

총알고둥 (*Littorina brevicula* (Philippi))의 오염원에 대한 환경내성

1. 총알고둥에 미치는 유기주석 및 중금속의 급성독성

진 평 · 이정아 · 신윤경 · 이정식*
부경대학교 해양생물학과, *여수대학교 어병학과

Environmental Tolerance for Pollutants in *Littorina brevicula* (Philippi)

1. The Acute Toxicity of TBTCI and Heavy Metals on *Littorina brevicula*

Pyung CHIN, Jung Ah LEE, Yun Kyung SHIN and Jung Sick LEE*
Department of Marine Biology, Pukyong National University Pusan 608-737, Korea
*Department of Fish Pathology, Yosun National University Yosun 500-749, Korea.

Littorina brevicula, a common small herbivorous gastropod, inhabits in almost every rocky and/or boulder shores of Korea with high density. The survival rates and oxygen consumption rates of this species exposed to tributyltinchloride (TBTCI), mercury (Hg) and cadmium (Cd) were investigated according to temperatures (15, 23°C) and individual sizes (12 ± 0.5, 5 ± 1 mm). At temperature 15°C, acute inhibitory concentrations for large (12 ± 0.5 mm) and small (5 ± 1 mm) size individual showed that 13 day-LC₅₀ for TBTCI were 0.87 and 0.65 ppm, respectively, 11 day-LC₅₀ of Hg were 5.55 and 2.85 ppm, respectively and 9 day-LC₅₀ of Cd were 13.77 and 8.46 ppm, respectively. At 23°C, acute inhibitory concentrations of pollutants on the large and the small size individual showed that 8 day-LC₅₀ of TBTCI were 0.68 and 0.15 ppm, respectively, 5 day-LC₅₀ of Hg were 10.41 and 5.73 ppm, respectively, and 4 day-LC₅₀ of Cd were 13.31 and 4.47 ppm, respectively. The order of toxicity on the species was TBTCI > Cd > Hg. Oxygen consumption rates during exposure to TBTCI, Hg and Cd toxicity were decreased more in small size than in large size individuals at 15 and 23°C.

Key words: *Littorina brevicula*, Acute toxicity, LC₅₀, TBTCI, Cd, Hg

서 론

산업사회의 발달에 따라 중금속 및 여러 가지 오염원으로 인해 생태적으로 중요한 환경문제가 대두되고 있다. 특히 하구 및 연안 역은 공장폐수와 도시하수의 유입으로 인해 수질이 악화되고 있으며, 이러한 수질악화는 그 지역의 해양생물 생존에 심각한 악영향을 미치고 있을 뿐만아니라, 해양선박의 선저부분에 부착생물의 부착방지를 위하여 쓰이는 선박용 페인트에 첨가되는 TBT와 같은 유기화합물은 그 독성이 매우 강하여 수서생물에 심각한 영향을 미치며 수권생태계의 구성을 혼란시키므로써 먹이연쇄에 의해 인간의 환경에까지 영향을 미치고 있다.

수질은 유독성 오염원의 농도에 의해 화학적으로 평가되며 여러 가지 독성화합물은 먹이, 환경수, 혹은 저질에 의하여 해양동물의 체내로 들어가면 체내에서 저장되거나 제거되는데, 이러한 대부분의 독성화합물은 소수성인 경우가 많으며 소수성의 경우 지방이 풍부한 조직내에 축적되어 대사장애를 일으킨다. 특히 갑각류의 경우 조직학적 연구에 의하면 촉각선과 간체장 내에서 가장 심한 변화를 일으키는 것으로 보고 (Doughtie et al., 1983a, 1983b, 1984)되고 있다.

해양생물에 미치는 오염원의 영향에 관한 연구로는 갑각류 (Knickmeyer and Steinhart, 1988; Dillon et al., 1990; Dillon

and Burton, 1991), 어류 (Staveland and Marthinsen, 1989; Ruiz and Liorente, 1991; Borgamann and Whittle, 1992), 플랑크톤 (Richer and Peters, 1993) 및 패류 (Hummel et al., 1989, 1990; Ferreria et al., 1990) 등의 다수가 보고되고 있다. 이러한 연구들은 생식 및 형태변화 (Dillon et al., 1990), 계절적 변화에 따른 체내 축적 양상 (Knickmeyer and Steinhart, 1988; Ruiz and Liorente, 1991) 및 먹이연쇄에 의한 환경오염 (Gilbert, 1993) 등 다양하게 연구되었다. 해양동물에 미치는 중금속의 영향으로서는 중금속의 체내축적에 관한 보고 (Moore and Rainbow, 1987; Rainbow and White, 1989, 1990)와 연안 및 하구역의 수온과 염분의 변화에 따른 중금속의 영향 (Bissenger and Christensen, 1972; Thurberg et al., 1973; Robert and Michael, 1976; Lussler et al., 1985) 등이 있다. 그리고 TBT의 영향에 관한 보고는 다수 (Lenwood et al., 1988; Short et al., 1989) 있으나, 현재 우리나라에서의 연구는 매우 미흡한 실정이다.

총알고둥 (*Littorina brevicula*)은 대부분이 연안에 분포해 있기 때문에 연안오염에 따른 오염물질의 영향을 받을 가능성이 크다. 이러한 관점에서 최근 연안의 TBT 및 중금속 오염에 따른 수생생물의 저해 영향을 평가하기 위하여 총알고둥을 대상으로 중금속과 TBT 등의 오염원으로 인한 급성독성영향을 조사하였다.

