

광덕산 식물체의 중금속 함량에 관한 연구

이 기 태, 최 한 수

경희대학교 생물학과

A Study of Heavy Metal Contents in plants from Mt. Kwang-Duk Area

Ki Tae Rhie and Han Su Choi

Major in Biology, Kyung Hee University

ABSTRACT

Heavy metal accumulation in living organisms through food-wed can give serious damage on physiological responses for vital activities. The initiation of heavy metal supposed to begin from the bio-accumulation of plants. To establish basic data for heavy metal contents in plants at the area without artificial contamination, both woody and herb plants at Mt. Kwang-Duk were studied. The contents of heavy metals in various organs of plants were analyzed by ICP.

The range of heavy metals in plants for Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Se and Zn were 1.019~257.200 ppm, 0~2.929 ppm, 0~0.079 ppm, 0~0.054 ppm, 0.023~3.007 ppm, 0~1.997 ppm, 2.031~148.500 ppm, 1.069~51.320 ppm, 0~126.900 ppm, 0.708~4.927 ppm and 0.846~4.949 ppm, respectively. The amount of heavy metals in plants are much less than that of soil except some species.

In woody plants, it was detected that the metal contents of leaves were higher than that of stems especially in case of Al and Fe with statistical significance. There were significant differences between shoots and roots of herb plants in metal content of Al, Co and Fe. Those metals have more accumulated in roots comparing with shoots. Some species of plants had shown the difference tendency of heavy metal accumulation. Generally, most species had not exceeded over twice of mean value each other, and had various difference according to the kinds of heavy metals.

서 론

인구증가, 산업화, 도시화로 인해 배출되는 오염 물질은 직접 간접적으로 인간이나 동식물에게 피해를 야기하여 생태계를 파괴하고 있다.¹⁾

일반적으로 중금속은 비분해성으로 토양에 흡착될 경우 장기간 잔류, 축적되는데 중금속이 산업활동 및 인간활동에 의한 인위적인 오염원에 의해 과도하게 발생하는 경우 생물계에 축적, 전

이되어 생태계 파괴의 주범으로 대두되고 있다.²⁾

인류에 의한 육상 환경의 중금속 오염 경로는 주로 대기를 통하여 이루어지는데, 일단 배출된 오염물질은 배출 장소 혹은 인근 지역에 머물다가 먼 곳으로 이동하여 지역적, 세계적인 환경문제를 야기한다. 산성비는 이러한 문제 중의 하나이다.³⁾ 금속류는 살충제와 산업 폐기물의 성분들과 함께 토양에 스며들어 식생에 영향을 미친다. 하수 침전물이 쌓인 곳에서의 중금속류의 식물체 내로의 흡수는 다수의 연구에 의하여 어느 정도

밝혀지고 있다.⁴⁾

식물에게 흡수된 중금속은 식물 자체의 생육에 큰 피해를 줄 뿐만 아니라, 식물체를 소비하는 생물체 내에 축적되어 악영향을 주는 경우가 많다. 최근에는 광공업의 폐기물에 의한 토양-작물 계의 중금속 오염은 농작물의 생육이나 인축에 미치는 영향이 더욱 심각하다고 알려져 있다.¹⁾

식물체내의 중금속 축적은 물, 토양, 대기 중에 퍼져 있는 중금속이온에 의하여 이루어지며 식물체에 독성으로 반응하여 식물의 생장에 큰 영향을 주기도 한다.⁵⁾ 식물의 많은 종이 중금속이 농축되어 있는 토양에서 생존할 수 없으나 어떤 종은 생존할 수 있고 심지어 무성하게 자라기까지 한다.⁶⁾

폐광 주변 및 공업단지 주변의 토양에는 높은 함량의 중금속이 함유되어 있으며 그 독성 때문에 식생이 제대로 형성되지 못하고 있다. 그러나 일부의 식물은 중금속에 대하여 높은 내성을 가지고 있거나 중금속에 대한 내성이 유발되기도 한다.^{7),8)}

가로수의 잎과 표토 내의 중금속 농도는 교통량이 적은 지역과 비교하였을 때 Pb, Zn, Cu, Cd, Mn, Fe 등이 높은 농도로 축적되어 있다고 한다.⁹⁾

