

한국산 물벼룩에 대한 수종 농약의 급성독성

김병석* · 박연기 · 박경훈 · 정미혜 · 유아선 · 양유정 · 신진섭 · 김진화 · 윤성명¹ · 안용준²

농업과학기술원 농산물안전성부, ¹조선대학교 과학교육학부, ²서울대학교 농생명공학부

(2007년 7월 13일 접수, 2007년 9월 3일 수리)

Acute toxicity of some pesticides on five Korean native Cladocerans

Byung-Seok Kim*, Yo-en-Ki Park, Kyung-Hun Park, Mi-Hye Jeong, Are-Sun You, Yu-Jung Yang, Jin-Sup Shin, Jin-Hwa Kim, Seong Myeong Yoon¹ and Young-Joon Ahn²

(*National Institute of Agricultural Science & Technology, RDA, ¹Department of Science education, Chosun University, ²School of Agricultural Biotechnology, Seoul National University)

Abstract : The acute toxicity of several pesticides on 4 Korean water flea was investigated to develop a new standard species used for ecological risk assessment of pesticide. Four Korean freshwater cladocerans, *Daphnia obtusa*, *Daphnia* sp., *Moina macrocopa* and *Simocephalus vetulus* were exposed to five different pesticides during 48 hours to compare their sensitivity with a standard test species, *Daphnia magna*, endorsed formally by the major international organizations. The synthetic pyrethroid, fenpropathrin was the most toxic pesticide to cladocerans. Diazinon, carbofuran, iprodione and myclobutanil were in the order of their toxicity to cladocerans tested. There was no consistent difference in sensitivity to five pesticides for four Korean cladocerans tested. In conclusion, the ecological risk assessment using single species toxicity referred to base set data should not be enough to protect to every species in the field environment.

key words : cladocera, acute toxicity, species sensitivity

서 론

농약 등의 화학물질에 대한 독성을 검색하기 위한 OECD, 미국 EPA 등에서 추천하는 물벼룩 급성독성 시험법은 주로 *Daphnia magna*를 실험종으로 추천하고 있다(OECD, 1984; USEPA, 1992). 상기의 물벼룩 급성독성시험법은 화학물질이 노출된 자연생태계의 다양한 수서무척추동물에 대한 단기적인 유해영향을 예측하기 위한 방법의 하나로 고안되었으며 여기에서 나온 독성자료는 화학물질의 수서생태계 위해영향을 경감시키고 적절한 관리방안을 마련하기 위한 기본 독성자료로 사용되고 있다.

자연계의 생물은 광범위한 분류학적, 생활사적, 생리적, 형태적, 행동학적, 지리적 분포의 다양성을 지니고 있기 때문에 생태독성학적 연구에서 동일농도에

서 노출된 경우라도 실험종에 따라 각기 다른 독성반응을 보이게 된다(Posthuma 등, 2002). 따라서 특정 화학물질에 대한 종간 감수성 차이로 인해 발생할 수 있는 생태계영향예측의 불확실성을 감소시키기 위해 화학물질의 등록과 관리를 담당하는 규제당국에서는 위해우려가 큰 화학물질에 대해서는 경우에 따라 *D. magna* 단일종에 대한 독성시험성적 이외에 다양한 수서무척추동물에 대한 독성자료를 추가로 요구하고 있다. 더욱이 우리나라는 *D. magna*가 서식하지 않기 때문에 농약 등 화학물질의 환경노출로부터 국내 환경에 서식하는 다양한 생물을 제대로 보호하기 위해서는 국내서식 물벼룩 종을 대상으로 종간 감수성 차이를 비교 조사할 필요가 있다.

생태독성시험의 표준실험종으로서 국내산 물벼룩의 이용가능성을 조사하기 위한 생리·생태·독성학적 연구의 일환으로 농업과학기술원에서 국내산 물벼룩의 사육기술 개발 및 표준생태독성시험법 확립연구가 진행되어 먹이, 온도조건, 사육수의 경도(hardness), 생

*연락처 : Tel: +82-31-290-0536, Fax: +82-31-290-0506,
E-mail: kbs2000@rda.go.kr

활사(life cycle)에 대한 연구결과를 발표하였다(김 등, 2004; 김 등 2005; 김 등 2006_a; 김 등 2006_b).

