

瓜實蠅及東方果實蠅對殺蟲劑感受性現況

許如君 馮海東*

台中縣霧峰鄉 行政院農委會農業藥物毒物試驗所

(接受日期：中華民國 91 年 11 月 26 日)

摘 要

許如君、馮海東* 2002 瓜實蠅及東方果實蠅對殺蟲劑感受性現況 植保會刊 44：303—315

利用局部滴藥法測定採自田間瓜實蠅 (*Bactrocera cucurbitae* Coquillett) 及東方果實蠅 (*B. dorsalis* (Hendel)) 對殺蟲劑之感受性。綜合三年的瓜實蠅感受性調查結果中，六個地區的瓜實蠅對二氯松 (dichlorvos)、賽扶寧 (cyfluthrin)、芬殺松 (fenthion)、納乃得 (methomyl) 及馬拉松 (malathion) 等殺蟲劑的感受性以高雄及屏東地區為最低，和其它地區間有明顯差異；不同採集地區瓜實蠅對各供試殺蟲劑的感受性差異以二氯松的 1.9 倍最小，賽扶寧的 29 倍為最大。綜合 4 年的東方果實蠅感受性調查結果，6 個地區的東方果實蠅對乃力松 (naled)、芬殺松、福木松 (formothion)、納乃得、馬拉松、三氯松 (trichlorfon) 及撲滅松 (fenitrothion) 等供試殺蟲劑的感受性以新竹地區為最高，明顯異於其它地區。地區間的感受性差異，以乃力松 6.3 倍為最小；納乃得 43 倍為最大。瓜實蠅、東方果實蠅對有機磷殺蟲劑與胺基甲酸鹽殺蟲劑感受性具正相關，可能為交互抗性或是多重抗性現象。

(關鍵詞：瓜實蠅、東方果實蠅、殺蟲劑、感受性、抗性)

緒 言

瓜實蠅 (*Bactrocera cucurbitae* Coquillett) 及東方果實蠅 (*B. dorsalis* (Hendel)) 皆屬果實蠅科 (Tephritidae)，飛行能力強，分布全臺灣，分別為瓜類與果樹果實之重要害蟲，亦為世界性害蟲，具經濟

重要性⁽⁹⁾。兩者的寄主種類繁多，瓜實蠅據記載有 18 科 80 餘種⁽⁴⁾，東方果實蠅則有 38 科 150 餘種⁽⁴⁾，其中並有多種重疊的寄主植物種類。依 2000 年植物保護手冊⁽⁴⁾，登記於瓜實蠅的防治方法為馬拉松 (malathion) 混合蛋白質水解物；防治東方果實蠅的方法則有芬殺松 (fenthion)、撲滅松

* 通訊作者。E-mail: feng@tactri.gov.tw

(fenitrothion)、馬拉松或三氯松(trichlorfon)等殺蟲劑混合蛋白質水解物的餌食誘殺法、或使用福木松(formothion)、芬殺松或賽扶寧(cyfluthrin)直接噴佈於果樹,或使用含乃力松(naled)的甲基丁香油進行滅雄誘殺等方法。政府亦曾推廣以納乃得(methomyl)混合番石榴果汁誘殺東方果實蠅⁽²⁾。上述數種方法,皆為利用殺蟲劑毒殺害蟲為主要設計原理。

近十年來政府投注大量的人力及物力,運用混合殺蟲劑之克蠅香及甲基丁香油來大量誘殺瓜實蠅及東方果實蠅。由歷年含毒誘殺板進行密度監測的旬報顯示,害蟲族群的密度逐年降低,但瓜實蠅及東方果實蠅的為害並沒有減少,因此,殺蟲劑之誘殺能力是否因害蟲產生抗藥性而下降,致使監測密度下降,亦頗令人質疑。目前除瓜實蠅曾有對 DDT 產生抗藥性之報導⁽¹¹⁾及田間東方果實蠅對撲滅松、芬殺松、馬拉松及乃力松等殺蟲劑的感受性變低⁽¹⁰⁾外,瓜實蠅及東方果實蠅對其他殺蟲劑則未有抗藥性的報導;在台灣,目前使用之防治殺蟲劑,多已有三十

年的歷史^(1, 3),此等蟲對殺蟲劑感受性是否產生變化,進而影響防治的效力及影響監測密度的準確性是值得探討的問題。

本試驗自臺灣重要的瓜類及水果產地採集標的害蟲,以登記使用的防治殺蟲劑進行感受性的檢定,建立逐年監測基本資料,探討各地區瓜實蠅及東方果實蠅對各種殺蟲劑感受性之差異,以供防治時參考。另對殺蟲劑感受性檢定之結果受個體體型差異之影響,亦一併予以檢討。

材料與方法

蟲源-分別於 1998、1999 及 2001 年在台灣西部地區採集受瓜實蠅為害的果實帶回實驗室,收集蟲蛹(採集月份、地點及寄主植物如表一)。成蟲羽化後置入糖和蛋白水解酵素(5:1)及沾水棉花供其食用,飼育於 20-30°C 的環境中^(5, 10)。另分別於 1999 至 2002 年在全台灣地區採集受東方果實蠅為害的果實帶回實驗室,收集蟲蛹(採集月份、地點及寄主植物如表二)。成蟲羽化後,飼育條件同瓜實蠅。

表一、殺蟲劑感受性調查之瓜實蠅採集地點、月份及寄主植物

Table 1. Record of collections of *Bactrocera cucurbitae* for insecticide susceptibility assays

