

蟑螂心臟活動的觀察方法

蔡任圃

臺北市立大同高中

壹、前言

在高中生物教材的教法中，除了課堂上的教授之外，常常安排實驗課，以實證的方式，輔助生物知識的傳授，並加強對生物概念的認知。高中生物課程的實驗課中，部份實驗需使用活體動物作為實驗材料，常作為實驗動物的種類有大白鼠(rat，學名：Rattus norvegicus)、小白鼠(mice，學名：Mus musculus)、牛蛙(American bull frog，學名：Rana catesbiana)與虎皮蛙(Chinese Bullfrog，學名：Rana rugulosa)等等。教師在準備實驗動物時，常常由學校專門人員或是教師自己訂購取得，故對於實驗動物的來源與實驗動物的自然生活環境，學生通常無從瞭解；若實驗動物是日常生活可見，或由學生自行準備、捕捉，可使學生對於這些生物的習性與生活環境有進一步瞭解，甚至可鼓勵學生觀察並認識生活周遭的小生命，對於教師在實驗課堂上，傳遞愛護生命與生態保育的觀念時，更具效果與共鳴。

動物的循環系統(circulatory system)可分為開放式循環系統(open circulatory system)與閉鎖式循環系統(closed circulatory system)，高中實驗課常以水蚤(學名：Daphnia similis)的心臟，作為開放式循環系統的一個

實例，但水蚤準備不易，且都市中的孩子少有機會觀察自然環境中，水中微小的小生物，故對水蚤的印象只能停留於生物實驗室中，若能觀察日常生活中常見動物的心跳活動，可使學生將生物的生理現象和生物與環境的關係進行連結，達到生物教學連貫一致，使學生獲得整體的生物學觀念。

美洲蟑螂(American cockroach，學名：Periplaneta americana)是各種蟑螂種類中，跟人類日常生活息息相關的物種之一，也是都市的蟑螂中，體型最大且最常見的種類，容易透過施放陷阱或直接捕抓而獲得，是都市學校裡，生物實驗最佳的實驗動物。以下就心跳週期的觀察為例，分別討論以水蚤與蟑螂作為實驗動物的優、缺點。

一、以水蚤作為心跳週期的實驗動物

高二生命科學第五章的心跳週期探討活動中，以水蚤為實驗動物，以探討溫度對心跳率(heart rate)的影響。以水蚤作為實驗動物有以下的優點：1. 個體小而操作方便，2. 可同時購買或飼養大量的水蚤個體，增加實驗數據的取樣數量。但以水蚤作為實驗動物，有以下的缺點：1. 飼養不易，需隨時注意水質與飼料，2. 個體過小，需在複式光學顯微

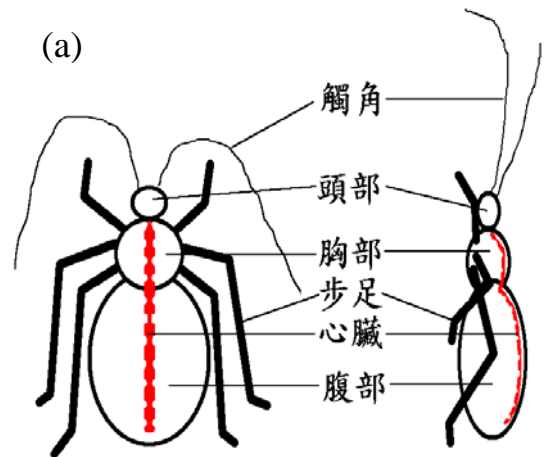
鏡下進行觀察，3. 心跳速度過快(約 200~400 次/分鐘)，測量不易，4. 觀察水蚤時，水蚤置於凹槽玻片中，由於介質(水)容積小，在探討溫度因子時，介質的溫度不易保持恆定，5. 由於水蚤身體過小，並置於凹槽玻片中，若要探討溫度之外的其他因子，對心跳週期的影響，有其困難。因此，如果有實驗動物能具備水蚤的優點而較少缺點，則對於心跳週期可做完整的探討，有利建構動物循環系統與心跳週期的概念，或引伸作為實驗研究與科學展覽的實驗動物。

