

바퀴(*Blattella germanica* L.)의 살충제 저항성에 관한 연구 2. 저항성 발현 및 교차저항성

Studies on the Insecticide Resistance of the German Cockroach
(*Blattella germanica* L.) II. Resistant Development and Cross resistance

방종렬 · 이형래 · 김정화¹

Jong Ryeol Bang, Hyung Rae Lee, and Jeong Wha Kim¹

ABSTRACT The German cockroach (*Blattella germanica* L.) populations were successively selected with chlorpyrifos and permethrin for six generations. The resulting resistant strains, R_{chlorpyrifos} (Rc) and R_{permethrin} (Rp) were observed resistant development and the cross-resistance. The result indicated that the values of LC₅₀ were increased 3.23 and 2.10 times from the susceptible strain, respectively. In the Rc strains, the values of the LC₅₀ of fenvalerate, propoxur, permethrin were to 3.89, 2.97, and 1.31 times higher than that of the susceptible, respectively. In the Rp strains, the values of the LC₅₀ of fenvalerate, chlorpyrifos, and propoxur showed 5.23, 1.42, and 1.08 times cross-resistance.

KEY WORDS *Blattella germanica* L., resistant development, cross-resistance, chlorpyrifos, permethrin

초 록 바퀴(*Blattella germanica* L.)를 chlorpyrifos와 permethrin 살충제로 누대도태하여 얻어진 저항성 바퀴를 대상으로 저항성 유발 및 교차저항성에 대해서 조사한 결과는 다음과 같다. chlorpyrifos와 permethrin으로 6세대 도태 한 결과 감수성 계통 보다 도태계통의 반수치사농도가 각각 3.23배, 2.10배 증가하였다. chlorpyrifos도태계통에 있어서 propoxur, fenvalerate 및 permethrin의 반수치사농도가 각각 2.97배, 3.89배 및 1.31배로써 fenvalerate와 propoxur가 permethrin 보다 비교적 높은 교차저항성을 보였으며, permethrin 도태계통에 있어서 chlorpyrifos, propoxur 및 fenvalerate의 반수치사농도가 각각 1.42배, 1.08배 및 5.23배로써 fenvalerate가 다른 살충제에 비하여 비교적 높은 교차저항성을 보였다.

검색어 바퀴, 저항성, 교차저항성, chlorpyrifos, permethrin

바퀴는 전세계적으로 분포하며 가장 중요한 질병매개종으로써 도시위생 곤충의 대표적인 종으로 알려져있다. 특히 도시의 발달로 인한 콘크리트 건축의 보편화와 생활양식의 변화,

난방시설의 향상, 교통의 발달, 식품불자의 풍부화 등은 바퀴의 증식을 가속화시켰으며 이를 구제하기 위하여 살충제의 사용은 필수적이게 되었다. 그러나 살충제의 무분별한 사용으로 인한 저항성 바퀴의 출현은 살충제의 방제효과 저하라는 직접적인 문제뿐만 아니라, 해결방책의 하나인 대체살충제의 개발에도 많은 어려움

¹ 충북대학교 농생물학과(Department of Agricultural Biology, College of Agriculture, Chungbuk National University, Cheongju 360-763, Korea)

이 있어 살충제의 효과적인 사용이나 새로운 살충제 개발에 큰 제한요인이 되고 있다 (Metcalf 1980).

바퀴 (*Blattella germanica* L.)의 살충제 저항성에 관한 연구는 1948년에 염소계 살충제인 dieldrin과 chlordane에 대한 저항성 발현이 최초로 보고(신 등 1973)된 이후 유기인계(Milio et al. 1987, Rust & Reiersen 1978), 카바메이트계(Rust & Reiersen 1978) 및 피레스로이드계(Cochran 1973, Robinson & Zhai 1990) 등 거의 모든 살충제에 대한 저항성이 보고되었으며, 한 약제에 대한 단순저항성 뿐만 아니라 각종 약제에 대한 교차저항성이 발달되었음이 보고되었다(Bull et al. 1989, Collins 1973, Nelson & Wood 1982).

