



Formosan Entomologist

Journal Homepage: entsocjournal.yabee.com.tw

Studies on the Compound Eyes of *Cicindela aurulenta* Fabricus (Coleoptera: Cicindelidae) 【Research report】

八星虎甲蟲複眼之研究【研究報告】

Tzay-Show Tsai, Chi-Mei Lee, Jin-Tun Lin* and Chin-Yih Wu
蔡在壽、李琦玫、林金盾*、吳京一

*通訊作者E-mail :

Received: Accepted: 1995/09/27 Available online: 1995/09/01

Abstract

The tiger beetle, *Cicindela aurulenta*, has two prominently large compound eyes, one protruding from each side of its head. Each eye consists of $5,300 \pm 120$ ommatidia. The retinal length and the diameter of each ommatidium are about $300\text{-}400\mu\text{m}$ and $30\text{-}40\mu\text{m}$, respectively. Each ommatidium is composed of a corneal lens, crystalline cone, pigment cells, retinula cells and fused rhabdom. The arrangement of the eight retinula cells of the ommatidium is not on the same plane. Seven cells were found in the cross-section at $15\mu\text{m}$ under the lower end of the crystalline cone : one nucleated cell is the apical retinula cell and six non-nucleated cells are the middle retinula cells. Cross-section at $40\mu\text{m}$ from the crystalline cone revealed there are seven cells, however, the six middle cells have nuclei while the single apical cell does not. Cutting at $300\mu\text{m}$ from the crystalline cone, seven cells were also found but the six middle cells were arranged in circular form and located eccentrically. The centrally located cell with rhabdom is the basal retinula cell. The responses of the compound eyes to light of various wavelengths were tested by electroretinograph (ERG) and two peaks of spectral sensitivity curves were found. Results show that the compound eyes of the tiger beetle can respond to at least two wavelengths of light, ultraviolet (370nm) and green light (530nm).

摘要

八星虎甲蟲 (*Cicindela aurulenta*) 具有兩個特別巨大的複眼，凸出於頭部兩側，每個複眼由 $5,300 \pm 120$ 個的小眼 (ommatidia) 組成。每個小眼的視網膜層 (retinular layer) 長度約為 $300\text{-}400\mu\text{m}$ ，最頂端的直徑約為 $30\text{-}40\mu\text{m}$ 。小眼有角膜晶體 (corneal lens)、圓錐晶體 (crystalline cone)、色素細胞 (pigment cells)、視細胞 (retinula cells) 及集中型桿狀體 (fused rhabdom) 等構造。每個小眼中的八個視細胞不在同一層面上：從圓錐晶體的下緣 $15\mu\text{m}$ 處橫切，可以看到七個視細胞，其中有一個具有細胞核的稱為頂端視細胞 (apical retinula cell)，其餘六個為中間視細胞 (middle retinula cell)；若從圓錐晶體下緣 $40\mu\text{m}$ 處橫切，也可以看到七個視細胞，其中有六個具有細胞核的為中間視細胞，只有一個不具細胞核的為頂端視細胞，它們形成一束桿狀體；若從圓錐晶體下緣 $300\mu\text{m}$ 處橫切，也可以看到七個視細胞，其中有六個中間視細胞分散在四周，不具細胞核及桿狀體，而一個位於中央且具桿狀體的為底端視細胞 (basal retinula cell)。用視網膜電圖 (ERG) 測定複眼對不同波長單色光的反應，結果獲得兩個尖峰型的複眼分光感度曲線 (spectral sensitivity curve)，證明八星虎甲蟲的複眼至少能感知二種波長範圍的光波，即紫外光範圍 (最敏感波長為 370nm) 和綠色光範圍 (最敏感波長為 530nm)。

Key words: *Cicindela aurulenta* Fabricus, compound eye, ERG, spectral sensitivity curves.

關鍵詞: 八星虎甲蟲、複眼、視網膜電圖、分光感度曲線。

Full Text:  [PDF \(6.69 MB\)](#)

