報 文

ピレスロイド抵抗性イエバエに対する ピペロニルブトキシドの共力効果

船 城 衛 介, 田原雄一郎*, 本 山 直 樹

千葉大学園芸学部

*三共株式会社

(昭和 60 年 12 月 5 日受理)

Synergistic Effect of Piperonyl Butoxide on Pyrethroid-resistant Houseflies

Eisuke FUNAKI, Yuichiro TABARU* and Naoki MOTOYAMA

Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo, Matsudo 271, Japan

**Sankyo Co., Ltd., Chuo-ku, Tokyo 104, Japan*

As a measure to control pyrethroid resistant houseflies, the synergistic effect of piperonyl butoxide (PB), an inhibitor of cytochrome *P*-450 dependent monooxygenase system (MFO), was evaluated. When a mixture of various pyrethroids and PB (1:4 ratio, w/w) was applied topically, a remarkable decrease in LD₅₀ values was observed indicating a clearcut synergism. A comparison of the synergistic effect of PB on susceptible CSMA and Mashiko-res10 strains demonstrated a far greater effect on the latter strain, suggesting that degradation by MFO plays an important role in the resistance mechanism. The mixture also demonstrated an excellent result in controlling pyrethroid-resistant houseflies when applied by an aerial spray in a hog farm in Mashiko. Selection of Mashiko 83-res1 strain with a mixture of resmethrin and PB in the laboratory did not develop resistance to the mixture nor did it further increase the resistance level to the pyrethroid.

緒 言

合成ピレスロイド殺虫剤は、わが国各地におけるイエバエの有機リン剤抵抗性の発達に伴い¹⁾、その代替薬剤として鶏舎、豚舎、ゴミ処理場等で1970年代後半より使用されるようになり、高い防除効果をもたらしてきた。しかし、1982年頃から、限られた一部の地域においてピレスロイドの効力減退が指摘されるようになり²⁾、1983年には栃木県益子町の豚舎からピレスロイドに高い抵抗性を示すイエバエが発見された³⁾。その後、このイエバエを室内で resmethrin を用いてさらに10世代連続淘汰したところ、供試したすべてのピレスロイドに対して著しく高い交差抵抗性を示すことが明らかにされた⁴⁾。なお、すでに外国では、イエバエ以外の数種昆虫

においてもピレスロイド抵抗性の発達が報告されている⁵⁾。また、わが国でも最近、モモアカアブラムシ⁶⁾やコナガ⁷⁾などの農業害虫や、群馬県柏倉⁸⁾のイエバエなどからピレスロイド抵抗性の事例が報告されるようになった。

Shono⁹⁾ は、ピレスロイド抵抗性は主としてピレスロイドの作用点である神経自体における感受性低下に基づく⁹⁾ことから、一つのピレスロイドに抵抗性が発達した害虫に対してはすべてのピレスロイドが無効になるであろう、と警告した。もしそのような事態が現実になるとすれば、作物保護および衛生害虫防除上由々しき問題である。しかし、益子産イエバエのように、酸化酵素阻害剤ピペロニルブトキシド(PB)を前処理することによってピレスロイドのLD₅₀値が著しく低下するという報

告もある³⁾。また、益子系イエバエのピレスロイド抵抗性に関与する連鎖群解析を行なった結果、第3連鎖群に存在する神経感受性の低下を支配する *kdr* 遺伝子のほかに、第5連鎖群にも主要な抵抗性因子が存在し、高レベルのピレスロイド抵抗性は *kdr* 単独ではなく、複数の因子の相乗効果によってもたらされることが明らかになった¹⁰⁾。ピレスロイド代謝の第一段階反応は、一般にチトクローム *P-450* 依存性モノオキシゲナーゼ系による水酸化と、エステラーゼによる加水分解であるといわれているが^{11,12)}、これらの代謝阻害剤の共力効果によってピレスロイド抵抗性系統の LD_{50} 値を十分に下げることができれば、それは抵抗性対策の一つとして使える可能性がでてくる。

本研究は、益子系イエバエのピレスロイド抵抗性に対するPBの共力効果を、室内および実際の豚舎で試験して評価することを目的として行なった。また、共力剤の使用による抵抗性発達の可能性を確かめるために、ピレスロイドとPBの混合剤で益子系イエバエを10回淘汰し、ピレスロイドならびに混合剤に対する感受性の変化を検定した。

