Transition Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metal(loid)s in *Angelica gigas* Nakai and *Cnidium officinale* Makino

Da-Young Kim[†], Da-In Kim^{1†}, Yeung-Jin Seo², Soon-Kun Choi³, Kwon-Rae Kim⁴, Kye-Hoon Kim, Oh-Kyung Kwon⁵, and Won-Il Kim^{5*}

Department of Environmental Horticulture, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

¹Korea Food Safety Risk Assessment Division, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Cheongju 28159, Korea

²Bonghwa Herbal Crop Research Institute, Gyeongbuk Agricultural Research & Extension Service, Bonghwa 36229, Korea

³Climate Change & Agroecology Division, National Institute of Agricultural Science, Wanju 55365, Korea

⁴Department of Agronomy and Medicinal Plant Resources, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea

⁵O-Jeong Eco-Resilience Institute, Korea University, Seoul 02841, Korea

*Corresponding author: wikim0721@naver.com

[†]These authors contributed equally to this work.

ABSTRACT

Received: September 25, 2019

Revised: October 15, 2019

Accepted: October 17, 2019

ORCID

Won-Il Kim

<https://orcid.org/0000-0003-4692-8667>

This study was conducted to identify transition characteristics of heavy metal(loid)s and to assess dietary risk in the *Angelica gigas* and *Cnidium officinale* grown at the major medicinal plant producing districts in Korea. Average bio-concentration factor (BCF) values and range were 0.056 (0.006-0.511) in arsenic (As), 2.030 (0.021-15.678) in cadmium (Cd), 0.179 (0.052-0.393) in mercury (Hg), and 0.061 (0.013-0.474) in lead (Pb) in *Angelica gigas*. Average BCF values and range were 0.044 (0.011-0.264) in As, 0.557 (0.052-4.255) in Cd, 0.174 (0.069-0.286) in Hg, and 0.024 (0.012-0.057) in Pb in *Cnidium officinale*. The BCF values by heavy metal(loid)s in *Angelica gigas* and *Cnidium officinale* were high in Cd, copper (Cu) and zinc (Zn), while As and Pb were found to be less transferable. The BCF values calculated in this study will be useful for predicting the uptake of heavy metal(loid)s. Human exposure to As, Cd, Hg, and Pb through dietary intake of *Angelica gigas* and *Cnidium officinale* might not cause adverse health effects although some *Angelica gigas* were higher than the allowable value for Cd. Further study on uptake and accumulation mechanism of Cd by *Angelica gigas* is required to assess the human health risk associated with soil contamination.

Keywords: *Angelica gigas*, *Cnidium officinale*, Heavy metal(loid)s, Monitoring, Risk assessment

Mean and maximum value of HQ and CR for As, Cd, Hg and Pb concentrations in *Angelica gigas* and *Cnidium officinale* grown at the major producing districts in Korea.

Cultivated Crops	Hazard quotients (HQ)					Cancer risk (CR)
	As	Cd	Hg	Pb	Total	
<i>Angelica gigas</i>	3.04×10^{-2} (9.63×10^{-2}) [†]	6.17×10^{-3} (2.17×10^{-2})	3.12×10^{-4} (1.05×10^{-3})	7.22×10^{-3} (4.26×10^{-2})	4.41×10^{-2} (1.62×10^{-1})	1.37×10^{-5} (4.33×10^{-5})
<i>Cnidium officinale</i>	1.27×10^{-2} (3.91×10^{-2})	3.45×10^{-3} (1.22×10^{-2})	2.35×10^{-4} (3.37×10^{-4})	2.18×10^{-3} (6.12×10^{-3})	1.85×10^{-2} (5.77×10^{-2})	5.71×10^{-6} (1.76×10^{-5})

[†]Maximum value of HQ.

