

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

030315

飢不擇食嗎？~探討大菜螟的吐絲及同類相食行為

學校名稱： 高雄市立明華國民中學

作者： 國二 許峻昊 國二 王琄熙 國二 蔡妍瞳	指導老師： 蘇育弘 趙爵煥
---	-----------------------------

關鍵詞： 大菜螟、吐絲行為、同類相食

摘要

菜圃發現的菜蟲，竟出現同類相食。大菜螟(*Crocidolomia binotalis*)為台灣常見害蟲，具吐絲能力。由幼蟲的型態及取食行為，可分為 1~2 齡及 3~5 齡兩個階段。1~2 齡幼蟲偏好在下表皮的葉基部吐絲織網(69%)，並於其中啃食葉肉，3 齡後幼蟲同樣在下表皮啃食葉肉但不会織網。幼蟲移動前，會先吐絲至葉面，由胸足的爪鉤住絲後再前進，減少掉落可能。一旦掉落，多數幼蟲會利用第 3 對胸足繞絲上攀。大菜螟幼蟲在食物不足時易發生同類相食(58.3%)，食物不足下有受傷個體時，被捕食率大幅增加至 92%。實驗顯示即使食物充足，受傷個體可能透過氣味，導致被捕食機率大增。體型小的 2 齡幼蟲利用織網及排泄物來減少同類的捕食。在應用上，利用同類相食特性，能增加蘇力菌散播能力，造成高致死率。

壹、研究動機



圖 1a 校園被啃食的高麗菜

我們在學校苗圃的高麗菜發現菜蟲，經查詢圖鑑與請教老師，原來這是著名的害蟲~大菜螟，危害農作物甚鉅，主要侵襲十字花科的作物，吐絲是他們重要的行為特徵。我們原本想研究幼蟲明顯的吐絲行為，但是在一次意外，同學不小心壓傷

菜蟲，這竟然引來同類捕食，讓我們十分訝異，大菜螟不是菜蟲嗎？為甚麼會吃同類呢？我們查詢文獻也找不到大菜螟具有同類相食的習性，難道是飢不擇食嗎？另外飼養過程中我們也發現吐絲有不同的面向，而我們也觀察到小隻幼蟲會躲在織網內啃食葉肉，感覺就像在防禦敵人，會不會就是為了防止同類相食的發生呢？吐絲和同類相食看似兩個毫不相關的行為，是不是有著特別的關聯，令農民深感厭惡的害蟲，似乎隱藏著一幕幕不為人知的劇碼，等著一一揭開面紗，以下是我們的研究。



圖 1b 織網下群聚的較小幼蟲



圖 1c 受傷幼蟲被同類捕食



圖 1d 織網內取食的 2 齡幼蟲

貳、研究目的

- 一、觀察大菜螟幼蟲的各齡期型態
- 二、探討不同齡期幼蟲的取食及吐絲行為
- 三、探討幼蟲發生同類相食的可能原因
- 四、探討 2 齡幼蟲在同類相食下的生存策略
- 五、探討蘇力菌在同類相食的傳播



圖 2 高麗菜圃取回幼蟲

參、文獻回顧與研究架構

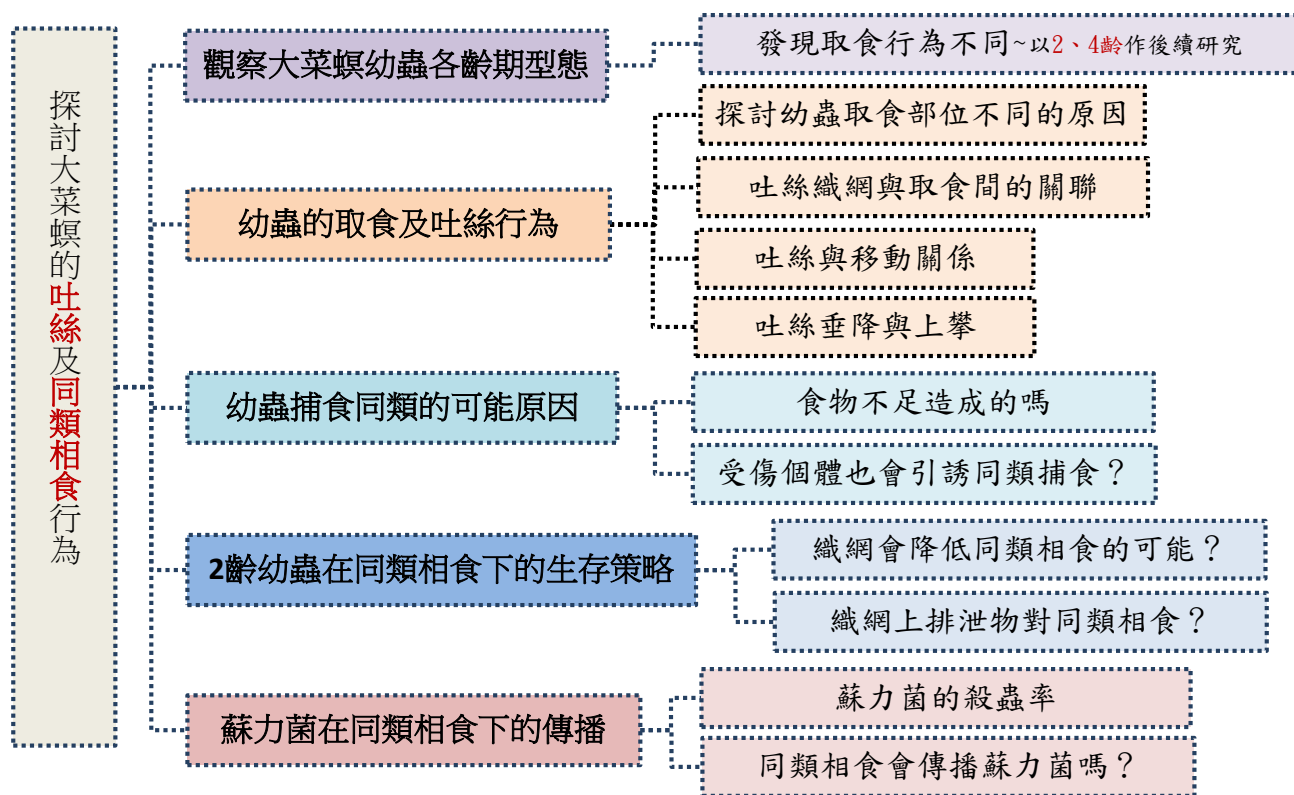
大菜螟(*Crocidolomia binotalis*)，為台灣農作物十字花科的重要害蟲，如甘藍、白菜、油菜、芥菜、芥藍菜、結球白菜、花椰菜等，皆易受其危害。大菜螟為鱗翅目昆蟲，鱗翅目中有許多種類具有吐絲能力，例如小菜蛾，俗稱吊絲蟲，以及蠶絲行業的家蠶等。

目前國內關於大菜螟的文獻，多偏向防治及生活史討論，例如農業試驗所的相關防治策略資料，關於大菜螟行為的描述不多，以下是相關的文獻整理與回顧：

來源	作者及研究題目	前人研究重要論點
期刊文獻	蕭文鳳(1984)。大菜螟的生活史及習性。植保會刊 26	1. 幼蟲的各齡期型態及生活史 2. 幼蟲具有織網行為
	黃兆立(2015)。鱗翅目幼蟲的宿主專一性影響其腸道菌組成	1. 大菜螟等三種植食性昆蟲，腸道菌相可能與宿主專一性有關。
	蘇鈺婷(2006)。幼蟲競爭對 <u>四紋豆象</u> 成蟲體重的影響及其作用機制	1. 資源不足，豆象有捕食同類現象。 2. 捕食同類，可能是體重增加來源。
	何欣頤(2013)。無效卵及幼蟲密度對 <u>貓蚤</u> 同類相食之影響	1. 缺乏食物的環境，貓蚤傾向吃掉更多的卵。
科展報告	何冠典(2012)。宅蟲— <u>黑星弄蝶</u> 幼蟲築巢及相關行為探討。	1. 弄蝶幼蟲的絲與移動有關。 2. 幼蟲吐絲形成絲路，沿絲路取食。
	陳思竹(2019)。 <u>蝸牛</u> 同類相食行為的新發現。	1. 同類相食與蝸牛殼破裂有關。 2. 蝸牛殼破受傷會引起同類相食。

綜合以上，關於大菜螟的吐絲，未有行為上的研究，其它物種的弄蝶幼蟲，具有絲路移動的現象，這也讓我們試著假設大菜螟的絲，具有移動功能。同類相食的部份，也無大菜螟的相關討論，而在其它物種如豆象、跳蚤方面，則可發現同類相食的發生，多與食物來源不足有關，此外軟體動物的蝸牛，也被發現受傷會造成被同類捕食，因此我們發現的大菜螟同類相食，是否也與其它物種類似，在食物及受傷等不同變因下，會出現菜蟲食性改變，出現

捕食同類呢？大菜螟屬於農業害蟲，文獻並沒有查詢到同類相食的資料，是什麼原因讓大菜螟轉素為肉呢？這會與吐絲織網之間有什麼關聯呢？。期待由我們的飼養開始，逐一解開害蟲在生存舞台之謎，以下是我們的研究架構：



肆、研究器材與設備

一、大菜螟的飼養：

高麗菜苗、培養土、花盆、室內 LED 燈泡(光週期 12/12)、昆蟲飼養盒、昆蟲飼養杯、培養皿、濾紙、解剖顯微鏡、usb 電子目鏡、筆電、相機、測微軟體、蔗糖水、離心管

二、吐絲、同類相食與蘇力菌

手機架、鐵架、萬用夾、電子游標尺、1.5ml 離心管、市售蘇力菌粉、噴瓶、量筒
攝影機、細毛筆、鑷子、解剖針

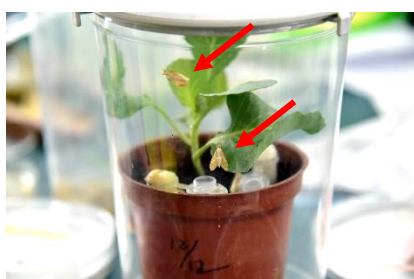


圖 3a 將蟲飼養至成蟲，待產卵 圖 3b 飼養盒及培養皿進行實驗 圖 3c 電子目鏡進行觀察

伍、研究過程及方法

一、觀察大菜螟幼蟲的各齡期型態

(一)飼養環境與蟲源供應

在校園菜圃出現的大菜螟幼蟲，還有其它害蟲如小菜蛾同時出現，為了能穩定飼養大菜螟，及避免其它昆蟲干擾，我們將幼蟲取回，並自行種植高麗菜在室內環境下(圖 5a)飼養。5 齡時移至昆蟲飼養盒等待化蛹(圖 5b)，成蟲時則配製 10%蔗糖水(圖 5c)，供應產卵養份。



圖 4 菜蟲，同類相食？



圖 5a 室內環境飼養幼蟲



圖 5b 昆蟲飼養盒內的蛹



圖 5c 蔗糖水供應成蟲養分

(二)各齡期幼蟲的型態觀察

為探討不同齡期的幼蟲取食行為，我們由卵開始觀察記錄。首先，檢視昆蟲飼養盒內的卵塊(圖 6a)，將其取出置於培養皿內，待孵化後，記錄各齡期的外觀型態，以作為後續研究的辨識與操作用。相關記錄模式如下：

1. **1~2 齡幼蟲**：體長較小，以解剖顯微鏡連接電子目鏡，顯微測量軟體進行體長測量，並同時記錄頭部體色、頭部背側後黑色橫條(圖 6b)等型態特徵。(N=12)
2. **3~5 齡幼蟲**：體長較大，無法以顯微鏡進行拍攝測量，因此改以電子游標尺測量體長(圖 6c)，並同時記錄身體其它部位特徵，以進行齡期分別。(N=12)



圖 6a 昆蟲飼養盒內的卵塊



圖 6b 幼蟲頭部背側明顯黑帶



圖 6c 電子游標尺測較大幼蟲

二、探討不同齡期幼蟲的取食及吐絲行為

在研究一的觀察飼養，我們發現幼蟲在不同齡期的行為模式並不相同，大致可分為兩個階段~ 較小體型的幼蟲(1~2 齡)與較大體型的幼蟲(3~5 齡)。因此我們以較小體型幼蟲中的 2 齡、較大體型中的 4 齡，來代表不同階段，並作為接下來的探討實驗。

(一)幼蟲的取食行為

1. 觀察不同齡期幼蟲取食部位的差異

(1) 上表皮或下表皮的偏好

於戶外的菜圃，記錄不同齡期幼蟲於葉的上、下表皮分佈取食的比例。(N=12)

(2) 葉子區域的選擇

除了上、下表皮分佈差異外，也發現幼蟲在葉子的分佈區域也不同。將高麗菜苗的葉子置於培養皿，將葉分為三段(圖 7a)，並分別將 2 齡及 4 齡幼蟲置於葉子旁(圖 7b)，1 小時之後觀察記錄幼蟲取食的部位。(N=12)

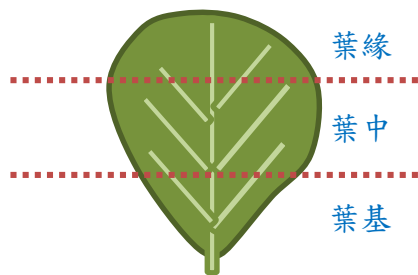


圖 7a 將葉分為三個不同的區域



圖 7b 探討 4 齡幼蟲選擇取食區域

2. 探討影響幼蟲取食不同部位的可能原因

接著，我們進一步探討造成差異的可能原因。高麗菜葉的下表皮葉脈較突出(圖 8)，記錄到的 2 齡多在下表皮葉基處吐絲織網並取食，會與結構，也就是方便織網有關？

(1) 與上下表皮結構有關嗎？葉脈高與幼蟲身高比較

我們分別測量菜葉上、下表皮三個不同區域(葉緣、葉中、葉基)的主脈高度，如圖 7a(N=12)，並量測 2 齡、4 齡幼蟲的身高(N=12)，將脈高與身高進行比較。

(2) 下表皮葉脈高度與幼蟲織網選擇

我們假設幼蟲會優先選擇較高的葉脈處織網取食。我們將菜葉下表皮葉基處的葉脈，分別以單面刀，處理成高、中、低的三個組別，再置入 4 隻 2 齡幼蟲(圖 8c)(每組 3

盤，三重覆取平均值)，記錄幼蟲選擇於葉基葉脈取食的比例。

註：為避免削葉脈的氣味對幼蟲選擇造成影響，高葉脈組別，仍進行刀削處理。

刀削後的中葉脈組別，經顯微測量高度與幼蟲身高無顯著差異。



圖 8a 高麗菜下表皮的葉脈



圖 8b 中葉脈組(刀削一半)



圖 8c 葉基葉脈處理不同高度

(二)幼蟲的吐絲行為

取食部位的實驗，我們看到 2 齡幼蟲的吐絲織網，絲對幼蟲而言，具有什麼樣功能呢？

1. 吐絲與取食的關聯

(1) 絲從哪裡來？

以慢動作顯微攝影觀察 2 齡、4 齡幼蟲吐絲，試著找尋與吐絲有關的結構。

(2) 吐絲與取食關聯

取 2 齡幼蟲 12 隻，置於葉子下表皮，觀察移動及吐絲織網，了解織網與取食順序。

2. 吐絲與移動間的關聯

除了取食時的吐絲保護之外，絲會與移動有關嗎？

(1) 吐絲鋪路？移動前的吐絲行為

取新菜葉，並將 4 齡幼蟲置於葉面，觀察幼蟲於新環境的吐絲行為，並待幼蟲爬行後移除幼蟲，以顯微觀察葉面結構(N=6)。為了釐清移動前的吐絲與食物(葉面)無關，將幼蟲置入透明培養皿內，並待爬行後移除幼蟲，以顯微鏡檢視是否有絲(N=6)。

