

단제도태에 의한 배추좀나방(*Plutella xylostella*)의 약제저항성 발달과 교차저항성에 관한 연구

Resistance Development and Cross-Resistance of Diamondback Moth (Lepidoptera: Plutellidae) by Single Selection of Several Insecticides

조영식 · 이승찬

Cho, Y. S. and S. C. Lee

ABSTRACT These studies were conducted to investigate the development of chemical resistance and cross-resistance in diamondback moth (*Plutella xylostella* L.). The resistance development of diamondback moth greatly varied under single selection of five insecticides. The triflumuron and lambda cyhalothrin strains at 8th selected generation showed 374- and 29.1-fold resistant levels, respectively, as compared with the susceptible strain. However, the *Bacillus thuringiensis*-selected at 8th selected generation exhibited 24.0-fold resistant level, and the prothiophos-selected at 8th generation revealed 14.3-fold resistant level while the cartap hydrochloride-selected at 8th generation showed 9.1-fold resistant level. Prothiophos-selected strain showed low cross-resistance level to cartap hydrochloride, while this strain exhibited no cross-resistance of 1.3 to 2.8-fold to other insecticides. Cartap hydrochloride-selected strain showed 19.9-fold, a high cross-resistance to lambda cyhalothrin, but this strain showed 2.2~3.4 fold, no cross resistance to other insecticide. Lambda cyhalothrin-selected strain exhibited cross-resistance to cartap hydrochloride and prothiophos. Triflumuron-selected strain showed 1.3~4.9 fold, no cross-resistance to other insecticide. The *B. thuringiensis*-selected strain showed no cross-resistance to other insecticides.

KEY WORDS Diamondback moth, chemical resistance, cross-resistance

초 록 화학적 group이 다른 5가지 살충제에 대하여 배추좀나방의 약제저항성 발달과 교차저항성은 다양하게 나타났다. 배추좀나방의 약제저항성 발달은 prothiophos에 대해 4세대 도태하였을 때 51배의 낮은 저항성 수준을 보였으나 8세대 도태하였을 때는 14.3배의 저항성 수준을 보였다. Cartap hydrochloride에 대해서는 4세대 도태시켰을 때 4.2배, 8세대 도태시켰을 때 9.1배로 다른 약제계통에 비해 저항성이 낮게 유발된 반면, triflumuron은 4세대 도태시에는 17.2배, 8세대 도태시켰을 때 374배로 다른 약제에 비하여 높은 저항성 수준을 보였다. Lambda cyhalothrin에 대해서는 4세대 때 4.7배로 낮은 저항성 수준을 보였으나 8세대에서는 29.1배로 높은 저항성 수준을 보였다. *B. thuringiensis*에 대해서는 4세대 때 4.3배로 낮은 수준의 저항성 수준을 보였으나, 8세대에서는 24.0배의 높은 저항성 수준을 보였다. 따라서 약종이나 약제의 특성에 따라 저항성 발달속도나 양상이 달리 나타났다. 배추좀나방에 대해 prothiophos로 누대 선발한 것의 교차저항성은 cartap hydrochloride가 5.5배로 낮은 수준의 교차저항성을 보였고, BT제, triflumuron, lambda cyhalothrin에 대해서는 각각 2.8, 2.3, 1.3배로 비교교차저항성을 보였다. Cartap hydrochloride 도태 계통은 lambda cyhalothrin에 대해서는 19.9배의 높은 수준의 교차저항성을 보였으나, 다른 계통의 약제에 대해서는 2.2~3.4배로 비교교차저항성을 보였다. Triflumuron 도태개체군은 다른 계통의 약제에 대하여 1.3~4.9배로 낮은 교차저항성을 보였다. Lambda cyhalothrin 도태개체군은 cartap hydrochloride에 대해서 9.1의 교차저항성 수준을 보였고, prothiophos에 대해서는 5.2배의 낮은 교차저항성을 보였고, 다른 계통의 약제에 대해서는 2.5~2.6배로 비교교차저항성을 보였다. BT제로 도태한 개체군은 BT제에 대해서는 24배로 높은 저항성을 보였지만, 다른 계통의 약제에서는 1.1~2.0배로 비교교차저항성을 보였다.

