

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

2. 유기주석 및 중금속에 대한 총알고둥의 성장, 대사 및 조직학적 변화

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

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

2. The Growth, Metabolism and Histological Changes Exposed to TBTCI and Heavy Metals in *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.

The survival rates of *Littorina brevicula* exposed to experimental concentration regimes of TBTCI, Hg and Cd on the large and the small size individuals during 80 days were 80% at 0.9ppb TBTCI, 40 and 25%, respectively at 200ppb Hg, and 75 and 45%, respectively at 100ppb Cd. The growth rates of the experimental animals exposed to each concentration for 80 days was 0.023 mm/day at control, 0.019 mm/day at 0.1ppb and 0.014 mm/day at 0.9ppb TBTCI, 0.022 mm/day at 5ppb, 0.008 mm/day at 200ppb Hg, and 0.017 mm/day at 5ppb, 0.008 mm/day at 100ppb Cd. The respiration rates and excretion rates of the experimental animals exposed to chronic concentration of TBTCI, Hg and Cd were decreased until approximately 40 days and increased after. Toxic effect of pollutants on *L. brevicula* was highest at TBTCI. The histological injury of *L. brevicula* exposed to TBTCI, Hg and Cd was shown at gill, digestive organ and muscle, respectively.

Key words: *Littorina brevicula*, growth rate, respiration rate, excretion rate, histological changes

서 론

자연환경에 방출되는 여러 가지 중금속은 직접적으로 또는 다양한 먹이망 경로를 통해 누적적으로 생물체내에 흡수되어 조직내에 축적된다. 이러한 중금속의 생체내 흡수에 대한 생물의 반응으로서 중금속 결합 단백질인 metallothionein이 유도되어 유독 중금속을 무독성화시키는 것과, 중금속의 생체의 배출을 촉진시키는 것 등이 있다 (Viarengo et al., 1988). 그러나 이러한 무독성화 또는 배출의 정도는 중금속의 종류 및 생물 종에 따라 다르며, 동물의 생리적 상태에 따라라도 차이가 있다.

그리고 선박 및 어망 도료의 주요한 첨가제로 이용되고 있는 TBT와 같은 유기화합물은 패류의 생식소에 영향을 미쳐 imposex현상을 유발시키는 것으로 보고 (Smith, 1971)되고 있어, 자원 및 생태계 보존의 측면에서 유기화합물과 같은 환경오염원에 대한 생물학적 검정은 매우 필요하다.

개체에 대한 오염원의 아치사 영향은 성장, 대사 및 생식력 등의 감소로 인해 에너지흐름이 변화하여 (Widdows et al., 1984), 개체군 변동을 초래하게 되어 생태계에 영향을 주게 된다.

중금속으로 인한 오염이 생물체에 미치는 영향에 대한 연구는 생물체내 축적에 관한 것 (Langston and Zhou, 1987; Moore and Rainbow, 1987; Rainbow and White, 1990), 전생활사를 통한 만성영향 (D'Agostino and Finney, 1974; Nimmo et

al., 1977), 수온과 염분간의 관계 (Vernberg and Vernberg, 1972; Axiak and Schembri, 1982), 그외 Metallothionein의 유도 (Bebiano and Langston, 1992) 및 성장 대사변화 (Biesiger and Christensen, 1972; Kang et al., 1997) 등이 있다. TBTCI이 생물체에 미치는 영향에 관한 연구로는 imposex 유발 및 생물체내에 미치는 급성 및 만성적인 영향 (Beaumont and Budd, 1984; Hall et al., 1988; Lapota et al., 1993; Osada et al., 1993) 등의 보고가 있으나 국내 연구로서 생물 실내사육을 통하여 오염원의 내성 및 조직학적 병변현상을 다룬 보고는 아직 미흡한 실정이다.

어떤 물질에 의한 환경오염을 생각할 때, 가장 중요시하여야 할 문제는 생체에 미치는 영향이다. 이 경우에 그 물질에 대한 오염원이 무엇인지, 생체에 대한 오염은 어떤 경로에 의하여 이루어지고 있는지 그리고 오염과정에 있어서 여러 가지 환경하에서 어떤 변화로 존재하는가를 알 필요가 있다. 특히 생물의 반응은 오염 및 외부환경 스트레스의 영향을 통합하고 있으므로 생물에 미치는 실질적인 영향을 평가하는데 적합하다.

따라서 본 연구는 실제현장에서 적용할 수 있는 유기주석 및 중금속 오염원의 만성저해영향 농도에서 그에 따른 독성과 내성 등을 총알고둥의 성장, 대사 및 조직학적 병변현상 등의 생물학적 방법을 이용하여 환경영향평가를 위한 기초자료를 얻는데 목적이 있다.

재료 및 방법

실험동물인 총알고둥은 1997년 11월부터 1998년 8월에 걸쳐 부산광역시 동백섬 조간대에서 채집하여, PVC 수조에 적당한 밀도로 넣어서 수조의 1/3로 해수를 채운 뒤 공기를 공급하면서 1주일 동안 순응시켰다. 실험에 이용한 개체의 크기는 5 ± 1 mm로 선별해서 사용하였으며, 수온은 $23 \pm 1^\circ\text{C}$, 염분은 32 ± 1 ‰였다.

실험용액은 TBTCI의 경우 0.1, 0.3, 0.6 및 0.9ppb, Hg은 0.5, 5, 10, 50, 100 및 200ppb 그리고 Cd은 0.5, 5, 50, 및 100ppb의 만성적인 농도를 설정하여 실험하였으며, 먹이는 3일에 1회씩 구멍갈 파래와 미역을 공급하였다.

