

배추좀나방의 Fenvalerate에 대한 저항성 발달과 교차저항성

Development of Fenvalerate Resistance in the Diamondback Moth, *Plutella xylostella* Linne(Lepidoptera : Yponomeutidae) and its Cross Resistance金吉河¹·徐榮植²·李俊浩²·趙匡衍²Gil Hah Kim¹, Young Sik Seo², Joon Ho Lee², and Kwang Yun Cho²

ABSTRACT The diamondback moth(*Plutella xylostella* L.) was selected over 24 generations with fenvalerate. The resulting resistant strain was tested to study development of insecticide resistance and cross resistance to some insecticides in the laboratory. Insecticide resistance of diamondback moth at the 24th generation developed 66.2 fold compared to the parent strain for fenvalerate. The fenvalerate selected strain exhibited 145 fold, a high level of cross resistance to deltamethrin, and also showed 17.4-45.0 fold cross resistance to alphamethrin, cypermethrin, fenvalerate, permethrin, and tetramethrin in the pyrethroid insecticides. The fenvalerate selected strain showed 2.5-4.3 fold, low cross resistance to diazinon, dichlorvos, EPN, BPMC, cabaryl, and methomyl. However, it did not show cross resistance to acephate, fenitrothion, phenthoate, and carbofuran.

KEY WORDS Diamondback moth, selected strain, resistance development, cross resistance

초 록 Pyrethroid계 살충제 fenvalerate를 공시하여 실내 감수성계통 배추좀나방(*Plutella xylostella* L.)을 인위적으로 누대도태한 후 저항성 발달속도와 정도를 조사하고, 이 저항성계통의 타살충제에 대한 교차저항성 유무와 정도를 검토하였다. 저항성 발달속도는 fenvalerate 24세대 도태계통에서 도태전에 비하여 66.2배 증가하였다. Fenvalerate 도태계통은 pyrethroid계 살충제인 deltamethrin에 145배의 고도의 교차저항성을 나타내었고, alphamethrin, cypermethrin, fenvalerate, permethrin, tetramethrin에 17.4~45.0배의 교차저항성을 나타내었다. 유기인계 diazinon, dichlorvos, ethoprophos, EPN과 카바메이트계 BPMC, carbaryl, methomyl에서는 2.1~4.3배의 낮은 교차저항성을 나타내었다. 그러나, 유기인계의 acephate, fenitrothion과 카바메이트계 carbofuran에 대해서 비교저항성을 나타내었다.

검 색 어 배추좀나방, 도태계통, 저항성발달, 교차저항성

배추좀나방(*Plutella xylostella* L.)은 오래전부터 십자화과 작물의 세계적인 주요해충으로 인식되어 왔다(Liu et al. 1982). 배추좀나방의 연간 발생 세대수는 일본에서 5~12세대, 말레이시아등 열대지방에서는 14~28세대로 응애, 진딧물과 같이 발육기간이 짧아 살충제에 의한 도태 기회가 많아지므로 살충제 저항성발달이 빠르게 나타날 가능성이 높다(永田 1983). 이

해충의 살충제 저항성은 1953년 Ankersmit가 최초로 보고한 이후, 유기인계(Sun et al. 1978, Miyata et al. 1982, Noppun et al. 1984, 濱 1986 & 1988a), 카바메이트계(Sun et al. 1978, Noppun et al. 1983 & 1984), 합성피레스로이드계(Liu et al. 1981 & 1982, Hama 1987, 濱 1988b)등 거의 모든계통의 살충제와 teflubenzuron & chlorfluazuron과 같은 IGR(Perng과 Sun 1987, Perng et al. 1988)에 대한 저항성이 보고되었다.

1 경도대학 농학부, 농약연구시설, 일본

2 한국화학연구소 농약활성연구실(Korea Research Institute of Chemical Technology, Pesticide Lab.)

