

Fipronil의 꿀벌(*Apis mellifera*)에 대한 위해성평가

김병석* · 양유정 · 박연기 · 정미혜 · 유아선 · 박경훈 · 안용준¹

국립농업과학원 농산물안전성부, ¹서울대학교 농생명공학부

(2009년 3월 13일 접수, 2009년 3월 23일 수리)

Risk Assessment of Fipronil on Honeybee (*Apis mellifera*)

Byung-Seok Kim*, Yu-Jung Yang, Yoen-Ki Park, Mi-Hye Joeng, Are-Sun You, Kyung-Hun Park and Young-Joon Ahn¹

Department of Crop Life Safety, National Academy of Agricultural Science (NAAS), Rural Development Administration (RDA), Suwon 441-707, Korea, ¹School of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Seoul, Korea

Abstract

This study was conducted to evaluate the actual risk of fipronil on worker honey bees (*Apis mellifera* L.) through acute contact toxicity test, acute oral toxicity test, toxicity of residues on foliage test, and small scale field test. The 48h-LD_{50s} of fipronil SC on honeybee were 0.005 µg a.i./bee in acute contact toxicity test and 0.004 µg a.i./bee in acute oral toxicity test, respectively. In toxicity of residues on foliage test, fipronil showed over 90% of mortality during 28days after treatment at recommended application rate. The DT₅₀ of dislodgeable foliar residue was 9 days. Finally, In small scale field test, fipronil showed similar toxicity in the residues on foliage test. It was concluded that fipronil has very high acute toxicity and long residual toxicity to honeybee. Therefore, fipronil is highly toxic to bees exposed to direct treatment or residues on blooming crops or weeds. Do not apply this product or allow it to drift to blooming crops or weeds if bees are visiting the treatment area. To protect honeybee and wild pollinators from outdoor use of fipronil, ultimately it should need to limit for only indoor use to prevent pollinators from unintentionally exposure of fipronil.

Key words fipronil, honeybee, acute toxicity, residue on foliage, field study

서론

농업적 측면에서 꿀벌(*Apis mellifera*)은 고품질의 종자와 과일을 생산하는데 필수적인 화분매개 역할을 효과적으로 수행하는 매우 중요한 유용곤충이다. 프랑스 농업연구소(INRA)와 과학연구소(CNRS) 등의 과학자들이 전세계 곤충을 통한 화분매개의 경제적 가치를 추산한 결과, 2005년 주요곡물을 대상으로 할 때 약 2,180억 달러에 달하는 것으로 나타났으며 이는 전세계 농산물 생산액의 약 9.5%에 해당하는 경제적

가치를 지니고 있다(Sciencedaily, 2008). 따라서 화분매개 꿀벌이나 야생벌의 소실은 전세계 식량생산의 안전성이라는 측면에서 볼 때 농업의 급격한 몰락과 엄청난 경제적 손실 및 식량공급 부족의 혼란을 가져올 것이라는 것이 명백하다. 최근 들어 명확한 이유없이 꿀벌이 사라지는 붕괴현상(Collony Collapsed Disorder. CCD)이 전 세계적으로 발생하고 있어 식량안전의 커다란 위협요인이 되고 있는데 원인물질로 살충제 농약이 중요하게 거론되고 있기도 하다(Higes *et al.*, 2006).

역사적으로 꿀벌에 대한 농약문제를 처음으로 인지하기 시작한 것은 1870년대 초반 꿀벌 colony에서 비정상적인 질병이 나타나면서부터이다. 봄 동안 벌통주위에 죽은 벌들이

