

서울지역 식약공용 농·임산물의 중금속과 이산화황 함량 및 위해성 평가(2019-2023)

한성희* · 박소현 · 김지혜 · 장현정 · 김애경 · 정지현 · 윤은선 · 박주성
서울시보건환경연구원 강북농수산물검사소

The Content and Risk Assessment of Heavy Metals and Sulfur Dioxide in Herbs for Food and Medicine in Seoul Area (2019-2023)

Sung-Hee Han*, So-Hyun Park, Ji-Hye Kim, Hyun-Jung Jang, Ae-Kyung Kim,
Ji-Hun Jung, Eun-Sun Yun, Ju-Sung Park

Gangbuk Agro-Fishery Products & Herbal Medicine Inspection Center,
Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment, Seoul, Korea

(Received June 24, 2024/Revised August 22, 2024/Accepted August 22, 2024)

ABSTRACT - This study investigated the content of heavy metals (Pb, Cd, As, and Hg) and SO₂ and conducted a risk assessment of 1,340 samples of 60 herbs used for food and medicine in Seoul between 2019 and 2023. The analysis was performed using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), a mercury analyzer, and the Monier-Williams method. The mean values and ranges of the heavy metals were as follows: Pb, 0.327 mg/kg (not detectable [ND]-36.933); Cd, 0.083 mg/kg (ND-1.700); As, 0.075 mg/kg (ND-2.200); and Hg, 0.004 mg/kg (ND-0.047). Pb exceeded the permissible limit of 36.933 mg/kg in one sample of *Poria Sclerotium*. Cd exceeded the permissible limit of 1.700 mg/kg and 0.650 mg/kg in the two samples of *Chrysanthemi Zawadskii Herba*. The mean and range of SO₂ was 0.75 mg/kg (ND-192.00), with two samples of *Gastrodiae Rhizoma* exceeding the permissible limit at 192.00 mg/kg and 42.00 mg/kg. Pb was highest in the perithecium (1.377 mg/kg), followed by Cd in the cortex (0.156 mg/kg) and caulis (0.144 mg/kg), As in leaves (0.149 mg/kg), and Hg in the herba (0.009 mg/kg) and leaves (0.009 mg/kg). SO₂ was the highest in the rhizomes (4.12 mg/kg). The Pb, Cd, and Hg levels did not differ significantly between the domestic, Chinese, and imported products; however, As and SO₂ levels were the highest in the Chinese products. As a result of the risk assessment, all the margins of exposure (MOE) values of Pb, except for *Poria Sclerotium*, were ≥ 1 , indicating that most samples were safe. The hazard index (HI) for Cd, As, and Hg were $< 100\%$, indicating a safety level for food and medicine. In addition, the HI for SO₂ did not exceed 1 for any of the items, indicating safe levels.

Key words: Herbs for food and medicine, Heavy metals, Sulfur dioxide, Risk assessment

수세기 동안 전통적인 민간요법으로 활용되어 온 약용작물은 최근 제약, 건강, 식품 및 천연 화장품 산업에서 점점 더 중요한 역할을 하고 있다¹⁾. 특히 COVID-19 대유행에서는 85.2%가 효과적인 치료 결과를 보였다²⁾. 이는

증상 관리, 낮은 악화 및 사망률, 빠른 회복 그리고 질병 예방에 도움을 주었으며, 모든 감염 단계와 환자의 후유증 및 기타 병리적 상황 개선에 긍정적인 영향을 미친 것으로 보고되었다^{3,4)}.

약용작물은 의약품 용도로 사용될 경우, 한약재로서 약사법에 의한 「대한민국약전」 및 「대한민국약전외한약(생약)규격집」에 따라 품질 관리되고 있으며, 식품 용도로 사용될 때는 식약공용 농·임산물로서 식품위생법에 의한 「식품공전」에 따라 품질관리 되고 있다⁵⁾. 한약재는 GMP 인증을 받은 제조업소에서 생산 및 유통이 가능하지만 식약공용 농·임산물은 시장, 대형마트, 온라인 마켓 등에서 쉽게 구입할 수 있다. 이와 같이 식약공용 농·임산물과 한

*Correspondence to: Sung-Hee Han, Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment, 202-3, Yangjae-dong, Seocho-go, Seoul 13818, Korea
Tel: +82-2-570-3119, Fax: +82-2-570-3123
E-mail: ababy@seoul.go.kr

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal 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.

약재는 관리 규정 및 유통 경로가 구분되어 있지만, 현실적으로 한약재에 비해 식약공용 농·임산물의 검사 기준이 덜 엄격하며, 상대적으로 한약재가 부족한 상황에서 식약공용 농·임산물이 한약재로 의도적으로 오용될 가능성이 있다⁶⁾. 특히, 국민 건강에 큰 위협이 되는 문제는 식약공용 농·임산물이 재배, 수확, 취급, 가공, 보관 및 운반 과정에서 오염되거나 상품 가치를 높이기 위해 유해물질이 사용되는 경우이다.

식약공용 농·임산물의 경우, 자연생육 또는 재배과정에서 품목에 따라 중금속을 함유하는 수준이 상이하다. 인체의 기능 장애를 일으킬 수 있는 납, 카드뮴, 비소, 수은 등의 중금속은 환경 중에 널리 존재하는 물질로, 농업활동 중 사용된 농약 성분과 하수 침전물로 인한 토양 오염으로 인해 농·임산물에 이행될 수 있다. 또한, 제조과정에서 품질관리가 되지 않아 오염된 토사 등의 혼입이나 토양으로부터 중금속을 흡착하는 특성으로 인해 유해 중금속에 오염되는 경우도 발생할 수 있다⁷⁾. 이와 같이 생산 환경의 영향으로 오염된 중금속은 미량일지라도 장기간 섭취하는 경우 체내에 축적될 가능성이 높으며, 납, 카드뮴, 비소, 수은 등의 중금속이 체내에 축적되면 암 등 각종 질병과 호르몬 대사 이상까지 초래하는 것으로 보고되고 있어 이에 대한 규제와 모니터링 등을 통한 안전성의 확보가 중요하다⁸⁾.

식약공용 농·임산물은 각종 동식물성 천연원료로 수분이나 온도 등 환경에 따라 미생물이나 총해 등으로 쉽게 변질될 가능성이 높다. 변질을 막기 위한 수단으로 인체에 유해한 훈증제와 같은 화학물질을 사용함에 따라 식약공용 농·임산물의 안전성이 사회적 문제로 대두되는 경우가 있었다⁹⁾. 농·임산물의 가공, 유통과정에서 각종 해충의 알이나 절단면의 갈변 방지와 빠른 건조를 위해 유향 훈증, 연탄 건조 등의 방법을 사용한다. 이 과정에서 발생하는 무색의 자극성 냄새를 가진 아황산가스는 강한 환원력을 지닌 아황산을 생성한다. 이는 황산으로 산화될 때 착색물을 환원시켜 강한 표백작용을 한다. 또한 아스코브산 산화효소(ascorbate oxidase)의 활성을 높여 항산화 작용을 나타내며, 폴리페놀 산화효소(polyphenoloxidase)의 저해제로 작용하여 갈변 현상을 억제하는 것으로 알려져 있다¹⁰⁾. 아황산염류는 생체 내에서 빠르게 산화되어 황산염(M_2SO_4)이 되고, 아황산을 유리하여 위장장애를 유발하거나, 특히 아황산 성분에 민감한 일반인 및 천식 환자에게 기관지 수축, 두통, 복통, 구토, 현기증, 발진 등의 과민성 반응을 일으킬 수 있다¹¹⁾.

따라서 본 연구는 서울지역에서 유통되는 식약공용 농·임산물의 중금속 및 이산화황 함량을 분석하고, 이에 대한 위해성을 평가하였다. 이를 통해 식약공용 농·임산물의 유해성분 함량을 파악하고 품질 및 안전관리 실태를 확인하여, 국민의 식약공용 농·임산물에 대한 불안 및 불신을 해소하는데 기여하고자 하였다.

Materials and Methods

시험재료

2019-2023년 서울약령시장과 경동시장에서 유통되는 국내산 및 수입산 식약공용 농·임산물 60품목 1,340건을 검사 대상으로 하였다. 시험재료를 약용 부위별로 등목류(caulis), 수·근피류(cortex), 화류(flos), 과실류(fructus), 전초류(herba), 엽류(leaves), 버섯류(perithecium), 종자류(semen), 근류(radix), 근경류(rhizome) 등 10개로 분류했다¹²⁾. 등목류는 2품목 45건, 수·근피류는 6품목 108건, 화류는 5품목 80건, 과실류는 11품목 302건, 전초류는 8품목 143건, 엽류는 2품목 37건, 버섯류는 1품목 29건, 종자류는 6품목 61건, 근류는 13품목 403건, 근경류는 6품목 132건이었다(Table 1). 검체는 분쇄기(SMX-M41KP, Shinil, Seoul, Korea)로 균질화하여 실험에 사용하였다.

표준물질 및 시약

납, 카드뮴, 비소 혼합 표준용액은 Multi-element standard for ICP/MS (10 µg/mL, Agilent, Santa Clara, CA, USA)를 사용하였고, 수은 표준품은 Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM, Geel, Belgium)의 인증표준물질(certified reference material, CRM) BCR-277R을 사용하였다. 시험법 유효성 검증을 위하여 중금속은 미국 국립표준기술연구소(National Institute of Standard & Technology, Gaithersburg, MD, USA)의 인증표준물질(1570a: spinach)과 한국표준과학연구원(Korea Research Institute of Standard and Science, Daejeon, Korea)의 인증표준물질(CRM 108-10-011: mushroom, 108-01-004:rice)을 사용하였고, 이산화황은 sodium bisulfate ($NaHSO_3$, Sigma-Aldrich, MO, USA)를 사용하였다.

