

새만금호의 수질예측과 그에 따른 대책 2. 담수수질 정화처리자인 참재첩(*Corbicula leana*)의 대사생리에 미치는 중금속 오염원의 급성독성 영향

정의영 · 신윤경* · 최문술

군산대학교 해양자원육성학과, *부경대학교 해양생물학과

= Abstract =

Prediction of Water Quality and Water Treatment in Saemankeum Lake 2. Effects on the Acute Toxicity of Heavy Metal Pollutants Associated with Metabolism of Purifier of Freshwater Quality, *Corbicula leana*

Ee-Yung Chung, Yun-Kyong Shin* and Moon Sul Choi

Department of Marine Living Resources, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

*Department of Marine Biology, National Fisheries University of Pusan 608-737, Korea

As a preliminary study on usage of the metabolic indicator species and a purifier of freshwater quality, effects on acute toxicity of heavy metal pollutants on oxygen consumption rates in *Corbicula leana* were investigated by small and large-sized clams at 17°C and 22°C for 4 days after treatment of pollutants.

The 96 hr.-LC₅₀ of mercury, cadmium and copper at 17°C were 1.63 ppm, 7.45 ppm, 8.71 ppm, respectively in small-sized clams, and the 96 hr.-LC₅₀ of them 2.62 ppm, 10.15 ppm, 10.20 ppm, respectively in large-sized clams, while the 96 hr.-LC₅₀ of them at 22°C showed 1.15 ppm, 5.94 ppm, 7.08 ppm, respectively in small-sized clams, and the 96 hr.-LC₅₀ of them 1.87 ppm, 8.29 ppm, 8.35 ppm, respectively in large-sized clams.

As a whole, based on 96 hr.-LC₅₀, effects on acute toxicity of heavy metal pollutants by size (small and large) and water temperature (17°C and 22°C) showed mercury > cadmium > copper in sequence.

Oxygen consumption rates and filtering rates caused by effects of mercury, cadmium and copper at 22°C were higher than those of 17°C without any relation to individual sizes. In general, the higher oxygen consumption rates and filtering rates by water temperature - individual size were shown in small size at higher water temperatures (over 22°C), especially, in case of mercury, the

oxygen consumption rates and filtering rates decreased to 50.7% and 52.15%, respectively in small size at 22°C.

Key words : Oxygen consumption rate, *Corbicula leana*, Water quality

서 론

산업사회의 발달에 따른 중금속 오염은 지역적으로 자연환경 중 그 농도가 날로 증가되고 있어서 생태적으로 중요한 공해문제로 대두되고 있다. 자연환경으로 방출되는 여러 가지 중금속은 직, 간접적으로 여러 가지 변화를 거치면서 생물체내에 흡수된다. 따라서 유해중금속들이 연안해역에 유입되면 그 양이 미량일지라도 수서생물에 축적되어 결국은 먹이연쇄를 통하여 인간에 농축됨으로써 인류의 보건에도 심각한 위협을 주게된다.

특히, 중금속화합물의 이온성분들은 패류의 아가미에 작용하여 호흡장애했을 일으킬 뿐만 아니라 수질을 정화시키는 여수작용과 또한 배설작용을 저해시켜 개체의 생존에 크게 영향을 미쳐 생태계의 불균형을 초래시킨다고 보고되어 있다(Kim and Lee, 1988).

수온의 증가와 염분의 감소는 카드뮴 및 수은의 독성을 증가시키므로(Vernberg and O'Hara, 1972; Vernberg *et al.*, 1977), 중금속 독성에 관한 연구는 주로 해양생물이나 기수역에 서식하는 생물을 대상으로 (Jones, 1973) 이루어져 있으며, 또한 갑각류를 대상으로 탈피주기와 관련하여 수온과 염분에 따른 독성적 영향을 다루고 있다(Ahsanullah, 1976; Arnott and Ahsanullah, 1979).

일반적으로 생물을 이용한 독성 실험은 오염물질에 대한 생물체의 민감성을 측정하는데 주로 이용되므로 수서생물에 의해 환경상태를 파악함으로써 오염의 조기 경고체제를 개발할 수 있으며, 생물의 사망이나 생태계의 파괴를 미연에 방지할 수 있다. 또한 수서생물의 행동양상에 따라 수질을 추정할 수 있으며, 수질에 따른 어패류양식에 대한 영향을 규명하고 관리방안을 설정함으로써 양식환경의 개선으로 국내양식산업의 환경보전과 생산성 증대를 촉진 할 수 있다.

