

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生物科

團隊合作獎

080317

雙蟲屠「龍」-「蟲」新塑造

學校名稱：臺北市私立復興實驗高級中學(附設國小)

作者：	指導老師：
小五 林品睿	林淑慧
小五 林妍妤	盧世晟
小五 吳定燁	
小四 黃妍馨	
小五 胡維恩	
小六 呂宸熙	

關鍵詞：麵包蟲和麥皮蟲、自製飼養盒、環境永續發展

摘要

塑膠要幾個世紀才能分解，最近發現即使使用生物可分解塑膠，卻無回收管道，所以，我們研究能分解塑膠的麵包蟲和麥皮蟲，探討食物、溫度、溼度對其生活史的影響，意外發現小花蔓澤蘭能餵食這兩種昆蟲。其次，進行各種食用塑膠定量實驗，使用 ImageJ 軟體測量食用塑膠面積、發現牠們喜愛食用編號 3、4、6 號塑膠，50g 麵包蟲一個月約吃 15.8g 保麗龍；50g 麥皮蟲約吃 8.3g。接著，將誘導劑誘導兩種蟲吃編號 1、5 號塑膠，食量雖增加，但因為材質偏硬，減塑有限；另外發現兩種蟲大量吃「香草混合 4、6 號塑膠」，歸納兩種蟲喜愛青草葉子和果實氣味。找出適合兩種蟲的溫溼度、攝食模式與生活史，並設計多功能飼養箱，有效分解塑膠，其糞便做為有機肥料，種植植物。

壹、前言(含研究動機、目的、文獻回顧)

一、研究動機

新冠肺炎疫情中，外帶飲食讓保麗龍的使用(保冷、保熱)和塑膠製品造成泛濫，也造成嚴重的環境問題。近年來人們對於塑膠污染環境的認知程度提升，因為塑膠結構穩定不易分解，**塑膠微粒可能造成海洋食物鏈的嚴重影響**。我們發現麵包蟲和麥皮蟲都可以吃塑膠，可當做塑膠的清除者；科學報導牠們的腸道具有分解塑膠的細菌，這對環境非常有益。因此引起我們的興趣，希望藉由飼養與觀察麵包蟲和麥皮蟲如何清除塑膠的實驗，尋找最佳的飼養方法，既能善待麵包蟲和麥皮蟲，又能解決某些塑膠垃圾等問題。

二、研究目的

- (一) 探討食物、運動、繁殖、防禦行為對麵包蟲和麥皮蟲生活史的影響。
- (二) 以 ImageJ 軟體和微量天平測量麵包蟲和麥皮蟲食用七種塑膠種類之情形。
- (三) 設計溫溼度實驗、空間實驗、找尋巢穴實驗、食用性氣味誘導吃塑膠實驗。
- (四) 進行顯微鏡觀察麵包蟲和麥皮蟲的腸道內容物、排泄物，了解吃塑膠的情形。
- (五) 實驗設計多功能飼養箱**(減低幼蟲死亡率)**，找出最好的飼養方法與經濟效益。
- (六) 麵包蟲和麥皮蟲的排泄物種植植物實驗，說明其利用價值。

三、文獻回顧

(一) 塑膠分類：

塑膠中常添加 1-5% 的阻燃劑 HBCD，以增加塑膠的防火效果。塑膠是指以高分子量的合成樹脂/石油為主要組分，加入適當添加劑，經加工成形的塑性（柔韌性）材料、固化交聯形成的剛性材料。塑膠來自於 1850 年代的英國，被開發以來，各方面用途日益廣泛。目前兩種最喜愛食用的塑膠分類標誌（Resin identification code）（美國塑膠工業協會，1988）分類編碼方式。塑膠回收編號如下表：

標誌編號	縮寫	作者自行拍照	聚合物名稱	用途
	PETE 或 PET		聚對苯二甲酸乙二酯（PET，Polyethylene terephthalate）	瓶身一體成形，底部會有一個圓點。容易燃燒。
	HDPE 或 PEHD		高密度聚乙烯（PE，High-density polyethylene）	手感似臘，瓶子製品多半不透明，容易燃燒。
	PVC(V)		聚氯乙烯 PVC Polyvinyl chloride	管子、圍牆與非食物用瓶、保鮮膜、電線皮、雞蛋盒、調味罐等。
	LDPE		低密度聚乙烯 PE，Low-density polyethylene	塑膠袋、各種的容器、投藥瓶、洗瓶、配管與各種模塑的實驗室設備。
	PP		聚丙烯（PP，Polypropylene）	硬度較高，表面較有光澤。容易燃燒。
	PS		聚苯乙烯（PS，Polystyrene）	養樂多瓶、冰淇淋盒、泡麵碗、隔板與泡沫聚苯乙烯產品，如保麗龍。
	OTHER 或 0		美耐皿、ABS 樹脂、聚甲基丙烯酸甲酯、聚乳酸（PLA）、尼龍	其他塑膠，食品餐器具。

保麗龍是 6 號塑膠：保麗龍是由聚苯乙烯(Polystyrene,PS) 加入發泡劑後，加熱所製成的一種較輕的材質，其中有 90% 至 95%的體積是空氣。6 號塑膠成分是 PS (polystyrene，聚苯乙烯)、廣泛用於一次性使用的餐具，如保麗龍免洗餐具、部份泡麵碗及蛋糕盒等，所以將保麗龍歸類為六號塑膠。

(二) 塑膠垃圾造成的浩劫：



圖 1 黑腳信天翁胃裡塞滿塑膠垃圾



圖 2 信天翁雛鳥肚子塑膠物質



圖 3 臺灣海洋垃圾 90%都是塑膠垃圾



圖 4 臺南四鯤鯓海岸蚵棚海漂保麗龍汙染海洋



圖 5 2011 年香港浸會大學抽取 200 人血液含塑化劑



圖 6 2018 年人類的大便裡找到了塑膠微粒

(三) 能清除塑膠的麵包蟲和麥皮蟲：

在 2020 年美國史丹佛大學研究團隊發現，麵包蟲可以消化塑膠(PS)及添加劑，在 24 小時內可去除 90%添加劑 HBCD，在 48 小時內可去除 99.9%HBCD，只有 0.3%HBCD 會留在麵包蟲體內，代表著很少或幾乎沒有生物累積效應 (Environmental Science & Technology，2020)。義守大學研究麥皮蟲分離的腸道細菌對聚苯乙烯生物降

解 FTIR 分析，篩選出某些種類的腸道細菌能分解保麗龍 (Proceedings of Engineering and Technology Innovation, 2021)。麥皮蟲也能消化塑膠，例如：消化高密度聚乙烯 (HDPE) 塑膠(國立中科實驗高級中學麥皮蟲消化高密度聚乙烯 (HDPE) 塑膠之探討，2020)。

(四) 麵包蟲和麥皮蟲的分類：

麥皮蟲分類	麵包蟲分類
動物界 Animalia	動物界 Animalia
節肢動物門 Arthropoda	節肢動物門 Arthropoda
昆蟲綱 Insecta	昆蟲綱 Insecta
鞘翅目 Coleoptera	鞘翅目 Coleoptera
擬步行蟲科 Tenebrionidae	擬步行蟲科 Tenebrionidae
麥皮蟲屬 <i>Zophobas</i>	粉甲蟲屬 <i>Tenebrio</i>
麥皮蟲 <i>Z. morio</i>	黃粉蟲 <i>T. molitor</i>
二名法	二名法
<i>Zophobas morio</i> Fabricius , 1776	<i>Tenebrio molitor</i> Linnaeus , 1758

註：以下報告對於麥皮蟲和麵包蟲，簡稱兩種蟲。

麥皮蟲和麵包蟲都是完全變態的昆蟲，一生歷經卵、幼蟲、蛹、成蟲四個階段。麥皮蟲幼蟲生長期約為 100 天，蛹期約兩星期，成蟲壽命約 2~3 週。當周圍還有其他個體時，麥皮蟲並不會結蛹，必須在個體隔離的情況下才會有結蛹的現象。麵包蟲幼蟲生長約為 70 天，蛹期約少於 14 天，周圍有其他個體不影響結蛹，在成堆的幼蟲當中能找到蛹，成蟲壽命約 2~3 週。

貳、研究設備、器材及材料

一、研究設備

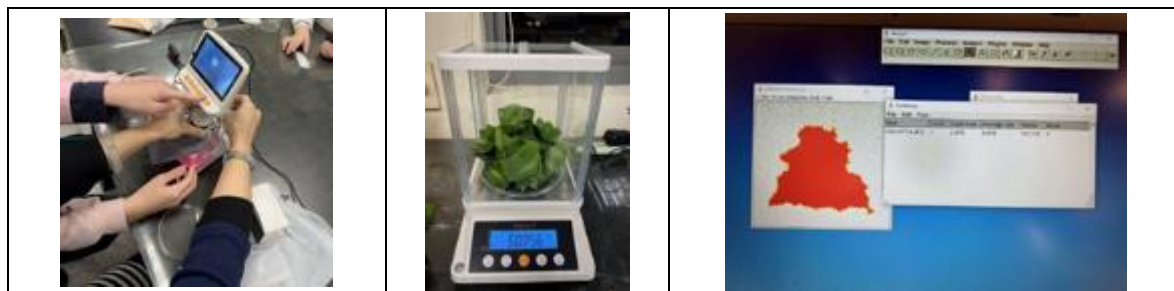


圖 7 螢幕式顯微鏡、微量天平(小數點後三位)、資訊設備 ImageJ

二、研究器材



圖 8 七種塑膠產品(一平方公分)、小型天平

三、自製工具



圖 9 DIY 自製實驗創意裝置

四、購買麥皮蟲和麵包蟲

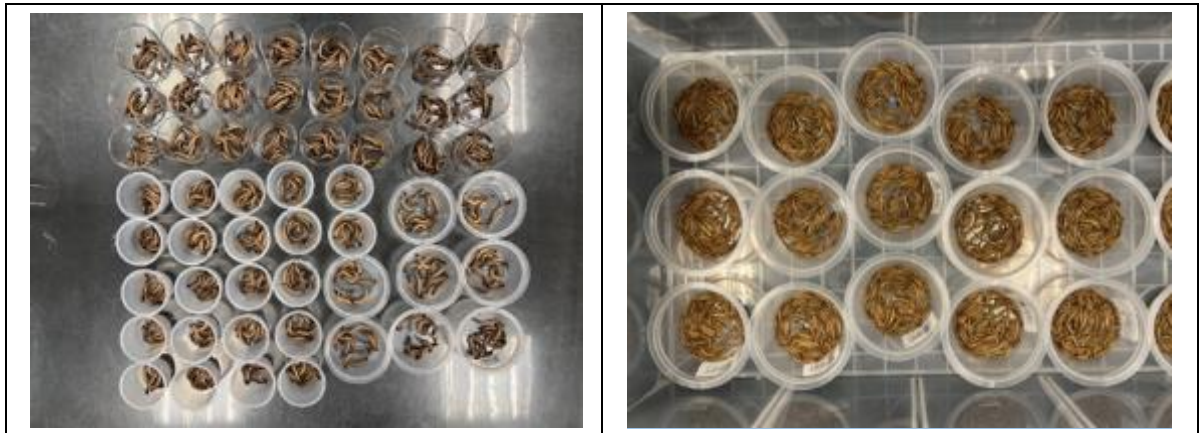


圖 10 由水族館購得的 500 隻麵包蟲和 500 隻麥皮蟲

參、研究過程或方法

根據每次實驗目的不同而有不同研究樣本數，主要減少死亡率。先從生活史著手，探討食物、運動、繁殖、防禦行為的變化對兩種蟲的影響，選擇最適合的生長條件。其次，餵食兩種蟲不同種類的塑膠持續半年，觀察其啃咬、攝食、消化之情形，並設計溫濕度、空間、巢穴實驗，選出兩種蟲最喜歡吃食的塑膠種類。接著，根據兩種蟲不喜歡吃食的塑膠種類，進行食用性氣味誘導吃塑膠實驗。然後，使用顯微鏡觀察兩種蟲的腸道內容物、排泄物，了解吃塑膠的情形，排泄物送實驗室分析是否有塑化劑。根據以上實驗結果，設計多功能飼養箱，找出最好的飼養方法與經濟效益。最後，將兩種蟲的排泄物種植植物實驗，並說明其利用價值。本研究的研究架構說明如圖11所示。

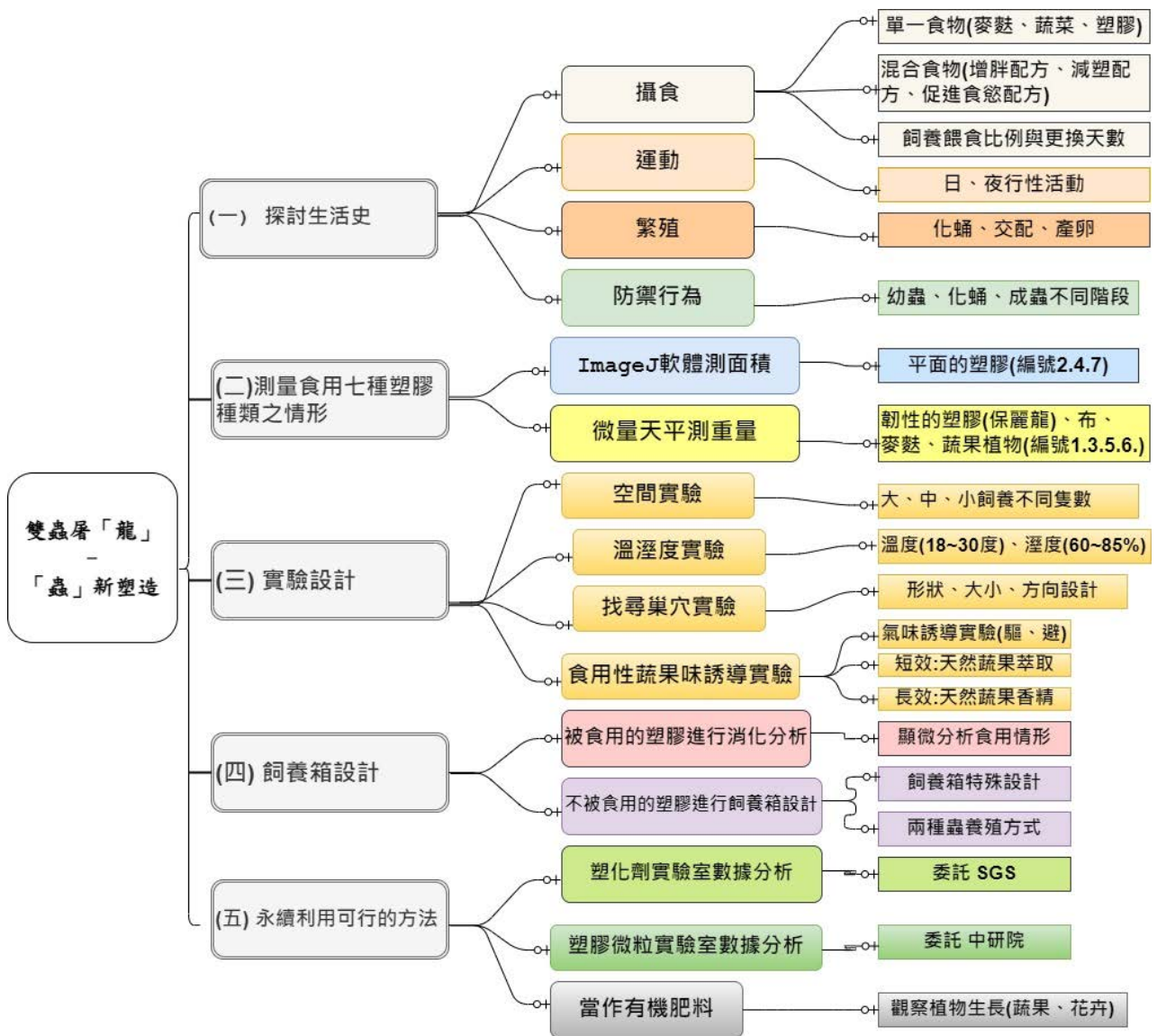


圖11 研究架構圖

一、探討食物、運動、繁殖、防禦行為對麵包蟲和麥皮蟲生活史的影響。

(一) 觀察麵包蟲和麥皮蟲的食物

1. 訪談水族館老闆和調查文獻，以了解如何飼養兩種蟲、注意事項。
 - (1) 收集文獻資料，餵養麵包蟲和麥皮蟲適合的方法與取得蟲體管道。
 - (2) 進行購買麵包蟲和麥皮蟲的數量與價格評估。
 - (3) 區分飼養的品種、生態地位、觀察記錄生活史。
2. 觀察10隻麵包蟲和10隻麥皮蟲的食性
 - (1) 觀察麵包蟲和麥皮蟲進食的情況與測量食物被啃食的狀況。
 - (2) 餵養麵包蟲和麥皮蟲單一和混合食物：麥麩食物、蔬果、編號1到7號塑膠。
 - (3) 兩種蟲單獨分開養、兩種蟲混合養、生活史各期分層養、一生混合養。
 - (4) 找出減少死亡率、有利兩種蟲的永續經營又能減塑效率最佳的飼養方式。



