한국지하수토양환경학회 춘계학술발표회
2005년 4월 14~15일 공 주 대 학 교

# 비소종(Arsenite, Arsenate, DMA)에 따른 토양독성 비교분석

이우미, 이주영*, 임승윤*, 정혜원*, 안윤주
*건국대학교 환경과학과, *이화여자대학교 환경학과*
anyjoo@konkuk.ac.kr

요 약 문

Effect of arsenite, arsenate and dimethylarsinic acid (DMA) on the growth of seedling plants were investigated in order to compare the toxicity of arsenic species in soil environments. Test plants were mung bean (*Phaseolus radiatus*), wheat (*Triticum aestivum*), barely (*Hordeum vulgare*), cucumber (*Cucumis sativus L.*). Seedling growth in As-contaminated soil were significantly reduced in all test species. Arsenite was more toxic than arsenate and DMA. Among the test plants, mung bean was most sensitive to arsenic, followed by cucumber, wheat, and barely.

**keyword** : arsenite, arsenate, dimethlyarsinic acid (DMA), plant, soil toxicity.

## 1. Introduction

비소는 메탈로이드 형태로 자연적으로 존재하며, 지구 표면에 20번째로 다량 함유되어 있는 보편적인 원소이다. 자연적인 풍화작용이나 인간의 다양한 활동의 결과로 존재하는 비소는 토양이나 지하수에도 포함되어 존재한다. 비소로 오염된 토양 및 지하수는 식수원을 위협하고 농경활동에도 유해성을 유발시킬 수 있다. 환경 매체 내 비소는 무기비소인 3가비소(Arsenite)와 5가비소(Arsenate)가 산화환원전위에 따라 자유롭게 존재하고, 미생물에 의해 methylation이 일어나면 유기비소인 MMA나 DMA로 존재하며, 일반적으로 Arsenite가 Arsenate나 유기비소에 비해 독성이 강하다고 보고 되어 있다. 본 연구에서는 토양환경에서 비소종의 독성을 비교분석하였다. 독성평가는 Plant assay에 의해 수행되었는데, 국내에서 재배되는 주요농작물을 대상으로 arsenite, arsenate, DMA로 오염된 환경에서의 작물의 생장율을 측정하여 독성종말점 (EC50, NOEC, LOEC)을 비교함으로써, 비소종별 식물의 민감도를 분석하고, 비소오염토양 색출에 적합한 지표식물종을 추천하였다.

## 2. Experimental Section

실험에 사용된 비소 화합물은 Sodium Arsenite($NaAsO_2$, Fluka Chemicka, 99.0%), Sodium Arsenate ($Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$, Yukauri Pure Chemicals Co.. LCD, 98%), Dimethlyarsinic aci

d ($C_2H_7AsO_4$, Sigma, 98%)이다. 실험에 사용된 토양은 서울 광진구 소재 건국대학교 캠퍼스에서 채취한 후, 1.4mm체를 이용하여 채를 친 후, 105℃에서 약 24시간 건조시켜 사용했다. 실험토양은 Sandy Loam으로 Ph는 7.1±0.01, SOM(Soil Organic mater) 2.64% 로 측정되었다. 실험 대상식물종은 녹두(mung bean : *Phaseolus radiatus,* 2004.09. 충청도 서산), 밀(wheat :*Triticum aestivum,* 2004.10. 전라도 함평), 보리(barely : *Hordeum vulgare var. hexastichon,* 2004.07. 전라도 함평), 오이(cucumber : *Cucumis sativus L.* 2004.11. 한국)를 사용하였다. 이 실험은 밀폐용기에서 수행되었으며 소요되는 시간을 최단기간 하기 위하여 Light lamp를 사용하여 incubator에서 5일간 배양한 후, seedling growth을 측정하였다. 각 실험단위는 4개의 replicate로 준비하여 각 replicate당 10개의 씨앗을 사용하였으며, 실험기간 중 평균온도는 25±1℃이고, 조도는 3676 ± 1734 lux 이었다. 실험을 통해 수집된 자료는 U. S. EPA의 통계프로그램인 Spearmann과 Dunnett' procedure을 이용하여 Median effective concentration (EC50)값과 No-observed-effect-concentration (NOEC) · Lowest-observed-effect-concentration(LOEC)값을 산정하였다.

3.Result and Discussion

Fig.1은 비소종에 따른 식물의 EC50값을 나타낸다. 모든 식물종에서 Arsenate는 arsenate에 비해 유독하다는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 5가 비소와 3가 비소에 대한 식물의 민감도는 녹두>오이>호밀>보리 순으로 녹두가 비소에 가장 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. Fig.2는 실험대상 식물종중 arsenic에 가장 민감하게 반응했던 녹두를 대조군(비오염토양)과 비교하여 seedling growth을 나타낸 그래프로서 각 비소종의 농도가 증가함에 따라 녹두의 생장에 끼치는 영향의 정도를 알 수 있었다. 또한 비소오염정도에 따라 식물이 형태학적인 변화가 나타났는데 control에 비해 고농도로 갈수록 잔뿌리가 줄어들며 뿌리가 짧아지는 현상이 나타났다. 이는 뿌리가 비소로 오염된 토양에 직접적으로 접촉되어 그 영향이 더 크기 때문으로 사료된다.

