

## 금호강 하류 소리쟁이군락의 무기물 및 중금속 축적의 변이

박태규 · 박용목\* · 송승달

경북대학교 생물학과, 청주대학교 생물학과\*

**적 요:** 오염된 환경에서 널리 군락을 이루는 소리쟁이의 생태적인 생존전략을 밝히기 위해 금호강 하류 지역인 침산교, 팔달교, 달서천 및 금호교 지역에서 생육하고 있는 소리쟁이의 무기물과 중금속의 축적양상을 분석하였다. 소리쟁이는 지하부에 비해 지상부의 빠른 생장으로 인해 T/R 비가 생육초기에 1.3~3.7에서 후기에는 2.4~4.6까지 차이를 보였고, 다른 식물에 비해 신속하게 군락을 형성하는 것으로 나타났는데, 오염이 심한 달서천에서 가장 높은 T/R비를 보였다. 식물체에 축적된 총질소와 인은 지하부에 비해 지상부에서 높게 유지되어 T/R비가 생육초기에는 각각 3.1~6.1과 1.5~4.5를 나타내었으나, 후기에는 각각 6.7~17.3과 3.9~8.3을 보였다. 흡수한 중금속류는 지하부에 비해 지상부에서 Cu와 Zn은 최고 3.6배와 1.7배, Fe와 Pb는 각각 1.5와 4.8배 높은 값이었고, 식물체당 축적량도 지상부에서 61~85% 높은 분배율을 나타내었다. 식물체에 축적된 중금속은 Cu, Zn, Fe, Pb가 각각 89.7, 376.6, 2946.1 및 13.2  $\mu\text{g/g dw}$ 로 최고치를 보였고,  $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb}$  순으로 지상부에서 높은 값으로 축적되었다. 소리쟁이는 엽육 비후와 함께 80%이상의 높은 흡수량을 보였고, 지하부에 비해 지상부에서 빠른 생장을 보였다. 생육 초기부터 지상부에 보다 많은 질소와 인을 함유하며, 흡수한 Ca는 지하부에 축적해 두고 중금속은 지상부로 전이시킴으로써 오염된 중금속환경에서도 널리 군락을 이루는 것으로 사료된다.

**검색어:** 금호강, 무기물, *Rumex crispus*, 중금속

### 서 론

도시지역을 관통하는 하천은 산업의 발달과 더불어 산업 폐기물과 가정하수로 인해 하천생태계가 크게 오염되었고, 산업폐수 등으로 인한 중금속류는 수질뿐 아니라 토양에 축적되어 수변생물에게 흡수되며 분해되거나 배출되지 않고 축적됨으로써 생장에 심각한 영향을 미치게 된다 (Haghiri 1973, Smilde 1981). 환경오염 문제가 심각해지면서 하천의 수질과 하상퇴적물 및 수변식물의 중금속 전이양상과 식물군집의 변화에 관한 관심이 집중되었다 (김과 송 1984, 이 등 1994, Mayes *et al.* 1977, Peter *et al.* 1979). 중금속류는 대개 식물체의 뿌리를 통해 흡수되고 지상부로 전이되는데, 중금속의 종류, 서식환경 및 식물종에 따라 금속류의 흡수와 전이는 차이를 보이게 된다 (박과 송 1998b, No 1988, Park *et al.* 1995). 중금속류는 흡수 정도가 차이를 보이므로 오염된 환경에서 식물체는 무기염류나 미량원소의 흡수억제로 인해 생장에 영향을 받게 된다 (Reddy *et al.* 1987). 각종 중금속이 식물의 생장에 미치는 영향은 광산지역(이 등 1996, Boon and Soltanpour 1992), 공단 도심지역(김 등 1993), 하천유역(No 1988, Park *et al.* 1995)에서의 현황과 내성실험(송 등 1997, 박과 송 1998b)을 통한 연구가 수행되었다.