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

八星虎甲蟲複眼之研究

蔡在壽 李琦玫 林金盾* 吳京一 國立臺灣師範大學生物學系 臺北市汀州路四段88號

摘要

八星虎甲蟲(*Cicindela aurulenta*)具有兩個特別巨大的複眼，凸出於頭部兩側，每個複眼由 $5,300 \pm 120$ 個的小眼(ommatidia)組成。每個小眼的視網膜層(retinular layer)長度約為 $300-400\mu\text{m}$ ，最頂端的直徑約為 $30-40\mu\text{m}$ 。小眼有角膜晶體(corneal lens)，圓錐晶體(crystalline cone)，色素細胞(pigment cells)，視細胞(retinula cells)及集中型桿狀體(fused rhabdom)等構造。每個小眼中的八個視細胞不在同一層面上：從圓錐晶體的下緣 $15\mu\text{m}$ 處橫切，可以看到七個視細胞，其中有一個具有細胞核的稱為頂端視細胞(apical retinula cell)，其餘六個為中間視細胞(middle retinula cell)；若從圓錐晶體下緣 $40\mu\text{m}$ 處橫切，也可以看到七個視細胞，其中有六個具有細胞核的為中間視細胞，只有一個不具細胞核的為頂端視細胞，它們形成一束桿狀體；若從圓錐晶體下緣 $300\mu\text{m}$ 處橫切，也可以看到七個視細胞，其中有六個中間視細胞分散在四周，不具細胞核及桿狀體，而一個位於中央且具桿狀體的為底端視細胞(basal retinula cell)。用視網膜電圖(ERG)測定複眼對不同波長單色光的反應，結果獲得兩個尖峰型的複眼分光感度曲線(spectral sensitivity curve)，證明八星虎甲蟲的複眼至少能感知二種波長範圍的光波，即紫外光範圍(最敏感波長為 370nm)和綠色光範圍(最敏感波長為 530nm)。

關鍵詞：八星虎甲蟲、複眼、視網膜電圖、分光感度曲線

前言

八星虎甲蟲(*Cicindela aurulenta*)屬於鞘翅目(Coleoptera)虎甲蟲科(Cicindelidae)的昆蟲，成蟲的體形大，腳細長，行動敏捷，體色艷麗，在藍綠色的背甲上有八顆白點，十分醒目，在本省夏季的郊區山坡地很容易發現它們的蹤跡。

昆蟲的複眼通常具有三種感光受器(photoreceptors)：紫外光受器、藍色光受器和綠色光受器(Mazel, 1979; Lin, 1993)。但是，有些報導指出：體色鮮艷多彩的蝶類，其複眼中具有感知紅色光的受器(Horridge *et al.*, 1983, 1984; Matic, 1983)。Arikawa等人(1987)用細胞內記錄法證明：一種體色鮮艷的鳳蝶*Papilio xuthus*之複眼中，具有五種

感光受器，其感知色光之波長分別為360nm(紫外光)、400nm(紫色光)、460nm(藍色光)、520nm(綠色光)和600nm(紅色光)。他們都認為體色多彩的昆蟲比體色樸素的昆蟲，其複眼中感光受器的種類可能較多。至於行動敏捷，體色艷麗，複眼巨大的八星虎甲蟲，複眼是否具有特殊的結構或生理機能，這是值得探討的一個問題。我們將從形態學上觀察八星虎甲蟲複眼的內部結構，並使用電生理學的方法證明體色艷麗的八星虎甲蟲的複眼與一般昆蟲有何不同？其複眼中是否也具有感知紅色光波長範圍的感光受器？

材料與方法

一、動物之採集

自野外(烏來)山坡地採集八星虎甲蟲(*Cicindela aurulenta* Fabricus)之成蟲飼養於 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 恆溫空調，12小時照光12小時黑暗光周期動物房，餵以活的小昆蟲(例如：鱗翅目幼蟲或蟑螂稚蟲)，三天後移到實驗室進行實驗。

二、複眼構造之觀察

將甲蟲以低溫麻醉後，用蠟固定於解剖盤上，以指甲油輕塗在複眼上，待乾燥後形成薄膜，小心地取下此完整薄膜，在載玻片上攤平並用顯微鏡觀察，計算複眼上小眼的個數和大小。

低溫麻醉後之甲蟲用銳利刀片切下頭部，在生理鹽水中分離出兩側的複眼並用Bouin液固定18小時，用70%酒精清洗三次並用系列酒精(80%，90%，95%，100%)連續脫水，再用蠟包埋，切 $10\mu\text{m}$ 厚之連續切片(縱切面與橫切面)。脫蠟後經過染色和脫水步驟做成永久切片，供光學顯微鏡觀察和照像。

三、複眼生理之實驗

將甲蟲低溫麻醉後，用低熔點之蜜蠟固定於小實驗台上，用鋼針夾住其頸部使頭部不能動彈，調整小實驗台的位置使昆蟲頭部和實驗桌面垂直，在蟲體胸部插一根纖細的鎢絲當作參考電極(indifferent electrode)。遙控三方立體微調儀(Narishige, MO-03)將記錄電極接觸在右側複眼的背部，以記錄複眼受光刺激時的視網膜電位(electroretinogram, ERG)(Lin and Wu, 1992)。甲蟲在黑暗條件下，暗適應30分鐘後，電位經過微電極放大器(Nihon Kohden, MZ-8301)的放大後，在示波儀(Gould, 6401)上觀察。照射複眼的導光管，直徑約為1mm，一端接於Xenon光源(150 watt)，以中性濾光板(neutral filters)控制光強度使 $\log I=0$ 時之光強度為 4.03×10^{14} quanta / (cm².s)。另一端固定於視野計(perimeter)上，操縱視野計使光源對準複眼。以刺激器(Nihon Kohden, 8310)控制閃光片使導光管之光點，每十秒閃爍一次，每次200毫秒照射右側的複眼，觀察示波儀上因光刺激複眼所引起的反應電位，再用單色光分光儀(monochromator)，從波長300nm到700nm，以每間隔10nm之單色光往返共兩回照射複眼。依同一波長不同光強度的反應結果，繪出該波長之刺激強度與反應的曲線，再取相等光能量時，不同波長的光引起複眼反應所需的刺激強度對數比例值，繪出複眼之分光敏感度曲線(Lin and Wu, 1992; Lin, 1993)。

