

Mercuric Chloride가 붕어(*Carassius auratus*)에
미치는 急性毒性 및 蓄積에 關한 研究

이 재 형

전북대학교 의과대학 예방의학교실

A Study on the Acute Toxicity and Accumulation of Mercuric
Chloride to Goldfish (*Carassius auratus*)

Jae Hyung Lee

*Dept. of preventive Medicine and Public Health,
College of Medicine, Chonbuk National University*

Abstract

This experiment was performed to study the acute toxic effects of mercuric chloride(HgCl_2) in goldfish (*Carassius auratus*).

In the study, Lc_{50} values were determined for each 24, 48, 72, and 96-hr and mercury bioassay during the tests were performed in five parts ; gill, kidney, liver, muscle and egg.

The results summarized were as follows ;

1. In the range of acute lethal toxicity for goldfish was 0.15–1.50 mg/l and the Lc_{50} values decreased with exposure time.
2. The Lc_{50} values of HgCl_2 for goldfish at 24, 48, 72 and 96 hour were 0.64, 0.53, 0.46, and 0.39 mg/l, respectively.
3. In the 400 $\mu\text{g/l}$ treatment group, the average levels of mercury residues in the gill, kidney, liver, muscle and egg during 96 hour were 107.02 $\mu\text{g/g}$, 8.65 $\mu\text{g/g}$, 6.87 $\mu\text{g/g}$, 0.61 $\mu\text{g/g}$, and 0.82 $\mu\text{g/g}$, respectively.
4. The mercury residues of gill was up to 12-175 times greater than mercury contents found in the other tissues.

I. 서 론

수은은 자연 상태에서 고농도의 광석으로 존재하고 쉽게 정련이 되기 때문에 기원전부터 인류가 사용해온 중금속의 하나로서 근래에 이르기까지 이노제, 설사제, 매독의 치료제 등의 의약분야와 농업 및 산업분야에서도 광범위하게 사용되고 있으며¹⁾ 수은화합물의 사용증가로서 야기되는 환경오염은 생태계를 통하여 궁극적으로 인체에 피해를 발생시킬 수 있다.²⁾ 그러나 그 독성에 대해서는 1950년대까지도 거의 보고되지 않았으며 일본에서 발생한 Minamata 병이 보고된 이후 세계 각처에서 무기, 유기수은의 중독사고가 발생하자 관심이 고조되기 시작하였다.¹⁾

지금까지 어류에 대한 수은의 급성, 만성독성 및 축적에 관한 연구들로서는 1976년 Mckim 등³⁾이 메틸수은에 오염된 실험수에 송어(*Salvelinus fontinalis*)를 40 주동안 노출시켜 각 조직에 축적되는 양을 조사하였고, Sharma 등⁴⁾이 붕어(*Carassius auratus*)의 24 시간 반치사농도(LC₅₀)에 가까운 400 µg/l 와 메틸수은 80 µg/l에 노출시켜 근육에서의 축적치를 조사하고 세레늄의 농도에 따라 수은의 축적이 억제되는 정도를 조사하였다.

또한 24 시간 LC₅₀의 독성실험에 관해서는 Adelman 등⁵⁾이 붕어(*C. auratus*)에서 0.40 mg/l, Hanumante 등⁶⁾이 민물고기인 *Channa gachua*에서 4.1 mg/l의 치사농도를 보여 어종에 따라 농도의 차를 보였으며, Spehar 등⁷⁾은 무지개 송어(*Salmo gairdneri*)에서 성어 0.49 mg/l, 치어 0.90 mg/l의 치사농도를 보여 크기에 따라라도 차이가 있음을 보고하였고, 같은 어종인 송사리(*Oryzias latipes*)에서도 일본산 송사리 0.74 mg/l, 한국산 송사리 0.51 mg/l의 치사농도로 서식처에 따라라도 차이를 보인다고 하였다.⁸⁾

국내에서는 김봉⁹⁾, 손동¹⁰⁾, 강동¹¹⁾이 담수어의 조직내 수은함량을 조사한 바 있으며, 등등¹²⁾이 수은중독에 의한 붕어 장기조직의 변화에 대하여, 김¹³⁾과 유⁸⁾의 급성독성에 관한 보고가 일부 있을 뿐 수은의 급성독성에 의한 어류의 조직별 축적정도에 관한 연구는 수질조건과 여러가지 실험적 제한요인 때문에 활발히 진행되지 못하고 있는 실정이다.

