

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 生活與應用科學科(二)

第一名

082906

非「糞」之享～麵包蟲糞的應用探討

學校名稱：臺北市私立靜心高級中學(小學部)

作者： 小六 郭采潔 小六 黃馨誼 小六 林曄	指導老師： 謝智偉
--	------------------

關鍵詞：麵包蟲、飼料、糞砂

得獎感言

換個角度，研究推論大不同

從去年五月到今年七月，歷經了快要一年的科展研究。我們的努力沒有白費，終於獲得第一名的殊榮。科展重要的其實不是最後拿到的名次而是中間的練習，在實驗中的收穫和知識，還有學到了非常多的報告表達技巧。

更重要的是學習到如何和組員們一起互動合作、練習，一起經歷克服問題與困難的點點滴滴；原本我們並沒有設想我們會拿到第一名。比賽前，報告跟海報都已經反覆練習，但當面對評審團時，我們還是非常的緊張。還好充分的準備，讓我克服了所有的比賽壓力，最後很順利的完成了我們的報告。我希望上了國中之後，還有機會繼續參加科展比賽，做我有興趣的題目，再次面對科展帶給我所有的挑戰！

在比賽前，我們每天中午都到實驗室裡做實驗，為的就是在比賽時能向評審展示出最真實且清楚的實驗數據。我們在暑假時回到學校練習口頭報告，三個人常常聚再一起一整天，討論報告到下午，為的就是可以在評審面前講出最好的報告。

在初賽時，我們非常緊張，講話出來的聲音都有一點點微微顫抖，過程中一點小失誤，三人不互相責怪，反而互相鼓勵複賽能照常發揮。在複賽時，也許是因為我們有了初賽的經驗，三人完全不緊張，甚至和評審如聊天一般的討論報告。名次公布之前，我在台下搓手，整個身體都在抖，真的很希望我們可以為台北市、學校爭取榮譽。當台上念出第一名得獎編號與校名靜心高中國小部時，我們露出燦爛的笑容，難掩興奮和激動，三人對看了幾眼，眼神中透露出一絲為自己感到驕傲和喜悅，一切努力都是值得的！

一開始，我們得每天利用珍貴的午休時間，到自然教室做反覆又無聊的實驗，而且實驗對象還是令我害怕的麵包蟲！在每天接觸後，久了也就習慣了，這段時間我調整克服恐懼。為了在全國賽得到好成績，我們重作許多比較重要或沒做到很好的實驗，由於時間有限，我們連早自習犧牲天天自然教室報到。

遇上颱風賽程大亂，我們更是緊張到睡不著覺，到比賽前還是在心裡一直練習報告內容，不斷給自己打氣。

開獎前一刻，我們心中不斷期許一定能得獎！聽到工作人員請我們到外面準備，還恭喜我們得了兩個獎，我們興奮到直接從椅子挑起來，得了全國賽的第一名外加特別獎，我們震驚的嘴巴幾乎快閉不起來，瞬間覺得之前的努力都沒有白廢。從一開始反覆做著同樣的實驗，再到比了市賽進了全國賽，每一個階段都成了我們最珍貴的回憶。

最後，這一路上要感謝帶我們比賽的謝老師和夥伴以及全力支持我們的爸媽。



初賽檢錄我們自信從容



台灣昆蟲學會昆蟲研究獎，上台第一個獎



我們榮獲生活應用科(二)第一名與學校團體獎第一名

摘 要

麵包蟲常被當作餌料或新興環保生物，研究指出幾乎什麼都吃，但經過一再實驗印證並非如此，飼養後所產生的蟲糞是另一個問題，除了可以當作肥料；我們想找出更多其他的可行性；是否也可當作**再生材料**，經由實驗探究可行性：

1. 蟲糞會受到不同食材影響而有不同的料源性質。
2. 蟲糞適合當作 1.5cm 以下，稚魚或小型魚、觀賞蝦的飼料。
3. 蟲糞可當作肥料化、飼料化與材料化的應用。
4. 蟲糞製成花盆或魚菜共生餵食，使植物生長良好與添加人工肥料生長差異不大。
5. 蟲糞優點：
 - (1)蟲糞**漂浮性高與溶失率低**。
 - (2)沉底後**水質污染速度低於飼料且可分解**。
 - (3)**稚魚攝食率高，減低剩食率達 20%**。
6. 黑水虻吃農畜廢棄物，麵包蟲解決葉菜、果皮廚餘，共同達成零廢棄物的友善再生循環。

壹、研究動機

有天我們突發奇想的將麵包蟲的糞便舀了一小匙倒入魚缸中，卻發現小魚會去搶食，幾次嘗試之後發現小魚不但會攝食，而且生長狀況良好，水質也沒有產生汙染，引發了我們高度的興趣，進而研究如何將蟲糞轉變成小魚飼料的可行性與方法，曾嘗試利用研磨的方式將飼料磨碎；卻又發現飼料漂浮性消失且容易下沉，下沉的飼料稚魚就不吃；沒想到反其道而行，蟲糞餵食的效果卻出奇的好，也啟發我們對於蟲糞應用的探究。加上俄烏戰爭造成出口原物料大漲，飼料成本更是節節高升，若能夠將麵包蟲糞開發成飼料與其他應用，或者能替代部分製成主要原料，不僅可以降低成本，更可以找出另一條路解決漁牧業飼料荒的問題。

貳、研究目的

研究找出攝食不同食物的麵包蟲糞特性，列出了四個研究目的與相關問題進行探究：

目的一：找出麵包蟲喜愛攝食的食材性質探討？

目的二：研究不同食材的蟲糞外型特徵、分解性、沉浮性與水質污染性的特點？

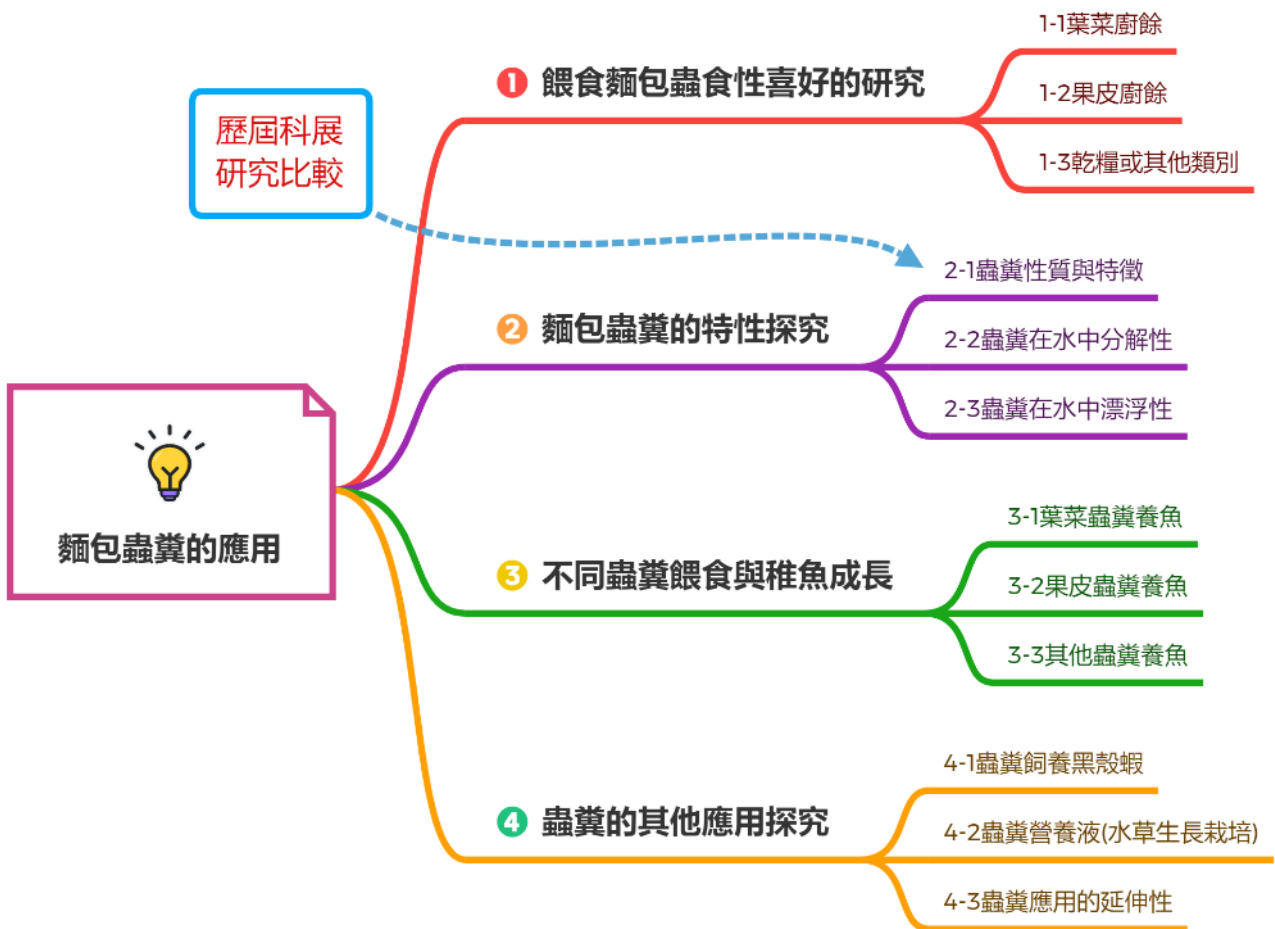
目的三：探討在不同蟲糞的飼養環境中，水生生物的生長狀況？

目的四：探究除了養魚以外，蟲糞的其他應用方式的可行性？

參、研究設備及器材



肆、研究過程



伍、研究方法與結果

目的一：找出麵包蟲喜愛攝食的食材性質探討？

1-1：葉菜廚餘飼養？

一、研究過程：根據資料台灣一年可產生達 220 萬公噸的廚餘，經由三種途徑處理：堆肥、掩埋、焚燒。於是我們思考是否有更好的方式能夠減量又可以永續循環利用，首先收集家中剩餘不要的葉菜廚餘，進行分類後定量(3g)餵養麵包蟲(30 隻)，記錄觀察完全吃完天數、蟲存活率和產生糞便轉換率且糞便稱重算轉換率，利用顯微鏡拍攝記錄不同糞便的特性。

二、研究思考與資料探究：

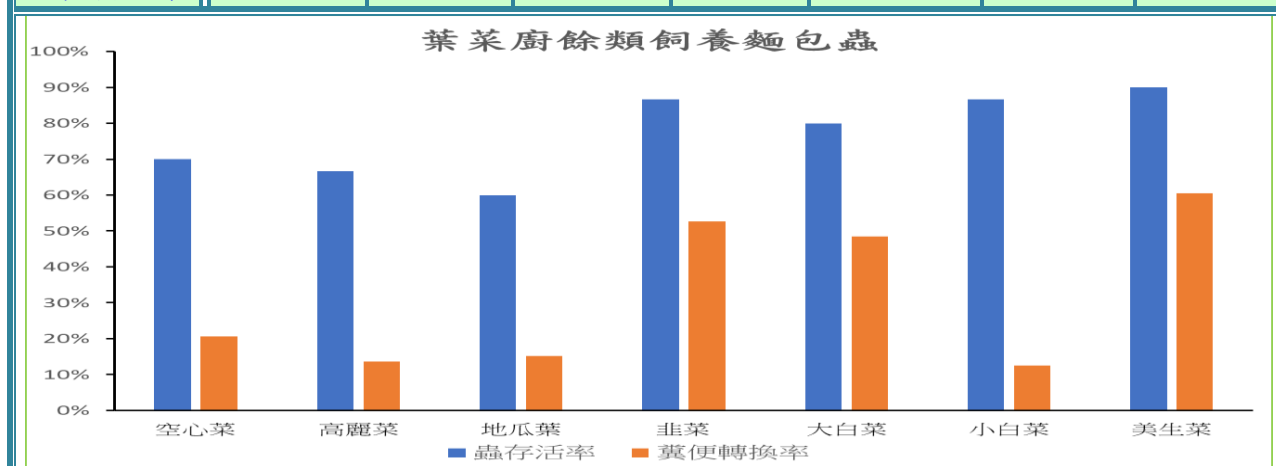
(一)麵包蟲特徵：穀蟲（學名：*Tenebrio molitor*）是一種甲蟲，屬於鞘翅目下擬步行蟲科粉甲蟲屬，原分布於北美洲。幼蟲又稱之為「麵包蟲」或「麥皮蟲」。穀蟲的幼蟲呈黃色，體長約 2.5 厘米；成蟲呈黑色，體長 1.25 至 1.8 厘米。穀蟲是一種倉儲害蟲。但由於牠也是一種蛋白質含量高的昆蟲，因此現多作為飼料來飼養寵物或經濟動物，也常被作為

食用昆蟲來料理。(資料來源：維基百科)

(二)最早相關研究：[關於麵包蟲的科展研究](#)早在第 35 屆中小學科展(民國 84 年)就有相關研究記錄，一般飼養方式是利用麥麩搭配葉菜飼養；由於發現到麵包蟲能分解保麗龍的特性，後續的相關研究都著重於此；**真正關於飼養上詳細的後續研究則無**。

三、研究結果：記錄下常見的空心菜、高麗菜、地瓜葉、韭菜、大小白菜、美生菜飼養情況。

觀察項目	空心菜	高麗菜	地瓜葉	韭菜	大白菜	小白菜	美生菜
吃完天數	>7 天	>7 天	>7 天	5 天	6 天	4 天	3 天
蟲存活率	70.0%	66.7%	60.0%	86.7%	80.0%	86.7%	90.0%
糞便轉換率	20.6%	13.6%	15.2%	52.7%	48.5%	12.5%	60.5%



學校菜園種的生菜



餵食空心菜



餵食大白菜



大量餵食葉菜

1-2：果皮廚餘飼養？

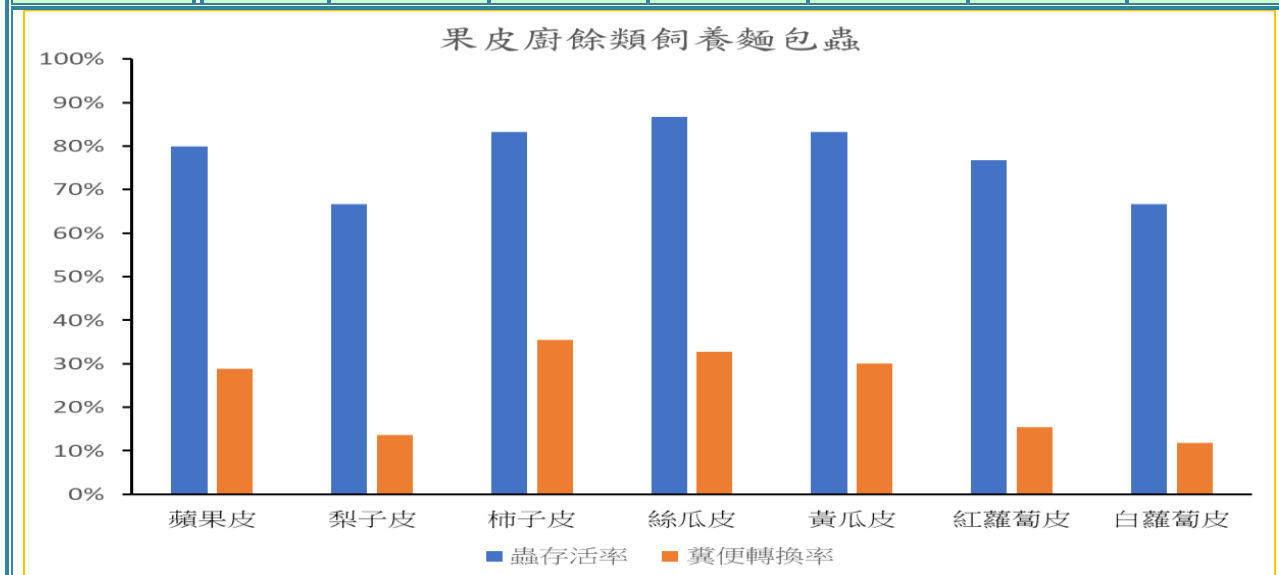
一、研究想法：在相關研究中找到資料，飼養麵包蟲大都是利用葉菜與果皮廚餘，在中國的農村甚至大量飼養當作家禽蛋白質補充飼料；所以我們也想知道利用果皮飼養麵包蟲的情況，是否如同網頁上資料所描述的容易飼養，並收集果皮糞便加以分析。

