

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生物科

佳作

030303

你當我吃塑的？

-臺灣小蠟蟲攝食環保型塑膠之探討

學校名稱：臺中市立溪南國民中學

作者： 國一 楊于萱 國一 陳硯琳 國一 魏鳳汝	指導老師： 陳柏宇 王鈺棠
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：小蠟蛾、攝食、塑膠

## 摘要

小蠟蟲是臺灣普遍在蜂巢出現的重要害蟲之一，我們從家鄉養蜂場飼養的義大利蜂巢中採集巢片及小蠟蟲。在實驗室設計適合飼養環境，孵出高比例數量的小蠟蛾 (*Achroia grisella*)，觀察其生命週期及型態，並測試是否攝食塑膠，結果發現小蠟蟲攝食聚乙烯(PE)。再來測試是否食用聚對苯二甲酸乙二酯(PET)、高密度聚乙烯(HDPE)、聚氯乙烯(PVC)、低密度聚乙烯(LDPE)、聚丙烯(PP)、聚苯乙烯(PS)。實驗結果小蠟蟲會攝食 HDPE 及 LDPE，也能完成生命週期。透過原子力顯微鏡觀察，小蠟蟲體內存在分解塑膠的元素，未來將根據此研究基礎進一步分析研究小蠟蟲透過何種機制分解塑膠。

## 壹、研究動機

網路報導「蠟蛾幼蟲吃塑膠，消滅白色污染就靠牠」文章中，意外發現蠟蛾的幼蟲可以攝食塑膠。國外科學家針對印度穀螟(*Plodia interpunctella* Hubner)及大蠟蛾(*Galleria mellonella*)進行相關研究，胃腸有某些成分可以在數週內分解塑膠。法新社與英國廣播公司(BBC)報導，英國劍橋大學(Cambridge University)教授 Paolo Bombelli 發表於「當代生物學」(Current Biology)一篇研究，證實大蠟蟲不只是咀嚼塑膠袋，而且可以對塑膠進行分解。西班牙生物醫學和生物技術研究所的 Federica Bertocchini 說「我們發現這些蠟螟的幼蟲能生物降解一種最難分解、最有回復力和最常使用的塑料：聚乙烯。」Bombelli 教授的研究雖闡述大蠟蟲能分解塑膠，但未能針對大部分常使用的塑膠是否也有出現相同的攝食行為及分解狀況，臺灣文獻裡也找不到大蠟蟲是否能吃塑膠且分解塑膠的相關證據，對於本土常見小蠟蟲攝食塑膠的研究更是付之闕如。

近來普遍報導人類產生的環境塑膠微粒對自然界生物廣泛危害，透過食物鏈最後危害人類健康的新聞。上生物課的時候，在第一冊第三章：生物體的營養素的章節中也告訴我們，塑膠並不是我們人體或是大多數的生物所能夠分解及代謝，因而造成環境及生物的危機，特別是傷害海洋生物。因此，若能找到分解塑膠的物種且分析出分解塑膠的原理，對人類未來永續存活的環境，有莫大的助益表示。Bombelli 教授說：「此項發現可能是重要的工具，可協助擺脫垃圾掩埋場和海洋裡堆積如山的塑膠廢棄物。」

學校老師曾經在上生物課時分享自身養蜂經驗，讓我們得知蠟蟲普遍存在蜂巢，並造成

危害，因此拜託老師帶著我們到社區養蜂場找了一些不要蜂蠟，進行蠟蟲的養殖觀察並進行對塑膠的攝食研究之旅。臺灣是塑膠生產國，臺灣的小蠟蟲是否與國外相同，也能把塑膠當成食物呢？而且會不會如同塑化劑對人類一樣，對他們的生命及生理週期造成影響？而塑膠進入了蠟蟲身體是否因為體內物質而讓塑膠分解呢？

## 貳、研究目的

- 一、觀察小蠟蟲的生長情況及形態
- 二、測試並觀察小蠟蟲攝食 PE 塑膠袋的生長情況
- 三、觀察並探討小蠟蟲攝食六種環保型塑膠的生長情況
  - (一)小蠟蟲攝食 PET 寶特瓶的生長情況
  - (二)小蠟蟲攝食 HDPE 塑膠袋的生長情況
  - (三)小蠟蟲攝食 PVC 塑膠管的生長情況
  - (四)小蠟蟲攝食 LDPE 洗滌瓶的生長情況
  - (五)小蠟蟲攝食 PP 布丁盒的生長情況
  - (六)小蠟蟲攝食 PS 養樂多瓶的生長情況
  - (七)小蠟蟲不餵食時的生長情況
  - (八)修正實驗-單獨飼養小蠟蟲於 PET、PVC、PP 和 PS 中的生長情況
- 四、探討並比較小蠟蟲單獨在可攝食的 HDPE、LDPE、蜂蠟及不餵食的生長情況
  - (一)小蠟蟲單獨攝食 HDPE 塑膠袋的生長狀況
  - (二)小蠟蟲單獨攝食 LDPE 包裝紙的生長狀況
  - (三)小蠟蟲單獨攝食蜂蠟的生長狀況
  - (四)小蠟蟲單獨且不餵食的生長情況
- 五、小蠟蟲在 HDPE 塑膠袋平均一天的攝食量觀察
- 六、探討 HDPE 塑膠袋、LDPE 包裝紙在塗抹小蠟蟲體液後作用情形
  - (一)HDPE 塑膠袋塗抹小蠟蟲體液後反應情況
  - (二)LDPE 包裝紙塗抹小蠟蟲體液後反應情況

## 參、研究設備及器材

### 一、研究器材

	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">蠟蟲培育設備</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>蜂巢片</td> <td>4 片</td> </tr> <tr> <td>蜂巢箱</td> <td>1 箱</td> </tr> <tr> <td>塑膠箱</td> <td>1 箱</td> </tr> <tr> <td>電燈泡</td> <td>1 盞</td> </tr> <tr> <td>溫度計</td> <td>1 支</td> </tr> </tbody> </table>	蠟蟲培育設備		蜂巢片	4 片	蜂巢箱	1 箱	塑膠箱	1 箱	電燈泡	1 盞	溫度計	1 支						
蠟蟲培育設備																			
蜂巢片	4 片																		
蜂巢箱	1 箱																		
塑膠箱	1 箱																		
電燈泡	1 盞																		
溫度計	1 支																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">蠟蛾捕捉設備&amp;蟲蛹培育設備</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>寶特瓶</td> <td>2 個</td> </tr> <tr> <td>黑色膠帶</td> <td>1 卷</td> </tr> <tr> <td>黑色紙張</td> <td>1 張</td> </tr> </tbody> </table>	蠟蛾捕捉設備&蟲蛹培育設備		寶特瓶	2 個	黑色膠帶	1 卷	黑色紙張	1 張										
蠟蛾捕捉設備&蟲蛹培育設備																			
寶特瓶	2 個																		
黑色膠帶	1 卷																		
黑色紙張	1 張																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">觀測設備</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>培養皿</td> <td>15 組</td> </tr> <tr> <td>鑷子</td> <td>1 支</td> </tr> <tr> <td>放大鏡</td> <td>1 支</td> </tr> <tr> <td>相機</td> <td>1 台</td> </tr> <tr> <td>電子天平</td> <td>1 台</td> </tr> </tbody> </table>	觀測設備		培養皿	15 組	鑷子	1 支	放大鏡	1 支	相機	1 台	電子天平	1 台						
觀測設備																			
培養皿	15 組																		
鑷子	1 支																		
放大鏡	1 支																		
相機	1 台																		
電子天平	1 台																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">檢測設備</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PET 寶特瓶</td> <td>1 個</td> </tr> <tr> <td>HDPE 塑膠袋(紅)</td> <td>1 個</td> </tr> <tr> <td>塑膠袋(白)</td> <td>1 個</td> </tr> <tr> <td>PVC 塑膠管</td> <td>1 個</td> </tr> <tr> <td>LDPE 洗滌瓶</td> <td>1 瓶</td> </tr> <tr> <td>包裝紙</td> <td>數張</td> </tr> <tr> <td>PP 布丁盒</td> <td>1 個</td> </tr> <tr> <td>PS 養樂多瓶</td> <td>1 個</td> </tr> </tbody> </table>	檢測設備		PET 寶特瓶	1 個	HDPE 塑膠袋(紅)	1 個	塑膠袋(白)	1 個	PVC 塑膠管	1 個	LDPE 洗滌瓶	1 瓶	包裝紙	數張	PP 布丁盒	1 個	PS 養樂多瓶	1 個
檢測設備																			
PET 寶特瓶	1 個																		
HDPE 塑膠袋(紅)	1 個																		
塑膠袋(白)	1 個																		
PVC 塑膠管	1 個																		
LDPE 洗滌瓶	1 瓶																		
包裝紙	數張																		
PP 布丁盒	1 個																		
PS 養樂多瓶	1 個																		



清洗設備

超音波洗滌器	1 個
去離子水	1 瓶
剪刀	1 個
載玻片	1 個
雙面膠	1 個
培養皿	1 個
噴球	1 個
鑷子	1 個



觀測設備 (一)

原子力顯微鏡(AFM)	1 台
-------------	-----



觀測設備 (二)

掃描式電子顯微鏡 (SEM, 左圖)	1 台
鍍金機 (右圖)	1 台



實驗用蠟蟲

1. 學名：*Achroia grisella* Fabricius
2. 特徵：蠟蟲呈中白色，腳端黑色，細小的頭部也是黑色
3. 實驗用體長：0.9~1.0 cm(三齡)
4. 實驗用體重：0.0180g  
(100 隻蠟蟲的平均體重)

## 肆、研究過程及方法

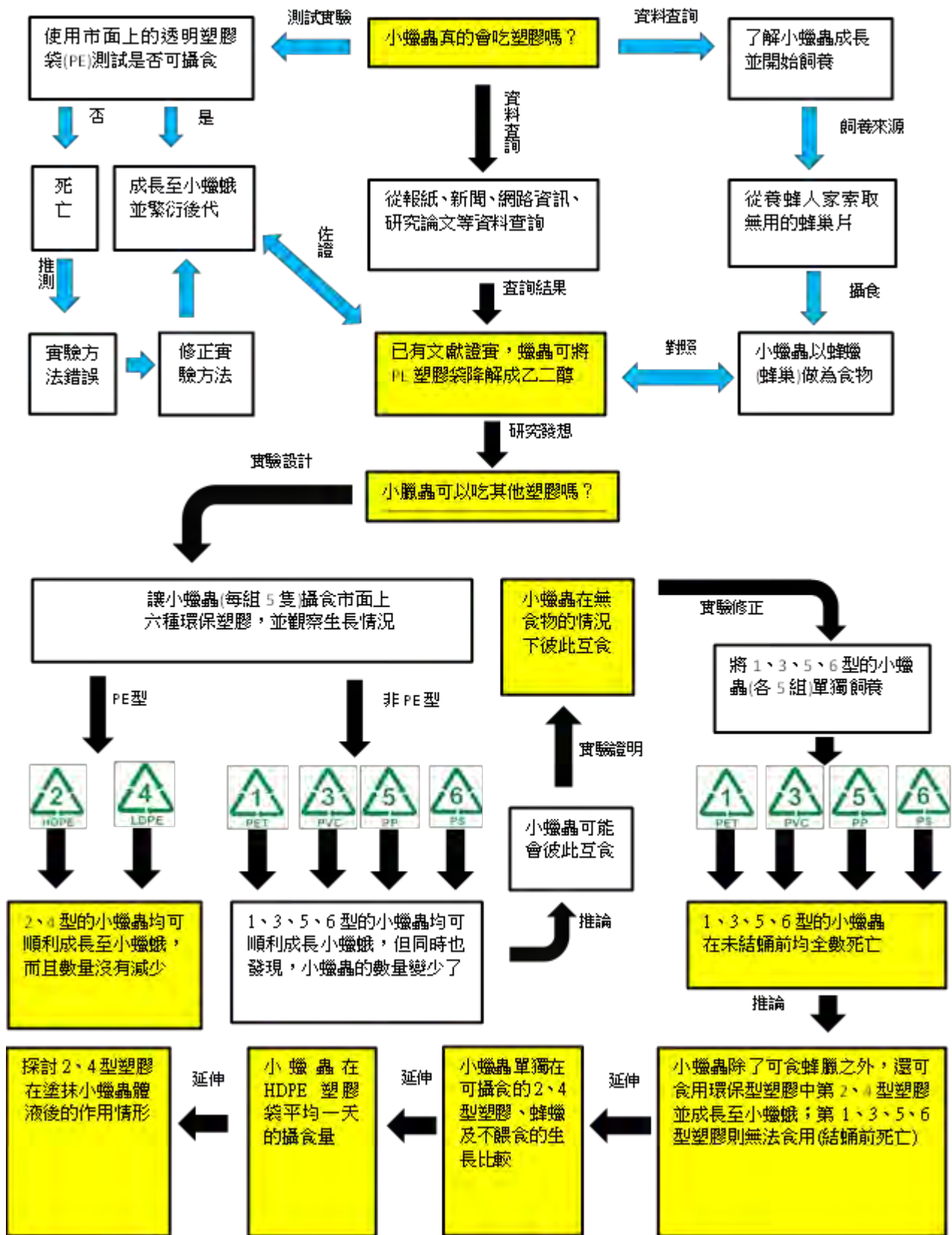
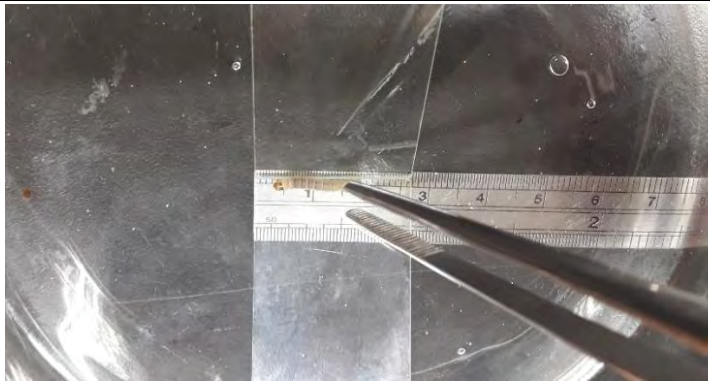