County	1998			1999			2001		
	Location	Host	Month	Location	Host	Month	Location	Host	Month
Hsinchu	Emei	bitter melon	July	Emei	bitter melon	July	Emei	bitter melon	July
Natou	Caotun	sponge gourd	July	Natou City	sponge gourd	July	Natou City	sponge gourd	Aug.
Changhwa	Buyan	bitter melon	Sept.	Buyan	bitter melon sponge gourd	July	Buyan	bitter melon	Aug.
Yunlin	Gukeng	sponge gourd	Oct.	Gukeng	sponge gourd	July	Dol	sponge gourd	July
Chiayi	Zhongbu	sponge gourd	Oct.						
Kaohsiung	Dashu	sponge gourd bitter melon	Sept.	Dashu	bitter melon	July	Ziguan	sponge gourd	Aug.
Pingtung	Jiuru	cucumber sponge gourd	Sept.	Ligang	bitter melon	July	Ligang	bitter melon	July

表二、殺蟲劑感受性調查之東方果實蠅採集地點、月份及寄主植物

Table 2. Record of collections of *Bactrocera dorsalis* for insecticide susceptibility assays

County	1999			2000		
	Location	Host	Month	Location	Host	Month
Hsinchu	Qionglin	wax apple	June	Hengshan Qionglin	wax apple guavas	Aug.
Changhwa	Shetou	guavas	April	Shetou	guavas	April
Chiayi	Chuchi	guavas	May	Zhongbu Chuchi	guavas	May June
Kaohsiung	Yanchao	wax apple guavas	June	Yanchao	guavas	May
Taitung	Taitung City	wax apple	June	Taitung City	carambola wax apple	July
Ilan	Yuanshan	wax apple	May	Yuanshan	wax apple guavas	July
County	2001			2002		
	Location	Host	Month	Location	Host	Month
Hsinchu	Emei	wax apple	July	Emei Qionglin	wax apple	July
Changhwa	Shetou	guavas	April	Shetou	guavas	May
Chiayi	Chuchi	guavas	May	Chuchi	guavas	May
		wax apple	June		mangos	
Kaohsiung	Yanchao	guavas	April	Yanchao	guavas	May
Taitung	Taitung City	wax apple	June	Taitung City	wax apple	June
Ilan	Yuanshan	wax apple	May	Yuanshan	wax apple	June

藥劑- 撲滅松、芬殺松、馬拉松、納乃得、乃力松、二氯松、三氯松、賽扶寧、賽滅寧及芬化利等十種殺蟲劑皆為純度 95% 以上的分析級標準品，除福木松為 Chem Service Company 產品，其餘均為 Riedel-deHaën 產品。

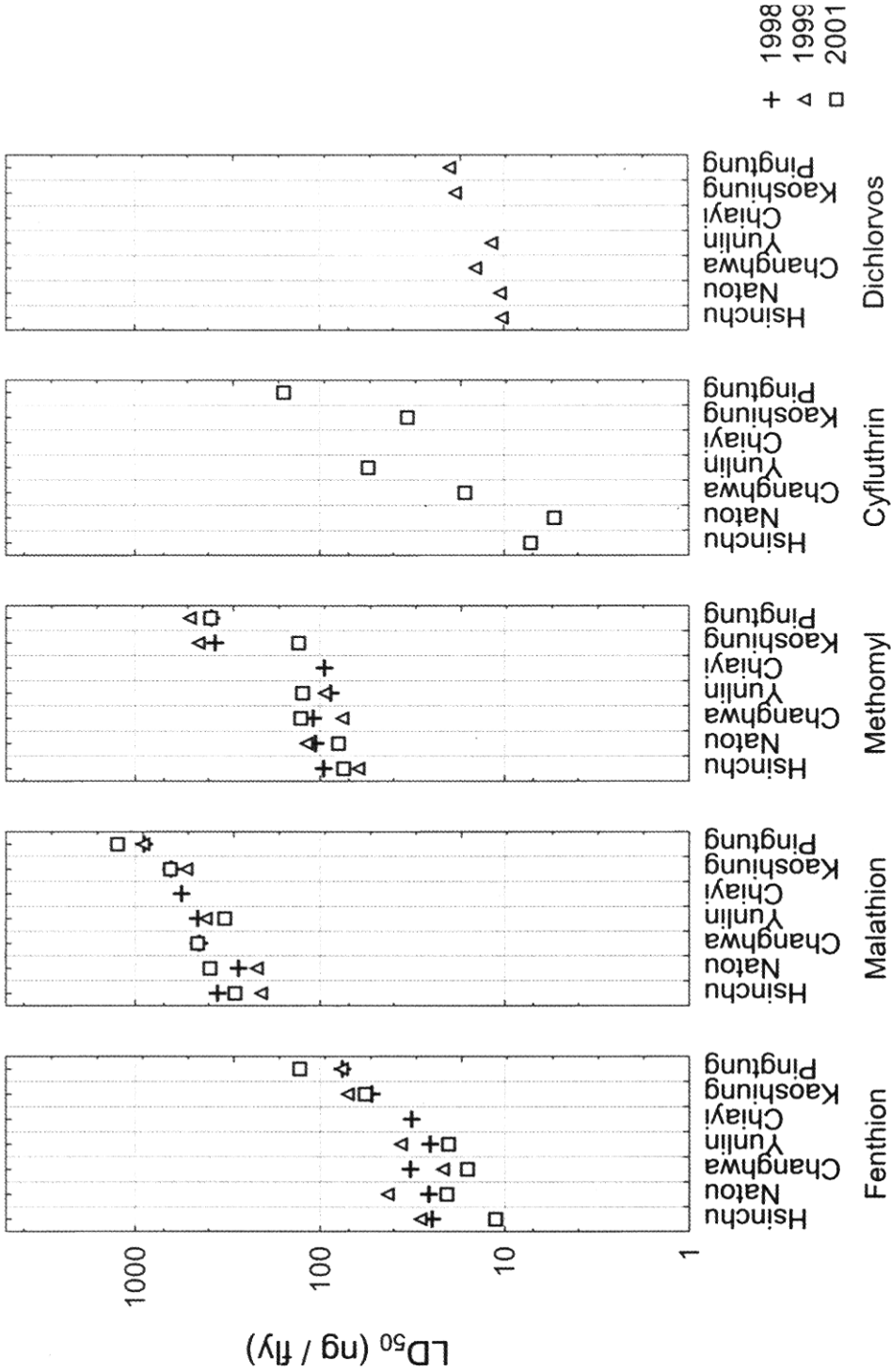
生物檢定- 以 3 至 5 日齡的成蟲為實驗材料，以二氧化碳昏迷後，在中胸背板局部滴加 1 μ l 的含殺蟲劑丙酮藥劑，24 小時後觀察，記錄死亡率^(8, 10)。所得數據利用 POLO-PC⁽¹⁶⁾分析，求得半數致死劑量 (LD₅₀) 及相關介量；另以 LD₅₀ 中 95% 的信賴界限範圍沒有重疊視為兩者感受性間

