

Comparison of Susceptibility to Various Chemicals between Malathion-Selected and Methyl Parathion-Selected Strains of the Green Rice Leafhopper, *Nephotettix cincticeps* Uhler. Toshikazu IWATA and Hiroshi HAMA (Division of Entomology, National Institute of Agricultural Sciences, Nishigahara, Kita-ku, Tokyo, Japan) Received Sept. 9, 1977. *Botyu-Kagaku*, 42, 181, 1977. (with English Summary 187)

28. 有機リン系殺虫剤抵抗性ツマグロヨコバイ2系統の各種薬剤に対する抵抗性(感受性)の比較 岩田俊一, 浜 弘司(農林省農業技術研究所, 東京都北区西ヶ原2-1) 52. 9. 9 受理

ツマグロヨコバイの有機リン剤抵抗性個体群を2群に分け, 一方は malathion で, 他方は methyl parathion でそれぞれ累代選抜を繰返した。その結果15, 16世代後には malathion 選抜系統(M)は元の個体群に比較して malathion に17倍(感受性系統には380倍), methyl parathion 選抜系統(P)は元の個体群に比較して methyl parathion に9倍(感受性系統には340倍)まで抵抗性が発達した。両抵抗性系統の41種の有機リン系化合物に対する感受性を検定した結果, 両系統とも非常に広範囲の有機リン剤に抵抗性が高まっていることがわかり, 抵抗性発達の程度が化学構造との関係で考察された。両系統とも P=O 型の有機リン化合物に対しては P=S 型の化合物より抵抗性発達の程度は低いこと, P系統では >P(S, O)-S(or O)-aryl 型の化合物に対してM系統より一層高い抵抗性となったのに対して, M系統では鎖状化合物でP系統より高い抵抗性となった。有機塩素剤やカーバメート剤に対しては両系統とも抵抗性の発達はみとめられなかった。

ツマグロヨコバイの malathion 抵抗性が1961年に四国地方の一部で最初に報告され, つづいて瀬戸内沿岸地帯に拡大しはじめた1963年に, 尾崎は中国地方および四国地方の現地におもひて多数の地点でツマグロヨコバイを採集し, malathion および methyl parathion に対する感受性を検定した¹⁾。その結果, malathion と methyl parathion に対する感受性は各地のツマグロヨコバイ個体群の間で大きな変動があるばかりでなく, その変動には必ずしも相関がみられないことを知った。彼はそれら各検定地の過去における殺虫剤の使用量を集計し, それと両殺虫剤に対する感受性の関係を求め, malathion の LD₅₀ は過去における malathion の使用量との間に正の相関があるが, methyl parathion の LD₅₀ は methyl parathion よりむしろ有機リン殺虫剤全体の使用量と相関関係があることを見出した。

その後尾崎・黒須²⁾ はじめ多くの研究者が有機リン殺虫剤抵抗性の報じられた各地のツマグロヨコバイについて, 各種有機リン殺虫剤に対する感受性を検定し, 感受性スペクトルが採集地の相異なるツマグロヨコバイの間でかなり相異なることを報じている。

これらのことから, ツマグロヨコバイにおいては, 有機リン剤抵抗性と一くりにしていわれても, その抵抗性の内容は個体群の間で同一とは限らず, その地の過去において使用された殺虫剤の種類によっても異なるであろうと考えられた。多くのいわゆる有機リン剤抵抗性系統における抵抗性スペクトルを知ること

は, 抵抗性ツマグロヨコバイの防除対策を考える上からも重要なことといわなければならない。

筆者らはツマグロヨコバイの一個体群を2群に分け, それぞれを malathion と methyl parathion で別々に選抜処理を繰返した場合, 抵抗性スペクトルがどのように変化するかを知り, そのことから本種の有機リン剤抵抗性の内容や, 交差抵抗性関係を明らかにし, さらに本種の有機リン剤抵抗性の機構解明や防除上の参考資料をえようとした。本実験の実施はすでにかなり以前のことに属するが, 多数の薬剤に対する検定結果が比較できる点でとくに参考になると考え, ここに概要を報告する。

供試材料を採集し送付された愛媛農試吉岡幸治郎氏, 実験の一部を分担された佐賀農試宮原和夫氏, 静岡農試沢木忠雄氏, 供試化合物の一部を恵与された農技研穴戸孝, 上杉康彦両博士, 理化学研究所深見順一博士に対しここに厚く御礼申し上げる。