따라서 본 연구는 자연친화적 수질정화 처리를 위해

새만금 지역의 주변에 위치한 동진강과 만경강에 서식하고 있는 여과섭이자이며, 담수 수질을 정화시키는 폐수처리자인 참재첩, *Corbicula leana*를 지표종으로 선정하여 카드뮴, 구리 그리고 수은에 의한 중금속 급성독성영향을 수온별로 알아보고자 조사하였다.

재료 및 방법

실험재료로 사용한 참재첩, *Corbicula leana*은 동진강과 만경강에서 채집하였으며, 즉시 실험실의 담수사육수조 (염분 0‰)로 옮겨 3일간 순응시킨 후 실험에 사용하였다.

실험방법은 수온 17±1°C, 22±1°C와 평균 각장 10 ± 2 mm, 20 ± 2 mm로 구분하여 실험하였다.

실험용액은 독성물질인 카드뮴(CdCl₂), 구리(CuSO₄)와 수은(HgCl₂)을 증류수에 녹여 각각 이온화 시켜서 1,000 mg/l 용액을 만들고 이를 다시 담수를 첨가하여 조제하였다.

반수치사농도의 실험에는 구리와 카드뮴의 농도를 1.0, 3.0, 7.0, 11.0, 15.0 ppm으로 만들고, 수은은 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 ppm의 실험용액을 사용하였다.

각 실험농도에 따른 실험구의 수량 및 실험 개체수는 작은 개체구의 경우 4 liter에 20개체, 큰 개체구의 경우는 8 l에 20개체씩 넣고 실험하였으며, 각 실험 농도별로 저온실에서 실험수온은 thermostat로 자동조절하였으며, 실험기간 동안 농도의 변화를 줄이고 수질 악화를 예방하기 위하여 매일 새로운 용액으로 교환하였다.

먹이는 공급하지 않았으며, 실험관찰은 12시간 간격으로 죽은 개체를 수거하여 사망률로서 나타내었고, 96 hr.-반수치사농도 (96 hr.-LC₅₀)는 probit 분석법에 의하여 산출하였다. 산소소비율은 각 실험 농도구에 96시간 노출시킨 후 생존한 개체를 꺼내 산소검량기 (YSI 58형)를 이용하여 3회 반복 측정된 값을 평균하여 이용하였으며, 여수율의 측정은 Cole and Hepper(1954)의 방법에 따랐다. 실험동물의 건조중량

Table 1. Lethal concentrations of cadmium, copper and mercury to *Corbicula leana*, small and large sizes at 17°C and 22°C

	Heavy Metal	Experimental condition			96hr.- LC ₅₀ (ppm)
		Temp.(°C)	Sal.(‰)	pH	
Small size	Cadmium	17±1 (22±1)	0	7.81	7.45
				(7.90)	(5.94)
	Copper			7.94	8.71
	(8.01)			(7.08)	
	Mercury			7.92	1.63
	(7.84)			(1.15)	
Large size	Cadmium	17±1 (22±1)	0	7.78	10.15
				(7.79)	(8.29)
	Copper			7.90	10.20
	(7.97)			(8.35)	
	Mercury			8.00	2.62
	(7.85)			(1.87)	

* The values in parenthesis are values for 22±1°C.

은 실험을 마친 후 실험동물의 패각을 열어 육질만을 선별하여 증류수로 행군 후 70°C에서 24시간 건조시킨 후 측정하였다.

결 과

참재첩의 작은 개체구와 큰 개체구에 대한 카드뮴, 구리 및 수은의 96 hr.-LC₅₀을 Table 1에 나타내었다.

17°C에서 작은 개체구의 96 hr.-LC₅₀은 수은이 1.63 ppm이었고, 카드뮴과 구리는 각각 7.45 ppm, 8.71 ppm으로서 수은에 비해 상당히 높은 값을 나타내었다. 큰 개체구의 경우는 수은이 2.62 ppm이었고, 카드뮴과 구리가 각각 10.15 ppm, 10.20 ppm으로서 작은 개체구와 유사한 경향을 나타내었고, 작은 개체구와 큰 개체구에서 모두 96 hr.-LC₅₀을 기준으로 할 때 중금속 종류별 독성순위는 수은>카드뮴>구리 순이었다.