총알고둥의 성장은 각 오염원별 실험농도에 폭로시켜 개별 사육하면서 5일마다 버니아젤리퍼를 이용하여 각고를 측정하여 각고의 증가길이를 평균성장으로 나타내었다. 산소소비량은 각 오염원의 실험농도에 폭로된 개체를 10일 단위로 무작위 추출하여 산소검량기 (YSI 58형)를 사용하여 측정하였으며, 질소배설은 Solozano (1969)의 phenolhypochlorite법으로 분석하였다.

총알고둥의 조직학적 변화양상은 각 오염원의 실험농도별로 폭로된 41일째 개체들을 각 실험구에서 무작위로 10개체씩을 선택하여 조사하였다. 조사에 선택된 개체들은 패각을 제거한 후 Bouin's solution에 일정시간 고정하여 파라핀 절편법으로 두께 $4\sim 6 \mu\text{m}$ 의 연속절편을 제작한 후, Mayer's hematoxylin과 0.5% eosin (H-E)으로 비교염색 한 후 현미경으로 관찰하였다.

실험기간동안 농도의 변화를 줄이고 수질악화를 예방하기 위하여 매일 각 실험농도별로 실험 용액의 반을 새로운 용액으로 교환하였으며, 폐사 측정 및 반수치사농도 분석은 전보 (Chin et al., 1999)와 같다.

결 과

1) 생존

총알고둥을 80일 동안 TBTCI, Hg 및 Cd에 폭로시켰을 때의 생존률을 Fig. 1에 나타내었다. 각 오염원에 80일간 폭로시켜 사육한 후 생존률은 TBTCI의 경우 0.9ppb에서 80%, Hg의 경우는 0.5ppb에서 90%를 보였고, 200ppb에서는 25%로 개체 생존률에 대한 영향이 매우 컸다. Cd의 경우 100ppb에서 45%로 각 실험농도별 생존율은 고농도로 갈수록 시간의 경과에 따라 감소하였다.

2) 성장

대조구와 각 오염원별 실험농도에 폭로시킨 총알고둥의 성장은 80일 동안 5일 간격으로 각고를 측정하여 Table 1에 일일 성장률로 나타내었다. TBTCI에 폭로시킨 경우, 일일 평균성장률은 0.1 $\mu\text{g}/\ell$ 에서 0.019 mm/day로 17.39%, 0.9 $\mu\text{g}/\ell$ 에서는 0.014 mm/day로 39.13% 감소하였으며, Hg은 50 $\mu\text{g}/\ell$ 에서 0.015 mm/day로 34.78%, 200 $\mu\text{g}/\ell$ 에서 0.008 mm/day로 65.22% 감소하였다. 그리고 Cd에 노출시킨 경우는 5 $\mu\text{g}/\ell$ 에서 0.017 mm/day로 26.09%, 100 $\mu\text{g}/\ell$ 에서 0.008 mm/day로 65.22% 감소하여 모두 각 오염원의 농도증가에 따라 대조구에 비하여 성장률은 감소하는 경향을 보였으며,

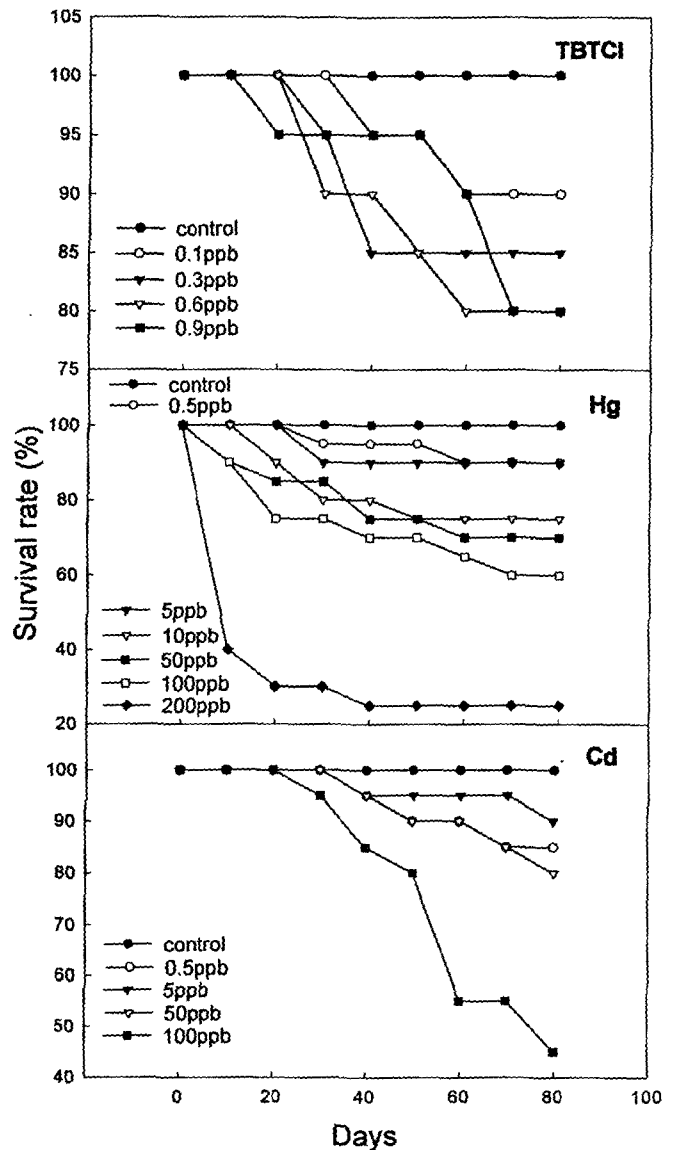


Fig. 1. Survival rates of *Littorina brevicula* for TBTCI, Hg and Cd toxicity test at 23°C during 80days (Shell length: 5 ± 1 mm).

TBTCI과 Cd 및 Hg의 증급속의 영향간에는 유의한 성장감소의 차이를 보였으며 ($p < 0.05$), Cd과 Hg간에는 유의한 차이를 나타내지 않았다 ($p > 0.05$, Table 1).

