

유기주석 노출에 의한 Mysid, *Neomysis awatschensis*의 독성 영향

지정훈*, 김상규, 황운기*, 강주찬

부경대학교 수산생명의학과
*국립수산과학원 동해연구소

The Toxic Effects of Mysid, *Neomysis awatschensis* Exposed to Organotin

Jung-Hoon Jee*, Sang-gyu Kim, Un-Gi Hwang* and Ju-Chan Kang

Department of Aquatic Life Medicine, Pukyong National University
*East Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute

ABSTRACT

Tests for the toxicity of tributyltin (TBT) were conducted on mysid collected from Dadepo beach, Pusan, Korea. The toxic effects of tributyltin on the survival, growth and oxygen consumption of the mysid, *Neomysis awatschensis* have been evaluated. Mysids were exposed to several concentrations of TBT (0, 0.56, 1.15, 3.07 and 6.12 $\mu\text{g/L}$) for 6 weeks. Survival rate was decreased with increases in concentration and exposure time and the reduction of more than 40% occurred at TBT concentration greater than 1.15 $\mu\text{g/L}$ after 6 weeks. Growth rate was significantly decreased at concentrations greater than 1.15 $\mu\text{g/L}$. Oxygen consumption rate was also decreased in a concentration-dependent way and significantly decreased to 39, 47 and 69% of the control at 1.15, 3.07 and 6.12 $\mu\text{g/L}$, respectively. These results indicate that the contamination of aquatic environment by TBT has the potential to significantly reduce coastal and estuaries recruitment of mysid.

Key words : *Neomysis awatschensis*, Tributyltin, Survival, Growth, Oxygen consumption

서 론

Tributyltin (TBT)을 포함하는 유기주석 화합물 (Butyltin compounds)은 선박의 방오료 (antifouling paints) 외에 PVC 안정제, 플라스틱 첨가제, 산업용 촉매제 등의 매우 다양한 용도로 사용되고 있다 (Blunden and Champman, 1986; Morcillo *et al.*, 1997). 자연적인 상태에서도 생성되는 Methyltins을

제외한 유기주석 대부분은 산업활동과 관련성이 매우 높다 (Guard *et al.*, 1981). 유기주석 노출에 따른 환경 문제로서의 제기는 1970년대 프랑스의 Arcachon bay에서 양식된 굴 중에서 패각의 기형을 유발하여, 이에 대한 조사의 결과 선박의 방오료로 사용되던 Tributyltin (TBT)의 해수 중 농도와 패각의 기형빈도가 높은 상관관계로 판명되어 많은 관심을 불러 일으키게 되었다 (Alzieu *et al.*, 1989; Champ and Lowenstein, 1987).

유기주석 노출과 관련된 면역계의 영향을 조사한 결과, rat의 thymus 장기의 감량 및 비장과 임파

※ To whom correspondence should be addressed.
Tel: 82-51-620-6146, E-mail: jeejh@mail1.pknu.ac.kr

선 T-세포 영역의 위축(Snoeiij *et al.*, 1985)을 유발하고, 어류에 대한 영향으로는 minnow (*Phoxinus phoxinus*)의 단기노출로 인하여 기형유발 및 부화 지연(Fent, 1996), 송사리 (*Orizyas latipes*) 및 구피 (*Poecilia reticulata*)의 경우 간, 신장, 안구 및 아가미 상피세포의 병리조직학적 병변 보고(Wester and Canton, 1987) 및 어류의 면역계에 미치는 영향을 보고한 연구의 예가 있다(Rice *et al.*, 1995). 해양생물에 대한 연구에서는 굴 및 진주담치와 같은 이매패류의 성장을 저해하며(Salazar and Salazar, 1991), 고둥, 달팽이 등을 비롯한 복족류에서는 암컷에서의 수컷의 생식기가 형성하는 imposex 현상을 유발한다고 보고되고 있다(Oehlmann *et al.*, 1998; Horiguchi *et al.*, 1994). 또한 TBT는 아주 낮은 농도(ppb)에서도 식물성 플랑크톤의 광합성을 저해시켜(Lindblad *et al.*, 1989), 동물성 플랑크톤의 섭식 형태를 변화시킬 뿐만 아니라 유용어족자원의 감소를 초래하는 것으로 알려지고 있다(Petersen and Gustavson, 1998). 이처럼 TBT가 해양생물에 미치는 독성의 영향이 크기 때문에 영국(1986), 프랑스(1986) 등 선진국에서는 TBT 사용을 금지하여 해양환경에서 지속적으로 이에 대한 감시를 강화하고 있는 실정에 있으며, 우리나라의 경우 2002년 3월에 규제법이 공포되어 시행되고 있다. 따라서, 대체 방오성분에 대한 연구가 절실하며, 개발된 물질의 독성정도를 파악해야 할 필요성이 대두되고 있다. 최근 Kobayashi 등(2002)은 신규 방오성분에 대한 수생 생물의 발달 형성에 미치는 영향을 조사하였다.

