

천해역 먹이망 생태계에 대한 무기부유입자와 카드뮴의 영향

II. *Tigriopus japonicus*에 대한 카드뮴의 급성 및 만성독성

정의영 · 신윤경* · 이원호**

군산대학교 해양자원육성학과 · *부산수산대학교 해양생물학과 · **군산대학교 해양학과

Effects of Suspended Solid and Cadmium on the Shallow-sea Ecosystem

II. Acute and Chronic Toxicity of Cadmium to a Herbivorous Copepod, *Tigriopus japonicus*

Ee-Yung CHUNG, *Yun Kyung SHIN and **Wonho YIH

Department of Marine Living Resources, Kunsan National University, Kunsan 573-701 Korea

*Department of Marine Biology, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737 Korea

**Department of Oceanography, Kunsan National University, Kunsan 573-701 Korea

A herbivorous copepod, *Tigriopus japonicus*, was tested to study its acute and chronic responses to Cd toxicity. Under 20°C, 96hr-LC₅₀ of *T. japonicus* in medium with 32‰, 26‰, and 18‰ salinity were 15.1 ppm, 13.7 ppm, and 9.7 ppm, respectively. The 96hr-LC₅₀ in medium with 32‰, 26‰, and 18‰ salinity increased to 21.6 ppm, 15.0 ppm, and 11.0 ppm, respectively under 10°C condition.

Oxygen consumption rates during 96hrs exposure to Cd toxicity decreased more sharply at 20°C than those at 10°C. Survival rate and 25days-LC₅₀ of *T. japonicus* in medium with 32‰ salinity, in concentration of Cd 4 ppm were 5% and 0.05 ppm, respectively under 10°C, and 0% and 0.20 ppm under 20°C. It was that the copepod selectively feed on *Skeletonema costatum*, *Nitzschia pungens*, *N. seriata*, and *Rhizosolenia hebetata* f. *semispina*.

Key words : *Tigriopus japonicus*, cd toxicity, 96hr-LC₅₀, oxygen consumption

서 론

자연환경에 방출되는 여러가지 중금속은 직접적으로 또는 다양한 먹이망(food web) 경로를 통해 누적적으로 생물체내에 흡수된다. 따라서 유해 중금속들이 연안해역에 유입되면, 비록 그 양이 미량일지라도 수생생물에 농축·흡수되어, 결국은 먹이사슬을 거쳐 인류의 보건에도 심각한 영향을 줄 수 있다.

해양 무척추동물에 미치는 카드뮴 및 다른 중금속

의 축적에 관한 최근 연구에 따르면 개체군내 혹은 개체군간 차이가 상당한 것으로 밝혀져 있고(Wong and Rainbow, 1986; Moore and Rainbow, 1987; Bjerregaard, 1988; Rainbow and White, 1989, 1990), 이러한 차이는 생물의 생리적 상태(Physiological condition)와 밀접하게 관련되어 있다(Bjerregaard, 1990).

특히 중금속 노출에 대한 갑각류의 생리적, 대사적 반응은 탈피시기에 가장 강하게 영향을 받는다(Lee and Buikema, 1979; Wright and Frain, 1981; Engel

본 연구는 1993 학술진흥재단 대학부설연구소 지원 연구비의 수혜를 통하여 이루어졌음.

II. *Tigriopus japonicus* 에 대한 카드뮴의 급성 및 만성독성

and Brouwer, 1987; McCahon and Pascoe, 1988; Bodar et al., 1990). 그러므로 탈피주기가 긴 대형 갑각류보다 소형 갑각류일수록 탈피시기에 중금속의 영향에 더욱 민감할 것으로 생각되며, 이러한 점은 요각류가 환경오염에 대한 검정생물로서의 가능성도 클 것으로 여겨진다.

지금까지 갑각류에 대한 중금속의 급성독성에 관한 연구는 기수산에서 해산에 이르기까지 수온과 염분을 고려하여 광범위하게 수행되었다(Biesiger and Christensen, 1972; Lussler et al., 1985; Robert and Michael, 1976; Thurberg et al., 1973). 그러나 *Tigriopus japonicus*에 관련된 연구는 생활사(Koga, 1970), 온도와 염분저항(Matutani, 1960a, b; 1961a, b) 및 먹이생물로서 최적배양환경(Park and Hur, 1993) 등의 보고가 있으나 카드뮴 독성에 관한 연구로서는 발생에 미치는 영향(D'Agostino and Finney, 1974)외에는 찾아 보기 어렵다.

주로 식물플랑크톤을 섭식하는 초식성 요각류인 *T. japonicus*는 해산어류의 중요생산에 있어서 초기먹이로서 이용될 수 있다. 특히 요각류 가운데 *T. japonicus*는 온도와 염분등에 내성을 갖고, 수가 많고, 계획적인 생산이 가능한 종으로 알려져 있다.

그러므로 본 연구는 해양생태계에서 저차생산자이고 먹이생물로서 중요한 위치를 차지하고 있는 요각류, *T. japonicus*를 대상으로 이들의 사망률과 반수치사농도(LC₅₀) 및 호흡대사에 미치는 카드뮴의 급성 및 만성독성 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

실험동물, *T. japonicus*는 1993년 10월부터 1994년 9월에 걸쳐 충남 보령수산종묘배양장 연안 조수웅덩이(tide pool)에서 채집한 후 실험실로 옮겨 수온 10 ± 1°C로 조절된 PVC수조에 적당한 밀도로 사육하면서 실험에 사용하였다. 실험기간동안 먹이는 *T. japonicus* 서식지에서 해산 식물플랑크톤을 네트로 채집하여 공급하였다.