이에 본 실험에서는 Adelman 등⁵⁾이 제시한 실험 표준어류(standard fish)로서의 적정성에 비추어 채집과 실험이 용이하고 가장 넓은 분포를 하고있는 담수어종의 하나인 붕어(*Carassius auratus*)를 사용하여 수은화합물 중 무기수은(HgCl₂)을 수조에 투한 후, LS50을 결정하고 이에 따른 조직별 축적량을 조사하여 다른 어종의 치사농도 및 조사 부위별 축적량을 비교할 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 方法

1. 실험 재료

실험어류로 선정된 붕어(*Carassius auratus*)는 체장 10~15 cm 정도의 민물고기로서 서식처에 따라서 적응성이 강하고 4월에서 5월이 주산란기이며 일반적으로 사육이 용이하여 실험어류로서 적당하다고 판단된다.¹⁴⁾ 본 실험을 위해 전북 전주시 근교에 위치한 금천 저수지 양어장으로부터 붕어를 제공받아 1989년 4월부터 2 주동안 수조에서 실험조건에 적응하도록 사육하여 환경변화에 의한 stress를 극소화시킨 후 무기수은(HgCl₂)의 실험농도에 폭시켰다.

실험에 사용한 붕어는 체장 110~140mm의 건강한 개체만을 선별하여 105×35×50 cm 크기의 7개 유리수조에 각 20 마리씩 분배하였다.

2. 독성 실험

실험 방법은 정수식에 static bioassay 법⁶⁾이었으며 사용된 실험수는 지하수로서 2 일 이상 폭기를 시킨 후 공급 직전의 수질 조건은 수온 17.5 °C, 경도 23mg/l, pH 6.7, 용존산소량 6.6mg/l 로서 수질의 물리, 화학적 성장은 Table 1 과 같았다.

농도 결정시 사용된 stock solution은 mercuric chloride (HgCl₂, Wako pure chemical industries Co)의 중금속염을 녹여서 음이온의 독성을 무시하고¹⁶⁾ 수은의 함량을 기초로 절대농도를 환산하여 Hg⁺² 0.1g/100ml로 만든 후 알맞은 배수로 희석하여 각각의 실험군에 투여하였으며 Carr의 방법¹⁶⁾에 따라 1 회 사용을 원칙으로 하였다.

실험군 선정은 참고 문헌의 고찰과 예비 실험을 통해서 LC₅₀ 결정에 적절한 7개 실험농도를 설정하여 반복실험을 실시하였다.

개체의 사망은 각 개체를 가만히 건드려서 움직이지 않는 상태로 정의하였으며, 사망 개체수의 조사는 무기 수은(HgCl₂)처리 후 1, 2, 4, 8, 12, 24, 48, 72, 96 시간에 실시하였고 죽은 개체는 제거하였다.

3. 수은 축적량 조사

1) 시료의 채취

무기수은(HgCl₂)의 급성독성에 의해 축적되는 수은량을 조사하기 위하여 96 시간 LC₅₀에 가장 가까운 실험농도인 0.40mg/l 실험군을 선정하였으며, 48 시간, 72 시간, 96 시간 동안에 치사된 붕어를 수거하여 개복하고 아가미, 신장, 간, 알, 근육을 적출하여 부위별 수은함량을 적출 즉시 분석하였다.

2) 분석 방법

채취된 시료는 냉각기가 부착된 Elenmeyer flask에 취한 후 H₂SO₄-HNO₃-HClO₄ 적당량을 가한 다음 200 °C sand bath에서 2시간 가열하여 유기물을 분해하였으며 여분의 유기물이나 방해물질의 분해는 액온을 60%로 내려 6w/v% KMnO₄ 5ml를 넣고 200 °C에서 가열 분해하여 KMnO₄의 색이 10분간 남아 있을 때까지 추가 조작을 반복하였다.

