

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 生物科

探究精神獎

080313

黑金再現－黑水虻的行為探討

學校名稱：臺中市私立華盛頓國民小學

作者： 小六 魏弘彥 小六 方誌鈞 小五 簡郁勳 小四 張雅涵 小四 陳 翊 小四 顏子涵	指導老師： 黃久倫 蕭仔真
---	-----------------------------

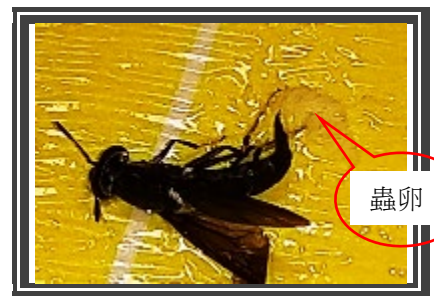
關鍵詞：黑水虻、蟲糞、廚餘

摘要

廚餘的流向是近年來熱烈探討的議題，昆蟲界的黑水虻更是消化廚餘的好幫手，於是我們先瞭解黑水虻的生物特性，研究黑水虻幼蟲的生態行為及設計飼養環境。本實驗的研究結果，得知在家是可以飼養黑水虻來處理廚餘，廚餘的濕度要控制在潮濕不要滴水，幼蟲消化廚餘是以**四齡蟲的消化速率最快**，在六齡蟲顏色轉咖啡色時，就要準備**引道**讓預蛹期的黑水虻幼蟲到乾燥的地方。幼蟲及廚餘所散發的腐臭味道可以加入**肥料水及活性碳來降低臭味**。黑水虻蟲糞也可當成**花卉及果實類肥料**。成蟲可餵食**蜂蜜水增加產卵的數量**。更設計**經濟循環通路**讓家戶可以循環飼養。整個實驗期間，也讓我們瞭解黑水虻對人類的生活環境並沒有產生衝擊性的影響，是經濟價值很高的友善昆蟲。

壹、研究動機

人類的生活不停製造家庭廚餘、便利商店的過期食物、咖啡渣及畜牧場的動物糞便，這些都是大量的環境污染源。查閱很多資料發現黑水虻是一種專門消化廚餘的益蟲，俗名叫黑水虻。我們在四下的「昆蟲家族」單元，學習到昆蟲的一生及飼養的生長環境。於是我們向黑水虻農場要了一些蟲卵，開始我們對黑水虻的探索之旅。希望探討黑水虻的生命週期，瞭解牠的生活習性，找出簡易飼養黑水虻的方法。整個實驗過程中也因為臭味是很大的問題，於是進行了除臭研究。飼養過程中所產生的蟲糞混合物，參考三下「種蔬菜」單元，探究黑水虻蟲糞混合物是適合種植哪種類的植物。也擔心家戶飼養後會繁殖過剩，造成家戶飼養主困擾，所以試著設計一套經濟循環通路，讓家戶飼養者可以一直循環飼養。我們希望透過這些研究瞭解如何輕鬆飼養繁殖黑水虻，進而推廣到每一個需要的消化廚餘的地方。



貳、研究目的

研究一：探討黑水虻的生命週期

研究一-1：蟲卵、幼蟲與成蟲體型和顏色變化

研究一-2：黑水虻幼蟲進食方式

研究一-3：探討黑水虻成蟲飲用不同種類溶液對產卵的影響

研究一-4：利用 3D 列印設計集卵器

研究二：黑水虻行為探究

研究二-1：探討不同蟲齡的幼蟲消化速率

研究二-2：探討食物濕度對幼蟲消化速率的影響

研究二-3：廚餘消化過程中臭味去除研究

研究二-3-1：使用酸鹼中和法去除的黑水虻幼蟲所產生的臭味

研究二-3-2：使用物理吸附法去除的黑水虻幼蟲所產生的臭味

研究二-3-3：使用微生物法去除的黑水虻幼蟲所產生的臭味

研究三：設計生態循環箱

研究三-1：探討如何防止黑水虻幼蟲逃離

研究三-2：設計黑水虻幼蟲預蛹期的引道

研究三-3：探討如何分離黑水虻蟲糞

研究三-4：探討黑水虻家戶飼養的可能性

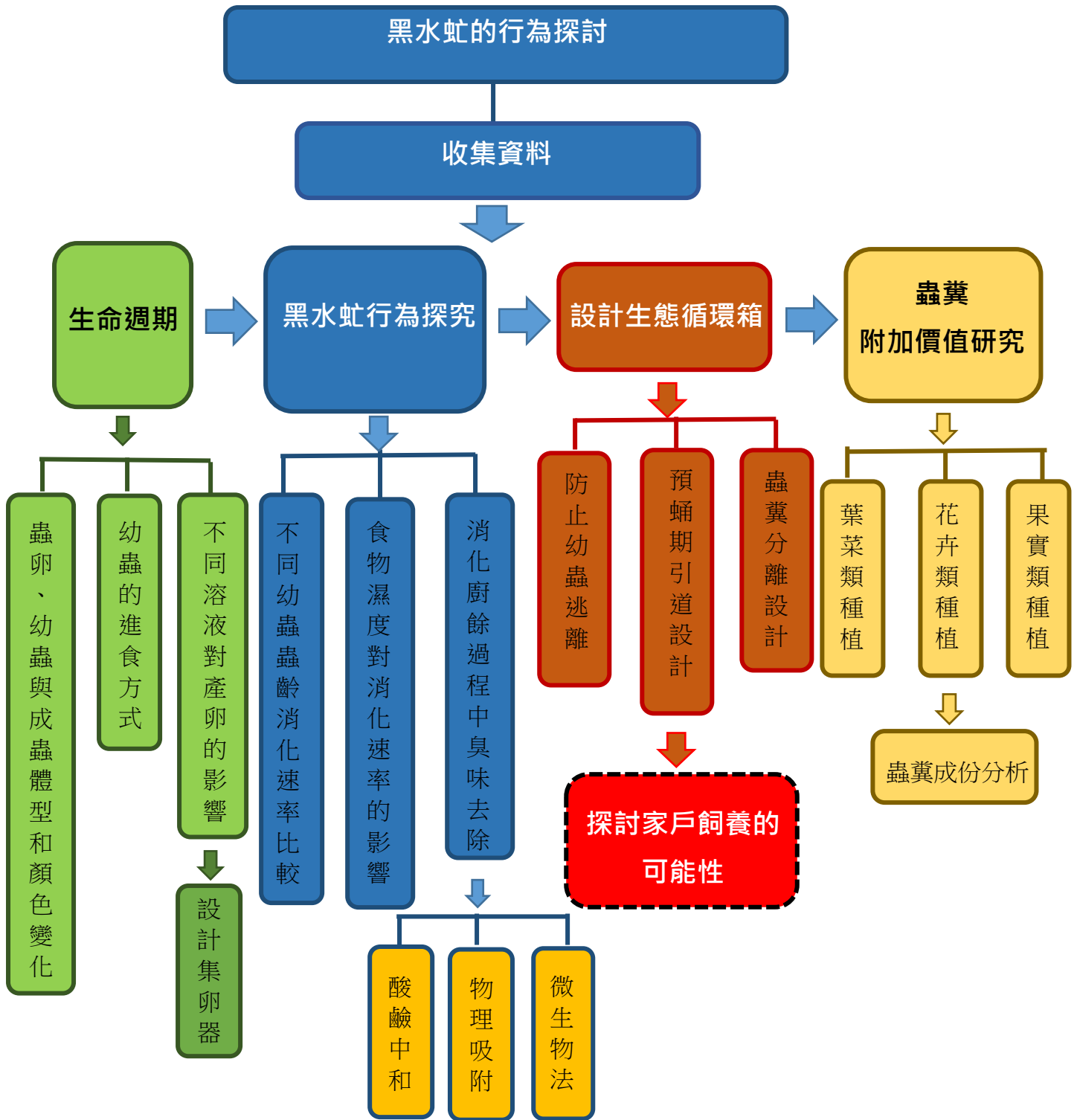
研究四：蟲糞附加加值研究～探討黑水虻蟲糞混合物對不同植物的生長影響

參、研究設備及器材

飼養器材	成蟲箱、幼蟲飼養箱
記錄器材	電子顯微鏡、相機、縮時攝影機
測量器材	長尺、電子秤、溫度計、pH 計、計時器
實驗器材	種子、盆子、培養皿
自製器材	成蟲箱、蟲糞過篩器、預蛹期引道、防止逃跑設計、果蠅誘補器、3D 產卵器

肆、研究過程、方法和內容

一、研究架構圖



二、研究過程、方法和內容

研究一：探討黑水虻的生命週期

研究一-1：蟲卵、幼蟲與成蟲體型和顏色變化

文獻報告顯示：

黑水虻分類階級：

Animalia動物界→Arthropoda節肢動物門→Insecta昆蟲綱→Diptera雙翅目
→Stratiomyidae水虻科

最先研究出黑水虻的是美國教授 C.Sheppard，八十年代在墨西哥利用黑水虻消化動物糞便，繁殖出來的幼蟲再餵雞，還可以把幼蟲變成寵物飼料，也可以用幼蟲養魚。最重要是黑水虻不帶菌，對農業和衛生都不是害蟲，而幼蟲的食量和成蟲繁殖能力都很驚人的，瑞典科學家計算過一隻黑水虻一天可吃 0.1 克廚餘，相當於自己的體重，消化廚餘的總數量是相當可觀的。

實驗設計：由黑水虻蟲苗開始飼養，觀察記錄每個時期的體型與顏色變化。

實驗日期：108 年 9 月 5 日~10 月 20 日(約 45 天)

實驗結果：成長週期

(1) 卵期：

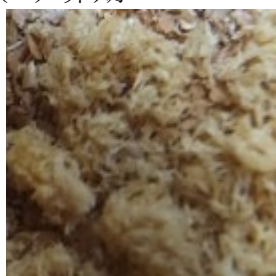


圖 1-1-1

蟲卵顏色為淡黃色，約 2~5 天孵化。

以麥麩飼養剛孵化的幼蟲，第三天時可以看到像芝麻大的幼蟲密集性的蠕動。

(2) 幼蟲期：幼蟲長約 0.2~2 公分，成長週期約 15~20 天。

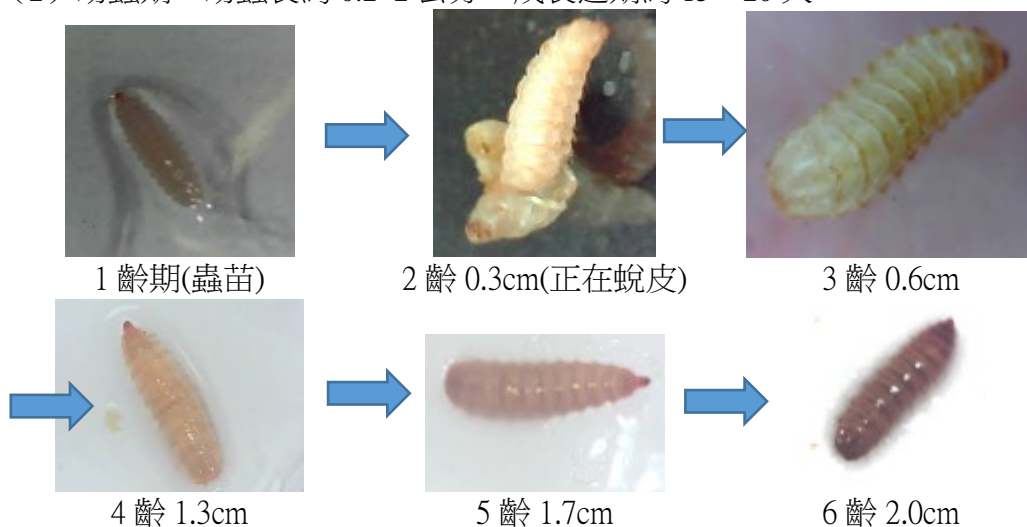


圖 1-1-2

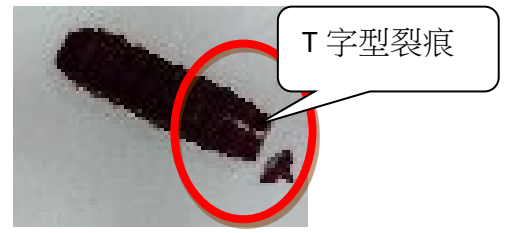
(3) 蛹期：外型為黑色，長約 1.6~2 公分，約 12~15 天，活動力下降。



預蛹期的黑水虻仍然會蠕動，但已經開始不進食了。



蛹期的黑水虻不會動，而且尾巴會往下垂。



羽化的成蟲，會從蛹的第一節斷掉，身體第二到三節有 T 字型的裂痕。

圖 1-1-3

(4) 成蟲：外型像蜂，體長約 2 公分，一週期歷經 7 天左右。



(黑水虻正面)

眼睛有藍色條紋，六隻腳的前端白色，觸角像雷達一樣的上下擺動。



(黑水虻反面)

腹部有一條透明的帶子，中間的管子輸送養份。



公黑水虻尾部是扁平狀，母黑水虻尾部是比較窄有凸出的產卵管。



成蟲呈現一字交尾。



母黑水虻在細縫中產卵。



在細縫中的卵像極小的米粒。

圖 1-1-4

討論與發現：

- 0-1 蟲齡幼蟲只能吃麥麩，群聚的溫度達 40 度左右。開始出現嗆鼻的味道。
- 2-3 蟲齡時，餵食蘇打餅時，好像太乾沒什麼聚集食用的行為，放入數顆葡萄（有果皮破裂的及果皮完整），在隔天發現有幾顆完整的葡萄並未被幼蟲消化，果皮破裂的葡萄只剩下果皮纖維。我們推測幼蟲是不是對太乾的食物不喜歡吃，對果皮完整的水果無法消化。幼蟲對食物的含水率是否有喜好呢？
- 餵食營養午餐廚餘時，我們發現一段時間後，豬腳已經剩下消化過的骨頭，青

菜還剩下一些。我們推測幼蟲喜歡肉類食物。

4. 隨著幼蟲體型愈來愈大，所需要的食物愈來愈多，只要食物不足就陸續發現逃跑的現象。到底是哪一個蟲齡的幼蟲對食物消化的速率最快？
5. 飼養 20 天左右的幼蟲開始變成咖啡色，變深色的黑水虻也開始不動，對於消化食物明顯變慢，也開始往四週爬好像想找地方躲起來。
6. 不再進食的黑水虻尾巴會往下垂，並爬到乾燥黑暗的地方。
7. 過了大約 10 天，準備羽化的黑水虻成蟲會從蛹的第一節斷掉，身體第二到三節有 T 字型的裂痕。羽化速度只有幾秒而已。
8. 在一堆的蛹中我們發現有些成蟲並無法順利羽化成功，正常的成蟲羽化是從頭部先出來，有幾隻無法順利羽化的成蟲都是尾巴先出來。



正常的羽化由頭先出來。



無法順利羽化的成蟲由尾部出來。

圖 1-1-5

9. 觀察到剛化蛹的成蟲會亂飛，成蟲喝完水會像洗手一樣，不停的搓手。成蟲的兩個觸角像搜尋馬達一樣的上下移動。
10. 成蟲這個階段只喝水，在光線充足時特別活躍，公母交配時會呈現一字型，之後母成蟲會找縫細產卵，我們觀察到有一隻準備產卵的母成蟲一直找不到縫細，尾巴一直擺動但因為沒有細縫最後體力耗完也沒有產下任何蟲卵。

研究一-2：黑水虻幼蟲進食方式

研究目的：觀察黑水虻幼蟲是以什麼方式進食。

實驗設計：

1. 材料：黑水虻四齡幼蟲 50 隻，豬肉排一塊。
2. 步驟：將黑水虻四齡幼蟲 50 隻放入飼養箱內，放置一塊豬肉排，每隔一段時間觀察紀錄。

實驗日期：108 年 10 月 7 日~8 日(24 小時)

實驗結果：

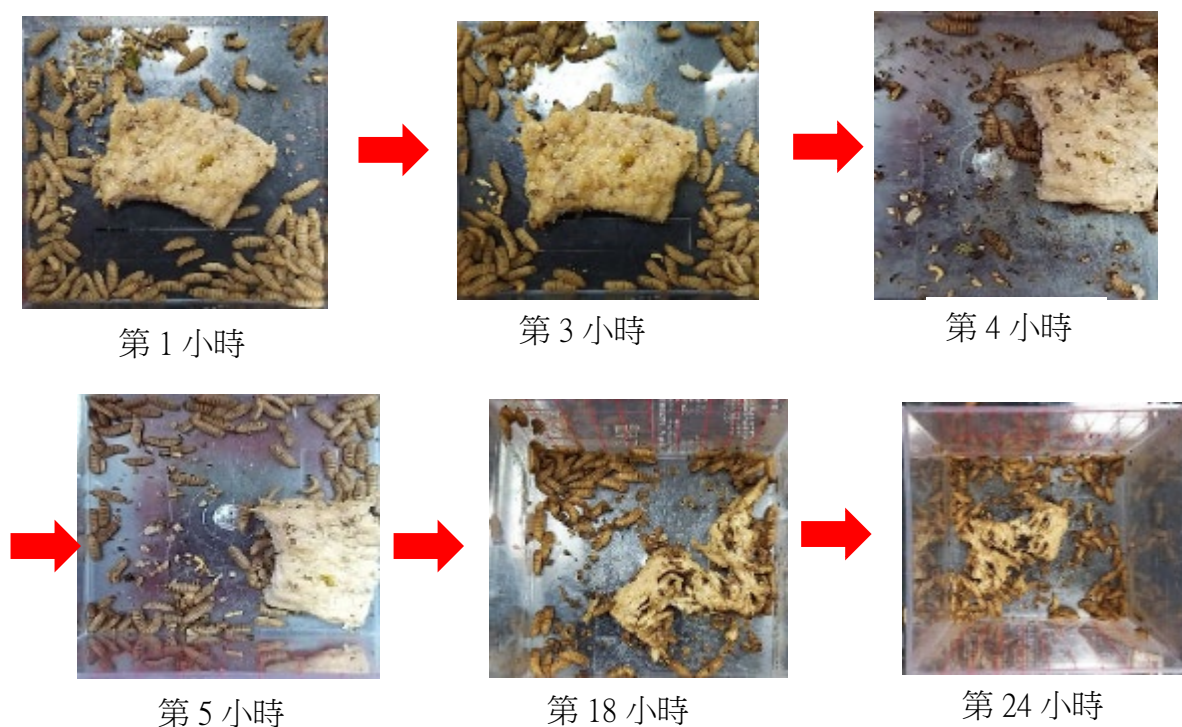


圖 1-2-1 黑水蛇幼蟲進食情況

討論與發現：

1. 由於黑水蛇幼蟲是負趨光性，當我們進行觀測時環境是明亮的，所以幼蟲都躲到肉塊下面。
2. 黑水蛇幼蟲一開始會以聚集、堆疊的方式不停的翻攪，抬高肉排直到消化成乾硬的肉乾纖維才停止進行，然後往四周離開。

研究一-3：探討黑水蛇成蟲飲用不同種類溶液對產卵的影響

目的：瞭解黑水蛇的成蟲飲用哪種類的溶液對產卵的數量最多。

實驗設計：

1. 用瓦楞紙製作大型成蟲箱，使用黃金葛模擬戶外植物讓成蟲可以在上面交尾，並放置發酵盒（潮溼麥麩）發出腐敗氣味吸引母成蟲產卵，擔心吸引果蠅也設計果蠅陷阱器。
2. 每個成蟲箱放置 30 隻成蟲，每天使用對照組（自來水）、實驗組（糖水、蜂蜜水）供應成蟲飲用水。
3. 每天定期記錄觀察。



