



Formosan Entomologist

Journal Homepage: entsocjournal.yabee.com.tw

Effects of Glucose on the Cardiac Output of Cockroaches by Video Image Analysis **【Research report】**

影像分析探討餵食葡萄糖液對蟑螂心輸出量的效應 **【研究報告】**

Jen-Pu Tsai, Pi-Chi Hwang, Li-Chu Tung, and Jin-Tun Lin*

蔡任圃、黃璧祈、童麗珠、林金盾*

*通訊作者E-mail: t43004@cc.ntnu.edu.tw

Received: 2001/03/01 Accepted: 2001/04/13 Available online: 2001/06/01

Abstract

The cardiac activities of cockroaches (*Periplaneta americana*) were studied by video image analysis, and the effects of feeding a glucose solution on the cardiac output were investigated. Stroke volumes of insects were determined from differences in end-systolic and end-diastolic volumes of the heart; this was multiplied by heart rate to yield cardiac output. We investigated the effects of feeding glucose on the cardiac output of male adult insects. Control groups were fed distilled water, and experimental groups were fed glucose in various concentrations. The results show that the feeding of glucose solutions up to 5% in concentration significantly increased heart rate, but non-significantly affected stroke volume. Feeding a 10% glucose solution increased the heart rate by $14.37 \pm 4.70\%$ compared with the feeding of distilled water ($p < 0.01$, $n = 10$), but non-significantly increased stroke volume. Feeding a 10% glucose solution also increased cardiac output by about $14.13 \pm 3.18\%$ compared to the control group ($p < 0.01$, $n = 10$). The mechanism by which feeding glucose increases the heart rate and cardiac output of cockroaches is discussed.

摘要

本研究的目的是利用影像擷取再輸入電腦，直接觀察昆蟲活體心臟的活動情形，並探討餵食葡萄糖液對美洲蟑螂心輸出量的效應。觀察時，先以影像分析測量實驗昆蟲心縮容積與心舒容積的變化，再換算心搏量 (stroke volume) 及心跳率 (heart rate)，最後算出心輸出量 (cardiac output)，並以不同濃度的葡萄糖液餵食雄性的成蟲為實驗組，以餵食蒸餾水或餵食葡萄糖液前的數據為對照組，觀察並比較心臟活動受餵食葡萄糖液的影響。結果發現濃度在5% 以上的葡萄糖溶液，確實可引起心跳率顯著性上升，但心搏量沒有顯著性的差異。以10% 葡萄糖溶液餵食 ($n = 10$)，蟑螂的心跳率增加 $14.37 \pm 4.70\%$ ，具顯著差異 ($p < 0.01$)，10分鐘後則漸趨回復到正常範圍；心搏量則增加 $1.67 \pm 1.71\%$ ($p > 0.05$)；心輸出量增加 $14.13 \pm 3.18\%$ ，也具有顯著差異 ($p < 0.01$)。餵食蟑螂葡萄糖溶液增加心跳率和心輸出量的機制，將在文中討論。

Key words: images analysis, *Periplaneta americana*, stroke volume, cardiac output, glucose.

關鍵詞: 影像分析、美洲蟑螂、心搏量、心輸出量、葡萄糖

Full Text: [PDF \(0.11 MB\)](#)

下載其它卷期全文 Browse all articles in archive: <http://entsocjournal.yabee.com.tw>

影像分析探討餵食葡萄糖液對蟑螂心輸出量的效應

蔡任圃 黃璧祈 童麗珠 林金盾* 國立臺灣師範大學生物學系 台北市汀州路四段 88 號

摘要

本研究的目的是利用影像擷取再輸入電腦，直接觀察昆蟲活體心臟的活動情形，並探討餵食葡萄糖液對美洲蟑螂心輸出量的效應。觀察時，先以影像分析測量實驗昆蟲心縮容積與心舒容積的變化，再換算心搏量 (stroke volume) 及心跳率 (heart rate)，最後算出心輸出量 (cardiac output)，並以不同濃度的葡萄糖液餵食雄性的成蟲為實驗組，以餵食蒸餾水或餵食葡萄糖液前的數據為對照組，觀察並比較心臟活動受餵食葡萄糖液的影響。結果發現濃度在 5% 以上的葡萄糖溶液，確實可引起心跳率顯著性上升，但心搏量沒有顯著性的差異。以 10% 葡萄糖溶液餵食 ($n = 10$)，蟑螂的心跳率增加 $14.37 \pm 4.70\%$ ，具顯著差異 ($p < 0.01$)，10 分鐘後則漸趨回復到正常範圍；心搏量則增加 $1.67 \pm 1.71\%$ ($p > 0.05$)；心輸出量增加 $14.13 \pm 3.18\%$ ，也具有顯著差異 ($p < 0.01$)。餵食蟑螂葡萄糖溶液增加心跳率和心輸出量的機制，將在文中討論。

關鍵詞：影像分析、美洲蟑螂、心搏量、心輸出量、葡萄糖。

前言

心臟的活動是動物體液循環的動力，昆蟲雖為開放式循環系統，也和具有閉鎖式循環系統的脊椎動物一樣，需要心臟搏動來推動血液的循環 (Withers, 1992)。心臟每分鐘搏出的血量 (ml/min)，稱為心輸出量 (cardiac output)。心輸出量可由心搏量 (stroke volume) 和心跳率 (heart rate) 的乘積獲得。因為心搏量是心臟每次搏出的血液容積 (ml/beat)，而心跳率為心臟每分鐘搏動的次數 (beat/min)。換言之，只要測得動

物血液循環時，心搏量和心跳率的數據，就可求出心輸出量 (Randall *et al.*, 1997)。

在醫學上，測量人體心臟的心輸出量常用兩種方法：一種是直接式的費克氏法 (direct Fick method)，另一種是間接式的指示劑稀釋法 (indicator dilution method) (Ganong, 1997)，但較少用於動物的實驗。已往探討像昆蟲這類小動物心臟活動的方法，常用電位紀錄及視覺紀錄法 (Miller, 1985)，用以分析其心跳率與心動週期 (cardiac cycle)，但未見有偵測心搏量或心輸出量的報告，這可能與儀器的限制有關。

