

第二節 化學防治法

一、藥劑的選擇

王 順 成

有害動物對儲藏穀物所造成之損害估計，雖較作物收穫前為少，然而穀物於貯藏期間因蟲害、病菌、蟻類、鼠類取食或污染所引起穀物品質改變，市場價格降低等影響，則甚為可觀。為盡量減少倉貯穀物於貯存期之損失，目前最快速而有效的方法，乃是應用化學藥劑加以處理。但是化學藥劑處理首先考慮的為藥劑之藥效，其次為藥劑殘留毒性及藥劑對穀物等種子發芽之影響；最後可能面臨為大量而長期使用化學藥劑，使害蟲或其他有害生物產生抗藥性。有關上述問題，就本省試驗結果及資料可歸納如下：

(一)殺蟲劑藥效之探討：

以燻蒸劑防治倉庫害蟲本為最有效之防治方法，但由於燻蒸劑的使用牽涉到倉庫之造型、結構及倉庫所在位置，使用時、受到很大的

表 3.1 以局部滴加法和混拌法處理時殺蟲劑對玉米象之毒效 (王等 1982)

Table 3.1 Toxicity response of maize weevil to insecticides by topical application and admixture method.

Insecticides	Topical application	Admixture
	($\mu\text{g/g}$)	LD ₅₀ (ppm)
Bendiocarb	0.056	9.8
Chlorpyrifos	0.066	17.8
Diazinon	0.10	8.3
Fenitrothion	0.024	8.0
Fenthion	0.028	40.3
Malathion	0.042	12.9

限制。目前本省防治倉庫害蟲大部份以使用接觸性殺蟲劑為主，但有關於接觸性殺蟲劑對倉庫害蟲之毒理資料，則大部份缺乏。

早期王及古(1982a, 1982b)，以局部滴加法及混拌處理法測試殺蟲劑對玉米象之毒效後，正式建立殺蟲劑對倉庫害蟲之室內試驗方法。在其試驗中發現6種供試藥劑中(表3.1)以局部滴加法和混拌法處理玉米象時，毒效並不相同。以局部滴加法處理時 fenitrothion 對玉米象之毒性最強，其餘依次為 fenthion、malathion、bediocarb、chlorpyrifos 及 diazinon。但以混拌法處理時、對玉米象毒性順序

表 3.2 26種殺蟲劑處理玉米象24小時後之毒效 (謝等 1983)。

Table 3.2 The toxicities of 26 insecticides after 24 hours treatment to the maize weevil.

Insecticide	LC ₅₀ (ppm)	LC ₉₅ (ppm)	T.I. ¹
Organophosphate			
etrimfos	0.56	0.87	4.23
pirimiphos methyl	0.67	1.11	3.54
phoxim	0.69	0.98	3.43
fenitrothion	0.70	1.04	3.39
chlorpyrifos	0.77	1.33	3.08
dichlorvos	0.98	1.60	2.42
malathion	2.37	3.17	1.00
diazinon	2.40	3.85	0.99
dicrotophos	2.71	4.77	0.87
monocrotophos	3.85	9.87	0.62
azinphos methyl	6.49	13.03	0.37
bromotophos	10.63	19.89	0.22
anthio	17.53	46.33	0.14
chlorfenvinphos	19.28	56.02	0.12
dimethoate	19.54	46.87	0.12
acephate	78.40	233.18	0.03
trichlorfon	86.95	187.40	0.03
Carbamate			
bendiocarb	1.54	2.88	1.54
Hokbal	5.58	8.39	0.42
propoxur	6.46	10.70	0.37
BPMC	6.62	12.59	0.36
methomyl	27.66	62.77	0.09
carbaryl	1088.57	3989.29	0.002
Pyrethroid			
decamethrin	0.82	3.18	2.89
permethrin	11.37	31.15	0.21
fenvalerate	23.77	85.95	0.10

1) T.I.: Toxicity index = $\frac{LC_{50} \text{ of malathion}}{LC_{50} \text{ of insecticide}}$

表 3.3 26種殺蟲劑處理穀蠹 24 小時後之毒效值 (謝等 1983)。

Table 3.3 The toxicities of 26 insecticides after 24 hours treatment to lesser grain borer.

