



Insecticide Resistance in *Aedes aegypti* (L.) and *Aedes albopictus* (Skuse) Larvae in Southern Taiwan 【Research report】

台灣南部地區埃及斑蚊及白線斑蚊幼蟲對殺蟲劑的抗藥性【研究報告】

Ying-Hsi Lin¹, Huai-Hui Wu², Err-Lieh Hsu³, Niann-Tai Chang⁴, and Yi-Pey Luo^{5*}
林鶯蕙¹、吳懷慧²、徐爾烈³、張念台⁴、羅怡珊^{5*}

*通訊作者E-mail: insecta@mail.chna.edu.tw

Received: 2012/03/28 Accepted: 2012/04/28 Available online: 2012/06/01

Abstract

In 2008, *Aedes* mosquito larvae from the laboratory susceptible strains, the NS and Linkou strains, as well as from ten field populations from both Tainan and Kaohsiung city were collected. They were then studied using the World Health Organization (WHO) bioassay technique. Insecticides evaluated included pyrethroids permethrin, cypermethrin, fenvalerate and pyrethrin, organophosphates temephos, chlorpyrifos, fenitrothion and pirimiphos-methyl. We demonstrated that *Ae. aegypti* were more resistant to pyrethroids than *Ae. albopictus*. Field strains of *Ae. aegypti* larvae, except for the Guanmiao strain, exhibited a high level of resistance to permethrin (RR50, 41.5-90.7). In the same collection areas, *Ae. albopictus* larvae only exhibited a low level of resistance to permethrin (RR50, 1.1-2.0). Evidence is presented that *Ae. albopictus* has a lower susceptibility to organophosphates than *Ae. aegypti*. All *Aedes* mosquito larvae were susceptible to temephos (RR50, 0.9-2.7). Cluster analysis was conducted using the average between-groups linkage for permethrin RR50 of the *Ae. aegypti* larvae to detect natural data grouping, as well as the distance of the field population from the NS susceptible strains in 2010. An extremely high level of resistance was observed for the LYPR(640SF3) strain, which was selected in the laboratory for its high resistance to permethrin. The LYPR(F3) strain consisted of the Lingya and Southern Fengshan strains, which were collected from districts in Kaohsiung city with higher dengue incidence, exhibited a high level of resistance to permethrin. The resistance of *Ae. aegypti* to permethrin is characterized by evolution under continued insecticide selection in the laboratory and through chemical control in the field. All *Ae. aegypti* larvae remained susceptible to temephos in 2010, including the permethrin resistant strains of LYPR(640SF3) and LYPR(F3). Controlling the *Aedes* mosquito larvae using an operational dosage of 1 mg/L temephos has been recommended since 1987, and complete mortality for all strains is achieved after 24 hours.

摘要

本研究於2008年自台南市及高雄市採集埃及斑蚊及白線斑蚊，以埃及斑蚊NS品系及白線斑蚊林口品系做為敏感對照品系，參考WHO蚊幼蟲生物檢定方法，進行斑蚊幼蟲對百滅寧、賽滅寧、芬化利、必列寧、亞培松、陶斯松、撲滅松及亞特松的藥劑感受性生物檢定。結果顯示埃及斑蚊幼蟲對供試除蟲菊劑的抗藥性明顯高於白線斑蚊，埃及斑蚊幼蟲除了台南市關廟區品系外，所有田間品系均對百滅寧具高度抗藥性 (RR50 = 41.5 ~ 90.7)，所有地區的白線斑蚊幼蟲對百滅寧僅具有低度抗藥性 (RR50 = 1.1 ~ 2.0)。而白線斑蚊幼蟲對供試有機磷劑的抗藥性略高於埃及斑蚊幼蟲，各地區斑蚊幼蟲對亞培松均不具抗藥性 (RR50 = 0.9 ~ 2.7)。再於2010年採集南部地區埃及斑蚊，使用群集分析法分別將各品系埃及斑蚊幼蟲對百滅寧的抗性比值進行分群。結果於實驗室以百滅寧持續進行藥劑選汰的抗性對照LYPR(640SF3) 品系對百滅寧呈現極高度抗性，第二群包括抗性對照LYPR(F3) 品系、高雄市苓雅區及鳳山南區品系，均對百滅寧具高度抗性，顯示於實驗室以單一藥劑進行藥劑篩選與田間持續進行登革熱的化學防治，都會使埃及斑蚊對百滅寧產生抗藥性。台南、屏東及其他高雄地區的品系為第三群，對百滅寧呈現低度到中度的抗藥性。而抗性對照品系LYPR(640SF3)、LYPR(F3) 及南部地區埃及斑蚊對亞培松仍具高度敏感性。

Key words: *Aedes* mosquito larvae, permethrin, temephos, insecticide resistance, cluster analysis

關鍵詞: 斑蚊幼蟲、百滅寧、亞培松、抗藥性、群集分析。

Full Text: [PDF \(2.04 MB\)](#)

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

台灣南部地區埃及斑蚊及白線斑蚊幼蟲對殺蟲劑的抗藥性

林鶯熹¹、吳懷慧²、徐爾烈³、張念台⁴、羅怡珮^{5*}

¹ 元培科技大學醫學檢驗生物技術系 30015 新竹市元培街 306 號

² 大仁科技大學生物科技系 90741 屏東縣鹽埔鄉新二村維新路 20 號

³ 國立台灣大學昆蟲系 10617 臺北市羅斯福路四段 1 號

⁴ 國立屏東科技大學植物醫學系 91201 屏東縣內埔鄉老埤村學府路 1 號

⁵ 嘉南藥理科技大學生物科技系 71710 台南市仁德區二仁路一段 60 號

摘 要

本研究於 2008 年自台南市及高雄市採集埃及斑蚊及白線斑蚊，以埃及斑蚊 NS 品系及白線斑蚊林口品系做為敏感對照品系，參考 WHO 蚊幼蟲生物檢定方法，進行斑蚊幼蟲對百滅寧、賽滅寧、芬化利、必列寧、亞培松、陶斯松、撲滅松及亞特松的藥劑感受性生物檢定。結果顯示埃及斑蚊幼蟲對供試除蟲菊劑的抗藥性明顯高於白線斑蚊，埃及斑蚊幼蟲除了台南市關廟區品系外，所有田間品系均對百滅寧具高度抗藥性 ($RR_{50} = 41.5 \sim 90.7$)，所有地區的白線斑蚊幼蟲對百滅寧僅具有低度抗藥性 ($RR_{50} = 1.1 \sim 2.0$)。而白線斑蚊幼蟲對供試有機磷劑的抗藥性略高於埃及斑蚊幼蟲，各地區斑蚊幼蟲對亞培松均不具抗藥性 ($RR_{50} = 0.9 \sim 2.7$)。再於 2010 年採集南部地區埃及斑蚊，使用群集分析法分別將各品系埃及斑蚊幼蟲對百滅寧的抗性比值進行分群。結果於實驗室以百滅寧持續進行藥劑選汰的抗性對照 LYPR(640SF3) 品系對百滅寧呈現極高度抗性，第二群包括抗性對照 LYPR(F3) 品系、高雄市苓雅區及鳳山南區品系，均對百滅寧具高度抗性，顯示於實驗室以單一種藥劑進行藥劑篩選與田間持續進行登革熱的化學防治，都會使埃及斑蚊對百滅寧產生抗藥性。台南、屏東及其他高雄地區的品系為第三群，對百滅寧呈現低度到中度的抗藥性。而抗性對照品系 LYPR(640SF3)、LYPR(F3) 及南部地區埃及斑蚊對亞培松仍具高度敏感性。

