中華農業研究 (Jour. agric. Res. China) 28(4):225~236 (1979)

小菜蛾對常用農藥之抗藥性研究[1]

李順連 李文台[2]

摘要：小菜蛾爲臺灣十字花科蔬菜中最嚴重害蟲之一。爲探究其在灣臺之抗藥現狀，曾於本省蔬菜主要產區如頂湖、蘆洲、永靖、溪湖、麻豆、鳳山、高樹、林邊、宜蘭、花蓮等地採集小菜蛾，測定其對蔬菜常用農藥 Malathion、Diazinon、DDVP、Elsan (Phenthoate)、Phosdrin (Mevinphos)、Thiodan (Endosulfan) 等之抗藥程度，發現本蟲對此六種藥劑，已呈現不同程度之抗性。就中對多種藥劑產生多重抗性之現象，尤爲可憂，此或爲近年用藥無效而致小菜蛾猖獗成災之主要原因。本文除報導田間小菜蛾對上述農藥之抗性及其田間棲羣抗藥程度之季節變化外，並就如何延緩抗藥性之發生問題加以討論。

小菜蛾 (*Plutella xylostella* L.) 屬鱗翅目(Lepidoptera)，菜蛾科 (Plutellidae)。在臺灣北部年約發生 18~19 代[4]，中南部地區，年平均溫度較北部爲高，其發生代數當超過 20 代以上。由於發生代數多，繁殖率高，遷移性强，以及對溫度之適應性廣，本蟲已成爲十字花科蔬菜世界性的嚴重害蟲[32]。臺灣地區由於小菜蛾有抗藥現象，使本來爲害不烈之害蟲，如今常成災害，且成爲最難防治的蔬菜害蟲之一[9]。回顧過去政府推薦用藥防治此蟲之經過，不難發現小菜蛾對蔬菜生產者所帶來之困惑；如以每 5 年做一比較，民國 52 年政府推薦防治此蟲之藥劑僅有 Malathion、魚藤精乳劑、DDT

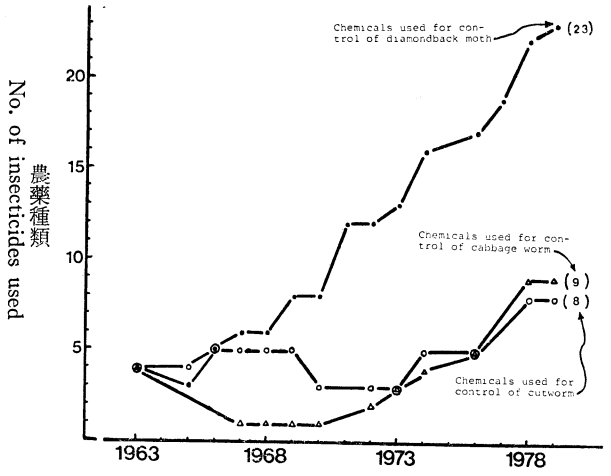


圖 1. 本省歷年防治蔬菜主要鱗翅目害蟲用藥增加情形

Fig. 1. The year-increase of insecticides used for control of main lepidopterous insect pests on vegetables in Taiwan

1. 臺灣省農業試驗所 研究報告 第 897 號。本研究第一作者曾蒙中正科學技術研究基金會獎助，部分試驗並蒙農復會（農發會前身） 76-A12-A-2546G 及其代管78 (ARDP) -5.1-A-358 計畫補助。工作進行中荷蒙萬雄所長，邱瑞珍主任多方鼓勵，文成復蒙邱主任費神賜閱斧正，作者等謹致誠摯之謝忱。

2. 本所應用動物系技正、技佐。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。

及 r-BHC 等 4 種[20]，57 年捨去 52 年之 4 種藥劑不用，改用 Diazinon、Thiodan、DDVP、Dibrom、Elsan、Thuricdie 等 6 種。62 年則一躍而增至 13 種[23]，到 67 年竟突破 22種[24]，已創下本省蔬菜害蟲用藥種類之高峰記錄（圖 1）。政府推薦農藥既如此之多，而菜農又因風聞此蟲產生抗藥性任意提高用藥濃度，致使防治小菜蛾之藥劑十分雜亂，產生農藥殘留問題[11]，對消費者之健康構成極大之威脅。

臺灣有關小菜蛾產生抗藥性之事實，過去早有所聞[4, 10, 12]，但並未經由試驗加以證明。直至 64 年張艮傳[16]首先發表數種有機磷之抗藥試驗後，小菜蛾產生抗藥性之事實，始獲試驗之佐證。張氏在其試驗中發現，板橋、麻豆地區之小菜蛾均對 Phosdrin、Malathion、DDVP 及 Parathion 產生不同程度之抗性，可惜其試驗未做有系統之深入研究。其後齊心[25]、何坤耀[2]、馮海東[16]等在孫志寧指導下，先後就本蟲對 Diazinon、Phosdrin 及 Methomyl 等藥劑之抗藥性問題，進行較爲深入之探討，使臺灣小菜蛾抗藥性之研究，步入嶄新階段。本文報導小菜蛾在本省之抗藥情形，田間棲羣抗藥程度之季節變化以及其對不同藥劑間之交互抗性等，做較有系統之調查研究，俾對今後釐訂防治對策時提供重要參考。

