

인삼 및 산양삼의 부위별 유해중금속 분포 특성

양승현 · 이태우 · 이재인 · 최훈*

원광대학교 농식품융합대학 생물환경화학과

Distribution Characteristics of Hazardous Heavy Metals in Ginseng and Wood-cultivated Ginseng

Seung-Hyun Yang, Tae-Woo Lee, Jae-In Lee, Hoon Choi*

*Department of Bio-Environmental Chemistry, College of Agriculture and Food Sciences,
Wonkwang University, Iksan, Korea*

(Received May 13, 2019/Revised June 26, 2019/Accepted July 3, 2019)

ABSTRACT - The present study was carried out to identify the distribution characteristics of heavy metals in ginseng and wood-cultivated ginseng reduction of dietary exposure. Samples of ginseng and wood-cultivated ginseng were collected from 14 and 5 regions across Korea, respectively. Lead (Pb), cadmium (Cd) and arsenic (As) were detected by ICP-MS after microwave digestion, whereas aluminum (Al) was determined using ICP. Cultivated ginseng peels were 16.2% of whole root, while the peels and fine roots amounted to 21.8% and 16.8% of whole wood-cultivated ginseng, respectively. Taking into account the weight and concentration of the heavy metals by root part, their distribution ratios were calculated and compared. The cultivated ginseng peels contained 40.3% Pb, 25.9% Cd, 47.6% As, and 89.9% Al. Meanwhile, heavy metals consisting of 27.2% Pb, 28.2% Cd, 48.3% As, and 56.8% Al were distributed in the peels of the wood-cultivated ginseng. There was no significant difference between the peels and fine roots of the wood-cultivated ginseng with respect to the distribution proportion of heavy metals, except for Al. These results indicate that the level of dietary exposure to heavy metals could be reduced by peeling ginseng and wood-cultivated ginseng prior to consumption.

Key words : Heavy metals, Ginseng, Wood-cultivated Ginseng, Distribution

인간은 삶을 영유하기 위해 음식을 섭취해야 했으며, 이러한 음식을 안정적으로 생산하기 위해 오래 전부터 농경을 해왔다. 농경은 논밭을 갈아 농사를 지을음 의미하며, 땅에 작물의 씨앗을 뿌리고 다 자란 작물의 씨앗이나 열매를 수확하여 음식을 얻는 과정이다. 농경 즉, 농업을 위해서는 작물의 씨앗인 종자와 토양, 물, 비료 등이 필요하며, 작물은 토양으로부터 유기물, 미네랄 등을 흡수하고 광합성을 통해 영양분을 합성한다. 이처럼 작물체가 주변 환경으로부터 생존에 필요한 물질을 흡수하는 과정에서 비의도적으로 환경오염물질과 같은 위해물질도 함께 흡수하게 되며 작물체내 환경오염물질이 축적된다¹⁾. 이러한 오염물질 중 많은 사람들이 건강에 유해하다고 인식하

고 있는 물질 중 하나가 중금속이다²⁾.

중금속은 지각을 구성하고 있는 원소 중 하나로 지구 환경에 태초부터 존재하고 있던 물질이지만 산업화 과정에서 인간의 활동에 의해 지각외의 환경으로 배출되고 인간의 생활환경내로 밀집됨으로 인해 인간에 유해한 영향을 주고 있다³⁾. 토양 오염원으로서의 중금속은 토양 내 입자를 흡착하거나 토양 유기물과 반응하여 토양내에 축적된다. 토양 중 중금속 함량이 높을 경우 농작물이 생육에 장애를 받거나 고사될 수 있고, 생육에 피해가 적지만 농작물에 다량의 중금속이 축적되어 식품으로써 부적합할 수 있다⁴⁾. 중금속에 오염된 농작물을 인간이 섭취하게 되면 중금속으로 인해 체내 여러 효소의 활성이 저해되고 뼈, 신장, 간 등에 만성독성 증상이 유발되어 다양한 건강 유해증상이 나타난다. 체내에서 자연적 또는 인위적 방법으로 쉽게 분해되지 않고 축적되며 저농도일 지라도 그 독성이 심각한 건강상 위해를 끼칠 가능성이 있다⁵⁾.

*Correspondence to: Hoon Choi, Department of Bio-Environmental Chemistry, College of Agriculture and Food Sciences, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea
Tel: +82-63-850-6678, Fax: +82-63-850-7308
E-mail: hchoi0314@wku.ac.kr

현대사회에서는 현대 의학의 발전으로 고령화 사회가 되면서 보다 더 건강하게 장수하고자 하는데 관심을 가지게 되었다. 이러한 건강과 관련된 욕구는 경제성장과 소득수준이 향상되면서 더욱 높아지게 되었고 생약, 슈퍼푸드, 건강기능성 식품 등에 대한 소비자의 요구가 크게 증가하였다. 그 가운데 인삼(*Ginseng*, *Panax ginseng* C.A. Meyer)은 뇌기능 향상, 항암 활성, 항 당뇨, 간 기능 향상, 면역기능 향상 등 다양한 효능을 가진 건강식품으로 알려져 있다⁶⁾. 인삼은 예로부터 생약(한약재)으로 사용되어 왔으나 현대에서는 다양한 식품형태로 소비되고 있다. 산양삼(wood-cultivated ginseng)은 산지에서 차광막 등 인공시설을 설치하지 아니하고 생산되는 삼을 일컫으며 장뇌삼으로도 알려져 있고 최근 식품 및 약리성 건강식품으로 소비량이 증가하면서 재배면적이 증가하고 있다.