(2) 倒掛時的移動確保

將幼蟲置於有絲、沒絲葉面，固定力道翻轉(圖 9b)，測試蟲的附著能力(N=12)。

(3) 如何勾住絲？幼蟲足的構造

我們利用透明培養皿觀察倒掛的幼蟲腹部結構，發現足分為兩種~爪狀及吸盤狀(圖 9a)。我們利用慢動作攝影來觀察幼蟲在倒掛下，如何利用足來進行勾絲移動。



圖 9a 足，兩種型式？

圖 9b 翻轉葉面確認附著力

圖 9c 固定力拉繩製造垂降

(4) 滑落時的吐絲垂降及上攀

吐絲垂降也是蟲移動方式，我們利用簡易的拉力裝置(圖 9c)，以固定力道(150g)下拉再放手，製造震動使幼蟲吐絲垂降。攝影觀察幼蟲如何上攀，並統計幼蟲是利用第幾對胸足進行上攀。

三、探討幼蟲發生同類相食的可能原因

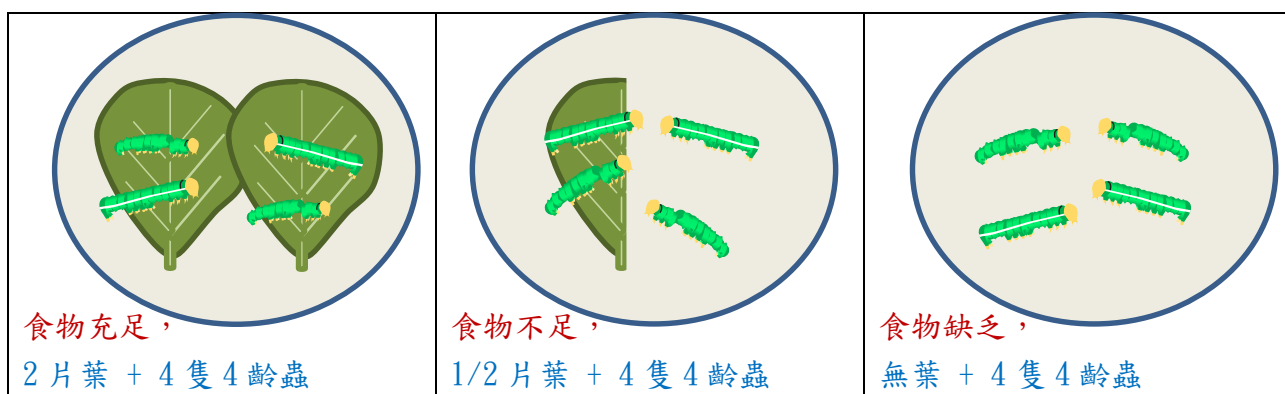
在飼養觀察的過程中，意外發現有同類相食的現象，這不禁讓我們感到震憾、更感到疑惑，大菜螟是著名的「菜蟲」，什麼樣的情形會讓菜蟲改變食性，由菜轉肉？這個部分，我們試著找出同類相食的原因。



圖 10 飼養盒內的同類相食現象

(一)食物不足造成的嗎？

食物不足，是最有可能發生同類相食的原因。我們意外發現的同類相食，並沒有出現食物不足的情形，但我們還是先由食物不足開始探討，設計如下(三重覆取平均)。



隔天計算各盤內的幼蟲數量，計算同類相食發生率 = $\frac{\text{第二天蟲數} - \text{原先蟲數}}{\text{原先蟲數}} \%$

(二)受傷與同類相食間的關聯

食物不足的實驗，的確會出現同類相食，但較困惑的是，食物充足下仍有幼蟲被同類捕食，再加上之前觀察到同類相食時，也是在食物充足下。我們推測，是不是被同類捕食的個

體，身體狀況較不好，有可能有受傷的情形發生呢？為了驗證我們的假設，我們以消毒過的解剖針，製造傷口，試著釐清受傷個體是不是較易發生同類相食現象。

1. 無食物，受傷個體是否較易被同類捕食

由於食物缺乏較易導致同類相食的結果，因此我們先設定無食物的狀態，在不提供食物的培養皿內，分別置入 1 隻受傷個體及 1 隻 4 齡蟲，並設定健康個體作為對照組，一天後計算被同類捕食率。(N=12)

2. 食物充足，受傷個體還會被同類捕食嗎

如果在食物充足的情形，受傷個體被同類捕食情形又是如何？我們將上個實驗加入葉子(圖 11)，提供充足食物，計算隔天的存活隻數(N=12)，藉以釐清當食物充足時，為何仍發生同類相食。

3. 探討受傷個體，引起同類前來的可能原因

- (1) 取 3 支 1.5ml 離心管(圖 12)，分別置入受傷蟲與葉子、健康蟲與葉子、葉子。
- (2) 1 小時後，計算離心管外的幼蟲爬至哪一隻離心管。(N=12)。



圖 11 食物充足，捕食同類？



圖 12 受傷個體會釋放氣味？

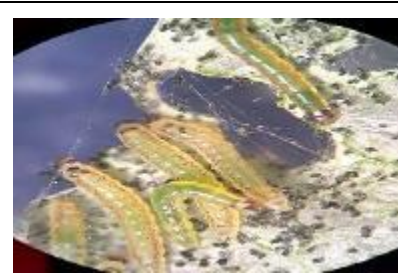


圖 13 幼蟲織網防禦的敵人？

四、探討 2 齡幼蟲在同類相食下的生存策略

由研究 2 的實驗，觀察到 2 齡幼蟲會先織網再取食，織網應該是為了抵抗天敵，所謂「天敵」，難道是同類嗎？在同類捕食的威脅下，小型的 2 齡幼蟲於織網下取食，是特別的生存策略嗎？

(一) 織網與同類捕食之間的關聯

為了探討織網是否與同類相食有關，我們假設織網防禦的敵人就是同類，也就是織網是 2 齡預防被同類捕食的生存方式，因此我們先取得具有織網的葉子，實驗設計如下：

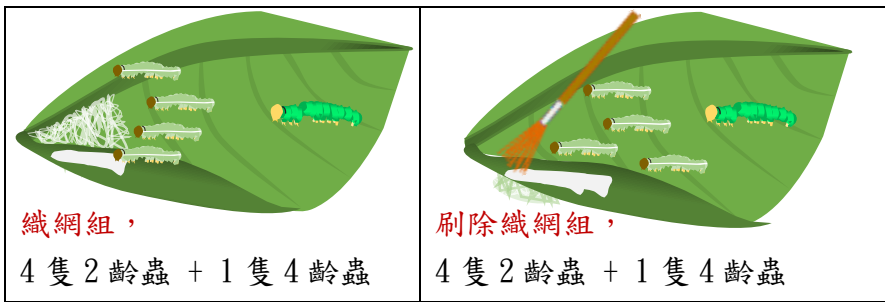


圖 14 絲織網上的排泄物

隔天計算各盤內的 2 齡幼蟲數量，計算同類相食發生率

(二) 排泄物對同類相食的影響

我們注意到織網上有大量的排泄物出現(圖 14)。黏附的排泄物扮演什麼樣的角色呢？

- (1) 收集 2 齡幼蟲織網、葉面上的排泄物，將排泄物以毛筆置於新的菜葉上。
- (2) 設定有無排泄物組，皆放置 4 隻 2 齡幼蟲及 1 隻 4 齡幼蟲，隔天計算同類相食率。
- (3) 於離心管放葉子並設立有無排泄物組，置入 4 齡幼蟲，1 小時後探討選擇取食率

五、探討蘇力菌在同類相食間的傳播

原以為的菜蟲~大菜螟，卻出現同類相食現象。查閱文獻，除了化學農藥之外，很常使用微生物製劑~蘇力菌(圖 15)，當菜蟲吃到含蘇力菌的葉片，會有肚子破裂出現傷口的現象，這讓我們想到研究 3 中，受傷個體會被同類捕食，



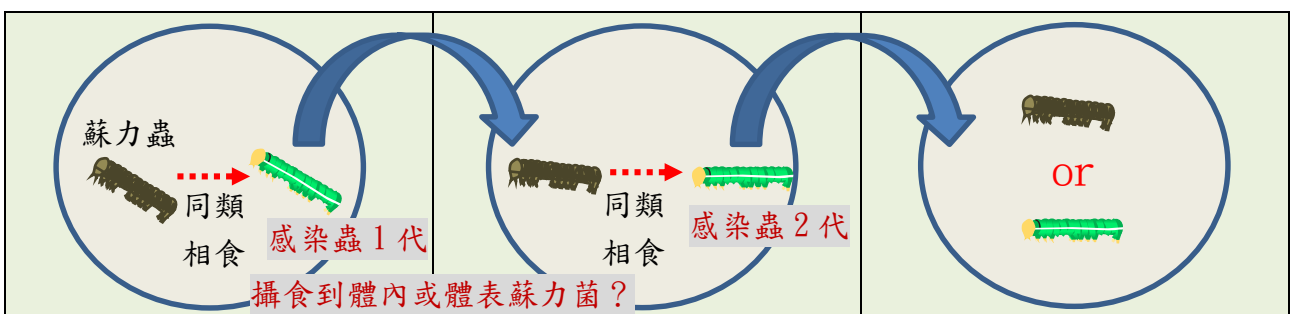
圖 15 蘇力菌製劑噴灑葉面

那麼感染蘇力菌造成的傷口，會不會造成同類相食，接著將蘇力菌傳播下去？

- (一) 蘇力菌對大菜螟的殺蟲率：以 1：500 濃度稀釋蘇力菌，並將葉子完整噴灑後於陰涼處乾燥，將 4 隻 4 齡幼蟲，放入具蘇力菌的葉面，待一日後計算殺蟲率。(三重覆)

- (二) 蘇力菌會在同類相食間傳播嗎：

將取食到蘇力菌受傷致死的幼蟲(蘇力蟲)，置於培養皿內，再放入 4 齡幼蟲，為了避免感染蟲 1 代是因為攝食到體表殘留的蘇力菌所造成，因此使用第二代再測試，測試方式示意圖如下，並計算致死率。(N=12)



陸、研究結果

一、觀察大菜螟幼蟲的各齡期型態

大菜螟是十字花科的重要害蟲，我們以高麗菜由卵開始飼養，並觀察記錄各齡期型態。

(一)分類地位

節肢動物門 – 昆蟲綱 – 鱗翅目 – 草螟科 – *Crociodolomia* 屬 – 大菜螟

Arthropoda – Insecta – Lepidoptera – Crambidae – Crocidolomia- binotalis

(二)幼蟲各齡期型態







卵塊		一齡		二齡	
		 頭黑色，體呈半透明黃綠色		 頭黑色，體呈半透明黃綠色	
型態	魚鱗狀，淡黃色	型態	頭背側，黑色橫帶	型態	頭背側黑色橫帶漸分
大小	長 $0.51 \pm 0.06 \text{ mm}$	大小	長： $0.137 \pm 0.01 \text{ cm}$	大小	長： $0.45 \pm 0.12 \text{ cm}$
三齡		四齡		五齡	
 頭橘色，體呈黃綠色		 頭橘色，體呈深綠色		 頭橘色，體呈淺綠色	
型態	頭背側黑色橫帶分開	型態	頭背側黑色橫帶分開	型態	身體較寬，準備化蛹
大小	長 $1.12 \pm 0.13 \text{ cm}$	大小	長 $1.58 \pm 0.14 \text{ cm}$	大小	長 $1.98 \pm 0.08 \text{ cm}$



圖 16 大菜螟由卵至五齡幼蟲型態。(上排左-右：卵-1 齡-2 齡；下排左至右：3 齡-4 齡-5 齡)

二、探討不同齡期幼蟲的取食及吐絲行為

飼養及觀察的過程，發現大菜螟的幼蟲在行為上，大致分 2 個階段，分別為 1~2 齡、3~5 齡。大菜螟不同階段幼蟲的取食行為明顯不同，此外吐絲似乎是大菜螟重要的行為模式，絲究竟扮演什麼角色呢？接著，我們以 2 齡及 4 齡作為不同階段的代表，進行討論。

(一) 幼蟲的取食行為

1. 觀察不同齡期幼蟲的取食部位差異

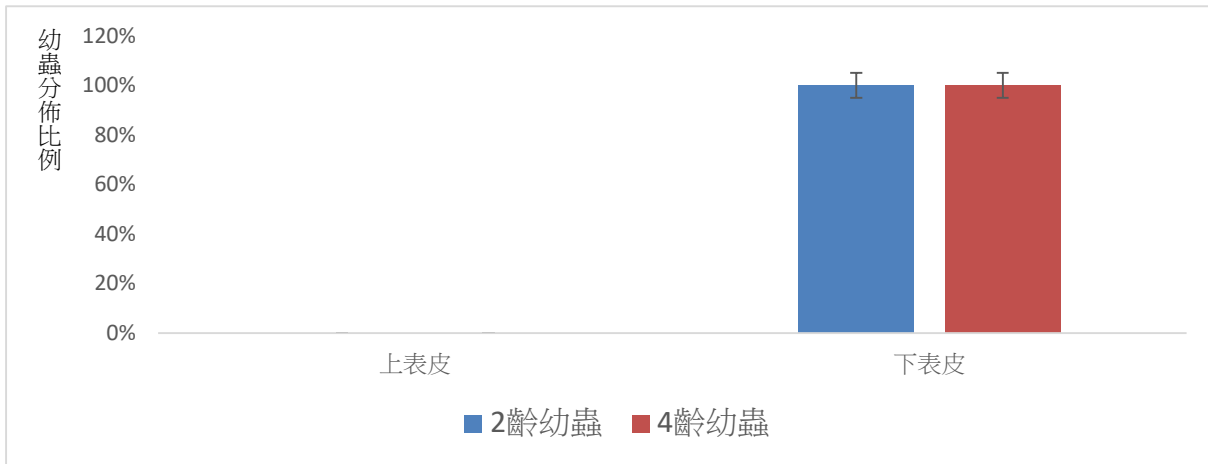


圖 17a 不同齡期幼蟲在葉上下表皮分佈區域

在戶外調查不同齡期幼蟲的分佈上，發現不管是 2 齡或是 4 齡的幼蟲，皆分佈於下表皮。另外，也發現 2 齡幼蟲在葉片的分佈區域似乎有集中現象，接著探討葉片分佈情形。

