

Results of the Alternate Selection with Two Insecticides and the Continuous Selection with Mixtures of Two or Three Ones of *Laodelphax striatellus* Fallén. Kozaburo OZAKI, Yoshitaka SASAKI, Minoru UEDA* and Tatsuo KASSAI (Kagawa Agricultural Experiment Station, Takamatsu, Kagawa, Japan) Received September 7, 1973. *Botyu-Kagaku*, 38, 222, 1973. (with English Summary 230)

30. ヒメトビウンカにおける2種殺虫剤による交互淘汰と2または3種殺虫剤の複合剤による連続淘汰の結果について 尾崎幸三郎, 佐々木善隆, 上田 実*, 葛西辰雄 (香川県農業試験場, 高松市仏生山町) 48. 9. 7 受理

ヒメトビウンカの感受性 (LE) 系統をマラソンと NAC (Sevin, carbaryl), 1-naphthyl methylcarbamate, で1世代交互に淘汰したが, 最終淘汰の F_{12} までに, NAC に対する LD_{50} は顕著に変化しなかった. 一方マラソンには約11倍の抵抗性を発達し, 中間と高活性のエステラーゼ泳動帯をもつ個体の合計頻度は80%に達した. しかしながらマラソンによる連続淘汰に比べて, マラソン抵抗性の発達程度は低く, 高活性のエステラーゼ泳動帯をもつ個体の出現時期はおそく, 抵抗性発達の抑制効果が認められた.

MN剤 (マラソン (malathion), S-[1,2-bis (ethoxycarbonyl) ethyl] dimethyl phosphorothiolothionate: NAC, 1:1), MT 剤 (マラソン: MTMC (Tsumacide), *m*-tolyl methylcarbamate, 1:1) と FNMe 剤 (フェニトロチオン (fenitrothion, Sumithion), dimethyl 4-nitro-*m*-tolyl phosphorothiolothionate: NAC: メソミル (methomyl, Lannate), S-methyl *N*-(methylcarbamoyloxy) thioacetimidate, 1:1:1) の3種類の複合剤で, 20世代以上に亘って連続淘汰したが, それぞれの最終淘汰の世代までに, MN 剤と MT 剤に対する LD_{50} は顕著に変化しなかった. また MN 剤と FNMe 剤に混用した NAC に対する LD_{50} も顕著に変化しなかった. FNMe 剤に対する感受性は約1/2に低下し, FNMe 剤に混用したフェニトロチオンとメソミルに対する感受性も低下したが, LD_{50} が3~4倍増大したに止まり, それぞれ単剤による淘汰の場合より著しく低かった. MN 剤と MT 剤に混用したマラソンには抵抗性を発達したが, マラソンによる淘汰の場合より著しく低く, MN 剤による淘汰の場合のマラソン抵抗性の発達程度はマラソンと NAC との1世代交互淘汰の場合より著しく低かった. MT 剤に混用した MTMC にも感受性を低下したが, MTMC による淘汰の場合より低かった.

それぞれの複合剤による淘汰では, 中間と高活性のエステラーゼ泳動帯をもつ個体が出現した. しかしマラソンあるいはフェニトロチオンによる淘汰に比べて, それらの個体の出現時期はおそく, 淘汰世代が進むにつれて増加する程度は低かった. このような諸結果から, MN 剤, MT 剤と FNMe 剤の使用は, マラソンと NAC との1世代交互使用と同等かそれ以上に, ヒメトビウンカにおける薬剤抵抗性の発達を抑制する効果が期待できると考える.

害虫における薬剤抵抗性の発達を回避または抑制するには, 防除に導入する殺虫剤を極力少なくさせることが最も有効な処置であると考えられる. しかしながら農薬以外に, 効率のよい防除手段をもたない現状では, 防除剤を大巾に軽減させることは非常にむづかしいことであるので, 当分の間は, 害虫防除は各種の殺虫剤に大きく依存しなければならないことを念頭におき, 薬剤抵抗性対策を検討する必要がある.

害虫における薬剤抵抗性の発達を抑制するために, 作用性のそれぞれ異なる2種以上の殺虫剤の交互あるいは混合使用が効果的であるといわれているが, しかしそのような殺虫剤の使用がどのようなしくみで抵抗

性の発達を抑制するのか, または抵抗性発達の抑制効果はどのような殺虫剤の組合せで高く現われ, その場合の効果はどの程度のものが期待できるのか, あるいはまたそれによって害虫が複合抵抗性を生じ, その後の対策をより困難にするのでないかといった諸点は明らかにされていない.

大熊・尾崎³⁾ および尾崎ら⁴⁾ は有機リン系とカーバメイト系の各殺虫剤によるヒメトビウンカの淘汰実験を実施し, 抵抗性発達の程度は殺虫剤間で顕著に異なり, それぞれの淘汰系統では, 生化学的形質の変化を異にすることを明らかにしているが, 2種以上殺虫剤の交互または混合使用による抵抗性発達の抑制のしくみとか, それによってもたらされる成果と弊害を解明するため, それらの結果を参考にして供試薬剤を選び,

* 現在, 科研化学株式会社, 東京都文京区本駒込
2-28-8

感受性ヒメトビウンカに対する2種以上殺虫剤の交互あるいは混合淘汰の実験を実施し、既報の諸結果をも含めて、淘汰の条件と抵抗性の発達との関係を検討した。ここにその結果を報告する。

材料および方法

この実験にはマラソン (96.3%), フェニトロチオン (96.1%), NAC (99.0%) と MTMC (97.0%) の原体とメソミル (70%) 水和剤の5種殺虫剤を供試した。淘汰に供したヒメトビウンカは薬剤感受性の LE 系統で、幼虫の4~5令期に淘汰した。淘汰の方法、毎世代の供試個体数と淘汰圧ならびにヒメトビウンカの飼育方法は尾崎ら⁹⁾と全く同様とした。

