



Formosan Entomologist

Journal Homepage: entsocjournal.yabee.com.tw

Phoxim Resistance in *Rhyzopertha dominica* Fabricius in Taiwan [Research report]

穀蠹對巴賽松之抗藥性研究【研究報告】

Me-Chi Yao and Kang-Chen Lo
姚美吉、羅幹成

*通訊作者E-mail:

Received: Accepted: 1994/05/19 Available online: 1994/09/01

Abstract

Rhyzopertha dominica is an important insect pest of stored grains in Taiwan. During the period 1979-1994, phoxim has been continuously applied to store house for pest control. Results revealed that the Kuanyin strain was most resistant and that the Hukou strain was most susceptible to phoxim. Samples of *R. dominica* collected from various areas have developed a 5-68-fold level of resistance compared with the Hukou strain. Phoxim-resistant strain obtained by consecutive selection pressure of phoxim of the Kuanyin strain for five generations showed cross resistance to chlorpyrifos and malathion but no significant cross resistance to carbamates and pyrethroids. Temperature is a major factor that significantly influences the performance of insecticides. Deltamethrin was more effective at 20°C than at 30°C on a phoxim-resistant strain of *R. dominica*. Bendiocarb was more toxic to a phoxim-resistant strain at 30°C than 20°C. Therefore, effectiveness of insecticides against stored-product insects may vary with seasonal fluctuation. Bendiocarb and carbaryl are suggested to be applied to control stored-product insects in the summer season, and deltamethrin the winter. S, S, S, -tributyl phosphorotriothoate (TBPT), an esterases inhibitor, slightly synergized phoxim (2.79-fold) to the phoxim-resistant strain. It may be considered that esterases play an important role in phoxim detoxification.

摘要

穀蠹 (*Rhyzopertha dominica*) 為本省最重要積穀害蟲，在連續十五年使用巴賽松 (phoxim) 防治積穀害蟲後，部份穀蠹品系已對巴賽松產生明顯抗性，其中觀音品系抗性最強，湖口品系最敏感。各品系對巴賽松之LC50與湖口品系相比，所得之相對抗性倍數比在5-68倍之間。再以巴賽松持續篩選觀音品系五代後之巴賽松高抗性品系，對有機磷藥劑陶斯松及馬拉松有明顯交互抗性，而對氨基甲酸鹽及除蟲菊類藥劑的毒效影響不大。溫度對藥劑之毒效影響極為明顯，在20°C時，以第滅寧對巴賽松高抗性品系的毒效最好。在30°C則以敵克最佳，第滅寧與加保利次之。因此建議冬季使用第滅寧，夏季則使用敵克或加保利。添加水解酶毒抑制劑 TBPT於巴賽松中，對巴賽松高抗性品系之毒效呈現些微協力作用 (2.79倍)，因此推測水解酶之解毒作用可能在穀蠹對巴賽松抗藥性中參與部份角色。

Key words: *Rhyzopertha dominica*, phoxim, cross resistance, temperature, esterases.

關鍵詞: 穀蠹、巴賽松、交互抗性、溫度、水解酵素。

Full Text:  [PDF\(0.44 MB\)](#)

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

穀蠹對巴賽松之抗藥性研究

姚美吉、羅幹成 台灣省農業試驗所應用動物系 台中縣霧峰鄉中正路 189 號

摘 要

穀蠹 (*Rhyzopertha dominica*) 為本省最重要積穀害蟲，在連續十五年使用巴賽松 (phoxim) 防治積穀害蟲後，部份穀蠹品系已對巴賽松產生明顯抗性，其中觀音品系抗性最強，湖口品系最敏感。各品系對巴賽松之 LC_{50} 與湖口品系相比，所得之相對抗性倍數比在 5~68 倍之間。再以巴賽松持續篩選觀音品系五代後之巴賽松高抗性品系，對有機磷藥劑陶斯松及馬拉松有明顯交互抗性，而對氨基甲酸鹽及除蟲菊類藥劑的毒效影響不大。溫度對藥劑之毒效影響極為明顯，在 20°C 時，以第滅寧對巴賽松高抗性品系的毒效最好。在 30°C 則以克敵克最佳，第滅寧與加保利次之。因此建議冬季使用第滅寧，夏季則使用克敵克或加保利。添加水解酶毒抑制劑 TBPT 於巴賽松中，對巴賽松高抗性品系之毒效呈現些微協力作用 (2.79 倍)，因此推測水解酵素之解毒作用可能在穀蠹對巴賽松抗藥性中參與部份角色。

關鍵詞：穀蠹、巴賽松、交互抗性、溫度、水解酵素。

Phoxim Resistance in *Rhyzopertha dominica* Fabricius in Taiwan

Me-Chi Yao and Kang-Chen Lo Department of Applied Zoology, Taiwan Agricultural Research Institute, 189 Chung-Cheng Road, Wufeng, Taichung, Taiwan, R. O. C.