Introduction

오늘날 삶의 질적 수준이 향상되면서 건강에 대한 관심이 날로 증대되고 있고 과거 질병 치료 목적으로 이용되던 약용작물이 최근에는 건강 예방 및 체력 회복을 위한 건강 기능성 식품으로도 활용되어 이로 인해 약용작물 관련 시장은 증가하는 추세이다 (Kim et al., 2015). 당귀 (*Angelica gigas* Nakai)는 조혈작용을 하여 혈허를 개선하고 혈액의 적혈구 수치를 높이고, 비타민 E 결핍증에 작용하며 자궁발육을 촉진한다. 또한, 항응고제, 항종양 기능, 박테리아 성장억제, 항염증, 신장독성 경감, 당뇨병 고혈압 치료, 자궁기능 조절, 진정, 진통, 이뇨, 비타민 E 결핍증 치료 등 약리작용과 항산화, 미백, 주름개선, 자외선 흡수 등 기능성작용 등이 있다고 알려지면서 많은 관심을 받고 있다 (Park et al., 2009, BHCRI, 2012; Ahn et al., 2014). 또한, 천궁 (*Cnidium officinale* Makino)은 경련 진정, 혈압 강화, 혈관 확장, 항암, 항균, 항진균, 항산화 및 항염증작용을 하며 중풍치료, 월경불순, 냉병, 빈혈 등에 이용된다 (Leem et al., 2011; BHCRI, 2012). 이처럼 약용작물의 약리작용 및 기능성 작용에 관한 연구는 다양한 반면 안전성에 관한 자료는 매우 미흡한 실정이다. FAO/WHO에서는 미량으로 인체에 심각한 우려를 일으킬 수 있는 수은 (Hg, mercury), 납 (Pb, lead), 카드뮴 (Cd, cadmium), 비소 (As, arsenic)를 모니터링 오염물질로 지정하고 있을 뿐만 아니라 개별 중금속 기준을 설정하여 안전성을 관리하는 추세이다 (FAO/WHO, 1995). 우리나라에서도 생약 등의 중금속 기준을 설정하고 관리하고 있다. 최근 유통 약용작물의 중금속 및 비소 함량조사 연구 결과에서 전체 222건의 약용작물 중 17건이 ‘생약규격집’에서 제시하는 중금속의 함량기준을 초과하였고, 이들 중 당귀는 카드뮴의 생약기준인 0.3 mg kg^{-1} 의 기준을 11건 초과하는 것으로 나타났고, 또한, 천궁의 경우 생약 중 중금속 허용기준 이하이나 수은과 비소에서 타 약용작물에 비해 상대적으로 높게 조사되었다 (Kim et al., 2015). 유통단계 농산물에 비해 생산단계 농산물 중 중금속 함량의 변이가 커짐을 고려할 때 생산단계 약용작물의 중금속 함량이 기준을 초과할 가능성이 많을 것으로 추정되며 이에 대한 검토가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 당귀와 천궁의 주산단지에서 재배토양과 작물체를 수집하여 중금속과 비소의 함량을 분석하여 흡수이행 특성을 조사하고, 이를 통해 인체 위해성을 평가하고 안전한 농산물 생산을 위한 관리방안을 제시하고자 하였다.

Materials and Methods

당귀 및 천궁 재배 토양 및 식물체 채취 당귀와 천궁의 주산단지 재배토양과 1년생 당귀 및 천궁을 같은 지역에서 수확기인 11월에 동시에 채취하였다. 당귀는 강원 평창, 경북 봉화 등 59개 지점에서, 천궁은 경북 영양, 경북 봉화의 18개 지점에서 시료를 채취하였다. 이들 지역은 해당 작물의 우리나라 전체 생산량의 8~90%를 생산하는 지역이며 지점은 이들 지역에서 농가의 참여여부를 고려하여 임의로 선정하였다. 채취한 토양은 음건 후 고무망치를 이용하여 뭉쳐진 부분을 분리시켜 2 mm로 체질한 후 분석시료로 보관하였다. 2 mm로 체질한 시료 소량을 채취하여 막사 사발로 곱게 마쇄한 다음, 0.074 mm로 다시 체질한 후 중금속 분석시료로 사용하였다. 당귀와 천궁 식물체 시료는 뿌리부위를 깨끗한 물로 세척하여 60°C에서 건조한 후 분말로 만들어 분석시료로 사용하였다.

토양 및 식물체 중금속분석 토양 중금속 전함량은 토양오염공정시험법 (MOE, 2010)에 따라 환류냉각장치를 이용하여 전처리한 후 ICP-OES를 이용하여 분석하였다. 시험방법은 반응 용기에 토양 3 g을 칭량하여 왕수 (염산 21 mL, 질산 7 mL / 3:1 비율)와 섞은 후 환류냉각장치 (Kjeldatherm) (C. Gerhardt GmbH & Co., Northants, UK)를 이