關鍵詞：斑蚊幼蟲、百滅寧、亞培松、抗藥性、群集分析。

*論文聯繫人

Corresponding emails: insecta@mail.chna.edu.tw

前 言

埃及斑蚊 (*Aedes aegypti*) 是台灣地區傳播登革熱的主要病媒蚊，白線斑蚊 (*Ae. albopictus*) 則為次要的病媒蚊 (Hwang, 1991)。在 1988 年起連續三年調查 220 個鄉鎮市區，白線斑蚊分佈的普及率達 100%，埃及斑蚊則為 30%。埃及斑蚊在高雄市、台南市及高雄縣 (2011 年合併為高雄市) 分佈的比例分別為 100、85.7 及 81.4% (Hwang, 1991)。雖然這兩種斑蚊族群會在不同區域發生 (allopatric)，具地理分佈區隔及互相排斥的特徵，但是在都市及鄉村地區卻有部份重疊分佈的區域 (Chan *et al.*, 1971)，兩種斑蚊的生物學也有諸多相似處 (Hawley, 1988)。因為白線斑蚊的棲所範圍較大，在城市近郊、鄉村的開放空間及植被覆蓋的區域都有白線斑蚊分佈 (Estrada-Franco and Craig, 1995)，因此白線斑蚊較埃及斑蚊不易防治。

有效徹底清除斑蚊幼蟲的孳生源，可使登革熱的防治工作達事半功倍之效。但是在登革熱流行期，仍需進行緊急化學防治以殺滅帶病毒的病媒蚊。自從 1987 年台灣地區爆發登革熱，廣泛使用除蟲菊劑防治斑蚊成蟲 (Lin *et al.*, 2003)，並使用有機磷劑的亞培松 (temephos) 防治積水容器內的斑蚊幼蟲。於 2002 年進行台南及高雄品系埃及斑蚊成蟲的藥效檢定，發現對第滅寧 (deltamethrin)、依芬寧 (etofenprox)、賽洛寧 (lambda-cyhalothrin) 和百滅寧 (permethrin) 產生抗藥性 (Lin *et al.*, 2003)。2006~2007 年高雄及台南地區的埃及斑蚊，對除蟲菊劑的抗性是感性品系 (NS 品系) 的 10 倍，但是對安丹 (propoxur)、亞特松 (pirimiphos-methyl) 及亞培松則不具抗藥性 (Chang *et al.*, 2009)。一般認為昆蟲會對殺蟲劑產生抗藥性與藥劑

的選汰壓力有關 (Devonshire and Field, 1991)，台灣南部地區埃及斑蚊對除蟲菊劑的選汰產生抗藥性，但是對有機磷劑的選汰卻沒有產生抗藥性 (Chang *et al.*, 2009)。泰國的埃及斑蚊對百滅寧及亞培松具有抗藥性，但是對馬拉松仍相當敏感，而白線斑蚊對上述三種藥劑僅具低度抗藥性，顯示不同地區的斑蚊對藥劑的感受性具差異性 (Ponlawat *et al.*, 2005)。

監測並瞭解台灣地區埃及斑蚊及白線斑蚊對殺蟲藥劑感受性是一件重要的事，能清楚防治對象，才能慎選藥劑，使化學防治策略奏效。然而這兩種斑蚊族群在南部都會地區呈現重疊分佈，化學防治的選汰壓力，是否會造成兩種斑蚊對藥劑產生不同的抗藥性現象？本研究於 2008 與 2010 年，以誘蚊產卵筒誘集南部地區埃及斑蚊及白線斑蚊成蟲所產的卵，攜回實驗室飼養繁殖，以浸浴法測定埃及斑蚊及白線斑幼蟲對殺蟲劑的感受性，瞭解南部地區登革熱病媒蚊的抗藥性現況。

材料與方法

一、供試斑蚊品系建立

本研究使用埃及斑蚊 NS 品系及白線斑蚊林口品系做為敏感對照品系，埃及斑蚊 NS 品系是國立陽明大學寄生蟲所自 1987 年建立的實驗室品系，白線斑蚊林口品系是長庚大學自 2002 年建立的實驗室品系，敏感品系於實驗室繼代繁殖，迄今未再暴露任何殺蟲劑。Lin *et al.* (2003) 於 1990 年自高雄市苓雅區採集埃及斑蚊，在實驗室以百滅寧進行 35 次的藥劑篩選，建立並維持對百滅寧具抗藥性的 Lingya(1990R) 品系。本研究於 2009 年取得該品系後重新命名為 LYPR 品系，LYPR 的第一子代 (F1) 以濃度 400 µg/L 的百滅寧進行

藥劑篩選得到 LYPR(400SF2) 第二子代，再繼續以濃度 640 µg/L 的百滅寧進行藥劑篩選得到 LYPR(640SF3) 第三子代，二次藥劑篩選分別保留 28.1 及 18.7% 存活子代建立繼代的埃及斑蚊抗性品系。本研究同時進行 LYPR 品系未進行藥劑篩選第三子代 LYPR(F3) 的藥劑感受性生物檢定。

2008 年由台南市各行政區域包括東區、中西區、南區、北區、安平區、安南區、仁德區、永康區、關廟區及高雄市左營區放置誘卵筒，分別建立各區埃及斑蚊及白線斑蚊供試田間品系。2010 年再由台南市東區、中西區、北區、關廟區，高雄市苓雅區、前鎮區、鳳山南區、鳳山北區、鳳山中區，屏東市北區、中區放置誘卵筒，分別建立各區埃及斑蚊供試田間品系。本研究的田間品系是收集放置於各行政區內 4~5 個里的誘卵筒所誘集的卵，經孵化、分類後分別建立。

二、斑蚊飼養

斑蚊幼蟲飼養於長 23.5 cm、寬 17 cm、高 7.5 cm 的塑膠盆，混合台糖酵母粉與豬肝粉 (1:1) 餵飼，每盆約飼養 300~400 隻幼蟲，逐日刮去水膜並添加飼料。待斑蚊化蛹後，將蛹挑出放於水杯，再放入壓克力養蟲籠中 (20 × 20 × 30 cm)，供給 5% 糖水。以小白鼠供雌成蚊吸血，以水杯浸漬紙片供成蚊產卵，待卵片乾燥後再放入水中，即可得到一齡幼蟲，卵片保留期不超過一個月。養蟲室溫度維持於 25~28°C，相對濕度約 70%，光照 12 小時、黑暗 12 小時。

三、斑蚊幼蟲對殺蟲藥劑感受性之生物檢定

參考世界衛生組織進行蚊幼蟲生物檢定的標準方法 (Anonymous, 1981)，以幼蟲浸浴法測定斑蚊幼蟲對殺蟲劑的感受性。供試藥

劑由昆言企業公司提供亞培松 (temephos 90%)、陶斯松 (chlorpyrifos 98%)、賽滅寧 (cypermethrin 92%)、百滅寧 (permethrin 92%) 及必列寧 (pyrethrin 25%) 原體，萬全國際事業有限公司提供撲滅松 (fenitrothion 93%) 及芬化利 (fenvalerate 92%) 原體，宇慶化工股份有限公司提供亞特松 (pirimiphos-methyl 87%) 原體。以丙酮稀釋配製供試藥液，每一供試藥劑進行 4~5 個系列濃度，每一供試濃度進行 3 次重複。將約 25 隻供試四齡幼蟲置於 250 mL 內含 1 mL 供試稀釋藥液的蒸餾水中，觀察斑蚊幼蟲接觸藥液 24 小時的死亡率，於對照組加入 1 mL 丙酮進行試驗。選用於實驗室建立並飼養五代內的田間品系四齡幼蟲進行斑蚊幼蟲生物檢定。

