

2종의 수서곤충 *Chironomus riparius*와 *Cloeon dipterum*의 유충 성장단계별 molinate 급성독성 비교

김병석* · 박연기 · 홍순성 · 양유정 · 박경훈 · 정미혜 · 김세리 · 박경훈 · 예완해 · 김두호 · 홍무기 · 안용준¹ · 신진섭

국립농업과학원 농산물안전성부, ¹서울대학교 농생명공학부

(2009년 12월 15일 접수, 2009년 12월 25일 수리)

Comparison of Acute Toxicity of Molinate on Two Aquatic Insects, *Chironomus riparius* and *Cloeon dipterum* in Different Larval Stages

Byung-Seok Kim*, Yoen-Ki Park, Soon-Sung Hong, Yu-Jung Yang, Kyung-Hun Park, Mi-Hye Joeng, Se-Ri Kim, Kyeong Hun Park, Wan-Hae Yeh, Doo-Ho Kim, Moo-Ki Hong, Young-Joon Ahn¹ and Jin-Sup Shin

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

Abstract

Molinate (S-ethyl hexahydro-1H-azepine-1-carbothioate), a selective, preemergence thiocarbamate herbicide used for grass weed control in rice fields, is being most widely used in Korea. This study was conducted to assess the comparative toxicity of molinate on two aquatic insects, *Chironomus riparius* and *Cloeon dipterum* in four larval stages. First-instar larvae of *C. riparius* appeared to be the most sensitive to acute exposure of molinate with a 48-h EC₅₀ of 7.8 mg/L, followed by third instar (48-h EC₅₀ = 22.9 mg/L), second instar (48-h EC₅₀ = 25.0 mg/L) and fourth instar (48-h EC₅₀ > 50 mg/L) larvae. Also, the sensitivity of the larvae of *C. dipterum* was presented as the same manner of the larvae of *C. riparius*. The youngest group of larvae of *C. riparius* appeared to be the most sensitive to molinate, with 96-h EC₅₀ values ranged from 14.3 to 24.1 mg/L. The authors assume that the young instar larvae of aquatic insects, *Chironomus riparius* and *Cloeon dipterum* are more sensitive to molinate. Also, the authors propose that Mayfly, *Cloeon dipterum* is well suited as a bioassay organism because it is one of the most vulnerable aquatic insects inhabiting agricultural ecosystem in Korea.

Key words molinate, acute toxicity, *Chironomus riparius*, *Cloeon dipterum*, aquatic insect

서론

Molinate(S-ethyl hexahydro-1H-azepine-1-carbothioate)는 세계적으로 널리 사용되는 치오카바메이트계통의 수도용 제초제로 쌀 생산에 있어서 경제적인 측면에서 상당히 중요한 농약 중 하나이다(Stoker 등, 2005). 이 농약은 1954년

Stauffer Chemical Co.(현 Syngenta International AG)에 의해 상품명 Ordram[®]으로 최초로 소개되어 졌으며 우리나라에는 1976년 모리스입제(molinate+simetryn)가 최초로 소개된 이래 molinate 함유품목이 꾸준히 등록되어왔으며 단일 제제로는 사용되지 않고 다른 제초제와 혼합제의 형태로 논의 피와 광엽잡초 방제용 제초제로서 가장 많이 사용되고 있다(박 등, 2005). Molinate는 선택성과 침투성을 지녀 광엽 및 화본과 잡초의 뿌리 및 경엽으로부터 신속히 흡수 이행되어 단백질 합성을 저해하고 세포의 분열 및 신장을 억제하여

*연락처 : Tel. +82-31-290-0445, Fax. +82-31-290-0407

E-mail: kim2000@korea.kr

서서히 고사시키는 작용 특성을 가진 것으로 보고되어 있다 (최 등, 1998).

