

## 송사리(*Oryzias latipes*)의 생체내 카드뮴 및 미량금속의 축적에 관한 실험적 연구

박상환 · 송인순\* · 조영채\*\*†

충남대학교 보건대학원

\*충남대학교 대학원 보건학과

\*\*충남대학교 의과대학 예방의학교실

## Experimental Study on the Accumulation of Cadmium and Other Metals in the Fish Bodies(*Oryzias latipes*)

Sang Hwan Park, In Soon Song\* and Young Chae Cho\*\*†

Graduate School of Public Health Chungnam National University

\*Dept. of Public Health, Graduate School of Chungnam National University

\*\*Dept. of Preventive Medicine and Public Health, College of Medicine, Chungnam National University

(Received 14 July 2000 ; Accepted 24 August 2000)

### ABSTRACT

In order to assess the accumulation levels of cadmium and other metals(Zn, Cu, Ca and Fe) in fish bodies, an experimental study was performed by raising fry of "*Oryzias latipes*" in the water containing cadmium 0.03 ppm, cadmium 0.03 ppm + zinc 0.03 ppm and in the tap water(control group) were made. In the results the concentration of Cd in fish bodies were increased with advancing exposure time in Cd 0.03 ppm treated group and Cd 0.03 ppm + Zn 0.03 ppm treated group, but there was no significantly different between both groups with Cd concentrations in each week. The concentration of Zn in fish bodies was no changed with advancing exposure time in control group and Cd 0.03 ppm treated group, but it was increased in Cd 0.03 ppm + Zn 0.03 ppm treated group. And the Zn concentration of Cd 0.03 ppm + Zn 0.03 ppm treated group were significantly different from control and Cd 0.03 ppm treated group. The concentration of Cu, Ca and Fe in fish bodies were increased with advancing exposure time, and control group was higher than any other groups. Simple correlation analysis showed that the positive correlation between Cd and Zn, Cu and Ca, Fe, Ca and Fe, but Cd was negative correlation with Cu, Ca and Fe. In conclusion, we investigated a tendency that the concentration of Cd and Zn in fish bodies tended to increase with the lapse of time, but Cu was unchanged and those of Ca and Fe were decreased in administrating the trace dose of Cd and Zn in water.

**Keywords :** Accumulation, Heavy metals, Fish body

### I. 서 론

중금속은 산업의 발달로 여러 가지 화학물질의 합성에 다양하게 이용되고 있으나 한편으로는 환경오염물질의 주요인자로서 생태계에 있어서 생물학적 먹이사슬을 통해 여러 가지 급·만성의 독성영향을 미치고 있다. 특히 각종 산업장에서 이용이 증가하면서 환경오

염물질로서 관심이 높은 카드뮴(cadmium; Cd)은 매우 유독한 유해 중금속으로서 미량일지라도 생체 내에 침입하게 되면 생체의 혈장단백과 결합하여 간장, 신장, 고환, 근육 및 골격 등 여러 조직에 축적되고 생리적 기능장애를 유발하는 물질로 밝혀져 있다.<sup>1-4)</sup> 또한 Cd의 생체 내 흡수는 호흡기를 통해 10-14%의 흡수율을 보이고 위 장관으로부터의 흡수율도 3-6%정도이며,<sup>5,6)</sup> 체내에 흡수된 Cd은 전신부하량(total body burden)의 1/2-2/3정도가 간장과 신장에 축적되어 1차적인 건강장해를 발현시키는 것으로 알려져 있다.<sup>7,8)</sup>

Cd의 대표적인 표적장기로는 급성중독시 간장과 고환, 만성중독시 신장으로 알려져 있으며,<sup>9,10)</sup> 인위적으로

†Corresponding author : Department of Preventive Medicine and Public Health, College of Medicine, Chungnam National University  
Tel: 042-580-8265, Fax: 042-583-7561  
E-mail: choyc@cnu.ac.kr

Cd를 경구투여 한 실험동물에서 일차적으로 간독성을 나타내는 생화학적 이상소견이 관찰되고 시간경과에 따라 신독성이 나타나는 것으로 밝혀져 있다.<sup>11,12)</sup> 또한 Cd과 다른 금속간의 상호작용에 관한 연구에서는 아연(Zn)이 Cd의 독성작용을 경감시켜 주는 물질로 밝혀져 있으며,<sup>13)</sup> Gunn<sup>14)</sup>은 Cd에 의한 정소피사가 Zn의 투여에 의해 억제된다고 보고하였다. Fox<sup>15)</sup>는 Cd과 구리(Cu)와는 대사작용에서 길항효과가 있다고 하였고, 渡邊<sup>16)</sup>은 Cd 오염지역주민의 요 중에 구리의 배설량이 증가됨을 볼 때 Cd이 Cu의 대사에 영향을 미친다고 보고하였다. Cd과 칼슘(Ca)의 관계에서는 Kawai<sup>17)</sup>는 Ca이 뼈에 축적되는데 Cd이 영향을 미친다고 하였으며 Cd을 물에 첨가하여 투여할 경우 저칼슘식이군에서 Cd의 흡수율이 증가한다고 하였다. 또한 Cd은 철(Fe)이 소화관으로부터 흡수되는 것을 저지하는 것으로 추정하고 있다.<sup>18)</sup>

