

신규 살충제 flupyrazofos의 배추좀나방에 대한 작용특성

김길하¹ · 문선주 · 장영덕² · 조광연

한국화학연구소 스크리닝연구부, ¹현재 충북대학교 농생물학과, ²충남대학교 응용생물화학부

요약 : Flupyrazofos [*O,O*-diethyl-*O*-(1-phenyl-3-trifluoromethyl-5-pyrazoyl)thiophosphoric acid ester] 는 trifluoromethyl기가 존재하는 피라졸계통의 유기인계 살충제이다. 이 화합물은 배추좀나방에 대해서 탁월한 살충활성을 나타내었으며, 또한 작은각시들명나방과 멸강나방에 대해서도 우수한 살충활성을 나타내었다. 배추좀나방의 알, 번데기, 성충에 대해서는 살충효과가 떨어지지만, 유충은 발육 단계에 관계없이 강한 살충효과를 나타내었으며, 살충효과의 발현속도는 매우 빨랐다(LT₅₀=0.9 hrs, LT₉₅=4.5 hrs). 침투이행성 효과는 없었지만, 잔효성은 있었다. 유기인계, 피레스로이드계 및 IGR계 저항성계통에 대해서 비교차저항성을 나타내었다. 채집지역별 살충제 감수성은 실내계통(S)과 큰차이가 없었다. 따라서 flupyrazofos는 야외에서 배추좀나방, 멸강나방, 작은각시들명나방을 효과적으로 방제할수 있을 것으로 판단된다.(1998년 8월 18일 접수, 1998년 12월 1일 수리)

Key words : flupyrazofos, *Plutella xylostella*, rapid action, residual action, cross-resistance.

서론

배추좀나방(*Plutella xylostella* L.)은 십자화과작물의 주요해충으로 연간 발생세대수가 많고, 발육기간이 짧아 약제에 의한 도태의 기회가 많아지므로 살충제 저항성 발달이 다른 해충들에 비하여 빠르게 나타날 가능성을 지니고 있다(Talekar와 Griggs, 1986; 김 등 1990; 송 등, 1991, 1992; 조와 이, 1994; Furlog과 Wright, 1994). 배추좀나방의 살충제 저항성 발달은 이미 외국에서 오래전부터 연구보고된 이후(Ankersmit, 1953), 유기인계, 카바메이트계, 피레스로이드계, IGR계 뿐만아니라 BT제와 같은 미생물 살충제들에 대해서도 저항성이 보고되어 있다(Liu 등, 1981; Miyata 등, 1982; Noppun 등, 1984; Hama, 1987; Furlong 등, 1994; Tabashnik, 1994; Kuwahara 등, 1995; Amparo 등, 1995; Sun 등, 1995; Muhammad 등, 1996). 국내에서는 송(1991,1992), 이 등(1993)에 의하여 배추좀나방의 살충제 저항성이 연구 보고된바 있는데 그들의 결과에 의하면, 국내에서 사용되고 있는 유기인계, BT, 피레스로이드계 살충제에 대한 배추좀나방의 감수성은 배추좀나방의 채집지역과 살충제의 종류에 따라 큰차이가 있고, 또 김 등(1990)은 fenvalerate저항성계통에

대한 유사계열의 살충제간에 고도의 교차저항성이 있음을 보고하였다. 그리고 조와 이(1994)는 화학적 group이 다른 5개 살충제(cartap hydrochloride, BT, triflumuron, lambda hydrochloride, prothiophos)에 대하여 배추좀나방의 약제저항성 발달과 다양한 교차저항성을 나타내었으므로 발현기작에 관한 연구는 저항성해충관리에 중요하다고 강조하였다. 김과 장(1996)은 deltamethrin도태계통에 대한 저항성 발달수준과 이에 따른 esterase활성변화를 분석하여 저항성 검색에 적용하고자 하였다. 실제 기존 약제에 대한 저항성의 발생으로 배추좀나방의 방제가 날로 심각해지고 있는 실정이므로 새로운 살충제 개발의 필요성이 크게 강조되어왔다.

이에 우리나라에서 새로 개발된 신규 살충제인 flupyrazofos [*O,O*-diethyl-*O*-(1-phenyl-3-trifluoromethyl-5-pyrazoyl)thiophosphoric acid ester] 는 pyrazole계 유기인계살충제로서, 기존의 유기인계와 유사한 구조적 특징을 가지고 있는 화합물이다(Hwang 등, 1989; 황 등, 1990). 이 화합물은 배추좀나방 방제에 탁월한 선택성을 가질 뿐만 아니라 저항성계통에 대해서도 비교차저항성을 나타내는 것으로 알려졌다(조 등, 1988, 1990; Lee 등, 1996). 또한 flupyrazofos의 물리·화학적 특성연구에서도 열과 광에 대하여 안정하며(조와 한, 1992; 조 등, 1993), 토양에 잘 흡착되고 이동, 잔류성이 짧기 때문에 상용농도로 시

*연락저자

용할 경우 주변환경에 미칠 수 있는 유해성이 적은 화합물이다.

