

2012 年臺灣國際科學展覽會

優勝作品專輯

編號：050014

作品名稱

蜚腸知味

-探討不同味覺刺激對美洲蟑螂口器及前腸活性的影響

得獎獎項

大會獎：二等獎

作者姓名：何孟霓、李忻

就讀學校：臺北市立中山女子高級中學

指導教師：蔡任圃

關鍵字：蟑螂、前饋機制、前腸

作者簡介



-何孟霓-

我是何孟霓，就讀中山女中，個性活潑的我，班上有活動時會積極參與唱歌跳舞之才藝表演；平常喜歡聽音樂、運動、看科學相關書籍；同學遇到數理的問題時，我會耐心教導。我對許多事會抱著好奇心，並想要自我挑戰，想從學習中更了解自己，雖有些事不見得每次都如預期，卻是我學習階段很好的經驗。我最喜歡的一句話——態度決定你的高度，不只是我的座右銘，更是時常點醒我的一句話。



-李忻-

我叫李忻，目前就讀中山女高三年級，個性開朗，興趣是藝術、音樂與球類運動。在求學生涯中，數理也成了我另一項興趣及專長。高中接觸了果蠅與蟑螂的研究，雖然我也曾非常怕蟑螂，但我想越是面對恐懼，越能自我挑戰！因此在做完研究後，便與這生命力頑強的小傢伙產生了不可忽視的革命情感，更培養出了「小強精神」！

中文摘要

前饋(feed-forward)是一種於生理反應發生之前，所進行的調節機制，為即將發生的生理作用進行準備。前人對於蟑螂消化道的前饋作用，大多著墨在酵素分泌的調節作用。本研究以美洲蟑螂作為實驗動物，觀察蟑螂消化道中前腸的組織型態，並以肌肉電位圖(electromyography, EMG)的記錄方式，探討探討味覺刺激對蟑螂嗦囊與砂囊肌肉活動的調節作用。我們發現蟑螂的消化道由橫紋肌所構成，有別於人類消化道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，推測葡萄糖與麩胺酸各可引發嗦囊與砂囊肌肉的收縮活動，皆屬於前饋機制的例子；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。

英文摘要(Abstract)

Feedforward is the mechanism which regulate oncoming physiological reaction for preparation. In insect digestion physiology, Scientists mostly pay attention on the regulation of enzyme secretion in alimentary canal.

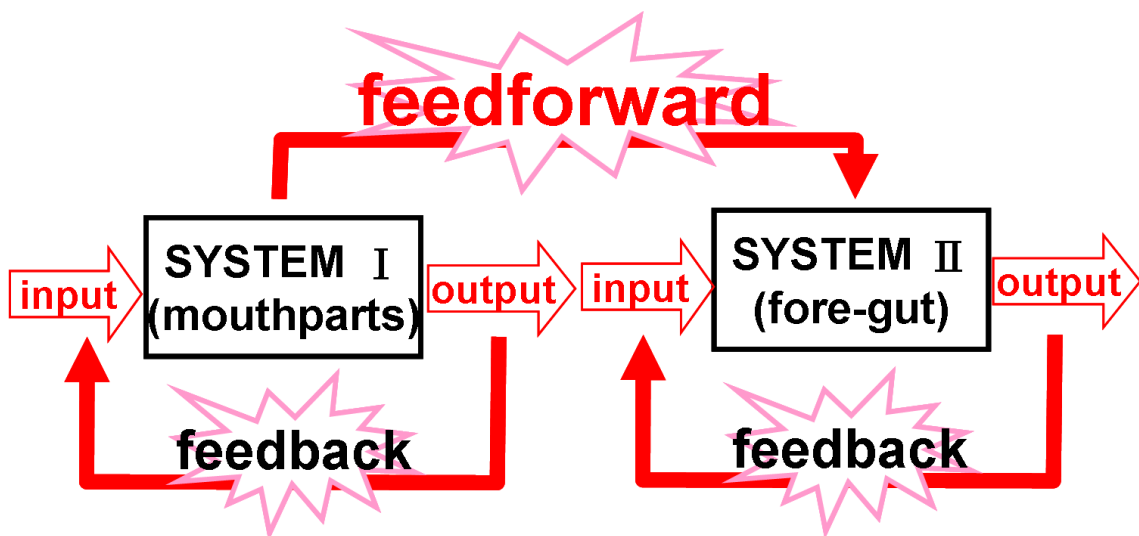
We investigated the regulation effect of taste stimulations on cockroach's crop and gizzard with electromyography as recording tool. We discovered the discharge amplitude of crop's and gizzard's muscle increase when feeding glucose solution and monosodium glutamate solution individually, which is an example of feed-forward mechanism.

Washing the mouthpart with water that induce the discharge of fore-gut's muscle, we infer that is due to the swallow reflex. We also noticed that muscles in cockroach's alimentary canal are all striated muscle.

一、前言

(一)、研究動機

「回饋」及「前饋」為動物生理中重要的調節機制(圖一)。一般情形下，當刺激物(感覺的刺激)或干擾訊息輸入到生物的某一系統時，此系統會因應這些訊息調節輸出以做出適當的生理反應。其中「回饋(Feed-back)機制」是指系統的輸出訊息可返回輸入端調節輸入訊息，進而影響系統輸出的過程，可分為負回饋與正回饋。負回饋是指輸出訊號產生與輸入相反的作用，使系統輸出與系統目標的誤差減小，系統趨於穩定；正回饋是指輸出訊號產生與輸入相似的作用，使系統偏差不斷增大，以放大輸出的訊息。「前饋(Feed-forward)」機制(Berthoud, 2008)是指外來的刺激或干擾訊號尚未到達控制系統時，控制系統已偵測或感覺這些訊息，並預先給予適當的反應，換句話說，前饋機制是一種生理反應的「預備作用」。



圖一 動物生理系統中，重要的調節機制示意圖

「前饋機制」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(化學性消化)進行研究(Bignell, 1981)，但針對蟑螂消化道的收縮、蠕動(物理性消化)與前饋反射的研究卻較少見，因此本研究擬以此為題，進行探討。

我們曾於高二生物第四章「動物的代謝和恆定性」的第一節「消化作用與營養」中，學習動物消化系統的功能與運作方式，消化道的蠕動與分泌會受食物的刺激而進行調節。我們也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。

蟑螂的消化道分為口器(mouthpart)(圖二)、前腸(fore-gut)、中腸(mid-gut)、後腸(hind-gut)(圖三)(Bignell, D. E. 1981)。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)、嗉囊(crop)、砂囊(gizzard)；口器中有一個特別的構造為「下咽頭(hypopharynx)」(圖三)，為一細長管子直接通往食道，在蟑螂吸取食物時扮演重要的角色。食道兩側的唾腺可分泌液體與酵素，可潤滑、分解食物；嗉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。

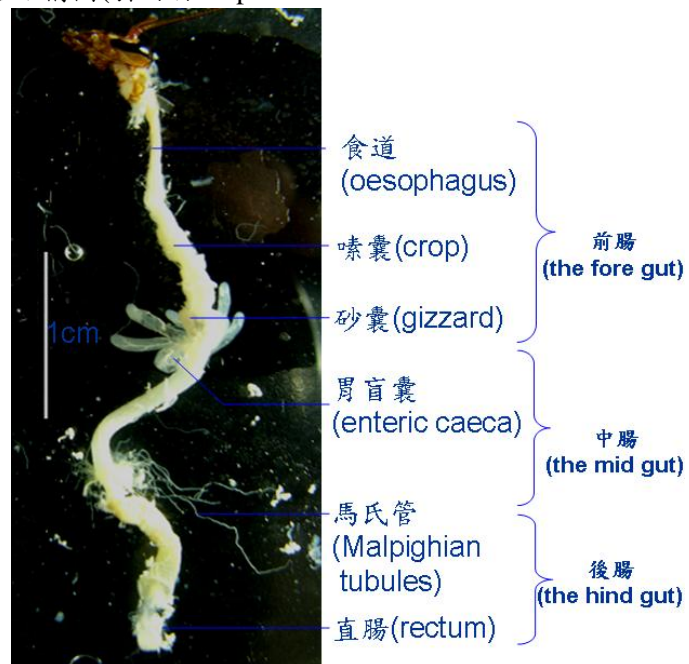
中腸是消化作用主要進行的場所，大部分的消化酶於此發生作用，消化產物亦在此吸收。中腸包含胃盲囊(caeca)、圍食囊、幽門瓣模等；其中圍食囊是由幾丁質纖維等物質組成，可保護消化細胞；而幽門瓣膜位於中腸與後腸間，可調節物質的移動。後腸的功能為吸收水分、鹽類及其他分子，以便濃縮糞便。後腸包含迴腸、結腸(colon)、直腸(rectum)、馬氏管(Malpighian tubules)、直腸墊等，前三者的功能主要為吸收水分及鹽類，馬氏管為排泄器官，從血液腔中移除含氮廢物；直腸墊可增加水分再吸收的速率。

