

카드뮴과 수은 폭로시 참게(mitten crab, *Eriocheir sinensis*) 유생의 사망률과 생물농축

이복규 · 허만규*

동의대학교 분자생물학과

Death Rate and Bioaccumulation on the Early Development of Mitten Crab by Treatment of Cadmium and Mercury

Bok-Kyu Lee and Man Kyu Huh*

Department of Molecular Biology, Dongeui University, Busan 614-714, Korea

Abstract - This experiment was studied to obtain basic environmental effects and biological information on the early growth of larval mitten crab (*Eriocheir sinensis*). Mitten crabs were maintained for each larval stage with solutions containing 0.1, 0.2, and 0.3 ppm of cadmium (Cd) and mercury (Hg). The relationship between survival rate of mitten crabs and metal content in the growth chamber showed a positive correlations. However, it showed a significant difference in the 96 hr-LC₅₀ values of Cd and Hg for the *E. sinensis* larvae from the first zoea larva to juvenile. Hg was more toxic to *E. sinensis* larval than Cd. When Cd and Hg are released into the water, they enter *E. sinensis* larval and are biological magnified. These results of survival rate and bioaccumulation are very important when considering the survival of the mitten crab.

Key words : mitten crab, *Eriocheir sinensis*, Cd, Hg, bioaccumulation

서론

참게 (*Eriocheir sinensis* H.)는 갑각류중 십각목의 한 종으로 갑장길이 63.5 mm, 갑장너비 70 mm로 바위게과 (Family Grapsidae)중에서 비교적 큰 계에 속하며, 주된 서식지는 우리나라 서해에서 중국 연안 및 북유럽에 걸쳐 하천과 내만에서 서식한다(Sakai 1976). 가을에는 생식을 위해 바다로 이동하여 하구 근처에서 교미를 한다(Kim 1973). 교미기는 8월부터 11월까지이고, 교미성기는

9월부터 10월 초순 사이가 되며, 유생은 조에아 유생(zoea larva)(1st~5th)과 메가로파 유생(megalopa larva)을 거쳐 치계(juvenile)가 된다(Kim and Hwang 1995). 즉, 참게 유생은 조에아상태로 부화하여 4회의 탈피 후 제5기 조에아 유생기를 거쳐 메가로파 유생이 되고, 제1기 어린 개체로 변태하게 된다.

조에아 유생기에는 부유생활을 하다가 메가로파 유생으로 이행되면서 부유 및 유영생활을 하게 되고, 그 후 제1기 치어로 변태하면서 저서생활로 이행하는 생태적인 변화를 갖게 된다(Kwon et al. 1993; Kim and Hwang 1995).

본 증은 동남참게 (*Eriocheir japonicus*)와 함께 계장

* Corresponding author: Man Kyu Huh, Tel. 051-890-1529, Fax. 051-890-1521, E-mail. mkhuh@dongeui.ac.kr

등으로 수요가 많았던 종이였으나 산업사회의 발달과 도시화로 공장폐수 및 도시하수의 유입과 하구언 공사 등으로 강과 하천이 오염되고 이동경로가 차단됨으로써 강 하구에서 상류까지 이동하는 생활사를 지닌 본 종은 자연자원이 거의 고갈된 상태이다.

근래 참게 종묘생산이 이루어지고 있으며 종묘 생산업자에 의한 부분적인 방류가 행해지고 있는 실정이다. 그러나 참게 유생의 사육 수는 유생발생에 있어서 많은 문제가 되고 있으며 방류가 이루어진 후의 치계의 생존에도 많은 영향을 미친다. 유해 중금속들이 연안해역에 유입되면, 그 양이 미량일지라도 수서 생물에 축적되어 결국은 먹이연쇄로 이어져 다른 생물들에게 피해를 줄 수 있을 것이다. 특히 금년 6월에 카드뮴오염으로 추정되고 있는 경상남도 고성군 삼산면 병산리 일대의 남해안으로 유입되는 하천과 그 일대의 환경문제는 우리에게 시사하는 바가 지대하다. 하천 및 하구언 등에 잔류하는 중금속 및 살충제에 대한 유생의 영향에 관한 연구가 필요하다.

급속한 산업발달에 따른 무기화학물질 배출은 수질오염을 가속시켜 그 지역에 서식하는 생물에 일차적으로 크게 영향을 미치고 있다(Lee 2001). 근래 들어 이러한 환경문제의 제거에 따라 산업시설이 해안에 집중되고 있고 지류에서 유입되는 소량은 총량규제를 받지 않아 본류의 하류에는 총량이 증가하여 조간대를 비롯한 해양서식 생물에 많은 문제점을 야기하고 있다(Lee 2003).

