

## Distribution of Cd and Pb Accumulated in Medicinal Plant Roots and Their Cultivation Soils

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

Department of Agronomy and Medicinal Plant Resources, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea

<sup>1</sup>Chemical Safety Division, National Academy of Agricultural Science, Wanju 565-851, Korea

<sup>2</sup>Department of Life Science and Environmental Biochemistry, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea

(Received: June 17 2015, Revised: August 10 2015, Accepted: August 13 2015)

In general, plant roots accumulate more heavy metals than the above ground organs such as leaf, stem, and fruit. This implies that root medicinal plants would be an issue with excessive heavy metal accumulation. Therefore, the current study was carried out to investigate the distribution of heavy metal (focused on Cd and Pb) concentrations in soils and medicinal plant roots grown in different region of Korea. Total 293 samples for each soil and plant were collected along the national wide. Soil pH, total and phytoavailable metal concentrations (1 M NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> extracted) in soils were determined and heavy metal concentrations in root of the medicinal plants were analyzed. Heavy metal concentrations of the soil samples studied were not exceeded standard limits legislated in 'Soil Environmental Conservation Act', except 2 samples for Cu. However, substantial amount of Cd was accumulated in medicinal plant roots with 29% samples exceeding the standard limit legislated in 'Pharmaceutical Affairs Act' while all plant samples were lower than the standard limit value for Pb. Also the current study demonstrated that cadmium concentrations in the roots were governed by the phytoavailable Cd in soils, which decreased as soil pH increased. From this result, application of heavy metal immobilization technique using a pH change-induced immobilizing agents can be suggested for safer root medicinal plant production.

**Key words:** Contamination, Food safety, Heavy metal, Phytoavailability

### Cadmium and lead concentrations in the roots of medicinal plants and their cultivation soils.

	Soils			Roots of medicinal plants	
	Cd	Pb		Cd	Pb
Min	0.000	0.0	Min	0.0	0.2
Median	0.000	7.8	Median	0.2	0.5
Max	0.397	188.5	Max	1.2	3.7
Ave	0.007	10.5	Ave	0.2	0.6
Criteria S	4.000	200.0	Criteria A	0.3	5.0
			Criteria B	0.2	2.0

Criteria S: Standard limit registered in Soil Conservation Act 2015, Korea

Criteria A: Standard limit for medicinal plant in Pharmaceutical Affairs Act 2010, Korea

Criteria B: Standard limit for root vegetable (fresh weight) in Food Sanitation Act 2011, Korea

\*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. PJ00982801)", 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 2014.

## Introduction

오늘날 국민의 삶이 윤택해지고, 건강에 대한 사회적 관심이 높아지면서 약용작물에 대한 선호도가 나날이 증가하고 있다. 특히, 약용작물이 전통 한약재로 사용될 뿐만 아니라 나물용 채소, 기능성 식품 및 화장품 소재로 이용되면서 약용작물 관련 산업은 2000년 이후 매년 급성장하고 있는 추세이다. Kim (2013)에 따르면 우리나라 약용작물 재배면적은 2000년 9,936 ha에서 2010년 14,423 ha로 매년 4.2% 증가하였고, 생산액은 2000년 2,932억원에서 2010년 8,106 억 원으로 매년 12% 증가하였다. 이와 같이 약용작물은 부가가치가 높은 작물로서 농가의 소득증대를 목적으로 재배가 확산되고 있으며, 소득증대를 위해서는 생산량의 증대와 더불어 생산된 약용작물의 효능 및 안전성이 확보되어야 한다.

이로 인해 최근 약용작물 산업의 발전과 더불어 발생하는 주요관심 사항은 약용작물의 안전성 문제이다. 약용작물은 일부 중금속이 미량으로 존재할 경우 약리작용으로 나타나나 중금속 농도가 높은 토양에서 재배되는 약용작물의 경우 인체 건강에 위협 요인이 될 수 있다. 최근 언론에서는 한약재 복용 후 복통을 호소한 남성의 혈중 납 농도가 기준치  $8 \mu\text{g dL}^{-1}$ 의 7배나 넘는  $56.96 \mu\text{g dL}^{-1}$ 로 검출된 사례가 보도되기도 하였다 (KNN, 2013.03.12; KNN, 2013.04.17). 중금속에 오염된 약용작물의 위해성 문제는 크게 수입산과 국내산으로 구분 지어 접근할 필요가 있다. 수입산의 경우, 특히 중국산 한약재에서 다량의 중금속이 검출된 사례가 여러 차례 보고되었는데 (Lee et al., 2010; Yim et al., 2009), 이는 수입 및 유통 과정에서 차단해야 하는 문제이다. 국내산 약용작물도 중금속 기준치 이상의 약용작물을 유통과정에서 검사하여 유통을 차단하는 방법을 이용할 수 있다. 그러나 이와 같은 사후 조치보다는 생산단계에서 중금속에 오염된 약용작물 생산을 최소화 하는 방법을 먼저 강구해 보아야 할 것이다.

