

금호강유역 갈퀴나물군락의 중금속 축적과 질소고정 활성의 변화

박태규 · 박용목* · 송은주 · 송승달

경북대학교 생물학과, 청주대학교 생물학과*

적 요: 금호강(영천, 침산교, 팔달교, 달서천, 금호교)에서 널리 군락을 이루고 있는 갈퀴나물의 무기물 및 중금속 함량과 질소고정 활성의 변화양상을 비교 분석하였다. 금호강변 토양은 하류로 갈수록 무기물과 중금속 함량이 증가되었고, 더불어 식물체에도 높은 축적량을 보였다. 갈퀴나물은 비오염지에 비해 오염지역에서 지하부에 비해 지상부가 크게 발달되어 높은 T/R비를 보이면서 군락을 형성하였다. 식물체의 함수량은 생육후기 지상부에서 다소 높게 나타났고, 단위 g당 엽록소함량이 비교적 높게 나타났다. 근류는 4월에 형성되어 6월에 비오염지의 0.3 g/plant에 비해 침산교, 팔달교, 달서천 및 금호교에서 각각 0.27, 0.24, 0.06 및 0.14 g/plant로 최대치를 보였고, 비오염지 영천에서 23.1 $\mu\text{mol. C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g fw nodule}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 을 보인 근류의 질소고정 활성도 각각 16.8, 15.4, 8.5 및 5.3 $\mu\text{mol. C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g fw nodule}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 로, 하류지역으로 갈수록 감소된 활성을 보였고, 달서천과 금호교에서 심각한 저해를 보였다. 갈퀴나물은 흡수한 중금속(Zn, Cu, Fe, Pb 등)을 지하부에서 높은 함량을 유지하였고, 질소함량은 생육후기로 갈수록 초기에 비해 지상부는 감소되었으나 지하부에서 높은 값을 보였다. 한편, 식물체내 총중금속량은 높은 T/R비로 인해 지상부에서 높은 값을 보였다. 흡수한 Ca는 대부분 지상부로 이동시켜 지하부에서 높은 함량을 보인 금속류와는 대조를 이루었다. 결과적으로, 갈퀴나물은 지상부에 높은 Ca함량을 나타내고, 지하부에 높은 중금속함량과 함께 질소의 함량도 높게 유지하면서 오염된 지역에서 성장 적응하는 것으로 판단된다.

검색어: 금호강, 무기질, 중금속, 질소, *Vicia amoena*

서 론

1970년대 이후 산업의 발달과 더불어 산업폐수가 증가하고, 도시화가 진행되면서 소비수준이 향상되어 급증한 가정하수는 오염물질의 부하를 증가시켜 하천 고유의 생태계를 극심하게 교란시키고 있다 (박과 이 1987, 이 1990). 이들 환경오염물질 가운데 중금속류는 자연상태에서 수질과 토양을 오염시키고, 먹이사슬을 통해 식물체와 동물에게로 전이되며, 흡수된 중금속은 분해되지 않고 축적됨으로써 심각한 장애를 유발하는 것으로 알려져 있다 (Haghiri 1973, Turner 1973).

대구시를 거쳐 가는 금호강 수변에는 농작물이 경작되면서 다량의 화학비료, 농약이 하천으로 유입되고 있고, 경산공단, 검단공단, 서대공공단, 염색공단 등에서 배출되는 각종 오염물질들이 수질을 크게 악화시켜 수변생태계를 교란시키고 있는 실정이다 (Lee 1986, No 1988, 배 등 1995). 한편 수변생태계가 범람과 오염에 시달리면서 외래종의 침입과 특정식물이 군락을 형성하여 우점하게 되었다. 환경개선을 위하여 최근 오염된 환경에 내성을 가지는 종들을 대상으로 내성종 선발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다 (이 등 1996, Boon and Soltanpour 1992). 하천에서의 중금속 오염에 관한 연구는 하천 수질과 오타의 중금속 축적정도를 파악하는 것을 중심으로 진행되어 왔으며(박과 이

1987, 이 등 1994, 배 등 1995), 중금속에 의해 어떻게 고유의 하천생태계가 교란되고 새로운 생태계가 재생되어 가는가에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 중금속에 의한 하천생태계의 파괴와 재생기작에 관한 연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 남부지방의 오염된 하천생태계에 우점하고 있는 식물종 중 하나인 갈퀴나물을 재료로 환경오염에 따른 식물체의 중금속 동태를 파악하고, 중금속 환경에 대한 질소고정 활성 능력(송 등 1997)과 성장반응을 무기물의 동태와 더불어 추적함으로써 중금속 오염에 대한 갈퀴나물의 적응기작을 밝히고자 하였다.

