

---

# 認識身旁的小傢伙(十一)--味覺刺激引發 蟑螂口器的吸吮反射與前腸的前饋作用

何孟霓 李忻 蔡任圃\*

臺北市立中山女子高級中學

## 壹、前言

生物體可偵測體外或體內的因子，再作出適當反應。也就是說，當刺激訊息輸入到生物的某一系統時，此系統會因應這些因子而調節訊息的輸出，引發適當的生理反應。環境訊息刺激引發動物生理系統的調節作用包含了前饋(feedforward)與回饋(feedback)等機制。

前饋機制是指當外來的刺激訊號尚未到達生理系統時，生理系統已透過別的器官而偵測此刺激訊號的存在，並預作反應。我們可以把前饋當作是一種「預備作用」或「一個已知線索的預期反應」，例如：即使食物還未進入胃中，甚至還未進入口中，透過嗅覺與味覺而來的訊息即可引發胃的蠕動與分泌。回饋機制又稱「反饋」，為生理系統的輸出訊息返回到輸入端，並調節訊息輸入或生理系統的過程。回饋可分為「負回饋」和「正回饋」。前者是指輸出的訊息造成與輸入相反的作用，使系統的輸出與預設目標的差異減小，反應趨於穩定，例如：維持體溫、血壓及體內化學物質濃度的調節機制；而「正回饋」是指

輸出的訊息會增強輸入訊息的作用，使系統的訊息輸出不斷增大，可達放大訊息的作用，在短時間內產生很大的效應，例如：在分娩過程中子宮的收縮與哺乳的過程中乳汁的分泌，兩者皆具訊息於短期內放大的機制，都屬於正回饋現象。

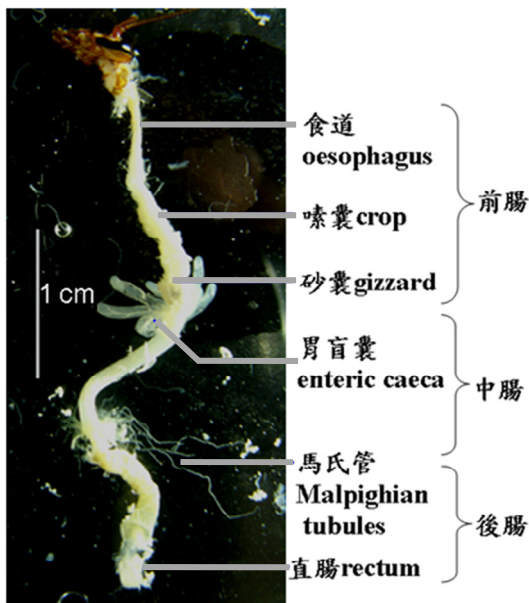
「前饋機制」可見於動物的消化道(Giduck, et al., 1986)，其中包含昆蟲的消化道(Wu, 2010)，例如：當食物刺激口器而尚未進入消化道時，前腸的肌肉就已引發收縮反射。但前人的研究大多僅對消化道所分泌的酵素(化學性消化)進行研究(Bignell, 1981)，而針對蟑螂消化道的收縮、蠕動(物理性消化)與前饋反射的研究卻較少見，因此本文擬以此為題，進行探討。

蟑螂的消化道分為前腸(fore-gut)、中腸(mid-gut)、後腸(hind-gut)(圖一)。前腸的主要功能是攝入、貯存、磨碎食物，將食物傳送到下一個區域進行物理消化。前腸包含口器(mouthpart)、食道(oesophagus)、嗦囊(crop)、砂囊(gizzard)；食道兩側的唾腺可分泌唾液，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，可用於磨碎食物。

---

\*為本文通訊作者

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；其中圍食囊的內襯含有幾丁質纖維，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，從血淋巴腔中移除含氮廢物；直腸墊可增加水分再吸收的速率。



圖一、蟑螂的消化道分為前腸(fore-gut)、中腸(mid-gut)、後腸(hind-gut)

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，可探討前腸的前饋作用與其性質。

本文探討下列問題：

- 一、觀察蟑螂前腸的組織結構
- 二、探討蟑螂對味覺刺激引發口器反射的調節情形
- 三、探討味覺刺激對蟑螂前腸肌肉電位的影響

## 貳、研究設備與器材

### 一、研究設備與器材

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	Sony Shot DR-SR11
3	載玻片、 蓋玻片		
4	解剖器材	解剖刀(小剪)、 鑷子	
5	生理訊號記錄儀	PowerLab 26T	ADInstruments(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	PRO EX-F1	CASIO EXILIM
		最高可拍攝 1200 fps	

## 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。本研究所使用之蟑螂，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。實驗過的動物不重複實驗。