二、研究過程：

收集家中剩餘不要的果皮廚餘，進行分類後飼養方法與 1-1 相同，定量(3g)餵養麵包蟲(30 隻)，並記錄觀察完全吃完天數、蟲存活率和產生糞便轉換率，並利用 USB 顯微鏡拍攝記錄不同糞便的特性。

三、研究結果：紀錄利用蘋果皮、梨子皮、柿子皮、絲瓜皮、黃瓜皮、紅蘿蔔皮和白蘿蔔皮等當季的蔬果皮，飼養麵包蟲的情況。

觀察項目	蘋果皮	梨子皮	柿子皮	絲瓜皮	黃瓜皮	紅蘿蔔皮	白蘿蔔皮
吃完天數	5天	>7天	3天	3天	4天	6天	>7天
蟲存活率	80.0%	66.7%	83.3%	86.7%	83.3%	76.7%	66.7%
糞便轉換率	28.8%	13.6%	35.4%	32.8%	30.1%	15.4%	11.8%



*果皮含水量較高，可放置風乾一晚後再餵食效果較好，含水量越低，麵包蟲存活率越高。

1-3：乾糧或其他食物餵食？

一、研究想法：

以麥麩當作對照組，嘗試找出除了葉菜與果皮可以讓麵包蟲吃的食物，我們以相同方式餵食燕麥片、咸豐草、芭樂葉、桑葉、榕樹落葉、咖啡渣、錦鯉飼料、小花蔓澤蘭、竹節蟲糞、保麗龍當作實驗組，連續飼養觀察一個月，比較紀錄所產生糞便與 1-1 和 1-2 結果差異，在目的二進行分析比較。

二、研究過程：☆☆意外發現☆☆

- 1.以竹節蟲糞當作食物餵養麵包蟲，竟然會被食用，而且製造出不少糞便，這也引起我們興趣，我們認為沒有用的物品，沒想到可以經過麵包蟲再次地利用，產生糞便二次轉化。
- 2.出乎意料的麵包蟲竟然非常喜歡攝食桑葉，而且新鮮的枯化桑葉，攝食效果最佳，餵食小花蔓澤蘭的效果也不差、咖啡渣攝食效果沒有預期的高。
- 3.攝食到紅色錦鯉飼料的麵包蟲，竟然讓麵包蟲變成紅色；但也造成不少死亡，我們推論所添加的非食用紅色色素有關連性，而且是造成麵包蟲變色的主因。

三、研究結果：研究結果整理如下表：非葉菜與果皮類廚餘飼養麵包蟲的生長情況。

觀察項目	麥麩	燕麥片	咸豐草	芭樂葉	桑葉
吃完天數	4 天	5 天	>7 天	>7 天	3 天
蟲存活率	86.7%	73.3%	63.3%	60.0%	90.0%
糞便轉換率	41.2%	26.6%	10.4%	8.6%	36.5%

榕樹落葉	咖啡渣	錦鯉飼料	小花蔓澤蘭	竹節蟲糞	保麗龍
>7 天	>7 天	>7 天	>7 天	5 天	>7 天
54%	66.7%	76.6%	70%	73.3%	53.3%
6.7%	7.6%	43.8%	34.2%	30.4%	12.2%

其他不同食物餵食麵包蟲

■ 蟲存活率 ■ 糞便轉換率



目的二：研究不同食材的蟲糞外型特徵、分解性、沉浮性與水質污染性的特點？

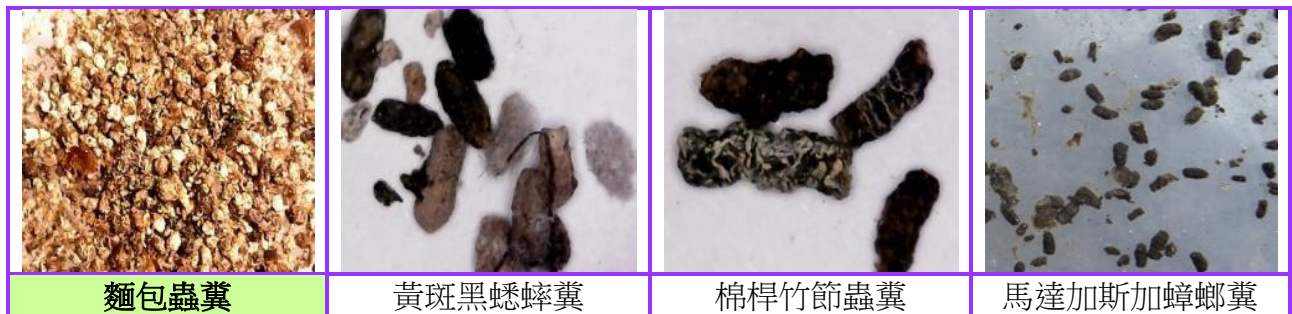
2-1 蟲糞性質分析與外型特徵

一、研究想法：我們首先選出葉菜廚餘、果皮廚餘和其他食物中產生糞便成效最好的前5組當作實驗樣本，首先測試糞便的酸鹼性，再利用顯微鏡記錄觀察形狀與外觀特徵，了解麵包蟲吃不同食物後所產生的糞便有什麼樣差異。






二、研究過程：

1. 將所收集到的不同昆蟲糞便利用顯微鏡觀察並拍照記錄。
2. 測量蟲糞顆粒大小、長度、顏色、外型特徵。
3. 將蟲糞浸泡於水中測試酸鹼性。


三、研究結果：1. 昆蟲糞便與麵包蟲糞型態觀察比較：






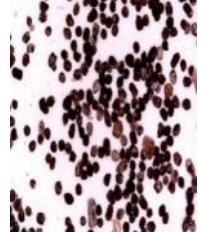

2. 葉菜廚餘產生的糞便(順序依糞便產生由多到少排列)：

觀察項目	美生菜	韭菜	大白菜	地瓜葉	空心菜
酸鹼性	中	中	中	中	中
顆粒大小	0.3~0.5mm	0.3~0.5mm	>0.5mm	>0.5mm	>0.5 mm
長度	0.5~1.0 mm	0.5~1.5mm	0.5~1.0mm	0.5~4.0mm	1.0~4.5mm
顏色	深綠色	淺綠、深綠	褐色、灰黑色	黑褐色	黑褐色
外型	顆粒狀	顆粒狀	顆粒、長條	顆粒、長條	顆粒、長條
顯微鏡照片					

3. 果皮廚餘產生的糞便(順序依糞便產生由多到少排列)：





觀察項目	柿子皮	絲瓜皮	黃瓜皮	蘋果皮	紅蘿蔔皮
酸鹼性	中	中	中	中	中
顆粒大小	0.3~0.5mm	0.3~0.6mm	0.4~0.6mm	>0.5mm	>0.5 mm
長度	0.5~1.0 mm	0.5~1.0mm	0.5~1.0mm	0.5~1.0mm	0.5~1.0mm
顏色	灰橘色	深綠、灰黑色	深綠、灰黑色	暗橘色	暗橘紅色
外型	顆粒狀	顆粒狀	顆粒、長條	顆粒、長條	顆粒、長條
顯微鏡 照片					

4. 其他食物產生的糞便(順序依糞便產生由多到少排列)：

觀察項目	魚飼料	麥麩	桑葉	小花蔓澤蘭	竹節蟲糞
酸鹼性	中	中	中	中	中
顆粒大小	>0.5mm	>0.5mm	>0.5mm	>0.5mm	>0.5 mm
長度	0.5~1.0 mm	0.5~1.0mm	0.5~4.5mm	0.5~1.0mm	0.5~1.0mm
顏色	灰色、黑色	淺灰褐色	深綠色、黑色	黑色	黑色、褐色
外型	顆粒狀、長條	顆粒狀	顆粒狀、長條	顆粒狀	顆粒狀
顯微鏡 照片					

5. 實驗中觀察與歷屆科展研究比較(攝食保麗龍的蟲糞顯微鏡觀察)：

參考資料 研究題目	相關研究重點發現	我們研究的不同發現
1.第 62 屆 (2022)全國中小學科展，國小組，生物科，雙蟲屠「龍」-「蟲」新塑造	初步分析 18 種常見塑化劑，實驗結果並沒有被驗出，說明糞便中沒有塑膠殘留物。排泄物、兩種蟲死屍做成有機堆肥，種植各種蔬菜，發現蔬菜長得很好，說明排泄物能讓環境永續發展利用。	1.經過我們自製蟲糞收集器(80 目)篩選後，不管是麵包蟲還是麥皮蟲，清空腸道後再餵食保麗龍，顯微鏡下的糞便幾乎都是保麗龍經過消化道排出的小碎屑，腸道內檢驗不到塑化劑應該是消化快速已經排出。 2.麵包蟲會吃掉小花蔓澤蘭的葉子，但是要有有效的攝食，飼養的麵包蟲數量可能要超過數萬隻。
2.第 61 屆 (2021)全國中小學科展，高中組，動	麵包蟲能攝食 PP 並生長，且加入濕料及利用糞便移植腸道菌相能增加麵包蟲對 PP 的消耗量，證明麵包蟲能攝食	1.無論麵包蟲或麥皮蟲糞便中保麗龍含量都高達 99%。 2.若已經無保麗龍可攝食，兩者會將保麗龍糞再度攝食消化， <u>經過實驗證實幼蟲會吃</u>

<p>物與醫學科，塑戰塑決！「菌」然讓蟲把塑膠吃了！</p>	<p>PP 與腸道菌相有關。利用次世代基因定序分析腸道菌相，發現麵包蟲攝食 PP 後，腸道菌相有極為顯著的變化，其中腸道菌 <i>Pseudomonas stutzeri</i> 顯著增多，經實驗證實此菌確實可降解 PP，且在中性環境的降解效果較佳。</p>	<p><u>成蟲糞便，會有二次消化的現象。</u></p> <p>3. <u>共生菌是會因為攝食糞便而進入到其他原本不吃保麗龍的蟲體內，這發現將是未來研究的新主題方向。</u></p> <p>4. 我們在實驗中發現，扣除掉死亡的麵包蟲或麥皮蟲，會吃保麗龍蟲數比不吃保麗龍大約 3：7，約佔 30%。</p> <p>5. 攝食保麗龍應有另外機制，與部分腸道酵素或微生物(共生菌)的確有關。</p>
<p>3. 第 46 屆 (2006)全國中小學科展，高中組，生物(生命科學)科，活體垃圾車</p>	<p>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。</p> <p>2. 在糞便的 TLC 分析中發現麵包蟲已將保利龍消化。</p>	<p>1. 攝食保麗龍因為無養分可以吸收，麵包蟲死亡率高達 70%；麥皮蟲死亡率約 60%，兩者無食物設時下會彼此互咬並且將死去蟲吃掉。</p> <p>2. 兩種蟲的一齡幼蟲攝食保麗龍後死亡率達 100%，大部分不吃保麗龍。</p> <p>3. 會消化但無法轉化成養分提供蟲體生長，發現重量減輕，蟲蛹無法孵化 100%死亡。</p>
		
<p>麵包蟲餵食保麗龍啃咬情形，無法攝食直接死亡發黑</p>	<p>麥皮蟲餵食保麗龍啃咬情形，並會咬食較弱小的同類 (體型影響攝食量與啃咬速度)</p>	
		
<p>麵包蟲保麗龍糞(放大 400 倍)</p>	<p>麥皮蟲保麗龍糞顆粒明顯(放大 250 倍)</p>	



保麗龍蟲糞物理檢測(顯微鏡觀察)
充分表現出保麗龍浮水性無分解狀況



保麗龍蟲糞化學檢測(顯微鏡觀察)
保麗龍被稀鹽酸分解並起泡



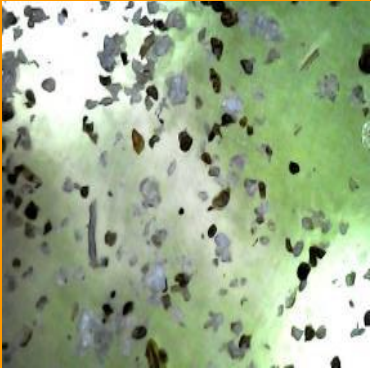

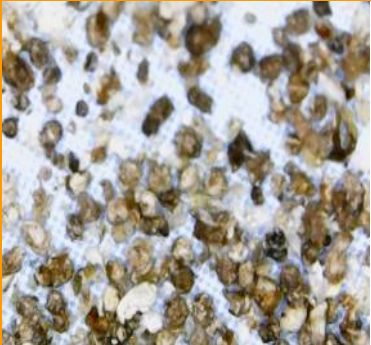

保麗龍糞和保麗龍一樣有被靜電吸附的特性

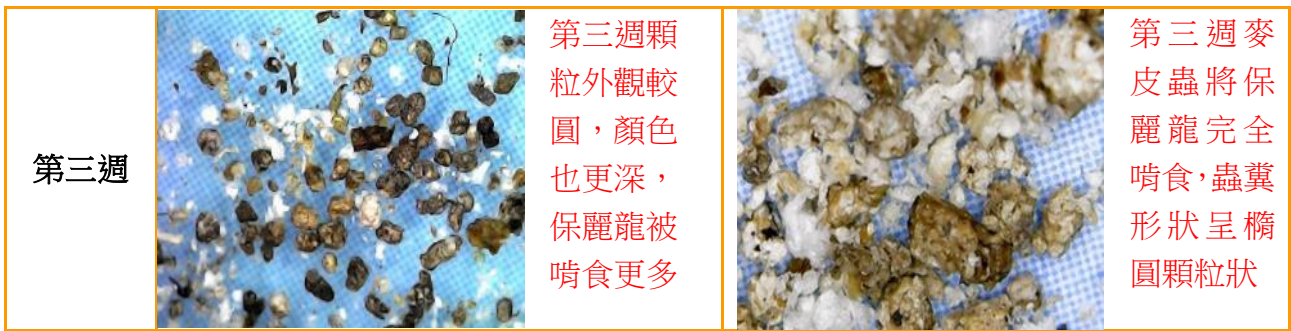


利用丙酮檢測蟲糞是否能是保麗龍(可被溶解)