중금속 분석을 위한 시약은 nitric acid (HNO_3 , Wako Pure Corporation, Osaka, Japan)를 사용하였고, 이산화황은 ethanol (EtOH, Fisher Scientific Korea Ltd., Seoul, Korea), hydrochloric acid (HCl, Junsei Chemical Co. Ltd., Kyoto, Japan), hydrogen peroxide (H_2O_2 , Junsei Chemical Co. Ltd.), methyl red (Sigma-Aldrich), 0.01 mol/L sodium hydroxide (NaOH, Wako Pure Chemical)을 사용하였다. 모든 시험에 사용한 물은 초순수제조장치(Milli-Q EQ 7000 with RiOs essential 5, Merck, Darmstadt, Germany)로 제조된 초순수를 사용하였다.

실험방법 및 기기분석

중금속은 대한민국약전 일반시험법 34. 생약시험법 나. 중금속 시험법¹³⁾에 따라 분석하였다. 납, 카드뮴, 비소는 극초단파분해법에 따라 균질화한 시료 0.5 g을 정밀하게 달아 70% HNO_3 12 mL를 넣고 Microwave Digestion System (MARS 5 Version 194A01, CEM, Matthews, NC, USA)의

Table 1. Classification of herbs for food and medicine used in this study

Parts used	N (n) ¹⁾	Sample name
Caulis	2(45)	<i>Cinnamomi Ramulus, Mori Ramulus</i>
Cortex	6(108)	<i>Acanthopanax Cortex, Cinnamomi Cortex, Eucommiae Cortex, Kalopanax Cortex, Mori Cortex Radicis, Ulmi Cortex</i>
Flos	5(80)	<i>Chrysanthemi flos, Lonicerae Flos, Maydis Stigma, Syzygii Flos, Puerariae Flos</i>
Fructus	11(302)	<i>Actinidiae Fructus, Amomi Fructus, Crataegi Fructus, Corni Fructus, Foeniculi Fructus, Gardeniae Fructus, Illici Veri Fructus, Lycii Fructus, Schisandrae Fructus, Sophorae Fructus, Rubi Fructus</i>
Herba	8(143)	<i>Agastachis Herba, Chrysanthemi Zawadskii Herba, Cirsii Herba, Leonuri Herba, Houttuyniae Herba, Menthae Herba, Taraxaci Herba, Visci Herba</i>
Leaves	2(37)	<i>Nelumbinis Folium, Perillae Folium</i>
Perithecium	1(29)	<i>Poria Sclerotium</i>
Semen	6(61)	<i>Cuscutae Semen, Longan Arillus, Nelumbinis Semen, Raphani Semen, Trigonellae Semen, Zizyphi Semen</i>
Radix	13(403)	<i>Achyranthis Radix, Adenophorae Radix, Angelicae Gigantis Radix, Asparagi Tuber, Astragali Radix, Araliae Continentalis Radix, Glycyrrhizae Radix et Rhizoma, Liriodopsis Tuber, Lithospermi Radix, Paeoniae Radix, Puerariae Radix, Platycodi Radix, Rehmanniae Radix Preparata</i>
Rhizoma	6(132)	<i>Acori Graminei Rhizoma, Atractylxidis Rhizoma Alba, Cnidii Rhizoma, Dioscoreae Rhizoma, Gastrodiae Rhizoma, Zingiberis Rhizoma</i>
Total	60(1,340)	

¹⁾ Number of item (Total number of samples analyzed).

로 분해하였다. 분해가 끝나면 방냉, 탈기하고 증류수를 가하여 50 mL로 정용하고 여과 후 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS, iCAP Q/RQ, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 분석하였다. 수은은 분쇄한 시료 약 50 mg을 자동시료주입기가 부착된 수은분석기(DMA-80 Direct Mercury Analyzer, Milestone S&T Co. Ltd., Bergamo, Italy)를 사용하여 시료를 고온으로 가열 분해하여 기화시킨 다음 수은 포집기에 포집, 농축하여 측정하는 가열기화금아말감법(Combustion gold amalgamation method)으로 측정하여 정량 분석하였다.

이산화황은 대한민국약전 일반시험법 34. 생약시험법 라. 이산화황 시험법¹³⁾에 따라 Monier-Williams변법으로 분석하였다. 시료 50 g과 4 mol/L HCl 90 mL, 5% EtOH 100 mL를 플라스크에 넣은 후 냉각기에 물을 공급하고 질소가스를 가스주입관을 통하여 0.21 L/min 속도로 통과시킨다. 1시간 45분 동안 가열하여 3% H₂O₂ 용액 30 mL를 넣은 수기에 포집한 후, 이 용액을 0.01 mol/L NaOH 용액으로 20초간 지속하는 황색이 될 때까지 적정하여 아래 식에 따라 이산화황의 양을 계산하였다.

$$\text{이산화황(mg/kg)} = \frac{320 \times V \times f}{S} \quad (1)$$

V : 0.01 mol/L NaOH의 소비량(mL)
(0.01 mol/L NaOH 1 mL = 320 µg SO₂)

f : 0.01 mol/L NaOH의 역가

S : 검체 채취량(g)

시험법 유효성 검증

시험법에 대한 유효성 검증은 식품의약품안전평가원의 「의약품 등 시험방법 밸리데이션 가이드라인(2015)」¹⁴⁾에 따라 직선성(linearity), 검출한계(limit of detection, LOD), 정량한계(limit of quantification, LOQ), 정확성(accuracy) 및 정밀성(precision)을 측정하였다. 직선성은 납, 카드뮴, 비소 혼합 표준용액의 농도가 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 10, 25 및 50 µg/kg, 수은은 0.5, 1.0, 2.0 및 5.0 µg/kg이 되도록 조제하여 검량선을 작성하였다. 검출한계와 정량한계는 표준용액을 단계별로 5회 반복 측정된 뒤 표준편차(σ)와 검량선의 기울기(S)를 구하고, 식2에 따라 계산하였다. 정확성과 정밀성은 인증표준물질을 분석시료와 동일한 조건으로 5회 반복 실험하여 회수율과 상대표준편차로 구하였다. 이산화황 sodium bisulfate를 10, 30, 50 및 100 mg/kg이 되도록 표준용액을 조제하여 표준용액을 이산화황이 검출되지 않은 시료에 첨가하여 회수율을 구하였다.

$$\text{LOD} = 3.3 \times \sigma / S \quad (2)$$

$$\text{LOQ} = 10 \times \sigma / S$$

σ : 반응의 표준편차

S : 검량선의 기울기

위해성 평가

식약공용 농·임산물 중 중금속의 위해성은 중금속의 1일 인체노출량^{15,16)}을 식 (3)과 같이 산출하고 이를 이용하여 각 중금속의 특성을 반영하여 평가하였다. 식약공용 농·임산물 일일복용량은 국민영양조사의 식품섭취량 자료가 없어 보다 안전한 관리를 위해 보수적인 평가가 요구됨으로 식약처 「기준 미설정 잔류농약 적부판정 해설서」¹⁷⁾의 복용량을 적용하였다. 통계청 자료를 참고하여 평균체중은 66.76 kg¹⁸⁾, 노출기간은 평균수명인 82.7년¹⁹⁾을 적용하였다. 이행률은 당제의 평균이행률¹⁵⁾을 참고하였고, 노출빈도는 365일²⁰⁾로 계산하였다. 카드뮴, 비소 및 수은의 인체노출안전기준은 각각 잠정월간섭취한계량(provisional tolerable monthly intake, PTMI), 최대일일허용량(maximum allowable daily body load, MADL) 및 주간섭취한계량(tolerable weekly intake, TWI)을 적용하였으며²¹⁾, 인체노출안전기준 대비 위해도(%)는 식 (4)와 같이 계산하였다. 납의 경우, 역치에 대한 근거가 부족하여 인체노출안전기준을 적용하지 않고 성인 신장기능 영향 최종 독성값인 BMDL₁₀에 해당하는 0.63 µg/kg b.w./day²²⁾의 독성 기준값을 사용하여 위해성 평가를 하였고, 위해여부 판단은 노출안전역(MOE), 식 (5) 방법으로 구하였으며, MOE가 1 이상이면 위해 할 가능성이 낮은 것으로 평가하였다.

$$ADD \text{ (mg/kg b.w./day)} = \frac{C \times DD \times ED \times TR \times EF}{BW \times AT \times CF} \quad (3)$$

- ADD (Average Daily Dose): 일일평균노출량
- C (Concentration of heavy metal): 시료의 중금속 농도(mg/kg)
- DD (Daily Dose): 일일복용량(g/day)
- ED (Exposure duration): 노출기간(year)
- TR (Transfer Rate): 이행률(%)
- EF (Exposure Frequency): 노출빈도(day/year)
- BW (Body Weight): 평균체중(kg)
- AT (Averaging Time): 평균수명(year)
- CF (Conversion Factor): 단위환산인자(day/year)

$$HI \text{ (Hazard Index, \%)} = \frac{ADD}{HBGV} \times 100 \quad (4)$$

HBGV (Health Based Guidance Value): 인체노출안전기준(mg/kg b.w./day)

$$MOE \text{ (Margin of Exposure)} = \frac{BMDL_{10}}{ADD} \quad (5)$$

BMDL₁₀ (Benchmark Dose Lower Confidence Limit): Reference point (mg/kg b.w./day)

이산화황의 위해성 평가는 시료 중 이산화황 농도와 일일섭취량을 곱한 값을 평균체중으로 나누어 1일 인체노출

량을 구한 후 국제식품첨가물위원회(JECFA)²³⁾에서 설정한 SO₂의 일일섭취허용량 상한값(0.7 mg/kg)의 10%로 나누어 위해도를 구하였다²⁴⁾. 위해도가 1 이하이면 위해 우려 가능성이 없는 것으로 평가할 수 있다.

$$\text{Dietary Exposure} = \sum_{i=1}^n \frac{CSi \times IRi}{BW} \quad (6)$$

CSi (concentration of sulfur dioxide): 시료(i)의 이산화황 농도(mg/kg)

IRi (Ingestion rate): 시료(i)의 섭취율(g/day)

BW (Body weight): 평균체중(kg)

$$HI \text{ (Hazard Index)} = \frac{\text{Dietary Exposure}}{\text{ADI 상한값의 } 10\%} \quad (7)$$

ADI (Acceptable Daily Intake): 일일섭취허용량(mg/kg/day)

통계분석

중금속과 이산화황의 함량 비교를 위하여 분석결과는 SPSS 24.0 (Statistical Package for the Social Sciences, IBM SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 분산분석(One-Way analysis of variance, ANOVA)을 실시하였다. Duncan's multiple range test를 이용하여 P<0.05 수준에서 시료 간의 통계적 유의성을 검증하였다.