본 연구는 1997학년도 부경대학교 기성회연구비의 수혜를 통하여 이루어졌음.

재료 및 방법

실험동물인 총알고둥은 1997년 11월부터 1998년 8월에 걸쳐 부산광역시 동백섬 조간대에서 채집하여, PVC 수조 (40 l)에 적당한 밀도로 넣어서 수조의 1/3로 해수를 채운 뒤 산소를 공급하면서 1주일 동안 순응시켰다. 실험에 사용한 개체의 크기는 큰 개체의 경우 각장 12 ± 0.5 mm, 작은 개체는 각장 5 ± 1 mm로 선별해서 사용하였다. 실험시 해수의 염분은 32 ± 1‰였으며, 명암은 12L:12D로 조절하였다.

실험용액은 TBTCI (Fluka Chemie AG CH-9470 Buchs, Assay 97% (AT))의 경우, TBTCI를 아세톤에 1:2의 비율로 용해시켜 증류수로 1 g/l의 표준용액을 만든 다음, 실험시 해수로 희석시켜 조제하였다. 중금속의 경우, 수은 (HgCl₂)과 카드뮴 (CdCl₂ · 2.5H₂O)을 증류수에 녹여 1 g/l의 표준용액을 만든 뒤, 해수를 첨가해서 조제하였다. 모든 대조구의 실험해수는 TBTCI와 중금속이 첨가되지 않은 자연 해수를 사용하였다. 실험농도는 예비실험을 바탕으로 TBTCI의 경우 0.3, 0.7, 1.1 및 1.5 ppm, Hg은 5, 9, 13 및 17 ppm 그리고 Cd은 3, 7, 11 및 15 ppm으로 설정하여 수온과 개체 크기별로 행하였으며, 실험수온은 15°C와 23°C를 설정하였다. 본 실험은 환수식방법에 의해 실시하였고 환수는 수질악화를 고려하여 매일 새로운 용액으로 교환하였다. 실험동물은 5 l용 polyethylene (PT) 사각수조에 큰 개체 20마리와 작은 개체 20마리를 각각 일정한 크기로 선별해서 넣고, 4 l의 실험용액을 채우고 종의 특성상 기어 나오는 것을 막기 위하여 램을 씌운 스티로폴로 뚜껑을 만들어 덮고 산소를 공급해주었다. 폐사 측정은 매일 오전 생물의 상태를 조사하고 가는 철사를 이용하여 조심스럽게 자극을 준 뒤 반응하지 않는 것을 사망한 것으로 간주하여 사망미수를 파악한 뒤 사망률로 나타내었다. 각 오염원에 폭로시킨 총알고둥의 산소 소비율은 실험의 종료시점에서 살아있는 개체만을 선별하여 산소 검량기 (YSI 58형)를 이용하여 측정하였다. 산소소비율의 단위는 mg O₂/mg dry wt./day로 표시하였으며, 줄여서 mg O₂로 나타내었다. 각 오염원별 일정기간 반수치사농도는 probit 분석 (Finney, 1971)에 의하여 산출하였다.

결 과

1) 사망률과 반수치사농도 (LC₅₀)

총알고둥에 미치는 TBTCI, Hg 및 Cd의 급성독성실험은 수온 15°C와 23°C에서 개체 크기를 달리한 두 실험군 별로 각 오염원별

폭로일수에 따른 반수치사농도 (LC₅₀)와 사망률을 구하였으며 결과는 Table 1 그리고 Fig. 1과 2에 나타내었다.

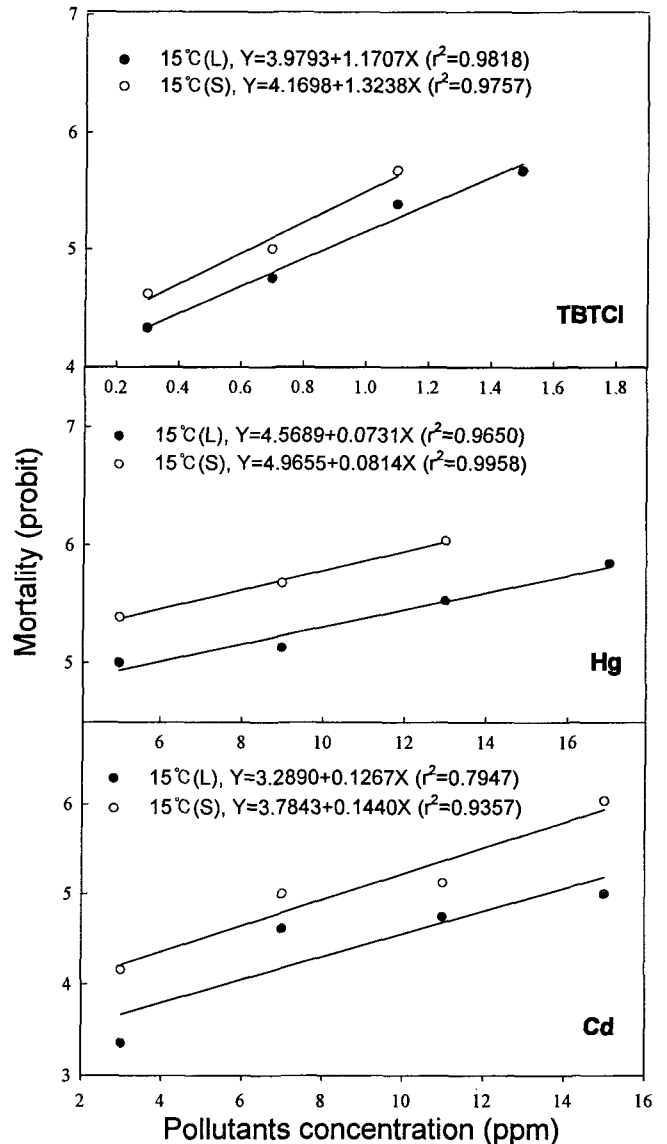


Fig. 1. Toxicity lines of TBTCI, Hg and Cd on *Littorina brevicula* at 15°C and body size; L: Large size, S: Small size (duration exposed to each pollutant: TBTCI, 13 days; Hg, 11 days; Cd, 9 days).