하천 유역의 수질환경과 수변생태계는 지역산업과 밀접

한 관련성을 가지며, 유입되는 지천과 오염원에 따라 다양한 특성을 나타내게 되는데, 금호강은 영천담에서 시작되어 경산과 대구를 거치면서 생활용수와 산업용수로 이용되고, 신천, 달서천, 남천 등 지천의 유입으로 오염이 가중되고 있으며, 강변에는 농작물이 경작되고 있어 과다한 농약이나 화학비료가 유입되고, 3공단과 염색공단 등에서 배출되는 산업폐수로 인해 각종 중금속 등으로 수질과 수변생태계가 심각하게 훼손된 상태로 강정에서 낙동강으로 합류되고 있다 (No 1988). 또한 반복되는 범람과 오염된 환경으로 인해 외래종의 침입과 소수의 식물군이 형성되는 특징을 보였는데, 특히 달서천이 합류되는 금호강 하류에는 소리쟁이가 수중과 수변에 넓게 군락을 이루고 있고, 금호대교 주변으로 갈퀴나물과 갈대가 번성하고 있으며, 쑥, 여귀 등이 patch형식으로 널리 분포하고 있는데(미발표), 오염된 수역에 분포하는 소리쟁이는 내성을 가지는 수종으로 주목되고 있다 (이와 윤 1994). 최근 환경오염 문제와 더불어 오염된 환경에 내성을 가지는 수종을 선별하고, 식물을 이용하여 환경을 개선하려는 방안이 많은 관심이 집중되고 있다 (이 등 1996, Boon and Soltanpour 1992). 하지만 중금속 오염 등으로 인한 하천생태계의 교란과 식물의 군락형성 과정에 대한 연구는 미흡한 상태이다. 이에 본 연구는 비교적 오염이 심각한 금호강 하류 수역에서 넓게 군락을 이루는 소리쟁이를 대상으로 생장 초기와 후기로 나누어 식물체의 무기물 이용과 중금속의 흡수 및 조절양상을 분석하였다.

이 연구는 1998년도 한국과학재단 박사후과정 연구비(98-04-08)에 의해 수행되었음.

## 재료 및 방법

### 재료식물과 조사지역 선정

금호강은 하류로 내려갈수록 주변의 3공단과 염색공단 폐수 등으로 인해 수변에는 중금속 축적량이 증가되는 양상을 보였는데(No 1988), 영천댐에서 강정까지 금호강 구간을 조사해 보면, 영천댐에서 영천시에 이르는 상류지역과 경산에서 무태교에 이르는 중하류지역 및 팔달교에서 세천교 이하에 이르는 최하류지역으로 뚜렷하게 구분되었다(미발표). 상, 중 하류의 토양에 축적된 Zn을 살펴보면, 각각 7.8~13.9, 28.4~43.7 및 214.4~307.1  $\mu\text{g/g dw soil}$ 로 변화하였고, Cu의 경우 각각 2.2~3.4, 11.4~17.9 및 52.7~103.5  $\mu\text{g/g dw soil}$ 로 변화를 보여, 하류유역에서 심각하게 오염되어 있는 것을 알 수 있다. 이에 대구시를 관통하는 신천이 금호강으로 합류되는 침산교(CS)를 대조구로 설정하였고, 3공단 옆에 위치한 팔달교 지점(PD), 염색공단과 하수종말처리장이 위치한 달서천 지점(TS), 및 금호강 하류지점인 금호교 지점(KH)을 조사지역으로 설정하였는데, 조사지역은 Fig. 1과 같다. 재료식물은 달서천을 중심으로 넓게 군락을 이루는 소리쟁이(*Rumex crispus* L.)를 대상으로 하였고, 수변에 분포하는 소리쟁이를 깊이 20 cm 서식토양과 함께 채집하여 분석에 이용하였다. 본 조사는 소리쟁이의 생육시기에 따라서 1998년 4월과 6월의 2회로 나누어 실시하였고, 식물체와 토양시료는 3반복 이상 분석을 실시하여 자료는 표준편차와 함께 평균값을 제시하였다.

### 식물체의 생장과 무기물 분석

현장에서 채집한 식물체는 실험실로 옮겨와서 신속하게 처리했는데, 엽록소함량은 식물체 정단에서 3번째 잎을 사용하여 DMSO에 침적시켜 spectrophotometer  $A_{663}$ ,  $A_{645}$  nm에서 흡광도를 측정하여 Arnon식으로 환산하였다(Arnon 1949). 식물체의 생체량은 각 기관별로 분리하여 측정 후 70℃ 건조기에서 3일간 건조시켜 건량을 측정하였고, 대생량함수량을 산출하였다(송 1986). 식물체의 질소함량은 시료를 Kjeldahl flask에 넣고, 500~600℃ 전기로에서 분해하고 증류장치를 거쳐 적정하여 분석하는 micro-Kjeldahl method를 이용하였고, 인은 시료를 회화시켜 1N HCl로 용해시킨 뒤 ammonium vanadate와 ammonium molybdate로 발색시켜 spectrophotometer(Shimadzu UV-160A)를 사용해  $A_{460}$  nm에서 측정하였다(송 1986).

