

꿀벌과 서양뒤영벌에 대한 농약의 독성평가

안기수 · 오만균¹ · 안희근¹ · 윤창만¹ · 김길하^{1*}

충북농업기술원, ¹충북대학교 농업생명환경대학 식물학과

(2008년 11월 20일 접수, 2008년 11월 29일 수리)

Evaluation of Toxicity of Pesticides against Honeybee (*Apis mellifera*) and Bumblebee (*Bombus terrestris*)

Ki-Su Ahn, Mann-Gyun Oh¹, Hee-Geun Ahn¹, Changmann Yoon¹ and Gil-Hah Kim^{1*}

Chungbuk Provincial ARES, Cheongwon 363-880, Republic of Korea, ¹Dept. Plant Medicine, Coll. of Agri. Life and Environment Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Republic of Korea

Abstract

This study was performed to evaluate the acute toxicity and residual toxicity of the 69 kinds of agrochemicals (41 insecticides, 18 fungicides, and 10 acaricides) against honeybee, *Apis mellifera* and bumblebee, *Bombus terrestris*. According to the IOBC standard, the toxicity showed below 30 % was classified as non-toxic. Among 41 insecticides, five insecticides (acetamiprid, chlorfenapyr, thiacloprid, milbemectin, and buprofezin+amitraz) against the honeybee; eight insecticides (methomyl, thiodicarb, acetamiprid, chlorfenapyr, thiacloprid, abamectin, spinosad, buprofezin+amitraz) against the bumblebee did not show any toxic effect. Therefore, it thought to being safe. Other 18 fungicides and 10 acaricides were safe against the honeybee and bumblebee. In residual toxicity against the honeybee, eight insecticides (dichlorvos, methomyl, imidachlorprid, emamectin benzoate, spinosad, cartap hydrochloride, chlorfenapyr, and endosulfan) among 41 insecticides tested were safe at three days after treatment; however, sixteen insecticides (dimethoate, fenitrothion, fenthion, methidathion, phenthoate, pyraclofos, fenpropathrin, clothianidin, dinotefuran, thiamethoxam, abamectin, acetamiprid+ethofenprox, acetamiprid+indoxacarb, bifenthrin+imidacloprid, ethofenprox+phenthoate, imidacloprid+methiocarb) still remain high toxicity at eleven days after treatment. Against the bumblebee, residual toxicity showed as safe in seven insecticides (dimethoate, methidation, a-cypermethion, ethofenprox, indoxcarb, chlorpyrifos+a-cypermethrin, esfenvalerate+fenitrochion) at three days after treatment; however, eight insecticides (fenitrothion, pyraclofos, clothianidin, fipronil, acetamiprid+ethofenprox, chlorpyrifos+bifenthrin, ethofenprox+phenthoate, imidacloprid+methiocarb) still showed high toxicity at seven days after treatment. From above results, it will be useful information to select insecticides being safe and effective against the honeybee and bumblebee.

Key words *Apis mellifera*, *Bombus terrestris*, Insecticide, Fungicide, Acaricide, Acute toxicity, Residual toxicity

서 론

근대 양봉산업은 벌꿀과 화분, 밀랍, 왕유 등 귀중한 부산

물들을 생산하여 경제적 이득을 얻는 것 뿐 만 아니라 각종 농작물과 다른 많은 식물의 화분매개 역할을 수행하여 농산물의 생산량을 늘리는데 더 큰 목적을 갖는다(Shim and Kim, 2001; Sharma and Abrol, 2005). 농업에 있어 매우 이로운 꿀벌(*Apis mellifera*)은 농업기술의 발달로 늘어난 시설재배

*연락처 : Tel. +82-43-261-2555, Fax. +82-43-271-4414
E-mail: khkim@chungbuk.ac.kr

지에서 화분매개충으로서의 중요성이 점차 커져왔고, 그 중에서도 꿀벌과 서양뒤영벌(*Bombus terrestris*)이 시설과채류 및 과수의 수분용 화분매개곤충으로 이용량이 매년 증가하는 추세에 있다(Lee *et al.*, 2004, 2006; Kim *et al.*, 2004, 2005).

한편 늘어나는 해충에 의한 작물의 피해는 농민들로 하여금 농약사용을 증가하게 하였고, 결과적으로 방화활동과 꿀을 채집하는 과정에서 익충인 꿀벌의 의도하지 않은 접촉으로 인하여 꿀 생산에 직접적인 영향을 받게 되었으며, 작물생산에 있어서는 생산량이 떨어지는 간접적인 영향을 받게 되었다(Atkins, 1992; Iwasa *et al.*, 2004; Sharma and Abrol, 2005).