Table 1. *Littorina brevicula*. Estimated LC₅₀ for exposure time by probit scale analysis at 15 and 23°C - small size and large size individuals

Size	Pollutants	LC ₅₀ values (days)										
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Small size	TBTCI	*4.50	*4.06	*1.73	*0.85	*0.21	*0.15	4.50	2.17	1.87	1.64	0.65
	Hg	*14.35	*8.04	*5.73	*4.22			11.58	4.74	2.85		
	Cd	*14.50	*4.47					8.46	2.18			
Large size	TBTCI			*2.17	*1.58	*1.20	*0.68			1.98	1.53	0.87
	Hg		*15.33	*10.41	*1.27			27.40	17.59	5.55	1.58	1.68
	Cd		*13.31	*2.69	*1.42			13.77	8.09	2.56	1.56	1.24

Signal * is values at the 23°C experiment.

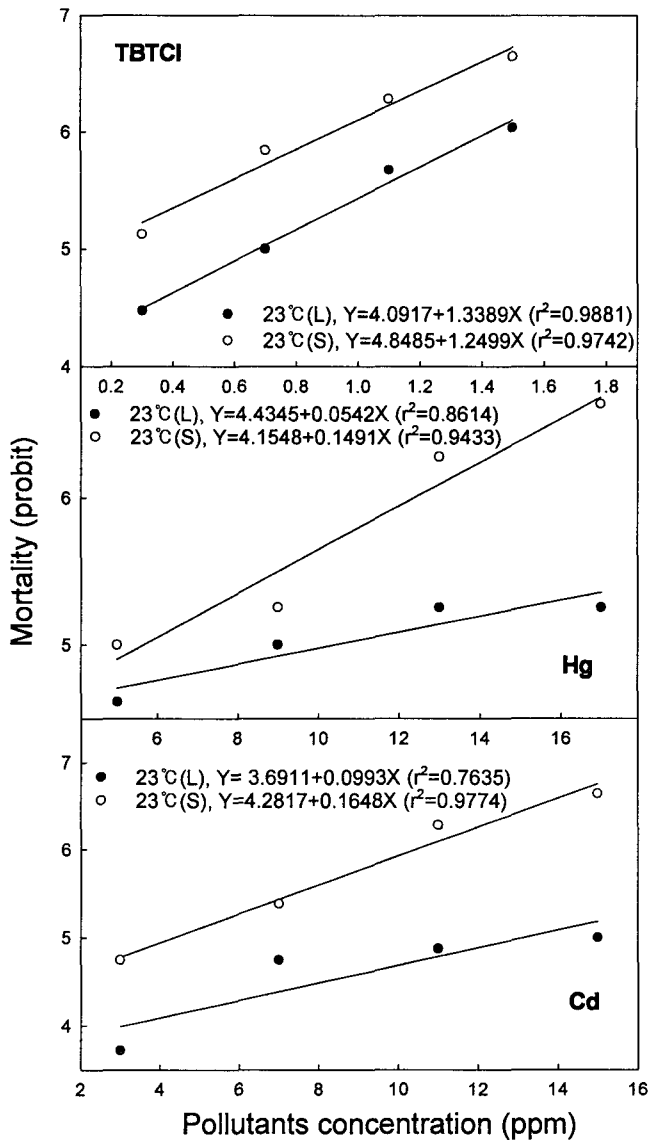


Fig. 2. Toxicity lines of TBTCI, Hg and Cd on *Littorina brevicula* at 23°C and body size; L: Large size, S: Small size (duration exposed to each pollutant: TBTCI, 8 days; Hg, 5 days; Cd, 4 days).

수온 15°C에서, 큰 개체의 경우 13일-LC₅₀은 TBTCI에서 0.87 ppm, Hg에서 1.68 ppm이었으며, Cd에서는 1.24 ppm 이고 (Table 1), 작은 개체의 경우 10일-LC₅₀은 각각 2.17 ppm, 4.74 ppm 그리고 2.18 ppm으로서 (Table 1), TBTCI의 저해영향이 더 컸으며 (p<0.05), 작은 개체가 더 저해영향을 많이 받는 것으로

나타났다 (p<0.05).

수온 23°C에서, 큰 개체의 경우 5일-LC₅₀은 TBTCI에서 2.17 ppm, Hg에서 10.41 ppm이었으며 Cd에서는 2.69 ppm이고 (Table 1), 작은 개체의 경우 4일-LC₅₀은 각각 4.06 ppm, 8.04 ppm 그리고 4.47 ppm으로 (Table 1), 수온 15°C와 마찬가지로 TBTCI의 저해영향이 가장 컸으며 (p<0.05), 개체크기가 작을수록, 수온이 높을수록 TBTCI 및 중금속 오염원의 저해영향이 큰 것으로 나타났다 (p<0.05).

