

小菜蛾對 21 種登記殺蟲劑的田間感受性調查及敏感品系感受性基準資料的建立

許如君^{1,2*}、龔庭毅^{1#}、劉佩芳^{3#}、李建佑^{3#}、馮海東^{3*}

¹ 國立臺灣大學昆蟲學系 台北市 10673 大安區羅斯福路 4 段 113 巷 27 號

² 國立臺灣大學植物醫學學程 台北市 10672 大安區舟山路 86 號

³ 行政院農委會農業藥物毒物試驗所農藥化學組 台中市 41358 霧峰區光明路 11 號

等同貢獻

摘 要

小菜蛾 (*Plutella xylostella*) 是國內重要的十字花科蔬菜害蟲，因其極易對藥劑產生抗藥性，為使田間防治用藥有感受性比較的基準，特以數十年前採自田間所建立之室內品系為感性品系，建立 21 種藥劑（包括 6 種有機磷類（美文松 (mevinphos)、佈飛松 (profenofos)、陶斯松 (chlorpyrifos)、乃力松 (naled)、賽達松 (phenthoate) 及普硫松 (prothiofos))、2 種胺基甲酸鹽類（納乃得 (methomyl)、加保扶 (carbofuran))、4 種除蟲菊酯類（第滅寧 (deltamethrin)、芬化利 (fenvalerate)、賽滅寧 (cypermethrin) 及百滅寧 (permethrin)、3 種沙蠶毒素類似物（免速達 (bensultap)、培丹 (cartap)、硫賜安 (thiocyclam hydrogen oxalate))、3 種抗生類（阿巴汀 (abamectin)、因滅汀 (emamectin benzoate) 及賜諾殺 (spinosad)、因得克 (indoxacarb)、芬普尼 (fipronil) 及克凡派 (chlorfenapyr) 的感受性基礎資料。另外，為瞭解田間小菜蛾對現行登記用藥的感受性調查，做為抗藥性比較的基準及防治用藥的參考，以浸漬甘藍葉餵食法測試 2003 及 2006 年採自臺灣不同地區共 12 個田間族群之小菜蛾感受性。將野外攜回之幼蟲及蛹以芥藍苗或甘藍葉等寄主植物飼育繁殖，待第一子代二齡幼蟲測試其對等 20 種藥劑的感受性（普硫松除外）。結果顯示，來自不同地區之小菜蛾對測試殺蟲劑的感受性存在差異，對納乃得、加保扶、芬化利及百滅寧的 LC_{50} 濃度高於登記濃度數十倍，且室內蟲的感受性低，建議不要使用這些用藥；對加保扶、芬化利、百滅寧、阿巴汀及芬普尼的抗性程度變異很大 (10~100 倍)， LC_{50} 的值亦高於田間使用濃度，建議暫時不要使用這些藥劑在小菜蛾的防治，讓田間的蟲回復感性後，再檢討使用。經由這二年的調查，田間小菜蛾較適宜的推薦用藥為美文松、乃力松、培丹、硫賜安及因密汀，但因小菜蛾對藥劑產生抗藥性的速度很快，其感受性資料需再更新，使用時需輪替用藥，以延長藥劑在小菜蛾上防治的使用期限。

關鍵詞：感受性、小菜蛾、殺蟲劑、基礎資料。

*論文聯繫人

Corresponding emails: juchun@ntu.edu.tw, feng@tactri.gov.tw

小菜蛾敏感品系及田間蟲藥效測試 25

前 言

小菜蛾 (Diamondback moth, *Plutella xylostella*) 屬於鱗翅目 (Lepidoptera) 的小菜蛾科 (Plutellidae)，為專食十字花科昆蟲，其生活史短，年發生 15~20 世代 (Liu, 1981)，於田間發生頻繁。幼蟲會由葉背取食而僅殘留下表皮，造成窗孔般的食痕，影響外觀及產品價值，最嚴重時將葉片消耗殆盡，為十字花科蔬菜最重要的害蟲，每年用在防治的費用可達 10 億美金 (Talekar, 1992)。目前應用於防治小菜蛾的方法有很多，如耕作、性費洛蒙、天敵及殺蟲劑 (包括蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis*) 等微生物農藥) 等。

田間最主要的防治小菜蛾方法，仍以噴灑殺蟲劑進行化學防治為主。在長期使用殺蟲劑情形下，依據節肢動物對殺蟲劑之抗藥性資料庫 (Arthropod Pesticide Resistance Database, APRD, <http://www.pesticideresistance.org/search/12/0/571/0/>) 的紀錄顯示，田間小菜蛾對已知 81 種殺蟲劑產生抗藥性，其中屬於國內植物保護手冊登記之用藥包括蘇力菌毒素 (*Bacillus thuringiensis* Cry toxins)、阿巴汀 (abamectin)、加保扶 (carbofuran)、培丹 (cartap)、陶斯松 (chlorpyrifos)、賽滅寧 (cypermethrin)、第滅寧 (deltamethrin)、因滅汀 (emamectin benzoate)、芬化利 (fenvalerate)、芬普尼 (fipronil)、因得克 (indoxacarb)、納乃得 (methomyl)、美文松 (mevinphos)、乃力松 (naled)、百滅寧 (permethrin)、賽達松 (phenthoate)、佈飛松 (profenofos)、普硫松 (prothiofos)、賜諾殺 (spinosad) 及硫賜安 (thiocyclam hydrogen oxalate)。

國內至目前為止，列於植物保護手冊登記使用於防治小菜蛾之藥劑計有 44 種有效成

份之多，有不少藥劑在剛登記使用時有不錯之效用，但歷經數十年使用，這些藥劑是否維持對小菜蛾當初登記使用時之藥效，實在有必要對主要十字花科蔬菜栽培區進行小菜蛾已登記殺蟲劑感受性之監測。本試驗選取植物保護手冊所列防治小菜蛾的 21 種用藥，以室內蟲測試其感受性建立敏感品系感受性基礎資料，並測試 2003 及 2006 年採自台灣數個地區各主要蔬菜產地之小菜蛾的感受性，提供往後防治小菜蛾用藥時之參據。

材料與方法

供試藥品及稀釋方法：本試驗選擇 21 種殺蟲劑進行測試，如表一，其中美文松 (mevinphos) 為惠大實業股份有限公司；佈飛松 (profenofos) 為世大農化工廠股份有限公司；陶斯松 (chlorpyrifos) 為松樹國際有限公司；乃力松 (naled) 為眾益化學股份有限公司；賽達松 (phenthoate) 為世大農化工廠股份有限公司；普硫松 (prothiofos) 為惠大實業股份有限公司；納乃得 (methomyl) 為大成股份有限公司；加保扶 (carbofuran) 為台灣瑪斯德股份有限公司；第滅寧 (deltamrthrin) 為恒欣股份有限公司；芬化利 (fenvalerate) 為大成化工廠股份有限公司；百滅寧 (permethrin) 為益欣股份有限公司；免速達 (bensultap) 為立農化工廠股份有限公司；培丹 (cartap) 為益欣股份有限公司；硫賜安 (thiocyclam hydrogenoxalate) 為世大農化工廠股份有限公司；芬普尼 (fipronil) 為台灣巴斯夫股份有限公司；阿巴汀 (abamectin) 為台灣先正達股份有限公司；因滅汀 (emamectin benzoate) 為興農股份有限公司；賜諾殺 (spinosad) 為台灣道禮股份有限公司；因得克 (indoxacarb) 為杜邦化工廠股

表一 測試所用殺蟲劑之類別、濃度、劑型及防治小菜蛾 (*Plutella xylostella*) 之田間建議濃度

Table 1. The chemical group, nominal concentration, formulation and field recommendation concentration of registered insecticides on the diamondback moth in Taiwan