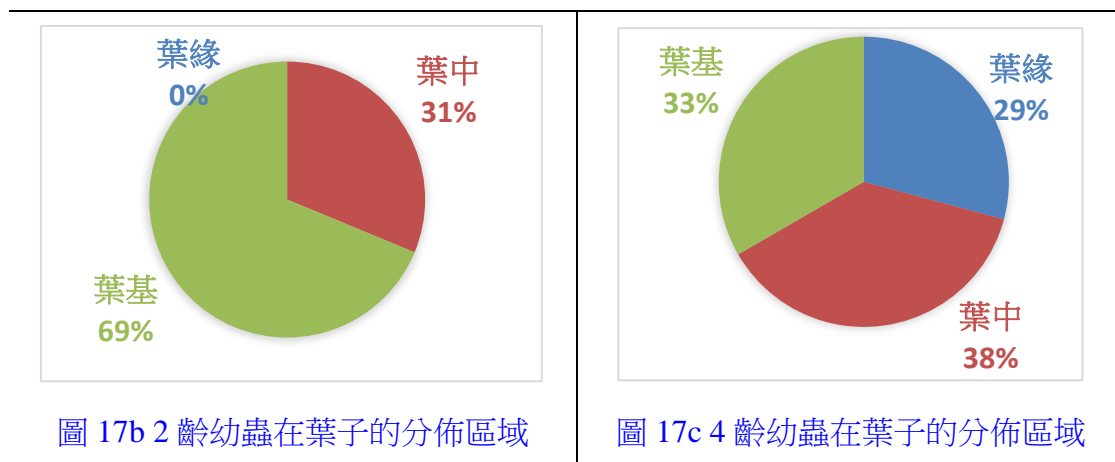


圖 17b 2 齡幼蟲在葉子的分佈區域

圖 17c 4 齡幼蟲在葉子的分佈區域

在葉子分佈，可看出不同階段的幼蟲有明顯的差別。2 齡幼蟲有高達 69% 的比例集中在葉子基部啃食，而 4 齡幼蟲則是在葉子的各個區域分佈差異不大。為何同一種昆蟲，在不同階段的偏好不同呢？接下來，我們討論可能的原因。



圖 17d 多分佈於葉基的 2 齡蟲

2. 觀察取食不同部位的可能原因

(1) 上下表皮結構？幼蟲身高與葉脈高度的比較

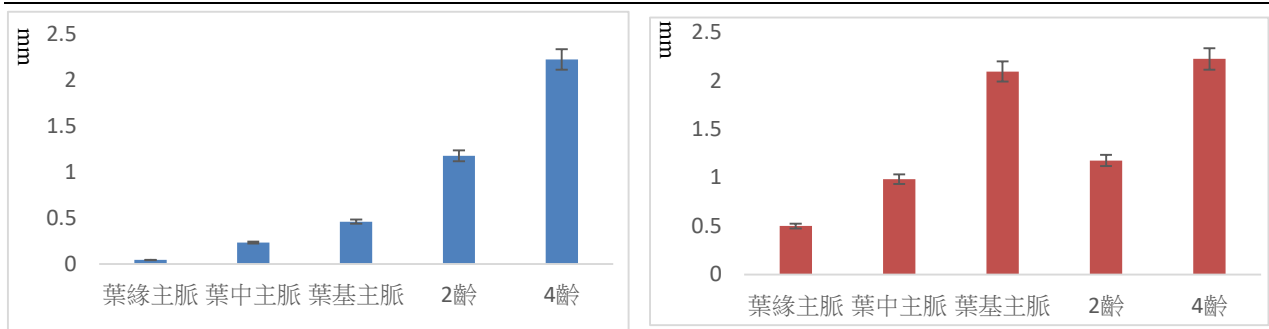


圖 18a 上表皮，葉脈高度與幼蟲身高比較

圖 18b 下表皮，葉脈高度與幼蟲身高比較

上表皮部分，2 齡幼蟲的身高顯著高於葉基主脈 ($p < 0.05$)，而相對的，在下表皮部分，葉基主脈，則顯著較 2 齡幼蟲身高來得高 ($p < 0.05$)。是否由於葉基主脈高度較 2 齡的身高來得高，幼蟲較多選擇此處織網取食？接著我們將葉基處理成三組不同的高度，進行比較。

(2) 下表皮葉基主脈高度與幼蟲織網選擇

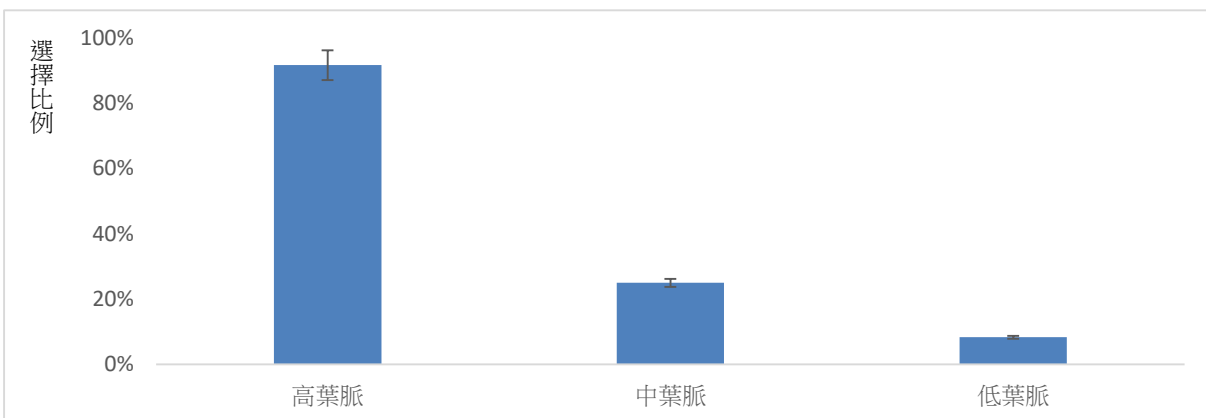


圖 18c 2 齡幼蟲選擇不同高度的葉基葉脈比例

約有 92% 的 2 齡幼蟲，選擇比身高高的葉基葉脈處取食，而刀削處理後的中、低葉脈，則由於與幼蟲身高相似、較低，所以幼蟲選擇葉基葉脈的比例明顯較低(分別為 25%、8%)，中、低葉脈組有高達 75% 及 92% 的幼蟲，會選擇葉基以外的區域取食(圖 18f)。



圖 18d 下表皮葉基葉脈比較



幼蟲多選擇至葉基織網取食

圖 18e 葉基葉脈較高組



幼蟲隨機於葉面取食

圖 18f 葉基葉脈較低組

(二)幼蟲的吐絲行為

取食行為的探討上，發現 2 齡幼蟲會在織網內取食葉肉，且會在比身高高的葉脈處織網，此外 4 齡的幼蟲也具有明顯的吐絲行為，絲對於幼蟲而言，扮演了什麼樣的角色呢？

1. 吐絲與取食間的關聯

首先，我們以顯微鏡觀察並以慢動作錄影檢視，發現於口器下方的吐絲構造。

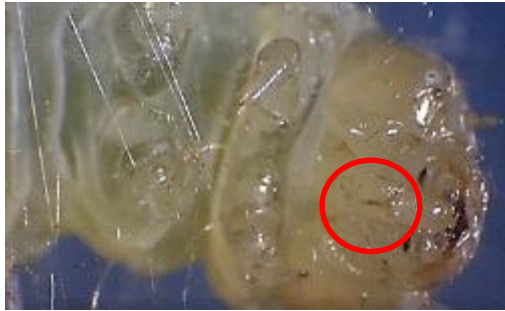
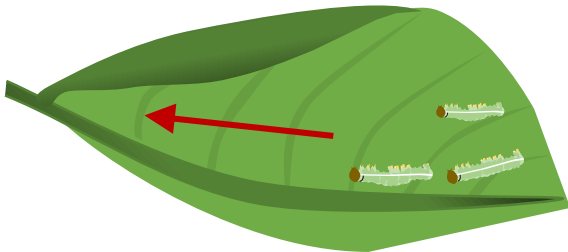


圖 19a 幼蟲口器下的褐色吐絲管

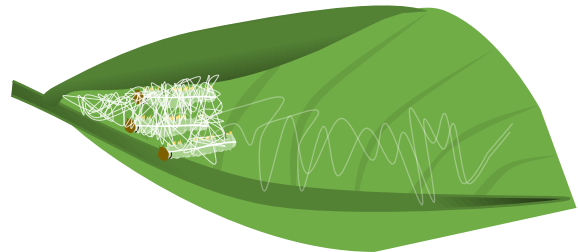


圖 19b 吐絲管吐絲的情形

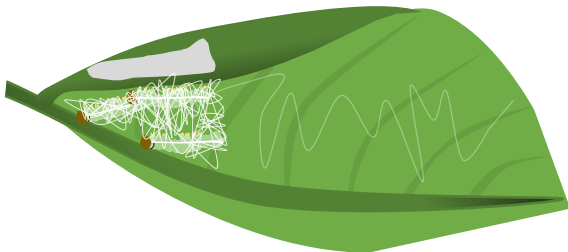
接著，我們觀察 2 齡幼蟲至 3 齡幼蟲的取食行為如下：



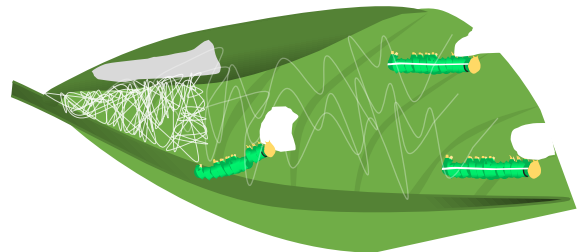
1. 下表皮 2 齡幼蟲爬至葉基較高的葉脈處



2. 利用高於身體的主脈及二級脈開始織網



3. 僅啃食下表皮葉肉，上表皮留薄膜



4. 成長至 3 齡後，不織網、分散啃食葉片



圖 19c 2 齡啃食下表皮葉肉



圖 19d 2 齡啃食後上表皮薄膜



圖 19e 3 齡之後啃食葉肉

2. 吐絲與移動間的關聯

絲，除了在 2 齡幼蟲取食時提供保護之外，似乎也與行動有關，且在 2 齡及 4 齡幼蟲都有發現，這個部分，我們探討絲在移動上扮演的角色。

(1) 吐絲鋪路？移動後的吐絲行為

幼蟲在移動之前，會不停將頭部左右甩動，將前方路徑鋪滿絲後才前進。

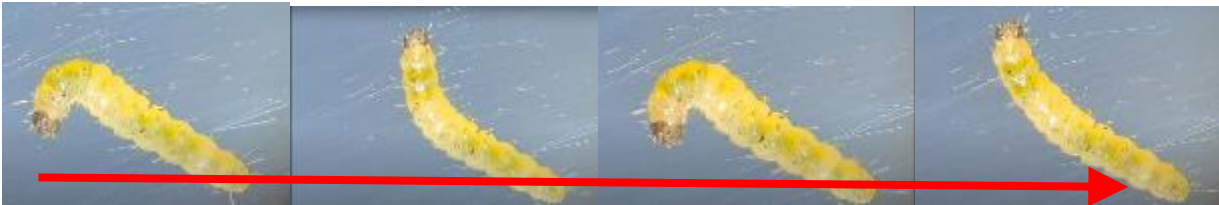


圖 20a 幼蟲於新環境下，會左、右甩頭吐絲佈滿葉面

接著，我們將 4 齡幼蟲置於新葉以及培養皿上，觀察在吐絲情形



圖 20b 頭部甩動後的葉面織網

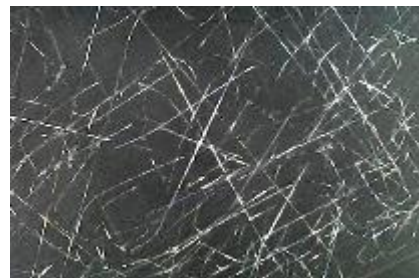


圖 20c 培養皿上，甩頭後的織網

結果如圖 20bc，幼蟲移動前，不僅在食物來源的葉面會吐絲，在不是食物來源的培養皿上，依然會吐絲，觀察結果顯示，幼蟲會先用頭吐絲至前方區域，才會開始移動。

(2) 倒掛時的移動確保

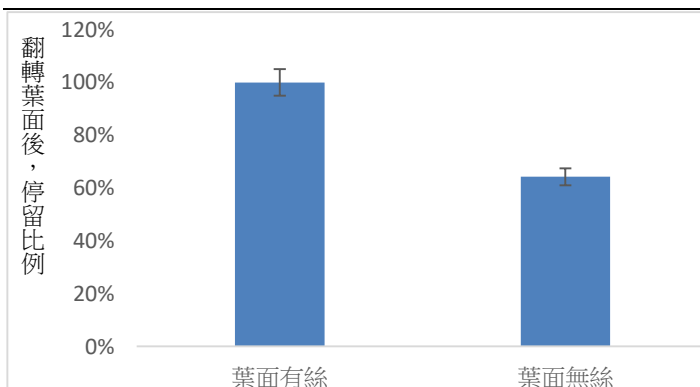


圖 21 葉面有無絲，對幼蟲附著葉面能力的影響

將絲吐向移動的前方，似乎是在鋪絲造路，這些在葉面的絲，是否提供倒掛的幼蟲較好附著力呢？圖 21 結果顯示，有絲的葉面，幾乎皆能在葉面翻轉時提供強大的附著力，而無絲的葉面有約 36% 的蟲無法停留在葉面而掉落。

葉面的絲，除了提供在下表皮移動的幼蟲附著能力之外，當震動時也提供了蟲抓附的工具，就像攀岩手一樣，於倒掛時能緊緊抓住，不致於滑落。

(3) 如何勾住絲？幼蟲足的構造

了解了幼蟲在移動前，會先吐絲至前方後，我們繼續觀察幼蟲腹部的結構，發現幼蟲的足前後型態並不相同，分為前 3 對的爪狀胸足以及後 4 對的吸盤狀腹足(圖 22a)。



圖 22a 前後足的側面比較

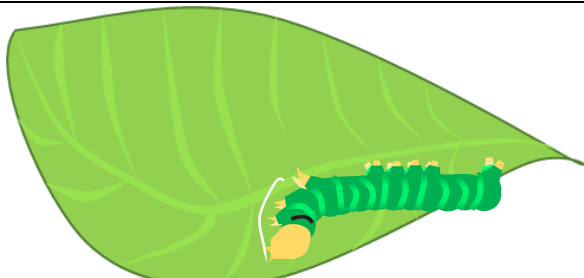


圖 22b 前三對爪狀胸足結構

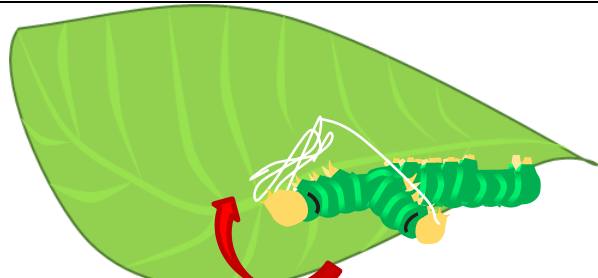


圖 22c 後 4 對吸盤狀腹足

接著，我們除了觀察葉面上的幼蟲移動情形，也利用透明培養皿觀察足與絲的關聯，發現到新環境的幼蟲，會左右甩頭，移動前會先吐絲至葉面，並利用胸足的爪鉤住織網，避免掉落，才會開始移動。試著將幼蟲移動的步驟繪製如下：