ABSTRACT

Rhyzopertha dominica is an important insect pest of stored grains in Taiwan. During the period 1979 - 1994, phoxim has been continuously applied to store house for pest control. Results revealed that the Kuanyin strain was most resistant and that the Hukou strain was most susceptible to phoxim. Samples of *R. dominica* collected from various areas have developed a 5~68-fold level of resistance compared with the Hukou strain. Phoxim-resistant strain obtained by consecutive selection pressure of phoxim of the Kuanyin strain for five generations showed cross resistance to chlorpyrifos and malathion but no significant cross resistance to carbamates and pyrethroids. Temperature is a major factor that significantly influences the performance of insecticides. Deltamethrin was more effective at 20°C than at 30°C on a phoxim-resistant strain of *R. dominica*. Bendiocarb was more toxic to a phoxim-resistant strain at 30°C than 20°C. Therefore, effectiveness of insecticides against stored-product insects may vary with seasonal fluctuation. Bendiocarb and carbaryl are suggested to be applied to control stored-product insects in the summer season, and deltamethrin in the winter. *S, S, S*-tributyl phosphorotrithioate (TBPT), an esterases inhibitor, slightly synergized phoxim (2.79-fold) to the phoxim-resistant strain. It may be considered that esterases play an important role in phoxim detoxification.

Key words: *Rhyzopertha dominica*, phoxim, cross resistance, temperature, esterases.

前 言

穀蠹 (*Rhyzopertha dominica* Fabricius) 是本省稻穀貯藏時最重要害蟲，因屬初級害蟲，可蛀食完整穀粒，為害所產生的碎穀又常引起次級害蟲米象類、暹邏穀盜、擬穀盜等害蟲之二次為害，造成極嚴重損失。且穀蠹族群密度有逐年增加的趨勢，於 1977 年調查時，僅佔鞘翅日平均密度之 29% (Peng, 1977)，但於 1992 年調查時，已佔總蟲數之 76.3%。造成穀蠹密度明顯變化，推測應與穀蠹對巴賽松產生抗藥性有極密切關係 (Yao and Lo, 1992)。

由於殺蟲劑廣泛及長期使用，使積穀害

蟲對部份殺蟲劑已產生抗藥性。Bhatia *et al.* (1971) 指出全世界有 17 種積穀害蟲對殺蟲劑產生抗性，且抗藥的害蟲種類陸續增加 (Mensan and Watters, 1979; Beeman, 1983; Collins, 1986; Zettler and Cuperus, 1990)。本省對積穀害蟲防治仍以藥劑為主。1970 年以前積穀害蟲防治是以靈丹 (lindane) 為主，1971 年開始則以馬拉松 (malathion) 替代，1979 年以後則置換巴賽松 (phoxim) 至今。使用巴賽松初期，為對穀蠹最有效之有機磷劑，與百滅寧 (permethrin) 效果相當，且遠優於馬拉松 (Hsieh *et al.*, 1982; Hsieh *et al.*, 1983)。但近年來 Hung *et al.* (1990) 以藥劑處理袋裝或散裝稻穀，發現除蟲菊藥劑

第滅寧(deltamethrin)，百滅寧的防治效果遠優於巴賽松，且馬拉松亦較巴賽松為佳。此結果是否暗示穀蠹對巴賽松已產生抗藥性，而尚未對除蟲菊產生交互抗性，均值得儘速瞭解。

為明確瞭解本省長期使用巴賽松後，穀蠹是否已產生抗藥性，本試驗自1991年8月起至全省各地之穀倉中採集穀蠹，以混拌處理法測試巴賽松對穀蠹之藥效。並比較穀蠹對三類殺蟲劑之交互抗性情形，以篩選有效藥劑，提供未來防治之交替應用。進一步探討溫度對藥效之影響及穀蠹對巴賽松之抗藥機制，以降低或防止抗藥性問題日益嚴重。

材料與方法

供試藥劑：

共選用三類八種殺蟲劑及三種協力劑，分別為：

1. 巴賽松(phoxim)，82.7%工業級原體，由興農公司提供。
2. 陶斯松(chlorpyrifos)，95%工業級原體，由惠光公司提供。
3. 馬拉松(malathion)，95%工業級原體，由興農公司提供。
4. 加保利(carbaryl)，99%工業級原體，由興農公司提供。
5. 免敵克(bendiocarb)，50%可濕性粉劑，由發順公司提供。
6. 百滅寧(permethrin)，90%工業級原體，由興農公司提供。
7. 第滅寧(deltamethrin)，98%工業級原體，由興農公司提供。
8. 賽滅寧(cypermethrin)，90%工業級原體，由興農公司提供。
9. 氧化酵素(microsomal monooxygenases)抑制劑 piperonyl butoxide (PB)，90%分析

試劑購自 Aldrich Chemical (Milwaukee, Wis.)。

10. 水解酵素(esterases)抑制劑 *S, S, S*-tributyl phosphorotrithioate (TBPT)，70.5%工業級原體由 Chemagro Co. 製造。