Fig. 1과 2는 수온 15°C와 23°C에서 개체 크기에 따른 각 오염원의 독성영향을 나타낸 것이다. 각 수온별 오염원의 영향은 큰 개체에 비해 작은 개체에서 많이 받았으며, 특히 23°C에서 작은 개체는 Hg의 농도증가에 따라 그 내성이 크게 감소하는 것을 볼 수 있었다.

수온 15°C와 23°C에서 각 오염원에 대해 작은 개체의 LC₅₀에 대한 큰 개체의 LC₅₀의 비를 Table 2에 나타내었다. 모든 오염원에서 LC₅₀의 비가 1보다 컸으며, 15°C에 비해 23°C에서 크게 나타나 작은 개체와 고온에서 오염원의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

2) 산소소비율

수온 15°C와 23°C에서 개체 크기별로 총알고둥에 미치는 TBTCI, Hg 및 Cd의 급성독성영향을 알아보기 위해 각 오염원별로 농도의 증가에 따른 산소소비율을 Fig. 3에 나타내었다.

TBTCI에 폭로된 총알고둥의 산소소비율은 수온 15°C에서, 큰 개체의 경우 0.3 ppm에서 2.31 mg O₂/mg dry wt./day이었으며 TBTCI의 농도 증가에 따라 감소하여 1.5 ppm에서 0.79 mg O₂를 나타내었다. 작은 개체의 경우, 0.3 ppm에서 8.39 mg O₂이었으며, 역시 TBTCI의 농도 증가에 따라 감소하여 1.5 ppm에서 3.94 mg O₂으로 큰 개체에 비해 산소소비율은 높았다 (Fig. 3). 수온 23°C에서 큰 개체의 경우, TBTCI, 0.3 ppm에서 5.15 mg O₂이었으며, 1.5 ppm에서 2.15 mg O₂을 나타내었다. 그리고 작은 개체의 경우는, 0.3 ppm에서 19.13 mg O₂, 1.5 ppm에서 8.84 mg O₂로 큰 개체에 비해 산소소비율은 높았으며, 수온 15°C와 23°C에서 모두 TBTCI 농도가 증가함에 따라 산소소비율의 감소 폭은 크게 나타났다 (Fig. 4).

Hg에 폭로된 총알고둥의 산소소비율은 수온 15°C-큰 개체 및 작은 개체에서, 5 ppm에서 각각 2.24 mg O₂, 4.02 mg O₂, 그리고 17 ppm에서는 각각 0.06 mg O₂과 0.49 mg O₂을 나타내어 Hg의 농도가 증가할수록 산소소비율은 크게 감소하였다 (Fig. 3). 수온 23°C-큰 개체 및 작은 개체에서는, Hg농도, 5 ppm에서 각각 4.21 mg O₂, 9.497mg O₂이었으며 17 ppm에서는 각각 0.74 mg O₂ 및 1.83 mg O₂을 나타내어 수온 15°C의 경우와 마찬가지로 Hg의

Table 2. *Littorina brevicula*. LC₅₀ ratios for large and small size individuals exposed to TBTCI, Hg and Cd at 15°C and 23°C

Pollutant	Experimented conditions			LC ₅₀		LC ₅₀ ratio (Large/Small)
	Temperature (°C)	Salinity (‰)	Exposed time (days)	Large size (12 ± 0.5 mm)	Small size (5 ± 1 mm)	
TBTCI	15 (23)	32 ± 1	13 (8)	0.87 (0.68)	0.65 (0.15)	1.34 (4.53)
Hg			11 (5)	5.55 (10.41)	2.85 (5.73)	1.95 (1.82)
Cd			9 (4)	13.77 (13.31)	8.46 (4.47)	1.63 (2.98)

*The values in the parenthesis is the values in 23°C

농도가 증가할수록 산소소비율은 크게 감소하였으며, 수온 상승에 따라 산소소비율은 증가하였다.

Cd에 폭로된 경우, 수온 15°C-큰 개체 및 작은 개체에서, 산소 소비율은 3 ppm에서 각각 2.89 mg O₂, 12.58 mg O₂ 그리고 15 ppm에서는 1.46 mg O₂과 7.99 mg O₂를 나타내었다 (Fig. 3). 수온 23°C의 경우는 3 ppm에서 각각 4.21 mg O₂, 18.34 mg O₂, 그리고 15 ppm에서는 각각 0.29 mg O₂와 3.15 mg O₂으로 Hg의 경우와 마찬가지로 Cd농도 증가에 따라 총알고등의 산소소비율은 크게 감소하였으며, 수온상승과 개체크기가 작을수록 산소소비율은 높게 나타났다 (Fig. 3, 4).

