



Dimethoate의 벌가위벌(*Osmia pedicornis*) 급성 접촉 및 섭식독성평가

전경미^{1*} · 김주영¹ · 김보선¹ · 윤창영¹ · 오진아¹ · 박홍현¹ · 윤형주²¹국립농업과학원 농산물안전성부 독성위해평가과, ²국립농업과학원 농업생물부 양봉생태과

Acute Contact and Oral Toxicity of Dimethoate for *Osmia pedicornis*

Kyongmi Chon^{1*}, Juyeong Kim¹, Bo-Seon Kim¹, Chang-Young Yoon¹, Jin-A Oh¹,
Hong-Hyun Park¹, Hyung-Joo Yoon²¹Toxicity and risk assessment division, Department of Agro-food Safety and Crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju, Korea²Apiculture division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju, Korea

(Received on October 29, 2021. Revised on December 1, 2021. Accepted on December 2, 2021)

Abstract Honeybee (*Apis mellifera*) has been used as a protective surrogate in the regulatory risk assessment processes. Recently, EFSA proposed the inclusion of two additional surrogate species (*Bombus* spp., *Osmia* spp.) into EU pesticide risk assessment due to the global decline of pollinator populations and bee sensitivity difference. We investigated the acute contact and oral toxicity of dimethoate towards the male *Osmia pedicornis* based on the test guideline developed by the International Commission of Plant-Pollinator Relationships (ICP-PR) non-*Apis* group. The following dimethoate doses were used to determine the LD₅₀ for the acute contact toxicity test: 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0 µg a.i./bee. Thirty newly emerged male bees per treatment groups were selected for the test and each bee was applied with 2 µL treatment solution on the dorsal side of the thorax. The acute contact toxicity of dimethoate 48 h and 96 h LD₅₀ for male *Osmia pedicornis* were 0.186 and 0.093 µg a.i./bee, respectively. Five dimethoate doses (0.017, 0.05, 0.15, 0.45, 1.35 µg a.i./bee) were used to determine the LD₅₀ for the acute oral toxicity test. Thirty replicates per treatment were used and each bee was housed individually and provided with 20 µL of aqueous 50% sucrose solution containing the test chemical. The acute oral toxicity of dimethoate 48 h and 96 h LD₅₀ for male *Osmia pedicornis* were 0.119 and 0.104 µg a.i./bee, respectively. In the near future, this test method could be used to assess the effect of various pesticides including neonicotinoids on *Osmia* species.

Key words Acute toxicity tests, Dimethoate, *Osmia pedicornis*

서론

전 세계적으로 124개 주요 작물 중 약 70%가 동물에 의한 화분매개를 필요로 하고 있으며(Klein et al., 2007), 온대 지역 식물 종의 78%와 열대 지역 식물 종의 94%가 화분매개곤충에 의존한다(Ollerton et al., 2011). 화분매개곤충에 의한 수분의 경제적 가치는 약 1530억 유로 정도로 추정되고 있으며, 이는 2005년 세계 농작물 생산총액의 약 9.5%에 해당하는 것으로 나타났다(Gallai et al., 2009). 국내에서도

화분매개곤충은 약 6조원에 이르는 높은 경제적 가치를 지니는 것으로 보고된 바 있다(Jung, 2008).

그러나 최근 기후변화, 서식지 손실, 병원체, 질병, 농약, 영양결핍 등의 복합적인 원인으로 인해 세계 각지에서 화분매개곤충의 개체 수가 지속적으로 감소하고 있다(Potts et al., 2010; Goulson et al., 2015).

벌목 곤충은 세계적으로 20,000종 이상이 알려져 있으며(Michener, 2007), 그 중 단독벌(solitary bee)은 온대 지역의 생태계에서 약 70%를 차지하고 있다(Sgolastra et al., 2019). 또한 단독벌 중 벌가위벌류(*Osmia* spp.)는 특정 작물에서 주요한 화분매개충으로 활용되고 있다. 벌가위벌류(*Osmia*

*Corresponding author
E-mail: kmchon6939@korea.kr

spp.)는 벌목(Hymenoptera) 꿀벌상과(Apoidea) 가위벌과(Megachilidae) 빨가위벌속(*Osmia*)에 해당되며, 현재까지 339종이 알려져 있다(Michener, 2007). 특히 빨가위벌류는 기상조건 악화시에도 효과적인 수분활동이 가능하고(Güler and Dikmen, 2017) 꿀벌에 비해 적은 개체 수를 이용하여 수분이 가능하기 때문에 사과, 배, 블루베리, 아몬드 등과 같은 과수에 효과적인 것으로 알려져 있다(Bosch and Kemp, 2001). 유럽에서는 *Osmia bicornis*와 *Osmia cornuta*가 가장 널리 분포하고 있으며, 체리, 배, 사과 및 아몬드 등의 수분에 중요한 화분매개곤충으로 이용되고 있다(Bosch, 1994; Benedek, 2008). 미국에서는 아몬드를 비롯한 여러 과수에서 *Osmia lignaria*를 이용하고 있으며(Bosch and Kemp, 2001), 일본에서는 머리빨가위벌(*Osmia cornifrons*)을 사과 수분에 적합하도록 개발하여 사용하고 있다(Maeta, 1978; Maeta and Kitamura, 1981; Yoon et al., 2016).

현재 국내에서 분포하는 한국산 빨가위벌류는 7종이고(Lee and Woo, 1994), 산지와 사과원에 각각 5종이 분포하고 있으며, 그 중 머리빨가위벌(*O. cornifrons*), 빨가위벌(*O. pedicornis*), 붉은빨가위벌(*O. taurus*) 3종이 주요 우점종으로 알려져 있다(Lee et al., 2002). 2016년 국내 화분매개곤충 사용현황 실태조사에 의하면 총 화분매개곤충 사용 농가 수는 9,014농가였고 이 중 631농가(7.0%)가 빨가위벌류를 이용하였으며, 주로 사과 작목(99.2%)에서 가장 많이 사용하였다(Yoon et al., 2017).

최근까지 화분매개곤충에 대한 농약의 위해성평가는 꿀벌(*Apis mellifera*)을 대표종으로 이용하여 수행되었다(EPPO/OEPP 2010; EFSA, 2013). 하지만 꿀벌과 단독벌은 행동, 생리 및 생태학적 특성에 차이가 있고, 농약의 노출 경로와 수준이 다르다(Boyle et al., 2019; Sgolastra et al., 2019). 또한 종 차이에 따라 농약에 대한 민감도가 다를 수 있다(Arena and Sgolastra 2014; Uhl et al. 2016; Sgolastra et al., 2017, 2019; Mokkapat, 2021). 이에 European Food Safety Authority (EFSA)는 화분매개충 위해성평가에 꿀벌뿐만 아니라 뒤영벌(*Bombus terrestris*)과 빨가위벌류(*O. bicornis*와 *O. cornuta*)를 포함할 것을 제안하였다(EFSA, 2013).

