

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

082909

廚餘救星-黑水虻

學校名稱：高雄市田寮區新興國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳文翔	潘立傑
小六 陳凱竣	
小六 朱宥馨	
小五 陳怡均	
小五 林雅芸	
小五 洪子恩	

關鍵詞：黑水虻、廚餘、減廢

摘要

從如何誘集黑水虻開始，尋找適合的材料引誘黑水虻成蟲產卵。觀察黑水虻完整的生活史，從取得蟲卵孵化，以各種方式嘗試飼養黑水虻幼蟲，並誘集會自動爬離食物的終齡幼蟲，待其化蛹並羽化後，設法讓成蟲交配產卵，從中觀察到溫度對黑水虻成長速度的影響。並繼續養出更多的黑水虻幼蟲來進行廚餘的分解實驗，並設計簡易的廚餘分解利用模型。

壹、研究動機

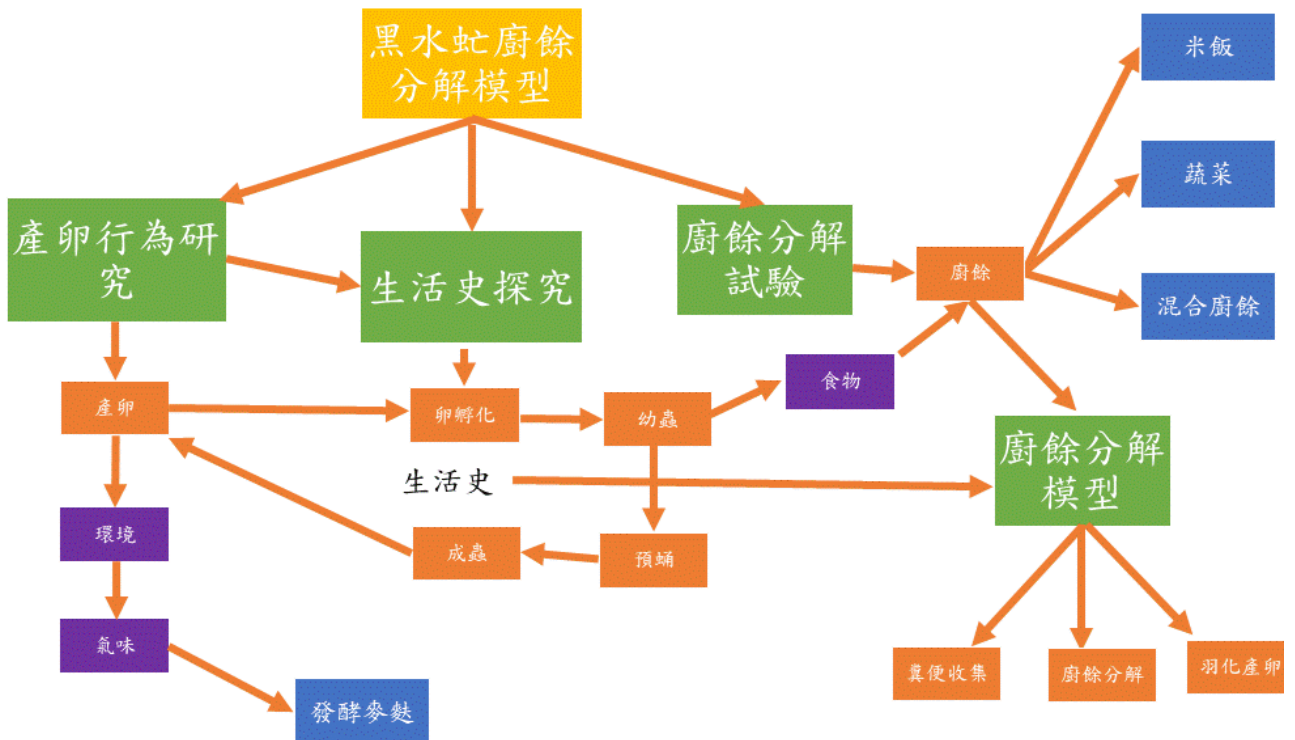
學校每天午餐後或多或少都會產生廚餘，怎麼處理是個大問題，根據環保署統計，台灣每年約 100 萬噸的廚餘，有 77 萬噸是靠養豬戶利用廚餘餵豬進行處理，20 萬噸製作堆肥或零星製作生質能源。中國大陸爆發嚴重的非洲豬瘟疫情後，農委會輔導養豬戶進行轉型，非洲豬瘟中央災害應變中心則是請各縣市政府提出所轄短、中、長期廚餘去化規劃，但這些方案是否有足夠的量能處理全台灣的廚餘，後續是否會衍生更多的問題，則不得而知。

因從網路知悉嘉義有位林信仁牧師利用飼養黑水虻(*Hermetia illucens*)來分解廚餘及雞屎，並利用其幼蟲代替部分飼料來餵雞，除了有效降低飼養成本外，亦能協助社區進行廢棄物減量，是對環境友善的農法，故而想要探索可以如何利用黑水虻來進行廚餘減量。根據畜產所資料顯示，黑水虻是腐食性昆蟲，終齡幼蟲(預蛹)會變黑會爬至高處化蛹，成蟲僅喝水不進食，可快速處理畜禽有機資源物，轉化成昆蟲蛋白作為動物性蛋白質替代飼料，經虻蟲處理完畢的殘料可做為改善土壤酸化的資材。為了解黑水虻能否應用在校園中進行廚餘的分解，該如何進行飼養，以及如何引誘黑水虻成蟲來產卵，故設計了數項實驗。

貳、研究目的

- 一.黑水虻產卵行為研究。
- 二.黑水虻生活史研究。
- 三.探討黑水虻處理消化廚餘之歷程，建立黑水虻環保的生活環境之利用。

參、實驗流程圖



肆、實驗器材

實驗名稱	實驗器材
黑水蛇產卵行為研究實驗 1	密林盆、廚餘、麥麩、米麩、溫度計、土壤
黑水蛇產卵行為研究實驗 2	密林盆、廚餘、麥麩、磅秤、溫度計、瓦楞紙、紗網、長尾夾
黑水蛇產卵行為研究實驗 3	寶特瓶、密林盆、廚餘、生廚餘、麥麩、酵母、黑糖、磅秤、溫度計、木夾板、保麗龍板、紗網、竹籤
黑水蛇生活史研究 1	黑水蛇卵、密林盆、廚餘、麥麩、米麩、黑糖、酵母、紗網、長尾夾、廚餘堆肥桶、線槽蓋、水桶、昆蟲飼養箱、寶特瓶、毛巾、夾板
黑水蛇生活史研究 2	黑水蛇卵、密林盆、寶特瓶、黑糖、酵母、麥麩、廚餘堆肥桶、溫度計。
黑水蛇消化廚餘實驗 1	篩網、黑水蛇幼蟲(兩週齡)、密林盆、米飯、麥麩、廚餘(蔬菜)、廚餘堆肥桶、電子磅秤。
黑水蛇消化廚餘實驗 2	篩網、黑水蛇幼蟲(兩週齡)、塑膠罐、密林盆、米飯、麥麩、廚餘(蔬菜)、廚餘堆肥桶、剪刀、電子磅秤。
黑水蛇消化廚餘實驗 3	篩網、黑水蛇幼蟲(兩週齡)、塑膠罐、密林盆、米飯、麥麩、廚餘(蔬菜)、廚餘堆肥桶、電子磅秤、食物調理機。
建立黑水蛇分解廚餘再利用之簡易模型	整理箱、PVC 水管、白板筆、海綿、瓦楞紙版、黑水蛇幼蟲(兩週齡)、麥麩、黑糖、酵母、廚餘、電子磅秤、食物調理機。

伍、課程參考圖

科目	學期	單元	單元名稱	相關實驗
自然	3 下	第三單元	動物的身體和運動	黑水蛇生活史研究
自然	4 下	第三單元	昆蟲世界	黑水蛇生活史研究
自然	5 下	第二單元	動物的生活	黑水蛇生活史研究、黑水蛇產卵行為研究
自然	6 下	第三單元	珍愛家園	黑水蛇消化廚餘實驗

陸、實驗方法與結果

一、黑水虻產卵行為研究 1

(一)

(二)實驗材料：密林盆、廚餘、土壤

(三)實驗步驟：

- 1.取定量的生廚餘與熟廚餘分別置於密林盆中，一半組別額外加水。
- 2.等待材料分解腐化，觀察是否有黑水虻來產卵

(四)實驗紀錄：

實驗結果:實驗過程中僅發現吸引大量麗蠅、果蠅、家蠅，並生下大量蠅蛆幼蟲，另生廚餘類別於後期水分蒸發後亦發現蠅蛆幼蟲，當材料較為乾燥時則有螞蟻會搬走所有的昆蟲，所有類別皆未發現黑水虻產卵，亦未發現黑水虻幼蟲生長在於廚餘中。



圖 1-1 實驗示意圖

二、黑水虻產卵行為研究 2

(一)實驗目的：觀察不同材料誘集黑水虻成蟲產卵差異。

(二)實驗材料：密林盆、廚餘、麥麩、豆渣、磅秤溫度計、瓦楞紙、紗網、長尾夾

(三)實驗步驟：

- 1.取定量的豆渣、麥麩、米糠、廚餘置於密林盆中。
- 2.一半組別加入酵母菌與黑糖攪拌均勻
- 3.將密林盆表面以紗網覆蓋，並以長尾夾固定。
- 4.自製產卵板:將瓦楞紙板裁成長約 3CM，寬約 15 公分的大小，重疊數片以橡皮筋固定
- 5.將產卵板置於紗網上方。
- 6.視情況定期補充水分讓材料保持潮濕。

(四)實驗紀錄表：

類型 日期	氣溫 攝氏	豆渣+酵母	麥麩+酵母	廚餘+酵母	豆渣	麥麩	廚餘
11/15	23.5	有發酵酸味及甜味	有發酵酸味。	有淡淡酸味。	材料變色，有酸味及小蟲。	發現果蠅。	有淡淡的廚餘腐臭味。
11/19	24.2	發現很多小型昆蟲，氣味變臭。	飛入大量果蠅，發現氣泡。	有酸味，發現黴菌、甲蟲。	很多小蟲穿過紗網，有發酵氣泡。	未發現黑水虻卵，有果蠅飛入。	表面發現白色黴菌、果蠅。
11/23	20.8	發現小昆蟲，材料變濃稠，有發酵氣味。	有發酵酸味，發現果蠅。	發現黴菌、果蠅有酸味。	很多果蠅，材料變濃稠，有發酵酸味。	發現蠅蛆幼蟲。	表面發現白色黴菌。
11/26	20	有發酵氣味，有果蠅飛入，水中很多蠅蛆。	有淡淡酸味，有果蠅飛入	發現黴菌，有果蠅飛入，有酸味。	發現果蠅，有臭味。未發現黑水虻卵。	發現蠅蛆幼蟲，表面液體更加濃稠。	發現黃色、白色黴菌，有腐臭味
11/28	22	發現白色黴菌	有淡淡酸味	發現白色黴菌及，有發酵酸味。	發現黃色及白色黴菌。	發現更多的蠅蛆幼蟲	發現黃色黴菌，有腐臭味，表面發現有蠅蛆。
12/5	24.7	未發現有黑水虻幼蟲。	未發現有黑水虻幼蟲。	未發現有黑水虻幼蟲。	未發現有黑水虻幼蟲。	翻開表面，底下發現黑水虻幼蟲	未發現有黑水虻幼蟲。

表 2 不同材料誘集黑水虻成蟲產卵觀察日誌

實驗結果:實驗過程中未直接在產卵板上發現產卵板上有黑水虻卵，但實驗結束後在產卵板上發現疑似黑水虻卵的空殼，並發現發酵麥麩組及雞屎組兩種材料中有黑水虻幼蟲，廚餘及豆渣組則未發現有黑水虻幼蟲。另有添加酵母菌與黑糖的組別，發酵作用產生的酸味與其他未添加酵母菌組別相較，臭味較淡，酸味較濃。