3) 산소소비 및 질소배설

Fig. 2는 TBTCI, Hg 및 Cd의 각 실험농도에 80일 동안 폭로시킨 총알고둥의 산소소비율의 변화를 10일 간격으로 측정하여 나타낸 것이다.

TBTCI의 경우, 0.1~0.6ppb의 각 실험 농도구에서 폭로 20일까지 초기에는 약간 증가하다가, 0.9ppb를 포함한 모든 실험구에서 40일까지 산소소비율은 감소했으며 이후 증가하는 경향을 보였다. 0.9ppb의 농도에서 산소소비율은 전 실험기간에 걸쳐 현저히

Table 1. *Littorina brevicula*. Mean growth rates of body length for 80days in experimental individuals exposed to TBTCI, Hg and Cd

Pollutant	Test conc. ($\mu\text{g}/\ell$)	Initial length (mm)	Final length (mm)	Mean growth rate (mm/day)	Rate of decrease (%)
Control		4.06	5.92	0.023	
TBTCI	0.1	5.10	6.62	0.019	17.39
	0.3	5.33	6.77	0.018	21.74
	0.6	4.96	6.35	0.017	26.09
	0.9	5.49	6.62	0.014	39.13
Hg	0.5	4.44	6.24	0.023	0.00
	5	4.53	6.30	0.022	4.35
	10	5.76	7.34	0.020	13.04
	50	5.25	6.47	0.015	34.78
Cd	100	4.85	5.79	0.012	47.83
	200	4.74	5.36	0.008	65.22
	0.5	5.01	6.69	0.021	8.70
	5	5.20	6.56	0.017	26.09
Cd	50	4.74	5.89	0.014	39.13
	100	4.93	5.58	0.008	65.22

낮았다. 또한, Hg 및 Cd의 경우도 TBTCI에 폭로시킨 총알고둥의 산소소비율의 경향과 유사하였으며 특히, Hg의 200ppb 농도에서는 40일까지 계속 크게 감소하다가 다시 증가하였으나 70일을 기점으로 다시 감소 경향을 보였으며 전 실험기간에 걸쳐 산소 소비율은 현저히 낮았다. 전반적으로 모든 실험구의 산소소비율은 40일에서 50일까지 감소하다가 이후 증가하는 경향을 보였다. 대조구의 경우 사육일수에 따라 산소소비율은 사육초기부터 40일까지 증가하다가 사육 40일 이후 80일까지 대체로 일정한 값을 보였다.

Fig. 3은 TBTCI, Hg 및 Cd의 각 실험농도에 80일 동안 폭로시킨 총알고둥의 암모니아 배설률을 10일 간격으로 측정하여 나타낸 것으로 대조구에서는 다소 일정한 경향을 보인 반면 모든 오염원에 폭로시킨 암모니아 배설률은 50~60일째에 최대로 감소하였다가 다시 증가하는 경향을 나타내었다.

4) O:N비

TBTCI, Hg 및 Cd의 각 실험 농도구에 80일 동안 폭로된 총알고둥의 80일째 산소소비율, 암모니아 질소배설률 그리고 O:N비를 Table 2에 나타내었다. 각 오염원 농도별로 폭로된 총알고둥의 산소소비율과 암모니아 질소배설률은 대체로 대조구보다 낮았지만, O:N비는 대조구의 82.04에 비해 Hg 0.5ppb에서 67.17, 5ppb에서 79.63 그리고 200ppb에서 44.16의 경우를 제외하고는 모두 높은 값을 보였으며 각 오염원의 농도에 따른 경향은 볼 수 없었다.

5) 조직학적 변화

TBTCI, Hg 및 Cd의 각 농도에 폭로된 총알고둥의 아가미, 소화관, 발 근육층의 조직학적 변화 양상을 관찰하여, 그 가운데 41일째 TBTCI 0.6 $\mu\text{g}/\ell$, Hg 0.5 $\mu\text{g}/\ell$ 그리고 Cd 5.0 $\mu\text{g}/\ell$ 의 농도구에서의 자료를 Fig. 4와 5에 나타내었다.

