



Formosan Entomologist

Journal Homepage: entsocjournal.yabee.com.tw

Study of the Photosensitivity of the Compound Eyes of *Coptotermes formosanus* Shiraki (Isoptera: Rhinotermitidae) Alates 【Research report】

有翅型家白蟻 (*Coptotermes formosanus* Shiraki) (等翅目：鼻白蟻科) 複眼之感光研究 【研究報告】

Lin Chang* Wen-Jer Wu, Err-Lieh Hsu

張琳* 吳文哲、徐爾烈

*通訊作者E-mail: linchang@npm.gov.tw

Received: 2004/01/16 Accepted: 2004/06/01 Available online: 2004/06/01

Abstract

The electrophysiological characteristics of the compound eyes of *Coptotermes formosanus* Shiraki alates, stimulated by six LEDs, were investigated using electroretinograms (ERGs). The ERGs were negative and monophasic waveforms. The relative spectral sensitivity significantly different in descending order to UV (wave range, 350~425 nm; wave peak, 370.75 nm), blue (367~583 nm; 434.4 nm), green (525~648 nm; 568.3 nm) and red (600~733 nm; 648 nm) light. When UV and blue light were filtered, their light intensities became weaker, resulting in a weaker spectral sensitivity. The Formosan subterranean termite was not sensitive to yellow, orange, or red light. Furthermore, there was no significant difference in the spectral sensitivities between males and females.

摘要

本試驗係針對有翅型家白蟻複眼對於六種發光二極體的感光性，由視覺電生理的角度，探討與趨光行為之相關性。所測得的複眼網膜電圖 (ERG) 均為負單相波型(negative and monophasic waveform)，其振幅由大至小依次為：紫外線 (波長範圍 350~425 nm · 波峰370.75 nm)、藍光 (367~583 nm · 434.4 nm)、綠光 (525~648 nm · 568.3 nm)、紅光 (600~733 nm · 648 nm)，且相對感光性有顯著差異，雌雄個體之間並無差異；當光強度愈弱，所測得ERG振幅就愈小。

Key words: *Coptotermes formosanus*, photosensitivity, electroretinogram

關鍵詞: 家白蟻、感光性、複眼網膜電圖

Full Text: [PDF\(0.5 MB\)](#)

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

有翅型家白蟻 (*Coptotermes formosanus* Shiraki) (等翅目：鼻白蟻科) 複眼之感光研究

張琳* 國立故宮博物院科技室 台北市士林區至善路二段 221 號
吳文哲 徐爾烈 國立台灣大學昆蟲學系 台北市羅斯福路四段 1 號

摘要

本試驗係針對有翅型家白蟻複眼對於六種發光二極體的感光性，由視覺電生理的角度，探討與趨光行為之相關性。所測得的複眼網膜電圖 (ERG) 均為負單相波型 (negative and monophasic waveform)，其振幅由大至小依次為：紫外線 (波長範圍 350~425 nm，波峰 370.75 nm)、藍光 (367~583 nm，434.4 nm)、綠光 (525~648 nm，568.3 nm)、紅光 (600~733 nm，648 nm)，且相對感光性有顯著差異，雌雄個體之間並無差異；當光強度愈弱，所測得 ERG 振幅就愈小。

關鍵詞：家白蟻、感光性、複眼網膜電圖

前言

各種昆蟲的光接收器為了能夠適應環境中的光源，必須調節其光感動力之排列 (dynamic range of the photoreceptor)，因此表面上看似規律的行為模式，其實係經過長久適應、演化的結果。夜行性蛾類或夜行性螞蟻在行為、複眼形態及視覺生理均具日週律動 (circadian rhythm)，三者間有絕對的相關性 (Trujillo-Cenoz, 1985; Menzi, 1987; Leppla *et al.*, 1989)。