본 연구는 배추좀나방에 대한 신규 살충제인 flupyrazofos의 영기별 약제 감수성, 발현속도, 잔효성, 침투이행성, 교차저항성 및 야외집단에 대한 감수성 등을 통하여 이 화합물의 살충작용특성을 조사하였다.

재료 및 방법

실험곤충

벼멸구, 배추좀나방, 복숭아혹진딧물, 온실가루이, 집파리, 빨간집모기, 점박이응애는 1986년부터, 그리고 작은각시들명나방, 담배나방, 파밤나방, 담배거세미나방, 멸강나방은 1997년 5~9월에 대전 및 전북 익산근처에서 채집하여 실내에서 누대사육하면서 실험에 이용하였다.

교차저항성과 지역별감수성 검정에 사용된 배추좀나방은 1986년부터 실내에서 약제도태없이 누대사육한 것을 감수성계통으로 하였다. 유기인계인 prothiofos 저항성계통은 경남 진흥원에서 분양받았으며, 피레스로이드계인 fenvalerate 저항성계통은 감수성계통을 fenvalerate로 20세대 이상 도태한 것을 이용하였다. 또 IGR계인 triflumuron저항성계통은 triflumuron에 대해서 저항성을 나타내는 야외종(전주)을 채집하여 실내에서 triflumuron으로 15세대 이상 누대선발한 것을 이용하였다. 지역별 배추좀나방은 논산(1996년 8월), 상주(1996년 9월), 울진(1996년 9월), 전주(1996년 10월) 등 4개지역으로, 배추밭에서 채집된 배추좀나방을 이용하였다. 또, 실험 시기는 야외 채집 후 실내에서 3~5세대의 충을 사용하였다. 실내 사육조건은 온도 25~28°C, 광주기 16L : 8D, 상대습도 50~60%이었다.

살충제

본 실험에 사용된 살충제는 chlorfluazuron (95.5%), deltamethrin (95%), dichlorvos (94.5%), fenvalerate (90%), flupyrazofos (95%), phenthoate (90%), prothiofos (94%), triflumuron (92%) 등 모두 8종 이었다.

약제처리 방법

발육단계별 약효 시험: 실험 살충제를 acetone에 용해

시켜 100 ppm의 Triton-X 100 계면활성수용액과 혼합하여 약액중에 acetone과 계면활성 수용액의 비율이 1 : 9가 되도록 조제한 약액에 양배추잎을 직경 3cm의 엽편으로 잘라 30초간 침적한 후 후드내에서 충분히 풍건시켜 1회용 페트리디쉬(직경 5×2 cm)에 넣고 배추좀나방 1, 2, 3, 4령 유충을 각각 10마리씩 접종하였고, 성충은 직접 충체에 분무하고 24시간 후, 그리고 IGR계 약제는 120시간 후에 사충율을 조사하였다. 또 살란 실험(ovicide test)은 12시간 이내 산란된 알수를 조사하고, 약액에 30초간 침적한후 부화억제율을 구하였다. 또 번데기도 약액에 30초간 침적한후 우화억제율을 조사하였다. 모든 실험은 3반복 이상으로 하였다.

발현속도 시험: 양배추잎을 직경 3 cm의 엽편으로 잘라 준비된 약액에 30초간 침적한 후 후드내에서 충분히 풍건시켜 1회용 페트리디쉬에 넣고 배추좀나방 3령 유충을 10마리씩 접종하고 30분간격으로 12시간까지 사충율을 조사하였다. 모든 실험은 3반복 이상으로 하였다.

침투이행성 시험: 엽면 침투이행성 시험은 파종후 6~7주된 양배추잎을 한쪽잎에 약액을 분무처리하고 24시간 후 무처리잎을 직경 3 cm의 엽편으로 잘라, 1회용 페트리디쉬에 넣고 배추좀나방 3령 유충을 10마리씩 접종하고 24시간 후에 사충율을 조사하였다. 근부침투이행성 시험은 약액을 토양에 처리하고 24시간후 양배추잎을 직경 3 cm의 엽편으로 자른뒤, 1회용 페트리디쉬에 넣고 배추좀나방 3령 유충을 10마리씩 접종하고 24시간 후에 사충율을 조사하고 Abbott(1925)의 보정식을 이용, 보정사충율을 산출하여 약제의 침투이행성여부를 검정하였다. 모든 실험은 3반복 이상으로 하였다.

잔효성 시험: 꽃트에서 본엽이 7~8잎 정도 자란 양배추에 살충제를 acetone에 용해시켜 100 ppm의 Triton-X 100 계면활성수용액과 혼합하여 약액중에 acetone과 계면활성 수용액의 비율이 1 : 9가 되도록 조제한 약액을 양배추에 처리하여 온실에 방치하였다. 또, 수분 공급시 약액을 처리한 잎이 물에 닿지 않도록 관주하였으며, 약액처리 3, 7, 11, 15일 후에 잎을 직경 3cm의 옆편으로 잘라, 1회용 페트리디쉬에 넣고 배추좀나방 3령 유충을 10마리씩 접종하고 24시간 후에 사충율을 조사하였다. 모든 실험은 3반복 이상으로 하였다.

