

活體垃圾車---麵包蟲的神奇消化能力

壹、摘要

爲了要了解麵包蟲食用保利龍及 PE(保鮮膜)的情形,我們自 2006 年 2 月至 6 月做了以下的實驗,將自商家買來的麵包蟲分爲四組,每組 40 克,各組分別餵食老鼠飼料、PS(保利龍)、PE(保鮮膜),以及完全不餵食的對照組,每天中午紀錄其幼蟲重量,蛻變爲蛹及蛹變爲成蟲的情形,另外,也檢測其消化速率、消化道的 pH 值及糞便中的內含物。結果發現餵食保利龍及 PE 的消化時間較久,腸胃道的 pH 值也與吃老鼠飼料組的略爲不同,較偏鹼性;在幼蟲的總重量方面,總重減少的情形類似對照組,顯示其應該無法自保利龍及 PE 中獲得攝食能量,而且在糞便的分析中發現,吃保利龍組的糞便中已無原來的保利龍,可見麵包蟲是可以消化掉保利龍,但如何消化?轉變爲何物?則需進一步探討。

貳、研究動機

從小到大很喜歡養一些寵物,例如青蛙、蜥蜴、小鳥,甚至蝙蝠等,經常要買麵包蟲當作餌料,總以爲它只有被吃的份,十分可憐,直到有一天,我們無意間從網路上看到一篇關於麵包蟲吃塑膠的報導(葉志雲,2005),覺得非常好奇,麵包蟲吃塑膠不知道只是啃咬還是有攝食,若真有吞入體內,那所吃下去的東西真能吸收嗎?是否將以另外某種形式被排放出來呢?如果其真能夠將塑膠或保利龍消化殆盡,那麼垃圾問題便有了新的突破,使麵包蟲除了當餌料之外,也可對地球的環保工作貢獻一份心力。

參、研究目的

- 一、了解麵包蟲餵食保利龍及 PE 保鮮膜後的成長狀況。
- 二、了解麵包蟲餵食保利龍及 PE 後所排出來的糞便是否有消化情形。
- 三、進一步了解其腸胃道的消化機能。

肆、背景資料

一、麵包蟲的生活史

學名：黃粉蟲 (*Tenebrio molitor*)

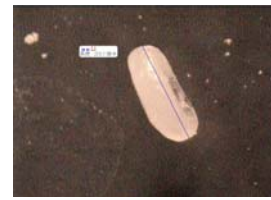
分類：屬於鞘翅目多食亞目擬步行蟲總科擬步行蟲科。

種數：全世界約有 16000 種,台灣已知約有 240 種,半數以上是台灣特有種。

成長：黃粉蟲是完全變態的昆蟲,即成蟲、卵、幼蟲、蛹四種時期。

食性：雜食性昆蟲。

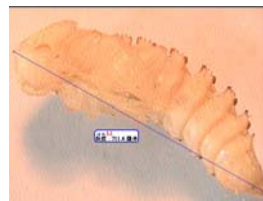
1. 成蟲期：剛羽化的成蟲很稚嫩,不太活動,約 5 天後體色變深,鞘翅變硬。蟲若營養不足,成蟲間會互相咬殺,存活期在 50 左右。



2. 卵期：長約 0.2-0.3cm，不宜翻動，防止損傷卵粒或傷害正在孵化中的幼蟲。當飼料表層出現幼蟲皮時，1 齡蟲已經誕生了。大約 8~10 天孵化。
3. 幼蟲期：卵孵化到幼蟲，化蛹前這段時間成爲幼蟲期，黃粉蟲幼蟲生長要突破外皮，經過一次次蛻皮才能長大。幼蟲期要蛻 7 次皮，每蛻一次皮，蟲體長大，幼蟲增長 1 齡。平均 9 天蛻一次皮。大約 50~60 天左右蛻變爲蛹。糞便爲細小顆粒狀。



4. 蛹期：幼蟲在蛻最後一次皮過程中完成化蛹。剛化成的蛹爲白黃色，蛹體稍長，腹部蠕動，逐漸蛹體縮短，變成暗黃色。大約 3~7 天蛻變爲成蟲。



5. 性別判斷的方法

(1) 蛹：

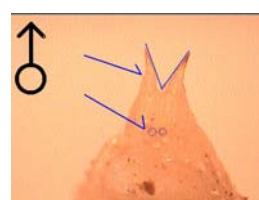
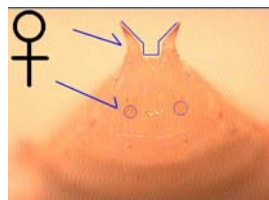
雌性：末端兩根突起呈 U 字型；兩個乳突大而明顯且較分開。