*연락처 : Tel. +82-31-290-0445, Fax. +82-31-290-0407
E-mail: kbs2000@rda.go.kr

쌓이기 시작하여 여름까지 봉군이 약해지고 심한경우는 봉군이 완전히 죽어 없어지기도 하였다. 이러한 증상들이 사과와 배에 가해하는 나방을 방제하기 위해 'paris green'을 사용한 시기와 동시에 일어났지만 그 원인을 명확히 구명하지는 못하였다(Johansen and Mayer, 1990). 1946년 이후 DDT 등의 새로운 유기합성농약이 사용되면서부터 농약에 의한 꿀벌의 심각한 피해사태가 지속적으로 증가하여 왔다. 최근 우리나라에서도 농약의 살포로 인한 양봉피해가 지속적으로 발생하고 있다. 특히 1999년 5월과 6월 사이에 발생한 서산간척지 인근 50여 양봉농가의 꿀벌대량폐사사건이 대표적인 사례이다. 이 사고로 인해 약 700군 이상의 벌통이 피해를 입었는데, 농촌진흥청에서 원인을 조사한 결과 서산현대농장에서 벼물바구미 방제용으로 항공살포한 fipronil세립제(상표명 리전트)의 미세입자가 바람에 날려 꿀벌에 직접 노출되거나 인근 밀원식물과 꿀벌의 식수원을 오염시켜 꿀벌에 피해를 준 것으로 조사되었다.

서산간척지 인근 양봉농가에 피해를 준 fipronil은 phenylpyrazole계열의 새로운 살충제로 기존의 유기인계, 카바메이트계, 합성피레스로이드계 등의 약제에 대해 저항력을 보이는 흡즙성, 저작성 해충에 대해 우수한 살충효과를 가지며(Moffat, 1993; Tomlin, 2000), fipronil의 살충작용기작은 γ -amino butyric acid(GABA) 수용기에 길항제로 작용하여 신경계의 흥분을 유발함과 동시에 GABA 유래의 Cl 채널을 차단하여 과도한 흥분상태를 유발하여 살충효과를 보여준다고 알려져 있다(Cole et al., 1993; Tomlin, 2000; 강 등, 2002). 국내에는 피프로닐세립제와 피프로닐액상수화제 및 피프로닐입제의 3가지 제형으로 등록되어 벼의 흑명나방, 벼물바구미, 1화기의 이화명나방, 벼물가파리의 방제와 감자의 방아벌레 방제 등에 사용되고 있다(한국작물보호협회, 2008).

본 논문은 1999년 발생한 꿀벌 대량폐사사건의 원인물질로 알려진 fipronil을 대상으로 꿀벌에 대한 위해성을 과학적으로 구명하기 위해 수행한 일련의 독성 시험(꿀벌급성접촉독성, 꿀벌급성섭식독성, 꿀벌엽상잔류독성, 소규모 꿀벌야외노출시험)의 결과를 제시하고 있다. 또한 본 연구의 독성자료를 바탕으로 노출량을 고려한 과학적 위해성평가를 통해 fipronil이 함유된 농약이 꿀벌과 화분매개충에 피해를 끼치지 않도록 하기 위한 적절한 안전관리방안을 제안하고자 한다.

재료 및 방법

시험농약

본 시험에는 피프로닐 원제 함유 제품농약 중 접촉독성시

험과 섭식독성시험을 수행하기에 적절한 희석제형으로 피프로닐액상수화제(5%)를 선정하여 사용하였다.

시험생물

본시험에 사용한 꿀벌은 서양종 황색 꿀벌(*Apis mellifera* L.)로 건강한 일벌을 선택하여 사용하였다. 이들 꿀벌은 농업과학기술원 내에서 관리하는 봉군에서 채집하여 사용하였다.

꿀벌 급성접촉독성시험

벌통에서 채집한 건강한 일벌을 CO₂로 마취한 다음 5농도 3반복으로 미리 준비한 원통형 철망케이지(ϕ 50 x H 150 mm)에 차례로 10마리씩 넣은 후 25±2°C의 암 조건에 두어 회복시킨 다음 시험에 사용하였다. 마취에서 깨어난 케이지 안에 10마리씩 수용된 꿀벌들을 다시 마취시킨 후 여과지 위에 올려놓고 꿀벌의 흉부에 농도별로 증류수를 이용하여 희석 조제한 시험용액 1 μ l를 미량국소처리주사기를 사용하여 처리하였다. 약제 처리를 끝낸 꿀벌은 다시 케이지로 옮겨 담고 50% 자당용액 2 ml를 넣은 급식관을 솜마개에 꽂아 온도 25±2°C, 습도 50~70%의 암실에 두면서 24시간과 48시간의 꿀벌의 치사율 및 이상증상을 관찰하였다. 시험이 완료된 후 24시간 및 48시간 LD₅₀치와 95% 신뢰한계를 probit법을 이용하여 산출하였다.

