

우렁쟁이 (*Halocynthia roretzi*)에 의한 중금속 축적

김성길 · 곽희상* · 최청일** · 강주찬
부경대학교 수산생명의학과, *한국해양연구소 해양생물연구부
**한양대학교 지구해양과학과

Accumulation of Heavy Metals by Sea Squirt, *Halocynthia roretzi*

Seong-Gil KIM, Hi-Sang KWAK*, Chung-II CHOI**
and Ju-Chan KANG

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

*Biological Oceanography Laboratory, KORDI, Ansan 425-600, Korea

**Department of Earth and Marine Science, Hanyang University,
Ansan 425-190, Korea

Experimental culture of *Halocynthia roretzi* was carried out near coast by Wolsung from January to August 1997 to investigate accumulation of heavy metals (Cd, Pb and Cu) by *H. roretzi*. Water temperature, salinity, pH and Suspended Particulate Matter (SPM) were 10.7~25.2°C, 33.0~34.6‰, 8.25~8.49 and 3.84~7.92 mg/L, respectively. The heavy metal accumulation in *H. roretzi* was in the order of Cu>Pb>Cd. Heavy metal concentrations in the organs showed following order;

Gill ≥ Viscera >> Gonad > Muscle > Mantle for Cd, Gill ≥ Viscera >> Gonad > Muscle ≥ Mantle for Pb and Viscera > Gill >> Gonad > Muscle > Mantle for Cu.

Key words: Bioaccumulation, *Halocynthia roretzi*, Cadmium, Lead, Copper

서 론

산업사회의 발달에 따라 연안 생태계 내로 자연적인 정화능력 이상의 많은 양의 중금속이 유입되고 있으며, 이는 연안에서 서식하는 생물에 축적되어 먹이연쇄 등을 통하여 이를 이용하는 사람에게도 많은 악영향을 미치고 있다 (Jonhston, 1976). 연안으로 유입된 중금속의 생물체내 축적정도를 파악하기 위한 수단으로 해양생물을 이용한 biomonitoring 활용이 활발히 수행되고 있으며, 얻어진 결과들은 해양환경상태를 평가 하기 위한 기준으로 활용되고 있다 (Rainbow, 1995). 중금속이 생물에 미치는 영향에 대한 연구는 Tattersfield and Morris (1924)에 의해 실시된 이래 중금속의 실험기술 및 방법 등이 여러 학자들에 의해서 많이 발전되어 왔다 (Hasselrot, 1973; Swedmark et al., 1971). 이러한 실험기술 및 방법 등의 발달은 미량 중금속이 생물에 미치는 영향을 연구하는 계기를 제공하였으며, 해양생물을 대상으로 하는 연구는 주로 저서생물을 중심으로 활발히 전개되었다 (Amiard-Triquet et al., 1986; Cossa et al., 1979; Orren et al., 1980; Macdonald and Sprague, 1988).

해양생물의 중금속 축적에 대한 국내의 연구는 Cho and Kim (1971)이 녹색굴 *Crassostrea gigas*, *Crassostrea rivularis*에서 구리 (Cu)의 함량, Won (1973)이 어패류에서 수은 (Hg), 카드뮴 (Cd), 납 (Pb)의 함량을 조사하였고, 이외에도 진주담치 *Mytilus edulis*, 반지락 *Tapes japonica*, 칠게 *Macrophthalmus japonicus*, 전복 *Haliotis discus*, 꼬막 *Anadara broughtoni* 등 주로 저서동물들을 중심으로 연구가 수행되었다 (Kim, 1972; Kim and Won, 1974;

Park et al., 1977; Lee and Lee, 1984; Hwang et al., 1984; Kwak, 1985; Choi et al., 1992).

우렁쟁이는 수심 10~20 m 연안의 해조류가 풍부한 해역에 많이 분포하며 특히, 해저의 암석, 사력 및 침강된 목재 등의 고형물이 많은 곳에 서식한다 (Jang, 1979). 우리 나라에는 주로 동해안과 남해안의 외양성인 장소에 분포하며 (Chung et al., 1989), 중금속 축적에 대한 연구는 Kalk (1963)가 우렁쟁이에서 바나듐 (V)이 소화기관을 통하여 어떻게 흡수되는가를 연구한 이래, 이 계통의 연구가 진행되고 있다 (Nicholls, 1959; Strohal et al., 1969; Leatherland and Burton, 1974; Won, 1973; Lee et al., 1993). 그러나, 이들 연구의 대부분은 우렁쟁이의 각 기관별 중금속의 축적량을 조사한 것이 아니고, 특정기관에 대한 단편적인 연구에 불과하며, 모든 기관 및 조직에 대한 축적양상을 규명한 자료는 극히 미비한 실정이다.