Common name	Chemical group	Nominal concentration	Formulation ¹	Field recommendation	Commercial Date
Mevinphos	Organophosphate	10%	EC、SL	286 mgL ⁻¹	< 1985-06-01
Naled	Organophosphate	58%	EC	580 mgL ⁻¹	< 1985-06-01
Phenthoate	Organophosphate	50%	EC	500 mgL ⁻¹	< 1985-06-01
Profenofos	Organophosphate	43%	EC	430 mgL ⁻¹	< 1985-06-01
Prothiofos	Organophosphate	50%	EC	333 mgL ⁻¹	< 1985-06-01
Carbofuran	Carbamate	40.64%	SC	338.7 mgL ⁻¹	< 1985-06-01
Methomyl	Carbamate	40%	SG、SP	266.7 mgL ⁻¹	< 1985-06-01
		25%	SG	277.8 mgL ⁻¹	
Cypermethrin	Pyrethroid	5%	WP、EW、ME、EC	33.3 mgL ⁻¹	< 1985-06-01
Deltamethrin	Pyrethroid	2.8%	EW、EC	28 mgL ⁻¹	< 1985-06-01
Fenvalerate	Pyrethroid	10%	EC	33.3 mgL ⁻¹	< 1985-06-01
		20%	EW、EC	50 mgL ⁻¹	
		20%	WP、TB	40 mgL ⁻¹	
		5%	EC	25 mgL ⁻¹	
Permethrin	Pyrethroid	10%	WP、EC	33.3 mgL ⁻¹	1977-08-24
Chlorpyrifos + Cypermethrin	Organophosphate + Pyrethroid	25%	EC	250 mgL ⁻¹	< 1985-06-01
Bensultap	Nereistoxin analogue	50%	WP	500 mgL ⁻¹	1990-06-29
		25%	EC		
Cartap hydrochloride	Nereistoxin analogue	50%	SP	500 mgL ⁻¹	1985-06-01
Thiocyclam hydrogen oxalate	Nereistoxin analogue	90%	SP	450 mgL ⁻¹	1985-06-01
Indoxacarb	Oxadiazine	14.5%	SC	58 mgL ⁻¹	2001-11-09
Fipronil	Phenylpyrazole	4.95%	SC	24.8 mgL ⁻¹	1986-02-27
Chlorfenapyr	pyrrole	10%	SC	100 mgL ⁻¹	1996-10-01
Abamectin	Antibiotic	2%	EC	10 mgL ⁻¹	1992-07-07
Emamectin benzoate	Antibiotic	2.15%	EC	10.75 mgL ⁻¹	1998-11-04
Spinosad	Antibiotic	11.6%	SC	38.7 mgL ⁻¹	1998-11-04

¹EC, emulsifiable concentrate; EW, emulsion, oil in water; ME, micro-emulsion; SC, suspension concentrate; SG, water soluble granules; SL, soluble concentrate; SP, water soluble powder; TB, tablet; WP, wettable powder.

份有限公司；克凡派 (chlorfenapyr) 為台灣巴斯夫股份有限公司；賽滅寧 (cypermethrin) 為世大農化工廠股份有限公司、因滅汀 (emamectin benzoate) 為雋農實業股份有限公司；陶斯松 (chlorpyrifos) 為惠光股份有限公司所生產。以上各藥劑之有效成分含量均經

檢驗，並以實測含量為藥劑配製之計算基準。

各藥劑以水稀釋為 10 mg/ml，再以丙酮及純水 (比率為 1:1)，加入展著劑 (Triton X-100) 0.01% (w/v) 混合後用作稀釋溶劑 (Lie *et al.*, 1981)，以之進行序列稀釋藥液為各處理濃度，測試小菜蛾感受性。

表二 臺灣田間小菜蛾的採集日期及地點

Table 2. The diamondback moth (*Plutella xylostella*) collection dates and locations

Location	2003		2006	
	Location	Date	Location	Date
Hsinchu	Jhubei	Feb. 19	Hsinbu	Feb. 26
Taichung	Wufong	Feb. 7	Wufong	Mar. 13
Changhwa	Fenyuan	Feb. 18	Shetou	Mar. 3
Yunlin	Linna	Feb. 13	Tuku	Mar. 8
Chiayi	Jungbu	Feb. 11	Jhuci	Feb. 23
Kaohsiung	—	—	Yanchao	Apr. 27

供試蟲：實驗室分別於 1994 年 4 月及 1998 年 8 月於台中地區採集小菜蛾幼蟲及蛹帶回實驗室飼養，以芥藍菜苗或甘藍菜葉飼育幼蟲，待成蟲羽化，以沾甘藍菜汁之皺褶錫箔供產卵。再將卵片置於種植一週之適當油菜苗上，置於 $20 \pm 1^\circ\text{C}$, 70% RH, 12D:12L 生長箱飼育，累代飼養。此品系於飼養過程中皆未再接觸藥劑，視為感性品系。

供試蟲源之採集：分別於 2003 年及 2006 年進行調查，以採自台灣各地區為害十字花科蔬菜之小菜蛾所繁殖第一子代二齡蟲為材料。於田間採集幼蟲或蛹，攜回實驗室飼育，待子代成二齡蟲即為供試蟲。採集地包括新竹縣竹北 (Jhubei) 及新埔 (Hsinbu)、台中霧峰 (Wufong)、彰化縣芬園 (Fenyuan) 及社頭 (Shetou)、雲林縣林內 (Linna) 及土庫 (Tuku)、嘉義縣中埔 (Jungbu) 及竹崎 (Jhuci)、高雄燕巢 (Yanchao)。採集時間在 2 到 4 月間進行。寄主植物則為甘藍 (*Brassica oleracea*) (表二)。

感受性測定：以序列稀釋藥液為各處理的實驗組，稀釋用的溶劑為對照組，將直徑 3 cm 之甘藍葉盤 (leaf disc)，浸潤於稀釋配製成之各濃度藥劑內 6 秒，每濃度 3 個重覆 (3 片葉盤)，待測試用之葉盤於陰乾後放入塑膠小培養皿 (3 (ID) × 1 (H) cm) 中。再利用毛筆將

供試蟲接入，每一培養皿內接入小菜蛾 10 隻，再置於定溫步入室生長箱 ($21 \pm 1^\circ\text{C}$, 70% RH, 12D:12L) 中，24 小時後觀察記錄死亡率。不同濃度殺蟲劑所造成之死亡率，利用 POLO-PC 以對數分析 (probit analysis) (LeOra, 1987)，計算各濃度與死亡率相關性之各介量以及半數致死濃度 (LC_{50})。

統計分析：以各藥劑間的 LC_{50} 進行無母數分析法的克-瓦二氏單因子等級變異數分析 (Kruskal-Wallis test)，比較小菜蛾對各藥劑間的反應是否存在差異。另外，以史比爾曼等級之相關性 (Spearman rank order correlations) 的無母數分析法，來比較小菜蛾對不同藥劑間的抗性比 (田間蟲和感性品系的 LC_{50} 相比) 或是不同地區間的小菜蛾對藥劑的抗性比是否有相關性。

結 果

本實驗所採用之 21 種測試藥劑為植物保護手冊上針對小菜蛾防治的登記用藥，其化學類別、含量、劑型及田間使用濃度如表一。小菜蛾登記用藥的登記濃度範圍很大，從 25 到 600 mgL^{-1} ，有機磷及胺基甲酸鹽類為 260 ~ 600 mgL^{-1} ；合成除蟲菊酯類為 25 ~ 50 mgL^{-1} ，沙蠶毒素類似物為 450 ~ 500

表三 臺灣小菜蛾室內感性品系對 21 種登記用藥的感受性基準資料

Table 3. The susceptibility baseline of the diamondback moth (*Plutella xylostella*) to twenty-one registered insecticides used in Taiwan

