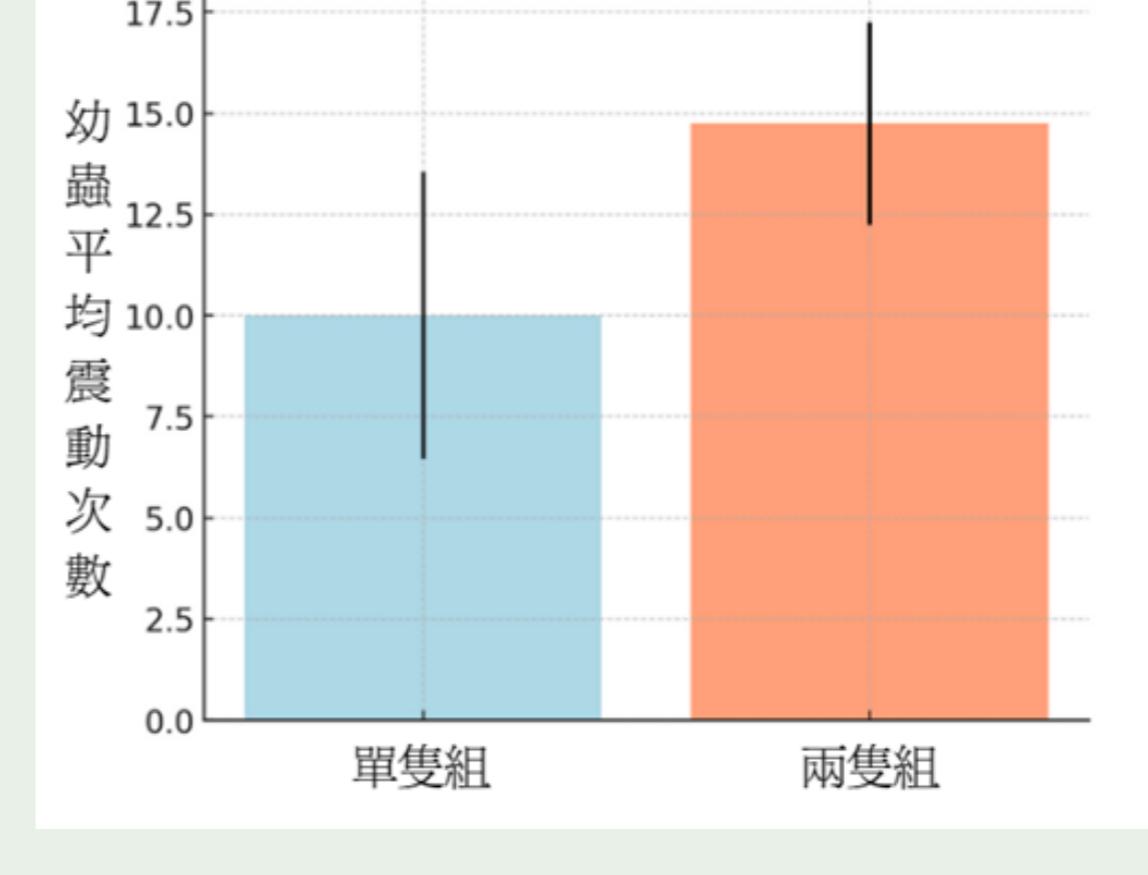


圖 4-5 幼蟲震動實驗震動次數長條圖

(出處詳如圖片來源 1)

## 肆、討論

(請參考說明書 p. 18)

## 伍、結論

- 根據投產實驗的數據顯示台灣扁鍬形蟲的產卵介質並不只侷限於產木。
- 台灣扁鍬形蟲的幼蟲在壓克力箱子覓食時，會與同類保持距離，幼蟲在箱子中皆保持固定距離 ( $15 \pm 4$  cm)。
- 台灣扁鍬形蟲在群養的狀況下，會造成幼蟲提早化蛹的情形，群養的密度越高，提早化蛹的情況越明顯。
- 幼蟲在土中可藉由震動感知同類並進行趨避，在前測實驗中，一隻幼蟲並無明顯震動，但兩隻幼蟲卻測量出震動，而幼蟲行進路徑也有所偏離。

## 陸、參考文獻

(請參考說明書 p. 21)