용하여 분해하였다. 반응시간은 30°C에서 2시간 침지, 서서히 온도를 높여 90°C에서 2시간 가열한 후 냉각시켰다. 분해된 시료를 여과하고 0.5 M 질산으로 100 mL 정용하여 기기분석 시료로 사용하였다. 당귀와 천궁 중 비소, 카드뮴, 납 등 중금속 분석을 위해 건조한 시료 약 0.25 - 0.5 g을 Microwave-용 teflon vessel에 취하고 62% 질산 7 - 8 mL, 과산화수소 2 - 3 방울을 넣고 Microwave digestion system (ETHOS, Milestone, Italy)으로 200°C 에서 20분간 분해하였으며, 분해 후, 증류수를 사용하여 볼륨 플라스크를 이용해서 20 mL 까지 정용하고 여과 (0.45 μ m)하여 ICP-MS (Agilent Technologies, 7500a)로 분석하였다. 중금속 분석결과에 대한 유효성 검증을 위해 측정한 원소분석용 인증 표준물질 (한국표준과학원)의 회수율은 81.4 - 100.3%를 얻었고, 매 분석시료에 10, 50 μ g kg⁻¹을 첨가하여 회수율을 확인한 결과 81 - 86%의 회수율을 얻었다.

생물농축계수 산정 및 위해성평가 또한, 생물농축계수 (Bio-Concentration Factor, BCF, Eq. 1)는 토양 중 오염물질에 대한 농산물의 흡수와 이동성을 고려하여 작물체내 중금속 함량을 토양 중 중금속 함량으로 나눈 값으로서, 토양으로부터 작물로 이동하는 중금속의 상대적인 흡수비를 의미한다 (Kim et al., 2012).

$$BCF = \frac{\text{Total HE content in plant (mg/kg)}}{\text{Total HE content in soil (mg/kg)}} \quad (\text{Eq. 1})$$

본 실험에서 조사한 당귀, 천궁 중 비소, 카드뮴, 수은, 납 함량의 인체 위해성을 파악하기 위하여 이들 물질의 일일 평균노출량 (Average daily dose, ADD)을 산출하고 (Eq. 2), 발암위해도 (Cancer risk probability, CR)와 비발암위해도 (Hazard Quotient, HQ)를 평가하였다 (Eq. 3과 4) (Mondal and Polya, 2008; Kim et al., 2009; Lee et al., 2011; NIFDS, 2014; Kim et al., 2015).

$$ADD = C \times IR \times ED \times EF / (BW \times AT \times 365) \quad (\text{Eq. 2})$$

C = Conc. of As, Cd, Pb, Hg in crop (작물 중 As, Cd, Pb, Hg 함량, mg kg⁻¹)

IR = Intake rate of crop (작물 섭취량, 당귀 0.00519 kg day⁻¹, 천궁 0.00475 kg day⁻¹)

ED = Exposure duration (노출기간, 30 years)

EF = Exposure frequency (노출빈도, 365 day year⁻¹)

BW = Body weight (평균체중, 72.3 kg)

AT = Averaging time (평균수명, 78 years)

$$CR = ADD \times SF \quad (\text{Eq. 3})$$

SF = Slope factor (발암잠재력, 1.5 mg kg⁻¹ day⁻¹)

$$HQ = ADD / RfD \quad (\text{Eq. 4})$$

RfD = Reference dose (참고섭취량, 당귀 0.0003 kg⁻¹ day⁻¹, 천궁 0.001 kg⁻¹ day⁻¹)

Results and Discussion

우리나라에서 생산되는 당귀는 우리나라가 원산지인 참당귀가 주로 재배되고 있으며 강원도 평창과 경북 봉화지 역 등 대부분 여름철 기온이 서늘한 지역이 주산지이다. 천궁 역시 여름철이 시원한 경북 영양과 봉화, 강원도 영월 등이 주산지이다. 따라서 본 연구에서 당귀는 강원 평창과 경북봉화에서, 천궁은 경북 영양과 봉화에서 각각 수집하 였다. 본 조사에서 수행한 당귀 재배지 토양 중 중금속 및 비소의 전함량을 Table 1에 제시하였다. 조사된 당귀 재배 발 토양 중 비소, 카드뮴, 크롬 (chromium, Cr), 구리, 수은, 니켈 (nickel, Ni), 납, 아연의 전함량 평균은 각각 9.62, 0.44, 19.6, 20.7, 0.03, 12.2, 17.2, 84.9 mg kg⁻¹으로 환경부에서 제시하는 농경지 중 토양오염 우려기준의 1/130 (수은) - 1/3 (비소) 수준으로 안전한 수준을 보였다. 이 중 비소함량은 2017년 조사된 우리나라 발토양 평균함량인 4.29 mg

Table 1. Total contents of heavy metal(loid)s in soil grown at the major producing districts of *Angelica gigas* in Korea.