식품 및 생약으로 소비되는 인삼 및 산양삼은 파종 후 수확까지 최소 3년 이상의 장기간 재배기간이 필요한 작물로서 오랜 재배기간으로 인해 작물체내로 중금속이 축적될 가능성이 높아 이에 따른 유해물질 관리기준 또한 당근과 같은 근채류에 비해 높은 수준이다⁷⁾. 일반적으로 인삼 등 다년생 재배 작물이 타 농산물보다 중금속 함량이 높은 이유는 긴 재배기간 뿐 아니라 재배과정에서 가식부인 뿌리가 토양과 직접적인 접촉이 발생하고 작물체내로 물질이 침투, 이행되는 관문이 뿌리이기 때문이다⁸⁾. 식물체는 그 종류에 따라 토양으로부터 중금속 흡수 및 체내 분포 메커니즘이 상이하다⁹⁾. 백합과에 속하는 쪽파, 마늘, 부추, 양파는 카드뮴의 함량이 높고 특히, 뿌리에 주로 축적되는 경향이 높다고 보고되었고¹⁰⁾, 근채류 중 무와 당근은 뿌리보다는 잎에 더 많은 납과 카드뮴이 축적되는 경향을 보이는 것으로 보고된 바 있다⁹⁾. 중금속 함량이 높은 것으로 알려진 버섯의 경우, *Agaricus*와 *Russula*계통의 버섯은 카드뮴 함량이 높고, *Agaricus*과 *Macrolepiota*계 버섯에는 수은 농도가 높은 반면, *Rhizomorpha*계 버섯에서는 납 함량이 높다¹¹⁾. 이와 같이 버섯의 중금속 흡수율이 특이적으로 높은 이유 중 하나는 metallothioneins처럼 thiol기를 가진 특이 단백질을 다량 함유하고 있기 때문인 것으로 알려져 있다¹²⁾.

국내에서는 식품 위생학적 측면에서 중금속을 조사하기 시작한 1960년대 이후로 현재까지 농산물, 수산물, 축산물 및 생약 등에 대한 중금속 함량을 조사 연구하여 국내 식품 중 잔류물질의 허용권고 기준을 강화해 왔다^{4,13,14)}. 하지만, 국내외 조사 및 연구는 농작물 등의 전체 중금속 함량을 중심으로 조사 및 연구가 되었을 뿐 작물의 부위별 중금속 분포 및 축적성 조사는 극히 미비한 실정이다.

인삼과 산양삼은 식품 또는 생약으로 사용될 때 껍질을 제거한 후 섭취하거나 뿌리를 포함한 전체를 섭취한다. 인삼과 산양삼의 껍질은 얇아 전체에서 차지하는 비중은 낮지만 껍질과 내부부위별로 중금속 함량 분포가 어떻게 되

는지에 대한 관련 자료가 부재하기에 껍질을 제거하여 섭취하는 것이 건강에 이로울 수 있는지 판단하기 어렵다.

따라서, 본 연구에서는 중금속 함량이 타 작물체에 비해 높을 것으로 추정되는 인삼과 산양삼을 중심으로 뿌리 껍질과 내부부위별 중금속 분포양상을 조사하여 중금속 식이노출 저감화를 위한 방안을 모색하고자 한다.

Materials and Methods

시약 및 초자

본 연구에 사용된 중금속 원자흡광분석용 표준 혼합원액(Multi-Element Calibration Standard 3)은 PerkinElmer (Shelton, CT, USA)에서 구입하였으며, 진한 질산(purity 70%) 및 과산화수소(purity 30%)는 electronic grade 등급으로 동우정밀화학(Iksan, Korea)에서 구입하였다. 증류수는 3차 증류조제장치(Milli-Q ultrapure water purification system, Millipore Co., Billerica, MA, USA)를 이용해 18.2 MΩ의 증류수를 조제하여 사용하였다. 마이크로웨이브용 산분해 용기는 실험에 사용하기 전에 10% 질산에서 24시간 이상 침지하여 불순물을 제거한 후 3차 증류수로 씻어 건조한 다음 사용하였다. 시료 균질화를 위해서는 믹서기(VCB-61, HALLDE, Stockholm, Sweden)을 이용하였고 시료 산분해를 위해 마이크로웨이브 분해장치(IT/ETHOS TOUCH CONTROL, Milestone, Sorisole, Italy)를 사용하였으며 추출액 농축을 위해 블록 가열기(ED16, LabTech, Hopkinton, MA, USA)를 사용하였다.

인삼 및 산양삼 시료

인삼 및 산양삼 시료는 금산인삼생산자협회 및 한국산양삼협회의 협조를 통해 생산자로부터 직접 구매하였다. 인삼은 지역별 배분을 통해 경기, 강원, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북 이상 7개 도별 각각 2개 지역 총 14개 지역의 생산자로부터 인삼을 구입하였다. 각 생산지별로 인삼 500 g 이상을 구매하였고 구입된 인삼의 겉표면에 묻어 있는 흙 등을 흐르는 물에 씻은 후 생산지역별 5 개체씩 선별하여 필러로 겉껍질을 분리하였다. 인삼 개체별 각 부위의 무게를 측정 후 믹서기를 이용해 균질화 시키고 분석할 때까지 용기에 담아 -20°C에서 냉동 보관하였다. 산양삼의 경우, 경기, 충남, 전북, 경남, 제주 등 5개 지역에서 산양삼을 구매하였다. 산양삼은 인삼에 비해 상대적으로 크기가 작으나 뿌리당 구입비용이 매우 고가이기 때문에 지역별로 6 뿌리씩 구입하였다. 구입한 산양삼은 인삼과 같이 흐르는 물로 겉표면에 묻은 이물질을 제거한 후 손으로 직접 겉껍질 및 잔뿌리를 분리해 내었다. 산양삼 개체별 각 부위의 중량을 측정 후 균질화하여 인삼과 동일한 방식으로 분석 시까지 -20°C에서 냉동 보관하였다.

표준용액 조제

납, 카드뮴 및 비소 분석을 위해 10 mg/kg의 중금속 원자흡광분석용 표준 혼합원액을 0.5% 질산으로 희석하여 100 µg/kg의 stock solution을 조제하였다. 분석 당일에 stock solution으로부터 0.5% 질산으로 추가 희석하여 0.1~20 µg/kg의 working solution을 조제하였다. 알루미늄의 경우, 10 mg/kg의 중금속 원자흡광분석용 표준 혼합원액을 증류수로 희석하여 0.1~5 mg/kg의 working solution을 바로 조제하였다.

