

# 카바릴과 석회유황합제의 양봉꿀벌(*Apis mellifera*)과 서양뒤영벌(*Bombus terrestris*)에 대한 엽상잔류독성 평가

김동원 · 윤원갑<sup>1</sup> · 정철의\*

안동대학교 대학원 생명자원과학과, <sup>1</sup>경북해양바이오산업연구원

## Residual Toxicity of Carbaryl and Lime Sulfur on the European Honey Bee, *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) and Buff-tailed Bumble Bee, *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae)

Dongwon Kim, Won kap Yun<sup>1</sup> and Chuleui Jung\*

Dept. Bioresource Sciences, Graduate school, Andong National University, Andong, Korea  
<sup>1</sup>Gyeongbuk Institute for Marine Bio-industry, Uljin, Korea

(Received 11 October 2014; Revised 23 October 2014; Accepted 4 November 2014)

### Abstract

Pollination is the important natural process for fruiting. However, too high fruit bearing leads to lower quality fruit production. Thus, the flower and fruit thinning is becoming crucial. The use of the chemical agents such as carbaryl and lime sulfur is increasing because of the labor and cost benefit. We tested the foliage residual toxicity of two chemicals against the honey bee and bumble bee along with DAT (days after treatment) on buckwheat. Results indicated lower toxic effect of lime sulfur on both honey bee and bumble bee. Carbaryl showed low toxic only on bumble bee but high toxic on honey bee. Residual toxicities were higher than 60% even until 21 DAT. Foliar residues were 180, 110 and 18 ppm of carbaryl at 1, 10 and 18 DAT, respectively. This study suggests that lime sulfur is relatively safe to both bees and carbaryl is less toxic to bumble bee, *B. terrestris* but highly toxic to honeybee, *A. mellifera* even until 21 DAT.

Key words: Flower/fruit thinner, Residual toxicity, Residue on foliage

### 서 론

농업생태계에서 화분매개곤충의 생태적 지위는 식물의 자연교배를 통한 종자 생산과 종자의 활력 유지

에 중요한 역할을 수행한다(Kim and Jung, 2013). 이를 통해 현대 농업에서는 생산성 증가와 생산물의 품질 향상을 기대 할 수 있으며, 자연 생태계에서는 다양한 생물의 공존할 수 있게 하며 이를 유지 및 보전을 가

\*Corresponding author. E-mail: cjung@andong.ac.kr

능하게 한다(Free, 1970). 우리나라에서 과수와 채소 전체 생산액은 12.3조원 정도로 추산되고 있으며, 꿀벌에 의한 화분매개에 대한 경제적 가치는 약 6조원으로 과수와 채소 전체 생산액의 50% 정도로 추정하고 있다(Jung, 2008). 우리나라에서 상업적으로 화분매개 수분용으로 이용되는 곤충은 양봉꿀벌(*Apis mellifera* L.), 서양뒤영벌(*Bombus terrestris*), 머리빨가위벌(*Osmia cornifrons*) 등이 있다. 이 중 양봉꿀벌 이용면적 비율이 58.9%로 가장 많고, 서양뒤영벌 28.8%, 가위벌류 13.4% 순이다(Lee et al., 2007; Yoon et al., 2008; Yoon et al., 2012).

최근 농업에서도 고령화 사회로 접어들면서 생산 노동력 부담이 점차 증가하고 있는 실정이며, 과수 농가에서도 생산 노동력 부담을 줄이기 위해 화학적 생산 농법을 이용하고 있다(Kim et al., 2009). 과수 생산에서 적화/적과 작업은 생산 노동력 중 수확작업 다음으로 많은 노동력을 요구한다(Kim and Jung, 2013). 이에 적화/적과의 생력화 방안으로 화학적 적화/적과제에 대한 수요가 증가하고 있다(Jang et al., 1998). 사과원에서는 화학적 적화제로 카바메이트계 살충제인 carbaryl을 주로 사용하고 있으나, carbaryl은 나방류와 진딧물 등 방제에 사용되는 살충제이기 때문에 사과개화기 전후 사용으로 인한 꿀벌 피해 사례가 다수 보고되어 있다. 또한 농촌진흥청에서는 적과제로 사용중인 carbaryl을 적화제로 사용을 금지하고 있으며, 사과꽃이 완전히 진후 또한 과수원내 타 식물에 꽃을 완전히 제거후 carbaryl을 사용해 달라고 당부하고 있다. Carbaryl의 대체 화합물로 석회유황합제(lime sulfur)가 적과제로 이용되고 있으나 적화/적과제로서의 효율적 측면에서 석회유황합제보다 carbaryl이 높게 평가되고 있다(Yoon, 2011). 이에 농업 현실에서는 carbaryl 이용이 줄지 않고 있는 실정이다. 그러나 carbaryl 대체 화합물을 찾기 위한 노력은 지속이 이루어지고 있다(Byers, 2003; Good Fruit Grower, 2003; Mahvash et al., 2009).

