

Research Article



CrossMark

Open Access

국내 유통 약용작물 중 카드뮴, 수은, 납, 비소 함량 모니터링 및 위해성 평가

김혁수¹, 김권래², 홍창오³, 고우리¹, 정선희¹, 류지혁¹, 조남준¹, 홍진환¹, 김원일^{1*}

¹국립농업과학원 농산물안전성부 화학물질안전과, ²경남과학기술대학교 생명과학대학 농학한약자원학부,
³부산대학교 생명자원과학대학 생명환경화학과

Monitoring of Cd, Hg, Pb, and As and Risk Assessment for Commercial Medicinal Plants

Hyuck-Soo Kim¹, Kwon-Rae Kim², Chang-Oh Hong³, Woo-Ri Go¹, Seon-Hee Jeong¹, Ji-Hyock Yoo¹, Nam-Jun Cho¹, Jin-Hwan Hong¹ and Won-Il Kim^{1*} (¹Chemical Safety Division, Department of Agro-Food Safety & crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea, ²Department of Agronomy and Medicinal Plant Resources, College of Bioscience, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea, ³Department of Life Science and Environmental Biochemistry, College of Natural Resource and Life Sciences, Pusan National University, Miryang 50463, Korea)

Received: 11 August 2015 / Revised: 5 October 2015/ Accepted: 2 November 2015

Copyright © 2015 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

Kwon-Rae Kim

<http://orcid.org/0000-0003-4818-2520>

Abstract

BACKGROUND: The current study was carried out to investigate Cd, Hg, Pb and As contaminations in 222 commercial medicinal plants and to estimate the potential health risk through dietary intake of commercial medicinal plants in Korea.

METHODS AND RESULTS: The Cd, Hg, Pb, and As in medicinal plants were analyzed by ICP/MS and mercury analyzer. The potential health risk was estimated using risk assessment tools. Total amount of Cd in medicinal plants with 29% samples exceeded the standard limit legislated in 'Pharmaceutical Affairs Act' while all plant samples were lower than the standard limit value for As, Hg, and Pb. However, when applying the standard limit for root vegetable (fresh weight) in the Food Sanitation Act, four samples exceeded the standard limit of Pb. For health risk

assessment, the values of cancer risk probability were $0.3\sim 5.9\times 10^{-7}$ which were less than the acceptable cancer risk of $10^{-6}\sim 10^{-4}$ for regulatory purpose. Also, Hazard quotient values were lower than 1.0.

CONCLUSION: Therefore, these results demonstrated that human exposure to Cd, Hg, Pb, and As through dietary intake of commercial medicinal plants might not cause adverse health effects although some medicinal plants were higher than the standard limit values for Cd and Pb.

Key words: Arsenic, Health risk, Heavy metal, Medicinal plant, Safety

서론

오늘날 국민 소득이 증가하고, 삶의 질적 수준이 향상되면서 건강에 대한 관심이 날로 증대되고 있다. 이로 인해 과거 질병 치료 목적으로 이용되던 약용작물이 최근에는 건강 예방 및 체력 회복을 위한 건강 기능성 식품으로도 널리 활용되고 있다. 더욱이 약용작물이 화장품소재, 천연색소 등과 같은 산업소재 분야에도 활용되면서 약용작물 관련 시장 규모는

*Corresponding author: Won-Il Kim

Phone: +82-63-238-3245; Fax: +82-63-238-3837;

E-mail: wikim721@korea.kr

Table 1. The number of medicinal plant samples collected from market in Korea

| | Seoul | Su-won | Dae-jeon | Gwang-ju | Jeon-ju | Gim-cheon |
|------------------------|-------|--------|----------|----------|---------|-----------|
| <i>P. ginseng</i> | 3 | 4 | 2 | 8 | 4 | 9 |
| <i>P. grandiflorum</i> | 7 | 8 | 3 | 8 | 4 | |
| <i>C. lanceolate</i> | 5 | 6 | 5 | 7 | 4 | 3 |
| <i>A. membranaceus</i> | 6 | 6 | 7 | 6 | 6 | |
| <i>A. gigas</i> | 6 | 7 | 4 | 7 | 6 | |
| <i>D. batatas</i> | 4 | 5 | 8 | 5 | 6 | 4 |
| <i>Z. officinale</i> | 8 | 4 | 3 | 6 | 6 | 3 |
| <i>C. officinale</i> | 3 | 3 | | | 3 | |