검색어 배추좀나방, 약제저항성, 교차저항성

배추좀나방(*Plutella xylostella* L.)에 대한 살충제 저항성은 1953년 Ankersmit가 DDT에 대하여 최초로 보고하였고, 이어서 유기인계(Sun et al. 1978, Miyata et al. 1982, Noppun et al. 1984), 카바메이트계(Sun et al. 1978, Noppun et al. 1983, 1984), 합성페레스로이드(Liu et al. 1982, 1983; Hama 1987) 등 대부분의 살충제와 teflubenzuron 및 chlorfluazuron과 같은 IGR계통(Perng & Sun 1987, Perng et al. 1988)에 대한 저항성이 보고되었고, 미생물농약인 BT제에 대해서도 저항성 유발이 보고된 바 있어, 본 해충 방제문제가 날로 심각해지고 있는 실정이다(Tabashnik et al. 1990, 1991). 또한, 배추좀나방의 고전합성살충제와 IGR계인 benzoylphenylureas와의 교차저항성을 조사보고(Perng & Sun 1987) 하였고, Fahmy 등(1991)은 IGR계인 chlordluazuron으로 선발한 개체군에 대해 fenvalerate 등의 약제와 교차저항성을 보고하였다. Chen과 Sun(1986)은 합성pyrethroid계인 fenvalerate로 선발된 개체군으로 다른 pyrethroid계와 유기인계 약제들에 대한 교차저항성을 조사하였으며, Sasaki(1982)는 유기인계 약제 선발계통으로 다른 유기인계와 pyrethroid계 약제에 대한 교차저항성을 조사하였고, carbamate계 도태계통에 대해서도 pyrethroid계 약제에 대해 교차저항성을 보고하였다. 또한 Noppun 등(1987)은 유기인제인 phenthroate 도태계통을 이용해 dichlorvos, prothiophos, cyanophos에 대한 교차저항성을 보고하였고, 두 가지 fenvalerate 도태계통에 대해 유기인계 약제와 cartap에 대한 교차저항성의 유무를 조사하였다(Noppun et al. 1988). 한편 Sasaki(1982)는 dichlorvos, prothiophos, 그리고 cyanophos 도태계통에 대하여 유기인계, 카바메이트계 살충제에 대하여 교차저항성을 조사하였고, Cheng 등(1984)은 mevinphos 도태계통에 대하여 유기인계, cartap, pyrethroid계 살충제에 대하여 교차저항성을 조사하고 하였다. 우리나라에서는 김 등(1990)이 fenvalerate 도태계통에 대해 유기인계 7종, 카바메이트계 4종, pyrethroid계 6종에 대해 교차저항성을 조사하여 보고하였고, 지역별 약제저항성 발달 수준을 조사 보고(이 등 1993)한 바 있을 뿐 이에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

이러한 상황에서 상용약제들의 복합적 저항성 발달의 양상을 이해하고, 이를 약제간의 교차저항성의

유무를 검토하여 효과적인 대체약제를 선발 이용한다는 것은 저항성 해충관리 전략상 대단히 중요하다하겠다. 따라서 본 시험연구는 화학적 계통이 다른 약제들을 감수성 계통에 대하여 누대 도태하여 저항성 발달 수준의 변화와 약제간 교차저항성의 유무와 정도를 구명하여 배추좀나방 약제저항성의 효과적인 관리대책 수립에 기초자료로 활용코자 수행하였다

재료 및 방법

한국화학연구소에서 1992년에 분양받은 배추좀나방 감수성계통을 유체유묘를 이용하여 cage(28.5×25×25.5 cm)를 써워 누대사육하면서 시험에 필요한 공시충을 확보하였다. 실내사육조건은 온도 25±1°C, 광조건 14L:10D로 유지하였다.

배추좀나방의 약제저항성 유발에 공시된 살충제는 시판되는 농약으로 유기인제인 prothiophos, IGR계인 triflumuron, cartap계인 cartap hydrochloride, 합성pyrethroid계인 lambda cyhalothrin, microbial agent인 BT제이고, 교차저항성 검정에는 prothiophos, triflumuron, cartap hydrochloride, lambda cyhalothrin의 technical grade와 BT제를 사용하였다. 이를 약제의 일반명, 화학명, 유효성분 및 상표명은 Table 1과 같다.

살충제 처리방법은 배추좀나방 4령충을 20마리씩 3반복으로 micro applicater(Burkard, 영국)를 이용한 미량국소처리법으로 acetone에 약제를 희석하여 공시충 개체당 0.5 µl를 등면에 처리한 후 직경 5 cm로 자른 양배추잎을 여과지가 깔린 페트리디ッシュ(Φ9×1 cm)에 넣고 여기에 처리한 공시충을 옮긴 후, 이탈을 방지하기 위해 wrap으로 덮어 공기가 통할 수 있도록 바늘 구멍을 뚫어 놓았다. BT제는 Leaf disc법으로 양배추잎을 Φ5 cm로 잘라 희석약액에 일정시간(30 초) 약액에 침적후, 음건하여 Petri dish(Φ9 cm)에 넣고 공시충을 접종하여 같은 방법으로 wrap을 써웠다. 처리된 배추좀나방은 25±1°C, 광조건 14L:10D으로 유지된 곤충 사육실에 24시간 보관 후 사충수를 조사하였고, IGR계인 triflumuron은 72시간 후에 사충수를 조사하였으며, Finney(1963)의 probit 분석법에 의하여 반수치사농도(LC₅₀)를 산출하였다. 저항성 유발은 공시약제의 제제로 감수성계통을 spray법에