## 參、研究步驟與方法

### 一、蟑螂消化道組織的觀察

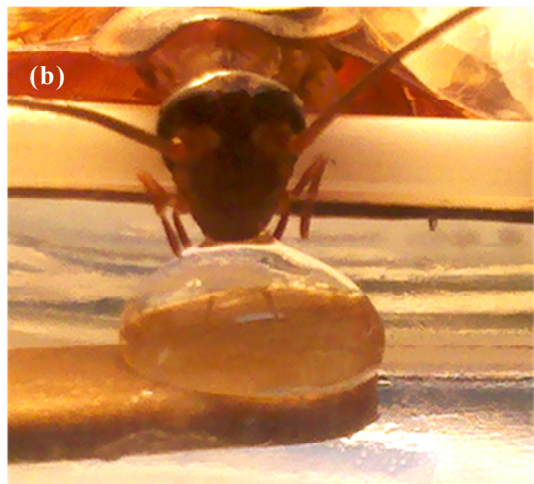
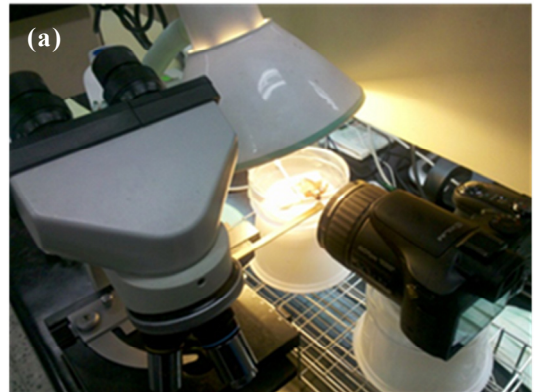
利用二氧化碳麻醉法，將蟑螂麻醉後置於培養皿內，用小剪刀剪去其六肢及翅膀，再從蟲體背部兩側解剖出兩道傷口，再以鑷子小心撕下背部的骨板，最後將覆蓋器官的脂肪體輕輕剝除，以便進行體內器官的觀察。

進一步觀察消化道的組織時，可以鑷子取出各種前腸組織，置於載玻片上並以鑷子進行分離，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。

### 二、口器吸吮反射的記錄

將一平板狀的木製棍一端塗抹凡士林，另一端固定於一顯微鏡載物台上(圖二)。將蟑螂與高速攝影機架設於顯微鏡旁，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，並觀察其口器的吸吮反射。最後分析所記錄之影片。



圖二、口器吸吮反射的觀察(a)實驗裝置架設圖(b)口器吸吮反射的觀察照片

### 三、蟑螂消化道的肌肉電位圖(EMG)記錄

用貼紙將蟑螂腹側黏住，並固定在倒置的培養皿底部(圖三 a)，摺成「U形」的黏土支持蟑螂頭部使口器露出，以方便餵食；以另一培養皿正置於蟑螂口器下方，作為實驗溶液刺激口器後流入的承裝容器。

由蟑螂背部中央進行解剖，將蟲針 A(大小為 00 號蟲針)插入蟑螂的嗉囊壁，將蟲針 B(大小為 00 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(圖三 b)。由於解剖、紀錄時間歷時約 50 分鐘，用保鮮膜覆蓋解剖處，保持濕潤以維持蟑螂組織的正常生理狀態。

本研究利用生理訊號紀錄儀(Power Lab)，進行前腸的肌肉電位圖(Electromyography, EMG)的記錄，過程包括：

### (一) 記錄以下狀態時的 EMG

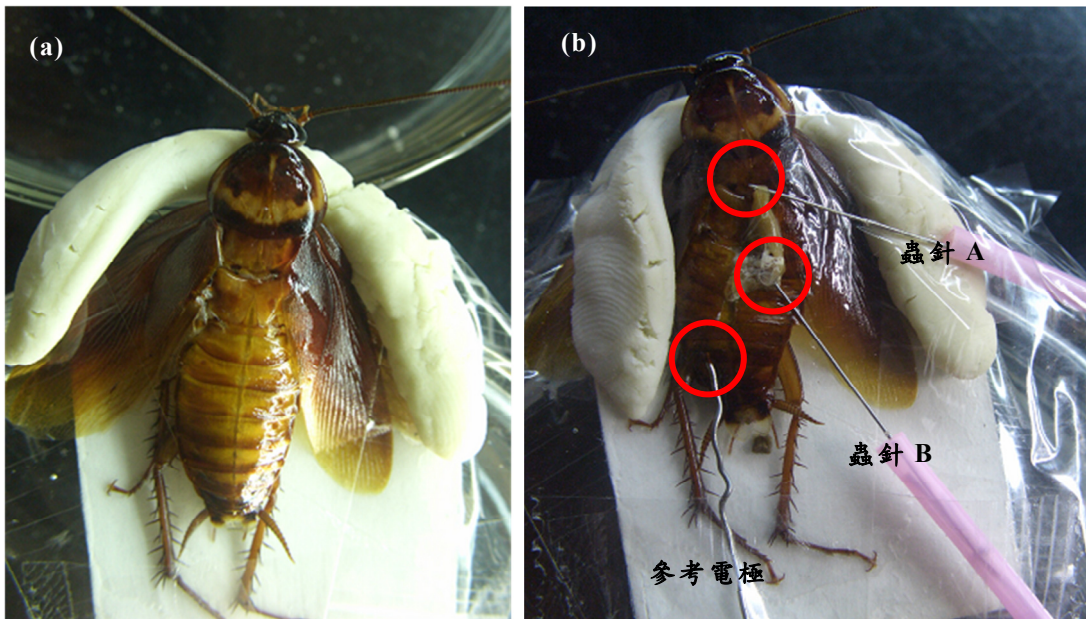
1. 處理刺激物之前：紀錄 5 分鐘
2. 餵食溶液期間：每次餵食時間約 8~10 秒
3. 餵食後：紀錄 10 分鐘
4. 清洗期間：紀錄 20 秒
5. 清洗後：紀錄 10 分鐘