분해가 끝난 시료는 액온을 약 40 °C로 냉각하고 20w/v% NH₂OH-HCl 용액을 가해 여분의 KMnO₄를 환원시킨 후 mercury free distilled water를 가해 100ml로 하였다. 정량 분석은 10w/v% SnCl₂ 5ml를 가하여 발

Table 1. Composition of Test Water (Mean Values in Parenthesis)

Analysis	Exclusive limits	Analysis	Exclusive limits
Hardness	21 - 25 (23)	Calcium	16.5 - 17.0 (16.7)
Acidity	8 - 10 (9)	Chloride	42.0 - 42.3 (42.2)
Alkalinity	5.0 - 8.0 (6.5)	Fluoride	0.15 - 0.16 (0.15)
Temperature	16.0 - 19.0 (17.5)	Arsenic	N. D.
Turbidity	1.0 - 1.5 (1.3)	Chromium	N. D.
pH	6.7 - 6.8 (6.7)	Copper	0.01
Oxygen	6.3 - 6.8 (6.6)	Iron	0.12
Ammonia	< 0.02	Lead	N. D.
Nitrate	3.5	Mercury	N. D.
Nitrite	< 0.005	Zinc	0.03

Note: Values are expressed as mg/l except temperature (=centigrade) and pH
N. D. : Not detected (=less than 2 µg/l)

생되는 수은 수증기를 quartz tube에 통과시켜 정량하는 cold vapor atomic absorption 법¹⁷⁾에 따라 파장 253.7mm에서 측정하였다.

3) 시약 및 기기장치

사용된 시약은 blank test 값을 최소로 하기 위하여 유해금속측정용과 원자흡광분석용(Wako pure chemical industries Co.)을 사용하였다.

측정은 원자흡광분광광도계 (Instrumentation Laboratory AAS 551, U.S.A.)와 atomic vapor accessory (IL 440, U.S.A.)로 하였으며 사용가스는 nitrogen이었다.

4) 자료 분석

중금속 농도와 사망개체수간의 회귀식으로 부터 24, 48, 72, 96시간의 Lc_{50} 와 95% 신뢰한 계치를 계산하였다. 각각의 값에 대해서 X^2 -test에 의해 회귀모델의 적정성을 검정하였으며, BASIC program (Tallarida and Murray의 방법¹⁸⁾)을 이용하여 probit analysis를 하였다.

III. 성 적

1. 독성 범위

96 시간 이내의 독성실험에 대한 무기수은의 농도는 Table 2에서와 같이 0.15mg/l에서 96 시간 실험기간 동안에 치사작용이 나타나기

시작하였고 1.50mg/l에서는 24 시간 이내에 전개체가 사망하여 0.15 - 1.50mg/l의 치사 독성범위를 나타냈다.

각 실험군의 최초 치사작용이 나타난 시간은 1.50mg/l에서는 1 시간 이내에 치사작용이 나타났으며 1.00mg/l에서는 2 시간 이내에, 0.70

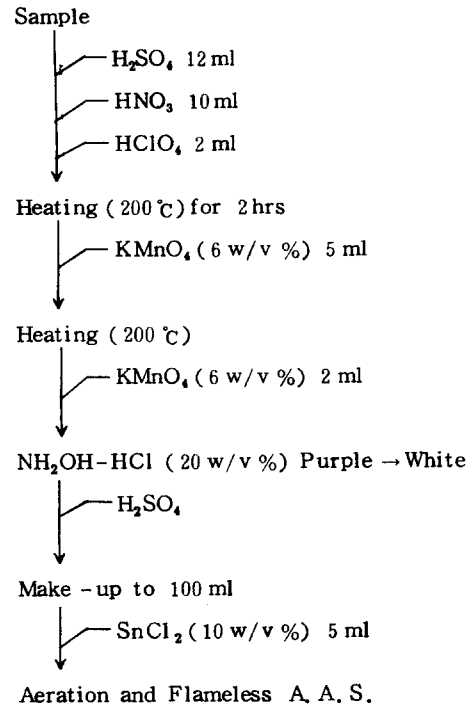


Fig. 1. Determination method of total mercury in fish

Table 2. Cumulative Lethality of *Carassius auratus* by Exposure Period to Mercuric Chloride Solution

HgCl ₂ Concentration (mg/l)	Number of death by exposure time, hour								
	1	2	4	8	12	24	48	72	96
1.50	1	3	9	14	19	20	20	20	20
1.00	0	1	3	7	12	16	18	20	20
0.70	0	0	2	3	6	12	15	17	19
0.50	0	0	0	2	3	5	9	11	12
0.40	0	0	0	1	2	4	5	8	9
0.25	0	0	0	0	0	0	2	3	6
0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	1

mg/l 와 0.50mg/l 에서는 4시간이내에, 0.40 mg/l 에서는 8시간이내에, 0.25 mg/l 에서는 48시간이내에, 0.15mg/l 에서는 96시간이내에 치사작용이 나타났다.

