망둑어 3종에 대한 중금속의 급성독성

김준환 · 황운기¹ · 강주찬*

부경대학교 수산생명의학과, ¹국립수산과학원 서해수산연구소 해양생태위해평가센터

Acute Toxicity of Heavy Metals in Three Gobiidae Species

Jun-Hwan Kim, Un-Gi Hwang¹ and Ju-Chan Kang*

Department of Aquatic Life Medicine, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

¹National Fisheries Research & Development Institute, West Sea Fisheries Research Institute,

Marine Ecological Risk Assessment Center, Incheon 400-420, Korea

The estuarine Gobiidae *Tridentiger trigonocephalus*, *Chasmichthys dolichognathus* and *Favonigobius gymnauchen* were exposed to various heavy metals. As a measure of acute toxicity, the 96h-LC₅₀ in the three species exposed to copper, lead, zinc and chromium was 740-990, 1,660-1,980, 6,180-8,490 and 8,830-11,296 µg L⁻¹, respectively. In order of toxicity, the heavy metals were ranked copper>lead>zinc>chromium. The Gobiidae *C. dolichognathus* was more sensitive to heavy metals than *T. trigonocephalus* and *F. gymnauchen*.

Key words: Acute toxicity, 96h-LC₅₀, Heavy metals, Gobiidae

서론

수계로 유출되는 중금속은 산업구조의 변천과 더불어 복잡하고 다양한 형태로 변모되며, 여러 가지 변화를 거치면서 수생 생물체에 축적된다. 수계에 존재하는 중금속의 독성 평가는 그들의 특성 및 위해 강도 등에 대한 분석을 바탕으로 이루어져야 하는데, 중금속의 종류가 다양하기 때문에 이화학적 분석만으로 수생생물의 독성을 평가하는 것은 한계가 있다. 일반적으로 수생생물에 대한 급성독성은 시험물질을 단일용량으로 노출시켜 짧은 시간 내에 독성을 나타나는 것을 의미하며, 독성평가에 있어 상대적 독성에 대한 정보를 제공하는 첫 단계로 흔히 반수치사농도(LC₅₀)가 주로 사용된다. 또한 급성독성은 독성물질에 대한 수생생물의 민감성을 측정하는데 주로 이용되며, 생태계 내에서 독성물질 농도는 반수치사농도보다 훨씬 낮게 존재하는 것이 일반적이다. 한편, 수생생물의 중금속 흡수, 축적 및 독성에 대한 내성의 정도는 중금속 및 생물 종에 따라 차이를 나타내며(Rainbow and White, 1989), 염분과 수온 등의 환경요인, 생물 종의 생활사와 크기 등에 따라서도 독성차이를 나타낸다(Ahsanullah, 1976; Furuta et al., 2008; McLeese, 1974). 이에 따라 수생생물에 대한 중금속의 급성독성은 어류를 중심으로 여러 각도에서 연구들이 진행되어 왔다(Alam and Maughan, 1992; Dutta and Kaviraj, 2001; Furuta et al., 2008; Josh, 2005; Krishnani et al., 2003; Rehwoldt et al., 1971; Svecevicius, 2006).

망둑어류, 두줄망둑(*Tridentiger trigonocephalus*)은 주로 강의 하류나 하구 같은 기수지역, 점망둑(*Chasmichthys doli-*

chognathus)은 바위와 암벽으로 이루어진 조간대 바위틈, 날개망둑(*Favonigobius gymnauchen*)은 기수역의 모래진흙 바닥 등에 서식하는 우리나라의 남해 및 서해 연안의 많은 지역에 분포한다. 망둑어류는 대부분 체장 10 cm 전후의 소형어류로 연안 및 하구 생태계의 주요한 위치에 있으며, 채집 및 실내 사육 등이 용이하여 독성물질에 대한 생물검정 시험의 재료로 장점을 가지고 있으나, 이들 중에 따른 독성물질, 특히 중금속에 대한 독성은 검토된 바가 없다. 따라서 본 연구는 3종의 망둑어류에 대한 중금속 독성의 민감성을 검토하기 위하여 구리, 아연, 크롬 및 납에 대한 두줄망둑, 점망둑 및 날개망둑의 급성독성(96-LC₅₀)의 정도를 검토하였다.