圖 12 麥麩食物、蔬果、編號 1 到 7 號塑膠，分別進行單一和混合餵食

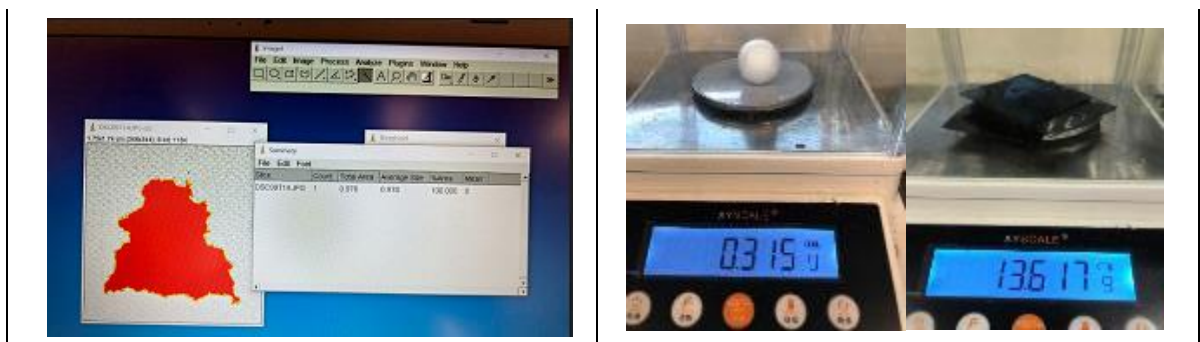


圖 13 平面不具厚度的材質測量面積：Image J，不是平面又具有韌性測量重量：微量天平

(二) 觀察麵包蟲和麥皮蟲的運動

1. 觀察兩種蟲的日、夜活動情形、與其他昆蟲的領域性。
2. 將兩種蟲混合養、生活史各期分層養、一生混合養，觀察活動和互相驅、避是否完成生活史的存活率。

(三) 觀察麵包蟲和麥皮蟲的繁殖、親代照顧行為

1. 觀察 100 隻麵包蟲和 100 隻麥皮蟲幼蟲、準備化蛹動物行為的不同。
2. 觀察兩種幼蟲尋找橫向、縱向躲避物的行為。
3. 觀察兩種蟲蛻皮次數與長度變化，蛹期前的不同行為。
4. 觀察兩種蟲蛹期前是否回找單獨化蛹巢穴之行為。
5. 觀察兩種化蛹、成蟲的生殖部位之不同。
6. 觀察成蟲的交尾情形及卵期的特徵。

(四) 觀察麵包蟲和麥皮蟲的鑽入飼養箱、防禦行為

在飼養與觀察的過程中發現，有些幼蟲喜好鑽入飼養箱的縫隙中，因此針對這種行為，設計如下實驗來尋求答案：1. 以粗細不同的吸管布置縱向、橫向的管道(各 10X3 排)，一共兩套，分別飼養 100 隻麥皮蟲及麵包蟲；觀察兩種蟲有無鑽進吸管中？隨著時間有無增加數量？2. 一樣的飼養環境，但採用不同材質、不同大小、不同形狀進行實驗設計；觀察兩種蟲的反應；以大量麥粉堆疊，放入 100 隻麥皮蟲及麵包蟲混養，觀察其領域性行為和防禦行為。3. 以毛刷刺激兩種蟲，觀察其假死的行為反應。

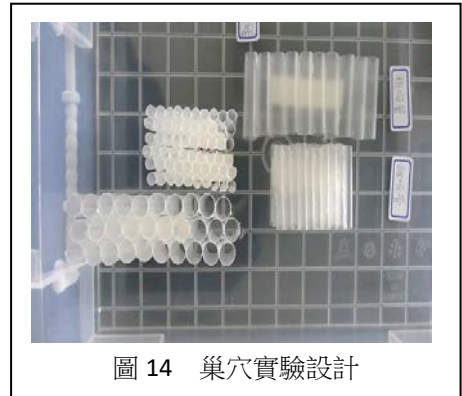


圖 14 巢穴實驗設計

二、以 ImageJ 軟體和微量天平測量麵包蟲和麥皮蟲食用七種塑膠種類之情形。

- (一) 文獻資料說明兩種蟲腸道具有食用編號 2、6 號塑膠的分解細菌。
- (二) 收集七種編號塑膠被吃的剩餘塑膠，並且一一放置在平臺上整理。
- (三) 將 ImageJ 安裝在電腦上，掃描和記錄吃食過的塑膠殘體，並進行分析。



圖 15 分析平面被兩種蟲啃食後的食物殘體

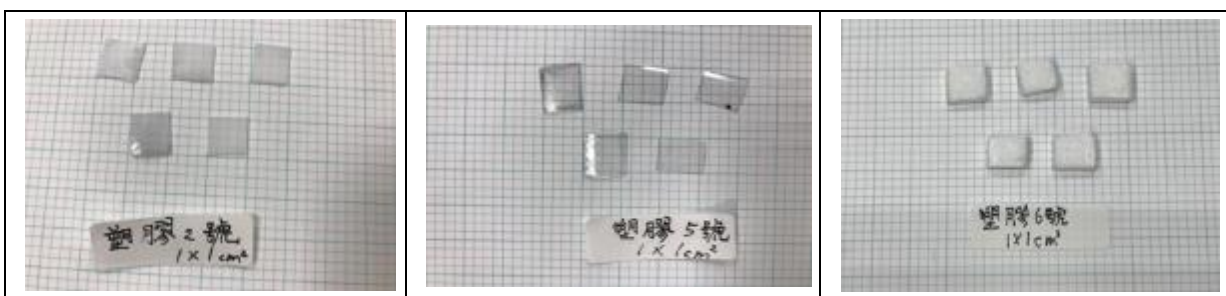


圖 16 被啃咬後各號塑膠片以 ImageJ 測量面積

ImageJ 是由美國國家衛生研究院 (NIH) 開發的一套影像分析軟體，除了基本圖像操作、縮放、旋轉、扭曲、平滑處理外，ImageJ 還能進行圖片的區域和面積統計、間距角度計算，能建立柱狀圖和剖面圖，進行塑膠照片變換，精準測量面積。

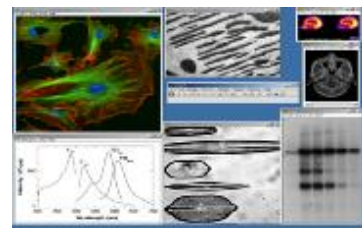


圖 17 ImageJ 影像分析軟體功能介紹

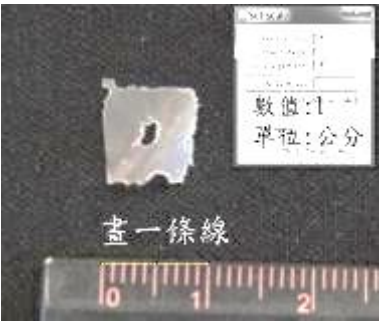
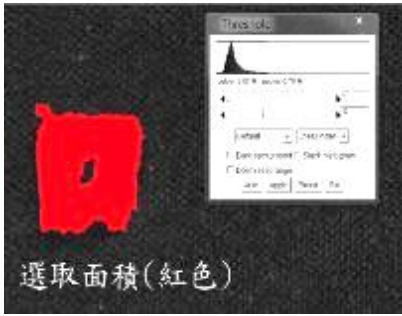
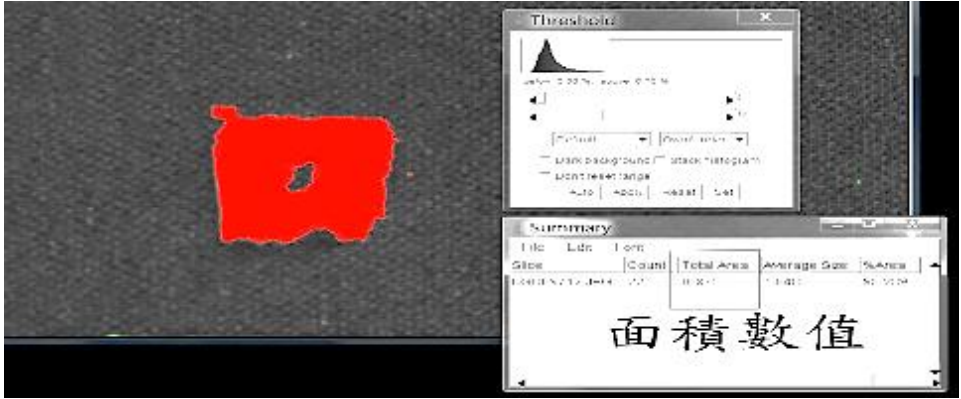
<p>步驟一</p>	<p>校正長度:照片中畫一直線，輸入實際的尺寸就可知道圖片每一像素，所代表的實際長度</p>		<p>步驟二</p>	<p>選取面積</p>  <p>選取面積(紅色)</p>
<p>步驟二</p>	<p>設定測量容差後，便可測量出面積</p>	 <p>面積數值</p>		

圖 18 ImageJ 影像分析軟體實測步驟介紹

三、微量天平測量：不是平面又具有韌性測量重量(編號 1、3、5、6 塑膠)

(一)關上天平側門，輕按天平面板上的歸零鍵（Tare），電子顯示螢幕上出現 0.000g 閃動。待數字不再跳動後，表示天平已穩定，就可以進入準備稱量狀態。

(二)打開天平側門，將盛有化學樣品的器皿、容器或紙放到物品托盤上，關閉天平側門，再按一次歸零鍵(Tare)，就可以開始秤量所需的樣本或藥品。

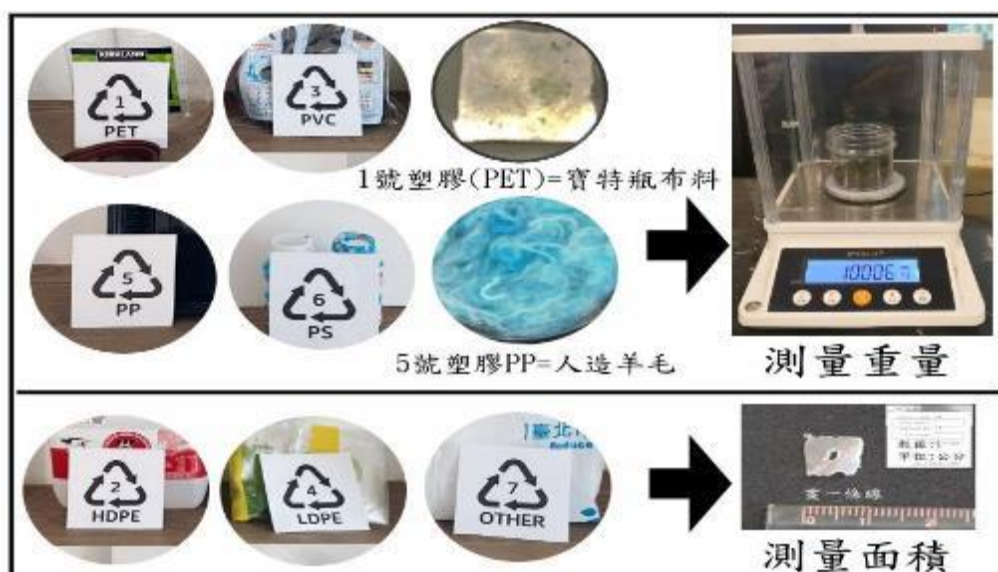


圖 19 用微量天平測量塑膠重量與兩蟲食用面積

四、實驗設計：溫溼度實驗、空間實驗、找尋巢穴實驗、食用性蔬果味誘導實驗。

(一)探討溫度對麵包蟲和麥皮蟲生長的影響

1. 文獻資料說明兩種蟲適合的飼養溫度為18~30°C，減少蟲體折損。
2. 觀察兩種蟲各200隻在15-19°C、20-24°C、25-29°C三種溫度間距生長狀況。
3. 每次觀察時，記錄當下的溫度，進行分析適合溫度的飼養條件。



圖 20 每天記錄飼養當時的室溫溫度

(二)探討溼度對麵包蟲和麥皮蟲生長的影響

1. 文獻資料說明兩種蟲適合飼養溼度為60~70%，減少蟲體折損。
2. 觀察兩種蟲各200隻在60-64%、65-69%、70-74%、75-79%、80-85%等五種溼度間距時的生長狀況；進行分析適合溼度的飼養條件。



圖21 每天記錄飼養當時的室溫溼度

(三)空間問題對麵包蟲和麥皮蟲生長的影響

1. 圓形小型飼養盒(直徑約4.3公分)飼養麵包蟲5、10、50隻；麥皮蟲5、10隻。
2. 中型手提式飼養箱(8cm×15.8cm)飼養麵包蟲100、500隻；麥皮蟲50、100隻。
3. 大型分隔板收納箱(30cm×74cm)飼養麵包蟲100、500隻；麥皮蟲50、100隻。
4. 觀察兩種蟲的活動空間，數量不同飼養情形、活動與吃食物重量相關性。



圖 22 不同飼養空間多大的空間以面積，達到最大的空間利益(存活率高、食量量大)
 小型飼養盒面積： 55cm^2 、中型飼養箱面積： 125cm^2 、大型分隔板收納箱面積： 2000cm^2

(四)天然食用性氣味誘導兩種蟲啃食 4 號塑膠(塑膠袋)、2 號塑膠

1. 麵包蟲和麥皮蟲的嗅覺實驗(4 號塑膠(塑膠袋))

- (1)以半球模型(圖9)，設計讓兩種蟲對氣味產生趨、避的實驗裝置。
- (2)準備氣味濃郁的天然蔬、果素材各100克，以研鉢搗碎並以離心機萃取汁液，以滴管頭和毛細玻璃管進行定量氣味實驗(圖21、22、23)。