二、以美洲蟑螂作為心跳週期的實驗動物

美洲蟑螂可謂家家戶戶皆有的常見昆蟲，容易捕捉，容易飼養，成蟲的體長約 3 至 4 公分，體積較大而易操作，可透過肉眼或解剖顯微鏡直接進行心跳週期的觀察。蟑螂心跳速率適中(約 70~120 次/分鐘)，容易測量，適合用於探討溫度或其他因子，對其心跳週期的影響。以蟑螂作為實驗動物也有少許缺點，例如蟑螂帶有臭味，受刺激時甚至會排出液態惡臭的糞便，以驅避敵人，故在操作時，須忍受「異味」；此外，野生蟑螂常帶有病原體，可能傳播疾病，在操作時可能造成皮膚過敏，故操作蟑螂時，應儘量不直接觸碰，而以工具(如鑷子)或戴手套進行。

昆蟲的心臟位於身體的背側中央，從胸部的背側一直延伸至腹部背側(圖一)，以美洲蟑螂為例，其心臟共十二節，胸部三節，

腹部九節。心臟搏動時，血淋巴(hemolymph)在心臟中向前推進，將血淋巴推向頭部，再由頭部流至胸部、腹部等處。蟑螂的循環系統只有一條血管，位於背側稱為背血管，其中膨大且具規律性收縮能力的構造稱為心臟，而身體的其他部位皆不具血管，故血淋巴直接在體腔中流動，血流速率較閉鎖式循環的動物慢。蟑螂的心跳活動容易受生理狀態與環境因子的影響，適合用來探討各項因子對心臟活動的影響，以下用溫度等因子為例，說明以蟑螂為實驗動物，觀察心跳活動的方法。



圖一 昆蟲心臟位置的示意圖。(a)昆蟲的背面觀；(b)昆蟲的側面觀。

貳、實驗器材與方法：

一、器材：

美洲蟑螂(雌雄不拘，但以剛蛻皮不久者為佳)、計時器、蠟盤、蜜蠟(熔點約 40°C)、

解剖顯微鏡、鑷子、冷凍庫或冰塊、飼養箱(或其他罐子、盒子)、培養皿、棉花、棉花棒、不同濃度的葡萄糖液(超過 5% 為佳)。

二、實驗動物

(一)、收集蟑螂的方法

1. 直接用鑷子或戴手套徒手捕捉：在家中廚房櫃子、流理台、排水管等潮濕陰暗之處，或是傳統市場、餐館、麵包店等處，以食物誘集，再以適合的工具(如鑷子或蟲網)加以捕捉。蟑螂的活動期在傍晚至夜晚，特別是太陽下山後 2~3 小時(Brady, 1967a, 1967b, 1968)，所以這段時間較容易找到而捕捉。
2. 設陷阱捕捉：以玻璃罐或鐵罐內置食物誘餌，在罐子內面抹油或凡士林，使得蟑螂落入罐子中後無法攀爬逃出，或是用市售的蟑螂陷阱進行捕捉，但不可使用蟑螂屋或黏蟑板，因為可能對蟑螂造成傷害。蟑螂不善飛，無法垂直起飛，故不需擔心蟑螂飛走。

(二)、飼養蟑螂的方法

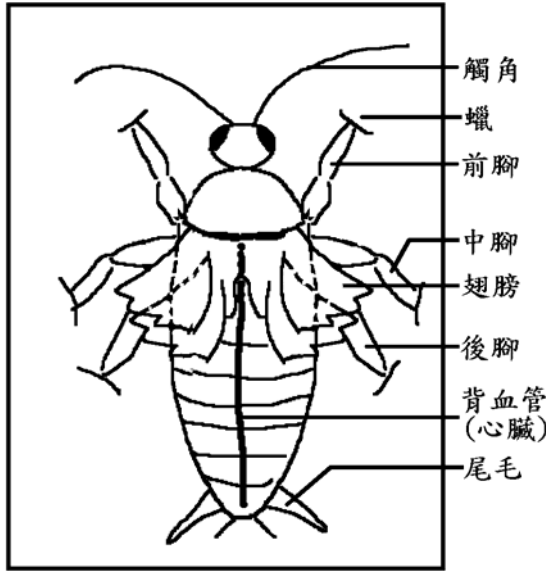
捕到蟑螂後，常常因為個體數量不夠多，需飼養一陣子，以累積至足夠的個體數量。何況有些實驗設計需長時間的觀察，所以必須透過飼養方式，維持蟑螂的活性與數量。飼養蟑螂的方法很容易，但也需要耐心與細心。尋找大小適合的飼養箱(大約每 5 隻成蟲需 20 x10 x20 公分的空間)，以厚度約為 0.2 公分的紙板摺成 M 字形後放入，供蟑螂躲藏。