교차저항성 시험: 양배추잎을 직경 3 cm의 엽편으로 잘라 준비된 약액에 30초간 침적한 후 후드내에서 충분히

히 풍건시켜 1회용 페트리디쉬에 넣고 배추좀나방 3령 유충을 10마리씩 접종하고 24시간 후, 그리고 IGR계 약제는 120시간 후에 사충율을 조사하였다. 모든 실험은 3반복 이상으로 하였다.

지역 감수성 시험 : 양배추잎을 직경 3 cm의 엽편으로 잘라 준비된 약액에 30초간 침적한 후 후드내에서 충분히 풍건시켜 1회용 페트리디쉬에 넣고 각 지역 배추좀나방 3령 유충을 10마리씩 접종하고 24시간 후에 사충율을 조사하였다. 모든 실험은 3반복 이상으로 하였다.

데이터분석 : 시험의 결과는 Finney(1971)의 probit 분석법으로 LC₅₀값 또는 LT₅₀값을 구하여 나타내었다.

결과 및 고찰

살충스펙트럼

Flupyrazofos의 12종 해충에 대한 감수성을 LC₅₀(ppm)

또는 LD₅₀(μg/100)값을 통하여 살충활성을 조사한 결과는 표 1에 나타낸바와 같다.

나방류인 배추좀나방에 대해서는 LC₅₀값이 0.42 ppm으로 대조약제인 prothiofos 1.6 ppm, phenthoate 2.5 ppm보다 탁월한 살충효과를 나타내었으며, 작은각시들명나방과 멸강나방에 대해서도 LC₅₀값이 각각 7.4, 5.1 ppm으로 대조약제보다 우수한 살충효과를 나타내었다. 그리고 담배겨세미나방과 담배나방에 대해서는 대조약제와 비슷한 수준의 LC₅₀값을 나타내었다. 그러나 파밤나방에 대해서는 효과가 없는 것으로 나타났다. 매미목에 속하는 벼멸구와 복숭아혹진딧물에 대해서는 대조약제보다 효과가 떨어진 것으로 나타났으며, 온실가루이에 대해서는 효과가 없는 것으로 나타났다. 또한 파리목에 속하는 집파리와 빨간집모기에 대해서는 대조약제와 비교하여 효과가 떨어진 것으로 나타났다. 응애목인 점박이응애에 대해서는 효과가 없는 것으로 나타났다. Flupyrazofos의

Table 1. Insecticidal activity of flupyrazofos to 12 arthropod species

Pests	LC ₅₀ (ppm) (95%FL) ^{a)}	LC ₅₀ (ppm) of reference insecticide
Lepidoptera		
Diamondback moth (<i>Plutella xylostella</i>)	0.42 (0.23~0.76)	Prothiofos: 1.6, phenthoate: 2.5
Cotton caterpillar (<i>Palpita indica</i>)	7.4 (6.5~8.5)	Prothiofos: 31.7, phenthoate: 169.3
Common cutworm (<i>Spodoptera litura</i>)	119.6 (107.7~132.1)	Prothiofos: 159.9, phenthoate: 393.5
Beet armyworm (<i>Spodoptera exigua</i>)	>500	Bifenthrin: 3.3, chlorpyrifos: 4.3
Tobacco butworm (<i>Helicoverpa assulta</i>)	19.8 (17.2~22.9)	Prothiofos: 13.3, phenthoate: 11.4
Rice armyworm (<i>Pseudaleta separata</i>)	5.1 (3.2~7.7)	Prothiofos: 17.7, phenthoate: 13.0
Homoptera		
Brown planthopper (<i>Nilaparavata lugens</i>)	18.3 (16.4~20.3)	BPMC: 6.0, diazinon: 11.6
Green peach aphid (<i>Myzus persicae</i>)	139.6 (131.6~149.3)	Acephate: 31.0, pirimicarb: 9.0
Greenhouse whitefly (<i>Trialeurodes vaporariorum</i>)	>250	Profenofos: 26.6, bifenthrin: <1.0
Diptera		
Housefly (<i>Musca domestica</i>)	0.11(0.099~0.119)(μg/♀)	Dichlorvos: 0.02, cypermethrin: 0.03
Common mosquito (<i>Culex pipiens pallens</i>)	0.0032 (0.0028~0.0036)	Permethrin: 0.00026
Acarina		
Two spotted spider mite (<i>Tetranychus urticae</i>)	>250	Dicofol: 30.0, abamectin: 0.05

^{a)}95% fiducial limits.