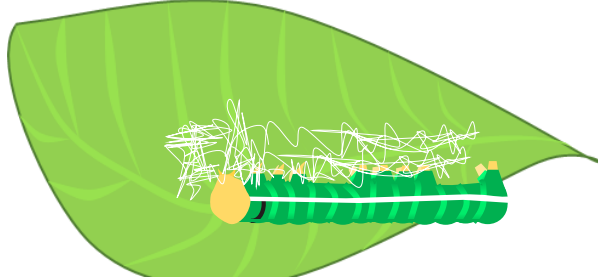
1. 幼蟲在葉下表皮的新環境開始吐絲



2. 後吸盤腹足吸附葉面，左右甩頭吐絲



3. 以前三對爪狀胸足將葉面的絲鉤住



4. 胸足鉤住絲後，開始於葉面上移動



圖 23b 爪狀胸足鉤住絲



圖 23c 幼蟲以胸足抓住表面絲



圖 23d 幼蟲以腹足吸住回表面

(4) 滑落時的吐絲垂降及上攀

之前的實驗，了解絲具有 2 齡幼蟲取食時的保護，以及倒掛勾住附著的必要性，但當葉面震動過大，蟲不慎掉落時會吐絲垂降，然後再爬升，是如何用絲上攀的呢？。

以慢動作錄影的上攀順序如下：



觀察結果如上，發現幼蟲是以胸足的爪纏繞絲，接著利用胸足一對爪中的左爪及右爪，分別依序繞絲而扭動身體，因此蟲體呈現順時針、逆時針來回扭動上攀，上攀後，會將絲隨意扔掉。此外，發現若上攀過程有碰觸到物體，則會立刻放棄上攀，而直接於物體上爬行。

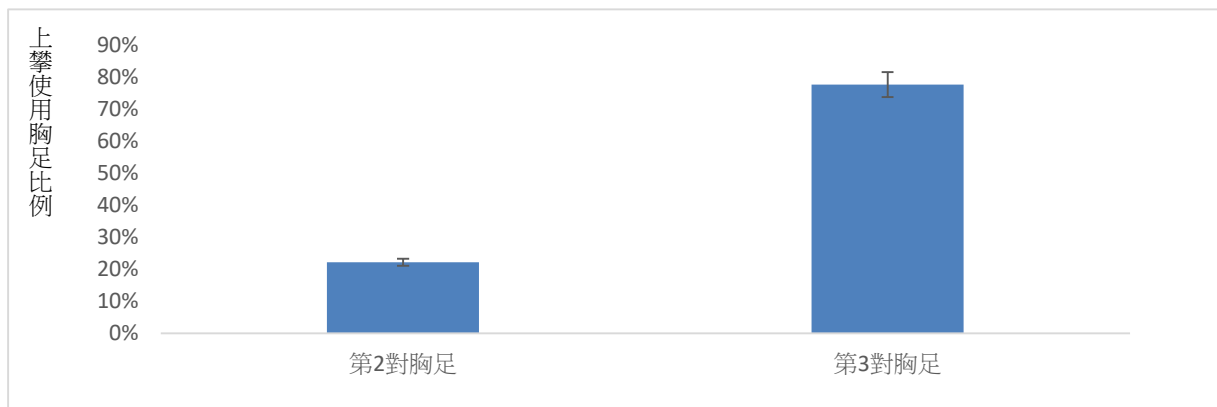


圖 24 何對胸足上攀比例

幼蟲垂降上攀的過程，是利用前面的胸足纏繞絲而上攀。圖 24 的結果顯示，有約 78% 的幼蟲會利用第 3 對胸足來纏繞進行上攀。

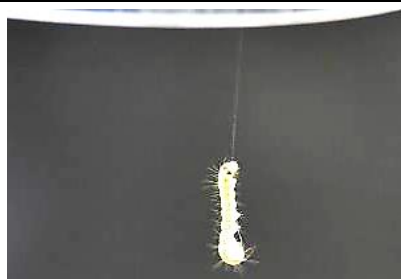


圖 25 吐絲垂降的幼蟲



圖 26 第 3 對胸足纏繞絲

三、探討幼蟲發生同類相食的可能原因

大菜螟是著名的菜蟲，危害很多蔬菜。飼養中無意間發現的同類相食現象，顛覆了我們對菜蟲的想法。這個部份，我們針對可能發生的原因進行討論。

(一)食物不足造成的嗎？

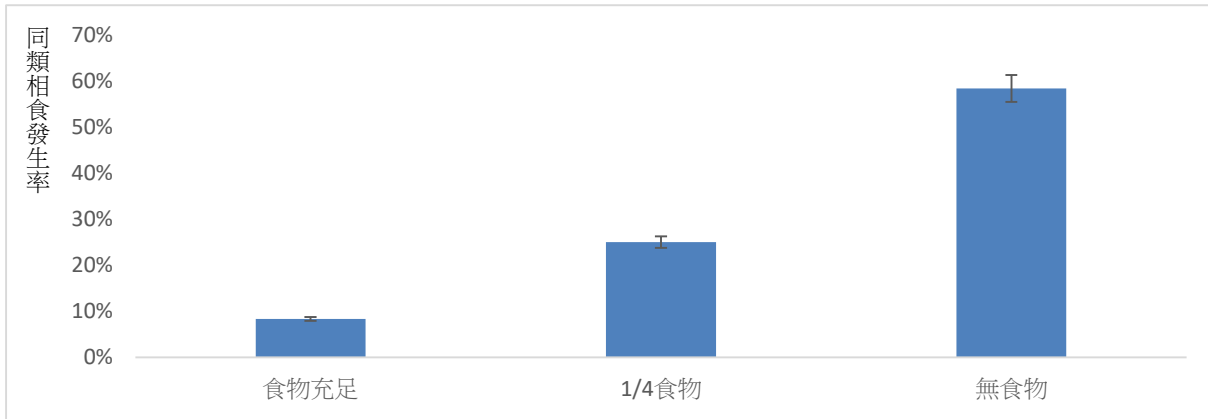


圖 27 供應不同數量食物，對同類相食發生率的影響

同類相食的發生是否與食物有關？當無食物供應下，發生同類相食的比例高達 58.33%，而食物較少的組別(1/4 食物供應)則為 25%。結果顯示，大菜螟在食物的組別，為了獲取生存所必需的養分，因此轉換食性，發生同類互相捕食的現象，而 1/4 食物的組別，雖有食物，但在供應不足的情形，仍有一定程度的同類相食率，這說明了食物的充足與否，是發生同類相食的原因之一。

食物不足的情況下，生物為了生存確實有可能會轉變食性，但令人更詭異的是，在充分供應食物的組別，卻也發生了同類相食的情形，雖然比例較低(8.3%)，再加上一開始發現同類相食時，也是在食物充足的狀態。

同類相食的原因，除了食物以外，還有其它因素嗎？



圖 28 食物數量對同類相食



圖 29 1/4 食物組別同類相食



圖 30 食物充足，仍發生

(二)受傷與同類相食間的關聯

食物充足仍發生同類相食的問題，讓我們大膽的推測其它可能的原因，是不是幼蟲有受傷或生病的情形發生，因而被其它的同類捕食呢？我們使幼蟲受傷後進行實驗。

1. 無食物的狀態，受傷個體較易被同類捕食嗎？

首先，討論在食物不足，又有受傷個體出現的情形，同類相食的比例是否升高。

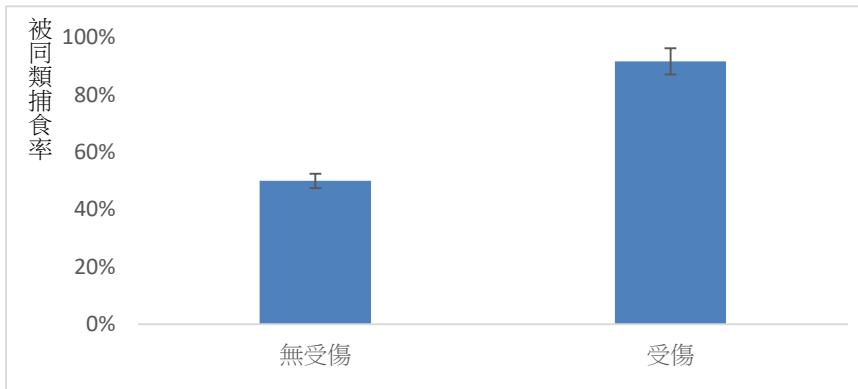


圖 32 受傷個體易被捕食

圖 31 在缺乏食物下，受傷個體的被同類捕食率

結果顯示，受傷個體有高達 92% 的比例會被同類捕食，與無受傷個體相較，被同類捕食率增加了 83%，這說明了受傷的個體極易發生被捕食現象。在沒食物的狀態，受傷的個體可能不容易反抗，較易被捕食，那麼在食物充足的情形下，受傷個體還會被捕食嗎？

2. 食物充足的狀態，受傷個體還會被同類捕食嗎？

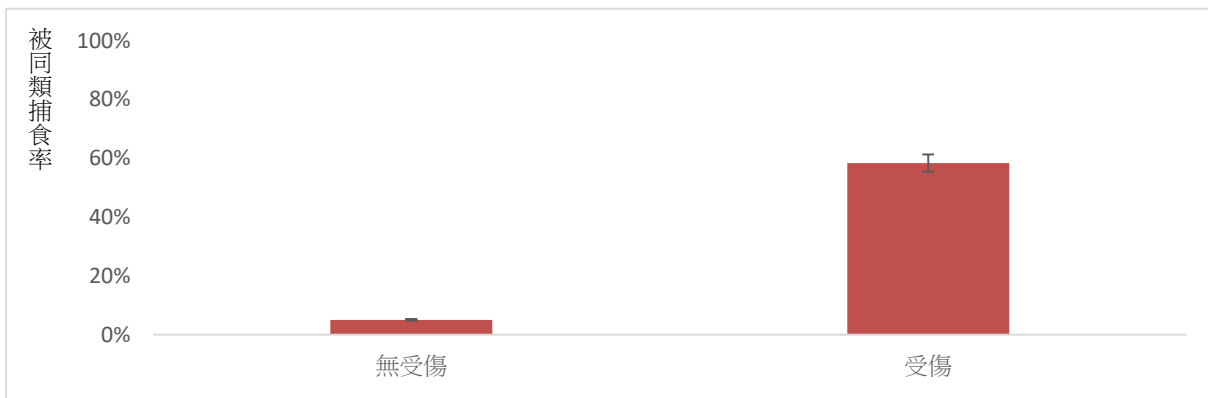


圖 33 食物充足下，受傷個體的被同類捕食率

在食物充足下的結果顯示，受傷的個體被同類捕食率高達 58%。結果令我們感到訝異，原先認為受傷個體僅在食物缺乏下才容易被捕食，但在食物充足下，被同類捕食率為無受傷的 11.6 倍，這說明了除了食物缺乏的變因之外，受傷也是同類相食發生的重要因素。

3. 探討受傷個體，引起同類前來的原因

前面的兩個結果顯示，不管食物充足與否，蟲體有受傷的情形下，都會大幅提升被同類捕食的機率，接著我們進一步探討為何受傷個體較易引起其它同類前來。

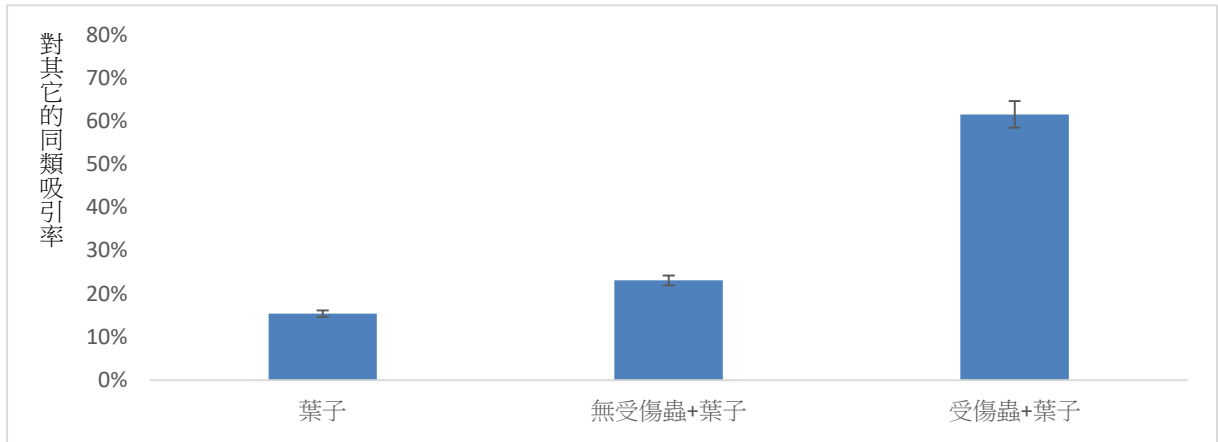


圖 34 不同條件設定的離心管內，對其它同類的吸引率

受傷個體氣味引起同類前來的結果，裝有受傷蟲+葉子、無受傷蟲+葉子以及僅有葉子的離心管，分別有 61.5%、23%、15.3%的比例吸引同類前來。受傷蟲+葉子與無受傷蟲+葉子的組別，達顯著差異 ($p < 0.05$)，而無受傷蟲+葉子及葉子的組別，則未達顯著差異 ($p > 0.05$) 這顯示了受傷的幼蟲，可能釋放出與健康幼蟲不同的氣味，引起同類的感知並前來。

此外，我們也觀察到受傷的蟲體，體液沾濕了培養皿上的濾紙，而附近的幼蟲，直接前往濾紙啃食濾紙，僅沾有水的濾紙卻無法引起幼蟲的前來，顯示受傷的體液釋放的氣味，能夠引起同類注意並前來啃食。



圖 35a 幼蟲被受傷個體吸引



圖 35b 沾受傷個體體液濾紙具吸引力

四、探討 2 齡幼蟲在同類相食下的生存策略

上個實驗結果顯示了菜蟲的同類相食現象，而體型相對較小的 2 齡幼蟲會有什麼樣的生存策略因應呢？在研究 2 的取食行為探討中，2 齡的幼蟲會先至葉基部較高的葉脈處織網後取食，吐絲織網的目的，會不會是防止被體型大很多的 4 齡幼蟲捕食？

(一) 織網與同類捕食間的關聯

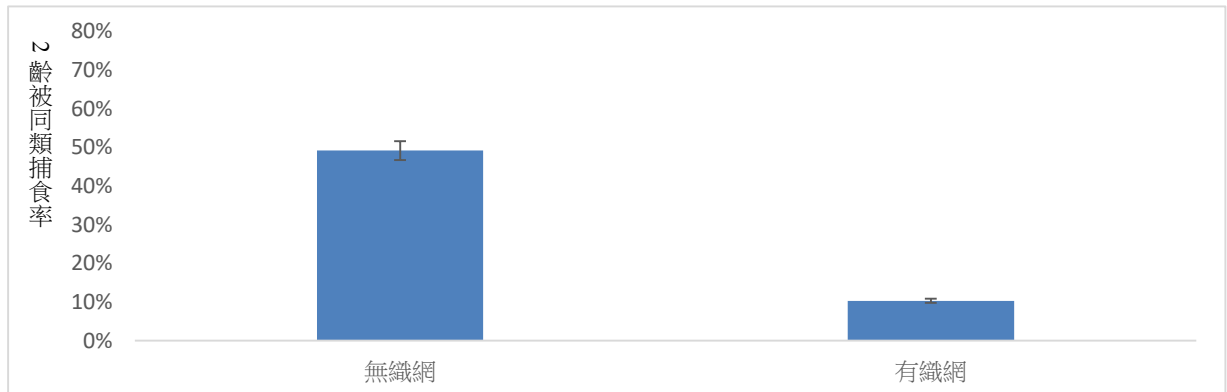


圖 36 2 齡幼蟲有無織網，被 4 齡同類捕食的比例

結果顯示，2 齡幼蟲在無織網的狀態下，有將近 49% 的比例被 4 齡幼蟲捕食；而有織網保護的情形下，2 齡幼蟲被捕食的比例大幅下降，約為 10.3% 左右。此結果顯示 2 齡幼蟲利用織網來避免同類間的捕食。此外，無織網下的 2 齡幼蟲被捕食，也表示了同類相食的原因可能為食物不足、受傷個體及體型差異過大。