11. 麩胱甘肽轉基酶(Glutathione-*S*-transferases)抑制劑 *N*-ethylmaleimide (NEM)，100%分析試劑購自 Sigma 公司(St Louis, MO)。

供試蟲源：

穀蠹 *Rhyzopertha dominica* Fabricius，自1991年8月起全省各地穀倉採集，分別為湖口(Hukou)、觀音(Kuanyin)、關西(Kuanhsi)、潭子(Tantyu)、溪州(Chichou)、竹山(Chushan)、民雄(Minhsiung)、朴子(Potyü)、新營(Hsinying)、屏東(Pintung)、玉里(Yuli)、東里(Tungli)等十二處。同一地區採集數個穀倉之穀蠹加以混合，攜回室內飼育以其第一子代第4-5天成蟲供作試驗。

藥劑處理：

本試驗測試方法採用稻米與藥劑混拌處理方法(Wang and Ku, 1982)，主要是因其快速且可大量處理害蟲，且害蟲接受處理之毒效反應較接近穀倉施藥狀況，對提供穀倉用藥較具直接參考價值。

將配成所需濃度之1 ml 丙酮藥液倒入置有0.1 g 滑石粉三角錐瓶(高10公分、口徑2.5公分)中充分混合，將玻璃瓶以水平旋轉，使滑石粉所混合之藥劑均勻沾附於玻璃內面，俟溶劑揮發後，加蓬萊稻穀10 g 充分振動拌合。加滑石粉之目的為避免溶劑直接對稻穀之傷害而影響害蟲取食行為，致使試驗發生誤差，同時藥劑藉滑石粉可與稻穀完全混合。每次試驗選擇4-5個濃度，對照組則以丙酮溶液取代藥液，分別置入40-50隻穀蠹，放置於30°C定溫箱中，24小時後觀察

其死亡率，所得之數據再以 Finney (1971) 對機數分析法求得 LC_{50} 及相關資料。

交互抗性的評估：

在 30°C 下，分別比較湖口及觀音品系穀蠹對其它有機磷劑、氨基甲酸鹽及除蟲菊類殺蟲劑之感受性，以了解交互抗性之程度。

室內抗藥性品系之篩選：

以全省對巴賽松抗藥性最高之觀音穀蠹品系為親代，往後每子代在 30°C 下均以 LC_{50} 之濃度為標準選汰壓力 (Selection pressure)，每次以混拌處理法處理羽化後 4-5 天之成蟲約 2000-3000 隻。將存活之成蟲再加以飼育繁殖，其子代再以相同方法重覆處理。

溫度對藥效之影響測定：

比較在 20°C 及 30°C 下，各殺蟲劑對湖口及巴賽松高抗性品系穀蠹之藥效，以提供不同季節之用藥。並以兩溫度下所得 LC_{50} 之比值為 TR 值 (Temperature ratio for LC_{50})，以評估藥劑受溫度影響之趨勢。

穀蠹對巴賽松抗藥機制之探討：

氧化酵素抑制劑 PB、水解酵素抑制劑

TBPT 及麩胱甘肽轉基酶抑制劑 NEM 之使用濃度均為 1 mg/ml，為最高不致死濃度，在 30°C 下添加於巴賽松中求得協力效果，以推測抗藥性發生的原因。

結 果

一、各地區穀蠹品系對巴賽松之感受性變化：

利用混拌法處理，所測得不同採集區穀蠹對巴賽松之抗藥性情形如表一。各品系中湖口品系 (Hukou) 對巴賽松最敏感， LC_{50} 為 12.6 $\mu\text{g}/\text{ml}$ ，觀音 (Kuanyin) 品系抗藥性最高， LC_{50} 為 861 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 。若以不同採集區之穀蠹對巴賽松所測得之 LC_{50} 值與湖口品系對巴賽松 LC_{50} 值相比較，所得之相對抗性倍數比 (Relative resistance ratio for LC_{50}) 以觀音品系最高，可達 68 倍，其它品系亦介於 5~38 倍之間，平均達 26.4 倍，顯示大部份地區穀蠹對巴賽松產生明顯抗性。

二、交互抗性之評估：

表一 混拌法處理不同採集區穀蠹對巴賽松之毒效

Table 1. Toxic response of *Rhyzopertha dominica* collected from different areas of Taiwan to phoxim by admixture method

Strains	N ¹⁾	LC_{50} (95%FL)($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Slope \pm SE	RR ²⁾
Hukou	141	12.6(8.88-17.1)	1.72 \pm 0.23	1
Kuanyin	247	861(665-1062)	2.30 \pm 0.29	68
Kuanhsi	298	371(240-507.5)	1.49 \pm 0.20	29
Tantyu	295	131(41.4-241.7)	1.10 \pm 0.20	10
Chichou	299	484(327-653)	1.38 \pm 0.17	38
Chushan	301	269(163-375)	1.54 \pm 0.22	21
Minhsiung	249	447(263-648)	1.34 \pm 0.18	35
Potyu	290	405(241-581)	1.20 \pm 0.17	32
Hsinying	297	227(112-342)	1.35 \pm 0.23	18
Pintung	300	62(6.0-146.2)	1.13 \pm 0.28	5
Yuli	298	417(244-603)	1.20 \pm 0.20	33
Tungli	300	23(0.3-84.9)	0.90 \pm 0.30	1.8

1) Number of *R. dominica* tested.