살충스펙트럼에 관한 최초의 연구는 1988년 조 등이 배추좀나방 유충에 대해서 LC₅₀값이 0.57 ppm으로 탁월한 효과를 나타내었으며, 벼멸구와 빨간집모기에 대해서는 효과가 낮고, 점박이응애에 대해서는 효과가 없는 것으로 보고하였다(Hwang 등 1989, 조 등 1990). 최근 이 등(1997)에 의해서도 이 화합물의 배추좀나방에 대해 탁월한 살충활성을 확인하였고, 파밤나방에 대해서는 효과가 없는 것으로 나타나 본실험의 결과와 일치하였다.

발육단계별 약제 감수성

Flupyrazofos을 배추좀나방의 각 발육단계별로 살충활성을 염침적법으로 처리하여 얻어진 LC₅₀값과 내성비는 표 2에 나타내었다. Flupyrazofos는 알과 번데기에 대해서는 100 ppm에서 효과를 나타내지 않았고, 성충에 대해서는 LC₅₀값이 15.8 ppm을 나타내었다. 그러나 유충에 있어서 1~4령 유충의 LC₅₀값은 0.07~1.16 ppm으로 강한 살충효과를 나타내었으며, 영기가 진행됨에 따라 LC₅₀값이 크게 높아졌다. 또한 1령충에 대한 각 층대별 상대독성(relative toxicity)를 보면, 2령은 5.1배, 3령은 8.5배, 4령은 16.6배이었다. 성충의 경우도 225.7배의 내성을 보였다.

층대가 진행됨에 따른 내성의 증대를 몇몇 연구자가 보고하였다. 김 등(1988)은 톱다리개미허리노린재에서 층대별 또는 유충의 영기별로 fenitrothion살충제에 대한 내

성을 비교하였는데, 상대독성은 3령까지는 큰차이가 없었으나, 3령 이후부터 현저히 증가함을 보고하였다. 또한 안 등(1993)도 IGR계인 diflubenzuron에 대한 톱다리개미허리노린재의 영기별 내성 비교에서 1, 2령은 낮은 농도에서도 살충효과가 높았으나, 3령이후부터는 내성이 크게 증대하였음을 보고하였다. 이와같이 유충의 영기가 진행됨에 따라 약제에 대한 내성이 증대되는 원인으로는 체중의 증가 및 두터워진 cuticle층에 기인하여 약제 투과성의 저하 그리고 곤충자체의 생리·생화학적인 변화에 따른 약제에 대한 감수성 저하 등을 들 수 있다.

살충활성의 발현속도

Flupyrazofos의 살충활성의 발현속도를 유기인계인 phenthoate와 prothiofos 살충제와 비교한 결과를 표 3에 나타내었다. Flupyrazofos는 이 두 약제에 비하여 발현속도가 빠름을 알 수 있다. 발현 속도를 LT₅₀값으로 비교해보면, flupyrazofos는 0.9시간, phenthoate은 2.0, 그리고 prothiofos는 2.2시간으로 2배정도 빨랐으므로 이 화합물은 속효성 약제임을 알 수 있다. 이 등(1997)도 flupyrazofos가 prothiofos, fenvalerate보다 발현속도가 빠름을 보고하였는데, 본 실험의 결과와 일치하였다.

침투이행성 및 잔효성

Flupyrazofos의 침투이행성 효과는 표 4에 나타내었다.

Table 2. Toxicity of flupyrazofos to developmental stages of susceptible *Plutella xylostella*

Stage	Slope (\pm SE)	LC ₅₀ (ppm) (95% FL) ^{a)}	RT ^{b)}
Egg	-	>100	-
1st instar	1.9 \pm 0.96	0.075(0.030~1.2)	1.0
2nd instar	4.7 \pm 1.6	0.36 (0.17~0.73)	5.1
3rd instar	7.7 \pm 2.3	0.50 (0.25~1.3)	8.5
4th instar	4.7 \pm 0.6	1.16 (1.04~1.26)	16.6
pupa	-	>100	-
Adult	4.5 \pm 0.4	15.8 (14.6~17.2)	225.6

^{a)}95% fiducial limits.

^{b)}Relative toxicity = LC₅₀ value of other stage/ LC₅₀ value of first instar.

Table 3. Rapidity action of flupyrazofos to third instar larvae of susceptible *Plutella xylostella*

Insecticides	Slope (\pm SE)	LT ₅₀ (hours)(95% FL) ^{a)}	LT ₉₅ (hours)(95% FL)
Flupyrazofos	2.4 \pm 0.25	0.9 (0.79~1.04)	4.5 (3.54~6.53)
Phenthoate	3.5 \pm 0.4	2.3 (1.98~2.57)	6.5 (4.69~9.56)
Prothiofos	5.1 \pm 0.37	2.0 (1.9~2.1)	4.2 (3.8~4.8)

^{a)}95% fiducial limits.

이 화합물의 엽면 침투이행 및 근부 침투이행 시험에서 침투이행효과는 거의 없는 것으로 나타났다.

