

Research Article



CrossMark

Open Access

다년생 근채류 중 중금속 모니터링 및 위해성평가

조민자¹, 최 훈^{2*}, 김혜정¹, 윤혜정^{1*}

¹식품의약품안전평가원 식품위해평가부 오염물질과, ²원광대학교 생명자원과학대학 식품환경학부

Monitoring and Risk Assessment of Heavy Metals in Perennial Root Vegetables

Min-Ja Cho¹, Hoon Choi^{2*}, Hye-Jeong Kim¹ and Hye-Jung Youn^{1*} (¹Food Contaminants Division, Food Safety Evaluation Department, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Cheongju 28159, Korea, ²Division of Food and Environmental Sciences, College of Life Resources Science, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea)

Received: 2 October 2015 / Revised: 18 March 2016 / Accepted: 24 March 2016

Copyright © 2016 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Min-Ja Cho

<http://orcid.org/0000-0003-3226-7394>

Hoon Choi

<http://orcid.org/0000-0002-9115-9636>

Abstract

BACKGROUND: This study was carried out to survey the levels of heavy metals in perennial root vegetables and to assess dietary exposure and risk to the Korean population health.

METHODS AND RESULTS: Perennial root vegetables (n=214) including *Panax ginseng* C.A. mayer, Wood-cultivated ginseng, *Codonopsis lanceolata*, and *Platycodon granditloom* were collected from markets or harvested from farmhouse in Korea. Lead(Pb), cadmium(Cd) and arsenic (As) analysis were performed with microwave device and inductively coupled plasma mass spectrometer. Limit of detection for heavy metals were 0.010~0.050 µg/kg, while limit of quantitation were 0.035~0.175 µg/kg. The recovery results were in the range of 76~102%. The average contents of heavy metals in perennial root vegetables were in the range of Pb 0.013(*Panax ginseng* C.A. Mayer)~0.070 (Wood-cultivated ginseng) mg/kg, Cd 0.009(*Panax ginseng*

C.A. Mayer)~0.034(*Codonopsis lanceolata*) mg/kg, and As 0.002(*Panax ginseng* C.A. Mayer)~0.004(*Platycodon grandiflorum*) mg/kg, respectively. For risk assessment, daily intakes of heave metals were estimated and risk indices were calculated in comparison with reference dose. The dietary exposures of heavy metals through usual intake were Pb 0.070 µg/day, Cd 0.041 µg/day and As 0.008 µg/day, taking 0.03%, 0.08% and 0.0003% as risk indices, respectively.

CONCLUSION: The risk level for Korean population exposed to heavy metals through intake of perennial root vegetables was far low, indicating of little possibility of concern.

Key words: Heavy metals, Perennial root vegetables, Risk assessment

서 론

산업화의 부산물로 발생하는 오염물질은 환경에 배출되면 생물권을 순환하기 때문에 인간이 생활하는 환경 뿐만 아니라 이러한 환경 속에서 생산되는 농 축 수산물 등의 식품 또한 오염시킬 수 있다. 이러한 환경오염물질 중에서도 중금속은 지각을 구성하고 있는 원소 중에 하나로서 지구 어디에서도 존재하는 물질이지만, 일부 공장과 자동차 배기가스, 산업 폐기물 등에서도 배출될 수 있으며 환경에 배출된 중금속은

*Corresponding author: Hye-Jung Youn
Phone: +82-43-719-4251; Fax: +82-43-719-4250;
E-mail: hjyoon@korea.kr

*Co-corresponding author: Hoon Choi
Phone: +82-63-850-6678; Fax: +82-63-850-7308;
E-mail: hchoi0314@wku.ac.kr

과일, 채소 등 식품을 거쳐 우리 인간에게 유해한 영향을 미친다. 따라서, 세계 각국은 식품 중의 오염물질이 잔류되지 않도록 하거나 또는 그 잔류량이 소비자의 건강에 영향을 미치지 않도록 감시기능을 강화할 책임과 의무를 가지고 있다 (CODEX STAN 193-1995).

국민건강영양조사에 따르면 채소류는 우리나라 국민이 곡류 다음으로 섭취량이 많은 것으로 알려져 있다(MHW, 2009, 2010, 2011). 채소류는 비타민, 식이섬유 및 미네랄이 풍부하여 꾸준히 섭취할 경우 많은 만성질환의 위험성을 줄이는데 큰 도움을 준다. 하지만, 채소류 중 뿌리부위를 섭취하는 근채류는 재배기간동안 토양과 직접 접촉 있어 여타 채소류에 비해 중금속 함량이 다소 높으며 재배기간이 길수록 중금속 함량 또한 훨씬 높은 경향이 있다고 알려져 있다 (Park and Na, 2000; Lee et al., 2002; Hu et al., 2005; Kim et al., 2007; Song and Min, 2009; Shim et al., 2010).

