곤쟁이, *Neomysis japonica*에 대한 여러 가지 중금속의 급성독성

민은영·김용석·김성수[1]·김성길[1]·황운기[2]·강주찬*
부경대학교 수산생명의학과, [1]국립수산과학원 환경관리과,
[2]국립수산과학원 서해수산연구소

Acute Toxicity of Various Heavy Metals on Mysid, *Neomysis japonica*

EunYoung Min, YoungSug Kim, Seong-Soo Kim[1],
Seong-Gil Kim[1], Un-Gi Hwang[2] and Ju-Chan Kang*
Department of Aquatic Life Medicine, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea
[1]Marine Management team, NFRDI, Busan 619-705, Korea
[2]West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Incheon 400-420, Korea

In order to estimate acute toxicity of various heavy metals on mysid, *Neomysis japonica*, the experiments were conducted by renewal bioassay method at 20 ± 0.5℃ and 30 ± 0.3 psu salinity. The 96 hr LC_{50} of *Neomysis japonica* exposed to cadmium, copper, zinc, arsenic, lead and chromium were 90.4 ㎍/L, 82.3 ㎍/L, 646.1 ㎍/L, 1488.5 ㎍/L, 1758.8 ㎍/L and 1609.6 ㎍/L, respectively, and were ranked in order of toxicity: copper> cadmium> zinc> arsenic> chromium> lead.

Key words: *Neomysis japonica*, Heavy Metals, Acute Toxicity, 96 hr LC_{50}

서 론

연안에 존재하는 독성화학물질의 위해성 평가는 그들 화학물질의 특성 및 위해강도 등에 대한 분석을 바탕으로 이루어져야 한다. 그러나 연안에 존재하는 독성화학물질의 종류는 다양하며, 이화학적 분석만으로는 해양생물의 독성을 평가하는 것은 한계가 있기 때문에 생물검정은 연안에 존재하는 화학물질의 잠재적 독성정도를 평가하는데 유용하며, 이화학적 평가를 보완할 수 있다 (EPA, 1989). 일반적으로 해양생물에 대한 급성독성은 시험물질을 단일용량으로 노출시켜 짧은 시간 내에 유해성이 나타나는 것을 의미하며, 독성평가에 있어 상대적 독성에 대한 정보를 제공하는 첫 단계로 흔히 반수치사농도 (LC_{50})가 사용된다. 연안환경으로 유입되는 중금속은 오염원에 있어서도 복잡하고 다양한 형태로 변모되며, 여러 가지 변화를 거치면서 생물에 영향을 미치거나 축적된다. 따라서 해양생물에 대한 중금속의 독성 연구는 어류를 비롯하여 무척추동물, 특히 갑각류에 대해서도 연구들이 진행되었다 (Connor, 1972; Lussier et al., 1985; Emson and Crane, 1994; Erk et al., 2008)

곤쟁이류는 주로 하구역, 내해 및 내만의 얕은 장소에 분포하는 근저서성 동물플랑크톤으로 세계적으로 분포하고 있다 (Mauchline and Murano, 1977). 이들은 어류 및 다른 갑각류의 주요 먹이, 특히 우리나라 사니질 연안에서는 어류 (넙치류, 망둥어류 등) 및 중대형 갑각류 (대하, 자주새우 및 줄새우류) 등에 있어 중요한 먹이생물이다 (Hong and Oh, 1989). 이 같이 곤쟁이류는 해산동물의 먹이로 생태적으로 중요한 위치에 있으며, 개체의 크기가 비교적 소형이면서 연중생식을 하여 다세대를 형성하며, 실내 사육이 용이하기 때문에 해양 독성물질에 대한 생물검정 시험의 재료로 많은 장점을 가지고 있다 (Gaudy et al., 1991).

따라서 본 연구는 연안에 존재하는 유해화학물질에 대한 급성독성의 정도를 평가하기 위하여 곤쟁이 (*Neomysis japonica*)를 대상으로 여러 가지 중금속에 대한 96시간 반수치사농도 (96 hr LC_{50})를 검토하였다.

Corresponding author: jckang@pknu.ac.kr

재료 및 방법

시험동물

곤쟁이, *N. japonica*는 곤쟁이 양성장에서 구입하여 실험실로 운반 한 후, 용량 0.2톤 PVC 수조에 수용하여 *Artemia* sp. 부화유생을 먹이로 공급하면서 10일 동안 순치시켰다. 순치가 완료된 곤쟁이는 외관상 건강한 전장 6.2-8.0 mm의 개체를 선별하여 시험조건에 따라 각각 20개체를 사용하였다.