交互淘汰にはマラソンと NAC を用いたが、最初の淘汰はマラソンで出発し、その後 NAC とマラソンで1世代交互に淘汰した。同時淘汰にもマラソンと NAC を用いたが、この場合には、まず親系統の供試虫を2分し、それぞれをほぼ同程度の殺虫率でマラソンと NAC にて別個に淘汰し、生存幼虫を同数宛同じ飼育容器に入れ、羽化成虫を任意に交配させて飼育増殖した。次世代以後も、同様操作を繰返して淘汰した。混合淘汰はマラソンと NAC (MN 剤)、マラソンと MTMC (MT 剤) とフェニトロチオン、NAC とメソミル (FNMe 剤) の3種類の複合剤を作り、これらで毎世代淘汰した。なおそれぞれの殺虫剤の混合比は1:1または1:1:1とした。

上記したそれぞれの条件での淘汰系統については、任意の世代に淘汰に用いた薬剤と混合した各単剤に対する致死薬量を残留面接触法で検定するとともに、 β -naphthyl acetate を加水分解するエステラーゼの泳動帯を薄層電気泳動法で分離し、各泳動帯の活性を調べたが、致死薬量の検定は葛西・尾崎⁹⁾、エステラーゼの薄層電気泳動とそれぞれの泳動帯の活性の測定は Ozaki and Kassai¹⁰⁾ と同一方法によった。

結 果

交互淘汰: この実験はマラソンと NAC のそれぞれについて6回宛、計12世代の淘汰で打切ったが、任意の世代にマラソンと NAC に対する致死薬量を検定した結果は第1表のとおりである。

これによると、マラソンと NAC でそれぞれ2回淘汰した F_4 に、マラソンに対する感受性の標準偏差 (1/b) が顕著に増大したが、この時点ではマラソンに対する LD_{50} の変化はみられなかった。しかし F_7 以後には、淘汰世代が進むにつれて、 LD_{50} は高くなり、マラソンによる最終淘汰の F_{11} の LD_{50} は親系統の約6倍に達した。なお F_{12} にはマラソンによる淘汰は実施しなかったが、 LD_{50} は前世代の約2倍、親系統の

Table 1. Changes in susceptibility to malathion and NAC of smaller brown planthopper during selection with malathion and NAC on alternate generations.

Generation selected (With malathion/ With NAC)	Malathion		NAC	
	1/b	LD_{50} *	1/b	LD_{50}
LE strain	0.26	0.242	0.20	0.264
2 (1/1)	0.12	0.240	0.16	0.225
4 (2/2)	1.00	0.206	0.30	0.390
7 (4/3)	0.93	0.656	0.32	0.164
8 (4/4)	0.49	0.757		
9 (5/4)	0.75	0.993	0.62	0.123
11 (6/5)	0.73	1.38		
12 (6/6)	0.53	2.72	0.29	0.283

* LD_{50} in μ g per tube (1.1×10.4 cm)

約11倍にまで増大した。一方 NAC に対する感受性は世代間で多少の変化が認められたが、 F_7 と F_9 には親系統におけるより逆に多少高く、淘汰の最終世代の LD_{50} は親系統と同程度であった。

Table 2. Changes in percentage frequency of individuals with low, middle and high activity of E_7 band during selection with malathion and NAC on alternate generations.

Generation selected (With malathion/ With NAC)	Esterase activity		
	Low	Middle	High
LE strain	100		
1 (1/0)	100		
3 (2/1)	90	5	5
4 (2/2)	95	0	5
5 (3/2)	80	10	10
7 (4/3)	40	20	40
8 (4/4)	30	30	40
9 (5/4)	10	60	30
10 (5/5)	20	40	40
12 (6/6)	20	50	30

第2表は任意の世代における成虫のエステラーゼを薄層電気泳動法で分離し、各泳動帯の活性を測定した結果であるが、これによると、マラソンによる2回淘汰の F_3 には中間または高活性の E_7 泳動帯をもつ個体が出現し、 F_7 にはそれらの個体が急激に増加した。その後 F_9 まで中間と高活性の E_7 泳動帯をもつ個体は増加し、最終淘汰の F_{12} にはそれらの個体の合計頻度は80%に達した。

同時淘汰: 第3表は、ほぼ同程度の殺虫率でマラソンと NAC にて別個に淘汰し、生存幼虫を同数宛同じ飼育容器に入れ、羽化成虫を任意交配させる方法で毎

Table 3. Changes of susceptibility to malathion and NAC of smaller brown planthopper during synchronous selection* with malathion and NAC.

Generation selected	Malathion		NAC	
	1/b	LD ₅₀ **	1/b	LD ₅₀
LE strain	0.26	0.242	0.20	0.264
2	0.61	0.210		
3	0.46	0.449	0.26	0.153
4	0.41	0.401		
6	0.88	0.454		
8	0.74	0.953	0.28	0.176
9	0.80	0.678		
10	0.69	1.19	0.47	0.238
11	0.59	1.27		
12	0.69	3.55	0.39	0.247

* The planthopper larvae were selected at 70~75% mortality with malathion and NAC respectively. Each ten larvae survived in the respective selection was placed in a glass vessel containing rice seedlings, and allowed to copulate freely.

** LD₅₀ in μg per tube ($1.1 \times 10.4 \text{ cm}$).

世代淘汰した場合のマラソンまたはNACに対する感受性の変化状況であるが、この場合も、NACに対するLD₅₀は淘汰の途中で大きな変化がみられず、最終淘汰のF₁₂においても親系統と同等であった。

しかしマラソンには、F₂に感受性の標準偏差の増大がみられ、F₃にはLD₅₀が親系統より高くなった。その後F₆までLD₅₀の変化はみられなかったが、F₈には再び高くなり、以後淘汰世代が進むにつれてじょじょに増大し、最終淘汰のF₁₂には親系統の約15倍にまで達した。

第4表はそれぞれの世代における成虫のエステラー

Table 4. Changes in percentage frequency of individuals with low, middle and high activity of E₇ band during synchronous selection with malathion and NAC.

