

## Molinate의 물벼룩에 대한 급성 및 만성독성 연구

신진섭\* · 김병석 · 박연기 · 박경훈 · 이제봉 · 경기성<sup>1</sup> · 안용준<sup>2</sup>

농업과학기술원 농산물안전성부, <sup>1</sup>충북대학교 농업생명환경대학, <sup>2</sup>서울대학교 농업생명과학대학

(2008년 9월 17일 접수, 2008년 9월 26일 수리)

### The Acute and Chronic Toxicity Studies of Herbicide, Molinate to Waterfleas

Jin-Sup Shin\*, Byung-Seok Kim, Yeon-Ki Park, Kyung-Hoon Park, Je-Bong Lee, Kee Sung Kyung<sup>1</sup> and Young-Joon Ahn<sup>2</sup>

Department of Crop Life Safety, National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, <sup>1</sup>College of Agriculture, Life and Environmental Sciences, Chungbuk National University, Cheongju and <sup>2</sup>School of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Seoul

#### Abstract

To assess the impact of molinate on freshwater aquatic organisms, acute and chronic toxicity studies for waterfleas were conducted. In acute toxicity studies for *Daphnia magna*, and *Moina macrocopa*, the 48-h EC<sub>50</sub> values were 11.4 and 8.3 mg/L respectively. And in reproduction toxicity studies for the same species, the NOEC's were 2.5 and 2.0 mg/L respectively. These results suggest that waterfleas have similar sensitivity to molinate. On the other hand, the NOEC for 3-generation toxicity of *moina macrocopa*, 0.16 mg/L, was much lower than those of acute values. This studies concludes that molinate has minimal risk to waterfleas in river.

**Key words** molinate, acute toxicity, reproduction toxicity

## 서 론

Molinate는 널리 사용되는 thiocarbamate계 수도용 제초제로 쌀 생산에 있어서 경제적으로 상당히 중요한 농약으로 알려져 있다. 우리나라에서는 논·밭의 잡초 방제를 위해 1976년 모리스(molinate·simetryn) 입제가 최초로 소개된 이래 molinate 함유 품목의 등록이 꾸준히 진행되어 현재 18품목이 사용중에 있으며, 최근 molinate의 사용량은 전 수도용 제초제의 1/3정도를 차지할 정도로 수도용제초제 중에서 가장 많이 사용되고 있다(한국작물보호협회, 2006). 이와 같이 molinate는 광범하게 다량 사용되기 때문에 molinate를 많이 살포하는 6, 7월에 소하천이나 강에서 가장 빈번하게 검출되는 농약중 하나이기도 하다. Molinate는 급성독성이 보통독성으로 낮은 편이나 설치류 특히 수컷 흰쥐에 번식독성

을 보이고 있어 미국 환경보호청이나 일본 국립의약품식품위생연구소에서 내분비계 장애의심물질로 지정하고 있다.

Molinate는 벼 재배지에 단기간에 다량 광범하게 사용되기 때문에 살포된 논으로부터 배수로, 하천, 강 등에 유입된 molinate가 수서생물에 대한 악영향이 우려되고 있으나 이에 관한 체계적인 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 molinate가 수서생태계에 서식하는 비표적 생물에 대한 영향을 규명하고자 대표적인 담수 무척추 동물인 물벼룩에 대한 급성, 번식독성, 다세대노출 독성시험을 수행하고 그 독성을 평가하였다.

## 재료 및 방법

### 시험물질

Molinate(S-ethyl perhydroazepine-1-carbothioate) 원제는 Zeneca Agrochemicals사로부터 분양 받았으며 화학적

\*연락처 : Tel. +82-31-290-0583, Fax. +82-31-290-0508  
E-mail: shinjs@rda.go.kr

순도는 95.5%이었다.

## 시험생물 및 사육환경

본 시험의 시험생물인 물벼룩은 OECD 표준시험법에서 추천하는 종인 *Daphnia magna*와 우리나라에 널리 분포하는 모이나물벼룩(*Moina macrocopa*)을 사용하였다. *Daphnia magna*는 한국화학연구원 안전성연구센터에서, 모이나물벼룩은 조선대학교에서 분양받아 농업과학기술원 생태독성연구실에서 계대사육하여 사용하였다.

