

2015 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 050013
參展科別 動物學
作品名稱 螂吞虎嚙－探討嗅覺及味覺刺激對蜚蠊口
器、唾腺及砂囊的影響
得獎獎項 大會獎：四等獎

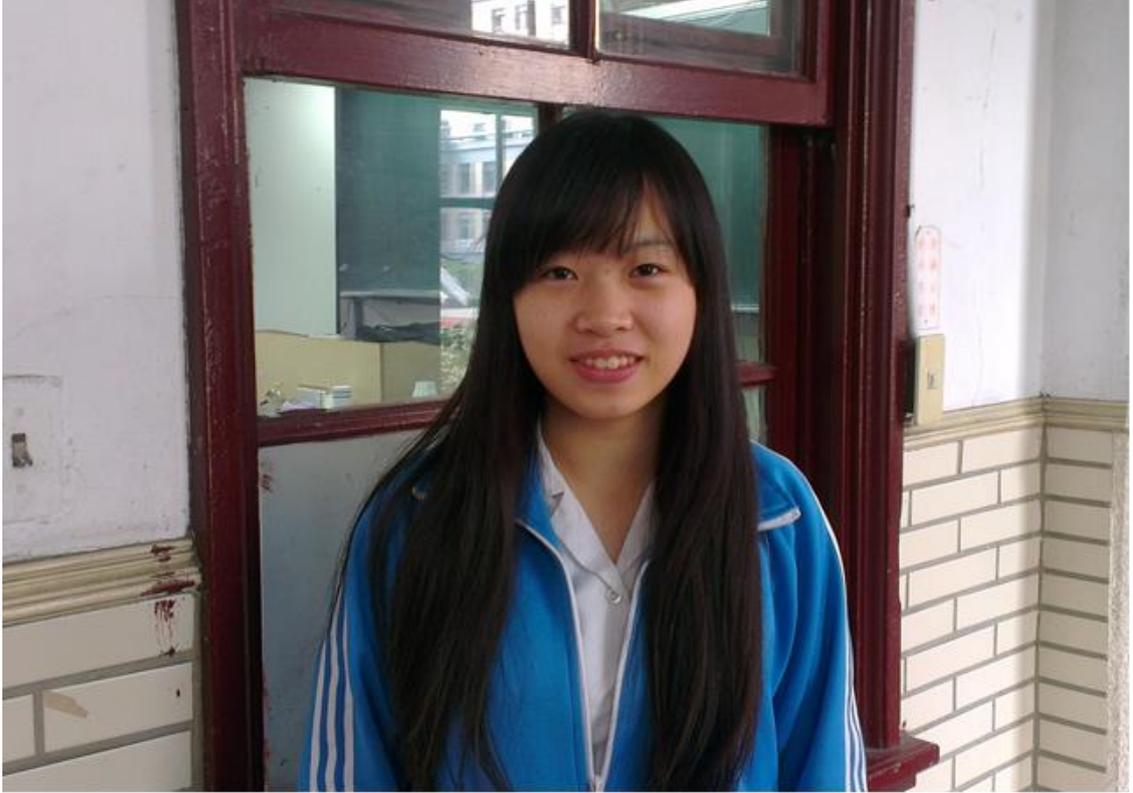
就讀學校 臺北市立中山女子高級中學

指導教師 蔡任圃

作者姓名 林沂萱

關鍵字 口器、唾腺、砂囊

作者簡介



我是林沂萱，在兩年半前因為自己對科學的興趣進入了中山女高數理資優班。由於深深被艦長對科學熱忱的吸引，我成為了生物組的一員，開啟探究自己平常避之唯恐不及的蟑螂的旅程。在做專題的過程中，我學習到許多，從一開始對研究一無所知，至漸漸學會設計實驗、操作、數據分析及結果討論，從無到有著筆完成說明書，不只在科學方面有精進，更學習了合作及言談的技巧。每每於實驗中發現新現象，總令我開心不已，這次參加臺灣國際科展，也希望能夠得到指教，充實自我。

螂吞虎嚥—探討嗅覺及味覺刺激對蜚蠊口器、唾腺及砂囊的影響

中文摘要

本研究以不同濃度各種溶液作為嗅覺與味覺刺激，探討人體與蜚蠊的辨識率與口器反應，發現蜚蠊口器的嗅覺受器極為敏感，大致呈現劑量效應(dose response)趨勢，且可偵測人體無法辨識之揮發性極低的物質，且具熱量之營養物質可增強口器的反射行為。此外，利用記錄組織電位變化的方式，我們發現餵食蔗糖溶液時，蜚蠊唾腺放電反應減弱，推測蔗糖會抑制唾腺分泌水樣唾液，避免稀釋酵素濃度影響消化分解；餵食麩胺酸及醋酸溶液時，唾腺放電反應增強，推測其會引發唾腺分泌水樣唾液，稀釋過高濃度的溶液。而餵食蔗糖溶液時，蜚蠊砂囊放電反應減弱，推測蔗糖會抑制砂囊肌肉收縮；餵食麩胺酸溶液時，蜚蠊砂囊放電則增加，推測麩胺酸會增加砂囊肌肉收縮，以利磨碎食物。

The effects of olfactory and gustatory stimulation on cockroach mouthparts, salivary glands and gizzard

英文摘要(Abstract)

We investigated the response of mouthparts (maxillary palps and labial palps), salivary glands and gizzard while different kinds of solutions approached (olfactory stimulation) or touched (gustatory stimulation) the mouthparts of American cockroaches (*Periplaneta americana*). By image analysis and recording of electrography (EG), we noticed that cockroaches can smell solutions with low volatility (ex. glucose solution). More over, we discovered that while gustatory was stimulated by glucose solution, sucrose solution and glutamate solution (those represent calories contained), the palps will react obviously. When the sucrose solution touched the mouthparts, the salivary gland's discharge frequency will reduce, but the response will increase when it was stimulated by salt solution, glutamate solution and acetic acid solution. Feed-forward reflex of gizzard induced by amino acid were also observed. The physiological significance of phenomenon above-mentioned will be discussed.

一、前言

我們於生物課堂中學習到消化系統具有感覺與反射的功能，在大腦不干預的情形下，能自動完成攝食、咀嚼、消化、吸收等工作；也學到神經系統可透過反射，有效率地完成許多重要的生理作用，而反射的動器包含肌肉或腺體。

昆蟲口器中的小顎鬚及下唇鬚為可偵測食物的受器(Giillott, 2005)，當不同刺激物刺激時，小顎鬚及下唇鬚亦可作為動器，產生反射運動以啣起、攝取食物，並增加運動範圍與頻率以增加感應效率。唾腺組織屬外分泌腺，唾液藉由細管運輸至口腔，而人體之唾液依性質可分為漿狀、黏稠狀及混合狀(Holsinger and Bui, 2007)，當蜚蠊的口器與觸角受機械與化學刺激時，可引發唾液分泌(Giillott, 2005)，唾液可初步消化分解食物。砂囊為昆蟲與鳥類等動物具有的消化器官，可儲存、磨碎及過濾食物，執行物理消化，並將食物送至中腸(Bignell, 1981；何等人，民 101)。換句話說，具受器功能的口器附肢(如小顎鬚及下唇鬚)，應可接受刺激，進而引發口器、唾腺、砂囊等動器的反射，調節其消化作用。例如：曾有研究指出，蜚蠊的口器在接受葡萄糖液或麩胺酸液刺激時，前腸會根據刺激物的不同，引發不同的前饋反射(feedforward reflex)(何等，民 101)，但該研究探討之味覺刺激種類過少，取樣數亦不足，較難一窺昆蟲消化系統反射之調節作用的全貌。

因此，本研究擬以美洲蜚蠊作為實驗動物，以不同的嗅覺與味覺刺激，對口器、唾腺與砂囊的調節作用為主題，探討不同嗅覺與味覺訊息，如何引發前腸的反射與調節消化腺的生理反應，以助於增加蟲體的攝食、消化效率。以下為本實驗之研究目的：

- (一)、探討蜚蠊嗅覺與味覺訊息對口器反射行為的影響，並討論其生理上的意義。
- (二)、觀察唾腺與砂囊在不同實驗溶液刺激口器時之電位變化，並探討其反射現象在消化機制中扮演之角色。

二、研究方法或過程

(一)、研究器材及設備(表一)

表一 實驗裝置器材。

編號	器材名稱	型號規格	備註
1	生理訊號記錄儀	PowerLab 26T	ADInstrument(USA)
2	實驗溶液	蔗糖、葡萄糖、氯化鈉、麩胺酸、 磷酸等水溶液	各溶液之濃度 請目下立
3	解剖器材	小剪、鑷子、培養皿等	
4	解剖顯微鏡	ASTRORIA ST-10	
5	銅芯電線	單蕊、多蕊	
6	蟲針	1 盒*100 根	00 號
7	二氧化碳鋼瓶		
8	蟑螂屋貼紙、膠帶		
9	細吸管		
10	保鮮膜		

(二)、實驗動物

以美洲蜚蠊(*Periplaneta americana*)成蟲作為實驗動物(圖一)，體長約 3 至 4 公分，體型適中，利於操控、插針以觀測待測器官之電位變化；本實驗取得之美洲蜚蠊為校內實驗室飼養，定期提供水源及飼料，實驗過之蟲體不再進行實驗。



圖一 美洲蜚蠊(*Periplaneta americana*)。【本圖曾呈現於 47 屆北市科展作品】

(三)、實驗一：探討嗅覺及味覺引發蜚蠊口器之反射

1. 實驗裝置

先將蜚蠊固定於長方體器皿，使其口器露出，並在一刮勺臂中央黏上膠帶，滴一滴實驗溶液於膠帶上，溶液在膠帶上可呈水滴狀方便餵食。

2. 刺激方式

將刮勺置於蜚蠊口器正下方約三公分處，慢慢上移刮勺(圖二)以接近口器，最後溶液接觸口器，碰觸一秒後再將刮勺移開。

另外進行一組以空刮勺(無溶液)接近口器之操作，作為空白對照組，以證實刮勺靠近時，口器之反應是受實驗溶液所刺激，而非受氣流之影響。



圖二 以實驗溶液接觸蜚蠊口器之操作照片。【本圖曾呈現於 47 屆北市科展作品】

3. 實驗溶液

(1) 清水

(2) 蔗糖水溶液(sucrose solution)

(a) 飽和溶液：濃度 67.74%

(b) 半飽和溶液：濃度 33.33%

(c) 四分之一飽和：濃度 16.67%

(3) 葡萄糖水溶液(glucose solution)

(a) 飽和溶液：濃度 45.35%

(b) 半飽和溶液：濃度 22.67%

(c) 四分之一飽和：濃度 11.33%

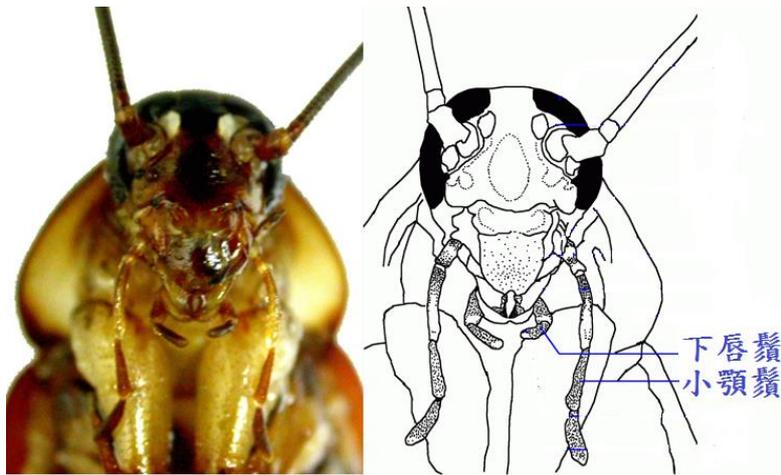
- (4) 氯化鈉水溶液(salt solution)
 - (a) 飽和溶液：濃度 26.47%
 - (b) 半飽和溶液：濃度 12.83%
 - (c) 四分之一飽和溶液：濃度 6.42%
- (5) 麩胺酸水溶液(glutamate solution)
 - (a) 飽和溶液：濃度 42.53%
 - (b) 半飽和溶液：濃度 21.27%
 - (c) 四分之一飽和溶液：濃度 10.63%
- (6) 醋酸水溶液(acetic acid solution)
 - (a) 濃度 10%
 - (b) 濃度 5%
 - (c) 濃度 3%