꿀벌 급성섭식독성시험

접촉독성시험과 동일한 방법으로 채집한 꿀벌을 원통형 철망케이지에 넣고 유리급식관에 농도별로 조제한 농약 설탕액 0.2 ml 씩 넣어 케이지에 꽂아두고 4시간 후에 관찰하여 모두 섭취한 케이지에는 설탕물을 갈아주고 섭취가 끝나지 않은 케이지는 6시간까지 둔 후 새로운 설탕물로 갈아주고 암조건에 두면서 24시간과 48시간의 치사수 및 이상증상을 관찰하고 24시간 및 48시간 LD₅₀치와 95% 신뢰한계를 probit법을 이용하여 산출하였다. 처리농도 및 반복은 급성접촉독성시험과 동일하였다.

꿀벌 엽상잔류독성시험

경기도 화성군 보통리 소재의 딸기시설하우스에서 최대사용농도인 1,000배액으로 희석하여 약액이 흐를 정도로 골고루 피프로닐액상수화제를 살포한 후 4시간과 1, 2, 3, 5, 7, 14, 21, 28일 후에 채취한 딸기 잎을 실험실내로 운반하여 딸기 잎을 잘게 잘라 15 g씩 원통형 철망케이지(ϕ 15 x H 5 cm)에 넣고 꿀벌(20마리, 3반복)을 암조건에서 24시간 노출

시킨 후 치사 및 행동이상을 관찰하였다. 본 시험방법은 미국 EPA의 엽상잔류독성시험법; Honey Bee Toxicity of Residues on Foliage(OPPTS 850.3030)에 의거하여 수행하였다.

엽면부착잔류량 조사

딸기 잎의 fipronil 엽면부착잔류량을 조사하기 위해 꿀벌 엽상잔류독성시험에서 살포한 후 4시간과 1, 2, 3, 5, 7, 14, 21, 28일 후에 채취한 딸기 잎을 실험실내로 운반하여 직경 2.35 cm의 스텔레스 파이프로 딸기 잎을 등글게 잘게 50개의 disc를 3반복으로 채취하여 surten(dioctyl sulfosuccinate, sodium salt 0.02%)용액으로 100 ml씩 2회 추출하여 합하고 50 ml의 포화식염수를 가하고 dichloromethane 50 ml씩으로 2회 분배 추출하여 진고한 후 n-hexane에 재용해하여 GC-ECD로 분석하였다.

소규모 꿀벌야외노출시험

경기도 화성군 보통리 소재의 딸기시설하우스에서 1,000 배액으로 희석하여 약액이 흐를 정도로 골고루 피프로닐액상수화제를 살포한 후 1, 2, 3, 5, 7, 14, 21, 28일 후에 폭 80, 높이 100 cm 크기의 망사 케이지로 딸기를 씌우고(Fig. 1 참조) 실험실내에서 20마리씩 철망케이지에 담아 현장으로 이동 준비한 꿀벌을 딸기 잎을 싼 망사자루에 안으로 넣어 풀어놓고 24시간 후 망사자루 내의 치사꿀벌 개체수를 조사하였다.

결과 및 고찰

꿀벌급성독성

피프로닐액상수화제의 급성접촉독성시험의 24시간 LD₅₀은 0.008 µg a.i./bee, 48시간 LD₅₀은 0.005 µg a.i./bee로 조사되었고, 급성섭식독성시험의 24시간 LD₅₀은 0.007 µg a.i./bee, 48시간 LD₅₀은 0.004 µg a.i./bee로 조사되어 접촉독성보다는 섭식독성이 약간 더 독성이 높게 나타났다(Table 1). 이 결과는 fipronil이 벌에 대한 독성이 다른 살충제보다 상당히 강하게 나타나 LD₅₀치가 0.00417(경구투여)~0.00593 µg/bee (피부접촉)라는 논문(조일규, 2000)과 거의 유사한 결과를 보였다.