실험재료는 실험수온, 10 ± 1°C와 20 ± 1°C에서 5일 이상 순응시킨 개체를 사용하였다. 실험용액은 자연해수의 염분을 32 ± 1‰, 26 ± 1‰, 18 ± 1‰로 조절

하여 여과시킨 다음 염화카드뮴(CdCl₂)을 이온화 시켜서 카드뮴 농도별 실험용액을 조제 하였다.

급성독성 실험에는 카드뮴 농도 8, 13, 16, 20, 26 및 32 ppm의 실험용액을 사용하였으며, 만성독성 실험에는 자연상태를 감안하여 *T. japonicus*에 대한 급성독성 측정치의 96시간 반수치사농도(96hr-LC₅₀)의 半濃度에 해당하는 4개의 농도구, 0.5, 1.0, 2.0 및 4.0 ppm를 설정하여 실험하였으며, 대조구는 카드뮴을 첨가하지 않은 같은 해수를 사용하였다.

실험기간동안 농도의 변화를 줄이고 수질악화를 예방하기 위하여 급성독성반응에는 4시간 간격, 그리고 만성독성반응에는 12시간 간격으로 새로운 용액으로 교환하였고, 광주기는 L : D = 12 : 12로 유지 시켰다.

먹이는 급성독성 실험시에는 48시간만에 한번씩, 만성독성 실험시에는 매일 식물플랑크톤을 공급하였다. 폐사측정은 급성독성 실험의 경우 4시간 간격으로 관찰하여 죽은 개체수를 현미경하에서 판정하여 사망율로서 나타내었고, 96시간-반수치사농도(96시간-LC₅₀)는 Probit분석에 의하여 산출하였다.

급성독성 실험 종료 시점에서 카드뮴 농도별 실험용액을 포르말린으로 고정한 후, 광학현미경으로 시료내 부유식물의 종별 양적분포를 조사하였다. 실험조건이 다른 시료들간의 주요 우점종의 정량적 차이를 비교하여, 실험동물의 섭식특성을 조사하였다.

만성독성실험의 경우는 12시간 간격으로 죽은 개체를 관찰하여 시간의 경과에 따른 생존률로서 표시하였다. 그리고 급성독성 실험시 산소소비의 측정은 각 농도구에 96시간동안 노출시킨 후 용존산소소비량을 용존산소측정기(YSI 58형)을 이용하여 측정하였고, 5회 반복 측정한 평균치로서 건중 μg당 1시간의 산소소비량으로 나타내었다.

결 과

1. 급성독성의 영향

1) 사망률과 반수치사농도 (96hr-LC₅₀)

수온 10°C와 20°C에서 *T. japonicus*에 미치는 카드뮴의 96시간 급성독성영향을 염분별로 측정하여 Fig. 1과 2에 나타내었다.

10°C, 염분 32‰의 경우 카드뮴농도 8 ppm에서 사

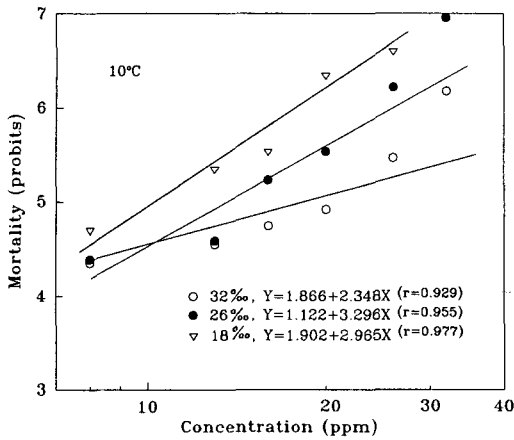


Fig. 1. Mortality of *Tigriopus japonicus* after 96hr exposure to Cd toxicity at 10°C.

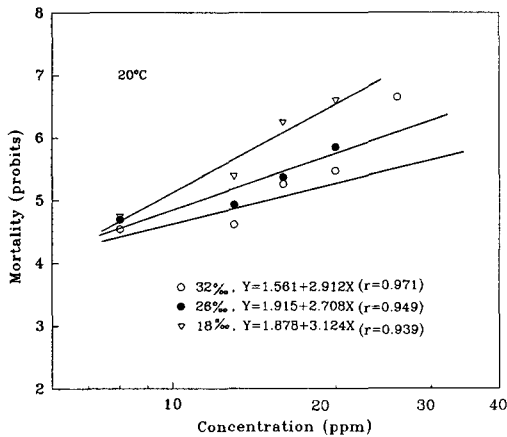


Fig. 2. Mortality of *Tigriopus japonicus* after 96hr exposure to Cd toxicity at 20°C.

망률 25.8%이던 것이 32 ppm에서는 90%로 증가하였으며, 96시간 반수치사농도 (96hr.-LC₅₀)는 21.6 ppm이었다. 그리고 염분 26‰에서는 카드뮴 농도 8 ppm에서 사망률 27%였으며, 32 ppm에서는 97.5%로 증가하여 96시간 반수치사농도는 15.0 ppm이었다. 그리고 염분 18‰의 경우 카드뮴 농도 8 ppm에서 사망률 38%이던 것이 26 ppm에서 94.5%, 32 ppm에서 100%의 사망률을 나타내었으며, 96시간 반수치사농도는 11.0 ppm으로 염분의 감소에 따라 사망률이 높게 나타났다(Fig. 1).

