

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生物科

080306

蟲蟲不危機-廚餘好幫手黑水虻發熱的探討

學校名稱：嘉義縣中埔鄉和睦國民小學

作者： 小五 黃宥翔 小五 李翎暄 小五 詹于葳 小五 黃亮月 小五 黃士瀚	指導老師： 余健良 李宗憲
---	-------------------------

關鍵詞：黑水虻、廚餘、發熱

壹、摘要

本研究利用黑水虻分解食物產生熱量的特性，對黑水虻進一步的探討。蟲卵的顏色為淡黃色，以麥麩為底將卵放在上面，在光線黑暗的地方，室溫下約2~5天孵化。幼蟲對環境溫度、光線及濕度會有影響。幼蟲食量非常驚人，廚餘可以有效的被分解，但研究中發現幼蟲對水果皮、生空心菜、發霉麵包最上層、有些整顆水果（例如：蘋果、柑橘、柳丁等）沒有切開皆不吃。觀察黑水虻進食時溫度變化情形，發現食用澱粉類食物，飼料換肉率高達4.67，最低是水果類(芭樂)飼料換肉率2.29，進食時4到10小時會產生溫度高達41度，水果類(蘋果)放出熱量達380卡，蛋白質類放出熱量達1080卡。將其排泄物種植小白菜，生長較茂盛。

貳、研究動機與目的

一、研究動機

現代科技進步，食物源取得容易，研究顯示台灣的廢棄物總量在2021年突破1000萬噸，雖然疫情影響讓廚餘總量有減少，但每年還是累積近50萬噸，平均每天約1300餘噸的廚餘進入掩埋、焚燒階段⁽¹⁸⁾。大量廚餘、畜牧場動物糞便，會造成環境汙染，查詢文獻結果顯示黑水虻，如圖1所示，幼蟲以動物糞便、植物殘骸等腐爛有機物為食的特性，且不會造成環境惡臭、傳播畜禽動物疾病、危害農作物與干擾人類生活⁽¹³⁾。

進一步觀察黑水虻除了能分解廚餘外還能利用黑水虻做什麼事情？於是向邑米大生態農場索取一些黑水虻蟲卵，研究如何黑水虻對食物的選擇性及分解廚餘的同時還有沒有其他的發現。



蟲卵



幼蟲



交配



成蟲

圖 1 黑水虻各階段型態⁽¹³⁾⁽¹⁶⁾

二、研究目的

- (一) 探討黑水虻飼養的條件及觀察其一生的變化。
- (二) 觀察黑水虻進食溫度變化情形、吃完的時間、計算飼料換肉率(FCR)。
- (三) 觀察黑水虻食物分解率即釋放出熱量。
- (四) 利用黑水虻一生的排泄物來種菜。

叁、研究過程與方法

一、文獻回顧

(一)黑水虻⁽⁵⁾⁽¹⁴⁾

黑水虻（學名：*Hermetia illucens*）又名亮斑扁角水虻，是雙翅目水虻科扁角水虻屬的一種昆蟲，在世界各地都有其蹤跡。黑水虻可分為卵、幼蟲、蛹和成蟲 4 個階段，如圖 2 所示，卵孵化所需時間大約 2~5 天，孵化後幼蟲可分為 6 個年齡期，幼蟲期共約 14 天。剛孵化之 1 齡期幼蟲體長約 0.1 公分，齡期間以脫皮劃分，第 6 齡期幼蟲稱作預蛹，體長約 2.5 - 2.8 公分。此階段幼蟲體色開始變黑、停止攝取食物並爬出培養基尋找化蛹場所，蛹期約 14 天變態為成蟲，成蟲約可存活 9 天。成蟲身體主要為黑色，有黑翅、口器退化，體長約 15~20mm，雌蟲腹部略顯紅色，雄蟲腹部偏青銅色，如表 1 所示。

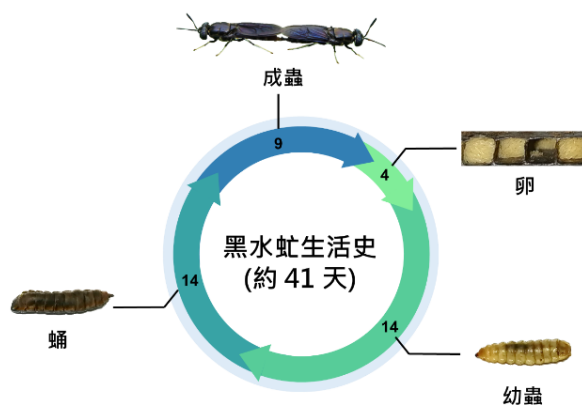


圖 2 黑水虻生活史⁽¹⁴⁾

表 1 黑水虻個階段特徵⁽⁹⁾

成長時期	壽命	長度	顏色形狀	特色
卵	2-5 天孵化	1 mm	米白橢圓形狀	1. 後其顏色逐漸加深 2. 一次產卵約 700-1000 顆
幼蟲	10-14 天	長 18mm 寬 6mm	1. 體型豐滿 2. 頭部很小 3. 黃色變黃黑色 4. 共有六個齡期	1. 食取有機資源 2. 結蛹前不進食
蛹	10 天		1. 蛹殼暗黑色	1. 成蛹前會自動找尋乾燥地方結蛹。 2. 結蛹後不進食。
成蟲	5-8 天	15-20mm	1. 灰黑翅 2. 口器退化 3. 身體黑色 4. 第二節腹部有白色透明斑點	1. 不進食只會喝水 2. 母虻產卵後即死亡 3. 產卵地方在安全縫隙中

(二) 黑水虻應用 ⁽¹¹⁾⁽¹⁹⁾

應用黑水虻提升有機資源物管理附加價值，有機資源物經固液分離收集後，固形物應用黑水虻幼蟲處理營養再循環，最後可將幼蟲精煉油脂作為生質柴油和潤滑油應用，蛋白質做為保健食品、飼料或餌料產品。黑水虻排泄物做為改善耕地土壤的肥力與物理化學性質的資材，蛹殼能回收甲殼素，純化幾丁寡糖，在工業、農業、醫藥和美容產業上都能應用，如圖 3 所示。

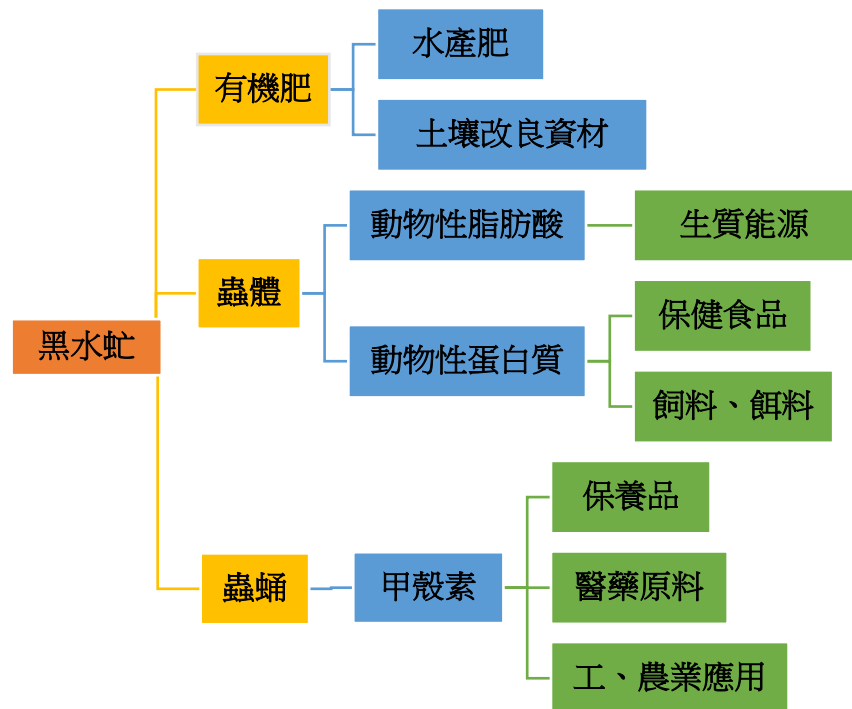


圖 3 黑水虻的應用

(三) 飼料換肉率 ⁽⁴⁾

飼料換肉率 (Feed Conversion Ratio, FCR) 為多少飼料可以換多少肉，為有效地轉換糧食指標，飼料換肉率數字愈低，則效率愈好，對環境較為友善。FCR 低=吃越少飼料就可以長 1 公斤的肉，反之，FCR 高=要吃越多飼料才能長 1 公斤的肉。體重越高，所需要的維持能量就越高，換句話說，「體重越重就要吃越多飼料來換肉」

$$\text{飼料換肉率 (FCR)} = \frac{\text{攝食飼料重}}{\text{動物體增重}}$$

(四) 熱量 ⁽¹⁰⁾

熱量是一種能量，代表物體所含熱的多寡。當物質的溫度及狀態改變時，熱量也會隨之改變。當物體溫度升高時，此時為吸熱；反之，當物體溫度降低時，此時為放熱。無論物體吸熱或者放熱，質量皆不改變。熱量的單位為卡 (calorie, cal)，為使 1 公克的純水升高或降低 1°C 所吸收或釋放的熱量，熱量計算公式： $H = M \times S \times \Delta T$

$H =$ 熱量 $M =$ 質量 $\Delta T =$ 溫度變化(°C)

$S =$ 比熱 (specific heat) 為每單位質量升高或降低單位溫度，所吸收或釋放的熱量。

二、研究架構

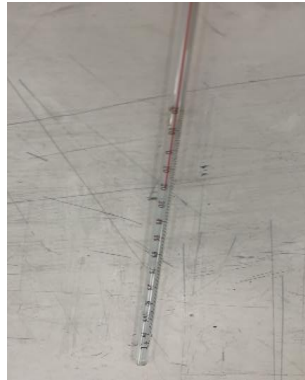


三、設備與材料

(一) 設備



黑水虻產卵器
Black soldier fly ovipositor



溫度計
Thermometer



小型觀察飼養盒
Larvae breeding box



電子秤
Electronic scaler



塑膠花盆
Plastic flower pot



溼度計
Hygrometer



成蟲小型觀察盒
Small breeding box



水箱
Small water tank

(二) 材料

1. 黑水虻卵。(邑米社大生態農場)
2. 麥麩。(雜貨店)
3. 小白菜種子。(雜貨店)
4. 廚餘、水果。(學校廚餘)
5. 保溫容器
6. 燒杯

四、研究方法

A、黑水蛇飼養

【實驗A1】卵期觀察

前言：將從邑米社大生態農場索取之黑水蛇蟲卵觀察其外觀，找出孵化最佳條件。

步驟：

1. 實驗變因：明亮/黑暗。
2. 將蟲卵從黑水蛇產卵器中取出 (圖 4)，各取 3 公克的蟲卵放置於飼養箱中。
3. 觀察五天在明亮處及黑暗處卵的形體與顏色變化並紀錄。



圖 4 飼養黑水蛇

結果：

1. 蟲卵放置明亮處孵化機率占 5%，放置黑暗處孵化機率高達 100%。
2. 蟲卵顏色為淡黃色，室溫下放置黑暗處約 2-5 天可以全部孵化為幼蟲(圖 5) (圖 6)。