고찰

생물체가 독성물질에 노출되었을 때 나타나는 생체의 독성반

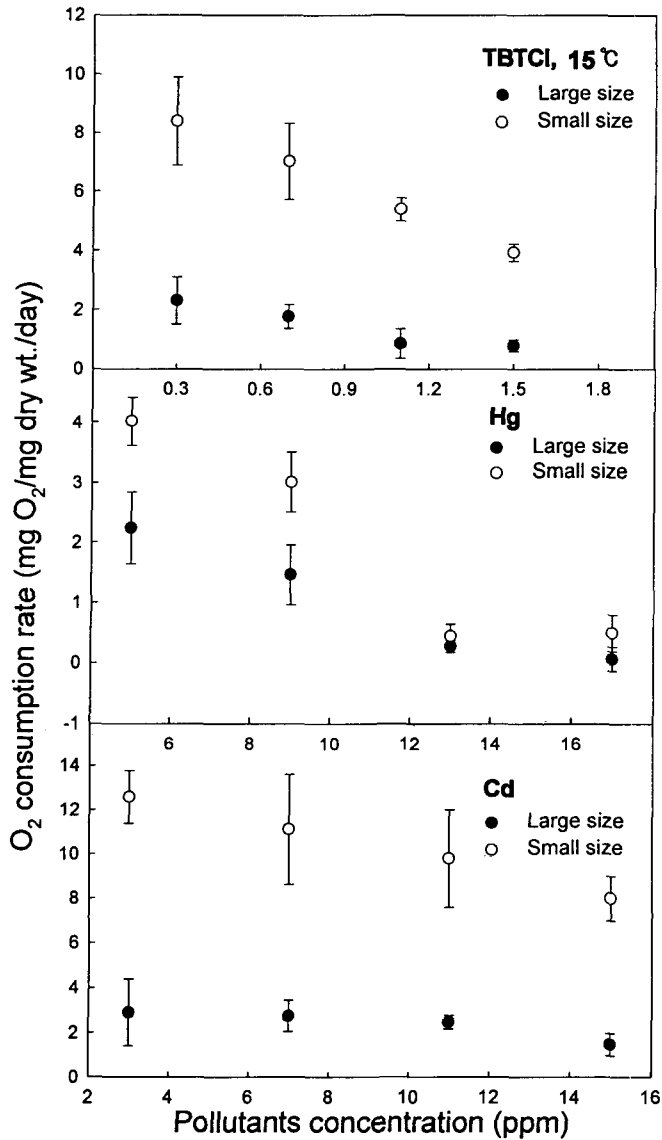


Fig. 3. Changes of oxygen consumption rates of *Littorina brevicula* after 9days exposure to TBTCI, Hg and Cd at 15°C.

응은 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 독성에 영향을 미치는 요인은 염분과 온도를 들 수 있다 (Vernberg and O'Hara, 1972; O'Hara, 1973). 특히 카드뮴의 경우 수온의 증가와 염분의 감소는 카드뮴의 흡수율을 증가시켜 독성을 증가시킨다 (Vernberg et al., 1977; Wright and Frain, 1981; McCahon and Pascoe, 1988). 또한 선박용 도료로 이용되고 있는 TBT는 복족류의 생식소에 영향을 미쳐 imposex 현상을 유발시키며 (Smith, 1971), 이러한 imposex 현상을 TBT오염의 생물학적 지표로서 보고하였다 (Gibbs et al., 1987).

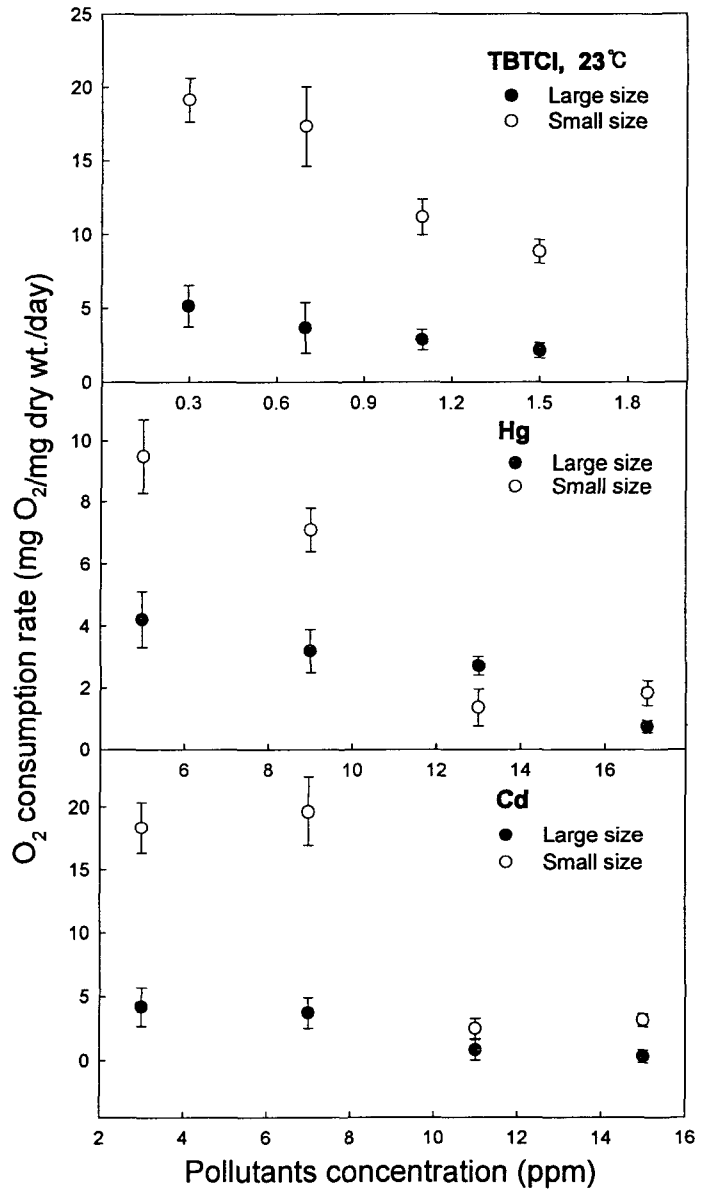


Fig. 4. Changes of oxygen consumption rates of *Littorina brevicula* after 5days exposure to TBTCI, Hg and Cd at 23°C.