各種昆蟲對於顏色的辨識與棲息地 (Lin and Wu, 1992)、覓食 (Allan *et al.*, 1987; Scherer and Kolb, 1987; White *et al.*, 1994; Cutler *et al.*, 1995)、求偶 (Bernhard

et al., 1970)、交配 (Meyer-Rochow and Eguchi, 1984)、產卵 (Scherer and Kolb, 1987) 等行為息息相關。晝行性昆蟲的視覺對於色彩的敏感度高 (Allan *et al.*, 1987)，而夜行性或是昏暗下活動的昆蟲，則發展成具有辨識光強度對比的能力。月球反射的光波與太陽光相似，都存在有波長範圍從 330~400 nm 的近紫外光 (Stair and Johnston, 1953)。在月光下紫外光將會激發 UV 的感應細胞啟動交配行為 (Herzog and Barlow, 1991)。同為夜行性的昆蟲，有些種類在月光下，甚至是滿月較無月光的情況下，活動力越大 (Bidleingmayer, 1964)；有些種類則反之 (Eguchi *et al.*, 1982)；而 Nutting (1969) 則認為白蟻的群飛與月球明暗周期不具相關性。

*論文聯繫人
e-mail: linchang@npm.gov.tw

有翅型家白蟻幾乎終其一生處於黑暗，惟有在繁殖期才離巢趨光群飛，其複眼對於各種波長的光源之趨性，據 Chang *et al.* (2001) 以波峰單純的發光二極體 (light-emitting diodes, LEDs) 試驗其趨光行爲，發現牠們對藍光的趨性最大。又以三種常用路燈誘集，則近似白熾光的複金屬燈及水銀燈顯著高於偏黃光的高壓鈉燈；進一步分析 LEDs 與路燈的光譜，發現複金屬燈及水銀燈在 450 nm 以下的範圍內有數個高峰，同樣地，藍色 LED 之波峰亦落在此範圍內；相對地，在此波長範圍內高壓鈉燈僅有數個微弱的波峰。

由上述有翅型家白蟻趨光行爲的試驗結果，引發吾人進一步對其趨光行爲與視覺生理之相關性的研究動機。本試驗即是針對有翅型家白蟻複眼的感光性，進行複眼視網膜電圖 (electroretinogram, ERG) 的研究，由視覺電生理的角度探討家白蟻的複眼對光的調節性能及視覺反應。

材料與方法

一、有翅型家白蟻之蟲源

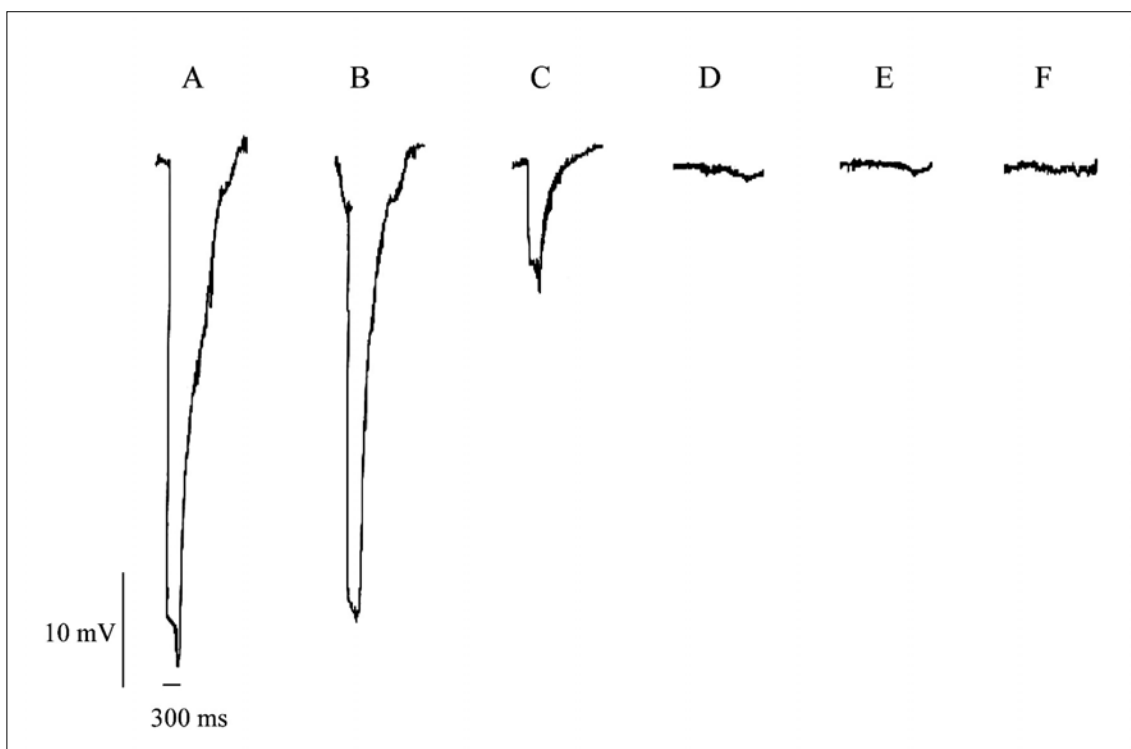
當白蟻群飛時，在路燈誘集試驗區，將水盆（長 37×寬 23×高 17 cm，盆底鋪上一層鋁箔紙，盆內裝約 5 cm 高的水）吊於水銀燈與複金屬燈光下約 100 cm 處反射光線，以誘集有翅型家白蟻。白蟻掉落後會浮於水面，應隨即撈起以免浸水而死，以數層潤濕的瓦楞紙平鋪於塑膠盒內，趁其新鮮狀態下，儘快帶回實驗室進行試驗。將誘集到的白蟻分成兩個群組，分別置入鋪有潤濕的濾紙的培養皿中，一組以錫箔紙包覆暗適應 1 小時；同時另一組則置於日光燈光下，不經暗適應。