Results and Discussion

시험법 유효성 검증

납, 카드뮴, 비소 및 수은의 표준용액을 조제하여 각각의 검량선을 작성한 결과, 상관계수(r²)는 0.9997-0.9999으로 양호한 직선성을 보였다. 검출한계는 각각 0.0011 µg/kg, 0.0002 µg/kg, 0.0030 µg/kg, 0.0010 µg/kg이었으며, 정량한계는 각각 0.0033 µg/kg, 0.0006 µg/kg, 0.0092 µg/kg, 0.0030 µg/kg이었다. 정확성과 정밀성은 회수율과 상대표준편차로 검증하였고, 평균 회수율은 납 95.1%, 카드뮴 91.7%, 비소 96.9%, 수은 99.6% 이었다. 또한 정밀성을 파악하기 위한 상대표준편차는 변동계수(C.V.)로 각각 3.11%, 1.21%, 6.69%, 1.23%로 나타났다(Table 2). 이산화황 회수율은 아황산수소나트륨(NaHSO₃)을 10, 30, 50 및 100 mg/kg의 농도로 측정한 결과가 각각 76.4%, 85.8%, 86.5%, 89.7%로 평균 회수율은 84.6%이었다(Table 3).

품목별 중금속 및 이산화황 함량

품목별 중금속(납, 카드뮴, 비소, 수은)과 이산화황 함량을 분석한 결과(Table 4), 납 평균 검출량은 계지(1.486 mg/kg), 복령(1.377 mg/kg), 두충(1.280 mg/kg), 사삼(1.044 mg/kg) 및 오가피(1.024 mg/kg) 순으로 높았고, 2023년에 복령 1건에서 납이 36.933 mg/kg으로 검출되어 기준치(5 mg/kg)

Table 2. Elemental quantities by ICP-MS and mercury analyzer for CRM¹⁾

Elements	Certified (mg/kg)	Measured ³⁾ (mg/kg)	C.V. ⁶⁾ (%)	Recovery (%)	LOD ⁷⁾ (µg/kg)	LOQ ⁸⁾ (µg/kg)	Linearity (R ²)
	Mean±SD						
Pb ²⁾	0.0049±0.0012	0.0047±0.0001	3.11	95.1	0.0011	0.0033	0.9997
Cd ²⁾	0.3592±0.0067	0.3295±0.0039	1.21	91.7	0.0002	0.0006	0.9999
As ³⁾	0.068±0.012	0.066±0.004	6.69	96.9	0.0030	0.0092	0.9998
Hg ⁴⁾	0.128±0.006	0.127±0.002	1.23	99.6	0.0010	0.0030	0.9999

¹⁾ Certified reference material.

²⁾ KRISS CRM 108-01-004.

³⁾ NIST SRM 1570a.

⁴⁾ IRMM CRM BCR-277R.

⁵⁾ Measured ICP-MS and mercury analyzer.

⁶⁾ Coefficient of variation.

⁷⁾ Limit of detection.

⁸⁾ Limit of quantitation.

Table 3. Recoveries of sulfur dioxide in herbs for food and medicine

Spiked SO ₂ (mg/kg)	Measured SO ₂ (mg/kg)	Recovery (%)
	Mean±S.D.	
10	7.6±0.7	76.4±6.7
30	25.7±1.4	85.8±4.5
50	43.3±2.0	86.5±3.9
100	89.7±1.7	89.7±1.7

를 초과하였다. 카드뮴 기준은 0.3 또는 0.7 mg/kg 이하(계지, 백출, 사삼, 우슬, 육계, 인진호, 창출, 포공영)로 2022년에 구절초 2건이 각각 1.700 mg/kg, 0.650 mg/kg 검출되어 기준을 초과하였고, 카드뮴 검출량이 높은 품목은 구절초(0.670 mg/kg), 계피(0.328 mg/kg), 계지(0.279 mg/kg), 감국(0.217 mg/kg), 금은화(0.193 mg/kg) 순이었다. 비소는 포공영(0.510 mg/kg), 사삼(0.357 mg/kg), 석창포(0.264 mg/kg), 유백피(0.263 mg/kg) 및 갈화(0.250 mg/kg) 순으로 높게 검출되었고, 모두 기준치(3.0 mg/kg) 이내였다. 수은은 모든 품목이 기준(0.2 mg/kg) 이하였고, 하엽(0.015 mg/kg), 박하(0.014 mg/kg), 팔각회향(0.013 mg/kg), 계지(0.013 mg/kg) 및 꼭기생(0.012 mg/kg) 순으로 검출되었다. 중금속 허용 기준을 초과한 품목을 살펴보면 복령은 소나무 뿌리에 기생하여 성장하며, 다른 버섯과는 달리 자실체가 아닌 토양 속에서 형성되는 균핵을 이용하여 자라 오염된 토양, 지하수 등으로부터 상당량의 잔류농약, 중금속 등이 흡착할 수 있고²⁵⁾, 구절초는 Kim 등²⁶⁾의 연구에서 국화과의 다년생 초본으로 가을에 전초를 채취하여 약재로 사용하는데 지하부인 뿌리의 함유 비율에 따라 중금속 오염우려가 있다고 보고되었다. 중금속 평균 검출량 및 범위는 납 0.327 mg/kg(ND-36.933), 카드뮴 0.083 mg/kg(ND-1.700), 비소 0.075 mg/kg

(ND-2.200), 수은 0.004 mg/kg (ND-0.047)이었다. 중금속 중 납, 카드뮴, 비소는 일부 품목에서 다소 높은 수준이 검출되었지만, 수은은 대부분 검출되지 않았거나 미량으로 검출되었다. 이는 수은의 평균 검출량이 납, 카드뮴, 비소의 평균 검출량보다 낮았다는 Seo 등⁵⁾의 보고와 유사한 결과를 보였다. 중금속은 토양의 오염으로 인해 식물체에 흡수될 수 있으므로 재배과정에서 토양과 환경이 화학물질에 의해 오염되지 않도록 체계적인 재배관리가 필요하다.

이산화황의 평균 검출량 및 범위는 0.75 mg/kg(ND-192.00)이었고, 2019년에 천마 2건에서 각각 42.00 mg/kg, 192.00 mg/kg으로 이산화황 기준인 30 mg/kg을 초과하였다. 그 외 이산화황 검출량이 높은 품목은 내복자(17.32 mg/kg), 천마(9.00 mg/kg), 산약(7.22 mg/kg), 천문동(2.17 mg/kg) 및 금은화(1.99 mg/kg) 순으로 나타났으며, 해동피, 복령, 연자육, 토사자, 사삼, 황기, 석창포, 천궁은 검출되지 않았다. 내복자는 무(십자화과)의 잘 익은 씨로 황(sulfur)을 함유하는 물질이 포함되어 있으며²⁷⁾, 천마의 경우 Lee 등²⁸⁾의 연구에서 7건의 평균 잔류량이 108.6 mg/kg이었으며, 산약 등에서도 높은 검출량을 나타낸 것으로 보고되었다. 2021년 식품의약품안전처의 식약공용 농·임산물 수거, 점검 결과²⁹⁾ 천마 1건에서 105.0 mg/kg이 검출되었으며, 2023년에는 산약 1건에서 160.0 mg/kg이 검출되어 기준을 초과하였다³⁰⁾. 이산화황 검출량이 높은 품목들은 수분함량이 많아 상품가치를 높이기 위해 건조과정에서 연탄 건조나 유황 훈증을 사용한 것으로 보인다.