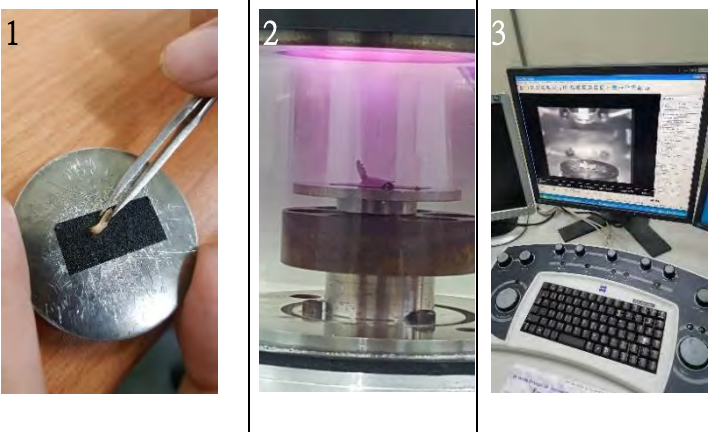


圖 1. 實驗流程圖

## 一、蠟蟲的飼養與觀察

	<p>(一)來源取得</p> <p>來源：1. 校內老師的義大利蜂巢 2. 社區養蜂產銷班的廢巢片</p> <p>方式：小蠟蟲會出現在廢棄的蜂巢中，蜂巢片會出現白色絲狀物(很像發霉)，所以跟老師索取廢棄蜂巢片來培育蠟蟲。</p>
	<p>(二)飼養方式</p> <p>溫度：23°C~25°C</p> <p>方法：1. 將蜂蠟切碎後平鋪在塑膠箱底 2. 用燈具保持在一定的溫度範圍內</p> <p>結果：大約 20 到 25 天後可在巢片中翻找出幼蟲</p>
	<p>(三)取得方式</p> <p>方法：我們將剝碎的蜂巢使用鑷子小心翻找，通常在有白色絲狀蜂巢有較大的機率找到</p>
	<p>(四)生生不息</p> <p>方式：我們需要大量的蠟蟲作為研究來源，所以我們將結蛹的小蠟蟲收集起來孵化，並讓孵化的蛾能夠持續生育下去。</p>

	<p>(五)體長測量</p> <p>方式：利用兩片載玻片在培養皿上搭出一個可讓小蠟蟲通過的匝道，並在培養皿下方放置鐵尺進行測量。</p>
	<p>(六)體重測量</p> <p>方式：由於小蠟蟲體重過輕，無法在天秤上顯是出眾量，因此我們挑選 100 隻的小蠟蟲進行秤重，扣除培養皿量後再求 1 隻小蠟蟲體重的算術平均數。</p>
	<p>(七)小蠟蟲的表面微觀</p> <p>方式：使用掃描式電子顯微鏡(SEM)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將小蠟蟲固定在膠帶上，觀測面朝上</li> <li>2. 樣品送入鍍金機 30 秒，鍍上一層白金</li> <li>3. 送入 SEM 觀測，調整適當角度和倍率觀測</li> </ol>

## 二、蠟蟲攝食 PE 塑膠袋的實驗設計及步驟

1. 準備 5 隻小蠟蟲，放進 PE 型的塑膠袋中，並將袋口打結封緊
2. 將 PE 塑膠袋放入培養皿中
3. 將培養皿放入塑膠箱中，使溫度維持在 23<sup>0</sup>C~25<sup>0</sup>C
4. 觀察 PE 塑膠袋是否有破洞，並以螢光筆在破洞處做記號
5. 觀察並記錄小蠟蟲的生長情形



### 三、小蠟蟲攝食六種環保型塑膠的實驗設計及步驟

#### (一)(實驗 3-1~6) 小蠟蟲攝食 PET、HDPE、PVC、LDPE、PP、PS

1. 準備 PET 保特瓶、HDPE 塑膠袋、PVC 塑膠管、LDPE 洗滌瓶、PP 布丁盒、PS 養樂多瓶各一個
2. 將 6 種塑膠切成片狀後分別放入培養皿中(共 6 組)
3. 每一組分別放入 5 隻小蠟蟲(全部 30 隻)
4. 將培養皿放入塑膠箱中，使溫度維持在 23<sup>0</sup>C~25<sup>0</sup>C
5. 觀察並記錄小蠟蟲在各組的生長情形

#### (二).(實驗 3-7)小蠟蟲互食

1. 準備 5 隻小蠟蟲，放入培養皿中，不餵食任何食物
2. 將培養皿放入塑膠箱中，使溫度維持在 23<sup>0</sup>C~25<sup>0</sup>C
- 3.. 觀察並記錄小蠟蟲的生長情形

#### (三)(實驗 3-8) 修正實驗：單獨飼養小蠟蟲於 PET、PVC、PP 和 PS

1. 準備 PET 寶特瓶、PVC 塑膠管、PP 布丁盒、PS 養樂多瓶，
2. 將 4 種塑膠切成片狀後分別放入各 5 組的培養皿中(共 20 組)
3. 將小蠟蟲分別放入各組的培養皿中(1 個培養皿只放 1 隻，共 20 隻)
4. 將培養皿放入塑膠箱中，使溫度維持在 23<sup>0</sup>C~25<sup>0</sup>C
5. 觀察並記錄小蠟蟲在各組的生長情形

### 四、小蠟蟲單獨在可攝食的 HDPE、LDPE、蜂蠟、和不餵食的生長情形

1. 準備 4X4 cm HDPE 塑膠袋、4X4 cm LDPE 包裝紙和大約 0.1g 的蜂蠟置於培養皿中，各 15 組(共 45 組)
2. 準備空的培養皿 10 組(不放置食物)
3. 將小蠟蟲分別放進各組的培養皿中(1 個培養皿只放 1 隻，55 隻)
4. 溫度：維持在 29<sup>0</sup>C~31<sup>0</sup>C
4. 秤量小蠟蟲攝食 HDPE 膠袋、LDPE 包裝紙後的重量差異
5. 計算小蠟蟲的結蛹天數、結蛹率
6. 計算小蠟蟲的死亡天數、死亡率

## 五、小蠟蟲在 HDPE 塑膠袋平均一天的攝食量觀察



1. 挑選 100 隻小蠟蟲，放進 1 個培養皿中。
2. 秤量 3 張 HDPE 塑膠袋的重量。
3. 將 3 張 HDPE 塑膠袋，放入培養皿中。
4. 觀察 24 小時後，再秤量 HDPE 塑膠袋的重量變化。
5. 將減輕的重量除以 100 隻小蠟蟲，得小蠟蟲平均一天的攝食量。

## 六、塑膠塗抹小蠟蟲體液之觀察





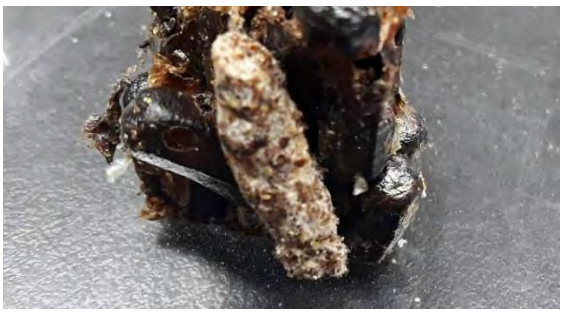

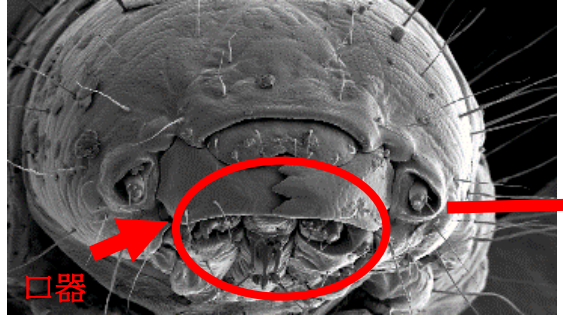
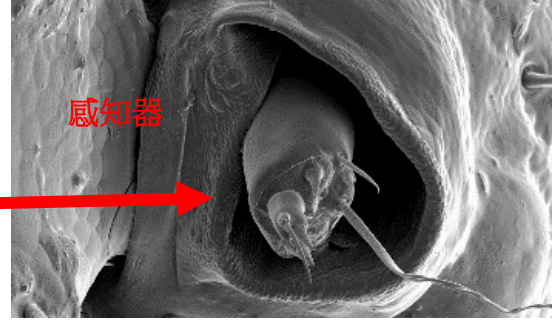


### 表面粗度(Surface Roughness)檢測

1. 將蟲體置於被檢測塑膠上以玻璃擠壓讓體液流出。
2. 將擠壓而出的體液均勻塗抹於塑膠上，為實驗組。另取同一片產品同一面 2X2cm 的無塗抹塑膠樣品為對照組，同時放置 24 小時。
3. 將塑膠片以超音波洗滌器及去離子水清洗重複清洗三遍。
4. 裁剪 1X1 cm 樣品大小黏貼於玻片上。
5. 每個樣品在 AFM 下取五個定位點，每個樣點取 10X10  $\mu\text{m}$  大小掃描。
6. 以輕敲模式，進行掃描樣品，計算表面最小平方和粗糙 (Rq)。



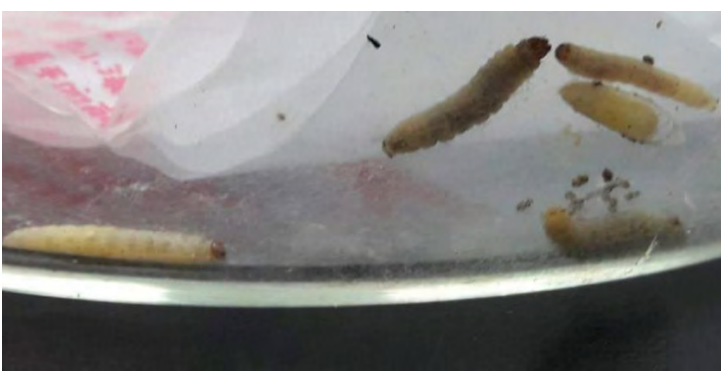

## 伍、研究結果

### 一、觀察小蠟蟲的生長情況及形態

	
<p>小蠟蛾將卵產在幼蟲可攝食蜂巢上</p>	<p>小蠟蟲在 0.6cm~1.2cm 時體色偏灰白色</p>
	
<p>小蠟蟲在 1.2cm~1.8cm 時體色會呈現淡黃色</p>	<p>小蠟蟲開始吐絲結蛹</p>
	
<p>小蠟蟲結蛹時，會連同周圍的碎屑包覆</p>	<p>蠟蛾破蛹而出</p>
	
<p>在 SEM 下觀察，小蠟蟲的口器是鋸齒狀交疊在一起，口器兩邊有兩感知器密集集中處，協助找尋食物，以及看似光滑的身體也是充斥著體毛協助爬行</p>	

## 二、測試並觀察小蠟蟲攝食 PE 塑膠袋的生長情況


### 實驗 2. 測試小蠟蟲是否攝食 PE 型塑膠袋

	<ol style="list-style-type: none"> <li>將 5 隻(約 1cm)小蠟蟲放進塑 PE 塑膠袋中</li> <li>溫度：維持在 23<sup>0</sup>C~25<sup>0</sup>C</li> </ol>						
 <p>袋子外的蠟蟲      破洞</p>	<p>第 6 天</p> <table border="1"> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>5 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>0 隻</td> </tr> </table> <p>紀錄：小蠟蟲攝食 PE 塑膠袋並且跑出塑膠袋</p>	小蠟蟲	5 隻	結蛹	0 隻	小蠟蛾	0 隻
小蠟蟲	5 隻						
結蛹	0 隻						
小蠟蛾	0 隻						
	<p>第 12 天</p> <table border="1"> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>3 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>2 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>0 隻</td> </tr> </table> <p>紀錄：一隻小蠟蟲在塑膠袋外結蛹 一隻小蠟蟲在塑膠袋內結蛹</p>	小蠟蟲	3 隻	結蛹	2 隻	小蠟蛾	0 隻
小蠟蟲	3 隻						
結蛹	2 隻						
小蠟蛾	0 隻						
 <p>小蠟蛾</p>	<p>第 18 天</p> <table border="1"> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>3 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>2 隻</td> </tr> </table> <p>紀錄：小蠟蟲可以攝食 PE 塑膠袋，且能夠成長至小蠟蛾</p>	小蠟蟲	0 隻	結蛹	3 隻	小蠟蛾	2 隻
小蠟蟲	0 隻						
結蛹	3 隻						
小蠟蛾	2 隻						

小蠟蟲在只有 PE 塑膠袋的環境下，18 天後，結蛹率達 100%(5/5)，成蛾率達 40%(2/5)，顯示小蠟蟲可以利用 PE 完成發育。

### 三、觀察並探討小蠟蟲攝食六種環保型塑膠的生長情況





#### 實驗 3-1 小蠟蟲攝食 PET 寶特瓶的生長情況

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將 5 隻 (約 1cm) 小蠟蟲放進培養皿中</li> <li>2. PET 寶特瓶切片放入培養皿</li> <li>3. 溫度：維持在 23<sup>0</sup>C~25<sup>0</sup>C</li> </ol>						
	<p>第 6 天</p> <table border="1" data-bbox="906 734 1420 880"> <tbody> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>4 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>1 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>0 隻</td> </tr> </tbody> </table> <p>紀錄：1 隻小蠟蟲結成蛹了 4 隻小蠟蟲體色轉黃</p>	小蠟蟲	4 隻	結蛹	1 隻	小蠟蛾	0 隻
小蠟蟲	4 隻						
結蛹	1 隻						
小蠟蛾	0 隻						
	<p>第 12 天</p> <table border="1" data-bbox="906 1115 1420 1261"> <tbody> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>2 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>2 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>0 隻</td> </tr> </tbody> </table> <p>紀錄：2 隻小蠟蟲結蛹了 2 隻小蠟蟲尚未結蛹 1 隻小蠟蟲不見了</p>	小蠟蟲	2 隻	結蛹	2 隻	小蠟蛾	0 隻
小蠟蟲	2 隻						
結蛹	2 隻						
小蠟蛾	0 隻						
	<p>第 18 天</p> <table border="1" data-bbox="906 1496 1420 1641"> <tbody> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>2 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>1 隻</td> </tr> </tbody> </table> <p>紀錄：2 隻小蠟蟲仍在蛹中 1 隻小蠟蛾破蛹而出 2 隻小蠟蟲不見了</p>	小蠟蟲	0 隻	結蛹	2 隻	小蠟蛾	1 隻
小蠟蟲	0 隻						
結蛹	2 隻						
小蠟蛾	1 隻						