四、統計分析

以 SPSS 統計軟體 (SPSS® for Windows version 12.0) 進行機值分析，計算各供試殺蟲藥劑對供試斑蚊幼蟲的 LC₅₀ 值。抗性比值 (RR₅₀) 的計算方法是將殺蟲劑對田間品系的 LC₅₀ 值除以殺蟲劑對敏感品系的 LC₅₀ 值。當抗性比值為 <10、10~40、40~160 和 >160，則分別表示具有低度、中度、高度及極高度的抗藥性 (Kim *et al.*, 1999)。

將埃及斑蚊對百滅寧的抗性比值以 SPSS 統計軟體進行群集分析 (cluster analysis)，藉由階層式分群法的原則，每個群集資料點的相似程度高於其它群集資料點的相似程度，分在同一群集的品系對藥劑的感受性較一致，不同群集間對藥劑感受性的差異較大，依此判斷各品系埃及斑蚊對百滅寧產生抗藥性的情形 (Macoris *et al.*, 2007)。

表一 2008 年南部地區埃及斑蚊與白線斑蚊幼蟲對百滅寧的藥劑感受性生物檢定
Table 1. Susceptibility of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* larvae to permethrin, 2008.

Strains	<i>Aedes aegypti</i>			<i>Aedes albopictus</i>		
	N	LC ₅₀ ^a (95% CI)	RR ₅₀ ^b	N	LC ₅₀ ^a (95% CI)	RR ₅₀ ^b
Susceptible strain ●	539	3.0 (2.8-3.3)	1.0	584	17.3 (13.7-22.7)	1.0
East Dist. ■	311	125.7 (116.7-136.6)	41.5	414	28.9 (26.1-32.4)	1.7
West Central Dist. ■	366	137.2 (127.3-147.2)	45.3	347	19.6 (17.8-21.3)	1.1
South Dist. ■	351	215.5 (194.5-250.3)	71.1	374	19.1 (15.9-21.7)	1.1
North Dist. ■	372	188.9 (165.5-231.9)	62.3	323	34.6 (30.7-40.0)	2.0
Anping Dist. ■	366	164.7 (148.6-184.3)	54.3	372	20.8 (19.1-22.5)	1.2
Annan Dist. ■	368	127.4 (95.5-158.8)	42.0	337	22.9 (20.8-25.6)	1.3
Yongkang Dist. ■	366	274.8 (238.2-351.3)	90.7	321	29.8 (26.4-33.4)	1.7
Rende Dist. ■	368	137.3 (124.8-152.4)	45.3	319	19.7 (17.8-21.6)	1.1
Guanmiao Dist. ■	597	18.2 (10.5-24.8)	6.0	312	24.8 (22.6-27.5)	1.4
Zuoying Dist. ▲	427	140.3 (130.8-151.5)	46.3	341	31.6 (28.5-34.8)	1.8

●: The NS and Linkou strains were the susceptible strains of *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus* respectively.

■: Tainan City

▲: Kaohsiung City

N: Total number of mosquitoes tested

^a: Values are in µg/L

^b: RR₅₀ were calculated as the ratio of LC₅₀ for field strains divided by the LC₅₀ of the susceptible laboratory strains.

結 果

一、2008 年埃及斑蚊與白線斑蚊幼蟲對百滅寧之感受性生物檢定

本研究於 2008 年自台南市東區、中西區、南區、北區、安平區、安南區、永康區、仁德區、關廟區及高雄市左營區採集埃及斑蚊及白線斑蚊進行生物檢定。因為供試昆蟲採集自同一區域誘卵筒，同一區域進行登革熱病媒蚊的化學防治措施是一致的，因此可以比較藥劑對兩種斑蚊造成選汰壓力的差異。

測定百滅寧對各地區斑蚊幼蟲的 LC₅₀ 值及抗性比值，台南市永康區及南區埃及斑蚊對百滅寧的抗藥性明顯高於其他區域，其次包括台南市北區及安平區，台南市東區、中西區、安南區、仁德區與高雄市左營區的埃及斑蚊對百滅寧藥劑的感受性不具明顯差異性，台南市

關廟區埃及斑蚊對百滅寧的抗性比值最低。除台南市關廟區品系外，各品系埃及斑蚊幼蟲均對百滅寧表現高度抗藥性，抗性比值介於 41.5 ~ 90.7 之間 (表一)。各品系白線斑蚊幼蟲對百滅寧的抗性比值均低於 2，屬於低度抗藥性 (表一)。自 2002 年提出登革熱疫情難以控制與埃及斑蚊對百滅寧產生抗藥性的推論後 (Lin *et al.*, 2003)，各地環保衛生單位即不再將百滅寧列為防治登革熱的推薦藥劑。但是由 2008 年進行斑蚊幼蟲對百滅寧感受性生物檢定結果，仍發現埃及斑蚊幼蟲對百滅寧具顯著抗藥性，白線斑蚊幼蟲對百滅寧則僅具低度抗藥性。

二、2008 年埃及斑蚊與白線斑蚊幼蟲對亞培松之感受性生物檢定

測定亞培松對各地區斑蚊幼蟲的 LC₅₀ 值

表二 2008 年南部地區埃及斑蚊與白線斑蚊幼蟲對亞培松的藥劑感受性生物檢定
Table 2. Susceptibility of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* larvae to temephos, 2008.

Strains	<i>Aedes aegypti</i>			<i>Aedes albopictus</i>		
	N	LC ₅₀ ^a (95% CI)	RR ₅₀ ^b	N	LC ₅₀ ^a (95% CI)	RR ₅₀ ^b
Susceptible strain ●	492	4.4 (4.0-4.6)	1.0	568	4.9 (3.6-6.6)	1.0
East Dist. ■	348	4.5 (4.3-4.7)	1.0	367	13.0 (11.4-15.3)	2.7
West Central Dist. ■	356	4.9 (3.9-6.2)	1.1	598	8.6 (7.1-11.2)	1.8
South Dist. ■	365	5.0 (4.8-5.3)	1.2	334	7.5 (6.8-8.4)	1.5
North Dist. ■	427	4.1 (2.9-5.4)	0.9	345	6.8 (6.4-7.4)	1.4
Anping Dist. ■	372	4.1 (3.9-4.4)	0.9	448	10.2 (9.7-10.9)	2.1
Annan Dist. ■	334	3.7 (3.6-3.9)	0.9	352	11.7 (10.6-13.5)	2.4
Yongkang Dist. ■	363	4.3 (4.1-4.5)	1.0	345	6.8 (5.8-7.5)	1.4
Rende Dist. ■	574	6.2 (5.5-7.1)	1.4	303	7.7 (6.2-8.8)	1.6
Guanmiao Dist. ■	609	7.2 (6.8-7.8)	1.6	361	8.1 (7.5-8.8)	1.7
Zuoying Dist. ▲	491	7.1 (6.7-7.5)	1.6	475	6.4 (5.1-9.0)	1.3

●: The NS and Linkou strains were the susceptible strains of *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus* respectively.

■: Tainan City

▲: Kaohsiung City

N: Total number of mosquitoes tested

^a: Values are in µg/L

^b: RR₅₀ were calculated as the ratio of LC₅₀ for field strains divided by the LC₅₀ of the susceptible laboratory strains.