DMA는 미생물에 의해 methylation이 일어나 무기비소보다 덜 유독하다고 기존연구에서 보고된 바 있다. 그러나 arsenite와 arsenate가 식물종별 민감도 순서가 같은 반면, DMA는 민감도 부분에서 약간 다른 현상을 보였다. 식물종별 DMA EC50값을 보면 녹두, 보리, 호밀, 오이 순으로 9, 118, 169, 258 mg As / kg soil dry weight이며, 녹두>보리>호밀>오이 순으로 녹두가 가장 민감했으나 무기비소와는 다르게 오이가 가장 민감도가 낮았다. Table1.에서 알 수 있듯이 DMA의 NOEC이나

Table1. The No-observed-effect-concentration(NOEC)[a] and the Lowest-observed-effect-concentration (LOEC) for seedling growth for four plant species exposed to arsenic in soil for 5-days.

| | NOEC | | | LOEC | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | As3 | As5 | DMA | As3 | As5 | DMA |
| mung bean | <2[b] | 5 | <2 | 2 | 10 | 2 |
| wheat | 50 | 200 | 125 | 80 | 200 | 200 |
| barely | 125 | 200 | 50 | 150 | 500 | 80 |
| cucumber | 50 | 125 | 125 | 60 | 200 | 200 |

* Unit is mg As / kg soil dry weight.

a. dunnett' procedure wiith $p$ >0.05

b. The lowest arsenic tested for mung bean was 2 mg As / kg soil dry weight

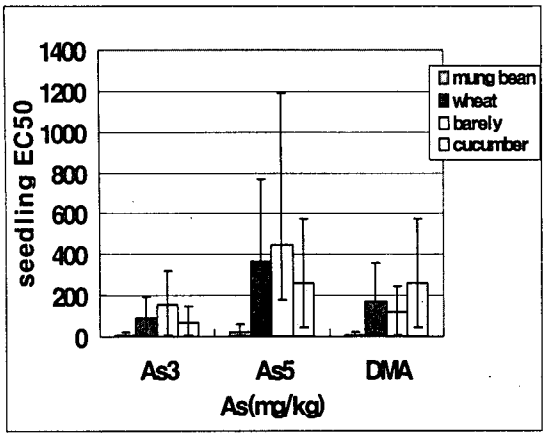


Fig.1. EC50 values of seedlings in soil contaminated by arsenite, arsenate and dimethylarsinic acid. Bars represent one standard deviation of the mean 95% confidence levels is in parenthesis.

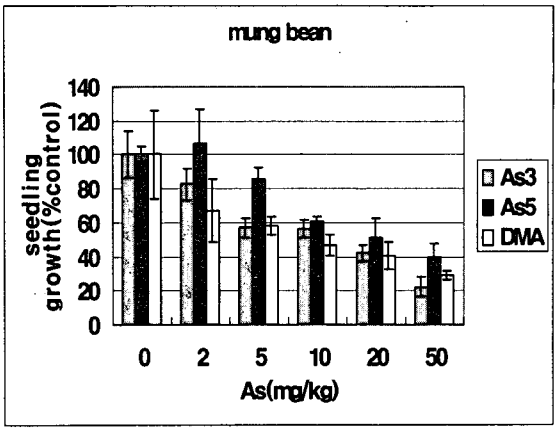


Fig.2. Seedling growth as a percent of control in soil containing different concentration of As3, As5, and DMA Bars represent one standard deviation of the mean of four replicates.

LOEC값은 arsenate와 비슷하거나 더 독성이 강한 것으로 밝혀졌다. 이는 DMA가 무기비소에 비해 반드시 독성이 약하다는 것은 아니라는 것을 알 수 있었다. 결론적으로 각 비소종별 독성정도가 arsenite>arsenate≥DMA라는 것을 확인하였고, 녹두는 세 가지 비소종에 대해 가장 민감한 반응을 보였고 비소오염토양에 indicator plant로서 이용가능성이 높을 것으로 사료된다.

**Acknowledgements.**This work was supported by the Korea Research Foundation Grant (R08-2004-000-10200-0).

4. References

1. Xiaoli Liu, Shuzhen Zhang, Xiaoquan Shan, Yong-Guan Zhu. Toxicity of arsenate and arsenate on germination, seedling growth and amyloytic axtivity of wheat. *Chemosphere*, 2, 2005
2. Badal Kumar MAndal, Kazou T. Suzuki. Arsenic round the world: a review. Talanta 58, 201-235. 2002
3. Youn-Joo An. Soil ecotoxity assessment using cadmium sensitive plants. *Environmental Pollution* 127, 21-26. 2002
4. Youn-Joo An, Kampbell, D.H., McGil, M.E., Toxicity of methyl tert-butyl ether to plants. *Environmental Toxicology and Chemistry,* 21, 1679-1682. 2004
5. Pavel Tlustos, Walter Goessler, Jirina Szakova, Jiri Balik, Arsenic compound in leaves and roots of radish grown in soil treated by arsenite, arsenate and dimethylarsinic acid. *Appl. Organometal. Chem.* 16, 216-220. 2002