침투이행성 약제들은 식물체에 이행된 후 약효력을 발휘하기 때문에 자연환경에서 안정되고 직접약제로 처리되지 않은 부위에서도 살충효과가 있으며 처리된 작물에만 식해하는 해충에만 선택적으로 작용하는 등의 장점을 가지고 있다.

따라서 농업해충방제용 살충제에 있어서 침투이행성 보유는 상당한 장점이라 할 수 있는데, 시판되고 있는 약제중 침투이행성을 보이고 있는 약제는 유기인계인 demeton-S-methyl(MW: 230.28), dimethoate(MW: 229.25), 그리고 카바메이트계인 carbaryl(MW: 201.23), carbofuran(MW: 221.26), pirimicarb(MW: 238.29) 등이 잘 알려져 있으나(이 등, 1995), flupyrazofos(MW: 380.33) 화합물의 구조상 약제가 처리된 후 침투되어 수관이나 체관계를 따라 각 부위로 이동할 수 있는 이행능력이 약한 것으로 생각되며, 또한 이화합물의 분자량이 다른 유기인계나 카바메이트계에 비해 크기 때문에 식물체로의 침투는 물론 이행이 낮은 것으로 생각되나 정확한 원인은 알 수 없다.

표 5은 flupyrazofos의 잔효성을 온실에서 파종후 2개월된 양배추잎에 100ppm의 flupyrazofos를 처리하고 15일까지 잔효성을 조사한 결과이다. Flupyrazofos처리 7일째까지는 100%의 살충율을 나타내었으나, 7일째이후부터는 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 대조약제

인 prothiofos보다는 약간 긴 것으로 나타났다.

잔효성이 우수한 살충제는 처리후 상당기간 동안 제초 처리없이도 지속적인 해충방제효과를 보이기 때문에 사용측면에서는 경제적이라 할 수 있다. 그러나 반대로 잔효성이 길어 잔류독성을 야기시킨다면 환경에 미치는 부작용이 크기 때문에 사회문제로까지 대두될 수 있다. 앞으로 환경친화형 농약개발의 필요성을 고려해 볼 때, flupyrazofos는 약효발현기간이 짧기 때문에 환경오염을 유발시킬 가능성이 적은 약제라 생각되며, 실제 양등(1997)은 포장조건에서 flupyrazofos의 상용농도로 처리하였을 때 잔류량이 3일이후부터 현저히 감소하여 시용에 따른 2차환경오염의 유해성은 낮을 것이라 하였다.

교차저항성

표 6은 flupyrazofos가 유기인계, 피레스로이드계 및 IGR계 저항성계통 배추좀나방에 대한 교차저항성 유무를 나타낸 결과이다. 유기인계인 prothiofos 저항성계통에 대한 dichlorvos의 저항성비는 20.6배, prothiofos는 69.2배의 높은 저항성을 나타내는데 반하여 flupyrazofos는 3.4배의 비교차저항성을 나타내었고, 피레스로이드계인 fenvalerate 저항성계통에 대해서 fenvalerate는 44.2배, deltamethrin은 145.4배의 높은 저항성을 나타내는데 대해서 flupyrazofos는 1.8배의 비교차저항성을 나타내었다. 또한 IGR계인 triflumuron 저항성계통에 대해서 chlorfluazuron 60.0배, triflumuron은 181.8배의 높은 저항

Table 4. Systemic action of flupyrazofos to third instar larvae of susceptible *Plutella xylostella*

Insecticides	Concentration(ppm)	n	Mortality (%)
Foliar systemic test			
Flupyrazofos	100	60	7.5
Prothiofos	100	60	20.0
Root-uptake systemic test			
Flupyrazofos	100	60	5.0
Prothiofos	100	60	2.5

Table 5. Residual action of flupyrazofos to third instar larvae of susceptible *Plutella xylostella*

Insecticides	Concentration (ppm)	Mortality (%)			
		3	7	11	15 days
Flupyrazofos	100	100	96.6	44.8	10.3
	10	83.3	30	20	5
Prothiofos	100	96.6	76.6	23.3	5
	10	48.2	30	10	5

성을 나타내는데 반하여 flupyrazofos는 1.8배의 교차저항성을 나타내었다. 이 결과에서 flupyrazofos는 저항성계통에 대해서 효과가 우수함을 알 수 있었다.

Flupyrazofos가 야의 집단의 배추좀나방에 대해서 어느 정도의 감수성을 나타내는가를 조사한 결과는 표 7에 나타내었다. 논산, 상주, 울진, 전주, 여주 등 5개지역에서 채집한 배추좀나방에 대한 flupyrazofos, phenthoate, prothiofos의 저항성 수준을 비교하였는데, prothiofos는 논산에서 5.3배, 상주에서 14.5배, 울진에서 11.8배, 여주에서 2.2배의 저항성을 나타내었으며, 전주에서 38.2배의 높은 저항성비를 나타내었다. Phenthoate는 상주의 1.3배에서 논산의 6.3배의 낮은 저항성비를 보였다. 그러나 flupyrazofos는 지역에 관계없이 0.5배에서 1.4배의 저항성비를 나타내었다. 이들 결과는 flupyrazofos가 저항성계통 뿐만 아니라 야의 집단에 대해서도 높은 살충효과를 나타냄을 알 수 있다.