材料と方法

1. 供試虫

室内試験で用いたイエバエ *Musca domestica* L. は、1983年夏に栃木県益子町の豚舎から採集したコロニー³⁾を resmethrin を用いて室内で10世代連続淘汰して確立した益子-res 10系⁴⁾と、1984年に米国ノース・カロライナ州立大学の W. C. Dauterman 教授より新たに入手した CSMA 系である。混合剤による淘汰試験には、1983年9月に益子町の同上豚舎から採集したイエバエに、resmethrin を $1\mu\text{g}/\text{頭}$ ずつ局所施用して1回淘汰した系統(益子 83-res 1)を用いた。これらのイエバエの幼虫は、ラット/マウス用飼料 CE-2[®] (日本クレア株式会社製)を与えて $25\pm 1^\circ\text{C}$ の恒温室で飼育し、室内殺虫試験には羽化後4~5日目の雌成虫を供した。

2. 供試薬剤

室内試験に用いたピレスロイドの原体とその純度は次のとおりである。Resmethrin (95.1%), *d*-resmethrin (93.1%), permethrin (90.2%), fenvalerate (93.8%), phenothrin (92.8%), tetramethrin (96.0%), ethofenprox (95.0%), fluvalinate (>99.0%), cycloprothrin (92.9%), tralomethrin (96.0%), allethrin (92.4%), *d*-allethrin (91.9%), pyrethrin (25.0%)。これらの原体は農薬会社から入手したものである。ピペロニルブトキシド (PB) (90.0%) は和光純薬工業株式会社から購

入した。野外試験に用いた薬剤は、permethrin 5% 乳剤 (エクスミン乳剤[®] 三共株式会社)、混合乳剤 (有効成分 *d*-resmethrin 1%, *d*-tetramethrin 2%) (クリスロン-P 乳剤[®]、三共株式会社)、および三共株式会社で試験したピペロニルブトキシド (PB) 60% 乳剤である。

3. 室内殺虫試験

ピレスロイドとPBを1:4 (w/w) の割合で混合したアセトン溶液を、雌成虫の胸部背板に $0.5\mu\text{l}/\text{♀}$ ずつ塗布処理し、 $25\pm 1^\circ\text{C}$ の恒温室に保った。24時間後に生死虫数を測定し、Abbott¹³⁾ の方法により補正死亡率を求めた。供試虫は各濃度20頭で2反復行なった。 LD_{50} 値ならびに95%信頼限界 (CL) は Bliss¹⁴⁾ のプロビット法に従い、マイクロコンピュータ (NEC, PC-9801型) を用いて計算した。なお、一部の試験では、一定量のPBを前処理した場合の効果をみるために、あらかじめ $2.5\mu\text{g}/\text{♀}$ または $0.25\mu\text{g}/\text{♀}$ のPBを処理し、1時間後に各濃度の resmethrin を処理して同様に LD_{50} 値を求めた。

4. 豚舎における防除試験

1984年9月19日、栃木県益子町のピレスロイド抵抗性イエバエが発見された豚舎³⁾において、PBとピレスロイドの混合剤によるイエバエ防除試験を次の要領で実施した。すなわち、同じ敷地内にある3棟の豚舎をおのおのA, B, C区とし、A区には permethrin 0.05%, B区には permethrin 0.05%+PB 0.05% の混合剤、C区には *d*-resmethrin 0.01%+*d*-tetramethrin 0.02%+PB 0.06% の混合剤を肩掛け式動力噴霧機を用いて $100\text{ml}/\text{m}^3$ の割合で空間噴霧した。なお、試験実施中はイエバエの出入りを防ぐために豚舎の窓あるいはカーテンを閉じた。薬剤処理前および処理1時間後のイエバエ成虫の相対的密度は次の3とおりの方法、すなわち、(1) ハエ取りリボン (カモキ製) を豚舎内の適当な位置3か所に設置し、30分間に付着した数の平均、(2) 3頭の豚体に付着している数をカウンターで直接計数した値の平均、(3) 捕虫網で5回スウィーピングして得られた総数、より推定した。また、処理1時間後にノックダウン状態にある成虫を各豚舎の床からA区104頭、B区67頭、C区110頭ずつ無作為に採集し、ケージに入れて水と砂糖を与え、6時間後および24時間後に蘇生虫数と死虫数を記録した。