圖 37a 有織網較低被捕食率

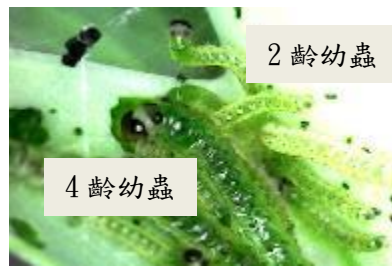


圖 37b 網內出現混齡的現象



圖 37c 織網上的排泄物

飼養過程中也發現織網內具有混齡的狀況出現(圖 37b)，顯示即使有物理性的織網保護，4 齡幼蟲仍能進入網內。這也產生了新的問題，物理性的防禦~織網並不能夠防止 4 齡幼蟲的進入，那麼究竟有織網的情形下，為何發生同類相食的比例較低呢，除了織網之外，織網上黏附的大量排泄物(圖 37c)扮演了什麼樣的角色？

(二)排泄物對同類相食的影響

2 齡幼蟲依靠織網來降低被同類捕食的機率，但混齡幼蟲的出現卻顯示了物理性的織網並不能防止 4 齡幼蟲的進入。抑制同類相食的發生，會是排泄物嗎？

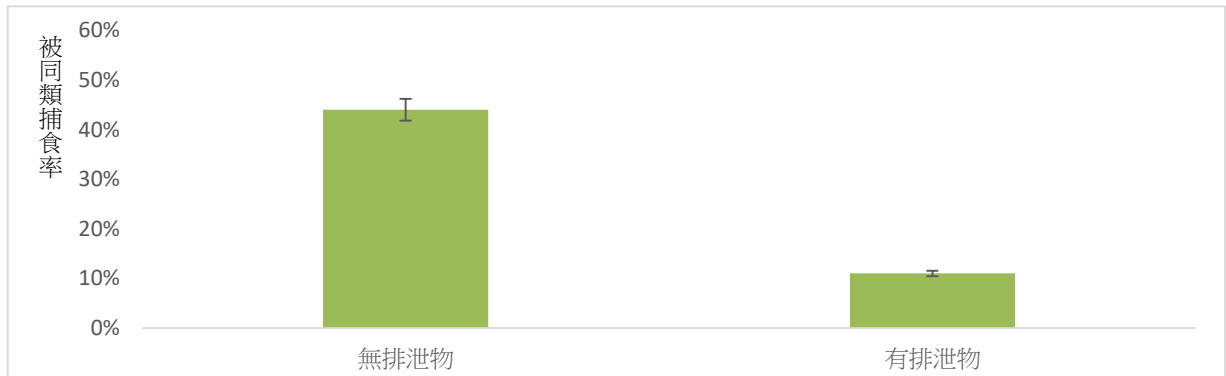
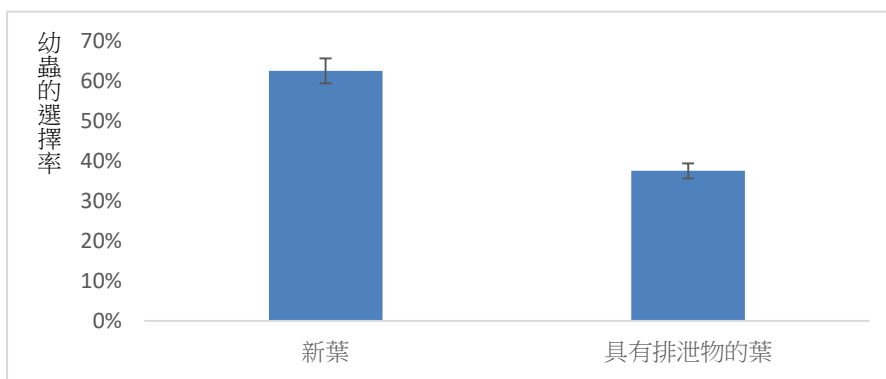


圖 38 在有無排泄物下，2 齡幼蟲被同類捕食的比例

排泄物是不是能抑制同類相食的比例呢？結果顯示，無排泄物的組別，有將近 44% 的幼蟲被捕食，而有排泄物的組別約為 11%。這說明了排泄物的出現能有效抑制同類相食發生的可能。排泄物扮演了 2 齡幼蟲在生存上，避免被較大幼蟲捕食的重要角色。

接著，我們想要進一步討論，是不是排泄物的出現，會散發氣味，有一定程度抑制 4 齡幼蟲的前來呢？



4 齡幼蟲選擇偏好無排泄物的組別，這也顯示排泄物的出現不僅降低了同類相食的比例，也降低了 4 齡前去的比例。

圖 39 有無排泄物對 4 齡幼蟲的選擇影響



圖 40a 設立有無排泄物組



圖 40b 排泄物降低同類相食



圖 40c 離心管內排泄物選擇

五、探討蘇力菌在同類相食間的傳播

吃菜的大菜螟，卻出現了同類相食現象，其中研究 3 發現受傷個體會引起同類前來，這顯示大菜螟在出現傷口的情形，易被同類捕食。菜蟲吃到蘇力菌後，會在腸道內形成結晶，使得消化道破裂出現傷口，蘇力菌製造的傷口，會不會同樣也引發同類相食呢？

(一)蘇力菌對大菜螟的殺蟲率



圖 42 幼蟲取食含蘇力菌的葉子

圖 41 蘇力菌對大菜螟的殺蟲率

結果顯示，噴灑蘇力菌的組別，約有 66% 的殺蟲率，而噴水組別則全數存活。66% 的殺蟲率顯示生物農藥的使用，可能沒有辦法如同化學農藥般，但仍有不錯的殺蟲效果。

接著，我們將吃到蘇力菌而致死的蟲取出，探討會不會發生同類相食因而使蘇力菌藉此傳播？此外，為了解吃到感染蘇力菌的蟲，是吃到體內的菌，而非體表沾到的菌，我們再繼續做第 2 代的蟲以確認是否會藉由同類相食傳播蘇力菌。

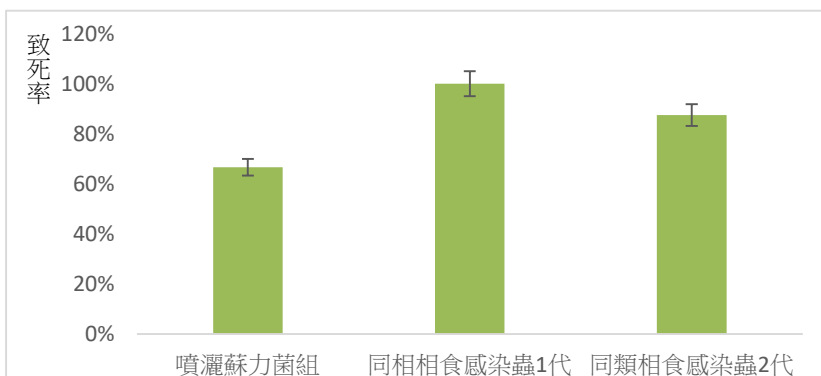


圖 44 取食含蘇力菌的幼蟲

圖 43 蘇力菌在直接噴灑與同類相食間造成致死的比較

我們將取食含有蘇力菌葉的蟲，以及同類相食造成的致死率進行比較。結果發現，蘇力菌造成的傷口，確實造成同類相食的發生，且感染蟲第 1 代的致死率達 100%，而接著以第 2 代的蟲取食感染蟲第 1 代，也造成高達 90% 的致死率，也確認是吃到體內的菌所造成的，顯示同類相食的確會使蘇力菌傳播。

柒、討論



圖 45 十字花科的重要害蟲

高麗菜上出現的菜蟲~大菜螟，屬於鱗翅目的昆蟲。鱗翅目是昆蟲中第二大的目，包含了蝴蝶以及蛾。鱗翅目的昆蟲種類繁多，其中也有很多對人類農作物造成危害的幼蟲，也就是俗稱的菜蟲。例如紋白蝶、小菜蛾、夜盜蛾等，我們探討的對象~大菜螟也是菜蟲之一，對於十字花

科，如甘藍、芥蘭、白菜、花椰菜、青花菜等作物造成相當程度的危害，張煥英(2008)也指出，若不進行防治，包含大菜螟在內的害蟲，會造成農作物整園廢耕。

在我們的飼養裡，也發現大菜螟幼蟲的食量驚人，可在短時間內啃食大量的菜葉，因幼蟲為咀嚼式口器，所以危害的部位以葉肉為主，常將葉肉啃食殆盡，而只留下葉脈(圖46)。也因為如此，在國內關於害蟲的研究大多偏向防治策略，如化學農藥或生物製的殺蟲能力等，而大菜螟的相關資料，也是如此，行為模式的文獻則較為罕見。害蟲出現後，明顯的吐絲行為，及幼蟲頭部背側的黑色橫條，一度讓我們以為是前幾年才出現的蕃茄旋葉蛾，經農業部試驗所的專家建議飼養至成蟲比對後，才確認為大菜螟。



圖 46 將葉肉啃食後留下葉脈

長期的飼養及觀察裡，我們發現了大菜螟的行為模式相當特別，撇除害蟲的角色，大菜螟具有許多不為人知的祕密。就食性而言，看似溫和的植食性昆蟲，卻出現了出乎意料之外的同類相食現象；吐絲，不僅僅是平面移動的必需，更能讓幼蟲垂直移動，看似豪無相關的兩種行為~吐絲與同類相食，在我們的報告中卻發現了隱藏其中的特別關聯。絲的功能究竟對於大菜螟而言，具有了什麼樣的生存必需；而潛伏於菜蟲不為人知的同類相食，在什麼下的情形下會被觸動呢？此外，大菜螟又是如何避免同類相食的發生呢？這些種種，不僅開啟了我們的研究之旅，也讓我們有機會一窺文獻較少描寫的菜蟲行為模式，藉由我們的研究解開層層疑問，以下是相關討論：

一、觀察大菜螟幼蟲的各齡期型態

大菜螟的各齡期型態觀察上，幼蟲共分為 5 個齡期，我們由取食行為及群聚習性上，分

為 1~2 齡、3~5 齡等兩個不同階段，其中主要是依據 1~2 齡的幼蟲會吐絲織網，並躲於其中啃食葉肉，而 3~5 齡則分散開來，獨自啃食葉肉，這與蕭文鳳(1984)描述的習性大致相符，不同之處是前人研究指出 3 齡幼蟲雖然分散，但仍躲在織網內



取食，我們則是發現 3 齡幼蟲並沒有吐絲織網習性，與前人研究有所差異原因，可能是 2 齡轉 3 齡時，有些 3 齡的幼蟲會留有網內取食，再爬出網外，但大多數發現的 3 齡幼蟲，都是分散至葉的其它部位，啃食葉片。型態的區分，主要是以頭部顏色及頭背側的黑色橫帶為主，1~2 齡的幼蟲頭呈現黑色，黑色橫帶相連；3 齡以上則呈黃褐、橘色，黑色橫帶分開，以此作為後續幼蟲挑選依據。

圖 47 織網有少數 3 齡取食

二、探討不同齡期幼蟲的取食及吐絲行為

(一)幼蟲的取食行為

為了方便實驗探討，我們將 1~2 齡、3~5 齡兩個階段，分別以 2 齡及 4 齡幼蟲作為代表。研究結果顯示，2 齡幼蟲偏好下表皮的葉基部；4 齡幼蟲則偏好下表皮，區域無明顯差異，兩個階段的蟲都在下表皮，可能與光照有關，留在上表皮較易被鳥類等天敵捕食。另

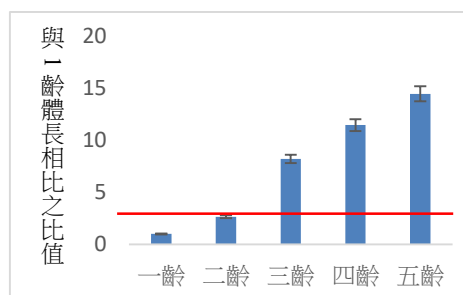


圖 48 不同齡期體長之比值

外，我們也測量了身高，發現 2 齡幼蟲大多是以葉基部的主脈附近開始吐絲織網，因這個區域的高度普遍高於 2 齡幼蟲的身高，圖 48 的體長比值，也可出由 3 齡以後的體長大幅增加，1~2 則相對較小，所以需要在織網內取食。

(二)幼蟲的吐絲行為

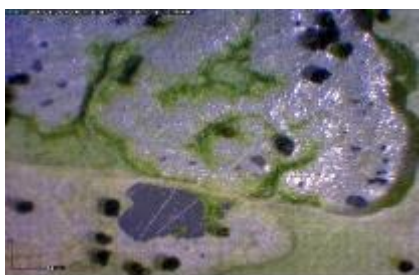


圖 49 織網與上表皮的空間

吐絲是鱗翅目昆蟲常見的行為，絲對大菜螟而言，具有什麼樣的功能呢？首先，在取食行為上，我們發現 1~2 齡幼蟲會在取食區域建置織網，且刻意留上表皮不會咬破，形成一個保護的空間(圖 49)，絲在這個部分，扮演了重要的保護角色。絲在移動上也具有重要的功能，我們發現幼蟲在移動

前，都會有左右甩頭的動作，會由口器下方的吐絲管(圖 19a)吐絲至葉面，接著再由胸足的

爪鉤住絲確保後再前進，這可能是由於幼蟲都位於下表皮，呈現倒掛的現象，所以演化出先鉤住絲才前進的行為模式，即使將蟲置於上表皮上，也發現幼蟲同樣會甩頭吐絲於葉面，才會開始前進。在吐絲上攀方面，發現會順逆時針旋轉而上升，原本預測絲被口器吃回回收，但檢視錄影及照片發現絲大多纏繞在第3對胸足上，這可能與開始扭動時，頭部將絲向第3對胸足靠近有關(圖50)。我們試著解釋利用胸足纏繞絲上升的順序：



圖 50 頭向下碰觸足



三、探討幼蟲發生同類相食的可能原因

同類相食在動物界中，並不算罕見的現象，生物為了生存、營養等，會發生同類相食，例如螳螂發生的性食、獅子等。比較令人感到訝異的是，菜蟲的成員之一~大菜螟也出現了文獻沒有提及的同類相食行為，鱗翅目的同類相食現象僅查詢到外米綴蛾。農民頭痛的菜蟲，為何出現了同類相食的現象呢？首先，我們就食物不足進行探討。食物不足往往是生物迫於生存壓力下，捕食同類最有可能的原因，結果如同我們的假設，無食物與食物充足的組別相比，同類相食的發生率增加將近6倍，在生物求生的狀況下並不難理解，但問題卻出在食物充足的組別，依然發生同類相食，是受傷或體弱造成的嗎？