따라서 본 연구는 우리 나라 연안에 서식하는 우렁쟁이의 중금속 축적정도를 파악하기 위하여 경상북도 월성군 주변해역에 우렁쟁이의 시험 양식장을 설치하여 우렁쟁이의 각 기관별 카드뮴 (Cd), 구리 (Cu) 및 납 (Pb)의 축적정도를 비교·검토하였다.

재료 및 방법

1. 시험 양식장 설치

우렁쟁이의 시험 양식장은 우렁쟁이 양식이 성행하고 있는 경북 월성군 월성군 양남면에서 경북 경주시 감포면에 이르는 5개 정점에 각각 연승 수하식의 우렁쟁이 양식장을 설치하였다 (Fig. 1).

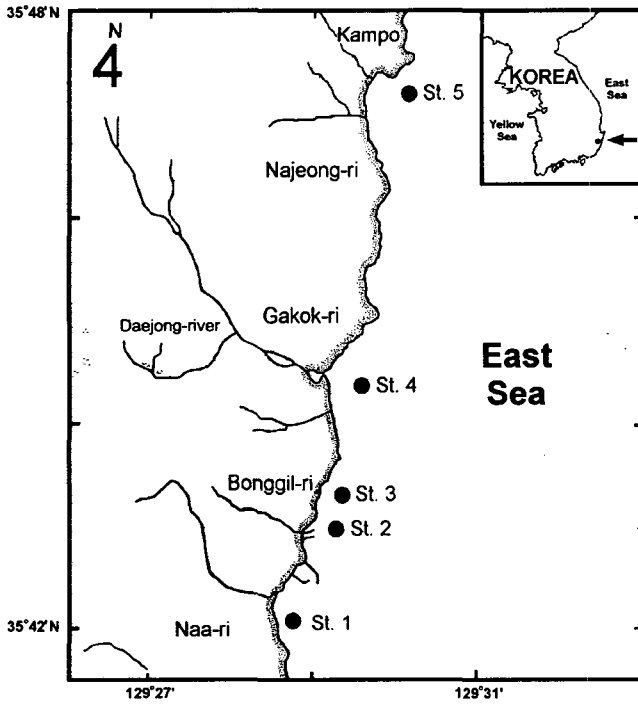


Fig. 1. Map showing the stations of the experimental culture farms in Wolsung, Korea.

2. 시험 양식장 환경조사

시험양식장의 환경조사는 1997년 1월부터 1997년 8월에 걸쳐 매월 1회 수온, 염분 (Electrode Induction Salinometer), pH (Oxidation-Reduction Electrode) 및 Suspended Particulate Matter (SPM)를 조사하였다 (APHA, 1992).

3. 체내의 중금속 분석

우렁쟁이의 각 기관별 중금속 축적정도를 조사하기 위하여 환경조사와 같은 시기에 우렁쟁이를 채집하여 피낭 (Tunic), 입수공 (Branchial siphon), 출수공 (Atrial siphon), 아가미주머니 (Pharyngeal basket), 위 (Stomach), 아가미 (Gill), 창자 (Intestine) 및 생식소 (Gonad)를 해부하였고 (Fig. 2), 각 기관에 있어 소화되었거나 소화되지 않은 먹이생물과 퇴적물 등은 제거한 후, 3차 증류수를 이용하여 세척한 다음 105°C로 건조시켜 건조량을 측정하였다 (Lee and Lee, 1984).

시료는 wet digestion method로 분해하였는데 즉, 1 : 1 HNO₃를 사용하여 120°C에서 가온시키면서 유기물이 완전히 없어져 맑은 색깔이 될 때까지 위 과정을 반복하였다 (APHA, 1992). 완전히 분해시킨 시료에 1% HNO₃ 10 mL을 넣어 anodic stripping voltammetry 방법 (Laxen and Harrison, 1981; Danny and Ewing, 1990)의 Trace Element Analyser (TEA 3000, Chemtronics Co.)를 사용하여 중금속의 농도를 측정하였다. 측정항목의 농도는 µg/g dry wt.으로 환산하였으며, 각 기관별 중금속 축적차이에 대한 유의성은 ANOVA (Zar, 1996)로 검정하였다.

