

## 만경강 담수어중 중금속 함량에 관한 연구

전북대학교 의과대학 예방의학교실

김 남 송

(지도교수 : 황 인 담)

= Abstract =

### A study on the Heavy Metal Contents in Freshwater Fishes of the Mankyung River

Nam-Song Kim, M. D.

(Directed by Professor In-Dam Hwang)

Department of Preventive Medicine, College of Medicine  
Chonbuk National University

This study was performed to investigate the heavy metal contents of freshwater fishes. The samples of 24 species were collected at 7 areas located on the Mankyung River during September in 1987. And then the contents of lead, cadmium, copper and zinc were analyzed by atomic absorption spectrophotometer.

The results were summarized as follows :

1. The mean value of lead, cadmium, and copper contents of fishes collected in the downstream were significantly higher than those of upstream.
2. The mean lead content of *C. auratus* was the highest  $1.50 \pm 0.98 \mu\text{g/g}$  in viscera and statistically significant difference from muscle content.
3. The mean cadmium content of *C. auratus* was the highest  $0.087 \pm 0.054 \mu\text{g/g}$  in viscera and significantly higher than that of muscle.
4. In the copper contents, the viscera of *C. auratus* was the highest  $5.25 \pm 0.94 \mu\text{g/g}$  and significantly higher than that of muscle, skeleton and gill.
5. The mean value of zinc content of *C. auratus* was shown the order of gill, skeleton, viscera and muscle.

#### I. 서 론

현대 산업사회의 부산물인 각종 산업폐수와 도시하수 등이 호수, 하천 및 해양으로 유입되고 있으며 이에 포함된 다량의 오염물질은 생태계의 변화와 함께 여러 생물의 생존에 까지 영향을 미치고 있다. 이중 일부 유해 중금속, 특히 납이나 카드뮴 및 수은은 미량일지라도 오염된 환경에 장·단기 폭로됨으로써 혈장 단백질과 결합되어 간장, 신장, 근육, 골격등 모든 조직에 축적되고 생물의 생리적, 기능적 장애(Hannerz, 1968; Sprague, 1969;

Spehar 등, 1982)는 물론 형태적, 생화학적 변화(어윤수, 1982; Rath 등, 1986)를 일으키며, 생물학적 먹이연쇄를 통하여 최종에는 인체에 까지 피해를 초래한다. 또한 이들 중금속은 인체에 필요한 미량 금속인 구리 및 아연등의 중금속과도 유사한 화학적 성질을 지니고 있어 자연 상태나 생활 환경에서도 함께 존재하거나 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Fassett, 1980).

과거 일본에서 발생한 Minamata병(Hammond와 Beliles, 1980)과 같은 수은중독 및 Itai-itai병(Clarkson, 1980)과 같은 카드뮴 중독은 막대한 인명피해를 나타낸 대표적인 예로서 중금속에 의한 환경오염에 대해 전세계적인 경

각심을 불러 일으킨 바 있다.

하천이나 호수 또는 해안지역에서 중금속 오염에 관한 지표물 얻거나 오염의 감시기능을 위해서는 그 지역의 어패류내 중금속 함량을 조사하는 것이 일반적인 경향으로 그간 많은 연구보고(Mathis와 Cummings, 1973; Anderson, 1977; Vinikour등, 1980)가 있었으며, 국내에서도 각종 수작농산물(김영규, 1986)과 담수어 및 일부 해산물(원중훈, 1973; 송철, 1985)에서의 중금속 오염에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 오염물질의 주요 통로가 되고 있는 하천에 대해 조사한 한강에서 김명희와 박성배(1981), 금강에서 임병순(1980), 낙동강에서 어윤수(1982)등의 보고는 환경오염에 영향을 받는 담수어의 분포와 중금속의 함량조사를 통하여 주요 하천의 중금속 오염정도를 파악할 수 있는 자료로 활용되고 있다.

그러나 하천에 유입되는 오염물질은 지역적 특성에 따라 성분비가 다르고(한상덕, 1969; 김명숙, 1983; 박청길등, 1986) 조사지역과 어종의 종류에 따라 중금속 함량에서 서로 다른 농도를 보이고 있으며, 같은 담수어 종에서도 조사부위별로 축적량이 다름을 보고하였다(임병순, 1980; 김명희와 박성배, 1981; 어윤수, 1982; 강희곤등, 1986). 또한 현재까지 담수어의 중금속함량에 대한 연구의 대부분이 주로 한강, 금강, 낙동강의 3대강과 특정지역에 국한되어 있는 실정므로, 본 연구에서는 전북지역의 중요한 수자원으로 이용되어 오고 있으며 전주, 이리 및 군산지역의 도시 하수와 각종 공장폐수의 영향을 받고 있는 만경강에 대해 지류와 본류중 일부지점을 선정하여 해당지점의 하천수와 서식 담수어 조직내의 납, 카드뮴, 구리 및 아연의 함량을 측정 비교함으로써 만경강의 중금속 오염에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

## II. 조사대상 및 방법

### 1. 조사지점

조사지점은 환경청(1986)의 만경강에 대한 이화학적 수질검사자료인 BOD, COD, pH 및 SS를 기준으로 지역적 특성을 고려하여 폐기물이나 오염원에 직접 영향을 받지 않는 지역중 상류 4개지점(S1, S2, S3, S4)과 하류 3개지점(S5, S6, S7)를 선정하였다(표1, 그림1 참조).

### 2. 조사기간 및 방법

1987년 9월, 1개월동안 물은 각 지점의 유심부로 생

각되는 장소를 택하여 일본 약학회편(1983)의 환경오염 공정시험법에 의하여 hydroid채수기를 사용하여 혼합채취를 원칙으로 3회 채수하였으며 수심이 낮은 지역은 500ml polyethylene병을 이용하여 직접 채수하였다. 담수어는 대부분 어망을 사용하여 채집하였으며 채집이 곤란한 어류는 현지에서 구입한 후 즉시 실험실로 운반하여 냉동보관하였다.