독성실험은 대상물질이 생물체에게 미치는 영향을 정해진 짧은 시간 동안에 사망하는 정도로 평가하는 급성독성 실험과 보다 지연된 독성을 유발하는 아급성독성 및 만성독성실험 등으로 100여종 이상의 여러 가지 생물을 대상으로 기준 실험방법에 맞추어 실시되고 있다(Peltier 1978; USUPA 1978; OECD 1981).

본 연구의 목적은 가장 일반적으로 오염될 수 있는 중금속중 독성이 가장 심하다고 보고된 카드뮴과 수은에 대하여 참게 유생의 치사율과 농축정도를 조사하여 수질의 중금속 오염으로 참게의 유생에 어떠한 영향을 줄 수 있는가에 대해 기초 자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

참게의 유생은 1999년 3월부터 6월까지 경기도 강화군 화도면 장화리에 소재하는 동의수산종묘배양장에서 사육한 유생을 원형수조에 온도 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 와 염분 24.5‰로 유지시켜 실험 종료시까지 관리하였다. 각 단계별 유생은 탈피·변태 후 1일이 경과한 뒤 실험장치인 1,000 mL 사육수조에 넣고 관찰하였다. 중금속 실험 용액은 미

리 만든 카드뮴($\text{CdCl}_2 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$)과 수은(HgCl_2)을 증류수에 녹여 1 g L^{-1} 의 표준용액을 만든 뒤 해수를 첨가하여 조제하였다. 실험구별 농도는 카드뮴과 수은은 0.01, 0.02, 0.03 mg L^{-1} (ppm)로 그룹별 50마리씩 사육한 후 평균치를 사용하였다. 처리된 사육수를 매일 새로운 것으로 바꾸어 주었다. 사육 후 조에아 시기(Z1~Z5: 제1기 조에아에서 제5기 조에아까지)에서 메가로파 시기를 거쳐(M: megalopa larva) 유생단계(J: juvenile)까지 각 단계별 반수치사농도(LC_{50})는 Litchfield and Wilcoxon법에 의한 값을 추적하기 위하여 카드뮴과 수은을 넣지 않은 대조군상태에서 100개체를 대상으로 카드뮴과 수은을 각각 0.001 mg L^{-1} 에서 점차 농도를 높여 50개체가 사망할 때 농도를 측정하였다(USUPA 1978). 개류의 초기 유생은 상당히 활발하게 움직이므로 독성증상은 쉽게 확인된다. 참게 유생은 균형감각을 잃고 바닥에 가라앉아 가만히 있는 개체를 유리막대로 자극을 주어 움직임이 없을 때 죽은 것으로 간주하였으며 LC_{50} 를 구하기 위해 probit analysis software(Statistix 3.1, St. Paul, MN, USA)로 산출하였다. 중금속의 흡입정도는 대조구에서 사육하다가 그 유생시기에 이르면 순치 후 앞서 실험의 농도별로 처리(0.1, 0.2, 0.3 ppm)외 추가로 1.0, 2.0, 3.0 ppm에 대해 조사하였다. 조사방법은 농축잔류물 측정과 같다. 잔류물의 농축정도는 역시 순치과정을 거친 후 0.1, 0.2, 0.3, 1.0, 2.0, 3.0 ppm상태에서 사육한 후 공정시험법에 준하여 전처리과정을 거친 카드뮴과 수은은 각각 ICP(ISA Jobin Yvon, JY 50P: ICP Division instruments USA)를 이용한 원자방출분광법과 Mercury Analyzer RA-2(Nippon Instruments Co.)를 이용한 환원기화순환법으로 분석하였으며, 흡광도를 수은은 기화·순환시켜 파장 253.7 nm에서, 카드뮴은 파장 226.5 nm에서 측정하였다. 중금속 농축과 흡입실험과 차이는 흡입정도는 그 시기에만 처리한 것이지만 농축실험은 조에아 제1기부터 순치 후 계속 그 농도로 유지시켜 각 단계까지 농축정도를 조사한 것이다.

통계적 분석으로 평균값 및 분산을 산출하고, 평균간 동질성, 그룹간의 유의성 검정은 t-test 및 F-test, 회귀 분석 등으로 실시하였다.