*論文聯繫人
e-mail: t43004@cc.ntnu.edu.tw

近年來由於電腦軟體與攝影技術的改良，使影像分析的技術，能夠成為偵測小型動物心臟活動的突破性好方法。目前已經可用影像分析法，研究某些脊椎動物的心搏量、心跳率和心輸出量，例如用於測量雞胚的心搏量和心輸出量 (Faber *et al.*, 1974)；及蝌蚪 (*Xenopus laevis*) 心臟的心輸出量 (Hou and Burggren, 1995) 等，但是未見用於測量昆蟲心搏量或心輸出量的報告，而美洲蟑螂 (*Periplaneta americana*) 的心臟位於背板下方的中央部位，骨片透明，在解剖顯微鏡下很容易直接看到心臟的活動情形，非常適合電腦影像的擷取，以進行活體狀態下心臟活動的分析。

食物中含有多種化合物，可以同時引起動物的各種反應 (Boeck *et al.*, 1975)，例如多數的小型節肢動物對於味覺的刺激，具有反射性的心臟反應 (reflex cardiac responses) (Ashby and Larimer, 1965; Larimer and Tindel, 1966)。若以飼料餵食水蚤 (*Daphnia magna*)，就會造成其心跳加速 (Baylor, 1942)；若用 0.5 M 蔗糖溶液刺激反吐麗蠅 (*Calliphora vomitoria*) 的味毛，也會影響其心動週期的變化 (Angioy, 1988)。

蟑螂的小顎鬚 (maxillary palpus) 對糖溶液亦很敏感，碰觸到糖溶液會引發攝食行為，口器中含有醣受器 (carbohydrate chemoreceptor)，在吸食糖液時，透過口器上的受器使心跳速率增加 (Davey, 1962a, b)。但是，在較高等的脊椎動物如哺乳類和鳥類，心輸出量的變化受心跳率影響較大，心搏量較小；較低等的動物則不同，如魚類的心輸出量變化受心搏量的變化影響較大 (Withers, 1992)。在昆蟲，由於體積小，活動量大，很多因素 (如食物、運動等) 均顯著

性增加其心跳率，然而因為缺乏測量昆蟲心搏量的方法，無法獲知這些刺激心跳率增加的因素，是否也會促進心肌收縮力的增加？對心臟輸出量的影響是否類似脊椎動物？這些疑點，均為值得探討的問題。

本研究的目的是設計一套可以偵測昆蟲心搏量的方法，並利用影像的擷取結合電腦的儲存功能，直接測量美洲蟑螂的心臟搏動情形，以探討餵食葡萄糖液對其心搏量及心輸出量的效應。

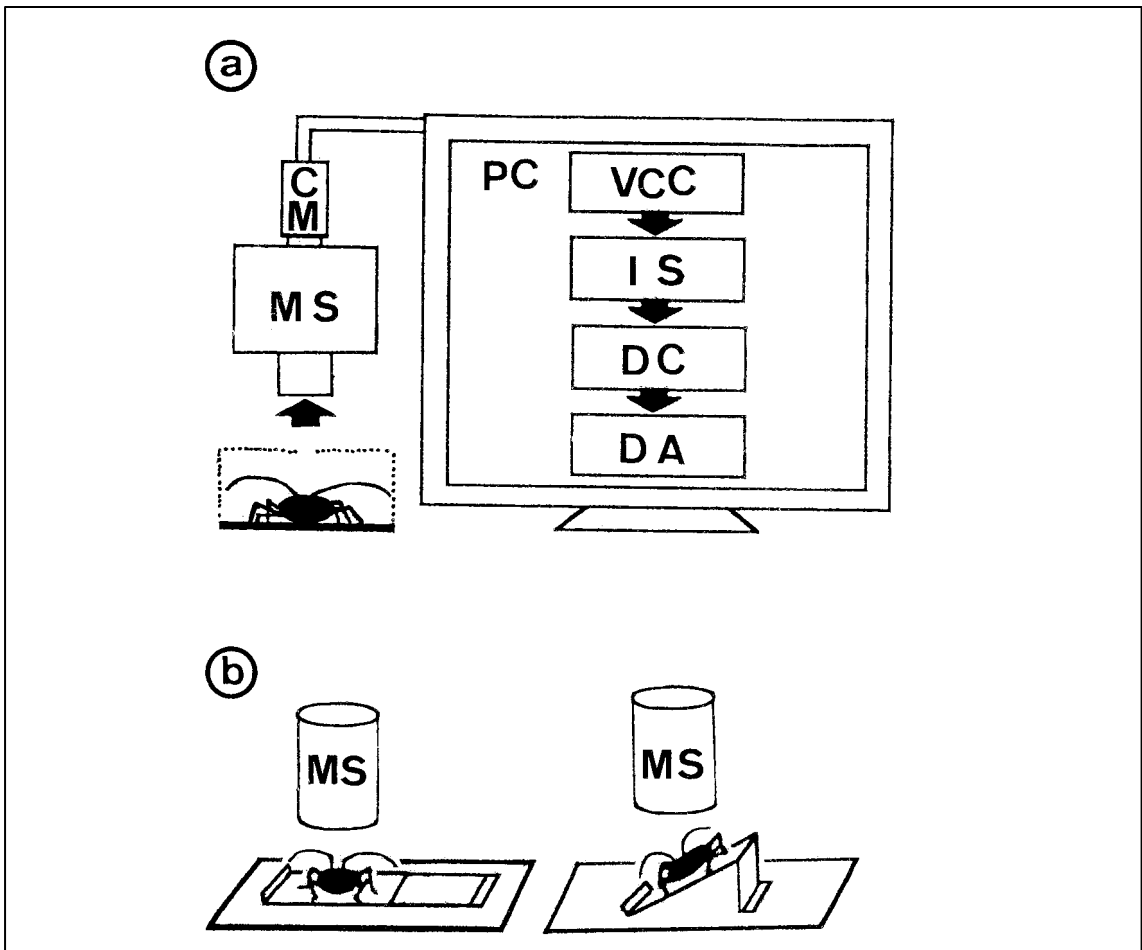
材料與方法

一、實驗動物之準備

實驗動物為美洲蟑螂 (*Periplaneta americana*) 飼養在動物房內，給予恆溫恆濕等環境條件，以維持其健康狀況。實驗時，每次都選取健康的雄性成蟲進行。實驗前以西卡紙製成長 4.5 cm，寬 3.0 cm，高 0.3 cm 的固定盒，以限制蟑螂的移動 (圖一 a)。動物先剪去雙翅，再以自然立姿 (背面朝上) 安置於固定盒中，其口器在盒前露出，以利餵食，而背血管在盒頂露出，以利觀察心臟活動情形 (圖二 a)。初步觀察發現固定過程也會導致心跳率的改變，必須靜待 50 ~ 60 分鐘適應不動的狀態，心跳率才能穩定，但是在不動狀態連續 5 小時後，心跳率又有下降的現象，故本研究在攝影記錄心臟活動之前，先給予 1 小時的靜置適應，並且在 3 小時內完成每隻動物的實驗。