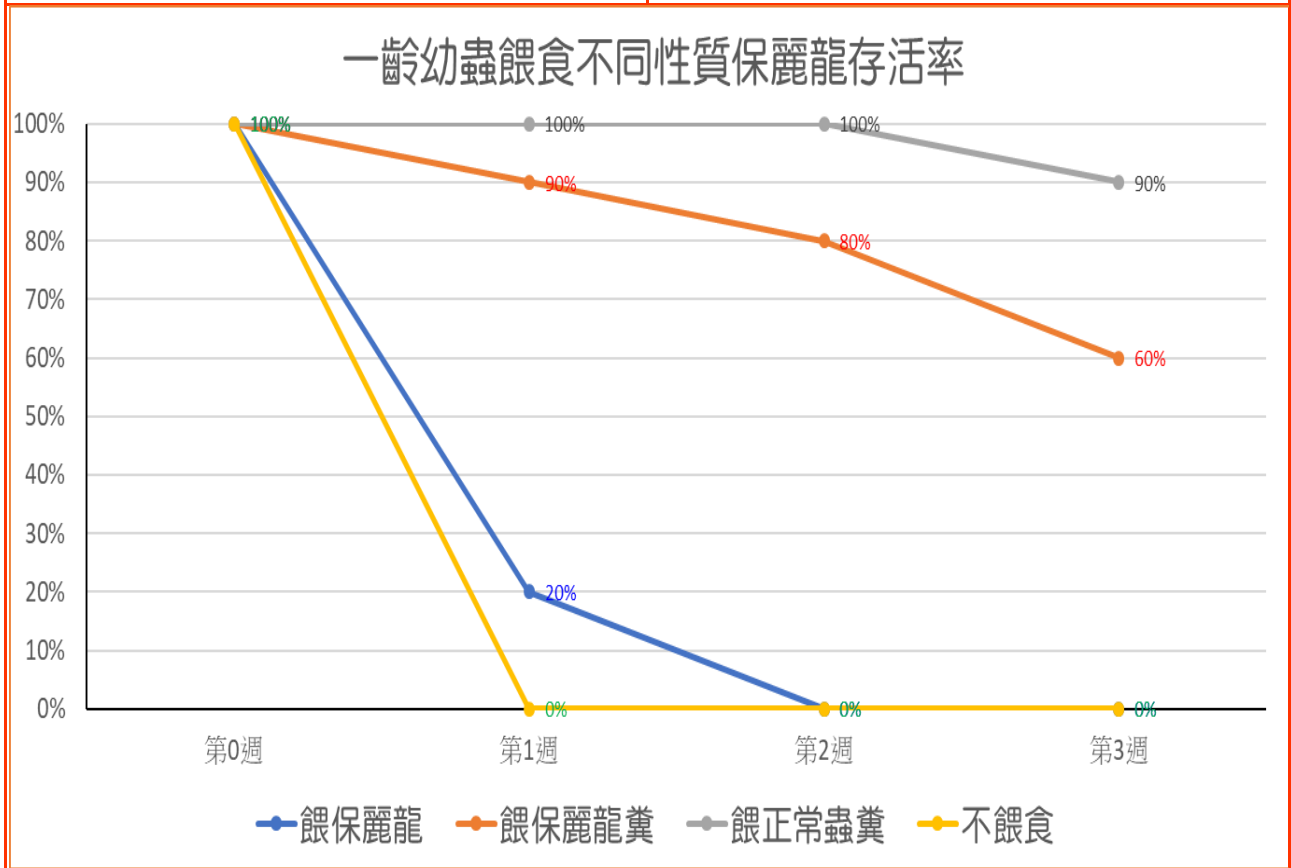
★與歷屆研究不同的亮點發現：

(1) 餵食保麗龍後蟲糞會被二次攝食，讓吃保麗龍的蟲數增加，再次排出後蟲糞顏色外觀改變

餵食週次	麵包蟲的保麗龍糞顯微觀察	麥皮蟲的保麗龍糞顯微觀察
第一週	 <p>餵食第一週排出的保麗龍蟲糞，保麗龍顆粒清楚明顯</p>	 <p>餵食第一週排出的保麗龍蟲糞，顆粒較麵包蟲巨大明顯</p>
第二週	 <p>第二週後保麗龍糞外觀明顯變黑，包覆分泌物增加</p>	 <p>如同麵包蟲糞一樣外觀也明顯變黑，呈現不規則大顆粒狀</p>

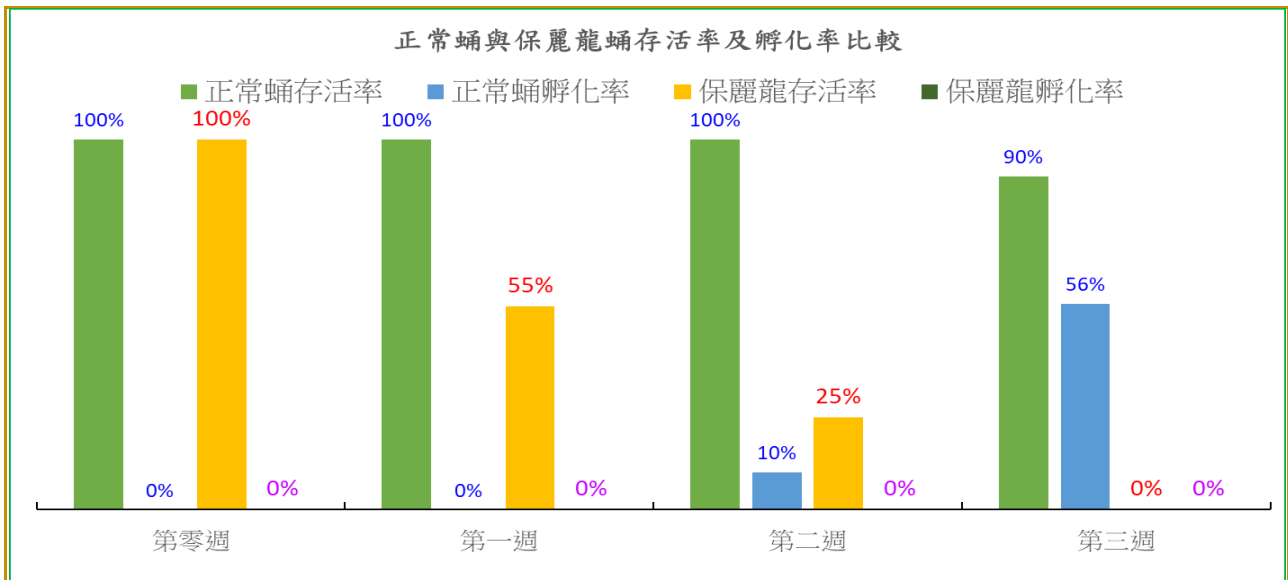


(2)一齡幼蟲餵食保麗龍生長實驗：每組 5 隻，餵食保麗龍、保麗龍糞、正常蟲糞與不餵食



(3)正常蟲蛹和吃保麗龍蟲蛹檢視比較(各取 20 顆作為孵化的觀察並計算平均)

	正常蛹	保麗龍蛹	兩者平均差
平均體長	1.93 cm	1.62 cm	0.31cm
平均體寬	0.42 cm	0.37 cm	0.05cm
平均重量	0.78 g	0.53 g	0.25 g



第一週保麗龍蛹觀察照



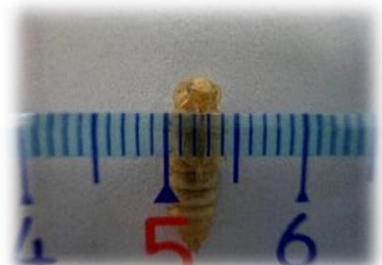
第三週保麗龍蛹觀察照



兩種蟲蛹化蛹一天比較照



兩種蛹體長比較



蛹體寬紀錄比較

☆ 四、研究遭遇問題 ☆：

1. 麵包蟲並非所有的菜葉都吃，像地瓜葉與空心菜放到腐爛也沒吃掉多少。
2. 含水量高的蔬果皮會造成麵包蟲大量死亡，過程中失敗不少次才發現水分会影響存活率。
3. 經過反覆測試，菜葉與果皮含水量要降到18%以下，才不會造成麵包蟲大量死亡。
4. 不適合的食物會影響到存活率，造成大量的死亡耗損，吃保麗龍蛹更明顯不會孵化。
5. 纖維較多的菜葉或老桑葉，容易產生長條型的糞便，多次測試推測與無法消化纖維有關。

6. 保麗龍蟲糞研究結果和分解保麗龍相關的報告衝突，因為蟲糞直接就是未消化的保麗龍(推測共生菌並非所有的麵包蟲都具有)，但是我們發現食物不足時，會有攝食糞便(推測是共生菌進入其他蟲體的方式)的情況，因為蟲糞顆粒大小和顏色會不同。

2-2：蟲糞在水中分解性

一、研究想法：

既然要把蟲糞當作仔稚魚(通常是指孵出不超過一個月的魚體)的飼料，我們想知道蟲糞在水中的分解性，是否會因為性質不同的蟲糞，在水中分解的速度有所差異；若是蟲糞可以慢慢分解，也就表示沒被吃完的蟲糞一樣可以被水中的消化菌分解。

二、研究過程：

1. 分別取 0.5g、1.0g 和 2.0g 重的葉菜蟲糞與果皮蟲糞倒入於 500ml 的含有消化菌的水中。
2. 每天固定時間記錄與拍照觀察蟲糞的變化。
3. 比較不同蟲糞在水中的性質與產生變化的情況。

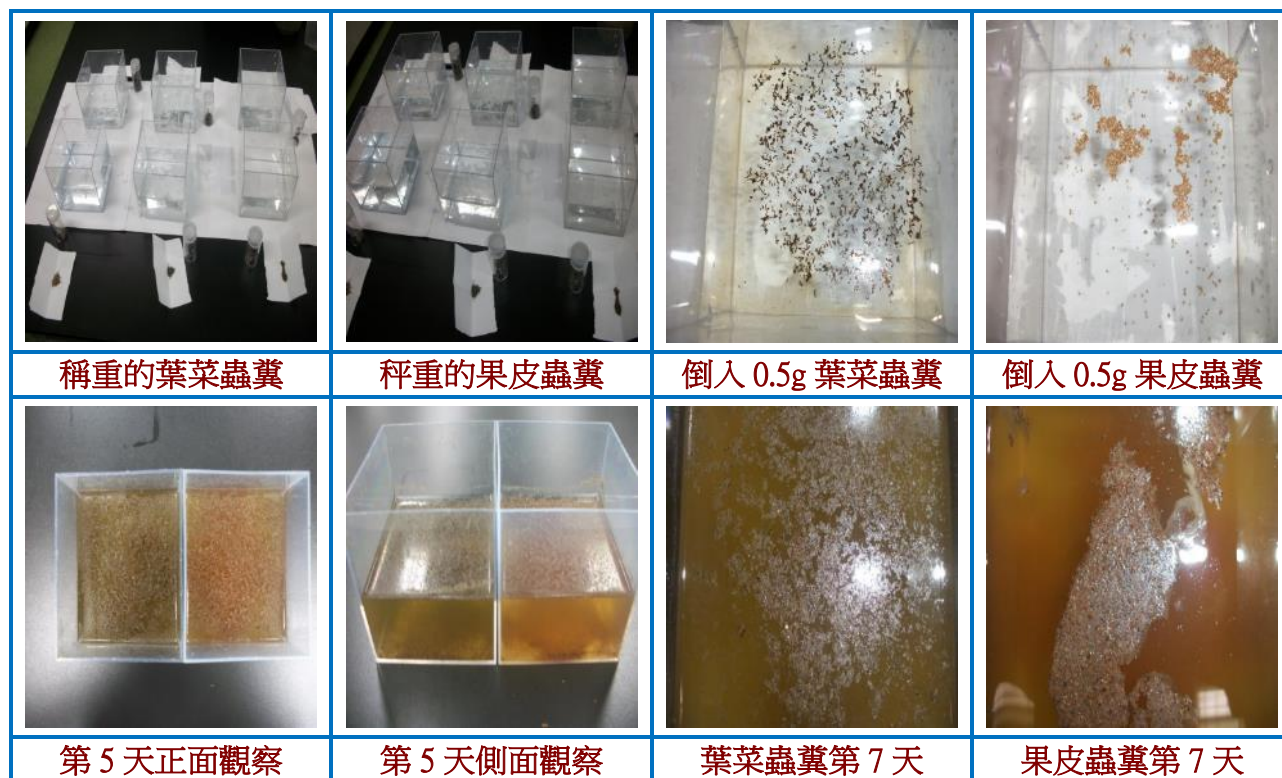
三、研究結果：1. 觀察蟲糞(0.5g)在水中 7 天分解變化情況：

以不同符號表示結果變化(※未分解、×發臭、☒發霉、◎水變色)

天數 種類	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天
美生菜	※	※	※×	※×	※×☒	※×☒◎	※×☒◎
韭菜	※◎	※◎	※×◎	※×◎	※×◎	※×☒◎	※×☒◎
大白菜	※	※	※×	※×	※×☒	※×☒◎	※×☒◎
地瓜葉	※◎	※◎	※×◎	※×☒◎	※×☒◎	※×☒◎	※×☒◎
空心菜	※◎	※◎	※×◎	※×◎	※×☒◎	※×☒◎	※×☒◎
柿子皮	※	※	※×	※×☒	※×☒◎	※×☒◎	※×☒◎
絲瓜皮	※	※	※×	※×☒	※×☒	※×☒◎	※×☒◎
黃瓜皮	※	※	※×	※×☒	※×☒	※×☒◎	※×☒◎
蘋果皮	※	※	※×	※×☒	※×☒◎	※×☒◎	※×☒◎
紅蘿蔔皮	※	※	※×	※×☒	※×☒◎	※×☒◎	※×☒◎
魚飼料	※	※	※×☒	※×☒	※×☒	※×☒◎	※×☒◎
麥麩	※	※	※×	※×☒	※×☒	※×☒◎	※×☒◎
蔓澤蘭	※◎	※◎	※×◎	※×☒◎	※×☒◎	※×☒◎	※×☒◎
桑葉	※◎	※◎	※×◎	※×◎	※×☒◎	※×☒◎	※×☒◎
竹節蟲糞	※◎	※◎	※◎	※×◎	※×☒◎	※×☒◎	※×☒◎
咖啡渣	※◎	※◎	※◎	※×◎	※×☒◎	※×☒◎	※×☒◎

- (1)部分葉菜類的糞便放入水中 1 小時，水會變成茶褐色，跟茶葉泡在水中情況相似。
- (2)竹節蟲糞和咖啡渣的顏色最明顯，放入水中 5~10 分鐘就會讓水變顏色。
- (3)蟲糞在水中到第 3 天後不管是哪一種類的，都會開始發臭腐敗，第 7 天全部腐發臭、發霉。
- (4)在比較 0.5g、1.0g 和 2.0g 蟲糞於水中的變化後，發現以 0.5g 蟲糞為最適當的實驗量。
- (5)發現蟲糞和魚飼料一樣在水中不會馬上分解碎化，**溶失率更優於磨碎粉狀的飼料。**

2. 肉眼與顯微鏡觀察記錄蟲糞的分解情況



- (1)24 小時後發現葉菜類蟲糞在水中容易散開，果皮類蟲糞較為聚集。
- (2)一般飼料餵食以能夠在短時間內(1~1.5 分鐘)被魚吃完量為餵食量，以避免飼料汙染水質。

2-3：蟲糞在水中漂浮性

一、研究想法：

坊間許多小型魚的飼料都是能夠漂浮在水面上，主要跟所餵食魚類的攝食習性有關，孔雀魚的習性也是如此，而小魚會因為搶不到食物或飼料太大無法吞食，大大的減低存活率，曾試著將飼料磨細後再餵食；卻發現磨細後飼料漂浮性降低，下沉速度變快，導致仔稚魚攝食不容易，無意間卻發現麵包蟲糞可以漂在水面上，並會被仔稚魚攝食。

二、研究過程：

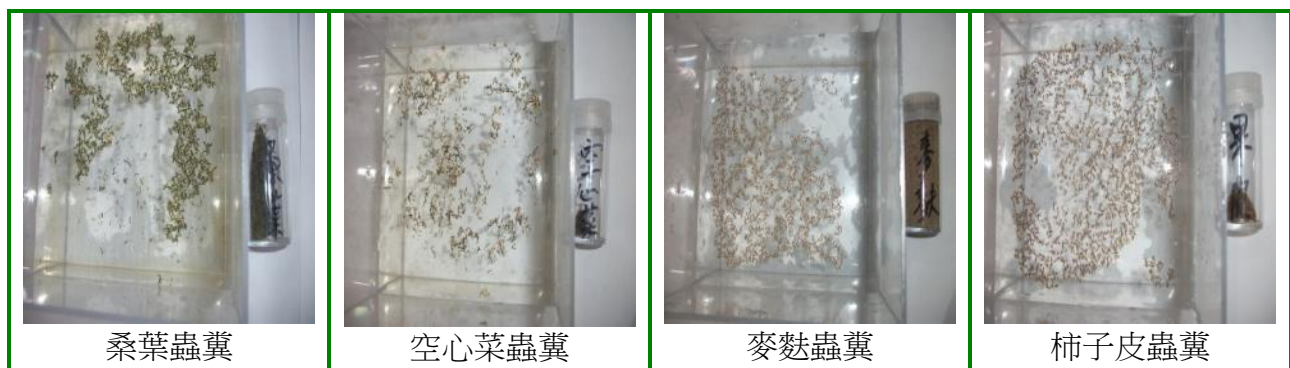
1. 測試不同類型的蟲糞(0.5g)在水面上可漂浮多久時間，連續觀察 24 小時變化。
2. 記錄不同時間蟲糞下沉的量與漂浮在水面上的比率。
3. 觀察盒底部放置 1.0 X 1.0cm 正方格以計算沉降至格線面積上蟲糞所占百分比。

