



깔따구(*Chironomus riparius*)와 조각깔따구(*Glytostedipes tokunagai*)에 대한 etofenprox와 fenpropathrin 급성독성 비교

방준형 · 윤창영 · 전경미* · 김보선 · 김주영 · 오진아 · 나영은
농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부 독성위해평가과

Comparison of Acute Toxicity of Etofenprox and Fenpropathrin to *Chironomus riparius* and *Glytostedipes tokunagai*

Jun-Hyoung Bang, Chang-Young Yoon, Kyongmi Chon*, Bo-Seon Kim, Juyeong Kim, Jin-A Oh, Young-Eun Na

Toxicity and Risk Assessment Division, Department of Agro-food safety, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, 166, Nongsaeogmyeong-ro, Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeollabuk-do 55365, Republic of Korea

(Received on April 9, 2023. Revised on May 18, 2023. Accepted on May 22, 2023)

Abstract Pyrethroid insecticides are not soluble in water, but they are strongly bound to the soil. When they are exposed to aquatic environments, they can accumulate in sediments and affect benthic organisms. In Korea, acute toxicity studies for pesticides that may be absorbed and retained in sediment are limited and no studies have been done using domestic species. In this study, we compared the acute toxicity of etofenprox and fenpropathrin for the freshwater midge *Chironomus riparius*, which is used in toxicity tests internationally, and the *Glytostedipes tokunagai*, which inhabits widely in Korea. Acute toxicity tests were performed according to the OECD test guideline 235. During the tests, the temperatures for *C. riparius* and *G. tokunagai* were $20 \pm 2^\circ\text{C}$, $25 \pm 2^\circ\text{C}$, respectively and the light-dark cycle was maintained at 16:8 h, and food was not supplied. Four replicates, each containing five organisms were put into 20 ml of experimental solutions. This study showed that the 48 h LC_{50} values of etofenprox for the *C. riparius* and *G. tokunagai* were $1.197 \mu\text{g/L}$ and $6.909 \mu\text{g/L}$, respectively. The 48 h LC_{50} values of fenpropathrin for the *C. riparius* and *G. tokunagai* were $0.040 \mu\text{g/L}$ and $6.004 \mu\text{g/L}$, respectively. As a result, *C. riparius* was more sensitive to etofenprox and fenpropathrin than *G. tokunagai*.

Key words Acute toxicity, *Chironomus riparius*, Etofenprox, Fenpropathrin, *Glytostedipes tokunagai*

서 론

Pyrethroid계 살충제는 천연 살충제인 pyrethrins과 유사한 화학구조를 가진 합성 살충제로, 1973년 개발된 이래로 미국을 포함하여 전세계적으로 사용되고 있는 살충제이다 (ATSDR, 2003; Schleier III and Peterson, 2011). Etofenprox와 fenpropathrin은 sodium 채널을 교란시켜 곤충 신경계에 영향을 미치는 합성 pyrethroid로 광범위한 종류의 작

물에서 해충 방제를 위해 사용되는데 (Jia et al., 2006), 농지에 살포된 농약은 빗물 또는 관개수 등에 씻겨 물에 녹은 상태나 토양입자에 흡착된 상태로 유출되어 수생태계에 유입될 수 있다. Etofenprox ($\log P = 6.9$)와 fenpropathrin ($\log P = 6.04$)은 무극성 화합물로 토양과 퇴적물에 높은 친화성을 가지고 있어 토양 입자에 흡착되기 쉬우며 (Zhou and Rowland, 1997; Tomlin, 2003), 수생태계에 노출될 경우 퇴적물에 축적되어 저서생물에게 영향을 끼칠 수 있다.

Barbee and Stout (2009)은 미국가재 (*Procambarus clarkia*)에 대한 etofenprox의 96 h LC_{50} 이 $0.29 \mu\text{g/L}$ 로 etofenprox가 미국가재에게 독성이 매우 강하며, pyrethroid계 농약이