이러한 연구 결과로부터 환경 내에 미량의 유기 주석농도에서도 해양 생물에 미치는 독성 효과가 매우 클 것으로 생각되지만, 자연 생태계 내의 유용 먹이생물인 곤쟁이에 대한 TBT의 영향에 대한 연구는 전무한 실정이다. 본 연구의 실험 재료인 곤쟁이류는 식용이나 해산어류의 먹이생물로서 생태적으로 중요한 위치에 있다. 이들은 개체의 크기가 비교적 소형이면서 연중생식을 하여 다세대를 형성하며, 연안 기수역에 주로 분포한다. 또한 이 종은 1회에 다량 채집이 가능할 뿐만 아니라, 실험실내 사육이 용이하여 해양오염에 대한 생물검정 시험의 재료로서 장점이 많다(Nimmo *et al.*, 1979; Gaudy *et al.*, 1991). 따라서, 본 연구에서는 TBT 유입이 빈번한 하구나 연안해역에서 서식하며, 유용

먹이생물로 생태계의 영양단계에서 중요한 위치에 있는 반부유성 갑각류인 곤쟁이를 대상으로 TBT 노출에 따른 생존, 성장, 산소소비의 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

실험재료

실험재료인 곤쟁이, *Neomysis awatschensis*는 1999년 3월 부산 대대포의 인근해역에서 손 그물로 채집하여 1시간 이내 실험실로 운반하여 400 l 순환식 여과수조에서 10일 이상 순치시켰다. 먹이로는 *Artemia* sp. 부화유생을 공급하였으며, 실험에는 운동성이 활발하고, 외관상 건강한 개체로 판단되는 체장 4.1~4.7 mm의 곤쟁이를 사용하였다.

노출조건

모든 실험과정 동안 실험동물간의 공식을 방지하기 위하여 실험구는 각 농도별로 용량 1 l 유리병에 시험용액 500 ml을 넣은 다음 실험개체를 1마리씩 투입하였고, 광주기는 25 W의 형광등을 이용하여 명암 조절(12L:12D)하였다. 실험용액은 먹이를 공급하는 시간을 제외하고 다중채널펌프(multi-channel pump, ISMATEC, Switzerland)를 사용하여 지속적인 실험용액을 공급하여 TBT 독성 이외

Table 1. The water qualities of seawater during the experiment of TBT exposure

Item	Value ¹⁾
Temperature (°C)	20±1.2
Salinity (‰)	32.7±1.2
pH	8.2±1.2
Dissolved oxygen (mg/L)	7.1±1.2
NH ₄ ⁺ -N (µg/L)	1.23±0.08
NO ₂ ⁻ -N (µg/L)	0.48±0.05
NO ₃ ⁻ -N (µg/L)	25.2±2.35
PO ₄ ³⁻ -P (µg/L)	5.1±0.15
COD (mg/L)	0.98±0.13
SS (mg/L)	6.4±0.8
Fe (µg/L)	5.2±0.4
TBT (µg/L)	N.D. ²⁾

¹⁾Value are means ± S.E. (n=42)

²⁾Not detected.