有顯著差異⁽²⁰⁾。為比較成蟲體型與感受性關係，將供試蟲稱取蛹重紀錄，以為比較基準；以瞭解蛹重和感受性間的關係。

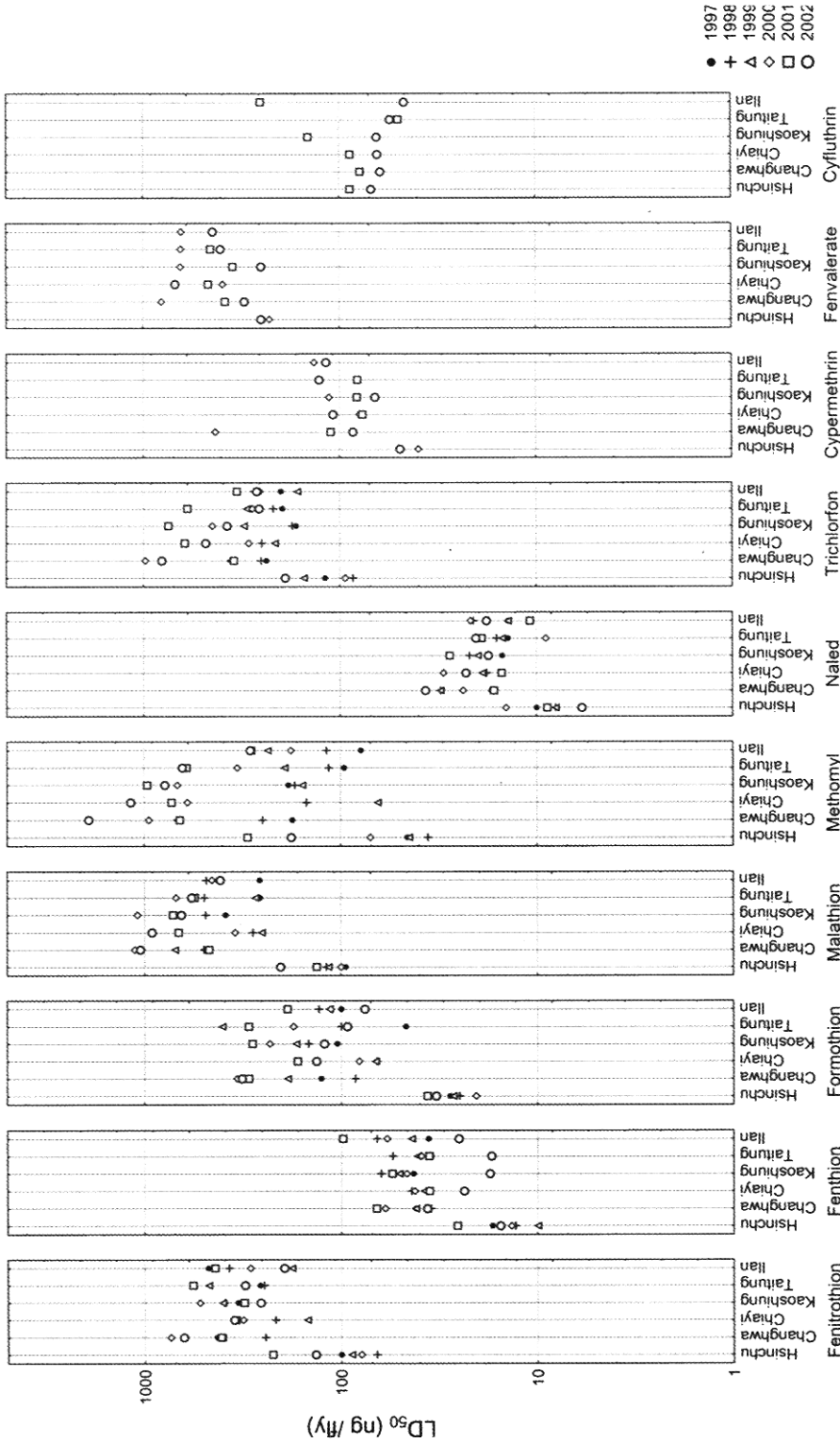
統計分析- 相關性分析用來解釋東方果實蠅對測試殺蟲劑間可能存在的交互抗性或多重抗性的現象⁽¹⁹⁾。以東方果實蠅對殺蟲劑感受性的 LD₅₀ 的數值作對數轉換後，作相關性分析。

結 果

瓜實蠅對殺蟲劑之感受性：於 1998、1999 及 2001 年調查田間的瓜實蠅對殺蟲



圖一、台灣地區瓜實蠅對五種殺蟲劑之感受性歷年調查結果。
 Fig. 1. Susceptibility of field collected melon flies (*Bactrocera cucurbitae*) to tested insecticides, 1998, 1999 and 2001.



圖二、台灣地區東方果實蠅對十種殺蟲劑之感受性歷年調查結果。1997 及 1998 年數據是引用許及馮⁽¹⁰⁾。

Fig. 2. Susceptibility of field collected oriental fruit flies (*Bactrocera dorsalis*) to tested insecticides, 1997 to 2002. Data of 1997 to 1998 are cited from Hsu and Feng⁽¹⁰⁾.