2) RR Relative (Resistance ratio), LC_{50} of the test strains divided by the LC_{50} of Hukou strain.

為瞭解長期使用巴賽松後，穀蠹對其它藥劑是否產生交互抗性，本試驗選擇三類藥劑，分別為有機磷類之陶斯松及馬拉松，氨基甲酸鹽類之免敵克及加保利，與除蟲菊類之百滅寧、第滅寧及賽滅寧，測試湖口品系及觀音品系在 30°C 下對各藥劑之藥效。結果發現對湖口品系之藥效，以陶斯松藥效最佳， LC_{50} 為 12.3 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 。其餘毒效的順序為巴賽松 > 免敵克 > 加保利 > 第滅寧 > 賽滅寧 > 馬拉松 > 百滅寧(表二)，但藥劑間之毒效差異並不明顯。八種藥劑對觀音品系穀蠹的毒效則有極大變化，其中以免敵克藥效最佳， LC_{50} 為 12 $\mu\text{g}/\text{ml}$ ，其餘毒效的順序為加保利 > 第滅寧 > 賽滅寧 > 百滅寧 > 巴賽松 > 馬拉松 > 陶斯松。

再比較兩品系對八種藥劑的抗性倍數比

(RR 值)，發現對巴賽松高度抗性之觀音品系，對同類馬拉松有輕微抗性現象(RR = 6.2)，但對陶斯松則呈現出極明顯抗性(RR = 468)。而對除蟲菊類之第滅寧、賽滅寧及氨基甲酸鹽類之免敵克、加保利，則無明顯交互抗性(RR < 2)。

為誘使穀蠹對巴賽松抗藥現象更加明顯，以便瞭解抗藥機制。因此以觀音品系為母系(Parent strain)，每代以藥劑毒效之 LC_{70} 進行篩選。經五代篩選後，其第五子代對巴賽松之 LC_{50} 已達 31.5 mg/ml (表三)，誘發出母代之 36.6 倍之抗藥性。與湖口品系相比較，抗性倍數比約為 2500 倍。以此代穀蠹作為巴賽松之高抗性品系(phoxim-resistant strain)，進行抗藥機制及溫度藥劑毒效等試驗之材料。

表二 湖口及觀音品系穀蠹對不同藥劑之交互抗性

Table 2. Cross resistance of Hukou and Kuanyin strains of *R. dominica* to eight insecticides

Insecticides	$LC_{50}(95\%FL)(\mu\text{g}/\text{ml})$		RR ¹⁾
	Hukou strain	Kuanyin strain	
Phoxim	12.6(8.88-17.1)	861(665-1062)	68
Chlorpyrifos	12.3(3.47-18.9)	5760(3328-17017)	468
Malathion	144(106-197)	887(120-1703)	6.2
Permethrin	167(64-401)	372(178-571)	2.22
Deltamethrin	47(32.8-72)	50(40-60)	1.06
Cypermethrin	71(54-93)	98(66-123)	1.31
Carbaryl	32.2(22.7-57)	38(31-45)	1.18
Bendiocarb	16.0(12.1-20.2)	12(10-13)	0.75

1) RR, LC_{50} of Kuanyin strain divided by the LC_{50} of Hukou strain.

表三 以巴賽松篩選的觀音抗性品系穀蠹，每代對巴賽松的感受性變化

Table 3. Generational development of resistance to phoxim by *R. dominica* Kuanyin strain

Generation	N	$LC_{50}(95\%FL)(\text{mg}/\text{ml})$	Slope \pm SE	RR ¹⁾
Parent	247	0.86(0.67-1.06)	2.29 \pm 0.29	-
F1	247	4.70(0.08-9.93)	0.62 \pm 0.24	5.5
F2	199	3.79(3.06-5.12)	2.82 \pm 0.54	4.4
F3	195	7.06(5.09-11.9)	1.60 \pm 0.28	8.2
F4	200	14.2(10.4-26.1)	1.72 \pm 0.35	16.5
F5	154	31.5(16.9-102)	0.88 \pm 0.20	36.6

1) RR, LC_{50} of progeny divided by LC_{50} of parent.