TBT의 영향은 *Homarus americanus*의 유생 (Laughlin and French, 1980), 곤쟁이류인 *Acanthomyxis sculpta* (Davidson et al., 1986) 및 이매패류 *Mytilus edulis* (Salazar and Salazar, 1987, 1988) 등에서 관찰된다. TBTO의 0.1 $\mu\text{g}/\ell$ 에서 15일간 사육하는 동안 *Mytilus edulis*의 veliger 유생은 50% 사망하였으며 (Beaumont and Budd, 1984), *Crassostrea gigas* 유생은 100 $\mu\text{g}/\ell$ DBT에서 49일간 사육시키는 동안 50% 사망을 보고하였다 (Thain et al., 1987). 또한 copepod, *Acartia tonsa* 및 harpacticoid *Nitocra spinipes*의 96h-LC₅₀은 1 μg 과 2 $\mu\text{g}/\ell$ TBTO (Linden, 1979; U'ren, 1983)으로 해양생물에 미치는 TBT의 LC₅₀은 저농도로 관찰되어, 특히 유생의 생존 및 자원으로의 가입에 미치는 TBT의 독성영향은 매우 심각한 것으로 보인다. TBTCI에 폭로시킨 총알고둥의 반수치사농도는 23°C의 경우 큰 개체 및 작은 개체에서 각각 8days-LC₅₀이 680 $\mu\text{g}/\ell$, 8days-LC₅₀이 150 $\mu\text{g}/\ell$ 이었으며, 15°C에서는 각각 13days-LC₅₀이 870 $\mu\text{g}/\ell$, 13days-LC₅₀이 650 $\mu\text{g}/\ell$ 로서 위에 보고된 다른 종들에 비해 다소 높은 LC₅₀을 나타내었는데 이는 본 실험에 이용한 개체의 크기가 내성을 가질 수 있는 크기였으며, 환경변화가 다양한 조건대 생물인 것에 기인하는 것으로 여겨진다.

중금속에 노출된 해산동물은 효소의 활성이 직접 피해 받고 산소소비의 변화가 초래된다 (Bryan, 1971). 각 오염원별 급성 농도에 노출시킨 총알고둥의 호흡률은 각 오염원의 농도가 증가함에 따라 감소하고, 15°C보다 23°C에서 높은 값을 가지는 일반적 경향을 띠었으며, 특히 15°C에서보다 23°C에서 농도에 따라 크게 감소한 것은 온도와 오염원의 서로 상승적인 작용의 결과인 것으로 보인다. Hg의 경우 23°C 및 15°C에서는 각각 4일-LC₅₀이 8.04 ppm과 10일-LC₅₀은 4.74 ppm이었으며 Cd에서는 각각 4일-LC₅₀이 4.47 ppm, 10일-LC₅₀이 2.18 ppm으로서 TBTCI가 가장 독성이 강했으며 수온 및 개체 크기에 영향을 받았다.

Argopecten irradians 치패의 경우 수온 20°C에서 CdCl₂에 대한 96hr-LC₅₀은 1.48 ppm, HgCl₂의 24hr-LC₅₀은 0.37 ppm으로 보고하고 있으며 (Nelson et al., 1977), *Crassostrea virginica*의 경우는 26°C, embryo stage에서 HgCl₂ 48hr-LC₅₀은 5.6 ppb, CdCl₂는 3.8 ppm을 보고하였다 (Calabrese et al., 1973). 그리고 성체의 경우는 *Monodonta articulata*에서 HgSO₄, 48hr-LC₅₀은 6 ppm이었으며, CdSO₄에 대한 48hr-LC₅₀은 8ppm으로 치패에서 더욱 크게 영향을 받는 것으로 보고하고 (Calabrese et al., 1977) 있는데, 이는 총알고둥의 Hg과 Cd의 반수치사농도와 다소 차이를 보이고 있으며, 치패의 영향은 유사한 결과를 보여 오염원에 따른 생물체의 다양한 반응을 보여주고 있다.

따라서 모든 결과를 종합하여 볼 때 조건대 상부에 서식하는 총알고둥은 생물량이 풍부하여 채집은 용이하나, 오염원에 대한 내성이 강하고 환경적응력이 뛰어난 종으로 여겨지므로 생물검정에 이용할 수 있는 종으로는 다소 무리가 있을 것으로 생각된다.

요 약

우리나라 전 연안의 조건대에 분포하고 있는 총알고둥을 대상으로 TBTCI, Hg 및 Cd의 급성독성과 그에 따른 사망률 및 산소

소비율의 변화를 수온, 15°C와 23°C 그리고 개체크기에 따라 살펴 보았다.

수온 15°C에서, 큰 개체 및 작은 개체에 대한 오염원별 급성독성 영향은 TBTCI에서 13일-LC₅₀은 각각 0.87 ppm, 0.65 ppm, Hg의 11일-LC₅₀은 각각 5.55 ppm, 2.85 ppm, 그리고 Cd의 9일-LC₅₀은 각각 13.77 ppm 및 8.46 ppm으로 독성순위는 TBTCI > Cd > Hg으로 나타났다. 그리고 수온 23°C에서는, TBTCI의 8일-LC₅₀은 각각 0.68 ppm과 0.15 ppm, Hg의 5일-LC₅₀은 각각 10.41 ppm과 5.73 ppm이었으며, Cd의 4일-LC₅₀은 각각 13.31 ppm과 4.47 ppm이었으며, 독성순위는 TBTCI > Cd > Hg으로 나타났다. 실험 오염원에 대해서 큰 개체가 작은 개체보다 내성이 강했으며, Hg과 Cd의 경우 15°C에서보다 23°C에서 오염원의 농도가 증가함에 따라 작은 개체의 내성이 더 크게 감소했다. TBTCI와 Cd에서는 15°C에 비해 23°C에서 개체가 작을 수록 저해영향은 크게 작용했다. 총알고둥의 산소소비율은 15°C보다 23°C에서, 큰 개체보다 작은 개체에서 더 높았으며, 작은 개체가 농도증가에 따라 더 크게 감소했다.

