

## 한국산 등줄쥐 각 조직에 분포하는 미량금속류 및 셀레늄에 관한 연구

윤명희·노영희\*  
경성대학교 자연과학부·부산서여자고등학교  
(1999년 4월 19일 접수)

### Trace metals and selenium in organs and tissues of the striped field mice, *Apodemus agrarius*, collected from Korea

Myung-Hee Yoon and Young-Hee Noh\*  
Division of Natural Sciences, Kyungsoo University, Pusan 608-736, Korea  
\*Pusan Seo Girls' High School, Pusan 602-102, Korea  
(Manuscript received 19 April, 1999)

Nine trace metals (Zn, Fe, Al, Pb, Mn, Cu, Ni, Cr, and Cd) and Se concentrations were determined in organs and tissues (muscle, bone, kidney, liver and skin) of the striped field mice, *Apodemus agrarius* collected at Daejeo-dong, Pusan city and the Sorak Mt., Kangwon Province. All the trace elements were detected from all the mice examined. As for the metal concentrations in the mice from Daejeo-dong, Zn, Fe, Al, Mn, Ni and Cr were significantly higher than those in Sorak Mt. ( $p < 0.05$ ), suggesting that pesticides including Zn and factory wastes containing several metals might contaminated the environment of Daejeo-dong.

As regards the element concentrations in each organ and tissue, Fe, Al, Pb, Mn, Cu, Cr and Cd concentrations were high in liver or kidney; Zn in skin and bone; Ni in bone, skin and kidney; and Se in muscle, liver and skin in all the mice examined.

There were significant differences ( $p < 0.05$ ) between juveniles and adults in average concentration of metals (Zn, Fe, Pb, Mn, Ni, and Cd) in every organs and tissues of mice collected at Daejeo-dong. Much higher average levels of metals in juveniles indicate that considerable burdens of metals might be transferred through the placenta. However, there were no significant differences between males and females, and between young and old adults in average metal concentrations, which suggests that the mice might accumulate the metals during their life time, although they might excrete the metals not only through reproductive activities, such as parturition, lactation and ejaculation of semen, but also through molting, judging from higher accumulating ratios of most metals in skin of adults than of juveniles.

Key words : trace metals, Se, *Apodemus agrarius*, Korea

#### 1. 서론

중금속은 근대 산업화의 영향으로 생태계에 광범위하게 존재하는 심각한 환경 오염 물질로서, 여러 경로를 통해 생물 체내에 유입되어 축적되며 독성을 나타낸다.<sup>1-3)</sup> 유해 중금속에 대한 연구는 수질, 대기, 토양 등 환경 오염과 관련하여 과거부터 광범위하게 수행되어 왔고, 동물생체 내에 잔류하는 각종 중금속류에 대해서도 연구가 활발하여, 중금속류의 생체 내에서의 동향 및 생체에 미치는 영향 등이 상세히 연구되어 있다.<sup>4-15)</sup> 그러나 인체에 미칠 수 있는 환경오염정도를 시사할 수 있는, 인간 거주지 부근에 서식하는 야생포유류에 대한 연구는 극히 적은 실정이다.<sup>16-19)</sup> 한국 내에서도 중금속에 의한 오염이 심각한 실정이므로, 생체 내에 잔류하는 중금속에 관한

연구가 활발하지만,<sup>8,9,20-26)</sup> 야생포유류에 대한 연구로는 박쥐류<sup>27,28)</sup>에 대한 연구가 있을 뿐이다.

본 연구에서는 공업 지역 인근의 농촌 지역과 오염이 비교적 되지 않은 산림 지역에서 채집한 등줄쥐(*Apodemus agrarius*)를 대상으로, 근육, 뼈, 신장, 간 및 피부에 분포하는 9종의 미량 금속 원소류(Zn, Fe, Al, Pb, Mn, Cu, Ni, Cr, Cd) 및 비금속 원소인 셀레늄(Se)을 분석하였으며, 채집 지역별 체내 각 원소의 농도 차이와 연령에 따른 조직 내 원소들의 분포 변화 등에 대하여 고찰하였다.

#### 2. 재료 및 방법

##### 2.1. 실험 재료 및 채집지의 주위 환경

본 연구를 위하여, 1994년 8월~1995년 10월에 걸쳐

부산광역시 강서구 대저 1동의 농촌 지역에서 채집된 등줄쥐를 Koh<sup>29)</sup> 및 Lin과 Shiraishi<sup>30)</sup>의 방법에 의하여 연령 구분하여, 그 중 유수 10 개체(5 ♂♂, 5 ♀♀), 어린 성수 10 개체(5 ♂♂, 5 ♀♀) 및 성수 10 개체(5 ♂♂, 5 ♀♀)를 실험재료로 선택하였다. 또한 1992년 8월~1993년 3월 강원도 고성군 토성면 신평리 설악산 지역에서 채집되어 경상대학교 생물학과에 냉동 보존되어 있던 8 개체(4 ♂♂, 4 ♀♀)의 성수 등줄쥐를 비교 재료로 선택하였다. 그러나 설악산 등줄쥐의 경우 두개골이 적출되어 있어 몸무게 및 외부 측정치로만 연령구별을 하였으므로 어린 성수와 성수의 구별은 하지 않았다(Table 1). 등줄쥐가 채집된 부산시 강서구 대저 1동과 강원도 고성군 토성면 신평리 설악산은 각각 농촌 지역과 산림 지역이다. 대저 1동의 경우는 주로 전답으로 구성되어 있는 농촌 지역이며, 낙동강을 사이에 두고 동쪽으로는 부산의 대표적 공장 지역인 사상 지역과 인접해 있고, 서쪽으로는 섬유공장과 타이어 공장이 있는 김해시와 인접해 있다. 강원도 고성군의 설악산 지역은 산림 지역이지만 부근에 콘도미니엄 등의 위락 시설이 있다.

Table 1. Age, sex, and body weight of the *Apodemus agrarius* examined.

Locality	Age	Sex(N <sup>*</sup> )	Body weight(M±S.D.)
Daejeo, Pusan	juveniles	♂ (5)	15.7 - 16.4g(16.0±0.3g)
		♀ (5)	14.8 - 18.9g(16.1±1.9g)
	young	♂ (5)	21.3 - 29.6g(24.8±3.8g)
		♀ (5)	14.5 - 29.7g(21.5±6.5g)
	adults	♂ (5)	19.1 - 32.3g(26.7±4.8g)
		♀ (5)	15.3 - 28.7g(20.7±6.0g)
Sorak Mt.	adults	♂ (4)	**
		♀ (4)	**

\*. Number of specimens examined.

\*\*, Body weight could not be weighed because some parts of tissues were already removed for the analysis of organochlorines.

2.2. 실험 방법

본 실험에 쓰인 등줄쥐는 Sherman live trap을 이용하여 채집하여 냉동 보존하였으며(-20℃), 각 금속류와 Se의 분석을 위하여 실험 직전에 각 사체로부터 근육(두부와 미부의 근육 제외), 뼈(두개골 제외), 신장, 간 및 피부(털 포함)를 적출하였다. 모든 실험에는 3차 증류수를 사용하였고, 분해산으로는 유해 금속 측정용산(WAKO co, Junsei co, Japan)을 이용하였으며, 초자류는 잔류 금속류를 제거하기 위하여 HNO<sub>3</sub>(1): H<sub>2</sub>O(1) 용액에 24 시간 담가둔 후 세척하였다.