그러나 이와 같은 연구들은 대부분 실험동물을 이용하여 Cd의 생체 내 침입, 대사, 독성작용 및 타 금속과의 관련성 등을 검토한 결과이며, 수중에서의 어류를 이용한 독성작용과 생태계 내 생물군에 미치는 영향에 대한 연구나 유효한 오염지표를 위한 실험적 연구는 많지 않다.<sup>19-21)</sup> 어류의 생체 내 중금속 축적이나 독성실험에는 수중 생태계의 제반 특성과 어류의 종류에 따라 차이가 있을 수 있으나 어류에 대한 독성시험법<sup>22)</sup>에 의하면 송사리, 붕어, 잉어, 금붕어 및 미꾸라지 등을 공시어로 지정하고 있으며 이중에서도 송사리는 체장이 짧고 유전적으로 균일성 있는 다수의 개체를 유지하는 이점이 있고 자연 생태계에 널리 분포하고 있으면서 환경오염에 의해 가장 먼저 영향을 받는 지표어종으로써 인정되고 있기 때문에 실험연구에 많이 활용되고 있다.<sup>23)</sup>

따라서 본 연구에서는 실험모델로 중금속에 전혀 오염되지 않은 실험실에서 인공 부화시킨 송사리(*Oryzias latipes*)를 이용하여 Cd 단독투여 및 Cd과 길항작용이 있는 것으로 알려진 Zn과 Cd을 복합 투여하여 Cd의 축적정도를 평가하고자 하였으며, 또한 Cd 단독투여 및 Cd과 Zn 복합투여시의 기타 미량요소들의 생체 내 분포를 알아보고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험재료

실험재료로는 1998년 4월에 인공 부화시킨 후 150일 정도 된 체장 약 20 mm 내외의 송사리(*Oryzias latipes*) 300마리를 한국화학연구소 안전성연구센터에서 분양 받

아 실험실에서 1주일간 적응 사육시킨 후 본 실험에 사용하였다. 실험기간은 1998년 9월 1일부터 10월 26일까지 8주간이었다.

### 2. 실험방법

유리수조(30×40×30 cm) 3개에 염소성분을 제거한 수돗물을 각각 20 l씩 채운 후, Cd단독투여군은 염화카드뮴(CdCl<sub>2</sub>)을 사용하여 Cd 농도를 0.03 ppm으로 조정하였고, Cd과 Zn복합투여군은 염화카드뮴과 염화아연(ZnCl<sub>2</sub>)을 사용하여 Cd과 Zn 농도가 각각 0.03 ppm이 유지되도록 하였으며, 대조군은 실험군에 사용한 동일한 중금속이 포함되지 않은 수돗물만을 사용하였다.

각 수조 당 100마리의 송사리를 넣고 1998년 9월 1일부터 8주간 실험사육을 시작하였다. 사육중의 사료는 시판 물고기 사료를 공급하였으며, 사료의 구성성분은 단백질 40%, 지방 3%, 섬유질 3.5%, 회분 11% 및 기타 비타민류와 미네랄성분이 미량 포함되어 있었다. 또한 수중의 산소를 충분히 유지하기 위하여 산소주입기로 24시간 산소를 공급하였으며, 수조내의 항온계를 설치하여 25±2°C의 수온이 유지되도록 하였다.

각 수조의 수량을 일정하게 유지하기 위해 미리 20 l 표선을 정해놓고 매주 증발된 양만큼 수돗물을 보충하였고, 매 2주마다 수조를 세척하여 농도를 정량한 용액으로 교체하였다.

어체시료는 일정농도의 Cd이 함유된 물 속에 폭로된 어류의 생체 내 Cd의 축적정도를 시간의 경과에 따라 알아보기 위해 실험시작 1, 2, 4, 6 및 8주 마지막 날에 각 군별로 20마리씩 무작위로 채집하여 종류수로 표면을 세척하고, dry oven에서 110°C로 2일간 건조시킨 다음 2마리를 한 시료로 균일하게 분쇄하여 10개의 분석시료를 만들어 측정정에 사용하였다.