엽상잔류독성

미국 EPA의 엽상잔류독성시험법에 의거하여 fipronil 액상수화제를 살포한 후 경시적으로 채취한 딸기 잎을 꿀벌에 노출시켰을 때 28일 까지도 90%이상의 치사율을 보여 장기간 잔류독성이 나타남을 알 수 있었다(Table 2). Fipronil의 꿀벌에 대한 잔류독성의 사례를 확인하는 논문은 확인할 수 없었지만 fipronil을 종자분의처리할 경우 처리후 30~60일간 벼를 가해하는 해충을 지속적으로 방제할 수 있을 정도로 장기간 약효를 발현하는 특성이 있으며 엽면 살포를 통한 해충의 방제효과의 지속성도 우수하다는 연구결과(조일규, 2000)와 본 연구에서 fipronil의 꿀벌에 대한 엽상잔류독성이 28일 이상 유지되는 결과로 볼 때 작물체의 잎에 처리한 fipronil은 매우 긴 기간동안 꿀벌에 독성을 나타낼 것으로 판단된다.

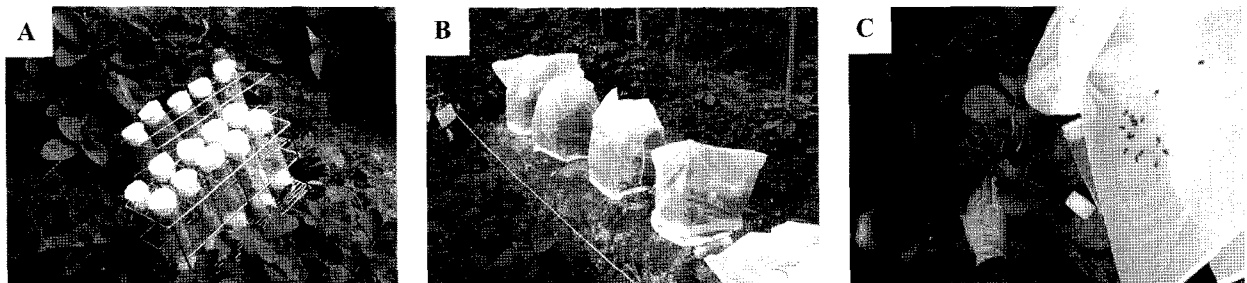


Fig. 1. Process of small scale field test; A: movement of honeybee to test plot, B: Covered strawberry plant with gauze bag, C: Observation (seeking to dead honeybees)

Table 1. Acute contact & oral toxicity of fipronil SC on honeybee

Test chemicals	Contact toxicity (µg a.i./bee)		Oral toxicity (µg a.i./bee)	
	24h-LD ₅₀	48h-LD ₅₀	24h-LD ₅₀	48h-LD ₅₀
Fipronil SC	0.008	0.005	0.007	0.004

Table 2. Toxicity of residues on foliage of fipronil on honeybee

Test chemicals	Mortality (%)								
	0-d	1-d	2-d	3-d	5-d	7-d	14-d	21-d	28-d
Fipronil SC	98.3±2.9	98.3±2.9	96.7±5.8	98.3±2.9	100	100	95.0±5.0	98.3±2.9	90.0±13.2
Control	0	0	0	0	0	0	1.7	0	0

Table 3. Persistence of fipronil on strawberry foliage

Test chemical	Exponential regression		DT ₅₀	DT ₉₀
	Equation	r		
Fipronil	$Y=1.093e^{-0.0756x}$	0.94**	9 days	31 days

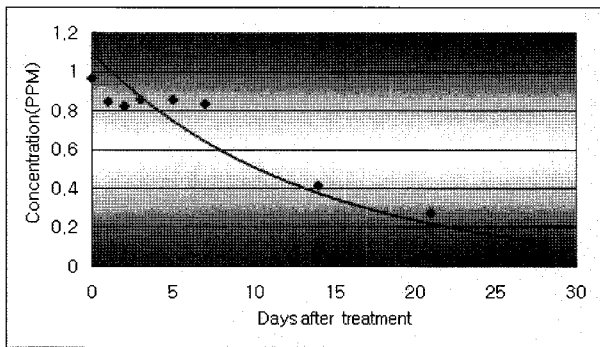


Fig. 2. Changes in fipronil residues on strawberry foliage.