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，可證明前腸的前饋作用與其性質。



圖二 蟑螂的口器結構圖(引用自 http://bio-ditrl.sunsite.ualberta.ca/detail/?P_MNO=1538)。



圖三 蟑螂的消化道分為前腸(fore-gut)、中腸(mid-gut)、後腸(hind-gut)。

(二)、研究目的及研究問題

本研究欲探討以下問題：

1. 觀察蟑螂消化道中前腸部位的組織結構
2. 探討味覺刺激物蟑螂口器反射的調節情形
3. 探討蟑螂前腸部位的肌肉放電與調節情形

二、研究方法或過程

(一)、研究設備及器材

1. 研究器材與設備(表一)：

表一 實驗裝置器材

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		黏土
4	解剖器材	解剖刀(小剪)、鑷子	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*100 根	00 號
9	棉花棒	1 盒*100 根	
10	蟑螂屋貼紙	1 包*10 張	
11	黏土		
12	保鮮膜		
13	高速攝影機	最高可拍攝 1200fps	CASIO EXILIM PRO EX-F1

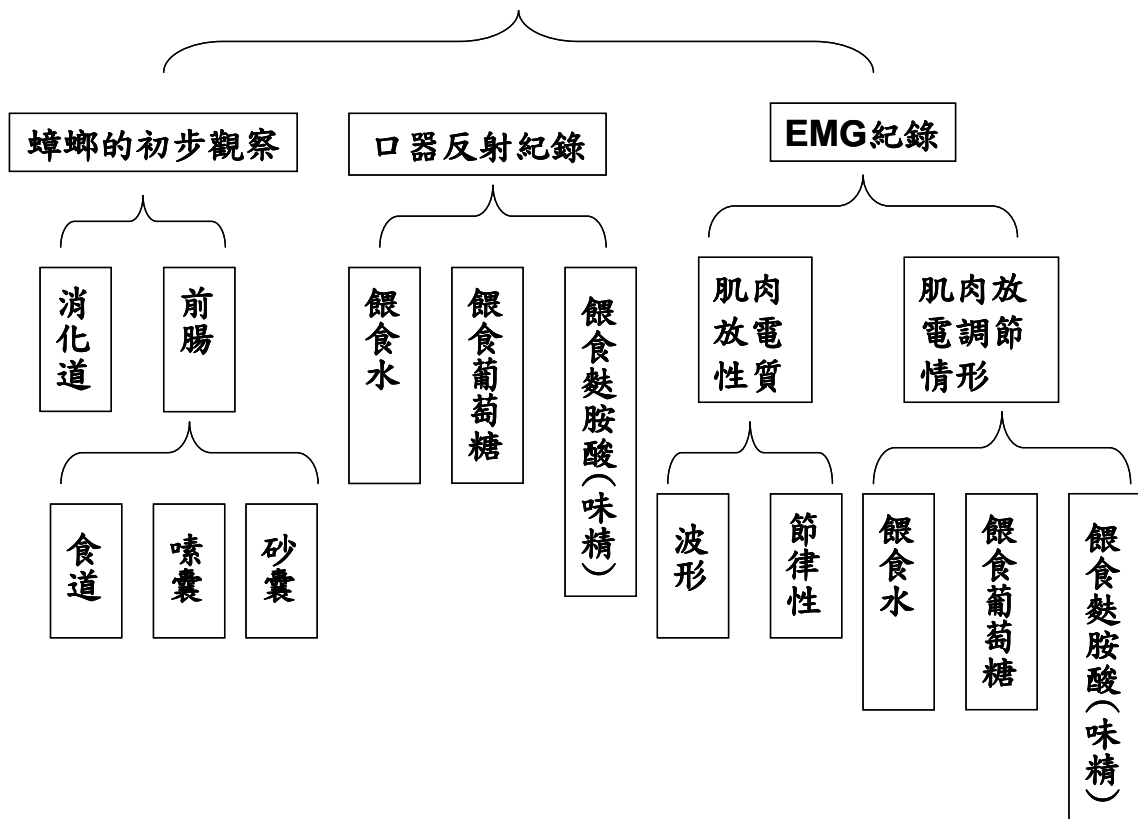
2. 實驗動物：

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°C，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。

3. 研究架構：

本研究分為三個部分(圖四)：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(嗉囊及砂囊)的組織進行觀察。本研究的第二部分為「蟑螂的口器反射」：以不同的溶液做為味覺刺激，並以高速攝影記錄蟑螂口器的行為與反應。第三部分為「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。



圖四 本研究的實驗架構示意圖。

(二)、研究過程或方法

1. 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，置於在載波片上

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、嗉囊、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。

2. 口器反射行為的記錄

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(圖五)。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。



圖五 口器反射行為的觀察。(a)實驗裝置架設圖。(b)口器反射觀察照片。

3. 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(圖六 a)，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)插入蟑螂的嗉囊壁，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(圖六 b)。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

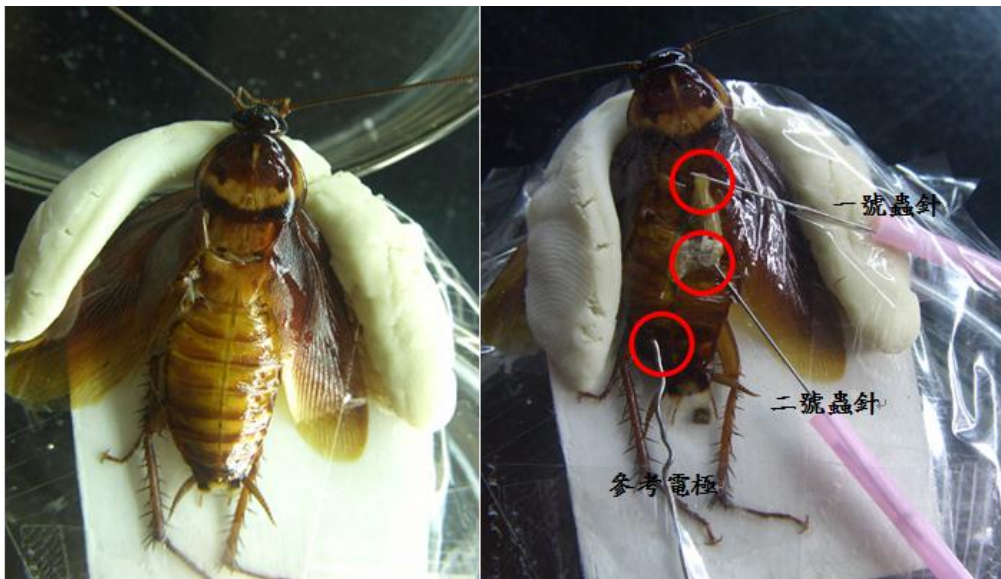
位圖(Electromyography, EMG)的記錄。此方法可放大生理電訊號，並記錄肌肉的放電情形。本研究記錄以下狀態與各溶液刺激時，前腸的肌肉電位：

(1). 記錄以下狀態時的 EMG：

- a. 一般情形：紀錄 5 分鐘
- b. 餵食溶液期間：每次餵食時間約 8~10 秒
- c. 餵食後：紀錄 10 分鐘
- d. 清洗期間：紀錄 20 秒
- e. 清洗後：紀錄 10 分鐘

(2). 記錄以下溶液刺激口器時的 EMG：

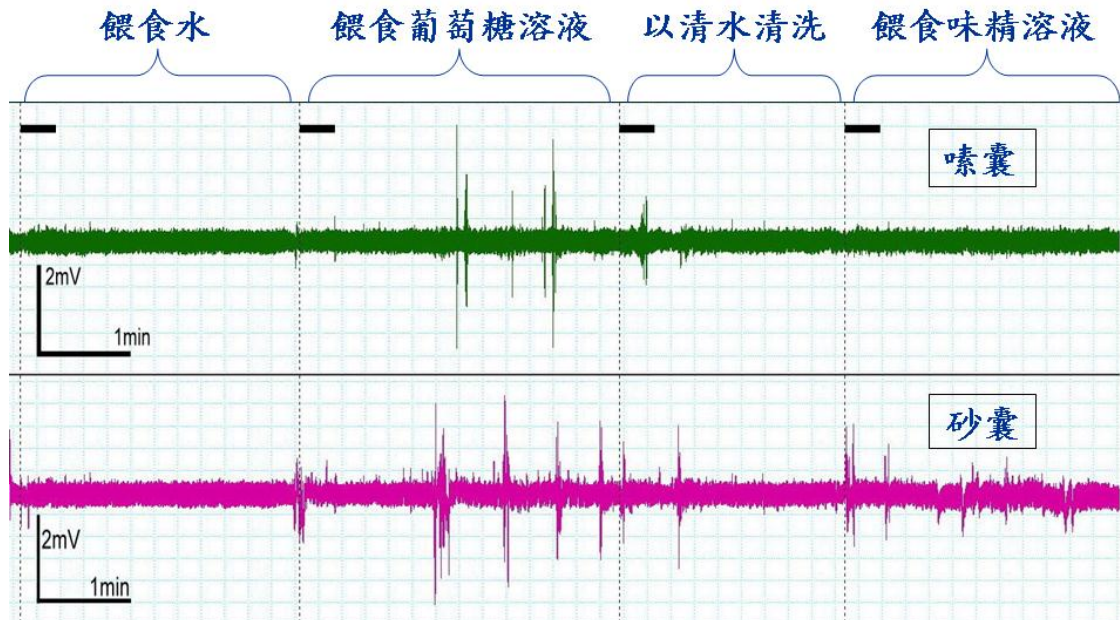
- a. 清水
- b. 葡萄糖水溶液(glucose solution)：飽和溶液
- c. 麩胺酸水溶液(glutamate solution)：飽和溶液