인삼 및 산양삼 중 중금속 분석

균질화된 시료 2 g을 마이크로웨이브용 산분해 용기에 정밀히 담은 후 7 mL 진한 질산(purity 70%)을 가하고 1 시간 동안 방치함으로써 예비 분해하였다. 예비분해 후, 산분해 용기에 1 mL 과산화수소(purity 30%)를 추가로 첨가한 다음 산분해 용기를 밀봉하였다. 밀봉된 용기를 마이크로웨이브 분해장치에 장착하고 Table 1의 분해조건에 따라 유기물 분해를 진행하였다. 분해가 끝난 후, 산분해 용기를 상온에서 충분히 식힌 다음 밀봉된 용기를 개봉하였다. 용기 마개 및 용기 벽면 등을 증류수로 씻은 후, 산분

Table 1. Conditions of microwave sample acid digestion system

Step	Time (min)	Power (W)	Temp. (°C)
1	7	1,000	100
2	7	1,000	200
3	8	1,000	200

* Ventilation 10 min

Table 2. Conditions of ICP/MS and ICP-OES

• ICP/MS condition (Pb, Cd, As)

Spectrometer	ICP/MS ELAN 6100 DRC II (PerkinElmer, USA)
RF power	1,350 W
Nebulizer	0.94 L/min
Auxillary	1.4 L/min
Plasma	15 L/min
Lens voltage	6.50 V
Ion monitored	Pb m/z 207, Cd m/z 111, As m/z 75

• ICP-OES condition (Al)

Spectrometer	ICP Optima 8300 (PerkinElmer, USA)
RF power	1,350 W
Nebulizer	0.55 L/min
Auxillary	0.2 L/min
Plasma	10.0 L/min
Pump	1.5 mL/min
Wavelength	Al 396.153 nm

해 용기를 ब्ल록 가열기(ED16, LabTech)로 옮기고 120°C에서 약 4시간 동안 분해액을 농축시켜 용매를 모두 휘발 제거하였다. 용기에 남은 잔류물은 0.5% 질산으로 재용해하여 최종 시험용액이 10 g이 되도록 정량한 다음 중금속 분석장비로 분석하였다.⁷⁾ 시험용액 중 납, 카드뮴 및 비소 함량 분석은 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP/MS ELAN 6100 DRC II, PerkinElmer)로 분석하였고 알루미늄은 유도결합플라즈마 분광분석기(ICP Optima 8300, PerkinElmer)로 분석하였다. 각 중금속 분석장비별 분석조건은 Table 2에 나타냈었다.

중금속 분석법 검증

본 연구에서의 중금속 분석법을 검증하기 위해 기기분석 상의 정량한계(Instrumental limit of quantitation, ILOQ), 검량선 직선성(Linearity of calibration curve), 분석정량한계(Method limit of quantitation, MLOQ) 및 회수율(Recovery)을 확인하였다. 전체 분석법의 분석정량한계(MLOQ)은 중금속 분석을 위한 전처리 과정에 따라, 기기분석 상의 정량한계(ILOQ), 시료 채취량, 최종 시험용액량 등을 고려하여 산출하였다¹⁵⁾. 기기분석 상의 정량한계(ILOQ)는 signal/noise ratio가 10이 되는 농도로 정하였으며, 검량선 직선성은 조제한 working solution를 분석하여 검량선을 작성한 후 결정계수(R^2)를 확인하였다. 검량선 직선성의 안정성을 확인하기 위해 표준용액 조제일, 1일 후, 5일 후 등 세 번에 걸쳐 직선성을 비교하였다. 회수율은 표준용액 첨가법에 따라 무처리 시료에 중금속 표준용액을 첨가하여 처리수준이 저농도 0.02 mg/kg, 고농도 0.2 mg/kg이 되도록 하여 회수율을 확인하였으며 알루미늄은 처리수준이 5 mg/kg이 되도록 하였다. 회수율 확인은 산양삼의 수급 문제로 인삼에 한해서만 진행하였으며 모두 5반복으로 실시하였다.

중금속 함량결과의 유의적 검정

산양삼과 인삼의 종류별 각 부위별 중금속 함량의 유의적 차이가 발생하는지 확인하기 위해 유의적 검정을 수행하였다. 유의적 검정은 통계프로그램인 SPSS (ver 14.0.2KO, SPSS Inc., USA)를 활용하여 일원분산분석(one-way analysis of variance, ANOVA)을 통해 이루어졌으며 사후분석(post hoc)으로 $p \leq 0.05$ 수준에서 다중범위검정(Duncan)을 수행하였다.

위해성 평가방법

식품 섭취량 및 체중은 국민건강영양조사 4기 자료 중 2008, 2009년 자료와 5기 2010년 자료를 활용하였으며, 인삼의 평균 섭취량은 1.148 g/day이었고 우리나라 국민의 평균체중은 58.5 kg b.w.이었다¹⁴⁾. 산양삼은 일상적 섭취수준을 추정할 수 있는 자료가 없어 노출평가를 실시하지

않았다. 식이를 통한 중금속 노출량과 인체 섭취한계량 (Reference dose)와의 비교를 통해 위험도(Risk Index, %)를 산출하였다. 납, 카드뮴, 비소 및 알루미늄의 인체 섭취한계량은 각각 잠정주간섭취한계량(PTWI, Provisional Tolerable Weekly Intake) 25 µg Pb/kg b.w./week, 잠정월간섭취한계량(PTMI, Provisional Tolerable Monthly Intake) 25 µg Cd/kg b.w./month, 일일 최대섭취한계량(MADL, Maximum Allowable Daily Body Load) 50 µg As/kg b.w./day, PTWI 2 mg Al/kg b.w./week이다¹⁶⁻¹⁹.