圖 1-3-1 成蟲箱

發現與討論：

1. 白天時發現黑水虻成蟲十分活躍，大部份會停在靠近窗戶的哪一面。蜂蜜水組的成蟲相對糖水組及對照組表現十分活躍。
2. 大部份成蟲會靠近腐敗麥麩徘徊，成蟲也會在葉子上面停靠。
3. 觀察了五天在集卵器上都收集不到蟲卵，原來成蟲都將卵產在發酵盒裡。
4. 第六天發現蜂蜜水組發酵盒的黑水虻蟲苗比其他組的相對多很多，每一組都有看到像米粒的黑水虻蟲卵。



圖 1-3-2 不同飲用水對成蟲產卵的影響

5. 我們發現糖水組有很多像蟲卵，為了確定發酵器中蟲卵是否為黑水虻蟲卵，我們將糖水組分別單獨放置飼養箱，並蓋上保鮮膜，觀察四天後孵化出許多果蠅。



圖 1-3-3

圖 1-3-4

研究一-4：利用 3D 列印設計集卵器

研究目的：為了更方便收集蟲卵，我們將設計圖請同學就讀大學的姐姐，幫忙使用 3D 建模列印，製造出第二代集卵器。

實驗結果：

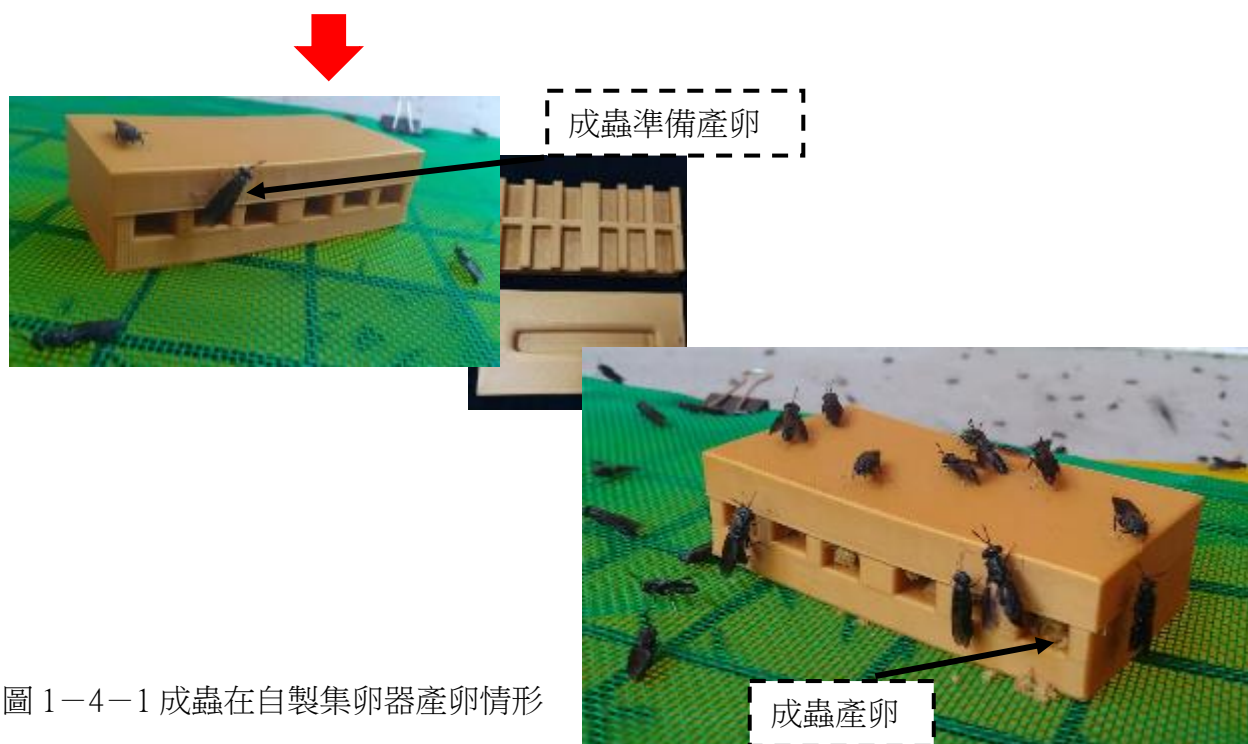
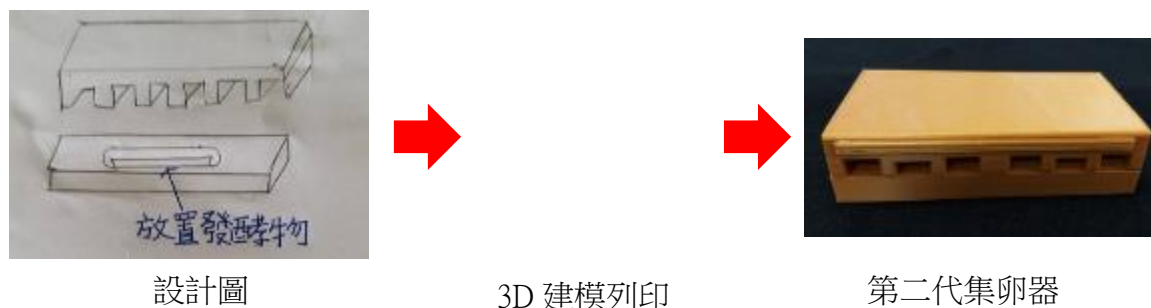


圖 1-4-1 成蟲在自製集卵器產卵情形

研究二：黑水虻行為探究

研究二-1：探討不同蟲齡的幼蟲消化速率

研究目的：瞭解黑水虻幼蟲在幾齡時的進食速率。

實驗設計：將不同蟲齡的幼蟲各 50 克，加入含水率 60% 的吐司（吐司 30 克加水 45 克，總重 75 克），觀察 8 小時，將剩餘吐司夾出秤重。

實驗結果：

蟲齡	二齡	三齡	四齡	五齡	六齡
剩餘吐司重量	40.4 克	19.2 克	1.2 克	11.2 克	14 克






描述	 <p>二齡蟲的整體顏色比較偏黑色，也比較潮濕，吐司剩餘三分之二。</p>	 <p>三齡蟲的整體顏色比二齡蟲較淺偏土色，吐司雖然看起來很大一片，其實整片吐司變得很薄幾乎透光。</p>	 <p>四齡蟲的吐司經過八小時後，幾乎快被吃光，剩餘吐司最少，幼蟲整體活力很好。</p>	 <p>五齡蟲的吐司感覺還算完整，其實是非常薄，幼蟲整體活力很好。</p>	 <p>六齡蟲的吐司變得很薄，有些幼蟲不太想吃了，都往四周爬。</p>
----	--	--	---	---	--

圖 2-1-1 不同蟲齡消化吐司情況

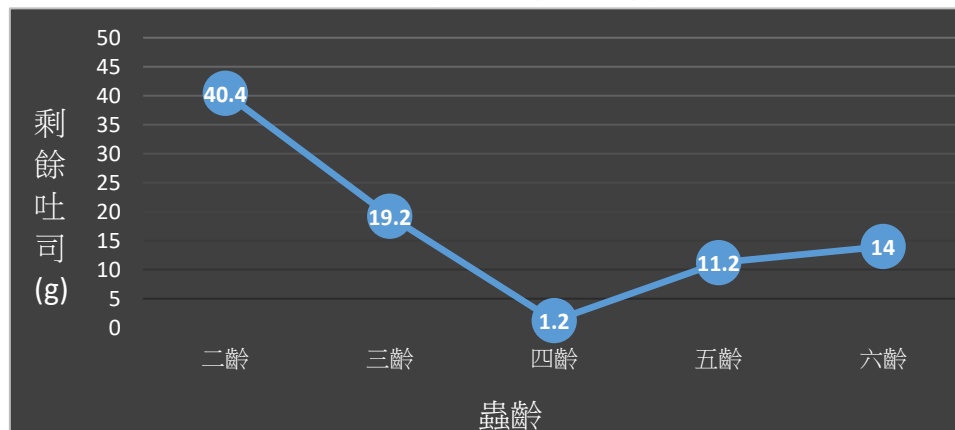


圖 2-1-2 不同蟲齡對吐司的消化速率，以四齡蟲最快。

討論與發現：

1. 我們在這個實驗發現四齡蟲的消化速率是最快的，應該是成長期的幼蟲需要大量的食物來幫助成長。
2. 六齡蟲的消化速率反而變慢了，六齡蟲已經開始進入預蛹期，幾乎不再進食也需要乾燥的環境，所以有些開始往四周逃跑。
3. 我們發現食物潮濕會產生幼蟲逃跑的現象。
4. 食物的濕度對幼蟲的消化速率會有影響嗎？

研究二-2：探討食物濕度對幼蟲消化速率的影響

研究目的：瞭解黑水虻幼蟲在何種濕度環境下進食速率最佳。

實驗設計：將四齡的幼蟲各 50 克，加入不同含水率的吐司 30 克，觀察 8 小時，將剩餘吐司秤重。

實驗結果：






吐司含水率	0%	20%	40%	60%	80%
剩餘吐司重量	28.3 克	18.5 克	11 克	0	0
描述	 幼蟲把 0% 含水率的吐司當成是遮蔽物，都躲在吐司底下，有些幼蟲開始往四周爬。	 幼蟲消化大部份 20% 含水率吐司，整個吐司顏色變得比較深。	 幼蟲消化剩下的吐司是比較乾的吐司。	 幼蟲消化全部的吐司，整個容器都變成深褐色，呈現濕糊的狀態。	 全部的吐司都被消化完，很多幼蟲往四週移動。

圖 2-2-1 幼蟲消化吐司情況

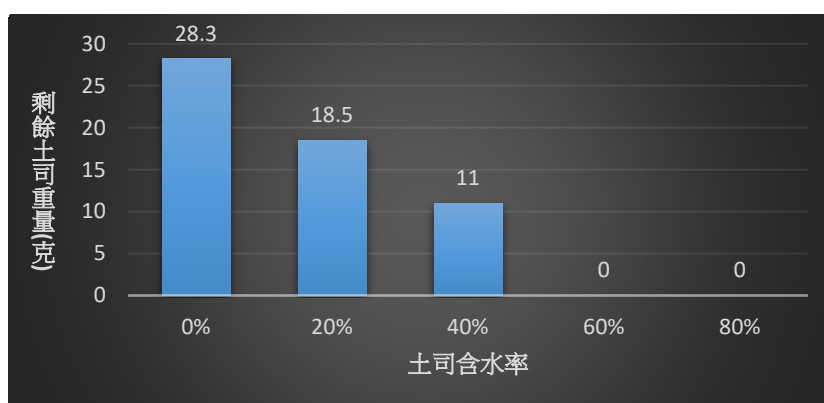


圖 2-2-2 吐司含水率對黑水蛇幼蟲消化速率，以水份 60% 的吐司消化最快。

討論與發現：

1. 觀察發現含水率 20% 以下的吐司，黑水蛇幼蟲消化速率很慢，尤其是含水率 0% 的吐司，幼蟲幾乎都不吃吐司。
2. 含水率 60% 的吐司是黑水蛇幼蟲消化速率最好的濕度，含水率 80% 的吐司則會發現大部份幼蟲逃跑的現象。
3. 我們也發現太潮濕的環境會引起黑水蛇幼蟲產生逃跑情況，於是我們設計了讓黑水蛇幼蟲逃不掉的裝置。

研究二-3：廚餘消化過程中臭味去除研究

研究二-3-1：使用酸鹼中和法去除的黑水蛇幼蟲所產生的臭味
實驗設計：

1. 黑水蛇幼蟲 25 克+麥片 25 克，分別加入不同重量小蘇打。

- 加入小蘇打 0%(0 克)、5%(2.5 克)、10%(5 克)、15%(7.5 克)、20%(10 克)。
- 以 pH 計測量酸鹼變化。
- 以嗅覺品評味道的變化，每隔一、三、五小時學生聞味道。

表一：臭味品評表

臭味品評表					
品項	5 最嗆臭	4 腐敗味	3 臭酸	2 微臭	1 不臭

實驗結果：



圖 2-3-1-1

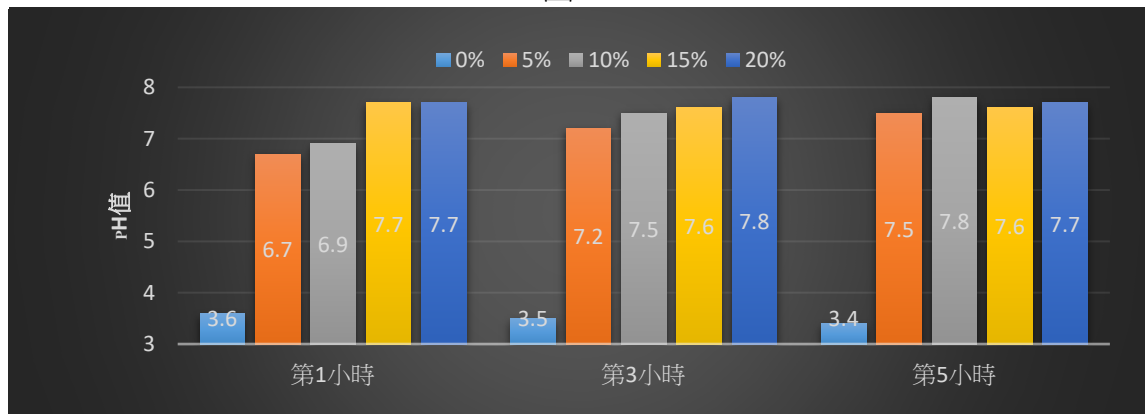


圖 2-3-1-2 加入不同比例小蘇打，一段時間後廚餘 pH 值變化

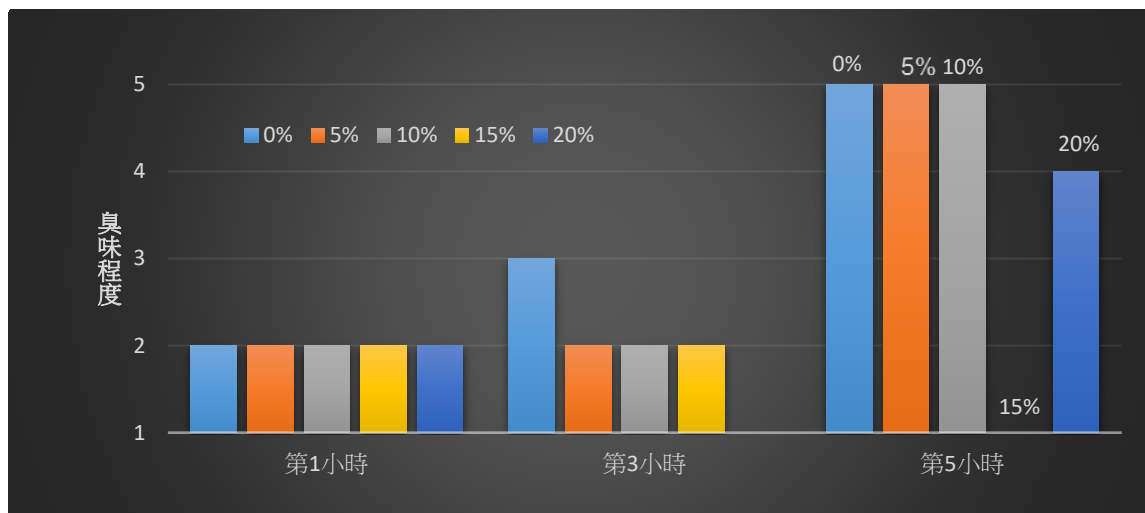


圖 2-3-1-3 臭味品評

發現與討論：

1. 黑水虻幼蟲的活動力並不會因為加入蘇打粉後而降低，味道則在 5 小時後以 15% 的蘇打粉味道降低最顯著。其它組 pH 也大於 7，但是臭味還是沒有消失，所以我們推測是否有氨氣存在。
2. 將 0% 的小蘇打 A 組拿到有抽煙設備的實驗室(靜宜大學化科所)，請實驗室的助教姐姐幫忙檢測 A 組所產生的氣體是否有氨氣？
實驗結果是有產生白色濃煙，手摸燒杯壁有粉狀物，我們推測會有嗆鼻的臭味應該是因為有氨成份存在。

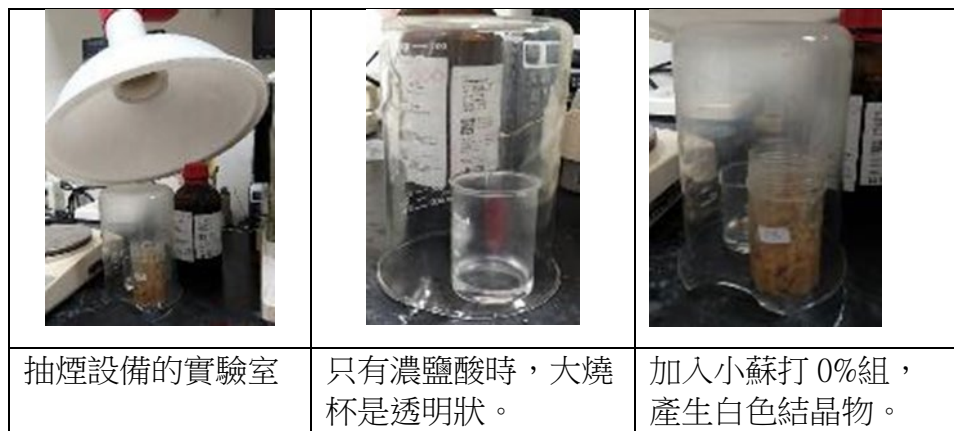


圖 2-3-1-4

研究二-3-2：使用物理吸附法去除的黑水虻幼蟲所產生的臭味

實驗設計：

1. 黑水虻幼蟲 25 克+麥片 25 克，在中層(用網子隔開)分別加入咖啡渣和活性碳。
2. 以嗅覺品評味道的變化。每隔一、三、五小時學生聞味道。

實驗結果：

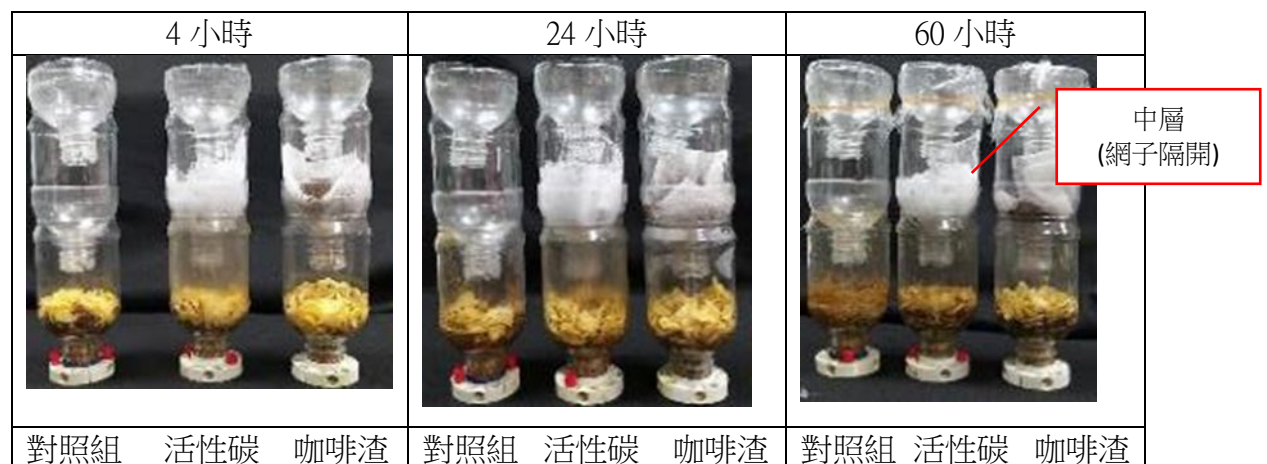


圖 2-3-2-1

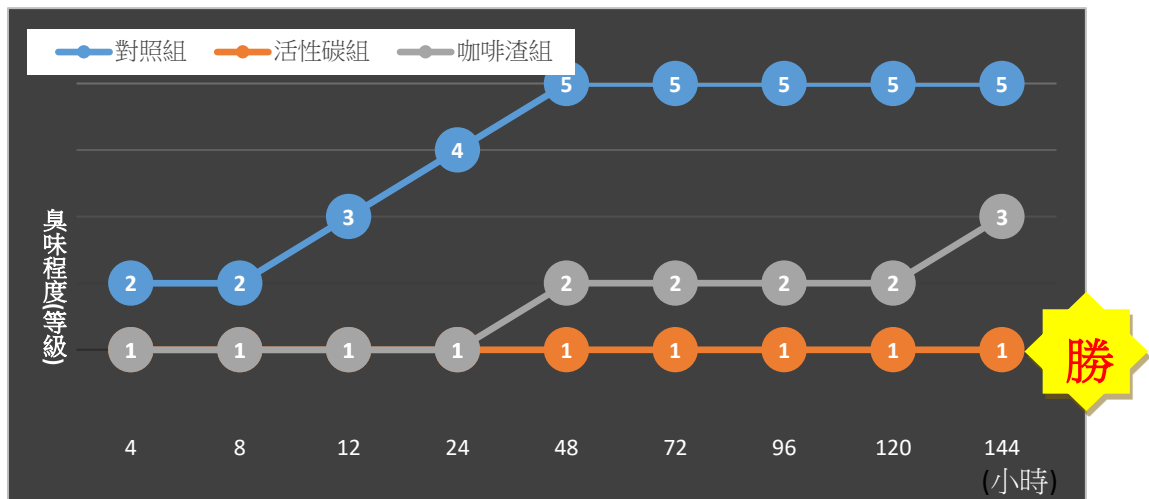


圖 2-3-2-2 物理性吸附效果

發現與討論：

1. 對照組在第四小時後已經開始出現味道了，到了 12 小時味道開始變重，48 小時則出現嗆鼻味。
2. 活性碳組一直到 144 小時後，都沒有很明顯的味道傳出。
3. 咖啡渣組則是在 48 小時後有一點點的味道，但是咖啡味仍是可蓋過臭味，直到 144 小時後才開始有比較強烈的臭味。