圖六 記錄前腸壁肌肉的 EMG 時，實驗動物的處理方式。
(a)固定蟲體的照片。(b)紀錄電極(蟲針)的紀錄位置。

(3). 量化方法

將所記錄的肌肉電位圖(圖七)，計算嗉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。



圖七 蟑螂消化道肌肉電位圖(EMG)。

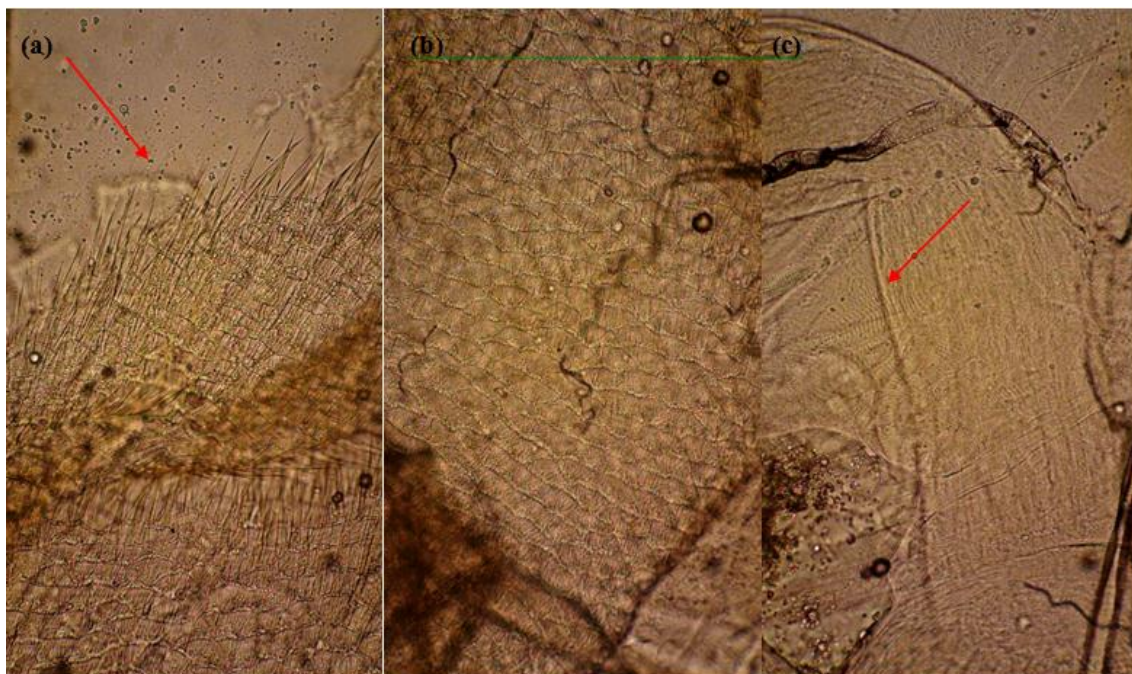
三、研究結果與討論

(一)、研究結果

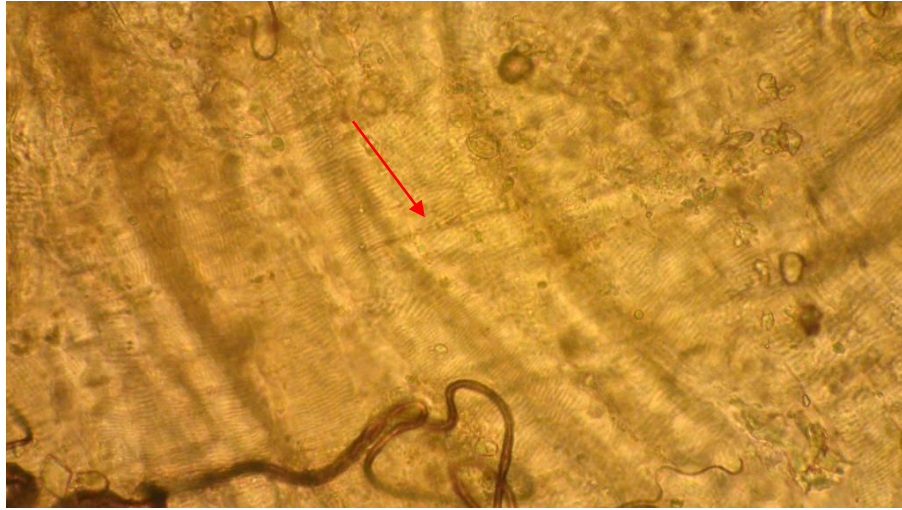
1. 蟑螂消化道器官與組織的觀察

美洲蜚蠊的消化道分三段：前腸、中腸與後腸(圖三)。前腸負責磨碎及儲存食物，包含細長的食道、膨大的嗉囊、及肌肉壁厚且含六顆用以磨碎食物牙齒的砂囊；中腸主要負責食物的消化與吸收，包含數個由中腸突出的胃盲囊；後腸主要負責食物殘渣的濃縮與排泄作用，包含黃色絲狀的馬氏管及直腸。

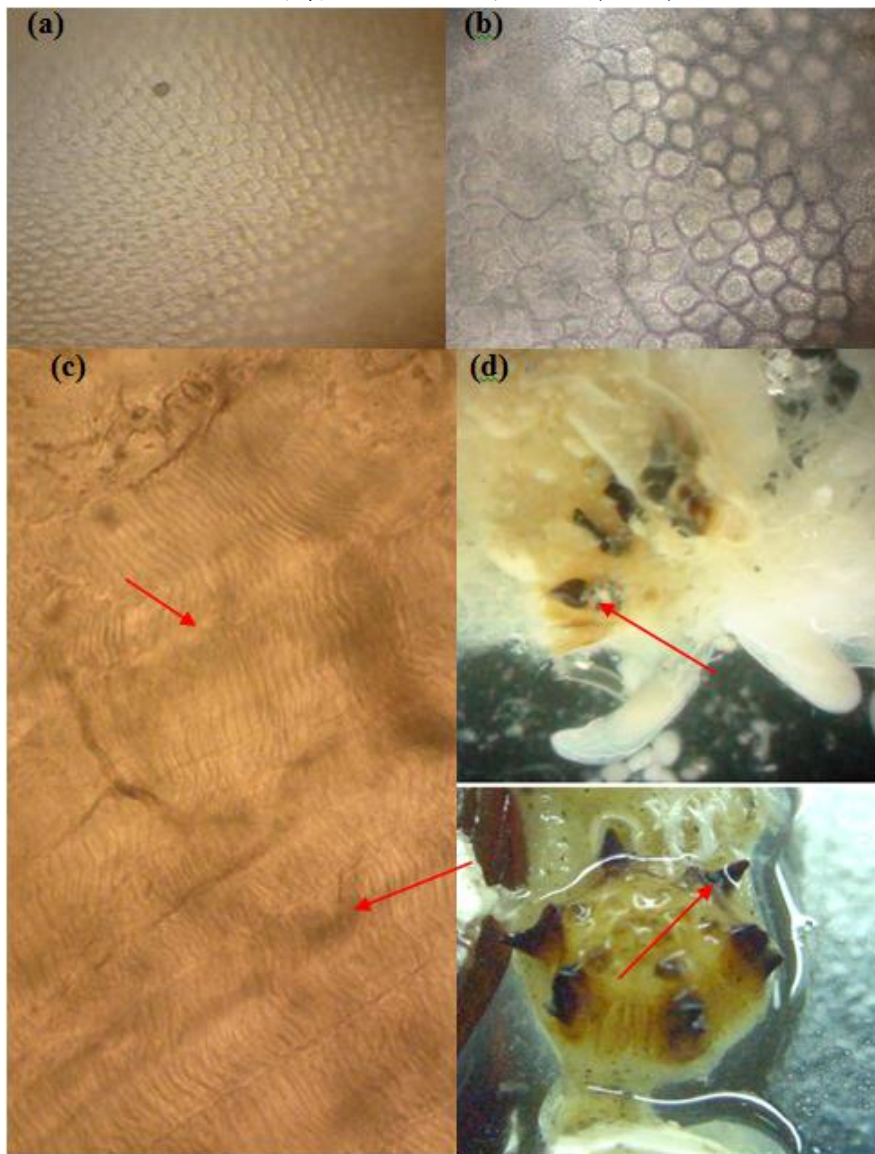
在蟑螂前腸的各段組織中，食道內壁較薄且具有細微的倒鉤，可協助食物在消化道中的移動(圖八 a)，食道壁中的肌肉為橫紋肌(圖八 b)；嗉囊內壁亦較薄，其肌肉為橫紋肌(圖九)；砂囊內襯具有幾丁質化的內壁(圖十 a、b)與齒(圖十 d)，其腸壁中的肌肉層亦較厚，可收縮以磨碎食物，亦屬於橫紋肌(圖十 c)。本研究觀察到蟑螂消化道腸壁中的肌肉皆為橫紋肌，與人體的消化道中的肌肉主要為平滑肌不同。圖(十一)為蟑螂飛行肌的顯微照片，其亦屬橫紋肌。