따라서 농약사용에 따른 화분매개곤충의 간접적인 영향에 대한 평가를 위하여, 유기합성 살충제인 유기인계, 카바메이트계, 니코티노이드계 등으로 꿀벌에 대한 살충제의 영향 평가를 많이 실시하고 있다(Choi *et al.*, 1989; Abrol and Andotra, 2001; Kim *et al.*, 2008). 꿀벌(*A. mellifera* and *A. cerana*) 급·만성에 대한 일부 농약의 접촉독성(Sharma and Abrol, 2005), 농약에 대한 급·만성 독성에 관한 연구(Choi *et al.*, 1989), 꿀벌 봉군에 미치는 살충제의 독성영향(Abrol and Kumar, 2001), 꿀벌에 대한 살충제의 경구독성(Sihag *et al.*, 2004), 꿀벌에 대한 딸기용농약의 급성독성 및 엽상잔류독성(Kim *et al.*, 2008), 꿀벌에 대한 야외에서의 살충제의 독성(Abrol and Andotra, 2001)과 잔류독성(Gulati *et al.*, 2004), 니코티노이드계 살충제의 독성기작(Iwasa *et al.*, 2004) 등 국내외적으로 많은 독성연구가 이루어졌다. 하지만 주로 꿀벌에 대한 독성평가가며 서양뒤영벌과 동시비교 평가는 거의 없다. 사용농약의 안전사용에 관한 자료는 아직도 미흡한 실

정이어서 지속적인 연구가 필요하다.

농약이 꿀벌에 유해하다고 해서 농약사용을 중단할 수 없기 때문에 농약을 계속 사용하면서 꿀벌을 보호할 수 있는 방법을 찾아야한다. 꿀벌은 다양한 농약의 사용으로부터 영향을 받을 수 있기 때문에, 본 연구에서는 시설재배지에서 사용되고 있는 69종의 농약을 이용하여 꿀벌과 서양뒤영벌에 대한 약제별 급성독성과 잔류독성을 평가하였고, 이를 통해 꿀벌에 안전하게 사용할 수 있는 약제를 탐색하고자 수행하였다.

재료 및 방법

실험곤충

본 실험에 사용된 꿀벌(*Apis mellifera*)은 충북농업기술원과 충북 괴산군 현암양봉원에서 사육하면서 실험에 이용하였고, 서양뒤영벌(*Bombus terrestris*)은 (주)세실에서 판매하는 상품을 충북농업기술원 곤충사육실에서 화분과 꿀물을 먹이로 공급하면서 사육하였다. 꿀벌은 야외조건에서 사육하였다.

실험 약제

꿀벌과 서양뒤영벌의 급성독성과 잔류독성 실험에 사용된 농약 선발은 딸기, 토마토, 고추에 등록된 약제와 농민들이 많이 사용하는 약제를 중심으로 살충제 41종, 살균제 18종, 살비제 10종으로 모두 69종의 제품을 사용하였다 (Table 1).

Table 1. Mortality of pesticides againsts adult of *A. mellifera* and *B. terrestris* under laboratory condition

Pesticide	AI ^{a)} /Formulatio n	Dilution (X)	Mortality (%), mean±SD			
			n	<i>A. mellifera</i>	n	<i>B. terrestris</i>
Insecticides						
Organophosphates						
Dichlorvos	50EC	1000	48	100±0.0	20	100±0.0
Dimethoate	46EC	1000	42	100±0.0	20	100±0.0
Fenitrothion	50EC	1000	52	100±0.0	20	100±0.0
Fenthion	50EC	1000	47	100±0.0	32	100±0.0
Methidathion	40EC	1000	49	100±0.0	20	100±0.0
Phenthoate	47.5EC	1000	43	100±0.0	20	100±0.0
Pyraclafos	35WP	1000	44	100±0.0	20	100±0.0

^{a)}AI : Active ingredient. EC = emulsifiable concentrate, SC = suspension concentrate, SP = water soluble powder, WG = water dispersible granule, WP = wetttable powder, EW = emulsion in water.

Table 1. Continued

Pesticide	AI/Formulation	Dilution (X)	Mortality (% , mean±SD)			
			n	<i>A. mellifera</i>	n	<i>B. terrestris</i>
Carbamates						
Methomyl	45WP	1538	39	100±0.0	20	0.0±0.0
Thiodicarb	40WP	1000	67	100±0.0	20	15.0±7.1
Pyrethroids						
α-cypermethrin	2EC	1000	43	100±0.0	20	100±0.0
Deltamethrin	1EC	1000	39	100±0.0	20	90.0±14.1
Ethofenprox	20EC	2000	34	100±0.0	32	100±0.0
Esfenvalerate	1.5WP	1000	43	84.8±26.2	20	90.0±14.1
Fenpropathrin	5EC	1000	48	100±0.0	20	90.0±14.1
Fenvalerate	5EC	1000	59	90.0±17.3	20	85.0±7.1
λ-cyhalothrin	3EW	2985	43	100±0.0	20	100±0.0
Neonicotinoids						
Acetamiprid	8WP	2000	56	0.0±0.0	29	10.6±0.8
Clothianidin	8SC	2000	46	100±0.0	30	100±0.0
Dinotefuran	10WP	1000	42	100±0.0	20	100±0.0
Imidacloprid	10SC	2500	40	100±0.0	30	92.5±10.6
Thiacloprid	10SC	2000	49	0.0±0.0	41	12.1±2.2
Thiamethoxam	1.5WG	300	43	100±0.0	30	100±0.0
Antibiotics						
Abamectin	1.8EC	2985	43	100±0.0	30	17.5±10.6
Emamectin benzoate	2.15EC	2000	46	100±0.0	30	40.0±14.1
Milbemectin	1EC	500	46	2.0±3.4	31	35.7±1.0
Spinosad	10WG	2000	47	100±0.0	20	20.0±0.0
Others						
Cartap hydrochloride	50SP	1000	44	100±0.0	30	85.0±21.2
Chlorfenapyr	5EC	1000	43	2.6±4.4	40	12.5±3.5
Endosulfan	35EC	500	38	100±0.0	30	77.5±3.5
Fipronil	5SC	800	43	100±0.0	20	100±0.0
Indoxacarb	5SC	1000	34	100±0.0	20	90±14.1
Mixtures						
Acetamiprid +Ethofenprox	25+8WP	2000 +2000	43	100±0.0	26	100±0.0
Acetamiprid +Indoxacarb	4+5WP	2000 +1000	52	100±0.0	20	100±0.0
Bifenthrin +Imidacloprid	2+8WP	2000 +2500	50	100±0.0	20	100±0.0
Buprofezin +Amitraz	12.5 +12.5EC	1000 +1000	39	7.5±6.8	20	15.0±7.1
Chlorfenapyr +Bifenthrin	20+7WP	5000 +3500	39	100±0.0	20	100±0.0
Chlorpyrifos +α-Cypermethrin	10+1WP	1000 +1000	41	100±0.0	20	100±0.0
Esfenvalerate +Fenitrothion	1.25+15WP	1000 +1000	46	100±0.0	19	100±0.0
Ethofenprox +Phenthoate	7+30WP	1000 +1000	41	100±0.0	29	100±0.0
Imidacloprid +Methiocarb	3+20WP	1000 +1000	42	100±0.0	20	100±0.0
Indoxacarb +Teflubenzuron	1+2WP	1000 +1000	69	81.9±3.6	20	40±21.7

