

## Differences in Heavy Metal Accumulation in Different Medicinal Plants in Association with Lime Application

Hyuck-Soo Kim, Byoung-Hwan Seo<sup>1</sup>, Jun-Sik Bae<sup>1</sup>, Won-Il Kim, Chang-Oh Hong<sup>2</sup>, and Kwon-Rae Kim<sup>1\*</sup>

Department of Agro-Food Safety & Crop Protection, National Academy of Agricultural Science, Wanju, 55365, Korea

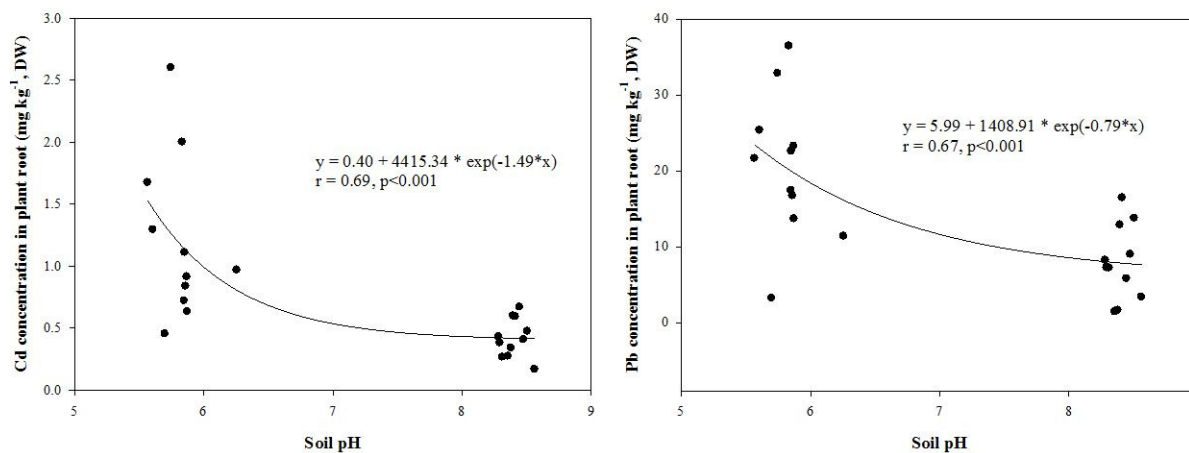
<sup>1</sup>Department of Agronomy and Medicinal Plant Resources, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju, 52725, Korea

<sup>2</sup>Department of Life Science and Environmental Biochemistry, Pusan National University, Miryang, 50463, Korea

(Received: June 9 2016, Revised: June 20 2016, Accepted: June 21 2016)

This study examined variation in Cd and Pb uptake among different medicinal plants grown under the same soil environment together with immobilizing effect of lime to decrease these metals accumulation by the medicinal plants. For this, lime was incorporated into a heavy metal-contaminated soil at 1% followed by cultivation of seven different annual and 5 different biennial medicinal plants. In order for comparison, control soil without lime treatment was included and all the pot trials were carried out four replicates. Cadmium and Pb concentrations in medicinal plant roots grown in the control soil varied between 0.5 and 2.8 mg kg<sup>-1</sup> for Cd and 3.2 and 82.4 mg kg<sup>-1</sup> for Pb. The highest accumulation occurred in *C. officinale* and the lowest in *D. batatas*. Lime application decreased average Cd and Pb concentrations in the examined medicinal plants from 1.3 mg kg<sup>-1</sup> and 25.7 mg kg<sup>-1</sup> to 0.6 mg kg<sup>-1</sup> and 11.9 mg kg<sup>-1</sup>, respectively in comparison with those grown in the control soil.

**Key words:** Heavy metal, Lime, Phytoavailability, Medicinal plant, Soil pH



Correlations between Cd and Pb concentrations soil pH and in medicinal plant root.

\*Corresponding author: Phone: +82557513223, Fax: +82557513229, E-mail: kimkr419@gntech.ac.kr

§ Acknowledgement: This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ01143503)", National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea and this work was also supported by Gyeongnam National University of Science and Technology Grant in 2015.