Table 1. Insecticides used in the study of development of resistance and cross resistance of diamondback moth

Insecticides	Purity (%)	Chemical name
Organophosphates		
Acephate	96.5	O, S-dimethyl acetyl phosphoroamidothioate
Diazinon	95.9	O, O-diethyl O-2-isopropyl-6-methylpyrimidin 4-yl phosphorothioate
Dichlorvos	95.0	2,2-dichlorovinyl dimethyl phosphate
Ethoprophos	90.0	O-ethyl S, S-dipropyl phenylphosphorothioate
EPN	90.0	O-ethyl O-4-nitrophenyl phenylphosphorothioate
Fenitrothion	96.0	O, O-dimethyl O-4-nitro-m-tolyl phosphorothioate
Phenthoate	91.0	S-ethoxycarbonylbenzyl O, O-dimethyl phosphorothioate
Carbamates		
BPMC	95.0	2-sec-butylphenyl methylcarbamate
Carbaryl	90.0	1-naphthyl methylcarbamate
Carbofuran	76.5	2, 3-dihydro-2, 2-dimethylbenzofuran-7-yl methylcarbamate
Methomyl	90.0	S-methyl N-(methylcarbamoyloxy) thioacetimidate
Pyrethroids		
Alphamethrin	95.0	(1S-cis)-S and (1S-cis)-R enantiomer -isomer of α -cyano-3-phenoxybenzyl-3 -(2, 2-dichlorovinyl)-2, 2, dimethyl cyclopropanecarboxylate
Cypermethrin	90.0	(RS)- α -cyano-3-phenoxybenzyl(1RS, 3RS, 1RS, 3SR)-3-(2, 2-dichlorovinyl)-2, 2-dimethylcyclopropanecarboxylate
Deltamethrin	95.0	(S)- α -cyano-3-phenoxybenzyl(1R, 3R)-3 -(2, 2-dibromovinyl)-2, 2-dimethyl cyclopropanecarboxylate
Fenvalerate	90.0	(RS)- α -cyano-3-phenoxybenzyl-(RS)-2 -4-chlorophenyl)-3-methyl butyrate
Permethrin	90.0	3-phenoxybenzyl(1RS, 3RS, 1RS, 3SR)-3 -(2, 2-dichlorovinyl)-2, 2-dimethyl-cyclopropanecarboxylate
Tetramethrin	90.0	cyclohex-1-ene-1, 2-dicarboximidomethyl (1RS, 3RS, 1RS, 3SR)-chrysanthemate

우리나라에서는 5~6년전부터 부분적으로 발생을 하여, 현재는 전국에 걸쳐 채소 재배지에 심한 발생피해를 주고 있으며(金 1990), 남부지방에서 배추좀나방의 살충제 저항성이 크

게 문제가 되고 있다. 따라서 본 연구는 배추좀나방의 효과적인 방제대책 수립의 일환으로 피레스로이드계 살충제 fenvalerate를 공시하여 실내 감수성계통 배추좀나방을 인위적으로 누

대도태하여 저항성을 유도하고, 저항성 발달속도와 정도 및 타 살충제에 대한 교차저항성 유무를 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

공시충 1986년 농촌진흥청 농업기술연구소 곤충과에서 분양받은 배추좀나방을 4년간 살충제 접촉없이 누대사육후 감수성계통으로 하였으며, 살충제 저항성계통은 감수성계통을 20세대 이상 누대도태하여 선발하였다. 실내사육조건은 온도 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 광조건 16L:8D가 되도록 조절하였다.

공시살충제 도태에 사용된 살충제는 fenvalerate였고, 교차저항성에 사용된 살충제는 유기인계 7종, 카바메이트계 4종, 피레스로이드계 6종으로 총 17종이었으며, 그들 살충제의 일반명, 순도 및 화학명은 표 1과 같다.

살충제 처리방법 균일한 발육상태의 양배추 잎을 직경 5.0 cm로 자른 후 시험약액에 30초간 침적한 후 후드내에서 음건시켰다. 처리된 엽편은 여과지가 깔린 페트리디쉬($\phi 5 \times 2$ cm)에 넣고 공시충 3령 유충 10마리씩 3반복 이상 접종하였다. 처리된 배추좀나방은 항온실

($25 \pm 1^\circ\text{C}$, 16L:8D)에 보관 24시간 후 사충수를 조사하였으며, Finney(1963)의 probit계산법에 의하여 반수치사 농도(LC₅₀)를 산출하였다.