이렇듯 점차 중금속 오염이 심각해지고 있는 상태에서 우리 나라에서는 오염지역을 중심으로 한 오염도가 측정되어 보고되고 있으나, 자연적으로 식물체내에 함유하는 중금속에 관한 기초 연구는 야생나물류중의 천연부존량에 관한 연구¹⁰⁾외에 보고된 바가 드물어 중금속 오염도를 비교 분석할 자료가 드문 현실이다. 중금속 오염여부를 판단하기 위해서는 식물체의 중금속 자연함유량에 대한 조사가 기본적으로 잘 이루어져야만 그 진행정도를 파악할 수 있다. 따라서 본 연구는 인위적인 요인에 의하여 발생하는 중금속오염에 대한 연구의 일환으로서, 생태계를 순환하는 중금속의 전이 모형을 이해하기 위하여 선행되어야 할 필요가 있는 자연환경 내에서의 식물 중금속 함량에 관한 조사이다. 이미 기술한 중금속 오염의 피해와 차후 발생될 중금속 오염을 방지하기 위한 대책으로 인위적인 중금속오염이 없는 지역으로 판단되는 경기도 포천군 광덕산 일대에 자생하고 있는 식물체를 대상으로 식물체에 함유된 11종류의 중금속 함량을 조사하고 식물체내의 중

금속 전이 및 농축에 대한 기초자료를 마련하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 토양의 채취 및 식물의 채집

1) 토양의 채취

시료는 등산로를 따라 10곳의 지역을 무작위하게 채취하였다. 골고루 섞은 100g의 0~5cm 표토층을 polyethylenevinyl 용기에 넣어 실험실로 운반하였다.

2) 식물의 채집

시료 채취는 1998년 8월 10~11일 양일간에 걸쳐 실시하였으며 등산로를 따라 올라가며 무작위하게 채집하였다. 채집된 식물체는 총 20종으로, 채취된 식물의 분류체계는 Engler계통을 따라 분류 정리하였다.

2. 기관별 분류

채집된 식물체에서 전처리를 위한 sample 부위를 선정함에 있어서, 초본은 토양에 함유된 독성 중금속을 직접 흡수하는 기관인 지하부(Root)와 그 물질들이 이동하는 경로인 지상부(Shoot)로 측정할 부위를 선정하였다. 목본은 줄기(Stem)와 잎(Leaf)으로 구분하였다.

3. 표본의 보관

토양은 105°C에서 24시간 동안 말린 다음 막자 사발에 갈고 혼합한 후 80°C에서 저장하였다. 이중 중금속 분석을 위해 사용된 시료는 2g(건중량)이었다.

채집한 식물체는 즉석에서 분류, 가능한 빠른 시일 내에 전처리, 측정을 원칙으로 하되 실험 여건상 신속히 처리되지 않은 식물체는 각 기관별로 나누어 포장한 후 80°C 전기건조기(Drying Oven: F3-43D, Toyo, Japan, 1983)에 넣어 건조상태로 보관하였다.

4. 중금속 분석

전처리 과정은 AOAC Official Method of Analysis¹¹⁾에 따라 다음과 같이 처리하였다.

1) 식물의 전처리

- ① 건조기에 넣고 80°C~90°C에서 충분히 건조시킨 후 막자사발로 분말화 한다.
- ② 분말시료를 Teflon 용기에 넣고, HNO₃ 5 ml 을 넣어 뚜껑을 닫은 후 상온에서 overnight 하였다.
- ③ 뚜껑을 열고 Heating Block (ISUZE)을 이용하여 120°C에서 용액이 1 ml 남을 때까지 가열하였다.
- ④ 용액을 실온에서 냉각시킨 후 HNO₃ 5 ml과 HClO₄ 0.5 ml을 넣어, 뚜껑을 닫아 overnight 하였다.
- ⑤ 4번, 5번 과정을 한번 더 반복하였다.
- ⑥ 실온에서 냉각한 후 뚜껑을 열고 neardryness까지 가열한 후, 1% HNO₃ 용액으로 전체 Sample 용액이 25 ml가 되도록 하였다.
- ⑦ 용액을 와트만 여과지 (No. 2)로 여과한 후 적당한 용기에 넣어 저온상태로 보관하였다.

2) 중금속 함량 분석

식물체에 함유된 중금속 함량은 ICP-AES (Jobin Yvon Co. JY-38 Plus, Dual gratings; 4320 grs/nm 1800 grs/nm)을 사용하여 분석하였다.

5. 통계 처리

채취된 Sample에서 분석된 자료는 SAS (Statistical Analysis System) 통계 Package를 이용하여 각각의 조건에 따라 α=0.05 수준에서 Paired t-test를 하여 유의성을 검정하였다.

결 과

1. 목본의 부위별 중금속 함량

목본 10종의 식물체를 줄기와 잎 부위로 나누어, 부위별 중금속의 함량 (Fig. 1)과, 11개 원소별 중금속 함량 (Table 1)을 비교하였다.

1) Al

줄기의 Al 함량은 피나무 (*Tilia amurensis* Rupr.)에서 1.019 ppm으로 가장 낮게 나온 반면 소나무 (*Pinus desiflora*)에서 44.940 ppm으로 높은 함량을 보였다. Al에 대한 줄기의 중금속 평균함량은 10.703 ppm이었다.