Generation selected	Esterase activity		
	Low	Middle	High
LE strain	100		
2	85	10	5
3	90	5	5
4	100		
5	85	10	5
6	70	20	10
9	40	40	20
12	13	50	37

ゼ泳動帯の活性を調べた結果であるが、F₂には早くも中間または高活性のE₇泳動帯をもつ個体が出現した。しかしそれらの個体はF₃とF₄において逆に減少し、F₆までは、実質的な増加はみられなかった。F₈には中間と高活性のE₇泳動帯をもつ個体が再び増加する傾向を示し、以後淘汰世代が進むにつれて順次多くなり、最終淘汰のF₁₂にはそれらの個体の合計頻度は90%近くまで達した。

なおこの場合のマラソン抵抗性の発達程度と高活性のE₇泳動帯をもつ個体の出現状況はマラソンとNACによる1世代交互淘汰のそれらと比較的よく似ていた。

混合淘汰：第1、2と3図および第5表はMN剤、MT剤とFNMe剤、ならびにこれらの複合剤に混用した各単剤の感受性系統に対する対数葉量-プロビット死虫率回帰直線とLD₅₀値であるが、MN剤の殺虫力は混用した各単剤のそれより劣った。これはマラソンとNACとは感受性系統に負の連合作用を示すためでないかと思われる。MT剤の対数葉量-プロビット死虫率回帰直線は、低葉量で殺虫力の高いMTMC側に、高葉量でその低いマラソン側に傾斜して、混用した2種殺虫剤の中間に位置し、LD₅₀もほぼ中間の値を示したが、これは、マラソンとMTMCの間には、感受性系統に相乗効果をもたらさないことを示している。FNMe剤の対数葉量-プロビット死虫率回帰直線は混用した殺虫剤のうちで殺虫力の最も高いフェニトロチオンのそれに近く位置しており、LD₅₀はフェニトロチオンよりわずかに高い程度であった。この複合剤

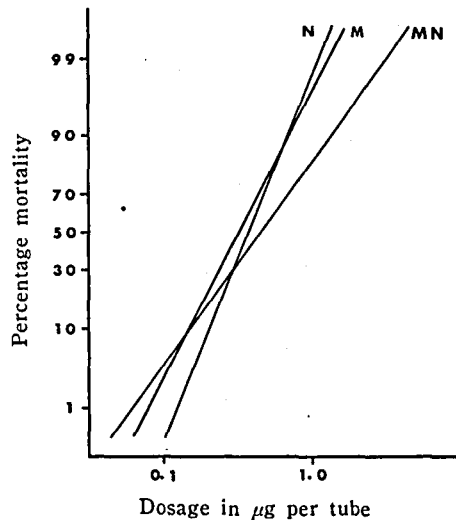


Fig. 1. Log dosage-probit mortality lines of MN, malathion and NAC to susceptible (LE) strain of smaller brown planthopper.

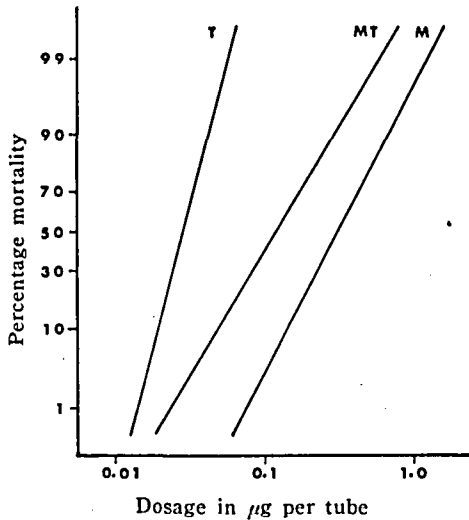


Fig. 2. Log dosage-probit mortality lines of MT, malathion and MTMC to susceptible (LE) strain of smaller brown planthopper.

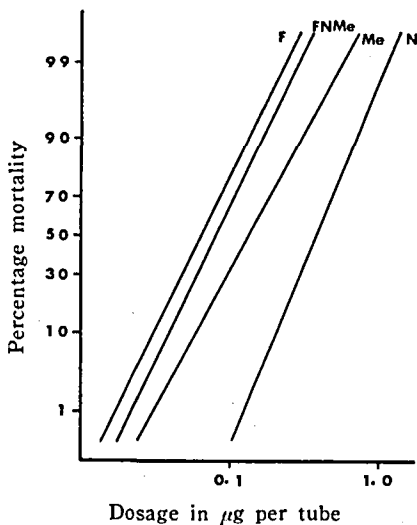


Fig. 3. Log dosage-probit mortality lines of FNMe, fenitrothion, NAC and methomyl to susceptible (LE) strain of smaller brown planthopper.

の連合作用の有意性を Finney の similar action の方法で検定したが、感受性系統には相乗効果のあることが明らかにされた。

以上のような3種類の複合剤で、ヒメトビウンカの感受性系統を連続して淘汰し、任意の世代に淘汰に用いた複合剤とそれぞれの複合剤に混用した各単剤に対する感受性を検定した結果は第6、7と8表のとおり

Table 5. Toxicity of various insecticides to susceptible (LE) strain of smaller brown planthopper.

Insecticide	1/b	LD ₅₀ (µg/tube)
Malathion	0.27	0.322
NAC	0.21	0.379
MTMC	0.13	0.029
Fenitrothion	0.24	0.064
Methomyl	0.27	0.136
MN (malathion : NAC)	0.37	0.467
MT (malathion : MTMC)	0.30	0.124
FNMe (fenitrothion : NAC : methomyl)	0.24	0.081

であり、成虫のエステラーゼ泳動帯の活性を調べた結果は第9表のとおりである。

第6表によると、MN 剤による淘汰では、MN 剤に対する感受性は F₀ まで変化しなかった。F₁₂ には、感受性の標準偏差が大きくなるとともに、LD₅₀ も多少増大したが、これらの値は、最終淘汰の F₂₁ には親系統よりむしろ低かった。また NAC に対する LD₅₀ は F₁₅ に多少増大したが、F₂₁ には親系統のそれと同等であった。なお最終淘汰の F₂₁ における MN 剤の LD₅₀ は NAC のそれとほぼ同等であった。

一方マラソンに対する LD₅₀ は F₁₅ において多少高

Table 6. Changes in susceptibility to MN, malathion and NAC of smaller brown planthopper during selection with MN (malathion : NAC mixture).