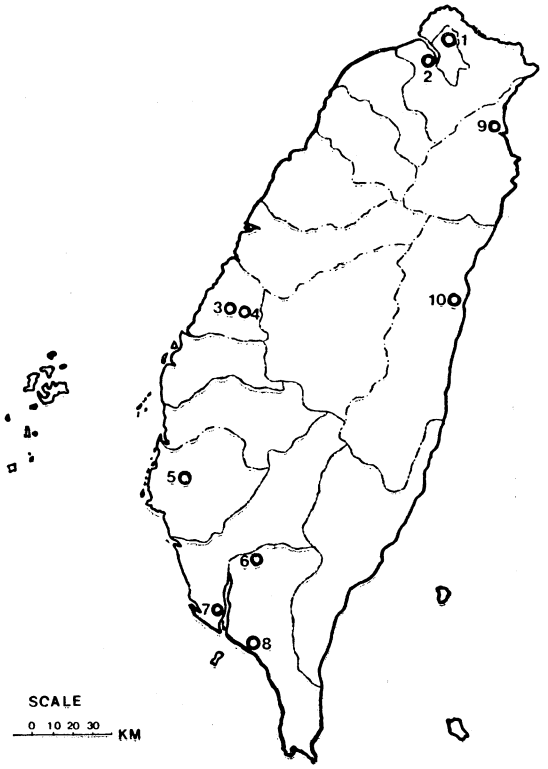


圖 2. 小菜蛾採集地區圖

Fig. 2. Map of Taiwan showing the localities of collecting diamondback moths

1. 頂湖 2. 蘆洲 3. 溪湖 4. 永靖 5. 麻豆
5. 高樹 7. 鳳山 8. 林邊 9. 宜蘭 10. 花蓮

材料與方法

一、各地區小菜蛾之抗藥程度調查：在全省各主要蔬菜產區如頂湖、蘆洲、永靖、溪湖、麻豆、嘉義

、鳳山、高樹、林邊、宜蘭、花蓮、臺東等地（參閱圖 2），採集小菜蛾幼蟲及蛹，携回試驗室，依邱瑞珍等飼養方法 [15] 大量繁殖 1～2 代後，進行抗藥程度之測定。其法將不同濃度之各類藥劑，在羽化兩日之小菜蛾成蛾前胸背板，做局部點滴處理（Topical application）。各藥劑之每一濃度行三重複處理，每一重複處理 20 隻成蛾，成蛾經藥劑處理後，放置於 8.5×16 cm大之玻璃瓶，瓶口以紗布罩住，並以沾濕蜜水之海棉塊餵飼，放置於 25～27 °C 之室溫下，經 24 小時後計算死亡率，再以機值分析法（Probit analysis）[28] 求出其中率致死量（LD_{50}）。供試藥劑計有 Malathion、Diazinon、DDVP、Elsan、Phosdrin 及 Thiodan 等 6 種，均爲使用於小菜蛾防治達 10 年以上之藥劑。測定農藥皆爲美國 Polysclence Corporation 出品之高純度分析用標準劑（Analytical standard），以丙酮爲溶劑，配成各種所需濃度，再由微量滴定器（Micro-applicator）以每滴 1.79μl 之藥量，處理在每一成蛾前胸背板。各藥劑主要化學名稱及純度列於表 1。

表 1. 供試農藥化學名稱及其純度

Table 1. The chemical name and purity of the insecticides tested

Common name	Chemical name	Purity (%)
Malathion	0, 0-Dimethyl S-(1, 2-dicarbethoxy-ethyl) phosphorodithioate	96
Diazinon	0, 0-Dimethyl 0-(2-isopropyl 4-methyl pyrimidyl-6) phosphorothioate	90.5
DDVP	0, 0-Dimethyl 0-(2, 2-dichlorovinyl) phosphate	95
Phosdrin (Mevinphos)	0, 0-Dimethyl 0-(1-methyl 2-carbomethoxy) vinyl phosphate	99
Elsan (Cidial)	S-2-ethoxycarbonylbenzyl 0, 0-dimethyl phosphorodithioate	95
Thiodan (Endosulfan)	6, 8, 9, 10, 10-Hexachloro-1, 5, 5a, 6, 9, 9a-hexahydro-6, 9-methano-2, 4, 3-benzodioxathiepin-3-oxide	99

二、感受性品系與抗藥性品系之培育：由於本省蔬菜害蟲用藥普遍頻繁，在田間幾乎無法採到眞正之感受性小菜蛾品系（Susceptible strain，以 S-strain 代表），因此必須在室內進行純化飼育，以應試驗之需。感受性品系原先選定抗藥程度最低之宜蘭品系與抗藥程度次高之林邊品系，在室內不與任何農藥接觸，連續繁殖，然後每隔 7～8 代測定其 LD_{50} 一次，至其 LD_{50} 值趨於一定時爲止。不幸宜蘭品系因罹病死亡，現僅存林邊品系繼續繁衍。抗藥性品系（Resistant strain，以 R-strain 代表）以抗藥程度較高之蘆洲品系選汰培育，其法爲在幼蟲未齡期，將雌雄分開，因雄蟲幼蟲 3～4 齡期腹背第 8～9 節上可見一對乳白色腎臟形睪丸，待化蛹直至羽化後兩日，雌雄成蛾分別以 LD_{60}～LD_{80} 藥量之 Malathion 及 Phosdrin 予以點滴處理，經 24 小時後將活存之雌雄成蛾一同放在箱內飼育，並將盆栽甘藍株放入箱內供雌蛾產卵。藥劑處理前之所以將雌雄隔離，主要在避免農藥選汰前發生交配行爲。選汰至數代後，即測定其 LD_{50} 值，以觀察其抗性程度之變化。最後育成抗 Malathion 及抗 Phosdrin 之兩種品系，供作試驗材料。

三、交互抗性測定試驗：以室內分離純化之小菜蛾 S 品系與 R 品系爲材料，分別進行有機氯化烃、有機磷及胺基甲酸鹽劑間之交互抗性試驗。抗藥性之測定仍採用前述之藥液點滴法處理成蛾。