及抗性比值，埃及斑蚊對亞培松的感受性較白線斑蚊高，各品系埃及斑蚊的抗性比值介於 0.9~1.6 之間，各品系白線斑蚊的抗性比值介於 1.3~2.7 之間 (表二)，其中台南市東區、安南區及安平區白線斑蚊的抗性比值分別為 2.7、2.4 及 2.1，對亞培松表現略具抗藥性的情形。各供試品系斑蚊幼蟲對亞培松的抗性比值皆低於 10，均顯示僅具低度的抗藥性。

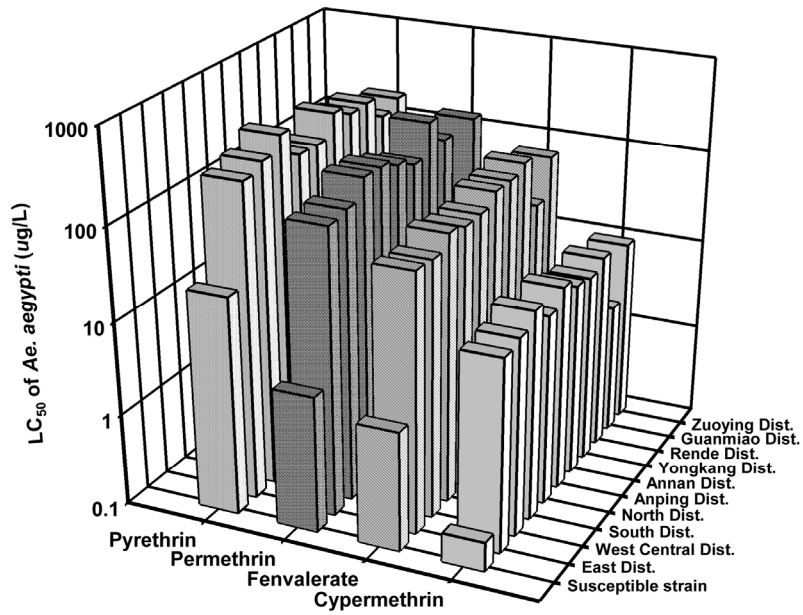
三、2008 年埃及斑蚊與白線斑蚊幼蟲對合成除蟲菊劑與有機磷劑之感受性生物檢定

進行斑蚊幼蟲對殺蟲劑感受性生物檢定所採用的供試藥劑，均為環保署登記的環境衛生用藥，並登記用於防治蚊子幼蟲。比較合成除蟲菊劑的賽滅寧、芬化利、百滅寧及必列寧與有機磷劑的亞培松、陶斯松、撲滅松及亞特松對各地區斑蚊幼蟲的 LC₅₀ 值，可以發現

各除蟲菊劑對埃及斑蚊幼蟲的 LC₅₀ 值，均明顯高於白線斑蚊幼蟲，供試合除蟲菊劑的賽滅寧對斑蚊幼蟲的藥效較百滅寧及芬化利佳，必列寧對斑蚊幼蟲的藥效較差 (圖一、二)。各有機磷劑對白線斑蚊幼蟲的 LC₅₀ 值均高於埃及斑蚊幼蟲，但是差異較不顯著。供試有機磷劑的亞培松、陶斯松及撲滅松對斑蚊的藥效略優於亞特松 (圖三、四)。

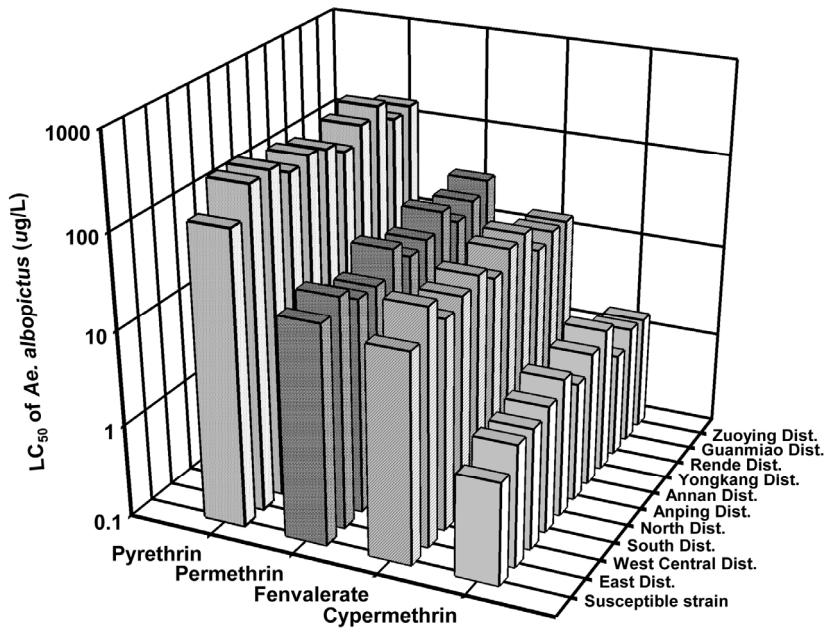
四、2010 年南部地區埃及斑蚊幼蟲對亞培松與百滅寧之感受性生物檢定

於 2010 年採集南部地區埃及斑蚊，持續監測埃及斑蚊對亞培松與百滅寧的抗藥性 (表三)。由各品系埃及斑蚊對亞培松的抗性比值判斷，仍屬於低度抗藥性。以百滅寧進行藥劑篩選的 LYPR(640SF3) 及 LYPR(F3) 抗性品系，雖然此抗性品系對百滅寧具極高度抗藥性



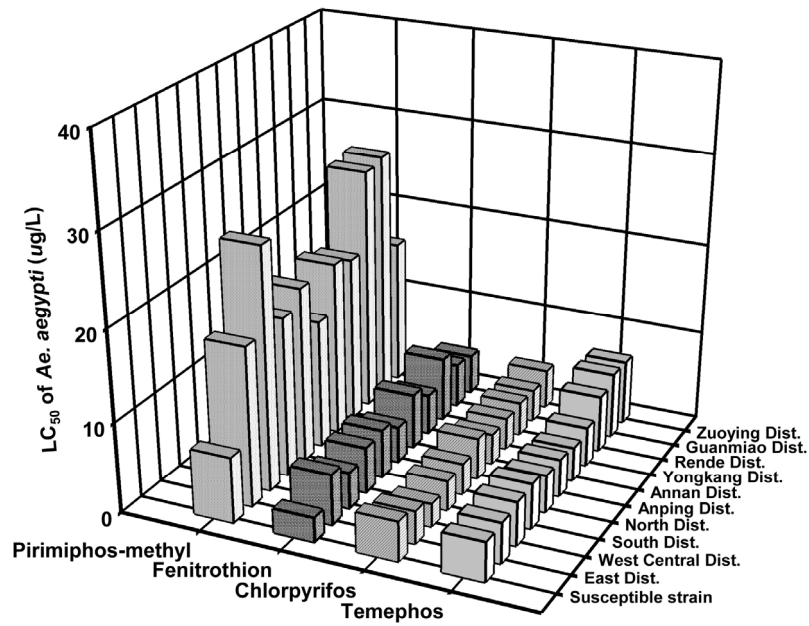
圖一 比較賽滅寧、芬化利、百滅寧及必列寧對埃及斑蚊幼蟲的半數致死濃度。

Fig. 1. Comparative LC₅₀ values of cypermethrin, fenvalerate, permethrin and pyrethrin to *Ae. aegypti* larvae using WHO bioassay technique in 2008.