염분 및 카드뮴의 농도에 따른 96시간 사망률의 probit 직선식에 대한 공분산 분석의 결과 염분별로

유의한 차를 보였다($P < 0.05$). 그러므로 염분이 낮고 카드뮴 농도가 높을수록 사망률이 높고 카드뮴의 급성독성에 염분의 영향이 미치는 것($P < 0.05$)으로 판정되었다(Fig. 1).

20°C의 경우 염분 32‰, 카드뮴 농도 8 ppm에서 사망률 32.4%이던 것이 32 ppm에서 100%의 사망률을 보여 96시간 반수치사농도는 15.1 ppm이었으며, 염분 26‰에서는 카드뮴 농도 26 ppm에서 100%의 사망률을 나타내었고 96시간 반수치사농도는 13.7 ppm이었다. 그리고 염분 18‰에서는 카드뮴 농도 8 ppm에서 사망률 40%였으며, 20 ppm에서 94.5%, 그리고 26 ppm에서 100%의 사망률을 보여 96시간 반수치사농도는 9.9 ppm으로 카드뮴농도의 증가에 따라 사망률이 높게 나타났다(Fig. 2).

염분 및 카드뮴의 농도에 따른 96시간 사망률의 probit 직선식에 대한 공분산분석의 결과 염분별로 유의한 차이를 보여($P < 0.05$), 염분의 감소와 수온의 증가에 따라 카드뮴의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

2) 산소소비에 미치는 영향

수온-염분별로 96시간동안 카드뮴의 각 실험농도에 노출 시킨 후 생존한 개체만을 선별하여 산소소비율을 측정하고, 건중 μg 당 1시간의 산소소비율로 표시하여 Fig. 3, 4 및 5에 나타내었다. 산소소비율은 염분 32‰, 수온 20°C의 경우, 카드뮴농도 8 ppm에서 0.34 μl 이었으며, 카드뮴의 농도 증가에 따라 감소하여 20 ppm에서는 0.17 μl 를 나타내었다. 그리고 10°C에서는 8 ppm에서 0.18 μl 이었으며, 32 ppm에서는 0.07 μl 으로 다소 완만한 감소를 보였으며 10°C에 비해 20°C에서 산소소비율은 높고, 카드뮴 농도가 증가함에 따라 산소소비율의 감소폭도 크게 나타났다(Fig. 3).

염분 26‰에서 수온별 카드뮴 농도에 따른 산소소비율은 32‰의 경우와 유사한 경향을(Fig. 4) 보였으며, 20°C, 8 ppm에서 0.26 μl 이던 것이 20 ppm에서 0.17 μl 로 감소하였다. 그리고 10°C에서는 8 ppm에서 0.18 μl 이었으며, 32 ppm에서 0.06 μl 로 감소하였다.

염분 18‰에서는 20°C, 8 ppm에서 0.21 μl 이던 것이 20 ppm에서 0.07 μl 로 감소하였고, 10°C의 경우 8 ppm에서 0.16 μl 이던 것이 32 ppm에서 0.06 μl 로 감소하는 경향을 보였으나 두 수온구 간에는 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다(Fig. 5).

II. *Tigriopus japonicus* 에 대한 카드뮴의 급성 및 만성독성

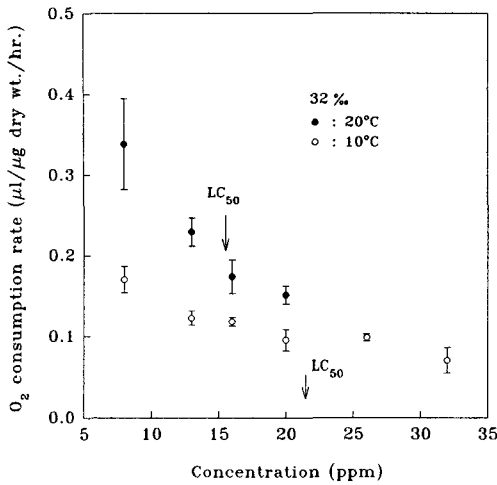


Fig. 3. Oxygen consumption rates of *Tigriopus japonicus* during 96hr exposure to Cd toxicity in 32‰ medium. The bars indicate the standard error.

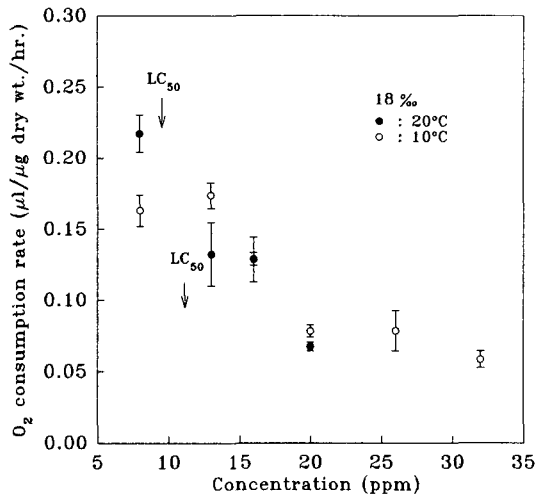


Fig. 5. Oxygen consumption rates of *Tigriopus japonicus* during 96hr exposure to Cd toxicity in 18‰ medium. The bars indicate the standard error.