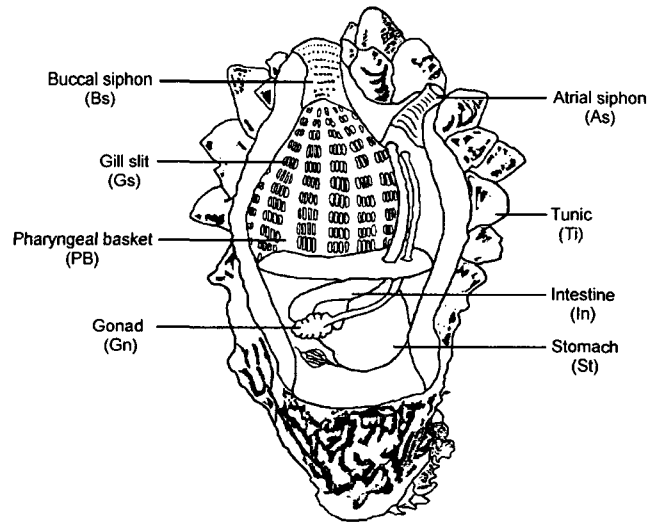


Fig. 2. Diagrammatic lateral view of *Halocynthia roretzi* showing selected internal organs.

결 과

1. 시험양식장의 환경

실험기간동안 수온은 10.7~27.8°C 범위로 2월이 10.7°C로 가장 낮았으며, 8월이 정점 2에서 27.8°C로 가장 높게 나타났다. 염분은 33.02~34.59‰ 범위로 겨울에 높고 여름에 낮은 전형적인 동해안의 염분 변화 양상을 보였다. pH는 8.25~8.49 범위로 조사시기와 정점에 따라 큰 변화 없이 안정적이었다. SPM은 1.50~14.97 mg/L 범위로 2월에 정점 1에서 14.97 mg/L로 가장 높게 나타났고, 8월에 정점 3에서 1.50 mg/L로 가장 낮게 나타났으며, 전체적인 양상은 겨울에서 여름으로 갈수록 낮아지는 결과를 보였다 (Fig. 3).

2. 각 기관별 중금속 함량

우렁쟁이의 각 세부 기관별 중금속 함량을 5개 정점들에 대한 평균값으로 Fig. 4에 나타냈다. 각 세부 기관별 중금속의 함량은 Cd와 Pb는 입수공, Cu는 창자에서 가장 높게 나타났고, 모든 중금속이 피낭에서 가장 낮게 나타내었다;

Cd: 입수공 > 창자 > 출수공 > 아가미 > 위 > 생식소 > 아가미주머니 > 피낭

Pb: 입수공 > 출수공 > 위 > 창자 > 아가미 > 생식소 > 아가미주머니 > 피낭

Cu: 창자 > 위 > 출수공 > 입수공 > 아가미 > 생식소 > 아가미주머니 > 피낭

세부기관별 중금속의 축적정도는 Cd가 입수공에서 가장 높게 나타났고, 창자, 출수공, 아가미 및 위에서는 유사하게 나타나 이들 기관과 생식소, 아가미주머니 및 피낭과의 사이에 유의한 차이가 인정되었다 (p<0.05). Pb는 출수공, 위 및 창자, 또한 아가미주머니와 피낭에서는 유사한 축적정도를 보였고, 이들 기관과 각각의

