

國立臺灣大學生物資源暨農學院昆蟲學研究所

碩士論文

Graduate Institute of Entomology

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

微小害蟲顏色偏好之行為測試與開發應用

Research on color preference of tiny insects and its
application



Meng-Ying Lin

指導教授：楊恩誠 博士

Advisor: En-Cheng Yang, Ph.D.

中華民國 98 年 1 月

January, 2009

摘要

微小害蟲如薊馬、粉蟲、蚜蟲等，因其體型細小而容易躲藏在植物的隱蔽處，使得化學藥劑不易達到其棲息處而減低化學防治的效用。而單獨使用化學防治法無法達到預期的防治效果，因此，田間常使用顏色誘引裝置誘集害蟲以增進防治的效果。顏色誘引裝置之原理是利用昆蟲對特定色光具有趨性，可吸引害蟲接近誘引物體進而達到捕捉及誘殺之效果。過去研究中使用者常以不同「顏色」來命名或區別誘引裝置表面，而人類與昆蟲的可見光譜不同，因此以人類所能感知的顏色來區辨昆蟲的趨色偏好行為，除了不符合學理依據外更容易誤導研究的結果。因此，本研究以誘引物體表面反射光譜作為昆蟲趨色偏好行為試驗的基礎，利用涵蓋不同光譜的色紙對昆蟲進行顏色偏好測試，並進行結果之比對以推算昆蟲之偏好光譜。在經過顏色偏好測試後，發現台灣花薊馬 (*Frankliniella intonsa*) 偏好之波長範圍為 508~560 nm (4~9 日齡) 及 578~700 nm (1~3 日齡)，與田間誘集以藍色光譜誘引蟲數較多之結果不同，而刺桐釉小蜂 (*Quadrastichus erythrinae*) 在田間及顏色偏好行為測試中則表現大致相似之顏色偏好行為。綜合實驗結果，本實驗所採用之顏色偏好檢測流程可應用於某些昆蟲上，而使用涵蓋不同反射光譜的色紙來檢測昆蟲之顏色偏好，更是比電生理記錄省時省力，為一大優點。但此流程適用於哪些類別的昆蟲，可能需要進一步實驗探討。

關鍵詞：台灣花薊馬、刺桐釉小蜂、顏色偏好、反射光譜、有色黏紙

Abstract

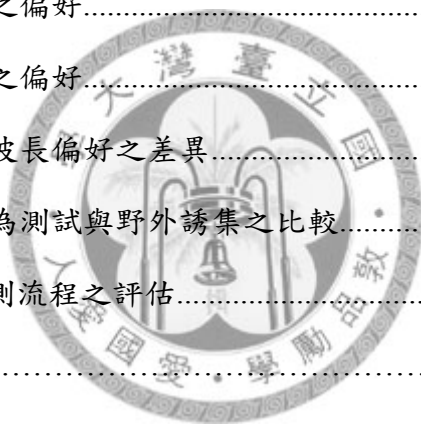
Tiny insects, such as thrips, whiteflies and aphids, are very small in their body size and can easily hide themselves in host plants, and therefore they can avoid the chemical sprays. Since the difficulty of chemical control to the hidden pests, color traps for luring the tiny pests have been used for a long tradition. Some insects can be attracted by particular wavelengths, so identifying the attractive wavelengths for inducing the color preference behavior of pests can reveal the critical factor for developing color traps. In the study, color papers with different wavelength range within the visible spectrum of insects are introduced to test color preference of the pests without the information of photoreceptor spectral sensitivity obtained from electrophysiological recordings in the compound eyes. After color paper preference test, it indicated that flower thrips, *Frankliniella intonsa*, prefer wavelength 508-560 nm (4-9-day-old) and 578-700 nm (1-3-day-old) than blue wavelengths which were preferred significantly in field trapping test. However, the erythrina eulophid wasps, *Quadrastichus erythrinae*, perform similar color preference in both field test and color paper preference test. According to the results, color paper preference test in the study is useful to test color preference of some insects but not suitable to every taxon. Light in natural environment is more complex than in laboratory. Thus, to test the color preference of specific insect, such as *F. intonsa*, it might process both field test and color paper preference test.

Keywords: *Frankliniella intonsa*, *Quadrastichus erythrinae*, color preference, spectral reflectance, sticky color paper

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
前言.....	1
前人研究.....	4
1. 昆蟲的複眼及感光色素.....	4
2. 波長專一性行為與顏色視覺.....	4
3. 波長專一性行為與農業上的應用.....	6
4. 台灣花薊馬的生態習性.....	7
5. 薊馬對顏色之偏好性.....	7
6. 刺桐釉小蜂的生態習性.....	8
7. 刺桐釉小蜂對顏色之偏好性.....	9
材料與方法.....	11
1. 供試蟲源.....	11
1-1 台灣花薊馬.....	11
1-2 刺桐釉小蜂.....	11
2. 反射光譜的量測.....	12
3. 反射光譜資料庫之建置及實驗色紙之製作.....	12
4. 顏色偏好之行為試驗.....	13
5. 田間試驗.....	14
6. 統計分析.....	14
7. 偏好波長之判定.....	15
結果.....	16
1. 台灣花薊馬之顏色偏好實驗.....	16

2. 台灣花薊馬田間誘集測試.....	18
3. 刺桐釉小蜂之顏色偏好實驗.....	18
討論.....	20
1. 台灣花薊馬之波長偏好.....	20
1-1 雌蟲對波長之偏好.....	20
1-2 雄蟲對波長之偏好.....	21
1-3 雌雄兩性對波長偏好的差異性.....	22
1-4 田間試驗與行為偏好測試之比較.....	22
2. 刺桐釉小蜂之波長偏好.....	23
2-1 雌蟲對波長之偏好.....	23
2-2 雄蟲對波長之偏好.....	23
2-3 雌雄兩性對波長偏好之差異.....	24
2-4 顏色偏好行為測試與野外誘集之比較.....	24
3. 顏色偏好行為檢測流程之評估.....	25
參考文獻.....	26
圖.....	32
表.....	44
附錄.....	45



圖次

圖一、NBR 反射光譜.....	32
圖二、WRR 反射光譜.....	33
圖三、實驗色紙反射光譜.....	34
圖四、台灣花薊馬 1~3 日齡雌成蟲對色紙之偏好性.....	35
圖五、台灣花薊馬 4~6 日齡雌成蟲對色紙之偏好性.....	36
圖六、台灣花薊馬 7~9 日齡雌成蟲對色紙之偏好性.....	37
圖七、台灣花薊馬 1~3 日齡雄成蟲對色紙之偏好性.....	38
圖八、台灣花薊馬 4~6 日齡雄成蟲對色紙之偏好性.....	39
圖九、台灣花薊馬 7~9 日齡雄成蟲對色紙之偏好性.....	40
圖十、以不同色紙在洋香瓜田誘集台灣花薊馬之數量.....	41
圖十一、刺桐釉小蜂雌蟲對不同色紙之偏好性.....	42
圖十二、刺桐釉小蜂雄蟲對不同色紙之偏好性.....	43
附圖一、反射光譜測量裝置之簡圖.....	46
附圖二、不同昆蟲複眼內感光細胞之視色素吸收光譜曲線理論值.....	47
附圖三、顏色偏好行為試驗使用之正八邊形盒子.....	48
附圖四、台灣花薊馬田間測試懸掛黏紙裝置圖.....	49

表次

表一、實驗色紙波峰值及涵蓋波長範圍.....	44
附表一、以不同顏色誘引裝置誘集南黃薊馬 (<i>Thrips palmi</i>) 之結果整理.....	45



前 言

微小害蟲如薊馬、粉蝨、蚜蟲等，因其體型細小而容易躲藏在植物的隱蔽處，如心葉、葉尖、葉背及花朵內，使得化學藥劑不易達到其棲息處而減低化學防治的效用 (謝，2000；王，2002)。而單獨使用化學防治法無法達到預期的防治效果，並可能使害蟲對化學藥劑產生抗藥性，因此更凸顯其他防治方法之重要性，例如物理防治法及生物防治法等 (謝，2000；邱，2007)。在各種物理防治法中，顏色誘引裝置使用於蟲害防治上由來已久，譬如有色黏蟲紙、有色水盤等都受到廣泛的使用 (Muirhead-Thomson, 1991；王及林，1992；劉及張，1995；Chu and Henneberry, 1998)；其他如麥氏誘殺器更是結合了顏色及水解蛋白 (嗅覺刺激，誘引其取食) 的雙重誘引效果 (陳等，2001)。顏色誘引裝置之原理是利用昆蟲對特定色光具有趨性，可吸引害蟲接近誘引物體進而達到捕捉及誘殺之效果 (Muirhead-Thomson, 1991)。由於過去研究中使用者常以不同「顏色」來命名或區別誘引裝置表面 (朱，1987；黃，1989；陳等，1997；陳，2000；廖及廖，2002)，而人類與昆蟲的可見光譜不同 (Backhaus *et al.*, 1998；Briscoe and Chittka, 2001)，以人類所能感知的顏色來區辨昆蟲的趨色偏好行為，除了不符合學理依據外更容易誤導研究的結果。因此，本研究將以誘引物體表面反射光譜作為未來昆蟲趨色偏好行為試驗的基礎，並定義出吸引昆蟲的特定波長範圍。

一般觀察者所看見物體的顏色即為物體表面所反射出來的光，而這些反射光波長的強弱組合則形成不同的反射光譜。在電磁波波譜中，人類可以感受的範圍約為 400~700 nm，所以此段範圍被稱為可見光 (visible light)(Bowmaker and Dartnall, 1980)。就正常的人類色覺而言，可見光光譜由長波長至短波長排列可大致分為紅、橙、黃、綠、藍、紫六種色調，每一種顏色則相對應一特定波長範圍的光譜。人類色覺所能感知的各種不同顏色即為紅、藍、綠三種色光以不同比例混合而成，所見物體的顏色即為其表面反射不同比例色光所形成 (Land, 1977)。物種的可見光譜由其感光細胞中的光感受器 (photoreceptor) 所決定，每種光感受器

有其獨特的光譜感度 (spectral sensitivity)，這些光感受器所能感受的所有波長即為該物種之可見光譜。目前已知大部分昆蟲的可見光譜範圍落在 300~700nm 之間，而不同物種之可見光譜也有所差異 (Briscoe and Chittka, 2001)。

生物在受到特殊波長刺激時所產生的行為反應，稱為波長專一性行為 (wavelength-specific behavior)，如線蟲對紫外光表現出趨避行為而對可見光具有趨光性 (Croll, 1966)。而波長專一性行為在表現上有強弱之差異，是受到生物眼中光感受器光譜感度的影響。由於光感受器光譜感度為生物趨色行為的基礎，在開發針對特定昆蟲之顏色誘引裝置時，若能先參考其光譜感度，則可收事半功倍之效。然而，尚有許多昆蟲的光譜感度未被量測，且因為量測光譜感度之電生理記錄技術費時費力，記錄蟲體較小的昆蟲之難度頗高，在害蟲防治的實際應用上形成一研究上的瓶頸，因此本研究擬利用不同涵蓋波長範圍之色紙進行昆蟲之顏色偏好測試，再進行比對以推測出昆蟲之偏好波長，以作為未來開發農業害蟲色光偏好之行為測試模式。

昆蟲對不同顏色的趨性表現在不同的物種或行為上 (Scherer and Kolb, 1987; Kelber, 1999)，而這些差異可能與其生態習性及演化有所相關。本研究擬使用台灣花薊馬 (*Frankliniella intonsa*) 及刺桐紬小蜂 (*Quadrastichus erythrinae*) 兩種在分類地位及生態習性皆有所差異的昆蟲做為實驗材料來探討微小害蟲對顏色之偏好性。台灣花薊馬寄主種類繁多 (呂, 1993)，因此成為許多花卉及蔬菜上的害蟲，而由於其隱蔽在植物體內的生物特性，使得化學防治效果不彰。但建議使用的淡藍色黏蟲紙，僅為了排除其他昆蟲黏附而遮蔽誘引薊馬的效果 (王, 2002)，並未針對個別物種偏好光譜進行研究，防治效果上值得商榷。而刺桐紬小蜂為近年來新入侵林木害蟲，其在刺桐屬植物 (*Erythrina spp.*) 上造癭為害，甚至造成植株死亡，短時間內疫情已擴散至全台。在防治方面，台灣地區曾用化學藥劑來防治刺桐紬小蜂，但成果有限 (董等, 2006)；此外，持續施藥可能會影響寄生天敵之族群數量。目前已知黃色黏紙對刺桐紬小蜂具有誘引效果，推測其對特定波長可能

具有偏好性，而應用其顏色偏好開發物理防治裝置應可紓解目前在防治上的困境。

顏色偏好誘引裝置在應用上可兼收防治及監測之效果，與化學防治法同時使用更可減少藥劑的施用，降低對環境的破壞，在園藝設施及居家環境中使用也較藥劑施用更為安全及方便。因此，本研究希望能以台灣花薊馬與刺桐紬小蜂為例，檢測出此兩物種的偏好波長範圍，以開發顏色誘引裝置應用於害蟲防治上。同時，評估檢測流程是否能真正模擬野外環境來測試昆蟲對波長之偏好性。



前人研究

1. 昆蟲的複眼及感光色素

複眼 (compound eye) 為昆蟲視覺中最具功能的構造，大部分的成蟲及若蟲都具有兩個大而明顯的複眼。複眼由小眼 (ommatidium) 組成，而複眼中的小眼數量依種類而定。每個小眼包含角膜 (lens)、水晶錐體 (crystalline cone)、色素細胞 (pigment cell) 及網膜細胞 (reticular cell) 幾部份。網膜細胞即感光細胞 (photoreceptor cell)，負責接收光及傳遞訊息至視葉 (optic lobes)。感光細胞在水晶錐體下方緊密排列成一圈，其細胞膜在近中心處形成微絨毛構造，稱為桿狀小體 (rhabdomere)，為感光色素 (visual pigment) 聚集之處。每個感光細胞的桿狀小體組合形成視官柱體 (rhabdom)，為小眼內吸收光子之部份。