Table 1. Continued

Pesticide	AI/Formulation	Dilution (X)	Mortality (% mean±SD)			
			n	<i>A. mellifera</i>	n	<i>B. terrestris</i>
Fungicides						
Azoxystrobin	20SC	2000	42	2.2±3.8	30	25.0±7.1
Copper hydroxide	77WP	500	40	4.2±7.2	30	25.0±7.1
DBEDC	20EC	500	40	12.9±5.4	30	30.0±14.1
Difenoconazole	10WG	2000	44	2.4±4.1	30	27.5±3.5
Ethaboxam	15SC	1000	40	2.6±4.4	21	14.1±5.8
Fludioxonil	20SC	2000	45	0.0±0.0	20	10.0±0
Fenarimol	12.5WG	3000	38	5.3±4.7	20	10.0±14.1
Kresoxim-methyl	47WP	2000	58	1.3±2.2	30	12.5±3.5
Myclobutanil	6WP	1583	37	8.2±1.0	20	10.0±14.1
Prochloraz	25WP	1000	43	4.9±4.3	20	15.0±21.2
Triadimefon	5WP	800	36	3.0±5.2	20	5.0±7.1
Triflumizole	30WP	4000	32	0.0±0.0	20	25.0±21.2
Triforine	17EC	2000	42	6.8±6.7	20	20±14.1
Diethofencarb +Carbendazim	25+25WP	1000 +1000	72	3.0±5.2	30	35.0±7.1
Metalaxyl +Mancozeb	7.5+56WP	500 +500	42	100±0.0	20	100±0.0
Oxadixyl +Mancozeb	8+56WP	500 +500	40	100±0.0	30	92.5±10.6
Sulfur +Carbendazim	30+10SC	500 +500	49	0.0±0.0	41	12.1±2.2
Thiophanate-methyl +Triflumizole	45+15WP	2000 +2000	43	100±0.0	30	100±0.0
Acaricides						
Acequinocyl	15SC	1000	41	0.0±0.0	20	15.0±7.1
Amitraz	20EC	1000	44	4.5±3.9	20	40.0±13.2
Azocyclotin	25WP	1500	38	0.0±0.0	20	10.0±14.1
Bifenazate	23.5SC	2000	51	0.0±0.0	20	15.0±7.1
Etoxazole	10SC	4000	41	0.0±0.0	21	10.0±14.1
Fenazaquin	10EC	2000	46	0.0±0.0	20	25.0±7.1
Fenpyroximate	5SC	2000	48	2.0±3.4	30	10.0±14.1
Pyridaben	20WP	1000	75	2.0±3.4	31	35.7±1.0
Spiromesifen	20SC	2000	60	0.0±0.0	20	0.0±0.0
Tebufenpyras	10EC	2000	36	0.0±0.0	20	5.0±7.1
Control			72	2.7±1.3	30	2.5±3.5

급성접촉독성 검정

꿀벌에 대한 약제 감수성 실험은 벌통안의 벌집을 꺼낸 후 50 ml 튜브를 이용하여 꿀벌을 10마리 이상씩 잡는다. 꿀벌이 질식사하지 않도록 50 ml 튜브의 뚜껑을 직경 1 mm 정도의 구멍 5개 정도 뚫어서 사용하였다. 50 ml 튜브 뚜껑을 열고 소형분무기(분무입자크기: 400 µm; 직경 0.15 mm의 노즐에 연결되어 한 번 누를 때마다 0.1에서 0.15 ml씩 분사되는 분무기)로 5회 분무 살포한다. 벌에 약액이 충분히 묻도록 좌우로 살짝 흔들어 주고, 꿀과 전분이 혼합된 먹이가 있는

15×7.5×7.5 cm의 사육통에 약액이 묻은 벌을 털어 놓은 후 바로 바람이 잘 통하는 햇빛이 있는 곳으로 옮겨 놓는다. 30 분 후 실험실로 옮긴 후 보관하면서 1일 후 사충수를 조사하였다. 실험은 3반복으로 수행하였다.

