

마산시 도로 주변 은행나무와 양버즘나무의 잎과 수피 및 토양의 중금속 함량

천선희·김종희

경남대학교 생물학과

Contents of Heavy Metals in Leaf and Bark of *Ginkgo biloba* and *Platanus occidentalis* and Soil of Roadside in Masan City

Cheon, Seon-Hee and Jong-Hee Kim

Department of Biology, Kyungnam University

ABSTRACT

To determine the accumulation and distribution of heavy metals in plants and soils of roadsides, the leaf and bark of *Ginkgo biloba* and *Platanus occidentalis*, and the soil were sampled from Masan-city roadside and Chinhae forest land in July and November, 1994.

The content of heavy metals from all the samples in Masan-city area was much higher than that in Chinhae forest land. The amount of heavy metals in soil was higher than those in plant parts of both trees. The total amount of heavy metals of the bark was higher than the leaf of *G. biloba* plants. But that of the bark was less than the leaf of *P. occidentalis*. Heavy metal content in plants (leaf, bark) varied among elements and collections. The concentrations of heavy metals in both trees were in the order of $Zn > Cu > Pb > Cd$. The concentrations of the four heavy metals in leaf and Zn in soil in *G. biloba* were seasonally changed. Whereas those in *P. occidentalis* were not significantly changed. And there was a high correlation between the concentrations of Pb and Cu in both trees.

Key words: *Ginkgo biloba*, Heavy metal, *Platanus occidentalis*

서론

도심지의 각종 식물들은 대기오염 및 토양오염으로 인하여 많은 중금속을 흡수하게 되어 생육에 직접 피해를 받을 뿐만 아니라 중금속이 식물체내에 축적되어 악영향을 주는 경우가 많다. 중금속의 오염원으로는 납(Pb), 카드뮴(Cd), 철(Fe), 망간(Mn), 아연(Zn), 구리(Cu) 등을 들 수 있으며 이들 중금속 물질의 농도는 교통량 및 대기오염과 관계가 있다(Cook *et al.* 1994).

Pb는 교통량이 많은 도심지 대기 중에 상당량 함유되어 있어 도로변의 토양이나 식물체에 많이 축적된다(김 1987). 가로수잎에 이들이 축적되면 기공의 활동이 억제되어 백화현상이 나타나며 초기 낙엽 현상을 일으키는 식물도 있고, 또 식물의 발아도 저하된다(성 1976). Cd는 아철광에 많이 함유되어 있고 자동차 타이어, 건전지, 페인트, 안료, 플라스틱 및 안정화제의 용도로 이용되고 도로 주행시 자동차 타이어의 마찰 또는 마멸 등으로 인하여 도로 주변으로 배출되어 환경을 오염시키는 것으로 알려져 있다(김 1984).

Zn은 탄산탈수효소(carbonic anhydrase)의 작용을 돕고, glucose가 인산화될 때 필요한 촉매계의 일부분으로서의 역할을 하며, auxin의 선구 물질인 tryptophan의 합성을 돕는다. 또한 Zn은 식물 체내에서 생리적 기능에는 필수적인 요소인 반면에 이들이 과잉 축적되면 유해하다(곽 등 1972).

Cu의 함량은 매우 적지만 어떤 식물에나 널리 존재하며, 각종 효소의 보조 성분이 된다.