꿀벌과 마찬가지로 빨가위벌류는 농약 살포 시 농약에 직접적으로 노출되거나, 식물 표면에 잔류된 농약 접촉 또는 농약에 오염된 화밀(nectar)과 꽃가루(pollen)를 섭취하여 노출될 수 있다(Boyle et al., 2019; Sgolastra et al., 2019). 또한 빨가위벌류는 둥지(nest) 재료로 진흙을 사용하기 때문에 오염된 토양과의 접촉 또는 토양에 존재하는 오염된 물의 섭취를 통해 농약에 노출될 수 있다(Boyle et al., 2019; Sgolastra et al., 2019).

농약에 노출된 빨가위벌류는 정상적인 수분활동이 어려울 수 있으며 이는 고품질의 작물 생산량에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서 접촉 및 섭식을 포함하는 다양한 노출

경로를 통해 빨가위벌류에 대한 농약의 영향을 평가할 필요가 있다. 최근 International Commission of Plant-Pollinator Relationships (ICP-PR) non-*Apis* group은 빨가위벌류에 대한 급성 접촉 및 섭식독성시험법을 확립하기 위한 ring test를 진행하였다(Roessink et al., 2018).

최근 유럽을 중심으로 벌 종 차이에 따른 농약에 대한 민감도와 빨가위벌류 독성시험법에 대한 연구가 진행되고 있다. 예를들어, Arena and Sgolastra (2014)는 다양한 벌 종 차이에 따른 농약에 대한 민감도를 비교하기 위해 메타분석을 수행하였다. Sgolastra et al. (2019)은 꿀벌과 단독벌의 생활사 특성을 비교하고 종 차이에 따른 농약 노출 경로와 수준에 대한 리뷰논문을 발표하였다. Heard et al. (2017)은 꿀벌과 *B. terrestris* 및 *O. bicornis*의 독성 민감도를 비교하기 위해 5가지 살충제, 카드몐 및 비소에 대한 급성 섭식독성시험을 수행하였다. Biddinger et al. (2013)은 사과원에서 일반적으로 사용되는 acetamiprid, λ -cyhalothrin 등 농약에 대한 꿀벌과 *O. cornifrons*의 급성독성시험 결과를 보고하였다. Azpiazu et al. (2021)은 세 가지 벌 종(*Apis mellifera*, *B. terrestris* 및 *O. bicornis*)의 sulfoxaflopr과 fluxapyroxad에 대한 급성 섭식독성시험을 수행하여 LD₅₀값을 비교하였다. Mokkapat et al. (2021)은 암컷 *O. bicornis*에 대한 3가지 농약 품목(chlorpyrifos, cypermethrin 및 acetamiprid)의 급성 섭식 및 접촉 독성을 평가하였다.

현재까지 수행된 빨가위벌류에 대한 급성 독성평가는 대부분 암컷 벌에서만 수행되었다. 빨가위벌류는 사회성벌과 다르게 암수컷 모두 화분매개 활동을 할 뿐만 아니라 암수컷 성비도 1:1 이다(Phan et al., 2020). 교미하지 않은 빨가위벌류 암컷은 암컷 크기의 수컷만 생산하여 실제 화분매개할 수 있는 벌 개체수를 감소시킨다(Gerber and Klostermeyer, 1970; Bosch and Vicens, 2006). 따라서 빨가위벌류의 수컷에 대한 독성연구도 중요하다. 이러한 이유로 최근 빨가위벌류 수컷에 대한 독성연구가 진행되고 있다. 예를들어, Uhl et al. (2016)은 암컷과 수컷 *O. bicornis*를 포함한 5가지 벌 종의 dimethoate에 대한 급성 독성(LD₅₀)을 평가하였고 종별에 따른 농약의 민감도를 분석하였다. Robinson et al. (2017)은 여러 농약의 혼합 노출 시 꿀벌과 뒤영벌, 암컷과 수컷 *O. bicornis*의 독성영향을 평가하였다. Phan et al. (2020)은 *O. cornifrons*을 이용하여 빨가위벌류 급성독성시험법에 대한 개선안을 제시하였고 성별에 따른 농약에 대한 민감도를 비교하였다.

그러나 현재까지 국내에서 빨가위벌류를 활용한 독성연구 사례는 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 ICP-PR non-*Apis* group에서 제안한 빨가위벌류 급성 접촉 및 섭식독성시험법을 바탕으로 dimethoate에 대한 수컷 빨가위벌(*Osmia pedicornis*) 급성 독성을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

시험곤충

2020년도 3월 말부터 4월 초 경남 거창, 강원도 정선, 영월 등 7개 지역에서 대나무 소통 트랩을 설치하여 빨가위벌류를 채집하였다. 빨가위벌류를 분류한 다음 빨가위벌(*O. pedicornis*)의 수컷 고치를 국립농업과학원 양봉생태과에서 5°C 저장고에 보관한 후 2021년 5월에 25°C에서 우화시켰다. 섭식독성시험용 개체는 먹이를 24시간 동안 공급하지 않고 시험조건에서 순응시킨 후 사용하였다.

시험약제

시험에 사용한 약제는 ICP-PR ring test 시험법에서 양성대조군으로 사용한 dimethoate 유제(46%)를 사용하였다 (Roessink et al., 2016).

시험용기

급성 접촉독성 시험용기는 플라스틱 사각케이지(15.4 cm (L) × 10.3 cm (W) × 6.7 cm (H))를 사용하여 10마리씩 한 케이지에 넣어 처리군 당 3개의 용기를 사용하였다. 사각케이지 뚜껑 일부는 환기가 될 수 있도록 망사로 덮었으며(Fig. 1C) 바닥에는 자당용액을 공급할 수 있는 플라스틱 먹이통을 배치하였다. 또한 빨가위벌류는 특성상 숨을 수 있는 장소를 좋아하기 때문에 필터 종이(110 mm, Advantec, Japan)를 그림과 같이 접어서 숨을 수 있는 공간을 제공하였다(Fig. 1B).

급성 섭식독성 시험용기는 환기가 되고 세척이 가능한 왕대보호기(밑 지름 2.1 cm × 윗지름 2.6 cm × 높이 7.3 cm, 메인양봉원)를 사용하였으며 컵 홀더를 아크릴로 제작한 받침대 위에 부착하였다(Fig. 2A, 2B). 먹이 공급용 갈색 컵(CNE/3, Nicotplast, France)을 컵 홀더에 꽂아 사용하였다(Fig. 2C). 시험 처리군별로 현대의 아크릴 받침대를 사용하였으며 받침대에 시험케이지를 고정할 수 있는 홀더를 40개씩 제작하여 총 40개의 시험케이지를 배치할 수 있도록 하였다(Fig. 2D).