재료 및 방법

시험어

망둑어류, 두줄망둑(*Tridentiger trigonocephalus*), 점망둑(*Chasmichthys dolichognathus*) 및 날개망둑(*Favonigobius gymnauchen*)은 5월에서 6월에 걸쳐 부산 다대포 연안, 부산 시 기장군 일광해변, 남해안 연안 등지에서 투망 및 손 그물로 채집하였다. 채집된 망둑어류는 실험실로 운반하여 400 L 순환식 여과수조에서 10일 이상 순치 시켰다. 이때 먹이는 갯지렁이와 패류 육질을 혼합하여 공급하였고, 실험에는 유사한 개체(두줄망둑, 0.27-0.34 g; 점망둑, 0.18-0.23 g; 날개망둑, 0.31-0.39 g)를 선별하여 사용하였다.

시험조건

망둑어류의 중금속에 대한 급성독성의 시험조건은 Table 1

*Corresponding author: jckang@pknu.ac.kr

Table 1. Acute toxicity test condition of heavy metals for 3 species gobiidae

Test parameters	Conditions
Culture type	renewal 24 h acute toxicity test
Photoperiod	ambient light condition and 12L:12D periods
Temperature	20±0.5℃
pH	8.0±0.1
Salinity	30±1 psu
Chamber volume	PVC container (52×36×30 cm)
Solution	filtered (0.45μm) and sterilized seawater
Number of organisms per chamber	10
Experiment period	96 hours
Investigation item	survival rate

과 같다. 즉 시험은 20±0.5℃로 조절이 가능한 항온실에서 실시하였고, 염분은 30±1 psu로 조절하였다. 표준용액은 여과(GF/C, Whatman) 후 자외선으로 살균하였다. 산소는 계속적으로 공급하였으며, 광주기는 12L:12D로 조절하였고, 시험기간 동안 중금속의 농도변화 및 수질악화를 예방하기 위하여 시험용액은 매일 새로운 용액으로 교환하였다. 3종의 망둑어는 시험기간에 따라 각각 10개체를 수용하였으며, 모든 시험은 동일한 시험조건에서 2반복 실시하였다.

시험용액

중금속은 구리(copper atomic absorption standard solution, Aldrich Chem. Co., Inc.), 아연(zinc atomic absorption standard solution, Aldrich Chem. Co., Inc.), 크롬(chromium atomic absorption standard solution, Junsei Co., Inc.) 및 납(lead atomic absorption standard solution, Junsei Co., Inc.)에 대하여 각각의 standard solution을 조제하여 자외선으로 살균한 해수로 희석하여 시험용액으로 사용하였다. 중금속의 시험농도는 예비시험을 바탕으로 구리 200-1400 μg L⁻¹, 아연 2000-12000 μg L⁻¹, 크롬 1000-20,000 μg L⁻¹ 및 납 1000-2200 μg L⁻¹ 범위에서 각각 7구간을 설정하였다.

통계분석

96시간 반수치사농도(96 h-LC₅₀)는 SPSS 통계 프로그램(SPSS Inc.)을 이용하여 probit 분석법으로 산출하였다.

결 과

사망율

96시간의 실험기간 동안 대조구의 망둑어류 사망률은 5%이하를 나타내어 95%이상이 생존하였다. 한편 구리에 노출시킨 두줄망둑, 점망둑 및 날개망둑의 사망률은 200 μg L⁻¹에서 각

Fig. 1. Mortality of 3 species gobiidae exposed to copper (μg L⁻¹).

Fig. 2. Mortality of 3 species gobiidae exposed to zinc ($\mu\text{g L}^{-1}$).