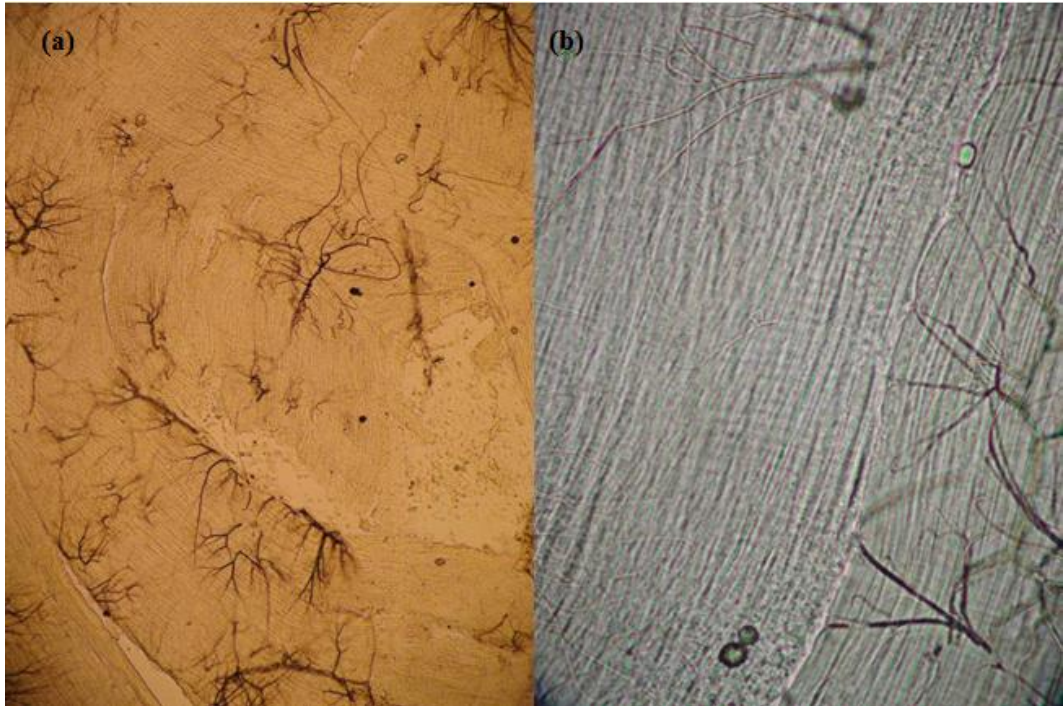
圖八 食道內壁具有細微的倒鉤(a)(400X)，內襯為幾丁質化的表面(b)(400X)，其壁中的肌肉為橫紋肌(c)(400X)。



圖九 嚙囊壁中的肌肉為橫紋肌(400X)。



圖十 砂囊內壁具有幾丁質的內襯(a)(b)(400X)與齒(d)，其壁中的肌肉為橫紋肌(c)(400X)。



圖十一 蟑螂飛行肌的顯微照片。(a)100X。(b)400X。

2. 口器反射記錄

(1). 清水對口器反射的作用(表二)

表二 清水刺激口器時口器引發吸吮反射的反應率(n = 13)。

	溶液靠近時			溶液觸碰到口器時		
	小顎鬚	下唇鬚	下咽頭	小顎鬚	下唇鬚	下咽頭
反應率(%)	28.57%	21.42%	0%	71.43%	42.85%	21.43%

(2). 葡萄糖對口器反射的調節作用(表三)

表三 葡萄糖溶液刺激口器時口器引發吸吮反射的反應率(n = 13)。

	溶液靠近時			溶液觸碰到口器時		
	小顎鬚	下唇鬚	下咽頭	小顎鬚	下唇鬚	下咽頭
反應率(%)	53.84%	38.46%	0%	100%	92.30%	46.15%

(3). 麩胺酸(味精)對口器反射的調節作用(表四)

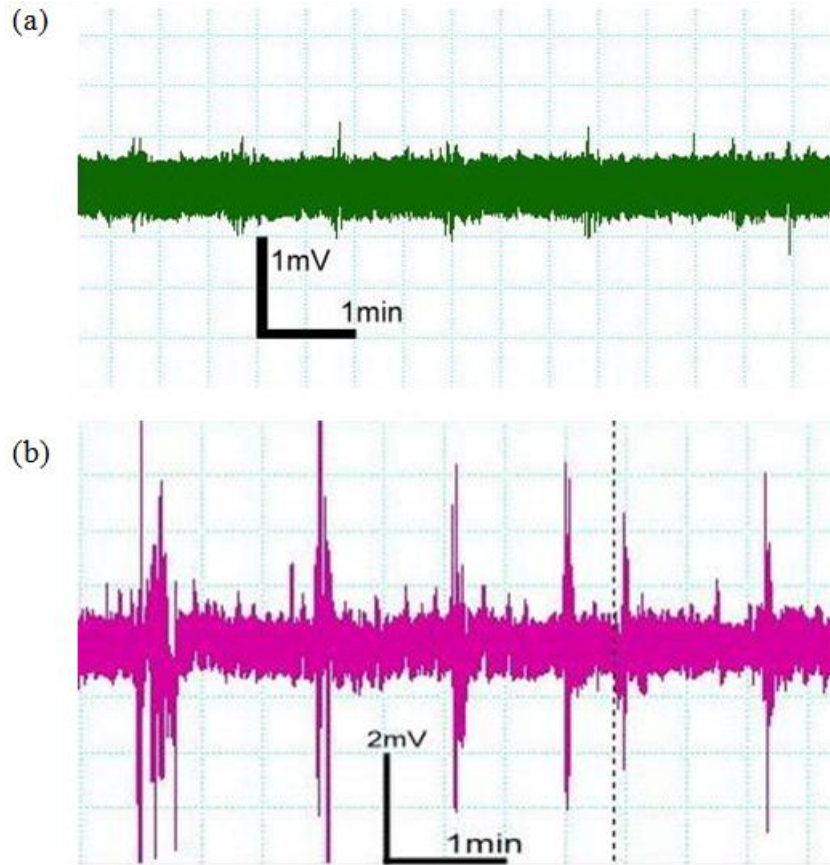
表四 麩胺酸溶液刺激口器時口器引發吸吮反射的反應率(n = 14)。

	溶液靠近時			溶液觸碰到口器時		
	小顎鬚	下唇鬚	下咽頭	小顎鬚	下唇鬚	下咽頭
反應率(%)	64.29%	35.71%	7.14%	92.85%	100%	85.71%

3. 蟑螂的 EMG 記錄

(1). 前腸肌肉放電的波形與節律性

觀察蟑螂的一般情形時(未給予味覺刺激)，可發現前腸的肌肉時有節律性放電的現象(圖十二)，其中嗦囊自發性放電頻率約1次/分鐘，幅度約1毫伏，而砂囊的自發性放電頻率與嗦囊相似，但其放電幅度約4毫伏。

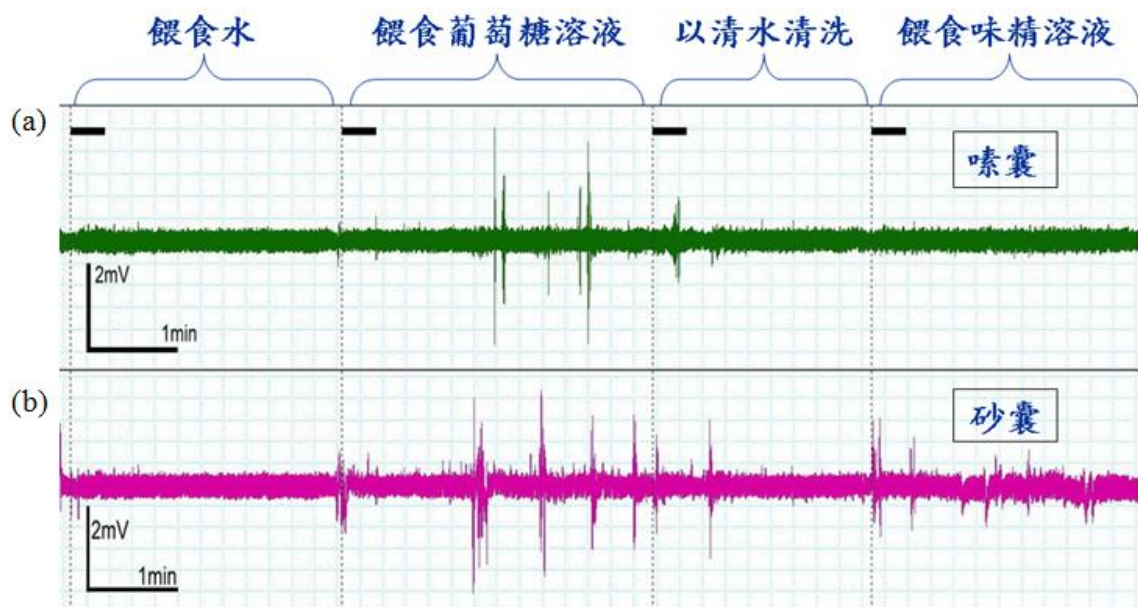


圖十二 嗦囊(a)與砂囊(b)自發性放電的電位圖。

(2). 味覺刺激對嗦囊與砂囊肌肉活性的調節作用

以圖(十三)為例，本研究的實驗流程分為四部分，依序為餵食水、餵食葡萄糖溶液、以清水清洗及餵食麩胺酸(味精)溶液，各溶液的餵食約耗時10秒，約相隔4~5分鐘後，才進行另一次的味覺刺激，以上期間皆同步紀錄嗦囊與砂囊壁中肌肉的肌肉電位。。