4. 實驗溶液之餵食順序為：

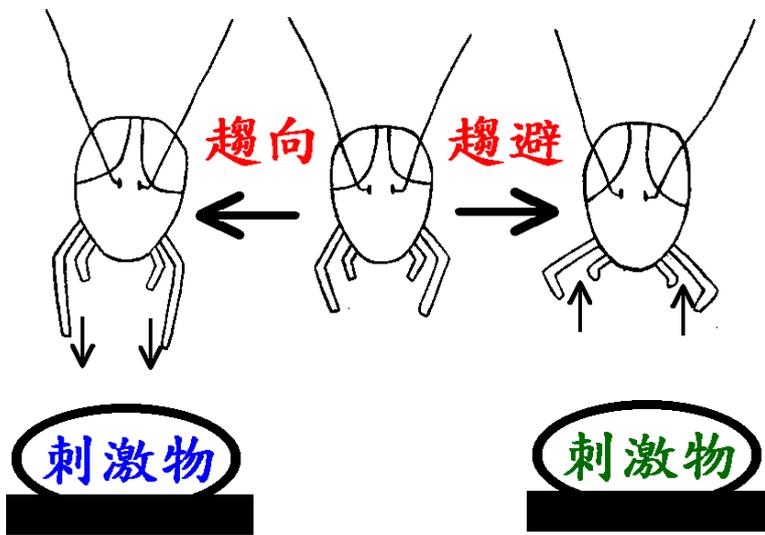
- (1) 無溶液之刮勺三次(氣流刺激)→靜置 1 分鐘→無溶液之刮勺三次
- (2) 蒸餾水三次→靜置 1 分鐘→蒸餾水三次
- (3) 蔗糖溶液三次→清洗口器→蔗糖溶液三次
- (4) 葡萄糖溶液三次→清洗口器→葡萄糖溶液三次
- (5) 氯化鈉溶液三次→清洗口器→氯化鈉溶液三次
- (6) 麩胺酸溶液三次→清洗口器→麩胺酸溶液三次
- (7) 醋酸溶液三次→清洗口器→醋酸溶液三次
- (8) 不同實驗溶液刺激間，清洗口器後，間隔 1 分鐘。

5. 記錄方式

- (1) 記錄期間：
 - a. 嗅覺刺激期間：實驗溶液靠近口器
 - b. 味覺刺激期間：實驗溶液接觸口器
- (2) 記錄口器：
 - a. 小顎鬚(maxillary palp) (圖三)
 - b. 下唇鬚(labial palp) (圖三)
- (3) 記錄內容：當溶液靠近時，記錄口器之趨向反應、趨避反應與無反應的次數；
同樣地，在溶液接觸口器時，亦記錄口器之趨向反應、趨避反應與無反應的次數。(圖四)



圖三 小顎鬚及下唇鬚的位置照片(修改自蔡，民 95)。【本圖曾呈現於 47 屆北市科展作品】



圖四 口器的趨向與趨避行為。【本圖曾呈現於 47 屆北市科展作品】

6. 數據分析

先分別計算各實驗溶液靠近與接觸口器時，小顎鬚及下唇鬚的趨向反應率及趨避反應率。

$$\text{趨向反應率} = (\text{趨向反應次數} / \text{總反應次數}) \times 100\%$$

$$\text{趨避反應率} = (\text{趨避反應次數} / \text{總反應次數}) \times 100\%$$

將小顎鬚及下唇鬚對不同刺激物之趨向反應率減去趨避反應率後，再計算平均值，定義為口器之反應指數。反應指數越大(正值)代表口器偏好(趨向)該刺激物，若為負值則表示口器不偏好(趨避)該刺激物，數值大小表示反應程度。

$$\text{口器之反應指數} = \frac{(\text{趨向反應率} - \text{趨避反應率})_{\text{小顎鬚}} + (\text{趨向反應率} - \text{趨避反應率})_{\text{下唇鬚}}}{2}$$

將各溶液的反應指數與清水的反應指數相比，可比較不同刺激溶液對口器反射的影響，並探討口器反射在生理上之意義。

(四)、實驗二：以各實驗溶液刺激口器，觀察唾腺及砂囊之反應

1. 實驗裝置

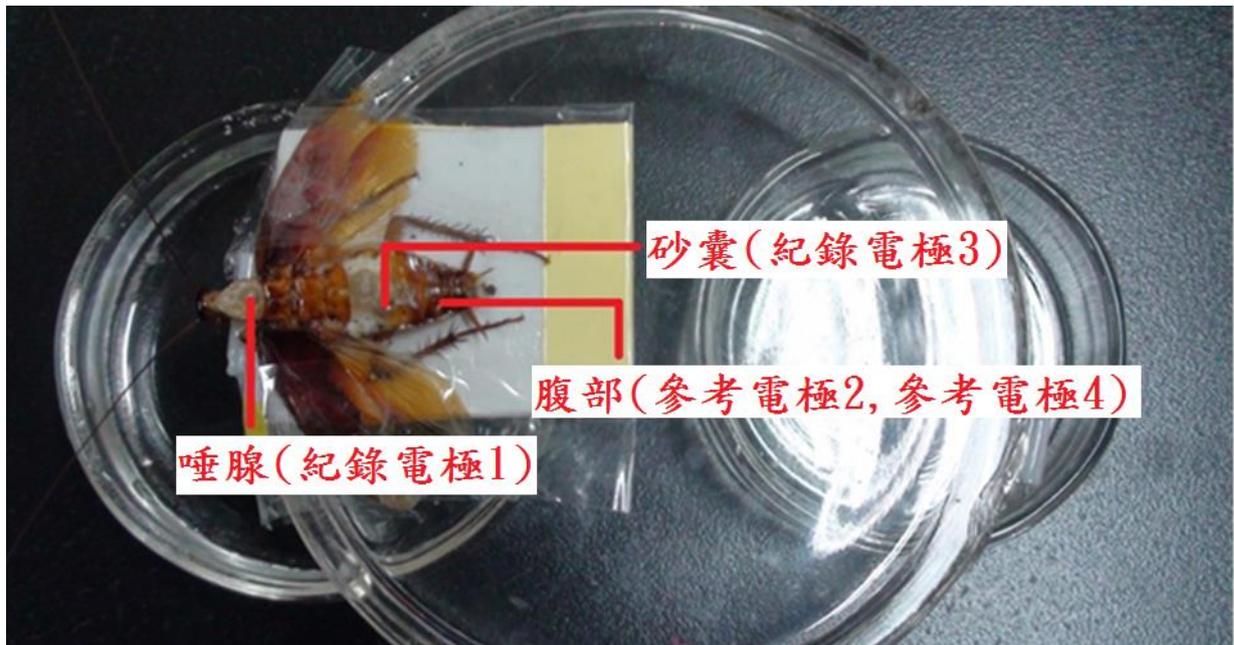
將蜚蠊腹面朝下黏於貼紙後，固定於倒置之培養皿上，使口器露出以方便餵食。接著於蜚蠊背側進行解剖，找到唾腺及砂囊進行觀察(圖五)，為使唾腺及消化道組織不乾涸脫水，將先蓋上保鮮膜以保持濕潤。解剖完成後，放置兩個小型培養皿於底，用以盛裝餵食後之實驗溶液。



圖五 蜚蠊唾腺及砂囊照片。【本圖曾呈現於 47 屆北市科展作品】

本實驗利用生理訊號紀錄儀(Power Lab, ADInstrument, USA)，記錄蜚蠊唾腺與砂囊之電位變化圖。此方法可放大生理電訊號，並記錄放電情形。

我們分別於唾腺、砂囊壁及腹部插入一銅線，在唾腺銅線接上紀錄電極 1，並於腹部銅線接上參考電極 2，形成迴路；而砂囊壁上之銅線則接上紀錄電極 3，再接一參考電極 4 於腹部，形成迴路(圖六)；最後，另將接地電極接於金屬網以隔絕干擾，導除雜訊。利用以上裝置，觀察唾腺及砂囊在受各實驗溶液刺激時的電位變化。



圖六 記錄唾腺與砂囊電位變化之實驗照片。【本圖曾呈現於 47 屆北市科展作品】

2. 實驗溶液

- (1) 清水
- (2) 蔗糖水溶液(sucrose solution)：飽和溶液，濃度 67.74%
- (3) 葡萄糖水溶液(glucose solution)：飽和溶液，濃度 45.35%
- (4) 氯化鈉水溶液(salt solution)：飽和溶液，濃度 26.47%
- (5) 麩胺酸水溶液(glutamate solution)：飽和溶液，濃度 42.53%
- (6) 醋酸水溶液(acetic acid solution)：濃度 10%

3. 刺激方式

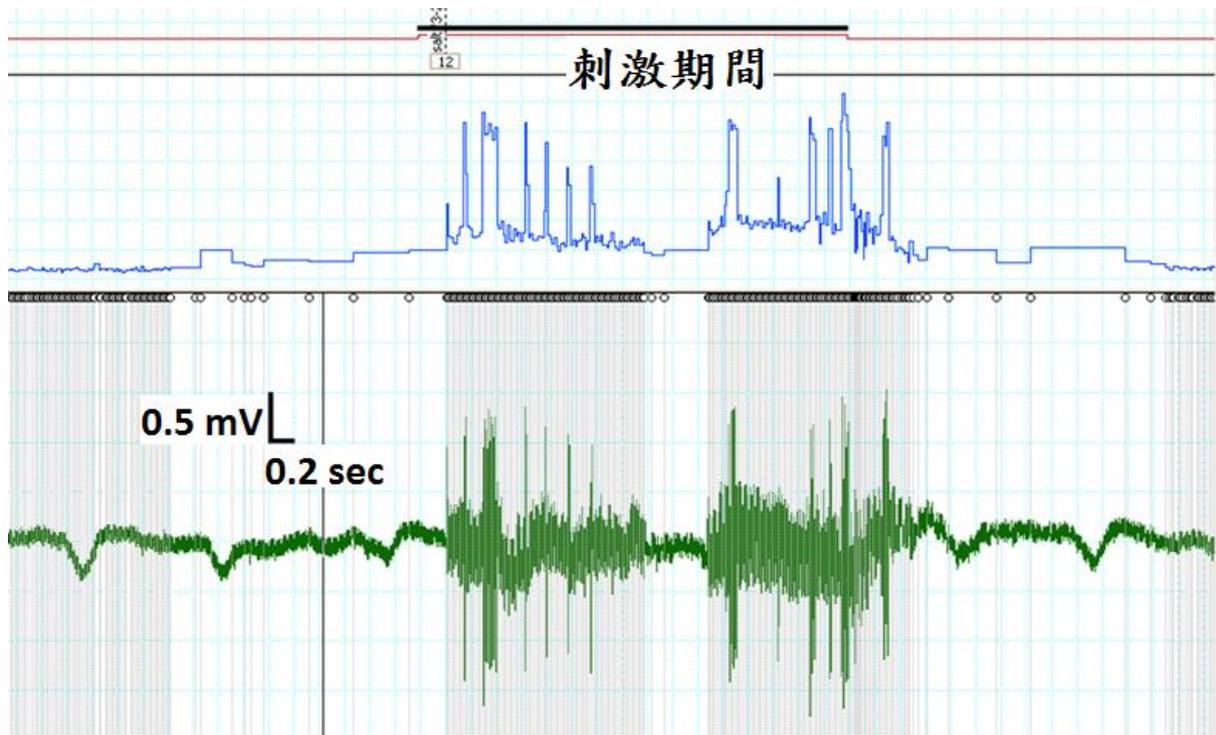
將各實驗溶液盛於小燒杯中，刺激時以滴管吸取直射蜚蠊口器，每次刺激三秒。為避免未刺激時滴管太靠近蜚蠊口器，使其受嗅覺刺激而反射，於進行刺激時才將吸有實驗溶液的滴管靠近口器進行刺激。

4. 實驗流程

- (1) 一般情形：記錄 3 分鐘
- (2) 餵食溶液期間：每次餵食時間約 3 秒，各實驗溶液皆餵食三次
- (3) 同實驗溶液兩次餵食間隔 10 秒
- (4) 餵食後間隔 1 分鐘不進行任何處理
- (5) 清洗：每次 3 秒，餵食不同實驗溶液前須清洗口器，以避免前實驗溶液殘留
- (6) 清洗後 1 分鐘不進行任何處理