(1)小蠟蟲在只有 PET 寶特瓶的環境下，18 天後，結蛹率達 60%(3/5)，成蛾率達 20%(1/5)。

(2)有 2 隻小蠟蟲在實驗的過程中不見了，確認飼養為密閉空間，且有小蠟蟲殘骸存在，推測為同類互相攝食的現象，因此無法確切證實小蠟蟲能攝食 PET 寶特瓶。

實驗 3-2 小蠟蟲攝食 HDPE 塑膠袋的生長情況

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將 5 隻(約 1cm) 小蠟蟲放進培養皿中</li> <li>2. 將 HDPE 塑膠袋切片後放入培養皿中</li> <li>3. 溫度：維持在 23<sup>0</sup>C~25<sup>0</sup>C</li> </ol>						
	<p>第 6 天</p> <table border="1" data-bbox="916 633 1422 779"> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>3 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>2 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>0 隻</td> </tr> </table> <p>紀錄：2 隻小蠟蟲結蛹了 3 隻小蠟蟲體色轉黃</p>	小蠟蟲	3 隻	結蛹	2 隻	小蠟蛾	0 隻
小蠟蟲	3 隻						
結蛹	2 隻						
小蠟蛾	0 隻						
	<p>第 12 天</p> <table border="1" data-bbox="916 1014 1422 1160"> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>5 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>0 隻</td> </tr> </table> <p>紀錄：5 隻小蠟蟲都結蛹了</p>	小蠟蟲	0 隻	結蛹	5 隻	小蠟蛾	0 隻
小蠟蟲	0 隻						
結蛹	5 隻						
小蠟蛾	0 隻						
	<p>第 18 天</p> <table border="1" data-bbox="916 1395 1422 1541"> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>4 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>1 隻</td> </tr> </table> <p>紀錄：4 隻小蠟蟲仍在蛹中 1 隻小蠟蛾破蛹而出</p>	小蠟蟲	0 隻	結蛹	4 隻	小蠟蛾	1 隻
小蠟蟲	0 隻						
結蛹	4 隻						
小蠟蛾	1 隻						

(1)小蠟蟲在只有 HDPE 塑膠袋的環境下，18 天後，結蛹率達 100%(5/5)，成蛾率 20%(1/5)。

(2)實驗過程中沒有小蠟蟲不見，顯示小蠟蟲可以利用 HDPE 塑膠袋完成發育。

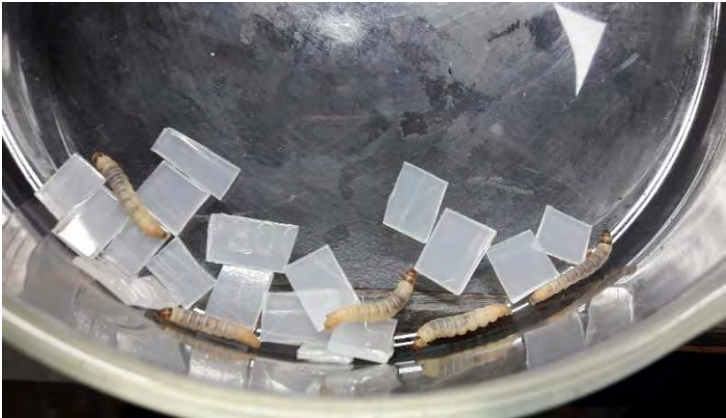
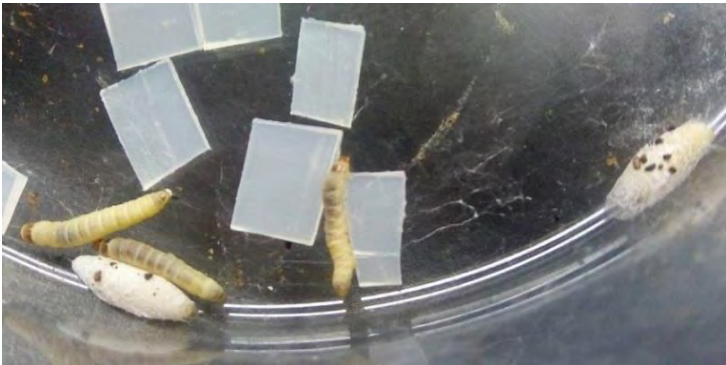


實驗 3-3 小蠟蟲攝食 PVC 塑膠管的生長情況

	<ol style="list-style-type: none"> <li>將 5 隻(約 1cm) 小蠟蟲放進培養皿中</li> <li>將 PVC 塑膠管切片後放入培養皿</li> <li>溫度：維持在 23<sup>0</sup>C~25<sup>0</sup>C</li> </ol>						
	<p>第 6 天</p> <table border="1" data-bbox="900 680 1428 826"> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>3 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>0 隻</td> </tr> </table> <p>紀錄：3 隻小蠟蟲尚未結蛹 2 隻小蠟蟲不見了</p>	小蠟蟲	3 隻	結蛹	0 隻	小蠟蛾	0 隻
小蠟蟲	3 隻						
結蛹	0 隻						
小蠟蛾	0 隻						
	<p>第 12 天</p> <table border="1" data-bbox="900 1068 1428 1214"> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>3 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>0 隻</td> </tr> </table> <p>紀錄：3 隻小蠟蟲結蛹了(結蛹時將塑膠片也裹在蛹上)</p>	小蠟蟲	0 隻	結蛹	3 隻	小蠟蛾	0 隻
小蠟蟲	0 隻						
結蛹	3 隻						
小蠟蛾	0 隻						
	<p>第 18 天</p> <table border="1" data-bbox="900 1456 1428 1601"> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>3 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>0 隻</td> </tr> </table> <p>紀錄：3 隻小蠟蟲結蛹，但尚未成蛾 (有兩隻小蠟蟲蛹的塑膠脫落)</p>	小蠟蟲	0 隻	結蛹	3 隻	小蠟蛾	0 隻
小蠟蟲	0 隻						
結蛹	3 隻						
小蠟蛾	0 隻						

(1)小蠟蟲在只 PVC 塑膠管的環境下，18 天後，結蛹率達 60%(3/5)，成蛾率達 0%(0/5)。

(2)有 2 隻小蠟蟲在實驗的過程中不見了，確認飼養為密閉空間，且有小蠟蟲殘骸存在，推測為同類互相攝食的現象，因此無法確切證實小蠟蟲能攝食 PVC 塑膠管。





實驗 3-4 小蠟蟲攝食 LDPE 洗滌瓶的生長情況

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將 5 隻(約 1cm)小蠟蟲放進培養皿中</li> <li>2. 將 LDPE 洗滌瓶切片後放入培養皿中</li> <li>3. 溫度：維持在 23<sup>0</sup>C~25<sup>0</sup>C</li> </ol>						
	<p>第 6 天</p> <table border="1" data-bbox="922 680 1417 824"> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>3 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>2 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>0 隻</td> </tr> </table> <p>紀錄：3 隻小蠟蟲尚未結蛹 2 隻小蠟蟲結蛹了</p>	小蠟蟲	3 隻	結蛹	2 隻	小蠟蛾	0 隻
小蠟蟲	3 隻						
結蛹	2 隻						
小蠟蛾	0 隻						
	<p>第 12 天</p> <table border="1" data-bbox="922 1061 1417 1205"> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>5 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>0 隻</td> </tr> </table> <p>紀錄：5 隻小蠟蟲都結蛹了</p>	小蠟蟲	0 隻	結蛹	5 隻	小蠟蛾	0 隻
小蠟蟲	0 隻						
結蛹	5 隻						
小蠟蛾	0 隻						
	<p>第 18 天</p> <table border="1" data-bbox="922 1442 1417 1585"> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>4 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>1 隻</td> </tr> </table> <p>紀錄：4 隻小蠟蟲仍在蛹中 1 隻小蠟蛾破蛹而出</p>	小蠟蟲	0 隻	結蛹	4 隻	小蠟蛾	1 隻
小蠟蟲	0 隻						
結蛹	4 隻						
小蠟蛾	1 隻						

- (1)小蠟蟲在只有 LDPE 洗滌瓶的環境下，18 天後，結蛹率達 100%(5/5)，成蛾率 20%(1/5)  
 (2)實驗過程中沒有小蠟蟲不見，顯示小蠟蟲可以利用 LDPE 塑膠袋完成發育。







### 實驗 3-5 小蠟蟲攝食 PP 布丁盒的生長情況

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將 5 隻(約 1cm) 小蠟蟲放進培養皿中</li> <li>2. 將 PP 布丁盒切片後放入培養皿中</li> <li>3. 溫度：維持在 23<sup>0</sup>C~25<sup>0</sup>C</li> </ol>								
	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">第 6 天</td> </tr> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>3 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>0 隻</td> </tr> </table> <p>紀錄：3 隻小蠟蟲尚未結蛹 2 隻小蠟蟲不見了</p>	第 6 天		小蠟蟲	3 隻	結蛹	0 隻	小蠟蛾	0 隻
第 6 天									
小蠟蟲	3 隻								
結蛹	0 隻								
小蠟蛾	0 隻								
	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">第 12 天</td> </tr> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>2 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>0 隻</td> </tr> </table> <p>紀錄：2 隻小蠟蟲結蛹了 3 隻小蠟蟲不見了</p>	第 12 天		小蠟蟲	0 隻	結蛹	2 隻	小蠟蛾	0 隻
第 12 天									
小蠟蟲	0 隻								
結蛹	2 隻								
小蠟蛾	0 隻								
	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">第 18 天</td> </tr> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>1 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>1 隻</td> </tr> </table> <p>紀錄：1 隻小蠟蟲仍在蛹中 1 隻小蠟蟲破蛹而出</p>	第 18 天		小蠟蟲	0 隻	結蛹	1 隻	小蠟蛾	1 隻
第 18 天									
小蠟蟲	0 隻								
結蛹	1 隻								
小蠟蛾	1 隻								

- (1)小蠟蟲在只有 PP 布丁盒的環境下，18 天後，結蛹率達 40%(2/5)，成蛾率達 10%(1/5)。
- (2)有 3 隻小蠟蟲在實驗的過程中不見了，確認飼養為密閉空間，且有小蠟蟲殘骸存在，推測為同類互相攝食的現象，因此無法確切證實小蠟蟲能攝食 PP 布丁盒。

實驗 3-6 小蠟蟲攝食 PS 養樂多瓶的生長情況

	<ol style="list-style-type: none"> <li>將 5 隻(約 1cm) 小蠟蟲放進培養皿中</li> <li>將 PS 養樂多瓶切片後放入培養皿中</li> <li>溫度：維持在 23<sup>0</sup>C~25<sup>0</sup>C</li> </ol>						
	<p>第 6 天</p> <table border="1" data-bbox="895 633 1420 779"> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>4 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>0 隻</td> </tr> </table> <p>紀錄：4 隻小蠟蟲尚未結蛹 1 隻小蠟蟲不見了</p>	小蠟蟲	4 隻	結蛹	0 隻	小蠟蛾	0 隻
小蠟蟲	4 隻						
結蛹	0 隻						
小蠟蛾	0 隻						
	<p>第 12 天</p> <table border="1" data-bbox="895 1019 1420 1164"> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>2 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>0 隻</td> </tr> </table> <p>紀錄：4 隻小蠟蟲尚未結蛹 3 隻小蠟蟲不見了</p>	小蠟蟲	2 隻	結蛹	0 隻	小蠟蛾	0 隻
小蠟蟲	2 隻						
結蛹	0 隻						
小蠟蛾	0 隻						
	<p>第 18 天</p> <table border="1" data-bbox="895 1404 1420 1550"> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>1 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>0 隻</td> </tr> </table> <p>紀錄：1 隻小蠟蟲結蛹了 4 隻小蠟蟲不見了</p>	小蠟蟲	0 隻	結蛹	1 隻	小蠟蛾	0 隻
小蠟蟲	0 隻						
結蛹	1 隻						
小蠟蛾	0 隻						

(1)小蠟蟲在只 PS 養樂多瓶的環境下，18 天後，結蛹率達 20%(1/5)，成蛾率達 0%(0/5)。

(2)有 4 隻小蠟蟲在實驗的過程中不見了，確認飼養為密閉空間，且有小蠟蟲殘骸存在，推測為同類互相攝食的現象，因此無法確切證實小蠟蟲能攝食 PP 布丁盒。

實驗 3-7 小蠟蟲不餵食時的生長情況


	<ol style="list-style-type: none"> <li>將 5 隻(約 1cm) 小蠟蟲放進培養皿中</li> <li>不放置任何食物</li> <li>溫度：維持在 23<sup>0</sup>C~25<sup>0</sup>C</li> </ol>						
	<p>第 6 天</p> <table border="1" data-bbox="895 663 1409 801"> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>4 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>0 隻</td> </tr> </table> <p>心得：4 隻小蠟蟲尚未結蛹 1 隻小蠟蟲不見了</p>	小蠟蟲	4 隻	結蛹	0 隻	小蠟蛾	0 隻
小蠟蟲	4 隻						
結蛹	0 隻						
小蠟蛾	0 隻						
	<p>第 12 天</p> <table border="1" data-bbox="895 1050 1409 1189"> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>1 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>0 隻</td> </tr> </table> <p>心得：1 隻小蠟蟲結蛹了 4 隻小蠟蟲不見了</p>	小蠟蟲	0 隻	結蛹	1 隻	小蠟蛾	0 隻
小蠟蟲	0 隻						
結蛹	1 隻						
小蠟蛾	0 隻						
	<p>第 18 天</p> <table border="1" data-bbox="895 1431 1409 1570"> <tr> <td>小蠟蟲</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>結蛹</td> <td>0 隻</td> </tr> <tr> <td>小蠟蛾</td> <td>1 隻</td> </tr> </table> <p>心得：1 隻小蠟蛾破蛹而出</p>	小蠟蟲	0 隻	結蛹	0 隻	小蠟蛾	1 隻
小蠟蟲	0 隻						
結蛹	0 隻						
小蠟蛾	1 隻						

(1)小蠟蟲在沒有食物的環境下，18 天後，結蛹率達 20%(1/5)，成蛾率達 20%(1/5)。

(2)有 4 隻小蠟蟲在實驗的過程中不見了，發現確實為同類互相攝食的關係。因此小蠟蟲在無食物來源的情形下，會以攝食同類的方式繼續成長。

(3)實驗 3-1、3-3、3-5、3-6、3-7 實驗結果皆有小蠟蟲不見的現象，證實為同類互相攝食的緣故。由於小蠟蟲在攝食時，對於塑膠或是同類蟲體的選擇性及攻擊性明顯。因此需要修正實驗方法，將小蠟蟲單獨飼養來剔除小蠟蟲互食的變是必要的，我們設計了實驗 3-8 將每條蠟蟲單獨放置於 PET、PVC、PP、PS 材質裡飼養。