시험 물벼룩의 순화와 번식을 위해 *D. magna*는 미국 EPA에서 제시한 경수(hard water)를, 국내종은 우리나라의 일반적인 담수의 경도와 비슷한 중경수(moderately hard water)를 사용하였다. 이 사육수는 만든 후 24시간동안 강하게 폭기시킨 뒤에 사용하였으며, 사용전에는 항상 경도와 알카리도 및 용존산소량을 측정하였다.

일정한 사육조건을 유지하기 위해 실내기온을 22°C로 조절하였고, 사육용기(2L)는 수온을 20°C로 고정해 놓은 소형 항온수조 안에 두었다. 사육수 수온은 20±1°C, 광조건 16시간(500~800 Lux), 압조건 8시간으로 조절하였다.

시험물벼룩의 먹이로는 *Chlorella vulgaris*를 1×10<sup>5</sup>~2.5×10<sup>6</sup> cells/L의 농도로 공급하였으며 어린 개체사육에는 먹이의 농도를 낮게 하고 자랄수록 그 양을 증가하여 최대성장을 유지하도록 하였다. 조류(藻類) 배양용 배지는 Bold's basal medium을 사용하였다.

## 물벼룩독성시험

### 급성독성시험

Molinate의 물벼룩에 대한 급성독성을 평가하기 위해 국제표준시험종인 *D. magna*와 국내종인 *M. macrocopa*를 사용하여 48시간 급성유영저해시험을 수행하였다. 시험에 사용한 물벼룩은 모두 출생한지 24시간이 되지 않은 건강한 어린 개체를 사용하였다. 시험용수로는 사육에 사용한 것과 동일하게 *D. magna*는 경수(hard water)를 *M. macrocopa*는 중경수(moderately hard water)를 사용하였다.

시험농도는 예비시험을 통해 등비급수적으로 50, 25, 12.5, 6.3, 3.1 mg/L 5농도로 선정하였다. 시험방법은 125 mL의 원통형 유리수조에 사육수 100 mL을 채운 후 시험농도가 되도록 농약을 처리하고 어린 물벼룩을 5마리씩 투입한 후 시험용액의 교환 없이 48시간동안 관찰하였다. 시험농도당 4반복으로 하여 시험농도 당 총 20마리의 물벼룩을 사용하였다. 이때 수온은 20±1°C, 광조건 16시간(500~800 Lux), 압조

건 8시간으로 조절하였다.

시험 시작 후 24시간과 48시간에서의 시험물벼룩의 유영저해(遊泳沮害)개체수를 조사하고 반수유영저해농도(EC<sub>50</sub>)를 probit 분석(Finney, 1971)으로 산출하였다. 유영저해의 판정은 유리막대로 저어주고 15초간 관찰하여 바닥에 가라앉아 정상적인 유영을 하지 못하거나 물의 흐름에 묶여 정상적인 움직임 없이 떠다니는 것을 영향 받은 개체로 판정하였다.

### 번식독성시험

Molinate의 급성독성시험을 통해 얻어진 *D. magna*와 *M. macrocopa*의 감수성 정도에 따라 농약을 장기노출 시켰을 때 두 종 물벼룩의 성장, 번식 등에 미치는 영향을 평가하였다.

시험에 사용한 물벼룩은 모두 24시간 이전에 출산한 건강한 어린개체를 사용하였고 시험에 사용한 시험용수는 급성독성시험과 같다.

시험기간은 시험 물벼룩의 평균수명을 고려하여 *M. macrocopa*는 10일간, *D. magna*는 21일간 조사하였다. 시험농도를 일정수준으로 유지시키기 위해 2일에 한번씩 molinate를 처리한 새로운 사육수로 교체하였다. 시험조건은 급성독성시험시와 동일하였고 시험물벼룩의 수는 각 처리 당 10마리를 개별적으로 50 mL의 배양액에 투입하였고, 먹이는 *C. vulgaris*를 2.5~5×10<sup>5</sup> cells/mL의 농도가 되게 급이하였다.