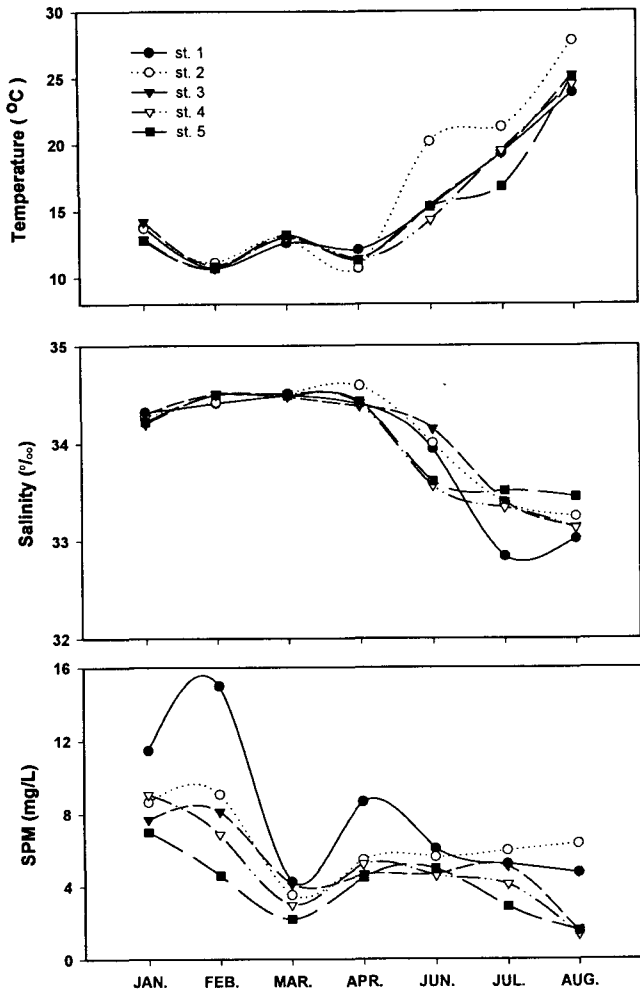


Fig. 3. Monthly variations of water temperature, salinity and suspended particulate matter in the experimental culture farms.

기관 사이에는 유의한 축적차이를 보였다 ($p < 0.05$). Cu는 창자에서 가장 높게 나타나 이외의 기관들과 유의한 차이가 인정되었다. 또한 위, 출수공, 입수공 및 아가미에서는 유사한 축적정도를 나타내었으며, 이들 기관과 생식소, 아가미주머니 및 피낭과는 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$).

상기의 각 기관을 각각 대표기관인 아가미 (입수공, 아가미), 내장 (출수공, 창자, 위), 근육 (아가미주머니), 생식소 및 피낭으로 대별하여 중금속의 축적정도를 보면 다음과 같다 (Fig. 5).

- Cd: 아가미 ≥ 내장 > 생식소 > 근육 > 피낭
- Pb: 아가미 ≥ 내장 > 생식소 > 근육 ≥ 피낭
- Cu: 내장 > 아가미 > 생식소 > 근육 > 피낭

Cd와 Pb의 경우에는 아가미와 내장에서 유사한 축적정도를 나타내었고, 이들 대표기관은 다른 대표 기관들과의 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$). 또한, Cu는 내장에서 가장 높게 축적되었고, 이 기관과 다른 기관들 사이에는 유의한 차이가 인정되었다 ($p < 0.05$).