研究二-3-3：使用微生物法去除的黑水虻幼蟲所產生的臭味

實驗設計：

1. 黑水虻幼蟲 25 克+麥片 25 克，分別加入酵素 4 克和肥料 4 克。
2. 以嗅覺品評味道的變化。每隔一、三、五小時學生聞味道。

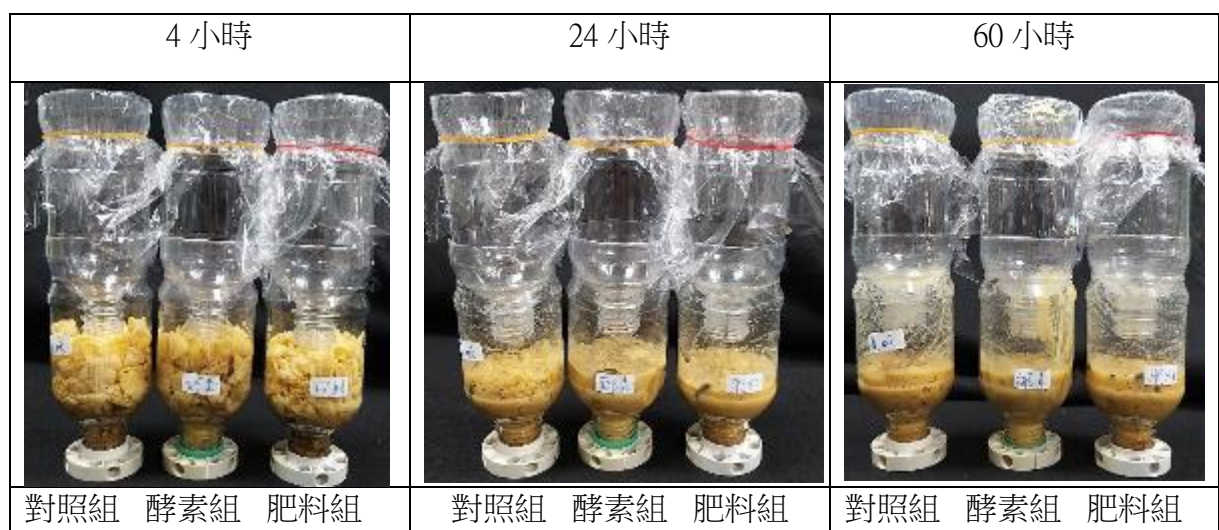


圖 2-3-3-1

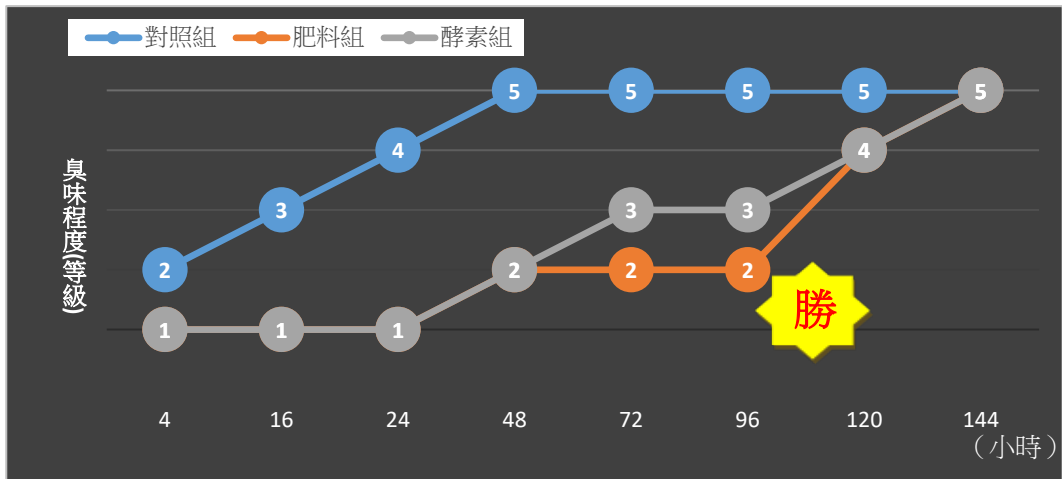


圖 2-3-3-2 微生物除臭效果

發現與討論：

1. 肥料組及酵素組在 24 小時後開始呈現水糊狀，48 小時後肥料組與酵素組味道開始出現發酵味，以酵素組的味道在 72 小時後出現臭味，肥料組則是經過 120 小時後味道後才有明顯的酸臭味出現。

研究三：設計生態循環箱

研究三-1：探討如何防止黑水蛇幼蟲逃離

實驗目的：防止黑水蛇幼蟲在食物不足或太潮溼時逃離

實驗設計：

1. 利用黑水蛇幼蟲懼水的特性，將壓克力盒中放入 20 隻黑水蛇幼蟲，又加入水 30 毫升，觀察黑水蛇幼蟲逃離的情形。
2. 設計防逃裝置在壓克力盒四週裝上 1/4 水管。

實驗結果：



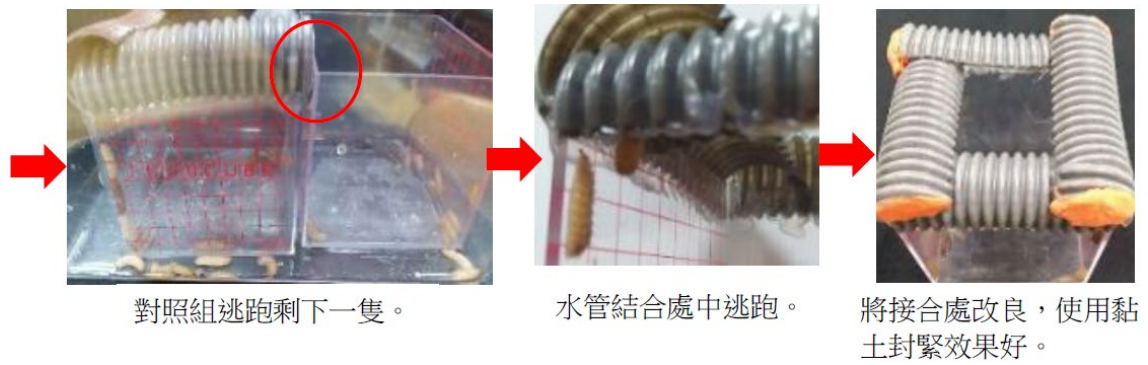


圖 3-1-1 防止幼蟲逃跑裝置實驗

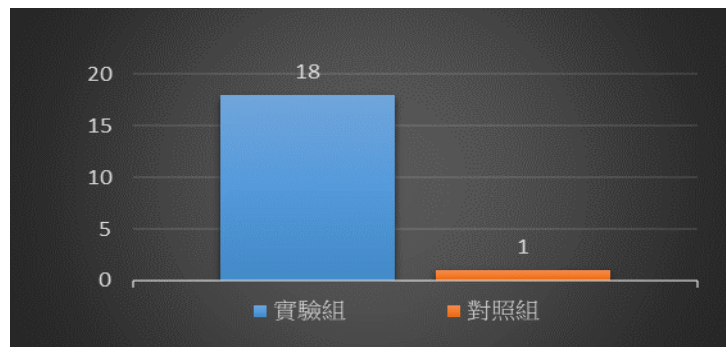


圖 3-1-2 計算 1 小時後，兩組的黑水蛇幼蟲在壓克力盒內的未逃跑的隻數。

研究三-2：設計黑水蛇幼蟲預蛹期的引道

研究目的：黑水蛇幼蟲進入預蛹期後，會開始尋找陰暗乾燥的地方，解決預蛹亂跑，設計集中的引道。

實驗設計：黑水蛇幼蟲 50 隻，黑色粗水管，透明粗水管。

實驗日期：108 年 12 月 25 日~26 日(24 小時)

實驗結果：



圖 3-2-1 24 小時後，預蛹期幼蟲經由不同顏色水管爬進飼養箱情形比較。

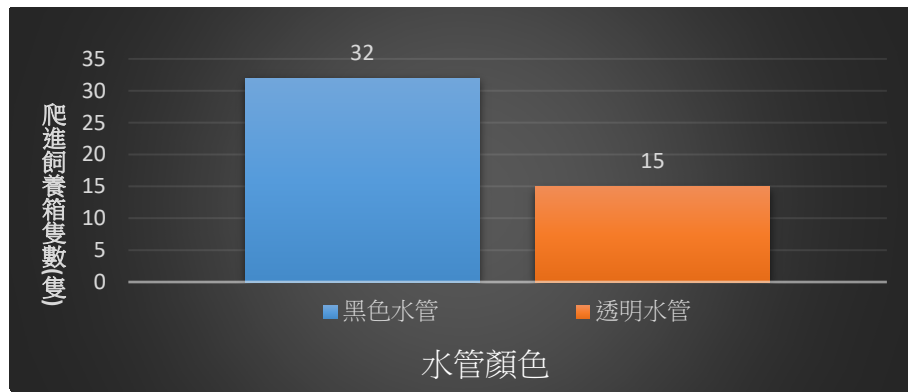


圖 3-2-2 不同顏色水管對預蛹期幼蟲的影響

討論與發現：

- 1.第二天經過黑色粗水管有 32 隻的預蛹期幼蟲，透明水管則有 15 隻預蛹期幼蟲。
- 2.觀察經過水管的黑水蛇幼蟲，大部份是咖啡色的幼蟲，只有三、四隻是五期白色幼蟲，也發現離開飼養箱的黑水蛇預蛹期幼蟲活動力下降。

研究三-3：探討如何分離黑水蛇蟲糞

目的：黑水蛇幼蟲養了一陣子需要分離一些蟲糞，才能保持最佳生長環境。

實驗設計：

1. 利用黑水蛇的鑽洞天性，設計網狀籃子倒進幼蟲及蟲糞。
2. 我們發現不同齡期的幼蟲所產出的蟲糞也會有不同的顆粒大小。
3. 由於蟲糞是比較細小的顆粒，因此我們利用離心力將蟲糞與食物殘渣分離。

實驗結果：

★第一代篩蟲糞器

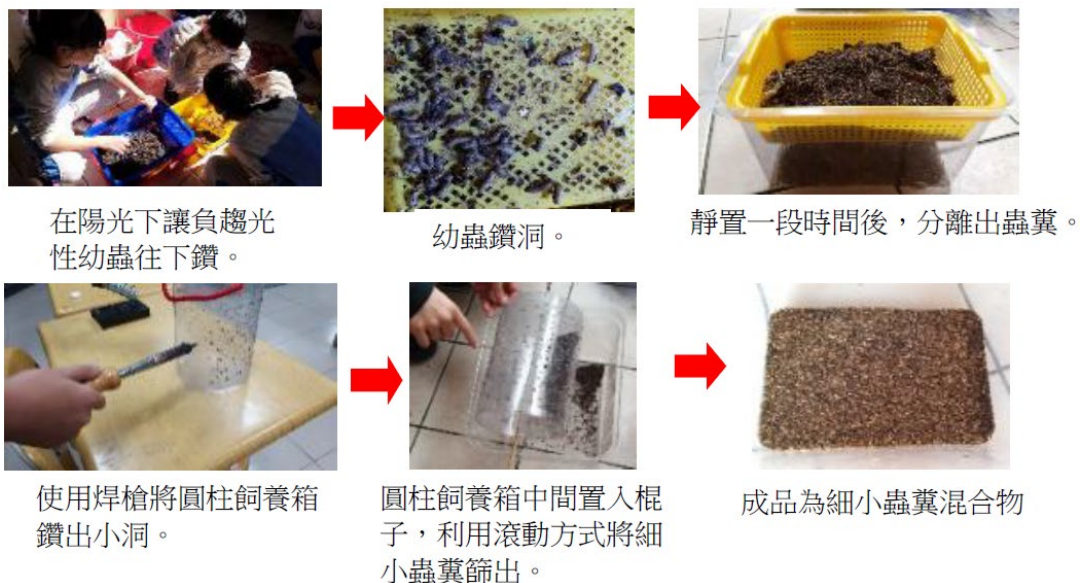


圖 3-3-1

★第二代篩蟲糞器



使用魯味籃當過篩器



魯味籃放黑水虻幼蟲和食物



利用滾動方式將細小蟲糞篩出

圖 3-3-2

發現與討論

1. 第一代篩蟲糞器是需要將幼蟲另外飼養，然後一段時間後再過篩蟲糞，有時後會產生食物與蟲糞結塊現象。第二代蟲糞過篩器則是可以直接將幼蟲放置於容器中，然後隨時可以過篩蟲糞，比較不會產生蟲糞結塊的現象，也可以節省空間。
2. 我們觀察到蟲糞是一片片很細小的顆粒狀物，雖然是蟲糞但是並沒有糞便的味道，質量輕味道倒是有點像乾燥的茶葉，pH 測出為 7.8 偏鹼的物質。
3. 查閱相關文獻發現其它昆蟲的蟲糞可做為肥料，於是我們很好奇黑水虻的幼蟲蟲糞到底是適合哪一種植物呢？

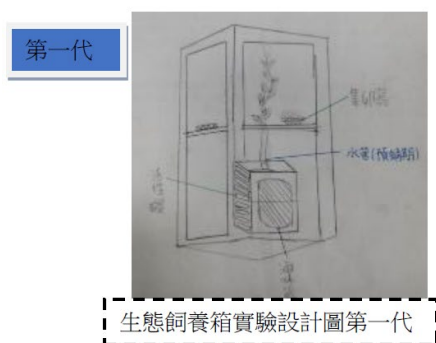
研究三-4：探討黑水虻家戶飼養的可能性

目的：設計家戶飼養黑水虻的生態箱

實驗設計：

1. 綜合以上研究，將黑水虻幼蟲養在第二代過篩器中。
2. 以活性炭做為氣味隔離，下層為幼蟲消化廚餘容器和蟲糞收集器，並透過黑色粗水管可以使預蛹期的黑水虻沿著水管爬上集蛹盒。

實驗結果：



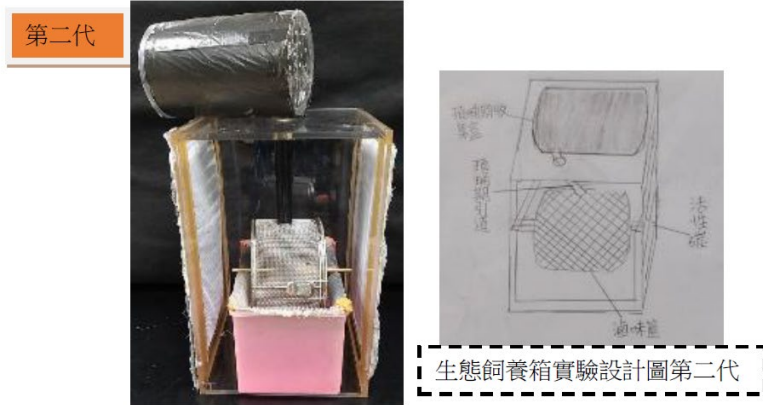


圖 3-4-1 生態飼養箱實驗設計圖

發現與討論：

1. 幼蟲在滷味籃消化食物，所散發的味道會由旁邊的活性碳吸附。每次放入廚餘前轉動滷味籃，清理收集蟲糞也可以降低幼蟲聚集的溫度。
2. 幼蟲開始進入預蛹期會沿著黑色管子進入上方成蟲室（第一代），等待羽化。
3. 第一代生態箱可以飼養黑水虻整個成長週期，但考慮第二代蟲卵會激增飼養數量，所以與黑水虻農場合作討論經濟循環通路。

研究四：蟲糞附加價值研究～探討黑水虻蟲糞混合物對不同植物的生長影響

研究目的：利用黑水虻幼蟲所篩選出的蟲糞，針對葉菜類、花卉類及果實類的植物紀錄生長情形。

實驗設計：

1. 葉菜類（芥蘭菜）實驗組及對照組各三盆。
2. 花卉類（大波斯菊）實驗組及對照組各三盆。
3. 果實類（草莓）實驗組及對照組各三盆。
4. 實驗組培養土與蟲糞混合比例為（9:1），對照組土與蟲糞比例為（10:0）。
5. 紀錄葉菜類生長高度，花卉類生長高度、花苞數量，果實類花苞數量、果實數量。

實驗結果：

★葉菜類(108.10.23~109.01.07)

108年12月10日		108年12月17日		109年1月7日	
對照組	實驗組	對照組	實驗組	對照組	實驗組

圖 4-1

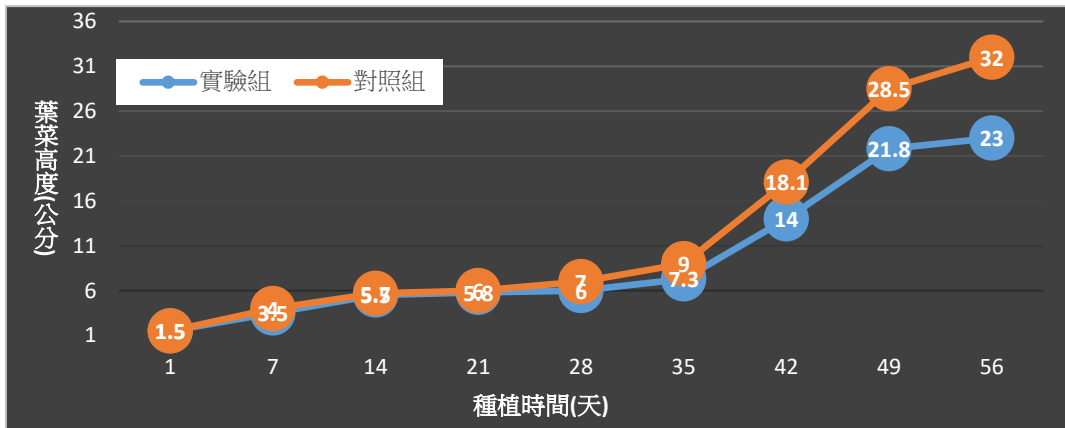


圖 4-2 蟲糞混合物對葉菜類生長高度的影響

發現與討論：

1. 實驗組在種植初期葉片就比對照組的高度矮，葉子面積也比對照組來的小。觀察發現實驗組的葉子雖然偏小，但是卻沒什麼病蟲害。反觀沒有加任何蟲糞的對照組葉子卻被小蟲咬成很多洞。
2. 經過種植二個月後，發現實驗組的生長情形依然比對照組生長差。
3. 我們觀察到實驗組的根系長的比對照組的根系粗。