각 5%이하를 나타냈으나, 두줄망둑과 날개망둑은 $1,000 \mu\text{g L}^{-1}$ 이상, 점망둑은 $800 \mu\text{g L}^{-1}$ 이상에서 각각 50% 이상을 나타냈다(Fig. 1). 아연에 노출된 두줄망둑, 점망둑 및 날개망둑의 사망율은 $1,000 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서 각각 5%이하를 나타냈으나, 두줄망둑은 $8,000 \mu\text{g L}^{-1}$ 이상, 점망둑은 $6,000 \mu\text{g L}^{-1}$ 이상, 날개망둑은 $10,000 \mu\text{g L}^{-1}$ 이상에서는 각각 50% 이상을 나타냈다(Fig. 2). 한편, 납에 노출된 두줄망둑 및 점망둑의 사망율은 $1,000 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서 각각 5%이하를 나타냈으나, 두줄망둑은 $2,000 \mu\text{g L}^{-1}$ 이상, 점망둑은 $1,800 \mu\text{g L}^{-1}$ 이상에서는 각각 50% 이상을 나타냈다. 또한 날개망둑의 사망률은 $1,000 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서 1%이하를 나타냈으나, $2,000 \mu\text{g L}^{-1}$ 이상에서는 50% 이상을 나타냈다(Fig. 3). 크롬에 노출시킨 두줄망둑의 사망률은 $1,000 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서 1%이하를 나타냈으나, $2,000 \mu\text{g L}^{-1}$ 이상에서는 50%

Fig. 3. Mortality of 3 species gobiidae exposed to chromium ($\mu\text{g L}^{-1}$).

이상을 나타냈고, 점망둑의 사망률은 $1,000 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서 5%이하를 나타냈으나, $10,000 \mu\text{g L}^{-1}$ 이상에서는 50% 이상을 나타냈다. 날개망둑은 $1,000 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서 100%의 생존하였으나, $20,000 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서는 50% 이상의 사망률을 나타냈다(Fig. 4).

반수치사 농도(LC₅₀)

중금속에 노출시킨 망둑어류의 96시간 반수치사 농도(96 h-LC₅₀)를 Table 2에 나타냈다. 중금속에 대한 두줄망둑의 96 h-LC₅₀은 구리 $850 \mu\text{g L}^{-1}$, 아연 $7430 \mu\text{g L}^{-1}$, 납 $1760 \mu\text{g L}^{-1}$ 및 크롬 $10,330 \mu\text{g L}^{-1}$ 이었고, 점망둑의 96 h-LC₅₀은 구리 $740 \mu\text{g L}^{-1}$, 아연 $6,180 \mu\text{g L}^{-1}$, 납 $1,660 \mu\text{g L}^{-1}$ 및 크롬 $8,830 \mu\text{g L}^{-1}$ 이었다. 또한 날개망둑의 96 h-LC₅₀은 구리 $990 \mu\text{g L}^{-1}$, 아

Fig. 4. Mortality of 3 species gobiidae exposed to lead ($\mu\text{g L}^{-1}$).

연 $8,490 \mu\text{g L}^{-1}$, 납 $1,980 \mu\text{g L}^{-1}$ 및 크롬 $11,290 \mu\text{g L}^{-1}$ 이었다. 한편 중금속에 대한 망둑어류의 민감성은 구리>납>아연>크롬 순으로 독성이 나타났고, 망둑어의 종류에 따른 민감성은 점망둑이 가장 높게 나타났으며, 날개망둑이 가장 낮게 나타났다.

고 찰

일반적으로 수생생물의 중금속 흡수, 축적 및 독성에 대한 민감성은 중금속 및 생물 종에 따라 차이를 보이며(Rainbow and White, 1989), 특히 중금속의 독성은 수온, 염분 및 용존산소 등과 같은 환경요인, 생물 종의 생활사 및 크기에 따라 다르게 나타나며, 급성 독성은 독성물질에 대한 수생생물의 민감성을 측정하는 수단으로 활용될 수도 있다(Ahsanullah, 1976; Furuta et al., 2008; McLeese, 1974).