5. 混合剤による淘汰試験

益子 83-res 1 系の未交尾の雌雄成虫おのおの100~150頭に resmethrin とPBを1:4 (w/w) の割合で混合したアセトン溶液を1頭当たり $0.5\mu\text{l}$ (resmethrin $0.5\mu\text{g}$, PB $2.0\mu\text{g}$ を含む) ずつ局所施用した。処理虫は

25±1°C の恒温室に 24 時間保ち、生存虫を新しいケージに移して交尾させ次世代の親とした。淘汰は 3 回までは毎世代、4~8 回は 2~3 世代ごとに、9, 10 回は毎世代、計 10 回行なった。

試験結果と考察

各種ピレスロイドと PB を 1:4 (w/w) に混合し、同時処理して求めた LD₅₀ 値 (ピレスロイド成分の) を Table 1 に示した。前報⁴⁾ から引用したピレスロイド単味を処理した場合の LD₅₀ 値と比較すると、いずれのピレスロイドについても LD₅₀ 値が顕著に低下していることは明らかである。共力効果を (PB なしの時の LD₅₀/PB 存在下の LD₅₀) として表わすと、ピレスロイドの種類によって *d*-resmethrin の 48 から tralomethrin の 871

以上までの変化がみられ、チトクローム *P*-450 依存性モノオキシゲナーゼ系 (MFO) による解毒の度合いがピレスロイドの種類によって異なることが示唆された。しかし、いずれのピレスロイドでも PB の共力効果は著しく、LD₅₀ の絶対値でみても tetramethrin を除いてすべて 1 µg/♀ 以下であり、林¹⁾ の基準によると防除可能な程度まで抵抗性を下げることができるといえる。tetramethrin については 4.7 µg 処理でも約 40% の死虫率しか得られなかったが、感受性の CSMA 系に対する tetramethrin 単味の LD₅₀ 値が 1 µg/♀⁴⁾ とかなり高く、この薬剤はイエバエに対する殺虫活性自体が他のピレスロイドに比べて低いためと思われる。

PB のピレスロイドに対する効果は古くから感受性系統についても知られているので^{15,16)}、ピレスロイド抵抗性系統である益子-res 10 系でみられた PB の共力効果は、必ずしも MFO による解毒が抵抗性の主要メカニズムであることを証明したことにならない、という意見がある (正野, 私信)。そこで、PB 用量の変化による resmethrin の殺虫活性に対する効果を調べるために、2 段階用量の PB を感受性と抵抗性のイエバエに前処理した後に resmethrin を処理して、それぞれの場合における LD₅₀ 値を求めた。その結果を Table 2 に示した。1984 年に新たに North Carolina 州立大学から入手した CSMA 系 (感受性系統) に対する resmethrin の LD₅₀ 値は、1980 年に入手して累代飼育してきた CSMA 系^{3,4)} よりも若干低く、0.015 µg/♀ であった。PB を 0.25 µg/♀ および 2.5 µg/♀ 前処理した場合の LD₅₀ 値はさらに低下し、おのおの 0.005 µg/♀ と 0.002 µg/♀ であった。このような低下傾向は抵抗性の益子-res 10 系ではさらに顕著にみられ、PB 0.25 µg/♀ と PB 2.5 µg/♀ 前処理の共力効果はおのおの 25 および 243 であった。次に PB なしの場合と PB 前処理の場合の抵抗性比 (RF) を (益子-res 10 系の LD₅₀)/(CSMA 系の LD₅₀) で求めてみると、PB なしの場合は 5667 倍であるのに対し、PB 0.25 µg/♀ 処理虫は 680 倍、PB 2.5 µg/♀ 処理虫では 175 倍と明らかに低下している。したがって、益子-res 10 系

Table 1 Synergistic effect of piperonyl butoxide (PB) applied simultaneously with pyrethroids^{a)} against the Mashiko-res 10 strain of housefly.

Insecticide	LD ₅₀ µg/♀ (95% CL)		SE ^{c)}
	Without PB ^{b)}	With PB	
Resmethrin	85(61-121)	0.20(0.17-0.24)	425
<i>d</i> -Resmethrin	10(8.1-13)	0.21(0.18-0.24)	48
Permethrin	21(17-25)	0.24(0.21-0.28)	88
Fenvalerate	90(58-143)	0.79(0.57-1.2)	114
Tetramethrin	>165	>4.7	—
Ethofenprox	26(16-48)	0.30(0.26-0.34)	87
Fluvalinate	>83	0.41(0.34-0.49)	>202
Cycloprothrin	>162	0.88(0.69-1.2)	>184
Tralomethrin	>148	0.17(0.13-0.21)	>871
Allethrin	46(38-61)	0.65(0.50-0.91)	71
<i>d</i> -Allethrin	39(20-55)	0.35(0.29-0.42)	111
Pyrethrin	32(8.7-121)	0.38(0.32-0.45)	84
Phenothrin	>93	0.17(0.14-0.21)	>547

^{a)} A mixture of pyrethroid and PB in the ratio of 1:4 was applied topically.