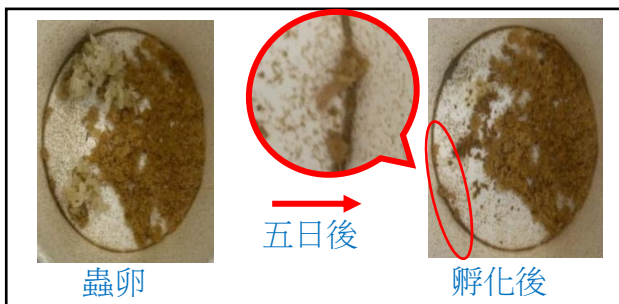


圖 5 明亮組蟲卵孵化情形

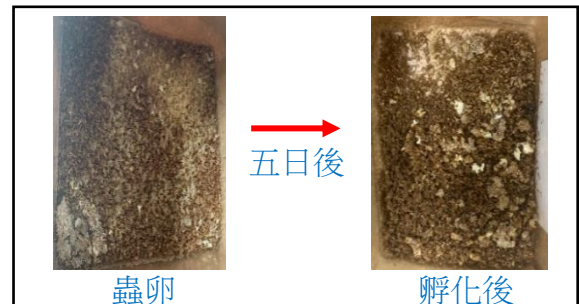


圖 6 黑暗組蟲卵孵化情形

討論：

1. 將黑水蛇蟲卵取出放置於飼養箱中後，在飼養箱中要將麥麩表面沾溼，可以觀察到在黑暗中孵化率會提高，可能是蟲卵怕光。
2. 黑水蛇孵化天數均為2-5天，孵化後黑水蛇要裝好以免逃離孵化箱。

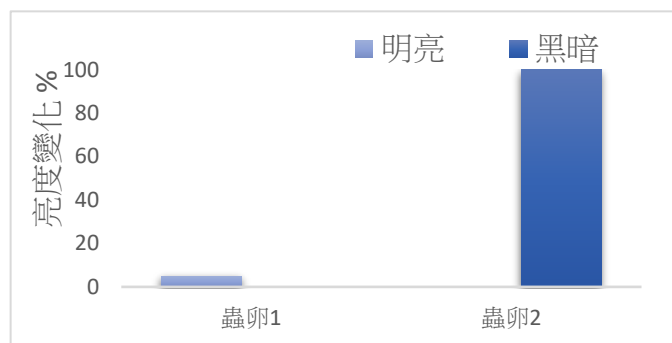


圖 7 黑水蛇蟲卵孵化亮度之比較

【實驗A2】黑水虻幼蟲的生長環境

a. 黑水虻幼蟲生長環境 - 光線

前言：本實驗探討幼蟲適宜的生長環境，加入麥麩後觀察其適應度。就光線討論幼蟲適應的生長環境。

步驟：

1. 實驗變因：光線對幼蟲在麥麩上觀察其適應度。
2. 取幼蟲 40公克及麥麩共300公克各放入飼養箱中。
3. 在室溫下觀察幼蟲在明亮及黑暗處的適應情形。
4. 找取幼蟲生長最合適的環境。

結果：

1. 發現幼蟲在明亮處不到30秒就會躲到麥麩下讓周遭環境較暗 (圖7)。



討論：

1. 幼蟲有厭光性，不喜歡光亮處。
2. 推測幼蟲喜歡在黑暗的地方是因為比較有安全感。

圖7 光線不同黑水虻幼蟲適應度

b. 黑水虻幼蟲生長環境 - 溫度

前言：本實驗探討幼蟲適宜的生長環境，加入麥麩後觀察其適應度。根據實驗 a. 的結果加入不同溫度討論幼蟲適應的生長環境。

步驟：

1. 實驗變因：溫度 (10°C / 28°C / 50°C / 80°C)。
2. 取幼蟲 40公克及麥麩共300公克各放入飼養箱中。
3. 黑暗處以水控制不同的溫度觀察幼蟲適應情形。
4. 因為幼蟲對環境比較敏感度，所以採取測試 3 分鐘為基準，觀察幼蟲對於溫度的適應力。

結果：

1. 以不同溫度測試幼蟲適應情形發現幼蟲在50度左右活動力會下降要翻牠們降溫，溫度升高至80度左右會死亡，室溫生長活動力適應力良好，在溫度10度左右溫度偏低活動力沒有室溫的好 (圖8、9)。

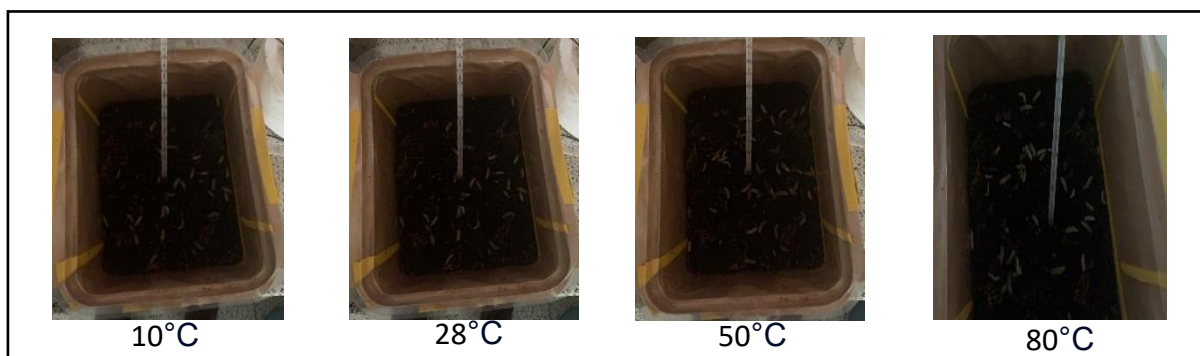


圖8 黑暗處溫度不同黑水虻幼蟲適應度

討論：

1. 由實驗a. 得知幼蟲喜歡在黑暗處，本實驗討論不同溫度下黑水虻適應情形後發現幼蟲在室溫下活動力較其他溫度好。
2. 幼蟲抗逆性強，但在高溫情況下，容易患軟腐病。

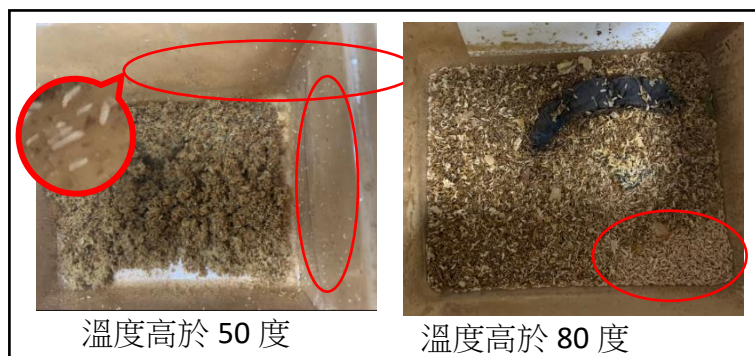


圖9 溫度不同幼蟲適應度

c. 黑水虻幼蟲生長環境 — 濕度

前言：本實驗探討幼蟲適宜的生長環境，加入麥麩後觀察其適應度。根據實驗 a. 的結果加入不同濕度討論幼蟲適應的生長環境。

步驟：

1. 實驗變因：相對溼度 ($RH > 80\%$ / $RH < 80\%$)。
2. 取幼蟲 40公克及麥麩共300公克各放入飼養箱中。
3. 在黑暗處室溫下以不同濕度觀察幼蟲適應情形(圖10)。

結果：

1. 根據實驗 a.及 b. 的結果，以不同濕度下觀察幼蟲適應性，發現幼蟲生長環境濕度適合低於 80%。

討論：

1. 發現如果濕度高於 80%，幼蟲會不適應有逃離的現象。
2. 幼蟲抗逆性強，但在濕度高情況下，容易患軟腐病，可能要保持飼養環境的通風透氣。

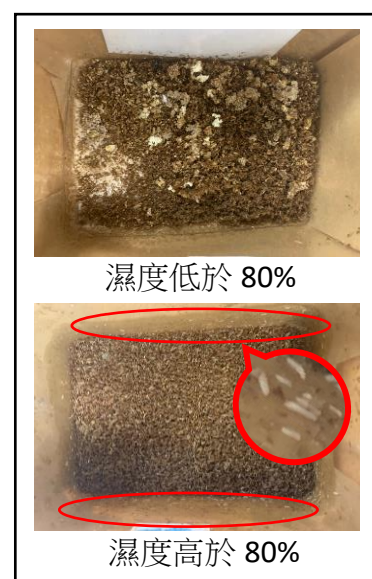


圖10 添加糖水幼蟲適應度

【實驗A3】黑水虻生長週期

前言：呼應【實驗 A1】結果，本實驗為觀察黑水虻生長週期，藉以了解各週期生長時間，可將其有效利用率提升大最大值。

步驟：

1. 經由【實驗A1】及【實驗A2】結果，了解黑水虻在孵化後至成蟲所需經歷的時間。
2. 將週期統整歸納。

結果：

1. 將黑水虻放置於黑暗飼養箱中，約 2-5 天會孵化。
2. 孵化後黑水虻給予麥麩加糖水飼養。
3. 幼蟲較大時可開始給予蔬果熟食類飼養。
4. 幼蟲生長週期約 20 天左右(圖 11)。
5. 快變成蛹的幼蟲進食率會下降。
6. 結蛹到羽化成蟲約 7 天左右。
7. 成蟲後不再進食。
8. 一個世代約 42 天左右會進行下次繁殖。



圖 11 黑水虻各階段生長情形

討論：

1. 由實驗中得知，可以大量分解食物的幼蟲形體約佔整個週期的20天左右(圖12)。
2. 幼蟲越大進食的食量也越大，體重增加及溫度會上升，可進行飼料換算率及熱量換算，可應用於農工業上。



圖 12 黑水虻生命週期⁽⁷⁾

【實驗 A4】成蟲黑水虻外觀

前言：本實驗在成蟲後觀察其外觀特徵，對其成蟲構造可以更加瞭解。

步驟：

1. 當黑水虻羽化成蟲後，觀察其外觀樣子紀錄下來。了解雄虻及雌虻外觀特色。

結果：

1. 黑水虻頭部黑色，複眼有迷彩斑紋，前胸背板為深藍色，翅膀、腹部和腳是黑色的，跗節白色(圖13)。
2. 口器退化不再進食只喝水。
3. 雄虻腹部偏青銅色且尾部為扁平狀，雌虻腹部偏紅色、第二腹節兩端各據一白色半透明的斑點、尾部較窄且產卵管凸出。
4. 黑水虻是有性生殖，黑水虻會在縫隙產卵。42天即可完成一個世代。



圖 13 黑水虻成蟲

討論：

1. 成蟲黑水虻體長約 15-20mm，比蒼蠅大很多。
2. 雄虻和雌虻體態明顯不一樣很好辨認。

【實驗B1】食物選擇性

a. 整顆水果食物選擇性

前言：給予幼蟲整顆水果觀察其進食情形。

步驟：

1. 實驗變因：柑橘類、非柑橘類。
2. 取幼蟲 40公克及土共300公克，各放入飼養箱中。
3. 柑橘類：柑橘、柳丁、檸檬。 非柑橘類：蘋果、芭樂、火龍果、麝香葡萄、奇異果
4. 根據【實驗A2】之結果給予幼蟲一整顆水果，將水果分成柑橘類及非柑橘類，觀察 2日幼蟲對兩類水果的選擇性。

結果：

1. 柑橘類的水果完全不食用 (圖 14)。
2. 非柑橘類的水果除蘋果外皆會食用且不到 48 小時就可以食用乾淨，但麝香葡萄和奇異果皆剩下皮不食用 (圖 15)。