劑的感受性如圖一，綜合所調查地區之瓜實蠅對芬殺松、馬拉松、二氯松、納乃得及賽扶寧的 LD₅₀ 的 95% 信賴界限範圍分別為 6.57-149、174-1661、8.8-25、42.5-595 及 1.13-251 ng/fly，其中瓜實蠅對二氯松的感受性最高，其次依序為賽扶寧、芬殺松、納乃得及馬拉松。三年的調查結果中，採自各地區的瓜實蠅對芬殺松及二氯松的反應，以 LD₅₀ 的 95% 信賴界限相比，高雄及屏東地區之瓜實蠅的感受性較低，而新竹、南投、彰化、雲林及嘉義等地區間的瓜實蠅對殺蟲劑的感受性無顯著差異，然以新竹地區瓜實蠅對殺蟲劑最為敏感。其中瓜實蠅對芬殺松感受性的差異，最高以屏東地區與新竹地區間相比可達 3 倍；對二氯松的反應，則僅達 1.9 倍。各地區瓜實蠅對馬拉松的反應和芬殺松及二氯松相似，和感受性最低的屏東地區相比，感受性最高的地區，有 3.5-4.4 倍的差距。對納乃得的反應，和感受性最低的屏東地區相

比，較為敏感的新竹地區有 4.0-8.1 倍的差距。瓜實蠅對賽扶寧的反應，和感受性最低的屏東地區相比，則是南投地區最為敏感，二者之間可達 29 倍的差異。

東方果實蠅對殺蟲劑之感受性：於 1999 至 2002 年調查田間東方果實蠅對殺蟲劑的感受性如圖二，四年的調查結果中，綜合所調查地區之東方果實蠅對撲滅松、芬殺松、福木松、馬拉松、乃力松、三氯松、納乃得、賽滅寧、芬化利及賽扶寧的 LD₅₀ 的 95% 信賴界限範圍分別為：72.0-1020、6.60-132、7.9-483、64.2-1480、4.47-53.4、66.5-1508、44.6-4260、22.9-670、161-1009 及 28.4-309 ng/fly。比較田間東方果實蠅對各測試殺蟲劑的感受性，結果乃力松的毒性最高且地區間變異最小；芬殺松次之。除新竹地區的東方果實蠅外，田間東方果實蠅對撲滅松、馬拉松、納乃得、三氯松及芬化利的 LD₅₀ 值皆大於 100 ng/fly，感受性低。

四年的調查結果中，各地區東方果實

表三、1999-2002 年田間東方果實蠅對測試藥劑的最高及最低半數致死劑量及其抗性比
Table 3. Resistance ratio of tested insecticides among field-collected oriental fruit flies from 1999 to 2002

Insecticide	The resistant ratio (The highest values of LD ₅₀ /The lowest values of LD ₅₀) ¹⁾			
	1999	2000	2001	2002
Fentitrothion	6.0 (530b/88.6a)	9.3 (736b/79.1a)	4.7 (567e/223a)	4.7 (630b/135a)
Fenthion	5.3 (55.0b/10.3a)	4.4 (60.0b/13.6a)	5.5 (98.4f/18.0b)	2.4 (36.6b/15.5a)
Formothion	15 (403e/27.4a)	16 (338b/20.6a)	8.1 (295b/36.5a)	9.7 (319b/32.9a)
Malathion	9.6 (1110b/116a)	11 (1120b/100a)	5.4 (716d/133a)	5.2 (1050b/203a)
Methomyl	16 (692b/44.6a)	13 (948b/70.7a)	3.3 (966d/297a)	11 (1920b/178a)
Naled	3.6 (30.4b/8.4a)	3.3 (29.8c/8.97e)	3.2 (27.8d/8.82a)	6.3 (36.8b/5.87a)
Trichlorfon	2.8 (436b/153a)	10 (979b/84a)	2.2 (747d/346a)	4.3 (805b/189a)
Cypermethrin	-	11 (429b/39.8a)	1.5 (111b/76.6a)	2.4 (127e/49.3a)
Fenvalerate	-	3.5 (805b/227a)	1.3 (464b/348d)	3.3 (684c/205a)
Cyfluthrin	-	-	3.2 (251f/78.4b)	1.5 (68.7a/46.7f)

¹⁾ The letter followed stands for the collecting location of the tested fly, a: Hsinchu; b: Changhwa; c: Chiayi; d: Kaohsiung; e: Taitung; f: Ilan.

蠅對殺蟲劑的反應，以半數致死劑量相比（表三），對撲滅松、芬殺松、福木松、馬拉松、三氯松及納乃得等藥劑最敏感的東方果實蠅皆採自新竹地區，不過新竹地區東方果實蠅對除蟲菊類的反應，則和其它地區東方果實蠅間無顯著差異（以 LD_{50} 的 95% 信賴界限範圍相比）；然東方果實蠅對殺蟲劑的感受性最低的地區則呈現變異。地區間東方果實蠅對殺蟲劑感受性的差異，以納乃得的抗性比 43 倍為最大，福木松的 20 倍次之，芬化利最小僅 3.9 倍（三年調查結果），賽扶寧為 5.4 倍，次之（二年調查結果）；如僅比較東方果實蠅對有機磷類的抗性，則以乃力松抗性比 6.3 倍為最小。

表四、供試瓜實蠅的平均蛹重

Table 4. Pupa weight of field-collected melon fly (*Bactrocera cucurbitae*)

Location	Weight ¹⁾ ± standard deviation (mg/fly)
Hsinchu	14.5 ± 3.0 b
Natou	14.6 ± 2.3 b
Changhwa	15.7 ± 2.4 c
Yunlin	13.8 ± 6.8 a
Kaohsiung	16.4 ± 2.6 d
Pingtung	14.3 ± 2.4 b

1) Means followed by the same letter do not significantly differ (t test, $p = 0.05$).