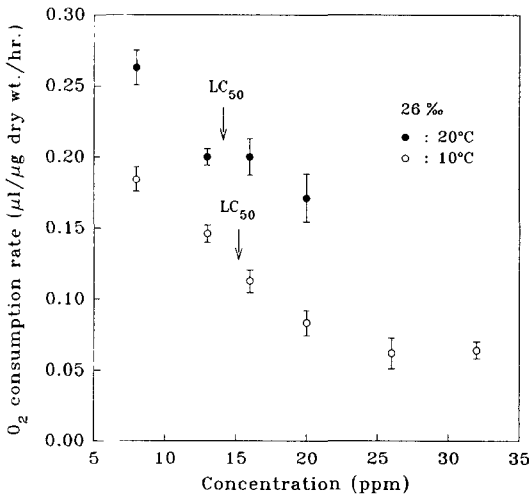


Fig. 4. Oxygen consumption rates of *Tigriopus japonicus* during 96hr exposure to Cd toxicity in 18‰ medium. The bars indicate the standard error.

2. 만성독성의 영향 (25days-LC₅₀)

급성독성 실험시 생존율이 가장 높았던 염분 32‰에서 *T. japonicus*에 미치는 만성독성의 영향을 조사하였다.

수온 10°C와 20°C에서 25일동안 카드뮴의 각 실험농도에 노출시켜 생존율을 측정된 결과(Fig. 6과 7), 수온 10°C에서 카드뮴의 각 실험농도에 노출시킨 25

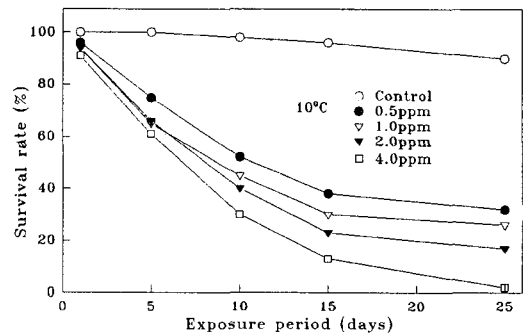


Fig. 6. Time course of survival rate of *Tigriopus japonicus* during the 25days experiment for Cd toxicity test under the ambient temperature of 10°C.

일후의 생존율은 카드뮴 농도 0.5 ppm에서 45%였으며, 4 ppm에서 5%로 감소하였다(Fig. 6). 그리고 수온 20°C의 경우, 카드뮴 농도 0.5 ppm에서 생존율 28%이던 것이 1.0 ppm에서 16%로 감소하였고 2.0 ppm이상에서는 모두 사망하였다(Fig. 7).

수온 10°C와 20°C에서 25일 동안 카드뮴의 각 농도에 노출시킨 후 반수치사농도(25days-LC₅₀)은 각각 0.0537 ppm, 0.2789 ppm였다(Table 3).

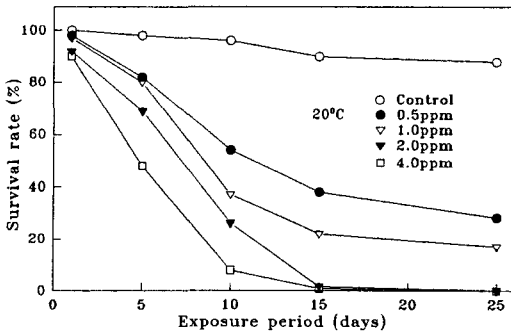


Fig. 7. Time course of survival rate of *Tigriopus japonicus* during the 25days experiment for Cd toxicity test under the ambient temperature of 20°C.

고찰

중금속의 독성에 영향을 미치는 요인은 염분과 온도를 들 수 있다 (O'Hara, 1973; Vernberg and O'Hara, 1972). 특히 카드뮴의 경우 염분의 증가는 카드뮴의 독성을 증가시키며 (Wright, 1977; Wright and Frain, 1981; McCahon and Pascoe, 1988), 수온의 증가와 염분의 감소는 카드뮴의 흡수율을 증가시킨다고 하였다 (O'Hara, 1973; Vernberg et al., 1977).

카드뮴이나 수온과 같은 중금속의 체농도는 모든 갑각류에서 조절되지 않고 조직내 축적되는데 (Rain-

bow, 1985; White and Rainbow, 1986; Bjerregaard, 1990), 중금속의 흡수율이나 축적률은 중금속의 종류 및 종에 따라 다르며 (Rainbow et al., 1990; Rainbow and White, 1989, 1990; Patel and Anthony, 1991), 특히 동물의 생리적 상태에 따라 차이가 있다고 하였다 (Bjerregaard, 1990).

*Tigriopus japonicus*에 대한 카드뮴의 96시간 반수치사농도는 수온 10 ± 1°C의 경우, 염분 32‰에서 21.6 ppm, 26‰에서 15.2 ppm 그리고 18‰에서 11.0 ppm이었으며, 수온 20 ± 1°C의 경우는 염분 32‰에서 15.1 ppm, 26‰에서 13.7 ppm 그리고 18‰에서 9.9 ppm으로 수온증가와 염분의 감소에 따라 반수치사농도는 감소하였다.