^{b)} Data from Funaki and Motoyama.⁴⁾

^{c)} Synergistic effect=(LD₅₀ without PB)/(LD₅₀ with PB).

Table 2 Synergistic effect of piperonyl butoxide (PB) applied one hour prior to resmethrin against the susceptible (CSMA) and pyrethroid resistant (Mashiko-res 10) strains of housefly.

Strain	LD ₅₀ µg/♀ (95% CL)			SE ^{a)}	
	Without PB	With PB 0.25 µg/♀	With PB 2.5 µg/♀	0.25 µg PB	2.5 µg PB
CSMA	0.015(0.012-0.018)	0.0052(0.0048-0.0056)	0.0020(0.0018-0.0024)	3	8
Mashiko-res 10	85 (61-121)	3.4 (2.4-5.6)	0.35 (0.25-0.56)	25	243

^{a)} Synergistic effect (SE)=(LD₅₀ without PB)/(LD₅₀ with PB).

のピレスロイド抵抗性のメカニズムには MFO による解毒が重要な役割を果たしている」と結論できる。

イエバエの系統によっては、permethrin の代謝活性が高いにもかかわらずピレスロイド抵抗性が低い場合や¹⁸⁾、*in vivo* では PB の共力効果があるにもかかわらず *in vitro* における代謝実験の結果から解毒分解はピレスロイド抵抗性に関与していない場合もある¹⁷⁾ ことから、Shono⁵⁾ は、*kdr* による神経の感受性低下がピレスロイド抵抗性の最も重要な因子であり、解毒分解の役割はマイナーであると考察した。本研究においても、益子系に対するピレスロイドの殺虫活性は PB の同時処理 (Table 1) や前処理 (Table 2) によって著しく影響を受けたが、LD₅₀ 値は感受性系統のレベルまでは復元しなかった。しかし、次のような理由から *kdr* の効果もそれ単独ではピレスロイドによる防除が不可能になるほどの抵抗性をもたらしえないものと思われる。すなわち益子系におけるピレスロイド抵抗性の連鎖群解析で、*kdr* 遺伝子が乗っている第3連鎖群を *aabys* 系に導入して *aa+ys* 系として単離したところ、ピレスロイドに対する抵抗性のレベルはきわめて低くなった¹⁰⁾。また、益子系と同様に神経感受性が低下していることが電気生理学的方法によって確認された二つの系統¹⁹⁾ も、*kdr* 因子だけ

を単離すると、ピレスロイド抵抗性はかなり低いものになりすぎなくなる。すなわち、*kdr* 遺伝子を標識系統 (*bwb; ye*) に導入した *kdr* 系に対する permethrin の LD₅₀ 値は 0.49 $\mu\text{g}/\text{♀}$ (下松, 私信) であり、*super-kdr* 遺伝子を標識系統 (*acv; cm; ro*) に導入した A₂b 系に対する resmethrin の LD₅₀ 値は 0.45 $\mu\text{g}/\text{♀}$ (船城・本山, 未発表) であった。これらの値は、本研究で、PB を用いて MFO による解毒分解を阻害して得た益子-res 10 系における LD₅₀ 値 (Table 1) とほぼ同じ範囲である。益子-res 10 系の連鎖群解析の結果¹⁰⁾、同系統の著しく高いピレスロイド抵抗性は、第3連鎖群と第5連鎖群の主要因子と、その他のマイナーな因子の組合せによる相乗効果によってもたらされることはすでに述べたとおりである。したがって、少なくともイエバエに関する限り、代謝阻害剤の協力作用によりピレスロイド抵抗性を防除できるレベルまで落とすことが可能であると思われる。

PB の共力効果を益子町の豚舎で実際に試験した結果を Table 3 に示した。いずれの区でも、空間噴霧によって1時間後には成虫密度は顕著に減少した。ただしB区のはエ取りリボンによって推定した密度減少率だけが少し低かった。しかし、他の二つの調査方法、すなわち、豚体カウントとスウィーピングの値はいずれも高い密度

Table 3 Synergistic effect of a mixture of pyrethroid(s) and piperonyl butoxide (PB) sprayed against pyrethroid resistant houseflies in a hog farm in Mashiko.

