

합성 Pyrethroid계 살충제인 Bifenthrin의 토양환경중 동태 제 1 보. Bifenthrin 및 Cyhalothrin의 토양 및 수용액중에서의 분해양상

김장억 · 최태호

Behavior of Synthetic Pyrethroid Insecticide Bifenthrin in Soil Environment

I) Degradation Pattern of Bifenthrin and Cyhalothrin in Soils and Aqueous Media

Jang-Eok Kim and Tae-Ho Choi

Abstract

This study was conducted to elucidate degradation pattern of two synthetic pyrethroid insecticides, bifenthrin having 2-methylbiphenyl group and cyhalothrin having α -cyano benzyl ester group in their alcohol moiety, in two soils and aqueous media under laboratory conditions. The half-life of bifenthrin was 85.1 days and 12.4 days in Chilgok and Bokhyen soil of aerobic upland condition, respectively, and that of cyhalothrin was 54.6 days and 32.2 days. Bifenthrin and cyhalothrin were degraded very slowly under anaerobic flooded condition and sterilized. Their degradation seemed to be mainly mediated by aerobic microorganisms in soil. Bifenthrin and cyhalothrin were degraded more rapidly in Bokhyen soil with rich organic matter than Chilgok soil. Cyhalothrin was degraded 30 days faster than bifenthrin under aerobic upland condition of two soils. Cyhalothrin was degraded more than bifenthrin in alkaline solution of pH 10, but cyhalothrin and bifenthrin were degraded very slowly in acidic solution of pH 2 and 6.

...이 논문은 1991년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모(지방대학육성)과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

*경북대학교 농과대학 농화학과

Department of Agricultural Chemistry, College of Agriculture, Kyungpook National University,
Daegu 702-701, Korea

서 론

농업용으로 사용되는 약제는 다양한 종류의 병해충 및 잡초를 효과적으로 방제하기 위하여 여러형태의 화학구조를 가지게 되며 또한 어느 정도의 독성을 가지고 있어야만 활성을 나타낼 수 있기 때문에 농약은 사용되고 난 후에도 환경중에 잔류되어 비의도적으로 생태계에 여러형태로 영향을 미치게 된다¹⁻³⁾.

지금까지 주로 사용되어 온 농약중 잔류성이 길고 인축에 비교적 독성이 강한 약제들은 점차적으로 사용량이 줄어들고 있는 반면에 비교적 선택성이 높은 저독성 약제들이 많이 개발되어 이용되고 있다. 특히 살충제의 경우에 있어서는 잔류성이 문제가 되는 유기염소계는 사용량이 급격히 줄어든 반면 1972년 부터 생산되기 시작한 합성 pyrethroid계가 유기인계나 carbamate계 다음으로 많이 사용되고 있으며 앞으로도 이와 같은 추세는 계속 될 것으로 전망된다⁴⁻⁶⁾.

Pyrethroid계 농약은 19C초에 유럽에서 제충국의 주성분인 pyrethrin이 천연살충제로 사용되면서 천연살충제의 문제점으로 지적되어온 자원의 제한, 빠른 광분해성 등 몇가지 문제점들이 보완된 합성 pyrethroid계가 70년대 중반부터 개발되어 지금까지 20여종 이상의 우수한 약제가 개발되어 사용되고 있다^{7,8)}. 일반적으로 합성 pyrethroid계 살충제는 낮은 농도에서도 살충력의 spectrum이 넓으면서 선택성이고 저독성임과 동시에 가격도 저렴한 편이나 비교적 어독성이 강하여 수도용으로의 사용이 제한되어 왔는데, 최근에 일본에서 개발된 ethofenprox (Trebon)는 어독성이 낮아서 수도용 살충제로의 이용 가능성을 시험중에 있다⁹⁾. 이렇게 우수한 성질을 가지고 있는 약제도 살포시에 비의도적으로 토양환경중에 농약의 상당량이 집적하게 되어 토양생태계에 여러가지 영향을 줄 가능성이 있으므로 새로 개발되어 사용되는 약제에 대해서도 잔류성, 용탈 및 유실 관계로 인한 수질오염, 토양 미생물상의 변화 및 토양중에서의 분해경로의 파악 등에 대하여 충분한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