시험조건

시험이 진행되는 동안 실험실 환경은 온도 $22 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $60 \pm 10\%$, 명암주기(16:8 h)를 유지하였으며 관찰을 위해 조건을 이탈한 시간이 2시간을 넘지 않도록 하였다.

급성 접촉독성시험

무처리군과 dimethoate 처리양에 따라 5개 처리군을 구성하였으며 처리군 별 벌은 10마리씩 3반복으로 처리하였다. 시험물질인 dimethoate 유제는 증류수로 용해하였으며 최종 처리량이 각각 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0 $\mu\text{g a.i./bee}$ 가 되도록 하였다. 시험용액의 균등한 도포를 위해 계면활성제 Triton X-100 (Sigma Aldrich, USA)을 사용하였으며 시험 용액 중 함량은 0.1%로 하였다.

빨가위벌(*O. pedicornis*) 수컷은 냉장고에서 30분-1시간 정도 보관하여 저온 마취하였으며 냉장고에서 꺼낸 후에도 실험실에서 분쇄된 얼음 위에 벌을 수집한 용기를 배치한 후 벌의 무게를 한 마리씩 측정하였다. 무게 측정 후 W 형태로 접은 종이 사이에 벌 등쪽이 보이도록 한 마리씩 배치하였다(Fig. 1A). 정량적인 약제처리를 위해 multipette M4 pipette (Eppendorf, Germany)를 사용하였으며 처리군 별로 2 μL 씩 등쪽 흉부(thorax)에 약제를 고르게 도포하였다 (Roessink et al., 2016). 약제를 처리한 후, 벌을 시험용기에 10마리씩 옮겨 50% 자당용액을 자유롭게 공급하였다. 이후 최소 48시간 또는 최대 96시간 동안 치사개체 및 이상증상을 관찰하였다.

급성 섭식독성시험

무처리군과 dimethoate 처리양에 따라 5개 처리군을 구성하였으며 각 처리군은 빨가위벌 1마리씩 30반복하였다. 시험물질인 dimethoate 유제는 증류수로 용해하였으며 최종 처리량이 각각 0.017, 0.05, 0.15, 0.45, 1.35 $\mu\text{g a.i./bee}$ 가 되도록 하였다. 급성 섭식독성시험은 제공된 시험용액을 충분히 섭취하지 않은 개체군(non-feeder)을 시험에서 제외하여야 하기 때문에 시험물질 공급시 빨가위벌을 처리군 당 1마리씩 40반복으로 시험하였다. 섭식 노출 전 후 시험물질을



Fig. 1. The test supplies and set-up for acute contact toxicity tests: A, individual treatment (application) on the dorsal side of the thorax of solitary bees using the multipette M4 pipette; B, Groups of 10 bees were placed in the test cage with 50% sucrose feeders and a piece of filter paper; C, the overall testing setup.

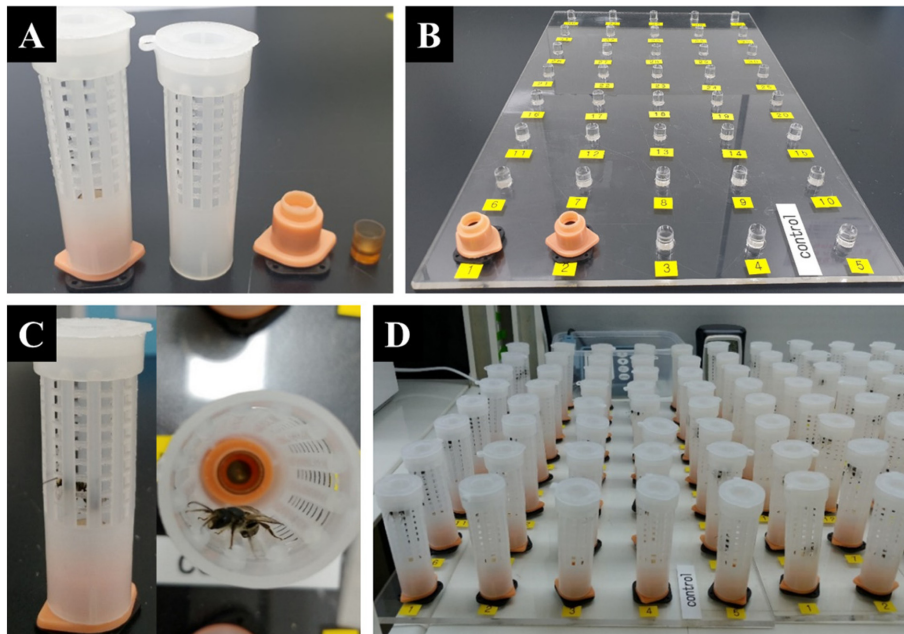


Fig. 2. The test supplies and set-up for acute oral toxicity tests: A, a single housing cage and feeding devices (cell cup and cup holder); B, fixation of the cage and cup holder on the plate (40 replicates/plate); C, Individual solitary bee was kept in a single cage with the test solution.; D, the overall testing setup.

포함한 먹이 용기의 무게를 측정하여 시험용액 섭취량이 전체 평균 섭취량의 80% 미만인 경우 non-feeder로 정의하였다. 접촉 독성시험법과 마찬가지로 빨가위벌 무게를 측정 후 개별 케이지에 빨가위벌을 한 마리씩 넣었다. 시험약제를 포함한 50% (w/v) 자당용액을 먹이 용기에 20 μ L씩 넣어 3시간 동안 공급하였다. 40마리 중 non-feeder를 제외한 후 최종 30마리를 선정하여 시험을 진행하였다. 약제 노출 후 새 먹이 용기로 교체하여 시험 종료시까지 50% 자당용액을 자유롭게 공급하였다. 이후 최소 48시간 또는 최대 96시간 동안 치사개체 및 이상증상을 관찰하였다.

치사개체 및 이상증상 확인

약제 노출 후 4시간, 24시간, 48시간의 치사개체 및 이상증상을 관찰하였으며 약제 처리군에서 24시간과 48시간 사이의 치사율이 10% 이상 증가할 경우 72시간 및 96시간까지 관찰한 후 시험을 종료하였다. 약제 노출 후 관찰사항으로는 이상행동이 관찰되지 않는 상태(unaffected, U), 움직일 수 있지만 감소된 신체 조정력을 보이거나 과잉행동을 나타내는 상태(affected, A), 걷지 못하고 더듬이 및 다리의 움직임이 매우 약하며, 자극에 대한 반응이 매우 약한 상태(moribund, M), 벌이 죽은 상태(dead, D)로 구분하여 관찰한 뒤 기록하였다.