참 고 문 헌

- Ahn, K.W. and P. Chin. 1986. Acute toxicity of Kuwait crude oil (WSF) to mysid, *Neomysis awatschensis*. Bull. Korean Fish. Soc., 19, 599~607.
- Beaumont, A.R. and M.D. Budd. 1984. High mortality of the larvae of the common mussel at low concentrations of tributyltin. Mar. Poll. Bull., 15, 402~405.
- Bissenger, K.E. and G.M. Christensen. 1972. Effects of various metals on survival, growth, reproduction and metabolism of *Daphnia magna*. J. Fish. Res. Bd. Canada, 29, 1691~1700.
- Borgmann, U. and D.M. Whittle. 1992. Bioenergetics and PCB, DDE and mercury dynamics in lake Ontario trout (*Salvelinus namaycush*): A model based of surveillance data. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 49, 1086~1096.
- Bryan, G.W. 1971. The effects of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine organisms. Proc. R. Soc. Lond., Ser. B, 177, 389~410.
- Calabrese, A., J.R. MacInnes, D.A. Nelson and J.E. Miller. 1977. Survival and growth of bivalve larvae under heavy metal stress. Mar. Biol. 41, 179~184.
- Calabrese, A., R.S. Collier, D.A. Nelson and J.R. MacInnes. 1973. The toxicity of heavy metals to embryos of the American Oyster *Crassostrea virginica*. Mar. Biol. 18, 162~166.
- Clark, R.C. Jr. and J.S. Finley. 1975. Uptake and loss of petroleum hydrocarbons by the mussel *Mytilus edulis* in laboratory experiments. Fish. Bull., 73, 508~515.
- Davidson, B.M., A.O. Valkirs and P.F. Seligman. 1986. Acute and chronic effects of tributyltin on the mysid (*Acanthomyxis sculpta*) (Crustacea: Mysidacea). Naval Oceans Syst. Cen. Tech. Draft Rep. San Diego, CA.
- Dillon, T.M. and W.D.S. Burton. 1991. Acute toxicity of PCB congeners to *Daphnia magna* and *Pimephales promelas*. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 46, 208~215.
- Dillon, T.M., W.H. Benson, R.A. Stackhouse and A.M. Crider. 1990. Effects of selected PCB congener on survival, growth and reproduction in *Daphnia magna*. Environ. Toxicol. Chem., 9, 1317~1326.