나날이 증가하고 있다(Kim, 2013). 이와 같은 변화는 우리나라 약용작물 생산량 변화를 통해 확인할 수 있는데, 농림수산식품부 자료(MAFRA, 2014)에 따르면 2013년 기준 우리나라 약용작물 생산량은 75,550 MT으로 이는 2004년 44,821 MT보다 69% 증가한 양이다. 하지만 국내 약용작물 생산량이 매년 증가함에도 불구하고, 국내 재배 생산량만으로는 수요를 충족하지 못하기 때문에 약용작물 수입량도 증가 추세를 보이고 있다. 한국의약품수출입협회 자료에 의하면 중국, 인도 등에서 수입한 한약재 금액은 2004년 \$ 55,704,000에서 2014년 \$ 122,791,000로 10년 동안 2배 이상 증가하였다.

이와 같이 급속도로 국내 약용작물 산업이 발전하면서 최근 이들 약용작물에 대한 안전성 우려가 대두되고 있다. 특히 질병이나 암을 유발할 수 있는 중금속 및 비소와 같은 금속 물질은 산업단지, 폐광산 등의 영향으로 주변 농경지가 오염되고 이로 인해 다량의 중금속 및 비소가 작물에 축적되어 인체 위해성을 증가시킬 수 있다. 한 예로 식품의약품안전처는 44지점 휴, 폐광산 인근에서 재배되는 9종의 농산물 중 중금속 오염실태 파악과 합리적인 농산물 중금속 허용기준 설정의 기초자료 생산을 목적으로 전국 폐광산 인근에서 재배되고 있는 농산물 2594점을 채취하여 중금속(Cd, Cu, Hg, Pb) 및 비소를 분석하였는데 농산물 중금속 식품기준과 비교 시 Cd은 359점, Pb은 652점이 기준을 초과하는 것으로 조사되었다(MFDS, 2006). 더욱이 뿌리를 약용으로 사용하는 약용작물의 경우에는 지상부보다 중금속 및 비소를 더 많이 축적될 수 있고, 일부 약용작물은 중금속 고흡수종(hyperaccumulator)으로 알려져 있다. 그 예로 위염, 간염, 천식 등의 약재로 사용되는 민들레(*Taraxacum mongolicum*)와 차와 화장품 원료로 사용되는 캐모마일 (*Matricaria recutita* L.)은 Cd 고흡수 종으로 알려졌으며(Wei et al., 2008; Masarovičová et al., 2010), 소염 효능을 지닌 패랭이꽃(*Dianthus chinensis*)은 Cd, Zn 오염토양 정화식물로 잠재력이 있는 것으로 나타났다(Lai and Chen, 2004). 또한 국내 유통 약용작물 중 특정 작물에서 유독 중금속 함량이 높은 사례를 볼 수 있다. Jang 등(2012)은 100건(10품목)의 유통 한약재 중금속 함량을 분석하였는데 대부분의 약용작물이 Pb 허용기준(5 mg/kg) 보다 낮은 함량을 보였지만 국내산 권백(*Selaginella involvens*)은 대상 시료 10건 중 8건이 기준을 초과하였으며, 평균 Pb 함량은 9.5 mg/kg로 나타났다.

또한 Cd 허용기준(0.3 mg/kg)을 초과한 작물 10건 중 7건이 국내산 한인진(*Artemisia iwayomogi*)으로 나타났다. 이 밖에도 Yim 등(2009)은 600건의 유통 한약재 중금속 함량 모니터링을 수행한 결과 허용기준 초과 한약재 93건 중 72건이 중국산으로 나타났고, 이는 유통 단계에서 금속 물질에 노출된 것으로 판단하여 수입, 유통 과정의 품질평가 및 지속적 관리 필요성을 강조했다.