蛹重和感受性的相關性：稱量 2001 年各地區之瓜實蠅蛹重（表四），採自不同地區之蛹重有顯著差異（ANOVA, $F = 32.9$, $p < 0.001$ ），以雲林地區所採集到的蛹為最輕，高雄地區所採集到的蛹為最重；其中採自新竹、南投及屏東地區間的蛹重沒有差異存在；採自彰化、雲林及高雄等地區和其它地區間的蛹重則有顯著差異存在。各地區瓜實蠅之平均蛹重和其對殺蟲劑反應之 LD_{50} 劑量間並無相關性（表五）。

表五、瓜實蠅蛹重與殺蟲劑半數致死劑量的相關性

Table 5. Correlations between pupa weight and susceptibility in *Bactrocera cucurbitae* in 2001

Insecticide	Correlation coefficient	p (sample size)
Fenthion	0.001	1.00 (6)
Malathion	0.065	0.90 (6)
Methomyl	0.166	0.75 (6)
Cyfluthrin	0.430	0.55 (6)

表六、供試東方果實蠅的平均蛹重

Table 6. Pupa weight of oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis*)

Country	Weight ¹⁾ ± standard deviation (mg/fly)		
	2000 ²⁾	2001 ²⁾	2002 ³⁾
Hsinchu	12.9±1.6 b	14.7±2.8 e	13.4±0.7 d
Changhwa	15.1±1.4 e	11.2±1.9 b	14.3±0.1 e
Chiayi	11.5±1.7 a	12.0±1.6 c	15.3±0.3 f
Kaichaung	14.4±2.0 d	11.0±1.6 ab	7.8±0.2 a
Taitung	14.4±1.6 d	13.8±3.1 d	12.5±0.2 c
Ilan	14.0±1.8 c	10.6±2.6 a	11.9±0.4 b

1) Means followed by the same letter do not significantly differ (t test, $p = 0.05$).

2) Averaged from the weights of 200 individual pupa.

2) Averaged from the weights of 5 batches of 100 pupae.

稱量採自各地區之東方果實蠅蛹重（表六），歷年資料之地區間雖有顯著差異，但各地區東方果實蠅之蛹重和其對殺蟲劑的感受性間幾無相關性（表七），除東方果實蠅對芬化利的感受性和平均蛹重有正相關，即蛹重較重者，致死劑量較高。

表七、東方果實蠅蛹重與殺蟲劑半數致死劑量的相關性

Table 7. Correlation between pupa weight and susceptibility in *Bactrocera dorsalis*

Insecticide	n	Correlation coefficient (<i>p</i>) ¹⁾
Fenitrothion	18	0.349 (0.156)
Fenthion	18	0.094 (0.709)
Formothion	18	0.138 (0.585)
Malathion	17	0.291 (0.257)
Naled	17	0.150 (0.566)
Trichlorfon	17	0.329 (0.197)
Methomyl	18	0.131 (0.603)
Fenvalerate	16	0.674* (0.004)
Cypermethrin	16	0.476 (0.062)
Cyfluthrin	12	0.328 (0.298)

¹⁾ Statistically significant ($p < 0.05$) correlations are marked with an asterisk (*).

討 論

蛹重和感受性的相關性：供試生物個體間的體型差異常會影響殺蟲劑的感受性試驗結果，利用體重為感受性劑量單位，可消除供試材料個體差異對試驗結果準確性之干擾^(15, 18)，不過針對小型昆蟲，這操作顯然十分不便，有不少學者直接採用個體為感受性的計量單位^(11, 12, 13)來探討瓜實蠅及東方果實蠅對殺蟲劑感受性。當調查田間瓜實蠅及東方果實蠅對殺蟲劑的感受性時，在果實種類及蟲口密度等可能影響供試蟲品質之因子並未能掌握情形下，所採集蟲是否會因個體的變異太大而影響檢定結果，是值得注意的。由於蛹重和成蟲的品質有正相關^(12, 14)，故本實驗採計蛹重與成蟲對殺蟲劑的感受性來作探討。瓜實蠅的蛹重雖在不同採集地區有差異，但其差異和瓜實蠅對殺蟲劑的反應並無相關性，且殺蟲劑反應差異最大的新竹及屏東地區間，其蛹重並無差

異；而在東方果實蠅的實驗中，感受性和蛹重間亦無相關性存在，此結果可確立不同蟲源對殺蟲劑感受性之差異並非源自於受試蟲體型之差異。

瓜實蠅對殺蟲劑的感受性：採自各地區間瓜實蠅對芬殺松、馬拉松及二氯松的感受性皆有地區性差異，但是否已產生抗性，因彼此差異不大，僅憑本調查的資料不易推論抗性發生之程度。Keiser 等⁽¹³⁾在 1973 年曾測試瓜實蠅對藥劑的感受性，與其結果比較發現，以芬殺松而言，除採自高雄及屏東地區之瓜實蠅達 4 倍抗性比；採自其餘地區之瓜實蠅則無顯著差異（以 LD₅₀ 的 95% 信賴界限範圍相比）。

採自各地區之瓜實蠅對馬拉松的反應，則與 1973 年資料皆有顯著差異，抗性比最大達 23 倍，如以田間用藥篩選 30 年，每年發生 8 世代為例，篩選抗性產生速率為 0.57⁽⁷⁾，此抗性產生速率遠大於地中海果實蠅（*Ceratitis capitata* Wiedmann）室內品系以馬拉松累代篩選 18 代後，所得的 2-3 倍耐受性的品系⁽¹⁵⁾，或是以滴滴涕（DDT）或大滅松（dimethoate）以 70 % 致死率篩選 84 代地中海果實蠅所得之抗性為高⁽¹⁸⁾。因此推斷田間瓜實蠅對馬拉松已產生抗藥性，尤以高屏地區最為嚴重。另外，田間瓜實蠅對二氯松的感受性，僅採自高雄和屏東等地區瓜實蠅較 1973 年資料略低，並無明顯抗藥性。

