

Plant Assay에 의한 비소오염 토양평가

안윤주, 이주영*, 임승윤*, 정지영*, 정혜원*

서울대학교 지구환경과학부(BK21), 이화여자대학교 환경학과 (anyjoo@snu.ac.kr)

<요약문>

Four crop plant species were tested to assess an ecotoxicity in arsenic-amended soils. Test plants were *Sorghum bicolor*, *Cucumis sativus*, *Triticum aestivum*, and *Phaseolus radiatus*. The presence of arsenic decreased the root and shoot growths. Arsenite was more toxic than arsenate to all test plants. Root growths of *Phaseolus radiatus* and *Cucumis sativus* seem to be a good protocol to assess ecotoxicity of soils contaminated by arsenic.

key word : plant, arsenic, arsenate, arsenite, soil toxicity.

1. 서론

토양오염의 평가는 오염토양의 색출 및 복원후 처리토양의 안전성을 검증하기 위해 반드시 필요한 과정이다. 현재의 토양오염평가는 화학적 방법에만 의존하고 있는데, 이 방법은 총량을 측정할 뿐 생물이용성(Bioavailability)을 전혀 측정할 수가 없다는 제한점을 가진다. 따라서 유해성과 직접 관련이 있는 생물이용성을 측정하는 생태중심적인 평가방법이 이화학적 방법과 함께 병행되어야만 한다. 본 연구에서는 비소로 오염된 토양을 평가하기 위하여 Plant assay 적용하였다. 비소(Arsenic, As)는 USEPA와 IARC분류에 의하면 인체발암물질로 규정되어 있는 유독성물질이다. 비소는 지구화학적 순환에 의해 자연적으로 토양에 존재하고 있으나, 금속의 제련과정에서의 화석연료 사용이나 농약, 살충제, 목재방부제, 의약품등의 산업 과정에서 인위적으로 생태계에 유입되고 있다. 유기비소보다 무기비소는 일반적으로 더 유독하다고 알려져있는데, 무기비소는 산화환원전위나 pH에 따라 5가비소(Arsenate, As(V))나 3가비소(Arsenite, As(III))의 형태로 존재한다. 본 연구에서는 국내에서 생산되는 주요농작물(Crop plant) 중 녹두, 밀 수수, 오이를 대상식물종으로 선정하여, 3가비소와 5가비소에 대한 식물종별 생장률과 비소오염의 상관관계를 고찰하고 선정된 식물의 3가 및 5가비소 민감도를 비교분석하였다.

2. 실험 재료 및 방법

실험에 사용된 비소화합물은 Sodium Arsenite($AsNaO_2$, Fluka Chemicka, 99.0%)와 Sodium Arsenate($Na_2HASO_4 \cdot 7H_2O$, Yakuri Pure Chemicals Co., LTD, 98.0%)이다. 실험 토양은 안산(서울시 서대문구 소재)에서 채취한 후, 1.4mm체를 통과시켜 105°C에서 약 24시간 건조시켜 사용하였다. 실험토양은 Sandy Loam으로 pH는 4.7(1:2 slurry), SOM(Soil organic matter) 0.77%, WHC(Water holding

capacity)는 4.91mg/g dry로 측정되었다. 실험 대상식물종은 수수(*Sorghum bicolor Moench*, 2001 전라도), 오이(*Cucumis sativus L*, 2002 경기도 평택), 밀(*Triticum aestivum*, 2001 전남) 그리고 녹두(*Phaseolus radiatus*, 2002 경기도 연천)를 사용하였다. 독성실험은 밀폐용기에서 수행되었으며 실험에 소요되는 시간을 최단기화하기 위하여 Light lamp를 사용하여 배양하였다. 각 실험단위별 사용되는 씨앗의 개수는 10개이며 각 실험단위는 4개의 replicate로 준비하여, 5일간 배양한후, Shoot와 Root의 생장을 측정하였다. 실험기간중의 평균온도는 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 이고, 조도는 $5870 \pm 1230 \text{ lux}$ 이었다. 독성실험을 통해 수집된 자료는 식물종별로 정리한 후, U. S. EPA의 통계프로그램인 Spearmann을 이용하여 Median effective concentration(EC50)값을 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