實驗 3-8 將小蠟蟲單獨飼養於 PET 寶特瓶、PVC 塑膠管、PP 布丁盒、PS 養樂多瓶  
表 1.小蠟蟲攝食 PET 寶特瓶、PVC 塑膠管、PP 布丁盒、PS 養樂多罐存活紀錄

		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 準備 PET 寶特瓶、PVC 塑膠管、PP 布丁盒、PS 養樂多瓶，各 5 組(共 20 組)</li> <li>2. 每一組放入一隻小蠟蟲(共 20 隻)</li> <li>3. 溫度：維持在 23<sup>0</sup>C~25<sup>0</sup>C</li> </ol>							
		PET 寶特瓶		PVC 塑膠管		PP 布丁盒		PS 養樂多瓶	
天數	存活數	存活率	存活數	存活率	存活數	存活率	存活數	存活率	
第 6 天	5	100%	5	100%	5	100%	5	100%	
第 7 天	4	80%	5	100%	4	80%	5	100%	
第 8 天	3	60%	3	60%	4	80%	4	80%	
第 9 天	3	60%	3	60%	3	60%	4	80%	
第 10 天	3	60%	2	40%	3	60%	3	60%	
第 11 天	2	40%	2	40%	3	60%	2	40%	
第 12 天	1	20%	2	40%	1	20%	0	0%	
第 13 天	0	0%	1	20%	0	0%			
第 14 天			0	0%					

(1)小蠟蟲單獨飼養於 4 類型塑膠內的 20 隻小蠟蟲均在結蛹前死亡

(2)小蠟蟲單獨在只有 PET 寶特瓶的環境下，第 13 天全數死亡，存活率 0%(0/5)。

小蠟蟲單獨在只有 PVC 塑膠管的環境下，第 14 天全數死亡，存活率 0%(0/5)。

小蠟蟲單獨在只有 PP 布丁盒的環境下，第 13 天全數死亡，存活率 0%(0/5)。


小蠟蟲單獨在只有 PS 養樂多瓶的環境下，第 12 天全數死亡，存活率 0%(0/5)。

(3) 實驗 3-1、3-3、3-5、3-6 的小蠟蟲為群體飼養，對照於實驗 3-8 單獨飼養的情況下全數死亡，證明實驗 3-1、3-3、3-5、3-6 能完整發育的小蠟蛾，應該是攝食同類以獲得營養來源。

四、探討並比較小蠟蟲單獨在可攝食的 HDPE、LDPE、蜂蠟及不餵食的生長情況

實驗 4-1 小蠟蟲單獨攝食 HDPE 塑膠袋的生長狀況

表 2 小蠟蟲攝食 HDPE 塑膠袋的結蛹及食量紀錄

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 準備 15 隻小蠟蟲分別放進 15 個培養皿中</li> <li>2. 放置 4X4 cm 的 HDPE 塑膠袋於培養皿中</li> <li>3. 溫度：維持在 29<sup>0</sup>C~31<sup>0</sup>C</li> <li>4. 秤量攝食 HDPE 塑膠重量差異</li> <li>5. 計算蠟蟲的結蛹天數、結蛹率</li> <li>6. 計算蠟蟲的死亡天數、死亡率</li> </ol>								
	編號	1	2	3	4	5	6	7	8
	實驗日期	5月9日	5月9日	5月9日	5月9日	5月9日	5月9日	5月16日	5月16日
	結蛹日期	5月13日	5月15日	5月13日	5月14日	5月13日	5月13日	死亡	死亡
	結蛹日數	5天	7天	5天	6天	6天	5天		
	攝食前重量	0.0812g	0.0919g	0.0813g	0.0825g	0.08090g	0.0914g		
	結蛹後重量	0.0740g	0.0810g	0.0770g	0.0770g	0.0785g	0.0842g		
攝食量	0.0072g	0.0109g	0.0043g	0.0055g	0.7305g	0.0072g			

編號	9	10	11	12	13	14	15
實驗日期	5月16日	5月16日	5月18日	5月22日	5月22日	5月26日	5月26日
結蛹日期	死亡	5月21日	5月28日	5月28日	5月24日	6月1日	死亡
結蛹日數		6天	11天	7天	4天	7天	
攝食前重量		0.0730g	0.0800g	0.0689g	0.0671g	0.0729g	
結蛹後重量		0.0691g	0.0691g	0.0671g	0.061g	0.0669g	
攝食量		0.0039g	0.0109g	0.0018g	0.0065g	0.0060g	

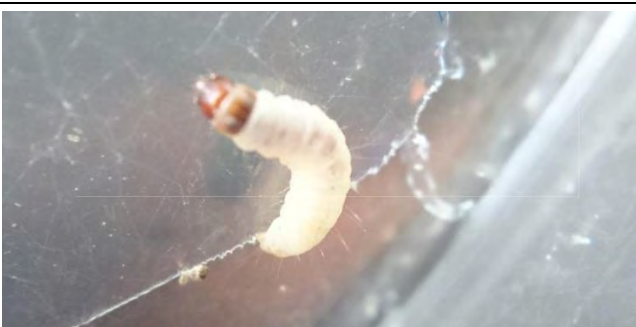
平均攝食量：0.0054g

\*公式：{各組攝食量總和}/11 = 0.0584g/11

\*尚未結蛹就死亡的蠟蟲，攝食量不列入計算

實驗 4-2 小蠟蟲單獨攝食 LDPE 塑膠的生長狀況

表 3. 小蠟蟲攝食 LDPE 保裝紙的結蛹及食量紀錄

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 準備 15 隻小蠟蟲分別放進 15 個培養皿中</li> <li>2. 放置 4X4 cm 的 LDPE 塑膠片於培養皿中</li> <li>3. 溫度：維持在 29<sup>0</sup>C~31<sup>0</sup>C</li> <li>4. 秤量攝食 LDPE 塑膠重量差異</li> <li>5. 計算蠟蟲的結蛹天數、結蛹率</li> <li>6. 計算蠟蟲的死亡天數、死亡率</li> </ol>
---	--

編號	1	2	3	4	5	6	7	8
日期	5月13日	5月13日	5月13日	5月13日	5月13日	5月13日	5月16日	5月16日
結蛹日期	5月16日	5月16日	死亡	死亡	5月16日	5月16日	死亡	5月21日
結蛹日數	4	4	/	/	4	4	/	6
攝食前重量	0.0870g	0.0791g	/	/	0.0776g	0.0880g	/	0.0916g
結蛹後重量	0.0864g	0.0780g	/	/	0.0760g	0.0863g	/	0.0911g
攝食量	0.0006g	0.0011g	/	/	0.0016g	0.0017g	/	0.0005g

編號	9	10	11	12	13	14	15
日期	5月16日	5月16日	5月18日	5月22日	5月22日	5月26日	5月26日
結蛹日期	5月21日	死亡	死亡	死亡	5月24日	死亡	6月4日
結蛹日數	6	/	/	/	3	/	/
攝食前重量	0.0875g	/	/	/	0.0970g	/	/
結蛹後重量	0.0856g	/	/	/	0.0960g	/	/
攝食量	0.0019g	/	/	/	0.0010g	/	/

平均攝食量：0.0012g

\*公式：{各組攝食量總和}/7 = 0.0084g/7

\*尚未結蛹就死亡的小蠟蟲攝食量不列入計算

實驗 4-3 小蠟蟲單獨攝食蜂蠟的生長狀況

表 4. 小蠟蟲攝食 LDPE 塑膠的結蛹及食量紀錄

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 準備 15 隻小蠟蟲分別放進 15 個培養皿中</li> <li>2. 放置約 0.1g 重的蜂蠟於培養皿中</li> <li>3. 溫度：維持在 29<sup>0</sup>C~31<sup>0</sup>C</li> <li>4. 計算蠟蟲的結蛹天數、結蛹率</li> <li>5. 計算蠟蟲的死亡天數、死亡率</li> </ol>								
	編號	1	2	3	4	5	6	7	8
	實驗日期	5月16日	5月16日	5月16日	5月16日	5月16日	5月16日	5月16日	5月16日
	結蛹日期	死亡	5月18日	5月18日	5月19日	5月18日	5月19日	5月18日	5月19日
	結蛹日數		3	3	4	3	4	3	4

編號	9	10	11	12	13	14	15
實驗日期	5月18日	5月16日	5月29日	5月26日	5月26日	5月26日	5月26日
結蛹日期	5月21日	5月18日	死亡	5月29日	5月29日	5月30日	5月30日
結蛹日數	6	3		4	4	5	5

平均攝食量：無法計算

\*因為小蠟蟲結蛹時會將自己及身邊的食物、糞便等一起結成蛹所以無法分離並計算攝食量

實驗 4-4 小蠟蟲單獨且不餵食的生長情況

表 5. 小蠟蟲無食物來源的生長紀錄

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 準備 10 隻小蠟蟲分別放進 10 個培養皿中</li> <li>2. 不放置食物於培養皿中</li> <li>3. 溫度：維持在 29<sup>0</sup>C~31<sup>0</sup>C</li> <li>4. 計算蠟蟲的結蛹天數、結蛹率</li> <li>5. 計算蠟蟲的死亡天數、死亡率</li> </ol>										
	編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	日期	5月25日	5月25日	5月25日	5月25日	5月25日	5月25日	5月25日	5月25日	5月25日	5月25日
	死亡日期	5月30日	存活	5月30日	6月2號	5月30日	5月28日	5月30日	6月2號	5月29日	5月29日
	死亡日數	6	10	6	9	6	4	6	9	5	5

\*小蠟蟲在結蛹前均已死亡，故只記錄死亡天數

表 6. 小蠟蟲單獨攝食 4 種食物來源的結蛹日數&結蛹率比較表

天數	HDPE 塑膠袋		LDPE 塑膠袋		蜂蠟		不餵食	
	結蛹數	結蛹率	結蛹數	結蛹率	結蛹數	結蛹率	結蛹數	結蛹率
第 3 天	0	0%	1	7%	5	33%	0	0%
第 4 天	1	7%	5	33%	10	67%	0	0%
第 5 天	4	27%	5	33%	12	80%	0	0%
第 6 天	7	47%	7	47%	13	87%	0	0%
第 7 天	9	60%					0	0%
第 8 天	9	60%					0	0%
第 9 天	9	60%					0	0%
第 10 天	9	60%						
第 11 天	10	67%						

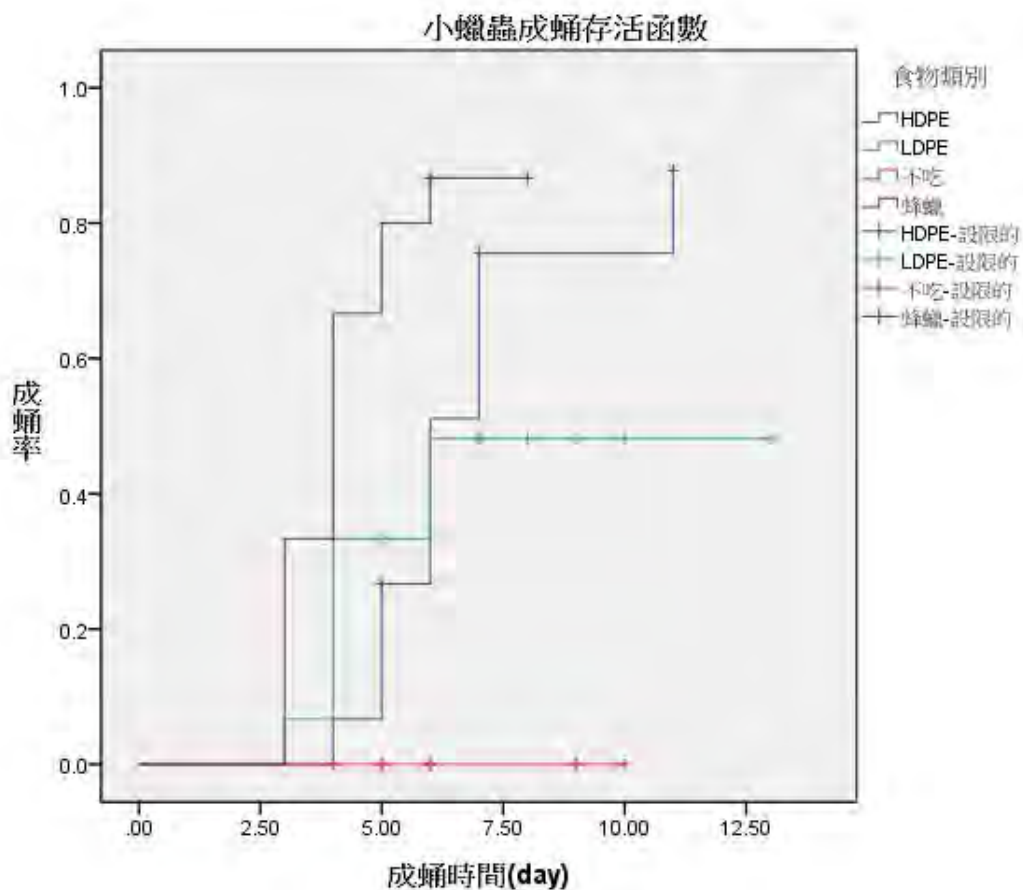


圖 2. 小蠟蟲單獨攝食 4 種食物來源的成蛹時間存活函數

(1)從成蛹存活函數圖中，小蠟蟲在攝食不同的食物 (含不餵食)，顯著影響小蠟蟲結蛹率的高低。結蛹率：蜂蠟>HDPE 塑膠袋>LDPE 保裝紙>不餵食



表 7. 小蠟蟲單獨攝食 4 種食物來源的死亡日數&死亡率比較表

天數	HDPE 塑膠袋		LDPE 塑膠袋		蜂蠟		不餵食	
	存活數	存活率	存活數	存活率	存活數	存活率	存活數	存活率
第 3 天	15	100%	15	100%	15	100%	10	100%
第 4 天	15	100%	15	100%	15	100%	9	90%
第 5 天	13	87%	14	93%	15	100%	7	70%
第 6 天	13	87%	14	93%	15	100%	3	30%
第 7 天	12	80%	12	80%	15	100%	3	30%
第 8 天	12	80%	10	67%	14	93%	3	30%
第 9 天	12	80%	10	67%			1	10%
第 10 天	12	80%	8	53%				
第 11 天	11	73%	8	53%				
第 12 天			8	53%				
第 13 天			7	47%				