시험농도는 각 농약별 급성독성시험의 EC<sub>50</sub>의 농도부근부터 공비를 2로 하여 등비급수적으로 농도를 낮추어서 *D. magna*의 경우 10, 5, 2.5, 1.25, 0.63, 0.31 mg/L, *M. macrocopa*의 경우 8, 4, 2, 1, 0.5, 0.25 mg/L으로 6농도를 선정하였다. 이때 농약처리군과 함께 배양액만을 담은 무처리대조군도 동시에 시험을 수행하였다.

생존여부, 출산수 및 이상증상 등을 매일 조사하였고 어린 물벼룩은 계수 후 시험용기에서 제외시켰다. 시험최종일에는 어미 물벼룩의 체장을 해부현미경으로 측정하고 시험기간 동안 조사한 물벼룩의 성장, 번식 등의 성적을 t-test를 통해 대조군과 비교하여 무영향농도(No Observed Effect Concentration; NOEC)를 산출하였다.

### 다세대 노출독성(multi-generation toxicity) 시험

여러 세대에 걸쳐 장기간 molinate에 노출될 때 물벼룩에 미치는 영향을 평가하기 위해서 노출 어미로부터 3세대에 걸쳐 노출시킨 물벼룩의 성장, 번식, 출산새끼의 성비 등에 미치는 영향을 조사하였다(Fig. 1).

시험에 사용한 *M. macrocopa*는 3일된 건강한 성체를 사용하였고 시험용수로 중경수를 사용하였다. 시험농도는 급성

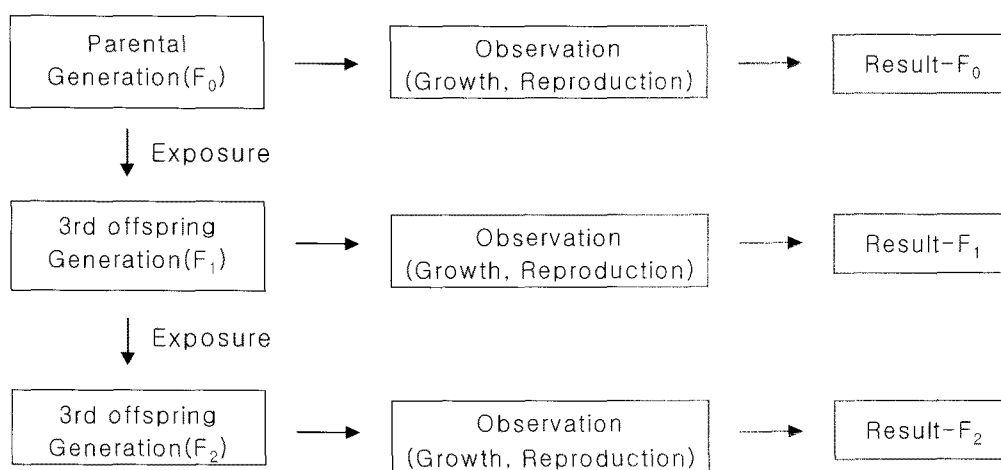


Fig. 1. Experimental design for the multi-generation toxicity test of molinate to *Moina macrocopa*.

독성시험을 통해 얻어진 1/2NOEC농도, 1/2NOEC의 1/10와 1/100농도인 0.016, 0.16, 1.6 mg/L의 3 농도로 하였다. 시험기간은 최초 노출시킨 모수(F<sub>0</sub>)로부터 생성된 F<sub>2</sub>세대가 3번째 새끼를 출산할 때까지로 하였으며 시험농도를 일정수준으로 유지시키기 위해 노출기간중 2일에 한번씩 molinate를 처리한 새로운 사육수로 교체하였다. 온도와 광조건은 급성독성시험과 동일하게 하였고 시험물벼룩의 수는 각 처리당 15마리를 개별적으로 50 mL의 배양액에 투입하였고, 먹이는 *C. vulgaris*를 2.5~5×10<sup>5</sup> cells/mL의 농도가 되게 급이하였다.