가로수의 중금속 함량과 대기오염과의 관계는 최근에 활발히 연구되고 있고(박 1992, 장 1990a b, Posthumun 1984), 식물체가 받는 피해 정도와 내성, 가로수를 지표수로 활용하는 방법, 수목에 의한 유해 물질의 흡수로 오염도를 완화시키는 방안, 토양의 중금속 함량에 대한 식물의 중금속 함량과 각 항목간의 관계 등이 된 바 있다(이와 김 1991, 이 등 1992, 정 등 1993, Albasel and Cottenie 1985, Tumi *et al.* 1990, Luo and Rimmer 1995, Mckenna *et al.* 1993, Huang *et al.* 1974, Hardiman *et al.* 1984a, b). 그외에도 Pb, S, Cd 등의 오염 물질이 식물에 미치는 영향에 대한 보고도 있다(김 1984). 본 연구에서는 마산시 가로수 총 9,326그루중 점유율이 높은 은행나무(*Ginkgo biloba*; 33.6%, 6,134그루)와 양버즘나무(*Platanus occidentalis*; 4.5%, 377그루)를 선정하여 두 수종의 잎, 수피 그리고 그 토양 내의 중금속 함량과 각 항목간의 상관관계를 분석 조사함으로써 식물체 부위별 중금속 함량과 중금속간의 상관관계를 규명하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구는 1994년 7월과 11월 중 비에 의한 오염 물질의 회석을 고려하여 조사 기간을 설정하였으며 조사 대상 지역인 마산시 도로 주변의 일부 지역중 사전 조사에 의하여 건물의 밀집도와 비교적 많은 교통량에 의한 자동차 배출 물질의 주변 오염 정도가 높을 것으로 예상되는 10개 지역을 선정하여 5개 지역은 은행나무만을 나머지 5개 지역은 은행나무와 양버즘나무를 채집하여 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)의 함량을 조사하였다 (Fig. 1). 7월의 수목의 잎은 수목으로부터 직접 제거하였으나, 11월의 잎들은 거의가 낙엽의 상태여서 수목을 흔들거나 하여 금방 떨어진 잎을 사용하였다.

대조구는 진해 입입시험장 내의 은행나무와 양버즘나무로 선정하여 실험하였다.

가로수의 시료 채취 및 방법

식생에 대한 중금속의 피해 정도를 조사하기 위하여 도로 주변에 식재된 은행나무(DBH: 15~25 cm)와 양버즘나무(DBH: 20~30 cm)를 택하여 지상에서 1.5~2 m부근의 잎을 무작위로 약 10 g을 채취하고, 수피는 1.5 cm 직경의 cork borer를 사용하여 형성층으로부터 떨어져 나온 것을 10장~15장씩 채취하여 polyethylene vinyl에 넣어 실험실로 운반하고, 분석시까지 -10℃에서 냉동 보관하였다.

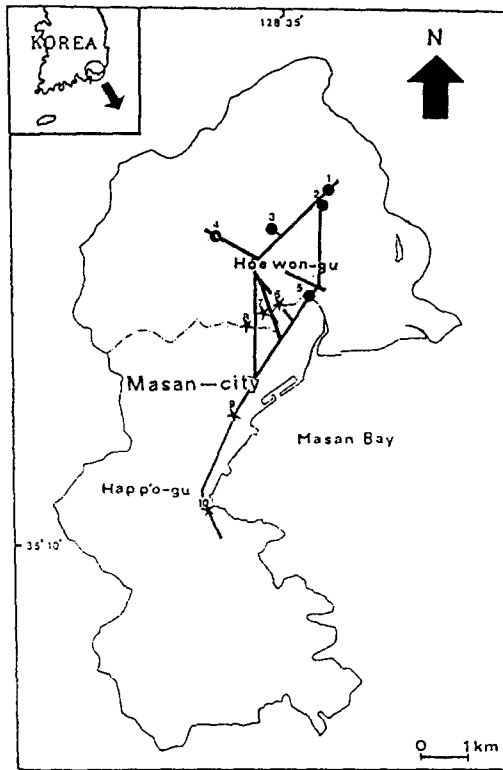


Fig. 1. The ten sampling sites (●: *Ginkgo biloba*, ★: *Ginkgo biloba* and *Platanus occidentalis*).

- 1. East I. C. (●)
- 2. Samsung Hospital (●)
- 3. Masan Station (●)
- 4. West I. C. (●)
- 5. Songan Department Store (●)
- 6. Sanho-dong Post Office (★)
- 7. Sanho Elementary School (★)
- 8. Huisan-gyo (★)
- 9. Masan City Hall (★)
- 10. Nambu Terminal (★)

Fig. 2와 3을 살펴보면 7월의 Zn을 제외하고는 모든 중금속이 잎에서 가장 낮은 값을 나타냈고, 그 다음이 수피 그리고 토양의 순으로 증가되었다. Otte 등(1991, 1993)은 네덜란드 해안을 따라 습지 식물의 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)의 농도를 측정 한 결과, 식물보다 토양에서 높은 것으로 보고하였는데, 이것은 본인의 연구와도 일치되는 결과이다. 이 같은 이유는 은행나무는 가을에 낙엽의 형태로써 잎이 떨어지기 때문에 잎에 있는 중금속은 그 해에 새로이 축적된 것으로 여겨지며 중금속 함량은 적으나 수피와 토양은 계속 축적되어 온 결과로 판단된다.