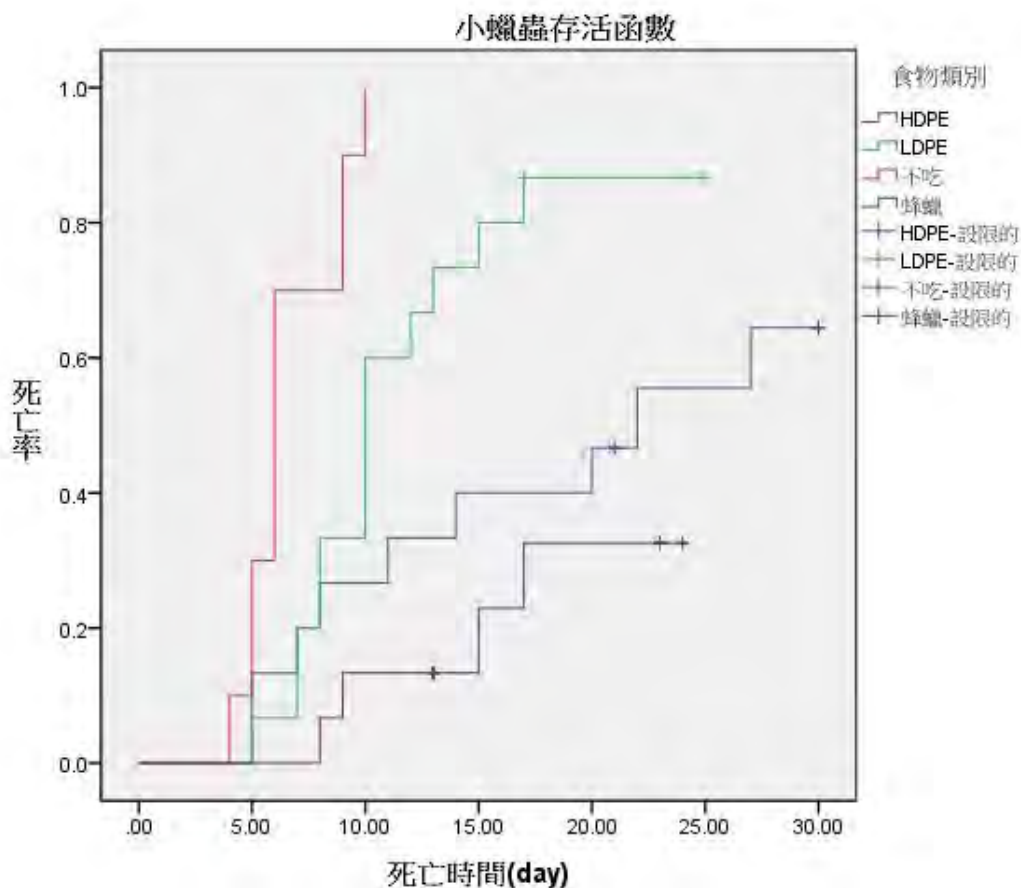


圖 3、小蠟蟲單獨攝食 4 種食物來源的死亡時間存活函數

(1) 從存活函數圖中，小蠟蟲在攝食不同的食物來源下，明顯有影響小蠟蟲在結蛹前死亡率的高低。結蛹前死亡率：不餵食>LDPE 保裝紙>HDPE 塑膠袋 >蜂蠟

表 8. 攝食 HDPE、LDPE、蜂蠟及不餵食達到 25%及 50%結蛹所需時間

固定結蛹比例所需時間	HDPE	LDPE	蜂蠟	不餵食
25%的結蛹時間(day)	4.915	3.6879	3	未達到
50%的結蛹時間(day)	5.954918	未達到	3.5	未達到


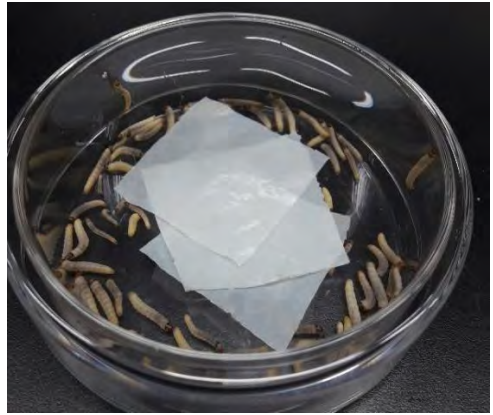
從 25%、50%的結蛹時間表中，攝食不同的食物(含不餵食)，顯著影響小蠟蟲結蛹率的時間。最快達到 25%結蛹時間：蜂蠟>LDPE>HDPE>不餵食，最快達到 50%結蛹時間：蜂蠟>HDPE>LDPE>不餵食。

表 9. 攝食 HDPE、LDPE、蜂蠟及不餵食死亡比率達到 25%及 50%結蛹所需時間

固定死亡比例所需時間	HDPE	LDPE	蜂蠟	不餵食
25%的死亡時間(day)	9.99	7.38	16.46	4.75
50%的死亡時間(day)	未達到	9.50	未達到	5.50


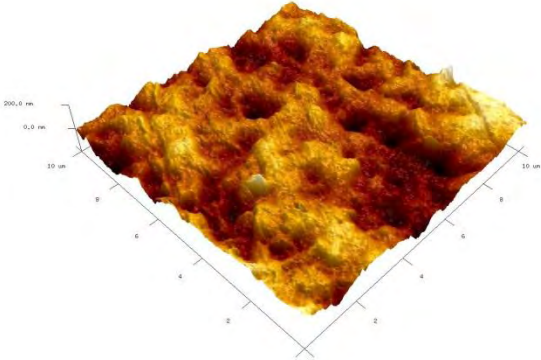
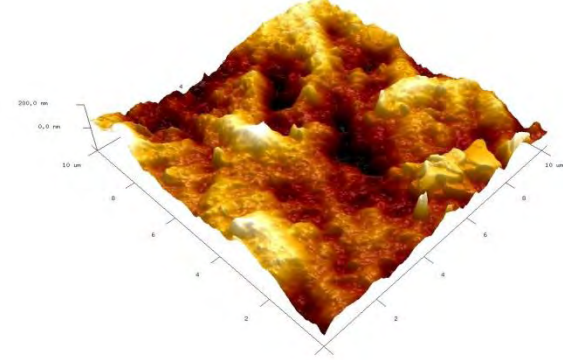
從 25%、50%的死亡時間表中，攝食不同的食物(含不餵食)，顯著影響小蠟蟲結蛹前死亡率的時間。最快達到 25%死亡時間：不餵食>LDPE>HDPE > 蜂蠟，最快達到 50%死亡時間：不餵食>LDPE>HDPE>蜂蠟。

#### 五、探討小蠟蟲在 HDPE 塑膠袋平均一天的攝食量

	<p>結果一</p> <p>HDPE 塑膠片，幾乎沒有重量的改變以及明顯的咬痕，甚至比單獨飼養時所減輕的重量還少。我們重複再做一次的結果也幾乎沒有重量上的改變。於是我們聯想到是否又是小蠟蟲互食的緣故，所以清點小蠟蟲的數量。小蠟蟲的數量確實減少了 13 隻。塑膠重量減少 0.0012g，平均一隻攝食 0.000012g 遠低於單獨飼養平均 1 日的攝食量 0.0006g。</p>
	<p>結果二</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 我們改放入蜂蠟進行實驗，小蠟蟲則沒有再發生互食的現象。</li> <li>2. 因此我們推測，小蠟蟲對食物是有喜好分別的，依序為：蜂蠟&gt;同類&gt;HDPE&gt;LDPE。</li> </ol>

六、探討 HDPE 塑膠袋、LDPE 包裝紙在塗抹小蠟蟲體液後作用情形

實驗 6-1 HDPE 塑膠袋塗抹小蠟蟲體液後經原子力顯微鏡 AFM 觀察反應情況

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 如下兩圖所示，相同的塑膠片，在塗抹小蠟蟲的體液後，粗糙度(Rq)有顯著上升，23.8 nm→76.2nm</li> <li>2. 從下兩圖的變化，在塗抹小蠟蟲的體液後，表面的腐蝕深度加大</li> <li>3. 小蠟蟲攝食 HDPE 塑膠片除了利用口器外，體液是能分解塑膠的。</li> </ol>
<p>AFM 攝影圖：HDPE 未塗抹</p>	<p>AFM 攝影圖：HDPE 塗抹蠟蟲體液</p>
	
<p>粗糙度(Rq)五樣區算術平均數 23.8 nm</p>	<p>粗糙度(Rq)五樣區算術平均數 76.2nm</p>

實驗 6-2 LDPE 包裝紙塗抹小蠟蟲體液後反應情況

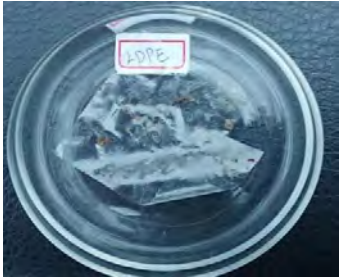
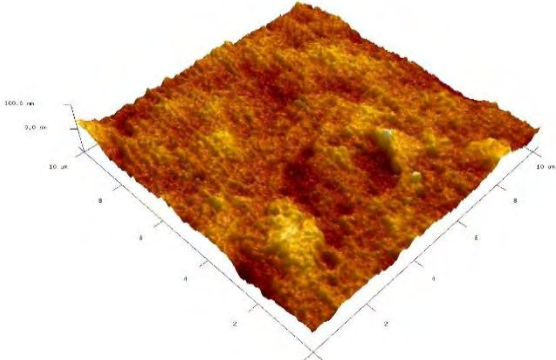
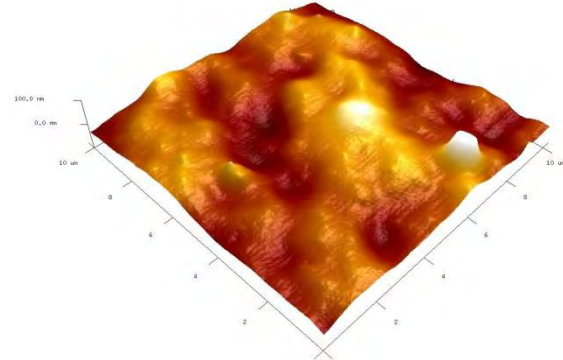
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 如下兩圖所示，相同的包裝紙，在塗抹小蠟蟲的體液後，粗糙度(Rq)平均有顯著上升，12.46 nm→ 57.68 nm</li> <li>2. 從下兩圖的變化，在塗抹小蠟蟲的體液後，表面腐蝕深度加大且圓潤連續。</li> <li>3. 小蠟蟲攝食 LDPE 塑膠片除了利用口器外，體液是能分解塑膠的。</li> </ol>
<p>AFM 攝影圖：LDPE 未塗抹</p>	<p>AFM 攝影圖：LDPE 塗抹蠟蟲體液</p>
	
<p>粗糙度(Rq)五樣區算術平均數 12.46 nm</p>	<p>粗糙度(Rq)五樣區算術平均數 57.68nm</p>

表 10. HDPE、LDPE、PET、PVC、PS、PP 等 6 組塑膠粗糙度 Rq 數值分析結果

檢測物品	PS	PVC	HDPE	LDPE	PET	PP
p value	0.054	0.362	.000	.000	.066	.006

使用 one-way anove 檢定塗抹前後塑膠粗糙度數值平均數是否相同。由表可知 HDPE、LDPE 的 p 值<0.05。PET、PVC、PS、PP 四組的 p 值>0.05。結果顯示塗抹蠟蟲體液於 HDPE、LDPE 兩組的前後測粗糙度有顯著差異。PET、PVC、PS、PP 四組的前後測粗糙度沒有顯著差異。小蠟蟲體液在 HDPE、LDPE 上有分解作用。

## 陸、討論

### 一、觀察小蠟蟲的生長情況及形態

- (一)我們一開始拿到蜂蠟，發現裡面連一隻蟲都沒有。經與根據飼養者討論，由於巢脾會受工蜂清理，而較少出現小蠟蟲。因此我們開始使用老舊蠟脾，舊蠟脾(咖啡色)出現蠟蟲的數量比新蠟脾(金黃色)多。從中發現小蠟蛾為主要繁植物種，大蠟蛾僅個位數存在，因此選用小蠟蛾為實驗題材。我們將採集蠟脾放置野外數天，發現小蠟蛾可以找到蠟脾並產卵，增加小蠟蟲的採集數量。
- (二)由於在幾波寒流肆虐下，小蠟蟲大量減少，所以我們增加控溫系統，例如：裝電燈泡，讓牠們加溫以維持箱子內的溫度，這個方法成為了我們實驗的方法，使蠟蛾在冬天生產加速，而完成實驗所需的使用量，也認識小蠟蟲的生命週期跟多數昆蟲一樣會隨著溫度上升而加速。
- (三)我們發現在飼養小蠟蟲的過程中，不容易觀察到牠的齡期，因為小蠟蟲除了攝食蜂蠟外，還會將蛻下了皮也吃掉，甚至在不餵食的情況下，連同類也能攝食，所以不易透過褪皮來判斷蟲齡。除此之外，小蠟蟲在結蛹過程中，會將糞便、食物等裹在蛹上，不易分離並計算攝食量。

### 二、測試並觀察小蠟蟲攝食 PE 塑膠袋的生長情況

Bombelli 教授發表於「當代生物學」的文獻，僅有大蠟蟲攝食 PE 型塑膠袋的實驗。因此，我們先設計測試實驗中，證實小蠟蟲同樣也能攝食塑膠 PE，並且能夠繼續成長至小蠟蛾，維持生命週期所需。是否因塑膠結構相似，小蠟蟲也能攝食其他類型塑膠，進一步，我們設計了各類塑膠的攝食實驗。

### 三、觀察並探討小蠟蟲攝食六種環保型塑膠的生長情況

(一)從實驗 3-1~3-6 中發現大部分小蠟蟲會攝食 HDPE、LDPE，無法攝食 PET、PVC、PP、PS 等四型塑膠而死亡。在實驗過程中因為有部分蠟蟲完成生命週期，一度誤以為小蠟蟲也能分解這四種塑膠，或者可以獨立靠著自身的能量完成生命週期。在無法確認同一環境產生兩種結果的原因，加上實驗中小蠟蟲莫名的消失不見，確認無逃脫路徑。因此大膽假設小蠟蟲攻擊同伴吃了同伴，並做為成長的營養來源。因此確認小蠟蟲具有同類互食的現象(實驗 3-7)，單獨飼養的環境必須建立。