四、抗藥品系之季節分布調查：爲探究田間小菜蛾抗藥程度是否隨季節而有變化，進而預測當地

抗藥品系棲羣之動態。本試驗選定抗藥程度較高之蘆洲、永靖、朴子、新社等區小菜蛾發生地，按月前往採回幼蟲，待其發育至成蛾後，即進行抗藥程度之測定，同時將第一次採集到之各地品系，在室內分開飼育，然後每代分別以 LD_{60}～LD_{80} 藥量之 Malathion 及 Phosdrin 進行農藥壓力選汰處理，以比較田間施藥造成之抗藥程度與室內農藥選汰造成之抗藥程度是否相異。

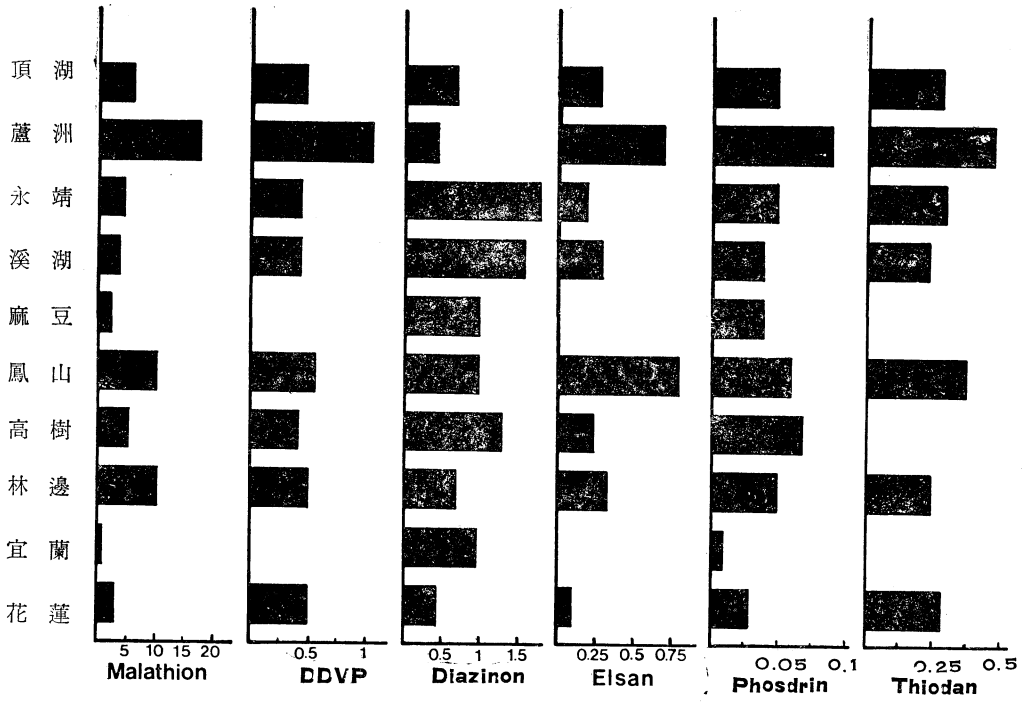


圖 3. 小菜蛾各品系對六種常用農藥之抗藥趨勢

Fig. 3. The tendencies of resistance spectra of different diamondback moth field strians to 6 commonly used insecticides

結 果

一、各地區小菜蛾之抗藥程度

自 65 至 66 年經過年餘之調查採集，發現自本省 10 個蔬菜產區採回之小菜蛾，已對 6 種蔬菜常用農藥，產生不同程度之抗性，茲將測定之抗藥程度整理列於表 2。由表 2 獲知，在測定之 10 個田間品系中，除 Diazinon 與 Elsan 外，其抗藥程度以蘆洲品系爲最高。例如 Malathion 之抗藥程度，爲最低中率致死量（LD_{50}）宜蘭品系之 15 倍；DDVP 爲最低中率致死量高樹品系之 2.5 倍；Phosdrin 爲最低中率致死量宜蘭品系之 9 倍；Thiodan 爲最低中率致死量溪湖品系之 2 倍等。對 Diazinon 之抗藥程度，則以永靖品系爲最高，爲最低中率致死量花蓮品系之 4 倍。Elsan 則以鳳山品系之抗藥程度最高，爲最低中率致死量花蓮品系之 8 倍。

二、感受品系與抗藥品系之培育

原先選定宜蘭品系爲感受品系，後因其中途死亡，故改選林邊品系。後者除去藥劑選汰在室內飼育至20 代後，對原測定之 6 種農藥抗性均普遍下降，最低降至 3 倍（如 Diazinon），最高達 6 倍以

表 2. 各地小菜蛾品系對六種常用農藥之抗藥程度

Table 2. Resistance levels of several field strains of diamondback moth to 6 commonly used insecticides

田間品系 Field strain	抗藥程度 Degree of resistance											
	Malathion		DDVP		Diazinon		Elsan		Phosdrin		Thiodan	
	LD_{50}[a]	RR[b]	LD_{50}[a]	RR[b]	LD_{50}[a]	RR[b]	LD_{50}[a]	RR[b]	LD_{50}[a]	RR[b]	LD_{50}[a]	RR[b]
頂湖品系 TF strain	6.61	4	0.50	6	0.73	3	0.29	6	0.05	5	0.29	5
蘆洲品系 TL strain	17.86	11	1.07	13	0.48	2	0.72	14	0.09	9	0.48	9
永靖品系 CU strain	5.0	3	0.45	7	1.82	8	0.20	4	0.05	5	0.30	5
溪湖品系 CC strain	4.11	3	0.45	7	1.61	7	0.30	6	0.04	4	0.24	4
麻豆品系 TM strain	2.67	2	—	—	1.02	5	—	—	0.04	4	—	—
鳳山品系 KF strain	10.71	7	0.57	7	1.02	5	0.80	16	0.06	6	0.38	7
高樹品系 PK strain	5.71	4	0.43	5	1.32	6	0.25	5	0.0	7	—	—
林邊品系 PL strain	10.71	7	0.52	7	0.73	3	0.34	7	0.05	5	0.25	4
宜蘭品系 EL strain	1.18	1	—	—	0.98	4	—	—	0.01	1	—	—
花蓮品系 FL strain	3.34	2	0.52	7	0.46	2	0.11	2	0.03	3	0.29	5
感受品系 Susceptible strain	1.64	—	0.08	—	0.22	—	0.05	—	0.01	—	0.05	—

a. LD_{50} 以 μg/moth 表示 (LD_{50} expressed in μg/moth.)