Insecticide	Slope ± SE	LC ₅₀ (µg/mL) (95% FL)	LC ₉₀ (µg/mL) (95% FL)
Mevinphos ¹	3.94 ± 0.54	34.7 (23.8-50.6)	73.4 (50.4-197)
Mevinphos ²	2.08 ± 0.31	42.0 (32.6-54.9)	175 (118-337)
Mevinphos ³	1.77 ± 0.23	45.0 (34.0-59.5)	238 (157-454)
Chlorpyrifos ²	2.58 ± 0.35	93.0 (61.3-146)	292 (176-961)
Naled ²	2.92 ± 0.39	124 (100-152)	340 (258-520)
Phenthoate ²	3.09 ± 0.46	21.6 (17.6-27.2)	56.0 (41.2-93.7)
Profenofos ¹	1.17 ± 0.15	90.0 (39.2-468)	1120 (285-660,000)
Prothiofos ²	2.29 ± 0.33	117 (89-149)	423 (99-718)
Carbofuran ¹	1.58 ± 0.27	47.6 (26.4-201)	307 (103-13,800)
Carbofuran ³	1.69 ± 0.24	108 (79.2-144)	618 (400-1,240)
Methomyl ¹	2.22 ± 0.35	625 (380-1,750)	2350 (1070-36,100)
Cypermethrin ²	2.38 ± 0.42	50.4 (38.7-74.6)	174 (106-451)
Deltamethrin ¹	1.76 ± 0.18	11.8 (6.94-18.1)	63.6 (38.0-158)
Deltamethrin ³	3.64 ± 0.46	28.4 (24.4-32.7)	63.8 (52.4-85.6)
Fenvalerate ¹	1.95 ± 0.20	19.5 (12.4-27.9)	88.3 (56.3-197)
Permethrin ¹	4.67 ± 0.73	17.0 (14.5-20.1)	32.0 (25.9-45.5)
Bensultap ²	2.62 ± 0.37	60.2 (47.5-75.0)	184 (137-292)
Cartap ¹	1.03 ± 0.24	143 (73.0-666)	2510 (574-113,000)
Cartap ³	1.14 ± 0.20	136 (84.2-200)	1800 (924-6,490)
Thiocyclam hydrogen oxalate ¹	0.72 ± 0.20	83.7 (36.6-942)	5060 (582-8,760,000)
Indoxacarb ²	2.46 ± 0.34	13.6 (10.6-17.0)	44 (31.4-76.1)
Abamectin ¹	1.29 ± 0.28	0.72 (0.21-1.29)	7.14 (4.56-15.8)
Abamectin ³	1.28 ± 0.22	0.42 (0.24-0.61)	4.21 (2.49-10.8)
Emamectin benzoate ²	2.38 ± 0.32	0.919 (0.708-1.17)	3.16 (2.27-5.21)
Spinosad ¹	1.97 ± 0.33	13.7 (4.68-22.7)	60.5 (33.8-364)
Spinosad ²	3.96 ± 0.55	15.3 (12.8-18.3)	32.2 (25.8-45.4)
Fipronil ¹	3.36 ± 0.46	3.00 (2.50-3.65)	7.25 (5.70-10.5)
Fipronil ²	2.81 ± 0.39	3.44 (2.09-6.71)	9.82 (5.5-65)
Chlorfenapyr ²	2.73 ± 0.42	9.23 (7.43-12.0)	27.2 (18.9-50.7)

¹The 988 strain used for testing in 2003, ² the 944 strain used for testing in 2006 and ³ the 944 strain used for testing in 2010.

mgL⁻¹；抗性素類為 10~50 mgL⁻¹；其它包括因得克、芬普尼及克凡派為 25~100 mgL⁻¹。

以室內二品系 944 及 988，分別於 2003 及 2006 年對這 21 種測試藥劑進行感受性測試，所得結果如表三。室內品系對這些藥劑的半數致死劑量 (LC₅₀) 的範圍在 0.5~650 mgL⁻¹ 之間，對納乃得感受性最低，對

阿巴汀的感受性最高。針對有機磷的 6 種登記用藥中，感受性分成二群，一為 LC₅₀ 可達 100 mgL⁻¹，包括陶斯松、乃力松、佈飛松及普硫松；另為 100 mgL⁻¹ 以下，有美文松及賽達松 (約 50 mgL⁻¹)。對胺基甲酸鹽類的加保扶及納乃得其 LC₅₀ 可達到 100 mgL⁻¹ 以上；對合成除蟲菊酯的 4 種殺蟲劑則皆在 50

mgL⁻¹ 以下。對三種沙蠶毒素類似物的 LC₅₀ 感受性則在 80 mgL⁻¹ 以上；對因得克、克凡派及賜諾殺的 LC₅₀ 在 10~25 mgL⁻¹ 之間；對芬普尼則為 2~6 mgL⁻¹；對阿巴汀及因密汀則可低於 1.0 mgL⁻¹。

2003 及 2006 年於田間多個地區 (表二) 採集十字花科蔬菜上的小菜蛾，對 20 種測試殺蟲劑的反應結果如表四及圖一，對各藥劑的 LC₅₀ 呈現差異 (Kruskal-Wallis test, $p < 0.05$)。各地區的小菜蛾對納乃得的感受性最低 (2,300~11,600 mgL⁻¹)，對因密汀的感受性最

高 (4.5~7.5 mgL⁻¹)。各地區小菜蛾對藥劑的平均 LC₅₀ 在 10 mgL⁻¹ 以下者僅有因密汀；100 mgL⁻¹ 以下有培丹、硫賜安、阿巴汀、賜諾殺及芬普尼等五種；1,000 mgL⁻¹ 以下有美文松、陶斯松、乃力松、賽達松、佈飛松、賽滅寧、第滅寧、芬化利、百滅寧、免速達及因得克等 11 種；1,000 mgL⁻¹ 以上則有加保扶及納乃得。

對 6 種有機磷的感受性中，以對佈飛松的感受性最低，和阿巴汀、因密汀、賜諾殺及芬普尼呈現顯著差異 (Kruskal-Wallis test,

表四 臺灣不同地區小菜蛾對 20 種殺蟲劑的感受性

Table 4. The susceptibility of the field diamondback (*Plutella xylostella*) moth to 20 recommended insecticides in Taiwan

Insecticide	parameters	LC ₅₀ (µg/mL)		LC ₉₀ (µg/mL)		RR ³
Location	Slope ± SE	(95% FL)		(95% FL)		
Mevinphos						
Taichung ¹	2.76 ± 0.39	176	(134-229)	514	(372-838)	5.07
Changhwa ¹	2.05 ± 0.20	163	(74.6-365)	686	(321-8,670)	4.70
Yunlin ¹	3.39 ± 0.45	175	(101-303)	418	(256-1,950)	5.04
Chiayi ¹	2.31 ± 0.32	283	(212-382)	1,020	(689-1,860)	8.16
Hsinchu ²	2.45 ± 0.34	156	(123-196)	518	(377-861)	2.96
Taichung ²	2.14 ± 0.31	197	(152-256)	778	(532-1,480)	4.46
Changhwa ²	2.79 ± 0.39	264	(214-332)	757	(553-1,260)	4.33
Yunlin ²	2.55 ± 0.34	173	(111-273)	546	(329-1,860)	3.13
Chiayi ²	3.07 ± 0.43	115	(78.2-162)	301	(204-690)	1.72
Kaohsiung ²	2.64 ± 0.32	118	(94.7-146)	359	(269-546)	2.06
Chlorpyrifos						
Hsinchu ²	2.52 ± 0.34	214	(170-271)	688	(493-1,160)	2.36
Taichung ²	2.53 ± 0.36	262	(209-335)	785	(592-1,480)	2.69
Changhwa ²	2.95 ± 0.41	244	(200-304)	662	(493-1,050)	2.27
Yunlin ²	1.77 ± 0.28	168	(123-226)	884	(556-2,030)	3.03
Chiayi ²	3.71 ± 0.50	182	(125-269)	401	(271-1,050)	1.38
Kaohsiung ²	3.16 ± 0.48	184	(151-228)	1,330	(352-739)	1.61
Naled						
Hsinchu ²	3.38 ± 0.45	197	(162-238)	468	(370-683)	1.38
Taichung ²	2.26 ± 0.38	112	(88-139)	337	(252-532)	0.99
Changhwa ²	2.94 ± 0.39	261	(213-322)	711	(535-1,095)	2.09
Yunlin ²	2.90 ± 0.42	122	(97-150)	338	(258-518)	0.99
Chiayi ²	3.11 ± 0.41	185	(125-280)	475	(307-1,296)	1.40
Kaohsiung ²	2.58 ± 0.31	185	(130-269)	577	(373-1,349)	1.70

表四 (續)
Table 4. continued.