當光由水晶錐體進入視官柱體後即由感光色素所吸收。感光色素即視紫質 (rhodopsin)，為一種 G 蛋白偶合受器 (G-protein-coupled receptor)，由視蛋白 (opsin) 與鍵結於其上的感光分子 (chromophore) 所組成 (Shichida and Imai, 1998)。昆蟲複眼中具有的感光分子主要可分為兩類：一類為維生素 A 的衍生物 (11-*cis*-retinal, A1)，另一類為葉黃素 (xanthophylls) 的衍生物 (11-*cis*-3-hydroxyretinal, A3)(Seki and Vogt, 1998; Briscoe and Chittka, 2001)。當感光分子吸收特定能量的光，即轉變成為反式構形 (all-*trans*-retinal)，並釋放能量改變視蛋白的構形。當視紫質因吸收光能而呈現激態 (metarhodopsin)，可活化 G 蛋白進而啟動一系列細胞內訊息傳遞的過程，最後導致感光細胞的膜電位改變 (Shichida and Imai, 1998)。感光色素對不同波長的光有不同的吸收率，此則為其之吸收光譜 (spectral absorption)，而吸收光譜決定了感光細胞的光譜感度 (spectral sensitivity)。

2. 波長專一性行為與顏色視覺

動物能夠利用不同波長的光所帶來的資訊，對牠們的生活而言是極大的優

勢，例如可以避免天敵的危害、辨認同種、辨認方位，以及搜尋食物的所在地。而利用這些資訊所表現出來的趨色或趨光行為，可能肇因於顏色視覺或波長專一性行為。

生物在受到特殊波長刺激時所產生的行為反應，稱為波長專一性行為 (wavelength-specific behavior)(Menzel, 1979)，如許多生物在受到紫外光與可見光刺激之兩種情形下會表現不同的行為 (Croll, 1966；Clark and Kimeldorf, 1970)，而對特定波長光源表現接近或趨避的行為則被稱為趨光性及負趨光性。不同感光細胞所產生的反應可經由特定神經路徑引發波長專一性行為，如蜜蜂的紫外光受器可偵測偏極光的角度，作為飛行定位的依據 (Menzel and Snyder, 1974)，綠光感受器則可感應四周物體的移動而使蜜蜂表現出視動反應行為 (optomotor response)(Kaiser, 1974；1975)。而波長專一性行為在表現上有強弱之差異，則是受到光感受器光譜感度的影響。

顏色視覺 (color vision) 指的是動物具有分辨不同波長色光的能力，且不會受到光強度改變所影響 (Menzel, 1979；Kelber *et al.*, 2003)。具有顏色視覺的先決條件是動物的視覺系統必須具有兩種以上的感光細胞，而每種感光細胞皆包含一種感光色素以接收特定波長範圍的光 (Pichaud *et al.*, 1999；Kelber *et al.*, 2003)。Rushton (1965) 提出的單變異原則 (principle of univariance) 指出當不同波長的光被感光細胞吸收時，細胞產生的反應只與光強度有關，而與波長無關。因此，當動物只具有單一感光細胞時，其只能分辨不同光強度 (明度) 所形成的影像；當其具備兩種以上感光細胞時，視覺系統才能比較不同波長所引發的反應 (Mollon, 1989)。Menzel (1979) 認為，顏色視覺可能由波長專一性行為演化而來，當特定的視神經細胞可以處理來自不同感光細胞的光譜訊息時，視覺系統便可以分辨不同波長的光。

波長專一性行為不具可塑性 (plasticity)，不能經由學習而改變 (Briscoe and Chittka, 2001)。相反的，經由學習而展現出辨色行為，常是研究者確認動物是否具

有真正顏色視覺的依據 (Frisch, 1914; Kelber and Pfaff, 1999)。先前研究顯示蜜蜂在表現回巢行為時的趨光性沒有顏色視覺的參與 (Menzel and Greggers, 1985)，代表顏色視覺與波長專一性行為在神經調控層面可能為兩個相異的路徑。

3. 波長專一性行為與農業上的應用

昆蟲可以經由學習而改變對波長的反應 (Kelber and Pfaff, 1999)，但在自然情況下，多數昆蟲對顏色表現出偏好是一種波長專一性行為，意即對特定波長的趨光性。因此，我們可利用昆蟲對顏色的趨性作為農業上防治害蟲的依據。昆蟲在進行不同的行為時可能表現出對不同波長的趨光性，如當紋白蝶進行逃離行為時，最偏好 370 nm；而進行取食行為時，最偏好 447 nm 及 600 nm；當其進行產卵行為時則最偏好 542 nm (Scherer and Kolb, 1987)，而這些依不同行為所測得的偏好波長與利用電生理記錄四種光感受器光譜感度峯值相符 (Steiner *et al.*, 1987; Briscoe and Chittka, 2001)。因此，當昆蟲表現波長專一性最敏感之波長可視為其光感受器光譜感度之峯值 (Menzel, 1979)。換言之，昆蟲表現波長專一性行為的程度與光感受器光譜感度有關，而要有效的誘集害蟲，則必須給予其光感受器足夠的刺激。

以東方果實蠅為例，Wu (1989) 以電生理技術記錄東方果實蠅之視網膜電圖 (electroretinogram, ERG)，發現其複眼對於波長 348 nm、431 nm 及 494 nm 最為敏感，推測其複眼中可能具有對此三波長敏感之光感受器。以蠟光色紙誘集東方果實蠅，發現綠色色紙之誘引效果較黃色為佳 (陳, 1990)。而 494 nm 之光在人類視覺看起來為綠色，因此我們可以理解東方果實蠅之偏好選擇與光感受器之刺激有關。Wu 等人 (2007) 以電生理方法記錄到東方果實蠅具有五種光感受器，其光譜感度之波峯值分別為 370 nm、380 nm、490 nm、510 nm，其中一種具有兩個波峯值，分別為 350 nm 及 490 nm。而配合東方果實蠅光感受器光譜感度選擇六種不同色紙 (黑、白、紅、橙、黃、綠) 測試其對顏色之偏好，結果顯示綠色色紙 (涵蓋波長 500~570 nm) 及黃色色紙誘引力較佳。然而，白色色紙同樣涵蓋 500

~570 nm 且反射強度遠高於綠色色紙，誘引效果卻較黑色為低，顯示其反射光譜中可能有抑制因子降低其誘引效果。以紫外光遮罩（可濾掉短於 380 nm 之波長）測試在有無紫外線刺激下白色色紙對東方果實蠅之誘引效果，發現反射紫外光之白紙具有較好的誘引效果，排除紫外光為抑制因子的可能。由刪去法，推斷波長範圍 380~500 nm 為抑制因子，而由黃色色紙反射率較高卻僅誘捕到與綠色色紙相近蟲數可得證。由上述實驗推論東方果實蠅對波長範圍 300~380 nm 及 500~570 nm 具感受性，此兩波段可增強色紙對東方果實蠅之吸引力，而 380~500 nm 之間波長會降低誘引的效果。在開發顏色誘引裝置時，裝置表面的反射光譜在 380~500 nm 盡量降低，而另兩波長範圍要盡量提高才能有較好的誘引效果。

4. 台灣花薊馬的生態習性

台灣花薊馬 (*Frankliniella intonsa*) 在分類上屬於繸翅目 (Thysanoptera)、錐尾亞目 (Terebrantia)。其為台灣常見的雜食性花卉害蟲，也是台灣外銷農產品最可能出現的薊馬類害蟲之一 (王, 2002)，目前共記錄有 71 種寄主植物 (呂, 1993)。台灣花薊馬在室內飼養一年可發生 22 世代，每世代僅 9~16 天，雌蟲壽命 17.7~49 天不等，一生產卵數最高可達 76 個 (湯, 1976b)。如果田間環境適宜，其繁殖力實不容小覷。台灣花薊馬體型細小，且經常隱蔽在花朵及心葉中銼吸汁液，化學藥劑不易達到其棲息處，造成防治上的困難。而由於其隱匿在植物體中之特性，使其不易被檢查出來，因此可能經由貿易活動而傳播至世界各地。台灣花薊馬早期因為危害蘆筍造成外銷上的損失而受到重視 (湯, 1976a; b)，近年來因為花卉產業興起 (鍾, 2006)，使其成為外銷花卉的重要害蟲，因此防治及監測工作日漸重要。

5. 薊馬對顏色之偏好性

在過去所使用的薊馬監測及防治方法中，以有色黏紙的使用最為普及，以往一般以黃色、白色及藍色的黏蟲紙來誘集薊馬 (王, 2002)。其他方法還有 CC traps

(改良式粉蝨誘集器) 及有色水盤等等，而這些方法的原理都是利用薊馬對不同顏色具有不同的偏好性 (Lewis, 1959)。但是，以往的研究往往以人的視覺觀點為依據，忽略了物體的顏色是受到其表面反射光譜的影響，而不同材質也會使看起來相近的顏色具有不同的反射光譜 (楊及洪，2001)。因此，研究中使用同樣色系顏色卻可能得到不同的誘集效果 (見附表一)。

在以 CC trap 誘集檸檬樹上台灣花薊馬的試驗中，發現藍色誘集器 (反射波長 400~480 nm) 較黃色誘集器有顯著的誘集效果；另一方面，藍色黏蟲紙 (Takitrap®) 對 *Frankliniella* 屬也有較顯著的誘集效果 (Chu *et al.*, 2000; 2006)。據 Yaku 等人 (2007) 所作的研究，梳缺花薊馬 (*Frankliniella schultzei*) 之雌蟲對紅色波長有顯著偏好性，而雄蟲較偏好黃色波長，顯示其雌雄兩性對顏色偏好並不相同。顏色偏好的差異可能來自雌蟲及雄蟲的不同生態行為，雌蟲以覓食及產卵為其主要工作，因此其偏好光譜會與寄主之反射光譜較為相似。

將國內外監測及防治南黃薊馬之方法整理成表 (見附表一)，由附表一可知，南黃薊馬偏好藍色色系及白色色系，而過去研究也發現南黃薊馬在濾除紫外線之狀況下，侵入栽培設施及分散之能力降低 (朱，1987)。但是，據 Murai (2001) 指出，南黃薊馬會受到藍色及白色黏紙吸引，但若藍色及白色黏紙反射出紫外光，則南黃薊馬不受吸引。由上述的資料來看，薊馬的顏色偏好性仍需更嚴謹的研究才能釐清，並加以應用於防治與監測工作上。

6. 刺桐絨小蜂的生態習性

刺桐絨小蜂 (*Quadrastichus erythrinae* Kim)(*Erythrina* Eulophid Wasp, EEW) 屬於膜翅目 Eulophidae 科、Tetrastichinae 亞科，於 2000 年首次在非洲法屬模里西斯 (Mauritius) 及留尼旺島 (Réunion) 被發現，經學者證實其為一種致癭之新種昆蟲 (董，2004; Kim *et al.*, 2004)。台灣南部也於 2003 年記錄到此種的分布，隨後迅速擴散至全島各地 (Yang *et al.*, 2004)。

刺桐絨小蜂成蟲具有性別雙型性 (sexual dimorphism)，雌蟲體型較大，體呈深

褐色具黃色斑塊；雄蟲較小，體呈淺褐色且具白色斑塊 (Kim *et al.*, 2004)。目前研究觀察指出，刺桐紬小蜂活動時間主要是在早上六點至十點之間，成蟲會在刺桐複葉枝條間取食蜜槽裡的糖份，雄蟲會在八點至十點間聚集在葉片蟲癭處等待雌蟲羽化，藉機交配 (林等，2006)。此外，刺桐紬小蜂只有在求偶、產卵時才會停留在葉表，大部分時間都在葉背休息 (藍，未發表)。

刺桐紬小蜂主要危害刺桐屬 (*Erythrina*) 植物，刺桐屬植物在熱帶地區為常見的園藝植物及行道樹種，在台灣也多有栽培，目前已有刺桐及黃脈刺桐等五種及一亞種受害嚴重 (Yang *et al.*, 2004)。交尾過的雌蟲在刺桐葉片上產卵，刺激葉肉組織生長產生癭室，造成葉片捲曲使得蜜腺聚集在癭室附近，進而影響植株養分傳導而枯死。依照植株生長狀態及葉片上的蟲癭數目，可大致將感染程度分為四期：第一期葉片正常開展，小葉上有 15 個以下之零星蟲癭分布；第二期每片小葉約有 16 至 30 個蟲癭，部分小葉末端捲曲；第三期則葉片與莖上蟲癭膨大，已無法辨識葉形；第四期則植株狀似枯死，葉片已幾乎脫落，最後枝幹韌皮組織流出組織液產生臭味，植株逐漸乾枯死亡 (藍等，2006)。

刺桐紬小蜂生活史短，繁殖能力強，且具有世代重疊、一年發生多代的特性，使其在短短數年之內蔓延至世界各地 (Yang *et al.*, 2004)。因此，防治工作成為各界關注的焦點。

7. 刺桐紬小蜂對顏色之偏好性

藍 (未發表) 發現在野外刺桐屬的植株懸掛防治果實蠅的黃色黏蟲紙可以誘集許多刺桐紬小蜂成蟲，因此推論其對顏色可能具有視覺偏好性。另外，選用不同廠商印製的黃色黏蟲紙，誘引到的成蟲數量也有所差異。而觀察市售黏紙誘引到之刺桐紬小蜂雌雄性比 (誘引到之雄蟲數/誘引到之雌蟲數) 比實際分布之雌雄性比高 (藍，未發表)，顯示雌蟲較雄蟲不受黃色黏紙所吸引，也間接代表雌雄蟲對顏色偏好可能具有差異。

林等人 (2008) 在黃脈刺桐上懸掛涵蓋不同波長範圍之黏紙誘集刺桐紬小

蜂，發現其對涵蓋波長範圍 521~700 nm 的黃色黏紙及反射波峰值在 516 nm 之螢光綠黏紙具有顯著較高的偏好性。以不同黏紙之波長範圍來估算，刺桐釉小蜂偏好之波長範圍可能介於 508~578 nm 之間。而此實驗中各黏紙所黏附之刺桐釉小蜂皆以雄蟲比例較高，雌蟲僅佔刺桐釉小蜂總數的 5%~16%，顯示雌蟲可能較雄蟲不具視覺上之偏好性。



材料與方法

1. 供試蟲源

1-1 台灣花薊馬 (*Frankliniella intonsa*)