Items	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	mg kg ⁻¹							
Mean	9.62	0.44	19.6	20.7	0.03	12.2	17.5	84.9
SD	10.59	0.35	9.3	8.8	0.03	5.7	7.0	20.6
Min	0.21	0.01	5.8	4.2	0.01	2.3	6.2	43.7
Max	42.03	1.32	42.8	41.7	0.13	26.9	35.7	153.9
Median	4.11	0.42	19.3	20.5	0.02	12.3	17.8	82.7
95P	32.52	1.13	38.9	34.1	0.09	21.2	28.9	121.0
2017 data [†]	4.29	0.20	-	23.9	-	17.8	20.5	84.1
Concern level [‡]	25	4	160	150	4	100	200	300

[†] Average content of heavy metal(loid)s in non-contaminated upland soil in Korea. 2017 data were collected by National Institute of Agricultural Sciences (NIAS, 2017).

[‡] Concern levels for soil contamination described in Soil Environmental Conservation Act (MOE, 2018).

Table 2. Total contents of heavy metal(loid)s in soil grown at the major producing districts of *Cnidium officinale* in Korea.

Items	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	mg kg ⁻¹							
Mean	4.71	0.86	28.8	17.2	0.02	18.5	14.5	55.5
SD	2.03	0.44	13.0	8.1	0.01	9.3	1.9	13.1
Min	1.76	0.01	5.0	8.3	0.01	2.8	11.3	37.3
Max	8.00	1.68	56.0	33.7	0.04	33.7	17.7	84.0
Median	4.33	0.94	31.0	15.8	0.02	20.0	14.7	54.0
95P	7.43	1.30	41.8	33.7	0.03	30.6	17.1	75.8
2017 data [†]	4.29	0.20	-	23.9	-	17.8	20.5	84.1
Concern level [‡]	25	4	160	150	4	100	200	300

[†] Average content of heavy metal(loid)s in non-contaminated upland soil in Korea. 2017 data were collected by National Institute of Agricultural Sciences (NIAS, 2017).

[‡] Concern levels for soil contamination described in Soil Environmental Conservation Act (MOE, 2018).

kg⁻¹보다 높은 결과를 보였고 일부 지점에서는 토양오염 우려기준을 상회하는 높은 것으로 조사되어 이는 조사 지역 중 일부 지역이 휴폐광산 등의 영향으로 추정되며 그 외 다른 중금속의 함량은 유사한 결과를 보였다 (NIAS, 2017).

천궁 재배지 토양 중 중금속 및 비소의 전함량을 Table 2에 제시하였다. 조사된 천궁 재배 밭토양 중 비소, 카드뮴, 크롬, 구리, 수은, 니켈, 납, 아연의 전함량 평균은 각각 4.71, 0.86, 28.8, 17.2, 0.02, 18.5, 14.5, 55.5 mg kg⁻¹으로 토양 오염우려기준을 초과하지 않은 안전한 수준을 보였다. 이 중 카드뮴함량은 2017년 조사된 우리나라 밭토양 평균함량인 0.20 mg kg⁻¹보다 높은 결과를 보였으나 토양오염 우려기준을 상회하는 지점은 확인되지 않았다 (NIAS, 2017).

우리나라 생산 당귀와 천궁의 중금속과 비소의 함량은 Table 3과 4에 제시하였다. 당귀와 천궁의 비소 평균함량과 범위가 각각 0.330 (0.029 - 1.046)과 0.151 (0.047 - 0.483) mg kg⁻¹으로 조사되어 현재 국내에는 비소에 대한 생약기준이 건물 중 3.0 mg kg⁻¹으로 설정되어 있어 조사 당귀와 천궁 중 최대치가 이에 미치지 않는 안전한 수준을 확인하였다 (KFDA, 2010). 또한, 우리나라 유통 약용작물 중 비소 함량 모니터링 결과인 당귀와 천궁의 평균함량 0.15와 0.26 mg kg⁻¹으로 보고된 결과와 비교하여 다소 다르게 조사되었으며 이는 당귀재배 토양의 비소 함량이 상대적으로 높은 차이로 추정된다 (Kim et al., 2015). 조사된 당귀와 천궁의 카드뮴 평균함량과 범위는 각각 0.223 (0.028 - 0.786)과 0.137 (0.047 - 0.483) mg kg⁻¹으로 조사되었다. 이는 우리나라 유통 약용작물 중 카드뮴 함량 모니터링 결과인 당귀와 천궁의 평균함량인 0.25와 0.10 mg kg⁻¹으로 보고된 Kim et al. (2015)의 결과와 일치하였다. 현재 국내에는 생약의 카

Table 3. Total contents of heavy metal(loid)s in *Angelica gigas* grown at the major producing districts in Korea.