## Introduction

국내 약용작물 생산량은 꾸준히 증가추세를 보이며 2013년 75,550 톤의 약용작물이 생산되었다 (FACT, 2014). 하지만 각종 환경 오염에 의한 농산물 위해 요인이 다양화되고, 농산물 중금속 오염 사례 발생으로 약용작물 안전성에 대한 문제가 부각되고 있다. 특히, 폐광산 인근 농경지는 폐석, 광물 찌꺼기와 같은 광산 폐기물 및 산성광산배수 등에 포함되어 있는 중금속이 토양으로 유입되어 작물로 흡수될 수 있다 (Lim et al., 2014). 따라서 이들 지역에서 재배되는 작물의 안전성을 확보하기 위해서는 석회, biochar와 같은 pH 조절 관련 토양 개량제 처리를 통해 작물을 재배하는 과정 동안 토양 내 중금속을 안정화하여 작물의 중금속 흡수를 저감하는 방식이 적용될 수 있다 (Kim et al., 2012; Kumpiene et al., 2008). 그 예로 Kim et al. (2012)은 폐광산 인근 중금속 오염 농경지 토양에 석회 1%를 처리한 후 여러 작물을 재배하는 실험을 진행하였고 석회 처리 토양에서 재배한 파, 배추, 고추의 Cd 축적 농도가 무처리구보다 각각 88, 31, 48% 저감되었다고 보고하였다. 약용작물의 안전성 확보를 위해서는 안정화 기술을 도입함과 동시에 중금속 저축적 작물을 이용하는 것이 중요하며 (Kim et al., 2012), 적절한 종류의 작물 선발을 위해서는 동일한 조건에서 다양한 종류의 작물을 재배하여 중금속 흡수 특성의 차이를 파악하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구는 폐광산 인근에서 채취한 토양에 석회를 처리한 후 동일한 조건에서 1년생 및 2년생 약용작물을 재배한 후 약용으로 주로 이용되는 약용작물 뿌리의 중금속 흡수 특성 차이 및 석회에 의한 중금속 흡수 저감 효과를 시험하기 위해서 실

시하였다.

## Materials and Methods

본 연구에서는 폐광산 인근 농경지 토양을 채취하여 재배 실험에 사용하였다. 수집한 토양의 pH는 5.7이었고, total Cd, Pb 함량은 각각 55, 1280 mg kg<sup>-1</sup>이었다. 이외에도 Cu, Zn 함량을 조사하였으나, Cd, Pb과는 달리 토양오염우려기준 (Cd: 4 mg kg<sup>-1</sup>, Pb: 200 mg kg<sup>-1</sup>, Cu: 150 mg kg<sup>-1</sup>, Zn: 300 mg kg<sup>-1</sup>)보다 낮은 80, 134 mg kg<sup>-1</sup>으로 각각 나타났다. 재배실험을 위한 약용작물은 1년생으로 당귀 (*A. gigas*), 백출 (*A. macrocephala*), 강활 (*A. koreana*), 산약 (*D. batatas*), 만삼 (*C. pilosula*), 지황 (*R. glutinosa*), 건강 (*Z. officinale*) 과 2년생으로 길경 (*P. grandiflorum*), 더덕 (*C. lanceolata*), 작약 (*P. lactiflora*), 천궁 (*C. officinale*), 황기 (*A. membranaceus*)를 선정하였다. 재배실험은 30 L 포트에 오염 토양 (무처리구), 석회를 처리한 오염 토양 (석회 처리구)을 각각 25 kg을 채운 후 약용작물의 종근을 5뿌리씩 식재하였고 모든 시험구는 4반복으로 실시하였다. 석회 처리구는 석회질 비료 (소석회)를 토양 건중량 대비 1%로 처리하여 혼합하였다. 선행연구에서 폐광산 인근 농경지에 석회 1% 처리 시 작물의 중금속 저감 효과가 있는 것으로 나타나 (Kim et al., 2012) 본 연구에서도 오염 토양에 석회를 1% (w/w) 비율로 혼합하여 석회 처리구를 조성하였다. 재배는 2013년 가을부터 시작하여 1년생 작물은 2014년 가을, 2년생 작물은 2015년 가을에 수확하였으며, 약용작물 수확 후 각 포트 별 토양을 채취하여 풍건, 체거름 (2 mm) 후 토양 pH를