한편 대조구에 비해 실험구에서 전반적으로 중금속 함량이 높은 값을 가지는 것으로 나타났으나 Fig. 2의 11월 토양층의 Pb와 Cu(*표시)는 오히려 대조구에서 약간 높은 값이 나타났으나 이

채집한 시료는 증류수로 깨끗이 씻어 표면의 이물질 제거한 다음 80~90℃ dry-oven에서 항량이 될 때까지 건조한 후, 작물분석위원회(1975) 및 Ho와 Tai(1988)가 제시한 실험 방법을 병행하여 전처리한 후 Inductive Coupled Plasma Spectrophotometer(I.C.P., Jobin Yvon Jy24)를 사용하여 중금속 농도를 구하였다.

토양의 시료 채취 및 방법

토양 시료 채취는 가로수 채취 지점과 동일한 토양층 0~5 cm의 표토층을 끌고루 췌어 100 g 정도를 채취하여 polyethylene vinyl에 넣어 실험실로 운반하고, 분석시까지 냉동 보관하였다.

토양은 2 mm체에 통과시켜 105~110℃ dry-oven에서 항량이 될 때까지 건조한 후 농업기술연구소(1988)의 토양화학 분석법과 Ho와 Tai(1988)가 제시한 실험 방법을 병행하여 전 처리한 후, I.C.P.를 사용하여 중금속의 농도를 구하였다. 표준실험도 같은 방법으로 행하였다.

이상의 모든 자료는 통계 처리 프로그램(SAS 6.04)을 사용하여 비교 분석하였다.

결과 및 고찰

식물체 및 토양내 중금속 함량

Fig. 2는 7월, Fig. 3은 11월의 은행나무 잎과 수피, 그리고 수목 아래 토양의 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)함량을 대조구와 비교하여 나타낸 것이다.

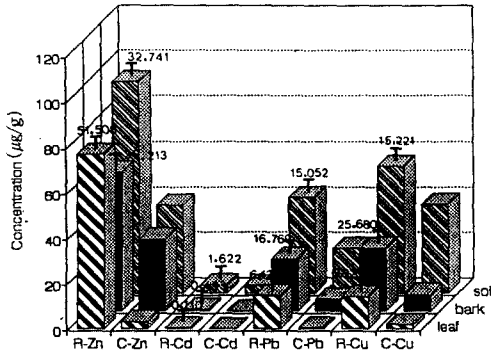


Fig. 2. The difference of concentration of heavy metals (Zn, Cd, Pb, Cu) between roadside (R) and control (C) in leaf, bark and soil under the *Ginkgo biloba* tree in July. Vertical bar means standard deviation.

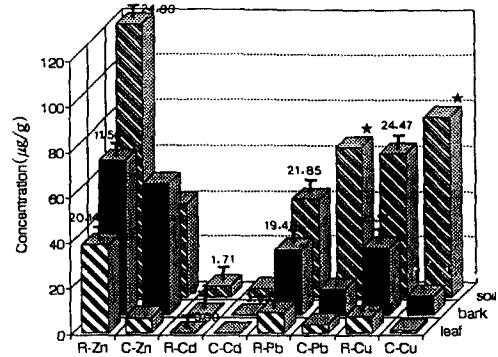


Fig. 3. The difference of concentration of heavy metals (Zn, Cd, Pb, Cu) between roadside (R) and control (C) in leaf, bark and soil under the *Ginkgo biloba* tree in November. Vertical bar means standard deviation.

같은 이유는 아직 확실히 설명할 수 없는 결과였다.