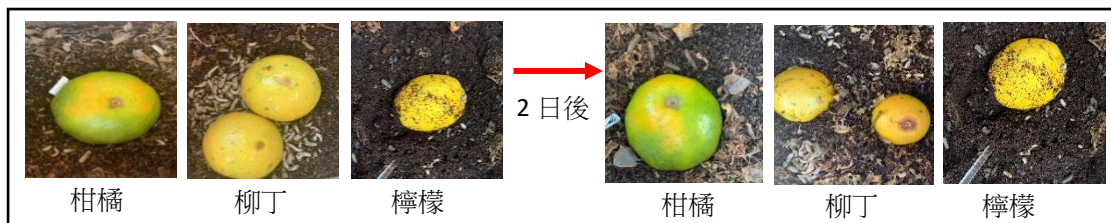


圖 14 柑橘類食物幼蟲進食結果



圖 15 非柑橘類食物幼蟲進食結果

討論：

1. 幼蟲不吃柑橘類水果的原因可能為其皮含有化學成分「檸檬烯」(Limonene)(圖16)的關係，幼蟲排斥其味道，所以不食用。查詢文獻結果顯示該成分不容於水，具有香氣，是芳香烴類的化合物，適合煉製精油。⁽³⁾
2. 非柑橘類食物測試結果皆會食用除了蘋果之外(圖17)，推測其原因為蘋果的外皮含有天然果蠟，幼蟲無法分解天然果蠟，所以不食用。查詢文獻結果顯示蘋果本身就會產生天然果蠟作為植物的保護層，為了讓水分蒸散的速度減慢，產生自然屏障。⁽¹⁵⁾
3. 麝香葡萄、奇異果的皮不吃，可能是皮含有纖維素的原因。

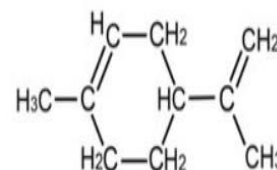


圖 16 檸檬烯化學式

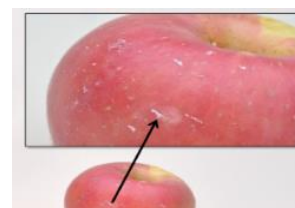


圖 17 天然果蠟

b. 半顆水果食物選擇性

前言：根據實驗 a 的結果將不吃的整顆水果切半觀察其進食情形。

步驟：

1. 取幼蟲 40公克及土共300公克，各放入飼養箱中。
2. 根據實驗a之結果將柑橘、柳丁、檸檬及蘋果切半餵食幼蟲，觀察1日幼蟲對水果的選擇性。

結果：

1. 這四種水果幼蟲皆食用果肉只剩下皮不食用 (圖 18)。

討論：

1. 柑橘類水果因為皮含有檸檬烯 (圖 16)，所以幼蟲不吃。
2. 蘋果皮不吃的原因是因為含有含然果蠟 (圖 17)。



圖 18 水果切半進食情形

c. 其他類水果食物選擇性

前言：根據上述實驗結果將香蕉皮、梨子皮、芒果肉及芒果籽餵食幼蟲觀察食物選擇性。

步驟：

1. 取幼蟲 40 公克及土共 300 公克，各放入飼養箱中。
2. 將香蕉皮、梨子皮、芒果肉及芒果籽餵食幼蟲 1 日觀察其進食情形。

結果：

1. 所以項目皆食用完畢剩下纖維不食用 (圖 19)。

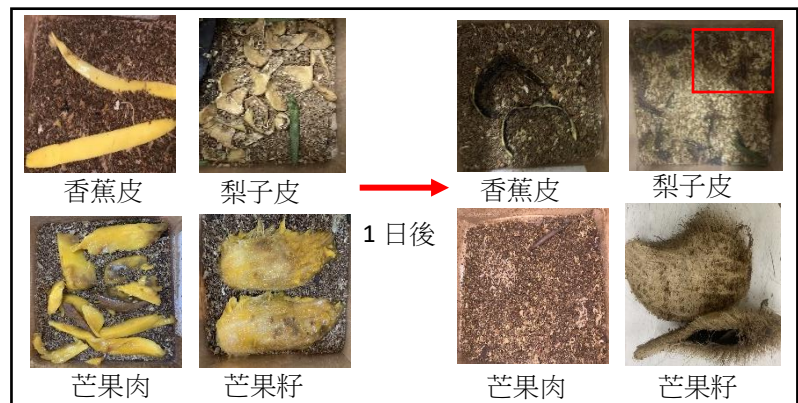


圖 19 其他類水果進食情形

討論：

1. 其他類水果餵食後皆留下纖維不吃，可能是纖維質地比較硬幼蟲無法消化。
2. 觀察到幼蟲食用芒果籽時會穿透其纖維只吃果肉。

d. 生鮮蔬菜食物選擇性

前言：將高麗菜、萵苣、空心菜、白蘿蔔、玉米、蔥、薑及蒜頭餵食幼蟲觀察進食情形。

步驟：

1. 取幼蟲 40 公克及土共 300 公克，各放入飼養箱中。
2. 根據上述實驗改成高麗菜、萵苣、空心菜、白蘿蔔、玉米、蔥、薑及蒜頭餵食幼蟲 1 日觀察其進食情形。

結果：

1. 結果顯示會吃得有：高麗菜和白蘿蔔會全部吃完；萵苣和玉米剩下中間的梗不吃；空心菜、蔥、薑和蒜皆不吃 (圖20)。



圖 20 新鮮蔬菜進食情形

討論：

1. 高麗菜和白蘿蔔為十字花科，不只黑水虻幼蟲，很多昆蟲也很喜愛以高麗菜為食。(20)
2. 萵苣的莖和玉米中間的穗軸因為纖維素含量較豐富所以幼蟲不吃。
3. 空心菜幼蟲不吃原因除莖纖維素含量豐富外，葉子因含鈣量也多所以幼蟲不喜愛。(17)
4. 蔥、薑及蒜頭因為屬於辛香料植物，富含特殊氣味幼蟲不敢靠近也不吃。(8)

e. 熟食食物選擇性

前言：將熟食類的鱈魚、米飯、地瓜、紅蘿蔔、炒蛋、綠色葉菜發霉麵包餵食幼蟲觀察其進食情形。

步驟：

1. 取幼蟲 40 公克及土共300公克各放入飼養箱中。
2. 根據上述實驗改成熟食，有鱈魚、米飯、地瓜、紅蘿蔔、炒蛋、綠色葉菜及發霉麵包餵食幼蟲1日後觀察其進食情形。



圖 21 熟食類進食情形

結果：

1. 1日後發現全部吃光 (圖21) 唯發霉麵包表層發霉部位幼蟲不吃

討論：

1. 從學校中易取得的廚餘餵食幼蟲，發現不到1日全部吃光。
2. 發霉麵包表層發霉部位幼蟲不食用，可能是黴菌的原因。

表 2 黑水蛇幼蟲對食物選擇性

項目	會吃	不會吃	項目	會吃	不會吃
整顆柑橘類		✓	白蘿蔔	✓	
整顆火龍果	✓		空心菜		✓
整顆芭樂	✓		萵苣	✓	
整顆蘋果		✓	玉米	✓	
切片水果	✓		蔥		✓
水果皮		✓	薑		✓
芒果肉	✓		蒜頭		✓
芒果籽		✓	熟食	✓	
高麗菜	✓		發霉麵包	✓	
麝香葡萄	✓		奇異果	✓	

【實驗 B2】分解食物的速度

前言：由實驗【實驗 B1】觀察到，幼蟲在分解每一樣食物時，速度都不一樣，本實驗採取兩種食物做測試，觀察將食物整顆、切半、切四等分時，幼蟲分解食物的速度有沒有差別。

步驟：

1. 取幼蟲 40 公克及土共300公克各放入飼養箱中。
2. 黑暗處室溫下將芭樂及發霉麵包分別分成整顆、對半、四等分或切碎，餵食幼蟲觀察其進食速度。

結果：

1. 將整顆芭樂餵食36小時，切半21小時，切四等分19小時吃完(圖24)。
2. 將整顆發霉麵包餵食24小時，切半24時，切碎23小時吃完，上面皮都不吃(圖24)。

討論：

1. 結果顯示芭樂因為整顆比較紮實，所以一開始要分解會比較困難。當切面變多、接觸面積變大，黑水蛇比較好分解食物，所以吃的速度比較快。(圖 22)
2. 發霉麵包來說質地比較軟，幼蟲較好分解，故切面變多進食時間並無太大差別。(圖 23)
3. 發霉麵包上面皮不吃，可能是有發霉的原因。

				芭樂		
				整顆	切 $\frac{1}{2}$	切 $\frac{1}{4}$
進食前						
進食中						
進食後						
時間	36	21	19			

圖 22 不同切面幼蟲對芭樂分解速度

				發霉麵包		
				整顆	切 $\frac{1}{2}$	切碎
進食前						
進食中						
進食後						
時間	24	24	23			

圖 23 不同切面幼蟲對發霉麵包分解速度

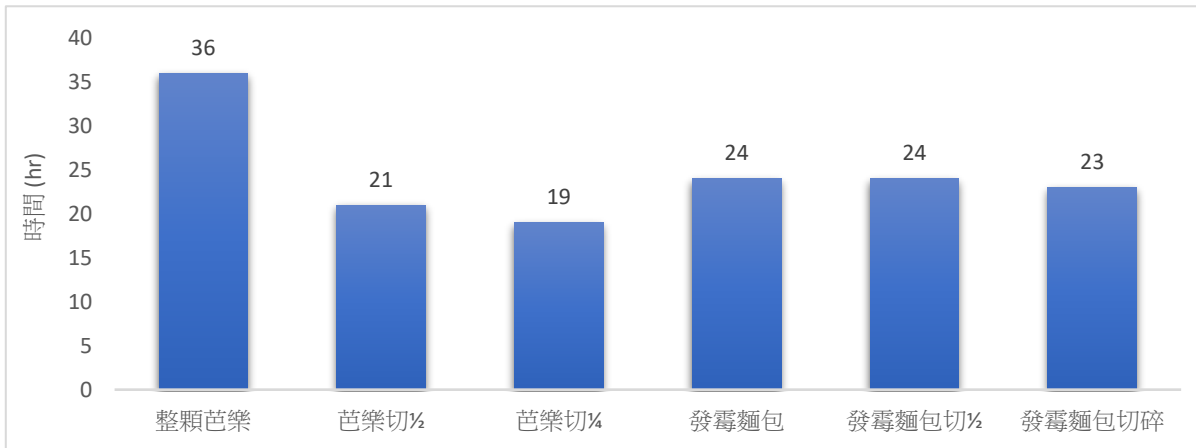


圖 24 不同食物切面幼蟲分解的速度比較

【實驗 B3】進食產生的溫度變化

前言：由實驗【實驗 A2】及【實驗 B1】得知，黑水虻在進食時會溫度會升高，最高峰會達 41 - 42 度間。

步驟：

1. 對照組為飼養箱中放入土 260 公克和預測試的食材；實驗組為飼養箱中放入取黑水虻 40 克 及土共 300 公克及預測試食材。
2. 觀察幼蟲開始進食到進食結束的溫度變化。
3. 選取水果類：芒果肉、整顆芭樂、蘋果肉，讓幼蟲覓食觀察其溫度變化。
4. 選取蔬菜類：生高麗菜，讓幼蟲覓食觀察其溫度變化。
5. 選取澱粉類：熟地瓜、熟米飯、發霉麵包，讓黑水虻幼蟲覓食觀察其溫度變化。
6. 選取蛋白質類：熟鱈魚，讓幼蟲覓食觀察其溫度變化。
7. 選取所有類別最高值統整觀察溫度最高是哪個類別。