2.2.1. 전처리

조직이나 기관별로 시료의 일정량(1~3g)을 conical beaker에 넣고, 질산(HNO<sub>3</sub>)과 염산(HCl)을 각각 30 ml,

10 ml씩 넣고 약 6 시간 동안 낮은 온도에서 가열, 분해하였다. 시료가 투명한 상태에 이르면 약 5 ml 정도로 증발시킨 후, 질산과 과염소산(HClO<sub>4</sub>)을 각각 10 ml, 5 ml씩 넣고 가열하여, 연기(white smoke)가 발생하면, 5B 여과지로 여과하면서 최종 용량을 10 ml로 맞추었다. 한편 피부 시료의 경우, 털을 포함한 시료이므로 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)를 추가하였다.

2.2.2. 측정

금속 이온의 정량에는 Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer (ICP-AES, jy24, France)를 사용하였다. 이 장치용 가스로서 아르곤 가스(argon gas)를 사용하였고, 분석 파장의 기준은 193.031nm의 탄소로 설정하였으며, 표준 용액은 SPEX사(France)의 것을 이용하였다. 측정은 다원소 동시 분석법을 이용하였다.

3. 결 과

농촌 지역인 부산 대저 1동의 등줄쥐와 산림 지역인 설악산의 등줄쥐 전 시료로부터 필수 미량 원소인 Zn, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Ni 및 Se과 유해 원소인 Al, Pb 및 Cd 등이 검출되었다(Table 2). 등줄쥐의 암·수별 농도 차에 대한 유의성을 검증하기 위하여 부산 대저동의 어린 성수 및 성수 등줄쥐에 대한 각 원소의 조직 내 평균 농도를 성별로 나누어 비교해 본 결과 각 연령군에 대하여 암·수별 농도 차에 대한 유의성은 없었다(95 % 신뢰한계). 따라서 각 농도를 비교할 때 암·수 구별 없이 처리한 통계치를 이용하였다. 또한 연령별로 나누어 각 원소의 조직 내 평균 농도에 대한 유의성을 조사해 본 결과, 어린 성수와 성수 간에는 각 원소별 평균 농도에 대한 유의적인 차가 없었다. 한편, 어린 성수와 성수를 같은 그룹으로 묶은 성수군과 유수 사이에는 각 원소의 조직 내 평균농도에서 현저한 차이가 인정되었다(p<0.05, Fig. 3 및 4 참조).

부산 대저동의 성수군 등줄쥐와 설악산에서 채집된 성수군 등줄쥐의 체내에 축적되어 있는 원소의 평균 농도를 암·수 구별 없이 비교한 결과, 부산 대저동의 등줄쥐에서는 Zn(평균 261 µg/g, wet weight basis, N=20)이 가장 높은 농도로 검출되었으며, 다음은 Fe>Al>Mn>Pb>Cu>Cr>Ni>Cd>Se의 순이었다(Fig. 1과 2). 설악산 등줄쥐에서는 Fe(평균 174 µg/g, wet weight basis, N=8)이 가장 높고, 다음은 Zn>Al>Pb>Mn>Cu>Ni>Cr>Cd>Se의 순으로 검출되었다.

또한 각 원소들의 조직 내 평균 농도를 지역별로 비교한 결과 Zn, Fe, Al, Mn 및 Cr의 농도는 유의적인 차이를 보였으며(p<0.05), Zn은 대저동의 등줄쥐에서 설악산의 등줄쥐보다 6.6 배, 나머지 원소들의 평균농도는 1.5~2.2 배 높게 검출되었다.

각 원소의 조직 내 분포 경향을 보면, 양 지역 모두 Al, Pb 및 Cr은 신장에서, Cu는 간에서 가장 높게 검출되었으며, 그 외의 원소들은 지역간에 약간의 차이는 있었으나, 일반적으로 Zn은 피부와 뼈에서 높게 검출되었으며, Fe, Mn 및 Cd은 신장 또는 간에서, Ni은 뼈, 신장

Table 2. Trace element concentrations( $\mu\text{g/g}$ , wet weight) in *Apodemus agrarius* collected from Daejeo, Pusan and Sorak Mt.