供試材料と方法

供試虫: 選抜に供試したツマグロヨコバイは1965年春に愛媛県土居町で採集した個体群で, 吉岡・岩田³⁾の報告にもあるように, すでに EPN, fenitrothion, methyl parathion, phenthoate, malathion などに比較的高い抵抗性を示すが, カーバメート剤には感受性の高い個体群である。また比較に用いた感受性系統は1969年秋に宮城県下で採集したもので, 有機リン剤やカーバメート剤など多くの殺虫剤に感受性の高い系

統である (これをS系統とする)。これらはいずれも $27 \pm 1.5^\circ\text{C}$, 16時間照明の飼育室でイネの芽出しを与えて累代飼育され、実験には羽化後4～9日の雌成虫を用いた。

選抜方法：土居個体群は室内で2世代増殖させたのちに3群に分割し、1群は malathion で、1群は methyl parathion でそれぞれ累代選抜し、残りは無処理のまま飼育をつづけた (無処理個体群は実験の手ちがいから途中で飼育を打ち切った)。薬剤による選抜の方法は、バット播種の芽出しイネを入れた飼育ケージ (35×40×30cm) に老齢幼虫を入れ、市販のマラソン乳剤 (50%) あるいはメチルパラチオン乳剤 (40.6%) の希釈液を小型噴霧器でケージ内に一様に噴霧し、そのままケージを 27°C の室内に24時間置いたのち生存虫を別の飼育ケージに移し、羽化成虫の産下卵から次世代虫をとった。選抜には1世代あたり2,000～4,000頭の幼虫を処理した。処理液の濃度は必要に応じ予備試験によって死亡率が50%前後になるように調整されたが、実際の選抜処理では50%とならず、その都度かなりのふれがあった。選抜開始時には malathion は2,500倍、methyl parathion は500倍希釈液を用いたが、世代を重ねるにしたがって希釈倍率は下り、後期にはそれぞれ600～700倍、70～80倍となった。

感受性 (抵抗性) レベルの検定：検定は局所施用法によった。すなわち冷却麻醉または炭酸ガス麻醉した成虫の背面に薬剤の acetone 希釈液を $0.5\mu\text{l}$ あて滴下し、処理後の成虫はイネの芽出しを入れたプラスチック容器に収容して 27°C の室内に24時間置いた後生死の判別を行なった。有機リン系殺菌剤および有機塩素剤の中には24時間後の調査では中毒虫が多く観察されたが、48時間後の調査でこれらの大部分は死亡することが確認されたので、中毒虫はすべて死亡虫に入れて計算を行なった。1薬剤につき4～5段階の濃度を取り、1濃度15～20頭を供試し、3回以上の繰返しを行なった。薬量—死亡率の結果は対数確率紙上にプロットされ、図上から LD_{50} 値を2桁あるいは3桁まで読みとった。感受性の比較はこの LD_{50} 値によって行なった。

検定に用いた薬剤は Table 2 に示した有機リン系化合物41種、有機塩素系2種、カーバメート系3種である。Dichlorvos と Salioxon は50%乳剤を使ったが、その他はすべて原体あるいは純品を用いた。Phosnichlor, ethyl fenitrothion, isopropyl parathion, methyl paraoxon, paraoxon, fenitrothion-oxon, phosnichlor-oxon, isopropyl paraoxon, EPN-oxon は穴戸孝・深見順一両博士より、Kitazin, Kitazin P, Inezin, edifenphos (Hinosan), Conen

は上杉康彦博士より、その他の薬剤原体は各関係会社より恵与されたものである。

結 果

Malathion および methyl parathion 選抜個体群はいずれも途中数世代は処理を休んだが、20数世代の間選抜処理が継続された。その間の両個体群における malathion および methyl parathion の LD_{50} は Fig. 1, 2 に示すように、処理を重ねるにしたがい徐々に増大し、15, 16世代後にはその抵抗性は元の個体群に比べて malathion 選抜個体群で17倍、methyl parathion 選抜個体群で9倍まで発達した。選抜個体群は24世代以後薬剤処理を中止したままで累代飼育されているが、両者の抵抗性レベルは多少の変動はみられても目立った低下はみられなかった。

選抜開始より6, 7および15, 16世代後における両個体群の数種有機リン剤に対する抵抗性の変化を原個体群との LD_{50} 値の比 (抵抗性比) として Table 1 に示した。

Malathion 選抜個体群では malathion の他に phenthoate, parathion, EPN に8～9倍、他の供試薬剤にも2～4倍の感受性低下を生じた。一方 methyl parathion 選抜個体群は parathion, fenitrothion, EPN に対し methyl parathion と同等かそれ以上の高い抵抗性となり、また malathion, phen-