엽면부착잔류량

엽상잔류독성시험법과 동시에 엽면부착잔류량을 분석한 결과 fipronil 액상수화제를 살포한 후 경시적으로 채취한 딸기 잎의 fipronil 엽면부착잔류반감기가 9일로 조사되었다. 하지만 28일의 부착잔류량이 약 0.1 ppm 수준으로 떨어졌음에도 불구하고 꿀벌이 90%이상의 치사율을 보여 낮은 잔류농도에서도 독성이 나타남을 알 수 있었다(Fig. 2, Table 3).

소규모 야외시험

소규모 야외시험으로 수행한 fipronil 액상수화제를 살포한 후 경시적으로 야외의 소형 망사케이지에 노출시킨 꿀벌이 21일간 100의 독성을 보였으며 28일에도 40%의 치사율을 보여 실내에서 수행한 엽상잔류독성시험의 긴 잔류독성의

결과와 매우 유사하였다(Table 4). 개화기의 병해충방제용으로 사용한 농약은 화분매개활동 중인 꿀벌에 노출되어 직접적인 치사를 일으키기도 하지만 직접적인 접촉이 없다 하더라도 잎이나 꽃의 화분과 화밀에 장기간 잔류하면서 일벌이 수집한 농약이 잔류된 화분과 화밀을 소비하는 봉군 내 유충, 어린 일벌, 심지어 여왕벌에게 심각한 영향을 주기도 한다(Atkins, 1992; Devillers and Pham-Dellegue, 2002; Iwasa *et al*, 2004, Kim *et al*, 2008). 따라서 fipronil과 같이 한 달 이상의 장기간 잔류성이 있는 농약의 경우에는 꿀벌과 노출될 가능성이 있는 시기의 야외살포를 금지하도록 권장하여야 할 것이다.

꿀벌 위해성 평가

fipronil은 꿀벌에 급성독성이 2 µg a.i./bee 이하로 매우 높아 고독성으로 분류되며 피프로닐의 ha당 살포량(62.5g)을 꿀벌의 급성접촉독성(0.005) 또는 급성섭식독성(0.004) 값으로 나누어 위해성 평가지수(Hazard Quotient)가 12,500과 15,625로 매우 높게 각각 조사되어 야외 꿀벌에 노출될 가능성이 매우 높은 농약이므로 엽상잔류독성시험을 수행할 필요가 있다고 판단되었다. 본 연구의 엽상잔류독성시험과 소규모 야외 시험에서 28일 이상의 꿀벌 잔류독성이 나타났으며 토양 중 fipronil의 잔류성이 논토양조건에서 147~158일, 발토양 조건에서 54~64일로 조사되어(조일규, 2000) 일반적인 야외 살포 또는 서산 현대농장에서처럼 항공살포방식의 약제살포

Table 4. Toxicity of residues on foliage of fipronil on honeybee

Test chemicals	Mortality (%)							
	1-d	2-d	3-d	5-d	7-d	14-d	21-d	28-d
Fipronil SC	90 ^a	94.7	100	90 ^a	100	100	100	40
Control	0	5 ^a	0	10 ^a	0	0	10.5 ^a	0

a : Missing honeybee was counted for dead.

를 수행할 경우 꿀벌에 치명적인 피해를 야기할 가능성이 매우 높을 것으로 판단되었다. 또한 야외 직접처리 방법이 아닌 육묘상 처리나 토양혼화 처리 등의 경우에도 긴 잔류특성으로 인해 꿀벌에 노출되어 영향을 미칠 가능성이 있을 것으로 판단되었다.