二、測試複眼視網膜電圖前之準備

將白蟻放入冷凍庫 (-18°C) 一分鐘，使之低溫麻醉暫時不動，以利固定工作之進行。剪去其觸角，以些微蜂蠟將白蟻的頭胸部固定於固定台上，在解剖顯微鏡下用鋒利的刀片挑去複眼的數個小眼晶體，以少許 grease 沾覆於挑開的孔洞處避免乾燥。以拉電極機 (Sutter P-97 Flaming/Browning micropipette puller, Sutter Instrument Co., CA) 拉毛細玻璃 (borosilicate with filament, Sutter) 成電極。再以微針注入 3 M 的氯化鉀，並於顯微鏡下確認無氣泡阻礙導電。其尖端電阻爲 3~5 MΩ。將電極斜插入孔洞內，並取一浸潤昆蟲林格氏液 (0.75 g NaCl, 0.035 g KCl, 0.021 g CaCl₂ 溶於 100 ml 蒸餾水) 的棉線置於腹部背面，並接上一鎢絲電極做爲參考電極 (indifferent electrode)。

三、複眼視網膜電圖之測定及記錄

每次試驗前須先將上述準備好的白蟻於黑暗中適應 30 分鐘後方得進行。刺激光源分別爲紫外線 (波長範圍 350~425 nm，波峰 370.75 nm)、藍光 (367~583 nm，434.4 nm)、綠光 (525~648 nm，568.3 nm)、黃光 (543~668 nm，583.3 nm)、橙光 (568~673 nm，588.05 nm)、紅光 (600~733 nm，648 nm) 等六種 LEDs。以照度計 (Optometer, UDT S370) 量測，調整爲相等之光強度 (intensity) 後，將光源垂直對準電極插入點，距離爲 1 cm。利用電刺激儀 (electric stimulator, SEN-7103, Nihon Kohden, Tokyo) 控制開門開關的時間每隔 5 秒鐘光刺激一次，刺激時間持續 300 毫秒，刺激所得的視網膜電圖經由前置放大儀 (micro-electrode amplifier, MEZ-8201 Nihon Kohden) 放大後傳送至數位示波儀 (addscope, ATAC 250, Nihon Kohden)，並經十次之累



圖一 有翅型家白蟻受六種發光二極體 (A 為紫外光 (波長範圍 350~425 nm, 波峰 370.75 nm); B 為藍光 (367~583 nm, 434.4 nm); C 為綠光 (525~648 nm, 568.3 nm); D 為黃光 (543~668 nm, 583.3 nm); E 為橙光 (568~673 nm, 588.05 nm); F 為紅光 (600~733 nm, 648 nm)) 刺激的複眼網膜電圖。(此圖為同一隻雌蟲所測得的反應十次累加之結果)