비교적 최근에 개발된 합성 pyrethroid계 살충제에 대한 연구는 지금까지 주로 약효 및 독성에 관한 연구들이 많았으며 최근에 와서야 토양환경중에서의 분해양상에 관한 연구들이 활발히 이루어지고 있다¹⁰⁻¹⁸⁾. 지금까지 개발되어 사용되고 있는 대부분의 합성 pyrethroid계 살충제는 화학구조적으로 볼때 크게 acid 부분과 alcohol 부분의 ester 결합으로 이루어져 있다. Acid부분이 trifluoromethyl group이 있는 cyclopropane ring을 가지고, alcohol 부분은 2-substituted biphenyl기의 구조를 가지고 있는 bifenthrin¹⁹⁾은 1984년에 소개된 약제로서 alcohol부분이 ester결합을 가지는 약제에 대하여는 많은 연구가 되어 있으나 biphenyl group을 가지는 이 약제에 대하여서는 토양환경중에서의 분해양상을 보고한 논문은 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 bifenthrin의 토양환경중에서의 동태를 파악하기 위하여 일차적으로 토양 및 수용액의 환경조건을 달리 하였을 때의 분해양상을 화학구조적으로 acid 부분이 bifenthrin과 같고 alcohol 부분이 α -cyanobenzyl ester type의 합성 pyrethroid계 살충제인 cyhalothrin과 그 분해양상을 비교하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

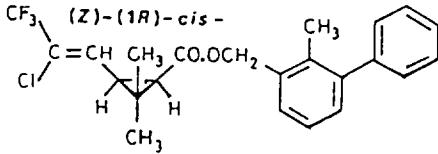
1) 공시농약

공시약제인 bifenthrin 및 cyhalothrin은 표준품을 acetone으로 용해하여 사용하였다. 이 농약의 화학구조와 화학명은 Fig. 1과 같았다.

2) 공시토양

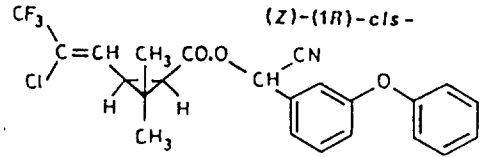
경북대학교의 실험포장인 북현지역과 경북 농촌진흥원 실험포장인 칠곡지역의 토양을 채취하여 풍진시킨 다음, 2mm체를 통과시켜 4°C 냉암소에 보관하면서 실험재료로 사용하였으며 공시토양의 물리화학적 성질²⁰⁾은 Table 1과 같았다.

Bifenthrin



2-methylbiphenyl-3-ylmethyl (Z)-(1RS)-cis-3-(2-chloro-3,3,3-trifluoroprop-1-enyl)-2,2-dimethylcyclopropanecarboxylate

Cyhalothrin



(RS)- α -cyano-3-phenoxybenzyl (Z)-(1RS)-cis-3-(2-chloro-3,3,3-trifluoroprop-1-enyl)-2,2-dimethylcyclopropanecarboxylate

Fig. 1. Chemical structure and name of bifenthrin an dcyhalothrin

Table 1. Physico-chemical properties of soil used in the experiments

Soil	Texture*	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%) (1 : 5)	pH**	O.M. (me/100g)	C.E.C.	WHC***
Bokhyen	LiC	40.0	28.6	21.4	5.5	3.8	12.0	135.2
Chilgok	CL	18.2	39.9	41.9	6.7	1.1	8.4	92.0

