

## 後記

## 豐年蝦也喝Qoo?

翻滾不敗 豐年蝦到底吃什麼

豐年蝦又叫鹹蟲子，魚苗蝦苗的主要食物來源，一種卵小得看不到的節肢動物。他們愛吃什麼到底關我們什麼事？臺南海事水產養殖科的學生黃毓惠、徐巍埕、杜愷峰、陳昱憲是這樣說的：「人類吃肉，但肉也是須靠人養成，如何養得肥美飽滿，人類也才能吃到肉。豐年蝦也是一樣，如何有良好的豐年蝦餵食魚類，也是必須培育。」研究團隊以關心食物鏈底層的務實心情，研究豐年蝦的攝食情形，並有了意想不到的發現。

首先，要先將豐年蝦孵化。豐年蝦是一愛翻滾的生物，如果沒在海水中打氣讓他們搖滾，他們絕不孵卵。遇到天氣不好，再怎麼翻滾，頂多生出個頭沒多久就嗚呼哀哉。卵孵化之後，得用虹吸法把殼和死卵分離，否則水質差，還是不免上天堂；經過同學們長期捶胸頓足、一孵再孵才熬成婆。

前人研究發現，豐年蝦是一種吃藻類也吃菌類的濾食動物，組員們先從這2類著手，拿5種東西來餵豐年蝦：一、沒餵，好殘忍；二、餵綠色扁藻；三、餵黃褐色等鞭金藻；四、餵麵包酵母菌；五、餵可愛乳酸飲料Qoo。

餵乳酸飲料Qoo？黃毓惠同學誠懇地說：「的確從沒人想過可以這樣做，但豐年蝦可以吃乳酸菌，市售乳酸飲料非常容易取得、乳酸菌也有一定的存活率，可能可以幫養殖的人找更易取得的餌料。」看似異想天開其實有根據。

從繁瑣細節邁向美好成果

豐年蝦、餌料培育後，5組豐年蝦重複實作2次，每杯100隻蝦，每天餵0.1 c.c.餌料，連續觀察14天。過程當中，細節是王道。藻類餌料的培育不容易，調配好不同的培養液外、得使用無菌操作台、雙手消毒，否則其他生物魚目混珠影響準確度。餌料培養好後，需用超細pipette吸管從培養液吸出超小量，再把藻類用酒精灌醉不動，才操作血球計數器計算一隻隻藻類數量，吸管不能重複、格子盤不能碰，實驗中每1 c.c.的培養液中約有超過1000多隻的藻類，需要極大的耐心在顯微鏡下統計。粗枝大葉的男同學們常常望天哀嚎：「為什麼這麼麻煩！為什麼這麼麻煩！」但為了這個實驗，不得已個個變得輕手輕腳，一點一滴小心計較，好奇心真會殺死一隻貓。

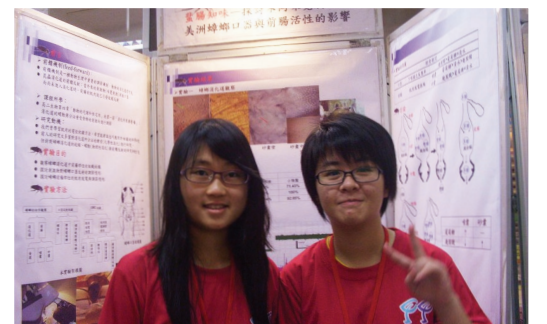
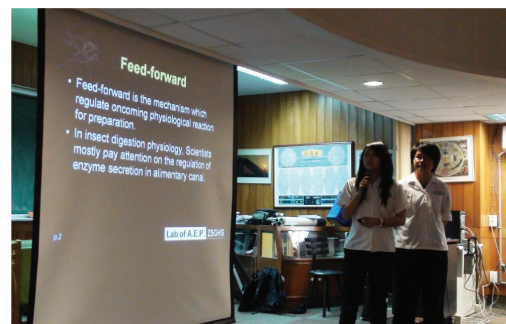
豐年蝦很像小寶寶，孵化完成得馬上處理，他們可不管你是不是在上課、有沒有在午休、有沒有在考試。同學們每每為了豐年蝦重要時刻趕到現場，得跟老師們請假、還撐著升學的壓力；不過他們應變力強，忙碌時把豐年蝦全體冷凍以確保體長，等有空再處理，在老師不斷鼓勵下，總算讓實驗順利完成。