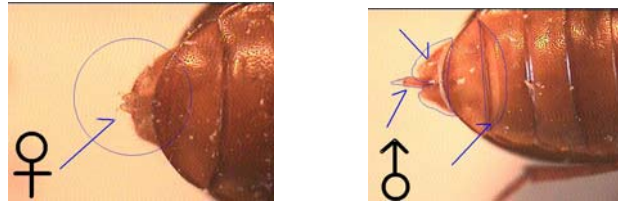
雄性：末端兩根突起呈 V 字型；兩個乳突小且較集中。

(2) 成蟲：

雌性：腹部最後的體節呈現半圓弧形；有時可見生殖孔。

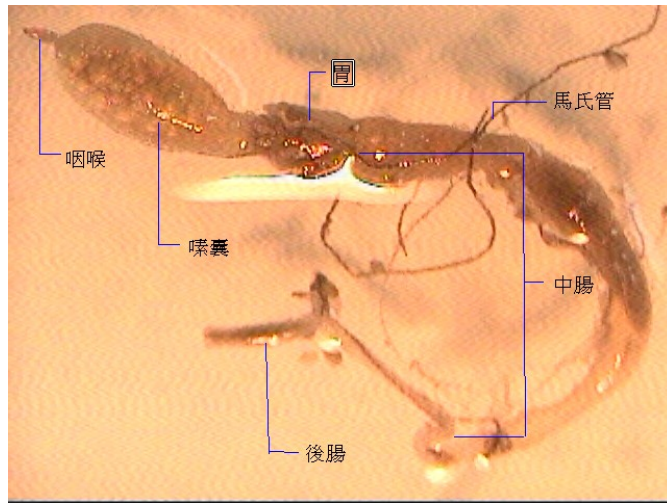
雄性：腹部倒數兩個體節之間有一層薄膜；有時可見交尾器伸出。





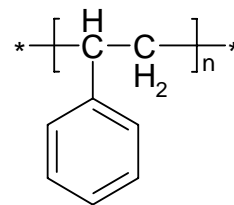
6. 幼蟲消化道(貢穀紳, 1992)

- (1) 嗉囊：為食道後方膨大部分，可儲存食物。胃小，有時不明顯。
- (2) 中腸：管狀，長短不一，為最主要的消化場所，含多種蛋白酶。
- (3) 後腸：長短大小不一，有時捲曲不明顯。
- (4) 馬氏管：4~6 條，與中腸相接，屬於昆蟲的排泄器官。



二、保利龍及 PE

1. 保利龍(PS)：發泡聚苯乙烯 (polystyrene)，化學式是



2. 保鮮膜(PE)：聚乙烯(polyethylene)，化學式是 $-(\text{CH}_2-\text{CH}_2)-n$

三、TCL 及分光光度計

1. TLC：薄層色譜(Thin Layer Chromatography)常用 TLC 表示，又稱薄層層析，比移值(R_f)的計算：

$$R_f = \frac{\text{溶質的最高濃度中心至原點中心的距離}}{\text{溶劑前沿至原點中心的距離}}$$

2. 分光光度計(簡稱 UV)

分光光度計之原理，乃是利用可見光及紫外光之燈管做為光源，通過濾光鏡調整色調後，經聚焦後通過單色光分光稜鏡，再經過狹縫光電管中將光能轉換為電器訊號，藉由樣本及空白水樣間所吸收之光能量差，測量吸光度值 (OD 值)。

伍、研究器材

1. 材料：

麵包蟲	PE 保鮮膜	保利龍	老鼠飼料
昆蟲箱	培養皿	滴管	萬用試紙(MERCK)
UV 燈	TLC 片(MERCK)	毛細管	沖堤瓶
鑷子	解剖刀、解剖針	試管	溫濕度計

