

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 動物與醫學科

052012

甘藷龜金花蟲一齡幼蟲尾端裝飾糞便的功能

學校名稱：國立新竹科學園區實驗高級中等學校

作者： 高二 黃以珊 高二 李昱蓁 高二 蕭宇辰	指導老師： 揭維邦
---	------------------

關鍵詞：龜金花蟲、防禦行為、棘毛

摘要

甘藷龜金花蟲幼蟲 (*Cassida circumdata*) 在受威脅時會舉起與擺動尾端棘毛。錄影觀察其裝飾糞便，寬度平均為 0.543mm，呈雙圓球狀，附著在尾端最長之一對棘毛上。本研究發現一齡幼蟲以尾塔主動排便並堆置，且不同齡期幼蟲間糞便形狀及大小均未達顯著差異，推論除了一齡幼蟲以外的各齡期並不會增加棘毛糞便的量。人工移除裝飾糞便的情況下，一齡幼蟲將其補回的次數，與其他二至五齡期幼蟲的行為達到統計上顯著不同；事實上，二至五齡幼蟲未觀察到補回糞便的行為，因此推論尾部棘毛糞便對一齡幼蟲有必要性。一齡幼蟲在遇到天敵一蚜獅時，會舉起尾端裝飾糞便拍打蚜獅身體，將其定義為物理性防禦，而二齡以上之幼蟲，尾端具有更強而有力的蛻皮，會逐漸取代裝飾糞便的功能。

壹、研究動機

一、飼養與行為觀察

在 Carolline Müller 教授 1999 年與 2002 年的論文中提到，龜金花蟲亞科的幼蟲具有裝飾糞便，並且對螞蟻有化學性防禦，但對蚜獅卻沒有同等效果，引起了我們的好奇，因此我們選定校園中常見的甘藷龜金花蟲作為研究對象，並在暑假期間開始飼養與觀察其生活史和不同的行為特徵，究其尾端裝飾糞便的功能。

期間，我們發現甘藷龜金花蟲的幼蟲會在其棘毛上放置糞便(圖一)，朝他們噴水時也有舉起尾端棘毛對的行為，讓我們十分好奇，想知道此行為的意義以及是否對其生存帶來影響。



圖(一)、甘藷龜金花蟲與其放置在棘毛上的裝飾糞便

二、文獻查找

閱讀學者論文、台灣產金花蟲科圖誌 1.2、台灣昆蟲期刊、中小學科展中對金花蟲的研究文獻後，我們更了解其生存習性、特徵，但並未發現與舉尾行為的功能相關的深入研究，因此想針對此行為設計實驗，找出幼蟲表現出此行為的原因。

三、文獻整理

金花蟲的幼蟲大多會將其糞便、蛻皮、外骨骼碎片等在身上製成防禦糞 (fecal shield)，以此防禦掠食者。(Bacher & Luder, 2005) 其中，不同於其他科 (例如：*Criocerinae*、*Galerucinae*) 幼蟲大都將糞便堆砌在背上覆蓋住幾乎全身，金花蟲亞科幼蟲的尾端棘毛裝飾糞便可前後左右擺動，應其要求移到相對應之位置，有時如傘狀結構，有時突然抬起，以防禦天敵。(Chaboo, 2013) 大部分的幼蟲都以其蛻皮製作防禦糞，例如：*Cassida stigmatica*。(Müller & Hilker, 1999) 天敵如螞蟻等遇到金花蟲幼蟲時，會先接觸其新且濕潤的防禦糞，因此最初被視為是化學吸引的一種表現。(Eisner & Carrel, 1967)

藍半球龜甲蟲 *Hemisphaerota cyanea* 的幼蟲會製作茅狀糞便罩 (fecal thatch)，其是由狹窄捲曲且纏繞的絲線束織而成。幼蟲在孵化後即刻開始覓食，並在幾分鐘內排泄糞便，在十二小時內完成茅狀糞便罩的製作。藍半球龜甲蟲的幼蟲在其茅狀糞便罩受損時極力修復，保持其完整性。(Eisner & Eisner, 2000)

金花蟲幼蟲會排放大量糞便，有時混合些許膠狀分泌物 (Eisner & Eisner, 2000)，使用其肌肉性收縮且高度突出的肛門，在尾端棘毛對上堆放防禦糞。(Keefover-Ring, 2013) 在文獻中，李奇峰博士將此特化肛門稱為「尾塔」(李等, 2007; 2011)。

在 *Chrysomelinae* 亞科中，某些雌金花蟲會在卵外包裹一層糞便，在幼蟲孵化後，會以其作為其防禦糞基礎，繼續隨生長而增加。(Eisner & Eisner, 2000)

閱讀並整理台灣產金花蟲科圖誌 1.2。(李等, 2007; 2011)，我們發現龜金花蟲亞科中，有部分種類的金花蟲一齡幼蟲會有將糞便堆積在身上，或利用尾塔將糞便放置在棘毛的行為，除了四種金花蟲僅一齡堆積糞便外，其餘金花蟲則幾乎是每一齡都會堆積糞便 (表一)。有別於一般金花蟲會將卵聚集，龜金花蟲亞科大多是卵散生或不群聚 (李等, 2007; 2011)。

行為特徵說明：

- (一)、幼蟲不群聚：觀察到幼蟲均獨立生活，幼蟲彼此間不相依。
- (二)、每葉一粒卵：每個葉片上僅會找尋到一粒卵鞘，幼蟲有各自生存之葉片。
- (三)、卵散生：卵鞘不聚集，一個葉片上可不只出現一個卵，幼蟲亦可生活在相同葉片。
- (四)、僅一齡幼蟲堆積糞便：僅一齡幼蟲將糞便堆積至尾端棘毛對，其餘齡期幼蟲糞便直接排放於葉片上。
- (五)、每一齡幼蟲皆堆積糞便：每一齡幼蟲皆將糞便堆積至尾端棘毛對上，通常呈現漩渦狀或坨狀。

表(一)、龜金花蟲亞科幼蟲行為比較

金花蟲名稱/行為特徵	幼蟲不群聚	卵散生	每葉一粒卵	僅一齡堆積糞便
甘藷龜金花蟲 <i>Cassida circumdata</i>	✓	✓		✓
小褐龜金花蟲 <i>Cassida obtusata</i>	✓			
小窗龜金花蟲 <i>Cassida vespertina</i>	✓			
二星龜金花蟲 <i>Thlaspida biramosa</i>	✓			
金斑龜金花蟲 <i>Cassida crucifera</i>		✓		
紹德龜金花蟲 <i>Cassida sauteri</i>		✓		

日本龜金花蟲 <i>Cassida japana</i>		✓		✓
黑紋龜金花蟲 <i>Laccoptera nepalesis</i>		✓		
栗瘤龜金花蟲 <i>Notosacantha castanea</i>			✓	
紹德瘤龜金花蟲 <i>Notosacantha sauteri</i>			✓	
茶斑龜金花蟲 <i>Cassida piperata</i>				✓
Y 紋龜金花蟲 <i>Aspidomorph indica</i>				✓

由此可知，本文研究對象甘藷龜金花蟲屬於卵散生，且幼蟲不群聚，僅一齡堆放糞便。

貳、研究目的

- 一、探討甘藷龜金花蟲幼蟲尾端棘毛裝飾糞便的來源
- 二、測量幼蟲尾端棘毛裝飾糞便的形狀、大小與齡期的關聯性
- 三、探討甘藷龜金花蟲不同齡期幼蟲裝飾糞便是否有必要性
- 四、甘藷龜金花蟲一齡幼蟲裝飾糞便功能的推論

參、研究設備及器材

- 一、甘藷龜金花蟲幼蟲、糞便觀察採集工具：

飼養箱、解剖顯微鏡、放大觀察盒、培養皿、MicroCap3.0、廚房紙巾、鑷子、毛筆、解剖剪刀、新鮮地瓜葉

- 二、糞便與食物來源之成分比較：

新鮮地瓜葉、幼蟲糞便、複式顯微鏡、保鮮膜、載玻片、蓋玻片、研鉢、滴管、刮勺

三、掃描式電子顯微鏡 (SEM) 拍攝用具：

桌上型掃描式電子顯微鏡、標本(死亡之二齡、三齡幼蟲各一)、碳膠帶、標準樣品高度測量器、吹球、手機

肆、研究過程與方法

一、名詞定義

(一)、甘藷龜金花蟲的一齡至五齡幼蟲:

甘藷龜金花蟲幼蟲利用前一齡蟲的棘毛蛻皮附著固定在新齡幼蟲的腹部尾端棘毛上，因此要界定幼蟲齡期，可以其棘毛上蛻皮數量推測之，一齡幼蟲不具有蛻皮，二齡幼蟲尾部有一截蛻皮，以此類推。

以顯微鏡拍攝各齡期幼蟲照片如下：



圖(二)、甘藷龜金花蟲一齡幼蟲



圖(三)、甘藷龜金花蟲二齡幼蟲



圖(四)、甘藷龜金花蟲三齡幼蟲



圖(五)、甘藷龜金花蟲四齡幼蟲



圖(六)、甘藷龜金花蟲五齡幼蟲



圖(七)、結蛹的五齡幼蟲



圖(八)、羽化中的金花蟲



圖(九)、甘藷龜金花蟲成蟲

(二)、尾塔 (anal turret) :

金花蟲幼蟲尾部伸出的透明管狀結構，是蟲腹部尾端兩節第 10 節與第 11 節所特化，為了用糞便建造防護 (faecal shield) 的結構，而這個結構稱為 anal turret，目前並無中文名稱，李奇峰博士將其翻譯為尾塔 (未標明作者, 2013)。

(三)、棘毛：

金花蟲尾端突出、細長之肉棘，位於幼蟲尾部前側會有較長的一對，長度可超越一齡幼蟲的體長，幼蟲在遇到外界刺激時，會將尾端棘毛舉起，讓棘毛越過身體，置於頭部之前。

(四)、糞便裝飾：幼蟲把裝飾糞便透過尾塔堆放在尾端棘毛對之行為。

(五)、成長期：幼蟲成長至下一齡期所需的時間。

(六)、達顯著差異水準：統計檢定的 P 值小於 0.05，即定義為達到顯著差異水準。

二、飼養環境

首次發現甘藷龜金花蟲成蟲位於校園內槭葉牽牛葉片的背後 (圖十)，之後再於相同位置發現幼蟲若干隻，帶回飼養箱飼養。一開始我們使用槭葉牽牛進行飼養，取回之成蟲生下卵，並孵育出來。隨著幼成蟲數量增多，葉片較小且容易乾枯的牽牛花葉