시료 중 Cd, Zn, Cu, Ca 및 Fe의 정량은 질산과 과염소산을 이용한 습식회화법으로 전처리하여 유도결합플라즈마 발광광도계(Jobin Yvon JY38 plus ICP, France)로 측정하였다. 이때 분석파장은 Cd 228.8 nm, Zn 213.9 nm, Cu 324.8 nm, Ca 422.7 nm, Fe 372.0 nm의 파장에서 측정하였다.

### 3. 자료의 분석

실험에서 얻은 모든 자료는 SPSS/PC+ 통계프로그램을 이용하여 분석하였으며, 대조군과 실험군간의 유의성 검증은 t-test를 실시하였고, 각 측정 금속간 및 Cd 투여기간과의 상관관계를 알아보기 위하여 단순상관(simple correlation) 분석을 실시하였다.

### III. 결 과

#### 1. Cd 농도변화

실험 주수별 송사리체내 Cd농도의 경시적 변화를 보면 대조군(1군)에서는 Cd이 검출되지 않았으나, Cd 0.03 ppm 단독투여군의 경우 1주에서  $4.85 \pm 1.86 \mu\text{g/g}$  이던 것이 4주에서  $6.32 \pm 2.70 \mu\text{g/g}$ , 8주에서  $7.14 \pm 2.60 \mu\text{g/g}$ 으로 Cd에 폭로되는 주 수가 길어짐에 따라 점차 증가하는 경향이였다.

Cd 0.03 ppm과 Zn 0.03 ppm 복합투여군에서도 Cd 0.03 ppm 단독투여군에서처럼 주 수가 경과되면서 송사리 체내의 Cd 농도는 점차 증가하는 경향이였으나, Cd 0.03 ppm 단독투여군과 Cd 0.03 ppm과 Zn 0.03 ppm 복합투여군 간의 Cd 축적량은 각 주 수별로 유의한 차이는 없었다(Table 1).

#### 2. Zn 농도변화

실험주수 별 송사리 체내 Zn 농도의 경시적 변화를 보면 대조군과 Cd 0.03 ppm 단독투여군에서는 0.45~

0.48 mg/g의 범위내에서 주수의 변화에 따라 차이는 보이지 않았으나, Cd 0.03 ppm과 Zn 0.03 ppm 복합투여군에서는 1주에서  $0.94 \pm 0.34 \text{ mg/g}$ 이던 것이 4주에서  $1.23 \pm 0.40 \text{ mg/g}$ 으로 증가하였으며, 8주에서는  $1.22 \pm 0.35 \text{ mg/g}$ 의 축적량을 보였다.

또한 Cd 0.03 ppm과 Zn 0.03 ppm 복합투여군에서의 Zn 농도는 1주에서 8주까지 각 주 수마다 대조군과 Cd 0.03 ppm 단독투여군에 비해 높았으며 통계적으로도 유의한 차이가 있었다(Table 2).

#### 3. Cu 농도변화

실험 주수별 송사리 체내 Cu 농도의 경시적 변화를 보면 대조군, Cd 0.03 ppm 단독투여군 및 Cd 0.03 ppm과 Zn 0.03 ppm 복합투여군 모두 주 수의 경과에 따른 차이를 보이지 않았다. 그러나 각 주 수별 Cu의 농도는 대조군이  $17.00 \sim 17.45 \mu\text{g/g}$ 의 범위로 가장 높았고, 다음은 Cd 0.03 ppm과 Zn 0.03 ppm 복합투여군으로  $14.20 \sim 15.63 \mu\text{g/g}$ 의 범위였으며, Cd 0.03 ppm 단독투여군이  $13.01 \sim 14.62 \mu\text{g/g}$ 으로 가장 낮았다. 대조

**Table 1.** Cadmium concentrations of fish bodies (μg/g : Mean ± S.D.)

| Group\Exp.wk        | 1               | 2               | 4               | 6               | 8               |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Control             | ND              | ND              | ND              | ND              | ND              |
| Cd <sup>1)</sup>    | $4.85 \pm 1.86$ | $5.37 \pm 2.67$ | $6.32 \pm 2.70$ | $7.02 \pm 2.31$ | $7.14 \pm 2.60$ |
| Cd+Zn <sup>2)</sup> | $4.88 \pm 2.20$ | $5.57 \pm 2.87$ | $6.37 \pm 2.78$ | $6.94 \pm 2.60$ | $7.19 \pm 2.87$ |

ND : Not detected.

1) : Cd 0.03 ppm treated group.

2) : Cd 0.03 ppm + Zn 0.03 ppm treated group.