二、心臟活動的影像記錄系統

本研究使用影像記錄系統 (圖一 a)，可連續記錄蟑螂活體心臟活動的心縮末期容積 (end-systolic volume) 及心舒末期容積 (end-diastolic volume)，再以二者的差值求



圖一 影像分析探討蟑螂心臟活動的裝置示意圖 (a) 和改變心臟水平軸的角度為 0 度或 30 度的裝置 (b)。MS：解剖顯微鏡；CM：攝影機；VCC：影像捕捉卡；PC：個人電腦；IS：影像貯存；DC：數據匯集；DA：數據分析。蟑螂於固定盒中背部向上，第一腹節心臟的活動影像，可攝入電腦中貯存和分析，而心臟活動影像由 0 度 (b 左) 和 30 度 (b 右) 的方向攝入。

Fig.1. Diagrammatic illustration for study on the cardiac activities of cockroach by video image analysis (a) and changing the insect plate into 0° or 30° during measurement (b). MS: dissecting microscope; CM: camera; VCC: video computer card; PC: personal computer; IS: image storage, DC: data collection; DA: data analysis. Cockroach was in natural position limited in animal chamber. The heart image of the first abdomen segment was picked and stored into PC software through dissecting microscope. The heart images could be picked up from horizontal direction (0°) or oblique direction (30°).

得心搏量 (stroke volume; SV) ，其次，再和心跳率 (heart rate; HR) 相乘，以求得心輸出量 (cardiac output; CO) ，用以探討心臟活動的機制。實驗在恆溫 (22) 下進行，

昆蟲先適應一小時後，移至解剖顯微鏡下並對準背板後方第一個心臟 (第一腹節) ，將心臟活動的影像經攝影機 (JVC, TK1070U) 及影像捕捉卡 (UPMOST, UPG301T, 30

frames/sec) , 記錄並儲存於電腦中。

為了精確換算心搏量之需, 每個實驗過程都利用承放架的位置, 記錄心臟在 0 度與 30 度位置 (圖一 b) 的心縮末期容積及心舒末期容積 (圖二 b)。

由於蟑螂背板上常有脂肪體遮蔽心臟壁, 在測量心臟收縮及舒張的容積變化時, 須於第一腹節心臟區域內找尋連附在心臟壁上的氣管, 並用氣管的分枝點作為測量點; 將此區域的心臟活動記錄於電腦中, 將心臟最大舒張與最大收縮時的影像複製, 利用座標系統進行測量座標的工作, 以計算心臟活動的位移距離 (圖一 a)。

三、心搏量的測定

將蟑螂的固定盒置於一個承放架上, 可以使心臟左右軸與水平面成 0 度或 30 度角 (圖一 b); 心臟左右軸在水平狀態 (呈 0 度) 時, 記錄測量點的位移距離為 H, 左右軸傾斜 30 度時的位移距離為 T (圖二 c), 計算測量點隨著心臟搏動在空間中的位移距離為 D (圖二 d), 由位移距離的變化配合三角公式, 可以換算出心臟截面積 (A) 的改變量, 用以換算心搏量 (SV)。

$$\text{由 (圖二 c, d) } \cos(-30^\circ) = T / D \text{ ----- (1)}$$

$$\cos 0^\circ = H / D \text{ ----- (2)}$$

$$\text{由 (1) (2) 得 } T / \cos(-30^\circ) = H / \cos 0^\circ$$

$$\cos(-30^\circ) = \cos 0^\circ \cos 30^\circ + \sin 0^\circ \sin 30^\circ$$

$$T \cos 0^\circ = H \cos 0^\circ \cos 30^\circ + H \sin 0^\circ \sin 30^\circ$$

$$T \cos 0^\circ = (\sqrt{3}/2) H \cos 0^\circ + (1/2) H \sin 0^\circ$$

$$\text{若兩邊皆除以 } \cos 0^\circ, \text{ 則 } T = (\sqrt{3}/2) H + (1/2) H \tan 0^\circ$$

$$\text{得 } \tan 0^\circ = [T - (\sqrt{3}/2) H] / [(1/2) H]$$

$$= 2T / H - \sqrt{3}$$

$$\text{由 (圖二 c) 得 } \tan 0^\circ = \sqrt{(D^2 - H^2)} / H$$

$$2T / H - \sqrt{3} = \sqrt{(D^2 - H^2)} / H$$

$$\text{得 } D = 2 \sqrt{(H^2 - \sqrt{3}HT + T^2)}$$

$$\begin{aligned} \text{由 (圖二 d) 得 } A &= (r + D)^2 - (r)^2 \\ &= (2rD + D^2) \end{aligned}$$

本實驗中, 取得心臟在 0 度和 30 度時的 H 值和 T 值, 即可得 D 值和 A 值而求得心搏量 (SV)。為了驗證裝置的穩定性, 我們將一張小紙片上用不同粗細的筆跡劃上不同寬度的線條 (圖三 a), 用 0 度角與 30 度角分別測量其在顯微鏡下的水平寬度, 比較其 H 與 T 是否成 $\sqrt{3}/2$ (即 $\cos 30^\circ$) 的比例。驗證的結果顯示所測量的數值穩定度高 (圖三 b), 不會因為景深的影響而呈現不穩定現象, 其相關係數接近於 1。