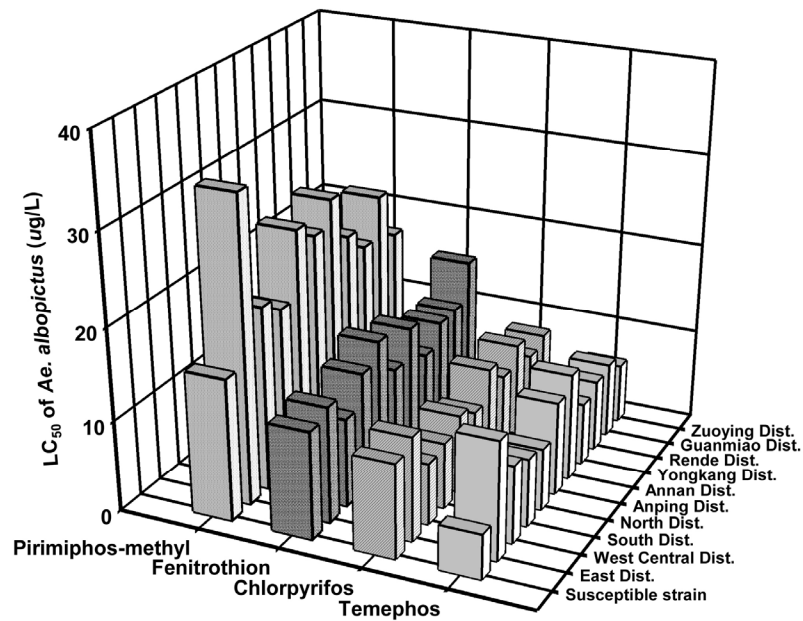
圖二 比較賽滅寧、芬化利、百滅寧及必列寧對白線斑蚊幼蟲的半數致死濃度。

Fig. 2. Comparative LC₅₀ values of cypermethrin, fenvalerate, permethrin and pyrethrin to *Ae. albopictus* larvae using WHO bioassay technique in 2008.



圖三 比較亞培松、陶斯松、撲滅松及亞特松對埃及斑蚊幼蟲的半數致死濃度。

Fig. 3. Comparative LC₅₀ values of temephos, chlorpyrifos, fenitrothion and pirimiphos-methyl to *Ae. aegypti* larvae using WHO bioassay technique in 2008.



圖四 比較亞培松、陶斯松、撲滅松及亞特松對白線斑蚊幼蟲的半數致死濃度。

Fig. 4. Comparative LC₅₀ values of temephos, chlorpyrifos, fenitrothion and pirimiphos-methyl to *Ae. albopictus* larvae using WHO bioassay technique in 2008.

表三 2010 年南部地區埃及斑蚊幼蟲對亞培松與百滅寧的藥劑感受性生物檢定
Table 3. Susceptibility of *Aedes aegypti* larvae to temephos and permethrin, 2010.

Strains	Temephos			Permethrin		
	N	LC ₅₀ ^a (95% CI)	RR ₅₀ ^b	N	LC ₅₀ ^a (95% CI)	RR ₅₀ ^b
NSAE ●	493	3.88 (3.65-4.13)	1.00	396	3.81 (3.40-4.31)	1.00
East Dist. ■	354	8.11 (7.75-8.48)	2.09	365	144.51 (132.06-160.00)	37.93
West Central Dist. ■	362	8.78 (8.31-9.24)	2.26	372	136.39 (126.17-147.97)	35.80
North Dist. ■	367	8.30 (7.87-8.89)	2.14	367	103.24 (92.57-115.37)	27.10
Guanmiao Dist. ■	355	8.01 (7.33-8.63)	2.07	366	19.19 (17.29-21.36)	5.04
Lingya Dist. ▲	362	8.93 (8.29-9.55)	2.30	294	198.69 (179.36-224.39)	52.15
Qianzhen Dist. ▲	362	9.45 (8.98-10.03)	2.44	355	96.31 (89.99-103.27)	25.28
Southern Fengshan Dist. ▲	359	10.58 (9.96-11.30)	2.73	329	224.74 (208.53-245.10)	58.99
Northern Fengshan Dist. ▲	301	10.50 (10.06-10.96)	2.71	363	64.19 (55.32-71.82)	16.85
Middle Fengshan Dist. ▲	369	6.00 (5.25-6.54)	1.55	361	25.95 (23.77-28.30)	6.81
North Dist. ☐	321	13.85 (12.70-15.53)	3.57	350	119.15 (107.54-135.57)	31.27
Central Dist. ☐	344	7.11 (6.37-7.68)	1.83	266	28.61 (13.49-39.36)	7.51
LYPR (F3) ■	360	6.53 (5.76-7.14)	1.68	489	239.60 (212.09-272.45)	62.89
LYPR (640SF3) ■	369	7.51 (6.54-8.30)	1.94	345	845.76 (776.22-911.24)	221.98

●: The NS strain was the susceptible strain of *Ae. aegypti*.

■: Tainan City

▲: Kaohsiung City

☐: Pingtung City

■: Permethrin resistant strain

N: Total number of mosquitoes tested

^a: Values are in µg/L

^b: RR₅₀ were calculated as the ratio of LC₅₀ for field strains divided by the LC₅₀ of the susceptible laboratory strain.

(抗性比值分別為 221.98 及 62.89)，但是對亞培松仍具高度感受性，對亞培松的抗性比值分別為 1.94 及 1.68。

使用群集分析法分別將各品系埃及斑蚊幼蟲對百滅寧的抗性比值進行同質性的歸群(圖五)，由各地區埃及斑蚊對百滅寧抗性比值的群集分析，在同一群集內的品系對百滅寧有相似的抗藥性。樹狀圖的分佈可以分成三群，第一群為對百滅寧呈現極高度抗性的 LYPR(640SF3) 抗性品系，抗性比值為 221.98。第二群為對百滅寧呈現高度抗性的品系，苓雅區的採樣點靠近鳳山南區，鳳山南區與苓雅區對百滅寧的抗性程度是一致的。高雄市苓雅區、鳳山南區及 LYPR(F3) 抗性品系的

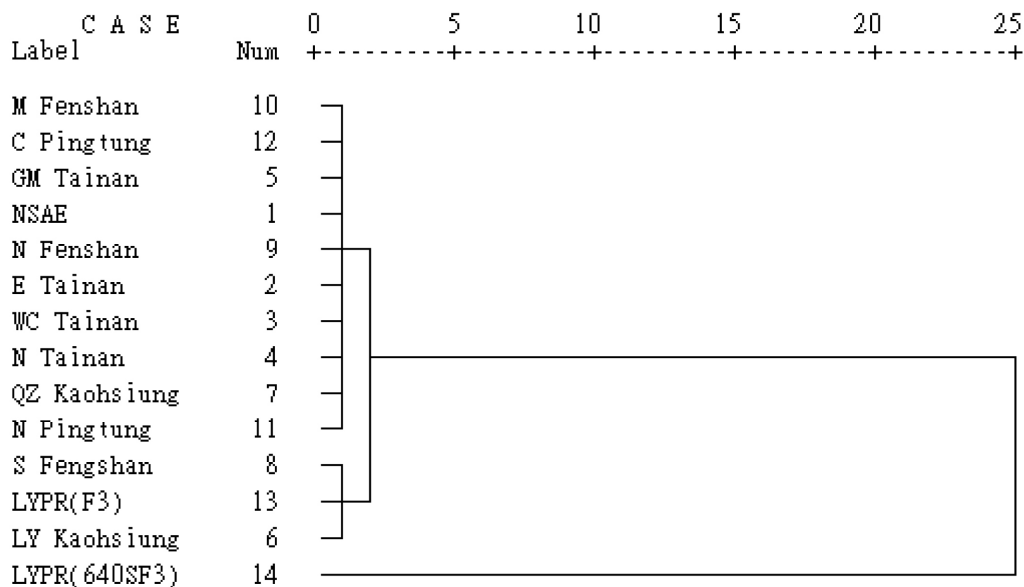
抗性比值分別為 52.15、58.99 及 62.89。第三群包括對百滅寧具低度抗性的台南市關廟區、鳳山中區及屏東中區的埃及斑蚊，還包括對百滅寧具中度抗性的台南市東區、中西區、北區，高雄市前鎮區、鳳山北區及屏東北區的埃及斑蚊。