Insecticide Location	parameters Slope \pm SE	LC ₅₀ (μ g/mL) (95% FL)		LC ₉₀ (μ g/mL) (95% FL)		RR ³
Phenthoate						
Hsinchu ²	1.74 \pm 0.28	303	(225-415)	1,650	(993-4,120)	29.43
Taichung ²	1.88 \pm 0.35	479	(359-690)	2,300	(1,360-5,990)	41.02
Changhwa ²	2.54 \pm 0.37	158	(122-198)	500	(373-799)	8.93
Yunlin ²	2.58 \pm 0.27	380	(303-482)	1,190	(852-2,030)	21.26
Chiayi ²	2.57 \pm 0.35	247	(161-380)	778	(472-2,460)	13.90
Kaohsiung ²	2.61 \pm 0.31	361	(255-521)	1,120	(722-2,560)	20.00
Profenofos						
Hsinchu ¹	-	-	-	-	-	-
Taichung ¹	1.66 \pm 0.28	1,020	(751-1,440)	6,070	(3,510-16,900)	11.3
Changhwa ¹	1.60 \pm 0.22	474	(332-684)	2,990	(1,790-6,730)	5.27
Yunlin ¹	-	-	-	-	-	-
Chiayi ¹	1.24 \pm 0.27	1,920	(1,270-3,950)	20,600	(7,750-219,000)	21.3
Hsinchu ²	2.08 \pm 0.31	718	(549-986)	3,106	(1,950-7,110)	7.35
Taichung ²	2.12 \pm 0.31	546	(330-1,021)	2,201	(1,140-15,200)	5.21
Changhwa ²	3.21 \pm 0.42	496	(408-609)	1,254	(963-1,880)	2.97
Yunlin ²	1.78 \pm 0.29	405	(299-546)	2,127	(1,345-4,790)	5.03
Chiayi ²	1.96 \pm 0.31	585	(447-792)	2,637	(1,670-5,810)	6.24
Kaohsiung ²	2.01 \pm 0.31	606	(366-1,137)	2,525	(1,290-18,200)	5.98
Carbofuran						
Hsinchu ¹	1.19 \pm 0.26	697	(427-1,060)	8,250	(3,800-50,500)	14.6
Taichung ¹	1.05 \pm 0.21	1,390	(873-3,040)	23,200	(7,700-265,000)	19.2
Changhwa ¹	1.71 \pm 0.29	728	(367-1,310)	4,100	(1,980-40,900)	15.3
Yunlin ¹	1.31 \pm 0.28	3,750	(2,130-12,500)	35,500	(11,100-570,000)	78.8
Chiayi ¹	0.56 \pm 0.19	3,016	(1,234-81,900)	556,000	(470,000-3,520,000)	63.4
Methomyl						
Hsinchu ¹	1.57 \pm 0.29	2,300	(1,390-3,230)	15,100	(9,540-36,100)	3.68
Taichung ¹	2.18 \pm 0.33	8,500	(6,620-11,400)	32,900	(21,400-69,200)	13.6
Changhwa ¹	0.72 \pm 0.25	3,570	(1,020-7,260)	220,000	(43,500-746,000,000)	5.71
Yunlin ¹	2.75 \pm 0.44	11,600	(9,300-15,400)	33,900	(23,300-66,400)	18.6
Chiayi ¹	1.50 \pm 0.28	4,570	(1,750-10,500)	32,600	(12,900-2,930,000)	7.31
Cypermethrin						
Hsinchu ²	2.41 \pm 0.35	283	(168-454)	958	(585-3,170)	5.62
Taichung ²	1.68 \pm 0.29	609	(447-915)	3,520	(1,940-11,200)	12.1
Changhwa ²	2.85 \pm 0.38	500	(330-785)	1,410	(866-4,540)	9.93
Yunlin ²	3.88 \pm 0.53	419	(352-500)	898	(718-1,260)	8.32
Chiayi ²	2.71 \pm 0.36	356	(287-444)	1,063	(796-1,670)	7.06
Kaohsiung ²	2.54 \pm 0.35	644	(514-824)	2,056	(1,450-3,590)	12.8
Deltamethrin						
Hsinchu ¹	2.16 \pm 0.31	78.7	(60.8-102)	308	(213-563)	6.67
Taichung ¹	1.52 \pm 0.19	52.0	(36.2-77.2)	366	(211-849)	4.41
Changhwa ¹	2.48 \pm 0.35	123	(77.2-185)	405	(250-1,210)	10.4
Yunlin ¹	0.86 \pm 0.16	252	(86.8-5,030)	8,770	(1,040-25,400,000)	21.4
Chiayi ¹	4.13 \pm 0.67	375	(316-455)	768	(601-1,170)	31.8

表四 (續)
Table 4. continued.