통계처리

각 시험군의 빨가위벌 체중값은 평균 \pm 표준편차로 표시하였으며 시험물질의 독성 시험 결과는 EPA probit analysis

program (ver 1.5)을 사용하여 LD₅₀ 및 95% 신뢰한계를 산출하였다.

결과 및 고찰

실험조건 설정

사육조건

본 시험의 관찰기간 동안 평균 온도 및 상대 습도는 급성 접촉독성시험에서 $22.2 \pm 0.7^\circ\text{C}$, $63.3 \pm 5.5\%$ 이었으며 급성 섭식독성시험에서 $21.7 \pm 0.7^\circ\text{C}$ 및 $65.9 \pm 4.9\%$ 이었다(Table 1). 명암주기(16 : 8 h)를 유지하였으며 조도는 760 lux이었다. 꿀벌 및 서양뒤영벌은 암조건에서 시험하지만 빨가위벌류 시험은 명암주기를 주도록 되어 있는데 이는 야생벌인 빨가위벌류가 더 자연스러운 행동을 하도록 유도하기 위함이다 (Heard et al., 2017).

Table 1. The experimental temperature and relative humidity conditions in acute toxicity tests

Treatment processes	Temperature ($^\circ\text{C}$, mean \pm SD)	Relative humidity (% , mean \pm SD)
Contact	22.2 ± 0.7	63.5 ± 5.5
Oral	21.7 ± 0.7	65.9 ± 4.9

무게조건

급성 접촉독성시험 및 섭식독성시험에서 사용된 빨가위벌 (*O.pedicornis*) 수컷의 평균 무게는 각각 68.38 ± 10.45 mg,

Table 2. The body weight (mg) of solitary bees (*Osmia pedicornis*, male) in acute toxicity tests

Administration	Treatment groups ($\mu\text{g a.i./bee}$)	Body weight (mg, mean \pm SD)
Contact	Control	68.90 \pm 13.10
	0.125	66.87 \pm 5.30
	0.25	70.03 \pm 10.01
	0.5	67.70 \pm 12.76
	1.0	69.80 \pm 9.85
	2.0	67.00 \pm 9.08
	Average	68.38 \pm 10.45
Oral	Control	60.53 \pm 7.79
	0.017	60.87 \pm 5.96
	0.05	59.33 \pm 5.80
	0.15	57.00 \pm 6.29
	0.45	59.17 \pm 8.92
	1.35	56.53 \pm 5.18
	Average	58.91 \pm 6.99

58.91 \pm 6.99 mg이었다(Table 2). 참고 문헌에 의하면 시험에 사용한 *O. pedicornis* 수컷의 무게는 *O. cornifrons* 수컷의 무게와 비슷하였다. 또한 *O. cornifrons*, *O. bicornis* 암컷보다는 작았고 *O. bicornis* 수컷보다는 큰 것으로 나타났다. 예를 들어, Phan et al. (2020)은 *O. cornifrons*의 농약에 대한 섭식독성시험을 수행하였으며 암컷의 무게는 100-110 mg 이었으며 수컷은 65-70 mg이었다. Uhl et al. (2019)은 dimethoate을 포함한 15개 농약에 대한 급성 접촉독성시험을 수행하였으며 *O. bicornis* 암컷의 무게는 77.7-112.7 mg 이었고 평균 91.6 mg이었다. Uhl et al. (2016)은 유럽 벌 5종에 대해서 급성 접촉독성시험을 수행하여 dimethoate 독성값을 분석하였으며 *O. bicornis* 수컷의 평균 무게는 37.7 mg 이었고 암컷의 무게는 93.6 mg이었다. 급성 접촉시험결과 수컷과 암컷의 LD₅₀ 값이 각각 1.71 $\mu\text{g a.i./bee}$, 4.39 $\mu\text{g a.i./bee}$ 으로 암컷이 수컷보다 덜 민감한 것으로 나타났다. 또한 유럽 벌 5종의 48 h LD₅₀ 값을 비교한 결과 dimethoate 독성은 벌 무게가 감소할수록 증가하였다. Gallo et al. (2008)은 크기가 작은 *Osmia* spp. 수컷이 같은 양의 화학물질에 노출되더라도 큰 벌보다 더 영향을 많이 받는 것으로 보고하였다. 즉, 벌의 종류 및 무게에 따라 농약의 민감도가 다를 수 있다(Uhl et al., 2016). 따라서 빨가위벌류의 무게 조건은 실험결과의 신뢰와 정확성을 위한 중요한 요소이다.

급성 접촉독성시험

빨가위벌(*O. pedicornis*) 수컷의 dimethoate 처리량에 따른 독성영향을 확인하기 위해 각 처리군 당 2 μL 로 처리하여 이상증상 및 치사개체를 관찰하여 기록하였다(Table 3). 무처리군에서는 96시간까지 30마리 중 2마리가 죽어서 10% 이하의 치사율을 나타냈다. Dimethoate 1.0 $\mu\text{g a.i./bee}$, 2.0 μg

a.i./bee 처리군에서는 약제 노출 4시간 후 affected (A)와 moribund (M) 상태가 각각 12마리, 29마리였고 24시간 후에는 모두 치사하였다. Dimethoate 0.5 $\mu\text{g a.i./bee}$ 처리군은 약제 노출 4시간 후에 이상증상 개체가 발견되지 않았지만 24시간 후에 모두 치사하였다. Dimethoate 0.25 $\mu\text{g a.i./bee}$ 처리군에서는 24시간 후에 15마리가 죽었고 48시간에는 26마리가 치사하여 24시간과 48시간의 치사개체가 10% 이상 증가하였기 때문에 96시간까지 관찰하였다. Dimethoate 0.125 $\mu\text{g a.i./bee}$, 0.25 $\mu\text{g a.i./bee}$ 처리군에서는 노출 후 96시간에는 21마리, 27마리가 죽어서 치사율이 각각 70%, 90%이었다. Dimethoate 0.125 $\mu\text{g a.i./bee}$ 처리군에서는 24시간과 48시간 사이에 벌이 10% 이상 치사하지 않았지만 48시간 치사율(10%)이 96시간에는 70%로 약 60%가 증가하였다. 시험결과 dimethoate의 *O. pedicornis* 수컷에 대한 급성 접촉 48 h, 96 h LD₅₀ 값은 각각 0.186 (0.155-0.213), 0.093 (0.033-0.129) $\mu\text{g a.i./bee}$ 이었다(Table 5). 또한 벌 개별 무게는 농약의 민감도에 영향을 주기 때문에 독성값을 무게로 나누어 weight-normalised LD₅₀ 값을 Table 5에 나타내었다. 급성 접촉 weight-normalised LD₅₀ 48 h, 96 h LD₅₀ 값은 각각 2.72 (2.27-3.11), 1.36 (0.48-1.89) $\mu\text{g a.i./g bee}$ 이었다. Uhl et al. (2019)의 *O. bicornis* 암컷 dimethoate 접촉독성 시험결과 48 h weight-normalised LD₅₀ 값은 13.20으로 본 시험종인 *O. pedicornis* 수컷이 약 5배 이상 민감하였다.