잎에서는 당단풍 (*Acer palmatum* Thunb.)이 7.281 ppm으로 가장 낮게 나온 반면 소나무에서 43.89 ppm으로 비교적 높게 나왔고 생강나무 (*Lindera obtusiloba* Blume)에서 91.860 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. Al의 평균 함량은 31.030 ppm으로 나타났다.

Al은 평균치를 비교해 볼 때 줄기보다 잎에서 3배 정도 더 높은 함량이 검출되었으며, 통계적으로 유의한 차이가 나타났다 (t=2.881, P=0.018).

2) As

줄기에서는 산뽕나무 (*Morus bombycis* Koidz.), 당단풍, 진달래 (*Rhododendron mucronulatum* Turcz.) 등에서 검출이 되지 않은 반면 병꽃나무 (*Weigela subsessilis* L.H. Bailey)에서 0.8314 ppm으로

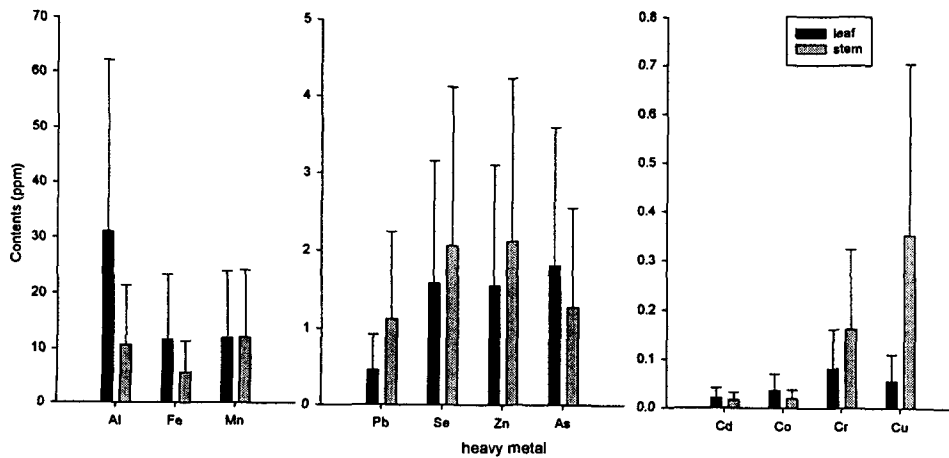


Fig. 1. Heavy metal contents in stem and leaf of woody plants of Mt. Kwang-Duck (The mean and S.D. were represented).

Table 1. Heavy metal concentrations (ppm) of Kwang Duck Mt. Plants (Woody plants)

Scientific name	parts	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Se	Zn
소나무 <i>Pinus desiflora</i>	leaf	43.890	0.000	0.021	0.038	0.129	0.075	20.730	9.008	1.528	3.096	2.586
	stem	44.940	1.974	0.010	0.044	0.064	0.000	14.710	2.631	1.716	2.254	2.524
산뽕나무 <i>Morus bombycis</i> Koidz.	leaf	20.980	2.929	0.002	0.054	0.025	0.000	5.309	7.930	0.172	0.908	1.056
	stem	7.038	0.000	0.018	0.012	0.959	1.997	5.434	19.120	3.091	2.018	1.768
생강나무 <i>Lindera obtusiloba</i> Blume	leaf	91.860	2.083	0.034	0.042	0.075	0.000	21.170	29.690	0.015	1.989	2.252
	stem	14.610	2.832	0.039	0.010	0.062	0.000	5.290	9.401	0.375	1.136	1.105
국수나무 <i>Stephanandra incisa</i> (Thunb.) Zabel	leaf	35.070	2.505	0.038	0.049	0.175	0.000	6.403	3.850	1.547	1.946	1.106
	stem	7.373	2.129	0.039	0.050	0.042	0.000	2.599	1.693	0.299	1.744	1.919
욱나무 <i>Rhus verniciflua</i> Stookesl	leaf	15.200	0.000	0.006	0.000	0.094	0.475	15.420	3.853	0.217	0.730	0.895
	stem	9.305	0.889	0.006	0.000	0.085	0.376	6.753	2.058	0.832	2.864	3.093
당단풍 <i>Acer palmatum</i> Thunb.	leaf	7.281	2.382	0.000	0.051	0.023	0.000	2.401	9.185	0.127	0.708	0.846
	stem	3.299	0.000	0.017	0.008	0.096	0.169	2.031	16.260	0.676	1.568	1.415
화살나무 <i>Euonymus alatus</i> (Thunb.) Sieb.	leaf	29.980	1.064	0.057	0.021	0.073	0.000	14.800	16.960	0.196	2.169	2.318
	stem	7.718	2.264	0.004	0.047	0.025	0.000	2.725	1.069	0.191	1.503	1.726
피나무 <i>Tilia amurensis</i> Rupr.	leaf	15.230	2.607	0.003	0.054	0.031	0.000	4.167	4.108	0.240	0.899	1.041
	stem	1.019	1.769	0.012	0.000	0.080	0.346	3.576	9.166	1.759	3.311	3.316
진달래 <i>Rhododendron mucronulatum</i> Turcz.	leaf	19.680	2.030	0.007	0.000	0.095	0.000	19.080	31.590	0.415	1.877	1.877
	stem	9.356	0.000	0.010	0.011	0.117	0.249	10.71	51.320	1.572	1.622	1.541
병꽃나무 <i>Weigela subsessilis</i> L.H.	leaf	31.130	2.357	0.035	0.044	0.086	0.000	6.766	3.240	0.125	1.433	1.519
	stem	2.376	0.831	0.008	0.003	0.089	0.381	3.016	7.710	0.668	2.543	2.701