本實驗所用之台灣花薊馬由行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所洪巧珍博士所提供。飼養方法乃依據 Murai and Loomans (2001) 之薊馬飼養方法進行改良，以發芽四天之花豆種子作為台灣花薊馬之食物及產卵介質。供試昆蟲飼養於直徑 3.5 cm、高 6 cm 之塑膠瓶中，容器開口以 150 目之細紗網封住，使其透氣並避免成蟲鑽出。每個塑膠瓶中放置一個花豆種子及 30 隻台灣花薊馬成蟲（每瓶含有 1~5 隻雄蟲，其餘皆為雌蟲），使其產卵兩天後將成蟲挑出移至新的豆子上。已被產卵之花豆則靜置待若蟲孵化，視若蟲取食情形加入新的豆子至成蟲羽化。供試昆蟲之飼養環境為 25°C、光週期 L:D=12:12、相對溼度 50% 之生長箱。由於本研究為測試薊馬對顏色的偏好與趨性，而只有成蟲才具有短距離飛行移動之能力 (湯, 1976b)，故選取成蟲作為試驗之用。為測試台灣花薊馬成蟲對其顏色偏好性是否因日齡之不同而有所差異，每組實驗將不同日齡的薊馬視為不同處理，共分為 1~3 日齡、4~6 日齡及 7~9 日齡三組。為了避免個體差異影響實驗的準確性，在行為實驗中所有供試成蟲皆只使用一次，不重複使用。

1-2 刺桐紬小蜂 (*Quadrastichus erythrinae* Kim)

試驗蟲源取自於野外受危害之刺桐枝條。剪取受害刺桐枝條後，在清水中輕微漂洗，以去除附著其上之雜質及其他昆蟲。再將枝條基部插入水中，置於透明壓克力養蟲箱，於 25°C、光暗週期為 D:L=12:12、相對溼度 50% 之環境下供刺桐紬小蜂羽化成蟲。在養蟲箱中放置糖水 (10%) 供羽化出之刺桐紬小蜂吸食。飼養過程中不將雌雄蟲分開，任其在飼養箱中自由交配。由於刺桐紬小蜂羽化後即開始交配，一日後便開始產卵，推測雌蟲由蟲癭鑽出前即達到性成熟，故實驗中成蟲不分日齡。

2. 反射光譜的量測

當光照射在物體上時，有部份波長會被吸收，而未被吸收的波長則被反射，是為反射光譜 (spectral reflectance)。反射光譜可由光譜儀 (spectrometer) 所測得，當反射自物體之光線由光纖傳導進入光譜儀後，會先由一面反射鏡反射至光柵欄 (grating)，由光柵欄將光分成不同的光束，再由光柵欄將光投射至聚焦鏡 (focusing mirror)，之後這些光訊號被接收並轉換成數位訊號，即可由軟體讀取受測物之反射光譜。

本實驗所使用之光譜儀為 USB4000 (Ocean Optics Inc., USA)，投射光源採用 DH-2000-BAL (Ocean Optics Inc., USA)。使用光譜儀測量樣品時，以標準白 (WS-1-SL, Labsphere Inc., USA) 及燈源全暗作為樣品表面反射強度的參考值。測量樣品所用的反射探棒與受測樣品成 90° 的量測角度，反射探棒與一 Y 型光纖組合結合，其內周圍有六條光纖將投射光源導引至受測樣品表面，中間一條光纖則將受測物體表面反射之光訊號傳送至光譜儀主機，讀取反射光譜，測量反射光譜之裝置如附錄之圖一所示。反射光譜計算公式如下：

$$\%R_{\lambda} = [(S_{\lambda} - D_{\lambda}) \div (R_{\lambda} - D_{\lambda})] \times 100\%$$

S_{λ} = 受測樣品在波長 λ 之反射強度

D_{λ} = 暗參考值在波長 λ 之反射強度

R_{λ} = 標準白在波長 λ 之反射強度

3. 反射光譜資料庫之建置及實驗色紙之製作

由於已知的昆蟲可見光譜範圍為 300~700 nm (Briscoe and Chittka, 2001)，所以在測量反射光譜時所選用的燈源也必須涵蓋此波長範圍。而市售色票之顏色配置有其固定配方，有利於後續試驗色紙之製作，所以本研究採用霧面色票 (PANTONE®, edition 2002-2003, Japan) 作為選擇色紙的對象。使用光譜儀測量所有霧面色票的反射光譜，將這些反射光譜分類整理後建立成一個資料庫。本實驗

共量測霧面色票 1123 種，得到之反射光譜依其特性可分為兩大類：一類為具有單一反射波峰，稱為 narrow bandwidth reflectance (NBR, 圖一)；另一類則於一段波長範圍內都具有相對高的反射率，稱為 wide range reflectance (WRR, 圖二)。

以多種昆蟲複眼感光細胞之光譜感度峰值作圖，可得到這些昆蟲感光細胞內視色素之理論吸收光譜曲線，而這些曲線會形成較集中的幾組 (附圖二)。因此，將可由反射光譜資料庫中挑選涵蓋不同吸收光譜曲線組合之色票，供實驗色紙印製之用。挑選出之色票共八張，色票號碼分別為：5803u、yellow u、hexachrome orange u、7417u、2736u、7466u、802u 及 811u。其中前四者為 WRR 色票，後四者為 NBR 色票。依各色票之顏料配置印製試驗用色紙。WRR 色紙以其相對反射率最大值 50% 所在波長值 ($\lambda_{50\%}$) 命名，而 NBR 色紙則以其反射波峰值命名。WRR 色紙涵蓋波長範圍及 NBR 色紙反射波峰值如表一所示，試驗用色紙之反射光譜如圖三所示。

4. 顏色偏好之行為試驗

行為試驗在高 26 cm，邊長 15 cm 之正八邊形容器 (附圖三) 中進行。容器主要由厚 0.5 cm 之透明壓克力板製成，以白色壓克力板將容器內部隔成八個開放隔間。將實驗所使用的色紙兩兩相對放入正八邊形容器隔間內壁，使受試昆蟲在每個水平面都可以看到四張不同的色紙。為避免實驗光源強弱不均及陽光直射造成干擾，實驗場所選定在台灣大學校園內一處樹蔭下。而為避免色紙朝向之方位對昆蟲選擇造成影響，每次實驗時使相同色紙朝向不同方位。實驗前將雌雄蟲分別裝入透明塑膠罐中，每個塑膠罐中各放入 30 隻成蟲，放入 -20°C 冰箱中冷凍 3 min 以降低其活動力，再將塑膠罐中之受試昆蟲釋放到正八邊形容器中央。受試昆蟲於此容器內適應並自由選擇 40 min 後，再計算不同色紙隔間中停留之蟲數。

5. 田間試驗

為了測試台灣花薊馬在自然環境中之顏色偏好，將進行野外之田間試驗。田

間試驗場所選在台南縣佳里鎮及台南市安南區之隧道式栽培洋香瓜田，每一塊田選定其中一畦作為有色黏紙懸掛處。實驗前將 4 種 WRR 色紙及 4 種 NBR 色紙上膠（上膠後之光譜範圍及編號列於表一），並裁切成 11 cm × 7 cm 之試驗用黏紙。進行試驗時將兩張相同顏色的黏紙以有色面向外之方式相互貼合，並以雙層圓形塑膠夾固定黏紙上下緣（附圖四），八種不同色紙皆固定於同一塑膠夾上。前述之塑膠夾以塑膠繩固定在隧道式棚架之中央，保持可以轉動的狀態，塑膠夾保持在植株上方，以不接觸植株為原則，黏紙下緣距離畦面約為 56~60 cm。為避免黏紙放置之方向影響實驗結果，每次試驗黏紙排列之順序及方位皆有所更動。每週更換一次黏紙，計算各黏紙上台灣花薊馬黏附之數量。

6. 統計分析

顏色偏好行為試驗每次重複的數據以分布比例 (D) 來表示：

$$D = (S/A) \times 100\%$$

D = 受試昆蟲分布比例

S = 單一色紙停留蟲數

A = 所有色紙停留蟲數

未進入隔間之昆蟲則視為無偏好不列入計算。以軟體 R (ver. 2.7.2) 進行 Kruskal-Wallis 單向分類變方分析法，檢驗在同一組實驗中昆蟲在不同色紙的分布比例 ($D \pm SE$) 是否有差異性。不同日齡組別的數據則以卡方檢定分析，檢驗不同日齡昆蟲在不同色紙上分布之蟲數是否具有差異。田間測試數據則以 Friedman test 進行分析，檢驗不同色紙上之台灣花薊馬數量 ($mean \pm SE$) 是否有所差異。

7. 偏好波長之判定

受試昆蟲偏好波長判定以色紙之 $\lambda_{50\%}$ （相對反射率最大值之 50% 所在波長值）來界定，因每張色紙光譜有所重疊，而當相對反射率太低時對昆蟲而言刺激強度可能不足以引發其反應，因此，利用色紙之 $\lambda_{50\%}$ 作為一可信賴之區間。當昆

蟲最偏好某一張 WRR 色紙時，其偏好波長範圍落在其 $\lambda_{50\%}$ 及最接近其而涵蓋高反射率光譜範圍較小的色紙之 $\lambda_{50\%}$ 之間，例如當受試昆蟲最偏好 WRR418 時，其最偏好光譜應介於 418~508 nm (WRR508 之 $\lambda_{50\%}$) 之間。而當受試昆蟲偏好某一張 NBR 色紙時，其偏好波長即介於此色紙的兩個 $\lambda_{50\%}$ 之間。各色紙之 $\lambda_{50\%}$ 如表一所示。



結 果

1. 台灣花薊馬之顏色偏好實驗

以 WRR 色紙測試台灣花薊馬 1~3 日齡雌蟲對顏色之偏好，四組色紙上雌蟲的平均分布比例分別為 WRR418: $21.8 \pm 3.8\%$ 、WRR508: $28.3 \pm 1.8\%$ 、WRR560: $21.3 \pm 3.6\%$ 、WRR591: $28.5 \pm 4.6\%$ ，四組 WRR 色紙上台灣花薊馬的分布無顯著差異性 ($p > 0.05$ ；圖四 A)。而以 NBR 色紙測試其偏好性時，其在色紙 NBR597 上之分布 ($33.7 \pm 4.6\%$) 顯著較 NBR440 ($15.8 \pm 3.2\%$) 及 NBR482 ($20 \pm 4.7\%$) 之分布比例為高 ($p < 0.05$ ；圖四 B)。

以 WRR 色紙測試台灣花薊馬 4~6 日齡雌成蟲，其在四組色紙上的平均分布比例分別為 WRR418: $30.1 \pm 3.4\%$ 、WRR508: $45.4 \pm 4.1\%$ 、WRR560: $12.7 \pm 2.1\%$ 、WRR591: $11.7 \pm 1.6\%$ ，統計分析結果顯示此時期雌蟲在 WRR418 及 WRR508 上之分布顯著較其他兩組色紙高 ($p < 0.01$ ；圖五 A)。而以 NBR 色紙測試 4~6 日齡雌成蟲時，其在四組色紙上的平均分布比例分別為 NBR440: $19.5 \pm 3.1\%$ 、NBR482: $18.6 \pm 2.7\%$ 、NBR516: $43.7 \pm 4.1\%$ 、NBR597: $18.3 \pm 2.8\%$ ，顯示其對 NBR516 顯著具有偏好性 ($p < 0.01$ ；圖五 B)。

以 WRR 色紙測試台灣花薊馬 7~9 日齡雌成蟲，其在四組色紙上的平均分布比例分別為 WRR418: $26.0 \pm 3.1\%$ 、WRR508: $46.7 \pm 4.1\%$ 、WRR560: $15.6 \pm 2.8\%$ 、WRR591: $11.7 \pm 2.0\%$ ，分析結果顯示此時期雌蟲在 WRR418 及 WRR508 上之分布顯著較其他兩組色紙高 ($p < 0.01$ ；圖六 A)。而以 NBR 色紙測試 7~9 日齡雌成蟲時，其在四組色紙上的平均分布比例分別為 NBR440: $21.9 \pm 2.6\%$ 、NBR482: $21.2 \pm 3.4\%$ 、NBR516: $37.2 \pm 3.2\%$ 、NBR597: $19.7 \pm 4.2\%$ ，統計分析結果顯示其對 NBR516 具有顯著偏好性 ($p < 0.01$ ；圖六 B)。

以卡方檢定檢驗不同日齡台灣花薊馬雌蟲在四組 WRR 色紙之分布比例，發現 1~3 日齡與 4~6 日齡雌蟲在分布上有顯著差異 ($\chi^2 = 69.50, p < 0.001$)，而 1

~3 日齡與 7~9 日齡雌蟲在分布上也有顯著差異 ($\chi^2 = 73.15, p < 0.001$)，4~6 日齡與 7~9 日齡兩組在色紙上之分布則無顯著差異 ($\chi^2 = 4.89, p = 0.177$)。

以卡方檢定檢驗不同日齡台灣花薊馬雌蟲在四組 NBR 色紙之分布比例，發現 1~3 日齡與 4~6 日齡雌蟲在分布上有顯著差異 ($\chi^2 = 39.70, p < 0.001$)，而 1~3 日齡與 7~9 日齡雌蟲在分布上也有顯著差異 ($\chi^2 = 25.60, p < 0.001$)，4~6 日齡與 7~9 日齡兩組在色紙上之分布則無顯著差異 ($\chi^2 = 6.02, p = 0.111$)。

以 WRR 色紙測試台灣花薊馬 1~3 日齡雄成蟲對顏色之偏好，其在四組色紙的平均分布比例分別為 WRR418: $15.9 \pm 2.2\%$ 、WRR508: $58.1 \pm 3.4\%$ 、WRR560: $13.9 \pm 2.7\%$ 、WRR591: $12.1 \pm 2.3\%$ ，由統計分析結果發現此時期雄蟲對 WRR508 具有顯著偏好性 ($p < 0.01$ ；圖七 A)。而以 NBR 色紙測試此時期雄蟲之偏好性時，四組色紙上雄蟲的平均分布比例分別為 NBR440: $22.7 \pm 4.4\%$ 、NBR482: $11.9 \pm 1.9\%$ 、NBR516: $19.9 \pm 4.2\%$ 、NBR597: $45.5 \pm 4.2\%$ ，經統計分析其對 NBR597 最具有偏好性 ($p < 0.01$ ；圖七 B)。

以 WRR 色紙測試台灣花薊馬 4~6 日齡雄成蟲，其在四組色紙的平均分布比例分別為 WRR418: $19.9 \pm 3.1\%$ 、WRR508: $50.3 \pm 2.5\%$ 、WRR560: $15.6 \pm 2.1\%$ 、WRR591: $14.2 \pm 2.9\%$ ，統計分析結果顯示其在色紙 WRR508 上分布比例顯著較其他組高 ($p < 0.01$ ；圖八 A)。而以 NBR 色紙測試 4~6 日齡雄成蟲時，四組色紙上雄蟲的平均分布比例分別為 NBR440: $23.7 \pm 4.6\%$ 、NBR482: $16.7 \pm 2.3\%$ 、NBR516: $33.6 \pm 5.4\%$ 、NBR597: $26.0 \pm 4.5\%$ ，其對四組色紙之偏好性並無顯著差異 ($p > 0.05$ ；圖八 B)，但在 NBR516 上分布比例最高。