結 果

八星虎甲蟲的成蟲頭部兩側有一對成半球狀突起的巨大複眼，不具背單眼。每個複眼的長徑(前後軸)約為2mm，寬徑(背腹軸)約為1.5mm，突出半徑(凸出體表)約為1mm，共由 $5,300 \pm 120$ 個小眼(ommatidia)所

組成(n=12)，每個小眼的基本構造類似七星瓢蟲(Lin *et al.*, 1992)。小眼頂端具有角膜晶體及圓錐晶體各一個，角膜晶體的厚度約為100–128 μm ，圓錐晶體的厚度約為130–148 μm (表一)。角膜晶體的外緣表面微凸，但沒有乳突(corneal nipple)及毛狀物(corneal hairs)附著。圓錐晶體與視細胞之四周包圍著色素細胞(pigment cells)，其內佈滿著色素顆粒(pigment granules)(圖一A)。

八星虎甲蟲的小眼具有八個視細胞，依照細胞核的位置不同可分成頂端層、中間層和底端層。最接近圓錐晶體的頂端層只有一個視細胞，稱為頂端視細胞(apical retinula cell)，其核位於圓錐晶體下方約15 μm 處。中間層有六個視細胞為中間視細胞(middle retinula cell)，其核排列在同一平面上，位於圓錐體下方約40 μm 處(圖一A、B)。底端層只有一個視細胞稱為底端視細胞(basal retinula cell)，其核位於圓錐晶體下方約300 μm 處。頂端層與中端層的桿狀體成圓柱狀，由頂端視細胞和中間視細胞的桿狀小體 (rhabdomere)所組成，底端層則由於頂端視細胞的桿狀小體已經消失，而由六個中間視細胞的桿小體組成，最底端的桿狀體是由底端視細胞的桿小體構成，外型成橢圓型結構(圖二)。測量中層視細胞之桿狀體直徑與小眼直徑比(Rhabdom Occupation Ratio，簡稱

ROR)，得值為6.04%(表一)。

用電生理學的方法記錄體色鮮艷多彩的八星虎甲蟲之複眼視網膜電圖(electroretinogram，簡稱ERG)，以確定是否具有感知紅色光波長範圍的感光受器。所有ERG的記錄均取自右眼外側中央部位的小眼，其反應波型與七星瓢蟲相似(Lin and Wu, 1992)，都為單向負波(monophasic negative waves)。其振幅之大小隨著刺激的光強度與光波長而定(圖三A)，但是在長波長(530nm)的反應都比短波長(370nm)的大。由標準化後的分光感度曲線(spectral sensitivity curve)可以看出八星虎甲蟲的複眼對530nm附近的光波反應最強，其次才是370nm附近的短波長(圖三B)。波長小於320nm或大於620nm均無反應。此結果證明，八星虎甲蟲之複眼不具有感知紅色光的視細胞。分光感度曲線在長波長的部份，幾乎與標準色素曲線(nomogram curve)(Dartnall, 1953)完全吻合，但是，在短波長區域附近，則有超出標準色素曲線的部分。可見八星虎甲蟲的複眼與一般的昆蟲一樣，可能只存在兩種感光視細胞，感知紫外光與綠色光波長範圍的色光。