의 다른 요인에 의한 영향을 최대한 배제하였다. TBT (bis(tributyltin)oxide, $C_{24}H_{54}OSn_2$, Fluka Co.)에 대한 노출농도는 예비시험을 바탕으로 0, 0.56, 1.15, 3.07 및 6.12 $\mu\text{g/L}$ 의 5구간을 설정하였고, 실험에 사용한 해수는 자연해수를 미공여과(공경, 3 μm)하여 사용하였다. 대조구(농도 0)는 용매인 아세톤과 희석수인 증류수의 일정량을 첨가해 6주간 노출하였다. 실험기간 중의 염분(Water Checker, U-10, Horiba, Ltd)을 비롯하여 수온, pH(pH meter, 250A, Orion Research Inc.) 및 용존산소(YSI 53, Yellow Spring Instrument Co., USA) 및 기타 수질은 매일 측정하였다. 모든 실험은 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 조건이 가능한 항온실에서 실시하였으며, 실험기간동안의 수질은 Table 1과 같다.

생존, 성장 및 산소소비율 측정

TBT 농도별 생존 및 성장에 대한 실험은 유사한 크기의 곤쟁이를 각 농도구 당 20마리씩 선별하여 농도 구별로 3개의 반복구로 설치하여 6주간 시험하였고, 이를 다시 반복 실험하였다. 24시간마다 사망한 개체를 계수하여 생존율로 나타내었고, 성장은 실험시작과 실험종료시에 체장을 측정하였다. 체장은 안병을 제외한 액각에서 제6복절의 끝까지, 미각장은 제6복절의 끝에서 강모를 제외한 미각의 외지 끝까지 측정하였다. 먹이는 실험종료 1일전에는 공급하지 않았으며, 실험도중에 사망한 개체가 관찰되는 경우 사망개체는 평균값의 개체가 사망한 것으로 판단하여 계산하였다. 곤쟁이의 산소 소비율에 미치는 TBT의 영향을 판단하기 위하여 실험구별 7일 단위로 Kang 등(1995)이 사용한 유수식 순환방식 장치를 이용해 산소소비량을 측정하였다. 간략히 설명하면, 실험 수조를 O_2 가스에 의해 산소 포화상태로 유지할 수 있는 수조에 연결하여 실험 수조의 유입수를 포화도 100% 상태로 유지하였으며, 실험 수조의 유출수에는 용존산소 측정기를 설치하였고, 호흡검량 장치(YSI 5300, Biological oxygen monitor)에 기록계를 연결시켜 산소소비량을 기록하였다. 산소소비량은 6회의 평균치로 계산하였으며, 각 실험농도별로 6주간의 실험기간동안 매주 1회 농도구별로 5개체를 선별 측정하여, 단위건중당 산소소비량($\mu\text{l } O_2 \text{ mg}^{-1} \text{ DW h}^{-1}$)으로 나타내었다.

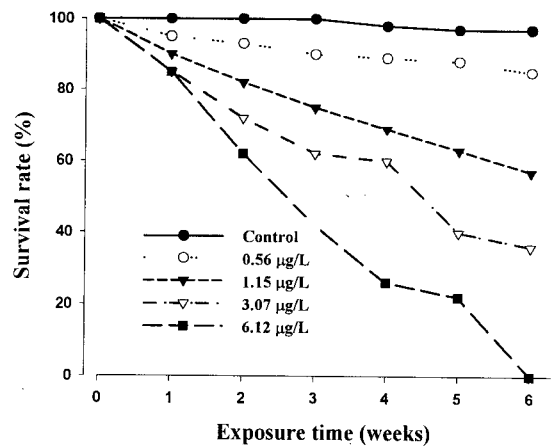


Fig. 1. Changes of survival rate in the mysid, *Neomysis awatschensis* exposed to various TBT concentrations for 6 weeks.

통계 분석

반복 실험 결과에 대한 유의성 검정은 SPSS 통계프로그램(SPSS Inc.)을 이용한 ANOVA-test를 실시한 후 사후 다중비교는 Least Square Difference (LSD) test를 실시하여 평균간의 유의성을 $P < 0.05$ 수준에서 검정하였다.