저항성 유발 도태약제는 fenvalerate를 공시하였다. 실내계통에 분무법(spray method)으로 20~30% 살충률을 나타내는 농도수준으로 24세대까지 누대도태하였다. 도태시기는 유충 3령기에 도태약량은 매세대마다 산출한 각각의 LC₂₀₋₃₀ 값으로 하였고, 도태규모는 매세대도태시 4,000마리 이상으로 하였다.

교차저항성 검정 교차저항성 검정은 도태시험과 동일한 방법으로 실시하였다. Fenvalerate 20세대 도태계통에 유기인계 7종, 카바메이트계 4종, 피레스로이드계 6종에 대한 LC₅₀를 구하여 살충제 종류별 교차저항성 유무와 정도를 비교, 검토하였다.

결과 및 고찰

저항성 유발 Fenvalerate 누대도태계통의 5, 10, 15, 20, 24세대에서 얻어진 LC₅₀, LC₉₀(ppm), 저항성비는 표 2와 같다. 도태세대수가 진행됨에 따라 LC₅₀, LC₉₀가 parental세대에

Table 2. Development of resistance of the diamondback moth by continuous selection with fenvalerate

No. generations selected	LC ₅₀ (ppm)(95% FL) ^a	LC ₉₀ (ppm)	Slope	RR ^b
Parental	7.3 (5.9-8.8)	52.4	2.67	1.0
F ₅	47.0 (30.2-63.6)	182.0	7.63	6.4
F ₁₀	55.0 (44.7-65.1)	262.2	5.05	7.5
F ₁₅	141.5 (123.7-159.1)	322.8	4.04	19.4
F ₂₀	323.0 (292.8-357.6)	646.0	2.92	44.2
F ₂₄	483.4 (442.5-524.0)	986.4	2.92	66.2

^a 95% fiducial limits.

^b Resistance ratio=LC₅₀ of test generation/LC₅₀ of parent strain.

비하여 크게 증가하였는데 24세대에서는 더욱 크게 증대되었다. 저항성비는 10세대까지 완만한 속도로 증가하다가 10세대 이후부터는 급속히 증가하여 15세대에서 19.4배, 20세대에서 44.2배, 최종 세대인 24세대에 이르러 66.2배로 증가하였다.

Noppun et al. (1987a)은 포장에서 채집한 SHR84, OKR84, KAR84계통 배추좀나방을 실내에서 fenvalerate로 8~9세대 도태하였을 때 각각 54.9, 580, 3,500배의 저항성이 증가하였음을 보고하였으며, 이처럼 단기간 도태에서의 급격한 저항성발달은 배추좀나방이 야외개체군으로 이미 fenvalerate저항성 유전자가 고빈도 존재하고 있었기 때문이라고 보고하였다. 배추좀나방의 피레스로이드 저항성이 문제가 된 것은 대만에서는 도입 후 4년(Liu et al. 1981), 일본에서는 2년(Hama 1987)으로 빨리 나타났으나, 도입전에 실시된 fenvalerate 16세대 도태에서 감수성 저하는 5배 이하에 불과하였다(Noppun et al. 1986). 일반적으로 피레스로이드계 살충제는 타유형의 살충제에 비하여 저항성발달이 빠르다는 보고(濱 1988b, Noppun et al. 1987a, 崔 等 1989)는 본실험의 결과와 일치하고 있다. 더우기 배추좀나방은 연간 발생세대수가 많기 때문에 살충제에 의한 도태의 기회가 많다는 점을 고려할 때 배추좀나방의 저항성 발달속도는 다른 해충에 비하여 빠르다는 점도 쉽게 수긍할 수 있을 것으로 본다.