시험조건

중금속에 대한 곤쟁이의 급성독성의 시험조건은 Table 1과 같다. 즉 시험은 20 ± 1.0℃로 조절이 가능한 항온실에서 실시하였고, 염분은 30 ± 0.3 psu로 조절하였다. 급성독성 시험은 500 mL 유리병에 300 mL의 시험용액을 주입하였고, 이때 시험용액의 해수는 여과 (GF/C, Whatman) 후 자외선으로 살균하였다. 산소는 지속적으로 공급하였으며, 광주기는 12L:12D로 조절하였고, 시험기간 동안 중금속의 농도변화

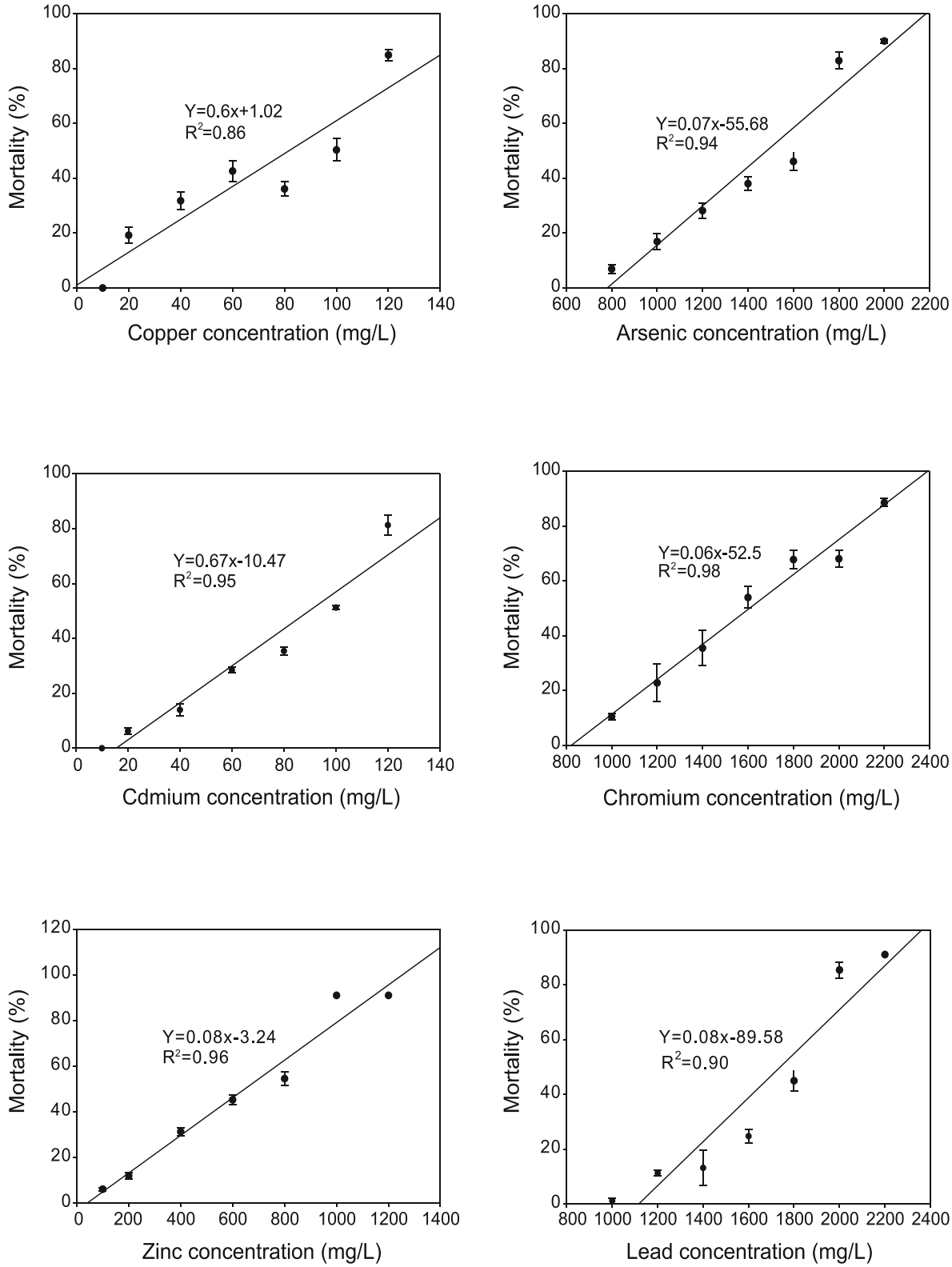

Fig. 1. Linear relationship between *Neomysis japonica* mortality and copper, cadmium, zinc, arsenic, chromium and lead concentration.