우리나라에서도 도시의 주거지역에 번성하고 있어 이를 구제하기 위해 1970년대 부터 화학적 방제와 생태에 관한 연구가 다수 보고(차 등 1969, 1970; 최와 유 1972; 이 등 1973, 1976; 신 등 1982; 신 등 1973)되었으나 살충제 저항성에 관한 보고는 없는 실정에 있다. 따라서 본 연구는 감수성 바퀴 계통에 대하여 바퀴 방제에 대표적으로 사용하고 있는 유기인계 살충제인 chlorpyrifos와 피레스로이드계 살충제인 permethrin을 사용하여 인위적으로 누대도태시킨 후 바퀴의 약제 저항성 유발정도와

도태계통에 대한 교차저항성 유무를 규명하여 바퀴의 방제대책 수립을 위한 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

공시충

1978년 부터 국립보건의원에서 살충제 도태없이 누대 사육한 바퀴 (*Blattella germanica* L.)를 1989년도에 분양받아와 살충제 접촉없이 누대 사육후 감수성계통으로 하였으며, 살충제 저항성계통은 감수성계통을 6세대 동안 누대도태하여 선발하였다. 실내사육 조건은 온도 28 ± 2 °C, 습도 45~48% 및 광조건 12L:12D로 조절하였으며 은신처와 물, 먹이(dry dog food, 카스테라빵)가 공급된 수조(30×90×45cm)에서 사육하였다.

공시살충제

도태에 사용된 살충제는 chlorpyrifos와 permethrin이며, 교차저항성 검정을 위하여 사용된 살충제는 유기인계 1종, 카바메이트계 1종과 피레스로이드계 2종으로 총 4종이었으며, 이들 살충제의 일반명, 화학명 및 유효성분(순도)은 표 1과 같다.

Table 1. Insecticides used in the present study

Classification/insecticides	Chemical name	Purity(%)
Organophosphorus		
Chlorpyrifos	0,0-diethyl-0-(3,5,6-trichloro-2-pyridyl) phosphorothioate	85.0
Carbamate		
Propoxur	2-isopropoxyphenyl-N-methylcarbamate	98.0
Pyrethroid		
Fenvalerate	(RS)- α -cyano-3-phenoxybenzyl(Rs)-2-(4-chlorophenyl)-3-methylbutyrate	96.4
Permethrin	3-(phenoxyphenyl) methyl(1Rs)-cis, trans-3-(2,2-dichloroethenyl)-2,2-dimethyl cyclopropane carboxylate(approximately 60% trans, 40% cis isomers)	90.0

살충제 처리방법

세계보건기구에서 추천한 dry film방법(WHO 1972)에 따라 아세톤에 소정 농도별로 희석시킨 공시살충제를 0.5L 비이커 안쪽 표면에 살포한 후 아세톤이 증발할 때까지 살충제를 순환시켰다. 그런후 살충제 처리된 비이커에 우화후 6일된 공시충 수컷 성충을 10마리씩 3반복 이상 넣고, petroleum jelly를 비이커 안쪽 끝에 바르고 망사를 씌워 충의 이탈을 방지하였다. 처리된 바퀴는 사육실(28±2°C, 45~48% RH, 12L:12D)에 보관 24시간 후 사충수를 조사하였으며, probit분석하여 반수치사농도(LC₅₀, ppm)를 산출하였다.

저항성 유발

도태약제는 chlorpyrifos와 permethrin를 공시하였으며, 감수성계통에 dry film방법을 사용하여 50% 살충률을 나타내는 농도수준으로 6세대까지 누대도태하였다. 도태시기는 약충 5령기에 도태약량은 매세대마다 산출한 각각의 LC₅₀(ppm) 값으로 하였다.

교차저항성 검정

교차저항성검정은 도태실험과 동일한 방법으로 실시하였다. chlorpyrifos와 permethrin 6세대 도태계통에 유기인계 1종, 카메이트계 1종, 피레스로이드계 2종에 대한 LC₅₀을 구하여 살충제 종류별 교차저항성 유무와 정도를 비교, 검토하였다.

결과 및 고찰

저항성 발현

감수성 바퀴 계통을 chlorpyrifos와 permethrin으로 각각 누대도태한 결과 저항성 발현 정도는 표 2에서 보는 바와같이 도태 세대에 수에 따라 반수치사농도(LC₅₀ ppm)는 1세대와 2세대에서는 감소하나 3세대부터 증가하기 시작하였으며 6세대 후 도태전에 비해 각각 3.23배와 2.1배 증가하였다. 그리고 유기인계인 chlorpyrifos가 피레스로이드계인 permethrin보다 저항성 유발이 빠르게 발현되는 경향을 보였다.

Table 2. Resistant development of the German cockroach by continuous selection with chlorpyrifos(Rc) and permethrin(Rp)

Generation	Rc strain				Rp strain			
	n	Slope±SE	LC ₅₀ ±95% FL (ppm)	RR	n	Slope±SE	LC ₅₀ ±95% FL (ppm)	RR
Parent	210	3.86±0.54	1.79±0.27	1.00	210	2.74±0.36	4.37±0.74	1.00
F ₁	150	3.23±0.73	1.27±0.37	0.71	150	4.33±0.71	3.07±0.49	0.70
F ₂	180	3.45±0.88	1.33±0.38	0.74	180	3.78±0.78	3.09±0.78	0.71
F ₃	150	4.03±0.72	3.15±0.62	1.76	150	3.15±0.59	4.80±1.12	1.10
F ₄	150	7.82±1.76	4.78±0.71	2.63	150	3.43±0.63	6.45±1.40	1.48
F ₅	150	4.11±0.71	5.40±1.06	3.02	150	3.14±0.50	8.05±1.76	1.84
F ₆	150	3.60±0.68	5.79±1.22	3.23	150	3.20±0.52	9.18±2.20	2.10

n: Total number of insects tested.