이와 같이 molinate는 우리나라에서 수도용제조제로 전국적으로 광범위하게 가장 많이 사용되고 있어서 성수기인 6, 7월 소하천이나 강에서 가장 빈번하게 검출되는 농약중의 하나이다. 2001년에 실시한 전국 주요 하천수 중 molinate의 잔류량을 모니터링한 결과를 보면 하천수에서의 검출빈도가 6월에 53.4%, 7월에는 20.7%로 높게 나타났으며, 검출된 molinate의 농도는 최고 39.4 $\mu\text{g/L}$, 평균 4.8 $\mu\text{g/L}$ 수준이었다(농약공업협회, 2001). 이처럼 molinate는 벼 재배논에서 비교적 단기간에 다량으로 광범위한 지역에서 사용되기 때문에 살포된 논에서 배수로, 하천, 강 등에 유입된 molinate가 수서생물에 영향을 미칠 가능성이 있다.

수도용 제조제로 사용되어 수계에 노출될 가능성이 높은 molinate의 특성으로 인해 다양한 수서생물에 대한 독성연구가 수행되어 왔는데, 특히 담수 어류에 대한 연구결과를 보면 송사리, 잉어 등에 대한 급성독성은 높지 않은 편이나 아급성 독성 또는 만성독성은 매우 강하다고 알려져 있다(USEPA, 2001; 김, 1994). 따라서 논이나 배수로 등의 수계에 저농도로 장기간 잔류할 경우 담수어류에 상당한 피해가 있을 것으로 예측할 수 있다(신, 2002). 실제로 일본과 미국에서 molinate의 강한 아급성 독성에 의한 수서생물 피해사례가 발생하기도 하였다. 1976년 일본 후쿠시마현과 나가노현 등에서 논물이 배수되는 지점에 있는 양식장에서 잉어 127톤이 폐사하였고 미국 캘리포니아 Colusa Basin Drain에서 1981년부터 1983년까지 수천에서 수만 마리의 잉어가 폐죽음을 하였는데 두 사례 모두 잉어 집단폐사의 원인이 벼 재배지로부터 방류된 논물에 함유된 molinate 때문이라고 결론지었다(Finlayson과 Faggella, 1986; 김, 1994). 이 사건이 발생한 후 미국 캘리포니아 주정부에서는 1990년 molinate 살포 논에서는 논물을 28일간 방류를 금지시키는 논물담수기간을 법제화하기에 이르렀고 그 이후는 강물이나 배수로에서 더 이상 잉어의 폐사는 관찰되지 않았다(Byard, 1999).

Molinate의 담수어류에 대한 위해성 경감 연구는 상당히 진척되어왔으나 수서곤충류 등을 포함한 수서무척추동물에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 지금까지 보고된 molinate의 담수무척추동물에 대한 독성자료를 보면 물벼룩류인 *Daphnia magna*에 대한 48시간 EC_{50} 은 19.4 mg/L, 강도래(*Pteronarys spp.*)에 대한 96시간 EC_{50} 은 0.34 mg/L, 단각류의 일종인 엽새우(*Gammarus lacustris*)에 대한 96시간 EC_{50} 은 4.5 mg/L로 강도래가 물벼룩보다 더 감수성이 높은 것으로 조사되었는데 담수무척추동물의 종에 따라 molinate의 독성 차이가 있음을

알 수 있다(신, 2002). 하지만 국내에서는 molinate에 대한 담수무척추동물에 대한 독성연구가 거의 이루어지지 않고 있으며, 특히 수서곤충의 성장단계별 감수성에 관한 연구는 전무한 실정이었다.