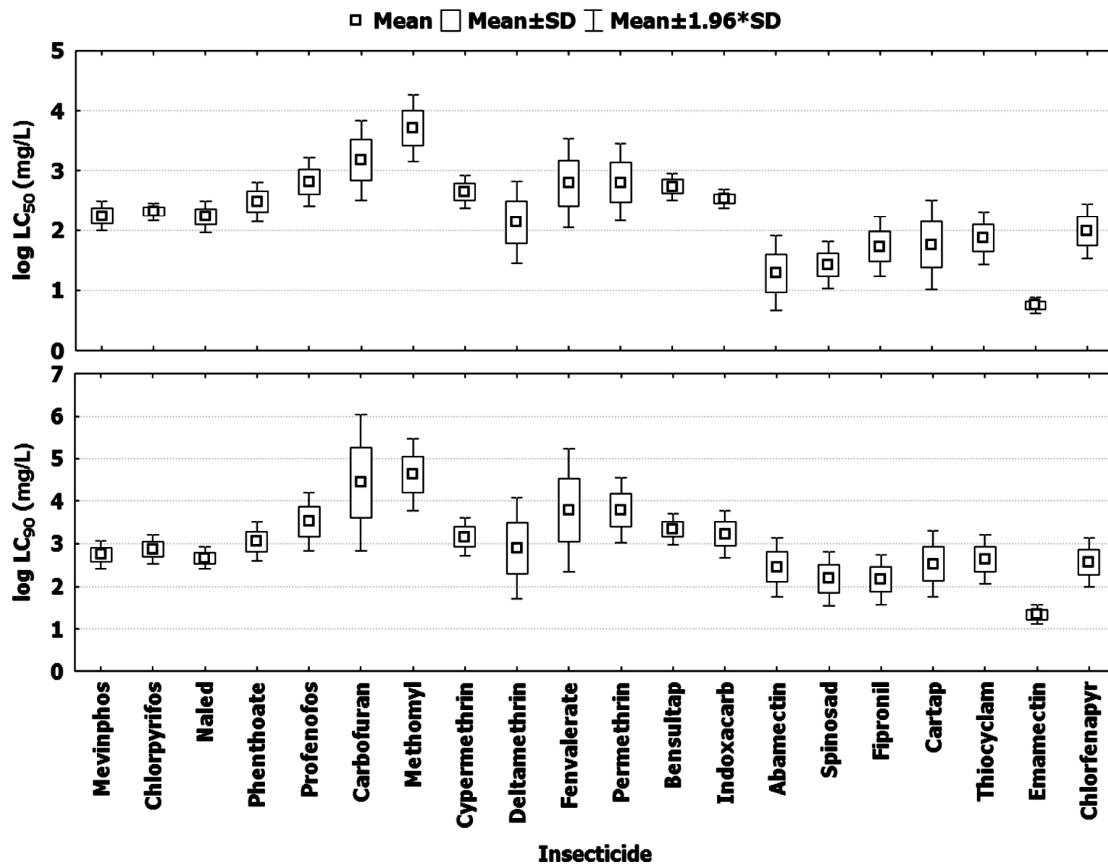
Insecticide Location	parameters Slope \pm SE	LC ₅₀ (μ g/mL) (95% FL)		LC ₉₀ (μ g/mL) (95% FL)		RR ³
Fenvalerate						
Hsinchu ¹	1.31 \pm 0.27	277	(95.0-551)	2,650	(1,030-151,000)	14.2
Taichung ¹	1.26 \pm 0.20	695	(434-1,370)	7,200	(2,980-36,300)	35.6
Changhwa ¹	2.16 \pm 0.31	505	(320-889)	1,980	(1,060-10,050)	25.9
Yunlin ¹	1.74 \pm 0.40	354	(206-536)	1,930	(1,090-7,120)	18.2
Chiayi ¹	0.80 \pm 0.17	2,660	(1,020-20,800)	107,000	(15,400-11,300,000)	136
Permethrin						
Hsinchu ¹	1.19 \pm 0.28	230	(91.6-366)	2,740	(1,480-11,900)	13.5
Taichung ¹	1.06 \pm 0.20	628	(410-1,030)	10,000	(4,150-63,000)	36.9
Changhwa ¹	1.93 \pm 0.30	502	(266-845)	2,310	(1,230-13,900)	29.5
Yunlin ¹	1.37 \pm 0.22	803	(572-1,220)	6,870	(3,540-22,700)	47.2
Chiayi ¹	1.25 \pm 0.23	1,860	(923-12,700)	19,800	(4,920-4,470,000)	109
Bensultap						
Hsinchu ²	1.81 \pm 0.28	659	(493-908)	3,380	(2,070-8,060)	10.9
Taichung ²	2.24 \pm 0.33	384	(295-489)	1,440	(1,020-2,510)	6.37
Changhwa ²	2.33 \pm 0.32	465	(282-757)	1,650	(951-6,590)	7.72
Yunlin ²	1.71 \pm 0.28	609	(451-849)	3,480	(2,070-9,050)	10.1
Chiayi ²	2.76 \pm 0.37	486	(391-607)	1,420	(1,060-2,220)	8.07
Kaohsiung ²	2.42 \pm 0.35	792	(627-1,050)	2,690	(1,820-5,180)	13.2
Cartap						
Hsinchu ¹	1.97 \pm 0.26	15.8	(6.30-36.6)	70.6	(31.8-726)	0.11
Taichung ¹	2.83 \pm 0.46	144	(110-192)	408	(284-767)	1.01
Changhwa ¹	1.02 \pm 0.14	35.5	(15.2-66.9)	646	(242-8,300)	0.25
Yunlin ¹	1.75 \pm 0.24	84.3	(60.2-124)	456	(271-1,050)	0.59
Chiayi ¹	1.66 \pm 0.23	90.4	(63.7-135)	534	(309-1,290)	0.63
Thiocyclam hydrogen oxalate						
Hsinchu ¹	2.53 \pm 0.35	74.2	(41.3-132)	239	(134-1,390)	0.89
Taichung ¹	0.80 \pm 0.14	31.9	(12.9-184)	1,300	(212-269,000)	0.38
Changhwa ¹	2.42 \pm 0.33	93.4	(73.9-119)	317	(227-539)	1.12
Yunlin ¹	2.08 \pm 0.46	128	(86.0-297)	530	(246-3,480)	1.53
Chiayi ¹	2.39 \pm 0.65	83.7	(61.7-146)	288	(159-1,750)	1.00
Indoxacarb						
Hsinchu ²	1.16 \pm 0.26	381	(231-588)	4,817	(2,320-34,300)	28.03
Taichung ²	1.83 \pm 0.29	363	(266-482)	1,806	(1,170-3,840)	26.7
Changhwa ²	2.41 \pm 0.33	433	(344-549)	1,479	(1,060-2,520)	31.9
Yunlin ²	2.35 \pm 0.36	351	(305-504)	2,289	(1,220-3,510)	25.8
Chiayi ²	3.13 \pm 0.43	290	(235-352)	743	(574-1,100)	21.3
Kaohsiung ²	2.07 \pm 0.26	265	(168-405)	1,099	(652-3,200)	19.5
Abamectin						
Hsinchu ¹	1.15 \pm 0.16	18.0	(2.67-65.4)	233	(64.5-56,900)	25.0
Taichung ¹	0.94 \pm 0.14	41.5	(22.7-68.5)	948	(452-3,230)	57.6
Changhwa ¹	0.94 \pm 0.16	7.29	(3.23-12.7)	168	(84.4-536)	10.1
Chiayi ¹	1.47 \pm 0.20	24.8	(7.18-61.6)	184	(71.2-3,380)	34.4

表四 (續)
Table 4. continued.

Insecticide	parameters	LC ₅₀ (µg/mL)		LC ₉₀ (µg/mL)		RR ³
Location	Slope ± SE	(95% FL)		(95% FL)		
Emamectin benzoate						
Hsinchu ²	2.62 ± 0.35	5.07	(3.37-7.68)	15.6	(9.68-45.1)	5.52
Taichung ²	1.74 ± 0.28	6.02	(4.47-8.35)	32.9	(19.8-83.1)	6.55
Changhwa ²	1.76 ± 0.28	4.79	(3.49-9.97)	25.5	(16.1-56.7)	5.21
Yunlin ²	2.31 ± 0.32	5.78	(4.51-7.43)	20.7	(14.5-36.3)	6.28
Chiayi ²	2.65 ± 0.34	7.43	(5.95-9.37)	22.6	(16.3-38.0)	8.08
Kaohsiung ²	2.34 ± 0.31	5.39	(4.30-6.94)	19.0	(13.4-32.9)	5.86
Spinosad						
Hsinchu ¹	1.35 ± 0.21	13.7	(8.0-92.0)	60.5	(42.8-4,104)	0.95
Taichung ¹	1.31 ± 0.18	13.0	(84.0-201)	116	(273-1,030)	3.55
Changhwa ¹	1.09 ± 0.15	48.6	(42.0-111)	461	(202-1,008)	1.87
Yunlin ¹	1.12 ± 0.17	25.6	(38.0-118)	378	(203-925)	1.92
Chiayi ¹	2.44 ± 0.36	26.3	(505-928)	363.6	(580-1,470)	18.1
Hsinchu ²	2.37 ± 0.32	16.3	(8.89-26.2)	56.4	(33.4-203)	1.07
Taichung ²	1.97 ± 0.30	40.7	(31.1-53.9)	182.1	(118-382)	2.66
Changhwa ²	1.59 ± 0.28	35.3	(25.6-50.7)	224.3	(120-693)	2.31
Yunlin ²	2.37 ± 0.36	30.9	(18.2-53.6)	106.8	(59.6-564)	2.02
Chiayi ²	2.41 ± 0.35	41.1	(32.6-53.2)	139.6	(96.4-258)	2.69
Kaohsiung ²	2.68 ± 0.36	24.7	(16.1-36.8)	73.9	(46.4-210)	1.61
Fipronil						
Hsinchu ¹	3.03 ± 0.40	46.0	(29.6-74.5)	122	(75.0-415)	15.3
Taichung ¹	1.43 ± 0.18	15.7	(6.70-33.2)	123	(52-890)	5.22
Changhwa ¹	1.71 ± 0.20	39.0	(23.8-58.0)	218	(126-720)	13.0
Yunlin ¹	1.75 ± 0.22	57.5	(25.9-146)	310	(128-3,350)	19.2
Chiayi ¹	3.09 ± 0.55	89.5	(67.0-117)	233	(170-404)	29.8
Hsinchu ²	3.24 ± 0.44	89.3	(52.9-145)	221	(138-879)	26.0
Taichung ²	2.69 ± 0.37	34.0	(27.2-42.1)	101	(76.0-159)	9.89
Changhwa ²	3.67 ± 0.50	63.6	(52.9-76.4)	143	(113-205)	18.5
Yunlin ²	2.30 ± 0.36	118.6	(92.5-163)	425	(275-939)	34.4
Chiayi ²	3.09 ± 0.46	54.6	(43.6-66.8)	141	(110-214)	15.9
Kaohsiung ²	2.01 ± 0.31	59.6	(45.7-78.2)	249	(166-491)	17.3
Chlorfenapyr						
Hsinchu ²	2.79 ± 0.40	66.2	(52.1-82.0)	191	(144-297)	7.18
Taichung ²	1.82 ± 0.29	84.9	(63.0-114)	430	(272-961)	9.20
Changhwa ²	1.91 ± 0.31	247.2	(185-366)	1,150	(662-3,230)	26.8
Yunlin ²	2.49 ± 0.34	115.5	(69.0-199)	384	(218-1,900)	12.5
Chiayi ²	2.46 ± 0.38	52.1	(38.0-66.2)	175	(129-286)	5.65
Kaohsiung ²	2.26 ± 0.32	98.9	(76.8-125)	363	(258-644)	10.7

¹The field collection in 2003, ² in 2006.