결과 및 고찰

TBT 노출에 따른 곤쟁이의 생존

6주간의 실험 동안 곤쟁이의 생존율은 TBT를 첨가하지 않은 대조구에서는 97%의 생존율을 나타내었지만, TBT 노출 실험구에서는 농도와 노출기간이 증가할수록 생존율이 감소하는 경향을 나타내었다. 저 농도인 0.56 $\mu\text{g/L}$ 에서 6주간 노출된 곤쟁이의 생존율은 85%로 높게 나타났지만, 농도가 증가한 1.15, 3.07 및 6.12 $\mu\text{g/L}$ 에서는 급격히 감소해 각각 57, 36 및 0%를 나타내었다(Fig. 1). 오염물질의 독성이 생물에 미치는 영향은 생물의 종과 생리적인 상태에 따라 차이가 있지만(De Listle and Roberts, 1988; Birregaard, 1990), 대부분 노출농도와 기간에 의존적으로 사망률이 증가하는 것으로 알려지고 있다(Cho et al., 2001; Tak and Kim,

2001). 본 실험에서도 노출 6주 후 대조구에서는 97%의 생존율을 나타내었지만, 농도가 증가할수록 사망률이 급격히 증가해 1.15 $\mu\text{g/L}$ 이상의 농도구에서 대조구에 비해 40% 이상 생존율이 감소했으며, 가장 고농도인 6.12 $\mu\text{g/L}$ 에서는 사망률이 급격히 증가해 생존률이 0%를 나타내, 노출농도와 기간에 의존적으로 사망률이 증가하는 것을 알 수 있었다. 유기주석에 의한 생존 결과로는 단기간의 결과가 대부분이며, 현재까지 알려진 급성독성의 결과로는 요각류인 *Eurytemora affinis*의 72시간 반수치사농도(72-h LC_{50})는 0.6 $\mu\text{g/litre}$ 이었으며, mysid shrimp (*Acanthomysis sculpta*)의 경우는 0.41 $\mu\text{g/litre}$ 으로 조사되었다. 또한 갯지렁이 (*Arenicola cristata*)의 96-h LC_{100} 는 4 $\mu\text{g/litre}$ 로 나타났다 (IPCS, 1990). 수중환경 내에서 카드뮴이나 알루미늄과 같은 중금속에 의한 생물의 사망 원인은 호흡과 이온조절 능력 저하에 의한 것으로 알려져 있다 (Wicklund-Glynn *et al.*, 1992; Waring *et al.*, 1996). 본 연구에서도 유기주석농도에 따른 생존율 감소가 이러한 호흡기능과 관련이 높은 것으로 생각된다. 따라서 산소소비량을 측정하여 유기주석과 곤쟁이의 호흡기능과의 관계를 확인하고자 하였다.

TBT 노출에 따른 곤쟁이의 성장

성장률은 TBT 농도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈으며, TBT 농도 0.56 $\mu\text{g/L}$ 에서 대조구에 비해 7% 감소해 11.4%를 나타내었으나 유의적인 차이는 없었다. 하지만, 1.15, 3.07 및 6.12 $\mu\text{g/L}$ 에서는 성장률이 대조구에 비해 각각 19, 14 및 57% 감소해, 10.0, 10.5 및 5.3%로 대조구에 비해 유의적으로 감소하였다 ($P < 0.01$, Fig. 2). 일반적으로 해양생물은 부적절한 환경에 노출되었을 때 증가된 스트레스를 경감시키기 위해 에너지 소모가 증가하고 궁극적으로 성장의 둔화가 나타나는 것으로 알려져 있으며 (Barton and Iwama, 1991; Pickering, 1992), 본 실험에서도 유사하게 TBT 농도가 증가할수록 성장률이 감소하는 경향을 나타냈으며, 1.15 $\mu\text{g/L}$ 이상의 실험구에서는 유의적인 감소를 나타내었다. 본 실험에서 3.07 $\mu\text{g/L}$ 의 실험구에서 낮은 농도인 1.15 $\mu\text{g/L}$ 의 TBT에 노출된 실험구보다도 높은 성장률을 나타내었지만, 이 둘간은 통계적 차이가 나타나지는 않았다. 일반적으로 성장률