5. 量化方法

將記錄之電位變化數據，利用 Power Lab 軟體的「cyclic measurement」功能計算唾腺及砂囊於實驗溶液刺激口器時之放電頻率(次/秒)及最大電位震幅(mV)(圖七)。



圖七 利用軟體計算刺激期間，唾腺放電振幅及頻率。【本圖曾呈現於 47 屆北市科展作品】

(五)、實驗三：人體對嗅覺及味覺訊息之辨識

1. 實驗裝置

將不同實驗溶液倒入 100mL 之燒杯中，燒杯上貼上溶液名稱標籤。另外準備飲用水，受測者受不同溶液味覺刺激之間可漱口用。

2. 刺激方式

- (1) 嗅覺刺激：先使待測者靜坐並閉上眼睛，將燒杯置於嗅覺受器(鼻子)下方約二十公分處，於三秒內上移併靠近鼻子，再於鼻下停留三秒鐘後移開。
- (2) 味覺刺激：先使待測者靜坐、閉上眼睛並伸出舌頭，將棉花棒一端沾上實驗溶液，輕點於待測者之舌尖。

3. 實驗溶液

- (1) 清水
- (2) 蔗糖水溶液(sucrose solution)：飽和溶液，濃度 67.74%
- (3) 葡萄糖水溶液(glucose solution)：飽和溶液，濃度 45.35%

(4) 氯化鈉水溶液(salt solution)：飽和溶液，濃度 26.47%

(5) 麩胺酸水溶液(glutamate solution)：飽和溶液，濃度 42.53%

(6) 醋酸水溶液(acetic acid solution)：濃度 10%

4. 實驗流程

為避免受測者預知下項刺激物為何，溶液之刺激順序為隨機排列。而每次嗅覺刺激期間會使受測者休息 1 分鐘；每次味覺刺激期間則讓受測者漱口，避免不同味覺之間的互相干擾。

5. 記錄方式及數據分析

在受測者受刺激後，詢問其是否可辨識刺激物，若可辨識即說出此刺激物之名稱。答對歸類為可辨識，而答錯或不知道歸類為不可辨識，並以百分比的方式計算出可辨識率及不可辨識率。

$$\text{可辨識率} = (\text{答對次數}/\text{總刺激次數}) \times 100\%$$

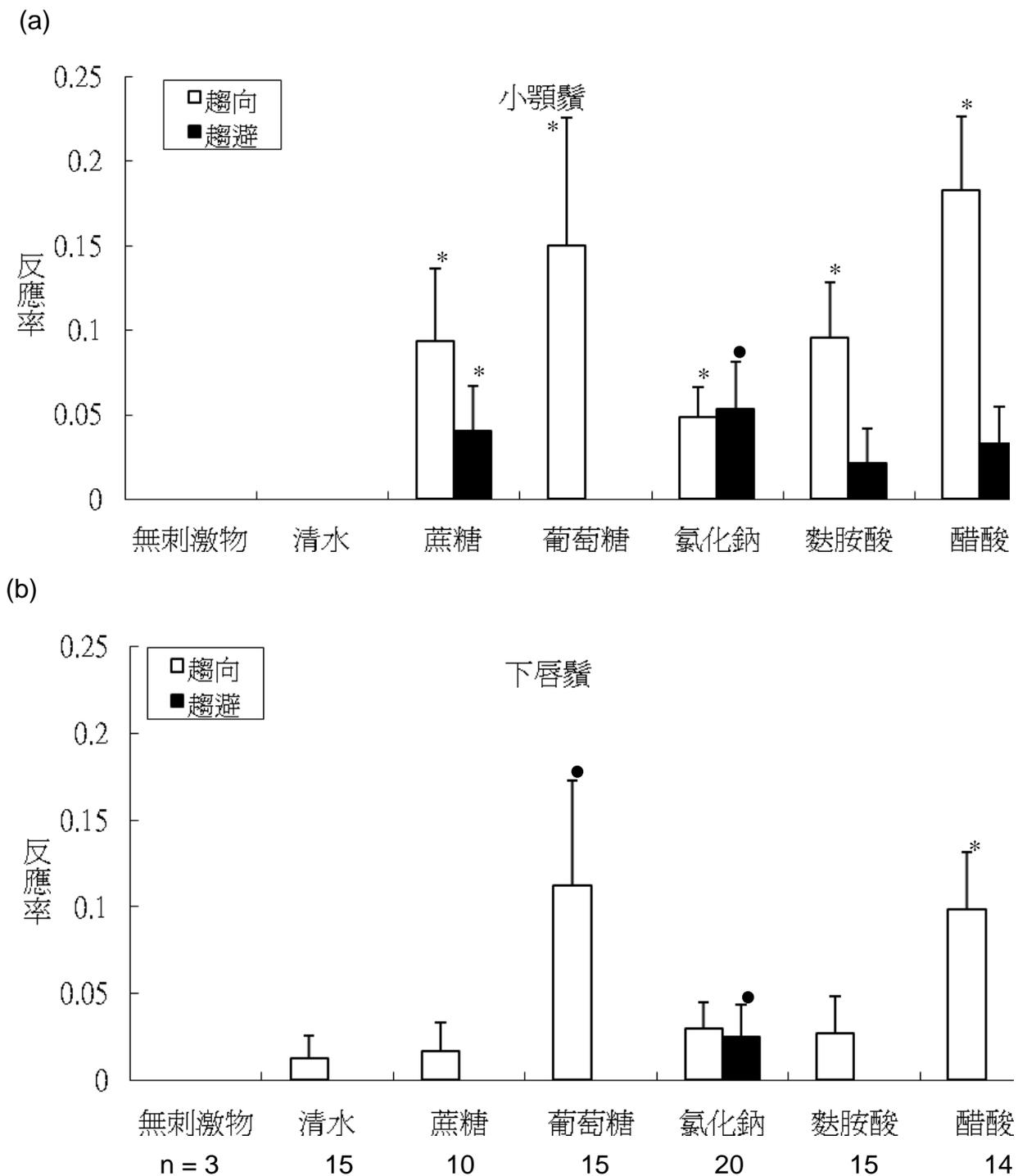
$$\text{不可辨識率} = (\text{答錯次數}+\text{不知道次數}/\text{總刺激次數}) \times 100\%$$

三、研究結果與討論

(一)、研究結果

1. 蜚蠊口器的嗅覺反射

本研究發現，當各種飽和濃度刺激物靠近小顎鬚及下唇鬚作為嗅覺刺激時，小顎鬚及下唇鬚皆產生反應，且除了對氯化鈉溶液的反應較傾向趨避反應，對其他刺激物皆傾向趨向反應(圖八)。

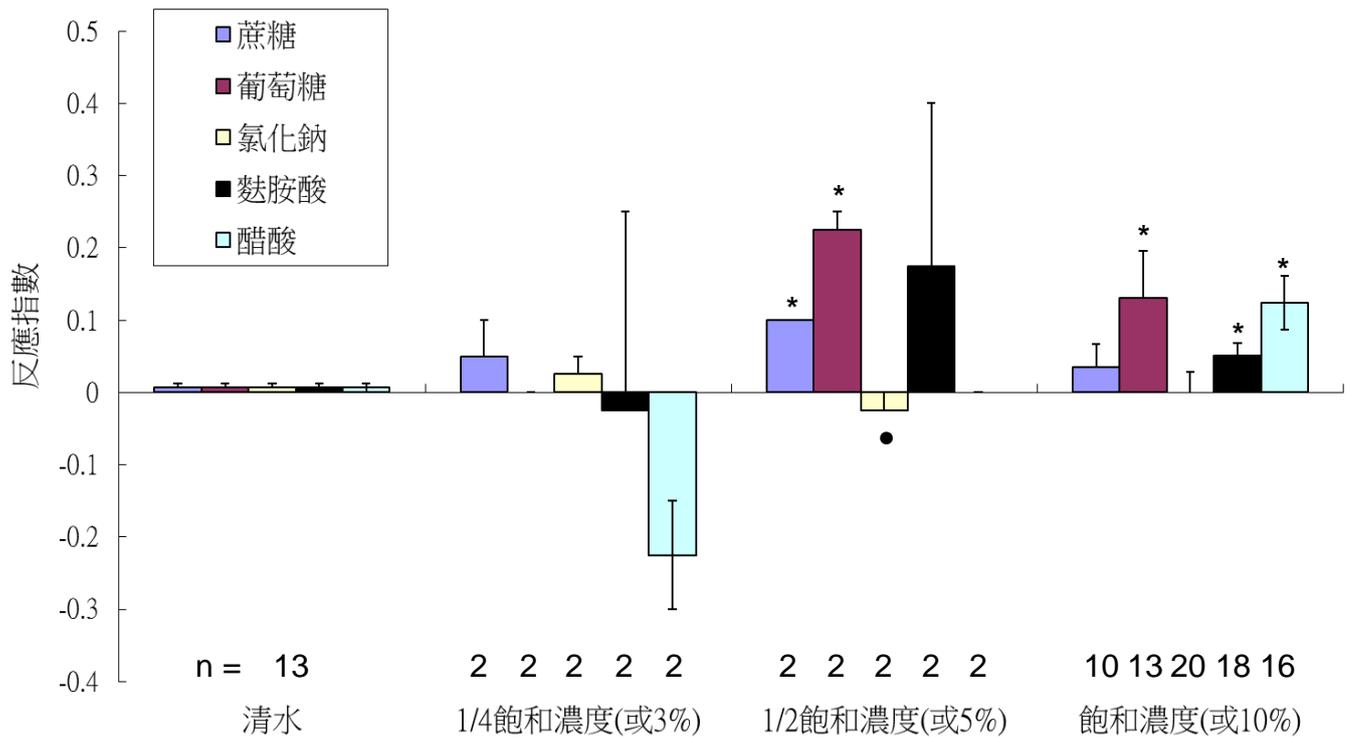


圖八 刺激物靠近蜚蠊口器時，口器之小顎鬚(a)與下唇鬚(b)的反應率。

(n = 取樣數，平均±標準誤)。單尾 t 檢定(與清水組相比)，●：p < 0.1；*：p < 0.05。

【本圖為 47 屆北市科展作品增加取樣數、改良數據處理與以統計方法驗證後的成果】

若比較不同溶液濃度嗅覺刺激時的口器反應指數，我們發現當以飽和濃度的葡萄糖、麩胺酸及醋酸溶液靠近口器時，引起的反應較清水靠近時強；而以半飽和蔗糖、葡萄糖及氯化鈉溶液靠近口器(嗅覺刺激)時，口器反應指數上升；以四分之一飽和濃度的各溶液刺激口器時，與以水刺激時的反應則皆未達成統計差異(圖九)。