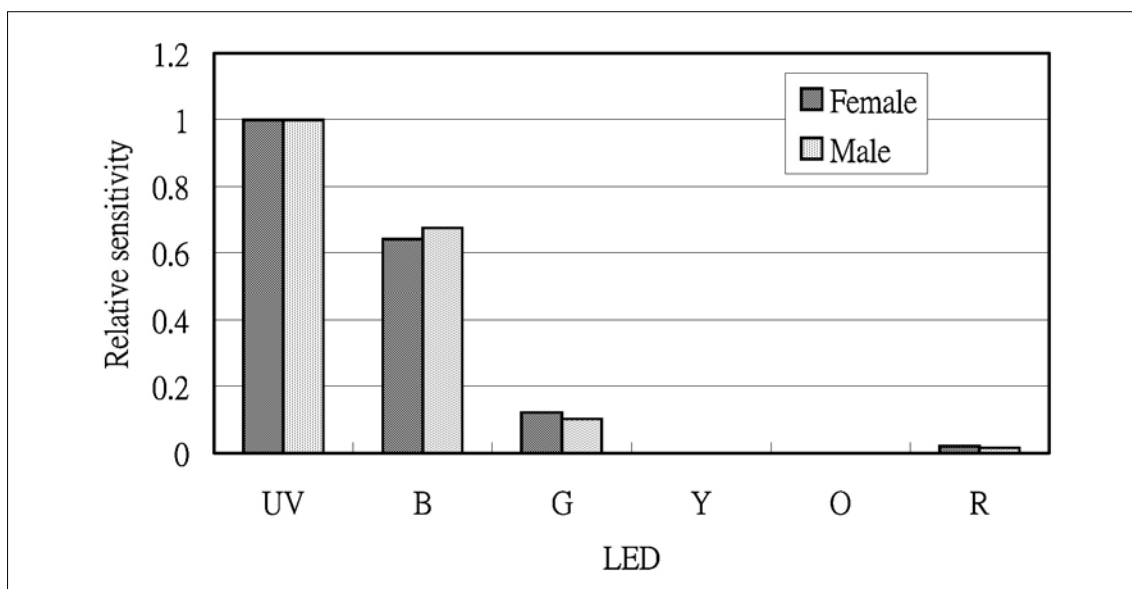
Fig. 1. Electroretinogram of one female alate of *Coptotermes formosanus* stimulated by six kinds of LEDs, shown as the results of 10 replications. A: UV (wave range, 350~425 nm; wave peak, 370.75 nm); B: blue (367~583 nm; 434.4 nm); C: green (525~648 nm; 568.3 nm); D: yellow (543~668 nm; 583.3 nm); E: orange (568~673 nm; 588.05 nm); and F: red (600~733 nm; 648 nm).

加結果傳送至記錄儀 (AT-4000, Gloud) 記錄。上述光源的能量以光能量計測器 (Model S390 Universal Optometer, United Detector Technology, CA) 測量。試驗所用波長的參考強度 ($\log I = 0.0$) 調整為 $7.74 \times 10^{19} \text{ quanta cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 並以衰減濾片調整刺激複眼的 LEDs 光波強度 $\log I$ 為 -0.3, -0.5, -1.0, 衰減率分別為 50%, 68%, 90%。

結 果

複眼視網膜電圖

有翅型家白蟻的雌蟲與雄蟲的複眼視網膜電圖波形均是負單相波型 (negative and monophasic waveform)。對於六種刺激光源反應所測得的電位振幅由大至小依次為：紫外光、藍光、綠光，對黃光、橙光、紅光則無反應 (圖一)，以 SAS Proc GENMOD (SAS, 1996) 統計分析六種色光刺激雌蟲與雄蟲複眼後所得的視網膜電圖電位振幅，取最大電位振幅為 1.0，最小為 0.0 之相對比值，結果發現有翅型家白蟻對短波長的紫外光、藍光、綠