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

neonicotinoid계 농약보다 비표적 생물들에게 위험하다고 보고하였다. De Lorenzo and De Leon (2010)에 따르면 유리 새우(*Palaemonetes pugio*) 성체에 대한 etofenprox의 96 h LC₅₀이 1.26 µg/L로 높은 독성을 보였다고 보고하였다. Benli (2014)은 터키 가재(*Astacus leptodactylus*) 성체에 대한 etofenprox의 96 h LC₅₀이 0.41 µg/L였고, 농약에 노출된 후 움직임 감소, 평형감각 상실, 개체간 싸움 증가, 바닥에 가라앉거나 표면 위로 나오려는 이상 증상들이 관찰되었으며, 전형적인 2차 스트레스 반응인 고혈당증을 유발한다고 보고하였다. Sancho et al. (2018)은 물벼룩(*Daphnia magna*)에 대한 etofenprox의 24 h EC₅₀이 139 µg/L였고 1.48, 1.85 µg/L 농도에서 21일간 노출 되었을 때 생식률 저하, 크기 감소, 개체수 증가율에 영향을 미친다고 보고하였다. Wang et al. (2020)은 제브라피쉬의 배아에서 성체까지 발달 단계에 따른 fenpropathrin의 독성을 분석하였는데, 치어(juvenile) 단계의 96 h LC₅₀이 0.0029 mg/L로 제브라피쉬의 발달단계 중 독성이 가장 높게 나타났으며, 효소 활성과 발달에 영향을 끼치는 호르몬의 변화를 야기한다고 보고하였다. Yu et al. (2022)은 제브라피쉬의 배아가 fenpropathrin에 노출될 경우 뇌 기형, 비정상적인 움직임, AChE 활성 강화, 산화 스트레스, 세포 사멸 및 신경 발달 유전자의 발현 감소와 같은 발달 및 신경 독성을 유발한다고 보고하였다. 이처럼 etofenprox와 fenpropathrin은 갑각류, 어류와 같은 수서생물들에 대한 높은 독성을 보였으며, 먹이사슬에 혼란을 일으켜 서식지의 생물 다양성을 위협할 수 있다(Antwi and Reddy, 2015). 하지만 수서생물에 대한 두 농약의 독성 연구는 일부 생물종에서만 국한되어 이루어졌기 때문에, 추가적인 평가 대상종에 대한 연구가 필요하다.

깔따구(*Chironomus riparius*)는 절지동물문 곤충류 파리목 깔따구과에 속하는 곤충으로, 유충 단계에 하천수와 퇴적토의 경계에서 유영 생활을 하다가 적당한 서식지를 찾으면 정착하여 저서 생활을 한다. *C. riparius* 유충은 수서 생태계에서 물벼룩과 함께 곤충 및 어류의 중요한 먹이 자원이다(Ristola, 2000). *C. riparius*는 생활주기가 짧고 많은 오염물질에 민감하며, 실험실 환경에서 사육하기 용이하다는 장점이 있다(Ingersoll and Nelson, 1990). 해외에서 *C. riparius*는 퇴적토에 잔류할 수 있는 농약들의 독성 평가에 사용되고 있다(WHO, 2007; Weltje et al., 2009). 지금까지 연구된 *C. riparius*에 대한 pyrethroid계 농약의 독성 연구를 살펴보면, Conrad et al. (1999)은 급성독성시험을 통해 *C. riparius* (2령기 유충)에 대한 permethrin의 48 h LC₅₀이 9.27 µg/L로 permethrin이 *C. riparius*에 독성이 있음을 확인하였다. Goedkoop et al. (2010)은 *C. riparius* (1령기 유충)가 cypermethrin에 높은 독성민감도를 보여주며, 0.8, 3.2 µg/L 농도에 노출되었을 때 우화율에 영향을 받는다는 사실을 발견하였다. 다른 깔따구류에 대한 pyrethroid계 농약의 독성

연구를 조사한 결과, Lavarias et al. (2017)은 *Chironomus calligraphus* (3,4령기 유충)에 대한 cypermethrin의 48 h LC₅₀이 1.35 µg/L로 높은 독성을 보였으며, cypermethrin이 비표적 생물들에게 영향을 줄 수 있다고 보고하였다. Ziajahromi et al. (2019)은 *Chironomus tepperi* (2령기 유충)에 대한 bifenthrin의 48 h LC₅₀이 0.5 µg/L로 *C. tepperi*가 bifenthrin에 대한 높은 독성민감도를 가졌다고 보고하였다.

국내에서도 다양한 pyrethroid계 살충제가 유통 및 사용되고 있으며(Moon et al., 2016), Choo et al. (1998)은 국내에서 사용되는 농약들이 눈에 피해를 입히는 해충 벼멸구의 천적인 벼멸구선충(*Agamermis unka*)에 치명적이며, 해충을 제거하기 위한 농약이 비표적 생물에게 영향을 끼칠 수 있다고 보고하였다. 하지만 현재 이러한 농약들에 대한 독성 연구는 미비한 실정이다. 따라서 국내 농업생태계에 서식하는 지표종을 이용한 농약의 독성 연구가 필요하다(Yoo et al., 2005). 국내의 수계환경에서 널리 서식하는 깔따구과의 조각깔따구(*Glyptotendipes tokunagai*)는 생활주기가 짧고 좁은 공간에서도 교미와 산란이 가능하여 실내 사육이 용이하며(Kawai and Konishi, 1986; Na, 2004), *C. riparius*와 달리 어린 유충 단계에서부터 저서에서 집을 지어 생활을 하기 때문에(Baek, 2008), 퇴적토 독성 연구에 적합하다. 국내에서 진행된 조각깔따구의 독성 평가 연구를 조사하였을 때, Baek et al. (2014)은 *G. tokunagai* (4령기 유충)에 대한 calcium chloride (CaCl₂)의 48 h LC₅₀이 3.84 g/L로 다른 깔따구류보다 제설제에 대한 독성민감도가 높다고 보고하였다. Kim et al. (2021)은 *G. tokunagai* (2령기 유충)에 대한 benzyl chloride의 28 d NOEC가 0.25 µL/L로 국내의 수서생물들과 비교하여 높은 독성민감도를 가진다고 보고하였다.