서양뒤영벌은 어두운 곳에서 빨간 셀로판을 댄 손전등을 비추면서 핀셋으로 다리를 잡고 5마리씩 50 ml 튜브에 넣고 추천농도의 약액을 살포하였다. 50 ml 튜브를 살짝 흔들어 서양뒤영벌에 약액이 충분히 묻도록 한 후 30×30×50 cm의 곤충사육상자에 30 cm 이상인 토마토 5주와 꿀물과 화분을

넣고 약액이 묻은 서양뒤영벌을 방사한 다음, 3일 후 사충수를 조사하여 사충률을 구하였다(꿀벌은 약제처리 1일후에 생사를 정확하게 판단할 수 있으나, 서양뒤영벌은 죽어가는 속도가 느리고 1일후에 생사를 판하기 어렵기 때문에 3일후의 결과로 판단하였다). 실험은 3반복으로 수행하였다. 약제의 실험결과는 Tukey's Studentized Range Test($P=0.05$)로 비교하였다(SAS Institute, 1990). 안전성 여부 판단은 IOBC의 기준에서 정한 '유용생물에 대한 농약의 부작용 정도에 따른 등급'의 실내 기준에 따라 독성여부를 판단하였다(Hassan, 1992).

엽상잔류 독성 검정

꿀벌에 대한 잔류 독성 검정은 파종후 3-4주된 강낭콩에 추천농도로 약제를 살포한 후 유리온실에 보관하였다. 또, 수분 공급시 약액을 처리한 잎이 물에 닿지 않도록 관주하였으며, 약액처리 1, 3, 5, 7, 9, 11일 후에 강낭콩 잎을 절단 한 후 꿀과 전분이 혼합된 먹이가 있는 사육상자(15×7.5×7.5 cm)에 넣은 다음, 꿀벌성충(일벌) 15~20마리를 접종하고 24시간 후 사충수를 조사하였다.

서양뒤영벌은 30 cm 이상인 토마토에 추천농도로 약제를 살포한 후 유리온실에 보관하였다. 약제처리 1, 3, 5, 7일 후에 꿀물과 화분이 들어있는 곤충 사육상자(30×30×50 cm)에 약제 처리된 토마토를 넣고 서양뒤영벌 성충을 10마리를 접종하고 3일후 사충수를 조사한다. 실험은 3반복으로 수행하였다.

결과 및 고찰

농약의 급성접촉독성

꿀벌은 화밀을 채취하기 위하여 꽃에서 섭식하는 과정에서 농약이 살포된 꽃이나 살포된 지역에서 날아다니다 농약에 노출되어 급성독성으로 죽게 된다. 본 실험에서 69종의 약제(살충제 41종과 살균제 18종, 살비제 10종)에 대한 꿀벌과 서양뒤영벌 성충의 급성접촉독성을 조사하였으며(Table 1), 국제 생물적 방제기구(IOBC)의 기준에 따라 30% 이하로 독성을 나타낸 것을 해 없음으로 분류하였다. 이 기준을 적용하면, 꿀벌에서는 41종의 살충제 중 5종(acetamiprid, chlorfenapyr, thiacloprid, milbemectin, buprofezin+amitraz), 서양뒤영벌에서는 8종(methomyl, thiodicarb, acetamiprid, chlorfenapyr, thiacloprid, abamectin, spinosad, buprofezin+amitraz)이 독성이 낮아 안전한 것으로 나타났다. 18종의 살균제의 경우, 꿀벌과 서양뒤영벌에 대해서 3종(metalaxyl+mancozeb, oxadixyl+mancozeb, thiophanate-methyl+triflumizole)의 약제를 제

외하고 모두 안전한 것으로 나타났다. 살비제의 경우 10종의 약제 모두 꿀벌에는 안전하였으며, 서양뒤영벌에서는 amitraz가 40%의 독성을 나타내었으나 약제처리 3-4일후에 방사한다면 독성에는 문제가 없을 것으로 생각된다.

유기인계 계열의 살충제는 두 종의 벌에 대해서 모두 100%의 독성을 보여 화분매개곤충과의 혼용을 피하는 것이 좋을 것으로 보인다. 피레스로이드계열에서도 꿀벌과 서양뒤영벌에 대하여 모든 약제에 대하여 높은 독성을 보였다. 하지만 두 종의 카바메이트에서는 꿀벌에 대하여 높은 독성을 보였지만 서양뒤영벌에 대해서는 독성이 낮게 나타났다. 네오니코티노이드계열의 약제에서는 acetamiprid와 thiacloprid에서 거의 독성을 보이지 않았으나 나머지 약제에 대해서는 높은 독성을 보였다. 살균제와 살비제에 대한 꿀벌과 서양뒤영벌의 독성을 검정한 결과 metalaxyl+mancozeb, oxadixyl+mancozeb, thiophanate-methyl+triflumizole을 제외한 모든 약제에서 낮은 독성을 보임을 알 수 있었다(Table 3).