아가미의 경우는 새엽 상피세포의 변형과 혈구 및 호산성세포

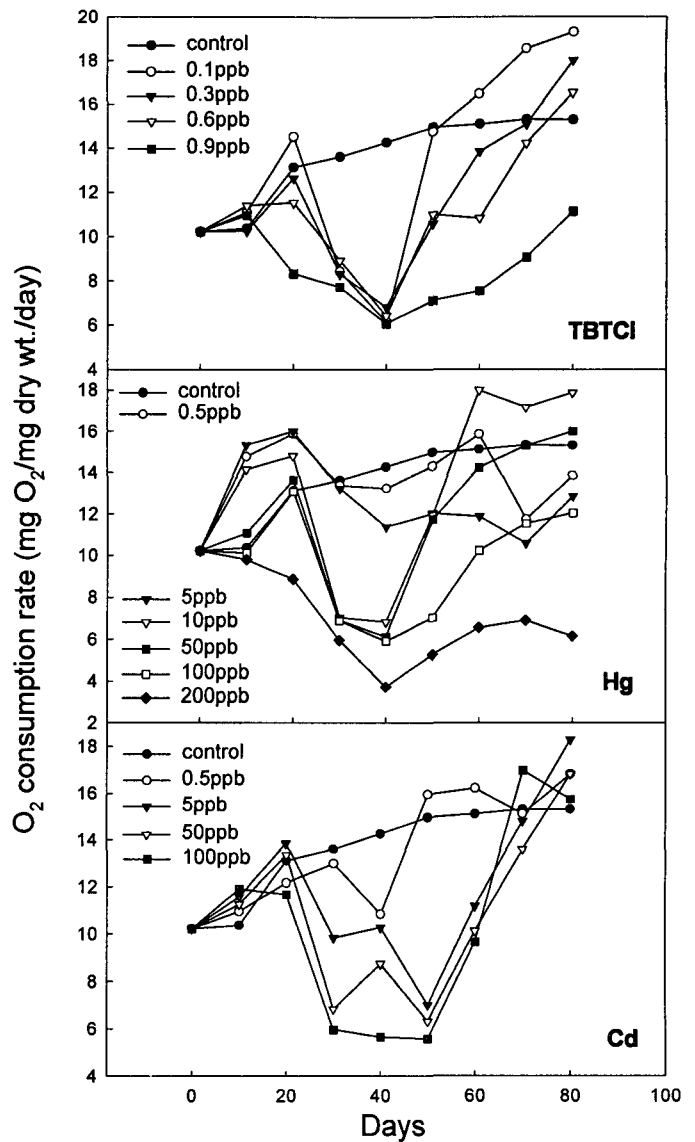


Fig. 2. Oxygen consumption rate of *Littorina brevicula* exposed to TBTCI, Hg and Cd at 23°C during 80days in the laboratory (shell length: 5 ± 1 mm).

들이 다수 나타나며, 전체적으로는 상피층의 과대증식과 말단부의 곤봉화 현상이 뚜렷하게 관찰되었다. 아가미의 조직학적 변화양상은 오염원별로 볼 때 TBTCI > Hg > Cd의 순으로 나타났다. 소화관에서는 점막상피의 변형, 점막상피층과 점막주름의 괴사 및 변형이 뚜렷이 나타났으며, 소화관의 조직학적 변화양상은 오염원별로 볼 때 Hg > TBTCI > Cd의 순으로 나타났다. 발 근육층의 조직학적 변화양상은 근섬유의 핵축축, 근섬유 다발의 분리와 공포화 변성이 특히 뚜렷한데, 그 정도는 오염원별로 볼 때 Cd > TBTCI > Hg의 순으로 나타났다. 각 기관별 조직에 대한 TBTCI의 영향은 Hg과 Cd에 의한 영향보다 크게 나타났으며 오염원의 종류에 따른 영향은 생물의 부위 특이성을 보였다.

고찰

TBT는 많은 저서무척추동물의 성장과 생식에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며 (Thain et al., 1987; Bately et al., 1989; Bryan et al., 1989), 카드뮴이나 수은과 같은 중금속은 염분과 온도의 영향이 매우 중요하며 (O'Hara, 1973), 조직내 축적되고 (White and Rainbow, 1986; Bjerregaard, 1990), 동물의 생리적 상태에 따라 차이가 있다 (Bjerregaard, 1990).

TBTCl, Hg 및 Cd의 각 실험 농도구에 수온 23°C에서 80일간 총알고등을 폭로시킨 결과 대조구에 비해 각 오염원별 성장률은 오염원의 농도증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이는 *Mysidopsis bahia*를 유기인계 농약 fentnion에 만성적으로 폭로시켰을

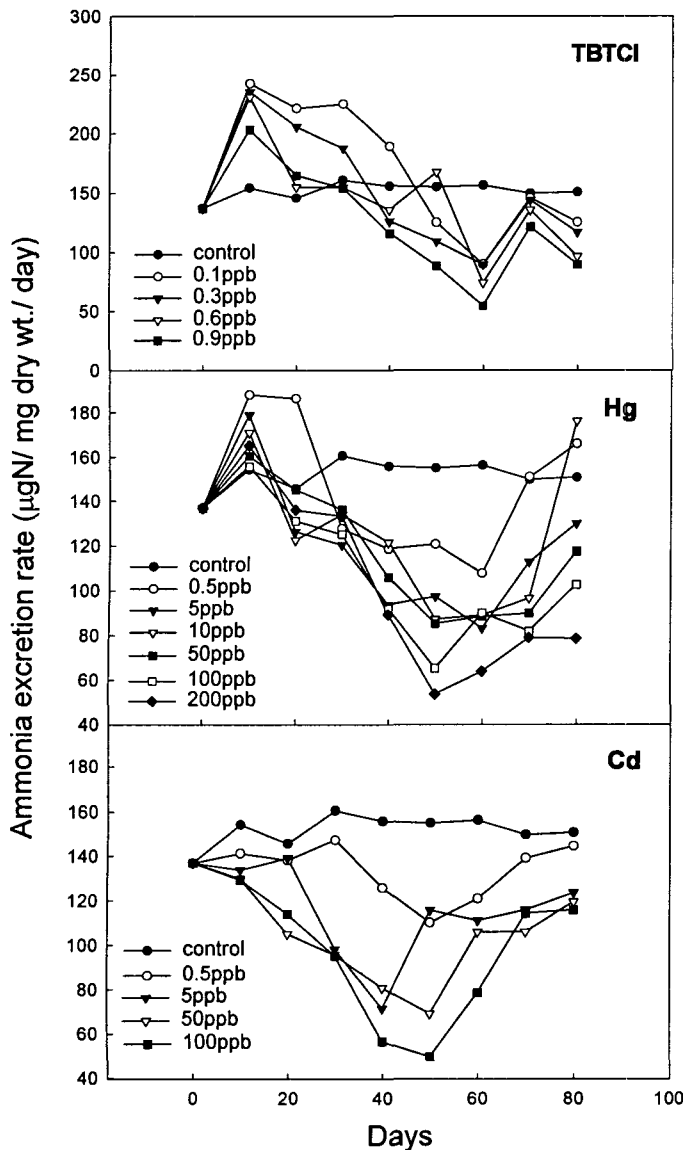


Fig. 3. Ammonia excretion rate of *Littorina brevicula* exposed to TBTCI, Hg and Cd at 23°C during 80days in the laboratory (shell length: 5 ± 1 mm).