實驗結果Cute得不得了，被餵食扁藻的豐年蝦，體長大30  $\mu\text{m}$ ，被餵食乳酸飲料的大約20  $\mu\text{m}$ ，生命力旺盛，被餵食等鞭金藻的約10  $\mu\text{m}$ 。原來乳酸飲料也能培育豐年蝦。解答了自己的好奇心外，對想培育豐年蝦的人也有了便利的建議，真像他們自己說的：「一兼二顧。」

3-4

生 物

科學小論文



## 探討美洲蟑螂(Periplaneta americana) 消化道前腸肌肉的調節機制

臺北市立中山女子高級中學  
何孟霓、李忻



## 探討美洲蟑螂 (*Periplaneta americana*) 消化道前腸肌肉的調節機制

本研究欲以餵食不同種類的味覺刺激作為實驗因子，記錄與觀察美洲蟑螂前腸肌肉的調節機制。透過分析紀錄嗦囊及砂囊的肌肉電位圖(electromyography, EMG)，觀察放電波形的種類與節律性，並比較放電振幅（強度）以及放電週期（時距）。我們觀察到蟑螂的消化道由橫紋肌所構成，有別於人類消化道為主要由平滑肌所構成。由EMG的紀錄得知，餵食葡萄糖溶液時，可增加蟑螂嗦囊肌肉的放電幅度；而餵食味精（麩胺酸）溶液時，可增加砂囊肌肉放電幅度，推論葡萄糖與麩胺酸各可引發嗦囊與砂囊肌肉的收縮活動，此作用為前饋作用，就是在生理反應發生前的準備作用；若以清水清洗口器時，亦會引發前腸肌肉的放電行為，推測為清洗口器時引發吞嚥反射所致。此外，未來我們已規劃繼續探討蟑螂口器的吞食反射等相關現象。

### A 研究動機

「前饋(feed-forward)」機制是一種動物生理中重要的調節機制(Berthoud, 2008)，動物的消化道亦可見(Giduck, et al., 1986)，其中包含昆蟲的消化道(Wu, 2010)。昆蟲消化道的前饋反射，其中一例為：當外來的刺激物(味覺刺激)刺激口器而尚未進入消化道時，前腸的肌肉就已引發收縮反射。但前人的研究大多僅對消化道所分泌的酵素進行研究(Bignell, 1981)，也就是化學性消化，但針對蟑螂消化道的前饋反射卻闕如，也就是物理性消化，因此本研究擬以此為題，進行探討。

我們曾經在中國醫藥大學的實驗室學習實驗方法，該實驗室專以果蠅作為模式生物，進行藥物作用方面的研究。在各種實驗方法中，肌肉放電的紀錄方法引發了我們很大的興趣，希望能將所學的技巧，應用於相關的科學研究，因此我們選用了日常中常見美洲蟑螂做為實驗動物，應用所學方法，研究美洲蟑螂前腸肌肉的調節機制。

我們以蟑螂作為我們的實驗動物，是因為它具備了許多模式生物的條件，如：數量多、易取得、成本低、易安置、生命力強等。而在眾多的蟑螂品種中，我們選擇以美洲蟑螂(*Periplaneta americana*)作為我們的實驗材料，因為牠的體型大而易操作。

蟑螂的消化道分為前腸(fore-gut)、中腸(mid-gut)、後腸(hind-gut)(Bignell, D. E. 1981)（圖1）。前腸的主要功能是取入、貯存、磨碎食物，將食物傳送到下一個區域進行物理消化。前腸分為一口器(mouthpart)、食道(oesophagus)、嗦囊(crop)、砂囊(gizzard)；食道兩側的唾腺可分泌液體與酵素，可潤滑、分解食物；嗦囊具儲存食物的功能；砂囊俗稱前胃，內襯含有六顆幾丁質化的牙齒，以利磨碎食物。