다소 낮은 함량을 나타내었다. 생강나무에서는 2.832 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 줄기에서의 As의 평균 함량은 1.269 ppm으로 나타났다.

잎의 중금속 함량은 소나무, 윣나무(*Rhus verniciflua* Stookesl)에서 검출이 되지 않았으며, 화살나무(*Euonymus alatus* (Thunb.) Sieb.)에서 1.064 ppm으로 다소 낮은 함량을 보였다. 산뽕나무 잎에서는 2.929 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 잎에 있어서의 As의 중금속 평균 함량은 1.796 ppm이었다.

As는 독성이 강한 원소로 토양 내에도 극히 미량이 포함되어있으며 전혀 검출되지 않은 종도 있었다. As 검출량의 평균값을 비교해 볼 때 줄기보다는 잎에서 2배 정도 높은 함량이 검출되었으나 통계적으로 유의하지는 않았다($t=0.991$, $P=0.348$).

이 또한 식물체가 As를 흡수하여 농축하는 정도가 종별 차이가 큰데서 기인한 결과로 사료된다.

3) Cd

줄기에서는 화살나무에서 0.004 ppm으로 가장

낮은 함량을 보였으며, 국수나무(*Stephanandra incisa* (Thunb.) Zabel)와 생강나무에서 0.039 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 줄기에서의 중금속 평균 함량은 0.016 ppm이었다.

잎에서는 당단풍에서 검출되지 않은 반면 산뽕나무에서 0.002 ppm으로 낮은 함량을 보였다. 화살나무가 0.057 ppm으로 잎에서 가장 높은 함량을 보였다. 잎에서의 중금속 평균 함량은 0.020 ppm이었다.

Cd는 잎이나 줄기 부분에서 유사한 함량을 나타내는 것으로 나타났다($t=0.586$, $P=0.573$). 이는 식물체가 Cd를 부위별로 고르게 분포하는 것으로 사료된다.

4) Co

줄기는 윣나무, 피나무에서 검출이 되지 않았으며 병꽃나무에서 0.003 ppm으로 낮은 함량을 보였다. 반면 국수나무에서 0.050 ppm으로 가장 높은 중금속 함량을 보였다. 줄기에서 Co의 중금속 평균함량은 0.018 ppm이었다.

잎에서는 윣나무, 진달래에서 검출이 되지 않았으며 화살나무에서 0.021 ppm으로 낮은 함량을

보였다. 산뽕나무에서는 0.054 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 잎에 있어서의 Co 평균 함량은 0.035 ppm이었다.

Co는 잎에서의 함량이 줄기에 비해 2배 높은 것으로 나타났으나 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다 ($t=01.848, P=0.098$).

5) Cr

줄기는 화살나무에서 0.025 ppm으로 가장 낮았으며 산뽕나무에서 0.959 ppm으로 가장 높게 나타났다. 줄기의 Cr 평균 함량은 0.162 ppm이었다.

잎에서는 당단풍이 0.023 ppm으로 가장 낮았고 국수나무에서 0.175 ppm으로 가장 높게 나왔다. 잎의 Cr 평균 함량은 0.081 ppm으로 나타났다.

다른 중금속과는 달리 잎에서의 Cr 함량이 줄기보다 더 높은 경향을 보였으나 통계적으로는 유의하지 않았다 ($t=-0.842, P=0.421$).

6) Cu

줄기는 소나무, 생강나무, 국수나무, 화살나무 등에서 검출이 되지 않았으며 당단풍에는 0.170 ppm으로 낮은 함량을 보였다. 반면 산뽕나무에서 1.997 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 줄기의 Cu 평균 함량은 0.352 ppm이었다.