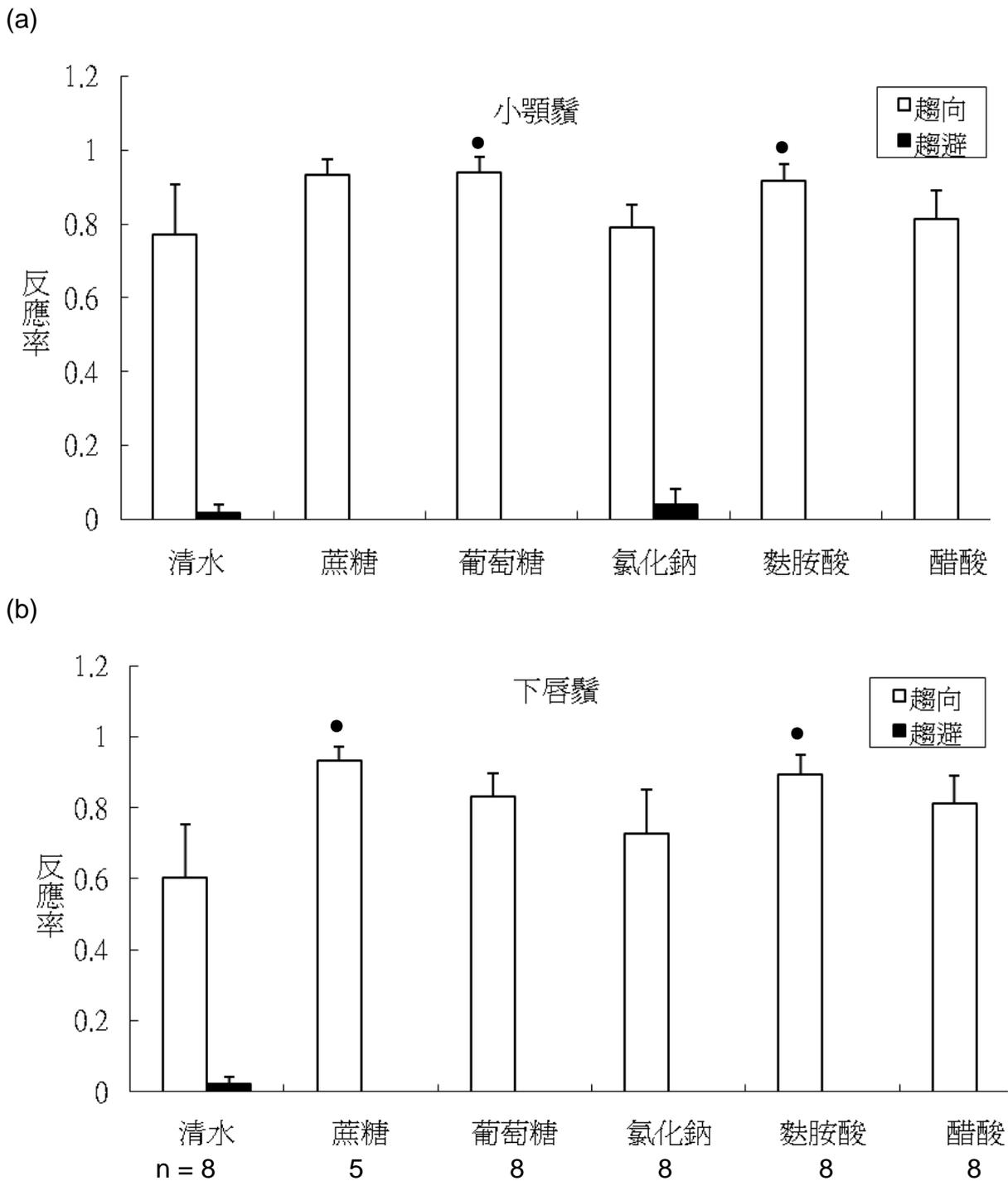
圖九 不同濃度刺激物靠近口器(嗅覺刺激)時，蜚蠊口器之反應指數。

(n = 取樣數，平均±標準誤)。

單尾 t 檢定(與清水組相比)，●：p < 0.1；*：p < 0.05。

2. 蜚蠊口器味覺反射

蜚蠊口器接觸(味覺刺激)到各飽和濃度刺激物時皆產生趨向反應，小顎鬚對葡萄糖飽和溶液及麩胺酸飽和溶液反應率較大；下唇鬚反應率則對蔗糖飽和溶液及麩胺酸飽和溶液較大(圖十)。

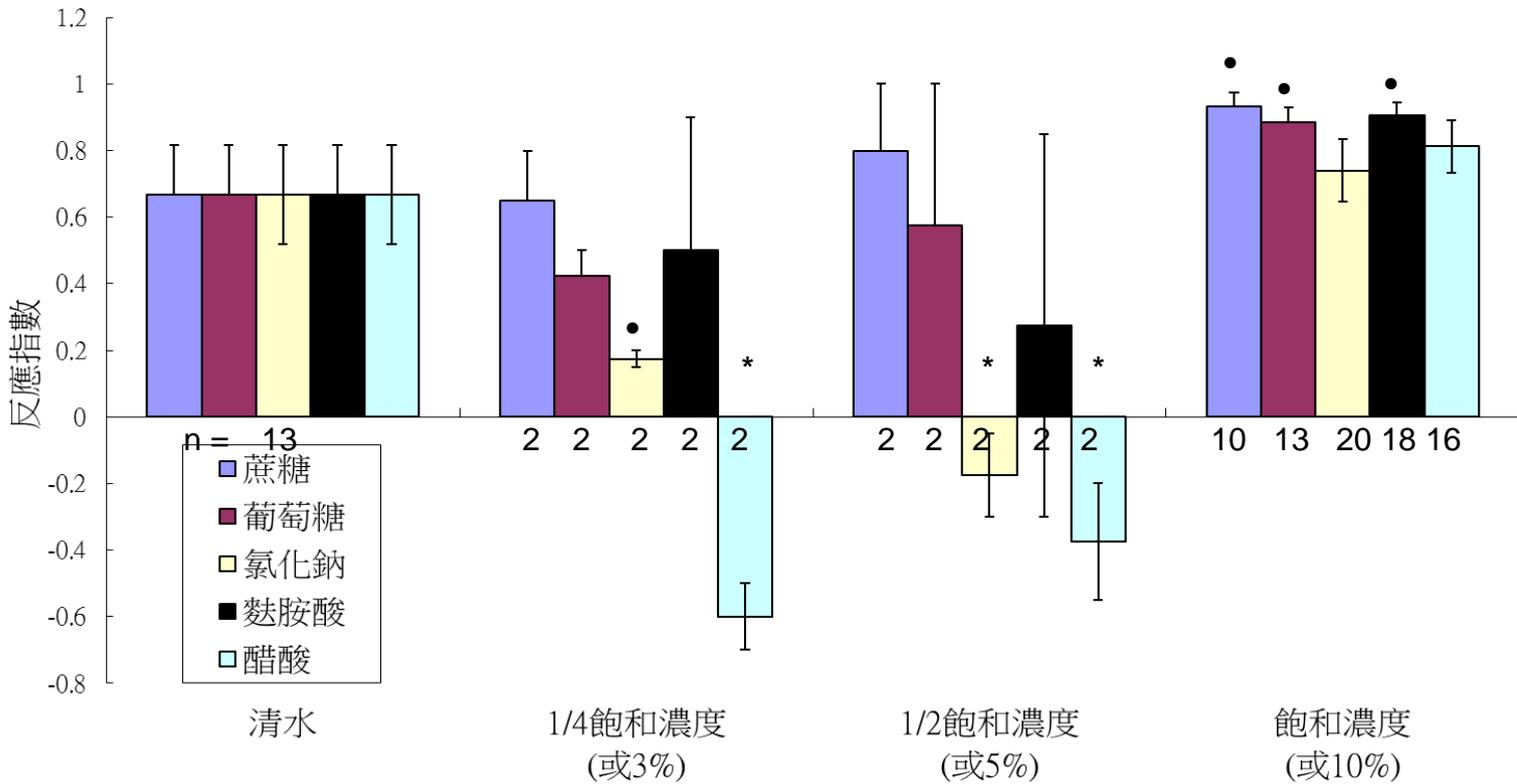


圖十 刺激物接觸蜚蠊口器時，口器之小顎鬚(a)與下唇鬚(b)的反應率

。(n = 取樣數，平均±標準誤)。單尾 t 檢定(與清水組相比)，●：p < 0.1。

【本圖為 47 屆北市科展作品增加取樣數、改良數據處理與以統計方法驗證後的成果】

若比較不同溶液濃度接觸(味覺刺激)時口器的反應指數，我們發現當以飽和濃度的蔗糖、葡萄糖及麩胺酸溶液碰觸口器時，引起的反應較清水靠近時強；而以半飽和及四分之一飽和氯化鈉及醋酸溶液接觸口器時，口器反應指數下降，產生趨避反應(圖十一)。