Building	Area (m ³)	Pyrethroid sprayed ^{a)}	Survey method	Number of flies (Mean $\pm$ S.D.)			% recovered from knockdown	
				Before spray	1 hr after spray	% decrease	6 hr	24 hr
A	124	0.05% permethrin	Sticky tape ^{b)}	27.0 $\pm$ 3.7	3.0 $\pm$ 0.8	89.0		
			Hog body ^{c)}	25.7 $\pm$ 7.4	2.7 $\pm$ 0.5	89.5	60.6	59.6
			Sweeping ^{d)}	78.0	3.0	96.2		
B	477	0.05% permethrin and 0.05% PB	Sticky tape	22.3 $\pm$ 7.7	13.0 $\pm$ 6.7	41.7		
			Hog body	64.0 $\pm$ 27.0	1.0 $\pm$ 1.4	98.4	3.0	1.5
			Sweeping	87.0	2.0	97.7		
C	379	0.01% <i>d</i> -resmethrin, 0.02% <i>d</i> -tetramethrin and 0.06% PB	Sticky tape	35.3 $\pm$ 3.3	4.0 $\pm$ 0.8	88.7		
			Hog body	39.3 $\pm$ 8.2	0.3 $\pm$ 0.5	99.2	0	0
			Sweeping	139.0	3.0	97.8		

a) 100 ml/m³.

b) Flies stuck on a sticky tape in 30 min.

c) Flies landing on a hog body.

d) Total number of flies collected by sweeping a net 5 times.

Table 4 Response to resmethrin of the Mashiko 83-res 1 strain of housefly selected with a topically applied mixture of resmethrin and piperonyl butoxide (PB).

No. of selection	Chemicals applied ($\mu\text{g}/\text{fly}$) ^{a)}		Mortality (%)	LD ₅₀ $\mu\text{g}/\text{♀}$ (95% CL)	
	Resmethrin	PB		Resmethrin alone	With PB ^{b)}
0	—	—	—	32 (23-44)	2.1 (1.3-6.5)
1	0.5	2.0	87.0	25 (20-32)	2.7 (2.1-3.5)
2	0.5	2.0	31.0	26 (14-79)	4.2 (2.9-6.1)
3	0.5	2.0	31.0	N.D. ^{c)}	N.D.
4	0.5	2.0	30.0	N.D.	N.D.
5	0.5	2.0	35.0	N.D.	N.D.
6	0.5	2.0	83.0	N.D.	N.D.
7	0.5	2.0	40.0	N.D.	N.D.
8	0.5	2.0	82.0	N.D.	N.D.
9	0.5	2.0	24.0	N.D.	N.D.
10	0.5	2.0	79.0	27 (19-38)	3.2 (2.5-4.6)

a) Female and male flies before mating, 100-150 each, were treated for selection.

b) PB (0.25 μg) was applied 1 hr prior to resmethrin.

c) not determined.

減少率を示したので、これはリボンの設置場所その他の原因により誤差が大きくなったことによるものと思われる。空間噴霧1時間後にノックダウン状態にあるイエバエを各区から約100頭ずつ回収してその蘇生率を調べた結果、permethrin単味を処理した区では約60%であったのに対し、permethrinとPBの混合区では6時間後に3%、24時間後に1.5%、resmethrin, tetramethrin, PB混合区では0%であった。したがって、PBとピレスロイドの混合剤は実際の豚舎においてもピレスロイド抵抗性イエバエに対する防除効果が高いことは明らかである。

PBとピレスロイドの混合剤を連続して用いた場合、新たに混合剤に対する抵抗性が発達しないかどうか確かめておく必要がある。そこで益子83-res1系を混合剤で10回淘汰した場合のresmethrinによる殺虫活性を測定した。その結果をTable 4に示した。淘汰薬剤による死亡率(淘汰圧)は25~85%の間で若干の変動がみられるが、resmethrin単味のLD₅₀値には淘汰前後に有意な変化はみられなかった。また、PB 0.25 $\mu\text{g}/\text{♀}$ を前処理した場合のresmethrinのLD₅₀値にも有意な変化はみられなかった。したがって、ここで供試した益子83-res1系に関しては、PBとピレスロイドの混合剤に対する抵抗性の発達はないといえる。しかし、淘汰に供試した個体数が雌雄各150頭程度の小さい個体群から始めたので、混合剤に対する抵抗性因子が含まれていなかった可能性も否定できない。Keiding²⁰⁾は、デンマーク産イエバエをPBとresmethrinの混合剤で淘汰したと