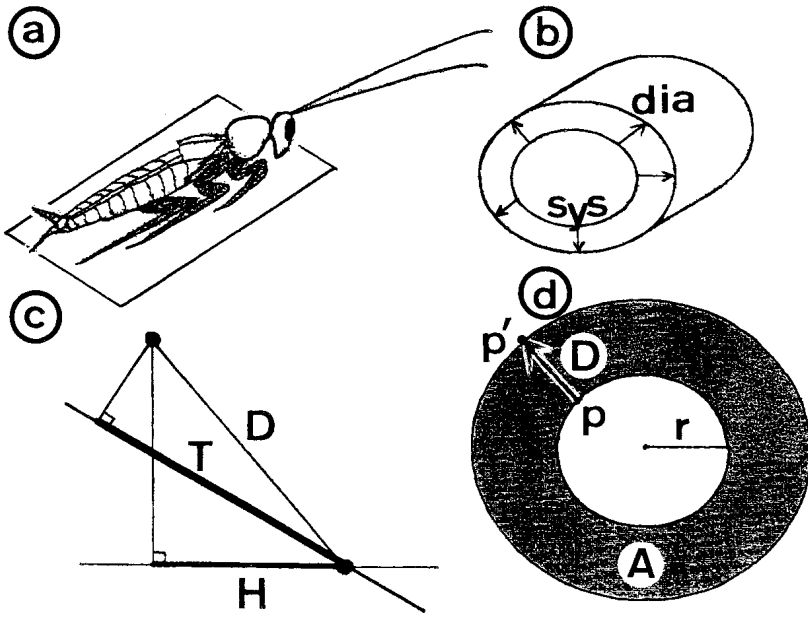
四、餵食實驗用溶液

每回以滴管 (尖端口徑為 1 mm) 吸取實驗用溶液 50 μ L, 接觸到蟑螂口器, 任其吸食同時連續記錄蟑螂的心臟活動情形共 120 分鐘, 儲存於電腦中, 以利分析。餵食蒸餾水或餵食葡萄糖液之前的數據為對照組, 餵食不同濃度葡萄糖溶液 (4% - 40%) 的數據為實驗組, 再作比較和統計分析實驗數據, 統計方法採用 paired t-test。

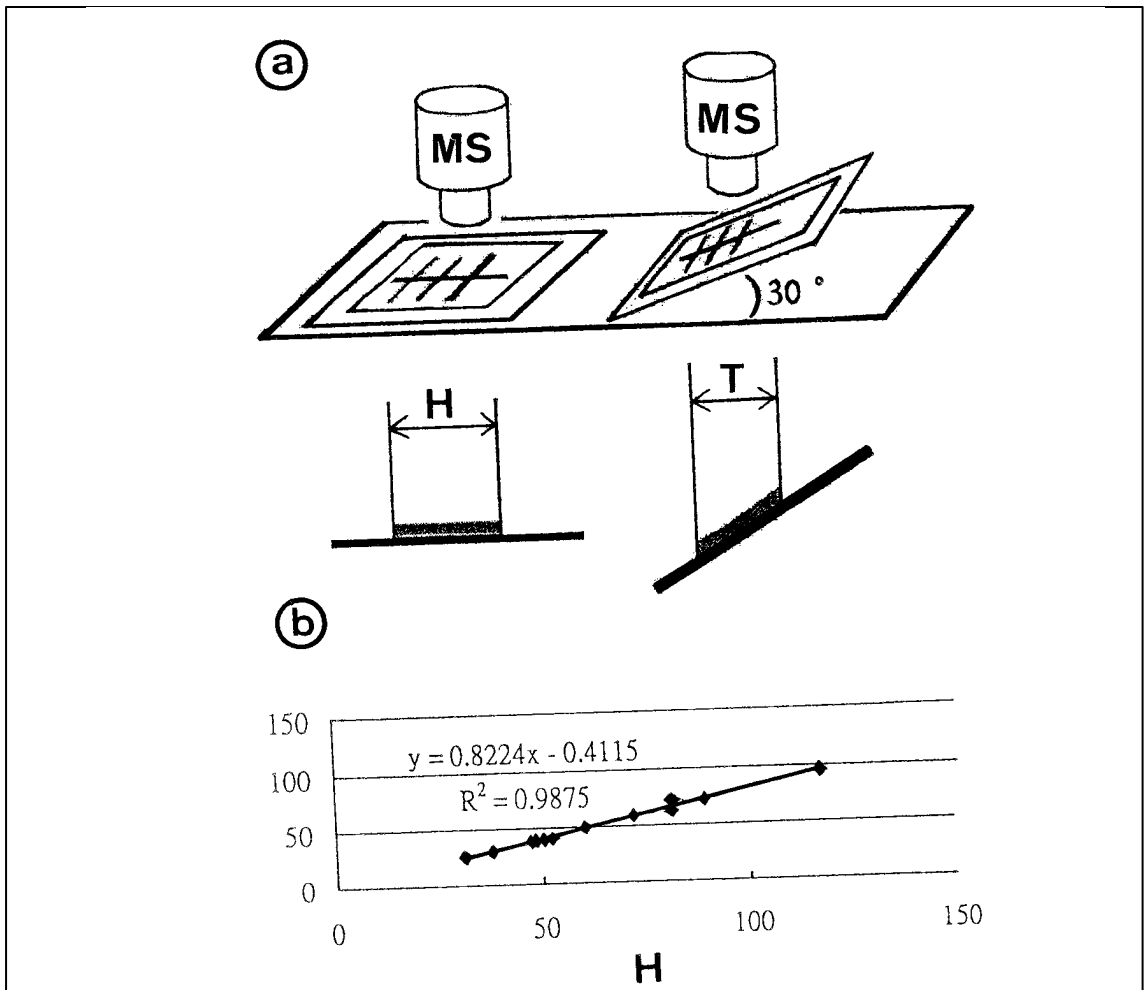
結 果

一、恆溫下蟑螂心跳率的時間效應

為測試實驗昆蟲在限制行動的固定盒中心臟活動的情形, 將昆蟲移入固定盒中適應 1 小時後, 在恆溫 (22) 下連續觀察、記錄並測定 120 分鐘。結果獲知在連續記錄 120 分鐘內, 沒有任何環境因素刺激下, 蟑螂的心搏平穩, 心跳率不會隨著在固定盒中的時間而有明顯的變化。在此條件下, 餵食蒸餾水



is during diastole. (a) cockroach was limited in the animal chamber showed heart. (b) sys is the systole of heart and dia is the diastole of heart. (c) Illustration for the relationship of D, H and T. thus $D = 2 \sqrt{H^2 - 3HT + T^2}$. (d) stroke volume is represented by the changing area (A) and A is measured by r and D, thus $A = (2rD + D^2)$.