그 동안 우리나라는 쌀, 옥수수, 대두, 파, 무, 배추, 팥, 감자, 고구마, 시금치 등과 같은 주요 작물을 대상으로 재배 토양으로부터의 중금속 전이실태 조사 연구가 활발히 진행되었다 (Lee et al., 2012; MFDS, 2006; Park et al., 2009). 그 예로 식품의약품안전처 (MFDS, 2006)는 휴·폐광산 인근에서 재배되는 농산물의 중금속 오염실태 파악과 합리적인 농산물 중금속 허용기준을 설정하기 위한 기초자료를 생산할 목적으로 전국 폐광산 인근에서 재배되고 있는 농산물 2,594점을 채취하여 중금속 (Cd, Cu, Hg, Pb) 및 비소 (As)를 분석하였고, 이들 결과를 재배토양 중 중금속 함량과 비교하여 각 작물 별 중금속 전이율을 제시하였다.

현재 우리나라 약용식물 자원은 1,253종으로 알려져 있으며, 그 중 당귀를 비롯하여 약 35종 정도가 주로 재배되

고 있다 (KFRI, 2009). 하지만 아직까지 우리나라에서 재배되는 약용작물 종류별 중금속 축적농도에 대한 기초자료는 부족한 실정이다. 국외 선행 연구에서 패랭이꽃 (*Dianthus chinensis*), 민들레 (*Taraxacum mongolicum*) 등을 포함한 일부 약용작물이 카드뮴을 포함한 중금속을 다량 흡수할 수 있는 능력을 지닌 것으로 보고되고 있어 (Lai and Chen, 2005; Masarovičová et al., 2010; Wei et al., 2008), 우리나라도 현재 재배되는 약용작물에 대한 중금속 전이실태 조사가 이뤄져야 할 것으로 판단된다. 특히 토양 내 중금속이 작물의 지상부보다 뿌리에 더 많이 축적될 수 있기 때문에 약용작물 중에서도 뿌리를 주로 이용하는 작물에 대한 연구가 우선적으로 진행되어야 한다.

본 연구는 전국 약용작물 재배 농가를 대상으로 토양 중 중금속 함량과 작물의 중금속 축적 농도를 조사하여 약용작물 안전성 확보를 위한 약용작물의 중금속 전이 실태 파악을 목적으로 진행하였다.

## Materials and Methods

**시료채취** 전라북도를 제외한 7개 도내 약용작물 재배지역을 대상으로 총 14작물 293점의 약용작물 및 재배토양을 2013년 7월부터 10월 사이에 채취하였다. 토양 시료는 약용작물 재배 지역 표토 (0–20 cm)를 채취하였고, 각 토양을 채취한 자리에서 재배되고 있는 약용작물 뿌리를 5–10개 확보하여 하나의 식물 시료로 조제하였다. 채취한 약용작물의 종류는 당귀 (*Angelica gigas*), 더덕 (*Codonopsis lanceolata*), 백출 (*Atractylodes macrocephala*), 시호 (*Bupleurum falcatum*), 우슬 (*Achyranthes japonica*), 작약 (*Paeonia lactiflora*), 지치 (*Lithospermum erythrorhizon*), 지황 (*Rehmannia glutinosa*), 천궁 (*Cnidium officinale*), 황금 (*Scutellaria baicalensis*), 인삼 (*Panax ginseng*), 마 (*Dioscorea japonica*), 황기 (*Astragalus membranaceus*), 길경 (*Platycodon grandiflorum*)으로 약용작물 별 채취한 시료 수는 Table 1과 같다. 토양 시료는 풍건 후 2 mm체로 걸러 분석에 이용하였고, 약용작물 뿌리 시료는 세척수를 이용하여 수돗물로 세척 후 증류수로 2회

**Table 1. Number of medicinal plant collected.**

Species	No.	Species	No.
<i>A. gigas</i>	20	<i>R. glutinosa</i>	32
<i>C. lanceolata</i>	33	<i>C. officinale</i>	15
<i>A. macrocephala</i>	12	<i>A. membranaceus</i>	26
<i>B. falcatum</i>	3	<i>P. ginseng</i>	30
<i>A. japonica</i>	5	<i>D. japonica</i>	31
<i>P. lactiflora</i>	10	<i>S. baicalensis</i>	5
<i>L. erythrorhizon</i>	3	<i>P. grandiflorum</i>	68

행구어서 오븐건조기로 (65°C) 72시간 건조하였다. 건조한 식물 시료는 분쇄기를 이용하여 분말로 만든 후 분석에 사용하였다.