재배기간이 긴 다년생 근채류는 인삼, 도라지, 더덕 등이 있다.

인삼은 식물분류학상 오갈피나무과 인삼속 식물로 식물분포학적으로 극동아시아지역에서만 자생하는 식물이며, 고려인삼의 학명은 *Panax ginseng* C.A. Meyer인 반면, 중국(삼칠삼)은 *Panax notoginseng* Burkill이고 미국삼은 *Panax quinquefolium* L., 일본삼은 *Panax japonicum* L.으로 재배지역에 따라 인삼종이 다르다(MAFRA, 2014; RDA, 2013). 한편, 산양삼(wood-cultivated ginseng)은 앞서 '산지에서 인공으로 재배한 삼'이라 언급하였지만 산림청의 '산양삼에 관한 품질관리요령' 고시에 따르면 산지에서 차광막 등 인공시설을 설치하지 아니하고 생산되는 삼(건조된 것을 포함)을 일컫으며, 일부에선 '장뇌삼' 용어를 사용하고 있지만 이는 단순히 산에서 재배한 삼의 형태적인 모양을 칭하는 것에 불과하다. 대체로 인삼의 수확은 3년근부터 이루어지고 주로 4년근일 때 수확하며 고가품 등으로는 6년근으로 수확한다(RDA, 2013).

더덕(*Codonopsis lanceolata*)은 우리나라 각처의 숲속에서 자라는 초롱꽃목의 여러해살이 덩굴식물로서 식용으로 많이 소비되지만 '양유(羊乳)'라는 이름의 생약으로도 사용된다(RDA, 2011). 우리나라 더덕의 생산량은 2010년 기준 7,766톤으로 주요 생산지인 강원도와 제주도의 생산량은 전체 생산량의 55% 및 25%를 차지하였다(RDA, 2011).

도라지(*Platycodon grandiflorum*)는 우리나라 산과 들에서 자라는 초롱꽃과의 여러해살이 식물로서 식용 뿐 아니라 '길경(桔梗)'이라는 이름의 생약으로도 사용된다. 약용으로 쓸 때는 3~4년 이상 재배한 후 수확한다. 2009년 기준, 우리나라 도라지 생산량은 5,992톤이었으며 이 중 40%가 경기도에서 생산되었으며 수입율은 66.4%로써 주로 중국에서 수입해 오고 있다(RDA, 2010).

이처럼 재배기간이 2년 이상인 인삼(산양삼 포함), 더덕, 도라지 등 다년생 근채류는 일년생 채소와는 달리 다년간 토양 재배시 작물체내로 중금속이 지속적으로 축적될 가능성이

있다. 한편, 인삼, 더덕, 도라지는 식품으로써 섭취하기도 하지만 약용으로도 섭취하기 때문에 식품위생법 뿐 아니라 약사법의 관리기준을 적용받을 수 있다. 그러나, 현재 약용으로써 약사법의 관리기준을 설정되어 있으나 식품으로써 다년생 근채류의 기준이 설정되어 있지 않아 기준설정을 위한 과학적 근거자료 확보가 절실하다.

따라서, 본 연구에서는 다년생 근채류로써 인삼, 산양삼, 더덕, 도라지의 중금속 함량 실태조사를 통해 우리나라 국민의 다년생 근채류 섭취로 인한 중금속 노출수준과 그에 따른 위해수준을 파악하고자 한다.

재료 및 방법

대상 작물 선정

국내에서 재배되는 다년생 근채류로는 인삼, 더덕, 도라지, 야콘, 천마, 독활, 사삼, 맥문동 등이 있다. 이 중 야콘과 천마는 우리나라에서 일부 일년생으로도 재배하기 때문에 검체선정에서 제외하였고 독활, 사삼, 맥문동은 주로 한약재로 생산 및 유통되기 때문에 이번 연구의 목적인 '식품으로의 다년생 근채류'에 해당하지 않아 최종 검체목록에서 제외하였다. 따라서, 이번 연구에서 다년생 근채류로는 인삼, 산양삼, 더덕 및 도라지로 최종 결정하였다.