Insecticide	LC ₅₀ (ppm)	LC ₉₅ (ppm)	T.I. ¹
Organophosphate			
phoxim	0.58	1.82	45.90
chlorpyrifos	1.45	5.82	18.36
dichlorvos	2.50	6.55	10.65
azinphos methyl	3.25	5.89	8.19
etrimfos	4.42	8.13	6.02
diazinon	5.07	11.52	5.25
fenitrothion	6.44	11.97	4.13
chlorfenvinphos	6.88	28.75	3.87
pirimiphos methyl	12.95	29.07	2.06
dicrotophos	14.26	51.41	1.87
dimethoate	18.88	33.52	1.41
anthio	18.88	56.84	1.41
malathion	26.62	90.66	1.00
monocrotophos	35.69	103.30	0.75
bromophos	159.16	4969.38	0.17
acephate	369.13	1031.69	0.07
trichlorfon	1505.00	4529.21	0.20
Carbamate			
bendiocarb	1.34	2.52	19.87
Hokbal	5.13	15.44	5.19
carbaryl	6.98	20.58	3.81
BPMC	8.77	55.81	3.04
methomyl	12.39	26.57	2.15
propoxur	15.50	35.04	1.72
Pyrethroid			
decamethrin	0.07	0.31	380.29
permethrin	0.40	1.13	66.55
fenvalerate	0.85	8.20	31.32

1) T.I.: Toxicity index = $\frac{LC_{50} \text{ of malathion}}{LC_{50} \text{ of insecticide}}$

爲 fenitrothion > diazinon > bendiocarb > malathion > chlorpyrifos > fenthion。顯然使用測試方法對玉米象毒效影響很大。

謝等 (1983) 以 26 種常用殺蟲劑利用混拌法測試對玉米象及穀蠹之藥效 (表 3.2, 表 3.3)。由此項測試結果顯示大部份殺蟲劑對玉米象之毒效較穀蠹爲大。但 azinphos methyl, chlorfenvinphos, carbaryl, methomyl, decamethrin fenvalerate 及 permethrin 則對穀蠹之毒性反較玉米象爲大。而以 Etrimfos 爲所有供試 26 種殺蟲劑中對玉米象之毒性最大, 其次爲 pirimiphosmethyl > phoxim > fenthion > chlorpyrifos > decamethrin > dichlorvos > bendiocarb > malathion > diazinon > dicrotophos > monocrotophos > okbal > propoxur > azinphos methyl > BPMC > bromophos > acephate > trichlorfon。而 Carbaryl 對玉米象之毒性最小。

由 26 種供試之殺蟲劑對穀蠹之毒效結果 (表 3.3), 知 decamethrin 對穀蠹之毒性最強, 依次爲 permethrin > phoxim > fenvalerate > bendiocarb > chlorpyrifos > dichlorvos > azinphosmethyl > etrimfos > diazinon > Hokbal, fenitrothion > chlorfenvinphos > carbarzl > BPMC > methomyl > pirimiphosmethyl > dicrotophos > propoxur > dimethoate > anthio > malathiion > monocrotophos > bromophos > acetophate。

謝等 (1983) 之研究顯示 etrimfos, phoxim, chlorpyrifos, decamethin, diazinon, bendiocarb 及 dichlorvos 等殺蟲劑對玉米象及穀蠹之毒性强, 且 permethin 及 fenvalerate 對哺乳動物之毒性亦低, 認爲此類藥劑對防治本省之積穀害蟲具有甚大之潛力。

彭等 (1980) 及彭 (1983) 利用濾紙浸孕法, 其中試驗十種殺蟲劑對六種鞘翅類積穀害蟲之毒效 (表 3.4), 試驗結果顯示 dichlorvos 對六種積穀害蟲之毒性較其他藥劑爲強, 而 chlorpyrifos, fenitrothion, pirimiphosmethyl, phoxim, etrimfos 和 bromophos 之毒效次之。但 propoxur, malathion 和 permethrin 則在 10 種供試藥劑中, 毒性最低。Dichlorvos 之毒性最佳, 主要它具有接觸毒外, 尙兼具燻蒸效果, 而且殘效期短, 對人畜安全。至於 chlorpyrifos, fenitrothion, pirimifos-methyl, phoxim, etrimfos 和 bromophos 之藥效雖僅次於 dichlorvos, 但其殘效期較強, 且受溫度影響小, 適合一年四季之使用。

表 3.4 十種殺蟲劑對 6 種倉庫鞘翅目害蟲之 LC_{50} 及 LC_{95} 值 (彭 1983)。

Table 3.4 The LC_{50} and LC_{95} values (mg/m^2) of the insecticides to six coleopterous stored-rice insect pests.