### (二) 記錄以下刺激物刺激口器時的 EMG

1. 清水：蒸餾水
2. 葡萄糖溶液(glucose solution)：飽和溶液
3. 麩胺酸溶液(glutamate solution)：飽和溶液

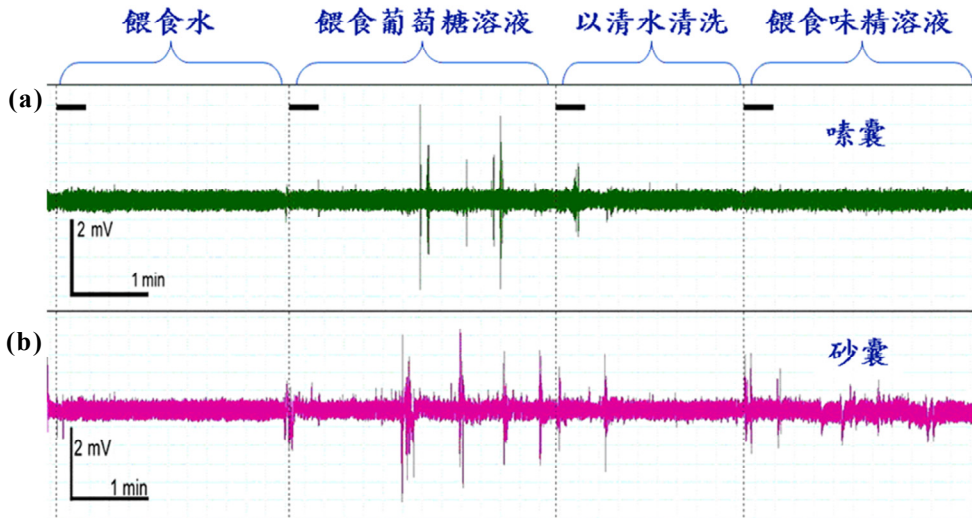
### (三) 量化方法

將所記錄的肌肉電位圖，計算嗉囊與砂囊在味覺刺激前、中、後時，電位變化的振幅(mV)，最後經計算與統計，比較肌肉活性的變化。以圖四為例，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嗉囊與砂囊壁中肌肉的肌肉電位。



圖三、記錄蟑螂前腸肌肉的 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)的位置(A 針插在嗉囊壁;B 針插在砂囊壁)