**분석 항목 및 분석방법** 전처리된 마친 토양은 pH, 총 중금속 함량 및 식물유효태 중금속 함량을 분석하였다. 토양 pH는 토양과 증류수를 1:5로 혼합하여 1시간 동안 진탕한 후 pH meter (MP220, Mettler Toledo, Switzerland)로 측정하였다. 중금속 (Cd, Cu, Pb, Zn) 총합량은 토양 시료 1 g에 왕수 9 mL를 넣고 흑연블럭분해기 (OD-98-001, ODLAB, Korea)로 분해한 후 시린지 필터 (syringe filter, 0.45  $\mu\text{m}$ )로 여과하여 유도결합 플라즈마 분광분석기 (ICP-OES, 8300 DV, Perkin Elmer, USA)로 분석하였다. 토양 식물유효태 중금속 함량은 토양시료 10 g에 1 M  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  25 mL를 넣고 2시간 동안 진탕 한 후 시린지 필터 (syringe filter, 0.45  $\mu\text{m}$ )로 여과하여 용액 내 중금속 함량을 ICP-OES로 측정하였다 (DIN, 1995). 약용작물 뿌리의 중금속 함량 분석을 위해 분말시료 0.5 g과 질산 5 mL를 분해관에 넣고 흑연블럭분해기로 분해하여 시린지 필터 (syringe filter, 0.45  $\mu\text{m}$ )로 여과 후 용액 내 중금속 함량을 ICP-OES로 분석하였다. 각각의 토양 및 식물 분해 시 표준시료 (토양: Montana Soil SRM 2711, National Institute of Standards & Technology; 식물: 1570a trace elements in Spinach, National Institute of Standards & Technology)와 공시료를 동시해 분해하여 분해액 내 중금속 농도를 측정 후 측정 수치와 공시된 수치를 비교하여 시료의 분해가 적절히 이뤄졌는지 검정하였다.

**데이터 분석** 토양 총중금속 함량 분석 결과는 토양환경정보전법에 고시되어 있는 토양오염우려기준 (1지역)과 비교하였고, 약용작물의 중금속 함량은 약사법과 식품위생법에 고시되어 있는 두 가지 기준 수치와 비교하였다. 수집한 데이터는 평균값과 표준편차를 이용하여 표와 그래프 등으로 나타냈으며, 분석 항목별 상관성 분석은 SAS 9.3 software (SAS Institute, Cary, NC, U.S.A.)를 이용하여 수행하였다.

## Results and Discussion

**약용작물 재배지의 중금속 농도 분포** 전국 7개 도내 약용작물 재배 지역 토양의 평균 pH는 6.2로 우리나라 밭토양 평균 pH와 비슷한 수준을 나타냈다 (Table 2). 토양 중 총 Cd, Cu, Pb, Zn 평균 함량은 각각 0.01, 21, 11, 60  $\text{mg kg}^{-1}$ 로, 2개 지점에서의 Cu 함량을 제외하면 모든 약용작물 재배 토양이 토양오염우려기준 (MoE, 2015)에 제시된 1지역 (일반 농경지 및 주거지역) 중금속 기준 (Cd: 4, Cu: 150, Pb: 200, Zn: 300  $\text{mg kg}^{-1}$ ) 보다 낮았다 (Table 2). 특히 중금속 항목 중 Cd은 토양 중 농도가 매우 낮아 채취한 약용작물에 흡수, 축적될 농도가 매우 낮을 것으로 예상하였다. 하지만 Cu, Pb, Zn 함량은 Yoon et al. (2009)와 농촌진흥청 (RDA, 2012)에서 제시한 우리나라 산림 및 논토양의 중금속 배경 농도보다 다소 높은 지점들이 있었다. 이는 Cu를 함유하고 있는 가축분퇴비의 지속적 사용 (Nam et al., 2010) 및 약용작물 재배지역 중 일부가 폐광산 등 외부 오염원의 영향을 받은 것으로 추측해 볼 수 있으나, 본 연구에서는 이 부분에 대한 연구는 진행하지 않았다.