Georghiou와 Taylor(1977)는 살충제에 의한

해충의 저항성발달 정도는 살충제의 화학적 특성, 도태압, 저항성의 유전자수, 유전자의 우성도, 환경저항, 살충제의 작용특성, 곤충의 특성 등 여러가지 요인의 지배를 받고 있음을 지적하였다. 특히 실내에서의 도태는 한정된 장소에서 집중적인 도태가 되므로 동일 횟수의 도태를 받았다고 하더라도 저항성 발달정도가 높게 나타날 것이다. Chen과 Sun(1986)도 이러한 현상을 보고한 바 있다. 본 실험에서 fenvalerate 24세대 도태에서 저항성 발달속도가 빠르게 나타나는 것은 살충제의 화학적 특성에 기인한 것으로 생각되어지나, 이를 규명하기 위해서는 구조활성관계의 연구가 필요하다고 생각된다.

교차저항성 Fenvalerate 도태계통에 대한 교차저항성은 표 3, 4, 5에 나타낸 바와 같다. Fenvalerate 도태계통은 피레스로이드계 살충제중 deltamethrin에 대해 145.4배의 교차저항성을 나타내었고, alphamethrin, cypermethrin, fenvalerate, permethrin, tetramethrin에 대해 17.4~45.0배의 교차저항성을 나타내었다(표 3). 유기인계의 diazinon, dichlorvos, ethoprophos, EPN과 카바메이트계 BPMC, carbaryl, methomyl에서는 2.1~4.3배로 비교적 낮았다. 그러나 유기인계의 acephate, fenitrothion, phentoate와 카바메이트계 carbofuran에 대해서는 비교차저항성을 나타내었다(표 4, 5).

Sasaki(1982)는 dichlorvos, prothiophos, 그리

Table 3. Cross resistance of fenvalerate-selected(R_f) and susceptible(Lab) strains of diamondback moth to pyrethroid insecticides

Insecticides	LC_{50} (ppm)(95% FL) ^a		RR ^b
	R_f strain	Lab strain	
Alphamethrin	950.5(824.3-1159.6)	21.1(187.7-23.7)	45.0
Cypermethrin	318.8(284.0-361.4)	16.4(14.6-18.5)	19.4
Deltamethrin	741.5(647.9-878.6)	5.1(3.7-6.7)	145.4
Fenvalerate	323.0(292.8-357.6)	7.3(5.9-8.8)	44.2
Permethrin	269.0(242.0-299.0)	15.5(12.6-18.7)	17.4
Tetramethrin	>5,000	253.7(217-297.2)	>19.7

^a 95% fiducial limits.

^b Resistance ratio= LC_{50} of R_f strain/ LC_{50} of Lab strain.

Table 4. Cross resistance of fenvalerate-selected (R_f) and susceptible (Lab) strains of diamond back moth to organophosphorous insecticides

Insecticides	LC_{50} (ppm)(95% FL) ^a		RR ^b
	R_f strain	Lab strain	
Acephate	30.7(22.4-38.8)	31.3(27.4-35.5)	0.98
Diazinon	120.3(103.2-138.9)	28.3(20.4-37.2)	4.3
Dichlorvos	55.0(47.3-63.3)	26.4(22.4-31.1)	2.1
Ethoprophos	56.2(46.7-70.3)	13.3(10.0-16.5)	4.2
EPN	23.0(17.8-30.3)	7.3(5.6-9.3)	3.2
Fenitrothion	24.5(21.7-27.7)	24.4(20.7-28.4)	1.0
Phenthoate	1.1(0.9-1.2)	2.9(2.6-3.2)	0.32

^a 95% fiducial limits.

^b Resistance ratio = LC_{50} of R_f strain / LC_{50} of Lab strain.

Table 5. Cross resistance of fenvalerate-selected (R_f) and susceptible (Lab) strains of diamondback moth to carbamate insecticides

Insecticides	LC_{50} (ppm)(95% FL) ^a		RR ^b
	R_f strain	Lab strain	
BPMC	224.7(199.0-251.6)	99.6(88.8-111.2)	2.3
Carbaryl	600.3(560.0-641.0)	176.8(150.3-207.7)	3.4
Carbofuran	1.5(1.3-1.8)	5.8(4.9-6.8)	0.26
Methomyl	228.0(200.9-258.0)	92.1(79.4-107.4)	2.5

^a 95% fiducial limits.