Table 1. Insecticides used, their chemical names, active ingredients, and trade names

Chemical group	Common name	Chemical name	% a.i (purity)	Trade name
Organophosphate	Prothiophos	O-2,4-Dichlorophenyl O-ethyl S-propyl phosphoro dithioate	50 EC(90%)	Tokuthion
I.G.R	Triflumuron	2-chloro-N-((4-(trifluoromethoxy)phenyl)amino)carbonyl)benzamide	25 WP(90%)	Alsystin
Cartap	Cartap hydrochloride	S,S'-2-dimethyl aminotrimethylene bis(thiocarbamate)hydrochloride	50 SP(98%)	Padan
Synthetic pyrethroid	Lambda cyhalothrin	(RS)- α -cyano-3-phenoxybenzyl (Z)-(1RS,3RS)-(2-chloro-3,3,3-trifluoropropenyl)-2,2-dimethyl cyclopropane carboxylate	1 EC(80%)	Jureong
Microbial agent	Bacillus thuringiensis (B.T)	<i>Bacillus thuringiensis</i> Berliner variety Kurstaki (Serotype IIIa, IIIb)	16 BIU/ Kg Wp	Thuricide

의해 매 세대마다 70~80% 살충률을 나타내는 농도수준으로 8세대까지 누대도태하였다. 도태시기는 3령기에 도태약량은 매 세대마다 산출한 각각의 LC_{70~80}값으로 하였고, 도태규모는 매 세대 도태시 1000마리 이상으로 하였다. 저항성 발달정도는 전술한 처리에 의해 처리하여 반수치사농도(LC₅₀)를 구하여 감수성계통의 LC₅₀치와 비교하였다.

교차저항성 검정은 각 약제로 누대도태한 개체군을 공시하여 도태에 관여하지 않은 살충제(technical grade)를 미량국소처리법으로 처리하였고, BT제는 leaf disc법으로 처리하여 수행하였다. 이때 처리방법과 분석은 전술한 살충제 처리방법과 동일하게 수행하여 LC₅₀치를 구하여 각 살충제별로 감수성계통의 LC₅₀치와 비교하여 교차저항성 정도를 검토하였다.

결과 및 고찰

유기인계인 prothiophos, cartap계인 cartap hydrochloride, IGR계인 triflumuron, 합성 pyrethroid계인 lambda cyhalothrin, 미생물 농약인 *B. thuringiensis* 등 5종의 살충제를 공시하여 배추 좀나방의 감수성계통을 누대도태하여 저항성발달을 조사한 결과 그들 각각의 LC₅₀치와 희귀방정식은 Table 2에 표시된 바와 같다.

누대도태한 배추 좀나방의 살충제들에 대한 저항성발달 수준을 반수치사농도 LC₅₀치에 의해 비교해

보면 살충제의 화학적 계통과 도태세대간에 차이를 보였다. Prothiophos는 4세대 도태하였을 때 5.1배의 낮은 저항성 수준을 보였으나 8세대 도태하였을 때는 14.3배의 저항성 수준을 보였다. Cheng(1986)은 같은 유기인계인 mevinphos로 20세대를 도태시켰을 때 저항성이 8배정도의 낮은 수준으로 발달하였으며, prothiophos로 14세대를 도태하였을 때 5.56배의 저항성수준을 보인다고 하였고, profenofos는 12세대 도태시켰을 때 31.60배로 같은 유기인계 살충제로 도태해도 약제의 특성에 따라 저항성 발달수준이 다르게 나타난다고 하였으며 profenofos의 경우가 저항성이 빠르게 유발된다고 하였다. 본 실험에서는 8세대 도태에서 14.3배로 저항성이 높게 나타난 것은 도태시 도태압이 높았던 것에 기인한 것으로 사료된다.

Cartap hydrochloride에서는 4세대 도태 시켰을 때 4.2배, 8세대 도태시켰을 때 9.1배로 다른 약제계통에 비해 저항성이 낮게 유발되었는데, Cheng(1986)은 cartap에 대해 12세대 도태 후 저항성이 9.7배로 발달하였다고 하였다. 본 실험에서는 8세대 도태후 9.1배로 저항성 발달속도가 빠르게 나타났는데 이 역시 도태시 도태압이 높았던 것으로 생각된다.