Results and Discussion

중금속 분석법 검증

인삼 및 산양삼 중 중금속 함량 분석을 위해 사용된 분석법의 검증을 수행하였다. 근채류 중 함량 수준 차이로 인해 납, 카드뮴, 비소 분석은 유도결합플라즈마 질량분석기를 활용하였고 알루미늄 분석 시 유도결합플라즈마 분광분석기를 사용하였다. 분석장비를 이용해 시험용액내의 중금속 함량을 정량할 수 있는 최소농도를 뜻하는 기기분석 상의 정량한계(ILOQ)는 납 0.03 µg/kg, 카드뮴 0.008 µg/kg, 비소 0.04 µg/kg, 알루미늄 0.02 mg/kg이었다. 중금속별 분석정량한계(MLOQ)는 각 중금속별 ILOQ, 시료채취량 2 g, 최종 시험용액 10 g을 고려하여

납 0.2 µg/kg, 카드뮴 0.04 µg/kg, 비소 0.2 µg/kg, 알루미늄 0.1 mg/kg이었다. 따라서, 본 연구에 활용한 분석법은 인삼 및 산양삼 중 극미량의 중금속 함량을 모두 정량할 수 있는 분석법임을 확인하였다. 기기분석 시 검량선의 범위는 납, 카드뮴, 비소의 경우 1~20 µg/kg이었고 알루미늄은 0.1~5 mg/kg이었으며 표준용액 조제일부터 5일간 검량선의 변동양상을 살펴본 결과 검량선이 일정하게 작성됨을 확인하였다. 또한, 검량선의 결정계수(R²)는 모든 경우에 있어 0.998 이상임에 따라 모든 중금속의 검량선은 우수한 직선성을 보여주었다(Fig. 1). 인삼을 대상으로 표준용액 첨가법에 따라 진행된 회수율 시험 결과, 납은 85.0% 이상, 카드뮴은 74.3% 이상, 비소는 79.2% 이상, 알루미늄은 88.7% 이상의 회수율을 보였으며 변이계수는 10% 미만이었다(Table 3). 따라서, 본 분석법은 FDA의 분석법 기준인 회수율 80~120% 이내와 AOAC 기준인 75~120% 이내 모두를 충족하기 때문에 분석법의 신뢰성을 확보할 수 있었다^{20,21}. 이로써, 시료 중 중금속 함량 분석을 위한 분석법의 신뢰성을 확보할 수 있었다. 산양삼과 인삼은 재배 방식의 차이가 있지만 모두 두릅나무과(*Panax ginseng* C.A.) 인삼속 식물의 뿌리이기에 인삼을 활용해 확립된 분석법을 산양삼에 적용하여도 무방할 것으로 판단된다.

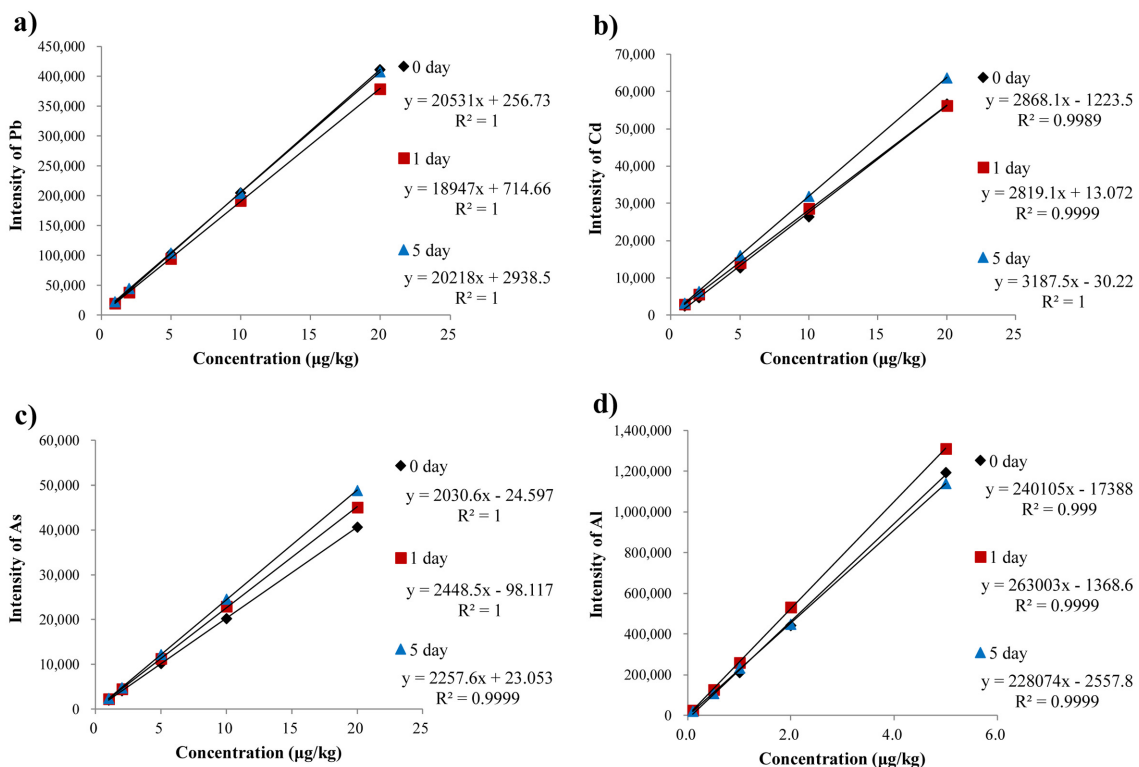


Fig. 1. Calibration curve of lead (a), cadmium (b), arsenic (c) and aluminium (d).