2. 儀器：

電子秤	分光光度計	數位解剖顯微鏡	數位照相機
-----	-------	---------	-------

3. 藥品：

丙酮	乙酸乙酯	酒精	碘液	本氏液
----	------	----	----	-----

陸、研究過程

【實驗一】分四組飼養麵包蟲的方式

1. 直接向養殖魚店的商家購得麵包蟲，其幼蟲齡數皆平均混合。
2. 充分供應食物給麵包蟲，但保利龍需切成薄片（5x7x0.5 立方公分）以方便秤重；PE 裁成 10x5 平方公分的大小；老鼠飼料每塊的平均重量為 4.1 克，熱量為 3.12 Kcal/g。
3. 將均勻混合各齡的幼蟲，分成四組，每一組放入 40 克的幼蟲於昆蟲箱中飼養，分別餵食 PE、老鼠飼料、保利龍及對照組(無餵食任何食物)，各組實驗均控制在相同的溫度、溼度、及光線明亮度，每天中午將幼蟲秤重，觀察並紀錄其生長情況。另外，由於剛脫皮的麵包蟲容易被同伴啃咬，也需要秤重後先將它另置於培養皿中，隔天再將他放回原箱。
4. 將被啃咬及不明原因死亡的變黑蟲體挑出來，以防有病毒或真菌感染其他蟲體。
5. 有剛形成蛹者，需立即挑出來另外存放於培養皿中，以防止被其他幼蟲咬死，紀錄日期並觀察其變化，直到其蛻變為成蟲。
6. 蛻變成成蟲後，繼續以老鼠飼料、PE、保利龍等物品餵食，觀察其生長狀態。另外，將成蟲以雌雄比 2：1 的比例放入昆蟲箱中飼養，觀察其交配及產卵情形。

【實驗二】糞便的檢測

1. 收集糞便的方式：從各組中取出等量的麵包蟲先使其消化道排空，餵食後隔天再收取牠們的糞便，分別用試管存放並標籤。
2. 利用 TLC 檢驗四組的麵包蟲糞便以及保麗龍
 - (1)取 2-3 滴丙酮加入四組糞便樣品中，用玻璃棒攪拌。
 - (2)以毛細管吸附樣品溶液，滴於 TLC 上，用乙酸乙酯沖堤。
 - (3)在紫外光燈下顯色觀察結果。
3. 以分光光度計於波長 280nm 檢測是否糞便中含有蛋白質(Nelson,2000; Stoscheck,1990)。
 - (1)秤取 0.002g 的糞便置於試管中。
 - (2)配置酒精與蒸餾水體積比 2：1 的溶液。
 - (3)取 6cc.的溶液將試管中的糞便溶解後，再過濾。

- (4)取兩個石英管，分別放入濾液及步驟(2)所配製的溶液。
- (5)將石英管放入分光光度計中，檢測其 OD 值。
4. 以碘液檢測是否糞便中含有澱粉
- (1)秤取 0.03g 的糞便置於試管中。加入 2cc 的水將糞便溶解後，再過濾。
- (2)滴入 1-2 滴的碘液於試管中，觀察是否有顏色變化。
5. 以本氏液檢測是否糞便中含有葡萄糖
- (1)秤取 0.03g 的糞便置於試管中。加入 2cc 的水將糞便溶解後，再過濾。
- (2)滴入 1-2 滴的本氏液於試管中，用酒精燈加熱試管，觀察是否有顏色變化。

【實驗三】幼蟲消化道的檢測

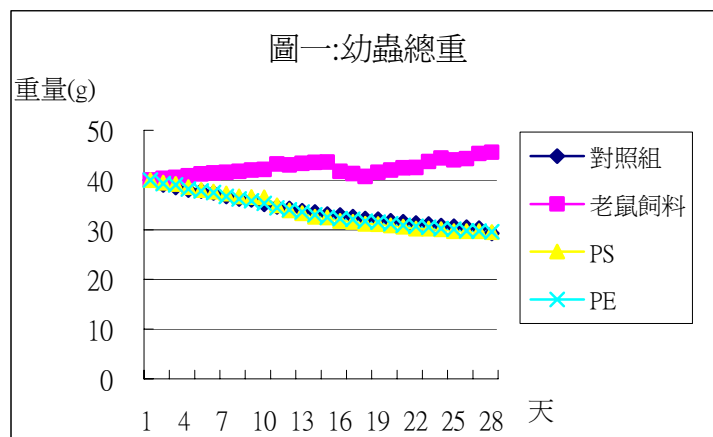
1. 以萬用試紙檢測各組麵包蟲的腸胃道，並將幼蟲中腸分割為前後兩段，分別觀察試紙變色的情況。
2. 自各組取三隻麵包蟲置於培養皿，先將麵包蟲飢餓三天，等到皆無糞便後，再餵食麵包蟲各組食物一個小時，觀察其攝食後的排泄時間，當作其消化速率。