Items	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	mg kg ⁻¹ DW							
Mean	0.330	0.223	3.129	5.199	0.003	1.557	1.046	23.239
SD	0.311	0.157	2.522	2.720	0.002	0.842	1.147	15.999
Min	0.029	0.028	0.793	2.111	0.001	0.434	0.177	9.530
Max	1.046	0.786	14.563	19.977	0.011	4.903	6.165	105.82
Median	0.168	0.192	2.303	4.703	0.003	1.367	0.550	20.527
95P	0.964	0.448	9.446	8.917	0.007	2.680	3.153	49.791
Criteria [†]	3.0	0.3	-	-	0.2	-	5.0	-

[†]Herb medicinal plant regulation (DW basis) of heavy metal(loid)s enforced by Pharmaceutical Affairs Act (KFDA, 2010).

Table 4. Total contents of heavy metal(loid)s in *Cnidium officinale* grown at the major producing districts in Korea.

Items	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	mg kg ⁻¹ DW							
Mean	0.151	0.137	2.873	14.165	0.003	2.459	0.344	27.542
SD	0.094	0.110	1.228	6.738	0.0004	0.751	0.208	4.864
Min	0.070	0.047	2.249	6.582	0.002	1.632	0.175	20.522
Max	0.464	0.483	7.600	32.273	0.004	4.422	0.969	35.647
Median	0.120	0.112	2.490	12.032	0.003	2.226	0.278	26.780
95P	0.302	0.325	4.123	28.337	0.004	4.023	0.809	35.267
Criteria [†]	3.0	0.3	-	-	0.2	-	5.0	-

[†]Herb medicinal plant regulation (DW basis) of heavy metal(loid)s enforced by Pharmaceutical Affairs Act (KFDA, 2010).

드름 기준이 건물 중 0.3 mg kg^{-1} 으로 설정되어 있어 일부 시료가 기준치를 초과하고 있고 관리가 필요한 것으로 사료된다. 당귀와 천궁의 납 평균함량과 범위는 건물 중으로 각각 $1.046 (0.177 - 6.165)$ 와 $0.344 (0.175 - 0.969) \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 조사되었다. 이는 우리나라 유통 약용작물 중 납 함량 모니터링 결과인 당귀와 천궁의 평균함량 0.44 와 0.31 mg kg^{-1} 으로 보고된 결과와 천궁의 경우 유사하였으나 당귀의 함량은 높게 조사되었다 (Kim et al., 2015). 우리나라 재배 당귀와 천궁의 수은 평균함량과 범위는 건물 중으로 각각 $0.003 (0.001 - 0.011)$ 와 $0.003 (0.002 - 0.004) \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 조사되었다. 금번 조사 결과는 기존 2015년 유통 시료의 모니터링 결과 (Kim et al., 2015)와 비교되는데 이는 재배토양에서 직접 채취한 시료가 유통 시료보다 함량 범위가 커지는 경향을 보이는데 이는 수집과정에서 함량범위가 줄어드는 영향으로 추정되었다. 이상의 결과를 종합해보면 당귀 재배 토양의 카드뮴 함량이 높지 않음에도 불구하고 일부 시료에서 당귀 중 카드뮴 함량이 상당히 높은 수준으로 확인됨으로서 이는 토양 중 카드뮴에 의한 영향보다 작물의 생리적인 특성이나 부숙퇴비 등의 농자재의 유효태 카드뮴의 존재 등 다양한 요인에 의해 전이된 결과로 추정되어 보다 세밀한 검토가 필요한 실정이다 (Lee et al., 2009; Kim et al., 2012). 또한, 당귀의 납 함량 분포도 59점 중 1점이 국내 생약의 납 기준인 건물 중 5.0 mg kg^{-1} 을 초과하였는데 토양 중 납 함량이 우리나라 밭토양 중 납 함량과 유사하거나 낮은 것으로 조사되어 카드뮴과 유사하게 타 요인들에 의한 오염으로 추정된다.