圖 23 青菜、薑、橘子皮、洋蔥、薄荷、辣椒 各 10 克搗碎後離心



圖 24 離心後以毛細玻璃管抽取上層天然精油

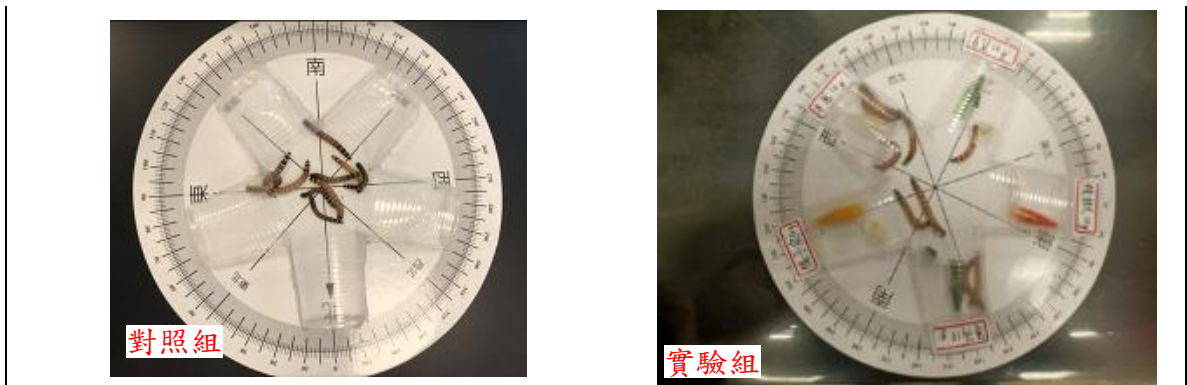


圖 25 測試三次麥皮蟲和麵包蟲移動速度

2. 麵包蟲和麥皮蟲對食用性蔬果、香精、香料的趨避實驗

將天然食用性蔬果、香精、香料調製稀釋成1%的濃度；將香精、香料以針頭定量1ml注入實驗組打洞的夾鏈袋(4號塑膠)中，對照組不處理。

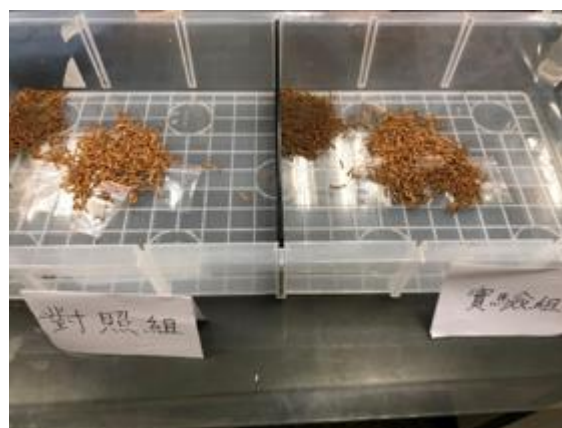


圖 26 誘導氣味到塑膠四號上，增加食量

3. 麵包蟲和麥皮蟲對食用性蔬果、香精、香料的趨避實驗

(1) 將誘導劑夾鏈袋放入各50g(約100隻)麵包蟲和50g(約400隻)麵包蟲的飼養箱中，進行三次實驗。

(2) 以ImageJ進行夾鏈袋被吃食的面積測量，統計分析數據來進行比較。

五、進行顯微鏡觀察麵包蟲和麥皮蟲的腸道內容物、排泄物，了解吃塑膠的情形。

(一)以 100 倍、400 倍光學顯微鏡觀察餵食塑膠 6 號(保麗龍)的兩種蟲之腸道。

(二)以 100 倍光學顯微鏡觀察兩種蟲的糞便，進行大小與型態的分析。

(三)利用解剖針取出已經死亡的兩種蟲(餵養 3 號、4 號、6 號塑膠)的腸道，稀釋內容物和排泄物，放在玻片上。

(四)利用 100 倍解剖顯微鏡尋找塑膠碎屑，並拍下顯微攝影照片。

六、根據以上實驗設計多功能飼養箱，找出最好的飼養方法與經濟效益。

(一)彙整之前實驗的飼養經驗，

設計多功能飼養箱。

(二)依照需求設計三層盒子的飼養箱，以雙面膠和熱熔槍黏貼和組裝；增加紗網分層、量尺蓋子防逃脫、活性炭吸臭和 USB 風扇讓空氣流通，裝在盒子的右側。嘗試

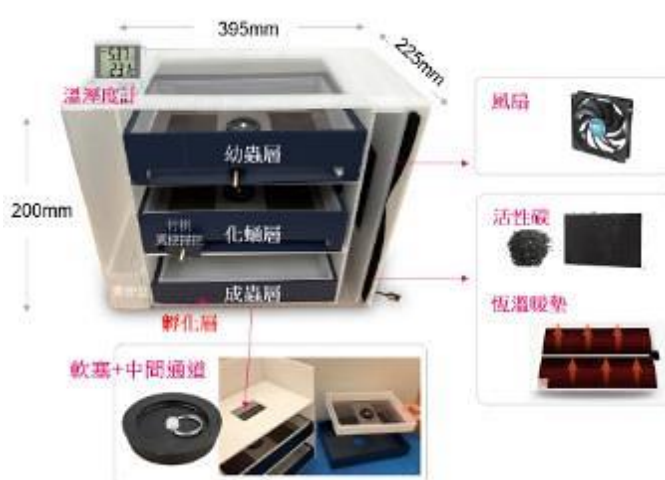


圖 27 多功能飼養箱的設計說明

推廣到適合的場所和適合放置的擺設位置。

七、麵包蟲和麥皮蟲的排泄物種植植物實驗，說明其利用價值

(一)排泄物實驗室數據分析

1. 收集兩種蟲的糞便(吃編號4號塑膠)並用篩子篩過。
2. 將兩種蟲的糞便裝在玻璃瓶(不可以用塑膠容器，化驗塑化劑可能受二次汙染的影響)，送台灣檢驗科技公司SGS超微量工業安全實驗室Ultra Trace Industrial Safety Hygiene檢驗室化驗。



圖 28 收集兩種蟲(吃編號 4 號塑膠)的糞便進行化驗

(二)種植植物~有機肥料

1. 因為麥皮蟲身軀大，死亡率，死亡屍體，混雜糞便一起栽種植物的成效分析。
2. 栽種植物：青江菜、牛奶白菜各50棵，施用有機堆肥的當作實驗組(每週加5g、10g、15g、20 g有機堆肥)；沒有施肥的植物當作對照組。



圖 29 收集、清理死亡殘體和糞便進行有機堆肥



圖 30 施以有機肥料的蔬菜種植情形

肆、研究結果

一、探討食物、運動、繁殖、防禦行為對麵包蟲和麥皮蟲生活史的影響。



圖 31 購買的麥皮蟲和麵包蟲，不具野外生活能力(怕溼、怕冷、怕熱)。

(一)探討食物對麵包蟲和麥皮蟲生活史的影響

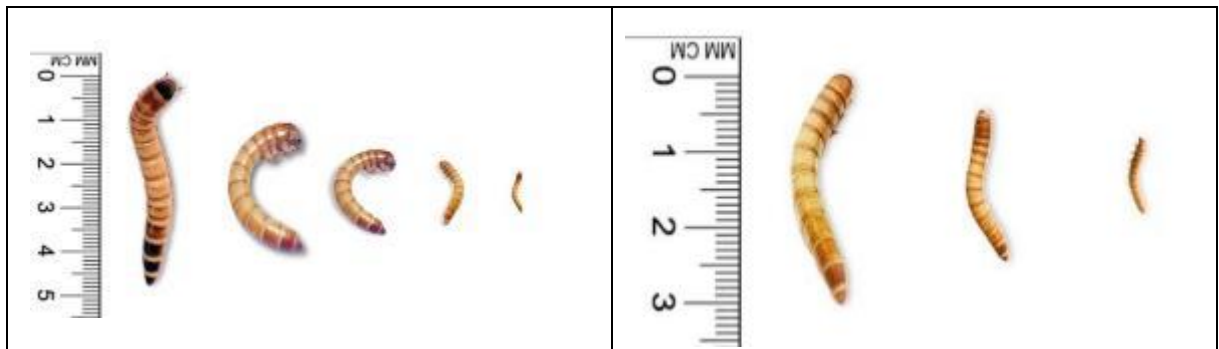


圖 32 麥皮蟲一齡蟲到五齡蟲身體成長。

圖 33 麵包蟲一齡蟲到三齡蟲身體成長。

在幼蟲取食行為，這兩種幼蟲只取食單一飼料(如乾麥麩)時，發育繁殖的情況較差，如果餵食期間出現水分，更會增加死亡率，麥皮蟲尤為嚴重。如果餵食的食物多樣化，例如添加綠色植物食材(山蘇)可以有效提升存活率，增加食塑的期間拉長，所以延長幼蟲期才能達到符合永續經營的目標。

麥皮蟲為擬步行蟲科，幼蟲階段為一到五齡，體長從約 0.5 公分成長到 5--6 公分；麵包蟲為黃粉蟲科，幼蟲階段為一到三齡，從 0.5 公分成長到 3~4 公分左右；兩者體型大小相差很大。麥皮蟲蛹長度約為麵包蟲的 2~3 倍。兩者成蟲的比例，麥皮蟲就很像是放大版的麵包蟲。



1cm 圖 34 雙蟲蛹大小比較

(二) 探討運動對麵包蟲和麥皮蟲生活史的影響

1. 經過一年來的觀察，發現兩種蟲都是夜行性動物，在白天依然會活動，只是晚上活動較為頻繁，尤其以麥皮蟲最為明顯，夜晚活動力非常強。觀察麵包蟲和麥皮蟲與其他昆蟲的領域性。以大量麥粉堆疊實驗，初期食物足夠時，兩蟲會各自取食，但到二週後，食物開始不足，兩者互相干擾情況日益嚴重，部分死去的蟲體會遭受同類或異類啃食，因此會降低存活率。



圖 35 堆疊麥粉進行領域性觀察研究

2. 兩種蟲混合養，兩種蟲的食物量有很大的差異，麥皮蟲對食物比較挑剔，白天不愛動，死亡率比麵包蟲多。麵包蟲白天愛活動，食用較軟的食材，生活史短，在惡劣環境下，會急速化蛹。所以，兩種蟲混合養可以發現許多麵包蟲化蛹，只看到許多麥皮蟲屍體，因為麥皮蟲需要在單獨環境下化蛹。
3. 單一蟲各期分層養，大大降低不同階段互相干擾情況。一來減少化蛹期遭到干擾的情況。二來可以將成蟲集中，增加交配產卵的機會，成蟲飼養區必須在底下放置濾網，以利收集卵，增加繁殖成功的機會。
4. 單一蟲一生混合，看見同一種昆蟲的各期，互相攻擊與互食的情狀嚴重，存活率偏低，各期昆蟲的領域性強，干擾嚴重，有吃卵的情形，造成孵化率不高。

(三) 探討麵包蟲和麥皮蟲的生活史

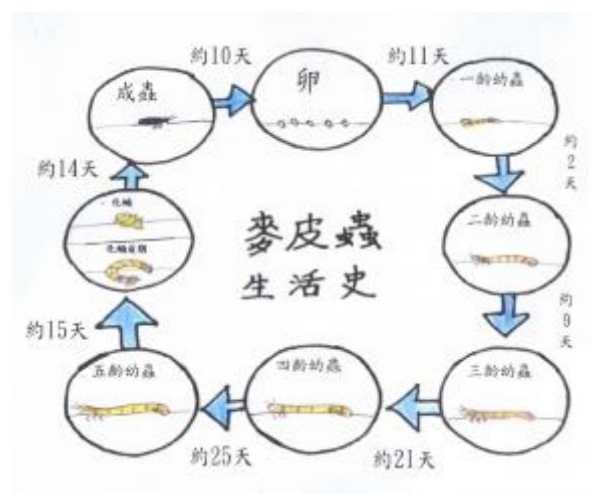
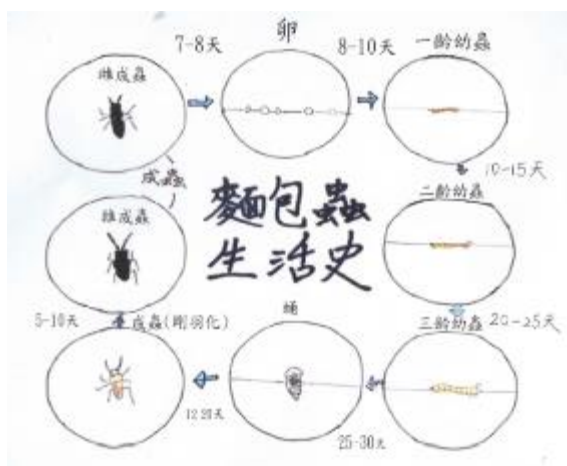


圖 36 麵包蟲、麥皮蟲生活史(根據作者觀察手繪圖)

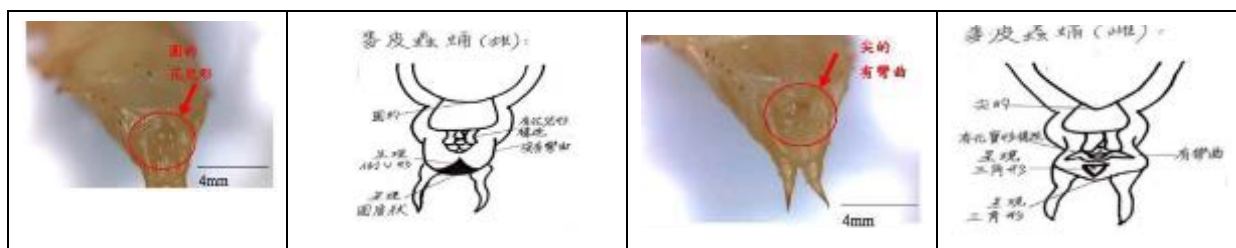


圖 37 麥皮蟲以蛹的尾部分辨雄、雌

表 1 兩種蟲變態日期：麵包蟲各階段生命週期在不同季節的大約存活天數

日期	2021/03/02~ 2021/05/07				2021/05/20~ 2021/08/23				2021/08/25~ 2021/10/31				2021/11/02~ 2022/02/15			
季節	春季				夏季				秋季				冬季			
生命階段	卵	幼蟲	蛹	成蟲	卵	幼蟲	蛹	成蟲	卵	幼蟲	蛹	成蟲	卵	幼蟲	蛹	成蟲
大約天數	9	61	12	8	7	58	10	7	8	63	14	8	10	67	16	9

表 2 麥皮蟲各階段生命週期在不同季節的大約存活天數

日期	2021/03/02~ 2021/05/07				2021/05/20~ 2021/08/23				2021/08/25~ 2021/10/31				2021/11/02~ 2022/02/15			
季節	春季				夏季				秋季				冬季			
生命階段	卵	幼蟲	蛹	成蟲	卵	幼蟲	蛹	成蟲	卵	幼蟲	蛹	成蟲	卵	幼蟲	蛹	成蟲
大約天數	11	72	14	10	9	70	12	8	10	74	14	12	13	79	19	14

實驗發現：

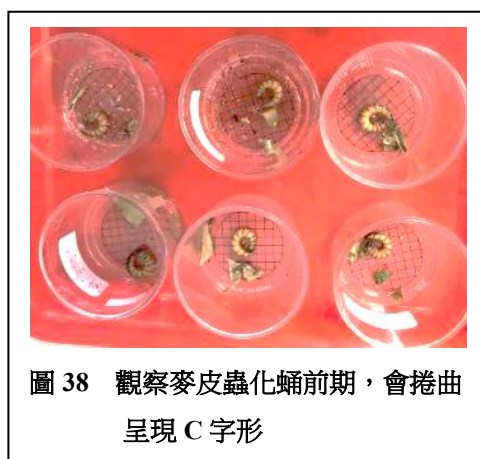
1. 兩種蟲都是完全變態的昆蟲，麥皮蟲生命週期較長，在寒冷的冬季，兩者幼蟲期較長，夏季則較短，秋冬則介於在兩者之間。一齡蟲的食物充足，很快進入二齡蟲、三齡蟲
2. 化蛹階段幾乎沒有行動能力，麥皮蟲需要一個安全空間來化蛹，幼蟲後期喜歡鑽入細長的封閉空間中，看似在尋找化蛹的空間。麵包蟲對空間的要求不像麥皮蟲那麼高，化蛹和羽化的時間相對短。
3. 吃卵行為：在飼養時，必須在成蟲飼養區加上濾網，避免產下的卵遭到親蟲食用，幼蟲也有吃卵行為。本組架設鐵網，底下鋪麥粉，讓卵得以保存。

4. **飼養世代**：發現雄成蟲會爬到雌成蟲身上，進行短暫的交尾後即分開；一年裡已經看到第三代的蟲體，只是卵的產量和孵化率都不高，**可能**與餵食保麗龍可能有關。

(四)觀察麵包蟲和麥皮蟲的防禦行為

1. **幼蟲**：兩種蟲的幼蟲都有假死現象，**不動或翻肚**，都僅有數秒鐘就快速爬走或逃脫。兩種蟲都有良好的「定位」功能，在盒子邊緣都不會掉落，「定位」就是指生物體自我控制其位置，調整其與周遭空間的相對關係。**兩種幼蟲**在光滑面也不會滑倒，推測與三對足和一對尾足，加上剛毛的功能所致。觀察**兩種幼蟲**都會鑽洞，代表具有挖洞穴求生的本能，**可能**具有**領域行為**。

2. **化蛹**：麥皮蟲化蛹前期，會捲曲呈現**C**字形，一被輕觸，會不斷扭動小幅度移動身軀。麵包蟲被刺激時反應較慢，是比較冷靜的化蛹期。



3. **成蟲**：兩者成蟲都喜歡爬行，被刺激也飛不起來，猜測是因為人工飼養，體重較重。壽命長達 2-3 週，成蟲屍體會被其他成蟲啃食和支解，撿拾屍體顯微鏡觀察，發現有數十隻的塵蟎在啃食。
4. **兩種幼蟲**都喜愛鑽入較為陰暗的環境，將麥粉舖上，**兩種幼蟲**都會往麥粉當中鑽入，如果將飼養箱搖晃，**兩種幼蟲**蠕動加劇，約 1~3 分鐘後都會隱沒在麥粉當中。
5. **兩種成蟲**各自有群聚的現象，麥皮蟲成蟲受干擾時會散發出類似朽木特殊的氣味驅散其他物種；**成蟲**也有**裝死行為**。

二、以 ImageJ 軟體和微量天平測量麵包蟲和麥皮蟲食用七種塑膠種類之情形。

- (一)將 2、4、7 號塑膠，面積以 $(1 \times 1)\text{cm}^2$ 、 $(2 \times 2)\text{cm}^2$ 、 \dots 、 $(10 \times 10)\text{cm}^2$ 到重量以 30g、60g、90g，進行餵食各 10 隻的 3 齡麵包蟲和各 10 隻的麥皮蟲。結果如下：