三、溫度對八種藥劑於穀蠹之毒效作用：

溫度變化對八種藥劑在湖口品系穀蠹上之毒效，呈現如表四。在 20°C 時，巴賽松效果最好， LC_{50} 為 31.5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 。陶斯松與加保利次之，百滅寧最差。在 30°C 時，則以陶斯松最好， LC_{50} 為 12.3 $\mu\text{g}/\text{ml}$ ，巴賽松與免敵克次之，仍以百滅寧效果最差。在所有藥劑中，除第滅寧外，對穀蠹之毒效均與溫度呈正比關係。其中免敵克受溫度影響最大，TR 值為 28.6。另百滅寧 (TR=6.7) 及馬拉松 (T=6.47) 的毒效亦明顯受溫度影響。

藥劑在不同溫度下，對巴賽松抗性品系穀蠹的毒效綜合於表五。在 20°C 時，以第滅

寧最好， LC_{50} 為 42.7 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 。其次為免敵克，以巴賽松及陶斯松效果最差。在 30°C 時，則以免敵克最好， LC_{50} 為 30.2 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 。第滅寧與加保利次之，仍以陶斯松效果最差。毒效與溫度的關係，與湖口品系結果相同，第滅寧呈負效應 (TR=0.83) 外，其餘均呈正效應，其中馬拉松 (TR=51.6)、加保利 (TR=119.6) 及免敵克 (TR=14.7) 的毒效受溫度影響較顯著。

四、穀蠹對巴賽松抗藥性機制之探討：

表六列出添加協力劑於巴賽松後對二種品系穀蠹毒性所造成的協力效果，對湖口品系，未添加協力劑前， LC_{50} 為 12.6 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 。

表四 溫度變化對八種藥劑處理湖口品系穀蠹之毒效影響

Table 4. Effect of temperature on the toxicity of eight insecticides to the Hukou strain of *R. dominica*

Treatment	N	$LC_{50}(95\% \text{FL})(\mu\text{g}/\text{ml})$	Slope \pm SE	TR ¹⁾
Phoxim				
20°C	158	31.5(24.2-40.4)	2.05 \pm 0.32	—
30°C	141	12.6(8.88-17.1)	1.72 \pm 0.23	2.50
Chlorpyrifos				
20°C	114	33.4(21.8-48.5)	1.59 \pm 0.32	—
30°C	105	12.3(3.47-18.9)	1.37 \pm 0.45	2.72
Malathion				
20°C	193	931(764-1133)	2.75 \pm 0.32	—
30°C	182	144(106-197)	1.77 \pm 0.21	6.47
Permethrin				
20°C	115	1119(624-3970)	1.19 \pm 0.32	—
30°C	172	167(64-401)	0.54 \pm 0.12	6.70
Deltamethrin				
20°C	118	36.3(25.2-76)	1.49 \pm 0.43	—
30°C	140	47(32.8-72)	1.62 \pm 0.35	0.77
Cypermethrin				
20°C	196	167(119-214)	2.27 \pm 0.36	—
30°C	137	71(54-93)	2.11 \pm 0.23	2.35
Carbaryl				
20°C	102	116(72-470)	1.54 \pm 0.49	—
30°C	147	32.2(22.7-57)	1.50 \pm 0.31	3.60
Bendiocarb				
20°C	176	457(187-7966)	0.78 \pm 0.23	—
30°C	103	16.0(12.1-20.2)	3.37 \pm 0.50	28.60

1) TR(Temperature ratio), LC_{50} at 20°C divided by LC_{50} at 30°C.

表五 溫度變化對八種藥劑處理巴賽松篩選抗性穀蠹之毒效影響

Table 5. Effect of temperature on the toxicity of eight insecticides to the phoxim-selected strain of *R. dominica*

Treatment	N	LC ₅₀ (95%FL)($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Slope \pm SE	TR ¹⁾
Phoxim				
20°C	165	>100000		
30°C	154	31518(16916-101876)	0.88 \pm 0.20	>3.17
Chlorpyrifos				
20°C	144	>100000		
30°C	158	>100000		
Malathion				
20°C	239	60483(33180-187348)	0.95 \pm 0.18	-
30°C	182	1173(970-1426)	2.81 \pm 0.31	51.6
Permethrin				
20°C	197	14519(5470-130001)	0.69 \pm 0.16	-
30°C	159	2038(852-14206)	0.60 \pm 0.15	7.12
Deltamethrin				
20°C	161	42.7(33.3-56.6)	1.99 \pm 0.32	-
30°C	118	51(43-59)	4.24 \pm 0.64	0.83
Cypermethrin				
20°C	159	1017(781-1283)	2.46 \pm 0.32	-
30°C	153	200(145-257)	2.11 \pm 0.34	5.09
Carbaryl				
20°C	158	1294(781-2590)	0.96 \pm 0.23	-
30°C	117	66(49-95)	2.08 \pm 0.41	19.6
Bendiocarb				
20°C	199	444(291-833)	1.02 \pm 0.21	-
30°C	155	30.2(23.1-39.8)	2.17 \pm 0.27	14.7

1) TR, LC₅₀ at 20°C divided by LC₅₀ at 30°C.