Table 1. Sampling Sites and Locations in the Mankyung River

지역 번호	지 점	위 치			
S <sub>1</sub>	고산대교	완주군 고산면	읍내리	지	류
S <sub>2</sub>	마 수 교	완주군 소양면	용연리	지	류
S <sub>3</sub>	소 양 교	완주군 용진면	고당리	지	류
S <sub>4</sub>	색 장 리	완주군 색장동		지	류
S <sub>5</sub>	삼 레 교	완주군 삼례읍	삼례리	본	류
S <sub>6</sub>	탑 교	옥구군 대야면	광교리	지	류
S <sub>7</sub>	만경대교	옥구군 대야면	복교리	본	류

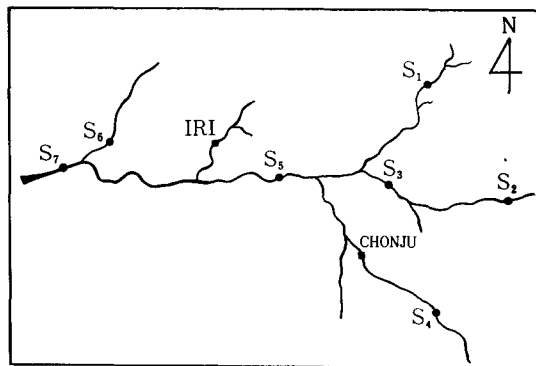


Fig. 1. Sampling Sites along the Mankyung River

### 3. 실험방법

#### 1) 시료의 전처리

채집한 어류를 증류수로 수회 세척한 후 소형의 어류는 전체를 homogenizer로 마쇄하여 분석시료로 사용하였고, 대형의 어류인 붕어와 메기는 근육, 골격, 아가미 및 내장으로 분리시켜 각각 별도로 마쇄하여 사료로 사용하였다. 물은 채수 후 24시간 이내에 분석시료로 사용하였다.

#### 2) 유기물분해 및 중금속정량

시료내 유기물분해는 일본 약학회편(1983)의 위생시험법과 환경청(1983)의 환경오염공정시험법을 혼용한

**Table 2.** Analytical Conditions of Atomic Absorption Spectrophotometer

Metal	Wave length (nm)	Lamp current (mA)	Bandpass (nm)	Concentrations of standard solution (ppm)
Pb	217.0	5	1.0	1.0, 2.0, 3.0, 4.0
Cd	228.8	3	1.0	0.1, 0.2, 0.3,
Cu	324.7	5	1.0	0.5, 1.0, 1.5, 2.0
Zn	213.9	3	1.0	3, 6, 9, 12

질산-황산-과염소산 분해법에 따라 가열 분해시켰다. 유기물 분해를 마친 시료에 증류수 50ml와 B. T. B. 용액 3방울을 떨어뜨린 후, ammonia water를 이용하여 pH 9.5 정도로 적정하였다. 여기에 ammonium sulfate용액(40 w/v%) 100ml를 넣고 diethyl dithio carbamate-methyl isobutyl ketone(DDTC-MIBK)을 사용하여 chelate화합물을 유출하였다. 유출된 MIBK는 90°C 열판위에서 휘산시키고 0.1 N 염산 용액을 가하여 시료를 5ml로 만들어서 측정용 시료로 사용하였다.

3) 시약 및 기기장치

시약은 유해금속측정용과 원자흡광분석용을 사용하였으며 측정은 원자흡수분광광도계(atomic absorption spectrophotometer IL 551)로 하였다. 사용가스는 air acetylene이었고 측정시 분석기기의 조건은 표2와 같다.

III. 성 적

1. 어종의 분포

본 연구의 조사대상 7개 지점에서 채집한 어류의 분포는 표3과 같으며 총 채집어류는 24종으로 상류지점인 S1, S2, S3, S4에서 18종 하류지점 S5, S6, S7에서 9종을 채집하였다. 어종수가 가장 많이 채집된 곳은 S3에서 14종으로 가장 많았고 가장 적은 곳은 S7으로 3종이었다.

2. 납

수중 납의 농도는 표 4에서와 같이 상류지점(S1-S4)에 비해 하류지점(S5-S7)에서 높은 농도를 보였으며 S2에서 5.4±4.7 µg/l로 최저농도, S6에서 41.4±14.4 µg/l로 최고농도를 보였다.

담수어에 있어서 납의 지점별 평균함량은 표5에서와 같이 상류에 비해 하류지점의 어류에서 높은 함량을 보였으며 S7에서 1.31±1.24 µg/g로 S2의 0.48±0.31 µg/g에 비해 통계적으로 유의하게 높았다(p < 0.05).

S5, S6, S7에서 채집된 붕어와 S6에서 채집된 메기의 부위별 평균함량은 표 6와 그림 2에서와 같이 붕어의 경우 내장이 1.50±0.98 µg/g로 가장 높았고 아가미, 골격, 근육의 순위로 함량이 감소하였으며 메기의 경우 골격에서 0.43±0.37 µg/g로 가장 높았고 다음 내장, 근육, 아가미의 순위를 보였다. 특히 붕어의 내장에서의 평균함량은 근육부위의 함량 0.12±0.13 µg/g에 비해 통계적으로 유의하게 높았다(p < 0.05).

3. 카드뮴

수중 카드뮴의 농도는 상류에 비해 하류지점에서 높은 농도를 보였으며 S1, S2, S3에 비해 S6에서 0.41±0.022 µg/l로 통계적으로 유의하게 높았다(p < 0.05).

담수어에 있어서 카드뮴의 지점별 평균함량역시 상류에 비해 하류에서 높은 함량을 보였다.

붕어와 메기의 부위별 평균함량은 표6와 그림 3에서와 같이 붕어의 경우 내장에서 0.087±0.054 µg/g로 가장 높았고 아가미, 골격, 근육의 순으로 감소하였으며, 메기의 경우 역시 내장에서 0.015±0.003 µg/g의 함량으로 가장 높았고, 다음 골격, 아가미, 근육의 순위로 감소하였다. 특히 붕어와 메기의 장기부위에서 각각 근육부위의 함량에 비해 통계적으로 유의하게 높았다(p < 0.05).

4. 구 리

수중 구리의 농도는 상류에 비해 하류지점에서 높은 농도를 보였으며 S4에서 1.2±0.5 µg/l로 가장 낮았고 S7에서 8.8±3.9 µg/l로 가장 높은 농도를 보였다.

담수어의 지점별 평균함량은 표 5에서와 같이 하류지

점의 어류가 상류지점의 어류보다 높았으나 통계적으로 유의하지는 않았다.