討 論

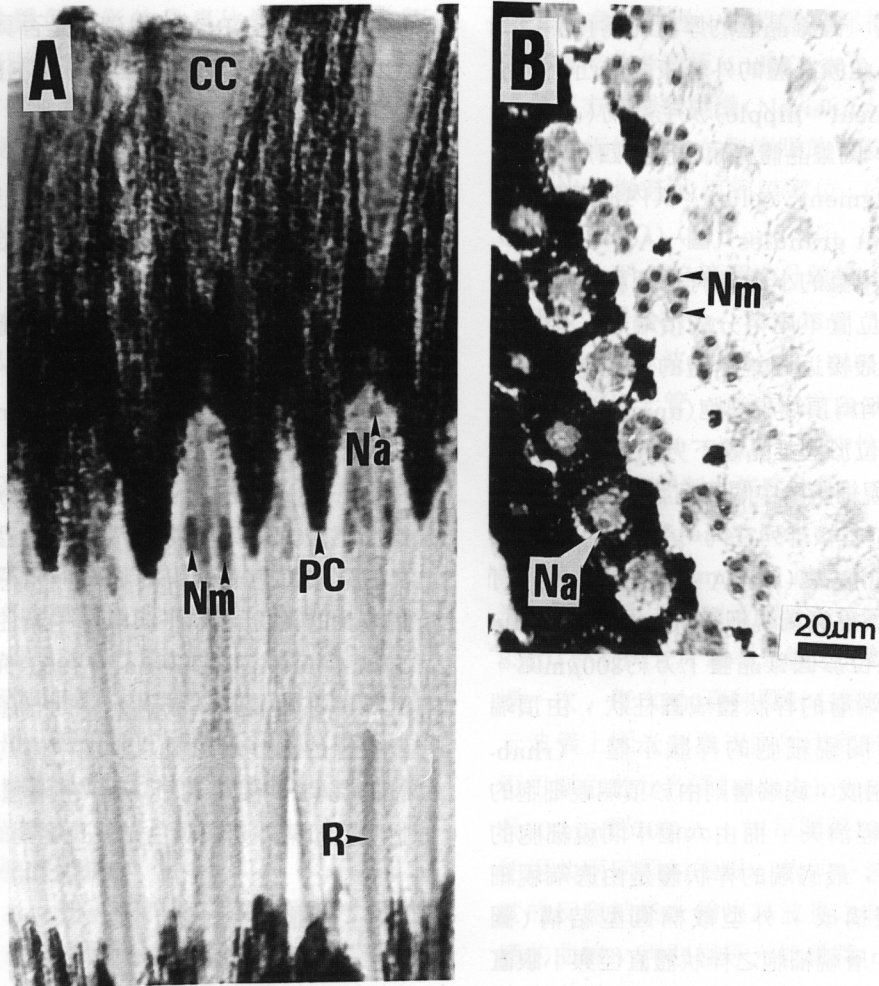
昆蟲複眼的視網膜電位有兩種類型：一

表一 八星虎甲蟲小眼之形態數據表。

Table 1. Morphological data of the ommatidium of *Cicindela aurulenta* Fabricus

Corneal lens	
thickness	100–128 μm
diameter	30–40 μm
Crystalline cone	
length	130–148 μm
diameter	12–30 μm
Length of retinula cell*	300–400 μm
Length of thickest region of retinula cell	12–15 μm
Rhabdom Occupation Ratio (ROR)	6.04% \pm 2.30%

*Central ommatidium in the eye.