Generation selected	MN		Malathion		NAC	
	1/b	LD ₅₀ *	1/b	LD ₅₀	1/b	LD ₅₀
9	0.39	0.346				
12	0.51	0.740				
15	0.48	0.726	0.39	0.610	0.46	0.419
21	0.26	0.382	0.64	4.11	0.36	0.333

* LD₅₀ in µg per tube (1.1×10.4 cm)

Table 7. Changes in susceptibility to MT, malathion and MTMC of smaller brown planthopper during selection with MT (malathion : MTMC mixture).

Generation selected	MT		Malathion		MTMC	
	1/b	LD ₅₀ *	1/b	LD ₅₀	1/b	LD ₅₀
8	0.47	0.387				
18	0.24	0.133			0.30	0.067
23	0.27	0.117	0.38	15.96	0.29	0.132

* LD₅₀ in µg per tube (1.1×10.4 cm)

Table 8. Changes in susceptibility to FNMe, fenitrothion, NAC and methomyl of smaller brown planthopper during selection with FNMe (fenitrothion : NAC : methomyl mixture).

Generation selected	FNMe		Fenitrothion		NAC		Methomyl	
	1/b	LD ₅₀ *	1/b	LD ₅₀	1/b	LD ₅₀	1/b	LD ₅₀
8	0.22	0.055						
11	0.35	0.182						
20	0.44	0.203						
21	0.42	0.210	0.44	0.112	0.34	0.244	0.46	0.228
23	0.31	0.162	0.26	0.241	0.32	0.212	0.37	0.537

* LD₅₀ in μg per tube ($1.1 \times 10.4 \text{ cm}$)

Table 9. Changes in percentage frequency of individuals with low, middle and high activity of the esterase bands during selection with MN, MT and FNMe.

Generation selected	MN					MT			FNMe						
	L/L*	L/M	L/H	M/L	H/L	L/L	L/M	L/H	L/L	L/M	L/H	M/L	H/L	M/M	H/H
LE strain	100														
1	100								100						
2	98	2				100									
3	100														
4	100					73	20	7							
5	100								100						
6						65	22	13							
7						21	10	69	100						
8	98	2				22	53	25	100						
9	100						70	30	100						
10	87	10	3						75	5	20				
11						5	65	30							
13	90	8	2												
14									60	5	5	20	10		
18							40	60	33	29	19	9		5	5
20							60	40							
21	35	30	15	15	5				60	10	5	10	15		
23									50	13	3	8	23		3

*E₆ band/E₇ band, L: Low activity, M: Middle activity, H: High activity.

くなり、F₂₁には親系統の約13倍にまで達した。マラソンの致死葉量はF₁₅とF₂₁についてのみしか検定しなかったもので、淘汰の世代とマラソン抵抗性の発達との関係はくわしく解明できなかったが、致死葉量の検定結果と後述する高活性のエステラーゼ泳動帯をもつ個体の増加状況からみて、マラソン抵抗性の発達はF₁₅までは比較的緩慢であるが、その後大きく発達する時期があったと解せられる。

第9表によると、MN剤による淘汰では、F₂とF₈に中間活性のE₇泳動帯をもつ個体が見られたが、F₃、F₄、F₅とF₉の各世代には中間または高活性のエステラーゼ泳動帯をもつ個体はみられなかった。しかし

F₁₀には、中間と高活性のE₇泳動帯をもつ個体がそれぞれ10%と3%みられ、F₁₃にそれらの個体は多少減少したが、最終淘汰のF₂₁には著しく増加した。

なおF₂₁にはE₇泳動帯の外に、E₆泳動帯の中間または高活性の個体がそれぞれ15%と5%みられた。しかしF₁₃からこの世代までの途中で、エステラーゼ泳動帯を薄層電気泳動法で分離しなかったもので、中間または高活性のE₆泳動帯をもつ個体がどの世代から出現したか明らかでない。

MN剤による淘汰でも、混用したマラソンには抵抗性を発達し、高活性のエステラーゼ泳動帯をもつ個体は淘汰世代が進むにつれて増加した。しかしマラソ

ンと NAC との 1 世代交互淘汰では、 F_{12} にマラソン抵抗性が約 11 倍に増大し、高活性の E_7 泳動帯をもつ個体は、 F_7 を境にして急増し、 F_{12} には中間と高活性の E_7 泳動帯をもつ個体の合計頻度が 80% にも達したのに比べて、マラソン抵抗性の発達程度は低く、高活性のエステラーゼ泳動帯をもつ個体の増加する時期は著しくおそかった。

MT 剤による淘汰では、第 7 表にみられるように、MT 剤に対する LD_{50} は F_8 に少し高くなった。しかしその後には逆に低下し、最終淘汰の F_{23} には親系統と全く同等であり、混用した各単剤のそれより低かった。

一方 MTMC に対する LD_{50} は F_{18} に多少増大し、 F_{23} には更に高くなって、親系統の約 4.5 倍に達した。マラソンに対する致死薬量は最終淘汰の F_{23} のみについてしか検定しなかったが、この世代の LD_{50} は親系統の約 50 倍にも達した。

MT 剤による淘汰の場合、中間または高活性のエステラーゼ泳動帯をもつ個体の出現時期は著しく早く、 F_4 にはすでに中間と高活性の E_7 泳動帯をもつ個体がそれぞれ 20% と 7% みられた。そしてそれらの個体は淘汰世代が進むにつれて急速に増加し、 F_8 には供試個体のすべてが中間と高活性の E_7 泳動帯をもつようになった。なお MT 剤による淘汰では、MN 剤による淘汰のように、 E_8 泳動帯が中間もしくは高活性の個体は出現しなかった。