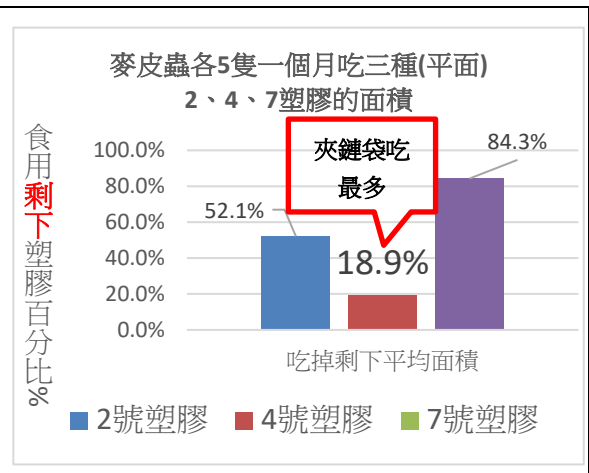
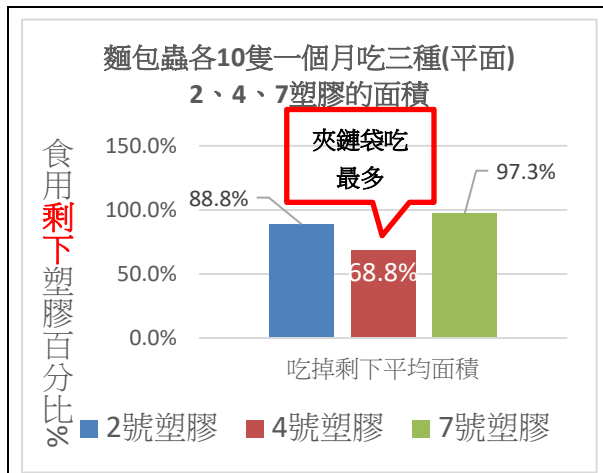


圖 39 麵包蟲吃 2、4、7 塑膠實驗結果統計圖

圖 40 麥皮蟲吃塑膠 2、4、7 實驗結果統計圖



圖 41 麵包蟲和麥皮蟲吃塑膠的情形

小結：兩種幼蟲吃4號塑膠較多，吃2號和7號塑膠較少；麥皮蟲吃編號2、4、7號塑膠的量多於麵包蟲吃的量。(僅2、4、7塑膠可以測量面積，以Image J進行測量)

(二)探討飼養食物測量

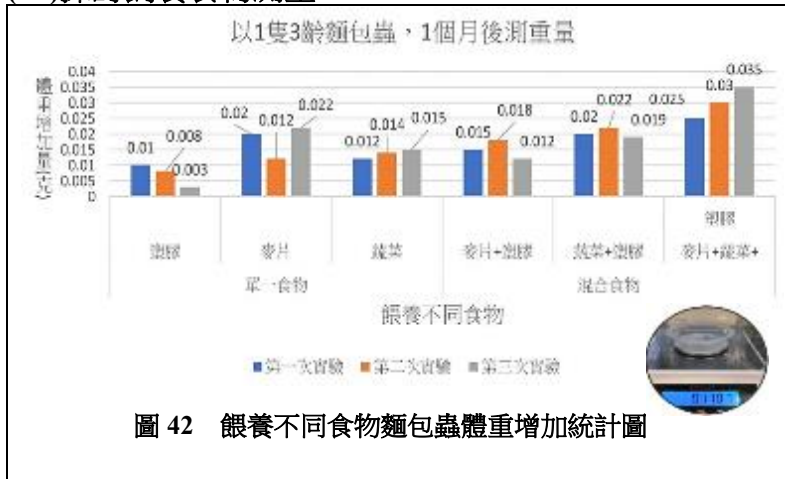


圖 42 餵養不同食物麵包蟲體重增加統計圖

小結：以單一食物來說，餵食麥片的麵包蟲體重增加最為顯著；以混合食物來說，以塑膠、麥片、蔬菜三種食物混合，麵包蟲的體重增加最為明顯；其中以編號4號塑膠，被食用最多。以塑膠、蔬菜、麥片三種食物混合的比例:以1:2:3 塑膠、蔬菜、麥片體重增加效果最明顯。(實驗結果在原始筆記中)



圖 43 餵養不同食物麥皮蟲重量增加統計圖

小結：以單一食物來說，餵食塑膠的麥皮蟲體重增加最為顯著；以混合食物來說，以塑膠、麥片、蔬菜三種食物混合(1:2:3比例)，麥皮蟲的體重增加最為明顯；其中以編號4號塑膠，被食用最多。



意外發現：兩種蟲會吃山蘇、A菜、空心菜外，也會吃校園裡的外來種小花蔓澤蘭！



圖 44 兩種蟲都會食用山蘇、A 菜、空心菜、小花蔓澤蘭

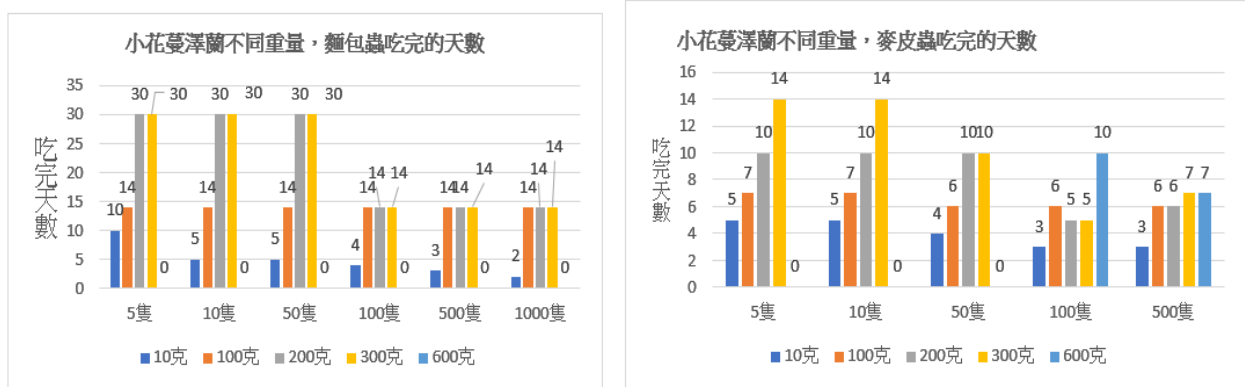


圖 45 兩種蟲食用小花蔓澤蘭的的重量與天數

小結：麵包蟲食用小花蔓澤蘭的量比麥皮蟲少很多，目前，以人工摘除小花蔓澤蘭為主，以雙蟲來食用小花蔓澤蘭，也是節能減碳的方法之一！

三、設計溫溼度實驗、空間實驗、找尋巢穴實驗、食用性氣味誘導吃塑膠實驗。

(一)探討溫度對麵包蟲和麥皮蟲生活史的影響。

以 200 隻麵包蟲和 200 隻麥皮蟲進行 15-19°C、20-24°C、25-29°C 三種飼養溫度的生長實驗，結果說明如下：

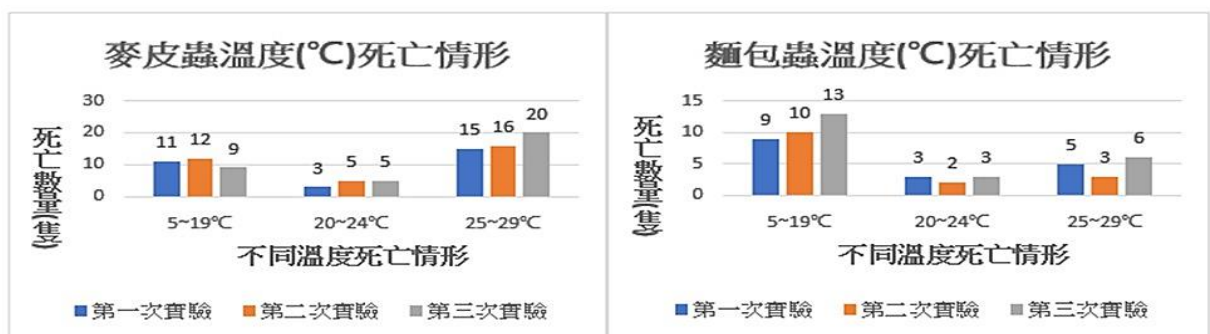


圖46 不同溫度兩種蟲死亡數量統計圖

小結：以環境溫度來說，15~19℃最不利麵包蟲生存；25~29℃最不利麥皮蟲生存。

20~24℃是兩者生存最適當的溫度。目前這一年來實驗室室溫都控制在22~23℃恆溫裝置。

(二) 探討溼度對麵包蟲和麥皮蟲生活史的影響。

以 200 隻麵包蟲和 200 隻麥皮蟲進行 60~64%、65~69%、70~74%、75~79%、80~85%等溼度的生長實驗，結果說明如下：

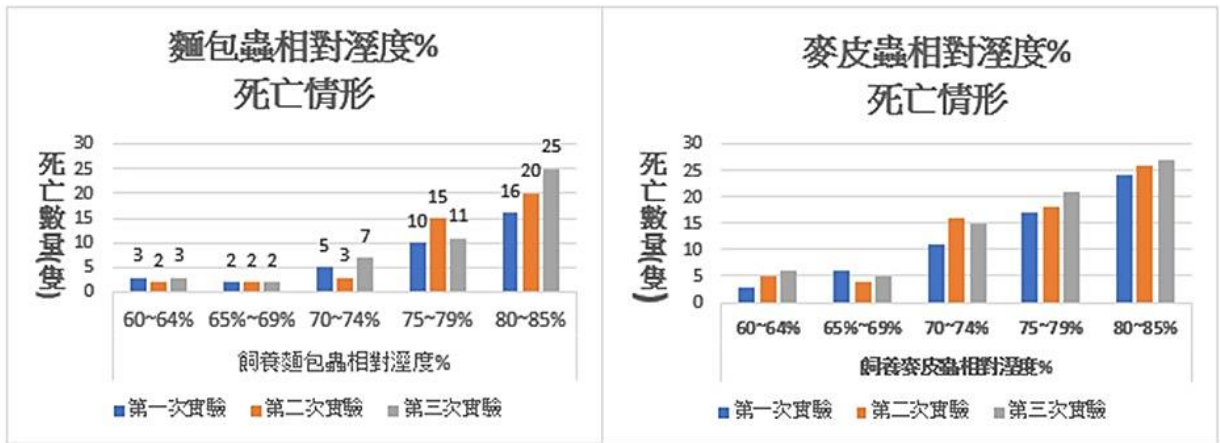


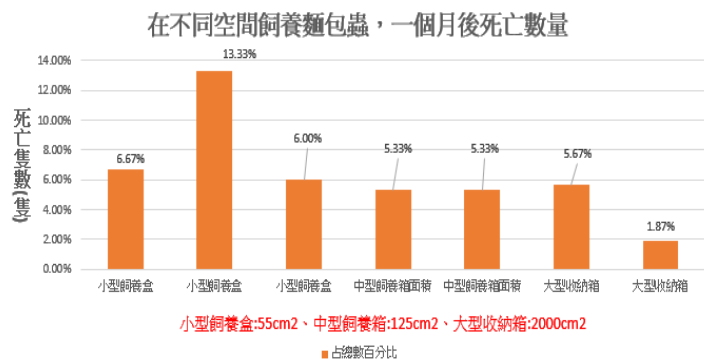
圖47 不同相對溼度兩種蟲死亡數量統計圖

小結：以環境的相對溼度來說，溼度過低60~64%、或過高80~85%皆不適合麵包蟲與麥皮蟲生存，溼度也是重要的環境因素。目前這一年來實驗室溼度都控制在70~74%冷氣房中。

(三) 以大、中、小飼養盒，進行兩種蟲飼養，計算兩種蟲的死亡率。

表 3 不同空間飼養麵包蟲一個月後死亡數量(隻)

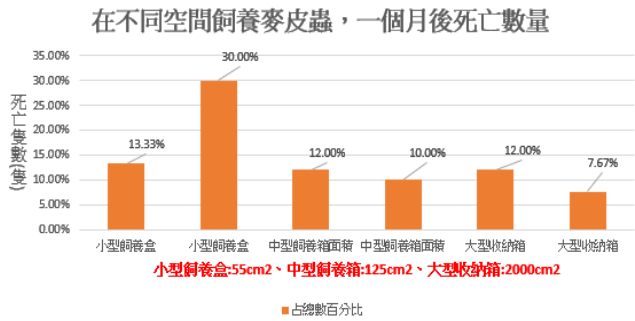
麵包蟲 死亡隻數	小型飼養盒			中型飼養箱		大型收納箱	
	總數 5	總數 10	總數 50	總數 100	總數 500	總數 100	總數 500
第一次實驗	0	1	3	6	11	3	8
第二次實驗	1	1	5	5	8	8	10
第三次實驗	0	2	1	5	11	6	10
死亡平均隻數	0.333	1.333	3.000	5.333	10.000	5.667	9.333
占總數百分比	6.667%	13.333%	6.000%	5.333%	2.000%	5.667%	1.867%



小結：以麵包蟲來說，圓形小型飼養盒不利於當飼養盒，平均死亡率較高，僅適用觀察用；中、大型收納箱比較適合飼養麵包蟲，尤其大型收納箱可以飼養500隻麵包蟲，死亡率1.867%，可以增加塑膠被啃食機會。

表 4 不同空間飼養麥皮蟲一個月後死亡數量(隻)

麥皮蟲 死亡隻數	圓形小型飼養盒		中型手提式飼養箱		大型收納箱	
	5	10	50	100	50	100
第一次實驗	1	4	5	11	4	9
第二次實驗	0	3	8	9	8	6
第三次實驗	1	2	5	10	6	8
死亡平均隻數	0.667	3.000	6.000	10.000	6.000	7.667
占總數百分比	13.333%	30.000%	12.000%	10.000%	12.000%	7.667%



小結：以麥皮蟲來說，圓形小型飼養盒不利於當飼養盒，平均死亡率較高，僅適用觀察用；中、大型收納箱比較適合飼養麥皮蟲，尤其大型收納箱可以飼養100隻麥皮蟲，死亡率7.667%，可以增加塑膠被分解。相對而言，大型收納箱飼養麥皮蟲的死亡率高於飼養麵包蟲，可能是麥皮蟲體型比較大，容易窘迫。

(四) 尋找巢穴實驗

鋪設縱橫方向不同的吸管來布置飼養箱飼養兩種幼蟲，結果發現在幼蟲發育期會喜歡鑽入橫向吸管，但化蛹前期階段會鑽入縱向吸管，尤其是半圓型縱向吸管，可能會有更安全的、更靈活的空間來化蛹。