따라서 본 연구는 국내 하천수중에서 빈번히 검출되는 농약으로 생태계 생물에 영향을 줄 우려가 매우 크나 수서생태계 서식하는 수서곤충에 대한 영향연구가 미흡한 molinate를 선정하여, 국제적으로 수서생물 독성시험에 널리 사용되는 저서성 곤충인 *Chironomus riparius*와 국내 농업생태계에 널리 서식하고 논과 농수로 등에서 쉽게 발견되는 하루살이인 *Cloeon dipterum*(윤일병, 1995)의 수서곤충 2종에 대한 유충 성장단계별 독성발현 양상을 비교해 보고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험농약

본 시험에 사용한 molinate(S-ethyl hexahydro-1H-azepine-1-carbothioate) 원제는 Zeneca Agrochemicals사로부터 분양 받았으며 화학적 순도는 95.5%이었다.

시험생물

Chironomus riparius

본 시험에 사용한 깔따구는 *Chironomus riparius*로 영국의 Zeneca Agrochemicals사의 Zeallott's Hill 연구소에서 사육 중인 종의 알을 분양받아 국립농업과학원 생태독성연구실에서 계대사육하고 있는 것을 사용하였다. 시험 깔따구의 실내사육은 플라스틱 사각용기에 모래를 2 cm 정도 깔고 그 위에 미국 EPA에서 제시한 경도 170~180 mg/L(CaCO_3)인 높은 경도수를 5 cm 정도의 높이로 부은 후 아크릴 곤충사육장 안에 사각용기를 두고 매일 곱게 마쇄한 Tetra-min[®]을 일정량 먹이로 투여하였다(김 등, 1999; 김 등, 2004). 이 사육용기는 항상 공기를 넣어주어 산소량이 부족하지 않도록 하였으며 2주에 한 번씩은 모래와 용기를 세척하고 새로운 사육수를 넣어 사육을 계속하였다. 사육수가 부족할 경우에는 보충수를 채워주었는데 이때 염류가 과다하게 집적되는 것을 방지하기 위해 증류수로 보충하였다. 일정한 사육조건을 유지하기 위해 실내 대기온도는 22°C로 조절하였고 광량은 500~800 Lux, 명암주기는 광조건 16시간, 암조건 8시간으로 조절하였다.

Cloeon dipterum

본 시험에 사용한 하루살이는 *Cloeon dipterum*으로 수원

시 오목천동 소재 국립산림과학원 인근 농수로에서 채집하여 국립농업과학원 생태독성연구실에서 순화 사육하여 사용하였다. 시험용 하루살이의 실험실내 유지관리는 플라스틱 사각용기에 김 등이 국내산 물벼룩 실험사육과 독성시험에 사용한 경도 80~100 mg/L(CaCO₃)인 중간 경도수(hard water)를 5 cm 정도의 높이로 부어 아크릴 곤충사육장 안에 두고 매일 곱게 마쇄한 Tetra-min[®]을 일정량 먹이로 투여하였다(김 등, 2004; 김 등, 2005; 김 등, 2006a; 김 등, 2006b; 김 등 2007a; 김 등 2007b). 이 사육용기는 항상 공기를 넣어주어 산소량이 부족하지 않도록 하였으며 일정한 사육조건을 유지하기 위해 실내 대기온도는 22°C로 조절하였고 광량은 500~800 Lux, 명암주기는 광조건 16시간, 암조건 8시간으로 조절하였다.

시험생물 령기 구분

Chironomus riparius 등 포함하여 대부분의 깔따구 유충은 주로 부영양화된 논, 연못, 호수 등의 저니토 바닥 상층 10 cm 에서 생활하는 저서성 곤충으로 유충단계에서 4번의 탈피를 거쳐 번데기가 된다(윤일병, 1995). 따라서 유충 생육 단계별 독성 비교를 위해 실험 시작 일에 맞추어 1, 2, 3, 4령의 유충을 동시에 수확할 수 있도록 다음과 같은 방법으로 준비 하였다. 1령 유충은 실험실내 계대 사육중인 깔따구 사육수조의 벽면에 붙은 알 덩어리(egg rope)를 수거하여 사육수를 채운 유리비이커에 넣고 약한 공기방울을 주입하면서 2~3일을 기다려 부화된 지 1 일후에 채집한 개체를 사용하였다. 2령 유충은 실험 시작 7일 전에 알 덩어리(egg rope)를 수거하여 위와 같은 방법으로 부화 시킨 후 5일된 개체를 사용하였으며, 3령과 4령 유충은 실험 당일 사육수조에서 육안으로 분리 수집하여 사용하였다. 본 시험에 사용한 깔따구 유충의 유충의 령기별 head capsule의 폭과 길이는 Fig. 1에서