본 연구는 앞서 수행된 국내산 물벼룩의 사육기술 개발 연구를 토대로 하여 국내서식 물벼룩 *Daphnia* sp., *Daphnia obtusa*, *Moina macrocopa*, *Simocephalus vetulus*(김, 1988; 윤, 1993)의 농약에 대한 급성독성반응을 조사하고 국제표준종인 *D. magna*와의 독성반응을 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

국내산 물벼룩의 농약에 대한 급성독성을 평가하고, 아울러 표준시험종인 *D. magna*와의 감수성 비교를 통해 국내종 중에 시험종으로 이용 가능한 종을 선별하기 위하여 5종 농약에 대하여 48시간 급성유영저해시험을 수행하였다.

실험에 사용한 4종의 국내산 물벼룩은 *Daphnia* sp., *Daphnia obtusa*, *Moina macrocopa*(모이나물벼룩), *Simocephalus vetulus*(긴눈시모물벼룩)으로 모두 조선대학교에서, 국제표준종인 *Daphnia magna*는 한국화학연구소에서 분양받아 농업과학기술원 생태독성실험실에 계대배양 하면서 사용하였다. 실내 계대배양 시 온도, 광, 먹이, 사육수 등의 사육조건은 김 등(2006)이 한국산물벼룩 중간 life cycle 비교시험에서 사용한 방법에 따랐다. 시험에 사용한 물벼룩은 모두 24시간 이전에 출산한 건강한 어린개체를 채집하여 사용하였다.

실험에 사용한 농약은 우리나라에서 사용 중인 농약 중에서 유기인계인 diazinon, 트리아졸계인

myclobutanil, 피레스로이드계인 fenpropathrin, 카바메이트계인 carbofuran과 이미다졸계인 iprodione의 5약제를 사용하였다.

시험대상 농약의 물벼룩에 대한 독성범위를 알아보기 위해 125 mL의 원형 유리수조에 사육수 100 mL를 담은 후 시험농약을 0.01, 0.1, 1, 10 mg L⁻¹로 처리하고, 준비된 어린물벼룩을 10마리씩 넣은 후 시험용액의 교환 없이 48시간 동안 관찰하였다. 범위찾기 실험 종료 후 유영저해 개체수를 조사하여 5종의 물벼룩에 대한 각 농약의 무영향농도와 100%영향농도를 구하였다. 위의 농도범위에서 무영향농도와 100%영향농도를 구하지 못한 diazinon과 fenpropathrin은 다시 농도범위를 낮추어 0.01, 0.001, 0.0001, 0.00001, 0.000001mg L⁻¹에서 재시험을 실시하였다.

본 실험은 범위 찾기 실험을 통하여 확인된 독성범위에 따라 적절한 등비급수로 시험농도를 설정한 후, 시험농도에 따라 배양액에 시험물질용액을 일정량 가하여 시험용액을 조제하였다. 시험방법은 예비시험과 동일하나 반복을 3반복으로 하여 한 농도 당 총 30마리의 물벼룩을 사용하였고 노출 48시간 후의 유영저해개체수를 조사하고 반수유영저해농도(EC₅₀)를 probit 법과 moving average angle법을 이용하여 산출하였다.