생존여부, 출산수 및 이상증상 등을 매일 조사하였고 어린 물벼룩은 계수 후 시험용기에서 제외시켰다. 시험최종일에는 어미 물벼룩의 체장을 해부현미경으로 측정하고 시험기간 동안 조사한 물벼룩의 성장, 번식 등의 성적을 t-test를 통해 대조군과 비교하여 무영향농도(NOEC)를 산출하였다.

또한 3세대에 걸쳐 molinate에 노출된 어미로부터 출산한 새끼의 molinate 감수성을 비교하고자 각 처리농도군의 F<sub>2</sub>세대가 출산한 3번째 새끼에 대한 급성독성시험을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### Molinate의 물벼룩에 대한 급성독성

Molinate의 물벼룩에 대한 급성독성을 평가하고자 *D. magna*와 *M. macrocopa*에 대해 수행한 급성유영저해시험의 결과는 Table 1과 같다.

Molinate의 물벼룩 급성유영저해시험 결과 *D. magna*의 48시간 EC<sub>50</sub> 값은 11.4 mg/L이었고 *M. macrocopa*에 대한 48시간 EC<sub>50</sub> 값은 8.3 mg/L로 molinate의 물벼룩에 대한 급성독성은 보통독성정도 이었으며 시험종간에 있어서는 *M. macrocopa*가 *D. magna*에 비해 감수성이 약간 높은 것으로 나타났다. *M. macrocopa*에 대한 48시간 EC<sub>50</sub>치는 동일종에 대한 보고된 시험성적은 없으나 *Moina*속의 일종으로 호주 토착종인 *Moina australiensis*에 대한 48시간 EC<sub>50</sub>치가 2.4 mg/L(Julli와 Krassoi, 1995)보다는 3.5배 높게 나타났다. 한편 노출기간에 따른 EC<sub>50</sub>을 볼 때 *D. magna*의 경우 24시간 EC<sub>50</sub>이 33.0 mg/L, 48시간 EC<sub>50</sub>은 11.4 mg/L로 나타나, 48시간에서의 독성이 2.9배 정도 높았으며, *M. macrocopa*의 경우에도 24시간 EC<sub>50</sub>이 14.1 mg/L, 48시간 EC<sub>50</sub> 값은

Table 1. Acute toxicity of molinate to *Daphnia magna* and *Moina macrocopa*

Organism	Exposed period	EC <sub>50</sub> , mg/L (95% C.I. <sup>a</sup> )	NOEC <sup>b</sup> (mg/L)
<i>Daphnia magna</i>	24 h	33.0 (27.8~39.2)	12.5
	48 h	11.4 (9.2~14.1)	3.1
<i>Moina macrocopa</i>	24 h	14.1 (12.3~16.2)	6.25
	48 h	8.3 (7.2~9.5)	3.1

<sup>a</sup> Confidence interval.

<sup>b</sup> No observed effect concentration: the highest concentration of test chemical that did not cause adverse effects.

8.3 mg/L로 나타나 24시간에 비해 48시간 노출시에 독성이 1.7배 높게 나타나 molinate는 24시간 노출보다 48시간 노출에서 독성이 현저히 높아짐을 알 수 있었다. 이는 우리나라에서 사용되는 molinate성분 함유 농약 중 molinate 투하량이 가장 많은 모리네이트·아짐설프론입제(한국작물보호협회, 2007)의 논물 중 molinate 최대 잔류량 예측농도인 4.2 mg/L보다 2배이상 높은 농도로서 논에 살포한 molinate 함유 농약에 의해서는 급성적으로 영향을 미치지 않을 것으로 예측된다. 하지만 24시간과 48시간의 독성값이 현저한 차이를 보이는 것으로 보아 장기간에 걸쳐 고농도로 노출될 경우에는 물벼룩에 영향을 줄 가능성이 있는 것으로 판단된다.