붕어와 메기의 부위별 평균함량은 표 6과 그림 4에서와 같이 내장에서 각각  $5.25 \pm 0.94 \mu\text{g/g}$ ,  $1.43 \pm 0.19 \mu\text{g/g}$ 로 아가미, 골격 및 근육의 함량에 비해 현저하게 높았으며 ( $p < 0.01$ ), 아가미, 골격, 근육의 순으로 감소되었다.

### 5. 아 연

수중 아연 농도 역시 상류에 비해 하류지점에서 높았으며 S2에서  $14.2 \pm 4.0 \mu\text{g/l}$ 로 가장 낮았고 S7에서  $189.2 \pm 51.4 \mu\text{g/l}$ 로 가장 높은 함량을 보였다.

담수어의 지점별 평균함량은 S7의 최고농도  $9.63 \pm 0.71 \mu\text{g/g}$ 와 S3의 최저농도  $7.65 \pm 1.39 \mu\text{g/g}$  간의 차이 이외에는 유사한 함량을 보였다.

붕어와 메기의 부위별 평균함량은 표 6과 그림 5에서와 같이 붕어의 경우 근육의  $6.88 \pm 0.39 \mu\text{g/g}$ 에 비해 골격, 아가미 부위에서 각각  $18.60 \pm 8.21 \mu\text{g/g}$ ,  $19.39 \pm 7.94 \mu\text{g/g}$ 로 유의하게 높았으며 ( $p < 0.05$ ), 내장에서  $15.55 \pm 3.34 \mu\text{g/g}$ 로 현저하게 높았다 ( $p < 0.01$ ). 메기의 경우 역시 근육의 평균함량  $5.39 \pm 0.39 \mu\text{g/g}$ 에 비해 아가미, 골격, 내장의 순위로 높은 함량을 보였다 ( $p < 0.01$ ).

**Table 3.** Distribution List of Fishes Collected in the Mankyung River

Korean Name	Scientific Name	Distribution Sites						
		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>
피라미	<i>Zacco platypus</i>	●	●	●	●	●		
참종개	<i>Cobitis koreensis</i>	●	●	●	●			
줄종개	<i>Cobitis Koreensis</i>	●	●	●				
물개	<i>Squalidus coreanus</i>	●	●	●				
모래무지	<i>Pseudogobio esocinus</i>	●	●	●				
쉬리	<i>Coreoleuciscus splendidus</i>		●	●	●			
버들치	<i>Moroco oxycephalus</i>	●	●		●			
납출갱이	<i>Rhodeus suigensis</i>		●	●	●			
중고기	<i>Sacocheilichthys czerski</i>	●	●					
참마자	<i>Hemibarbus labeo</i>		●	●	●			
돌마자	<i>Microphysogobio yaluensis</i>		●	●	●			
각시붕어	<i>Rhodeus uyeksi</i>	●		●	●			
미꾸리	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>		●	●				
밀어	<i>Gobius similis</i>	●			●			
갈겨니	<i>Zacco temmincki</i>	●		●				
동사리	<i>Mogurunda richardson</i>	●		●				
돌고기	<i>Puntungia herzi</i>					●		
참붕어	<i>Pseudorasbora parva</i>			●		●	●	
납지리	<i>Acheilognathus intermedia</i>					●	●	
가시납지리	<i>Acanthorhodeus gracilis</i>					●	●	
줄납자루	<i>Acheilognathus yamatsutae</i>					●	●	
메기	<i>Parasilurus asotus</i>							●
붕어	<i>Carassius auratus</i>		●			●	●	●
망둥어	<i>Thidentiger obscurus</i>							●

**Table 4.** Heavy Metal Contents in Water Samples of the Mankyung River

Site	Lead	Cadmium	Copper	Zinc
S <sub>1</sub>	12.9±7.7 <sup>a</sup> (5.2 - 17.6)	0.24±0.31 (N. D. - 0.71)	1.6±1.5 (N. D. - 3.1)	15.9±14.2 (11.0 - 18.7)
S <sub>2</sub>	5.4±4.7 (N. D. - 10.3)	N. D.	3.7±2.5 (N. D. - 6.4)	14.2±4.0 (11.6 - 17.8)
S <sub>3</sub>	8.7±3.9 (2.5 - 10.3)	0.15±0.09 (N. D. - 0.36)	1.7±1.1 (N. D. - 3.6)	16.8±11.4 (5.7 - 31.2)
S <sub>4</sub>	9.2±3.1 (3.7 - 11.2)	0.12±0.08 (N. D. - 0.29)	1.2±0.5 (0.9 - 1.8)	42.3±21.5 (14.5 - 53.0)
S <sub>5</sub>	18.9±11.3 (4.2 - 35.6)	0.31±0.14 (N. D. - 0.54)	2.0±0.6 (0.3 - 4.5)	37.3±17.7 (12.8 - 74.2)
S <sub>6</sub>	41.1±14.4 (18.1 - 56.7)	0.48±0.20 (0.23 - 0.71)	4.3±2.1 (1.8 - 5.5)	82.7±10.9 (27.4 - 206)
S <sub>7</sub>	39.6±17.4 (22.9 - 56.2)	0.59±0.20 (0.36 - 0.87)	8.8±3.9 (3.1 - 19.3)	189.2±51.4 (141 - 243)

a Mean±S. D. (µg/l)

N. D. Not Detected

**Table 5.** Heavy Metal Contents in Freshwater Fishes of the Mankyung River

Site	No. of Species	No. of Samples	Lead	Cadmium	Copper	Zinc
S <sub>1</sub>	9	29	0.56±0.37 <sup>a</sup>	0.025±0.014	0.78±0.29	8.01±1.98
S <sub>2</sub>	10	34	0.48±0.31	0.020±0.012	0.84±0.28	9.01±2.51
S <sub>3</sub>	11	39	0.70±0.42	0.018±0.011	0.79±0.25	7.65±1.39
S <sub>4</sub>	5	17	0.68±0.46	0.034±0.023	0.83±0.22	8.15±1.25
S <sub>5</sub>	6	21	1.36±1.42	0.047±0.051 <sup>#</sup>	0.91±0.28	7.91±2.28
S <sub>6</sub>	4	15	1.11±1.16	0.041±0.022 <sup>b</sup>	0.92±0.40	8.17±2.77
S <sub>7</sub>	5	18	1.31±1.24 <sup>*</sup>	0.029±0.026	0.96±0.34	9.63±0.71 <sup>#</sup>

a Mean± S. D.(µg/g)