재료 및 방법

재료식물과 조사지역 선정

대구의 공단지역을 둘러 흐르는 금호강의 토양 중금속은 아연의 경우 중하류인 경산~무태 및 달서천~세천교에서 각각 28.4~43.7 및 214.4~307.1 ppm으로 변화를 보여 비오염지 영천댐의 7.8~13.9 ppm에 비해 3~30배 높은 값으로 하류유역은 공단폐수와 각종 오염원에 심각하게 노출되어 있다 (미발표). 이에 대구시민들의 생활하수 영향권에 있는 신천하류지역인 침산교 지점(CS), 3공단, 염색공단 옆에 위치한 팔달교 지점(PD), 염색공단과 하수종말처리장이 위치한 달서천 유역(TS), 금호강 하류지점인 금호교 지점

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

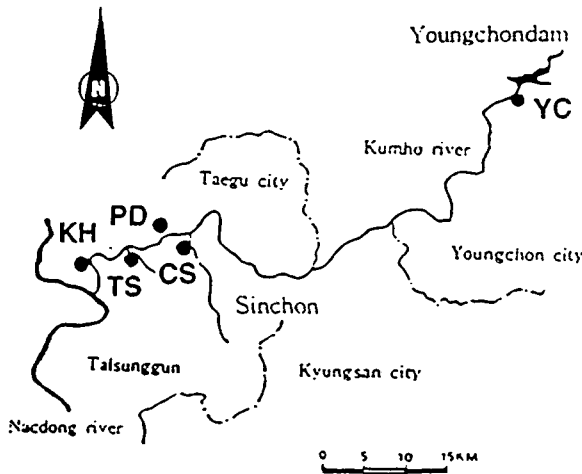


Fig. 1. Map of the study area showing sampling sites. YC: Youngchon, CS: Chimsangyo, PD: Paldalgyo, TS: Talseochon, KH: Kumhogyo.

(KH)을 조사지역으로 설정하였고, 대조구는 비오염지 영천 지역(YC)으로 하였다. 금호강에서 조사지점은 Fig. 1과 같다. 비교적 오염이 심한 금호강 하류에는 갈퀴나물(*Vivianamoena* Fisch.)이 우점하여 넓게 군락을 형성하였고, 소리쟁이(*Rumex crispus* L.)도 띠모양으로 군락을 이루고 있었으며, 이외에도 쑥, 여귀, 갈대 등 많은 수변식물이 군데군데 군락을 형성하고 있었다. 재료식물은 갈퀴나물을 선정하였고, 식물조사는 1998년 3월부터 10월까지 계절별로 실시하였는데, 갈퀴나물은 7월 이후 종자를 맺고 고사하였다. 식물체는 20cm 깊이의 토양과 함께 전초를 채집하여 생체량, 무기물 및 중금속 분석에 이용하였다. 식물체와 토양시료의 분석은 3반복 이상 실시하여 처리하였다.

식물체의 생산량과 무기물 측정

채집한 식물체는 각 기관별로 분리하여 생체량을 측정하고 70℃ 건조기에서 3일간 건조시켜 건량을 측정하여 대생량함수량을 측정하였다. 엽록소함량은 식물체 정단에서 3번째 잎을 사용하여 DMSO에 침적시켜 spectrophotometer A₆₆₃, A₆₄₅ nm에서 흡광도를 측정하여 Arnon식으로 환산하였다 (Arnon 1949). 질소함량은 시료를 Kjeldahl flask에 넣고, 촉매제로 K₂SO₄: CuSO₄·5H₂O(9: 1)와 H₂SO₄ 원액 1 ml를 첨가하여 500~550℃ 전기로에서 분해하고 증류, 적정하여 측정하는 Kjeldahl method를 이용하였고, 인은 회화시킨 시료를 1N HCl로 용해시킨 뒤 ammonium vanadate와 ammonium molybdate로 발색시켜 spectrophotometer(Shimadzu UV-160A)로 A₄₆₀ nm에서 측정하였다 (송 1986).

질소고정 활성과 중금속의 분석

질소고정활성 분석은 채집한 근류를 10 mL 반응병에 넣고 아세틸렌(C₂H₂)을 처리하여 gas chromatograph로 환원된 에틸렌(C₂H₄)량을 정량하여 분석하였다 (Koch and Evans 1966, 송 등 1997). 식물체와 토양시료의 중금속함량을 측정하기 위해 건조시료는 회화시켜 여과 추출하고, 원자흡광분광기(AAS, GBC 903)를 이용하여 Cu, Zn, Fe, Pb 및 Ca를 측정하였다.