Triflumuron은 4세대 도태시에는 17.3배, 8세대 도태시켰을 때 37.4배로 가장 높은 저항성 수준을 보였다. Fahmy 등(1991)은 benzoylphenylurea(IGR계)인 chlorfluazuron으로 도태한 두 가지 지역별 개체군은 4세대 때 9.8~60배, 8세대 때 57.3~93배,

Table 2. Development of resistance in *P. xylostella* under single selection by several insecticides

Insecticide	No. of generations selected	Equation for probit regression, line(Y)	LC ₅₀ (ppm)	95% CL ¹	RR ²
Prothiophos	8	9.71+3.17x	328.9	± 75.0	14.3
	4	8.67+1.96x	134.7	± 67.3	5.9
	0	12.08+2.68x	230	± 5.2	1.0
Cartap	8	10.18+2.81x	143.7	± 47.1	9.1
	4	9.66+2.15x	67.4	± 12.3	4.3
Hydrochloride	0	12.68+2.74x	15.8	± 8.2	1.0
	8	8.87+2.47x	272.7	± 84.1	37.4
	4	10.26+2.77x	125.9	± 43.7	17.2
Triflumuron	0	14.12+2.91x	7.3	± 2.3	1.0
	8	12.55+2.61x	129.0	± 94.0	29.1
	4	14.22+2.51x	21.0	± 10.4	4.7
<i>Bacillus thuringiensis</i>	0	18.87+3.19x	4.4	± 1.1	1.0
	8	10.71+2.36x	38.2	± 12.1	24.0
	4	15.98+3.47x	6.8	± 3.4	4.3
	0	15.45+2.75x	1.5	± 0.7	1.0

¹CL=Confidence limit; ²RR(Resistance Ratio)=LC₅₀ of selected strain/LC₅₀ of unselected strain

16세대 때 303~318배로 저항성이 발달하여 도태 세대가 진전됨에 따라 개체군 구성이 동질화(homogeneity) 되는 경향이라고 보고하였다. 본 실험에서는 공시한 triflumuron도 IGR계로서 저항성 발달이 빠르게 유발되었다.

Lambda cyhalothrin에 대해서는 4세대 도태 때 4.7 배로 낮은 저항성 수준을 보였으나 8세대에서는 29.1배로 높은 저항성 수준을 나타내었다 Chen과 Sun(1986)은 피레스로이드계 저항성이 포장에서 빠르게 발달하고, 도태암이 제거되어도 저항성이 지속 된다고 하였고, 김 등(1990)은 fenvalerate에 대해 저항성 발달을 조사하였는데, 5세대 때 6.4배, 10세대 때 7.5배, 24세대 때 66.2배로 저항성비가 10세대까지는 완만한 속도로 증가하다 10세대 이후부터 급속히 증가하였다고 하였다. 본 시험에서는 동일한 피레스로이드계인 lambda cyhalothrin으로 도태한 경우 4세대에서는 4.7배로 저항성이 낮았지만 그 이후로 저항성이 빠르게 진전되어 유사한 경향의 저항성 발달을 보였다. 또한 송(1992)은 포장체집계통을 6세대동안 약제를 살포하지 않고 누대사육한 후 6회에 걸쳐 cypermethrin으로 도태시켜 341.8배의 저항성이 다시 유발되었고, fenvalerate에 대해서는 544.3배로 저항성이 유발되었다고 보고하였는데, 단기간 도태에서의 급격한 저항성발달은 배추좀나

방이 야외개체군으로 이미 fenvalerate 저항성 유전자 존재빈도가 높기 때문인 것으로 보고되었다(Noppun et al. 1987).

*B. thuringiensis*에 대해서는 4세대 도태시 4.3배로 낮은 수준의 저항성을 보였으나, 8세대에서는 24.0배로 저항성 발달이 빠르게 진전되었다. Tabashnik 등(1991)도 BT제에 저항성을 나타내는 포장체집개체군에 대해 실내에서 9세대 도태시켰을 때 430~820배까지 빠른 속도로 저항성이 발달하였다는 보고를 하였으며, 본 시험에서는 8세대에서 약 24배의 저항성발달을 보여 도태암이나 도태세대가 다르다 하더라도 근본적으로는 도태대상 개체군이 상이함에 따라 저항성 발달수준이 크게 차이가 있는 것으로 생각된다. 또한 송(1992)은 지역별 계통에 따라 본 약제에 대한 저항성이 22~41.3배로 나타났고 보고한 바 있다.