この複合剤による淘汰の場合も、淘汰世代とマラソン抵抗性の発達との関係は明確にできなかったが、高活性の E_7 泳動帯をもつ個体の増加状況から類推すると、マラソン抵抗性はかなり急速に発達したように思われる。

FNMe 剤で感受性系統を連続して淘汰した場合、第 8 表にみられるように、この複合剤に対する LD_{50} は F_8 まで増大しなかった。しかし F_{11} の LD_{50} は親系統の約 2 倍になり、 F_{21} には 2.6 倍に達した。ただ最終淘汰の F_{23} には、 LD_{50} は逆に F_{11} におけると同等の値まで低下した。混用したフェニトロチオン、NAC とメソミルに対する致死薬量は後期世代についてしか検定しなかったが、フェニトロチオンとメソミルに対する LD_{50} は F_{21} に親系統の約 2 倍になり、最終淘汰の F_{23} にはそれぞれ約 3 倍と約 4 倍に達した。しかし NAC に対する感受性は F_{23} までに低下しなかった。

なお最終淘汰の F_{23} の FNMe 剤に対する LD_{50} は、親系統におけるより増大したが、混用したいずれの殺虫剤に対する LD_{50} より低かった。このことは、この複合剤の感受性系統に対してみられた作用特性、すなわち混用した各単剤の連合作用は連用しても消失する

どころか、逆に強まることを明らかにするものである。

FNMe 剤による淘汰では、第 9 表にみられるように、 F_8 までにエステラーゼ泳動帯が中間もしくは高活性の個体は出現しなかった。しかし F_{10} には中間と高活性の E_7 泳動帯をもつ個体が出現し、 F_{14} には E_8 泳動帯が中間と高活性の個体も出現した。 E_8 および E_7 泳動帯が中間または高活性の個体はその後の淘汰で増加し、 F_{18} にはそれらの個体の合計頻度は 67% にまで達した。しかし最終淘汰の F_{23} には逆に低下し、合計頻度は 50% に止まった。

考 察

ヒメトビウカはマラソンあるいはフェニトロチオンによる淘汰で容易に抵抗性を発達し、両殺虫剤に対する抵抗性の増大に比例して、高活性の E_7 泳動帯をもつ個体が増加する。しかしこれらの淘汰系統はカーバメイト系の各種殺虫剤に交差抵抗性を示さない。一方カーバメイト系の NAC による淘汰では、抵抗性は発達しないが、PHC、MTMC とメソミルによる淘汰では低レベルの抵抗性を発達し、MTMC による淘汰系統はマラソンにも抵抗性を示す。また NAC とメソミルによる淘汰では、エステラーゼの高活性泳動帯をもつ個体は出現しないが、PHC と MTMC による淘汰では、高活性の E_7 あるいは E_8 泳動帯をもつ個体が出現する。ただしこれらの場合には、中間と高活性泳動帯をもつ個体の合計頻度は 50~60% 以上に増加していくといった諸点が明らかにされている^{3,5,6)}。

ヒメトビウカが抵抗性を発達しやすいマラソンと、逆にそのみられない NAC との 1 世代交互淘汰では、マラソン抵抗性は発達するが、NAC には抵抗性を発達しないといったように、それぞれの単剤による淘汰と同様な結果が得られた。しかしマラソンによる淘汰では、 F_8 にすでに約 3 倍、 F_{12} に約 40 倍の抵抗性を示すが、この場合には F_7 に約 3 倍、 F_{12} に約 11 倍の抵抗性を示すに止まった。このことは 2 種殺虫剤の交互使用は抵抗性の発達速度をおくらす効果のあることを明らかにするものである。

しかしながらマラソンによる連続淘汰では、 F_8 でも抵抗性レベルは約 8 倍であったことからみると³⁾、1 世代交互淘汰の場合マラソンに接触した世代数の割に、抵抗性の発達程度は大きいといえる。 F_8 とか F_{12} のように、NAC による淘汰世代でも、マラソンに対する LD_{50} はそれぞれの前世代より高く、またマラソン抵抗性と密接な関係にあるエステラーゼの E_7 泳動帯の中間と高活性個体が、 F_8 には前世代より多くなり、マラソンに接触しなかったその他の世代にも、これらの個体は顕著に減少しなかったことからみて、これは NAC による淘汰でもマラソンに対する抵抗性レ

ベルが増大する方向に作用したためでないかと思われる。最終淘汰世代の NAC に対する感受性は親世代と全く変わらなかったで、その場合、NAC の殺虫作用がマラソン抵抗性個体より感受性個体に高く現われたとは解せられないが、このことは、2 種殺虫剤の交互使用を奨める上で留意しなければならないと考える。

マラソンと NAC または MTMC を 1:1 の割合で混合した MN 剤と MT 剤で感受性系統を 21 あるいは 23 世代に亘って連続淘汰した結果、MN 剤と NAC および MT 剤には感受性を低下しない、両複合剤に混用したマラソンには抵抗性を発達し、MT 剤に混用した MTMC には感受性を低下する。マラソン抵抗性と密接な関係にあるエステラーゼの高活性泳動帯をもつ個体は淘汰世代が進むにつれて増加するといった諸点が判明したが、マラソンによる淘汰の場合には F_{12} に約 40 倍、 F_{24} に約 250 倍の抵抗性を発達したのと比べて⁹⁾、MN 剤と MT 剤による淘汰でマラソン抵抗性が発達する程度は著しく低く、MTMC による連続淘汰の場合、 F_{12} には 6 倍の抵抗性を発達したのと比べて⁹⁾、MT 剤による淘汰で MTMC に対する感受性が低下する程度は低かった。したがってヒメトビウンカにおける薬剤抵抗性発達の抑制策として MN 剤とか MT 剤のような複合剤の使用は極めて有効であると考えられる。