以 WRR 色紙對台灣花薊馬 7~9 日齡雄成蟲作顏色偏好之行為測試，其在四組色紙的平均分布比例分別為 WRR418: $18.8 \pm 3.1\%$ 、WRR508: $51.4 \pm 4.3\%$ 、WRR560: $14.2 \pm 2.8\%$ 、WRR591: $15.7 \pm 2.9\%$ ，經統計分析顯示其在色紙 WRR508 上分布比例顯著較高 ($p < 0.01$ ；圖九 A)。而以 NBR 色紙測試 7~9 日齡雄成蟲時，其在四組色紙上的平均分布比例分別為 NBR440: $25.9 \pm 3.0\%$ 、NBR482: $14.5 \pm$

3.0%、NBR516: $33.0 \pm 6.7\%$ 、NBR597: $26.7 \pm 4.4\%$ ，其對四組色紙之偏好性並無顯著差異 ($p > 0.05$ ；圖九 B)，但在 NBR516 上分布比例最高。

以卡方檢定檢驗不同日齡台灣花薊馬雄蟲在 WRR 色紙上之分布比例，1~3 日齡與 4~6 日齡兩組並無顯著差異 ($\chi^2 = 3.55, p = 0.314$)，而 1~3 日齡與 7~9 日齡兩組也無顯著差異 ($\chi^2 = 4.56, p = 0.207$)，4~6 日齡與 7~9 日齡兩組在色紙分布上也無顯著差異 ($\chi^2 = 2.07, p = 0.559$)，表示 3 個日齡組對 4 組 WRR 色紙之偏好皆相似。

以卡方檢定檢驗不同日齡台灣花薊馬雄蟲在四組 NBR 色紙之分布比例，發現 1~3 日齡與 4~6 日齡雌蟲在分布上有顯著差異 ($\chi^2 = 40.42, p < 0.001$)，而 1~3 日齡與 7~9 日齡雌蟲在分布上也有顯著差異 ($\chi^2 = 39.60, p < 0.001$)，4~6 日齡與 7~9 日齡兩組在色紙上之分布則無顯著差異 ($\chi^2 = 1.42, p = 0.7$)。

2. 台灣花薊馬田間誘集測試

以 WRR 色紙誘集台灣花薊馬，發現黏附在色紙 WRR508G 上的蟲數最多，平均每星期每張色紙可黏附 24.6 ± 8.9 隻，顯著較其他色紙為高 ($p < 0.05$)；以 NBR 色紙測試其偏好性，發現 NBR440G 誘集到之台灣花薊馬總數明顯較其他色紙高，平均黏附蟲數為 119.4 ± 38.9 隻 ($p < 0.01$)。而將兩組共八張色紙誘集到的蟲數來作比較，發現 NBR440G 誘集到之台灣花薊馬仍是所有色紙中最多的，並且具有顯著性差異 ($p < 0.01$ ；圖十)。

3. 刺桐紬小蜂之顏色偏好實驗

以 WRR 色紙測試刺桐紬小蜂雌成蟲，其在四組色紙的平均分布比例分別為 WRR418: $28.7 \pm 4.1\%$ 、WRR508: $16.4 \pm 4.3\%$ 、WRR560: $26.1 \pm 4.6\%$ 、WRR591: $28.9 \pm 4.8\%$ ，經統計分析發現其對四組色紙之偏好性不具差異性 ($p > 0.05$)，但在色紙 WRR508 上分布比例較低 (圖十一 A)。而以 NBR 色紙測試其對顏色之偏好性時，雌蟲在四組色紙上的平均分布比例分別為 NBR440: $26.0 \pm 3.6\%$ 、NBR482: 28.8

$\pm 4.1\%$ 、NBR516: $19.4 \pm 5.6\%$ 、NBR597: $25.8 \pm 4.5\%$ ，統計分析結果顯示其對 NBR516 之偏好顯著較低 ($p < 0.05$ ；圖十一 B)。

以 WRR 色紙測試刺桐紬小蜂雄成蟲，其在四組色紙的平均分布比例分別為 WRR418: $36.3 \pm 2.9\%$ 、WRR508: $22.0 \pm 3.9\%$ 、WRR560: $22.8 \pm 3.3\%$ 、WRR591: $18.9 \pm 4.0\%$ ，發現其對色紙 WRR418 及色紙 WRR591 間之偏好具有顯著之差異性，對 WRR591 之偏好顯著較低 ($p < 0.05$ ；圖十二 A)。而以 NBR 色紙對其進行偏好行為測試，其在四組色紙上的平均分布比例分別為 NBR440: $12.9 \pm 2.5\%$ 、NBR482: $25.6 \pm 1.93\%$ 、NBR516: $30.0 \pm 4.3\%$ 、NBR597: $31.5 \pm 2.9\%$ ，經分析發現其對 NBR440 較不具偏好性 ($p < 0.05$ ；圖十二 B)。



討 論

1. 台灣花薊馬之波長偏好

1-1 雌蟲對波長之偏好

以 WRR 色紙測試台灣花薊馬 1~3 日齡雌蟲對顏色的偏好，發現此時期雌蟲在四組色紙之分布並無差異 (圖四 A)。這個結果顯示了兩個可能性：此時期雌蟲對各波長均無偏好性或者偏好色紙 WRR591 涵蓋的波長範圍 (591~700 nm)，後者的可能性來自於每張色紙均涵蓋此範圍光譜。而以 NBR 色紙測試 1~3 日齡雌蟲偏好性時，雌蟲對色紙 NBR597 最具偏好性 (圖四 B)，判定其偏好波長範圍為 578~700 nm (NBR597 之 $\lambda_{50\%}$)，這個實驗結果符合前述 WRR 實驗的第二個可能性。因此，綜合兩實驗結果，將兩段偏好波長取交集，推測台灣花薊馬 1~3 日齡雌蟲對波長範圍 591~700 nm 最具有偏好性。

以 WRR 色紙測試台灣花薊馬 4~6 日齡及 7~9 日齡雌成蟲，此兩時期雌蟲在色紙 WRR418 及 WRR508 之分布皆明顯較其他兩組色紙高 (圖五 A, 圖六 A)，因此可以發現雌蟲不偏好長波長範圍之光譜，初步推測此時期雌蟲偏好波長值介於 418~560 nm 之間。隨後以 NBR 色紙測試 4~6 及 7~9 兩日齡組雌成蟲時，雌蟲對色紙 NBR516 最具偏好性 (圖五 B, 圖六 B)，依此結果判定雌蟲偏好波長值應落於 498~563 nm 之間。以 NBR 色紙實驗之結果，可以驗證薊馬雌蟲在 WRR 色紙的偏好實驗中，對 WRR418 及 WRR508 有較高的偏好的是因為兩張色紙皆涵蓋了 508~560 nm 之範圍，而非在 418~508 nm 及 508~560 nm 之波長範圍中各有一偏好值。因此，將兩實驗之雌蟲偏好波長範圍取交集，推測台灣花薊馬 4~6 及 7~9 日齡雌成蟲對波長範圍 508~560 nm 最具有偏好性。

依顏色偏好行為試驗之結果，台灣花薊馬 1~3 日齡雌成蟲偏好波長值落在 591~700 nm 之範圍中，而 4~9 日齡雌蟲則偏好 508~560 nm 之範圍，此結果差異可能來自於雌蟲之產卵前期。依湯 (1976b) 所作之台灣花薊馬生態調查，發

現雌蟲產卵前期約為 1.2~4.8 天不等，每世代平均 2.3 天。因此，可以依此推論本實驗中台灣花薊馬 1~3 日齡雌蟲大部分仍處於產卵前期，而此時期雌蟲剛由蛹期羽化，進行覓食與交尾行為，所以趨色行為表現與產卵期之其他日齡雌蟲不同。

1-2 雄蟲對波長之偏好

以 WRR 色紙測試台灣花薊馬 1~3 日齡雄成蟲對顏色之偏好，發現此時期雄蟲分布在色紙 WRR508 之比例最高 (圖七 A)，初步推測此時期雄蟲偏好波長介於 508~560 nm 之間。而以 NBR 色紙測試 1~3 日齡雄成蟲之偏好性時，此時期雄蟲對 NBR597 最具有偏好性 (圖七 B)，因此推估此時期雄蟲對波長範圍 578~700 nm 較具有偏好性。綜合以上兩實驗結果，推測台灣花薊馬 1~3 日齡雄蟲在波長範圍 508~700 nm 之間可能具有兩段較偏好波長範圍，而 WRR508 即因涵蓋此兩波長範圍而較具吸引力。但色紙 WRR418 雖然也涵蓋上述之薊馬雄蟲偏好波長範圍，分布在其上之雄蟲數量卻明顯較 WRR508 少，因此推測在 418~508 nm 之範圍可能有一抑制波長。在 NBR 實驗組中，無法由結果發現 1~3 日齡雄蟲偏好波長範圍 508~560 nm，因為此實驗為一種競爭型實驗，受試昆蟲只能選擇其中一張色紙，因此當兩張色紙對昆蟲皆具有同樣的吸引力，而多數昆蟲選擇其中一張色紙，則覆蓋了對另一張色紙的偏好性，所以，在此實驗中 1~3 日齡雄蟲對 NBR597 的選擇，覆蓋了其對 NBR516 偏好性。總結以上結果與推論，台灣花薊馬 1~3 日齡雄蟲對波長 508~658 nm 之間可能具有兩段較偏好波長範圍，而 418~508 nm 會抑制物體對其之吸引力。

以 WRR 色紙測試台灣花薊馬 4~6 及 7~9 日齡雄成蟲，結果顯示其在色紙 WRR508 上分布比例最高 (圖八 A、圖九 A)，初步推測其對波長範圍 508~560 nm 最具偏好性。而 WRR418 雖然也涵蓋 508~560 nm 之波長範圍，但雄蟲在其上之分布比例顯著較 WRR508 低，因此推測 418~508 nm 之間有一抑制波長。以 NBR 色紙測試 4~6 及 7~9 日齡雄成蟲時，其對四組色紙之偏好性並

無顯著差異 (圖八 B、圖九 B)，但在色紙 NBR516 上分布比例最高。綜合以上實驗結果，推測台灣花薊馬 4~6 及 7~9 日齡雄蟲對波長範圍 508~560 nm 較具偏好性，而 418~508 nm 會抑制物體對其之吸引力。

在顏色偏好實驗中，不同時期台灣花薊馬雄蟲皆偏好波長範圍 508~560 nm，僅 1~3 日齡雄蟲也受波長範圍 578~700 nm (NBR597 之 $\lambda_{50\%}$) 的吸引。目前已知東方果實蠅之顏色偏好不因日齡而改變 (Wu *et al.*, 2007)，而此種雄蟲顏色偏好隨日齡改變的現象並未發現有相關文獻探討。雖然雄蟲並無產卵前期的影響，但是仍與 1~3 日齡雌蟲有相同的顏色偏好，推測可能因為接近此光譜範圍使雄蟲可與年輕雌蟲交尾增加其繁衍上的優勢。

1-3 雌雄兩性對波長偏好的差異性

顏色偏好行為試驗中，4~9 日齡之台灣花薊馬雌雄蟲皆偏好波長範圍 508~560 nm，僅 1~3 日齡雌雄蟲偏好波長 578~700 nm 之範圍，顯示其顏色偏好與日齡有關。而波長範圍 418~508 nm 會抑制物體對雄蟲之吸引力，但雌蟲卻不受影響，顯示台灣花薊馬顏色偏好可能與性別也有所相關。此外，西方花薊馬 (*Frankliniella occidentalis*) 在不同行為下表現出之顏色偏好在雌雄之間並無差異 (Matteson and Terry, 1992)。而 Yaku 等人 (2007) 以有色黏紙誘集梳缺花薊馬 (*Frankliniella schultzei*)，發現雌蟲較偏好 600~700 nm 之波長範圍，而雄蟲則以黃色黏紙誘捕到之數量顯著較多。梳缺花薊馬及台灣花薊馬雌雄兩性對顏色偏好的差異可能由於兩性之生態行為不同，然而，西方花薊馬在分類上也同樣屬於 *Frankliniella* 屬，也同為雜食性訪花薊馬，卻無此兩性顏色偏好之差異，顯示此差異依種類而異。

1-4 田間試驗與行為偏好測試之比較

在田間懸掛黏紙誘集台灣花薊馬，發現其最偏好色紙 NBR440G，與其他色紙皆有顯著差異 (圖十)，因此推估其偏好波長 410~484 nm 之範圍，而此波長範圍在人類眼中為紫色或藍色。Chu 等人 (2006) 在檸檬樹上以不同顏色 CC trap 誘

集台灣花薊馬，發現藍色誘集器也誘捕到最多數量的台灣花薊馬，且與黃色誘集器誘集到之數量有顯著差異，此結果也與本實驗結果符合。但行為偏好測試之結果顯示台灣花薊馬偏好波長 578~700 nm (1~3 日齡) 及 508~560 nm (4~9 日齡) 範圍，且波長 410~484 nm 對雄蟲有趨避之效果，此結果與田間實驗不相符。因此，推測在八角形盒子內所進行之行為測試並不能模擬昆蟲在野外自由選擇的狀態，而可能是處在有壓力的狀況下，或在不同光環境下之波長偏好性也隨之而變。前人研究也顯示，在非自然環境下所作之行為實驗，受試昆蟲表現的可能是逃離行為而非覓食行為 (Yang *et al.*, 2003)。據 Scherer and Kolb (1987) 之研究報告指出，當紋白蝶進行產卵行為時最偏好 542 nm；而進行取食行為時，最偏好 447 nm 及 600 nm；當其進行逃離行為時，最偏好 370 nm。因此，昆蟲對波長的偏好與其不同的行為動機相關。

2. 刺桐紬小蜂之波長偏好

2-1 雌蟲對波長之偏好

以 WRR 色紙測試刺桐紬小蜂雌成蟲，發現其對四組色紙之偏好性不具差異性，但在色紙 WRR508 上分布比例較低，而以 NBR 色紙測試其對顏色之偏好性時，其對 NBR516 之偏好顯著較低 (圖十一)。綜合以上兩實驗結果，推測刺桐紬小蜂雌成蟲對波長範圍 498~563 nm 較不具偏好性。