결 과

조사지역의 토양 성분을 보면 Table 1과 같이, 무기이온과 금속이온의 흡수와 생장에 영향을 미치는 함수량은 4월에 팔달교 지점(PD)에서 다소 높은 값을 유지하였으며, 질소와 인은 비오염지 영천(YC)에 비해 침산교(CS), 팔달교(PD)로 갈수록 증가하여 질소는 달서천(TS)에서 0.54%,

Table 1. Changes in the total-N and P content of soils from Kumho riverside (Data represent mean±SD of at least three replicates)

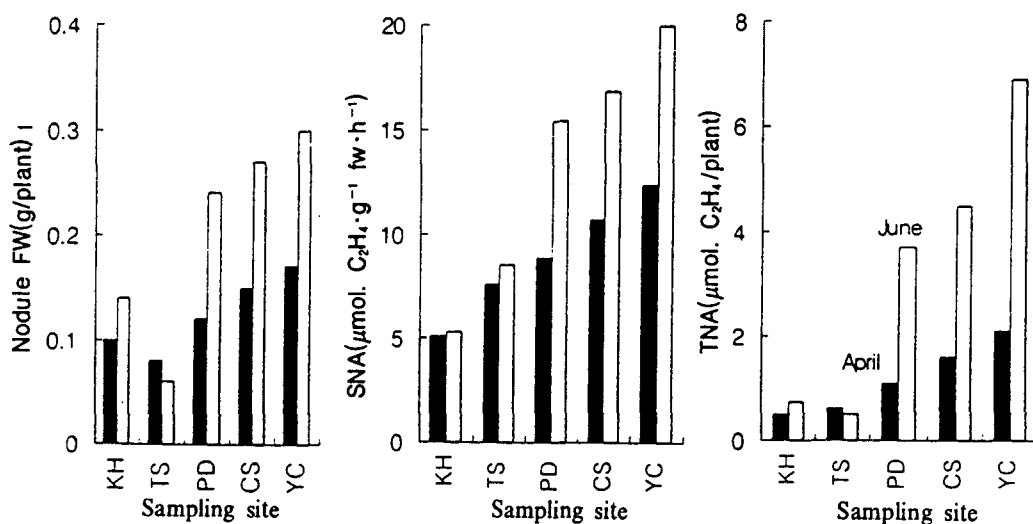
Items		Kumhogyo	Talseochun	Paldalgyo	Chimsangyo	Youngchon	
Water content (%)	April	28.9 ± 2.2	26.4 ± 2.2	38.4 ± 4.5	21.1 ± 1.0	24.4 ± 2.2	
	June	12.1 ± 1.0	18.3 ± 2.0	18.5 ± 2.0	13.8 ± 1.1	18.8 ± 1.4	
Total-N (%)	April	0.45 ± 0.04	0.47 ± 0.03	0.36 ± 0.02	0.29 ± 0.01	0.24 ± 0.01	
	June	0.44 ± 0.03	0.54 ± 0.04	0.29 ± 0.01	0.24 ± 0.01	0.20 ± 0.01	
P content (mg/g)	April	0.48 ± 0.04	0.45 ± 0.02	0.38 ± 0.02	0.28 ± 0.01	0.26 ± 0.02	
	June	0.40 ± 0.03	0.40 ± 0.03	0.33 ± 0.01	0.25 ± 0.01	0.20 ± 0.01	
Heavy metal (µg/g dw)	Apr.	Cu	37.2 ± 4.1	50.6 ± 4.7	23.1 ± 1.2	14.9 ± 1.2	3.2 ± 0.1
		Zn	65.7 ± 4.0	101.2 ± 11.2	100.3 ± 8.8	41.1 ± 3.4	7.8 ± 0.6
		Fe	499.1 ± 42.1	779.7 ± 50.8	667.9 ± 20.5	461.8 ± 50.4	131.4 ± 11.2
		Pb	17.7 ± 2.3	20.2 ± 1.6	5.6 ± 0.2	10.3 ± 1.1	5.3 ± 0.2
	Jun.	Cu	32.6 ± 3.1	46.7 ± 3.8	21.7 ± 1.6	16.2 ± 1.3	2.2 ± 0.2
		Zn	51.3 ± 3.1	71.1 ± 4.8	78.7 ± 3.8	26.7 ± 1.6	6.8 ± 0.7
		Fe	456.39 ± 40.1	577.9 ± 60.3	556.7 ± 70.2	452.6 ± 50.1	102.3 ± 9.9
		Pb	12.0 ± 1.4	12.1 ± 1.4	7.6 ± 0.4	10.4 ± 1.1	5.2 ± 0.3

Table 2. Changes in the chlorophyll content, water content and biomass of *Vicia amoena* from Kumho riverside (Data represent mean \pm SD of at least three replicates)