圖 48 兩種蟲尋找並鑽入縫隙照片

(五) 兩種蟲的腸道、排泄物顯微鏡實驗

1. 取出兩種剛餵養食物的兩種蟲的腸道，進行光學顯微鏡下的食糰分析。

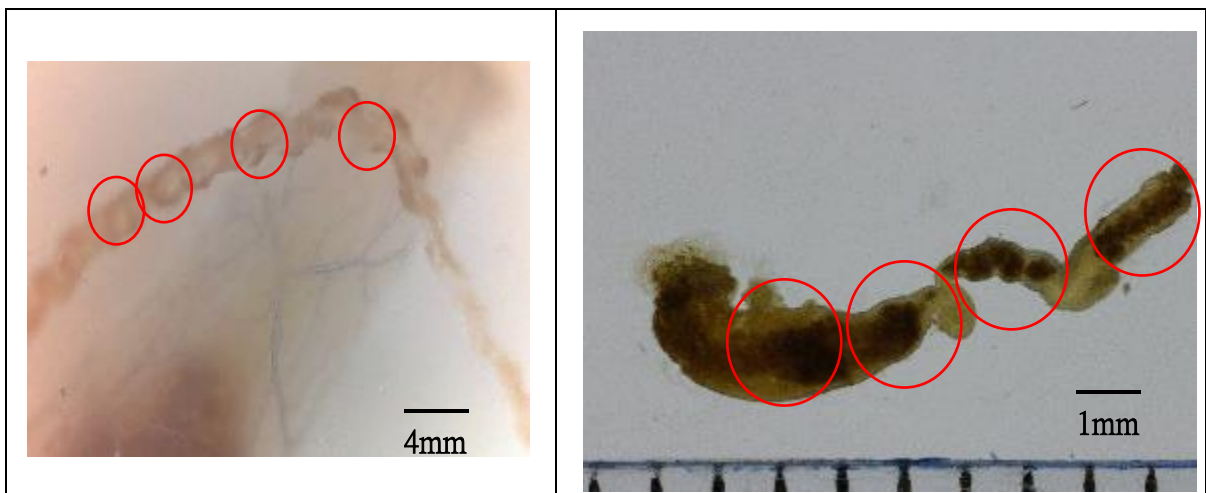


圖49 經由光學顯微鏡(x100倍、400倍)看到腸道系統有疑似白色球體食糰。

2. 我們也針對排泄物進行解剖顯微鏡拍攝。

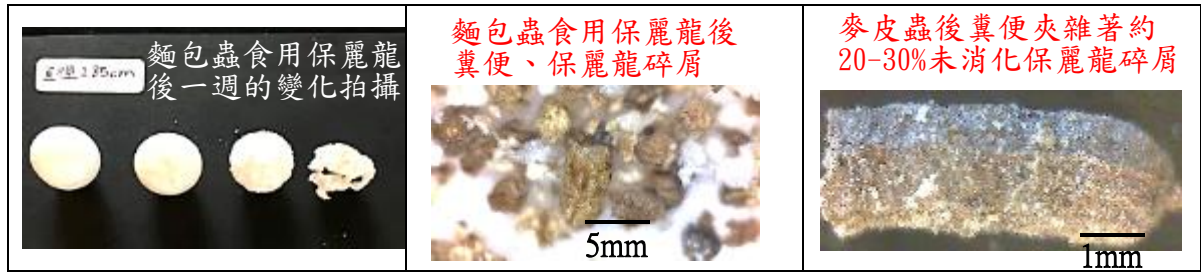


圖50 經由塑膠編號6號逐漸消失，證明被食用的可能性較大。

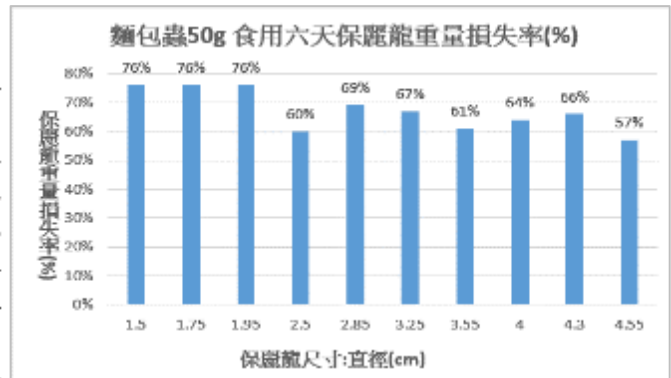
發現腸道只有保麗龍一種食糧，積極試著取出腸內塑膠微粒，若能嘗試分析消化塑膠的百分比，排出塑膠的百分比。

3. 我們以 50 公克重的麵包蟲，用不同尺寸的保麗龍板進行餵食，發現直徑 1.50 的保麗龍板有較大的重量損失率，以平均值來推估，一個月保麗龍的消耗量約為 15.8 公克重。



表5 麵包蟲對於保麗龍的消耗量(單位：g)

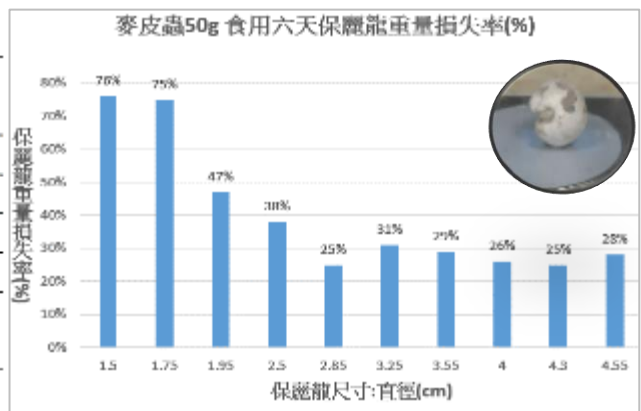
保麗龍尺寸直徑(cm)	1.50	1.75	1.95	2.50	2.85	3.25	3.55	4.00	4.30	4.55
原始重量(g)	0.092	0.349	0.760	1.319	2.019	3.012	4.096	5.155	6.639	8.182
第二天	0.068	0.225	0.523	0.965	1.714	2.612	3.531	4.152	5.741	6.852
第四天	0.051	0.126	0.266	0.621	0.814	2.321	2.338	3.332	4.225	5.837
第六天	0.022	0.084	0.178	0.526	0.652	0.982	1.586	1.852	2.283	3.552
6天保麗龍重量損失率(%)	76%	76%	76%	60%	69%	67%	61%	64%	66%	57%



4. 再以 50 公克麥皮蟲，進行同樣的實驗，發現重量損失率在保麗龍板尺寸逐漸增加時漸趨穩定，但由於同樣重量之下，麥皮蟲的隻數約為麵包蟲的 1/3，而在這個情形之下，以每日的消耗量平均值推算，50 公克重的麥皮蟲一個月會消耗掉 8.3 公克重的保麗龍。

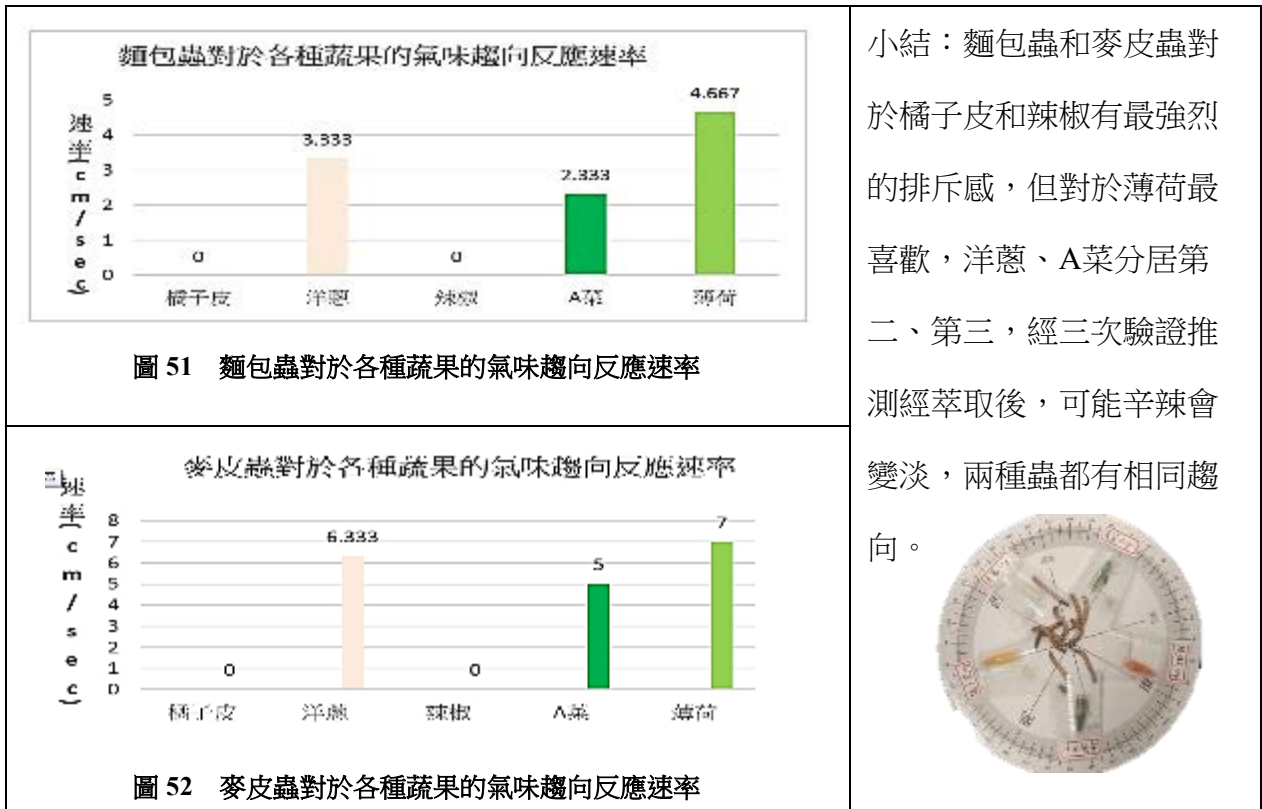
表6 麥皮蟲對於保麗龍的消耗量(單位：g)

保麗龍尺寸直徑(cm)	1.50	1.75	1.95	2.50	2.85	3.25	3.55	4.00	4.30	4.55
原始重量(g)	0.088	0.429	0.827	1.429	2.024	2.928	4.215	5.324	6.713	8.128
第二天	0.073	0.387	0.647	1.358	1.724	2.583	3.918	4.752	6.326	7.582
第四天	0.043	0.183	0.528	1.013	1.687	2.425	3.687	4.508	5.978	7.231
第六天	0.021	0.106	0.438	0.889	1.528	2.002	2.982	3.926	5.019	6.132
6天保麗龍重量損失率(%)	76%	75%	47%	38%	25%	31%	29%	26%	25%	28%



四、以天然食用性蔬果味香精、香料，誘導兩種蟲在各種塑膠上啃食

(一)用方位盤測試兩種蟲對萃取後天然蔬果的氣味反應(驅、避)



小結：麵包蟲和麥皮蟲對於橘子皮和辣椒有最強烈的排斥感，但對於薄荷最喜歡，洋蔥、A菜分居第二、第三，經三次驗證推測經萃取後，可能辛辣會變淡，兩種蟲都有相同趨向。

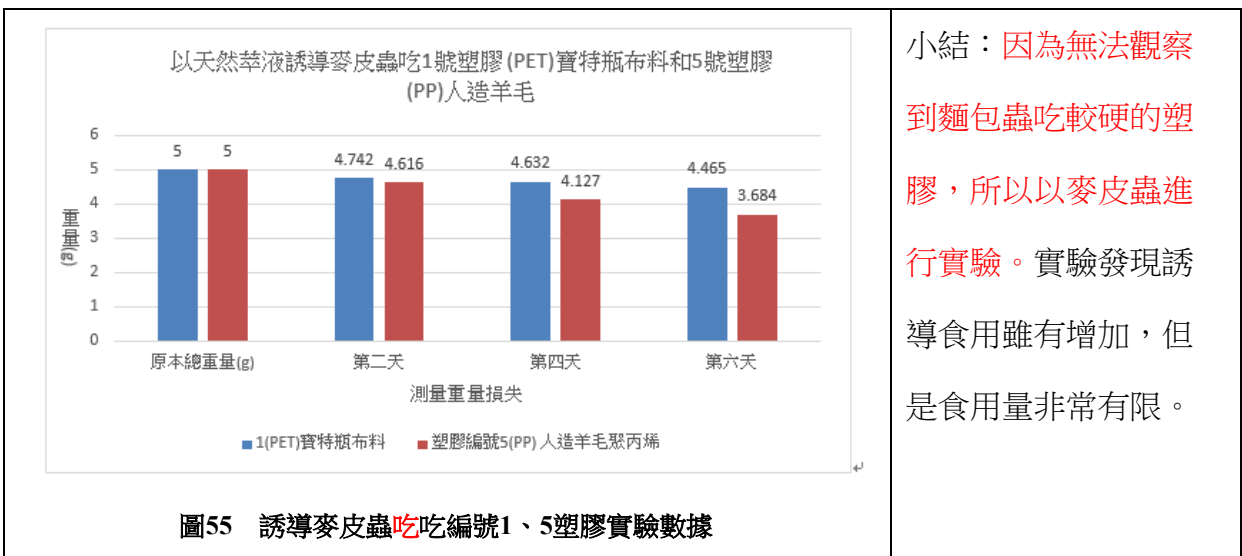


(二)以天然萃取液誘導不喜歡吃 1 號塑膠 (PET)寶特瓶布料和 5 號塑膠(PP)人造羊毛



圖 53 1 號塑膠(PET)寶特瓶布料

圖 54 5 號塑膠(PP)人造羊毛



小結：因為無法觀察到麵包蟲吃較硬的塑膠，所以以麥皮蟲進行實驗。實驗發現誘導食用雖有增加，但是食用量非常有限。

(三)一個月天然香精誘導兩種蟲吃編號 1, 4, 5 號塑膠實驗(採用重量百分率濃度%)

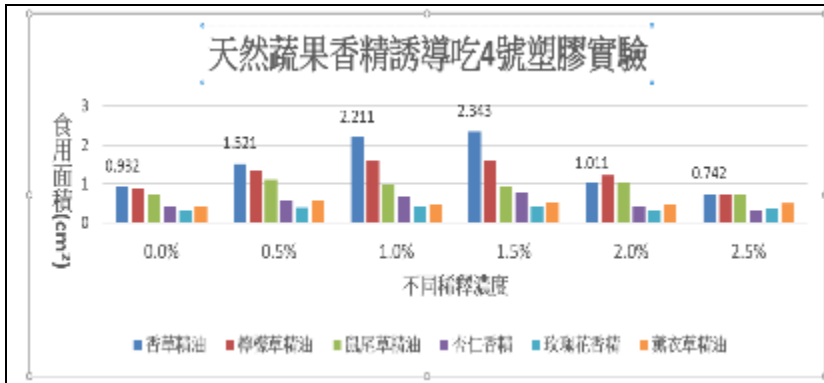


圖56 天然蔬果香精(薄荷)誘導吃4號塑膠實驗

小結：以香草精油濃度 1.5%最為顯著，濃度增加在某個範圍內，會增加誘導效果，根據觀察 1.5%是極限值。

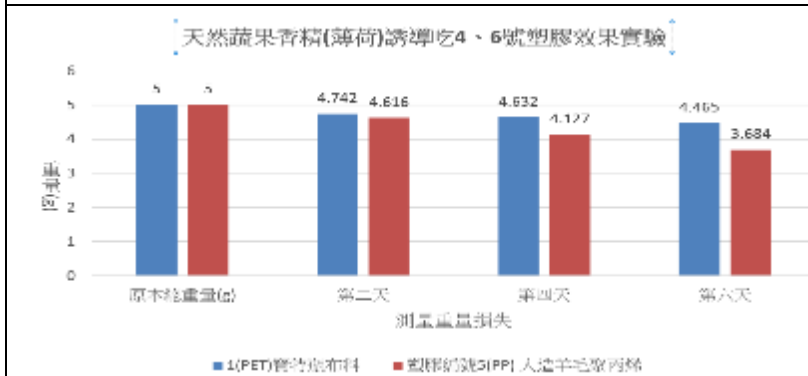


圖 57 薄荷誘導誘導吃編號 1、5 號塑膠實驗

小結：薄荷氣味，濃郁無刺激性，確實可以誘導麥皮蟲食塑量增加吃食1號塑膠 (PET)寶特瓶布料和5號塑膠(PP)人造羊毛。

五、纖維材料餵食麵包蟲、麥皮蟲的啃食結果

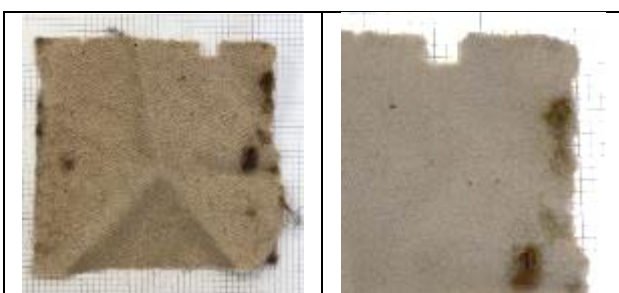


圖 58 堆積成山的回收衣

三大合成纖維名稱	主要成分
聚酯纖維 (PET)	聚對苯二甲酸乙二酯
聚酰胺纖維(Nylon)	胺基酸的線性聚合體，又稱 Polyamide
聚丙烯纖維 (Acrylic)	聚丙烯腈纖維 Polyacrylonitrile (PAN) 是加成聚合物。

(一) 實際觀察與實驗情形

1. 紡織品啃咬情形觀察



經過一週的觀察，發現麵包蟲與麥皮蟲啃食時，會將布拆成紗線，再將紗線拆解成為纖維，然後在布邊會出現咬痕，麥皮蟲啃過的羊毛布表面就佈滿很多成團的纖維。

圖 59 紡織品啃咬情形

2. 遭啃食的布料顯微鏡觀察結果




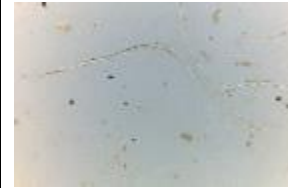




			
第一天聚酯纖維布表面光澤，有一些受污染。	第三天部分紗線纖維鬆脫、光澤變差，污染擴大。	第五天布邊緣出現啃咬現象，纖維污染擴大。	部分的纖維被啃咬後，脫離布面掉落在一旁。
			