결 과

1. 카드뮴

96시간 경과후 대조구의 사망률은 0.01%였으므로 자연사망율은 처리구들의 오차 범위내에 있었다. 따라서 처

Table 1. Survival rate of the each larval stage of *Eriocheir sinensis* to the cadmium and mercury in the concentration of 0.1, 0.2 and 0.3 ppm after 96 hrs

Conc.	Metal	Z-1	Z-2	Z-3	Z-4	Z-5	M	J
0.1 ppm	Cd	78±2.3	16±1.4	36±1.5	40±1.9	74±3.1	76±1.8	61±3.0
	Hg	16±1.9	20±2.1	30±2.2	75±3.0	84±6.5	92±7.3	70±3.8
0.2 ppm	Cd	44±1.9	0	32±2.2	24±1.5	58±6.7	72±2.9	70±2.7
	Hg	8±0.6	12±0.4	25±1.3	54±3.1	82±4.7	80±4.0	80±2.4
0.3 ppm	Cd	42±1.8	0	30±0.9	20±1.6	69±7.4	70±3.5	49±1.0
	Hg	2±0.1	10±0.3	28±1.4	64±3.5	76±3.8	84±4.9	50±3.3

Z-1: the 1st zoea larva, Z-2: the 2nd zoea larva, Z-3: the 3rd zoea larva, Z-4: the 4th zoea larva, Z-5: the 5th zoea larva, M: megalopa larva, J: juvenile.

Table 2. The residue of cadmium and mercury (ng g⁻¹ dry weight) of the each larval stage in the test solution for 96 hrs

Larval stage	Metal	Test conc. (mg L ⁻¹)					
		0.1	0.2	0.3	1.0	2.0	3.0
Z-1	Cd	0.0187	0.0187	0.0225	0.0312	0.0625	-
	Hg	0.0022	0.0029	0.0088	0.0105	0.0250	-
Z-2	Cd	0.0206	-	-	-	-	-
	Hg	0.0081	0.0084	0.0114	0.0199	-	-
Z-3	Cd	0.0257	0.0328	0.0357	0.0685	0.1085	0.1342
	Hg	0.0145	0.0201	0.0104	0.0248	0.0683	0.0982
Z-4	Cd	0.0160	0.0162	0.020	0.0971	0.0450	0.0875
	Hg	0.0044	0.0077	0.0036	0.0242	0.0308	0.0431
Z-5	Cd	0.3771	0.0554	0.0582	0.0023	1.142	2.2857
	Hg	0.0245	0.0442	0.0503	0.0045	0.106	0.6404
M	Cd	0.0533	0.1022	0.1222	0.0046	1.9444	2.3331
	Hg	0.0106	0.0179	0.0578	0.0095	0.1103	0.7780

-: Not survival.

리구에서 자연사망율은 거의 없는 상태이므로 변인통제에 의한 사망으로 볼 수 있다. 0.1 ppm일 경우 조에아 제 1기에서 전체 개체중 약 20%가 치사되었으나 0.2 ppm에서는 약 56%가 치사되었다(Table 1). 0.3 ppm에서는 약 58%로 0.2 ppm과 큰 차이가 없었다. 조에아 제2기에서는 농도처리군에서 생존이 없거나 매우 낮았다. 그 이후 시기에서 메가로파 시기까지는 동일 농도 그룹내에서는 생육이 경과함에 따라 생존율도 높아지는 현상과 같은 시기일 때 고농도 처리시에는 생존율이 낮아지는 현상이 있었다. 다만 조에아 제5기에서는 이러한 경향에 따르지 않았다.

각 시기별 흡입정도는 농도증가에 따른 농축량은 전반적으로 양의 상관관계에 있었다(Table 2). 다만 조에아 제1기 및 제2기에 있어서는 0.1 ppm에서 0.2 ppm으로 증가시켜도 체내 흡입된 양은 크게 증가하지 않았다. 그러나 보다 성장기 이루어진 조에아 제5기 및 메가로파

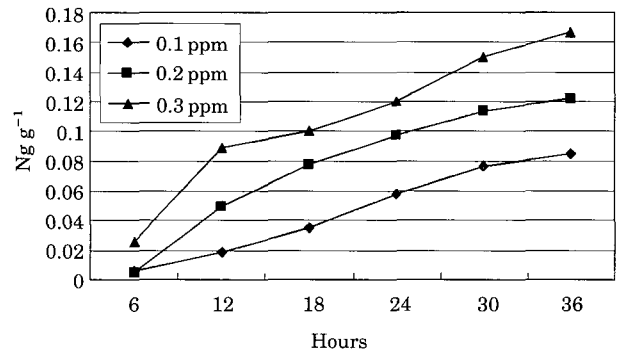


Fig. 1. The biosorption of cadmium (ng g⁻¹ dry weight) of the megalopa larval stage in the test solution for 24 hrs.