* LiC : light clay, CL : clay loam

** Soil : H₂O

*** maximum water-holding capacity (g/100g dry soil)

2. 실험방법

1) 토양의 환경조건에 따른 분해

토양의 환경조건에 따른 bifenthrin 및 cyhalothrin의 분해양상을 조사하기 위해 두 토양을 비살균, 살균, 혐기적 조건으로 구분하였으며, 비살균 토양은 복원 및 칠곡토양을 각각 20g씩 칭량하여 100ml병에 넣어 포장용수량의 50% 수준으로 맞추고, 25±2°C에서 2주일간 aluminium foil로 막아 preincubation을 시켰다. 살균토양은 각각의 토양을 120°C, 15 psi에서 30분간 2일 연속 autoclave한 다음, 100ml 병에 20g씩 취하고 살균수로 포장용수량의 50% 수준으로 맞추어 preincubation을 시켰다. Preincubation한 비살균 토양에 증류수와 토양의 비를 3:1로 하여 혐기적조건으로 하였다²¹⁾. 3가지 조건으로 준비된 토양시료에

bifenthrin 및 cyhalothrin의 표준품 20 ppm, 1ml을 첨가하고 용매를 휘발시킨 다음, 25±2°C의 항온조건에서 1, 4, 8, 16, 32, 64, 128일 까지 배양하면서 bifenthrin 및 cyhalothrin의 분해양상을 조사하였으며, 배양기간 동안의 증발된 수분을 보충하기 위해 1주일 간격으로 무게를 측정하여 부족한 수분을 보충하였다.

2) 수용액의 pH변화에 의한 분해

수용액 조건에서 bifenthrin 및 cyhalothrin의 pH의 변화에 따른 분해양상을 비교하기 위해 Table 2와 같은 조건으로 용액의 pH를 2, 6 및 10으로 조제하였다. 각각의 pH조건으로 조제된 용액을 밀봉한 후, 25±2°C의 incubator에 보관하면서 1, 4, 8, 16, 32, 64, 128일 동안 bifenthrin 및 cyhalothrin의 분해양상을 조사하였다.

Table 2. Composition of buffer solutions used in the experiment

(unit : ml)

pH (25°C)	5.0M NaCl	1.0 Glycine +1.0 M NaCl	2.0 N HCl	2.0 N NaOH	Pesticides (μ g)	Volume (H ₂ O)
2	1	1	0.3	-	10	10
6	1	1	-	-	10	10
10	1	1	-	0.2	10	10

3) Bifenthrin 및 Cyhalothrin의 분석방법

Bifenthrin 및 cyhalothrin을 처리한 복현 및 칠곡 토양에서 두 약제의 분석을 위하여 일정기간 동안 배양된 토양시료에 acetone을 가하여 진탕추출하고 celite 545층에서 여과하여 dichloromethane으로 3회 추출한 다음 일정량까지 감압 농축시켰다. 이 농축된 시료를 florisil column을 통하여 hexane과 ethyl acetate의 비를 95 : 5(v/v)의 비율로 조제된 용출용매로 정제한 다음 소량까지 농축하여 질소가스로 건조시킨 후 acetone으로 재용해시켜 GLC-ECD(Hitachi 663-50)로 분석하였다. GLC-ECD의 분석조건은 3% OV-101 Gas Chrom.W(80-100 mesh)를 충전한 glass column을 사용하였고 injection port, column, detector의 온도는 각각 240, 220, 250°C이었고 carrier gas로는 N₂를 50 mL/min. 사용하였다. 수용액중에서의 두약제의 분석은 diethyl ether로 추출하여 위의 분석방법과 동일하게 GLC-ECD로 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 회수율

Bifenthrin 및 cyhalothrin의 표준품을 토양 및 수용액에 처리하여 회수율을 조사한 결과는 Table 3과 같았다.

칠곡 및 복현 토양에서 0.1 및 1.0 ppm 수준으로 두 약제의 표준품을 각각 spike하여 회수율을 구한 결과 bifenthrin은 87.3에서 93.4% 정도 이었으며 cyhalothrin은 90.2-95.3%이었다. 수용액 조건에서는 0.1 및 1.0 ppm 수준에서 두 약제 모두 96%이상의 회수율을 보였다.