2. 시간별 Lc_{50}

독성 실험농도와 사망개체간의 95% 신뢰구간내의 회귀식으로부터 계산된 Lc_{50} 은 Table 3 에서와 같이 24시간 Lc_{50} 은 0.64mg/l 로 나타났고 48시간 Lc_{50} 은 0.53mg/l 로,

Table 3. Results of Lc_{50} Determination on the Acute Toxicity of Mercuric Chloride to *Carassius auratus*

Exposure time	Lc_{50} ^a (mg/l)	95% Confidence limits	
		Upper	Lower
24	0.64	0.82	0.50
48	0.53	0.63	0.44
72	0.46	0.60	0.36
96	0.39	0.49	0.29

a : Obtained by probit analysis

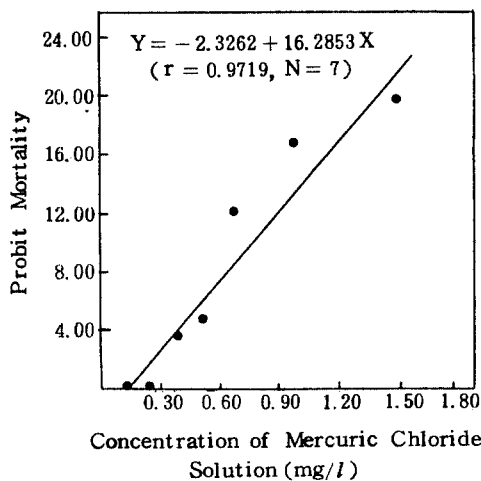


Fig. 2. Correlation of Mercuric Chloride Concentration and Probit Mortality (24 hr).

시간 Lc_{50} 은 0.46mg/l 로, 96시간 Lc_{50} 은 0.39mg/l 로 나타났으며 24시간부터 96시간까지의 Lc_{50} 의 독성범위는 0.64~0.39mg/l 를 보였다(Fig. 2, 3, 4, 5).

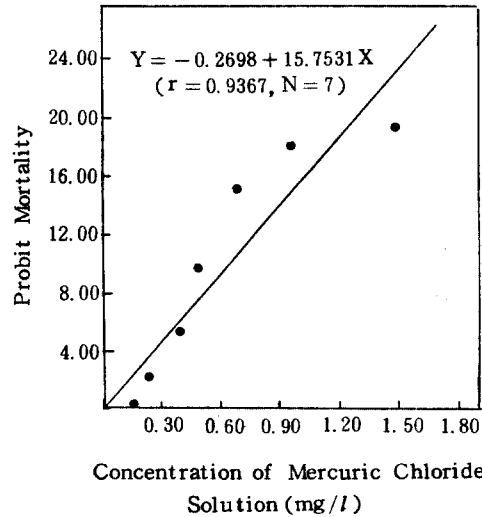


Fig. 3. Correlation of Mercuric Chloride Concentration and Probit Mortality (48 hr).

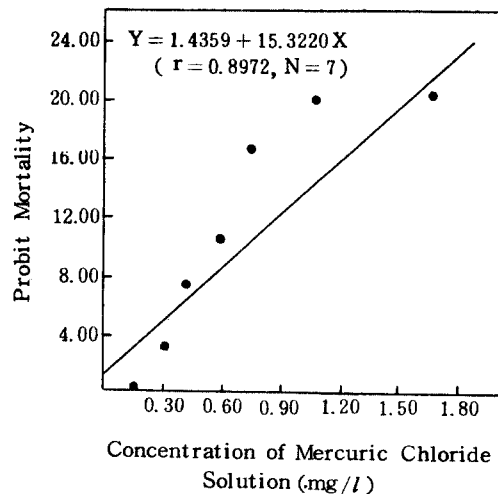


Fig. 4. Correlation of Mercuric Chloride Concentration and Probit Mortality (72 hr).

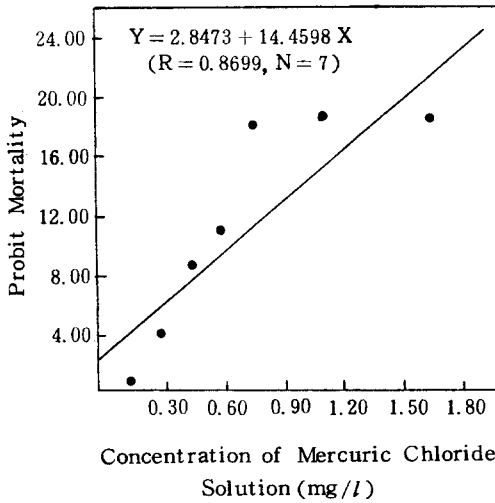


Fig. 5. Correlation of Mercuric Chloride Concentration and Probit Mortality (96 hr).