Insecticide	<i>Sitophilus oryzae</i>		<i>Sitophilus zeamais</i>		<i>Rhizopertha dominica</i>		<i>Tribolium castaneum</i>		<i>Oryzaephilus surinamensis</i>		<i>Cryptolestes ferrugineus</i>	
	LC_{50}	LC_{95}	LC_{50}^0	LC_{95}	LC_{50}	LC_{95}	LC_{50}	LC_{95}	LC_{50}	LC_{95}	LC_{50}	LC_{95}
Dichlorvos	13.6	48.3	12.3	68.1	15.4	118.5	8.0	30.2	3.3	19.3	4.0	16.7
Fenitrothion	25.4	149.4	21.4	135.7	7.2	123.8	11.9	53.1	7.4	45.5	4.6	43.0
Phoxim	51.0	247.4	38.0	172.5	10.5	77.5	17.6	518.7	9.5	96.2	3.5	34.5
Etrimfos	36.8	263.2	18.9	165.6	86.7	592.8	14.2	211.0	7.6	23.6	7.3	28.3
Pirimiphos-methyl	65.7	367.0	35.8	231.1	25.1	284.8	21.9	341.2	1.5	32.9	1.5	32.9
Chlorpyrifos	41.5	449.7	7.1	80.5	90.0	194.1	12.3	92.6	3.0	19.0	3.1	19.0
Bromophos	35.0	626.9	55.8	1393.1	34.7	2113.6	55.5	954.6	8.5	672.6	3.4	149.2
Malathion	413.4	1855.2	305.2	1883.6	267.6	2204.2	205.3	1950.8	232.5	2136.3	229.6	1535.3
Propoxur	511.8	2332.6	517.7	2956.3	409.6	5405.1	259.2	4276.7	299.4	6592.0	393.5	1321.4
Permethrin	284.0	4721.0	66.8	4854.5	378.6	4067.3	512.1	3758.9	162.5	3963.9	208.3	4503.4

謝等 (1982) 以 6 種有機磷劑測試對玉米象及穀蠹在不同溫度時之毒效。結果顯示有機磷對此二種害蟲之毒效與試驗溫度呈正效應 (表 3.5, 表 3.6), 亦即溫度升高時, 藥劑之毒效增強。其中 malathion 之溫度效應最大, DDVP 之溫度效應較小。但在試驗溫度範圍內 (2° - 30° C), 各藥劑對玉米象及穀蠹之毒效強弱順序, 不受溫度

表 3.5 六種有機磷殺蟲劑對玉米象之毒效值 (謝等 1982)。

Table 3.5 The toxicity of organophosphorous insecticides to the maize weevil.

Insecticide	Temp. ($^{\circ}$ C)	Admixture treatment		Topical application	
		LC ₅₀	(ppm)	LD ₅₀	(ng per insect)
Actellic	12	1.13	1.20	32.98	34.14
	16	0.67	0.80	13.34	14.55
	20	0.53	0.65	13.33	16.05
	25	0	0.45	10.68	10.35
	30	0..	0.32	20.19	8.75
Baythion	12	2.63	2.40	15.52	11.51
	16	0.73	0.05	8.70	8.71
	20	0.58	0.64	6.85	7.38
	25	0.47	0.48	7.17	6.70
	30	0.35	0.26	6.45	7.82
Folthion	12	1.63	1.91	12.62	7.82
	16	0.93	0.93	6.40	4.51
	20	0.69	0.78	5.76	4.45
	25	0.53	0.62	4.59	4.27
	30	0.40	0.43	3.52	3.45
DDVP	12	0.75	0.70	—	12.16
	16	0.84	0.75	—	8.08
	20	0.68	0.78	—	0.07
	25	0.42	0.46	—	9.79
	30	0.60	0.72	—	5.02
Diazinon	12	2.86	3.17	—	145.30
	16	1.60	1.94	—	66.79
	20	1.27	1.49	—	35.45
	25	0.86	1.09	—	31.87
	30	0.86	1.09	—	31.87
	30	0.78	0.85	—	24.31
Malathion	12	5.66	4.04	—	60.08
	16	2.51	2.46	—	38.10
	20	1.79	1.95	—	38.10
	25	1.17	1.58	—	26.55
	30	0.72	0.75	—	23.99