잎은 산뽕나무, 생강나무, 국수나무, 당단풍, 화살나무, 피나무, 진달래, 병꽃나무 등의 8개종에서 검출이 되지 않았으며, 소나무에서는 0.080 ppm의 함량을 보였고, 옷나무에서 0.480 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 잎의 Cu 평균 함량은 0.055 ppm이었다.

Cu는 잎보다 줄기에서 6배 정도의 양이 검출되었으나 통계적으로 유의하지 않았다 ($t=-1.510, P=0.165$). 이는 식물이 잎보다는 줄기에 Cu를 축적하고 있다는 결과로 사료된다.

7) Fe

줄기는 당단풍에서 2.031 ppm으로 가장 낮은 함량을 보였으며, 소나무에서 14.710 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 줄기에서의 Fe의 평균 함량은 5.684 ppm이었다.

잎은 당단풍에서 2.401 ppm으로 가장 낮은 함량을 보였고 생강나무에서 21.170 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 잎의 Fe 평균 함량은 11.625 ppm이었다.

Fe는 대부분의 중금속과 유사하게 줄기보다는 잎 부분에 축적되며, 축적 정도의 차이가 매우 큰 것으로 나타났다 ($t=3.525, P=0.006$).

8) Mn

줄기는 화살나무에서 1.069 ppm으로 가장 낮은 함량을 보였고 국수나무에서 1.693 ppm으로 비교적 낮은 함량을 보였다. 진달래에서 51.320 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 줄기에서의 Mn의 평균 함량은 12.043 ppm이었다.

잎은 병꽃나무에서 3.240 ppm으로 가장 낮은 함량을 보였고 국수나무에서 3.850 ppm으로 비교적 낮은 함량을 보였다. 진달래에서 31.590 ppm으로 가장 높았다.

잎의 Mn 평균함량은 11.941 ppm이었다.

Mn의 경우도 Cu와 유사하게 잎보다는 줄기 부분에 축적되고 있으나, 그 차이는 통계적으로는 유의하지 않았다 ($t=-0.0265, P=0.979$).

9) Pb

줄기는 화살나무에서 0.191 ppm으로 가장 낮은 함량을 보인 반면, 산뽕나무에서 3.091 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 줄기에서의 Pb의 평균 함량은 1.118 ppm이었다.

잎에서는 생강나무에서 0.015 ppm으로 가장 낮은 함량을 보인 반면, 국수나무에서 1.547 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 잎에서의 Pb의 평균 함량은 0.458 ppm이었다.

Pb는 잎보다는 줄기에 축적되고 있으며, 그 차이는 크게 나타나나 통계적으로 유의하지 않았다 ($t=-1.930, P=0.086$).

10) Se

줄기는 생강나무에서 1.136 ppm으로 가장 낮은 함량을 보였고 화살나무에서 1.503 ppm으로 비교적 낮은 함량을 보였다. 피나무에서는 3.311 ppm으로 줄기에서 가장 높은 함량을 보였다. 줄기의 Se 평균 함량은 2.056 ppm이었다.

잎은 당단풍에서 0.708 ppm으로 가장 낮은 함량을 보인 반면 옷나무에서 0.730 ppm으로 비교적 낮은 함량을 보였다. 소나무에서는 3.096 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 잎의 Se 평균 함량은 1.575 ppm이었다.

Se는 잎보다는 줄기에 더 많이 축적되는 경향

을 보이고 있으나 통계적으로는 그 차이가 유의하지 않았다 ($t = -1.253, P = 0.242$).

11) Zn

줄기는 생강나무에서 1.105 ppm으로 가장 낮은 함량을 보였고 피나무에서 3.316 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 줄기의 Zn 평균함량은 2.111 ppm이었다.

잎은 당단풍에서 0.846 ppm으로 가장 낮은 함량을 보였고 소나무에서 2.586 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 잎의 Zn 평균 함량은 1.550 ppm이었다.

Zn은 잎보다는 줄기에 약간 더 축적되는 경향을 보이나 그 차이는 유의하지 않았다 ($t = -1.568, P = 0.151$).

2. 초본의 지상부, 지하부의 중금속 함량 비교

초본 10종의 식물체를 지상부와 지하부 부위로 나누어, 부위별 중금속의 함량(Fig. 2)과, 11개 중금속별 함량(Table 2)을 비교하였다.

1) Al

지상부에서는 원추리 (*Hemerocallis fulva* L.)가 17.160 ppm으로 가장 낮은 함량을 보였고 구릿대 (*Angelica dahurica* Bentham et Hooker)가 106.690 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 지상부의 Al 평균 함량은 50.169 ppm이었다.

지하부에서는 큰엉경귀 (*Cirsium pendulum* Fis-

cher)가 60.100 ppm으로 가장 낮은 함량을 보였고 쑥부쟁이 (*Kalimeris incisa* (Fischer) DC.)가 257.200 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 지하부 Al의 평균 함량은 132.127 ppm이었다.