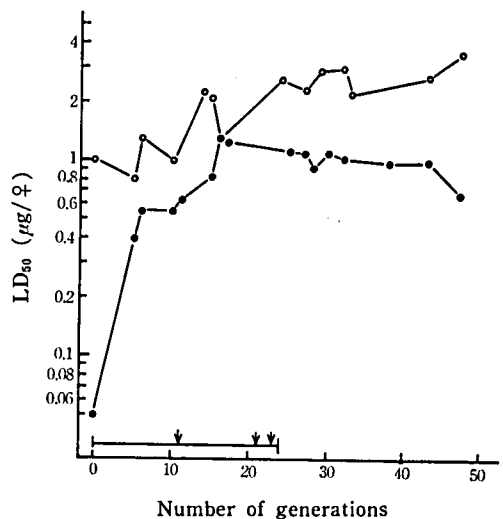


Fig. 1. Changes of LD_{50} ($\mu\text{g}/\text{female}$) of malathion and methyl parathion through generations of the population selected with malathion.

●: malathion, ○: methyl parathion, a line along the abscissa shows selected generations except arrows.

thoate に対する感受性も 3 倍程度低下した。

Fig. 1 および Fig. 2 からわかるように、両選抜個体群の抵抗性レベルは 15, 16 世代以後は大きな変化はなかった。そこで malathion および methyl parathion 選抜個体群をそれぞれ M および P 系統と称し、両者の薬剤感受性を 41 種の有機リン系、2 種の有

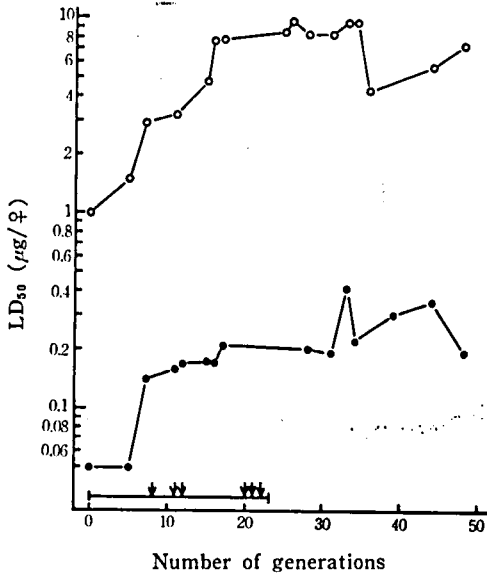


Fig. 2. Changes of LD_{50} ($\mu\text{g}/\text{female}$) of malathion and methyl parathion through generations of the population selected with methyl parathion.

●: malathion, ○: methyl parathion, a line along the abscissa shows selected generations except arrows.

Table 1. LD_{50} values of several organophosphorus insecticides for S strain and Doi colony, and resistance ratios of M and P strains to their original colony (Doi).

Insecticide	LD_{50} ($\mu\text{g}/\text{g}$)		Resistance ratio*			
	S	Doi	M		P	
			6th**	15th**	7th**	16th**
malathion	0.57	13	11	17	2.8	3.5
phenthoate	0.43	26	4.8	8.6	1.3	3.0
methyl parathion	5.74	220	1.5	2.5	3.5	8.9
parathion	2.34	38	2.6	8.2	9.1	14
fenthion	5.10	30	2.0	2.2	5.5	11
fenitrothion	4.47	312	2.4	3.8	2.6	6.1
diazinon	0.51	13	3.9	3.6	2.1	2.2
EPN	0.55	105	3.7	8.5	6.1	42

* Ratio of LD_{50} of M or P strains to that of Doi colony

** Generation number after the selection started

機塩素系、3 種のカーバメート系化合物を用い検定した。その結果は Table 2 に示す通りである。M, P 両抵抗性系統が実験開始以後各薬剤に対して感受性をどう変化させたかは原個体群が失われたため不明であるが、両抵抗性系統の抵抗性レベルがどの程度であるかを知るために、S 系統の各薬剤に対する感受性を検定して Table 2 に併記した。

本研究では両抵抗性系統の各種有機リン剤に対する抵抗性スペクトルを比較することが主眼であったから、ツマグロヨコバイに対して元来殺虫力の低い有機リン剤を、殺菌剤までも含めて多数供試したわけである。したがって Table 2 をみると LD_{50} が S 系統に対して $100\mu\text{g}/\text{g}$ 以上、両抵抗性系統に対しては $1,000\mu\text{g}/\text{g}$ 以上で正確な値の求められないものがかかなりあった。両系統でとくに高い LD_{50} 値を示した薬剤は 12 dichlofenthion (VC-13), 13 phosnichlor (イソクロールチオン), 16 ethyl fenitrothion, 17 isopropyl parathion, 19 EPN, 20 cyanofenphos (シュアサイド), 21 S-seven の 7 種である。それらは一般に S 系統に対しても殺虫力の低いものであるが、中には EPN や cyanofenphos のように S 系統には殺虫力の高いものも含まれている。したがってこれら 2 薬剤では抵抗性比は非常に高い値となった。