圖十一 不同濃度刺激物接觸口器(味覺刺激)時，蜚蠊口器之反應指數。

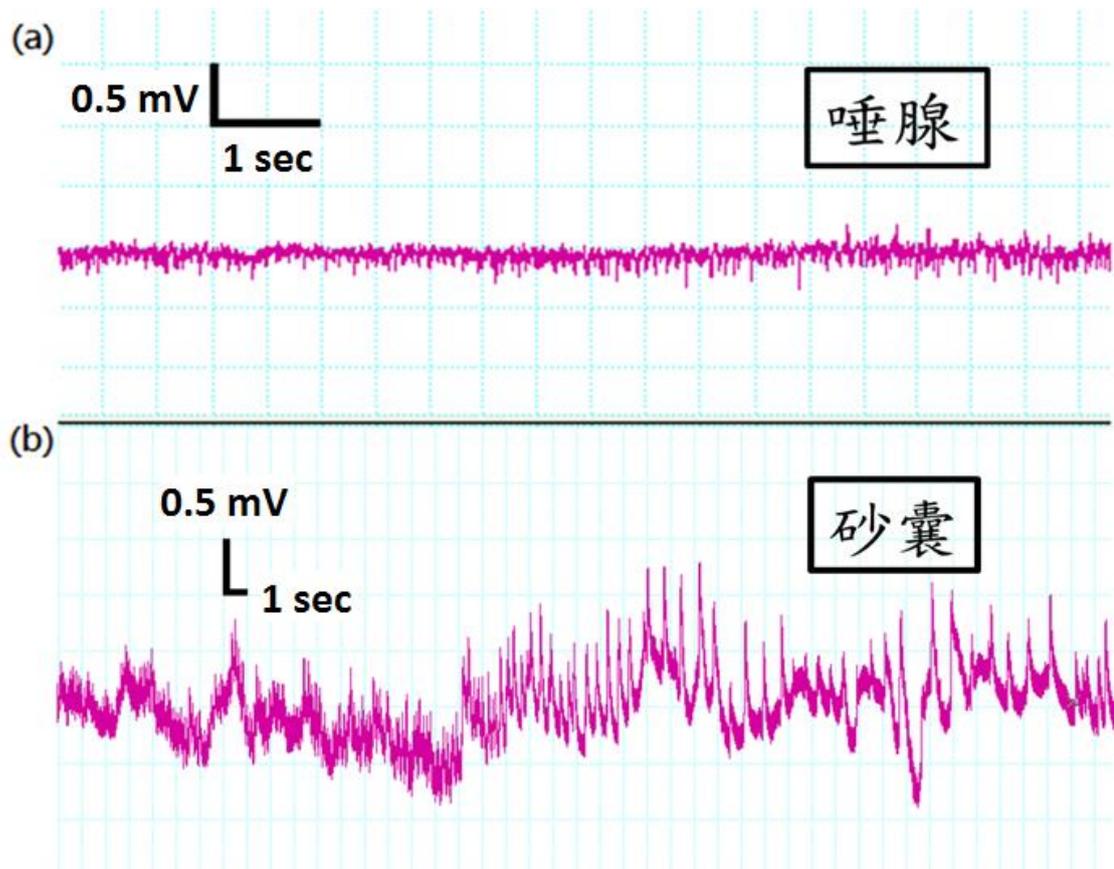
(n = 取樣數，平均±標準誤)。

單尾 t 檢定(與清水組相比)，• : $0.05 < p < 0.1$; * : $p < 0.05$ 。

3. 唾腺及砂囊的電位變化

(1).一般情形下，唾腺及砂囊之電位變化記錄

圖十二為唾腺及砂囊於一般情況(未刺激)時之放電情形。砂囊具有自發性且規律的放電情形，與何等人(民 101)的觀察一致。

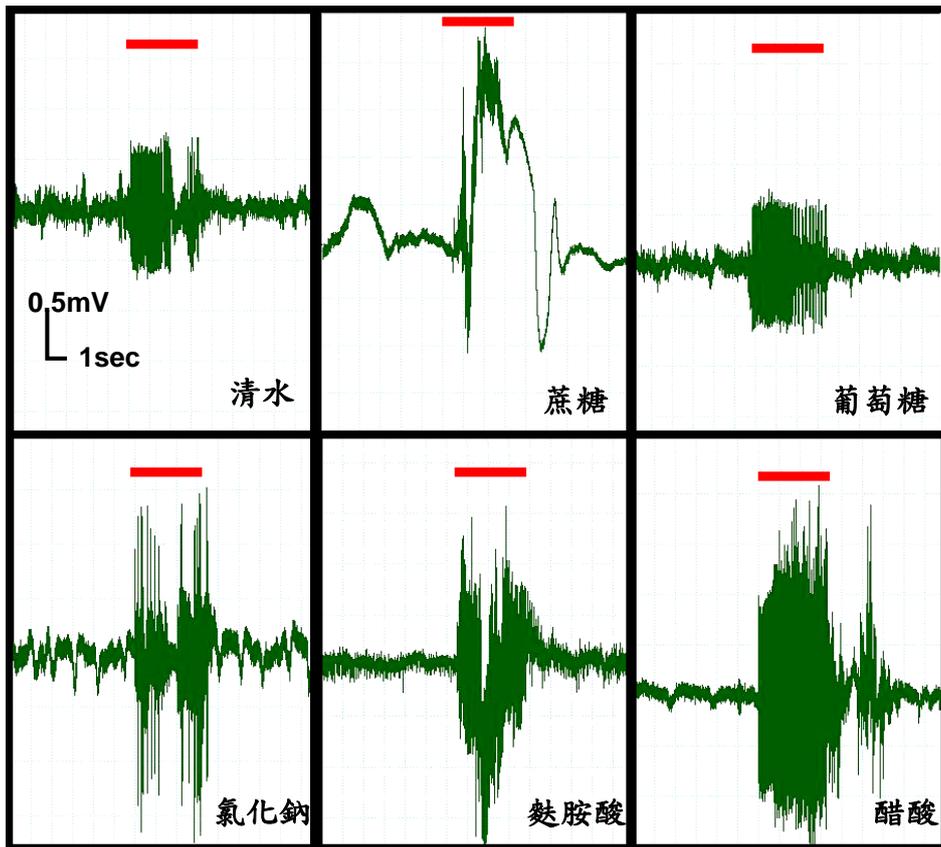


圖十二 蜚蠊於未刺激時，唾腺(a)與砂囊(b)的電位變化圖。

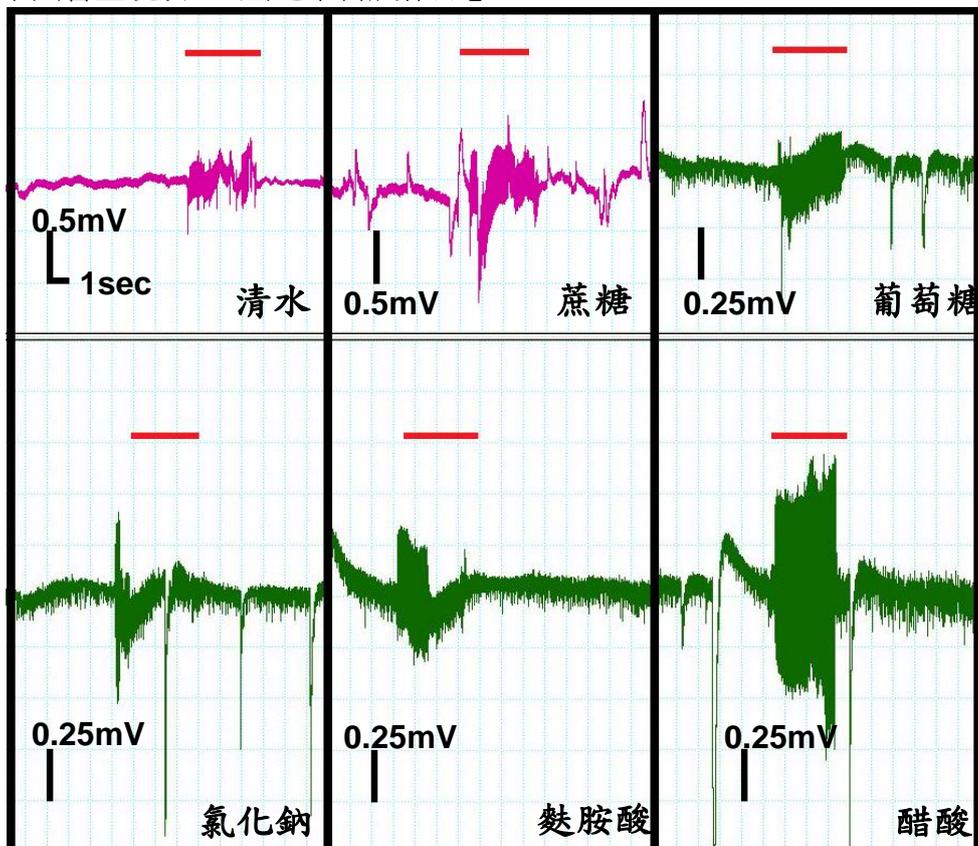
【本圖曾呈現於 47 屆北市科展作品】

(2).各溶液刺激口器時，對口器、唾腺與砂囊的調節作用

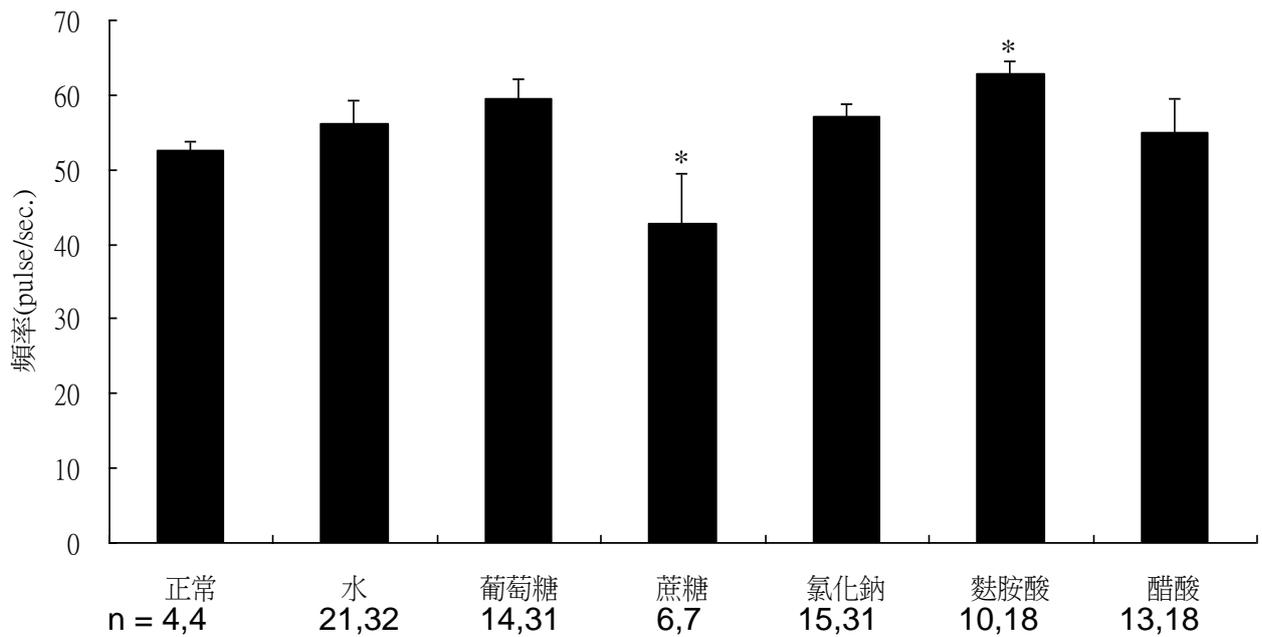
清洗口器時電位變化與水相似，未列入討論。各溶液刺激口器時，唾腺與砂囊之電位記錄如圖十三與圖十四。以餵食清水為對照組，比較各刺激物對唾腺(圖十五、圖十六)與砂囊(圖十七、圖十八)的影響，亦與口器的反應(圖十一)相互比照，我們發現：餵食葡萄糖水溶液時，雖然口器反應率增加，但對唾腺及砂囊未造成明顯影響；餵食蔗糖溶液時，雖然口器反應率增加，唾腺及砂囊的放電頻率皆減弱；餵食氯化鈉溶液時，口器及砂囊對此味覺刺激無明顯反應，但唾腺放電振幅增強；餵食麩胺酸溶液時，口器於接觸溶液後反應率增加且唾腺及砂囊的放電頻率皆增大；餵食醋酸水溶液期間，口器無明顯反應，唾腺放電震幅增強，砂囊則無明顯反應。



圖十三 各溶液刺激口器時，唾腺之電位記錄。紅色線段代表刺激期間。
【本圖曾呈現於 47 屆北市科展作品】

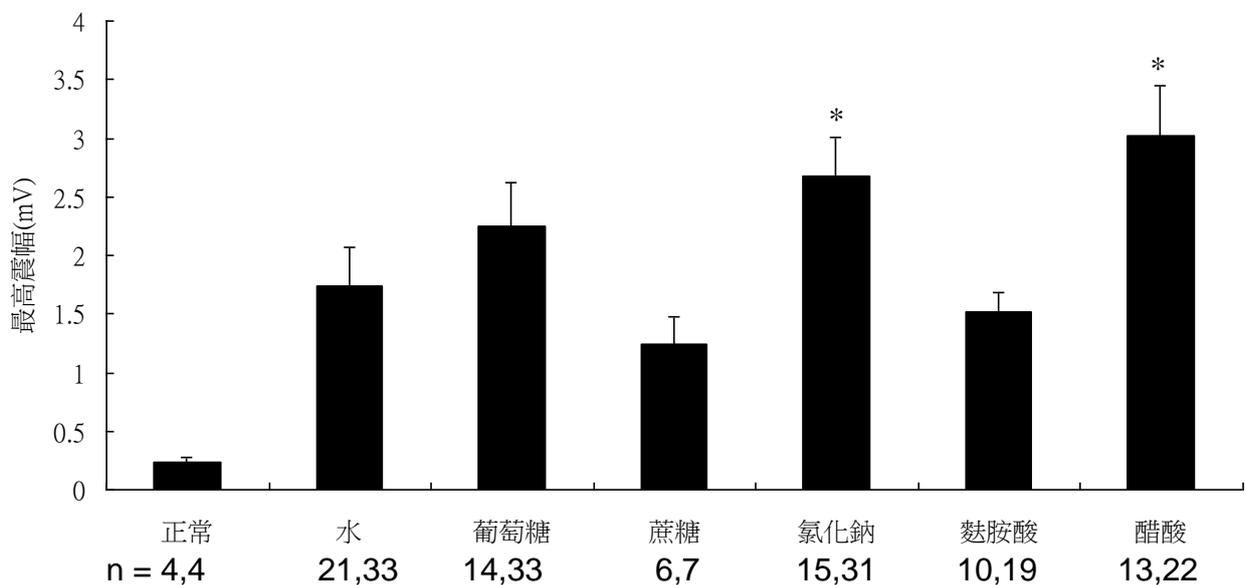


圖十四 各溶液刺激口器時，砂囊之電位記錄。紅色線段代表刺激期間。
【本圖曾呈現於 47 屆北市科展作品】



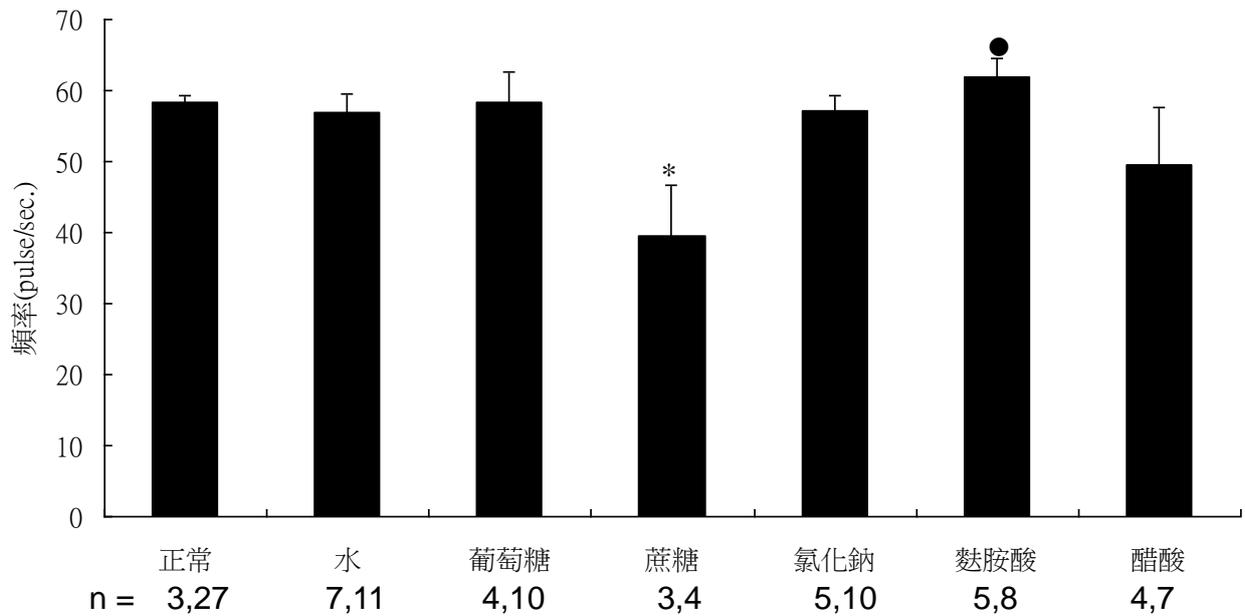
圖十五 各種刺激物接觸口器時，蜚蠊唾腺放電的頻率(n = 取樣數，平均±標準誤)。單尾 t 檢定(與清水組相比)，* : $p < 0.05$ 。n = 隻數,記錄次數。