### 수변식물과 토양의 중금속의 분석

식물체와 토양의 중금속함량을 분석하기 위해 건조시료 1g 정도를 550~580℃에서 12시간 동안 회화시켜 1N HCl로 여과 추출하였고, 원자흡광분광기(AAS, GBC 903)를 이용하여 Cu, Zn, Fe, Pb 및 Ca를 측정하였다.

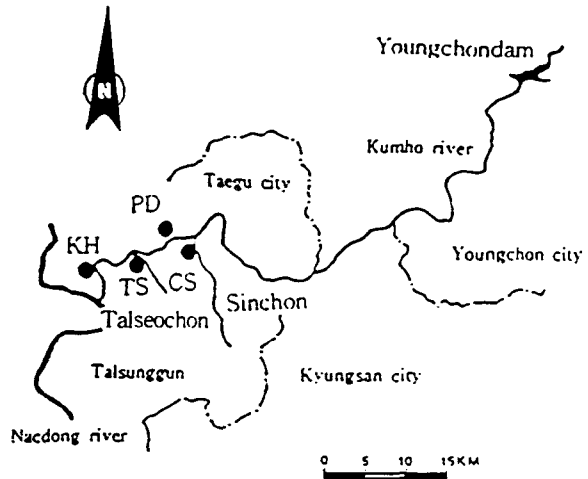


Fig. 1. Map of the study area showing sampling sites. CS: Chimsangyo, PD: Paldalgyo, TS: Talseochon, KH: Kumhogyo.

## 결 과

조사지역에서 채집한 토양은 질소의 경우 침산교, 팔달교, 달서천 및 금호교에서 각각 0.16%, 0.29%, 0.54% 및 0.42%였고, 인은 각각 0.27 mg, 0.33 mg, 0.45 mg 및 0.48 mg/g dw로 달서천과 금호교에서 최대치를 나타내었다. 중금속함량도 유사한 경향을 보여 Cu는 각각 6.77  $\mu\text{g}$ , 13.44  $\mu\text{g}$ , 24.89  $\mu\text{g}$  및 21.90  $\mu\text{g/g dw}$ , Zn은 각각 17.41  $\mu\text{g}$ , 21.66  $\mu\text{g}$ , 99.43  $\mu\text{g}$  및 101.29  $\mu\text{g/g dw}$ , Fe는 각각 130.87, 262.52, 551.08 및 456.78  $\mu\text{g/g dw}$ , Pb는 각각 0.84  $\mu\text{g}$ , 3.54  $\mu\text{g}$ , 19.78  $\mu\text{g}$  및 17.67  $\mu\text{g/g dw}$ 였고, Ca는 각각 214.88  $\mu\text{g}$ , 928.51  $\mu\text{g}$ , 1972.32  $\mu\text{g}$  및 1151.78  $\mu\text{g/g dw}$ 로 대체로 염색공단과 하수종말처리장이 위치한 금호교와 달서천 하류에서 최대치를 보였다.

금호강 유역 식물체의 생체량(biomass)은 Table 1에서 보는 바와 같이, 생육초기에는 침산교 지점에서 지상부 및 지하부가 다소 증가된 생장을 보였으나, 후기에는 침산교보다 하류로 갈수록 증가된 생장을 보였고, 달서천에서 7.90 g/plant로 지상부에서 최고치를 보였으나, 지하부는 1.70 g/plant를 보여 현저한 감소를 나타내었고, 지상부가 높은 생장을 보여 T/R비도 4.65로 높게 나타났다.

조사지역 식물체의 함수량은 대체로 지상부와 지하부에서 각각 88.4~93.6%와 78.7~88.4%로 조사지에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 엽록소함량도 대체로 2.0 mg/g fw. leaf 정도로 나타났는데, 조사지역별로 현저한 차이는 보이지 않았다.