실험재료

유통 중인 인삼, 더덕 및 도라지는 금산 인삼시장 및 서울 경동시장을 중심으로 수거하였으며 서울 등 주요 대도시에 소재한 대형마트, 백화점 등의 현장 및 인터넷을 통해 수거하였다. 또한, 더덕 및 도라지의 경우 생산자를 조사하고 직접 방문 수거를 병행하였다. 특히 인삼과 산양삼의 경우 수거의 효율성을 높이기 위해 금산인삼생산자협회와 한국산양삼협회의 협조를 얻어 수거하였다. 최소 수거량은 500 g이었으며 산양삼의 경우 단위무게당 수거비용이 고가이므로 5건, 건당 6뿌리 수거하였고, 총 수거건수는 인삼 등 총 214건이었다. 본 연구대상 근채류는 식품으로 섭취 시 껍질을 제거하기 때문에 시료의 겉표면에 묻혀 있는 흙 등을 흐르는 물에 닦아내고 필러를 이용하여 겉껍질을 제거하였다.

시약

본 연구에 사용한 모든 시약은 특급시약을 구입하여 사용하였고, 증류수는 Milli-Q ultrapure water purification system(Millipore Co., Massachusetts, USA)에 의해 18.2 M Ω 수준으로 정제된 물을 사용하였다. 중금속 표준원액은 원자흡광 분석용인 Multi-Element Calibration Standard 3(PerkinElmer, USA) 10 mg/kg 제품을 사용하였으며 매 분석 시 working solution 1000, 100 μ g/kg을 만들어 사용하였다. Working solution 제조 시 0.5% 질산(v/v, in 증류수)을 사용하였다. 시료의 산분해를 위해 사용한 nitric acid(purity 70%, Dong Woo Fine Chem. Co. Ltd., Iksan, Korea), 및 hydrogen peroxide(purity 30%, Dong

Table 1. Instrumental Limit of detection and Limit of quantification of heavy metal analysis (unit, $\mu\text{g}/\text{kg}$)

Metals	Pb	Cd	As
Limit of detection (LOD)	0.045	0.010	0.050
Limit of quantification (LOQ)	0.150	0.035	0.175

Table 2. Repeatability of heavy metal analysis in perennial root vegetables

Metals	Levels ¹⁾ (ng/g)	Intraday ²⁾			Interday ³⁾
		1 day	2 day	3 day	
Pb	1	1.04	4.4	1.4	4.4
	5	0.2	0.9	1.2	2.1
	10	0.4	1.1	0.6	1.4
Cd	1	1.2	5	1.5	3.4
	5	0.5	1.3	0.9	1.0
	10	0.4	0.7	0.7	1.0
As	1	2.6	4.2	1.5	3.6
	5	0.8	1.4	1.3	1.1
	10	0.5	0.8	0.8	0.9

¹⁾ Concentration of sample solution

²⁾ Three levels of standard solution were analyzed 5 times

³⁾ Three levels of standard solution were analyzed during 1~3 day after preparing of standard solution

⁴⁾ C.V.(Coefficient of Variation, %) = $\text{SD} / \text{average} \times 100$

Woo Fine Chem. Co. Ltd., Iksan, Korea)는 electronic grade를 구입하여 사용하였다. 회수율 등을 확인하기 위한 인증표준물질, CRM(Certified Reference Materials)로는 한국표준과학원(KRIS, Korea Research Institute of Standards and Science)의 인삼 분말(KRIS 108-10-006) 및 미나리 분말(KRIS 108-05-001)을 구입하여 사용하였다. 시료 전처리시 사용한 시험용기는 10% 질산에 24시간 침지한 후 3차 증류수로 씻어 건조한 다음 사용하였다.

ICP/MS를 이용한 중금속 측정

시료 2 g을 시험용기에 취한 후 HNO_3 7 mL, H_2O_2 1 mL를 첨가하고 microwave 장치(ETHOS, Milestone, Italy)에 넣어 7분간 1,000 W로 100°C로 가온한 후 다시 7분동안 1,000 W로 200°C로 가온하고 8분간 유지하였다. 반응이 끝난 후, 용기를 충분히 식히고 coming tube에 증류수로 용기 벽면 등을 씻었다. Heat Block 장비(ED16, LabTech, MA, USA)를 이용하여 120°C에서 4시간 동안 분해액을 휘발시켰다. 잔류물은 0.5% 질산을 이용하여 10 g으로 정량하여 시험용액으로 하였다. 중금속(납, 카드뮴, 비소) 표준용액은 1% HNO_3 용액으로 희석하여 0.1~20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이 되도록 제조하였으며, 중금속 함량은 ICP/MS (ELAN 6100 DRC II, PerkinElmer, USA)로 측정하였다. RF power는 1,350W이었으며 nebulizer gas, auxillary gas 및 plasma gas의 유속은 각각 0.94, 1.4, 15 L/min이었다. Lens voltage는 6.50 V이었으며 각 중금속의 m/z는 납 207, 카

드뎀 111, 비소 75이었다.