Uhl et al. (2019)은 *O. bicornis* 암컷의 농약 16종에 대한 급성 접촉독성시험을 수행하였으며 14개 시험군은 무처리군에서 치사율이 10% 이하였으며 나머지 2개 시험군의 치사율은 15%이었다. 시험 결과 네오니코티노이드계 농약 acetamiprid, imidacloprid, thiacloprid 에서 *O. bicornis*가 꿀벌보다 더 민감하였으며(최대 18배) 나머지 유기인계 및 피

Table 3. Number of affected and dead solitary bees (*O. pedicornis*) in acute contact toxicity tests

Treatment groups	Total number of solitary bees	Symptoms	Number of solitary bees				
			4 h	24 h	48 h	72 h	96 h
Control	30	Dead (D)	0	1	1	2	2
		Unaffected (U)	29	29	29	28	28
		Affected (A)	0	0	0	0	0
		Moribund (M)	1	0	0	0	0
		Total	30	30	30	30	30
Dimethoate (0.125 µg a.i./bee)	30	Dead (D)	0	2	3	19	21
		Unaffected (U)	30	28	27	11	9
		Affected (A)	0	0	0	0	0
		Moribund (M)	0	0	0	0	0
		Total	30	30	30	30	30
Dimethoate (0.25 µg a.i./bee)	30	Dead (D)	0	15	26	27	27
		Unaffected (U)	30	9	4	3	3
		Affected (A)	0	6	0	0	0
		Moribund (M)	0	0	0	0	0
		Total	30	30	30	30	30
Dimethoate (0.5 µg a.i./bee)	30	Dead (D)	0	30	30	30	30
		Unaffected (U)	30	-	-	-	-
		Affected (A)	0	-	-	-	-
		Moribund (M)	0	-	-	-	-
		Total	30	30	30	30	30
Dimethoate (1.0 µg a.i./bee)	30	Dead (D)	2	30	30	30	30
		Unaffected (U)	16	-	-	-	-
		Affected (A)	11	-	-	-	-
		Moribund (M)	1	-	-	-	-
		Total	30	30	30	30	30
Dimethoate (2.0 µg a.i./bee)	30	Dead (D)	1	30	30	30	30
		Unaffected (U)	0	-	-	-	-
		Affected (A)	14	-	-	-	-
		Moribund (M)	15	-	-	-	-
		Total	30	30	30	30	30

레스로이드계 농약은 꿀벌이 *O. bicornis*보다 더 민감하였다(Uhl et al., 2019).

Uhl et al. (2016)은 유럽 벌 5종에 대해서 급성 접촉독성 시험을 수행하여 dimethoate 독성값 48 h LD₅₀을 분석하였다. 시험결과 유럽 벌 5종 중 *B. terrestris*, *O. bicornis*는 dimethoate에 대해 가장 덜 민감하였으며 꿀벌에 비해 LD₅₀ 값이 각각 28.5배, 23.8 배가 컸다. 어린 꿀벌은 무독화 능력이 우화당시에는 매우 낮고 화분매개활동을 시작할때까지 증가한다고 알려져 있다(Smirle et al., 1988; Słowińska et al., 2016). 그러나 어린 단독벌류(*O. bicornis*)는 우화 전에 완성된 큐티클층과 항산화 효소 레벨이 증가하는 것으로 인해 꿀벌에 비해 상대적으로 독성에 덜 민감하다고 알려졌다(Elias-Neto et al., 2014; Dmochowska-Ślęzak et al., 2015).

본 연구의 시험종인 *O. pedicornis* 수컷의 48 h LD₅₀ 값은 0.186 µg a.i./bee으로 *O. bicornis* (수컷, 1.71 µg a.i./bee) 보다 약 10배 정도 민감한 것으로 나타났다. 참고문헌의 꿀벌 접촉독성 48 h LD₅₀ 값은 0.16 µg a.i./bee으로 *O. pedicornis* 와 독성 민감도가 비슷한 것으로 나타났다(Table 5). Ladumer et al. (2005)는 *O. lignaria* 암컷의 dimethoate 접촉독성시험을 수행하였으며 48 h LD₅₀ 값이 1.21 µg a.i./bee 으로 본 시험종인 *O. pedicornis* 가 독성이 약 7배 정도 민감한 것으로 나타났다.

급성 섭식독성시험

Table 4는 dimethoate 섭식 노출량 및 관찰기간에 따른 빨가위벌(*O. pedicornis*) 수컷의 이상증상 및 치사개체수를 나

Table 4. Number of affected and dead solitary bees (*O. pedicornis*) in acute oral toxicity tests

Treatment groups	Total number of solitary bees	Symptoms	Number of solitary bees				
			4 h	24 h	48 h	72 h	96 h
Control	30	Dead (D)	0	1	1	3	4
		Unaffected (U)	30	29	28	24	26
		Affected (A)	0	0	1	3	0
		Moribund (M)	0	0	0	0	0
		Total	30	30	30	30	30
Dimethoate (0.017 µg a.i./bee)	30	Dead (D)	0	1	5	6	11
		Unaffected (U)	30	28	21	17	19
		Affected (A)	0	1	3	1	0
		Moribund (M)	0	0	1	6	0
		Total	30	30	30	30	30
Dimethoate (0.05 µg a.i./bee)	30	Dead (D)	0	2	4	9	10
		Unaffected (U)	28	27	25	18	20
		Affected (A)	2	1	1	2	0
		Moribund (M)	0	0	0	1	0
		Total	30	30	30	30	30
Dimethoate (0.15 µg a.i./bee)	30	Dead (D)	0	4	16	21	24
		Unaffected (U)	28	23	12	6	6
		Affected (A)	2	3	1	3	0
		Moribund (M)	0	0	1	0	0
		Total	30	30	30	30	30
Dimethoate (0.45 µg a.i./bee)	30	Dead (D)	2	27	30	30	30
		Unaffected (U)	7	0	-	-	-
		Affected (A)	16	0	-	-	-
		Moribund (M)	5	3	-	-	-
		Total	30	30	30	30	30
Dimethoate (1.35 µg a.i./bee)	30	Dead (D)	20	29	30	30	30
		Unaffected (U)	1	0	-	-	-
		Affected (A)	5	0	-	-	-
		Moribund (M)	4	1	-	-	-
		Total	30	30	30	30	30

타낸다. 무처리군에서는 96시간까지 벌 30마리 중 4마리가 치사하여 13.33%의 치사율을 나타냈다. Heard et al. (2017)은 *A. mellifera*, *B. terrestris*, *O. bicornis* 3종의 벌에 대한 농약의 섭식독성시험을 10일 동안 수행하여 섭식 LD₅₀ 값을 제시하였다. 꿀벌과 서양뒤영벌은 96시간 관찰 기간 동안 무처리군에서 치사율이 10% 이하로 유지하였지만 꿀가위벌류(*O. bicornis*)는 48시간 무처리군 생존률이 40-80%이었으며 평균 65%였다. 이는 실험실 조건에서 다른 사회성 벌과 다르게 꿀가위벌류의 무처리군 치사율이 높아질 수 있는 것을 암시한다. ICP-PR 시험방법 가이드라인에서도 꿀가위벌류 시험에서 무처리군 유효기준 치사율이 15% 또는 20%까지도 높아질 수 있다고 언급하였다.