このように、MN 剤と MT 剤はヒメトビウンカにおける薬剤抵抗性の発達を抑制できることが判明したが、この実験の諸結果から推測すると、この場合の大半の原因は各世代に加えられる混用殺虫剤のそれぞれの作用力が大巾に軽減されていることにあつたと思う。

しかしほぼ同程度の殺虫率にてマラソンと NAC で別々に淘汰し、生存幼虫を同数宛同じ飼育容器に入れ、羽化成虫を任意に交配させる方法で淘汰した場合（同時淘汰）には、マラソンの作用力を MN 剤とほぼ同等に低下させていたにもかかわらず、マラソン抵抗性の発達は比較的早く、 F_{12} には約 15 倍の抵抗性を示したが、この抵抗性レベルは MN 剤で 21 世代淘汰した時以上のものである。したがって複合剤による淘汰で抵抗性の発達が抑制されたことを、単に毎世代のマラソンの作用力が低かったということのみで説明できないようである。

マラソンと NAC の同時淘汰では、 F_2 に中間と高活性の E_7 泳動帯をもつ個体が出現し、 F_5 以後には、淘汰世代が進むにつれて、それらの個体の合計頻度は急速に増加したが、MN 剤による淘汰では、 F_2 に中間活性の E_7 泳動帯をもつ個体がわずかに出現したとはいえ、 F_5 までは中間と高活性のエステラーゼ泳動帯をもつ個体は全く増加しなかった。このような結果から考えると、MN 剤による淘汰でマラソン抵抗性が発

達しにくかったのは、この複合剤には淘汰の初期の段階で、マラソンに対する抵抗性因子の出現を抑える作用があつたためでないかと思われる。

MN 剤と MT 剤による淘汰の場合、マラソンには抵抗性を発達したにもかかわらず、複合剤自体に対する感受性は低下しなかった。これは、混用した各単剤間で、マラソン抵抗性のヒメトビウンカに対する連合作用が現われたためではないかと思う。それぞれの複合剤のマラソン抵抗性ヒメトビウンカに対する連合作用の有意性は、高レベルに発達した抵抗性系統を供試し、あらためて検討するつもりであるが、このようなことが、MN 剤と MT 剤による淘汰で薬剤抵抗性が発達しにくかったことに大きく影響していると思われる。

MT 剤による淘汰の場合、マラソン抵抗性の発達程度は MN 剤によるそれより著しく高かった。また中間と高活性のエステラーゼ泳動帯をもつ個体が比較的初期の世代に高頻度で出現し、それらの個体の増加速度も早かった。これは MTMC による淘汰で、高活性のエステラーゼ泳動帯をもつ個体が出現し、 F_{12} にはマラソンに 7.6 倍の抵抗性を示すことが明らかにされていることから⁹⁾、MT 剤による淘汰の場合には、MTMC がマラソン抵抗性因子を相加的に淘汰する結果になり、マラソン抵抗性の発達が大きくなったものと考えられるが、このことは、殺虫剤相互間に殺虫作用とかそれぞれの連用で淘汰する抵抗性因子に共通なものがあると、2 種殺虫剤の混合使用でも、薬剤抵抗性の発達を抑制する効果が期待するほど高くない場合のあることを暗示している。したがってこの実験の結果から、2 種類の病害虫の同時防除剤としての混合剤あるいは 1 種類の害虫の防除剤としての複合剤の開発に際しては、混用する薬剤は慎重に選択しなければならないといえる。

FNMe 剤は、混用した各単剤の間で、感受性系統に対する連合作用が認められたが、この複合剤による 23 世代間の淘汰では、FNMe、ならびに NAC 以外の各単剤に対する感受性は低下した。しかしそれぞれの薬剤に対する感受性の低下は、 LD_{50} が 2~4 倍増大した程度に止まっており、フェニトロチオンによる淘汰で、 F_{11} に約 50 倍、 F_{24} に約 60 倍のフェニトロチオン抵抗性を発達したのと比べて著しく低く⁹⁾、メソミルによる淘汰に比べて、メソミル感受性の低下程度は低かった⁹⁾。そしてまた MN 剤あるいは MT 剤による淘汰で発達したマラソン抵抗性の程度に比べて、フェニトロチオンに対する感受性の低下は著しく低いものであった。これは、2 種の殺虫剤を混用した場合より毎世代加えられた各単剤の作用が低かったことに基づくものと考えられるが、それに加えて、この複合剤の場合、

混用した各単剤の間で、感受性系統に対する相乗効果がみられ、さらにこのような特性はこの複合剤の連用によっても消失しないばかりでなく、逆に強まってくるので、混用殺虫剤の連合作用が、毎世代、各単剤の作用に優先したことも大きく影響しているように思う。したがって対象害虫に対して、混用した各単剤以上の効力をもつような複合剤は、薬剤抵抗性の発達の抑制効果が顕著であるといえるので、このような特性をもつ複合剤は今後積極的に探索する必要があると考える。

なお FNMe 剤による淘汰では、混用したそれぞれの単剤に対する感受性の低下に平行して、この複合剤の殺虫力の低下がみられた。しかしその程度は極めて低かったので、このことがヒメトビウンカにおける薬剤抵抗性発達の抑制策としてのこの複合剤の価値を大きくそこなうものではない。

MN 剤、MT 剤と FNMe 剤は、2 種の殺虫剤の交互使用と同等かそれ以上に、ヒメトビウンカにおける薬剤抵抗性の発達を抑制する効果のあることが明らかにされた。このような現象が他のウンカ類あるいはツマグロヨコバイにおいても同様みられるか否かは今後検討して明らかにしたいと思っているが、複合剤の使用が害虫の薬剤抵抗性問題に対する万全の策でないことは、この実験の結果から明らかである。同じ複合剤の連用はいづれ抵抗性の発達を招くといわざるを得ない。したがって複合剤による害虫防除の場合でも特定のものに偏った使用は厳に慎むべきであると考えられる。