3. 체내 수은 축적량

실험시간중 치사된 붕어의 체내 축적량은 Table 4와 같이 폭로시간에 따라 축적량의 지속적인 증가현상을 볼 수 있었으며 아가미에서 가장 높은 축적치를 보였고 신장, 간, 알, 근육의 순위로 낮은 축적치를 나타냈다.

폭로기간에 따른 조사 부위별 축적량은 48시간에서 아가미 $33.61 \pm 9.16 \mu\text{g/g}$, 신장 $3.24 \pm 1.25 \mu\text{g/g}$, 간 $2.87 \pm 1.31 \mu\text{g/g}$, 알 $0.22 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$, 근육 $0.15 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$ 으로 나타

났고 96시간에서는 아가미 $107.02 \pm 21.84 \mu\text{g/g}$, 신장 $8.65 \pm 1.87 \mu\text{g/g}$, 간 $6.87 \pm 1.21 \mu\text{g/g}$, 알 $0.82 \pm 0.31 \mu\text{g/g}$, 근육 $0.61 \pm 0.25 \mu\text{g/g}$ 으로 나타났으며, 조사기간중 높은 축적치를 보인 아가미는 근육의 축적치에 비하여 175배 이상, 정상군의 조사부위에 비하여 1.528~3.566배의 높은 축적도를 나타냈다.

IV. 고 찰

수은화합물에 의한 환경오염은 동식물은 물론 인간에게도 직접적인 피해를 줄 수 있기 때문에 임상적인 면에서 기질적 기능적 장애²⁾와 더불어 환경 및 생물체내에서의 축적정도 및 영향에 대한 연구^{19, 20)}가 활발히 진행되어 왔다.

특히 수계에 배출되는 수은화합물은 무기 또는 유기수은의 형태로서 어류에 직접적으로 흡수, 농축되고 흡수된 수은은 세포내의 sulfhydryl group과 결합하여 안정된 mercaptide를 형성하여 효소의 활성을 저해하며²¹⁾ 더 나아가서는 purin, pyrimidine, nucleic acid, nucleotide와 작용하여 세포의 기능에 손상을 초래한다.²²⁾ 또한 어류에 대한 독성실험의 결과는 수은화합물의 형태⁴⁾, 어종의 종류^{5, 6)}, 크기⁷⁾, 조사부위^{9, 11)}, 실험 농도에^{8, 12, 15)}에 따라 차이가 있었으며 본 실험에서는 폭로기간에 따라 급성 독성 및 부위별 특징을 다음과 같이 고찰할

Table 4. Mercury Accumulation of Selected Tissues of Goldfish Exposed to a 96 hr - LC_{50} of Mercuric Chloride (0.40 mg/l HgCl_2)

Tissue	Control group	Experimental group		
		48 ^a	72	96
Gill	0.04	33.61 ± 9.16^b	69.54 ± 18.55	107.02 ± 21.84
Kidney	0.07	3.24 ± 1.25	6.92 ± 1.58	8.65 ± 1.87
Liver	0.05	2.87 ± 1.31	5.38 ± 1.36	6.87 ± 1.21
Muscle	0.05	0.15 ± 0.02	0.34 ± 0.12	0.61 ± 0.25
Egg	0.03	0.22 ± 0.05	0.52 ± 0.15	0.82 ± 0.31

a : Exposure time

b : Mean \pm S. D ($\mu\text{g/g}$)

수 있었다.

1. 독성실험

본 실험을 통하여 얻은 급성치사농도의 폭로 시간별 LC_{50} 과 참고 문헌을 통해서 얻은 다른 어류의 폭로시간별 LC_{50} 을 비교하는데 있어서는 실험수의 조건(pH, 온도, 경도등), 실험 방법(static test, flow test 혹은 field test) 등에 따라서 차이가 있으나 실험성적에 의해 폭로시간별 LC_{50} 을 비교하였다.