본 연구에서는 국제적으로 독성 시험에 널리 사용되는 저서생물인 *C. riparius*와 국내 고유종인 *G. tokunagai*에 대한 etofenprox와 fenpropathrin의 급성독성을 비교하고자 한다.

재료 및 방법

시험농약

시험농약은 etofenprox (순도: 99%, Sigma-Aldrich, USA)과 fenpropathrin (순도: 98%, LGC Labor GmbH, Germany)을 사용하였다. 시험용매로 acetone (순도: 99.8%, Merck, Germany)을 사용하였고, 사육 및 시험에서 OECD test guideline 235에 기재된 M4배지를 사용하였으며 M4배지 제조에 사용된 시약들은 Sigma-Aldrich (USA)에서 구입하였다.

시험생물 및 사육환경

깔따구(*Chironomus riparius*)

국립농업과학원의 독성·기능성 연구동 사육실에서 사육

중인 깔따구(*C. riparius*)를 사용하였다. M4배지와 모래(< 2 cm)로 채워진 투명 아크릴 박스에서 온도는 20 ± 2°C, 광량은 500~1000 Lux, 명암주기는 16 : 8 h (light : dark)의 조건으로 사육하였으며, 먹이는 매일 곱게 간 Tetramin®(Melle, Germany)을 일정량 공급하였다. 사육수조의 벽 표면에 붙은 알집을 M4배지가 담긴 사각 플레이트에 배양하였고 부화 후 2일이 경과한 1령기 유충을 독성 시험에 사용하였다 (Table 1).

조각깔따구(*Glytostephanos tokunagai*)

국립농업과학원의 독성·기능성 연구동 사육실에서 사육 중인 조각깔따구(*G. tokunagai*)를 사용하였다. M4배지와 모래(< 6 cm)로 채워진 원통형 유리 수조에서 온도는 25 ± 2°C, 광량은 500~1000 Lux, 명암주기는 16 : 8 h (light : dark)의 조건으로 사육하였으며, 먹이는 매일 곱게 간 Tetramin®(Melle, Germany)을 일정량 공급하였다. 원형수조에서 성충을 M4배지를 담은 원형트랩에 포집하여 트랩 바닥에 가라앉은 알집을 M4배지가 담긴 사각 플레이트에 배양하였고 부화 후 5일이 경과한 2령기 유충을 독성 시험에 사용하였다 (Table 1).

Etofenprox와 fenpropathrin의 깔따구 급성독성시험

급성독성시험은 OECD guideline 235 (OECD, 2011)에 따라 진행하였다. *C. riparius* 1령기 유충(부화 후 2일), *G. tokunagai* 2령기 유충(부화 후 5일)을 사용하였으며, 온도는 각각 20 ± 2°C와 25 ± 2°C, 광량은 500~1000 Lux, 명암주기는 16 : 8 h (light:dark)을 유지하였고, 먹이는 공급하지 않았다. 시험용수는 탈염소수를 사용하였으며, 시험물질처리군과 대조군(탈염소수) 및 용매대조군(acetone 100 µL/L 이하)을 두었다. 각 처리군마다 4개의 100 ml 비커에 시험용액 20 mL를 분주하고 5마리의 시험생물을 투입하였다(Table 2).

*C. riparius*을 이용한 시험의 경우, etofenprox 시험 농도는 0.15625, 0.3125, 0.625, 1.25, 2.5 및 5 µg/L, fenpropathrin 시험 농도는 0.015625, 0.03125, 0.0625, 0.125 및 0.25 µg/L로 설정하였으며(Table 3 and 6), *G. tokunagai*을 이용한 시험의 경우, etofenprox 시험 농도는 1.5625, 3.125, 6.25, 12.5, 25 및 50 µg/L, fenpropathrin 시험 농도는 0.625, 1.25, 2.5, 5 및 10 µg/L로 설정하였다(Table 4 and 7).