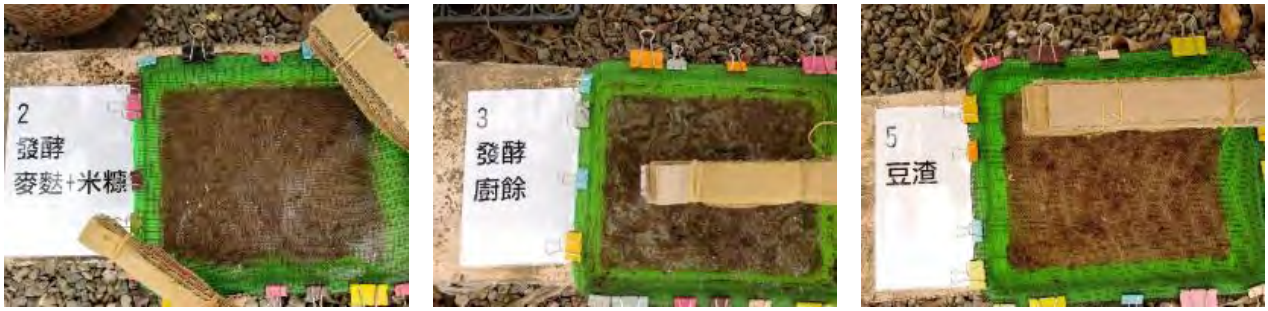


圖 2-1 黑水蛇成蟲誘集產卵實驗 2 配置圖

三、黑水蛇產卵行為研究 3

(一)實驗目的：觀察不同材料誘集黑水蛇成蟲產卵差異。

(二)實驗材料：寶特瓶、密林盆、廚餘、生廚餘、麥麩、酵母、黑糖、磅秤、溫度計、木夾板、保麗龍板、紗網、竹籤

(三)實驗步驟：

- 1.取各種材料(廚餘、麥麩)定量置於切半的寶特瓶中。
- 2.一半組別加入 20 克的黑水蛇幼蟲
3. 自製產卵板:將木夾板及保麗龍板裁成長約 3CM，寬約 15 公分的大小，重疊數片以膠帶固定。
4. 將寶特瓶以紗網覆蓋，並放上自製產卵版，每組同時都有木夾板與保麗龍板。
- 5.視情況定期補充水分讓材料保持潮濕。

(四)實驗紀錄表：

表三 不同材料誘集黑水蛇成蟲產卵觀察日誌(單位：攝氏度)

日期 組別	5月22日(第二天)	5月24日(第四天)	5月27日(第七天)	5月29日(第九天)	5月30日第十天
氣溫(攝氏)/天氣	25.2(昨日大雨)	31.6	26.2 今日大雨	25.2 依舊大雨	26.2
麥麩	表面有發酵氣泡，有小蟲飛入	在木夾板中發現蟲卵	未發現卵	產卵板發霉，未發現卵	表面有發酵氣泡
廚餘	有腐敗氣味，表面有發酵的白色菌絲	未發現卵	未發現卵	產卵板發霉，未發現卵	未發現卵
生廚餘	有發酵酸味	未發現卵	有發酵酸味	產卵板發霉，未發現卵	未發現卵
清水	未發現卵	未發現卵	未發現卵	產卵板發霉，未發現卵	未發現卵

麥麩+幼蟲		密林盆的水中有白色幼蟲在游動。	發現產卵板掉入水中，撈起後發現有剩餘的蟲卵，且幼蟲已經在密林盆的水中孵化。	產卵板發霉，未發現卵	未發現卵
廚餘+幼蟲	沒有明顯的腐臭味。	未發現卵	未發現卵	產卵板發霉，未發現卵	有螞蟻入侵
生廚餘+幼蟲	有發酵酸味，幼蟲浮在水面上。	有蒼蠅鑽入縫隙產下蠅蛆，未發現卵	未發現卵	產卵板發霉，未發現卵	未發現卵
清水+幼蟲	幼蟲浮在水的表面	未發現卵	未發現卵	產卵板發霉，未發現卵	未發現卵



圖 3: 黑水蛇產卵行為研究實驗 3 配置圖

實驗結果:本次實驗適逢連續大雨，僅第三第四兩天雨停並回溫，於第四天在添加酵母與黑糖的麥麩組的木夾板中發現蟲卵，其餘組別皆無發現，實驗結果與前次實驗雷同，皆僅在麥麩組發現其產卵。所有組別的保麗龍板都沒有吸引到成蟲產卵。本次實驗無法確認加入黑水虻幼蟲是否會影響成蟲產卵的意願，尚待未來天候好轉後重新實驗。

四、黑水蛇生活史研究 1

(一)實驗目的：觀察黑水蛇由卵到成蟲完整的生長週期。

(二)實驗材料：黑水蛇卵、密林盆、廚餘、麥麩、米麩、黑糖、酵母菌、紗網、長尾夾、廚餘堆肥桶、線槽蓋、水桶、昆蟲飼養箱、寶特瓶、毛巾、夾板

(三)實驗步驟：

- 1.取 1000g 的麥麩置於密林盆中，加入 200g 黑糖及 2g 酵母菌攪拌均勻
- 2.將密林盆表面以紗網覆蓋，並以長尾夾固定。
- 3.取定量黑水蛇卵置於紗網上等待孵化
- 4.視情況定期補充水分讓材料保持潮濕。
- 5.當發現食料表面有深色預蛹爬行時，加上線槽蓋作為斜坡讓預蛹可以爬出，並準備水桶讓其落入。
- 6.將取得的預蛹置入密林盆，再放入昆蟲飼養箱等待其羽化。
- 7.在寶特瓶中裝入毛巾並加水，將毛巾抽出瓶口少許，讓黑水蛇成蟲可以喝水。
- 8.取黑水蛇幼蟲及消化中的廚餘置於切開的寶特瓶中，吸引黑水蛇成蟲靠近，在上方疊置數片夾板供其在縫隙中產卵。

(四)實驗記錄：

表 4：黑水蛇孵化生長紀錄表(單位：攝氏度)

日期	氣溫	紀錄
12/7	23.1	設置首日
12/10	21.6	發現孵化的黑水蛇幼蟲，長度大約 0.2~0.3cm
12/12	19.8	發現螞蟻入侵，加水避免其繼續入侵，幼蟲最大長度約 0.6~0.7cm。
12/14	20.5	加水後，原本在麥麩底部的黑水蛇幼蟲浮到接近水面處。
12/17	18.7	天冷幼蟲活動力不佳，將密林盆放入廚餘堆肥桶中保溫，另外發現不少幼蟲顏色變深，加上紙板讓預蛹可以爬出。
12/21		發現廚餘桶的過濾槽孔洞太大，會讓幼蟲爬入並卡住。
12/24	21.1	水分稍微蒸發後材料表面稍微變乾，發現幼蟲都躲在底下，長度約 2~3cm。
12/26	22.5	加過麥麩後開始發酵，溫度變高，約有 35 度。食材在桶中深度約 15 公分，但幼蟲只在表面 5 公分處活動，桶中的幼蟲粗估有數千隻，幼蟲長度最長約 3cm。

12/28	18.3	因加過乾的麥麩，發現有螞蟻入侵，補充水分趕走螞蟻。溫度持續保持高溫約 32 度，發現黑水蛇預蛹，將變成黑色的預蛹集中放置到昆蟲飼養箱中。
1/16	18.9	於昆蟲飼養箱中發現首隻順利羽化的黑水蛇成蟲，取少量幼蟲與食物殘渣裝罐放入飼養箱，在上方放置產卵片讓黑水蛇可以產卵，並另外準備沾濕的毛巾讓成蟲可以喝水。
1/18	18.2	將本學期的黑水蛇幼蟲及食料改放置在整理箱中，表面以紗網覆蓋，並布置斜坡讓黑水蛇可以爬出掉進水桶，以克服寒假中較無人力收集預蛹之困擾。
1/23	16.4	發現死亡的成蟲
1/30	19.9	於產卵片上發現首次產下的黑水蛇卵

實驗結果:卵孵化約要 3 天時間，剛出生的黑水蛇約 2~3mm，保持高溫可讓幼蟲成長加速，約 14-16 天即可長到最大體長，約 3cm，約 18 天就有全身變黑的預蛹會爬出斜坡，蛹期約 16~30 天，成蟲壽命約 7 天。本次實驗從卵到首隻成蟲出現約 42 天。黑水蛇卵為細長的針形，其中一端有黑點。幼蟲以腐爛的有機質為食物，小於 1cm 的幼蟲皮膚較薄，接近半透明，可觀察到血管與食物的顏色，皮膚接近乳白色。2cm 以上的幼蟲則明顯可觀察到體表有大量的細毛，皮膚顏色為乳白色到黃褐色。成長到後期體色會逐漸變深，深棕色到深褐色，此時稱為預蛹，不再進食且有向上爬行離開食物的行為。黑水蛇幼蟲身體共有 12 節，第一節為頭部，有眼睛與口器，第二節有類似眼睛的構造，根據文獻指出其為氣孔，第十二節有肛門孔。幼蟲、預蛹、蛹之身體構造皆相同。蛹與預蛹外觀幾乎沒有差異，僅身體表面覆蓋大量棕色貼身的細毛。黑水蛇成蟲頭部與胸部都為黑色，腹部除第二節有白色半透明區塊，其餘為黑色，翅膀為黑色，腳部為黑白相間。成蟲長度最小 1cm，最大 3cm，僅喝水不進食。另外飼養過程中，偶爾將蓋子打開並移除隔離的紗網，此時發現野生的黑水蛇成蟲會來產卵，亦觀察到同科不同屬的黃金水蛇(*Ptecticus aurifer*)來產卵，過程中可觀察到成蟲並不直接接觸食物，僅在食物的表面飛行，最後發現產卵的位置在蓋子與桶子的縫隙處，以及紗網上，與文獻上記載黑水蛇不直接產卵在食物上的紀錄相符。



12/5 在麥麩上放卵	12/10 發現孵化幼蟲 (3mm)	12/14 加水後，幼蟲 (1cm)集中於表面出現	12/22 發現黃金水 蛇來產卵
			
12/28 預蛹從斜坡爬出	1/2 收集到大量預蛹	1/17 首隻羽化成蟲	1/30 發現黑水蛇卵

圖 4-1：黑水蛇生長實驗操作圖

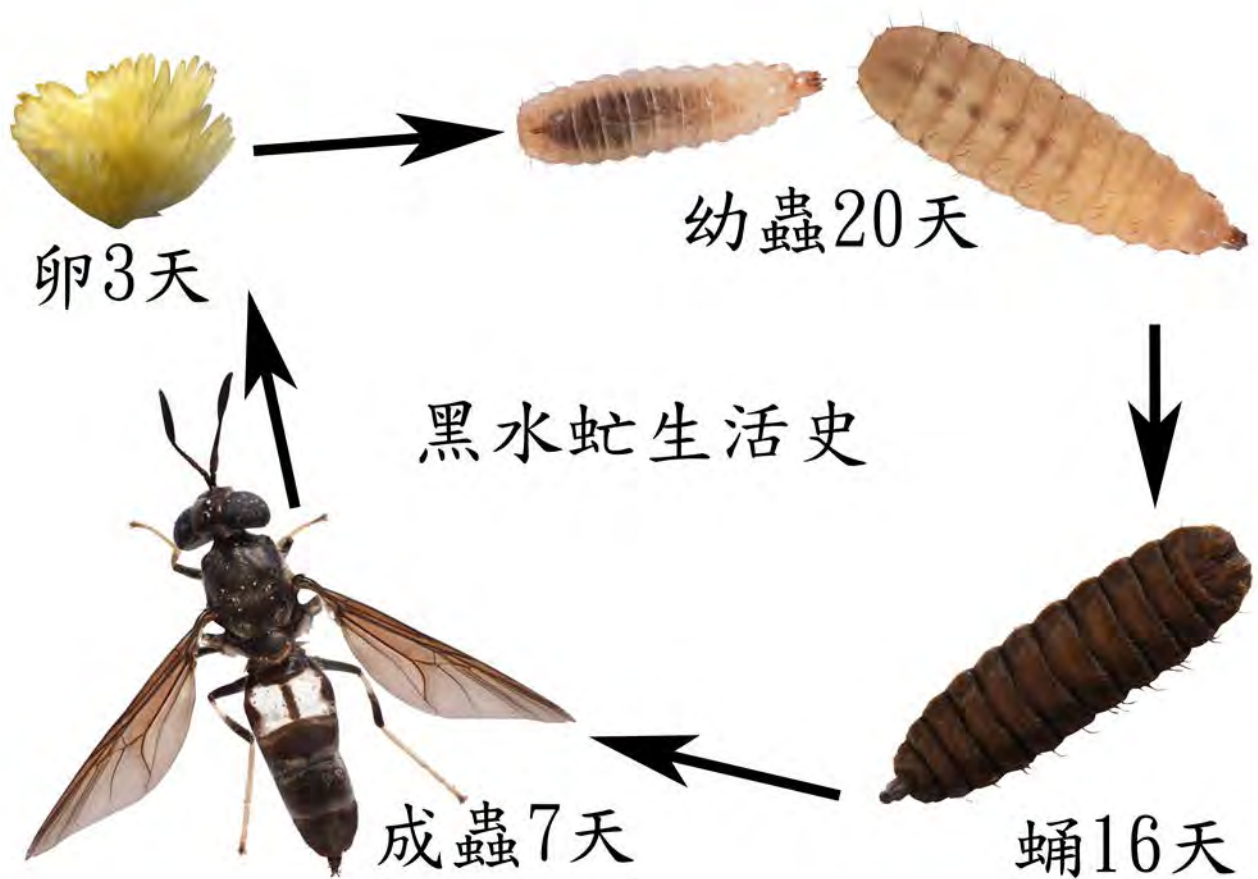


圖 4-2:黑水蛇生活史示意圖

四、黑水蛇生活史研究 2

(一)實驗目的：觀察溫度對幼蟲成長發育的影響，幼蟲並供作廚餘分解實驗使用。

(二)實驗材料：黑水蛇卵、密林盆、寶特瓶、黑糖、麥麩、廚餘堆肥桶、溫度計。

(三)實驗步驟：

1.取 1000 克的麥麩加入 100 克黑糖置於密林盆中。

- 2.將寶特瓶對半切開，倒置於麥麩上，並放上蟲卵。
- 3.在廚餘堆肥桶中加水避免螞蟻入侵，將密林盆放入廚餘堆肥桶中保溫。
- 4.定期觀察蟲卵孵化情況。

(四)、實驗結果：

表 4：黑水虻蟲卵孵化紀錄表(單位：攝氏度，溫度為麥麩之溫度)