무기수은에 대한 24 시간 LC_{50} 은 한국산 붕어가 본 실험에서 0.64mg/l로 나타나 sharma 등이 조사한 붕어(*Carassius auratus*)의 0.40 mg/l 보다는 민감도가 낮게 나타났다. 또한 한국산 송사리(*Oryzias latipes*) 0.51mg/l⁸⁾ 일본산 송사리(Medaka; *Oryzias latipes*) 0.74mg/l⁹⁾, 무지개 송어(*Selmo garidneri*) 0.49mg/l⁷⁾, 잉어(*Cyprinus carpio*) 0.47mg/l⁷⁾, 피라미(*Zacco platypus*) 0.17mg/l⁷⁾로 보고되어 한국산 붕어의 민감도는 일본산 송사리(Medaka)보다는 더 민감하지만 한국산 송사리, 무지개 송어, 잉어, 피라미보다는 덜 민감한 것으로 평가된다.

48 시간 LC_{50} 은 한국산 붕어가 0.53mg/l로서 붕어의 치어(Goldfish, fry) 0.33~0.38 mg/l로 보고되어⁴⁾ 성어가 치어보다 덜 민감한 것으로 평가된다.

또한 일본산 송사리 0.53mg/l, 한국산 송사리 0.31mg/l로 보고⁸⁾되어 한국산 붕어와 일본산 송사리의 민감도는 같은 수준이었으며 한국산 송사리보다는 덜 민감한 것으로 평가된다.

96 시간 LC_{50} 은 한국산 붕어가 0.39mg/l로서 무지개 송어 0.31mg/l와 비슷한 민감도를 보였으며 한국산 송사리 0.18mg/l⁸⁾, 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*) 0.15mg/l¹³⁾보다는 덜 민감한 것으로 나타났다.

이와같이 한국산 붕어가 무기수은의 독성에

대해서 갖는 민감도는 일본산 송사리보다는 더 민감하지만 붕어의 치어나 한국산 송사리, 피라미, 미꾸리, 무지개 송어보다는 덜 민감한 것으로 평가된다.

2. 부위별 수은 축적량

아가미는 수은과 제일 먼저 접촉되는 부위로서 체내 축적에 직접적인 영향을 주고 형태학적 변화가 특징적으로 나타난다고 하였으며⁴⁾ 다른 부위에 비하여 활발하게 수소 이온과 수은이 복합체를 형성하고 체적당 금속 이온과의 교환이 이루어지는 면적이 크기때문에 가장 높은 축적치를 보인것²⁰⁾으로 생각된다.

특히 치사되기 직전의 붕어에서는 아가미 lamella의 외피에서 floc 모양을 육안으로 관찰할 수 있었으며 이는 아가미 lamella에서 분비되는 점액질과 수은이 coagulant를 이루고 중국에는 Ca^{+2} , Mg^{+2} 등의 hardness metal 과의 경쟁적 억제제가 더욱 크게 작용하여 호흡곤란이 일어나 치사되는 것으로 사료된다.

또한 96 시간후 아가미에 축적된 수은함량이 정상군에 비하여 2.675배 정도의 높은 축적도를 보였으며 같은 실험군의 신장, 간, 근육, 알의 축적치에 비해서도 12~175배의 축적도를 보여 조사 부위 및 농도에 따라 체내 중금속 축적량도 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.

신장은 아가미를 투과한 수은에 가장 직접적이고 민감한 영향을 받는 부위로 알려져 있으며 황등²⁴⁾은 붕어가 무기수은에 장기간 폭로되면 체조직 중 가장 높은 축적치를 보인다고 하였으며 등등¹²⁾은 메틸수은에 의한 급성중독에서 소포체나 mitochondria가 손상을 받고 기저막의 비후현상으로 신장중독증(nephrotoxicity)을 일으킨다고 하였으나 무기수은에 의한 급성중독의 미세구조나 생화학적 연구는 미비한 실정이다.

본 실험에서는 신장의 수은함량이 정상군보다는 123배 이상의 축적치를 보였으나 간의

축적치와는 비슷한 함량정도를 나타내 급성중독에 의한 축적은 아가미에 비하여 민감하지 않은 것으로 나타났다.

간은 체내의 혈액과 담즙에 직접적인 영향을 받으며 수은의 축적에 따라 succinic dehydrogenase, acid, alkaline phosphatase 등이 효소 활성이 억제되고 75 $\mu\text{g/g}$ 정도의 메틸수은 축적에 의해 간 피사가 일어나 부분적으로 푸른색을 육안으로 관찰할 수 있다²⁵⁾고 하였으나 본 실험에서는 어느 실험군에서도 볼 수 없었으며 이는 무기수은의 독성이 메틸수은 보다 약하기 때문으로 생각된다.