수은 22°C의 경우 작은 개체구와 큰 개체구의 96 hr.-LC₅₀은 15°C의 경우와 마찬가지로 카드뮴과 구리에 비해 수은이 각각 1.15 ppm, 1.87 ppm으로서 가장 크게 영향을 미쳤으며, 중금속별 독성 순위는 수은>카드뮴>구리 순으로 나타났다.

그리고 수은과 개체 크기별 중금속의 독성영향은 독성이 가장 강하게 나타난 수은의 경우, 17°C와 22°C에서 작은 개체구의 96hr.-LC₅₀은 각각 1.63 ppm이었고, 17°C와 22°C에서 큰 개체구의 96 hr.-LC₅₀은 2.62 ppm 및 1.87 ppm으로 나타나 17°C에 비해 22°C에서는 낮은 농도에서도 독성영향이 강하게 나타나고 있어 수은의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.

참재첩 작은 개체구와 큰 개체구에 대한 중금속의 독성 비교를 위해 조사된 96 hr.-LC₅₀의 비는 Table 2에 나타난 바와 같이 카드뮴, 구리 및 수은 모두에서 큰 개체에 비해 작은 개체구에서 독성이 강하게 작용하였다.

카드뮴, 구리 및 수은의 각 실험농도에서 96시간 노출시킨 후 수은 및 개체크기별 산소소비율과 여수율의 변화는 Fig. 1과 2에 나타내었다. 참재첩 대조구의 산소소비율은 17°C에 비해 22°C에서 보다 높았으며, 두 수온구에서 카드뮴, 구리 및 수은 모두 농도가 증가함에 따라 산소소비율이 감소되는 경향을 보였다 (Fig. 1). 특히 수온 22°C-작은 개체구의 경우, 대조구의 산소소비율은 13.05 µl/g dry wt./hr.이던 것이 구리

Table 2. Ratios of in 96 hr.-LC₅₀ for small and large sizes of *Corbicula leana* exposed to cadmium, copper and mercury at 17 and 22 °C

Heavy Metal	96hr.- LC ₅₀ (ppm)		Ratio of LC ₅₀ (Large size/ Small size)
	Large size	Small size	
Cadmium	10.15	7.45	1.3
	(8.29)	(5.94)	(1.4)
Copper	10.20	8.71	1.2
	(8.35)	(7.08)	(1.2)
Mercury	2.62	1.63	1.6
	(1.87)	(1.15)	(1.6)

* The values in parenthesis are values for 22 °C

의 경우 15 ppm에서 7.95 µl/g dry wt./hr.으로 39% 감소하였으며, 카드뮴의 경우는 46.7%감소하였다. 또한 수은의 경우는 2.5 ppm에서 50.7% 감소하여 고수온구에서 수은의 독성이 가장 영향을 많이 미치는 것으로 나타났다(Fig. 1).

수온 및 개체크기별 각 오염원에서 여수율의 변화는 오염원의 농도증가에 따라 고수온구에서 여수율이 감소하였는데(Fig. 2), 이는 산소소비율의 변동경향과 유사하였다. 수온 22°C에서 작은 개체구의 경우 대조구의 여수율은 52.62 ml/g dry wt./hr.였고, 구리에서 37.62 ml/g dry wt./hr., 카드뮴에서는 34.45 ml/g dry wt./hr.였으며, 수은에서는 25.18 ml/g dry wt./hr.로서 각각 28.51%, 34.53%, 52.15%가 감소하여 호흡률에 비해 여수율의 감소가 더욱 컸으며, 특히 수은의 영향이 크게 나타났다.

고 찰

담수구에 유입되는 폐기 퇴적물은 쉽게 부유하고 확산되어 광투과를 저해함으로써 식물의 광합성에 영향을 미친다. 폐기 퇴적물의 성분 중 유기물질 및 중금속 오염원들은 수중생물에 독성을 나타내며, 니질과 함께 중금속물질들이 수중생물의 아가미 속에 들어오면 아가미의 호흡작용을 저해할 뿐만 아니라 여수작용 및 배설작용 등 대사생리작용을 저해함으로써 생존에 큰 영향을 미친다(Chung *et al.*, 1994).

독성물질에 노출되었을 때 나타나는 생물체의 독성

반응은 오염물질의 독성, 물질의 양 및 노출시간에 따라 다르게 나타나며(Clark and Finley, 1975), 같은 농도에서도 개체의 생리적 상태, 연령 등과 그 밖의 수온, 염분과 같은 환경요인에 의해서도 다르게 나타나게 된다(O'Hara, 1973; Lee, *et al.*, 1975; Ahn and Chin, 1986).