결과적으로 약용작물 안전성 확보를 위해서는 우선적으로 재배 단계에서 노출될 수 있는 각종 오염원을 미리 차단해야 하고, 중금속 및 비소 고흡수 약용작물에 대해서는 적절한 관리 대책이 강구되어야 한다. 이와 더불어 시중에 유통 중인 약용작물은 지속적인 모니터링을 통해 오염기준 초과 작물의 유통을 신속히 차단하여 소비자의 인체 독성 유발을 최소화해야 한다. 따라서 본 연구는 유통 약용작물의 중금속 및 비소 함량을 분석하고, 이를 기반으로 위해성 평가를 수행하여 중금속 및 비소로부터 안전한 약용작물의 지속적인 유통을 위한 과학적 근거 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

약용작물 수집

본 연구는 전국 6개 도시 (서울, 수원, 대전, 광주, 전주, 김천)에 위치한 대형마트 및 도매시장에서 유통 중인 약용작물, 인삼(*Panax ginseng*), 도라지(*Platycodon grandiflorum*), 터덕(*Codonopsis lanceolate*), 황기(*Astragalus membranaceus*), 당귀(*Angelica gigas*), 마(*Dioscorea batatas*), 생강(*Zingiber officinale*), 천궁(*Cnidium officinale*) 총 222건을 수집하였다(Table 1). 수집한 유통 약용작물 중 일부가 껍질이 벗겨진 상태로 판매 중인 관계로 약용작물은 모두 껍질을 벗겨 세척 후 65°C에서 건조하여 분석에 사용하였다.

카드뮴, 납, 비소 및 수은 분석

약용작물 중 비소, 카드뮴, 납 분석을 위해 건조한 약용작물 약 3 g을 Microwave용 Teflon vessel에 취하고 62% 질산 7~8 mL, 과산화수소 2~3 방울을 넣고 Microwave digestion system (ETHOS, Milestone, Italy)으로 200°C에서 20분간 분해하였으며, 분해 후, 증류수를 사용하여 볼륨 플라스크를 이용해서 20 mL까지 정용하고 여과(0.45 µm)하

Table 2. Toxicity indices of toxic metals

| Elements | Slope factor (SF) (mg/kg/day) | Reference dose (RfD) (mg/kg/day) |
|----------|-------------------------------|----------------------------------|
| As | 1.5 | 0.0003 |
| Cd | - | 0.001 |
| Hg | - | 0.0003 |
| Pb | - | 0.004 |

여 ICP-MS (Agilent Technologies, 7500a)로 분석하였다. 중금속 및 비소 분석결과에 대한 유효성 검증을 위해 측정한 원소분석용 인증표준물질(한국표준과학원)의 회수율은 카드뮴 98.03%, 납 104.06%, 비소, 100.10%를 얻었고, 매 분석 시마다 시료에 10, 50 µg/kg을 첨가하여 회수율을 확인한 결과 84~115%의 회수율을 얻었다.

수는 분석은 약용작물 시료 약 0.1 g을 수은분석기 (Mercury analyzer, DMA 80, Milestone)에 주입하여 가열기화금아말감법으로 측정하였다.

위해성 평가

유통 약용작물 중 중금속 및 비소 함량의 인체 위해성을 파악하고자 Eq. 1에 따라 약용작물 섭취에 따른 금속 물질의 일일평균노출량(Average daily dose, ADD)을 산출하고 이를 이용하여 Eq. 2와 3과 같이 발암위해확률(Cancer risk probability, CR)과 비발암위해도(Hazard quotient, HQ)를 각각 평가하였다(Lee et al., 2011; Na et al., 2013).

$$ADD \text{ (mg/kg /day)} = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad \text{Eq. 1}$$

C (Concentration of toxic metals) = 약용작물 중 중금속 및 비소 함량(mg/kg)

IR (Intake rate) = 약용작물 섭취율 (kg/day)

EF (Exposure frequency) = 노출빈도 (day/year)

ED (Exposure duration) = 노출기간 (years)

BW (Body weight) = 평균체중 (kg)

AT (Averaging time) = 평균수명 (days)

$$CR = 1 - \exp(-ADD \times SF) \quad \text{Eq. 2}$$

ADD = 일일평균노출량 (mg/kg/day)

SF (Slope factor) = 발암잠재력 (mg/kg/day)

$$HQ = \frac{ADD}{RfD} \quad \text{Eq. 3}$$

ADD = 일일평균노출량 (mg/kg/day)

RfD (Oral reference dose value) = 참고섭취량 (mg/kg/day)

일일평균노출량 산정 시 필요한 약용작물 섭취율은 통계자료가 없는 관계로 2013 약용작물생산실적 자료(MAFRA, 2014)에 제시된 약용작물 별 국내 연간 총 생산량을 우리나라 총인구로 나눈 다음 365일로 각각의 약용작물 섭취량을