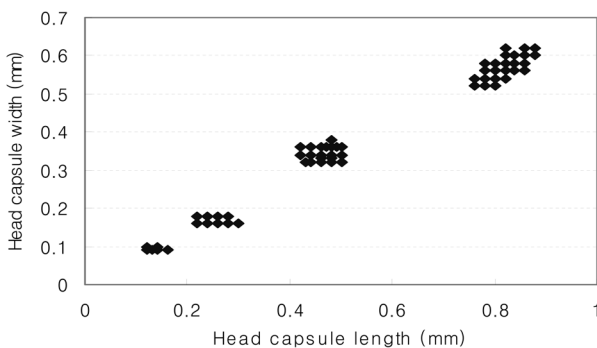


Fig. 1. Distribution diagram of head capsule length and width of *Chironomus riparius* larvae tested (n=190).

보는 바와 같으며 령기별 출현일수를 보면 1령 유충은 부화 후 0~3일까지 출현하였으며 2령유충은 3~7일, 3령유충은 5~15일, 4령유충은 11일부터 출현하였다.

*Cleoeon dipterum*이 속한 하루살이류(mayfly)는 유충기를 1~3년간 물속에서 생활하는데 유충단계에서 15~20회 정도 탈피하며 아성충(subimago) 단계를 거쳐 5, 6월에 우화를 한다(윤일병, 1995). 따라서 Fig. 2에서 보는 바와 같이 하루살이류 유충은 수십 번의 탈피를 거치므로 두폭이나 개체의 크기만으로는 령기를 명확히 구분할 수 없어 야외 채집한 하루살이 유충을 실내에서 1 주일간 순화시킨 후 체장과 두폭의 크기별로 4개의 그룹으로 임의로 나누어 유충 생육 단계별 독성을 비교하였다. 본 시험에 사용한 하루살이 유충의 그룹별 체장을 보면 제일 어린 A 그룹은 3.34±0.44 mm, 두 번째 B 그룹은 4.51±0.67 mm, 세 번째 C 그룹은 6.36±0.47 mm, 제일 큰 D 그룹은 7.09±0.44 mm이었다.

급성독성시험

시험에 사용한 시험수는 사육에 사용한 것과 동일한 물로서 *Chironomus riparius*는 물의 경도가 170~180 mg/L (CaCO₃)인 높은 경도수를 *Cleoeon dipterum*는 경도 80~100 mg/L(CaCO₃)인 중간 경도수를 사용하였다. 시험용액 조제는 우선 최고농도를 만든 후 사육수로 2배씩 희석하여 50, 25, 12.5, 6.3, 3.1, 1.6 mg/L의 시험용액을 조제하였다. 시험용기는 125 mL의 원형 유리수조를 사용하였으며 시험 농도별로 조제된 시험용액 100 mL씩 채운 후 준비된 유충을 10마리씩 넣고 사육수의 교환 없이 *Chironomus riparius*은 48시간 동안, *Cleoeon dipterum*은 24시간에서는 모든 처리군에서 치사 개체가 발견되지 않아 96시간 까지 관찰하였다. 시험 종료 후 치사한 개체수를 조사하여 무영향농도와 100%