Table 1. Acute toxicity test condition of heavy metals for *Neomysis japonica*

Test parameters	Conditions
Culture type	renewal 24h acute toxicity test
Photoperiod	ambient light condition and 12L:12D periods
Temperature	20±0.5℃
pH	8.0±0.2
Salinity	30±1 psu
Chamber volume	500 mL glass
Solution	filtered (0.45㎛) and sterilized seawater
NO of organisms per chamber	20
Experiment period	96 hours
Investigation item	survival rate

Table 2. The 96 hr LC_{50} values and confidence limit of *Neomysis japonica* exposed to heavy metals

Heavy metals	96hr LC_{50} (㎍/L)	Experimental condition			
		Temp. (℃)	Salinity (psu)	DO (mg/L)	pH
Cu	82.3 (72.2~94.3)	20±0.3	30±0.8	7.2±0.3	8.0±0.4
Cd	90.4 (85.2~96.4)	20±0.4	30±0.7	7.0±0.5	7.9±0.3
Zn	646.1 (606.5~686.5)	20±0.2	30±0.7	7.1±0.4	8.0±0.4
As	1488.5 (1430.7~1549.2)	20±0.2	30±0.6	7.3±0.3	8.1±0.2
Cr	1609.6 (1549.3~1670.1)	20±0.4	30±0.5	7.0±0.6	7.9±0.3
Pb	1758.8 (1704.6~1816.4)	20±0.2	30±0.6	7.2±0.4	8.1±0.2

및 수질악화를 예방하기 위하여 시험용액은 매일 새로운 용액으로 교환하였다. 곤쟁이는 시험구간에 따라 각각 20개체를 수용하였으며, 모든 시험은 동일한 시험조건에서 3반복 실시하였다.

시험용액

중금속은 구리 (Cu, Cu standard solution, Aldrich), 카드뮴 (Cd, Cd standard solution, Aldrich), 아연 (Zn, Zn standard solution, Aldrich), 비소(As, As standard solution, Junsei), 크롬 (Cr, Cr standard solution, Junsei) 및 납 (Pb, Pb standard solution, Junsei)에 대하여 각각의 standard solution을 조제하여 자외선으로 살균한 해수로 희석하여 시험용액으로 사용하였다. 중금속의 시험농도는 예비시험을 바탕으로 구리와 카드뮴은 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120 ㎍/L, 아연은 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200 ㎍/L, 비소는 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000 ㎍/L 및 크롬과 납은 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200 ㎍/L의 각각 7구간을 설정하였다.

통계분석

96시간 반수치사농도 (96 hr LC_{50})는 SPSS 통계 프로그램 (SPSS Inc.)을 이용하여 probit 분석법으로 산출하였으며, 대조구와 시험구 사이의 유의성은 분산분석 (ANOVA)에 의해 검정하였다.

결 과

생존율

각각의 중금속에 대한 곤쟁이의 생존율을 Fig. 1에 나타냈다. 대조구에서 곤쟁이의 생존율은 모든 시험기간(96시간) 동안 95%이상을 나타냈다. 한편 구리 및 카드뮴에 노출시킨 곤쟁이는 10 ㎍/L에서 100% 생존하였으나, 구리 100 ㎍/L에서는 50%, 구리 120 ㎍/L에서는 15%, 카드뮴 100 ㎍/L에서는 49%, 카드뮴 120㎍/L에서는 19%가 생존하였다. 아연에 노출시킨 곤쟁이의 생존율은 100 ㎍/L에서 94%, 800 ㎍/L에서는 45%, 1000, 1200 ㎍/L에서는 9%를 나타냈다. 비소에 노출시킨 곤쟁이의 생존율은 800 ㎍/L에서 93%, 1600 ㎍/L에서 54%, 2000 ㎍/L에서는 10%를 나타내어 농도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 크롬과 납에 노출시킨 곤쟁이는 1000 ㎍/L에서 각각 90과 99%가 생존하였고, 크롬 1600 ㎍/L에서 47%, 납 1800 ㎍/L에서 56%, 2200 ㎍/L에서는 각각 12와 9%가 생존하였다.