약용부위별 중금속 및 이산화황 함량

약용부위를 등목류, 수근피류, 화류, 과실류, 전초류, 엽류, 종자류, 버섯류, 근류 및 근경류로 분류하고, 중금속과 이산화황 함량을 분석한 결과 Table 5와 같았다. 납의 부위별 평균 함량은 버섯류(1.377 mg/kg), 카드뮴은 수근피류(0.156 mg/kg)와 등목류(0.144 mg/kg), 비소는 엽류(0.149 mg/kg)와 전

Table 4. The content of heavy metal and SO₂ in herbs for food and medicine

No.	Main material	N ¹⁾	Heavy metal (mg/kg)				SO ₂ (mg/kg)
			Pb	Cd	As	Hg	
1	<i>Cinnamomi ramulus</i>	22	1.486±0.639 ³⁾ (0.300-2.900) ³⁾	0.279±0.082 (0.160-0.485)	0.019±0.046 (ND-0.210)	0.013±0.006 (ND-0.024)	0.24±0.53 (ND ⁴⁾ -1.63)
2	<i>Mori ramulus</i>	23	0.156±0.094 (ND-0.400)	0.015±0.020 (ND-0.101)	0.015±0.026 (ND-0.100)	0.002±0.003 (ND-0.012)	0.20±0.45 (ND-1.33)
3	<i>Acanthopanax cortex</i>	31	1.024±0.794 (0.157-3.000)	0.142±0.070 (0.040-0.289)	0.084±0.066 (ND-0.200)	0.007±0.006 (ND-0.018)	0.15±0.52 (ND-2.73)
4	<i>Cinnamomi cortex</i>	24	0.220±0.178 (ND-0.653)	0.328±0.108 (0.005-0.515)	0.047±0.054 (ND-0.184)	0.011±0.008 (ND-0.024)	0.03±0.13 (ND-0.64)
5	<i>Eucommiae cortex</i>	34	1.280±0.838 (0.350-4.027)	0.105±0.044 (0.050-0.230)	0.048±0.050 (ND-0.164)	0.008±0.008 (ND-0.038)	0.62±0.96 (ND-3.60)
6	<i>Kalopanax cotex</i>	6	0.130±0.235 (ND-0.600)	0.122±0.080 (0.040-0.233)	0.005±0.007 (ND-0.016)	0.002±0.003 (ND-0.007)	ND (ND)
7	<i>Mori cortex radialis</i>	5	0.694±0.653 (0.100-1.780)	0.210±0.024 (ND-0.060)	0.177±0.181 (ND-0.470)	0.005±0.009 (ND-0.020)	0.34±0.76 (ND-1.70)
8	<i>Ulmii cotex</i>	8	0.424±0.318 (0.050-0.900)	0.017±0.148 (ND-0.050)	0.263±0.394 (ND-1.200)	0.003±0.004 (ND-0.010)	0.25±0.71 (ND-2.00)
9	<i>Chrysanthemi flos</i>	15	0.070±0.086 (ND-0.313)	0.217±0.038 (0.143-0.280)	0.023±0.032 (ND-0.121)	0.001±0.001 (ND-0.003)	0.39±0.68 (ND-1.88)
10	<i>Lonicerae flos</i>	19	0.592±0.568 (ND-1.850)	0.193±0.060 (0.067-0.250)	0.127±0.089 (ND-0.314)	0.005±0.006 (ND-0.020)	1.99±2.36 (ND-8.80)
11	<i>Maydis stigma</i>	15	0.185±0.159 (ND-0.600)	0.018±0.014 (ND-0.050)	0.038±0.053 (ND-0.185)	0.006±0.012 (ND-0.047)	1.43±2.22 (ND-7.88)
12	<i>Syzygii flos</i>	25	0.018±0.029 (ND-0.100)	0.007±0.031 (ND-0.154)	0.003±0.006 (ND-0.020)	0.001±0.001 (ND-0.004)	0.36±0.76 (ND-3.03)
13	<i>Puerariae flos</i>	6	0.432±0.314 (0.200-1.000)	0.283±0.015 (0.010-0.050)	0.250±0.207 (ND-0.600)	0.010±0.015 (ND-0.040)	0.97±0.79 (ND-1.88)
14	<i>Actinidiae fructus</i>	11	0.253±0.357 (0.050-1.279)	0.030±0.041 (ND-0.135)	0.084±0.094 (0.010-0.300)	0.003±0.003 (ND-0.009)	0.27±0.61 (ND-1.98)
15	<i>Amomi fructus</i>	12	0.199±0.131 (0.100-0.518)	0.016±0.247 (ND-0.088)	0.027±0.059 (ND-0.210)	0.002±0.003 (ND-0.009)	0.02±0.07 (ND-0.25)
16	<i>Corni fructus</i>	43	0.057±0.074 (ND-0.400)	0.012±0.027 (ND-0.142)	0.009±0.010 (ND-0.033)	0.002±0.002 (ND-0.010)	0.09±0.04 (ND-2.01)
17	<i>Crataegi fructus</i>	51	0.132±0.102 (ND-0.400)	0.033±0.026 (ND-0.137)	0.016±0.022 (ND-0.093)	0.002±0.003 (ND-0.016)	0.02±0.10 (ND-0.63)
18	<i>Foeniculi fructus</i>	25	0.035±0.064 (ND-0.299)	0.019±0.022 (ND-0.117)	0.017±0.025 (ND-0.091)	0.003±0.004 (ND-0.016)	0.07±0.21 (ND-0.76)
19	<i>Gardeniae fructus</i>	38	0.143±0.289 (ND-1.609)	0.034±0.020 (0.010-0.077)	0.030±0.051 (ND-0.300)	0.005±0.005 (ND-0.020)	0.64±1.813 (ND-8.16)
20	<i>Illici veri fructus</i>	8	0.199±0.091 (0.100-0.362)	0.026±0.040 (ND-0.120)	0.058±0.053 (ND-0.159)	0.013±0.004 (0.008-0.020)	0.64±0.18 (ND-0.51)
21	<i>Lycii fructus</i>	32	0.059±0.142 (ND-0.813)	0.120±0.064 (0.001-0.243)	0.034±0.127 (ND-0.725)	0.002±0.004 (ND-0.020)	1.04±2.86 (ND-11.89)
22	<i>Schisandrae fructus</i>	26	0.069±0.044 (ND-0.163)	0.020±0.032 (ND-0.111)	0.020±0.018 (ND-0.061)	0.002±0.003 (ND-0.011)	0.08±0.31 (ND-1.47)
23	<i>Sophorae fructus</i>	18	0.130±0.100 (ND-0.379)	0.016±0.049 (ND-0.210)	0.015±0.032 (ND-0.107)	0.001±0.003 (ND-0.012)	0.17±0.43 (ND-1.60)
24	<i>Rubi fructus</i>	38	0.833±0.835 (0.064-4.320)	0.086±0.034 (0.004-0.216)	0.163±0.261 (ND-1.600)	0.003±0.004 (ND-0.016)	0.45±0.81 (ND-2.67)
25	<i>Agastachis herba</i>	14	0.060±0.071 (ND-0.2000)	0.005±0.063 (ND-0.200)	0.001±0.004 (ND-0.016)	0.004±0.006 (ND-0.015)	0.92±1.10 (ND-3.04)
26	<i>Chrysanthemi zawadskii herba</i>	4	0.108±0.026 (0.078-0.140)	0.670±0.724 (0.162-1.700)	0.027±0.021 (ND-0.050)	0.010±0.008 (ND-0.020)	0.38±0.77 (ND-1.53)
27	<i>Cirsii herba</i>	15	0.296±0.149 (0.046-0.600)	0.785±0.064 (0.003-0.187)	0.189±0.732 (0.026-0.300)	0.004±0.006 (ND-0.020)	0.45±0.14 (ND-5.11)
28	<i>Leonuri herba</i>	21	0.154±0.130 (ND-0.635)	0.016±0.022 (ND-0.109)	0.060±0.060 (ND-0.226)	0.008±0.007 (ND-0.023)	0.13±0.35 (ND-1.28)
29	<i>Houttuyniae herba</i>	28	0.718±0.752 (0.100-3.227)	0.085±0.055 (0.020-0.220)	0.183±0.199 (ND-1.033)	0.011±0.006 (ND-0.022)	0.44±0.10 (ND-3.97)
30	<i>Menthae herba</i>	20	0.210±0.112 (0.100-0.588)	0.033±0.034 (0.010-0.140)	0.073±0.074 (ND-0.351)	0.014±0.013 (ND-0.041)	0.54±1.39 (ND-5.50)
31	<i>Taraxaci herba</i>	14	0.941±0.700 (ND-2.490)	0.112±0.654 (ND-0.231)	0.510±0.392 (ND-1.500)	0.074±0.004 (ND-0.013)	0.53±0.89 (ND-2.50)

Table 4. (Continued) The content of heavy metal and SO₂ in herbs for food and medicine