Table 2. Rates of oxygen consumption and nitrogen excretion, and O:N ratio in *Littorina brevicula* exposed to TBTCI, Hg and Cd after 80days; individual size: 5 ± 1 mm

Pollutant	Concentration (µg/l)	Oxygen (µgO ₂ /mg dw/d)	Total N (µgN/mg dw/d)	O:N (atomic ratio)
Control		882.65	10.76	82.04
	0.1	1110.46	8.94	124.19
TBTCI	0.3	1042.48	8.35	124.78
	0.6	951.47	6.89	138.01
	0.9	640.14	6.40	99.95
	0.5	795.94	11.85	67.17
Hg	5	739.16	9.28	79.63
	10	1028.04	9.72	105.75
	50	919.49	8.39	109.54
	100	692.44	7.33	94.42
	200	247.73	5.61	44.16
	0.5	967.28	10.32	93.75
Cd	5	1051.40	8.82	119.17
	50	967.56	8.53	113.44
	100	906.04	8.27	109.61

때 고농도일수록 시간이 경과함에 따라 생존률과 성장률이 감소 (McKenney, 1986)하고, Cd, Cu 및 Cr에 장기간 노출시킨 *Neomysis awatschensis*의 생존률 및 성장률 감소경향 (Kang et al., 1997)과 유사하였다. 특히 게류 *Callinectes sapidus*는 Hg 10 µg/l에서 발생이 지연되었으며 (McKenney and Costlow, 1981, 1982), 생식과 생존은 수은, 아연등 중금속의 만성농도에서 민감했다 (Lussler et al., 1985). 또한 게류, *Hemigrapsus nudus*의 zoea유생은 TBTO농도 25ppb에서 8일 이내 모두 사망하였으며, *Homarus americanus* 유생은 TBTO농도 5ppb에서 6일 이후 100% 모두 사망하였다 (Laughlin and French, 1980). 그리고 TBT에 대한 패류의 영향도 심각하였는데, *Crassostrea gigas*는 TBTO농도 0.15ppb의 낮은 농도에서도 패각이 비후해지면서 성장감소 (Waldock and Thain, 1983)가 일어나 총알고등의 고농도에서 성장감소가 일어나는 TBTCI의 경향과 유사하였다.

각 오염원별 실험농도에 폭로시킨 총알고등의 호흡률 및 배설률의 변화는 오염원에 폭로된 후 40일 경과까지는 점차 감소경향을 보였으나 50일 이후부터는 차츰 증가양상을 보여주어, 20일간 Cd에 노출시킨 *Neomysis awatschensis*의 호흡률이 지속적인 감소경향을 나타내는 것 (Kang et al., 1997)과 다른 양상을 보였다. 그리고 요각류의 *Acartia clausi*는 구리의 영향으로 산소소비가 증가하고 (Moraitou-Apostolopoulou et al., 1979), 진주담치 *Mytilus edulis*는 감소하는 (Brown and Newell, 1972) 반면, 요각류의 *Pseudocalanus* sp.와 *Calanus* sp.의 산소소비는 구리에 노출된 동안 일정하게 유지되었다 (Reeve et al., 1977)는 보고와도 다른 양상을 보여주었다.

복족류 *Hydrobia ulvae*는 Cd노출에 반응하여 유기호흡을 무기호흡으로 일시적으로 변화시켜 생존을 유지 (Forbes et al., 1992)한다고 보고하였는데, 총알고등도 오염원에 폭로된 초기단계에서는 대사율의 감소를 보이는 일반적인 유형을 보이다가 80일 이상의 장기간 노출에 의해 오염원의 체내 침적, 생리적 대사저해 및