³ RR: The LC₅₀ of the field population/LC₅₀ of the susceptible strain.

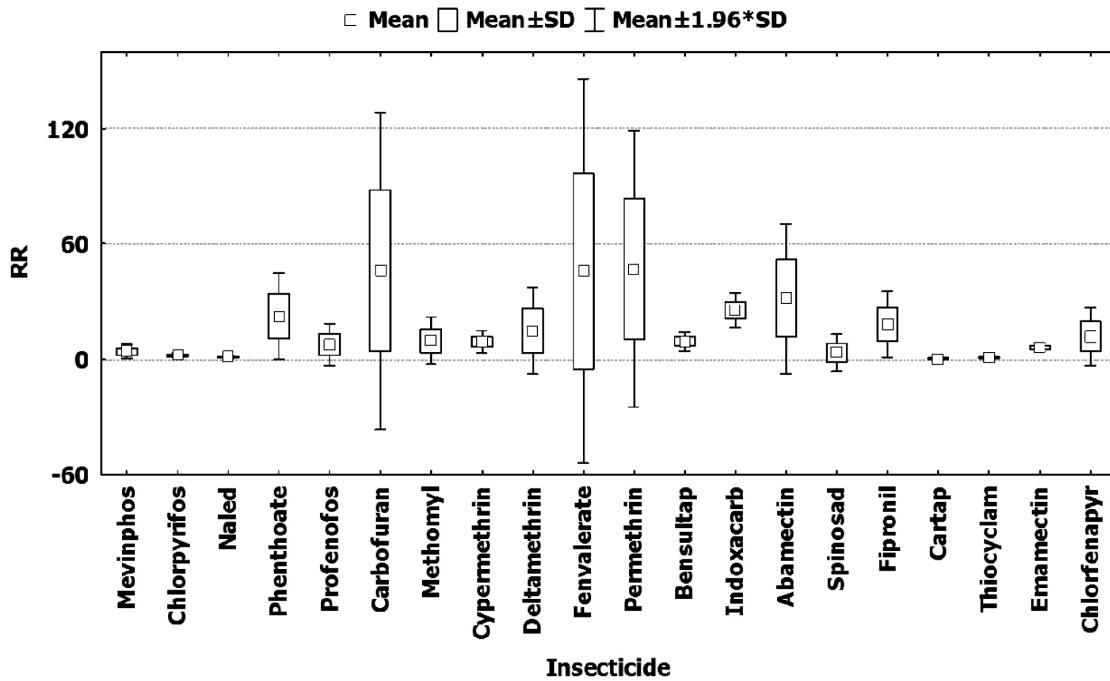


圖一 2003 及 2006 年採自田間之小菜蛾對 20 種測試藥劑之半數及 90% 致死濃度
 Fig. 1. The values of LC_{50} and LC_{90} for the field diamondback moth (*Plutella xylostella*) for 20 tested insecticides collected in 2003 and 2006 in Taiwan.

$p < 0.05$)。小菜蛾對胺基甲酸鹽類的加保扶及納乃得感受性較低，其 LC_{50} 在 500 mgL^{-1} 以上，除和阿巴汀、因密汀、賜諾殺及芬普尼呈現顯著差異外，納乃得亦對培丹及硫賜安呈現顯著差異 (Kruskal-Wallis test, $p < 0.05$)。四種合成除蟲菊酯對小菜蛾的感受性，以第滅寧較高，其餘 3 種和因密汀及賜諾殺呈現顯著差異 (Kruskal-Wallis test, $p < 0.05$)。小菜蛾對沙蠶毒素類似物的感受性以免速達最低，和因密汀、賜諾殺及芬普尼呈現顯著差異；培安及硫賜安僅和納乃得呈現顯著差

異 (Kruskal-Wallis test, $p < 0.05$)。因得克僅和因密汀呈現顯著差異 (Kruskal-Wallis test, $p < 0.05$)，克凡派和各藥劑間的感受性沒有顯著性差異。

不同地區小菜蛾對各藥劑的感受性和室內蟲相比的抗性程度呈現變異，對美文松、陶斯松、乃力松、培丹及賽速安的抗性程度最低，不到 10 倍；對佈飛松、納乃得、賽滅寧、免速達、因密汀及賜諾殺次之，抗性程度為 20 倍之內；對賽達松、第滅寧、因得克、芬普尼及克凡派的抗性程度為 50 倍之內；對阿巴汀



圖二 2003 及 2006 年採自田間之小菜蛾對 20 種測試藥劑之抗性程度
 Fig. 2. The values of the resistance ratio (RR) of various field diamondback moths (*Plutella xylostella*) for 20 tested insecticides, collected in 2003 and 2006 in Taiwan.

的抗性程度可達 80 倍；對賽滅寧、芬化利及百滅寧最抗，抗性程度現可達百倍以上。

表五及表六為小菜蛾對藥劑在各地區及藥劑間抗性比的相關性分析，數值越高表示相關性越高，正值表正相關，負值表負相關。各地區間小菜蛾對測試殺蟲劑的抗性比的相關性分析，顯示各地區間有顯著相關性存在（表五），各地區對藥劑的抗性反應呈現一致的結果。不同地區間小菜蛾對各測試殺蟲劑間的抗性比的相關性分析（表六），顯示乃力松及賽達松 (-0.84)，賜諾殺對加保扶、芬化利、百滅寧或培丹 (0.90)，第滅寧及芬普尼之間 (0.90)、克凡派及佈飛松之間 (-0.89)，兩兩間存在相關性 (Spearman rank order correlation, $p < 0.05$)。不過，乃力松及賽達松和克凡派及

佈飛松兩兩間呈現負相關，而其餘三組為正相關。

討 論

本實驗以浸葉餵食法測試二齡小菜蛾幼蟲對登記藥劑 24 小時後之感受性，以室內飼養十數年未再接觸殺蟲劑之品系建立感受性基準資料，並和 2003 及 2006 年採自田間小菜蛾之感受性相比較，評估田間小菜蛾產生抗藥性的現況。室內品系除對賽滅寧外，其 LC_{50} 皆低於國內植物保護手冊之登記用藥濃度；而 LC_{90} 僅美文松、乃力松、賽達松、百滅寧、免速達、因得克、阿巴汀、因密汀、賜諾殺、芬普尼及克凡派等 10 種低於登記用藥

表五 採自不同地區的小菜蛾對殺蟲劑的抗性程度之相關性分析

Table 5. The correlation of the RR values of the diamondback moth (*Plutella xylostella*) to various insecticides between various locations (Spearman rank order correlations)

	Hsinchu	Taichung	Changhwa	Yunlin	Chiayi
Taichung	0.83*		0.78*	0.83*	0.71*
Changhwa	0.81*	0.78*		0.90*	0.72*
Yunlin	0.87*	0.83*	0.90*		0.80*
Chiayi	0.72*	0.71*	0.72*	0.80*	
Kaohsiung	0.95*	0.90*	0.83*	0.92*	0.85*

* $p < 0.05$.