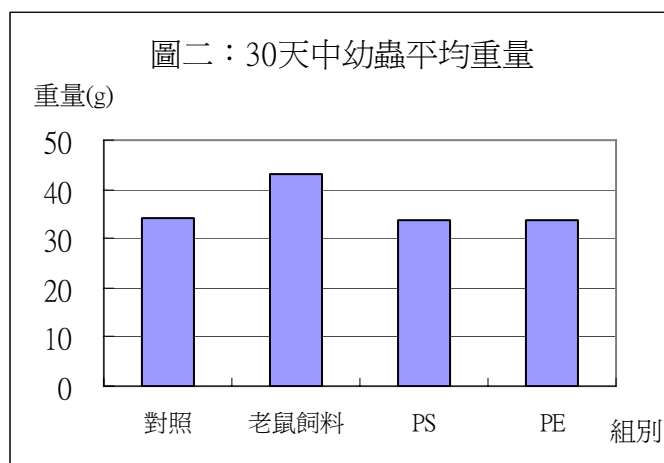
柒、研究結果

【實驗一】分四組飼養麵包蟲的觀察

1. 四組麵包蟲的重量比較

老鼠飼料組的重量較為增加，而相對的對照組是持續下降，至於 PE 組、保利龍組的重量變化和對照組一樣，下降的情形如圖一所示，這三組的折線幾乎快成爲同一條折線。由圖二可見，在 PE 組、保利龍組與對照組相似，平均重量降低許多，均不到 35 克，在飼養過程中，也偶爾可見幼蟲互吃的競爭行爲，發現被啃咬過而發黑的部分殘餘屍體，至於老鼠飼料組則較少有此種情形發生。

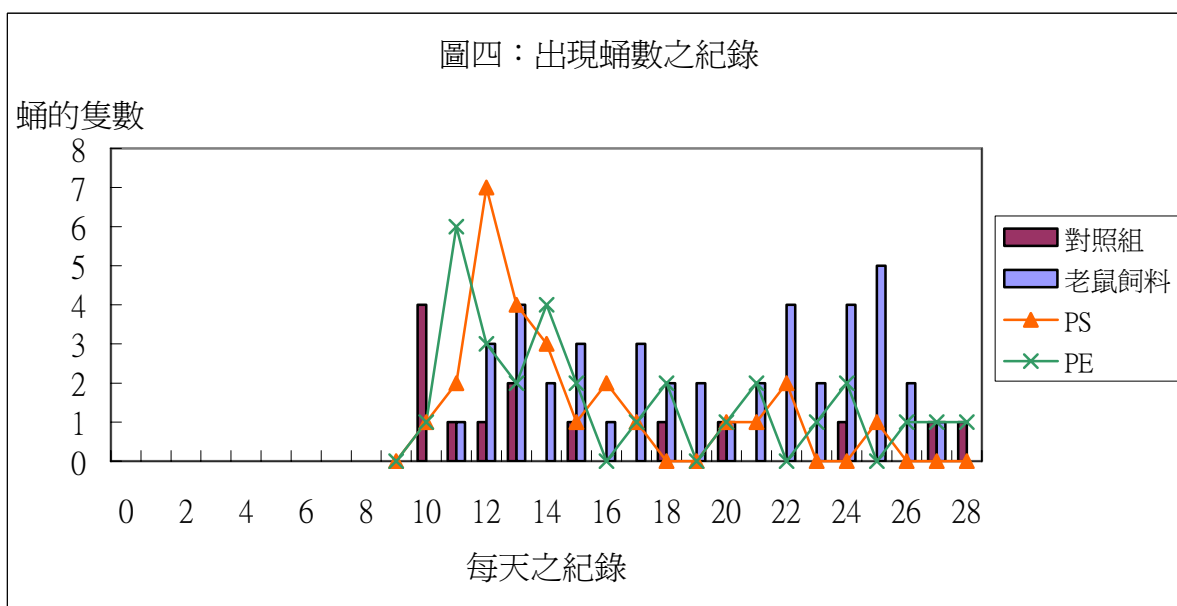
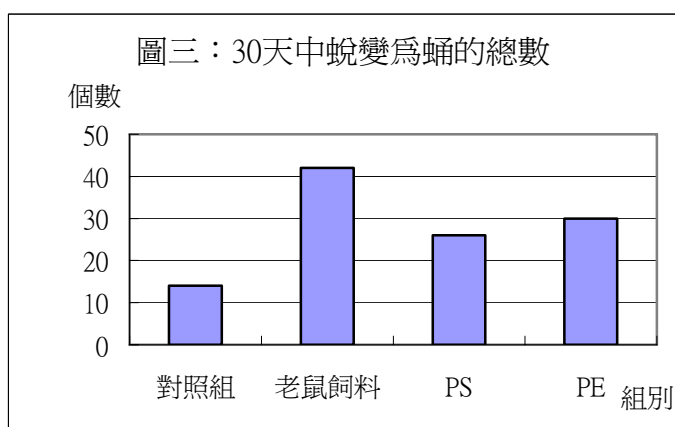