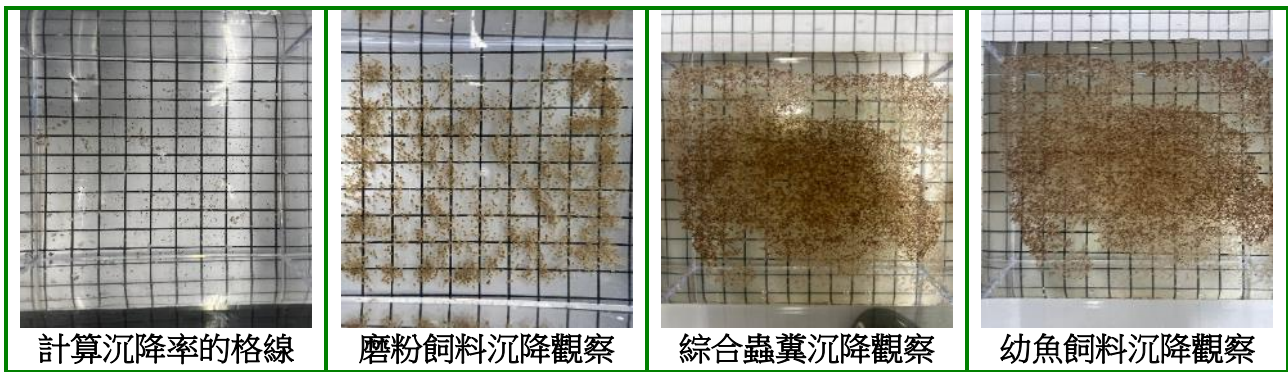
三、研究結果：1. 溶失率：連續觀察 24 小時蟲糞漂浮性變化(蟲糞漂浮在水面百分比)

時間 種類	30 分鐘	1 小時	2 小時	3 小時	6 小時	12 小時	24 小時
美生菜	95%	80%	70%	50%	30%	20%	10%
韭菜	50%	35%	30%	25%	20%	10%	0%
大白菜	80%	70%	50%	35%	25%	15%	5%
地瓜葉	75%	60%	40%	20%	10%	5%	0%
空心菜	70%	60%	45%	15%	5%	0%	0%
柿子皮	95%	80%	60%	35%	20%	15%	5%
絲瓜皮	90%	80%	55%	40%	30%	20%	10%
黃瓜皮	90%	75%	50%	40%	25%	15%	5%
蘋果皮	90%	80%	55%	35%	15%	5%	0%
紅蘿蔔	95	85%	70%	55%	30%	20%	15%
魚飼料	90%	70%	50%	35%	10%	0%	0%
麥麩	95%	85%	60%	40%	30%	20%	10%
蔓澤蘭	80%	75%	55%	35%	10%	5%	0%
桑葉	85%	75%	60%	45%	25%	10%	5%
竹節蟲糞	95%	85%	70%	50%	30%	20%	10%
咖啡渣	90%	75%	50%	30%	20%	0%	0%

- (1)推測蟲糞的漂浮性與吸水的速度有關聯，葉菜類蟲糞漂浮性較差。
- (2)食物本身較為乾燥，則麵包蟲攝食後製造的蟲糞含水量較低，漂浮性較好。
- (3)蟲糞的形狀會影響到漂浮的時間，長條形的飄浮時間短較快下沉。

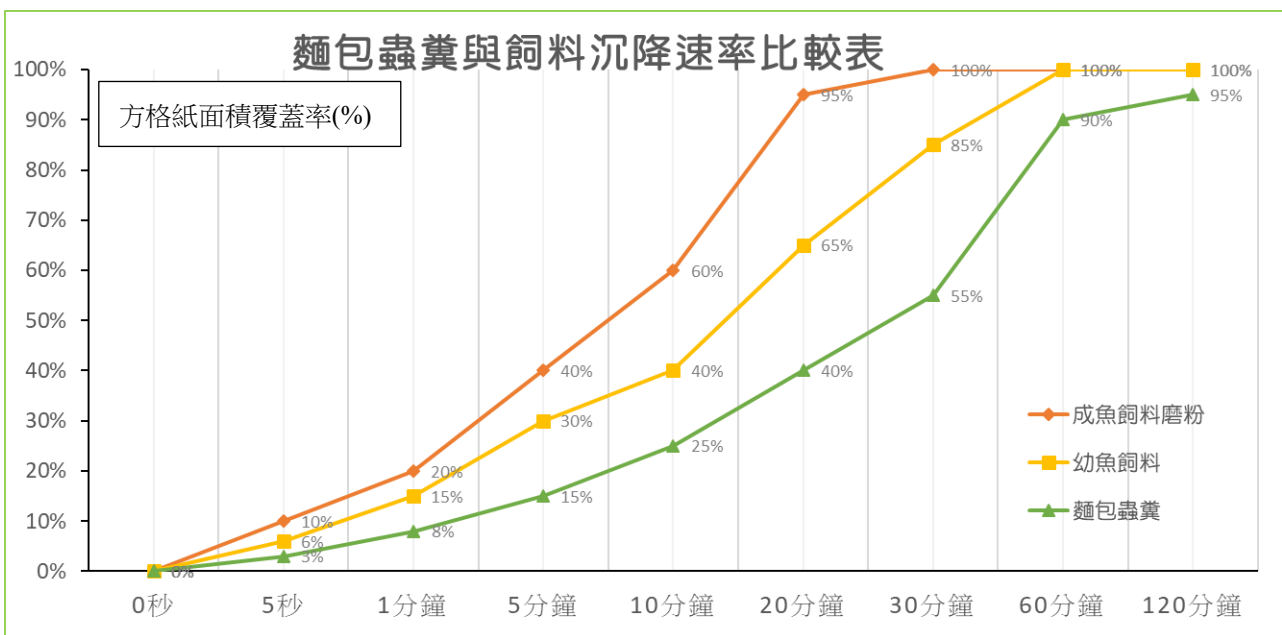
2. 蟲糞漂浮性測試





※不同蟲糞一倒入水中散開的方式大不相同，葉菜類較容易聚集成一堆，果皮類會分散。

3. 蟲糞與飼料沉降速度比率對照表



目的三：探討在不同蟲糞的飼養環境中，水生生物的生長狀況？

3-1：葉菜蟲糞養稚魚

一、研究想法：

1. 將餵食不同葉菜所產生的蟲糞來餵養同一批產下的孔雀魚仔稚魚，每 5 隻分為一小組。
2. 紀錄仔稚魚體長、體重與存活率的變化。
3. 找出最合適讓仔稚魚攝食生長的葉菜蟲糞。

二、研究過程：

1. 觀察紀錄餵養三週葉菜蟲糞的稚魚生長情況。
2. 比較餵食不同蟲糞的稚魚生長的差異性是否不同，並注意存活率與體長變化。

三、研究結果：

1. 餵食仔稚魚葉菜蟲糞



葉菜蟲糞(美生菜)

每一飼養盒內 5 隻稚魚

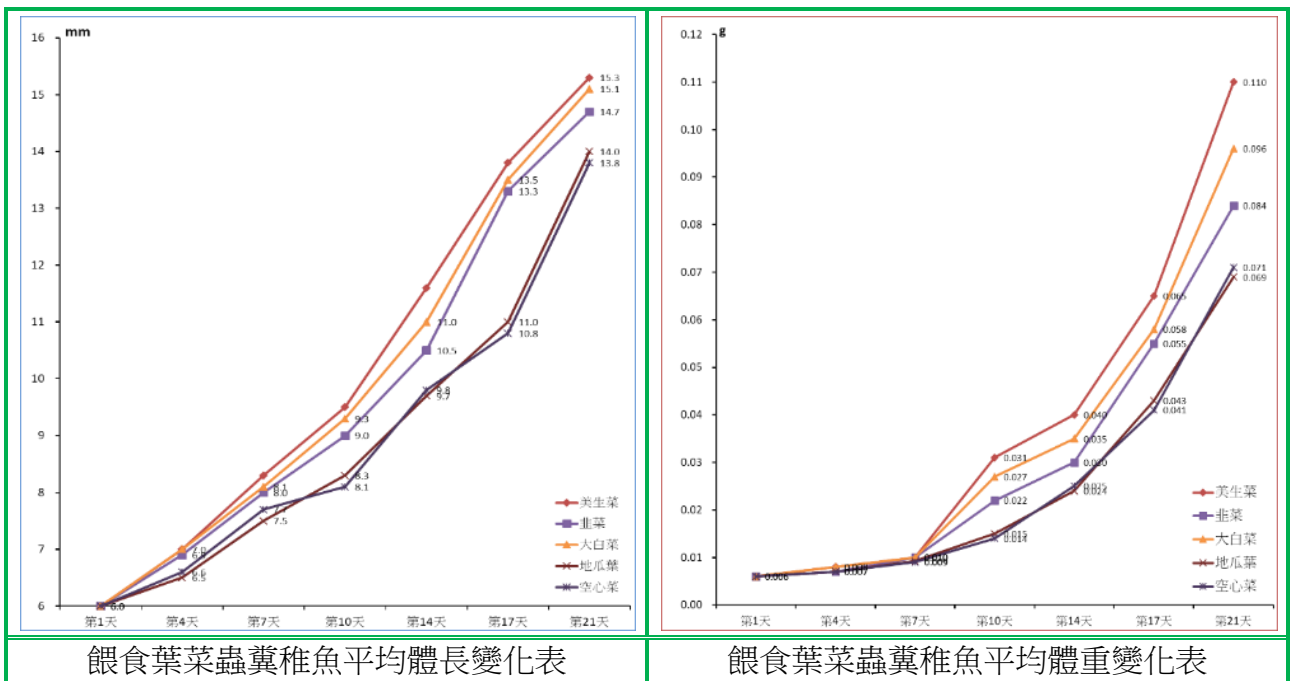
測量稚魚體長

2. 餵食葉菜蟲糞稚魚存活率

種類 週數	美生菜	韭菜	大白菜	地瓜葉	空心菜
第一週	100 %	80 %	90 %	90 %	80 %
第二週	90 %	60 %	90 %	70 %	60 %
第三週	70 %	50 %	60 %	60 %	50 %

※分養的稚魚經過餵食生長情況良好，尤其是大白菜和美生菜的蟲糞，存活率高於 50%。

3. 餵食葉菜蟲糞稚魚平均體長與平均體重變化表



4. 研究發現：麵包蟲越愛吃的葉菜所產生的糞便，對稚魚生長發育較好。

3-2：果皮蟲糞養稚魚

一、研究想法：

1. 將餵食不同果皮所產生的蟲糞來餵養同一批產下的孔雀魚仔稚魚，每 5 隻分為一小組。
2. 紀錄仔稚魚體長、體重與存活率的變化。
3. 找出最合適讓仔稚魚攝食生長的果皮蟲糞。

二、研究過程：

1. 觀察紀錄餵養三週葉菜蟲糞的稚魚生長情況。
2. 比較餵食不同果皮蟲糞的稚魚生長的差異性是否不同，並注意存活率與體長變化。

三、研究結果：1. 餵食仔稚魚果皮蟲糞

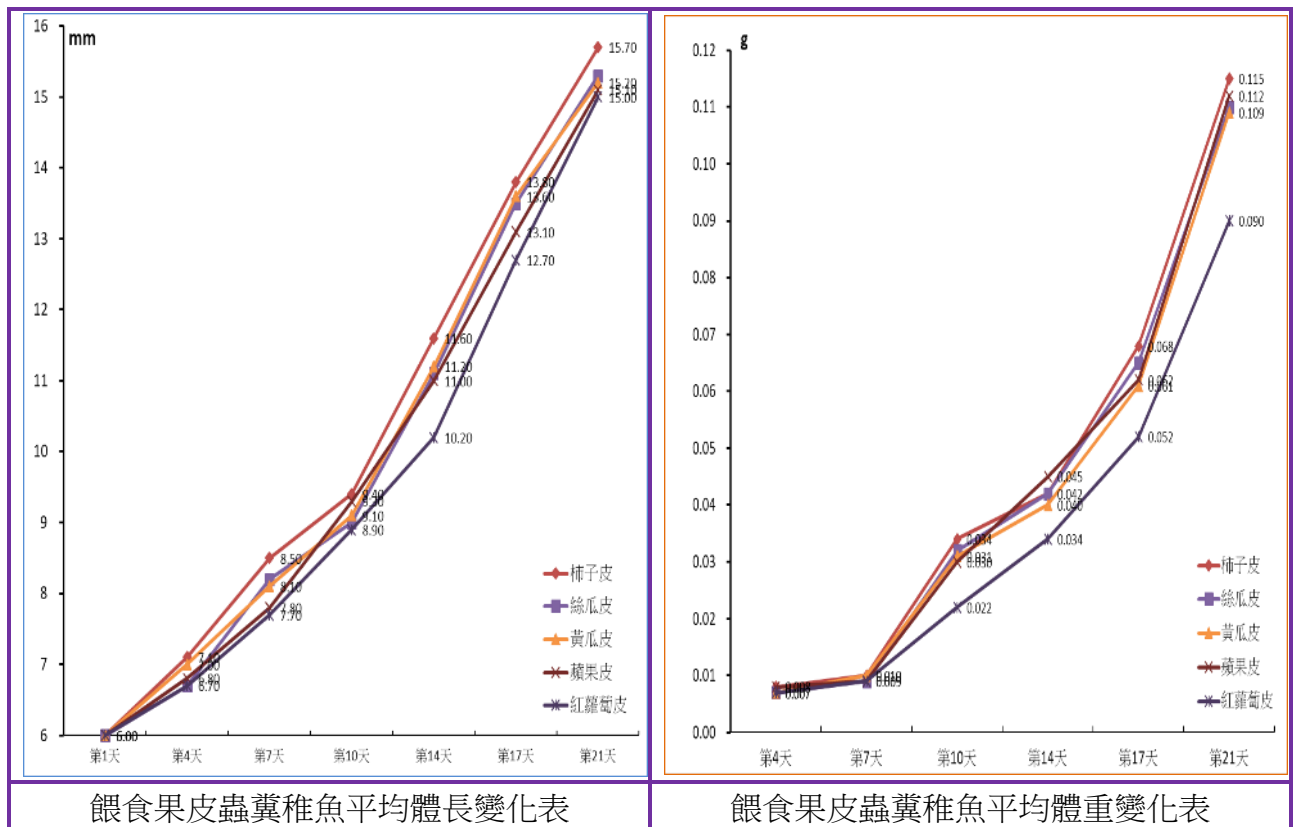


2. 餵食果皮蟲糞稚魚存活率(果皮經 40°C，24 烘乾處理)

週數 \ 種類	柿子皮	絲瓜皮	黃瓜皮	蘋果皮	紅蘿蔔皮
第一週	100 %	90 %	90 %	100 %	90 %
第二週	90 %	80 %	80 %	80 %	70 %
第三週	70 %	60 %	50 %	60 %	60 %

※果皮類的蟲糞餵食結果存活率(約 60%)更高於葉菜蟲糞，似乎果皮營養價值更高。

3. 餵食果皮蟲糞稚魚平均體長與平均體重變化表



3-3：其他蟲糞養稚魚

一、研究想法：

1. 將餵食非葉菜與果皮產生的蟲糞來餵養同一批產下的孔雀魚仔稚魚，每 5 隻為一小組。
2. 紀錄仔稚魚體長、體重與存活率的變化。
3. 找出最合適讓仔稚魚攝食生長的非葉菜與果皮蟲糞。

