

# 認識身旁的小傢伙(四)

## —美洲蟑螂循環系統的觀察方法

黃常宇 蔡任圃\*

臺北市中山女子高級中學

### 壹、前言

無論是國中、高中或大學課程，循環系統是生物課程中的重要章節。循環系統可分成開放式(open circulatory systems)與閉鎖式(closed circulatory systems)兩種系統，而生物課程多著重於閉鎖式循環，因為那是我們人體的循環方式，故先熟悉自己的身體，方能瞭解其他動物的循環系統。因此，課堂上或課本中對於開放式循環系統的介紹可謂少之又少，坊間的科普書籍亦難尋覓相關資料與知識，使得學生與教師對該系統的認識較淺。本文希望透過對開放式循環系統的介紹，使讀者對動物的循環系統具進一步的認識，亦能作為生物課堂上的補充資料，或是發展成相關的實驗活動。

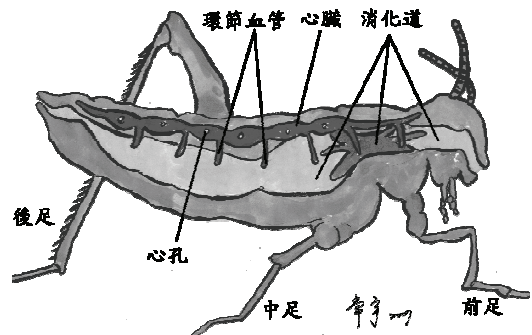
具開放式循環系統的動物很多，本文以常見的昆蟲—美洲蟑螂(*Periplaneta americana*)為例，作為介紹開放式循環系統的主角，並介紹其循環系統與血球的簡易觀察方法，可用於推廣、發展成實驗觀察活動，或是科學展覽、專題研究的主題。

\* 為本文通訊作者

### 貳、開放式循環系統的構造

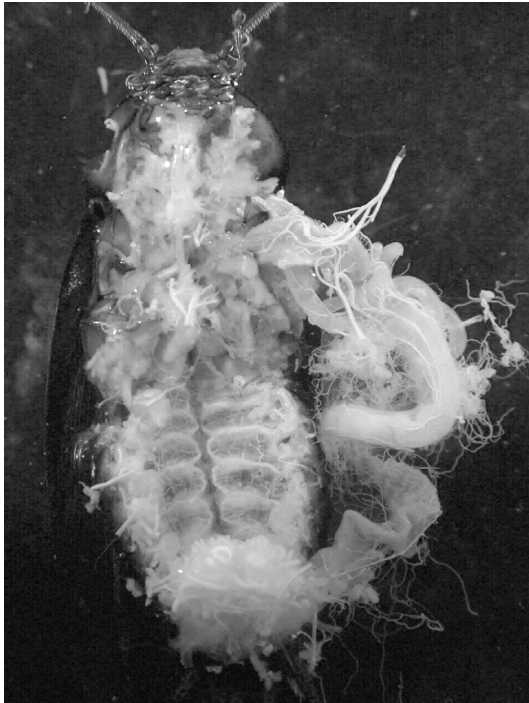
昆蟲的循環與其他節肢動物一樣屬於開放式循環系統，不具有微血管甚至不具靜脈(圖一)，許多昆蟲的心臟具環節血管(segmental blood-vessels)，蟑螂即屬其中一例。昆蟲的心臟位於體腔背側，而其神經索位於體腔腹側(圖二)。

昆蟲由兩層纖維-肌隔膜(fibro-muscular septa)將其體腔由背側至腹側隔成三個空間(解剖學上稱之為「竇」)，此三個竇合稱為體腔或血腔。靠近背側的背隔膜(dorsal diaphragm)為主要的隔膜(圖三)，於腹腔的腸道上面形成背竇(亦名「圍心竇」，dorsal or pericardial sinus)，背竇裡含有昆蟲的心臟。甚至在部分種類的昆蟲，其部分區域的背隔膜可分為兩層，例如蛭蠊(*Grylloblatta*)與螞蜥總科(*Tettigonioidea*)等種類。