시기에서는 유의한 차이 (t = 5.38, p < 0.05)를 나타내었다. 0.4 ppm에서 0.9 ppm까지의 결과는 유의성이 없어 나타내지 않았다. 보다 고농도인 1.0 ppm부터 세 단계 농도실험에서 고농도일수록 다량 흡입되었다. 유생 시기중 메가로파 시기에서 흡입되는 시간은 12시간에 급격히 증가하지만 18~24시간에는 완만하게 증가하였다(Fig. 1). 30시간 이후에는 약간 증가하나 36시간 이후에는 거의 증가가 없다. 이후는 큰 차이가 없어 96시간까지 단계는 생략하였다.

96시간 후 각 시기별 반수치사농도를 나타내는 실험에서 조에아 제1기가 가장 민감한 것으로 나타났으며 생장이 이루어질수록 높은 LC₅₀을 나타내었다(Table 3).

각 시기별 농도증가에 따른 카드뮴 농축량은 메가로파까지 완만한 증가를 나타내지만 그 이후 시기에는 급격한 농축이 일어났다(Fig. 3).

2. 수은

96시간 대조구의 사망률은 카드뮴 실험의 대조구와 유사한 양상을 띠지만 생존율의 정도는 달랐다. 조에아 제1기에서 본 처리군중 가장 낮은 농도인 0.1 ppm일 때 전

Table 3. The 96 hr-LC₅₀ values of cadmium and mercury for the *Eriocheir sinensis* larvae from the first zoea larva to juvenile

Larval stage	Test solution	
	Cadmium (mg L ⁻¹)	Mercury (mg L ⁻¹)
Z-1	0.289±0.002	0.018±0.002
Z-2	0.177±0.024	0.020±0.004
Z-3	0.273±0.031	0.023±0.001
Z-4	0.231±0.025	0.044±0.003
Z-5	0.570±0.078	0.052±0.003
M	1.749±0.096	0.090±0.007
J	1.062±0.074	0.204±0.012

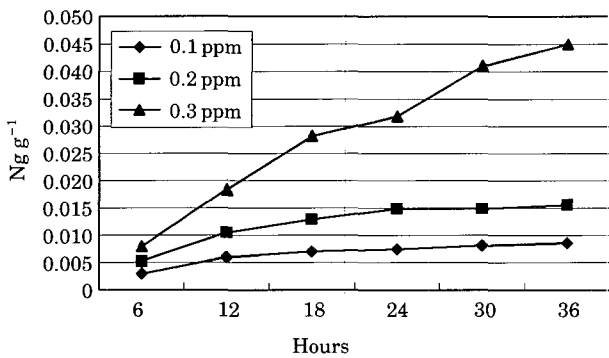


Fig. 2. The biosorption of mercury (ng g⁻¹ dry weight) of the megalopa larval stage in the test solution for 24 hrs.

체 개체중 약 84%가 치사되었다 (Table 1). 0.2 ppm에서는 약 92%가 치사되었으며 0.3 ppm에서는 약 98%가 치사되었다. 조에아 제2기에서는 카드뮴과 다른 양상을 보였다. 농도처리군에서 생존율이 조에아 제1기보다 높았다.

각 시기별 농도증가에 따른 농축량은 전반적으로 양의 상관관계에 있었다 ($r = 0.68, p < 0.05$) (Table 2). 조에아 제4기에 있어서는 제2기와 제3기보다 낮은 값을 나타내었다. 수은은 카드뮴보다 전반적으로 낮은 값을 나타내었다. 0.4 ppm에서 0.9 ppm까지 결과는 유의성이 없어 표시하지 않았다 ($F = 1.02$). 고농도인 1.0 ppm부터 세 단계 농도실험에서 고농도일수록 생체내로 다량 유입되어 농축되어 있었다. 유생 시기중 메가로파 시기에서 흡입되는 시간을 Fig. 2에 나타내었다. 0.1 ppm과 0.2 ppm에서는 24시간까지 수은 흡입이 꾸준한 증가가 이루어지며 그 이후에는 증가속도가 완만하였다. 반면 이 보다 고농도인 0.3 ppm에서는 보다 많이 흡입되었으며 카드뮴의 0.3 ppm과 유사한 양상을 보였다.