第一天尼龍布表面遭到啃咬，並有少量污染	壓克力紗線第一天開始鬆脫。	原本緊繃的壓克力纖維紗線逐漸解體。	第七天，壓克力紗線被解體得更厲害。

圖 60 遭啃食的布料顯微鏡觀察結果

3. 以纖維材料餵食 7 日麵包蟲、麥皮蟲重量損失率

本組實驗餵食樣本有兩種，一種是布料型態，一種是為了提升樣本重量損失率而將布料攪碎成為紗線或纖維狀態，分別統計如下：

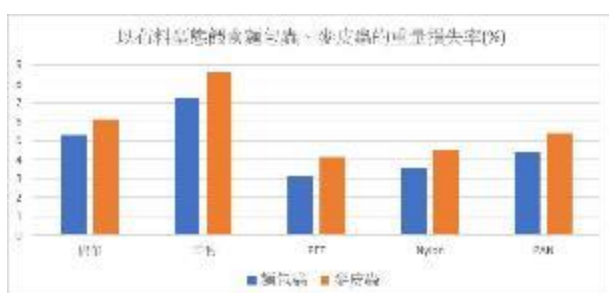


圖 61 以布料型態餵食麵包蟲的重量損失率(%)

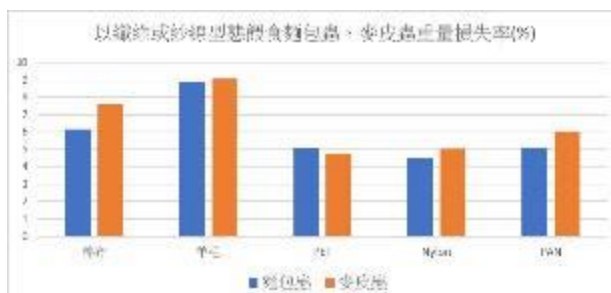
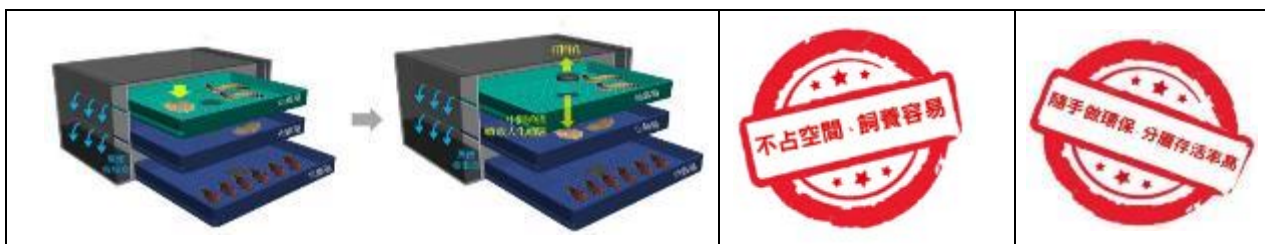


圖 62 以纖維或紗線型態餵食

- 結果發現在重量損失率方面有略微增加，大約 1-2%，材料的軟硬或是細碎的程度也會影響麵包蟲與麥皮蟲的啃食效率。
- 屬於蛋白質纖維的羊毛消耗量最高，合成纖維方面，聚酯纖維布的消耗量最低，絞碎後的聚酯纖維布有助於提升消耗量。

六、設計多功能飼養箱找出最好的飼養方法(死亡率減低、延長幼蟲期為食塑目標)



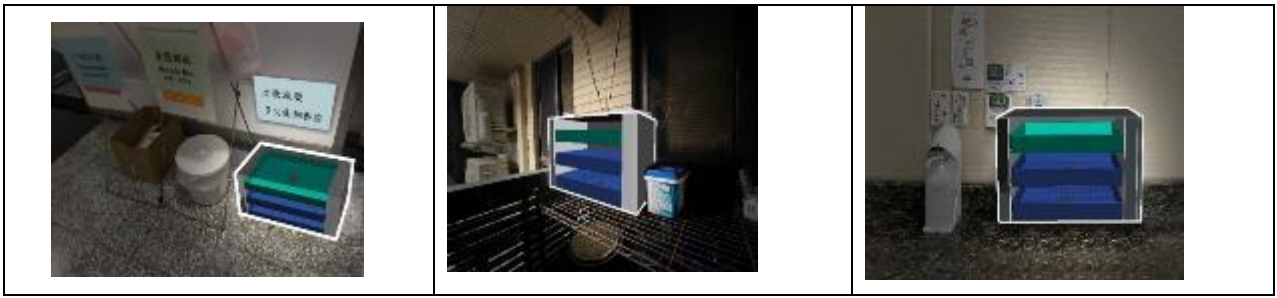


圖 63 多功能飼養箱放置於辦公室陽臺、學校回收區、或室內地上來擺放

設計出長 45 公分、高 35 公分的多功能飼養箱，設計出分齡通道、糞便收集通道，分齡通道飼養盒有分幼蟲、化蛹、成蟲區，可快速分類不同變態的昆蟲，加上溫溼度監控，容易存活，內建簡易控溫暖墊，天冷時保持舒適溫度；活性炭除溼吸臭，並利用風扇，增加空氣對流。糞便收集通道方便清理、快速集中糞便，以利植物施肥。適合放置辦公室、學校、居家的陽臺，兼具美觀、食用和環保的兩種蟲飼養箱，值得推廣，更學會尊重生命與存在種類與數量最多的昆蟲共同相處。

七、麵包蟲和麥皮蟲的排泄物種植植物實驗，說明其利用價值



圖 64 委託台灣檢驗科技公司的超微量工業安全實驗室化驗檢驗塑膠化劑和成分

小結：初步分析 18 種常見塑化劑，實驗結果都沒有被驗出。塑化劑大多是含有苯的化學物質，對於人體會有不良影響，化驗結果顯示麥皮蟲的消化系統有**某些種類細菌**，可以自然分解聚乙烯泡沫塑料(俗稱「保麗龍」)，也能分解讓許多人們擔心的塑化劑，使塑化劑不會殘留在大自然繼續造成汙染。未來期待能將排泄物進行有機堆肥使用，讓環境永續發展利用。

發現實驗組的葉菜類蔬菜長得很快，長葉非常明顯；對照組的蔬菜長得比較慢。



牛奶白菜，2盤對照組（沒加糞便）的俯視和側面的照片各一張；3盤實驗組（各加入5g兩種蟲糞便）觀察其生長情形並測量高度。

圖 65 麵包蟲和麥皮蟲糞便當作有機肥料的可行方法

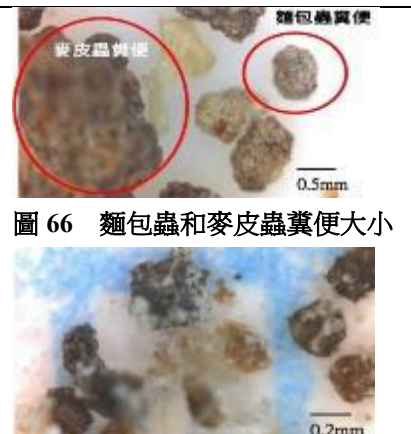


圖 66 麵包蟲和麥皮蟲糞便大小

圖 67 麵包蟲糞便混雜著麥粉

伍、討論

一、我們得到實驗室化驗結果，應該更謹慎的態度去看，因為不同塑膠種類當蟲體攝入，影響因素需要進一步再評估，因為可能會產生更小、更受汙染的顆粒，可能導致奈米級毒性。

二、本組有觀察到兩種蟲會吃蠶繭，因此延伸加入紡織品實驗。**兩種蟲吃羊毛**的量最大，其次是棉

布，最後是人造纖維。人類快速消費造成衣服大量回收，已造成許多已開發和開發中國家重大汙染，**兩種蟲**可以慢慢分解掉布料，是未來人類可以列考慮的研究方向。

三、兩種蟲都愛吃保麗龍、高纖維素的物質，而且吃的速度都相當的快，本研究的**雙蟲屠**

「**龍**」具有不錯的實驗結果，可以加以推廣。當然人們減少使用塑膠製品，才是根本之道，呼籲大家減塑。若不能徹底減塑，至少本研究提供了「**毒進毒不出**」的好方法。

四、生活史飼養大發現:本實驗最辛苦的是一片片在麥片中尋找只有**3mm**的麥皮蟲卵與一齡幼蟲**10mm**外型非常相似，**這是目前在搜尋資料上，前所未見的!**是我們第一次看見的!還有拍下兩種蟲非常清楚

的雄、雌生殖器的不同，這也是本組飼養一年來從**觀察、提問、蒐集資料、提出假設、實驗、結果、討論、結論到歸納成圖表**的豐富學習經驗:



圖 68 麵包蟲會食用蠶絲



圖 69 麥皮蟲卵長條型的卵

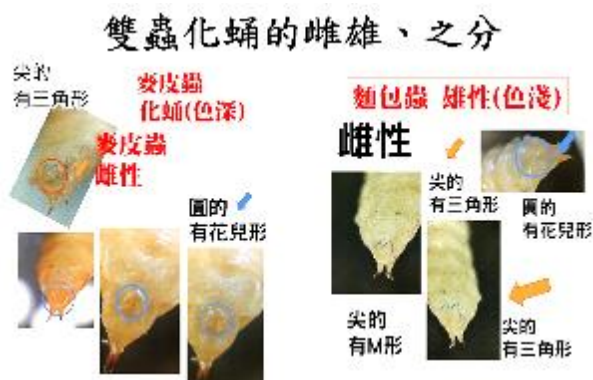


圖 70 兩種蟲的蛹期雌性、雄性之分

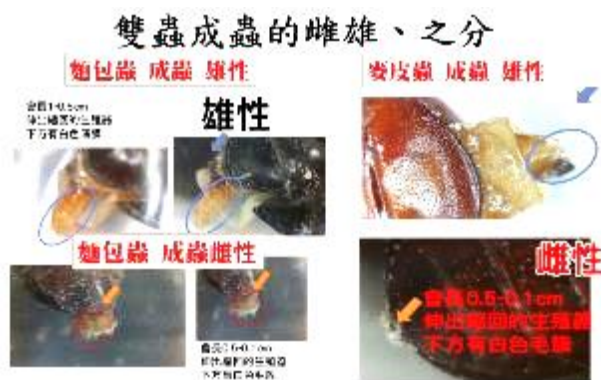


圖 71 兩種蟲的成蟲雌性、雄性之分

兩種蟲雖然身體構造不同，但是，各自有類似的雌性、雄性生殖器，我們根據這些性徵來分辨雌、雄，也發現雌性的蟲體比雄性多。

五、我們也發現，這兩種昆蟲的口器不適合食用太堅硬的食物，例如：雖然都是塑膠一號，如果給牠們食用寶特瓶，牠們吃很慢，雖然用氣味誘導，效果有限；將 1 號塑膠 (PET) 寶特瓶布料餵食牠們，食用速度快很多，這證明顆粒大小、軟硬也是影響雙蟲食用速度因素之一，餵食塑料以顆粒小、柔軟為佳。

六、我們也觀察到若僅僅餵食塑料，雖然會完成昆蟲生命史，但是，死亡率和羽化畸形率會大增，尤其是麥皮蟲死亡率在觀察時非常明顯，這留待未來再深入研究。

七、根據研究結果，進行兩種昆蟲的主要比較：

表 7 麵包蟲、麥皮蟲大不同，以下列表比較

項目	麥皮蟲	麵包蟲
禦敵行為	幼蟲：會鑽入土壤或隱密處，或是鑽入較隱密的空間保護自己。 成蟲：裝死或是釋放出防禦性的費洛蒙，以身上的甲殼來保護自己。	幼蟲：會鑽入土壤或隱密處，或是鑽入較隱密的空間保護自己。成蟲：裝死，或是以身上的甲殼保護自己。
活動行為	夜行性動物，愈刺激很激動，甚至用拍打反應反應。	日、夜行動物，愈刺激愛假死，反應較麥皮蟲溫和許多。
繁殖行為	需要獨立空間才化蛹，成蟲重疊交尾行為明顯，愛食用卵。無護幼行為。	愈惡劣環境，加速化蛹，重疊交尾明顯，愛食用卵。無護幼行為。
空間要求	需要有獨立化蛹的空間來化蛹，活動力大，需要大空間，否則死亡率高。	對空間要求不大，擁擠空間仍可生存，但不同生命週期分開飼養較為有利。
死亡率	較高，對溫度、溼度敏感，體溫約高過室溫 2~3 度。	較低，對溫度、溼度不敏感，死亡率遠低於麥皮蟲。
偏愛塑膠	塑膠編號 4、6 號	塑膠編號 4、6 號
不愛塑膠	塑膠編號 1、3、5、7 號，食用量少。	塑膠編號 1、3、5、7 號，肉眼看不出被食用，顯微鏡下有咬痕。
食用保麗龍	推薦，如果適量的氣味誘導，效果更佳。	推薦，如果適量的氣味誘導，效果更佳。沒有氣味誘導效果比麥皮蟲好一點。
食用布料	羊毛、棉布效果較佳，人造纖維消耗較少，除非用適度的氣味誘導。	羊毛、棉布效果較佳，人造纖維消耗較少，除非用適度的氣味誘導。

栽種植物	糞便量較大顆且多，因死亡屍體也較多，栽種植物系果明顯。	因為產生的糞便劑小、少，對於栽種植物效果有限。
價格	比麵包蟲貴，10 克約 5 元(一兩約 30 元)經比價後發現不同地區價格差異較大，以秤重一兩計價。	比麥皮蟲便宜，10 克約 4 元(一兩約 30 元)經比價後發現不同地區價格差異小，以秤重一兩計價。

陸、總結

一、探討食物、運動、繁殖、防禦行為對麵包蟲和麥皮蟲生活史的影響。

(一)兩種昆蟲都食用：麥麩、麥片、蔬果、小花蔓澤蘭外來種，食用外來種更能兼顧節能減碳。

(二)麵包蟲分解6號塑膠比麥皮蟲效果高，50g麵包蟲一個月推估吃15.8g保麗龍；50g麥皮蟲約吃8.3g。其他1、2、3、4、5、7號塑膠，麥皮蟲食量優於麵包蟲；只吃塑膠的兩種蟲死亡率最高，最好能混合其他種類食物來餵食。

(三)溫度和溼度會影響兩種蟲的死亡率，尤其濕度在80%以上、溫度低於10度以下，死亡率會大增，確認兩種蟲適合的飼養溫度為20-24°C，飼養溼度為60~70%。

二、以ImageJ軟體和微量，天平測量麵包蟲和麥皮蟲食用七種塑膠種類之情形，4號塑膠可以吃食30~80%，6號塑膠(保麗龍)可以吃食90%，或者8.3g~15.8g。

三、設計空間實驗、找尋巢穴實驗、食用性氣味誘導吃塑膠實驗。

(一)空間實驗：大型分隔板收納箱面積 2000cm²，增加兩種幼蟲期，達到減塑的最佳效能，減少死亡率最佳。飼養 100 隻麥皮蟲，死亡率 7.667%最低，飼養 500 隻麵包蟲，死亡率 1.867%最低。

(二)找尋巢穴實驗：幼蟲期喜歡鑽入橫向吸管，等到接近化蛹階段，則會鑽入縱向吸管，可能期待更安全的空間來化蛹。

(三)兩蟲昆蟲都可以被氣味誘導吃編號 1、5 塑膠，能增加食塑量，如果誘導喜歡吃的編號 4、6 號塑膠，大量增加塑膠食用量。

四、顯微鏡觀察麵包蟲和麥皮蟲的腸道內容物、排泄物，了解吃塑膠的情形

以光學顯微鏡100倍、400倍觀察兩種蟲的腸道，發現兩種蟲都有保麗龍的食團在腸道中；目前積極試著取出腸內塑膠微粒，嘗試分析消化塑膠的百分比，排出塑膠的百分比。

五、設計多功能飼養箱，找出最好的飼養方法與經濟效益(減低幼蟲死亡率)

設計長45公分、高35公分的多功能飼養箱，有三層，分齡通道、糞便收集通道，可快速分類不同變態的昆蟲、溫溼度監控、活性碳除溼吸臭、風扇增加空氣對流。

六、麵包蟲和麥皮蟲的排泄物種植植物實驗，說明其利用價值

初步分析18種常見塑化劑，實驗結果並沒有被驗出，說明糞便中沒有塑膠殘留物。排泄物、兩種蟲死屍做成有機堆肥，種植各種蔬菜，發現蔬菜長得很好，說明排泄物能讓環境永續發展利用。