飼養箱內放置兩個培養皿，一放置沾濕的棉花以供飲水，一放置乾燥食物(一小塊麵包、餅乾、或乾燥狗飼料)，食物若沾水潮濕，易發霉，造成蟑螂因飢餓、感染真菌或環境髒亂而死亡，故食物與飲水要常常更換。蟑螂常給人骯髒的印象，其實是愛乾淨的昆蟲。在其生活環境或食物飲水遭受污染時，也容易死亡，故每三至四天就需換食物與飲水，並隨時移除死亡的個體，以維持其生存環境的乾淨，而且飼養箱需放置於陰涼之處，應避免陽光直接照射。

在冬季因氣溫低，會造成蟑螂生長與蛻皮的速率變慢，若溫度偏低，因實驗需要必須增加蟑螂的生長速率或成蟲數量時，可以增加飼養箱的溫度，以因應實驗的需要。

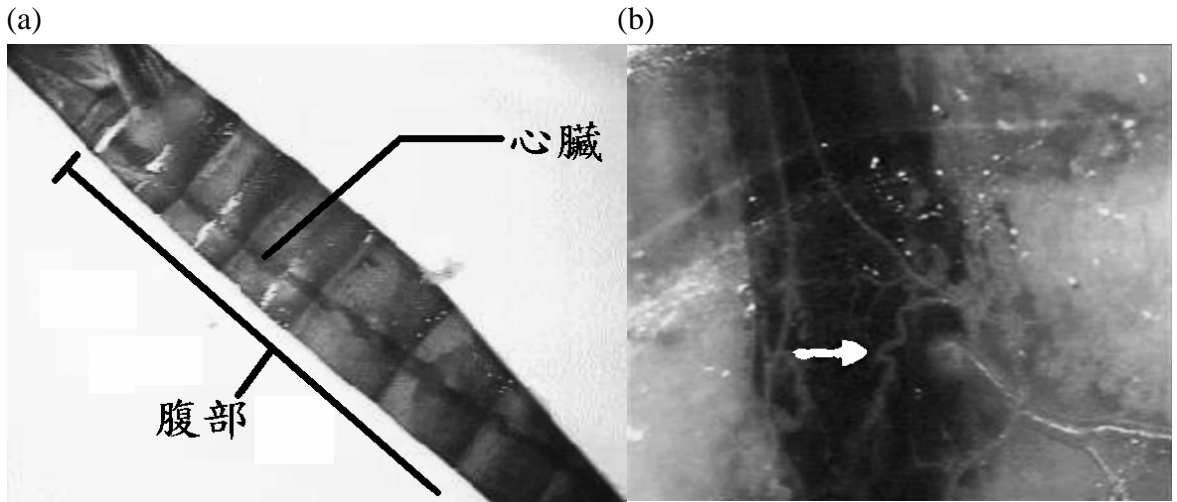
三、蟑螂心跳週期的觀察

將蟑螂裝入小瓶中，再放置冰箱冷凍庫($<0^{\circ}\text{C}$)，或埋於冰塊中，進行冷凍麻醉，待其失去行動能力(大約需要 5~10 分鐘)，用剪刀剪去翅膀，使腹部背面裸露。用燒熔的蜜蠟黏住蟑螂的六肢，而將蟑螂固定在蠟盤上(圖二)，無論如何固定，蟑螂的背面皆需朝上，以方便蟑螂心臟的觀察。