교차저항성 검정을 위해 prothiophos, cartap hydrochloride, triflumuron, lambda cyhalothrin, *B. thuringiensis* 등 5종의 살충제로 누대선발한 각 도태계통에 대해 도태에 관여하지 않은 살충제를 공시하여 LC₅₀를 비교한 결과는 다음과 같다.

Prothiophos로 누대 선발한 계통에 대하여는 Table 3에서와 같이 cartap hydrochloride가 5.5배로 낮은 수준의 교차저항성을 보였는데, Miyata 등(1986)은

Table 3. LC₅₀ values of prothiophos-selected and unselected populations of *P. xylostella* to other insecticides, and their comparison with unselected population

Insecticide	Unselected strain		Prothiophos-selected(8th) strain		RR ¹
	LC ₅₀ (ppm)± 95%CL	Slope	LC ₅₀ (ppm)± 95%CL	Slope	
Cartap hydrochloride	15.8± 8.0	2.74	86.2± 15.3	2.16	5.5
Bacillus thuringiensis	1.6± 0.7	2.75	4.5± 0.1	2.28	2.8
Triflumuron	7.3± 2.3	2.91	17.1± 8.4	2.76	2.3
Lambda cyhalothrin	4.4± 1.1	3.19	5.7± 2.4	2.09	1.3

¹RR(Resistance Ratio)=LC₅₀ of selected strain/LC₅₀ of unselected strain

Table 4. LC₅₀ values of cartap hydrochloride-selected and unselected populations of *P. xylostella* to other insecticides, and their comparison with unselected population

Insecticide	Unselected strain		Cartap hydrochloride selected(8th) strain		RR ¹
	LC ₅₀ (ppm)± 95%CL	Slope	LC ₅₀ (ppm)± 95%CL	Slope	
Bacillus thuringiensis	1.6± 0.7	2.75	5.4± 1.3	1.21	3.4
Triflumuron	7.3± 2.3	2.91	16.0± 8.4	2.71	2.2
Lambda cyhalothrin	4.4± 1.1	3.19	88.7± 21.7	3.41	20.2
Prothiophos	23.0± 5.2	2.68	72.3± 26.0	2.76	3.1

¹RR(Resistance Ratio)=LC₅₀ of selected strain/LC₅₀ of unselected strain

유기인제인 phenthroate 도태계통은 cartap에 대하여 3.7배의 낮은 교차저항성을 나타냈다고 보고한 바 있으며, BT제, triflumuron, lambda cyhalothrin에 대해서는 2.8, 2.3, 1.3배로 거의 비교차저항성을 보였다. 한편, Sasaki(1982)는 유기인제 약제인 dichlorvos, prothiophos, 및 cyanophos 도태계통 배추 좀나방은 유기인제, 카바메이트제 살충제에 대하여 교차저항성을 나타내고, pyrethroid제인 fenvalerate에 대하여 비교차저항성을 보인다고 하였고, Noppun 등(1987)은 유기인제인 phenthroate 도태계통 배추 좀나방은 카바메이트제인 methomyl에 대하여 고도의 교차저항성을, 유기인제인 acephate와 합성 pyrethroid제인 fenvalerate에 대해 비교차저항성을 보고하여, 결과적으로 유기인제 도태계통은 피레스로이드제에 대하여 비교차저항성으로 본 시험의 결과도 유사한 경향이었다.

Cartap hydrochloride 도태 계통은 lambda cyhalothrin에 대해서는 19.9배의 높은 수준의 교차저항성을 보였고(Table 4), 다른 계통의 약제에 대해서는 2.2~3.4배로 비교차저항성을 보였다. Cheng(1986)은 cartap hydrochloride 저항성 계통에 대하여 합성피레스로이드제인 fenvalerate와 deltamethrin에 대

하여 각각 6.5, 4.9배의 낮은 교차저항성을 보인다고 하였는데, 본 시험에서 lambda cyhalothrin을 처리하였을 때 19.9배의 높은 교차저항성을 보인 것은 동일 화학적 계통일지라도 화학적 구조가 같지 않음에 연유한 것으로 생각된다. 또한 Cheng(1986)은 cartap hydrochloride 저항성 계통에 대하여 유기인제인 prothiophos는 1.5배로 비교차저항성이라고 하였는데, 본 시험에서도 3.1배로 비교차저항성을 보였다. 한편 IGR제의 약제와 BT제는 약제간의 작용기작이 달라 비교차저항성을 보인 것으로 사료된다.