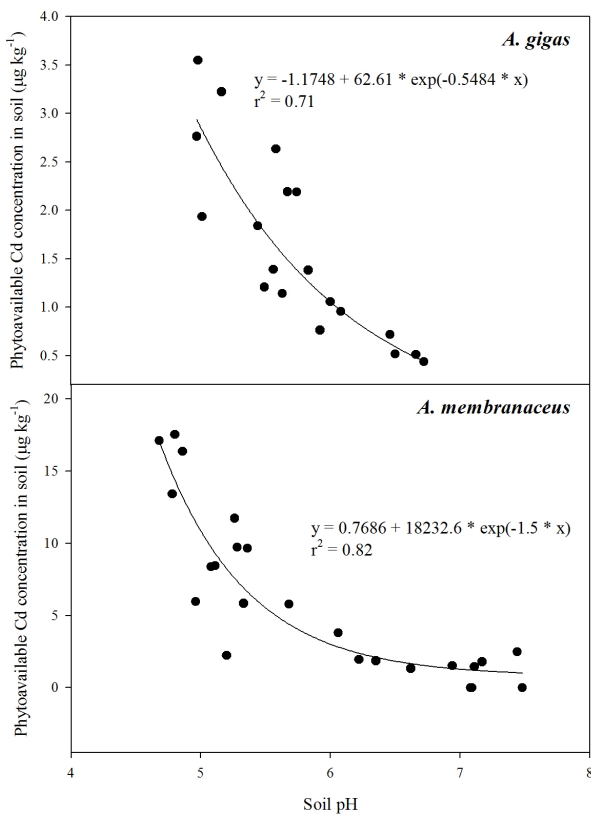
1 M  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 로 추출하여 분석한 토양 중 식물유효태 Cd, Cu, Pb, Zn 함량은 Table 2와 같으며, 토양 중금속 전함량 대비 식물유효태 중금속 함량 비율은 Cd, Cu, Pb, Zn 각각 5, 0.2, 0.2, 0.9%로 나타났다. 앞서 토양 중 Cd 전함량이 매우 낮아 약용작물로 전이될 Cd의 양이 적을 것으로 예상하였지만, 중금속 전함량 대비 식물유효태 중금속 함량 비율 결과를 볼 때 다른 중금속에 비해 Cd의 비율이 높았고, 이를 통해 약용작물 체내로 Cd의 흡수가 용이할 것으로 여겨졌다. 일반적으로 토양 중 식물유효태 (1 M  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  추출) 중금속 함량은 작물 내 중금속 함량과 높은 상관성을 나타내며, 식물유효태 중금속 함량에 영향을 주는 인자로는 토양 pH, 유기물 함량, 양이온 교환 용량 등이 있다 (Kumpiene et al., 2008; Zeng et al., 2011). 이 중 토양 pH는 식물유효태 중금속 함량 변화에 가장 중요한 인자로 (Kim et al., 2012; Kumpiene et al., 2008; Walker et al., 2004), 토양 pH 상승 시 토양 내 탈수소 작용 (deprotonation)에 의해 토

**Table 2. Soil pH and heavy metal concentrations in the soils collected for this study.**

	pH	Total				Phytoavailable			
		Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn
		----- mg kg <sup>-1</sup> -----							
Min	4.5	0.000	1.3	0.0	19.9	0.000	0.000	0.000	0.000
Median	6.3	0.000	16.4	7.8	58.7	0.002	0.008	0.003	0.149
Max	8.0	0.397	177.7	188.5	265.6	0.096	1.440	0.727	6.760
Ave	6.2	0.007	21.3	10.5	59.6	0.005	0.022	0.015	0.472
Standard limit <sup>a</sup>		4.000	150.0	200.0	300.0				

<sup>a</sup>Standard limit registered in Soil Conservation Act, Korea

양 표면 음전하량이 증가하여 중금속 흡착량을 높이거나 토양 내 중금속의 형태를 토양에 흡착이 잘 되도록 수산화-중금속 화학종으로 만들어 주기 때문이다 (Bolan et al., 2003; Naidu et al., 1994). 본 연구에서도 인체 위해성이 높은 Cd에 대해 당귀 (*A. gigas*)와 황기 (*A. membranaceus*)를 재배한 토양 pH와 식물유효태 Cd 함량의 상관관계를 구해본 결과 매우 높은 음의 상관 ( $p < 0.0001$ )을 나타냈다 (Fig. 1). 따라서 각각의 약용작물 재배 토양의 pH는 재배 작물의 중금속 축적량에 매우 중요한 인자로 작용할 것으로 판단되었다.