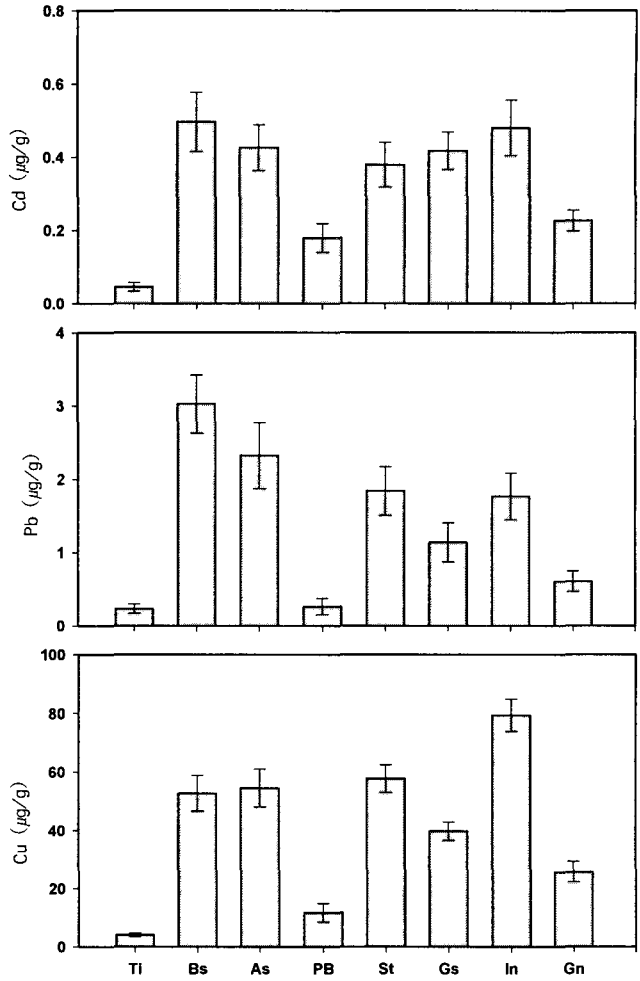


Fig. 4. Mean accumulation concentration of Cd, Pb and Cu with organs of *H. roretzi*. (Tl, Tunic; Bs, Buccal siphon; As, Atrial siphon; PB, Pharyngeal basket; St, Stomach; Gs, Gill slit; In, Intestine; Gn, Gonad).

또한, 우렁쟁이의 각 중금속별 평균축적정도는 Cu 40.96 µg/g, Cd, 0.33 µg/g 및 Pb 1.42 µg/g을 보여 Cu>Pb>Cd의 순으로 높게 나타났으며, Cd와 Pb는 아가미에서, Cu는 소화기관에 가장 많이 축적되었다.

고 찰

해양무척추동물의 중금속 축적에 관한 연구에서 Lakshmanan and Nambisan (1989)에 따르면 담치, *Perna viridis*에 있어 Pb 및 Cu의 축적은 아가미>내장>근육>피낭 순서로 나타났으며, 이같은 이유는 담치가 아가미를 통하여 여과섭식을 하기 때문이라고 하였다. 우렁쟁이에 있어 중금속의 축적정도는 Cd 및 Pb가 아가미 ≥ 내장 > 생식소 > 근육 > 피낭, Cu가 내장 > 아가미 > 생식소 > 근육 > 피낭 순서로 나타나 Pb는 담치와 동일한 결과를 나타내고 있지만, Cu는 아가미에 비해 내장에서 높게 축적되었다. 한편, 일부 연구에 의하면 패류에서는 Cu 축적이 아가미에 비해 소화기관

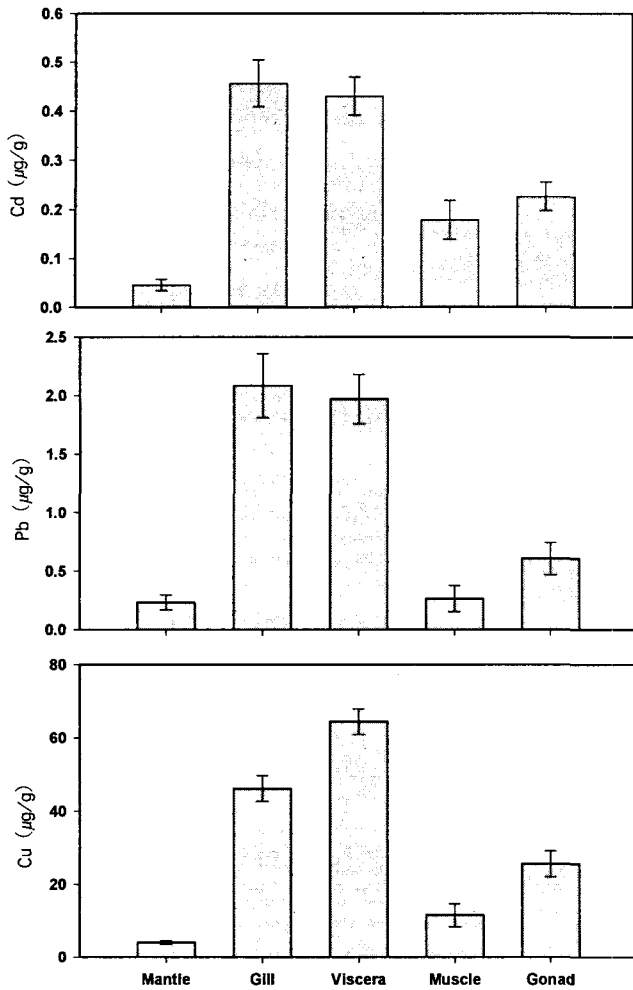


Fig. 5. Mean accumulation concentration of Cd, Pb and Cu with organs of *Halocynthia roretzi* (dry wt.).

에서 높게 나타나는 경우가 있는데, 이는 먹이를 통하여 소화기관에서 Cu의 흡수율이 높기 때문이라고 하였다 (Cunningham and Tripp, 1975; Brookes and Rumsby, 1965).