Johnson *et al.*(2006)은 3종의 pyrethroids 약제의 독성을 실험한 결과, cyfluthrin(LD₅₀=68 µl/bee) > cyhalothrin(LD₅₀=103 µl/bee) > fluvalinate(LD₅₀=9,450 µl/bee) 순으로 꿀벌에 대한 독성이 있음을 보고하였다. 또한 이들 pyrethroids 계열 약제는 꿀벌의 기피활성으로 인하여 꿀벌의 수렵활동이 감소했고(Thompson, 2001), Shires *et al.*(1984) 또한 α-cypermethrin이 수렵과 화분수집에 약간의 감소를 초래한다고 보고하였다. 그러나 Mayer and Lunden(1999)은 α-cypermethrin이 유체에 대한 꿀벌의 수렵활동에 대한 기피활성이 없는 것으로 보고하였다. 이 같은 결과는 이들 pyrethroids 계열의 약제는 계절에 따라 그 활성을 달리 나타내는 것으로 볼 수 있다(Meled *et al.*, 1998). Kim *et al.*(2008)은 시설재배 딸기에 사용하는 21종의 꿀벌에 대한 급성접촉독성실험에서 독성을 보인 약제는 fenpropathrin EC 등 6종 이었고, 급성섭식독성시험에서는 fenpropathrin EC만이 독성을 나타내어 검정법에 따라 독성에 차이가 있음을 보고 하였다. Choi *et al.*(1989)은 또한 농약의 제형에 따라 꿀벌에 대한 독성이 다르게 나타나므로 농약의 제형을 달리함으로써 꿀벌의 피해를 줄일 수 있는 가능성을 제시하였다. Yim(2003)은 꿀벌에 대한 20개 약제 중 섭식독성에서 lufenuron, diflubenzuron, pyridaben, acetamiprid 등 4종, 접촉독성에서는 lufenuron, diflubenzuron, pyridaben, acetamiprid, tebufenpyrad 등 5종이 해가 없음을 보고하였다. 본 연구에서는 곤충성장조절제(IGR)는 독성실험을 하지 않았으나, 약제의 특성상 성충에는 해가 없을 것으로 판단된다(Thomson, 2001). 본 실험에서도 acetamiprid와 pyridaben은 해가 없는 것으로 나타났다.

농약의 업상진류독성

꿀벌에 대하여 농약의 독성평가를 한 결과 높은 독성을 보인 약제를 선별하여 꿀벌에 대한 업상진류독성을 검정하였다

(Table 2). 꿀벌에 대한 농약의 업상진류독성은 농약살포시기를 결정하고 봉군에 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 화밀을 오염시킬 가능성이 크기 때문에 중요하다(Abrol and Andotra, 2001;

Table 2. Residual toxicity of pesticides against *A. mellifera* adult

Common name	n	Mortality (%) of day after treatment					
		1	3	5	7	9	11
<i>Organophosphates</i>							
Dichlorvos	88	100	100	0			
Dimethoate	110	100	100	100	0	0	
Fenitrothion	182	100	100	100	78.6±11.4	0	
Fenthion	154	100	100	100	100	0	0
Methidathion	165	100	100	75.0±10.9	51.7±2.4	0	0
Phenthoate	146	100	100	100	40.2±17.5	0	
Pyraclufos	184	100	100	100	100	94.1±8.3	36.2±7.7
<i>Carbamates</i>							
Methomyl	65	59.8±41.1	0				
Thiodicarb	123	100	97.5±3.5	50.2±11.0	7.3±1.5	0	
<i>Pyrethroids</i>							
a-Cypermethrin	167	100	100	100	100	91.2±1.6	85.2±0.8
Deltamethrin	116	96.9±4.4	53.9±33.8	25.0±2.3	0		
Ethofenprox	163	100	100	100	100	100	100
Fenpropathrin	92	100	93.3±9.4	93.3±9.4	85.0±7.1	81.3±12.4	53.4±5.3
λ-cyhalothrin	126	100	100	72.2±8.8	35.3±5.6	0	
<i>Neonicotinoids</i>							
Clothianidin	175	100	100	100	100	100	100
Dinotefuran	177	100	100	100	100	86.7±18.9	83.3±23.6
Imidacloprid	79	13.0	0				
Thiamethoxam	181	100	100	100	100	100	100
<i>Antibiotics</i>							
Abamectin	174	100	100	100	100	100	100
Emamectin benzoate	59	61.9±10.4	2.8±3.9				
Spinosad	69	79.4±3.5	0				
<i>Others</i>							
Cartap hydrochloride	71	23.8±13.5	3.3±4.7				
Chlorfenapyr	67	4.5±6.4	2.8±3.9				
Endosulfan	60	100	2.8±3.9				
Fipronil	102	100	100	0			
Indoxacarb	91	78.7±5.2	80.8±8.2	0			
<i>Mixtures</i>							
Acetamiprid+ethofenprox	155	100	100	100	100	100	100
Acetamiprid+indoxacarb	175	100	100	100	100	100	51.9±11.5
Bifenthrin+imidacloprid	182	100	100	100	70.0±14.1	42.9±10.1	3.6±5.1
Chlorfenapyr+bifenthrin	178	100	100	100	100	100	100
Chlorpyrifos+a-Cypemethrin	129	100	100	51.2±42.6	4.5±6.4		
Esfenvalerate+Fenitrothion	106	100	91.7±11.8	92.1±11.2	4.2±5.9		
Ethofenprox+Phenthoate	192	100	100	100	100	100	100
Imidacloprid+Methiocarb	188	100	100	100	100	100	100

Abrol and Kumar, 2001). 실험결과 꿀벌에 대하여 살균제와 살비제 처리시에는 대부분 안전하였고, 살충제를 처리한 실험에서만 높은 독성을 보여 살충제에 대한 잔류실험을 진행하였다.