稍顯不足，且食用甘藷葉片(心形)之金花蟲發育速度較食用槭葉牽牛之金花蟲來的快(未標明作者。2013)，於是我們改用同為旋花科植物的甘藷葉取代，並將其修剪後插在水裡，使葉片保鮮不易枯萎，若發現葉片發黃則立即更換新葉片(圖十一)。



圖(十)、在槭葉牽牛葉片背後甘藷龜金花蟲成蟲 圖(十一)、使用地瓜葉的飼養環境

三、實驗一：甘藷龜金花蟲幼蟲齡期實驗

- (一)、取出飼養箱中的卵放入放大觀察盒中飼養
- (二)、觀察紀錄其成長過程中的變化

四、實驗二：甘藷龜金花蟲幼蟲糞便來源

- (一)、選擇健康之一至五齡幼蟲，用毛筆將其放置到新鮮葉子上
- (二)、使用解剖顯微鏡與 MicroCap3.0，分別觀察不同齡期幼蟲排便的情形以及放置尾端棘毛裝飾糞便的過程
- (三)、以內建測量工具量測各齡期幼蟲的身長以及裝飾糞便長度，並進行數據分析後，比較各齡期尾端棘毛裝飾糞便寬度大小
- (四)、以 Anova 統計檢定分析各齡期幼蟲裝飾糞便大小是否有顯著差異
 1. 將一齡到五齡幼蟲測量數據兩兩分組，共分 10 組
 2. 使用 EXCEL 進行單因子變異數分析，檢定不同齡期的數據之間是否具有平均數差異。

五、實驗三：糞便外型觀察—以掃描電子顯微鏡 (SEM) 拍攝

- (一)、取出標本座底座
- (二)、以碳膠帶將標本(死亡之二齡、三齡幼蟲各一)黏貼在載物台上，拍照記錄標本相對位置
- (三)、以標準樣品高度測量器確定標本不會接觸到鏡頭
- (四)、調整標本座旁螺絲，使標本表面與標本座同高

- (五)、用吹球清理標本表面，確認無雜質殘留
- (六)、將顯微鏡從高真空狀態 (HV) 切換至低真空狀態 (LV)
- (七)、確認機器已抽真空完成
- (八)、從標本座平口端嵌入軌道放入標本台
- (九)、調高倍率並調整合適的焦距
- (十)、利用旋鈕調整標本台位置
- (十一)、以適當的倍率對樣品作高解析的掃描、拍攝紀錄

六、實驗四：糞便成分與幼蟲食物來源之觀察比較

- (一)、採集幼蟲裝飾糞便，加水製成標本，置於複式顯微鏡下觀察並記錄
- (二)、將地瓜葉片加水研磨後製成標本，置於複式顯微鏡下觀察並記錄
- (三)、分析比較兩者同異處

七、實驗五：糞便對幼蟲的必要性

- (一)、選擇健康、尾端棘毛上有糞便之一至五齡幼蟲，以毛筆沾水塗抹其棘毛以軟化糞便
- (二)、以毛筆輕刷，將裝飾糞便從棘毛上去除 (圖十二)
- (三)、放入放大觀察盒中飼養，觀察裝飾糞便是否被補回去



圖(十二)、尾端棘毛裝飾糞便被移除的甘藷龜金花蟲一齡幼蟲

- (四)、以卡方統計檢定分析各齡期幼蟲與其他齡期之差異

卡方檢定步驟：

1. 假設將顯著水準 α 為 5%。計算卡方檢定的統計值 χ^2 ：把每一個觀察值減期望值做平方後，除以期望值，再相加
2. 計算統計值 χ^2 的自由度 df
3. 查出自由度 df 的卡方分配臨界值，比較此臨界值與步驟 1 得出的統計值，推論是否拒絕虛無假說，可推知樣本分布與母體分布是否相同

八、實驗六：糞便有無對幼蟲生長影響之探討

(一)、對照組：一至五齡幼蟲，以毛筆沾水輕刷棘毛後置於放大觀察盒中飼養觀察

實驗組：一至五齡幼蟲，以毛筆沾水輕刷棘毛，取下糞便後置於放大觀察盒中飼養觀察(圖十三)

(二)、比較兩者成長至各齡期成長期差異

(三)、利用 Anova 統計檢定分析甘藷龜金花蟲幼蟲裝飾糞便有無對幼蟲成長期之影響是否有顯著差異



圖(十三)、以觀察盒個別飼養一至五齡幼蟲

九、實驗七：蚜獅選擇獵食各齡期幼蟲

(一)、至校園內槭葉牽牛花藤上尋找蚜獅。

(二)、將蚜獅 A、B、C 分別放入三個放大觀察盒。

(三)、取飼養箱內一至五齡幼蟲各一隻為一組，共三組，置於槭葉牽牛葉片上（因蚜獅不願接近甘藷葉），放入三個放大觀察盒中。

(四)、觀察蚜獅對幼蟲的攻擊行為以及蚜獅選擇食用之幼蟲齡期(圖十四)。



圖(十四)、蚜獅選擇獵食各齡期幼蟲實驗裝置

伍、研究結果

一、行為觀察

(一)、甘藷龜金花蟲幼蟲各齡期體長平均值之比較

研究初期，我們對甘藷龜金花蟲進行了基本的測量與比較，甘藷龜金花蟲的卵約為 1.5 毫米長，成蟲則可以長到 4.5 毫米左右 (表二)。

表(二)、甘藷龜金花蟲幼蟲各齡期體長平均值之比較

齡期	卵	一齡幼蟲	二齡幼蟲	三齡幼蟲	四齡幼蟲	五齡幼蟲	蛹	成蟲
測量個體數	5	7	7	3	5	4	6	5
平均身長	1.50mm	1.56mm	1.80mm	2.49mm	3.6mm	5.06mm	4.29mm	4.43mm

(二)、昆蟲隨著季節有數量上的改變，在冬天寒流來襲後有明顯下降的趨勢，幼蟲生長較遲緩，卵也較不易孵化，為此我們加裝了保暖燈 (圖十五)，透過提高環境溫度減小季節對幼蟲生長上的影響。溫度大約維持在攝氏 18~23 度左右。



圖(十五)、在飼養箱旁加裝保暖燈

(三)、飼養過程中我們發現，較小齡期的幼蟲會遭螞蟻攻擊，並被搬運回蟻穴。

(四)、採集過程中，發現金花蟲幼蟲天敵蚜蠅常埋伏在附近，以便獵食幼蟲 (圖十六)。



圖(十六)、蚜蠅獵食甘藷葉金花蟲幼蟲

(五)、初次使用市售地瓜葉進行餵養，曾造成幼成蟲在兩天內大量死亡，我們推測是市售地瓜葉中含有殘留的農藥，後續我們使用市售地瓜葉進行餵食時，均有經過充分清洗，便不再造成幼成蟲大量死亡之情形。

(六)、校園內甘藷龜金花蟲的發現

校門口的槭葉牽牛葉背可以發現甘藷龜金花蟲，此種金花蟲主食為旋花科的植物，例如：牽牛花、空心菜等。春末後至冬季，因天氣較為溫暖，較容易發現它們的形影。為了方便研究，2020年暑期，我們以鑷子將首次發現的甘藷龜金花蟲成蟲及幼蟲若干隻放入放大觀察盒內，並帶回實驗室用儀器做進一步觀察。

(七)、甘藷龜金花蟲的飼養

因校園內甘藷龜金花蟲數量稀少，且體型極小不易尋得，在野外成功孵育出數量足以供實驗的蟲極為困難。我們將地瓜葉修剪後插入水中以及將採集到的成蟲放入飼養箱，飼養箱底鋪上一層面紙方便清理，因其是雌性並且已行交配，不久後便發現飼養箱內的地瓜葉片上有新的卵鞘，之後我們使用噴瓶維持飼養箱的溼度，並架設保暖燈維持溫度，第一批在實驗室中培育的幼蟲順利培育。一個禮拜後，幼蟲數量已足夠我們進行實驗，且至今仍在蓬勃繁衍中，未有中斷。

(八)、甘藷龜金花蟲的產卵情形

甘藷龜金花蟲的卵散生，且不固定產於葉片上。葉片上、葉梗、飼養箱壁、箱蓋、箱底之面紙上皆可見獨立的卵鞘。經觀察，箱內幾處葉片上有密集分布之卵鞘，但仍是各自獨立。

二、實驗一：甘藷龜金花蟲幼蟲齡期

將甘藷龜金花蟲由卵期飼養到成蟲後，我們發現幼蟲的身長隨時間增長，但最顯著的差異在於尾端棘毛對上的蛻皮會隨時間增加，堆積於糞便下方，由零個增加成四個。而蛻皮數量增為四個的幾天後，幼蟲不再進食，將棘毛對覆蓋住全身，開始羽化成為成蟲。

三、實驗二：甘藷龜金花蟲幼蟲裝飾糞便的來源

(一)、甘藷龜金花蟲一齡幼蟲排放糞便的過程



圖(十七)、(A)一齡幼蟲側視圖(B)一齡幼蟲俯視圖。健康的幼蟲為青綠色，活動力與食慾都十分旺盛，尾部最長的一對棘毛上堆積幼蟲糞便，當幼蟲準備排泄時，尾部棘毛中間會有透明尾塔伸出，糞便透過尾塔堆放至棘毛前 1/3 處。圖中白色圓圈即為尾塔位置。

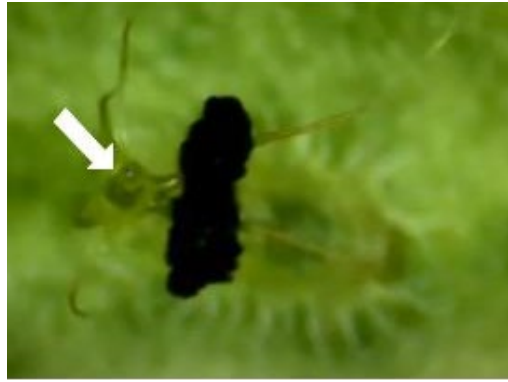
表(三)、甘藷龜金花蟲一齡幼蟲排放糞便過程影片時序表

(以下圖片中白色箭頭處即為尾塔位置)