Locality	Age	Organs and tissues	N	Zn		Fe		Al		Pb		Mn		Cu		Ni		Cr		Cd		Se																																																																																																																											
				M $\pm$ S.D. (range)	$\pm$ S.D. (range)	M $\pm$ S.D. (range)	$\pm$ S.D. (range)	M $\pm$ S.D. (range)	$\pm$ S.D. (range)	M $\pm$ S.D. (range)	$\pm$ S.D. (range)	M $\pm$ S.D. (range)	$\pm$ S.D. (range)	M $\pm$ S.D. (range)	$\pm$ S.D. (range)	M $\pm$ S.D. (range)	$\pm$ S.D. (range)	M $\pm$ S.D. (range)	$\pm$ S.D. (range)	M $\pm$ S.D. (range)	$\pm$ S.D. (range)	M $\pm$ S.D. (range)	$\pm$ S.D. (range)																																																																																																																										
Daejeo, Pusan	juvenile	muscle	10	301.203 $\pm$ 303.571 (29.453-863.737)	82.551 $\pm$ 21.953 (47.329-124.117)	16.808 $\pm$ 7.805 (8.619-33.049)	2.988 $\pm$ 3.509 (0.117-9.599)	2.339 $\pm$ 1.547 (0.560-5.671)	2.953 $\pm$ 0.694 (1.804-4.187)	1.577 $\pm$ 2.817 (0.364-9.543)	0.525 $\pm$ 0.261 (0.156-1.059)	0.161 $\pm$ 0.105 (0.046-0.366)	0.009 $\pm$ 0.014 (N.D.-0.040)	bone	10	934.731 $\pm$ 879.181 (104.494-2597.878)	219.688 $\pm$ 94.877 (124.372-428.981)	54.970 $\pm$ 15.267 (37.247-84.331)	4.727 $\pm$ 2.098 (1.093-8.790)	6.553 $\pm$ 4.417 (0.891-14.841)	0.361 $\pm$ 0.483 (0.000-1.401)	2.262 $\pm$ 2.241 (N.D.-6.432)	0.707 $\pm$ 0.315 (0.324-1.338)	0.111 $\pm$ 0.073 (N.D.-0.234)	N.D.	kidney	9	392.959 $\pm$ 340.520 (55.667-980.795)	346.067 $\pm$ 228.253 (187.264-872.500)	127.289 $\pm$ 49.472 (72.833-204.800)	22.852 $\pm$ 26.796 (0.593-85.500)	14.930 $\pm$ 6.995 (9.000-32.500)	0.579 $\pm$ 0.622 (N.D.-1.778)	3.986 $\pm$ 4.877 (N.D.-12.892)	3.622 $\pm$ 1.287 (2.373-5.400)	1.083 $\pm$ 1.233 (0.111-4.000)	N.D.	liver	10	308.826 $\pm$ 314.631 (36.600-927.481)	282.433 $\pm$ 55.977 (203.091-371.176)	36.509 $\pm$ 11.304 (25.235-53.333)	6.066 $\pm$ 2.608 (3.062-10.521)	6.363 $\pm$ 2.111 (3.837-10.859)	2.850 $\pm$ 0.834 (1.717-4.392)	1.633 $\pm$ 1.775 (N.D.-5.247)	0.652 $\pm$ 0.202 (0.378-1.146)	0.674 $\pm$ 0.270 (0.338-1.094)	N.D.	skin	10	472.462 $\pm$ 472.141 (108.267-1470.388)	141.047 $\pm$ 56.134 (67.822-235.446)	65.224 $\pm$ 24.670 (16.564-112.582)	0.785 $\pm$ 0.637 (N.D.-1.924)	4.014 $\pm$ 1.884 (2.018-8.326)	4.004 $\pm$ 0.557 (3.262-4.749)	1.257 $\pm$ 1.427 (0.268-4.605)	0.729 $\pm$ 0.196 (0.46-1.085)	0.210 $\pm$ 0.072 (0.099-0.303)	0.006 $\pm$ 0.019 (N.D.-0.060)	mean	49	483.854	211.669	58.790	7.170	6.675	2.182	2.105	1.207	0.436	0.003	young adult	muscle	10	208.030 $\pm$ 116.748 (18.903-439.369)	70.464 $\pm$ 25.282 (19.342-109.005)	9.364 $\pm$ 3.472 (3.056-15.486)	0.773 $\pm$ 0.751 (0.142-2.724)	0.924 $\pm$ 0.383 (0.189-1.596)	2.029 $\pm$ 0.646 (0.583-2.964)	0.670 $\pm$ 0.598 (0.027-1.462)	0.414 $\pm$ 0.485 (0.035-1.705)	0.082 $\pm$ 0.043 (0.031-0.175)	0.032 $\pm$ 0.020 (N.D.-0.061)	bone	10	319.370 $\pm$ 164.007 (122.189-691.626)	131.681 $\pm$ 41.161 (77.571-218.022)	40.709 $\pm$ 5.699 (35.352-53.854)	3.562 $\pm$ 1.883 (1.204-6.919)	1.866 $\pm$ 0.902 (0.963-3.902)	0.157 $\pm$ 0.133 (0.000-0.407)	1.040 $\pm$ 0.756 (0.027-2.350)	0.406 $\pm$ 0.294 (0.108-0.927)	0.053 $\pm$ 0.035 (0.022-0.109)	0.003 $\pm$ 0.009 (N.D.-0.027)	kidney	10	245.672 $\pm$ 168.175 (48.837-512.785)	284.744 $\pm$ 89.737 (147.409-410.825)	93.551 $\pm$ 38.175 (58.010-173.036)	8.535 $\pm$ 9.748 (0.250-27.857)	6.482 $\pm$ 2.103 (4.186-9.898)	0.113 $\pm$ 0.089 (0.052-0.357)	1.143 $\pm$ 2.155 (N.D.-5.455)	3.225 $\pm$ 2.847 (1.140-10.759)	0.103 $\pm$ 0.173 (N.D.-0.536)	liver	10	204.165 $\pm$ 112.343 (58.250-416.780)	250.921 $\pm$ 88.726 (150.725-427.880)	16.459 $\pm$ 7.732 (6.254-28.298)	3.403 $\pm$ 2.540 (1.057-9.296)	3.435 $\pm$ 1.052 (2.161-5.234)	3.410 $\pm$ 0.850 (1.818-4.811)	0.310 $\pm$ 0.583 (N.D.-1.833)	0.348 $\pm$ 0.347 (N.D.-1.231)	0.365 $\pm$ 0.135 (0.176-0.576)	0.004 $\pm$ 0.006 (N.D.-0.014)	skin	10	381.435 $\pm$ 122.280 (186.997-621.813)	132.545 $\pm$ 44.896 (90.035-237.369)	70.084 $\pm$ 45.221 (34.462-188.512)	1.167 $\pm$ 2.348 (0.010-7.717)	3.167 $\pm$ 1.001 (2.127-5.482)	3.727 $\pm$ 0.482 (2.915-4.411)	1.100 $\pm$ 0.937 (0.281-3.203)	0.740 $\pm$ 0.358 (0.315-1.404)	0.165 $\pm$ 0.072 (0.061-0.314)	0.024 $\pm$ 0.024 (N.D.-0.058)	mean	50	271.734	174.071	46.023	3.488	3.175	1.887	0.852	1.026	0.154	0.012

Table 2. To be continued.

Locality	Age	Organs and tissues	N	Zn		Fe		Al		Pb		Mn		Cu		Ni		Cr		Cd		Se				
				M ± S.D. (range)	S.D.	M ± S.D. (range)	S.D.	M ± S.D. (range)	S.D.	M ± S.D. (range)	S.D.	M ± S.D. (range)	S.D.	M ± S.D. (range)	S.D.	M ± S.D. (range)	S.D.	M ± S.D. (range)	S.D.	M ± S.D. (range)	S.D.	M ± S.D. (range)	S.D.	M ± S.D. (range)	S.D.	
Daeseo, Pusan	muscle	9	176.939 ± 49.785 (104.591-288.440)		78.604 ± 27.488 (52.119-144.591)		11.079 ± 4.324 (6.539-20.095)		0.942 ± 0.688 (0.027-2.101)		0.944 ± 0.422 (0.316-1.477)		2.479 ± 0.642 (1.84-3.974)		0.280 ± 0.209 (0.091-0.614)		0.366 ± 0.317 (0.081-1.115)		0.095 ± 0.055 (0.038-0.189)		0.021 ± 0.017 (N.D.-0.056)					
			bone	10	333.557 ± 86.169 (217.656-436.048)		157.080 ± 41.115 (84.087-222.356)		48.953 ± 11.937 (33.849-72.308)		4.395 ± 2.132 (0.244-7.212)		2.356 ± 1.140 (1.011-4.712)		0.308 ± 0.200 (0.052-0.650)		1.908 ± 1.354 (0.269-4.059)		0.407 ± 0.159 (0.144-0.662)		0.024 ± 0.021 (N.D.-0.060)		N.D.			
	kidney	10	225.176 ± 124.063 (8.388-377.847)		235.634 ± 110.088 (15.083-409.649)		86.422 ± 45.348 (5.407-184.386)		3.838 ± 6.592 (0.083-21.827)		5.296 ± 2.786 (0.254-11.505)		0.065 ± 0.061 (N.D.-0.175)		0.379 ± 1.152 (N.D.-3.656)		1.920 ± 1.035 (0.177-3.86)		0.297 ± 0.655 (N.D.-2.115)		N.D.					
	liver	10	182.204 ± 89.196 (51.079-333.756)		258.186 ± 49.708 (196.513-331.250)		45.204 ± 54.267 (10.120-175.458)		3.036 ± 2.420 (1.368-9.500)		4.122 ± 1.875 (1.965-7.854)		4.159 ± 0.813 (2.873-5.232)		0.378 ± 0.499 (N.D.-1.250)		0.388 ± 0.231 (0.153-0.829)		0.399 ± 0.141 (0.207-0.643)		N.D.					
	skin	8	335.747 ± 77.773 (209.334-447.883)		118.176 ± 36.965 (8.614-176.298)		62.400 ± 18.636 (39.184-84.853)		0.338 ± 0.536 (0.004-1.574)		3.079 ± 0.859 (1.977-4.531)		3.283 ± 0.897 (1.769-4.309)		0.745 ± 0.483 (0.258-1.680)		0.600 ± 0.219 (0.317-0.964)		0.101 ± 0.058 (N.D.-0.198)		0.016 ± 0.019 (N.D.-0.053)					
	mean	47	248.676		173.656		51.164		2.635		3.210		2.000		0.748		0.752		0.189		0.007					
	Sorak Mt.	muscle	8	14.960 ± 1.239 (13.367-17.194)		58.345 ± 10.517 (37.560-70.780)		6.534 ± 1.078 (5.141-8.375)		2.140 ± 3.984 (0.047-11.652)		0.514 ± 0.256 (0.257-1.039)		1.645 ± 0.384 (1.238-2.408)		0.259 ± 0.281 (N.D.-0.660)		0.281 ± 0.304 (0.068-0.986)		0.052 ± 0.023 (0.028-0.104)		0.018 ± 0.013 (N.D.-0.037)				
				bone	8	85.223 ± 14.382 (56.404-103.865)		75.671 ± 15.442 (47.340-93.730)		30.380 ± 7.300 (23.634-46.571)		2.340 ± 1.311 (1.106-5.246)		1.414 ± 0.778 (0.889-3.287)		0.092 ± 0.118 (N.D.-0.268)		0.517 ± 0.470 (N.D.-1.191)		0.330 ± 0.313 (0.043-1.048)		0.080 ± 0.181 (N.D.-0.514)		0.002 ± 0.005 (N.D.-0.014)		
		kidney	8	35.544 ± 12.340 (25.233-63.019)		165.988 ± 30.870 (121.262-215.405)		42.099 ± 12.391 (29.574-61.243)		3.944 ± 3.003 (N.D.-8.150)		2.957 ± 3.726 (1.081-12.108)		0.883 ± 0.864 (0.039-1.890)		1.196 ± 1.433 (N.D.-3.255)		1.069 ± 0.650 (0.197-2.162)		0.583 ± 0.452 (N.D.-1.168)		N.D.				
		liver	8	24.745 ± 3.783 (17.345-29.132)		199.876 ± 74.084 (127.751-346.765)		12.883 ± 6.467 (7.073-22.451)		1.400 ± 0.560 (0.600-2.432)		4.257 ± 3.440 (1.946-9.721)		3.310 ± 1.138 (1.844-5.319)		0.198 ± 0.179 (N.D.-0.445)		0.202 ± 0.134 (0.085-0.411)		0.258 ± 0.079 (0.174-0.382)		0.028 ± 0.036 (N.D.-0.065)				
skin		7	37.586 ± 4.816 (31.446-46.236)		85.967 ± 31.982 (50.841-139.372)		15.633 ± 11.213 (6.451-32.882)		0.261 ± 0.133 (0.005-0.413)		0.969 ± 0.395 (0.601-1.739)		2.206 ± 0.375 (1.856-2.818)		0.373 ± 0.200 (0.191-0.748)		0.238 ± 0.080 (0.155-0.380)		0.047 ± 0.014 (0.025-0.068)		0.032 ± 0.015 (0.016-0.057)					
mean		39	39.663		117.969		21.652		2.062		2.049		1.612		0.512		0.429		0.208		0.015					