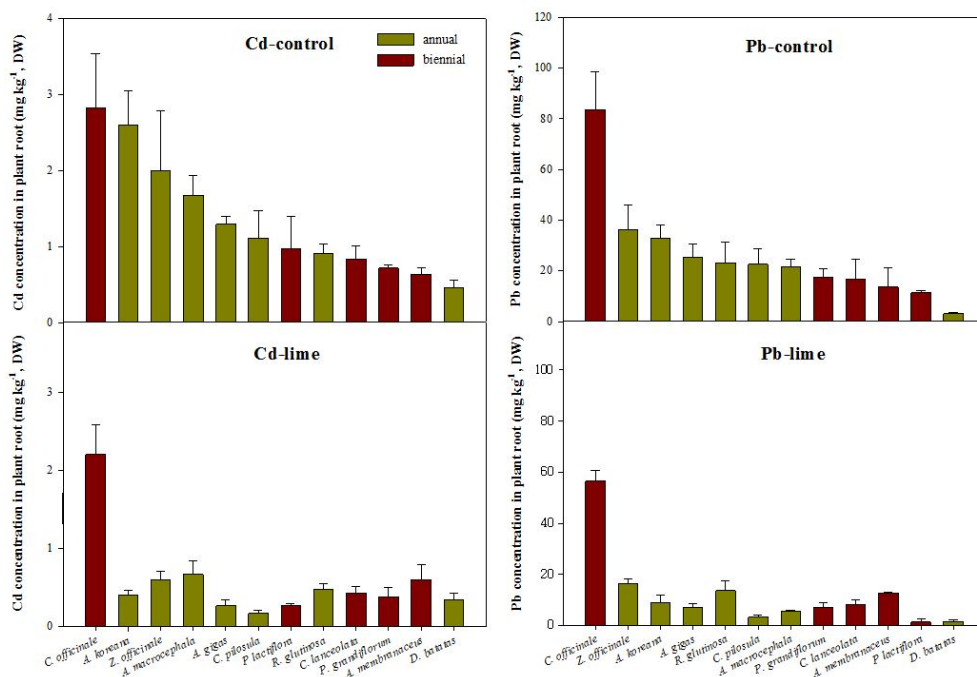


Fig. 1. Variation of Cd and Pb root concentrations in twelve different medicinal plant roots with the application of lime.

1:5 분석법으로 측정하였고, 약용작물 뿌리시료는 세척술을 이용하여 수돗물 및 증류수로 세척 후 건조기 (65 °C)에서 72시간 건조하였다. 건조한 시료는 분쇄 후 분말시료 0.5 g을 질산 5 mL로 분해하여 유도결합 플라즈마 분광분석기 (ICP-OES, 8300 DV, Perkin Elmer, USA)로 중금속 함량을 분석하였다. 분석 결과는 평균값과 표준편차를 이용하여 표와 그래프 등으로 나타냈으며, 분석 항목별 상관성 분석은 SAS 9.3 software (SAS Institute, Cary, NC, U.S.A.)를 이용하였다.

### Results and Discussion

석회 처리 및 무처리 토양에서 1~2년간 재배한 약용작물 뿌리의 평균 Cd, Pb 함량은 Fig. 1과 같다. 석회를 처리하지 않은 토양에서 재배한 약용작물의 Cd과 Pb의 함량 모두 천공이 가장 높았고, 산약이 가장 낮았다.