2-2 雄蟲對波長之偏好

以 WRR 色紙測試刺桐紬小蜂雄成蟲，發現其對色紙 WRR418 及色紙 WRR591 間之偏好具有顯著差異，對 WRR591 之偏好顯著較低，而以 NBR 色紙對其進行偏好行為測試，發現其對 NBR440 較不具偏好性 (圖十二)。以 NBR 色紙測試之結果，我們可以推測刺桐紬小蜂雄蟲較不偏好 410~484 nm 之波長範圍，但此段波長對雄蟲而言似乎不為抑制波長，因為雄蟲在 WRR418 之分布比例與 WRR508 相較之下並無降低的趨勢。而 NBR 組其餘三張色紙的雄蟲分布比例



並無顯著差異，因此推斷雄蟲在 NBR482、NBR516、NBR597 之涵蓋範圍可能具有數個偏好波長。而 NBR482 之 $\lambda_{50\%}$ 為 414~534 nm，刪去較不偏好的 410~484 nm，即留下 484~534 nm，這是第一個雄蟲可能偏好波長。498~563 nm (NBR51 之 $\lambda_{50\%}$) 及 578~700 nm (NBR597 之 $\lambda_{50\%}$) 為第二個及第三個可能偏好波長。因為第一和第二個雄蟲可能偏好波長範圍有部份重疊，因此取其兩者交集。綜合以上推論，刺桐紬小蜂雄蟲可能偏好波長範圍落在 484~563 nm 及 578~658 nm 兩段波長範圍之間。將此推論結果套用在 WRR 色紙實驗也與結果吻合，WRR 418 因包含兩段偏好波長，所以雄蟲分布比例最高。相反的，WRR591 僅包含一段偏好波長因此雄蟲分布比例較低。

2-3 雌雄兩性對波長偏好之差異

刺桐紬小蜂雌雄兩性在行為實驗中表現出對不同顏色的偏好性，雄蟲對 484~563 nm 及 578~700 nm 兩段波長範圍較具偏好性，而雌蟲則較不偏好 498~563 nm 之範圍。在雄蟲偏好波長方面，484~563 nm 及 578~700 nm 之範圍在人眼看起來分別為綠色及紅色，與刺桐屬植物之樹葉及花顏色相符合，顯示雄蟲之顏色偏好行為與搜尋寄主有關。而雌蟲須產卵在刺桐枝葉上，卻不偏好綠色波長，顯示其尋找寄主的行為可能不依據視覺線索。

2-4 顏色偏好行為測試與野外誘集之比較

林等人 (2008) 在黃脈刺桐樹上以黏紙誘集刺桐紬小蜂，發現刺桐紬小蜂雄蟲最偏好 508~578 nm 之範圍，而雌蟲較不偏好此波長範圍，而藍 (未發表) 也發現市售黃色黏紙誘引刺桐紬小蜂雌蟲比例較田間分布之雌蟲比例低。本研究之行為偏好測試中，推測雄蟲對 484~563 nm 及 578~700 nm 兩段波長範圍較具偏好性，而雌蟲則較不偏好 498~563 nm 之範圍，此實驗結果與野外誘集結果大致符合。因此，刺桐紬小蜂顏色偏好行為測試可模擬其野外選擇寄主的情況。

3. 顏色偏好行為檢測流程之評估

本研究目的是以顏色偏好行為檢測微小害蟲之顏色偏好，希望能在沒有昆蟲光感受器光譜感度的資料下，以具有不同反射光譜的色紙來測試昆蟲的偏好性，據實驗結果來推測微小害蟲的偏好波長。實驗所使用的密閉壓克力八角形盒子能隔絕外界干擾，使受試昆蟲僅接受單純的視覺刺激。另外，實驗裝置放置在樹蔭下，避免陽光直射導致容器溫度上升使昆蟲產生壓力，希望使受試昆蟲保持無壓力的狀態，模擬野外自由選擇寄主的情形。然而，本研究所使用的刺桐絨小蜂及台灣花薊馬對顏色偏好的結果，與野外誘集結果相比之下，形成兩種截然不同的結果。刺桐絨小蜂在野外誘集與偏好行為測試之結果大致相符，而 Wu 等人 (2007) 也使用正十二邊形之壓克力裝置來檢測東方果實蠅對顏色之偏好，實驗結果也與野外東方果實蠅的偏好相同。因此，可以推論本研究使用流程可確實檢測出昆蟲對寄主選擇之顏色偏好性。但是，台灣花薊馬在行為偏好試驗中卻表現出與田間誘集不同之顏色偏好，顯示其在兩種情形下可能表現出不同行為。雖然在實驗流程中盡量避免壓力產生，但是受試昆蟲皆須經過冷處理，使其活動力降低，而每種昆蟲的耐受度不同，雖然經過恢復期，但仍可能造成昆蟲不正常的狀況。Yang 等人 (2008) 即提出蜜蜂在遭受逆境因子刺激時 (包括低溫、CO₂ 昏迷)，其來回巢房與取食器時間會有所延遲。綜合以上，本實驗所採用之顏色偏好檢測流程可應用於某些昆蟲上，而使用涵蓋不同反射光譜的色紙來檢測昆蟲之顏色偏好，更是比電生理記錄省時省力，為一大優點。但此流程適用於哪些類別的昆蟲，可能需要進一步實驗探討。因為田間試驗的光環境較為複雜，在台灣花薊馬的田間試驗中色紙設置在棚架下，光線強度較行為測試時所處的樹蔭環境強，且棚架上所覆蓋的塑膠布對色紙反射光譜組成也會造成影響，所以要完成顏色偏好與田間試驗兩者才能確切得知防治上所需的色紙反射波長。

參考文獻

- 王清玲。2002。臺灣薊馬生態與種類—縷翅目 錐尾亞目。農業試驗所特刊第 99 號。pp. 328。
- 王清玲、林鳳琪。1992。黃色黏板在斑潛蠅防治上之應用。病蟲害非農藥防治技術研討會專刊 99-103。
- 朱耀沂。1987。薊馬之物理防治。中華昆蟲特刊第一號 1: 27-36。
- 呂鳳鳴。1993。台灣薊馬種類及寄主植物名錄。行政院農業委員會。pp. 121。
- 林孟穎、王庭碩、楊曼妙、藍艷秋、楊恩誠。2008。刺桐紬小蜂 (膜翅目：紬小蜂科) 顏色偏好之研究。第 29 屆台灣昆蟲會年會手冊。pp. 46。
- 林鼎鈞、藍艷秋、許嘉錦、董景生。2006。刺桐紬小蜂 (*Quadrastichus erythrinae* Kim) 之日羽化週期研究。台灣昆蟲 26: 454。
- 邱政發。2007。蚜蟲的生物防治。苗栗區農業專訊 40: 5-6。
- 陳文華。1990。東方果實蠅食物誘引劑之開發。中興大學碩士論文。58 頁。
- 陳明昭。2000。茄子南黃薊馬綜合防治。行政院農業委員會高雄區農業改良場研究彙報 11: 9-21。
- 陳建忠、董耀人、鄭鈴蘭。2001。改良型麥氏誘殺器對東方果實蠅 (*Bactrocera dorsalis*)(雙翅目：果實蠅科) 誘殺效果之評估。台灣昆蟲 21: 65-75。
- 陳華平、貝亞維、顧秀慧、高春先。1997。棕櫚薊馬 (*Thrips palmi*) 對不同顏色黏卡的嗜好及其藍色黏卡誘蟲量的研究。應用生態學報 8: 335-337。
- 黃金助。1989。南黃薊馬在冬瓜上之族群消長及其誘引調查。行政院農業委員會台中區農業改良場研究彙報 25: 35-41。
- 湯慶詮。1976a。台灣綠蘆筍薊馬種類之調查。中華農業研究 25: 37-43。
- 湯慶詮。1976b。綠蘆筍黑腹薊馬之生態研究。中華農業研究 25: 299-309。
- 楊恩誠、洪于善。2001。色誘昆蟲的理論基礎及應用。跨世紀台灣昆蟲學研究之

- 進展研討會。國立自然科學博物館印。台中。69-77。
- 董景生。2004。最新的外來入侵種—刺桐紬小蜂 (*Quadrastichus erythrinae* Kim)。
林業研究專訊。11: 34-36。
- 董景生、許嘉錦、吳孟玲、趙榮台。2006。入侵台灣的刺桐紬小蜂之防治管理。
台灣昆蟲 26: 455。
- 廖信昌、廖蔚章。2002。顏色黏板、塑膠布及氣味化合物配合植物萃取物對茄園
南黃薊馬之防治效果。行政院農業委員會高雄區農業改良場研究彙報 13:
1-12。
- 劉玉章、張佳燕。1995。瓜實蠅食物引誘劑之篩選及黃色黏紙之附加效用。中華
昆蟲 15: 35-46。
- 謝再添。2000。利用生物天敵及化學藥劑對銀葉粉蝨防治之概述。藥毒所專題報
導 58: 1-9。
- 鍾國成。2006。台灣花卉產業發展現況與趨勢。農業生技產業季刊 5: 10-19。
- 藍艷秋、張智欣、許育鯉、謝芸軒、董景生、許嘉錦。2006。以枝條取樣法估計
刺桐感染刺桐紬小蜂之感染時期之研究。台灣昆蟲 26: 454。
- Backhaus, W. G. K., R. Kliegl, and J. S. Werner. 1998. Color vision: perspectives from
different disciplines. Walter de Gruyter, Berlin, New York. pp. 343
- Bowmaker, J. K., and H. J. A. Dartnall. 1980. Visual pigments of rods and cones in a
human retina. J. Physiol. 298: 501-511.
- Briscoe, A. D., and L. Chittka. 2001. The evolution of color vision in insect. Annu. Rev.
Entomol. 46: 471-510.
- Chu, C. C., and T. J. Henneberry. 1998. Development of a new whitefly trap. The
Journal of Cotton Science 2: 104-109.
- Chu, C. C., M. A. Ciomperlik, N. T. Chang, M. Richards, and T. J. Henneberry. 2006.
Developing and evaluating traps for monitoring *Scirtothrips dorsalis*

- (Thysanoptera: Thripidae). Fla. Entomol. 89: 47-55.
- Chu, C. C., P. J. Pinter, T. J. Henneberry, K. Umeda, E. T. Natwick, Y. A. Wei, V. R. Reddy, and M. Shrepatis. 2000. Use of CC trap with different trap base colors for silverleaf whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae), thrips (Thysanoptera: Thripidae), and leafhoppers (Homoptera: Cicadellidae). J. Econ. Entomol. 93: 1329-1337.
- Clark, E. D., and D. J. Kimeldorf. 1970. Tentacle response of the sea anemone *Anthopleura xanthogrammica* to ultraviolet and visible radiations. Nature 227: 856-857.
- Croll, N. A. 1966. The phototactic response and spectral sensitivity of *Chroviadorina Viridis* (Nematoda, Chromadorida) with a note on the nature of the paired pigment spots. Nematologica 12: 620-614.
- Frisch, K. 1914. Der farbensinn und formensinn der biene. Zoologische Jahrbücher. Abteilung für allgemeine Zoologie und Physiologie der Tiere. 35: 1-188.
- Kaiser, W. 1974. The spectral sensitivity of the honeybee's optomotor walking response. J. Comp. Physiol. 90: 405-408.
- Kaiser, W. 1975. The relationship between visual movement detection and color vision in insects. pp. 359-377. In: G. A. Horridge, ed. The compound eye and vision of insects. Clarendon Press, Oxford.
- Kelber, A. 1999. Ovipositing butterflies use a red receptor to see green. J. Exp. Biol. 202: 2619-2630.
- Kelber, A. and M. Pfaff. 1999. True colour vision in the orchard butterfly, *Papilio aegaeus*. Naturwissenschaften 86: 221-224.
- Kelber, A., M. Vorobyev, and D. Osorio. 2003. Animal colour vision - behavioural tests and physiological concepts. Biol. Rev. 78: 81-118.
- Kim, I. K., G. Delvare, and J. La Salle. 2004. A New Species of *Quadrastichus*

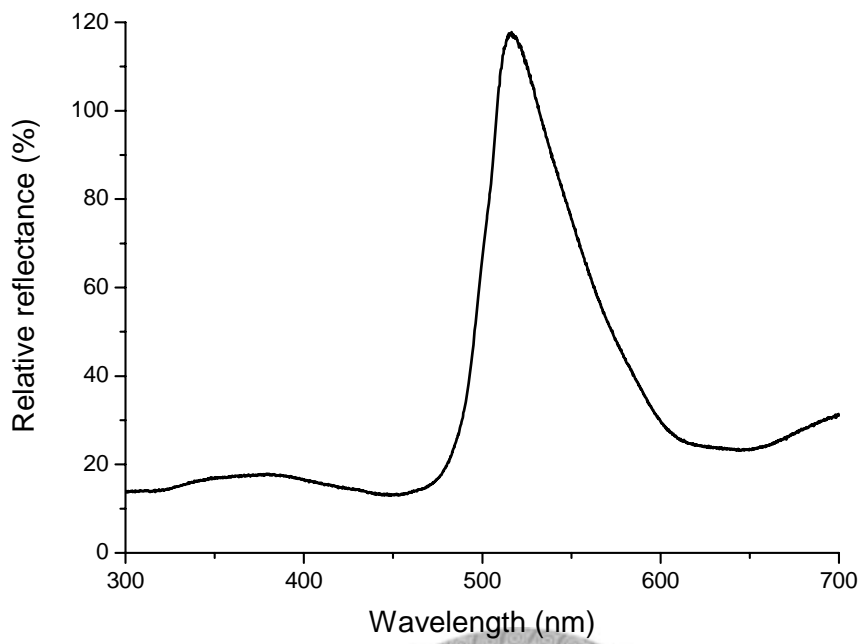
- (Hymenoptera: Eulophidae): A Gall-inducing Pest on *Erythrina* (Fabaceae). *J. Hymenoptera Res.* 13: 37-42.
- Land, E. H. 1977. The retinex theory of color vision. *Sci. Am.* 237: 108-128.
- Lewis, T. 1959. A comparison of water traps, cylindrical sticky traps and suction traps for sampling thysanopteran populations at different levels. *Entomol. Exp. Appl.* 2: 204-215.
- Matteson, N. A., and L. I. Terry. 1992. Response to color by male and female *Frankliniella occidentalis* during swarming and non-swarming behavior. *Entomol. Exp. Appl.* 63: 187-201.
- Menzel, R. 1979. Spectral sensitivity and color vision in invertebrates. pp. 503-580. *In*: H. Autrum, (ed.) *Handbook of sensory physiology*. Vol. VII/6A. Berlin, Heidelberg, New York.
- Menzel, R., and U. Greggers. 1985. Natural phototaxis and its relationship to colour vision in honeybees. *J. Comp. Physiol. A* 157: 311-321.
- Menzel, R., and A. W. Snyder. 1974. Polarized light detection in the bee, *Apis mellifera*. *J. Comp. Physiol.* 88: 247-270.
- Mollon, J. D. 1989. "Tho' she kneel'd in that place where they grew..." The uses and origins of primate colour vision. *J. Exp. Biol.* 146: 21-38.
- Muirhead-Thomson, R. C. 1991. *Trap Response of Flying insects: the influence of trap design on capture efficiency*. Academic press, New York. pp. 287
- Murai, T. 2001. The pest and vector from the East: *Thrips palmi*. *Thrips and Tospovirus: Proceedings of the 7th International Symposium on Thysanoptera*. pp. 19-32.
- Murai, T., and A. J. M. Loomans. 2001. Evaluation of an improved method for mass-rearing of thrips and a thrips parasitoid. *Entomol. Exp. Appl.* 101: 281-289.
- Pichaud, F., A. Briscoe, and C. Desplan. 1999. Evolution of color vision. *Curr. Opin.*