Dimethoate 1.35 µg a.i./bee 처리군은 처리 4시간 후에 벌

20마리가 치사하여 약 70%의 치사율을 나타냈고 48시간 이후 100% 치사하였다. Dimethoate 0.45 µg a.i./bee 처리군에서는 4시간 후 치사개체는 2마리였지만 이상증상 개체가 약 70% 이었고 48시간 이후에 100% 치사하였다. Dimethoate 0.15, 0.05, 0.017 µg a.i./bee 처리군에서는 48시간 치사율이 각각 53.33%, 13.33%, 16.67% 이었고 96시간 치사율은 각각 80.00%, 33.33%, 36.67%이었다(Fig. 3). Dimethoate의 *O. pedicornis* 수컷에 대한 급성섭식 48 h, 96 h LD₅₀ 값은 각각 0.119 (0.090-0.164), 0.104 (0.047-0.142) µg a.i./bee 이었으며 weight-normalised 48 h, 96 h LD₅₀ 값은 각각 2.02 (1.53-2.78), 1.77 (0.80-2.41) µg a.i./g bee이었다(Table 5). Ladurner et al. (2005)는 *O. lignaria*의 dimethoate 섭식 독성시험 수행 결과 48 h LD₅₀ 값이 0.26 µg a.i./bee으로 본

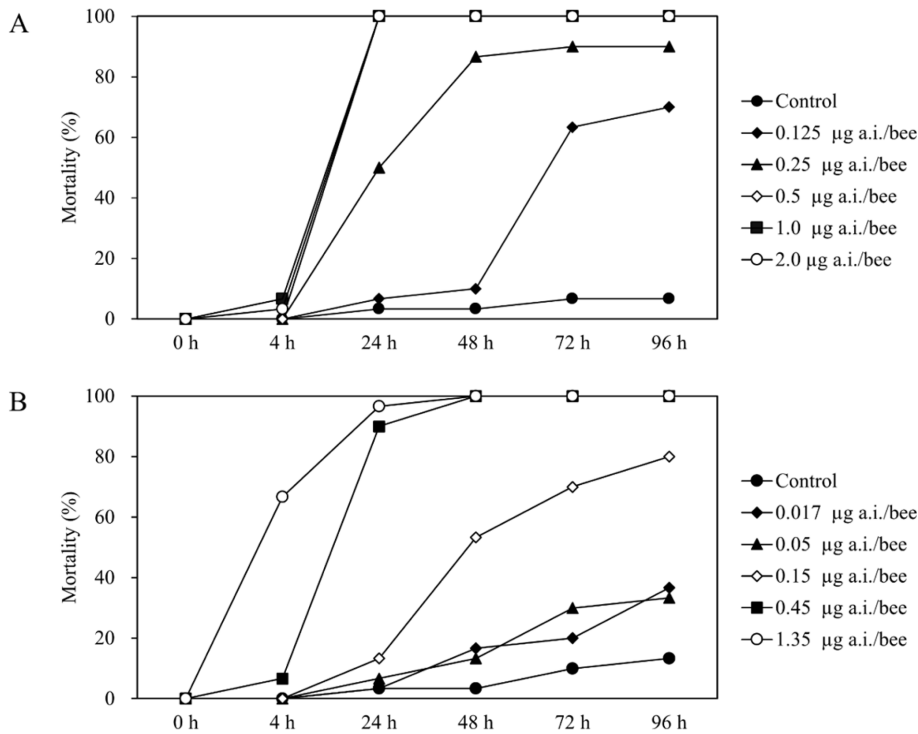


Fig. 3. Mortality of solitary bees (*O. pedicornis*) exposed to different concentrations of dimethoate in the acute contact (A) and oral (B) toxicity tests.

Table 5. Comparison of acute contact and oral toxicity LD₅₀ values of dimethoate for solitary bees (*O. pedicornis*) at 48 and 96 h after treatment from the present study against published LD₅₀ values for honey bee (*A. mellifera*) at 48 h after exposure

Administration	<i>O. pedicornis</i>				<i>A. mellifera</i> ^{b)}
	LD ₅₀ ^{a)} (95% CL) (µg a.i./bee)		Weight-normalised LD ₅₀ (95% CL) (µg a.i./g bee)		LD ₅₀ ^{a)} (95% CL) (µg a.i./bee)
	48 h	96 h	48 h	96 h	48 h
Contact	0.186 (0.155 - 0.213)	0.093 (0.033 - 0.129)	2.72 (2.27 - 3.11)	1.36 (0.48 - 1.89)	0.16 (0.14-0.18)
Oral	0.119 (0.090 - 0.164)	0.104 (0.047 - 0.142)	2.02 (1.53 - 2.78)	1.77 (0.80 - 2.41)	0.13 (0.11-0.15)

^{a)} Lethal dose causing 50% mortality after 48 h and 96 h with 95% confidence limits in brackets.

^{b)} E. Ladurner et al., 2005.

시험중인 *O. pedicornis*가 독성이 2배 이상 민감한 것으로 나타났다. 참고문헌의 꿀벌 섭식독성 48 h LD₅₀ 값은 0.13 µg a.i./bee 으로 *O. pedicornis*와 독성 민감도가 비슷한 것으로 나타났다(Table 5).

Phan et al. (2020)은 *O. cornifrons* 암/수컷에 대한 thiamethoxam, imidacloprid, acetamiprid 3가지 농약의 급성 섭식독성시험을 수행하였다. 시험결과 수컷이 thiamethoxam에 더 민감하게 반응하였으며 나머지 두 농약은 암컷이 더 민감하였다. 시험물질 노출 후 2일, 5일, 7일에 치사율을 조사하였으며 농약에 따라 연장된(48시간부터 7일까지) 치사 개체가 발생하였다. EPA와 EFSA는 꿀벌 급성독성시험 수행시 96시간까지 치사개체를 관찰하도록 되어 있지만 시험 결과상 관찰기간을 연장해야되는 것을 제안하였다. 또한

Phan et al. (2020)은 수컷 단독벌이 화분매개 활동을 하고 번식에 중요한 역할을 하기 때문에 빨가위벌류는 암컷뿐만 아니라 수컷의 독성시험도 수행할 것을 제안하였다.