96시간 후 각 시기별 반수치사농도를 나타내는 실험에서 조에아 제1기가 가장 민감한 것으로 나타났다. 반면

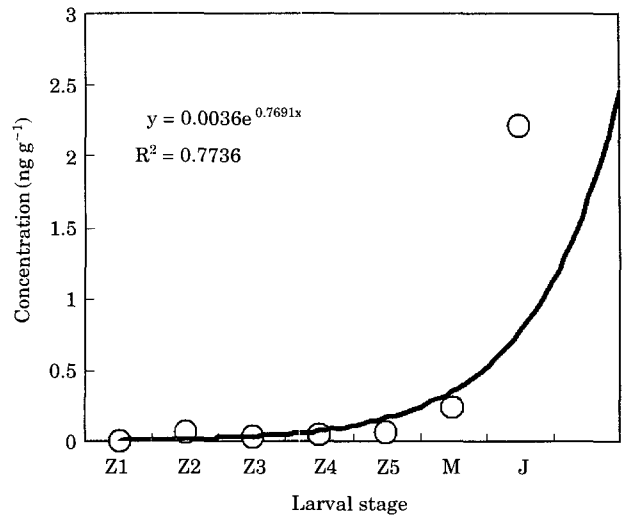


Fig. 3. The bioaccumulation of Cd of the each larval stage in the test solution of 0.1 mg L⁻¹.

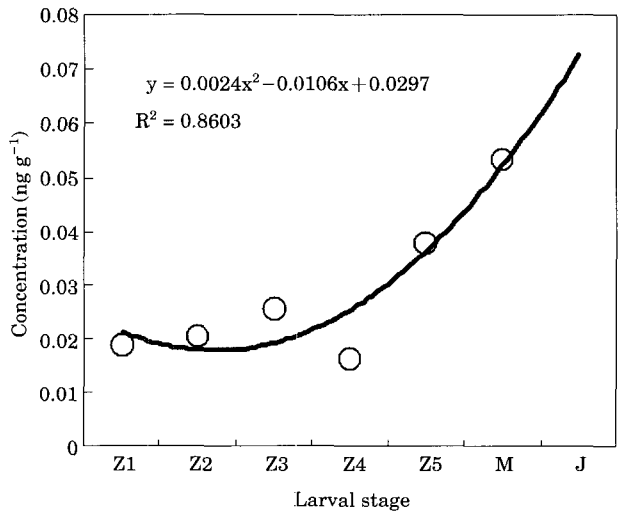


Fig. 4. The bioaccumulation of Hg of the each larval stage in the test solution of 0.1 mg L⁻¹.

유생 시기에서는 고농도(0.204)로 높여야 LC₅₀에 도달하였다 (Table 3).

잔류물의 농축정도는 각 시기별 농도증가에 따른 농축량은 전반적으로 양의 상관관계에 있었다. 특히 조에아 제5기에서 급격한 농축이 이루어졌다 (Fig. 4).

고 찰

해양 생물체의 수은과 카드뮴에 대한 반수치사농도에 대한 보고 (Jackim *et al.* 1970; Biesinger and Christe-

nsen 1972)에 따르면 갑각류중 물벼룩류(*Daphnia*, *Daphnia magna*)의 48 hr-LC₅₀는 수은과 카드뮴에서 각각 0.005 mg L⁻¹, 0.065 mg L⁻¹으로 수은이 카드뮴에 비해 높게 조사되었으며, 어류중 송사리과(Mummichog, *Fundulus heteroclitus*)의 96 hr-LC₅₀는 수은과 카드뮴에서 0.23 mg L⁻¹, 27 mg L⁻¹으로 수은이 카드뮴에 비해 현저히 높게 조사되었다. White suckers (*Catostomus commersoni*)에 대한 실험 결과 독성의 정도도 역시 수은이 카드뮴보다 강하게 작용하였다. 이것은 부화 후 유생의 발달에 따라 중금속에 대한 저항성이 증가한다고 보고하였다(Negilski 1976). 본 연구에서도 같은 농도일 때 카드뮴보다는 수은에서 더 치사율이 높았다.

생존율이나 반수치사농도, 흡입정도는 카드뮴이나 수은 모두 잠계의 성장시기에 따라 차이가 있었다. 유사한 예로써 자어 단계에서 가장 높은 LC₅₀를 나타낸 것은 Blaxter (1977)의 구리 농도에 대한 가자미류(*Pleuromectes platessa* L.)와 청어류(*Clupea harengus* L.)의 실험결과, 두 종의 치어(newly-hatched larvae)는 1,000 µg L⁻¹에서도 살아난 반면에 유생은 300 µg L⁻¹에서도 높은 사망률을 보였고, 청어의 알은 더 민감하며, 또한 배체와 자치어보다 유어 등이 덜 민감하다고 한 바 있다(Rosenthal and Alderdice 1976). 본 실험에서 카드뮴은 조에아 제1기에서 가장 높은 반수치사농도를 나타내었는데, 조에아 제2기에서 제4기에 이르기까지 반수치사농도가 점차 높게 나타난 것은 많은 연구자들이 보고한 바와 같은 양상을 보였다(Duncan and Klaverkamp 1983; Cheng and Sullivan 1984; Mckenzie et al. 1999). 그러나 Rao와 Doughtie(1984)의 보고에 따르면 새우류의 intermolt shrimp와 molting shrimp의 96시간 경과 반수치사농도의 비교에 있어서 intermolt shrimp가 월등하게 높은 것은 아가미에 중금속 및 살충제가 작용한다고 보고하였다. Rosental과 Alderdice (1976)는 해양어류의 난과 유생의 독성실험에서 부화 후 유생들은 오염원에 매우 민감하다고 보고하였다. 본 실험에서 조에아 제1기에서는 수은에 대하여 매우 민감한 반응을 보였으며 유생 발생 단계에 따라 치어에 이르기까지 생존율이 점차 증가하는 경향을 보였다.