농산물 재배지 토양에서 당귀와 천궁으로의 비소와 중금속의 생물농축계수는 Table 5와 6에 각각 제시하였다. 비소의 생물농축계수 평균과 범위는 당귀와 천궁 각각 $0.056 (0.006 - 0.511)$ 과 $0.044 (0.011 - 0.264)$ 이었다. 타 약용작물과의 비교에서 인삼 0.029 , 더덕 0.012 , 도라지 0.009 에 비하여 상대적으로 높은 수준을 보였고, 작물 중 비소에 대한 생물농축계수가 높은 벼의 0.051 과 유사하게 높은 계수를 보였다 (Kim et al., 2012; Kim et al., 2017). 카드뮴의 생

Table 5. Bioconcentration-Factor (BCF) of heavy metal(loid)s in *Angelica gigas* grown at the major producing districts in Korea.

Items	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Mean	0.056	2.030	0.244	0.308	0.179	0.172	0.061	0.277
SD	0.068	3.476	0.209	0.223	0.106	0.185	0.072	0.171
Min	0.006	0.021	0.036	0.056	0.052	0.044	0.013	0.099
Max	0.511	15.678	0.725	1.462	0.393	1.301	0.474	1.101
Median	0.042	0.514	0.164	0.227	0.138	0.109	0.039	0.234
95P	0.118	10.388	0.665	0.658	0.352	0.449	0.182	0.509

Table 6. Bioconcentration-Factor (BCF) of heavy metal(loid)s in *Cnidium officinale* grown at the major producing districts in Korea.

Items	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Mean	0.044	0.557	0.201	1.006	0.174	0.248	0.024	0.529
SD	0.057	1.081	0.302	0.760	0.053	0.328	0.012	0.179
Min	0.011	0.052	0.044	0.195	0.069	0.059	0.012	0.262
Max	0.264	4.255	1.182	3.724	0.286	1.397	0.057	0.943
Median	0.029	0.174	0.077	0.859	0.174	0.125	0.020	0.475
95P	0.092	2.604	0.743	1.873	0.241	0.723	0.051	0.805

물농축계수 평균과 범위는 당귀와 천궁 각각 2.030 (0.021 - 15.678)과 0.557 (0.052 - 4.255)이었다. 타 약용작물과의 비교에서 도라지 1.453, 더덕 0.685, 인삼 0.334에 비하여 당귀의 생물농축계수가 상대적으로 높은 수준을 보였다. 수은의 생물농축계수 평균과 범위는 당귀와 천궁 각각 0.179 (0.052 - 0.393)과 0.174 (0.069 - 0.286)이었고, 납의 경우 각각 0.061 (0.013 - 0.474)과 0.024 (0.012 - 0.057)이었다. 타 약용작물과의 비교에서 인삼 0.023, 더덕 0.022, 도라지 0.021에 비해 당귀의 생물농축계수가 상대적으로 높은 수준을 보였다. 당귀와 천궁의 유해원소별 토양 중 전함량에 대한 생물농축계수의 순서를 보면 당귀의 경우 카드뮴 > 구리 > 아연 순이고, 천궁의 경우 구리 > 카드뮴 > 아연으로 이들 원소의 흡수 전이가 높은 반면 비소와 납의 전이가 낮음을 보였다. 이는 엽채류의 생물농축계수를 카드뮴 > 아연 > 구리 > 납 > 비소 > 크롬 순으로 보고한 기존의 결과와 유사하였다 (Wang et al., 2012). 일반적으로 재배토양과 식물체로의 흡수이행에 있어서 농산물 가식부위의 중금속 함량이 높게 나타날 가능성은 크게 3가지 요인 즉 ① 재배환경 (농경지 및 농업용수)의 오염, ② 작물종 및 원소간의 흡수능 차이 ③ 부산물 퇴비 등 농자재 오염 등으로 추정할 수 있는데 당귀의 경우 타 약용작물 (인삼, 도라지, 더덕 및 천궁)에 비해 상대적으로 높은 BCF를 보였고, 또한 원소 중 카드뮴의 흡수이행의 정도가 큰 것을 고려할 때 당귀 중 카드뮴 함량은 높을 것으로 추정된다. 또한, 당귀 재배 농경지의 카드뮴 평균 함량이 토양환경보전법에서 제시하는 토양오염우려기준에 비해 1/10 수준으로 매우 낮으나 우리나라 밭토양의 평균함량보다 높게 조사되어 어느 정도는 토양으로부터 기인한 것으로 추정된다. 그러나, 농업용수의 경우, 강우를 활용하고 있어 강우에 의한 영향은 카드뮴의 작물체로의 영향은 미약한 것으로 추정된다. 당귀 재배농가에서 주로 사용하는 농자재는 축분퇴비인데 우리나라 생산 퇴비의 축종별, 생산자별로 다소 차이는 있으나 평균 $0.36 - 0.57 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 비료공정규격에서 제시하는 허용기준인 5 mg kg^{-1} 이하로 안전한 수준이나 재배토양의 카드뮴 함량을 약간 상회하여 퇴비의 영향도 미치는 것으로 추정된다 (Nam et al., 2010). 따라서 당귀 중 카드뮴 함량의 안전성 향상 관리방안 수립을 위하여 토양 중 카드뮴 함량, 토양 중의 이화화학적, 퇴비와의 관련성 및 영농학적 저감화 기술개발을 고려한 추후 연구가 필요한 실정이다.