Items			Kumhogyo	Talseochun	Paldalgyo	Chimsangyo	Youngchon
Dry weight (g/plant)	April	Shoot	2.10 \pm 0.14	1.72 \pm 0.20	0.67 \pm 0.06	0.79 \pm 0.08	0.80 \pm 0.07
		Root	0.48 \pm 0.05	0.34 \pm 0.04	0.05 \pm 0.01	0.05 \pm 0.01	0.19 \pm 0.07
	June	Shoot	39.82 \pm 3.24	16.40 \pm 1.27	40.20 \pm 3.85	28.11 \pm 3.01	25.72 \pm 2.28
		Root	1.64 \pm 0.15	0.51 \pm 0.04	1.51 \pm 0.04	1.12 \pm 0.11	1.42 \pm 0.01
T/R ratio	April		4.38	5.09	13.40	15.80	4.21
	June		24.28	32.15	26.62	25.10	18.11
Water content (%)	April	Shoot	76.4 \pm 7.4	76.9 \pm 7.8	76.1 \pm 8.0	76.8 \pm 8.2	80.2 \pm 8.3
		Root	78.1 \pm 7.4	79.1 \pm 7.5	77.2 \pm 7.4	76.8 \pm 8.3	81.0 \pm 0.01
	June	Shoot	87.7 \pm 7.4	89.7 \pm 6.2	84.8 \pm 7.2	83.1 \pm 7.2	82.1 \pm 9.0
		Root	80.0 \pm 7.2	80.3 \pm 7.4	81.1 \pm 7.2	75.7 \pm 7.8	79.8 \pm 8.2
Chl. content (mg/g fw)	April		1.96 \pm 0.18	2.50 \pm 0.27	1.71 \pm 0.16	1.97 \pm 0.20	1.91 \pm 0.20
	June		2.22 \pm 0.23	1.95 \pm 0.20	1.75 \pm 0.18	1.90 \pm 0.20	1.94 \pm 0.20

Table 3. Changes in the total nitrogen and phosphorus content of *Vicia amoena* from Kumho riverside (Data represent mean \pm SD of at least three replicates)

Items			Kumhogyo	Talseochun	Paldalgyo	Chimsangyo	Youngchon
Total nitrogen content (%)	April	Shoot	4.2 \pm 0.3	4.5 \pm 0.3	3.3 \pm 0.1	5.0 \pm 0.4	4.8 \pm 0.4
		Root	2.4 \pm 0.2	2.1 \pm 0.1	1.2 \pm 0.1	2.6 \pm 0.2	2.4 \pm 0.2
	June	Shoot	4.6 \pm 0.2	4.9 \pm 0.4	4.4 \pm 0.3	4.7 \pm 0.3	4.4 \pm 0.4
		Root	3.3 \pm 0.3	2.6 \pm 0.2	2.7 \pm 0.3	3.0 \pm 0.2	2.7 \pm 0.2
Phosphorus content (mg/g dw)	April	Shoot	1.2 \pm 0.1	1.1 \pm 0.1	1.4 \pm 0.1	1.7 \pm 0.1	1.6 \pm 0.1
		Root	1.7 \pm 0.1	1.7 \pm 0.2	2.3 \pm 0.2	1.8 \pm 0.2	1.5 \pm 0.1
	June	Shoot	1.7 \pm 0.1	1.6 \pm 0.1	1.9 \pm 0.2	1.8 \pm 0.2	1.5 \pm 0.1
		Root	1.6 \pm 0.1	1.0 \pm 0.1	1.4 \pm 0.1	1.3 \pm 0.1	1.3 \pm 0.1

**Fig. 2.** Changes in the nodule fresh weight (A), SNA (B) and TNA (C) of *Vicia amoena* from Kumho riverside. KH: Kumhogyo, TS: Talseochun, PD: Paldalgyo, CH: Chimsangyo, YC: Youngchon, SNA (specific nitrogen-fixation activity), TNA (total nitrogen-fixation activity).