RR(Resistant Ratio)=LC₅₀ of test generation/LC₅₀ of parental strain.

Van den Heuvel과 Cochran(1965)은 유기인계 살충제인 diazinon을 가지고 감수성 바퀴(*Blattella germanica*)를 도태하였을 때 빠르게 저항성이 유발되었다고 하였으며, Cochran(1987)은 피레스로이드계 살충제인 permethrin과 fenvalerate를 가지고 감수성 바퀴를 7세대 동안 도태하였을 때 2.0배 정도의 비교적 낮은 저항성

이 유발되었음을 보고한 바 있다. 또한 Scott와 Matsumura(1981, 1983)의 보고에 의하면 바퀴는 피레스로이드계 살충제에 대하여 일반적으로 낮은 수준의 저항성이 발달된다고 하였는데 본 실험의 결과와 일치하는 경향이였다.

Georghiou와 Taylor(1977)는 살충제에 의한 해충의 저항성발현 정도는 살충제의 화학적 특

성, 도태압, 저항성의 유전자수, 유전자의 우성도, 환경저항, 살충제의 작용특성, 곤충의 특성 등 여러가지 요인의 지배를 받고 있음을 지적한 바와 같이, 본 실험에서 피레스로이드계 보다 유기인계 살충제가 저항성 발현 정도가 높게 나타난 것은 살충제의 화학적 특성과 살충제의 작용특성에 기인한 것으로 생각되어지며 이를 규명하기 위해서는 구조활성관계와 유전학적인 연구가 필요하다고 생각된다.

교차저항성

Chlorpyrifos와 permethrin의 6세대 도태계통(Rc와 Rp계통)에 대한 도태약제 이외의 살충제에 대한 교차저항성은 표 3에서 보는 바와 같이 Rc계통은 카바메이트계 살충제인 propoxur에 대하여 2.97배, 피레스로이드계 살충제인 fenvalerate와 permethrin에 대하여서는 각각 3.89배와 1.31배로써 fenvalerate가 비교적 다른 약제보다 높은 교차저항성을 보였다. Rp계통은 유기인계 살충제인 chlorpyrifos에 대하여 1.42

배, 카바메이트계 살충제인 propoxur에 대하여 1.08배로써 비교적 낮은 저항성을 보였으나 피레스로이드계 살충제인 fenvalerate에 대하여 5.23배로써 다른 살충제에 비하여 높은 저항성을 보였다. 그리고 fenvalerate는 Rc와 Rp계통 모두에서 높은 교차저항성을 보였다.

Collins(1973)는 diazinon과 propoxur로 도태한 저항성 계통에서 DDT와 유기인계, 카바메이트계, 피레스로이드계 살충제는 교차저항성을 보였다고 하였으며, Cochran(1987)은 피레스로이드계 살충제인 permethrin과 fenvalerate로 도태한 저항성 계통에서 같은 피레스로이드 계열인 allethrin과 pyrethrin에 대하여 고도의 교차저항성을 보였다고 하였다. 따라서 교차저항성은 동일계의 살충제 뿐만 아니라, 도태경험이 전혀 없는 새로운 살충제에 대해서도 나타날 수 있음을 시사하는 것으로 생각된다. 또한 교차저항성은 도태에 관여된 살충제보다도 관여치 않았던 살충제에 더욱 높은 저항성이 발현될 가능성이 있다는 것이다.

Table 3. Cross-resistance of $R_{chlorpyrifos}$ (Rc) and $R_{permethrin}$ (Rp) strains of German cockroach to insecticides

Insecticides	LC ₅₀ (ppm)				
	Lab strain	Rc strain	RR	Rp strain	RR
Chlorpyrifos	1.79(1.5-2.0)	—	—	3.21(2.5-4.8)	1.42
Propoxur	3.04(2.7-3.4)	9.04(7.1-11.7)	2.97	5.50(4.1-7.4)	1.08
Fenvalerate	1.87(1.5-2.2)	7.00(5.4-9.1)	3.89	9.48(7.4-12.4)	5.23
Permethrin	4.37(3.6-5.4)	5.74(4.4-7.6)	1.31	—	—

The parenthesis mean the 95% fiducial intervals.

RR(Resistant Ratio)=LC₅₀ of Rc and Rp strains/LC₅₀ of Lab strain.