조사된 중금속들간의 축적된 함량을 비교해 보면(Fig. 2 와 3), 토양의 경우 Zn이 가장 높은 값을 가지며 특히 7월에 92.87 µg/g, 11월에 120.40 µg/g으로 잎, 수피에 비해 가장 많은 양을 나타내고, 그 다음은 Cu, Pb순위이며 Cd는 미량 검출되었다. 또한 잎, 수피의 경우도 Zn이 가장 많이 축적되었고 그 다음이 Cu, Pb, Cd 순위였다. 반면 본 연구에서는 11월 은행나무 잎에서는 Cd가 검출되지 않았다. Cd는 생물권의 농도가 대단히 낮으며 독성은 2가의 Cd이온의 생화학적 작용으로만 발생되므로(Garate *et al.*, 1993) 이 실험에서도 적은 양이 검출되는 경향을 보였다고 생각된다.

Fig. 4는 7월, Fig. 5는 11월의 양버즘나무 잎과 수피, 그리고 수목 아래 토양에서의 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu) 함량을 대조구와 비교하여 나타낸 것이다.

Fig. 4와 5를 살펴보면 모든 중금속이 수피에서 가장 적은 값을 나타냈고, 그 다음이 잎, 토양의 순으로 중금속 축적이 많아지는 경향을 나타냈다. 중금속 축적의 양이 은행나무와 다른 결과는 양버즘나무의 경우 잎은 은행나무와 마찬가지로 낙엽의 형태로서 가을에 떨어지게 되지만, 박피는 은행나무에서처럼 계속 축적되는 것과는 다르게 가을에 길겉질이 벗겨져서 중금속이 계속 축적되지 않으므로 잎과 비슷한 함량이 축적되는 결과라고 하겠다. 토양에서는 은행나무와 마찬가지로 양버즘나무의 경우도 중금속이 월등하게 많이 축적되었다.

토양 속에 Cu함량이 높을지라도(7월 : 53.82 µg/g, 11월 : 69.26 µg/g) 식물체내 Cu함량은 낮은 편(7월 : 11.74~16.41 µg/g, 11월 : 14.27~14.50 µg/g)이었는데, 이것은 토양 속의 Cu가 식물체에 잘 흡수되지 않기 때문으로 판단된다(박 등 1990).

양버즘나무의 경우 대조구에 비해 실험구 모두가 전반적으로 높은 값을 나타내었다. 은행나무와 양버즘나무에 축적된 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)의 함량이 10곳의 실험구와 대조구지역에서 각각 차이를 보이는 것은 자동차 배기가스의 희석 작용을 가능케 하는 대기의 이동과 관련이 있음을 보여준다.

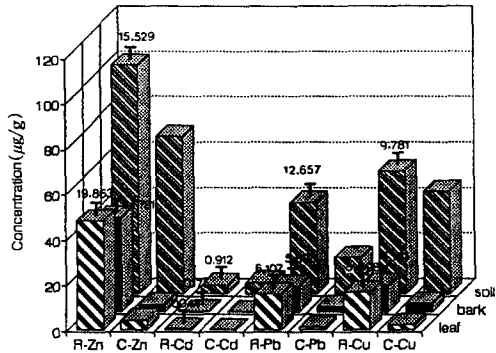


Fig. 4. The difference of concentration of heavy metals (Zn, Cd, Pb, Cu) between roadside (R) and control (C) in leaf, bark and soil under the *Platanus occidentalis* tree in July. Vertical bar means standard deviation.

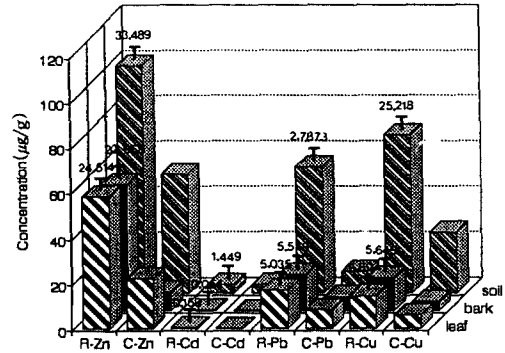


Fig. 5. The difference of concentration of heavy metals (Zn, Cd, Pb, Cu) between roadside (R) and control (C) in leaf, bark and soil under the *Platanus occidentalis* tree in November. Vertical bar means standard deviation.