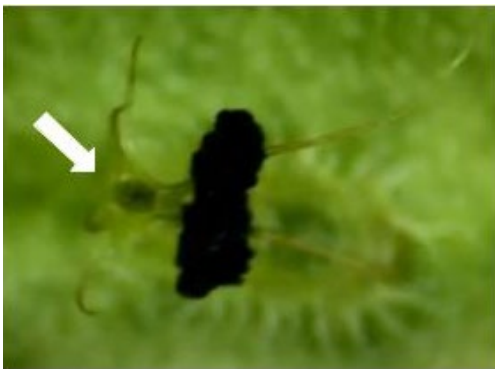
影片時間	0:00	0:02~0:05	0:06~0:08	0:09~0:11	0:12~0:16	0:17~0:40	0:41~0:42
動作說明	步驟 1	步驟 2	步驟 3	步驟 4	步驟 5	步驟 6	步驟 7



圖(十八)、步驟一：前窄後寬的中空圓柱透明軟管—尾塔 (anal turret) 向上伸展，中後段含有深色糞便。
(影片時間：0:00 秒)



圖(十九)、步驟二：尾塔軟管往左擺動後，最前端一節向後收縮。
(影片時間：0:03 秒)



圖(二十)、步驟三：尾塔再次向前伸展，較前次緩慢。
(影片時間：0:07 秒)

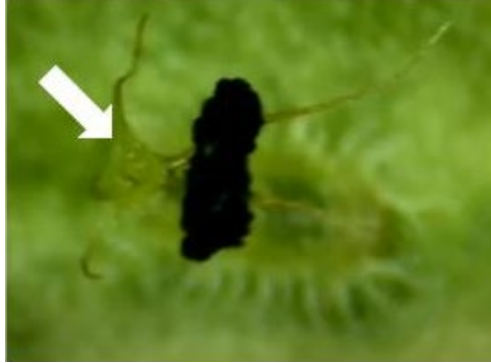


圖(二十一)、步驟四：幼蟲尾部稍稍向前傾，透明軟管（尾塔）輕輕觸及棘毛上的糞便，軟管內的糞便被快速向上推，堆置在兩棘毛間的糞便團上，同時兩根似茅狀棘毛向前下伏，也有觀察到分次排便的情形。
(影片時間：0:09 秒)



圖(二十二)、步驟五：尾塔前端旋轉 圖(二十三)、步驟六：尾塔向後縮，並向前
戳弄尾塔上的糞便，使其更為扎實 後搖擺（甩動）。(影片時間：0:17 秒)
堅固，形狀更接近圓球狀。

(影片時間：0:12 秒)



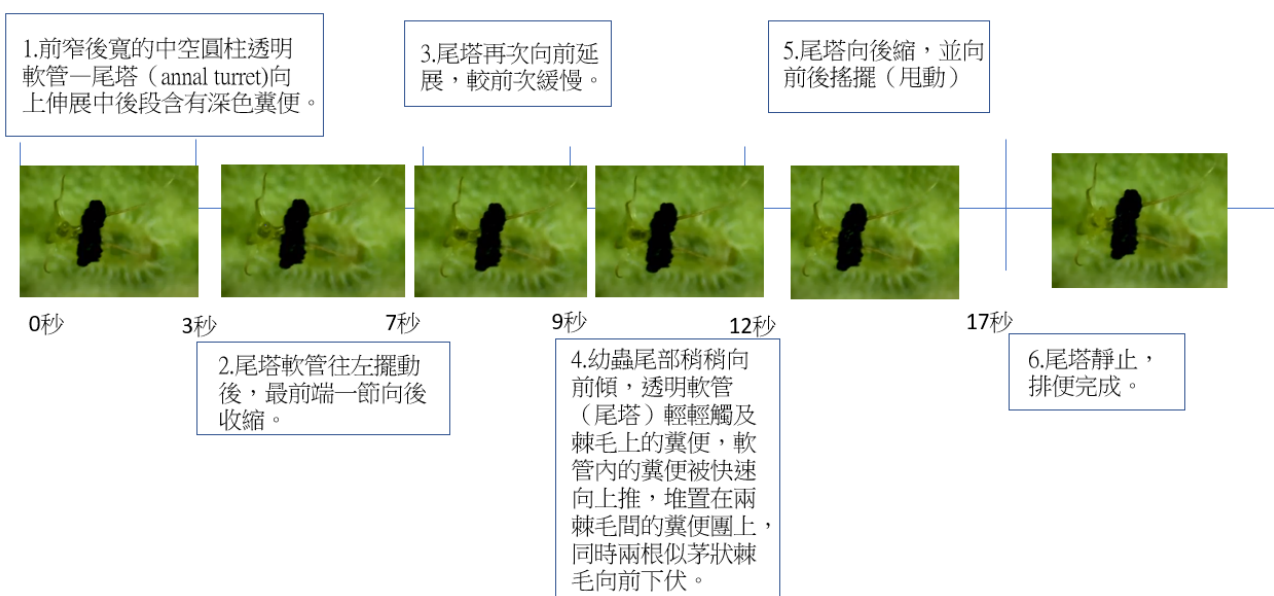
圖(二十四)、尾塔靜止，排便完成。(影片時間：0:41 秒)



圖(二十五)、甘藷龜金花蟲幼蟲排放糞便側視圖



表(四)、甘藷龜金花蟲一齡幼蟲排放糞便過程影片時間軸



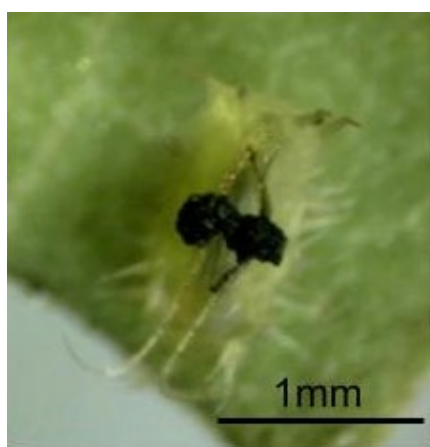
甘藷龜金花蟲一齡幼蟲主動以透明尾塔，將雙球狀糞便團堆積至尾端棘毛對上，此過程稱為「糞便裝飾」。

(二)、甘藷龜金花蟲幼蟲裝飾糞便外貌、大小與齡期的關聯

1.各齡期幼蟲裝飾糞便的外型

(1) 一齡幼蟲裝飾糞便外觀 (圖二十六)：一齡幼蟲使用尾塔將糞便堆放在兩根棘毛靠近尾端三分之一處，初期糞便會分別兩棘毛上呈現圓球狀，後期因糞便量多，兩棘毛上糞便圓球相交，連成一大柱狀糞便團，幼蟲始堆放糞便於兩棘毛中間。原則上糞便呈現圓柱狀(或不規則立體形狀)且與棘毛垂直，依幼蟲堆放習慣或天數的差異，可能會有某一側棘毛較多糞便的現象，但無論何種狀況，棘毛中間的糞便量都少於兩邊。糞便顏色屬於偏深黑色或墨綠色，糞便團的表面濕潤而不平滑，有許多突起，是幼蟲堆放糞便或堆放後以尾塔輕戳弄時所造成。

(2) 其它齡幼蟲糞便裝飾外觀 (圖二十七)：其它齡期幼蟲糞便形狀、大小大致與一齡相同，依照齡期不同，擺放位置逐漸升高，但仍維持垂直棘毛，且較少有不規則型，大都呈現圓柱狀。糞便團顏色較一齡時淺，屬於偏灰色，零星夾雜白色顆粒或絲狀物，外表乾燥粗糙而無光澤。



圖(二十六)、一齡幼蟲的糞便



圖(二十七)、五齡幼蟲的糞便

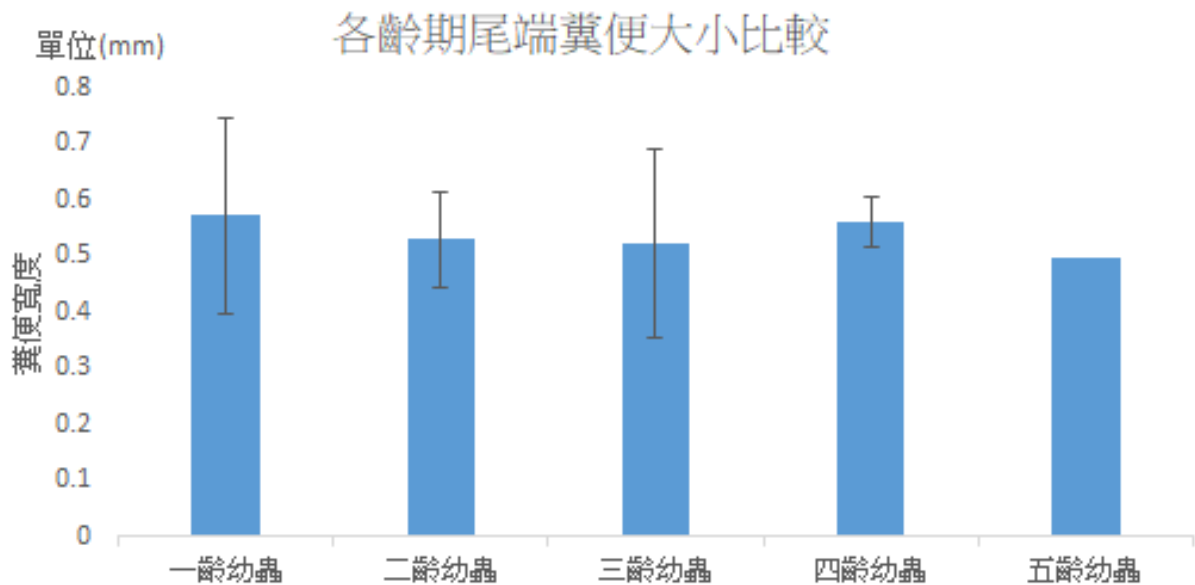
2. 各齡期幼蟲裝飾糞便大小的比較

使用 MicroCap3.0 內建工具量測各齡期幼蟲尾部糞便之大小：一齡共七組、二齡五組、三齡五組、四齡八組、五齡兩組，將量測結果取平均值後，發現糞便大小並沒有隨著幼蟲齡期改變而有變大的趨勢 (圖二十八)，部分四、五齡幼蟲甚至有糞便脫落的情形，根據 Anova 檢定 P 值為 0.923，未達顯著差異之標準。因此推測糞便只對較小齡期之幼蟲具有必要性，幼蟲長大後，棘毛上所堆放的裝飾糞便不再重要。