Triflumuron 도태개체군은 다른 계통의 약제에 대하여 1.3~4.9배로 다른 약제에 비하여 교차저항성이 매우 낮거나 비교차저항성을 보였다(Table 5). Fahmy 등(1991)도 benzoylphenyl-ureas(BPUs)인 chlorfluazuron에 대하여 저항성 발달 속도와 유기인제인 phenthroate, 미생물 농약인 BT제, 피레스로이드제인 fenvalerate 등의 약제와 교차저항성을 조사하였는데, 이들 약제와 chlorfluazuron 도태제통은 LC₅₀치에 의한 저항성비가 1~3.2배로 비교차저항성을 보인다고 하였다. 본 시험에서 사용한 triflumuron은 urea제는 아니지만 동일한 IGR약제로서 다른 약제와

Table 5. LC₅₀ values of triflumuron-selected and unselected populations of *P. xylostella* to other insecticides and their comparison with unselected population

Insecticide	Unselected strain		Triflumuron-selected(8th) strain		RR ¹
	LC ₅₀ (ppm)± 95%CL	Slope	LC ₅₀ (ppm)± 95%CL	Slope	
<i>Bacillus thuringiensis</i>	1.6±0.7	2.75	2.1±0.6	2.56	1.3
Lambda cyhalothrin	4.4±1.1	3.19	21.0±14.1	2.72	4.8
Prothiophos	23.0±5.2	2.68	75.8±28.6	1.57	3.3
Cartap hydrochloride	15.8±8.0	2.74	76.8±17.5	4.9	4.9

¹RR(Resistance Ratio)=LC₅₀ of selected strain/LC₅₀ of unselected strain

Table 6. LC₅₀ values of lambda cyhalothrin-selected and unselected populations of *P. xylostella* to other insecticides, and their comparison with unselected population

Insecticide	Unselected strain		Lambda cyhalothrin-selected(8th) strain		RR ¹
	LC ₅₀ (ppm)± 95%CL	Slope	LC ₅₀ (ppm)± 95%CL	Slope	
<i>Bacillus thuringiensis</i>	1.6±0.7	2.75	4.0±1.6	1.74	2.5
Triflumuron	7.3±2.3	2.91	19.1±11.6	3.16	2.6
Prothiophos	23.0±5.2	2.68	119.1±78.2	2.49	5.2
Cartap hydrochloride	15.8±8.0	2.74	143.3±64.3	3.15	9.1

¹RR(Resistance Ratio)=LC₅₀ of selected strain/LC₅₀ of unselected strain

Table 7. LC₅₀ values of *B. thuringiensis*-selected and unselected populations of *P. xylostella* to other insecticides, and their comparison with unselected population

Insecticide	Unselected strain		<i>B. thuringiensis</i> -selected(8th) strain		RR ¹
	LC ₅₀ (ppm)± 95%CL	Slope	LC ₅₀ (ppm)± 95%CL	Slope	
Lambda cyhalothrin	4.4±1.1	3.19	8.6±2.2	2.01	2.0
Triflumuron	7.3±2.3	2.91	12.4±8.7	2.63	1.7
Prothiophos	23.0±5.2	2.68	25.1±11.1	2.59	1.1
Cartap hydrochloride	15.8±8.0	2.74	32.2±13.3	1.97	2.0

¹RR(Resistance Ratio)=LC₅₀ of selected strain/LC₅₀ of unselected strain

모두 비교차저항성을 보였는데, 이는 약제간의 서로 상이한 작용기작에 의한 것으로 생각된다.

Lambda cyhalothrin 도태개체군(Table 6)은 cartap hydrochloride에 대해서 9.1배의 교차저항성을 보였고, prothiophos에 대해서는 5.2배의 낮은 교차저항성을 보였으며, 다른 계통의 약제에 대해서는 2.5~2.6배로 비교차저항성을 보였다. Chen과 Sun(1986)은 fenvalerate 도태계통은 다른 피레스로이드계 약제들에 대해서는 고도의 교차저항성을 보인 반면, prothiophos를 비롯한 유기인계 살충제에 대해서는 낮은 수준의 교차저항성을 보인다고 한 바 있으며, Noppun 등(1988)도 합성피레스로이드계인 fenvalerate 도태계통은 phenthroate, prothiophos, cyano-

phos등의 유기인제에 대해 낮은 수준의 교차저항성이 나타난다고 하였으나, cartap에 대하여는 비교차저항성을 보인다고 하였다. 그러나 본 시험에서는 lambda cyhalothrin 도태계통에 cartap hydrochloride에 대해서 낮은 수준의 교차저항성이 나타났는데, 이는 각 시험연구에 사용한 약제가 동일한 합성피레스로이드계이지만 약종이 같지 않아 약제별 작용기작의 차이에 기인된 것으로 사료된다.