결과 및 고찰

유기인계 살충제 diazinon의 *D. magna*, *D. obtusa*, *Daphnia* sp., *M. macrocopa*, *S. vetulus*에 대한 48시간 EC₅₀은 각각 0.81, 1.7, 2.2, 4.5, 23 µg L⁻¹였다. 가장

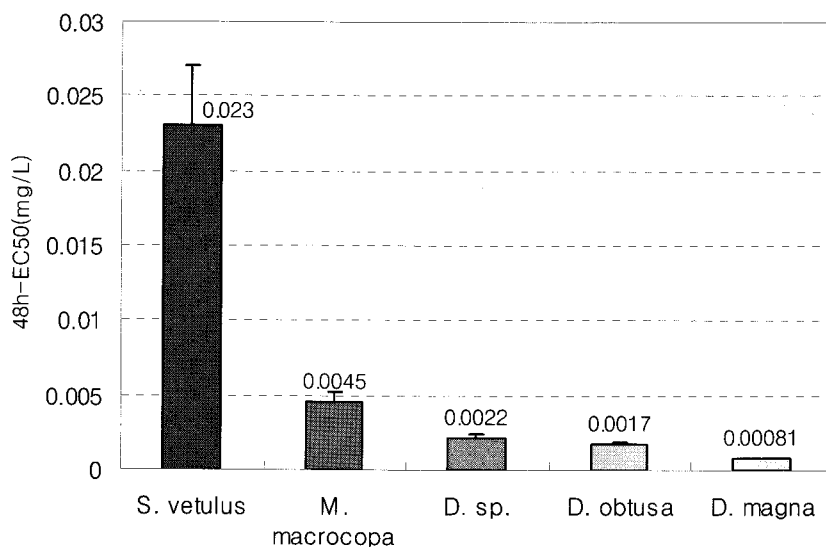


Fig. 1. Acute toxicity of diazinon for five cladocerans.

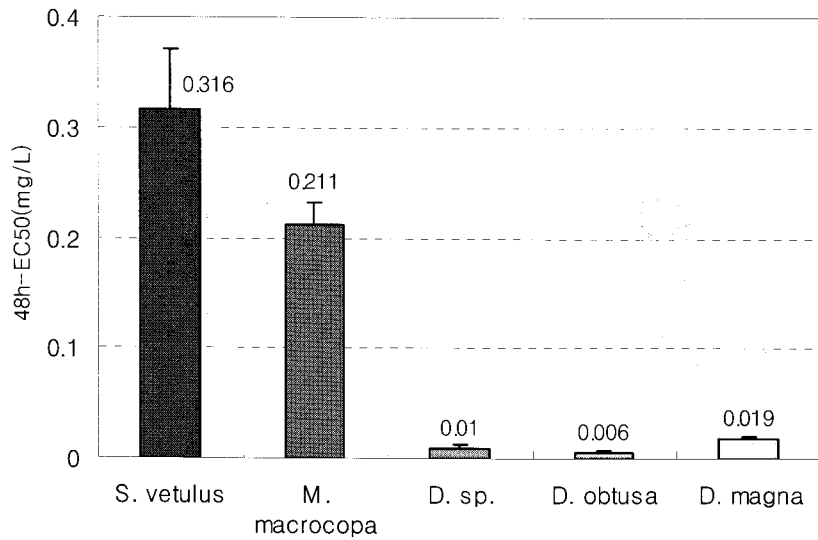


Fig. 2. Acute toxicity of carbofuran for five cladocerans.

민감한 종인 *D. magna*와 가장 둔감한 종인 *S. vetulus* 간의 독성치 차이는 27.8배 이었다. Pesticide Manual (1994)에 따르면 diazinon의 *Daphnia*에 대한 24시간 EC₅₀은 1.4 mg L⁻¹로 표시되어 있으나 Sánchez 등 (1999)은 24시간 LC₅₀이 0.86(0.76~0.96) µg L⁻¹로, Ankley 등(1991)은 0.80 µg L⁻¹라고 보고하였다. 본 시험의 결과에서 5종 물벼룩에 대한 48시간 EC₅₀이 0.81~22.5 µg L⁻¹로 조사되어 Sánchez 등(1999)과 Ankley 등(1991)이 보고와 유사한 결과를 얻었다.