흡착이 성장에 따라 증가한 것은 카드뮴이온(Cd²⁺)과 수은이온(Hg²⁺)은 식세포작용으로 대합조개의 혈구에 유입되며, 특히 Hg²⁺는 단백질에 강한 친화성을 가지고 있으며 그 독성이 매우 강하기 때문에 사료된다(Cheng and Sullivan 1984). 카드뮴은 구리 등의 중금속과 함께 metallothionein을 형성하여 생물체 내에 많은 양이 축적되는데(Engel 1984), 최근에 이르러 브라질 Sepetiba 만 연안의 갈조류(*Padina gymnospora*, *Sargassum*

stenophyllum)의 세포벽에 잔류하는 Cd는 1990에서 1997년까지 점차 증가하고 있고(Filho et al. 1999), 아프리카의 나이지리아 강어귀의 새조개, *Anadara (Senilia) senilis*에서 잔류하는 카드뮴과 수은 각각 0.15 µg g⁻¹, 0.21 µg g⁻¹으로 조사되었으며(Joiris and Azokwu 1999), 지중해 거북이류 중 붉은 거북과 청바다거북의 간과 신장에서의 잔류량은 2.41 µg g⁻¹, 0.55 µg g⁻¹와 30.509 µg g⁻¹와 5.89 µg g⁻¹로서 육식동물에서 많은 잔류량을 나타내고 있었다. 그 이유는 중간먹이에 있다고 보고하였다(Goldley et al. 1999). 또한, 생물체 내에 잔류하는 중금속은 점차 증가하여 포르투갈 근처에 서식하는 바다 조류의 조직, 알, 병아리에서도 Hg²⁺의 수치가 높게 나타났다(Monteiro et al. 1999). 실내 사육된 쥐에 있어서 카드뮴의 치사독성은 매우 심각한 것으로 나타났다(Boo 2001)

Blackmore 등(1998)은 우리나라와 인접한 중국의 Xiamen(홍콩, 자유중국의 인접연안) 항구의 갑각류 *Tetracita squamosa*와 *Balanus amphitrite*에서의 카드뮴의 체내 잔류량이 0.2161 µg g⁻¹, 0.5274 µg g⁻¹으로 검출되었고 그 잔류물이 점차 증가한다고 하였다.

축척에 대한 것으로는 수은과 카드뮴 등의 중금속 외에 유기염소계 농약의 잔류에 관한 보고(Blackmore et al. 1998)로 까나리(*Ammocetes marinus*), 대구(*Gadus norhua*), 점박이 바다표범(*Phoea vitulina*) 및 회색 바다표범(*Halichoerus grypus*)에서 먹이연쇄에 따라 그 잔류량이 상위 생태적 지위(niche)를 가진 소비자에서 높게 나타나고 있었다. 중금속과 유기염소계 농약의 잔류량 역시 동일지점에서 환경오염이 가중된 시기 이후 고래목류(Ruus et al. 1999; Parsons et al. 1999; Siebert et al. 1999), 거북이류(Mckenzie et al. 1999), 돌고래류(Holsbeek et al. 1999), 담수산 및 해수산의 어류(Monirich et al. 1999)에서 점차 증가하고 있다.

한편 동일종이나 동일개체군에서 발생단계에 따라 수생 생물체에 잔류하는 중금속과 농약은 먹이연쇄와 개체의 크기에 따라 점차 증가하고 있는 한 예로 Weis(1984)의 보고에 따르면 담수산 작은 물고기의 한종인 송사리과 담수어종, *Fundulus heteroclitus*에 대한 Hg²⁺ 농도 2, 10, 20 µg L⁻¹에 따른 실험에서 간에서 검출되는 축적량이 0.19~0.93 µg g⁻¹으로 조사되었다. 본 실험에서도 참게 유생에 잔류하는 양은 아주 적으나 카드뮴, 수은이 잔류되는 양상을 볼 수 있었다.