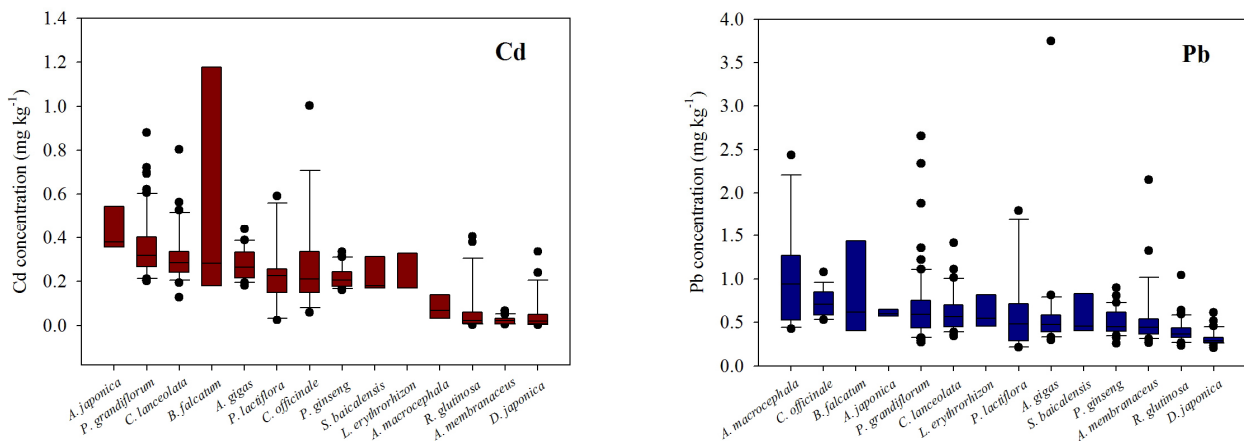


**Fig. 1. Correlations between phytoavailable (1 M NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-extractable) Cd concentrations in soil and soil pH.**

**약용작물 종류별 체내 중금속 축적 농도 분포** 현재 우리나라는 약용작물 안전성에 관련하여 약사법에 ‘생약 등의 잔류 오염물질 기준 및 시험방법’을 고시하고 있는데, 건물중 기준 식물성 생약의 카드뮴 기준은 0.3 mg kg<sup>-1</sup>, 납 기준은 5 mg kg<sup>-1</sup> 이하이다 (MFDS, 2010). 이 기준과 비교할 때 Pb 함량은 모든 약용작물 시료에서 기준 이하로 나타났으나, Cd 함량은 전체 297개 시료 중 29%가 기준을 초과하였고, 더덕, 시호, 우슬은 작물 내 Cd 평균 함량이 0.3 mg kg<sup>-1</sup> 보다 높은 것으로 나타났다 (Fig. 2).

더덕과 인삼의 경우 섭취 방식에 따라 채소류로도 분류되어 약사법뿐만 아니라 식품위생법 ‘식품의 기준 및 규격’에도 적용되는데, 현재 더덕과 인삼의 중금속 기준은 생중량 기준으로 카드뮴 0.2 mg kg<sup>-1</sup>, 납 2 mg kg<sup>-1</sup> 이하이다 (MAFRA, 2011). 이 기준을 본 연구결과 (건물중 중금속 농도)와 비교하기 위해서 더덕과 인삼의 수분함량 (더덕: 67.4%; 인삼: 37.1%)을 적용하여 건물중 기준으로 환산해보면 더덕의 중금속 기준은 Cd, Pb 각각 0.6, 6.1 mg kg<sup>-1</sup>이고, 인삼은 각각 0.5, 5.4 mg kg<sup>-1</sup>이 된다. 환산한 기준과 비교할 때 더덕 33개, 인삼 30개 시료 중 더덕 1개 시료만 Cd 기준을 초과하는 것으로 나타났다.

앞서 설명한 바와 같이 약용작물 재배 토양은 2개 지점 토양의 Cu를 제외하면 모든 대상 토양이 토양오염우려기준 이하, 즉 중금속으로 오염되지 않은 토양이지만, 약용작물 내 Cd 함량은 상당수 약사법 Cd 함량 기준을 초과하였으며, 1개 시료가 식품위생법 Cd 함량 기준보다 높았다. Kim et al. (1994)에서도 오염되지 않은 토양에서 재배한 291개 약용작물 시료의 중금속 함량을 조사하였는데, 약용작물 내 평균 Cd 함량이 0.386 mg kg<sup>-1</sup>로 약사법에서 고시한 기준치에 약 2배 높은 결과를 나타냈다. 이와 같은 결과를 볼 때 약용작물 중금속 기준에 관련하여 다음과 같은 내용들이 검토, 보완되어야 할 것으로 판단된다. 첫째, 본 연구 대상작물을 포함한 대다수의 약용작물이 주로 뿌리를 약재 또는 기능성 개선 용도로 사용하기 때문에 지상부 (줄기, 잎, 과