(二)透過實驗 3-8 的實驗修正並建立單獨飼養的環境，我們發現小蠟蟲在攝食這四種塑膠後的結果與實驗 3-7 小蠟蟲無食物來源的結果非常相似，小蠟蟲均在未結蛹前就已經死亡，因此我們確認小蠟蟲是無法攝食這四種塑膠，在結蛹前死亡。從一系列的實驗 3-1~3-8 顯示小蠟蟲以 HDPE、LDPE 型塑膠作為食物來源，可以順利成長至小蠟蛾。

### 四、探討並比較小蠟蟲單獨在可攝食的 HDPE、LDPE、蜂蠟及不餵食的生長情況

(一)我們將小蠟蟲單獨飼養於 HDPE 塑膠袋、LDPE 包裝紙、蜂蠟以及無食物來源，進行更深入的生長狀況比較，小蠟蟲在攝食不同的食物來源下，結蛹率及存活率有顯著影響：

1.小蠟蟲在結蛹率的表現為：蜂蠟>HDPE>LDPE>無食物來源

2.小蠟蟲在存活率的表現為：蜂蠟>HDPE>LDPE>無食物來源

小蠟蟲攝食蜂蠟在結蛹率及存活率上有較佳的表現。在觀察攝食 HDPE 及 LDPE 結蛹時間，發現結蛹時間較正常攝食蜂蠟者為低，尤其攝食 LDPE 為最低。推論單純攝食聚乙烯雖可為食材，卻因缺乏其他元素導致結蛹率降低。

(二)小蠟蟲單獨在 HDPE 塑膠袋中，結蛹前的平均攝食量為 0.0054g，而單獨在 LDPE 包裝紙中，結蛹前的平均攝食量為 0.0012g，可比較出小蠟蟲在攝取塑膠平均攝食量的表現為：HDPE 塑膠袋大於 LDPE 包裝紙的攝食量。(攝食蜂蠟組別，因無法分離裹在蛹上的蜂蠟，以致無法計算並比較攝食量)

### 五、小蠟蟲在 HDPE 塑膠袋平均一天的攝食量觀察

(一)原本為進行測量 100 隻的小蠟蟲，在一天之內可以攝食多少的 HDPE 塑膠袋時，意外發

現小蠟蟲對於食物具有食性偏好，因而使得攝食重量沒有出現明顯變化，平均攝食量遠小於一隻小蠟蟲的平均攝食量，加上少了 13 隻小蠟蟲，故推測小蠟蟲在食物的選擇上，有優先順序。

(二)透過依序更換食物進行實驗，從結果推測小蠟蟲食性偏好為：蜂蠟>同類>HDPE 塑膠袋 >LDPE 包裝紙。

## 六、探討 HDPE 塑膠袋、LDPE 包裝紙在塗抹小蠟蟲體液後作用情形

在前面一系列的實驗當中，我們從小蠟蟲攝食塑膠後並成長至小蠟蛾的結果，表示是有代謝作用的發生，因此間接推論出小蠟蟲是可以分解塑膠的。如果單純使用小蠟蟲體內的液體，進行塗抹塑膠的實驗，是否更能證明塑膠在小蠟蟲的腸胃中被分解的證據呢？實驗 4-1~4-2，藉由原子力顯微鏡的幫助下，我們可以觀察到六種類型的塑膠在塗抹過小蠟蟲的體液後，其中 HDPE、LDPE 塑膠的表面粗糙度(Rq)檢測產生顯著差異，粗糙度上升達數倍之多，與小蠟蟲可以攝食 HDPE、LDPE 塑膠並完成生命週期結果相符，小蠟蟲可以攝食並分解 HDPE、LDPE 塑膠。另外，仔細觀察 AFM 攝影照片，原本粗糙表面均因分解而更圓滑，刻痕更深，粗糙度更大。證明小蠟蟲體液具有分解塑膠的關鍵物質，若能分析萃取萃取體液，乃至消化道中的細菌，是否可以找到分解塑膠關鍵的機制，仍待外來進一步的研究。

## 柒、結論

一、小蠟蟲能夠攝食的環保型塑膠種類為 HDPE、LDPE，並在攝食後成長至小蠟蛾。透過小蠟蟲在不餵食的情況就會在結蛹前死亡的實驗結果作為對照，小蠟蟲在攝食 HDPE、LDPE 型塑膠後可以結蛹並持續變態至小蠟蛾，間接說明這兩種塑膠對小蠟蟲具有營養價值。

二、PET、PVC、PP、PS 等四型塑膠小蠟蟲無法攝食且發現小蠟蟲在其中會彼此互食。

三、食物來源的不同對於小蠟蟲結蛹率以及存活率是有顯著影響。蜂蠟>HDPE 塑膠袋>LDPE 包裝紙>無食物來源

四、小蠟蟲的體液能對於 HDPE、LDPE 型塑膠會進行分解。

雖然我們無法測得塑膠分解後的產物，但是我們透過原子力顯微鏡的觀察，發現兩種塑膠在塗抹小蠟蟲的體液後，表面的粗糙度上升，而且可以明顯看見塑膠表面的坑洞變深以及表面變得與原先有所不同。

## 捌、參考資料及其他

- 一、Bombelli P, Howe CJ, Bertocchini F. Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*. *Curr Biol*.2017;27:R292–R293.
- 二、Inside。科學家發現：大蠟蛾可消化塑膠袋並且產生抗凍劑。取自  
<https://www.inside.com.tw/2017/04/25/scientists-have-discovered-a-worm-that-eats-plastic-bags>
- 三、國家地理雜誌中文網。蟲蟲可以幫我們解決塑膠汙染問題嗎？ 取自  
<https://www.natgeomedia.com/news/ngnews/59868>。
- 四、TeckNews。蠟蛾幼蟲吃塑膠，消滅白色污染就靠牠。取自  
<http://technews.tw/2017/04/25/polyethylene-bio-degradation-by-caterpillars-of-the-wax-moth-galleria-mellonella/>。
- 五、科學人雜誌。吃塑膠的蟲。取自：<http://sa.ylib.com/MagArticle.aspx?Unit=newscan&id=3699>。
- 六、商周.com。幼蟲就能吃掉塑膠袋！科學家新發現：這種「蛾」竟能快速分解塑膠。取自  
<https://www.businessweekly.com.tw/article.aspx?id=19567&type=Blog>。
- 七、小蠟蛾(*Achroia grisella* (F.))之形態及其生活習性初步觀察(研究報告)。取自  
<http://entsocjournal.yabee.com.tw/AllDataPos/JournalPos/VOL13/NO3/TESFE.1993021.PDF>。
- 八、王健鼎。1981。小蠟蛾生物學及其防治方法得初步研究。中國養蜂。6:5-6。

## 【評語】 030303

1. 本科展作品主旨在探討台灣小蠟蟲攝食六種環保型塑膠，實驗結果小蠟蟲可攝食高密度聚乙烯及低密度聚乙烯兩種塑膠，以完成生命週期。
2. 研究主題的選擇相當有趣，作品的題目名稱容易吸引讀者目光。實驗設計中適當地控制變因及改進實驗步驟，且有系統地收集數據及分析。
3. 由於已有相關的著作發表，雖有探討其他材質的攝取情形，然整體原創性仍較為不足。內容仍處於推測及觀察的層面。
4. 存活曲線可進行統計測試，以評估不同處理間是否具有顯著的差異。
5. 此研究最重要之處在於實驗 6 小蠟蟲體液的分解作用，建議進一步深入探討體液中的關鍵成分。
6. 對幼蟲齡期的判斷，最好以頭殼寬來畫分會比較準確。有些幼蟲在攝食到達一定程度後，其實就會停止，數日後也可成功化蛹。





# ABOUT *Achroia grisella*

## 摘要

小蠟蟲是臺灣普遍在蜂巢出現的重要害蟲之一，我們從家鄉養蜂場飼養的義大利蜂巢中採集巢片及小蠟蟲。在實驗室設計適合飼養環境，孵出高比例數量的小蠟蛾 (*Achroia grisella*)，觀察其生命週期及型態，並測試是否攝食塑膠，結果發現小蠟蟲攝食聚乙烯 (PE)。再來測試是否食用聚對苯二甲酸乙二酯 (PET)、高密度聚乙烯 (HDPE)、聚氯乙烯 (PVC)、低密度聚乙烯 (LDPE)、聚丙烯 (PP)、聚苯乙烯 (PS)。實驗結果小蠟蟲會攝食HDPE及LDPE，也能完成生命週期。透過原子力顯微鏡觀察，小蠟蟲體內存在分解塑膠的元素，未來將根據此研究基礎進一步分析研究小蠟蟲透過何種機制分解塑膠。

## 壹、研究動機

網路報導「蠟蛾幼蟲吃塑膠，消滅白色汙染就靠牠」文章中，意外發現蠟蛾的幼蟲可以攝食塑膠。國外科學家針對印度穀螟 (*Plodia interpunctella* Hubner) 及大蠟蛾 (*Galleria mellonella*) 進行相關研究，胃腸有某些成分可以在數週內分解塑膠。英國劍橋大學Paolo Bombelli教授發表於「當代生物學」一篇研究，證實大蠟蟲不只是咀嚼塑膠袋，而且可以對塑膠進行分解。Bombelli教授的研究雖闡述大蠟蟲能分解塑膠，但未能針對大部分常使用的塑膠探討是否有出現相同的攝食行為及分解狀況，臺灣現有文獻裡也找不到蠟蟲是否能吃塑膠且分解塑膠的相關證據，對於臺灣蜂巢中常見小蠟蟲攝食塑膠的研究及報導更是難得一見。

上生物課的時候，在第一冊第三章：生物體的營養素的章節中也告訴我們，塑膠並不是我們人體或是大多數的生物所能夠分解及代謝，因而造成環境及生物的危機，特別是傷害海洋生物。因此，若能找到分解塑膠的物種且分析出分解塑膠的原理，對人類未來永續存活的環境，有莫大的助益。

學校老師曾經在上生物課時分享自身養蜂經驗，讓我們得知蠟蟲普遍存在蜂巢，並造成危害，因此拜託老師帶著我們到社區養蜂場找了一些不要的蜂蠟，進行蠟蟲的養殖觀察並進行對塑膠的攝食研究之旅。臺灣是塑膠生產國，臺灣的小蠟蟲是否與國外相同，也能把塑膠當成食物呢？

實驗用蠟蟲

特徵：蠟蟲呈中白色，腳端黑色，細小的頭部也是黑色。

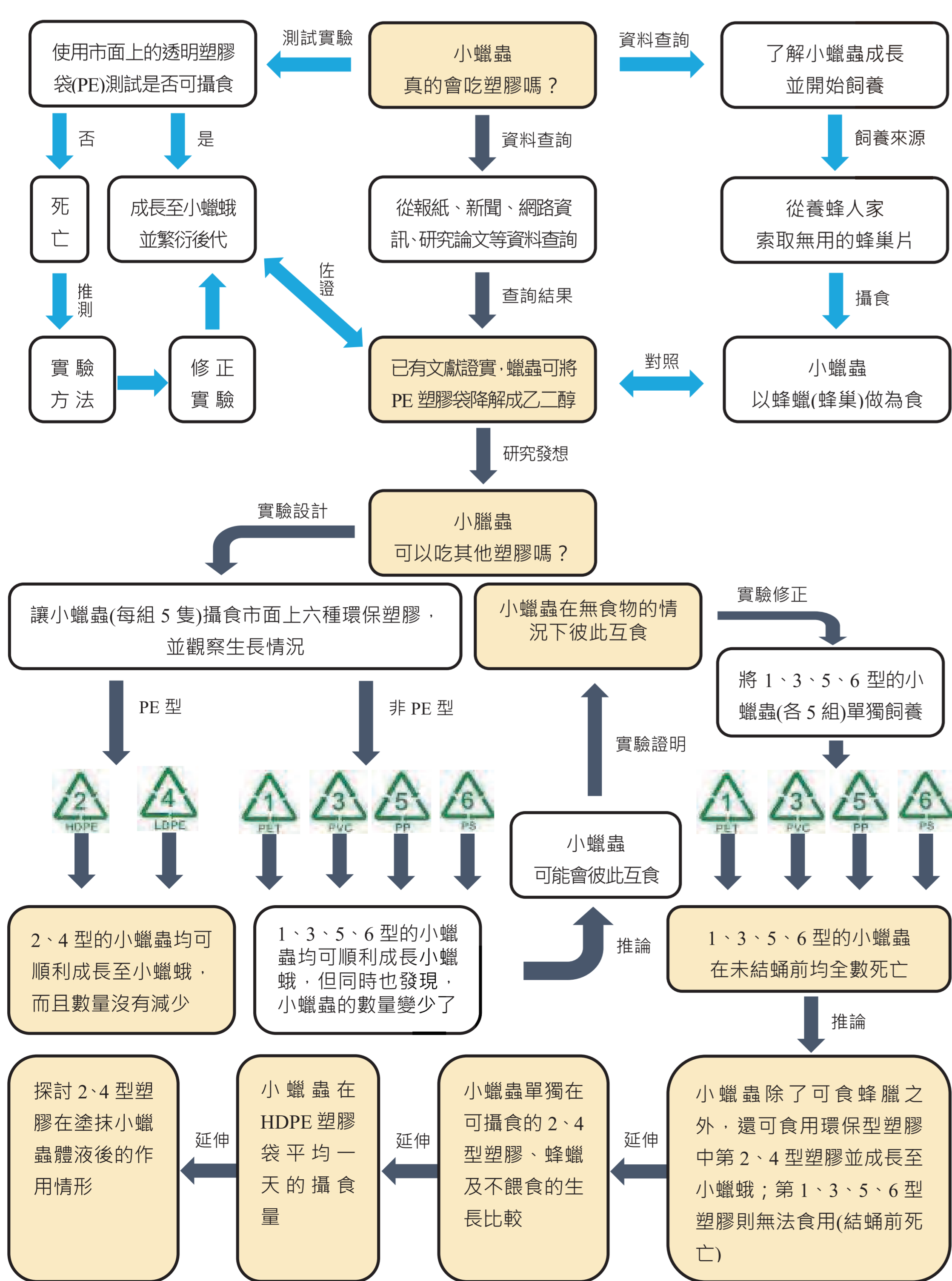


## 貳、研究設備及器材

### 一、研究器材

蠟蟲培育設備	蠟蟲捕捉設備&蟲蛹培育設備	檢測設備	清洗設備	觀測設備 (一)	觀測設備 (二)	觀測設備 (三)
蜂巢片 蜂箱 塑膠箱 電燈泡 溫度計	寶特瓶 黑色膠帶 黑色紙張	PET寶特瓶 HDPE塑膠袋 PVC塑膠管 LDPE洗滌瓶 LDPE包裝紙 PP布丁盒 PS養樂多罐	超音波洗滌器 去離子水 剪刀 玻璃片 雙面膠 培養皿 噴霧球	培養皿 鑷子 放大鏡 相機 電子天平	原子力顯微鏡 (AFM)	掃描式電子顯微鏡 (SEM, 左圖) 鍍金機 (右圖)