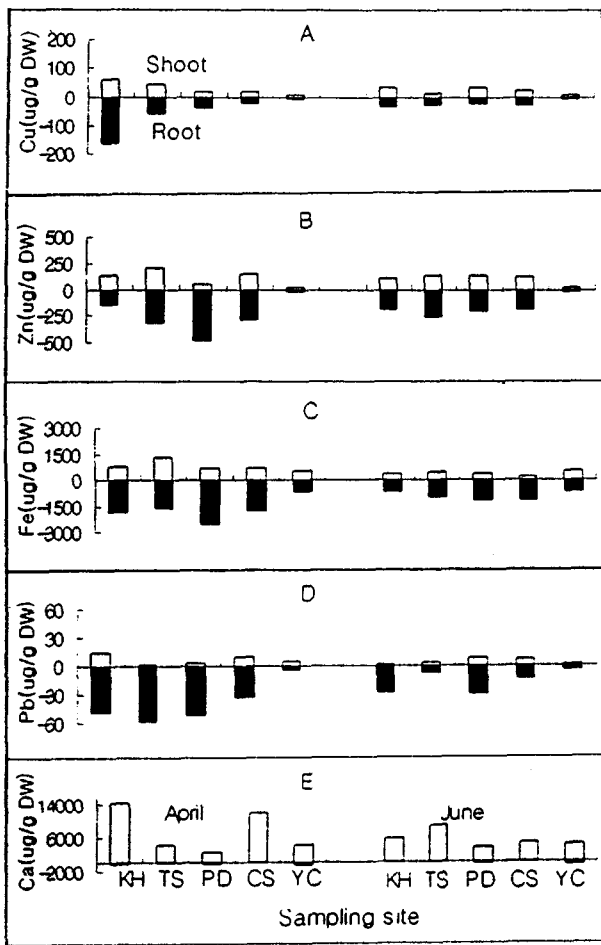


Fig. 3. Changes in the metal content of *Vicia amoena* from Kumho riverside (A: Cu, B: Zn, C: Fe, D: Pb, E: Ca, KH: Kumhogyo, TS: Talseochon, PD: Paldalgyo, CS: Chimsangyo, YC: Youngchon).

인은 금호교(KH)에서 0.48 mg/g dw로 각각 비오염지에 비해 2배 이상 높았다. 중금속 함량도 최하류로 갈수록 증가되어 달서천에서 4월에 최대치로 Cu 50.6, Zn 101.2, Fe 779.9, Pb 20.2 $\mu\text{g/g dw}$ 를 보였고, 금호교에서는 달서천에 비해 다소 낮은 값을 보였다. 하류지역은 영천에 비해 3~10배 정도 높은 값을 보였다.

식물체의 생체량은 Table 2에서 보는 바와 같이, 생육초기에는 하류로 갈수록 증가되었고, 생육후기에는 팔달교와 금호교에서는 증가된 생장을 보였으나 달서천에서는 감소된 생장을 보였다. 6월에 침산교, 팔달교, 달서천 및 금호교에서 지상부는 각각 28.11, 40.20, 16.40 및 39.82 g/plant로 T/R ratio는 24.28~32.15 사이에서 변동하여 비오염지 영천의 18.11에 비해 높은 값을 보여, 상대적으로 지하부의 생장이 저조하였다. 하류지역의 식물체 흡수량은 대체로 지상부는 76.1~89.7%로, 지하부 75.7~81.1%에 비해 다소 높게 나타났다. 엽록소함량은 1.71~2.50 mg/g fw로 조사

기간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

식물체의 질소 함량은 Table 3에서 보는 바와 같이 대체로 지상부에서 높은 값을 보여 최고 5.0% 였으나, 지하부에서는 1.2~2.6%로 낮았으며, 생육 후기에는 지하부에서도 2.6~3.3%로, 초기에 비해 질소함량이 증가되었다. 식물체의 총질소량은 지상부의 신속한 성장과 더불어 88% 이상이 지상부로 분배되었고, 후기에 더욱 증가되었다 (건량 \times 질소함량, Table 2, 3). 식물체의 인의 함량은 초기에는 지하부에서 1.7~2.3 mg/g dw로 높은 값을 보였으나, 생육 후기에는 지상부에서 다소 높은 값을 유지하였다 (Table 3). 식물체의 총인은 지상부의 높은 성장비로 인해 지상부에서 75% 이상 높은 값으로 분포하였다 (건량 \times 인함량, Table 2, 3).

갈퀴나물의 근류형성량과 질소고정활성은 Fig. 2와 같다. 근류의 형성량은 4월에 비해 6월에 증가되었고, 비오염지에 비해 하류지역인 갈서천, 팔달교로 갈수록 감소되어 6월에 비오염지 영천, 침산교, 팔달교, 달서천 및 금호교 지점에서 각각 0.30, 0.27, 0.24, 0.06 및 0.14 g/plant였고, 질소고정활성 또한 유사한 경향을 보여 각각 20.1, 16.8, 15.4, 8.5 및 5.3 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{fw nodule} \cdot \text{h}^{-1}$ 로, 달서천에서 최저치를 보였다.

식물체 내 중금속의 함량과 분포양상은 Fig. 3과 같다. 식물체내로 흡수된 중금속은 대체로 지하부에서 높은 함량으로 축적되는 경향을 나타내었는데, Cu의 경우 최하류로 갈수록 증가되어 금호교에서 지하부는 161.1 $\mu\text{g/g dw}$ 로 최고치를 나타내었고, Zn의 경우 팔달교에서 485.8 $\mu\text{g/g dw}$ 로 최대치를 나타내었다. Fe와 Pb의 경우는 팔달교와 달서천에서 각각 2604.5와 57.8 $\mu\text{g/g dw}$ 로 최대치를 보였는데, 특히 Zn의 흡수율이 높게 나타났다. 중금속이 대체로 지하부에 높은 함량으로 축적된 반면, 흡수된 Ca는 대부분 지상부로 이동되어 지하부에 비해 500배까지 높은 축적을 보였다. 한편 식물체내 중금속은 지하부에서 높은 함량으로 분포하였으나, 축적된 총중금속량은 증가된 지상부 생장으로 인한 높은 T/R비로 인해 지상부에서 높게 축적되어 지상부의 Cu, Zn, Fe 및 Pb는 생육초기에 각각 61.1~92.2%, 56.8~89.0%, 64.4~86.3% 및 14.3~81.3% 였으나, 생육후기에는 90% 이상 높은 값으로 축적되었다 (Table 2, Fig. 3).