**Fig. 2. Heavy metal concentrations in the roots of the medicinal plants collected.**

실)를 이용하는 작물에 비해 중금속 축적량이 많을 수 있다. 하지만 다른 일반 작물에 비해 연간 섭취량이 적으므로 국민의 약용작물 섭취량을 고려한 인체 위해성 평가에 기초하여 지금의 약사법상의 중금속 기준수치에 대한 세분화가 필요할 것으로 판단된다. 둘째는, 약용작물 중금속 함량에 관한 규제 법률의 정비 및 보완이 필요하다. 앞서 기술한 바와 같이 약사법의 생약기준과 식품위생법의 식품규격이 서로 상이하여 더덕과 인삼과 같이 생약과 근채류에 모두 포함되는 약용작물은 중금속 기준 적용에 혼란을 가져올 수 있다. 따라서 중금속 함량 기준을 정비할 때 법규 간 통합된 기준을 마련하는 것이 바람직하다고 판단된다.

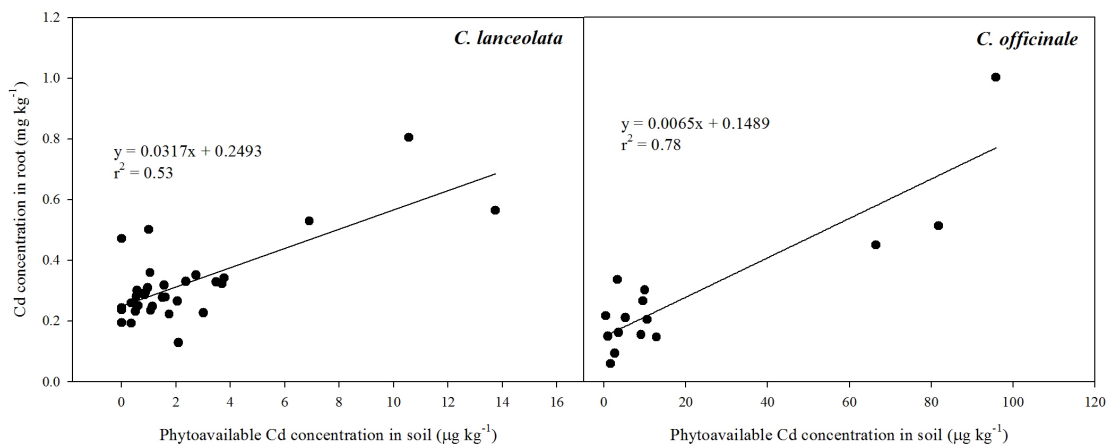
연구 대상 약용작물별 인체 위해 중금속 (Cd, Pb) 축적 수준을 파악하기 위해서 중금속 함량 중간값 순으로 각 작

물을 나열해보면 Cd의 농도는 우슬>길경>더덕>시호>당귀>작약>천궁>인삼>황금>지치>백출>지황>황기>마순이었고, Pb의 농도는 백출>천궁>시호>우슬>길경>더덕>지치>작약>당귀>황금>인삼>황기>지황>마순으로 나타났다 (Table 3). 카드뮴과 납의 흡수 축적 수준을 파악하기 위해 14개 약용작물의 Cd, Pb 축적 농도 중간값을 이용하여 각각 중간값이 높은 순 (1)부터 낮은 순 (14)까지 순위를 매기고 Cd과 Pb의 순위를 더한 수치로 대상 약용작물을 중금속 (Cd, Pb) 축적 농도가 높은 군, 중간 군, 낮은 군으로 분류하면 Cd, Pb을 많이 흡수하는 군은 우슬, 더덕, 시호, 길경, 천궁이었고, 중간 군은 백출, 작약, 당귀, 지치, 황금이었으며, 낮은 군은 인삼, 황기, 지황, 마로 나타났다. Nazir et al. (2011)는 23종의 약용작물을 대상으로 Pb에 대한 체 내 이동지수 (biological transfer coefficient, BTC; 지상부 내 중금속 함량/지하부 내 중금속 함량)와 생물농축계수 (bioconcentration factor, BCF; 지하부 내 중금속 함량/토양 중 중금속 함량)를 조사하였는데, 본 연구에서 Cd, Pb에 대하여 높은 축적 군에 포함된 우슬이 전체 23종의 약용작물 중 체 내 이동지수는 가장 낮았고 생물농축계수는 14번째로 높았으며 그 수치는 1 이상이었다. 이는 토양으로부터 우슬 뿌리로 납이 흡수되어 축적되고 지상부로의 이동이 적다는 것을 의미한다.