^b Resistance ratio = LC_{50} of R_f strain / LC_{50} of Lab strain.

고 cyanophos 도태계통 배추좀나방이 유기인계, 카바메이트계 살충제에 대하여 교차저항성, fenvalerate에 대하여 비교차저항을 보임을 보고한 바 있고, Cheng et al.(1984)은 mevinphos 도태계통 배추좀나방은 유기인계와 cartap에 대하여 교차저항성, 합성피레스로이드계 살충제에 대해서 비교차저항성을 나타내었다고 하였다. 또한 Noppun et al. (1987b)은 phenthoate 도태계통 배추좀나방(OKR-R와 OSS-R)은 카바메이트계 methomyl에 대하여 고도의 교차저항성, acephate와 fenvalerate에 대해서 비교차저항성을 보고하였다. 이상의 연구 결과를 종합해 볼 때 유기인계 도태계통 배추좀나방은 유기인계, 카바메이트계 살충제에 대하여 교차저항성 피레스로이드계, fenvalerate에 대하여

비교차저항성을 나타내었다. 그러나 Liu et al. (1981)은 diazinon 도태계통 배추좀나방은 피레스로이드계 살충제 permethrin, cypermethrin, deltamethrin, fenvalerate에 대해서 교차저항성을 나타내었다고 보고하였다. 배추좀나방의 diazinon을 비롯한 유기인계 살충제에 대한 저항성은 AChE 감수성 저하(Sun et al. 1978), glutathione-S-transferase 활성의 증가 (Cheng et al. 1983, 1984)로 알려져 있으나, diazinon 도태계통 배추좀나방의 피레스로이드계 살충제에 대한 교차저항성 발현에 대한 설명은 앞으로의 연구과제라고 생각된다. 따라서 교차저항성은 동일계의 살충제 뿐만 아니라, 도태경험이 전혀없는 새로운 살충제에 대해서도 나타날 수 있음을 시사하는 것으로 생각된다. 또 교차

저항성은 도태에 관여된 살충제 보다도 관여치 않았던 살충제에서 더욱 높은 저항성이 발현될 가능성도 있으며, 특히 흥미있는 점은 fenvalerate와 유사한 화합물에 비교적 감수성 정도가 현저하였다(표 3).

배추좀나방의 fenvalerate 저항성은 약불산화 효소에 의한 해독대사활성의 증대와 신경 감수성 저하가 원인인 것으로 알려져 있는데(Liu et al. 1981, Chen & Sun 1986, Hama 1987, Hama et al. 1987), fenvalerate 도태계통에 대해 비교저항성을 나타내는 acephate, fenitrothion, phenthoate 및 carbofuran은 fenvalerate 저항성 배추좀나방에 대해서 유효한 살충제라고 생각된다.

이상의 결과를 종합적으로 볼 때 배추좀나방에 대한 피레스로이드계 살충제 fenvalerate에 의한 도태는 fenvalerate에 대한 저항성 증대 뿐만 아니라 타살충제에 대한 교차저항성 발현에도 관여하고 있으므로 살충제 저항성 배추좀나방을 효율적으로 방제하기 위해서는 저항성 기구의 해명은 물론 본실험에서 유효한 각각의 살충제에 관해서 타살충제와의 교차관계를 밝힌 후 이들 살충제를 포함한 종합적 방제대책이 검토되어야 한다.

사 사

본 보문의 타이핑에 수고해주신 본 연구실의 김명숙씨에게 감사드립니다.