Carbaryl(carbamate)은 아세틸콜린과 구조적으로 유사한 ester 화합물( $C_{12}H_{11}NO_2$ )이며, 방향족과 벤젠고리로 이루어져 있다(Fig. 1). 살충제로써의 독성 작용기작은 AChE 저해제로써 ACh이 신경연접에 축적된

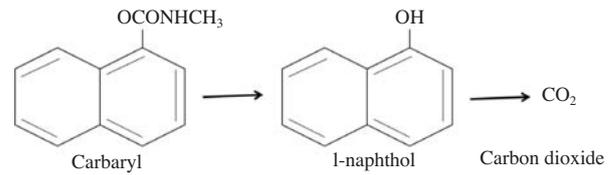


Fig. 1. Generalized carbaryl degradation pathway (USEPA, 2003)

후 과흥분하여 곤충이 사망하는 신경독성 작용을 하게 된다. 1956년 미국 Union carbide사에 의해 처음 개발되었으며, 현재까지도 살충제로 많이 이용되고 있다. 상품명으로 Sevin이 대표적이며, Adios, Carba-mec, Slam 등이 있다. 국내에서는 나크라는 상품명으로 초기에 도입 사용되었으며, 현재는 세빈(동부팜한농), 세단(아그로텍) 수화제로 생산 이용되고 있다(BCPC, 2006; KCPA, 2014). 적용 작물은 국외에서는 채소류와 과수에 적용되며, 국내에서는 감자, 사과(후지), 담배, 오리나무, 양버즘나무에 적용된다. 적용대상 해충은 국외에서는 나방류와 딱정벌레류의 저작형과 흡즙형 곤충을 대상으로 적용되며, 국내에서는 무당벌레붙이, 담배나방, 오리나무잎벌레, 미국흰불나방을 대상으로 사용된다. Batjer and Westwood(1960)에 의해서 carbaryl의 적과 효과를 처음으로 보고하였으며, 다른 적과제 중에서 적과효과가 일관성이 높게 나타나는 것으로 알려져 있다(Yoon, 2011).

사과(후지)에서는 적과용으로 사용되며, 사용적기는 꽃이 완전히 진후 수관전면처리로 제시되어 있다(Kwon, 2011). Carbaryl에 의한 적과 작용기작은 결과지와 과실을 연결하는 과경부의 통도조직인 유관속조직을 파괴시켜 동화물질 및 기타 양수분 등이 과실로 전달되는 것을 억제하여 과신탈락을 유도하여 적과 효과가 발현된다. Carbaryl의 분해 작용은 광에 의해 이루어진다. 광분해는 빛의 조사에 의한 에너지로 특정 물질이 분해되는 과정이다. 즉 공유결합을 이루는 분자들은 결합을 형성하기 위한 에너지를 방출하고, 또한 분자들 간 결합을 끊기 위해서는 에너지를 필요로 한다. 이를 분리에너지 또는 해리에너지라고 일컫는다. 분자를 해리시키는 에너지는 빛의 파장으로 에너지를 표현할 수 있으며, 이때 특정 파장 이상의 빛

을 통해 공유결합을 끊을 수 있다. 따라서 carbaryl은 빗물 등에 의한 가수분해보다는 광분해나 생물적 분해가 주요 하다(USEPA, 2003).

석회유황합제(lime sulfur)는 석회와 유황의 혼합물이다. 살충제와 살균제로 광범위하게 농업에서 사용되고 있다. 1881년 프랑스에서 포도 병해방제용으로 사용된 이후 값이 싸고 살균력과 살충력을 동시에 지니고 있어 각종 원예 및 과수 병해충 방제용으로 폭넓게 사용되어 왔으며, 최근 일부 과수에서는 적화제로도 개발 이용되고 있다(Jang and Lee, 1998; Jang *et al.*, 1998; Kim *et al.*, 2008). 석회유황합제에 의한 적화 작용기작은 꽃가루발아를 억제하거나 암술머리를 손상시켜 꽃가루가 암술머리에 수분되거나 화분관 신장을 방해할 통해 꽃을 탈락시키는 작용을 통해 사과에서 적화적 효과가 발현된다. 또한 석회유황합제에 대한 화분매개곤충의 독성은 감수성이 낮은 것으로 알려져 있으며, 국내에서도 Kim *et al.*(2008)은 양봉꿀벌과 서양뒤영벌의 독성평가에서도 낮게 나타났다고 보고하였다.