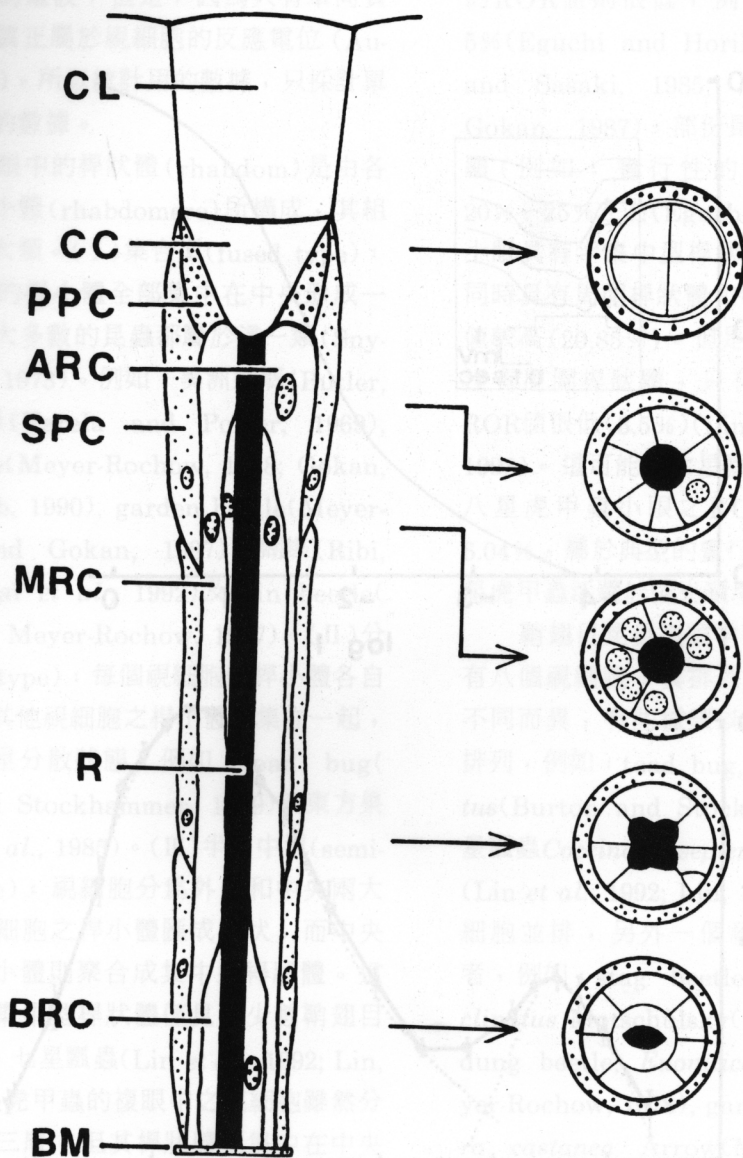
圖一 八星虎甲蟲複眼之縱切面(A)與橫切面(B)顯微照像圖

CC：圓錐晶體；Na：頂端視細胞之細胞核；Nm：中間視細胞之細胞核；PC：色素細胞；R：桿狀體。

Fig. 1. (A) A longitudinal section of the ommatidia of *Cicindela aurulenta* Fabricius. CC: crystalline cone; Na: nucleus of apical retinula cell; Nm: nucleus of middle retinula cell; PC: pigment cell; R: rhabdom. (B) A cross section through the middle layer of the compound eye. Nm: nucleus of middle retinula cells; Na: nucleus of apical cell.

種是單向、慢型、負波；另一種是雙向、快型、正負波(Autrum, 1958)。前者見於蛾蝶類(Eguchi and Horikoshi, 1984)，而後者

則見於蠅類(Wu, 1989)。八星虎甲蟲的複眼視網膜電圖類似七星瓢蟲等甲蟲(Lin and Wu, 1992)，也屬於前一種類型。本實驗中雖

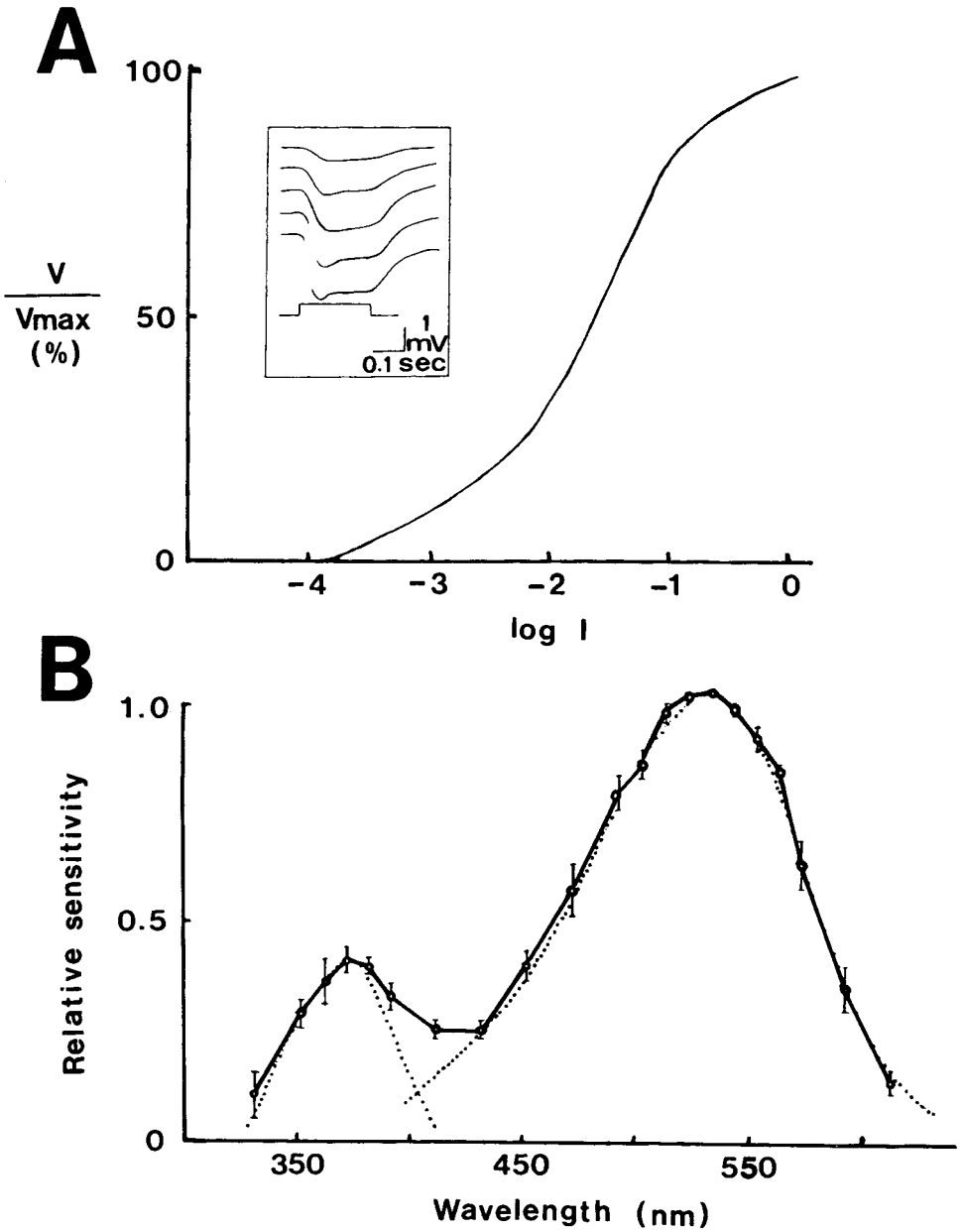


圖二 八星虎甲蟲複眼中的一個小眼之縱切面與橫切面示意圖。箭頭所指為切取橫切面的位置。橫切面顯示小眼中不同層面視細胞的排列情形。

ARC：頂端視細胞；BM：基底膜；BRC：底端視細胞；CC：圓錐晶體；CL：角膜晶體；MRC：中間視細胞；PPC：初級色素細胞；SPC：次級色素細胞；R：桿狀體。