Table 2 から S 系統に殺虫力が比較的高く、かつ両抵抗性系統においても抵抗性比が比較的小さい (便宜的に 20~30 以下) の有機リン剤を挙げると 4 mecarbam, 5 disulfoton, 15 pyridafenthion, 18 Salithion, 23 vamidothion, 24 Fujithion, 35 dichlorvos, 36 chlorfenvinphos (ビニフェート), 37 propaphos, 41 acephate の 10 種である。

両抵抗性系統における有機塩素剤およびカーバメー

Table 2. LD₅₀ values of organophosphorus, organochlorine and carbamate compounds for S, M and P strains.

Compound	LD ₅₀ (μg/g)			Ratio of LD ₅₀		
	S	M	P	M/S	P/S	M/P
I Organophosphorus compounds						
>P(S)-S-						
<i>Phosphorothiolothionates</i>						
1 malathion	0.57	215	45	380	79	4.8
2 phenthoate	0.43	224	79	520	180	2.8
3 dimethoate	0.66	153	79	230	120	1.9
4 mecarbam	0.92	23.7	14.5	26	16	1.6
5 disulfoton	3.17	76.3	47.4	24	15	1.6
6 phosmet	0.34	480	84	1400	250	5.7
>P(S)-O-						
<i>Phosphorothionates</i>						
7 methyl parathion	5.74	555	1960	97	340	0.28
8 parathion	2.34	312	520	130	220	0.60
9 fenthion	5.10	67	339	13	66	0.20
10 fenitrothion	4.47	1180	1910	260	430	0.62
11 cyanophos	2.06	510	1700	250	830	0.30
12 dichlofenthion	>493	>5400	>5400			
13 phosnichlor	—	>1300	>1300			
14 diazinon	0.51	47	28	92	55	1.7
15 pyridafenthion	1.38	13.8	12.5	10	9.1	1.1
16 ethyl fenitrothion	—	730	>2600			<0.28
17 isopropyl parathion	285	>9700	>1200	>34	>4.2	
18 Salithion	5.74	164	97	29	17	1.7
<i>Phosphonothionates</i>						
19 EPN	0.55	890	4390	1600	8000	0.20
20 cyanofenphos	2.06	>2700	>2700	>1300	>1300	
21 S-Seven	249	>5400	>5400	>22	>22	
>P(O)-S-						
<i>Phosphorothiolates</i>						
22 malaoxon	0.23	3.49	1.91	15	8.3	1.8
23 vamidothion	1.00	12.4	6.58	12	6.6	1.9
24 Fujithion	0.64	5.53	2.63	8.6	4.1	2.1
25 Kitazin	19	87	71	5	4	1.2
26 Kitazin P	485	1600	2000	3.3	4.1	0.80
<i>Phosphonothiolate</i>						
27 Inezin	34	280	640	8	19	0.44
<i>Phosphorodithiolates</i>						
28 edifenphos	22	320	440	15	20	0.73
29 Conen	297	1300	1700	4.4	5.7	0.76
>P(O)-O-						
<i>Phosphates</i>						
30 methyl paraoxon	0.32	11.8	39.5	37	120	0.30
31 paraoxon	0.27	4.3	9.7	16	36	0.44
32 fenitrothion-oxon	0.46	48	279	100	610	0.17
33 phosnichlor-oxon	—	97.3	304			0.32
34 isopropyl paraoxon	2.93	28	39	9.6	13	0.72
35 dichlorvos	20.6	42.1	22.9	2.0	1.1	1.8
36 chlorfenvinphos	0.45	4.47	1.84	9.9	4.1	2.4
37 propaphos	0.86	3.21	2.64	3.7	3.1	1.2
38 Salioxon	2.24	4.74	6.05	2.1	2.7	0.78