摘 要

ヒメトビウンカの感受性 (LE) 系統を 2 種以上の殺虫剤で交互あるいは混合淘汰し、淘汰の条件と抵抗性の発達ならびに β -naphthyl acetate を加水分解するエステラーゼの高活性泳動帯をもつ個体の出現との関係を検討し、次のような結果が得られた。

1) マラソンと NAC との 1 世代交互淘汰は、それぞれの殺虫剤で 6 回宛、計 12 世代に亘って実施した。最終淘汰の世代までに、NAC に対する LD_{50} は顕著に変化しなかったが、マラソンには約 11 倍の抵抗性を発達し、中間と高活性のエステラーゼ泳動帯をもつ個体の合計頻度は 80% に達した。しかしながらマラソンによる連続淘汰に比べて、マラソン抵抗性の発達程度は低く、高活性のエステラーゼ泳動帯をもつ個体の出現時期はおそかった。

2) ほぼ同等の殺虫率でマラソンと NAC によりそれぞれ別個に淘汰し、生存幼虫を同数宛同じ飼育容器に入れ、羽化成虫を任意交配させる方法で毎世代淘汰した場合も、最終淘汰の F_{12} までに、NAC に対する LD_{50} は顕著に変化しなかった。しかしマラソンには約 15 倍の抵抗性を発達し、中間と高活性のエステラーゼ

泳動帯をもつ個体の合計頻度は 90% 近くまでに達した。

3) MN 剤 (マラソン : NAC, 1 : 1) の感受性系統に対する殺虫力は混用した各単剤のそれより低かった。この複合剤で 21 世代連続して淘汰すると、MN 剤自体と NAC の LD_{50} は顕著に変化しなかった。一方マラソンには約 13 倍の抵抗性を発達し、中間と高活性のエステラーゼ泳動帯をもつ個体の合計頻度は 65% に達した。しかしながらマラソンと NAC との 1 世代交互淘汰に比べて、マラソン抵抗性の発達程度は低く、高活性のエステラーゼ泳動帯をもつ個体の出現時期は著しくおそかった。

4) MT 剤 (マラソン : MTMC, 1 : 1) の感受性系統に対する殺虫力は混用した 2 種殺虫剤の中間であった。この複合剤による淘汰では、最終淘汰の F_{23} までに、MT 剤には感受性を低下しなかった。しかし MTMC に対する感受性は低下し、マラソンには約 50 倍の抵抗性を発達した。

また F_9 には、早くもすべての個体が中間と高活性のエステラーゼ泳動帯をもつようになった。MT 剤による淘汰は、MN 剤によるそれに比べて、マラソン抵抗性の発達程度が高かったが、マラソンによる淘汰の場合より低かった。また MTMC に対する感受性の低下程度は MTMC による淘汰の場合より低かった。

5) FNMe 剤 (フェニトロチオン : NAC : メソミル ; 1 : 1 : 1) は、混用した 3 種殺虫剤の間で感受性系統に対する相乗効果が認められた。この複合剤による淘汰では、最終淘汰の F_{23} までに、NAC に対する LD_{50} は顕著に変化しなかったが、FNMe 剤およびフェニトロチオンとメソミルには感受性を低下した。しかし FNMe 剤には LD_{50} が 2 倍増大したに止まっており、フェニトロチオンとメソミルに対する LD_{50} の増大程度もそれぞれの単剤による淘汰の場合より低かった。なお F_{10} には中間と高活性のエステラーゼ泳動帯をもつ個体が出現したが、最終淘汰の F_{23} におけるそれらの個体の合計頻度は 50% に止まった。なお F_{23} の FNMe 剤に対する LD_{50} は混用したいずれの殺虫剤のそれより低かった。

以上のような諸結果から、マラソンと NAC との 1 世代交互使用はヒメトビウンカにおける抵抗性発達を抑制する効果があり、またマラソンと NAC、マラソンと MTMC あるいはフェニトロチオン、NAC とメソミルを等量混合した複合剤の使用は、マラソンと NAC との 1 世代交互使用と同等かそれ以上に、抵抗性発達の抑制効果が期待できると考える。

文 献

- 1) Finney, D. J.: "Probit analysis," (Ed. D. J. Finney), Cambridge Univ. Press, London,

- p. 318 (1952).
- 2) 葛西辰雄, 尾崎幸三郎: 四国植物防疫研究, 1, 15 (1966).
 - 3) 大熊 衛, 尾崎幸三郎: 四国植物防疫研究, 4, 45 (1969).
 - 4) Ozaki, K. and T. Kassai: *Ent. Exp. App.*, 13, 162 (1970).
 - 5) Ozaki, K. and T. Kassai: *Botyu-Kagaku*, 36, 111 (1971).
 - 6) 尾崎幸三郎, 佐々木善隆, 上田 実: 防虫科学, 38, 216 (1973).

Summary

Susceptible (LE) strain of the smaller brown planthopper, *Laodelphax striatellus* Fallén, was selected alternately with malathion and NAC on every one generations and continuously with one of mixtures of malathion and NAC (MN) or MTMC (MT) and fenitrothion, NAC and methomyl (FNMe) in the mixed ratio of 1:1 or 1:1:1. Fourth and fifth instar larvae were selected at 70-75% mortality. Levels of resistance to various insecticides of the strains selected alternately with malathion and NAC and continuously with the mixtures of two or three insecticides were compared on the basis of LD_{50} values obtained by contact method. Esterases hydrolyzing β -naphthyl acetate in adults of the strains selected were separated by thin layer electrophoresis, and measured by using a densitometer. The results obtained were as follows:

1) The LD_{50} values to NAC did not change significantly during selection for 12 generations with malathion and NAC on the alternate generations. The development of resistance to malathion was not found during the first four generations. Thereafter the resistance to malathion was developed by the successive selection, attained about 11-folds resistance in the F_{12} generation.