중금속에 대한 망둑어의 급성독성 실험에서 96시간 반수치사 농도(96 h-LC₅₀)는 두줄망둑에서 구리 $850 \mu\text{g L}^{-1}$, 아연 $7430 \mu\text{g L}^{-1}$, 납 $1760 \mu\text{g L}^{-1}$ 및 크롬 $10,330 \mu\text{g L}^{-1}$, 점망둑에서 구리 $740 \mu\text{g L}^{-1}$, 아연 $6,180 \mu\text{g L}^{-1}$, 납 $1,660 \mu\text{g L}^{-1}$ 및 크롬 $8,830 \mu\text{g L}^{-1}$, 날개망둑에서는 구리 $990 \mu\text{g L}^{-1}$, 아연 $8,490 \mu\text{g L}^{-1}$, 납 $1,980 \mu\text{g L}^{-1}$ 을 나타냈다. 따라서 망둑어의 96 h-LC₅₀값을 다른 어류 종류와 비교하기 위하여 Table 3에 정리하였다. 구리에 대한 망둑어의 96 h-LC₅₀은 $740\text{--}990 \mu\text{g L}^{-1}$ 의 범위를 나타내었고, *Lates calcarifer*, *Roccus saxatilis*, *Lepomis gibbosus* 등은 $230\text{--}4,300 \mu\text{g L}^{-1}$ 의 범위를 나타내어 망둑어는 다른 종보다 민감한 것으로 나타났다(Josh et al., 2005; Krishnani et al., 2003; Rehwoldt et al., 1971). 아연에 대한 망둑어류의 96 h-LC₅₀은 $6,180\text{--}8,490 \mu\text{g L}^{-1}$ 의 범위, 다른 종 어류의 96 h-LC₅₀은 $2,250\text{--}20,010 \mu\text{g L}^{-1}$ 의 범위를 나타내어 망둑어류는 *Cyprinus carpio*보다 민감성이 낮았으나, *Anguilla rostrata*, *Fundulus diaphanus* 및 *Lepomis gibbosus* 종보다는 훨씬 민감한 것으로 나타났다(Alam and Maughan, 1992; Rehwoldt et al., 1971). 크롬에 대한 망둑어류의 96 h-LC₅₀은 $8,830\text{--}11,296 \mu\text{g L}^{-1}$ 의 범위를 나타냈고, 다른 어류의 96 h-LC₅₀은 $27,900\text{--}38,300 \mu\text{g L}^{-1}$ 의 범위를 나타내어 망둑어류는 다른 어류 종보다 훨씬 민감한 것으로 나타났다(Krishnani et al., 2003; Svecovicus, 2006). 한편, 납에 대한 망둑어류의 96 h-LC₅₀은 $1,660\text{--}1,980 \mu\text{g L}^{-1}$ 의 범위를 나타내어 *Oncorhynchus mykiss*과 *Cyprinus carpio* 종보다 민감성이 떨어지는 것으로 나타났다(Alam and Maughan, 1992; Rogers et al., 2003). 이상과 같이 망둑어류의 구리, 아연, 크롬 및 납의 96 h-LC₅₀ 값은 다른 어종에 비해 낮거나 높게 나타

Table 2. The 96 h-LC₅₀ values and confidence limit of 3 species gobiidae exposed to heavy metals

Heavy metals	Time (hr)	Species		
		<i>Tridentiger trignocephalus</i>	<i>Chasmichthys dolichognathus</i>	<i>Favonigobius gymnauchen</i>
Copper ($\mu\text{g L}^{-1}$)	96	850 (790-900)	740 (690-780)	990 (950-1,020)
Zinc ($\mu\text{g L}^{-1}$)	96	7,430 (6,940-7,950)	6,180 (5,730-6,630)	8,490 (8,140-8,870)
Lead ($\mu\text{g L}^{-1}$)	96	1,760 (1,700-1,830)	1,660 (1,600-1,720)	1,980 (1,910-2,050)
Chromium($\mu\text{g L}^{-1}$)	96	10,330 (9,680-11,1200)	8,830 (8,220-9,530)	11,290 (10,780-11,890)