미국 EPA와 OECD 등에서는 꿀벌과 화분매개충에 대한 농약의 위해를 줄이기 위해 꿀벌독성시험법 가이드라인과 법적 관리기준을 마련하고 꿀벌에 안전한 농약이 등록되어 사용되도록 지도하고 있다(USEPA, 1996a; USEPA, 1996b, OECD, 1998). 우리나라도 2000년 꿀벌에 대한 급성섭식독성 및 접촉독성시험 기준을 최초로 고시하였고, 2007년에는 꿀벌 엽상잔류독성시험법을 추가로 고시하고 평가기준도 개선하는 등 농약의 신규농약 등록과정의 꿀벌위해성 평가체계는 외형적인 틀에서 선진국의 수준을 일정정도 갖추고 있다고 판단된다(농촌진흥청, 2007). 하지만 실제적인 꿀벌의 농약피해 정보를 수집하고, 그 사례 연구를 통해 원인을 구명하고, 위해성을 경감하기 위한 현장실천방안을 개발하여 계몽·지도하는 등의 등록 후 위해성 관리 및 정보교류를 위한 행정 지도체계는 전무한 실정이다. 2006년 경북지역 320여 사과농가에서 발생한 꿀벌폐사와 사과 결실불량피해 사례에서 볼 수 있듯이 사과재배 농민들은 이 사건의 주요 원인물질로 개화기에 살포한 아시트수화제를 거론하였지만 사과결실불량의 정확한 원인은 아직 명확히 구명되지 않은 상태에 있다. 따라서 이러한 피해사례 현장의 각기 다양한 환경과 조건에서의 피해원인을 신속히 구명해 내기 위해서는 농약 등록 후 안전관리, 위험평가, 정보교류를 전담하는 정부조직의 신설과 함께 연구인력 배치의 유연성과 예산편성의 자율성을 확대하는 제도가 뒷받침되어야 할 것으로 판단된다.

결론적으로 우리나라에서 꿀벌피해사례가 발생한 농약을 대상으로 꿀벌에 대한 위해성평가를 위해 급성독성부터 야외 시험까지 체계적으로 연구 조사하여 보고한 사례는 없었다. 따라서 본 논문에서 제시하는 피프로닐의 꿀벌 위해성평가를 위한 연구체계와 결과해석 방법론은 앞으로 국내에서 사용하는 농약의 꿀벌피해 발생시 원인구명과 피해해석을 위한 응급대응연구의 기본 틀을 제공하며 결과의 합리적 해석과 안전관리방안 도출을 위한 시급성이 되길 기대한다.