담치 및 피낭동물 등은 입수구 주위의 점액질이 용존성 중금속을 구기내 점막에서 흡수하여 축적되며, 이렇게 축적된 중금속이 확산에 의하여 체내에 흡수되거나 축적된 점액이 소화기내에 유입된다 (Pentreath, 1973). 또한, Cd의 축적은 주로 아가미와 입수공에 해당하는 Palps에서 일어나며, 이 기관에서 높게 축적된다 (Amiard-Triquet et al., 1986). 따라서 우렁쉥이에 있어 Cd와 Pb의 축적이 아가미에서 가장 높게 나타난 것은 상기와 같은 이유에서 비롯된 결과라고 생각된다. 한편, 수생생물은 아가미의 경우 주로 용존성 중금속을, 소화기관은 먹이나 퇴적물 등의 입자성 중금속 섭취형태로 주로 축적된다 (Leland and Kuwabara, 1985). 따라서 우렁쉥이에 있어 Cd와 Pb는 아가미에서 가장 높게 축적되는 것으로 보아 주로 용존상태에 의해 섭취되었고, Cu는 소화기관에서 농도가 가장 높게 나타난 것으로 보아 주로 입자상태로 섭취되어 축적이 된 것으로 사료된다.

우렁쉥이 체내의 중금속의 전체 평균 축적정도는 Cd가 0.33 µg/g, Pb가 1.42 µg/g, Cu가 40.96 µg/g이었다. 이들 결과를 기존의 자료와 비교하기 위하여 지금까지의 연구결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Accumulation of heavy metals in marine organisms

Organism	Site	Heavy metal (µg/g dry wt)			Reference
		Cd	Pb	Cu	
Mussel, <i>Mytilus edulis</i>	Yeongil Bay, Korea	0.27	0.42	0.85	Choi et al. (1992)
Mussel, <i>Mytilus edulis</i>	Wooljin, Korea	0.53	0.93	2.05	Choi et al. (1992)
Mussel, <i>Mytilus edulis</i>	Imweon, Korea	2.90	1.12	6.60	Lee and Lee (1984)
Mussel, <i>Mytilus edulis</i>	La jolla, USA	2.00	2.90	7.80	Goldberg et al. (1978)
Mussel, <i>Choromytilus meridionalis</i>	Bloubergstrand, South Africa	0.30	0.84	4.60	Orren et al. (1980)
Oyster, <i>Crossostera gigas</i>	Yeongil Bay, Korea	0.52	0.56	22.69	Choi et al. (1992)
Oyster, <i>Crossostera gigas</i>	Wooljin, Korea	0.69	0.61	9.38	Choi et al. (1992)
Barnacle, <i>Capitulum mitella</i>	Reef island, China	4.40	4.10	36.50	Phillips and Rainbow(1988)
Ascidian, <i>Halocynthia roretzi</i>	Wolsung, Korea	0.33	1.42	40.96	Present study

이들 결과에 의하면 우렁쉥이의 Cd의 축적은 *M. edulis*와 거의 유사한 경향을 나타냈으며, *Capitulum mitella*보다는 10배 이상의 낮게 축적되어 일반적으로 다른 무척추동물보다는 낮게 축적되었다. 우렁쉥이의 Pb의 축적은 일부 담치류나 굴보다는 높게 나타났지만, *C. mitella*보다는 약 1/3 정도 낮은 축적정도를 나타내었다. 우렁쉥이의 Cu 축적은 다른 무척추동물보다 크기는 500배, 작기는 2배 정도의 높은 축적정도를 나타냈다. 이같은 결과는 우렁쉥이의 걸 부분의 피낭으로 Cu 성분이 포함되어 있으며, Cu는 우렁쉥이 성장에 필수적인 요소에서 그 원인을 생각할 수 있다 (Ruppert and Barnes, 1994; Lee et al., 1993).

이상에서 살펴본 바와 같이 연안에 Cd와 Pb가 존재할 경우에 우렁쉥이는 아가미에 가장 많이 축적되고, Cu는 내장에 가장 많이 축적될 것이며, 중금속별로는 Cu, Pb 및 Cd의 순서로 높게 축적될 것으로 생각된다.