圖 4-3

★花卉類

108 年 12 月 10 日	108 年 12 月 17 日	109 年 12 月 31 日
對照組	對照組	對照組
實驗組	實驗組	實驗組

實驗組
開很多花

圖 4-4

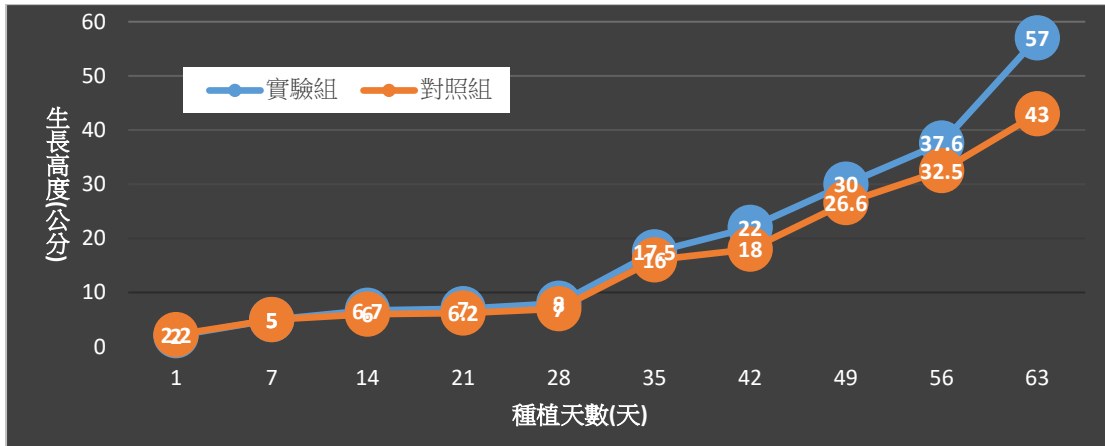


圖 4-5 蟲糞混合物對花卉類(大波斯菊)生長高度的影響
發現與討論：

1. 實驗初期實驗組的葉片數量比對照組多。一個半月後開始結花苞，實驗組的高度、葉片數量及花苞數量都比對照組多。
2. 二個月後實驗組的整體生長情況花開的數量都比對照組好。

★果實類



圖 4-6

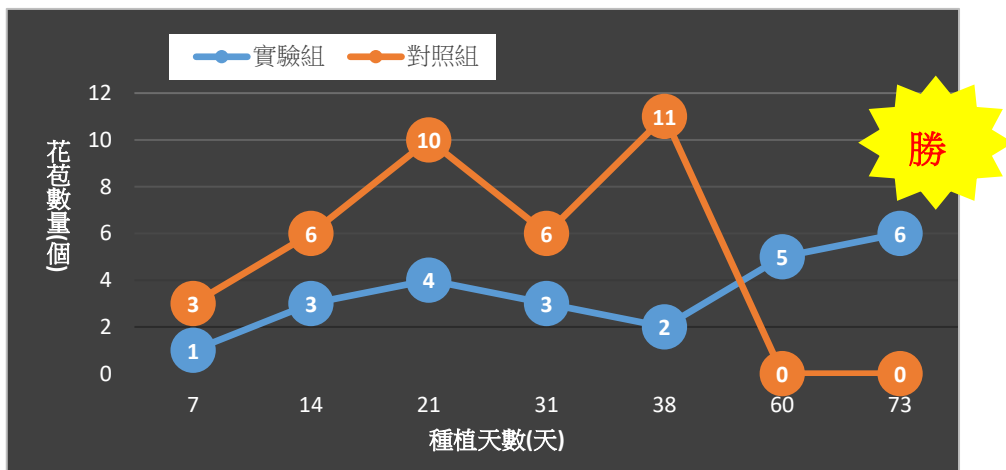


圖 4-7 蟲糞混合物對果實類(草莓)花苞的影響

發現與討論：

- 1.種植初期就發現對照組的葉片數比實驗組多。一個半月後對照組的已經有 11 個花苞，但實驗組仍只有 2 個。
- 2.在我們的種植期間草莓實驗組的生長表現一直比對照組差，但是在我們準備結束實驗時，發現實驗組卻長了很多顆且很大的草莓果實，讓我們十分驚喜。到底黑水虻的蟲糞哪種含量比較多呢？為什麼會產生這種現象？



圖 4-8

伍、討論

研究一：黑水虻飼養在自然教室外面陽臺，整個過程黑水虻幼蟲雖然會四處亂跑，但是五個飼養週期後，發現逃跑的幼蟲因為體力有限，幾乎跑不遠。成蟲也只喝水不像蒼蠅一樣會來干擾人類，黑水虻消化廚餘時會有酸臭味，則開始會吸引蒼蠅產卵，但一陣子後發現黑水虻幼蟲會消化蒼蠅卵，蒼蠅就變少了。整個實驗驗證文獻上黑水虻幼蟲幾乎什麼食物都可以消化，成蟲不會沾黏食物或是在垃圾桶徘徊，幾乎是很乾淨的昆蟲。

為了可以方便收集蟲卵，我們設計了集卵器，但是黑水虻媽媽還是將蟲卵產在蟲苗卵一孵化立即可以吃到食物的地方，所以應該將集卵器沾上發酵麥麩，母成蟲才容易在集卵器上產卵。本研究發現蜂蜜水組是最早出現蟲卵、孵化的蟲苗也是最多，糖水組則是次之，自來水組最後。我們查閱資料推論蜂蜜是由葡萄糖和果糖所構成的兩種單糖類，單糖是不需再分解，所以比砂糖（雙醣須再分解）更發酵的食物容易引來果蠅，果蠅也會在發酵盒裡產卵，但是實驗組（蜂蜜水）因為黑水虻的蟲苗較多，直接把果蠅卵當食物消化了，所以實驗組（蜂蜜水）果蠅卵相對較少，蟲苗體形較大。

研究二：我們觀察到四齡蟲是消化速率最快的，黑水虻幼蟲總共會經歷六齡才會進入蛹期，四齡蟲正值最需要大量食物的蟲齡，所以**四齡蟲消化食物的速率最快**，其次是五齡蟲。食物的濕度的確會影響黑水虻幼蟲的消化速度，本實驗以吐

司做控制變因，發現黑水虻幼蟲對太乾的吐司無法消化，太潮濕的吐司則會產生逃跑現象，在含水率 60%的吐司是消化速率最快的比例。但如果用在生活中的廚餘，因為每種食物的吸水性不同，並不能以重量百分比 60%去估算水份，這個實驗所獲取的經驗是**食物的水份控制在食物是潮濕的，以不滴下水為原則。**

研究二-3：這個實驗中我們使用酸鹼中和法，沒加小蘇打在第一小時後麥片 pH 變為 3.6，有加**小蘇打組以 15%組的在 5 小時後仍然沒什麼味道酸臭味**，但是 20%組卻有濃濃的嗆鼻味，拿去靜宜大學化學實驗室以濃鹽酸測試出有氨成份存在，所以才會產生嗆鼻（阿摩尼亞）味。以物理吸附法中的**活性碳效果最好**，過了 60 小時依舊沒什麼味道，推測是活性碳的吸附原理。其顆粒表面形成一層平衡的表面濃度，再把有機物質雜質吸附到活性碳顆粒內，使用初期的吸附效果很好，但時間一長，活性碳的吸附能力會不同程度地減弱，吸附效果也隨之下降。咖啡渣太細容易混入廚餘中，使用上需要一直添加才能達到除臭效果較不方便。微生物法運用肥料及自製酵素除臭，一開始效果都是不錯的但是 48 小時後就出現臭酸味道，兩組比較下**肥料除臭效果比酵素來得好！**

我們也用**臭味品評器**檢測試生態飼養箱的除臭效果。使用兩個**臭味品評器**分別放置實驗組（生態箱）及對照組，依照臭味傳遞的速度觀察紀錄，每組由三位學生品評臭味取平均值。

		
<p>用兩組比較臭味</p>	<p>臭味品評器</p>	<p>學生拿計時器，計時聞到臭味的時間。</p>

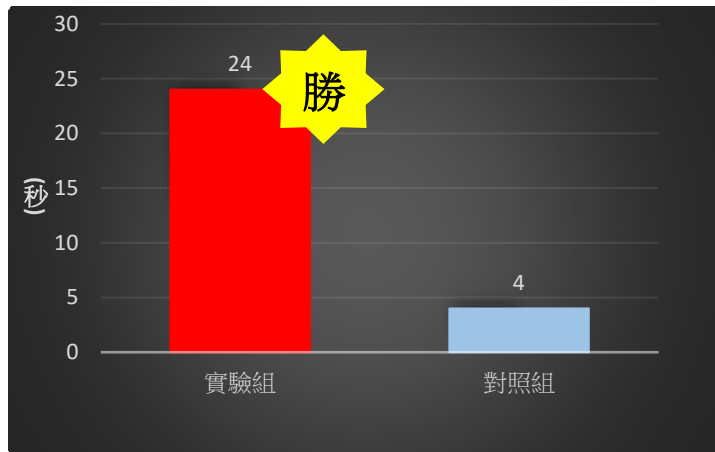


圖 5 臭味傳播時間

在密閉空間中，臭味傳播速度以實驗組最慢，對照組 4 秒就聞到味道，實驗組在 24 秒後才聞到淡淡的臭味，也代表我們所設計的生態箱隔離臭味效果很好。

研究四：這個實驗中我們發現黑水虻蟲糞對不同類的植物產生不同的影響，這三組實驗中，**黑水虻蟲糞以花卉類及果實類的生長最為顯著。**

表二

種類	對照組	實驗組 (蟲糞)
葉菜類	勝	
花卉類		勝
果實類		勝

於是我們用「膠囊型土壤養分測定組」檢測試蟲糞含鉀、氮、磷的含量。發現黑水虻蟲糞的磷、鉀含量豐富，但是氮含量稀少。我們推論芥蘭菜的實驗組會一直長的沒有對照組好，是因為氮主要的功能在長葉子及製造葉綠素，因為氮不足以致葉片長的沒有對照組好，但也因為**鉀含量充足以致實驗組的防蟲效果及根莖粗壯都比對照組好**（詳見圖 4-3）。在**花卉組的實驗組因為磷含量豐富相對對照組的生長情形好**。在草莓果實組中一開始對照組比實驗組生長及果實數較好，查閱相關資料我們推論由於實驗組中鉀含量豐富，產生了所謂的拮抗作用（是指元素被吸收或存在受到了相互抑制作用，可能是在細胞內有二者的共同轉運通道和受體，即是兩樣元素相互競爭同一通道或受體。所以會有一樣元素多另一樣元素則變的很少，而造成不平衡，最常見的就是氮與鉀間的拮抗）。但經過一段時間後實驗組充足的鉀和磷持續提供實驗組果實生長的養份，草莓果實也比對照組的果實還要來得大，反觀對照組則因鉀及磷不足，氮也消耗完後就沒有養份持續結果實，所以**蟲糞對果實類的確有顯著的效果**。

我們先用簡易氮磷鉀測試劑來檢測黑水虻幼蟲的成份，發現**蟲糞的氮含量很少，磷含量充足，鉀含量豐富**(如右下圖)。



圖 6 簡易檢測試劑

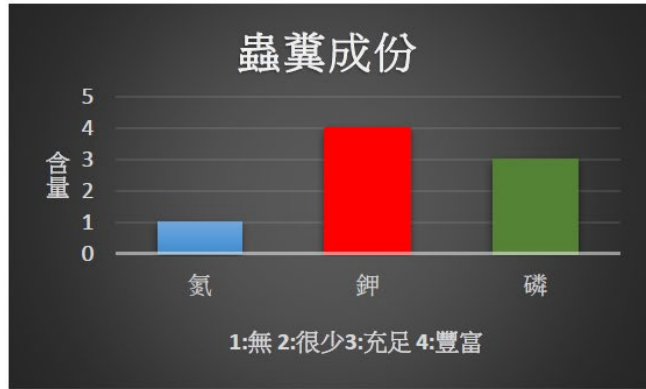


圖 7 蟲糞成份含量多寡

由於簡易檢測試劑無法得知濃度，我們在網路上收集如何檢測水溶液濃度的方法，找到臺灣化學教育一篇「中學化學 App 教材與教學：滑手機做實驗」內有利用手機 app:Light Meter 測定濃度的方法，因此我們利用這個方法檢測蟲糞內氮、磷、鉀的濃度(蟲糞濃度為 0.1%)，實驗裝置如下：



圖 8 Light Meter 測定濃度裝置

表三

	蟲糞 LUX	市售肥料溶解在 50ml 水內的重量(g)			
		原始重量(g)	LUX	調整重量(g)	LUX
氮	34	1	26	0.8	34
磷	8	1.5	8	1.5	8
鉀	46	2.5	24	1.7	46

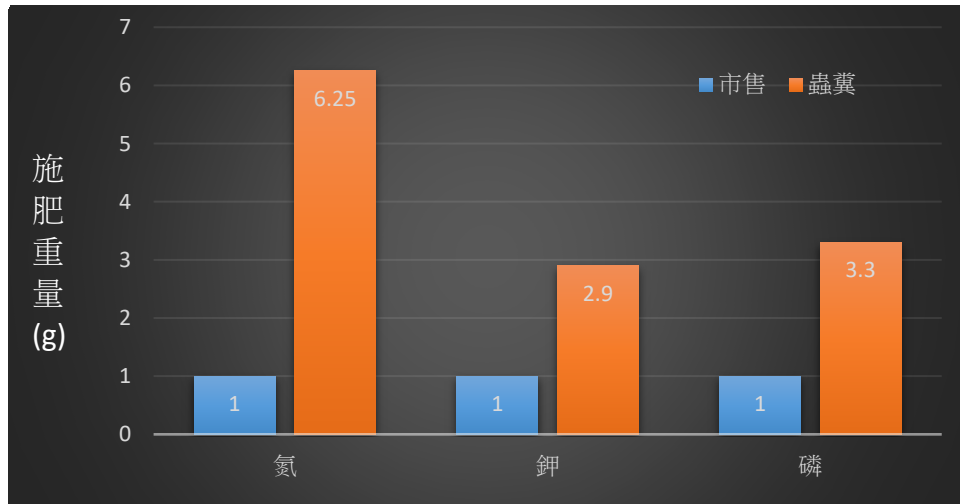


圖 9 蟲糞與市售肥料濃度比較

由分析結果顯示，以市售肥料稀釋 1000 倍比例的濃度與幼蟲蟲糞相比較下，發現蟲糞的氮使用量要用 6.25 克才能相當化學肥料氮的 1 克，蟲糞的鉀則需要用到 2.9 克才能相當化學肥料氮的 1 克，蟲糞的磷使用量則要用到 3.3 克才能相當與化學肥料的磷一樣比例，將蟲糞使用在農業上則可以用此比例施作肥料。

表四

蟲糞肥料優缺分析	
優點	缺點
1. 鉀充足，可使莖幹強健，增進作物抗病、抗蟲 2. 磷豐富，在能量的製造和運移，對開花及結果影響很大。舉凡在開花時期或以觀花為主的花卉，則需足量的磷肥供應。	1. 微量的氮不足提供植物長葉子及製造葉綠素，故無法供光合作用產生碳水化合物，增進葉菜農作物的產量。

研究六：

1. 黑水虻的幼蟲有負趨光性，所以我們在第一層飼養及過篩器外面用了隔離臭味的裝置（活性碳牆），加入蘇打粉中和廚餘酸鹼，並用黑色水管做為預蛹期幼蟲的引道。第二層上面放置了成蟲交配可以停留的植物，成蟲喝水的水盤及產卵器及發酵盒，也放置吸引補捉果蠅器。待成蟲產下蟲卵又是一個新生命黑水

蛇的循環週期。



圖 10 黑水蛇(第一代生態箱)

2. 第一代生態箱可以飼養黑水蛇整個成長週期，但考慮第二代蟲卵會激增飼養數量，所以與黑水蛇農場合作討論經濟循環通路。



圖 11 經濟循環通路

3. 成本計算

品項	數量	金額(元)
三齡蟲	200 隻	200
壓克力生態箱	1 套	2000
	總計	2200

第一次使用需付 2200 元，以後只需要付物流費用，以蛹及蟲糞換幼蟲循環使用。基於善待生物、維護自然生態，我們於實驗結束後，將黑水蛇的成蟲及幼蟲送到專門飼養黑水蛇的農場，讓黑水蛇的生命週期可以繼續延續下去。

陸、結論

我們設計實驗探究黑水蛇結果顯示：

1. 黑水蛇的生命週期大約 45 天。黑水蛇成蟲食用蜂蜜水有助於產卵數量。
2. 四齡幼蟲食物消化食物速率最快。食物的含水率會影響黑水蛇幼蟲消化速率，以含水率 60%的吐司是消化速率最快的比例。食物的水份控制在食物是潮濕的，以不滴水為原則。
3. 在飼養過程中所產生的氣味，可以藉由物理性（活性碳、咖啡渣）、化學性（酸鹼中和）及微生物（肥料、酵素）除臭。可以用肥料水混入廚餘再以物理性活性碳的除臭效果最好及除臭效果時間最長，使用上也最方便。
4. 設計蟲糞過篩器，實驗蟲糞當成肥料對不同種類的植物影響，以花卉類及果實類的栽培成長及防蟲效果最顯著。

最後，運用我們所設計的家戶飼養黑水蛇生態箱，將研究中發現的黑水蛇行為，並利用除臭方法，搭配黑水蛇農場的經濟循環通路將黑水蛇推廣到每個家庭中。

柒、參考文獻

- 一、 陳穎虹等。嘉義市第 36 屆國民中小學科學展覽會。環保之星～黑水蛇的養殖及應用
- 二、 賴一宏等(2016)。糞力而為－開發生物活體系統分解豬糞可利性之研究。中華民國第 56 屆中小學科學展覽會國中組生活與應用科學組科。國立臺灣科學教育館。台北

- 三、 化學肥料及微量元素之間的拮抗作用.取自
https://agri.microgreen.com.tw/2015/04/blog-post_3.html?m=1
- 四、 陳椒華。(2014)除臭微生物放線菌之菌種鑑定分析。嘉南藥理大學專題研究計畫成果報告。
- 五、 蕭庭訓等。滴濾設施去除堆肥中之氨氣及異味。行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 1892 號。

捌、未來的展望

隨著人類發展的需求，整個地球生態環境是愈來愈嚴峻，流行的瘟疫也愈來愈變化莫測，於是我們真心的希望可以用生物循環的方法，來解決目前廚餘的問題。

推廣到家戶使用的方法是；由黑水虻農場提供三齡蟲冷藏宅配到府，再利用我們設計的黑水虻生態箱飼養在家中的室外，收集的蟲糞可以再賣回肥料公司，成為天然的綠能肥料，達到物盡其用的目的。希望我們可以更有效的控制飼養過程中所散發的臭味，就不會對環境造成空氣污染讓家戶消費者的產生反感。期望整個飼養過程是對整個地球環境永續發展有相當助益。