2. 出現蛹的比較

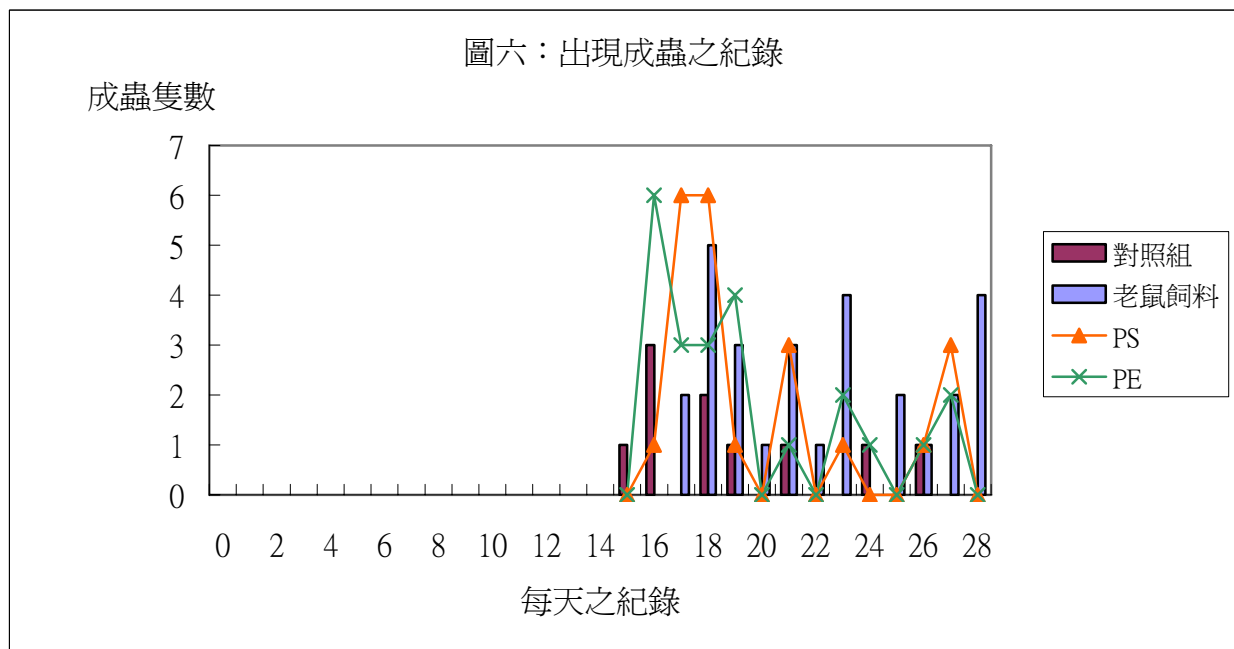
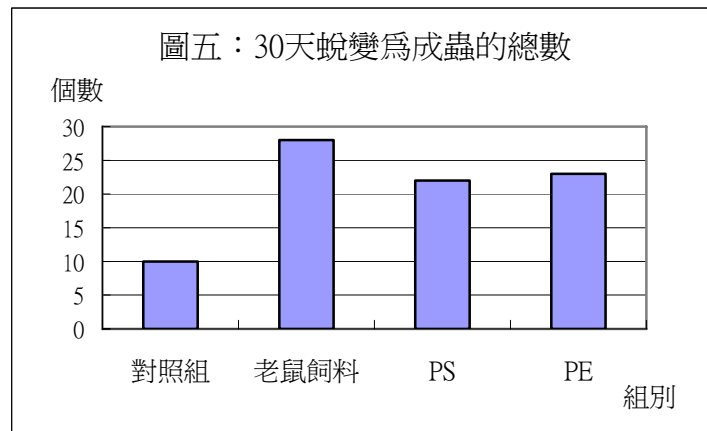
由圖三可知，老鼠飼料組所產生的蛹量最多，其次為 PE 組，再者為保利龍組，最後為對照組。老鼠飼料組會出現大量的蛹是正常的現象，但是 PE、保利龍這兩組的蛹數卻比對照組多。