討 論

本研究自同一個地區採集埃及斑蚊及白線斑蚊，同一個地區的化學防治所造成的選汰壓力對兩種斑蚊產生不一樣的結果，埃及斑蚊幼蟲對供試除蟲菊劑的抗藥性明顯高於白線斑蚊，而白線斑蚊幼蟲對供試有機磷劑的抗藥

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

Rescaled Distance Cluster Combination



圖五 2010 年埃及斑蚊品系幼蟲對百滅寧抗藥性群集分析樹狀圖。以 SPSS 統計軟體進行埃及斑蚊對百滅寧的抗性比值的群集分析，共可分成三群，第一群為 LYPR (640SF3) 品系 ($RR_{50} = 221.98$)。第二群為高雄市苓雅區、鳳山南區及抗性對照 LYPR (F3) 品系 ($RR_{50} = 52.15 \sim 62.89$)。第三群包括台南市關廟區、鳳山中區及屏東中區 ($RR_{50} = 5.04 \sim 7.51$)，及台南市東區、中西區、北區，高雄市前鎮區、鳳山北區及屏東北區 ($RR_{50} = 16.85 \sim 37.93$)。

Fig. 5. Dendrogram from the resistance ratio cluster analysis of the *Ae. aegypti* strains for permethrin, 2010. The cluster analysis was conducted with SPSS® for Windows. Cluster analysis was used to determine the average between-groups linkage for permethrin RR_{50} of the *Ae. aegypti* larvae to detect natural data grouping, as well as the distance of the field population from the NS susceptible strains in 2010. The group most distant from the susceptible strain consisted of populations from LYPR (640SF3), with RR_{50} of 221.98, exhibiting the highest resistance level to permethrin. The second group consisted of the LY Kaohsiung, S Fengshan, and LYPR (F3) populations, with RR_{50} between 52.15 and 62.89. The populations that were grouped close to the susceptible NS came from GM Tainan, M Fenshan and C Pingtung populations, with RR_{50} between 5.04 and 7.51, and the others were E Tainan, WC Tainan, N Tainan, QZ Kaohsiung, N Fenshan, and N Pingtung populations with RR_{50} between 16.85 and 37.93.

性略高於埃及斑蚊幼蟲。昆蟲棲群對殺蟲劑產生抗藥性是一種人為干擾造成的選汰演化作用，瞭解昆蟲的抗藥性有助於調整適當的化學防治措施，以避免或延緩產生抗藥性。關於抗藥性管理使用化學藥劑的策略有三種 (Sutherst and Comins, 1979; Georghiou, 1983)：1. 盡量減少殺蟲劑的使用頻率或降低

使用劑量，只殺死極少數的敏感品系，如此可減緩田間昆蟲產生抗藥性。此種策略較難執行，因為在此條件需允許較高的害蟲族群閾值 (higher pest population threshold)，而登革熱病媒蚊的控制需維持於較低的棲群密度。2. 密集使用較高劑量的殺蟲劑，使昆蟲的抗藥機制無法啟動，得以克服抗藥性的問題。若是

能將族群中感性的個體及異型結合子 (heterozygote) 的抗性個體殺死，將會使抗性遺傳呈現是功能性隱性 (functionally recessive) 的效果，有利於減緩抗藥性的發生。在澳洲以銅綠蠅 (*Lucilia cuprina*) 進行試驗，當抗性基因是由單基因座決定時，使用超過田間品系 100% 致死濃度 (over LC_{100}) 的殺蟲劑進行藥劑防治，能將抗藥性的發生機率降低到零 (McKenzi and Batterham, 1998)。3. 輪替使用不同作用機制的藥劑以降低抗藥性的發生速率。

關於斑蚊幼蟲孳生源的管理，多建議將飲用水的積水容器加蓋，而非飲用水則應改變儲水頻率或加入亞培松砂粒劑，以避免斑蚊幼蟲孳生 (Swaddiwudhipong *et al.*, 1992)。南美洲及加勒比海群島 16 個國家偵測埃及斑蚊對亞培松的抗藥性，經過 15 年的施藥，抗性比值的最大值為 19.4 (Rawlins, 1998)。委內瑞拉地區的埃及斑蚊對亞培松的抗性比值多低於 5 (Mazzarri and Georghiou, 1995)。法屬波里尼西亞埃及斑蚊的抗性比值只有 2.3 (Failloux *et al.*, 1994)。進行 19 代的亞培松累代藥劑篩選，與未經篩選的同一品系對照，僅增加大約 5 倍的抗藥性，但是與 WHO 的 Bora Bora 敏感品系比較，抗性比值可提升到 17.58 (Paeporn *et al.*, 2003)。古巴以亞培松作為幼蟲防治的藥劑，採自哈瓦那 15 個品系的埃及斑蚊，對亞培松的抗藥性與埃及斑蚊幼蟲體內高酯酶活性成正相關，與敏感品系 Rockefeller 品系比較，抗性比值高達 86.11 (Bisset *et al.*, 2011)。在馬來西亞以 1 mg/L 的亞培松稀釋藥液處理白線斑蚊及埃及斑蚊幼蟲，24 小時的死亡率皆達 100% (Chen *et al.*, 2005)。偵測喀麥隆及加彭的埃及斑蚊及白線斑蚊，對亞培松均不具抗藥性 (Kamgang *et al.*, 2011)。

由本研究 2008 及 2010 年檢測南部地區斑埃及蚊及白線斑蚊幼蟲對亞培松的抗性比值，均顯示埃及斑蚊和白線斑蚊對亞培松迄今均屬於低度抗藥性。Luo (1992) 於 1990 年檢測亞培松對花蓮及高雄地區白線斑蚊之 LC_{50} 值分別為 11.4 及 13.2 $\mu\text{g/L}$ ，此結果與 2008 年各品系白線斑蚊幼蟲對亞培松的 LC_{50} 值 (表二) 相當近似。自 1987 年台灣地區爆發登革熱，在登革熱防治工作手冊中建議依容器容量或積水量，依照廠商的有效成分含量調整使用量，推薦每公升水量加入含亞培松有效成分 1 mg 的使用劑量 (即 1 ppm) 進行幼蟲的化學防治。本研究證實，迄今按照此劑量施用亞培松防治南部地區白線斑蚊及埃及斑蚊，仍具極佳的效果。探討台灣地區埃及斑蚊和白線斑蚊幼蟲對亞培松的只具低度抗藥性 (RR_{50} 值 <10) 的原因，應與登革熱病媒蚊的防治工作首重孳生源清除，斑蚊接受亞培松藥劑選汰的壓力較低。推薦亞培松 (98 年高雄市政府衛生局採購環境用藥) 防治斑蚊幼蟲的使用劑量為 1 ppm，此濃度遠大於斑蚊幼蟲的 100% 致死濃度 (LC_{100})，因此可以達到 100% 滅殺容器內斑蚊幼蟲的目的，台灣地區使用亞培松的方式是第二種抗藥性管理策略的應用，適合用於斑蚊幼蟲的防治。經過長時間的使用，田間採集的埃及斑蚊及白線斑蚊幼蟲對亞培松均不具明顯抗藥性。

本研究探討埃及斑蚊及白線斑蚊幼蟲對百滅寧的抗藥性。荖雅地區埃及斑蚊幼蟲分別於 1990 (Lin, 2004)、1995 (Lin *et al.*, 1997)、2002 (Lin, 2004)、2008 (Chian, 2009) 及 2010 年記載對百滅寧生物檢測所得之 LC_{50} 值分別為 2.1、19.9、45.0、112.81 及 98.7 $\mu\text{g/L}$ 。高雄地區分別於 2002 及 2007 年爆發登革熱並採取緊急化學防治措施，雖無高雄地區防治登革熱殺蟲劑的使用量紀錄，確實有荖