Fig. 2. Schematic structure of a single ommatidium of *Cicindela aurulenta* Fabricus in longitudinal section and transverse section at levels indicated by the arrows. The transverse sections show the arrangement of retinula cells in different levels of an ommatidium.

ARC: apical retinula cell; BM: basement membrane; BRC: basal retinula cell; CC: crystalline cone; CL: corneal lens; MRC: middle retinula cell; SPC: secondary pigment cell; PPC: primary pigment cell; R: rhabdom.



圖三 A. 八星虎甲蟲複眼暗適應後的光強度反應曲線。插圖為五次不同光強度的視網膜電位記錄圖(由下而上依次衰減一個對數值)。B. 八星虎甲蟲複眼暗適應後的分光感度曲線圖。虛線代表標準曲線，短豎線代表標準誤(n=7)。

Fig. 3. A. The standardized stimulus-response (R-log I) curve of *Cicindela aurulenta*. The inset shows five ERGs recorded from the right compound eye (under dark-adaptation) in response to light stimuli with 0, 1, 2, 3, and 4 log attenuating filters. B. The spectral sensitivity curve of dark-adapted compound eyes. Dotted lines represent nomogram curves; vertical bars represent standard errors from seven samples.

然有時候因為記錄電極的位置之影響，偶而記錄到雙向的電波，但是，因為只有單向負波的電位才真正屬於視細胞的反應電位(Autrum, 1958)。所以統計用的數據，只採計單向負波電位的數據。

昆蟲小眼中的桿狀體(rhabdom)是由各視細胞的桿小體(rhabdomere)所構成，其組合型態有三大類。(I)集合型(fused type)：所有視細胞的桿小體全部集中在中央形成一束桿狀體，大多數的昆蟲都屬於這一類(Snyder *et al.*, 1973)。例如：美洲蟑螂(Butler, 1971)，蜜蜂(Varela and Porter, 1969)，dung beetle(Meyer-Rochow, 1978; Gokan, 1989a, 1989b, 1990)，garden beetle(Meyer-Rochow and Gokan, 1987)；蝴蝶(Ribi, 1987; Bandai *et al.*, 1992)及skin beetle(Gokan and Meyer-Rochow, 1987)。(II)分散型(open type)：每個視細胞的桿小體各自獨立，不與其他視細胞之桿小體聚集在一起，所以桿狀體呈分散狀態。例如：toad bug(Burton and Stockhammer, 1969)及東方果實蠅(Wu *et al.*, 1985)。(III)半集中型(semi-fused type)：視細胞分為外圍和中央兩大群，外圍視細胞之桿小體匯成環狀，而中央視細胞之桿小體則聚合成集中型桿狀體。這種特殊的半集中型桿狀體僅見於少數鞘翅目昆蟲，例如：七星瓢蟲(Lin *et al.*, 1992; Lin, 1993)。八星虎甲蟲的複眼中之視細胞雖然分頂、中、底三層，但其桿狀體則集中在中央而與多數的昆蟲複眼相同，屬於典型的集中型桿狀體。桿狀體是視細胞感受光能的主要部位，其直徑常隨著昆蟲的種類、生活習性、日夜週期的變化而不同。有些報告指出，暗適應條件下之桿狀體直徑占小眼直徑比(Rhabdom Occupation Ratio, 簡稱ROR)可用於區分昆蟲的活動習性。夜行性昆蟲(nocturnal insect)的ROR值很高，例如：

夜蛾的ROR值可達50%—80%，晝行性昆蟲的ROR值則很低，例如：蝴蝶僅為1%—5%(Eguchi and Horikoshi, 1984; Eguchi and Sasaki, 1985; Meyer-Rochow and Gokan, 1987)。部份昆蟲的活動習性不很明顯(例如：晝行性的蛾類)其ROR值在20%—25%左右(Eguchi, 1982)。七星瓢蟲的小眼具有半集中型桿狀體，在遠端的視細胞同時具有周圍桿狀體和中央桿狀體，其ROR值較高(20.85%)。但是在近端視細胞層，則沒有周圍桿狀體，只有中央桿狀體，所以ROR值很低(3.5%)(Lin *et al.*, 1992; Lin, 1993)。這可能和七星瓢蟲的生活習性有關。八星虎甲蟲小眼之ROR值也很低，只有6.04%，屬於典型的晝行性昆蟲，此結果與八星虎甲蟲活躍於強光環境下的習性一致。