24 h, 48 h 경과 후 시험 개체들의 치사 유무를 판정하였는데 그 기준은 다음과 같다. 바닥에 가라앉아 움직이지 않거나 탈색된 개체, 시험용기에서 사라진 개체(다른 유충의 먹이가 된 것으로 간주)를 치사로 판정하였다. Probit analysis

Table 1. Breeding conditions for *Chironomus riparius* and *Glytostephanos tokunagai*

Parameters	Conditions	
	<i>Chironomus riparius</i>	<i>Glytostephanos tokunagai</i>
Cage	45(L) × 40(W) × 40(H) cm	ø 12 × 4.5(H) cm
Temperature	20 ± 2°C	25 ± 2°C
Quantity of light	500 ~ 1000 lux	
Light-dark cycle	16-h light / 8-h dark	
Feeding	Tetramin® (Melle, Germany)	

Table 2. Test conditions of acute toxicity tests for *Chironomus riparius* and *Glytostephanos tokunagai*

Parameters	Conditions			
	<i>Chironomus riparius</i>		<i>Glytostephanos tokunagai</i>	
	Etofenprox	Fenpropathrin	Etofenprox	Fenpropathrin
Temperature (°C)	20.8 ± 0.28	19.6 ± 0.62	25.7 ± 1.87	23.9 ± 0.17
DO	6.84 ± 0.14	7.72 ± 0.21	7.83 ± 0.32	6.63 ± 0.45
pH	6.92 ± 0.13	7.86 ± 0.03	7.61 ± 0.41	7.00 ± 0.19
Instar	1 st		2 nd	
Test vessel	100 mL (inner 4.5 cm) beaker			
Quantity of light	500 ~ 1000 lux			
Light-dark cycle	16-h light / 8-h dark			
Replication	four			
Solution volume	20 mL			

Table 3. Symptoms and mortality of *Chironomus riparius* in the acute toxicity test for etofenprox

Conc. (µg/L)	No.	Exposure period (hour)			
		24 h		48 h	
		Symptoms	Mortality (%)	Symptoms	Mortality (%)
Control	20	N (20) D (0)	0	N (20) D (0)	0
Solvent control	20	N (19) D (1)	5	N (17) D (3)	15
0.15625	20	N (20) D (0)	0	N (19) D (1)	5
0.3125	20	N (19) D (1)	5	N (19) D (1)	5
0.625	20	N (17) D (3)	15	N (13) D (7)	35
1.25	20	N (18) D (2)	10	N (11) D (9)	45
2.5	20	N (17) D (3)	15	N (2) D (18)	90
5	20	N (13) D (7)	35	N (0) D (20)	100

N = Normal, D = Dead

Table 4. Symptoms and mortality of *Glyptotendipes tokunagai* in the acute toxicity test for etofenprox

Conc. (µg/L)	No.	Exposure period (hour)			
		24 h		48 h	
		Symptoms	Mortality (%)	Symptoms	Mortality (%)
Control	20	N (19) D (1)	5	N (19) D (1)	5
Solvent control	20	N (19) D (1)	5	N (17) D (3)	15
1.5625	20	N (17) D (3)	15	N (17) D (3)	15
3.125	20	N (13) D (7)	35	N (12) D (8)	40
6.25	20	N (13) D (7)	35	N (11) D (9)	45
12.5	20	N (5) D (15)	75	N (3) D (17)	85
25	20	N (4) D (16)	80	N (3) D (17)	85
50	20	N (0) D (20)	100	N (0) D (20)	100

N = Normal, D = Dead

program (version 0.74)을 사용하여 24 h 및 48 h LC₅₀ 값을 산출하였다.

*riparius*가 *G. tokunagai*보다 독성민감도가 약 5.8배 더 높은 것으로 나타났다.

결과 및 고찰

*C. riparius*와 *G. tokunagai*에 대한 etofenprox 급성독성

*C. riparius*에 대한 etofenprox의 급성독성시험 결과, Table 5에서 보는 바와 같이 24 h LC₅₀은 5 µg/L보다 컸고, 48 h LC₅₀은 1.197 µg/L이었다. *G. tokunagai*에 대한 24 h과 48 h LC₅₀은 각각 7.370 µg/L, 6.909 µg/L이었다. Etofenprox에 대한 두 종의 독성 민감도를 비교하였을 때, 48 h에서 *C.*

*C. riparius*와 *G. tokunagai*에 대한 fenpropathrin 급성독성

*C. riparius*에 대한 fenpropathrin의 급성독성 시험 결과, Table 8에서 보는 바와 같이 24 h과 48 h LC₅₀이 각각 0.052 µg/L, 0.040 µg/L이었다. *G. tokunagai*에 대한 24 h LC₅₀은 10 µg/L보다 컸고, 48 h LC₅₀은 6.004 µg/L이었다. Fenpropathrin에 대한 두 종의 독성 민감도를 비교하였을 때, *C. riparius*가 *G. tokunagai*보다 독성 민감도가 약 150배 더 높은 것으로 나타났다.