따라서 본 연구는 사과의 적화/적과제로 사용되는 화합물인 carbaryl과 lime sulfur에 대한 양봉꿀벌과 서양뒤영벌의 엽상잔류독성 평가를 통해 화분매개곤충을 안전성을 확보하여 적화/적과제로 사용할 수 있는 안전 범위를 찾아보고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 실험곤충

연구의 대상 화분매개곤충으로 양봉꿀벌(*Apis mellifera*)과 서양뒤영벌(*Bombus terrestris*)를 이용하였다. 양봉꿀벌은 안동대학교 실험양봉장에서 사육 중인 봉군 내에서 야외 노출이 없는 내역봉 중 일벌을 선택하였다. 시험 대상군은 꿀벌응애 관리를 위한 살비제 등의 처리를 받지 않았으며, 기타 일반 관리기준에 따라 관리되는 꿀벌이다. 서양뒤영벌은 예천군곤충연구소에서 분양받아 실내 상온 암실 조건에서 1주일간 유지하면서 야외 노출이 없는 일정 크기의 일벌을 선택하였다. 실내 유지 기간 동안 일정량의 사양액

을 보급해 주었다.

### 실험약제

선발약제는 carbaryl, lime sulfur이다. Carbaryl은 카바메이트계 살충제이며, 석회유황합제는 살균과 살충 효과를 동시에 가지는 약제이다. 이들 약제는 현재 국내에서 적화/적과제로 많이 사용되는 약제이다(Kim and Jung, 2013; Jang and Lee, 1998; Jang *et al.*, 1998). 약제는 제품화된 약제를 구입하여 살포하였으며, 살포량은 각 약제의 적화(lime sulfur: 3143ppm) 및 적과제(carbaryl: 625ppm)로 사용되는 추천농도를 이용하여 엽상잔류 독성평가기준(1 b a.i./A)에 의거하여 처리하였다(USEPA, 2012b).

### 엽상잔류독성평가

안동대학교 시험 포장내 시설하우스에 메밀(*Fagopyrum esculentum* MOENCH)을 재배하였으며, 공시약제를 처리 후 메밀 잎을 이용하여 엽상잔류독성을 평가하였다. 작물을 시설하우스에서 재배하여 비에 의한 환경적 요인을 배제시켰다. 메밀 씨앗을 직파하여 관행 재배하였다. 무처리구, carbaryl, lime sulfur 처리구는 동일한 시설하우스에서 재배하였다. 약제 살포시 약제가 분산되지 않도록 비닐커버를 이용하여 약제 혼합을 막았다. 약제 처리된 작물체는 하 잎부터 차례로 사용하였다. 작물체는 약 15g을 잘게 썰어 독성 검정용 철망 케이지(지름:13.5×높이:10.5)에 넣었으며, 공시충을 25마리씩 3반복으로 처리하였다. 공시충의 사망유무를 정상적인 활동을 하지 못하고 다리만 움직이거나, 등쪽으로 누워있으면, 사망한 것으로 판단하였다. 사망률 평가는 약제 처리후 4, 24시간 후 평가가 이루어졌다. 검정시 케이지내에는 공시충의 먹이인 설탕물(50%)을 충분히 공급해주었다. 처리 후 케이지는 온도 25±2℃, 상대습도 50±10% 암실 조건에서 보관 및 유지하였다. 약제 처리후 3, 8, 24시간을 통해 급성 독성 평가가 이루어졌으며, 이후 1일 간격으로 시험을 진행하였다. 시험은 공시충의 사망률이 25%가 될 때까지 엽상잔류독성을 평가하였다.

Carbaryl에서 엽상잔류 독성이 높게 나타나 인위적

## 결 과

으로 분해시킬 수 있는 인자인 물을 뿌려 주었다. Carbaryl 처리후 3, 10일째 일일 강우량 10, 50, 100mm 을 시뮬레이션하여 물을 뿌려 주었다. 엽상잔류독성 평가를 추가로 실시하여 독성을 평가하였다. 위 실험 방법은 EPA 및 OECD의 꿀벌 생태독성 가이드라인을 적용 및 변형한 것이다(OECD, 1998a; OECD, 1998b; USEPA, 2012a; USEPA, 2012b).