계산하였다. 그 외 노출기간은 발암물질의 경우 평균 기대수명인 70년, 비발암물질의 경우 30년으로 적용하였고, 노출빈도는 365일로 계산하였다(Lee et al., 2011). 평균체중 및 평균수명은 통계청 자료를 참고하여 각각 64.59 kg, 81.9년을 적용하였다. 발암위해도확률 결정에 필요한 발암잠재력(SF) 수치는 본 연구 대상 금속 물질 중 비소만 설정되어 있는 관계로 비소 SF 수치만 적용하였고(US EPA, 2015), 비발암위해도 산정 시 필요한 참고섭취량(RfD)는 Lim 등(2008)과 Zhuang 등(2009) 자료를 인용하였다(Table 2).

데이터 분석

약용작물의 중금속 함량은 현재 고시되어 있는 두 가지 기준 수치(약사법, 식품위생법)와 비교하였다. 수집한 데이터는 평균값, 중간값, 최대, 최소값, 표준편차를 이용하여 표와 그래프 등으로 나타냈으며, 분석 항목 간 상관성 분석은 SAS 9.3 software (SAS Institute, Cary, NC, U.S.A.)를 이용하여 수행하였다.

결과 및 고찰

약용작물 중 중금속 및 비소 함량

본 연구에서 조사한 8품목 유통 약용작물 중 중금속 (Cd, Pb, Hg) 및 비소 함량 분포를 Fig. 1에 나타냈다. 각 약용작물의 평균 Cd 함량은 더덕(0.26 mg/kg) > 당귀(0.25 mg/kg) > 생강(0.20 mg/kg) > 도라지(0.13 mg/kg) > 천궁(0.10 mg/kg) > 마(0.07 mg/kg) > 인삼(0.06 mg/kg) > 황기(0.05 mg/kg) 순으로 나타났고, Pb 함량은 생강(0.45 mg/kg) > 당귀(0.44 mg/kg) > 더덕(0.44 mg/kg) > 마(0.38 mg/kg) > 천궁(0.31 mg/kg) > 도라지(0.30 mg/kg) > 황기(0.26 mg/kg) > 인삼(0.20 mg/kg) 순으로 나타났다. 물론 유통 중인 약용작물의 재배지역이나 수확 후 관리 방식에 따라 각 약용작물 내 Cd, Pb 함량이 다를 수 있다. 하지만 본 연구에서 각 약용작물의 평균 Cd, Pb 함량이 양의 상관성($R^2=0.72$, $p<0.01$)을 나타낸 것으로 보아 이들 중금속은 토양으로부터 흡수된 것으로 판단되며, 결과적으로 토양으로부터 각 약용작물의 Cd, Pb 흡수량을 비교, 분류해보면 더덕, 당귀, 생강은 고흡수율군, 도라지, 천궁, 마는 중간흡수율군 그리고 인삼, 황기는 저흡수율군으로 나타났다. 이와 같이 일부 작물이 Cd과 Pb를 동시에 많이 흡수하는 결과는 선행 연구에서도 볼 수 있는데, Liu 등 (2007)에 따르면 19종의 습지식물을 폐수(Cd: 0.5 mg/L, Pb: 2.0 mg/L)로 관수하면