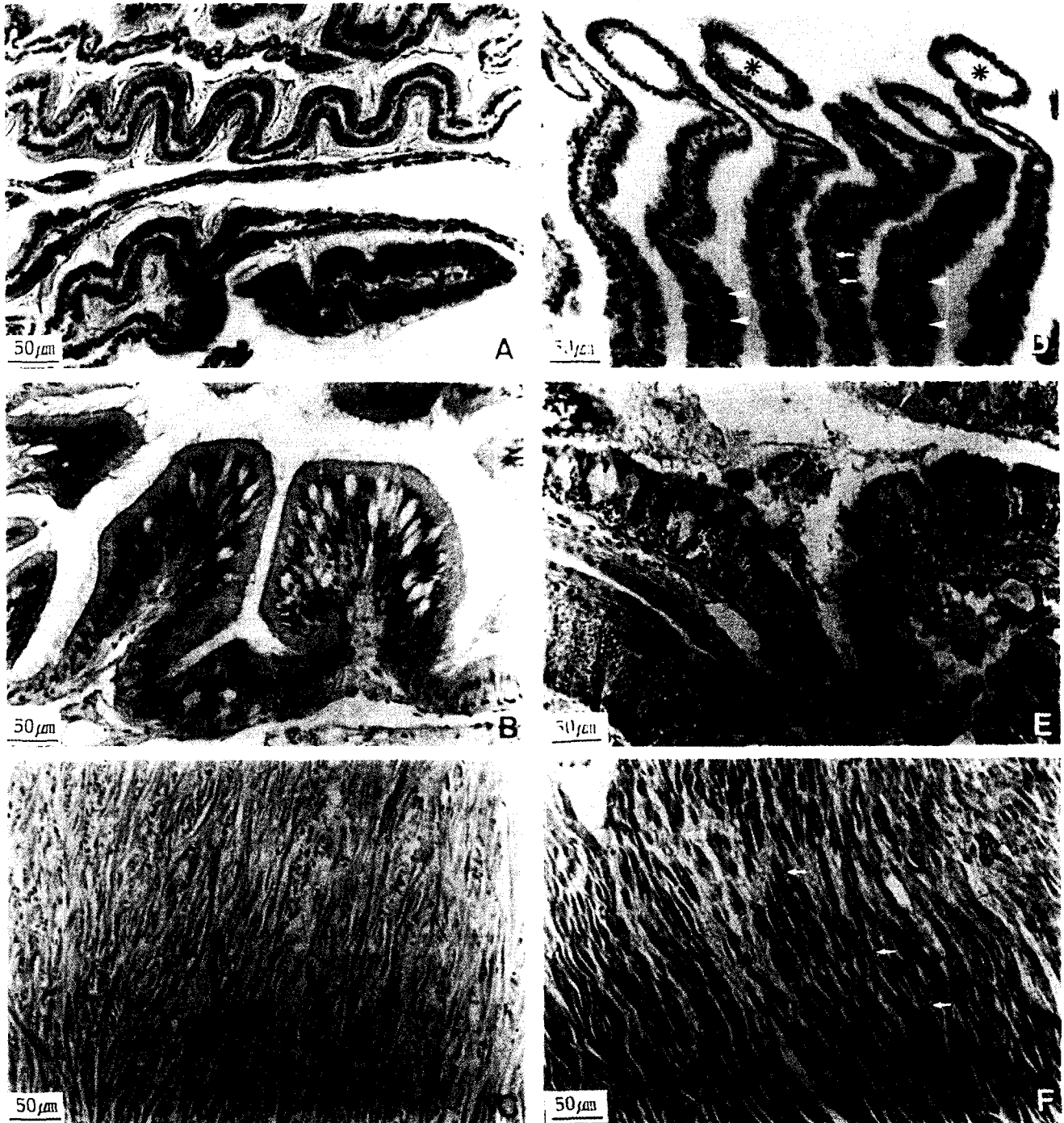


Fig. 4. Histopathology of *Littoria brevicula*. A, B and C: Gill, digestive tract and foot of control group. D: Gill exposed to TBTCI (0.6ppb/41day) showing the hyperplasia and terminal clubbing (*) of gill filament. Note the numerous hemocytes (\downarrow) and eosinophilic cells (\blacktriangledown). E: Digestive tract exposed to TBTCI (0.6ppb/41day) showing the desquamation and necrosis of mucosal epithelial layer. F: Foot muscle exposed to TBTCI (0.6ppb/41day) showing the split of muscle fiber bundles and pycnosis (\downarrow) of the fiber.

에너지고갈 등의 원인으로 인해 최종단계로서 섭취한 에너지의 대부분을 생존하기 위해 사용하는 것으로 여겨진다. 특히 Hg 200 ppb 농도구에서 40일을 기점으로 증가한 산소소비율이 70일 경에 다시 감소하는 것으로 보아 각 오염원의 만성저해실험 농도구들에서 40일 후 산소소비율과 암모니아 배설률이 증가하는 양상은 생존을 위한 대사방어작용의 결과로 추측된다.

총알고둥의 생존률 감소는 오염원에 폭로시킨 40일 이후부터 고농도일수록 현저하였으며, 이는 대사율이 감소하는 시점과 유사하게 나타나는 것으로 보아 오염원의 체내축적으로 인한 체내 대사저해 현상으로 추측되며, 이는 차후 실험을 통해 오염원의 생물학적 특성과 생물에서 일어날 수 있는 여러 가지 반응들을 재검정할 필요가 있다고 여겨진다.