총질소함량은 대체로 생육초기부터 지상부에서 3.5~5.0% 사이에서 높은 값을 보였고, 후기까지 지속되었으나, 지하부에서는 후기에 감소되었고, 지상부 질소함량의 50% 이하로 유지되었다(Table 2). 식물체에 분포하는 총질소의 지상부대 지하부의 비율은 초기에는 3.30~6.06 사이에서

**Table 1.** Changes in the chlorophyll content, water content and biomass of *Rumex crispus* from Kumho riverside (Data represent mean  $\pm$ SD of at least three replicates)

Items		Kumhogyo	Talseochun	Paldalgyo	Chimsangyo	
Dry weight (g/plant)	April	Shoot	0.89 $\pm$ 0.08	0.71 $\pm$ 0.06	1.02 $\pm$ 0.10	2.55 $\pm$ 0.21
		Root	0.32 $\pm$ 0.03	0.19 $\pm$ 0.01	0.64 $\pm$ 0.07	1.95 $\pm$ 0.21
	June	Shoot	4.91 $\pm$ 0.37	7.90 $\pm$ 0.71	5.30 $\pm$ 0.50	4.60 $\pm$ 0.51
		Root	1.37 $\pm$ 0.31	1.70 $\pm$ 0.11	2.11 $\pm$ 0.20	1.92 $\pm$ 0.10
T/R ratio	April	2.78	3.73	1.59	1.31	
	June	3.58	4.65	2.51	2.40	
Water content (%)	April	Shoot	93.6 $\pm$ 8.0	92.6 $\pm$ 6.2	89.5 $\pm$ 6.3	90.6 $\pm$ 8.8
		Root	86.0 $\pm$ 7.2	88.4 $\pm$ 6.8	86.6 $\pm$ 7.8	78.7 $\pm$ 6.4
	June	Shoot	89.5 $\pm$ 8.7	92.6 $\pm$ 10.4	88.4 $\pm$ 9.0	90.2 $\pm$ 8.8
		Root	84.5 $\pm$ 6.2	86.1 $\pm$ 9.2	84.6 $\pm$ 8.2	81.6 $\pm$ 7.6
Chl. content (mg/g fw)	April	1.17 $\pm$ 0.10	1.35 $\pm$ 0.11	1.45 $\pm$ 0.13	1.67 $\pm$ 0.17	
	June	1.67 $\pm$ 0.15	1.95 $\pm$ 0.20	2.02 $\pm$ 0.21	1.35 $\pm$ 0.04	

**Table 2.** Changes in the total-N and P content of *Rumex crispus* from Kumho riverside (Data represent mean  $\pm$ SD of at least three replicates)

Items		Kumhogyo	Talseochun	Paldalgyo	Chimsangyo	
Total-N(%)	April	Shoot	5.0 $\pm$ 0.4	4.2 $\pm$ 0.3	4.7 $\pm$ 0.4	3.5 $\pm$ 0.4
		Root	2.5 $\pm$ 0.1	2.6 $\pm$ 0.3	2.4 $\pm$ 0.3	1.4 $\pm$ 0.1
	June	Shoot	3.2 $\pm$ 0.2	3.5 $\pm$ 0.2	4.3 $\pm$ 0.4	3.9 $\pm$ 0.3
		Root	1.7 $\pm$ 0.2	1.6 $\pm$ 0.2	1.6 $\pm$ 0.2	1.5 $\pm$ 0.1
T/R ratio	April	5.56	6.08	3.11	3.30	
	June	6.74	17.28	6.75	13.00	
Phosphorus content (mg/g dw)	April	Shoot	1.9 $\pm$ 0.2	2.4 $\pm$ 0.2	1.4 $\pm$ 0.1	1.0 $\pm$ 0.1
		Root	1.9 $\pm$ 0.1	2.0 $\pm$ 0.2	1.3 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.1
	June	Shoot	1.4 $\pm$ 0.1	2.3 $\pm$ 0.1	2.1 $\pm$ 0.2	1.7 $\pm$ 0.1
		Root	1.3 $\pm$ 0.1	2.2 $\pm$ 0.2	1.1 $\pm$ 0.1	1.3 $\pm$ 0.1
T/R ratio	April	2.77	4.47	1.72	1.45	
	June	3.86	8.26	4.80	6.52	

변화했으나, 생육 후기에는 6.74~17.28로 후기로 갈수록 지상부에 축적되는 질소량이 현저히 증가되었다. 식물체내 인의 함량은 대체로 지상부에서 높게 유지되었고, 하부로 갈수록 다소 증가되었으나 유의적인 차이는 보이지 않았다. 식물체에서 인의 지상부대 지하부의 비율은 생육초기와 후기에 각각 1.45~4.47과 3.86~8.26로 후기로 갈수록 지상부의 생장 증가로 인해 높은 값을 볼 수 있다 (Table 2).