表六 在30°C下協力劑對巴賽松處理湖口及巴賽松篩選抗性穀蠹之毒效影響

Table 6. Effect of synergist on phoxim toxicity to *R. dominica* at 30°C

Treatment	N	LC ₅₀ (95%FL)($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Slope \pm SE	SR ¹⁾
Hukou strain				
Phoxim	141	12.6(8.88-17.1)	1.72 \pm 0.23	
+PB	108	31.5(10.7-46)	1.51 \pm 0.52	0.40
+TBPT	172	19.1(13.5-26)	1.54 \pm 0.24	0.65
+NEM	141	35.2(20.5-52.9)	1.33 \pm 0.25	0.36
Phoxim-selected strain				
Phoxim	154	31518(16916-101876)	0.88 \pm 0.20	
+PB	196	22477(16228-33603)	1.49 \pm 0.21	1.40
+TBPT	172	11297(8231-16135)	1.29 \pm 0.17	2.79
+NEM	172	83338(53195-139435)	1.17 \pm 0.38	0.38

1) SR(Synergistic ratio), LC₅₀ without synergist divided by LC₅₀ with synergist.

添加氧化酵素制劑 PB 後， LC_{50} 為 $31.5 \mu\text{g}/\text{ml}$ 。添加水解酵素抑制劑 TBPT 後， LC_{50} 為 $19.1 \mu\text{g}/\text{ml}$ 。添加麩胱甘肽轉基酶抑制劑 NEM 後， LC_{50} 為 $35.2 \mu\text{g}/\text{ml}$ ，毒效均變差。三種協力劑 PB (SR=0.4)、TBPT (SR=0.65)、NEM (SR=0.36) 對均呈負協力效果。但對經選汰後之巴賽松抗性品系，未添加協力劑前， LC_{50} 為 $31.5 \text{ mg}/\text{ml}$ 。添加 PB 後， LC_{50} 為 $22.5 \text{ mg}/\text{ml}$ 。添加 TBPT 後， LC_{50} 為 $11.3 \text{ mg}/\text{ml}$ ，藥效均增強。但添加 NEM 後， LC_{50} 為 $83.3 \text{ mg}/\text{ml}$ ，毒效變差。兩種協力劑 PB (SR=1.4)、TBPT (SR=2.79) 對巴賽松則表現出少許協力效果，其中 TBPT 稍微明顯。

討 論

由各地採集之穀蠹對巴賽松之感受性，以湖口品系最敏感，視為感性品系。各品系對巴賽松之 LC_{50} 與湖口品系相比較，發現穀蠹相對抗性極為普遍，顯示經過十五年的長期使用，確實造成穀蠹對巴賽松產生高度抗藥性。而抗藥性之分布，由 RR 值較高地區如觀音、溪州、民雄、朴子、玉里等，均呈點狀分布，似無偏重何地方。且由本省玉米象對馬拉松之抗藥性分布，亦有相似現象 (Wang and Ku, 1982)。再以倉庫形態及藥劑使用頻率進行比較，湖口品系之採集倉庫屬於小型磚造穀倉，貯穀量少倉庫間各自獨立，使用藥劑頻率較少。觀音品系之採集倉庫屬於集中型大混凝土倉，貯穀量多且倉庫間相互連結，使用藥劑較頻繁。由此推測穀蠹對巴賽松感受性降低應與藥劑長期使用、倉庫藥劑使用頻率及倉庫形態有密切關係。

Hsieh *et al.* (1983) 在室內測定 26 種殺蟲劑對穀蠹之毒效，有機磷類殺蟲劑以巴賽

松及陶斯松效果最好，氨基甲酸鹽類以兔敵克最佳，除蟲菊類以第滅寧最有效，百滅寧次之。因此巴賽松、陶斯松及百滅寧均陸續推薦於積穀害蟲之防治上。但經過多年使用後，湖口品系對八種藥劑之感受性與前述研究結果極為相似，而觀音品系對八種藥劑感受性卻產生極大變化，對巴賽松有明顯抗性，對陶斯松亦產生極高度抗性，其原因除對巴賽松之交互抗性外，亦可能因陶斯松經常使用所導致。而百滅寧之藥效亦不如以往，故其 RR=2.22 亦有偏高現。可喜的現象是穀蠹對巴賽松產生高抗性，並不影響到氨基甲酸鹽，除蟲菊之藥效。且兔敵克、加保利、第滅寧、賽滅寧對穀蠹防治效果尚佳，未來這四種藥劑應可交替運用於積穀害蟲防治。

Hsieh *et al.* (1985) 研究指出兔敵克及第滅寧在空倉處理效果最佳，且第滅寧與穀物混拌，對積穀害蟲防治效果亦最好。而 Hung *et al.* (1990) 亦發現百滅寧及第滅寧對積穀害蟲防治效果均較巴賽松為佳，但實際於穀倉中對積穀害蟲的防治仍以巴賽松最常被使用。因此要避免積穀害蟲對藥劑產生抗藥性，除應定期檢定害蟲對藥劑之感受性、避免長期使用、減少使用頻率、藥劑輪替使用及開發新型藥劑外，最重要的是研究機關要與防治之執行機關密切配合，將研究成果實際應用於防治上，才能真正解決抗藥性問題。