柒、參考文獻資料

- 一、中央研究院生物多樣性研究中心，(2000)。麵包蟲。台灣生物多樣性網路。取自 <https://www.tbn.org.tw/taxa/71749a53-0406-447d-a8ad-2b468e8902d6>。
- 二、陳彤、陳重光，2011。黃粉蟲養殖與利用。臺北市：金盾出版社。
- 三、劉玉升、王付彬、崔俊霞、張麗，(2010)。黃粉蟲資源研究利用現況與進展。環境昆蟲學報。1 (32)，106-114 頁。
- 四、吳威逸、陳泓安、朱庭彰，(2020)。麥皮蟲消化高密度聚乙烯 (HDPE) 塑膠之探討。國立中科實驗高級中學。取自 <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2020/03/2020032406505771.pdf>
- 五、Brandon, A.M., El Abbadi, S.H., Ibekwe, U.A., Cho, Y.-M., Wu, W.-M., & Criddle, C.S. (2020). Fate of hexabromocyclododecane (hbcdd), a common flame retardant, in polystyrene-degrading mealworms: Elevated hbcdd levels in egested polymer but no bioaccumulation. *Environmental Science & Technology*, 54(1), 364-371. doi: 10.1021/acs.est.9b06501
- 六、Lin, H. H., & Liu, H. H. (2021). FTIR Analysis of Biodegradation of Polystyrene by Intestinal Bacteria Isolated from *Zophobas Morio* and *Tenebrio Molitor*. *Proceedings of Engineering and Technology Innovation*, 1(17), 50-57. doi: <https://doi.org/10.46604/peti.2021.5450>

【評語】 080317

本研究探討麵包蟲和麥皮蟲分解不同材質塑膠的能力，比較不同環境因子、食物等對其生活史的影響，找出最佳的攝食模式。作者觀察麵包蟲、麥皮蟲能分解保麗龍的食量、誘食行為、腸道內容物等問題，資料相當豐富，實驗過程中能自製裝置(巢穴實驗設計、趨避裝置)，顯示作者的用心，具探究精神；答問流利，值得鼓勵。作品中設計多功能飼養箱，能有效分解塑膠，其排遺物可做為種植植物的有機肥料促進生態永續發展，此實驗假說立意佳，具應用價值性。但實驗設計上宜聚焦假說進行測試，可再加強邏輯性，並思考對照組的設立，才能依據結果是否符合假說，肯定實驗結果的正確性。

建議：

1. 雙蟲均為飼料物種，其生活史、溫濕度條件、防禦及繁殖行為並非本研究應專注的內容，且可洽詢水族館或網上資料，無須重複試驗。
2. 趨避實驗和誘導實驗的裝置中，宜增加一個沒有放任何素材作為對照組，才能真正反映出天然素材變因對麵包蟲和麥皮蟲的趨避和誘導結果。

3. 實驗結果資料豐富但未能完整呈現，另外宜說明麵包蟲和麥皮蟲混養試驗的邏輯，因為兩者混養之後，對本研究結果解釋造成困擾，「雙」蟲也容易失焦。
4. 建議強化圖表呈現，善用統計分析。
5. 然而，麵包蟲分解保麗龍的研究議題在國內外已經有前人相當多的研究，因此要能突破並提出較有創新意義的研究會比較困難。建議未來在既有的基礎上深入思考較有創意的科學性問題，再設計實驗進行研究。

作品簡報



雙蟲屠「龍」—「蟲」新塑造

科別：生物科

組別：國小組

壹. 研究動機

大量的海洋垃圾



最後回歸你、我身上

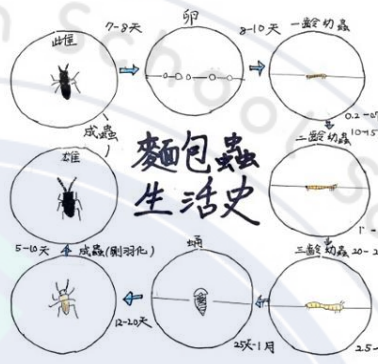


圖6 麵包蟲生活史觀察

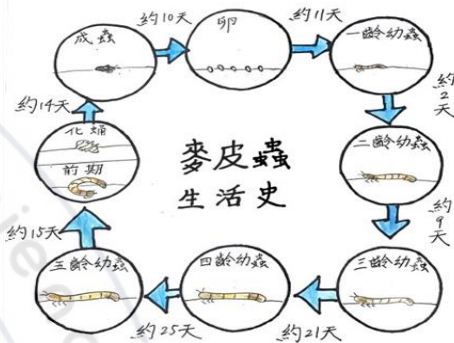


圖7 麥皮蟲生活史觀察

貳. 研究目的

找到可消除塑膠，又很少生物累積，減少塑膠污染的昆蟲。

實驗三大主軸

一、飼養箱設計

目的

死亡率減低:
增加幼蟲期食塑率
完成期生活史

二、飼養實驗控制 增加食塑量分析

目的

探討項目:
飼養空間
混養或分齡
溫溼度
食性
誘導食塑

三、永續利用排泄 物肥料的可行性

目的

其他效益:
實驗室分析
顯微鏡觀察
植物栽種成效

文獻探討

- 一、塑膠分類
1-7號塑膠採用美國塑膠工業協會(1988)分類編碼方式
- 二、塑膠垃圾的浩劫
血液含塑化劑
大便含有塑膠微粒
- 三、能清除塑膠細菌:
假單胞菌屬
紅球菌屬
棒狀桿菌屬菌株

參. 研究過程

一、飼養箱設計



1-1. 探討生活史攝食. 運動. 繁殖. 防禦

2-2. 食用的塑膠進行消化分析

3-3. 不被食用的塑膠進行飼養箱設計

二、飼養實驗控制 增加食塑量分析

2-1. 空間

2-2. 溫溼度

2-3. 找尋巢穴

2-4. 食用性蔬果味誘導



三、永續利用排泄物 肥料的可行性

3-1. 塑化劑
實驗室數據分析

3-2. 塑膠微粒
顯微鏡分析

3-3. 當作栽種肥料

廢棄物的處理工廠

雙蟲可以處理的廢棄物: 所有1-7號塑膠、所有植物 和布料 三大類



6號塑膠 2號塑膠 5號塑膠 3號塑膠 4號塑膠 7號塑膠 1號塑膠 5號塑膠 3號塑膠 4號塑膠 7號塑膠 2號塑膠
碎片 碎片 碎片 碎片 碎片 碎片 碎片 碎片 碎片 碎片 碎片 碎片



6號塑膠(平面保麗龍)碎片 衛生紙 含1-7號塑膠(綠)聚丙纖維 5號塑膠(人造羊毛)聚丙烯纖維 小花曼洋蘭

可以處理的廢棄物



兩種蟲食用七種塑膠實驗

飼養箱被啃食



領域性強、會吃卵



被食用的塑膠進行**消化分析**

1、3、5、7號塑膠，食用量少，
設計飼養箱。(過程不斷改良)

兩種蟲混合養-**死亡率** 約20-25%

單一蟲各期分層養-**死亡率**15%以下

單一蟲各期混合-**死亡率** 約20%

進階改善-成蟲區底下架鐵網、
鋪麥粉，讓卵得以保存。

實驗一-1、探討生活史攝食行為的**其他發現**

以雙蟲來食用小花蔓澤蘭 → 生態平衡



雙蟲食用羊毛布



幼蟲啃食葉片



幼蟲啃食葉序



成蟲啃食葉片



雙蟲食用蠶繭



抑制葉的不定根繁殖



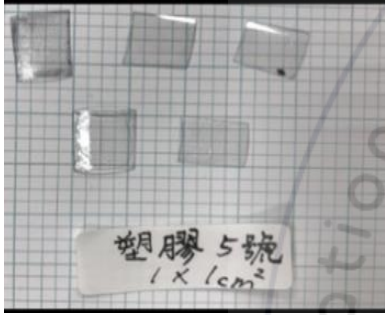
抑制花序有性繁殖

實驗證明：小花蔓澤蘭是雙蟲的菜單之一

肆、研究結果

實驗二、飼養實驗控制增加食塑量分析

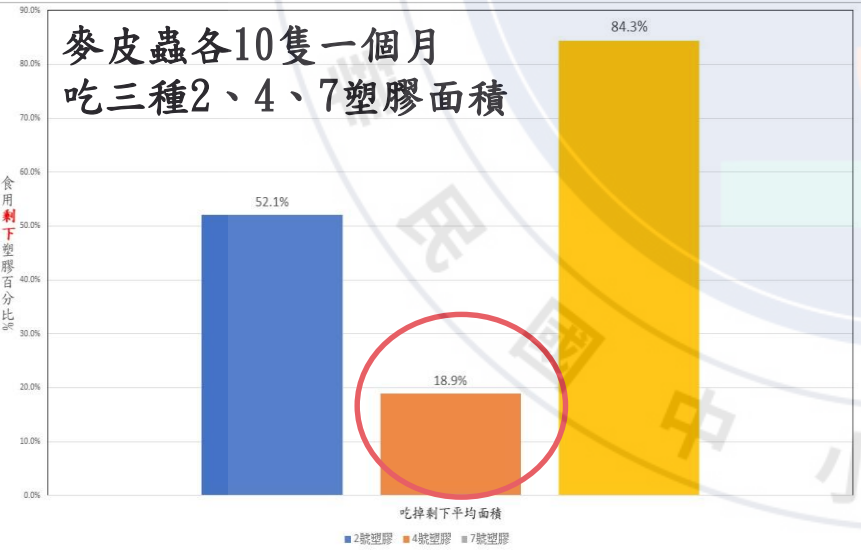
本研究實驗樣本計量方式說明



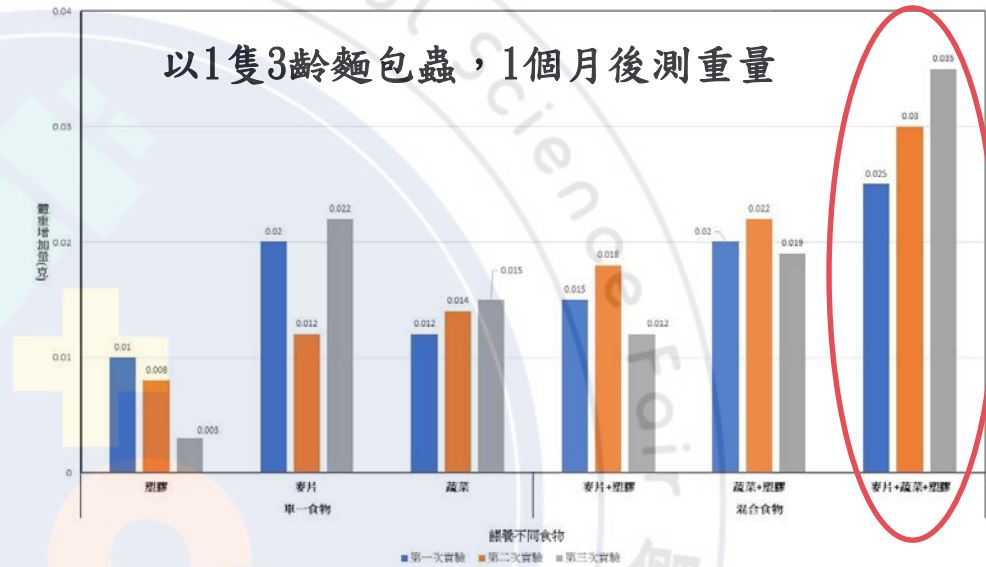
計算面積
平面樣品，如紙張、塑膠袋、或塑膠片等。
2、4、7號塑膠測面積

計算重量
各式立體、不規則樣品。
如保麗龍、纖維、植物體等
1、3、5、6號塑膠測重量

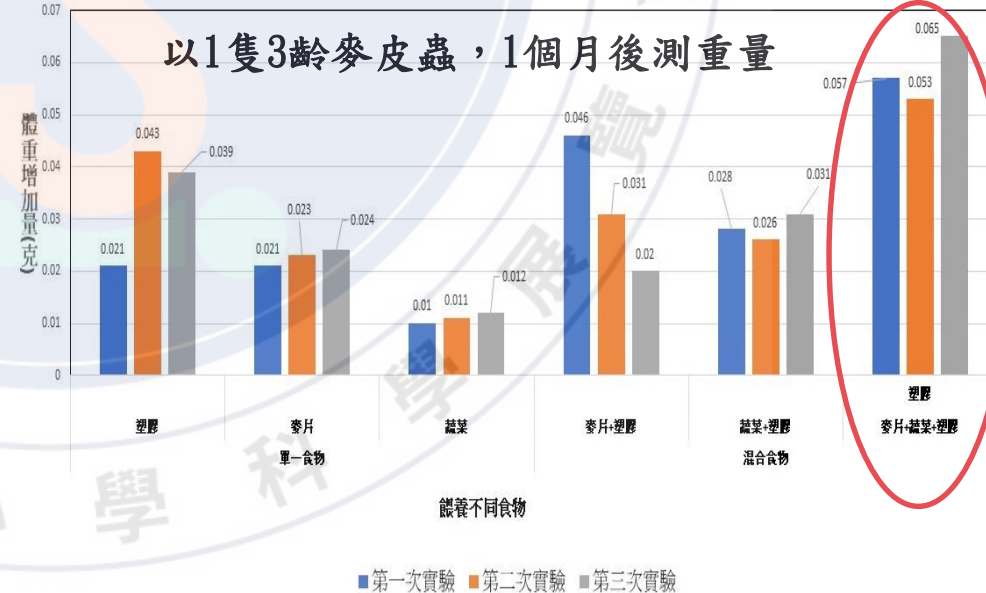
麥皮蟲各10隻一個月吃三種2、4、7塑膠面積



以1隻3齡麵包蟲，1個月後測重量



以1隻3齡麥皮蟲，1個月後測重量

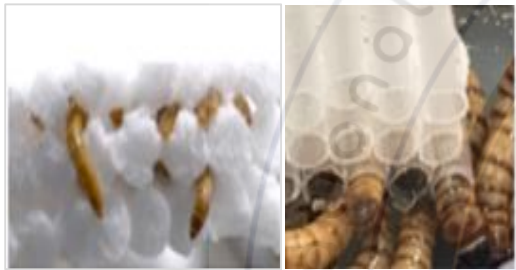


肆、研究結果

實驗三-1~三-4、溫溼度、空間、找尋巢穴、食用性氣味誘導吃塑膠實

驗

兩種蟲幼蟲發育期
會喜歡鑽入橫向吸管(保麗龍)



保麗龍(橫排) 小吸管(橫排)

兩種蟲化蛹前期
會鑽入縱向吸管(保麗龍)



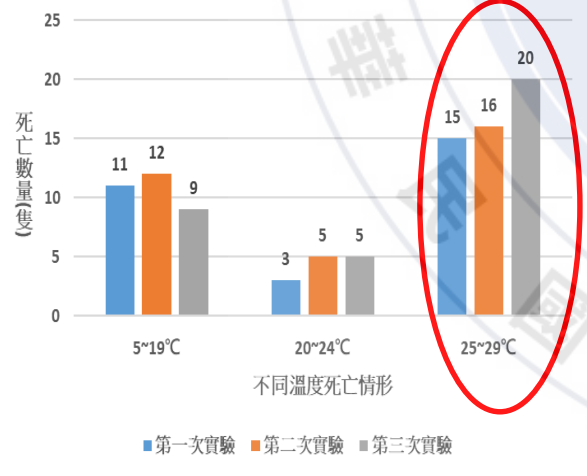
保麗龍(縱排) 小吸管(縱排)

化蛹前期
更喜歡鑽入半圓形縱向吸管

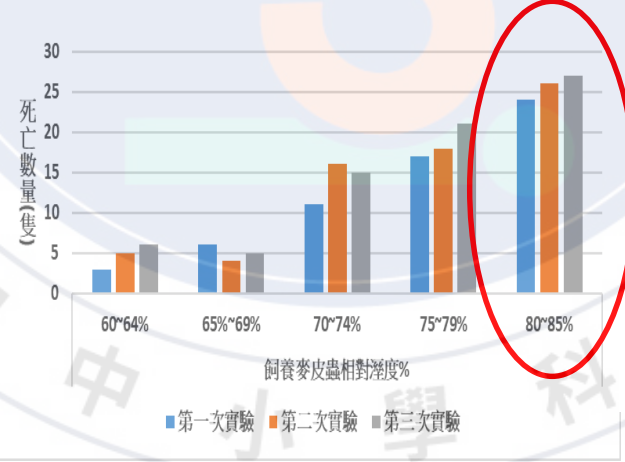


粗吸管(半圓)