瓜實蠅對納乃得及賽扶寧的感受性雖無歷史資料可供比對，不過田間瓜實蠅對納乃得的地區間感受性差異已達 8.1 倍；對賽扶寧的感受性差異達 29 倍，地區性族群在殺蟲劑感受性差異，是否反映防治效果優劣之地區性差異，十分值得注意。合成除蟲菊殺蟲劑是較晚開發出的藥劑，並未登記使用於瓜類作物⁽⁴⁾，上述差異顯示高屏的瓜實蠅對該類殺蟲劑較不敏感，是否源自於交互抗性，有待進一步探討。

分析瓜實蠅對殺蟲劑的感受性相關性，其結果如表八。瓜實蠅除對芬殺松和二氯松並無明顯相關外，對其他有機磷殺蟲劑和胺基甲酸鹽殺蟲劑間皆有正相關性，對納乃得及賽扶寧間亦存著正相關。這個現象，除了可反映高量用藥篩選地區瓜實蠅產生多重抗性之可能外，有機磷及胺基甲酸鹽殺蟲劑間之交互抗性是否為重要因素，仍需進一步探討，才能釐清。

表八、瓜實蠅對測試殺蟲劑感受性的相關性
Table 8. Correlation of insecticide susceptibility in *Bactrocera cucurbitae*

Insecticide	Correlation coefficient (sample size) ¹⁾		
	Fenthion	Malathion	Methomyl
Malathion	0.711 (19)*		
Methomyl	0.811 (19)*	0.746 (19)*	
Dichlorvos	0.665 (6)	0.922 (6)*	0.869 (6)*
Cyfluthrin	0.788 (6)	0.730 (6)	0.907 (6)*

¹⁾ Statistically significant ($p < 0.05$) correlations of $\log LD_{50}$ are marked with an asterisk (*).

東方果實蠅對殺蟲劑的感受性：採自各地區東方果實蠅對供試有機磷、胺基甲酸鹽殺蟲劑及賽滅寧的感受性皆有地區性差異，其中田間東方果實蠅對福木松、馬拉松、納乃得等地區藥劑在品系間的感受性差異可達 10 倍以上，推測部分地區東方果實蠅已對該等殺蟲劑產生抗性。

台灣東方果實蠅對殺蟲劑感受性最早之報導在 1972 年⁽³⁾，不過因檢定方法不同，無法與目前感受性比對⁽¹⁰⁾，另以採自本地長期未接觸殺蟲劑的室內品系測試其對殺蟲劑的感受性，其 LD_{50} 及 (95%信賴界限範圍) 如下：撲滅松，32 (24-49)、芬殺松，12 (5-16)、福木松，7 (3-12)、馬拉松，79 (29-130)、乃力松，8 (6-13)、三氯松，130 (78-152)、納乃得，58 (38-78)、賽滅寧，25 (17-32)、芬化利，180 (145-224)

及賽扶寧，18 (12-41) ng/fly (許等，未發表報告)。此室內品系對殺蟲劑的感受性和 Keiser⁽¹³⁾報告中東方果實蠅之感受性相當，其中東方果實蠅對乃力松和三氯松沒有差異，對芬殺松的感受性提高 2.2 倍，對撲滅松及馬拉松的感受性則降低 2 倍。

田間東方果實蠅對撲滅松及馬拉松的感受性，與室內感性品系或 1973 年資料⁽¹³⁾皆有顯著差異，對撲滅松的抗性達 53 倍，篩選抗性產生速率為 0.72；對馬拉松的抗性達 30 倍，篩選抗性產生速率為 0.62，推斷田間東方果實蠅對撲滅松及馬拉松皆已產生抗藥性。

採自各地區之東方果實蠅對乃力松及三氯松的感受性，與室內感性品系或 1973 年資料⁽¹³⁾相比，僅部分地區與之有顯著差異，不過其感受性差異最高僅達 6.5 倍，並無明顯抗藥性產生。東方果實蠅對此二種殺蟲劑的抗性和田間瓜實蠅對二氯松之抗性都是測試殺蟲劑中最低的，乃力松和三氯松皆會在蟲體內分解為二氯松⁽⁶⁾，這三種同類藥劑對瓜實蠅及東方果實蠅作用可能相仿，不易對瓜實蠅及東方果實蠅篩選出高抗性，但詳細機制仍待進一步研究。

採自各地區之東方果實蠅對芬殺松的感受性，與室內感性品系或 1973 年資料⁽¹³⁾相比，亦僅部分地區與之有顯著差異；東方果實蠅對芬殺松的感受性和室內品系相比，其感受性差異達 8.2 倍，篩選抗性產生速率為 0.38；芬殺松使用於東方果實蠅防治達 30 年，低程度之抗藥性可能是長期選汰之結果。

各採集地區東方果實蠅對福木松的感受性和室內感性品系相比，其間都有顯著差異，抗性最大達 57.6 倍，篩選抗性產生速率為 0.74，大於東方果實蠅對撲滅松及馬拉松的抗性程度，推斷田間東方果實蠅已對福木松產生抗藥性。

所有採集東方果實蠅對納乃得的感受性和室內感性品系相比，各地區均與之有

顯著差異，抗性最大達 33 倍，以其推廣在田間使用 7 年，生長 56 代，其篩選抗性產生速率為 0.87，大於東方果實蠅對上述有機磷類殺蟲劑的抗性程度，推斷田間東方果實蠅已對納乃得產生抗藥性。

各地區東方果實蠅對賽滅寧的感受性，雖僅部分較感性品系低，但地區間差異頗大，抗藥性情形值得持續監測。

各地區東方果實蠅對芬化利感受性和室內感性品系相比，其抗性比最高可達 4.5 倍，而在地區間的差異則達到 3.9 倍，田間東方果實蠅對芬化利仍未產生抗藥性。

各地區東方果實蠅對賽扶寧的感受性，地區間有最高達 5.4 倍的差異，和室內感性品系相比，其抗性比最高可達 14 倍，大於東方果實蠅對有機磷類殺蟲劑產生抗性的速率，後續田間東方果實蠅的感受性值得持續監測。