Table 3. Recoveries of bifenthrin and cyhalothrin for soil and water fortified with two concentration

Fortification (ppm)	Recoveries(%)*		
	Chilgok	Bokhyen	Water
0.1	87.3±3.5**	89.5±4.0	96.3±1.0
1	91.2±2.8	95.3±2.5	97.8±1.2

* Each value is the mean of triplicate

** Standard deviation

2. 토양의 환경조건에 따른 분해

1) Bifenthrin의 분해

합성 pyrethroid계 살충제는 화학구조상으로 볼 때 산부분과 alcohol부분의 ester결합으로 이루어진 것이 많은데 그 구조중에서 alcohol 부분을 2-methyl biphenyl기로 치환한 bifenthrin이 토양의 환경조건을 변화시켰을 때의 분해양상을 alcohol부분을 α -cyanobenzyl ester type인 cyhalothrin과 비교하기 위하여 토양의 환경조건을 호기적 상태, 혐기적 상태, 살균 상태의 3가지 조건으로 하여 일정기간 배양하면서 두 약제의 분해양상을 비교하였다. 토양추출물에서 bifenthrin을 추출하여 분석한 GLC-ECD의 chromatogram은 Fig. 2와 같았으며 이때 bifenthrin의 retention time은 12.4분으로 나타났다.

유기불함량이 다른 칠곡 및 복현토양을 세가지 환경조건으로 하여 bifenthrin을 처리하고 날짜별로 잔류량을 분석한 결과는 Fig. 3 및 4와 같았다.

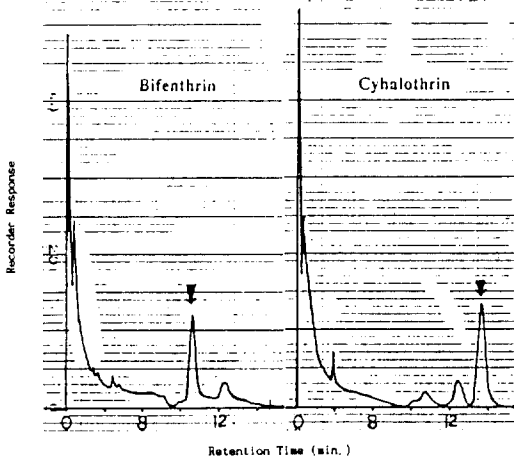


Fig. 2. Typical gas chromatogram of bifenthrin and cyhalothrin in soil extracts

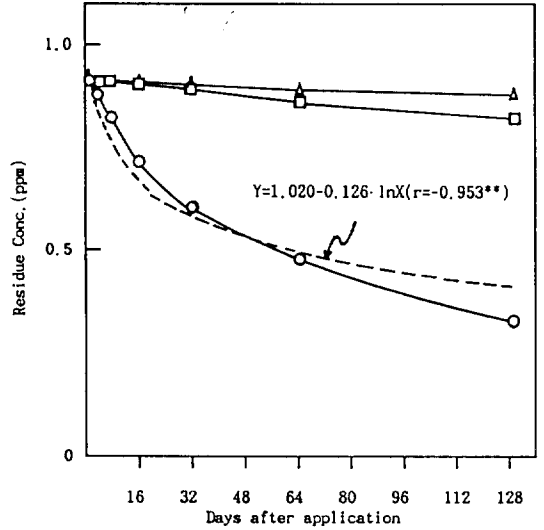


Fig. 3. Degradation pattern of bifenthrin in Chilgok soil

□-□ : sterilized ○-○ : aerobic
 △-△ : anaerobic

결과 칠곡 토양에서는 85.1일($Y=1.102-0.1261 \ln X$), 복현 토양에서는 61.2일($Y=1.041-0.1401 \ln X$)로 유기물함량이 많은 복현토양에서의 분해반감기가 칠곡토양보다 24일 정도 더 빠르게 나타났다. 그러나 미생물의 영향을 배제하기 위하여 살균 시킨 토양에서는 128일까지 거의 분해가 일어나지 않았으며 또한 혐기적 조건에서도 호기적 조건과는 달리 두 토양 공히 분해가 상당히 지연되어 128일 제까지도 약 11% 정도의 분해만 일어났다.