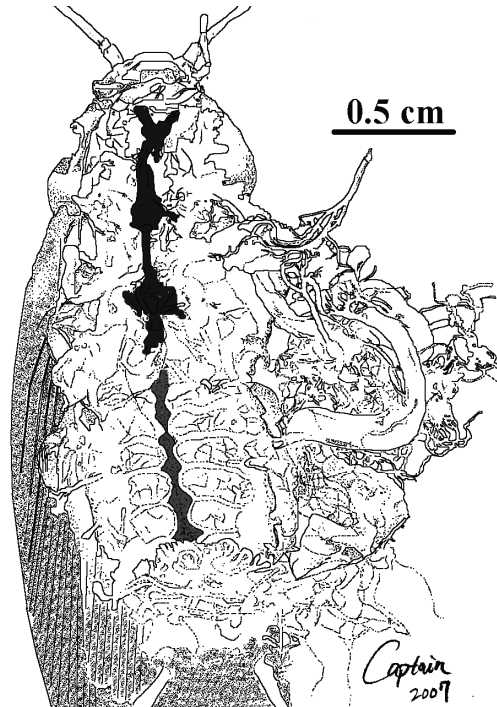


圖一、開放式循環示意圖，以蝗蟲為例。

(A)



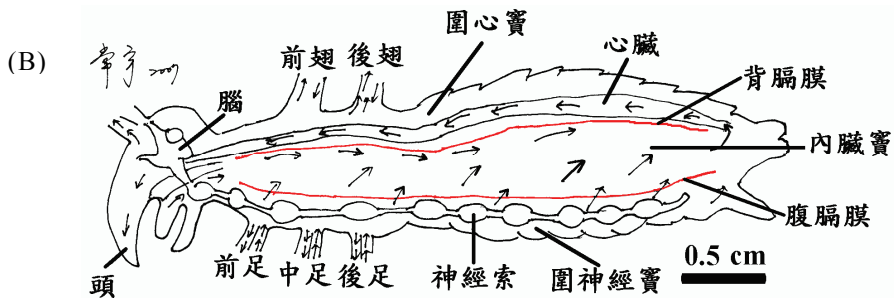
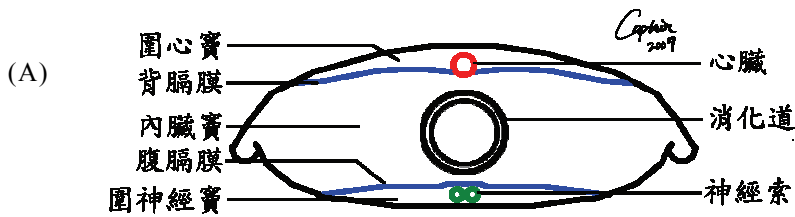
(B)



圖二、美洲蟑螂的心臟。

(A).實體照像圖。

(B).手繪圖，心臟(紅色)位於體腔背側，而其神經索(藍色)位於體腔腹側。



圖三、美洲蟑螂體腔切面示意圖。(A).橫切面。(B).縱切面。

靠近腹側的腹膈膜 (ventral diaphragm)，位在腹腔中神經索的上方(圖三)，形成腹竇(亦名「圍神經竇」，ventral or perineural sinus)，腹竇裡含有昆蟲的神經索。背、腹膈膜之間的體腔為內臟竇 (visceral sinus)，為放置大部分內部器官的位置，例如：消化道、馬氏管、生殖腺等。

昆蟲的心臟兩側常附著扁平極薄的肌肉，稱為翼肌(亦名翼狀肌，aliform or alary muscle)，翼肌由橫紋肌構成，由背板 (terga，昆蟲背部的骨片)發出，於背膈膜的表面成扇狀結構，另一端連接於心臟兩側或心臟的下緣。蟑螂具有 12 對翼肌，蜜蜂具 4 對翼肌，豬蠃(*Haematopinus*)有 3 對，搖蚊(*Chironomus*)的幼蟲具 2 對翼肌，故蟑螂適合用於觀察昆蟲的翼肌(圖五 B、圖七 B、圖八 B)。

## 參、昆蟲的心臟

昆蟲的心臟位於蟲體背側表皮下，因此常稱為背血管。蟑螂的背板較薄可透光，故其心臟的搏動可直接觀察而不需解剖(圖四)。昆蟲的心臟通常後端封閉，在頭部具開口釋出血淋巴(圖三 B)，一般包含兩個區域：具收縮能力的心臟(通常位於後方)，與運輸血淋巴的動脈管(aorta)。昆蟲心臟位於圍心竇內，由懸吊纖維 (suspensory filaments)連接至背板，或連接至背膈膜。心臟的分節情形可由成對的流入式心孔(incurrent ostia)與翼肌觀察出(圖五、圖七 B、圖八 B)，蟑螂的心孔較不明顯，故通常由心臟各腔室膨大情形或成對的翼肌，進行心臟腔室數目與位置的判斷。