	芒果	芭樂	蘋果
對照組			
開始溫度	28	28	28
實驗組			
最高溫	41	41	30.5

圖 25-1 水果類溫度變化

	高麗菜
對照組	
開始溫度	28
實驗組	
最高溫	36

圖 25-2 蔬菜類溫度變化

結果：

1. 幼蟲食用水果類食物，蘋果的溫度變化不大，第10小時最高30.5度。而芭樂跟芒果在第6小時和第4小時最高可達41度。(圖25-1) (表3-1)
2. 幼蟲食用蔬菜類食物，用生高麗菜餵食，進食比較慢，在第8小時達36度。(圖25-2) (表3-2)
3. 幼蟲食用澱粉類食物，熟地瓜在第6小時達到高溫41度，熟米飯第4小時溫度達41.5度，霉麵包溫度第6小時高溫36度，熟食對於溫度的提升有很大的幫助。(圖25-3) (表3-3)
4. 幼蟲食用蛋白質類食物，最高在第6小時溫度是42度。(圖25-4) (表3-4)
5. 比較所有類別來說，溫度增高最高的為食用蛋白質類，最高可達42度。溫度上升最快的為水果類的芒果，在第4小時可上升到 41度。(圖27) (表4)







	地瓜	米飯	發霉麵包
對照組			
開始溫度	28	28	28
實驗組			
最高溫	41	41.5	36

圖 25-3 澱粉類溫度變化

	鱈魚
對照組	
開始溫度	28
實驗組	
最高溫	42

圖 25-4 蛋白質類溫度變化

表 3-1 食用水果類食物溫度變化表

項目 \ 時間 (hr)	時間 (hr)								
	0	2	4	6	8	10	12	24	32
蘋果	28	28	29	29.5	29.5	30.5	30.5	29.5	28.5
對照組	28	28	28	28	28	28	28	28	28
芭樂	28	30	36	41	39	39	38.5	37	35
對照組	28	28	28	28	28	28	28	28	28
芒果	28	29.5	41	40.5	40.5	39.5	38.5	37.5	36.5
對照組	28	28	28	28	28	28	28	28	28

表 3-2 食用蔬菜類食物溫度變化表

時間 (hr)	0	2	4	6	8	10	12	24	32
生高麗菜	28	31.5	34.5	35.5	36	35.5	33.5	32.5	30.5
對照組	28	28	28	28	28	28	28	28	28

表 3-3 食用澱粉類食物溫度變化表

時間 (hr)	0	2	4	6	8	10	12	24	32
熟地瓜	28	33	39	41	41	41	41	34	33
對照組	28	28	28	28	28	28	28	28	28
熟米飯	28	34	41.5	41	41	40	40	34	33
對照組	28	28	28	28	28	28	28	28	28
發霉麵包	28	33	34.5	36	36	36	36	31	31
對照組	28	28	28	28	28	28	28	28	28

表 3-4 食用蛋白質類食物溫度變化表

時間 (hr)	0	2	4	6	8	10	12	24	36
熟鱈魚	28	30	35	42	41	41	40	29.5	29
對照組	28	28	28	28	28	28	28	28	28

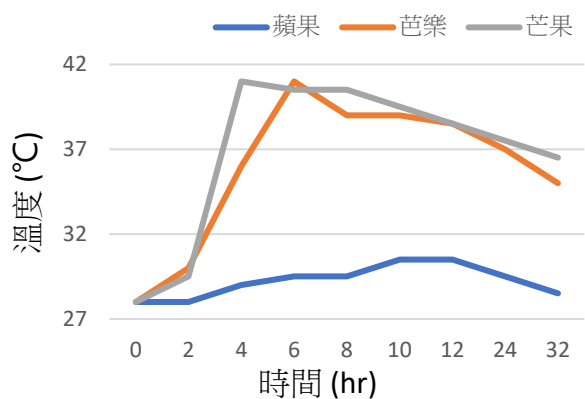


圖 26-1 水果類類溫度變化折線圖

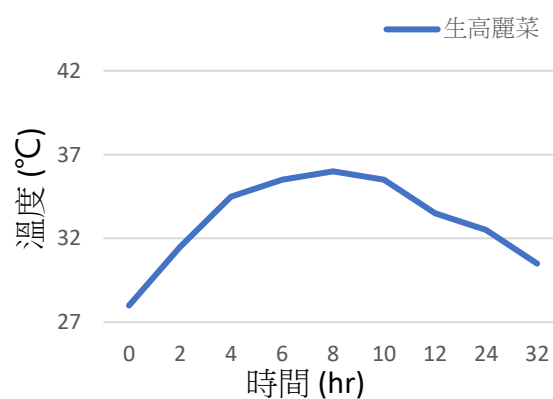


圖 26-2 蔬菜類類溫度變化折線圖

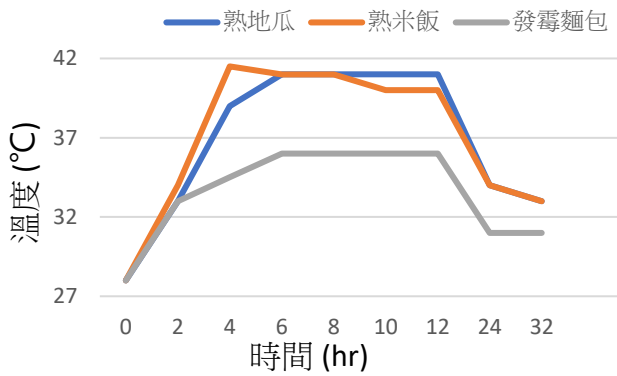


圖 26-3 澱粉類類溫度變化折線圖

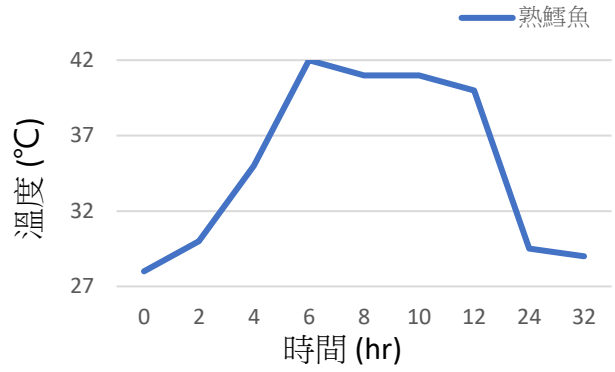


圖 26-4 蛋白質類溫度變化折線圖

各類食物溫度變化表

時間 (hr)	0	2	4	6	8	10	12	24	36
水果類	28	29.5	41	40.5	40.5	39.5	38.5	37.5	36.5
芒果									
蔬菜類	28	31.5	34.5	35.5	36	35.5	33.5	32.5	30.5
生高麗菜									
澱粉類	28	34	41.5	41	41	41	41	34	33
熟米飯									
蛋白質類	28	30	35	42	41	41	40	29.5	29
熟鱈魚									

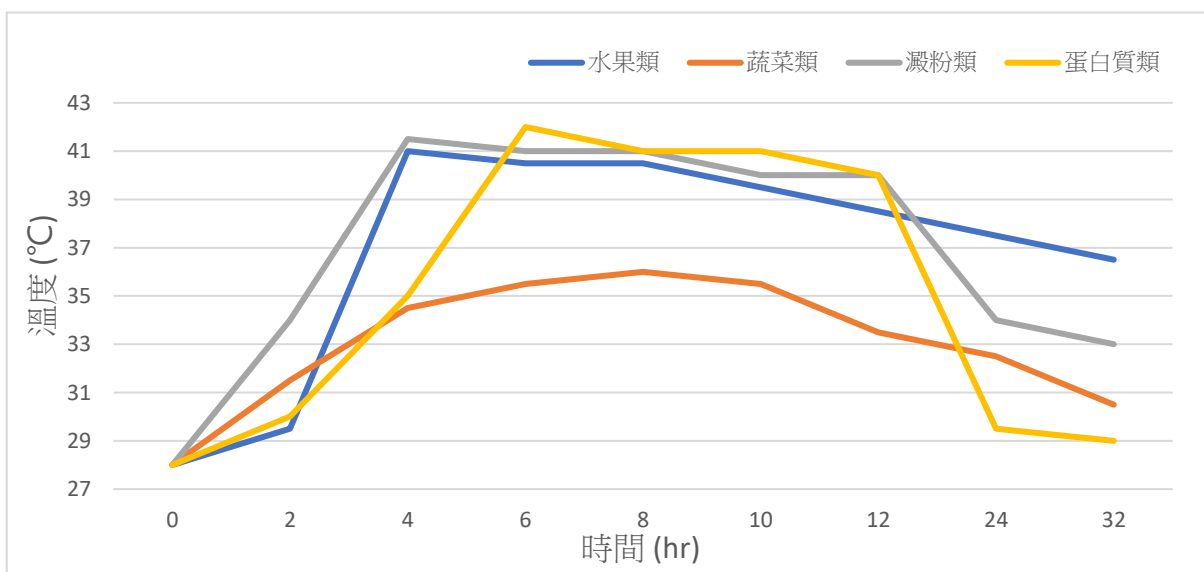


圖 27 各類食物溫度變化折線圖

討論：

1. 黑水虻幼蟲在進食時溫度會提高，溫度提高最高可達42度。後續可將高溫應用在暖暖包或者電暖爐製作。
2. 對照組實驗溫度沒什麼變化，明顯可以觀察出黑水虻在進食時溫度有提升。
3. 根據圖27顯示出黑水虻幼蟲在未進食前溫度比較低，進食後溫度才有提升。
4. 根據圖27顯示出各類食物約是在第4小時至第12小時溫度升高比較大。

【實驗B4】計算飼料換肉率 (FCR)

前言：由【實驗 B1】結果，篩選出黑水虻幼蟲對於食物的選擇性，把黑水虻喜愛吃的食物做進一步的飼料換肉率精算，將(原本食物重量-吃剩下食物重量)/(幼蟲吃完東西重量-幼蟲原本重量)，飼料換肉率可以幫助了解幼蟲應用於保健食品或其他產業應用。

步驟：

1. 實驗變因：改變進食種類，計算各種類的飼料換肉率。
2. 取黑水虻 40克，和土總重量共達 300公克各放入飼養箱。
3. 將各類別食材分別秤重後放入飼養箱。經過 36小時後紀錄重量。
4. 將36小時後的重量和原本重量一起計算出飼料換肉率。
5. 紀錄幼蟲食用水果類、蔬菜類、澱粉類和蛋白質類的情形，每項物品皆經由三次實驗取平均值計算出飼料換肉率。

結果：

1. 食用水果類食物的飼料換肉率，芒果平均飼料換肉率為2.68 (表5-1)，芭樂平均飼料換肉率2.29(表5-2)，結果顯示芭樂飼料換肉率較低。
2. 食用蔬菜類的生高麗菜的飼料換肉率，平均飼料換肉率為4.07 (表5-3)。
3. 食用蛋白質類的熟鱈魚的飼料換肉率，平均飼料換肉率為3.04 (表5-4)。
4. 食用澱粉類食物熟地瓜的飼料換肉率平均為3.41 (表5-5)，熟米飯飼料換肉率平均為4.67(表5-6)。
5. 幼蟲在食用這幾類食物時，由圖29顯示食用米飯的飼料換肉率高於其他類食物。
6. 若飼料換肉率數值越低代表成本越低。反之，若飼料換肉率越高代表成本越高。由實驗結果得知芭樂飼料換肉率最低為 2.29，最高為熟米飯，數值為4.67。

表 5-1 芒果的飼料換肉率

實驗 克	原本重	芒果	36小時	(FCR)
測試一	300	159	364	2.48
測試二	300	147	356	2.63
測試三	300	129	344	2.93
平均	300	145	354.7	2.68

表 5-2 芭樂的飼料換肉率

實驗 克	原本重	芭樂	36小時	(FCR)
測試一	300	170	374	2.31
測試二	300	185	376	2.42
測試三	300	215	401	2.13
平均	300	190	350	2.29