圖 51 受傷蟲體液誘引同類

查詢文獻，陳思竹(2019)研究蝸牛的同類相食報告指出，蝸殼破裂的蝸牛會引起同類捕食，這與我們研究發現的受傷幼蟲，有較高機率會被同類捕食相似。為何受傷個體較易被捕食呢？我們推測這可能與汰弱留強、節省食物有所關聯，

受傷的蟲可能還會繼續取食，但這也同時消耗了食物，若其它同類捕食受傷的蟲，不僅獲得了營養豐富的養分，且節省了大量的葉子消耗。我們推測受傷的個體可能釋放氣味，使同類察覺，甚至流出的體液，也會誘引同類前來。

四、探討 2 齡幼蟲在同類相食下的生存策略

2 齡幼蟲的體型相對較小，面對具有同類相食本能的較大型 4 齡幼蟲，會有什麼樣的生存策略呢？2 齡會選擇在葉基部較高的葉脈處織網，這與避色同類相食有關嗎？

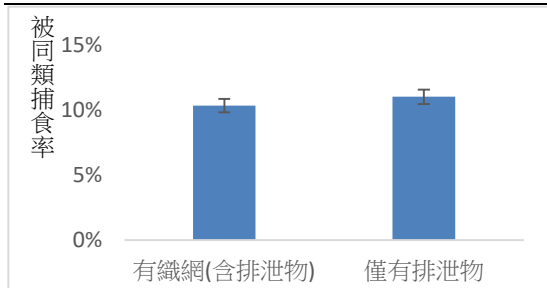
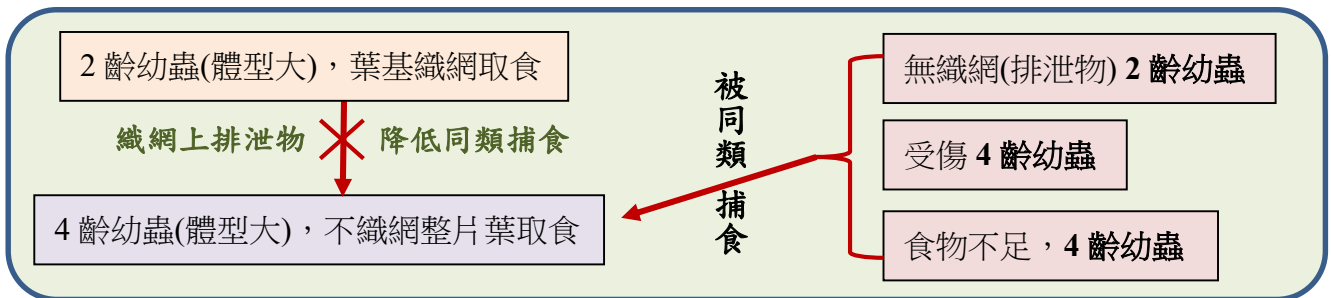


圖 52 2 齡幼蟲在不同條件下的被捕食率

清除織網的確出現較高被捕食率，將織網的排泄物取出，發現排泄物就有一定降低被捕食率的能力(圖 38)。比較織網及僅有排泄物的組別，發現被捕食率無差異 ($p>0.05$)，顯示織網扮演的角色，是黏附具降低同類相食能力的排泄物。

探討 2 齡幼蟲被同類捕食，顯示大菜螟本質存在的同類相食現象，而同類相食發生的原因，又與幼蟲個體的大小及織網黏附排泄物有關，較小的幼蟲，可能藉由織網上的排泄物，避免被較大幼蟲捕食，以下是關於不同齡期幼蟲的取食、織網、同類相食行為的相關整理：



而大菜螟的絲，在我們的研究中也具有以下三個功能：

(1)黏排泄物，降低 2 齡幼蟲被同類捕食；(2)葉面絲，增加移動附著力；(3)滑落垂降上升

五、探討蘇力菌在同類相食的傳播

蘇力菌在防治鱗翅目幼蟲時具有相當成效，幼蟲取食含菌的葉片後，會在消化道形成結晶毒蛋白使得幼蟲消化道破裂。而在發現大菜螟具有捕食受傷同類的現象後，我們就測試是否因蘇力菌造成的幼蟲也會被捕食，結果造成連續 2 代的高比例致死。這也讓我們思考是不是能利用感染蘇力菌後同類相食傳播，造成較高的殺蟲率呢？類似蟑螂屋毒餌的概念，蘇力菌在同類相食間也有不同的思考空間。

不斷靜靜啃食作物的菜蟲，在生存上卻出現令人驚訝的同類相食；另外，吐絲不僅是移動的必需，對 2 齡幼蟲而言，更具有黏附排泄物的重要生存意義。在探討菜蟲不同齡期的生存舞台上，讓我們了解昆蟲不為人知的奧秘，但也出現了更多的問題等著我們繼續探討。

捌、結論

誰能想像菜蟲居然不只吃菜，還會吃掉自己的同類？誰又能想像菜蟲居然是攀岩高手，還會自己準備攀岩繩來玩垂降？小小的大菜螟幼蟲真是充滿許多驚奇！以下是我們的實驗結論，一起來看看這位隱世高手的多種面貌吧！

- (一) 大菜螟的幼蟲共分為 5 個齡期，1~2 齡的幼蟲頭呈現黑色，黑色橫帶相連；3 齡以上則呈黃褐、橘色，黑色橫帶分開。
- (二) 1~2 齡的幼蟲會吐絲織網，並躲於其中啃食葉肉，而 3~5 齡則分散開來，獨自啃食葉肉，我們發現 3 齡幼蟲並沒有吐絲織網習性，與前人研究有所不同。
- (三) 分析幼蟲的取食行為，發現 2 齡幼蟲偏好下表皮的葉基部；4 齡幼蟲則偏好下表皮，區域無明顯差異。兩個階段的蟲都在下表皮，可能是為了避光和躲避天敵。
- (四) 下表皮葉中及葉基的主脈，顯著較 2 齡幼蟲身高來得高，2 齡幼蟲大多是以下表皮葉基部的主脈附近開始吐絲織網，並於其內取食。
- (五) 將葉基主脈處理成高中低等三個組別，發現葉基主脈較幼蟲高的組別，有 92% 會於葉基取食，而葉基低葉脈組則僅有 8% 會至葉基，其餘皆隨機於葉面取食。顯示幼蟲選擇取食的區域，與葉基主脈的高度有關。
- (六) 幼蟲在移動前，會左右甩頭，同時由口器下方的吐絲管吐絲至葉面，接著再由胸足的爪鉤住絲確保後再前進。因為幼蟲多位於下表皮，呈現倒掛的狀態，演化出先鉤住絲才前進的行為模式，有絲的葉面，可增加 64% 左右的附著力，減少掉落的機會。
- (七) 一旦幼蟲從葉片掉落時，牠們會利用前面的胸足來纏繞絲，避免直接摔落地面；且多數的幼蟲會利用第 3 對胸足來持續纏繞絲，以進行上攀。上攀時，若是胸足右爪將絲向右纏繞，則蟲體呈順時針旋轉；若是胸足左爪將絲向左纏繞，則蟲體呈逆時針旋轉。
- (八) 在食物充足時，受傷的個體被同類捕食率高達 58%，是無受傷個體的 11.6 倍；而在缺乏食物下，受傷個體的被同類捕食率高達 92%。顯然同類相食是大菜螟幼蟲的普遍現象，且受傷個體被捕食機率大增。
- (九) 裝有受傷個體及葉的離心管內，約 63% 吸引同類前來，顯著高於僅有葉子的組別 ($p < 0.05$)。顯示幼蟲在排除視覺與隨機碰觸的前提，會被受傷個體氣味吸引前來捕食。

- (十) 後續同類相食的實驗中，2 齡幼蟲在無織網的狀態下，有將近 49%的比例被 4 齡幼蟲捕食；而有織網保護的情形下，2 齡幼蟲被捕食的比例僅有 10.3%。此結果暗示了 2 齡幼蟲利用織網來避免同類間的捕食。
- (十一) 2 齡幼蟲在無排泄物的組別，有將近 44%的幼蟲被捕食，而有排泄物的組別約為 11%。這說明了織網黏附的排泄物能有效抑制同類相食發生的可能
- (十二) 噴灑蘇力菌造成的受傷個體，會促進同類相食的發生。捕食被蘇力菌所感染的個體後，大菜螟幼蟲的致死率達 100%；而接著以第 2 代的蟲取食感染蟲第 1 代，也造成高達 90%的致死率，也確認是吃到體內的菌所造成，顯示同類相食會使蘇力菌傳播。

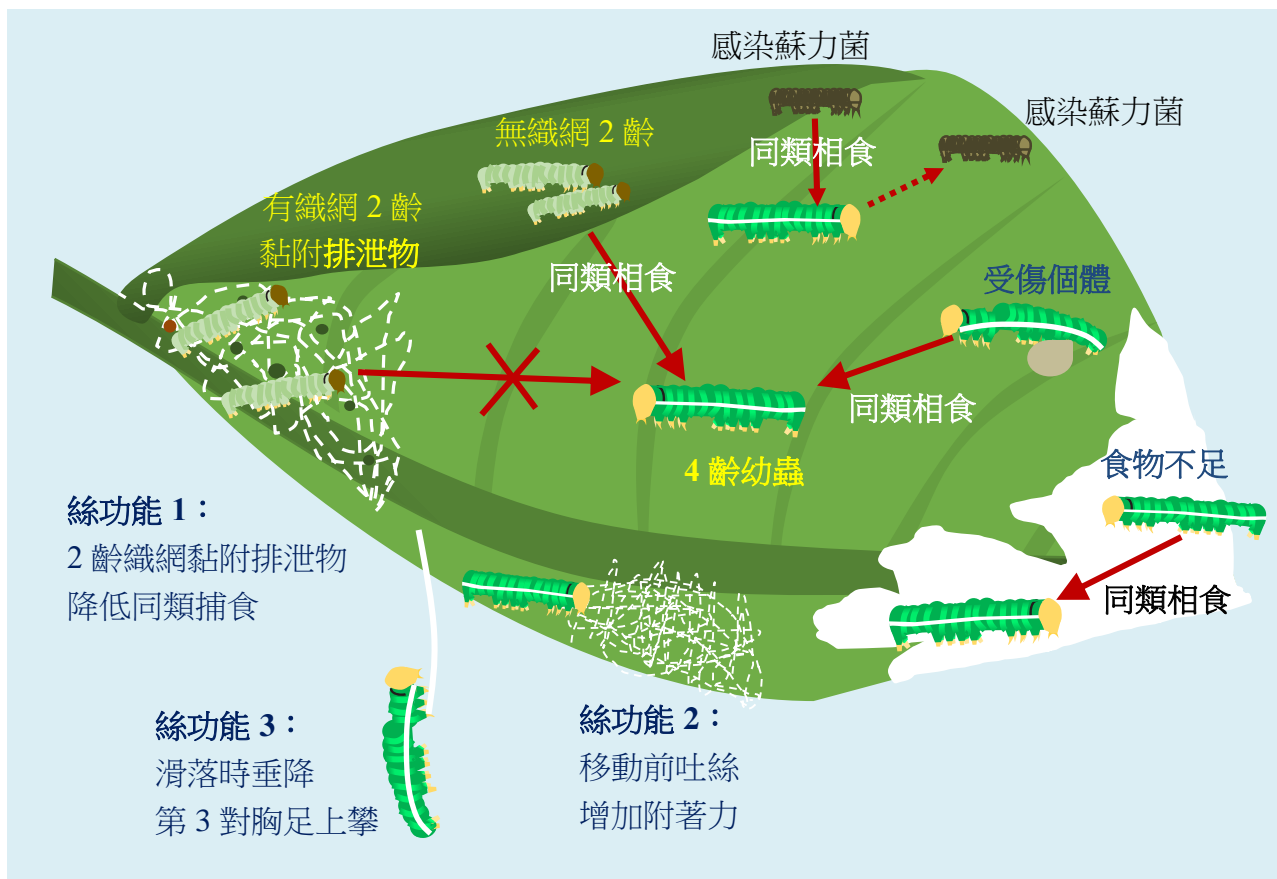


圖 53 大菜螟的吐絲功能及同類相食示意圖

玖、未來展望

這一系列的實驗中，我們窺見了菜蟲同類相食的一面，也試著建構吐絲與同類相食的關聯，但關於大菜螟的研究，也留下了更多的謎團待解決，將未來展望的部分整理如下：

一、換肉率？

研究過程中發現，捕食同類的幼蟲，似乎體型較為龐大。關於同類相食，我們的研究結果傾向汰弱留強策略，但換肉率較好的部分，也暗示著特殊營養需求，當獲得較多營養時，是否代表著能縮短生活史，甚至能產較多卵呢？

二、蘇力菌的應用

蘇力菌造成的幼蟲傷口，會引起同類進行捕食而將蘇力菌傳染擴散。由於陽光的紫外線造成蘇力菌的活性下降，因此微生物製劑常限制在陰天或黃昏。我們思考的是若將取食蘇力菌的蟲製成粉末，是否能利用同類相食傳播，且可避免紫外線的問題呢？

三、腸道菌與食性？

研究結果顯示，即使提供充足的食物，受傷的個體仍會被捕食(約 58%)，然而我們也發現有為數不少的個體，即使飢餓也不會捕食同類。分解纖維素與肉類養分的消化液並不相同，這會不會是捕食同類的個體，具有不一樣的菌相存在呢？

我們試著將培養皿內捕食同類及不捕食同類的個體進行分類，並分別以受傷同類及葉子進行餵食，再取得排泄物，以無菌水稀釋後(圖 54)，進行菌落比較，結果如圖 55。顯示捕食同類幼蟲的排泄物與只取食葉子的菌相分佈不同，不同的菌相是否暗示著食性上的差異呢？大菜螟的研究不是終點，而開啟了更多值得探討的議題，留待未來進行探討。

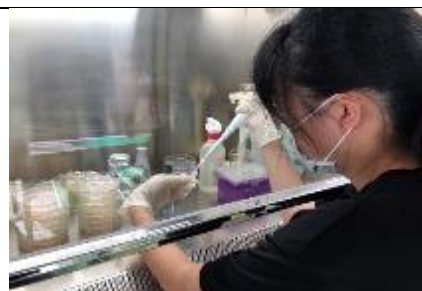


圖 54 無菌操作稀釋排泄物

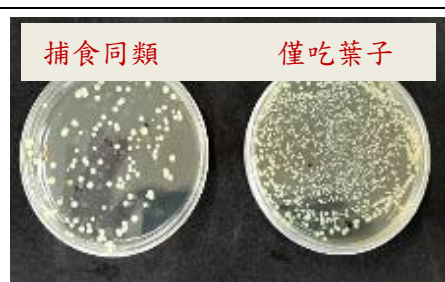


圖 55 排泄物培養出不同的菌相

拾、參考資料

1. 林秀貞(2012)。大菜螟之生命表與生物學探討。嘉大生物資源學系研究所學位論文。
2. 黃兆立(2015)。鱗翅目幼蟲的宿主專一性影響其腸道菌組成。成大生命科學系博碩士論文。
3. 何冠典(2012)。宅蟲－黑星弄蝶幼蟲築巢及相關行為探討。中華民國第 52 屆中小學科學展覽作品。
4. 蘇鈺婷(2006)。幼蟲競爭對四紋豆象成蟲體重的影響及其作用機制。台大昆蟲學研究所學位論文。
5. 何欣頤(2013)。無效卵及幼蟲密度對貓蚤同類相食之影響。台大昆蟲研究所學位論文。
6. 唐立正(2006)。鞘翅目、鱗翅目及雙翅目檢疫害蟲幼蟲之鑑定原則。植物重要防疫檢疫害蟲診斷鑑定研習會。
7. 楊正澤(2004)。鱗翅目幼蟲形態與檢疫。植物重要防疫檢疫害蟲診斷鑑定研習會。
8. 張煥英(2008)。十字花科作物重要害蟲之發生與防治。台南區農業專訊 66 期。
9. 蕭文鳳(1984)。大菜螟的生活史及習性。植保會刊 26
10. 姚美吉。外米綴蛾同類相食敘述。取自作物病蟲害與肥培管理技術資料。
11. 陳思竹(2019)。同類相食行為的新發現。2019 台灣國際科展作品
12. 大菜螟防治資料。取自作物病蟲害與肥培管理技術資料
13. 大菜螟成蟲資料。取自 <http://dearlep.tw/species.html?namecode=434311>
14. 大菜螟與蘇力菌防治資料。取自陳文雄，台南區農業改良場技術專刊 88-11 (No.97)。
15. 認識蘇力菌。取自有機農業全球資訊網，<https://info.organic.org.tw/6678/>。