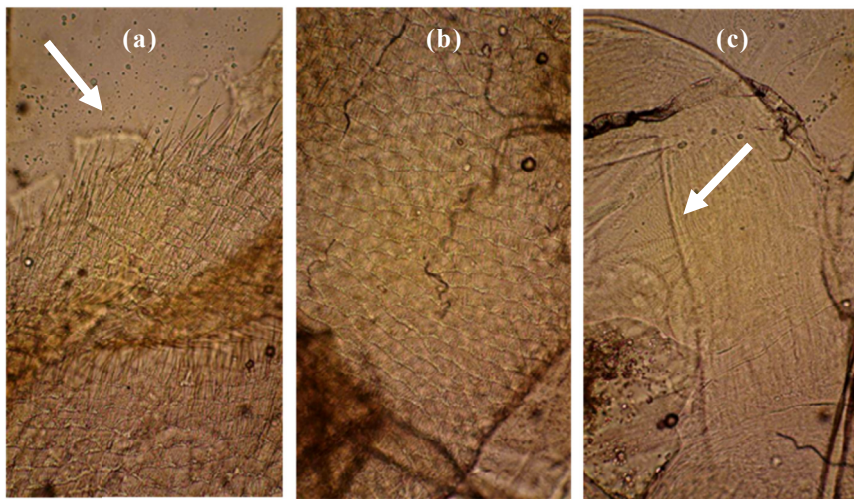


圖四、一次實驗流程的紀錄結果。粗短黑線代表味覺刺激期間。  
(a) 味囊壁肌肉的 EMG 紀錄圖。(b) 砂囊壁肌肉的 EMG 紀錄圖。

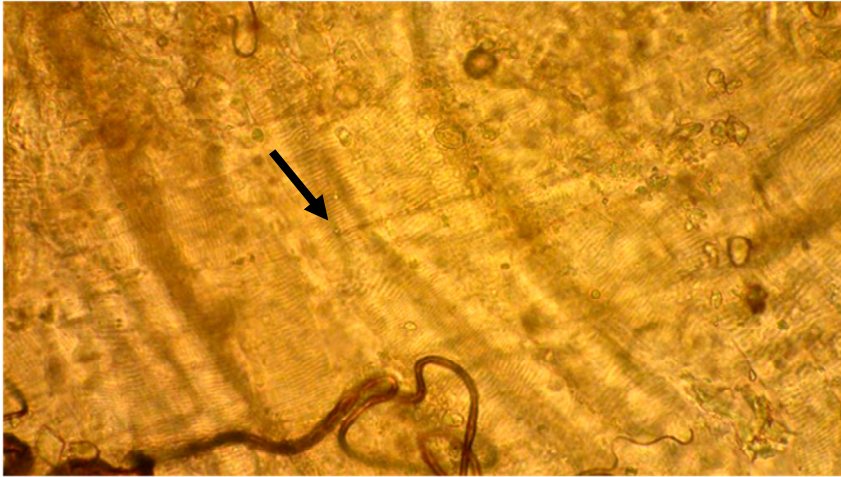
## 肆、研究結果

### 一、蟑螂消化道組織的觀察

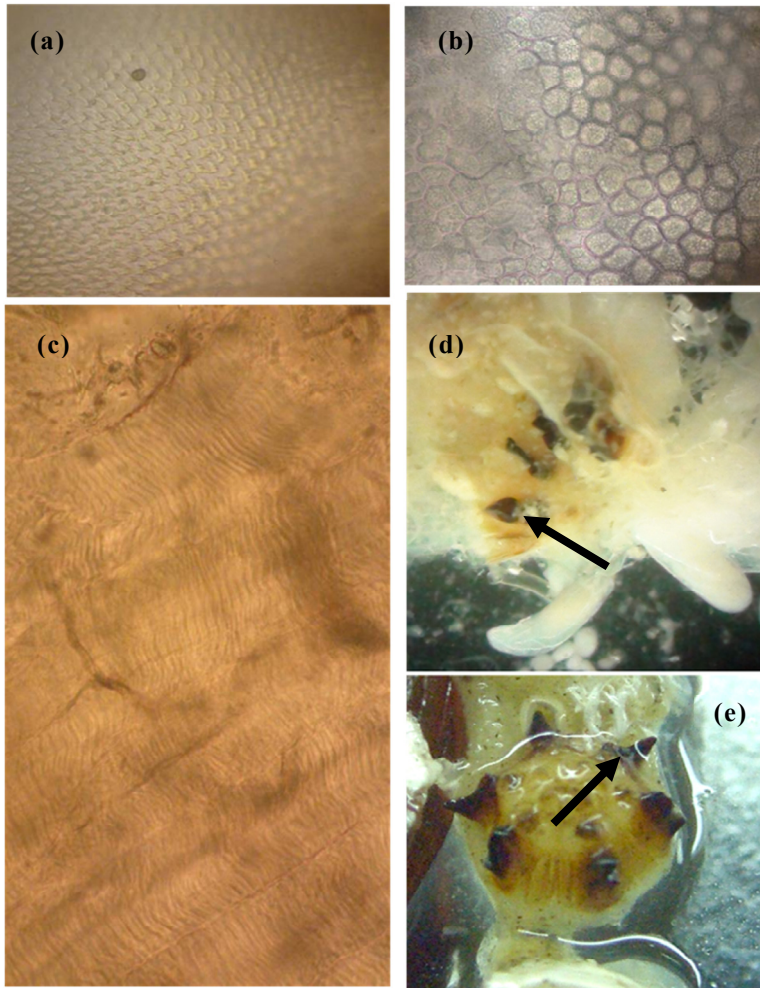
在蟑螂前腸的各段組織中，食道內壁較薄且具有細微的倒鉤，可協助食物在消化道中的移動(圖五 a)，食道壁中的肌肉為橫紋肌(圖五 b)；嗉囊內壁亦較薄，其肌肉為橫紋肌(圖六)；砂囊內襯具有幾丁質化的內壁(圖七 a、b)與齒(圖七 d)，其腸壁中的肌肉層亦較厚，可收縮以磨碎食物，亦屬於橫紋肌(圖七 c)。本研究觀察到蟑螂消化道腸壁中的肌肉皆為橫紋肌，與人體的消化道中的肌肉主要為平滑肌不同。圖八為蟑螂飛行肌的顯微照片，其亦屬橫紋肌。



圖五、食道內壁具有細微的倒鉤(a 箭頭所指)(400X)，內襯為幾丁質化的表面(b)(400X)，其壁中的肌肉為橫紋肌(c 箭頭所指)(400X)。

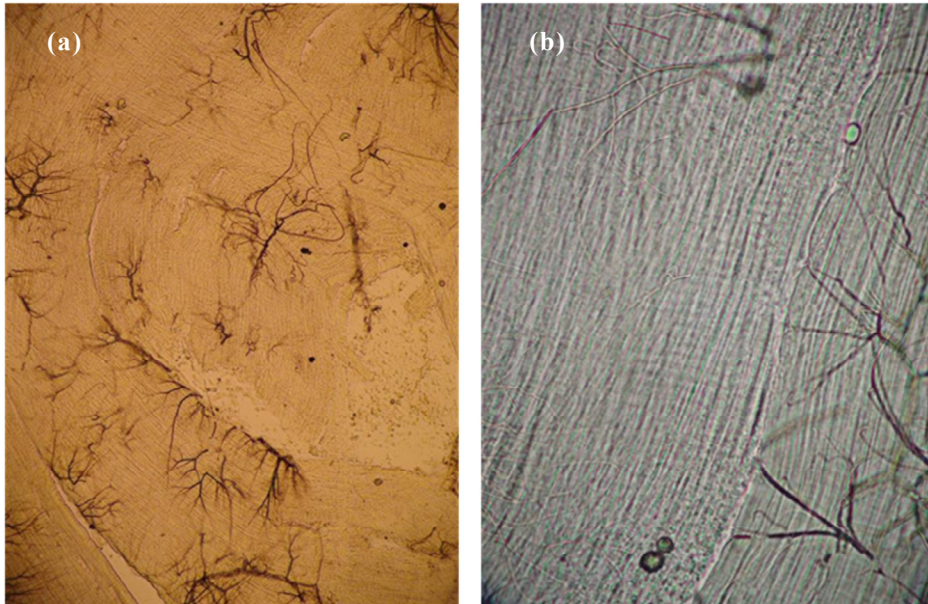


圖六、嚙囊壁中的肌肉為橫紋肌(箭頭所指)(400X)。



圖七、砂囊內壁具有幾丁質的內襯

(a)(b)(400X), 其壁中的肌肉為橫紋肌(c)(400X); 有 6 個齒狀構造物(d、e 箭頭所指)