二、研究過程：

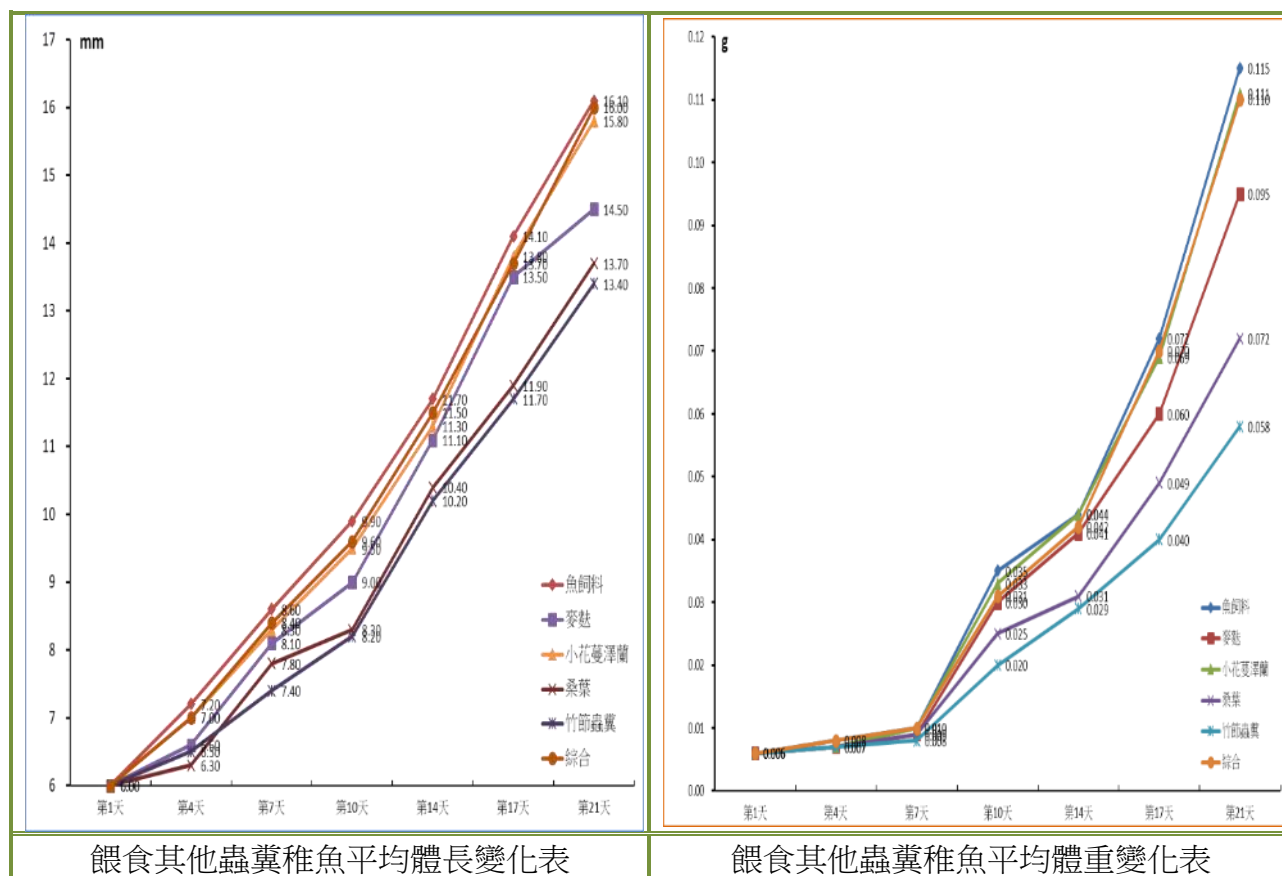
1. 觀察紀錄餵養三週其他類蟲糞的稚魚生長情況。
2. 比較餵食不同食物蟲糞的稚魚生長的差異性是否不同，並注意存活率與體長變化。

三、研究結果：

1. 餵食其他食物蟲糞稚魚存活率

週數 \ 種類	魚飼料糞	麥麩糞	小花蔓澤蘭	桑葉糞	竹節蟲糞	綜合糞
第一週	100 %	90 %	100 %	90 %	80 %	100%
第二週	90 %	80 %	90 %	70 %	60 %	90%
第三週	80 %	60 %	70 %	50 %	30 %	80%

2. 餵食其他蟲糞稚魚平均體長與平均體重變化表



目的四：探究除了養魚以外，蟲糞的其他應用方式的可行性？

4-1：蟲糞養殖黑殼蝦

一、研究想法：

1. 搜尋相關資料後，我們發現到蟲糞通常是被拿來當土壤肥料，沒有被當成飼料的紀錄。
2. 我們搜尋了不少資料後發現，麵包蟲糞又可以稱為糞沙，其中含有的營養成分如下表。

類別	粗蛋白	水分	粗灰分	總磷	粗纖維	粗脂肪	其他元素
含量	24.86 %	12.10 %	8.41 %	1.22 %	3 % ↓	0 %	5 % ↓

3. 一般飼養魚蝦通用飼料所含有的成分比例表(調查後平均值)如下。


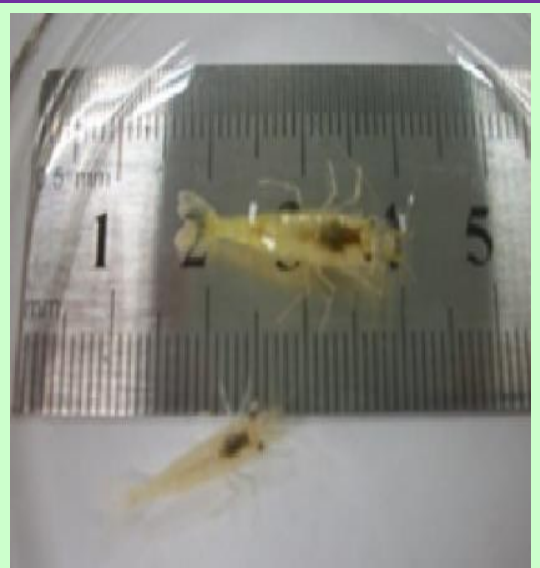
類別	粗蛋白	水分	粗灰分	總磷	粗纖維	粗脂肪	其他元素
含量	35% ↓	10 %	15 % ↓	0 %	4 % ↓	5 % ↓	4 % ↓

4. 雖然粗蛋白與粗脂肪比例較合成飼料低，但基本成分大致相同，也含有較多的微量元素，尤其是總磷含量，我們相信適合養魚，也應該適合養蝦。

二、研究過程：

1. 我們將黑殼蝦 10 隻一組，共分為六組，放入內有水草(長度 10cm)的正方形飼養盒中。
2. 試著以混合蟲糞餵養黑殼蝦，在相同水量、水草與水溫條件下，觀察記錄生長情況。
3. 記錄 3 週後黑殼蝦的生長情況，探討蟲糞是否可以養蝦。

三、研究結果：1.混合蟲糞餵養黑殼蝦：

照片記錄		
結果說明	飼養盒的黑殼蝦	測量黑殼蝦體長

2. 黑殼蝦生長紀錄(平均體長與存活率)：

週次	項目		存活率	
	對照組(飼料)	實驗組(蟲糞)		
第一週	1.80 cm	1.78 cm	100.0 %	100.0 %
第二週	2.22 cm	2.13 cm	93.3 %	86.6 %
第三週	2.72 cm	2.56 cm	66.6 %	70.0%
第四週	2.68 cm	2.53 cm	53.3 %	63.3 %

3. 實驗遇到的困難

我們發現黑殼蝦對於氧氣的需求量大於孔雀魚，剛開始實驗時，飼養不久黑殼蝦就大量死亡，後來修正飼養環境增加小型的打氣設備後，除了放置水草增加黑殼蝦躲藏棲息的地方，也能讓黑殼蝦穩定不易受到干擾；若以食性探討，單以蟲糞當作飼料不太適合養黑殼蝦，黑殼蝦還需要攝食水草上的藻類，蟲糞只能當作添加養分用的飼料而非主食，但可間接影響水草生長。

4-2：水草生長栽培

一、研究想法：

1. 我們在資料中發現麵包蟲蟲糞的含氮量有 3.37 %。
2. 參考文獻中相關的報告均有提到利用麵包蟲與大麥蟲糞種植蔬菜效果良好。
3. 既然蟲糞有利於種植植物，是否可以改變方式當成添加於水中當作水草的營養添加劑。

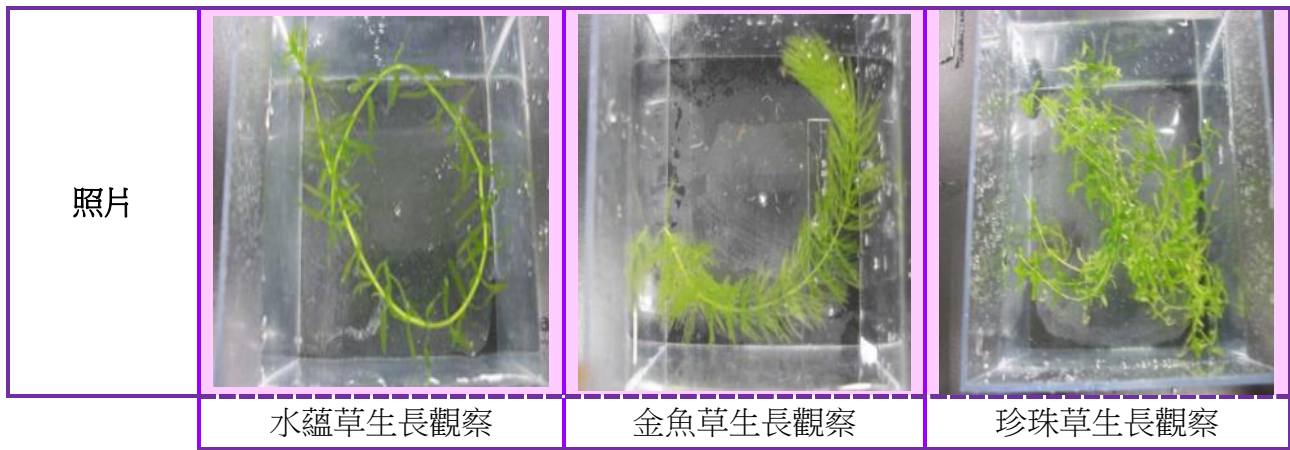
二、研究過程：

1. 取實驗室內養殖的水蘊草、金魚草與珍珠草各 5g 重當對照組與實驗組。
2. 以 1：100 比例配置蟲糞水，靜置一天沉澱後備用。
3. 每天滴入 10ml 蟲糞水，於光度、溫度、水位高度、植物長度相同觀察盒中記錄生長。

三、研究結果：

1. 將浸泡蟲糞的營養水當作水草生長營養添加劑(左排：對照組，右排：實驗組)

名稱 生長 長度	水蘊草(對照/實驗)		金魚草(對照/實驗)		珍珠草(對照/實驗)	
	第零週	10.0 cm	10.0 cm	10.0 cm	10.0 cm	10.0 cm
第一週	11.5 cm	12.1 cm	11.2 cm	12.4 cm	11.0 cm	11.3 cm
第二週	14.5 cm	16.0 cm	13.4 cm	15.2 cm	12.4 cm	13.2 cm
第三週	17.3 cm	18.7 cm	15.2 cm	17.3 cm	13.9 cm	14.7 cm
第四週	19.1 cm	22.3 cm	17.2 cm	20.1 cm	15.0 cm	16.8 cm



2. 實驗發現

- (1) 相同條件(光照時間與水量)下加入每天 10ml 蟲糞水，能夠增長水草量最多達 30%。
- (2) 三種水草生長的情況均比對照組佳，推測與蟲糞中含氮有關。
- (3) 蟲糞在水中沒有其他生物時不宜直接添加，未被其他攝食反而容易汙染水質。

4-3：其他類別應用

一、研究想法：

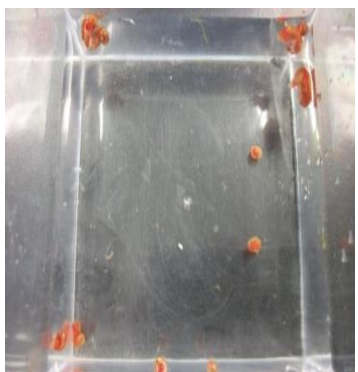
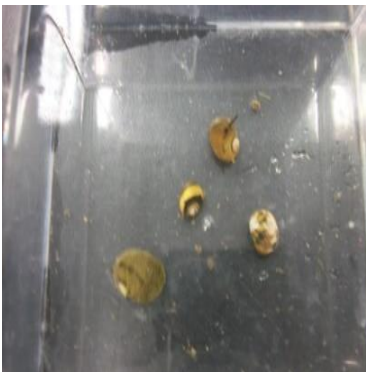
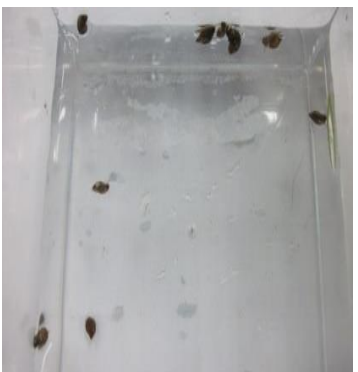
1. 我們實驗利用蟲糞養孔雀魚稚魚或小型魚發現有不錯的成果，還可以減少飼料費用。
2. 麵包蟲糞顆粒細緻大約 0.5mm 大小，用來飼養黑殼蝦也有不錯的效果。
3. 既然蟲糞可以當作土壤的肥料，我們嘗試當成水草營養劑來添加也能促進水草生長。
4. 我們想找出蟲糞應用在水生生物或其他方面的最大可能性，是否還有更多的應用之處。

二、研究過程：

1. 我們會在魚缸內飼養一些螺類來幫忙除藻，我們挑選兩種體型大小相似觀察比較。
2. 觀察蘋果螺、囊螺、蜜蜂角螺對於蟲糞的攝食形況，是否適合飼養螺類。
3. 將蟲糞與麵粉混制壓模成花盆，烘烤乾燥後種植蔬菜，記錄成長狀況。
4. 利用蟲糞進行魚菜共生的研究及土壤改良的肥料研究。

三、研究結果：









1. 蟲糞飼養螺類觀察(在無任何水草與藻類的環境中飼養)