我們觀察到在餵食清水時，蜚蠊的嗦囊及砂囊皆沒有明顯的放電反應，但在餵食葡萄糖溶液後兩者皆有明顯的放電反應，然而在餵食味精溶液時，嗦囊雖然沒有明顯的反應，砂囊的放電次數以及強度卻增加許多，而清洗的反應則與餵食水相似。

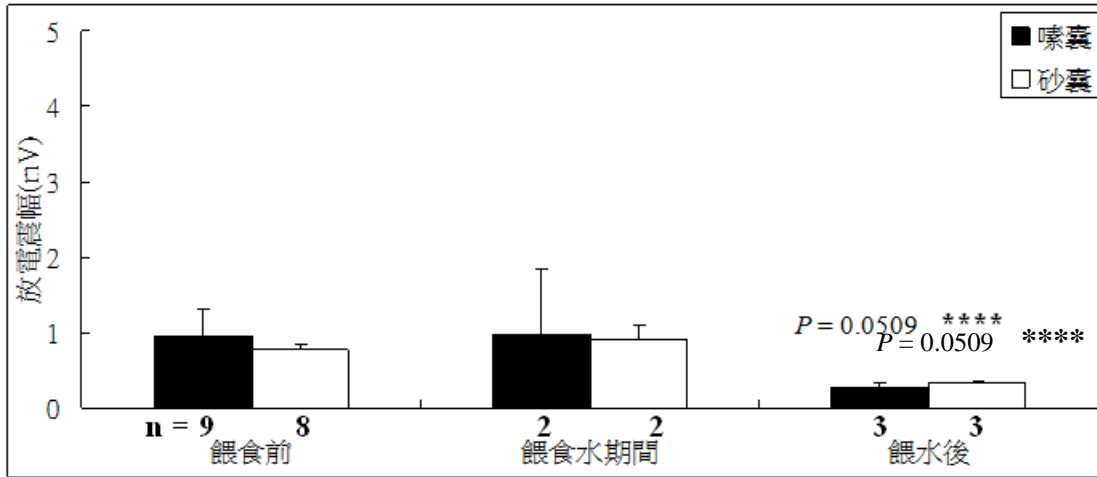


圖十三 一次實驗流程的紀錄結果。粗短黑線代表味覺刺激期間。
(a)嗦囊壁肌肉的EMG紀錄。(b)砂囊壁肌肉的EMG紀錄。

以下分別探討不同味覺刺激對嗦囊與砂囊肌肉活性的調節作用：

a. 水的味覺刺激對前腸EMG的調節作用：

蟑螂在餵食水期間，其砂囊及嗦囊肌肉的放電震幅無顯著差異(圖十四)，但於餵食後，兩者的放電震幅皆有下降的趨勢。



圖十四 水的味覺刺激對前腸 EMG 的調節作用(mean ± SE, n = 取樣數)。
與餵食前相比(one-tailed t test)：****： p < 0.001。
嗦囊與砂囊相比(one-tailed t test)：未達顯著水準。

b. 葡萄糖液的味覺刺激對前腸EMG的調節作用(圖十五)

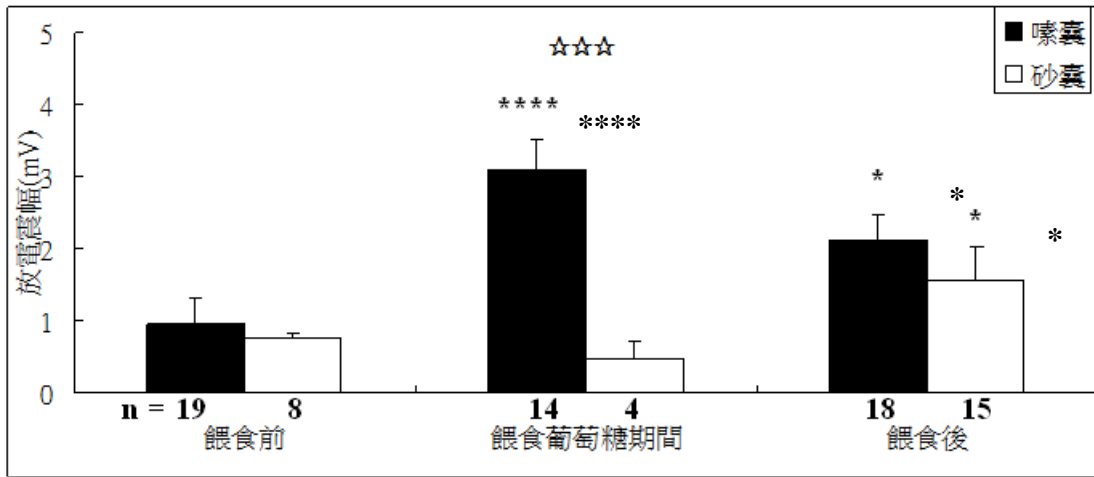
蟑螂在餵食葡萄糖期間，嗦囊肌肉的放電震幅大於砂囊，餵食後砂囊及嗦囊則無明顯差異。在餵食葡萄糖液期間及餵食後，嗦囊的放電震幅皆較餵食前增加，且在餵食期間的變化特別顯著；而砂囊的肌肉壁，其放電震幅僅於餵食葡萄糖液後增加，而餵食期間較無差異。

c. 麩胺酸(味精)溶液的味覺刺激對前腸EMG的調節作用(圖十六)

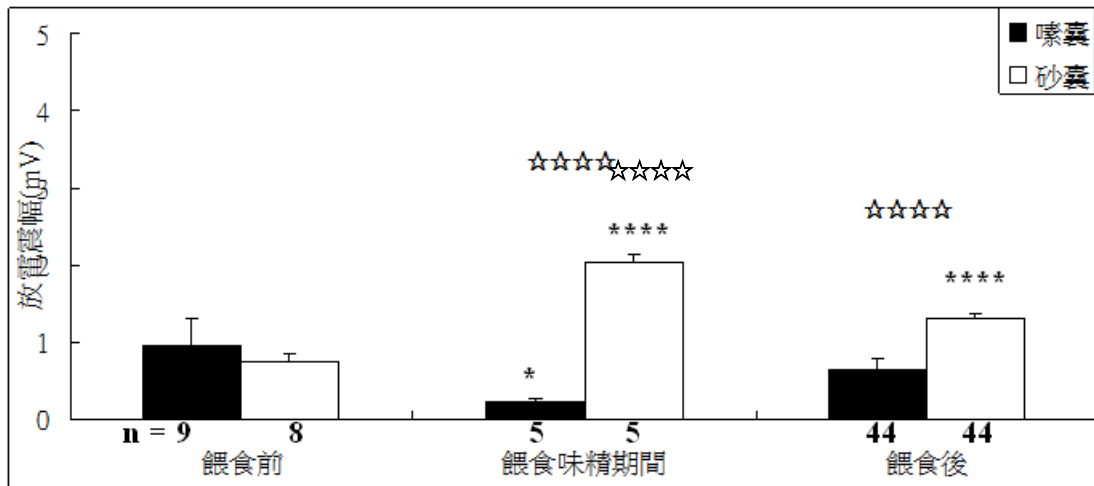
對砂囊肌肉的放電振幅而言，餵食期間及餵食後皆明顯增加；而對嗦囊而言，其放電震幅僅在餵食期間下降，其他時期則無顯著差異。

d. 餵食水、葡萄糖液、麩胺酸液對前腸EMG的調節作用(圖十七)