**Table 2.** Zinc concentrations of fish bodies (μg/g : Mean ± S.D.)

| Group\Exp.wk        | 1                 | 2                 | 4                 | 6                 | 8                 |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Control             | $0.47 \pm 0.21$   | $0.47 \pm 0.17$   | $0.45 \pm 0.16$   | $0.45 \pm 0.19$   | $0.46 \pm 0.19$   |
| Cd <sup>1)</sup>    | $0.48 \pm 0.20$   | $0.47 \pm 0.23$   | $0.46 \pm 0.15$   | $0.46 \pm 0.20$   | $0.45 \pm 0.18$   |
| Cd+Zn <sup>2)</sup> | $0.94 \pm 0.34^*$ | $1.11 \pm 0.37^*$ | $1.23 \pm 0.40^*$ | $1.20 \pm 0.38^*$ | $1.22 \pm 0.35^*$ |

1) : Cd 0.03 ppm treated group.

2) : Cd 0.03 ppm + Zn 0.03 ppm treated group.

\* :  $p < 0.05$ (Significantly different from control and Cd 0.03 ppm treated group).

**Table 3.** Copper concentrations of fish bodies (μg/g : Mean ± S.D.)

| Group\Exp.wk        | 1                  | 2                  | 4                  | 6                  | 8                  |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Control             | $17.00 \pm 6.64^*$ | $17.21 \pm 8.59^*$ | $17.33 \pm 6.31^*$ | $17.03 \pm 5.76^*$ | $17.45 \pm 4.91^*$ |
| Cd <sup>1)</sup>    | $14.62 \pm 3.20$   | $13.40 \pm 2.42$   | $13.56 \pm 2.77$   | $13.01 \pm 5.11$   | $13.32 \pm 3.99$   |
| Cd+Zn <sup>2)</sup> | $15.63 \pm 5.34$   | $15.11 \pm 5.16$   | $14.80 \pm 3.89$   | $14.20 \pm 4.92$   | $14.34 \pm 4.43$   |

1) : Cd 0.03 ppm treated group.

2) : Cd 0.03 ppm + Zn 0.03 ppm treated group.

\* :  $p < 0.05$ (Significantly different from Cd 0.03 ppm treated group and Cd 0.03 ppm + Zn 0.03 ppm treated group).

**Table 4.** Calcium concentrations of fish bodies( $\mu\text{g/g}$  : Mean  $\pm$  S.D.)

| Group\Exp.wk        | 1                 | 2                 | 4                 | 6                 | 8                 |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Control             | 35.18 $\pm$ 6.59* | 39.13 $\pm$ 7.24* | 41.70 $\pm$ 7.84* | 42.41 $\pm$ 7.03* | 40.43 $\pm$ 6.88* |
| Cd <sup>1)</sup>    | 25.68 $\pm$ 4.23  | 25.89 $\pm$ 5.66  | 26.29 $\pm$ 6.03  | 25.24 $\pm$ 5.22  | 24.52 $\pm$ 6.57  |
| Cd+Zn <sup>2)</sup> | 29.10 $\pm$ 6.60  | 31.75 $\pm$ 7.86  | 34.13 $\pm$ 6.50  | 34.45 $\pm$ 6.97  | 31.59 $\pm$ 6.77  |

1) : Cd 0.03 ppm treated group.

2) : Cd 0.03 ppm + Zn 0.03 ppm treated group.

\* :  $p < 0.05$  (Significantly different from Cd 0.03 ppm treated group and Cd 0.03 ppm + Zn 0.03 ppm treated group).**Table 5.** Iron concentrations of fish bodies( $\mu\text{g/g}$  : Mean  $\pm$  S.D.)

| Group\Exp.wk        | 1                | 2                | 4                | 6                | 8                |
|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Control             | 0.64 $\pm$ 0.20* | 0.71 $\pm$ 0.18* | 0.77 $\pm$ 0.16* | 0.79 $\pm$ 0.20* | 0.78 $\pm$ 0.27* |
| Cd <sup>1)</sup>    | 0.34 $\pm$ 0.10  | 0.34 $\pm$ 0.11  | 0.36 $\pm$ 0.11  | 0.38 $\pm$ 0.12  | 0.36 $\pm$ 0.11  |
| Cd+Zn <sup>2)</sup> | 0.56 $\pm$ 0.15  | 0.58 $\pm$ 0.14  | 0.63 $\pm$ 0.16  | 0.58 $\pm$ 0.14  | 0.61 $\pm$ 0.17  |

1) : Cd 0.03 ppm treated group.

2) : Cd 0.03 ppm + Zn 0.03 ppm treated group.

\* :  $p < 0.05$  (Significantly different from Cd 0.03 ppm treated group).