Table 5. LC₅₀ of etofenprox for *Chironomus riparius* and *Glyptotendipes tokunagai*

Species	LC ₅₀ (µg/L) (95% C.L. ^{a)})	
	24 h	48 h
<i>Chironomus riparius</i>	> 5	1.197 (0.814~1.568)
<i>Glyptotendipes tokunagai</i>	7.370 (4.458~10.754)	6.909 (3.599~10.307)

^{a)} C.L.: Confidence Limits

Table 6. Symptoms and mortality of *Chironomus riparius* in the acute toxicity test for fenpropathrin

Conc. ($\mu\text{g/L}$)	No.	Exposure period (hour)			
		24 h		48 h	
		Symptoms	Mortality (%)	Symptoms	Mortality (%)
Control	20	N (20) D (0)	0	N (19) D (1)	5
0.015625	20	N (17) D (3)	15	N (17) D (3)	15
0.03125	20	N (18) D (2)	10	N (16) D (4)	20
0.0625	20	N (7) D (13)	65	N (4) D (16)	80
0.125	20	N (1) D (19)	95	N (0) D (20)	100
0.25	20	N (2) D (18)	90	N (1) D (19)	95

N = Normal, D = Dead

Table 7. Symptoms and mortality of *Glyptotendipes tokunagai* in the acute toxicity test for fenpropathrin

Conc. ($\mu\text{g/L}$)	No.	Exposure period (hour)			
		24 h		48 h	
		Symptoms	Mortality (%)	Symptoms	Mortality (%)
Control	20	N (20) D (0)	0	N (19) D (1)	5
0.625	20	N (19) D (1)	5	N (19) D (1)	5
1.25	20	N (18) D (2)	10	N (18) D (2)	10
2.5	20	N (19) D (1)	5	N (15) D (5)	25
5	20	N (15) D (5)	25	N (11) D (9)	45
10	20	N (16) D (4)	20	N (6) D (14)	70

N = Normal, D = Dead

Table 8. LC₅₀ of fenpropathrin for *Chironomus riparius* and *Glyptotendipes tokunagai*

Species	LC ₅₀ ($\mu\text{g/L}$) (95% C.L. ^{a)})	
	24 h	48 h
<i>Chironomus riparius</i>	0.052 (0.008~0.207)	0.040 (0.031~0.051)
<i>Glyptotendipes tokunagai</i>	> 10	6.004 (3.883~10.228)

^{a)} C.L.: Confidence Limits

처리 후 육안으로 관찰한 외부적인 이상증상을 보면 두 시험 생물 모두 고농도 처리군에서 투입과 동시에 불규칙한 움직임을 보였다. 48시간 경과 후 *C. riparius*는 체색이 투명해지며 움직임이 없어 치사한 것으로 판단되었고, *G. tokunagai*는 체색이 검붉은 색으로 진해지며 몸이 경직되어 치사한 것으로 관찰되었다. Kim et al. (2009)은 *C. riparius*를 thiocarbamate계 제초제 molinate 25, 50 ppm의 농도에 처리하였을 때 투입 직후 격렬한 불규칙 운동을 보였으며, 24시간 경과 후 체색의 변화 및 활동성이 없어졌다고 보고하였다. 또한, Monterio et al. (2019)은 fipronil에 노출된 *C. riparius*의 활동성이 저하되었다고 보고하였는데 이는 본 연구에서 나타난 두 시험 생물종의 반응과 유사하였다.

지금까지 보고된 깔따구류에 대한 pyrethroid계 농약의 독성 연구 결과를 살펴보면, *C. riparius* (2령기 유충)에 대한 permethrin의 48 h LC₅₀이 9.27 $\mu\text{g/L}$ (Conrad et al., 1999),

C. calligraphus (3, 4령기 유충)에 대한 cypermethrin의 48 h LC₅₀이 1.35 $\mu\text{g/L}$ (Lavarias et al., 2017), *C. tepperi* (2령기 유충)에 대한 bifenthrin의 48 h LC₅₀이 0.5 $\mu\text{g/L}$ (Ziajahromi et al., 2019)이었다. 본 연구에서 *C. riparius* (1령기 유충)은 etofenprox에 대한 48 h LC₅₀이 1.197 $\mu\text{g/L}$, fenpropathrin에 대한 48 h LC₅₀이 0.040 $\mu\text{g/L}$ 로 두 농약에 대한 높은 독성 민감도를 보여주었다. 반면에 *G. tokunagai* (2령기 유충)은 etofenprox와 fenpropathrin에 대한 48 h LC₅₀이 6.909 $\mu\text{g/L}$, 6.004 $\mu\text{g/L}$ 로 두 농약에 대한 상대적으로 낮은 독성민감도를 보여주었다.