麥皮蟲溫度(°C)死亡情形



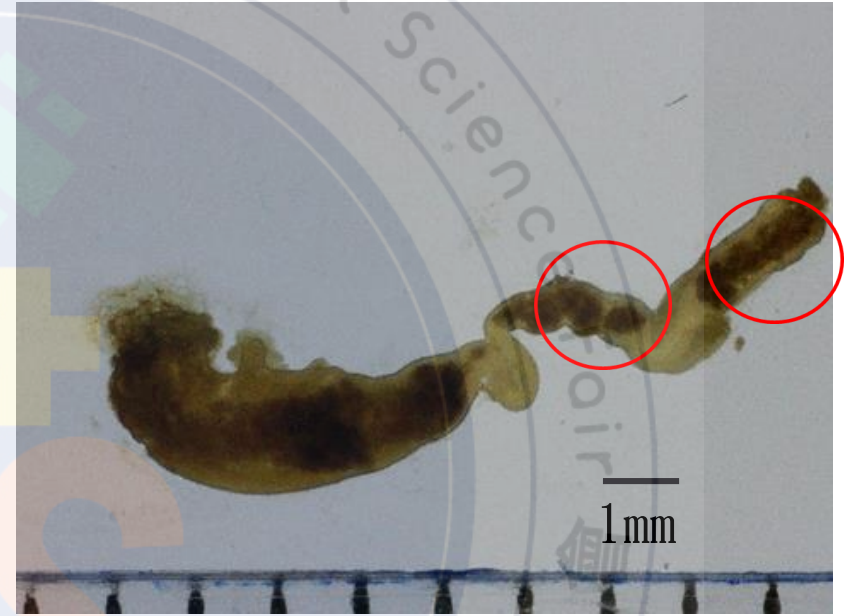
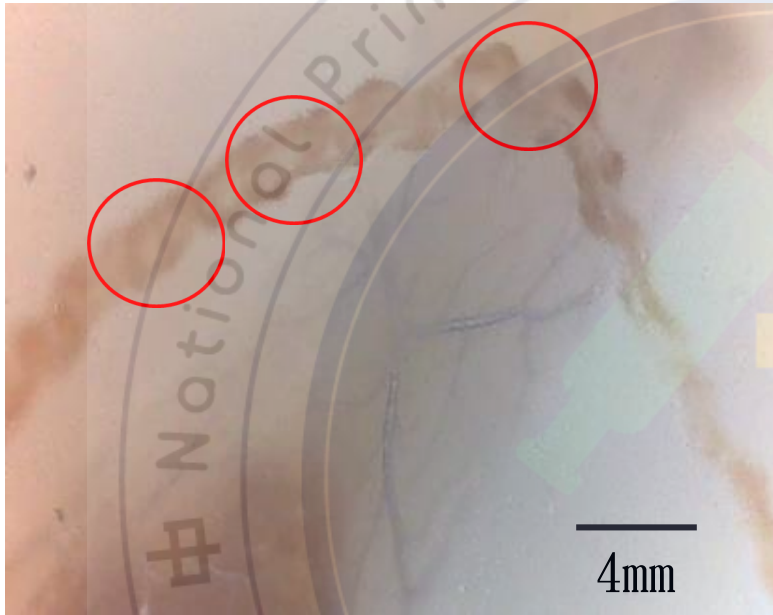
麥皮蟲相對濕度%死亡情形



以天然香料氣味誘導最具效果

肆、研究結果

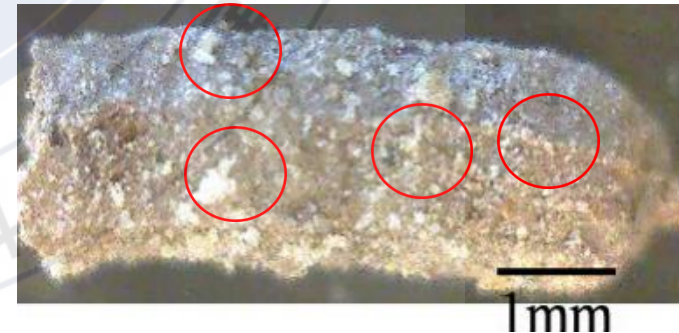
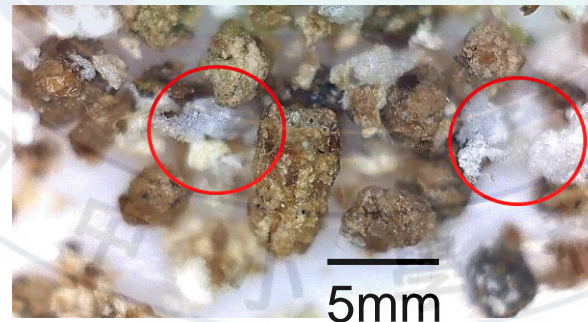
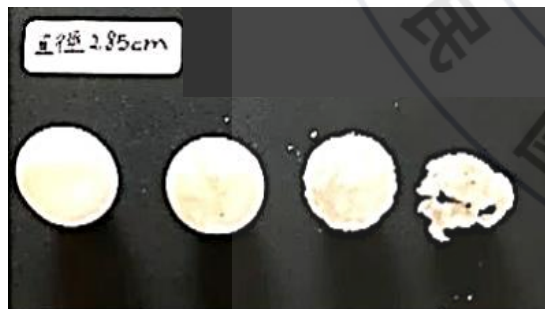
實驗四-1~2 進行消化分析:顯微鏡觀察腸道內容物、排泄物



麵包蟲食用保麗龍後
兩週後的減少變化量

麵包蟲食用保麗龍後
糞便、保麗龍碎屑

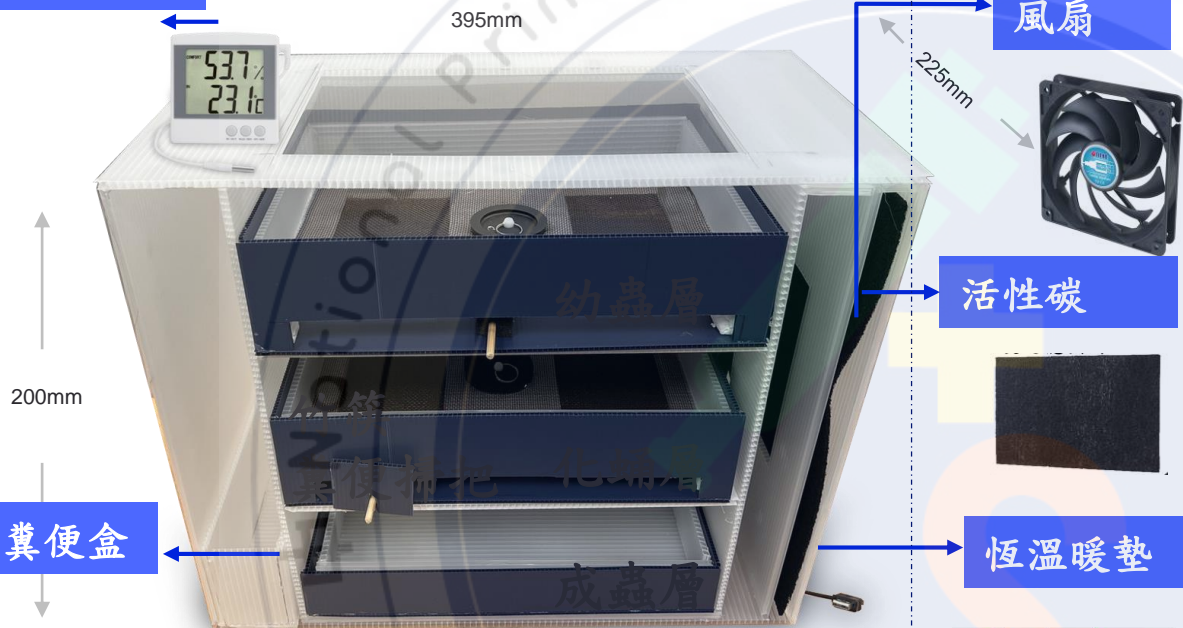
麥皮蟲後糞便
夾雜約20-30%消化保麗龍碎屑



肆、研究結果

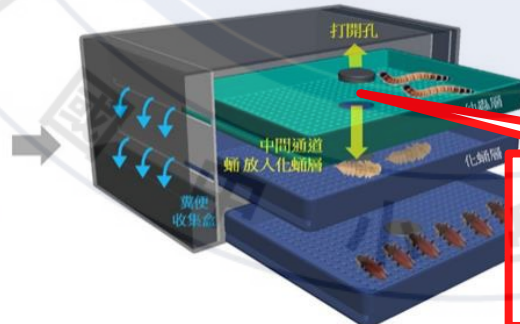
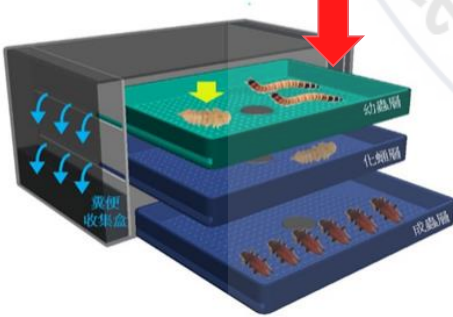
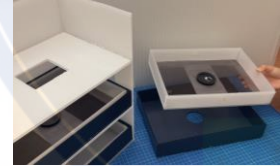
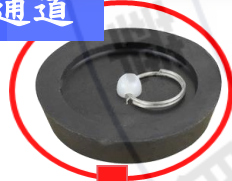
實驗五、經過不斷改良的多功能飼養箱

溫溼度計



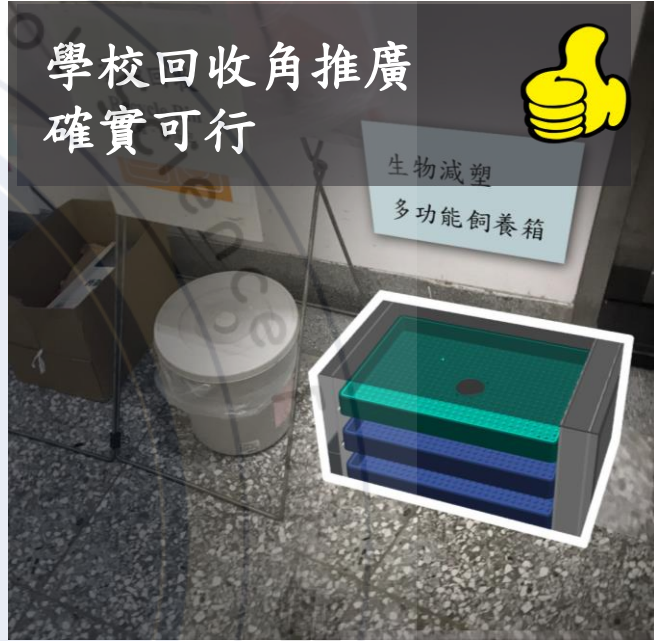
糞便盒

軟塞+中間通道



依實驗記錄與觀察
設計出分齡通道

學校回收角推廣
確實可行



肆、研究結果

實驗六、永續利用排泄物肥料的可行性

SGS化驗不含18項塑膠化劑



超微量工業安全實驗室
Ultra Trace Industrial Safety Hygiene

測試報告

報告編號： PUF22100307

日期： 2022年01月22日

頁數： 2 of 4

**未檢出
塑化劑**

N.D.	0.500	ppm(mg/kg)
------	-------	------------

測試結果：

測試項目	CAS NO.	測試方法	測試結果	定量/偵測極限	單位
鄰苯二甲酸酯類	---	---	---	---	---
鄰苯二甲酸二甲酯	131-11-3	本測試依實驗室內部方法(TESP-UF-0302)，以氣相層析質譜儀(GC/MS)檢測。	N.D.	0.500	ppm(mg/kg)
對苯二甲酸二乙酯	84-66-2	鄰苯二甲酸二甲酯	N.D.	0.500	ppm(mg/kg)
鄰苯二甲酸二烯丙酯	147-98-5		N.D.	0.500	ppm(mg/kg)
鄰苯二甲酸二異丁酯	84-74-2	對苯二甲酸二乙酯	N.D.	0.500	ppm(mg/kg)
鄰苯二甲酸二丁酯	84-73-3		N.D.	0.300	ppm(mg/kg)
鄰苯二甲酸(2-甲氧基乙基)酯	117-82-8	鄰苯二甲酸二烯丙酯	N.D.	0.500	ppm(mg/kg)
鄰苯二甲酸雙-4-甲基-2-戊酯	146-50-9		N.D.	0.500	ppm(mg/kg)
鄰苯二甲酸雙-2-乙氧基乙酯	605-54-9	鄰苯二甲酸二異丁酯	N.D.	0.500	ppm(mg/kg)
鄰苯二甲酸二戊酯	131-18-0		N.D.	0.500	ppm(mg/kg)
鄰苯二甲酸二己酯	84-75-3	鄰苯二甲酸二丁酯	N.D.	0.500	ppm(mg/kg)
鄰苯二甲酸丁酯苯甲酯	85-68-7		N.D.	0.500	ppm(mg/kg)
鄰苯二甲酸二丁氧基乙酯	117-83-9	常見塑化劑	N.D.	0.500	ppm(mg/kg)
鄰苯二甲酸二環己酯	84-61-7		N.D.	0.500	ppm(mg/kg)



對照組

實驗組

一週後測高度



This document is issued by the Company subject to its General Conditions of Service printed overleaf, available on request or accessible at <http://www.sgs.com.tw/Terms-and-Conditions> and, for electronic format documents, subject to Terms and Conditions for Electronic Documents at <http://www.sgs.com.tw/Terms-and-Conditions/Terms-e-Documents.aspx>. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained herein reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. This document cannot be reproduced except in full, without prior written approval of the Company. Any unauthorized alteration, forgery or fabrication of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law. Unless otherwise stated the results shown in this test report refer only to the sample(s) tested.

伍、討論

實驗室化驗結果
應該更謹慎的態度去看待

可能會產生更小的汙染顆粒

可能會有導致奈米級毒性

兩蟲吃的量羊毛>棉布>人造纖維

可用纖維和紗線的型態餵食
增加啃食的效率

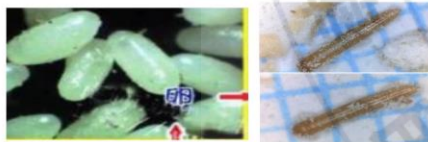
可以慢慢分解掉布料

取食行為對環境具有貢獻

其他運用效果佳:小花蔓澤蘭、栽種

具有雙重效果:減塑、減少飼料量

本實驗觀察生活史意外發現-與現存資料照片不同

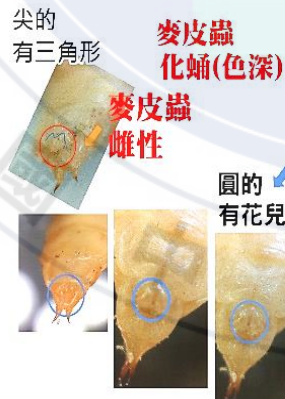


網路版

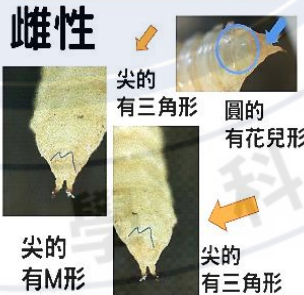
實際拍攝圖



雙蟲化蛹的雌雄、之分



麵包蟲 雄性(色淺)



雙蟲成蟲的雌雄、之分

麵包蟲 成蟲 雄性

會長1-0.5cm
伸出縮回的生殖器
下方有白色薄膜



麥皮蟲 成蟲 雄性



麵包蟲 成蟲雌性



1. 取食行為對環境具有貢獻 2. 寬廣空間、適當溫溼度有利養殖 3. 雙蟲有定位與防衛行為



4. 氣味誘導具有效果

5. 多功能飼養箱可提升飼養效率 6. 雙蟲的排泄物施肥可再利用



三大經濟利益: 飼料成本可以降低
提升幼蟲存活率
其他運用效果佳

建議: 用大量蟲增加減塑效益
飼養箱要注意材質、溫室
麥皮蟲比麵包蟲食塑量大

- 吳威逸、陳泓安、朱庭鈺，（2020）。麥皮蟲消化高密度聚乙烯（HDPE）塑膠之探討。國立中科實驗高級中學。取自 <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2020/03/2020032406505771.pdf>
- Brandon, A.M., El Abbadi, S.H., Ibekwe, U.A., Cho, Y.-M., Wu, W.-M., & Criddle, C.S. (2020). Fate of hexabromocyclododecane (hbcd), a common flame retardant, in polystyrene-degrading mealworms: Elevated hbcd levels in egested polymer but no bioaccumulation. *Environmental Science & Technology*, 54(1), 364-371. doi: 10.1021/acs.est.9b06501
- Lin, H. H., & Liu, H. H. (2021). FTIR Analysis of Biodegradation of Polystyrene by Intestinal Bacteria Isolated from Zophobas Morio and Tenebrio Molitor. *Proceedings of Engineering and Technology Innovation*, 1(17), 50-57. doi: <https://doi.org/10.46604/peti.2021.5450>