【評語】 080313

本作品研究黑水虻的生物特性，設計飼養環境並研究黑水虻幼蟲的生態行為。

1. 目前有許多文獻中已討論黑水虻的生物特性及探討其生態行為，建議此研究與之前文獻研究成果做進一步比較分析已凸顯此研究之創新性。
2. 由黑水虻的生物特性開始觀察，其後進入應用、附加價值與商業評估，是一個詳細且完整的研究。在觀測過程中，自製許多研究設備，具有創意。
3. 唯作品中較難看出所提出的科學問題，建議應該有較為清楚的說明來闡述問題與假說，否則作品說明書中較難看出此作品科學層面的創新為何？

摘要

廚餘的流向是近年來熱烈探討的議題，昆蟲界的黑水虻更是消化廚餘的好幫手，於是我們先瞭解黑水虻的生物特性，研究黑水虻幼蟲的生態行為及設計飼養環境。本實驗的研究結果，得知在家是可以飼養黑水虻來處理廚餘，廚餘的濕度要控制在潮濕不要滴水，幼蟲消化廚餘是以**四齡蟲的消化速率最快**，在六齡蟲顏色轉咖啡色時，就要準備**引道**讓預蛹期的黑水虻幼蟲到乾燥的地方。幼蟲及廚餘所散發的腐臭味道可以加入**肥料水及活性碳來降低臭味**。黑水虻蟲糞也可當成花卉及果實類肥料。成蟲可餵食**蜂蜜水增加產卵的數量**。更設計**經濟循環通路**讓家戶可以循環飼養。整個實驗期間，也讓我們瞭解黑水虻對人類的生活環境並沒有產生衝擊性的影響，是經濟價值很高的友善昆蟲。

壹、研究動機

人類的生活不停製造家庭廚餘、便利商店的過期食物、咖啡渣及畜牧場的動物糞便，這些都是大量的環境污染源。查閱很多資料發現黑水虻是一種專門消化廚餘的益蟲，俗名叫黑水虻。我們在四下的「昆蟲家族」單元，學習到昆蟲的一生及飼養的生長環境。於是我們向黑水虻農場要了一些蟲卵，開始我們對黑水虻的探索之旅。希望探討黑水虻的生命週期，瞭解牠的生活習性，找出簡易飼養黑水虻的方法。整個實驗過程中也因為臭味是很大的問題，於是進行了除臭研究。飼養過程中所產生的蟲糞混合物，參考三下「種蔬菜」單元，探究黑水虻蟲糞混合物是適合種植哪種類的植物。也擔心家戶飼養後會繁殖過剩，造成家戶飼養主困擾，所以試著設計一套經濟循環通路，讓家戶飼養者可以一直循環飼養。我們希望透過這些研究瞭解如何輕鬆飼養繁殖黑水虻，進而推廣到每一個需要的消化廚餘的地方。

貳、研究目的

研究一：探討黑水虻的生命週期

- 研究一 - 1：蟲卵、幼蟲與成蟲體型和顏色變化
- 研究一 - 2：黑水虻幼蟲進食方式
- 研究一 - 3：探討黑水虻成蟲飲用不同種類溶液對產卵的影響
- 研究一 - 4：利用3D列印設計集卵器

研究二：黑水虻行為探究

- 研究二 - 1：探討不同蟲齡的幼蟲消化速率
- 研究二 - 2：探討食物濕度對幼蟲消化速率的影響
- 研究二 - 3：廚餘消化過程中臭味去除研究
 - 研究二 - 3-1：使用酸鹼中和法去除的黑水虻幼蟲所產生的臭味
 - 研究二 - 3-2：使用物理吸附法去除的黑水虻幼蟲所產生的臭味
 - 研究二 - 3-3：使用微生物法去除的黑水虻幼蟲所產生的臭味

研究三：設計生態循環箱

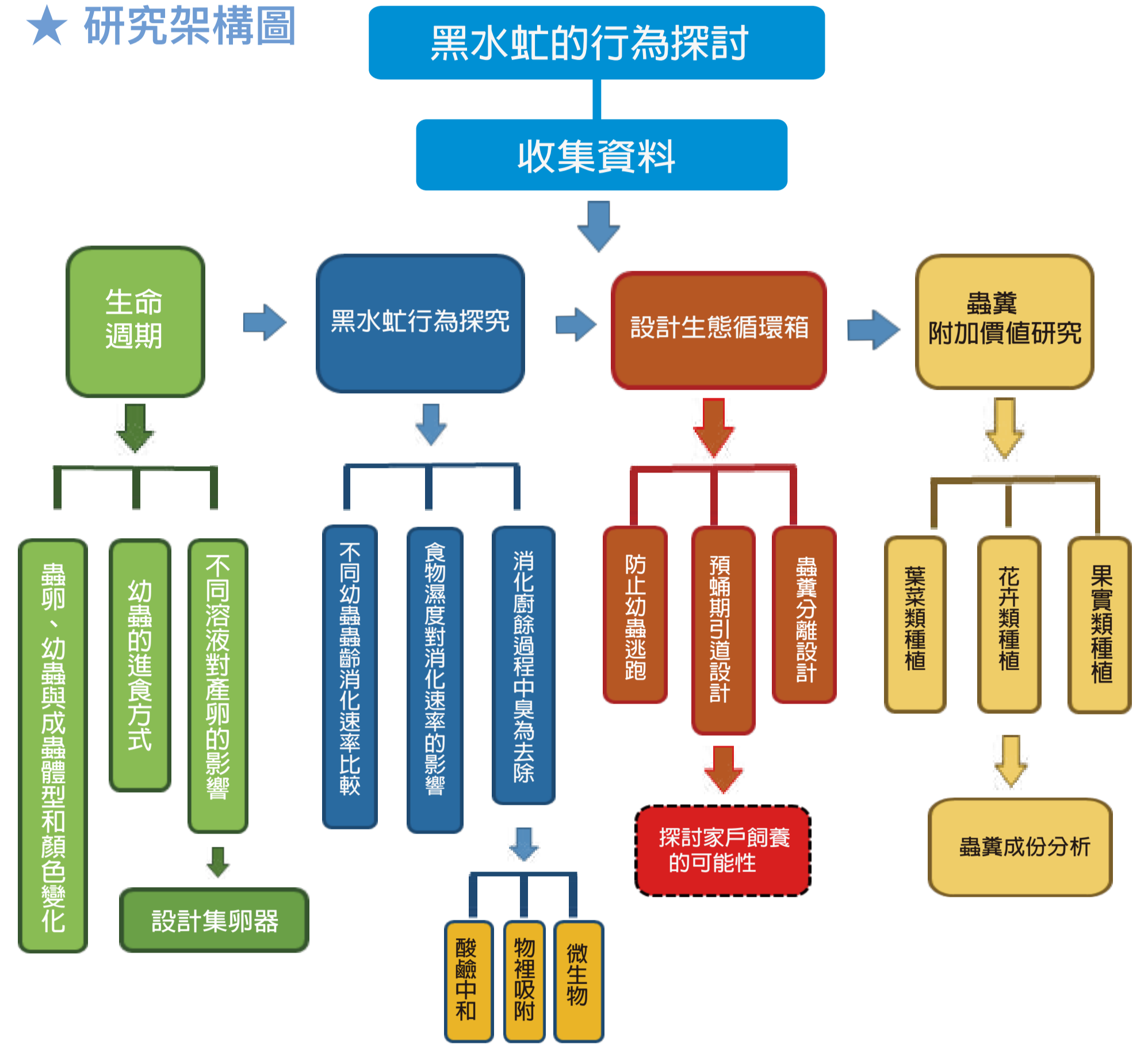
- 研究三 - 1：探討如何防止黑水虻幼蟲逃離
- 研究三 - 2：設計黑水虻幼蟲預蛹期的引道
- 研究三 - 3：探討如何分離黑水虻蟲糞
- 研究三 - 4：探討黑水虻家戶飼養的可能性

研究四：蟲糞附加價值研究

探討黑水虻蟲糞混合物對不同植物的生長影響

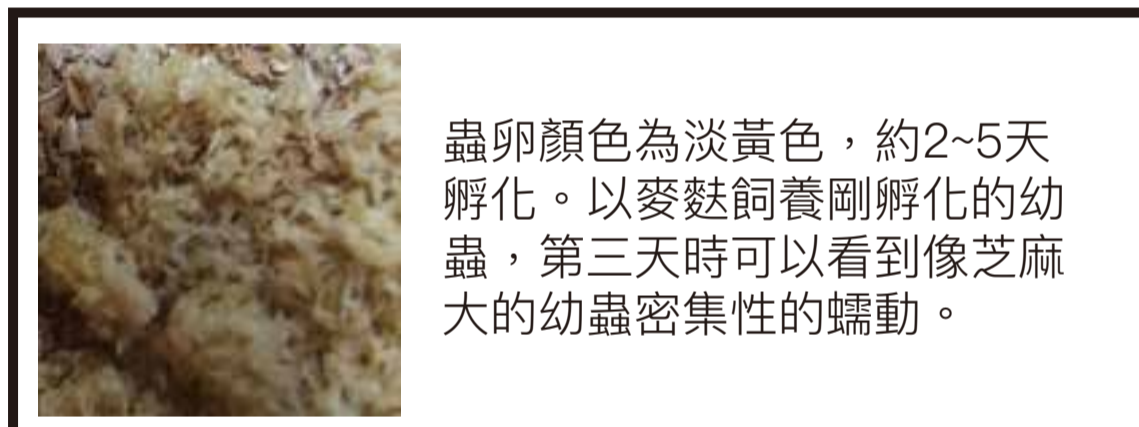
參、研究過程、方法和內容

★ 研究架構圖



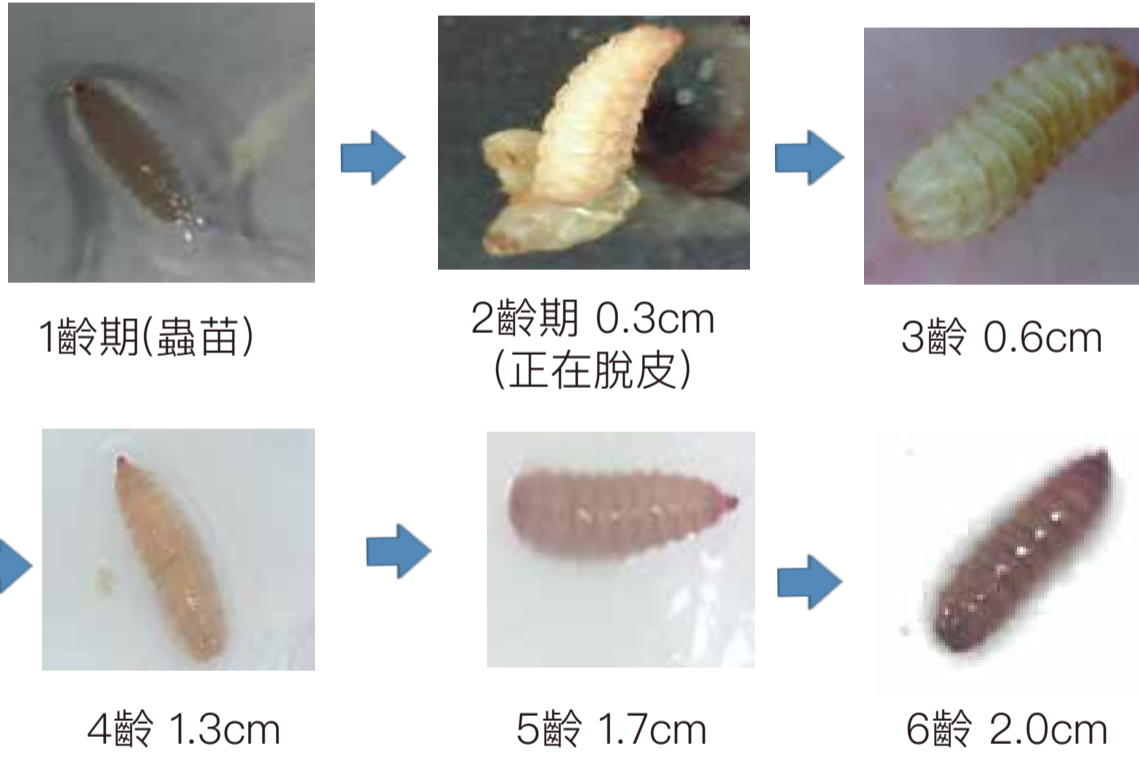
探討黑水虻的生命週期

(1) 卵期:



蟲卵顏色為淡黃色，約2-5天孵化。以麥麩飼養剛孵化的幼蟲，第三天時可以看到像芝麻大的幼蟲密集性的蠕動。

(2) 幼蟲期：蟲長約0.2~2公分，成長週期約15~20天。



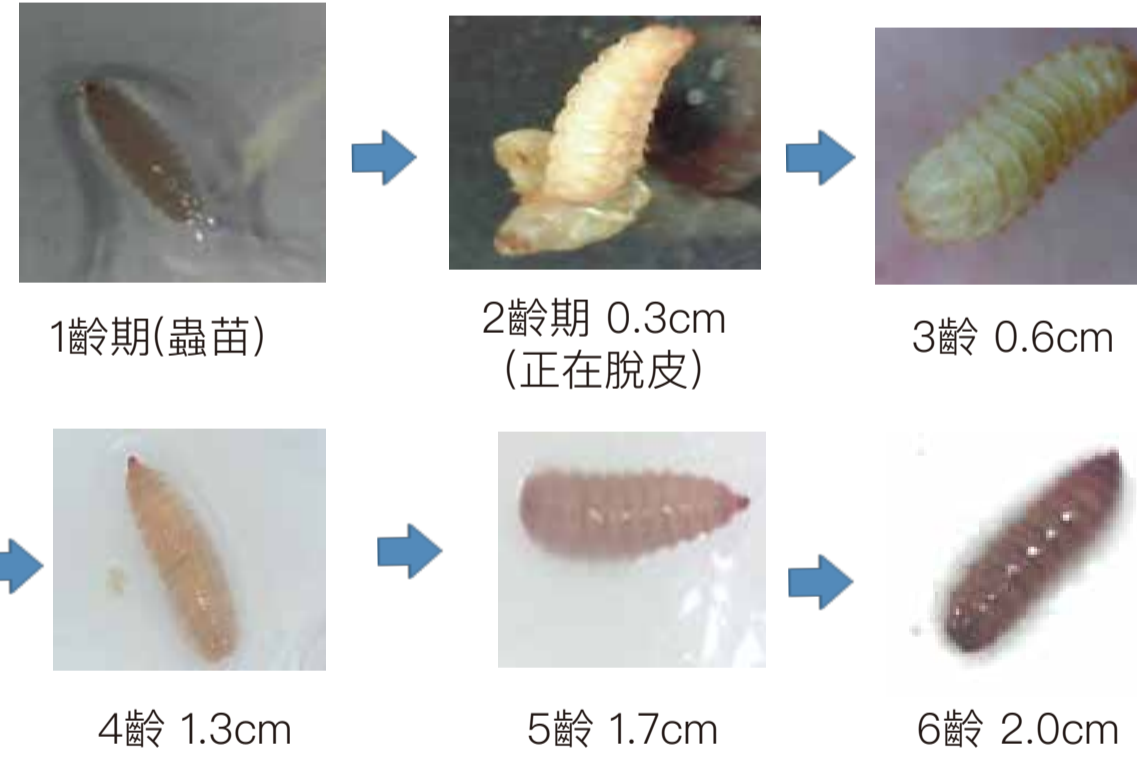
(3) 蛹期：外型為黑色，長約1.6~2公分，約12~15天，活動力下降。



預蛹期的黑水虻仍然會蠕動，但已經開始不進食了。

蛹期的黑水虻不會動，而且尾巴會往下垂。

羽化的成蟲，會從蛹的第一節斷掉，身體第二到三節有T字型的裂痕。



(4) 成蟲：外型像蜂，體長約2公分，一週期經歷7天左右。



(黑水虻正面) 眼睛有藍色條紋，六隻腳的前端白色，觸角像雷達一樣的上下擺動。

(黑水虻反面) 腹部有一條透明的帶子，中間的管子輸送養份。

公黑水虻尾部是扁平狀，母黑水虻尾部是比較窄而凸出的產卵管。

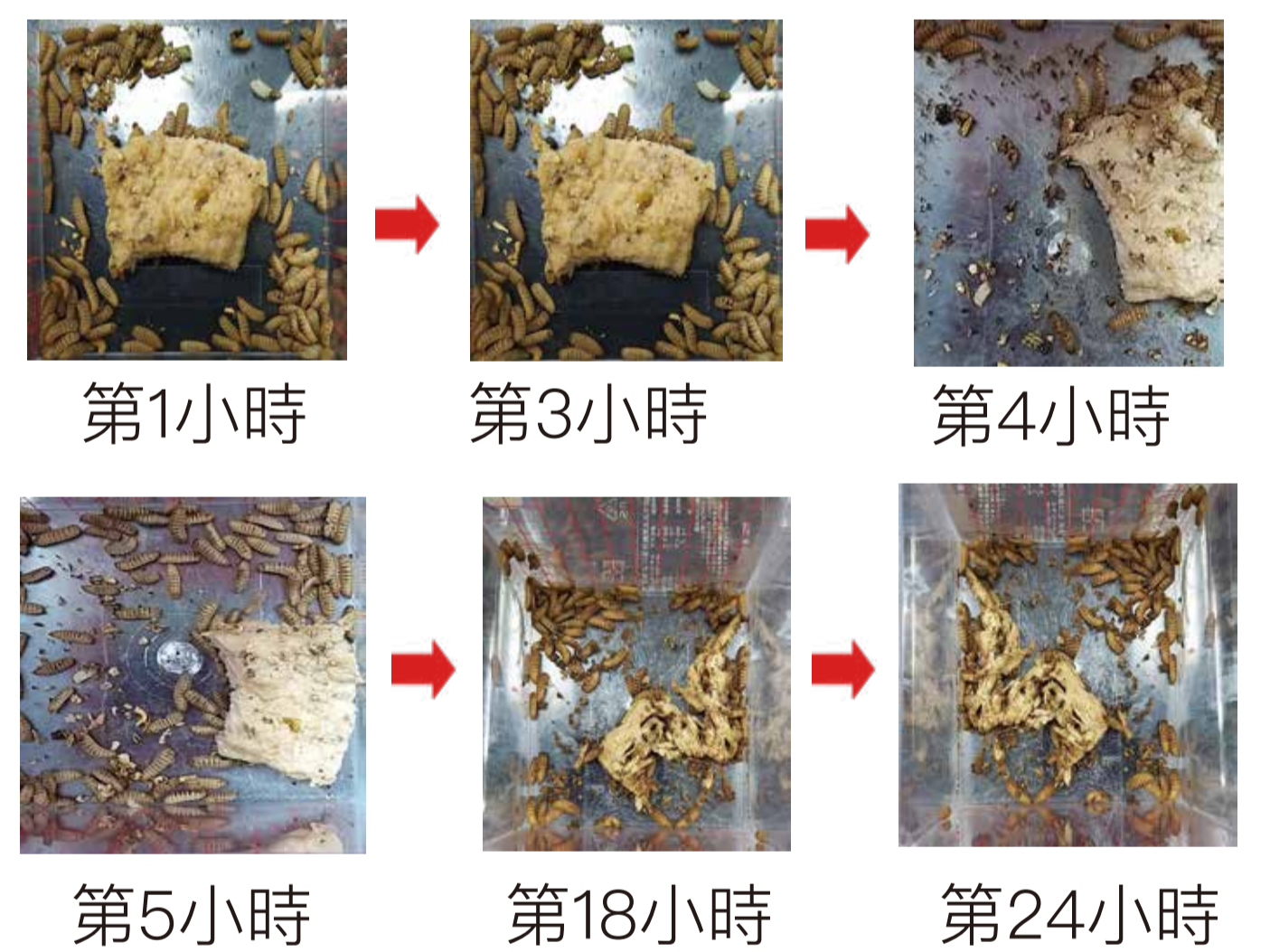
成蟲呈現一字交尾

母黑水虻在細縫中產卵

在細縫中的卵像極小的米粒

黑水虻幼蟲進食方式

黑水虻幼蟲的進食方式



探討黑水虻成蟲飲用不同種類水溶液對產卵的影響

(1) 成蟲箱



三組成蟲放置窗戶旁

水盤：利用毛細現象讓成蟲沾水避免溺水。

成蟲箱內部設備

(2) 不同飲用水對成蟲產卵的影響

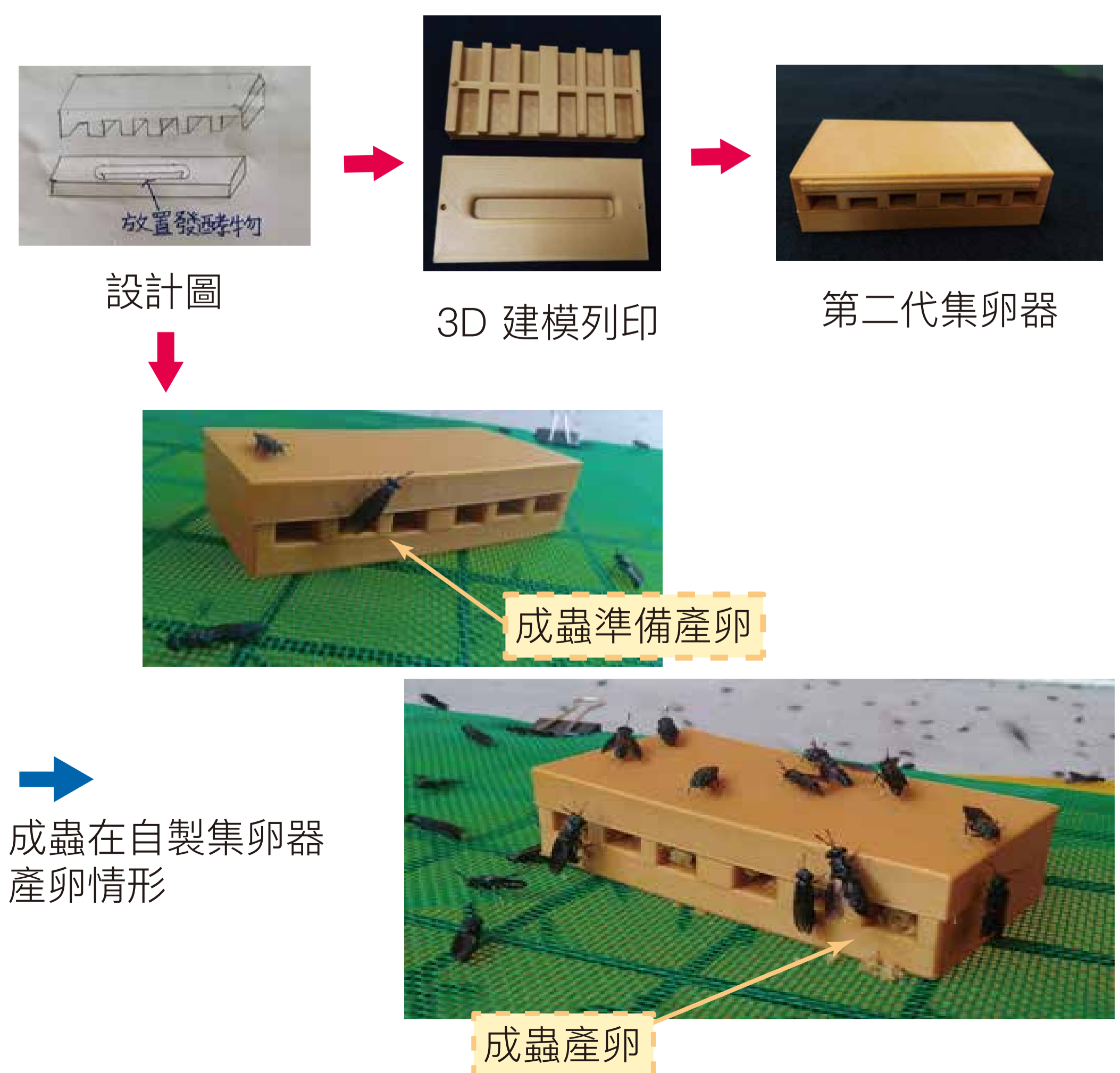


對照組 (自來水)

實驗組 (蜂蜜水)

實驗組 (糖水)