表 5-3 高麗菜的飼料換肉率

實驗 克	原本重	高麗菜	36小時	(FCR)
測試一	300	146	340	3.65
測試二	300	120	330	4
測試三	300	55	312	4.58
平均	300	107	327	4.07

表 5-4 鱈魚的飼料換肉率

實驗 克	原本重	鱈魚	36小時	(FCR)
測試一	300	203.5	369	2.95
測試二	300	170.5	354	3.16
測試三	300	180.5	360	3.01
平均	300	184.8	361	3.04

表 5-5 熟地瓜的飼料換肉率

實驗 克	原本重	熟地瓜	36小時	(FCR)
測試一	300	249	381	3.07
測試二	300	216.5	358.5	3.7
測試三	300	210	360.5	3.47
平均	300	225.2	366.7	3.41

表 5-6 熟米飯的飼料換肉率

實驗 克	原本重	熟米飯	36小時	(FCR)
測試一	300	339	381	4.18
測試二	300	300	358	5.17
測試三	300	280	360	4.67
平均	300	306.3	366	4.67

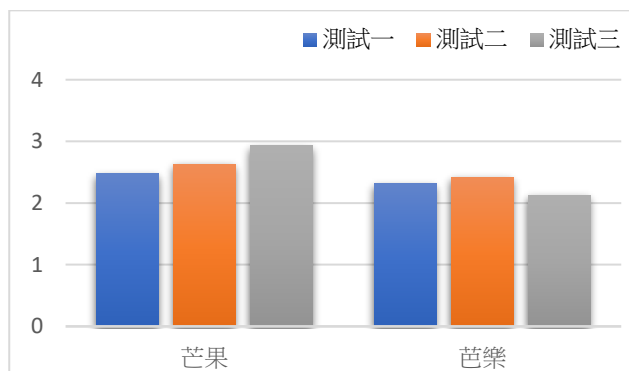


圖 28-1 水果類食物飼料換肉率長條圖

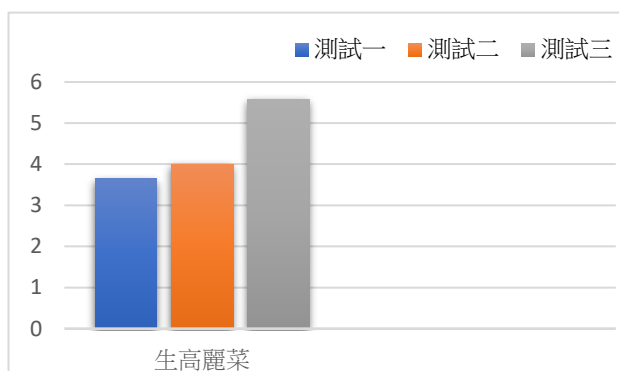


圖 28-2 蔬菜類食物飼料換肉率長條圖

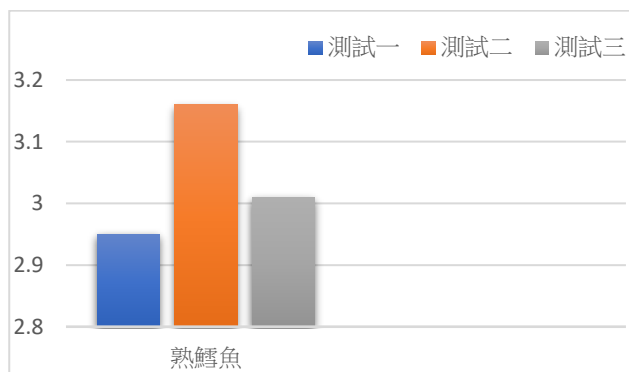


圖 28-3 蛋白質類食物飼料換肉率長條圖

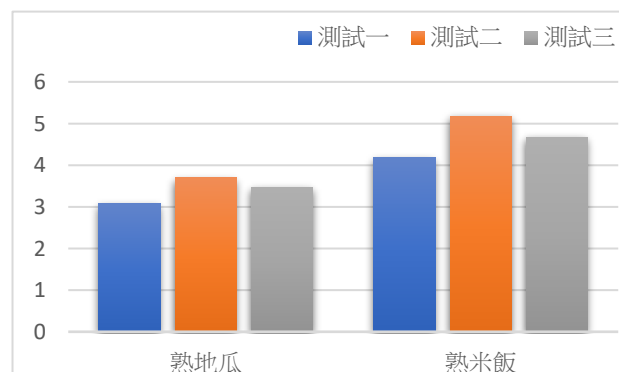


圖 28-4 澱粉類食物飼料換肉率長條圖

討論：

1. 將所有類別食物飼料換肉率比較之後發現幼蟲食用熟米飯的飼料換肉率最高，可能是熟米飯含有澱粉大分子的原因。
2. 飼料換肉率可以了解到幼蟲進食大量食材，飼料換肉率可以大幅提升。
3. 水果類為芭樂的飼料換肉率比較低，可能是芒果含有水分及糖質較多的原因。

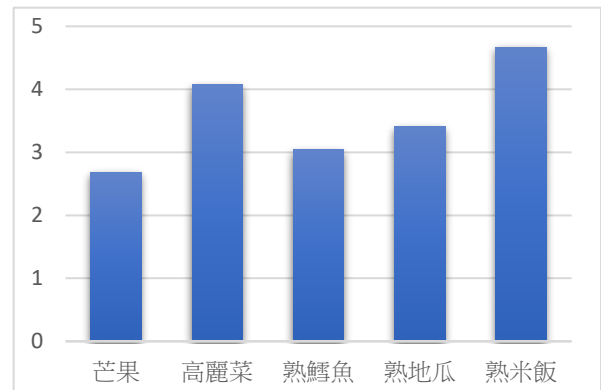


圖 29 各類食物溫度變化折線圖

【實驗B5】將食物分解釋放熱量

前言：綜合【實驗 B1】【實驗 B2】【實驗 B3】的數據，可以計算出黑水虻幼蟲在將食物分解中所釋放的熱量。

步驟：

1. 實驗變因：塑膠容器、保麗龍盒子。
2. 取黑水虻 40克，放入 1000ml的燒杯中。
3. 將蘋果和熟鱈魚分別秤重 300克放入步驟2的燒杯中。
4. 取一個塑膠容器和一個具有保溫效果的保麗龍容器個加入水100ml。
5. 將幼蟲及食材分別放入塑膠及保溫容器中實驗三次紀錄進食時溫度變化情形。(表6~9)
2. 將兩種食物分別所提供的溫度變化做釋放熱量的計算。
3. 比較所有種類的熱量。(表10)

結果：

1. 幼蟲進食時所計算出的熱量顯示熟鱈魚的熱量比較高 (表10)。
2. 幼蟲在保麗龍器內食用所釋放熱量高於在塑膠容器，蘋果最高為 380卡，鱈魚為 1080卡。

表6 幼蟲在塑膠容器內食用蘋果熱量變化表

項目 \ 時間(hr)	時間(hr)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
測試一	0	20	20	100	100	100	80	80
測試二	0	20	20	80	80	80	80	80
測試三	0	20	20	120	120	120	80	80
平均	0	20	20	100	100	100	80	80

表 7 幼蟲在保麗龍容器內食用蘋果熱量變化表

時間(hr) 項目	0	2	4	6	8	10	12	14
測試一	0	20	40	300	380	340	260	260
測試二	0	20	40	320	400	360	280	280
測試三	0	20	40	280	360	320	260	240
平均	0	20	40	300	380	340	260	260

表 8 幼蟲在塑膠容器內食用鱈魚熱量變化表

時間(hr) 項目	0	2	4	6	8	10	12	14
測試一	0	40	360	420	440	340	280	280
測試二	0	40	380	440	460	360	300	300
測試三	0	40	340	400	420	320	260	260
平均	0	40	360	420	440	340	280	280

表 9 幼蟲在保麗龍容器內食用鱈魚熱量變化表

時間(hr) 項目	0	2	4	6	8	10	12	14
測試一	0	220	480	640	980	1060	940	840
測試二	0	200	460	660	1000	1080	960	840
測試三	0	240	500	680	1020	1100	980	840
平均	0	220	480	660	1000	1080	960	840

表 10 幼蟲在不同容器中進食熱量變化平均

時間(hr) 項目	0	2	4	6	8	10	12	14
蘋果(塑膠)	0	20	20	100	100	100	80	80
蘋果(保溫)	0	20	40	300	380	340	260	260
鱈魚(塑膠)	0	40	360	420	440	340	280	280
鱈魚(保溫)	0	220	480	660	1000	1080	960	840

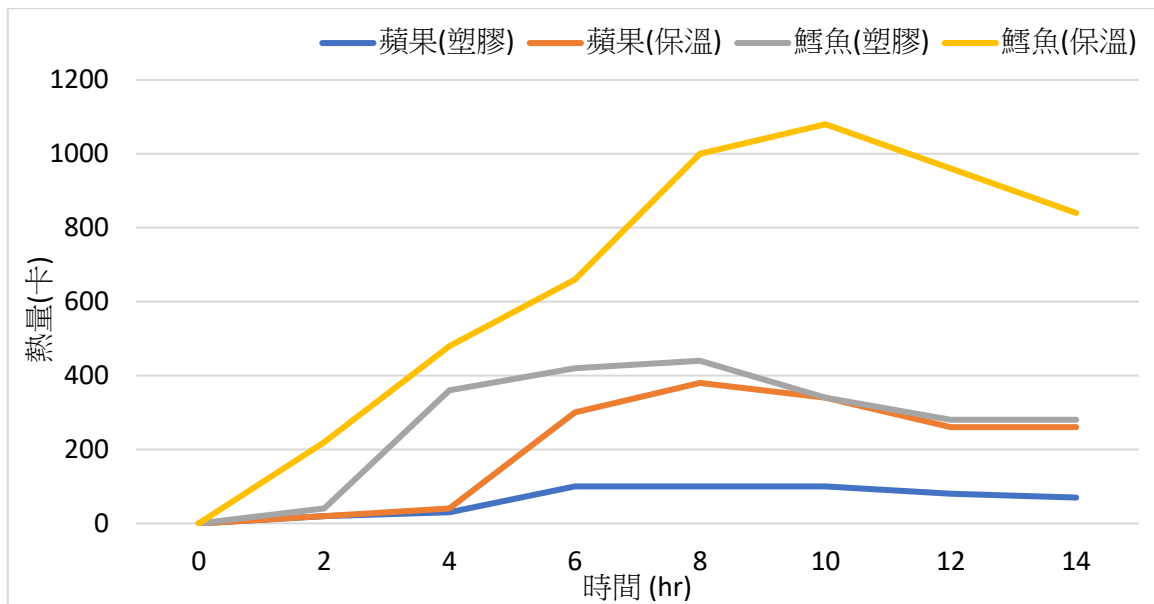


圖 30 幼蟲在不同容器中進食熱量變化圖

討論：

1. 鱈魚熱量較高，根據文獻指出其內涵豐富的蛋白質及脂質，1克蛋白質裡含有4大卡熱量，1克脂質熱量高達9大卡。⁽¹⁰⁾
2. 蘋果熱量較低，根據文獻指出蘋果成分含較多的纖維素、礦物質和水份，熱量含量較鱈魚少。⁽¹⁰⁾
3. 使用具保溫效果的保麗龍盒讓幼蟲在進食時保存釋放的熱量故熱量比較高，有保溫效果比沒保溫效果在大量進食6到8小時差2至3倍。