昆蟲的心臟由一層橫紋肌構成，內襯

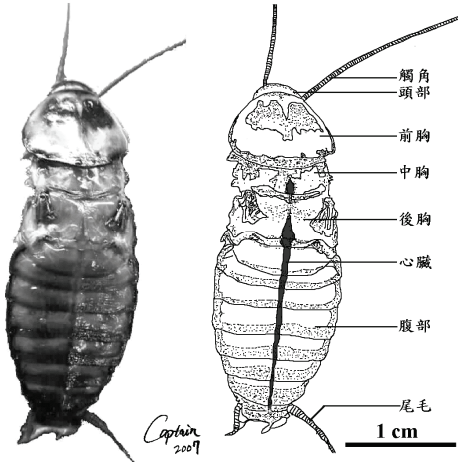
與外襯具結締組織鞘。部分區域的心臟壁向內凹摺延伸形成瓣膜，可防止血淋巴於心臟中逆流。直翅類(Orthopteroid)的昆蟲，血淋巴可由以下數個區域流出心臟：

- 一、側向運輸的環節血管：例如蟑螂胸部具 2 對，腹部具 4 對環節血管，有些螳螂的腹部亦具有 4 對環節血管。
- 二、成對且具瓣膜的流出式心孔：例如蜚蠊(*Grylloblatta*)胸部具 2 對，腹部具 8 對。
- 三、1-6 個不成對的腹側流出式心孔：只有少數種類具有，例如石蠅(*Pteronarcys*)、足絲蟻(*Oligotoma*)、斑衣魚(*Thermobia*)。
- 四、動脈：動脈是背血管前方的延伸部分，常常具有動脈瓣膜。動脈由胸部延伸至頭部，部分種類具兩個或更多的頭部動脈(cephalic arteries)分支。

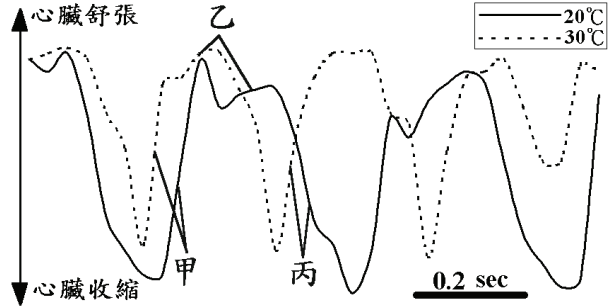
蟑螂的心孔可分成流入式與流出式兩型，流入型的心孔讓血淋巴進入心臟，每節心臟皆具有一對，亦即胸部三對，腹部有九對。蟑螂的流出式心孔位於胸部第二與三節心臟，與腹部第三至第六節心臟，共有六對(胸部兩對，腹部四對)。蟑螂的流出式心孔直接連接環節血管，血淋巴透過環節血管傳遞至身體各處(圖五 B、圖六)。蟑螂不具有不成對的心孔。

除了心臟之外，昆蟲常常具有附屬搏動器(accessory pulsatory organs)，其為囊狀構造。附屬搏動器的搏動與心臟的搏動無關，亦即兩者的搏動並不同步。部分種類的附屬搏動器位於胸部(到翅膀)或腳部，也有的種類在觸角基部，以供應附肢血淋巴流動的動力。蟑螂的觸角具明顯的附屬搏動器，翅膀、步足與尾毛等附肢則無。

(A)



(B)



圖四、美洲蟑螂心臟活動的觀察與記錄。

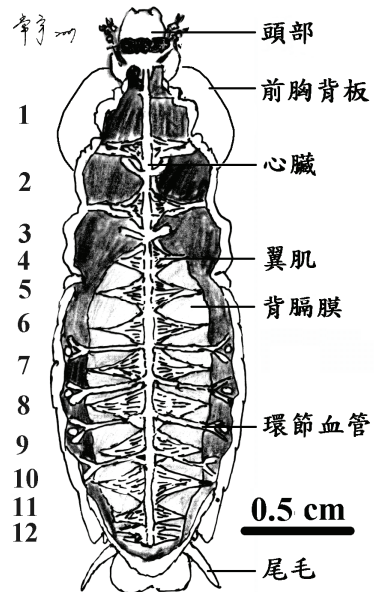
(A). 左為實體照像圖，右為手繪圖。心臟活動的觀察不需要解剖，可直接透過背板進行觀察。

(B). 於 20°C 與 30°C 時，蟑螂心臟活動的記錄結果。甲：舒張前期(diastole)；乙：舒張後期(diastasis)；丙：收縮期(systole)。