表(五)、甘藷龜金花蟲各齡幼蟲尾端裝飾糞便大小的比較

齡期	一齡幼蟲	二齡幼蟲	三齡幼蟲	四齡幼蟲	五齡幼蟲
----	------	------	------	------	------

組數	7	5	5	8	2
大便寬度平均值(毫米)	0.571±0.190	0.530±0.068	0.521±0.135	0.560±0.035	0.498±0.120



圖(二十八)、甘藷龜金花蟲各齡期幼蟲尾端糞便寬度之比較(圖中誤差線為 95%信賴區間)

從圖(二十八)可以看出，隨著幼蟲體型增加，棘毛上的糞便大小無顯著差異，也沒有增加的趨勢，再藉由表(五)的測量數據進行 Anova 統計檢定，P 值為 0.923，無達到顯著差異標準，因此推斷各齡期幼蟲尾端裝飾糞便並不會隨著齡期增加而變大，齡期與幼蟲棘毛裝飾糞便大小無顯著關聯。

(三)、甘藷龜金花蟲二齡至五齡幼蟲的排便過程

我們觀察到，甘藷龜金花蟲幼蟲成長到二齡之後，雖還是以尾塔排便，但不會堆放於棘毛上，而是將糞便直接排放至葉片上，而且排出之糞便水分較多，成糊狀，與一齡幼蟲用來堆放的球狀糞便團有明顯的差異(圖二十九)。因此，我們也開始思考一齡幼蟲尾端之球狀物是否真的為糞便，亦或是一齡幼蟲特有之分泌物，於是我們進行下一個實驗。

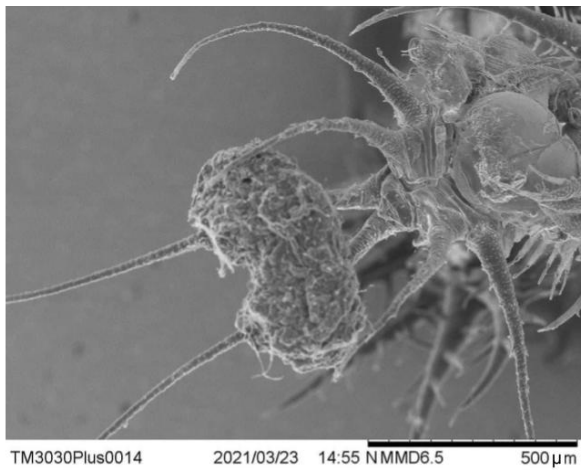


圖(二十九)、甘藷龜花蟲五齡幼蟲用尾塔將糞便排在培養皿上
(白色箭頭處為幼蟲排放的糞便)

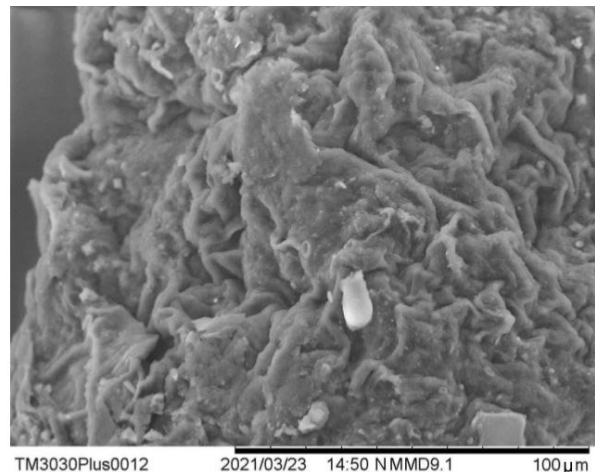
四、實驗三：幼蟲糞便觀察—以掃描式電子顯微鏡(SEM)拍攝

透過掃描式電子顯微鏡，可以清楚的觀察到幼蟲糞便的形狀、外表以及堆上在幼蟲棘毛上的位置，由圖(三十)可見，糞便會被堆放在頂部最長的兩棘毛四周，並呈現對稱的雙圓球狀，中間相連，表面不平整且可以看到碎屑(圖三十一)。

另外，我們發現不少大齡幼蟲裝飾糞便都有被白色絲狀物覆蓋之情形，在顯微鏡下，幼蟲裝飾糞便以完全被白色黴菌所覆蓋，我們推測是大齡幼蟲長時間無重新堆放、無戳弄其裝飾糞便，閒置許久導致糞便發黴。

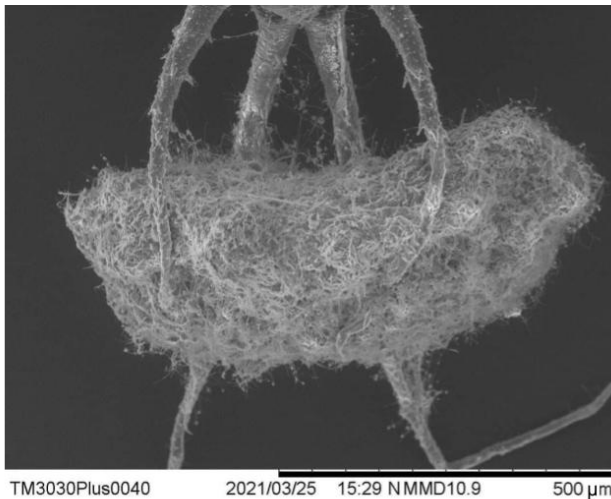


圖(三十)、金花蟲二齡幼蟲尾端棘毛與裝飾糞便



圖(三十一)、裝飾糞便放大圖

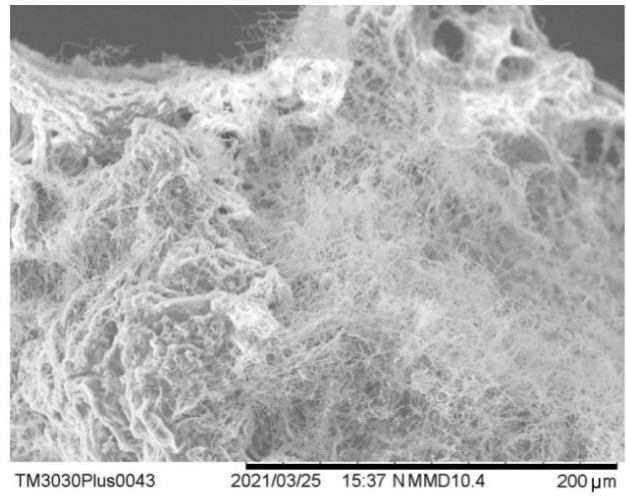
在電子顯微鏡下，可清楚看見幼蟲將裝飾糞便堆放在棘毛上，並呈現雙圓球型。



圖(三十二)、三齡幼蟲發霉的糞便

在電子顯微鏡下能夠清楚觀察到大齡幼蟲的裝飾糞便有發霉的情形，棘毛上僅出現些許菌絲，菌絲大部分生長於裝飾糞便表面。

裝飾糞便表面凹凸不平，顏色極深，且有不同雜質沾附於其上，推測是糞便裝飾初期，糞便尚未乾燥時沾附而上。

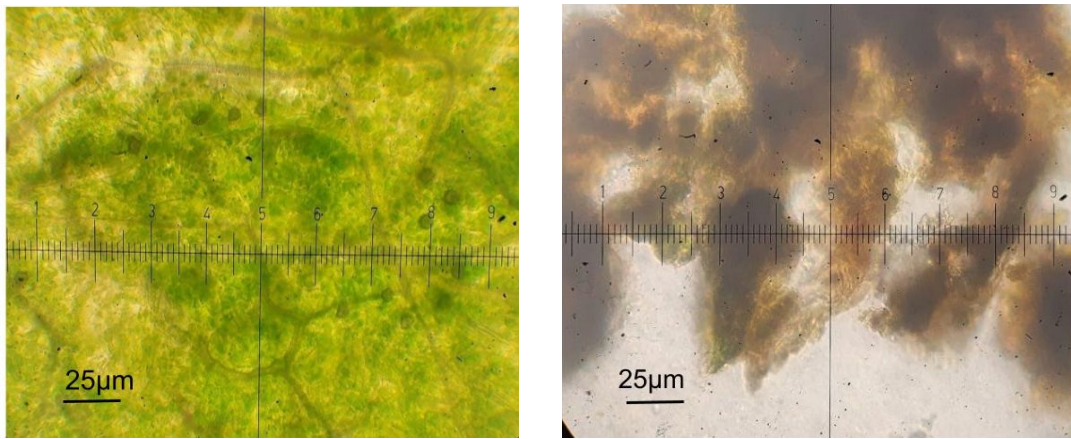


圖(三十三)、高倍率下幼蟲糞便發霉情形

與圖(三十一)相較，糞便表面已完全被白色黴菌所覆蓋，黴菌成絲狀交錯纏繞於糞便外，圖中左下角仍可觀察到相同的崎嶇表面，但顏色深淺有所差別。

四、實驗三：糞便成分與幼蟲食物來源之觀察比較

為了證明甘藷龜金花蟲一齡幼蟲棘毛上之黑色球狀物為幼蟲食用地瓜葉後經消化排出的糞便，而非其他成分之分泌物，我們設計了對照實驗。首先，使用杵在研鉢中搗碎新鮮地瓜葉片，得到其殘渣，並取一部份放置於玻片上。接著，取幼蟲棘毛上的糞便磨碎後製成玻片上，利用複式顯微鏡對兩組進行觀察。觀察結果發現，幼蟲棘毛上的黑色雙球狀物中含有與新鮮地瓜葉片相同的長條狀地瓜葉纖維，因此我們推斷棘毛上黑色球狀物即為糞便。