- Doughtie, D.G., K.R. Rao. 1983a. Ultrastructural and histological study of degenerative changes, leading to black gills in grass shrimp exposed to dithiocarbamate biocide. *J. Invertebr. Pathol.*, 41, 33~50.
- Doughtie, D.G., K.R. Rao. 1983b. Ultrastructural and histological study of degenerative changes in the antennal glands, hepatopancreas and midgut of grass shrimp exposed to two dithiocarbamate biocides. *J. Invertebr. Pathol.*, 41, 281~300.
- Doughtie, D.F., K.R. Rao. 1984. Histopathological and ultrastructural changes in the antennal gland, midgut, hepatopancreas, and gill of grass shrimp following exposure to hexavalent chromium. *J. Invertebr. Pathol.*, 43, 89~108.
- Ferreira, A.M., C. Cortesao, O.G. Castro and C. Vale. 1990. Accumulation of metals and organochlorines in tissues of the oyster *Crassostrea angulata* from the Sado Estuary, Portugal. *Sci. Total Environ.*, 97, 627~639.
- Finney, D.J. 1971. *Probit Analysis*, 3rd edn. London: Cambridge University Press.
- Gibbs, P.E., G.W. Bryan, P.L. Pascoe and G.R. Burt. 1987. The use of the dog-whelk, *Nucella lapillus*, as an indicator of tributyltin (TBT) contamination. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 67, 507~523.
- Gilbert, J. 1993. The fate of environmental contaminants in the food chain. *Chem. Protec. Environ.*, 143, 103~111.
- Hummel, H., J.P. Uitoudegroeneveld, J. Nieuwenhuize, J. M. Van-Laere and R. H. Bogaards. 1989. Relationship between PCB concentrations and reproduction in mussel *Mytilus edulis*. *Res. Organ. Pollut.*, 28, 489~493.
- Hummel, H., R.H. Bogaards, J. Nieuwenhuize, L. De-Wolf and J.M. Van-Laere. 1990. Spatial and seasonal differences in the PCB content of the mussel *Mytilus edulis*. *Sci. Total Environ.*, 92, 155~163.
- Knickmeyer, R. and H. Steinhart. 1988. Seasonal differences of cycle organochlorines in eggs of the hermit crab, *Pagurus bernhardus* L. from the North Sea. *Sarsia*, 73, 291~298.
- Laughlin, R.B. Jr. and W.J. French. 1980. Comparative study of the acute toxicity of a homologous series of trialkyltins to larval shore crabs, *Hemigrapsus nudus*, and lobster, *Homarus americanus*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 25, 802~809.
- Lee, B.D., T.Y. Lee and P. Chin. 1975. Effects of crude oil ingredients on the development and oxygen uptake of hard clam *Meretrix lusoria* (Roding). *Publ. Inst. Mar. Sci. Nat'l. Fish. Univ. Busan*, 8, 31~38.
- Lenwood, W.H. Jr., S.J. Bushong, W.S. Hall and W.E. Johnson. 1988. Acute and chronic effects of tributyltin on a Chesapeake Bay copepod. *Environ. Toxicol. Chem.*, 7, 41~46.
- Linden, E., B.E. Bengtsson, O. Svanberg and G. Sundstrom. 1979. The acute toxicity of 78 chemicals and pesticide formulation against two brackish water organisms; the bleak (*Alburnus alburnus*), and the harpacticoid *Nitocra spinipes*. *Chemosphere*, 8, 843~851.
- Lussler, S.M., J.H. Gentile and J. Walker. 1985. Acute and chronic effects of heavy metals and cyanide on *Mysidopsis bahia*. *Toxicology*, 7, 25~35.
- McCahon, C.P. and D. Pascoe. 1988. Cadmium toxicity to the freshwater amphipod *Gammarus pulex* (L.) during the molting cycle. *Freshwater Biol.*, 19, 197~203.
- Moore, P.G. and P.S. Rainbow. 1987. Copper and zinc in an ecological series of talitroidean Amphipoda (Crustacea). *Oecologia*, 73, 120~126.
- Nelson, D.A., A. Calabrese and J.R. MacInnes. 1977. Mercury stress on juvenile bay scallops *Argopecten irradians* under various salinity-temperature regimes. *Mar. Biol.*, 43, 293~297.
- O'Hara, J. 1973. The influence of temperature and salinity on the toxicity of cadmium to the Fiddler crab, *Uca pugilator*. *Fish. Bull.*, 71, 149~153.
- Rainbow, P.S. and S.L. White. 1989. Comparative strategies of heavy metal accumulation of crustaceans: zinc, copper and cadmium in a decapod, an amphipod and a barnacle. *Hydrobiologia*, 174, 245~262.
- Rainbow, P.S. and S.L. White. 1990. Comparative accumulation of cobalt by three crustaceans: a decapod, an amphipod and a barnacle. *Aquat. Toxicol.*, 16, 113~126.
- Richer, G. and R.H. Peters. 1993. Determinants of the short term dynamics of PCB uptake by plankton. *Environ. Toxicol. Chem.*, 12, 207~218.
- Robert, W.W. and P.F. Michael. 1976. Acute and chronic toxicity of copper to four species of *Daphnia*. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 33, 1685~1691.
- Ruiz, X. and G.A. Liorente. 1991. Seasonal variation of DDT and PCB accumulation in muscle of carp (*Cyprinus carpio*) and eel (*Anguilla anguilla*) from the EbroDelta, Spain. *Vie-Milieu*, 41, 133~140.
- Salazar, M.H. and S.M. Salazar. 1987. TBT effects on juvenile mussel growth. *In Proceedings of Organotin Symposium, Oceans 87*, IEEE Pub. Ser., New York, 1504~1510.
- Salazar, M.H. and S.M. Salazar. 1988. Tributyltin and mussel growth in San Diego Bay. *In Proceedings of Organotin Symposium, Oceans 88*, IEEE Publ. Ser. New York, 1188~1195.
- Short, J.W., S.D. Rice, C.C. Brodersen and W.B. Stickle. 1989. Occurrence of tri-n-butyltin-caused imposex in the North Pacific marine snail *Nucella lima* in Auke Bay, Alaska. *Mar. Biol.*, 102, 291~297.
- Smith, B.S. 1971. Sexuality in the American mud snail, *Nassarius obsoletus* Say. *Proc. Malc. Soc. Lond.*, 39, 378.
- Staveland, G. and I. Marthinsen. 1989. Growth, condition and PCB content of cod (*Gadus morhua* L.) and flounder (*Platichthys flesus* L.) in the Hvaler area, southern Norway. *Copenhagen, Denmark ICES*, 14.
- Thain, J.E., M.J. Waldock and M.E. Waite. 1987. Toxicity and degradation of tributyltin (TBT) and dibutyltin (DBT) in the aquatic environment. *In Proceedings of Organotin Symposium, Oceans 87*, IEEE Pub. Ser., New York, 1398~1404.
- Thurberg, F.P., M.A. Dawson and R.S. Collier. 1973. Effects of copper and cadmium on osmoregulation and oxygen consumption in two species of estuarine crabs. *Mar. Biol.*, 23, 171~175.
- U'ren, S.C. 1983. Acute toxicity of bis(tributyltin)oxide to a marine copepod. *Mar. Pollut. Bull.*, 14, 303~306.
- Vernberg, W.B. and J. O'Hara. 1972. Temperature-salinity stress and mercury uptake in the fiddler crabs *Uca Pugilator*. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 29, 1491~1494.
- Vernberg, W.B., P.J. DeCoursey, M. Kelly and D.M. Johns. 1977. Effects of sublethal concentrations of cadmium on adult *Palaemonetes pugio* under static and flow-through conditions. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 17, 16~24.
- Wright, D.A. and J.W. Frain. 1981. The effect of calcium on cadmium toxicity in the freshwater amphipod, *Gammarus pulex* (L.). *Archs. Environ. Toxicol.*, 10, 321~328.

1999년 3월 31일 접수

1999년 9월 9일 수리