카바메이트계 살충제 carbofuran의 *D. obtusa*, *Daphnia* sp., *D. magna*, *M. macrocopa*, *S. vetulus*에 대

한 48시간의 EC₅₀은 각각 6, 10, 19, 211, 316 µg L⁻¹였다. 가장 민감한 *D. obtusa*와 가장 둔감한 *S. vetulus*간의 독성치 차이는 52.7배로 시험에 사용한 5종의 농약 중 가장 큰 차이를 보였다. Tomlin(1994)은 carbofuran의 *Daphnia*에 대한 48시간 EC₅₀은 15 µg L⁻¹로 보고하였는데 본시험에서 5종 물벼룩의 48시간 EC₅₀이 6~420 µg L⁻¹로 나타나 참고문헌과 유사한 결과를 보였다.

피레스로이드계 살충제인 fenpropathrin은 시험에서 사용한 계통별 농약 5종 중에 가장 높은 독성을 보였는데 *D. magna*, *Daphnia* sp., *D. obtusa*, *M. macrocopa*,

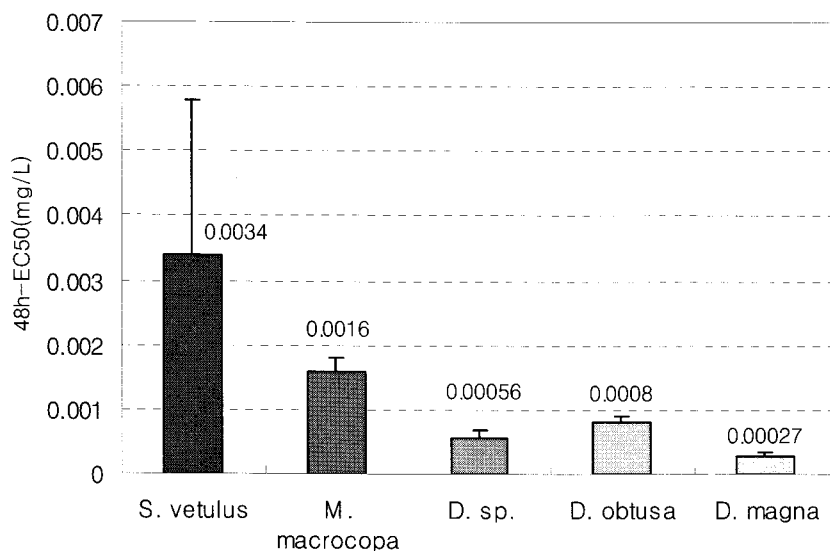


Fig. 3. Acute toxicity of fenpropathrin for five cladocerans.

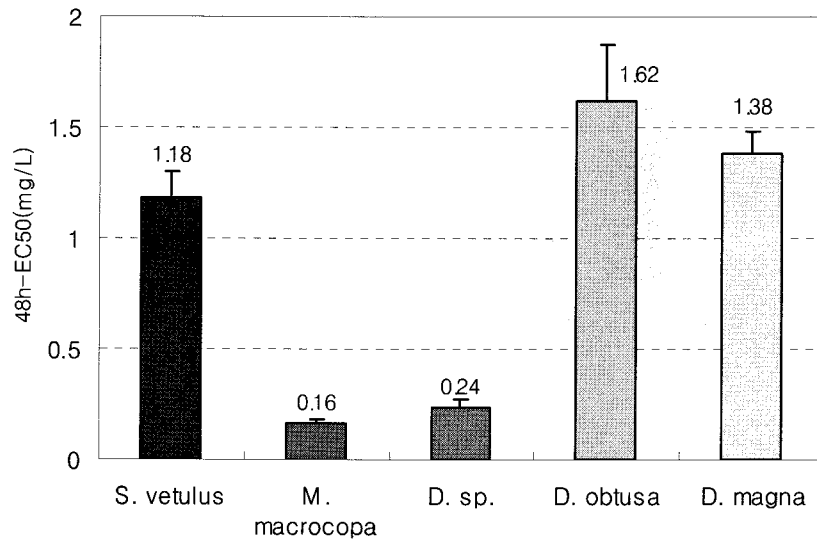


Fig. 4. Acute toxicity of iprodione for five cladocerans.