已往研究指出，大部份有機磷及除蟲菊類殺蟲劑之毒效受溫度之影響呈現顯著之負效應。氨基甲酸鹽類殺蟲劑略呈負效應，而有機磷劑則具正效應 (Harris and Kinoshita, 1977; Hirano, 1979; Iordanou and Watters, 1969)。有機磷劑巴賽松、陶斯松及馬拉松對湖口品系及觀音品系之殺蠹毒效，均隨溫度增加， LC_{50} 值變小，毒效增強。此結果與

Hsieh *et al.* (1982)、Iordanou and Watters (1969)、O'Donnell (1980)及 Wilkin and Haward (1975) 等人之試驗結果相吻合。造成有機磷劑與溫度呈正效應，主要原因可能為有機磷劑除接觸藥效外，亦具有燻蒸毒效，隨溫度增加，而增強燻蒸毒效所致(Thaung and Collins, 1986)。除蟲菊類對兩品系，除第滅寧與溫度略呈負效應外，百滅寧及賽滅寧均呈正效應。且氨基甲酸鹽類之免敵克及加保利亦呈顯著正效應，與除蟲菊類及氨基甲酸鹽類受溫度影響呈負效應之研究結果有極大差異(Thaung and Collins, 1986; Watters *et al.*, 1983)，其原因值得進一步研究。

兩品系對藥劑受溫度的影響程度亦有部份差異，如對馬拉松，在湖口品系 TR 值為 6.47 倍，而觀音品系卻增至 51.6 倍。對加保利亦是如此，由 3.6 增至 19.6 倍。是否因對巴賽松產生抗藥性所引起之生理、生化的變化影響，所導致的結果，亦值得探討(Iordanou and Watters, 1969; McAvoy and Smith, 1979)。

本省的穀倉內部溫度變化較小，依筆者於中部之調查，夏季平均約 30°C，冬季則約 20°C。由巴賽松抗藥品系對藥劑之感受性，在 20°C 下，第滅寧效果最好。在 30°C 時，則免敵克最佳，第滅寧及加保利次之，且 Wang *et al.* (1982) 指出免敵克持續使用極易引起抗藥性。因此冬季低溫時，使用低溫有效之第滅寧。於夏季高溫時，則使用在高溫效果較佳之免敵克或加保利。如此不但可避免抗藥性之產生，亦可配合環境之變化，使殺蟲劑達到最佳之防治效果(Hsieh *et al.*, 1982)。且未來當考慮殺蟲劑輪流替換使用時，亦應將溫度對藥劑毒性之影響一併考慮。

昆蟲對有機磷類殺蟲劑產生抗性的主

因，大致可分為解毒作用之增加、神經作用部位不敏感及藥劑穿透表皮速率的降低等三種機制(Oppenoorth and Welling, 1976)。若抗藥性是由於解毒酵素的分解，則添加協力劑(synergists)於殺蟲劑中可以測得協力效果(synergism)，並能推測抗藥性發生的原因(Metcalf, 1976; Attia and Frecker, 1984)。湖口品系，氧化酵素抑制劑 PB、水解酵素抑制劑 TBPT 及麩胱甘肽轉基酶抑制劑 NEM 對巴賽松毒效均呈現拮抗作用(antagonism)，顯示湖口品系體內之氧化酵素、水解酵素及麩胱甘肽轉基酶對巴賽松的代謝均非扮演重要解毒角色。而對巴賽松抗性品系，氧化酵抑制劑 PB 及水解酵素抑制劑 TBPT 均呈現少許協力作用，以 TBPT 協力效果較佳，因此推測穀蠹對巴賽松抗藥性，水解酵素之解毒作用可能參與部份角色。由添加酵素抑制劑之探討，顯示穀蠹對巴賽松抗性，解毒作用之增加似乎非常有限。因此另兩項抗藥機制神經作用部位不敏感及藥劑穿透表皮速率的降低是否才是最主要抗藥機制，將值得持續研究。

誌 謝

本研究承行政院農業委員會 82-科技-2.3-糧-6(8)及 83-科技-2.4-糧-38(9)計畫之經費補助，文成後承中興大學昆蟲研究所孫志寧教授、本所應用動物系陳炳輝博士及王清玲博士不吝撥冗斧正，試驗期中並承本系李錦霞小姐之協助，謹此一併致謝。

參考文獻

Attia, F. I., and T. Frecker. 1984. Cross-resistance spectrum and synergism studies in organophosphorus-resis-