양버즘나무에서도 토양, 잎, 수피의 모든 중금속 함량 가운데 Zn이 가장 높은 값을 가지며, 특히 토양에서 7월에 100.80 µg/g, 11월에 100.04 µg/g을 나타냈고, 그 다음은 Cu, Pb, Cd의 순이었다.

두 식물의 잎, 수피 그리고 그 식물체 아래의 토양의 중금속 함량 측정 결과 토양층의 중금속 함량이 높게 나타난 것은 중금속의 비중은 4.0이상의 무거운 물질로 이 물질들이 일단 유입되면 다른 무기질과 달리 토양에서 쉽게 용탈되지 않고, 토양의 상층부에 대부분 축적되는 보고(이 등 1992)와도 일치되는 결과이다.

서울시 도로변의 버즘나무와 은행나무의 중금속 함량을 측정한 김(1984)의 연구에 따르면 꽃이 가장 높았고, 버즘나무가 은행나무보다 높았다고 보고하였는데, 이는 식물에 따라 같은 환경 조건하에서 생육하고 있다고 하더라도 차이가 있다는 것을 나타낸다. 본인이 연구한 마산시의 경우에는 7월 조사 결과 잎, 수피 그리고 토양의 Pb와 Cu는 은행나무보다 양버즘나무에서 약간 높았고 Zn과 Cd는 은행나무에서 높게 나타났고, 잎의 모든 중금속과 토양의 Pb, Cu는 양버즘나무에서 약간 높게 나타났다(Fig. 2와 4). 그리고 11월에 조사한 결과는 수피내 모든 중금속과 토양의 Zn, Cd는 은행나무에서 높게 나타났고, 잎의 모든 중금속과 토양의 Pb, Cu는 양버즘나무에서 약간 높게 나타났다(Fig. 3과 5). 은행나무와 양버즘나무간에 중금속 함량 차는 식물체별 흡수 능력과 생리적인 특성에 따른 차이에 기인되는 것으로 보이며, 중금속 종류에 따라 약간의 상이성이 있음을 보여주었다.

두 수종간의 중금속 함량의 차이를 비교한 결과 7월의 경우는 잎의 Cd만이 유의차가 있었고, 11월의 경우는 잎의 Pb와 Cu에서 유의차를 보였고, 수피에서는 Zn만이 유의차가 나타났다.

성(1976)은 일본의 카타큐우슈우시(北九州市)와 가미꼬시(神戸市), 한국의 진주시와 대구시의 가로수 옆에 있는 납의 함량을 조사하였는데 카타큐우슈우시가 30 µg/g, 가미꼬시가 45 µg/g인데 비하여 진주시는 0.16 µg/g, 대구시는 0.35 µg/g으로 일본이 100배 이상 높았다고 보고하였는데 본인이 연구한 마산시의 경우 은행나무 옆에서는 8.93~14.55 µg/g였고, 양버즘나

무 앞에서는 15.64~16.55 $\mu\text{g/g}$ 으로 진주시와 대구시에 비해 상당히 높은 양이 축적되었는데, 이는 1976년경에 비해 교통량이 증가되고 산업의 발달에 따른 결과라 여겨지며, 대기오염 및 토양오염에 의한 심각성을 시사한다고 하겠다.