【本圖為 47 屆北市科展作品增加取樣數與新增對照組後的成果】



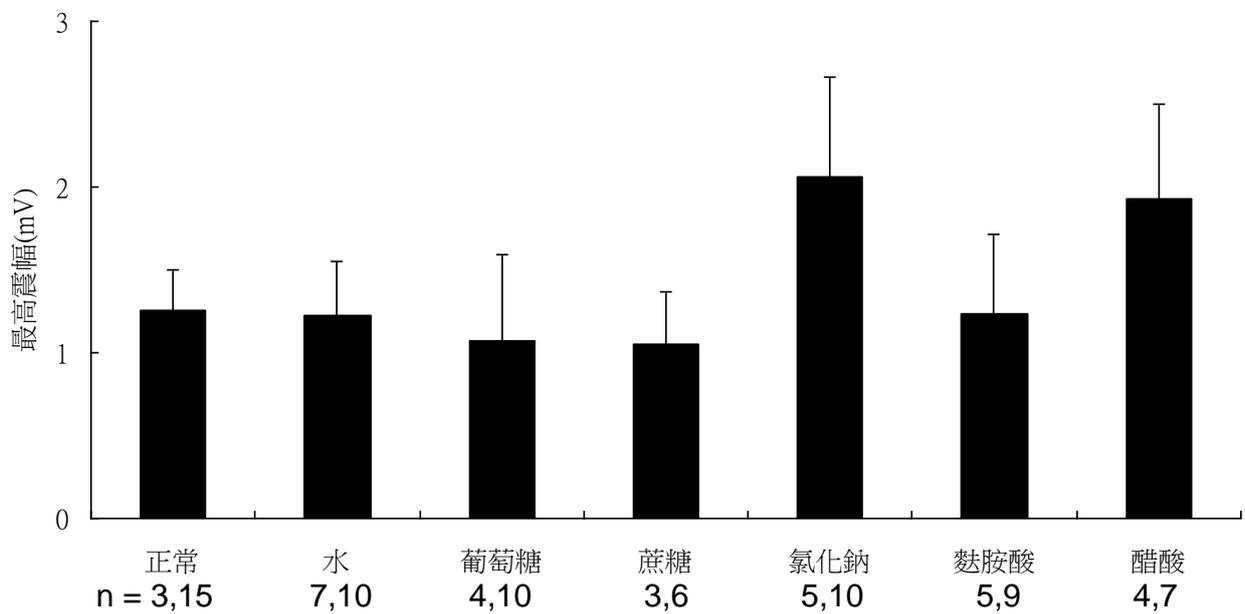
圖十六 各種刺激物接觸口器時，蜚蠊唾腺放電的最高振幅(n = 取樣數，平均±標準誤)。單尾 t 檢定(與清水組相比)，* : $p < 0.05$ 。n = 隻數,記錄次數。

【本圖為 47 屆北市科展作品增加取樣數與新增對照組後的成果】



圖十七 各種刺激物接觸口器時，蜚蠊砂囊放電的頻率(n = 取樣數，平均±標準誤)。
單尾 t 檢定(與清水組相比)，* : $p < 0.05$ 。n = 隻數,記錄次數。

【本圖為 47 屆北市科展作品增加取樣數與新增對照組後的成果】

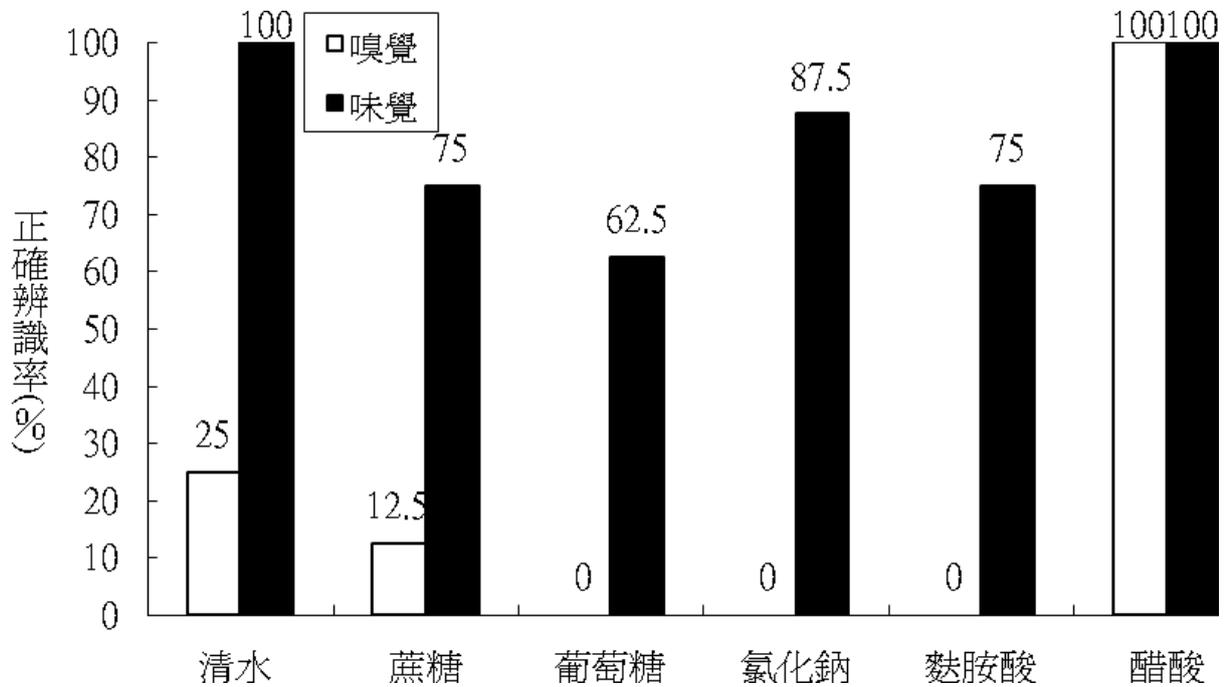


圖十八 各種刺激物接觸口器時，蜚蠊砂囊放電的最高震幅(n = 取樣數，平均±標準誤)。
單尾 t 檢定(與清水組相比)，未達統計水準。n = 隻數,記錄次數。

【本圖為 47 屆北市科展作品增加取樣數與新增對照組後的成果】

3. 人類受器正確辨識率

本實驗發現，人體嗅覺受器對醋酸水溶液的正確辨識率最高，而對其他溶液的辨識率皆低(多數無法辨識)；味覺受器對各溶液則多可正確辨識，對清水及醋酸水溶液的辨識率尤高(圖十九)。



圖十九 人體嗅覺及味覺受器對不同實驗溶液之正確辨識率。

(二)、討論

由人體嗅覺受器感測的實驗中(圖十九)，我們發現人類除對醋酸溶液外，對其他溶液皆無法辨識；然而，在不同濃度刺激物靠近蜚蠊口器(嗅覺刺激)的實驗中，本研究使用之溶液多不具揮發性，但特別的是，當以飽和濃度的葡萄糖、麩胺酸、醋酸溶液及半飽和蔗糖、葡萄糖溶液靠近口器(嗅覺刺激)時，口器反應指數上升；以半飽和氯化鈉溶液靠近口器，反應則下降(表二)。

表二 各種嗅覺與味覺刺激對蜚蠊口器反應的效應。

濃度 \ 刺激物		蔗糖	葡萄糖	氯化鈉	麩胺酸	醋酸	
嗅覺	飽和	—	↑	—	↑	10%	↑
	半飽和	↑	↑	↓	—	5%	—
	四分之一飽和	—	—	—	—	3%	—
味覺	飽和	↑	↑	—	↑	10%	—
	半飽和	—	—	↓	—	5%	↓
	四分之一飽和	—	—	↓	—	3%	↓

註：↑：反應增強；↓：反應減弱(對照組為清水)。

因為蜚蠊的口器上已被證實具有嗅覺受器，故推測其口器上的嗅覺受器對飽和及半飽和的葡萄糖液、飽和的麩胺酸液及醋酸液、半飽和的蔗糖及氯化鈉液的氣味非常敏感，因此三者的靠近會引起口器行為的改變，同時亦代表蜚蠊嗅覺受器的敏感度較高，可偵測由人類感覺器官定義為無法辨識且揮發性極低的溶液。

在比較不同飽和液味覺刺激對口器的影響後(表二)，我們發現可被生物體代謝分解產生能量的葡萄糖溶液(醣類)、蔗糖溶液(醣類)及麩胺酸溶液(胺基酸)接觸口器時，口器反應增強。推測蜚蠊的口器上具有辨識可產能之營養物質的受器，當接觸這類物質會增加口器反應率，將物質加速送入消化道，以獲得更大量的營養物質，提供養分及能量來源。

若以半飽和和四分之一飽氯化鈉與醋酸溶液接觸口器時，口器反應指數下降。推測是由於蜚蠊平常主要的食物種類為醣類及肉類，因此在碰觸到較不熟悉的氯化鈉及醋酸溶液時，會先產生趨避反應以避免接觸危險物質。

由不同濃度溶液的實驗結果我們亦可推知，蜚蠊的味覺受器對介於半飽和及四分之一飽和濃度間的氯化鈉及醋酸溶液較敏感。藉此可進一步研究在何種濃度刺激時，蜚蠊口器會有最明顯的反應。

何等人(民 101)曾發現味覺刺激對蜚蠊的嗉囊肌肉電位具有調節作用(前饋作用)，且不同的刺激物具不同的效應，本研究亦觀察到相似的現象，故將前人研究成果與本研究的發現整理成表三以方便討論。