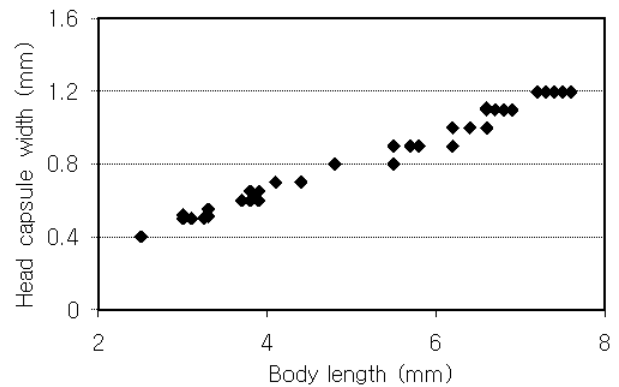


Fig. 2. Distribution diagram of head capsule length and width of *Cleoeon dipterum* larvae tested (n=41).

영향농도 및 LC₅₀을 구하였다. 치사유무의 판정은 유리막대로 저어주고 15초간 관찰하여 바닥에 가라앉아 움직이지 않거나 탈색된 개체를 치사로 판정하였다. 또한 시험용기에서 사라진 개체도 치사한 후 시험용기 안에 있는 동료 유충이 먹은 것으로 보고 치사개체에 포함하였다.

이때 수온은 20±1°C, 광조건 16시간(500~800 Lux), 암조건 8시간으로 조절하였다. 시험 시작 후 매일 시험 유충의 치사개체수를 조사하였고 반수치사농도(LC₅₀) 산출은 USEPA probit 분석 프로그램(Ver. 1.5)을 사용하였다.

결과 및 고찰

*C. riparius*에 대한 molinate 급성독성

*C. riparius*의 령기별 molinate의 급성독성을 비교한 결과 Table 1에서 보는 바와같이 1령 유충의 24시간 EC₅₀은 18.4 mg/L이었고 48시간 EC₅₀은 7.8 mg/L로 나타나 두 값의 차이는 2.4배로 48시간에서의 독성이 높게 나타났다. 2령 유충의 24시간 EC₅₀은 50 mg/L 이상이었으며 48시간 EC₅₀은 25.0 mg/L로 나타났으며, 3령 유충의 경우 24시간 EC₅₀은 50 mg/L 이상이었으며 48시간 EC₅₀은 22.9 mg/L로 나타나 2령과 3령의 감수성은 유사한 것으로 조사되었다. 4령유충의 경우 24시간과 48시간의 EC₅₀이 모두 50 mg/L 이상으로 나타나 가장 감수성이 낮은 것으로 조사되었다. 48시간에서의 무영향농도는 1, 2, 3령 유충은 모두 3.1 mg/L이었고 4령유충은 12.5 mg/L이었다.

처리 후 육안으로 관찰한 외부적인 이상증상을 보면 50, 25 ppm의 고농도 처리군에서 모든 령기에서 투입 직후 격렬한 불규칙운동을 하는 것이 관찰되었고 24시간 후에는 체색이 검붉은 색으로 진해지며 몸이 움츠러들고 활동성이 거의 없어지는 것이 관찰되었다. 2령과 3령의 6.25 mg/L 처리군에서는 48시간후에 각각 1마리씩이 발견되지 않아 이를 치사한 것으로 간주하였는데 발견되지 않는 이유는 동료들이 죽은 개체를 포식하였을 것으로 판단되었다.

일반적으로 깔따구는 독성평가에서 상대적으로 민감하지 않는 생물로 간주되고 있으나 이는 크기가 커서 시험하기가 편한 4령 유충을 사용하여 시험한 급성독성시험의 결과를 바탕으로 하고 있다(USEPA, 2000). 본 시험의 결과에서는 *C. riparius* 1령 유충이 4령 유충에 비해 6.4배 더 감수성인 것으로 나타나 구리에 대한 령기별 독성시험에서 *Chironomus tentans*의 1, 2령 유충이 4령 유충에 비해 6~27배 더 감수성을 밝힌 Nebeker 등(1984)의 연구 결과와 일치하였다. 령