본 연구에서는 ICP-PR ring test 시험법을 기반으로 빨가위벌류 급성 접촉 및 섭식독성시험법을 구축하였다. 앞으로 이 시험법을 활용하여 최근 이슈가 되고 있는 네오니코티노이드계 농약 등 다양한 농약에 대한 빨가위벌류의 독성 정보를 제공할 수 있을 것이라고 생각된다.

Author Information and Contributions

Kyongmi Chon, Department of Agro-food Safety and Crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences,

Doctor of Philosophy, Conceptualization; Methodology; Investigation; Data Curation; Writing-Original Draft preparation; Funding Acquisition; Project Administration, <https://orcid.org/0000-0003-2143-2614>

Juyeong Kim, Department of Agro-food Safety and Crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Research assistant, Investigation, <https://orcid.org/0000-0002-6413-1822>

Bo-Seon Kim, Department of Agro-food Safety and Crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Research assistant, Investigation, <https://orcid.org/0000-0001-6053-6366>

Chang-Young Yoon, Department of Agro-food Safety and Crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Researcher, Investigation, <https://orcid.org/0000-0001-7220-5425>

Jin-A Oh, Department of Agro-food Safety and Crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Researcher, Supervision, <https://orcid.org/0000-0002-1166-4377>

Hong-Hyun Park, Department of Agro-food Safety and Crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Doctor of Philosophy, Supervision, <https://orcid.org/0000-0003-1213-0665>

Hyung-Joo Yoon, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Doctor of Philosophy, Resources, <https://orcid.org/0000-0002-1797-4974>

감사의 글

본 연구는 국립농업과학원 기관고유 연구사업(과제번호: PJ01579702)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

Literature Cited

Arena M, Sgolastra F, 2014. A meta-analysis comparing the sensitivity of bees to pesticides. *Ecotoxicology*. 23(3):324-334.

Azpiazu C, Bosch J, Bortolotti L, Medrzycki P, Teper D, et al.,

2021. Toxicity of the insecticide sulfoxaflor alone and in combination with the fungicide fluxapyroxad in three bee species. *Sci. Rep.* 11(1):1-9.

Benedek P, 2008. Preliminary studies on propagating natural mason bee (mixed *Osmia cornuta* and *O. rufa*) populations in artificial nesting media at the site for fruit orchard pollination. *Int. J. Hortic. Sci.* 14(1-2):95-101.

Biddinger DJ, Robertson JL, Mullin C, Frazier J, Ashcraft SA, et al., 2013. Comparative toxicities and synergism of apple orchard pesticides to *Apis mellifera* (L.) and *Osmia cornifrons* (Radoszkowski). *PLoS one*, 8(9), e72587.

Bosch J, 1994. Improvement of field management of *Osmia cornuta* (Latreille)(Hymenoptera, Megachilidae) to pollinate almond. *Apidologie*, 25(1):71-83.

Bosch J, Kemp WP, 2001. How to manage the blue orchard bee as an orchard pollinator, Handbook Series, Book 5, Sustainable Agriculture Network, Beltsville, Maryland, USA.

Bosch J, Vicens N. 2006. Relationship between body size, provisioning rate, longevity and reproductive success in females of the solitary bee *Osmia cornuta*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 60(1):26-33.

Boyle NK, Pitts-Singer TL, Abbott J, Alix A, Cox-Foster DL, et al., 2019. Workshop on pesticide exposure assessment paradigm for non-*Apis* bees: foundation and summaries. *Environ. Entomol.* 48(1):4-11.

Dmochowska-Ślęzak K, Giejdasz K, Fliszkiewicz M, Żółtowska K. 2015. Variations in antioxidant defense during the development of the solitary bee *Osmia bicornis*. *Apidologie*, 46(4):432-444.

Elias-Neto M, Nascimento AL, Bonetti AM, Nascimento FS, Mateus S., et al., 2014. Heterochrony of cuticular differentiation in eusocial corbiculate bees. *Apidologie*, 45(4):397-408.

European Food Safety Authority (EFSA), 2013. Guidance on the risk assessment of plant protection products on bees (*Apis mellifera*, *Bombus* spp. and solitary bees). *EFSA J.* 11(7):3295

European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO/OEPP), 2010. Environmental risk assessment scheme for plant protection products, Chapter 10: honeybees. *EPPO Bull.* 40:323-331.

Gallai N, Salles JM, Settele J, Vaissière BE. 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol. Econ.* 68(3):810-821.

Gallo M. et al., 2008. General principles of Toxicology. in Casarett and Doull's: Toxicology - The Basic Science of Poisons (ed. Klaassen C.) 1-107 (McGraw-Hill Medical Publishing Division. <https://doi.org/10.1036/0071470514>)

Gerber HS, Klostermeyer EC. 1970. Sex control by bees: a voluntary act of egg fertilization during oviposition. *Science*, 167(3914):82-84.