Table 3. Recovery test for Pb, Cd, As, and Al analysis using fortified samples

Fortification	Recovery (%)			
	Pb	Cd	As	Al
20 µg/kg	85.6±0.6	76.1±1.4	80.8±0.9	-
200 µg/kg	91.2±2.0	90.7±2.3	94.8±2.4	-
5 mg/kg	-	-	-	90.0±2.0

Table 4. The heavy metals content by parts of ginseng and wood-cultivated ginseng

Content	Ginseng		Wood-cultivated ginseng		
	peeled roots	peels	peeled roots	peels	fine roots
Weight (g)	39.3 (28.4~48.5)	7.6 (5.5~11.6)	1.9 (0.9~2.6)	0.7 (0.3~1.0)	0.5 (0.3~0.7)
Pb (µg/kg)	16.4 (4.8~31.6) a ¹⁾	64.8 (22.8~275.6) a	70.5 (22.5~113.6) a	282.1 (29.4~746.9) a	481.5 (151.6~820.0) a
Cd (µg/kg)	16.1 (2.5~104.1) a	31.8 (3.3~227.2) ab	21.3 (6.1~33.0) b	69.1 (11.0~189.5) a	84.4 (26.0~229.1) b
As (µg/kg)	2.9 (1.1~5.4) b	13.9 (5.5~26.8) b	2.8 (2.0~3.9) b	50.7 (33.9~76.7) a	68.6 (22.1~133.0) b
Al (mg/kg)	1.7 (0.7~3.1) c	82.1 (34.3~156.3) c	11.1 (9.3~15.0) c	356.7 (132.1~568.3) b	323.1 (65.3~538.0) c

¹⁾ *post hoc*, $p \leq 0.05$

인삼 및 산양삼 부위별 중량비

경기 등 7개 도별 각각 2지역에서 수확한 총 14지역에 대한 인삼과 경기 등 5개 지역에서 채취한 산양삼의 개체별 부위에 따른 중량을 측정하였다(Table 4, Fig. 2). 인삼의 개체 중량은 최소 34.5 g에서 최대 60.0 g이었으며 개체 평균 중량은 46.9 g이었다. 인삼 겉껍질은 평균 7.6 g (5.5~11.6 g)인 반면, 내부부위는 39.3 g (28.4~48.5 g)으로 겉껍질은 전체 중량의 최소 11.4%에서 최대 20.3%의 비중을 차지하였으며 평균 16.2%에 중량비를 보였다.

산양삼은 최소 1.5 g에서 최대 3.9 g으로 평균 3.1 g의 개체 중량을 보여 인삼보다 약 1/15 수준이었다. 겉껍질은 평균 0.7 g(0.3~1.0 g)으로 전체 중량의 19.0~26.4%, 평균 21.8%의 중량비를 보였고, 잔뿌리를 제외하고 중량비를 확인하면 평균 26.1%를 차지하여, 인삼에서의 겉껍질 비율 16.2%에 비해 다소 높은 수준이었다. 잔뿌리의 중량은 평균 0.5 g(0.3~0.7 g)으로 전체 중량의 약 16.8%를 차지하였으며, 겉껍질의 중량과 유사한 수준이었다.

인삼 및 산양삼 중 카드뮴 함량

인삼의 겉껍질 중 납 함량은 평균 64.8 µg/kg이었으며 최소 22.8 µg/kg, 최대 275.6 µg/kg의 납 농도를 보였다. 한편, 내부 부위의 납 함량은 평균 16.4 µg/kg으로 최소 4.8 µg/kg, 최대 31.6 µg/kg의 납 농도를 보였다 (Table 4). 산양삼의 부위별 납 함량은 내부 부위 70.5 µg/kg (최대 113.6 µg/kg), 겉껍질 282.1 µg/kg (최대 746.9 µg/kg), 잔뿌리

481.5 µg/kg (최대 820.0 µg/kg)으로 겉껍질과 잔뿌리간의 유의적 농도차이는 없었다($p > 0.05$). 한편, 인삼 및 산양삼의 각 부위별 중량비와 납 농도를 토대로 전체의 납 농도를 추정해 보면, 인삼 전체의 납 함량은 평균 23.6 µg/kg, 최대 64.1 µg/kg이었고 산양삼은 평균 185.4 µg/kg, 최대 299.0 µg/kg으로 산양삼이 인삼보다 평균 7.8배 높았다. 한편, 국내 인삼 및 산양삼의 납 기준인 2.0 mg/kg를 초과하지는 않았다. 앞선 문헌에서 보고된 인삼의 납 함량은 0.008~0.082 mg/kg^{1,14)}으로 본 연구결과와 유사한 수준이었고, Cho 등¹⁴⁾이 보고한 산양삼 납 농도 0.022~0.114 mg/kg보다는 다소 높은 수준이었지만 산양삼의 껍질을 제거한 결과임을 감안하면 앞서 보고된 함량은 본 연구결과와 유사한 수준임을 확인할 수 있다.

인삼의 내부부위 및 겉껍질 중 카드뮴 함량은 각각 평균 16.1, 31.8 µg/kg, 최대 104.1, 227.2 µg/kg으로 나타나, 내부부위의 카드뮴 함량은 납 함량과 유의적으로 유사하였으나($p > 0.05$) 겉껍질은 약 1/2 수준이었다(Table 4). 산양삼의 경우, 부위별 평균 카드뮴 함량이 내부부위 21.3 µg/kg, 겉껍질 69.1 µg/kg, 잔뿌리 84.4 µg/kg으로 겉껍질과 잔뿌리의 함량이 유의적으로 유사하였다($p < 0.05$). 전체 인삼 및 산양삼 기준으로 카드뮴 함량을 환산할 경우, 전체 인삼과 산양삼의 평균 카드뮴 함량은 각각 18.4, 43.8 µg/kg으로 산양삼의 평균 함량이 약 2배 높았으나 분산이 크에 따라 유의적 차이는 보이지 않았다($p > 0.05$). 한편, 각각의 카드뮴 최대 함량은 121.1, 112.2 µg/kg으로 환산되었다. 따