利用3D列印設計集卵器



設計圖

3D 建模列印

第二代集卵器

成蟲準備產卵

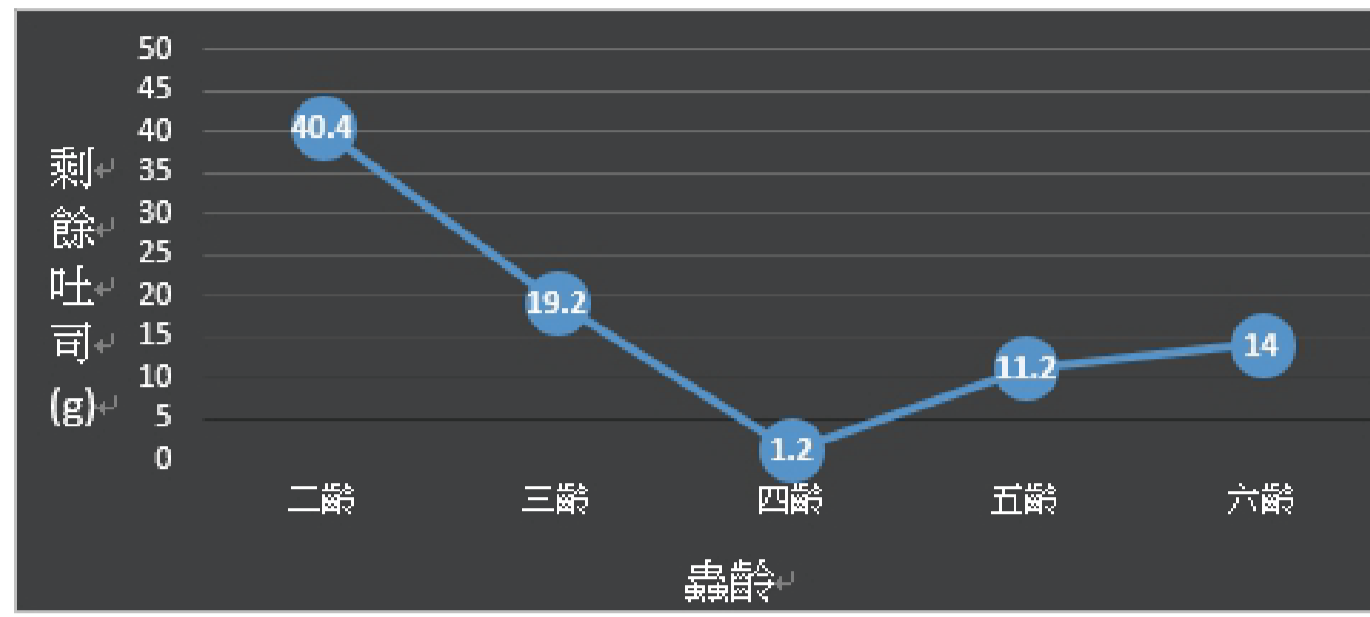
成蟲在自製集卵器產卵情形

成蟲產卵

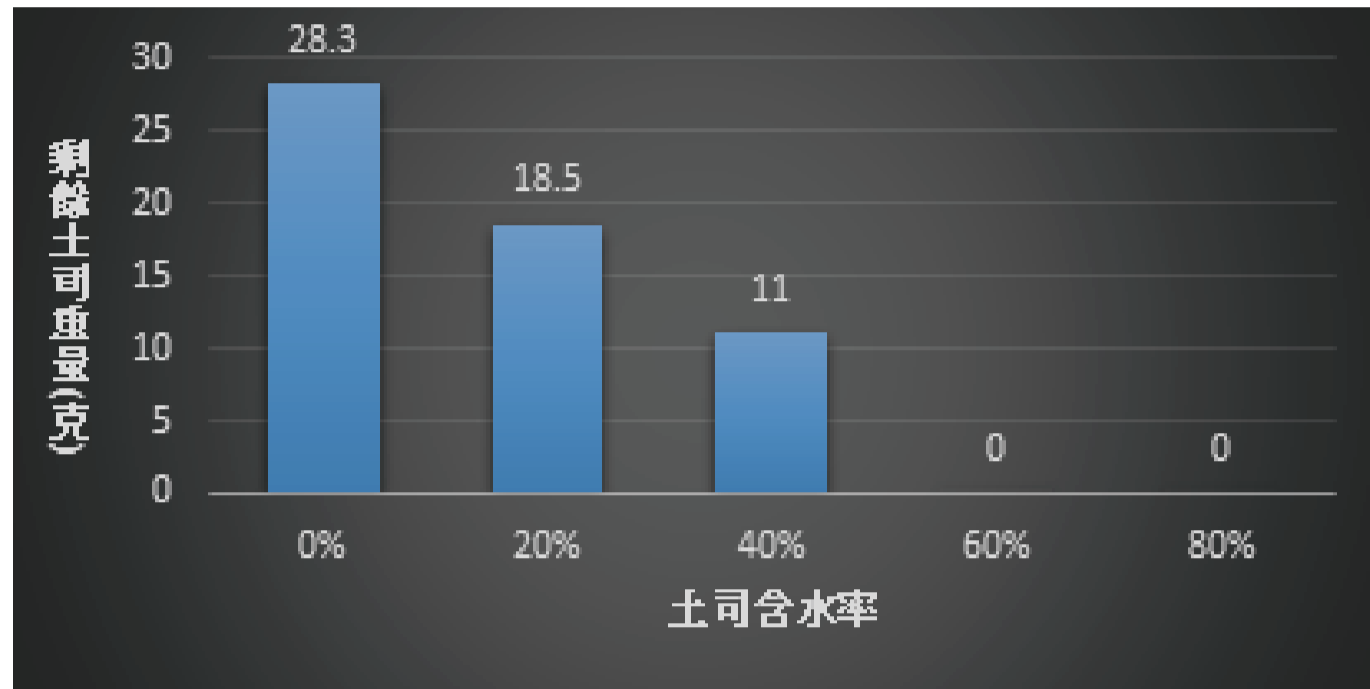
研究二：黑水虻行為探討

■ 探討不同蟲齡的幼蟲消化速率

蟲齡	二齡	三齡	四齡	五齡	六齡
剩餘吐司重量	40.4克	19.2克	1.2克	11.2克	14克
描述					



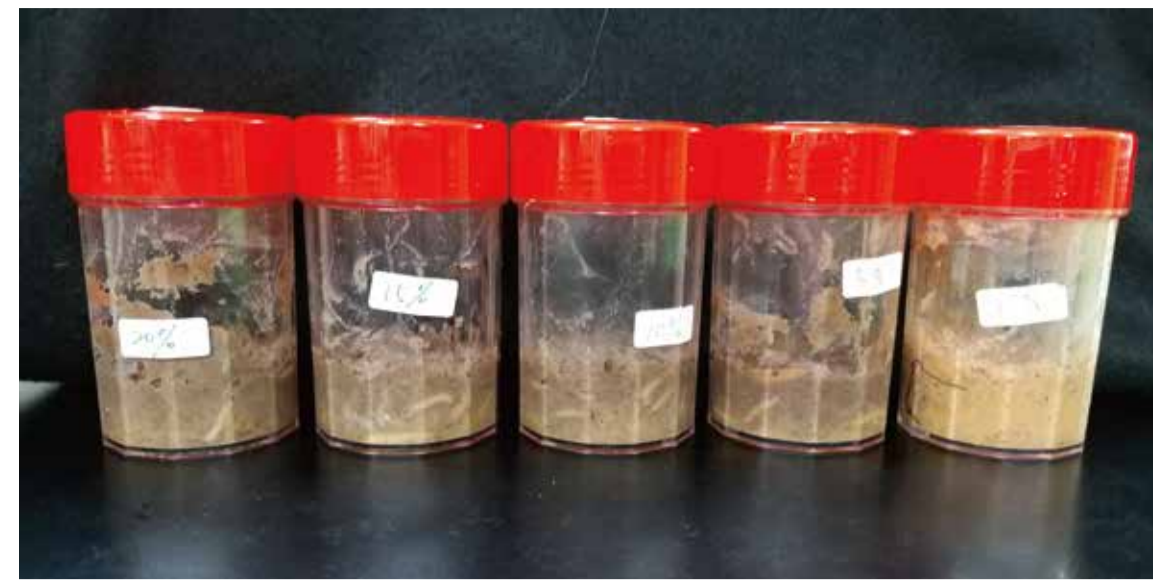
■ 探討食物濕度對幼蟲消化速率的影響



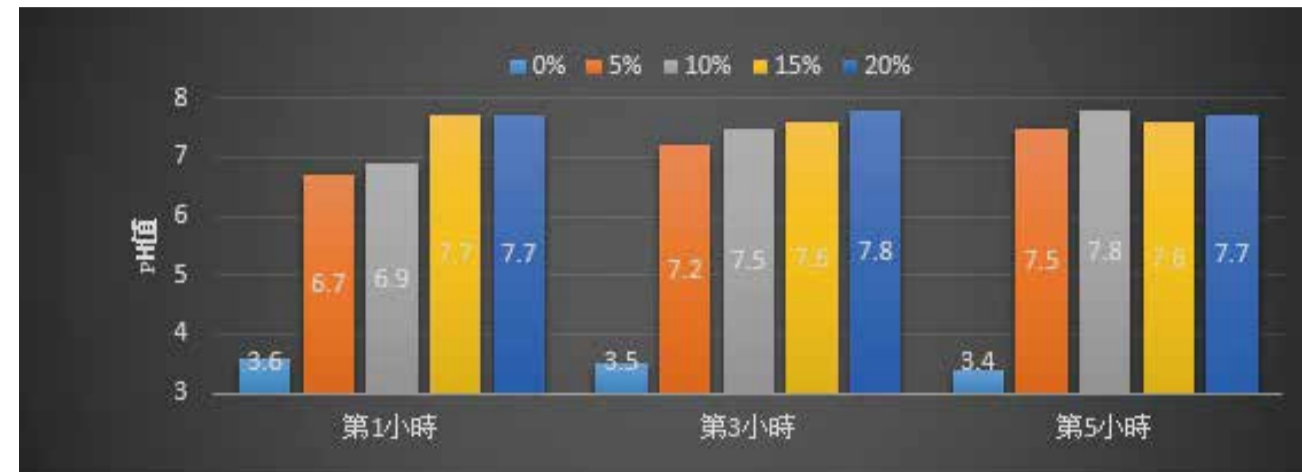
研究二 - 3：廚餘消化過程中臭為去除研究

■ 使用酸鹼中和法

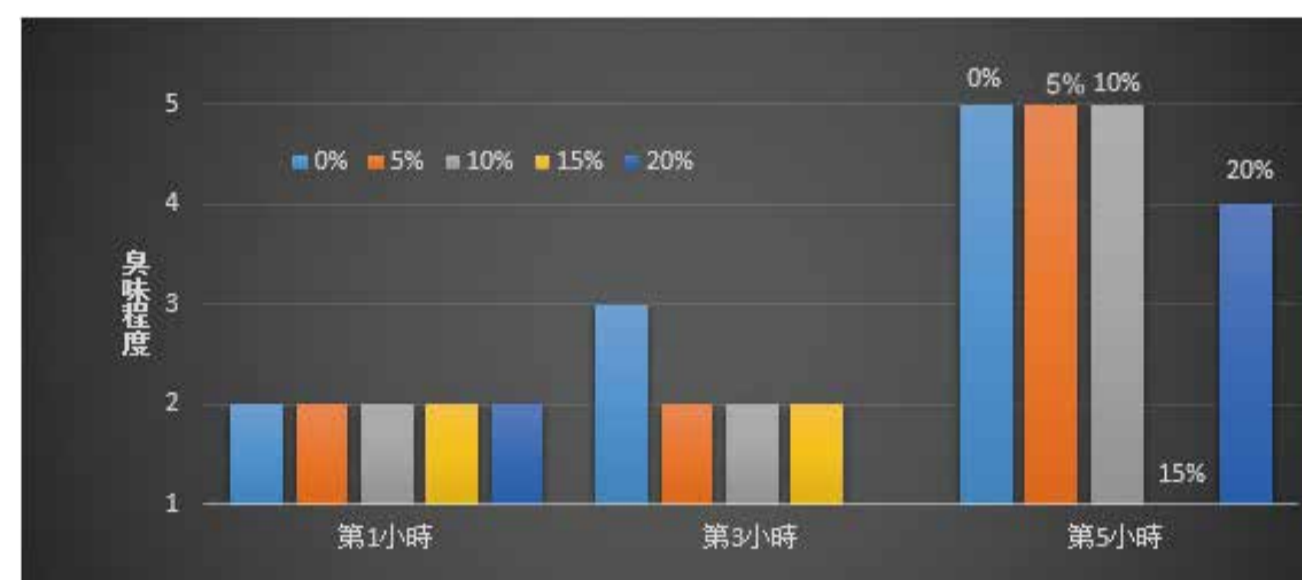
(1) 加入不同比例的小蘇打



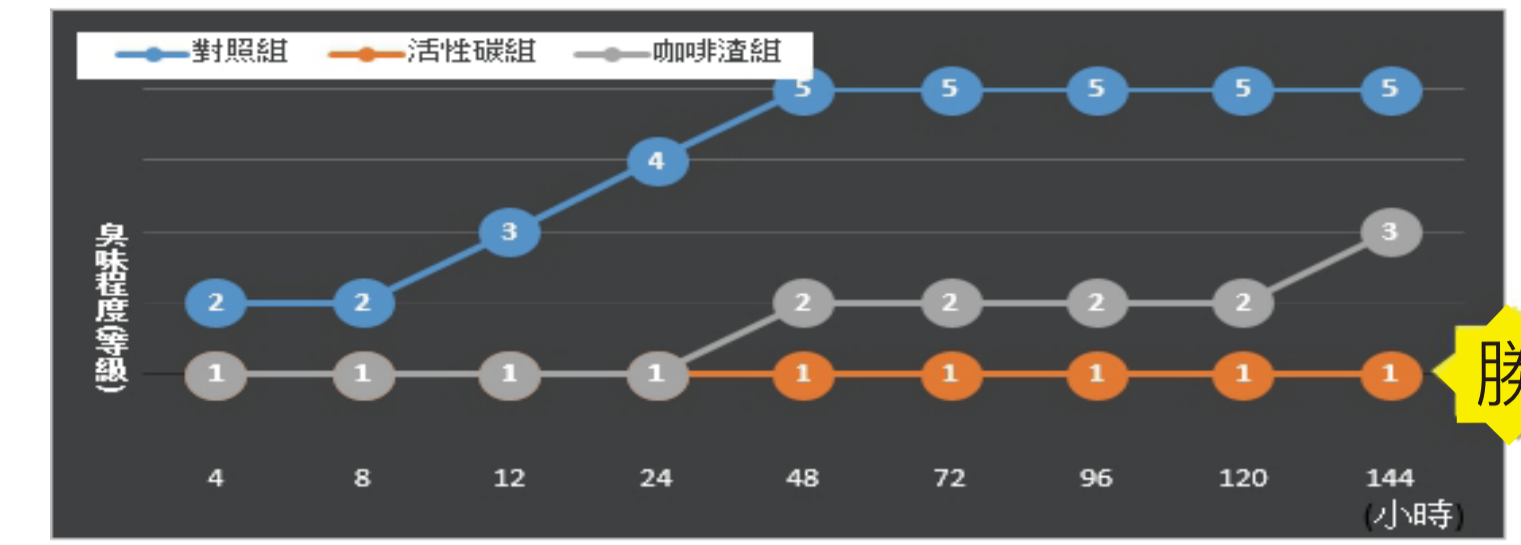
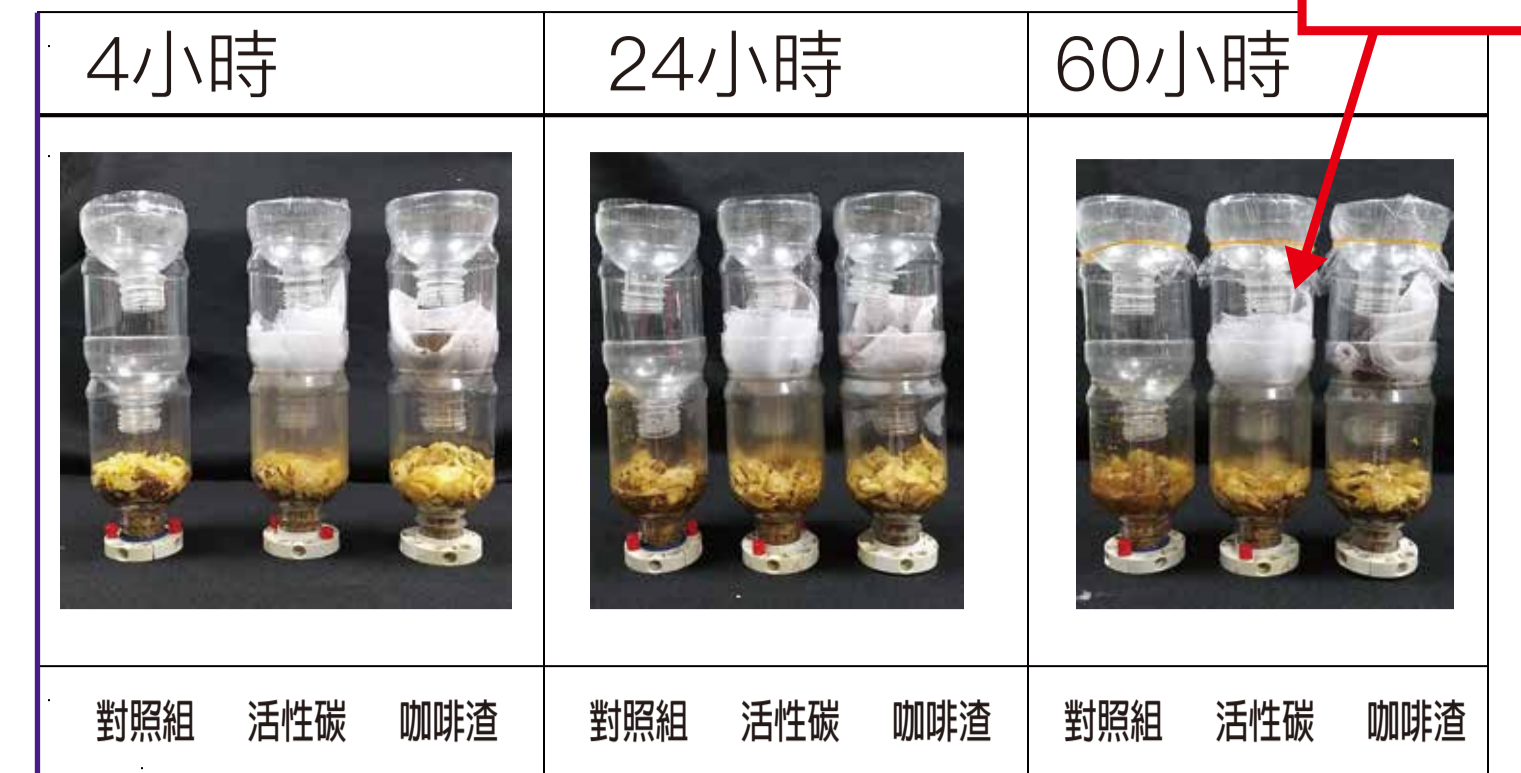
(2) 一段時間後廚餘pH值變化



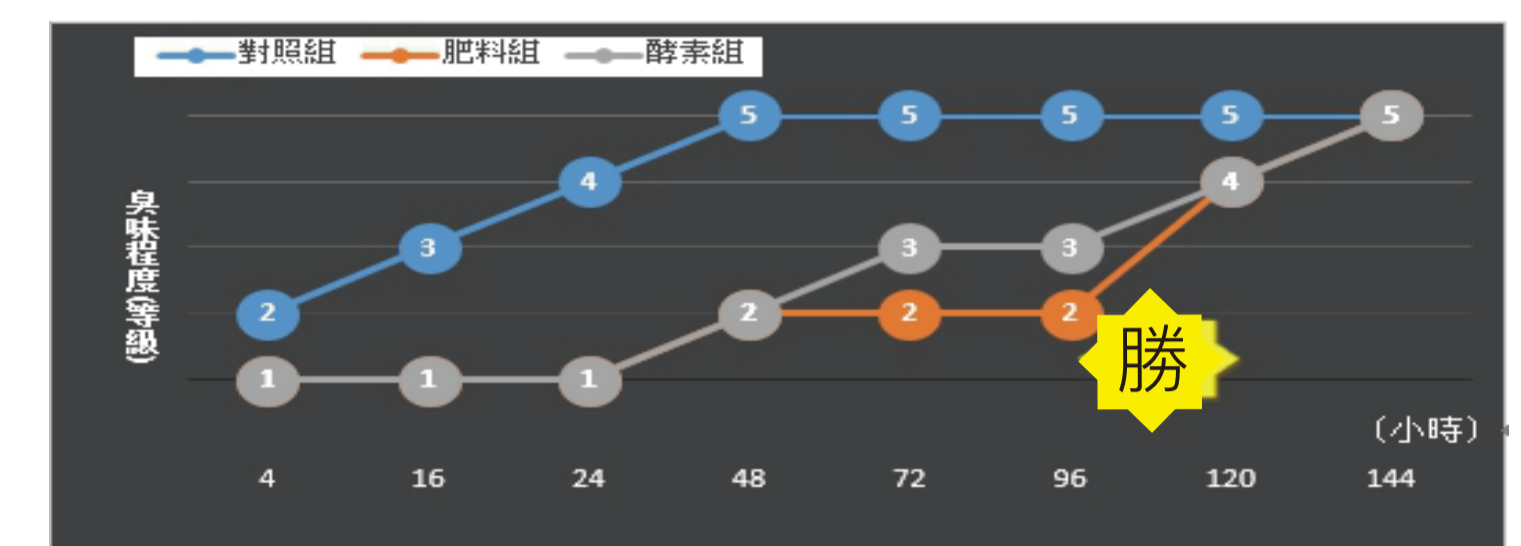
(3) 臭味品評



■ 使用物理吸附法

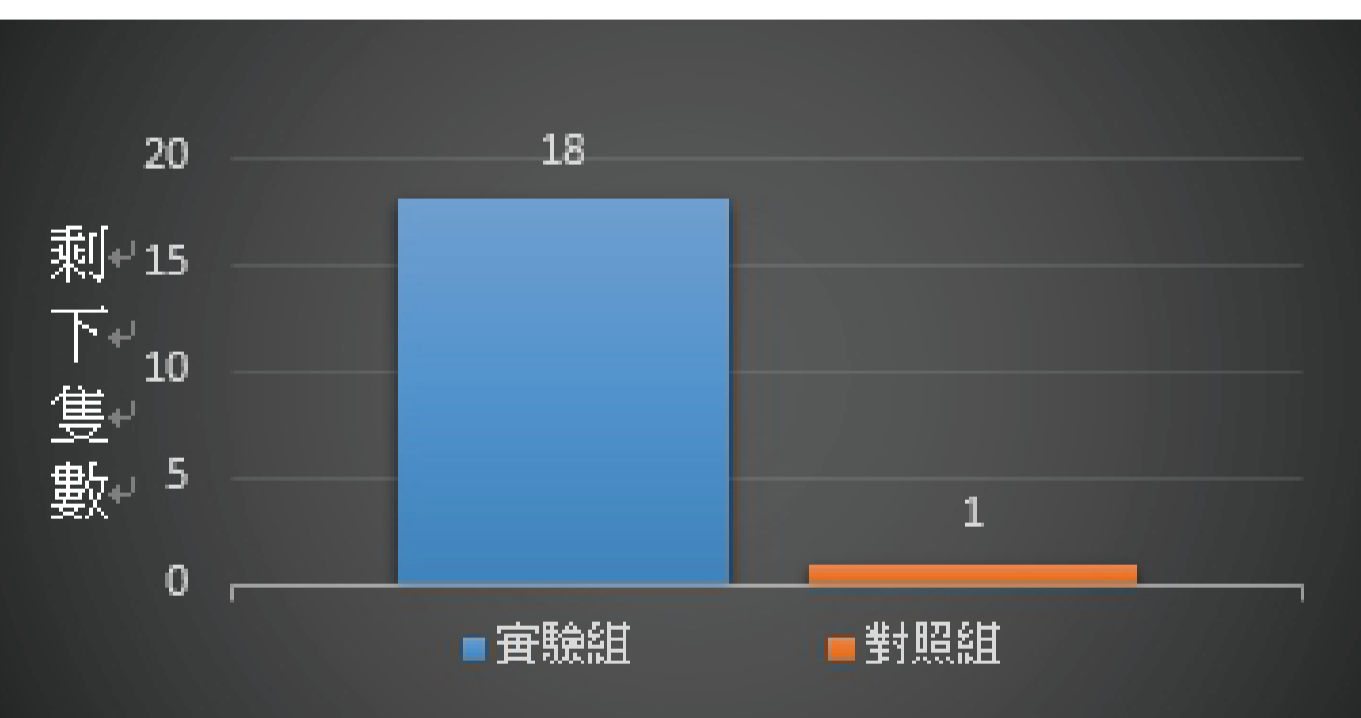
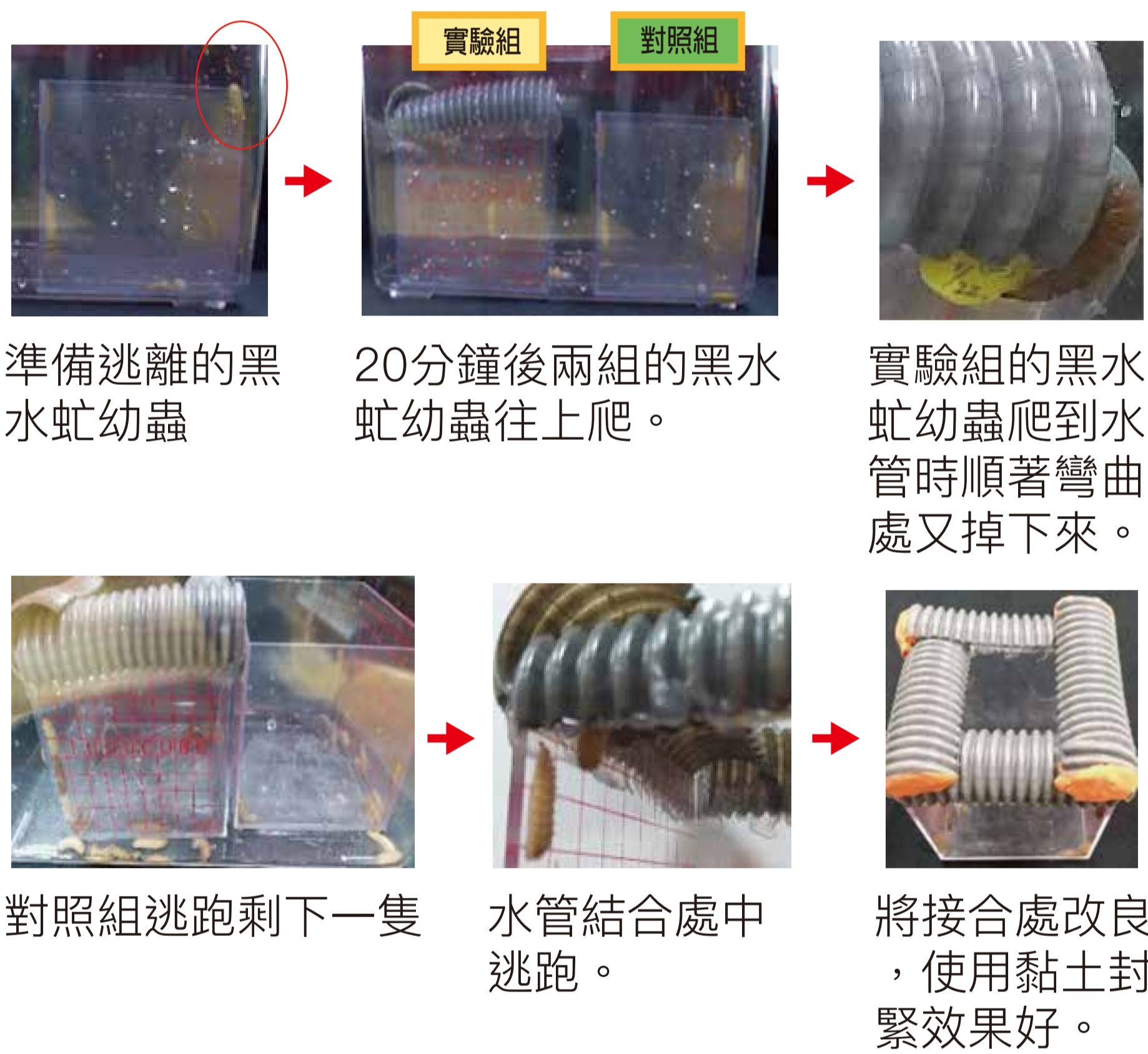