Table 1. Acute toxicity of molinate to larvae of *Chironomus riparius*

| Life stage | EC ₅₀ , mg/L (95% C.I. ^{a)}) | | 48h NOEC ^{b)} , mg/L |
|------------|---|---------------------|-------------------------------|
| | 24h | 48h | |
| 1st instar | 18.4 (16.6~20.9) | 7.8 (5.7~10.3) | 3.1 |
| 2nd instar | >50 | 25.0 (20.1~31.0) | 3.1 |
| 3rd instar | >50 | 22.9 (14.7~45.2) | 3.1 |
| 4th instar | >50 | >50 | 12.5 |

^{a)} Confidence interval

^{b)} No observed effect concentration: The highest concentration of tested chemical that do not cause adverse effects.

기별 독성반응의 차이는 *C. riparius* 1령 유충이 2~4령 유충보다 특히 민감한 것은 화학물질을 대사시키는 해독효소가 1령에서 가장 덜 발달되었고 2령 유충부터 활발히 발달되는 것으로 추정되며 이러한 결과는 생물체가 외래 유입 독성물질에 대하여 성숙단계별로 나타내는 일반적인 독성반응 차이 현상(Hodgson과 Smart, 2001)으로 해석될 수 있다.

*Cloeon dipterum*에 대한 molinate 급성독성

Molinate의 하루살이 생육단계별 급성독성을 평가한 결과 Table 2에서 보는바와 같이 가장 어린 유충으로 시험한 A group이 가장 감수성이 민감한 것으로 나타났으며 B, C, D group은 비슷한 감수성을 나타내었다. 48시간에서의 EC₅₀값과 96시간의 EC₅₀ 값의 비는 2.0~2.7배 정도로 시간이 경과될수록 하루살이에 대한 molinate의 독성이 증가함을 알 수 있었다. 96시간에서의 무영향농도는 A group이 6.25 mg/L

Table 2. Acute toxicity of molinate to larvae of *Cloeon dipterum*

| Life stage | EC ₅₀ , mg/L (95% C.I. ^{a)}) | | 96h NOEC ^{b)} , mg/L |
|------------|---|---------------------|-------------------------------|
| | 48h | 96h | |
| Group A | 38.8 (34.4~45.4) | 14.3 (12.2~17.4) | 6.25 |
| Group B | 46.2 (38.4~62.1) | 22.6 (18.5~26.8) | 12.5 |
| Group C | >50 | 24.1 (19.6~29.4) | 12.5 |
| Group D | 43.3 (36.9~54.9) | 21.8 (18.0~25.6) | 12.5 |

^{a)} Confidence interval

^{b)} No observed effect concentration: The highest concentration of tested chemical that do not cause adverse effects.

으로 가장 낮았고, B, C, D group은 12.5로 A group보다 높게 나타났다.

*Cloeon dipterum*에 대한 령기별 독성시험 결과도 *C. riparius*에 대한 결과와 유사하게 어린 유충이 더 감수성인 것으로 조사되었고 두 종 중에는 *C. riparius*가 더 감수성이 높은 것으로 판단되었다. 비록 *Cloeon dipterum*이 *C. riparius*보다 molinate에 대한 감수성이 낮은 것으로 조사되었지만 농약의 종류에 따라서는 감수성이 다르게 나타날 수 있으므로 (김 등, 2007b) *Cloeon dipterum*이 모든 농약에 덜 감수성이 있다고 판단하거나 농약독성평가를 위한 시험생물로서의 의미가 없다고 판단해서는 안된다. 왜냐하면 *Cloeon dipterum*은 농경지 내, 인근 수로, 둑방 등에 서식하는 대표적인 수서곤충으로 눈에 살포되는 농약에 노출될 가능성이 매우 높은 곤충이므로 농약에 대한 농업환경생태계 영향을 연구하는데 매우 중요한 대표 생물종이기 때문이다(Beketov와 Liess, 2005).