Goulson D, Nicholls E, Botías C, Rotheray EL. 2015. Bee

- declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, 347(6229):1255-1257.
- Güler Y, Dikmen F. 2017. Potential bee pollinators of sweet cherry in inclement weather conditions. *J. Entomol. Res. Soc.* 19(1):9-19.
- Heard MS, Baas J, Dorne JL, Lahive E, Robinson AG, et al., 2017. Comparative toxicity of pesticides and environmental contaminants in bees: are honey bees a useful proxy for wild bee species? *Sci. Total Environ.* 578:357-365.
- Jung C, 2008. Economic value of honeybee pollination on major fruit and vegetable crops in Korea. *Korean J. Apic.* 23(2):147-152. (In Korean)
- Klein AM, Vaissiere BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, et al., 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. B: Biol. Sci.* 274(1608):303-313.
- Ladurner E, Bosch J, Kemp WP, Maini S. 2005. Assessing delayed and acute toxicity of five formulated fungicides to *Osmia lignaria* Say and *Apis mellifera*. *Apidologie*, 36(3): 449-460.
- Lee HS, Woo KS, 1994. Genus *Osmia* (Hymenoptera; Megachilidae) from Korea. *Korean J. Apicult.* 9(2):117-130. (In Korean)
- Lee SW, Choi KH, Lee DH, Kim DA, Ryu HK, et al., 2002. Distribution and Collection of *Osmia* Bees in the Mountain Areas of Korea Soon-Won Lee, Kyung-Hee Choi, Dong-Hyuk Lee, Dong-A Kim, Ha-Kyung Ryu" and Young-In Lee. *Korean J. Appl. Entomol.* 41(4):263-268. (In Korean)
- Maeta Y. 1978. Comparative studies on the biology of bee of the genus *Osmia* of Japan. with special reference to their managements for pollination of crops (Hymenoptera: Megachilidae). *Bull. Tohoku. Natl. Agric. Exp. Stn.* 57:1-221.
- Maeta Y, Kitamura T. 1981. Pollinating efficiency by *Osmia cornifrons* (Radoszkowski) in relation to required number of nesting bees for economic fruit production. *Honeybee Sci.* 2(2):65-72.
- Michener CD. 2007. *Bees of the World*, second ed. Johns Hopkins university press, Baltimore, Maryland, USA.
- Mokkapatı JS., Wnęk A, Laskowski R, Bednarska AJ. 2021. Acute Oral and Contact Toxicity of Three Plant Protection Products to Adult Solitary Bees *Osmia bicornis*. *Pol. J. Environ. Stud.* 30(5):1-9.
- Ollerton J, Winfree R, Tarrant S. 2011. How many flowering plants are pollinated by animals?. *Oikos*, 120(3):321-326.
- Phan NT, Joshi NK, Rajotte EG, López-Urbe MM, Zhu F, et al., 2020. A new ingestion bioassay protocol for assessing pesticide toxicity to the adult Japanese orchard bee (*Osmia cornifrons*). *Sci. Rep.* 10(1):1-9.
- Potts SG, Biesmeijer JC, Kremen C, Neumann P, Schweiger O, et al., 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6):345-353.
- Robinson A, Hesketh H, Lahive E, Horton AA, Svendsen C, et al., 2017. Comparing bee species responses to chemical mixtures: Common response patterns?. *PLoS One*, 12(6), e0176289.
- Roessink I, Hanewald N, Schneider C, Exeler N, Schnurr A, et al., 2018. A method for a solitary bee (*Osmia* sp.) first tier acute contact and oral laboratory test: An update. In 13th International symposium of the ICP-PR Bee Protection Group on Hazards of Pesticides to Bees. Julius Kühn Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen. 462: 158-158. <https://doi.org/10.5073/jka.2018.462.045>
- Roessink I, van der Steen, JJM, Hanewald N. 2016. Solitary bee, acute contact toxicity test. ICPPR work- group non- Apis bees.
- Słowińska M, Nynca J, Wilde J, Bąk B, Siuda M, et al., 2016. Total antioxidant capacity of honeybee haemolymph in relation to age and exposure to pesticide, and comparison to antioxidant capacity of seminal plasma. *Apidologie*, 47(2): 227-236.
- Smirle MJ, Winston ML. 1988. Detoxifying enzyme activity in worker honey bees: an adaptation for foraging in contaminated ecosystems. *Canadian Journal of Zoology*, 66(9): 1938-1942.
- Sgolastra F, Medrzycki P, Bortolotti L, Renzi MT, Tosi S, et al., 2017. Synergistic mortality between a neonicotinoid insecticide and an ergosterol-biosynthesis-inhibiting fungicide in three bee species. *Pest Manag. Sci.* 73(6):1236-1243.
- Sgolastra F, Hinarejos S, Pitts-Singer TL, Boyle NK, Joseph T, et al., 2019. Pesticide exposure assessment paradigm for solitary bees. *Environ. Entomol.* 48(1):22-35.
- Uhl P, Franke LA, Rehberg C, Wollmann C, Stahlschmidt P, et al., 2016. Interspecific sensitivity of bees towards dimethoate and implications for environmental risk assessment. *Sci. Rep.* 6(34439):1-7.
- Uhl P, Awanbor O, Schulz RS, Brühl CA. 2019. Is *Osmia bicornis* an adequate regulatory surrogate? Comparing its acute contact sensitivity to *Apis mellifera*. *PloS one*, 14(8): e0201081.
- Yoon HJ, Lee KY, Kim SY, Kim YM, Kwon CR, 2016. Distribution and ecological characteristics of cocoons of the solitary Bees *Osmia cornifrons* and *O. pedicornis* (Hymenoptera: Megachilidae). *Korean J. Apicult.* 31(3):183-194. (In Korean)
- Yoon HJ, Lee KY, Lee HS, Lee MY, Choi YS, et al., 2017. Survey of Insect Pollinator Use for Horticultural Crops in Korea, 2016. *Korean J. Apicult.* 32(3):223-235. (In Korean)

Dimethoate의 꿀가위벌(*Osmia pedicornis*) 급성 접촉 및 섭식독성평가

전경미^{1*} · 김주영¹ · 김보선¹ · 윤창영¹ · 오진아¹ · 박홍현¹ · 윤형주²

¹국립농업과학원 농산물안전성부 독성위해평가과, ²국립농업과학원 농업생물부 양봉생태과

요 약 꿀벌은 농약의 화분매개충 위해성평가시 대표종으로 활용되어 왔다. 하지만 최근 화분매개충 개체수의 지속적인 감소, 종에 따른 농약의 민감도 차이 등을 이유로 EFSA에서는 꿀벌(*Apis mellifera*) 뿐만 아니라 뒤영벌(*Bombus* spp.) 및 꿀가위벌류(*Osmia* spp.)를 위해성평가에 포함할 것을 제안하고 있다. 이에 유럽에서는 꿀가위벌류에 대한 독성시험법 확립 연구 및 ring test가 진행되고 있다. 본 연구에서는 최근 International Commission of Plant-Pollinator Relationships (ICP-PR)에서 구축한 시험법을 바탕으로 dimethoate에 대한 수컷 꿀가위벌(*Osmia pedicornis*)의 급성 접촉 및 섭식독성시험을 수행하였다. 급성 접촉독성시험은 각 처리군 당(dimethoate 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0 µg/bee) 30마리씩 시험하였으며 시험약제 2 µL씩 벌 흉부에 도포하였다. 급성 접촉독성시험 결과 dimethoate에 대한 꿀가위벌 수컷의 48시간 및 96시간의 LD₅₀값은 각각 0.186 및 0.093 µg a.i./bee이었다. 급성 섭식독성시험은 5개 처리군 dimethoate 0.017, 0.05, 0.15, 0.45, 1.35 µg a.i./bee 으로 시험을 수행하였으며 처리군당 30마리씩 시험하였다. 개별 케이지에 벌 1마리씩을 넣고 시험약제를 포함한 50% 자당용액을 20 µL씩 공급하였다. 급성 섭식독성시험 결과 dimethoate에 대한 꿀가위벌 수컷의 48시간 및 96시간의 LD₅₀값은 각각 0.119 및 0.104 µg a.i./bee이었다. 향후 본 연구에서 구축된 시험법을 활용하여 최근 이슈가 되고 있는 네오니코티노이드계 농약 등 다양한 농약에 대한 꿀가위벌류의 독성 정보를 제공할 수 있을 것이라고 생각된다.

색인어 급성 독성시험, Dimethoate, 꿀가위벌