군의 Cu 농도는 각 주 수마다 Cd 0.03 ppm 단독투여군과 Cd 0.0 ppm과 Zn 0.03 ppm 복합투여군보다 높았으며 통계적으로도 유의한 차이를 보였다(Table 3).

#### 4. Ca 농도변화

실험 주 수별 송사리 체내의 Ca 농도는 대조군의 경우 1주에서 35.18  $\pm$  6.59 mg/g이던 것이 4주에서 41.70  $\pm$  7.84 mg/g, 8주에서 40.43  $\pm$  6.88 mg/g으로 주 수가 길어짐에 따라 증가하는 경향이었으나, Cd 0.03 ppm 단독투여군에서는 주 수별 변화가 없었고, Cd 0.03 ppm과 Zn 0.03 ppm 복합투여군에서는 대조군과 마찬가지로 주 수가 길어짐에 따라 6주까지 증가하다가 8주에서 다소 감소하는 경향이였다.

각 실험 군별 Ca 농도는 대조군이 가장 높았고 다음이 Cd 0.03 ppm과 Zn 0.03 ppm 복합투여군 및 Cd 0.03 ppm 단독투여군의 순위였으며 대조군은 각 주 수마다 Cd 0.03 ppm 단독투여군과 Cd 0.03 ppm과 Zn 0.03 ppm 복합투여군에 비해 통계적으로도 유의하게 높은 차이를 보였다(Table 4).

#### 5. Fe 농도변화

실험 주 수별 송사리 체내 Fe 농도의 경시적 변화를 보면 대조군의 경우 1주에서 0.64  $\pm$  0.20 mg/g이던 것이 4주에서 0.77  $\pm$  0.16 mg/g, 8주에서 0.78  $\pm$  0.27 mg/g으로 점차 증가하는 경향이였으나, Cd 0.03 ppm 단독투여군과 Cd 0.03 ppm과 Zn 0.03 ppm 복합투여군에서는 주 수에 따른 뚜렷한 변화는 볼 수 없었다.

각 실험군별 Fe의 농도 차이는 대조군이 가장 높았

**Table 6.** Pearson's correlation coefficients among Cd, Zn, Cu, Ca and Fe

| Variable | Cd       | Zn     | Cu     | Ca      |
|----------|----------|--------|--------|---------|
| Zn       | 0.293**  |        |        |         |
| Cu       | -0.353** | -0.027 |        |         |
| Ca       | -0.539** | -0.151 | 0.224* |         |
| Fe       | -0.437** | -0.060 | 0.207* | 0.424** |

\* :  $p < 0.05$ , \*\* :  $p < 0.01$ 

고 다음은 Cd 0.03 ppm과 Zn 0.03 ppm 복합투여군 및 Cd 0.03 ppm 단독투여군의 순위였으며, 대조군은 각 주 수마다 Cd 0.03 ppm 단독투여군에 비해 통계적으로 유의하게 높은 차이를 보였으나, Cd 0.03 ppm과 Zn 0.03 ppm 복합투여군과는 유의한 차이가 없었다(Table 5).

#### 6. 각 금속간의 상관관계

송사리 체내 각 금속간의 상관관계를 보면 Cd의 경우 Zn과 정상관관계( $r = 0.293$ ,  $p < 0.01$ )를 보였으나, Cu( $r = -0.353$ ,  $p < 0.01$ ), Ca( $r = -0.539$ ,  $p < 0.01$ ) 및 Fe( $r = -0.437$ ,  $p < 0.01$ )과는 음의 상관관계를 보였다. Zn에서는 Cu, Ca 및 Fe와 유의한 상관관계가 없었으며, Cu는 Ca( $r = 0.224$ ,  $p < 0.05$ ) 및 Fe( $r = 0.207$ ,  $p < 0.05$ )와 유의한 정상관관계를 보였고, Ca는 Fe와 유의한 정상관관계( $r = 0.424$ ,  $p < 0.01$ )를 보였었다(Table 6).

## IV. 고 찰

수중에서의 Cd이 어류에 축적되는 기전과 인체에서

의 Cd이 축적되는 기전은 기본적으로 다르다. 어류는 주로 아가미 호흡이나 체표면적을 통해 점막 및 장관으로 직접 흡수되는데 비해 사람은 흡이나 분진같이 호흡기를 통해서 들어오는 경우가 많고, 음식물이나 물을 통한 간접경로에 의해 장관으로 흡수되는 점에서 차이가 있다.