고찰

식물의 성장 및 물질흡수와 관련을 가지는 조사지의 흡수량은 4월에 높았는데, 이는 3월말 강우 및 토성과 관련성을 가지는 것으로 여겨진다. 질소와 인 및 중금속함량이 영천에 비해 대체로 하류로 갈수록 증가하였는데, 이는 밀집된 공단에서 배출되는 오폐수에 의해 오염이 가중된 것으로 사료된다 (이 1990, 이 등 1994, Lee 1986). 특히 달서천 유역에서 Cu와 Zn이 높은 함량을 보였는데, 대구지역의 주요 산업인 직물염색, 제지, 도금, 화학공장 등 소규모 업체들에 의한 오염으로 비롯된 것으로 여겨진다 (김 1990, Choi et

된 공단에서 배출되는 오폐수에 의해 오염이 가중된 것으로 사료된다 (이 1990, 이 등 1994, Lee 1986). 특히 달서천 유역에서 Cu와 Zn이 높은 함량을 보였는데, 대구지역의 주요산업인 직물염색, 제지, 도금, 화학공장 등 소규모 업체들에 의한 오염으로 비롯된 것으로 여겨진다 (김 1990, Choi *et al.* 1990).

식물체의 생체량은 금호강 하류로 갈수록 증가되었으나, 달서천에서는 감소된 생장을 보였다. 하류로 갈수록 무기물 함량이 증가되어 이용할 수 있는 영양소가 증가되어 생장을 촉진시켰으나, 달서천에서는 많은 금속류의 축적으로 인해 지하부의 생장이 영천에 비해 억제된 것으로 사료된다 (Table 1과 2; No 1988, 이와 윤 1994). 특히 지하부에 비해 지상부의 생장이 촉진되어 4.4~32.2의 높은 T/R비를 보였고, 지상부의 빠른 생장으로 인해 오염된 지역에서도 우점군락을 형성하는 것으로 사료된다. 이는 금호강 하류에서 넓게 군락을 형성하는 소리쟁이에서도 유사한 결과를 보였다 (박 등 1998). 질소함량은 지하부에 비해 지상부에서 높은 값을 나타내 후기까지 유지되었는데, 대두나 싸리, 아까시나무 등 다른 콩과식물에서도 유사한 경향을 보였다 (Kim *et al.* 1987, Song and Kim 1992). 비오염지 영천에 비해 하류지역의 지하부는 초기에 비해 후기에 다소 높은 값을 유지했는데, 이는 지하부에서 높은 중금속의 독성을 완화시키기 위해 단백질과 결합하여 불활성화 시키는 등 증가된 질소함량은 중금속과 관련성을 가지는 것으로 여겨진다 (강과 신 1987, Marschner 1988). 식물체당 총질소량은 높은 지상부 함량과 지상부의 성장비율로 인해 85% 이상이 지상부로 분배되었다 (식물건량×질소함량, Table 2, 3). 식물체의 인은 초기에는 지하부에서 높은 값을 보였으나, 생육후기에는 지상부에서 다소 높은 값을 보였다 (Table 3). 식물체의 총인은 질소와 유사하게 지상부의 빠른 생장과 높은 T/R 비로 인해 75% 이상이 지상부에 분포하였다. Mengel and Kirby(1987)는 Zn, 질소 및 인의 시비량을 증가시켰을 경우 Cu 흡수를 억제하거나 결합부위를 감소시켜 Cu 독성을 제거한다고 했는데, 갈퀴나물에서도 질소와 인의 함량이 중금속 함량과 상관성을 보이는 것은 지하부에 축적된 중금속을 지상부로의 이동을 억제시키기 위한 과정과 밀접한 관련성을 나타내는 것으로 사료된다.

갈퀴나물의 근류 형성량은 생육초기에 비해 후기에 증가되었고, 비오염지 영천에 비해 침산교지역은 유사한 경향을 나타내었으나, 하류지역으로 갈수록 감소되었다. 특히 달서천 지역에서 심각한 저해를 나타내었다. 질소고정활성 또한 유사한 경향을 보였는데, 이는 하류로 갈수록 오염물질이 축적되어 근류형성과 활성을 저해한 것으로 사료된다 (Table 1, Fig. 2). 갈퀴나물 근락은 4월에 촉진된 질소고정 활성을 나타낸 전동싸리와는 차이를 보였으나, 5월 이후 증가된 활성을 보인 토끼풀과 유사한 경향을 보였고(송과 한 1992, 박과 송 1998), 하류 유역에 축적된 중금속은 콩과식물의 근권생장을 억제하였으며, 근류형성과 질소고정 활성을 저해하였다 (Wilkins 1978, Wood *et al.* 1984). 중금속은 콩과식물의 근모발달과 근류 감염부위를 감소시켜 근류

형성 자체를 억제하게 된다 (Carvalho *et al.* 1982).