## 엽상잔류량 평가

메밀 잎에서 carbaryl 엽상잔류량을 조사하기 위해 꿀벌 엽상잔류독성시험에서 살포한 후 1일, 10일, 18일 후에 채취한 메밀 잎을 실험실로 운반하였다. 또한 carbaryl 살포 후 물을 2회 뿌려준 처리구에서도 메밀 잎을 채취하여 엽상잔류량을 조사하였다. 채취된 시료는 샘플 10g에 증류수 10ml를 넣고 1시간 방치 후 Acetonitrile 100 ml를 넣고 30분간 추출을 하였다 이후 NaCl 15g을 첨가 5분간 진탕시킨 후 원심분리(8,000rpm)시켰다(KFDA, 2013). 이후 각 시료를 20ml 씩 분취 하고 40°C에서 농축 하였다. SPE cartridge-(amino-propyl, 1g)으로 정제를 하여 시험용액으로 사용하였고 LC-MS/MS를 이용하여 정성분석을 LC-FLD 을 이용하여 엽상잔류량을 분석하였다.

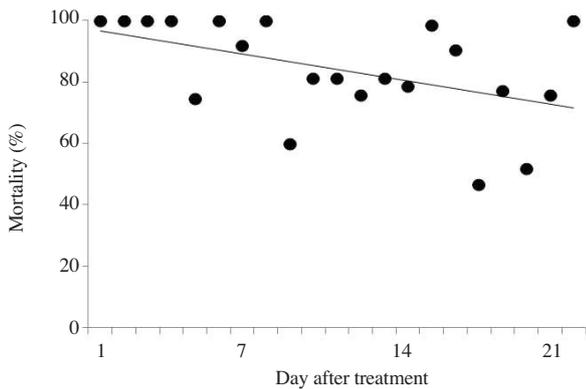
## 엽상잔류독성평가

서양뒤영벌은 carbaryl과 lime sulfur의 처리를 통한 잔류독성이 나타나지 않았다. 무처리 잔류독성평가에서도 모든 개체가 생존하였다(Table 1). 양봉꿀벌의 경우 무처리 잔류독성평가에서 모든 개체가 생존하였다. 따라서 각 약제 처리구에서는 무처리 사망률에 따른 보정사망률을 이용하지 않았으며 각 약제에 대한 사망률만을 이용하여 결과를 활용하였다. Lime sulfur에서 양봉꿀벌은 석회유황합제 처리 3시간 후에 4시간 동안 노출시켰을 때 사망률은 1.3%, 24시간 노출시켰을 때 2.7%의 사망률을 보였다. 처리 8시간 후에 노출 시켰을 때는 각 1.3과 4%이었다. 처리 24시간 이상이 되었을 때 노출시켰을 때 사망률은 나타나지 않았다(Table 1).

Carbaryl에서 양봉꿀벌의 사망률은 약제 살포 후 3시간 노출 처리구에서는 90.7%사망률, 8시간 노출 처리구에서는 96% 사망률이 나타났다. 약제 살포 후 3시간 노출 처리구와 8시간 노출 처리구에서 사망률은 약제 살포 후 완전히 건조되지 않은 상태의 메밀 잎을 이용하여 엽상잔류독성 평가를 하였기 때문인 것으로 사료된다. 1일~4일 노출 처리구에서는 100%

**Table 1.** Foliar residual toxicities of lime sulfur and carbaryl on *Apis mellifera* and *Bombus terrestris* workers in the cage tests. Commercial products were applied at recommended dose for each chemical on buckwheat plants and bees were exposed

Test insect	Chemical compound	Hours after treatment	Mortality (% , mean $\pm$ SE)	
			4hr	24hr
<i>A. mellifera</i>	Lime sulfur	3	1.3 $\pm$ 1.63	2.7 $\pm$ 3.26
		8	1.3 $\pm$ 1.63	4 $\pm$ 4.90
		24	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
		48	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
	Carbaryl	3	66.7 $\pm$ 8.64	90.7 $\pm$ 5.89
		8	78.7 $\pm$ 13.95	96 $\pm$ 4.90
		24	100 $\pm$ 0	100 $\pm$ 0
		48	92 $\pm$ 2.83	100 $\pm$ 0
<i>B. terrestris</i>	Lime sulfur	3	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
		8	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
		24	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
		48	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
	Carbaryl	3	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
		8	0 $\pm$ 0	1.3 $\pm$ 1.63
		24	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
		48	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0



**Fig. 2.** Foliar residual toxicities of carbaryl sprayed on buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) at producer's recommended dose with field rate on honeybee, *Apis mellifera*. Until 21 Days after treatment, mortalities were higher than 60%.