中腸是消化作用主要進行的場所，大部分的消化酶於此發生作用，消化產物亦在此吸收。中腸包含胃盲囊(caeca)、圍食囊、幽門瓣模等；其中圍食囊是由幾丁質纖維等物質組成，可保護消化細胞；而幽門瓣膜位於中腸與後腸間，可調節物質的移動。後腸的功能為吸收水分、鹽類及其他分子，以便濃縮糞便。後腸包含迴腸、結腸(colon)、直腸(rectum)、馬氏管(Malpighian tubules)、直腸墊等，前三者的功能主要為吸收水分及鹽類，馬氏管為排泄器官，從血液腔中移除含氮廢物；直腸墊為幫助水分在吸收的速率。

由上述介紹可知，昆蟲的消化道中，前腸的角色為儲存與磨碎食物，以調節、協助中腸的化學消化，因此前腸壁的肌肉活性，應可因應內、外因子的變化而調節其活性。希望透過本研究，證明前腸的前饋作用與其性質。

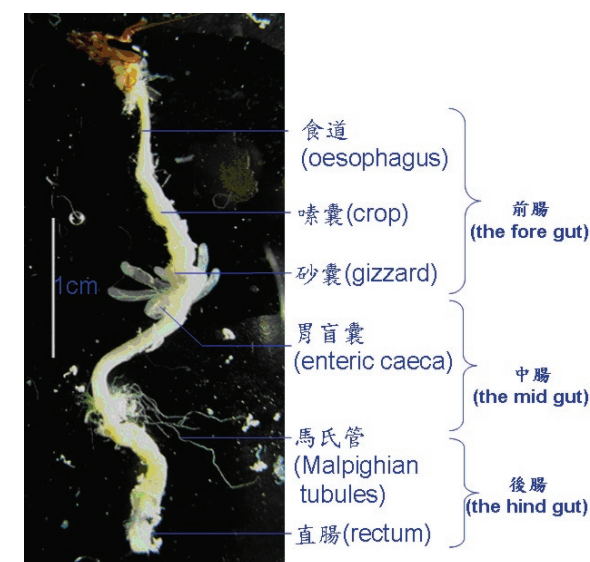


圖1 蟑螂的消化道分為前腸(fore-gut)、中腸(mid-gut)、後腸(hind-gut)。

### B 研究目的

本研究欲探討以下問題：

- 一、觀察蟑螂消化道中前腸部位的組織結構。
- 二、探討蟑螂消化道中前腸部位的肌肉放電情形。
- 三、探討蟑螂消化道中前腸部位的肌肉調節機制。

C 研究設備與器材

一、研究器材與設備（表1）：

編號	名稱	型號或規格	備註
1	解剖顯微鏡	Primo Star	ZEISS
2	照相機	Super Steady Shot DR-SR11	Sony
3	載玻片、蓋玻片	解剖刀(小剪)、鑷子	黏土
4	解剖器材		保鮮膜
5	生理訊號記錄儀	PowerLab 26T	ADInstrument(USA)
6	Glutamate solution	C%:100%	味全
7	Glucose solution	C%:100%	島久藥品株式會社
8	蟲針	1盒 x 100根	00號
9	棉花棒	1盒 x 100根	
10	蟑螂屋貼紙	1包 x 10張	
11	黏土、保鮮膜等		
12	高速攝影機	最高可拍攝1200fps	CASIO EXILIM PRO EX-F1

二、實驗動物：

美洲蟑螂(*Periplaneta americana*)飼養於室內昆蟲箱，為本校自行飼養繁殖。飼養之環境溫度約25~28℃，定期換水、提供充足飼料。進行第二部分實驗所使用之蟑螂，於實驗前一星期停止提供飼料或水。實驗的進行皆以色澤明亮、身體外表無破損之雄性成蟲作為實驗動物，以避免母蟲生殖週期或攜夾卵鞘的干擾。實驗過的動物不再進行實驗。