중금속의 흡수율 및 축적률은 중금속의 종류와 종에 따라 다르며(Rainbow and White, 1989; Patel and Anthony, 1991), 또한 동물의 생리적 조건에 따라 다르게 나타나는데 카드뮴(Cd)과 수은(Hg)과 같은 중금속은 체내에서 그 농도가 생물체에 의해 조절되는 것이 아니라 조직 내 축적 또는 생물농축되는 것이 특징이라고 하였다(White and Rainbow, 1986).

염분과 온도는 중금속의 독성에 영향을 미치는 요인으로 보고되어 있는데(O'Hara, 1973; Vernberg and O'Hara, 1972) 특히, 카드뮴(Cd)의 경우는 염분이 증가되면 카드뮴의 독성이 증가되나(Wright, 1977), 수온이 증가되고 염분이 감소되면 카드뮴의 흡수율이 증가된다고 하였다(O'Hara, 1973).

일반적으로 고수온-저염분에서는 Cd에 대한 내성이 약하며(Theede *et al.*, 1979; Jones, 1975) 특히, Cd의 만성적 노출에 대한 반응은 고농도의 카드뮴에 노출시킨 급성반응 결과보다 수온-염분의 영향이 적다고 하였다(Theede, 1980). 수중동물들은 카드뮴에 노출되면 삼투조절 과정이 저해를 받게 되는데 이는 카드뮴이 효소활성을 억제하여 생리대사를 저해한다고 하였다(Hochachka and Somero, 1973).

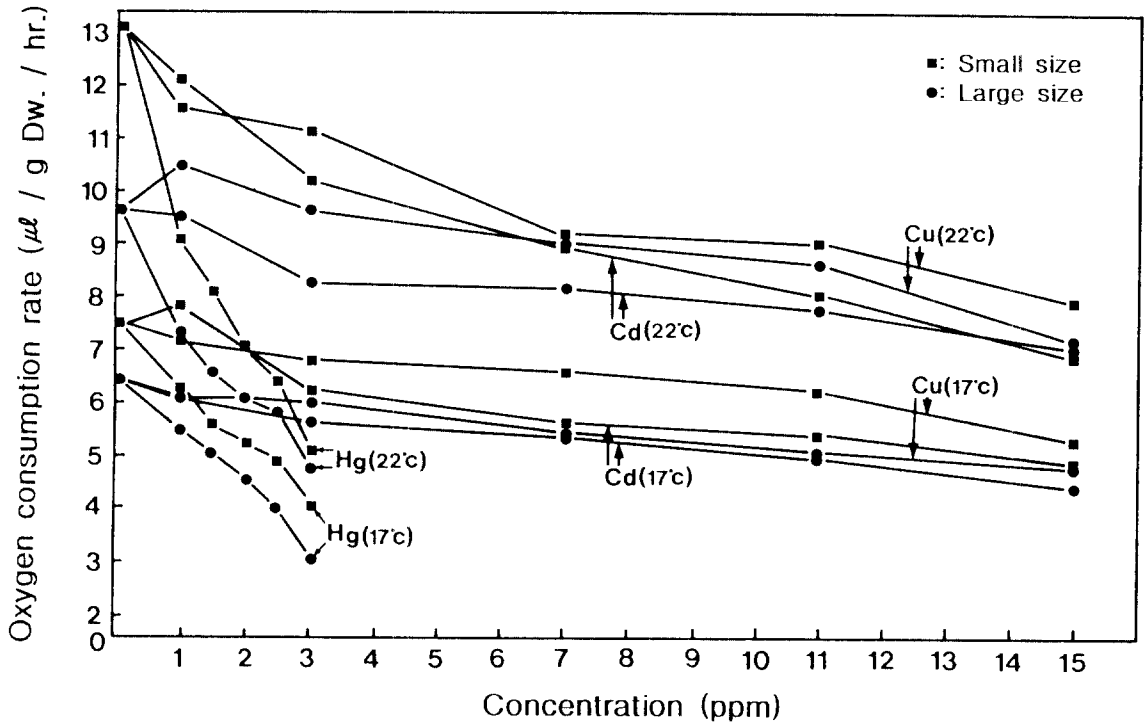


Fig. 1. Changes in the oxygen consumption rate of *Corbicula leana* by water temperature and individual size at different concentrations of cadmium, copper and mercury.

통상 산소소비율은 동물의 총에너지 대사량의 상당부분(50-60%)을 차지하므로 (Van Senus, 1985), 카드뮴에 노출된 잠재적의 호흡저해 영향조사는 생리적으로 매우 중요하다.