O'Hara (1973)에 의하면 수온 30°C, 염분 10‰에서 게류, *Uca pugilator*의 카드뮴 독성이 증가하였으며, 염분은 이온의 흡수를 증가시키므로서 저염분에서 이온조절 활동을 증가시킨다고 하였다. 또한 새우류, *Palaemonetes pugio*는 염분 감소에 따라 사망률이 증가하였다고 하였는데 (Vernberg et al., 1977) 본 실험에서도 *T. japonicus*의 수온-염분별 카드뮴의 독성 영향 또한 유사한 결과를 나타내었다.

본 실험의 *T. japonicus*에 대한 카드뮴의 96시간 반수치사농도를 기존의 자료와 비교하여 보면 (Table 4), Mysid류인 *Mysidopsis bahia* (Lussler et al., 1985)는 110 µg/l로서 *T. japonicus*의 15,100 µg/l보다 매우 낮았

Table 3. Chronic toxicity of Cd to *Tigriopus japonicus* after 25days experiments

Test conc. (ppm)	Water quality			Survival rate (%)	LC ₅₀ and 95% confidence limit (ppm)
	pH	Temp. (°C)	Salinity (‰)		
0	7.80			90	
0.5	7.76			45	
1.0	7.75	10 ± 1	32	25	0.0537 (0.004, 0.686)
2.0	7.81			15	
4.0	7.79			5	
0	7.78			88	
0.5	7.81			28	
1.0	7.69	20 ± 1	32	16	0.2789 (0.089, 0.877)
2.0	7.84			0	
4.0	7.75			0	

II. *Tigriopus japonicus* 에 대한 카드뮴의 급성 및 만성독성

Table 4. Lethal concentration of cadmium for marine organisms

Species	Time (hr.)	LC ₅₀ (μg/l)	References
<i>Mysidopsis bahia</i>	96	110	Lussler et al. (1985)
<i>Daphnia magna</i>	48	65	Kenneth and Glenne (1972)
<i>Paracalanus parvus</i>	24	27,100	Arnott and Ahsanullah (1979)
<i>Palaemonetes vulgaris</i>	96	400	Eisler (1971)
<i>Mytilus edulis</i>	96	16,200	Ahsanullah (1976)
<i>Tigriopus japonicus</i>	96	15,100	The present study

으나 같은 요각류인 *Paracalanus parvus* (Arnott and Ahsanullah, 1979)는 27,100 μg/l로서 상당히 높은 값을 나타내어, 갑각류의 종간에도 상당한 차이를 보였다. 이러한 점으로 미루어 보아 본 실험에 사용한 *T. japonicus*는 여러가지 실험조건상의 相異한 점을 감안하더라도 카드뮴의 독성에 상당한 내성을 가지는 것으로 생각된다.

일반적으로 산소소비율은 동물의 총에너지 대사량의 상당부분 (50~60%)을 차지하므로 (Van Senus, 1985), 카드뮴에 노출된 요각류의 호흡 저해 영향조사는 생리적으로 매우 중요하다.

96시간동안 수온-염분별 카드뮴농도에 따른 *T. japonicus*의 산소소비율은 카드뮴농도의 증가에 따라 감소하였으며, 10°C에 비해 20°C, 그리고 저염분에서 감소율이 크게 나타났다. 저염분에서 *T. japonicus*의 카드뮴 농도증가에 따른 산소소비율의 현저한 감소는 염분 감소에 따른 카드뮴축적의 증가 (Vernberg et al., 1977)에 의해 효소활성이 억제되거나 대사경로를 방해했기 때문인 것으로 여겨진다.

급성독성 실험의 종료시점에서 각 시험구내 먹이생물의 조성차이를 비교한 결과, 시험기간 중 실험동물의 섭식에 의하여 먹이생물의 조성이 변화했을 가능성을 뒷받침 할 만한 자료를 얻었다. 한 예로 Table 5를 (급성독성 실험 조건 중 Cd 농도 32 ppm에서 3가지 차등 염분을 적용한 경우와 Cd 농도 20 ppm에서 염분 32‰인 경우 등 4가지 경우 각각에서의 결과), 실험동물의 96시간 후 사망률과 연관지어 논의하고자 한다. 동일한 수온과 Cd 농도에서 염분만을 달리했을 경우, 염분이 낮을수록 사망율은 높아지므로 (Fig. 2), 섭식강도는 32, 26, 18% 조건의 순서로 점차 작아질 것이다. 카드뮴 농도 32 ppm에서 *Chaetoceros debilis*의

우점율은 32% 시료에서 최고인 반면, 같은 시료에서 *Nitzschia pungens*, *N. seriata*, 및 *Skeletonema costatum* 등은 최저치를 나타내었다. 이는 후자의 3종이 실험동물의 선택적인 섭식대상이었을 것으로 여겨지며, *Leptocylindrus* sp. 및 *Thalassiosira anguste-lineata* 등 두종에서는 일정한 경향이 확인되지 않았다. 한편 먹이생물의 농도가 월등히 높은 Cd농도 20 ppm에서는 *Skeletonema costatum*이 잔류하였지만 기타 시험구에서는 남아있지 않았다. *S. costatum*이 연쇄형 군체를 이루는 구조류로서 한국연안의 연중 주요 우점종이라는 사실로 (Shim, 1994; Yih and Shin, 1994; Kim and Lee, 1993; Lee et al., 1989; Choe, 1969) 미루어 볼 때, 이는 실험기간 중 *T. japonicus*에 의해 선택적으로 섭식되었을 가능성이 크다.