圖二 蟑螂的固定方式。利用蜜蠟將蟑螂的腳與身體固定在蠟盤上。

將蟑螂置於解剖顯微鏡下，觀察蟑螂胸部或腹部背側的中央，可見一條類似黑線的構造，此構造(背血管)會收縮舒張，即為心臟(圖三 a)。由於蟑螂的背板透明，因此可直接觀察到心臟的跳動，有時還可看到蟑螂心臟上的氣管(圖三 b)。美洲蟑螂的心臟共有十二節，其中三節在胸部，其他九節在腹部，最後一節在身體末端，較小不易觀察。由於蟑螂各節心臟的搏動是同步的，所以在觀察蟑螂心跳率時，可以挑選其中一節較清楚、方便觀察的心臟，以測量並比較各項實驗因子對蟑螂心跳率的影響。



圖三 蟑螂的心臟。(a)蟑螂腹部心臟；(b)偶而在心臟上還可看到氣管(箭頭所指)

四、溫度對心跳率的影響

將蟑螂固定在蠟盤之後，旁邊放置一個溫度計，以監測溫度的變化。於室溫下，計算蟑螂心跳率，測量數次之後，求其平均值，

然後在蟑螂周圍放些冰塊，利用冰塊的數量與和蟑螂的距離，控制蟑螂周邊的溫度，使溫度降低，直到比室溫低 5°C ，再測量心跳率數次，求其平均值。若實驗時間允許，還可將蟑螂連同蠟盤放置於燒杯之上，燒杯內

放入熱水，使熱水的蒸汽將蟑螂加熱，使溫度維持比室溫高 5°C (但溫度不可超過 40°C)，並測量心跳率數次，求其平均值。最後比較在不同溫度下，蟑螂心跳率的變化。

五、攝食糖水對心跳速率的影響

蟑螂的口器若接觸到糖水，會引起吸吮反射(Wieczorek, 1978)將糖水吸入。在此反射進行時，蟑螂心臟的心跳率會增加(Davey, 1961a, 1961b, 1962, 1963)。生物學者發現，禁食 4 天以上的蟑螂，餵食 10%葡萄糖液後，在 4 分鐘內可增加蟑螂 13~21%心跳率，而餵食蒸餾水的蟑螂，其心跳率無任何變化(Davey, 1962)。

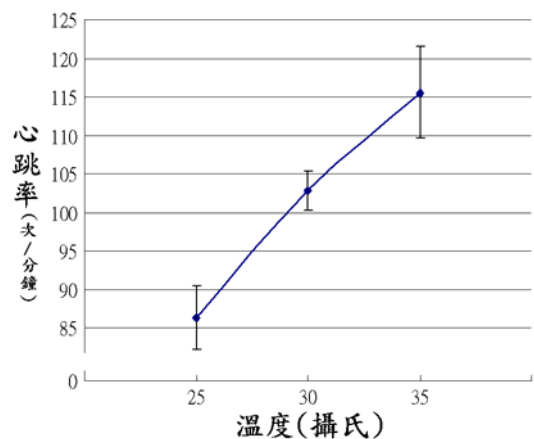
在蟑螂固定後，將口器露出，以葡萄糖液(高於 5%的不同濃度)沾濕棉花棒，再將之觸碰口器餵食糖液，直至產生吸吮反射，此時觀察蟑螂心跳率的變化。昆蟲的吸吮反射，可由許多不同種類的物質引發，包含各種糖。在學校實驗室中，也可進一步的利用澱粉液、蔗糖液、果糖液、葡萄糖液等物質，探討不同濃度的溶液對蟑螂心跳率的影響。

參、參考結果

一、溫度對心跳率的影響

蟑螂在 20°C、25°C 與 30°C 的環境中，心跳率有顯著的改變。在計算 6 隻蟑螂(n = 6)的心跳率之後，發現 20°C 時蟑螂心跳率為 86.329 ±4.15 次/分鐘(mean ±SE)，25°C 時心跳率為 102.85 ±2.58 次/分鐘，30°C時心跳率