일반적으로 해산 이매패류의 경우에는 개체크기가 클수록 비체중 산소소비율, 비체중 여수율 및 비체중 배설률이 보다 적은 경향을 보이며, 수온이 높은 경우 개체 크기가 작을수록 산소소비율과 여수율이 높았다고 하였다(Chung *et al.*, 1994). 또한 Lee와 Chin(1981)에 의하면 진주담치(*Mytilus edulis*)는 개체의 크기가 증가함에 따라 산소소비율과 여수율이 감소하는 경향을 보였다고 보고하였다. 이를 본 조사 결과와 비교해보면, 수온이 높고 개체크기가 작은 경우는 상당한 차이를 보이고 있어 매우 유사한 경향을 보였는데, 수온이 높고 중금속오염원의 농도가 높을 때 사망률이 높았던 이유는 수온이 높아지면 대사작용이 활발하게 되어 호흡율이 높아져 산소의 고갈과 배설로 인해 수질

이 악화되며, 아가미 표면에 중금속물질 및 유화물질들이 침착됨으로써 이들 물질에 의해 아가미 섬모가 탈리되어 호흡장애가 일어나고, 현탁 부니질 속의 독성물질로 인해 높은 수온과의 복합작용에 의해 독작용이 강해져 연약한 작은 개체일수록 폐사율이 높았던 것으로 추정된다.

잠재적, *Corbicula leana*에 대한 카드뮴, 구리 및 수은의 반수치사농도는 수온 22°C에서 작은 개체의 경우 5.94, 7.08 및 1.15 ppm이었으며, 수온 15°C에서는 7.45, 8.71 및 1.63 ppm으로 수온이 가장 크게 영향을 미쳤으며, 저수온에 비해 고수온에서 영향이 큰 것으로 나타났다.

Argopecten irradians 치패의 경우, 수온 20°C에서 CdCl₂에 대한 96 hr.-LC₅₀은 1.48 ppm, HgCl₂의 24hr.-LC₅₀은 0.37 ppm으로 보고하고 있으며(Nelson *et al.*, 1977), *Crassostrea virginica*의 경우는 26°C,

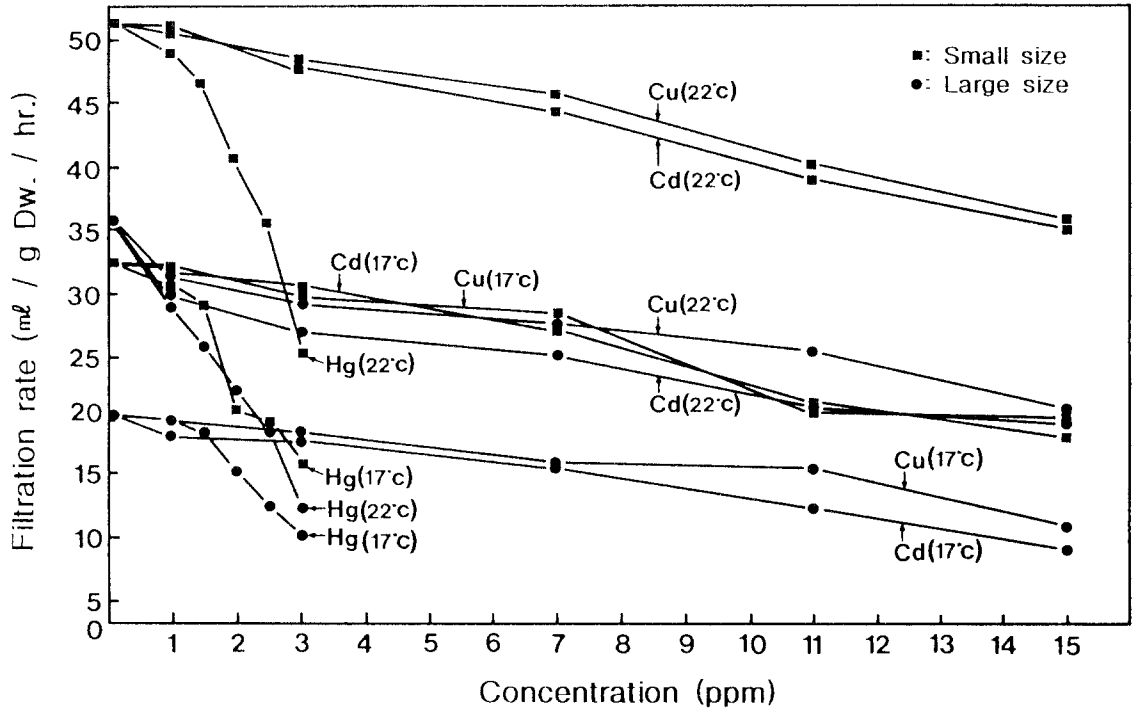


Fig. 2. Changes in the filtration rate of *Corbicula leana* by water temperature and individual size at different concentrations of cadmium, copper and mercury.