반수치사 농도

96시간의 시험기간 동안 각각의 중금속에 노출시킨 곤쟁이의 96시간 반수치사 농도 (96 hr LC_{50})를 Table 2에 나타냈다. 중금속에 노출시킨 곤쟁이의 96 hr LC_{50}은 구리 82.36 ㎍/L, 카드뮴 90.4 ㎍/L이였고, 아연은 구리와 카드뮴에 비해 약 8배 높은 646.1 ㎍/L을 나타냈다. 또한 비소, 크롬 및 납의 96 hr LC_{50}은 구리, 카드뮴에 비해 현저히 높은 각각 1488.5 ㎍/L, 1609.6 ㎍/L, 1758.8 ㎍/L을 나타냈다. 한편 곤쟁이에 대한 중금속의 급성독성 (96 hr LC_{50}) 시험 결과, 중금속 종류별 독성순위는 구리> 카드뮴> 아연> 비소> 크롬> 납 순으로 나타났다.

고 찰

일반적으로 수생동물에 미치는 중금속의 독성은 수온, 염분 및 용존산소 등과 같은 환경요인과 동물의 생리생태 및 생물 종에 따라 다르게 나타나며, 급성 독성실험은 독성물질에 대한 동물의 민감성을 측정하는 수단으로 활용될 수도 있다 (De Listle and Roberts, 1988).

본 연구의 수온 20℃ 및 염분 30 psu에서 곤쟁이, *N. japonica*의 96 hr LC_{50}은 구리 82.36 ㎍/L, 카드뮴 90.4 ㎍/L, 아연 646.1 ㎍/L, 비소 1488.5 ㎍/L, 크롬 1609.6 ㎍/L 및 납 1758.8 ㎍/L을 나타냈다. 따라서 곤쟁이의 96 hr LC_{50}값을 다른 곤쟁이 종류와 비교하기 위하여 Table 3에 정리하였다. Lussier et al. (1985)에 의하면 *Mysidopsis bahia*의 96 hr LC_{50}은 구리 181 ㎍/L, 카드뮴 110 ㎍/L, 아연 499 ㎍/L, 비소 1,740 ㎍/L, 크롬 2,030 ㎍/L 및 납 3,130 ㎍/L을 보고하였고, Verslycke et al. (2003)는 *Neomysis interger*에 있어 구리, 카드뮴 및 아연의 96 hr LC_{50}은 각각 68 ㎍/L, 318 ㎍/L 및 1,037 ㎍/L을 보고하였다. 또한 카드뮴에 대한 *N. interger*의 96 hr LC_{50}은 190.5 ㎍/L이었고 (Erk et al., 2008), 아연과 크롬에 대한 *Praunus flexuosus*의 96hr LC_{50}은 각각 10,000 ㎍/L, 3,000 ㎍/L이었다 (Donald and Hagerman., 1987). 따라서 *N. japonica*의 구리, 카드뮴, 아연, 비소, 크롬 및 납의 96 hr LC_{50}은 다른 종류의 곤쟁이에 비해

Table 3. Comparison of the 96 hr LC50 values of heavy metals for *Neomysis japonica* and mysid species

Heavy metal	Species	Time (hr)	LC50 (㎍/L)	Source
Cu	*Mysidopsis bahia*	96	181	Lussler et al. (1985)
	Neomysis interger	96	68	Verlycke et al. (2003)
	Neomysis japonica	96	82.3	Present study
Cd	*Mysidopsis bahia*	96	110	Lussler et al. (1985)
	Neomysis interger	96	318	Verlycke et al. (2003)
		96	190.5	Erk et al. (2008)
	Leptomysis lingvura	48	500~1,000	Gaudy et al. (1991)
	Neomysis japonica	96	90.4	Present study
Zn	*Mysidopsis bahia*	96	499	Lussler et al. (1985)
	Neomysis interger	96	1,037	Verlycke et al. (2003)
	Praunus flexuosus	96	10,000	Donald et al. (1987)
	Neomysis japonica	96	646.1	Present study
As	*Mysidopsis bahia*	96	1,740	Lussler et al. (1985)
	Neomysis japonica	96	1,489	Present study
Cr	*Mysidopsis bahia*	96	2,030	Lussler et al. (1985)
	Praunus flexuosus	96	3,000	Donald et al. (1987)
	Neomysis japonica	96	1,610	Present study
Pb	*Mysidopsis bahia*	96	3,130	Lussler et al. (1985)
	Neomysis interger	96	4,274	Verlycke et al. (2003)
	Neomysis japonica	96	1,759	Present study

대부분의 중금속에서 낮게 나타났으며, 중금속 종류에 따라 2배 이상의 차이를 나타냈다. 이 같은 결과는 기존의 연구에서 수온 및 염분이 각각 15～23℃, 20～30 psu와 같이 시험조건이 차이에서도 기인할 수도 있으나, 이들 시험조건 차이가 유사하거나 그리 크지 않은 점을 감안할 때, *N. japonica*는 중금속에 대해 다른 곤쟁이류에 비해 민감한 종으로 생각된다.