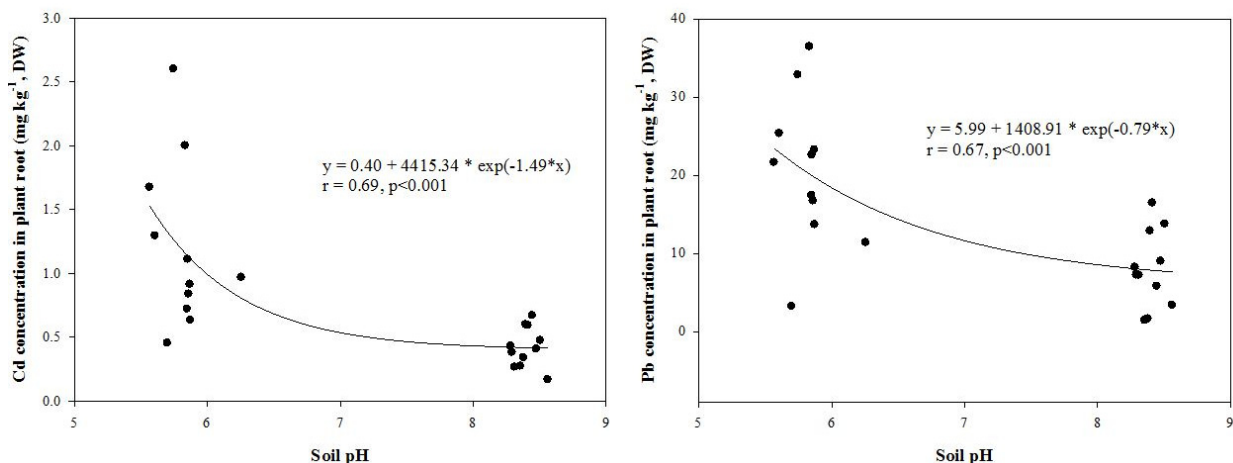
중금속 오염토양에서 재배된 약용작물의 Cd, Pb의 축적 농

도는 재배기간 (1년근, 2년근)에 따른 차이는 나타나지 않았다. Yang et al. (2014)도 폐광산 인근 토양에서 채취한 51종의 1년생, 2년생, 다년생 식물 중금속 함량 분포가 생육 기간에 상관없이 매우 다양하다고 보고하였다. 하지만 약용작물 종류별로는 중금속 축적 농도에 차이가 나타났다. 특히, 천공은 Cd, Pb 모두 가장 높은 축적농도를 보였다. Seo et al. (2015)의 연구에서도 일반 농경지에서 수집한 약용작물 (14품목, 293건)의 중금속 함량을 분석하여 중금속 축적 농도 순에 따라 약용작물을 분류하였는데, 천공은 Cd과 Pb를 많이 흡수하는 작물군에 포함되었다. 천공 외에도 본 연구 결과 건강, 강활이 Cd과 Pb를 많이 흡수하는 작물군에 속했고, 황기, 작약, 산약은 Cd과 Pb를 모두 낮은 농도로 흡수하는 약용작물 군인 것으로 나타났다.

석회를 처리한 토양에서 재배한 약용작물의 Cd, Pb 함량은 각각 0.2~2.2 mg kg<sup>-1</sup>, 1.4~56.6 mg kg<sup>-1</sup>의 범위를 나타냈고, 이들 함량은 무처리구에서 재배한 약용작물의 Cd, Pb 함량보다 각각 5.6~84.9%, 5.9~85.2% 낮은 수준이었다. 이를 통해 1년생뿐만 아니라 2년생 약용 작물에서도 석회 처리가 지속적인 효과를 나타내는 것으로 보인다. 석회 처리구에서 약용작물의 Cd, Pb 축적농도가 감소한 것은 토양 pH와 관련이 있는 것으로 해석할 수 있다. 본 연구에서 석회 처리 토양 pH는 무처리구 토양 pH 보다 평균 2.6 상승하였는데 (Table 1), 토양 pH는 토양 중금속 식물유효도에 가장 중요한 인자로 토양 pH가 상승하게 되면 토양 표면의 음전하가 증가하여 중금속 흡착이 증대되거나, 자유이온보다 흡착력이 강한 중금속-수산화물을 형성하게 되어 식물유효도는 감소하게 된다 (Kim et al., 2012). 그 예로 Kim et al. (2015)는 알칼리성 특성을 지닌 왕겨 biochar를 폐광산 인근 농경지에 10% (w/w) 처리하였을 때, 토양 pH가 상승하여 토양 중 식물유효태 (1 M NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 추출) Cd, Pb 함량이 감소하였고, 결과적으로 상추의 Cd, Pb 함량은 무처리구에 비해 각각 88, 60% 저감되었다고 하였다. 본 연구에서도 특이적으로 중금속 함량이