濃度。因我們 24 小時即進行實驗記錄及觀察，和殺蟲劑抗性行動聯盟 (Insecticide Resistance Action Committee, IRAC)，所建議的小菜蛾感受性測定方法 72 小時觀察時間不同 (http://www.iraac-online.org/wp-content/uploads/2009/09/method_018_v3.4_Mar10.pdf)，可能會高估感受性資料。另外，和三篇文獻中的室內蟲感受性相比，雖然和有些文獻相比，我們的感受性較以 48 小時後觀察死亡率的 LC_{50} 劑量其高近 1,000 倍以上 (Sayed *et al.*, 2005)；不過，較 72 小時觀察的 LC_{50} 高近 100~300 倍 (Zhao *et al.*, 2006)；但和 24 小時後觀察死亡率的賽滅寧及百滅寧 LC_{50} 相近 (Tabashnik *et al.*, 1987)；48 小時觀察的阿巴汀及芬普尼相當 (Zhou *et al.*, 2011)。因此，我們相信此室內品系可當做台灣小菜蛾田間蟲進行藥劑測定感受性比較的基準或感受性資料供未來田間感受性比較之基準。

和國內小菜蛾以往文獻中所列出之感性蟲對各藥劑的 LC_{50} 感受性資料相比，我們的感性蟲對有機磷及胺基甲酸鹽類的藥劑，都和文獻中相當 (Liu *et al.*, 1982; Chou and Cheng, 1983; Cheng *et al.*, 1985)；但對合成除蟲菊酯的藥劑，則感受性低於以往 10 倍 (Liu *et al.*, 1981; Chou and Cheng, 1983)，

推測室內蟲當初採自田間時，已對合成除蟲菊酯類藥劑有相當的抗性，至今仍無法回復感性。和 1983 年採自宜蘭至今之感性品系相比 (Kao and Cheng, 2001)，我們的感性品系對阿巴汀 (差異倍數 100 X)、因密汀 (500 X)、芬普尼 (4 X) 及賜諾殺 (30 X) 的感受性較低，但對免速達及克凡派的感受性較高 (不到 3 倍差異)。

國內不同地區間的小菜蛾對藥劑的抗性程度皆呈現一致性的反應，可能跟國內小菜蛾用藥的種類很多，抗性機制可能是一般性的代謝反應，而不是專一性的標的抗性，再加上十字花科蔬菜非連續栽種，小菜蛾需離開大面積栽種作物而在野生植物上找尋配偶，而擴大基因庫，使得地區間的反應呈現一致性。不過此等推測，仍需進一步的實驗來證實。另外，藥劑間的相關性反應，目前難以藥劑的作用機制歸納出結論，不過如經室內實驗證實有負相關時，可以供未來用藥輪替之參考。

因得克、因密汀及賜諾殺為三個較晚近登記的新殺蟲劑類別的小菜蛾用藥，在室內篩選實驗及田間證實，小菜蛾容易對因得克及賜諾殺產生抗藥性 (Zhao *et al.*, 2002; Shono *et al.*, 2004)；巴基斯坦小菜蛾會對因密汀產生抗藥性 (Sayed *et al.*, 2005)。國內各地區對因密汀的感受性較室內蟲為低，抗性程度可達

表六 採自田間的小菜蛾對不同測試殺蟲劑間的抗性程度之相關性分析

Table 6. The correlation between the RR values of the diamondback moth (*Plutella xylostella*) from various locations tested by various insecticides (Spearman rank order correlations)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
B	0.71	1	-0.75	0.66	-0.37	-0.20			-0.03						0.37	-0.09	-0.26	0.40	
C	-0.32	-0.75	1	-0.84*	-0.12	0.17			0.20						0.06	-0.52	-0.03	-0.10	
D	0.37	0.66	-0.84*	1	0.31	-0.03			-0.03						0.03	0.26	-0.26	-0.20	
E	0.25	-0.37	-0.12	0.31	1	0.49	1	1	-0.49	0.50	-0.50	1	0.50	0.50	-0.31	0.26	-0.05	-0.14	
F	-0.66	-0.20	0.17	-0.03	0.49	1			-0.09						-0.49	-0.26	-0.77	0.80	
G	0.80				1		1	0.70		0.70	0.70	1	0.70	0.30		0.60	0.90*	0.60	
H	0.20				1		0.70	1		0.20	0.30	0.70	0.70	0.30		0.80	0.60	0.10	
I	0.31	-0.03	0.20	-0.03	-0.49	-0.09			1						-0.31	-0.03	0.09	-0.50	
J	0.40				0.50		0.70	0.20		1	0.3	0.70	0	0.70	-0.40		0.40	0.90	
K	0.80				-0.50		0.70	0.30		0.30	1	0.70	0.80	-0.20		0.60	0.90*	0.10	
L	0.80				1		1	0.70		0.70	0.7	1	0.70	0.30		0.60	0.90*	0.60	
M	0.80				0.50		0.70	0.70		0	0.8	0.70	1	-0.30		0.80	0.90*	-0.10	
N	-0.60				0.50		0.30	0.30		0.70	-0.2	0.30	-0.30	1		-0.80	-0.10	0.50	
O	0.66	0.37	0.06	0.03	-0.31	-0.49			-0.31						1	-0.60	-0.09	0.10	
P	0.50						0.60	0.80		-0.40	0.60	0.60	0.80	-0.80		1	0.60	-0.20	
Q	-0.26	-0.09	-0.52	0.26	0.26	-0.26			-0.03						-0.60		1	0.66	-0.50
R	0.47	-0.26	-0.03	-0.26	-0.05	-0.77	0.90*	0.60	0.09	0.40	0.90*	0.90*	0.90*	-0.10	-0.09	0.60	0.66	1	-0.08
S	-0.17	0.40	-0.10	-0.20	-0.14	0.80	0.60	0.10	-0.50	0.90*	0.10	0.60	-0.10	0.50	0.10	-0.20	-0.50	-0.08	1
T	0.54	0.37	0.26	-0.31	-0.89*	-0.09			0.49						0.31	-0.60	-0.20	0.30	

A: Mevinphos; B: Chlorpyrifos; C: Naled; D: Phenthoate; E: Profenofos; F: Bensultap; G: Carbofuran; H: Methomyl; I: Cypermethrin; J: Deltamethrin; K: Fenvalerate; L: Permethrin; M: Cartap; N: Thiocyclam hydrogen oxalate; O: Indoxacarb; P: Abamectin; Q: Emamectin benzoate; R: Spinosad; S: Fipronil; T: Chlorfenapyr.

* $p < 0.05$.

10 倍；但對賜諾殺的抗性僅嘉義可達 20 倍，新竹的感受性和室內蟲相當，其餘地區抗性僅 1~4 倍；對因得克的感受性較低，抗性比可達 20~40 倍，各地區呈現一致的結果。臺灣田間對這三個殺蟲劑的感受性，皆比巴基斯坦、美國及墨西哥來得低 (Sayed *et al.*, 2005; Zhao *et al.*, 2006)，因處理後觀察的時間不一致，國內對這三個藥的感受性是否較國外低，目前很難定論。僅知對賜諾殺的反應未如美國田間發現極端抗性的小菜蛾 (Zhao *et al.*, 2006)。

國內田間小菜蛾對賽滅寧的感受性和巴基斯坦的小菜蛾相當、對陶斯松及第滅寧較為

敏感，不過對佈飛松的感受性低於巴基斯坦 (Sayed *et al.*, 2005)；和大陸的南方相比，我們田間小菜蛾對賽滅寧及阿巴汀的感受性較高，抗性程度較低、對芬普尼的抗性程度相當 (Zhou *et al.*, 2011)。田間小菜蛾對 20 種測試殺蟲劑的感受性和植物保護手冊登記濃度相比，對佈飛松、納乃得及加保扶的 LC_{50} 濃度高於登記濃度數倍，甚或數十倍，雖然我們只觀察藥劑反應後的 24 小時，不過此等藥劑皆屬速效且高毒性的藥劑，因此不建議再於國內田間繼續使用。另外，國內田間小菜蛾對加保扶、芬化利、百滅寧、阿巴汀及芬普尼的抗性程度變異很大，可達數十至百倍， LC_{50} 的

值亦高於田間使用濃度，建議暫時不要使用這些藥劑在小菜蛾的防治，讓田間的蟲回復感性後，再行開放使用。另一方面，如半數致死濃度高於防治用藥濃度達 10 倍時，使用此藥劑會失去生產利益 (Feng, 1987)，以此標準，如繼續使用加保扶、納乃得、賽滅寧、芬化利及百滅寧防治臺灣田間小菜蛾，會失去防治效益，無法經濟生產。