(A)



(B)

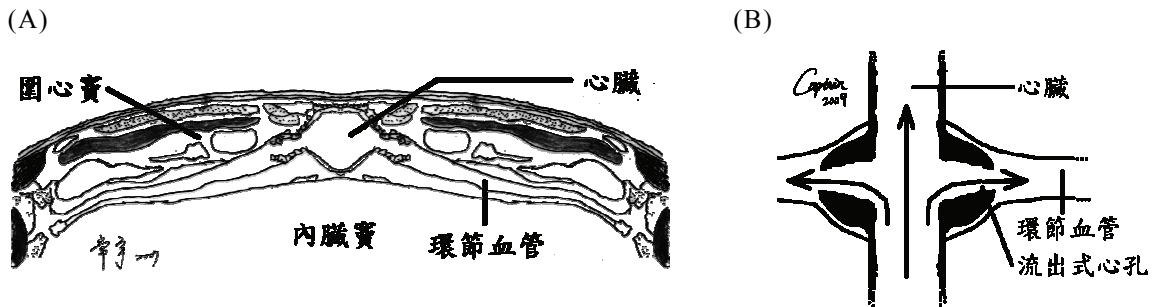


圖五、美洲蟑螂各節心臟、環節血管與翼肌的分布情形。

(A). 實體照像圖。腹面朝上，去除內臟後，只留下圍心竇與背板。

(B). 手繪圖。數字編號為心臟的節數。





圖六、美洲蟑螂流出式心孔與環節血管的連接情形。

(A). 蟑螂體腔背側(圍心竇)之橫切面示意圖。

(B). 流出式心孔與環節血管連接之關係示意圖。

## 肆、昆蟲的血淋巴

昆蟲的血淋巴佔蟲體體重 15-75%，包含液態的血漿(plasma)與血球細胞(haemocytes)。昆蟲的血漿包含 85% 的水，呈略酸性。大部分的外翅類群(Exopterygota)昆蟲，以鈉與氯離子提供主要的滲透壓，其他如鉀、鈣、鎂等離子亦具貢獻。內翅類群(Endopterygota)的昆蟲則具較少的氯離子，而以有機酸取代(包含游離的胺基酸)。鈉/鉀比在不同種類的昆蟲之間具有差異，但一般而言，草食昆蟲具較低的鈉/鉀比，肉食昆蟲則較不一定(通常較高)。昆蟲主要的血糖為藻糖( $\alpha$ -trehalose)，但在蜜蜂(Apis)則以還原糖(如葡萄糖)取代。部分昆蟲的血淋巴具有顏色，如部分搖蚊(Chironomid)幼蟲具血紅素(hemoglobin)，蠶蛾(Hyalophora)蛹的血液中具 $\alpha$ -胡蘿蔔素、葉綠素 a、葉綠素 b、核黃素(riboflavin，即維生素 B2)與蒲公英黃素(taraxanthin)等。

### 一、昆蟲血淋巴的功能

昆蟲的血淋巴具有許多功能，血淋巴可儲存水分、養分等，在細胞與組織需要時可供給物質，維持恆定性。血淋巴亦可作為營養物質與激素的運輸媒介，甚至可傳遞熱量，將身體某一部份所產生的熱傳遞至其他部位，例如天蛾(sphinx moth, *Manduca sexta*)，胸部飛行肌肉因振動翅膀而產生的熱能，可以經血淋巴傳遞至腹部，以避免胸部溫度過高。昆蟲的血淋巴可產生液壓式骨骼的膨壓，例如許多雄蟲的陰莖或昆蟲翅膀注入血淋巴後使其撐大、張開，或是在昆蟲產生運動或蛻皮時，其產生的膨壓可幫助支持身體與肢體運動。部分種類的昆蟲於被干擾時，血淋巴可由體表的孔或縫射出以進行防禦，稱之為反射性噴血(reflex bleeding)，昆蟲血淋巴的防禦作用還有抗細菌/抗真菌蛋白、水解酶(lysozymes)、凝集素(lectins)、酚氧化酶(phenyloxidases)等體液性免疫，亦有吞

噬作用、外包作用、凝結作用等細胞性免疫(見下述)。此外，雖然昆蟲血淋巴的主要功能不是作為 O<sub>2</sub> 與 CO<sub>2</sub> 的傳遞者，但昆蟲的血漿仍具有微弱的呼吸角色，其攜氧能力低於二氧化碳，血淋巴中 30-80 % 的二氧化碳為重碳酸離子。