No.	Main material	N ¹⁾	Heavy metal (mg/kg)				SO ₂ (mg/kg)
			Pb	Cd	As	Hg	
32	<i>Visci herba</i>	27	0.599±0.419 (0.026-1.944)	0.110±0.061 (0.044-0.280)	0.083±0.102 (ND-0.530)	0.012±0.005 (0.001-0.027)	0.19±0.50 (ND-2.05)
33	<i>Nelumbinis folium</i>	14	0.853±1.058 (0.003-3.567)	0.019±0.026 (0.001-0.106)	0.010±0.063 (ND-0.217)	0.015±0.006 (0.002-0.023)	0.37±0.69 (ND-2.04)
34	<i>Perillae folium</i>	23	0.414±0.553 (ND-2.322)	0.051±0.052 (0.008-0.229)	0.179±0.444 (ND-2.200)	0.005±0.005 (ND-0.013)	0.24±0.54 (ND-2.10)
35	<i>Poria sclerotium</i>	29	1.377±6.842 (ND-36.933)	0.019±0.033 (ND-0.147)	0.019±0.026 (ND-0.100)	0.005±0.005 (ND-0.023)	ND (ND)
36	<i>Cuscutae semen</i>	13	0.863±0.957 (ND-3.200)	0.019±0.024 (0.005-0.097)	0.090±0.084 (0.007-0.300)	0.001±0.001 (ND-0.005)	ND (ND)
37	<i>Longan arillius</i>	8	0.003±0.008 (ND-0.023)	0.016±0.009 (ND-0.030)	0.015±0.035 (ND-0.100)	0.004±0.001 (ND-0.003)	1.59±4.50 (ND-12.73)
38	<i>Nelumbinis semen</i>	15	0.021±0.025 (ND-0.079)	0.101±0.033 (0.060-0.189)	0.030±0.029 (ND-0.082)	0.002±0.002 (ND-0.006)	ND (ND)
39	<i>Raphani semen</i>	7	0.300±0.458 (ND-0.130)	0.063±0.055 (0.002-0.178)	0.030±0.039 (ND-0.088)	0.007±0.007 (ND-0.016)	17.32±4.39 (10.66-22.14)
40	<i>Trigonellae semen</i>	8	0.015±0.017 (ND-0.040)	0.023±0.010 (0.010-0.045)	0.005±0.006 (ND-0.016)	0.002±0.002 (ND-0.004)	1.01±2.84 (ND-8.04)
41	<i>Zizyphi semen</i>	10	0.029±0.021 (0.006-0.056)	0.016±0.033 (ND-0.114)	0.014±0.006 (0.008-0.024)	0.003±0.002 (ND-0.006)	0.05±0.16 (ND-0.51)
42	<i>Achyranthis radix</i>	39	0.306±0.515 (ND-2.866)	0.114±0.110 (0.020-0.468)	0.109±0.091 (ND-0.318)	0.002±0.003 (ND-0.010)	1.46±4.82 (ND-28.16)
43	<i>Adenophorae radix</i>	7	1.044±1.290 (0.099-3.865)	0.130±0.103 (0.042-0.346)	0.357±0.262 (0.166-0.934)	0.011±0.006 (0.004-0.019)	ND (ND)
44	<i>Angelicae gigantis radix</i>	52	0.272±0.330 (0.042-2.238)	0.178±0.055 (0.043-0.291)	0.167±0.146 (0.040-0.800)	0.002±0.002 (ND-0.011)	0.34±0.96 (ND-5.16)
45	<i>Asparagi tuber</i>	13	0.096±0.128 (ND-0.500)	0.079±0.047 (0.010-0.170)	0.001±0.005 (ND-0.017)	0.001±0.002 (ND-0.005)	2.17±2.37 (ND-7.36)
46	<i>Astragali radix</i>	34	0.087±0.069 (ND-0.500)	0.033±0.053 (ND-0.260)	0.064±0.058 (ND-0.260)	0.001±0.002 (ND-0.009)	ND (ND)
47	<i>Araliae continentalis radix</i>	4	0.436±0.175 (0.200-0.600)	0.038±0.018 (0.020-0.063)	0.017±0.035 (ND-0.069)	0.001±0.002 (ND-0.003)	0.06±0.13 (ND-0.25)
48	<i>Glycyrrhizae radix et rhizoma</i>	70	0.075±0.081 (ND-0.433)	0.033±0.046 (ND-0.220)	0.053±0.051 (ND-0.234)	0.002±0.002 (ND-0.010)	0.32±1.68 (ND-13.00)
49	<i>Liriopis tuber</i>	48	0.093±0.095 (ND-0.361)	0.084±0.045 (0.020-0.224)	0.063±0.073 (ND-0.347)	0.004±0.004 (ND-0.021)	0.28±0.94 (ND-5.07)
50	<i>Lithospermi radix</i>	9	0.051±0.061 (ND-0.170)	0.028±0.039 (ND-0.126)	0.071±0.043 (ND-0.105)	0.001±0.002 (ND-0.004)	0.15±0.31 (ND-0.83)
51	<i>Paeoniae radix</i>	27	0.066±0.096 (ND-0.386)	0.098±0.071 (0.014-0.245)	0.043±0.073 (ND-0.366)	0.003±0.003 (ND-0.011)	0.94±4.55 (ND-23.65)
52	<i>Platycodi radix</i>	49	0.129±0.158 (ND-0.953)	0.128±0.064 (0.019-0.245)	0.039±0.034 (ND-0.180)	0.003±0.004 (ND-0.016)	0.33±1.44 (ND-9.44)
53	<i>Puerariae radix</i>	38	0.318±0.337 (0.031-1.950)	0.140±0.056 (0.014-0.244)	0.074±0.064 (ND-0.283)	0.002±0.002 (ND-0.009)	0.29±0.88 (ND-4.61)
54	<i>Rehmanniae radix preparata</i>	13	0.462±0.392 (0.003-1.419)	0.049±0.039 (0.002-0.131)	0.241±0.235 (ND-0.953)	0.004±0.004 (ND-0.011)	0.67±2.05 (ND-7.41)
55	<i>Acori graminei rhizoma</i>	5	0.524±0.657 (0.100-1.682)	0.048±0.079 (ND-0.187)	0.264±0.079 (ND-0.991)	0.003±0.003 (ND-0.005)	ND (ND)
56	<i>Atractylodis rhizoma alba</i>	18	0.324±0.497 (ND-1.958)	0.191±0.170 (0.050-0.589)	0.154±0.143 (ND-0.461)	0.001±0.001 (ND-0.005)	0.03±0.11 (ND-0.45)
57	<i>Cnidii rhizoma</i>	31	0.118±0.074 (ND-0.315)	0.078±0.048 (0.005-0.215)	0.104±0.075 (ND-0.283)	0.004±0.004 (ND-0.018)	ND (ND)
58	<i>Dioscoreae rhizoma</i>	18	0.103±0.142 (ND-0.407)	0.057±0.044 (0.004-0.148)	0.132±0.215 (ND-0.600)	0.004±0.004 (ND-0.011)	7.22±11.73 (ND-28.88)
59	<i>Gastrodiae rhizoma</i>	26	0.158±0.172 (ND-0.900)	0.058±0.037 (0.005-0.145)	0.021±0.040 (ND-0.202)	0.001±0.001 (ND-0.004)	9.00±38.22 (ND-192.00)
60	<i>Zingiberis rhizoma</i>	34	0.150±0.082 (ND-0.300)	0.144±0.064 (0.002-0.248)	0.042±0.039 (ND-0.128)	0.002±0.003 (ND-0.013)	0.47±1.53 (ND-7.00)
Total		1,340	0.327±1.124 (ND-36.933)	0.083±0.099 (ND-1.700)	0.075±0.141 (ND-2.200)	0.004±0.006 (ND-0.047)	0.75±5.91 (ND-192.00)

¹⁾ Number of samples, ²⁾ Mean±SD.³⁾ Range, ⁴⁾ ND: not detected.

초류(0.141 mg/kg), 수은은 전초류(0.009 mg/kg)와 엽류(0.009 mg/kg)에서 유의적으로 높게 검출되었다. 약용부위별 중금속 함량의 합을 살펴보면, 버섯류(1.421 mg/kg), 수·근피류(1.058 mg/kg), 등목류(0.975 mg/kg), 엽류(0.778 mg/kg), 전초류(0.671 mg/kg), 화류(0.386 mg/kg), 근류(0.370 mg/kg), 근경류(0.369 mg/kg), 과실류(0.284 mg/kg), 종자류(0.281 mg/kg)의 순으로 나타났다. Luo³¹⁾ 등의 연구에 따르면 약용식물 중금속 함량 조사에서 전초류 및 기타(58.16%), 화류(40.00%), 근류 및 근경류(37.20%), 엽류 및 수·근피류(34.39%), 과실류 및 종자류(7.69%)에서 중금속 허용치를 초과하는 비율이 높게 나타나 약용부위별 중금속이 검출되는 수준과 허용치를 초과하는 비율 사이에 유사한 경향이 있음을 보여주었다. 약용작물의 경우 자연생육이나 재배과정에서 품목에 따라 중금속을 함유하는 수준이 다르고, 뿌리 부위를 주로 약용하는 근피류, 전초류, 근류, 근경류는 일반적으로 재배기간이 길수록 중금속 함유량이 높아지는 특성이 있다³²⁾.

약용부위별 이산화황 평균 함량은 근경류(2.84 mg/kg), 종자류(2.33 mg/kg), 근류(0.50 mg/kg), 전초류(0.42 mg/kg), 과실류(0.31 mg/kg), 엽류(0.29 mg/kg), 수·근피류(0.28 mg/kg), 등목류(0.22 mg/kg), 화류(0.10 mg/kg) 순으로 검출되었다. 이산화황 기준을 초과한 천마는 한약재 관능검사해설서³³⁾에 따르면, 덩이줄기를 약용부위로 하여 충해를 방지하고 밝은 빛깔을 내기 위해 유향 훈증을 하는 경우가 많다고 언급되어 있다. 또 Jung³⁴⁾의 연구에 따르면 한약재 분류별 잔류이산화황의 평균농도는 등목류 5.967 mg/kg, 버섯류 3.198 mg/kg, 근류 2.914 mg/kg, 수·근피류 2.096 mg/kg, 과실·종자류 2.646 mg/kg, 전초류 0.995 mg/kg, 화류 0.855 mg/kg 순으로 나타났다. 이와 같이 같은 부위임에도 결과의 차이가 나는 이유는 약용식물이 건조나 표백의 목적으로 같은 양의 아황산염류를 사용하더라도 사용부위나 고유의 형태학적 특성에 따라 잔류량이 달라질 수 있기 때문이다³⁵⁾.