우리나라 연안의 굴 및 조개류에서의 중금속 농축에 관한 연구에 의하면 남해안과 서해안에서 카드뮴과 수은이 각각 0.18~0.53 mg kg⁻¹, 0.005~0.21 mg kg⁻¹으로 조사되었다(Choi et al. 1992). 이것은 점차 증가하는 중금속의 오염을 시사한다. 이처럼 연안수의 오염이 증가하

고 있고, 주 원인은 농업오수와 산업폐수에 있다(Choi *et al.* 1992). 이것은 새우양식 뿐만 아니라 수산생물 종묘의 양산에 있어서도 사육수의 환경상태는 중요함을 시사한다. 본 연구결과도 비록 실험실내 결과이지만 참게 유생의 부화 후 사육관리에 있어서 제2기, 제3기 및 제4기 조애아 유생시기에 유생의 관리가 매우 중요하다는 것을 얻을 수 있었다. 자연에서 참게 부화가 일어날 경우, 농약의 과다사용과 생활오수 및 산업폐수의 방류에 노출될 수 있다. 따라서 본 종의 주 서식지인 기수 하류 및 연근해에서 오염방지를 위한 많은 노력이 필요하다고 사료된다.

적 요

참게 (*E. sinensis*)의 유생 성장에 미치는 기초적인 환경 및 생물학적 정보를 얻기 위해 본 실험을 실시하였다. 참게 유생을 카드뮴과 수은의 0.1, 0.2, 0.3 ppm 농도에 처리하였다. 참게의 생존율과 카드뮴과 수은의 중금속 농도와 양의 상관을 나타내었다. 그런데 96시간 사육시 카드뮴과 수은의 반수치사농도는 유생 단계간 유의한 차이를 나타내었다. 반수치사농도는 카드뮴이 수은보다 높았으므로 수은이 더 치명적이었다. 중금속의 축적은 카드뮴과 수은 모두 메가로파 시기부터 급격히 증가하였다. 따라서 참게의 유생의 생육에서 카드뮴과 수은은 참게 유생의 생존에 치명적이며 생물농축이 일어났다.

참 고 문 헌

- Bengtsson BE. 1978. Use of a harpacticoid copepod in toxicity test. *Mar. Poll. Bull.* 9:238-241.
- Biesinger KE and GM Christensen. 1972. Effects of various metals on survival, growth, reproduction, and metabolism of *Daphnia magna*. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 29: 1961-1700.
- Blackmore G, B Morton and ZG Huang. 1998. Heavy metals in *Balanus amphitrite* and *Tetraclita squamosa* (Crustacea: Cirripedia) collected from the coastal waters of Xiamen, China. *Mar. Poll. Bull.* 36:32-40.
- Blaxter JHS. 1977. The effect of copper on the eggs and larvae of plaice and herring. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 57: 849-858.
- Boo MJ. 2001. Effects of cross-pretreatment of cadmium and arsenic on lethality of cadmium or arsenic to mice. *Korean J. Environ. Biol.* 19:147-152.
- Cheng TC and JT Sullivan. 1984. Effects of heavy metals on phagocytosis by molluscan hemocytes. *Mar. Environ. Res.* 14:305-315.
- Choi HG, JS Park and PY Lee. 1992. Study on the heavy metal concentration in mussels and oysters from the Korean coastal waters. *Bull. of Korean Fish. Soc.* 25: 485-494.
- Duncan DA and JF Klaverkamp. 1983. Tolerance and resistance to cadmium in white suckers, *Catostomus commersoni* previously exposed to cadmium, mercury, zinc, or selenium. *Can. J. Fish. Fish. Aquat. Sci.* 40: 128-138.
- Engel DW. 1984. Cadmium accumulation by the blue crab, *Callinectes sapidus*: Involvement of hemocyanin and characterization of cadmium-binding proteins. *Mar. Environ. Res.* 14:71-88.
- Filho AGM, LR Andrade, CS Karez, M Farina and WC Pfeiffer. 1999. Brown algae species as biomonitors of Zn and Cd at Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Mar. Environ. Res.* 48:213-224.
- Goldley BJ, DR Thompson and RW Furness. 1999. Do heavy metal concentrations pose a threat to marine turtles from the Mediterranean Sea? *Mar. Poll. Bull.* 38:497-502.
- Holsbeek L, CR Joiris, V Debacker, IB Ali, P Roose, J Neelissen, S Bobert, J Bouquegneau and M Bossicart. 1999. Heavy metals, organochlorines and polycyclic aromatic hydrocarbons in sperm whales stranded in the southern north sea during the 1994/1995 Winter. *Mar. Poll. Bull.* 38:304-313.
- Jackim E, JM Hamlin and S Sonis. 1970. Effects of metal poisoning on five liver enzymes in the killifish, *Fundulus heteroclitus*. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 27:383-390.
- Joiris CR and M Azokwu. 1999. Heavy metals in the bivalve *Anadara (Senilia) senilis* from Nigeria. *Mar. Poll. Bull.* 38:618-622.
- Kim HS. 1973. Anomura and Brachyura: Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. Samhwa Publishing Co. 694pp.
- Kim CS and SG Hwang. 1995. The complete larval development of the mitten crab *Eriocheir sinensis* H. Milne Edwards. 1853 (Decapoda, Brachyura, Grapsidae) reared in the laboratory and a key to the known zoeae of the Varuninae. *Crustaceana* 68:793-812.
- Kwon CS, BK Lee and CS Lee. 1993. Studies on the seedling production of the freshwater crab, *Eriocheir japonicus* (De Haan). 1. reproduction ecology. *J. Aquaculture* 6:235-253.
- Lee JS. 2001. The effect of salicylic acid on the accumulation of Cd²⁺ and nonprotein-SH synthesis in roots