- tant strains of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Cucugidae) in Australia. J. Econ. Entomol. 77: 1367-1370.
- Beeman, R. W.** 1983. Inheritance and linkage of malathion resistance in the red flour beetle, J. Econ. Entomol. 76: 737-740.
- Bhatia, S. K., T. D. Yadav, and P. B. Uookherjee.** 1971. Malathion resistance in *T. castaneum* in India. J. Stored Prod. Res. 7: 227-230
- Collins, P. J.** 1986. Genetic analysis of fenitrothion resistance in the sawtoothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Cucugidae). J. Econ. Entomol. 79: 1196-1199.
- Finny, D. J.** 1971. Probit analysis. Cambridge University Press, London.
- Harris, C. R., and G. B. Kinoshita.** 1977. Influence of posttreatment temperature on the toxicity of pyrethroid insecticides. J. Econ. Entomol. 70: 215-218.
- Hirano, M.** 1979. Influence of posttreatment temperature on the toxicity of fenvalerate. Appl. Ent. Zool. 14: 404-409.
- Hsieh, F. K., S. L. Hsu, and L. M. Hung.** 1982. Influence of posttreatment temperature on toxicities of 6 organophosphorus insecticides to two species of storage insects. Plant Prot. Bull. (Taiwan, R.O.C.) 24: 37-48. (In Chinese).
- Hsieh, F. K., S. L. Hsu, I. S. Wu, and G. C. Hsieh.** 1983. Toxicity of commonly used insecticides to the maize weevil and lesser grain borer. Plant Prot. Bull. (Taiwan, R.O.C.) 25: 285-289. (In Chinese).
- Hsieh, F. K., S. L. Hsu, and C. C. Hung.** 1985. Evaluation of various control measures for controlling storage insects in the model grain bin. Plant Prot. Bull. (Taiwan, R.O.C.) 27: 359-370. (In Chinese).
- Hung, C. C., F. K. Hsieh, and J. S. Hwang.** 1990. Stored grain insects monitoring and their chemical control. Chinese J. Entomol. 10: 169-179. (In Chinese).
- Iordanou, N. T., and F. L. Watters.** 1969. Temperature effects on the toxicity of five insecticides against five species of stored-product insects. J. Econ. Entomol. 62:130-135.
- McAvoy, T. J., and J. C. Smith.** 1979. Feeding and developmental rates of the mexican bean beetle on soybeans. J. Econ. Entomol. 72: 835-836.
- Mensan, G. W. K., and F. L. Watters.** 1979. Comparison of four organophosphorus insecticides on stored wheat for control of susceptible and malathion-resistant strains of the red flour beetle. J. Econ. Entomol. 72: 456-461.
- Metcalf, R. L.** 1967. Mode of action of insecticide synergists. Ann. Rev. Entomol. 12: 229-256.
- O'Donnell, M. J.** 1980. The toxicities of four insecticides to *Tribolium confusum* Duv. in two sets of conditions

of temperature and humidity. J. Stored Prod. Res. 16: 71-74.

- Oppenoorth, F. J., and W. Welling.** 1976. Biochemistry and physiology of resistance, pp. 507-551 in C. F. Wilkinson, ed. Insecticide Biochemistry and Physiology. Plenum Press, New York.
- Peng, W. K.** 1997. Vertical distribution of coleopterous insects in the storehouse. pp. 74-79 in F. K. Hsieh and S. S. Kao, eds. Pre- and post-harvest rice protection in Taiwan. Plant protection center, Taiwan, R.O.C. (In Chinese).
- Thaug, M., and P. J. Collins.** 1986. Joint effects of temperature and insecticides on mortality and fecundity of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) in wheat and maize. J. Econ. Entomol. 79: 909-914.
- Wang, S. C., and T. Y. Ku.** 1982. Status of maize weevil resistance to insecticide in Taiwan. Plant Prot. Bull. (Taiwan, R.O.C.) 24: 59-68. (In Chinese).
- Wang, S. C., F. Sun, and T. Y. KU.** 1982. Effect of insecticides on the resistance and the reproductive rate in maize weevil (*Sitophilus zeamais*

Motchulsky). Plant Prot. Bull. (Taiwan, R.O.C.) 24: 143-151. (In Chinese).

- Watters, F. L., N. C. G. White, and D. Cote.** 1983. Effect of temperature on toxicity and persistence of three pyrethroid insecticides applied to fir plywood for the control of the red flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae). J. Econ. Entomol. 76: 11-16.
- Wilkin, D. R., and A. Haward.** 1975. The effect of the temperature on the action of four pesticides on three species of storage mites. J. Stored Prod. Res. 11: 235-238.
- Yao, M. C., and K. C. Lo.** 1992. Insect species and population densities in stored japonica rice in Taiwan. Chinese J. Entomol. 12: 161-169. (In Chinese).
- Zetter, J. L., and G. W. Cuperus.** 1990. Pesticide resistance in *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) in wheat. J. Econ. Entomol. 83: 1677-1681.

收件日期:1994年5月2日

接受日期:1994年5月19日