### Molinate의 물벼룩에 대한 번식독성

Table 2는 *D. magna*를 molinate에 21일간 노출시켰을 때 생존율, 출산 및 생육에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

10 mg/L 처리군에서 21일간 생존율은 0%이었고, 5 mg/L 처리군에서는 30%, 2.5~0.31 mg/L 처리에서는 90~100%의 생존율을 보였다. 평균수명은 0.31 mg/L에서 2.5 mg/L 처리군까지는 대조군의 21일과 유의한 차이를 보이지 않았으나 5 mg/L 처리군에서는 13.5일, 10 mg/L에서는 4.6일로 유의한 감소를 보여주었다. 생존한 어미개체의 첫 출산까지 걸리는 시간은 5 mg/L에서 10.2일로 대조군의 7.8일과 유의한 차이를 보였고 출산횟수도 각각 5.2회와 2.5회로 유의한 차이를 보였다. 21일간 출산한 새끼물벼룩의 수는 대조군이 88.3마리이었으나 5 mg/L 수준에서는 16.5마리로 유의한 차이를 보였다. 그러나 탈피횟수에서는 처리군별 차이를 관찰

할 수 없었다.

Table 3은 molinate의 *M. macrocopa*에 대한 번식독성을 나타내고 있는데 *M. macrocopa*를 molinate에 10일간 노출시켰을 때 8 mg/L 처리군에서 10일간 생존율은 20%이었고 4 mg/L 처리군에서는 60%, 2.0~0.25 mg/L 처리군에서는 80~90%의 생존율을 보였다.

평균수명은 0.25 mg/L에서 2.0 mg/L 처리군까지는 대조군의 10일과 유의한 차이를 보이지 않았으나 4 mg/L에서는 8.4일, 10 mg/L에서는 6.3일로 유의한 감소를 보여주었다.

생존한 어미개체가 첫 출산까지 걸리는 시간은 모든 농도에서 3.8~4.0일로 유의한 차이가 없었으며, 출산횟수도 3.8~4.3회로 유사하였다. 10일간 출산한 새끼물벼룩의 수는 대조군이 57.0마리였으나 최고농도인 8 mg/L 수준에서는 44.5마리로 유의한 차이를 보였다. 그러나 탈피횟수에 대해서는 농도에 따른 영향을 관찰할 수 없었다.

번식독성시험의 결과에서는 *D. magna*를 molinate에 21일간 노출시켰을 때 총 출산 새끼수, 체장 등의 생장 및 번식과 관련된 NOEC는 2.5 mg/L이었고 LOEC는 5 mg/L이었다. *M. macrocopa*를 molinate에 10일간 노출시켰을 때 생장 및 번식 NOEC는 2 mg/L이었고 LOEC는 4 mg/L이었다. 한편 탈피횟수에서는 농도가 증가함에 따라 증가 또는 감소하는 영향을 관찰할 수 없었다. 따라서 molinate는 고농도에서 *D. magna*의 탈피에는 영향을 주지 않고 성장 및 번식을 저해하는 것으로 판단되며 이런 결과는 LeBlank와 McLachlan(1999)이 수행한 cyproteron acetate에 대한 시험 결과와 동일하다.

Table 2. Survival, reproduction, and growth of *Daphnia magna* exposed to molinate during a 21-day period

Parameter	Control	Nominal concentration (mg/L)					
		0.31	0.63	1.25	2.5	5	10
Survival rate, %	100	100	100	90	100	30	0
Longevity(day)	21.0	21.0	19.4	20.9	21.0	13.5*	4.6*
<b>Reproduction</b>							
Day to first brood	7.8	7.4	7.1	7.7	7.5	10.2*	-
Total offspring/adult	88.3	83.5	83.6	84.3	81.3	16.5*	-
No. produced brood	5.2	5.0	5.0	4.9	5.1	2.5*	-
Brood size	17.0	16.7	16.6	17.3	15.9	6.7*	-
<b>Growth</b>							
Length, mm	4.0	3.6	3.7	3.8	3.7	3.1*	-
Molting time (day)	9.2	9.4	9.1	9.5	9.1	9.3	-
Abnormal symptom	none	none	none	none	none	none	none

\* Significantly different from control (P<0.05, t-test).