- and epidermal strips of *Commelina communis* L. Korean J. Environ. Biol. 19:218-222.
- Lee SD. 2003. Heavy metal accumulation of small mammals in Gumho River basin. Korean J. Environ. Biol. 21:257-261.
- Mckenzie C, BJ Godley, RW Furness and DE Wells. 1999. Concentrations and patterns of organochlorine contaminants in marine turtles from Mediterranean and Atlantic waters. Mar. Environ. Res. 47:117-135.
- Monirith I, H Nakata, S Tanabe and TS Tana. 1999. Persistent organochlorine residues in marine and freshwater fish in Cambodia. Mar. Poll. Bull. 38:604-611.
- Monteiro LR, JP Granadeiro, RW Furness and P Oliveira. 1999. Contemporary patterns of mercury contamination in the Portuguese Atlantic inferred from mercury concentrations in seabird tissues. Mar. Environ. Res. 47:137-156.
- Negilski DS. 1976. Acute toxicity of zinc cadmium and chromium to the marine fishes, yellow-eye mullet (*Aldrichetta fosteri* C. & V.) and small mouthed hardy-head (*Atherinasoma microstoma* Whitley). Aust. J. Mar. Freshwat. Res. 27:137-149.
- OECD. 1981. OECD guideline for testing of chemicals: Report from the OECD expert groups on short term and long term toxicity. Paris.
- Parsons ECM, HM Chan and R Kinoshita. 1999. Trace metal and organochlorine concentrations in a pygmy bryde's whale (*Balaenoptera edeni*) from the south China sea. Mar. Poll. Bull. 38:51-55.
- Peltier W. 1978. Methods for measuring the acute toxicity for effluents to aquatic organisms, environmental protection agency, office of research and development, national technical information service. Springfield, VA., EPA-600/4-78-012.
- Rao KR and DG Doughtie. 1984. Histopathological changes in grass shrimp exposed to chromium, pentachlorophenol and dithiocarbamates. Mar. Environ. Res. 14:371-395.
- Rosenthal H. and DF Alderdice. 1976. Sublethal effects of environmental stressors, natural and pollutional, on marine fish eggs and larvae. J. Fish. Res. Bd. Can. 33: 2047-2065.
- Ruus A, KI Ugland, O Espeland and JU Skaare. 1999. Organochlorine contaminants in a local marine food chain from Jarfjord, Northern Norway. Mar. Environ. Res. 48:1-146.
- Sakai T. 1976. Crabs of Japan and adjacent seas, Kodansha Ltd., Tokyo, 375pp.
- Siebert U, C Joris, L Holsbeek, H Benkes, K Failing, K Frese and E Petzinger. 1999. Potential relation between mercury concentrations and necropsy findings in cetaceans from German waters of the north and Baltic Seas. Mar. Poll. Bull. 38:285-295.
- United States Environmental Protection Agency (USUPA). 1978. Methods for measuring the acute toxicity of effluents to aquatic organisms, office of research and development, national technical informations service. Springfield, VA., EPA-600/14-78-012.
- Weis P. 1984. Metallothionein and mercury tolerance in the killifish, *Fundulus heteroclitus*. Mar. Environ. Res. 14:153-166.

Manuscript Received: February 13, 2004

Revision Accepted: July 1, 2004

Responsible Editorial Member: Don Chan Choi
(Yongin Univ.)