Theede et al. (1979)와 Jones (1975)는 저염분-고수온에서는 카드뮴에 대한 내성이 약하며, 특히 카드뮴의 만성적 노출에 대한 반응은 고농도의 카드뮴에 노출시킨 급성반응의 결과보다 수온-염분의 영향이 적다고 하였다 (Theede, 1980). 오랜 기간동안의 만성적 반응은 직접적인 독성영향이라기 보다는 오히려 간접적인 기작에 기인된다고 하였다 (Nimmo et al., 1977, 1978). 어류와 무척추 동물에서도 카드뮴의 영향으로 인해 기형현상이 나타났다는 보고가 있으며 (Muramoto, 1981), 요각류, *T. japonicus*중 포란한 암컷은 카드뮴의 영향으로 발생이 중지되었다는 보고도 있다 (D'Agostino and Finney, 1974).

그리고 *Carcinus maenas*의 경우는 노출기간과 농도에 비례하여 카드뮴을 축적하는데, 흡수된 카드뮴중 59~80%가 외골격에 축적되며 (Jennings and Rainbow, 1979), 100% 해수보다 50% 해수에서 더 빨리 카드뮴을 흡수하였다고 하였다 (Wright, 1977; Hutche-

Table 5. Mean percent dominance of the major diatom species in the chambers after the 96 hrs incubation. The numbers following Cd and S indicate Cd concentration (ppm) and salinity unit (\pm) of each medium.

Diatom	Cd32/S18	Cd32/S26	Cd32/S32	Cd20/S32
<i>Chaetoceros debilis</i>	32	30	44	30
<i>Leptocylindrus</i> sp.	11	14	10	6
<i>Nitzschia pungens</i>	6	4	0	12
<i>Nitzschia seriata</i>	4	2	0	3
<i>Rhizosolenia hebetata f semispina</i>	35	31	28	36
<i>Skeletonema costatum</i>	0	0	0	2
<i>Thalassiosira angustelinedata</i>	6	11	6	5
Sum of % dominance	94	92	88	94
Total standing crop (cells/ml)	357	617	440	2067

son, 1974). 그밖에 카드뮴으로 인해 삼투과정이 저해를 받게 되는데 카드뮴은 효소활성을 억제하고 생리적과정을 저해한다고 하였다(Hochachka and Somero, 1973). 특히 갑각류에서는 삼투현상으로 새로운 큐티클층에 수분흡수가 일어난 후 탈피를 하게 되는데, 이때 탈피가 일어나는 동안은 세포내 정상적인 삼투압을 유지하기 위하여 세포내 용존 유기화합물을 증가시키고 이를 위해 수분흡수가 일어나게 된다고 하였다(Lockwood, 1967). 또한 세포의 대부분의 삼투조정은 glycine, alanine, proline 및 glutamate와 같은 아미노산이 세포내액 농도를 변화시켜 조정된다고 하였다(Hochachka and Somero, 1973). 그런데 이러한 삼투작용에 관여하는 효소에 카드뮴과 같은 중금속이 미치는 영향은 탈피를 방해하는 요인으로 작용하여, 특히 탈피시기에 카드뮴의 흡수가 증가되어 사망률이 높게 나타나게 된다고 하였다(Wright, 1980; Greenaway, 1974a, b, 1983).

따라서 이상과 같은 결과를 요약해보면 *T. japonicus*의 카드뮴에 대한 급성 및 만성적 반응은 수온 및 염분 등의 환경요인이 상호작용하여 독성반응을 가감시킬 뿐만아니라 카드뮴독성에 대한 기작은 삼투조절과 같이 생리 과정의 복합현상인 것으로 생각된다.

요 약

초식성 요각류인 *Tigriopus japonicus*를 대상으로 사망률과 반수치사농도(LC₅₀) 및 호흡대사에 미치는 카

드뮴의 급성 및 만성독성영향을 조사하였던바 다음과 같은 결과를 얻었다.

염분 32, 26 및 18‰에서 *T. japonicus*에 대한 카드뮴의 96시간 반수치사농도(96hr.-LC₅₀)는 20°C에서 각각 15.1, 13.7 및 9.9 ppm이었고, 10°C에서는 각각 21.6, 15.0 및 11.0 ppm으로 나타나 수온의 감소와 염분의 증가에 따라 반수치사농도는 증가되었다. 96시간동안 카드뮴에 노출시킨 후 산소소비율은 10°C에 비해 20°C에서 높게 나타났으며, 카드뮴농도의 증가에 따라 보다 크게 감소되었다.

염분 32‰ 및 Cd농도 4 ppm에서 *T. japonicus*의 생존률과 25일동안의 반수치사농도(25days-LC₅₀)는 10°C의 경우 각각 5%와 0.05 ppm이었고, 20°C에서는 0%와 0.28 ppm을 나타내었다.