C、幼蟲糞便應用

※ 本實驗使用黑水虻幼蟲時期所有的排泄物與土混合種植小白菜當作實驗組，另一對照組採取用土種植小白菜，觀察兩組植物生長情形。

【實驗c1】幼蟲時期排泄物種植

前言：利用黑水虻幼蟲時期所有的排泄物為種植小白菜所需的肥料，觀察小白菜的生長情形。

步驟：

1. 實驗變因：A.排泄物添加 / B.無添加。
2. 取兩個花盆，對照組中的花盆添加土及小白菜種子。
3. 另一花盆為實驗組，添加土、黑水虻幼蟲排泄物10公克及小白菜種子。
4. 給予光線、濕度、溫度都一樣的條件，觀察其生長情形。

結果：

1. 我們發現種植下去後約第 4-5 天小白菜就發芽了，有添加糞便的實驗組比較早發芽。
2. 到第七天時幼苗並無明顯的差異。
3. 到第 14 天時有添加糞便的小白菜明顯茁壯很多。(圖 31)



圖 31 幼蟲糞便種植小白菜生長情形

討論：

1. 利用黑水蛇排泄物來種植植物發現有添加黑水蛇排泄物植物長的比較茂盛。
2. 證明幼蟲的排泄物可以應用於農業用途肥料製作。(2)

D、黑水蛇價值及探討

【實驗D1】幼蟲時期

前言：藉由以上的實驗，希望可以將黑水蛇的一生有效的應用在農工產業上，評估商品的潛力。

步驟：

1. 將幼蟲的糞便加入土中，觀察植物生長情形。
2. 關於黑水蛇蟲體的應用，測量其飼料換肉率可以作為產業應用。
3. 測量溫度及熱量可以應用於暖暖包、電暖爐製作。

結果：

1. 添加黑水蛇糞便入土中的植物明顯比未添加糞便的植物生長還要茂盛，啟發可以當作植物肥料的應用。
2. 關於黑水蛇蟲體測試飼料換肉率可以知道黑水蛇幼蟲可以大量分解食物，飼料換肉率的數值較低代表餵養的成本較低，也可以應用在產業上。
3. 測量黑水蛇的溫度及熱量顯示可以產生至 40 度左右的溫度及高熱量，未來望可以應用於工業或環保暖暖包甚至可以製作室內電暖爐。
4. 測試幼蟲分解食物的速度，可以和飼料換肉率做呼應，若應用於工業農業上可以減少成本。

討論：

1. 關於黑水蛇幼蟲的糞便可應用於農業中有機肥及土壤改良資材，根據文獻顯示可用於友善農耕或景觀種植所需。(17)
2. 黑水蛇的蟲體可以被提取研發動物與脂肪酸，根據文獻指出可以利用蟲體轉酯化反應提煉生質柴油。(6)
3. 黑水蛇幼蟲蛋白可以用魚飼料的蛋白源，乾燥的黑水蛇幼蟲粉可以應用於水產飼料裡，期營養價值極高(圖32)。(14)
4. 黑水蛇進食時所產生的溫度及熱另可以啟發未來研發室內電暖爐及暖暖包。

表 7 全脂和脫脂黑水蛇粉一班成分 (%) 表(14)

	水分	粗蛋白	粗脂肪	灰分
黑水蛇幼蟲粉				
全脂	0.06	45.26	21.60	5.73
脫脂	2.82	60.05	8.12	8.11
CNS 魚粉標準				
一級	≤12	≥60	≤12	≤20
二級	≤12	≥50	≤12	≤26
三級	≤12	≥46	≤15	≤30



圖 32 黑水蛇幼蟲(左) 全脂黑水蛇幼蟲粉(中) 脫脂黑水蛇幼蟲粉(右)(14)

【實驗 D2】蟲蛹

前言：根據【實驗 A3】指出黑水蛇在羽化成蟲時脫下的蟲蛹，來做後續的應用。

步驟：

1. 觀察黑水蛇結蛹後過多久會羽化成蟲。
2. 研究脫殼後的蟲蛹後續應用。

結果：

1. 黑水蛇羽化成蟲後的蟲蛹，因為數量非常多，於是先觀察其他黑水蛇幼蟲會不會吃殼，結果發現觀察42天後黑水蛇不論成蟲或者幼蟲皆不會食用脫下的殼(圖33)。



圖 33 羽化成蟲後的蛹殼

2. 因為蛹殼數量非常多，於是查詢文獻後續的應用於工業、農業及醫藥美容產業得原料。(13)

討論：

1. 因為蛹殼數量很多，查詢文獻結果顯示蛹殼可以永來萃取幾丁質或幾丁聚醣，也可以將其添加在飼料中，或應用於產業的原料。

肆、研究結論

一、實驗結論

A、黑水虻飼養

1. 蟲卵放置明亮處孵化機率占 5%，放置黑暗處孵化機率高達 100%。
2. 蟲卵顏色為淡黃色，室溫下放置黑暗處約 2-5 天可以全部孵化為幼蟲。
3. 發現幼蟲在明亮處不到一分鐘就會躲到麥麩下使其周遭環境較黑暗。
4. 以不同溫度測試幼蟲適應情形發現幼蟲在 50 度左右活動力會下降，溫度升高至 80 度左右會死亡，室溫生長活動力適應力良好，在溫度 10 度左右溫度偏低活動力。
5. 以不同濕度下觀察幼蟲適應性，發現幼蟲生長環境濕度適合低於 80%。
6. 幼蟲生長週期約 20 天左右，快變成蛹的幼蟲進食率會下降，結蛹到羽化成蟲約 7 天左右，成蟲後不再進食，一個世代約 42 天左右會進行下次繁殖。
7. 水虻頭部黑色，複眼有迷彩斑紋，前胸背板為深藍色，翅膀、腹部和腳是黑色的，跗節白色。
8. 雄虻腹部偏青銅色且尾部為扁平狀，雌虻腹部偏紅色、第二腹節兩端各據一白色半透明的斑點、尾部較窄且產卵管凸出。

B、幼蟲時期

1. 柑橘類的水果完全不食用。
2. 非柑橘類的水果除蘋果外皆會食用且不到 48 小時就可以食用乾淨，但麝香葡萄和奇異果皆剩下皮不食用。
3. 將柑橘、柳丁、檸檬及蘋果切半餵食幼蟲皆食用完只剩下皮。
4. 將香蕉皮、梨子皮、芒果肉及芒果籽餵食幼蟲皆食用完畢剩下纖維不食用。
5. 將高麗菜、萵苣、空心菜、白蘿蔔、玉米、蔥、薑及蒜頭餵食幼蟲，高麗菜和白蘿蔔會全部吃完；萵苣和玉米剩下中間的梗不吃；空心菜、蔥、薑和蒜皆不吃。
6. 將熟食類的鱈魚、米飯、地瓜、紅蘿蔔、炒蛋、綠色葉菜發霉麵包餵食幼蟲，1日後發現全部吃光。
7. 將整顆芭樂餵食 36 小時，切半 21 小時，切四等分 19 小時吃完，將整顆發霉麵包餵食 24 小時，切半 24 時，切碎 23 小時吃完，上面皮都不吃。
8. 幼蟲食用水果類食物，蘋果最高為 30.5 度。而芭樂跟芒果，最高可達 41 度。蔬菜類食物，採取生高麗菜餵食，最高可達 36 度。食用澱粉類食物，熟地瓜達到高峰點 41 度，

熟米飯溫度達 41.5 度，發霉麵包溫度高溫 36 度，食用蛋白質類食物，溫度是達到高峰點 42 度。

9. 水果類芒果平均飼料換肉率為 2.68，芭樂平均飼料換肉率 2.29，蔬菜類生高麗菜平均飼料換肉率為 4.07，蛋白質類熟鱈魚平均飼料換肉率為 3.04。食用澱粉熟地瓜平均為飼料換肉率為 3.41，熟米飯平均飼料換肉率為 4.67。
10. 幼蟲食用蘋果(塑膠)放出最高熱量 100 卡，蘋果(保溫) 放出最高熱量 380 卡，鱈魚(塑膠) 放出最高熱量 440 卡，鱈魚(保溫) 放出最高熱量 1080 卡。

C、幼蟲糞便應用

1. 我們種植小白菜約第4-5天小白菜就發芽了，有添加糞便的實驗組比較早發芽，到第七天時幼苗並無明顯的差異，到第14天時有添加糞便的小白菜明顯茁壯很多。

D、黑水虻價值及探討

1. 添加黑水虻糞便入土中的植物明顯比未添加糞便的植物生長還要茂盛，啟發可以當作植物肥料的應用。
2. 關於黑水虻蟲體測試飼料換肉率可以知道黑水虻幼蟲可以大量分解食物，增加體重達到較高的飼料換肉率，也可以應用在產業上。
3. 測量黑水虻的溫度及熱量顯示可以產生至 40 度左右的溫度及高熱量，可以應用於工業上。
4. 黑水虻羽化成蟲後的蟲蛹，其他黑水虻幼蟲會不會吃殼，結果發現觀察42天後黑水虻不論成蟲或者幼蟲皆不會食用脫下的殼。
5. 飼料換肉率高可以應用於保健食品、飼料、餌料及解決糧食危機。(2)

二、具體貢獻

1. 黑水虻幼蟲在進食時會釋放溫度、產生熱量，且溫度不低，討論過後可以做後續研發環保暖暖包及環保室內電暖爐，可以取代現在市面上的加熱產品達到永續環境的效果。
2. 計算黑水虻的飼料換肉率可以應用在提取與研發動物脂肪酸，根據文獻指出可以利用蟲體轉酯化反應提煉生質柴油。(6) 更有研究顯示出黑水虻幼蟲脂肪酸源，可以作為魚類生產脂肪酸不足的補充原料。黑水虻干蟲的脂肪中，其中一種成分叫做月桂酸，其占脂肪酸的 44%，

月桂算是一種高效的抗菌物質。(21)

3. 黑水虻蟲體的飼料換肉率來說，也是一種很好的蛋白質來源，可以位實雞豬等禽畜，也可以用於寵物、水產和皮毛動物等的飼料。(13)
4. 還有研究指出，黑水虻作為生態系的分解者，可以適應高病原菌的惡劣環境，可能含有有效抑制病原菌的抗生肽，在新冠肺炎後期，需要大量的抗菌產品，可望開發天然抗菌替代品，也可以永續資源。(14)
5. 黑水虻的永續循環經濟價值極高，從幼蟲到成蟲都有其可被循環利用的地方，若能有效的整合整個環節，可以開創一個農業新的世界。(13)

伍、參考資料

1. A- worm(2020) 黑水虻 (A-worm 有機農業)
2. B 型企業協會 (2023) 你敢吃蟲嗎？糧食危機嚇得低碳新解方 (商業週刊)
3. Di Pasqua R, et al. Membrane toxicity of antimicrobial compounds from essential oils. *J. Agric. Food Chem.* 2007;55(12):4863 – 4870.
4. Jasper (2023) 成本好高怎麼辦？降低豬肉生產成本的四個方法 (菁英養豬學院)
5. Shumo, M; Khamis, FM; Tanga, CM; Fiaboe, KKM; Subramanian, S; Ekesi, S; van Huis, A; Borgemeister, C. Influence of Temperature on Selected Life-History Traits of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Reared on Two Common Urban Organic Waste Streams in Kenya.. *Animals: an open access journal from MDPI.* 2019-03-02,9(3).
6. 由黑水虻脂肪酸提煉生質柴油之研究 (嘉義市第 37 屆國中小科學展覽會)
7. 明美 (2021) 體是顯微鏡用於黑水虻解剖觀察 (明美科技)
8. 林雨澤 (2019) 料裡少不了的香料植物「蔥薑蒜」，對身體好處多多！(自由時報)
9. 科學教育月刊第 249 期中華民國 91 年 5 月
10. 國中自然(3) 第五單元 溫度與熱 (翰林)
11. 梁世祥 (2017) 農業循環經濟之黑水虻藍海策略 (農傳媒)
12. 梁世祥 (2019) 黑水虻在友善農耕上肢開飛與應用 (黑水虻在友善攻上之開發與應用)
13. 郭坤峯 (2018) 用吃解決農業剩餘物的幫手-黑水虻 (台灣農業故事館)