분석법 검증

중금속 분석법을 검증하기 위하여 중금속의 분석기기 검출한계 및 정량한계는 각각 signal/noise ratio가 3/1 및 10/1이 되는 농도로 설정하였다. 중금속별 기기 검출한계 및 정량한계는 Table 1와 같다. 납, 카드뮴, 비소는 ICP-MS로 분석하였으며 검량선은 1~20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 사이의 농도에서 R^2 값이 0.999 이상으로 나타나 우수한 직선성을 보였다. 반복성 및 정밀성을 확인하기 위해 인삼에 한하여 중금속 표준물질을 1, 5, 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (시험용액 기준) 농도로 첨가하고 5반복, 3일간 분석함으로써 intraday 또는 interday 분석결과 간의 C.V.(Coefficient of Variation, %)을 확인하였다.

회수율 실험은 공시료에 중금속 표준용액을 첨가하는 방식과 인증표준물질을 이용한 방식에 따라 수행하였다. 중금속 분석의 정밀성 실험결과, 모든 intraday, interday간의 C.V. 값이 10% 미만으로 우수한 정밀성을 확인하였다(Table 2). 표준용액을 첨가하는 방식의 회수율 실험은 근채류 중 납 및 카드뮴 기준이 0.1 mg/kg임을 감안하여 납, 카드뮴, 비소의 처리수준을 저농도 0.02 mg/kg, 고농도 0.2 mg/kg로 선정하였다. 인증표준물질을 이용한 회수율 실험에서는 납과 카드뮴의 경우 인증표준물질(CRM)인 인삼 분말(KRIS 108-10-006)을, 비소의 경우 미나리 분말(KRIS 108-05-001)을 사용하였다. 모든 실험은 5반복으로 실시하였다.

표준용액 첨가법에 따른 회수율 결과, 납 82~100%, 카드

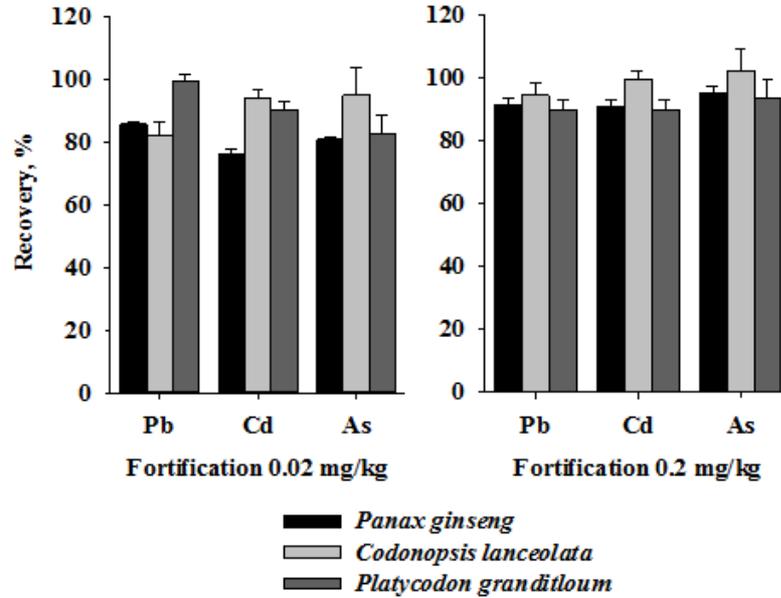


Fig. 1. Recovery test for heavy metals analysis with spiked samples.

Table 3. Recovery test for heavy metals analysis with certified reference materials

Metals	Certified value (mg/kg)	Analytical result (mg/kg)	Recovery(%)
Pb ¹⁾	10.749±0.093	10.519±0.175	97.9±1.6
Cd ¹⁾	1.178±0.021	1.163±0.026	98.7±2.2
As ²⁾	0.07*	0.058±0.002	83.4±3.1

* reference value

¹⁾ CRM, powder of ginseng (KRISS 108-10-006)

²⁾ CRM, powder of water parsley (KRISS 108-05-001)

몹 76~99%, 비소 81~102%의 회수율을 보여 분석 시 매질 효과에 따른 영향은 낮은 것으로 확인되었으며 C.V.값은 10% 미만이었다(Fig. 1). 인증표준물질을 이용한 회수율 결과 납 97.9±1.6%, 카드뮴 98.7±2.2%, 비소 83.4±3.1%의 회수율을 보였으며 분석결과간의 편차는 낮았다(Table 3). 표준용액 첨가법과 인증표준물질을 이용한 회수율 결과는 모두 FDA의 중금속 분석법 기준인 80~120%(Patrick *et al.*, 2008)와 AOAC의 기준인 75~120%(AOAC International, 2002) 이내로 본 연구의 중금속 분석법은 우수한 정확성과 정밀성을 보였다.