지금까지의 생체 내 Cd축적에 대한 연구는 주로 소동물을 이용한 실험적 연구가 대부분일 뿐 수중에서의 어류를 이용한 실험적 연구는 많지 않았다. 또한 어류에 대한 중금속 축적 연구는 자연 생태계에서의 어류를 채집하여 중금속 농도를 측정하는 실험이 대부분이어서 이들이 서식하는 생활환경과 물의 오염상태에 따라 측정치에 차이가 있을 수 있어 사실상 특정 중금속에 어류들이 폭로되었을 때 어느 정도 축적되는지, 시간경과에 따른 축적변화는 어떠한 경향인지를 알아내기는 어렵다. 따라서 본 연구는 인체유해중금속의 하나인 Cd을 대상으로 경시적 변화에 따른 어체 내에서의 그 축적정도를 알아보기 위해 Cd에 오염되지 않은 실험실에서 인공부화시킨 송사리(*Oryzias latipes*)를 이용하여 Cd 0.03 ppm 농도의 수용액과 Cd과 길항작용이 있다고 알려져 있는 Zn을 이용하여 Cd과 Zn을 각각 0.03 ppm 농도의 수용액에 송사리를 노출시켜 Cd 및 기타 Zn, Cu, Ca, Fe 등의 금속에 대해 어체 내의 농도에 대한 경시적 변화를 관찰하였다. 그 결과 송사리 체내 Cd의 농도는 Cd 0.03 ppm 단독투여군과 Cd 0.03 ppm 및 Zn 0.03 ppm 복합투여군 모두 주 수가 경과되면서 점차 증가하는 경향을 보였고, Cd 단독투여군보다 Cd과 Zn 복합투여군에서 Cd 농도가 더 높은 것으로 나타났다. 이 같은 결과는 실험동물에서 Cd과 Zn의 복합투여가 장관 및 신장 중의 Cd 농도를 증가시킨다는 보고<sup>19)</sup>와 같은 결과였으며, 中村<sup>20,21)</sup>과 喜田村<sup>24)</sup>의 어류(황어)를 이용한 실험에서도 같은 결과를 보고하였다. Cd은 미량일지라도 지속적으로 폭로되어 체내에 흡수되면 축적되어 독성을 유발시키는 유해 중금속으로 잘 알려진 바와 같이 본 실험에서도 실험기간이 길어짐에 따라 지속적인 축적현상을 관찰할 수 있었다. 송사리 체내의 Zn의 농도변화에서는 Zn을 투여하지 않은 대조군에서도 주 수 경과에 따른 큰 변화 없었으나 Zn을 투여한 군에서는 주 수 경과에 따라 점차 증가하는 경향이었으며, Zn을 투여하지 않은 군에 비해 그 농도도 유의하게 높았다. Zn은 Cd의 독성작용을 경감시켜 주는 작용을 하게 되는 것으로 알려져 있으며, Parizek<sup>13)</sup>과 Gunn<sup>14)</sup>은 Zn 투여에 따른 metallothionein의 유도에 의한 것으로 생각하고 있다. 생체내에서의 Zn의 증가는 Cd 단독투여군에서도 나타

나는데 이는 간이나 신장중의 metallothionein의 증가가 관계된다고 생각하고 있으며,<sup>31-33)</sup> 본 연구에서 Cd 단독투여군보다 Cd과 Zn 복합투여군에서 Zn의 농도가 더 높게 나타난 것은 Cd과 Zn 복합투여군에서 Zn의 흡수가 보다 충분히 이루어지기 때문이 아닌가 생각된다.

Cu의 농도변화에서는 대조군과 실험군 모두에서 주 수 경과에 따라 큰 차이를 보이지 않았으나 대조군이 Cd 단독투여군과 Cd과 Zn 복합투여군보다 높은 것으로 나타났다. Fox<sup>15)</sup>은 Cd을 고농도를 함유시킨 사료로 사육시킨 동물에서 Cu의 부족현상을 관찰하였으며 Cd과 Cu는 대사에 있어서 길항작용이 있다고 생각하였다. Campbell과 Hills<sup>28)</sup>는 Cd과 Cu를 함유한 사료로 랫드를 사육하였을 경우 장관중의 Cu 농도가 현저히 낮아진다고 보고하였고, Van Campen<sup>29)</sup>은 Cd은 Cu의 흡수를 억제한다고 하였으며 Cd에 의해 Cu의 흡수가 감소되는 것은 장 점막에서의 Cu 결합의 증가 때문에 일부는 저분자 동단백이 되어 이 결합이 Cd의 흡수를 증가시키며 다른 한편으로는 Cd에 의해 장 점막에서의 Cu 결합이 증가하여 Cu의 흡수를 억제하는 것으로 생각하고 있다. 이와 같은 관계로 미루어 볼 때 본 실험에서도 Cd 투여군과 Cd과 Zn 복합투여군에서의 Cu 농도는 Cd을 투여하지 않은 대조군보다 월등히 낮아진 것이 아닌가 생각된다.