**Table 1. Soil pH in medicinal plants cultivated soils.**

	Soil pH	
	Control soil	Lime treated soil
<i>A. gigas</i>	5.6	8.3
<i>A. macrocephala</i>	5.6	8.4
<i>A. koreana</i>	5.7	8.5
<i>Z. officinale</i>	5.8	8.4
<i>D. batatas</i>	5.7	8.4
<i>C. pilosula</i>	5.9	8.6
<i>R. glutinosa</i>	5.9	8.5
<i>P. grandiflorum</i>	5.9	8.3
<i>C. lanceolata</i>	5.9	8.3
<i>P. lactiflora</i>	6.3	8.4
<i>C. officinale</i>	6.0	8.2
<i>A. membranaceus</i>	5.9	8.4



**Fig. 2. Correlations between Cd and Pb concentrations soil pH and in medicinal plant root.**

높았던 천공을 제외한 나머지 약용작물 내 Cd, Pb 함량 모두 토양 pH와 음의 상관성 ( $p < 0.001$ )이 있는 것으로 나타나 (Fig. 2) 석회 처리에 의한 토양 pH 상승이 약용작물의 중금속 흡수를 저감시킨 것으로 보인다.

Seo et al. (2015)는 전국 약용작물 재배지역에서 293점의 토양을 채취하여 pH를 분석하였는데, 평균 pH가 6.2로 나타나 약산성을 띠었다. 따라서 약용작물 생육 환경을 고려하여 중금속 오염 토양의 pH를 석회 처리를 통해 7.5 수준으로 조절한다면 뿌리를 주로 이용하는 약용작물의 Cd, Pb 안전성 확보 및 지속적인 생산이 가능할 것으로 생각된다. 이와 더불어 폐광산과 같은 중금속 오염원 주변 농경지에서는 중금속을 적게 흡수하는 약용작물을 재배하는 것이 안전성 확보를 위해서 필요할 것으로 판단된다.

## Conclusion

동일한 토양 조건에서 재배한 12종류의 약용작물은 모두 Cd와 Pb를 뿌리에 축적하는 정도가 다르게 나타났다. 가장 높게 축적하는 약용작물은 천궁 ( $\text{Cd } 3.2 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $\text{Pb } 82.4 \text{ mg kg}^{-1}$ )이었고, 가장 낮게 축적하는 약용작물은 산약 ( $\text{Cd } 0.5 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $\text{Pb } 2.8 \text{ mg kg}^{-1}$ )이었다. 석회 처리에 의해서 약용작물의 Cd, Pb 축적 농도는 무처리구에 비해서 최대 약 85%까지 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과들로부터 중금속으로 오염된 토양에서 약용작물을 재배할 때에는 저축적 약용작물 선택과 더불어 석회와 같은 안정화제 처리를 하여 안전성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

## References

- FACT(Foundation of agricultural technology commercialization and transfer). 2014. Current status and trends of medicinal plant. FACT, Suwon, Korea.
- Kim, H.S., K.R. Kim, H.J. Kim, J.H. Yoon, J.E. Yang, Y.S. Ok, G. Owens, and K.H. Kim. 2015. Effect of biochar on heavy metal immobilization and uptake by lettuce (*Lactuca sativa* L.) in agricultural soil. *Environ. Earth Sci.* 74:1249-1259.
- Kim, K.R., J.G. Kim, J.S. Park, M.S. Kim, G. Owens, G.H. Youn, and J.S. Lee. 2012. Immobilizer-assisted management of metal-contaminated agricultural soils for safer food production. *J. Environ. Manage.* 102:88-95.
- Kumpiene, J., A. Lagerkvist, and C. Maurice. 2008. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments—A review. *Waste Manage.* 28:215-225.
- Lim, G.H., K.H. Kim, B.H. Seo, and K.R. Kim. 2014. Transfer function for phytoavailable heavy metals in contaminated agricultural soils: The case of the Korean agricultural soils affected by the abandoned mining sites. *Korean J Environ Agric.* 33:271-281.
- Seo, B.H., H.S. Kim, J.S. Bae, W.I. Kim, C.H. Hong, and K.R. Kim. 2015. Distribution of Cd and Pb accumulated in medicinal plant roots and their cultivation soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 48:278-284.
- Yang, S.X., S.C. Liang, L.B. Yi, B.B. Xu, J.B. Cao, Y.F. Guo, and Y. Zhou. 2014. Heavy metal accumulation and phytostabilization potential of dominant plant species growing on manganese mine tailings. *Front. Environ. Sci. Eng.* 8:394-404.