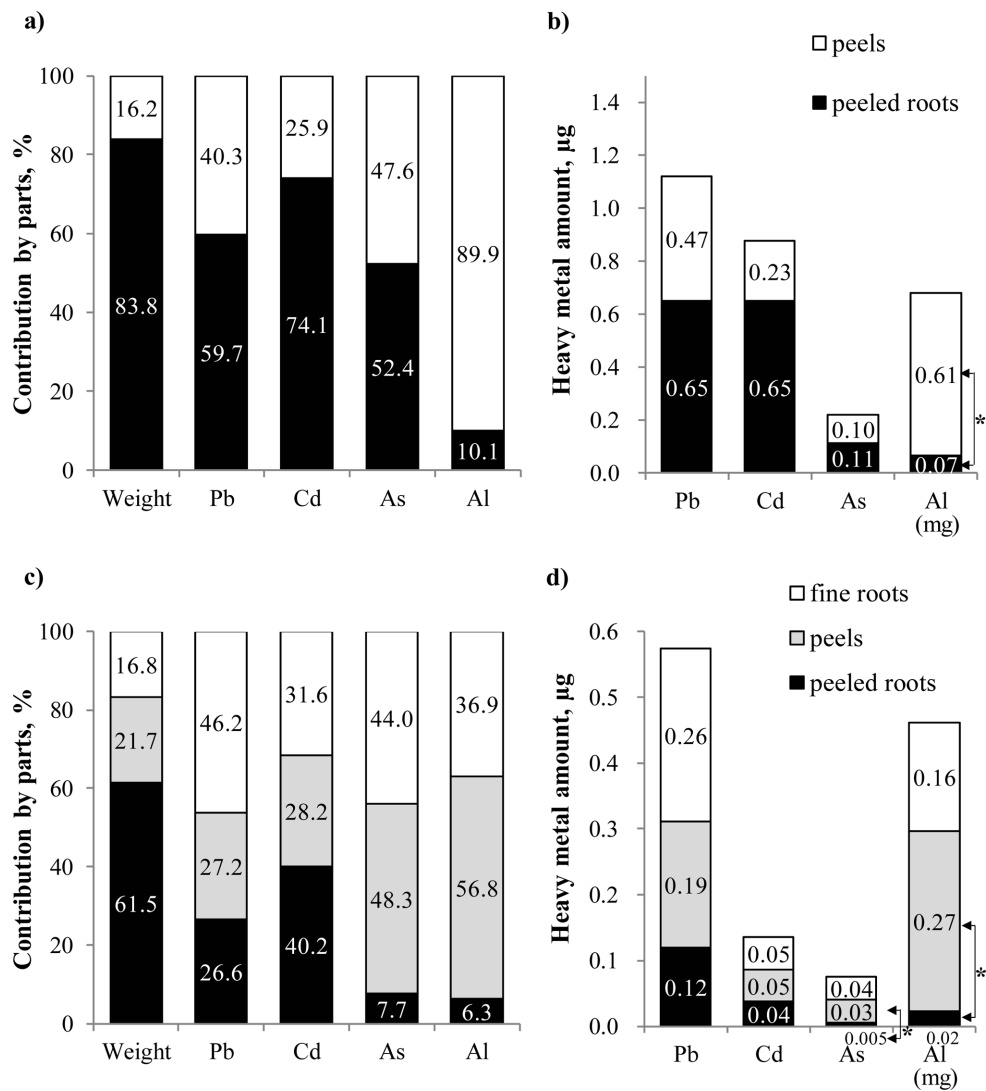


Fig. 2. Distribution of heavy metals in ginseng (a, b) and wood-cultivated ginseng (c, d). Significant difference ($p < 0.05$) between heavy metal content of parts is represented as *.

Table 5. Daily dietary exposure and risk for heavy metals by intake of ginseng

Intake parts	Food intake (g/day)	Daily intake (µg/day)				Risk index (%)			
		Pb	Cd	As	Al	Pb	Cd	As	Al
Whole	1.148	0.03	0.02	0.005	16.5	0.01	0.04	0.0002	0.01
peeled roots		0.02	0.02	0.003	1.9	0.01	0.04	0.0001	0.002

라서, 본 연구에 조사된 인삼과 산양삼은 국내 인삼 및 산양삼의 카드뮴 기준 0.2 mg/kg 이하를 충족하였다. 한편, Cho 등¹⁴⁾은 껍질을 제거한 인삼과 산양삼의 카드뮴 함량이 각각 0.001~0.048, 0.006~0.033 mg/kg으로 보고한 바 있으며, 본 연구의 내부 부위 카드뮴 함량과 유사한 수준이었다.

비소의 함량은 인삼의 경우 내부부위 2.9 µg/kg (최대 5.4 µg/kg), 겉껍질 139 µg/kg (최대 26.8 µg/kg)인 반면, 산

양삼의 경우 내부부위 2.8 µg/kg (최대 3.9 µg/kg), 겉껍질 50.7 µg/kg (최대 76.7 µg/kg), 잔뿌리 68.6 µg/kg (133 µg/kg)의 함량을 보여 겉껍질과 잔뿌리간의 유의적 농도차이는 없었다($p > 0.05$). 전체 기준으로 환산된 비소 함량은 인삼 4.7 µg/kg (최대 8.1 µg/kg), 산양삼 23.2 µg/kg (최대 34.9 µg/kg)으로 산양삼이 인삼보다 약 5배 높은 농도를 보였으나, 인삼이 산양삼보다 개체가 15배 큰 것을 감안하

면 개체 당 함유한 비소총량은 인삼이 3배 더 많았다. 인삼 및 산양삼 중 비소 관리기준은 없으며, 앞선 문헌에서 인삼은 불검출~0.045 mg/kg¹⁾, 산양삼 0.03~0.08 mg/kg²²⁾으로 보고된 바 있으며, 본 연구결과는 앞선 보고된 함량보다 낮은 비소 함량을 보였다.

농산물 중 유해중금속으로 관리되는 중금속은 주로 납, 카드뮴 및 비소이었으나, 최근들어 동물실험에서 신경독성 및 배아독성 등이 보고됨에 따라 식품내 알루미늄 함량을 조사하는 사례가 늘어나고 있다²³⁾. 알루미늄은 지각을 구성하는 원소 중 산소, 규소에 이어 3번째로 많은 성분이다²⁴⁾. 인삼 내부 부위의 알루미늄 함량은 1.7 mg/kg (최대 3.1 mg/kg)이었고 겉껍질의 함량은 82.1 mg/kg (최대 156.3 mg/kg)인 반면, 산양삼 내부 부위의 알루미늄 함량은 11.1 mg/kg (최대 15.0 mg/kg), 겉껍질은 356.7 mg/kg (최대 568.3 mg/kg), 잔뿌리는 323.1 mg/kg (538.0 mg/kg)으로 겉껍질과 잔뿌리는 유의한 농도 차이가 없었다($p>0.05$). 전체적으로 알루미늄의 함량은 납, 카드뮴 및 비소에 비해 약 1,000배 높은 함량을 보였다. 인삼 및 산양삼의 전체기준으로 환산된 알루미늄 함량은 각각 평균 14.3, 135.1 mg/kg이었고 최대함량은 각각 26.5, 204.4 mg/kg이었다. 인삼 및 산양삼 중 알루미늄 함량이 보고된 사례는 없으나, 앞선 문헌에서 근채류인 당근 중 알루미늄 평균함량이 1.2 mg/kg, 시금치는 6.9 mg/kg, 콩은 6.2 mg/kg이 보고된 사례와 비교하면 인삼 및 산양삼 중 알루미늄 함량이 타 농산물에 비해 높은 수준임을 알 수 있었다²³⁾.