Ca의 농도변화는 대조군에 비해 Cd 단독투여 및 Cd과 Zn 복합투여시에 유의하게 Ca이 감소하는 것으로 나타났는데 Piscator<sup>30)</sup>과 Sugawara<sup>31)</sup>은 Cd이 소화관으로부터 Ca의 흡수를 방해하기 때문이라고 하였으며 Cd을 물에 첨가하여 투여할 경우 생체내 Ca의 양은 감소한다고 보고하였다.

Fe의 변화에서도 대조군에 비해 Cd 단독투여 및 Cd과 Zn 복합투여시에 유의하게 Fe가 감소하는 현상을 볼 수 있었다. Jacobs<sup>32)</sup>은 동물실험에서 Cd을 함유한 사료를 주게 되는 경우 십이지장내의 Fe 함량이 현저히 낮아져 빈혈의 원인이 된다고 하였으며, Valberg<sup>18)</sup>은 Fe가 결핍된 마우스에서 Cd의 소화관 흡수율이 증가된다고 하였음을 볼 때 본 실험에서의 Cd 투여군에서 Fe가 낮아진 것은 Cd이 소화관으로부터 Fe가 흡수되는 것을 저해하는 것이 아닌가 추정된다.

이상과 같은 결과는 송사리 체내 각 금속간의 상관관계에서도 Cd은 Zn과 정상관계를 보인 반면 Ca이나 Fe와는 음의 상관관계를 보이고 있는 점에서도 같은 경향임을 확인할 수 있었으며, 앞으로도 수중에서의 Cd 안정성평가를 위한 실험과 함께 Cd과 다른 중금속과의 공존에 의한 생체 내 축적에 관한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

## V. 결 론

어류체내 카드뮴과 기타 미량금속들의 축적농도를 알아보기 위해 중금속에 오염되지 않은 실험실 수조에서 인공부화시킨 송사리(*Oryzias latipes*)를 이용하여 수중에 Cd 0.03 ppm 단독투여 및 Cd 0.03 ppm과 Zn 0.03 ppm을 복합투여 하여 8주까지 사육시키면서 1주, 2주, 4주, 6주 및 8주째에 송사리 체내의 Cd, Zn, Cu, Ca 및 Fe 농도를 분석한 결과는 다음과 같았다.

1. 송사리 체내 Cd의 농도는 Cd 0.03 ppm 단독투여군과 Cd 0.03 ppm과 Zn 0.03 ppm 복합투여군에서 주 수가 경과되면서 점차 증가하는 경향이었으나, 두 군간의 Cd 농도는 각 주 수별로 유의한 차이가 없었다.

2. 송사리 체내 Zn의 농도는 대조군과 Cd 0.03 ppm 단독투여군에서는 주 수에 따른 변화가 없었으나, Cd 0.03 ppm과 Zn 0.03 ppm 복합투여군에서는 주 수경과에 따라 점차 증가하는 경향이었으며, Cd 0.03 ppm과 Zn 0.03 ppm 복합투여군의 Zn 농도는 대조군과 Cd 0.03 ppm 단독투여군에 비해 유의하게 높았다.

3. 송사리 체내 Cu, Ca 및 Fe의 농도는 주 수의 경과에 따라 증가하는 경향이었으나 유의한 차이는 없었고, 각 주 수마다 대조군이 가장 높았다.

4. 송사리 체내 각 금속간의 상관관계를 보면 Cd의 경우 Zn과는 정상관관계를, Cu, Ca 및 Fe와는 음의 상관관계를 보였으며, Cu는 Ca 및 Fe와 정상관관계를, Ca은 Fe와 유의한 정상관관계를 보였다.

결과적으로 송사리체내 중금속의 축적정도는 포유동물에서의 실험과 유사하게 Cd와 Zn은 폭로기간이 길어짐에 따라 계속 증가하는 경향이었으나, Cu는 변화가 없었고, Ca와 Fe는 감소하는 경향을 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