약용작물별 중금속 흡수 특성의 차이를 고려해 볼 때, 안전한 약용작물 생산을 위해서는 중금속 축적 정도에 근거한 작물 선택이 우선적으로 고려되어야 한다. 이와 더불어 강구할 수 있는 방법은 약용작물 재배 토양의 pH를 높이는 것이다. 앞서 토양 분석 결과에서 당귀와 황기 재배 토양 pH와 식물유효태 중금속 함량이 음의 상관성을 나타냈는데, 실제 토양 pH에 의해 차이를 나타낸 식물유효태 Cd 함량은 약용작물 뿌리 내 Cd 함량과도 상관관계를 나타냈다. 예를 들어 더덕과 천궁의 경우 토양 중 식물유효태 Cd 함량이 높아질수록 작물 내 Cd 함량도 높아지는 양의 상관성 ( $p < 0.001$ )을 나타냈다 (Fig. 3). 이는 토양 pH를 높이면 토양

**Table 3. The placing of the medicinal plants determined based on the accumulated contents of Cd and Pb in their roots.**

Plants	Placing		Sum of each placing	Integration placing
	Cd	Pb		
<i>A. japonica</i>	1	4	5	1
<i>C. lanceolata</i>	3	6	9	2
<i>B. falcatum</i>	4	3	7	3
<i>P. grandiflorum</i>	2	5	7	4
<i>C. officinale</i>	7	2	9	5
<i>A. macrocephala</i>	11	1	12	6
<i>P. lactiflora</i>	6	8	14	7
<i>A. gigas</i>	5	9	14	8
<i>L. erythrorhizon</i>	10	7	17	9
<i>S. baicalensis</i>	9	10	19	10
<i>P. ginseng</i>	8	11	19	11
<i>A. membranaceus</i>	13	12	25	12
<i>R. glutinosa</i>	12	13	25	13
<i>D. japonica</i>	14	14	28	14



**Fig. 3. Correlations between phytoavailable Cd concentrations in soils and Cd concentrations in the roots of the medicinal plants.**

내 중금속이 고정, 안정화되어, 작물로의 중금속 전이를 감소시킬 수 있음을 의미한다 (Kim et al., 2012). 본 연구에서 조사한 약용작물 재배지 토양의 평균 pH는 6.2로 pH를 다소 높이는 기술을 현장에 도입할 수 있을 것으로 보인다. 토양 pH를 높이면서 지속적으로 약용작물을 재배할 수 있는 방법으로 석회, 백운석, biochar 등과 같은 토양개량제를 활용하는 방법이 있다 (Kim et al., 2012; Kim et al., 2015; Lombi et al., 2003). Kim et al. (2012)은 중금속으로 오염된 토양에 석회를 1% (w/w) 처리한 결과 토양의 pH가 6.1에서 7.2로 상승하여, 토양 내 중금속이 안정화되었고 이로 인해 파 (*Allium fistulosum*)의 Cd 축적량이 무처리구 대비 88% 낮아졌음을 보고하였다.

## Conclusion

전국 약용작물 재배지를 대상으로 토양과 작물을 채취하여 중금속 함량을 분석한 결과, 토양은 우리나라 토양 중금속 배경 농도와 비교해서 다소 높은 지점들이 있었으나, 토양환경보전법 상의 기준보다는 낮은 것으로 나타났다. 하지만, 약용작물 뿌리 내 Cd 함량은 전체 대상 약용작물 중 상당수 (29%)가 우리나라 약사법 기준을 초과하였고, 상대적으로 약사법 기준보다 덜 엄격한 식품위생법 기준은 1개 시료가 초과하였다. 이와 같은 결과가 의미하는 것은 뿌리를 이용하는 약용작물은 토양 중 중금속 농도가 낮아도 뿌리 내 축적 농도가 높을 수 있다는 점이다. 관리 기준 측면에서는 약사법과 식품위생법에 고시되어 있는 서로 다른 기준 수치에 대한 정비가 필요할 것으로 판단된다. 이와 더불어 상대적으로 약용작물 내 중금속 함량이 높은 지역은 토양개량제 처리 등을 통해 재배 토양의 pH를 지금보다 높은 수준으로 하여 토양 중 중금속을 안정화시키는 기술의 활용이 필요할 것으로 판단된다.