이상의 결과를 종합적으로 볼때 바퀴(*Blattella germanica*)는 한 약제를 2년 이상 사용하게 되면 2~3배 이상 저항성이 유발될 것으로 사료되며, 피레스로이드계인 permethrin보다 유기인계인 chlorpyrifos가 저항성이 더 빨리 유발될 뿐만 아니라 타살충제에 대한 교차저항성을 고려할때 살충제 저항성 바퀴를 효율적으로 방제하기 위해서는 저항성 기작과 살충제의 분자구조를 관련지어 깊이 있는 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다. 또한 우리나라에서는 대

부분의 바퀴 구제용 살충제가 10~15년 이상 사용되어져 왔기 때문에 고도의 저항성이 발달되었다고 생각되며, 대체약제의 개발 및 선발이 절실히 요청되며 이에 관한 연구활동이 활발하게 수행되어져야 하겠다.

인 용 문 헌

Bull, D.L., R.W. Wadleigh & R.S. Patterson. 1989. Pharmacodynamics of malathion and

- carbaryl in susceptible and multiresistant German cockroaches(Dictyoptera:Blattellidae). J. Econ. Entomol. 82: 1512~1519.
- 차철환, 함기선, 안성규, 박동우, 구성희, 한양일, 1969. 서울시내 거주성바퀴의 분포에 관한 조사. 예방의학지 2: 77~80.
- 차철환, 함기성, 이영일, 구성희 한양일. 1970. 서울시내 바퀴 *Blattella germanica* Linnaeus의 각종 살충제에 대한 감수성. 기생충학잡지 8: 67~69.
- 최홍준, 유년희. 1972. 바퀴(*Blattella germanica* L.)에 대한 각종 살충제의 저항성 관찰. 의대잡지 고려대학교 9: 243~253.
- Cochran, D.G. 1973. Inheritance and linkage of pyrethrins resistance in the German cockroach. J. Econ. Entomol. 66: 27~30.
- Cochran D.G. 1987. Selection for pyrethroid in the German cockroach (Dictyophtera: Blattellidae). J. Econ. Entomol. 80: 1117~1121.
- Collins, W.J. 1973. German cockroach resistance: Resistance to diazinon includes cross-resistance to DDT, pyrethrins, and propoxur in a laboratory colony. J. Econ. Entomol. 66: 44~47.
- Georghiou, G.P. & C.E. Taylor. 1977. Pesticide resistance as an evolutionary phenomeon. In Proceedings XV International Congress of Entomology, Washington D.C., August 19~27. 1976. 759~785.
- 이한일, 홍한기, 심재철, 이종수, 1973. 한국산 바퀴에 관한 연구(I). 국립보건연구원보 10: 169~176.
- 이한일, 홍한기, 심재철, 이종수, 윤영선. 1975. 한국산 바퀴에 관한 연구(IV). 국립보건연구원보 13: 167~171.
- Metcalf, R.L. 1980. Changing role of insecticides in crop protection. Ann. Rev. Entomol. 25: 219~256.
- Milio, J.F., P.G. Koehler, & R.S. Patterson. 1987. Evaluation of three methods for detecting chlorpyrifos resistance in German cockroach(Orthophera: Blattellidae) populations. J. Econ. Entomol. 80:44~46.
- Nelson, J.O. & F.E. Wood. 1982. Multiple and cross-resistance in a field-collected strain of the German cockroach(Orthoptera: Blattellidae). J. Econ. Entomol. 75: 1052~1054.
- Robinson, W. & J. Zhai. 1990. Pyrethroid resistance in German cockroaches. Pest Control Technol. 18: 26~30, 32.
- Rust, M.K. & D.A. Reiersen. 1978. Comparison of the laboratory and field efficacy of insecticides used for German cockroach control. J. Econ. Entomol. 71: 704~708.
- Scott, J.G. & F. Matsumura. 1981. Characteristics of a DDT-induced case of cross-resistance to permethrin in *Blattella germanica*. Pestic. Biochem. Physiol. 16: 21~27.
- 심재철, 이한일, 김정림. 1979. 주가성바퀴에 대한 각종 방역용 살충제의 독성효과에 관한 연구. 국립보건연구원보 16: 325~330.
- 신유항, 윤일병, 김진일. 1973. 바퀴에 관한 연구. 고려대학교 연구보. 5: 3~53.
- Van den Heuvel, M.J. & D.G. Cochran. 1965. Cross resistance to organophosphorus compounds in malaton- and diazinon-resistant strains of *Blattella germanica*. J. Econ. Entomol. 38: 872~874.
- WHO. 1972. Cockroach: Biology and control. WHO/ VBC/ 72, 354.

(1992년 9월 19일 접수)