賽扶寧是 2000 年才開始登記在東方果實蠅之防治，而芬化利及賽滅寧則尚未推薦在東方果實蠅使用，不過田間資料顯示，已有部分地區對賽扶寧有 10 倍以上的抗性，此抗性極有可能是來自與其他藥劑的交互抗性。

田間東方果實蠅對殺蟲劑的感受性和⁽¹⁰⁾的調查結果相比，東方果實蠅對撲滅松、芬殺松及乃力松感受性無明顯差異（以 LD_{50} 的 95% 信賴界限範圍相比）（圖二），對福木松、馬拉松、三氯松及納乃得則部分地區有顯著降低趨勢，其中採自彰化地區東方果實蠅對納乃得感受性降低已達 7.7 倍，此是否和中部地區推行納乃得混合番石榴果汁誘殺東方果實蠅的特殊防治方法有關，值得進一步的探討。

採自各地區的東方果實蠅對有機磷殺蟲劑及胺基甲酸鹽殺蟲劑的感受性，都是以採自新竹地區東方果實蠅的感受性最高，不過東方果實蠅對 2000 年新登記的賽扶寧之感受性則和其它調查地區間沒有顯

著差異，對芬化利亦呈現一致性的結果。以合成除蟲菊類殺蟲劑的抗性而言，常可達千倍的抗性^(17, 19)，目前田間東方果實蠅抗性程度相對偏低，應該跟田間尚無此篩選壓力有關。再者，由室內抗性品系之研究顯示，有機磷殺蟲劑對東方果實蠅的抗性，會隨篩選壓力降低，而迅速降低（許及馮，未發表報告），所以新竹地區東方果實蠅相較於中南部地區者，對殺蟲劑的感受性較高應和田間發生與防治用藥有關，氣候較溫暖田間東方果實蠅發生較連續，在持續之用藥選汰壓力下，抗藥性程度較高。

探討東方果實蠅對殺蟲劑間的交互抗性或是多重抗性現象，其結果如表九。在殺蟲劑間的相關性探討中，顯示相同化學類別的藥劑間容易產生交互抗性。瓜實蠅和東方果實蠅在有機磷劑和胺基甲酸鹽間具有正相關，顯示瓜實蠅及東方果實蠅對二類殺蟲劑可能有部分共同的抗性機制。不過納乃得與合成除蟲菊類藥劑的感受性相關性，在東方果實蠅和瓜實蠅二者呈現不同的結果，其中東方果實蠅對納乃得和賽滅寧沒有交互抗性，與 *Spodoptera exigua* (Hübner) 的結果相同⁽¹⁹⁾。而瓜實蠅的結果，可能跟高屏地區的高抗性有關。東方果實蠅對賽滅寧和芬化利間有交互抗性和小黑蚊 (*Simulium bonaerense* (Coscarón & Wygodzinsky)) 有一致的結果⁽¹⁷⁾。瓜實蠅及東方果實蠅對藥劑進一步的抗性機制，仍需室內實驗作更深入的探討來加以釐清。

綜上所述，瓜實蠅及東方果實蠅對殺蟲劑的抗性呈現相近的結果，其中瓜實蠅及東方果實蠅對賽扶寧及納乃得較易產生抗性，對二氯松及乃力松較不易產生抗性。在未有替代藥劑前，輪替用藥防治瓜實蠅及東方果實蠅是目前較可行的方法，不過在未釐清殺蟲劑的抗藥機制，應先減少納乃得、福木松、撲滅松及馬拉松等藥劑之使用，並輪替使用不同化學類別之殺蟲劑。

表九、東方果實蠅對測試殺蟲劑感受性相關性¹⁾
Table 9. Correlation of insecticide susceptibility in *Bactrocera dorsalis*¹⁾

Insecticide	Correlation coefficient (sample size) ²⁾									
	Fenitrothion	Fenthion	Formothion	Malathion	Naled	Trichlorfon	Methomyl	Fenvalerate	Cypermethrin	Cyfluthrin
Fenthion	0.713 (35)*									
Formothion	0.889 (35)*	0.708 (35)*								
Malathion	0.805 (34)*	0.601 (34)*	0.842 (34)*							
Naled	0.567 (34)*	0.454 (34)*	0.566 (34)*	0.684 (33)*						
Trichlorfon	0.766 (34)*	0.450 (34)*	0.814 (34)*	0.829 (33)*	0.575 (33)*					
Methomyl	0.676 (35)*	0.304 (35)	0.708 (35)*	0.795 (34)*	0.565 (34)*	0.862 (34)*				
Fenvalerate	0.592 (16)*	0.583 (16)*	0.502 (16)*	0.616 (16)*	0.183 (15)	0.415 (16)	0.260 (16)			
Cypermethrin	0.660 (16)*	0.581 (16)*	0.575 (16)*	0.639 (16)*	0.308 (15)	0.511 (16)*	0.377 (16)	0.804 (16)*		
Cyfluthrin	0.134 (12)	0.721 (12)*	0.191 (12)	-0.065 (11)	-0.221 (12)	0.139 (11)	-0.164 (12)	-0.144 (10)	-0.257 (10)	

¹⁾ Data of 1997 to 1998 are cited from Hsu and Feng⁽¹⁰⁾.

²⁾ Statistically significant ($p < 0.05$) correlations of $\log LD_{50}$ are marked with an asterisk (*).