김 등(1990)은 fenvalerate저항성계통이 동일계열인 pyrethroids계 (alphamethrin, cypermethrin, deltamethrin, fenvalerate, permethrin, tetramethrin) 살충제들에 대해서 높은 교차저항성을 나타내었으나, 유기인계인 acephate, fenitrothion과 카바메이트계인 carbofuran에 대해서는 비교차저항성임을 보고한바 있고, Noppun 등 (1987)은 phenthoate

도태계통 배추좀나방은 카바메이트계 methomyl에 대하여 높은 교차저항성을, acephate와 fenvalerate에 대해서는 비교차저항성을 나타내었다고 하였다. 또한 조와 이 (1994)는 5종살충제의 저항성계통(cartap hydrochloride, BT, triflumuron, lambda hydrochloride, prothiofos)에 대한 교차저항성 유무를 조사하였는데, 그중 유기인계인 prothiofos저항성계통에 대해서 cartap hydrochloride는 5.5배로 낮은 수준의 교차저항성을 보였고, BT, triflumuron, lambda hydrochloride는 비교차저항성을 나타내었다. 그리고 피레스로이드계인 lambda cyhalothrin저항성계통에 대해서 cartap hydrochloride는 9.1배의 교차저항성 수준을 보였고, prothiofos에 대해서는 5.2배의 낮은 교차저항성을 보였다. 그러나 BT와 triflumuron은 각각 2.5, 2.6배의 낮은 교차저항성 나타내었다. IGR계인 triflumuron저항성계통에 대해서 BT는 비교차저항성을, 그리고 cartap hydrochloride, lambda hydrochloride, prothiofos는 3.3~4.9배의 낮은 교차저항성을 보인다고 보고한 바 있다. 이와 같은 결과는 교차저항성은 동일계의 살충제뿐만 아니라, 도태경험이 전혀 없는 새로운 살충제에 대해서도 나타날 수 있음을 시사하는 것으로 생각된다. 또 교차저항성은 도태에 관여된 살충제 보다도 관여치 않았던 살충제에서 더욱 높은 저항성이 발현될 가능성도 있

Table 6. Cross resistance in prothiofos-selected(OP-R), fenvalerate-selected(Py-R), triflumuron-selected (IGR-R) and susceptibles strains of *Plutella xylostella* to flupyrazofos and other insecticide

Insecticides	Slope (\pm SE)	LC ₅₀ (ppm) (95% FL ^a)	RR ^b
OP-R strain			
Dichlorvos	3.4 \pm 0.39	542.6 (487.2~606.6)	20.6
Prothiofos	2.6 \pm 0.12	41.5 (31.0~ 52.7)	69.2
Flupyrazofos	3.5 \pm 0.50	2.2 (1.78~ 2.92)	3.4
Py-R strain			
Fenvalerate	3.1 \pm 0.25	323.0 (292.8~357.6)	44.2
Deltamethrin	2.6 \pm 0.39	741.5 (647.9~878.6)	145.4
Flupyrazofos	2.1 \pm 0.23	1.1 (1.0~ 1.2)	3.4
IGR-R strain			
Chlorfluazuron	1.4 \pm 0.49	1.2 (0.07~ 8.5)	60.0
Triflumuron	-	>200	>181.8
Flupyrazofos	5.6 \pm 0.52	1.1 (1.01~ 1.18)	1.8
S strain			
Dichlorvos	1.1 \pm 0.45	26.4(22.4~ 37.2)	1.0
Prothiofos	2.1 \pm 0.23	0.60(0.46~ 0.77)	1.0
Fenvalerate	3.1 \pm 0.39	7.3(5.9~ 8.8)	1.0
Deltamethrin	4.6 \pm 0.98	5.1(3.7~ 6.7)	1.0
Chlorfluazuron	1.4 \pm 0.23	0.02 (0.005~0.062)	1.0
Triflumuron	1.2 \pm 0.28	1.1(0.19~ 6.25)	1.0
Flupyrazofos	2.8 \pm 1.65	0.65(0.41~ 0.86)	1.0

^a)95% fiducial limits.

^b)Resistance ratio = LC₅₀ value of R strain/ LC₅₀ value of S strain.

으며, 특히 flupyrazofos는 본 실험에 사용된 실내 저항성 계통은 물론 야외저항성 집단에 대해서도 비교차저항성을 나타냄은 흥미있는 일이라 하겠다.

이상의 결과에서 flupyrazofos는 배추좀나방에 대해서 우수한 살충효과를 나타내었을 뿐만아니라 저항성계통에 대해서도 비교차 저항성을 나타내어 우수한 살충제라 생각되며, 특히 배추좀나방에 대해서 특이하게 작용하기 때문에 종합적해충관리(IPM)는 물론 살충제저항성 관리(Insecticide Resistance Management)에도 적용이 가능할 것으로 생각된다.