## References

- Bolan, N.S., D.C. Adriano, P.A. Mani, and A. Duraisamy. 2003. Immobilization and phytoavailability of cadmium in variable charge soils. II. Effect of lime addition. *Plant Soil* 251: 187-198.
- DIN (Deutsches Institut für Normung). 1995. Soil quality extraction of trace elements with ammonium nitrate solution. DIN 19730, Beuth Verlag, Berlin.
- KFRI (Korea Forest Research Institute). 2009. Production and distribution of mountain medicinal plant. Korea Forest Research Institute, Seoul, Korea.
- Kim, B.Y., K.S. Kim, J.S. Lee, and S.H. Yoo. 1994. Survey on the natural content of heavy metal in medicinal herbs and their cultivated soils in Korea. *RDA. J. Agri. Sci.* 36: 310-320.
- 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.* DOI 10.1007/s12665-015-4116-1
- Kim, J.Y. 2013. Development and industrialization of functional bioactive material from the medicinal plant. *Food Industry and Nutrition* 18: 1-6.
- 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.
- Lai, H. and Z. Chen. 2005. The EDTA effect on phytoextraction of single and combined metals-contaminated soils using rainbow pink (*Dianthus chinensis*). *Chemosphere* 60: 1062-1071.
- Lee, H.H., J.M. Seo, M.S. Oh, I.S. Gang, J.J. Park, K.W. Seo, D.R. Ha, E.S. Kim. 2010. A survey on harmful materials of commercial medical herb in Gwangju area. *J. Fd. Hyg. Safety* 25:83-90.
- Lee, J.H., J.Y. Kim, W.R. Go, E.J. Jeong, A. Kunhikrishnan, G.B. Jung, D.H. Kim, and W.I. Kim. 2012. Current research trends for heavy metals of agricultural soils and crop uptake in Korea. *Korean J. Environ. Agric.* 31: 75-95.
- Lombi, E., R.E. Hamon, S.P. McGrath, and M.J. McLaughlin. 2003. Lability of Cd, Cu, and Zn in polluted soils treated with lime, beringite, and red mud and identification of a non-labile colloidal fraction of metals using isotopic techniques. *Environ. Sci. Technol.* 37: 979-984.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2011. Food Sanitation Act 2011. Seoul, Korea.
- Masarovičová, E., K. Král'ová, and M. Kummerová. 2010. Principles of classification of medicinal plants as hyper-accumulators or excluders. *Acta Physiol. Plant* 32: 823-829.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2006. Research about heavy metal contamination in produce cultivated in mining area. Ministry of Food and Drug Safety, Seoul, Korea.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2010. Pharmaceutical Affairs Act 2010, Seoul, Korea.
- MoE (Ministry of Environment). 2015. Soil Environmental Act 2015, Sejong, Korea.
- Naidu R., N.S. Bolan, R.S. Kookana, and K.G. Tiller. 1994. Ionic-strength and pH effects on the adsorption of cadmium and the surface charge of soils. *Eur. J. Soil Sci.* 45: 419-429.
- Nam, Y., S.H. Yong, and K.K. Song. 2010. Evaluating quality of fertilizer manufactured (livestock manure compost) with different sources in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:

- 644-649.
- Nazir, A., R.N. Malik, M. Ajaib, N. Khan, and M.F. Siddiqui. 2011. Hyperaccumulators of heavy metals of industrial areas of Islamabad and Rawalpindi. *Pak. J. Bot.* 43: 1925-1933.
- Park, S.W., J.S. Yang, S.W. Ryu, D.Y. Kim, J.D. Shin, W.I. Kim, J.H. Choi, S.L. Kim, and A.F. Saint. 2009. Uptake and Translocation of Heavy Metals to Rice Plant on Paddy Soils in "Top-Rice" Cultivation Areas. *Korean J. Environ. Agric.* 28: 131-138.
- RDA (Rural Development Administration). 2012. Annual report 2012: monitoring project on agroenvironmental quality. RDA, Suwon, 2012.
- Walker, D.J., R. Clemente, and M.P. Bernal. 2004. Contrasting effects of manure and compost on soil pH, heavy metal availability and growth of *Chenopodium album* L. in a soil contaminated by pyritic mine waste. *Chemosphere* 57: 215-224.
- Wei, S., Q. Zhou, and S. Mathews. 2008. A newly found cadmium accumulator-*Taraxacum mongolicum*. *J. Hazard. Mater.* 159: 544-547.
- Yim, O.K., E.J. Han, J.Y. Chung, K.S. Park, I.H. Kang, S.J. Kang, Y.J. Kim. 2009. The Monitoring of some heavy metals in oriental herbal medicines and their intake rates. *Analytical Science & Technology* 22: 128-135.
- Yoon, J.K., D.H. Kim, T.S. Kim, J.G. Park, I.R. Chung, J.H. Kim., and H. Kim. 2009. Evaluation on natural background of the soil heavy metals in Korea. *J. Soil Groundwater Env.* 14: 32-39.
- Zeng, F., S. Ali, H. Zhang, Y. Ouyang, B. Qiu, F. Wu, and G. Zhang. 2011. The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants. *Environ. pollut.* 159: 84-91.