**Table 3.** Survival, reproduction, and growth of *Moina macrocopa* exposed to molinate during a 10-day period

Parameter	Control	Nominal concentration (mg/L)					
		0.25	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0
Survival rate, %	90	80	90	80	80	60	20
Longevity (day)	9.9	9.5	9.9	9.4	9.3	8.4*	6.3*
<b>Reproduction</b>							
Day to first brood	3.9	3.9	4.0	3.9	3.8	3.8	3.9
Total offspring/adult	57.0	62.0	59.0	53.5	55.5	51.8	44.5*
No. produced brood	3.9	4.0	4.0	3.9	3.8	4.3	4.0
Brood size	14.7	15.5	14.8	13.9	14.9	12.2*	11.1*
<b>Growth</b>							
Length, mm	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.4*
Molting time (day)	5.9	6.0	6.0	5.9	5.6	6.0	6.0
Abnormal symptom	none	none	none	none	none	none	none

\* Significantly different from control ( $P < 0.05$ , t-test).

### Molinate의 물벼룩에 대한 다세대노출 영향(Multi-generation toxicity)

Molinate의 *M. macrocopa* 차세대 독성시험결과는 Table 4, 5, 6에 나타내었다. *M. macrocopa*를 3세대에 걸쳐 0.016, 0.16, 1.6 mg/L 농도수준의 molinate에 노출시켰을 때 어미세대와 1세대의 생존율과 번식률에서 대조군과 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 4와 5).

2세대까지 노출 시에는 대조군과 0.016 mg/L 처리군에서의 생존율이 100%인데 반해, 0.16 mg/L과 1.6 mg/L 처리군에서는 생존율이 각각 80%와 70%로 낮게 나타났다. 3번째까지 출산한 새끼수에서도 2세대까지 노출시에는 대조군과 0.016 mg/L 처리군에서는 각각 44.7와 43.3마리인데 반해,

0.16 mg/L과 1.6 mg/L 처리군에서는 각각 35.1과 33.1마리로 대조군과 유의한 차이를 보였다. 그러나 암수비율에 있어서는 모든 처리군에서 유의한 차이는 없었다(Table 6).

*M. macrocopa*를 3세대에 걸쳐 0.016, 0.16, 1.6 mg/L 농도의 molinate에 노출시킨 후 마지막 세대(F<sub>2</sub>)가 생산한 새끼에 대한 molinate의 급성유영저해시험을 수행한 결과, 48시간의 EC<sub>50</sub> 값이 대조군은 6.7 mg/L, 0.016 mg/L과 0.16 mg/L 처리군은 6.0 mg/L이었고, 1.6 mg/L 처리군은 7.8 mg/L이었다. 48시간의 무영향농도는 모든 처리군에서 3.1 mg/L으로 나타났다(Table 7).

*M. macrocopa*를 3세대에 걸쳐 molinate에 노출시켰을 때 어미세대와 1세대에서는 대조군과 처리군의 생존율과 번

**Table 4.** Size and fecundity of *Moina macrocopa*-F<sub>0</sub> generation exposed to molinate in multigeneration toxicity test

Parameter	Control	Nominal concentration (mg/L)		
		0.016	0.16	1.6
Adult survival, %	100	100	100	100
Days to first reproduction	5.1±0.7 <sup>b</sup>	4.9±0.7	5.1±0.6	4.9±0.7
Total offspring/adult	34.6±3.9	34.0±2.5	34.4±5.4	35.9±3.1
No. of 1st brood	8.0±0.9	7.8±0.6	8.0±0.8	8.0±0.9
No. of 2nd brood	15.8±2.9	16.2±2.0	15.8±2.8	15.7±2.9
No. of 3rd brood	8.0±0.9	10.0±3.5	10.6±3.2	12.2±2.3
Brood size	11.5±1.3	11.5±1.3	11.5±1.3	11.5±1.3
Sex ratio <sup>a</sup> , %	100	100	100	98.2

\* Significantly different from control ( $P < 0.05$ , t-test).

<sup>a</sup> Sex ratio (%) = (female young/total offspring) × 100.

<sup>b</sup> Values were mean ± SD.