圖八、蟑螂飛行肌的顯微照片。(a)100X。(b)400X。

## 二、口器吸吮反射記錄

### (一) 清水對口器吸吮反射的效應(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%

### (二) 葡萄糖對口器吸吮反射的效應(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%

### (三) 麩胺酸溶液對口器吸吮反射的效應(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%

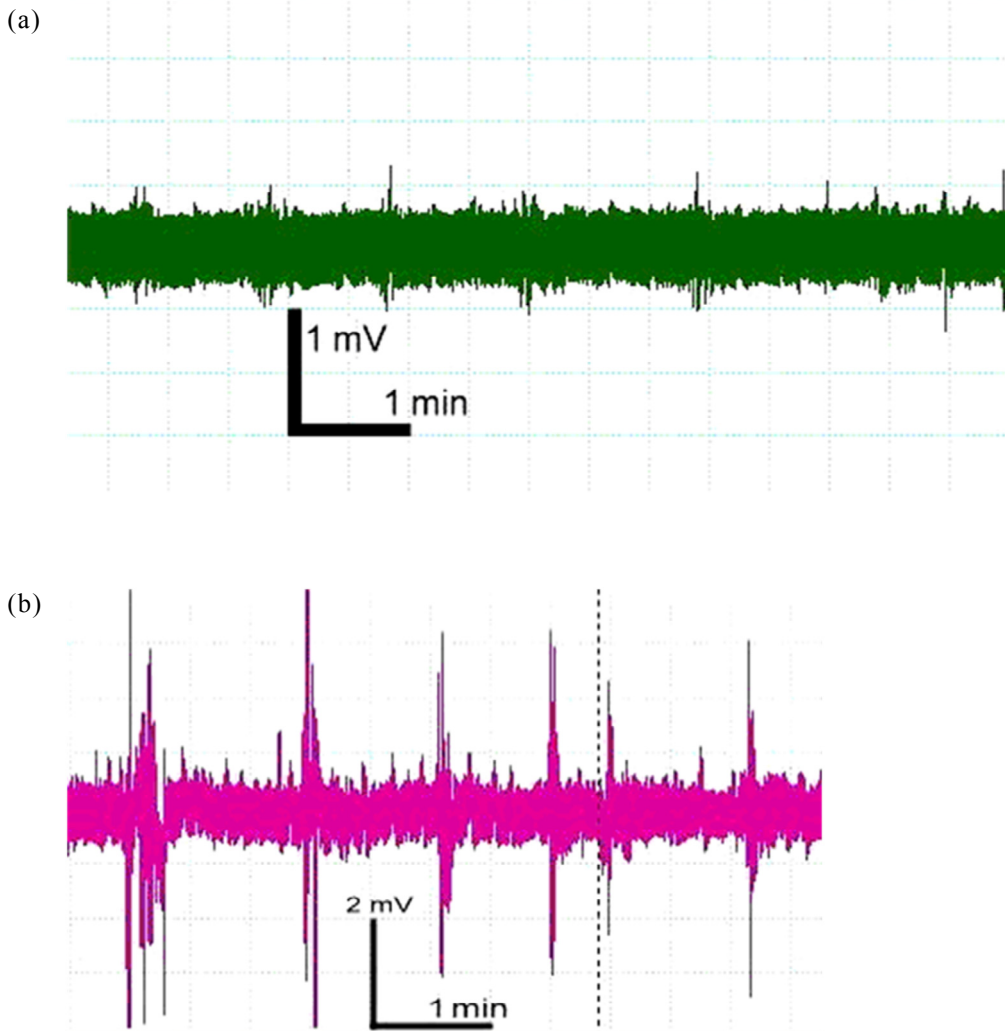
### 三、蟑螂前腸肌肉的 EMG 記錄

#### (一) 前腸肌肉放電的波形與節律性

觀察蟑螂前腸肌肉在刺激物未處理前(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(圖九)，嗦囊與砂囊自發性放電頻率皆約 1 次/分鐘。