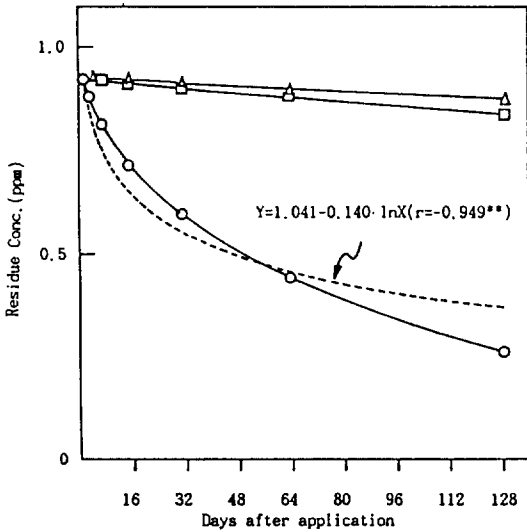


Fig. 4. Degradation pattern of bifenthrin in Bokhyen soil

□-□ : sterilized ○-○ : aerobic
 △-△ : anaerobic

Bifenthrin은 비살균상태인 호기적 조건에서는 살균 및 혐기적조건 보다 상당히 빠른 분해양상을 보여 주었는데 이의 분해반감기를 정확하게 산출하기 위하여 회귀방정식을 이용하여 반감기를 구한

2) Cyhalothrin의 분해

Bifenthrin의 실험조건들과 같은 조건으로 행하여 분석한 cyhalothrin의 GLC-ECD chromatogram은 Fig. 2에서와 같이 토양중에서의 retention time은 18.8분으로 나타났다. 칠곡 및 복현토양을 3가지 조건으로 하여 cyhalothrin을 처리하고 날짜별로 잔류량을 조사한 결과는 Fig. 5 및 6과 같았다.

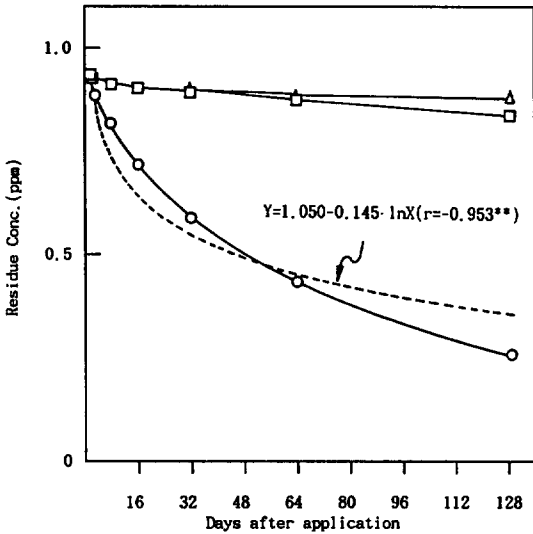


Fig. 5. Degradation pattern of cyhalothrin in Chilgok soil

□-□ : sterilized ○-○ : aerobic
 △-△ : anaerobic

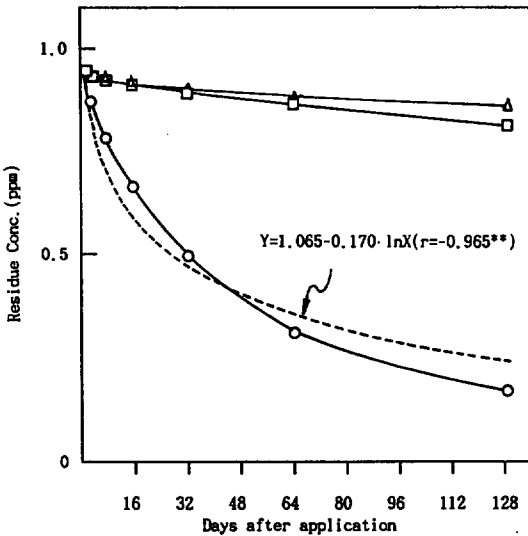


Fig. 6. Degradation pattern of cyhalothrin in Bokhyen soil

□-□ : sterilized ○-○ : aerobic
 △-△ : anaerobic

두 토양에서 cyhalothrin의 호기적 조건에서의 분해양상은 칠곡토양에서 분해반감기가 54.6일 ($Y=1.050-0.145\ln X$), 복현토양에서는 32.2일 ($Y=1.065-0.170\ln X$)로 bifenthrin과 마찬가지로 유기물함량이 많은 복현토양에서 분해반감기가 22일 정도 단축되었다. 그러나 살균 및 혐기적 토양 조건에서는 bifenthrin과 같은 경향으로 실험 전 기간 동안 분해가 상당히 느리게 일어났다.