日期	氣溫	溫度	紀錄
2/15	22.1	30	尚未發現孵化的幼蟲。發現三種黴菌。因加蓋保溫水分蒸發，水蒸氣碰到蓋子就凝結滴落，滴在寶特瓶上導致蟲卵泡水。另因密林盆直接泡在水中，麥麩無法順利發酵提升溫度，於底部墊高改善。
2/20	24.8	34	幼蟲順利孵化，最小長度 0.2cm，最大長度 1cm，發現野生黑水虻來產卵，因加蓋只能將卵生在蓋子的縫隙處。另發現因加蓋潮濕，部分黑水虻幼蟲爬出密林盆掉入水中。
2/22	21.6	36.5	幼蟲正常蠕動，最大長度約 1.2cm，發現麥麩中有大量的果蠅蛹，墊高隔水後，麥麩溫度因發酵有明顯升高。
2/25	20.4	23.8	幼蟲最大長度約 2cm，麥麩溫度與氣溫接近，發酵趨緩。
2/27	22.6	25.2	發現顏色較深的預蛹

實驗結果:自昆蟲飼養箱中取出的黑水虻卵可順利孵化，本次實驗平均溫度 27 度，放在桶中注意保溫，且利用麥麩發酵提升溫度，約 10 天即可成長到 2cm 長；前次實驗平均溫度 20.8 度，前期都露天飼養，約花 17 天才能長到 2cm，可以觀察到溫度越高，成長速度越快。

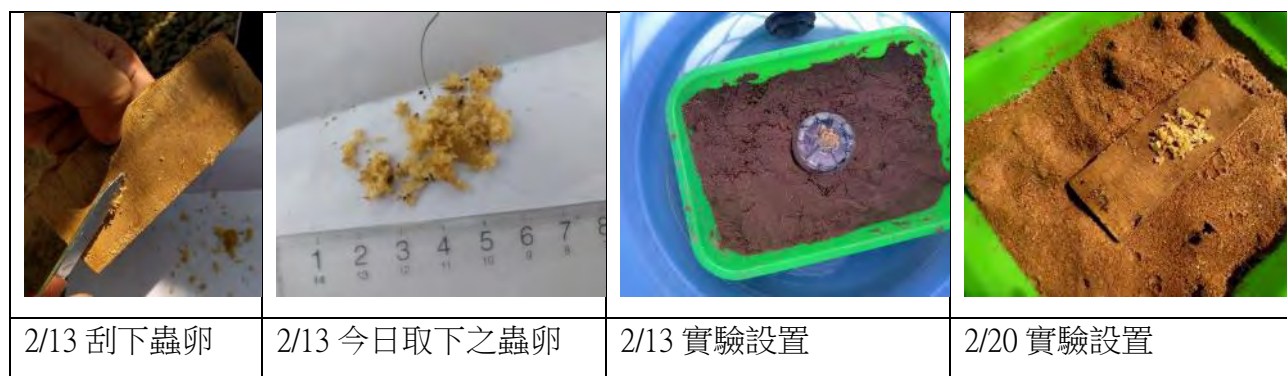


圖 4：黑水虻蟲卵孵化實驗操作圖

五、黑水蛇處理消化廚餘之歷程實驗 1

(一)實驗目的：比較定量黑水蛇消化各種廚餘的結果。

(二)實驗材料：篩網、黑水蛇幼蟲(兩週齡)、密林盆、米飯、麥麩、廚餘(蔬菜)、廚餘堆肥桶、電子磅秤。

(三)實驗步驟：

- 1.取定量的黑水蛇幼蟲放入密林盆中
- 2.取定量的各種材料瀝乾放入密林盆中
- 3.定期噴水補充濕度，並觀察消化情形

(四)實驗結果：

表 5：黑水蛇消化廚餘實驗紀錄表

組別 日期	氣溫 攝氏	麥麩組	純米飯組	米飯加廚餘組	純廚餘組
		麥麩 50 克 黑水蛇 50 克	米飯 50 克 黑水蛇 50 克	米飯 25 克 廚餘 25 克 黑水蛇 50 克	廚餘 50 克 黑水蛇 50 克
2/21	23.0	顏色較深的黑水蛇 (預蛹)爬出密林盆。	米飯表面完整	蔬菜外觀完整	蔬菜外觀 完整
2/25	20.4	剩下麥麩纖維。	全部米飯水解成 黃褐色濃稠液 體，無完整顆粒	剩下一點葉子的纖 維沒吃完，其餘食 物都消化完畢	菜葉上有 經過啃咬 的痕跡

實驗結果:開放的密林盆會導致部分幼蟲逃跑無法進行準確比較，麥麩組無法觀察消化情形，純米飯組、米飯加水組消化完全，米飯加廚餘組僅剩蔬菜纖維，純廚餘組菜葉腐爛部分被黑水蛇吃掉

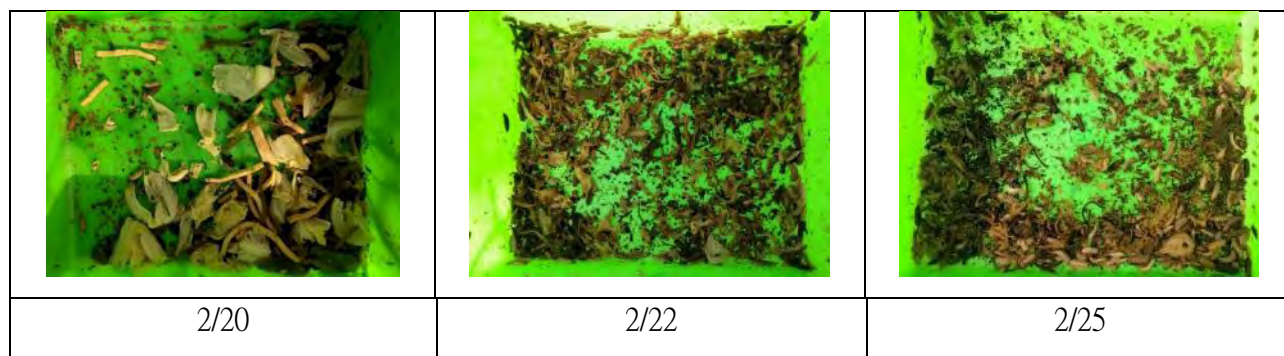


圖 5-1 純廚餘組變化圖

六、黑水蛇處理消化廚餘之歷程實驗 2

(一)實驗目的：比較定量黑水蛇消化各種廚餘的結果。

(二)實驗材料：篩網、黑水蛇幼蟲(兩週齡)、塑膠罐、密林盆、米飯、麥麩、廚餘(蔬菜)、廚餘堆肥桶、電子磅秤。

(三)實驗步驟：

- 1.取定量的黑水蛇幼蟲放入塑膠罐中
- 2.取定量的各種材料瀝乾放入塑膠罐中，蓋上瓶蓋不鎖緊保持透氣。
- 3.定期觀察消化情形

(四)實驗結果：

實驗結果:切碎的菜葉消化較未切碎菜葉組外觀無很明顯的差異，碎菜組的蓋子鎖太緊讓黑水蛇缺氧，碎飯組的蓋子因不明原因打開，不少黑水蛇爬出。因缺氧與開蓋因素，擬改善後重作實驗。重複實驗移至室內發現蓋子仍舊在隔日被打開，觀察到 50g 的蟲似乎數量過多，搶不到食物的幼蟲會往上攀爬，故應是蓋子太鬆導致被幼蟲推開。改以蓋子鑽孔方式再次重覆實驗，發現鑽孔數量不足且孔隙不大時，透氣孔會被幼蟲身上沾到的液體塞住導致幼蟲缺氧死亡。

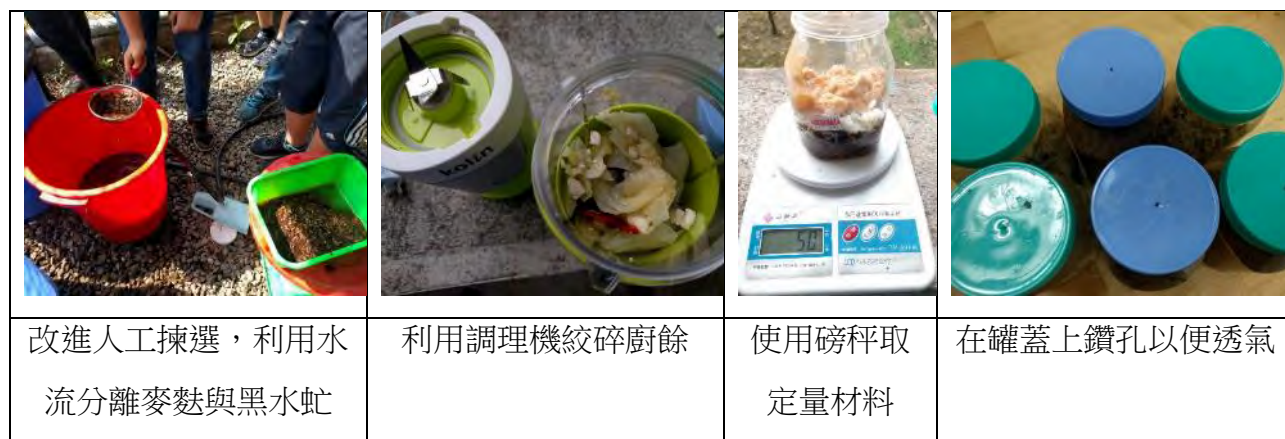


圖 7-1 黑水蛇消化廚餘實驗操作圖

七、黑水蛇處理消化廚餘之歷程實驗 3

(一)實驗目的：比較不同數量黑水蛇消化各種廚餘的結果。

(二)實驗材料：篩網、黑水蛇幼蟲(兩週齡)、塑膠罐、密林盆、米飯、麥麩、廚餘(蔬菜)、廚餘堆肥桶、電子磅秤、食物調理機。

(三)實驗步驟：

1.取定量的黑水蛇幼蟲放入塑膠罐中

2.取定量的各種材料瀝乾放入塑膠罐中，將瓶蓋蓋上鎖緊，並加強鑽孔保持透氣，並以未加入幼蟲的組別作為對照組。

3.定期觀察消化情形

(四)實驗結果：

表 7：黑水蛇消化廚餘實驗紀錄表(單位:攝氏度)