			
	蘋果螺飼養觀察	蜜蜂角螺飼養觀察	囊螺飼養觀察
狀態	攝食蟲糞	不吃蟲糞	攝食蟲糞
存活率	80.0 %	20.0 %	60.0 %

2. 螺類攝食情況：

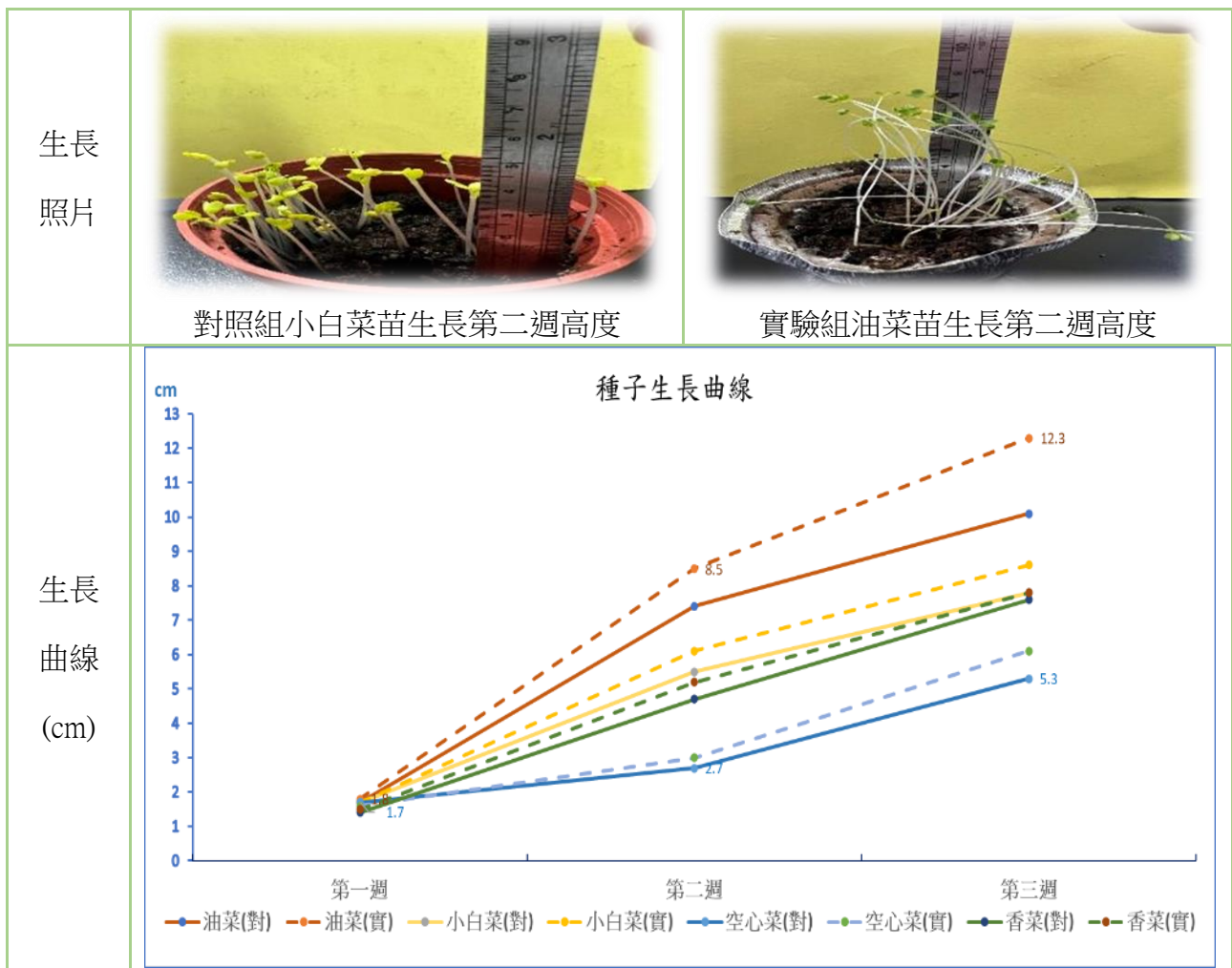
- (1)蜜蜂角螺對於蟲糞會避開，只貼在飼養盒壁面上刮食藻類，不吃蟲糞。
- (2)蘋果螺與囊螺會呈現倒立腹足朝上方式攝食漂浮水面的蟲糞。
- (3)觀察結果雖兩種螺類會攝食蟲糞，整體而言飼養結果不佳，不適合養螺。
- (4)蟲糞的攝食與螺類的本身食性有關，雜食性的螺類才會攝食。

3. 蟲糞花盆製作(蟲糞：中筋麵粉：白膠=1：5：3)

			
取 10g 乾燥蟲糞	加入 50g 麵粉	混合揉製成團狀	塑型成花盆低溫烘乾
			
挑選實驗種子	實驗組與對照組	蟲糞油菜移植菜園	蟲糞香菜移植菜園

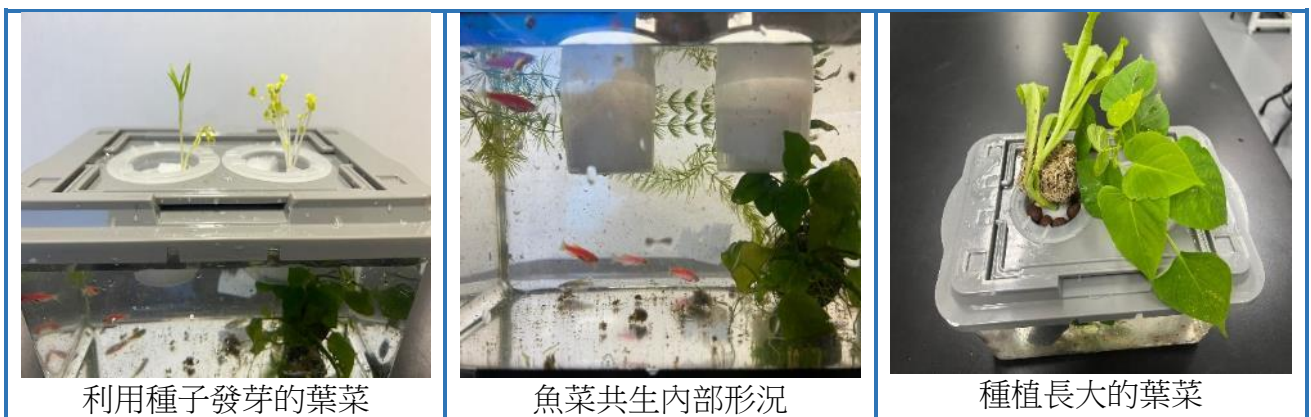
4. 蟲糞花盆種植蔬菜與一般土壤種植葉菜比較生長表(單位：cm)：

菜苗名稱	油菜苗(對照/實驗)		小白菜(對照/實驗)		空心菜(對照/實驗)		香菜苗(對照/實驗)	
	第一週	1.7	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.4
第二週	7.4	8.5	5.5	6.1	2.7	3.0	4.7	5.2
第三週	10.1	12.3	7.8	8.6	5.3	6.1	7.6	7.8



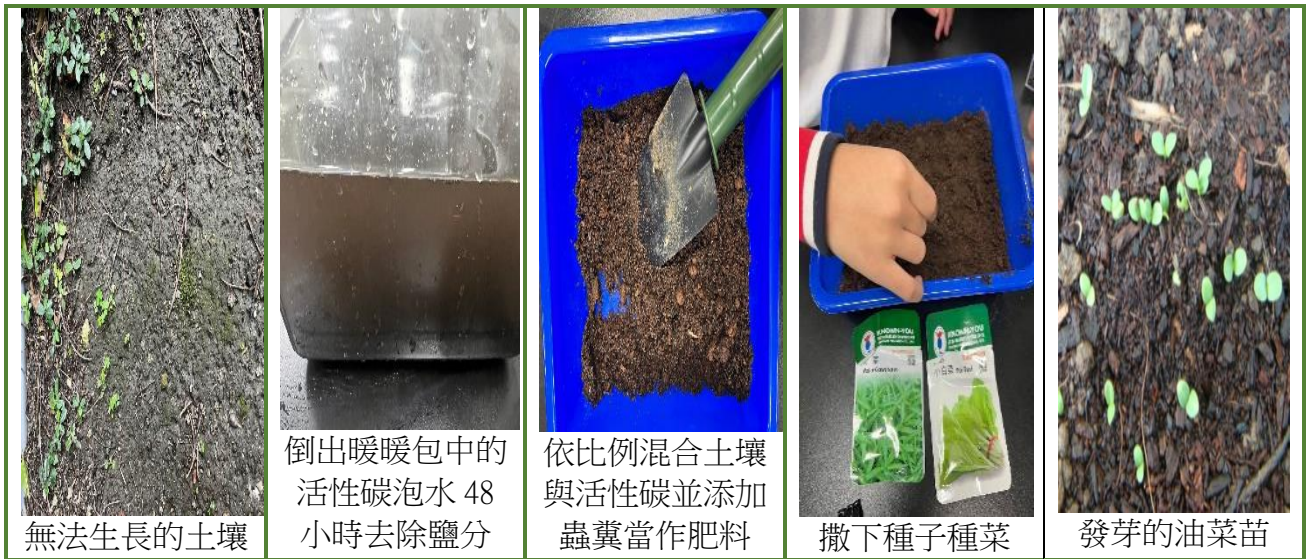
- ※研究發現：
- (1) 蟲糞花盆澆水時不宜過潮濕，會容易崩解，初始種植時要加外盆固定。
 - (2) 蟲糞花盆在種植初期生長狀況良好，因為花盆本身就有養分。
 - (3) 菜苗不用移盆可將花盆植接種入菜園中，再撒上蟲糞當肥料生長效果良好。
 - (4) **缺點**：麵粉皮花盆容易吸收水分而會變軟，若排水不佳則會發霉需再改良。

5. 蟲糞進行魚菜共生研究：



- (1) 適當光照與另用蟲糞飼養下，魚菜共生生長狀況良好，還能當成布置的觀賞區。
- (2) 以照片種容器大小可飼養 10~15 隻小型魚，其中水草也生長良好達到平衡。

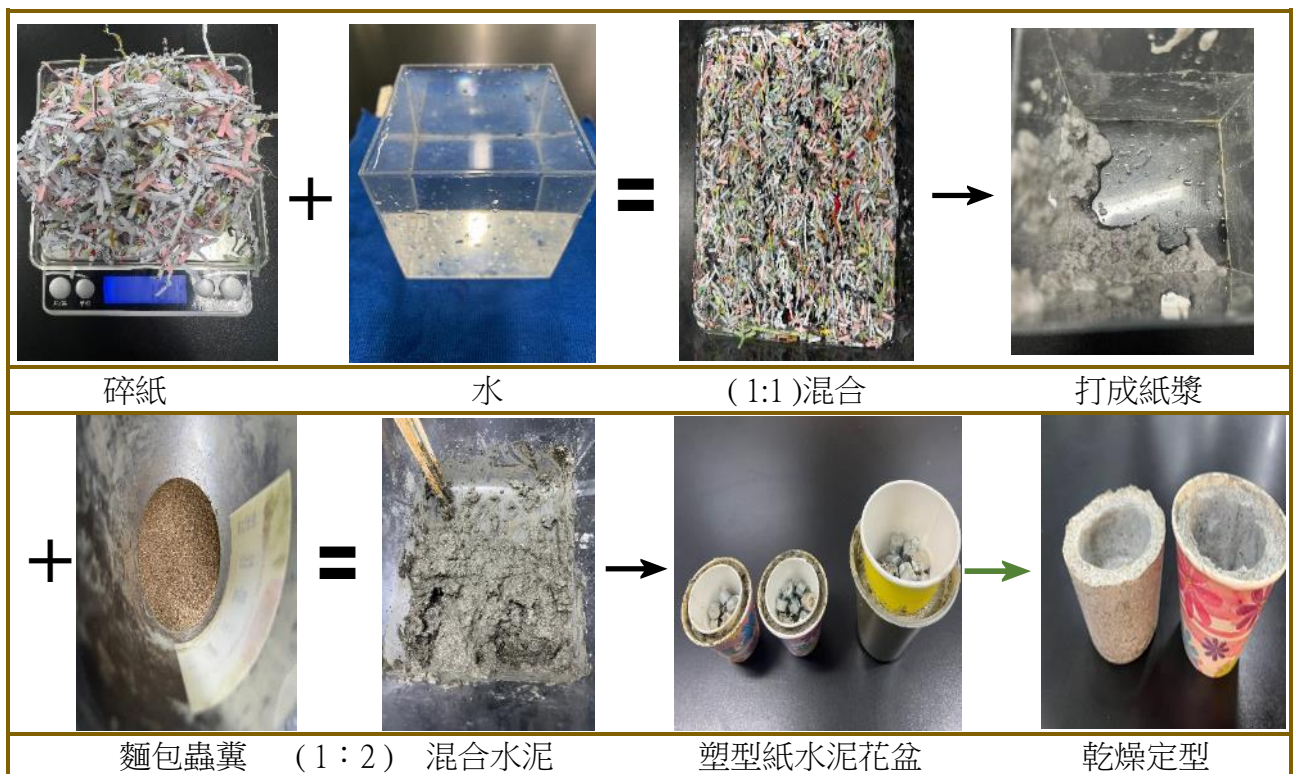
6. 蟲糞進行土壤改良研究(回收暖暖包去鹽化的活性碳+蟲糞+需改良的土壤)：



- (1) 利用蟲糞撒在土壤混合後可以改良土壤的狀況，讓植物可以生長。
- (2) 回收暖暖包取出裡面活性碳，經由去除鹽分，吸掉多餘鐵粉，以暖暖包、蟲糞、培養土 (1 : 1 : 8) 混合，可以用來種植葉菜類植物，期間生長狀況良好。
- (3) 另外在相關報告中提到，可將黑水虻糞再製成為肥料或柱狀飼料，相信此方法也可用在麵包蟲糞。



7. 第二代花盆改良(紙水泥蟲糞花盆)：



*大大改良蟲糞花盆會發霉與硬度上的缺點，並增加延長蟲糞養分釋出的時效性。

陸、討 論

研究目的	問 題	研究結果	原因探討
目的一： 找出麵包蟲喜愛攝食的食物性質探討？	1-1	1.麵包蟲喜歡攝食美生菜與大白菜。 2.空心菜與地瓜葉不太被麵包蟲接受。 3.糞便轉換率美生菜最佳，韭菜第二。	1. 經過比較發現麵包蟲並非比較喜歡攝食葉菜，而是與食物本身的含水量和能否容易被啃咬攝食有關係。 2. 雖然麵包蟲能夠攝食的物品很多，但是消化後糞便轉換率有很大差別，攝食速度差很多。 3. 糞便轉換率：葉菜類 > 其他類 > 果皮類 4. 攝食糞便產生率與食物軟硬有關。
	1-2	1.柿子皮與絲瓜皮攝食效果最好。 2.白蘿蔔皮最不被麵包蟲攝食。 3.太粗糙或太厚的果皮，不容易被麵包蟲攝食易殘留腐敗。 4.果皮水分太多易造成麵包蟲死亡。 5.果皮廚餘須放置 1-2 天乾燥些後餵食。	
	1-3	1.麵包蟲喜愛吃桑葉與麥麩。 2.麵包蟲會攝食竹節蟲糞，不愛吃芭樂葉。 3.飼料中的紅色素會讓麵包蟲變紅色。 4.麵包蟲不吃落葉，無法利用落葉飼養。	
目的二： 觀察蟲糞的外型特徵、分解性、沉浮性與特質？	2-1	1.不同食物所產生的蟲糞外型差異性大。 2.不同食物所產生的蟲糞顏色也不相同。 3.較乾燥的食物蟲糞會呈顆粒狀約 0.5mm 4.水分含量與纖維多的食物蟲糞呈長條狀 5.食物水分含量要低於 18%以下，才不會造成麵包蟲大量死亡影響存活率。 6.特別發現：單餵保麗龍會讓麵包蟲或麥皮蟲提早化蛹(推測與養分有關)，並有二次攝食蟲糞的現象，單以蟲糞和秤重觀察，無論哪一種蟲重量都一直減輕。	1. 大小、長度相同的麵包蟲，製造出來的蟲糞在 0.5~1.0mm 間，最適合口器小的稚魚吞食。 2. 含水量越低食物，經過麵包蟲腸胃道消化較容易成顆粒狀。 3. 葉菜類的食物被消化後，就像乾燥的茶葉，泡在水中容易溶出色素，導致水