圖二 有翅型家白蟻對六種色光的視網膜電圖電位振幅值絕對比值；UV：紫外光（波長範圍 350~425 nm，波峰 370.75 nm）；B：藍光（367~583 nm，434.4 nm）；G：綠光（525~648 nm，568.3 nm）；Y：黃光（543~668 nm，583.3 nm）；O：橙光（568~673 nm，588.05 nm）；R：紅光（600~733 nm，648 nm）。（雌、雄各七重覆）

Fig. 2. ERG relative sensitivity of *Coptotermes formosanus* alates stimulated by six kinds of LEDs. UV: ultraviolet (wave range, 350~425 nm; wave peak, 370.75 nm); B: blue (367~583 nm; 434.4 nm); G: green (525~648 nm; 568.3 nm); Y: yellow (543~668 nm; 583.3 nm); O: orange (568~673 nm; 588.05 nm); R: red (600~733 nm; 648 nm). There were seven males and seven females.

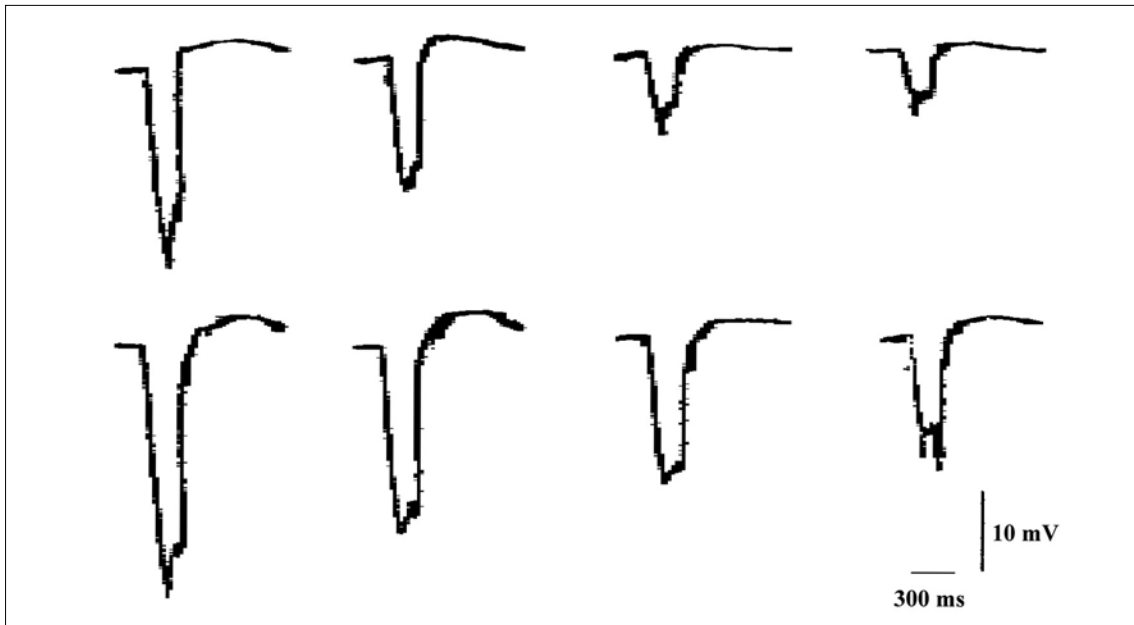
光三種色光的感光性有顯著差異，而雌蟲與雄蟲的反應無顯著差異（圖二），此結果與趨光行為所得之結果一致。而使用不同的衰減濾片改變強度，所得的視網膜電圖振幅與強度之強弱成正相關（圖三）。

討 論

昆蟲受光刺激反應之敏感性與視覺電生理反應可能相同 (Bernhard *et al.*, 1970; Roberts *et al.*, 1992; Brown and Anderson, 1996)，也可能不盡相同 (Swihart, 1969; Scherer and Kolb, 1987; Cutler *et al.*, 1995; Brown *et al.*, 1998)。Chang *et al.* (2001) 研究群飛的家白蟻有翅成蟲之趨光試驗誘集之結果指出短波長的光對有翅型家白