雅區田間品系埃及斑蚊幼蟲增加對百滅寧抗藥性的事實。Lin (2004) 於實驗室以百滅寧進行累代篩選 *Lingya*(1990R) 品系, LC_{50} 值由 2.1 提升至 122.5 $\mu\text{g/L}$ 。本研究檢定未再經百滅寧藥劑篩選的 LYPR(F3) 品系及使用百滅寧濃度 640 $\mu\text{g/L}$ 進行藥劑篩選的 LYPR(640SF3) 品系對百滅寧的藥劑感受性, LC_{50} 值分別為 239.60 及 845.76 $\mu\text{g/L}$ (表三), 證實藥劑選汰壓力會造成埃及斑蚊幼蟲對百滅寧產生極高度的抗藥性。荖雅品系白線斑蚊幼蟲對百滅寧抗藥性的資料僅在 1994 及 1995 年分別記載 LC_{50} 值為 2.4 及 38.7 $\mu\text{g/L}$ (Lin *et al.*, 1997)。在 2008 年的資料顯示, 同樣面對田間施藥的壓力, 白線斑蚊對百滅寧產生的抗藥性較不明顯。百滅寧對各供試品系白線斑蚊的 LC_{50} 值介於 17.3~34.6 $\mu\text{g/L}$ (表一)。泰國也發現埃及斑蚊幼蟲對百滅寧、亞培松及馬拉松的抗藥性較白線斑蚊幼蟲嚴重, 可能是埃及斑蚊較喜歡產卵和棲息在室內, 接觸家戶或衛生單位噴灑殺蟲劑的機會遠多於白線斑蚊 (Ponlawat *et al.*, 2005)。

台南地區於 2007、2008 及 2009 年發生確定本土登革熱病例數分別為 1804、27 及 10 例, 比較台南地區 2008 及 2010 年檢定埃及斑蚊幼蟲對百滅寧感受性的變化, 在台南市東區、中西區、北區及關廟地區抗性比值均呈現降低的情形。當有登革熱病例發生時會進行緊急化學防治 (台南市採購索飛克乳劑、菊寧液劑、菊舒寧、舒寧乳劑殺蟲液及中西全菊乳劑等藥劑), 台南市在 2009 年登革熱病例降至 8 例時, 埃及斑蚊田間品系對百滅寧的抗藥性程度也隨之降低 (表一、三)。

關廟地區埃及斑蚊對百滅寧的感受性較高, 可能是採集的地點在郊區, 另外關廟地區埃及斑蚊成蟲體內含 *Kdr* 突變基因 (V1023G 及 D1794Y) 的頻率均較 *Lingya* (2010) 及

LYPR 低 (Tsen, 2010), 可能因此對百滅寧的感受性較高。

如何延緩蚊蟲抗藥性的發生是蟲害管理的重要課題, 本研究發現當進行田間藥劑防治或是實驗室藥劑篩選時, 都會增加埃及斑蚊對百滅寧的抗藥性。當登革熱病例數減少而降低施藥頻率時, 對百滅寧的抗性比值也會降低。也發現關廟地區埃及斑蚊的 *Kdr* 突變基因的頻率較低, 因此對百滅寧的感受性較高。因此為降低產生抗藥性的風險, 需考慮族群遺傳特性與藥劑選汰壓力的影響。本試驗選擇推薦用於防治幼蟲的亞培松進行抗藥性的研究, 當清除登革熱孳生源後, 對於未能順利清除的積水投予亞培松進行防治, 選用的劑量足以殺死孳生源所有斑蚊幼蟲, 由田間品系的生物檢測結果, 顯然可降低抗藥性發生的風險 (McKenzi and Batterham, 1998)。試驗結果發現斑蚊幼蟲對撲滅松、陶斯松及亞特松等有機磷劑仍具高感受性。本試驗選擇百滅寧研究斑蚊對除蟲菊劑的抗藥性, 除蟲菊劑常被用於成蟲的防治, 因為需要選用有效的環境用藥、霧化效能穩定的噴霧機具及噴灑技能嫻熟的防疫人員才能成功完成化學防治作業 (Hsia *et al.*, 2010), 施藥困難度遠高於幼蟲防治, 施用有效劑量常常無法達到預期的防治效果, 也因此容易造成藥劑的篩選壓力, 產生野外抗藥性的品系。2002 年發現在高雄市荖雅區、前鎮區和抗藥性篩選品系埃及斑蚊的成蟲和幼蟲對百滅寧都具有抗藥性 (Lin, 2004), 因此本試驗以斑蚊幼蟲對藥劑感受性生物檢定結果來討論斑蚊對百滅寧的抗藥性。自 2002 年起百滅寧並未被推薦用於登革熱的防治, 但是以百滅寧有效成分登記的環境衛生用藥仍繼續使用。埃及斑蚊田間品系對百滅寧具有抗藥性, 同時也對賽滅寧、芬化利及必列寧產生抗藥性。

因此，為有效防治登革熱病媒蚊及延緩抗藥性的發生，需偵測田間抗藥性情形、慎選藥劑及適時適量正確施藥。使用足夠殺蟲劑的劑量降低族群中抗性基因頻率發生的速率，才能使抗性因子呈現功能性隱性 (functionally recessive) 的效果，對減緩甚至抑制抗性產生是有利的。使用短效性的藥劑也具有降低篩選壓力的效果。最後要注意施藥的時機，在適當的時機防治可降低族群的蟲數，相對提高蚊蟲遷移率，會減緩或抑制抗藥性的發生 (Taylor *et al.*, 1983)。

誌 謝

本文承蒙行政院衛生署疾病管制局科技研究計畫經費補助 (DOH97-DC-1001)，特此致謝。

引用文獻

- Anonymous.** 1981. Instructions for determining the susceptibility or resistance of mosquito larvae to insecticides. WHO/VBC/81.807 World Health Organization, Geneva.
- Bisset JA, Rodríguez MM, Ricardo Y, Ranson H, Pérez O, Moya M, Vázquez A.** 2011. Temephos resistance and esterase activity in the mosquito *Aedes aegypti* in Havana, Cuba increased dramatically between 2006 and 2008. *Med Vet Entomol* 25: 233-239.
- Chan KL, Chan YC, Ho BC.** 1971. *Aedes aegypti* (L.) and *Aedes albopictus* (Skuse) in Singapore city. 4. Competition between species. *Bull World Health Organ* 44: 643-649.
- Chang C, Shen WK, Wang TT, Lin YH, Hsu EL, Dai SM.** 2009. A novel amino acid substitution in a voltage-gated sodium channel is associated with knockdown resistance to permethrin in *Aedes aegypti*. *Insect Biochem Mol Biol* 39: 272-278.
- Chen CD, Nazni WA, Lee HL, Sofian-Azirun M.** 2005. Susceptibility of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* to temephos in four study sites in Kuala Lumpur City Center and Selangor State, Malaysia. *Trop Biomed* 22: 207-216.
- Chian KY.** 2009. Correlation analysis of the insecticide resistance and detoxification enzymes in the *Aedes aegypti* (L.) larvae [thesis]. Tainan: Chia-Nan University of Pharmacy and Science. 76 pp. (in Chinese)
- Devonshire AL, Field LM.** 1991. Gene amplification and insecticide resistance. *Ann Rev Entomol* 36: 1-23.
- Estrada-Franco JG, Craig Jr GB.** 1995. Biology, disease relationships and control of *Aedes albopictus*. PAHO Technical Paper 2: 483-485.
- Failloux AB, Ung A, Raymond M, Pasteur N.** 1994. Insecticide susceptibility in mosquitoes (Diptera: Culicidae) from French Polynesia. *J Med Entomol* 31: 639-644.
- Georghiou GP.** 1983. Management of resistance in arthropods. pp 769-792. In: Georghiou GP, Saito T (eds). *Pest*