## 二、昆蟲血球的功能

昆蟲血球細胞的基本功能為吞噬作用(phagocytosis)，也就是清除蟲體體內外來之細菌等微生物或壞死之組織，主要由漿血細胞與粒血細胞進行，於變態、疾病防禦、創傷修復時扮演重要的角色。對於較大之異物，如線蟲、原生生物等，血球則採取外包作用(encapsulation)，將較大型之外來異物包裹封鎖。受傷時血球細胞參與血淋巴的凝結，主要由囊血細胞(cystocytes)參與，由於血球細胞中含有許多胺基酸與糖等各種物質，故血球細胞也負責維持體內環境的恆定。甚至有些學者認為昆蟲的血球細胞具解毒(detoxification)的功能。

## 三、昆蟲血球的種類

昆蟲血細胞很難進行分類，因為其外型結構是可變多樣的，且血球發育的不同時期，可能表現不同型態。此外，許多血球細胞不參與循環，而是疏鬆地附著於組織表面，故各種血球的數量變

化很大。因此昆蟲學家目前對於昆蟲的血球細胞種類，並無明確的結論。Price 與 Ratcliffe(1974)將昆蟲血球細胞分為六類：原血細胞(prohaemocytes)、漿血細胞(plasmatocytes)、粒血細胞(granular cells)、珠血細胞(spherule cells)、囊血細胞(cystocytes)與類降色細胞(oenocytoids)，前三種血球細胞幾乎所有昆蟲皆具有。

關於美洲蟑螂的血球種類，經過許多學者的努力，仍無法確定血球的種類。例如：Gupta 與 Sutherland(1967)在美洲蟑螂體內，發現四種細胞：漿血細胞、粒血細胞、囊血細胞與珠血細胞。其他研究者認為美洲蟑螂還具有原血細胞。Arnold(1972)研究蟑螂血液，發現血淋巴中含有原血細胞、漿血細胞與粒血細胞，但並沒發現珠血細胞。Price 與 Ratcliffe(1974)則認為美洲蟑螂除了類降色細胞與珠血細胞外，具有所有其他種類的細胞。由於昆蟲血球的形態常因不同時期與不同觀察方法，而有劇烈的變化，故難以清楚分辨其血球種類，若需確定其種類，需利用電子顯微鏡觀察其細胞結構與胞器，以作為判斷依據。

表一為昆蟲各種血球細胞的形態特徵，做為讀者參考。在高中實驗室中利用複式光學顯微鏡觀察昆蟲血球，並無法清楚分辨其種類，還需電子顯微鏡與其他器材的輔助，方可清楚辨識血球的種類。

表一、昆蟲各種血球細胞的形態特徵

細胞種類	大小(直徑)	形態描述	其他描述
Prohaemocytes 原血細胞	6-13 $\mu$ m 長 6.1 $\mu$ m 寬 6.14 $\mu$ m	1.圓或卵型 2.細胞核佔細胞體積 70-80%	1.透過分裂增加血球 2.可分化成其他血球 3.多集聚成群出現
Plasmatocytes 漿血細胞	10-17 $\mu$ m 寬 3.3-5 $\mu$ m 長 3.3-40 $\mu$ m	1.具圓、卵、紡錘型或阿米巴型 2.細胞核(長形或為圓形)佔細胞體積 40%，多位於細胞中央 3.細胞質具明顯的顆粒或囊泡	1.主要功能是吞噬作用 2.血液中含量最多 3.有時有雙核的細胞
Granular cells 粒血細胞 (顆粒血球)	10-17 $\mu$ m 寬 40-45 $\mu$ m 長 4-32 $\mu$ m 大小變化大	1.圓或卵型 2.細胞核佔細胞體積 40-60%(寬 2-7 $\mu$ m，長 2-8 $\mu$ m)，多位於細胞中央 3.細胞質具顆粒(granules) 4.常有突出的部分，使細胞與基質連接	常與漿血細胞分不清楚
spherule cells 珠血細胞 (小球細胞)	8-16 $\mu$ m 寬 5-10 $\mu$ m 長 9-25 $\mu$ m	1.卵或紡錘型 2.常充滿大型顆粒或小球體(spherules, 1.5-2 $\mu$ m) 3.細胞核佔細胞體積 35-50%(寬 2.5 $\mu$ m，長 5-9 $\mu$ m)，位於中心或偏中心 4.細胞膜具有突出的連接構造	細胞膜界線不清晰
Cystocytes 囊血細胞	9-14 $\mu$ m	1.圓形 2.細胞核佔細胞體積 70-75%，位於中心	1.在未稀釋的體外環境，其細胞膜不明顯 2.與血液凝固有關
Oenocytoids 類降色細胞 (擬食球細胞)	19 $\mu$ m 16-54 $\mu$ m	1.細胞核佔細胞體積 20-40%(3-15 $\mu$ m) 2.很少的細胞質顆粒	外型與粒血細胞類似
Coagulocyte 凝結血球細胞	3-30 $\mu$ m	1.偏心圓或卵圓形 2.常與顆粒狀類降色細胞結合成塊狀構造	為透明易破碎之不穩定細胞