유기인계 약제 중에는 dichlorvos와 methidathion을 제외한 모든 약제들이 5일째까지 100%의 엽상잔류독성을 보였다. 카바메이트계 약제는 잔류독성이 짧아 methomyl은 약제처리 3일 후, thiodicarb는 약제처리 7일 후 잔류독성이 없었다(Table 2). 피레스로이드계 약제인 α -cypermethrin, ethofenprox, fenpropathrin은 약제 처리 11일 후까지도 잔류독성을 보였으나, deltamethrin과 λ -cyhalothrin은 각각 7일과 9일 후에 잔류독성이 없었다(Table 2).

일반적으로 neonicotinoids계열의 약제들(clothianidin, dinotefuran, thiamethoxam)이 높은 잔류독성을 보였는데, 처리

11일 후에도 엽상잔류독성을 보였다. 그러나 같은 계열의 약제인 imidacloprid는 잔류독성을 보이지 않았다. 항생제계열의 약제들에서도 abamectin은 약제처리 11이후에도 100% 잔류독성을 보인 반면, emamectin benzoate와 spinosad는 약제처리 3일후에 잔류독성이 없었다. 기타약제에서는 cartap hydrochloride와 chlorfenapyr에서는 1일째에서도 잔류독성이 거의 없음을 알 수 있었다.

Kim *et al.*(2008)은 20종의 농약에 대한 엽상잔류에서는 fenpropathrin EC만이 10일 이상 잔류독성이 있었으며, 21종 제품농약에 대한 살포 후 꿀벌안전방사기간을 제안하였다. 농약의 잔류독성 기간은 농약의 구조적 특성과 제형, 온도, 기상요인과 살포시기에 따라 큰 차이를 보이게 된다. 이 때문에 같은 농약이라도 심한 변이를 보이고 있다(Choi *et al.*, 1989). 따라서 농약

Table 3. Residual toxicity of pesticides against *B. terrestris* adult

Pesticide	n	Mortality (%) of day after treatment			
		1	3	5	7
<i>Organophosphates</i>					
Dichlorvos	80	80.0±14.1	75.0±7.1	15.0±7.1	0
Dimethoate	80	56.0±14.1	45.0±7.1	10.0±14.1	0
Fenitrothion	80	100	85.0±7.1	10.0±14.1	0
Fenthion	80	100	100	100	21.2±15.0
Methidathion	80	25.0±7.1	20.0±0.0	15.0±7.1	0
Phenthoate	80	100	100	35.0±9.6	15.0±7.1
Pyraclofos	80	100	100	100	100
<i>Pyrethroids</i>					
a-Cypermethrin	20	0			
Ethofenprox	60	85.0±7.1	25.0±7.1	0	
λ -cyhalothrin	60	90.0±14.1	55.0±7.1	5.0±7.1	
<i>Neonicotinoids</i>					
Clothianidin	80	100	100	100	100
Dinotefuran	80	45.0±7.1	40.0±0.0	35.0±7.1	35.0±7.1
Thiamethoxam	80	100	100	100	100
<i>Others</i>					
Fipronil	80	100	100	100	100
Indoxacarb	80	95.0±7.1	40.0±14.1	28.8±12.4	10.0±0.0
<i>Mixtures</i>					
Acetamiprid+ethofenprox	80	90.0±14.1	100	95.0±7.1	90.0±14.1
Acetamiprid+indoxacarb	80	65.0±21.0	60.0±14.1	60.0±21.2	55.0±7.1
Bifenthrin+imidacloprid	80	75.0±7.1	60.0±14.1	45.0±14.1	45.0±7.1
Chlorfenapyr+bifenthrin	80	100	100	100	100
Chlorpyrifos+a-cypermethrin	60	25.0±7.1	15.0±7.1	5.0±7.1	
Esfenvalerate+fenitrothion	20	0			
Ethofenprox+phenthoate	80	100	100	100	100
Imidacloprid+methiocarb	80	90.0±14.1	85.0±21.2	90.0±14.1	80.0±21.2

간에 상대적인 잔류기간은 중요한 평가기준으로 삼을 수 있다.

서양뒤영벌에 100%의 사충율을 보인 23종의 농약 중에서 잔류독성을 조사한 결과(Table 3), 약제처리 1일 후 안전한 약제는 methidathion, α -cypermethrin, chlorpyrifos+ α -cypermethrin, esfenvalerate+fenitrothion이고, 약제처리 3일 후 안전한 약제는 ethofenprox이며, 서양뒤영벌에 대하여 사용하는데 해가 매우 높은 7종의 약제는 pyraclofos, clothianidin, clothianidin, thiamethoxam, fipronil, acetamiprid+ethofenprox, chlorfenapyr+bifenthrin, ethofenprox+phenthoate, imidacloprid+methiocarb 으로 조사되었다.