日期 組別	3/14	3/15	3/20
溫度(攝氏)	22.1	19.5	24.0
第一組 黑水蛇 10 克 蔬菜 30 克	瓶壁上有 1 隻黑水蛇，表面有 3 隻黑水蛇不動，其餘黑水蛇皆在菜葉底部正常活動，菜葉的顏色稍微加深。	表面依然是 3 隻不動的黑水蛇，似乎是利用前次實驗的黑水蛇中有死亡個體未挑乾淨。	幾乎看不到完整的菜葉，全化為濃稠黃褐色液體。
第二組 黑水蛇 10 克 蔬菜 30 克	瓶壁上有 4 隻黑水蛇，表面約 10 隻黑水蛇不動，其餘黑水蛇皆在菜葉底部正常活動，菜葉的顏色稍微加深。	表面依然是 10 隻不動的黑水蛇，似乎是利用前次實驗的黑水蛇中有死亡個體未挑乾淨。	幾乎看不到完整的菜葉，全化為濃稠黃褐色液體。
第三組 黑水蛇 10 克 米飯 30 克	表面的米飯保持白色，地步的米飯有部分變淡褐色，多數黑水蛇都集中在底部活動。	瓶壁有黑水蛇爬行過的痕跡，表面的米粒看起來仍保持完整，最底下的米粒則糊化水解。	全部米粒都分解，如褐白色的糰糊。
第四組 黑水蛇 10 克	表面的米飯保持白色，地步的米飯有部分變淡褐色	瓶壁有黑水蛇爬行過的痕跡，多數米粒糊化水解，	全部米粒分解，且液體不太濃稠，像是下了一點點

米飯 30 克	色，多數黑水蛇都集中在底部活動。	完整顆粒較少。	勾芡，且比前次清澈，澱粉似乎已全部被消化。
第五組 黑水蛇 20 克 米飯 30 克	瓶壁有黑水蛇爬行痕跡，但表面無黑水蛇活動，幾乎都在底部正常蠕動。底下的米飯幾乎完全糊化水解，表面的米飯則有部分尚未糊化。	表面的米飯顏色較淺，底部的米飯顏色較深，有酒釀的發酵酸味。	僅剩餘少量半透明的液體，比前次觀察清澈，澱粉似乎已全部被消化。有發酵酸味。
第六組 黑水蛇 20 克 米飯 30 克	瓶壁有黑水蛇爬行痕跡，但表面無黑水蛇活動，幾乎都在底部正常蠕動。底下的米飯幾乎完全糊化水解，表面的米飯則有部分尚未糊化。	表面未糊化的米飯顏色較淺，有酒釀的發酵酸味。	剩餘少量濃稠液體，比前次清澈，澱粉似乎已全部被消化。有發酵酸味。
第七組 黑水蛇 20 克 蔬菜 30 克	發現瓶壁上有 1 隻黑水蛇，菜的顏色變深，黑水蛇集中在瓶底的積水中活動。	瓶壁上有 1 隻黑水蛇活動，廚餘中的紅蘿蔔明顯軟化，液體增加，其餘黑水蛇仍在底部的積水中蠕動。有腐敗的臭味。	全部蔬菜水解成紅棕色液體。
第八組 黑水蛇 20 克 蔬菜 30 克	菜的顏色變深，黑水蛇集中在瓶底的積水中活動。	瓶壁上有 1 隻黑水蛇活動，液體增加，其餘黑水蛇仍在底部的積水中蠕動。有酸味。	蔬菜水解成黑褐色液體，剩餘一點粗纖維殘渣。
第九組 黑水蛇 30 克 米飯 30 克	米飯幾乎全部糊化水解，僅剩下少許顆粒(胚芽米)，約有 30 隻黑水蛇在瓶壁上活動，瓶壁上有爬行痕跡。	有 10 隻黑水蛇在瓶壁上爬行，米飯幾乎已全部消化。	黑水蛇外表濕濕的，看不出有米飯的痕跡，剩餘的液體很少，有 10 隻黑水蛇似乎死亡發黑。
第十組 黑水蛇 30 克	瓶壁上有黑水蛇爬行痕跡，米飯多數糊化水解。	僅剩少數米飯顆粒(胚芽米)尚未糊化水解。	胚芽發黑膨脹，液體變清澈，澱粉似乎已全部被消

米飯 10 克			化。
第十一組 第九組 黑水虻 30 克 蔬菜 30 克	黑水虻幼蟲集中在底部積水中活動，表面有發現不動的黑水虻數隻。	菜葉的顏色變深，菜葉有被咬過的痕跡，有腐臭味，在底部的黑水虻活動力正常。	葉菜粗纖維部分變黑，底部仍有機水。
第十二組 米飯 30 克 (對照組)	米飯外觀無甚變化，瓶壁有凝結的水滴。	米飯的顏色加深，有淡淡臭味，沒有酸味。	米飯發霉長出菌絲。
第十三組 蔬菜 30 克 (對照組)	菜葉外觀無甚變化，瓶壁有凝結的水滴。	菜葉的表面有白色菌絲，有酸味。	發霉長出菌絲，有果蠅的蛹。

實驗結果:由實驗可觀察出黑水虻消化等重的米飯約需要 1~2 天，消化等重的蔬菜需要 3~4 天，粗纖維部分要等待其腐化才可以消化，沒有幼蟲的對照組最後都發霉長出菌絲。

		
改將幼蟲養在水中，使用時直接撈起，不用分離幼蟲與食物	改用精度較高之電子磅秤	加強瓶蓋表面鑽孔透氣

圖 7-1 黑水虻消化廚餘實驗操作圖

	蟲 10g 米飯 30g	蟲 30g 米飯 10g	蟲 20g 菜 30g	菜 30g(對照組)
Day1 3/13				
Day2 3/14				
Day3 3/15				
Day8 3/20				

圖 7-2 各組外觀變化圖

八、建立黑水虻分解廚餘再利用之簡易模型

(一)實驗目的：設置可供校園進行廚餘分解再利用之環保模型。

(二)實驗材料：整理箱、PVC 水管、白板筆、海綿、瓦楞紙版、黑水虻幼蟲(兩週齡)、麥麩、黑糖、酵母、廚餘、電子磅秤、食物調理機。

(三)實驗步驟：

1.模型的設計分為三層，中層為廚餘分解層，可讓幼蟲在此取食並分解廚餘，底層為糞便收集層，可收集糞水作為肥料使用，最上層為羽化產卵層，要讓終齡變黑的預蛹可以爬到此層化蛹並羽化為成蟲，並在此處交配與產卵。

2.取三個可堆疊緊密之整理箱作為三層之分隔，上層的整理箱底部鑽出一個跟白板筆直徑相同的孔洞，並將白板筆筆身接合處鋸下，鎖在前述孔洞上，預防預蛹直接掉其中；因黑水虻的成蟲不進食僅喝水，利用海綿沾水讓成蟲可以停在上面直接喝水；在本層放置數塊交疊的瓦楞紙板作為成蟲產卵的孔隙。

3.中層整理箱之底部鑽孔，讓液態的糞便可以流到最底層，將 PVC 水管對半切開，並對其加熱折出合適的彎曲度，作為讓預蛹可以離開食物爬到最上層的斜坡，水管的上端應穿過上層的孔洞。

3.將三層整理箱依序組合後，將廚餘以食物調理機切碎後放入中間的廚餘分解層，再放入幼蟲，表面再以加過酵母與黑糖的麥麩覆蓋隔絕臭味溢出。定期將底層的液態糞便取出作為植物施肥用。當觀察到有成蟲出現在最上面的羽化產卵層時，應補充海綿的水分，並定期檢查瓦楞紙的縫隙間是否有卵塊。

實驗結果:



圖 8:廚餘分解模型配置圖

柒、討論

- 一. 黑水虻產卵行為研究實驗 1：經實驗發現，材料越來越乾，螞蟻會入侵攻擊其他生物，即便黑水虻曾經產卵且孵化，也無法順利成長；實驗過程中有大量蒼蠅產卵，生下之蠅蛆與黑水虻幼蟲外型相似，初期不容易判斷。因始終未發現黑水虻幼蟲，上網查閱資料後發現黑水虻並不直接產卵於食物上，雖補放了瓦楞紙製產卵板，但或許因材料過於乾燥氣味並不濃厚，或是因為螞蟻不停襲擾，最終都沒有發現到有黑水虻之幼蟲。
- 二. 黑水虻產卵行為研究實驗 2：本次實驗改善前次實驗缺水問題，隔絕蒼蠅直接產卵及並提供產卵所需要的縫隙，補充水分對於螞蟻入侵有顯著幫助，紗網則隔絕了大多數昆蟲進入，但比紗網網目更小的昆蟲如果蠅則無法阻絕，但其幼蟲與黑水虻幼蟲尺寸相差很大，不會造成分辨上的干擾，原以為本次實驗皆無誘集成功，推測是否因已入冬導致黑水虻停止產卵，最後卻發現在表面看似乾燥的麥麩及雞屎底層中有黑水虻幼蟲，此時再仔細觀察瓦楞紙板與紗網，發現有疑似黑水虻蟲卵的蟲殼，因顏色跟麥麩及瓦楞紙板相近，故而以為黑水虻並未產卵，若重新設計實驗，因瓦楞紙板製成的產卵板顏色與黑水虻相近，宜改變材質便於觀察，且粉狀材料表面呈現乾燥結塊狀態時，黑水虻幼蟲未成為預蛹前並不會爬到表面，應定時攪動翻開，以觀察是否有黑水虻幼蟲孵化。另外，添加酵母菌與否對於黑水虻產卵與否在本次實驗中並無發現有顯著差異。因誤以為本次實驗無法成功產卵，遂從黑水虻養殖 LINE 群組中徵求到了 10 克的蟲卵供後續實驗使用，且入冬後氣溫逐漸降低，便暫時停止進行第三次的黑水虻誘集產卵實驗。
- 三. 黑水虻產卵行為研究實驗 3:本次實驗於五月份的梅雨季開始進行，實驗設計考量螞蟻的因素，將寶特瓶放在密林盆中，靠水隔離螞蟻，但多日下來發現水中會開始出現孑孓，為了避免傳播疾病，需定期檢視清除。另本次實驗期間除了第三四天放晴，其餘時間經常有大雨，經常在隔天發現產卵板被雨水打落到地面或是掉入密林盆中，嚴重的干擾實驗的進行，最終僅在第三四天回溫時在麥麩及麥麩+蟲兩組發現蟲卵，最後所有組別的產卵板都發霉，無法確認在天候較佳的情況下其他組是否會吸引黑水虻產卵，不過就本次實驗與前次實驗結果，麥麩組皆成功吸引到黑水虻產卵，故而可以推測麥麩發酵產生的氣味對黑水虻有一定的吸引力。另本次實驗時，因同時飼養了一桶幼蟲在附近，雖然盡量都保持關閉的狀態，但是否會對實驗造成干擾則不得而知，重複實驗應排除此類因素較佳。除了麥麩組外，其他組別發臭後之氣味都不太好聞，如果加強其氣味再重複實驗，又很擔心會對周遭的師生或民眾造成困擾，後續實驗的地點設置如需避開下雨對實驗影響，地點的選擇會是很大的問題。