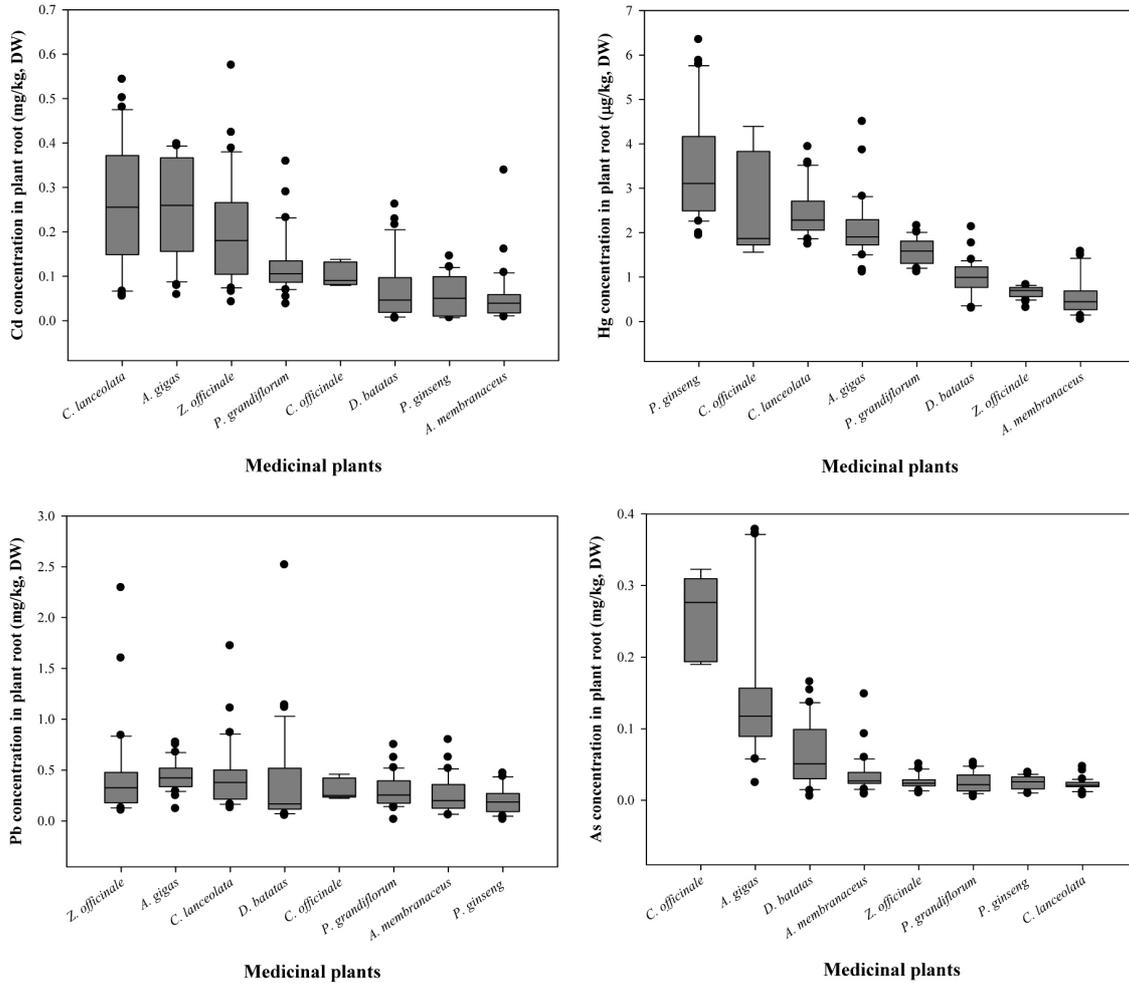


Fig. 1. Box plot of Cd, Pb, Hg and As, concentrations in commercial medicinal plants.

서 재배한 결과 *Alternanthera philoxeroides*, *Zizania latifolia*, *Echinochloa crus-galli*, *Polygonum hydropiper*, *Monochoria vaginalis*과 같은 식물이 다른 종에 비해 Cd 과 Pb를 동시에 많이 흡수한 것으로 나타났다.

약용작물 내 평균 Hg 함량은 인삼(3.47 µg/kg) > 천궁 (2.53 µg/kg) > 더덕(2.44 µg/kg) > 당귀(2.09 µg/kg) > 도라지(1.57 µg/kg) > 마(0.97 µg/kg) > 생강(0.66 µg/kg) > 황기(0.53 µg/kg)으로 인삼이 가장 높고, 황기가 가장 낮은 Hg 함량을 나타냈다. 또한 약용작물 내 평균 As 함량은 천궁(0.26 mg/kg) > 당귀(0.15 mg/kg) > 마(0.06 mg/kg) > 황기(0.035 mg/kg) > 생강(0.026 mg/kg) > 도라지(0.025 mg/kg) > 인삼(0.024 mg/kg) > 더덕(0.022 mg/kg)으로 천궁이 가장 높고, 더덕이 가장 낮은 As 함량을 나타냈다. 앞서 설명한 바와 같이 약용작물 중 Cd, Pb 함량 간에는 높은 상관성을 나타냈지만, Hg과 As 함량은 각각의 다른 금속 물질 함량과 유의성을 나타내지 않았다. Jang 등 (2015)은 서울과 대구에 위치한 약재 시장에서 11품목 총 116건의 한약재를 수집하여 Hg와 As을 분석하였는데, 그 결과 각각의 한약재 평균 Hg 함량은 N.D~8 µg/kg, As 함량

은 0.08~0.44 mg/kg로 나타나 본 연구결과와 비슷한 수준을 나타냈다.