就死亡蛹數來看，為保利龍組、PE 組最多，其次為對照組，老鼠飼料組則無死蛹(表一)。就蛹出現的情形來看，對照組由於缺乏食物，最早出現最高數量的蛹數，其次出現高峰的是 PE 組及 PS 組，老鼠飼料組則數量較平均(圖四)。



3. 蛻變為成蟲的比較

老鼠飼料組所產生的成蟲最多，其次為 PE 組，再者為保利龍組，最後才是對照組。成蟲出現的高峰期情形與出現蛹的情形相似(圖五、圖六)。另外，所有組別的平均蛹期都非常接近(表一)。



4. 變異情形

保利龍組的雌雄比例較老鼠飼料組低，而 PE 組的雌雄比例則明顯較高。另外，PE 組的成蟲翅膀變異(鞘翅張開，內翅外翻)個體數較其他組別多(表一)。

5. 交配情形

飼養成蟲兩週後每組都有產卵。但是在對照組、保利龍組及 PE 組中，會出現群體攻擊其中較弱的個體，造成個體的死亡。

表一、30 天中的統計資料

	對照組	老鼠飼料組	保麗龍組	PE 組
幼蟲平均總重(克)	34.15	43.01	33.70	33.70
全部蛹數	14	42	25	31
死亡蛹數	1	0	3	2
活蛹平均重(克)	0.054	0.095	0.085	0.081
平均蛹期	6.7	6.4	6.7	6.4
蛻變成蟲數	10	28	22	23
雌性子代數	5	17	8	17
雄性子代數	5	11	14	6
雌雄比例	1.0	1.55	0.57	2.83
成蟲翅膀異常個體數	4	4	4	9

【實驗二】糞便的檢測

1. 利用 TLC 檢驗發現，吃保麗龍的麵包蟲所排出的糞便，在紫外光燈顯色情形與保麗龍不同，且對照組、PE 組與麵包組所排出的糞便，在紫外燈下皆無顯色。

	對照組	老鼠飼料組	保麗龍組	PE 組
幼蟲 R_f	--	--	0	--
成蟲 R_f	--	--	0	--

保麗龍的 $R_f = 0.97 \sim 0.08$ ；"--"表示無顯色

2. 蛋白質的檢測--定性分析

分光光度計 OD 值(三次平均值)

對照組	老鼠飼料組	保麗龍組	PE 組
0.46	0.52	0.43	0.32

註：OD 值 0.2~1.5 即含有蛋白質

3. 糞便中醣類的檢測

測試種類	對照組	老鼠飼料組	保麗龍組	PE 組
碘液(檢測澱粉)	--	--	--	--
本氏液(檢測葡萄糖)	--	--	--	--

註：--表示無變色

【實驗三】幼蟲消化道的檢測

1. 消化道 pH 值的檢測

萬用試紙	前段	後段
對照組	7-8	8-9
老鼠飼料組	5-6	8-9
保麗龍組	7-8	8-9
PE 組	8-9	8-9

2. 在不同月份消化速率的測試

餵食後至產生糞便時間(分鐘)	對照組	老鼠飼料組	保利龍組	PE 組
四月(25.3°C、65-70%)	> 6 小時	221	348	308
六月(28.5°C、85-90%)	129.5	50.75	96.50	103.25