三、研究架構：

本研究分為三個部分（圖2）：第一部份是「蟑螂消化道組織的觀察」，除了對蟑螂整個消化道進行觀察外，也針對前腸（嗦囊及砂囊）的組織進行觀察。本研究的第二部分為「蟑螂前腸的EMG記錄」，記錄前腸肌肉的放電性質與調節情形，以比較肌肉電位的波形及結律性，並以清水、葡萄糖水溶液、麩胺酸水溶液（味精）等物質刺激口器，探討其對前腸肌肉活動的調節作用。最後一部分為在做完前二部分實驗後的延伸，我們利用高速攝影機記錄了餵食蟑螂期間，其口器的運動行為，以觀察口器的反射作用。

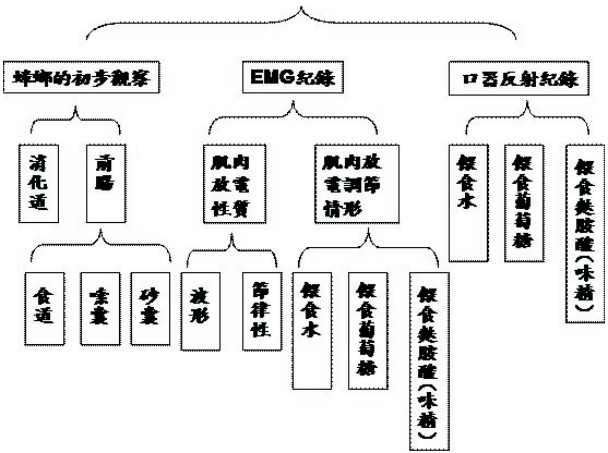


圖2 本研究的實驗架構示意圖

D 研究步驟與方法

一、蟑螂消化道器官與組織的觀察

利用二氧化碳麻醉法，將美洲蜚蠊麻醉後置於培養皿內，用小剪剪去其六肢及翅膀，再從蟲體背部兩側解剖出兩道傷口，此步驟須小心以免傷到內部消化器官，影響觀察。再來以鑷子小心撕下背部的骨板，此時已完成解剖，最後只需要再將蓋住器官的脂肪體輕輕剝除，以便進行體內器官的觀察。

進一步觀察消化道的組織時，可以鑷子取出各種前腸組織，置於在載玻片上以鑷子進行分離，再於顯微鏡下進行觀察以及記錄，以比較食道、嗦囊、砂囊腸壁的組織型態，操作過程亦分離蟲體胸部的飛行肌進行觀察，並與消化道組織進行對照。

二、蟑螂的EMG記錄

利用貼紙將蟑螂黏貼固定，並將其固定在培養皿的背部（圖3a），將黏土摺成「U」支持蟑螂頭部使口器露出，以方便餵食，並以另一培養皿置於蟑螂口器下方，作為承裝實驗溶液刺激口器後流入的容器。再由蟑螂背部中央進行解剖，將一號蟲針（大小為00號蟲針）插入蟑螂的嗦囊壁，將二號蟲針插入蟑螂的砂囊壁，另將一導線插於蟑螂的腹部，作為參考電極（圖3b）。由於每次的解剖時間歷時約五十分，為了使蟑螂消化道組織不乾涸脫水，將保鮮膜覆蓋解剖處，可保持濕潤。

本研究利用生理訊號紀錄儀(Power Lab，ADInstrument, USA)，進行肌肉電位圖(EMG, Electromyography)的記錄。此方法可放大生理電訊號，並記錄肌肉的放電情形。本研究記錄以下狀態與各溶液刺激時，前腸的肌肉電位：



#### 1. 記錄以下狀態時的EMG：

- (1) 一般情形：紀錄5分鐘。
- (2) 餵食溶液期間：每次餵食時間約8~10秒。
- (3) 餵食後：紀錄10分鐘。
- (4) 清洗期間：紀錄20秒。
- (5) 清洗後：紀錄10分鐘。

#### 2. 記錄以下溶液刺激口器時的EMG：

- (1) 清水。
- (2) 葡萄糖水溶液(glucose solution)：飽和溶液。
- (3) 麩胺酸水溶液(glutamate solution)：飽和溶液。