위해성 평가방법

다년생 근채류 중 중금속 함량 모니터링 결과, 검출한계 미만인 경우는 없었으며 위해성 평가를 위해 정량한계 미만, 검출한계 초과 분석값은 산출된 값 그대로 사용하였다 (GEMS/Food-Euro, 1995). 식품 섭취량 및 체중은 국민건강영양조사 4기 자료 중 2008, 2009년 자료와 5기 2010년 자료를 활용하였으며(MHW, 2009, 2010, 2011), 다년생 근채류의 평균 섭취량은 각각 인삼 1.148 g/day, 더덕 0.186 g/day, 도라지 0.984 g/day이었고 우리나라 국민의 평균체

중은 58.5 kg b.w.이었다. 한편, 산양삼은 섭취량이 미비하고 이를 추정할 수 있는 자료가 부재하여 노출평가 대상에서는 제외하였다. 위해성 평가를 위한 중금속 노출량 추정은 Eq. 1 과 같이 결정론적(deterministic) 방식에 따라 수행하였다.

$$RI(\%) = \frac{C \times DI \times 7}{RD \times BW} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

RI (Risk Index) = 위험도 (%)

C (Heavy metal concentration) = 작물 중 중금속 함량 (mg/kg)

DI (Daily intake) = 1일 섭취량 (g/day)

RD (Reference dose) = 인체 섭취한계량 (µg/kg bw/day)

BW (Body weight) = 체중 (kg bw)

식이를 통한 중금속 노출량으로부터 Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives(JECFA)에서 제시한 잠정주간섭취한계량(PTWI, Provisional Tolerable Weekly Intake)와 잠정월간섭취한계량(PTMI, Provisional Tolerable Monthly Intake), WHO의 일일 최대섭취한계량(MADL, Maximum Allowable Daily Body Load)와 같은 인체 섭취한계량(Reference dose) 대비 위험도(Risk

Table 4. The content of lead, cadmium and arsenic in perennial root vegetables

Root vegetables	n	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)
<i>Panax ginseng</i> C.A Mayer	67	0.013 (0.001~0.111)	0.009 (0.001~0.048)	0.002 (0.001~0.006)
Wood-cultivated ginseng	5	0.070 (0.022~0.114)	0.021 (0.006~0.033)	0.003 (0.002~0.003)
<i>Codonopsis lanceolata</i>	77	0.056 (0.003~0.409)	0.034 (0.009~0.267)	0.003 (0.001~0.020)
<i>Platycodon granditloum</i>	65	0.045 (0.003~0.371)	0.025 (0.003~0.148)	0.004 (0.001~0.007)