### 二、研究流程圖



### 參、研究目的&研究結果

	來源取得 來源：校內老師的義大利蜂巢跟養蜂產銷班的廢巢片。 方式：小蠟蟲會出現在廢巢的蜂巢中，蜂巢片會出現白色絲狀物(很像發霉)，所以跟老師索取廢巢蜂巢片來蠟蟲。
	飼養方式 溫度：23°C~25°C 方法：1.將蜂蠟切碎後平鋪在塑膠箱底。 2.並用燈具保持在一定的溫度範圍內。 結果：大約20到25天後可在巢片中翻找出幼蟲。
	取得方式 方法：我們將剝碎的蜂巢使用鑷子小心翻找，通常在有白色絲狀蜂巢有較大的機率找到。
	生生不息 方式：我們需要大量的蠟蟲作為研究來源，所以我們將結蛹的小蠟蟲收集起來孵化，並讓孵化的蛾能夠持續生育下去。
	體長測量 方式：利用兩片載玻片在培養皿上搭出一個可以讓小蠟蟲通過的通道，並在培養皿下方放置鐵尺進行測量。
	體重測量 方式：由於小蠟蟲體重過輕，無法在天秤上顯示出重量，因此我們挑選100隻的小蠟蟲進行秤重，扣除培養皿重量後再求1隻小蠟蟲體重的算術平均數。
	小蠟蟲表面微觀 方式：使用掃描式電子顯微鏡(SEM)。 1.將小蠟蟲固定在膠帶上，觀測面朝上。 2.樣品送入鍍金機30秒，鍍上一層白金。 3.送入SEM觀測，調整適當角度和倍率觀測。

### 實驗3 觀察並探討小蠟蟲攝食六種環保型塑膠的生長情況

	實驗3-1 PET寶特瓶	實驗3-2 HDPE塑膠袋	實驗3-3 PVC塑膠管	實驗3-4 LDPE洗滌瓶	實驗3-5 PP布丁盒	實驗3-6 PS養樂多瓶	實驗3-7 小蠟蟲不餵食
第1天	1.將5隻(約1cm)小蠟蟲放進培養皿中 2.PET寶特瓶切片放入培養皿 3.溫度：維持在20°C~25°C	1.將5隻(約1cm)小蠟蟲放進培養皿中 2.將HDPE塑膠袋切片後放入培養皿中 3.溫度：維持在20°C~25°C	1.將5隻(約1cm)小蠟蟲放進培養皿中 2.將PVC塑膠管切片後放入培養皿中 3.溫度：維持在20°C~25°C	1.將5隻(約1cm)小蠟蟲放進培養皿中 2.將LDPE洗滌瓶切片後放入培養皿中 3.溫度：維持在20°C~25°C	1.將5隻(約1cm)小蠟蟲放進培養皿中 2.將PP布丁盒切片後放入培養皿中 3.溫度：維持在20°C~25°C	1.將5隻(約1cm)小蠟蟲放進培養皿中 2.將PS養樂多瓶切片後放入培養皿中 3.溫度：維持在20°C~25°C	1.將5隻(約1cm)小蠟蟲放進培養皿中 2.不放置任何食物 3.溫度：維持在20°C~25°C
第18天	2隻小蠟蟲仍在蛹中 1隻小蠟蟲破蛹而出 2隻小蠟蟲不見了	4隻小蠟蟲仍在蛹中 1隻小蠟蟲破蛹而出	3隻小蠟蟲結蛹，但尚未成蛾 (有兩隻小蠟蟲的塑膠膠落)	4隻小蠟蟲仍在蛹中 1隻小蠟蟲破蛹而出	1隻小蠟蟲仍在蛹中 1隻小蠟蟲破蛹而出	1隻小蠟蟲結蛹了 4隻小蠟蟲不見了	1隻小蠟蟲破蛹而出
結果	18天後，結蛹率達60% (3/5)，成蛾率達20%(1/5)	1.18天後，結蛹率達100% (5/5)，成蛾率20%(1/5) 2.實驗過程中沒有小蠟蟲不見，顯示小蠟蟲可以利用HDPE塑膠袋完成發育	1.18天後，結蛹率達60% (3/5)，成蛾率0%(0/5) 2.有2隻小蠟蟲在實驗的過程中不見了，確認飼養為密閉空間，且有小蠟蟲殘骸存在，推測為同類互相攝食的現象	1.18天後，結蛹率達100% (5/5)，成蛾率20%(1/5) 2.實驗過程中沒有小蠟蟲不見，顯示小蠟蟲可以利用LDPE塑膠袋完成發育	1.18天後，結蛹率達40% (2/5)，成蛾率10%(1/5) 2.有3隻小蠟蟲在實驗的過程中不見了，確認飼養為密閉空間，且有小蠟蟲殘骸存在，推測為同類互相攝食的現象	1.18天後，結蛹率達20% (1/5)，成蛾率0%(0/5) 2.有4隻小蠟蟲在實驗的過程中不見了，確認飼養為密閉空間，且有小蠟蟲殘骸存在，推測為同類互相攝食的現象	1.18天後，結蛹率達20% (1/5)，成蛾率20%(1/5) 2.有4隻小蠟蟲在實驗的過程中不見了，小蠟蟲在無食物來源的情形下，會以攝食同類的方式繼續成長。

### 實驗1 觀察小蠟蟲的生長情況及形態



### 實驗3-8 將小蠟蟲單獨飼養於PET寶特瓶、PVC塑膠管、PP布丁盒、PS養樂多瓶

1.準備 PET 寶特瓶、PVC 塑膠管、PP 布丁盒、PS 養樂多瓶，各 5 組(共 20 組)  
2.每一組放入一隻小蠟蟲(共 20 隻)  
3.溫度：維持在 23°C~25°C

塑膠類型	PET 寶特瓶		PVC 塑膠管		PP 布丁盒		PS 養樂多瓶	
天數	存活數	存活率	存活數	存活率	存活數	存活率	存活數	存活率
第 6 天	5	100%	5	100%	5	100%	5	100%
第 7 天	4	80%	5	100%	4	80%	5	100%
第 8 天	3	60%	3	60%	4	80%	4	80%
第 9 天	3	60%	3	60%	3	60%	4	80%
第 10 天	3	60%	2	40%	3	60%	3	60%
第 11 天	2	40%	2	40%	3	60%	2	40%
第 12 天	1	20%	2	40%	1	20%	0	0%
第 13 天	0	0%	1	20%	0	0%		
第 14 天			0	0%				
結果	1.小蠟蟲單獨飼養於 4 類塑膠內的 20 隻小蠟蟲均在結蛹前死亡。 2.實驗 3-1、3-3、3-5、3-6 的小蠟蟲為群體飼養，對照於實驗 3-8 單獨飼養的情況下全數死亡，證明實驗 3-1、3-3、3-5、3-6 能完整發育的小蠟蛾，是攝食同類以獲得營養來源。							

### 實驗2 測試小蠟蟲是否攝食PE型塑膠袋

### 實驗4 小蠟蟲單獨攝食HDPE、LDPE、蜂蠟及不餵食的生長情形

小蠟蟲單獨攝食4種食物來源的結蛹日數&結蛹率比較表

天數	HDPE 塑膠袋		LDPE 塑膠袋		蜂 蠟		不 餵 食	
	結蛹數	結蛹率	結蛹數	結蛹率	結蛹數	結蛹率	結蛹數	結蛹率
第 3 天	0	0%	1	7%	5	33%	0	0%
第 4 天	1	7%	5	33%	10	67%	0	0%
第 5 天	4	27%	5	33%	12	80%	0	0%
第 6 天	7	47%	7	47%	13	87%	0	0%
第 7 天	9	60%					0	0%
第 8 天	9	60%					0	0%
第 9 天	9	60%					0	0%
第 10 天	9	60%						
第 11 天	10	67%						

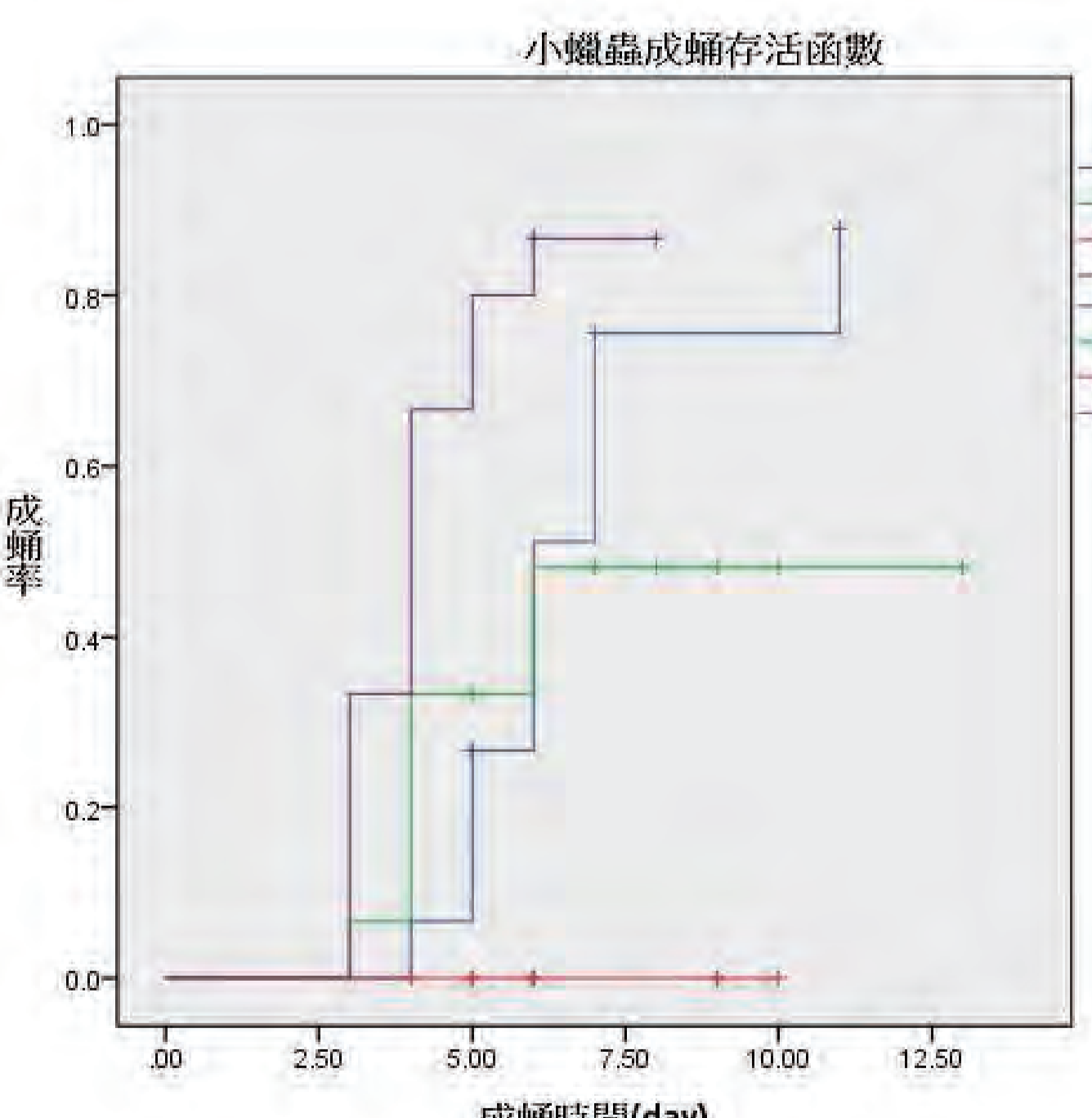
結蛹率：蜂蠟>HDPE塑膠袋>LDPE保裝紙>不餵食

小蠟蟲單獨攝食4種食物來源的死亡日數&死亡率比較表

天數	HDPE 塑膠袋		LDPE 塑膠袋		蜂 蠟		不 餵 食	
	死亡數	死亡率	死亡數	死亡率	死亡數	死亡率	死亡數	死亡率
第 3 天	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
第 4 天	0	0%	0	0%	0	0%	1	10%
第 5 天	2	13%	1	7%	0	0%	3	30%
第 6 天	2	13%	1	7%	0	0%	7	70%
第 7 天	3	20%	3	20%	0	0%	7	70%
第 8 天	3	20%	5	33%	1	7%	7	70%
第 9 天	3	20%	5	33%			1	90%
第 10 天	3	20%	7	47%			0	100%
第 11 天	4	27%	7	47%				
第 12 天			7	47%				
第 13 天			8	53%				