表 3·6 以局部滴加法處理時不同溫度有機磷劑對雌玉米象之毒效值 (謝等 1982)。

Table 3·6 Effect of posttreatment temperature on the toxicity of 6 organophosphorous insecticides to the female weevil treated by topical application^{a)}.

Temp. (°C)	Insecticide	LD ₅₀ (ng per insect)	Slop	R. T. ^{b)}
12	Diazinon	145.30(137.52~156.00)	4.07	0.41
	Malathion	60.08(56.67~ 63.45)	4.46	1.00
	Actellic	34.14(31.91~ 36.90)	4.81	1.76
	Baythion	12.16(11.19~ 13.10)	5.00	4.94
	DDVP	11.51(10.54~ 12.46)	3.89	5.22
	Folithion	8.82(6.45~ 9.03)	2.36	7.68
16	Diazinon	66.79(62.18~ 17.24)	5.04	0.57
	Malathion	32.91(31.56~ 34.38)	11.50	1.00
	Actellic	14.55(13.19~ 15.87)	4.90	2.62
	Baythion	8.71(7.97~ 9.44)	4.13	4.37
	DDVP	8.08(1.20~ 6.43)	3.68	4.72
	Foithion	4.51(1.20~ 6.43)	1.40	8.45
20	Diazinon	35.45(32.91~ 38.16)	2.78	0.93
	Malathion	22.91(31.56~ 34.38)	11.50	1.00
	Actellic	16.65(15.32~ 17.90)	4.23	1.98
	Baythion	7.39(6.95~ 7.88)	6.28	4.46
	DDVP	7.07(5.40~ 8.50)	2.83	4.65
	Folithion	4.45(3.81~ 5.05)	2.42	7.40
25	Diazinon	31.87(29.68~ 34.15)	3.85	0.83
	Malarhion	26.55(25.49~ 27.62)	8.84	1.00
	Actellic	10.35(9.72~ 11.01)	5.20	2.57
	Baythion	9.97(8.99~ 10.56)	3.22	2.71
	DDVP	6.70(6.72~ 7.11)	5.59	3.96
	Folithion	4.27(4.07~ 4.46)	5.30	6.22
30	Diazinon	24.31(21.75~ 26.86)	3.71	0.99
	Malathion	23.99(23.01~ 24.88)	6.81	1.00
	Actellic	8.75(7.41~ 10.48)	4.09	2.74
	Baythion	7.82(7.35~ 8.27)	7.02	3.07
	DDVP	5.02(3.27~ 6.46)	2.25	4.78
	Folithion	3.45(3.19~ 3.72)	4.55	6.95

a) Average body weight is 2.20 0.03mg.

b) R. T.: Relative toxicity = $\frac{\text{LD}_{50} \text{ of malathion}}{\text{LD}_{50} \text{ of } \times}$

(\times = actellic, baythion, DDVP, diazinon, folithion)

效應之影響。

有關 Phostoxin (好達勝) 燻蒸劑對積穀害蟲之防治試驗，早在 1962 年已開始，後來陸續進行各類穀物之貯藏害蟲防治試驗。後來謝及高 (1975) 報導 Detia (敵西亞) 及 Phostxin 均可使玉米倉中之米象及擬穀盜達 100% 死亡，顯示兩者防治效果相同。

(一) 殺蟲藥劑對穀物發芽率之影響：

在臺灣所使用之穀倉藥劑大部分以接觸性殺蟲劑為主，藥劑的使用方法是以混拌稻穀防治積穀害蟲。早期使用的藥劑為 Pyrenon (保拉寧) 及 Lindane (靈丹)，稍後為 Malathoin (馬拉松) 及目前大力推廣者為 Phoxim (巴賽松)。