Table 3. Comparison of the 96 h-LC₅₀ values of heavy metals for 3 species gobiidae and fishes

Heavy metals	Species	Time (h)	LC ₅₀ (μg/L)	Source
Copper	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	96	230	Josh et al. (2005)
	<i>Fundulus diaphanus</i>	96	860	Rehwoldt et al. (1971)
	<i>Lates calcarifer</i>	96	1,300	Krishnani et al. (2003)
	<i>Roccus saxatilis</i>	96	4,300	Rehwoldt et al. (1971)
	<i>Lepomis gibbosus</i>	96	2,400	Rehwoldt et al. (1971)
	<i>Cyprinus carpio</i>	96	810	Rehwoldt et al. (1971)
	<i>Tridentiger trigonocephalus</i>	96	850	Present study
	<i>Chasmichthys dolichognathus</i>	96	740	Present study
	<i>Favonigobius gymnauchen</i>	96	990	Present study
Zinc	<i>Anguilla rostrata</i>	96	14,600	Rehwoldt et al. (1971)
	<i>Fundulus diaphanus</i>	96	19,100	Rehwoldt et al. (1971)
	<i>Roccus saxatilis</i>	96	6,700	Rehwoldt et al. (1971)
	<i>Lepomis gibbosus</i>	96	20,010	Rehwoldt et al. (1971)
	<i>Cyprinus carpio</i>	96	2,250	Alam and Maughan (1992)
	<i>Tridentiger trigonocephalus</i>	96	7,430	Present study
	<i>Chasmichthys dolichognathus</i>	96	6,180	Present study
	<i>Favonigobius gymnauchen</i>	96	8,490	Present study
Chromium	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	96	38,300	Svecevicius (2006)
	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	96	28,500	Svecevicius (2006)
	<i>Lates calcarifer</i>	96	27,900	Krishnani et al. (2003)
	<i>Perca fluviatilis</i>	96	33,100	Svecevicius (2006)
	<i>Tridentiger trigonocephalus</i>	96	10,330	Present study
	<i>Chasmichthys dolichognathus</i>	96	8,830	Present study
	<i>Favonigobius gymnauchen</i>	96	11,290	Present study
Lead	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	96	1,010	Rogers et al. (2003)
	<i>Cyprinus carpio</i>	96	1,330	Alam and Maughan (1992)
	<i>Tridentiger trigonocephalus</i>	96	1,760	Present study
	<i>Chasmichthys dolichognathus</i>	96	1,660	Present study
	<i>Favonigobius gymnauchen</i>	96	1,980	Present study

났는데, 이 같은 결과는 실험조건이 차이에서도 기인할 수 있으나, 다른 어종 들이 대부분 담수어종이면서 망둑어류에 비해 대형인 점을 감안한다면, 서식지 및 크기에 따른 차이라고도 생각할 수 있다.

망둑어류에 대한 민감성은 구리>납>아연>크롬 순으로 독성이 나타났고, 점망둑이 가장 민감성이 높았고, 날개망둑이 가장 낮은 민감성을 보였다. Connor (1972)에 의하면 갑각류 *Metapenaeus ensis*, *Crangon crangon*에 있어 중금속의 독성은 구리가 가장 강하다고 보고하였고, Verriopoulos and Dimas (1988)는 구리와 비교하여 크롬은 비교적 독성이 약하다

고 보고하였다. 또한 패류인 굴에 대한 중금속의 독성은 구리>카드뮴>크롬의 순이었고(Connor, 1972), 곤쟁이, *Mysidopsis bahia*는 카드뮴>구리>아연>비소>크롬>납 순으로 독성이 나타나(Lussler et al., 1985) 무척추동물들은 본 실험의 망둑어류와는 중금속에 따라 독성이 강도가 다르게 나타나고 있다. 하지만, 망둑어류는 다른 어종들과 비교하여 유사한 독성순위를 나타나는 것으로 보아(Alam and Maughan, 1992; Rehwoldt et al., 1971) 중금속 종류에 따른 독성강도는 무척추동물과 척추동물에 따라 다르게 나타날 수 있다는 것을 의미한다.