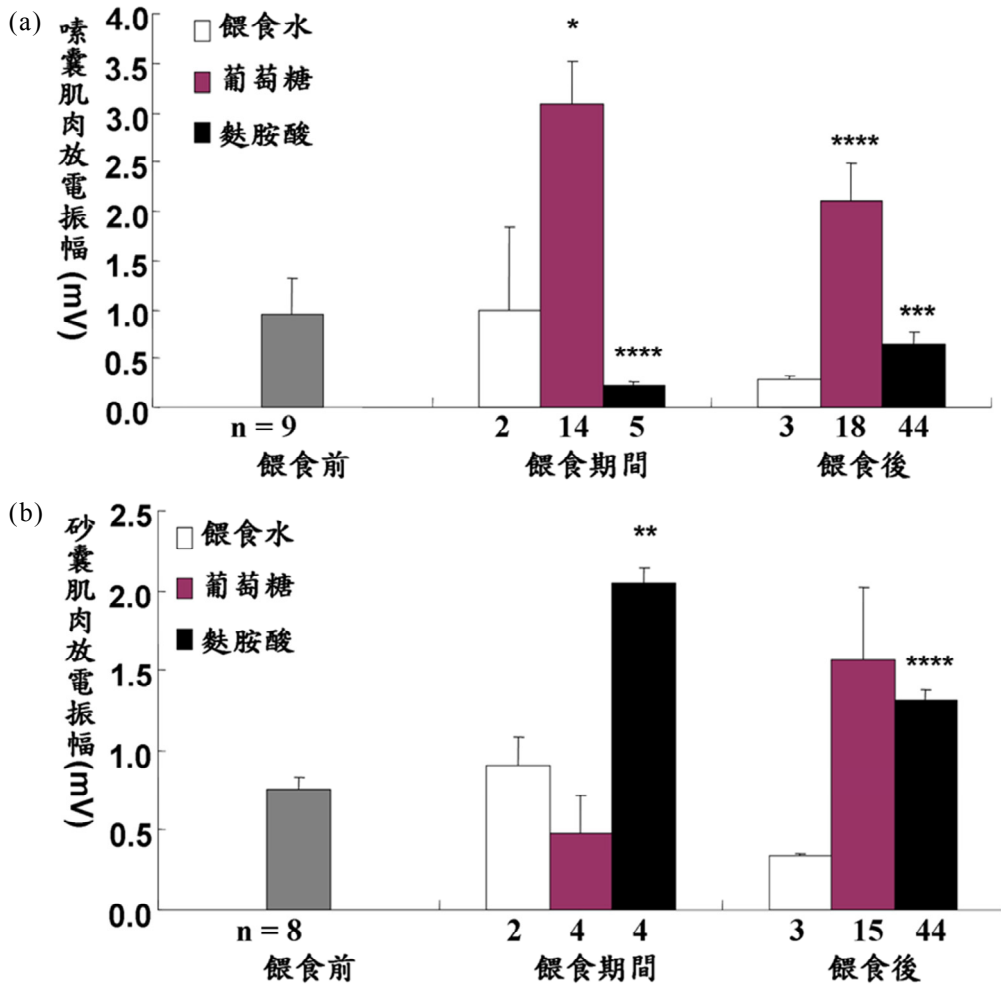
#### (二) 味覺刺激物對嗦囊與砂囊肌肉活性的效應(圖十)

餵食葡萄糖溶液時，嗦囊的放電振幅增加，較餵食麩胺酸溶液及餵食水時顯著。在餵食麩胺酸期間，砂囊的放電振幅增加，較餵食葡萄糖及餵食水時顯著；但餵食麩胺酸期間，嗦囊肌肉的放電振幅卻較餵水時降低。



圖九、嗦囊(a)與砂囊(b)自發性放電的電位圖





圖十、餵食水、葡萄糖溶液、麩胺酸溶液對嗉囊(a)與砂囊(b)肌肉放電振幅的影響 (mean ± SE)。

與餵水的數據相比(one-tailed t test)：

\* :  $p < 0.05$  ; \*\* :  $p < 0.01$  ; \*\*\* :  $p < 0.005$  ; \*\*\*\* :  $p < 0.001$  。

## 伍、討論

本研究發現，不同味覺因子的刺激，對蟑螂前腸肌肉的效應具有差異性，也發現蟑螂前腸的肌肉活性具有前饋作用。也就是說，當外來的刺激物(味覺)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。

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。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。

探討味覺刺激口器對前腸肌肉放電性質的效應時，發現餵食清水並無明顯的

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，發現葡萄糖對於嗦囊肌肉的放電振幅影響較大，而麩胺酸對於砂囊肌肉的放電振幅影響較大。

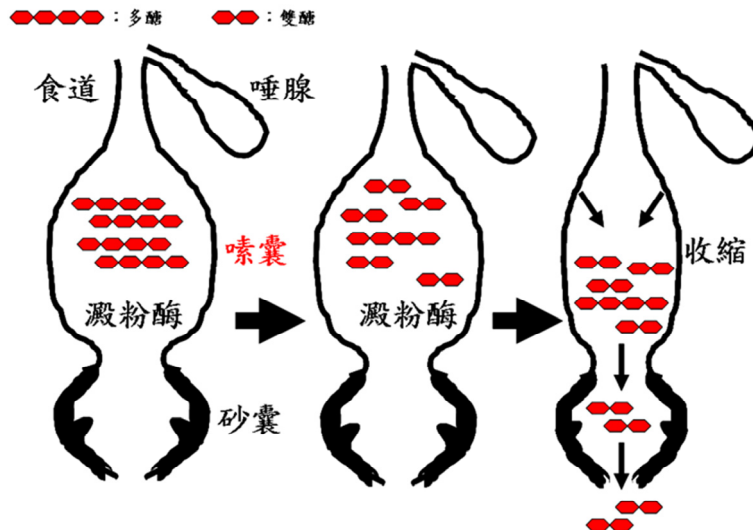
由口器的吸吮反射實驗與 EMG 紀錄的實驗結果可知，以麩胺酸分別刺激同為磨碎器官的口器及砂囊，皆有促進其反應的作用，而葡萄糖對於具儲存食物功能的砂囊，具有促進的作用(表五)。

蟑螂的食道兩側有數對唾腺，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。蟑螂平時所進食的食物含有多醣(如肝糖、澱粉)。當多醣進入到嗦囊時，需透過澱粉酶進行分解，此時不會引發嗦囊肌肉的收縮，而讓食物停留於嗦囊內儲存並進行化學消化；此外，由於多醣分解產生的雙醣或單醣不需在砂囊中進行磨碎作用，因此亦不需引發砂囊收縮(圖十一)，而直接進入中腸吸收。