식물체내 중금속 함량은 흡수한 중금속을 지상부에 비해 지하부에서 높게 축적하는 경향을 나타내었는데(Fig. 3), 금호강 하류 토양이나 식물체에서 높은 Cu와 Zn의 함량을 보인 것은 섬유염색과 조립금속 등 대구지역 공단특성과 연관성을 나타내었다 (Choi *et al.* 1990). Fe와 Pb 함량은 지하부에서 최대치를 보였는데, 이는 지하부에 비해 지상부에서 높은 중금속함량을 보인 소리쟁이의 금속 조절과는 다른 양상을 나타내었다 (박 등 1998, Haghiri 1973). 중금속 함량의 T/R 비는 Cu와 Zn에서 각각 0.36~0.94와 0.10~0.89 였고, Fe와 Pb는 각각 0.13~0.81과 0.03~0.45로, 전체적으로 T/R 비가 1이하로 나타나, 지하부에서 높은 함량을 보인 반면, 식물체에 축적된 중금속 총량(식물체 생체량×중금속함량)의 T/R 비는 지상부의 높은 생장으로 인해 생장 초기에는 Zn의 경우 1.32~8.12를 나타내었고 다른 금속류도 유사한 경향이었으나, 후기에는 대체로 10.0 이상 높은 값을 나타내(Table 2, Fig. 3), 흡수한 중금속을 지하부에서 높은 함량으로 유지하면서 지상부로의 전이를 억제시켰으나, 결과적으로 지상부의 현저한 생장으로 인해 축적된 금속의 총량은 지상부에 많이 분배되어 식물체에 의한 중금속의 제거율은 지상부에서 현저하게 높은 값을 나타내었다. 금호강 유역의 동일한 지역에서 재배중인 무와 야생 들뜨씨의 경우 Cu와 Zn의 최대 축적량은 각각 8.20과 36.20 $\mu\text{g/g dw}$, 29.98과 98.70 $\mu\text{g/g dw}$ 를 보였으나, 갈퀴나물은 161.1과 485.8 $\mu\text{g/g dw}$ 로 현저하게 높은 축적량을 보여 주었다 (Lee 1986, No 1988). 한편, 식물체로 흡수된 Ca는 대부분 지상부로 이동하여 지하부에 비해 500배까지 높은 축적을 보였는데, 갈퀴나물이 지상부에서 높은 Ca 함량을 보인 것은 2가 양이온 중금속의 지상부 전이를 일정수준으로 억제한 것과 관련이 있을 것으로 여겨지며, 이에 대한 자세한 연구가 보충되어야 할 것이다. 한편, 식물체의 무기물 흡수와 이용에 있어서 다양한 양상은 식물분류군에 따른 생리생태적인 특이성 때문이라는 견해가 있는데(Choo and Albert 1997), 중금속에 대한 종 특이성 및 특이적 대사에 대해서는 자세한 연구가 요구된다. 또한 흡수한 중금속을 지상부로 이동시키는 소리쟁이는 질소와 인의 함량 역시 지상부에서 높게 유지하였으나(박 등 1998), 갈퀴나물은 Ca를 대부분 지상부로 이동시키고, 지하부에 많은 질소와 인의 분배를 통해 상대적으로 지하부에 높은 중금속 함량을 유지하는 것으로 사료된다. 식물체내 축적된 총중금속량은 지상부의 높은 생장으로 인해 지상부에서 많은 양으로 축적되었다.

인용문헌

- 강영희, 신영오. 1987. 식물영양학; 구리의 결핍과 독성. 아카데미서적, pp. 361-370.
- 김두희, 송형달. 1984. 금호강 유역의 수질, 토양 및 무우의 중금속 함량. 경북대학교 산업개발연구소보 12: 131-144.