참 고 문 헌

- Ahsanullah, M. 1976. Acute toxicity of cadmium and zinc to seven invertebrate species from a Western port, Victoria. Aust. J. Mar. Freshwat. Res., 27, 187~196.
- Arnott, G. H. and M. Ahsanullah. 1979. Acute toxicity of copper, cadmium and zinc to three species of marine copepod. Aust. J. Mar. Freshwat. Res., 30, 63~71.
- Biesiger, K. E. and G. M. Christensen. 1972. Effects of various metals on survival, growth, reproduc-

II. *Tigriopus japonicus* 에 대한 카드뮴의 급성 및 만성독성

- tion and metabolism of *Daphnia magna*. J. Fish. Res. Bd. Can., 29, 1691~1700.
- Bjerregaard, P. 1988. Effect of selenium on cadmium uptake in selected benthic invertebrates. Mar. Ecol. Prog. Ser., 48, 17~28.
- Bjerregaard, P. 1990. Influence of physiological condition on cadmium transport from haemolymph to hepatopancreas in *Carcinus maenas*. Mar. Biol., 106, 199~209.
- Bodar, C. W. M., P. A. Vogt and D. I. Zandee. 1990. Ecdysteroids in *Daphnia magna*: their role in molting and reproducing and their levels upon exposure to cadmium. Aquat. Toxic., 17, 339~350.
- Choe, J. S. 1969. Seasonal changes in abundance and composition of diatoms in the Suyung Bay, Pusan. Bull. Korean Fish. Soc. 2, 1, 16~24 (in Korean).
- D'Agostino, A. and C. Finney. 1974. The effect of copper and cadmium on the development of *Tigriopus japonicus*. Pollution and Physiology of Marine Organism, Academic Press. pp. 445~463.
- Eisler, R. 1971. Cadmium poisoning in *Fundulus heteroclitus* (Pisces: Cyprinodontidae) and other marine organisms. J. Fish. Res. Bd. Can., 28, 1225~1234.
- Engel, D. W. and M. Brouwer. 1987. Metal regulation and molting in the blue crab, *Callinectes sapidus*: metallothionein function in metal metabolism. Biol. Bull. Mar. Biol. Lab., Woods Hole 173, 234~251.
- Greenaway, P. 1974a. Calcium balance at the pre-molt stage of the freshwater crayfish *Austropotamobius pallipes* (Lareboullet). J. Exp. Biol. 61, 27~34.
- Greenaway, P. 1974b. Calcium balance at the post-molt stage of the freshwater crayfish *Austropotamobius pallipes* (Lareboullet). J. Exp. Biol. 61, 35~45.
- Greenaway, P. 1983. Uptake of calcium at the post-molt stage by the marine crabs *Callinectes sapidus* and *Callinectes maenas*. Comp. Biochem. Physiol., 75A, 181~184.
- Hochachka, P. W. and G. N. Somero. 1973. Strategies of Biochemical Adaptation. Saunders, W. B., pp. 358.
- Hutcheson, M. S. 1974. The effect of temperature and salinity on cadmium uptake by the blue crab *Callinectes sapidus*. Chesapeake Sci., 15, 237~241.
- Jennings, J. R. and P. S. Rainbow. 1979. Studies on the uptake of cadmium by the crab *Carcinus maenas* in the laboratory. I. Accumulation from seawater and a food source. Mar. Biol., 50, 131~139.
- Jones, M. B. 1975. Synergistic effects of salinity, temperature and heavy metals on mortality and osmoregulation in marine and estuarine isopods (Crustacea). Mar. Biol., 30, 13~20.
- Kenneth, E. B. 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.
- Kim, D. W. and W. J. Lee. 1993. Studies on relations between marine bacteria and phytoplankton in Suyeong Bay. 1. On relationships of dominant species between marine bacteria and phytoplankton. Bull. Korean Fish. Soc. 26, 5, 446~457 (in Korean).
- Koga, F. 1970. On the life history of *Tigriopus japonicus* Mori (Copepoda). J. Oceanogr. Soc. Jap., 26, 11~21.
- Lee, D. R. and A. L. Buikema. 1979. Molt-related sensitivity of *Daphnia pulex* in toxicity testing. J. Fish. Res. Bd. Can., 36, 1129~1133.
- Lee, W. H., G. H. Lee, M. S. Choi and D. M. Lee. 1989. Phytoplankton and bacterioplankton in the intertidal and subtidal waters in the vicinity of Kunsan. J. Oceanol. Soc. Korea. 23, 4, 157~164 (in Korean).
- Lockwood, A. P. M. 1967. Aspects of the Physi-