<sup>\*</sup> significant difference from S<sub>2</sub> at p < 0.05<sup>#</sup> significant difference from S<sub>3</sub> at p < 0.05<sup>b</sup> significant difference from S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> and S<sub>3</sub> at p < 0.05**Table 6.** Comparison of Heavy Metal Contents by Part of Freshwater Fishes

Metal	Fish	Muscle	Skeleton	Gill	Viscera
Pb	<i>C. auratus</i>	0.12 ±0.13 <sup>a</sup>	0.63 ±0.49	0.96 ±1.19	1.50 ±0.98 <sup>*</sup>
	<i>P. asotus</i>	0.24 ±0.01	0.43 ±0.37	N. D.	0.38 ±0.20
Cd	<i>C. auratus</i>	0.004 ±0.003	0.018 ±0.016	0.024 ±0.023	0.087 ±0.054 <sup>*</sup>
	<i>P. asotus</i>	0.003 ±0.003	0.011 ±0.008	0.009 ±0.006	0.015 ±0.003 <sup>*</sup>
Cu	<i>C. auratus</i>	0.39 ±0.13	0.44 ±0.18	0.78 ±0.36	5.25 ±0.94 <sup>**</sup>
	<i>P. asotus</i>	0.20 ±0.03	0.27 ±0.10	0.29 ±0.14	1.43 ±0.19 <sup>**</sup>
Zn	<i>C. auratus</i>	6.88 ±0.39	18.60 ±8.21 <sup>*</sup>	19.39 ±7.94 <sup>*</sup>	15.55 ±3.34 <sup>**</sup>
	<i>P. asotus</i>	5.39 ±0.39	16.30 ±3.27 <sup>**</sup>	19.89 ±5.13 <sup>**</sup>	13.35 ±2.88 <sup>**</sup>

a Mean±S. D.(µg/g)

<sup>\*</sup> Significant difference from muscle contents at p < 0.05<sup>\*\*</sup> p < 0.01