embryo stage에서 $HgCl_2$ 48 hr.- LC_{50} 은 5.6 ppb, $CdCl_2$ 는 3.8 ppm을 보고(Calabrese *et al.*, 1973)하였다. 그리고 성체의 경우는 *Monodonta ariculata*에서 $HgSO_4$, 48 hr.- LC_{50} 은 6 ppm이었으며, $CdSO_4$ 에 대한 48 hr.- LC_{50} 은 8ppm으로 치패에서 더욱 크게 영향을 받는 것으로 보고(Calabrese *et al.*, 1977)되어 있다. 그리고 구리에 대한 영향은 *Carcinus maenas* 성체에서 48 hr.- LC_{50} 은 109,000 $\mu g/l$ 였고(Portmann, 1968), 유생의 경우는 600 $\mu g/l$ 였다(Connor, 1972). 또한 *Mysidopsis bahia*의 경우 96 hr.- LC_{50} 은 3,030 $\mu g/l$ 라고 하였는데(Lussier *et al.*, 1985) 이들은 대부분이 해양생물에 관한 연구결과들로서 본 실험종인 담수산 참재첩에 대한 반수치사 농도보다 훨씬 낮은 값을 보이고 있다.

참재첩의 중금속별 독성순위는 $Hg > Cd > Cu$ 순으로 나타났는데, 굴의 경우 96 hr.- LC_{50} 은 $Cu > Cd >$

Zn의 순(Watling, 1982)으로 참재첩의 경우와는 다르게 나타났으며, *Mysidopsis bahia*는 $Cd > Cu > Cr$ 순으로(Lussier *et al.*, 1985) 나타나 본 실험의 $Cd > Cu$ 순서와 같은 순위를 보여주고 있다. 이러한 중금속의 독성에 대한 상이한 반응은 실험종의 중금속에 대한 저항성 및 서식환경에 대한 개체의 생리적 반응에 대한 차이에 기인되는 것으로 생각된다.

오염물질에 노출되었을 때 수중생물은 다양한 반응을 일으키며, 중간 종 내에서도 서로 다른 차이를 보인다(Bjerregaard, 1990). 이매패류의 여수작용은 먹이 섭취와 호흡 및 배설에 중요하게 관련되어 있는 생리작용의 하나로서 이매패류의 서식환경과 밀접한 관계가 있으며, 대체로 총체적 생리기능의 지표로 간주되고 있다. 또한 여수율은 산소소비의 변동경향과 대체로 어느 크기에서나 일정한 비례적 범위에 있다(Lee

and Chin, 1981).

잠재첩의 카드뮴, 구리 및 수은의 급성독성 영향은 각 오염원의 농도 증가에 따라 산소소비량 및 여수율은 유사한 경향으로 감소하였다.

Gaudy 등(1991)은 *Leptomysis lingara*가 서로 다른 수온구에서 카드뮴에 노출되었을 때 온도의 증가에 따라 호흡률이 감소하였으며, 원유중의 용존성분(WSF)에 노출시킨 곤쟁이의 산소소비량은 노출시간이 경과할수록 그리고 WSF의 농도가 높을수록 감소하였다(Ahn and Chin, 1986). 그리고 *Balanus amphitrite*(Bernard and Lane, 1963)와 *Mytilus edulis*(Brown and Newell, 1972)는 구리의 영향으로 호흡률이 감소할 보였으며, 특히 수온은 22°C에서 북쪽류인 *Monodonta articulata*의 행동을 둔화시킨다(Saliba and Vella, 1977). 이는 본 실험의 Cd, Cu 및 Hg의 급성독성 영향에서 96 hr.-LC₅₀이상의 농도 증가에 따라 호흡률 및 여수율이 감소하는 결과와 유사한 경향으로 수온의 증가에 따라 독성영향은 더욱 강하게 나타났다.