사망률이 나타났다. 이후 21일 노출 처리구에서는 대부분 70% 이상의 사망률이 나타났다(Reg.  $F=5.58$ ,  $df=1, 19$ ,  $P=0.029$ , Fig. 2). 약제 살포후 노출시간이 지남에 따라 carbaryl에 대한 양봉꿀벌에서의 엽상잔류 독성은 점차 낮아지는 경향이였으나  $LT_{25}$ 값을 계산할 수 없었다. 따라서 메밀 잎에서 carbaryl의 잔류독성이 장기간 나타남을 알 수 있었다.

Carbaryl에서 엽상잔류 독성이 높게 나타나 인위적으로 강우 조건을 모사하여 물을 뿌려 주었다. carbaryl 처리후 3일(1차 물 살포)과 10일(2차 물 살포)

에 단위면적당 10, 50, 100mm 씩 물을 뿌려준 결과에서 2차 10, 50, 100mm 물 처리에서 노출 후 1일의 양봉꿀벌의 사망률은 1.3~10.7%, 2일에서는 0~2.7%. 2~4일에서는 0%의 사망률이 나타났다(Table 2).

Carbaryl 살포 뒤 노출 후 11일 처리와 carbaryl 살포 뒤 2회 분무(10mm)하여 노출 후 1일(11일) 처리에서 양봉꿀벌의 사망률은 81.3, 2.7%였다(Slope=78.3, Fig. 3). 또한 이들의 잔류량은 110, 12ppm 이었다(Slope=98, Fig. 3). 따라서 메밀 잎에서 carbaryl을 처리시 물을 분무함으로써 carbaryl 성분을 해리에너지가 발생하여 잔류량을 감소시키는 것으로 파악되었다.

### 엽상잔류량 평가

엽상잔류량 평가를 분석한 결과 carbaryl을 살포한 후 채취한 메밀 잎에서의 carbaryl은 살포후 1일에는 180ppm, 10일에는 110ppm, 18일에는 18.6ppm이었다(Reg.  $F=81.45$ ,  $df=1.1$   $P=0.073$ , Fig. 4). Carbaryl 살포후 2차 물 처리구에서 노출 후 1일에서 10mm는 12.6ppm, 50mm는 10.9ppm, 100mm는 7ppm로 조사되었다(Table 2). 엽상잔류반감기는 9일로 조사되었다(Fig. 4)

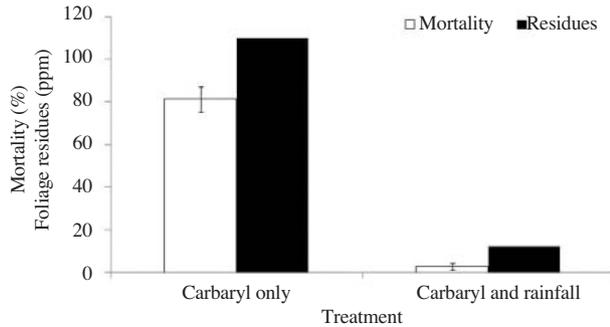
### 고찰

화분매개곤충 및 유용곤충에 대한 생태독성 평가는 우선적으로 실내에서 섭식, 접촉, 잔류 평가를 바

**Table 2.** Effect of simulated rainfall treatments on *Apis mellifera* residual toxicities and foliage residues after carbaryl spray. Two times of rainfalls (10, 50, and 100mm each) were simulated 3 and 10 day after treatment of carbaryl and bees were exposed for 4 consecutive days

Simulated rainfall (mm/day)	Day after treatment	Mortality (% , mean $\pm$ SE)		Foliage residues (ppm)
		4hr	24hr	
10	1 (11)*	2.7 $\pm$ 1.63	2.7 $\pm$ 1.63	12.6
	2 (12)	0 $\pm$ 0	2.7 $\pm$ 1.63	
	3 (13)	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	
	4 (14)	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	
50	1 (11)	10.7 $\pm$ 8.64	10.7 $\pm$ 8.64	10.9
	2 (12)	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	
	3 (13)	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	
	4 (14)	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	
100	1 (11)	1.3 $\pm$ 1.63	1.3 $\pm$ 1.63	7
	2 (12)	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	
	3 (13)	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	
	4 (14)	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	