<i>Phosphonates</i>						
39 EPN-oxon	0.59	14	71	24	120	0.20
40 trichlorfon	21.3	187	126	8.8	5.9	1.5
>P(O)-N-						
<i>Phosphoramidothiolate</i>						
41 acephate	1.75	4.00	3.75	2.3	2.1	1.1
II Organochlorine compounds						
42 DDT	9.51	17.4	22.9	2	2	
43 lindane	78	82	76	1	1	
III Carbamate compounds						
44 carbaryl	0.85	3.3	2.6	3.9	3.1	
45 propoxur	3.17	7.9	5.2	2.5	1.6	
46 Hopcide	2.68	8.4	4.7	3.1	1.8	

Chemical names of some compounds

4. mecarbam: *S*-(*N*-ethoxycarbonyl-*N*-methylcarbamoylmethyl) diethyl phosphorothiolothionate
 13. phosnichlor: 3-nitro-4-chlorophenyl dimethyl phosphorothionate
 15. pyridafenthion: 2,3-dihydro-3-oxo-2-phenyl-6-pyridazinyl diethyl phosphorothionate
 21. S-Seven: 2,4-dichlorophenyl ethyl phenylphosphonothionate
 24. Fujithion: *S*-(*p*-chlorophenyl) *O,O*-dimethyl phosphorothiolate
 25. Kitazin: *S*-benzyl diethyl phosphorothiolate
 26. Kitazin P: *S*-benzyl diisopropyl phosphorothiolate
 27. Inezin: *S*-benzyl ethyl phenyl phosphonothiolate
 28. edifenphos: *S,S*-diphenyl ethyl phosphorodithiolate
 29. Conen: *S*-benzyl *n*-butyl *S*-ethyl phosphorodithiolate
 37. propaphos: *p*-methylthiophenyl di-*n*-propyl phosphate

ト剤に対する感受性はS系統よりやや低くなっているが、その程度は僅かで、交差抵抗性とは考えられない。

考 察

Malathion および methyl parathion 選抜個体群は実験開始後数世代の間に、飼育ケージの混乱から1〜2度互いに他方の選抜処理に用いた薬剤（たとえば malathion 選抜個体群は methyl parathion）の接触を受けた可能性がある。それによる影響の程度は不明であるが、初期の段階でしかも回数も少ないところから大きくはないと考える。元来供試した土居個体群は malathion および methyl parathion に対して複合抵抗性をもつものであり、これをさらに malathion あるいは methyl parathion によって強力に選抜し、抵抗性スペクトルがどう変化するかをみようとしたのであるから、上記の問題は本報の考察と結論に変更を加えるほどの影響は与えないことと考えられる。

Malathion あるいは methyl parathion による選抜によって元の土居個体群は7種の他の有機リン剤に対し抵抗性をさらに増大させたことは Table 1 に示す通りであるが、malathion 選抜系統で phenthoate に著しく抵抗性が増大したのは当然として、parathion および EPN に対しても抵抗性の増大は顕著である。これは methyl parathion 選抜系統で EPN

と parathion に対して処理薬剤の methyl parathion 以上に抵抗性の増大が顕著であることと併せて注目される。他の多くの有機リン剤に対しては元の個体群の LD₅₀ が求められていないが、S系統の値と比較して考えれば、すべての有機リン剤に対して程度の差はあれ抵抗性が増大（あるいは感受性が低下）したことは容易に推察できる。

さて、Table 2 に示した41種の有機リン剤について、S系統に対するM、P両系統の抵抗性程度は薬剤の種類により大きな変動がみられるが、S系統に対する抵抗性比が比較的低く20以下というものをぬきだすと以下のようである。

M系統：9 fenthion, 15 pyridafenthion, 22 malaoxon, 23 vamidothion, 24 Fujithion, 25 Kitazin, 26 Kitazin P, 27 Inezin, 23 edifenphos, 29 Conen, 31 paraoxon, 34 isopropyl paraoxon, 35 dichlorvos, 36 chlorfenvinphos, 37 propaphos, 33 Salioxon, 40 trichlorfon, 41 acephate

P系統：4 mecarbam, 5 disulfoton, 15 pyridafenthion, 18 Salithion, 22 malaoxon, 23 vamidothion, 24 Fujithion, 25 Kitazin, 26 KitazinP, 27 Inezin, 23 edifenphos, 29 Conen, 34 isopropyl paraoxon, 35 dichlorvos, 36 chlorfenvinphos, 37 propaphos, 38 Salioxon, 40 trichlorfon, 41 acephate

Table 3. Ratios of LD₅₀ values of P=S compounds to those of their P=O analogues for S, M and P strains.