**Table 5.** Size and fecundity of *Moina macrocopa*-F<sub>1</sub> generation exposed to molinate in multigeneration toxicity test

Parameter	Control	Nominal concentration (mg/L)		
		0.016	0.16	1.6
Adult survival, %	90	100	100	100
Days to first reproduction	4.0±0.0 <sup>b</sup>	4.0±0.0	4.0±0.6	4.1±0.3
Total offspring/adult	52.5±6.4	53.4±7.1	54.4±9.1	52.2±5.8
No. of 1st brood	19.8±1.6	18.6±1.4	18.7±4.1	18.3±1.8
No. of 2nd brood	16.0±4.2	18.3±4.4	18.4±3.8	17.1±4.9
No. of 3rd brood	16.8±4.1	16.5±3.1	17.3±3.7	16.8±1.5
Brood size	11.5±1.3	11.5±1.3	11.5±1.3	11.5±1.3
Sex ratio <sup>a</sup> , %	85.7	100	92.2	100

<sup>a</sup> Sex ratio (%) = (female young/total offspring) × 100.

<sup>b</sup> Values were mean ± SD.

**Table 6.** Size and fecundity of *Moina macrocopa*-F<sub>2</sub> generation exposed to molinate in multigeneration toxicity test

Parameter	Control	Nominal concentration (mg/L)		
		0.016	0.16	1.6
Adult survival, %	100	100	80	70
Days to first reproduction	4.0±0.0 <sup>b</sup>	4.2±0.4	4.3±0.5	4.3±0.5
Total offspring/adult	44.7±8.1	43.3±6.0	35.1±5.6*	33.1±5.5*
No. of 1st brood	12.9±4.0	12.7±3.3	9.4±4.5	10.6±4.0
No. of 2nd brood	17.4±3.9	16.7±2.5	13.5±4.7	11.3±3.4*
No. of 3rd brood	14.4±2.3	13.9±3.1	12.3±3.2	11.3±4.7*
Brood size	11.5±1.3	11.5±1.3	11.5±1.3	11.5±1.3
Sex ratio <sup>a</sup> , %	100	90	100	95.2

\* Significantly different from control (P<0.05, t-test).

<sup>a</sup> Sex ratio (%) = (female young/total offspring) × 100.

**Table 7.** Acute toxicity of molinate to young *Moina macrocopa* produced from F<sub>2</sub>-generation exposed to molinate

Concentration (mg/L)	48h EC <sub>50</sub> , mg/L (95% C.I. <sup>a</sup> )	48h NOEC <sup>b</sup> , mg/L
Control	6.7 (5.6~8.2)	3.1
0.016	6.0 (4.9~7.4)	3.1
0.16	6.0 (4.9~7.4)	3.1
1.6	7.8 (5.5~10.8)	3.1

<sup>a</sup> Confidence interval.

<sup>b</sup> No observed effect concentration: the highest concentration of test chemical that did not cause adverse effects.

식물에서 유의한 차이가 없었으나, 2세대에서는 0.16 mg/L 과 1.6 mg/L 처리군에서는 생존율이 각각 80%와 70%로 낮게 나타났으며 출산 새끼수에서도 각각 35.1과 33.1마리로 대조군과 유의한 차이를 보였다. 그러나 molinate에 노출된 어미와 1세대, 2세대에서 생산된 새끼의 성비에서는 농도별 모든 처리군에서 농도 의존적인 유의한 차이를 발견할 수는 없었다. 즉 molinate는 *D. magna*의 탈피를 저해하지는 않고 성분화에 영향을 주는 endosulfan(Zou와 Fingerman, 1997)

이나 0.5 µg/L수준에서도 *D. puricaria*의 수컷 발생을 증가시킨다는 보고가 있는 atrazine(Dodson 등, 1999)과는 달리 물벼룩에 대하여 탈피와 성분화 모두 영향을 주지 않으므로 물벼룩에서는 molinate가 내분비계교란을 일으키는 물질이 아닌 것으로 판단된다.

*M. macrocopa*를 3세대에 걸쳐 0.016, 0.16, 1.6 mg/L농도로 molinate에 노출시킨 후 마지막 3세대가 생산한 새끼에 대한 molinate의 급성독성을 평가한 결과, 대조군과 독성값

에 차이가 없어 여러 세대에 걸쳐 환경 검출농도수준 이상으로 molinate에 노출되더라도 다음 세대 새끼물벼룩의 감수성에는 변화를 주지 않은 것으로 판단되었다.