M, mean; S.D., standard deviation; N.D., not detected.

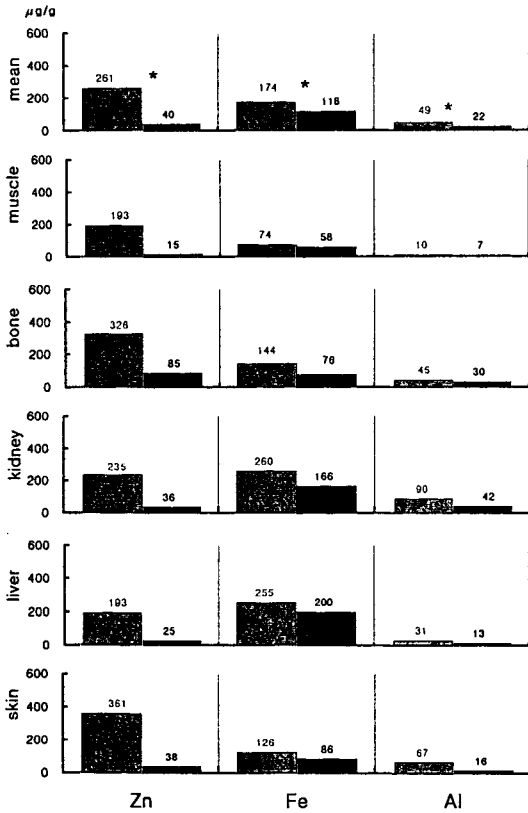


Fig. 1. Comparisons of trace metal (Zn, Fe and Al) concentrations( $\mu\text{g/g}$ , wet weight) in various organs and tissues of adults between *Apodemus agrarius* collected from Daejeo, Pusan(▨) and Sorak Mt.(■). \*,  $p < 0.05$ .

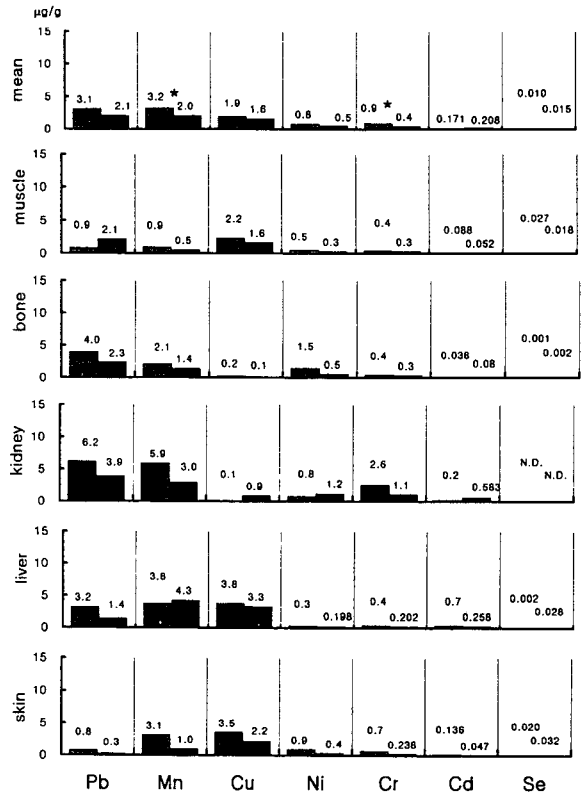


Fig. 2. Comparisons of trace metal (Pb, Mn, Cu, Ni, Cr and Cd) and Se concentrations( $\mu\text{g/g}$ , wet weight) in various organs and tissues of adults between *Apodemus agrarius* collected from Daejeo, Pusan(▨) and Sorak Mt.(■). \*,  $p < 0.05$ .

및 피부에서, 그리고 Se은 근육, 피부 및 간에서 높은 경향을 보였다.

부산 대저동의 유수 및 성수군 등줄쥐에 대한 각 원소의 전 조직 내 평균 농도 및 각 조직별 농도를 비교한 결과를 Table 2, Fig. 3과 4에 제시하였다. 즉, 극미량 검출된 Se의 평균 농도는 성수군보다 유수에서 낮게 검출되었으나, 대부분의 원소는 성수군에 비해 유수에서 높은 농도로 검출되어, 어린 성수와 성수에서의 조직내 각 원소의 평균 농도가 유수에서의 농도의 38~86%로 감소하였다(Fig. 3과 4). 특히 Zn, Fe, Pb, Mn, Ni, 및 Cd의 경우, 양 연령군 간의 조직 내 평균농도 차는 현저한 유의성을 보였다( $p < 0.05$ ).