BT제로 도태한 개체군(Table 7)은 BT제에 대해서는 24배로 높은 저항성을 보였지만, 다른 계통의 약제에서는 1.1~2.0배로 비교차저항성을 보였다. 현재 광범위하게 사용되는 미생물 농약인 BT제는 인시목의 병원균인 *Bacillus thuringiensis* subsp. kur-

staki로부터 추출한 포자와 단백질 결정체의 혼합물 인데, BT제는 인간이나 유용곤충 그리고 비대상 해충에 대해서는 영향이 없음이 보고되었다(Flexner et al. 1986). 또한 BT제는 작용기작이 다르기 때문에 다른 살충제로 도태된 개체군들은 BT제와 비교차저 항성임을 보고(Tabashnik et al. 1990) 한 바 있는데, 본 실험에서도 BT제로 도태된 개체군은 다른 약제들과는 모두 비교차저항성을 보였지만 저항성 발달 속도가 빠른 편에 속해 다른 약제와 교호로 사용하는 방안이 권장되어(Fahmy et al. 1991) 이 방법을 포함한 다양한 방향으로 연구가 수행될 필요성이 있는 것으로 생각된다.

위와 같은 결과를 종합해 볼 때 각 도태 계통에 대하여 비교차저항성을 나타내는 약제는 배추 좀나방 개체군의 약제저항성 유형에 따라 대체약제로 이용할 수 있을 것으로 판단된다. 한편 배추 좀나방의 유기인계 살충제에 대한 저항성 기작으로서는 AChE 감수성 저하(Sun et al. 1978), glutathione-S-transferase 활성의 증가(Cheng et al. 1983, 1984)로 알려져 있고, 합성제충국제에 대한 저항성은 약물산화효소에 의한 해독대사활성의 증대와 신경감수성 저하가 원인인 것으로 알려져 있으며(Liu et al. 1981, Chen & Sun 1986, Hama 1987, Hama et al. 1987), Teflubenzuron과 같은 IGR제는 감수성계통에 비하여 저항성계통이 microsomal monooxygenase의 활성이 높다고 보고(Lin et al. 1989) 된 바 있다. 그러나 각 도태계통에서 교차저항성을 나타내는 현상에 대한 설명은 현재로서는 어려워 앞으로의 연구과제라고 생각된다.

따라서 이와 같은 관점에서 볼 때 한 종의 살충제에 대한 저항성기작을 밝히는 것도 중요하지만 추후에는 약제저항성 해충관리를 효율적으로 하기 위하여 살충제간의 교차저항성 발현기작에 관하여 화학적 계통은 물론 동일계 약종간에도 광범위하게 시험연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

인용 문헌

- Ankersmit G. W. 1953. DDT-Resistance in *Plutella maculipennis* (Curt.). *Bull. Ent. Res.* **44**: 421-425.
- Chen J. S. & C. N. Sun. 1986. Resistance of diamondback moth(Lepidoptera: Plutellidae) to a combination of fenvalerate and piperonyl butoxide. *J. Econ. Entomol.* **79**: 22-30.
- Cheng, E. Y. 1986 The resistance, cross resistance, and chemical control of diamondback moth in Taiwan. Proc. 1st Int. Workshop, AVRDC, Shanhua. pp. 329-345.
- Cheng, E. Y., T. M. Chou & C. H. Kao 1983. Insecticide resistance study in *Plutella xylostella* (L.) IV. The activities of glutathion-S-transferase in the organophosphorous resistant strains. *J. Agric. Res. China*. **32**: 373-378.
- Cheng, E. Y., T. M. Chou & C. H. Kao. 1984 Insecticide resistance study in *Plutella xylostella* (L.) V. The induction, cross resistance and glutathion-S-transferase in relation to mevinphos-resistance. *J. Agric. Res. China*. **33**: 73-80.
- Fahmy A. R., N. Sinchaisri & T. Miyata. 1991. Development of Chlorfluazuron Resistance and pattern of Cross-Resistance in the Diamondback Moth, *Plutella xylostella*. *J. Pestic. Sci.* **16**: 665-672.
- Finney, D. J. 1971. Probit analysis, estimation of the median effective dose. Cambridge Univ. Press. Cambridge England. pp. 19-47.
- Flexner, J. L., Lighthard & B. A. Croft. 1986. The effects of microbial pesticides on non-target beneficial arthropods. *Agric. Ecosyst. Environ.* **16**: 203-254.
- Hama H. 1986. Development of Pyrethroid Resistance in the Diamondback Moth, *Plutella xylostella* Linne (Lepidoptera: Plutellidae). *Appl. Ent. Zool* **22**(2): 166-175.
- 김길하, 서영식, 이준호, 조광연. 1990. 배추 좀나방의 Fenvalerate에 대한 저항성 발달과 교차저항성. *한응곤지*. **29**(3): 194-200.
- 김명화, 이승찬. 1991. 남부지방에서 배추 좀나방의 발생생태에 관한 연구. *한응곤지*. **30**(3): 169-153.
- 이승찬, 조영식, 김도익. 1993. 배추 좀나방(*Plutella xylostella* L.)의 독성시험 방법 비교와 지역별 약제저항성에 관한 연구 *한응곤지* **32**(3): 323-329.
- Lin, J., C. F. Hung & C. N. Sun. 1989 Teflubenzuron resistance and microsomal monooxygenases in larvae of the diamondback moth. *Pestic. Biochem. Physiol.* **35**: 20-25.
- Lin, J., C. J. Eckenrode & M. H. Dickson. 1983. Variation in *Brassica oleracea* resistance to diamondback moth(Lepidoptera: Plutellidae). *J. Econ. Entomol.* **76**: 1423-1427.
- Lin, M. Y., Y. I. Tseng & C. N. Sun. 1982. Insecticide resistance in the diamondback moth. *J. Econ. Entomol.* **75**: 153-155.