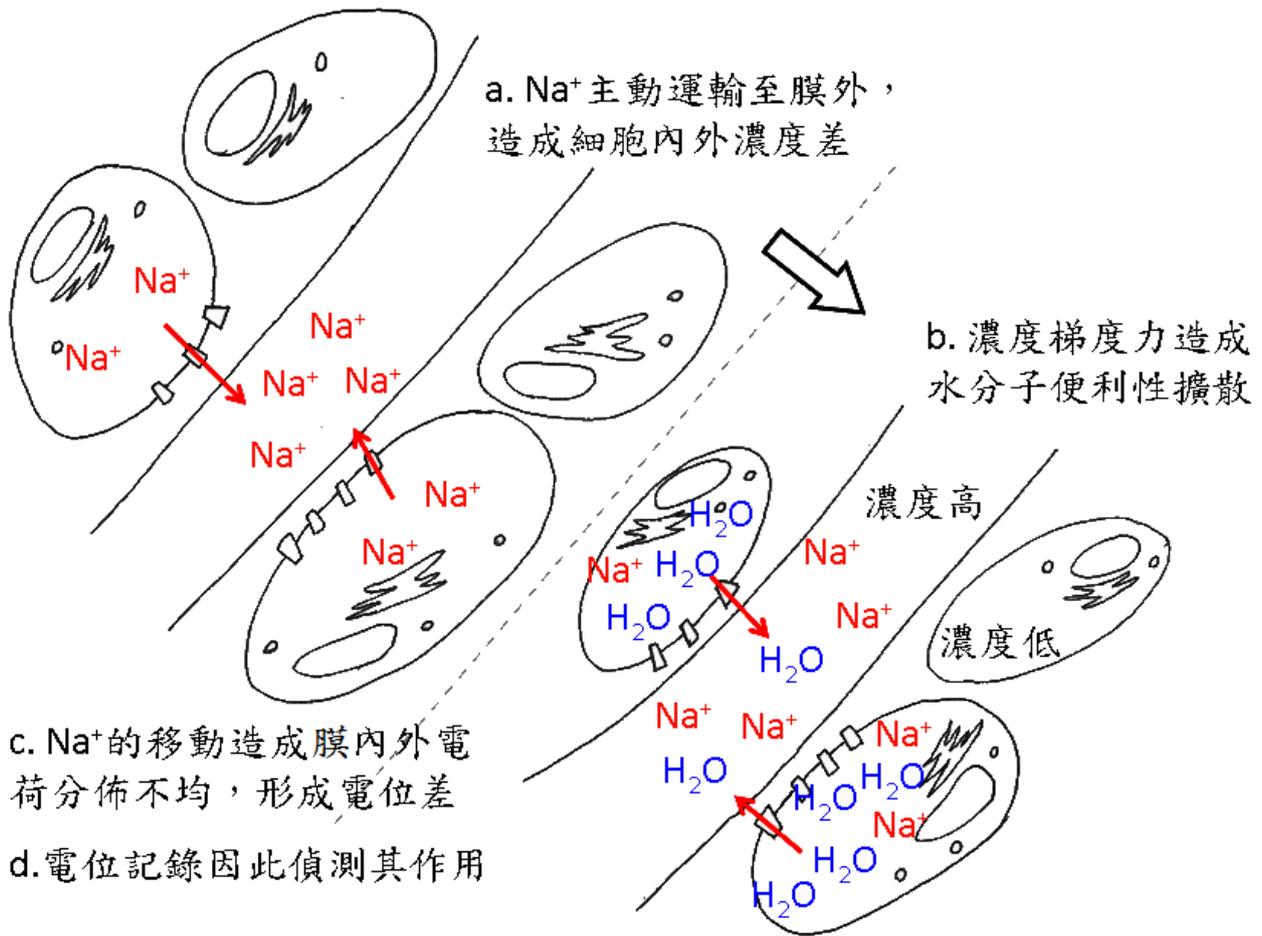
表三 各種味覺刺激物刺激蜚蠊口器後，對唾腺、嗉囊與砂囊電位變化的調節效應。

【本表曾呈現於 47 屆北市科展作品】

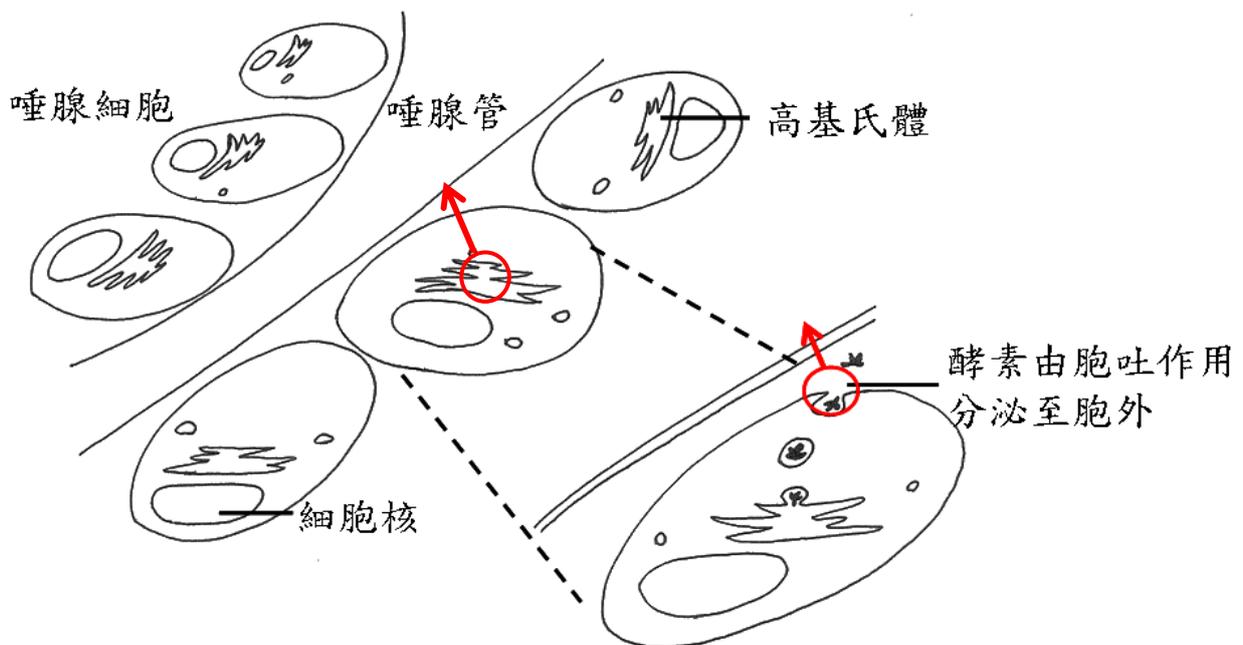
刺激物		蔗糖	葡萄糖	氯化鈉	麩胺酸	醋酸
唾腺	頻率	↓	—	—	↑	—
	震幅	—	—	↑	—	↑
嗉囊		?	↑ [☆]	?	— [☆]	?
砂囊	頻率	↓	—	—	↑	—
	震幅	—	—	—	—	—

註：↑：反應增強；↓：反應減弱(對照組為清水)；[☆]：引用自何等人(民 101)；?：無資料。

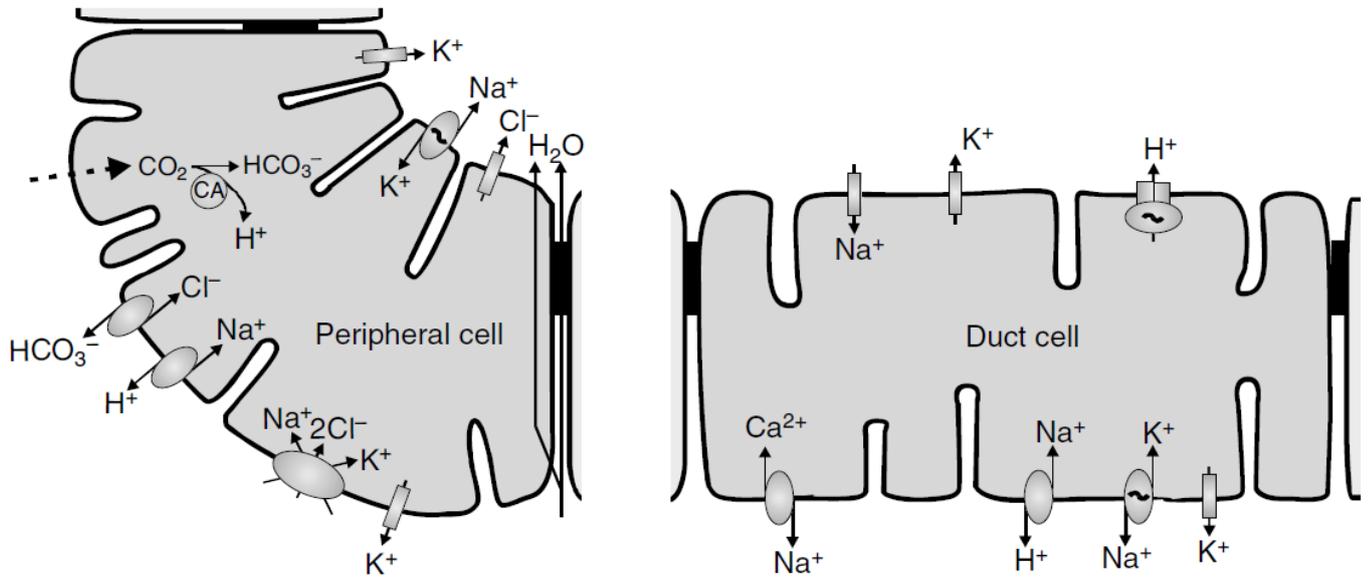
人體唾液分為黏稠唾液及水樣唾液，水樣唾液含較少黏多醣及醣蛋白(Holsinger and Bui, 2007；維基百科，2013)，黏稠度低，含水較多。動物細胞中，水分運輸主要透過細胞膜上的水孔蛋白進出細胞，且常藉由鈉離子的進出使細胞內外溶液濃度改變，進而使水分由高濃度處向低濃度處移動，因此唾腺增加水樣唾液分泌時亦伴隨了鈉離子的運輸，推測電荷的移動(鈉離子帶正電)會造成組織的電位變化(圖二十)；而唾腺分泌酵素則藉由高基氏體形成囊泡(內含酵素)後，以胞吐作用方式運輸至細胞外(圖二十一)，並未造成電位變化。我們推測唾腺分泌水樣唾液時所造成唾腺組織的電位變化，可由電位記錄偵測其反應，而酵素的分泌則無法由電位變化記錄觀察，因此我們認為本實驗中蜚蠊唾腺之電位變化為分泌水樣唾液的表現，而非酵素的分泌。Hille and Walz(2008)曾研究蜚蠊唾腺分泌的機制，發現神經傳遞物質可引發多種唾腺細胞膜上離子通道的作用，引起多種離子的運輸以達分泌唾液的功能(圖二十二)，此發現佐證了本研究所記錄之唾腺電位變化，應為唾腺細胞分泌離子所致。



圖二十 唾腺經由鈉離子的運輸，造成水樣唾液的分泌，電荷的移動會造成唾腺組織的電位變化。【本圖曾呈現於 47 屆北市科展作品】



圖二十一 唾腺分泌酵素的過程為高基氏體分泌蛋白質後，以胞吐作用方式運輸至細胞外，不會造成電位變化。【本圖曾呈現於 47 屆北市科展作品】

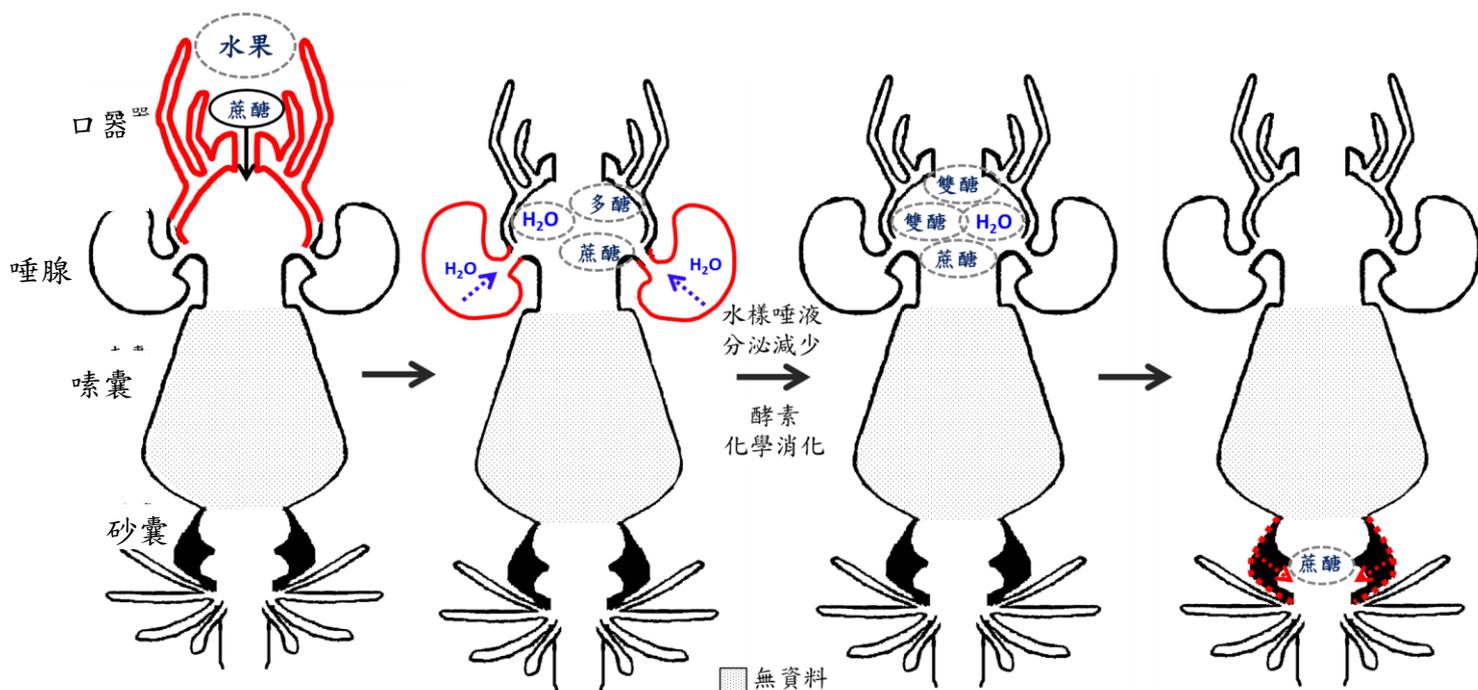


圖二十二 蜚蠊唾腺細胞分泌唾液時，常藉由細胞膜上多種離子孔道運輸離子，以達分泌唾液之功能(引用自 Hille and Walz, 2008)。【本圖曾呈現於 47 屆北市科展作品】