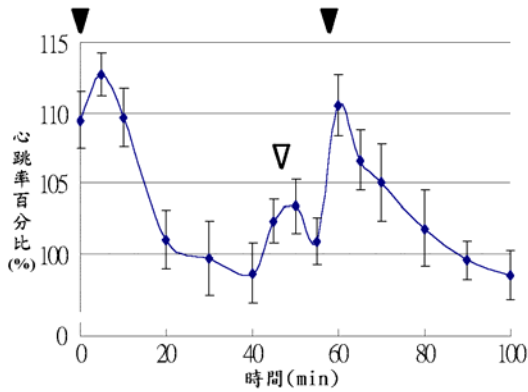
為 115.50 ±5.94 次/分鐘(圖四)，假設x為溫度，y為心跳率，則其關係(趨勢線)可以 $y = 2.92x + 14.05$ 表示，相關係數(R^2)為 0.99。由此可見，溫度對於蟑螂的心跳率，具有重要的影響。



圖四 同溫度下蟑螂的心跳率(mean±SE, n= 6)。

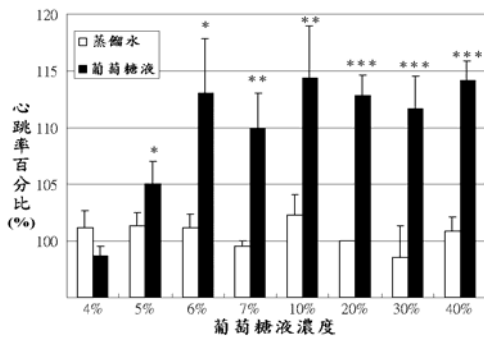
二、攝食糖水對心跳率的影響

以濃度為 10%的葡萄糖溶液餵食蟑螂，蟑螂的心跳率會立即增加 10~15%(圖五)，而後在 10~20 分鐘內恢復至正常的心跳率，若再餵與蒸餾水，其心跳率的變化不明顯，此時若再餵食葡萄糖液，心跳率仍可再度增加(圖五)(蔡等，2001)，證明餵食葡萄糖液確實可以增加蟑螂的心跳率。



圖五 餵食葡萄糖液(10%)對蟑螂心跳率的影響。實心箭頭代表餵食葡萄糖溶液，空心箭頭代表餵食蒸餾水，餵食之前蟑螂的心跳率為 100%(n =8) (修改自蔡等，2001)。

以 4% 以下的葡萄糖液餵食蟑螂時，其心跳率的變化和對照組(餵食蒸餾水)比較，沒有顯著性差異($p > 0.05$)，而葡萄糖液濃度在 5% 以上時，則可增加心跳率($p < 0.05$)(圖六)(蔡等，2001)。



圖六 不同濃度葡萄糖液對蟑螂心跳率的影響。(4% : n = 7, 5% : n = 11, 6% : n = 8, 7% : n = 8, 10% : n = 10, 20% : n = 5, 30% : n = 5, 40% : n = 7, paired t-test; * : $p < 0.05$; ** : $p < 0.01$; *** : $p < 0.005$) (修改自蔡等，2001)。

肆、討論與結論

昆蟲的心臟只由一層心肌細胞構成 (Edwards and Challice, 1960)，是一個非常脆弱又敏感的器官，在解剖時，心臟常常會停止搏動，所以要觀察心臟的搏動，必須在不傷害蟲體的情況下進行。蟑螂的背板為透明的構造，所以可在不干擾蟑螂生理活動的情況下，觀察並測量心搏的情形。此外，蟑螂的心臟由複雜的神經系統支配，對化學與機械的刺激非常敏感 (Kerkut and Gilbert, 1985)，所以在探討各項因子對心搏活動的調節作用，蟑螂是一個非常適合的實驗動物。本文以溫度與攝食糖液為例，證明在操作上的方便性與實驗結果的明顯性方面，蟑螂是高中生物教材探討活動或參加科展的最佳材料。

溫度是影響生理活動的重要因子，其中包含昆蟲的心臟活動，例如果蠅 (*Drosophila*) 的三齡幼蟲在溫度由 18°C 升到 33°C 時，心跳率呈直線上升，但溫度在超過 33°C 時則心跳速率會下降 (White et al., 1992)；用冰的生理食鹽水澆淋到蝗蟲的心臟上，可降低心跳率 (Crescitelli and Jahn, 1938)。美洲蟑螂在 12°C ~ 40°C 的環境下，無論是雄蟲或雌蟲，心跳率隨溫度上升而增加 (呈線性關係) (Richards, 1963)。