*N. japonica*에 대한 중금속의 독성 순위는 구리 > 카드뮴 > 아연 > 비소 > 크롬 > 납 순으로 나타나 구리가 가장 독성정도가 강하게 나타났다. Connor (1972)에 의하면 갑각류 *Metapenaeus ensis, Crangon crangon*에 있어 중금속의 독성은 구리가 가장 강하다고 보고하였고, Verriopoulos et al. (1987)는 구리와 비교하여 크롬은 비교적 독성이 약하다고 보고하였다. 또한 패류인 굴에 대한 중금속의 독성은 구리 > 카드뮴 > 크롬의 순이었고 (Connor, 1972), 곤쟁이, *Mysidopsis bahia*에 있어 중금속의 독성 순위는 구리와 카드뮴을 제외하고 본 연구 결과와 동등한 독성순위를 나타냈다 (Lussier et al., 1985). 이상과 같이 다른 곤쟁이류와 *N. japonica*에 있어 중금속에 대한 독성을 비교한 결과, 구리와 카드뮴은 아연, 비소, 크롬 및 납에 비해 강한 독성을 나타냈다. 따라서 연안에 중금속 농도가 구리 82 ㎍/L, 카드뮴 90 ㎍/L, 아연 646 ㎍/L, 비소 1489 ㎍/L, 크롬 1610 ㎍/L 및 납 1759 ㎍/L 이상의 농도로 존재할 경우에 곤쟁이 *N. japonica*의 분포와 개체군에 상당한 영향을 미칠 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 국토해양부에서 시행하는 “해양환경 기준설정 및 개선방안 연구” 결과의 일부입니다.

참고문헌

Connor PM. 1972. Acute toxicity of heavy metals to some marine larvae. Mar Pollut Bull 3, 190-192.

De Listle PF and Roberts MH. 1988. The effects of salinity on cadmium toxicity to the estuarine mysid *Mysidopsis bahia*: role of chemical speciation. Aquat Toxicol 12, 357-370.

Donald SM and Hagerman L. 1987. The toxicity of chromium, nickel and zinc: effects of salinity and temperature, and the osmorgulatory consequences in the mysid *Praunus flexuosus*. Aqut Toxicol 10, 225-238.

Emson S and Crane M. 1994. A comparison of the toxicity of cadmium to the mysid shrimps *Neomysis interger* (Leach) and *Mysidopsis bahia* (Molenock). Water Res 28, 1711-1713.

EPA. 1989. Short-term method for estimating the chronic toxicity of effluent and receiving water to freshwater organism, U.S.EPA-600/4-89-001.

Erk M, Muyssen BTA, Ghekiere A and Janssen CR. 2008. Metallothionein and cellular energy allocation in the estuarine mysid shrimp *Neomysis integer* exposed to cadmium at different salinities. J Exp Ma. Biol Ecol 357, 172-180.

Gaudy R, Guerin JP and Kerambrun P. 1991. Sublethal effects of cadmium on respiratory metabolism, nutrition, excretion and hydrolase activity in *Leptomysis lingvura* (Crustacea: Mysidacea). Mar Biol 109, 493-501.

Hong SY and Oh CW. 1989. Ecology of the sand shrimp, *Crangon affinis* in the Nakdong River estuary, Korea. Bull Korean Fish SOC 22, 351-362.

Lussier SM, Gentile JH and Walker J. 1985. Acute and chronic effects of heavy metals and cyanide on *Mysidopsis bahia* (Crustacea: Mysidacea). Aqut Toxicol 7, 25-35.

Mauchline J and Murano M. 1977. World list of the Mysidacea, Crustacea. J Tokyo Univ Fish 64, 39-88.

Verriopoulos G, Moraitou-Apostolopoulou M and Milliou E. 1987. Combined toxicity of four toxicants (Cu, Cr, oil, oil dispersant) to *Artemia salina*. Bull Environ Contam Toxicol 38, 483-

490.

Verslycke T, Vangheluwe M, Heijerick D, de Schamphelaere K, Van Sprang P and Janssen CR. 2003. The toxicity of metal mixtures to the estuarine mysid *Neomysis integer* (Crustacea: Mysidacea) under changing salinity. Aqut Toxicol 64, 307-315.

2009년 1월 6일 접수
2009년 10월 7일 수정
2009년 12월 10일 수리