拾壹、圖片出處

1. 本研究作品之照片，為三位作者拍攝。
2. 本研究作品之電腦繪圖，為第二、三作者繪製。

【評語】 030315

1. 研究主題：本研究探討大菜螟幼蟲的吐絲及同類相食行為，嘗試找出這兩者之間的關聯性。現有數據顯示發現食物不足或幼蟲受傷會引發同類相食，而幼蟲吐絲行為有助於移動及防止同類捕食。
2. 創意、學術或實用價值：本研究探討大菜螟的吐絲及同類相食行為，這兩個理論上不相關的行為，本研究學生想要找出之間的關聯性，是一個大膽的嘗試。研究發現食物不足或幼蟲受傷會引發同類相食，而吐絲行為有助於幼蟲移動及防止同類捕食。此外，若能通過觀察同類相食行為增加蘇力菌的散播能力，則可提高大菜螟的致死率，減少蔬菜損失。本研究詳細記錄大菜螟的吐絲行為和同類相食現象，提出利用同類相食特性來增加蘇力菌散播的可能性。此發現對於害蟲防治有應用價值。
3. 科學方法之適切性：研究設計多種實驗，包括野外觀察和實驗室實驗，進行相關的數據收集和統計分析。實驗設計基本合理，以下有幾點建議：1) 食物缺乏造成個體競爭現象之研究可透過更精準之儀器作行為調查；2) 不過就現有觀察數據無法直接推估吐

絲行為可以避免同類相食，除非針對被吃掉的幼蟲年齡及有無吐絲進行分類統計，或是進行介入型實驗設計，例如在觀察到吐絲後，創造受傷個體然後觀察絲結構是否可以預防被同類相食；3) 如果排泄物與受傷幼蟲同時在一起(或是萃取其成分)，是否可以減少同類相食的現象？4) 可以分析比較二齡及四齡幼蟲排泄物的差異在那裡。

4. 展示及表達能力：報告挺紀錄清楚，內容條列清楚。討論部分為實驗結果的延伸，比較缺乏與其他相關研究的比較。建議引用更多相關文獻，以增加討論的深度和廣度。

作品簡報

飢不擇食嗎？

~探討**大菜螟**的吐絲及同類相食行為



◎摘要

菜園發現的菜蟲，竟出現同類相食。大菜螟(*Crocidolomia binotalis*)為台灣常見害蟲，具吐絲能力。由幼蟲的型態及取食行為，可分為 1~2 齡及 3~5 齡兩個階段。1~2 齡幼蟲偏好在下表皮的葉基部吐絲織網(69%)，並於其中啃食葉肉，3 齡後幼蟲同樣在下表皮啃食葉肉但不會織網。幼蟲移動前，會先吐絲至葉面，由胸足的爪鉤住絲後再前進，減少掉落可能。一旦掉落，多數幼蟲會利用第 3 對胸足繞絲上攀。大菜螟幼蟲在食物不足時易發生同類相食(58.3%)，食物不足下有受傷個體時，被捕食率大幅增加至 92%。實驗顯示即使食物充足，受傷個體可能透過氣味，導致被捕食機率大增。體型小的 2 齡幼蟲利用織網及排泄物來減少同類的捕食。在應用上，利用同類相食特性，能增加蘇力菌散播能力，造成高致死率。

壹、研究動機



圖 1 校園菜葉基部的菜蟲

學校苗圃的高麗菜發現菜蟲，出現了十字花科重要害蟲~大菜螟。我們原本想進一步探討觀察到的幼蟲有明顯的吐絲行為，但飼養中卻不小心壓傷菜蟲，竟然看到大菜螟同類相食，讓吃菜的蟲轉素為肉的原因難道是飢不擇食嗎？我們也看到小蟲會躲在織網內生活，像在防禦敵人，是不是應對同類相食的策略？吐絲和同類相食看似兩個毫不相關的行為，是不是有著特別的關聯，都等著我們去發掘，以下是我們的研究。

貳、研究目的

- 一、觀察大菜螟幼蟲的各齡期型態
- 二、探討不同齡期幼蟲的取食及吐絲行為
- 三、探討幼蟲發生同類相食的可能原因
- 四、探討 2 齡幼蟲在同類相食下的生存策略
- 五、探討蘇力菌在同類相食的傳播



圖 2 吐絲織網的 2 齡幼蟲



圖 3 菜蟲，不是只吃菜？

參、研究器材設備



圖 4 高麗菜圃吸引產卵



圖 5 室內環境飼養幼蟲



圖 6 飼養盒及培養皿飼養



圖 7 以培養皿進行實驗

肆、研究過程及方法

大菜螟，台灣農業害蟲，危害十字花科作物。吐絲織網是大菜螟的重要習性。

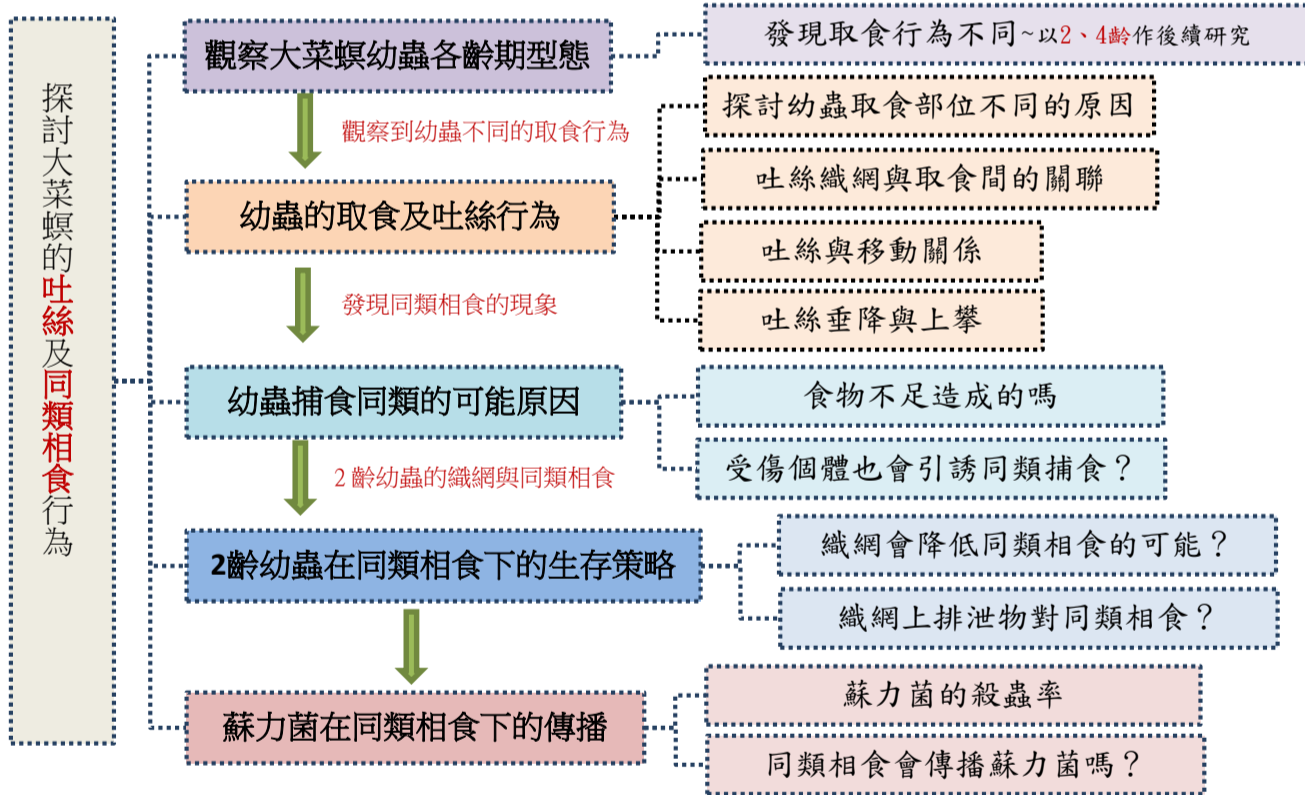


圖 8 電子目鏡進行觀察



圖 9 固定下拉，吐絲上攀



圖 10 氣味引起同類相食？

伍、研究結果

一、觀察大菜螟幼蟲的各齡期型態

大菜螟(*Crocidolomia binotalis*)：昆蟲綱 – 鱗翅目 – 草螟科 – *Crocidolomia* 屬 – 大菜螟

卵塊	一齡	二齡
 淡黃色，長 0.51±0.06cm	 頭黑色，長：0.137±0.01 cm	 頭黑色，長 0.45±0.12 cm
三齡	四齡	五齡
 頭橘色，長 1.12±0.13 cm	 頭橘色，長 1.58±0.14 cm	 頭橘色，長 1.98±0.08 cm