\*Number means the days after second rainfall treatment and number in the parenthesis means the days after carbaryl spray

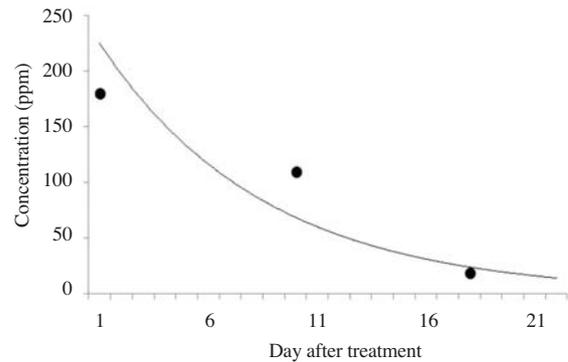


**Fig. 3.** Comparison of Honey bee, *Apis mellifera* mortality and foliage residues between carbaryl only treatment and carbaryl and rainfall treatment on 11 DAT of carbaryl. Rainfall was simulated two times (3 and 10 DAT of carbaryl with 10mm each) on 3 and 10 DAT of carbaryl.

탕으로 이루어진다. 본 연구에서는 최근 사과의 적화/적과제로 사용 빈도가 높은 carbaryl과 lime sulfur에 대한 잔류독성을 평가하였다. 추천농도를 이용하여 메밀 잎에서 carbaryl과 lime sulfur에 대한 양봉꿀벌과 서양뒤영벌의 엽상잔류독성을 평가하였을 때 lime sulfur는 양봉꿀벌과 서양뒤영벌에 대한 잔류독성이 매우 낮게 나타났다. Carbaryl의 경우 서양뒤영벌에서는 잔류독성이 매우 낮게 나타났으나 양봉꿀벌에서는 높은 잔류독성을 나타냈다. 또한 carbaryl에서 양봉꿀벌의  $LT_{25}$ 는 약제 노출 후 20일 이상에서도 잔류독성 감수성이 높게 나타나 예측하지 못하였다.

국내에서 양봉꿀벌에 대한 엽상잔류독성평가는 딸기, 토마토, 고추 등에 이용되는 살충제 살균제에 대한 평가가 꾸준히 이루어지고 있다(Kim *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2009; Ahn *et al.*, 2008). Fipronil(페닐피라졸)의 경우 양봉꿀벌의  $LD_{50}$ 은 0.007 ug/bee,  $LC_{50}$ 은 0.008 ug/bee으로 나타났으며, 엽상잔류는 노출 후 28일까지 90% 이상의 사망률이 나타났다(Kim *et al.*, 2009). Kim *et al.*(2008)은 딸기에서 사용되는 살충제에 대한 잔류독성을 평가한 결과 Fenprothrin(합성제충국제)은 90% 이상의 높은 사망률을 보였으며,  $RT_{25}$ 가 10일 이상으로 나타났다.

국내의 carbaryl의 섭취와 접촉독성의 데이터를 분석하면 Table 3과 같다. 대부분 carbaryl의  $LD_{50}$ 값은 1-4.02 ug/bee 범위내에 분포하며,  $LC_{50}$ 값은 0.11~1.92 범위내에 분포한다. 기존 연구된 독성값을 이용하여



**Fig. 4.** Pattern of carbaryl residue decomposition after spray at the producer's recommended dose with field rate on buckwheat during late summer in the greenhouse condition (Reg.  $df=1.1$   $F=81.45$ ,  $P=0.073$ ).

$LD_{100}$ 과  $LD_0$ 값을 추정된 결과  $LD_{100}$ 은 4.19이상으로 추정되었으며,  $LD_0$ 값은 0.42 이하로 추정되었다. 본 연구에서 엽상잔류량 평가를 통해 양봉꿀벌에 잔류독성은 약 18ppm(사망률 75%) 이상일 때 높게 나타났으며, 10ppm(사망률 10%)이하일 때 독성이 낮게 나타났다. 또한 양봉꿀벌이 carbaryl 메밀 잎에 접촉되는 약량을 추정된 결과 약 24mg(180ppm, 사망률 100%,  $LD_{100}=4.32$ ug/bee) 이상 220mg(20ppm, 사망률 100%,  $LD_{100}=4.40$  ug/bee, 20ppm) 이하의 양이 접촉해야 사망률이 100%이상으로 높은 독성이 나타나는 것으로 추정되었다.  $LD_{50}=1.3$  ug/bee(BCPC, 2006; Table 3)을 이용하여 메밀 잎에 잔류량이 20ppm(사망률 75% 이상)일 경우 양봉꿀벌이 메밀 잎에 접촉하는 양은 64mg으로 파악되었다.