- 三. 黑水虻生活史研究 1: 卵的孵化期約 5~7 天，而畜產所報告中卵的孵化期為 4 天，推測應是氣溫較低的關係。另外因為天氣逐漸變冷，原本直接養在密林盆中的組別生長情況與活動力均較差，改養在廚餘堆肥桶中則有明顯改善，推測其因為桶身較高且有加蓋，所以在低溫中有較佳的保溫效果，每逢下午天氣回暖進行觀察時，因為幼蟲數量太多，甚至可以明顯聽到幼蟲爬行的聲音。但放置在桶中加蓋會面臨水分蒸發導致桶內過於潮濕的問題，黑水虻的幼蟲體表有黑色的細毛，在潮濕環境下可以輕易地沿著垂直的桶壁往外爬，雖然也有可能跟飼養密度過高有關，但仍應設法克服，另發現在乾式養殖法中，僅表面 5 公分處有黑水虻的幼蟲，低於 5 公分處推測因為氧氣不足，所以黑水虻不會往更底下移動。改善方式是降低飼養密度，將密度過高的桶子分成兩盆(後續仍過高則繼續分開飼養)，再來是嘗試不加蓋，雖然可以有效的降低濕度讓黑水虻不會往外爬，不過直接裸露卻造成大量蒼蠅直接進到桶內產卵，同時亦發現其中有野生的黑水虻與黃金水虻來產卵，後來利用廢棄的窗戶紗網蓋在桶子上，蒼蠅產卵的情形就大幅減少了，此時若將桶蓋蓋回，因多了紗網，濕度不會提高很多，但仍會讓幼蟲沿著桶壁往外爬，之後就選擇不加蓋，僅蓋上紗網隔離，此時飼養狀況漸趨穩定，沒有什麼較大的變化。根據畜產所資料，黑水虻有沿著斜坡往上爬離食物化蛹的習性，此時蟲體會從米色變成黑色，稱之為預蛹，主要原因應是因為預蛹的外觀與蛹的外觀幾乎沒有差別，根據收集來的預蛹跟蛹加以觀察，發現預蛹仍會爬行，變成蛹就不會了。本次實驗成功驗證文獻中的生活史，從卵-幼蟲-預蛹-蛹-成蟲，有完整的循環，但從產卵到第一隻成蟲羽化，費時約 42 天，陸續羽化的成蟲則費時多達 60 天以上，較畜產所提供資料的 34~43 天多了不少，推測主要原因跟氣溫還有食物的營養成分有關。
- 四. 黑水虻生活史研究 2: 本次實驗採用麥麩作為黑水虻食物的原因主要是取得方便，再來則是因為飼養後取得之幼蟲要在後續實驗中使用，麥麩是粉末狀，猜想應該較不易分解完全的廚餘好分離，也比較沒有發臭的問題，加入黑糖則是要提供酵母菌食物，加速發酵可以讓氣溫提升，在冬天也能順利成長，並能減少發霉的情況，使氣味不會那麼難聞。根據前次實驗經驗，冬天放在桶中飼養可以藉由保溫讓食物發酵提升溫度，加速黑水虻成長，隔水飼養則能隔絕螞蟻的侵擾，但實驗之初沒注意到直接將密林盆放在水裡會導致麥麩降溫，發酵效率不佳，經墊高改善後，就可以明顯發現麥麩溫度因為發酵而升高。實驗約兩週後黑水虻即可長到 2cm 長，可以明顯觀察到溫度對成長速率的影響。
- 五. 黑水虻處理消化廚餘之歷程實驗 1: 使用篩網分離黑水虻跟麥麩有點困難，因為較小的黑水虻會掉出篩網，而留在篩網內的麥麩則像滾湯圓一樣會結球，難以將黑水虻跟麥麩分離，最後靠人工撿拾黑水虻，因靠人工所以難以將成為預蛹的深色黑水虻挑乾淨，做實

驗的時候會不停爬出密林盆，下次實驗應改善分離方法，並盡量將預蛹挑出。實驗設置在週三，週四週五都沒有明顯變化，星期六日放假，週一到學校時，有加入米飯的組別多數都消化完畢，菜葉部分在未腐爛前黑水蛇似乎無法消化，下次實驗時可嘗試將菜葉絞碎看看結果有沒有變化。

六. 黑水蛇處理消化廚餘之歷程實驗 2: 本次實驗中的黑水蛇跟麥麩分離，是放置到篩網後，用水管直接沖洗，雖然有少量的麥麩還是會卡在篩網上，但效率遠比上次實驗更快，另外因為果汁機故障，本次是採用人工用剪刀將菜葉剪碎，最小長度都控制在 1 公分以內，而米飯部分因為本來的顆粒就不大，加以用剪刀的時候會讓米飯沾黏，外觀看起來跟沒剪差別不大，而實驗的結果有剪過的菜葉跟沒剪過的差異並沒有很大，考慮下次實驗利用調理機切成更碎來做實驗。裝在塑膠罐中的消化情況比起放在密林盆中有明顯改善，除了因為適逢二二八連假，間隔較多日，推測也有空間較小，比較不像放在密林盆中會出現黑水蛇四處遊蕩的因素存在。此次發生鎖太緊缺氧的事件及不明原因開蓋則以改至室內保存再做觀察(不確定是否為人為)。再次重覆實驗實驗的隔天早上發現其中一組罐蓋已自行開啟，推測原因應是往上爬行的黑水蛇將罐蓋擠開，雖然立即將罐蓋以銳器鑽孔，但鑽孔數量太少，容易被全身沾滿黏液的黑水蛇爬上後堵住，進而導致缺氧死亡或是活動力下降的情況發生，改善方法是嘗試增加更多的開孔。另外絞碎的菜葉對於無法啃咬粗纖維的黑水蛇很有幫助，可以加速消化完畢，但推測在食物消化完後，缺乏食物的黑水蛇會整群往罐壁上爬找尋食物，同時這也顯示了在小型的瓶罐之中放進 50 克的黑水蛇會有過度擁擠的問題，也不利於觀察，擬在下次實驗中進行減量作為改善。另麥麩太多時會有堵住瓶身難以觀測的困擾，且其纖維較多，不易觀察出消化量的多寡，故下次實驗擬不採用麥麩這項材料，而是改以未放入黑水蛇的食物作為比較的對照組。

七. 黑水蛇處理消化廚餘之歷程實驗 3: 前次實驗分離麥麩與黑水蛇是採用沖洗的方式，剩餘的黑水蛇就通通倒入桶中，本次實驗要採集黑水蛇時發現，養在水裡的黑水蛇只要直接撈起就能使用，先前沖洗時會卡在篩網上的麥麩，經過一週的沉澱，已經都沉在桶子底部，故建議之後實驗所需的幼蟲養在水中會更方便操作。本次實驗有利用到前次實驗所剩餘之幼蟲，但因部分已缺氧死亡，雖經人工揀選將死蟲排除，但仍有漏網之魚，建議之後實驗的若要回收幼蟲來使用，務必先確認是否有死蟲。本次實驗增加未放蟲的對照組，可以發現沒有黑水蛇的情況下會有發霉的情形，另外本次為了改善透氣的問題增加了不少鑽孔在瓶蓋上，但也因此導致比孔洞略小的果蠅會跑入瓶中，補救的方式是貼上透氣膠布再用針頭戳出孔洞，在足夠的透氣孔輔助下，這次實驗未再發生缺氧導致幼蟲

死亡的情形。

八. 建立黑水虻分解廚餘再利用之簡易模型:本次實驗前大家各自繪製了理想中的廚餘分解模型，經過討論後決定以三層的草圖為藍本，設計出一個迷你版的模型。在學校中要推廣的模型，除了要對環保有所助益，操作方便及臭味控制都是很重要的，原本還想補做減少臭味的實驗，例如做添加農用益生菌與市售酵母菌的差異，以及可以用什麼材料覆蓋並隔絕氣味，不過因為時間不足的因素，最後還是決定使用先前實驗中確認過氣味相對較佳的麥麩作為覆蓋隔離臭味的材料。另本模型畢竟是迷你版，如放大操作可能會衍伸的一些其他問題，就留待之後的延續實驗再做探討了。

捌、結論

- 一、在黑水虻產卵行為研究實驗中發現，避免螞蟻前來很重要，不管是直接加水或是用水隔離都可以考慮，但要注意冬天低溫的因素；實驗設計應該防止其它種類昆蟲侵擾，另應準備產卵板便於觀察成蟲是否產卵，並應定時翻開材料觀察是否有幼蟲躲在底層。
- 二、黑水虻生活史研究中發現，卵孵化時間約 3 天，幼蟲約 14 天就可以長到 3 公分長，約 18 天就有預蛹爬出斜坡，蛹期約 16-30 天，成蟲壽命約 7 天。另外需定期觀察黑水虻的體色是否在過小的情況下開始變深，若有則表示需要補充食物，避免其過早化蛹。另宜注意飼養密度是否過高，過高會導致黑水虻脫逃尋求食物。
- 三、在探討黑水虻處理消化廚餘之歷程，建立黑水虻分解廚餘再利用之簡易模型中發現，黑水虻幼蟲消化等重的米飯約需要 1~2 天，消化等重的蔬菜需要 3~4 天，食物的熱量越低，黑水虻爬上瓶壁的比率就越高，故而在利用黑水虻消化廚餘時，要盡量避免僅有菜葉類這樣低熱量的材料作為黑水虻的食物。另外黑水虻雖然可以消化廚餘，但必須等待食物腐敗或是先絞碎。所以後續在設計廚餘分解模型時，如不考慮採用絞碎的方式，則必須要特別注意不能讓臭味溢散，或是利用添加益生菌的方式減少臭味。

玖、參考文獻

1. “非洲豬瘟中央災害應變中心第六次會議紀錄” · 行政院農業委員會動植物防疫檢疫局 · 2019年3月19日取自 <https://asf.baphiq.gov.tw/view.php?catid=18379>
2. 梁世祥(2017) · 農業循環經濟之藍海策略-黑水虻異軍突起 · 畜產專訊第101期 · 行政院農業委員會畜產試驗所 · 2019年3月19日取自 <https://www.tlri.gov.tw/resource/upload/f5202683-d084-441a-923a-c7390d95fad4/0d0c13a9-75ba-48fb-a51a-0f886bc93a09.pdf>
3. 康芷菱、陳一婷、鄭嘉妤(2017) · 廚餘分解-水虻幫幫忙 · 中學生網站小論文 · 2019年3月19日取自 <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2018/11/2018110208043717.pdf>
4. 楊于萱、陳硯琳、魏鳳汝(2018) · 你當我吃塑的? -臺灣小蠟蟲攝食環保型塑膠之探討 · 中華民國第58屆中小學科學展覽會 · 國立台灣科學教育館 · 2019年3月19日取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-030303.pdf>
5. 黃怡華、鄭毓澤(2018) · HEY!你這個吃塑膠的小傢伙 · 中華民國第58屆中小學科學展覽會 · 國立台灣科學教育館 · 2019年3月19日取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-052611.pdf>
6. 賴一宏、賴宥妘(2016) · 「糞」力而為-開發生物活體系統分解豬糞可行性之研究 中華民國第56屆中小學科學展覽會 · 國立台灣科學教育館 · 2019年3月19日取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/030814.pdf>
7. 郭柏秀(2016) · 幼蟲飼料及飼育密度對黑水虻幼蟲生長表現之影響 · 國立中興大學:碩士論文 · 2019年3月19日取自 <http://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?docid=U0005-2807201623004200>

【評語】 082909

作品主題探討黑水虻分解廚餘能結合時事，台風穩健。建議研究架構再補強，實驗結果呈現宜量化。

壹、研究動機

學校每天午餐後或多或少都會產生廚餘，怎麼處理是個大問題，因從網路知悉嘉義有位林信仁牧師利用飼養黑水虻(*Hermetia illucens*)來分解廚餘及雞屎，並利用其幼蟲代替部分飼料來餵雞，除了有效降低飼養成本外，亦能協助社區進行廢棄物減量，是對環境友善的農法，故而想要探索可以如何利用黑水虻來進行廚餘減量。根據畜產所資料顯示，黑水虻是腐食性昆蟲，終齡幼蟲(預蛹)會變黑會爬至高處化蛹，成蟲僅喝水不進食，可快速處理畜禽有機資源物，轉化成昆蟲蛋白作為動物性蛋白質替代飼料，經虻蟲處理完畢的殘料可做為改善土壤酸化的資材。為了解黑水虻能否應用在校園中進行廚餘的分解，該如何進行飼養，以及如何引誘黑水虻成蟲來產卵，故設計了數項實驗。

貳、研究目的

- 一.黑水虻產卵行為研究。
- 二.黑水虻生活史研究。
- 三.探討黑水虻處理消化廚餘之歷程，建立黑水虻環保的生活環境之利用。

參、實驗器材

容器	密林盆、寶特瓶、整理箱、連接盒、廚餘堆肥桶、水桶、塑膠罐	道具	瓦楞紙、田土紗網、紗網、長尾夾、線槽蓋、昆蟲飼養箱、寶特瓶、毛巾、夾板、溫度計、篩網、電子磅秤、剪刀、食物調理機、溫度計、PVC水管、白板筆。
分解材料	廚餘、麥麩、豆渣、米飯		
引誘劑	黑糖、黃酒、酵母菌、益生菌、黑水虻幼蟲糞便		
生物材料	黑水虻卵、黑水虻幼蟲(兩週齡)		

肆、實驗方法與結果

一、黑水虻產卵行為研究1

- (一)實驗目的：觀察食物腐敗是否可誘集黑水虻前來產卵。
- (二)實驗材料：密林盆、廚餘、麥麩、米麩、雞屎、田土、溫度計
- (三)實驗步驟：
 - 1.取定量的豆渣、麥麩、米糠、廚餘、雞屎水置於密林盆中。
- (四)實驗結果:實驗過程中僅發現吸引大量麗蠅、果蠅、家蠅，並生下大量蠅蛆幼蟲，另生廚餘類別於後期水分蒸發後亦發現蠅蛆幼蟲，當材料較為乾燥時則有螞蟻會搬走所有的昆蟲，所有類別皆未發現黑水虻產卵，亦未發現黑水虻幼蟲生長在於廚餘中。