(a)固定蟲體的照片

(b)紀錄電極(蟲針)的紀錄位置

圖3 記錄前腸壁肌肉的EMG時，實驗動物的處理方式。

### 三、量化方法

將所記錄的肌肉電位圖(圖4)，計算嚙囊與砂囊在味覺刺激前、中、後時，電位變化的震幅(mV)，最後經計算與統計，以比較肌肉活性的變化。

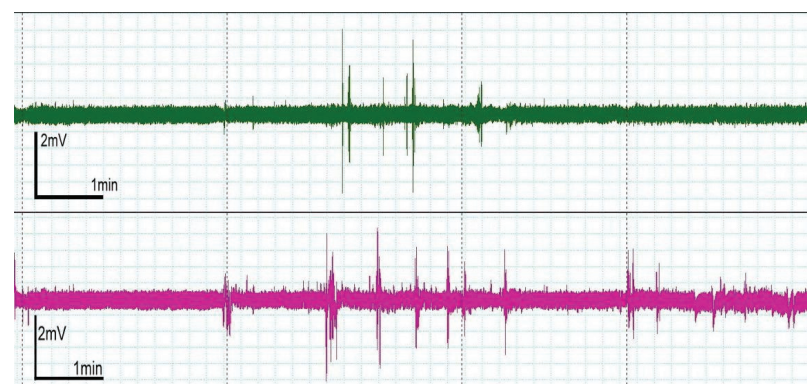


圖4 蟑螂消化道肌肉電位圖(EMG)

### 四、口器(圖5)反射紀錄

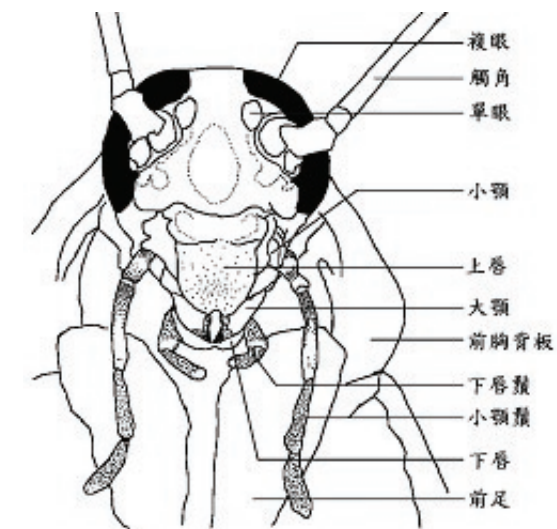


圖5 蟑螂口器結構圖

將一平板狀的木製棍一端塗抹凡士林，並固定於一顯微鏡載物台上(圖6)。將蟑螂與高速攝影機架設於解剖顯微鏡旁，再依蟑螂口器位置調整攝影機焦距，並開始攝影(1200 fps)。於塗抹凡士林的木棍上滴上一滴溶液，隨後透過控制載物台的高度，使蟑螂口器輕觸該溶液，並觀察其口器的反射行為。最後分析所記錄之影片。



(a)實驗裝置架設圖



(b)口器反射觀察照片

圖6 口器反射行為的觀察

## E 結論

- 一、蟑螂消化道的肌肉皆為橫紋肌。食道壁較薄，內襯有剛毛結構，可協助食物向後移動；砂囊壁較厚，富含肌肉，內襯具幾丁質化的內壁與齒，具磨碎食物的功能。
- 二、餵食葡萄糖液時，蟑螂的嚙囊肌肉放電幅度增加，推測葡萄糖液可引發嚙囊肌肉的收縮活動。
- 三、餵食味精(麩胺酸)時，蟑螂的砂囊肌肉放電幅度增加，推測麩胺酸可引發砂囊肌肉的收縮活動。
- 四、以清水、麩胺酸、葡萄糖此三口器時，發現口器對麩胺酸有較明顯的反應。



## 後記

### 蟑螂先生，您挑嘴嗎？

為了知道小昆蟲活的時候腸胃如何運作，中山女中學生何孟霓、李忻近距離觀察，運用生物放電，以解剖方式插針進入蟑螂消化道，連接電極，用電流瞭解消化道不同部位放電波形，觀察蟑螂消化道的中前腸部位構造、瞭解肌肉放電情形和探討肌肉調節機制，發現蟑螂消化道的肌肉與人類的平滑肌不同，食道內有剛毛可協助食物向後移動，前胃砂囊壁較厚有齒，具磨碎食物的功能；餵食葡萄糖和麩胺酸，則肌肉放電大不相同，難道蟑螂挑嘴？