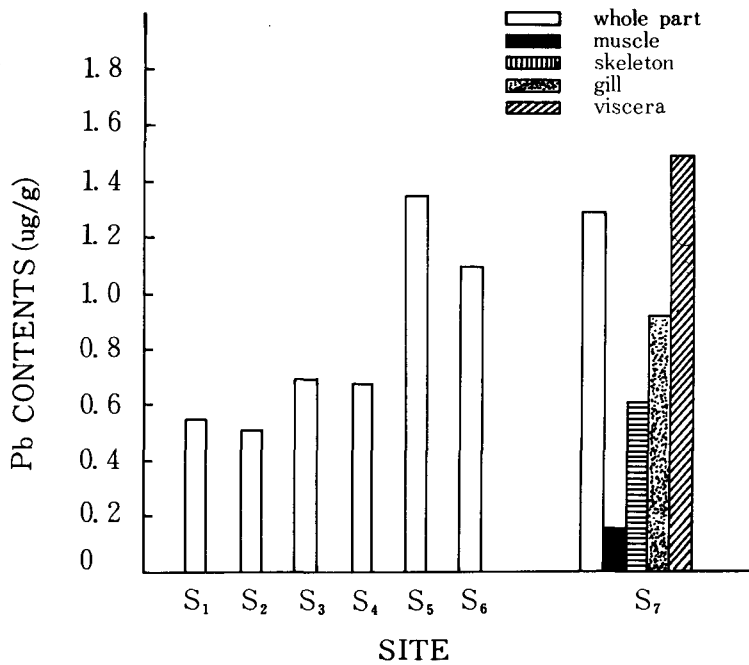


Fig. 2. Regional mean distribution of Pb contents in fresh water fishes

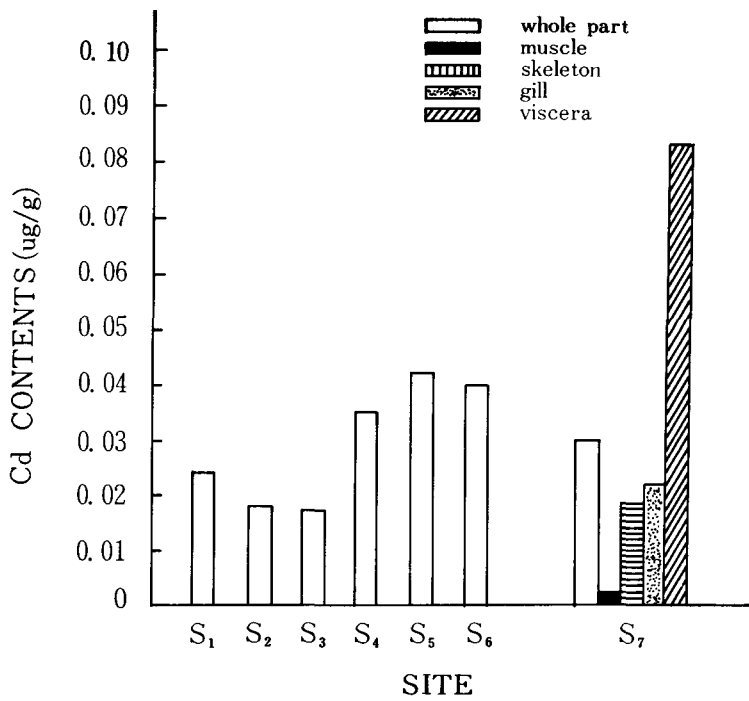


Fig. 3. Regional mean distribution of Cd contents in fresh water fishes

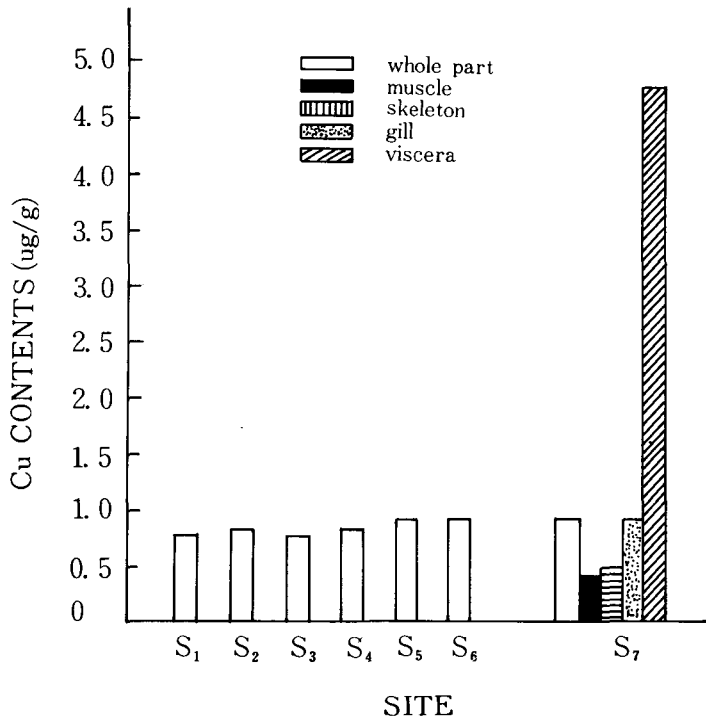


Fig. 4. Regional mean distribution of Cu contents in fresh water fishes

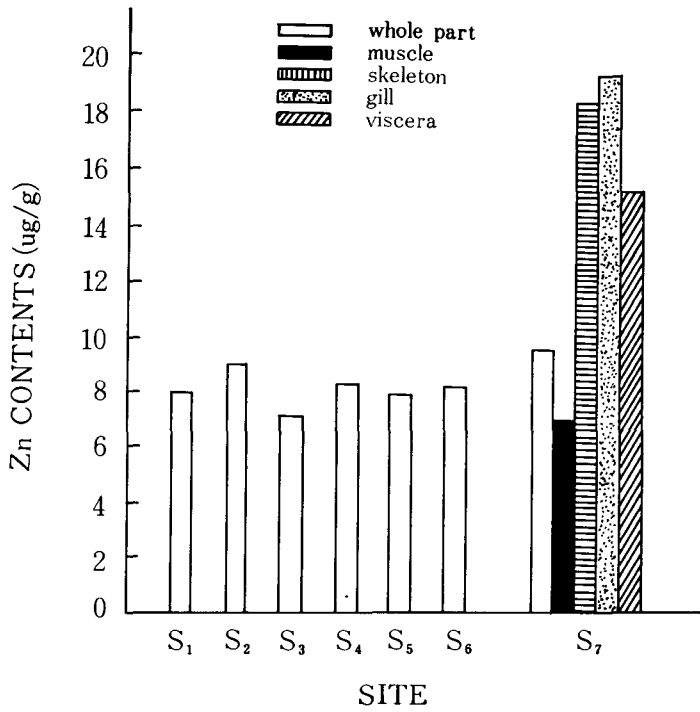


Fig. 5. Regional mean distribution of Zn contents in fresh water fishes

#### IV. 고 찰

##### 1. 납

납은 인간에게 알려진 가장 오래된 중금속중 하나로 주로 안료, 유약 등의 화학제조공장, 축전지, 활자 등의 인쇄공장 및 광산등에서 배출되는 폐수가 하천이나 강 및 해양으로 유입되어 각종 생물에 급성 및 만성효과를 나타낸다.

특히 납은 생물체내에서 delta-aminolevulinic acid dehydratase(ALAD)의 활성을 억제하며 hemoglobin생성을 감소시켜 이로 인한 조혈기능의 장애로 인해 각종 질병을 야기시키는 유해 중금속으로 알려져 있다(Fassett, 1980). 이러한 납은 대부분 대기, 수질 및 식품오염을 통하여 체내 흡수되며 정상인의 1일 납섭취량에 대하여 Ratcliffe(1981)는 180  $\mu\text{g}$  정도로 이 중 10-15% 정도가 체내 흡수된다고 하였으며 Kenzaburo(1976)는 체내 납 함량은 90-400mg으로 90%정도가 골수에 존재하며 중독은 급성보다는 만성인 경우가 빈번하다고 하였다.

일반적으로 오염되지 않은 하천수의 납 농도는 3  $\mu\text{g}/\text{l}$  이하이나 광산등의 폐수가 유입되는 지역에서는 500  $\mu\text{g}/\text{l}$  이상의 농도를 보이기도 한다(Morre와 Ramamoorthy, 1984). 본 조사에서 수중 납의 농도는 S2에서  $5.4 \pm 4.7 \mu\text{g}/\text{l}$ 로 최저농도를 보였고 하류지점인 S7에서  $39.6 \pm 17.4 \mu\text{g}/\text{l}$ 로 최고농도를 보였으나 공해대책기술 동우회편(1971)의 WHO, 납에 대한 수질기준 100  $\mu\text{g}/\text{l}$ 에 비하여 현저하게 낮은 성적을 보였다.

또한 본 조사에서 어류에 대한 납의 지점별 평균함량은 상류에서 하류지점으로 갈수록 증가하는 경향을 보여 Illinois River에서 조사한 Mathis와 Cummings(1973), Vinikour등(1980), 한강에서 조사한 김명희와 박성배(1981)의 보고와 같이 이는 하류지점이 상류지점보다 각종 도시하수와 공장폐수에서 흘러나온 오염물질의 부하량이 큰 영향으로 사료된다.

납은 어류에는 비교적 축적이 덜되고 먹이 섭취와 함량간에 상관성이 없으며 극도로 오염된 경우를 제외하고는 어류의 생존에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다(Morre와 Ramamoorthy, 1984). 따라서 근육부위의 함량이 다른 중금속과는 달리 골격, 아가미 및 내장에 비해 별 차이가 없으며 본 조사에서도 메기의 경우 근육부위의 함량이  $0.24 \pm 0.01 \mu\text{g}/\text{g}$ 로 골격의  $0.43 \pm 0.37 \mu\text{g}/\text{g}$ , 내장의  $0.38 \pm 0.20 \mu\text{g}/\text{g}$ 과는 큰 차이가 없었다. 이

와 같이 납이 어류의 조직에 축적이 덜 되고 축적되더라도 조직간의 함량 차이가 없는 것은 납이 조직에서 sulfate기와의 결합력이 낮고 납의 용해도가 낮아 세포막을 쉽게 통과하지 못하기 때문으로 설명되고 있다. 또한 납은 조직에서의 농축정도(concentration factor ; CF)가 낮으나 일단 조직에서 alkyllead가 형성되면 매우 독성이 강하고 어류의 생존에 치명적이어서 인체에 흡수되는 통로가 되고 있는 하천수와 어류의 중금속함량에 대한 지속적인 축적이 필요할 것으로 사료된다(Morre와 Ramamoorthy, 1984).