	2-2	<ol style="list-style-type: none"> 1.葉菜類的糞便會呈現綠色或茶褐色。 2.葉菜類糞便溶於水中會讓水變茶色。 3.果皮類糞便會偏黃，溶於水中水不變色 4.若沒有生物攝食，水中糞便 3 天就腐敗 5.蟲糞溶失率優於飼料，稚魚方便攝食。 6.葉菜蟲糞在水中最易散開。 	<p>色改變，若量不多則不影響水質。</p> <p>4. 蟲糞具有比飼料更佳的漂浮性與較低的溶失率，因為蟲糞外層有包覆一層薄膜分泌物。</p>
	2-3	<ol style="list-style-type: none"> 1.在 30 分鐘內各種性質的蟲糞均有 50% 以上的漂浮性。 2.蟲糞下沉的速度與不同性質蟲糞吸水速度有關聯。 3.其他類與果皮類蟲糞漂浮性較佳。 	<p>5. 研究結果與歷屆科展相異，會吃≠能消化吸收，攝食保麗龍會讓死亡率增高，消化後的蟲糞依然是保麗龍而無法再利用。</p>
<p>目的三： 探討不同蟲糞的飼養環境中仔稚魚的成長狀況？</p>	3-1	<ol style="list-style-type: none"> 1.葉菜蟲糞飼養稚魚以美生菜為最佳。 2.從體長與體重的變化，空心菜與地瓜葉的蟲糞不適合飼養稚魚。 3.越愛吃的的葉菜類，蟲糞較適合餵稚魚。 	<p>1. 容易被麵包蟲攝食的食物能夠產生較多的蟲糞，相對地所包含的營養成分較高。</p>
	3-2	<ol style="list-style-type: none"> 1.果皮蟲糞飼養稚魚存活率較高。 2.稚魚體長與體重的變化也高於葉菜類。 3.紅蘿蔔皮蟲糞不適合當稚魚飼料。 	<p>2. 果皮蟲糞顆粒大小均勻，較易被稚魚攝食，有較高的存活率。</p>
	3-3	<ol style="list-style-type: none"> 1.將三類蟲糞混合餵食稚魚，稚魚生長情況與飼料餵食相近。 2.桑葉與竹節蟲糞餵食結果類似葉菜類。 3.以麥麩蟲糞餵食稚魚後期生長會變慢 4.混合蟲糞餵食狀況與飼料餵食相近。 	<p>3. 單一蟲糞餵食稚魚營養不足，稚魚成長率低於飼料，混合營養才充足。</p> <p>4. 蟲糞沉降速度會決定稚魚攝食生長的狀況。</p>
	4-1	<ol style="list-style-type: none"> 1.比較魚飼料與蟲糞營養成分發現，蟲糞少了脂肪，蛋白質含量低 15%，微量元素與總磷高於飼料。 	<p>1. 以飼料養殖學的觀點，魚類和蝦類成長需要較多的蛋白質與脂肪，綜</p>

目的四： 探究除了 養魚以外 其他飼養 上的應用 方法？		<p>2.蟲糞不但可以養稚魚，也適合當黑殼蝦的飼料，存活率 60%以上。</p> <p>3.飼養水生生物時可以間接促進水草生長，間接影響水中藻類含量，適合養小型觀賞蝦類的物種。</p>	<p>合的蟲糞包含了這些元素適合當飼料。</p> <p>2. 蟲糞含氮，可以添加在土壤中當作肥料，我們以 1：100 配製蟲糞營養水，有助水草生長。</p>
	4-2	<p>1.蟲糞含氮量有 3.37%，以 1：100 比例配製蟲糞水，可以當作水草的營養添加劑。</p> <p>2.添加蟲糞水的水草生長情形：水蘊草>金魚草>珍珠草。</p> <p>3.以長度成長率來看水蘊草生長多 123%。</p> <p>4.可添加適當的蟲糞當作水草營養添加劑，其中的磷有易水草增生。</p>	<p>3. 雜食性的螺類會攝食蟲糞，加上攝食速度慢，容易堆積底部造成汙染，並不適合當螺類飼料。</p> <p>4. 蟲糞花盆可利用複合材料製成增加強度與可利用性。第二代紙水泥花盆，具有堅固和質量輕優點，混入蟲糞讓養分可以直接釋放進入土壤中，且保濕吸水性良好。</p>
	4-3	<p>1.蟲糞可以餵養蘋果螺與囊螺，植食性的螺類不會直接攝食，但會攝食因為添加蟲糞長出來的藻類；單純以蟲糞飼養螺類的效果不佳。</p> <p>2.蟲糞用於螺類養殖需考量其食性，否則易導致水質汙染造成螺類大量死亡，過量吃不完會成為的水質汙染根源。</p> <p>3.蟲糞花盆種菜，適合個人式的小型栽種，不用刻意施肥，還可添加蟲糞當肥料。</p> <p>4.魚菜共生不只可飼養魚，溶解在水中的蟲糞還能額外提供葉菜生長養分。</p> <p>5.將回收暖暖包+蟲糞+土壤以(2:1:5)混合，可重新種植蔬菜且生長良好。</p>	<p>5. 魚菜共生蟲糞不單可以餵魚還能夠溶解在水中對植物生長添加養分。</p> <p>6. 回收暖暖包去鹽分後，可依比例將土壤和蟲糞混合成培養土種菜。</p> <p>7. 檢視並釐清蟲糞的特性與應用上的優、缺點。</p>

柒、結 論

我們用廚餘循環再造的觀點探討研究，符合目前新興的循環農業，希望能夠將麵包蟲糞再次有效應用，減少飼養時產生大量糞便的困擾；再進一步創造新的生物經濟價值，替日益資源減少的地球環境減輕一些壓力，本研究我們有以下的發現：

1. 麵包蟲糞適合用來飼養孔雀魚的仔稚魚，漂浮性比魚飼料好，並增加 25% 以上存活率。
2. 將魚飼料磨碎後漂浮性會降低、溶失率增加，導致下沉速度變快，更容易汙染水質。
3. 利用麵包蟲快速轉化有機廢棄物質，藉由幼蟲將有機資源物質中的營養回收再利用。
4. 以仔稚魚成長率分析，餵食蟲糞類型：(1)果皮糞 > 葉菜糞，(2)綜合糞 > 飼料糞。
5. **特別發現**：竹節蟲糞可被麵包蟲攝食分解後成為**再生飼料**；但麵包蟲不太愛吃芭樂葉。
6. **實驗證明**：麵包蟲吃保麗龍產生的蟲糞，並非全部都已將保麗龍完全分解後排出，所以**不適合當魚飼料，仔稚魚餵食後會因為無法消化導致大量死亡；且有微粒汙染的問題。**
7. 蟲糞因為消化後含氮，可以當作水草生長的添加物，以 1：100 稀釋後水溶液添加即可。
8. 蟲糞除了當種植植物的土壤添加肥料之外，我們找到蟲糞應用的其他發展性。
9. 網路上描述蟲糞可以淨化水質，實驗證明添加過多或未被消化的蟲糞會造成水質嚴重汙染劣化，蟲糞腐敗會讓水體發臭，**證明此理論無實際科學根據。**
10. 仔稚魚體長超過 1.5cm 以上，就不適合用蟲糞餵養，與稚魚口器能吞食的顆粒大小有關。
11. 孔雀魚仔稚魚的口器大小影響到攝食，經實驗測量證實，5 齡麵包蟲製造的蟲糞大小，最**適合出生 2~3 週內仔稚魚口器吞食，會攝食漂浮性飼料的小型魚也可利用蟲糞餵食。**
12. 並非所有果皮廚餘、葉菜廚餘或乾糧都可以被麵包蟲攝食，也不是沒有選擇性攝食。
13. 果皮與葉菜中的水分含量會影響到麵包蟲的存活率，含水量低於 13% 以下最適合餵食，含水量超過 18% 以上，麵包蟲死亡率就大增，死亡率與含水量成正比。
14. 實驗證明麵包蟲幼蟲**日耗攝食率約為蟲體重量的 20%，每日平均蟲體增重量約 3%~5%。**
15. 麵包蟲糞便產生率以美生菜最佳，含水量低的果皮、脫水的菜葉次之。
16. **吃保麗龍的麵包蟲，蟲糞中保麗龍含量達 99%，若與相關報告比較，在我們的觀察會有攝食蟲糞進行二次消化的狀況，是否跟能消化保麗龍有關，已從一齡蟲攝食糞便中發現。**
17. 蟲糞生產具有可持續性，這也可以提供養殖業者除了當堆肥以外的新應用開發。

捌、參考資料

1. 國小自然與生活科技第 10 冊單元三動物大觀園。(2017)。台南市：翰林出版社。3 版。
2. 李愛杰(1998)。水產動物營養與飼料學。基隆市:水產出版社。P.14~P.148。
3. 張恆豪、蔡承烜、馮冠霖、蕭鈞文。(2004)。蕨處蟲生？－蕨類對麵包蟲化蛹、生存及活動力之影響。中華民國第 44 屆中小學科學展覽會作品。
4. 劉家慧、林芸君、李智鈞、董怡芳。(2006)。活體垃圾車。中華民國第 46 屆中小學科學展覽會作品。
5. 蔡其典，陳昆祺，黃敬宸。(2012)。飼料添加印度苔菜對魚生長的影響。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會作品。
6. 謝依軒，吳仔叡。(2021)。塑戰塑決！「菌」然讓蟲把塑膠吃了！。中華民國第 61 屆中小學科學展覽會作品。
7. 林品睿，林妍妤，吳定燁，黃妍馨，胡維恩，呂宸熙。(2022)。雙蟲屠「龍」-「蟲」新塑造。中華民國第 62 屆中小學科學展覽會作品。
8. 麵包蟲、黃粉蟲-飼養。(2023，April)。隨意窩 Xuite 日誌。
<https://blog.xuite.net/deantmt/blog/193145722>
9. crossword。(2023，February)。黃粉蟲。台灣養耕共生協會。
http://twaquaponics.blogspot.com/2012/12/blog-post_9893.html

【評語】 082906

1. 本實驗尋求麵包蟲糞之另類出處，達成零廢棄物的友善再生循環。
2. 科展相關的文獻整理完整並含比較
3. 作者觀察入微，能由昆蟲的糞便開始，試著探討可利用程度。實驗設計與敘述流暢，數據解釋合理，研究架構清晰、文獻比對完整。
4. 很花心思，非常適合小學生之實驗。
5. 本研究分四個目的再各自細分三個子項，每個子項探討項目過多，易分散主題，建議可聚焦或加強其關連性。
6. 在食性選擇及蟲糞作為小魚飼料實驗中，建議增設對照組比較。

作品海報

非「糞」之享～



麵包蟲糞的應用探討

摘 要

麵包蟲常被當作餌料或新興環保生物，研究指出幾乎什麼都吃，但經過一再實驗印證並非如此，飼養後所產生的蟲糞是另一個問題，除了可以當作肥料；我們想找出更多其他的可行性；是否也可當作再生材料，經由實驗探究可行性：

1. 蟲糞會受到不同食材影響而有不同的料源性質。
2. 蟲糞適合當作 1.5cm 以下，稚魚或小型魚、觀賞蝦的飼料。
3. 蟲糞可當作肥料化、飼料化與材料化的應用。
4. 蟲糞製成花盆或魚菜共生餵食，使植物生長良好與添加人工肥料生長差異不大。
5. 蟲糞優點：(1) 蟲糞**漂浮性高與溶失率低**。(2) 沉底後**水質污染速度低於飼料**且可分解。(3) 稚魚攝食率高，**減低剩食率達 20%**。
6. 黑水虻吃農畜廢棄物，麵包蟲解決葉菜、果皮廚餘，共同達成零廢棄物的友善再生循環。

壹、研究動機

有天我們突發奇想的將麵包蟲的糞便舀了一小匙倒入魚缸中，卻發現小魚會去搶食，幾次嘗試之後發現小魚不但會攝食，而且生長狀況良好，水質也沒有產生汙染，引發了我們高度的興趣，進而研究如何將蟲糞轉變成小魚飼料的可行性與方法，曾嘗試利用研磨的方式將飼料磨碎；卻又發現飼料漂浮性消失且容易下沉，下沉的飼料稚魚就不吃；沒想到反其道而行，蟲糞餵食的效果卻出奇的好，也啟發我們對於蟲糞應用的探究。加上俄烏戰爭造成出口原物料大漲，飼料成本更是節節高升，若能夠將麵包蟲糞開發成飼料與其他應用，或者能替代部分製成主要原料，不僅可以降低成本，更可以找出另一條路解決漁牧業飼料荒的問題。

貳、研究目的

研究找出攝食不同食物的麵包蟲糞特性，列出了四個研究目的與相關問題進行探究：

- 目的一：找出麵包蟲喜愛攝食的食材性質探討？
 目的二：研究不同食材的蟲糞外型特徵、分解性、沉浮性與水質污染性的特點？
 目的三：探討在不同蟲糞的飼養環境中，水生生物的生長狀況？
 目的四：探究除了養魚以外，蟲糞的其他應用方式的可行性？

參、研究設備及器材

重複性物品	消耗性物品	
1. 數位相機	1. 手套	5. 葉菜廚餘
2. USB 電子顯微鏡	2. 塑膠培養皿	6. 果皮廚餘
3. 觀察盒	3. 糞便收集盒	7. 雜糧與魚飼料
4. 電子秤	4. 500ml 紙杯	8. 滴管

肆、研究過程



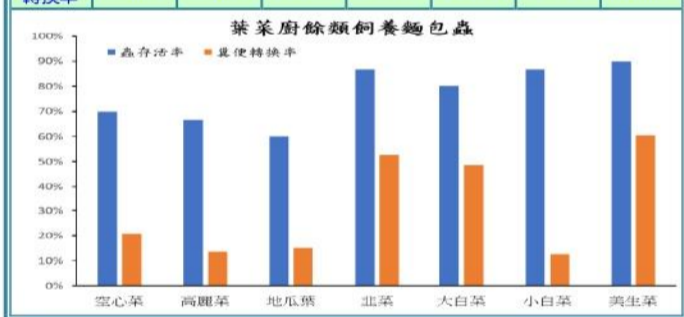
伍、研究方法與結果

目的一：找出麵包蟲喜愛攝食的食物性質探討？

1-1 葉菜廚餘飼養？

研究結果：常見的空心菜、高麗菜、地瓜葉、韭菜、大白菜、小白菜、美生菜飼養情況。

觀察項目	空心菜	高麗菜	地瓜葉	韭菜	大白菜	小白菜	美生菜
吃完天數	>7天	>7天	>7天	5天	6天	4天	3天
蟲存活率	70.0%	66.7%	60.0%	86.7%	80.0%	86.7%	90.0%
糞便轉換率	20.6%	13.6%	15.2%	52.7%	48.5%	12.5%	60.5%

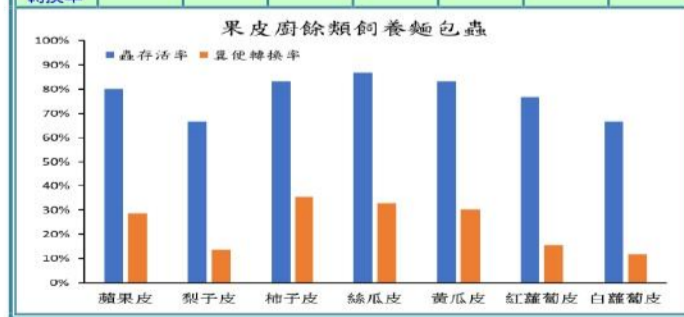


※判斷結果：攝食喜好與葉菜軟硬度影響蟲糞產生狀況。

1-2 果皮廚餘飼養？

研究結果：紀錄利用蘋果皮、梨子皮、柿子皮、絲瓜皮、黃瓜皮、紅蘿蔔皮和白蘿蔔皮等當季的蔬果皮，飼養麵包蟲的情況。

觀察項目	蘋果皮	梨子皮	柿子皮	絲瓜皮	黃瓜皮	紅蘿蔔皮	白蘿蔔皮
吃完天數	5天	>7天	3天	3天	4天	6天	>7天
蟲存活率	80.0%	66.7%	83.3%	86.7%	83.3%	76.7%	66.7%
糞便轉換率	28.8%	13.6%	35.4%	32.8%	30.1%	15.4%	11.8%