Compound	S	M	P
malathion	2.5	62	24
methyl parathion	18	47	50
parathion	8.7	73	54
fenitrothion	9.7	25	6.8
phosnichlor	—	>13	>4.3
isopropyl parathion	97	>350	>31
Salithion	2.6	35	16
EPN	0.9	64	62

上のリストでアンダーラインをした薬剤は互いに他の系統には入っていないものである。しかしそれらは他系統における抵抗性比も20以上ではあるが比較的低い値を示している。これら抵抗性比の低い有機リン剤の多くがP=O型に属することは興味のあることで、P=S型のものは両系統で合計21種中4 mecarbam, 5 disulfoton, 9 fenitrothion, 15 pyridafenthion, 18 Salithion の5種に過ぎない。

また、供試有機リン剤の中にはP=SとそのP=O類似体が数種含まれている。これらの中でLD₅₀を比較すると、S系統におけるEPNとそのoxonがほぼ等しいLD₅₀値である以外はすべてP=S型よりもそのP=O類似体の方がLD₅₀は小さい値となっている。そこで該当する8種の有機リン剤について、P=S型のLD₅₀値とP=O型のLD₅₀値の比を各系統について算出するとTable 3の通りになる。すなわちS系統においても一般にP=O型の方がそのP=S型よりも殺虫力の高いことがわかるが、M, P両抵抗性系統においてはこの傾向はさらに顕著である。

以上のことから考えると、ツマグロヨコバイに対しては元来P=O型の有機リン剤の方が殺虫力は高いが、methyl parathionやmalathionのようなP=S型の有機リン剤によって選抜が行なわれた場合、P=O型の有機リン剤に対する抵抗性の発達程度はP=S型のものより一般に低いといえるようである。それはまた、ツマグロヨコバイにおける抵抗性の主機構が分解代謝であるなら、P=S型の有機リン剤はP=O型に活性化される前により強く分解が行なわれることを暗示するものであろう。

M, P両系統の間で供試有機リン剤のLD₅₀を比較すると、M系統の方が高いものと、逆にP系統の方が高いものとがある。Table 2にはM系統のLD₅₀に対するP系統のその比が示してあるが、>P(S, O)-S(or O)-arylの構造を持つ薬剤はpropaphosとFujithionを除いてすべて1以下の値である。すなわ

ちP系統において抵抗性の発達はより著るしかつたことになる。逆に鎖式構造をもつ薬剤ではすべて1以上の値で、M系統に対して一層高い抵抗性が発達したことを示している。

Chlorfenvinphosとphenthoateでも1以上であるが、これは>P(S, O)-S(or O)-C-phenylで、リン元素とphenyl基の間にCが1個入っていることが特徴的である。Phosmetも複素環ではあるがこれに類している。有機リン殺菌剤もedifenphos以外はこの部類に属するが、これでは1以上の値を示すものはKitazinだけで、やや趣を変えている。その他では環状リン酸エステルのSalithionおよびSalioxon、複素環を有するdiazinon, pyridafenthionで1以上の値がえられている。このようにみると、M系統における方が抵抗性の発達がより著るしかつた薬剤と、逆にP系統の方でより高い抵抗性の発達がみられた薬剤の間には、化学構造上かなり特徴のあることがわかる。

有機リン剤だけについて、M系統に対するLD₅₀を横軸に、P系統に対するLD₅₀を縦軸にプロットするとFig. 3のようになる。こうすれば選抜後のLD₅₀がM系統でより高くなった薬剤は45度線より下に、P系統でより高い値となったものは45度線より上になり、上述のことが一層明瞭に理解される。しかし一方、Fig. 3の全体的傾向としてはM系統のLD₅₀とP系

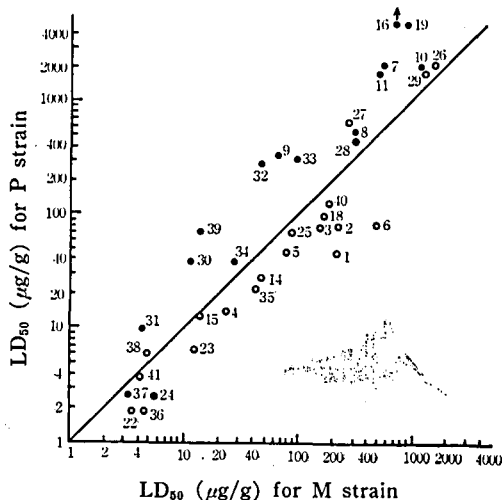


Fig. 3. Relationship between LD₅₀ values for M and P strains of various organophosphorus compounds.

●: >P(S, O)-S(or O)-aryl compounds,
○: the other compounds, figures with each point are referred to those of compounds shown in Table 2.