##### 2. 카드뮴

카드뮴은 도금, 제련, 전기 공장 등의 폐수가 유출되어 하천을 오염시키고 어류등에 만성적으로 축적되며 이를 계속적으로 섭취할 경우 인체에 과잉 축적되어 단백질, 위장장애 및 혈액량 감소를 가져오며 골격의 무기질 감소증과 운동장애를 유발시킬 수 있다(Lewis, 1972 ; Neathery, 1975). 또한 카드뮴은 출생시 인체에는 거의 존재하지 않지만 환경오염의 폭로 정도에 따라 점차적으로 축적되며 정상인의 1일 카드뮴 섭취량에 대하여 Fassett(1980)는 호흡기를 통하여 0.072  $\mu\text{g}$ , 식수를 통하여 2.1  $\mu\text{g}$ , 식품을 통하여 51  $\mu\text{g}$ 정도가 섭취되며, 흡수량은 호흡기에서 흡입된 카드뮴의 약 40%, 소화기에서 섭취된 카드뮴의 약 5-6%가 체내로 흡수되어 1일 흡수량은 8  $\mu\text{g}$  정도라고 하였다.

카드뮴의 수중 농도는 일반적으로 0.01-0.5  $\mu\text{g}/\text{l}$ 이며 오염이 심한 경우에는 17  $\mu\text{g}/\text{l}$  증가하는 경우도 있다(Morre와 Ramamoorthy, 1984). 본 조사의 경우 수중 카드뮴의 농도는 상류에서 하류로 갈수록 증가하는 경향을 보여 문병찬(1976)이 한강에서 조사한 경향과 일치하고 있다. 그러나 본 조사의 성적은 한강에서 조사한 김명희와 박성배(1981)의 성적에 비해 비해 낮았으며 공해대책기술 동우회편(1971)의 WHO, 수질기준 0.05  $\text{mg}/\text{l}$  보다는 현저히 낮았다.

어류에 대한 카드뮴의 지점별 평균함량 역시 상류에 비해 하류지점에서 유의하게 증가하여 Illinois River에서 조사한 Mathis와 Cummings(1973), Vinikour등(1980), 한강에서 조사한 김명희와 박성배(1981)의 보고와 같이 하류지점이 오염물질의 부하량이 더 높음을 알 수 있다.

카드뮴에 장기간 폭로된 어류는 미량일지라도 카드뮴의 조직내 농도와 수중농도 사이에 평형을 이루어 일정한



농도에 이르며 어류가 성장하거나 크기가 증가하여도 신장으로 배설되지 못하고 축적되어 조직내 일정한 농도를 유지하거나 감소하게 된다. 본 조사에서 부위별 카드뮴의 축적도는 붕어의 경우 내장이 가장 높고 다음 골격, 아가미, 근육의 순으로 감소하여 비록 종이 다르지만 실험적으로 오염된 농어(perch)에서 간에 43.4%, 장에 6.9%, 아가미에 11.3%, 근육에 1.2%의 분포를 보인 결과와 간접적으로 일치함을 보여주고 있다(Morre와 Ramamoorthy, 1984).

부위별 카드뮴의 함량을 비교하여 보면 한강에서 김명희와 박성배(1981)는 근육에서 0.087-0.038  $\mu\text{g/g}$ , 낙동강에서 어윤수(1982)는 근육, 골격, 내장에서 각각 0.15-0.27  $\mu\text{g/g}$ , 0.19-0.40  $\mu\text{g/g}$ , 0.07-0.46  $\mu\text{g/g}$ , 북한강에서 강희곤등(1986)은 근육, 골격, 아가미에서 각각 0.016-0.03  $\mu\text{g/g}$ , 0.030-0.232  $\mu\text{g/g}$ , 0.079-0.208  $\mu\text{g/g}$ 로 보고하여 본 조사의 최저농도인 붕어의 근육부위 함량 0.004 $\pm$ 0.003  $\mu\text{g/g}$ , 최고농도인 붕어의 내장 함량 0.087 $\pm$ 0.054  $\mu\text{g/g}$  보다 높은 함량을 보였다. 이 차이는 시료의 채취 시기, 지역, food chain, 어종, 어류의 조사부위 및 어류의 성장 정도 등에 기인되리라 생각되며 Vinikour등(1980)은 어류의 크기가 증가할수록 중금속 함량이 감소한다고 하였다. 이는 중금속이 수중 농도와 조직간의 평형상태를 이루기 위해 조직으로 운반되는 속도보다 어류의 성장이 더 빠르다는 것, 장기의 성분비율이 감소한다는 것, 섭취양식의 변화에 따른 중금속의 축적감소 등으로 Vinikour등(1980)은 설명하고 있다. 그러나 본 조사에서는 어류의 크기별 카드뮴 함량이 조사되지 않아 비교하기 어렵지만 어류의 크기에 따라서도 중금속의 축적량에 크게 영향을 미칠 것으로 사료되는 바 추후 더욱 연구되어야 할 문제라 생각된다.

### 3. 구 리

구리는 동, 식물 조직에 있어서 철대사와 골수의 세포형성에 관여하는 필수 미량금속으로 밝혀져 있으나 인체 내에서의 생리적 작용에 대해서는 충분히 규명되지 못한 실정이다. 그러나 구리가 조직에 과량 축적되면 위장관의 자극, 감상선기능 항진증, 용혈성빈혈, 황달 및 간장과 신장의 퇴화가 나타난다(송정자, 1984).