이상의 bifenthrin 및 cyhalothrin의 토양 환경 조건의 변화에 따른 분해실험의 결과에서 두 약제의 분해정도를 비교해 보면 alcohol 부분이 biphenyl기를 가지고 있는 bifenthrin이 benzyl ester 그룹을 가지고 있는 cyhalothrin 보다 호기적 조건의 토양에서 분해반감기가 30일 정도 지연되어서 구조적으로 biphenyl group이 benzyester group보다 안정한 형태임을 알 수 있었다.

이상의 결과들은 Sakata 등¹⁰⁾과 Nambu 등¹⁵⁾이 합성 pyrethroid계 농약의 alcohol 부분이 benzyl ester group이 있는 cypermethrin과 phenothrin이 살균 토양보다는 비살균 토양에서 더욱 빨리 분해되고 주로 호기성 미생물이 관여한다고 한 결과와 유사하였다.

또한, Sakata 등²¹⁾이 비살균토양에서 benzyl ester 그룹을 가지는 permethrin, cypermethrin, deltamethrin, fenpropathrin, fenvalerate 등으로 분해양상을 조사하였는데 본 실험에서 사용된 같은 계통인 cyhalothrin과는 분해반감기가 비슷하게 나타났으나 biphenyl group을 가지는 bifenthrin과는 분해정도에 있어서 상당히 차이가 남을 알 수 있어서 alcohol 부분이 benzyl ester group이 biphenyl group보다는 빨리 분해됨을 확인할 수 있었다.

3. 수용액의 pH 변화에 따른 분해

1) Bifenthrin의 분해

수용액의 pH조건을 변화시켰을 때 bifenthrin의 분해 양상을 조사하기 위하여 수용액의 pH를 2, 6, 10으로 조절하고 1, 4, 8, 16, 32, 64, 128일간 incubator에 보관하면서 bifenthrin의 분해양상을 조사한 결과는 Fig. 7과 같았다.