>> 인 / 용 / 문 / 헌

- Ahn K. S., M. G. Oh, H. G. Ahn, C. M. Yoon, and G. H. Kim (2008) Evaluation of toxicity of pesticides against Honeybee (*Apis mellifera*) and Bumblebee (*Bombus terrestris*). Korean J. Pesticide Science 12: 382~390.
- Atkins E. L. (1992) Injury to honey bee by poisoning. In: Graham J. E., The hive and the Honey bee. Dadant and Sons, Hamilton, pp. 1153~1208.
- Cole, L. M., R. A. Nicholson, and J. E. Casida (1993) Action of phenylpyrazole insecticides at the GABA-gated chloride channel. Pestic. Biochem. Physiol. 46: 47~54.
- Devillers J. and M. Pham-Dellegue (2002) Honey bee: estimating the environmental impact of chemicals. Tayler & Francis, London, pp 332.
- Higes M., R. Martin and A. Meana (2006) Nosema ceranae, a new microsporidian parasite in honeybees in Europe. J. Invertebrate Pathology. 92:93~95.
- Iwasa T., N. Motoyama, J. T. Ambrose, and R. M. Roe (2004) Mechanism for the differential toxicity of neonicotinoid insecticides in the honey bee, *Apis mellifera*. Crop protection 23: 371~378.
- Johansen C. A. & D. F. Mayer (1990) Pollinator protection: a bee & pesticide handbook. Wicwas Press, Connecticut, pp. 212.
- Kim B. S., Y. K. Park, Y. H. Lee, M. H. Joeng, A. S. You, Y. J. Yang, J. B. Kim, O. K. Kwon, Y. J. Ahn (2008) Honeybee acute and residual toxicity of pesticides registered for strawberry. Korean J. Pesticide Science 12: 229~235.
- Moffat, A. S. (1993) New chemicals seek to outwit insect pests. Science (Wash., DC) 22: 495~504.
- OECD (1998a) OECD guidelines for the testing of chemicals No.213 Honey bee acute oral toxicity test. Paris, France.
- OECD (1998b) OECD guidelines for the testing of chemicals No.214 Honey bee acute contact toxicity test. Paris, France.
- Tomlin C., 2000, The pesticide manual (12th ed.), The British Crop Protection Council, U.K.
- Sciencedaily (2008) Economic value of insect pollination worldwide estimated at U.S. \$217 Billion. Web address: <http://www.sciencedaily.com/releases/2008/09/080915122725.htm>
- USEPA (1996a) Ecological effect test guidelines OPPTS 850.3020 Honey bee acute contact toxicity. Washington DC, USA.
- USEPA (1996b) Ecological effect test guidelines OPPTS 850.3030 Honey bee toxicity of residue on foliage. Washington DC, USA.
- 강선미, 이충호, 박옥지, 인지혜, 윤희정, 권오경 (2002) Fipronil 적용 개 피모의 집진드기의 살진드기에 대한 효과 J. Vet. Clin. 19: 215~218.
- 농촌진흥청(2007) 농약관리법령 고시 훈령집. pp. 739.
- 조일규 (2000) 작물재배토양중 살충제 fipronil의 잔류 및 대사 특성. 전남대학교 박사학위논문.
- 한국작물보호협회(2008) 농약사용지침서. pp. 630~631.

Fipronil의 꿀벌(*Apis mellifera*)에 대한 위해성평가

김병석* · 양유정 · 박연기 · 정미혜 · 유아선 · 박경훈 · 안용준¹

국립농업과학원 농산물안전성부, ¹서울대학교 농생명공학부

요 약 벼농사용 살충제인 fipronil의 비의도적 노출에 의한 꿀벌(*Apis mellifera* L.)의 피해를 확인하기 위해 급성독성시험, 엽상잔류독성시험, cage를 이용한 소규모야외시험을 실시하였다. 급성접촉독성시험에서 24시간과 48시간의 LD₅₀은 각각 0.008, 0.005 μg a.i./bee 로 꿀벌에 매우 강한 급성독성을 보였으며 급성위해지수(QHc)는 12,500으로 매우 높은 수준이었다. 엽상잔류독성시험에서는 피프로닐 액상수화제 살포 후 28일까지 90%이상 치사율을 보여 장기간 꿀벌에 독성이 있음을 알 수 있었다. 이때 fipronil의 표면부착잔류량(dislodgeable foliar residue)을 분석한 결과 DT₅₀은 9일, DT₉₀은 31일이었다. 야외시험의 결과에서도 28일의 치사율이 40%로 조사되어 실내 엽상잔류독성시험과 유사한 잔류독성을 보였다. 이상의 결과를 종합하면 fipronil은 꿀벌에 대한 급성독성이 매우 강하면서 장기간의 잔류독성이 있어 잎 표면의 매우 낮은 잔류량으로 꿀벌에 피해를 줄 가능성이 매우 높은 살충제이다. 따라서 재배작물 뿐만 아니라 살포지역 인근의 밀원식물에 약제살포시 바람에 날려 오염될 경우 화분매개용 꿀벌과 자연생태계 유용곤충에 위해가능성이 매우 높기 때문에 꿀벌이 왕성한 활동을 하는 시기에는 야외살포를 금지하여야 하며, 궁극적으로 야외생태계 유용곤충을 보호하기 위해서는 실내사용 목적으로만 사용되도록 제한해야 할 것으로 판단된다.

색인어 fipronil, 꿀벌(*Apis mellifera* L.), 급성독성, 엽상잔류독성, 야외시험