현재 농약의 수서생태독성평가를 위한 표준시험법에서는 수서무척추동물의 대표종으로 실내사육이 용이하고 어류의 주요 먹이원으로서 경제적 중요성이 인정되는 물벼룩류를 주로 사용하고 있으나 이들의 서식환경이나 섭식특성이 흐르는 냇가, 강, 호수 등에 널리 서식하는 수서곤충의 생태적 지위를 잘 반영하지는 못한다. 또한 현재 수서곤충으로서 표준시험종으로 널리 사용하고 있는 *Chironomus riparius*와 *Chironomus tenten*도 강이나 호수의 바닥에 집을 짓고 사는 저서 부착성 곤충으로 저니토독성시험에는 적당한 시험종이긴 하지만 냇가나 강의 유수층에 자유로이 이동하며 서식하는 대부분의 수서곤충을 대표하지는 못한다(Sweeney 등, 1993). 따라서 농약에 의한 수서생태계의 위해 영향을 보다 더 정확히 파악하고 그 피해를 줄이기 위한 방안을 수립하기 위해서는 우리나라의 농생태계를 반영하는 대표적 수서곤충에 대한 다양한 시험방법이 개발되어야 하며, 지속적인 연구를 통해 다양한 생물종에 대한 급성 만성독성자료가 생산되어야 할 것으로 판단된다.

>> 인 / 용 / 문 / 헌

- Beketov, M. A. and M. Liess (2005) Acute contamination with esfenvalerate and food limitation: chronic effects on the mayfly, *Cloeon dipterum*. Environ. Toxicol. Chem. 24:1281~1286.
- Byard, J. L. (1999) The impact of rice pesticides on the aquatic ecosystems of the Sacramento River and Delta (California). Review of Environmental Contamination and Toxicology 159: 95~110.
- Finlayson, B. J. and G. A. Fagella (1986) Comparison of laboratory and field observations of fish exposed to the herbicides molinate and thiobencarb. Trans. Am. Fish. Soc. 12:212~215.
- Hodgson E. and R. C. Smart (2001) Introduction to biochemical toxicology. 3rd Ed., John Wiley & Sons, New York.
- Nebeker, A. V., M. A. Cairns and C. M. Wise (1984) Relative sensitivity of *Chironomus tentans* life stage to copper. Environ. Toxicol. Chem. 3:151~158.
- Stoker, T. E., S. D. Perreault, K. Bremser, R. S. Marshall, A. Murr, and R. L. Cooper (2005) Acute Exposure to Molinate Alters Neuroendocrine Control of Ovulation in the Rat. Toxicological Sciences 84:38~48.
- Sweeney, B. W., D. H. Funk and L. J. Standley (1993) Use of the stream mayfly *Cloeon triangulifer* as a bioassay organism: Following exposure to technical chlordane. Environ. Toxicol. Chem. 12:115~125.
- USEPA (2000) Methods for measuring the toxicity and bioaccumulation of sediment-associated contaminants with freshwater invertebrates, 2nd edition, EPA/600/R-99/064.
- USEPA (2001) EFED's RED chapter for molinate (Reregistration Case #818845)
- 김병석, M. J. Hamer, 김진화, 박연기, 김정구, 안용준 (1999) 저니토 독성시험법(sediment toxicity test)을 이용한 lambda-cyhalothrin의 깔따구(*Chironomus riparius*)에 대한 급성독성. 한국농약과학회지 3:57~65.
- 김병석, 박연기, 신진섭, 김진화, 안용준 (2004) 한국산 물벼룩의 먹이 조건별 번식영향. 한국농약과학회지 8:117~128.
- 김병석, 박연기, 박경훈, 신진섭, 김진화, 안용준 (2005) 표준생태독성 시험법 개발을 위한 한국산 물벼룩의 최적사육온도 구명. 한국농약과학회지 9:221~230.
- 김병석, 박연기, 박경훈, 김진경, 신진섭, 김진화, 윤성명, 안용준 (2006a) 표준생태독성시험법 개발을 위한 한국산 물벼룩의 최적사육수 선발. 한국농약과학회지 10:189~195.
- 김병석, 박연기, 박경훈, 신진섭, 김진화, 윤성명, 안용준 (2006b) 실내 사육조건에서 한국산 물벼룩 중간 life cycle 비교. 한국농약과학회지 10:196~200.
- 김병석, 박연기, 박경훈, 정미혜, 유아선, 양유정, 신진섭, 김진화, 윤성명, 안용준 (2007a) 한국산 물벼룩 *Moina macrocopa*와 *Daphnia sp.*에 대한 수중 농약의 번식독성 비교. 한국농약과학회지 11: 246~253.
- 김병석, 박연기, 박경훈, 정미혜, 유아선, 양유정, 신진섭, 김진화, 윤성명, 안용준 (2007b) 한국산 물벼룩에 대한 수중 농약의 급성독성. 한국농약과학회지 11:261~267.
- 金澤純 (1994) 農藥의 環境科學. 第2刷. 合同出版, pp.310.
- 농약공업협회 (2001) 시험연구사업보고서. 제초제 molinate의 잔류량 조사.
- 박병준, 박현주, 이병무, 임양빈, 최주현, 류갑희 (2005) 논토양 환경중 제초제 molinate의 잔류성과 분해특성. 한국농약과학회지 9:60~69.
- 신진섭 (2002) Molinate의 수서생태계 위해성평가 연구. 서울대학교 박사학위논문.
- 윤일병 (1995) 수서곤충검색도설 pp.174~176, 정형사.
- 최상연, 정봉진, 채제천 (1998) Molinate와 simetryn 혼합처리가 피, 가막사리 및 비의 생육에 미치는 영향. 한국잡초학회지 18:284~294.