- Neurobiol. 9: 622-627.
- Rushton, W. A. 1965. Visual adaptation. Proc. R. Soc. Lond., B, Biol. Sci. 162: 22-46.
- Scherer, C., and G. Kolb. 1987. Behavioral experiments on the visual processing of colour stimuli in *Pieris brassicae* L. (Lepidoptera). J. Comp. Physiol, A 160: 645-656.
- Seki, T., and K. Vogt. 1998. Evolutionary aspects of the diversity of visual pigment chromophores in the class Insecta. Comp. Biochem. Physiol. B 119: 53-64.
- Shichida, Y., and H. Imai. 1998. Visual pigment: G-protein-coupled receptor for light signals. Cell. Mol. Life Sci. 54: 1299-1315.
- Steiner, A., R. Paul, and R. Gemperlein. 1987. Retinal receptor types in *Aglais urticae* and *Pieris brassicae* (Lepidoptera), revealed by analysis of the electroretinogram obtained with Fourier interferometric stimulation (FIS). J. Comp. Physiol. A 160: 247-258.
- 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, W. Y., Y. P. Chen, and E. C. Yang. 2007. Chromatic cues to trap the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*. J. Insect Physiol. 53: 509-516.
- Yaku, A., G. H. Walter, and A. J. Najar-Rodriguez. 2007. Thrips see red – flower colour and the host relationships of a polyphagous anthophilic thrips. Ecol Entomol. 32: 527-535.
- Yang, E. C., D. W. Lee, and W. Y. Wu. 2003. Action spectra of phototactic responses of the flea beetle, *Phyllotreta striolata*. Physiol. Entomol. 28: 362-367.
- Yang, E. C., Y. C. Chuang, Y. L. Chen, and L. H. Chang. 2008. Abnormal foraging behavior induced by sub-lethal dosage of imidacloprid in the honey bee

(Hymenoptera: Apidae). J. Econ. Entomol. 101: 1743-1748.

Yang, M. M., G. S. Tung, J. La Salle, and M. L. Wu. 2004. Outbreak of erythrina gall wasp on *Erythrina* spp. (Fabaceae) in Taiwan. Plant Prot. Bull. 46: 391-396.

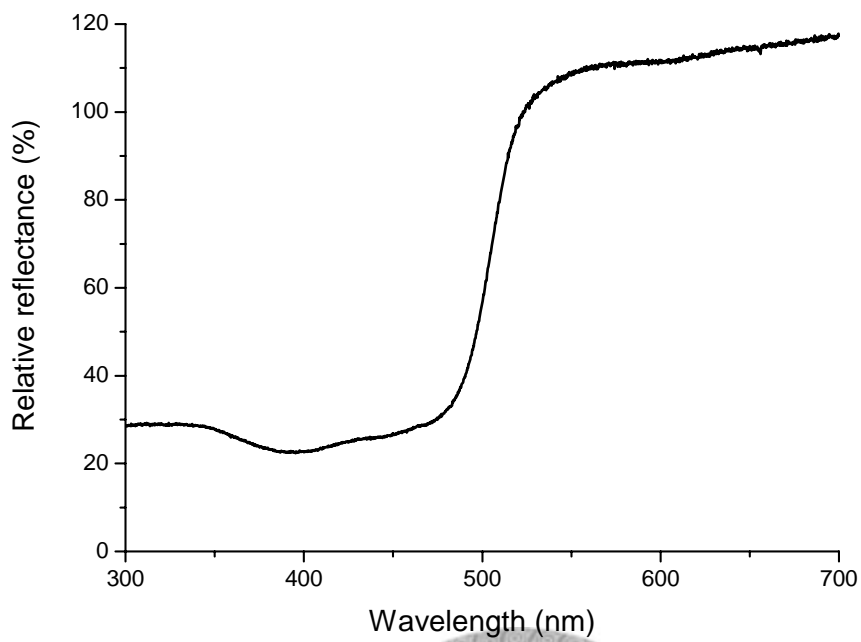




圖一、NBR 反射光譜示意圖。NBR 光譜的特徵為具有一個反射波峰值。

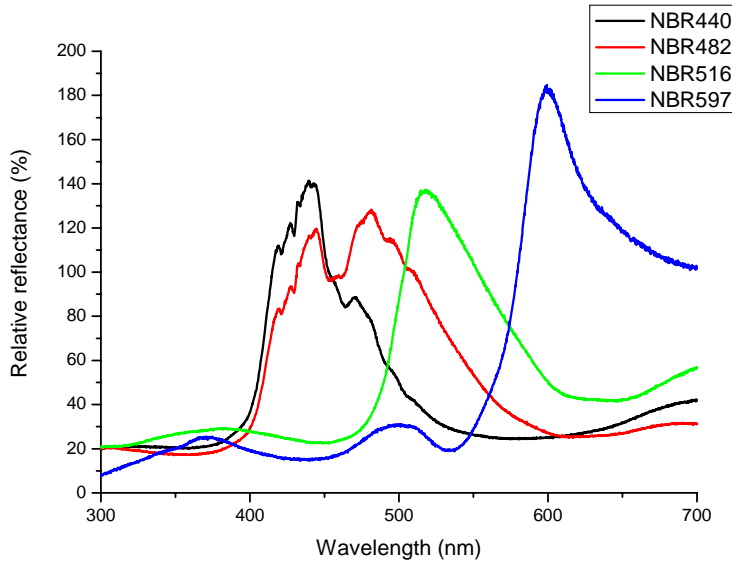
Figure 1. An example of NBR spectrum. A reflective peak wavelength is characteristic of a NBR spectrum.



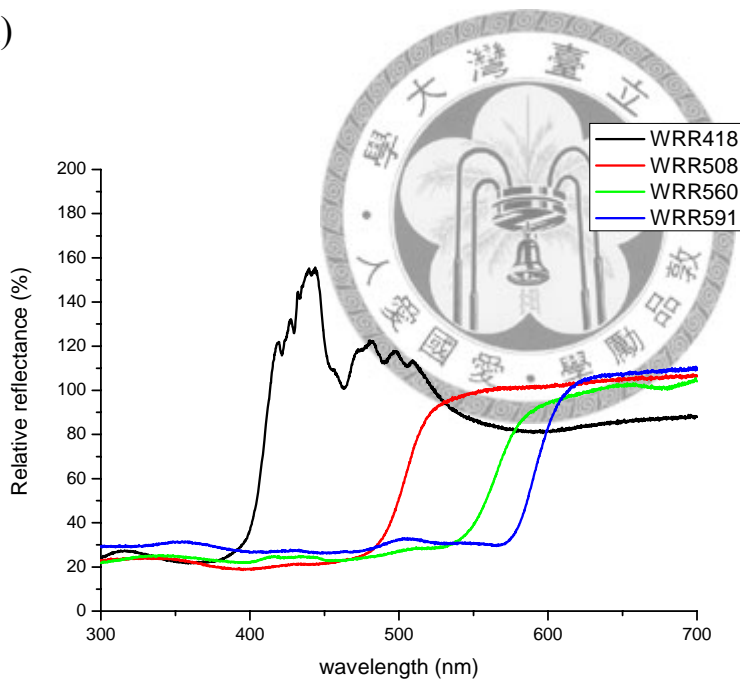


圖二、WRR 反射光譜示意圖。WRR 光譜的特徵是在某一波長值之後都具有相對較高的反射率。

Figure 2. An example of WRR spectrum. There is higher relative reflectance from a specific wavelength in a WRR spectrum.



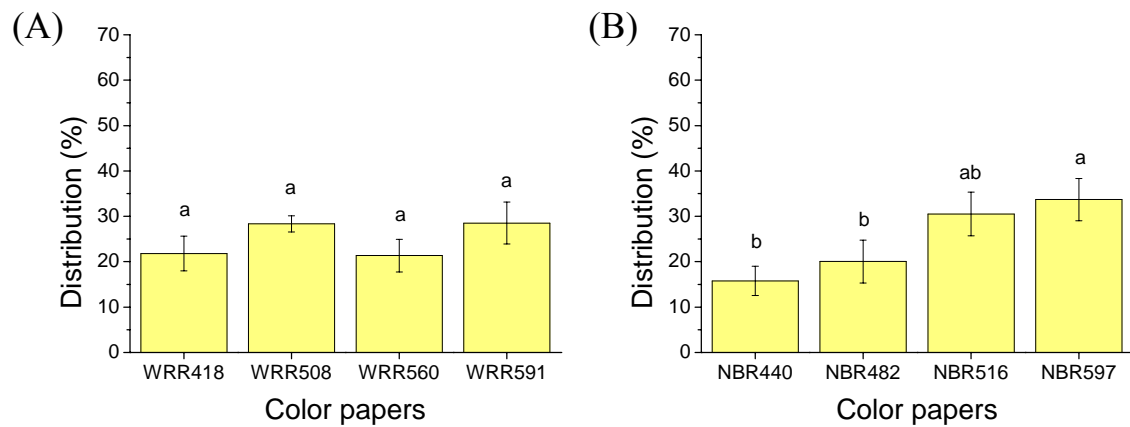
(A)



(B)

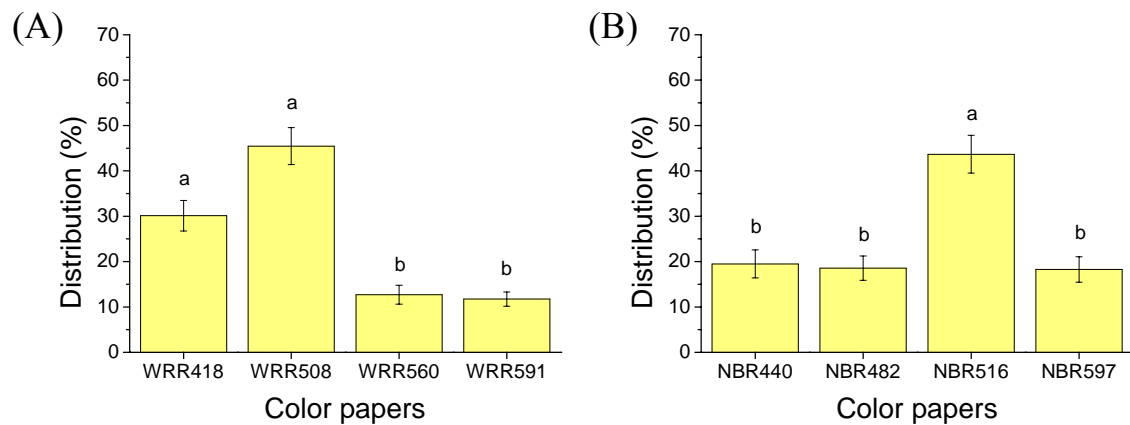
圖三、實驗色紙反射光譜。(A) 4 張 NBR 色紙反射光譜。(B) 4 張 WRR 色紙反射光譜。

Figure 3 Spectral reflectance of the color papers used for color preference behavioural experiments. (A) Spectral reflectance of the four NBR color papers. (B) Spectral reflectance of the four WRR color papers.



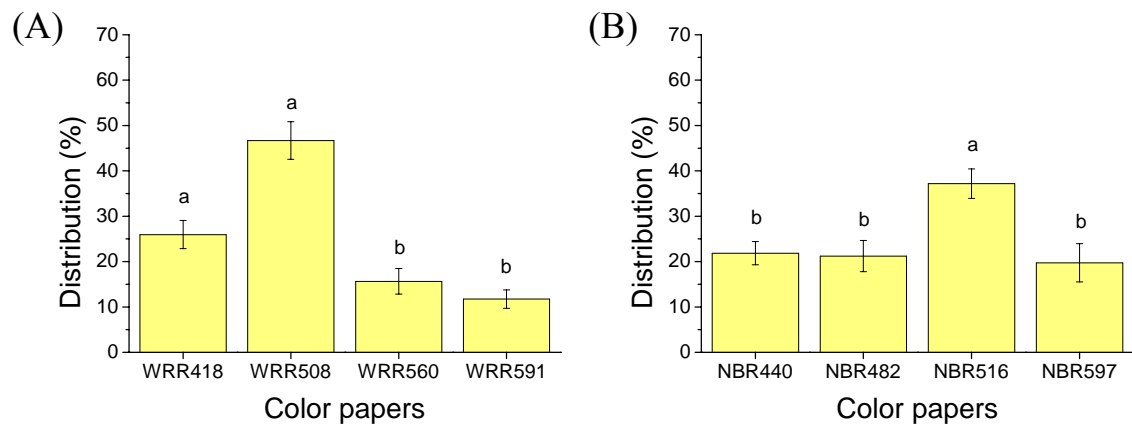
圖四、台灣花薊馬 1~3 日齡雌成蟲對色紙之偏好性。(A) 台灣花薊馬 1~3 日齡雌蟲對 WRR 色紙之偏好性 (Kruskal-Wallis test, $p > 0.05$, $n = 10$)。 (B) 台灣花薊馬 1~3 日齡雌蟲對 NBR 色紙之偏好性 (Kruskal-Wallis test, $p < 0.05$, $n = 10$)。不同英文字母代表兩組之間具有顯著差異 ($p < 0.05$)。

Figure 4. Color preference of 1-3-day-old female *F. intonsa*. (A) Color preference of 1-3-day-old female *F. intonsa* for different WRR color papers (Kruskal-Wallis test, $p > 0.05$, $n = 10$). Color preference of 1-3-day-old female *F. intonsa* for different NBR color papers (Kruskal-Wallis test, $p < 0.05$, $n = 10$). Different letters indicate significantly differences ($p < 0.05$).