■ 使用微生物法



設計生態箱

探討如何防止黑水虻幼蟲逃離



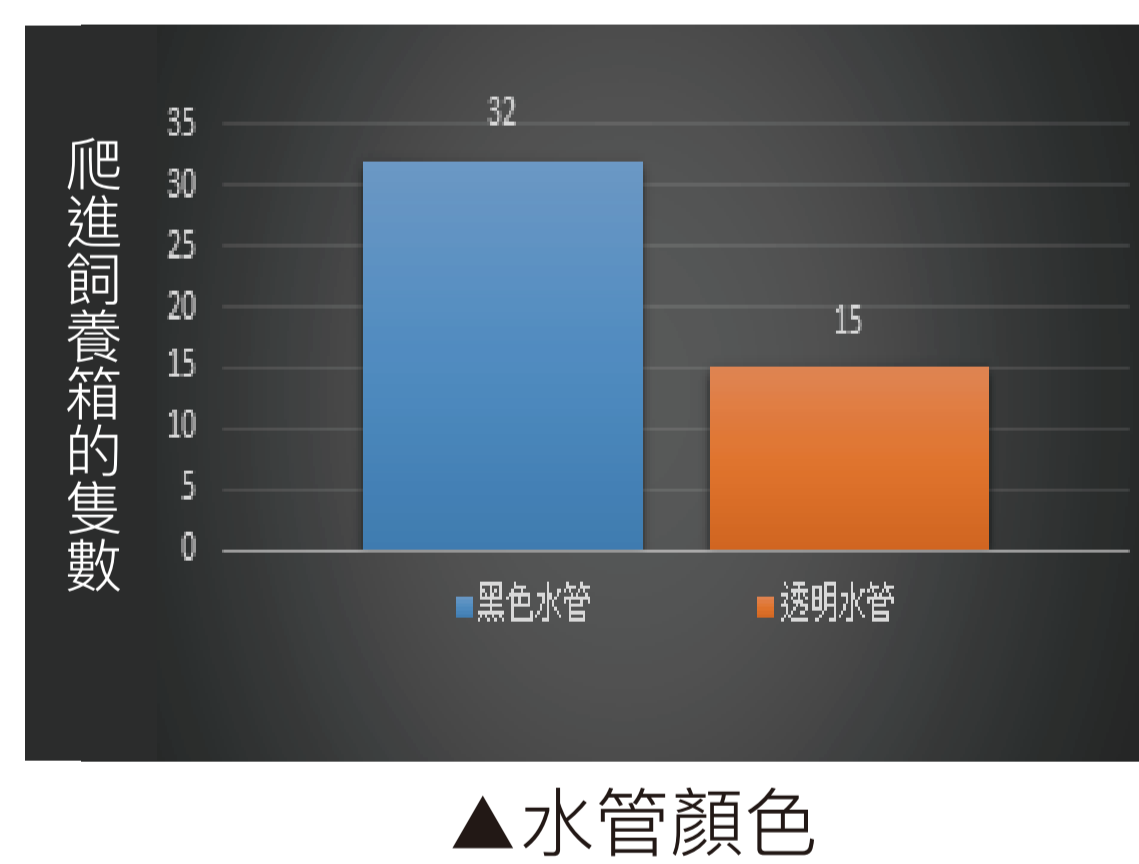
◀ 計算1小時後，兩組幼蟲在壓克力內未逃跑的隻數

■ 設計黑水虻幼蟲預蛹的引道

24小時後，預蛹期幼蟲經由不同顏色水管爬進飼養箱情形比較



■ 不同顏色水管對預蛹期幼蟲的影響



探討如何分離黑水虻蟲糞

★ 第一代篩蟲糞器



★ 第二代篩蟲糞器

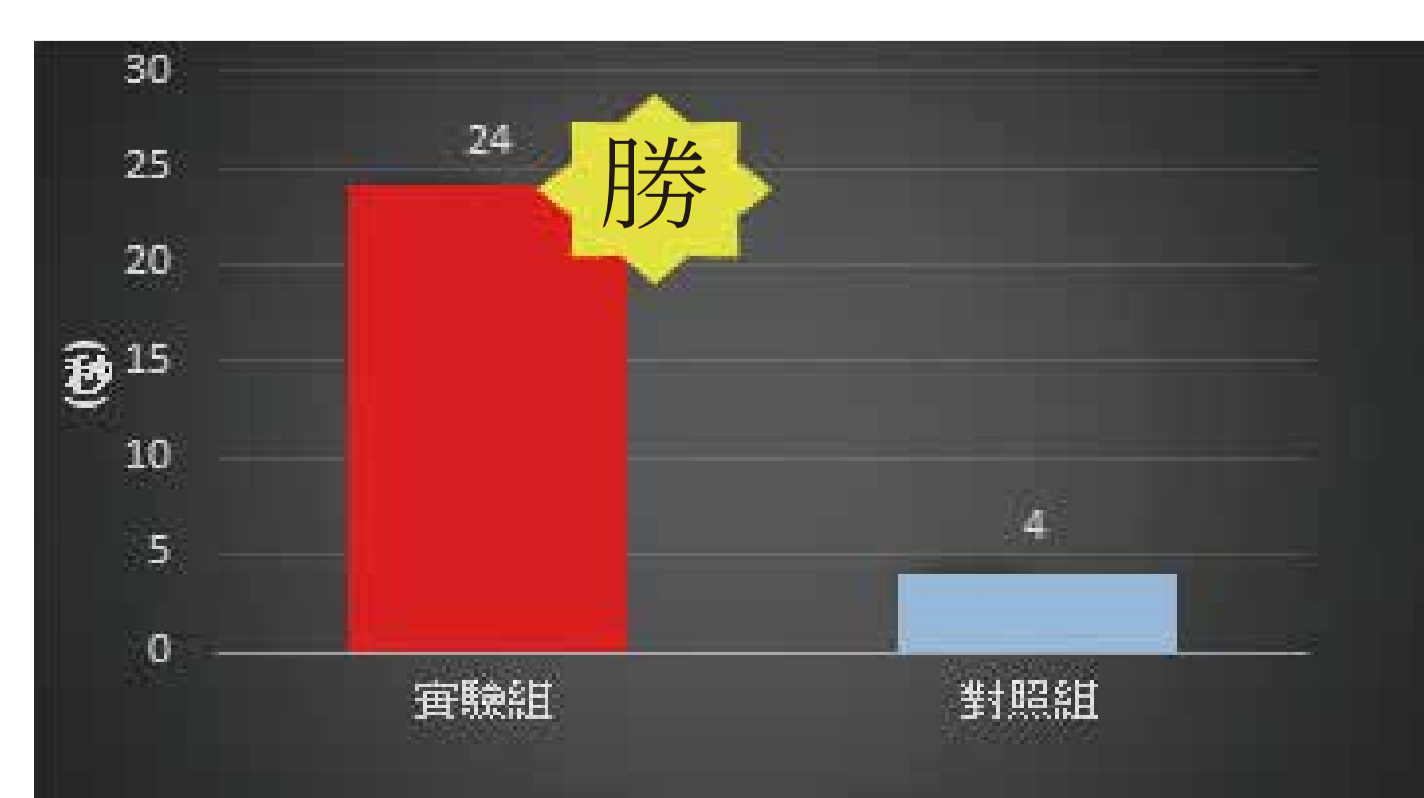


探討黑水家戶飼養的可能性

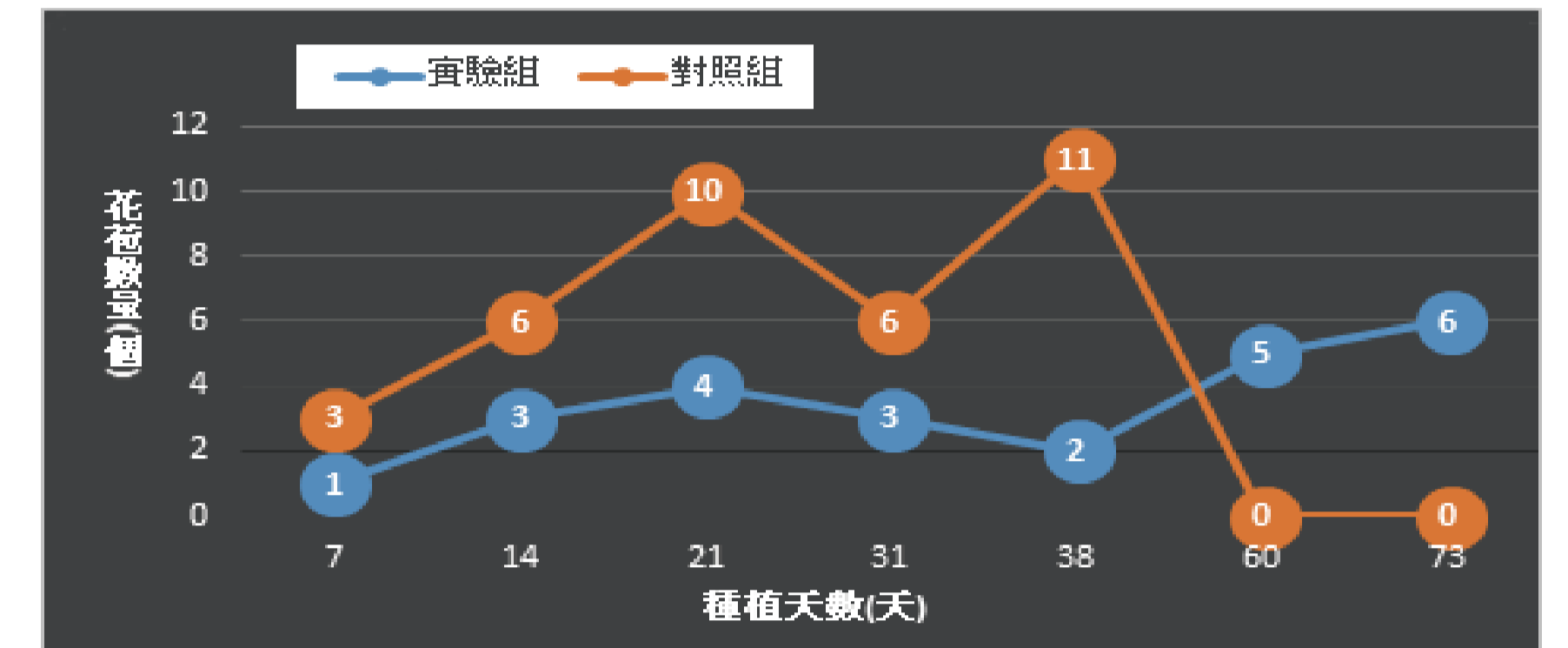
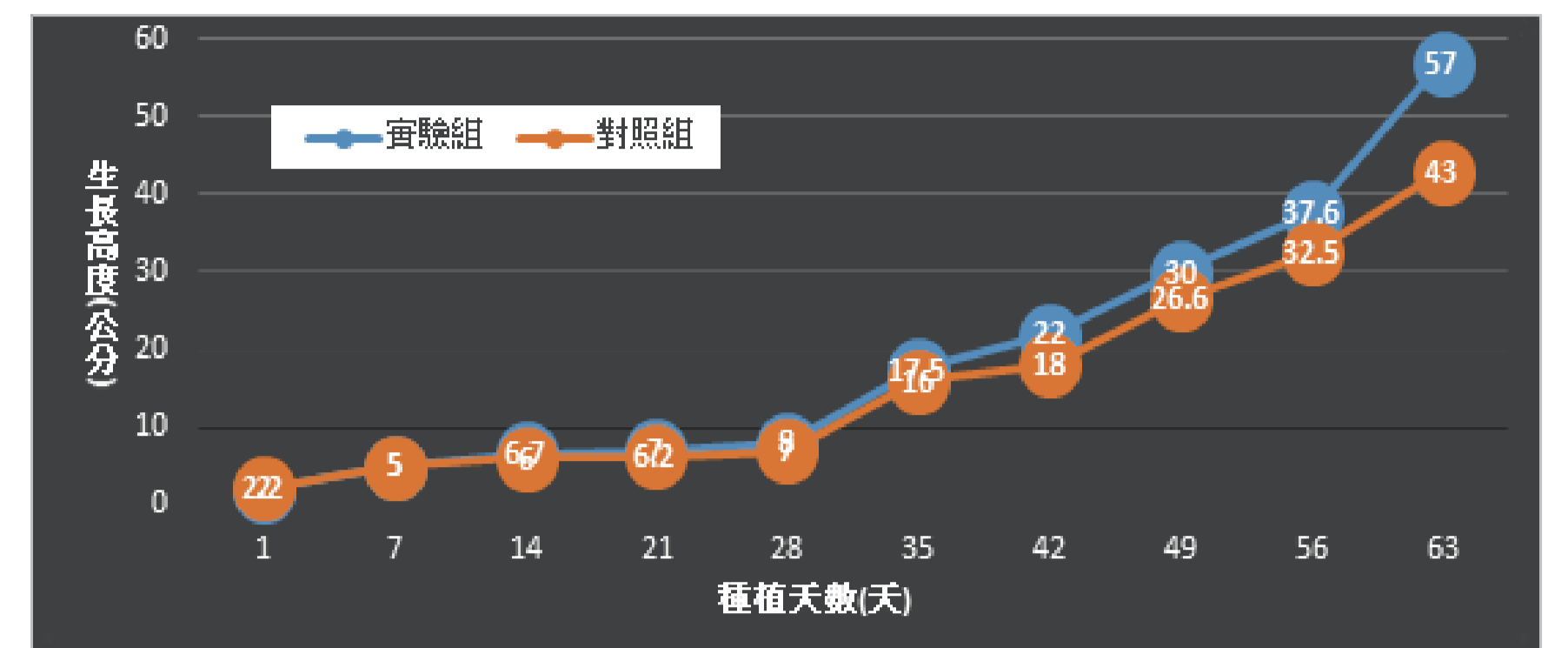
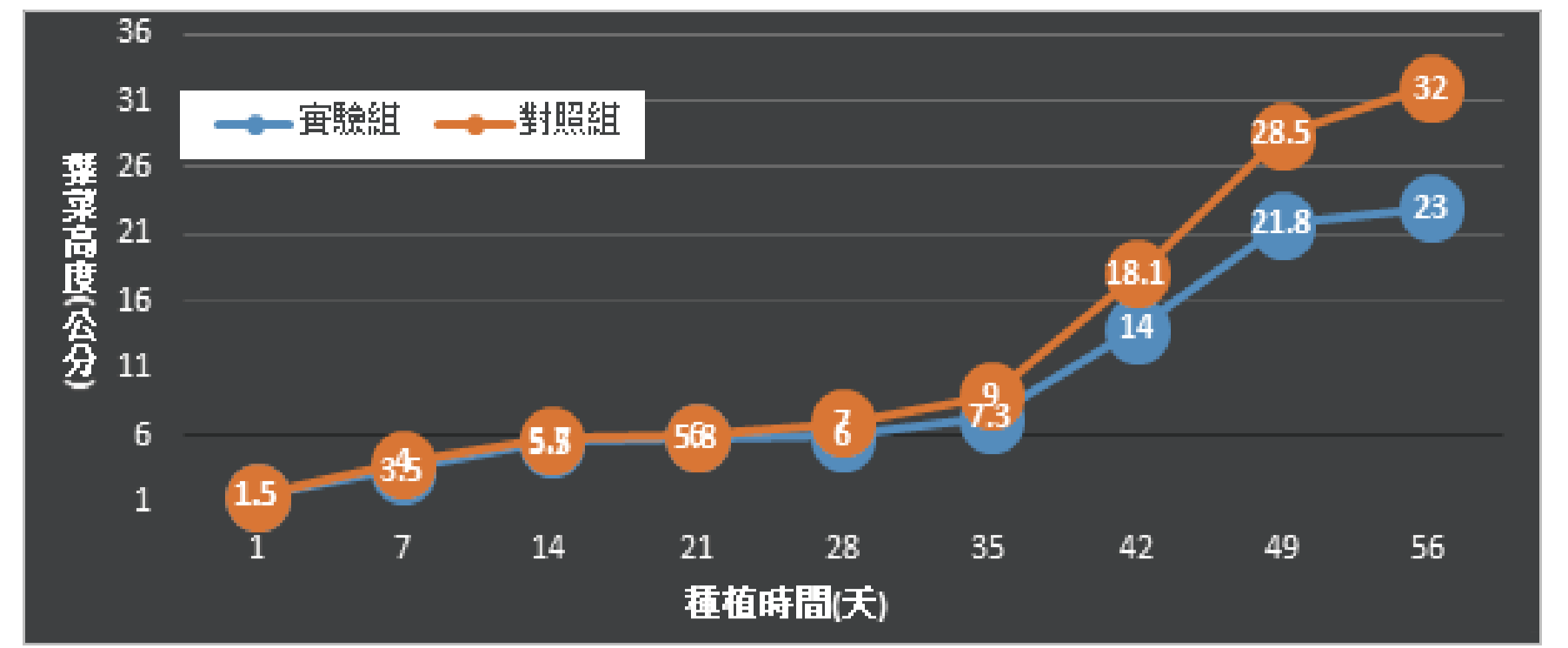
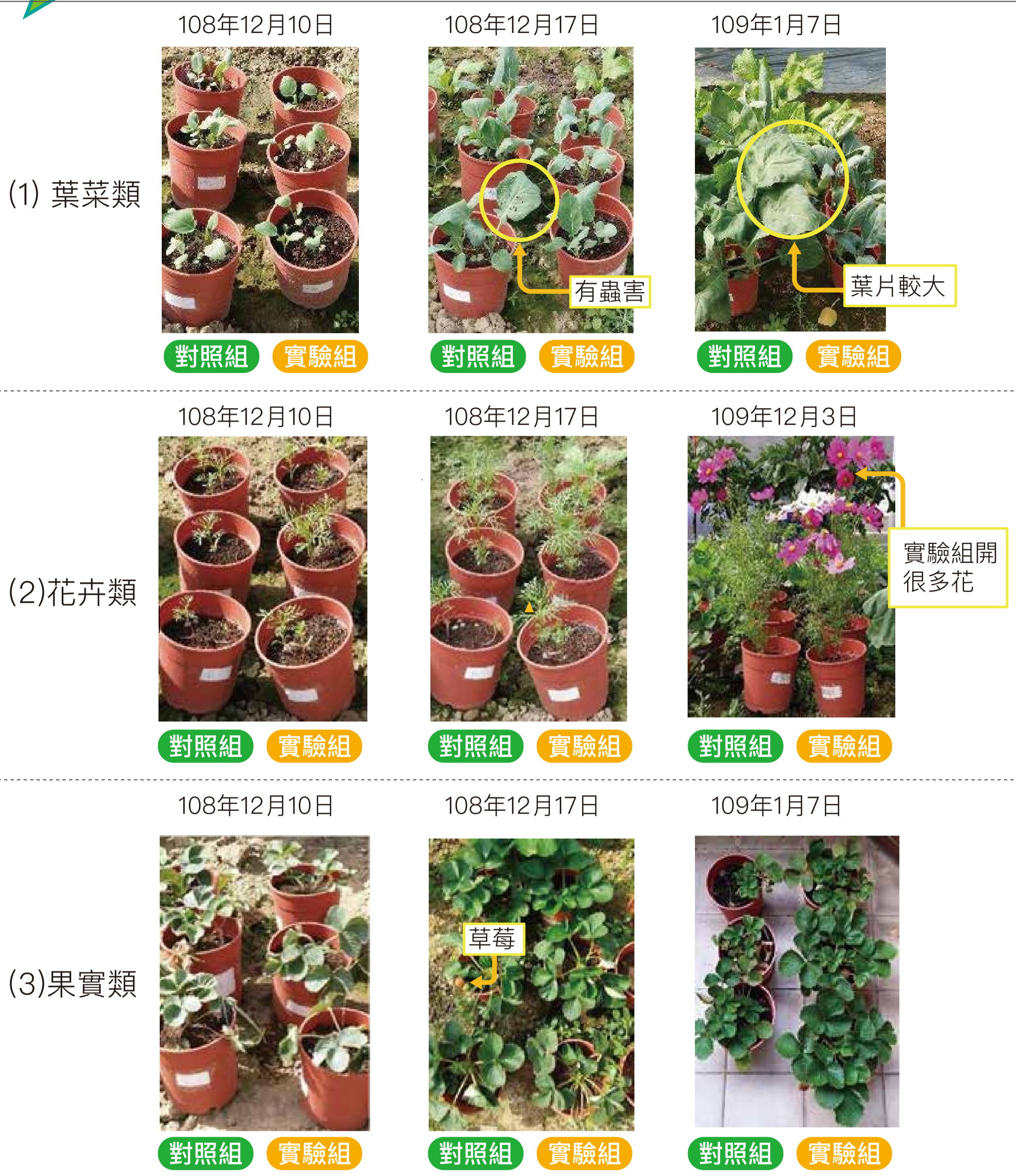
★ 第一代黑水虻飼養箱



★ 檢測 飼養箱的除臭效果



蟲糞附加價值研究 - 探討黑水虻糞混合物對不同植物的生長影響



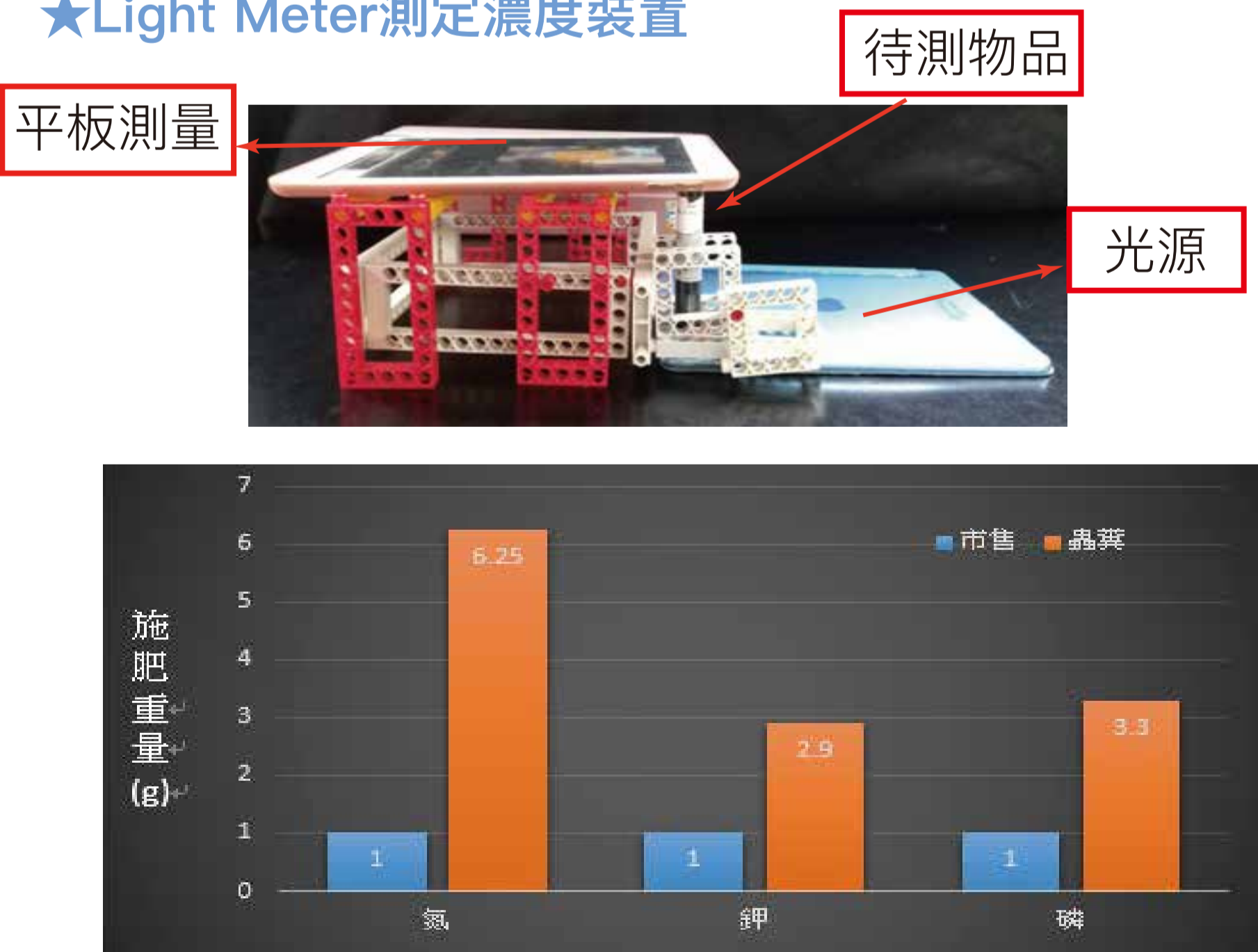
分析蟲糞成份含量

★簡易測試劑蟲糞成份含量多寡



檢測蟲糞成分濃度

★Light Meter測定濃度裝置



經濟循環通路



結論

1. 黑水虻的生命週期大約45天。黑水虻成蟲食用蜂蜜水有助於產卵數量。
2. 四齡幼蟲食物消化食物速率最快。食物的含水率會影響黑水虻幼蟲消化速率，以含水率60%的吐司是消化速率最快的比例。食物的水份控制在食物是潮濕的，以不滴水為原則。
3. 在飼養過程中所產生的氣味，可以藉由物理性（活性碳、咖啡渣）、化學性（酸鹼中和）及微生物（肥料、酵素）除臭。可以用肥料水混入廚餘再以物理性活性碳的除臭效果最好及除臭效果時間最長，使用上也最方便。
4. 設計蟲糞過篩器，實驗蟲糞當成肥料對不同種類的植物影響，以花卉類及果實類的栽培成長及防蟲效果最顯著。

最後，運用我們所設計的家戶飼養黑水虻生態箱，將研究中發現的黑水虻行為，並利用除臭方法，搭配黑水虻農場的經濟循環通路將黑水虻推廣到每個家庭中。