b. 抗性比 (Resistance ratio) $= \frac{LD_{50} \text{ field strain}}{LD_{50} \text{ susceptible strain}}$)

表 3. 田間小菜蛾品系除去藥劑選壓後其感受程度之變化

Table 3. Susceptibility changes of field strain of diamondback moth after releasing from insecticide pressure for 20 generations

測定農藥 Insecticides tested	LD_{50} (μg/moth)		感受程度[a] Susceptibility folds
	原始品系測定值 LD_{50} for original strain	經20代純化後之測定值 LD_{50} for the strain after releasing from insecticide pressure for 20 generations	
Malathion	10.71	1.64	7
DDVP	0.25	0.08	7
Diazinon	0.73	0.22	3
Elsan	0.34	0.05	7
Phosdrin	0.05	0.01	5
Thiodan	0.26	0.056	5

a. 感受程度 (Susceptibility folds) $= \frac{\text{原始品系之 } LD_{50} \text{值 } (LD_{50} \text{ original strain})}{\text{純化後之 } LD_{50} \text{ 值 } (LD_{50} \text{ the strain after releasing from insecticide pressure})}$

上 (如 Malathion、DDVP、Elsan 等)。顯然該品系成爲感受品系已無庸置疑 (見表 3)

抗藥品系係以民國 66 年 11 月採得之蘆洲品系爲選汰對象。抗藥品系分別經由 Malathion 及 Phosdrin 兩種藥劑選汰，目的在室內育成對 Malathion 及 Phosdrin 之高抗性品系。此品系對

Malathion 及 Phosdrin 之原始 LD_{50} 值原已分別高達 17.71 μg/moth 及 0.107 μg/moth。後經兩種藥劑分別連續選汰至第 5 代後，其抗藥程度始終維持 18～19 μg/moth（抗 Malathion 品系）及 0.10 μg/moth（抗 Phosdrin 品系）。如抗藥品系與室內育成之感受性品系相比較，則抗 Malathion 品系之抗藥程度已高達 11 倍，抗 Phosdrin 品系之抗藥程度亦已達 10 倍左右（見表 4）。

表 4. 小菜蛾抗 Malathion 品系與抗 Phosdrin 品系之抗性比

Table 4. A comparison of the resistance ratio in diamondback moth for malathion resistant strian and phosdrin resistant strian

選用農藥 Insecticide pressed	LD_{50} (μg/moth) 抗藥品系 Resistant strain	LD_{50} (μg/moth) 感受品系 Susceptible strain	抗性比 (R LD_{50}/ S LD_{50})
Malathion	18	1.64	11
Phosdrin	0.10	0.01	10

三、交互抗性試驗

由於感受品系與抗藥品系都在室內育成，交互抗性試驗乃得以進行。測定農藥種類計有有機磷劑 5 種，有機氯化烴劑 5 種，胺基甲酸鹽 1 種。試驗昆蟲以抗 Malathion 之品系（簡稱MA-R strain）爲主，茲將測定結果列於表 5。由蘆洲品系選汰育成之抗 Malathion 品系與感受性品系相比較，

表 5. 小菜蛾感受品系與抗藥品系對不同藥劑之抗藥程度

Table 5. Resistance spectra of susceptible and resistant strains of diamondback moth to various insecticides

測定農藥[a] Insecticides tested	LD_{50} (μg/moth) 感受品系 Susceptible strain	LD_{50} (μg/moth) 抗藥品系 Resistant strain	抗性比 Resistance ratio
有機磷劑(Organophosphorus)			
Malathion	1.64	18	11
Diazinon	0.22	0.67	3
Phosdrin	0.01	0.09	9
Elsan	0.05	1.07	21
DDVP	0.08	1.07	13
有機氯化烴劑 (Organo-chlorinated hydrocarbon)			
Endrin	0.05	0.17	3
Aldrin	0.48	2.20	5
Dieldrin	0.36	2.87	8
r-BHC	0.11	0.64	6
DDT	0.19	0.88	4
胺基甲酸鹽劑 (Carbamate)			
Lannate	0.13	0.80	6

a. 所有測定農藥均係美國 Polysclence Corporation 出品之高純度分析用標準藥。
All insecticides tested are high purity analytical standards produced by Polysclence Corporation, U. S. A.

除有機磷中之 Diazinon 及有機氯化烃中之 Endrin、DDT之外， 其餘之抗藥程度均超過5倍以上。故 MA-R 之小菜蛾品系，非僅對同型之其他藥劑呈交互抗性 (Cross resistance)，同時亦對其他非同型之藥劑產生極高之抗性，成爲一種典型之多重抗性(Multiple resistance)現象。

四、抗藥品系之季節分布調查

此項調查，原選定蘆洲、永靖、新社、朴子四個地區，按月前往採集。但新社與朴子地區，甘藍菜與其他十字花科蔬菜之栽培皆屬多季裡作，在三、四月以後，田間十字花科蔬菜即告中斷，故新社、朴子兩地小菜蛾之採集調查被迫中止，僅蘆洲與永靖兩地，終年可見該類作物生長，故本文僅有此二地之資料。又此類調查開始於 66年10月，至 68年元月結束。茲將其資料整理繪製於圖 4及圖5。