圖(三十四)、(A)新鮮地瓜葉片(B)甘藷龜金花蟲一齡幼蟲尾端之糞便。

在顯微鏡下，可以看到葉片中含有許多深色纖維，即是葉片的維管束。而在幼蟲糞便中也發現了透明細絲狀的植物纖維，因此認定幼蟲尾端球狀物為糞便而非分泌物。

五、實驗四：糞便裝飾對幼蟲的必要性

在上述實驗三中，將各齡幼蟲糞便取走後，只有一齡幼蟲有觀察到將糞便補回的特殊行為，而其他齡期幼蟲均無此現象，而是將糞便隨機排放於地上，與前面實驗一裡所驗證，幼蟲尾端裝飾糞便不隨其齡期增大的實驗結果相符。以卡方檢定計算結果各齡期幼蟲尾糞移除補回的行為具有顯著的差異，因此我們認定，幼蟲只有在一齡時才會將糞便補回，增長成二齡以上之後就對此行為之需求大幅下降。

表(六-1)、各齡期幼蟲將尾端裝飾糞便補回之情形

(一)觀察組數	一齡幼蟲	二齡幼蟲	三齡幼蟲	四齡幼蟲	五齡幼蟲
有將糞便補回	6	0	0	0	0
無將糞便補回	9	10	11	10	10
觀察總組數	15	10	11	10	10
(二)卡方檢定之 X^2 值	一齡幼蟲	二齡幼蟲	三齡幼蟲	四齡幼蟲	五齡幼蟲
有將糞便補回	1.607	1.071	1.179	1.071	1.071
無將糞便補回	13.393	8.929	9.821	8.929	8.929
總和	15	10	11	10	10

表(六-2)、各齡期幼蟲將尾端糞便補回之情形-卡方檢定結果

chi	18.368
df(自由度)	4
crit (P 值)	0.00105
卡方檢定結果	達顯著差異

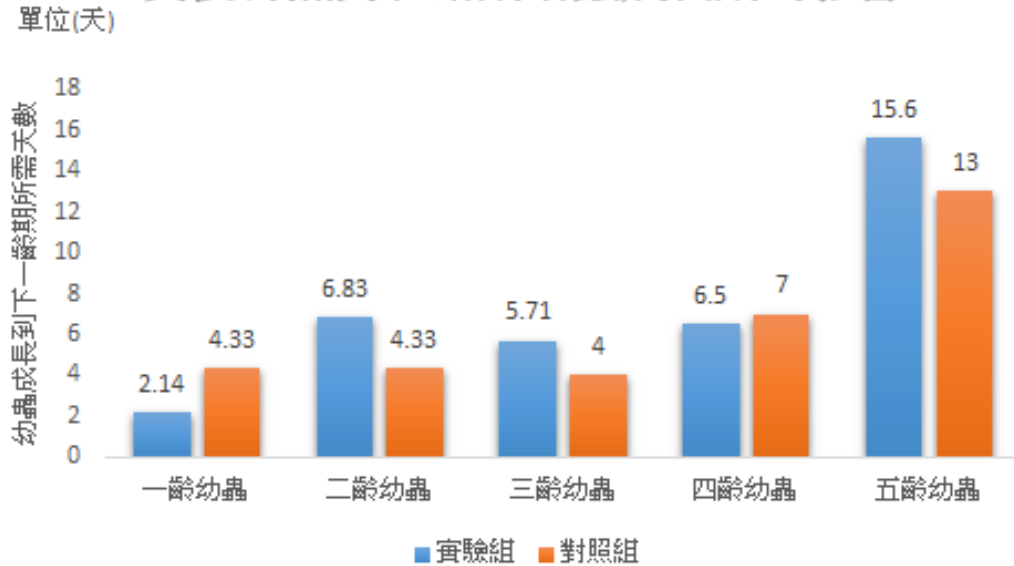
六、實驗五：裝飾糞便有無對幼蟲生長影響之探討

從表(七)中我們得知，不同齡期在棘毛上的裝飾糞便被取走的形況下，成長期並沒有明顯加長或縮短的統一趨勢，可見幼蟲尾端裝飾糞便存在與否在飼養環境下(無天敵、足夠之食物與水)，並不會造成幼蟲在生理與成長上的影響。

表(七)、裝飾糞便有無對各齡期幼蟲成長期的影響

所需平均天數/單位(天)	實驗組	對照組
一齡幼蟲→二齡	2.14	4.33
二齡幼蟲→三齡	6.83	4.33
三齡幼蟲→四齡	5.71	4.00
四齡幼蟲→五齡	6.50	7.00
五齡幼蟲→羽化	15.66	13.00

糞便有無對各齡期幼蟲成長期的影響



圖(三十五)、糞便有無對各齡期幼蟲成長期的影響

經過 Anova 統計幼蟲成長期之檢定結果，有無尾端裝飾糞便對於甘藷龜金花蟲幼蟲成長期之影響的 P 值為 0.774，未達顯著差異之標準，故判定幼蟲尾端裝飾糞便的有無對幼蟲成長期並不會造成顯著影響。

七、實驗六：蚜獅選擇獵食各齡期甘藷龜金花蟲幼蟲

(一)、蚜獅獵食行為觀察

1. 幼蟲的抵禦行為：蚜獅攻擊幼蟲時，幼蟲會大幅度地擺動尾端棘毛上之蛻皮及裝飾糞便拍打蚜獅身體，蚜獅 A 與 C 身上之偽帳物有遭擊落之情形。
2. 蚜獅攻擊行為：蚜獅嘗試從各角度攻擊後，繞至幼蟲尾端，將鉗狀口器插入幼蟲腹節第 4~6 節後，開始吸食幼蟲體液(圖三十六(A))。
3. 蚜獅口鉗有麻醉效果：蚜獅插入鉗狀口器後，立即將幼蟲移開，發現幼蟲已無行動能力。
4. 幼蟲有聯合抵禦之行為：當蚜獅接近，觀察到有兩隻幼蟲同步擺動尾端棘毛進行抵禦，但當其中一隻遭受攻擊，另一隻便會離開(圖三十六(B))。
5. 蚜獅獵食完幼蟲後，將幼蟲屍體由葉片上提起，也出現試圖摘除幼蟲尾端裝飾糞便的行為，但最後並無成功，以失敗作結。

(二)、選擇獵食之幼蟲齡期無固定性

根據觀察，蚜獅選擇獵食之幼蟲齡期並無規律，也不因體型而放棄獵食大齡期幼蟲。雖然攻擊位置不同，但獵食成功之蚜獅均是將鉗狀口器插入幼蟲尾端吸食，而幼蟲均以尾端棘毛行物理性防禦。

表(八)、蚜獅獵食幼蟲觀察紀錄

	體型大小	選擇攻擊幼蟲齡期順序	是否成功獵食	攻擊位置
蚜獅 A	較大	五齡→四齡	是	尾端
蚜獅 B	中	二齡→一齡→四齡	是	尾端
蚜獅 C	較小	三齡→四齡	否	尾端(三齡) 前端(四齡)



圖(三十六)、蚜獅攻擊幼蟲之情形 (A)蚜獅 A 從尾端攻擊五齡幼蟲，並以鉗狀口器吸食其體液 (B)幼蟲聯合禦敵行為，蚜獅 C 遭驅離，獵食失敗

陸、討論

一、飼育甘藷龜金花蟲

(一)、校園內甘藷龜金花蟲的發現

校園內若有旋花科植物，則有機會發現甘藷龜金花蟲的存在，但數量不多，其他種金花蟲，例如：大黑星龜金花蟲，在本校數量即多於甘藷龜金花蟲。在春夏時節，溫暖的天氣適合此種昆蟲生存繁衍，若是在植物上發現圓形的啃食痕跡，以鑷子輕翻查看葉背，高機率可見甘藷龜金花蟲之幼蟲或成蟲。金花蟲適合台灣各級學校觀察飼養，其有高研究價值且在國內外研究歷史有數十年。各級學校可能因環境不同，出現不同種金花蟲，極有潛力開發成校園特色研究課程，推

廣給各地學生，使他們能夠更了解並貼近校內生物生態，培養對於生活中科學的觀察常識。

(二)、甘藷龜金花蟲的飼養

本實驗中，飼養甘藷龜金花蟲設備屬於基本配備，不難取得，適合各級學校現有之設備。若食物來充足，溫度、濕度適當，並給予其得當之照護，甘藷龜金花蟲能夠在實驗室中飼養，且可自行繁衍出實驗設計所需之數量。

(三)、甘藷龜金花蟲獨立成長的生活特徵

不同於其他金花蟲，如大黑星龜金花蟲幼蟲，會群聚啃食葉片、卵鞘密集堆疊，甘藷龜金花蟲個體從卵期至成蟲的成長過程皆是完全獨立自主。經文獻查找，只有四種金花蟲僅一齡堆積糞便，甘藷龜金花蟲便是其中之一，對於此種金花蟲的研究甚少，研究上有其特殊的價值。

(四)、初次使用市售地瓜葉，造成幼成蟲大量死亡

市售地瓜葉一般都有噴灑農藥，初次餵食時，可能未仔細清洗。推測體型極小的金花蟲對農藥敏感性高，極小劑量就可能造成死亡，未處理乾淨的葉片上殘留劑量可能超過金花蟲的最小致死量。後續餵食前都充分清洗葉片每一處，因此不再造成大量死亡。

二、甘藷龜金花蟲的天敵

(一)、已知天敵

目前已知甘藷龜金花蟲的天敵為蚜蠅，且有拍攝到獵食畫面，其常埋伏於甘藷龜金花蟲幼蟲附近，同樣可在校園內的槭葉牽牛上尋得(圖十)。另外，我們在飼養時發現螞蟻也有出現攻擊甘藷龜金花蟲幼蟲的行為，螞蟻從飼養箱縫隙進入，並將幼蟲搬走，將其運回蟻穴。

(二)、為何幼蟲需要禦敵行為？

聚集成團生活的其他金花蟲亞科幼蟲，例如：大黑星金花蟲，由遠處看似一個巨生物體，使其他生物不敢靠近，有嚇阻敵人的功效，減少被掠食的機會。但甘藷金花蟲幼蟲並非群聚生活，而是各自有獨立的生活空間，因此需有特殊禦敵機制增加存活率。我們推斷受刺激時的舉尾行為以及身體的保護色都是禦敵行為。

甘藷龜金花蟲成蟲與幼蟲相比，不具明顯保護色，因此常生活在葉背，不易被天敵尋得(未標明作者。2013)，也因其體型已成長為一齡幼蟲的數倍，且具有翅膀

可飛行，因此可以躲避敵人攻擊，推測不需要和幼蟲一樣具有似糞便裝飾的特殊禦敵行為。

三、幼蟲齡期確認

分析幼蟲成長變化後，我們發現最顯著的變化在於幼蟲尾端棘毛對上的蛻皮數量。經多方文獻查找(未標明作者，2013)(魏等，2020)確認甘藷龜金花蟲幼蟲共分為五個齡期，而蛻皮數也分為五個階段，可以以蛻皮數量加一對應各個齡期。除此之外，並未找到能夠證明幼蟲齡期改變的其他事實。