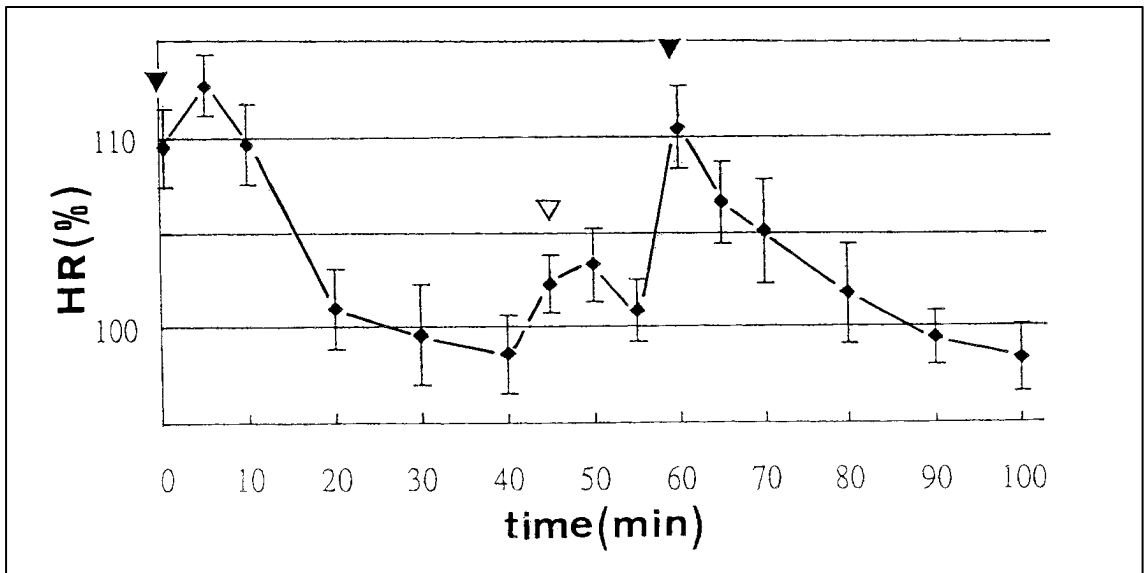
圖三 用不同寬度的線條分別測量 H 值與 T 值(a)，驗證誤差的大小 (n = 12)。測量粗細不同的線所得到的 H 與 T 關係曲線(b)，顯示所測量的數值穩定度高，不會因為景深的影響而不穩定。

Fig.3 (a) Diagrammatic illustration for checking the relationship of H and T values (n = 12). (b) The relationship of H and T values is almost linear, and their relation value is near 1.0.

三、餵食葡萄糖溶液對心跳率的劑量效應

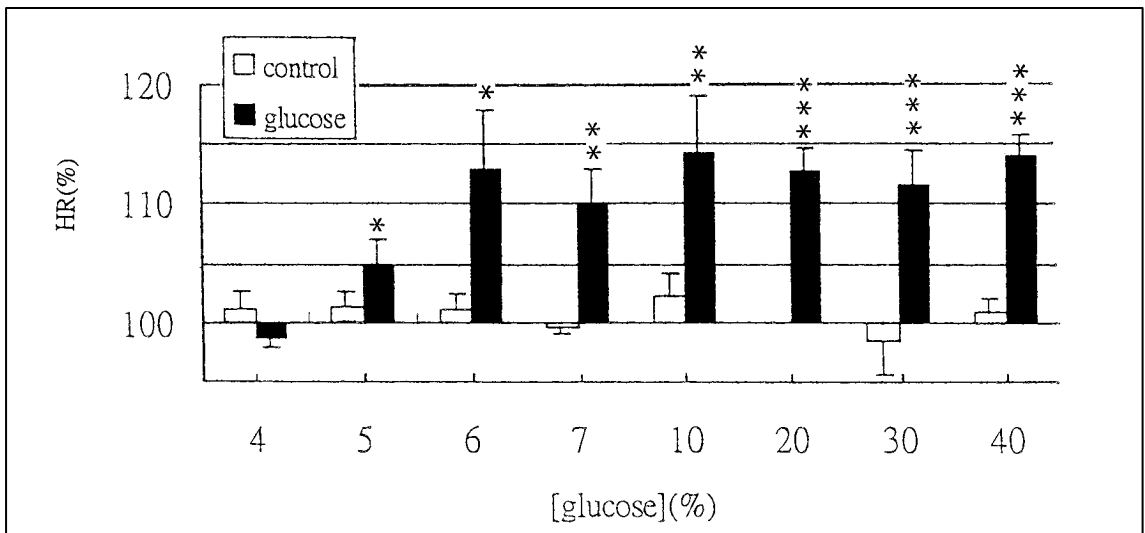
為測試餵食葡萄糖對心跳率增加的效應，在昆蟲適應後用不同濃度的葡萄糖溶液接觸其口器。結果濃度 4% (實驗昆蟲隻數，n = 7) 以下的溶液餵食蟑螂時，其心跳率的變化和對照組比較，沒有顯著性差異 ($p > 0.05$)，而濃度在 5% 以上，則有顯著性差異 ($p < 0.05$)。本實驗再分別用 5% (n = 11)、6

% (n = 8)、7% (n = 8)、10% (n = 10)、20% (n = 5)、30% (n = 5) 與 40% (n = 7) 的葡萄糖溶液刺激蟑螂的口器，記錄其心跳率的反應。餵食 5% - 40% 的葡萄糖溶液，都會使蟑螂的心跳率顯著增加 (圖五)。10% 以上葡萄糖溶液的反應即達最顯著的差異 ($p < 0.01$)；而 45% 以上的葡萄糖溶液太濃，沒有測試。



圖四 餵食 10% 葡萄糖溶液對蟑螂心跳率(HR)的時間影響 (n = 4)。測量值為餵食後 5 秒的數據，再以餵食前的心跳率為 100% 比較，每一點代表 4 隻動物的平均值，上下棒為標準誤(以下各圖相同)。圖中 \blacktriangledown 代表餵食葡萄糖溶液； \blacktriangle 代表餵食蒸餾水。

Fig.4. Time effect on the heart rate (HR) of feeding glucose solution (10%) (n = 4) . All data were standardized by control as 100% . \blacktriangle represents the data after feeding glucose solution for 5 sec , \blacktriangledown represents the data by feeding distilled water . Each point represents the mean of 4 data and bars show standard deviation (same in fellow figs .) .



圖五 餵食葡萄糖溶液(4% - 40%)對蟑螂心跳率 (HR) 的劑量影響。以餵食蒸餾水為對照組，餵食各種濃度(4% - 40%)的葡萄糖為實驗組。4% 以下葡萄糖溶液對心跳率沒有增加效應，而 5% 以上具有顯著性增加效應，10% 以上呈現最顯著的增加效應。(* : $p < 0.05$; ** : $p < 0.01$; *** : $p < 0.005$) .

Fig.5. Dose responses of the heart rate (HR) of feeding glucose solution (4% - 40%) . Control groups were fed by distilled water , and experimental groups by glucose in various concentrations (4% - 40%) . No effects on HR by feeding 4% glucose , however , significant effects on HR by feeding glucose over 5% in concentration and maximal response on HR by over 10% in concentration . (* : $p < 0.05$; ** : $p < 0.01$; *** : $p < 0.005$) .