統の LD_{50} の間には正の相関関係があるように理解される。これは両系統が抵抗性パターンは異なるとはいっても、同一種の昆虫であるために極端な相異ではないこと、それが対数日盛のために一層差が縮小されてみられるからである。ここでは相関関係よりもむしろ45度線の下にくる薬剤の類別に注目すべきであると考える。

田中ら⁴⁾はツマグロヨコバイの感受性系統を malathion で選抜してえた抵抗性系統が、malathion に53倍の抵抗性を発達させたほか、dimethoate に137倍、phenthoate に37倍、mecarbam に13倍、parathion に17倍、EPN に10倍、diazinon に8倍の交差抵抗性を発達させたことを報告した。すなわち筆者らの実験と同様、malathion による選抜によって広範囲の有機リン剤に交差抵抗性を発達させたが、parathion と EPN に対する抵抗性の発達度合は筆者らの場合より小さい。これは筆者らの場合は実験開始時の原個体群がすでに malathion や parathion に複合抵抗性を有していたことも1原因であるかもしれない。

有機リン殺虫剤の累代処理によって育成した抵抗性系統について、各種薬剤に対する抵抗性パターンをしらべた報告はツマグロヨコバイ以外にも多い。それらのうち、Ozaki and Kassai⁵⁾ がヒメトビウンカを malathion あるいは fenitrothion でそれぞれ選抜処理した抵抗性系統について交差抵抗性をしらべた結果では、処理薬剤だけでなく、広範囲の有機リン剤に交差抵抗性を示したが、このことは筆者らの結果と類似した傾向といえる。しかしイエバエ、カ (*Culex tarsalis*)、チャバネゴキブリ、アオバエ (*Chrysomya putoria*) などでは malathion による選抜の結果は carboxyl 基をもたない有機リン剤にはほとんど交差抵抗性を示さなかった⁶⁾。これは広範囲の有機リン剤に抵抗性が高まったツマグロヨコバイの場合とは異なる。ただ筆者らの結果でも malathion による選抜では鎖状構造をもつ有機リン剤により高い抵抗性を示し、methyl parathion による選抜では $>P(S,O)-S$ (or O)-aryl 型のものにより高い抵抗性を示すというような傾向はみられている。

M, P 両系統はともに $P=O$ 型の有機リン剤に対しては一般に抵抗性比が低く、このことはイエバエ^{7,8)} やヒメトビウンカ⁹⁾ の場合と異なり、さらに $P=S$ 型とその $P=O$ 類似体を比較しても前者より後者的の方が抵抗性比が低いということと併せ、ツマグロヨコバイにおける有機リン剤抵抗性機構を考える上で興味深いことである。

引用文献

- 1) Ozaki, K.: *Appl. Ent. Zool.*, 1, 189 (1966).

- 2) 尾崎幸三郎・黒須泰久：応動昆, 11, 145 (1967).
- 3) 吉岡幸治郎・岩田俊一：応動昆, 11, 193 (1967).
- 4) 田中文一・北方節夫・梅田兼弘：日本応用動物昆虫学会 昭和42年度大会講演 (1967).
- 5) Ozaki, K. and T. Kassai: *Botyu-Kagaku*, 36, 111 (1971).
- 6) Busvine, J. R. and M. Feroz: In "Insecticide Resistance, Synergism, Enzyme Induction" A. S. Tahori, ed., 1-28, Gordon and Breach, London (1971).
- 7) Busvine, J. R.: *Ent. exp. & appl.*, 2, 58 (1959).
- 8) Oppenoorth, F. J.: *Ent. exp. & appl.*, 2, 216 (1959).

Summary

Green rice leafhoppers, *Nephotettix cincticeps* Uhler, moderately resistant to organophosphorus insecticides were collected in the fields and some parts of them were selected with malathion and the other parts with methyl parathion respectively throughout 20 generations. After 15 or 16 generations since the selection was started, malathion- and methyl parathion-selected populations developed 17 and 9 times resistance respectively to the insecticides used for selection in comparison with the parental population. Although the insecticidal pressure was stopped after the 20th generation, the following generations kept the similar level of resistance to the selecting insecticides. After then, the resistant population selected with malathion was referred to as M strain and that with methyl parathion was as P strain.

During 16 generations, M strain developed higher resistance not only to malathion but also to phenthoate ($\times 8.6$), parathion ($\times 8.2$) and EPN ($\times 8.5$) than the parental population, while P strain showed more resistance to parathion ($\times 14$), fenthion ($\times 11$), fenitrothion ($\times 6.1$) and EPN ($\times 42$) as well as to methyl parathion.