表五、各種味覺刺激物刺激口器時，對口器、嗦囊與砂囊的效應。

消化構造		生理功能	對不同刺激物的效應
口器		磨碎	吸吮反射率： 麩胺酸>葡萄糖>清水
前腸	嗦囊	儲存、推進	EMG 振幅： 葡萄糖>清水>麩胺酸
	砂囊	磨碎	EMG 振幅： 麩胺酸>葡萄糖=清水

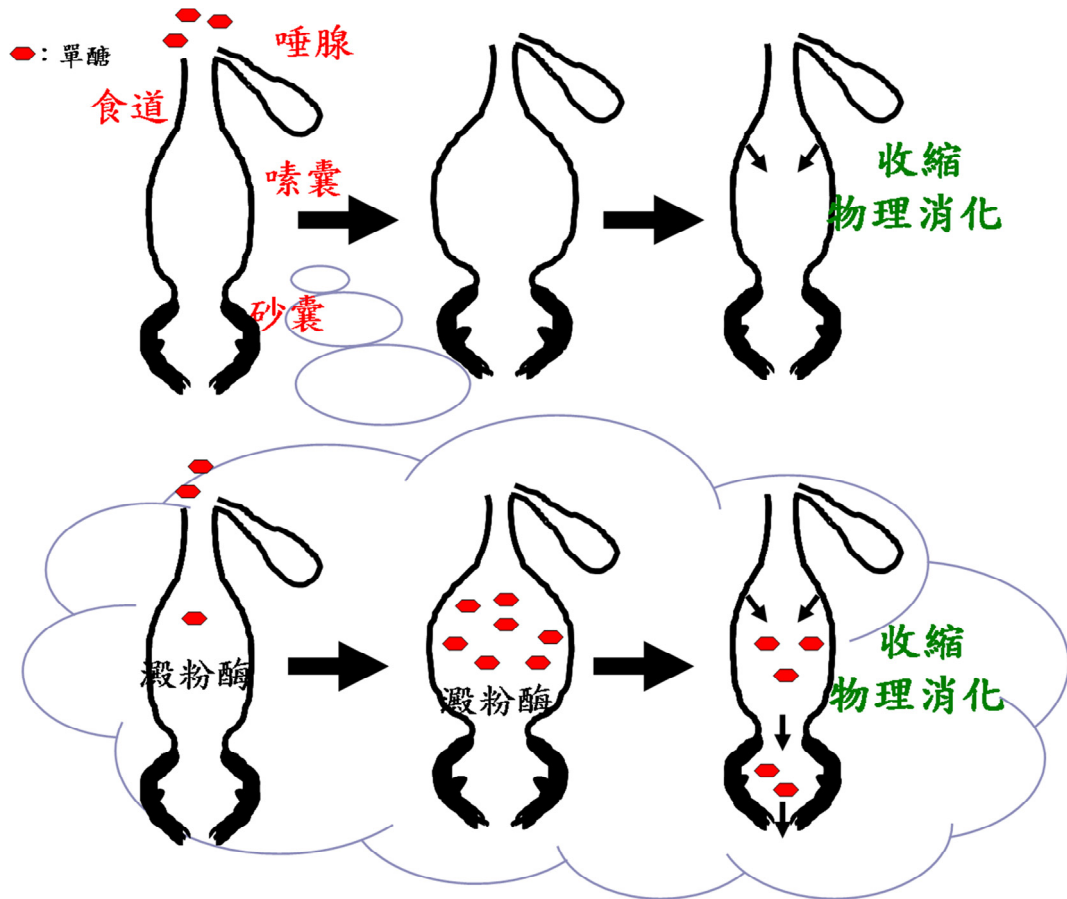


圖十一、多醣對嗦囊、砂囊肌肉活性的效應假說示意圖。進食多醣類時，需於嗦囊進行儲存與分解，待分解後嗦囊才啟動收縮功能。

本實驗的其中一種味覺刺激物為葡萄糖，葡萄糖屬於單醣，經過嗉囊時已不再需要儲存與透過澱粉酶的分解過程，因此嗉囊壁的肌肉可收縮，將葡萄糖擠向下一個消化器官——砂囊；而經過砂囊時也不需要進行磨碎作用，因此葡萄糖溶液刺激口器時(餵食期間)，可引起嗉囊的收縮，以準備進行「推進到下一個消化器官」的步驟，但對砂囊不具效果(圖十二)。