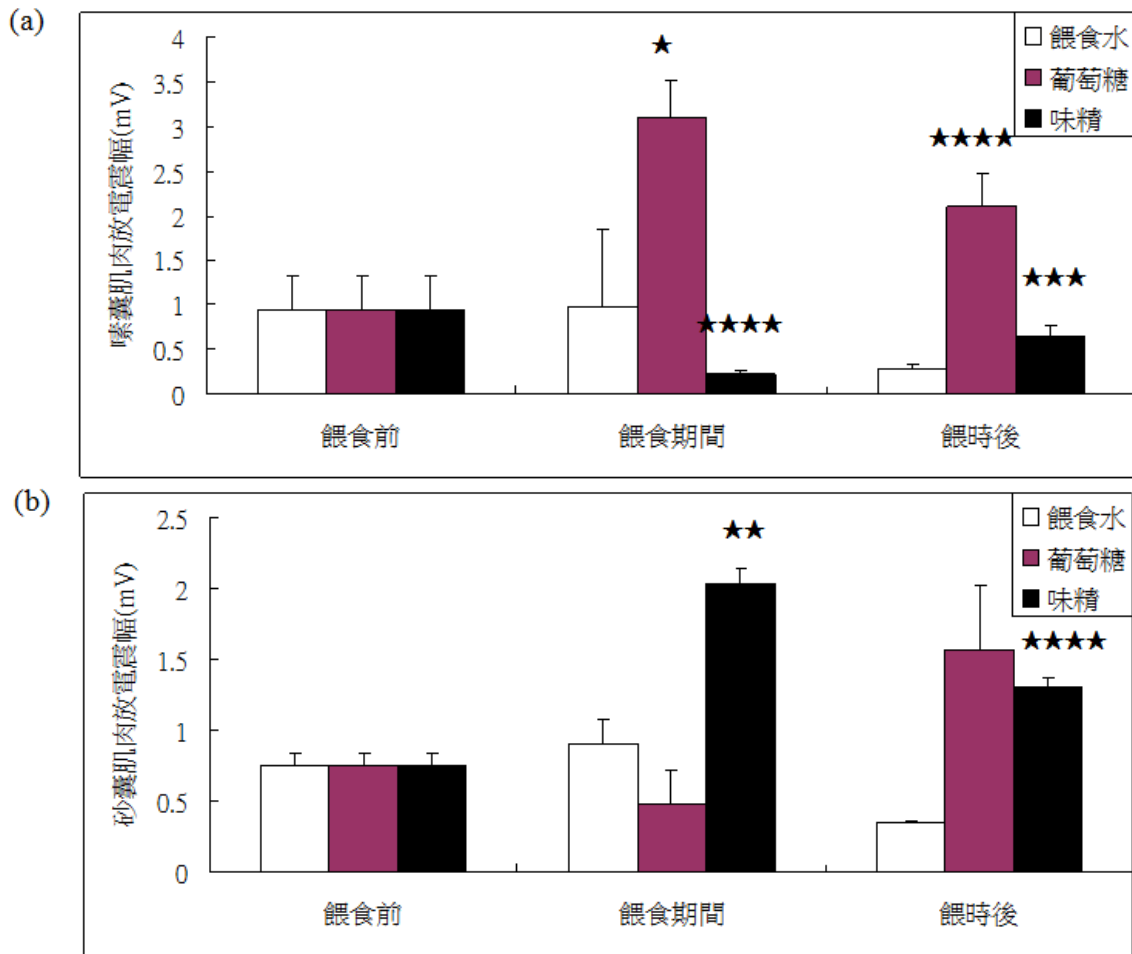
若比較水、葡萄糖液、味精液分別對嗦囊與砂囊肌肉的調節作用，可發現在餵食葡萄糖液時，嗦囊的放電震幅增加，較餵食葡萄糖及餵食水時顯著。在餵食味精期間，砂囊的放電震幅增加，較餵食葡萄糖及餵食水時顯著；但餵食味精期間，嗦囊肌肉的放電震幅卻較餵水時降低。餵食葡萄糖及餵食味精後，整體而言，嗦囊及砂囊的放電振幅較餵食水後顯著；尤其在嗦囊的放電部分，餵食葡萄糖後的較餵食味精後顯著，而在砂囊則無明顯變化。



圖十五 葡萄糖液的味覺刺激對前腸 EMG 的調節作用(mean ± SE, n = 取樣數)。
 與餵食前相比(one-tailed t test)：* : $p < 0.05$ ；**** : $p < 0.001$ 。
 嚙囊與砂囊相比(one-tailed t test)：☆☆☆ : $p < 0.005$ 。



圖十六 麩胺酸液的味覺刺激對前腸 EMG 的調節作用(mean ± SE, n = 取樣數)。
 與餵食前相比(one-tailed t test)：* : $p < 0.05$ ；**** : $p < 0.001$ 。
 嚙囊與砂囊相比(one-tailed t test)：☆☆☆☆ : $p < 0.001$ 。



圖十七 餵食水、葡萄糖液、味精液對嗉囊(a)與砂囊(b)肌肉的調節作用(mean ± SE)。與餵水的數據相比(one-tailed t test)：★：p < 0.05；★★：p < 0.01；★★★：p < 0.005；★★★★：p < 0.001。

(二)、討論

本研究發現，不同因子的刺激，對蟑螂前腸的肌肉調節作用具有差異，也發現蟑螂前腸的肌肉活性具有前饋作用，也就是當外來的刺激物(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。

本研究在觀察蟑螂消化器官與組織時，在食道的內襯發現類似剛毛的構造，而且方向與食物的去向相同，推論具有輔助食物運送且防止逆流的功用，因此，解剖過程常可於蟑螂嗉囊中發現儲存的食物。我們也在蟑螂的砂囊內襯觀察到乳狀突起的幾丁質構造與較大的齒，由於砂囊的功用為磨碎食物，推測這些構造可用於磨碎食物。

在探討前腸肌肉放電性質時，我們發現砂囊的肌肉壁較厚而嗉囊壁很薄，因此砂囊肌肉的放電震幅較大。以圖十一為例，雖然嗉囊壁與砂囊壁皆有 1 次/分鐘的自發性放電頻率，但相較於嗉囊約 1 毫伏的幅度，砂囊的放電幅度約為 4 毫伏，砂囊的放電強度明顯較嗉囊大。

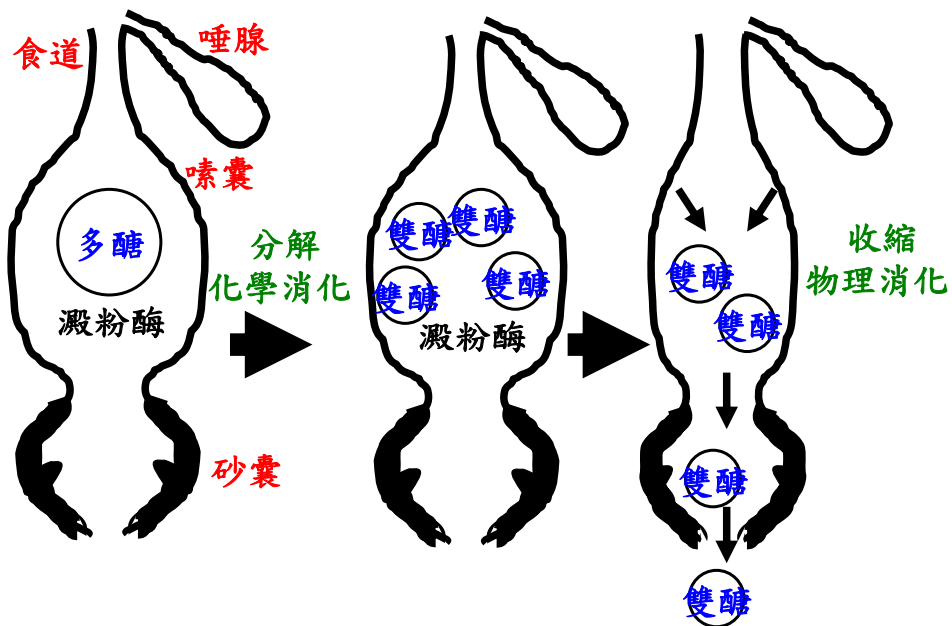
在探討味覺刺激對前腸肌肉放電性質的調節作用時，發現餵食清水並無明顯的調節作用，推論水不會引發前饋反射。而餵食葡萄糖溶液及麩胺酸溶液時，發現葡萄糖對於嗉囊的放電影響較大，而麩胺酸對於砂囊的放電影響較大。