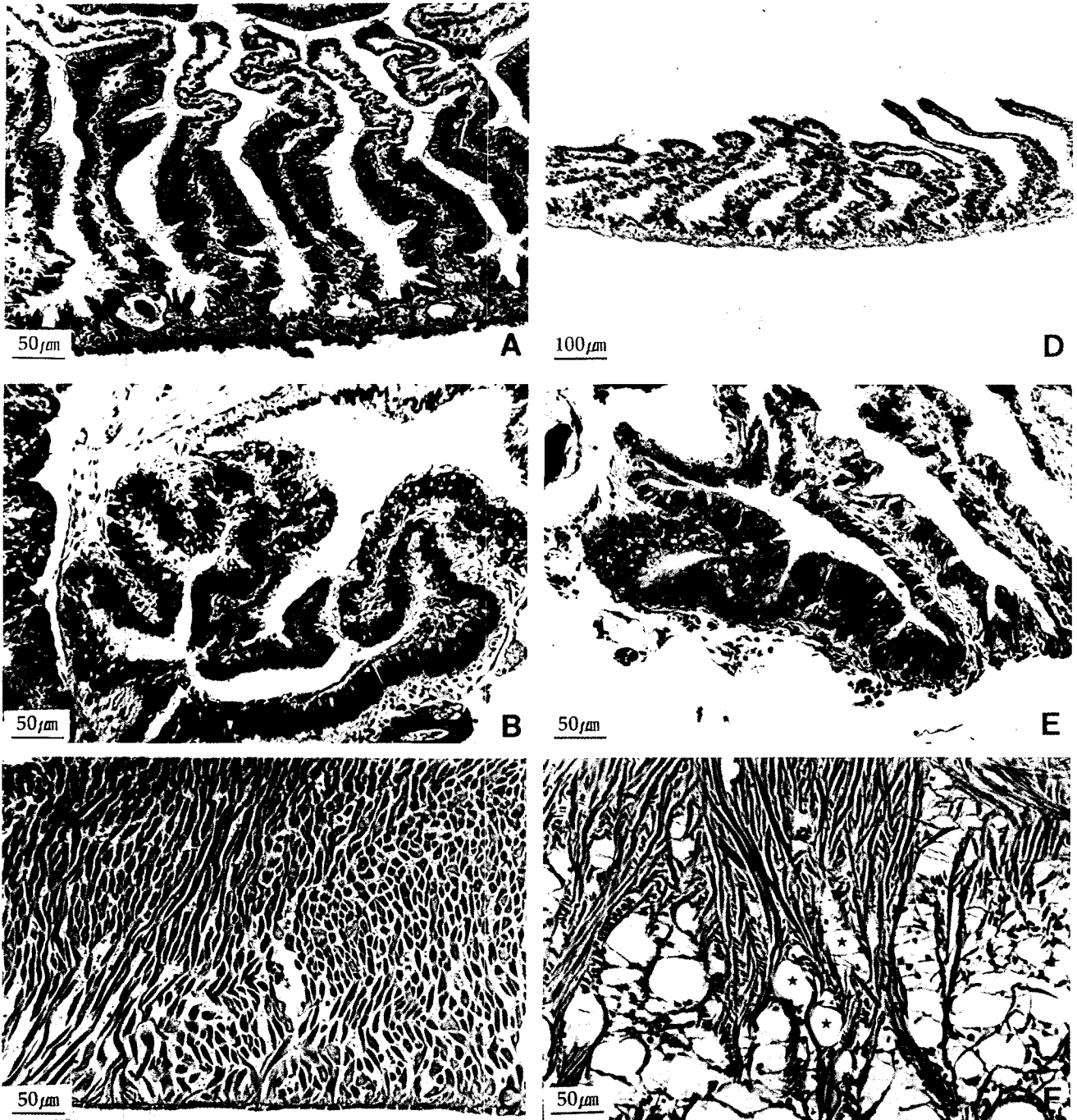


Fig. 5. Histopathology of *Littorina brevicula*. A: Gill exposed to Hg (0.5ppb/41day) showing the desquamation of epithelial cell and numerous hemocytes. B: Digestive tract exposed to Hg (0.5ppb/41day) showing the deformation and necrosis (↓) of mucosal layer. C: Foot muscle exposed to Hg(0.5ppb/41day) showing the split of muscle fiber bundles. D: Gill exposed to Cd (5.0ppb/41day) showing the hyperplasia and terminal clubbing of gill filament. E: Digestive tract exposed to Cd (5.0ppb/41day) showing the deformation (↓) and necrosis of mucosal layer. F: Foot muscle exposed to Cd (5.0ppb/41day) showing the split of muscle fiber bundles and vacuolar degeneration (★)

한편 각 오염원별 만성농도에 폭로되어 있는 동안 총알고둥의 양태는 TBTC1의 경우 거의 뚜껑을 닫고 개체 입구 주변에 점액을 분비하여 막을 형성하였으며, Hg의 경우 역시 뚜껑을 닫고 있으나 막은 형성하지 않았으며 흑색의 구토입자를 내놓았고, Cd의 경우 TBTC1와 Hg의 경우와는 달리 뚜껑을 열고 어느 정도 활동성을 가졌으며 연한 갈색의 배설물을 계속 방출하며 서서

히 활동이 줄게 되면서 반수 이상이 발부분이 마취되듯이 부풀어오르며 그후 시간이 경과함에 따라 완전히 뚜껑을 닫고 기어 들어가게 된다. 각 오염원에 따른 이러한 양태들은 실제 조직사진으로 확인되었기 TBTC1의 경우는 특히 아가미에, Hg의 경우는 소화관에, Cd의 경우는 발의 근육부위에 크게 손상을 주는 것으로 보인다.

요 약

우리나라 전 연안의 조간대에 분포하고 있는 총알고둥을 대상으로 생존, 성장, 호흡, 배설에 미치는 유기주석, 수은 및 카드뮴의 만성저해성 연구를 통하여, 오염으로 인한 독성과 그에 따른 내성 등을 생물학적 방법을 이용하여 조사하였다.

수은 23°C에서 80일 동안 TBTCI, Hg 및 Cd의 각 실험농도에 폭로시킨 총알고둥의 생존율은 TBTCI, 0.9 µg/l에서 80%, Hg, 200 µg/l에서 25%, 그리고 Cd, 100 µg/l에서는 45%였다. 각 실험농도에 폭로된 총알고둥의 일일 평균 성장률은 대조구에서 0.023 mm/day였으며, TBTCI의 경우는 0.1 µg/l에서 0.019 mm/day로 17.39%, 0.9 µg/l에서는 0.014 mm/day로 39.13% 감소하였으며, Hg의 경우는 50 µg/l에서 0.015 mm/day로 34.78%, 200 µg/l에서는 0.008 mm/day으로 65.22% 감소하였다., 그리고 Cd의 경우는 5 µg/l에서 0.017 mm/day로 26.09%, 100 µg/l에서는 0.008 mm/day으로 65.22% 감소하였다. TBTCI, Hg 그리고 Cd의 각 저해농도에 폭로시킨 총알고둥의 호흡 및 질소 배설률은 폭로시간의 경과에 따라 대체로 폭로전반에는 감소하다가 다시 증가하는 경향을 보였다. 각 오염원에 따른 조직학적 변화양상은 TBTCI에서 아가미, Hg에서는 소화관 그리고 Cd의 경우에는 발 근육층부분에서 가장 크게 나타났다.