식물체내 중금속의 함량과 축적양상은 Fig. 2와 같다. 식물체내로 흡수된 중금속은 대체로 지상부에 높게 축적되는 경향을 보였는데, Cu는 지상부에서 26.1~89.7  $\mu$ g/g dw로, 지하부의 18.5~62.7  $\mu$ g로 1.2~3.6배로 높은 값이었으나, 식물체당 분배비는 지상부에서 1.8~16.7배 높게 축적되었고, 달서천에서 최대치를 보였다. Zn의 경우 침산교와 팔달교에서는 41.9~90.5  $\mu$ g/g dw였으나, 달서천과 금호교에서는 각각 376.6과 166.2  $\mu$ g/g dw로 증가되었고, 식물체내 총

축적량은 지하부에 비해 지상부에서 2.1~6.7배 높은 값으로 축적되었다. Fe도 유사한 경향을 보여 지상부에서 2946.1  $\mu$ g/g dw로 최대치를 나타내었으며, Pb는 10  $\mu$ g/g dw 내외로 낮은 값을 나타내었다. 식물체당 Fe와 Pb는 지상부에서 각각 1.4~7.4배와 1.8~9.4배 높게 축적되었다. 식물체내로 흡수된 Ca는 지상부로 이동되지 못하고 지하부에 축적되어 전체적으로 지하부에서 10~200배 높게 축적되어 유사하게 군락을 이루는 갈퀴나물과는 대조적이었다 (박 등 1998).

## 고 찰

금호강 하류 유역에서 토양의 함수량은 4월에 26.4~38.4%로 영천지역의 24.4%에 비해 높게 나타났는데, 이는 춘계의 지속된 강우와 하상퇴적물로 인해 다소 높게 나타났고, 무기물과 중금속함량도 중하류에 비해 최하류로 갈수록

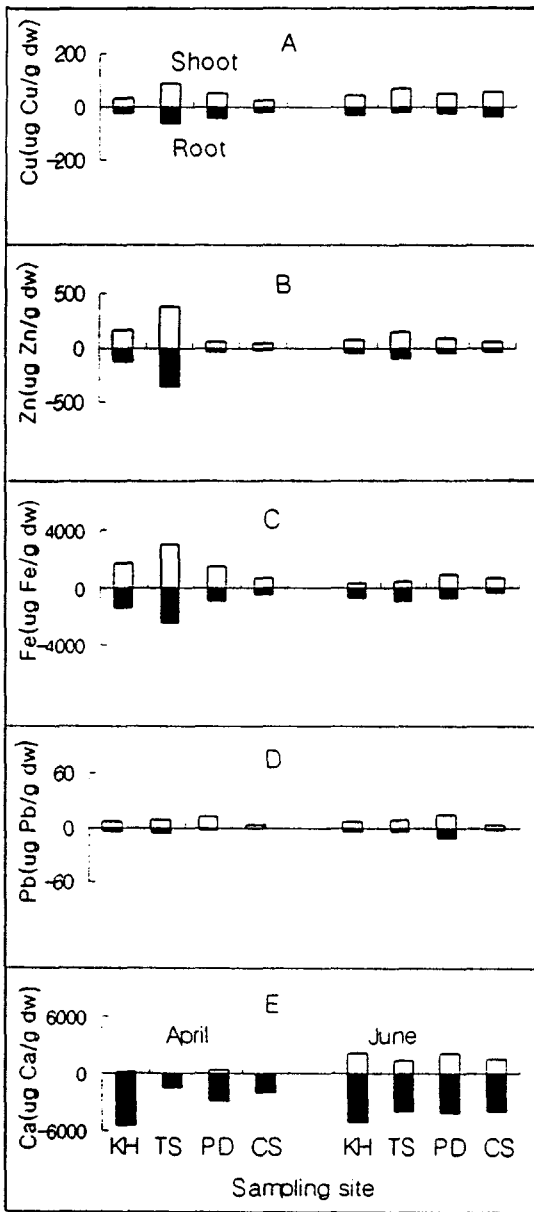


Fig. 2. Changes in the metal content of *Rumex crispus* from Kumho riverside in 1988 (A: Cu, B: Zn, C: Fe, D: Pb, E: Ca, KH: Kumhogyo, TS: Talseochon, PD: Paldalgyo, CS: Chimsangyo).