## 伍、蟑螂心臟的觀察

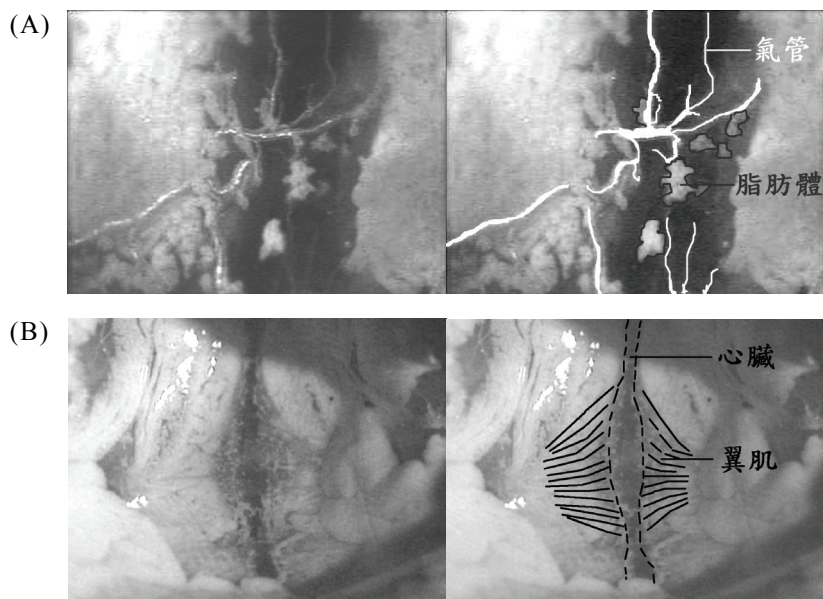
美洲蟑螂屬於節肢動物門，昆蟲綱，蜚蠊目(Blattaria)，蜚蠊科(Blattidae)，為日常生活中最常見的昆蟲之一，體型較大，適合作為解剖觀察的實驗動物。昆蟲的心臟位於身體的背側中央，從胸部的背側一直延伸至腹部背側。美洲蟑螂的心臟共有十二節，其中胸部三節，腹部九節。心臟搏動時，血淋巴(hemolymph)在心臟中向前推進，將血淋巴推向頭部，再由頭部流至胸部、腹部等處。蟑螂的背血管中，膨大且具規律性收縮能力的構造稱為心臟。蟑螂的心跳活動容易受生理狀態與環境因子的影響(圖四 B)，適合用來探討各項因子對循環生理的影響。

### 一、蟑螂心臟活動的觀察方法

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。用燒熔的蠟黏住蟑螂的六肢，而將蟑螂固定在蠟盤上，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。

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(圖四 A、圖八 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與脂肪體(圖七 A)。美洲蟑螂的最後一節心臟在身體末端，較小而不易觀察(圖五 B)。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，以測量其心跳率。