捌、討論

【實驗一】分四組飼養麵包蟲的觀察

(一)幼蟲的部分

麵包蟲有啃咬保利龍及 PE 的現象，但是體重卻和對照組一樣持續減少，這證明了這兩樣東西並不能成為麵包蟲的熱量來源。但吃保利龍及 PE 的麵包蟲可順利的變成成蟲，所以證明了吃這兩樣東西並不阻礙牠們的生長。此點與其他研究的結論不同(陳宏儒，1995；張雅晴，2002)，他們皆認為吃保利龍的麵包蟲可以長得很好，而我們卻認為此點可能是由於麵包蟲咬食其他的蟲體或攝食其脫皮的物質才能使其有足夠的生長能量。

(二)蛹的部分

1. 在實驗觀察發現將變成蛹的幼蟲會一直不斷的翻滾，直到完全變成蛹為止，大約需時 30 分鐘左右。此外，在蛹期會脫皮兩次，而在脫皮前最明顯的徵兆是蛹會變得幾乎不活動，這種現象如果沒有仔細觀察會以為牠已經死了。當蛹脫最後一次皮要轉變成成蟲的時間大約 1-2 個小時。
2. 在蛹的數量方面，以吃老鼠飼料產生的蛹數最多，所以用正常食物來餵養麵包蟲牠可以成長得較為快速，但是，蛹的出現高峰以對照組最早，此點可能是沒有食物來源，使其有提早化蛹的情形。

(三)成蟲的部分

1. 成蟲常會把腹部朝上，然後有翻不回來的情形發生。剛變成成蟲的麵包蟲除了牠的足部及觸角為咖啡色外，其他部分皆為為白色，大約過了 1~2 天後牠的體色會漸漸的由白色變成咖啡色，第 3 天左右再變成黑色。
2. 保利龍組的雌雄比例較老鼠飼料組低，而 PE 組的雌雄比例則明顯較高，是否保利龍與 PE 的攝食產生類似環境荷爾蒙的效果，而影響個體的雌雄性別，則需再進一步的探討。另外，PE 組的成蟲翅膀變異個體數較其他組別多，也可能是受到化學因子的影響，此種翅膀變異的成蟲因為會把自己最脆弱的部分展露出來，所以較容易受到正常個體的攻擊。

【實驗二】糞便的檢測

1. 經過消化後，排出體外的糞便各組顏色不太一樣，分別是土黃色(老鼠飼料組)、米白色(保利龍組)、土黃和黑色(對照組)、黑色(PE 組)。將各組糞便溶於水後發現，保利龍組的糞便比重最小，容易漂浮在液面上，PE 組次之，老鼠飼料組及對照組的糞便都會降到容器底部。在昆蟲箱中，對照組的糞便均會比其他組少，其次是 PE 及 PS 組。

2. TLC 分析

- (1) 分別選擇丙酮、乙酸乙酯、乙酸乙酯/正己烷=3:1 以及乙酸乙酯/正己烷=1:1，四種沖提液。丙酮使保利龍的 $R_f=1.0$ ，乙酸乙酯/正己烷=3:1 以及乙酸乙酯/正己烷=1:1 使保利龍的 $R_f=0$ ，乙酸乙酯使保利龍的 $R_f=0.97\sim 0.08$ 。所以乙酸乙酯是較佳的沖提液。
 - (2) 使用乙酸乙酯為沖提液，將麵包蟲糞便做 TLC 分析。分析結果發現，老鼠飼料組、PE 組以及對照組麵包蟲的糞便在紫外光燈下皆無顯色。保利龍組麵包蟲的糞便有顯色 $R_f=0$ ，但保利龍的 $R_f=0.97\sim 0.08$ ，所以保利龍組麵包蟲的糞便已無保利龍。
3. 蛋白質分析結果顯示對照組、保利龍組及 PE 組的 OD 值較老鼠飼料組低，其中 PE 組的 OD 值是最低的，麵包蟲只是吃 PE 及保利龍當作食物，對照組甚至缺乏食物，但是，從糞便中卻檢測出含有蛋白質，可能是因為消化液的成分使然。由於牠們屬於高蛋白質的蟲體，營養價值高，所以大多會拿來養殖魚蝦，甚至有很多的老饕喜歡將他們裹上麵粉再炸來吃，經過這次的實驗之後，我們發現牠們除了蟲體之外，也許糞便將來也有了新的用途。因為在四組的糞便當中，發現都具有蛋白質的成分，可以用來當作植物的肥料來源。