증가되었는데, 이는 달성폐광산의 퇴적물과 같은 지질학적 요인과 금호강 유역에 위치한 3공단과 염색공단 등 화학적 요인으로 인해 하천유역이 오염된 것으로 사료된다 (김과 송 1984, 이 등 1994, Lee and Lee 1991). 중금속 중 Fe를 비롯해서 Cu와 Zn이 높은 함량을 보여 대구지역 주요 산업체들과 높은 관련성을 보였다 (No 1988, Choi et al. 1990).

소리쟁이의 생체량은 생육 초기에는 침산교 지점에서 다소 증가된 성장을 보였으나, 생육 후기에는 팔달교와 달서천 유역의 식물체에서 생장이 촉진되었는데, 하류로 갈수록

무기물함량이 증가되어 이용할 수 있는 영양소가 증가된 것으로 사료되며, 유사하게 군락을 이루는 갈퀴나물과 같이 지상부의 생장이 왕성하였으며, 갈퀴나물에 비해 지하부의 성장도 비교적 양호하여 오염된 환경에서 잘 적응하는 것으로 사료된다 (Table 1, 2; 김과 송 1984, 박 등 1998). 침산교의 T/R비 2.4에 비해 오염이 극심할수록 지하부의 생장이 억제되었고, 달서천에서 가장 높은 T/R비 4.65를 보여 오염의 심각성을 보여주었고, 축적된 중금속으로 인해 뿌리생장이 저해되었다 (Pattern and Olson 1983). 식물체 흡수량은 대체로 지상부에서 높게 나타났고, 형태적으로 엽육이 비대해지면서 지상부의 비율을 증가시켰는데, 왕성한 지상부 성장으로 인해 축적되는 금속을 희석시킴으로 오염원을 극복하는 것으로 여겨진다. 총질소함량의 변화는 생육 초기에 지상부에서 높은 값을 나타내 후기까지 유지되었는데, 이런 경향은 지상부와 지하부에서 각각 4.3~4.6%와 7~2.8%로 변화를 보여 척박한 토양에서 자생하는 초본류 전동싸리와 유사한 경향이었고, 목본 비콩과 *Myrica* sp.에 비해 2배 정도 높은 값을 보였다 (박과 송 1998a, Schwintzer 1983). 식물체의 인은 생육기간 동안 지상부에서 1.4~2.3 mg/g으로 높은 값을 유지하여 초기에 3.05 mg/g에서 생육후기로 갈수록 1.89 mg/g로 감소된 값을 보인 전동싸리와는 차이를 보였고, 1.3~1.5 mg/g을 보인 목본성 아까시나무에 비해 높은 함량을 나타내었다 (박과 송 1998a, Hong and Song 1990). 지상부의 높은 무기물 분배는 흡수한 중금속을 지상부에 70~90% 이상 높게 축적시킨 것과 잘 연관되는데, 높은 질소처리가 염스트레스를 극복하는데 기여한다는 결과(배 1998)와 더불어 질소와 인의 시비는 금속의 독성을 억제하는 것으로 여겨진다 (Mengel and Kirby 1987). 지상부로 전이된 금속류는 질소를 함유하는 단백질과 결합되어 불활성화 될 수 있기 때문에 생육기간 동안의 지상부에서의 높은 질소함량은 이와 관련된 것으로 여겨진다 (Greger and Lindberg 1986, Mengel and Kirby 1987).

식물체내 중금속의 함량은 대체로 지상부에 높게 축적되는 경향을 보였는데, Cu와 Zn은 달서천에서 최대치를 보였고, Cu는 토양과 강한 결합으로(Meharg 1993) 인해 다소 낮은 흡수를 보였으나, 지상부의 분배율은 각각 94.3%와 87.1%로 높은 값을 나타내었다. 유사한 결과로 Cu를 처리한 고마리에서는 대체로 지하부에서 2배 가량 높은 축적량을 보였고, 속에서 Zn은 지상부에서 높은 값이었으나, Fe는 뿌리에서 높은 값을 보여주는 등 식물종에 따라 금속의 축적 양상이 차이를 보였다 (김 등 1993, Borgegard and Rydin 1989). Fe도 유사한 경향으로 지상부에서 2946.1  $\mu$ g/g dw였으나, 지상부 분배는 58.8~88.1%로 Cu와 Zn에 비해 다소 낮은 값을 보여 금속 사이에 이행성의 차이를 보였다 (Peter et al. 1979, Kennedy and Gonsalves 1987). Pb는 다른 중금속에 비해 적게 흡수되었으나, 속(김 등 1993)과 마찬가지로 지상부에서 높은 값을 유지하였다. 금호강 유역에서 유사하게 출현하는 자주개자리, 망초 및 명아주와 같은 초본류에서 Zn과 Cu는 각각 98.24와 34.78