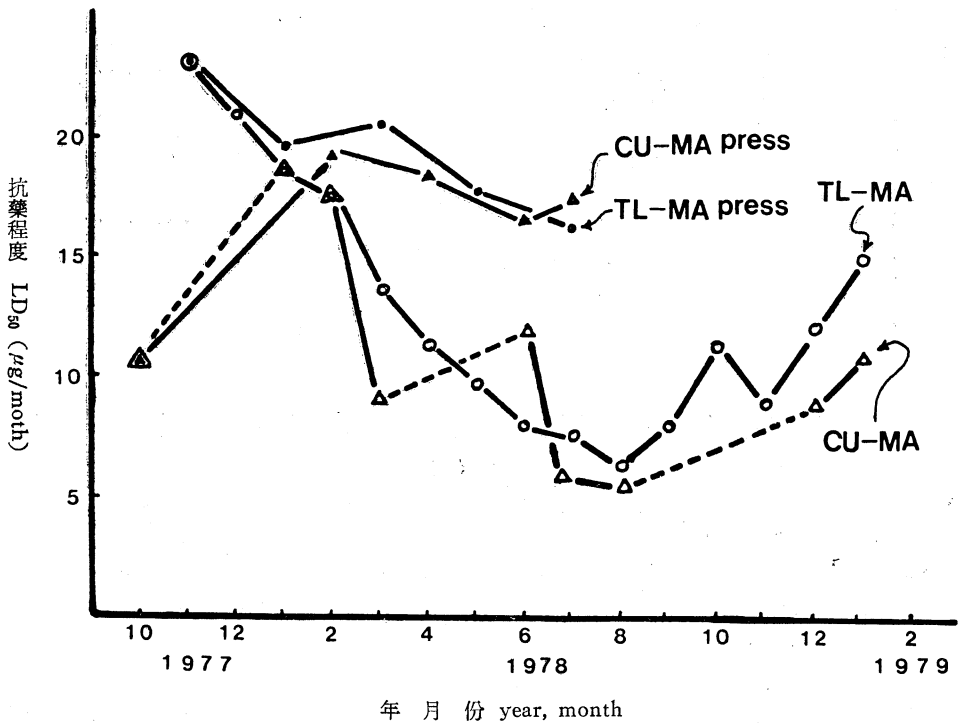


圖 4. 蘆洲與永靖兩地區小菜蛾田間棲羣及室內選汰對 Malathion 之抗性季節變化

Fig. 4. The seasonal fluctuation of malathion resistance level in two field populations (TL and CU strains) which compared with the changes of resistance in the malathion pressed lab. rearing strains

TL (蘆洲品系) CU (永靖品系) TL-MA press (蘆洲品系室內 Malathion 選汰) CU-MA press (永靖品系室內 Malathion 選汰) TL-MA (蘆洲田間棲羣) CU-MA (永靖田間棲羣)

由圖4及圖5發現，此二地區田間小菜蛾棲羣對 Malathion 及 Phosdrin 之抗藥程度，並非終年維持一定之水平。就對 Malathion 之抗性而言，自二、三月以後，田間小菜蛾棲羣之抗藥程度，即逐漸下降，至次年七、八月始漸回昇，迄十一、十二月達到最高峰。對 Phosdrin 之抗藥程度變化，兩地小菜蛾棲羣皆呈波狀起伏，其波狀起伏變化之情形，蘆洲與永靖頗爲相似，而以三月間之抗藥程度爲最低。調查期間發現，田間小菜蛾對上述兩種農藥之抗藥程度，最高與最低相差約3倍左右。此外，兩地最初採獲之小菜蛾，在室內每代分別以 Malathion及Phosdrin選汰，在 Malathion 選汰組中，兩地品系 (TL-MA press 及 CU-MA press) 之抗藥程度，均維持在 17~19 μg/moth 之一定水平上。但在 Phosdrin 選汰組中，兩地品系 (TL-PH press 及 CU-PH press) 之抗藥