현재 우리나라는 약사법에 의거하여 식품의약품안전처에서 ‘대한민국약전’ 및 ‘대한민국약전외한약(생약)규격집’을 통해 약용작물에 대한 Cd, Pb, Hg, As 함량 기준을 고시하고 있는데, 본 연구 대상 약용작물 중 더덕을 제외하고는 모두 건물중 기준 Cd 0.3 mg/kg, Pb 5 mg/kg, Hg 0.2 mg/kg, As 3 mg/kg을 초과해서는 안되며, 더덕 (사삼)은 Pb, Hg, As 기준은 앞서 작성한 기준과 동일하나 Cd의 기준이 0.7 mg/kg로 고시되어있다. 이들 기준을 본 연구결과와 비교해보면 약용작물 중 Pb, Hg, As 함량은 모두 기준 이하로 나타났다. 하지만 Cd 함량은 전체 222건 약용작물 중 17건이 기준을 초과하였으며, 그 중 당귀가 11건으로 기준 초과 건수가 가장 많았고, 그 다음으로 생강 4건, 도라지, 황기 각각 1건 순으로 나타났다. 더덕의 경우 Cd 기준이 0.7 mg/kg으로 고시되어 있어서 본 연구 대상 더덕 중에는 기준 초과 건수가 없었지만, 다른 약용작물 기준과 동일하게 Cd 기준을 적용하면 10건의 더덕이 0.3 mg/kg을 초과하는 것으로 조사되었다. 또한 ‘식품위생법’ 제 7조에 따른 식품의

기준 및 규격에 의하면 인삼, 도라지, 더덕, 생강은 근채류(채소류)에 포함되는데, 이 중 인삼, 도라지, 더덕의 Cd, Pb 함량 기준은 생체중 기준 각각 0.2, 2.0 mg/kg이고 생강의 Cd, Pb 기준은 모두 0.1 mg/kg으로 고시되어 있다. 이 기준을 본 연구결과(건물중 중금속 농도)와 비교하고자 인삼, 도라지, 더덕, 생강의 수분함량을 적용하여 생체 중 기준으로 환산해보면 전체 시료 중 생강 4개 시료가 Pb 기준을 초과하는 것으로 나타났다. Bae 등(2014)에서도 경남과 강원도 지역을 대상으로 비오염토양(토양환경보전법 기준 이하)에서 채취한 도라지를 채취하여 중금속(Cd, Cu, Pb, Zn) 함량을 분석하였는데, 약사법 기준 적용 시 본 연구와 동일하게 Cd에 한해서만 기준을 초과하였고, 초과 시료수는 54%에 달했다. 하지만 식품위생법 기준을 적용하면 1.5% 시료만이 Cd 기준을 초과하였다. 이와 같은 결과를 볼 때 우선적으로 약용 또는 식품으로 동시에 이용되는 인삼, 도라지, 더덕, 생강 등의 작물은 약사법과 식품위생법의 기준이 통합적으로 관리되어야 할 것이다. 이와 더불어 약사법에 고시된 더덕의 Cd 기준에서 볼 수 있듯이 뿌리를 주로 이용하는 약용작물은 다른 부

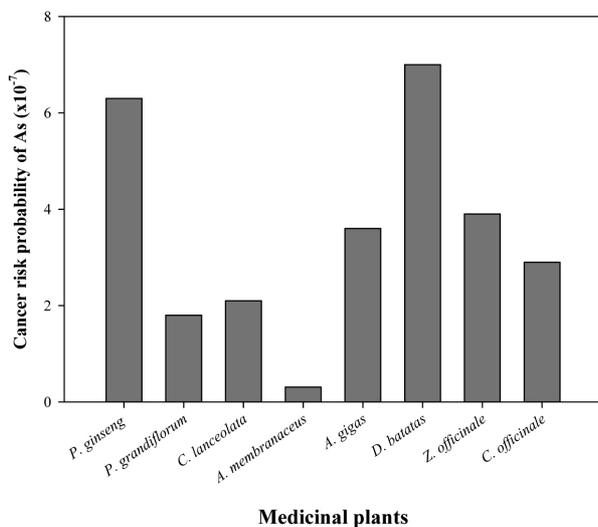


Fig. 2. Cancer risk probability of As in commercial medicinal plants.