본 실험에서 나타난 96 시간 축적치는 황등²⁴⁾의 300 $\mu\text{g/g}$ 실험군에서 12 주후에 66.49 $\mu\text{g/g}$ 의 축적치를 보인것과는 큰 차이가 있었으나 김¹³⁾의 무기수은에 의한 급성중독시 7~9 $\mu\text{g/g}$ 의 축적치와는 유사한 결과를 보였다.

근육은 어류의 주된 가식부로서 수은 축적 정도는 흡수되는 수은화합물의 형태에 따라 차이가 나며 체내 50% 이상이 유기수은 화합물로 축적이 되는것은 유기수은이 아가미나 소화기관의 membrane barrier를 용이하게 통과하여 다른 조직으로 수송되어 고정되고 이로 인하여 반감기가 증가하기 때문에 정상군의 경우에는 다른 부위와 비슷한 축적치를 보인다^{3,26)}고 하였다. 본 실험에서도 정상군에서는 비슷한 부위별 수은함량을 나타냈으나 실험군에서 나타난 근육의 수은 축적치는 조사부위중 가장 낮았으며 Mckim 등³⁾이 조사한 유기수은의 높은 흡수율에 비하여 무기수은의 흡수율이 상대적으로 낮아 이제까지의 여러 연구결과^{1,5,6,10,20)}와 같이 수은화합물의 형태가 축적에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

알은 두꺼운 세포벽에 의해 오염물질로부터 보호를 받기 때문에 다른 조직에 비하여 축적되는 양은 낮으나 비록 소량의 축적 농도에도 민감한 영향을 받게 된다.²⁷⁾ Servizi 등²⁷⁾이 조

사한 2 종류의 연어(Sockeye and Pink salmon)에 대한 HgCl₂ 농도에 따른 168 시간 Lc₅₀은 알에서 4 $\mu\text{g/g}$ 로서 치어나 성어의 180~220 $\mu\text{g/l}$ 에 비하여 매우 낮은 저농도에서 치사되는 것으로 보고되었으며 수은에 폭로된 알은 성장과정에서 sperm viability, embryogenesis 등이 격감되고 치어의 생존율이 낮아진다고 하였다. 본 실험에서는 알의 부화나 생존율이 조사되지 않았으나 근육보다는 높은 축적을 보였고 축적정도에 따른 영향도 클 것으로 생각된다.

V. 결 론

수은에 단기간 폭로되었을때 생체에 미치는 급성독성의 영향을 파악하기 위하여 붕어(*Carrasius auratus*)를 실험어류로 선정하여 static bioassay법에 의하여 무기수은(HgCl₂)에 대한 급성치사 독성실험을 실시하여 Lc₅₀을 결정하고, 아가미, 신장, 간, 근육, 알등에 축적되는 수은량을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 한국산 붕어가 나타내는 치사독성범위는 0.15~1.50mg/l로 나타났고 폭로시간이 증가함에 따라 무기수은이 Lc₅₀ 정도는 경시적으로 감소하였다.

2. 한국산 붕어가 나타내는 24, 48, 72, 96 시간의 Lc₅₀은 각각 0.64, 0.53, 0.46, 0.39 mg/l이었다.

3. 400mg/l 실험군에 66 시간 폭로된 붕어 장기별 축적치는 아가미 107.02 $\mu\text{g/g}$, 신장 8.65 $\mu\text{g/g}$, 간 6.87 $\mu\text{g/g}$, 근육 0.61 $\mu\text{g/g}$ 및 알 0.82 $\mu\text{g/g}$ 으로 나타났다.

4. 부위별 수은 축적량은 아가미가 가장 높았고 신장, 간, 알, 근육의 순위로 낮았으며 아가미가 다른 부위에 비하여 12~175 배이상의 높은 축적도를 보였다.