구리의 수중 농도는 일반적으로 5  $\mu\text{g/l}$  이하로(문병찬, 1976) 본 조사에서 S7지점의 8.8 $\pm$ 3.9  $\mu\text{g/l}$ 를 제외하고는 대체로 5  $\mu\text{g/l}$  이하의 농도를 보였다. 그러나 공해대책

기술 동우회편(1971)의 WHO, 수질기준 1.5 mg/l에 비해서는 현저히 낮은 성적을 보였다. 지점별 구리의 평균 함량 역시 하류지점에서 높은 함량을 보여 Mathis와 Cummings(1973), Vinikour(1980) 등의 Illinois River에서, 김명희와 박성배(1981)가 한강에서 조사한 것과 같이 상류지점에 비해 하류지점에서 높은 오염물질의 부하량을 암시해주고 있다.

본 조사에서 구리의 부위별 축적도는 내장이 가장 높았고 다음 아가미, 골격, 근육의 순위로 감소하여 태화강에서 김재봉등(1983)이 보고한 골격, 내장, 근육의 순위와는 일치하지 않지만 낙동강에서 어윤수(1982), 북한강에서 강희곤등(1986)의 보고와는 일치하였다. Morre와 Ramamoorthy(1984)의 연구에 의하면 어류체내 구리의 축적도는 물의 오염정도 보다는 오염된 식품이 더 크게 작용하며 수중에 chelate화합물이나 무기이온이 존재시 조직내 축적이 덜되고 오염기간과 농도에 직접적으로 관계가 있다고 하였다.

일반적으로 구리는 수은을 제외한 다른 중금속들에 비해 독성이 크고 근육보다 간에 5-60배 이상 축적된다(Moore와 Ramamoorthy, 1984). 본 조사에서도 붕어와 메기의 경우 근육에 비해 내장에서 각각 13배, 7배의 함량을 보였고 Brown과 Chow(1977) 역시 12배의 함량을 보고하여 내장이 구리의 주요 축적 부위임을 나타냈다. 또한 Alabaster(1980)는 어류의 크기와 간에서의 구리 축적도간의 상관성을 보고하여 어류의 오염정도를 알기 위해서는 근육보다 간의 축적량을 조사하는 것이 바람직하다고 하였다.

### 4. 아 연

아연은 필수 미량금속으로 체내 여러 효소의 구성원소 및 조효소로 작용하여 결핍시 단백질합성의 감소에 따른 성장감소와 식욕감퇴가 나타나며 독성은 다른 미량원소에 비해 적은 금속으로 알려져 있다(송정자, 1984).

일반적으로 오염되지 않은 하천수의 아연 함량은 0.5-15  $\mu\text{g/l}$ 이며(Morre와 Ramamoorthy, 1984), 공해대책 기술 동우회편(1971)의 WHO, 수질 기준은 5 mg/l이다. 그러나 오염지역에서는 100  $\mu\text{g/l}$  이상을 보고하고 있는 본조사에서 S7의 189.2  $\mu\text{g/l}$ 를 제외하고는 대체로 낮은 농도를 보였다.

지점별 아연의 평균함량은 다른 중금속과 달리 하류에 비해 오히려 상류지점에서 높은 함량을 보여 어종에 따른

아연의 축적도가 서로 다름을 암시해주며, 어류의 생활 범위의 차에도 다소 영향이 있을 것으로 사료된다.

아연은 구리와 같이 근육보다 신장, 성선, 비장 및 아가미에 높은 축적량을 보이며(Morre와 Ramamoorthy, 1984), Mackay등(1975)은 근육보다 간에 약 5.5배 축적됨을 보고하였다. 본 조사에서도 붕어의 근육부위  $6.88 \pm 0.39 \mu\text{g/g}$ 에 비해 내장이  $15.5 \pm 3.34 \mu\text{g/g}$ 로 약 2.3배 높은 함량을 보여 아연 역시 근육보다는 주로 내장, 골격 및 아가미에 축적됨을 알 수 있다.

## V. 결 론

최근 인구 증가와 급속한 산업 발달로 인한 도시화 현상은 직접 또는 간접적으로 여러가지 형태의 환경오염 문제를 가중 시켰으며, 특히 각종 산업폐수와 도시하수 등에서 호수, 하천 및 해양으로 유입된 일부 유해중금속은 생태계의 변화와 함께 수중 생물내 축적되고 생물학적 먹이연쇄를 통하여 인체에까지 피해를 초래하고 있다.

본 조사는 1987년 9월 1개월동안 만경강의 상류 4개 지점(S1, S2, S3, S4)과 하류 3개 지점(S5, S6, S7)에서 담수어의 조직내 납, 카드뮴 구리 및 아연의 함량과 붕어와 메기의 부위별 함량을 원자흡광도법으로 분석하여 다음과 같은 기초자료를 얻었다.

1. 담수어의 조직내 각 중금속의 평균함량은 아연의 경우를 제외하고는 상류에 비해 하류지점에서 높았다.
2. 지점별 납의 평균함량은 S7에서  $1.31 \pm 1.24 \mu\text{g/g}$ 로 S2의  $0.48 \pm 0.31 \mu\text{g/g}$ 에 비해 통계적으로 유의하게 높았다( $p < 0.05$ ). 부위별 납의 평균함량은 붕어의 경우 내장이 가장 높았고 다음 아가미, 골격, 근육의 순위였으며 내장에서  $1.50 \pm 0.98 \mu\text{g/g}$ 로 근육의  $0.12 \mu\text{g/g}$ 에 비해 유의하게 높았다( $p < 0.05$ ).
3. 지점별 카드뮴의 평균함량은 S6에서  $0.041 \pm 0.022 \mu\text{g/g}$ 로 S1, S2, S3에 비해 유의하게 높았다( $p < 0.05$ ). 부위별 카드뮴의 평균함량은 붕어의 경우 내장, 아가미, 골격, 근육의 순으로 메기의 경우 내장, 골격, 아가미 근육의 순으로 감소하였으며 붕어와 메기의 내장에서 각각  $0.087 \pm 0.054 \mu\text{g/g}$ ,  $0.015 \pm 0.003 \mu\text{g/g}$ 로 근육에 비해 유의하게 높았다( $p < 0.05$ ).
4. 지점별 구리의 평균함량은 상류에 비해 하류지점에서 높았으나 통계적인 유의성은 없었으며, 부위별로는 붕어와 메기의 내장에서 각각  $5.25 \pm 0.94 \mu\text{g/g}$ ,  $1.43 \pm 0.19$

$\mu\text{g/g}$ 로 아가미, 골격, 근육의 함량에 비해 높았다( $p < 0.01$ ).