蟻的誘集效果最佳。而由本試驗的結果得知家白蟻在生理上視覺的反應與行為表現是相符的。若以行為與視網膜電圖之結果推測其敏感的波長應在 450 nm 以下的短波範圍。

Eguchi *et al.* (1982) 研究 35 種鱗翅目昆蟲對各種光波之電生理反應，隨著昆蟲種類與活動時間的差異，分別呈現 2~5 個感應波峰，而不論夜行性或晝行性種類均共同具有對紫外光 (384 nm) 的感應波峰。故吾人從事有翅型家白蟻趨光性一系列的研究，由之前行為上的觀察，再藉由視網膜電圖做電生理之探討，瞭解行為與生理反應之相關性。同為有翅型白蟻，黃肢散白蟻 (*Reticulitermes flaviceps*) 多於中午時分群飛，黑翅土白蟻 (*Odontotermes formosanus*) 則多於午後 4 時左右群飛但有時亦會在夜晚群飛，而家白蟻



圖三 有翅型家白蟻對於不同強度的色光（上排為藍光、下排為紫外光）刺激之視網膜電圖反應；強度以 $\log I$ 表示，由左至右為 0, -0.3, -0.5, -1.0。（此圖為同一隻雌蟲所測得的反應）

Fig. 3. Electroretinogram of one female alate of *Coptotermes formosanus* stimulated by different-intensity LEDs (upper row, blue; lower row, UV); the intensity is indicative of $\log I$ (from left to right are 0, -0.3, -0.5, and -1.0).

則在天黑後多在 7 時以後群飛。促成白蟻群飛的因子除了溫度、濕度、大氣壓力...等，吾人相信光線也是一個重要的影響因子，且不單是對夜行性者而言，因為自然光的強度從白天到晚上相差 10^{12} 倍 (RCA, 1968)，每種生物應有其特定的感光機制以適應環境的照度；然而各種有翅型白蟻雖有不同群飛時機，究竟其視覺生理與形態上的歧異性如何，則有待進一步研究。

誌 謝

感謝中興大學昆蟲系助理教授楊恩誠博士在研究方向上的指引。台灣師範大學生命科學系吳京一與童麗珠教授傾力指導電生理知識與 ERG 設備之操作。

引用文獻

- Allan, S. A., J. F. Day, and J. D. Edman. 1987. Visual ecology of biting flies. *Ann. Rev. Entomol.* 32: 297-316.
- Bernhard, G. C., J. Boethius, G. Gemne, and G. Struwe. 1970. Eye ultra-structure color reception and behaviour. *Nature* 226: 865-866.
- Bidlingmayer, W. L. 1964. The effect of moonlight on the flight activity of mosquitoes. *Ecology* 45: 87-94.
- Brown, P. E., and M. Anderson. 1996. Spectral sensitivity of the compound eye of the cabbage root fly, *Delia radicum* (Diptera: Anthomyiidae). *Bull. Entomol. Res.* 86: 337-342.