【實驗三】幼蟲消化道的檢測

1. 麵包蟲的消化管呈現黑色。對照組幼蟲的消化管中產生黑色泡沫狀的腸液，但其他組則呈黑色糜狀，可能是對照組空腹而又剛好腸胃蠕動，而產生的氣泡。
2. 在國外，麵包蟲為重要的穀類害蟲，有許多研究是關於如何用生化方法來抑制其消化酶的作用。文獻中(Vinokurov, 2005)顯示麵包蟲中腸前段最主要的酵素為胱胺酸蛋白酶(cysteine proteinases)，在 pH 值為 5.6 時有最大活性，而在 pH 值為 7.9 時會喪失 80% 的活性，中腸後段最主要的酵素是絲胺酸蛋白酶(serine proteinases)，最佳 pH 值範圍是 7.0-10.0。我們用萬用試紙檢測中腸前段與後段的 pH 值時發現：老鼠飼料組的中腸前段偏酸，但對照組、保利龍組、PE 組中腸前段偏鹼，其中以 PE 組的中腸前段最鹼，所以他們的胱胺酸蛋白酶的活性應該會受到不同程度的抑制。
3. 在消化速率方面，以老鼠飼料組的最快，對照組由於沒有餵食任何東西，主要是靠分解體脂肪存活，牠們會為了減少能量消耗，而減少其活動力。此外，在較高溫溼度的環境中，消化速率加快，顯示麵包蟲的消化酶活性可能提高。

玖、結論

1. 由麵包蟲的重量比較發現，保利龍組及 PE 組的情況與對照組的相似，顯示其雖有啃咬但無法真的增加其體重。
2. 在糞便的 TLC 分析中發現麵包蟲已將保利龍消化。
3. 麵包蟲能啃食保利龍及 PE，但需要花較久的時間消化，且中腸前段的 pH 值也較偏鹼性。
4. 在 PE 組的糞便分析中發現其蛋白質含量最低、中腸前段的 pH 值最高、變異成蟲數最多以及雌雄比也較高，顯示食用 PE 對麵包蟲的影響較保利龍組大。
5. 在應用上，可以將麵包蟲消化酶提煉出來，以生物酵素分解保利龍；或者在保利龍中

添加養分(澱粉、蛋白質等)，使麵包蟲不但可以消化，也可以吸收到養分，成爲真正的活體垃圾車。

6. 在未來研究方面，我們建議有以下幾方面：

(1)探討麵包蟲是否消化掉 PE。

(2)探討其消化道中的酵素如何分解保利龍。

(3)行爲觀測或生理檢測保利龍組及 PE 組的蟲體與其子代是否會有中毒或異常行爲。

拾、參考資料

1. 貢毅紳，昆蟲學，國立中興大學農學院出版委員會，p.541~604，1992 年修訂版。
2. 陳宏儒、曾俊融、梁麗君、莊育琦，麵包蟲垃圾處理—環保尖兵?飼養寵物?中華民國第三十五屆中小學科學展覽優勝作品集，臺北縣立溪崑國中，p.181~188，1995 年。
3. 張雅晴、陳佳妤、田永筠、邱麟雅、江家儒、白韻涵，保利龍的剋星—麵包蟲，中華民國第四十二屆中小學科學展覽優勝作品集，高雄三民區博愛國民小學，共 20 頁，2002 年。
4. 葉志雲，2005 年，環保大發現！麵包蟲吃塑膠袋，中國時報電子郵報(3 月 4 日)，台中報導。
5. Nelson, D. L and Cox, M. M., Lehninger principles of biochemistry, third edition, New York, 2000.
6. Stoscheck C. M. Quantitation of protein. *Methods in Enzymology*. 182:50-68, 1990.
7. Vinokurov, K. S.,etc., 2005, Spectrum of midgut proteinases in *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera : Tenebrionidae) larvae. *Biochemistry (Mosc)*; 70(3): 300-5.

040718

1.

2. (PE. PS)

3.