생엽과 낙엽의 중금속 함량 변화

은행나무의 경우 생엽과 낙엽에 따른 중금속 함량의 변화(Fig. 2와 3)는 잎의 경우 모든 중금속에서 유의차를 보였는데, Zn에서 7월 76.90 $\mu\text{g/g}$, 11월 38.42 $\mu\text{g/g}$ 으로 유의차($p < 0.05$)를 보이며, Cd의 경우 7월 0.23 $\mu\text{g/g}$, 11월 N.D. (not detected)로 유의차($p < 0.0001$)가 있었고 Pb의 경우 7월 14.55 $\mu\text{g/g}$, 11월 8.93 $\mu\text{g/g}$ 으로 유의차($p < 0.01$)가, 그리고 Cu의 경우 7월 14.02 $\mu\text{g/g}$, 11월 7.17 $\mu\text{g/g}$ 으로 유의차($p < 0.002$)를 보였다. Cu는 토마토, 아마, 해바라기, 밀 등에서 필수성이 알려져 있으며, 논벼의 생육에 있어서도 Cu를 필요로 하는데, 특히 생육 초기에 효과가 크고, 출수(出穗), 개화기에도 많이 필요로 한다는 보고(곽 등 1972)와 견주어 볼 때 대사 작용이 활발한 7월(생엽)의 잎에서 11월(낙엽)보다 축적이 높게 나타난 것이라 여겨진다. 그러나 수피에서는 모든 중금속이 계절간 차이를 나타내지 않았으며, 토양에서는 Zn만이 7월 92.87 ppm에 비해 11월 120.40 ppm에서 높게 나타나 유의차($p < 0.01$)를 보였다.

김(1984)에 따르면 Pb, Cu와 같은 중금속은 대기 중에 머물다가 토양에 흡착되거나 기공을 통하여 잎내에 흡수되고 이때 토양을 통해 뿌리 부근에서 흡수되는 것과 잎에서 흡수되는 것은 상호간의 이동이 거의 없는데, 이는 Pb가 식물 체내에서 흡수된 후 음이온과 결합하여 복합염을 형성함으로써 불용태로 축적되기 때문이라고 하였다. 그러므로 은행나무 낙엽 내의 중금속은 대개 토양에서 흡수된 것뿐만 아니라 공기 중으로 부터 기공을 통하여 직접 흡수된 것도 있으리라 생각되므로 은행나무의 경우 대사작용이 활발한 7월(생엽)의 잎에서 11월(낙엽)의 잎보다 축적이 많이 되는 결과를 얻었다고 생각된다. 하지만 잎의 어떠한 대사 작용으로 이런 결과를 나타내는지는 알려진 바 없기 때문에, 차후 잎에서 중금속으로 인한 대사 활동 중심으로 생육 시기별 조사가 뒷받침 되어야겠다고 판단되며, 한편으로는 우리나라 여름철인 8, 9월의 강수량의 영향으로 11월의 표본에서는 많은 중금속들이 씻겨졌을 가능성도 있을 것으로 여겨진다.

양버즘나무의 경우 생엽과 낙엽에 따른 중금속 함량의 변화(Fig. 4와 5)는 7월에 비해 11월이 대체적으로 높게 나타났지만 t-test 결과 모든 부위에서 유의한 차가 없었다.

함유 중금속간의 상관

조사 중금속인 Zn, Cd, Pb, Cu를 중심으로 은행나무와 양버즘나무 각각의 중금속 간의 상관성을 조사하기 위해 상관계수를 구한 결과, 7월에 채집한 은행나무에 함유된 각 중금속함량사이에서는 다른 원소간에 비해 Pb와 Cu에서 잎의 경우 $r=0.986$, 수피의 경우 $r=0.983$, 토양의 경우 $r=0.877$ 으로 정의 상관을 나타냈으며 11월에 채집한 은행나무에서도 Pb와 Cu간에 잎에서 $r=0.945$, 수피에서 $r=0.985$, 토양에서 $r=0.961$ 로 높은 정의 상관성을 나타내었다.

양버즘나무에서도 7월과 11월에 조사 중금속에서 다른 원소간에 비해 Pb와 Cu간에 잎에서 7월 $r=0.998$, 11월 $r=0.989$ 로, 수피에서 7월 $r=0.988$, 11월 $r=0.941$ 로, 토양에서는 7월 $r=0.964$, 11월 $r=0.965$ 로 고도의 정상관계를 각각 나타내었다. 따라서 은행나무와 양버즘나무에서는 다른 원소에 비해 Pb와 Cu는 고도의 정의 상관관계를 지니고 식물체내에 축적된다고 판단된다. 또한 Lagerwerff 및 Specht(1970)의 Cd, Ni, Pb, Zn에 의한 도로변 토양과 식생의 오염에 관한 연구에서 도로변 초지에서 검출된 Pb와 Zn의 함량은 정의 상관관계를 밝혔다는데, 본인의

조사 원소인 Cu, Zn과 같은 식물 필수미량원소라고 볼 때 비슷한 경향을 가지고 나타난 결과라 생각된다.