본 조사에서 수행한 당귀와 천궁의 비소, 카드뮴, 수은, 납의 모니터링 한 결과에 대한 비발암 (HQ) 및 발암 (CR) 위험도 결과는 Table 7과 같다. 각 성분별 비발암 위험도 산출 결과는 연구대상 작물인 당귀와 천궁에서 모두 1이하로 이들 작물을 통한 비발암위해 가능성은 매우 낮았다. 또한 비소, 카드뮴, 수은, 납의 합산 결과도 당귀와 천궁 각각 평균 4.41×10^{-2} 와 1.85×10^{-2} 으로 1이하였다. 발암 위험도 또한 당귀와 천궁 각각 평균 1.37×10^{-5} 과 5.71×10^{-6} 으로, 또한 최대치도 4.33×10^{-5} 과 1.76×10^{-5} 으로 허용 수준인 10^{-4} 보다 낮은 수준을 보여 안전한 수준으로 확인되었다. 이는 당귀와 천궁이 섭취량이 각각 $0.00519 \text{ kg day}^{-1}$, $0.00475 \text{ kg day}^{-1}$ 으로 매우 낮은 수준에 기인한 것으로 추정된다.

Table 7. Mean and maximum value of HQ and CR for As, Cd, Hg and Pb concentrations in *Angelica gigas* and *Cnidium officinale* grown at the major producing districts in Korea.

Cultivated Crops	Hazard quotients (HQ)					Cancer risk (CR)
	As	Cd	Hg	Pb	Total	
<i>Angelica gigas</i>	3.04×10^{-2} (9.63×10^{-2}) [†]	6.17×10^{-3} (2.17×10^{-2})	3.12×10^{-4} (1.05×10^{-3})	7.22×10^{-3} (4.26×10^{-2})	4.41×10^{-2} (1.62×10^{-1})	1.37×10^{-5} (4.33×10^{-5})
<i>Cnidium officinale</i>	1.27×10^{-2} (3.91×10^{-2})	3.45×10^{-3} (1.22×10^{-2})	2.35×10^{-4} (3.37×10^{-4})	2.18×10^{-3} (6.12×10^{-3})	1.85×10^{-2} (5.77×10^{-2})	5.71×10^{-6} (1.76×10^{-5})

[†]Maximum value of HQ.

Conclusions

본 연구는 약용작물인 당귀와 천궁의 비소와 중금속의 토양-식물체로의 흡수이행 특성을 파악하고 이에 따라 안전한 농산물 생산을 위한 적절한 관리방안을 도출하기 위하여 수행되었다. 주산단지를 중심으로 당귀 59지점과 천궁 18지점의 토양과 작물 시료를 채취하여 비소와 중금속 7종의 함량을 조사하였다. 당귀의 재배지 토양의 일부에서 비소 함량이 환경부가 제시하는 토양오염우려기준을 초과하였으나 당귀의 비소 함량은 생약기준을 초과하지 않았으며 위해성도 낮은 것으로 판단된다. 당귀와 천궁의 유해원소별 생물농축계수는 중금속 중 카드뮴, 구리, 아연이 높아 작물 이행성이 높은 반면 비소와 납은 이행성이 낮은 것으로 조사되었다. 특히, 당귀 중 일부 시료의 카드뮴 함량은 크게 높은 반면에, 토양 중의 카드뮴 함량은 낮은 것으로 조사되어 당귀 중 카드뮴은 토양이 아닌 다른 요인으로부터 유입되었을 가능성이 추정되어 불량 농자재 또는 중금속의 작물흡수에 영향을 미치는 작물의 생리적 특성과 토양의 특정 물리화학적 특성과 관련된 연구가 수행되어야 하며 이를 통한 적절한 토양 관리대책을 수립하고 시행해야 할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

This study was carried out support of “Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ 013392)” Rural Development Administration, Korea.