참 고 문 헌

1. Hammond, P.B. and Beliles, R.P.: Metals. IN: Doull, J., Klassen, C.D. and Amdur (eds), M.O., Casarett and Doull's Toxicology. 2nd ed., Macmillan Publishing Co., Inc. New York, pp. 421-435, 1980.
2. Rustam, H., Burg, R.V. and Hassani, S.E.: Evidence for a neuromuscular disorder in methylmercury poisoning. Arch. Environ. Health. 30,190-195, 1975.
3. Mckim, J.M., Olson, G.F., Holcombe, G.W. and Hunt, E.P.: Long-term effects of methylmercuric chloride on three generations of brook trout(*Salvelinus fontinalis*): foxicity, accumulation, distribution, and elimination. J. Fish Res. Board Can. 33,2726-2739, 1976.
4. Sharma, D.C. and Davis, P.S.: Effect of sodium selenite and selenomethionine on the accumulation and acute toxicity of mercuric and methylmercuric chloride in the goldfish. Indian J. Exp. Biol. 18, 82 84, 1980.
5. Adelman, I.R. and Smith, G.D.: Acute toxicity of sodium chloride, pentachlorophenol, guthion and hexavalent chromium to fathead minnows and goldfish. J. Fish. Res. Bd. Canada. 33, 203-208, 1976.
6. Hanumante, M.M. and Kulkarni, S.S. : Acute toxicity of molluscicides, mercuric chloride and pentachlorophenol to a freshwater fish(*Channa gachua*). Bull. Environm. Contam. Toxicol., 23, 725-727 1979.
7. Spehar, R.L., Christensen, G.M., Curtis., Lemke, A.E. and Pickering, O.H.: Effect of pollution on freshwater fish. J. WPCF. 54(6), 877-922, 1982.
8. 유용래 : 중금속이 송사리(*Oryzias latipes*)에 미치는 급성독성에 관한 연구, 서울대학교 보건대학원 석사학위논문, 1987
9. 김명희, 박성배 : 담수어중의 총 수은 함량에 관한 연구, 한국육수학회지, 14(3), 13~19, 1981
10. 손동현, 홍순각, 송철용, 전상린 : 담수어중의 총 수은 함량에 관한 연구, 한국식품과학회지, 14(2), 168~173, 1982
11. 강희곤, 윤원용, 박상현, 박성배 : 북한강에 서식하는 담수어중의 중금속 함량에 관한 연구, 한국육수학회지, 19(1), 79~87, 1986
12. 등연건, 유관희, 최춘근, 최임순 : 수은중독에 의한 붕어장기의 미세구조 변화, 한국동물학회지, 121(3), 87~102, 1978
13. 김종만 : 2종 담수어류에 대한 수은 및 카드뮴의 영향, Bulletin of KORDI, 1(1), 15~21, 1979
14. Adelman, I.R. and Smith, L.L.: Fathead minnows(*Pimephales promelas*) and goldfish(*Carassius auratus*) as standard fish in bioassays and their reaction to potential reference toxicants. J. Fish Res. Board. Can. 33, 209-214, 1976.
15. Martin, T.R. and Holdich, D.M.: The acute lethal toxicity of heavy metals to peracarid crustaceans. Water Research. 20(9), 1137-1147, 1986.
16. Carr, R.A. and Wilkniss, P.E.: Mercury: Short-term storage of natural waters. Environmental Science & Technology 7(1), 62-63, 1973.
17. Coleman Instrument Division.: Sample preparation for the determination of mercury in blood. Application Data Sheet. MAS-50-7, 1971.

18. Tallarida, R.J. and Murraray, R.B.: Manual of pharmacologic calculation with computer programs. Springer-Verlag Co. New York, pp. 59-63, 1981.
19. Donaldson, M.L. and Gubler, C.J.: Biochemical effects of mercury poisoning in rat. The american J. of Clinical nutrition. 31, 859-865, 1978.
20. Wojtalik, T.A.: Accumulation of mercury and its compounds. Journal of WPCF. 43, 1280-1292, 1971.
21. Jackin, E., Hamlin, J.M. and Sonis, S.: Effect of metal poisoning on five liver enzymes in the killfish(*Fundulus heteroclitus*). J. Fish. Res. Bd. Canada., 27, 383-390, 1970.
22. Chan, L.W.: Neurotoxic effects of mercury-a review. Environmental Research., 14,329-373, 1977.
23. Pagenkopf, G.K.: Gill surface interaction model for trace-metal toxicity to fishes: Role of complexation, pH, and water hardness. ES & T, 17(6), 342-347, 1983.
24. 황인담, 기노석, 이재형, 이정상 : 수은에 관한 실험적 연구, 한국환경위생학회지, 21(1), 103~113, 1988
25. Kendall, M.W.: Acute effects of methyl mercury toxicity in channel catfish liver. Bull. Environm. Contam. Toxicol., 18(2), 143-151, 1977.
26. Cappon, C.J. and Smith, J.C.: Mercury and selenium content and chemical from in fish muscle. Arch. Environm. Contam. Toxicol., 10,305-319, 1981.
27. Moore, J.W. and Ramamoorthy, S.: Heavy metals in natural waters. Springer-Verlag New York Inc. New York, pp. 134-152, 1984.