魚鱗狀卵塊

一齡幼蟲

二齡幼蟲

三齡幼蟲

四齡幼蟲

五齡幼蟲

二、探討不同齡期幼蟲的取食及吐絲行為

(一) 幼蟲的取食行為

大菜螟幼蟲在取食行為，大致分 2 個階段，1~2 齡、3~5 齡。接著，我們以 2 齡及 4 齡作為不同階段的代表，進行討論

1. 取食部位的差異

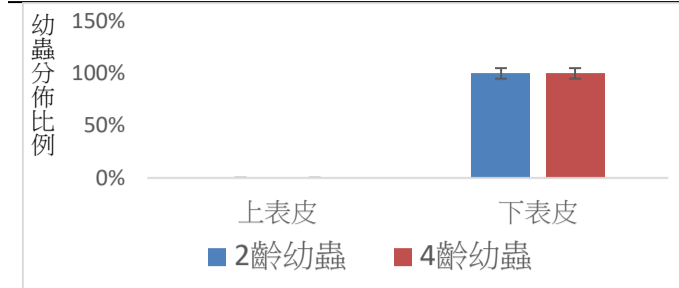


圖 11 不同齡期幼蟲在葉上下表皮分佈區域

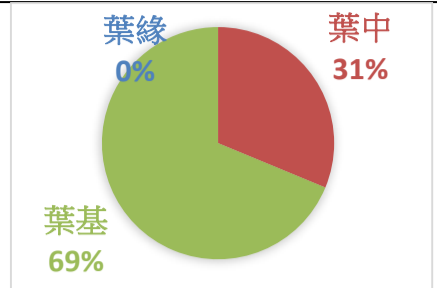


圖 12 2 齡幼蟲在葉子分佈區域

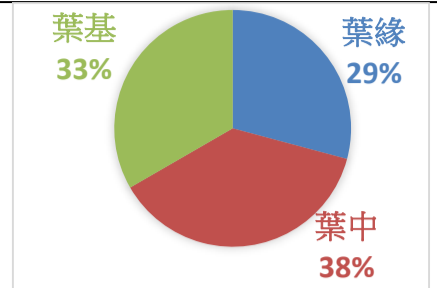


圖 13 4 齡幼蟲在葉子分佈區域



圖 14 2 齡多集中於葉基部

2 齡或 4 齡的幼蟲，皆分佈於下表皮，而在葉子分佈則不同，2 齡集中在葉子基部啃食，而 4 齡則在葉子的各區域啃食。

2. 取食部位不同的可能原因

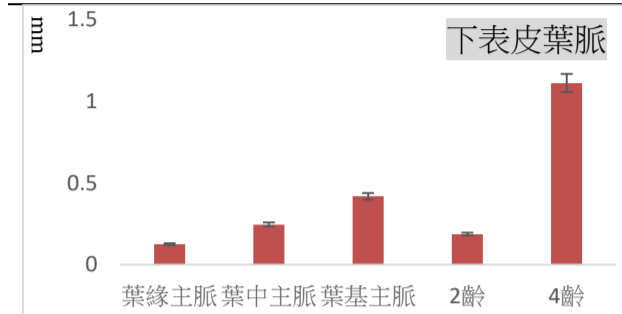


圖 15a 下表皮的葉脈高度與幼蟲身高比較

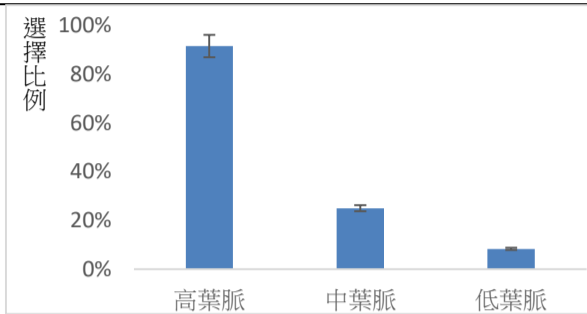


圖 15a 2 齡幼蟲選擇不同高度葉基葉脈比

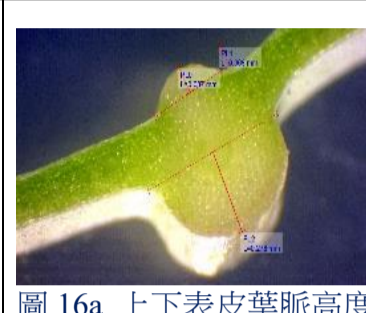


圖 16a 上下表皮葉脈高度



圖 16b 葉基葉脈較高組

下表皮 2 齡身高顯著低於葉基主脈 ($p < 0.05$)，且約有 92% 的 2 齡幼蟲，選擇比身高高的葉基葉脈處取食。

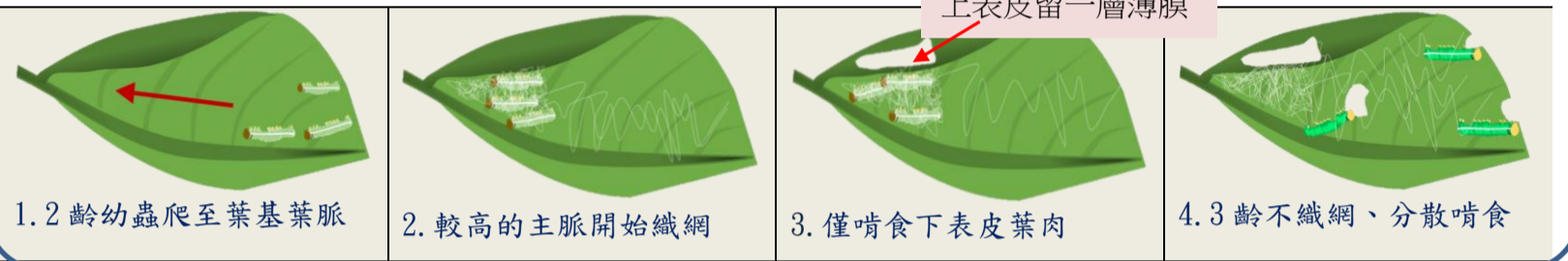
(二) 幼蟲的吐絲行為

1. 絲從哪裡來？



圖 17 口器下的吐絲管

2. 吐絲與取食~ 2 齡幼蟲吐絲取食流程示意圖



3. 吐絲與移動~ 先吐絲再移動，自帶軌道



圖 18 幼蟲於新環境下，會左、右甩頭吐絲佈滿葉面

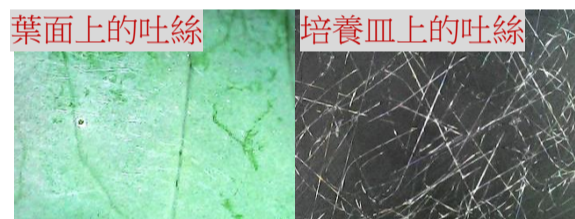


圖 19 幼蟲於新環境下的吐絲

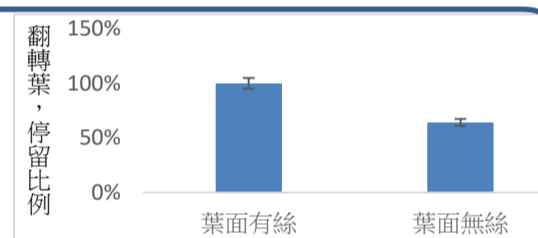


圖 20 葉面絲對幼蟲附著能力影響

4. 吐絲與移動~ 如何勾住絲？



圖 21 前後足的側面比較



圖 22 爪狀胸足鉤住絲

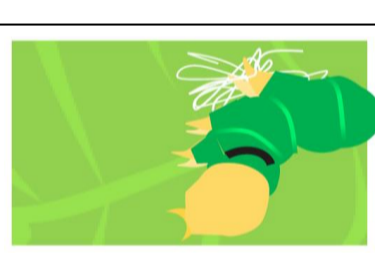


圖 23 爪狀足鉤絲示意圖



圖 24 震動時，以胸足勾住絲，再以腹足吸住表面



5. 吐絲與移動~ 垂降與上攀



圖 25 幼蟲滑落，吐絲垂降後的上攀過程

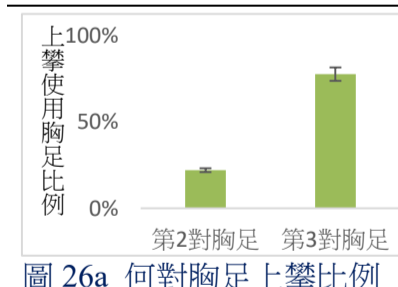


圖 26a 何對胸足上攀比例



圖 26 第 3 對胸足纏繞絲

三、探討幼蟲發生同類相食的可能原因

大菜螟是著名的菜蟲，飼養中無意間發現的同類相食現象。究竟這是偶然或是大菜螟不為人知的習性呢？這個部份，我們針對可能發生的原因進行討論。

(一) 食物不足造成的嗎？

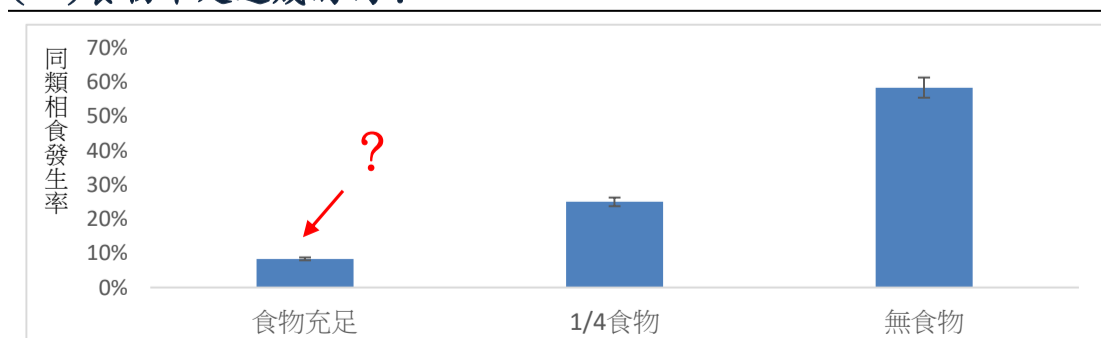


圖 27 供應不同數量食物，對同類相食發生率的影響



圖 28 食物缺乏與否，有不同程度的同類相食比率



無食物的組別，同類相食發生率高達 58.33%。食物不足的情況下，生物為了生存確實有可能會轉變食性，但在充分供應食物的組別，卻也發生了同類相食的情形(8.33%)，除了食物以外，同類相食的發生，還有其它因素嗎？

(二)受傷與同類相食間的關聯

上個實驗出現食物充足仍同類相食，我們大膽的推測，是不是幼蟲有受傷或生病，因而發生呢？

1. 缺乏食物下，受傷個體被同類捕食嗎？ 2. 食物充足，受傷個體還會被同類捕食嗎？

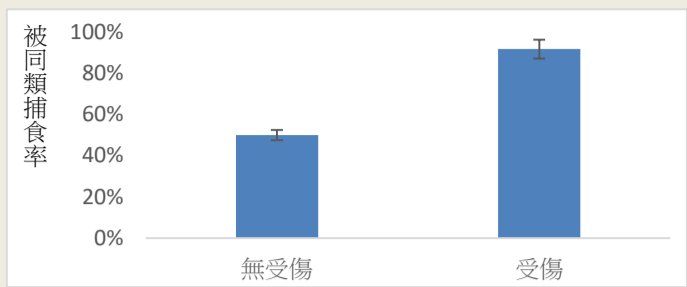


圖 29 缺乏食物，受傷個體的被同類捕食率



圖 30 食物充足，受傷個體的被同類捕食率



圖 31 缺乏食物，受傷個體更易被同類捕食

在食物充足下，受傷個體被同類捕食率為無受傷的 11.6 倍。受傷個體會誘引同類前來捕食嗎？

3. 探討受傷個體，引起同類前來的原因

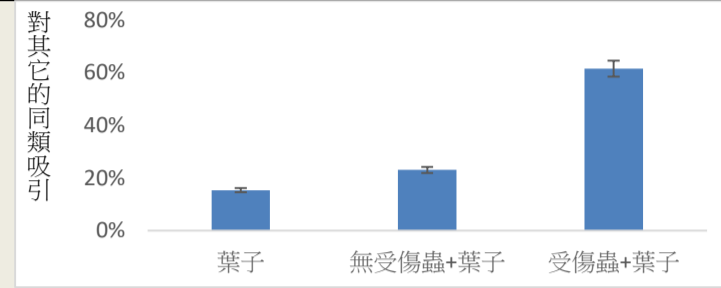


圖 32 受傷蟲引起同類前來的比例



圖 33a 受傷蟲誘引率高



圖 33b 體液具誘引性

受傷產生體液氣味、甚至濾紙上沾有體液的區域也誘引同類啃食，顯示受傷個體確實具發生同類相食可能。

四、探討 2 齡幼蟲在同類相食下的生存策略

本質上存在同類相食的菜蟲，體型較小的 2 齡幼蟲會有什麼樣的生存策略因應呢？

(一) 4 齡會捕食 2 齡嗎？ (二) 織網與同類捕食的關聯 (三) 排泄物與同類捕食的關聯

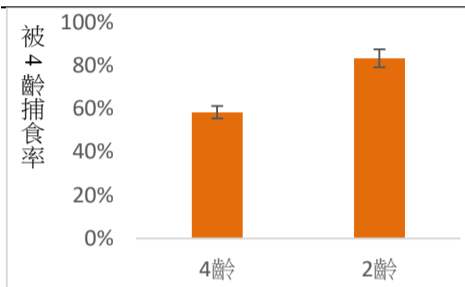


圖 34a 缺乏食物，被 4 齡捕食率

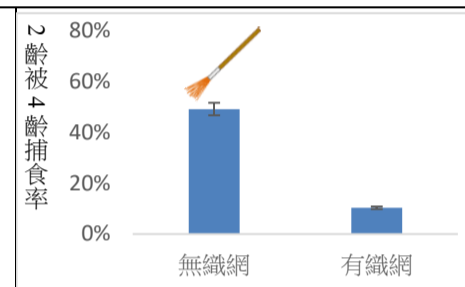


圖 34b 2 齡被 4 齡捕食的比例

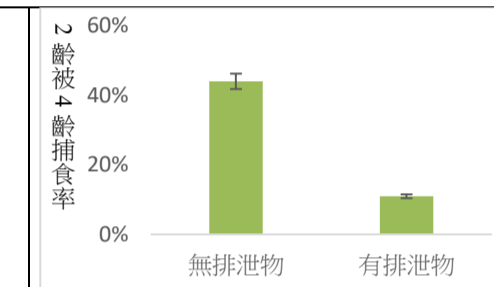


圖 34c 2 齡幼蟲被同類捕食比例



圖 34d 織網上排泄物，抑制同類相食

織網及黏附的排泄物，扮演了 2 齡幼蟲在生存上，避免被較大幼蟲捕食的重要角色。

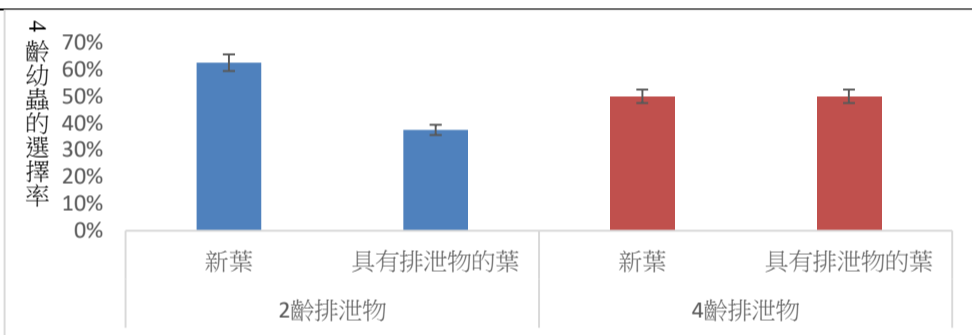


圖 34e 有無排泄物對 4 齡幼蟲的選擇影響



圖 34f 排泄物降低同類相食

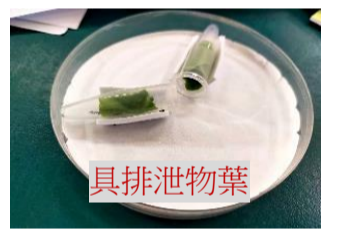


圖 34g 4 齡偏好新葉

五、探討蘇力菌在同類相食間的傳播

(一) 蘇力菌對大菜螟的殺蟲率

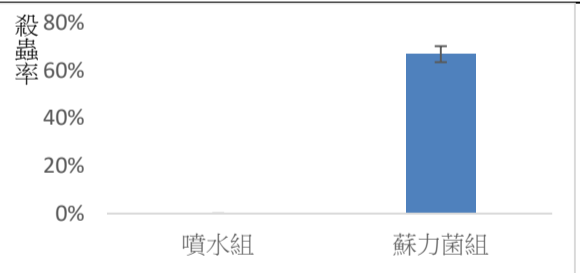


圖 35a 蘇力菌對大菜螟的殺蟲率

(二) 蘇力菌在同類相食間的傳播

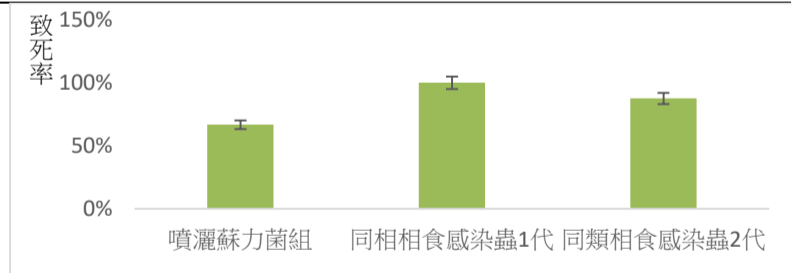


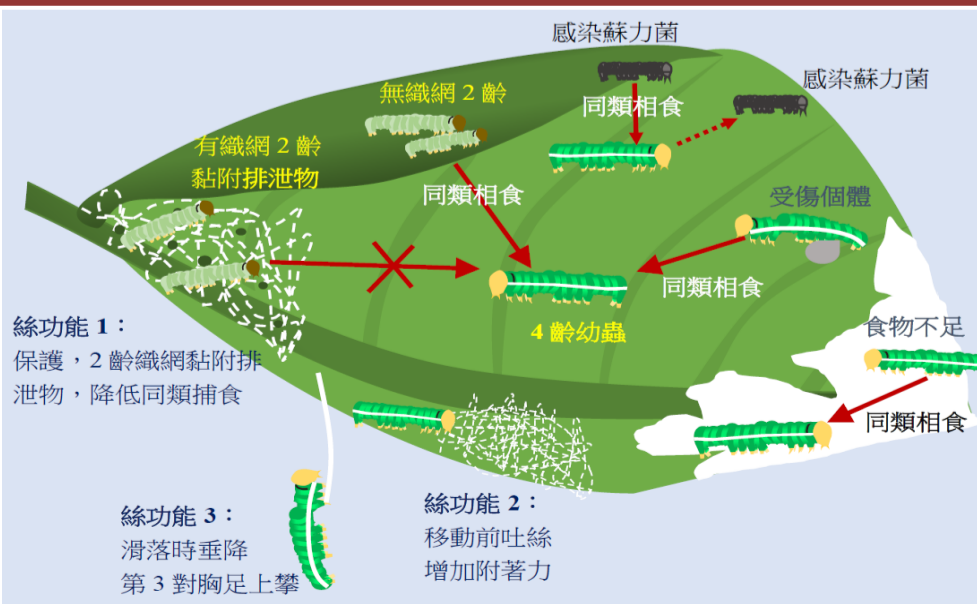
圖 35b 蘇力菌在直接噴灑與同類相食間造成致死的比較



圖 35c 捕食含蘇力菌的幼蟲

蘇力菌為生物製劑，同類相食的確會使蘇力菌傳播，這也造成高致死率(接近 100%)。

陸、討論與結論



令農夫感到頭痛的害蟲~大菜螟，相關研究多偏向防治方式。觀察過程，意外發現大菜螟不為人知的一面。除了觀察到同類相食的發生，也進一步了解大菜螟體型較小的幼蟲如何避免被同類捕食。飢不擇食嗎？但食物充足下的同類捕食，顯示受傷個體對同種的誘引捕食現象，這暗示了族群演化上可能的汰弱留強策略，這也提供生物製劑~蘇力菌的傳播防治可能。吐絲的不同功能，與同類相食間的巧妙關係，讓我們對於「菜蟲」有了更多的了解。

柒、參考資料及其它

- 林秀貞(2012)。大菜螟之生命表與生物學探討。生物資源學系研究所學位論文。
- 大菜螟防治資料。取自作物病蟲害與肥培管理技術資料
- 張煥英(2008)。十字花科作物重要害蟲之發生與防治。台南區農業專訊 66 期。 註：本研究作品之照片皆為作者拍攝