이상의 molinate의 물벼룩에 대한 독성시험에서 얻은 가장 낮은 NOEC은 0.16 mg/L로서, 이는 하천에서 molinate의 평균검출농도인 0.0057 mg/L보다 28배 정도로 높아 하천에 서식하는 물벼룩은 molinate로 인한 위해가능성이 낮은 것으로 판단된다.

## >> 인 / 용 / 문 / 헌

- Dodson, S. I., C. M. Merritt, J. P. Shannahan and C. M. Shults (1999) Low exposure concentrations of atrazine increase male production in *Daphnia pulex*. *Environ. Toxicol. Chem.* 18(7):1568~1573.
- EDSTAC (Endocrine Disruptor Screening and Testing program Advisory Committee) (1998) EDSTAC Final report. USEPA, Washington DC.
- Finney, D. J. (1971) Estimation of the median effective dose, pp. 19~47, In *Probit Analysis*. Cambridge University Press, Cambridge, England.
- LeBlank, G. A. and J. B. McLachlan (1999) Molt-independent growth inhibition of *Daphnia magna* by a vertebrate antiandrogen. *Environ. Toxicol. Chem.* 18(7):1450~1455.
- Miyamoto, J. (ed.) (1998) 化學物質과內分泌攪亂. 化學工業日報社. 3~7.
- OECD (1984) *Daphnia* sp., acute immobilization test and reproduction test. OECD guideline for testing of chemicals No.202.
- OECD (1996) *Daphnia magna* reproduction test, OECD guideline for testing of chemicals Proposal for updated guideline No.211. TG\DAHPHIA\9678.DOC.
- Ross, L. J. and R. J. Sava (1986) Fate of thiobencarb and molinate in rice fields. *J. of Environmental quality*. 15:220~224
- USEPA (1992a) Aquatic invertebrate acute toxicity test, freshwater Daphnid, Ecological Effects Test Guidelines. OPPTS 850.1010.
- USEPA (1992b) Daphnid chronic toxicity test, Ecological Effects Test Guidelines. OPPTS 850.1300.
- USEPA (2001) EFED's RED chapter for molinate (Reregistration Case #818845)
- Zou, E. and M. Fingerman (1997) Synthetic estrogenic agents do not interfere with sex differentiation but do inhibit molting of the cladoceran, *Daphnia magna*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 58:596~602.
- 한국작물보호협회 (2007) 농약사용지침서.
- 한국작물보호협회 (2006) 농약연보.
- 한국작물보호협회 (2001) 시험연구사업보고서: 제초제 Molinate의 잔류량 조사.

## Molinate의 물벼룩에 대한 급성 및 만성독성 연구

신진섭 · 김병석 · 박연기 · 박경훈 · 이제봉 · 경기성<sup>1</sup> · 안용준<sup>2</sup>

농업과학기술원 농산물안전성부, <sup>1</sup>충북대학교 농업생명환경대학, <sup>2</sup>서울대학교 농업생명과학대학

**요 약** 우리나라 하천수 중 검출빈도가 높게 검출되고 있는 제초제 molinate의 담수 무척추동물에 대한 영향을 평가하고자 물벼룩에 대한 급·만성독성시험 및 다세대노출시험을 수행하였다. Molinate는 담수 무척추동물인 물벼룩 *Daphnia magna*와 *Moina macrocopa*, 에 대한 EC<sub>50</sub>(48시간)이 각각 11.4와 8.3 mg/L, 번식독성 무영향농도(NOEC)가 2.5와 2.0 mg/L로서 중간 감수성에 있어 큰 차이를 보이지 않았으며 *M. macrocopa*에 대한 3세대노출시험의 NOEC은 0.16 mg/L이었다. 하천에서 molinate에 의한 물벼룩에 대한 위해가능성은 낮은 것으로 판단된다.

**색인어** molinate, 물벼룩, 급성독성, 번식독성, 다세대노출독성