1956 年至 1957 年林 (1964) 曾以 Pyrenon 及 Lindane 與稻穀小麥及大豆混拌後、對種子發芽之影響。經處理後之穀物貯藏 8~12 個月並不影響其發芽率。至於使用燻蒸劑後對穀物之發芽率之影響，1977 年謝及高以高於推薦量 100 倍之藥劑 Phostoxin 2 片 / 5 公斤，Detia 6 克 / 5 公斤) 處理玉米種子，其發芽率亦不受影響。

林及洪 (1977 年) 以 Celphos (賽好勝) 及 Phostoxin 測試燻蒸後之稻穀、玉米及白菜種子經上述兩種藥劑處理後、其發芽率並不受影響。

1984 年王及古於室內以 Phostoxin 對害蟲 LC_{95} 之 2 及 4 倍劑量處理臺農 351 號，與臺南 5 號玉米，及高粱臺中 11 號，經處理後 2~4 週發現 Phostoxin 對上述三類種子之發芽率並無影響。由以上各種燻蒸劑之試驗結果，很明顯的 Phostoxin 燻蒸劑之殘留毒性對穀物、雜糧種子之發芽率並無影響。

(二) 倉庫害蟲抗藥性的問題：

殺蟲劑廣泛使用於防治倉庫害蟲後，長期施藥結果，易使倉庫害蟲產生抗藥性，據聯合國糧農組織調查已知有 17 種倉庫害蟲已對殺蟲劑產生高幅度之抗藥性 (FAO 1976)，其中包括鞘翅目害蟲 11 種，鱗翅目害蟲 5 種及蟎類 1 種。聯合國糧農組織於 1976 年調查 8 種重要倉儲鞘翅目害蟲抗藥性中發現玉米象及穀蠹所佔位置相當重要。

本省倉庫害蟲之抗藥性根據王及古 (1982a) 調查全省 30 個不同倉庫玉米象對馬拉松抗藥性情形，其中抗藥倍數在溪湖農會高達 20 倍，而其他地區則在 1.14 至 8.20 倍之間 (表 3·7)。由上述調查顯示本省

表 3·7 混拌法處理馬拉松藥劑對不同採集區玉米象之毒效 (王及古 1982a)。

Table 3·7 Toxicity response of maize weevil *Sitophilus zeamais* collected from different localities of Taiwan to malathion as treated with admixture method.

Sampling locality	LC ₅₀ (ppm)	LC ₉₅ (ppm)	RR ¹	RR ²
Susceptible 敏感品系	2.89	19.34	—	—
Shu-lin 樹林	7.79	17.67	2.69	0.91
Chung-li 中壢	13.46	25.41	4.64	1.31
Yang-mei 楊梅	6.42	36.96	2.21	1.91
Hu-kou 湖口	9.60	11.32	3.31	0.58
Chu-nan 竹南	11.65	20.87	4.02	1.08
Hou-lung 後龍	14.61	28.34	5.04	1.46
Hua-tan 花壇	17.68	56.24	6.10	2.90
Yuan-lin 員林	8.60	14.78	2.97	0.76
Hsi-hu 溪湖	56.75	148.42	19.57	7.65
Tien-chung 田中	13.43	26.09	4.65	1.34
Hsi-chou 溪州	10.45	20.28	3.60	1.05
Er-lun 二崙	12.41	19.09	4.28	0.98
Pei-kong 北港	16.45	38.13	5.67	1.97
Chia-li 佳里	13.16	35.35	4.54	1.82
Chia-ju 九如	10.68	17.71	3.68	0.91
Chao-chou 潮州	23.79	51.95	8.20	2.68
Su-ao 蘇澳	20.59	37.12	7.10	1.91
Chi-an 吉安	3.31	17.78	1.14	0.92
Cheng-kung 成功	15.58	29.82	5.37	1.54
Kuan-shan 關山	10.28	17.04	3.54	0.88

$$1) \text{ Resistance Ratio} = \frac{\text{LC}_{50} \text{ of different areas}}{\text{LC}_{50} \text{ of susceptible strains}}$$

$$2) \text{ Resistance Ratio} = \frac{\text{LC}_{95} \text{ of different areas}}{\text{LC}_{95} \text{ of susceptible strains}}$$