인삼 및 산양삼 부위별 중금속 분포

앞서 살펴본 각 부위별 중량비와 중금속 농도를 고려하여 각 부위별 중금속 분포도를 살펴보았다. 인삼의 부위별 중금속 농도를 비교하면 겉껍질의 납 농도가 내부 부위의 납 농도보다 평균 4배, 최대 8.7배 높았으나, 겉껍질이 전체 중량의 평균 16.2%를 차지하는 것을 고려하면, 겉껍질에는 평균 0.47 µg, 내부 부위에는 평균 0.65 µg의 납이 분포하여 겉껍질에 전체 납의 평균 40.3%, 최대 57.4%가 분포하였다(Fig. 2). 한편, 산양삼은 겉껍질이 전체 중량의 21.7%, 잔뿌리는 16.8%를 차지하고 있음을 고려하면, 각 부위별 납 분포는 내부 부위 0.12 µg, 겉껍질 0.19 µg, 잔뿌리 0.26 µg으로 각각 26.6, 27.2, 46.2%의 비중을 차지하고 있었다. 따라서, 인삼의 겉껍질에는 산양삼의 겉껍질보다 더 높은 비중으로 많은 납을 함유하고 있었다.

인삼의 카드뮴은 내부 부위와 겉껍질에 각각 평균 0.65, 0.23 µg이 분포하여 전체 카드뮴의 74.1%(최대 82.7%)가 내부 부위에 분포하는 반면, 비소는 내부 부위와 겉껍질에 평균 0.11 µg, 0.10 µg으로 부위별 분포비중의 유의적 차이가 확인되지 않았다($p>0.05$). 알루미늄은 겉껍질에 평균 0.61 µg 분포하여 전체 알루미늄의 89.9%(최대 93.9%)을 차지하여 대부분의 알루미늄이 겉껍질에 분포하는 특

성을 보였다.

산양삼의 카드뮴은 내부부위에 전체 카드뮴의 40.2%(최대 65.8%)만이 잔존하였으나, 겉껍질과 잔뿌리에 유사한 수준으로 분포하였고, 비소는 겉껍질과 잔뿌리에 각각 48.3%, 44.0% 분포하여 겉껍질과 잔뿌리에 대부분이 분포하고 내부부위에는 매우 낮은 비중을 차지하였다. 알루미늄은 겉껍질과 잔뿌리에 각각 56.8%, 36.9%를 차지하고 있어 비소와 유사한 분포 비중을 보였으나, 함유량은 비소의 약 4000~9000배 높은 수준이었다. 산양삼의 겉껍질과 잔뿌리간의 중금속 분포 비중은 알루미늄을 제외한 모든 중금속에서 유의적 차이를 보이지 않았다($p>0.05$).

요컨대, 인삼 및 산양삼의 겉껍질은 전체에 차지하는 중량비에 비해 높은 중금속 함유량을 보이고 있었으며, 인삼의 경우 납의 40.3%, 카드뮴 25.9%, 비소 47.6%, 알루미늄 89.9%가 겉껍질에 잔존하고 있었으며 산양삼의 경우 납 27.2%, 카드뮴 28.2%, 비소 48.3%, 알루미늄 56.8%가 겉껍질에 존재하였다.

인삼 식이에 따른 중금속 노출 및 위해성 평가

인삼의 일상적 섭취에 따른 중금속 노출량은 껍질을 포함하여 섭취할 경우 각각 0.03 µg Pb/day, 0.02 µg Cd/day, 0.005 µg As/day, 16.5 µg Al/day인 반면, 껍질을 제거한 후 섭취하면 각각 0.02 µg Pb/day, 0.02 µg Cd/day, 0.003 µg As/day, 1.9 µg Al/day이었다. 껍질을 제거하여 섭취한다면 노출수준을 납 30.6%, 카드뮴 12.6%, 비소 37.4%, 알루미늄 88.3% 저감시킬 수 있었다. 한편, 위해도는 모두 0.05% 미만으로 위해성은 낮은 수준이었다.

요컨대, 인삼 및 산양삼의 겉껍질을 벗기고 섭취한다면 중금속 식이노출량을 크게 줄일 수 있음을 본 연구를 통해 확인하였다. 다만, 인삼 및 산양삼의 겉껍질 중 생리활성물질의 함유 가능성이 있기 때문에 이러한 연구가 추가로 이루어져 겉껍질의 섭취여부를 판단할 수 있는 위해편익분석이 이루어질 필요가 있다고 사료된다.

국문 요약

본 연구는 인삼과 산양삼의 부위별 중금속 분포양상을 조사하여 중금속 식이노출 저감화 방안을 모색하고자 하였다. 인삼과 산양삼은 지역별 배분을 통해 각각 14개 지역 및 5개 지역에서 시료를 채취하였으며, 각 부위별 중량 및 중금속 함량을 분석하였다. 중금속 분석을 위해 microwave 장치를 이용해 전처리한 후 납, 카드뮴 및 비소는 ICP-MS로 측정하고 알루미늄은 ICP를 이용한 분석법을 확립하였다. 인삼의 겉껍질은 전체의 16.2% 중량비를 차지하였으며, 산양삼의 겉껍질 및 잔뿌리는 각각 전체의 21.8%, 16.8%의 중량비를 차지하였다. 각 부위별 중량비와 중금속 농도를 고려하여 각 부위별 중금속 분포도

를 산출하였다. 인삼 및 산양삼의 겉껍질은 전체에 차지하는 중량비에 비해 높은 중금속 함유량을 보이고 있었으며, 인삼의 경우 납의 40.3%, 카드뮴 25.9%, 비소 47.6%, 알루미늄 89.9%가 겉껍질에 잔존하고 있었으며 산양삼의 경우 납 27.2%, 카드뮴 28.2%, 비소 48.3%, 알루미늄 56.8%가 겉껍질에 존재하였다. 알루미늄을 제외하고 산양삼의 잔뿌리내 중금속 분포량은 겉껍질과 유의적 차이가 없었다. 따라서, 인삼 및 산양삼의 겉껍질을 벗기고 섭취한다면 중금속 식이노출량을 크게 줄일 수 있음을 확인하였다.