溫度對心跳率的影響，是高中生物教學活動設計中重要的一環，但就水蚤心搏的實驗而言，學生可容易的觀察到心跳率受溫度的影響，卻較難將心跳率的變化，與溫度以

外的生理意義連接在一起，而簡化了探討活動的教學意義與目的。利用隨手可得的實驗動物—蟑螂，不但可以觀察到溫度對心跳率的影響，也可將心臟活動與其他生理作用的概念串連在一起，例如，蟑螂進食時(餵食糖液)，心跳率會增加，是因為心跳率的增加可促進血淋巴的循環，增加血淋巴流過消化道的速度，而增加腸胃道內養分擴散至血淋巴的效率(昆蟲為開放式循環)，所以在餵食糖液時，不但口器產生吸吮反射，此時心臟的心跳率亦會增加，為吸收養分預作準備，這與人類聞到食物香味，胃液就開始分泌的原理類似。

美洲蟑螂的吸吮反射，對蔗糖溶液、麥芽糖溶液、果糖溶液、葡萄糖溶液等糖類皆有反應，且其小顎鬚(maxillary palpus)是目前已知的昆蟲中，感覺毛(昆蟲的感覺器官)的密度最高(每0.1mm²約有2650個)(Wieczorek, 1978)，這可以解釋為何蟑螂對味覺刺激的反應，會如此明顯。

伍、參考文獻

1. 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
2. Bell, W. J. and K. G. Adiyodi. 1981. The American Cockroach. p.33. Chapman and Hall. New York.
3. Brady, J. 1967a. Control of the circadian rhythm of activity in the cockroach. I. The role of the corpora cardiaca, brain and stress. J. Exp. Biol. 47: 153-163.
4. Brady, J. 1967b. Control of circadian rhythm of activity in the cockroach. II. The role of the subesophageal ganglion and ventral nerve cord. J. Exp. Biol. 47: 165-178.
5. Brady, J. 1968. Control of the circadian rhythm of activity in the cockroach. III. A possible role of the blood-electrolytes. J. Exp. Biol. 49: 39-47.
6. Davey, K. G. 1961a. The mode of action of the heart accelerating factor from the corpus cardiacum of insects. Gen. Comp. Endocrin. 1: 24-29.
7. Davey, K. G. 1961b. Substances controlling the rate of the heart of *Periplaneta americana*. Nature. 192:284.
8. Davey, K. G. 1962. The nervous pathway involved in the release by feeding of a pharmacologically active factor from the corpus cardiacum in *Periplaneta*. J. Insect Physiol. 8: 579 -583.
9. Davey, K. G. 1963. Possible involvement of a amino acid decarboxylase in the stimulation of pericardial cell of *Periplaneta* by the corpus cardiacum. J. Exp. Biol. 40: 343-350.
10. Edwards, G. A. and C. E. Challice. 1960. The ultrastructure of the heart of the cockroach, *Blattella germanica*,. Ann. Ent. Soc. Am. 53: 369-383.
11. Gerould, J. H. 1938. Structure and action of

- the heart of *Bombyx mori* and other insects. *Acta. Zool.* 19: 297-352.
12. Kerkut, G. A. and L. I. Gilbert. 1985. *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology*. V3. pp305. Pergamon Press Ltd.
13. Richards, A. G. 1963. The effect of temperature on the heartbeat frequency in the cockroach, *Periplaneta americana*. *J. Insect Physiol.* 9: 597-606.
14. White, L. A., J. M. Ringo, and H. B. Dowse. 1992. Effects of deuterium oxide and temperature on heart rate in *Drosophila melanogaster*. *J. Comp. Physiol. B.* 162(3): 278-283.
15. Wieczorek, H. 1978. Biochemical and behavioral studies of sugar reception in the cockroach. *J. Comp. Physiol.* 124: 353-356.