四、糞便來源探討

我們以顯微鏡觀察幼蟲時，幼蟲正在食用地瓜葉，食用完畢後五分鐘左右，幼蟲便開始排便，且此糞便裝飾行為不是特例，數隻幼蟲在進食後五分鐘左右便會排便，幼蟲進食與排便時間相差不遠。我們觀察到糞便是由尾塔伸出堆積至尾端棘毛對上，兩根棘毛上各自有一團糞便團，由幼蟲分次堆積，推測是為了平衡兩邊重量不致幼蟲傾斜，或是擬態成掠食性昆蟲頭部的兩個圓形大形的複眼。對於此觀察，我們錄影並製作了完整時序表，對整個過程有明確的文字描述並呈現於研究結果內。

五、實驗四—取下尾端裝飾糞便後幼蟲的反應

(一)、僅一齡幼蟲會補回被取下之糞便

實驗四中，將各齡幼蟲糞便取走後，只有觀察到一齡幼蟲將糞便補回，其他齡期幼蟲均無此現象，以卡方檢定進行計算後，發現各齡期幼蟲尾糞移除補回的行為具有顯著的不同，因此我們認定，幼蟲只有在一齡時才會將糞便補回，增長成二齡以上之後就對此行為之需求大幅下降，此結果與實驗二中所驗證，幼蟲尾部糞便不隨其齡期增大的實驗結果相符。也因為只有一齡幼蟲有將糞便補回的特殊現象，我們推測此行為對一齡幼蟲具有一定的意義。

(二)、實驗誤差探討

1. 實驗四中，一齡幼蟲死亡率高、成長期短，部分幼蟲採集隔天就已經成長為二齡幼蟲，造成觀察上的不易，即使只有一齡幼蟲有將糞便補回之行為，其他齡期均無發現，觀察初期，有補回糞便的組數在整體數據中比例仍然偏低，造成數據誤差大。但經過長期研究，採集到較多組數後，卡方檢定顯示齡期與將糞便補回之行為已達顯著水準 5%。

2. 糞便有無對各齡期幼蟲成長期的影響實驗中，幼蟲死亡率偏高，推測在採集過程中可能有傷到幼蟲，例如：力道調節失當，毛筆傷害到幼蟲身體、用毛筆撥下糞便時，讓幼蟲在葉片上滑動，傷害其足部……導致實驗組部分幼蟲在採集後隔天死亡，可能造成幼蟲生長數據上的偏差，相較之下能夠順利生長到較大齡期的幼蟲也較少，造成組數不足，期間也改良過許多次採集方法，最後採用先以水軟化糞便，再進行採集的方式，並減少毛筆觸碰到幼蟲的機會，希望減少實驗對幼蟲造成的影響。

六、糞便對一齡幼蟲具有功能性

(一)、糞便團對甘藷龜金花蟲一齡幼蟲的功能

經實驗五發現，有無糞便對幼蟲並不會造成成長上的影響，因此我們推測幼蟲將糞便堆放在尾端，以及受刺激時的舉尾反應，是為了要嚇阻敵人。

甘藷龜金花蟲一齡幼蟲尾端深色之裝飾糞便明顯與幼蟲青綠色的體色有顯著的對比，我們將其視為昆蟲擬態的表現。深色的裝飾糞便在天敵的視覺上看其來像幼蟲的頭部，天敵會對幼蟲假頭進行攻擊，因攻擊其頭部可造成致命傷。部分鱗翅目昆蟲幼蟲或蛹期會使用此種貝式擬態，例如：天蛾科 *Hemeroplanes triptolemus* 之幼蟲尾部擬態毒蛇頭部，在遇到天敵時，會膨脹其尾部並左右搖晃，以嚇阻掠食者之攻擊。因此我們推測，甘藷葉金花蟲之一齡幼蟲將糞便裝飾在幼蟲尾端棘毛對的頂端，可能是為了減少自身受到的天敵攻擊，當幼蟲將棘毛舉起並往前伸時，可覆蓋住幼蟲身體，使天敵優先攻擊幼蟲尾端棘毛對之裝飾糞便，降低天敵對幼蟲本體的傷害。

在遭蚜蠅攻擊時，無論何齡期幼蟲皆會大幅度擺動尾端棘毛及蛻皮以抵禦天敵，因其尾端蛻皮均有確實到拍擊到蚜蠅身體，推測其為物理性防禦。二齡以上之幼蟲，尾端棘毛上皆有蛻皮，可以有拍打攻擊之效果，一齡幼蟲因不具有蛻皮，因此需要有替代物置於尾端棘毛上，產生強而有力的防禦工具，具有和蛻皮一樣的還擊效果，此物即是裝飾糞便。

(二)、甘藷龜金花蟲二至五齡幼蟲糞便無必要性之原因

甘藷龜金花蟲幼蟲在成長至下一齡期時，會利用前一齡蟲的棘毛蛻皮附著固定在新齡幼蟲的腹部尾端棘毛上，因蛻皮顏色與幼蟲體色也有顯著的差異，且蛻皮也同樣是附著在幼蟲尾端棘毛上，因此推斷蛻皮可與糞便產生同樣的擬態效果，達成欺瞞天敵的目的。另外，因蛻皮增加，幼蟲尾塔需堆積糞便的位置變

高，尾塔長度可能不足以堆積上去。在實驗三中，大齡幼蟲出現裝飾糞便發黴甚至是脫落之情形，也可以作為大齡其幼蟲不再需要裝飾糞便的佐證。

根據觀察，相較於一齡幼蟲，二齡至五齡幼蟲的移動速率增加。若遇天敵，其成功逃遁的能力與機會也同樣大增，便能減少使用棘毛裝飾糞便威嚇敵人。而且，二齡至五齡幼蟲的體型較大，成長至四、五齡的熟成幼蟲，甚至可達 5 毫米以上(不加上尾端棘毛長度)。其最主要之天敵蚜蠅的體長經文獻查找，也約莫是 5 毫米。所以，若幼蟲體型成長至高齡期以後，體型大於蚜蠅且逃匿速度加快時，蚜蠅便會難以攻擊掠食，天敵的威脅相對一齡幼蟲來講減少許多，棘毛裝飾糞便無絕對必要。

七、實驗六：蚜獅選擇獵食各齡期甘藷龜金花蟲幼蟲

(一)、蚜獅攻擊金花蟲幼蟲的位置

觀察到蚜獅在嘗試從各角度攻擊後，最後都是在由尾後側方攻擊時成功獵食。推測尾端應是幼蟲的防禦弱點，而其尾端棘毛感覺到天敵靠近時，僅會向前、後擺動，所以由蚜獅後側方攻擊時，因角度刁鑽，幼蟲尾端棘毛雖稍向左右傾斜，但仍難以有力拍打天敵防禦，最後遭蚜獅鉗狀口器刺入尾端。

(二)、擺動尾端棘毛脫皮成功抵禦

蚜獅 C 體型較小，其在進攻時，先選擇三及四齡幼蟲。然而此兩齡幼蟲已接近熟齡，尾端脫皮防禦能力強，且兩隻聯合防禦，蚜獅 C 嘗試各角度攻擊後無果，反而身上的食物殘渣被幼蟲棘毛大力揮落，最後獵食失敗，證明幼蟲尾端棘毛有物理攻擊能力，且能夠以此抵禦體型較小的天敵。

(三)、蚜獅鉗狀口器有麻痺幼蟲之效

實驗進行中，一觀察到蚜獅將鉗狀口器刺入幼蟲體內，我們便即刻以毛筆將兩者分開。即使已分開，遭攻擊之幼蟲仍一動不動，呈現無行動能力之狀。因蚜獅與幼蟲體型相差不大，推測蚜獅之鉗狀口器刺入幼蟲身體後，會先注入毒素麻痺昆蟲，以防止幼蟲在遭食用過程中掙扎逃脫。

(四)、幼蟲有聯合抵禦行為

實驗中觀察到，蚜獅進入幼蟲警戒區後，不論哪一齡期幼蟲都會有舉尾之反應。而且，若蚜獅攻擊特定一隻幼蟲，則附近的其他幼蟲也會同時使用棘毛脫皮聯合攻擊之。推測幼蟲應該會有聯合禦敵之行為，希望能藉由團結合力擊退敵人，以確保自身及附近同種的安全。但若是蚜獅成功掠食到其中一隻幼蟲

後，旁邊的其他幼蟲會加速逃離現場，應是出於本能避免成為下一個攻擊目標。

(五)、蚜蠅目標攻擊隨機

經三組實驗結果發現，一至五齡的幼蟲都有被攻擊掠食的情況，因此推定蚜蠅並不會選定某特定齡期蟲做為其獵物，應當是隨機選擇。而蚜蠅 C 因為體型較小，雖嘗試攻擊三及四齡幼蟲，但以失敗終結，最後僅能掠食到一齡幼蟲，但此並非其原意。

八、未來方向：針對甘藷龜金花蟲生物防治

在針對幼蟲觀察的實驗中，我們確定了幼蟲尾端糞便對一齡幼蟲有必要性，以及其與幼蟲成長期沒有顯著關聯。蚜獅實驗中，發現蚜獅從背後攻擊，試圖避開幼蟲尾端蛻皮物理性防禦。另外，甘藷龜金花蟲為田野間的害蟲，本研究主要針對蚜蠅這種天敵探討金花蟲幼蟲的防禦行為。未來我們希望探求金花蟲與其他天敵的互動，以及確認幼蟲尾部裝飾糞便是否如文獻（Vencel F. C.等, 1998）所提到的，具有化學性防禦效果，能夠幫助幼蟲吸引抑或是驅趕敵人。我們將透過改變幼蟲尾端棘毛裝飾糞便的不同變因，如：顏色、氣味、大小、形狀等面向，製作模型及實際採集其天敵進行實驗，比較幼蟲的禦敵行為對其他天敵有何種影響，以行生物防治的效果。