Zn과 Cd의 경우 옥토에서는 상승작용이 있고, 다른 형태의 토양인 경우 길항작용을 한다는 연구(Smilde *et al.* 1992)는 있으나, Pb와 Cu간의 길항작용이나 상승작용에 대한 연구는 없어 이와 같은 이유가 어떤 기작에 의한 것인지는 더욱 연구해 볼 필요성이 있다고 판단된다.

적 요

도로변의 식물들과 그곳 토양 내의 중금속 함량을 측정하여, 중금속 함량과 중금속 상호간의 길항 작용, 상승 작용을 알기 위하여, 마산시 교통량 과밀 도로변에 있는 10개 지역과 진해 임업시험장 내의 은행나무(*Ginkgo biloba* L.)와 양버즘나무(*Platanus occidentalis* L.)의 잎, 수피 그리고 토양을 7월과 11월로 나누어 채집하여 분석했고, 식물체 및 토양내 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)의 함량과 각 항목간의 상관을 조사한 결과는 다음과 같다. 마산시 지역의 은행나무, 양버즘나무와 그 토양내의 중금속 함량은 비오염 지역인 진해 임업시험장에 비해 중금속(Zn, Cd, Pb, Cu)의 함량이 현저히 높았다. 마산시 지역의 은행나무와 양버즘나무의 부위별 중금속 함량은 은행나무의 경우 토양에서 가장 많았으며, 수피, 잎의 순위였고, 양버즘나무는 토양, 잎, 그리고 수피의 순위였다. 식물체내에 함유된 원소별로는 잎, 수피, 토양 모든 곳에서 Zn>Cu>Pb>Cd순이었으나, 각 원소별 함량은 다소 차이가 있었다. 마산시 지역의 은행나무와 양버즘나무에서 7월(생엽)과 11월(낙엽)의 중금속 함량 변화를 비교해 본 결과 양버즘나무는 계절 간에 차를 보이지 않았고, 은행나무의 경우 잎에서 조사된 중금속 모두에서 계절간의 유의적 차가 있었으며, 토양에서는 Zn만이 유의적 차가 나타났다. 각 식물체내의 중금속 함량 간의 상관관계는 7월, 11월에 채집된 은행나무와 양버즘나무, 두 수종 모두 Pb, Cu에서 고도의 정의 상관관계를 가지고 식물체내에 축적되었다.

인용문헌

- 곽병화 · 임경빈 · 손응용 · 김용우. 1972. 식물생리학. 향문사. pp.72-95.
- 김병우. 1984. 도로변 식재식물의 성장에 미치는 Cadmium 및 Lead의 영향에 관한 연구. 동국대학교 대학원 박사학위 논문. pp.1-20.
- 김병우. 1987. 환경에 미치는 중금속 Lead 및 Cadmium의 영향에 관한 연구. 상지대 논문집. 8:1-17.
- 김병우 · 박종선. 1992. 초본식물의 중금속 저항성에 관한 연구. 한국생태학회지 15:433-449.
- 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법. 농촌진흥청. pp. 219-243.
- 박기학. 1992. 교통량 과밀 도로주변의 토양과 가로수. 대기중 Pb, Cu, Zn 중금속 농도와 그 상관성에 관한 연구. 한국환경위생학회지 18:19-25.
- 박봉규 · 김유민 · 김일구 · 차종환. 1990. 최신 식물생태학. 일신사. pp. 326-360.
- 성민웅. 1976. 진주시 가로수의 납(Pb) 오염에 관하여. 한국환경농학회지 19:107-110.
- 이길철 · 이홍재 · 이민효 · 김성주 · 김동호 · 김상돈 · 심진변 · 김용훈. 1992. 오염토양의 정화방법에 관한 연구(I): 식물에 의한 정화방법 연구. 국립환경연구원보 14:231-254.
- 이석준 · 김장억. 1991. 도로변에 인접한 농경지 토양 및 작물체 중의 납오염: 제2보 경작지 토양