Some individuals having high activity of E_7 band appeared early during selection with malathion and NAC on the alternate generations. Progress thereafter caused the increase in the ratio of individuals having high activity of E_7 band. Percentages of individuals with low, middle and high activities of E_7 band in the F_{12} generation were 20, 50 and 30%, respectively. The alternate selection with malathion and NAC

increased the resistance to malathion and the individuals having high activity of E_7 band appeared more slowly than the successive selection with malathion.

2) Toxicity of MN (malathion: NAC mixture) was rather lower than that of both chemicals of malathion and NAC. The LD_{50} values to MN and NAC did not change significantly during selection for 21 generations with MN. The F_{21} generation selected with MN showed about 13-folds resistance to malathion. Few individuals having middle activity of E_7 band appeared early during selection. Individuals having middle and high activities of E_4 band were also found little in the F_{21} generation. Percentages of individuals with low, middle and high activities of the esterase bands in the F_{21} generation were 35, 45 and 20%, respectively. The successive selection with MN increased the resistance to malathion and the individuals having high activity of the esterase bands appeared more slowly than the alternate selection with malathion and NAC.

3) Toxicity of MT (malathion: MTMC mixture) was intermediate between both of malathion and MTMC. The LD_{50} values to MT did not change significantly during selection for 23 generations with MT. While the resistance to malathion and MTMC caused about 50- and 4.5-folds increase, respectively. Degree of the development of resistance to malathion and MTMC was lower in the selection with MT than that in each case of selection with malathion or MTMC. Most individuals showed a middle and high activity of E_7 band in the F_9 generation.

4) FNMe (fenitrothion: NAC: methomyl mixture) showed joint toxic action to the LE strain. Selection for 23 generations with FNMe showed any decreasing of susceptibility to NAC. While smaller increase in tolerance to FNMe, fenitrothion and methomyl was found. Degree of the increase of LD_{50} to fenitrothion and methomyl was lower in the selection with FNMe than that in each case of selection with fenitrothion or methomyl.

Individuals having high activity of E_7 and E_4 bands, respectively, were found little in the F_{10} and F_{14} generations selected with FNMe. Progress thereafter caused the increase in the ratio of

individuals having high activity of the esterase bands. Percentage of individuals with middle and high activities of the esterase bands was only 50% by the selection until 23 generations.

5) From results obtained, the authors consider that the alternate application of malathion and

NAC seems to be possible to prevent the development of resistance of the planthopper, and that an application of the mixtures in equivalent of two or three insecticides, such as malathion and NAC, MTMC and fenitrothion, NAC and methomyl also seems to have the same effect.

Biological Effects of Chemosterilants on the Adults of *Musca domestica nebulosa* Fabr.

Musharraf A. ANSARI* (Zoology Department, Aligarh Muslim University, Aligarh, U. P., India.)

Received July 13, 1973. *Botyu-Kagaku*, 38, 231, 1973.

31. イエバエ *Musca domestica nebulosa* Fabr. 成虫に対する化学不妊剤の生物学的効果

Musharraf A. ANSARI* (Aligarh Muslim 大学 動物学教室) 48. 7. 13 受理

Apholate, tepa, metepa, hempa および hemel の5種の化学不妊剤の生物学的効果が、処理雄と未処理雄、未処理雌と処理雌、処理雄と処理雌それぞれの交配を行なって調べられた。不妊効果は薬剤によって変化するが、一般に雌より雄に対して活性が高い。また雌だけが処理された場合には低濃度ではその他の場合に比べて平均産卵数は減少したが孵化率は高くなった。しかし高濃度では産卵は全く見られなかった。不妊効果は tepa が最も強く、hemel が最も弱いことが認められた。不妊剤の施用量と反比例して雌雄ともに成虫の寿命を短くする効果が現われた。この効果は処理雌、処理雄の交配において顕著であった。

Introduction

Very little is known regarding the deleterious effects of chemosterilants on insect behaviour. Murvosh *et al.* (1964) conducted experiments to determine the effects of aziridine compounds on the longevity of houseflies and found that metepa and apholate substantially shortened the life span of the fly. The longevity of *Popillio japonica* was also reduced when treated with apholate (Ladd, 1966). Workers at Aligarh, observed a considerable reduction in the life span of both sexes of *M. d. nebulosa* when sterilized with apholate or hempa (Raghuwanshi, *et al.*, 1968, Ansari and Khan, 1971). Similar observations have also been recorded by Hafez *et al.* (1969) in the case of *M. d. vicina*. Keeping the view, an attempt has made to observe the effects of apholate, tepa, metepa, hempa and hemel on oviposition and longevity of the housefly, *Musca domestica nebulosa*.

Materials and Methods

The flies used during the present studies were obtained from the normal laboratory stock maintained at a temperature of $28 \pm 1^\circ\text{C}$ and 60 to 70

percent relative humidity. They were reared on cotton pads soaked in diluted milk. The flies readily oviposited on such pads and observations were taken at interval of twenty four hours.

The samples of chemosterilants were obtained through the courtesy of Dr. A. B. Borkovec, in Charge, Pesticide Chemicals Research Branch, USDA, Beltsville, Maryland.

Individual flies were obtained by isolating the pupae in vials over a plug of moist cotton wool. They were sexed on emergence and those belonging to the same sex were kept in cages 3×3 inches constructed of wire frames covered by mosquito netting. Two groups of each sex were formed. One of these was fed on sugar treated with desired concentrations of a chemosterilant for four days after emergence while the other was given untreated sugar. After treatments single pair reciprocal crosses were established between treated and normal males and females and also between treated males and females by placing the adults in small cloth cages. Fifteen pairs of each type were studied for fecundity and fertility. The observations were carried until the adults died. Eggs obtained from each female were counted under black background of moist black cloth piece and percentage

* Present Address: WIIO/ICMR, Research Project, 243 Ring Road, Kilokri, New Delhi-14, India