국외에서 carbaryl(0.5 b a.i./A)의 엽상잔류량은 노출 직후 short grass에서 120ppm, tall grass에서 55ppm이었다. 노출후 56일뒤 short grass 12.57ppm, tall grass 5.76ppm으로 노출 직후 잔류량의 10%로 감소되었다. 또한 엽상잔류반감기는 처리후 3.7일이였다(USEPA, 2003). 본 연구에서 엽상잔류량 평가를 분석한 결과 carbaryl(1 b a.i./A)을 살포한 후 채취한 메밀 잎에서의 carbaryl은 살포후 1일에는 180ppm, 10일에는 110ppm, 18일에는 18.6ppm이었다(Fig. 4). 또한 엽상잔류반감기는 9일로 나타났다. 실제 포장에서 carbaryl 살포하였을 때 우천을 가상하여 처리한 결과에서는 단위 면적당 10mm 물을 뿌렸을 때 엽상잔류량은 12ppm으로

**Table 3.** Previous reports of carbaryl toxicities on honey bee, *Apis mellifera*

Author (Year)	Study area	% a.i	contact LD <sub>50</sub> (ug/bee)	Oral LC <sub>50</sub> (ug/bee)
Stevenson (1968)	USA	Tech*	1.1	0.11
Stevenson (1978)	USA	Tech	1.3	0.14
Atkins <i>et al.</i> (1975)	USA	Tech	2	
Waltersdorfer (2002)	USA	99.1		0.231
		47.9	4.02	1.57
BCPC (2006)	British		1	0.18
Kang (2009)	Korea	50		1.92

\*Tech: Technical grade carbaryl

나타났다. 본 연구에서는 메밀 잎에 처리된 carbaryl의 엽상잔류의 분해기작은 대부분 광분해의해 이루어진다. 또한 인위적 수단인 물을 분무함으로써 세척의 효과로 인한 해리에너지가 발생하여 carbaryl을 분해시키는 보조적 역할을 하는 것으로 파악된다.

### 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구과제 PJ008451의 일부 지원으로 이루어졌습니다. 또한 이 연구는 농림부 지원 지역곤충자원산업회지원센터 과제의 기자재를 활용했습니다.

### 적 요

석회유황합제의 엽상잔류 독성평가는 양봉꿀벌과 서양뒤영벌에 안전한 것으로 나타났다. Carbaryl의 엽상잔류 독성평가는 양봉꿀벌에 독성은 매우 높은 것으로 나타났으며, carbaryl 처리후 21일까지 노출 처리구에서 대부분 70%이상 사망률이 나타났다. 따라서 메밀 잎에서 양봉꿀벌에 대한 carbaryl의 잔류독성은 장기간 나타났다. 메밀에서 carbaryl 처리에 대한 엽상잔류량 평가는 살포후 1일에는 180ppm, 10일에는 110ppm, 18일에는 18.6ppm으로 나타났다. 엽상잔류 반감기는 9일로 평가되었다. 양봉꿀벌에 대한 잔류독성 안전 기준은 carbaryl 살포 후 22일 이상, 엽상잔류량은 10ppm 이하로 제시되었다.