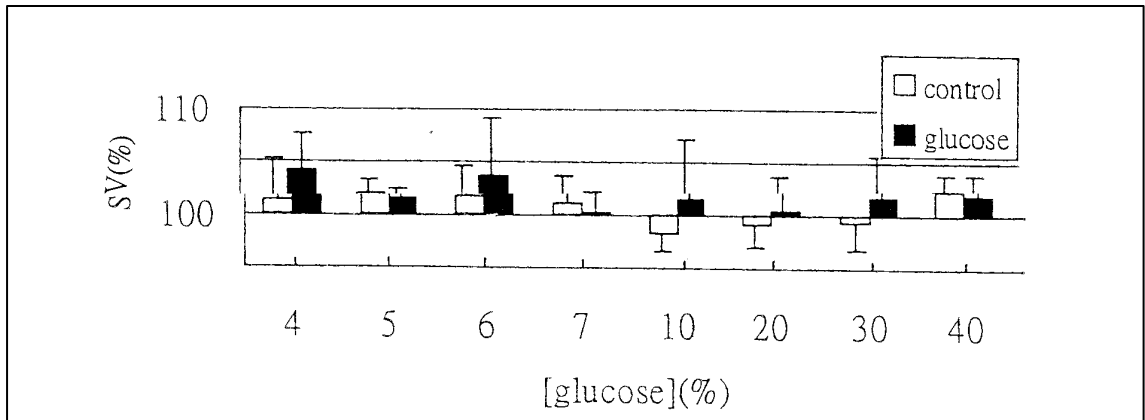
四、餵食葡萄糖溶液對心搏量的劑量效應

測試不同濃度的葡萄糖溶液對心搏量的效應時，發現蟑螂的心搏量在 4% - 40% 葡萄糖溶液的餵食刺激下，無顯著的改變 ($p > 0.05$) (圖六)。

五、葡萄糖溶液對心輸出量的劑量效應

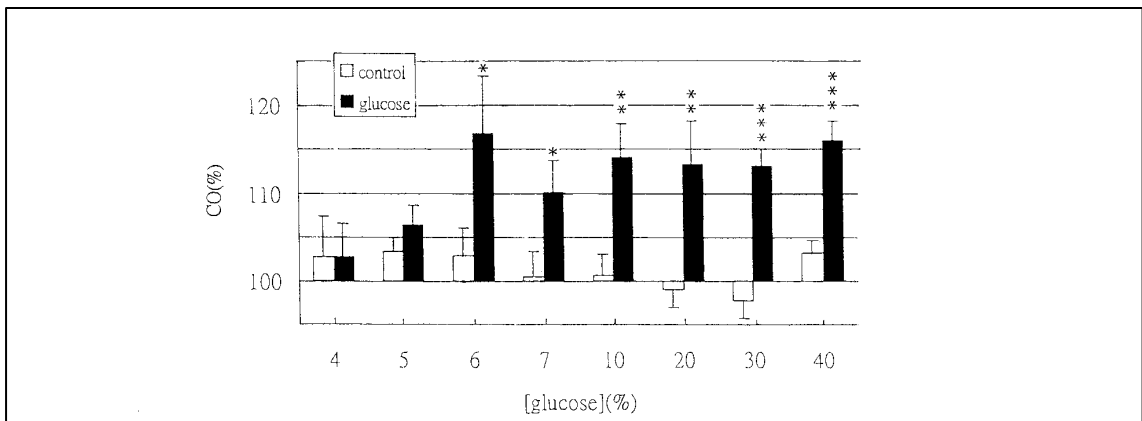
因為心輸出量為心搏量和心跳率的乘

積，所以先將每隻實驗動物之心輸出量算出後，再標準化成百分比來比較。結果得知蟑螂的心輸出量與心跳率一致，在濃度 6% 以上葡萄糖餵食刺激結果與對照組比較，在統計上有顯著的差異 (圖七)。換言之，6% - 40% 的葡萄糖溶液餵食刺激，均會使蟑螂的心輸出量增加。



圖六 餵食葡萄糖溶液對心搏量 (SV) 的劑量影響。餵食葡萄糖溶液任何濃度均對心搏量沒有顯著效應 ($p > 0.05$)。

Fig.6. The effects on the stroke volume (SV) of feeding glucose solution in various concentrations. No significant effects on SV by feeding glucose solution in any concentration ($p > 0.05$).



圖七 餵食葡萄糖溶液(4% - 40%)對心輸出量 (CO) 的劑量影響。結果心輸出量的效應類似心跳率的效應 (* : $p < 0.05$; ** : $p < 0.01$; *** : $p < 0.005$)。

Fig.7. Dose effects on the cardiac output (CO) of feeding glucose solution (4% - 40%). Results show that the effects of glucose on the CO are similar to that of HR. (* : $p < 0.05$; ** : $p < 0.01$; *** : $p < 0.005$).

討 論

本研究嘗試將影像分析的技術，運用於偵測小型無脊椎動物的心搏量與心輸出量，建立探討昆蟲心臟活動的新模式。過去的研究由於技術上的限制，較難偵測小型無脊椎動物的心搏量，尤其是昆蟲的心臟只由一層心肌細胞所構成 (Edwards and Challice, 1960; Sanger and McCann, 1968)，更需要較特別的測量系統，才能測其心搏量。雖然在脊椎動物已有利用影像分析測量心搏量的例子 (Faber *et al.*, 1974; Hou and Burggren, 1995)，但是就昆蟲心搏量的測定而言，本研究屬於最新的報導。本研究的結果顯示葡萄糖液對美洲蟑螂的味覺刺激，確實增加了心臟收縮的速率 (心跳率)，但對於心肌收縮的力量 (心搏量) 沒有顯著的影響，所以，餵食葡萄糖液增加蟑螂的心輸出量，乃由於心跳率的增加，而非心搏量的改變。

環境因素的刺激 (如光線經過視覺；食物經過嗅、味覺；聲波經過振動覺等) 均會影響昆蟲的心臟活動，蓋心臟是昆蟲活動的動力，任何刺激的反應都需要心臟配合並做準備 (Thon, 1982)，其中由味覺刺激所引發的攝食反射與心臟活動的改變，較常被探討。過去常運用心電圖 (EKG)、心機圖 (mechanocardiograph) 及心光圖 (optocardiograph) 等技術偵測昆蟲的心臟活動 (Miller, 1985)，但由於這些技術的限制，對於心臟活動的探討多限於心跳率的變化，對於心搏量與心輸出量的變化則未見報導。所以本研究嘗試利用影像擷取輸入電腦分析的方法，來探知蟑螂攝食葡萄糖溶液時對心輸出量 (單位時間內進出心臟血液的容積) 的效應，結果證明此法可以求出相對的心搏量與心輸出量，以供比較不同環境因子的效應。