14. 郭裔培、劉清碩、楊順德 (2024) 萌蛇懂懂的循環小幫手-黑水蛇 (農業部水產試驗所)
15. 陳家茵 (2016) 食物安全焦點 水果的外衣-蠟 (食物安全中心)
16. 彭建禮 (2020) 44 歲昆蟲博士 發現黑水蛇可以吃廚餘 (自由時報)
17. 游舒婷 (2024) 不是高麗菜！這蔬菜含鈣量超多「維生素 C 還比番茄多 1.5 倍」多雌吃能改善便便祕 (風傳媒)
18. 黃筑瑜 (2022) 剩食也能循環再生？讓黑水蛇分解廚餘，為零廢棄找尋永續關鍵！(商業週刊)
19. 新顯循環系統股份有限公司 (2022) 黑水蛇處理有機廢物資源管理附加價值概念
20. 蔡依真 (2013) 我家也有開新農場-家庭園藝之蟲害防治 (花蓮區農業專訓第 86 期)
21. 雞長 (2023) 昆蟲 (黑水蛇) 資源在飼料中的研究發展

【評語】 080306

研究主題：

探討利用黑水虻分解食物 產生熱量 的特性，對黑水虻進一步的探討。優化黑水虻飼養條件與一生變化、飼養之換肉率、熱量釋放與排泄物種菜等，對於環保議題與綠色經濟具有重要性。

創意、學術或實用價值：

本研究以黑水虻飼養與生理變化為重點，觀察相關換肉率與熱量釋出及排泄物利用等議題，具有學術與實用價值。

研究發現，幼蟲對食物的選擇性很高，偏好澱粉類食物並能有效分解廚餘，但對某些水果和蔬菜部分則不感興趣，這些觀察對於了解其生態行為和營養需求具有重要意義。

研究還觀察到黑水虻在進食過程中產生的溫度變化，特別是在食用澱粉類食物時，溫度可達到高達 41 度。這顯示了黑水虻對其食物進行有效的分解和能量轉換，同時也提供了有關其新陳代謝活動的有用信息。

科學方法之適切性：

作者說明了研究目的、詳細列出實驗材料與器材，也提供相關照片佐證實驗結果，並採用培養觀察等方式紀錄資料。得出關於飼養、幼蟲成長、糞便應用與其價值探討等的結論。

展示及表達能力：

實驗皆有重複(三次)測試，宜說明是否用同一批，或是不同批黑水虻進行測試。

未來可以進一步探索其在廢物處理、資源回收和生態系統恢復中的應用潛力。

建議可以跟其他相關文獻成果進行比較。

作品簡報



(75X20CM)

摘要

本研究利用黑水虻分解食物的特性，對黑水虻進一步的探討。蟲卵的顏色為淡黃色，以麥麩為底將卵放在上面，在光線黑暗的地方，室溫下約2-5天孵化。幼蟲對環境溫度、光線及濕度會有影響。幼蟲食量非常驚人，廚餘可以有效的被分解，但研究中發現幼蟲對水果皮、生空心菜、發霉麵包最上層、有些整顆水果(例如：蘋果、柑橘、柳丁等)沒有切開皆不吃。觀察黑水虻進食時溫度變化情形，發現食用澱粉類食物，飼料換肉率高達4.67，最低是水果類飼料換肉率2.29，進食時皆會產生溫度高達41度，水果類放出熱量達380卡，蛋白質類放出熱量達1080卡。將其排泄物種植小白菜，生長較茂盛。

研究動機

現代科技進步，食物源取得容易，研究顯示台灣的廢棄物總量在2021年突破1000萬噸，雖然疫情影響廚餘總量有減少，但每年還是累積近50萬噸，平均每天約1300餘噸的廚餘進入掩埋、焚燒階段。大量廚餘、畜牧場動物糞便，會造成環境汙染，查詢文獻結果顯示黑水虻，如圖1所示，幼蟲以動物糞便、植物殘骸等腐爛有機物為食的特性，且不會造成環境惡臭、傳播畜禽動物疾病、危害農作物與干擾人類生活。

進一步觀察黑水虻除了能分解廚餘外還能利用黑水虻做什麼事情？於是向邑米大生態農場索取一些黑水虻蟲卵，研究如何黑水虻對食物的選擇性及分解廚餘的同時還有沒有其他的發現。

研究目的

- (一) 探討黑水虻飼養的條件及觀察其一生的變化。
- (二) 觀察黑水虻進食溫度變化情形、吃完的時間、計算飼料換肉率(FCR)。
- (三) 觀察黑水虻食物分解率即釋放出熱量。
- (四) 利用黑水虻一生的排泄物來種菜。

研究架構



研究過程

A. 黑水虻飼養

【實驗A1】卵期觀察

前言：將從邑米社大生態農場索取之黑水虻蟲卵觀察其外觀，找出孵化最佳條件。

- 步驟：1. 實驗變因：明亮/黑暗。
2. 將蟲卵從黑水虻產卵器中取出(圖4)，各取3公克的蟲卵放置於飼養箱中。
3. 觀察五天在明亮處及黑暗處卵的形態與顏色變化並紀錄。



圖4 飼養黑水虻

- 結果：1. 蟲卵放置明亮處孵化機率占5%，放置黑暗處孵化機率高達100%。
2. 蟲卵顏色為淡黃色，室溫下放置黑暗處約2-5天可以全部孵化為幼蟲(圖5)(圖6)。



圖5 明亮組蟲卵孵化情形

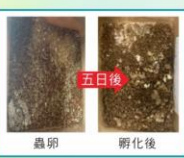


圖6 黑暗組蟲卵孵化情形

- 討論：1. 將黑水虻蟲卵取出放置於飼養箱中後，在飼養箱鐘要將麥麩表面沾溼，可以觀察到在黑暗中孵化率會提高，可能是蟲卵怕光。
2. 黑水虻孵化天數均為2-5天，孵化後黑水虻要裝好以免逃離孵化箱。

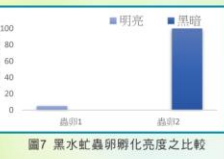


圖7 黑水虻蟲卵孵化亮度之比較

【實驗A2】黑水虻幼蟲的生長環境

a. 黑水虻幼蟲生長環境 - 光線

- 步驟：1. 實驗變因：光線對幼蟲在麥麩上觀察其適應度。
2. 取幼蟲40公克及麥麩共300公克各放入飼養箱中。
3. 相同溫度下觀察幼蟲在明亮及黑暗處的適應情形。
4. 找取幼蟲生長最合適的環境。

結果：1. 發現幼蟲在明亮處不到30秒就會躲到麥麩下使其周遭環境較黑暗(圖7)。

- 討論：1. 黑水虻幼蟲喜歡在黑暗的地方是因為比較有安全感。
2. 推測幼蟲喜歡在黑暗的地方是因為比較有安全感。



圖7 光線不同黑水虻幼蟲適應度

b. 黑水虻幼蟲生長環境 - 溫度

- 步驟：1. 實驗變因：溫度對幼蟲在麥麩上觀察其適應度。
2. 取幼蟲40公克各放入飼養箱中。
3. 黑暗處以水控制不同的溫度觀察幼蟲適應情形。
4. 因為幼蟲對環境比較敏感，所以採取測試3分鐘為基準，觀察幼蟲對於溫度的適應力。

- 結果：1. 以不同溫度測試幼蟲適應情形發現幼蟲在50度左右活動力會下降要翻牠們降溫，溫度升高至80度左右會死亡，室溫生長活動力適應力良好，在溫度10度左右溫度偏低活動力沒有室溫的好(圖8)。

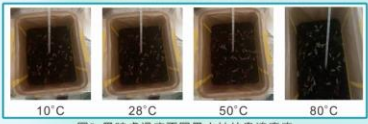


圖8 黑暗處溫度不同黑水虻幼蟲適應度

- 討論：1. 由【實驗a】得知幼蟲喜歡在黑暗處，本實驗討論不同溫度下黑水虻適應情形後發現幼蟲在室溫下活動力較其他溫度好。
2. 幼蟲抗逆性強，但在高溫情況下，容易患軟腐病。

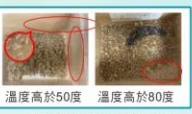


圖9 溫度不同幼蟲適應度

c. 黑水虻幼蟲生長環境 - 濕度

- 步驟：1. 實驗變因：濕度對幼蟲在麥麩上觀察其適應度。
2. 取幼蟲40公克及麥麩各放入飼養箱中。
3. 在黑暗處室溫下以不同濕度觀察幼蟲適應情形。

- 結果：1. 根據【實驗a】【實驗b】的結果，以不同濕度下觀察幼蟲適應情形，發現幼蟲生長環境濕度適合低於80%。
2. 幼蟲抗逆性強，但在濕度高情況下，容易患軟腐病，可能要保持飼養環境的通風透氣。



圖10 添加糖水幼蟲適應度

【實驗A3】黑水虻生長週期

- 步驟：1. 經由【實驗A1】及【實驗A2】結果，了解黑水虻在孵化後至成蟲所需經歷的時間。
2. 將週期統整歸納。
結果：1. 將黑水虻放置於黑暗飼養箱中，約2-5天會孵化。
2. 孵化後黑水虻給予麥麩加糖水飼養。
3. 幼蟲較大時可開始給予蔬果熟食類飼養。
4. 幼蟲生長週期約20天左右。
5. 快變成蛹的幼蟲進食率會下降。
6. 結蛹到羽化成蟲約7天左右。
7. 成蟲後不再進食。
8. 一個世代約42天左右會進行下次繁殖
討論：1. 由實驗中得知，可以大量分解食物的幼蟲形態佔整個週期的20天左右。
2. 幼蟲越大進食的食量也越大，體重增加及溫度會上升，可進行飼料換算率及熱量換算，可應用於農工業上。



圖11 黑水虻各階段生長情形

【實驗A4】成蟲黑水虻外觀

- 步驟：1. 當黑水虻羽化成蟲後，觀察其外觀樣子紀錄下來。了解雄虻及雌虻外觀特色。
結果：1. 黑水虻頭部黑色，複眼有迷彩斑紋，前胸背板為深藍色，翅膀、腹部和腳是黑色的，附節白色(圖13)。
2. 口器退化不再進食只喝水。
3. 雄虻腹部偏青銅色且尾部為扁平狀，雌虻腹部偏紅色、第二腹節兩端各據一白色半透明的斑點、尾部較窄且產卵管凸出。
黑水虻是有性生殖，黑水虻會在縫隙產卵。42天即可完成一個世代。
討論：1. 發現如果濕度高於80%，幼蟲會不適應有逃離的現象。
2. 幼蟲抗逆性強，但在濕度高情況下，容易患軟腐病，可能要保持飼養環境的通風透氣。



圖13 黑水虻成蟲

【實驗B1】食物選擇性

a. 整顆水果食物選擇性

- 步驟：1. 實驗變因：柑橘類、非柑橘類。
2. 取幼蟲40公克及土共300公克，各放入飼養箱中。
3. 柑橘類：柑橘、柳丁、檸檬。非柑橘類：蘋果、芭樂、火龍果、奇異果。
4. 根據【實驗A2】之結果給予幼蟲一整顆水果，將水果分成柑橘類及非柑橘類，觀察2日幼蟲對兩類水果的選擇性。
結果：1. 柑橘類的水果完全不食用(圖14)。
2. 非柑橘類的水果除蘋果外皆會食用且不到48小時就可以食用乾淨，但奇異果和奇異果皆剩下皮不食用(圖15)。