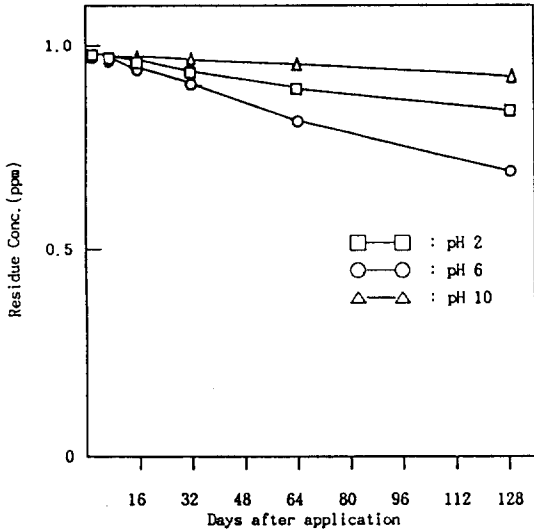


Fig. 7. Effect of pH on the degradation of bifenthrin in the aqueous media

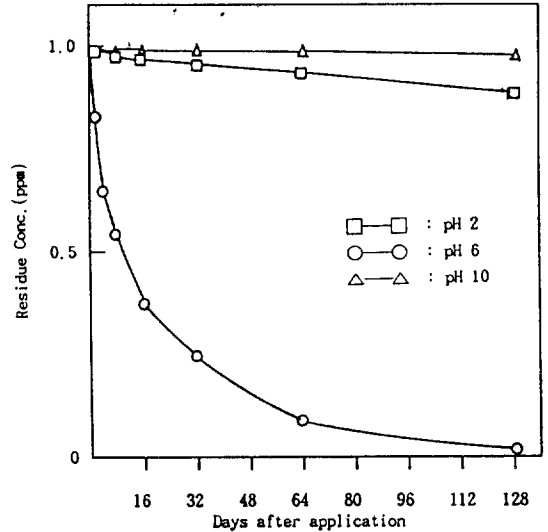


Fig. 8. Effect of pH on the degradation of cyhalothrin in the aqueous media

Bifenthrin은 pH 10의 수용액에서 120일 경과 후 약 23%, pH 6일 경우 14%, pH 2일 경우 약 6% 정도 분해되었으며, acid 조건일수록 분해가 지연되는 경향을 보였다.

2) Cyhalothrin의 분해

상기와 같은 수용액 조건에서 분해실험을 한 결과 Fig. 8과 같이 cyhalothrin은 수용액의 pH가 10인 알칼리 조건으로 아주 급속히 분해되어 128일 후에는 거의 검출이 되지 않았다. pH 6과 pH 2의 조건에서는 bifenthrin과 유사한 경향을 보여 산성 조건에서는 분해가 지연됨을 알 수 있었다.

이상의 결과들은 Katagi²²⁾와 Cotham 등²³⁾이 보고한 바에 의하면 pyrethroid계 농약은 cyclopropyl ring과 benzyl ring 사이에 ester결합을 하고 있어 alkali조건에 매우 약한 것으로 보고²⁴⁾하였으며, Takamatsu 등²⁵⁾은 acid조건 보다 alkali 조건에서 fenvalerate의 분해가 빨랐다고 한 결과와 유사하게 나타났지만 ester 결합이 산과 alcohol 부분에 하나밖에 없는 bifenthrin은 다소 분해가 지연되는 것으로 나타났다.

이상의 두 약제에 대한 수용액의 pH조건에 따른

분해양상을 비교해 볼 때 alcohol부분에 benzyl ester 부분이 있는 cyhalothrin이 bifenthrin보다 pH 10의 알칼리 조건에서 훨씬 분해가 빨랐는데 이러한 결과는 cyhalothrin은 ester 결합이 분자 구조내에 두개가 포함되어 있어서 가수분해 작용이 더욱 빨리 일어난 것이 아닌가 추정된다.

요 약

합성 pyrethroid계 살충제의 화학구조중 alcohol 부분이 2-methyl biphenyl 그룹이 있는 bifenthrin과 α -cyanobenzyl ester 그룹이 있는 cyhalothrin의 분해양상을 비교하기 위하여 토양의 환경조건을 호기적, 혐기적 및 살균조건으로 하였을 때와 pH를 변화시킨 수용액중에서 분해양상을 조사한 결과는 다음과 같다.

Bifenthrin의 호기적 토양조건에서의 분해반감기는 칠곡 및 복현 토양에서 85.1 및 61.2일이었으며 cyhalothrin은 각각 54.6 및 32.2일로서 유기물함량이 많은 복현토양에서 두 약제 모두 분해가 빨랐다. 두 약제 모두 혐기적 조건 및 살균 조건의 토양에서는 매우 느린 분해양상을 보였다. Bifenthrin

rin과 cyhalothrin의 분해는 주로 호기성 미생물이 관여하는 것으로 나타났다. 두 약제간에는 cyhalothrin이 bifenthrin보다 분해반감기가 30일 정도 빨랐다.

수용액의 pH가 10인 알칼리성 조건에서 cyhalothrin이 bifenthrin보다 상당히 빨리 분해되었으며 pH 2 및 6의 산성조건에서도 두 약제 모두 분해가 지연되었다.