雖然管理抗藥性是防治的重要策略，田間小菜蛾對有機磷及沙蠶類似物的藥劑的感受性維持和敏感品系相當，不過因此等藥登記之初的藥效已達 500 mgL^{-1} ，在田間的使用仍需兼顧對生物的安全性，不一定再適合田間使用，尤以目前藥劑朝低毒高效的方向開發，因此，此等藥劑不適合作第一線的推薦使用。反之，針對合成除蟲菊酯、芬普尼及阿巴汀，小菜蛾已對其產生十數倍甚近百倍抗藥性，如希望這些藥劑仍可在國內使用，我們更需對此用藥更積極管理，如暫時禁用於小菜蛾，以讓田間小菜蛾的感受性提高後，再推薦使用。小菜蛾對阿巴汀產生抗性的蟲子，會影響雌蟲性費洛蒙的比率，不過雄蟲仍較偏好感性雌蟲 (Xu *et al.*, 2010)，這個部分可以支持我們停用阿巴汀，讓有抗性的田間蟲會快速回復到感性蟲，以供未來有效的利用此等藥劑。

田間小菜蛾以對美文松、陶斯松 (以陶斯寧為標準)、乃力松、賽達松、培丹、硫賜安及因密汀的 LC_{50} 較登記濃度為低，施用田間用藥濃度便可維持很好防治效果。不過，因賽達松的抗性程度可達 40 倍，陶斯寧混劑則因賽滅寧的藥效不佳，陶斯松毒性太強，不適合在田間繼續使用。目前以 2003 及 2006 年田間調查數據顯示，田間小菜蛾較適宜的推薦用藥為美文松、乃力松、培丹、硫賜安及因密汀，但因小菜蛾對藥劑產生抗藥性的速度很快，經過數年的藥劑篩選後，是否仍維持調查之初的

感受性，值得確認。不過田間使用藥劑時，需避免上述無經濟效益之藥效，如佈飛松、納乃得、加保扶、芬化利及百滅寧，並需輪替用藥，以延長藥劑在小菜蛾上防治的使用期限。

誌 謝

感謝二位審稿委員的寶貴意見，讓文章更有價值。本研究承農委會農業藥物毒物試驗所農藥化學組陳雅萱、洪美淑及林雅伶小姐協助採集蟲源及生物檢定的進行，特此致謝。本研究承農委會提供經費補助，一併致謝。

引用文獻

- Cheng EY, Chou TM, Kao CH. 1985. Insecticide resistance study in *Plutella xylostella* (L.) VI. an experimental analysis of organophosphorus and synthetic pyrethroid resistances. *J Agric Res China* 34: 96-104.
- Chou TM, Cheng EY. 1983. Insecticide resistance study in *Plutella xylostella* (L.) III. the insecticide susceptibilities ad resistance response of a native susceptible strain. *J Agric Res China* 32: 146-154.
- Feng HT. 1987. Control economics of resistant diamondback moth-a field cage study. *Plant Prot Bull* 29: 175-184.
- Kao CH, Cheng EY. 2001. Insecticide resistance in *Plutella xylostella* L. XI. resistance to newly introduced insecticides in Taiwan. *J Agric Res China* 50: 80-89.

- Liu, MY, Tzeng YJ, Sun CN.** 1981. Diamondback moth resistance to several synthetic pyrethroids. *J Econ Entomol* 74: 393-396.
- Liu, MY, Tzeng YJ, Sun CN.** 1982. Insecticide resistance in the diamondback moth, *J Econ Entomol* 75: 153-155.
- LeOra Software.** 1987. Polo-PC: a user's guide to probit or logit analysis. LeOra Software, Berkeley, CA.
- Sayed, AH, Attique MNR, Khaliq A.** 2005. Stability of field-selected resistance to insecticides in *Plutella xylostella* (Lep., Plutellidae) from Pakistan. *J Applied Entomol* 129 (9/10), 542.
- Shono T, Zhang L, Scott JG.** 2004. Indoxacarb resistance in the house fly, *Musca domestica*. *Pestic Biochem Physiol* 80: 106-112.
- Tabashnik, BE, Cushing NL, Johnson MW.** 1987. Diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) resistance to insecticides in Hawaii: intra-island variation and cross-resistance. *J Econ Entomol* 80: 1091-1099.
- Talekar NS, Shelton AM.** 1993. Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annu Rev Entomol* 38: 275-301.
- Talekar NS.** 1992. Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests: Proceedings of the Second International Workshop. Shanhua, Taiwan: Asian Vegetable Research and Development Center. 603 pp.
- Xu Z, Cao GC, Dong SL.** 2010. Changes of sex pheromone communication systems associated with tebufenozide and abamectin resistance in diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *J Chem Ecol* 36: 526-534.
- Zhao JZ, Li YX, Collins HL, Gusukuma-Minuto L, Mau RFL, Thompson GD, Shelton AM.** 2002. Monitoring and characterization of diamondback moth resistance to spinosad. *J Econ Entomol* 95: 430-436.
- Zhao JZ, Collins HL, Li YX, Mau RFL, Thompson GD, Hertlein M, Andaloro JT, Boykin R, Shelton AM.** 2006. Monitoring of diamondback moth (Lepidoptera: plutellidae) resistance to spinosad, indoxacarb, and emamectin benzoate. *J Econ Entomol* 99: 176-181.
- Zhou L, Huang J, Xu H.** 2011. Monitoring resistance of field populations of diamondback moth *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae) to five insecticides in South China: a ten-year case study. *Crop Prot* 30: 272-278.

收件日期：2012年2月12日

接受日期：2012年2月28日

Susceptibility of the Field Diamondback Moth (*Plutella xylostella*) to Several Recommended Insecticides in Taiwan

Ju-Chun Hsu^{1,2*}, Tin-Yi Kung^{1#}, Pei-Fang Liu^{3#}, Jian-You Li^{3#}, and Hai-Tung Feng^{3*}

¹ Department of Entomology, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

² Research Center for Plant Medicine, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

³ Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, Council of Agriculture

Equal contribution

ABSTRACT

The diamondback moth (*Plutella xylostella*, DBM) is a major pest of cruciferous vegetables, because of its ability to quickly develop a high level of resistance towards insecticides. To establish the insecticide susceptibility baseline for future comparison, susceptible DBM strains that were collected from the field several decades ago were used to establish and generate data. Twenty-one tested insecticides consisted of six organophosphates (mevinphos, profenofos, chlorpyrifos, naled, and phenthoate), two carbamates (methomyl and carbofuran), four pyrethroids (deltamethrin, fenvalerate, cypermethrin, and permethrin), three nereistoxin (bensultap, cartap, and thiocyclam hydrogen oxalate), three antibiotic insecticides (abamectin, emamectin benzoate and spinosad), and three others (indoxacarb; fipronil and chlofenapyr). Also, in order to gain a better understanding and collect additional data on the susceptibility of field DBM to registered insecticides for use as a comparison baseline and as a control strain for reference purposes, we used cabbage leaves dipped in insecticides to test a total of twelve field populations of DBM collected from different regions of Taiwan in 2003 and 2006. Twenty insecticides (except prothiofos) were used to test the susceptibility on the second instar larvae of F1 and F2. Results showed that DBM from different regions of Taiwan showed diverse levels of susceptibility to methomyl, carbofuran, fenvalerate, and permethrin showing LC₅₀ concentrations that were ten times higher than the Plant Protection Manual said. As a result of the low insecticide susceptibility of the indoor assays, the following insecticides are not recommended for use against DBM. Carbofuran, fenvalerate, permethrin, abamectin, and fipronil all showed high degrees of resistance variation (10-100 times), and the LC₅₀ values were also higher than indicated in the Plant Protection Manual. Therefore, at this time, these insecticides are not recommended for use against DBM until their susceptibility levels have returned to pre-use levels, and their use as an insecticide has been fully reviewed. After two years of research, we have concluded that mevinphos, naled, cartap, thiocyclam hydrogen oxalate, and emamectin benzoate are the most appropriate insecticides to use against DBM, but because DBM rapidly develops resistance to these insecticides, the susceptibility data should be subject to regular updates. Insecticides should be used in rotation so as to extend their duration of efficient use.

Key words: susceptibility, *Plutella xylostella*, insecticides, baseline