위를 사용하는 약용작물보다는 완화된 Cd 기준이 적용 되어야 할 것으로 보인다.

위해성 평가

일일평균노출량(ADD)과 발암잠재력(Slope factor, SF)을 이용해 계산한 발암위해확률은 Fig. 2에 제시하였다. 앞서 '재료 및 방법'에 설명한 바와 같이 발암위해확률 산정 시 필요한 SF 값이 비소에 대해서만 제시되어 있는 관계로 약용작물 섭취에 의한 비소 발암위해확률만을 계산해보면 마 > 인삼 > 생강 > 당귀 > 천궁 > 더덕 > 도라지 > 황기 순으로 발암위해도가 높은 것으로 나타났다. 전체 약용작물 중 가장 높은 발암위해확률을 나타낸 약용작물은 마로 1000만명당 5.9명이 마를 통한 비소 섭취로 발암위해확률이 있는 것으로 나타났고 가장 낮은 황기에 비해 약 20배 높은 확률을 나타냈다. 인삼의 경우 측정된 비소 함량은 더덕 다음으로 낮았으나 발암위해확률은 마 다음으로 높게 나타나 작물 내 비소 함량과 위해성은 서로 다른 경향을 보였다. 전체 약용작물의 발암위해확률은 일반적으로 적용되는 허용 수준 10⁻⁶~10⁻⁴보다도 낮은 수준을 보였고, 본 연구에서 측정된 As 함량은 총 함량으로, 실제 발암성에 직접적인 영향을 미치는 무기 비소 함량으로 위해성을 산정했다면 더 낮은 확률을 나타냈을 것으로 보인다.

비발암위해도(HQ) 산출 결과는 Table 3과 같으며, 연구 대상 약용작물의 HQ는 Cd, Hg, Pb, As 모두 1 이하로 나타나, 약용작물 섭취로 인한 비발암위해 가능성은 매우 낮은 것으로 보인다. 다만 각각의 Cd, Hg, Pb, As의 HQ를 합산해보면 생강에 의한 위해도가 1.5×10⁻³로 가장 높고, 황기가 5.1×10⁻⁵로 가장 낮은 것으로 나타났다.

결론

현재 유통 중인 약용작물의 중금속 및 비소 함량을 조사해 본 결과 적용 기준에 따라 일부 약용작물의 Cd 또는 Pb 함량이 기준을 초과하였지만 유통 약용작물을 장기간 섭취하더라도 인체 위해성은 매우 낮은 수준으로 나타났다. 이와 같은 결과를 볼 때 현재의 약용작물 관리 측면에서 두 가지 문제점이 발생할 수 있는데, 첫 번째는 위해성 평가 결과를 근거로

Table 3. Hazard quotients (HQ) of As, Cd, Pb and Hg in commercial medicinal plants

| | Hazard quotients (HQ) | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | Cd | Hg | Pb | As |
| <i>P. ginseng</i> | 3.5 × 10 ⁻⁴ | 7.5 × 10 ⁻⁵ | 3.3 × 10 ⁻⁴ | 5.2 × 10 ⁻⁴ |
| <i>P. grandiflorum</i> | 2.2 × 10 ⁻⁴ | 9.1 × 10 ⁻⁶ | 1.3 × 10 ⁻⁴ | 1.4 × 10 ⁻⁴ |
| <i>C. lanceolata</i> | 5.9 × 10 ⁻⁴ | 1.8 × 10 ⁻⁵ | 2.5 × 10 ⁻⁴ | 1.7 × 10 ⁻⁴ |
| <i>A. membranaceus</i> | 1.2 × 10 ⁻⁵ | 3.9 × 10 ⁻⁷ | 1.4 × 10 ⁻⁵ | 2.5 × 10 ⁻⁵ |
| <i>A. gigas</i> | 1.5 × 10 ⁻⁴ | 4.1 × 10 ⁻⁶ | 6.5 × 10 ⁻⁵ | 2.9 × 10 ⁻⁴ |
| <i>D. batatas</i> | 1.9 × 10 ⁻⁴ | 8.5 × 10 ⁻⁶ | 2.5 × 10 ⁻⁴ | 5.7 × 10 ⁻⁴ |
| <i>Z. officinale</i> | 7.6 × 10 ⁻⁴ | 8.2 × 10 ⁻⁶ | 4.2 × 10 ⁻⁴ | 3.2 × 10 ⁻⁴ |
| <i>C. officinale</i> | 2.8 × 10 ⁻⁵ | 2.3 × 10 ⁻⁶ | 2.1 × 10 ⁻⁵ | 2.4 × 10 ⁻⁴ |