少數地區之玉米象對 malathion 產生高度抗藥性，其他地區倉庫之抗藥性倍數均相當低。1982年，王及古以 8 種殺蟲藥劑 bendiocarb, chlorpyrifos、diazinon、fenitrothion、fenthion, pirimiphos-methyl 及 phoxim 連續篩選玉米象，以瞭解玉米象抗性品系在 9 及 12 個世代內可增加抗藥性倍數。由多次試驗結果得知 Bendiocarb 可

使玉米象在12代產生54.5倍之抗藥性，其他藥劑之抗藥性均在8.4倍以下(王及古1982b)。顯示 Bendiocarb 在藥劑連續不斷篩選下易於誘發玉米象之抗藥性。但值得注意的是以 malathion 處理12代，其抗性倍數仍停留在4倍左右(表3.8)。由於 malathion 在臺灣使用

表 3.8 八種藥劑依混拌法為選汰壓力對玉米象子代與親代間之抗性比值(王及古1982b)。

Table 3.8 Resistance ratio of maize weevil to insecticides tested by admixture method in different generation under selection pressure.

Insecticide	RR ^a			
	F ₃	F ₉	F ₉	F ₁₂
Bendiocarb	5.1	6.0	25.1	54.5
Chlorpyrifos	1.2	1.3	—	—
Diazinon	5.4	8.3	3.7	4.2
Fenitrothion	1.0	1.3	—	—
Fenthion	1.1	1.1	—	—
Malathion	5.1	4.9	3.0	4.0
Pirimiphos Methyl	1.3	8.4	—	—
Phoxim	2.3	—	—	—

$$a) RR = \frac{LC_{50} \text{ of offspring generation (F)}}{LC_{50} \text{ of parent generation (P)}}$$

達20年之久，但倉庫內鞘翅目害蟲對 malathion 之抗藥性幅度並不高，由此可見 malathion 藥劑防治玉米象失效的原因，受抗藥性之影響比較小。為探討倉庫害蟲防治失效另一可能因素，王等(1982)以族羣再崛起(Resurgence)觀點，利用在不同亞致死劑量(Sublethal dosage)測定對玉米象繁殖率之影響(表3.9、表3.10)。試驗得知8殺蟲劑在亞致死劑量時，malathion, fenitrothion, bendiocarb及pirimiphos-methyl的劑量均可刺激玉米象之繁殖率大幅度地增加，尤其是malathion在亞致死劑量之LD₁₀, LD₂₀, LD₄₀及LD₅₀之任一劑量均可使玉米象(子代)之繁殖率增加。此種現象對malathion防治倉庫害蟲失效的原因，得到一比較強烈的支持。

表 3·9 不同殺蟲劑之亞致死劑量對玉米象繁殖率影響(王等 1982)。

Table 3·9 Effect of sublethal doses of insecticides on the number of offspring of *Sitophilus zeamais*.

Lethal dose ¹ (LD)	No. offspring ²			
	Bendiocarb	Diazinon	Fenthion	Pirimiphos-methyl
10	146.0 b	115.0 a	147.5 a	110.3 a
20	150.2 b	113.8 a	163.2 a	151.3 bc
40	128.5 a	112.6 a	146.4 a	140.4 bc
50	125.3 a	112.2 a	148.8 a	156.4 c
control	124.0 a	125.5 b	156.3 a	122.5 ab

- 1) Topical application of chemicals of technical grade on the 3rd day adults.
- 2) From eggs laid by 5 females in 10 days. In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 0.05 level (Duncan's multiple range test).

表 3·10 不同殺蟲劑之亞致死劑量對玉米象繁殖率影響(王等 1982)。

Table 3·10 Effect of sublethal doses of insecticides on the number of progeny of *Sitophilus zeamais*.

Lethal dose ¹ (LD) ($\mu\text{g/g}$ of body wt)	No. offspring ²			
	Malathion	Fenitrothion	Chlorpyrifos	Phoxim
10	133.2 b	199.3 a	93.7 a	67.9 a
20	126.1 b	238.6 b	96.1 a	71.1 a
40	146.7 c	198.9 ac	124.5 c	86.6 a
50	129.7 b	171.9 ac	157.3 b	69.9 a
Control	101.4 a	182.5 ac	104.63 a	80.9 a

- 1) Topical application of chemicals of technical grade on the 3rd day adults.
- 2) From eggs laid by 5 females in 10 days, In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 0,05 level (Duncan's multiple range test).