- Axeleson B, Darhlgren SE and Piscator M: Renal lesions in the rabbit after long-term exposure to cadmium. *Arch Environ Health*, **17**, 24-28, 1968.
- Itokawa Y: Bone change in experimental chronic cadmium poisoning, radiological and biochemical approaches. *Arch. Environ. Health*, **26**(5), 241-244, 1973.
- Faeder EJ, Chanet SQ and King LC: Biochemical and ultrastructural changes in livers of cadmium treated rats. *Toxicol Appl Pharmacol*, **39**, 473-483, 1977.
- Dudley RE, Svovoda DJ and Klassen CD: Acute exposure to cadmium causes severe liver injury in rats. *Toxicol Appl Pharmacol*, **65**, 302-313, 1982.
- 土屋 健三郎 : 金屬中毒學. 醫齒藥出版株式會社, 東京, p285, 1983.
- Friberg L, Piscator M, Nordberg G and Kjellstrom T: Cadmium in the environment. CRC Press, Cleveland, pl, 1974.
- 鈴木 聖亮, 盧 焯眞 : ヒトにおける鹽化カドミウム1回投與後の尿中排泄パターンなどの検討. 第48回日本産業衛生學會講演集, 産業醫學, **17**(5), 441-445, 1975.
- Tsuchiya K: Cadmium studies in Japan. Kodansha Tokyo, pl, 1978.
- Goering PL, and Klaassen, CD: Tolerance to cadmium-induced hepatotoxicity following pretreatment. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **74**, 308-313, 1984.
- Dudley RE, Gammal, LM and Klaassen, CD: Cadmium-induced hepatic cadmium metallothionein in nephrotoxicity. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **77**, 414-426, 1985.
- Agarwal AK: Metabolic alterations in liver and testes of adult and new born rats following cadmium administration. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **40**, 569-575, 1988.
- Nishizumi M: Electron microscopic study of cadmium nephrotoxicity in the rat. *Arch. Environ. Health*, **24**, 215-225, 1972
- Parizek J: The destructive effects of cadmium ion on testicular tissue and it's prevention by zinc. *J Endocrinol*, **15**, 56-63, 1957.
- Gunn SA, Gould TC, Anderson WA and Gables C: Zinc protection against cadmium injury to rat testis. *Arch of Path*, **71**, 274-281, 1961.
- Fox MRS: Nutritional influences on metal toxicity. Cadmium as a model toxic element. *Environ. Health. Persp.* **29**, 95-104, 1979.
- 渡邊 弘, 長谷川 豊, 村山 ヒサ子, 松下 純雄 : 環境保健レポート. **24**, 122-130, 1973.
- Kawai K: Cdadmium study in Japan. Kodansha Ltd., 1978.
- Valberg LS, Sorbie J and Hamilton DL: Gastrointestinal metabolism of cadmium in experimental iron deficiency. *Am. J. Physiol.*, **231**, 462-467, 1976.
- Yoshikawa H: Preventive effect of pretreatment with cadmium on acute cadmium poisoning in rats. *Ind Health*, **11**, 113-119, 1973.
- 中村 亮 : 重金屬の魚類生體內濃縮に関する研究 第1報, 日公衛誌, **17**, 766, 1970.
- 中村 亮 : カドミウムのウグイ生體內蓄積に関する實驗的研究, 日公衛誌, **21**(6), 321-327, 1985.
- 日本農林省 : 魚類に對する毒性試験法. 農林省通達40年農政B第2735號, 1965.
- 佐藤 徳光 : 毒性試験に用いられる實驗動物-水生動物. 地人書館, p111, 1990.
- 喜田村 正次, 早川 清子, 紫田 孝子 : 各種重金屬の金魚への蓄積. 日衛誌, **27**, 42, 1972.
- Suzuki Y and Yoshikawa H: Effect of cadmium injection on intracellular distribution of essential metals in rat liver. *Ind Health*, **10**, 93-106, 1972.
- Nakamura K, Kajizuka E, Nakano J, Sugiura Y and

- Takata T: An experimental study on the effects of simultaneous administration of cadmium and zinc on the accumulation of cadmium. *J. Toxicol. Sci.*, **2**, 373-381, 1977.
- 27) Stonard MD and Webb M: Influence of dietary cadmium on the distribution of the essential metals: copper, zinc and iron in tissue of the rat. *Chem Biol Interact.* **15**, 349-363, 1976.
- 28) Campbell JK and Mills CF: Effect of dietary cadmium and zinc on rats maintained on diets low in copper. *Proc. Nutr. Soc.*, **33**, 15-17, 1974.
- 29) Van Campen DR: Effects of zinc, cadmium, silver and mercury on the absorption and distribution of copper-64 in rats. *J. Nutr.*, **88**, 125-130, 1966.
- 30) Piscator M and Larsson SE: Retention and toxicity of cadmium in calcium-deficient rats. Proc. of the 17th Int. Congr. Occup. Health, 1972.
- 31) Sugawara N: Inhibitory effect of cadmium on calcium absorption from the rat duodenum. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **5**, 167-175, 1977.
- 32) Jacobs RM, Fox MR, Lee AO, Harland BF, and Fry BE: Fed Proc., *Amer. Soc. Exp. Biol.*, **33**, 668, 1974.