程度，最初幾代呈直線上升，至第 8 代（次）選汰後其 LD_{50} 值始漸次維持在 0.2～0.25 μg/moth 之間。其所以如此，將於下節詳細討論。

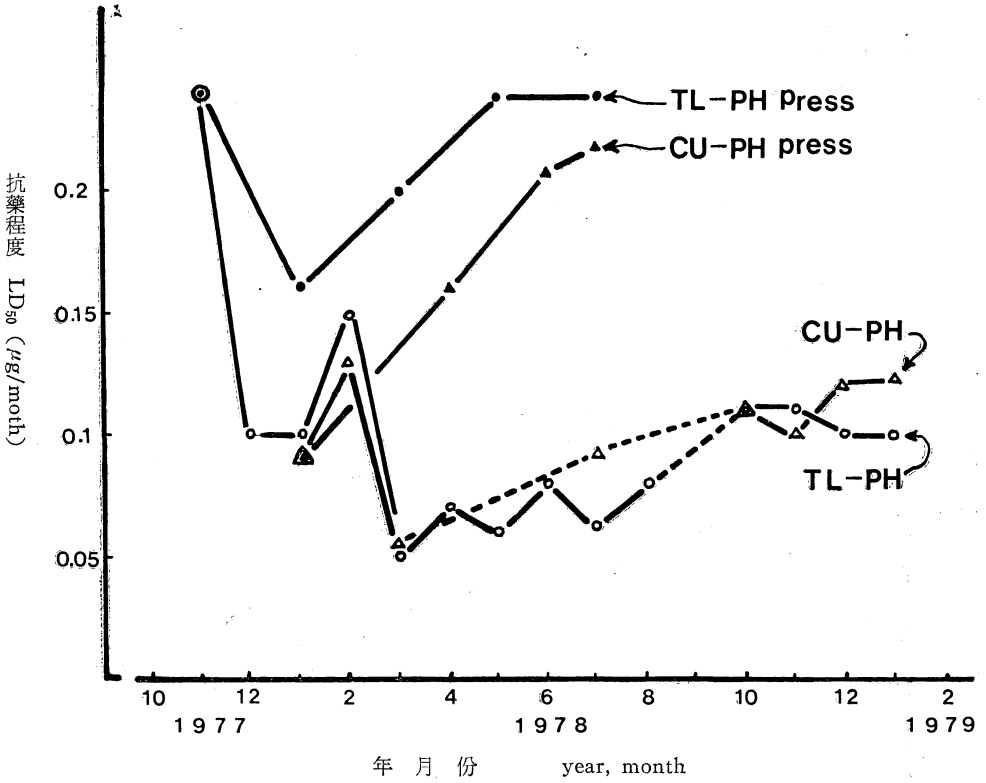


圖 5. 蘆洲與永靖兩地區小菜蛾田間棲羣及室內選汰對 phosdrin 之抗性季節變化

Fig. 5. The seasonal fluctuation of phosdrin resistance level in two field populations (TL and CU strains) which compared with the changes of resistance in the phosdrin pressed lab. rearing strains

TL（蘆洲品系） CU（永靖品系） TL-PH press（蘆洲品系室內 phosdrin 選汰）
CU-PH press（永靖品系室內 phosdrin 選汰） TL-PH（蘆洲田間棲羣） CU-PH（永靖田間棲羣）

討論與結語

小菜蛾在二十餘年前並非臺灣蔬菜之嚴重害蟲 [4]，此由臺灣植物保護技術推廣史上可看出端倪。在民國 49 年至 52 年間，本省推薦之蔬菜用殺蟲劑中，僅籠統推出 4 種葉菜類鱗翅目害蟲之藥劑 [17,18,19]，至 54 年始正式將小菜蛾防治藥劑單獨列項，把 Diazinon、DDVP、Dibrom、Thiodan、等列爲防治藥劑，而此類農藥一直沿用迄今。Malathion 雖自 49 年起列爲葉菜類鱗翅目害蟲之防治藥劑，但至54年後却未被列爲小菜蛾之防治藥劑，原因如何推廣手册中並未說明 [21]。但 Malathion 確爲十字花科蔬菜蚜蟲防治上常用之藥劑 [7]，同時農業試驗研究機構爲顧及蔬菜消費者之安全，二十餘年來不斷鼓吹在蔬菜上施用 Malathion 治蟲 [6]，因此田間小菜蛾直接間接接觸此藥亦達二十年之久。Phosdrin 在蔬菜上之正式推廣使用，雖晚至 63 年，但菜農早於民國 50 年時即已應用此藥防治蔬菜害蟲，因此臺灣地區之小菜蛾暴露於 Phosdrin 之歷史，至少亦達 15 年以上。故本試驗所用之 6 種測定農藥，在本省蔬菜害蟲防治上到目前爲止，使用至少達 12 年之久，況且自 61 年以後，政府在推薦防治小菜蛾之藥劑種類急速增加，由是年之 11 種躍至 67 年之 22 種，在臺灣害蟲防治使用之藥劑種類，僅有稻蝨類之 28 種與柑桔紅蜘蛛之 23 種可與相比 [24]，而此兩類害蟲在本省部份地

區均已證明其已產生抗藥品系[1,26]。故田間蔬菜上施用農藥之普遍頻繁，應爲臺灣地區小菜蛾產生抗藥性之主要客觀原因。而農藥種類之衆多，則使其抗藥性問題趨於複雜。此外，本蟲一年之發生世代達 20 餘代，一年中具有多世代之昆蟲種類，其產生抗藥性之機會自較發生世代較少之種類更多[27,29]。

如將各地小菜蛾之抗藥程度與室內純化之感性品系比較，不難發現本蟲對Malathion、DDVP、Elsan、Phosdrin 等四種農藥之抗性呈相互增加(參閱表 2)，例如對 Malathion 抗性較高之蘆洲、鳳山、林邊品系，對後三種藥劑都呈現相當高之抗性，此與一般所謂之交互抗性 (Cross resistance) 有所差別。一般之交互抗性乃指昆蟲對某種藥劑產生抗性後，連帶對其他尚未施用而作用類似之藥劑亦產生抗性者[30,31]。但上述四種有機磷殺蟲劑已在田間施用多年，對小菜蛾產生長期連續或交替之選汰壓力 (Selection press)，使其體內產生多種抗性機制，成爲很明顯之多重抗性 (Multiple resistance)。此外值得一提者乃測定之 8 個地區品系 (Local strain)，對 DDVP 皆呈相當高之抗藥程度 (參閱表 2 及圖 3)，此與孫志寧[13]推測本省小菜蛾尚未對 DDVP 產生抗性之報告恰好相反。對 Diazinon 之抗性與 Malathion 之抗性相比較，二者仍無很强之交互抗性存在，例如蘆洲與林邊品系對 Malathion 之抗性比 (Resistance ratio) 各爲 11 及 7，但對 Diazinon 之抗性比僅有 2 與 3。而對 Diazinon 抗性比達到 8 之永靖與 7 之溪湖品系，對 Phosdrin 之抗性比却僅有 5 與 4，在該系列測定之品系中顯得抗性較低，此與何坤耀[2]發現抗 Phosdrin 之品系與 Diazinon 之間無交互抗性存在之現象相同。