다른 수서생물에 대한 두 농약의 독성 연구 결과를 살펴보면, etofenprox의 경우, 미국 가재(*P. clarkia*) 아성체(juvenile) 단계에 대한 96 h LC₅₀이 0.29 $\mu\text{g/L}$ (Barbee and Stout, 2009), 꼬마줄날도래(*Cheumatopsyche brevilineata*) 1령기 유충에 대한 48 h EC₅₀이 0.116 $\mu\text{g/L}$ (Yokoyama et al.,

2009), 유리새우(*P. pugio*) 성체에 대한 96 h LC₅₀이 0.89 µg/L (De Lorenzo and De Leon, 2010), 터키 가재(*A. leptodactylus*) 성체에 대한 48 h LC₅₀이 0.61 µg/L (Benli, 2014), 물벼룩(*D. magna*)에 대한 24 h EC₅₀이 139 µg/L (Sancho et al., 2018)이었다. Etofenprox에 대한 *C. riparius*와 *G. tokunagai*의 독성 민감도는 물벼룩(*D. magna*)을 제외한 다른 수서생물들에 비해 낮은 것으로 조사되었다. Fenpropathrin의 경우, 제브라피쉬 유생(larvae) 단계에 대한 96 h LC₅₀이 0.011 mg/L(Wang et al., 2020), 제브라피쉬 배아(embryo) 단계에 대한 96 h LC₅₀이 0.128 mg/L (Yu et al., 2022)로 fenpropathrin에 대한 *C. riparius*와 *G. tokunagai*의 독성 민감도는 제브라피쉬에 비해 더 높은 것으로 조사되었다.

Etofenprox와 fenpropathrin에 대한 두 종의 독성 민감도를 비교해 보았을 때, *C. riparius*가 *G. tokunagai*보다 높은 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 시험에 사용된 생물의 발달 단계의 차이에서 기인한 것으로 판단된다. 본 시험에서 *C. riparius*는 OECD guideline 235 (OECD, 2011)에서 권장하는 1령기 유충(부화 후 2일)을 사용하였는데, *G. tokunagai*의 경우 대조군에서 1령기 유충의 치사율이 너무 높게 나타나는 관계로 치사율이 정상적으로 나타나는 2령기 유충(부화 후 5일)을 사용하여 시험을 진행하였다. 기존의 연구들은 령기에 따른 독성 민감도에 대해 생물의 발달 단계가 낮을수록 독성 민감도가 높아진다고 보고하였다. Nebeker et al. (1984)은 *Chironomus tentans*의 1령기 유충의 독성 민감도가 2령기 유충에 비해 2.6배 더 높다고 보고하였다. Kim et al. (2009)은 *C. riparius*의 1령기가 2령기보다 약 3배 더 높은 독성 민감도를 가졌다고 보고하였고, 이러한 차이는 1령기 유충이 2령기 유충보다 화학물질을 해독시키는 효소가 덜 발달되었기 때문으로 추정하였다.

본 시험 결과, etofenprox와 fenpropathrin에 대한 독성 민감도는 *C. riparius*가 *G. tokunagai*보다 높게 나타났다. 향후 깔따구 2종을 이용한 다른 농약들에 대한 추가적인 급성독성 연구를 통해 깔따구 시험종별 농약에 대한 독성민감도 차이를 조사할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 기관고유 연구사업 ‘별류, 깔따구, 좁개구리밥 독성시험법 설정 및 개선 연구’ (과제번호: PJ01579703)에 의해 수행되었습니다.

이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

Author Information and Contribution

Jun-Hyoung Bang, Toxicity and Risk Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Master, Conceptualization; Methodology; Investigation; Data curation; Writing-original draft preparation, <https://orcid.org/0000-0002-2232-6330>

Chang-Young Yoon, Toxicity and Risk Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher, Conceptualization; Methodology; Investigation; Data curation; Project Administration, <https://orcid.org/0000-0001-7220-5425>

Kyongmi Chon, Toxicity and Risk Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Doctor of Philosophy, Data curation; Writing-review and editing; Supervision, <https://orcid.org/0000-0003-2143-2614>

Bo-Seon Kim, Toxicity and Risk Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher assistant, Investigation, <https://orcid.org/0000-0001-6053-6366>

Juyeong Kim, Toxicity and Risk Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher assistant, Investigation, <https://orcid.org/0000-0002-6413-1822>

Jin-A Oh, Research Policy Planning Division, Rural Development Administration, Doctor of Philosophy, Supervision, <https://orcid.org/0000-0002-1166-4377>

Young-Eun Na, Toxicity and Risk Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Doctor of Philosophy, Supervision, <https://orcid.org/0009-0008-0025-0364>

Literature Cited

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2003. Public health statement pyrethrins and pyrethroids. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- Antwi FB, Reddy GVP, 2015. Toxicological effects of pyrethroids on non-target aquatic insects. Environ. Toxicol. Pharmacol. 40(3):915-923.
- Baek MJ, 2008. Temperature-dependent development and successive rearing of *Glyptotendipes tokunagai* (Diptera: Chironomidae). Master's Thesis, Seoul Women's Univ., Seoul. Korea.
- Baek MJ, Yoon TJ, Kim DG, Lee CY, Cho K, et al., 2014.