謝 辭

本研究於試驗期間承本所李建佑先生、陳秋月、簡雅萍、劉芳梅及陳雅萱小姐協助試驗；二位審查委員對文章提供寶貴意見，此文得以順利完成，特申謝意。本研究承農林廳及農委會提供經費補助，一併致謝。

引用文獻

1. 台灣省政府農林廳。1972。植物保護手冊。台灣省政府印刷廠，南投市。686 頁。
2. 台灣省政府農林廳。1996。園特產作物保護專輯二版。台灣省政府印刷廠，南投市。244 頁。
3. 台灣省農業試驗所。1972。東方果蠅誘殺試驗。委託試驗報告 61：173-174。
4. 行政院農委會農業藥物毒物試驗所。2000。植物保護手冊。行政院農委會農業藥物毒物試驗所印，台中縣。764 頁。
5. 邱輝宗。1978。東方果實蠅大量飼育方法之改進試驗。植保會刊 20：87-92。
6. 鄭允、古德業、高靜華、黃毓斌。1996。瓜果實蠅誘殺劑不穩定性研究-乃力松及克蠅之分解作用。中華農業研究 45：422-435。
7. Brown, T. M., and Payne, G. T. 1988. Experimental selection for insecticide resistance. J. Econ. Entomol. 81: 49-56.
8. Busvine, J. R. 1980. Recommended methods for measurement of pest resistance to pesticides. FAO Plant Production Protect. Paper No. 21. FAO. Rome. 132 pp.

10. Hsu, J. C., and Feng, H. T. 2000. Insecticide susceptibility of the oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis* (Hendel)) (Diptera: Tephritidae) in Taiwan. *Chinese J. Entomol.* 20: 109-118.
11. Keiser, I. 1989. Insecticide resistance status, pp. 337-344. In A. S. Robinson, and G. Hopper [eds.], *Fruit flies: Their biology, natural enemies, and control*. Volume 3B. Elsevier, Amsterdam.
12. Keiser, I., Khattak, S. U., Ashraf, M., and Silva, J. A. 1988. Enhanced longevity and species-specific resistance to malathion of adult Mediterranean fruit flies, melon flies, and oriental fruit flies fed on diets with hydrolyzed protein. *J. Environ. Sci. Health, A23*: 299-310.
13. Keiser, I., Kobayashi, R. M., Schneider, E. L., and Tomikawa, I. 1973. Laboratory assessment of 73 insecticides against the oriental fruit fly, melon fly, and mediterranean fruit fly. *J. Econ. Entomol.* 66: 837-839.
14. Kobayashi, R. M., and Ozaki, E. T. 1980. Bioassay for determining Tephritid pupal and adult quality. *J. Econ. Entomol.* 73: 620-621.
15. Koren, B., Yawetz, A., and Perry, A. S. 1984. Biochemical properties characterising the development of tolerance to malathion in *Ceratitis capitata* Wiedemann (Diptera: Tephritidae). *J. Econ. Entomol.* 77: 864-867.
16. LeOra Software. 1987. *Polo-PC: a user's guide to probit or logit analysis*. LeOra Software, Berkeley, CA.
17. Montagna, C. M., Anguiano, O. L., Gauna, L. E., and De D'angelo A. M. P. 1999. Resistance to pyrethroids and DDT in a field-mixed population of argentinean black flies (Diptera: Simuliidae). *J. Econ. Entomol.* 92: 1243-1245.
18. Orphanidis, P. S., Kalmoukos, P., Betzios, B., and Kapetanakis E. 1980. Development of resistance in *Ceratitis capitata* Wied in laboratory under intermittent pressure of organophosphorous and chlorinated insecticides. *Annls Inst. Phytopath. Benaki (N. S.)* 12: 198-207.
19. Perez, C. J., Alvarado, P., Narvaez, C., Miranda, F., Hernandez, L., Vanegas, H., Hruska, A., and Shelton, A. M. 2000. Assessment of insecticide resistance in five insect pests attacking field and vegetable crops in Nicaragua. *J. Econ. Entomol.* 93: 1779-1787.
20. Stark, J. D., and Sherman, M. 1989. Toxicity, penetration, and metabolism of acephate in three fruit fly species (Diptera: Tephritidae). *J. Econ. Entomol.* 82: 1564-1571.

ABSTRACT

Hsu, J. C., and Feng, H. T.* 2002. Susceptibility of melon fly (*Bactrocera cucurbitae*) and oriental fruit fly (*B. dorsalis*) to insecticides in Taiwan. Plant Prot. Bull. 44: 303 - 315. (Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, Council of Agriculture, Wufeng, Taichung 413, Taiwan, ROC)

Field populations of *Bactrocera cucurbitae* Coquillett, and *B. dorsalis* (Hendel) were tested for resistance to several insecticides commonly used in Taiwan from 1998 to 2002. A topical application assay was conducted to estimate the LD₅₀ values and the corresponding resistance ratios. Resistance to dichlorvos, fenthion, malathion, methomyl, and cyfluthrin, was documented in 6 field populations of *B. cucurbitae*. The overall insecticide toxicity was significantly lower to melon fruit flies collected from Kaohsiung and Pingtung than to those collected from other investigated locations. The melon flies collected from 6 different sites indicate the absence of resistance to dichlorvos, but high levels (up to 29-fold) of resistance to cyfluthrin. Resistance to fenitrothion, fenthion, formothion, malathion, naled, trichlorfon, methomyl, cyfluthrin, fenvalerate, and cympermethrin, was documented in 6 field populations of *B. dorsalis*. The overall insecticide toxicity was significantly higher to oriental fruit flies collected from Hsinchu than to those collected from other investigated locations. Among 4 years of investigation, the resistance ratio (LD₅₀ of the location with a higher value/LD₅₀ of the location with the lowest value) of naled of 6.3 times to oriental fruit flies was the lowest among the investigated insecticides, while the resistance ratio of 43 times for methomyl to oriental fruit fly was the highest. The presence of significant correlations between LD₅₀ values suggests the occurrence of cross-resistance or simultaneous selection for resistance by different insecticides with different modes of action. Our data could not differentiate between these 2 possibilities.

(Key words: *Bactrocera cucurbitae*, *Bactrocera dorsalis*, insecticides, susceptibility, resistance)

*Corresponding author. E-mail: feng@tactri.gov.tw