柒、結論

- 一、甘藷龜金花蟲幼蟲腹部尾端黑色球狀物為裝飾性糞便團，是進食後透過尾塔排出並堆積至棘毛。
- 二、甘藷龜金花蟲幼蟲僅一齡幼蟲能主動排出並裝飾糞便，其餘各齡移除裝飾糞便均無補回的行為。
- 三、甘藷龜金花蟲幼蟲尾端裝飾糞便團，隨齡期大小形態等無顯著改變，故推論幼蟲裝飾糞便團與成長過程無關。

四、甘藷龜金花蟲幼蟲在遇到蚜獅時會大力揮動尾部蛻皮進行抵禦，故認定幼蟲蛻皮有物理防禦之效。

五、一齡幼蟲無蛻皮，故以棘毛裝飾糞便對蚜獅進行物理攻擊，而二齡以上幼蟲的蛻皮逐漸取代裝飾糞便功能。

捌、參考資料

壹、中文部分

【書籍】

李奇峰、曹美華、鄭興宗(民 96)。台灣產金花蟲科圖誌 1。四獸山昆蟲相調查網。

李奇峰、曹美華、鄭興宗(民 99)。台灣產金花蟲科圖誌 2。四獸山昆蟲相調查網。

【期刊文章】

劉高佑、蕭文鳳(民 94)。台灣昆蟲期刊－縱條姬斗笠龜金花蟲生活史初步研究。台灣昆蟲，25: 303-308

魏紹華、林明瑩(民 109)。台灣昆蟲期刊－甘藷龜金花蟲 (*Cassida circumdata* Herbst) (鞘翅目：金花蟲科) 在甘藷上之生活史及其族群表現。台灣昆蟲，40 1:1-9。

貳、網路資源

一、中文部分

【摘要及資料庫資料】

林義祥(整理)(民 90)。金花蟲科 *Family Chrysomelidae*，龜金花蟲亞科 *Cassidinae*。

未標明作者(民 102)。「糞」力防護－甘藷龜金花蟲生態記錄(摘要)。

二、英文部分

【期刊文章】

Bacher S. & S. Luder (2005). Picky predators and the function of the faecal shield of a cassidine larva. *Function Ecology*, 19(2): 263-72.

Chaboo, C. (2013). Defensive behaviors in leaf beetles: from the unusual to the weird. *Wayback Machine*, Pp. 59-69.

Eisner T., E. van Tassell, J. Carrel (1967). Defensive Use of a "Fecal Shield" by a Beetle Larva. *Science*, 158(3807):1471-3.

Eisner T. & M. Eisner (2000). Defensive use of a fecal thatch by a beetle larva (*Hemisphaerota cyanea*). *PNAS*, 97 (6): 2632-2636.

Keefover-Ring K. (2013). Making scents of defense: do fecal shields and herbivore-caused volatiles match host plant chemical profiles?. *Chemoecology*, 23(1): 1-11.

Müller C. (2002). Variation in the effectiveness of abdominal shields of cassidine larvae against predators. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 102(2): 191-198.

Müller C. & M. Hilker. (1999). Unexpected reactions of a generalist predator towards defensive devices of cassidine larve (Coleoptera, Chrysomelidae). *Oecologia*, 118: 166-172.

Vencl F. C., T. C. Morton, R. O. Mumma & J. C. Schltz (1998). Shield Defense of a Larval Tortoise Beetle. *Journal of Chemical Ecology*, 25(3): 549-566.

【評語】 052012

1. 研究目的：

- 一、探討甘藷龜金花蟲幼蟲尾端棘毛裝飾糞便的來源
- 二、測量幼蟲尾端棘毛裝飾糞便的形狀、大小與齡期的關聯性
- 三、探討甘藷龜金花蟲不同齡期幼蟲裝飾糞便是否有必要性
- 四、甘藷龜金花蟲一齡幼蟲裝飾糞便功能的推論。

此作品的研究目的明確清楚，所得結果可能對該昆蟲之特定研究領域會有些許貢獻。

2. 雖甘藷龜金花蟲的研究不多，但其他的金花蟲已有一些相關的報告發表，就理論創新而言，其新穎性稍嫌不足。甘藷龜金花蟲為害蟲，就目前的研究結論而言，其學術及實用價值有待商榷。

3. 此研究所使用的方法大致合理可行，不少研究結果是屬於觀察性的描述，有些資料的數據分析也有使用統計方法及顯著性檢定，以確定不同組別之間是否具顯著性差異。然而，部分實驗分析的誤差線很大，也顯示重複實驗之間的變異相當大，其可能會影響作者對結果的闡述。材料方法段落中，似乎未清楚說明每一組的昆蟲樣本數及每一實驗的重複次數，例如圖 35 的結果，不知其是否僅為單次的實

驗。討論段落較像是結果的延伸說明，應多引用文獻加以探討。

4. 簡報資料編排合理，圖表內容大致清晰，然內容較不豐富。

作品簡報

甘藷龜金花蟲一齡幼蟲尾端裝飾糞便的功能

高級中等學校組

動物與醫學學科

研究動機

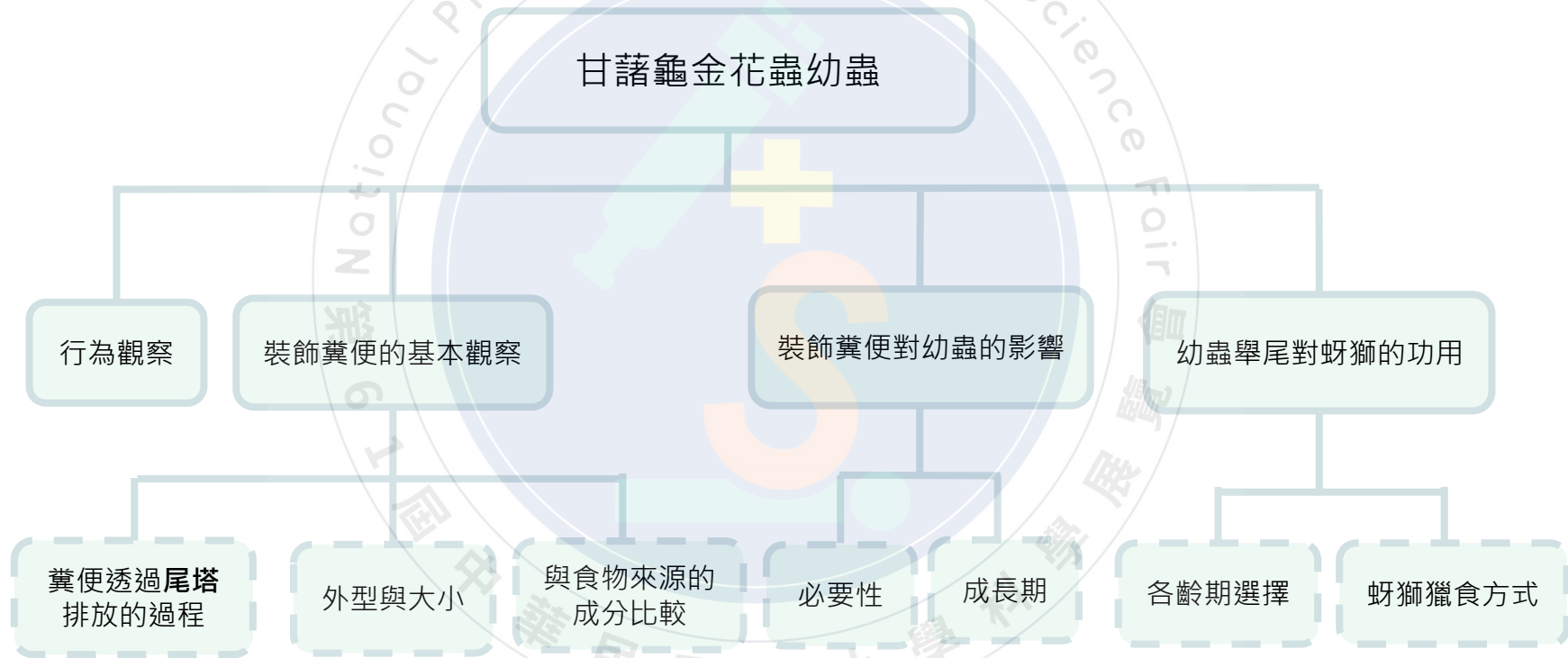
在 Caroline Müller教授 1999年與 2002年的論文中提到，龜金花蟲亞科的幼蟲具有裝飾糞便，且對螞蟻有化學性防禦，但對蚜蠅卻沒有同等效果，引起了我們的好奇。因此我們選定校園中常見的甘藷龜金花蟲作為研究對象，並在暑假開始飼養與觀察其生活史及行為特徵，研究其尾端裝飾糞便的功能。

我們發現甘藷龜金花蟲的幼蟲會在其棘毛上放置糞便，朝他們噴水時也有舉起尾端棘毛對的行為，讓我們十分好奇，想知道此行為的意義以及是否對其生存帶來影響。

實驗目的

- 一、探討甘藷龜金花蟲幼蟲尾端棘毛裝飾糞便的來源
- 二、測量幼蟲尾端棘毛裝飾糞便的形狀、大小與齡期的關聯性
- 三、探討甘藷龜金花蟲不同齡期幼蟲裝飾糞便是否有必要性
- 四、甘藷龜金花蟲一齡幼蟲裝飾糞便功能的推論