요 약

본 연구는 우리 나라 연안에 존재하는 중금속이 우렁쉥이에 축적되는 정도를 파악하기 위하여 경상북도 월성군 주변해역에 우렁쉥이의 시험양식장을 설치하여 이들 기관에 따른 Cd, Cu와 Pb의 축적정도를 비교·검토하였다.

시험 양식장의 수온은 10.7~25.2°C, 염분은 33.0~34.6‰, pH는 8.25~8.49, SPM은 1.50~14.97 mg/L가 측정되었다. 우렁쉥이의 각

기관별 중금속의 함량은 Cd가 입수공>창자>출수공>아가미>위>생식소>아가미주머니>피낭, Pb가 입수공>출수공>위>창자>아가미>생식소>아가미주머니>피낭, Cu가 창자>위>출수공>입수공>아가미>생식소>아가미주머니>피낭 순서로 나타나 Cd와 Pb는 입수공, Cu는 창자에서 가장 높았으며, 피낭에서는 모든 중금속이 가장 낮았다. 또한, 상기의 각 기관을 각각 아가미(입수공, 아가미), 내장(출수공, 창자, 위), 근육(아가미주머니), 생식소 및 피낭으로 대별하여 중금속의 축적정도를 보면, 다음과 같이 Cd와 Pb는 우렁쟁이의 아가미에 가장 많이 축적되었고, Cu는 내장에 가장 많이 축적되었다.