以葡萄糖溶液刺激蟑螂口器在 10 秒內造成心跳率增加，顯示味覺的刺激對心臟活動的作用非常快。這種反應該是神經訊息的傳遞，而非激素的作用，雖然 Davey (1961a, b) 曾經用葡萄糖餵食蟑螂，再測定心跳率的變化，結果在處理 4 分鐘內，蟑螂心跳率增加最快，而其作用效應可維持 3 小時之久，但本研究的結果 (圖四) 用 10% 葡萄糖溶液接觸其口器任其攝食，在 5 秒左右即有顯著性增加心跳率的作用，而停止餵食之後 10 分鐘內，心跳率又會回復正常。後來 Davey (1962a, b) 再用餵食葡萄糖的方法作心跳率變化研究，發現 10% 葡萄糖溶液餵食蟑螂時，心跳率增加 10%~20% 左右，最高反應在餵食起 4 分鐘內，而且可以維持增加心跳率在 2-4 小時之久。此結果所增加的幅度和本研究結果相同，約在 10%~20% 左右，但維持心跳率增加的時間，則不一樣 (見圖四)，這可能是餵食容積不同的差異。本研究中的餵食量很少，只有 50 μ L，所以很快引起加速心跳反應後，在 10-20 分鐘內就回復正常值。

有不少的研究在很早以前就報導，心側體 (corpus cardiacum) 含有多種化學成份，能夠增加蟑螂心臟肌肉收縮的頻率與振幅 (Cameron, 1953; Davey, 1961a, b; 1962a, b; 1963a, b; Brown, 1965; Kater, 1968; Natalizi *et al.*, 1970)。在蝗蟲的研究也有類似的報導 (Mordue, 1969)，顯示心跳率受心側體的調節。Kater (1968) 利用離體心臟的研究，證明環境因子增加美洲蟑螂的心跳率，是經由大腦和心側體間的神經連接關係。從刺激大腦誘發心跳率增加的反應時間在 5 秒之內；利用光刺激視覺引起的心跳率增加，也有類似的效應，而且誘發心跳率增加達到最高值約為 6 分鐘，在停止刺激之後

5 分鐘就沒有反應 (Kater, 1968)。這些結果顯示環境因子透過神經訊息輸入大腦，再藉心側體的神經分泌物誘發心跳率增加的歷程，十分快速，與本研究的結果頗為吻合。

美洲蟑螂對糖液刺激的受器主要在上唇 (labrum)，以糖液接觸時，均會誘發攝食反應 (Penzlin, 1985)，受器中所含糖解酶 (α -glucosidase) 被認為是受器興奮的關鍵 (Wieczorek, 1978)，此種酶在某些昆蟲的唇瓣 (labellum) 和足的跗節 (tarsi) 上，也曾被偵測到 (Koizumi *et al.*, 1973)。因此，將葡萄糖液滴在麗蠅科 (Calliphoridae) 昆蟲的唇瓣及跗節附近，也會引起吻部伸出的攝食反應。

Davey (1962b) 曾用破壞的方法，證明誘發糖食增加美洲蟑螂心跳率的受器，分佈於上唇基部靠兩側的骨化環 (sclerotized ring) 內，如果用臘封住或以高溫破壞環內區域，糖食增加心跳的反應就消失。接著用切斷神經的方法，追蹤蟑螂糖食增加心跳反應的神經路徑，並推測其反應路徑是經由上唇神經 (labral nerve) 傳到前額神經節 (frontal ganglion)、前額神經索 (frontal connectives) 和回返神經 (recurrent nerve)，再傳達到心側體。此外，食道下神經節 (subesophageal ganglion) 也可能涉及此種反應，最後是經由心側體的神經分泌物作用於圍心細胞 (pericardial cells)，而與咽側體 (corpus allata) 的內分泌功能無直接的關係 (Penzlin, 1985)。

Davey (1962b) 的推測和 Kater (1968) 的實驗證明，並沒有衝突，因為美洲蟑螂的大腦涵蓋範圍極廣，主要功能不是直接支配肢體運動，而是接受各種感覺訊息的輸入，再進行整合 (integration) 或統整 (coordination)，再影響相關神經的功能，而

調節 (regulation) 器官或個體的活動 (Penzlin, 1985)，因此，餵食葡萄糖液能夠快速改變心跳率，可能是透過味覺輸入、大腦整合和心側體對心臟上圍心細胞的作用，應屬於合理的解釋，本研究結果也支持這種神經反射理論。

本研究結果證明蟑螂的心輸出量的增加，導因於心跳率的增加，而非心搏量的增加。這種現象類似哺乳動物和鳥類的反應，而不同於魚類和甲殼類的反應 (Faber *et al.*, 1974; Withers, 1992; Randall *et al.*, 1997)，前者心輸出量的增加，多來自心跳率的驟增，心搏量的變化較不明顯；後者心輸出量的變化，多由於心搏量的增加，較少由於心跳率的改變，尤其是激烈運動時，所造成的心輸出量巨增，來自心跳率和心搏量的差異更為明顯 (Randall *et al.*, 1997)。至於蟑螂和甲殼類同屬節肢動物，其心輸出量的調節居然類似恆溫動物的哺乳類和鳥類，其機制則有待進一步的追查。

一般而言，昆蟲味覺受到食物的刺激會引起攝食反射，同時增加循環器官和消化管的運動，及排泄器官的血流量 (Davey, 1962b)，以增加食物吸收的效益。在本研究中發現，葡萄糖對蟑螂口器上味毛的刺激會快速增加心輸出量，以增加通過腸道表面的血淋巴量，促進葡萄糖從腸道內擴散至體腔內的速度；我們推測蟑螂心輸出量的增加主要由於心跳率的增加，與心搏量沒有顯著的改變，可能是因為葡萄糖吸收的效率與血淋巴流動的速度有關，而與血淋巴流動的力量關係較小，故心搏量受味覺刺激的影響不具有顯著性差異。