Al은 지상부 보다는 지하부에 더 축적되며 그 차이는 매우 크다 ($t = -3.053, P = 0.013$), 이 결과는 토양내의 Al이 뿌리에 흡착되어 축적되는 것으로 사료된다.

2) As

지상부에서는 큰엉경귀, 쑥부쟁이 등에서 검출이 되지 않았으며 여로 (*Veratrum maackii* var. *japonicum* T. Shimizu)에서 0.073 ppm으로 낮은 함량을 보였다. 돼지풀 (*Ambrosia artemisiaefolia* var. *elator* (L.) Desc.)에서는 2.394 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 지상부의 As 평균 함량은 1.129 ppm이었다.

지하부에서는 돼지풀, 큰엉경귀, 쑥부쟁이, 원추리 등에서 검출되지 않았으며 대사초 (*Carex siderosticta* Hance)에서 0.037 ppm으로 낮은 함량을 보였다. 질경이 (*Plantago asiatica* Linne)에서 1.480 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 지하부의 As 평균 함량은 0.469 ppm이었다.

토양 내에 미량으로 존재하며, 식물체내로 흡수되지 않는 As의 경우 지상부와 지하부의 평균 함량의 차이가 날뿐 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다 ($t = 1.990, P = 0.078$).

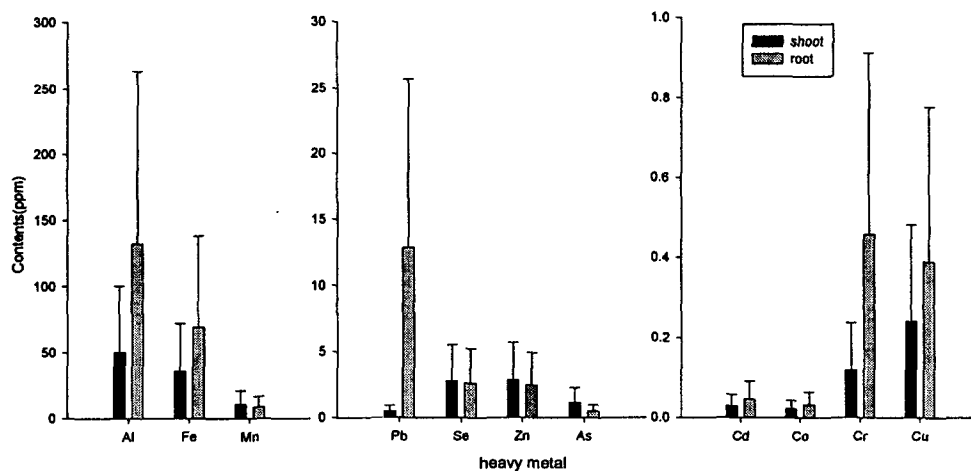


Fig. 2. Heavy metal contents in shoot and root of herbs of Mt. Kwang-Duck (The mean and S.D. were represented).

Table 2. Heavy metal concentrations (ppm) of Kwang Duck Mt. Plants (Herbs)

Scientific name	parts	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Se	Zn
거북꼬리 <i>Boehmeria tricuspis</i> (Hance) Makir	shoot	72.238	1.376	0.020	0.011	0.114	0.331	21.863	16.025	0.104	2.197	2.622
	root	82.813	1.111	0.069	0.015	0.149	0.209	57.910	15.941	0.138	2.308	2.315
구릿대 <i>Angelica dahurica</i> Bentham et Hook	shoot	106.690	1.149	0.012	0.034	0.139	0.145	55.380	6.162	0.036	1.763	1.822
	root	97.430	0.047	0.072	0.017	0.152	0.463	50.510	5.233	0.247	1.922	1.749
질경이 <i>Plantago asiatica</i> Linne	shoot	46.908	1.843	0.020	0.019	0.134	0.130	51.280	8.746	0.015	2.697	2.894
	root	239.254	1.480	0.042	0.045	0.216	0.362	102.444	9.918	0.000	3.144	2.946
돼지풀 <i>Ambrosia artemisiaefolia</i> var. <i>elatior</i> (L.) Desc.	shoot	65.620	2.394	0.058	0.037	0.192	0.452	78.390	11.870	0.000	3.468	3.820
	root	77.880	0.000	0.045	0.031	0.164	0.738	35.900	5.679	0.291	1.261	1.159
가느잎구절초 <i>Chrysanthemum</i> <i>zawadski</i> var. <i>teuisectum</i> Kitaga	shoot	19.710	1.645	0.040	0.016	0.101	0.162	23.315	9.872	0.421	4.927	4.949
	root	136.300	0.672	0.024	0.032	0.183	0.267	55.390	3.971	126.900	1.545	1.436
큰엉겅퀴 <i>Cirsium pendulum</i> Fischer	shoot	44.570	0.000	0.026	0.013	0.125	0.484	34.207	5.563	0.578	3.461	2.931
	root	60.100	0.000	0.051	0.017	0.134	0.803	31.890	2.917	1.107	3.681	3.347
쑥부쟁이 <i>Kalimeris incisa</i> (Fischer) DC.	shoot	30.240	0.000	0.057	0.039	0.092	0.323	18.000	26.670	1.347	3.001	2.731
	root	257.200	0.000	0.035	0.052	3.007	0.405	148.500	11.750	0.000	1.818	1.650
원추리 <i>Hemerocallis fulva</i> L.	shoot	17.160	1.978	0.008	0.041	0.039	0.000	4.231	2.995	0.597	1.784	2.009
	root	104.000	0.000	0.028	0.052	0.138	0.170	40.740	2.625	0.124	3.727	3.205
여로 <i>Veratrum maackii</i> var. <i>japonicum</i> T. Shimizu	shoot	62.860	0.073	0.016	0.000	0.139	0.297	39.430	3.442	0.712	1.539	1.669
	root	84.590	1.345	0.004	0.026	0.166	0.000	71.520	3.047	0.000	2.132	2.308
대사초 <i>Carex siderosticta</i> Hance	shoot	35.690	0.836	0.027	0.000	0.106	0.076	33.370	13.830	0.600	2.731	2.892
	root	181.700	0.037	0.079	0.029	0.257	0.463	95.590	22.890	0.000	4.605	4.328