- ology of Crustacea. Aberdeen University Press, Aberdeen, 328 pp.
- Lussler, S. M., J. H. Gentile and J. Walker. 1985. Acute and chronic effects of heavy metals and cyanide on *Mysidopsis bahia*. *Aqua. Toxicol.*, 7, 25~35.
- Matutani K. 1960a. Studies on the temperature and salinity resistance of *Tigriopus japonicus*. I. Changes in heat resistance in relation to acclimation temperatures of *Tigriopus japonicus* reared at 20°C. *Physiol. Ecol.*, 9(1), 35~38 (in Japanese).
- Matutani K. 1960b. Studies on the temperature and salinity resistance of *Tigriopus japonicus*. II. Changes in heat resistance in relation to acclimation temperatures of *Tigriopus japonicus* reared at 4 different temperatures. *Physiol. Ecol.*, 9(1), 39~44 (in Japanese).
- Matutani K. 1961a. Studies on the temperature and salinity resistance of *Tigriopus japonicus*. III. Influence of the environmental oxygen concentration on the heat resistance of *Tigriopus japonicus*. *Physiol. Ecol.*, 10(2), 59~62 (in Japanese).
- Matutani K. 1961b. Studies on the temperature and salinity resistance of *Tigriopus japonicus*. IV. Heat resistance in relation to salinity of *Tigriopus japonicus* acclimated to dilute and concentrated sea waters. *Physiol. Ecol.*, 10(2), 63~67 (in Japanese).
- McCahon, C. P. and D. Pascoe. 1988. Cadmium toxicity to the freshwater amphipod *Gammarus pulex* (L.) during the molting cycle. *Freshwat. Biol.*, 19, 197~203.
- Moore, P. G. and P. S. Rainbow. 1987. Copper and zinc in an ecological series of tailroidean Amphipoda (Crustacea). *Oecologia*, 73, 120~126.
- Muramoto, S. 1981. Vertebral column damage and decrease of calcium concentration in fish exposed experimentally to cadmium. *Envir. Pollut. Ser. A*, 24, 125~133.
- Nimmo, D. R., R. A. Rigby, L. H. Bahner and J. M. Sheppard. 1978. The acute and chronic effects of cadmium on the estuarine mysid. *Mysidopsis bahia*. *Bull. Envir. Contam. Toxicol.* 19, 80~85.
- 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 Materials, Philadelphia, pp. 109~116.
- O'Hara, J. 1973. Cadmium uptake by fiddler crabs exposed to temperature and salinity stress. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 30, 846~848.
- Park, H. G. and S. B. Hur. 1993. Optimum culture environment of the benthic copepod, *Tigriopus japonicus*. *J. Aquacul.* 6(3), 147~157 (in Korean).
- Patel, B. and K. Anthony. 1991. Uptake of cadmium in tropical marine lamellibranchs, and effects on physiological behaviour. *Mar. Biol.*, 108, 457~470.
- Rainbow, P. S. 1985. Accumulation of Zn, Cu, and Cd by crabs and barnacles. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 21, 669~686.
- Rainbow, P. S. and S. L. White. 1989. Comparative strategies of heavy metal accumulation of crustacean: zinc, copper and cadmium in a decapod, an amphipod and a barnacle. *Aquat. Toxicol.*, 16, 113~126.
- 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.
- Rainbow, P. S., D. J. H. Philips and M. H. Depledge. 1990. The significance of trace metal concentrations in marine invertebrates. A Need for laboratory investigation of accumulation strategies. *Mar. Pollut. Bull.*, 21, 321~324.
- Robert, W. W. and P. F. Michael. 1976. Acute and chronic toxicity of copper to four species of *Daphnia*. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 33, 1685~1691.

II. *Tigriopus japonicus* 에 대한 카드뮴의 급성 및 만성독성

- Shim, J. H. 1994. Illustrated Encyclopedia of Fauna and Flora of Korea. Vol. 34. Marine Phytoplankton. Ministry of Education, Korea (in Korean).
- Theede, H., N. Scholz and H. Fischer. 1979. Temperature and salinity effects on the acute toxicity of cadmium to *Laomedea loueni* (Hydrozoa). Mar. Ecol. Prog. Ser., 1, 13~19.
- Theede, H. 1980. Physiological responses of estuarine animals to cadmium pollution. Helgolander Wiss. Meeresunters, 33, 26~35.
- 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.
- Van Sensus, P. 1985. The effects of temperature, size, season and activity on the metabolic rate of the amphipod, *Talorchestia capensis* (Crustacea, Talitridae). Comp. Biochem. Physiol., 81 A, 263~269.
- 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. Envir. Contam. Toxicol. 17, 16~24.
- Vernberg, W. B. and J. O'Hara. 1972. Temperature-salinity stress and mercury uptake in the fiddler crabs *Uca Pugilator*. J. Fish. Res. Bd. Can., 29, 1491~1494.
- White, S. L. and P. S. Rainbow. 1986. Accumulation of cadmium by *Palaemon elegans* (Crustacea: Decapoda). Mar. Ecol. Prog. Ser. 32, 17~25.
- Wong, V. W. T. and P. S. Rainbow. 1986. Apparent and real variability in the presence and metal contents of metallothioneins in the crab *Carcinus maenas* including the effects of isolation procedure and metal induction. Comp. Biochem. Physiol., 83A, 157~177.
- Wright, D. A. 1977. The effect of salinity on cadmium uptake by the tissues of the shore crab *Carcinus maenas*. J. exp. Biol., 67, 137~146.
- Wright, D. A. 1980. Calcium balance in premolt and postmolt *Gammarus pulex* (Amphipoda). Freshwat. Biol., 10, 571~579.
- Wright, D. A. J. W. Frain. 1981. The effect of calcium on cadmium toxicity in the freshwater amphipod, *Gammarus pulex* (L.). Archs Envir. Contam. Toxicol., 10, 321~328.
- Yih, W. and Y.K. Shin. 1994. Phytoplankton and primary production in the vicinity of Daesan Industrial Complex (mid-eastern coast of the Yellow Sea). Bull. Coastal Res. 6, 17~30 (in Korean).

1995년 6월 20일 접수

1995년 9월 7일 수리