References

- Ahn, S.K., Y.M. Goo, K.H. Ko, S.J. Lee, Y.H. Moon, S.S. Lee, J.W. Kim, and S.S. Lee. 2014. Study on the evaluation of nutritional values and antioxidant activities for herbal medicine by-products. *J. Agri. & Life Sci.* 48(2):101-110.
- BHCRI. 2012. Research for medicinal herb in the high altitude cool region. - *Cnidium officinale* Makino · *Angelica gigas* Nakai · *Ostericum koreanum* Maximowicz · *Angelica tenuissima* Nakai. Bonghwa Herbal Crop Research Institute (BHCRI).
- FAO/WHO. 1995. General standard for contaminants and toxins in food and feed (CODEX STAN 193-1995).
- KFDA. 2010. Regulation and analytical methods of residual contaminants in a herb medicine. Korean Food Drug Administration Notification 2010-75.
- Kim, H.S., K.R. Kim, C.O. Hong, W.R. Go, S.H. Jeong, J.H. Yoo, N.J. Cho, J.H. Hong, and W.I. Kim. 2015. Monitoring of Cd, Hg, Pb, and As and risk assessment for commercial medicinal plants. *Korean J. Environ. Agric.* 34(4):282-287.
- Kim, J.Y., J.H. Lee, A. Kunhikrishnan, D.W. Kang, M.J. Kim, J.H. Yoo, D.H. Kim, Y.J. Lee, and W.I. Kim. 2012. Transfer factor of heavy metals from agricultural soil to agricultural products. *Korean J. Environ. Agric.* 31(4): 300-307.
- Kim, W.I., H.M. Noh, C.O. Hong, D.Y. Kim, K.R. Kim, K.S. Oh, B.C. Moon, and J.Y. Kim. 2017. Identification of transition characteristics and bio-concentration factors of heavy metal(loid)s in the selected perennial root medicinal plants. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50(4):251-258.
- Kim, W.I., J.K. Kim, J.H. Yoo, M.K. Paik, S.W. Park, O.K. Kwon, M.K. Hong, J.E. Yang, and J.G. Kim. 2009. Risk assessment of As, Cd, Cu and Pb in different rice varieties grown on the contaminated soil. *Korean J. Soil Sci.*

Fert. 42(1):53-57.

- Lee, J.H., W.I. Kim, E.J. Jeong, J.H. Yoo, J.Y. Kim, J.B. Lee, G.J. Im, and M.K. Hong. 2011. Assessment of health risk associated with arsenic exposure from soil, groundwater, polished rice for setting target cleanup level nearby abandoned mines. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(1):38-47.
- Lee, M.H., T.S. Kim, M.S. Lee, Y.J. Ahn, M.H. Lee, J.Y. Lee, J.Y. Yang, H.M. Lee, M.J. Kim, J.W. Park, K.G. Lee, S.W. Jeung, K.P. Nam, H.L. Ryu, S.I. Choi, and I.W. Ko. 2009. Risk Assessment of Soil. Dongwha Technology. Korea. 116-118.
- Leem, H.H., E.O. Kim, M.J. Seo, and S.W. Choi. 2011. Anti-inflammatory effects of volatile flavor extract from herbal medicinal prescriptions including *Cnidium officinale* Makino and *Angelica gigas* Nakai. J. Soc. Cosmet. Scientists Korea. 37(3): 199-210.
- MOE. 2010. Standard test method for soil pollution. Ministry of Environment.
- MOE. 2018. Soil Environmental Conservation Act. Ministry of Environment.
- Mondal, D., and D. Polya. 2008. Rice in a major exposure route for arsenic in Chakdaha block, Nadia district, West Bengal, India: A probabilistic risk assessment. Appl. Geochem. 23:2987-2998.
- Nam Y. S.H. Yong, and K.K. Song. 2010. Evaluation quality of fertilizer manufactured (livestock manure compost) with different sources in Korea. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(5):644-649.
- NIAS. 2017. Annual report 2017 : The monitoring project on agro-environmental quality. National Institute of Agricultural Science.
- NIFDS. 2014. Pre-planning study for the risk assessment of herbal medicines (Final Report), National Institute of Food and Drug Safety Evaluation.
- Park S.K., S.K. Hong, H.J. Kim, B.Y. Kim, T. Kim. J.S. Kang, and D. Kim. 2009. Cosmetic effect of *Angelica gigas* Nakai root extract. Korean Chem. Eng. Res. 47(5):553-557.
- Wang, Y., M. Qiao, Y. Liu, and Y. Zhu. 2012. Health risk assessment of heavy metals in soils and vegetables from wastewater irrigated area, Beijing-Tianjin city cluster, China. J. Environ. Sci. 24(4):690-698.