$\mu\text{g/g dw}$ , 150.32와 38.46  $\mu\text{g/g dw}$  및 89.72와 23.46  $\mu\text{g/g dw}$ 로(No 1988), 376.6과 89.7  $\mu\text{g/g dw}$ 을 보인 소리쟁이가 현저하게 고농도로 축적함으로써 다른 식물군에 비해 우수한 오염정화식물로 기여할 수 있다고 볼 수 있다. Ca는 전체적으로 지하부에서 10~200배 높게 축적되었는데, 소리쟁이는 지상부에서 Ca를 선호하지 않으므로 금속류가 지상부에서 높게 축적된 것과 관련성이 있는 것으로 사료된다. 특히 지상부의 왕성한 성장과 더불어 중금속류도 지상부로 많이 전이되었고, 지하부에 비해 지상부에서 많은 질소가 축적되었는데, 중금속은 단백질과 결합, 세포벽에 결합, 또는 액포에 저장되어 불활성화 됨으로써, 소리쟁이의 중금속에 대한 내성을 증가시킬 수 있으리라 사료된다 (Haghiri 1973, Velazquer *et al.* 1992).

## 인용문헌

- 김두희, 송형달. 1984. 금호강 유역의 수질, 토양 및 무우의 중금속 함량. 경북대학교 산업개발연구소보 12: 131-144.
- 김상구, 장봉기, 이진우, 김두희. 1993. 대구시내 및 인근지역의 토양과 축 중의 중금속 함량. 환경과학논문집 7: 221-234.
- 박태규, 송승달. 1998a. 전동싸리 군락의 성장특성과 피음효과, 한국생태학회지 21: 187-193.
- 박태규, 송승달. 1998b. 알루미늄 독성에 의한 전동싸리 유식물의 질소고정과 생장반응의 특성. 한국환경과학회지 7: 141-147.
- 박태규, 박용목, 송은주, 송승달. 1998. 금호강유역 갈퀴나물 군락의 중금속 축적과 질소고정 활성의 변화. 한국생태학회지 22: 131-137.
- 송승달. 1986. 식물생리학실험. 경북대학교 출판부, 186 p.
- 송승달, 정화숙, 노광수, 송종석, 박태규. 1997. 전동싸리의 생장과 질소고정 활성에 미치는 카드뮴의 영향. 한국생태학회지 20: 35-41.
- 이재영, 이인호, 이순영. 1996. 금속 폐광산 주변의 토양, 식물 및 하천의 중금속오염에 대한 지화학적 연구-달성 및 경산광산, 자원환경지질 29: 597-613.
- 이진국, 박태규, 송승달. 1994. 대구시 금호강 하상퇴적물의 중금속 오염에 관한 환경지화학적 연구. 환경과학논문집 8: 109-133.
- Arnon, D.J. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24, 1-15.
- Boon, D.Y and P.N. Soltanpour. 1992. Lead, cadmium and zinc contamination of aspen garden soils and vegetation. J. Env. Qual. 21: 82-86.
- Borgegard, S.O. and H. Rydin. 1989. Biomass root penetration and heavy metal uptake in birch in a soil cover over copper tailing. J. Appl. Ecol. 26: 585-595.
- Choi, Wook Jin, Jin Kook Lee and Jae Young Lee. 1990. Geochemical study on water pollution of Namcheon in Kyungsan city. J. Env. Sci. 4: 69-97.
- Greger, M. and S. Lindberg. 1986. Effects of Cd and EDTA on young sugar beets (*Beta vulgaris*) I. Cd uptake and sugar accumulations. Physiol. Plant. 66: 69-74.
- Haghiri, F. 1973. Cadmium uptake by plants. J. Environ. Qual. 2: 93-96.
- Hong, S.J. and S.D. Song. 1990. Symbiotic nitrogen fixation activity and environmental factors of *Robinia pseudoacacia* L. Kor. J. Ecol. 13: 93-100.
- Kennedy, C.D. and F.A.N. Gonsalves. 1987. The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on the trans-root potential and H effluent of excised roots. J. Exp. Bot. 38: 800-817.
- Lee, J.G and J.Y. Lee. 1991. A geochemical study on heavy metal pollution in the upstream of Sincheon Daegu city. J. Env. Sci. 5: 1-22.
- Mayes, R.A., A.W. Mcintosh and V.L. Anderson. 1977. Uptake of cadmium and lead by a rooted aquatic macrophyte (*Elodea canadensis*). Ecology 58: 1176-1180.
- Meharg, A.A. 1993. The role of plasmolemma in metal tolerance in angiosperms. Physiol. Plant. 88: 191-198.
- Mengel, K. and E.A. Kirby. 1987. Principles of plant nutrition. International Potash Bern, Switzerland. pp. 537-549.
- No, Jae Su. 1988. The distribution of heavy metals in soils and in native plants of the Gumho river. MS thesis. Yeungnam University, 28 p.
- Park, K.-N., K.-H. Kang and I.-S. Kim. 1995. The biological magnification of lead, copper, zinc and iron in vascular plants; *Persicaria thunbergii* and *Nymphoides peltata*. Kor. J. Env. Biol. 13: 175-188.
- Patterson, W.A. and J.J. Olson. 1983. Effects of heavy metals on radicle growth of selected woody species germinated on filter paper: mineral and organic soil substrates. Can. J. For. Res. 13: 232-238.
- Peter, R., H. Welsh and P. Denny. 1979. The translocation of lead and copper in two submerged aquatic angiosperm species. J. Env. Bot. 30: 339-345.
- Reddy, M.R., M. Raytucker and S.J. Dunn. 1987. Effect of manganese on concentrations of Zn, Fe, Cu and B in different soybean genotype. Plant and Soil 97: 57-62.
- Schwintzer, C.R. 1983. Primary productivity and nitrogen, carbon and biomass distribution in a dense *Myrica gale* stand. Can. J. Bot. 61: 2943-2948.
- Smilde, K.W. 1981. Heavy metal accumulation in crops grown on sewage sludge amended with metal salts.