圖1 實驗配置

二、黑水虻產卵行為研究2

- (一)實驗目的：觀察不同材料誘集黑水虻成蟲產卵差異。
- (二)實驗材料：密林盆、廚餘、麥麩、豆渣、磅秤溫度計、瓦楞紙、紗網、長尾夾
- (三)實驗步驟：
 - 1.取定量的豆渣、麥麩、廚餘置於密林盆中。一半組別加入酵母菌與黑糖攪拌均勻。將密林盆表面以紗網覆蓋，並以長尾夾固定。
 - 2.自製產卵板:將瓦楞紙板裁成長約3CM，寬約15公分的大小，重疊數片以橡皮筋固定
 - 3.將產卵板置於紗網上方。視情況定期補充水分讓材料保持潮濕。
- (四)實驗結果:實驗過程中未直接在產卵板上發現產卵板上有黑水虻卵，但實驗結束後在產卵板上發現疑似黑水虻卵的空殼，並發現發酵麥麩組有黑水虻幼蟲，廚餘及豆渣組則未發現有黑水虻幼蟲。另有添加酵母菌與黑糖的組別，發酵作用產生的酸味與其他未添加酵母菌組別相較，臭味較淡，酸味較濃。



圖2 實驗配置

三、黑水虻產卵行為研究3

- (一)實驗目的：觀察不同材料誘集黑水虻成蟲產卵差異。
- (二)實驗材料：寶特瓶、密林盆、廚餘、生廚餘、麥麩、酵母、黑糖、磅秤、溫度計、木夾板、保麗龍板、紗網、竹籤
- (三)實驗步驟：
 - 1.取各種材料(廚餘、麥麩)定量置於切半的寶特瓶中。
 - 2.一半組別加入20克的黑水虻幼蟲，將寶特瓶以紗網覆蓋，並放上自製產卵版，分成木夾板與保麗龍板兩種。視情況定期補充水分讓材料保持潮濕。
- (四)實驗結果:本次實驗適逢連續大雨，僅第三第四兩天雨停並回溫，於第四天在添加酵母與黑糖的麥麩組的木夾板中發現蟲卵，其餘組別皆無發現，實驗結果與前次實驗雷同，皆僅在麥麩組發現其產卵。所有組別的保麗龍板都沒有吸引到成蟲產卵。本次實驗無法確認加入黑水虻幼蟲是否會影響成蟲產卵的意願，尚待未來天候好轉後重新實驗。



圖3 實驗配置

四、黑水虻生活史研究1

- (一)實驗目的：觀察黑水虻由卵到成蟲完整的生長週期。
- (二)實驗材料：黑水虻卵、密林盆、廚餘、麥麩、米麩、黑糖、酵母菌、紗網、長尾夾、廚餘堆肥桶、線槽蓋、水桶、昆蟲飼養箱、寶特瓶、毛巾、夾板
- (三)實驗步驟：
 - 1.取1000g的麥麩置於密林盆中，加入200g黑糖及2g酵母菌攪拌均勻。將密林盆表面以紗網覆蓋，並以長尾夾固定。
 - 2.取定量黑水虻卵置於紗網上等待孵化。視情況定期補充水分讓材料保持潮濕。
 - 3.當發現食料表面有深色預蛹爬行時，加上線槽蓋作為斜坡讓預蛹可以爬出，並準備水桶讓其落入。
 - 4.將取得的預蛹置入密林盆，再放入昆蟲飼養箱等待其羽化。在寶特瓶中裝入毛巾並加水，將毛巾抽出瓶口少許，讓黑水虻成蟲可以喝水。
 - 5.取黑水虻幼蟲及消化中的廚餘置於切開的寶特瓶中，吸引黑水虻成蟲靠近，在上方疊置數片夾板供其在縫隙中產卵。
- (四)實驗結果:黑水虻卵為細長的針形。幼蟲以腐爛的有機質為食物。2cm以上的幼蟲體表有大量的細毛。成長到後期體色會逐漸變深，不再進食且會離開食物，此時期稱預蛹。蛹與預蛹及幼蟲身型態幾乎沒有差異，皆為12節。黑水虻成蟲可區分頭胸腹，有六隻腳且有翅膀，體長最小1cm，最大3cm，僅喝水不進食。卵孵化約要3天，約14-16天即可長到最大體長，約3cm，約18天就有全身變黑的預蛹會爬出斜坡，蛹期約16~30天，成蟲壽命約7天。飼養過程中野生的黑水虻成蟲會來產卵，觀察到成蟲並不直接接觸食物，僅在食物的表面飛行，最後發現產卵的位置在蓋子與桶子的縫隙處，以及紗網上，與文獻上記載黑水虻不直接產卵在食物上的紀錄相符。

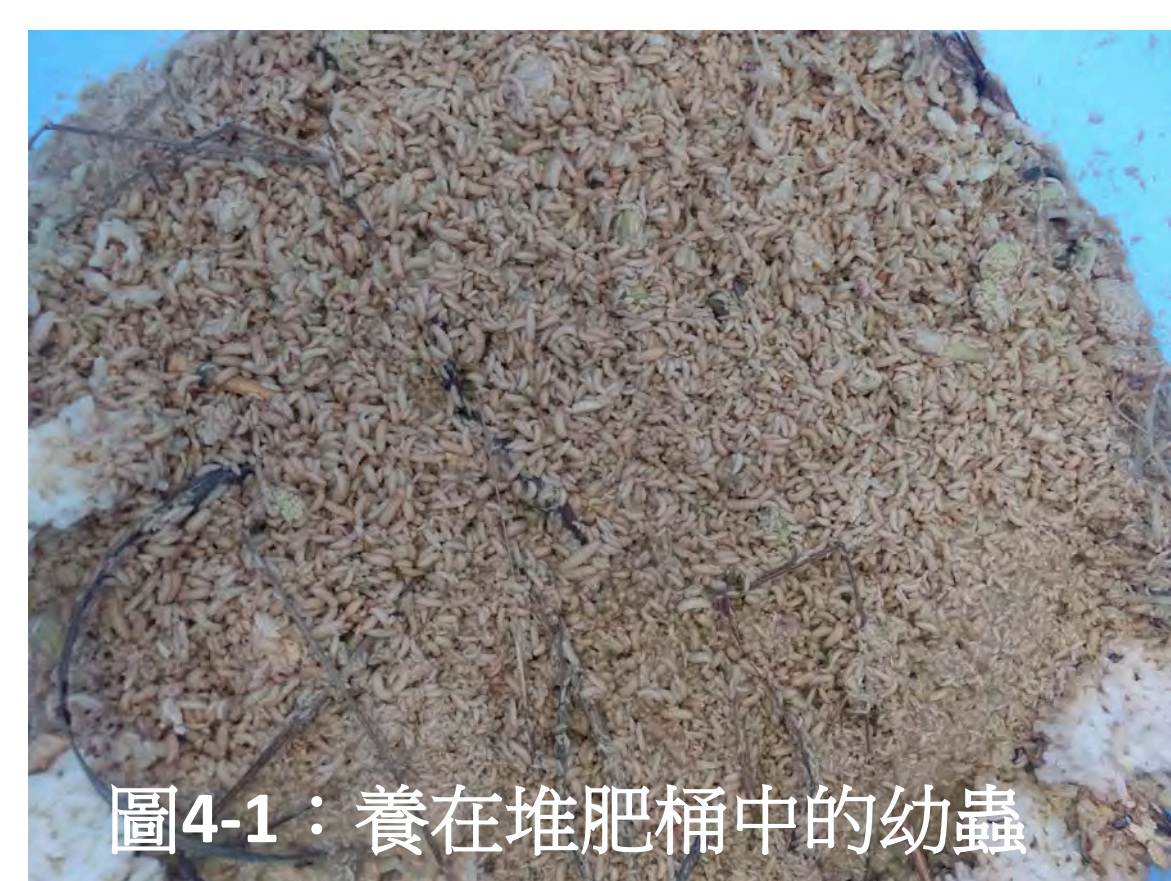


圖4-1：養在堆肥桶中的幼蟲



圖4-2：預蛹從斜坡爬出

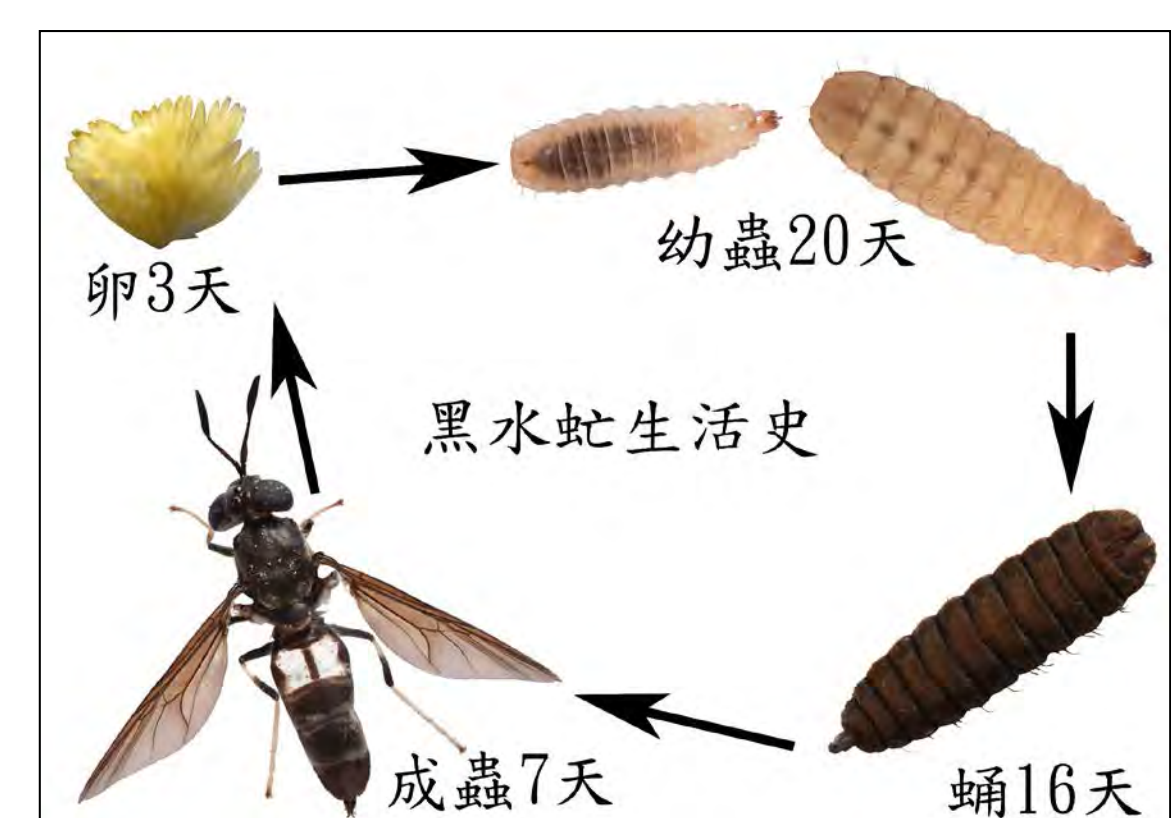


圖4-2：黑水虻生活史

五、黑水虻生活史研究2

(一)實驗目的：觀察溫度對幼蟲成長發育的影響，幼蟲並供作廚餘分解實驗使用。

(二)實驗材料：黑水虻卵、密林盆、寶特瓶、黑糖、麥麩、廚餘堆肥桶、溫度計。

(三)實驗步驟：

- 1.取1000克的麥麩加入100克黑糖置於密林盆中。
- 2.將寶特瓶對半切開，倒置於麥麩上，並放上蟲卵。
- 3.在廚餘堆肥桶中加水避免螞蟻入侵，將密林盆放入廚餘堆肥桶中保溫。
- 4.定期觀察蟲卵孵化情況。

(四)、實驗結果：自昆蟲飼養箱中取出的黑水虻卵可順利孵化，本次實驗平均溫度27度，放在桶中注意保溫，且利用麥麩發酵提升溫度，約10天即可成長到2cm長；前次實驗平均溫度20.8度，且前期都露天飼養，約花17天才能長到2cm，故可以觀察到溫度越高，成長速度越快。