3) Cd

지상부에서는 원추리에서 0.008 ppm으로 가장 낮은 함량을 보인 반면, 돼지풀에서 0.058 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 지상부의 Cd 평균 함량은 0.028 ppm이었다.

지하부는 여로에서 0.004 ppm으로 가장 낮은 함량을 보였고 대사초에서 0.079 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 지하부의 Cd 평균 함량은 0.045 ppm이었다.

Cd의 경우 지하부에서의 평균 함량이 높게 나왔으나 통계적으로 별 차이를 보이지 않았다($t = -1.676, P = 0.128$).

4) Co

지상부에서는 여로, 대사초 등이 검출되지 않았으며 거북꼬리 (*Boehmeria tricuspis* (Hance) Makino)에서 0.011 ppm으로 미량 검출되었다. 지상부에서 가장 높은 함량을 보인 식물은 원추리로서 0.041 ppm이었다. 지상부의 Co 평균함량은 0.021 ppm이었다.

지하부에서는 거북꼬리가 0.015 ppm으로 가장 낮았으며 원추리가 0.052 ppm으로 가장 높은 함

량을 보였다. 지하부의 Co 평균함량은 0.032 ppm이었다.

대부분의 식물에서 불검출 또는 미량 검출된 Co는 지상부 보다는 지하부에 약간 더 축적 되는 경향을 보여 차이가 통계적으로 유의함을 나타냈다 ($t = -2.262, P = 0.050$).

5) Cr

지상부는 원추리에서 0.039 ppm으로 가장 낮은 함량을 보인 반면 돼지풀에서 0.192 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 지상부의 Cr 평균함량은 0.118 ppm이었다.

지하부는 큰엉겅퀴에서 0.134 ppm으로 가장 낮은 함량을 보인 반면 쑥부쟁이에서 3.007 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 지하부의 Cr 평균함량은 0.457 ppm이었다.

Cr은 지하부에 더 축적되는 경향을 보이지만 그 차이는 유의하지 않다 ($t = -1.181, P = 0.268$).

6) Cu

지상부는 원추리에서 검출되지 않았으며 대사초에서 0.076 ppm으로 낮은 함량을 보였다. 큰엉겅퀴는 0.484 ppm으로 지상부에서 가장 높은 함

량을 보였다. 지상부의 Cu 평균함량은 0.240 ppm이었다.

지하부는 여로에서 검출되지 않았으며 원추리에서 0.170 ppm으로 낮은 함량을 보였다. 큰엉경귀는 0.803 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 지하부의 Cu 평균함량은 0.388 ppm이었다.

Cu는 지하부와 지상부의 함량 정도가 차이가 없는 것으로 나타났다($t = -2.168$, $P = 0.05898$).

7) Fe

지상부에서는 원추리가 4.231 ppm으로 가장 낮은 함량을 보인 반면 돼지풀에서 78.390 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 지상부의 Fe 평균함량은 35.947 ppm이었다.

지하부에서는 큰엉경귀에서 31.890 ppm으로 가장 낮은 함량을 보인 반면 쑥부쟁이에서 148.500 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 지하부의 Fe 평균 함량은 69.039 ppm이었다.