인용문헌

Abbott, W. S. (1925) A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18:265~267.
 Ahn, Y. J., G. H. Kim and K. Y. Cho. (1992) Susceptibility of embryonic and postembryonic developmental stages of *Riptortus clavatus* (Hemiptera: Alydidae) to diflubenzuron. Korean J. Appl. Entomol. 31:480~485.

Amparo, C. M. R., B. Escriche, M. D. Real, F. J. Silva and J. Ferre (1995) Inheritance of resistance to a *Bacillus thuringiensis* toxin in a field population of diamondback moth (*Plutella xylostella*). Pesticide Sci. 43:115~120.
 Ankersmit, G. W. (1953) DDT-resistance in *Plutella maculipennis* (CURT.) (Lep.) in java, Bull. Entmol. Res. 44:421~426.
 Finney, D. J. (1971) Probit analysis. Cambridge Univ. Press, London.
 Furlong, M. J., and D. J. Wright (1994) Examination of stability of resistance and cross-resistance patterns to acylurea insect growth regulators in field populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, from Malaysia. Pestic. Sci. 42:315~326.
 Furlong, M. J., R. H. J. Verkerk and D. J. Wright (1994) Differential effects of the acylurea insect growth regulator teflubenzuron on the adults of two endolarval parasitoids of *Plutella xylostella*, *Cotesia plutellae* and *Diadegma semiclausum*. Pestic. Sci. 41:359~364.

Table 7. Susceptibilities of the third instar larvae of field-collected *Plutella xylostella* population to flupyrazofos and other insecticide

Population & Insecticides	Slope (±SE)	LC ₅₀ (ppm) (95% FL ^a)	RR ^b
Nonsan population			
Flupyrazofos4	4.32±0.35	0.35(0.31~0.37)	0.5
Phenthoate2	2.51±0.33	5.0 (4.3~5.7)	6.3
Prothiofos2	2.09±0.82	3.2 (1.3~4.9)	5.3
Sangju population			
Flupyrazofos	4.7±0.49	1.0 (0.45~2.19)	1.4
Phenthoate	1.2±0.28	1.9 (0.32~1.0)	1.3
Prothiofos	4.7±0.59	8.7 (7.8~9.6)	14.5
Ulchin population			
Flupyrazofos	3.5±0.37	0.35(0.31~0.99)	0.5
Phenthoate	2.7±0.42	1.6 (1.1~2.0)	2.0
Prothiofos	1.9±0.26	7.1 (5.0~9.4)	11.8
Chonju population			
Flupyrazofos	5.7±0.52	1.1 (0.94~1.28)	0.6
Phenthoate	2.9±0.38	3.7 (3.0~4.5)	4.9
Prothiofos	2.4±0.57	22.9 (13.5~38.8)	38.2
Yuju population			
Flupyrazofos	3.7±0.93	0.39(0.027~1.1)	0.6
Phenthoate	2.7±0.38	2.7 (2.0~3.6)	4.9
Prothiofos	2.9±0.88	1.3 (0.12~4.5)	4.9
Susceptible strain			
Flupyrazofos	4.7±0.67	0.6 (0.42~0.85)	1.0
Phenthoate	1.6±0.45	0.8 (0.15~2.3)	1.0
Prothiofos	2.1±0.23	0.6 (0.46~0.77)	1.0

^a)95% fiducial limits.

^b)Resistance ratio = LC₅₀ value of field-collected population/ LC₅₀ value of susceptible strain.