한편 각 원소별로 대저동 등줄쥐에 대한 유수와 성수군 간의 전체 조직에 대한 각 조직 내 축적 비율을 비교하면 Fig. 5와 같다. 즉 최고 비율로 축적되어 있는 원소는 조직에 따라 다른데, 유수의 경우 Zn은 뼈에서 가장 높았고, Fe, Al, Pb, Mn, Ni, Cr 및 Cd은 신장에서, Cu는 피부에서, Se은 근육에서 최고 비율로 검출되었다. 각 원소의 조직내 축적 비율은 유수와 성수군에서 차이가 났으며, 그 중 특히 뼈에 축적된 Zn의 비율과 신장의 Pb,

Ni 및 Cd의 비율 등이 성수군에서 유수보다 매우 낮았다. 또한 피부에 잔류하는 원소들을 비교해 보면, 유수 때 피부에 높은 비율로 축적되어 있는 Cu와 Se를 제외하고는 모든 원소의 비율이 성수군에서 높았다.

#### 4. 고 찰

##### 4.1. 채집 지역별 원소 농도의 비교

우리나라에 서식하는 야생포유류 중 전국적으로 분포되어 있는 등줄쥐(*Apodemus agrarius*)는 r-도태 동물로서 번식력이 강하며, 비교적 사람들의 거주지와 인접한 산림지역이나 농촌지역에도 서식하므로,<sup>31)</sup> 각 지역 환경에 대한 오염 현황을 monitoring하는데 매우 유용하게 쓰일 수 있는 지표동물이라 할 수 있다.

본 조사 결과, 양 지역의 등줄쥐에서 검출된 Zn, Fe, Al, Mn 및 Cr의 농도는 현저한 지역 차를 보여( $p < 0.05$ ), 대저동의 금속류의 오염이 설악산에 비해서 상당히 진행되어 있음을 알 수 있다(Fig. 1과 2). 특히 Zn의 경우, 대저동 등줄쥐의 조직 내 평균 농도(261  $\mu\text{g/g}$ , wet weight basis)는 설악산 등줄쥐(40  $\mu\text{g/g}$ , wet weight basis)보다 6 배 이상 높아, Zn에 의한 오염이 심각함을 말해 주고 있

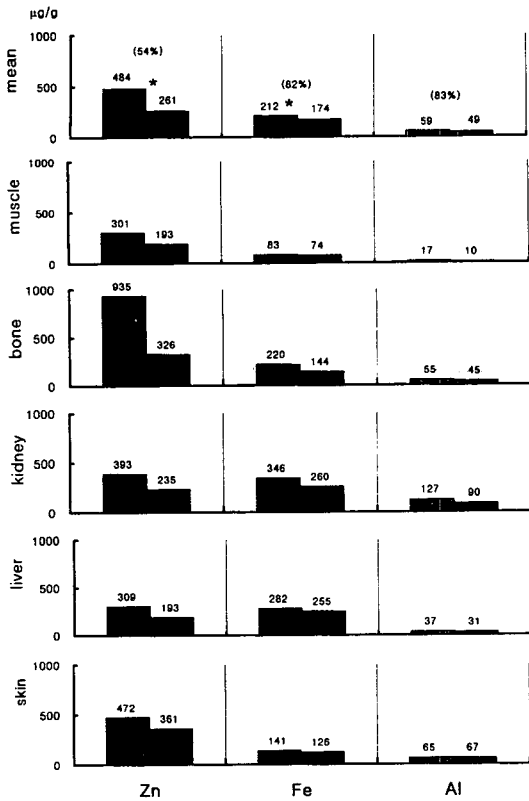


Fig. 3. Comparisons of trace metal (Zn, Fe and Al) concentrations(µg/g, wet weight) in various organs and tissues between juveniles (▨) and adults(■) of *Apodemus agrarius* collected from Daejeo, Pusan. \*, p<0.05. Numerals in parentheses are percentages of average metal concentrations in adults to those in juveniles.

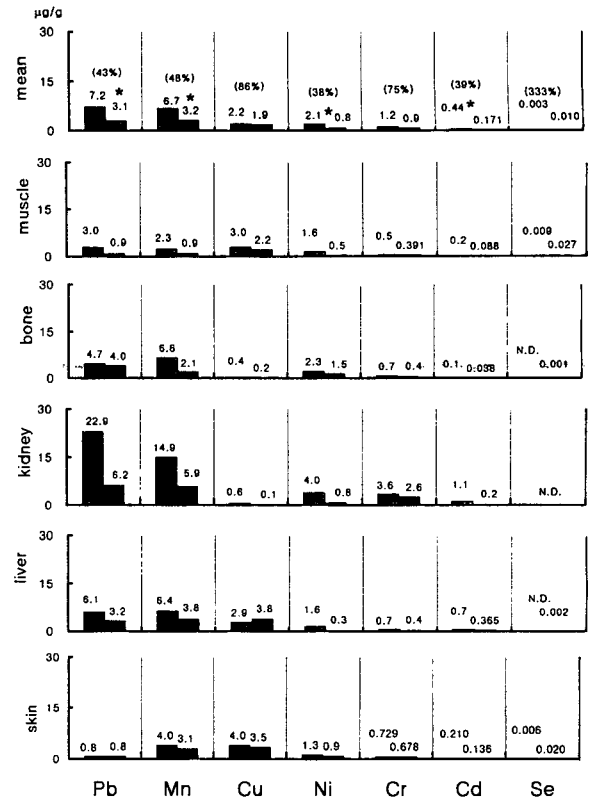


Fig. 4. Comparisons of trace metal (Pb, Mn, Cu, Ni, Cr and Cd) and Se concentrations(µg/g, wet weight) in various organs and tissues between juveniles (▨) and adults(■) of *Apodemus agrarius* collected from Daejeo, Pusan. \*, p<0.05. Numerals in parentheses are percentages of average metal concentrations in adults to those in juveniles.

다. Zn은 주로 합금물의 생산이나 도금의 용도 외에도, 농약으로 쓰이는 carbamates 제조에 이용된다. 따라서 농촌 지역인 대저동에서 Zn의 농도가 다른 금속류보다도 매우 높은 농도로 검출된 것은 이 지역에서 carbamates 계의 농약이 다량 사용되었을 가능성을 시사하고 있다. Zn의 높은 농도는 낙동강 하구언 주변의 저질(평균 93 µg/g, dry weight basis)<sup>25)</sup>과 대저동의 집박쥐(약 68 µg/g, wet weight basis)<sup>27)</sup>에서도 검출된 바 있다. 한편, 대저동의 등줄쥐에서 집박쥐보다 4 배 정도 높은 Zn이 검출된 이유로서, 이 지역의 Zn 오염의 정도가 5~6년 사이에 더 심해졌을 가능성을 생각할 수 있다. 그러나, 이들의 먹이 및 오염물질에 대한 대사능력의 차이도 영향을 미쳤으리라 생각되므로, 먹이생물에 축적되는 중금속 및 동물별 대사능력차이에 대한 비교 연구가 있어야 할 것이다.