圖七、蟑螂心臟的觀察。

- (A).心臟附近的氣管與脂肪體(100X)。左為實體照像圖，右為手繪圖。  
 (B).胸部第三節心臟兩側的翼肌(20X)。左為實體照像圖，右為手繪圖。



## 二、蟑螂心臟結構的觀察方法

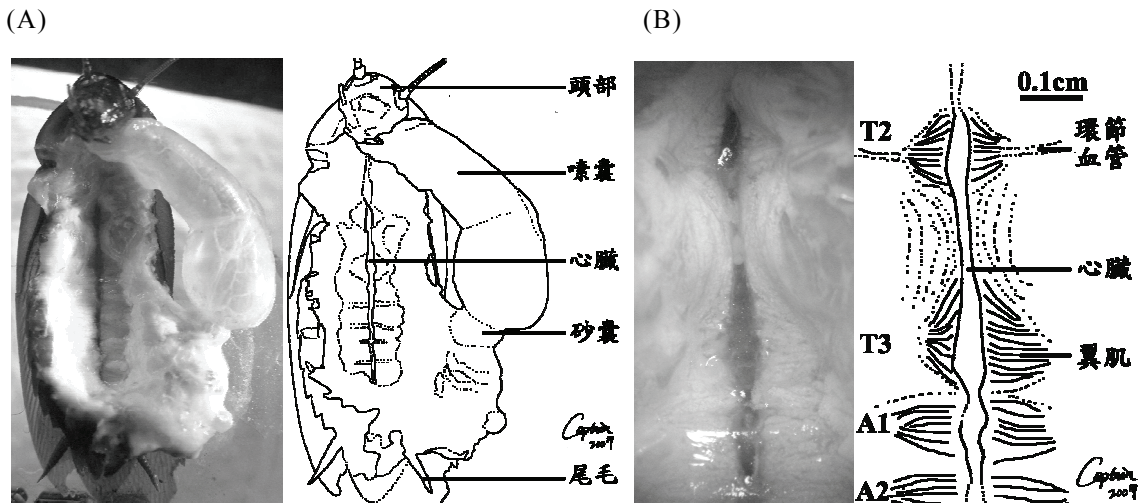
將蟑螂麻醉後，將其六肢腳剪掉。使蟑螂腹面朝上，以小解剖剪在腹部腹面尾側末端的兩側骨片接縫，向胸部方向剪出兩條縫，此兩縫盡量靠近身體兩側。利用兩個小鑷子慢慢的將腹面的骨片逐一剝離，露出內部器官。將消化道慢慢往旁邊撥，必要時可將消化道、生殖腺等其他器官剪除，但要避免器官的流出物污染心臟。將內部器官移除後，可於背側的骨片中央發現一條黑色管狀物，即為心臟。蟑螂的心臟為透明無色的，但由於蟑螂腹部背板分佈著脂肪體，故除了心臟之處皆為白色，而心臟因光線可穿透過，故呈深色(圖四 A、圖五 A、圖八)。若將蟑螂胸部與腹部的肌肉、器官移除後，心臟仍在跳動，可做為昆蟲生理學家研究昆蟲

心臟活動的實驗材料，科學家稱這種實驗標本為半離體心臟(semi-isolated heart, 圖五 A、圖八 A)，可作為研究體內或體外因子對心臟活動的調節作用。

當體內其他器官移除後，只剩下背側骨板，此時通常背膈膜仍完整，於解剖顯微鏡下，可觀察心臟兩側的脂肪體與翼肌(圖八 B)，若心臟仍搏動，可清楚觀察每接心臟的界線，若心臟已停止搏動，則各節界線較難分辨。