LD_{50} values of 41 kinds of organophosphorus compounds for M and P strains were obtained, and it was found that both strains had very wide range of cross resistance. The resistance levels of P strain to $>P(S,O)-S$ (or O)-aryl compounds were higher than those of M strain, while the resistance levels to aliphatic phosphorus compounds in M strain were higher than those of P

strain.

For both strains, most of $P=O$ compounds tested showed low LD_{50} values in comparison with $P=S$ compounds, and $P=O$ compounds showed much lower LD_{50} values than their $P=S$ analogues. These facts suggest that the detoxification before oxidation or activation of $P=S$

compounds to $P=O$ is an important mechanism in the organophosphorus-resistance of the green rice leafhopper.

The two resistant strains showed no cross resistance to both organochlorine and carbamate insecticides.

Mechanism of Resistance to Malathion in the Green Rice Leafhopper, *Nephotettix cincticeps* Uhler. Hiroshi HAMA, Toshikazu IWATA, Chōjirō TOMIZAWA and Toshinobu MURAI (National Institute of Agricultural Sciences, Nishigahara, Kita-ku, Tokyo, Japan) Received Sept. 9, 1977. *Botyu-Kagaku*, 42, 188, 1977.

29. ツマグロヨコバイにおけるマラソン抵抗性の機構 浜 弘司, 岩田俊一, 富沢長次郎, 村井敏信 (農林省農業技術研究所, 東京都北区西ヶ原2-1) 52. 9. 9 受理

ツマグロヨコバイの有機リン剤抵抗性の2系統(MとP)と感受性系統(S)を用い, 共力剤の効果, マラソンの浸透と代謝およびコリンエステラーゼの感受性を測定, 比較し本種のマラソン抵抗性の機構について考察した。マラソンの浸透およびコリンエステラーゼの感受性では系統間の違いが認められなかった。マラソンはいずれの系統でも *in vivo*, *in vitro* で速やかに水溶性代謝物に分解されたが, M, P両抵抗性系統の代謝活性はS系統より2倍程度高かった。主な代謝物はマラソンの monoacid であった。他の未同定の代謝物も検出され, それらは経時的に増大したが, 水溶性代謝物のイオン交換クロマトグラムでは系統間の顕著な違いはみられなかった。一方, 体内のトルエン可溶分画は大部分が未分解のマラソンであったが, その酸化物であるマラオクソンはS系統のみで検出され, M, P両抵抗性系統では検出されなかった。したがって, M, P両系統のマラソン抵抗性はマラオクソンの蓄積が極めて小さいことで説明された。さらにマラオクソンの蓄積に影響を及ぼす因子について論及した。

Introduction

Resistance to malathion in insects such as the housefly has been extensively studied and its main mechanism was proved to be the increased activity of carboxylesterase hydrolyzing carboxylic esters of malathion to nontoxic acid metabolites. It has been demonstrated in *Musca domestica*^{1,2)}, *Culex tarsalis*³⁻⁵⁾, *Chrysomya putoria*⁶⁾ and *Tribolium castaneum*⁷⁾ that carboxylesterase activity is higher in malathion-resistant strains than in susceptible ones and that inhibitors of carboxylesterase exhibit synergistic effect on toxicity of malathion for the resistant strains. Moreover, the malathion-resistant strains of these insects show little cross-resistance to the other organophosphates having no carboxylic ester⁸⁾.

It has been observed that malathion-resistance is also developed by selection with the other organophosphates in *Musca domestica*⁹⁾ and *Blattella germanica*¹⁰⁾. Such a resistance appears to be attributed to another factor different from

carboxylesterase.

Kojima *et al.*¹¹⁾ showed that in the green rice leafhopper *in vitro* degradation rate of malathion was higher in a malathion-resistant strain than in a susceptible one and that naled (Dibrom), an inhibitor of carboxylesterase, exhibited synergistic effect on the toxicity of malathion. They concluded that the malathion-resistance in this leafhopper was attributed to the increased activity of carboxylesterase. On the other hand, it was shown that nonspecific aliesterase (AliE) activity hydrolyzing many simple aliphatic and aromatic esters¹²⁾ was very high in the resistant leafhopper as compared with that in the susceptible one^{11,13-16)} and was linked with the resistance to malathion¹⁷⁾. These findings were followed by the report¹⁸⁾, in which an esterase activity hydrolyzing carbophenoxy malathion [*O*, *O*-dimethyl *S*-(1,2-bis-carbophenoxy)ethyl phosphorodithioate] was high in the resistant leafhopper, and was inhibited by a saligenin cyclic phenyl phosphate K2, a