- Hama, H. (1987) Development of pyrethroid resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Appl. Ent. Zool.* 22:166~175.
- Hwang, K. J., Y. D. Gong and G. H. Kim (1989) Phosphoric and thiophosphonic acid derivatives of 5-hydroxypyrazoles, compositions and use. U. S. Patent. Patent No. 4,822,779.
- Kuwahara M., P. Keinmeesuke and N. Sinchaisri (1995) Present status of resistance of the diamondback moth, *Plutella xylostella* L, to insecticides in Thailand. *Appl. Entomol. & Zool.* 30:557~566.
- Lee, S. G., C. Y. Hwang, J. K. Yoo, S. W. Lee, B. R. Choi and J. O. Lee (1997) Insecticidal activity of flupyrazofos against *Plutella xylostella* (Lepidoptera:Yponomeutidae) and *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Korean J. Pestic. Sci.* 1:48~51.
- Liu, M. Y., Y. J. Tzeng and C. N. Sun (1981) Diamondback moth resistance to synthetic pyrethroids. *J. Econ. Entomol.* 74:393~396.
- Miyata, T., H. Kawai and T. Saito (1982) Insecticide resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Appl. Ent. Zool.* 17:539~542.
- Muhammad, I., R. H. J. Verkerk, M. J. Furlong, P. C. Ong, S. A. Rahman and D. J. Wright (1996) Evidence for resistance to *Bacillus thuringiensis*(Bt)subsp. *Kurstaki* HD-1, *Bt* subsp. *aizawai* and abamectin in field populations of *Plutella xylostella*. *Pesticide Sci.* 48:89~97.
- Noppun, V., T. Miyata and T. Saito (1987) Selection for resistance of the diamondback moth, *Plutella xylostella* with fenvalerate. *J. Pesticide Sci.* 12:265~268.
- Sun, Y., Y. Chen and Y. Ying (1995) Insecticide resistance in diamondback moth in South China. in *Extended summaries 8th international congress of pesticide chemistry (IUPAC)*. *Pesticide Sci.* 43:355~357.
- Talekar, N. S., and T. D. Griggs (1986) Diamondback moth management. *Proceeding of the first international workshop Tainan, Taiwan. The Asian Vegetable Research and Development Center.*
- Tabashnik, B. E. (1994) Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annu. Rev. Entomol.* 39:47~49.
- 조부연, 한대성 (1992) 신규 살충제인 O, O, O-diethyl-O-(1-phenyl-3-trifluoromethyl-5-pyrazoyl)thiophosphoric acid ester의 열에 의한 분해성. *한국환경농학회지* 11:225~234.
- 조부연, 한 대성, 양재의 (1993) 신규 살충제인 KH-502의 광에 의한 분해성. *한국환경농학회지* 12:176~183.
- 조광연, 안용준, 김길하 외 (1988) 신규농약개발을 위한 스크리닝 체제 확립. *과학기술처연구보고서*.
- 조광연, 이준호, 김길하 외 (1990) 신규농약개발을 위한 스크리닝 체제 확립. *과학기술처연구보고서*.
- 조영식, 이승찬 (1994) 단제도태에 의한 배추좀나방의 약제 저항성 발달과 교차저항성에 관한 연구. *한국응용곤충학회지* 29:194~200.
- 김용균, 장동걸 (1996) 배추좀나방의 deltamethrin 저항성 기작에 관한 에스테라제의 역할. *한국응용곤충학회지* 35:74~79.
- 김길하, 안용준, 조광연 (1988) 톱다리개미허리노린재의 발육단계에 따른 살충제 감수성. *한국곤충학회지* 18:269~274.
- 김길하, 서영식, 이준호, 조광연 (1990) 배추좀나방의 fenvalerate에 대한 저항성 발달과 교차저항성. *한국응용곤충학회지* 29:194~200.
- 이승찬, 조영식, 김도익 (1993) 배추좀나방의 독성시험 방법 비교와 지역별 약제저항성에 관한 연구. *한국응용곤충학회지* 29:194~200.
- 이승찬, 양환승, 이두행 (1995) 삼정 신농약. *향문사*.
- 송승석 (1991) BT제에 대한 배추좀나방의 약제저항성. *한국응용곤충학회지* 30:291~293.
- 송승석 (1992) 피레스로이제에 대한 배추좀나방의 포장 약제저항성의 변동. *한국응용곤충학회지* 31:338~344.
- 양재의, 조부연, 유경렬 (1997) Flupyrazofos(KH-502)의 토양 중 용탈 및 흡착. *한국환경농학회지* 16:72~79.
- 황기준, 공영대, 김길하 (1990) 5-하이드록시피라졸유도체. 특허청. 특허번호:36840.

Property of action of new insecticide, flupyrazofos against diamondback moth, *Plutella xylostella*

Gil-Hah Kim,^{*1} Sun-Ju Moon, Young-Duck, Chang,² and Kwang-Yun Cho(Screening Division, Korea Research Institute of Chemical Technology, Yuseong P.O.Box 107, Daejeon 305-606, Republic of Korea, ¹Present address: Department of Agricultural Biology, Chungbuk National University, San 48, Gaesin-dong, Chong-ju, Chungbuk 361-763, Republic of Korea, and ²Dept. of Agricultural Biology, Collage of Agriculture, Chungnam National University, Taejon 305-764, Republic of Korea)

Abstract : Flupyrazofos (*O,O*-diethyl-*O*-(1-phenyl-3-trifluoromethyl-5-pyrazoyl)thiophosphoric acid ester) is a new organo-phosphorous insecticide. Flupyrazofos has exhibited excellent activity against diamondback moth (*Plutella xylostella*, DBM), and it is highly activity against rice armyworm(*Pseudaleta separata*) and cotton caterpillar(*Palpita indicae*). Flupyrazofos has then revealed outstanding both rapidity and residual action for DBM, although no systemic actions were observed and no cross-resistances were found to the resistance strains (Op-R, Py-R, IGR-R). Also, susceptibilities of five local strains to flupyrazofos were similar to those of the susceptible strain. These results indicate that flupyrazofos has considerable potential for controlling diamondback moth, rice armyworm and cotton caterpillar in field.

*Corresponding author (Fax : +82-431-271-4414, E-mail : khkim@trut.chungbuk.ac.kr)