중금속 오염원인 수은, 카드뮴 및 구리 이온 등을 환경수질에 농도별로 투여한 후, 실험생물의 생리활성을 조사하여 중금속오염원 별 수중생물의 최대 허용안전농도를 설정하여 준다면 자연친화적 수질정화관리에 크게 활용할 수 있으리라 생각된다.

요 약

담수산 이매패류인 잠재첩, *Corbicula leana*를 대상으로 크기와 수온별로 카드뮴, 구리 및 수은 등의 중금속에 노출시켜 반수치사농도, 호흡률 및 여수율 등의 생리적 내성에 관하여 알아보았다.

17°C에서 작은 개체군의 96 hr.-LC₅₀은 수은이 1.63 ppm이었으며, 카드뮴과 구리는 각각 7.45 및 8.71 ppm으로서 수은에 비해 상당히 높은 값을 나타내었다. 큰 개체군의 경우는 수은이 2.62 ppm이었으며, 카드뮴과 구리가 각각 10.15 와 10.20 ppm이었다.

22°C의 경우 작은 개체군의 96 hr.-LC₅₀은 카드뮴, 구리 및 수은이 각각 5.94, 7.08 및 1.63 ppm이었으며,

큰 개체구에서는 각각 8.29, 8.35, 1.87 ppm으로서 두 수온구에서 모두 작은 개체구에서 중금속 오염원에 의한 영향이 컸으며, 독성순위는 수은>카드뮴>구리 순이었다.

한편 중금속 오염원에 노출시킨 잠재첩의 수온 - 개체크기별 산소소비율과 여수율은 오염원의 농도증가에 따라 고수온에서 영향을 많이 받았으며, 특히 수은의 경우, 22°C-작은 개체구에서 호흡률이 50.7%, 여수율이 52.15% 감소되고 있어 여수율이 보다 크게 영향을 받았다.

사 사

본 연구를 위하여 채집 및 원고정리에 도움을 준 군산대학교 해양자원육성학과 대학원생 김용민 군에게 심심한 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

- Ahn, K.W. and Chin, P. (1986) Acute toxicity of Kuwait crude oil (WSF) to mysid, *Neomysis awatschensis*. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **19**: 599-607.
- 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.
- Arnott, G.H. and Ahsanullah, M. (1979) Acute toxicity of copper, cadmium and zinc to three species of marine copepod. *Aust. J. Mar. Freshwat. Res.*, **30**: 63-71.
- Bernard, M.S. and Lane, C.E. (1963) Effects of copper ion on oxygen uptake by planktonic cyprids of the barnacle *Balanus amphitrite*. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **113**: 418-420.
- Bjerregaard, P. (1990) Influence of physiological condition on cadmium transport from haemolymph to hepatopancreas in *Carcinus maenas*. *Mar. Biol.*, **106**: 199-209.
- Brown, B.E. and Newell, R.C. (1972) The effect of copper and zinc on the metabolism of the mussel