참고문헌

1. Moon, Y.H.(1990) : Effect of soil environmental condition on the degradation rate of the fungicide IBP in flooded Soils, J.Korean Agric. Chem. Soc., 33, 133.
2. Hong J.U. and Kim, J.E.(1986) : Effect of insecticide on enzyme activities in soil environment, J.Korean Agric. Chem. Soc., 29, 294.
3. Kim, J.E. and Hong, J.U.(1988) : Effect of herbicide on enzyme activities in soil environment, J.Korean Agric. Chem. Soc., 31, 81.
4. Agrochemical Service(1992) : County Nat West, Wood Mac.
5. Hassall, K.A.(1990) : The biochemistry and uses of pesticides, Macmillan, p185.
6. Mikami, N.(1987) : Degradation of pyrethroid insecticides in the enviroment, J.Pestic.Sci., 12, 539.
7. Elliott, M(1989) : The Pyrethroids : Early discovery, recent advances and future, Pestic. Sci., 27, 337.
8. Hirano, M.(1989) : Characteristic of pyrethroids for insect pest control in agriculture, Pestic. Sci., 27, 353.
9. 梁桓承外(1990) : 新農藥(三訂), 郷文社, p334.
10. Demoute, J.P.(1989) : A brief review of the environmental fate and metabolism of pyrethroids, Pestic. Sci., 27, 375.
11. Sakata, S., Mikami, N., Matsuda, T. and Miyamoto, J.(1986) : Degration and leaching behavior of the pyrethroid insecticide cypermethrin in soils, J.Pestic. Sci., 11, 71.
12. Akatar, M.H.(1977) : Degradation of tetrachloroviphos and its major metabolic 2,4,5-trichlorophenacyl chloride in aqueous media, J.Agric. Food Chem., 25, 848.
13. Class, T.J., Ando and Casida, J.E.(1990) : Pyrethroid metabolism : Microsomal oxidase metabolites of (s)-bioallethrin and the six natural pyrethrins, J. Agric, Food Chem., 38 : 529.
14. Sakata, S., Mikami, N., Matsuda, T. and Miyamoto, J.(1985) : Hydrolysis of pyrethroid insecticide cypermethrin in the aqueous media, J. Pestic. Sci., 10, 643.
15. Nambu, K., Ohkawa, H. and Miyamoto, J.(1980) : Metabolic fate of phenothrin in plant and soils, J.Pestic., Sci., 5, 177.
16. Hill, B.D.(1981) : Persistence and distribution of fenvalerate residues in soil under field and laboratory conditions, J.Agric. Food Chem., 29, 107.
17. Ozaki K. and Kassai, T(1984) : The Insecticidal activity of pyrethroids against insecticide-resistant strain of planthoppers, leafhoppers and the housefly, J. Pestic. Sci., 9, 61.
18. Hatakosi, M., Umeda, K., Ohumi, T., Itaya, N. and Nakayama, I(1987) : Toxicological and electrophysiological activities of tralomethrin and deltemethrin against larvae of tobacco cutworm, spodopteralitura, J. Pestic. Sci., 12, 193.
19. Wei, L.Y.(1991) : Determination of bifenthrin in pumpkins by gas chromatography and mass spectrometry, Pestic. Sci., 32, 141.

20. 崔 炆, 金鼎濟, 申榮五 : 土壤學實驗 노트, 螢雪出版社, 大邱 (1985).
21. Sakata, S., Yoshimura, J., Nambu, K., Mikami N. and Yamada, H. (1990) : Degradation and leaching behavior of the pyrethroid insecticide fenpropathrin in soils, *J. Pestic. Sci.*, 15, 363.
22. Katagi, T. (1990) : Theoretical estimation of site specificity in the metabolic hydrolylation of synthetic pyrethroids, *J. Pestic. Sci.*, 15, 427.
23. Cotham, Jr., W.E. and Bidleman, T.F. (1989) : Degradation of malathion, endosulfan, and fenvalerate in seawater and seawater/sediment microcosms, *J. Agric. Food Chem.*, 37, 824.
24. Takahashi, N., Mikami, N., Matsuda T. and Miyamoto, J. (1985) : Hydrolysis of the pyrethroid insecticide cypermethrin in aqueous media, *J. Pestic. Sci.*, 10, 643.
25. Takamatsu, Y., Kaneko, H., Abiko, J., Yoshikato, A. and Miyamoto J. (1987) : In vivo and vitro stereoselective hydrolysis of four chiral isomers of fenvalerate, *J. Pestic. Sci.*, 12, 397.