## 陸、蟑螂血球的觀察

將蟑螂的附肢(如腳、觸角、尾毛)剪除後，將其傷口流出之血淋巴塗抹於載玻片上，若希望能看到大量的血球細胞，可剪除其頭部，流出的血淋巴較多，血球亦



圖八、蟑螂心臟的觀察。

(A). 將蟑螂內臟移除後，可見背側中央的一條暗色線狀構造，即為心臟。  
左為實體照像圖，右為手繪圖。

(B). 蟑螂心臟兩側的翼肌分佈。左為實體照像圖，右為手繪圖。

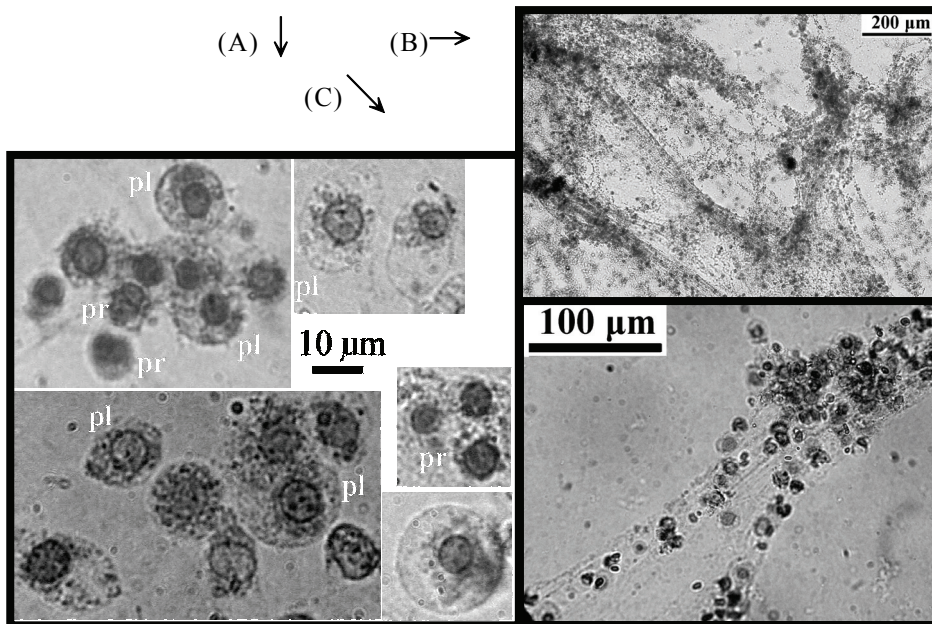
較豐富，但脂肪顆粒也比較多。於血淋巴處滴一滴甲基藍染液，約一分鐘後即可蓋片觀察(圖九 A)。若希望觀察昆蟲血淋巴凝固時產生的纖維，可於塗抹血淋巴後，靜置 3 分鐘以上再滴入染劑，則可清楚觀察血球細胞聚集情形與凝血纖維的形態(圖九 B、C)。

### 柒、致謝

本文中有關蟑螂血球細胞的種類判定，承蒙台大昆蟲系王重雄教授與李後晶教授(依筆畫)等老師的指導，特此感謝。

### 捌、參考資料

- 任淑仙(1995)：無脊椎動物學。台北市：淑馨。
- 蔡任圃(2003)：蟑螂心臟活動的觀察方法。科學教育月刊，257，31-37。
- 蔡任圃(2006a)：認識身旁的小傢伙(一)—美洲蟑螂生態與行為的初步觀察。科學教育月刊，289，30-35。
- 蔡任圃(2006b)：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。
- 蔡任圃、黃璧祈、童麗珠、林金盾(2001)：影像分析探討葡萄糖對蟑螂心輸出量的效應。台灣昆蟲，21，133-145。



圖九、美洲蟑螂血球細胞的觀察。

(A).各種血球細胞的形態(1000X)。pl：漿血細胞；pr：原血細胞。

(B).血淋巴凝血時產生的纖維(100X)。(C).血球細胞聚集與凝血纖維(400X)。

- 鄭琬蓉、梁勻慈、鄭佳怡、蔡任圃(2006)：認識身旁的小傢伙(三)—蟑螂翻正反射的觀察與探討頭、尾訊息輸入的調節作用。科學教育月刊，297，22-33。
- Arnold, J. W. (1972). A comparative study of the haemocytes (blood cells) of cockroaches (Insecta: Dictyoptera: Blattaria) with a review of their significance in taxonomy. *Can. Ent.* 104, 309-326.
- Bell, W. J. and Adiyodi, K. G. (1981). *The American Cockroach*. New York: Chapman and Hall.
- Gupta, A. P. and Sutherland, D. J. (1966). *In vitro* transformations of the insect plasmatocyte in some insects. *J. Insect Physiol.* 12, 1369-1375.
- Gupta, A. P. and Sutherland, D. J. (1967). Phase contrast and histochemical studies of spherule cells in cockroaches (Dictyoptera). *Ann. Ent. Soc. Am.* 60, 557-565.
- Pass, G., Gereben-Krenn, B-A., Merl, M., Plant, J., Szucsich, N. U. and Tögel, M. (2006). Phylogenetic relationships of the orders of hexapoda: contributions from the circulatory organs for a morphological data matrix. *Arthropod Systematics & Phylogeny* 64(2), 165-203.
- Price, C. D. and Ratcliffe, N. A. (1974). A reappraisal of insect haemocyte classification by the examination of blood from fifteen insect orders. *Z. Zellforsch.* 147, 537-549.
- Randall, D., Burggren, W. and French, K. (2002). *Eckert Animal Physiology: Mechanisms and Adaptations* (4th ed.) New York: Freeman.
- Ratcliffe, N. A. and Rowley, A. F. (1975). Cellular defense reactions of insect hemocytes *in vitro*: phagocytosis in a new suspension culture system. *J. Insect Pathol.* 26, 225-233.
- Richards, O. W and Davies, R. G.. (1977). *Imm's General Textbook of Entomology (10th ed.). Volume I: Structure, Physiology and Development*. London: Chapman and Hall.
- Romoser, W. S. and Stoffolano, J. G. Jr. (1998). *The Science of Entomology* (4th ed.) McGraw-Hill.