Fe는 지하부에서 지상부 보다 2배 정도 많은 함량이 검출되었으며 그 차이는 유의하다($t = -2.272$, $P = 0.049$).

8) Mn

지상부에서는 원추리가 2.995 ppm으로 가장 낮은 함량을 보인 반면 쑥부쟁이,에서 26.670 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 지상부의 Mn 평균함량은 10.517 ppm이었다.

지하부는 원추리에서 2.625 ppm으로 가장 낮은 함량을 보였고, 대사초에서 22.890 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 지하부의 Mn 평균함량은 8.397 ppm이었다.

Mn은 As와 동일하게 지상부에 더 많은 양이 축적되나, 그 차이는 통계적으로 유의하지 않게 나타났다($t = 1.087$, $P = 0.305$).

9) Pb

지상부는 돼지풀에서 검출되지 않았으며 질경이에서 0.015 ppm으로 낮은 함량을 보였다. 쑥부쟁이는 1.347 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 지상부의 Pb 평균함량은 0.441 ppm이었다.

지하부에서는 질경이, 쑥부쟁이, 여로, 대사초 등이 검출되지 않았으며 원추리에서는 0.1238 ppm으로 낮은 함량을 보였다. 가는잎구절초에서는 126.900 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 지하

부의 Pb 평균함량은 12.881 ppm이었다.

Pb는 지하부에서 더 많이 검출되었으나 그 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($t = 0.9816$, $P = 0.352$).

10) Se

지상부에는 여로에서 1.539 ppm으로 가장 낮은 함량을 보인 반면 가는잎구절초에서 4.927 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 지상부의 Se 평균함량은 2.757 ppm이었다.

지하부에서는 돼지풀이 1.261 ppm으로 가장 낮은 함량을 보인 반면 대사초에서 4.605 ppm 가장 높은 함량을 보였다. 지하부의 Se 평균 함량은 2.614 ppm이었다.

Se은 Mn, As와 유사하게 지상부에서 더 검출되는 경향이 있으나 그 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($t = 0.268$, $P = 0.795$).

11) Zn

지상부는 여로에서 1.699 ppm으로 가장 낮은 함량을 보인 반면, 가는잎구절초에서 4.949 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 지상부의 Zn 평균 함량은 2.834 ppm이었다.

지하부에서는 1.159 ppm인 돼지풀이 가장 낮은 함량을 보였고 큰엉경귀에서는 3.347 ppm으로 비교적 높은 함량을 보였다. 대사초에서는 4.328 ppm으로 가장 높은 함량을 보였다. 지하부의 Zn 평균함량은 2.444 ppm이었다.

Zn은 Se 및 Mn, As와 유사하게 지상부에 더 축적되는 경향을 보였지만 그 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($t = 0.766$, $P = 0.463$).

참 고 문 헌

1. 이두호, 김형철, 김종석. 1993. 인간 환경론. 나남출판사. pp. 67-93.
2. 김두희, 송형달. 1984. 금호강 유역의 수질, 토양 및 무의 중금속 함량. 경북대학교 산업 개발연구소 연구보고, 12: 131-144.
3. Rodhe, H., 1986. Acidification in Tropical Countries, SCOPE 36. John Wiley, Chichester.
4. Dowdy, R.H. and V.V. Volk, 1983, Movement of heavy metals in soils, in *hemical Mobility and Reactivity in soil Systems*. Soil Science Society of America Special Publication No. 11, Madison, Wisconsin, pp. 229-240.

5. Hayes, J.A., 1989. Metal toxicity in *A Guide to General Toxicology*, 2nd Ed. J.A. Marquis, Ed. Karger, New York, pp. 179-189.
6. Pilon, P.E., K.W.F. Howard, 1987, *Water Pollut. Res. J. Can.* 22 : 157-171.
7. Barker, A.J.M., 1981, Accumulators and excluders - strategies in the response of plant to heavymetals. *J. Pl. Nutr.* 3 : 643-654.
8. Outridge, P.M. and T.C. Hutchinson. 1991. Induction of cadmium tolerance by acclimation transferred between ramets of the clonal fern *Salvinia minima* Baker. *New Phytol.* 117:597-605.
9. 오인해. 1993. 가로수 잎의 S 및 중금속 함량에 의한 대기오염도 추정. *한국생태학회지*. 16(2) : 199-208.
10. 이민효, 조재규, 김규식, 김선관, 김복영, 박천서. 1983. 야생 나물류 중 Cd, Cu, Pb, Zn의 천연 부존량에 관한 조사 연구. *농시보고* 25 : 69-74.
11. Rodhe, H., 1986, et al *Acidification in Tropical Countries*, SCOPE 36, John Wiley, Chichester.
12. Bowen, H.J.M. 1979. *Environmental Chemistry of the Element*. Academic Press. new York.