ころ、混合剤に対する抵抗性が発達したと報告している。イエバエのピレスロイド抵抗性に関与している解毒分解因子としては、MFOのほかにも、第2連鎖群にピレスロイドの加水分解反応を触媒するエステラーゼの遺伝子が存在している²¹⁾。したがって、この因子を含んでいる個体群に対してPBとピレスロイドの混合剤による淘汰を繰り返すことによって、*kdr*とエステラーゼの組合せの相乗効果で抵抗性が発達するものと思われる。その場合には、PBではなく、エステラーゼ阻害剤とピレスロイドの混合剤の使用という抵抗性対策が考えられる。

要 約

イエバエにおけるピレスロイド抵抗性対策の一つとして、代謝酵素阻害剤ピペロニルブトキシド(PB)の共力効果について検討した。益子-res10系に対して、各種ピレスロイドとPBの混合剤(混合比1:4)を局所施用法で処理してLD₅₀値を求めたところ、ピレスロイド単味を処理した場合に比較してLD₅₀値は著しく低下し、明確な共力効果がみられた。感受性のCSMA系と益子-res10系に対するPBの共力効果を比較すると、益子-res10系に対する効果のほうがはるかに大きいことが明らかになったので、益子-res10系では*kdr*因子に加えて、チトクロームP-450依存性モノオキシゲナーゼ系による解毒分解が抵抗性のメカニズムに重要な役割を果たしていることが示唆された。PBとピレスロイドの混合剤は、益子町の豚舎における空間噴霧試験でも、ピレスロイド

抵抗性イエバエの防除に高い効果を示した。また、益子83-res 1系に対して混合剤による淘汰を室内で10回行なったが、混合剤に対する新たな抵抗性の発達やピレスロイド単味に対する抵抗性の増進は認められなかった。

引用文献

- 1) 林 晃史: 薬剤抵抗性, 深見順一・上杉康彦・石塚皓造編, ソフトサイエンス社, p. 31, 1983
- 2) 林 晃史・新庄五郎・牧田光康: 衛生動物 **34**, 123 (1983)
- 3) N. Motoyama: *J. Pesticide Sci.* **9**, 523 (1984)
- 4) E. Funaki & N. Motoyama: *J. Pesticide Sci.* **11**, 219 (1986)
- 5) T. Shono: *J. Pesticide Sci.* **10**, 141 (1985)
- 6) 地主 勉・本山直樹: 日本農薬学会第6回大会講演要旨集, p. 133, 1981
- 7) 浜 弘司: 植物防疫 **37**, 471 (1983)
- 8) 正野俊夫・安富和男: 日本衛生動物学会東日本支部大会講演要旨集, p. 17, 1985
- 9) F. J. Oppenoorth & W. Welling: "Insecticide Biochemistry and Physiology," ed. by C. F. Wilkinson, Plenum Press, New York, p. 507, 1976
- 10) 船城衛介・本山直樹・広吉寿樹: 日本農薬学会第10回大会講演要旨集, p. 67, 1985
- 11) D. M. Soderlund & J. E. Casida: *Pestic. Biochem. Physiol.* **7**, 391 (1977)
- 12) I. Yamamoto & J. E. Casida: *J. Econ. Entomol.* **59**, 1542 (1966)
- 13) W. S. Abbott: *J. Econ. Entomol.* **18**, 265 (1925)
- 14) C. I. Bliss: *Ann. Appl. Biol.* **22**, 134 (1935)
- 15) 林 晃史: 応動昆 **6**, 76 (1962)
- 16) 武衛和雄・浅田四郎・児玉昌克: 防虫科学 **28**, 47 (1963)
- 17) D. H. Devries & G. P. Georgiou: *Pestic. Biochem. Physiol.* **15**, 242 (1981)
- 18) R. A. Nicholson & R. M. Sawiki: *Pestic. Sci.* **13**, 357 (1982)
- 19) Y. J. Ahn, E. Funaki, N. Motoyama, T. Shono & J. Fukami: *J. Pesticide Sci.* submitted
- 20) J. Keiding: *Pestic. Sci.* **7**, 283 (1976)
- 21) A. W. Farnham: *Pestic. Sci.* **4**, 513 (1973)