Acknowledgement

이 논문은 2018학년도 원광대학교의 교비지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

- Hu, S.J., Kim, M., Park, S.K., Lee, J.O.: Heavy metal contents in ginseng and ginseng products. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **37**(3), 329-333 (2005).
- Alirzayeva, E.G., Shirvani, T.S., Yazici, M.A., Alverdiyeva, S.M., Shukurov, E.S., Ozturk, L., Ali-Zade, V.M., Cakmak, I.: Heavy metal accumulation in Artemisia and foliaceous lichen species from the Azerbaijan flora. *Forest snow and landscape research.*, **80**(3), 339-348 (2006).
- Holmgren, G.G., Meyer, S.M., Chaney, R.L., Daniels, R.B.: Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils of the United States of America. *J. Environ. Qual.*, **22**, 335-348 (1993).
- 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.: Monitoring of lead and cadmium contents of vegetables in Korea. *J. Food Hyg. Safo*, **25**(4), 395-401 (2010).
- Chung, S.Y., Kim, M.H., Sho, Y.S., Won, K.P., Hong, M.K.: Trace metal contents in vegetables and their safety evaluations. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **30**(1), 32-26 (2001).
- Kim, A.J., Han, M.R., Joung, K.H., Cho, J.C., Park, W.J., Han, C.W., Chang, K.H.: Physiological evaluation of Korea Ginseng, Deoduk and Doragi pickles. *Korean J. Food Nutr.*, **21**(4), 443-447 (2008).
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS): Food Code, Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju, Korea (2019).
- Bell, R.M.: Higher plant accumulation of organic pollutants from soils, EPA/600/R-92/138. Cincinnati: United States Environmental Protection Agency, Washington DC, USA (1992).
- Singh, S., Zacharias, M., Kalpana, S., Mishra, S.: Heavy metals accumulation and distribution pattern in different vegetable crops. *J. Environ. Chem. Ecotoxicol.*, **4**(10), 170-177 (2012).
- Soudek, P., Kotyza, J., Lenikusova, I., Petrova, S., Benesova, D., Vanek, T.: Accumulation of heavy metals in hydroponically cultivated garlic (*Allium sativum* L.), onion (*Allium cepa* L.), leek (*Allium porrum* L.) and chive (*Allium schoenoprasum* L.). *J. Food Agri. Environ.*, **7**, 761-769 (2009).
- Turkecul, I., Elmastas, M., Tuzen, M.: Determination of iron, copper, manganese, zinc, lead, and cadmium in mushroom samples from Tokat, Turkey. *Food Chem.*, **84**, 389-392 (2004).
- Blanus, M., Kucak, A., Varnai, V.M., Saric M.M.: Uptake of cadmium, copper, iron, manganese, and zinc in mushrooms (*Boletaceae*) from Croatian forest soil. *J. AOAC Int.*, **84**, 1964-1971 (2001).
- Kim, H.Y., Kim, J.I., Kim, J.C., Park, J.E., Lee, K.J., Kim, S.I., Jang, Y.M.: Survey of heavy metal contents of circulating agricultural products in Korea. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **41**, 238-244 (2009).
- Cho, M.J., Choi, H., Kim, H.J., Youn, H.J.: Monitoring and risk assessment of heavy metals in perennial root vegetables. *Korean J. Environ. Agric.*, **35**(1), 55-61 (2016).
- Lee, H.R., Riu, M.J., Park, H.W., Na, Y.L., Song, H.H., Keum, Y.S., Zhu, Y., Kim, J.H.: Establishment of analytical method for fenhexamid residue in Korean cabbage, apple, mandarin and green pepper. *Korean J. Pesti. Sci.*, **13**(4), 223-231 (2009).
- World Health Organization (WHO): Specifications for the identify and purity of food additives and their toxicological evaluation (Tenth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives), pp. 15. WHO Technical Report Series, No. 373, Geneva, Switzerland (1967).
- World Health Organization (WHO): Evaluation of certain food additives and contaminants (Fifty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives), pp. 81-82, WHO Technical Report Series, No. 896, Geneva, Switzerland (2000).
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA): Summary and conclusion of seventy-third meeting (JECFA/73/SC), pp. 12, Geneva, Switzerland (2010).
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA): Summary and conclusions of seventy-fourth meeting (JECFA/74/SC). Geneva, Switzerland (2011).
- Patrick, J.G., William, R.M., John, C.: 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 (2015).
- AOAC International: AOAC guidelines for single laboratory validation of chemical methods for dietary supplements and botanicals, pp. 19, Association of Official Analytical Chemists International (2002).
- Kim, J.Y., Kim, B.W., Kwon, K.R.: A study on heavy metal contents in cultivated wild ginseng from Korea and China. *J. Pharmacopuncture*, **10**(1), 67-77 (2007).
- An, J.M., Hong, K.S., Kim, S.Y., Kim, J.H., Yu, K.E., Kim,

H.Y., Park, H.D., Lee, J.H., Kim, D.H.: Risk assessment aluminum levels of circulating agricultural products in Korea. *Korean J. Environ. Agric.*, **34**(4), 336-344 (2015).

24. European Food Safety Authority (EFSA): Opinion on safety of aluminium from dietary intake. *The EFSA J.*, **754**, 2-88 (2008).