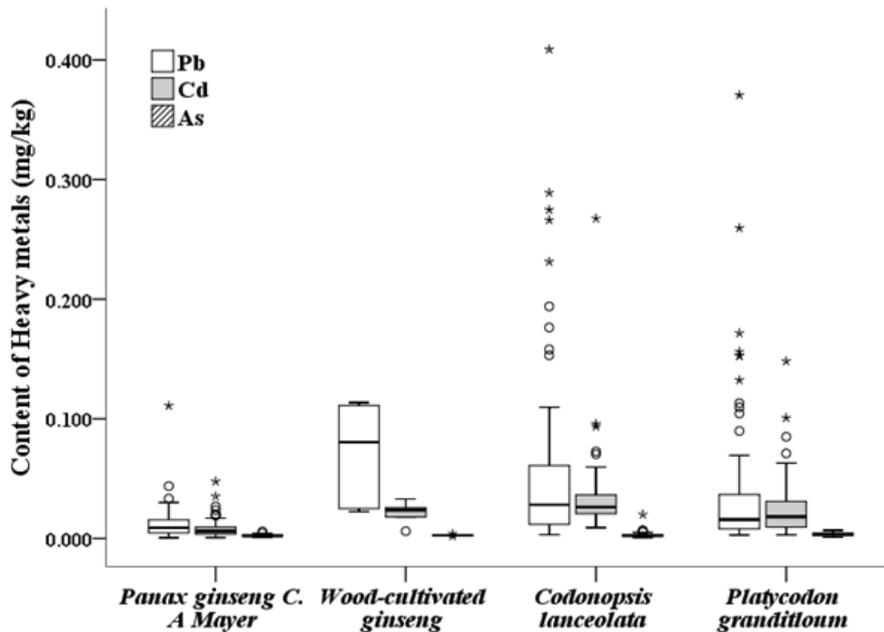


Fig. 2. Distribution of content of heavy metals in perennial root vegetables. The boundary of the box indicates the 25th, 75th percentiles, a line with in the box marks the median, error bars indicate the min. & max. of whisker, and outlying circles and stars indicate outliers and far outliers.

Index, %)를 산출하여 노출수준의 위해정도를 확인하였다. 중금속 중 납의 PTWI는 현재 별도의 값이 정해지지 않았기 때문에 철회되기 이전의 PTWI값을 활용하였다. 납, 카드뮴, 비소의 인체 섭취한계량은 각각 PTWI 25 µg Pb/kg b.w./week, PTMI 25 µg Cd/kg b.w./month, MADL 50 µg As/kg b.w./day이다(WHO, 1967; WHO, 2000; JECFA, 2010).

결과 및 고찰

다년생 근채류 중 납 함량

다년생 근채류의 평균 납 함량은 근채류 납 기준인 0.1 mg/kg 미만이었지만, 근채류 납 기준 0.1 mg/kg을 초과하는 경우가 다수 존재하였으며 이를 통해 단년 재배되는 근채류보다 2년 이상 재배되는 다년생 근채류 인삼, 산양삼, 더덕 및 도라지의 납 함량이 높음을 알 수 있었다(Table 4, Fig. 2).

인삼의 평균 납 함량은 0.013 mg/kg이었으며, 0.1 mg/kg을 초과한 경우는 67건 중 1건이었다. 이에 반해 산양삼의 평균 납 함량은 0.070 mg/kg이었고 0.1 mg/kg을 초과한 경우는 5건 중 2건으로 최대값이 0.114 mg/kg이었다. 더덕의 납 평균함량은 0.056 mg/kg으로 최대 0.409 mg/kg의 함량을 보였으며 77건 중 10건(13%)이 납 0.1 mg/kg을 초과하였고, 도라지의 납 평균함량은 0.045 mg/kg으로 최대 0.371 mg/kg의 함량을 보였으며 납 함량 0.1 mg/kg을 초과한 경우는 65건 중 11건(17%)로 인삼보다 높은 초과율을 보였다. 앞선 문헌에서도 인삼의 납 함량은 0.008~0.082 mg/kg으로(Choi and Chung, 2003; Hu *et al.*, 2005) 본 연구결과와 유사하였으나 산양삼의 경우 0.41~0.68 mg/kg으로(Kim *et al.*, 2007) 이번 결과보다 크게 높았다. 으며, 이러한 차이는 껍질 제거 유무에 따른 차이로 판단된다. Choi 등(2003)은 더덕의 납 함량이 0.055~0.187 mg/kg, 도라지는 불검출~0.372 mg/kg로 보고하였으며 이번 연구결과와

Table 5. Daily dietary exposure and risk for lead, cadmium and arsenic by perennial root vegetables intake

Root vegetables	Food intake (g/day)	Daily intake ($\mu\text{g}/\text{kg}$)			Risk index (%)		
		Pb	Cd	As	Pb	Cd	As
<i>Panax ginseng</i> C.A Mayer	1.148	0.015	0.010	0.002	0.01	0.02	0.0001
<i>Codonopsis lanceolata</i>	0.186	0.010	0.006	0.001	0.005	0.01	0.00002
<i>Platycodon granditloum</i>	0.984	0.044	0.025	0.004	0.02	0.05	0.0001
Sum		0.070	0.041	0.008	0.03	0.08	0.0003

유사한 수준이었다. 또한, Kim 등(2015)은 납 평균함량이 인삼 0.20 mg/kg, 더덕 0.44 mg/kg, 도라지 0.30 mg/kg으로 보고하였으며 본 연구결과와 크게 다르지 않았다.