#### 與蟑螂的邂逅

勇氣是從已知到未知，從熟悉到陌生、從安逸到勞頓。不敢說是蟑螂有勇氣還是同學，但一個是注定悲劇的宿命，一個是冒著惡心的危險，兩者都頗令人欽佩。

沒見過那麼精密的殺蟑動作：「利用二氧化碳麻醉法，將美洲蜚蠊（蟑螂）麻醉後置於培養皿內，用小剪刀去其六肢及翅膀，再從蟲體背部兩側解剖出兩道傷口……再來以鑷子小心撕下背部的骨板，此時已完成解剖，最後只需要再將蓋住器官的脂肪體輕輕剝除，以便進行體內器官的觀察。」再加上插針研究，至少50隻以上蟑螂壯烈犧牲。

筆者驚恐地問：「當初是妳自願加入蟑螂組的嗎？」何同學抿著嘴笑說：「越怕就越想試試看。」筆者：「教教我如何活捉蟑螂！」李同學熟練地解釋：「只要用長鑷子夾住蟑螂胸腹，拿著放到蟑螂屋上，黏住他的腳，就可以了。」但蟑螂還是偶而跑出昆蟲箱亂竄，實驗室裡大家一起抓小強，如果真得不行只好用踩的解決問題。有次一位同學的蟑螂逃跑，她怕一整天的實驗報銷，心一橫徒手活抓蟑螂，獲得同學們一致敬佩，這位同學後來抓出名聲，只要哪組蟑螂潛逃就高聲呼叫她的名字。

#### 蟑螂您挑嘴嗎？

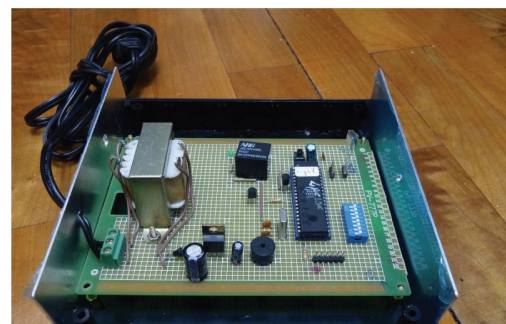
2人研究小組解釋，此實驗是觀測食物放在蟑螂口器時，消化道的預備反射放電反應。生物肌肉放電很難偵測，當初花了整個七月不斷插針，才找到消化道的放電部位。用EMG做電流測試時，所有手機、電燈、音響和電子設備都得關機，人也不能靠近，因生物電很微弱，波形非常容易受干擾，最後終於找到消化道波形模式，如果波形不合，表示有外力干擾而非蟑螂本身放電。蟑螂插針完後還可以繼續走來走去，過一陣子才會死亡。

過程中，研究小組說最有趣的莫過於觀察「肌肉電位圖」，因為波形頗具形式美且有重要存在價值，用以比對自己的假說和研究結果；兩位宣稱過程使自己的耐性急遽地增加，因為插針很難插中放電部位，插中了還可能會跑掉，而且「失之毫釐、差之千里」，所以每張電位圖都彌足珍貴。

放電結果大不同，餵食葡萄糖液時，蟑螂的嗦囊（儲存食物）肌肉放電幅度增加，推測單糖不再需要儲存與透過澱粉酶進行分解，因此肌肉收縮，將葡萄糖擠向砂囊。餵食味精（麩胺酸）時，蟑螂的砂囊肌肉放電幅度增加，推測麩胺酸為蛋白質的一種次單位，引發砂囊肌肉做收縮活動。因應攝食種類不同，蟑螂腸胃即將展開不同的消化活動，才引發不同的放電反應。

## 4-1 機 電

實 作 作 品



## 綠色小幫手自走盆栽

臺北市立內湖高級工業職業學校  
盧士凱、顧達昀、謝坪錡、郭威賢