Table 5. The content of heavy metal and SO₂ in herbs for food and medicine by parts used

Parts Used	N ¹⁾	Heavy metal (mg/kg)					SO ₂ (mg/kg)
		Pb	Cd	As	Hg	Total	
Caulis	45	0.806±0.807 ^{b2)}	0.144±0.146 ^c	0.017±0.037 ^a	0.007±0.007 ^c	0.975±0.942	0.22±0.49 ^{ab}
		(ND-2.900) ³⁾	(ND-0.485)	(ND-0.210)	(ND ⁴⁾ -0.024)		(ND-0.163)
Cortex	108	0.817±0.790 ^b	0.156±0.121 ^c	0.078±0.133 ^{bc}	0.007±0.007 ^c	1.058±0.840	0.28±0.69 ^{ab}
		(ND-4.027)	(ND-0.515)	(ND-1.200)	(ND-0.038)		(ND-3.60)
Flos	80	0.227±0.374 ^a	0.094±0.102 ^b	0.061±0.102 ^{abc}	0.004±0.008 ^a	0.386±0.490	0.10±1.71 ^{abc}
		(ND-1.850)	(ND-0.280)	(ND-0.600)	(ND-0.047)		(ND-8.80)
Fructus	302	0.198±0.409 ^a	0.042±0.049 ^a	0.041±0.116 ^{abc}	0.003±0.004 ^a	0.284±0.493	0.30±1.22 ^{ab}
		(ND-4.320)	(ND-0.243)	(ND-1.600)	(ND-0.020)		(ND-11.89)
Herba	143	0.438±0.525 ^{ab}	0.083±0.158 ^b	0.141±0.209 ^d	0.009±0.008 ^d	0.671±0.715	0.42±0.97 ^{ab}
		(ND-3.227)	(ND-1.700)	(ND-1.500)	(ND-0.041)		(ND-5.50)
Leaves	37	0.580±0.799 ^{ab}	0.039±0.463 ^a	0.149±0.352 ^d	0.009±0.007 ^{cd}	0.778±0.954	0.29±0.60 ^{ab}
		(ND-3.567)	(0.001-0.229)	(ND-2.200)	(ND-0.023)		(ND-2.10)
Perithecium	29	1.377±6.842 ^c	0.019±0.033 ^a	0.019±0.026 ^a	0.005±0.005 ^b	1.421±6.881	ND ^a
		(ND-36.933)	(ND-0.147)	(ND-0.100)	(ND-0.023)		(ND)
Semen	61	0.200±0.552 ^a	0.044±0.047 ^a	0.035±0.053 ^{ab}	0.002±0.003 ^a	0.281±0.609	2.33±5.93 ^{bc}
		(ND-3.200)	(ND-0.189)	(ND-0.300)	(ND-0.016)		(ND-22.14)
Radix	403	0.188±0.334 ^a	0.095±0.079 ^b	0.085±0.111 ^{bc}	0.003±0.003 ^a	0.370±0.437	0.50±2.26 ^{ab}
		(ND-3.865)	(ND-0.468)	(ND-0.953)	(ND-0.021)		(ND-28.16)
Rhizoma	132	0.176±0.257 ^a	0.102±0.092 ^b	0.088±0.139 ^c	0.002±0.003 ^a	0.369±0.406	2.84±17.67 ^c
		(ND-1.958)	(ND-0.589)	(ND-0.991)	(ND-0.018)		(ND-192.00)

¹⁾ Number of samples.

²⁾ Mean±SD.

³⁾ Range.

⁴⁾ ND: not detected.

Each group (a to d) has statistically significant differences by Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

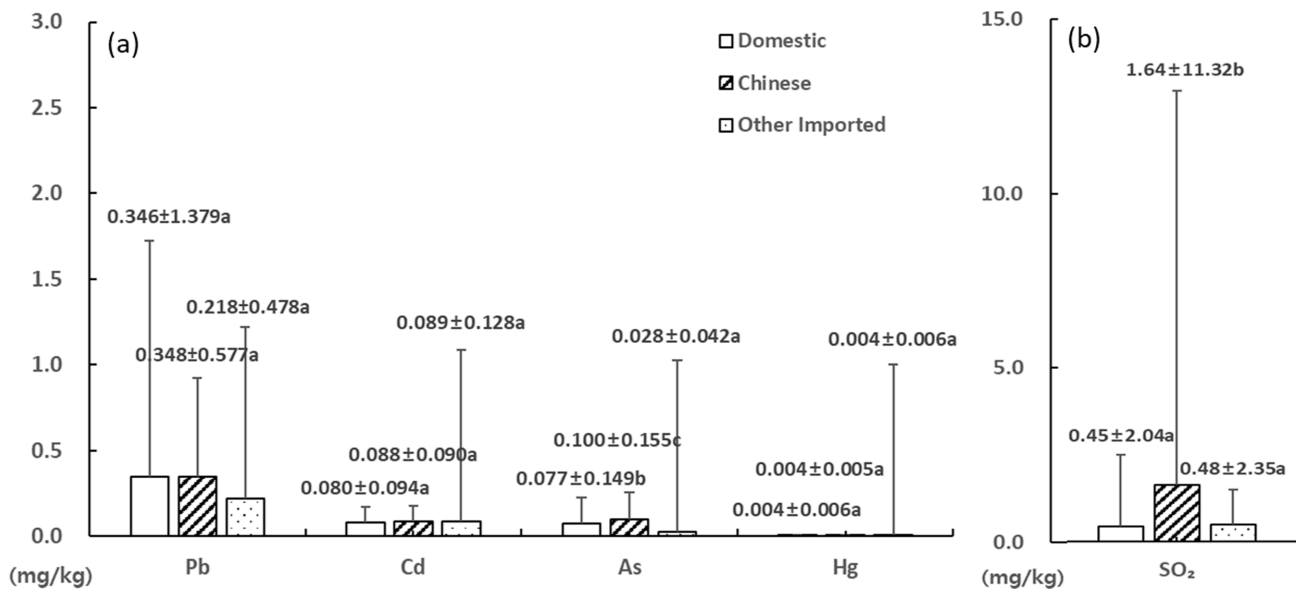


Fig. 1. Content of the heavy metals (a) and SO₂ (b) contained in herbs for food and medicine by origin. Each group (a to c) has statistically significant differences by Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

원산지별 중금속 및 이산화황 함량

식약공용 농·임산물을 국내산, 중국산, 중국 외 수입산으로 원산지를 구분하여 중금속과 이산화황 함량을 분석하였다(Fig. 1). 중금속 평균 검출량 및 범위를 보면 국내산은 납 0.346 mg/kg (ND-36.933), 카드뮴 0.080 mg/kg (ND-1.700), 비소 0.077 mg/kg (ND-2.200), 수은 0.004 mg/kg (ND-0.047)이었고 중국산은 납 0.348 mg/kg (ND-4.320), 카드뮴 0.088 mg/kg (ND-0.589), 비소 0.100 mg/kg (ND-1.600), 수은 0.004 mg/kg (ND-0.040)이었다. 중국 외 수입산은 납 0.218 mg/kg (ND-2.900), 카드뮴 0.089 mg/kg (ND-0.515), 비소 0.028 mg/kg (ND-0.210), 수은 0.004 mg/kg (ND-0.024)이었다. 원산지별 중금속 함량을 비교한 결과, 납, 카드뮴 및 수은은 국내산, 중국산, 중국 외 수입산 간에 유의적인 차이는 없지만 납 기준을 초과한 복령과 카드뮴 기준을 초과한 구절초 2건이 모두 국내산으로 나타나, 이들 품목에 대한 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 생각된다. 비소의 경우 중국산이 국내산 및 중국 외 수입산보다 높게 검출되었으나, 모든 품목에서 허용기준 이하로 나타나 대부분의 시료가 안전한 것으로 분석되었다. 이는 An³⁰⁾의 연구에서 품목별로 차이는 있지만, 대부분의 품목에서 수입산이 국산보다 높은 비소함량을 보였다는 결과와 유사하였다.

원산지별 이산화황을 분석한 결과, 평균 검출량 및 범위는 국내산 0.45 mg/kg (ND-28.16), 중국산 1.64 mg/kg (ND-192.00), 중국 외 수입산 0.48 mg/kg (ND-19.40)으로 나타났다. 중국산이 국내산과 중국 외 수입산보다 더 높은 평균 검출량을 보였으며, 기준을 초과한 천마 2건이 모두 중국산이었다. Lee 등³⁷⁾의 연구에서도 수입산이 국내산 보다 잔류 이산화황 평균 검출량이 높은 것으로 보고되었다.

일반적으로 세척 및 가열과정을 거치면서 실제 섭취 시 이산화황 잔류량은 원재료 보다 크게 감소하지만 완전히 제거되지 않는 수 있으므로 식약공용 농·임산물 중 다빈도 부적합 품목에 대한 지속적인 검사 및 관리 강화가 필요하다.

위해성 평가

식약공용 농·임산물의 중금속과 이산화황의 노출안전역, 위험도는 Table 6과 같았다. 납의 노출안전역인 MOE 값은 최대값의 평균을 적용한 결과, 버섯류(0.66 mg/kg), 엽류(16.43 mg/kg), 등목류(46.48 mg/kg), 근류(60.36 mg/kg), 근경류(72.46 mg/kg), 수근피류(77.10 mg/kg), 전초류(84.24 mg/kg), 과실류(124.21 mg/kg), 종자류(529.51 mg/kg), 화류(648.00 mg/kg) 순으로 나타났다. 납 검출량이 높았던 버섯류인 복령의 경우, MOE값이 0.66으로 1보다 낮아 위해성이 있는 것으로 평가되었다. 그 밖의 MOE 값이 모두 1보다 커서 납으로 인한 위해영향은 우려되지 않았다. 카드뮴, 비소, 수은의 인체 위해성 평가는 위험도로 계산하여, 100% 이하인 경우 안전하다고 판단하였다. 약용부위별 카드뮴, 비소 및 수은 최대값의 평균의 위험도는 각각 0.2740-1.0702%, 0.0049-0.0335% 및 0.0041-0.0287%로 매우 낮아 안전한 수준이었다. Shin 등³⁸⁾의 연구에서 납은 부평을 제외하고 모두 MOE값이 1보다 크고 카드뮴, 비소, 수은의 위험도는 각각 0.1348-1.7357%, 0.0013-0.0528%, 0.0191-0.2142% 수준으로 본 연구와 유사하게 낮은 수준으로 평가하였다.