Cd: 아가미 > 내장 > 생식소 > 근육 > 피낭

Pb: 아가미 > 내장 > 생식소 > 근육 > 피낭

Cu: 내장 > 아가미 > 생식소 > 근육 > 피낭

참 고 문 헌

- Amiard-Triquet, C., B. Berthet, C. Metayer and J.C. Amiard. 1986. Contribution to the ecotoxicological study of cadmium, copper and zinc in the mussel *Mytilus edulis*. II. Experimental study. *Mar. Biol.*, 92, 7~13.
- APHA-AWWA-WEF. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th. Ed., APHA, Washington D.C., 1286pp.
- Brookes, R.R. and M.G. Rumsby. 1965. Biogeochemistry of trace element uptake by some New Zealand bivalves. *Limnol. Oceanogr.*, 10, 521~527.
- Cho, Y.K. and C.K. Kim. 1971. Accumulation of heavy metal in shellfish. I. On the copper content in green oyster. *J. Korean Fish. Soc.*, 4, 61~65 (in Korean).
- Choi, H.G., J.S. Park and P.Y. Lee. 1992. Study on the heavy metal concentration in mussel and oyster from the Korean coastal water. *J. Korean Fish. Soc.*, 25, 485~494.
- Chung, S.K., S.K. Yoo and S.D. Lee. 1989. The growth of cultured sea squirt, *Halocynthia roretzi* (V. Drasche), at different water depths at the eastern coast of Korea. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Inst. Korea*, 43, 107~122 (in Korean).
- Cossa, D., E. Bourget and J. Piuze. 1979. Sexual maturation as a source of variation in the relationship between cadmium concentration and body weight of *Mytilus edulis* L. *Mar. Pollut. Bull.*, 10, 174~176.
- Cunningham, P.A. and M.R. Tripp. 1975. Factors affecting the accumulation and removal of mercury from tissues of the American oyster, *Crassostrea virginica*. *Mar. Biol.*, 31, 311~320.
- Danny, K.Y.W. and A.G. Ewing. 1990. Anodic stripping voltammetry at mercury films deposited on ultrasmall carbon-ring electrodes. *Anal. Chem.*, 62, 2697~2702.
- Goldberg, E.D., V.T. Bowen, J.W. Farrington, G. Harvey, J.H. Martin, P.L. Parker, R.W. Risebrough, W. Robertson, E. Schneider and E. Gamble. 1978. The mussel watch. *Environmental Conservation*, 5, 101~125.
- Hasselrot, T.B. 1973. Methods for detection, measurement and monitoring of pollutants in the aquatic environment. FAO/SIDA, FIR/TRLR/73/22.
- Hwang, G.C., S.J. Kim and E.H. Lee. 1984. Heavy metal content of oyster, blue mussel and growing water in Hansan-Geoje bay. *Bull. Nat. Fish. Univ. Pusan*, 24, 121~128 (in Korean).
- Jang, Y.J. 1979. Studies on the early growth of the sea squirt, *Halocynthia roretzi* (Drasche). *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Inst. Korea*, 21, 69~76 (in Korean).
- Johnston, R. 1976. *Marine pollution*. Academic Press. New York, 729 pp.
- Kalk, M. 1963. Absorption of vanadium by tunicates. *Nature (London)*, 198, 1010~1011.
- Kim, C.Y. 1972. Studies on the contents of mercury, cadmium, lead and copper in edible seaweeds in Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, 5, 88~96 (in Korean).
- Kim, C.Y. and J.H. Won. 1974. Concentrations of mercury, cadmium, lead and copper in the surrounding seawater and in seaweeds, *Undaria pinnatifida* and *Sargassum fulvellum*, from Suyeong bay in Pusan. *J. Korean Fish. Soc.*, 7, 169~178 (in Korean).
- Kwak, H.S. 1985. Studies on the characteristics of cadmium bioaccumulation by the crab *Macrophthalmus (Mareotis) japonicus* DE HAAN. Ph. D. thesis, Seoul Nat. Univ. seoul 84pp (in Korean).
- Lakshmanan, P.T. and P.N.K. Nambisan. 1989. Bioaccumulation and depuration of some trace metals in the mussel, *Perna viridis* (Linnaeus). *J. Environ. Contam. Toxicol.*, 43, 131~138.
- Laxen, D.P.H. and R.M. Harrison. 1981. Cleaning methods for polythene containers prior determination of trace metals in freshwater samples. *Anal. Chem.*, 53, 345~350.
- Leatherland, T.M. and J.D. Burton. 1974. The occurrence of some trace metals in coastal organisms with particular reference to the Solent region. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 54, 457~468.
- Lee, K.H., C.S. Park, B.I. Hong and W.J. Jung. 1993. Utilization of ascidian, *Halocynthia roretzi*. I. Chemical composition of ascidian and its seasonal and regional variation. *J. Korean Fish. Soc.*, 26, 8~12 (in Korean).
- Lee, S.H. and K.W. Lee. 1984. Heavy metals in mussels in the Korean coastal waters. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19, 111~117.
- Leland, H.V. and J.S. Kuwabara. 1985. Trace metals. In *Fundamentals of aquatic toxicology*. G.M. Rand, and S.R. Petrocelli, eds. Hemisphere Publishing Corporation, New York, pp. 374~415.
- Macdonald, C.R. and J.B. Sprague. 1988. Cadmium in marine invertebrates and arctic cod in the Canadian Arctic. Distribution and ecological implications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 47, 17~30.
- Nicholls, G.D. 1959. Spectrographic analyses of marine plankton. *Limnol. Oceanogr.*, 4, 472~478.
- Orren, M.J., G.A. Eagle, H.F.K.O. Hennig and A. Green. 1980. Variation in trace metal content of the mussel *Choromytilus meridionalis* (kr.) with season and sex. *Mar. Pollut. J.*, 11, 253~257.
- Park, C.K., K.R. Yang and I.K. Lee. 1977. Trace metals in several edible marine algae of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 12, 41~47.
- Pentreath, R.J. 1973. The accumulation from water of the mussel, *Mytilus edulis*. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 53, 127~143.
- Phillips, D.J.H. and P.S. Rainbow. 1988. Barnacles and mussels as biomonitors of trace elements: a comparative study. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 49, 83~93.
- Rainbow, P.S. 1995. Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.*, 31, 183~192.
- Ruppert, E.E. and R.D. Barnes. 1994. *Invertebrate zoology*. 6th ed., Saunders College Publishing. New York, 1056pp.
- Strohhal, P., J. Tuta and Z. Kolar. 1969. Investigations of certain micro constituents in two tunicates. *Limnol. Oceanogr.*, 14, 265~268.

- Swedmark, M., B. Braaten, E. Emanuelsson and A. Granmo. 1971. Biological effects of surface active agents on marine animals. *Mar. Biol.*, 9, 183~201.
- Tattersfield, F. and H.M. Morris. 1924. An apparatus for testing as the toxic values of contact insecticides controlled conditions. *Bull. Entomol. Res.*, 14, 223~233.
- Won, J.H. 1973. The concentrations of mercury, cadmium, lead and copper in fish and shellfish of Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, 6, 1~19 (in Korean).
- Zar, J.H. 1996. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall. Boston, 662pp.

2001년 1월 16일 접수

2001년 3월 8일 수리