대저동 등줄쥐에서 비교적 높게(1.4~2.2 배) 검출된 Fe, Al, Mn 및 Cr은 주로 공장지역에서 쓰이는 금속류이므로, 이들의 비교적 높은 농도는 주로 인접한 공업지대로부터 영향을 받은 것으로 생각된다. 한편, 매우 독성

이 강한 Pb와 Cd의 농도가 양 지역간에 큰 차이를 보이지 않는 점도 주의를 끈다. 유해원소인 Pb은 자연 토양 중에 2~200 mg/kg(평균 16mg/kg) 존재하며,<sup>32)</sup> 주로 축진지, 피납전선, 도료, 합금 등에 쓰이지만,<sup>33)</sup> Pb의 주된 환경 오염원은 자동차 배기 가스로서,<sup>2)</sup> 설치류(mice),<sup>17)</sup> 박쥐류<sup>27)</sup>와 인간의 모발<sup>26)</sup> 등에서 생체내 축적량은 교통량과 밀접한 관련이 있음이 알려져 있다. 본 연구에서는 대저동 등줄쥐의 조직 내 평균 Pb 농도(3.1 µg/g)는 산림 지역인 설악산 등줄쥐(2.1 µg/g) 보다 비교적 높지만, 농도의 지역 차에 대한 유의성은 현저하지 않아, 관광지역인 설악산도 교통량 증가에 의한 Pb의 오염이 상당히 진행 중에 있음을 시사하였다.

각종 공업용으로 쓰이는 Cd의, 설악산(0.21 µg/g)과 대저동(0.17 µg/g) 등줄쥐에서의 조직 내 평균 농도는 다른 유해금속류에 비해서 비교적 낮은 편이며, 낙동강 하구의 저질의 Cd의 농도도(0.69 µg/g, dry weight basis) 그 밖의 유해 원소인 Pb(20.16 µg/g, dry weight basis)

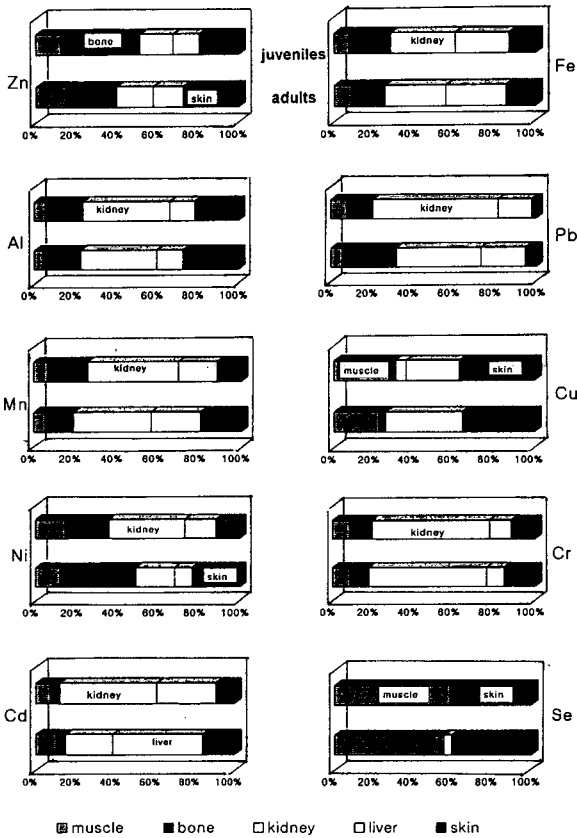


Fig. 5. Comparisons of accumulation ratios of trace elements in organs and tissues between juveniles and adults of *Apodemus agrarius* collected from Daejeo, Pusan.

이나 Cr(40  $\mu\text{g/g}$ , dry weight basis)보다 매우 낮은 점으로부터,<sup>25)</sup> 이들 지역의 Cd에 의한 오염은 그다지 심각하지 않은 것으로 생각된다. 그러나, 설악산과 대저 지역에서 채집된 등줄쥐의 Cd 농도는 한국의 여러 지역에서 채집된 다른 동물들의 Cd 농도에 비해서 비교적 높아, 1981년에 한국 천안에서 채집된 중대백로 성조에서는 Cd이 0.01 ppm,<sup>9)</sup> 경남 칠서군의 양서류에서는 0.02~0.03 ppm,<sup>24)</sup> 강화군의 무대개구리에서는 0.12 ppm, 고성군의 참개구리에서는 0.09 ppm, 고성군의 관박쥐에서는 0.06 ppm이 검출된 바 있으며, 양구군, 철원군, 고성군, 화천군 등 비무장지대 인접지역에서 1993년에 채집된 피라미, 갈겨니, 배가사리 등 각 종 어류에서는 Cd이 전혀 검출되지 않았다.<sup>26)</sup> 한편 Cd에 대한 외국에서의 연구의 예를 보면, 1994년 미국 Minnesota주에서 채집된 Franklin's gull의 깃털의 경우, 암컷에서 평균 0.6 ppm(dry weight basis), 수컷에서 평균 0.5 ppm,<sup>13)</sup> Spain 근해의 고래간에서는 수컷 평균 3.65 ppm(dry weight basis), 암컷 평균 4.72 ppm, Iceland 근해의 고래간으로부터는 수컷 평균 6.91 ppm, 암컷 평균 6.60 ppm이 검출된 바 있어,<sup>12)</sup>

한국에서 검출된 Cd의 농도에 비해 높은 것을 알 수 있다. 그러나 본 종의 Cd의 농도를 타종에서의 농도와 비교하기 위해서는 앞으로 각 원소에 대한 동물에 따른 대사의 차이에 대한 연구가 있어야 할 것이다.

#### 4.2. 연령에 따른 조직내 원소 분포의 변화

동물 체내의 금속의 농도가 성장에 따라 변화한다는 것은 잘 알려져 있으며, 본 연구에서도 같은 결과가 얻어졌다. 즉 체내에 극미량 존재하는 Se을 제외하고는 각 원소의 유수 체내의 평균 농도는 성수군에 비해 매우 높으며 특히 Zn, Fe, Pb, Mn, Ni 및 Cd의 농도는 양 연령군 간에 유의적인 차이를 보여( $p < 0.05$ , Fig. 3과 4), 많은 양의 이들 원소들이 모체로부터 태아에게 전해졌음이 시사되었다. 이와 같은 경향은 중대백로류,<sup>9)</sup> 갈매기류<sup>13)</sup> 및 돌고래류<sup>7)</sup>에서도 알려져 있으며, 사람의 경우도 태반에서 높은 농도의 중금속이 발견된 바 있다.<sup>34,35)</sup> Tsuchiya *et al.*<sup>34)</sup>에 의하면 Hg, methyl-Hg, Cd 및 Fe은 태출 혈액에서 모체 혈액보다 높은 농도로 검출되며, 태출 혈액의 Hg, methyl-Hg, Pb, Cd 및 Mn의 농도가 모체 혈액의 농도와 비례함이 알려져 있다. 또한 中野<sup>36)</sup>에 의하면, 태반이 임신된 모체내의 Cd을 태아로 전하는 것을 효율적으로 막지만, 태반에 높은 농도로 축적되는 Cd의 양과 태아에 전해지는 Cd의 양은 모체내의 Cd 축적량에 의하여 강하게 영향을 받는다는 것이 알려져 있다.