Figure 1은 3가비소 농도에 따른 식물종별 Shoot와 Root의 생장율을 Percent control로 나타낸 자료로, 비소농도 증가에 따른 식물생장률의 감소를 볼 수 있다. 식물종별 5가비소와 3가비소의 Median effective concentration(EC50)값을 보면, 3가비소에 대한 녹두, 오이, 수수, 밀의 EC50-Shoot의 값은 5, 40, 49, 81 As mg/kg soil dry weight, 그리고 EC50-Root값은 3.3, 34, 45, 67 As mg/kg soil dry weight로 계산 되었다. 실험대상인 식물체 모두 EC50-Shoot값이 EC50-Root값보다 큰 것으로 보아 실험 대상 식물체들의 Root가 Shoot보다 더 민감하게 5가비소에 반응한다고 볼 수 있다. 5가비소에서 녹두, 오이, 수수, 밀의 EC50-Shoot의 값은 20, 99, >154, >154mg/kg soil dry weight이며 EC50-Root값은 14, 85, 122, 140mg/kg soil dry weight로 산정 되었다. 5가비소도 3가비소와 마찬가지로 실험대상 식물체 모두 EC50-Shoot 값이 EC50-Root값보다 크게 측정되었다. 따라서 실험대상 식물종들은 무기비소독성에 대해 Root가 Shoot보다 민감하다는 것을 확인 할 수 있는 한편, 식물별 비소독성 민감도는 밀, 수수, 오이, 녹두의 순으로 실험대상 식물종중에서 녹두가 비소오염을 가장 민감하게 감지할 수 있는 식물로 판단된다. 또한 비소오염정도에 따라 식물의 형태학적 특징도 변화가 있었다. 그 예로 밀은 전반적으로 저농도에서 대조군과 차이를 보이지 않으나 농도가 높아질수록 뿌리의 길이가 현저하게 줄어들며 잔뿌리가 없어지는 현상이 나타났다. 비소에 가장 민감한 녹두는 저농도의 비소만 존재해도 잔뿌리가 거의 사라지는 현상을 보였다. 이런 현상은 기존연구에서도 보고된 바와 일치하는데, 3가비소나 5가비소는 식물조직에서 단백질 sulfhydryl group의 작용에 의해 뿌리기능을 저하시키고, 잎 부분과 접촉 시에는 빠른 괴저 작용을 일으키면서 막을 파괴시킨다고 보고되어 있다. 결론적으로 비소로 오염된 토양을 평가하기 위해 적용된 Plant Assay는 오염수준을 생장률을 통해 정량적으로 측정할 수 있으며, 오이나 녹두는 비소에 매우 민감한 식물종으로 비소오염토양의 Indicator Plant로 이용가능성이 높을 것으로 사료된다.

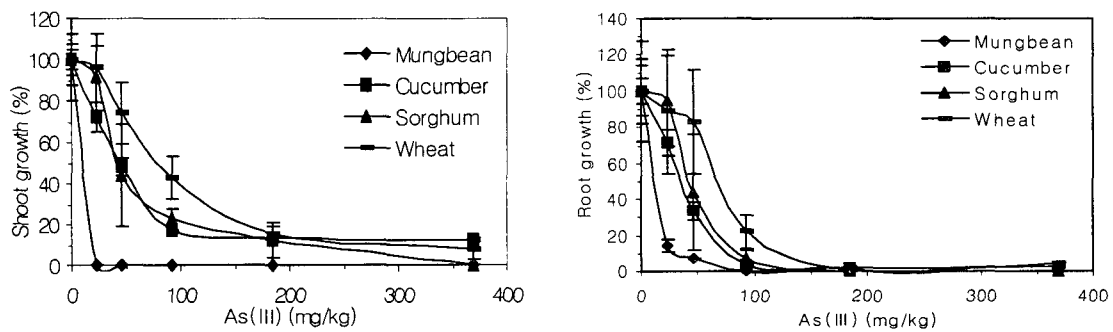


Figure 2. Arsenite concentration-response curves for the shoot growth and root growth for a period of 5 days. Bar represent one standard deviation of the mean of four replications.

참고문헌

1. Lederer, William H. and Fensterheim, Robert J., Arsenic : industrial, biomedical, environmental perspectives. Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1983
2. Jerome O. Nriagu, Arsenic in the Environment, John Wiley and Sons, Inc., 1994
3. Bruce A. Fowler, Biological And Environmental Effects of Arsenic, Elsevier, 1983
4. C.O. Abernathy., R.L Calderon., W.R.Chappell. Arsenic, Chapman & Hall, 1997