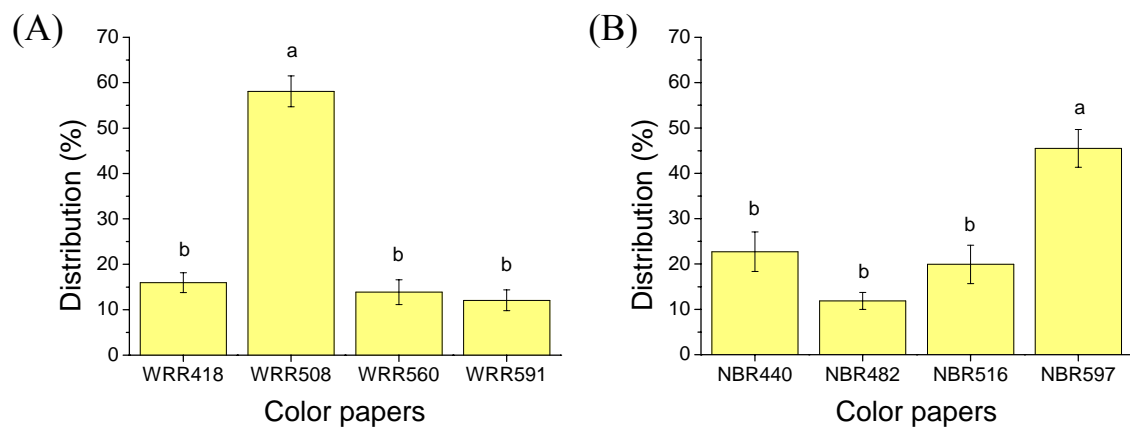
圖五、台灣花薊馬 4~6 日齡雌成蟲對色紙之偏好性。(A) 台灣花薊馬 4~6 日齡雌成蟲對 WRR 色紙之偏好性 (Kruskal-Wallis test, $p < 0.01$, $n = 10$)。 (B) 台灣花薊馬 4~6 日齡雌成蟲對 NBR 色紙之偏好性 (Kruskal-Wallis test, $p < 0.01$, $n = 10$)。不同英文字母代表兩組之間具有顯著差異 ($p < 0.05$)。

Figure 5. Color preference of 4-6-day-old female *F. intonsa*. (A) Color preference of 4-6-day-old female *F. intonsa* for different WRR color papers (Kruskal-Wallis test, $p < 0.01$, $n = 10$). Color preference of 4-6-day-old female *F. intonsa* for different NBR color papers (Kruskal-Wallis test, $p < 0.01$, $n = 10$). Different letters indicate significantly differences ($p < 0.05$).



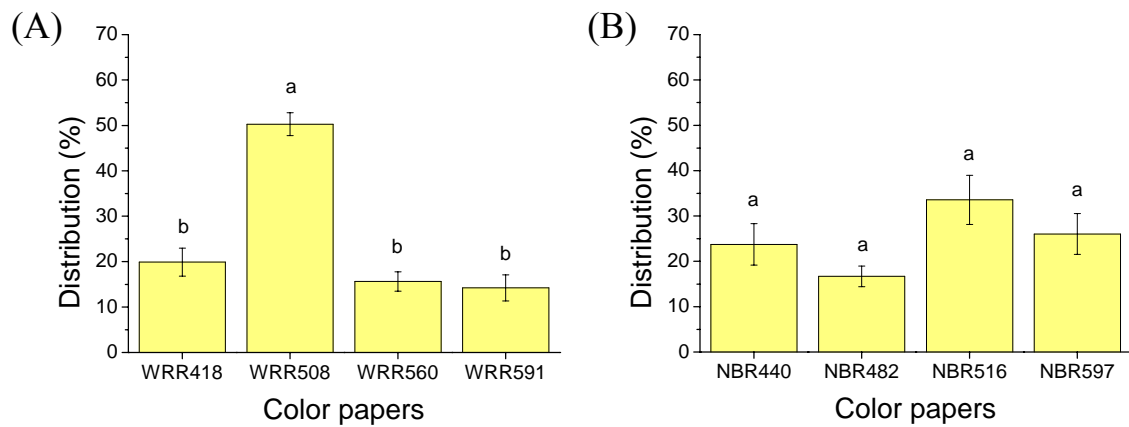
圖六、台灣花薊馬 7~9 日齡雌成蟲對色紙之偏好性。(A) 台灣花薊馬 7~9 日齡雌成蟲對 WRR 色紙之偏好性 (Kruskal-Wallis test, $p < 0.01$, $n = 10$)。 (B) 台灣花薊馬 7~9 日齡雌成蟲對 NBR 色紙之偏好性 (Kruskal-Wallis test, $p < 0.01$, $n = 10$)。不同英文字母代表兩組之間具有顯著差異 ($p < 0.05$)。

Figure 6. Color preference of 7-9-day-old female *F. intonsa*. (A) Color preference of 7-9-day-old female *F. intonsa* for different WRR color papers (Kruskal-Wallis test, $p < 0.01$, $n = 10$). Color preference of 7-9-day-old female *F. intonsa* for different NBR color papers (Kruskal-Wallis test, $p < 0.01$, $n = 10$). Different letters indicate significantly differences ($p < 0.05$).



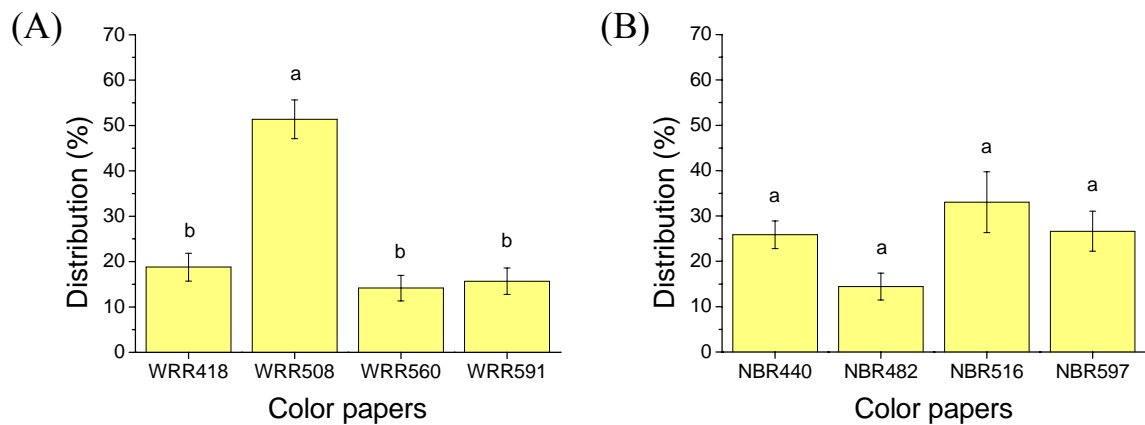
圖七、台灣花薊馬 1~3 日齡雄成蟲對色紙之偏好性。(A) 台灣花薊馬 1~3 日齡雄成蟲對 WRR 色紙之偏好性。(Kruskal-Wallis test, $p < 0.01$, $n = 10$)。 (B) 台灣花薊馬 1~3 日齡雄成蟲對 NBR 色紙之偏好性 (Kruskal-Wallis test, $p < 0.01$, $n = 10$)。不同英文字母代表兩組之間具有顯著差異 ($p < 0.05$)。

Figure 7. Color preference of 1-3-day-old male *F. intonsa*. (A) Color preference of 1-3-day-old male *F. intonsa* for different WRR color papers (Kruskal-Wallis test, $p < 0.01$, $n = 10$). Color preference of 1-3-day-old male *F. intonsa* for different NBR color papers (Kruskal-Wallis test, $p < 0.01$, $n = 10$). Different letters indicate significantly differences ($p < 0.05$).



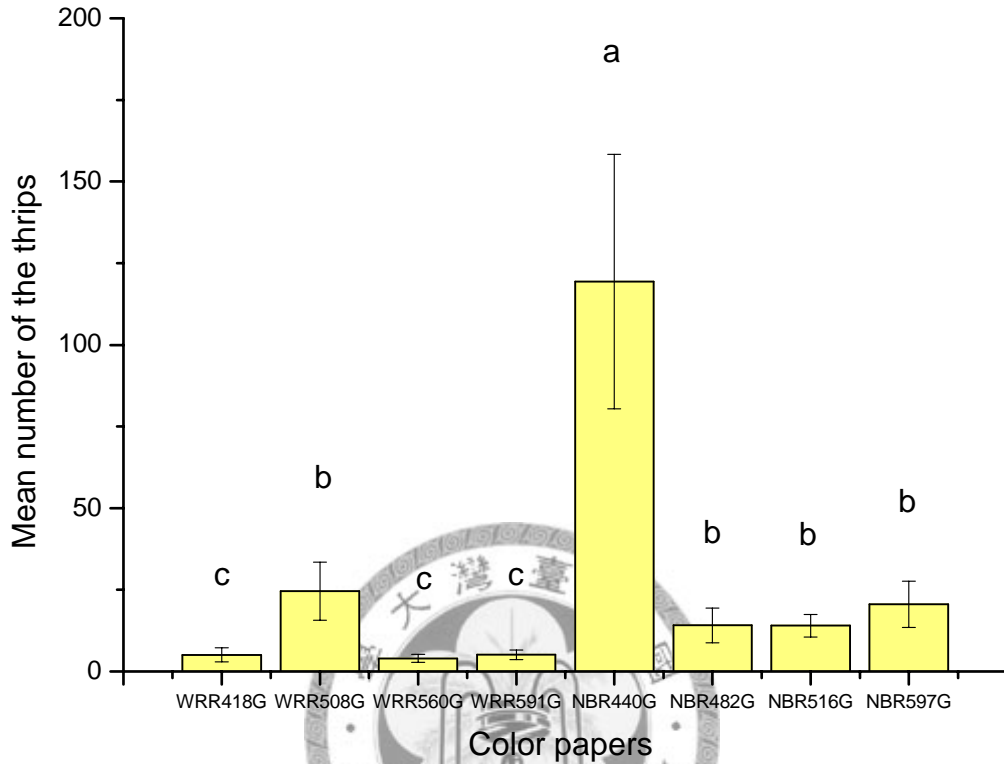
圖八、台灣花薊馬 4~6 日齡雄成蟲對色紙之偏好性。(A) 台灣花薊馬 4~6 日齡雄成蟲對 WRR 色紙之偏好性 (Kruskal-Wallis test, $p < 0.01$, $n = 10$)。 (B) 台灣花薊馬 4~6 日齡雄成蟲對 NBR 色紙之偏好性 (Kruskal-Wallis test, $p > 0.05$, $n = 10$)。不同英文字母代表兩組之間具有顯著差異 ($p < 0.05$)。

Figure 8. Color preference of 4-6-day-old male *F. intonsa*. (A) Color preference of 4-6-day-old male *F. intonsa* for different WRR color papers (Kruskal-Wallis test, $p < 0.01$, $n = 10$). Color preference of 4-6-day-old male *F. intonsa* for different NBR color papers (Kruskal-Wallis test, $p > 0.05$, $n = 10$). Different letters indicate significantly differences ($p < 0.05$).



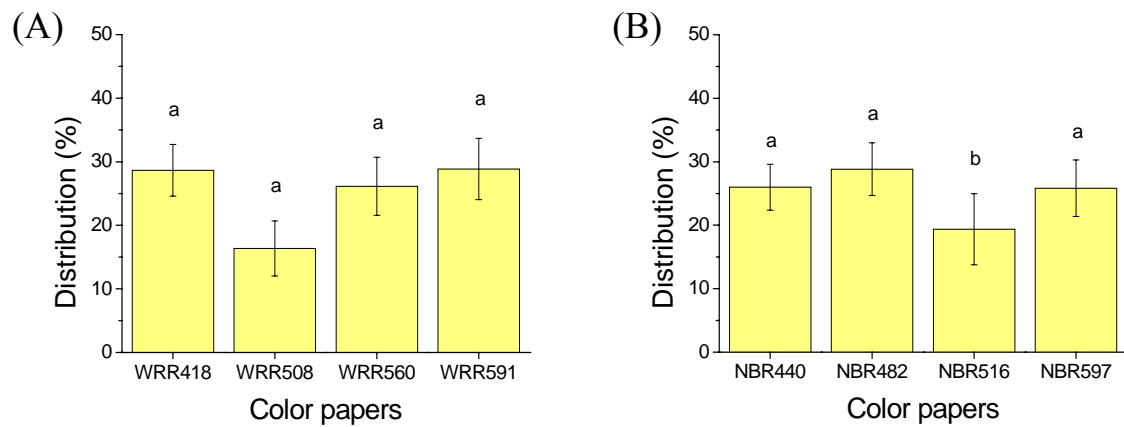
圖九、台灣花薊馬 7~9 日齡雄成蟲對色紙之偏好性。(A) 台灣花薊馬 7~9 日齡雄成蟲對 WRR 色紙之偏好性 (Kruskal-Wallis test, $p < 0.01$, $n = 10$)。 (B) 台灣花薊馬 7~9 日齡雄成蟲對 NBR 色紙之偏好性 (Kruskal-Wallis test, $p > 0.05$, $n = 10$)。不同英文字母代表兩組之間具有顯著差異 ($p < 0.05$)。

Figure 9. Color preference of 7-9-day-old male *F. intonsa*. (A) Color preference of 7-9-day-old male *F. intonsa* for different WRR color papers (Kruskal-Wallis test, $p < 0.01$, $n = 10$). Color preference of 7-9-day-old male *F. intonsa* for different NBR color papers (Kruskal-Wallis test, $p > 0.05$, $n = 10$). Different letters indicate significantly differences ($p < 0.05$).