인 용 문 헌

- Ankersmit, G. W. 1953. DDT-resistance in *Plutella maculipennis* (CURT.) (Lep.) in Java. Bull. Entomol. Res. 44 : 421~426.
- 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., T. M. Chou & C. H. Kao. 1983. Insecticide resistance study in *Plutella xylostella* (L.) IV. The activities of glutathione-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 glutathione-S-transferase in relation to mevinphos-resistance. J. Agric. Res. China 33 : 73~80.
- 崔承允, 金吉河, 安龍濬. 1989. 복숭아혹진딧물의 살충제 저항성에 관한 연구(V). Cypermethrin과 Pirimicarb에 의한 저항성 발달과 교차저항성. 韓應昆誌. 28 : 23~27.
- 永田徹. 1983. 藥制抵抗成新しし. 農藥開發と綜合防除の指針(深見順一. 上杉康彦. 石塚皓造編). ソフトサイエンス社. pp. 25~27.
- Finney, D. J. 1963. Statistical methods in bioassay. 2nd edn. London Griffin. 668pp.
- Georghiou, G. P. & C. E. Taylor. 1977. Pesticide resistance as an evolutionary phenomenon. In Proceedings XV International Congress of Entomology, Washington D. C., August 19~27. 1976. 759~785.
- 濱弘司. 1986. 名種殺蟲劑に對するコナガの低抗性スプラクトIV. Jpn. J. Appl. Ent. Zool. 30 : 277~284.
- 濱弘司. 1988a. コナガの有機ソノ剤低抗性の安定性. Jpn. J. Appl. Ent. Zool. 32 : 205~209.
- 濱弘司. 1988b. コナガのfenvalerate低抗性の安定性. Jpn. J. Appl. Ent. Zool. 32 : 210~214.
- Hama, H. 1987. Development of pyrethroid resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* LINNE (Lepidoptera : Yponomeutidae). Appl. Ent. Zool. 22 : 166~175.
- Hama, H., Y. kono & Y. Sato. 1987. Decreased sensitivity of central nerve to fenvalerate in the pyrethroid-resistant diamondback moth *Plutella xylostella* LINNE (Lepidoptera : Yponomeutidae). Jap. J. Appl. Ent. Zool. 22 : 176~180.
- 金明化. 1990. 남부지방에서 배추좀나방 (*Plutella xylostella* L.)의 발생생태에 관한 연구. 석사학위논문 전남대학교 32pp.
- Liu, M. Y., Y. J. Tzeng & C. N. Sun. 1981. Di-

- iamondback moth resistance to synthetic pyrethroids. J. Econ. Entomol. 74 : 393~396.
- Liu, M. Y., Y. J. Tzeng & C. N. Sun. 1982. Insecticide resistance in the diamondback moth. J. Econ. Entomol. 75 : 153~155.
- Miyata, T., H. Kawai & T. Saito. 1982. Insecticide resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera : Yponomeutidae). Appl. Ent. Zool. 17 : 539~542.
- Noppun, V., T. Miyata & T. Saito. 1983. Susceptibility of four strains of the diamondback moth, *Plutella xylostella* L., against insecticides. J. Pesticide Sci. 8 : 595~599.
- Noppun, V., T. Miyata & T. Saito. 1984. Decrease in insecticide resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera : Yponomeutidae) on release from selection pressure. Appl. Ent. Zool. 19 : 531~533.
- Noppun, V., T. Miyata & T. Saito. 1986. Laboratory selection for resistance with phenthoate and fenvalerate in the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera : Yponomeutidae). Crop Prot. 5 : 323~327.
- Noppun, V., T. Miyata & T. Saito. 1987a. Selection for resistance of the diamondback moth, *Plutella xylostella* with fenvalerate. J. Pesticide Sci. 12 : 265~268.
- Noppun, V., T. Miyata & T. Saito. 1987b. Cross resistance and synergism studies in the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera : Yponomeutidae). Appl. Ent. Zool. 22 : 98~104.
- Perng, F. S. & C. N. Sun. 1987. Susceptibility of diamondback moths (Lepidoptera : Plutellidae) resistance to conventional insecticides or chitin synthesis inhibitors. J. Econ. Entomol. 80 : 29~31.
- Perng, F. S., M. C. Yao, C. F. Hung & C. N. Sun. 1988. Teflubenzuron resistance in diamondback moth (Lepidoptera : Plutellidae). J. Econ. Entomol. 81 : 1277~1282.
- 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. 92~102 (in Japanese).
- Sun, C. N., H. Chi & H. T. Feng. 1978. Diamondback moth resistance to diazinon and methomyl in Taiwan. J. Econ. Entomol. 71 : 551~554.

(1990년 6월 8일 접수)