- Liu M. Y., Y. J. Tzeng & C. N. Sun 1981 Diamondback moth resistance to several synthetic pyrethroids. *J. Econ. Entomol.* **74**: 393-396.
- Miyata T. H Kawai & T. Saito. 1982. Insecticide resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Appl. Ent. Zool.* **17** (4): 539-542.
- Miyata, T., T. Saito & V. Noppun. 1986. Studies on the mechanism of diamondback moth resistance to insecticides. Proc 1st Int. Workshop, AVRDC, Shanhua. pp. 347-357
- Noppun, V., T. Miyata & T. Saito. 1987. Selection for resistance of the diamondback moth, *Plutella xylostella* with fenvalerate. *J. Pestic. Sci.* **12**: 265-268.
- Noppun, V., T. Miyata & T. Saito. 1988. Cross resistance and synergism in fenvalerate-resistant diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *J. Pestic. Sci.* **14**: 203-209.
- Noppun, V., T. Miyata & T. Saito. 1987. Cross resistance and synergism studies in the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera:Yponomeutidae). *Appl. Ent. Zool.* **22**: 98-104.
- Noppun, V. T., T. Miyata & T. Saito 1983. Susceptibility of four strains of the diamondback moth, *Putella xylostella* L. against insecticide. *J. Pestic. Sci.* **8**: 595-599.
- Noppun, V. T., T. Miyata & T. Saito. 1984. Decrease in insecticide resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* on release from selection pressure. *Appl. Ent. Zool.* **19**: 531-533.
- Perng, F. S., M. C. Yao, C. F. Hung & C. N. Sun 1988. Teflubenzuron resistance in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *J. Econ Entomol.* **81** (5): 277-1282.
- Perng, F. S. & C. N. Sun. 1987. Susceptibility of diamondback moth(Lepidoptera: Plutellidae) resistant to conventional insecticides to chitin synthesis inhibitors. *J. Econ. Entomol.* **80**: 29-31.
- Sasaki. Y 1982. Studies on insecticide resistance of the diamondback moth. In results on the pests control studies(Annual Report for 1982). Japan Plant Protection Association Tokyo. pp. 91-102 (In Japanese).
- Sun, C. N., H. Chi & H T. Feng. 1978. Diamondback moth resistance to diazinon and methomyl in Taiwan. *J. Econ. Entomol.* **71**(3): 551-554.
- 송승석. 1992. 퍼레스로이드제에 대한 배추 좀나방의 포장약제 저항성의 변동. *한응곤지.* **31**(4): 338-344
- Tabashnik, B. E., N. Finson & M. W. Johnson. 1991. Managing resistance to *Bacillus thuringiensis* Lesson from the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *J. Econ. Entomol.* **84**(1): 49-55.
- Tabashnik, B. E., N. L Cushing, N. Finson & M. W. Johnson. 1990. Field development of resistance to *Bacillus thuringiensis* in diamondback moth(Lepidoptera: Plutellidae). *J. Econ. Entomol.* **83**(5): 1671-1676.
- Talekar, N. S. & A. M. Shelton. 1993. Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annu. Rev. Entomol.* **38**: 275-301.

(1994년 8월 3일 접수)