이상의 결과에서 중금속, 구리, 납, 아연 및 크롬에 대한 망둑

어류, 두줄망둑, 점망둑 및 날개망둑의 독성은 구리가 가장 강하게 나타나며, 점망둑이 가장 민감한 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 R&D 과제 “생태독성 평가기법을 이용한 어장건강성 평가” 연구 지원으로 수행하였다.

참고문헌

- Ahsanullah M. 1976. Acute toxicity of cadmium and zinc to seven invertebrate species from a Western port, Victoria. *Aust J Mar Freshwat Res* 27, 187-196.
- Alam MK and Maughan OE. 1992. The effect of malathion, diazinon and various concentrations of zinc, copper, nickel, lead, iron and mercury on fish. *Biol Trace Ele Res* 34, 225-236.
- Connor PM. 1972. Acute toxicity of heavy metals to some marine larvae. *Mar Pollut Bull* 3, 190-192.
- Dutta TK and Kaviraj A. 2001. Acute toxicity of cadmium to fish *Labeo rohita* and copepod *Diaptomus forbesi* pre-exposed to CaO and KMnO₄. *Chemosphere* 42, 955-958.
- Furuta T, Iwata N, Kikuchi K. 2008. Effects of fish size and water temperature on the acute toxicity of copper for Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*, and red sea bream, *Pagrus major*. *J World Aquacul Soc* 39, 766-773.
- Josh GJ, Johnston, David W, Santore, Robert C, Ray Arnold W. 2005. Acute toxicity of copper to the threespine stickleback, *Gasterosteus aculeatus*. *Environ Toxicol* 20, 150-159.
- Krishnani KK, Azad Ismail S, Kailasam M, Thirunavukkarasu AR, Gupta BP, Joseph KO, Muralidhar M, Abraham Mathew. 2003. Acute toxicity of some heavy metals to *Lates calcarifer* fry with a note on its histopathological manifestations. *J Environ Sci Health Part A* 38, 645-655.
- Lussier SM, Gentile JH and Walker J. 1985. Acute and chronic effects of heavy metals and cyanide on *Mysidopsis bahia* (Crustacea: Mysidacea). *Aquat Toxicol* 7, 25-35.
- McLeese DW. 1974. Toxicity of copper at two temperature and three salinities to the American lobster, *Hormarus americanus*. *J Fish Res Bd Can* 31, 1949-1952.
- Rainbow PS and White SL. 1989. Comparative strategies of heavy metals accumulation of crustacean: a decapod, an amphipod and a barnacle. *Aquat Toxicol* 16, 113-126.
- Rehwoldt R, Bida G, Nerrie B. 1971. Acute Toxicity of copper, Nickel and Zinc ions to some Hudson river fish species. *Bull Environ Contam Toxicol* 6, 445-448.
- Rogers JT, Richards JG, Wood CM. 2003. Ionoregulatory disruption as the acute toxic mechanism for lead in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquat Toxicol* 64, 215-234.
- Svecevicus G. 2006. Acute toxicity of hexavalent chromium to european freshwater fish. *Bull Environ Contam Toxicol* 77, 741-747.
- Verriopoulos G and Dimas S. 1988. Combined toxicity of copper, cadmium, zinc, lead, nickel and chromium to the copepod *Tisbe holothuriae*. *Bull Environ Contam Toxicol* 41, 378-84.

2012년 1월 18일 접수
2012년 3월 20일 수정
2012년 4월 18일 수리