이산화황 최대값 평균의 위험도는 0.000-0.029로 나타났으며, 이산화황 허용기준을 2건 초과한 천마의 경우 위험도는 0.452로 인체에 위해는 우려되지 않았다. Cho²⁴⁾의 연

Table 6. The MOE value and hazard index (%) of heavy metal and SO₂ in herbs for food and medicine by parts used

Parts Used	MOE ¹⁾						HI (%) ²⁾						SO ₂	
	Pb		Cd		As		Hg		SO ₂		HI ³⁾		SO ₂	
	Mean	Max	Mean	Max	Mean	Max	Mean	Max	Mean	Max	Mean	Max	Mean	Max
Caulis	114.31	46.48	0.2466	0.5206	0.0006	0.0049	0.0031	0.0081	0.001	0.004	0.001	0.004	0.001	0.004
	(31.10-197.51) ⁴⁾	(15.94-77.03)	(0.0368-0.4564)	(0.2478-0.7933)	(0.0005-0.0006)	(0.0041-0.0057)	(0.0011-0.0050)	(0.0069-0.0092)	(0.001)	(0.003-0.004)				
Cortex	133.47	77.10	0.2031	0.4253	0.0043	0.0144	0.0033	0.0120	0.001	0.007	0.001	0.007	0.001	0.007
	(35.05-280.11)	(6.04-218.53)	(0.0065-0.4024)	(0.0736-0.7148)	(0.0010-0.0092)	(0.0038-0.0294)	(0.0010-0.0058)	(0.0034-0.0276)	(ND-0.003)	(0.001-0.015)				
Flos	1092.47	648.00	0.3611	0.5303	0.0038	0.1298	0.0045	0.0287	0.006	0.029	0.006	0.029	0.006	0.029
	(33.31-5705.98)	(13.15-3541.64)	(ND-0.280)	(0.1134-0.7770)	(ND-0.0078)	(0.0002-0.0378)	(0.0002-0.0172)	(0.0007-0.1345)	(ND-0.023)	(ND-0.126)				
Fructus	419.36	124.21	0.0773	0.3035	0.0014	0.0120	0.0012	0.0067	0.001	0.008	0.001	0.008	0.001	0.008
	(39.63-1200.48)	(7.34-232.49)	(0.0196-0.2748)	(0.1080-0.6526)	(0.0003-0.0062)	(0.0011-0.611)	(0.0006-0.0017)	(0.0026-0.0107)	(ND-0.003)	(ND-0.036)				
Herba	206.24	84.24	0.3488	1.0702	0.0093	0.0335	0.0160	0.0157	0.002	0.011	0.002	0.011	0.002	0.011
	(16.37-700.28)	(5.73-235.81)	(0.0090-1.5343)	(0.1374-3.8930)	(ND-0.0417)	(0.0005-0.1227)	(0.0017-0.0847)	(0.0063-0.0263)	(0.001-0.003)	(0.005-0.021)				
Leaves	82.911	16.43	0.0573	0.2740	0.0026	0.0330	0.0038	0.0069	0.001	0.004	0.001	0.004	0.001	0.004
	(54.18-111.64)	(12.96-19.90)	(0.0311-0.0834)	(0.1734-0.3746)	(0.0003-0.0049)	(0.0059-0.0057)	(0.0019-0.0057)	(0.0050-0.0088)	(0.001)	(0.004)				
Perithecium	17.67	0.66	0.0590	0.4569	0.0010	0.0052	0.0036	0.0167	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	(28.19-8107.50)	(7.60-1057.63)	(0.0414-0.2478)	(0.0810-0.4637)	(0.0001-0.0047)	(0.0005-0.0155)	(0.0007-0.0040)	(0.0017-0.0092)	(ND-0.056)	(ND-0.071)				
Semen	2378.32	529.51	0.1004	0.2884	0.0015	0.0049	0.0020	0.0041	0.011	0.024	0.011	0.024	0.011	0.024
	(23.30-823.86)	(6.29-247.16)	(0.0068-0.4040)	(0.1134-1.2759)	(ND-0.0197)	(0.0007-0.0779)	(0.0004-0.0080)	(0.0004-0.0138)	(ND-0.007)	(ND-0.090)				
Radix	271.6	60.36	0.2112	0.6093	0.0051	0.0162	0.0021	0.0063	0.002	0.026	0.002	0.026	0.002	0.026
	(98.00-391.68)	(19.67-146.72)	(0.0707-0.3749)	(0.2609-1.1561)	(0.0006-0.0065)	(0.0049-0.0243)	(0.0004-0.0021)	(0.0004-0.1345)	(ND-0.056)	(ND-0.452)				
Rhizoma	235.85	72.46	0.1897	0.4918	0.0036	0.0135	0.0011	0.0042	0.032	0.024	0.032	0.024	0.032	0.024
	(98.00-391.68)	(19.67-146.72)	(0.0707-0.3749)	(0.2609-1.1561)	(0.0006-0.0065)	(0.0049-0.0243)	(0.0004-0.0021)	(0.0004-0.1345)	(ND-0.056)	(ND-0.452)				

¹⁾ MOE: margin of exposure = BMDL₁₀ (benchmark dose lower confidence limit)/ADD.

²⁾ Hazard index (%): ADD (average daily dose, µg/kg b.w./day)/HBGV (health based guidance value, µg/kg b.w./day) × 100.

³⁾ Hazard index: DE (dietary exposure)/ADI 상한값의 10%.

⁴⁾ Range.

구에서는 열매에 해당하는 구기자에서 위해도 1이상으로 나타났으나, 본 연구에서는 과실류보다는 화류나, 근류 및 근경류에서 위해도가 더 높게 나타났다. 모든 품목에서 위해도가 1 미만으로 식약공용 농·임산물 섭취로 인한 이산화황의 위해성은 매우 낮았다.

식약공용 농·임산물의 중금속과 이산화황 함량을 분석하고 위해도를 평가한 결과, 중금속과 잔류 이산화황이 비교적 높게 검출된 일부 품목을 제외하고 대부분의 시료는 안전한 수준으로 평가되었다. 위해도 평가를 통해 식약공용 농·임산물의 장기간 섭취와 과량 섭취로 인한 위험성을 인식하고 소비자의 선택에 기초 정보를 제공함으로써, 보건상의 위해 발생을 예방하고 국민 건강 증진에 기여하고자 하였다.

국문요약

2019년부터 2023년까지 서울지역에 유통되는 식약공용 농·임산물 60품목 1,340건을 대상으로 ICP-MS와 수은분석기, 모니터-윌리엄스 변법을 사용하여 중금속(납, 카드뮴, 비소, 수은) 및 이산화황의 함량을 조사하고 위해성 평가를 수행하였다. 중금속의 평균 검출량 및 범위는 납 0.327 mg/kg (ND-36.933), 카드뮴 0.083 mg/kg (ND-1.700), 비소 0.075 mg/kg (ND-2.200), 수은 0.004 mg/kg (ND-0.047)으로 나타났다. 품목별은 2023년에 복령 1건에서 납이 36.933 mg/kg으로 기준을 초과하였고 카드뮴은 2022년에 구절초 2건이 각각 1.700 mg/kg, 0.650 mg/kg으로 기준을 초과하였다. 나머지 품목은 모두 허용기준 이내였다. 이산화황의 평균 검출량 및 범위는 0.75 mg/kg (ND-192.00)이었으며, 2019년에 천마 2건에서 각각 192.00 mg/kg과 42.00 mg/kg으로 기준치를 초과하였다. 약용부위별 중금속 평균 검출량은 납은 버섯류(1.377 mg/kg), 카드뮴은 수근피류(0.156 mg/kg)와 등목류(0.144 mg/kg), 비소는 엽류(0.149 mg/kg), 수은은 전초류(0.009 mg/kg), 엽류(0.009 mg/kg)에서 높게 검출되었다. 이산화황 평균 검출량은 근경류(4.12 mg/kg)에서 높게 검출되었다. 원산지별로 중금속 및 이산화황 함량을 비교한 결과, 납, 카드뮴 및 수은은 국내산, 중국산, 중국 외 수입산 간에 차이는 없었으나, 비소와 이산화황은 중국산이 국내산과 중국 외 수입산보다 높게 검출되었다. 위해성 평가 결과, 납은 대부분의 품목에서 노출안전역(MOE)값이 1보다 커서 인체 위해성이 낮았지만, 복령에서 MOE 값이 0.66으로 1보다 낮아 위해성이 있는 것으로 나타났다. 카드뮴, 비소 및 수은의 위해도(HI)는 각각 0.2740-1.0702%, 0.0049-0.0335% 및 0.0041-0.0287%로 매우 낮은 수준으로 평가되었다. 이산화황의 위해도(HI)는 모든 품목에서 1을 초과하지 않아 안전한 수준이었다. 앞으로도, 식약공용 농·임산물의 안전성에 대한 지속적인 관심과 모니터링이 필요하다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Sung-Hee Han	https://orcid.org/0009-0000-7399-8412
So-Hyun Park	https://orcid.org/0000-0008-5798-2688
Ji-Hye Kim	https://orcid.org/0000-0002-7053-8506
Hyun-Jung Jang	https://orcid.org/0009-0005-6846-2599
Ae-Kyoung Kim	https://orcid.org/0000-0001-7119-4648
Ji-Hun Jung	https://orcid.org/0000-0002-9838-1029
Eun-Sun Yun	https://orcid.org/0009-0008-1297-5223
Ju-Sung Park	https://orcid.org/0000-0002-5053-8285