圖5：黑水虻蟲卵孵化實驗操作圖

六、黑水虻處理消化廚餘之歷程實驗1

(一)實驗目的：比較定量黑水虻消化各種廚餘的結果。

(二)實驗材料：篩網、黑水虻幼蟲(兩週齡)、密林盆、米飯、麥麩、廚餘(蔬菜)、廚餘堆肥桶、電子磅秤。

(三)實驗步驟：

- 1.取定量的各種材料瀝乾及定量的黑水虻幼蟲放入密林盆中
- 2.定期噴水補充濕度，並觀察消化情形

(四)實驗結果：開放的密林盆會導致部分幼蟲逃跑無法進行準確比較，麥麩組無法觀察消化情形，純米飯組、米飯加水組消化完全，米飯加廚餘組僅剩蔬菜纖維，純廚餘組菜葉腐爛部分被黑水虻吃掉

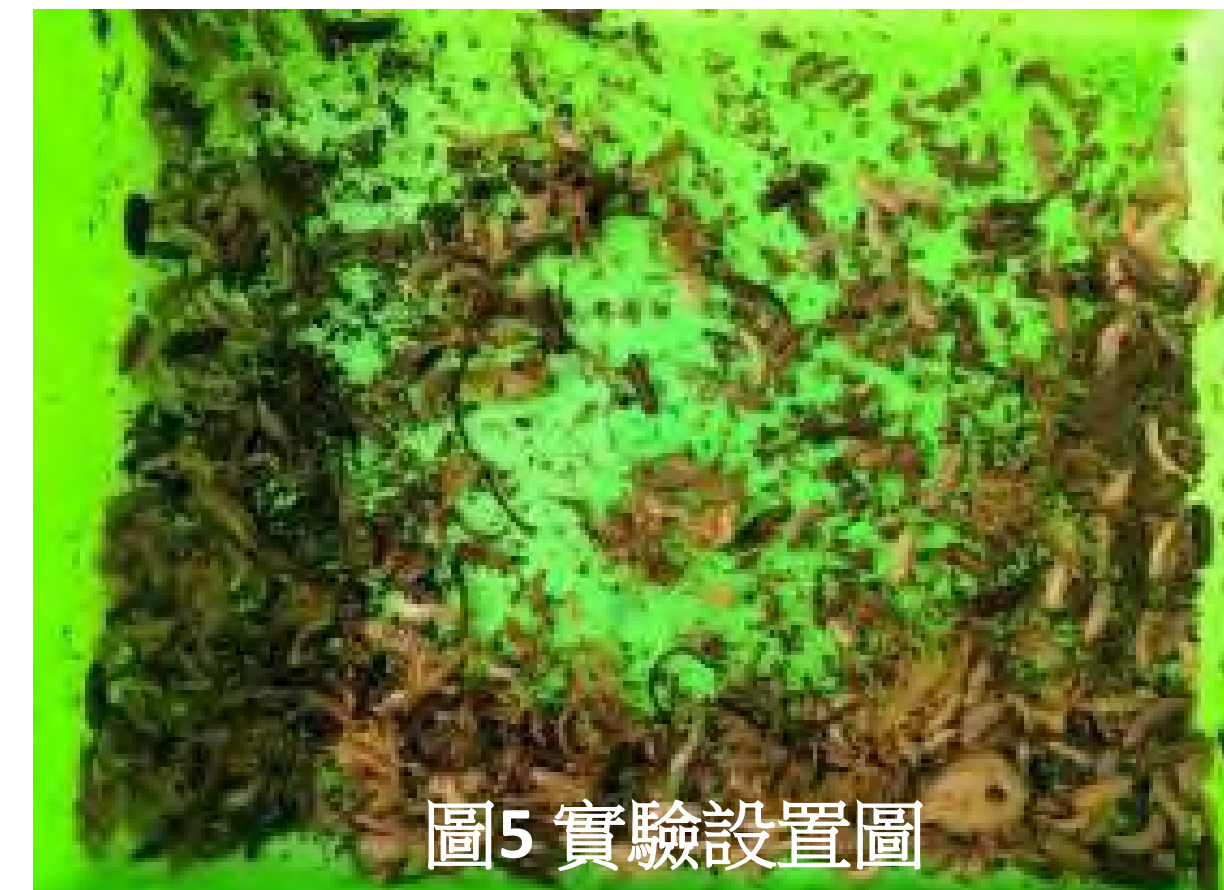


圖5 實驗設置圖

七、黑水虻處理消化廚餘之歷程實驗2

(一)實驗目的：比較定量黑水虻消化各種廚餘的結果。

(二)實驗材料：篩網、黑水虻幼蟲(兩週齡)、塑膠罐、密林盆、米飯、麥麩、廚餘(蔬菜)、廚餘堆肥桶、電子磅秤。

(三)實驗步驟：

- 1.取定量的黑水虻幼蟲放入塑膠罐中
- 2.取定量的各種材料瀝乾放入塑膠罐中，蓋上瓶蓋不鎖緊保持透氣。
- 3.定期觀察消化情形

(四)實驗結果：實驗結果:切碎的菜葉消化較未切碎菜葉組外觀無很明顯的差異，碎菜組的蓋子鎖太緊讓黑水虻缺氧，碎飯組的蓋子因不明原因打開，不少黑水虻爬出。因缺氧與開蓋因素，擬改善後重作實驗。重複實驗移至室內發現蓋子仍舊在隔日被打開，觀察到50g的蟲似乎數量過多，搶不到食物的幼蟲會往上攀爬，故應是蓋子太鬆導致被幼蟲推開。改以蓋子鑽孔方式再次重覆實驗，發現鑽孔數量不足且孔隙不大時，透氣孔會被幼蟲身上沾到的液體塞住導致幼蟲缺氧死亡。



圖7 操作過程圖

八、黑水虻處理消化廚餘之歷程實驗3

(一)實驗目的：比較不同數量黑水虻消化各種廚餘的結果。

(二)實驗材料：篩網、黑水虻幼蟲(兩週齡)、塑膠罐、密林盆、米飯、麥麩、廚餘(蔬菜)、廚餘堆肥桶、電子磅秤、食物調理機。

(三)實驗步驟：

- 1.取定量的黑水虻幼蟲放入塑膠罐中
- 2.取定量的各種材料瀝乾放入塑膠罐中，將瓶蓋蓋上鎖緊，並加強鑽孔保持透氣，並以未加入幼蟲的組別作為對照組。
- 3.定期觀察消化情形

(四)實驗結果：

直接養在水中撈起的幼蟲，免過篩，進行實驗最方便。減少幼蟲數量，增加食物，就不會有爬上罐壁尋找食物的行為。由實驗可觀察出黑水虻幼蟲消化與其等重的米飯約需要1~2天，消化與其等重的蔬菜需要3~4天，粗纖維部分要等待其腐化或是藉由機器絞碎才可以消化，沒有幼蟲的對照組最後都發霉長出菌絲。



圖8-2黑水虻消化廚餘實驗結果示意圖

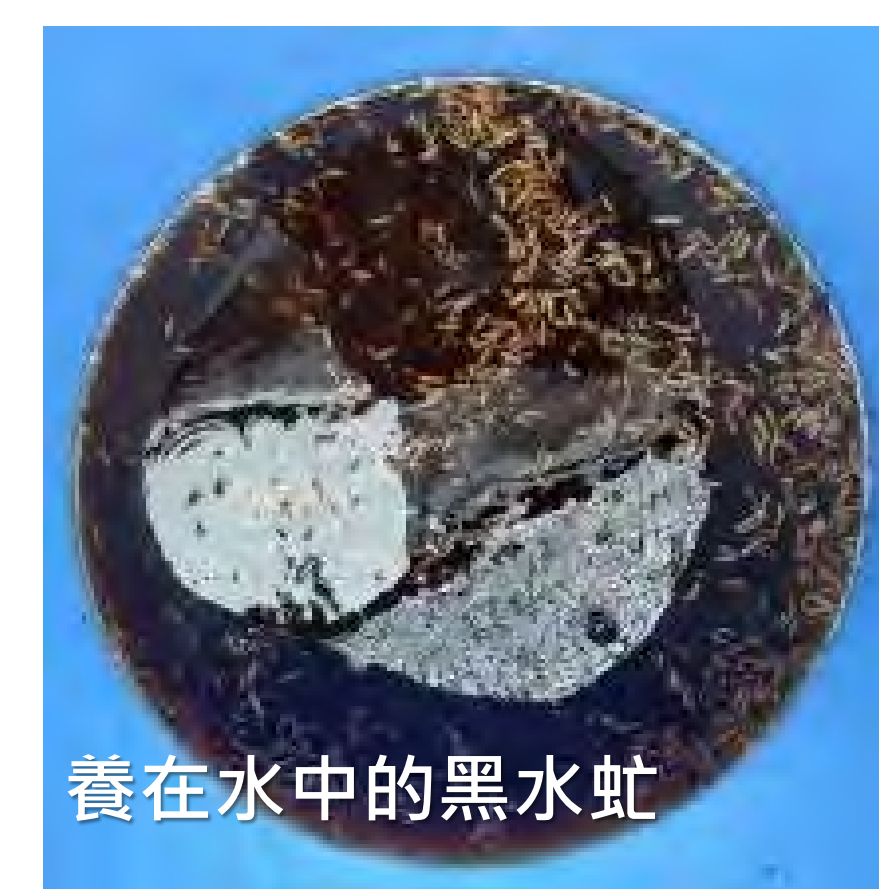


圖8-1實驗操作圖

九、建立黑水虻分解廚餘再利用之簡易模型

(一)實驗目的：設置可供校園進行廚餘分解再利用之環保模型。

(二)實驗材料：整理箱、PVC水管、白板筆、海綿、瓦楞紙版、黑水虻幼蟲(兩週齡)、麥麩、黑糖、酵母、廚餘、電子磅秤、食物調理機。

(三)實驗設計：

- 1.模型的設計分為三層，中層為廚餘分解層，可讓幼蟲在此取食並分解廚餘，底層為糞便收集層，可收集糞水作為肥料使用，最上層為羽化產卵層，要讓終齡變黑的預蛹可以爬到此層化蛹並羽化為成蟲，並在此處交配與產卵。

- 2.取三個可堆疊緊密之整理箱作為三層之分隔，

上層的整理箱底部鑽出一個跟白板筆直徑相同的孔洞，並將白板筆筆身接合處鋸下，鎖在前述孔洞上，預防預蛹直接掉其中；因黑水虻的成蟲不進食僅喝水，利用海綿沾水讓成蟲可以停在上面直接喝水；在本層放置數塊交疊的瓦楞紙板作為成蟲產卵的孔隙。

- 3.中層整理箱之底部鑽孔，讓液態的糞便可以流到最底層，將PVC水管對半切開，並對其加熱折出合適的彎曲度，作為讓預蛹可以離開食物爬到此層化蛹並羽化為成蟲，水管的上端應穿過上層的孔洞。

- 4.將三層整理箱依序組合後，將廚餘以食物調理機切碎後放入中間的廚餘分解層，再放入幼蟲，表面再以加過酵母與黑糖的麥麩覆蓋隔絕臭味溢出。定期將底層的液態糞便取出作為植物施肥用。當觀察到有成蟲出現在最上面的羽化產卵層時，應補充海綿的水分，並定期檢查瓦楞紙的縫隙間是否有卵塊。