1-3 乾糧或其他食物餵食？

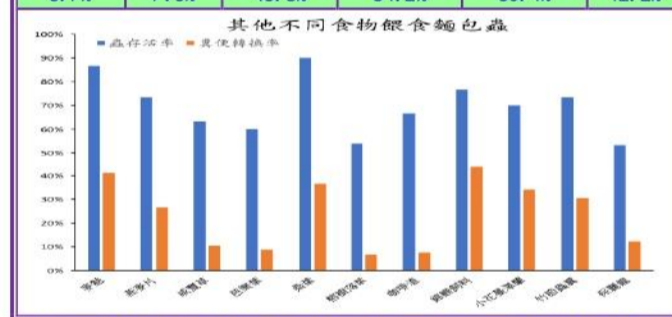
研究過程：★★ 意外發現 ★★

1. 以竹節蟲糞當作食物餵養麵包蟲，竟然會被食用，而且製造出不少糞便，這也引起我們興趣，我們認為沒有用的物品，沒想到可以經過麵包蟲再次地利用，產生糞便二次轉化。
2. 出乎意料的麵包蟲竟然非常喜歡攝食桑葉，而且新鮮的枯化桑葉，攝食效果最佳，餵食小花蔓澤蘭的效果也不差、咖啡渣攝食效果沒有預期的高。
3. 攝食到紅色錦鯉飼料的麵包蟲，竟然讓麵包蟲變成紅色；但也造成不少死亡，我們推論所添加的非食用紅色色素有關連性，而且是造成麵包蟲變色的主因。

研究結果：紀錄利用麥麩、燕麥片、咸豐草、芭樂葉、桑葉、榕樹落葉、錦鯉飼料(綠)、錦鯉飼料(紅)、竹節蟲糞、保麗龍等材料當作食物，飼養麵包蟲的生長情況。

觀察項目	麥麩	燕麥片	咸豐草	芭樂葉	桑葉
吃完天數	4天	5天	>7天	>7天	3天
蟲存活率	86.7%	73.3%	63.3%	60.0%	90.0%
糞便轉換率	41.2%	26.6%	10.4%	8.6%	36.5%

榕樹落葉	咖啡渣	錦鯉飼料	小花蔓澤蘭	竹節蟲糞	保麗龍
>7天	>7天	>7天	>7天	5天	>7天
54%	66.7%	76.6%	70%	73.3%	53.3%
6.7%	7.6%	43.8%	34.2%	30.4%	12.2%



目的二：研究不同食材的蟲糞外型特徵、分解性、沉浮性與水質污染性的特點？

2-1 蟲糞性質分析與外型特徵

研究結果：1. 不同昆蟲糞便型態觀察比較：



2. 葉菜廚餘產生的糞便(順序依糞便產生由多到少排列)

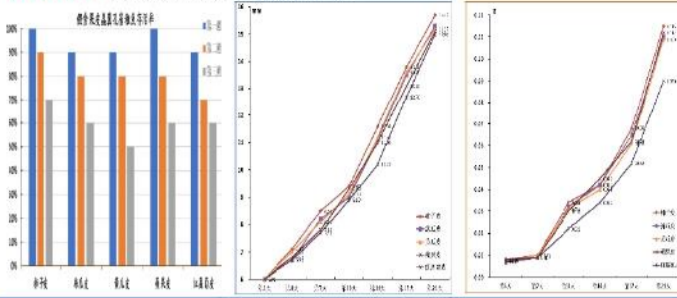
觀察項目	美生菜	韭菜	大白菜	地瓜葉	空心菜
酸鹼性	中	中	中	中	中
顆粒大小	0.3-0.5mm	0.3-0.5mm	>0.5mm	>0.5mm	>0.5mm
長度	0.5-1.0mm	0.5-1.5mm	0.5-1.0mm	0.5-4.0mm	1.0-4.5mm
顏色	深綠色	淺綠、深綠	褐色、灰黑色	黑褐色	黑褐色
外型	顆粒狀	顆粒狀	顆粒、長條	顆粒、長條	顆粒、長條
顯微鏡照片					

3. 果皮廚餘產生的糞便(順序依糞便產生由多到少排列)

觀察項目	柿子皮	絲瓜皮	黃瓜皮	蘋果皮	紅蘿蔔皮
酸鹼性	中	中	中	中	中
顆粒大小	0.3-0.5mm	0.3-0.6mm	0.4-0.6mm	>0.5mm	>0.5mm
長度	0.5-1.0mm	0.5-1.0mm	0.5-1.0mm	0.5-1.0mm	0.5-1.0mm
顏色	灰褐色	深綠、灰黑色	深綠、灰黑色	暗褐色	暗橘紅色
外型	顆粒狀	顆粒狀	顆粒、長條	顆粒、長條	顆粒、長條
顯微鏡照片					

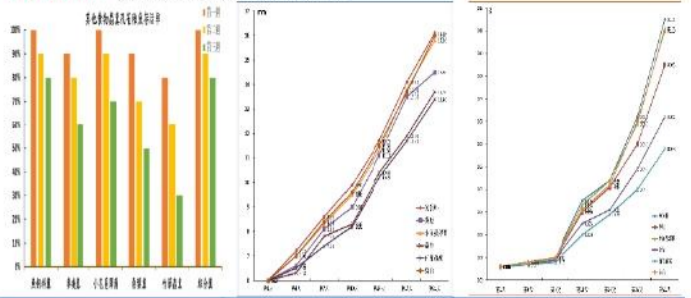
3-2: 果皮蟲糞糞糞魚?

研究結果: 餵食果皮蟲糞糞魚存活率:



3-3: 其他蟲糞糞糞魚?

研究結果: 餵食其他蟲糞糞魚存活率:



目的四: 探究除了糞魚以外, 蟲糞的其他應用方法的可行性?

4-1: 蟲糞養殖黑殼蝦?

麵包蟲糞又可以稱為糞沙, 其中含有的營養成分如下表

類別	粗蛋白	水分	粗灰分	總磷	粗纖維	粗脂肪	其他元素
含量	24.86 %	12.10 %	8.41 %	1.22 %	3 %↓	0 %	5 %↓

一般飼養魚蝦通用飼料所含有的成分比例表(調查後平均值)如下

類別	粗蛋白	水分	粗灰分	總磷	粗纖維	粗脂肪	其他元素
含量	35%↓	10 %	15 %↓	0 %	4 %↓	5 %↓	4 %↓

研究結果: 黑殼蝦生長紀錄(平均體長與存活率)

項目	對照組(飼料)	實驗組(糞糞)	存活率
第一週	1.80 cm	1.78 cm	100.0 %
第二週	2.22 cm	2.13 cm	93.3 %
第三週	2.72 cm	2.56 cm	66.6 %
第四週	2.68 cm	2.53 cm	53.3 %

4-2: 水草生長栽培?

研究結果: 將浸泡蟲糞的營養水當作水草生長營養添加劑

名稱	水蘊草(對照/實驗)	垂葉草(對照/實驗)	珍珠草(對照/實驗)
第一週	10.0 cm	10.0 cm	10.0 cm
第二週	11.8 cm	12.1 cm	11.0 cm
第三週	14.8 cm	16.0 cm	13.2 cm
第四週	17.3 cm	18.2 cm	14.2 cm
第五週	19.1 cm	22.3 cm	15.0 cm

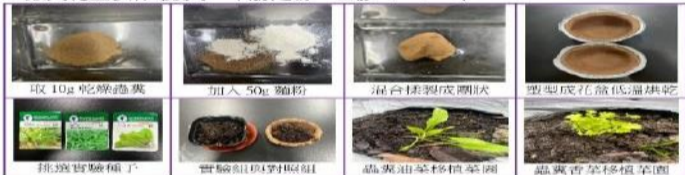
- (1) 相同條件(光照時間與水量)下加入每天 10ml 蟲糞水, 能夠增長水草量最多達 30%。
- (2) 三種水草生長的情況均比對照組佳, 推測與蟲糞中含氮有關。

4-3: 其他類別應用?

研究結果: 1. 蟲糞飼養螺類觀察:

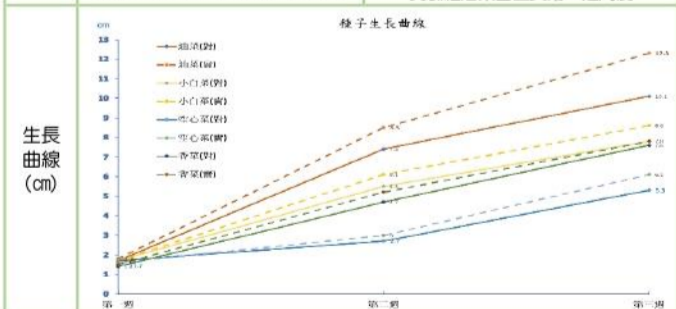
名稱	福壽螺(對照/實驗)	田螺(對照/實驗)	囊螺(對照/實驗)
存活率	60.0 %	20.0 %	60.0 %

2. 蟲糞花盆製作(糞糞: 中筋麵粉: 白膠=1: 5: 3)



3. 蟲糞花盆種植蔬菜與一般土壤種植蔬菜比較生長表(單位: cm)

菜苗名稱	油菜苗(對照/實驗)	小白菜(對照/實驗)	空心菜(對照/實驗)	香菜苗(對照/實驗)
第一週	1.7	1.8	1.7	1.7
第二週	7.4	8.5	5.5	6.1
第三週	10.1	12.3	7.8	8.6



4. 蟲糞進行魚菜共生研究:



5. 蟲糞進行土壤改良研究(回收暖包去鹽化的活性碳+蟲糞+需改良的土壤)



陸、討 論

研究結果整理如下:

研究目的	研究結果原因探討
目的 一	<ol style="list-style-type: none"> 1. 經過比較發現麵包蟲並非比較喜歡攝食葉菜, 而是與食物本身的含水量和能否被嚼碎攝食有關係。 2. 雖然麵包蟲能夠攝食的物品很多, 但是消化後糞便轉換率有很大差別, 攝食速度也相差很多。攝食糞便生產率與食物軟硬有關; 糞便轉換率: 葉菜類 > 其他類 > 果皮類。
目的 二	<ol style="list-style-type: none"> 1. 大小、長度與重量相同的麵包蟲, 製造出來的糞糞在 0.5~1.0mm 間, 最適口器小或初生的稚魚吞食。 2. 含水量越低食物, 經過麵包蟲腸胃消化較容易成顆粒狀。葉菜類的食物被消化後, 就像乾燥的茶葉, 泡在水中容易溶出色素, 導致水色改變, 若量不多則不影響水質。 3. 糞糞具有比飼料更佳的漂浮性與較低的溶失率, 因為糞糞外層有包裹一層薄膜分泌物。 4. 研究結果與歷屆科展相異, 會吃 ≠ 能消化分解與吸收, 攝食保麗龍會讓死亡率增高, 消化後的糞糞依然是保麗龍而無法再利用。
目的 三	<ol style="list-style-type: none"> 1. 容易被麵包蟲攝食的食物能夠產生較多的糞糞, 相對地所包含的營養成分較高。果皮糞糞顆粒大小均勻, 易被稚魚攝食, 提高稚魚存活率。 2. 單一糞糞飼養稚魚營養不足, 稚魚成長率低於飼料, 混合營養才充足。 3. 糞糞沉降速度會大大決定稚魚攝食影響生長的狀況。
目的 四	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以飼料營養學的觀點, 魚類和蝦類成長需要較多的蛋白質與脂肪, 綜合糞糞經過與實際飼料比對, 包含的元素豐富適合當魚飼料。 2. 糞糞含氮, 可以添加在土壤中當作肥料, 我們以 1:100 配製糞糞營養水, 有助水草生長, 飼養飼料還能幫助水草生長。 3. 雜食性的螺類會攝食糞糞, 加上攝食速度慢, 容易堆積底部造成汙染, 並不適合當螺類飼料。 4. 糞糞花盆可利用複合材料製成增加強度與可利用性。第二代紙水坭花盆, 具有堅固和質量輕優點, 混入糞糞讓養分可以直接釋放進入土壤中, 且保潔吸水性良好。 5. 魚菜共生糞糞不只可以飼養還能夠溶解在水中為植物生長添加養分。 6. 回收暖包去鹽後, 可依比例將土壤和糞糞混合成培養土種菜。 7. 檢視並釐清糞糞的特性與應用上的優、缺點, 發現糞糞用途多元。

柒、結 論

應用廚餘循環再造的觀點探討研究, 符合目前新興的再生循環農業, 希望能夠將麵包蟲糞糞再次有效應用, 減少飼養時產生大量糞便的困擾; 再進一步創造新的生物經濟價值, 替日益資源減少的地球環境減輕一些壓力, 本研究我們有以下的重點發現整理:

1. 麵包蟲糞糞適合用來飼養孔雀魚的仔稚魚, 漂浮性比魚飼料好, 並增加 25% 以上存活率; 將魚飼料磨碎後漂浮性會降低、溶失率增加, 導致下沉速度變快, 更容易汙染水質, 麵包蟲糞糞無此問題。
2. 利用麵包蟲快速轉化有機廢棄物, 藉由幼蟲將有機資源物質中的營養回收再利用, 攝食後的糞糞成為另一種可利用的再生資源。
3. 以仔稚魚成長率分析, 餵食糞糞類型: (1) 果皮糞糞 > 葉菜糞糞, (2) 綜合糞糞 > 飼料糞糞。
4. 特別發現: 竹節蟲糞糞和桑葉可被麵包蟲攝食分解後成為再生飼料; 但麵包蟲雖然會吃塑料製品, 但排出來糞糞 99% 依然是吃進去的塑料, 特別利用水果包裝泡棉餵食證明, 結果如同飼食保麗龍。
5. 實驗證明: 麵包蟲吃保麗龍產生的糞糞, 並非將保麗龍完全分解後排出, 所以不適合當魚飼料, 仔稚魚飼食後會因為無法消化導致大量死亡; 且有塑料微粒汙染的問題。
6. 糞糞因為消化後含氮, 可以當作水草生長的添加物, 以 1:100 稀釋後水溶液添加即可。糞糞除了當種植植物的土壤添加肥料之外, 我們找到糞糞應用的其他發展性。
7. 網路上描述糞糞可以淨化水質, 實驗證明添加過多或未被消化的糞糞會造成水質嚴重汙染劣化, 糞糞腐敗會讓水體發臭, 證明此理論無實際科學根據。
8. 仔稚魚體長超過 1.5cm 以上, 就不適合用糞糞飼養, 與稚魚口器能否吞食的顆粒大小有關。孔雀魚仔稚魚的口器大小影響到攝食, 經實驗測量證實, 5 齡麵包蟲製造的糞糞大小, 適合出生 2~3 週內仔稚魚口器吞食, 會攝食漂浮性飼料的小型魚也可用糞糞飼食。
9. 並非所有果皮廚餘、葉菜廚餘或乾糧都可以被麵包蟲攝食, 也不是沒有選擇性攝食, 水分多、纖維粗都會影響攝食。
10. 果皮與葉菜的水分含量會影響到麵包蟲的存活率, 含水量低於 13% 以下最適飼食, 含水量超過 18% 以上, 麵包蟲死亡率就大增, 死亡率與含水量成正比。
11. 實驗證明麵包蟲幼蟲日耗糞糞率約為蟲體重量的 20%, 每日平均蟲體增重量約 3%~5%。
12. 吃保麗龍的麵包蟲, 糞糞中保麗龍含量達 99%, 若與相關報告比較, 在我們的觀察會有攝食糞糞, 進行二次消化的現象, 是否跟能消化保麗龍有關, 已從一齡蟲攝食保麗龍糞便中印證發現。
13. 糞糞生產具有可持續性, 這也可以提供養殖業者除了當堆肥以外的新應用開發; 非都市小型社區及農村廚餘回收應用的另外考量。

捌、參 考 資 料

1. 李愛杰 (1998)。水產動物營養與飼料學。基隆市: 水產出版社。P. 14~P. 148。
2. 謝依軒, 吳子韻 (2021)。塑戰塑決! 「菌」讓讓把塑膠吃了!。中華民國第 61 屆中小學科學展覽會作品。
3. 林品睿, 林妍妤, 吳定輝, 黃妍馨, 胡維恩, 呂宸熙 (2022)。雙壽「龍」-「蟲」新塑造。中華民國第 62 屆中小學科學展覽會作品。