References

- Kim, J.Y., Development and industrialization of functional bioactive material from the medicinal plant. *Food Ind. Nutr.*, **18**, 1-6 (2013).
- Lee, D.Y.W., Li, Q.Y., Liu, J., Efferth, T., Traditional Chinese herbal medicine at the forefront battle against COVID-19: Clinical experience and scientific basis. *Phytomedicine*, **80**, 153337 (2021).
- Khan, T., Khan, M.A., Mashwani, Z.U., Ullah, N., Nadhman, A., Therapeutic potential of medicinal plants against COVID-19: the role of antiviral medicinal metabolites. *Bio-catal. Agric. Biotechnol.*, **31**, 101890 (2021).
- Lee, K.E., Jeong, S.H., Jeong, M.J., Choi, Y.M., Song, M.D., Jang, I.S., Review on herbal medicine treatment for late complications of COVID-19 patients. *J. Int. Korean Med.*, **42**, 53-66 (2021).
- Seo, M.Y., Kim, M.G., Kim, J.K., Jang, M.K., Lee, Y.N., Ku, E.J., Park, K.H., Yoon, M.H., Investigation of unintentionally hazardous substance in commercial herbs for food and medicine. *J. Food Hyg. Saf.*, **33**, 453-459 (2018).
- Cho, I.S., Kim, S.J., Park, A.S., Kim, J.A., Jang, J.I., Lee, S.D., Yu, I.S., Shin, Y.S., The content and risk assessment of heavy metal in herbal medicines used for food and drug. *J. Food Hyg. Saf.*, **35**, 354-364 (2020).
- Kim, D.K., Kim B.S., Han E.J., Han C.H., Kim O.H., Choi B.H., Hwang, I.S., Chae, Y.Z., Kim, M.Y., Park, S.K., Distribution of hazardous heavy metal in commercial herbal medicines classified by plant parts used in Seoul. *Anal. Sci. Technol.*, **22**, 504-513 (2009).
- Yim, O.K., Han, E.J., Chung, J.Y., Park, K.S., Kang, I.H., Kang, S.J., Kim, Y.J., The monitoring of some heavy metals in oriental herbal medicines and their intake rates. *Anal. Sci. Technol.*, **22**, 128-135 (2009).
- Heo, S.K., Cha, Y.Y., Kim, E.G., Cho, W.H., Lee, H., Baik, T.H., Seo, H.S., Park, H.S., Kim, B.W., Kwon, K.R., Lee, S.G., Yoo, J.S., Sohn, Y.J., Sun, S.H., Kang, H.C., Seo, Y.C., Determination of heavy metals, sulfur dioxide and residual

- pesticides in oriental medical materials at Sangji university oriental medical hospital. *J. Oriental Physiol. Pathol.*, **22**, 948-953 (2008).
10. Jung, S.J., Kang, S.T., Han, C.H., Kim, S.J., Ko, S.K., Kim, Y.H., Kim, Y.K., Kim, B.S., Choi, B.H., Survey of heavy metal contents and intake rates after decoction in herbal medicines classified by Parts. *J. Food Hyg. Saf.*, **25**, 402-409 (2010).
 11. Kim, M.K., Hur, M.H., Lee, C.H., Jin, J.S., Jin, S.K., Lee, Y.J., Monitoring of residual sulfur dioxide in herbal medicines. *Korean J. Pharmacogn.* **35**, 276-282 (2004).
 12. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (NIFDS), 2010. Guidelines herbal medicine standard manufacturing process, Cheongju, Korea, pp. 11-24.
 13. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2019. Korea pharmacopoeia. General tests. Process and apparatus. Test for herbal drugs, 12th ed, Cheongju, Korea, pp. 1660-1673.
 14. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (NIFDS), 2015. Guidelines for validation of test methods for pharmaceuticals, Cheongju, Korea.
 15. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (NIFD), 2020. Study on the integrated risk assessment of heavy metals to human health, Cheongju, Korea, pp. 50-118.
 16. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (NIFD), 2021. A study on method improvement for the safety control of herbal medicine, Cheongju, Korea, pp. 499-530.
 17. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2018. Explanation on the determination of residual pesticides not established criteria for medicinal herb, Cheongju, Korea, pp. 7-12.
 18. Korean Statistical Information Service (KOSIS), (2024, May 2). Gender average weight distribution by age by city and province. Retrieved from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=350&tblId=DT_35007_N132&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=350_35007_A007&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE
 19. Korean Statistical Information Service (KOSIS), (2024, May 2). Simple life table (by 5 years old). Retrieved from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1B41&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=&scrId=&seqNo=&lang_mode=ko&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=E1&docId=0139427493&markType=S&itmNm=%EC%A0%84%EA%B5%AD
 20. 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., Arsenic contamination of polished rice produced in abandoned mine areas and its potential human risk assessment using probabilistic techniques. *Korean J. Environ. Agric.* **30**, 43-51 (2011).
 21. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (NIFD), 2021. Integrated risk assessment of heavy metals (5 types), Cheongju, Korea, pp. 13-135.
 22. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (NIFD), 2010. Study for development of risk assessment guideline and establishment of health based guidance value, Cheongju, Korea, pp. 102-104.
 23. World Health Organization (WHO), 2019. Evaluations of the joint FAO/WHO expert committee on food additives. Retrieved from <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/search.aspx>
 24. Cho, I.S., Analysis and risk assessment of heavy metals and residual sulfur dioxide in herbal medicines used for food and drug, PhD. thesis, Danguk University, Seoul, Korea (2020).
 25. Jang, E.K., Jang H.M., Wi. C.H., Ban, S.E., Pesticides, heavy metals, radioactive substances, and ash of poria cocos distributed in Korea. *J. Mushroom.* **19**, 294-299 (2021).
 26. Kim, J.S., 2017. Safety assessment of hazardous substances for high frequency oriental (herbal) medicines, National institute of food and drug safety evaluation (NIFD), Cheongju, Korea, pp. 102-104.
 27. Ko, M.O., Ko, J.Y., Kim, M.B., Lim, S.B., Antibacterial activity of isothiocyanates from cruciferous vegetables against pathogenic bacteria in olive flounder. *Korean J. Food Preserv.*, **22**, 886-892 (2015).
 28. Lee, H.K., Jung, J.H., Kim, S.D., Kim, H.S., Lee, J.H., Yu, I.S., Jung, K., A study of the sulfur dioxide concentrations in herbal medicines used for food in the Korean market. *Report of S.I.H.E.*, **51**, 145-154 (2015).
 29. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2024, May 2). Results of collection and inspection of agricultural and forest products for the public use of the Food and Drug Administration. Retrieved from https://www.mfds.go.kr/brd/m_99/view.do?seq=45391&srchFr=&srchTo=&srchWord=%EA%B3%B5%EC%9A%A9&srchTp=0&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&Data_sts_gubun=C9999&page=1
 30. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2024, May 2). Results of collection and inspection of agricultural and forest products for the public use of the Food and Drug Administration. Retrieved from <https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156569749#pressRelease>
 31. Luo, L., Wang, B., Jiang, J., Fitzgerald, M., Huang, Q., Yu, Z., Li, H., Zhang, J., Wei, J., Yang, C., Zhang H., Dong, L., Chen, S., Heavy metal contaminations in herbal medicines: determination, comprehensive risk assessments, and solutions. *Front. Pharmacol.*, **11**, 595335 (2021).
 32. Korea Institute for Health and Affairs (KIHASA), 2015. Risk assessment of hazardous substances requiring management in oriental (herbal) medicine, Sejong, Korea, pp. 11.
 33. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation (NIFDS), 2022. The dispensatory on visual and organoleptic examination of herbal medicine, Cheongju, Korea, pp. 11-24, 678.
 34. Jung, D.S., Investigation of the content of harmful ingredients in distributed herbal medicines, *The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment*, **31**, 1-7 (2022).
 35. Lee, Y.J., Kim, A.K., Kim, O.H., Lee, C.Y., Lee, H.K., Jung, S.O., Lee, S.R., Kim, H.S., Kim, I.Y., Yu, I.S., Jung, K., Sulfur dioxide, heavy metal and curcumin contents in market-available turmeric (*Curcuma longa* L.), *Korean J. Medicinal*

- Crop Sci.*, **24**, 121-128 (2016).
36. An, H.J., Heavy metals content and risk assessment in imported herbal medicine used for food and drug. MD thesis, Pukyong National University, Busan, Korea (2023).
 37. Lee, A.R., Jang, S., Lee, A.Y., Choi, G.Y., Kim, H.K., Monitoring of sulfur dioxide residues in commercial herbal medicines at domestic by geographical origins. *J. Food Hyg. Saf.*, **29**, 152-157 (2014).
 38. Shin, Y., Park, S.H., Han, S.H., Park, S.H., Kim, J.H., Kim, A.K., Park, J.S., The content and risk assessment of heavy metals in commercial herbal medicines. *Anal. Sci. Technol.*, **36**, 267-280 (2023).