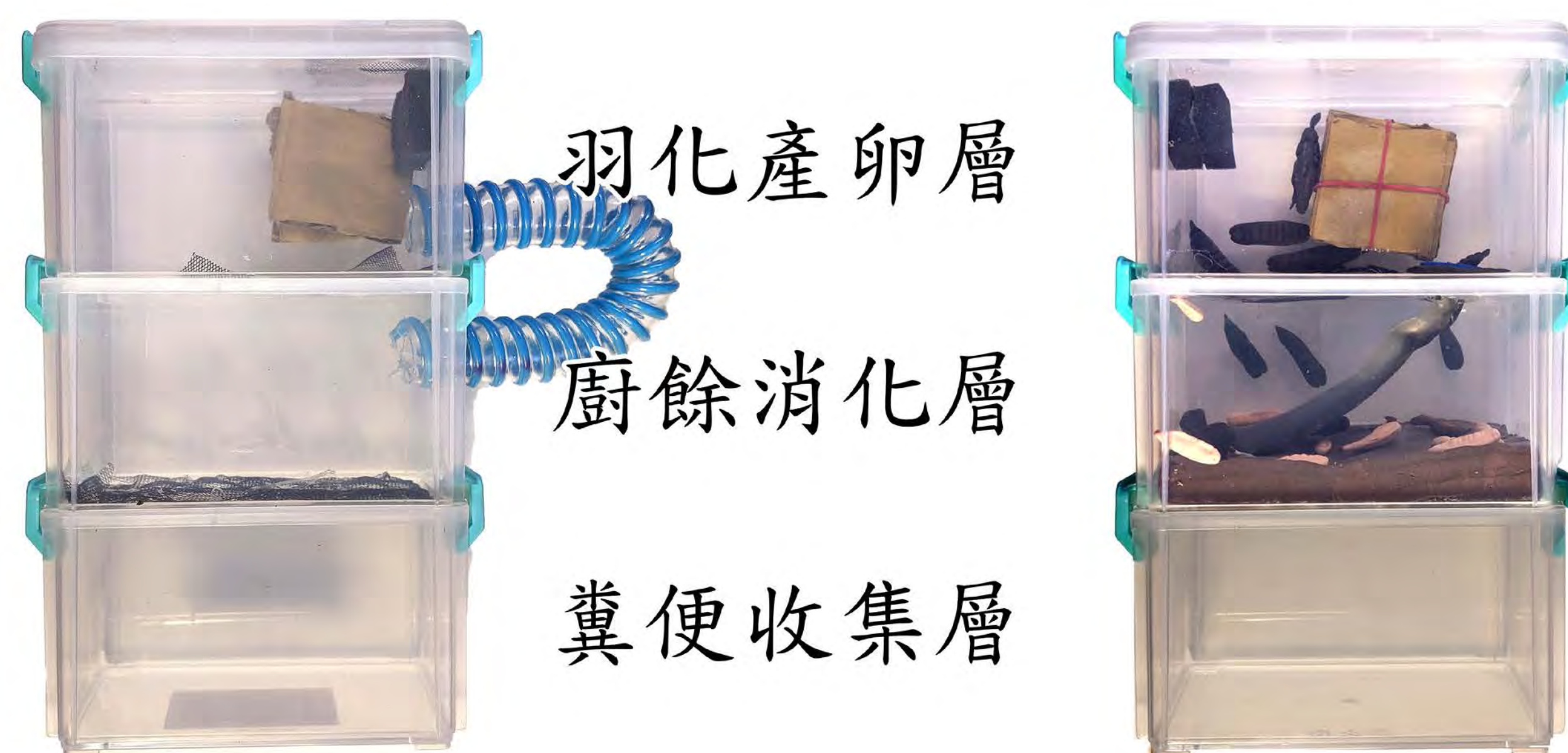


圖9-1廚餘分解模型設計圖

柒、討論

- 一. 黑水虻產卵行為研究實驗1：實驗發現材料乾燥會有螞蟻會入侵攻擊；未用紗網隔離會吸引蒼蠅產卵，生下蠅蛆與黑水虻幼蟲外型相似，初期不容易判斷。因始終未發現黑水虻幼蟲，上網查閱資料後發現黑水虻不直接產卵於食物上，雖補放了瓦楞紙製產卵板，但因材料太乾，或是因為螞蟻太多，最終沒有發現黑水虻。
- 二. 黑水虻產卵行為研究實驗2：本次實驗用紗網隔絕蒼蠅直接產卵及並用產卵板提供成蟲產卵所需要的縫隙，補充水分防止螞蟻入侵，但經過近一個月都未觀察到產卵，原推測是否因入冬導致黑水虻停止產卵，最後卻發現在表面乾燥結塊的麥麩底下有黑水虻幼蟲，此時再仔細觀察瓦楞紙板與紗網，發現有疑似蟲卵的空殼，因卵顏色跟麥麩及瓦楞紙板相近，故擬重新實驗，改變產卵板材質以便觀察。另外粉狀材料表面乾燥結塊時，應定時攪動翻開觀察是否有幼蟲孵化。本次有添加酵母菌的組別臭味較淡，氣味偏酸，未來設計模型應可利用添加益生菌的方式來減少臭味。本次原以為實驗失敗，遂從黑水虻LINE群組中徵求到了10克的蟲卵供後續實驗使用，且入冬氣溫降低，便暫停黑水虻產卵行為研究實驗。
- 三. 黑水虻產卵行為研究實驗3:本次實驗於五月梅雨季進行，實驗設計考量螞蟻的因素，將寶特瓶放在密林盆中，靠水隔離螞蟻，但發現水中會出現孑孓，須注意。另本次實驗除了第三四天放晴，其餘時間常有大雨，經常發現產卵板被雨水打落，嚴重的干擾實驗，最終僅在第三四天於麥麩兩組發現蟲卵，且所有產卵板都發霉，無法確認在正常情況他組是否會吸引黑水虻產卵，僅就本次與前次實驗結果，麥麩組皆成功吸引成蟲產卵，故推測麥麩發酵的氣味對黑水虻應有吸引力。另因同時飼養了一桶幼蟲在附近，雖然保持關閉，但是否會干擾則不得而知，重複實驗應排除此因。除了麥麩組外，其他組發臭氣味不佳，如加強氣味再重複實驗，又要避開雨水影響，難免會對他人造成困擾。
- 四. 黑水虻生活史研究1:卵的孵化期約5-7天，而畜產所報告中卵的孵化期為3-4天，推測是因氣溫較低。因低溫，在密林盆中露天飼養生長情況與活動力均較差，改在廚餘堆肥桶中則明顯改善，推測因桶身高且加蓋有保溫效果。但加蓋時發現桶內潮濕，幼蟲可沿著垂直的桶壁往外爬，應降低飼養密度。將幼蟲密度過高的桶子降低密度飼養，並嘗試不加蓋，發現黑水虻往外爬的數量就減少了。直接裸露會有蒼蠅入內產卵，同時亦發現野生的黑水虻與黃金水虻來產卵，便加紗網蓋在桶子上，以隔絕蒼蠅產卵。之後飼養狀況穩定，沒什麼變化。根據文獻，幼蟲有爬離食物化蛹的習性，此時蟲體變成黑色，稱為預蛹，推測名稱來源應是因為預蛹的型態與蛹幾乎無差別，身體皆為12節且可以觀察到口器與肛門。觀察發現預蛹仍會爬行，變成蛹則僅會蠕動。本次實驗觀察到的生活史，從卵-幼蟲-預蛹-蛹-成蟲，有完整的循環，但從卵到成蟲羽化，費時少輒42天，多者達60天以上，較文獻的34~43天多很多，推測主要跟氣溫有關。
- 五. 黑水虻生活史研究2: 本次實驗採用麥麩作幼蟲食物主要是因保存及使用方便，再則後續實驗中要使用幼蟲，麥麩應較廚餘好分離，也較無異味，加入黑糖則是要加速發酵可以讓溫度提升，並減少發霉，降低臭味。根據前次實驗，保溫可加速幼蟲成長，隔水飼養能隔絕螞蟻，但實驗之初沒注意到直接將密林盆放在水裡會導致麥麩降溫，經墊高隔絕，發現麥麩溫度因為發酵而升高。實驗約兩週後又蟲即長到2cm長，可明顯觀察到溫度對成長速率的影響。
- 六. 黑水虻處理消化廚餘之歷程實驗1:使用篩網分離黑水虻跟麥麩很困難，因為麥麩會像滾湯圓一樣結球，難以分離，最後靠人工撿拾黑水虻，因靠人工所以難以將成為預蛹的深色黑水虻挑乾淨，且使用開放的密林盆，實驗時幼蟲不停爬出，下次實驗應改善分離方法，並挑出預蛹。實驗結果有加入米飯的組別大多消化完畢，菜葉在未腐爛前又蟲不吃，下次實驗時擬嘗試將菜葉絞碎進行比較。
- 七. 黑水虻處理消化廚餘之歷程實驗2:本次實驗分離黑水虻跟麥麩是用水管直接沖洗，效率提昇許多。本次採用人工用剪刀將菜葉剪碎，實驗的結果無顯著差異，重複實驗擬用調理機切碎進行比較。改裝在塑膠罐中觀察較方便，但遭遇鎖緊缺氧及不明原因開蓋讓幼蟲爬出兩個問題。重覆實驗改至室內發現罐蓋仍自行開啟，推測應是幼蟲將罐蓋擠開，雖然立即以銳器鑽孔，但鑽孔數量太少容易被幼蟲爬上後堵住，導致缺氧死亡或是活動力下降。另外用調理機絞碎的菜葉可觀察到消化較快，但發現缺乏食物的幼蟲會往罐壁上爬找尋食物，推測在小瓶罐放50克的幼蟲太多。另麥麩組變化不易觀察，故下次實驗擬不採用，改以未放入幼蟲作對照組。
- 八. 黑水虻處理消化廚餘之歷程實驗3: 本次實驗要採集黑水虻時發現，養在水裡的幼蟲可直接撈起免過篩，後續實驗皆改以此法處理。本次實驗增加未放蟲的對照組，發現沒有幼蟲會發霉。另為改善透氣增加鑽孔，比孔洞略小的果蠅會跑入，補救的方式是貼上透氣膠布再用針頭戳出孔洞，本次實驗未再發生缺氧導致幼蟲死亡的情形，未來實驗建議改以紗網覆蓋，並以橡皮筋捆緊即可。
- 九. 建立黑水虻分解廚餘再利用之簡易模型:本次實驗前大家各自繪製了理想中的廚餘分解模型，經過討論後決定以三層的草圖為藍本，設計出一個迷你版的模型。在學校中要推廣的模型，除了要對環保有所助益，操作方便及臭味控制都是很重要的，原本還想補做減少臭味的實驗，例如做添加農用益生菌與市售酵母菌的差異，以及可以用什麼材料覆蓋並隔絕氣味，不過因為時間不足的因素，最後還是決定使用先前實驗中確認過氣味相對較佳的麥麩作為覆蓋隔離臭味的材料。另本模型畢竟是迷你版，如放大操作可能會衍伸的一些其他問題，就留待之後的延續實驗再做探討了。

捌、結論

- 一、在黑水虻產卵行為研究實驗中發現，避免螞蟻前來很重要，不管是直接加水或是用水隔離都可以考慮，但要注意冬天低溫的因素；實驗設計應該防止其它種類昆蟲侵擾，另應準備產卵板便於觀察成蟲是否產卵，並應定時翻開材料觀察是否有幼蟲躲在底層。
- 二、黑水虻生活史研究中發現，卵孵化時間約3天，幼蟲約14天就可以長到3公分長，約18天就有預蛹爬出斜坡，蛹期約16-30天，成蟲壽命約7天。另外需定期觀察黑水虻的體色是否在過小的情況下開始變深，若有則表示需要補充食物，避免其過早化蛹。另宜注意飼養密度是否過高，過高會導致黑水虻脫逃尋求食物。
- 三、在探討黑水虻處理消化廚餘之歷程，建立黑水虻分解廚餘再利用之簡易模型中發現，黑水虻幼蟲消化等重的米飯約需要1~2天，消化等重的蔬菜需要3~4天，食物的熱量越低，黑水虻爬上瓶壁的比率就越高，故而在利用黑水虻消化廚餘時，要盡量避免僅有菜葉類這樣低熱量的材料作為黑水虻的食物。另外黑水虻雖然可以消化廚餘，但必須等待食物腐敗或是先絞碎。所以後續在設計廚餘分解模型時，如不考慮採用絞碎的方式，則必須要特別注意不能讓臭味溢散，或是利用添加益生菌的方式減少臭味。

玖、參考文獻

- 1.梁世祥(2017)·農業循環經濟之藍海策略-黑水虻異軍突起·畜產專訊第101期·行政院農業委員會畜產試驗所·2019年3月19日取自 <https://www.tlri.gov.tw/resource/upload/f5202683-d084-441a-923a-c7390d95fad4/0d0c13a9-75ba-48fb-a51a-0f886bc93a09.pdf>
- 2.康芷菱、陳一婷、鄭嘉妤(2017)·廚餘分解-水虻幫幫忙·中學生網站小論文·2019年3月19日取自 <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2018/11/2018110208043717.pdf>
- 3.楊于萱、陳硯琳、魏鳳汝(2018)·你當我吃塑的? -臺灣小蠟蟲攝食環保型塑膠之探討·中華民國第58屆中小學科學展覽會·國立台灣科學教育館·2019年3月19日取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-030303.pdf>