- Resistance to Pesticides. Plenum Press, New York.
- Hawley WA.** 1988. The biology of *Aedes albopictus*. *J Am Mosq Control Assoc* Suppl 1: 1-39.
- Hsia WT, Wu PF, Lin C, Yang YC.** 2010. The influence of sprayers and formulations of insecticide droplet subsidence. *Formosan Entomol* 30: 51-63.
- Hwang JS.** 1991. Ecology of *Aedes* mosquitoes and the relationships with Dengue epidemics in Taiwan area. *Chinese J Entomol Special publ* 6: 105-127. (in Chinese)
- Kamgang B, Marcombe S, Chandre F, Nchoutpouen E, Nwane P, Etang J, Corbel V, Paupy C.** 2011. Insecticide susceptibility of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Central Africa. *Parasites and Vectors* 4: 79-86.
- Kim, YJ, Lee YJ, Kim GH, Lee SW, Ahn YJ.** 1999. Toxicity of tebufenpyrad to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Amblyseius wormsleyi* (Acari: Phytoseiidae) under laboratory and field conditions. *J Econ Entomol* 92: 187-192.
- Lin YH, Chen JY, Hsu EL.** 1997. Insecticide resistance and management strategy in mosquito. Proceedings of the 9th seminar on the control of vectors and pests; 1997 May 1-2; Environmental Protection Administration, R.O.C. pp 101-109. (in Chinese)
- Lin YH, Wu SH, Hsu EL, Teng HJ, Ho CM, Pai HH.** 2003. Insecticide resistance in *Aedes aegypti* during dengue epidemics in Taiwan. *Chinese J Entomol* 23: 263-274.
- Lin YH.** 2004. Insecticide resistance to pyrethroid in *Aedes aegypti* (L.) of Taiwan [dissertation]. Taipei: National Taiwan University. 118 pp. (in Chinese)
- Luo YP.** 1992. Studies of insecticide resistance in *Aedes albopictus* in Taiwan [dissertation]. Taipei: National Taiwan University. 132 pp. (in Chinese)
- Macoris MLG, Andrighetti MTM, Otrera VCG, Carvalho LR, Caldas Júnior AL, Brogdon WG.** 2007. Association of insecticide use and alteration on *Aedes aegypti* susceptibility status. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 102: 895-900.
- Mazzarri MB, Georghiou GP.** 1995. Characterization of resistance to organophosphate, carbamate and pyrethroid insecticides in field populations of *Aedes aegypti* from Venezuela. *J Am Mosq Control Assoc* 11: 315-322.
- McKebzie JA, Batterham P.** 1998. Predicting insecticide resistance: mutagenesis, selection and response. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 353: 1729-1734.
- Paeporn P, Komalamisra N, Deesin V, Rongsrivam Y, Eshita Y, Thongrunkiat S.** 2003. Temephos resistance in two forms of *Aedes aegypti* and its significance for the resistance mechanisms. *Southeast Asian J Trop*

Med Publ Health 34: 786-792.

- Ponlawat A, Scott JG, Harrington LC.** 2005. Insecticide susceptibility of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* across Thailand. *J Med Entomol* 42: 821-825.
- Rawlins SC.** 1998. Spatial distribution of insecticide resistance in Caribbean populations of *Aedes aegypti* and its significance. *Pan Am J Public Health* 4: 243-251.
- Sutherst RW, Comins HN.** 1979. The management of acaricide resistance in the cattle tick, *Boophilus microplus* (Canestrini) (Acari: Ixodidae), in Australia. *Bull Entomol Res* 69: 519-540.
- Swaddiwudhipong W, Lerdlukanavong P, Khumklam P, Koonchote S, Nguntra P, Chaovakiratipong C.** 1992. A survey of knowledge, attitude and practice of the prevention of dengue haemorrhagic fever in an urban community of Thailand. *Southeast Asian J Trop Med Public Health* 23: 207-211.

- Taylor CE, Quaglia F, Georghiou GP.** 1983. Evolution of resistance to insecticides: A cage study on the influence of migration and insecticide decay rates. *J Econ Entomol* 76: 704-707.
- Tseng WL.** 2010. The voltage-gate sodium channel gene mutation in southern Taiwan *Aedes aegypti* (L.) [thesis]. Tainan: Chia-Nan University of Pharmacy and Science. 87 pp. (in Chinese)

收件日期：2012年3月28日

接受日期：2012年4月28日

Insecticide Resistance in *Aedes aegypti* (L.) and *Aedes albopictus* (Skuse) Larvae in Southern Taiwan

Ying-Hsi Lin¹, Huai-Hui Wu², Err-Lieh Hsu³, Niann-Tai Chang⁴, and Yi-Pey Luo^{5*}

¹ Department of Medical Laboratory Science and Biotechnology, Yuanpei University, HsinChu City, Taiwan

² Department of Biotechnology, Tajen University, Pingtung County, Taiwan

³ Department of Entomology, National Taiwan University, Taipei City, Taiwan

⁴ Department of Plant Medicine, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung County, Taiwan

⁵ Department of Biotechnology, Chia-Nan University of Pharmacy and Science, Tainan City, Taiwan

ABSTRACT

In 2008, *Aedes* mosquito larvae from the laboratory susceptible strains, the NS and Linkou strains, as well as from ten field populations from both Tainan and Kaohsiung city were collected. They were then studied using the World Health Organization (WHO) bioassay technique. Insecticides evaluated included pyrethroids permethrin, cypermethrin, fenvalerate and pyrethrin, organophosphates temephos, chlorpyrifos, fenitrothion and pirimiphos-methyl. We demonstrated that *Ae. aegypti* were more resistant to pyrethroids than *Ae. albopictus*. Field strains of *Ae. aegypti* larvae, except for the Guanmiao strain, exhibited a high level of resistance to permethrin (RR_{50} , 41.5-90.7). In the same collection areas, *Ae. albopictus* larvae only exhibited a low level of resistance to permethrin (RR_{50} , 1.1-2.0). Evidence is presented that *Ae. albopictus* has a lower susceptibility to organophosphates than *Ae. aegypti*. All *Aedes* mosquito larvae were susceptible to temephos (RR_{50} , 0.9-2.7). Cluster analysis was conducted using the average between-groups linkage for permethrin RR_{50} of the *Ae. aegypti* larvae to detect natural data grouping, as well as the distance of the field population from the NS susceptible strains in 2010. An extremely high level of resistance was observed for the LYPR(640SF3) strain, which was selected in the laboratory for its high resistance to permethrin. The LYPR(F3) strain consisted of the Lingya and Southern Fengshan strains, which were collected from districts in Kaohsiung city with higher dengue incidence, exhibited a high level of resistance to permethrin. The resistance of *Ae. aegypti* to permethrin is characterized by evolution under continued insecticide selection in the laboratory and through chemical control in the field. All *Ae. aegypti* larvae remained susceptible to temephos in 2010, including the permethrin resistant strains of LYPR(640SF3) and LYPR(F3). Controlling the *Aedes* mosquito larvae using an operational dosage of 1 mg/L temephos has been recommended since 1987, and complete mortality for all strains is achieved after 24 hours.

Key words: *Aedes* mosquito larvae, permethrin, temephos, insecticide resistance, cluster analysis

* Corresponding emails: insecta@mail.chna.edu.tw