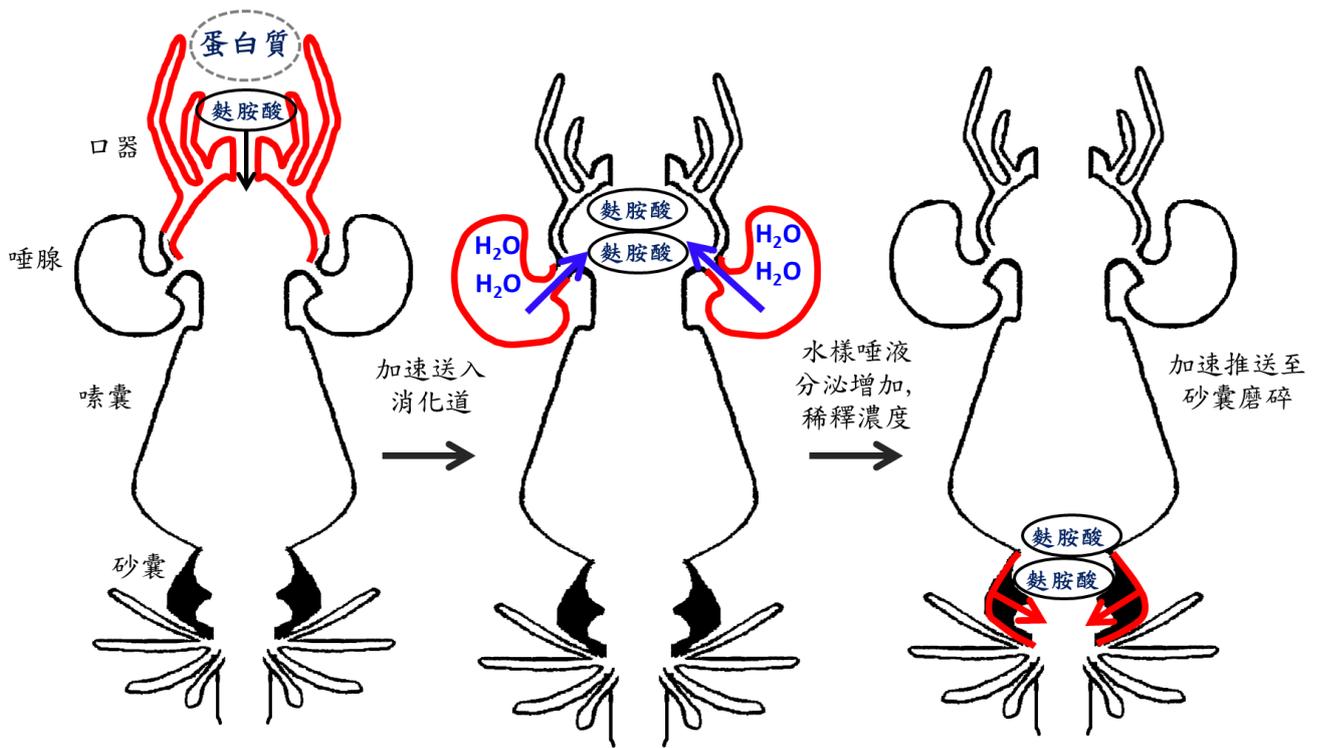
觀察唾腺放電情形，我們發現蔗糖溶液接觸口器時唾腺放電反應減弱。在自然環境中，蔗糖多存於植物體內，水果中含量尤其高，因此推測蜚蠊主要從水果攝取蔗糖，故蔗糖刺激口器時，可代表蟲體正在攝取水果；水果中水分含量高且富含多種醣類及養分，推測蜚蠊攝取水果時，其唾腺會減少分泌水樣唾液，以避免水分過多、稀釋酵素濃度而影響對其他醣類的消化分解(圖二十三)。

氯化鈉、麩胺酸及醋酸溶液刺激口器時，則增加水樣唾液的分泌以稀釋過高的溶液濃度或氫離子，且氯化鈉無須分解、唾液中無分解麩胺酸及醋酸的酵素，因此放電反應增強，分泌水樣唾液稀釋不會影響其分解與吸收的效率(圖二十四、圖二十五、圖二十六)。

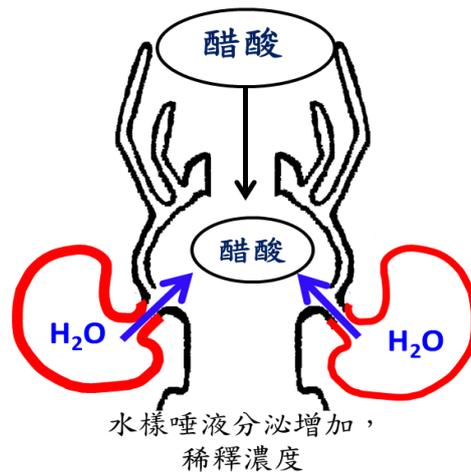
蜚蠊前腸主要功能為磨碎及儲存食物(蔡，民 95)，葡萄糖為單醣，經口器進入嗉囊後毋須再經分解，因此嗉囊壁肌肉收縮將葡萄糖送至下一消化器官——砂囊。以葡萄糖溶液刺激口器時，嗉囊的放電震幅增加，為前腸之前饋作用，也就是在葡萄糖刺激口器，引發嗉囊前饋反射而收縮(何等，民 101)(圖二十七)。在本研究中亦觀察到蜚蠊前腸前饋機制，各實驗溶液刺激口器後，而溶液還未進入砂囊前，引發了該消化器官前饋反射。砂囊內襯具齒及幾丁質的突起構造，主要功能為磨碎食物。當不需被分解之葡萄糖進入砂囊後亦毋須再被磨碎，因此口器接觸葡萄糖溶液時並未引發砂囊反應；麩胺酸溶液為人類味覺中的的鮮覺分子，亦為人體蛋白質中最豐富的胺基酸，可代表肉類，故以此刺激口器時，砂囊放電頻率增加，促進砂囊肌肉收縮以利磨碎食物(圖二十四)。



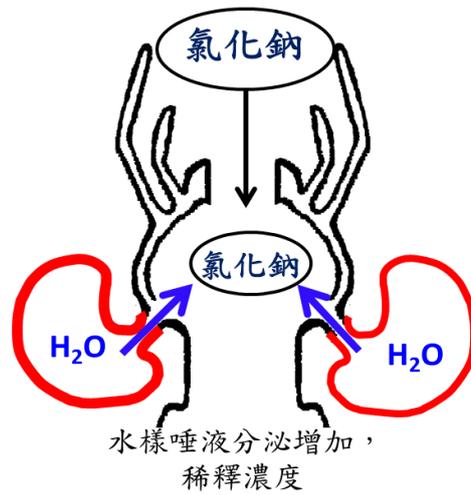
圖二十三 蔗糖進入蜚蠊消化道之模式圖。【本圖曾呈現於 47 屆北市科展作品】



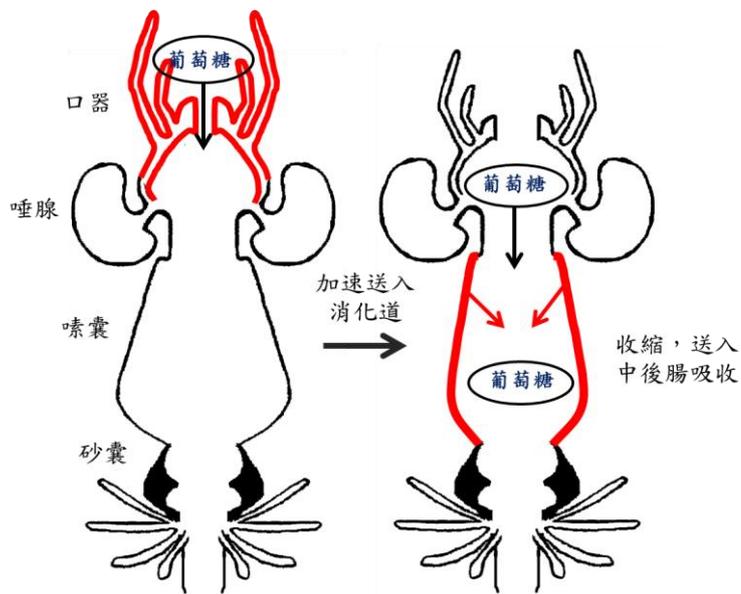
圖二十四 麩胺酸進入蜚蠊消化道之模式圖。【本圖曾呈現於 47 屆北市科展作品】



圖二十五 醋酸進入蜚蠊消化道之模式圖。【本圖曾呈現於 47 屆北市科展作品】



圖二十六 氯化鈉進入蜚蠊消化道之模式圖。【本圖曾呈現於 47 屆北市科展作品】



圖二十七 葡萄糖進入蜚蠊消化道之模式圖。【本圖曾呈現於 47 屆北市科展作品】

四、結論與應用

- (一)、人體對蔗糖、葡萄糖、氯化鈉與麩胺酸水溶液無法以嗅覺辨識，但蜚蠊可呈現不同的反應指數，證明其口器嗅覺受器敏感，可偵測人體無法辨識之揮發性極低的物質。
- (二)、不同強度的嗅覺與味覺刺激，對蜚蠊口器的反應大致上呈現劑量效應(dose response)的趨勢。
- (三)、蜚蠊口器之味覺受器接觸到可產能量之營養物質反應增強，故推測口器上具有可偵測營養物質之受器。蜚蠊口器接觸到氯化鈉與醋酸水溶液等可能影響酸鹼與滲透壓恆定的物質時，口器呈現趨避反應。
- (四)、餵食蔗糖溶液時，蜚蠊唾腺放電反應減弱，推測醣類會抑制唾腺分泌水樣唾液，避免稀釋酵素濃度而降低消化效率；另外，當進入蜚蠊口腔的物質濃度過高(如高濃度之麩胺酸與醋酸溶液)，會刺激唾腺分泌水樣唾液以進行稀釋。
- (五)、餵食麩胺酸溶液時，蜚蠊砂囊放電反應增強，推測砂囊增加收縮以利磨碎食物(蛋白質)，進行消化分解。

五、參考文獻

- Baumann, O., Dames, P., Kühnel, D. and Walz, B. 2002. Distribution of serotonergic and dopaminergic nerve fibers in the salivary gland complex of the cockroach *Periplaneta americana*. *BMC Physiol.* 2: 9.
- Baumann, O., Kühnel, D., Dames, P., and Walz, B.(2004). Dopaminergic and serotonergic innervation of cockroach salivary glands: distribution and morphology of synapses and release sites. *The Journal of Experimental Biology*, 207, 2565-2575.
- Bell, W. J., & Adiyodi, K. G. (Eds.). (1982). *The American Cockroach*. London: Chapman and Hall.
- 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.
- Gillott, C. 2005. *Entomology* (3rd ed.). Springer, Dordrecht, The Netherlands
- Gray, D. C., Ginsborg, B. L., and House, C. R. (1984). Cyclic AMP as a possible mediator of dopamine stimulation of cockroach gland cells. *Quarterly Journal of Experimental Physiology*, 69, 171-186.
- Holsinger, F. C and Bui, D. T. (2007). Anatomy, Function, and Evaluation of the Salivary Glands. In Myers, E. N. and Ferris, R. L.(Eds.), *Salivary Gland Disorders*(pp.1-16). Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- 何孟霓、李忻、蔡任圃(民 101)。認識身旁的小傢伙(十一)—味覺刺激對蟑螂口器的影響與前腸的前饋作用。科學教育月刊，352，42-54。
- 蔡任圃(民 95)：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。

【評語】 050013

研究主題有趣而有應用價值。作品中所運用的統計方式有檢討的空間。