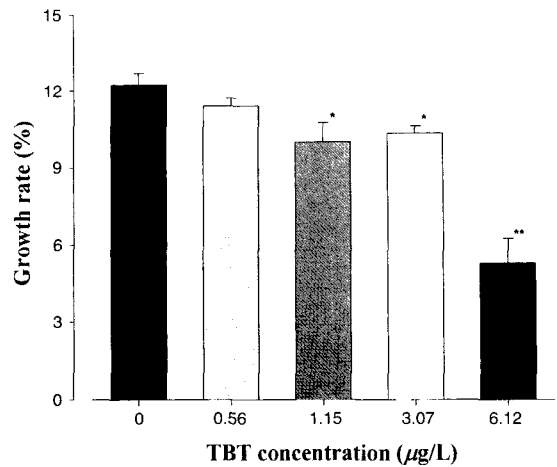


Fig. 2. Growth rate of the mysid, *Neomysis awatschensis* exposed to various TBT concentrations for 6 weeks. Vertical bars represent the standard error of the mean of surviving individuals. * $P < 0.05$ and ** $P < 0.01$ from control (0 $\mu\text{g/L}$ TBT).

은 대사율과 밀접한 관련을 가지고 있듯이 (Kim and Chin, 1995), 본 실험에서도 성장률은 산소 소비율과 비슷한 경향으로 TBT 농도가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났고, 현재까지 알려진 TBT 노출로 인한 성장에 미치는 영향을 조사한 문헌 (Stephenson *et al.*, 1986; Tak and Kim, 2001)에서와 같이 노출농도 및 노출시간에 비례하여 감소하는 경향을 나타내었다.

TBT 노출에 따른 곤쟁이의 산소 소비율

TBT 노출에 따른 산소 소비율의 변화는 생존 및 성장률과 비슷하게 TBT 농도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈다. 0.56 $\mu\text{g/L}$ 에서 대조구에 비해 17% 감소해, 0.32 $\mu\text{l O}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ DW h}^{-1}$ 의 산소 소비율은 나타냈지만, 유의적인 차이는 없었다. 그러나, 1.15 $\mu\text{g/L}$ 에서는 대조구에 비해 39% 감소해 0.23 $\mu\text{l O}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ DW h}^{-1}$ 의 산소 소비율을 나타냈으며 ($P < 0.05$), 3.07과 6.12 $\mu\text{g/L}$ 에서는 대조구에 비해 각각 47과 69% 감소해, 0.20 및 0.12 $\mu\text{l O}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ DW h}^{-1}$ 로 대조구에 비해 유의적으로 감소하였다 ($P < 0.01$, Fig. 3). 산소 소비율은 외부 환경변화에 대한 대사율의 변동을 나타낼 뿐만 아니라, 생체리듬의 변동을 나타내는 생리적 지표의 하나로 널리 사용

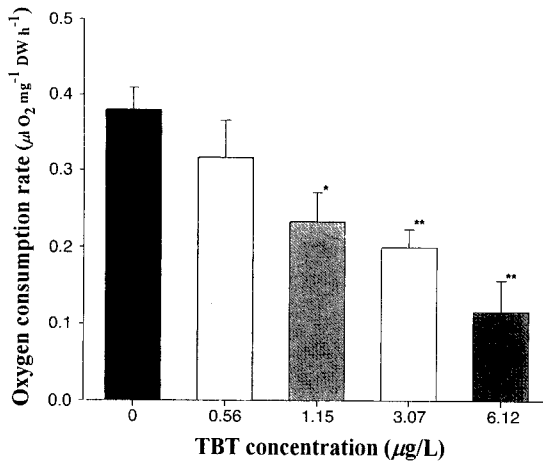


Fig. 3. Oxygen consumption rate of the mysid, *Neomysis awatschensis* exposed to various TBT concentrations for 6 weeks. Vertical bars represent the standard error of the mean of five individuals. * $P < 0.05$ and ** $P < 0.01$ from control (0 µg/L TBT).

되어지고 있다 (Kim and Chin, 1995). 본 실험에서 산소 소비율은 TBT 농도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었으며, 6주 후 생존율은 1.15 µg/L에서 대조구에 비해 57%나 감소하여 유의적인 차이를 나타내었다. 또한, 노출 농도가 증가할수록 산소 소비율은 급격히 감소하였고, 생존률 0%를 나타낸 6.12 µg/L에서는 대조구에 비해 69%의 감소를 나타내어, TBT 노출에 의한 곤쟁이의 사망률 증가는 산소 소비율과 같은 생리적 기능 저하에 영향을 초래함을 알 수 있었다.