鞘翅目昆蟲複眼中的每個小眼，通常具有八個視細胞。其排列位置常隨昆蟲種類的不同而異，有些種類以八個視細胞並聯成束排列，例如：toad bug, *Gelastocoris oculatus*(Burton and Stockhammer, 1969)、七星瓢蟲*Coccinella septempunctata* Linnaeus(Lin *et al.*, 1992; Lin, 1993)，也有以七個視細胞並排，另外一個視細胞單獨位於底部者，例如：stag beetle *Prosopocoilus inclinatus* Motschulsky(Gokan *et al.*, 1986)，dung beetle, *Euoniticellus africanus*(Meyer-Rochow, 1978)，garden beetle, *Maladera castanea* Arrow(Meyer-Rochow and Gokan, 1987)，cockchafers, *Melolontha melolontha*(Labhart *et al.*, 1992)。八星虎甲蟲的視細胞分為頂、中、底三層式排列，是較特殊的一種，這種特殊排列方式是否具有特殊的生理意義，則有待進一步的研究。

一般昆蟲的複眼具有三類的感光受器，其中包含有藍色光受器(Menzel, 1979; Lin, 1993)。本實驗曾用單光選擇適應法(mono-

chromatic adaptation) 檢驗八星虎甲蟲的複眼是否具有藍色光感光視細胞，但無法獲得第三種視細胞存在的結果。若欲確認是否具有藍色光受器，也許可利用細胞內記錄法(Lin, 1993)，以求得單個視細胞對藍色光的反應電位，此工作有待日後進行。

總之，鞘翅目昆蟲的數量之多，種類之繁，棲息環境歧異度之大均為昆蟲綱之冠，因而視細胞排列方式不同並不足為奇，但是感光受器的種類則與一般昆蟲無異，即使體色鮮艷多彩的八星虎甲蟲也一樣，確實不具有紅色光受器的部分。

誌 謝

本研究承行政院國家科學委員會資助部份經費(計畫編號NSC-83-0211-B-003-010)及李星黎同學協助捕捉並照顧實驗昆蟲，謹此誌謝。

參考文獻

- Arikawa, K., K. Inokuma, and E. Eguchi.** 1987. Pentachromatic visual system in a butterfly. *Naturwis.* 74: 297-298.
- Autrum, H.** 1958. Electrophysiological analysis of the visual systems in insects. *Expl. Cell Res. Suppl.* 5: 426-439.
- Bandai, K., K. Arikawa, and E. Eguchi.** 1992. Localization of spectral receptors in the ommatidium of butterfly compound eye determined by polarization sensitivity. *J. Comp. Physiol. A.* 171: 289-297.
- Bulter, R.** 1971. The identification and mapping of spectral cell types in the retina of *Periplaneta americana*. *Z. Vergl. Physiol.* 72: 67-80.
- Burton, P. R., and K. A. Stockhammer.** 1969. Electron microscopic studies of the compound eye of the toad bug, *Gelastocoris oculatus*. *J. Morph.* 127: 233-258.
- Dartnall, H. J. A.** 1953. The interpretation of spectral sensitivity curves. *Brit. Med. Bull.* 9: 24-30.
- Eguchi, E.** 1982. Reticular fine structure in compound eyes of diurnal and nocturnal sphingid moths. *Cell Tissue Res.* 223: 29-42.
- Eguchi, E., and T. Horikoshi.** 1984. Comparison of stimulus-response (V-log I) functions in five types of lepidopteran compound eyes (46 species). *J. Comp. Physiol. A.* 154:3-12.
- Eguchi, E., and M. Sasaki.** 1985. Comparative studies on the structures and functions of the compound eye of *Bombyx mori* and *Bombyx mandarina*. *Appl. Ent. Zool.* 20: 225-227.
- Gokan, N.** 1989a. Fine structure of the compound eye of the dung beetle *Aphodius haroldianus* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Appl. Ent. Zool.* 24: 483-486.
- Gokan, N.** 1989b. Fine structure of the compound eye of the dung beetle *Ochodaeus maculatus* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Jpn. J. Ent.* 57: 823-830.
- Gokan, N.** 1990. Fine structure of the compound eye of the dung beetle