2종의 수서곤충, *Chironomus riparius*와 *Cloeon dipterum*의 유충 성장단계별 molinate 급성독성 비교

김병석* · 박연기 · 홍순성 · 양유정 · 박경훈 · 정미혜 · 김세리 · 박경훈 · 예완해 · 김두호 · 홍무기 · 안용준¹ · 신진섭

국립농업과학원 농산물안전성부, ¹서울대학교 농생명공학부

요 약 우리나라에서 수도용제초제로 가장 광범위하게 사용되고 있는 molinate는 농약성수기에 하천수중 검출빈도가 매우 높게 나타나고 있는 농약 중의 하나이다. 본 연구에서는 molinate의 *Chironomus riparius*(갈따구류)와 *Cloeon dipterum*(하루살이류)의 유충의 성장단계별 급성독성을 비교 조사하였다. *C. riparius*의 령기별 molinate의 급성독성을 비교한 결과 1령 유충의 48시간 EC₅₀은 7.8 mg/L로 가장 감수성이 높았으며 2령 유충은 25.0 mg/L, 3령 유충은 22.9 mg/L로 나타나 2령과 3령의 감수성은 유사한 것으로 조사되었다. 4령 유충의 경우 48시간 EC₅₀이 50 mg/L 이상으로 나타나 가장 감수성이 낮은 것으로 조사되었다. 하루살이(*C. dipterum*) 유충의 경우에도 제일 어린 유충 group의 감수성이 가장 민감한 것으로 조사되었으며 96시간 EC₅₀은 14.3~24.1 mg/L범위였다. 결론적으로 수서곤충의 유충 령기별 독성 평가결과 가장 어린 개체가 가장 민감한 것으로 조사되어 독성 시험시 방법과 목적에 맞는 적절한 유충 성장단계를 선정해야 할 것으로 판단된다. 또한 농약의 수생태계 위해성 평가에서 우리나라 농수로에 서식하는 대표 수서곤충인 하루살이 유충의 활용 가능성을 제안하고자 한다.

색인어 Molinate, 급성독성, *Chironomus riparius*, *Cloeon dipterum*, 수서곤충