결 론

선박, 그물 및 해양구조물의 부착생물 방지제로 널리 사용되는 Tributyltin (TBT)의 독성을 평가하기 위하여 하구와 연안해역에 주로 서식하며, 어류나 갑각류의 중요한 먹이 생물로 사용되는 곤쟁이, *Neomysis awatschensis*의 생존, 성장 및 산소소비의 변화에 미치는 영향을 조사하였다. 곤쟁이는 0, 0.56, 1.15, 3.07 및 6.12 µg/L의 TBT 농도에 6주간 노출되었다. TBT 농도와 노출기간이 증가할수록 사망률이 급격히 증가해 생존율이 감소했으며, 1.15 µg/L 이상의 실험구에서 40% 이상의 급격한 생존

율 감소를 나타내었다. 또한, 성장률과 사료효율도 TBT 농도가 증가할수록 감소해 1.15 µg/L 이상의 농도에서 현저하게 감소하였다. 산소 소비율도 TBT 농도의 증가와 더불어 감소해, 1.15, 3.07 및 6.12 µg/L의 실험구에서 대조구에 비해 각각 39, 47 and 69%로 유의적인 차이를 나타내었다. 이상의 결과로부터, 곤쟁이의 성장과 산소 소비율을 감소시키는 1.15 µg/L 이상의 TBT가 하구나 연안지역으로 유입될 경우, 하구나 연안해역에 서식하는 곤쟁이의 분포 및 개체군에 많은 악영향을 미칠 것으로 판단되며, 향후 폭넓은 대상종을 이용한 만성적 노출로 인한 다양한 방면의 조사연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Alzieu Cl, Sanjuan J, Michel P, Borel M and Dreno JP. Monitoring and assessment of butyltins in Atlantic coastal waters, Mar. Pollut. Bull. 1989; 20: 22-26.
- Barton BA and Iwama GK. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids, Annual Rev. Fish. Dis. 1991; 19: 3-26.
- Birregaard P. Influence of physiological condition on cadmium transport from haemolymph to hepatopancreas in *Carcinus maenas*, Mar. Biol. 1990; 106: 199-206.
- Blunden SJ and Champman A. Organotin compounds in the environment. In P.J. Craig (Ed.), Organometallic compounds in the environment, Longman Group, Harlow, Essex 1986; pp. 111-159.
- Champ MA and Lowenstein FL. TBT: The dilemma of high-technology antifouling paints, Oceanus 1987; 30 (3): 69-77.
- Cho KS, Min EY, Jee JH, Kim JW, Ahn CM and Kang JC. Changes of inorganic matter and enzyme activity in the hemolymph of oyster, *Crassostrea gigas* Exposed to TBTO, J. Fish Pathol. 2001; 14(2): 65-70.
- De Lisle PE and Roberts MH. The effects of salinity on cadmium toxicity to the estuarine mysid *Mysidopsis bahia*: role of chemical speciation. Aquat. Toxicol. 1988; 12: 357-370.
- Fent K. Ecotoxicology of organotin compounds, CRC Crit. Rev. Toxicol. 1996; 26(1): 1-117.
- Gaudy R, Guerin JP and Keramburm P. Sublethal effects of cadmium on respiratory metabolism, nutrition, excretion and hydrolase activity in *Leptomysis lingvura* (Crustacea:

- Mysidacea), *Mar. Biol.* 1991; 109: 493–501.
- Guard HE, Cobet AB and Coleman WM. III. Methylation of trimethyltin compounds by estuarine sediments, *Science* 1981; 21: 770.
- Horiguchi T, Shiraishi H, Shimizu M, Yamazaki S and Morita M. Imposex and organotin compounds in Thais Clavigera and T. bronni in Japan, *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 1994; 74: 651–669.
- IPCS. Tributyltin compounds. 1990; Environmental Health Criteria 116.
- Jeffrey WS and Frank P. Toxicity of tri-n-butyltin to chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*, adapted to seawater, *Aquacult.* 1987; 61: 193–200.
- Kang JC, Matsuda O and Chin P. Combined effects of hypoxia and hydrogen sulfide on survival, feeding activity and metabolic rate of blue crab, *Portunus trituberculatus*, *J. Korean Fish. Soc.* 1995; 28: 549–556.
- Kim CH and Chin P. The effects of dietary energy/protein ratio and oxygen consumption, ammonia nitrogen excretion and body composition in juvenile rockfish, *Sebastes schlegeli*, *J. Korean Fish. Soc.* 1995; 28(4): 412–420.
- Kobayashi N and Okamura H. Effects of new antifouling compounds on the development of sea urchin, *Mar. Pollut. Bull.* 2002; 44: 748–751.
- Lindblad C, Kautsky U, Andre C, Kautsky N and Tedengren M. Functional response of *Fucus vesiculosus* communities to tributyltin measured in an *in situ* continuous flow-through system, *Hydrobiologia.* 1989; 188/189: 277–283.
- Morcillo Y, Borghi V and Porte C. Survey of organotin compounds in the western mediterranean Using Molluscs and fish as sentinel organisms, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 1997; 32(2): 198–203.
- Nimmo DR, Bahner LH, Rigby RA, Sheppard JM and Wilson Jr AJ. Mysidopsis bahia an estuarine species suitable for life-cycle toxicity tests to determine the effects of a pollutant. ASTM STP 634, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA. 1979; pp. 109–116.
- Oehlmann J, Stroben E, Schutle-Dehlmann U and Bauer B. Imposex development in response to TBT pollution in *Hinia incrassata* (Strom, 1768) (Prosobranchia, Stenoglossa), *Aquat. Toxicol.* 1998; 43: 239–260.
- Petersen S and Gustavson K. Toxic effects of tri-butyl-tin (TBT) on autotrophic ico-, nano-, and microplankton assessed by a size fractionated pollution-induced community tolerance (SF-PICT) concept, *Aquat. Toxicol.* 1998; 40: 253–264.
- Pickering AD. Rainbow trout husbandry: management of the stress response, *Aquacult.* 1992; 100: 125–139.
- Rice CD, Banes MM and Ardel TC. Immunotoxicity in channel catfish, *Ictalurus punctatus*, following acute exposure to tributyltin, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 1995; 28: 464–470.
- Salazar MH and Salazar SM. Assessing site-specific effects of TBT contamination with mussel growth rates, *Mar. Environ. Res.* 1991; 32: 131–150.
- Snoeij NJ, Van Iersel AJJ, Penninks A and Seinen W. Toxicity of triorganotin compounds: Comparative in vivo studies with a series of trialkyltin compounds and triphenyltin chloride in male rats, *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 1985; 81: 274–286.
- Stephenson MD, Smith DR, Goetzl J, Ichikawa G and Martin M. Growth abnormalities in mussels and oysters from areas with high levels of tributyltin in San Diego Bay. Ocean '86 Conference Record, Science-Engineering-Adventure, Organotin Symposium 1986; 4: 1246–1251.
- Tak KT and Kim JK. The effect of TBT toxicity on survival and growth of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*, *J. Korean Fish. Soc.* 2001; 34(2): 103–108.
- Waring CP, Brown JA, Collins JE and Prunet P. Plasma prolactin, cortisol and thyroid responses of the brown trout, *Salmo trutta*, exposed to lethal and sublethal aluminium in acidic soft waters, *Gen. Comp. Endocrinol.* 1996; 102: 377–385.
- Wester PW and Canton JH. Histopathological study of *Poecilia reticulata* (guppy) after long-term exposure to bis(tri-n-butyltin)oxide (TBTO) and di-n-butyltin-chloride (DBTC), *Aquat. Toxicol.* 1987; 10: 143–165.
- Wicklund-Glynn A, Norrgren L and Malmberg O. The influence of calcium and humic substances on aluminium accumulation and toxicity in the minnow, *Phoxinus phoxinus*, at low pH, *Comp. Biochem. Physiol.* 1992; 102C: 427–432.