한편 어린 성수와 성수 사이 및 암·수 사이에 대한 각 원소들의 조직내 평균 농도는 각각 유의적인 차이를 보이지 않았고, 그들 간의 평균 체중도 유사하여, 어린 성수 이후에는 각 원소의 농도가 암·수 구별 없이 거의 유사하게 유지됨을 알 수 있다. 전술한 대로 일반적으로는 암컷의 경우 산란이나 출산 등으로 인해 수컷에 비해 체내의 중금속 농도가 낮다고 알려져 있으나, 등줄쥐의 경우 성수군에서 암·수간에 농도 차가 거의 없는 현상은 그들의 활발한 번식활동과 관련된다고 생각된다. 즉, 상당량의 유해 원소들이 조류와 사람을 포함한 포유류 암컷의 경우 출산 등을 통해서 체외로 배출되고 있음은 전술한 바와 같지만, 성인 남자의 경우도 정액 사출 등을 통해서 Al, Pb 및 Cd 등의 유해 원소들이 체외로 배출된다는 것이 알려져 있다.<sup>37~39)</sup> 한편 번식활동이 매우 활발한 등줄쥐의 경우, 생후 70일 후 성 성숙에 이르러, 년 평균 61.9 마리의 새끼를 출산하는 것으로 생각되고 있으며,<sup>40)</sup> 수컷의 경우 번식기간(2월 말~11월 초) 중 정소의 무게가 체중의 3~4%에 달하는 것으로 미루어,<sup>41)</sup> 수컷도 활발한 번식활동으로 다량의 정액을 배출하고 있음을 알 수 있다. 즉 등줄쥐의 경우, 암·수 모두 성 성숙 후의 지속적인 번식 활동으로 인하여 암·수간의 농도 차가 유사하게 유지된다고 생각된다. 그러나 이러한 활발한 번식활동에도 불구하고, 어린 성수와 성수의 농도가 유사함은 이들이 주위 환경으로부터 다량의 원소를 계속 섭취하고 있음을 시사하고 있다.

일반적으로 간과 신장에서는 금속류와 결합력이 강한 metallothionein과 같은 단백질들이 금속류에 의하여 유도되며, 또한 금속의 축적부위는 금속화합물의 화학 형

때, 동물의 종류, 투여 경로, 투여 후의 시간의 경과에 따라 달라지는 것이 알려져 있다.<sup>42)</sup> 본 연구에서도 거의 모든 등줄쥐에서 신장과 간으로부터 Zn과 Se을 제외한 Fe, Al, Pb, Mn, Cu, Ni, Cr 및 Cd이 높은 농도로 검출되었다. 또한 유수와 성수군 등줄쥐 간에 각 조직 내 원소들의 축적 비율이 변화하였으며, 특히 피부에서는 유수 때부터 피부에 높은 비율로 축적되어 있는 Cu와 Se을 제외하고는 대부분의 원소의 비율이 증가하였다(Fig. 5). 이와 같이 성장과 더불어 조직내의 원소류가 재분배됨은 중대백로에서도 잘 알려져 있다.<sup>9)</sup> 즉 중대백로 유조에서는 근육에서 최고 농도를 나타내던 Mn과 Ni, 및 뼈에서 최고 농도를 보이던 Cd은 성장과 더불어 각각 깃털에서 최고 농도를 나타내며, 깃털을 통해서 이들 원소들이 배출되고 있음이 알려져 있다. 본 연구에서도 피부에서 검출된 많은 원소들의 비율이 유수에 비해서 성수군 등줄쥐에서 높아, 본 종에서도 털갈이가 배설의 한 경로로 이용되고 있다고 생각된다.

## 5. 결 론

한국의 농촌 지역과 산림 지역의 중금속에 의한 오염 현황을 비교하기 위하여, 부산 대저동의 농촌 지역과 강원도 설악산에서 채집된 등줄쥐의 근육, 뼈, 신장, 간 및 피부에 축적되어 있는 9종(Zn, Fe, Al, Pb, Mn, Cu, Ni, Cr 및 Cd)의 미량 금속류와 Se의 농도를 분석하였다. 등줄쥐 전 시료로부터 10 종의 모든 원소가 검출되었으며, Zn, Fe, Al, Mn 및 Cr의 농도는 대저동 등줄쥐에서 설악산 등줄쥐보다 유의적으로 높아( $p < 0.05$ ), Zn을 포함하는 carbamate계 농약 및 인접 사상지역에서 배출된 폐수에 포함된 각종 금속류가 대저동의 환경에 영향을 주고 있음이 시사되었다.

각 원소들의 조직별 농도를 보면, 모든 성수군 등줄쥐에서 Fe, Al, Pb, Cr, Cu, Mn 및 Cd은 주로 간 또는 신장에서, Zn은 피부와 뼈에서, Ni은 뼈, 신장 및 피부에서 높은 농도로 검출되었고, Se은 근육, 간 및 피부에서 미량이지만 비교적 높게 검출되었다.

등줄쥐의 연령 별로 체내 평균농도를 비교하면, 대저산 등줄쥐에서 Zn, Fe, Pb, Mn, Ni 및 Cd의 조직 내 평균 농도는 성수군(어린 성수와 성수) 등줄쥐에 비해 유수에서 매우 높아( $p < 0.05$ ), 모체로부터 많은 양의 원소가 태아로 전해지는 것으로 생각되었다. 그러나 어린 성수와 성수간에 농도 차가 거의 없는 점 및 어린 성수와 성수 모두, 암·수간에 농도 차가 거의 없는 점으로부터, 성 성숙 후의 암·수는 모두 활발한 번식활동으로 상당량의 금속류를 배출하지만, 다시 지속적으로 많은 양의 원소들을 외부로부터 섭취하고 있을 것으로 생각되었다. 한편 피부에서 검출된 많은 원소들의 비율이 유수보다 성수군에서 높아, 털갈이도 배설 경로의 한 가지로 이용되고 있는 것으로 생각되었다.

## 감사의 글

이 논문은 1998년도 경성대학교 학술지원연구비에 의하여 연구되었음. 중금속 분석에 많은 도움을 주신 경남

대학교 한성룡 박사님, 등줄쥐의 채집을 도와준 경성대학교 생물학과 대학원생 및 발생학 실험실 조력자에게 감사함을 드립니다.

## 참 고 문 헌

- 1) 厚生省, 1968, 副腎におけるイタイイタイ病に関する厚生省の見解, 日本.
- 2) 古木隆太郎, 1979, 水俣病-20年の研究と今日の課題, 青淋舎, 120-121pp.
- 3) 김오식, 1994, 환경 독성학, 동화기술, 290pp.
- 4) Stansley, W. and D. E. Roscoe, 1996, The uptake and effects of lead in small mammals and frogs at a trap and skeet range, Arch. Environ. Contam. Toxicol., 30, 220-226.
- 5) Haarakangas, H., H. Hyvärinen, and M. Ojanen, 1974, Seasonal variations and the effects of nesting and moulting on liver mineral content in the house sparrow(*Passer domesticus* L.), Comp. Biochem. Physiol., 47A, 153-163.
- 6) Friberg, L., G. F. Nordberg, and V. B. Vouk, 1979, Handbook on the Toxicology of Metals, Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam, New York, Oxford. 709pp.
- 7) Honda, K., R. Tatsukawa, K. Itano, N. Miyazaki, and T. Fujiyama, 1983. Heavy metal concentrations in muscle, liver, and kidney tissue of striped dolphin, *Stenella coeruleoalba*, and their variations with body length, weight, age and sex, Agric. Biol. Chem., 47, 1219-1228.
- 8) Honda, K., B. Y. Min, and R. Tatsukawa, 1985, Heavy metal distribution in organs and tissues of the eastern great white egret, *Egretta alba modesta*, Bull. Environ. Contam., 35, 781-789.
- 9) Honda, K., B. Y. Min, and R. Tasukawa, 1986a, Heavy metal and their age-related changes in the eastern great white egret, *Egretta alba modesta*, in Korea, Arch. Environ. Contam. Toxicol., 15, 185-197.
- 10) Honda, K., Y. Yamamoto, H. Hidaka, and R. Tatsukawa, 1986b, Heavy metal accumulation in a adélie penguin, *Pygoscelis adeliae*, and their variations with the reproductive process, Mem. Natl. Inst. Polar Res. Spes. Issue, 40, 443-453.
- 11) Greenberg, A., D. K. Parkison, D. E. Fetterolf, J. B. Puschett, K. J. Ellis, L. Wielopolski, A. N. Vaswani, S. H. Cohn, and P. J. Landrigan, 1986, Effect of elevated lead and cadmium burdens on renal function and calcium metabolism, Archives of Environment Health, 41, 69-76.
- 12) Sanpera C., M. Gonzalez, and L. Jover, 1995, Heavy metals in two populations of north Atlantic fin whales(*Balaenoptera physalus*), Environmental