### 인용 문헌

- Ahn, K.S., M.G. Oh, H.G. Ahn, C. Yoon and G.H. Kim. 2008. Evaluation of toxicity of pesticides against honeybee and bumblebee. Korean J. Pesticide Science 12: 382-390.
- Batjer, L.P and M.N. Westwood. 1960. 1-Naphthyl-N-methyl carbamate, a new chemical for thinning apples. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 75: 1-4.
- Batjer, L.P and H.D. Billingsley. 1964. Apple thinning with chemical sprays. Washington State Expt. Sta. Blu. 651.
- BCPC. 2006. A world compendium the pesticide manual. 14th ed., 1349p. The British crop production council.
- Byers, Ross E. 2003. Flower and fruit thinning and vegetative. p. 409-436. In: Ferree, D.C., and I.J. Warrington. Apples botany production and uses. CABI.
- Free, J.B. 1970. Insect pollination of crops. Academic press. NY. pp. 543.
- Good Fruit Grower. 2003. December Issue. Organic thinners work. p. 10.
- Jang, H.I., H.J. Wha, H.J. Lee, K.H. Hong, J.J. Choi and K.Y. Kim. 1998. Evaluation of lime sulfur mixture as a flower thinner for pear trees. Korean. J. Hort. 38: 423-427.
- Jang, H.I. and H.J. Lee. 1998. Flower thinning in pear trees by multiple sprays of lime sulfur mixture. Korea J. Hort. 39: 428-432.
- Johansen, C.A. and D.F. Mayer. 1990. Pollinator protection a bee & pesticide handbook. Wicwas press, Connecticut, pp. 212.
- Jung, C. 2008. Economic value of honeybee pollination on major fruit and vegetable crops in Korea. Korean J. Apic. 23: 147-152.
- Kang, M. 2009. Toxicity of pesticides on the honeybee, *Apis mellifera* L., and safety guideline in apple orchards. MS Thesis, Andong University, 83p.
- KCPA. 2014. Crop protection guideline. 1439p. Samsung Press.
- KFDA. 2013. Korea Food Code.
- Kim, B.S., Y.J. Yang, Y.K. Park, M.H. Joeng, A.S. You, K.H. Park and Y.J. Ahn. 2009. Risk assessment of fipronil on honeybee. Korean J. Pesticide Science 13: 39-44.

- Kim, B.S., Y.K. Park, Y.H. Lee, M.H. Joeng, A.S. You, Y.H. Yang, J.B. Kim, O.K. Kwon and Y.J. Ahn. 2008. Honeybee acute and residual toxicity of pesticides registered for strawberry. Korean J. Pesticide Science 12: 229-235.
- Kim, D., H.S. Lee and C. Jung. 2008. Toxicity of the lime sulfur as a flower thinner of apple to the honey bee, *Apis mellifera* L. and other pollinators. Korean J. Apic. 23: 43-50.
- Kim, D., H.S. Lee and C. Jung. 2009. Comparison of flower-visiting Hymenopteran communities from apple, pear, peach and persimmons blossoms. Korean J. Apic. 24: 227-235.
- Kim, D. and C. Jung. 2013. Oral toxicity of chemical compounds used for flower/fruit thinner of apple against buff-tailed bumblebee, *Bombus terrestris*. Korea J. Apic. 28: 25-32
- Kwon, Y. 2011. Effects of fruit set in 'Hongro' apple using flower and fruit thinning chemicals. MS Thesis, Kyungpook National University, 15p.
- Lee, S.B., K.Y. Lee, N.G. Ha, H.J. Yoon, I.G. Park, S.J. Hwang and H.S. Gang. 2007. The status of the pollinator uses on major economical crops in Korea. Korea J. Apic. 22: 79-86.
- Mahvash Z., Bahram B., Ali A.R., Mohsen P. 2009. Fruitlet chemical thinners affect yield, fruit quality, and leaf and fruit mineral composition of 'Soltani' apple. Hort. Environ. Biotechnol. 50(5): 401-405.
- OECD. 1998a. Guidelines for the testing of chemicals. guideline 213. honeybees, acute oral toxicity test, OECD, Paris.
- OECD. 1998b. Guidelines for the testing of chemicals. guideline 214. honeybees, acute contact toxicity test, OECD, Paris.
- USEPA. 2003. Revised EFED risk assessment of carbaryl in support of the reregistration eligibility decision. 166p. Wasinton DC, USA.
- USEPA. 2012a. Ecological effect test guidelines OPPTS 850.3020 Honey bee acute contact toxicity. Washington DC, USA.
- USEPA. 2012b. Ecological effect test guidelines OPPTS 850.3030 Honey bee toxicity of residue on foliage. Washington DC, USA.
- Yoon, H.G. 2011. Effects of fruit set in 'Fuji' apple using flower and fruit thinning chemicals. MS Thesis, Kyungpook National University, 15p.
- Yoon, H.J., K.Y. Lee, I.G. Park, M.A. Kim, Y.M. Kim and P.D. Kang. 2012. Current status of insect pollinators use in apple orchards. Korean J. Apic. 27: 105-116.
- Yoon, H.J., K.Y. Lee, S.B. Lee, I.G. Park, S.J. Jang, Y.C. Choi, Y.S. Choi and G.G. Lee. 2008. Research on the current status of insect pollinator use in Korea. Korean J. Apic. 23: 295-304.