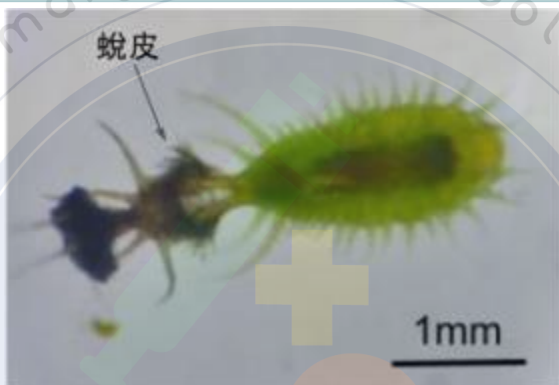
實驗架構



甘藷龜金花蟲的一齡至五齡幼蟲



甘藷龜金花蟲一齡幼蟲



甘藷龜金花蟲二齡幼蟲



甘藷龜金花蟲三齡幼蟲



甘藷龜金花蟲四齡幼蟲

甘藷龜金花蟲幼蟲會將前一齡蟲的棘毛蛻皮附著固定在新齡幼蟲的腹部尾端棘毛上，因此要界定幼蟲齡期，可由其棘毛上蛻皮數量推測，蛻皮數量加一即為幼蟲齡期。



甘藷龜金花蟲五齡幼蟲

一齡幼蟲堆放裝飾糞便的過程



尾塔再次緩慢伸展，最後一節前端收縮

尾塔前端旋轉戳弄尾塔上的糞便，使其更為扎實堅固，形狀更接近圓球狀

尾塔向上延伸，向左或右擺動

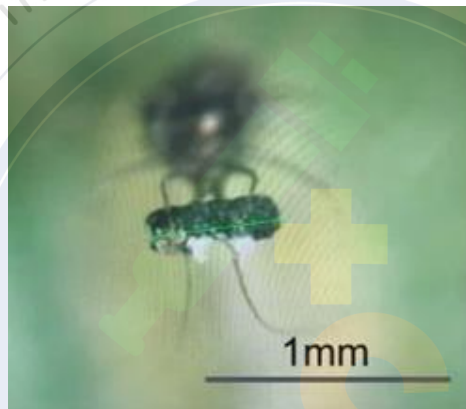
幼蟲尾部稍稍向前傾，尾塔輕輕觸及棘毛上的糞便，軟管內的糞便被快速向上推，堆置在兩棘毛間的糞便團上，同時兩根似茅狀棘毛向前下伏

甘藷龜金花蟲幼蟲裝飾糞便觀察



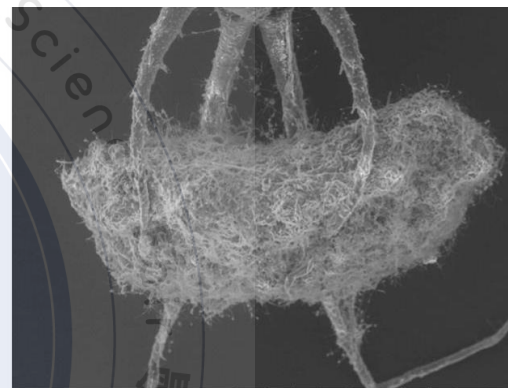
一齡幼蟲裝飾糞便外觀

一齡幼蟲以尾塔**主動**排
放裝飾糞便，呈**黑色雙
圓球狀**。

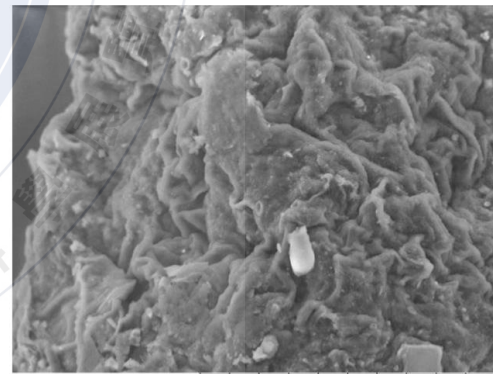


其它齡期幼蟲糞便裝飾外觀 ↑ →

以**SEM電子顯微鏡**觀察，發現
大齡期幼蟲糞便被**白色絲狀黴
菌**覆蓋，推測因長**閒置**許久未
重新堆置新糞而導致發黴。



TM3030Plus0040 2021/03/25 15:29 NMMD10.9 500µm



TM3030Plus0012 2021/03/23 14:50 NMMD9.1 100µm

甘藷龜金花蟲各齡期幼蟲裝飾糞便大小比較

糞便寬度(mm)

0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0

一齡幼蟲

二齡幼蟲

三齡幼蟲

四齡幼蟲

五齡幼蟲

各齡期幼蟲尾端裝飾糞便大小比較

各齡期幼蟲尾部糞便之大小經過Anova統計檢定，不同齡期幼蟲的糞便大小**無顯著差異**，因此推測大齡期幼蟲對裝飾糞便的需求降低，故不再增加其大小，裝飾糞便只對較小齡期之幼蟲具有**必要性**。

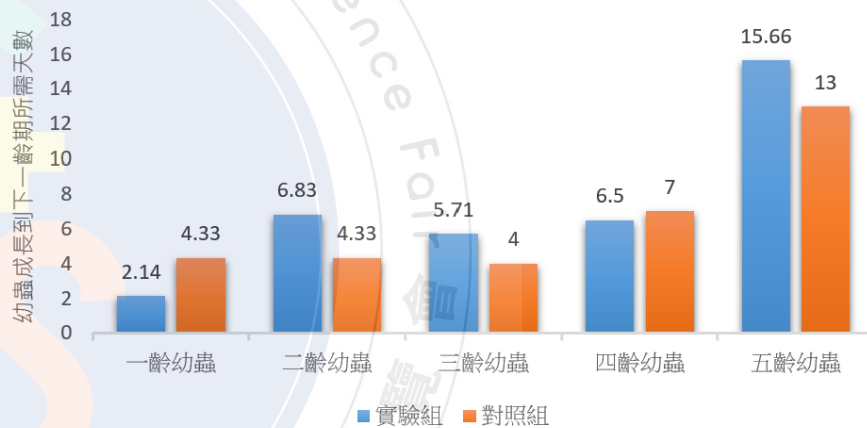
糞便裝飾對幼蟲的必要性以及對幼蟲生長影響之探討

	有將糞便補回	無將糞便補回	觀察總組數
一齡幼蟲	6	9	15
二齡幼蟲	0	10	10
三齡幼蟲	0	11	11
四齡幼蟲	0	10	10
五齡幼蟲	0	10	10

只有一齡幼蟲有觀察到將糞便補回的特殊

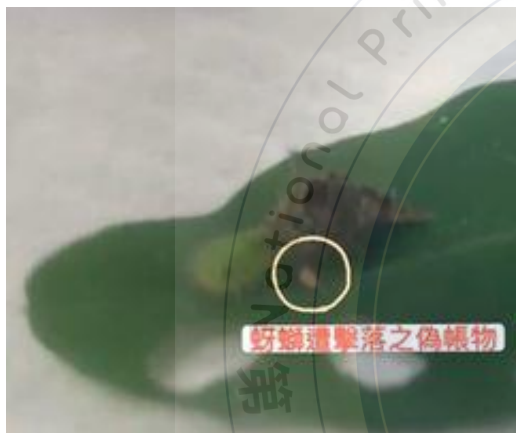
行為，以卡方檢定計算，結果達到顯著差異標準，因此認定幼蟲只有在一齡時才會將糞便補回，增長成二齡以上之後就對此行為之需求大幅下降。

裝飾糞便有無對各齡期幼蟲成長期的影響



有無尾端裝飾糞便對於幼蟲成長期未達顯著差異標準，故判定幼蟲尾端裝飾糞便的有無，對幼蟲在人工飼養環境下的成長期並不會造成顯著影響。

蚜蠅選擇獵食各齡期甘藷龜金花蟲幼蟲



(一)、幼蟲的物理防禦行為：

蚜蠅攻擊幼蟲時，二齡以上幼蟲會大幅度地擺動尾端棘毛上之蛻皮拍打蚜蠅；一齡則會以尾端棘毛上之裝飾糞便拍打蚜蠅，蚜蠅身上之偽帳物有遭擊落之情形。



(二)、蚜蠅攻擊行為：

蚜蠅嘗試從各角度攻擊後，由尾後側方攻擊時成功將鉗狀口器插入獵食。幼蟲尾端棘毛感受到外界刺激時，僅會向前、左右擺動，推測尾端應是幼蟲的防禦弱點。



圖片左而右為影片第 0、10、25 秒之截圖，葉片隨的蚜蠅試圖提起幼蟲而跟著被抬起。

(三)、幼蟲有**聯合抵禦**之行為：

兩隻幼蟲同步擺動尾端棘毛進行抵禦，但當其中一隻遭受攻擊，另一隻便會離開。

(五)、蚜蠅**攻擊目標隨機**：

實驗組的一至五齡幼蟲均有遭受攻擊，且攻擊順序無規律可言，因此推測蚜蠅攻擊目標應是隨機選擇。

(四)、蚜蠅獵食完幼蟲後，將幼蟲屍體由葉片上提起，

也試圖摘除幼蟲尾端裝飾糞便，以失敗作結。

結論

- 一、甘藷龜金花蟲幼蟲尾端黑色球狀物為**裝飾性糞便團**，是進食後透過尾塔排出並堆積至棘毛。
- 二、凡是甘藷龜金花蟲一齡幼蟲均有裝飾糞便，大齡期幼蟲則不一定具有，且僅一齡幼蟲在裝飾糞便遭移除後主動補回裝飾糞便，並達到顯著水準。
- 三、甘藷龜金花蟲幼蟲尾端裝飾糞便團，隨齡期大小形態等**無顯著改變**，故推論幼蟲裝飾糞便團與成長過程無關。
- 四、一齡幼蟲棘毛裝飾糞便對蚜蟬有**物理防禦之效**，二齡以上幼蟲尾端的蛻皮逐漸取代其功能。

未來展望

因甘藷龜金花蟲幼蟲卵散生、不群聚生活的特性，在野外的金花蟲幼蟲身邊出現同伴的機會極小。本研究裝置在同片葉子上放置1-5齡幼蟲各一隻，讓幼蟲彼此聚集在一起，製造出在野外鮮少發生的情形，意外發現幼蟲有合作禦敵的行為，且禦敵效果增強。未來，我們想針對此行為，觀察幼蟲合作下的特殊禦敵機制。

重要參考文獻

1. Eisner T., E. van Tassell, J. Carrel (1967). Defensive Use of a "Fecal Shield" by a Beetle Larva. *Science*, 158(3807):1471-3.
2. Müller C. & M. Hilker. (1999). Unexpected reactions of a generalist predator towards defensive devices of cassidine larve (Coleoptera, Chrysomelidae). *Oecologia*, 118: 166-172.
3. Keefover-Ring K. (2013). Making scents of defense: do fecal shields and herbivore-caused volatiles match host plant chemical profiles?. *Chemoecology*, 23(1): 1-11.
4. Müller C. (2002). Variation in the effectiveness of abdominal shields of cassidine larvae against predators. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 102(2): 191-198.
5. VencI F. C., T. C. Morton, R. O. Mumma & J. C. Schltz (1998). Shield Defense of a Larval Tortoise Beetle. *Journal of Chemical Ecology*, 25(3): 549-566.