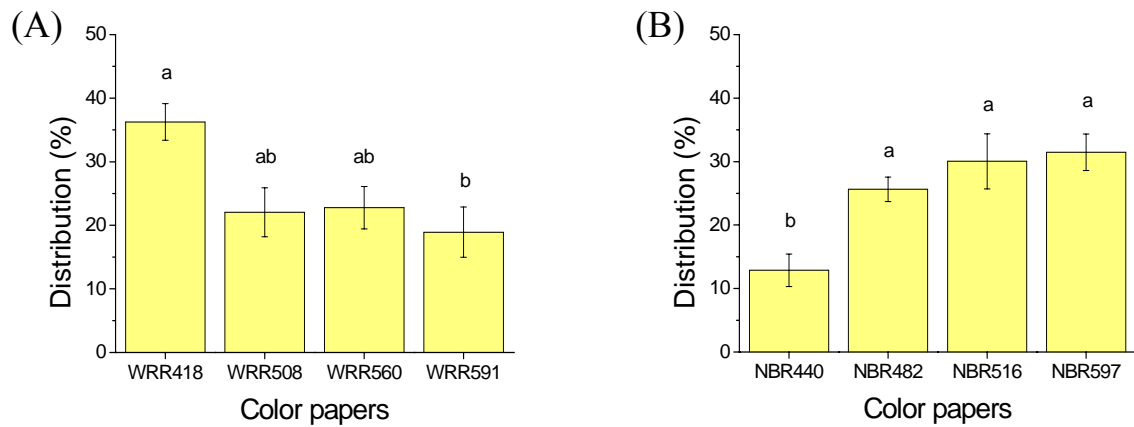
圖十、以不同色紙在洋香瓜田誘集台灣花薊馬之數量。台灣花薊馬黏附在 NBR440 之數量為最多 (Friedman test, $p < 0.01$, $n = 17$)；不同英文字母代表兩組之間具有顯著差異 ($p < 0.05$)。

Figure 10. The result of trapping *F. intonsa* by sticky color papers in field experiment. Color paper NBR440 attracted much more *F. intonsa* than other color papers (Friedman test, $p < 0.01$, $n = 17$); Different letters indicate significantly differences ($p < 0.05$).



圖十一、刺桐紬小蜂雌蟲對不同色紙之偏好性。(A) 刺桐紬小蜂雌蟲對不同 WRR 色紙之偏好性。(Kruskal-Wallis test, $p > 0.05$, $n = 10$)。(B) 刺桐紬小蜂雌蟲對不同 NBR 色紙之偏好性 (Kruskal-Wallis test, $p < 0.05$, $n = 10$)。不同英文字母代表兩組之間具有顯著差異 ($p < 0.05$)。

Figure 11. Color preference of female *Q. erythrinae*. (A) Color preference of female *Q. erythrinae* for different WRR color papers (Kruskal-Wallis test, $p > 0.05$, $n = 10$). Color preference of female *Q. erythrinae* for different NBR color papers (Kruskal-Wallis test, $p < 0.05$, $n = 10$). Different letters indicate significantly differences ($p < 0.05$).



圖十二、刺桐紬小蜂雄蟲對不同色紙之偏好性。(A) 刺桐紬小蜂雄蟲對不同 WRR 色紙之偏好性。(Kruskal-Wallis test, $p < 0.05$, $n = 10$)。(B) 刺桐紬小蜂雄蟲對不同 NBR 色紙之偏好性 (Kruskal-Wallis test, $p < 0.05$, $n = 10$)。不同英文字母代表兩組之間具有顯著差異 ($p < 0.05$)。

Figure 12. Color preference of male *Q. erythrinae*. (A) Color preference of male *Q. erythrinae* for different WRR color papers (Kruskal-Wallis test, $p < 0.05$, $n = 10$). Color preference of male *Q. erythrinae* for different NBR color papers (Kruskal-Wallis test, $p < 0.05$, $n = 10$). Different letters indicate significantly differences ($p < 0.05$).

表一、實驗色紙波峰值及涵蓋波長範圍

Table 1. Peak wavelengths of NBR color papers and spectra with relatively higher reflectance of WRR color papers

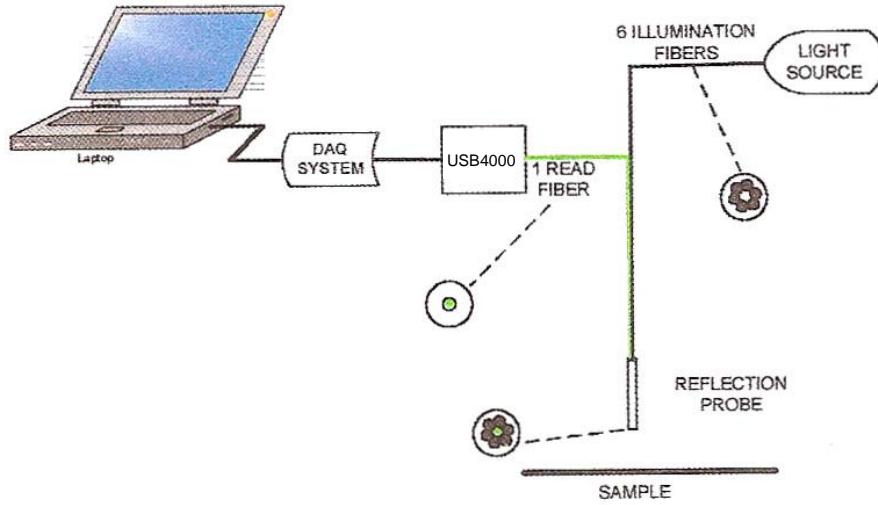
WRR color papers			
色票編碼	涵蓋波長範圍	客製化後色紙名稱	塗膠後色紙名稱 (Glued)
5803 u	$\lambda_{50\%} > 418\text{nm}$	WRR418	WRR418G
Yellow u	$\lambda_{50\%} > 508\text{ nm}$	WRR508	WRR508G
hexachrome orange u	$\lambda_{50\%} > 560\text{nm}$	WRR560	WRR560G
7417u	$\lambda_{50\%} > 591\text{nm}$	WRR591	WRR591G
NBR color papers			
色票編碼	波長峰值	客製化後色紙名稱	塗膠後色紙名稱 (Glued)
2736u	$\lambda_{\text{max}} = 440\text{ nm}$ ($\lambda_{50\%} = 410\text{-}484\text{ nm}$)	NBR440	NBR440G
7466u	$\lambda_{\text{max}} = 482\text{ nm}$ ($\lambda_{50\%} = 414\text{-}534\text{ nm}$)	NBR482	NBR482G
802u	$\lambda_{\text{max}} = 516\text{ nm}$ ($\lambda_{50\%} = 498\text{-}563\text{ nm}$)	NBR516	NBR516G
811u	$\lambda_{\text{max}} = 597\text{ nm}$ ($\lambda_{50\%} = 578\text{-}700\text{ nm}$)	NBR597	NBR597G

附 錄

附表一、以不同顏色誘引裝置誘集南黃薊馬 (*Thrips palmi*) 之結果整理

Appendix table 1. Trapping *Thrips palmi* by different color traps

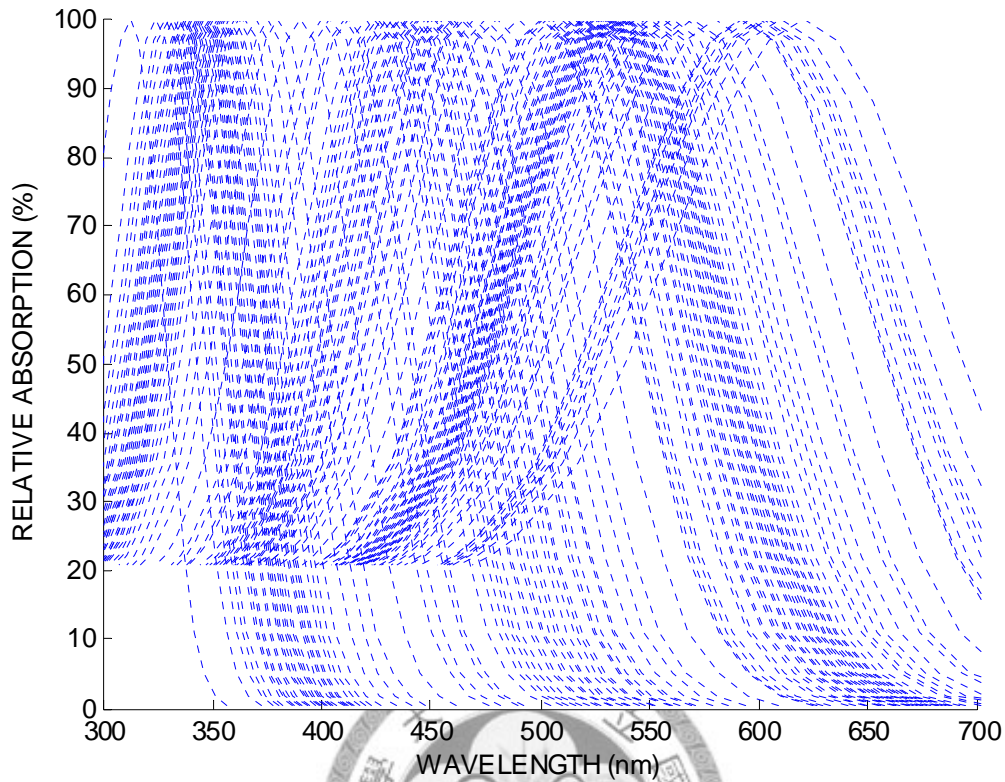
顏色誘引裝置	最具效果顏色	參考文獻
圓筒狀有色黏紙	白色	朱，1987
有色黏紙	白色	黃，1989
有色黏紙	藍色	陳等，1997
有色黏紙	藍色	陳，2000
有色黏紙	藍色及黃色 (背景色 分別為黃色及藍色)	廖及廖，2002
有色黏紙	藍色 (Takitrap®)	Chu <i>et al.</i> , 2006
CC trap (改良式粉蝨誘殺器)	藍色、白色	Chu <i>et al.</i> , 2006



附圖一、反射光譜測量裝置之簡圖 (改編自楊及洪，2001)。

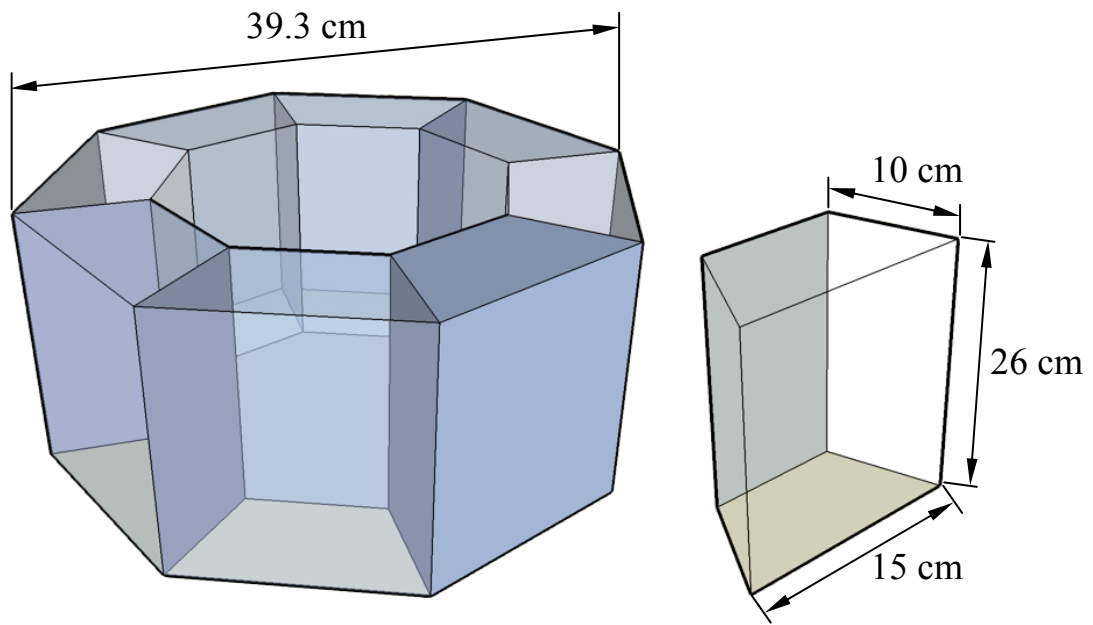
Appendix figure 1. The simplified diagram of device of spectral reflectance measurement (Modify by Yang and Hung, 2001).





附圖二、不同昆蟲複眼內感光細胞之視色素吸收光譜曲線理論值。由圖可見這些曲線可大致分為四組 (資料參考 Briscoe and Chittka, 2001)。

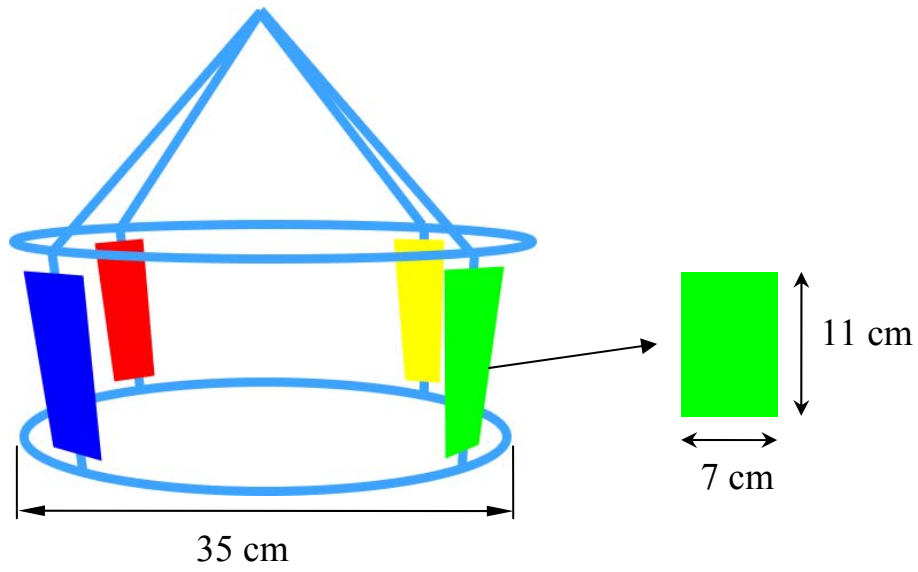
Appendix figure 2. Theoretical absorption of photopigments of insects. These curves could be divided into four groups.



附圖三、顏色偏好行為試驗使用之正八邊形盒子。

Appendix figure 3. Octomaze for color preference behavioural experiments.





附圖四、台灣花薊馬田間測試懸掛黏紙裝置圖。

Appendix figure 4. The sticky color paper hanging device of field trapping experiments of *F. intonsa*.