다년생 근채류 중 카드뮴 함량

인삼의 평균 카드뮴 함량은 0.009 mg/kg이었고 최대값이 0.048 mg/kg으로 근채류 기준인 0.1 mg/kg을 초과한 경우는 없었다(Table 4). 산양삼의 카드뮴 평균함량은 0.021 mg/kg로써 인삼보다 높았지만 최대값은 0.033 mg/kg을 보였고 더덕의 카드뮴 함량은 0.009~0.267 mg/kg로 개체간의 큰 편차를 보였다. 더덕 77건 중 76건이 모두 0.1 mg/kg 미만이었지만 단 1건에서 0.267 mg/kg의 높은 카드뮴 함량을 보이는 이상치(outlier)가 관찰되었다(Fig. 2). 도라지 또한 광범위한 농도범위에 걸쳐 카드뮴 함량을 보였으며 도라지 65건 중 2건이 0.1 mg/kg을 초과하는 극단치(far outlier)가 관찰되었다. 요컨대, 4종의 다년생 근채류의 평균 카드뮴 함량은 근채류 카드뮴 기준인 0.1 mg/kg 미만이었으며 전체적으로 카드뮴 0.05 mg/kg 이하인 경우가 대부분으로 근채류 카드뮴 기준 0.1 mg/kg을 초과하는 경우가 일부 존재하였다(Fig. 2). 본 연구에서 검출된 다년생 근채류의 카드뮴 함량은 납 함량보다는 낮은 수준이었으나, 그 동안 조사된 단년 재배 근채류인 무, 당근 등의 카드뮴 함량(불검출~0.088 mg/kg)보다 다소 높았다(Park and Na, 2000; Chung et al., 2001; Kim, 2005; Song and Min, 2009). 한편 앞서 보고된 산양삼의 카드뮴 함량은 0.04~0.13 mg/kg으로 본 연구결과 보다 높았다(Kim et al., 2007). Choi 등(2003)에 따르면 더덕의 카드뮴 함량은 0.003~0.008 mg/kg, 도라지는 0.002~0.004 mg/kg으로 본 연구결과보다 매우 낮은 수준으로 보고하였다. 한편, Kim 등(2015)은 카드뮴 평균함량이 인삼 0.06 mg/kg, 더덕 0.26 mg/kg, 도라지 0.13 mg/kg으로 본 연구결과보다 높은 수준으로 보고하여 차이를 보였다.

다년생 근채류 중 비소 함량

다년생 근채류의 평균 비소 함량은 0.003~0.004 mg/kg로써 납 또는 카드뮴 함량에 비해 약 10배 낮은 비소 함량을 보였다(Table 4). 더덕에서 비소 최대함량인 0.020 mg/kg이 검출되었으며 이를 제외하고 모두 0.01 mg/kg 미만이었으며, 조사건수의 73(도라지)~100(산양삼)%가 0.05 mg/kg 미

만이었다(Fig. 2). 앞선 문헌에서 보고된 다년생 근채류의 비소 함량은 인삼 불검출~0.045 mg/kg(Choi and Chung, 2003, Hu et al., 2005), 산양삼 0.03~0.08 mg/kg(Kim et al., 2007), 더덕 0.009~0.036 mg/kg 및 도라지 0.004~0.027 mg/kg(Choi and Chung, 2003)으로 본 연구결과보다 다소 높은 수준이었으나 대부분이 0.05 mg/kg 미만의 함량을 보였다.

다년생 근채류 섭취로 인한 중금속 위해성 평가

본 연구에서 조사된 4개 품목 중 전 연령대 인구집단의 섭취량이 부재한 산양삼을 제외하고 3개 품목에 한해서 다년생 근채류 섭취로 인한 중금속 노출평가를 수행하였다. 중금속 노출량은 품목별 중금속 평균 함량에 식품섭취량을 곱함으로써 산출하였다.

전체 다년생 근채류 섭취로 인한 중금속 1일 노출량은 각각 0.070 μg Pb/day, 0.041 μg Cd/day, 0.008 μg As/day로써 위해도는 인체섭취한계량의 0.03%, 0.08%, 0.0003%로 위해영향 가능성이 매우 낮았다(Table 5). 인삼과 도라지의 섭취량은 각각 1.148 g/day, 0.984 g/day으로 유사하지만 도라지의 평균 납 및 카드뮴 함량이 인삼의 약 3배 높기 때문에 도라지의 중금속 노출 기여율이 60(카드뮴)~64(납)%로 가장 높았고, 비소 평균함량은 유사하였기 때문에 비소 노출 기여율이 인삼 43%, 도라지 50%로 유사하였다. 더덕의 경우 중금속 평균함량이 도라지와 유사하지만 섭취량이 도라지의 1/8 수준이어서 중금속 노출기여율이 7(비소)~15(납, 카드뮴)% 수준이었다.