圖14 柑橘類食物幼蟲進食結果

【實驗B4】計算飼料換肉率(FCR)

- 步驟：1. 實驗變因：改變進食種類，計算各種類型的飼料換肉率。
2. 取黑水虻 40 克，和土壤重量共達 300 公克各放入飼養箱。
3. 將各類別食材分別秤重後放入飼養箱。經過 36 小時後紀錄重量。
4. 將 36 小時後的重量和原本重量一起計算出飼料換肉率。
5. 紀錄幼蟲食用水果類、蔬菜類、澱粉類和蛋白質類的情形，每項物品皆經由三次實驗取平均值計算出飼料換肉率。
結果：1. 食用水果類食物的飼料換肉率，芒果平均飼料換肉率為 2.68 (表 5-1)，芭樂平均飼料換肉率 2.29 (表 5-2)，結果顯示芒果飼料換肉率較高。
2. 食用蔬菜類的生高麗菜的飼料換肉率，平均飼料換肉率為 4.07 (表 5-3)。
3. 食用蛋白質類的熟鮭魚的飼料換肉率，平均飼料換肉率為 3.04 (表 5-4)。
4. 食用澱粉類食物熟地瓜的飼料換肉率平均為 3.41 (表 5-5)，熟米飯飼料換肉率平均為 4.67 (表 5-6)。
5. 幼蟲在食用這幾類食物時，由圖 27 顯示食用米飯的飼料換肉率高於其他類食物。
6. 若飼料換肉率數值越低代表成本越低。反之，若飼料換肉率越高代表成本越高。由實驗結果得知芭樂飼料換肉率最低為 2.29，最高為熟米飯，數值為 4.67。

表 5-1 芒果的飼料換肉率

測試	原本重	芒果	36小時	(FCR)
測試一	300	159	364	2.48
測試二	300	147	356	2.63
測試三	300	129	344	2.93
平均	300	145	354.7	2.68

表 5-2 芭樂的飼料換肉率

測試	原本重	芭樂	36小時	(FCR)
測試一	300	170	374	2.31
測試二	300	185	376	2.42
測試三	300	215	401	2.13
平均	300	190	350	2.29

表 5-3 高麗菜的飼料換肉率

測試	原本重	高麗菜	36小時	(FCR)
測試一	300	146	340	3.65
測試二	300	120	330	4
測試三	300	55	312	4.58
平均	300	107	327	4.07

表 5-4 鮭魚的飼料換肉率

測試	原本重	鮭魚	36小時	(FCR)
測試一	300	203.5	369	2.95
測試二	300	170.5	354	3.16
測試三	300	180.5	360	3.01
平均	300	184.8	361	3.04

表 5-5 熟地瓜的飼料換肉率

測試	原本重	熟地瓜	36小時	(FCR)
測試一	300	249	381	3.07
測試二	300	216.5	358.5	3.7
測試三	300	210	360.5	3.47
平均	300	225.2	366.7	3.41

表 5-6 熟米飯的飼料換肉率

測試	原本重	熟米飯	36小時	(FCR)
測試一	300	339	381	4.18
測試二	300	300	358	5.17
測試三	300	280	360	4.67
平均	300	306.3	366	4.67



圖 28-1 水果類食物飼料換肉率長條圖

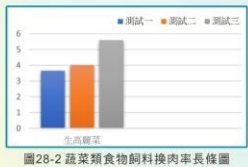


圖 28-2 蔬菜類食物飼料換肉率長條圖



圖 28-3 蛋白質類食物飼料換肉率長條圖



圖 28-4 澱粉類食物飼料換肉率長條圖

- 討論：1. 將所有類別食物飼料換肉率比較之後發現幼蟲食用熟米飯的飼料換肉率最高，可能是熟米飯含有澱粉大分子的原因。
2. 飼料換肉率可以了解到幼蟲進食大量食材，飼料換肉率可以大幅提升。
3. 水果類為芭樂的飼料換肉率比較低，可能是芒果含有水分及糖質較多的原因。

【實驗B5】將食物分解釋放熱量

- 步驟：1. 實驗變因：塑膠容器、保溫龍盒子。
2. 取黑水虻 40 克，放入 1000ml 的燒杯中。
3. 將蘋果和熟鮭魚分別秤重 180 公克放入步驟 2 的燒杯中。
4. 取一個塑膠容器和一個具有保溫效果的保溫龍容器。
5. 將幼蟲及食材分別放入塑膠及保溫容器中實驗三次紀錄進食時溫度變化情形。
6. 將兩種食物分別所提供的溫度變化做釋放熱量的計算。
7. 比較所有種類的熱量。(表 10)
結果：1. 幼蟲進食時所計算出的熱量顯示熟鮭魚的熱量比較高 (表 10)。
2. 幼蟲在保溫龍器內食用所釋放熱量高於在塑膠容器，蘋果最高為 380 卡，鮭魚為 1080 卡。

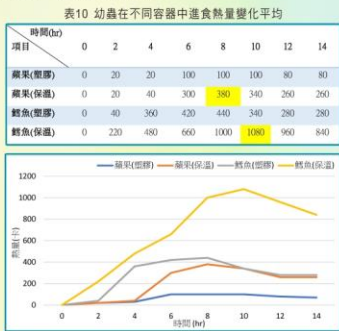


圖 30 幼蟲在不同容器中進食熱量變化圖

- 討論：1. 鮭魚熱量較高，根據文獻指出其內涵豐富的蛋白質及脂質，1 克蛋白質含有 4 大卡熱量，1 克脂質熱量高達 9 大卡。
2. 蘋果熱量較低，根據文獻指出蘋果成分含較多的纖維素、礦物質和水分，熱量含量較鮭魚少。
3. 使用具保溫效果的保溫龍盒讓幼蟲在進食時保存釋放的熱量故熱量比較高，有保溫效果比沒保溫效果在大量進食 6 到 8 小時差 2 至 3 倍。

C、幼蟲糞便應用

【實驗C1】幼蟲時期排泄物種植

- 步驟：1. 實驗變因：實驗組小白菜種植有添加黑水虻幼蟲時期排泄物，對照組用土種植小白菜。
2. 取兩個花盆，對照組中的花盆添加土及小白菜種子。
3. 另一花盆為實驗組，添加土、黑水虻幼蟲排泄物 10 公克及小白菜種子。
4. 給予光線、溫度、溫度都一樣的條件，觀察其生長情形。
結果：1. 我們發現種植下去後約第 4-5 天小白菜就發芽了，有添加糞便的實驗組比較早發芽。
2. 到第七天時幼苗並無明顯的差異。
3. 到第 14 天時有添加糞便的小白彩明顯茁壯很多。(圖 31)
討論：利用黑水虻排泄物來種植植物發現有添加黑水虻排泄物植物長的比較茂盛，應用於農業用途肥料製作。



圖 31 幼蟲糞便種植小白菜生長情形

研究結論

A、黑水虻飼養

1. 蟲卵放置明亮處孵化率占 5%，放置黑暗處孵化率高達 100%。
2. 蟲卵顏色為淡黃色，室溫下放置黑暗處約 2-5 天可以全部孵化為幼蟲。
3. 發現幼蟲在明亮處不到一分鐘就會躲到麥藁下使其周遭環境較黑暗
4. 以不同溫度測試幼蟲適應情形發現幼蟲在 50 度左右活動力會下降，溫度升高至 80 度左右會死亡，室溫生活活動力適應力良好，在溫度 10 度左右溫度偏低活動力
5. 以不同溫度下觀察幼蟲適應性，發現幼蟲生長環境濕度適合低於 80%。
6. 幼蟲生長週期約 20 天左右，快變成蛹的幼蟲進食率會下降，結蛹到羽化成蟲約 7 天左右，成蟲後不再進食，一個世代約 42 天左右會進行下次繁殖。
7. 水虻頭部黑色，複眼有迷彩斑紋，前胸背板為深藍色，翅膀、腹部和腳是黑色的，附節白色。
8. 雄虻腹部偏銅色且尾部為扁平狀，雌虻腹部偏紅色、第二腹節兩端各據一白色半透明的斑點、尾部較窄且產卵管凸出。

B、幼蟲時期

1. 柑橘類的水果完全不食用。
2. 非柑橘類的水果除蘋果外皆會食用且不到 48 小時就可以食用乾淨，但麩香葡萄和奇異果皆剩下皮不食用。
3. 將柑橘、柳丁、檸檬及蘋果切半餵食幼蟲皆食用完只剩下皮。
4. 將香蕉皮、梨子皮、芒果肉及芒果籽餵食幼蟲皆食用完剩下纖維不食用
5. 將高麗菜、苜蓿、空心菜、白蘿蔔、玉米、蔥、薑及蒜頭餵食幼蟲，高麗菜和白蘿蔔會全部吃完；苜蓿和玉米剩下中間的梗不吃；空心菜、蔥、薑和蒜皆不吃
6. 將熟鮭魚、米飯、地瓜、紅蘿蔔、炒蛋、綠色葉菜發霉麵包餵食幼蟲，1 日後發現全部吃光。
7. 將整顆芭樂餵食 36 小時，切半 21 小時，切四分 19 小時吃完，將整顆發霉麵包餵食 24 小時，切半 24 小時，切四分 23 小時吃完，上面皮都不吃
8. 幼蟲食用水果類食物，蘋果最高為 30.5 度。而芭樂跟芒果，最高可達 41 度。蔬菜類食物，採取生高麗菜餵食，最高可達 36 度。食用澱粉類食物，熟地瓜達到高峰點 41 度，熟米飯溫度達 41.5 度，發霉麵包溫度高溫 36 度，食用蛋白質類食物，溫度是達到高峰點 42 度。
9. 水果類芒果平均飼料換肉率為 2.68，芭樂平均飼料換肉率 2.29，蔬菜類生高麗菜平均飼料換肉率為 4.07，蛋白質類熟鮭魚平均飼料換肉率為 3.04。食用澱粉類熟地瓜平均為飼料換肉率為 3.41，熟米飯平均飼料換肉率為 4.67。
10. 幼蟲食用蘋果(塑膠)放出最高熱量 100 卡，蘋果(保溫)放出最高熱量 380 卡，鮭魚(塑膠)放出最高熱量 440 卡，鮭魚(保溫)放出最高熱量 1080 卡。

C、幼蟲糞便應用

1. 我們種植小白菜約第 4-5 天小白菜就發芽了，有添加糞便的實驗組比較早發芽，到第七天時幼苗並無明顯的差異，到第 14 天時有添加糞便的小白彩明顯茁壯很多。

D、黑水虻價值及探討

1. 添加黑水虻糞便入土中的植物明顯比未添加糞便的植物生長還要茂盛，啟發可以當作植物肥料的應用。
2. 關於黑水虻蟲體測試飼料換肉率可以知道黑水虻幼蟲可以大量分解食物，增加體重達到較高的飼料換肉率，也可以應用在產業上。
3. 測量黑水虻的溫度及熱量顯示可以產生至 40 度左右的溫度及高熱量，可以應用於工業上。
4. 黑水虻羽化成蟲後的蟲蛹，其他黑水虻幼蟲不會吃殼，結果發現觀察 42 天後黑水虻不論成蟲或者幼蟲皆不會食用脫下的殼。
5. 飼料換肉率高可以應用於保健食品、飼料、餌料及解決糧食危機。

具體貢獻