對 Malathion、DDVP、Phosdrin、Elsan 抗性較高之林邊品系，在室內不經藥劑接觸連續純化飼育達 20 代後，其感受性 (Susceptibility) 除 Diazinon 僅增加 3 倍之外，其餘普遍增高達 5 倍以上 (參閱表 3)。故吾人可推測對此類藥劑產生抗性之田間小菜蛾棲羣，若除去藥劑選汰壓力之後，其感性仍能逐漸恢復。再者，以 Malathion 選汰育成之抗藥品系，除對 Diazinon 與 Endrin 之外，亦普遍對其他不同類型之藥劑呈現相當强之多重抗性(參閱表 5)，此在圖 3 之抗性趨勢中亦已出現。此種現象與 1966 年 Ozaki[34]報告中指出水稻葉蟬類抗 Malathion 以及 1968 年Suzuki[36]所發現一種家蚊 (*Culex pipiens pallens*) 之情形非常相似。在馬來西亞克美隆高原 (Cameron Highland) 地區由於長年施用 Malathion 等藥劑防治小菜蛾，亦誘發此蟲對其他藥劑產生極高之抗藥程度[35]。因此經過二十餘年不同藥劑之選汰壓力，臺灣小菜蛾體內已產生數種抗藥機制 (Resistant mechanism) 可以抗拒不同類型之藥劑。今 (68) 年政府又推薦 23 種防治小菜蛾之藥劑，吾人應對此類藥劑可能引起小菜蛾產生多重抗性之問題加以密切注意。

田間小菜蛾抗藥性之季節變化情形，就目前之蘆洲、永靖資料顯示，其田間棲羣之抗藥程度，並非維持不變，在一年之中常有高低之起伏變化 (參閱圖 4 及圖 5)。此原因可能由於其他地區抗藥性較低或感受性較高之棲羣遷移此區，與此區之抗藥性棲羣混合交配，致整個棲羣之抗性基因羣 (Resistant gene pool) 產生稀釋現象。稀釋之結果使其後代之抗性程度下降，或使抗性棲羣由同質棲羣 (Homogenous population) 變爲異質棲羣 (Heterogenous population)。但在目前臺灣之環境下，田間小菜蛾之棲羣幾乎每代都局部性地遭受農藥之選汰壓力，一旦寄主植物如甘藍、花椰菜等大量栽培，害蟲棲羣密度與施藥頻率同時增加，則其抗藥程度又將趨於隱定之高峰。

關於抗藥性機制問題，筆者等曾以氣相層析法測定感受品系與抗藥品系 (抗 Malathion 品系) 成蛾在一定時間內對 Malathion 及 Diazinon 之滲透情形。結果發現兩種品系間對此類藥劑之滲透率 (Penetration rate) 無明顯之差異[3]，此與張啓屏、孫志寧等以放射性標識物所做之試驗結果相同[15]。張氏等且以抗 Diazinon 品系爲材料，比較 R 品系與 S 品系間對 Diazinon 代謝率與對 R、S 兩品系間膽鹹酯酵素 (Cholinesterase 簡稱 ChE) 之感受情形，認定小菜蛾對 Diazinon 產生抗性之原因乃爲解毒速率之增强以及對 ChE 酵素敏感性 (Senstivity) 之降低所致[22]。但一般對 Malathion 具有抗性之昆蟲體內皆具有 Carboxyesterase 之作用機制[33]，換言之，此種酵素之

活性在 R 品系中能被增强，以加速分解 Malathion 爲無毒之 Malathion acid。小菜蛾之情形是否如此，尙待日後證實。

總之，經過兩年餘之試驗研究，證明本省小菜蛾確已對 Malathion、DDVP、Diazinon、Elsan、Phosdrin、Thiodan 等六種農藥產生不同程度之抗性。而且此種抗性不僅對相同類型之藥劑產生交互抗性，同時亦對不同類型之藥劑產生多重抗性。此種抗藥現象早在十餘年前即已感覺到，因爲許多原先效果優異之小菜蛾防治藥劑，經過數年之後已逐漸降低其治蟲效果，雖然農藥治蟲效果之減退不能全部歸罪於害蟲產生抗性，但吾人由推薦防治此蟲之藥劑變化過程中，業已體會出此蟲似已產生抗性，而今僅藉試驗予以肯定之證明而已。事實上，現階段之農業經營，施用農藥防治病蟲害，已爲不可或缺之重要措施。在「物競天擇」之天然淘汰下，害蟲產生抗藥性亦爲其進化過程不可避免之自然現象 (31)。吾人對此不必過份惶恐失措，重要者乃須研究對策，如何使其抗性延遲發生，或重新開發新藥，以取代因產生抗性而無效之藥劑，或在擬訂防治措施，選擇藥劑之前，先對田間小菜蛾棲羣，做感性測定。爲此，筆者等建議儘早設立長期之害蟲抗藥監視系統，使今後每一新藥引進推廣之時，須先檢定害蟲對此藥之感受程度。同時在藥劑引進使用若干年後，再做抗性測定，嚴密監視其感性變化情形，俾在害蟲對此藥劑尙未發生抗性之前，有充裕之時間籌謀因應之策。此外，對已推廣多年之「老藥」，亦須定期做抗性程度之測定，重新評估其藥效，如此可使已產生抗性之藥劑遭受淘汰，減輕害蟲產生抗藥性帶來之困擾。