- Pollution, 91, 299-307.
- 13) Burger, J. and M. Gochfeld, 1996, Heavy metal and selenium levels in Franklin's gull(*Larus pipixcan*) parents and their eggs. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 30, 487-491.
  - 14) Kim, E. Y., H. Ichihashi, K. Saeki, G. Atrashkevich, S. Tanabe, and R. Tatsukawa, 1996, Metal accumulation in tissues of seabirds from northeast Siberia, Russia, Environmental Pollution, 92, 247-252.
  - 15) Watanabe I., H. Ichihashi, S. Tanabe, M. Amano, N. Miyazaki, E. A. Petrov, and R. Tatsukawa, 1996, Trace element accumulation in Baikal seal (*Phoca sibirica*) from the lake Baikal, Environmental Pollution, 94, 169-179.
  - 16) Jefferies, D. J. and M. C. French, 1972, Lead concentrations in small mammals trapped on roadside verges and field sites, Environmental Pollution, 3, 147-156.
  - 17) Welch, W. R. and D. L. Dick, 1975, Lead concentrations in tissues of roadside mice, Environmental Pollution, 8, 15-21.
  - 18) Donald, R. C., 1979, Concentrations: bat vs. terrestrial small mammals collected near a major highway, Environ. Sci. Technology, 13, 338-341.
  - 19) Kruuk H., J. W. H. Conroy, and A. Webb, 1997, Concentrations of mercury in otters(*Lutra lutra* L.) in Scotland in relation to rainfall, Environmental Pollution, 96, 13-18.
  - 20) 조운승, 박재주, 정성웅, 신동영, 이만석, 조재홍, 한영미, 1984, 대구시 주민의 모발 중 미량금속 함량에 관한 조사 연구, 국립환경연구소보, 6, 239-249.
  - 21) Lee, D. P., K. Honda, and R. Tatsukawa, 1987, Comparison of tissue distributions of heavy metals in birds in Japan and Korea, J. Yamashina Inst. Ornith., 19, 103-116.
  - 22) Lee, D. P., K. Honda, R. Tatsukawa, and P. O. Won, 1989, Distribution and residue levels of mercury, cadmium and lead in Korean birds, Bull., Environ. Contam., Toxicol., 43, 550-555.
  - 23) 권영택, 1990, 한국, 소련, 일본, 미국인의 모발 중 중금속 함량에 관한 비교 연구, 경남대학교 부설연구소, 연구보고 12, 65-77.
  - 24) 이호원, 손성원, 이두표, 민병윤, 1991, 칠서 지역에서 채집한 양서류의 중금속 오염에 관한 연구, 경남대학교 환경연구소 연구보고, 13, 37-43.
  - 25) 강운석, 1993, 南海東部 沿岸의 貝類 및 低質 中の 重金屬 含有量에 관한 研究, 경남대학교 석사학위논문, 경남대학교.
  - 26) 민병윤, 안희정, 윤명희, 1997, 부산시 거주 지역과 공업 지역 여성 모발에서 검출된 중금속 농도에 대한 비교 연구, 대한의생명과학회지, 3, 37-42.
  - 27) 이도선, 1991, 한국산 박쥐 2종의 중금속 오염에 관한 연구, 이학석사학위논문, 경성대학교.
  - 28) 민병윤, 이두표, 1996, 비무장지대 인접 지역의 유해물질, 비무장지대, 현암사, 583-612pp.
  - 29) Koh, H. S., 1983, A study on age variation and secondary sexual dimorphism in morphometric characters of Korean rodents: I. an analysis on striped field mice, *Apodemus agrarius coreae* Thomas, from Cheongju, Korean J. Zool. 26, 125-134.
  - 30) Lin L. K. and S. Shiraishi, 1992, Skull Growth and variation in the Formosan wood mouse, *Apodemus semotus*, J. Fac. Agr., Kyushu Univ., 37, 51-69.
  - 31) 원병휘, 1967, 한국 동식물 도감 (제7권 동물편), 문교부, 659pp.
  - 32) NAS, 1972, Airborne Lead in Perspective. National Research Council, National Academy of Sciences, Washington D. C.
  - 33) Tsuchiya K., 1979, Lead, In "Handbook on the Toxicology of Metals" edited by L. Friberg et al., Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam, New York, Oxford., 451-484pp.
  - 34) Tsuchiya, H., K. Mitani, K. Kodama, and T. Nakata, 1984. Placental transfer of heavy metal in normal pregnant Japanese woman, Archives of Environmental Health, 39, 11-17.
  - 35) Reichrtova, E., F. Dorociak, and L. Palkovicova, 1998, Site of lead nickel accumulation in the Placental tissue, Hum. Exp. Toxicol., 17, 176-181.
  - 36) 中野 篤浩, 小野雅司, 太田庸起, 脇阪一郎, 1989, 妊娠婦におけるカドミウムの胎盤移行, 日衛誌, 44, 579-585.
  - 37) Plechaty, M. M., B. Noll, and F. W. Jr. Sunderman, 1977, Lead concentrations in semen of healthy men without occupational exposure to lead, Ann. Clin. Lab. Sci., 7, 515-518.
  - 38) Kuo, H. W., C. S. Wang, and J. S. Lai, 1997, Semen quality in workers with long-term lead exposure; a preliminary study in Taiwan, Sci. Total Environ., 1, 204, 515-518.
  - 39) Hovatta, O., E. R. Venalainen, L. Kuusimaki, J. Heikkila, T. Hirvi, and I. Reima, 1998, Aluminum, lead and cadmium concentrations in seminal plasma and spermatozoa, and semen quality in Finnish men, Hum. Reprod., 13, 115-119.
  - 40) 吳弘植, 1998, 韓國および日本産アカネズミ屬 *Apodemus* の分類および繁殖に關する研究, 日本九州大學 大學院 博士論文, 223pp.
  - 41) Yoon, M. H., S. J. Jung, and H. S. Oh, 1997. Population structure and reproductive pattern of the Koran striped field mouse, *Apodemus agrarius*, Korean J. Biol. Sci., 1, 53-61.
  - 42) 不波敬一郎, 1988, 生體と重金屬, 講談社, 143-199pp.