- Brown, P. E., C. P. Frank, H. L. Groves, and M. Anderson.** 1998. Spectral sensitivity and visual conditioning in the parasitoid wasp *Trybliographa rapae* (Hymenoptera: Cynipidae). *Bull. Entomol. Res.* 88: 239-245.
- Chang, L., E. L. Hsu, and W. J. Wu.** 2001. Study on the phototaxis of the alates of *Coptotermes formosanus* Shiraki (Isoptera: Rhinotermitidae). *Formosan Entomol.* 21: 353-363 (in Chinese).
- Cutler, D. E., R. R. Bennett, R. D. Stevenson, and R. H. White.** 1995. Feeding behavior in the nocturnal moth *Manduca sexta* is mediated mainly by blue receptors, but where are they located in the retina? *J. Exp. Biol.* 198: 1909-1917.
- Eguchi, E., K. Watanabe, and T. Hariyama.** 1982. A comparison of electrophysiologically determined spectral responses in 35 species of Lepidoptera. *J. Insect Physiol.* 28: 675-682.
- Herzog, E. D., and R. B. Barlow, Jr.** 1991. Ultraviolet light from the nighttime sky enhances retinal sensitivity of *Limulus*. *Biol. Bull.* 181: 331-332.
- Leppa, N. C., P. G. Koehler, and H. R. Agee.** 1989. Circadian rhythms of the German cockroach (Dictyoptera: Blattellidae): locomotion in response to different photoperiods and wavelengths of light. *J. Insect Physiol.* 35: 63-66.
- Lin, J. T., and C. Y. Wu.** 1992. A comparative study on the color vision of four Coleopteran insects. *Bull. Inst. Zool. Acad. Sinica* 31: 81-88.
- Menzi, U.** 1987. Visual adaption in nocturnal and diurnal ants. *J. Comp. Physiol. A* 160: 11-22.
- Meyer-Rochow, V. B., and E. Eguchi.** 1984. Thoughts on the possible function and origin of bioluminescence in the New Zealand glowworm *Arachnocampa luminosa* (Diptera: Keroplatidae), based on electrophysiological recordings of spectral responses from the eyes of male adults. *NZ Entomol.* 8: 111-119.
- Nutting, W. L.** 1969. Flight and colony foundation. pp. 233-282. *In: K. Krishna, and F. M. Weesner, eds. Biology of Termites.* Academic Press, London and New York.
- Anonymous.** 1968. *Electro-optics Handbook.* RCA, Harrison, NJ.
- Roberts, A. E., P. R. Syms, and L. J. Goodman.** 1992. Intensity and spectral emission as factors affecting the efficacy of an insect electrocutor trap towards the house-fly. *Entomol. Exp. Appl.* 64: 259-268.
- SAS.** 1996. SAS Institute, Inc. SAS/STAT software release vers. 6.11 user guide. Cary, NC.
- Scherer, C., and G. Kolb.** 1987. Behavioral experiments on the visual processing of color stimuli in *Pieris brassicae* L. (Lepidoptera). *J. Comp. Physiol. A* 160: 645-656.
- Stair, R., and R. Johnston.** 1953.

Ultraviolet spectral radiant energy reflected from the moon. *J. Res. Natl. Bur. Standard* 51: 81-84.

Swihart, S. L. 1969. Color vision and the physiology of the superposition eye of a butterfly (Hesperiidae). *J. Insect Physiol.* 15: 1347-1365.

Trujillo-Cenoz, O. 1985. The eye: development structure and neural connections. pp. 171-223. *In*: G. A. Kerkut, and L. I. Gilbert, eds. *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and*

Pharmacology. Vol. 6. Nervous System: Sensory. Pergamon Press, Oxford, UK. 710 pp.

White, R. H., R. D. Stevenson, R. R. Bennett, D. E. Cutler, and W. A. Haber. 1994. Wavelength discrimination and the role of ultraviolet vision in the feeding behavior of hawkmoths. *Biotropica* 26: 427-435.

收件日期：2004年1月16日

接受日期：2004年6月1日

Study of the Photosensitivity of the Compound Eyes of *Coptotermes formosanus* Shiraki (Isoptera: Rhinotermitidae) Alates

Lin Chang* Conservation Division, National Palace Museum, Taipei, Taiwan 111, R.O.C.

Wen-Jer Wu, Err-Lieh Hsu Department of Entomology, National Taiwan University, Taipei, Taiwan 107, R.O.C.

ABSTRACT

The electrophysiological characteristics of the compound eyes of *Coptotermes formosanus* Shiraki alates, stimulated by six LEDs, were investigated using electroretinograms (ERGs). The ERGs were negative and monophasic waveforms. The relative spectral sensitivity significantly different in descending order to UV (wave range, 350~425 nm; wave peak, 370.75 nm), blue (367~583 nm; 434.4 nm), green (525~648 nm; 568.3 nm) and red (600~733 nm; 648 nm) light. When UV and blue light were filtered, their light intensities became weaker, resulting in a weaker spectral sensitivity. The Formosan subterranean termite was not sensitive to yellow, orange, or red light. Furthermore, there was no significant difference in the spectral sensitivities between males and females.

Key words: *Coptotermes formosanus*, photosensitivity, electroretinogram