*S. vetulus*에 대한 48시간 EC₅₀은 각각 0.27, 0.56, 0.8, 1.6, 3.4 $\mu\text{g L}^{-1}$ 이었다. 가장 민감한 *D. magna*와 가장 둔감한 *S. vetulus*간의 독성치는 12.6배의 차이를 보였다.

Tomlin(1994)은 fenpropathrin의 bluegill sunfish에 대한 48시간 LC₅₀을 1.95 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 보고하였으나 물벼룩에 대한 독성자료는 찾을 수 없었다.

본 시험의 결과에서 5종 물벼룩의 48시간 EC₅₀이 0.27~3.4 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 매우 높은 독성을 나타내어 fenpropathrin은 어류에 대한 독성과 물벼룩에 대한 독성이 유사함을 보여 주었다. 다른 피레스로이드계 살충제의 물벼룩에 대한 독성연구결과를 보면 tefluthrin의 *D. magna*에 대한 72시간 EC₅₀이 0.41 $\mu\text{g L}^{-1}$ 라는 Hamer 등(1992)의 보고와 bifenthrin의 *C. dubia*에 대한 48시간 EC₅₀은 0.07 $\mu\text{g L}^{-1}$, *D. magna*에는 0.32 $\mu\text{g L}^{-1}$ 이며 lambda cyhalothrin의 *C. dubia*에 대한 48시간 EC₅₀은 0.30 $\mu\text{g L}^{-1}$, *D. magna*에는 1.04 $\mu\text{g L}^{-1}$ 라는 Mokry와 Hoagland(1990)의 보고 등에서 볼 때 피레스로이드계 농약은 물벼룩에 대한 급성독성이 매우 강한 것으로 판단되며 이는 본 시험의 결과에서도 알 수 있었다.

이미다졸계 살균제 iprodione의 *M. macrocopa*, *Daphnia* sp., *S. vetulus*, *D. magna*, *D. obtusa*에 대한 48시간 EC₅₀은 각각 0.16, 0.24, 1.18, 1.38, 1.62 mg L⁻¹이었다. 가장 민감한 *M. macrocopa*와 가장 둔감한 *D. obtusa*간의 독성치는 10배 차이를 보였다. Tomlin (1994)은 iprodione의 *Daphnia*에 대한 48시간 EC₅₀을

0.25 mg L⁻¹로 보고하였는데 본시험에서도 5종 물벼룩의 48시간 EC₅₀이 0.16~1.62 mg L⁻¹로 나타나 유사한 결과를 보였다.

트리아졸계 살균제인 myclobutanil은 본 시험에서 사용한 계통별 농약 5종 중에 가장 독성이 낮았는데 5종의 물벼룩 중에 *D. obtusa*가 이 농약에 대하여 가장 민감한 반응을 보였으며 48시간 EC₅₀은 5.4 mg L⁻¹이었다. 나머지 종은 *S. vetulus*, *Daphnia* sp., *D. magna*, *M. macrocopa*의 순서로 감수성이었으며 48시간의 EC₅₀은 각각 6.4, 7.1, 8.5, 8.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ 이었다. 가장 민감한 *D. obtusa*와 가장 둔감한 *M. macrocopa*간의 독성치의 차이는 1.5배로 5종 농약 중 가장 적은 차이를 보였다.

Myclobutanil의 *Daphnia*에 대한 48시간 EC₅₀이 11 mg L⁻¹로 보고되고 있고, bluegill sunfish에 대한 96시간 LC₅₀이 2.4 mg L⁻¹, rainbow trout에 대해서는 4.2 mg L⁻¹로 보고되고 있어(Tomlin, 1994) 수서무척추동물인 물벼룩보다 어류에 더 독성이 강한 농약으로 추측된다.

본 시험의 결과에서는 5종 물벼룩의 48시간 EC₅₀이 5.5 mg L⁻¹에서 8.5 mg L⁻¹로 Tomlin(1994)의 보고와 유사하였다.