- 중의 납 함량과 작물체 중 납 함량과의 관계. 한국환경농학회지 10:138-148.
- 작물분석위원회편. 1975. 재배식물분석측정법. 양현당. pp.59-63.
- 장남기. 1990a. 서울 지역의 대기오염이 강수와 생물에 미치는 영향. 2. 능수버들 가로수 피층의 S, Pb, Cd 함량에 의한 대기의 상대 오염도 추정. 한국환경농학회지 13:143-148.
- 장남기. 1990b. 서울 지역의 대기오염이 강수와 생물에 미치는 영향. 3. 지역별 은행나무 낙엽의 S, Pb 및 Cd의 함량. 한국생태학회지 13:165-172.
- 정기채 · 김복진 · 한상국. 1993. 아연 광산 인근지역 야생식물 중의 중금속 함량 조사. 한국환경농학회지 12:105-111.
- Albasel, N. and A. Cottenie. 1985. Heavy metal contamination near major highways, industrial and urban areas in Belgian Grassland. Water, Air, and Soil Pollution 24:103-109.
- Cook, C.M., S.P. Sgardelis, J.D. Pantis and T. Lanaras. 1994. Concentration of Pb, Zn and Cu in *Taraxacum* spp. in relation to urban pollution. J. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 53:204-210.
- Garate, A., I. Ramos, M. Manzanares, and J.J. Lucena. 1993. Cadmium uptake and distribution in three cultivars of *Lactuca* sp. J. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 50:709-716.
- Hardiman, R.T., B. Jacoby and A. Banin. 1984a. Factors affecting the distribution of cadmium, copper and lead their effect upon yield and zinc content in bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.). J. Plant and Soil 81:17-27.
- Hardiman, R.T., A. Banin and B. Jacoby. 1984b. The effect of soil type and degree of metal contamination upon uptake of Cd, Pb and Cu in bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.). J. Plant and Soil 81:3-15.
- Ho, Y.B. and K.M. Tai. 1988. Elevated levels of lead and other metals in roadside soil and grass and their use to monitor aerial metal deposition in Hong Kong. J. Environ. Pollution 49:37-51.
- Huang, C.Y., F.A. Bazzaz, and L.N. Vanderhoef. 1974. The inhibition of soybean metabolism by cadmium and lead. J. Plant Physiol. 54:122-124.
- Lagerwerff, J.V. and A.W. Specht. 1970. Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel and zinc. J. Environ. Sci. and Tech. 4:583-586.
- Luo, Y.M. and C.C. Rimmer. 1995. Zinc-copper interaction affecting plant growth on a metal-contaminated soil. J. Environ. Pollution 88:79-83.
- Mckenna, I.M., R.L. Chaney and F.M. Williams. 1993. The effects of cadmium and tissue distribution of zinc and cadmium in lettuce and spinach. J. Environ. Pollution 79:113-120.
- Otte, M.L., S.J. Bestebroer, J.M. van der Linden, J. Rozema and R.A. Broekman. 1991. A survey of zinc, copper and cadmium concentrations in salt marsh plants along the Dutch coast. J. Environ. Pollution 72:175-189.
- Otte, M.L., M.S. Haarsma, R.A. Broekman and J. Rozema. 1993. Relation between heavy metal concentrations in salt marsh plants and soil. J. Environ. Pollution 82:13-22.
- Posthumus, A.C. 1984. Air Pollution and Plant Life. John Wiley and Sons, New York. pp.

- 73-95, 112-258, 416-478.
- Smilde, K.W., B. Van Luit and W.V. Driel. 1992. The extraction by soil and absorption by plants of applied zinc and cadmium. *J. Plant and Soil* 143:233-238.
- Tumi, S.O., N.S. Kumar and A.K. Hinshery. 1990. Lead contamination levels in roadside vegetation of Tripoli area, Libya. *J. Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 45:718-721.

(1996년 4월 15일 접수)