我們由實驗二與實驗三的結果可知，同為磨碎器官的口器及砂囊，以麩胺酸刺激時，有促進其反應的作用，而對於葡萄糖，則有抑制的作用(表五)，這也引發我們進行以下的探討。

表五 各種味覺溶液刺激期間，對口器、嗉囊與砂囊的調節作用。

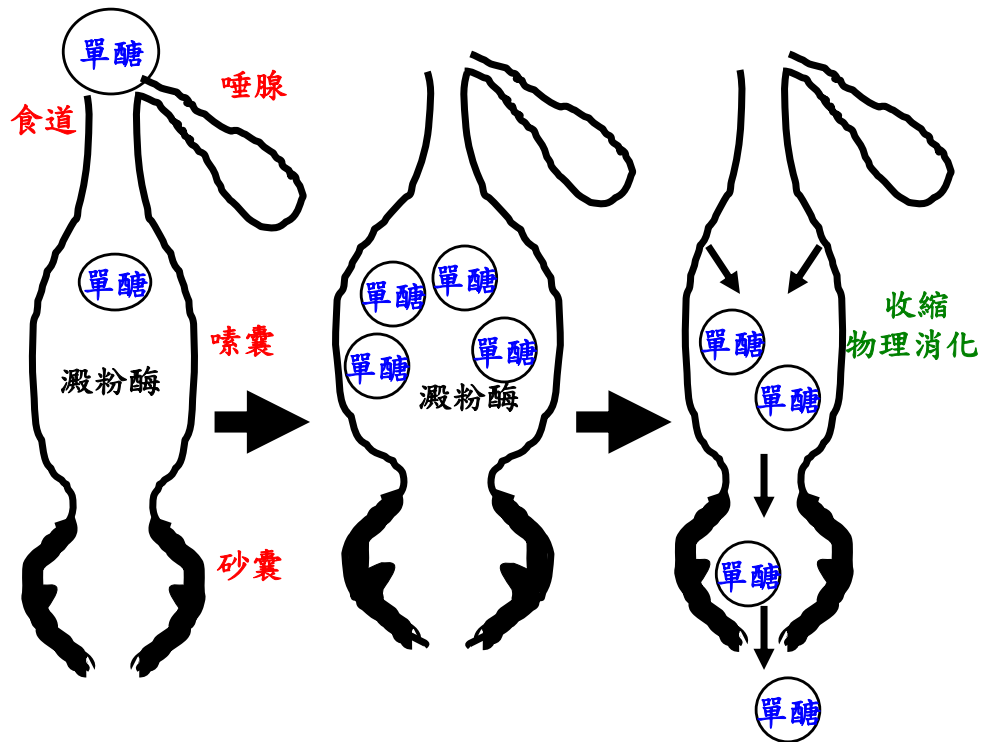
餵食期間		
消化構造	生理功能	對不同刺激物的反應
口器	磨碎作用	下咽頭之反應率： 麩胺酸>葡萄糖>清水
前腸	嗉囊	肌肉放電振幅： 葡萄糖>清水>麩胺酸
	砂囊	肌肉放電振幅： 麩胺酸>葡萄糖=清水

蟑螂的食道旁側有數對唾腺(salivary glands)，其分泌的唾液含有分解醣類的澱粉酶(amylase)(Bignell, 1981)，其唾液由口腔注入消化道，以協助化學消化的進行。蟑螂一般所餵食的食物含有多醣，當多醣進入到嗉囊時，因為多醣需要進行儲存與透過的澱粉酶進行分解等過程，因此不會引發嗉囊的收縮；此外，由於多醣非肉類中的蛋白質，多醣會直接運送至中腸，因此不會引發砂囊收縮(圖十八)。



圖十八 多醣與嗉囊、砂囊肌肉活性的假說示意。
進食多醣類時，需於嗉囊進行儲存與分解，待分解後嗉囊方可收縮。

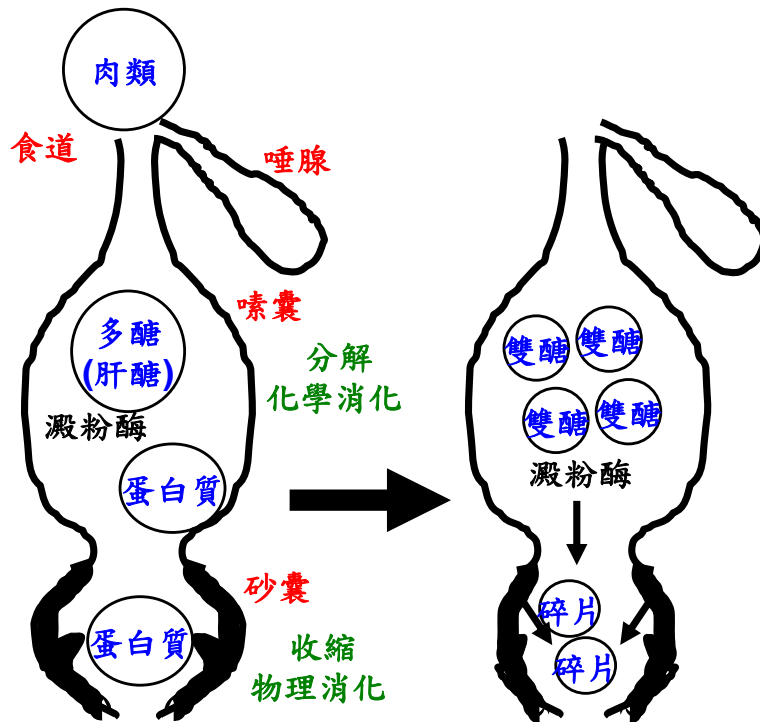
我們的實驗是餵食葡萄糖，葡萄糖是單糖，經過嗉囊時已不再需要進行儲存與透過的澱粉酶進行分解等過程，因此嗉囊壁的肌肉進行收縮，將葡萄糖擠向下一個消化步驟——砂囊。而經過砂囊時也不再需要進行磨碎反應，因葡萄糖非肉類中的蛋白質，葡萄糖會直接運送至中腸。因此葡萄糖刺激口器時，可引起嗉囊的收縮，但對砂囊不具效果(圖十九)。



圖十九 葡萄糖增加嗉囊肌肉活性的假說示意圖。

進食單醣時，不需儲存與分解的過程，則嗉囊可直收縮將食物推進砂囊。

麩胺酸是一種胺基酸，為蛋白質的一種次單位，通常出現在肉類中，因此蟑螂會把麩胺酸的訊號視為富含蛋白質的肉類的訊號。食入肉類後於嗉囊先進行儲存與分解肝醣(透過唾液中的澱粉酶催化)，故此時抑制了嗉囊的收縮活性，減慢食物的推進(圖二十)，以增化學消化的進行時間。同時，肉類食物進入到砂囊進行磨碎，因此增加了砂囊的肌肉活性，以準備磨碎肉類。餵食麩胺酸(味精)溶液時，會增加砂囊的肌肉放電，而抑制嗉囊的肌肉放電。



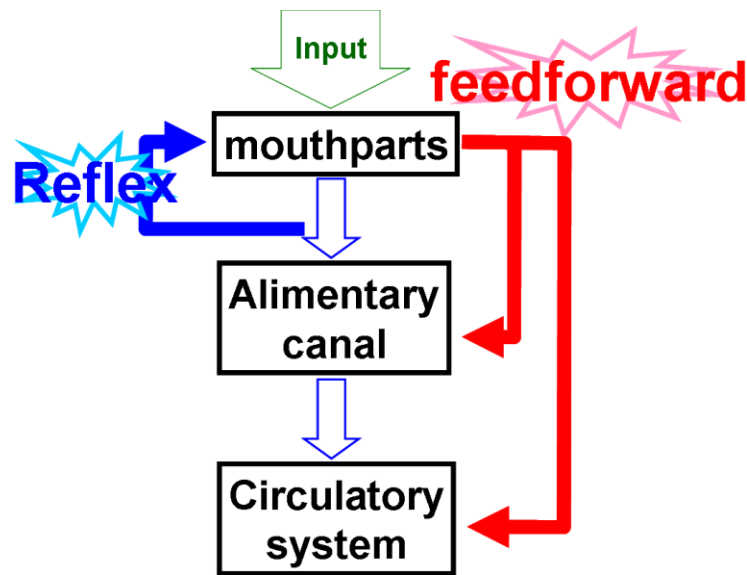
圖二十 進食肉類調節前腸肌肉活性的假說示意圖。

進食肉類時，肉類中的多醣於嗉囊進行儲存與分解，而蛋白質纖維則於砂囊中進行咀嚼、磨碎。

味覺刺激對於心跳率的影響，也是前饋機制的一個例子(蔡，2001)。蟑螂屬於開放式循環，流過消化道的血淋巴速度越快，會增加其由消化道中吸收養分的效率，其中葡萄糖可增加心跳率(心臟收縮的速率)，而麩胺酸會減緩心跳率。由於葡萄糖為單醣，可以即時吸收，因此心跳加快可加速血淋巴流過消化道的速度；而麩胺酸，代表著「肉類」，因為肉類需要先進行化學消化，無法即時吸收，因此心跳不需加快。

總體而論，味覺刺激透過前饋機制的作用(圖二十一)，會引發口器攝食反射、調節循環器官的生理表現與消化器官—嗉囊及砂囊的肌肉活性等。由於前饋作用的發生為在餵食期間的十秒鐘內，因此神經傳導的作用遠大於內分泌的作用。味覺刺激的神經傳遞路線為：上唇神經(labrel nerve)→前額神經節(frontal ganglion)→前額神經索(frontal connectives)、回返神經(recurrent nerve)→食道下神經節(suboesophageal ganglion)→心側體(蔡，2001)。其中上唇神經會刺激葡萄糖受器及麩胺酸受器引發下咽頭的攝食反射；此外，上唇基部靠兩側的骨化環