- Onthophagus lenzii* (Coleoptera: Scarabaeidae). Jpn. J. Ent. 58: 185-195.
- Gokan, N., and V. B. Meyer-Rochow.** 1987. Fine structure of the compound eye of the skin beetle *Trox mitis* (Coleoptera: Scarabaeidae). Kontyu, Tokyo, 55: 587-600.
- Gokan, N., T. Nagashima, and R. Narita.** 1986. Ultrastructure of the compound eye of the stag beetle *Prosopocoilus inclinatus* Motschulsky (Coleoptera: Lucanidae). Kontyu, Tokyo, 54: 581-590.
- Horridge, G. A., L. Marcelja, R. Jahnke, and T. Matic.** 1983. Single electrode studies on the retina of the butterfly *Papilio*. J. Comp. Physiol. A. 150: 271-294.
- Horridge, G. A., L. Marcelja, and R. Jahnke.** 1984. Colour vision in butterflies. I. Single colour experiments. J. Comp. Physiol. A. 155: 529-542.
- Labhart, T., E. P. Meyer, and L. Schenker.** 1992. Specialized ommatidia for polarization vision in the compound eye of cockchafers, *Melolontha melolontha* (Coleoptera, Scarabaeidae). Cell and Tissue Res. 268: 419-429.
- Lin, J. T., and C. Y. Wu.** 1992. A comparative study on the color vision of four Coleopteran species. Bull. Inst. Zool. Academia Sinica 31: 87-95.
- Lin, J. T., C. Y. Wu, and Y. T. Chang.** 1992. Semifused rhabdom of the compound eye of *Coccinella septempunctata* Linnaeus (Coleoptera, Coccinellidae). Bull. Inst. Zool. Academia Sinica 31: 31-39.
- Lin, J. T.** 1993. Identification of photoreceptor locations in the compound eye of *Coccinella septempunctata* Linnaeus (Coleoptera, Coccinellidae). J. Insect Physiol. 39: 555-562.
- Matic, T.** 1983. Electrical inhibition in the retina of the butterfly *Papilio*. I. Four spectral types of photoreceptors. J. Comp. Physiol. A. 152: 169-182.
- Menzel, R.** 1979. Spectral sensitivity and color vision in invertebrates. pp. 504-580. in: Autrum, H. ed. Comparative physiology and evolution of vision in invertebrates. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- Meyer-Rochow, V. B.** 1978. Retina and dioptric apparatus of the dung beetle *Euoniticellus africanus*. J. Insect Physiol. 24: 165-179.
- Meyer-Rochow, V. B., and N. Gokan.** 1987. Fine structure of the compound eye of the asiatic garden beetle *Maladera castanea* Arrow (Coleoptera: Scarabaeidae). Appl. Ent. Zool. 22: 358-369.
- Ribi, W. A.** 1987. Anatomical identification of spectral receptor types in the retina and lamina of the Australian orchard butterfly, *Papilio aegaeus aegaeus* D. Cell Tissue Res. 247: 393-407.
- Snyder, A. W., R. Menzel, and S. B.**

- Laughlin.** 1973. Structure and function of the fused rhabdom. *J. Comp. Physiol.* 87: 99-135.
- Varela, F. G., and K. R. Porter.** 1969. Fine structure of the visual system of the honeybee, *Apis mellifera*. I. The retina. *J. Ultrastructure Res.* 29: 236-259.
- Wu, C. Y.** 1989. Receptors in insects II. Electroretinogram of the compound eye in the oriental fruit fly (*Dacus dorsalis* Hendel). *Bull. Inst. Zool. Academia Sinica* 28: 7-13.
- Wu, C. Y., C. S. Chang, L. C. Tung, and J. T. Lin.** 1985. The fine structure of the compound eye of the oriental fruit fly *Dacus dorsalis* Hendel. *Bull. Inst. Zool. Academia Sinica* 24: 27-38.
- 收件日期：1995年7月21日
接受日期：1995年9月27日

Studies on the Compound Eyes of *Cicindela aurulenta* Fabricus (Coleoptera: Cicindelidae)

Tzay-Show Tsai, Chi-Mei Lee, Jin-Tun Lin* and Chin-Yih Wu Dept. of Biology, National Taiwan Normal University, 88 Ting Chou Road, Section 4 Taipei, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

The tiger beetle, *Cicindela aurulenta*, has two prominently large compound eyes, one protruding from each side of its head. Each eye consists of $5,300 \pm 120$ ommatidia. The retinal length and the diameter of each ommatidium are about $300\text{-}400\mu\text{m}$ and $30\text{-}40\mu\text{m}$, respectively. Each ommatidium is composed of a corneal lens, crystalline cone, pigment cells, retinula cells and fused rhabdom. The arrangement of the eight retinula cells of the ommatidium is not on the same plane. Seven cells were found in the cross-section at $15\mu\text{m}$ under the lower end of the crystalline cone: one nucleated cell is the apical retinula cell and six non-nucleated cells are the middle retinula cells. Cross-section at $40\mu\text{m}$ from the crystalline cone revealed there are seven cells, however, the six middle cells have nuclei while the single apical cell does not. Cutting at $300\mu\text{m}$ from the crystalline cone, seven cells were also found but the six middle cells were arranged in circular form and located eccentrically. The centrally located cell with rhabdom is the basal retinula cell. The responses of the compound eyes to light of various wavelengths were tested by electroretinograph (ERG) and two peaks of spectral sensitivity curves were found. Results show that the compound eyes of the tiger beetle can respond to at least two wavelengths of light, ultraviolet (370 nm) and green light (530 nm).

Key words: *Cicindela aurulenta* Fabricus, compound eye, ERG, spectral sensitivity curves.