일반적으로 살충제는 화분매개충을 죽이지 않아야하지만 꽃봉오리나 화분, 화밀등에 잔류하게 되어 살충력을 갖거나 또는 비행과 위치탐색능력에 영향을 미치게 된다고 하였다 (Thomson, 2001; Gels *et al.*, 2002). 그러나 본 연구결과를 참고하여 이들 약제의 잔류기간을 이용하여 방사시기를 결정한다면 꿀벌 및 서양뒤영벌에 영향을 미치지 않고 약제처리를 할 수 있어 작물 재배 시 많은 이점이 있을 것이라 사료된다.

최근 전 세계적으로 화분매개 곤충이 많은 농경지에서 감소하여 경제적으로 손실을 입고 있다(Gallai *et al.*, 2008). 이러한 현상은 봉군붕괴현상(CCD; Colony Collapse Disorder)으로 나타나며 뚜렷한 원인을 찾지 못한 상태에서 전자파, 바이러스, 기생 응애, 환경오염, 농약 등 여러 가지 원인에 주목하고 있다(Higes *et al.*, 2006). 일부 학자들은 이전부터 그 원인중의 하나인 과도한 농약의 사용으로 꿀벌 봉군 감소에 영향이 있을 것이라는 가설을 제시하였다(Faucon *et al.*, 1985; Cox and Wilson, 1984; Vandame *et al.*, 1995). 꿀벌은 농업에 있어서 없어서는 안될 이로써 곤충이며 경제적으로 그 가치를 따질 수 없기 때문에 꿀벌을 보호하는 것은 인류에게 남겨진 중요한 숙제인 것이다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 충북대학교 학술지원연구사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었다.

> 인 / 용 / 문 / 헌

Atkins, E. L. (1992) Injury to honey bee by poisoning. *In*: Graham, J. E. (Ed.), *The Hive and the Honey Bee*. Dadant and Sons, Hamilton, pp. 1153~1208.

Abrol, D. P. and R. S. Andotra (2001) Field toxicity of pesticides to honeybee, *Apis mellifera* L., foragers. *Korean J. Apiculture* 16:19~26.

Abrol, D. P. and R. Kumar (2001) Toxic and morphogenic effects of pesticides on honeybee *Apis mellifera* L. Brood. *Korean J. Apiculture* 16:95~112.

Choi, S. Y., Y. S. Kim, M. R. Lee, H. W. Oh and B. K. Jeong (1989) Studies on the acute and chronic toxicities of pesticides to the honeybees, *Apis mellifera*. *Korean J. Apiculture* 4:85~89.

Cox R. L. and W. T. Wilson (1984) Effects of permethrin on the behavior of individually tagged honey bees, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae), *Environ. Entomol.* 13: 375~378.

Faucon J. P., C. Flamini, and M. E. Colin (1985) Évaluation de l'incidence de la deltamethrine sur les problèmes de cheptel apicole. 2^e Partie, *Bull. Lab. Vet.* 18:33~45.

Gallai, N., J.M. Salles, J. Settele and B. E. Vaissière (2008) Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*. doi:10.1016/j.ecolecon.2008.06.014.

Gels, J. E., D. W. Held and D. A. Potter (2002) Hazards of insecticides to the bumble bees *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apidae) foraging on flowering white clover in turf. *J. Econ. Entomol.* 95:722~728.

Gulati, R., B. Kumari and S. K. Sharma (2004) Field residual toxicity of some insecticides to honeybee (*Apis mellifera* L.) and residues of common insecticides from apiary honey. *Korean J. Apiculture* 19:51~56.

Hassan, S. A. (1992) Guidelines for testing the effects of pesticides on beneficial organisms: Description of test methods. *IOBC/WPRS Bulletin.* 15:1~3.

Higes M., R. Martin and A. Meana (2006) *Nosema ceranae*, a new microsporidian parasite in honeybees in Europe. *J. Invertebr. Pathol.* 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.

Johnson, R. M., Z. Wen, M. A. Schuler and M. R. Berenbaum (2006) Mediation of pyrethroid insecticide toxicity to honey bees (Hymenoptera: Apidae) by cytochrome P450 monooxygenases. *J. Econ. Entomol.* 99:1046~1050.

Kim, B. S., Y. K. Park, Y. H. Lee, M. H. Jeong, A. S. You, Y. J. Yang, J. B. Kim, O. K. Kwon and Y. J. Ahn (2008) Honeybee acute and residual toxicity of pesticides registered for strawberry. *Korean J. Pestic. Sci.* 12:229~235.

Kim, Y. S., S. B. Lee, H. S. Shim, M. L. Lee, M. Y. Lee, H. J. Yoon, S. H. Nam and S. J. Chang (2004) Pollination effect of honeybee (*Apis mellifera*) and bumblebee (*Bombus terrestris*) on hot and sweet pepper raised in vinyl house. *Korean J. Apiculture* 19:23~26.

Kim, Y. S., S. B. Lee, Y. S. Jo, M. R. Lee, H. J. Yoon, M. Y. Lee and S. H. Nam (2005) The comparison of pollination effects between honeybees (*Apis mellifera*) and bumblebee (*Bombus terrestris*) on the kiwifruit raised in greenhouse.