- Mytilus edulis*. *Mar. Biol.*, **16**: 108-118.
- Calabrese, A., Collier, R.S., Nelson, D.A. and MacInnes, J.R. (1973) The toxicity of heavy metals to embryos of the American oyster *Crassostrea virginica*. *Mar. Biol.*, **18**: 162-166.
- Calabrese, A., MacInnes, J.R., Nelson, D.A., Miller, J.E. (1977) Survival and growth of bivalve larvae under heavy metal stress. *Mar. Biol.*, **41**: 179-184.
- Chung, E.Y., Shin, Y.K. and Lee, J.H. (1994) Effects of suspended Sediment on Metabolism of *Scapharca broughtonii*. *Korean J. Malacol.*, **10**(1): 55-63. [in Korean]
- Clark, R.C. Jr. and Finley, J.S. (1975) Uptake and loss of petroleum hydrocarbons by the mussel *Mytilus edulis* in laboratory experiment. *Fish Bull.*, **73**: 508-515.
- Cole, H.A. and Hepper, B.T. (1954) The use of neutral red solution for the comparative study of filtration rate of *Lamellibranchs*. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, **20**: 197-203.
- Connor, P.M. (1972) Acute toxicity of heavy metals to some marine larvae. *Mar. Pollut. Bull.*, **3**: 190-192.
- Gaudy, R., Guerin, J.P. and Kerambrun, P. (1991) Sublethal effects of cadmium on respiratory metabolism, nutrition, excretion and hydrolase activity in *Leptomyxis linguva* (Crustacea: Mysidacea). *Marine Biology*, **109**: 493-501.
- Hochachka, P.W. and Somero, G.N. (1973) Strategies of Biochemical Adaptation. pp. 358, Saunders, W.B.
- Jones, M.B. (1973) Influence of salinity and temperature on the toxicity of mercury to marine and brackish water isopods (Crustacea). *Estuar. estl. mar. Sci.*, **1**: 425-431.
- Jones, M.B. (1975) Synergistic effects of salinity, temperature and heavy metals on mortality and osmoregulation in marine and estuarine isopods (Crustacea). *Mar. Bilo.*, **30**: 13-20.
- Kim, S.Y. and Lee, T.Y. (1988) The effects of Pollutants effluent from a steam-power plant on coastal bivalves. *Ocean Res.*, **10**(1): 47-65. [in Korean]
- Lee, B.D., Lee, T.Y. and Chin, P. (1975) Effect of crude oil ingredients on the development and oxygen uptake of hard clam *Meretrix lusoria*. *Publ. Inst. Mar. Sci. Nat. Fish. Univ. Busan*, **8**: 31-38.
- Lee, B.K. and Chin, P. (1981) Effects of body size, temperature-salinity and starvation on the rates of filtration in *Crassostrea gigas* and *Mytilus edulis*. *Publ. Inst. Mar. Sci. Nat. Fish. Univ. Busan*, **13**: 37-41. [in Korean]
- Lussier, S.M., Gentile, J.H. and Walker, J. (1985) Acute and chronic effects of heavy metals and cyanide on *Mysidopsis bahia*. *Aquatic Toxicology*, **7**: 25-35.
- Nelson, D.A., Calabrese, A. and MacInnes, J.R. (1977) Mercury stress on juvenile Bay scallops *Argopecten irradians* under various salinity-temperature regimes. *Mar. Biol.*, **43**: 293-297.
- O'Hara, J. (1973) Cadmium uptake by fiddler crabs exposed to temperature and salinity stress. *J. Fish Res. Bd. Can.*, **30**: 846-848.
- Patel, B. and Anthony, K. (1991) Uptake of cadmium in tropical marine lamellibranchs, and effects on physiological behaviour. *Mar. Biol.*, **108**: 457-470.
- Portmann, J.E. (1968) Progress report on a programme of insecticide analysis and toxicity-testing in relation to the marine environment. *Helgolander Wiss. Meeresunvers.*, **17**: 247-256.
- Rainbow, P.S. and White, S.L. (1989) Comparative strategies of heavy metal accumulation of crustacean: zinc, copper and cadmium in a decapod, and amphipod and a barnacle. *Aquat. Toxicol.*, **16**: 113-126.
- Saliba, L.J. and Vella, M.G. (1977) Effects of mercury on the behaviour and oxygen consumption of *Monodonta articulata*. *Mar. Biol.*, **43**: 277-282.
- Theede, H., Scholz, N. and Fischer, H. (1979) Temperature and salinity effects on the acute toxicity of cadmium to *Laomedea loueni* (Hydrozoa). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **1**: 13-19.
- Theede, H. (1980) Physiological responses of estuarine animals to cadmium pollution. *Helgolander Wiss.*

- Meeresunters*, **33**: 26-35.
- Van Senus, P. (1985) The effects of temperature, size, season and activity on the metabolic rate of the amphipod, *Talorchestia capensis* (Crustacea, Talitridae). *Comp. Biochem. Physiol.*, **81A**: 263-269.
- Vernberg, W.B. and O'Hara, J. (1972) Temperature-salinity stress and mercury uptake in the fiddler crabs *Uca Pugilator*. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **29**: 1491-1494.
- Vernberg, W.B., DeCoursey, P.J., Kelly, M. and Johns, D.M. (1977) Effects of sublethal concentrations of cadmium on adult *Palaemonetes pugio* under static and flow-through conditions. *Bull. Envir. Contam. Toxicol.*, **17**: 16-24.
- Watling, H.R. (1982) Comparative study of the effects of zinc, cadmium and copper on the larval growth of three oyster species. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **286**: 95-201.
- Whites, S.L. and Rainbow, P.S. (1986) Accumulation of cadmium by *Palaemon elegans* (Crustacea: Decapoda). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **32**: 17-25.
- Wright, D.A. (1977) The effect of salinity on cadmium uptake by the tissues of the shore crab *Carcinus maenas*. *J. Exp. Biol.*, **67**: 137-146.
-
- Received May 2, 1998
Accepted June 5, 1998