誌 謝

感謝國科會的經費補助 (NSC 88-2815-C-003-047B)、本系吳京一教授的鼓勵，及蔡淑惠小姐協助文書工作，謹此致謝。

引用文獻

- Ashby, E. A., and J. L. Larimer.** 1965. Modification of cardiac and respiratory rhythms in crayfish following carbohydrate chemoreception. *J. Cell. Comp. Physiol.* 65: 373-379.
- Angioy, A. M.** 1988. Reflex cardiac response to a feeding stimulus in the blowfly, *Calliphora vomitoria*. *J. Insect Physiol.* 34: 21-27.
- Baylor, E. R.** 1942. Cardiac pharmacology of the Cladoceran, *Daphnia*. *Biol. Bull.* 82: 165-172.
- Boeck, J., K. D. Ernst, H. Sass, and U. Waldow.** 1975. Coding of odour quality in the insect olfactory pathway. pp. 239-245. *In: D. A. Denton, and J. P. Coghlan, eds. Olfactory and Taste.* Academic Press, New York.
- Brown, B. E.** 1965. Pharmacologically active constituents of the cockroach corpus cardiacum: resolution and some characteristics. *Gen. Comp. Endocrinol.* 5: 387-401.
- Cameron, M. C.** 1953. Secretion of an orthodiphenol in the corpus cardiacum of the insect. *Nature* 172: 349-350.
- Davey, K. G.** 1961a. The mode of action of the heart accelerating factor from the corpus cardiacum of insects. *Gen. Comp. Endocrinol.* 1: 24-29.
- Davey, K. G.** 1961b. Substances controlling the rate of the heart of *Periplaneta americana*. *Nature* 192: 284.
- Davey, K. G.** 1962a. The release by feeding of a pharmacologically active factor from the corpus cardiacum of *Periplaneta americana*. *J. Insect Physiol.* 8: 205-208.
- Davey, K. G.** 1962b. The nervous pathway involved in the release by feeding of a pharmacologically active factor from the corpus cardiacum of *Periplaneta*. *J. Insect Physiol.* 8: 579-583.
- Davey, K. G.** 1963a. Possible involvement of an amino acid decarboxylase in the stimulation of pericardial cell of *Periplaneta* by the corpus cardiacum. *J. Exp. Biol.* 40: 343-350.
- Davey, K. G.** 1963b. The release by enforced activity of the cardiac accelerator from the corpus cardiacum of *Periplaneta americana*. *J. Insect Physiol.* 9: 375-381.
- Edwards, G. A., and C. E. Challice.** 1960. The ultrastructure of the heart of the cockroach, *Blattella germanica*. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 53: 369-383.
- Faber, J. J., T. J. Green, and K. L. Thornburg.** 1974. Embryonic stroke volume and cardiac output in the chick. *Dev. Biol.* 41: 14-21.
- Ganong, W. F.** 1997. Review of medical physiology. 18th ed. pp. 530-555. Prentice-Hall International, Inc.

- Hou, P. C. L., and W. W. Burggren.** 1995. Cardiac output and peripheral resistance during larval development in the anuran amphibian *Xenopus laevis*. *Am. J. Physiol.* 269: R1126-R1132.
- Kater, S. B.** 1968. Cardiac-accelerator release in *Periplaneta americana*. *Science* 160: 765-767.
- Koizumi, O., H. Kijima, K. Kawabata, and H. Morita.** 1973. α -glucosidase activity on the outside of the labella and legs of the fly. *Comp. Biochem. Physiol.* 44B: 347-356.
- Larimer, J. L., and J. R. Tindel.** 1966. Sensory modifications of heart rate in crayfish. *Anim. Behav.* 14: 239-245.
- Mordue, W.** 1969. The physiological effects of corpus cardiacum extracts in locusts. *Gen. Comp. Endocrinol.* 12: 360-369.
- Miller, T. A.** 1985. Structure and physiology of the circulatory system. pp. 304-340. *In: G. A. Kerkut, and L. I. Gilbert, eds. Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology. Vol. 3. Pergamon Press .*
- Natalizi, G. M., M. C. Pansa, V. d'Adjello, O. Casaglia, S. Bettini, and N. Frontali,** 1970. Physiologically active factors from corpora cardiaca of *Periplaneta americana*. *J. Insect Physiol.* 16: 1827-1836.
- Penzlin, H.** 1985. Stomatogastric nervous system. pp. 371-406. *In: G. A. Kerkut, and L. I. Gilbert, eds. Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology. Vol. 5, Pergamon Press.*
- Randall, D., W. Burggren, and K. French.** 1997. Eckert animal physiology - mechanisms and adaptations. 4th ed. pp. 467-516. W. H. Freeman and Company.
- Sanger, J. W., and F. V. McCann.** 1968. Ultrastructure of the myocardium of the moth, *Hyalophora cecropia*. *J. Insect Physiol.* 14: 1105-1111.
- Thon, B.** 1982. Influence of the cardiac phase on the latency of a motor response to a visual stimulus in the blowfly. *J. Insect Physiol.* 28: 411-416.
- Wieczorek, H.** 1978. Biochemical and behavioral studies of sugar reception in the cockroach. *J. Comp. Physiol.* 124: 353-356.
- Withers, P. C.** 1992. Comparative animal physiology. pp. 665-726. Saunders College Publishing.

收件日期：2001年3月1日

接受日期：2001年4月13日

Effects of Glucose on the Cardiac Output of Cockroaches by Video Image Analysis

Jen-Pu Tsai, Pi-Chi Hwang, Li-Chu Tung, and Jin-Tun Lin*

Department of Biology, National Taiwan Normal University, No. 88, Dingchou Road, Sec. 4, Taipei 116, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

The cardiac activities of cockroaches (*Periplaneta americana*) were studied by video image analysis, and the effects of feeding a glucose solution on the cardiac output were investigated. Stroke volumes of insects were determined from differences in end-systolic and end-diastolic volumes of the heart; this was multiplied by heart rate to yield cardiac output. We investigated the effects of feeding glucose on the cardiac output of male adult insects. Control groups were fed distilled water, and experimental groups were fed glucose in various concentrations. The results show that the feeding of glucose solutions up to 5% in concentration significantly increased heart rate, but non-significantly affected stroke volume. Feeding a 10% glucose solution increased the heart rate by $14.37 \pm 4.70\%$ compared with the feeding of distilled water ($p < 0.01$, $n = 10$), but non-significantly increased stroke volume. Feeding a 10% glucose solution also increased cardiac output by about $14.13 \pm 3.18\%$ compared to the control group ($p < 0.01$, $n = 10$). The mechanism by which feeding glucose increases the heart rate and cardiac output of cockroaches is discussed.

Key words: images analysis, *Periplaneta americana*, stroke volume, cardiac output, glucose.