참 고 문 헌

- Axiak, V. and J.L. Schembri. 1982. Effects of temperature on the toxicity of mercury and cadmium to the littoral gastropod *Monodonta turbinata*. Mar. Poll. Bull., 13, 383~386.
- Bately, G.E., C. Fuhua, C.I. Brockbank and K.J. Flegg. 1989. Accumulation of tributyltin by the Sydney Rockoyster, *Saccostrea commercialis*. Aust. J. Mar. Freshwater Res., 40, 49~54.
- 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, 40 2~405.
- Bebiano, M.J. and W.J. Langston. 1992. Metallothionein induction in *Littorina littorea* (Mollusca: Prosobranchia) on exposure to cadmium. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 72, 329~342.
- Biesiger, K.E. and G.M. Christensen. 1972. Effects of various metals on survival, growth, reproduction and metabolism of *Daphnia magna*. J. Fish. Res. Bd. Can., 29, 1691~1700.
- 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 R.C. Newell. 1972. The effects of copper and zinc on the metabolism of the mussel *Mytilus edulis*. Mar. Biol., 16, 108~118.
- Bryan, G.W., P.E. Gibbs, R.J. Huggett, L.A. Curtis, D.S. Bailey and D.M. Dauer. 1989. Effects of tributyltin pollution on the mud snail, *Ilyanassa obsoleta* from the York River and Sarah Creek, Chesapeake Bay. Mar. Poll. Bul., 20, 458~462.
- Chin, P., J.A. Lee, Y.K. Shin and J.S. Lee. 1999. Environmental tolerance for pollutants in *Littorina brevicula* (Phillipi). 1. The acute effect of TBTCI and heavy metals on survival of *Littorina brevicula*. J. Korean Fish. Soc., in press.
- D'Agostino, A. and C. Finney. 1974. The effect of copper and cadmium on the development of *Tigriopus japonicus*. Poll. Physiol. Mar. Organ. Acad. Pre., pp. 445~463.
- Forbes, V.E. and M.H. Depledge. 1992. Cadmium effects on the carbon and energy balance of mudsnails. Mar. Biol., 113, 263~269.
- Hall, L.W., Jr. S.J. Bushing, W.S. Hall, and W.E. Johnson. 1988. Acute and chronic effects of tributyltin on a Chesapeake Bay Copepod. Environ. Tox. Chem., 7, 41~46.
- Kang, J.C., H.Y. Kim and P. Chin. 1997. Toxicity of copper, cadmium and chromium on survival, growth and oxygen consumption of the mysid, *Neomysis awatchensis*. J. Korean Fish. Soc., 30, 874~881.
- Langston, W.J. and M. Zhou. 1987. Cadmium accumulation, distribution and metabolism in the gastropod *Littorina littorea*: the role of metal-binding proteins. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 67, 585~601.
- Lapota, D., D.E. Rosenberger, M.F. Platter-Rieger, and P. F. Seligman. 1993. Growth and survival of *Mytilus edulis* larvae exposed to low levels of dibutyltin and tributyltin. Mar. Biol., 115, 413~419.
- 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.
- 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.
- McKenney, C.L. Jr. 1986. Influence of the organophosphate insecticide fenthion on *Mysidopsis bahia* exposed during a complete life cycle. I. Survival, reproduction and age-specific growth. Dis. Aquat. Org., 1, 131~139.
- McKenney, C.L. Jr. and J.D. Costlow. 1981. The effects of salinity and mercury on developing megalopa and early crab stages of the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun. In Biological Monitoring of Marine Pollutants. Edi. by J. Vernberg et al., Acad. Pre. Inc., pp. 241~262.
- McKenney, C.L. Jr. and J.D. Costlow. 1982. The effects of mercury on developing larvae of *Rhitropanopeus harrisi* (Gould). 1. Interactions of temperature, salinity and mercury on larval development. Est. Coast. Shelf Sci., 14, 193~213.
- Moraitou-Apostolopoulou, M., G. verriopoulos and P. Lentzou. 1979. Effects of sublethal concentration of cadmium as possible indicators of cadmium pollution for two populations of *Acartia clausi* (Copepoda) living at two differently polluted areas. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 9, 97~100.
- Moore, P.G. and P.S. Rainbow. 1987. Copper and zinc in an ecological series of talitroidean amphipoda (Crustacea). Oecologia, 73, 120~126.
- Nimmo, D.R., L.H. Bahner, R.A. Rigby, J.M. Sheppard and A.J. Wilson. 1977. *Mysidopsis bahia* an estuarine species suitable for life-cycle toxicity tests to determine the effects of a pollutant. ASTM STP634, American Society for Testing and Meterials, Philadelphia, pp. 109~116.
- 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.
- Osada, M., T. Nomura and K. Mori. 1993. Acute toxicity and accumulation of tributyltin oxide in the Japanese Oyster, *Crassostera gigas*. Suisanzoshoku, 41, 439~443.

- 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, 11 3~126.
- Reeve, M.R., J.C. Gamble and M.C. Walter. 1977. Experimental observation on the effects of copper on copepod and other zooplankton: controlled ecosystem pollution experiments. *Bull. Mar. Sci.*, 92~104.
- Smith, B.S. 1971. Sexuality in the American mud snail, *Nassarius obsoletus* Say. *Proc. Malc. Soc. Lond.*, 39, p. 378.
- Solorzano, L. 1969. Determination of ammonia in nature waters by the phenylhypochlorite method. *Lim. Oceano.*, 14, pp. 799~801.
- Thain, J.E., M.J. Waldcock and M.E. Waite. 1987. Toxicity and degradation studies of tributyltin (TBT) and dibutyltin (DBT) in the aquatic environment. *Proc. Intl. Organotin Symp. Oceans '87*, 4, 1398~1404.
- Vernberg, W.B. and J. Vernberg. 1972. The synergistic effects of temperature, salinity, and mercury on survival and metabolism of the adult fiddler crab, *Uca pugilator*. *Fish. Bul.*, 70, 415~420.
- Viarengo, A., G. Mancinelli, G. Martino, M. Pertica, L. Canesi and A. Mazzucotelli. 1988. Integrated cellular stress indices in trace metal contamination: critical evaluation in a field study. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 46, 65~70.
- Waldock, M.J. and J.E. Thain 1983. Shell thickening in *Crassostrea gigas*: organotin antifouling or sediment induced? *Mar. Poll. Bull.*, 14, 411~415.
- Widdows, J., P. Donkin, P.N. Salkeld, J.J. Cleary, D.M. Lowe, S.V. Evans, P.E. Thompson. 1984. Relative importance of environmental factors in determining physiological differences between two populations of mussels (*Mytilus edulis*). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 17, 33~47.
- White, S.L. and P.S. Rainbow. 1986. Accumulation to cadmium by *Palaemon elegans* (Crustacea: Decapoda). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 32, 17~25.

1999년 3월 31일 접수

1999년 9월 9일 수리