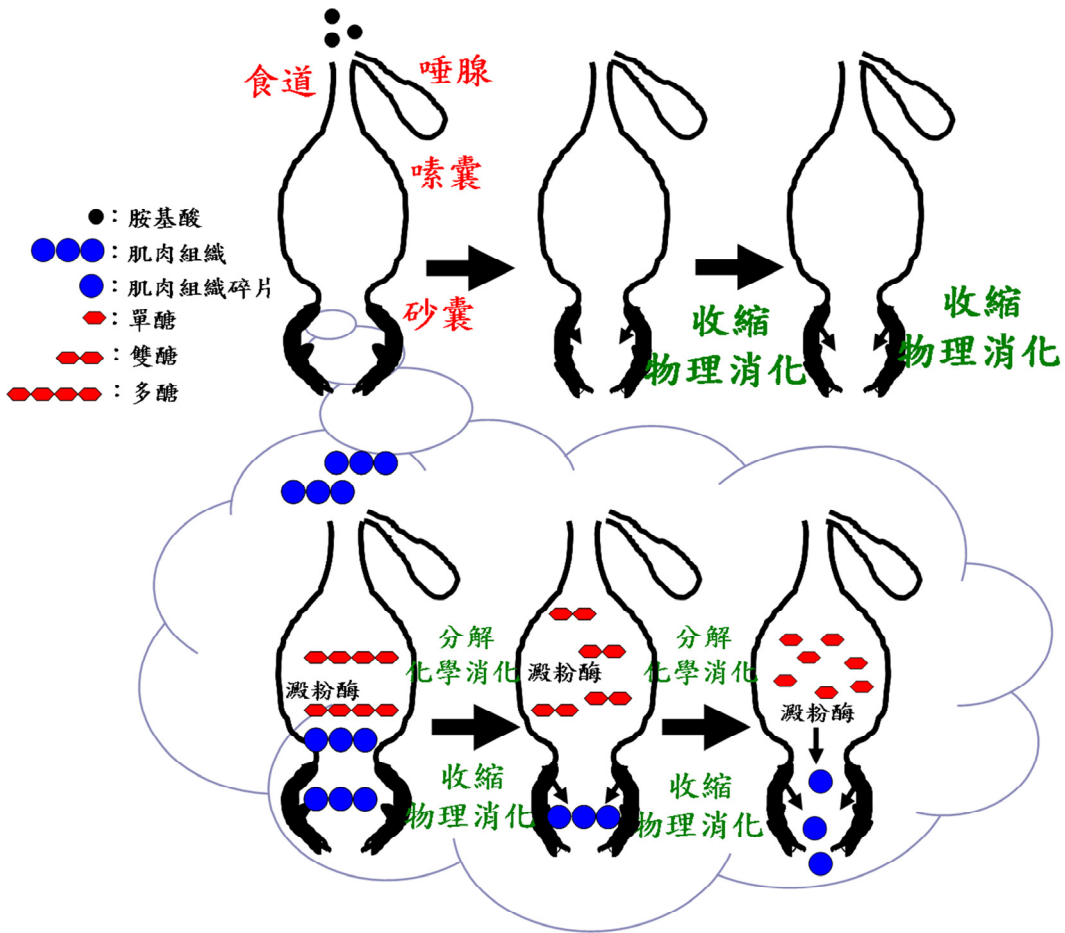
麩胺酸是一種胺基酸，為蛋白質的一種次單位，富含於肉類中，因此蟑螂可能

把麩胺酸的訊號視為富含蛋白質之肉類的訊號。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)，故此時抑制了嗉囊肌肉的收縮活性，減慢食物的推進(圖十三)，以增加化學消化的時間。同時，肉類食物進入到砂囊進行磨碎，增加了砂囊的肌肉活性，以準備磨碎肉類。因此麩胺酸溶液刺激口器時(餵食期間)，可抑制嗉囊的肌肉放電以準備進行儲存與消化作用，而增加砂囊的肌肉放電以準備進行的磨碎作用。



圖十二、葡萄糖的前饋作用增加嗉囊肌肉活性的效應假說示意圖。

進食單醣時，不需儲存與分解的過程，則嗉囊直接收縮將食物推進砂囊。



圖十三、麩胺酸的前饋作用抑制嗦囊與增加砂囊肌肉活性的效應假說示意圖。  
進食肉類時，肉類中的多醣於嗦囊進行儲存與分解，而蛋白質纖維則於砂囊中進行咀嚼、磨碎。

人類有 4 個基本味覺：甜、酸、苦、鹹。人類大部分的味道感覺是由這四種味覺綜合而成的。在 1908 年日本東京帝國大學的池田菊苗教授就發現酸、甜、苦、鹹之外的新味覺。當他研究昆布熬成的高湯成分時，發現了麩胺酸所引發的新味覺(官，2010)，此種味覺是「鮮覺」，和其他四味不同，英語叫「savory」，日本人叫它為「umami」(鮮美、好吃好味的意思)。最近科學家已發現哺乳類的舌上含麩胺酸的感

覺受體，可將麩胺酸訊號傳至大腦產生新味覺(鮮覺)，東方人用的「味精」成分就是一種單鈉麩胺酸。我們推論蟑螂口器也可能具有麩胺酸受體，在餵食時就會刺激口器的受體，進而引發消化道的蠕動效應，這種現象就是前饋作用。

口器是刺激物第一個接觸到的器官，因此在前饋作用下，口器的感應給予嗦囊及砂囊足夠的時間對外來刺激物做出反應。由口器的吸吮反射實驗可知，相對於清水

及葡萄糖水溶液，蟑螂的口器對麩胺酸溶液較敏感，而在 EMG 紀錄的實驗中，若探討刺激物在「餵食期間」的作用，不管是嗦囊或是砂囊，皆對麩胺酸皆具有較明顯的效應(促進或抑制)。也就是說，在餵食溶液的期間，口器、嗦囊、砂囊皆對麩胺酸的刺激具明顯的效應。蟑螂口器可能存在著麩胺酸受體，使麩胺酸的訊號可傳至中樞神經系統引發相關的反射，此種「前饋作用」有利嗦囊及砂囊提早做消化的準備。

## 陸、致謝

本文部分實驗由臺北市 100 年度中等學校學生科學研究獎助計畫(高中職組生物科編號 B02)支持經費，本研究亦獲得第

51 屆全國科展第一名、最佳創意獎，謹此致謝。

## 參考文獻

- 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.
- 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.
- 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.
- 官生華。2010。味覺與味精。台灣醫界，53(5)，271-272。