- 139-144.
- 박태규, 송승달. 1998. 알루미늄 독성에 의한 전동싸리 유식물의 질소고정과 생장반응의 특성. 한국환경과학회지 7: 141-147.
- 배준웅, 장혜영, 송희봉, 서무룡, 허광수, 박태명. 1995. 금호강 수질의 장기 변동에 관한 연구. 한국환경과학회지 4: 207-220.
- 송승달. 1986. 식물생리학실험. 경북대학교 출판부, 186 p.
- 송승달, 정화숙, 노광수, 송종석, 박태규. 1997. 전동싸리의 생장과 질소고정 활성에 미치는 카드뮴의 영향. 한국생태학회지 20: 35-41.
- 송승달, 한사옥. 1992. 토끼풀(*Trifolium repens* L) 근권의 질소고정과 환경요인. 환경과학논문집 6: 93-111.
- 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.
- 이철희. 1990. 금호강의 수질현황과 장애. 환경연구 9: 163-179.
- 이호준, 윤영진. 1994. Mn과 Zn이 소리쟁이(*Rumex crispus*)의 발아와 유식물의 생장에 미치는 영향. 한국환경생물학회지 2: 77-86.
- Arnon, D.J. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1-15.
- Bernal, M.P. and S.P. McGrath. 1994. Effects of pH and heavy metal concentrations in solution culture on the proton release, growth and elemental concentration of *Alyssum murale* and *Raphanus sativus*. Plant and Soil 166: 83-92.
- Boon, D.Y. and P.N. Soltanpour. 1992. Lead, cadmium and zinc contamination of aspengarden soil and vegetation. J. Environ Qual. 21: 82-86.
- Carvalho, M.M.D., D.G. Edwards and C.J. Asher. 1982. Effects of aluminium on nodulation of two *Stylosanthes* species grown in nutrient solution. Plant and Soil 64: 141-152.
- Choi, Wook Jin, Jin Kook Lee and Jae Young Lee, 1990. Geochemical study on water pollution of Namcheon in Kyungsan city. J. Environ. Sci. 4: 69-97.
- Choo, Yeon-Sik and Roland Albert, 1997. The physiotype concept-an approach integrating plant ecophysiology and systematics. Phytol. 37: 93-106.
- Haghiri, F. 1973. Cadmium uptake by plants. J. Environ. Qual. 2: 93-96.
- Kim, S.J., Y.S. Choo and S.D. Song. 1987. Effects of nitrate gradients on growth and nitrogen economy of soybean plant. Kor. J. Ecol. 10: 175-185.
- Koch, B. and H.J. Evans. 1966. Reduction of acetylene to ethylene by soybean root nodules. Plant Physiol. 41: 1748-1750.
- Lee, Jong Hwan. 1986. Studies on the heavy metal from soil and radish around the Gumho river basin. MS thesis. Yeungnam University, 19 p.
- Marschner, H. 1988. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, UK. pp. 313-435.
- 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.
- Song, S.D. and B.I. Kim. 1992. Changes of nitrogen fixation activity and environmental factors of growth in *Lespedeza bicolor* Turcz. Kor. J. Bot. 35: 317-322.
- Turner, M.A. 1973. Effect of cadmium treatment on cadmium and zinc uptake by selected vegetable species. J. Environ. Qual. 2: 118-119.
- Wilkins, D.A. 1978. The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root growth. New Phytol. 80: 623-633.
- Wood, M., J.E. Cooper and A.J. Holding. 1984. Aluminium toxicity and nodulation of *Trifolium repens*. Plant and Soil 78: 381-391.

(1999년 1월 14일 접수)

Changes of Nitrogen Fixation Activity and Heavy Metal Accumulation of *Vicia amoena* Community from Kumho Riverside

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

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

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

ABSTRACT: This study was carried out to investigate the activity of nitrogen fixation and accumulation of heavy metal and inorganic matter in *Vicia amoena* community at lower region in Kumho riverside, including Youngchon, Chimsangyo, Paldalgyo, Talseochon and Kumhogyo. The contents of inorganic matter and heavy metal of Kumho riverside soil increased in the down stream in each organ of the plant growing in the riverside. Generally, *V. amoena* community showed rapid growth of shoot and high value of Top/Root ratio. *V. amoena* community showed higher water content of shoot at late growth stage and higher chlorophyll content. The root nodule of *V. amoena* community appeared in April and increased by 0.30, 0.27, 0.24, 0.06 and 0.14 g/plant, and nitrogen fixation activity of nodule attained 20.1, 16.8, 15.4, 8.5 and 5.3 $\mu\text{mol} \cdot \text{C}_2\text{H}_4 \cdot \text{g fw nodule}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ for non-contaminated area Youngchon, Chimsangyo, Paldalgyo, Talseochon and Kumhogyo, respectively, in June. Nodule formation and nitrogen fixation activity were reduced in the down stream by the soil contamination and heavy metal accumulation and showed minimum values. at Talseochon and Paldalgyo. *V. amoena* showed growth adaptation against heavy metal toxicity by restricting heavy metal such as Pb, Cu, Zn, Fe from transport, and by accumulating high Ca ion in shoot, nitrogen and phosphorus in root at late growth stage than those at early one, respectively, but total heavy metal per plant showed higher values in shoot than those in root by high T/R ratio of plant growth.

Key words: Heavy metal, Kumho river, Mineral nutrition, Nitrogen fixation, *Vicia amoena*