- Effects of road deicer runoff on benthic macroinvertebrate communities in Korean freshwaters with toxicity tests of calcium chloride (CaCl₂). *Water Air Soil Pollut.* 225:1961.
- Barbee GC, Stout MJ, 2009. Comparative acute toxicity of neonicotinoid and pyrethroid insecticides to non-target crayfish (*Procambarus clarkii*) associated with rice – crayfish crop rotations. *Pest. Manag. Sci.* 65(11):1250-1256.
- Benli ACK, 2014. The influence of etofenprox on narrow clawed crayfish (*Astacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823): acute toxicity and sublethal effects on histology, hemolymph parameters, and total hemocyte counts. *Environ. Toxicol.* 30(8):887-894.
- Choo HY, Kim HH, Kaya H, 1998. Effects of selected chemical pesticides on *Agamermis unka* (Nematoda: Mermithidae), a parasite of the brown plant hopper, *Nilaparvata lugens*. *Biocontrol Sci. Technol.* 8(3):413-427.
- Conrad AU, Fleming RJ, Crane M, 1999. Laboratory and field response of *Chironomus riparius* to a pyrethroid insecticide. *Water Res.* 33(7):1603-1610.
- De Lorenzo ME, De Leon RG, 2010. Toxicity of the insecticide etofenprox to three life stage of the grass shrimp, *Palaemonetes pugio*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 58:985-990.
- Goedkoop W, Spann N, Akerblom N, 2010. Sublethal and sex-specific cypermethrin effects in toxicity tests with the midge *Chironomus riparius* Meigen. *Ecotoxicology.* 19:1201-1208.
- Ingersoll C, Nelson MK, 1990. Testing sediment toxicity with *Hyalella Azteca* (Amphipod) and *Chironomus riparius* (Diptera). pp.93-110. In: Landis W, Van der Schalie W (Eds.). *Aquatic Toxicology and Risk Assessment*. American Society of Testing and Materials, Philadelphia.
- Jia G, Bi C, Wang Q, Qiu J, Zhou W, et al., 2006. Determination of Etofenprox in environmental samples by HPEC after anionic surfactant micelle-mediated extraction (coacervation extraction). *Anal. Bioanal. Chem.* 384:1423-1427.
- Kawai K, Konishi K, 1986. Fundamental studies on chironomid allergy: I. Culture methods of some Japanese chironomids (Chironomidae, Diptera). *Jpn. H. Sanit. Zool.* 37:47-57.
- Kim BS, Park YK, Hong S-S, Yang Y-J, Park K-H, et al., 2009. Comparison of acute toxicity of molinate on two aquatic insects, *Chironomus riparius* and *Cloeon dipterum* in different larval stages. *Korean J. Pestic. Sci.* 13(4):256-261.
- Kim SY, Park SH, Kim DW, Noh W, Lee SJ, et al., 2021. Ecological effects of benzyl chloride on different Korean aquatic indigenous species using an artificial stream mesocosm simulating a chemical spill. *Toxics.* 9(12):347.
- Lavarias S, Arrighetti F, Siri A, 2017. Histopathological effects of cypermethrin and *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* on midgut of *Chironomus calligraphus* larvae (Diptera: Chironomidae). *Pestic. Biochem. Physiol.* 139:9-16.
- Monteiro HR, Pestana JLT, Novais SC, Leston S, Ramos F, et al., 2019. Assessment of fipronil toxicity to the freshwater midge *Chironomus riparius*: Molecular, biochemical, and organismal responses. *Aquat. Toxicol.* 216:105292.
- Moon JM, Chun BJ, Cho YS, 2016. The characteristics of emergency department presentations related to acute herbicide or insecticide poisoning in South Korea between 2011 and 2014. *J. Toxicol. Environ. Health. A.* 79(11):466-476.
- Na KB, 2004. Taxonomy of the Chironomidae (Diptera, Insecta) in Seoul-Gyeonggi Area, Korea. Master's Thesis, Seoul Women's Univ., Seoul, Korea.
- Nebeker AV, Cairns MA, Wise CM, 1984. Relative sensitivity of *Chironomus tentans* life stage to copper. *Environ. Toxicol. Chem.* 3(1):151-158.
- OECD (2011) OECD Guidelines for Testing of Chemicals; Test Guideline No. 235: *Chironomus* sp., Acute Immobilization Test.
- Ristola T, 2000. Assessment of sediment toxicity using the midge *Chironomus riparius* (Diptera: Chironomidae). University of Joensuu, Finland. pp.7-9.
- Schleier III JJ, Peterson RKD, 2011. Pyrethrins and Pyrethroid Insecticides. pp. 94-131. In: Lopez O, Fernandez-Bolanos JG (Eds.). *Green trends in insect control*, vol. 11. Royal Society of Chemistry, London, UK.
- Sancho E, Banegas S, Villarroel MJ, Ferrando D, 2018. Impaired reproduction and individual growth of the water flea *Daphnia magna* as consequence of exposure to the non-ester pyrethroid etofenprox. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25: 6209-6217.
- Tomlin CDS, 2003. *The Pesticide Manual: A World Compendium*. 13th Edition, British Crop Protection Council, Alton Hampshire.
- Wang Y, Yang G, Shen W, Xu C, Di S, et al., 2020. Synergistic effect of fenpropathrin and paclobutrazol on early life stages of zebrafish (*Danio rerio*). *Environ. Pollut.* 266(3):115067.
- Weltje L, Ruffli H, Heimbach F, Wheeler J, Vervliet-Scheebaum M, et al., 2009. The chironomid acute toxicity test: development of a new test system. *Integr. Environ. Assess. Manag.* 6(2):301-307.
- World Health Organization, 2007. WHO specifications and evaluations for public health pesticides: etofenprox. 29pp.
- Yokoyama A, Ohtsu K, Iwafune T, Nagai T, Ishihara S, et al., 2009. A useful new insecticide bioassay using first-instar larvae of a net-spinning caddisfly, *Cheumatopsyche brevilineata* (Trichoptera: Hydropsychidae). *J. Pestic. Sci.* 34(1):13-20.
- Yoo DH, Son JN, Mo HY, Bae YJ, Cho KJ, 2005. Comparing acute and swimming endpoints to evaluate the response of two freshwater midge species, *Chironomus yoshimatsui* and *Chironomus riparius* to heavy metals. *Korean J. Environ. Biol.* 23(2):98-105.
- Yu T, Xu X, Mao H, Han X, Liu Y, et al., 2022. Fenpropathrin exposure induces neurotoxicity in zebrafish embryos. *Fish Physiol Biochem.* 48:1539-1554.