Plant and Soil 62: 3-14.

Velazquer, M.D., C.H. Poschenrieder and J. Barcelo. 1992.

Ultrastructural effects and localization of low cadmium

concentrations in bean roots. New Phytol. 120: 215-226.

(1999년 1월 14일 접수)

---

## Variation of Heavy Metal Accumulation and Inorganic Matter of *Rumex crispus* Community from Kumho Riverside

Park, Tae-Gyu, Yong-Mok Park\* and Seung Dal Song

Department of Biology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

Department of Biology, Chongju University, Chongju 360-764, Korea\*

**ABSTRACT:** In order to clarify ecological survival strategy of *Rumex crispus* community dominating under contaminated area of lower region of Kumho riverside including Chimsangyo (CS), Paldalgyo (PD), Talseochon (TS) and Kumhogyo (KH), we analyzed the content of heavy metals and inorganic matter and vegetative growth. *R. crispus* showed rapid formation of community by high growth rate, high T/R ratio and showed maximum T/R ratio at the contaminated area Talseochon. Nitrogen and phosphorus contents in *R. crispus* showed high value in shoot than that of root. T/R ratio of nitrogen and phosphorus showed 3.1~3.6 and 1.5~4.5 for the early growth stage, and 6.7~17.3 and 3.9~8.3 for the late one, respectively. The absorbed heavy metals by root were translocated to shoot, the heavy metal content in shoot higher than those in root of Cu, Zn, Fe, and Pb for 3.6, 1.7, 1.5 and 4.8 times, respectively. Distribution ratio of the heavy metals in each organ showed 61~85% and 15~39% for shoot and root, respectively. *R. crispus* accumulated heavy metals in the order of Fe > Zn > Cu > Pb in shoot, and showed maximum values of Cu, Zn, Fe and Pb for 89.7, 376.6, 2946.1 and 13.2  $\mu\text{g/g}$  dw, respectively at Talseochon in April. A physiological and morphological characteristics of *R. crispus* showed thickened leaf, increased water content above 80% and rapid growth of shoot. *R. crispus* showed ecological adaptation to the contaminated area by transportation of heavy metals and inorganic matter to shoot, and by accumulation of Ca ion in root.

**Key words:** Heavy metal, Kumho river, Mineral nutrition, *Rumex crispus*

---