5. 지점별 아연의 평균함량은 S7의  $9.63 \pm 0.71 \mu\text{g/g}$ 과 S3의  $7.65 \pm 1.39 \mu\text{g/g}$  간의 차이 이외에 다른 지점에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 부위별 아연의 평균함량은 붕어와 메기의 근육에서 각각  $6.88 \pm 0.39 \mu\text{g/g}$ ,  $5.38 \pm 0.39 \mu\text{g/g}$ 로 골격, 아가미, 내장에서 유의하게 높았다( $p < 0.05$ ).

## 참 고 문 헌

- 강희곤, 윤원용, 박상현. 북한강에서 서식하는 중금속 함유량에 관한 연구. 한국 육수학회지 1986; 19: 79-85
- 공해대책기술 동우회편. 공해대책 1971; 7(4): 285
- 김명숙. MBOD법에 의한 하천의 수질평가. 한국환경위생학회지 1983; 9: 49-60
- 김명희, 박성배. 한강 담수어종의 중금속 함량에 관한 연구. 약학회지 1981; 5(3): 89-98
- 김영규. 일부 하천유역의 논 토양 및 현미중 중금속 오염에 관한 조사 연구. 서울대학교 보건대학원 석사논문, 1986
- 김재봉, 김동환, 재정오, 오재기, 강덕희. 담수어의 분포 및 중금속함량에 관한 연구. 국립환경소보 1983; 5: 261-269
- 문병찬. 한강 주요 지천수중 중금속농도 조사연구. 공중보건잡지 1976; 13(2): 337-347
- 박청길, 조규대, 허성희, 김상근, 조창환. 낙동강 하구 부근의 해양 환경 조사 연구. 한수지 1986; 22(4): 259-278
- 송정자. 극미량 원소의 영양. 민음사, 서울, 1984, 쪽. 72-94, 140-144
- 송철. 수산식품중 유행성 미량금속에 관한 연구. 보건장학회보 논문집 1975; 5: 32-37
- 어윤수. 변형어에 관한 형태 및 중금속함량조사(낙동강에 서식하는 Mugil Cephalus를 중심으로). 한국환경위생학회지 1983; 8: 31-43
- 원종훈. 한국산 어패류종의 수은, 카드뮴 납, 구리의 함량. 한수지 1973; 6: 1-19
- 일본약학회편. 위생시험법주해. 금원출판사. 1983, 쪽. 149
- 임병순. 금강유역의 담수어중 중금속함량연구. 고려대학교 대학원 석사학위논문, 1980.
- 차철환. 공해와 질병. 최신의학사, 서울, 1974, 쪽. 88-91
- 한상덕. 도시하천수중 중금속의 조사분석(서울시를 중심으로). 공중보건잡지 1969; 6(1): 49-56
- 환경청. 배출시설 및 측정현황. 1986.
- 환경청. 환경오염 공정시험법. 서울, 1983, 쪽. 539
- Anderson RV. Concentrations of cadmium, copper, lead and zinc in six species of freshwater clams. Bull Environ Con-

- tam Toxicol* 1977a ; 18 : 492-497
- Anderson RV. Concentrations of cadmium, copper, lead and zinc in thirty five genera of freshwater macroinvertebrates from the Fox River, Illinois and Wisconsin. *Bull Environ Contam Toxicol* 1977b ; 18 : 345-351
- Alabaster JS. *Water quality criteria for freshwater fish. London-Boston, Butterworth Co., 1980, pp. 159-168*
- Brown JR. Heavy metal concentration in Ontario fish. *Bull Environ Contam Toxicol* 1977 ; 17(2) : 190-195
- Clarkson TW. Disease associated with exposure to metal. In: *Maxcy-Rosenau Public health and preventive medicine. 10th ed. New York, Appleton-Century, 1980, pp. 667-669*
- Fassett DW. *Metals in the environment. New York, Academic press, 1980.*
- Hammond PB, Beliles RP. *Metals. In: Casarett and Doull's toxicology. 2nd ed. New York, Macmillan Publishing Co., 1980, pp. 421-435*
- Hannerz L. Experimental investigations on accumulation of mercury in water organisms. Fishery Board of Sweden, Instit., Freshwater Res., 1968, Drottingholm Report 48
- Kenzaburo T, Soichiro I. *Interrelationships among Zinc, copper, lead and cadmium in food, feces, and organs of humans. Environ Health Perspective* 1978 ; 25 : 119-124
- Lewis GD. Cadmium accumulation in man. *J Chro Dis* 1972 ; 25 : 717-721
- Mackay NJ, Kazacos MN, Williams RJ, Leedow MI. *Selenium and heavy metals in black marine. Marine Pollution Bulletin* 1975 ; 6 : 57-63
- Mathis BJ, Cummings IT. *Selected metals in sediments, water and biota in the Illinois River. J WPCF* 1973 ; 45 : 1573-1579
- Morre JW, Ramamoorthy S. *Heavy metals in natural waters. New York, Springer-Verlag Inc., 1984, pp. 44-45, 85-88, 109-115, 190-198*
- Neathery MW, Miller WJ. *Metabolism and toxicity of cadmium, mercury, and lead in animals. J Dairy Science* 1975 ; 58 : 1767-1770
- Ratcliffe. *Lead in man and the environment. New York, Ellis Horwood Ltd., 1981, pp. 34-40*
- Schroeder HA, Tipton IH. *The human body burden of lead. Arch Environ Health* 1968 ; 17 : 965-971
- Roth I, Hornung H. *Heavy metal concentrations in water, sediments and fish from Mediterranean Coastal Area, Israel. Environ Science Techn* 1977 ; 11 : 265-268
- Spehar RL, Christensen GM, Curtis, Lemke AE, Pickering O. *Effect of pollution on freshwater fish. JWPCF* 1982 ; 54 (6) : 877-922
- Sprague JB. *Measurement of pollutant toxicity to fish. Water Res* 1969 ; 3 : 793-821
- Vinikour WS, Goldstein RM, Anderson RV. *Bioconcentration patterns of zinc, copper, cadmium and lead in selected fish species from the Fox River, Illinois. Bull Environ Contam Toxicol* 1980 ; 24 : 727-731