Ziajahromi S, Kumar A, Neale PA, Leusch FDL, 2019. Effects of polyethylene microplastics on the acute toxicity of a synthetic pyrethroid to midge larvae (*Chironomus tepperi*) in synthetic and river water. *Sci. Total Environ.* 671:971-975.

Zhou JL, Rowland SJ, 1997. Evaluation of the interactions between hydrophobic organic pollutants and suspended particles in estuarine waters. *Water Res.* 31(7):1708-1718.

깔따구(*Chironomus riparius*)와 조각깔따구(*Glyptotendipes tokunagai*)에 대한 etofenprox와 fenpropathrin 급성독성 비교

방준형 · 윤창영 · 전경미* · 김보선 · 김주영 · 오진아 · 나영은
농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부 독성위해평가과

요 약 Pyrethroid계 살충제는 물에 잘 녹지 않지만, 토양과 강한 결합력을 가지기 때문에 수계환경에 노출될 경우, 퇴적토에 축적되어 저서생물에 영향을 미칠 수 있다. 국내에서는 퇴적토에 흡착 및 잔류 가능성이 있는 농약에 대한 저서생물 급성독성 연구가 미비하며, 국내 시험종을 이용한 연구는 전무한 실정이다. 본 연구에서는 국제적으로 독성 시험에 널리 사용되는 저서생물인 깔따구(*Chironomus riparius*)와 국내에 널리 서식하는 조각깔따구(*Glyptotendipes tokunagai*)의 etofenprox와 fenpropathrin에 대한 급성독성을 비교하고자 하였다. 급성독성시험은 OECD test guideline 235에 준수하여 진행하였다. 시험 기간 동안 *C. riparius*의 수온은 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, *G. tokunagai*의 수온은 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 이었으며, 명암주기는 16 : 8 h 조건으로 유지하였고 먹이는 공급하지 않았다. 시험용액 20 mL에 5 마리의 시험생물을 투입하였고, 처리군마다 4 반복구를 두었다. 시험결과, *C. riparius*와 *G. tokunagai*에 대한 etofenprox의 48 h LC₅₀은 각각 1.197 µg/L, 6.909 µg/L이었다. *C. riparius*와 *G. tokunagai*에 대한 fenpropathrin의 48 h LC₅₀은 각각 0.040 µg/L, 6.004 µg/L이었다. 본 시험 결과, etofenprox와 fenpropathrin에 대한 독성 민감도는 *G. tokunagai*가 *C. riparius*에 비해 낮은 것으로 나타났다.

색인어 급성독성, 깔따구, Etofenprox, Fenpropathrin, 조각깔따구