계통별로 선발된 5종의 농약의 물벼룩에 대한 독성을 비교해 보면 피레스로이드계 살충제인 fenpropathrin이 가장 독성이 높았고 그 다음으로 유기인계 살충제인 diazinon, 카바메이트계 살충제인 carbofuran, 이미다졸계 살균제인 iprodione 순이었고, 그리고 트리

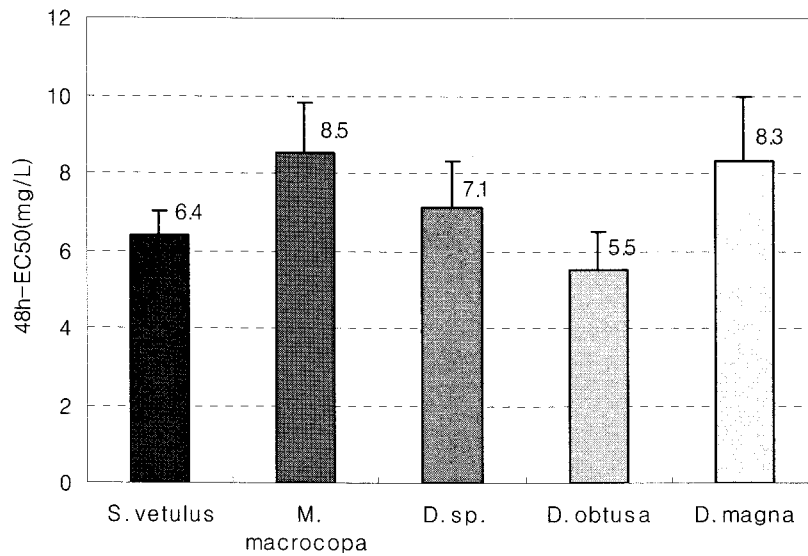


Fig. 5. Acute toxicity of myclobutanil for five cladocerans.

아줄계 살균제 myclobutanil이 가장 독성이 낮게 나타났다.

생물종간의 농약독성반응을 비교해 보면 *Daphnia*속에 속한 3종 물벼룩은 대체적으로 농약에 대한 민감성이 서로 유사함을 보여주었는데, 특히 신경작용기작을 가진 diazinon, carbofuran, fenpropathrin에 대해서는 타 종에 비해 민감성이 훨씬 높은 것으로 조사되었다. Iprodione은 *M. macrocopa*에 대한 독성이 높게 나타났고 myclobutanil은 시험에 사용된 5종 물벼룩에 대한 독성에 큰 차이를 발견할 수 없었다. 5종 물벼룩간의 48시간 EC₅₀의 상관관계를 조사한 결과 Table 1에서 보는 바와 같이 국내산 물벼룩 4종과 *D. magna*의 48시간 EC₅₀간에는 매우 높은 상관관계가 있음을 알 수 있었으며 이는 각 시험물벼룩 모두가 계통별

농약에 대한 독성발현 경향이 유사함을 보여주었다.

결론적으로 약제에 따른 5종 물벼룩의 독성반응의 상관관계에서는 상관계수(r^2)가 0.95이상으로 매우 높은 상관을 보였고 특히 *D. magna*와 국내서식 *Daphnia*속 2종 물벼룩의 독성반응은 매우 유사하며 농약에 대한 민감성도 높음을 보여 주었다. 시험에 사용한 물벼룩중 *S. vetulus*는 농약에 대한 민감성이 현저히 낮아 표준독성시험을 위한 생물종으로 활용하는 것은 바람직하지 않을 것으로 판단된다. Iprodione에 대한 감수성은 국내종인 *M. macrocopa*가 가장 높아 국제종인 *D. magna*가 항상 농약에 대한 민감성이 높은 것은 아님을 알 수 있었다. Mark와 Solbé(1998)는 *D. magna*와 *Ceriodaphnia* spp. 및 *D. purex*의 화학물질에 대한 급·만성독성시험의 성적들을 조사하여 종간의

Table 1. Correlation analysis of species sensitivity using 48h-EC₅₀ of each cladocerans