요 약

다년생 근채류인 인삼, 산양삼, 더덕, 도라지의 중금속 함량 실태조사를 통해 우리나라 국민의 식품 섭취로 인한 중금속 노출수준에 따른 위해성을 평가하였으며, 이를 위해 총 214건을 수거하였다. 근채류 중 납, 카드뮴 및 비소 함량 분석을 위해 microwave장치를 이용해 전처리한 후 ICP/MS로 측정하는 시험법을 확립하였다. 중금속의 검출한계는 0.010~0.050 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었으며 정량한계는 0.035~0.175 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었다. 표준용액 첨가법과 CRM을 이용하여 회수율을 실험한 결과, 76~102%의 양호한 결과를 얻었다. 다년생 근채류 중 납 함량은 평균 0.013(인삼)~0.070(산양삼) mg/kg

이었고, 카드뮴 함량은 평균 0.009(인삼)~0.034(더덕) mg/kg이었으며 비소 함량은 평균 0.002(인삼)~0.004(도라지) mg/kg이었다. 다년생 근채류 섭취에 따른 중금속 위해성 평가를 수행한 결과, 중금속 노출량은 각각 Pb 0.070 µg/day, Cd 0.041 µg/day, As 0.008 µg/day으로 인체섭취한계량의 0.03%, 0.08%, 0.0003% 수준이었다. 따라서, 국내 유통되는 인삼, 산양삼, 더덕 및 도라지 섭취로 인한 중금속 노출수준은 JECFA 등의 인체노출안전기준보다 매우 낮았으며 우리나라 국민은 다년생 근채류에 존재하는 중금속의 위해성으로부터 안전하였다.

Acknowledgement

This work was supported by the Ministry of Food and Drug Safety of Korea(2013. 131612MFDS020).

References

- Choi, S. N., Chung, & N. Y. (2003). A study on the trace metals in potatoes and root vegetables. *Korean Journal of Food and Cookery Science*, 19(2), 223-230.
- Chung, S. Y., Kim, M. H., Sho, Y. S., Won, K. P., & Hong, M. K. (2000). Trace metal contents in vegetables and their safety evaluations. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 30(1), 32-36.
- Hu, S. J., Kim, M. H., Park, S. K., & Lee, J. O. (2005). Heavy metal contents in ginseng and ginseng products. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 37(3), 329-333.
- Kim, D. W. (2005). A study on the heavy metal contents of root vegetables on the retail markets in Korea. *Journal of the East Asian Society of Dietary Life*, 15(4) 465-674.
- Kim, J. Y., Kim, B. W., & Kwon, K. R. (2007). A study on heavy metal contents in cultivated wild ginseng from Korea and China. *Journal of Pharmacopuncture*, 10(1), 67-77.
- Kim, H. S., Kim, K. R., Hong, C. O., Go, W. R., Jeong, S. H., Yoo, J. H., Cho, N. J., Hong, J. H. & Kim, W. I. (2015). Monitoring of Cd, Hg, Pb, and As and Risk Assessment for Commercial Medicinal Plants. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 34(4), 282-287.
- Lee, S. S., Lee, K. H., & Kim, E. S. (2002). Mineral nutrition contents of rusty-root tolerance ginseng lines in 6-year old root. *Journal of Ginseng Research*, 26(3), 159-164.
- Park J. S., & Na, H. S. (2000). Analysis of trace metal in agricultural products. *Korean Journal of Food and Nutrition*, 13(6), 595-601.
- Patrick, J. G., William, R. M., & John, C. (2015). FDA elemental analysis manual: section 4.7 Inductively coupled plasma-mass spectrometric determination of arsenic, cadmium, chromium, lead, mercury, and other elements in food using microwave assisted digestion, pp. 14, U.S. Food and Drug Administration, Washington DC, USA, Available from: <http://www.fda.gov/downloads/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/UCM377005.pdf>.
- Shim, J. Y., Oh, H. S., Jang, M. R., Lee, Y. A., Lee, R. K., Kim, M. A., Lee, H. J., Lee, S. M., & Cho, T. Y. (2010). Monitoring of lead and cadmium contents of vegetables in Korea. *Journal of Food Hygiene and Safety*, 25(4), 395-401.
- Song, S. H., & Min, E. S. (2009). Characteristics of the inorganic element contents for the Korean ginsengs from various soils of Keumsan. *Journal of Ginseng Research*, 33(1), 13-25.