結蛹前死亡率：不餵食>LDPE保裝紙>HDPE塑膠袋 >蜂蠟

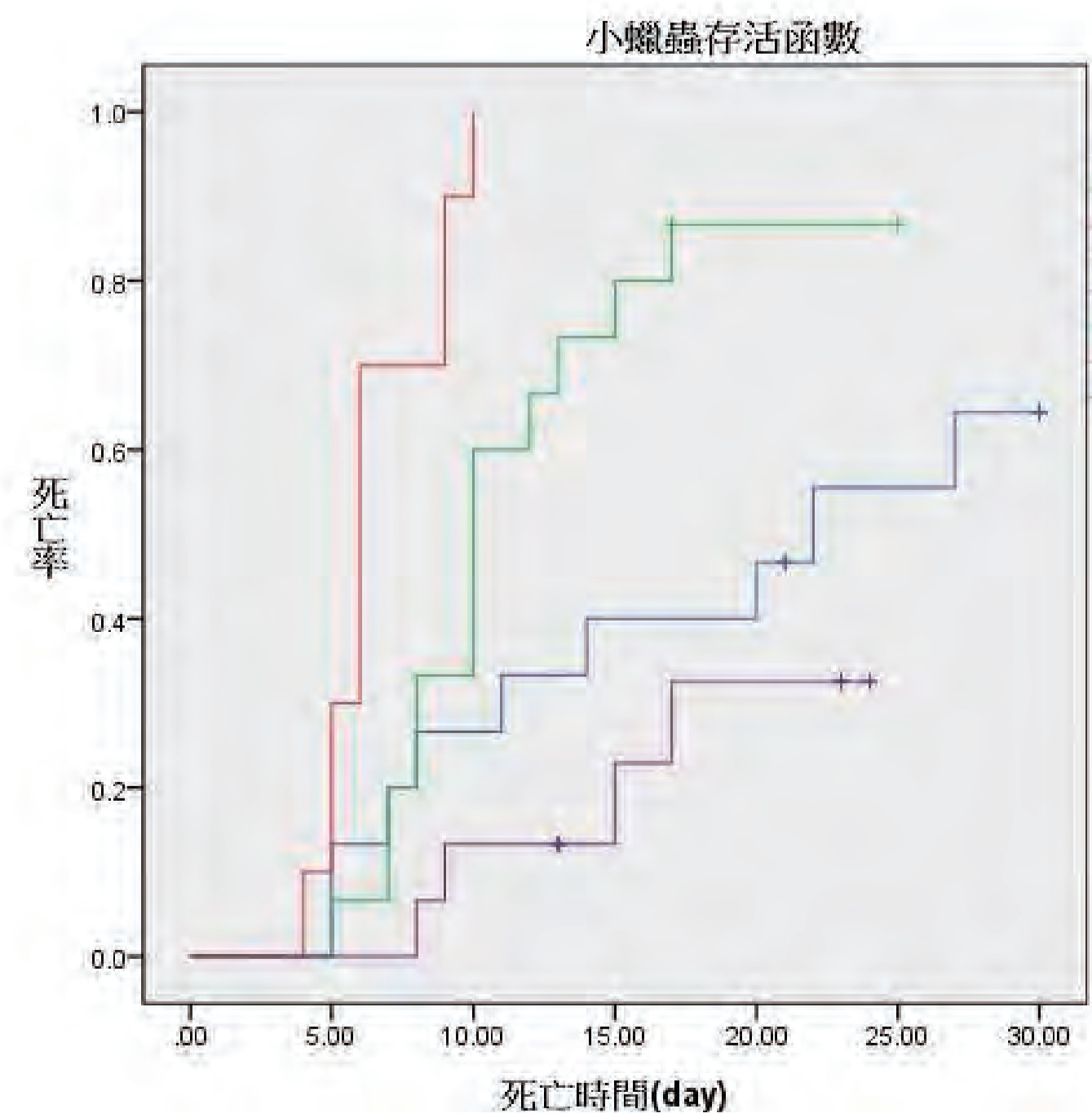
結蛹前平均攝食量0.0054g



### 攝食HDPE、LDPE、蜂蠟及不餵食比例達到25%及50%結蛹量所需時間

達到結蛹比例所需時間	HDPE	LDPE	蜂 蠟	不 餵 食
25%的結蛹時間(day)	4.915	3.6879	3	未達到
50%的結蛹時間(day)	5.954918	未達到	3.5	未達到

最快達到 25%結蛹時間：蜂蠟>LDPE>HDPE>不餵食，最快達到 50%結蛹時間：蜂蠟>HDPE>LDPE>不餵食。



### 攝食HDPE、LDPE、蜂蠟及不餵食死亡比率達到25%及50%所需時間

達到死亡比例所需時間	HDPE	LDPE	蜂 蠟	不 餵 食
25%的死亡時間(day)	9.99	7.38	16.46	4.75
50%的死亡時間(day)	未達到	9.50	未達到	5.50

最快達到 25%死亡時間：不餵食>LDPE>HDPE >蜂蠟，最快達到 50%死亡時間：不餵食>LDPE>HDPE>蜂蠟。

## 實驗5 探討小蠟蟲在HDPE塑膠袋平均一天的攝食量

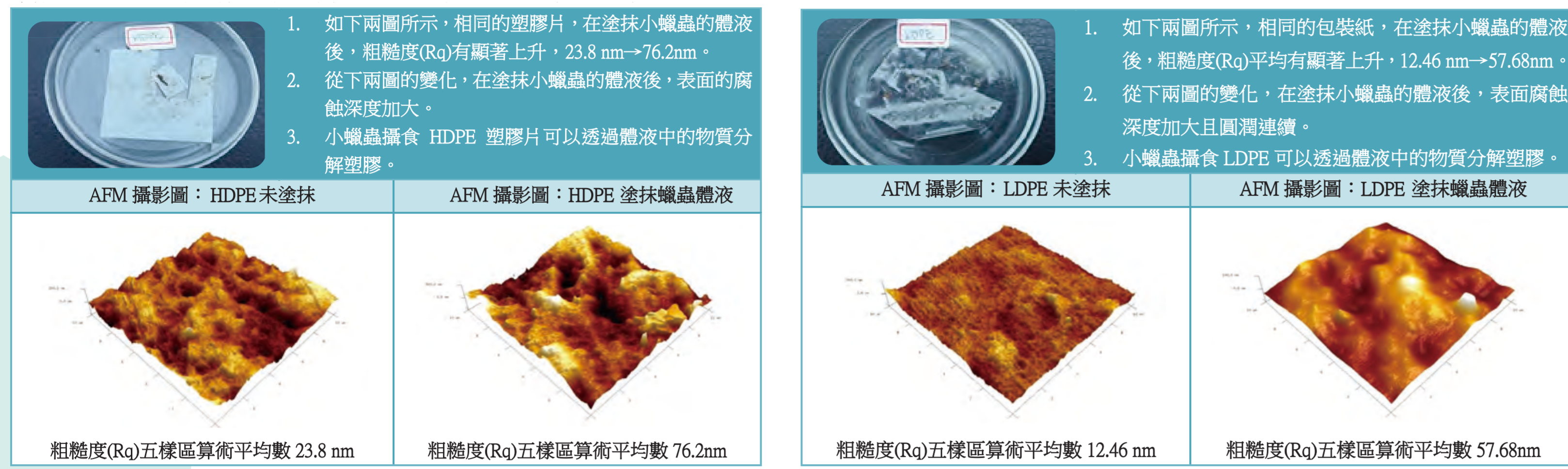
### 實驗結果一

HDPE塑膠重量減少0.0012g，平均一隻攝食0.000012g遠低於單獨飼養平均1日的攝食量0.0006g，幾乎沒有重量的改變以及明顯的咬痕，甚至比單獨飼養時所減輕的重量還少。我們重複再做一次的結果也幾乎沒有重量上的改變。於是我們聯想到是否又是小蠟蟲互食的緣故，所以清點小蠟蟲的數量。小蠟蟲的數量確實減少了13隻。

### 實驗結果二

1. 放入蜂蠟進行實驗，小蠟蟲則沒有再發生互食的現象。
2. 依照觀察結果及攝食量推測，小蠟蟲對食物是有喜好分別，依序為：蜂蠟>同類>HDPE>LDPE。

## 實驗6 探討HDPE塑膠袋、LDPE包裝紙塗抹小蠟蟲體液後作用情形



### 6種塑膠塗抹前後粗糙度Rq分析結果

檢測物品	PS	PVC	HDPE	LDPE	PET	PP
p value	0.054	0.362	.000	.000	.066	.006

使用 one-way anova 檢定塗抹前後塑膠粗糙度數值平均數是否相同。由表可知 HDPE、LDPE 的 p 值<0.05。PET、PVC、PS、PP 四組的 p 值>0.05。結果顯示塗抹蠟蟲體液於 HDPE、LDPE 兩組的前後測粗糙度有顯著差異。PET、PVC、PS、PP 四組的前後測粗糙度沒有顯著差異。小蠟蟲體液在 HDPE、LDPE 塑膠上有顯著分解作用。

## 肆、討論

### 一、觀察小蠟蟲的生長情況及形態

- (一)實驗開始取得的蜂蠟，裡面連一隻蟲都沒有，經與飼養者討論，由於巢脾會受工蜂清理，而較少出現小蠟蟲。因此我們開始使用老舊蠟脾進行培育，舊蠟脾(咖啡色)出現蠟蟲的數量比新蠟脾(金黃色)多。並且發現巢片中小蠟蛾為主要大量繁殖物種，大蠟蛾僅有個位數存在，因此選用小蠟蛾為實驗題材。
- (二)由於在幾波寒流肆虐下，小蠟蟲大量減少，所以我們增加控溫系統，例如：裝電燈泡，讓牠們加溫以維持箱子內的溫度，這個成為了我們控制小蠟蟲生長週期的方法，使蠟蛾在冬天生產加速，而完成實驗所需的使用量，也認識小蠟蟲的生命週期跟多數昆蟲一樣會隨著溫度上升而加快。
- (三)我們發現在飼養小蠟蟲的過程中，不容易觀察到牠的齡期，因為小蠟蟲除了攝食蜂蠟外，還會將蛻下了皮也吃掉，甚至在不餵食的情況下，連同類也能攝食，所以不易透過褪皮來判斷蟲齡。

### 二、測試並觀察小蠟蟲攝食PE塑膠袋的生長情況

Bombelli教授發表於「當代生物學」的文獻，僅有大蠟蟲攝食PE型塑膠袋的實驗。因此，我們先設計測試實驗，證實小蠟蟲同樣也能攝食塑膠PE，並且能夠繼續成長至小蠟蛾，維持生命週期所需。接著，更進一步設計了小蠟蟲在各類塑膠的攝食實驗。

### 三、觀察並探討小蠟蟲攝食六種環保型塑膠的生長情況

- (一)從實驗3-1~3-6中發現大部分小蠟蟲會攝食HDPE、LDPE，無法攝食PET、PVC、PP、PS等四型塑膠而死亡。在實驗過程中，我們一度誤以為小蠟蟲能分解這四種非PE型塑膠。但是在實驗中發現小蠟蟲莫名的消失不見，在確認無逃脫路徑後，於是大膽假設小蠟蟲攻擊並吃了同伴，做為成長的營養來源。最後實驗3-7確定了小蠟蟲具有同類互食的現象，單獨飼養的環境必須建立。
- (二)透過實驗3-8的實驗修正並建立單獨飼養的環境，小蠟蟲均在未結蛹前就已經死亡。從一系列的實驗3-1~3-8顯示小蠟蟲以HDPE、LDPE型塑膠作為食物來源，可以順利成長至小蠟蛾。

### 四、探討並比較小蠟蟲單獨在可攝食的HDPE、LDPE、蜂蠟及不餵食的生長情況

- (一)我們將小蠟蟲單獨飼養於HDPE塑膠袋、LDPE包裝紙、蜂蠟以及無食物來源，進行更深入的生長狀況比較，小蠟蟲在攝食不同的食物來源下，結蛹率及死亡率有顯著影響：
  - 1.小蠟蟲在結蛹率的表現為：蜂蠟>HDPE>LDPE>無食物來源
  - 2.小蠟蟲在死亡率的表現為：無食物來源>LDPE>HDPE>蜂蠟小蠟蟲攝食蜂蠟在結蛹率及存活上有較佳的表現。在觀察攝食HDPE及LDPE結蛹時間，發現結蛹時間較正常攝食蜂蠟者為低，尤其攝食LDPE為最低。推論單純攝食聚乙烯雖可為食材，卻因缺乏其他元素導致結蛹率降低。
- (二)小蠟蟲單獨在HDPE塑膠袋中，結蛹前平均攝食量為0.0054g大於單獨在LDPE包裝紙的平均攝食量0.0012g。(攝食蜂蠟組別，因無法分離裹在蛹上的蜂蠟，以致無法計算並比較攝食量)

### 五、小蠟蟲在HDPE塑膠袋平均一天的攝食量觀察

- (一)原本為進行測量100隻的小蠟蟲，在一天之內可以攝食多少的HDPE塑膠袋時，意外發現小蠟蟲對於食物具有食性偏好，因而使得攝食重量沒有出現明顯變化，平均攝食量遠小於一隻小蠟蟲的平均攝食量，加上少了13隻小蠟蟲，故推測小蠟蟲在食物的選擇上，有優先順序。
- (二)透過依序更換食物進行實驗，從結果推測小蠟蟲食性偏好為：蜂蠟>同類>HDPE塑膠袋>LDPE包裝紙。

### 六、探討HDPE塑膠袋、LDPE包裝紙在塗抹小蠟蟲體液後作用情形

在前面一系列的實驗當中，我們從小蠟蟲攝食塑膠後並成長至小蠟蛾的結果，表示是有代謝作用的發生，因此推論出小蠟蟲是可以分解塑膠的。如果單純使用小蠟蟲體內的液體，進行塗抹塑膠的實驗，是否更能證明塑膠在小蠟蟲的身體中被分解的證據呢？實驗6-1~6-2，藉由原子力顯微鏡的幫助下，我們可以觀察到六種類型的塑膠在塗抹過小蠟蟲的體液後，其中HDPE、LDPE塑膠的表面粗糙度(Rq)檢測產生顯著差異，粗糙度上升達數倍之多，與小蠟蟲可以攝食HDPE、LDPE塑膠並完成生命週期結果相符，小蠟蟲可以攝食並分解HDPE、LDPE塑膠。另外，仔細觀察AFM攝影照片，原本粗糙表面均因分解而更圓滑，刻痕更深，粗糙度更大。證明小蠟蟲體液具有分解塑膠的關鍵物質，若能分析萃取萃取體液，乃至消化道中的細菌，是否可以找到分解塑膠關鍵的機制，仍待未來進一步的研究。

## 伍、結論

- 一、小蠟蟲能夠攝食的環保型塑膠種類為HDPE、LDPE，並在攝食後成長至小蠟蛾。對照小蠟蟲在不餵食的情況就會在結蛹前死亡的實驗結果，證明這兩種塑膠對小蠟蟲具有所需成長元素。小蠟蟲無法攝食PET、PVC、PP、PS等四型塑膠，且發現小蠟蟲在四型塑膠中會攝食同類。
- 二、食物來源的不同對於小蠟蟲的結蛹率、結蛹速度以及死亡率、死亡速度是有影響的。
- 三、透過實驗5，我們意外發現小蠟蟲在攝食上可能是有選擇性的。
- 四、透過原子力顯微鏡的觀察，發現塗抹小蠟蟲的體液後，表面粗糙度上升，而且可以明顯看見塑膠表面的坑洞腐蝕變深。證明小蠟蟲體液在HDPE、LDPE塑膠上有顯著分解作用。