Y \ X	Linear regression equation and correlation coefficient (r)			
	<i>D. sp.</i>	<i>D. obtusa</i>	<i>S. vetulus</i>	<i>M. macrocopa</i>
<i>Daphnia magna</i>	Y=-0.21+0.87X r=0.9911**	Y=0.15+0.66X r=0.9912**	Y=0.11+0.76X r=0.9991**	Y=-0.22+1.03X r=0.9877**
<i>Daphnia sp.</i>	-	Y=0.35+0.73X r=0.9649**	Y=0.32+0.86X r=0.9896**	Y=0.02+1.19X r=0.9995**
<i>Daphnia obtusa</i>	-	-	Y=-0.04+1.14X r=0.9908**	Y=-0.38+1.51X r=0.9585*
<i>Simocephalus vetulus</i>	-	-	-	Y=-0.38+1.36X r=0.9870**

* P=0.05. ** P=0.01.

감수성을 비교한 결과 *D. magna*가 특별히 감수성이 높거나 낮은 경향을 확인할 수 없었다고 보고한 바 있다. 따라서 농약등록을 위한 생태위해성 평가시 독성물질에 대한 감수성이 비교적 높은(김 등, 2005) *D. magna*에 대한 농약독성성적 만으로는 국내 농업환경에 가장 널리 분포하는 *M. macrocopa*와 같은 물벼룩 또는 수서무척추동물의 안전성을 완벽하게 보호하기는 어려우며 따라서 국내종에 대한 다양한 독성자료를 축적할 필요가 있을 것으로 판단된다.

인용문헌

- Ankley, G. T., J. R. Dierkes, D. A. Jensen, and G. S. Peterson. 1991. Piperonyl butoxide as a tool in aquatic toxicological research with organophosphate insecticides, *Ecotox. Environ. Saf.* 21:266~274.
- Hamer, M. J., S. J. Maund, and I. R. Hill. 1992. Laboratory method for evaluating the impact of pesticides on water/sediment organisms. Brighton Crop Protection Conference-Pest and Disease. 6A-4:487~496.
- Mark, U. and J. Solbé (1998) Analysis of the ECETOC AQUATIC TOXICITY(EAT) Database, V-The relevance of *Daphnia magna* as a representative test species. *Chemosphere.* 36(1):155~166.
- Mokry, L. E. and K. D. Hoagland. 1990. Acute toxicities of five synthetic pyrethroid insecticides to *Daphnia magna* and *Ceriodaphnia dubia*. *Environ. Toxcol. Chem.* 9:1045~1051.
- OECD (1984) *Daphnia* sp., acute immobilization test and reproduction test. OECD guideline for testing of chemicals No.202.
- Posthuma L., Suter II G. W., and Traas T. P. (2002) Species sensitivity distributions in ecotoxicology. Lewis publisher.
- Sánchez, M., M. D. Ferrando, E. Sancho, and E. Andreu. 1999. Assessment of the toxicity of a pesticide with a two-generation reproduction test *Daphnia magna*. *Comp. Biochem. Physiol. Part C.* 124:247~252.
- Tomlin, C. 1994. The pesticide manual, 10th ed. Crop Protection Publication.
- USEPA (1992) OPPTS 850.1010 Aquatic invertebrate acute toxicity test, freshwater Daphnids, Ecological Effects Test Guidelines.
- 김병석, 박연기, 신진섭, 김진화, 안용준 (2004) 한국산 물벼룩의 먹이조건별 번식영향. *농약과학회지* 8(2):117~128.
- 김병석, 박연기, 박경훈, 신진섭, 김진화, 안용준 (2005) 표준생태독성시험법 개발을 위한 한국산 물벼룩의 최적사육온도 구명. *농약과학회지* 9(3):221~230.
- 김병석, 박연기, 박경훈, 김진경, 신진섭, 김진화, 윤성명, 안용준 (2006a) 표준생태독성시험법 개발을 위한 한국산 물벼룩의 최적사육수 선발. *농약과학회지* 10(3):189~195.
- 김병석, 박연기, 박경훈, 신진섭, 김진화, 윤성명, 안용준 (2006b) 실내사육조건에서 한국산 물벼룩 중간 life cycle 비교. *농약과학회지* 10(3):196~200.
- 김일희 (1988) 한국 담수산 물벼룩류에 대한 검색표. *한국동물분류학회지* 특간 제 2호, 43~65.
- 윤성명 (1993) 한국산 새가류(갑각 상강, 새가 강)의 계통분류 및 분자진화에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문.