볼 때 현재 적용되고 있는 약용작물 기준이 엄격하여 원활한 생산, 유통을 방해할 수 있다는 점이고, 두 번째는 약용 또는 식품으로 동시에 이용되는 약용작물은 서로 다른 기준에 의해 혼란을 유발할 수 있다는 점이다. 따라서 현재 약사법과 식품위생법에 각각 고시되어 있는 약용작물 중금속(Cd, Pb) 기준의 통합적인 관리와 적용 기준치의 재검토가 이뤄진다면 안정적인 약용작물 재배 및 유통이 지속적으로 이뤄질 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ009828)", National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Bae, J. S., Seo, B. H., Lee, S. W., Kim, W. I., & Kim, K. R. (2014). Heavy metal uptake by balloon flower together with investigating soil properties and heavy metal concentrations in the cultivated soils. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 47(3), 172-178.
- Jang, S., Kim, T. H., Lee, A. R., Lee, A. Y., Choi, G. Y., & Kim, H. K. (2012). Monitoring of heavy metal contents in commercial herbal medicines. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*, 20(6), 434-439.
- Jang, S., Lee, A. R., Lee, A. E., Choi, G. Y., & Kim, H. K. (2015). Monitoring of heavy metal contents in commercial herbal medicines in Korea: cultivated herbal medicines in the Seoul and Daegu areas. *Journal of Environmental Health Science*, 41(1), 30-39.
- Kim, J. Y. (2013). Development and industrialization of functional bioactive material from the medicinal plant. *Food Industry and Nutrition*, 18(2), 1-6.
- Lai, H. Y., & Chen, Z. S. (2004). Effects of EDTA on solubility of cadmium, zinc, and lead and their uptake by rainbow pink and vetiver grass. *Chemosphere*, 55(3), 421-430.
- Lee, J. H., Kim, W. I., Jeong, E. J., Yoo, J. H., Kim, J. Y., Paik, M. K., Park, B. J., Im, G. J., & Hong, M. K. (2011). Arsenic contamination of polished rice produced in abandoned mine areas and its potential human risk assessment using probabilistic techniques. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 30(1), 43-51.
- Lim, H. S., Lee, J. S., Chon, H. T., & Sager, M. (2008). Heavy metal contamination and health risk assessment in the vicinity of the abandoned Songcheon Au-Ag mine in Korea. *Journal of Geochemical Exploration*, 96(2), 223-230.
- Liu, J., Dong, Y., Xu, H., Wang, D., & Xu, J. (2007). Accumulation of Cd, Pb and Zn by 19 wetland plant species in constructed wetland. *Journal of hazardous materials*, 147(3), 947-953.
- Masarovičová, E., Kráľová, K., & Kummerová, M. (2010). Principles of classification of medicinal plants as hyperaccumulators or excluders. *Acta physiologiae plantarum*, 32(5), 823-829.
- Na, E. S., Lee, Y. J., Ko, K. Y., Chung, D. Y., & Lee, K. S. (2013). Risk Assessment for Heavy Metals in Soil, Ground Water, Rice Grain nearby Abandoned Mine Areas. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 32(4), 245-251.
- Wei, S., Zhou, Q., & Mathews, S. (2008). A newly found cadmium accumulator-Taraxacum mongolicum. *Journal of hazardous materials*, 159(2), 544-547.
- Yim, O., Han, E., Chung, J., Park, K., Kang, I., Kang, S., & Kim, Y. (2009). The monitoring of some heavy metals in oriental herbal medicines and their intake rates. *Analytical Science and Technology*, 22(2), 128-135.
- Zhuang, P., McBride, M. B., Xia, H., Li, N., & Li, Z. (2009). Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China. *Science of the Total Environment*, 407(5), 1551-1561.