- Kor. J. Apiculture 20:47~52.
- Lee, S. B., B. S. Sim, Y. S. Kim, H. J. Yoon, S. E. Kim, J. W. Kim, N. G. Ha and S. R. Kim (2004) The comparison of foraging activities and life span of *Bombus ignitus* S. and *B. terrestris* L. in cherry-tomato houses. Kor. J. Apiculture 11:90~98.
- Lee, S. B., H. J. Yoon, I. G. Park, Y. S. Kim, M. Y. Lee and M. L. Lee (2006) Comparison on the pollinating activities of bumblebee, *Bombus terrestris* L. and Honeybee, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) in the strawberry houses. Korean J. Apiculture 21:125~130.
- Mayer D. F. and J. D. Lunden (1999) Effects of different chemicals on honey bee foraging of dandelion. *Proceedings of the 73rd Annual Western Orchard Pest & Disease Management Conference*. Portland, USA, 6.8 January 1999. Washington: Pullman, Washington State Univ. p. 83.
- Meled, M., A. Thrasyvoulou, and L. P. Belzunces (1998) Seasonal variations in susceptibility of *Apis mellifera* to the synergic action of prochloraz and deltamethrin. *Environ. Toxicol. Chem.* 17:2517~2520.
- SAS Institute (1990) SAS/STAT User's guide, version 6; SAS Institute; Cary, NC.
- Sharma, D. and D. P. Abrol (2005) Contact toxicity of some insecticides to honeybee *Apis mellifera* (L.) and *Apis cerana* (F.). *J. Asia-Pacific Entomol.* 8:113~115.
- Shim, J. H. and Y. H. Kim (2001) Effect of insecticides on the activity of esterases in the honey bees (*Apis cerana* F. and *A. mellifera* L.). *Korean J. Apiculture* 16:9~18.
- Shires, S. W., J. LeBlanc, A. Murray, S. Forbes and P. Debray (1984) A field trial to assess the effects of a new pyrethroid insecticide, WL85871, on foraging honey bees in oilseed rape. *J. Apic. Res.* 23:217~226.
- Sihag, R. C., S. Kumar and S. K. Gahlawat (2004) Acute oral toxicity of different insecticides to two honeybee species, *Apis mellifera* L. and *Apis dorsa* F. *Korean J. Apiculture* 19:125~132.
- Suchail S., D. Guez, and L. P. Belzunces (2001) Discrepancy between acute and chronic toxicity induced by imidacloprid and its metabolites in *Apis mellifera*. *Environ. Toxicol. Chem.* 20:2482~2486.
- Thompson, H. M. (2001) Assessing the exposure and toxicity of pesticides to bumblebees (*Bombus* sp.). *Apidologie* 32:305~321.
- Vandame, R., M. Meled, M. E. Colin and L. P. Belzunces (1995) Alteration of the homing-flight in the honey bee *Apis mellifera* L. exposed to sublethal dose of deltamethrin. *Environ. Toxicol. Chem.* 14:855~860.
- Yim, Y. H. (2003) Pollination of honeybee (*Apis mellifera*) on vegetables in the greenhouse and the influence of insecticides. Chungnam National University. Ph.D Dissertation paper. 122pp.

꿀벌과 서양뒤영벌에 대한 농약의 독성평가

안기수 · 오만균¹ · 안희근¹ · 윤창만¹ · 김길하^{1*}

충북농업기술원, ¹충북대학교 농업생명환경대학 식물 의학과

요 약 본 연구는 69종의 농약(살충제 41종, 살균제 18종, 살비제 10종)에 대한 꿀벌(*A. mellifera*)과 서양뒤영벌(*B. terrestris*)에 급성독성과 잔류독성을 평가하였으며, 국제 생물적 방제기구(IOBC)의 기준에 따라 30% 이하를 독성이 없음으로 분류하였다. 급성독성실험에서 41종의 살충제 중에 acetamiprid, chlorfenapyr, thiacloprid, milbemectin, buprofezin+amitraz 5종이 꿀벌에, methomyl, thiodicarb, acetamiprid, chlorfenapyr, thiacloprid, abamectin, spinosad, buprofezin+amitraz 8종은 서양뒤영벌에 대해서 독성이 낮아 안전하였다. 그리고 살균제 18종과 살비제 10종은 꿀벌과 서양뒤영벌에 대해 모두 안전하였다. 잔류독성실험에서 41종의 살충제 중 꿀벌에 대해서 약제처리 3일 이후부터 안전한 약제는 8종(dichlorvos, methomyl, imidachlorprid, emamectin benzoate, spinosad, cartap hydrochloride, chlorfenapyr, endosulfan)이고, 11일차까지도 독성이 높은 약제는 16종(dimethoate, fenitrothion, fenthion, methidathion, phenthoate, pyraclofos, fenpropathrin, clothianidin, dinotefuran, thiamethoxam, abamectin, acetamiprid+ethofenprox, acetamiprid+indoxacarb, bifenthrin+imidacloprid, ethofenprox+phenthoate, imidacloprid+methiocarb)이었다. 서양뒤영벌에 대해서는 약제처리 3일 이후부터 안전한 약제는 8종(dimethoate, methidation, a-cypermethion, ethofenprox, indoxcarb, chlorpyrifos+a-cypermethrin, esfenvalerate+fenitrothion)이고, 7일차까지도 높은 독성을 나타낸 약제는 8종(pyraclofos, clothianidin, thiamethoxam, fipronil, acetamiprid+ethofenprox, chlorpyrifos+bifenthrin, ethofenprox+phenthoate, imidacloprid+methiocarb)이었다.

색인어 꿀벌, 서양뒤영벌, 살충제, 살균제, 살비제, 급성독성, 잔류독성