參考文獻

1. 古德業、王順成・1978・農藥防治水稻主要害蟲藥效探討。昆蟲生態與防治研討會講稿集：143-162。中央研究院動物研究所。
2. 何坤耀・1976・臺灣中部三地區小菜蛾對 Phosdrin 感受性之研究。國立中興大學昆蟲系學士論文。
3. 李順連、李文台・1978・未發表資料。
4. 吳國家・1968・小菜蛾之形性觀察及其天敵考察。農業研究 17(2)：51-64。
5. 邱瑞珍、錢景秦・1974・小菜蛾寄生小繭蜂之大量繁殖與田間釋放。農業研究 23(1)：48-59。
6. 陶家駒、張艮傳、邱創義・1960・蔬菜害蟲安全藥劑防治試驗報告。植物保護學會會刊 2(1)：7-19。
7. 陶家駒・1966・蔬菜害蟲。臺灣植物保護工作昆蟲篇(1940-1965)：195-226，劉廷蔚先生六十歲紀念文集。
8. 陶家駒・1973・臺灣蔬菜害蟲七年來研究成果彙報及檢討。科學農業 21(7-8)：230-240。
9. 陶家駒・1976・臺灣十字花科蔬菜害蟲相及其防治法之演變。科學農業 24(9-10)：400-402。
10. 秦登、梁同庭、林勝吉・1964・幾種主要蔬菜害蟲藥劑防治田間試驗。農業研究 13(3)：65-69。
11. 梁同庭・1966・農藥及農藥遺毒之生物檢驗及試驗。臺灣植物保護工作昆蟲篇(1940-1965)：23-26，劉廷蔚先生六十歲紀念文集。
12. 唐美逸・1968・小菜蛾生活史之研究及其綜合防治。中美技術 13(2):1-11。
13. 孫志寧・1977・害蟲抗藥性問題。害蟲防治研討會臺灣農業研究中心專刊 8：153-167。
14. 張艮傳・1975・幾種有機磷劑對小菜蛾抗藥性試驗（論文摘要）。植物保護學會會刊17（4）：431-。
15. 張啓屏・1977・小菜蛾對 Diazinon 抗藥性機構之探討。國立中興大學昆蟲研究所碩士論文。
16. 馮海東、孫志寧・1978・臺灣小菜蛾對納乃得（methomyl）感受性之研究。科學農業 26（3-4）：135-138。
17. 臺灣省農林廳・1960・49 年度植物保護手册。
18. 臺灣省農林廳・1961・50 年度植物保護手册。
19. 臺灣省農林廳・1962・51 年度植物保護手册。
20. 臺灣省農林廳・1963・52 年度植物保護手册。
21. 臺灣省農林廳・1965・54 年度植物保護手册。

22. 臺灣省農林廳・1968・57 年度植物保護手册。
23. 臺灣省農林廳・1973・62 年度植物保護手册。
24. 臺灣省農林廳・1978・67 年度植物保護手册。
25. 齊 心、孫志寧・1976・臺灣小菜蛾對 Diazinon 抗藥性之研究。科學農業 24(9-10):403-406。
26. 羅幹成、趙若素・1976・臺灣紅蜘抗藥性之初步研究。中華農業研究 25(1):23-36。
27. Brown, A. W. A. and R. Pal. 1971. Insecticide resistance in Arthropodas. WHO, Geneva, 491 pp.
28. Finney, D. J.1964. Probit analysis, a statistical method of the sigmoid response curve. 2nd ed, London, Cambridge University Press.
29. Georghiou, G. P.1971. Resistance of insects and mites to insecticides and the future of pesticide chemicals. In a symposium "Agricultural chemical-hormony or discord for food, people and the environment". John E. Swift, Ed. University of California, Div. of Agricultural Science.
30. Georghiou, G. P. 1972. The evolution of resistance to pesticides. Ann. Rev. Ecology and Systemics. 3 : 133-168.
31. Georghiou, G. P. and C. E. Taylor. 1976. Pesticide resistance as evolutionary phenomenon. Procedings of XV International Congress of Entomology : 759-785.
32. Harcourt, D. G. 1957. Biology of the diamondback moth, *Plutella maculipennis* (Curt.) (Lepidoptera : Plutellidae) in eastern Ontario 11. Life history, behavior and host relationships. Can. Ent. 89 : 554-564.
33. O'Brin, R. 1967. Organophosphate resistance. In "Insecticide, action and metabolism" : 241-249. Academic Press, New York, N. Y.
34. Ozaki, K. 1969. Some notes on the resistance to malathion and methyl parathion of the green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps*. App. Ent. Zool. 1 : 189
35. Sudderuddin, K. I. and Kok. Pooi-Fung. 1978. Insecticide resistance in *Plutella xylostella* collected from the Cameron highlands of Malaysia. FAO Plant Prot. Bull. 26 (2) : 53-57.
36. Suzuki, T. 1968. A note on a multiple-resistant or tolerant colony of *Culex pipiens* to organophosphorus insecticides. Jap. J. Sanit. Zool. 19 : 98-100.

Studies on the resistance of diamondback moth, *Plutella xylostella* to commonly used insecticides [1]

Sung-Lien Lee and Wen-Tai Lee [2]

Summary

The diamondback moth, *Plutella xylostella* L. is one of the most serious insect pests of the cruciferus vegetables in Taiwan. Application of organo-synthetic insecticides to control the diamondback moth on vegetables has been used by growers for more than twelve years. Initially, when used at recommended rates, these insecticides were effective in reducing both pest populations and damage to an acceptable level. However, their effectiveness has been gradually decling after a widespread and continuous long-term application as a result the pest population appear to be increasing rapidly. This is suspected to be a consequence of the insect having developed resistance to these chemicals.

In order to understand the present status of insecticide resistance, the resistance spectra of diamondback moth strains collected from various vegetable field of Taiwan was determined by topical application using several insecticides. Most of the strains showed a relatively high level of resistance to commonly used insecticides such as malathion, diazinon, DDVP, phosdrin (mevinphos), elsan (phenthoate) and thiodan (endosulfan). The multiple resistance of diamondback moth to quite a few insecticides was also found in some field-strain. This phenomenon might be considered to be a primary obstacle to successful control of diamondback moth by several insecticides today. The implications of resistance to such a wide range of insecticides, seasonal fluctuations of insecticide resistance level in the field population and the future of chemical control of this insect in Taiwan are discussed.

1. Contribution No. 897 from Taiwan Agricultural Research Institute.

2. Senior Entomologist and Research Assistant, respectively of the Department of Applied Zoology, TARI. Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 431, ROC.