為心跳率的受器，可引發心跳率的改變。食道下神經節則可刺激前腸的嚥囊、砂囊的肌肉收縮。心側體的神經分泌物質可作用於圍心細胞(pericardiac cells)，引發心跳率的改變。葡萄糖(單糖)可使心跳率加快，而增加血淋巴流經消化道的速度，進而促進葡萄糖吸收至體腔內。麩胺酸(代表「肉類」)無法即時吸收，因此麩胺酸的味覺刺激可減緩心跳率，此時前饋機制亦肉類於抑制嚥囊收縮以進行化學消化而，同時增加砂囊肌肉收縮活性以進行磨碎作用。



圖二十一 味覺刺激對口器、前腸肌肉電位(EMG)、心跳率的前饋調節。

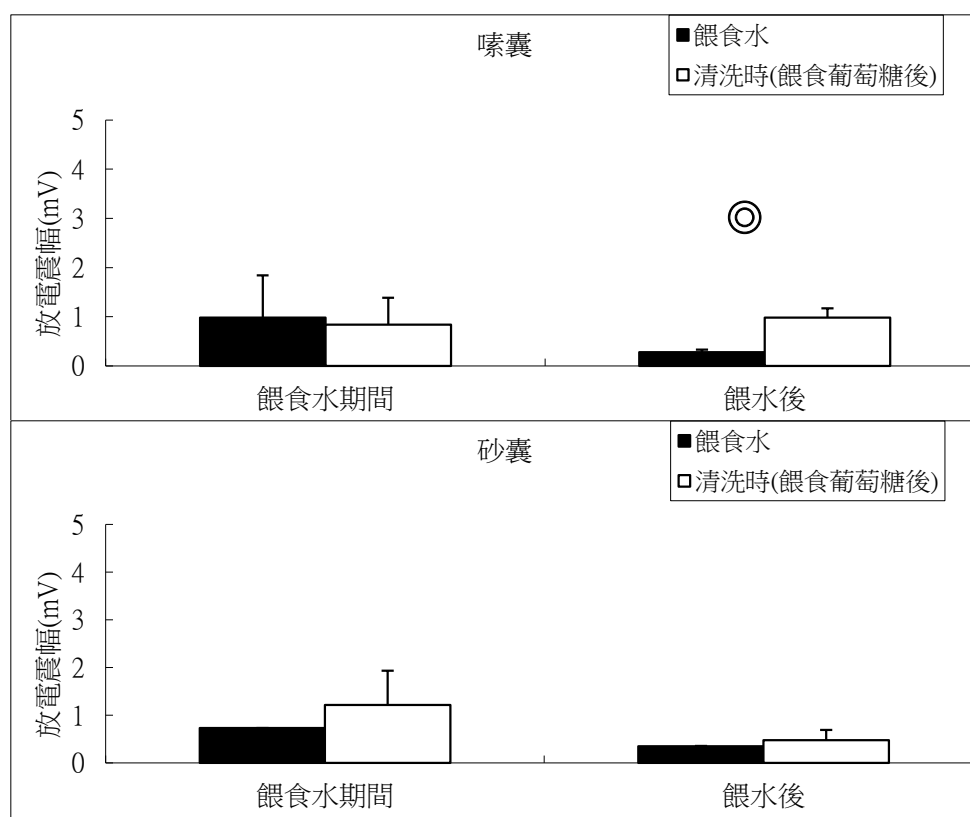
人體的舌頭含有一萬多個味蕾(taste buds)，每一個味蕾又含有受體細胞。這些受體是大型的蛋白質，它們會對食物和飲料的幾個基本化學成分進行感應。當這些成分和受體結合時，就會發出味覺信號。這些味覺信號會和嗅覺及其他偵測溫度和結構粗細或精緻的信號合併，而能判斷出食物的品質和風味(林，2010)。

人類味道感覺有 4 個基本因素：甜、酸、苦、鹹，人類大部分的感覺是由這四位味覺綜合而成的。但早在 1908 年，日本東京帝國大學池田菊苗教授就已發現酸、甜、苦、辣四味之外還有一種味覺，當他研究昆布熬成的高湯成分時，而發現了麩胺酸(glutamate acid)(官，2010)。這第五味覺是「可口的」，它的味道和其他四味不同，英語叫「savory」，日本人叫它為「umami」(好吃好味的)，是由麩胺酸所引起的。最近科學家已發現哺乳類的舌含麩胺酸的感覺受器，因此麩胺酸訊號會傳至大腦產生味覺(鮮覺)。麩胺酸是人體蛋白質中最豐富的胺基酸，東方人用的佐料品「味精」就是單鈉麩胺酸。因此，我們推論螳螂口器也可能具有麩

胺酸受器，在餵食時就會刺激口器的受體，進而引發消化道的反應(前饋作用)。

口器也是前腸的一部分，在前饋作用中也扮演重要的角色。口器是刺激物第一個接觸到的器官，因此在前饋作用下，口器的感應與反應給予嗦囊及砂囊足夠的時間對外來刺激物做出反應。由實驗二可知，相對於清水及葡萄糖水溶液，蟑螂的口器對麩胺酸溶液(味精)較敏感，而在實驗三中，若探討刺激物在「餵食其間」的調節作用，不管是嗦囊或是砂囊，對於麩胺酸(味精)皆具有較明顯的肌肉放電。也就是說，在餵食溶液的期間時，口器、嗦囊、砂囊皆對麩胺酸刺激具明顯的調節作用。麩胺酸或許在前饋作用下對於蟑螂較有較敏顯的作用，也或許是蟑螂口器存在麩胺酸受器，就像哺乳類一樣，使麩胺酸的訊號可傳至大腦，以利嗦囊及砂囊提早做準備。

另外，我們也發現在以水清洗口器時，其對前腸的調節作用類似於餵食水時，但於停止清洗後，卻增加了嗦囊肌肉的放電震幅(圖二十二)。我們推測在清洗口器時，可能刺激口器而引發吞嚥等反射進而影響嗦囊的肌肉活性。



圖二十二 餵食水與清洗口器對嗦囊(a)與砂囊(b)肌肉的調節作用(mean ± SE)。與餵水的數據相比(one-tailed t test)：⊙： $p < 0.05$ 。嗦囊與砂囊相比(one-tailed t test)：未達顯著水準。

四、結論與應用

- (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)、口器反射的下咽頭的反應率以麩胺酸的反應較明顯。
- (三)、餵食葡萄糖液時，蟑螂的嗉囊肌肉放電幅度增加，推測葡萄糖液可引發嗉囊肌肉的收縮活動。餵食麩胺酸(味精)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。

五、參考文獻

- 官生華。2010。味覺與味精。 *台灣醫界*， **53(5)**， 271-272。
- 林天送。2010。味覺與味蕾—受體的新發現。 *科學發展*， **445**， 70-71。
- 陳啟泰、戴達夫。2006。增添劑與甜味蛋白及其味覺受器。 *Chemistry*， **64(1)**， 129-140。
- 蔡任圃、黃璧祈、童麗珠、林金盾。2001。影像分析探討餵食葡萄糖液對蟑螂心輸出量的效應。 *台灣昆蟲*， **21**， 133-145。
- 蔡任圃。2006。認識身旁的小傢伙(二)—美洲蟑螂外部型態與內部器官的初步觀察。 *科學教育月刊*， **290**， 43-47。
- Bignell, D. E. 1981. Nutrition and digestion. In Bell, W. J. and Adiyodi, K. G. (Eds.), *The American Cockroach* (pp.57-86). Chapman and Hall, New York.
- Berthoud, H. R. 2008. Vagal and hormonal gut-brain communication: from satiation to satisfaction. *Neurogastroenterol Motil.* 20: 64–72.
- Giduck, S. A., Threatte, R. M. and Kare, M. R. 1986. Cephalic reflexes: their role in digestion and possible roles in absorption and metabolism. *J. Nutr.* 117: 1191-1196.
- Loed, D. and Markovetz, A. J. 1980. A thick-walled organism isolated from the cockroach gut by using a spent medium technique. *Appl. Environ. Microbiol.* 39(1): 261-264.
- Richards, O. W. and Davies, R. G. 1977. The Alimentary Canal, Nutrition and Digestion. In Richards, O.W., Davies, R.G. (Eds.), *IMM's General Textbook of Entomology* (pp. 192-203). Methuen and Co. Ltd.
- Titchen, D.A. 1979. Diaphragmatic and oesophageal activity in regurgitation in sheep: an electromyographic study. *J Physiol.* 292: 381-390.

Wu, J. S., Vilim, F. S., Hatcher, N. G., Due, M. R., Sweedler, J. V., Weiss, K. R. and Jing, J. 2010. Composite modulatory loop contributes to the establishment of a network state. *J Neurophysiol.* 103: 2174-2184.

評語

該研究條理分明，表達得很好，值得鼓勵。

建議增加不同濃度的測試食物以檢測嗉囊及砂囊反應是否有差別，並檢測其 pH 值。

建議就研究所觀察到的電顯結構找資料看看是否有過去未知的結構或功能。