한국산 물벼룩에 대한 수중 농약의 급성독성
김병석* · 박연기 · 박경훈 · 정미혜 · 유아선 · 양유정 · 신진섭 · 김진화 · 윤성명¹ · 안용준²

 농업과학기술원 농산물안전성부, ¹조선대학교 과학교육학부, ²서울대학교 농생명공학부

요약 : 국내서식 물벼룩종을 이용한 표준생태독성시험법 개발을 위한 기초연구로서 4종의 한국산 물벼룩 *Daphnia* sp., *Daphnia obtusa*, *Moina macrocopa*, *Simocephalus vetulus*과 국제표준종 *Daphnia magna*에 대한 5종 농약에 대한 급성독성반응을 조사하였다. Diazinon의 *D. magna*, *D. obtusa*, *Daphnia* sp., *M. macrocopa*, *S. vetulus*에 대한 48시간 EC₅₀은 각각 0.81, 1.7, 2.2, 4.5, 23 µg L⁻¹였다. Carbofuran의 *D. obtusa*, *Daphnia* sp., *D. magna*, *M. macrocopa*, *S. vetulus*에 대한 48시간의 EC₅₀은 각각 6, 10, 19, 211, 316 µg L⁻¹였다. 가장 민감한 *D. obtusa*와 가장 둔감한 *S. vetulus*간의 독성치 차이는 52.7배로 시험에 사용한 5종의 농약 중 가장 큰 차이를 보였다. Fenpropathrin은 시험에서 사용한 계통별 농약 5종 중에 가장 높은 독성을 보였는데 *D. magna*, *Daphnia* sp., *D. obtusa*, *M. macrocopa*, *S. vetulus*에 대한 48시간 EC₅₀은 각각 0.27, 0.56, 0.8, 1.6, 3.4 µg L⁻¹이었다. Iprodione은 *M. macrocopa*에 대한 독성이 가장 강해서 48시간의 EC₅₀이 0.16 mg L⁻¹이었으며 *Daphnia* sp., *S. vetulus*, *D. magna*, *D. obtusa*의 48시간의 EC₅₀은 각각 0.24, 1.18, 1.38, 1.62 mg L⁻¹으로 독성이 낮았다. Myclobutanil은 본 시험에서 사용한 계통별 농약 5종 중에 가장 독성이 낮았는데 5종의 물벼룩 중에 *D. obtusa*가 이 농약에 대하여 가장 민감한 반응을 보였으며 48시간 EC₅₀은 5.4 mg L⁻¹이었다. 물벼룩 종 간에 1.3배에서 많게는 52.7배까지 급성독성값의 차이를 보여 특정농약에 대한 종간 감수성차이를 확인할 수 있었으나 여러 농약에 대한 급성독성반응의 상관성을 비교한 결과에서는 약제별 독성반응이 매우 유사함을 보여주었다. 특히 *D. magna*와 국내서식 *Daphnia*속 2종 물벼룩의 독성반응은 매우 유사하며 비교적 농약에 대한 민감성도 높음을 보여 주었다. Iprodione에 대한 감수성은 국내종인 *M. macrocopa*가 가장 높아 국제종인 *D. magna*가 항상 농약에 대한 민감성이 높게 나타나는 것은 아님을 알 수 있었다. 시험에 사용한 물벼룩종 중 *S. vetulus*는 농약에 대한 민감성이 현저히 낮아 표준독성시험을 위한 생물종으로 활용하는 것은 바람직하지 않을 것으로 판단된다.

 색인어 : 지각 목(目), 급성독성, 종 선택성
